

# 供用下における矢板工法トンネル 覆工再生工に関する手引き(案)

## 参考資料

2023年10月

中日本高速道路株式会社  
金沢支社

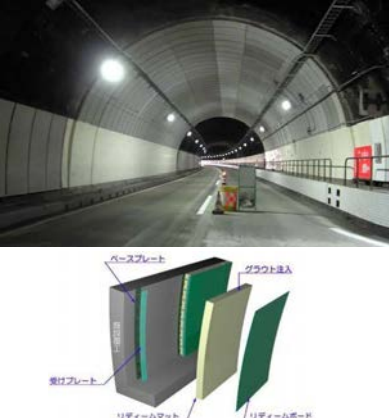
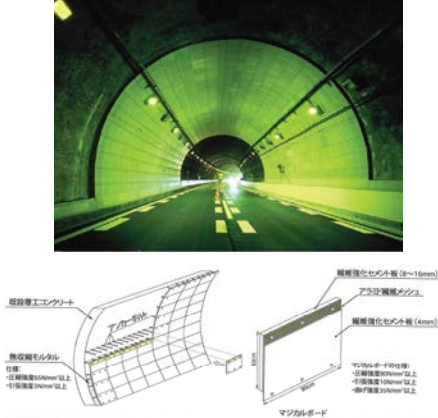
## 【参考資料】

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| 参考資料-1 | 各種覆工再生工資料                |
| 参考資料-2 | 設計・解析の関連資料               |
| 参考資料-3 | 既設トンネルの附属物等の移設及び防護工の設置事例 |
| 参考資料-4 | 防護工の性能事例                 |
| 参考資料-5 | 既設トンネルの断面拡幅時の挙動計測事例      |
| 参考資料-6 | 試験施工                     |

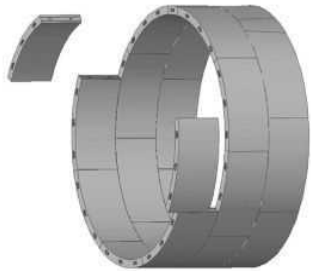
## 參考資料-1

各種覆工再生工資料

覆工再生工法比較表 (1/2)

| 一般名          |            | 場所打ち工法                                                                            | 埋設型枠工法                                                                             |                                                                                                                     |                                                                                     |  |
|--------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 工法分類         |            | 第1案：場所打ち工法                                                                        | 第2案：REDEEM工法                                                                       | 第3案：マジカルボード工法                                                                                                       | 第4案：スムーズボード工法                                                                       |  |
| 対策工概要図       |            |  |  |                                  |  |  |
| 名称およびNETIS登録 |            |                                                                                   | KT-040056 掲載終了                                                                     |                                                                                                                     | HRK-030002-A 掲載終了                                                                   |  |
| 開発業者         |            |                                                                                   | 鉄建建設                                                                               | 鹿島建設                                                                                                                | 大林組                                                                                 |  |
| 工法概要         |            | 既設覆工より内側に移動式鋼製型枠(スライドセントル)を設置し、新たに覆工コンクリートを打設する方法。                                | 既設コンクリートの表面にリディームマット(高じん性マット)を埋め込み型枠としてアンカー固定し、隙間にモルタルを流し込み、セメント系繊維補強モルタル版を形成する工法。 | 繊維強化セメント板とアラミド繊維メッシュの積層構造からなる複合部材(マジカルボード)をアンカー固定し、既設覆工コンクリートの間に無収縮の高強度モルタルを充填し、マジカルボードとモルタルと覆工が一体化した薄肉の補強層を形成する工法。 | 薄肉・軽量で靱性・耐久性の高い高靱性セメントボードをアンカーで固定し、ボード背面にコンクリートまたは無収縮モルタル材を打込み、覆工断面を補修補強する工法。       |  |
| 評価項目         | 内空への影響     | 現場打ちコンクリートとなり、最低でも100～200mm程度の覆工厚が必要                                              | 内巻厚はt=50mm以上で調整可能                                                                  | マジカルボードt=20mm<br>モルタル厚は調整可能                                                                                         | 高靱性セメントボードt=8.5mm<br>内巻厚および充填材料の強度は調整可能                                             |  |
|              | 防水性        | 既設覆工と新設覆工の間に防水シートを施工することで防水性は高い。                                                  | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                          | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                                                           | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                           |  |
|              | 施工性        | 移動式鋼製型枠を対象箇所を設置できれば、コンクリート打設の施工性は良い。但し、交通規制下における鋼製型枠の移動・設置には手間がかかる。               | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。                                             | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。<br>標準寸法60×90cm、重さ20kg/枚程度                                                    | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。<br>ボード1枚(182×45.5cm)あたりの重量は12kg              |  |
|              | 工期<br>施工期間 |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                                                     |                                                                                     |  |
|              | 交通への影響     | 片側通行規制での施工が可能<br>※施工時荷重に耐え、一般車両の通行スペースを確保できる移動式型枠を作る必要がある。<br>また、型枠設置時は通行止め作業となる。 | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工や足場が必要となるため、終日片側通行規制となる。                           | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工や足場が必要となるため、終日片側通行規制となる。                                                            | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工が必要となるが、支保工が建築限界をおかしてなければ残置して交通解放している事例もある。         |  |
| 経済性<br>(直工費) |            |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                                                     | 13万円/㎡<br>(裏込め材料が無収縮モルタルの場合)                                                        |  |
| 評価           |            |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                                                     |                                                                                     |  |

覆工再生工法比較表 (2/2)

| 一般名          |              | 支柱型枠工法                                                                                 |  | プレキャストライニング工法                                                                      |  | 厚肉鋼板工法                                                                              |  | セグメント工法                                                                                    |  |
|--------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 工法分類         |              | 第4案：サポートライニング工法                                                                        |  | 第5案：PCL工法                                                                          |  | 第6案：鋼板接着工法                                                                          |  | 第8案：セグメント工法                                                                                |  |
| 対策工概要図       |              |       |  |  |  |  |  |         |  |
| 名称およびNETIS登録 |              | KT-050047 掲載終了                                                                         |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                            |  |
| 開発業者         |              | 熊谷組                                                                                    |  | PCL協会                                                                              |  | 新日鉄住金パイプラインの特許工法                                                                    |  |                                                                                            |  |
| 工法概要         |              | 鋼製支保工と内巻き工を併用したトンネルの覆工補強工法。内巻き工はUFC（超高強度繊維補強コンクリート）製の埋設型枠を設置し、モルタル等を現場打設し、既設覆工と一体化させる。 |  | 工場製作されたプレキャストコンクリート版を側壁コンクリート上に設置し、自立させた構造となる。                                     |  | 既設の覆工コンクリートを撤去することなく、内面に鉄板を設置し、背面にモルタルを充填する工法である。                                   |  | 工場で施工されたセグメントセグメント（円弧状のブロックで、鉄筋コンクリート製、鋼製、鑄鉄製など）を機械により組みあげ、トンネル本体がトンネル断面の1周分（1リング）ずつ構築される。 |  |
| 評価項目         | 内空への影響       | ダクト板厚t=10mm<br>支保工高、モルタル厚は調整可能                                                         |  | プレキャスト板 t=80mmから140mm<br>裏込め充填材 t=50mm                                             |  | 鉄板 t=24mm<br>(覆工30cmと同等の耐力換算)                                                       |  |                                                                                            |  |
|              | 防水性          | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                              |  | 既設覆工とプレキャスト板の間に防水シートを施工することで防水性は高い。                                                |  | ステンレスの鋼板が防錆処理の鋼板が必要である。                                                             |  | セグメントの内面に防水シートを巻立てることで防水性は高い。                                                              |  |
|              | 施工性          | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。                                                 |  | プレキャスト板の設置に大型重機が必要となるが、施工面積が広いので、施工性は良い。                                           |  | 専用の機械が必要である。                                                                        |  | 機械によりセグメントをくみ上げるため専用の機械が必要。                                                                |  |
|              | 工期<br>施工期間   |                                                                                        |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                            |  |
|              | 交通への影響       | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工や足場が必要となるため、終日片側通行規制となる。                               |  | プレキャスト版架設時に一時的に通行止規制が必要となる。その他の作業は、片側通行規制が可能となる。                                   |  |                                                                                     |  |                                                                                            |  |
|              | 経済性<br>(直工費) |                                                                                        |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                            |  |
| 評価           |              |                                                                                        |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                            |  |

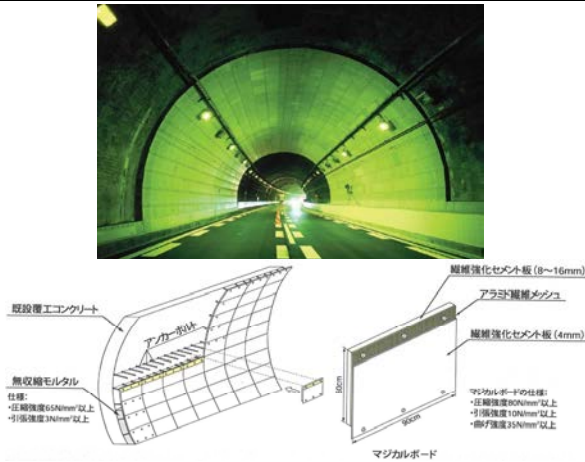
# 覆工再生工法資料

|              |                                                                                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名          | 場所打ち工法                                                                                                                                                               |
| 工法分類         | 場所打ち工法                                                                                                                                                               |
| 対策工概要図       |   |
| 名称およびNETIS登録 |                                                                                                                                                                      |
| 開発業者         |                                                                                                                                                                      |
| 工法概要         | 既設覆工より内側に移動式鋼製型枠(スライドセントル)を設置し、新たに覆工コンクリートを打設する方法。                                                                                                                   |
| 内空への影響       | 現場打ちコンクリートとなり、最低でも100～200mm程度の覆工厚が必要                                                                                                                                 |
| 防水性          | 既設覆工と新設覆工の間に防水シートを施工することで防水性は高い。                                                                                                                                     |
| 施工性          | 移動式鋼製型枠を対象箇所に設置できれば、コンクリート打設の施工性は良い。<br>但し、交通規制下における鋼製型枠の移動・設置には手間がかかる。                                                                                              |
| 工期<br>(施工期間) |                                                                                                                                                                      |
| 交通への影響       | 片側通行規制での施工が可能<br>※施工時荷重に耐え、一般車両の通行スペースを確保できる移動式型枠を作る必要がある。<br>また、型枠設置時は通行止め作業となる。                                                                                    |
| 維持管理性能       |                                                                                                                                                                      |
| 経済性          |                                                                                                                                                                      |
| 特筆すべき事項      |                                                                                                                                                                      |

覆工再生工法資料

|                  |                                                                                    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名              | 埋設型枠工法                                                                             |
| 工法分類             | REDEEM工法                                                                           |
| 対策工<br>概要図       |  |
| 名称および<br>NETIS登録 | KT-040056 掲載終了                                                                     |
| 開発業者             | 鉄建建設                                                                               |
| 工法概要             | 既設コンクリートの表面にリディームマット（高じん性マット）を埋め込み型枠としてアンカー固定し、隙間にモルタルを流し込み、セメント系繊維補強モルタル版を形成する工法。 |
| 内空への影響           | 内巻厚は $t=50\text{mm}$ 以上で調整可能                                                       |
| 防水性              | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                          |
| 施工性              | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。                                             |
| 工期<br>（施工期間）     |                                                                                    |
| 交通への影響           | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工や足場が必要となるため、終日片側通行規制となる。                           |
| 維持管理性能           |                                                                                    |
| 経済性              |                                                                                    |
| 特筆すべき事項          |                                                                                    |

覆工再生工法資料

|              |                                                                                                                     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名          | 埋設型枠工法                                                                                                              |
| 工法分類         | マジカルボード工法                                                                                                           |
| 対策工概要図       |                                   |
| 名称およびNETIS登録 |                                                                                                                     |
| 開発業者         | 鹿島建設                                                                                                                |
| 工法概要         | 繊維強化セメント板とアラミド繊維メッシュの積層構造からなる複合部材(マジカルボード)をアンカー固定し、既設覆工コンクリートの間に無収縮の高強度モルタルを充填し、マジカルボードとモルタルと覆工が一体化した薄肉の補強層を形成する工法。 |
| 内空への影響       | マジカルボードt=20mm<br>モルタル厚は調整可能                                                                                         |
| 防水性          | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                                                           |
| 施工性          | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。<br>標準寸法60×90cm、重さ20kg/枚程度                                                    |
| 工期(施工期間)     |                                                                                                                     |
| 交通への影響       | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工や足場が必要となるため、終日片側通行規制となる。                                                            |
| 維持管理性能       |                                                                                                                     |
| 経済性          |                                                                                                                     |
| 特筆すべき事項      |                                                                                                                     |

覆工再生工法資料

|              |                                                                               |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名          | 埋設型枠工法                                                                        |
| 工法分類         | スムーズボード工法                                                                     |
| 対策工概要図       |                                                                               |
| 名称およびNETIS登録 | HRK-030002-A 掲載終了                                                             |
| 開発業者         | 大林組                                                                           |
| 工法概要         | 薄肉・軽量で靱性・耐久性の高い高靱性セメントボードをアンカーで固定し、ボード背面にコンクリートまたは無収縮モルタル材を打込み、覆工断面を補修補強する工法。 |
| 内空への影響       | 高靱性セメントボード $t=8.5\text{mm}$<br>内巻厚および充填材料の強度は調整可能                             |
| 防水性          | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                     |
| 施工性          | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。<br>ボード1枚(182×45.5cm)あたりの重量は12kg        |
| 工期(施工期間)     |                                                                               |
| 交通への影響       | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工が必要となるが、支保工が建築限界をおかしていなければ残置して交通解放している事例もある。  |
| 維持管理性能       |                                                                               |
| 経済性          | 13万円/m <sup>2</sup><br>(裏込め材料が無収縮モルタルの場合)                                     |
| 特筆すべき事項      |                                                                               |

覆工再生工法資料

|              |                                                                                        |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名          | 支柱型枠工法                                                                                 |
| 工法分類         | サポートライニング工法                                                                            |
| 対策工概要図       |      |
| 名称およびNETIS登録 | KT-050047 掲載終了                                                                         |
| 開発業者         | 熊谷組                                                                                    |
| 工法概要         | 鋼製支保工と内巻き工を併用したトンネルの覆工補強工法。内巻き工はUFC（超高強度繊維補強コンクリート）製の埋設型枠を設置し、モルタル等を現場打設し、既設覆工と一体化させる。 |
| 内空への影響       | ダクタイル板 $t=10\text{mm}$<br>支保工高、モルタル厚は調整可能                                              |
| 防水性          | 埋設型枠と充填モルタルは既設覆工と一体化することが基本であり、防水シート等の遮水層を設けることで構造性が低下する。                              |
| 施工性          | 大型機械や設備が不要で資機材も軽量なので、全ての作業を人力で行うことが可能。                                                 |
| 工期<br>(施工期間) |                                                                                        |
| 交通への影響       | 片側通行規制での施工が可能<br>※モルタルが硬化するまで支保工や足場が必要となるため、終日片側通行規制となる。                               |
| 維持管理性能       |                                                                                        |
| 経済性          |                                                                                        |
| 特筆すべき事項      |                                                                                        |

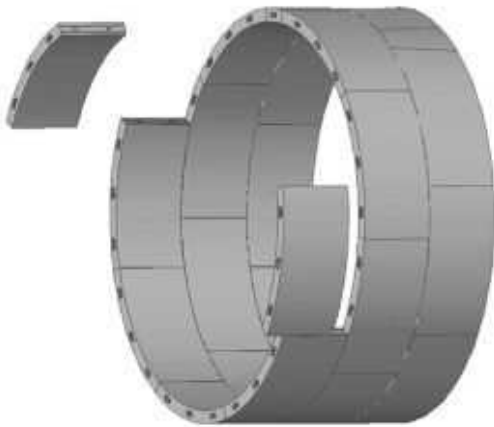
**覆工再生工法資料**

|                  |                                                                                                                                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名              | プレキャストライニング工法                                                                                                                                                        |
| 工法分類             | PCL工法                                                                                                                                                                |
| 対策工<br>概要図       |   |
| 名称および<br>NETIS登録 |                                                                                                                                                                      |
| 開発業者             | PCL協会                                                                                                                                                                |
| 工法概要             | 工場製作されたプレキャストコンクリート版を側壁コンクリート上に設置し、自立させた構造となる。                                                                                                                       |
| 内空への影響           | プレキャスト板 t=80mmから140mm<br>裏込め充填材 t=50mm                                                                                                                               |
| 防水性              | 既設覆工とプレキャスト板の間に防水シートを施工することで防水性は高い。                                                                                                                                  |
| 施工性              | プレキャスト板の設置に大型重機が必要となるが、施工面積が広いので、施工性は良い。                                                                                                                             |
| 工期<br>(施工期間)     |                                                                                                                                                                      |
| 交通への影響           | プレキャスト版架設時に一時的に通行止規制が必要となる。その他の作業は、片側通行規制が可能となる。                                                                                                                     |
| 維持管理性能           |                                                                                                                                                                      |
| 経済性              |                                                                                                                                                                      |
| 特筆すべき事項          |                                                                                                                                                                      |

覆工再生工法資料

|              |                                                   |
|--------------|---------------------------------------------------|
| 一般名          | 厚肉鋼板工法                                            |
| 工法分類         | 鋼板接着工法                                            |
| 対策工概要図       |                                                   |
| 名称およびNETIS登録 |                                                   |
| 開発業者         | 新日鉄住金パイプラインの特許工法                                  |
| 工法概要         | 既設の覆工コンクリートを撤去することなく、内面に鉄板を設置し、背面にモルタルを充填する工法である。 |
| 内空への影響       | 鉄板 t=24mm<br>(覆工30cmと同等の耐力換算)                     |
| 防水性          | ステンレスの鋼板か防錆処理の鋼板が必要である。                           |
| 施工性          | 専用の機械が必要である。                                      |
| 工期<br>(施工期間) |                                                   |
| 交通への影響       |                                                   |
| 維持管理性能       |                                                   |
| 経済性          |                                                   |
| 特筆すべき事項      |                                                   |

覆工再生工法資料

|                  |                                                                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一般名              | セグメント工法                                                                                           |
| 工法分類             | 第8案：セグメント工法                                                                                       |
| 対策工<br>概要図       |                 |
| 名称および<br>NETIS登録 |                                                                                                   |
| 開発業者             |                                                                                                   |
| 工法概要             | <p>工場で施工されたセグメントセグメント（円弧状のブロックで、鉄筋コンクリート製、鋼製、鋳鉄製など）を機械により組みあげ、トンネル本体がトンネル断面の1周分（1リング）ずつ構築される。</p> |
| 内空への影響           |                                                                                                   |
| 防水性              | <p>セグメントの内面に防水シートを巻立てることで防水性は高い。</p>                                                              |
| 施工性              | <p>機械によりセグメントをくみ上げるため専用の機械が必要。</p>                                                                |
| 工期<br>（施工期間）     |                                                                                                   |
| 交通への影響           |                                                                                                   |
| 維持管理性能           |                                                                                                   |
| 経済性              |                                                                                                   |
| 特筆すべき事項          |                                                                                                   |

## 参考資料-2

設計・解析の関連資料

覆工再生工を検討するにあたり、断面検討、覆工切削、再生覆工詳細設計について、検討ケースを想定しトリアル解析している。

なお、手引き(案)の検討方針による参考資料と同等の条件であると技術者が判断した場合は、本参考資料を準用してよい。また、本参考資料をの検討条件に適合しない場合は、本検討の趣旨を理解したうえで別途検討を行うものとする。

## 2.1. 設計断面

設計断面は、設計区分（地質区分）のCパターン及びDパターンの標準断面とする。下図に設計断面の標準断面図を示す。設計断面は、断面規模が大きく解析条件が厳しくなる監視員通路つき断面を解析断面とする。

Figure 1 is a line graph showing the relationship between the number of vehicles (N) and the number of lanes (L). The x-axis is labeled 'L' and ranges from 0 to 1000. The y-axis is labeled 'N' and ranges from 0 to 8400. Two curves are plotted: a solid line labeled '走行車線' (Through Lane) and a dashed line labeled '追越車線' (Overtaking Lane). Both curves show a peak and then a decline. The '走行車線' curve peaks at approximately L=450, N=7500. The '追越車線' curve peaks at approximately L=750, N=7500. The curves intersect at approximately L=250, N=3500 and L=950, N=3500.

2-2

## 2.2. 覆工切削時の安定性検討

覆工切削時の安定性は、三次元 FDM 解析（三次元有限差分法解析）により、新設施工時の覆工応力状態を再現する。

### 2.2.1. 解析の流れ

既設覆工の応力状態を再現するため、建設当時の施工をモデル化し、施工ステップを再現する。本解析の最終ステップの応力状態を現状の覆工応力状態と考える。

下図の解析フローを示す。

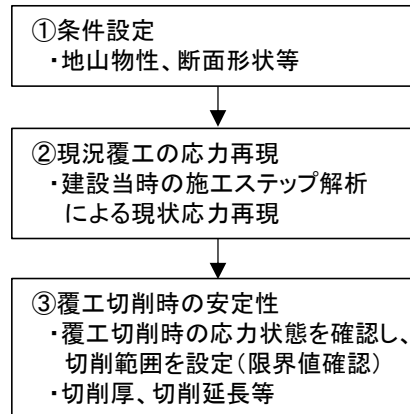


図 1.3 三次元 FDM（覆工切削）の解析フロー

### 2.2.2. 解析条件

解析手法等は、下記のとおりとする。

- ・解析手法：三次元 FDM 解析（三次元有限差分法）
- ・解析モデル：弾塑性モデル
- ・解析領域：土被り（5D）、下方領域（5D）、側方領域（5D）  
※D=トンネル掘削幅
- ・要素境界：側方（ローラー）、下面（固定）
- ・掘削工法：上部半断面先進掘削方式（側壁導坑先進掘削方式は個別検討とする）
- ・覆工：ソリッド要素  
：コンクリート強度（ $f_{ck}=18 \text{ N/mm}^2$ ）
- ・鋼製支保工：ビーム要素
- ・事前補強（異形棒鋼）：ロッド要素
- ・インバート：モデル化しない
- ・地山の変形係数：地山等級 C（ $E=2,000 \text{ N/mm}^2$ ）  
地山等級 D（ $E=500 \text{ N/mm}^2$ ）
- ・一掘進長は地山等級 C（1.0m）、地山等級 D（0.75m）
- ・上半覆工コンクリートは、10.5m 毎でジョイント要素を設定
- ・打設目地、水平目地を考慮しジョイント要素を設置

表 1.1 地山物性値の一般値

| 断面   | 地山区分           | 変形係数                    | $f_{\text{dest}}$ | 初期ポアソン比 | 破壊後ポアソン比            | 弾性限界ハルメータ | 非線形指数    | 粘着力               | 内部摩擦角     | 引張強度              | 単位重量              |
|------|----------------|-------------------------|-------------------|---------|---------------------|-----------|----------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|
|      |                | $D$                     | $f_{\text{dest}}$ | $\nu_i$ | $\nu_{\text{dest}}$ | $k$       | $\alpha$ | $c$               | $\varphi$ | $\sigma_t$        | $\gamma$          |
|      |                | N/mm <sup>2</sup>       |                   |         |                     |           |          | N/mm <sup>2</sup> | deg       | N/mm <sup>2</sup> | kN/m <sup>3</sup> |
| B    | G <sub>2</sub> | 5,000<br>(2,000~10,000) | 0.01              | 0.25    | 0.48                | 6.0       | 3.0      | 4.0               | 50        | 0.80              | 25.0              |
| C I  | G <sub>3</sub> | 2,000<br>(1,000~5,000)  | 0.01              | 0.30    | 0.48                | 6.0       | 3.0      | 2.0               | 45        | 0.40              | 24.0              |
| C II | G <sub>4</sub> | 1,000<br>(500~5,000)    | 0.01              | 0.30    | 0.48                | 6.0       | 3.0      | 1.0               | 40        | 0.20              | 23.0              |
| D I  | G <sub>5</sub> | 500<br>(200~2,000)      | 0.01              | 0.35    | 0.48                | 4.0       | 2.0      | 0.4               | 35        | 0.08              | 22.0              |
| D II | G <sub>6</sub> | 150<br>(50~500)         | 0.01              | 0.35    | 0.48                | 4.0       | 2.0      | 0.2               | 30        | 0.04              | 21.0              |

\* $f_{\text{dest}}$ については解析手法上異なる値を利用する場合を許容している。

出典：(株)高速道路総合研究所 技術資料「トンネル数値解析マニュアル（2017 年度版）」

### 2.2.3. 解析モデル

解析モデル図を下記に示す。

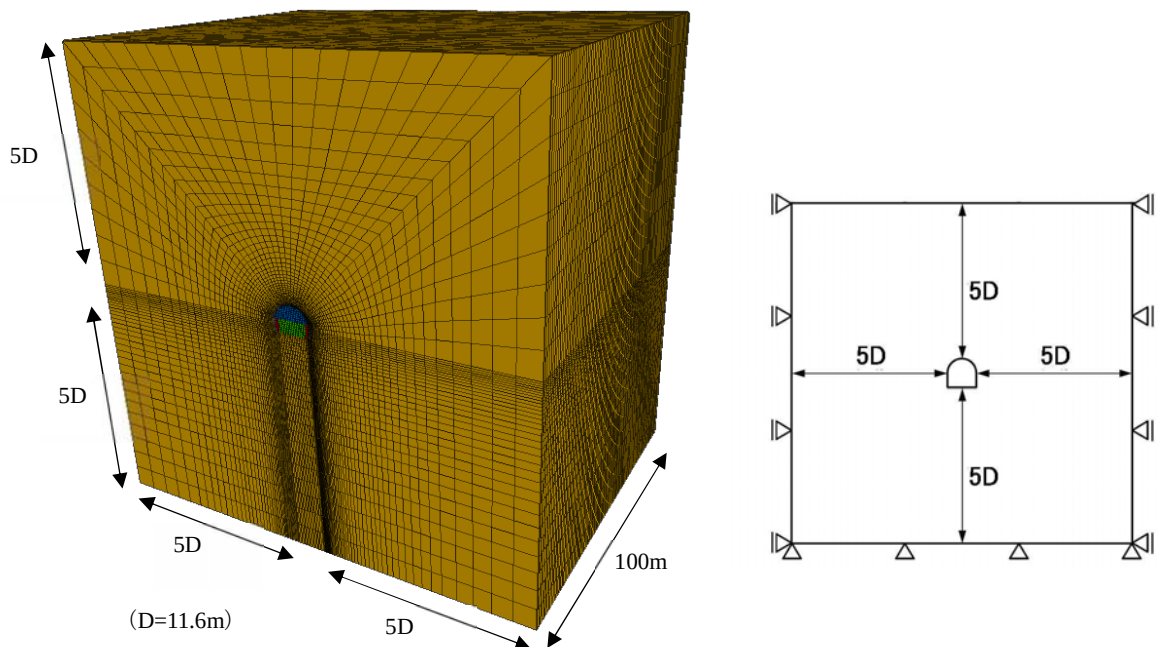


図 1.4 三次元 FDM の解析モデル

#### 2.2.4. 解析ステップ【覆工応力再現解析】

建設当時の施工手順（上部半断面先進掘削方式）を再現した解析ステップを以下に示す。  
 なお、側壁導坑先進掘削方式は個別検討とする。

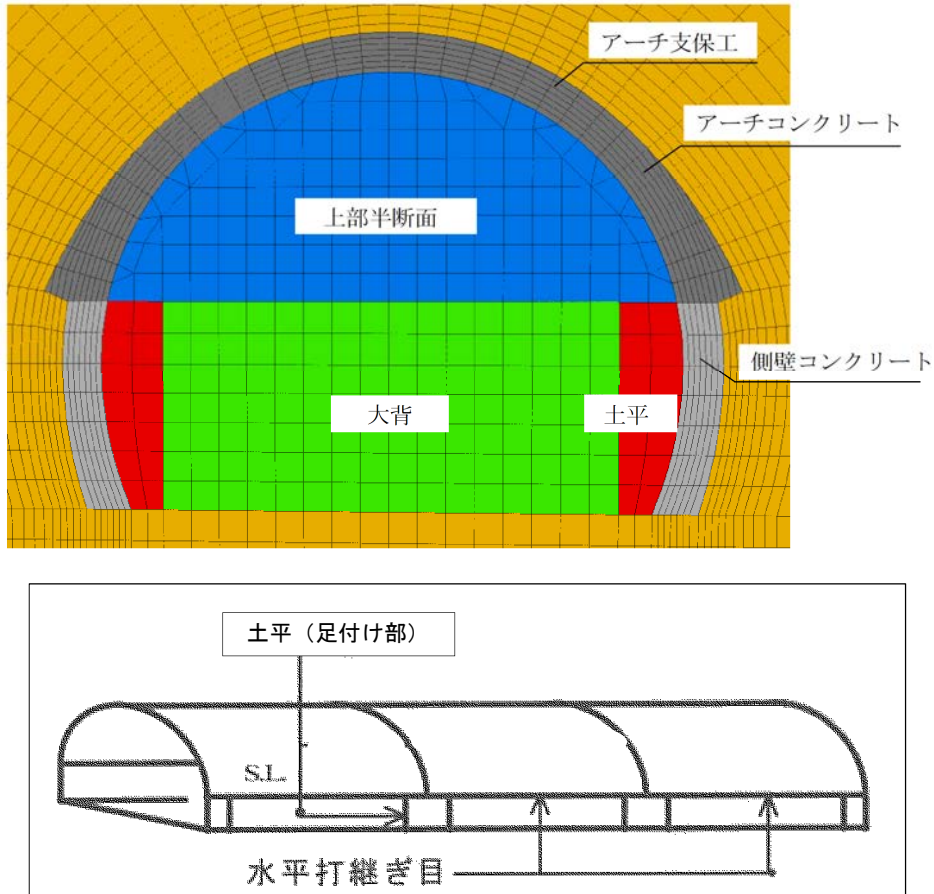


図 1.5 トンネル掘削工法（上部半断面先進掘削方式）

ステップ 1：自重解析

ステップ 2：施工解析

- |                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| ① 上半半断面掘削          | : 1.0m又は0.75m間隔で掘進（100m区間）            |
| ② アーチ支保工建込み        | : 1.0m又は0.75m間隔で建込み（100m区間）           |
| ③ アーチコンクリート打設      | : ②施工後、10.5m間隔で打設（100m区間）             |
| ④ 大背掘削             | : ③施工後、10.5m掘進を2スパン施工                 |
| ⑤ 土平掘削（足付け部）       | : ④掘削後(21m区間)、10.5m間隔で掘削（掘削幅1.5m又は2m） |
| ⑥ 側壁コンクリート打設（足付け部） | : コンクリート打設                            |
| ⑦ 土平掘削             | : ⑥施工後、残りの土平掘削                        |
| ⑧ 側壁コンクリート打設       | : コンクリート打設                            |

#### 2.2.5. 解析ステップ【覆工切削解析】

覆工切削の解析条件及び解析ステップを以下に示す。

- ・覆工切削の一切削長さは、支保工建込間隔に合わせ、地山等級 C（1.0m）、地山等級 D（0.75m）とする。
- ・覆工切削モデルは、覆工全周を同一幅で切削するものとする。
- ・覆工切削に先行してロックボルトを打設する。ロックボルト材料は、異形棒鋼とする。
- ・覆工切削は、施工過程を考慮して横断半断面切削を先行し、縦断方向の切削範囲を施工した段階で残り半断面を切削する。
- ・本検討では切削厚は 20cm とする。
- ・既設覆工の応力限界値を確認する（許容応力度照査）。

表 1.2 切削施工の検討ケース

| 解析<br>ケース | 岩質<br>区分 | 既設<br>覆工厚 | 切削<br>厚さ | 覆工切削長<br>（縦断方向）                              | 先行補強<br>（ロックボルト）                              |
|-----------|----------|-----------|----------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| CASE-1    | C        | 55cm      | 20cm     | ・ 縦断方向の覆工切削を<br>1.0m間隔で延伸<br>（既覆工耐力が許容するまで）  | ・ 鉛直方向<br>※ボルト長、周方向間隔<br>等は、パターンボルト<br>を参考とする |
| CASE-2    | D        | 70cm      | 20cm     | ・ 縦断方向の覆工切削を<br>0.75m間隔で延伸<br>（既覆工耐力が許容するまで） | ・ 鉛直方向<br>※ボルト長、周方向間隔<br>等は、パターンボルト<br>を参考とする |

【参考資料】

(1) 矢板工法の標準支保パターン

・鋼製支保工

| 地山等級 | 本線断面  |              | 小断面（約8～16m <sup>2</sup> ） |              | 備 考               |
|------|-------|--------------|---------------------------|--------------|-------------------|
|      | 断 面   | 建込間隔<br>(cm) | 断 面                       | 建込間隔<br>(cm) |                   |
| A    | H-175 | 150          |                           |              |                   |
| B    | H-200 | 120          | H-125<br>H-150            | 150<br>150   |                   |
| C    | H-200 | 100          | H-125<br>H-150            | 120<br>120   |                   |
| D    | H-200 | 75           | H-125<br>H-150            | 100<br>100   |                   |
| E    |       |              |                           |              | 別途検討のうえ、定めるものとする。 |

(注) 小断面の上段と下段は、それぞれレール工法における単線用と複線用を示す。

出典：設計要領 第三集 トンネル トンネル本体工建設編

(2) NATM の標準支保パターン

表 4.5.3 2車線トンネルの標準支保パターン表

| 地<br>山<br>等<br>級 | 支 保 パ<br>タ ー ン | 標準<br>掘<br>進長<br>(m) | ロックボルト    |            |             |           |           | 吹付け<br>コンク<br>リート | 鋼アーチ支<br>保工 |               | 覆工厚 (cm)      |                | 変形<br>余裕<br>(cm) | 掘削<br>工法                                    |               |
|------------------|----------------|----------------------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-------------|---------------|---------------|----------------|------------------|---------------------------------------------|---------------|
|                  |                |                      | 長さ<br>(m) | 耐力<br>(kN) | 施工間隔<br>(m) |           | 施工<br>範囲  |                   | 厚さ<br>(cm)  | 上半<br>サイ<br>ズ | 下半<br>サイ<br>ズ | アー<br>チ・<br>側壁 |                  |                                             | イン<br>パー<br>ト |
|                  |                |                      |           |            | 周方<br>向     | 延長<br>方向  |           |                   |             |               |               |                |                  |                                             |               |
| B                | B-a            | 2.0                  | 3.0       | 110        | 1.5         | 2.0       | 上半<br>120 | 5                 | —           | —             | 30            | 0              | 0                | 補助ベ<br>ンチ付<br>き全断<br>面工法<br>または<br>上半工<br>法 |               |
| CⅠ               | CⅠ-a           | 1.5                  | 3.0       | 110        | 1.5         | 1.5       | 上半        | 10                | —           | —             | 30            | (40)           | 0                |                                             |               |
| CⅡ               | CⅡ-a           | 1.2                  | 3.0       | 110        | 1.5         | 1.2       | 上下<br>半   | 10                | —           | —             | 30            | (40)           | 0                |                                             |               |
|                  | CⅡ-b           |                      |           |            | 1.5         | 1.2       |           |                   | H125        | —             |               |                |                  |                                             |               |
| DⅠ               | DⅠ-a           | 1.0                  | 3.0       | 170        | 1.2         | 1.0       | 上下<br>半   | 15                | H125        | H125          | 30            | 45             | 0                |                                             |               |
|                  | DⅠ-b           | 1.0                  | 4.0       |            |             |           |           |                   |             |               |               |                |                  |                                             |               |
| DⅡ               | DⅡ-a           | 1.0<br>以下            | 4.0       | 170        | 1.2         | 1.0<br>以下 | 上下<br>半   | 20                | H150        | H150          | 30            | 50             | 10               |                                             |               |

支保パターンの a, b の区分は、以下による。

a：基本的すべての岩種に適用する標準支保パターン

b：当初設計において、粘板岩、黒色片岩、泥岩、頁岩、礫灰岩等のうち、トンネル掘削にともなう変位が大きくなると予想される場合のみ適用する。

なお、インパートの（ ）は、第三紀泥岩、礫灰岩、蛇紋岩等の粘性土岩や風化結晶片岩、温泉余土などに適用する。

出典：(旧) 設計要領 第三集 トンネル トンネル本体工建設編

### 2.3. 覆工再生工の応力照査

覆工再生工は、矢板工法で施工されたひび割れや漏水などが発生している覆工のリニューアルを行うものであり、新設の内巻工（再生覆工）を構築し想定荷重に対する断面耐力を照査するものとする。

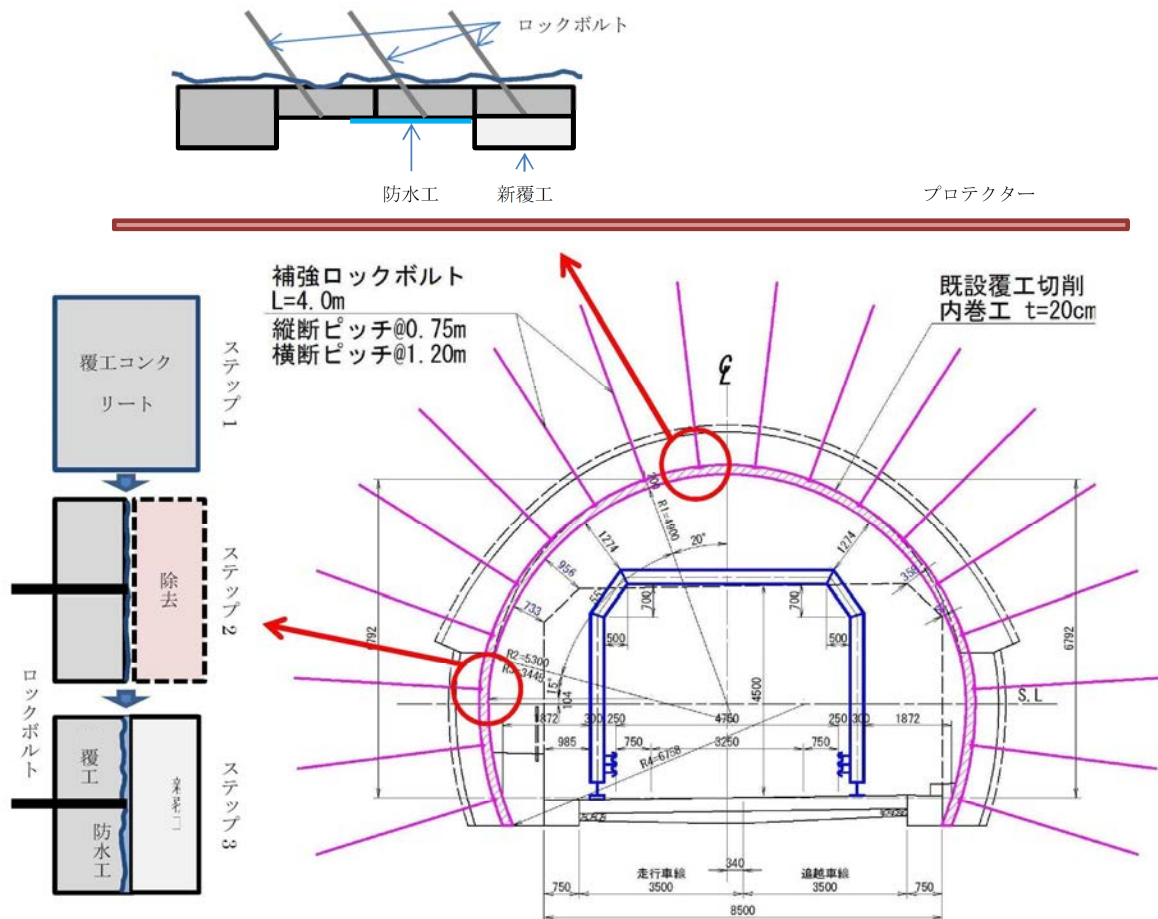


図 1.6 覆工再生工のイメージ図

### 2.3.1. 解析の流れ

切削により不足した覆工耐力を担保する再生覆工の仕様は、骨組構造解析を用いて設定する。  
骨組構造解析は、下記フローの解析手順で実施するものとする。

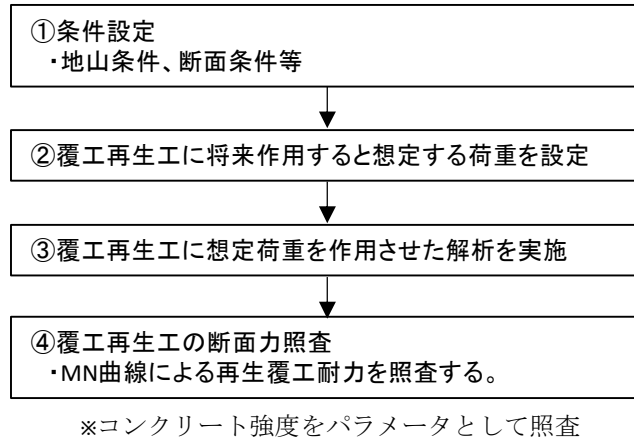


図 1.7 骨組構造解析（骨組解析）の解析フロー

### 2.3.2. 解析条件

覆工再生工の解析手法等は、下記のとおりとする。

- 解析手法 : フレーム解析 (骨組解析)
- 解析モデル : 線形モデル
- 支保工モデル : 覆工 (高強度コンクリートを想定)
- 設計巻厚 : **t=20cm**
- インバート : モデル化しない。
- 地盤バネ : 地山の变形係数 : 地山等級 C ( $E = 2,000\text{N/mm}^2$ )  
地山等級 D ( $E = 500\text{N/mm}^2$ )  
※上記地山の变形係数に応じた地盤バネ (法線バネ) を設定
- 荷重条件
  - 1) 鉛直荷重
    - 標準巻厚 30cm ( $f_{ck}=18\text{N/mm}^2$ ) の耐荷力相当の荷重を想定
  - 2) 側圧荷重
    - 考慮しない
  - 3) 水圧
    - 考慮しない
- 脚部支点 : 脚部支点は、「ピン構造」とする。

### 2.3.3. 解析ステップ

#### (1) 断面力の算定

覆工再生工に作用する荷重を下記の解析ステップで設定する。

ステップ 1：覆工再生工に将来作用すると想定する荷重  $W$  を設定

ステップ 2：覆工再生工に想定荷重  $W$  を作用させた断面力を算定

ステップ 3：覆工再生工を MN 曲線で耐力照査

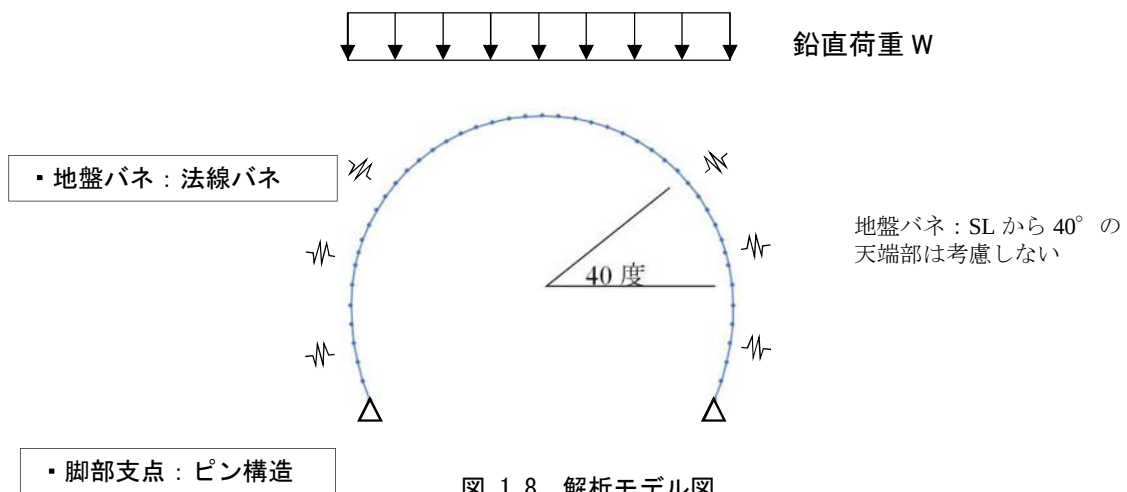


図 1.8 解析モデル図

#### (2) 断面力照査

再生覆工の MN 曲線に対して、フレーム解析で算定して MN をプロットし耐力照査する。

- ・実線：再生覆工の MN 曲線
- ・プロット点：フレーム解析で算定した MN

### 3. 検討項目

#### 3.1. 断面検討

- (1) 覆工再生工の建築限界余裕量
- (2) 防護工設置時の建築限界余裕量

#### 3.2. 再生覆工詳細設計(骨組構造解析)

- (1) 地山 C 等級の場合
  - ・ パターン①
  - ・ パターン②
  - ・ パターン③(手引き(案))
- (2) 地山 D 等級の場合
  - ・ パターン①
  - ・ パターン②
  - ・ パターン③(手引き(案))

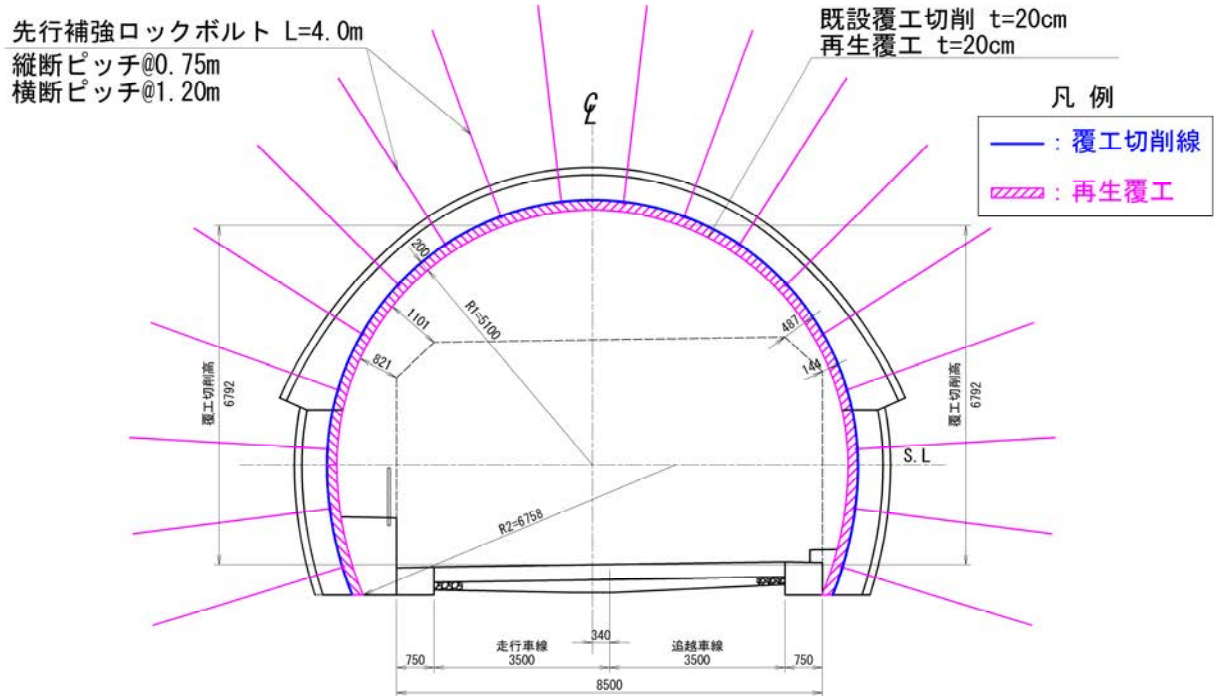
#### 3.3. 覆工切削(三次元 FDM)

- (1) 地山 C 等級の場合
- (2) 地山 D 等級の場合

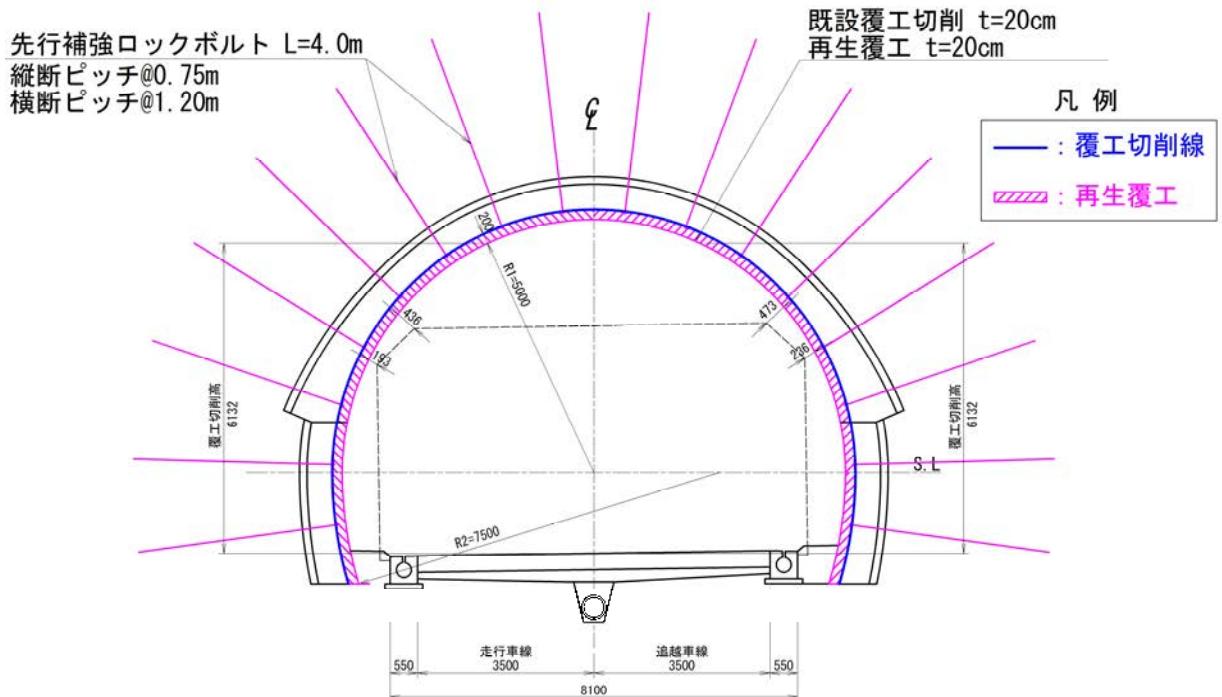
### 3.1. 断面検討

#### (1) 覆工再生工の建築限界余裕量

・監視員通路あり断面:全周切削



・監視員通路なし断面:全周切削



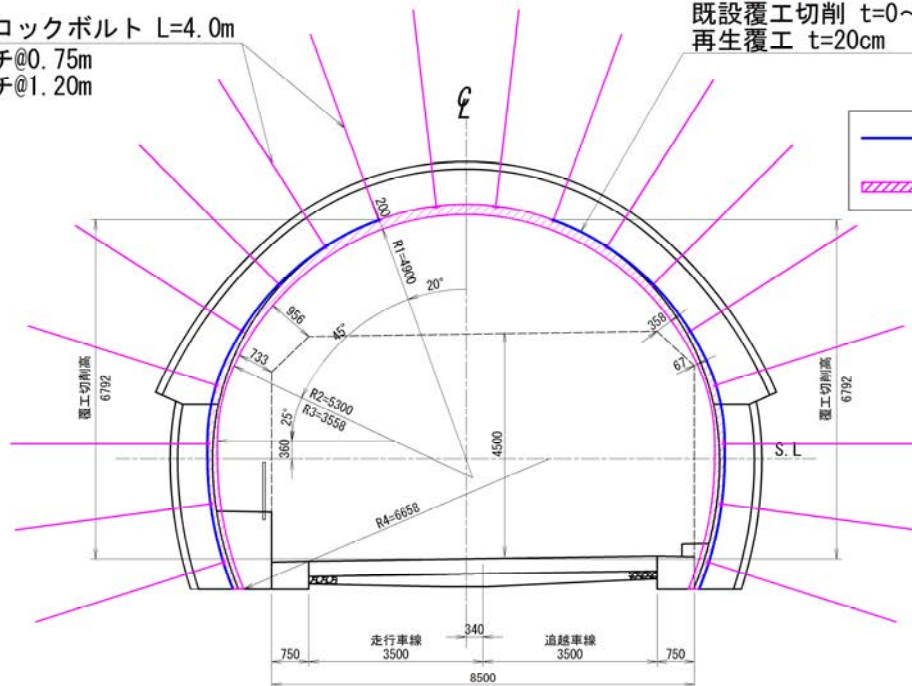
・監視員通路あり断面:部分切削

先行補強ロックボルト L=4.0m  
縦断ピッチ@0.75m  
横断ピッチ@1.20m

既設覆工切削 t=0~10cm  
再生覆工 t=20cm

凡 例

— : 覆工切削線  
▨ : 再生覆工



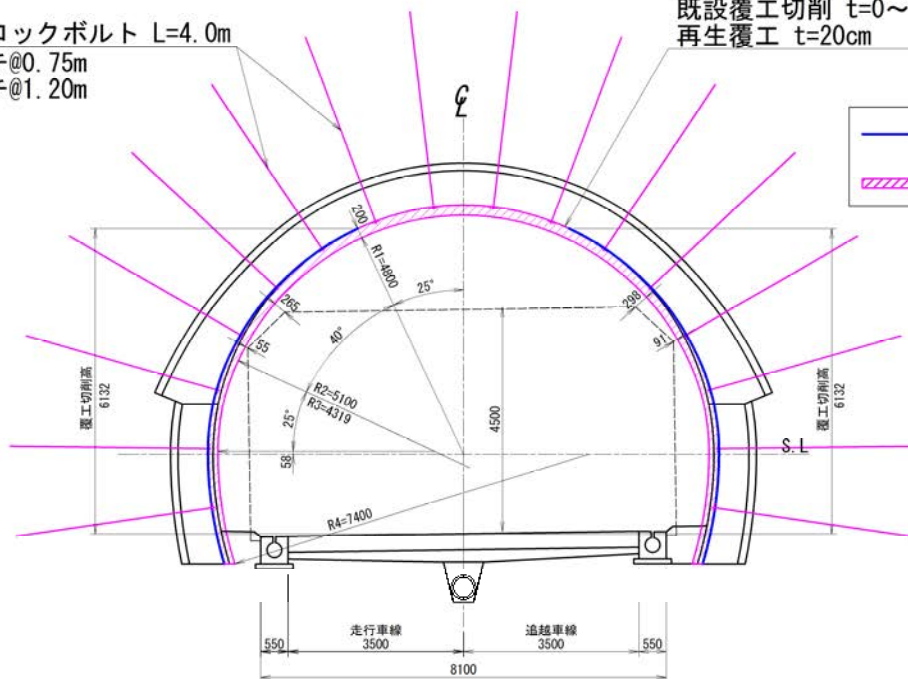
・監視員通路なし断面:部分切削

先行補強ロックボルト L=4.0m  
縦断ピッチ@0.75m  
横断ピッチ@1.20m

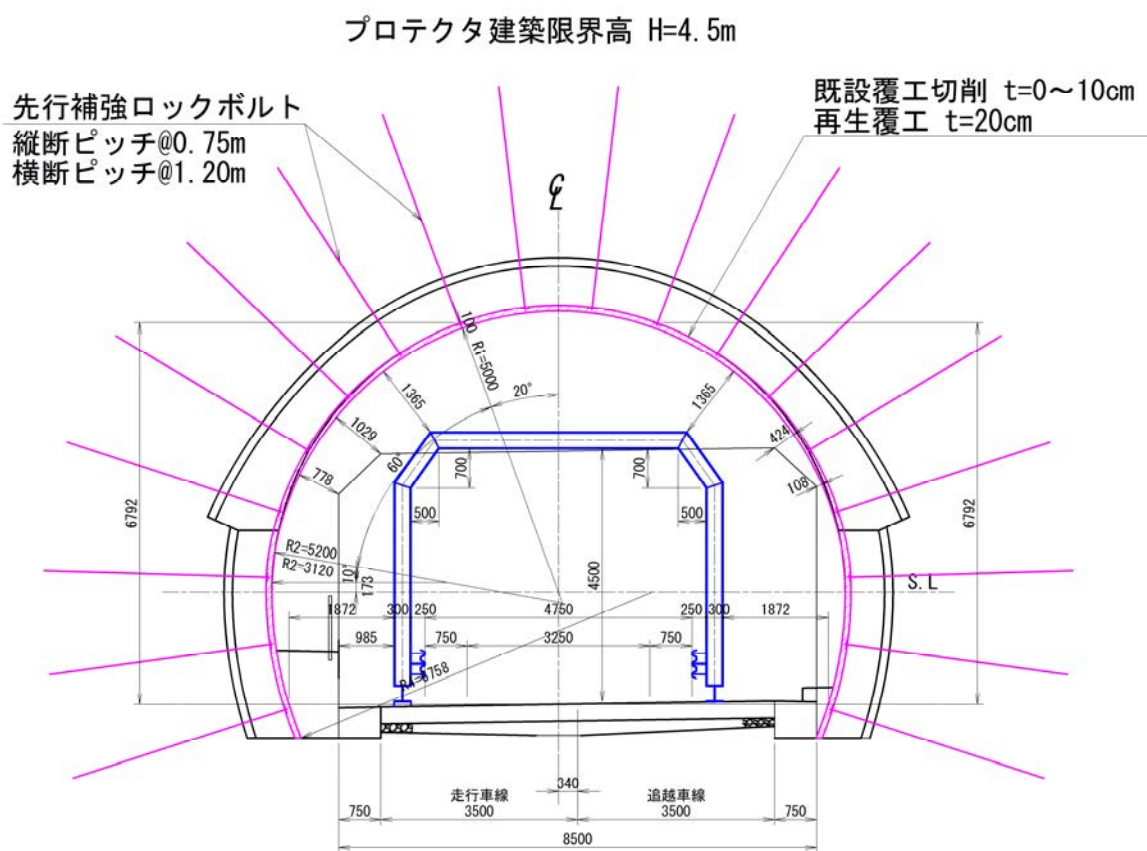
既設覆工切削 t=0~10cm  
再生覆工 t=20cm

凡 例

— : 覆工切削線  
▨ : 再生覆工



(2) 防護工設置時の建築限界余裕量



### 3.2. 再生覆工詳細設計(骨組構造解析)

再生覆工が耐えうる荷重の考え方を下記に整理した。

#### 2-1 解析の流れ

再生覆工（内巻工）の仕様は、フレーム解析（骨組解析）を用いて設定する。フレーム解析は、下記の解析手順で実施するものとし、下記3パターンについて検討する。

■再生覆工の応力照査（フレーム解析）

再生覆工が耐えうる荷重の考え方を下記に整理した。

2-2 解析の流れ

再生覆工（内巻工）の仕様は、フレーム解析（骨組解析）を用いて設定する。フレーム解析は、下記の解析手順で実施するものとし、下記3パターンについて検討する。

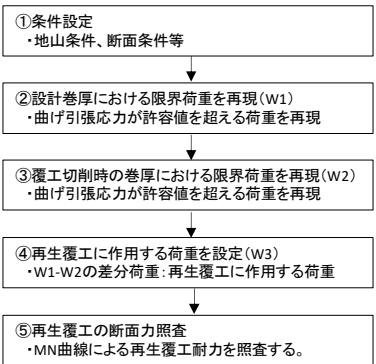
パターン1

① 設計の考え方【健全な覆工を対象とした考え】

- ・既設覆工 55cm もしくは 70cm を 20cm 覆工切削することで低下する耐荷力を 20cm の巻厚工で耐えうる構造とする。

②位置づけ

- ・補強工：既設覆工の補強対策工



※コンクリート強度をパラメータとして照査

図 1.9 パターン1：フレーム解析フロー

表 1.3 フレーム解析結果一覧表

| 項目           | 既設覆工の<br>限界値W1<br>(換算ゆるみ<br>高)                          | 覆工切削時の<br>限界値W2<br>(換算ゆるみ<br>高)                         | 覆工再生工に作<br>用する荷重W3<br>(換算ゆるみ高)                        | 覆工再生工<br>・巻厚 20cm<br>・設計強度 50<br>N/mm <sup>2</sup> |
|--------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ケース          | 1-1-1                                                   | 1-1-2                                                   | 1-1-3                                                 |                                                    |
| 地山等級<br>C 等級 | 覆工 55cm<br>① 自重<br>12.925 kN/m<br>+② 34 kN/m<br>(1.42m) | 覆工 35cm<br>① 自重<br>8.225kN/m<br>+② 30 kN/m<br>(1.25m)   | 巻厚 20cm<br>① 自重<br>4.705 kN/m<br>+② 4 kN/m<br>(0.17m) | 発生断面力は降伏<br>耐力以下となる                                |
| ケース          | 1-2-1                                                   | 1-2-2                                                   | 1-2-3                                                 |                                                    |
| 地山等級<br>D 等級 | 覆工 70cm<br>① 自重<br>16.455 kN/m<br>+② 13 kN/m<br>(0.59m) | 覆工 50cm<br>① 自重<br>11.750 kN/m<br>+② 13 kN/m<br>(0.59m) | 巻厚 20cm<br>① 自重<br>4.705 kN/m<br>+② 0 kN/m<br>(0.00m) | 発生断面力は降伏<br>耐力以下となる                                |

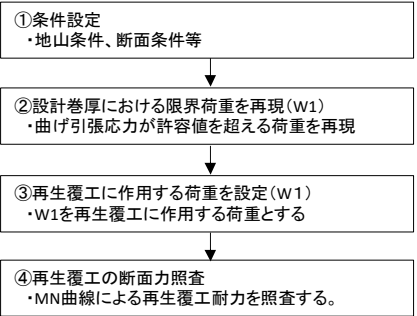
パターン2

① 設計の考え方【覆工巻厚不足等による覆工耐力不足を考慮した考  
え】

- ・既設覆工 55cm もしくは 70cm の耐荷力相当を 20cm の巻厚工で耐え  
る構造とする。

②位置づけ

- ・再生工：新設の巻厚工を構築する



※コンクリート強度をパラメータとして照査

図 1.10 パターン2：フレーム解析フロー

表 1.4 フレーム解析結果一覧表

| 項目           | 既設覆工の限界値<br>W1 荷重<br>(換算ゆるみ高)                          | 覆工再生工<br>・巻厚 20cm<br>・設計強度 50 N/mm <sup>2</sup> |
|--------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ケース          | 2-1-1                                                  |                                                 |
| 地山等級<br>C 等級 | 巻厚 20cm<br>① 自重<br>4.705 kN/m<br>+② 34 kN/m<br>(1.42m) | 発生断面力は降伏耐力以下<br>となる                             |
| ケース          | 2-2-1                                                  |                                                 |
| 地山等級<br>D 等級 | 巻厚 20cm<br>① 自重<br>4.705 kN/m<br>+② 13 kN/m<br>(0.59m) | 発生断面力は降伏耐力以下<br>となる                             |

パターン3

① 設計の考え方【左記の中間的考え】

- ・既設覆工と事前補強のロックボルトで地山及び覆工の安定性を確保する。
- ・標準巻厚 30cm (fck=18N/mm<sup>2</sup>) の耐荷力相当を 20cm の巻厚工で耐え  
る構造とする。

②位置づけ

- ・再生工：新設の巻厚工を構築する

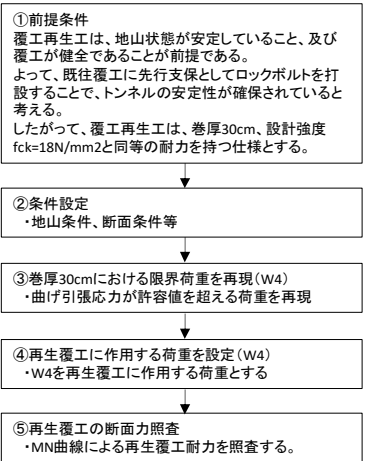


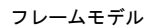
図 1.11 パターン3：フレーム解析フロー

表 1.5 フレーム解析結果一覧表

| 項目           | 覆工 30cm の限界値<br>W4 荷重<br>(換算ゆるみ高)        | 覆工再生工<br>・巻厚 20cm<br>・設計強度 50 N/mm <sup>2</sup> |
|--------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ケース          | 3-1-1                                    | 3-1-2                                           |
| 地山等級<br>C 等級 | ① 自重 4.705 kN/m<br>+② 24 kN/m<br>(1.00m) | 発生断面力は降伏耐力以下<br>となる                             |
| ケース          | 3-2-1                                    | 3-2-2                                           |
| 地山等級<br>D 等級 | ① 自重 4.705 kN/m<br>+② 12 kN/m<br>(0.55m) | 発生断面力は降伏耐力以下<br>となる                             |

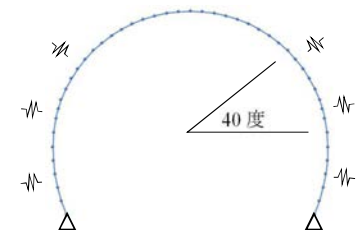
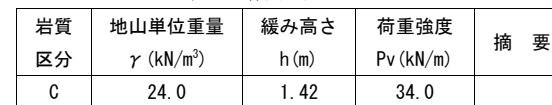
C 等級地山

なお、解析モデルのフレーム軸線は切削後の再生覆工（20cm）の図心を通るものとする。



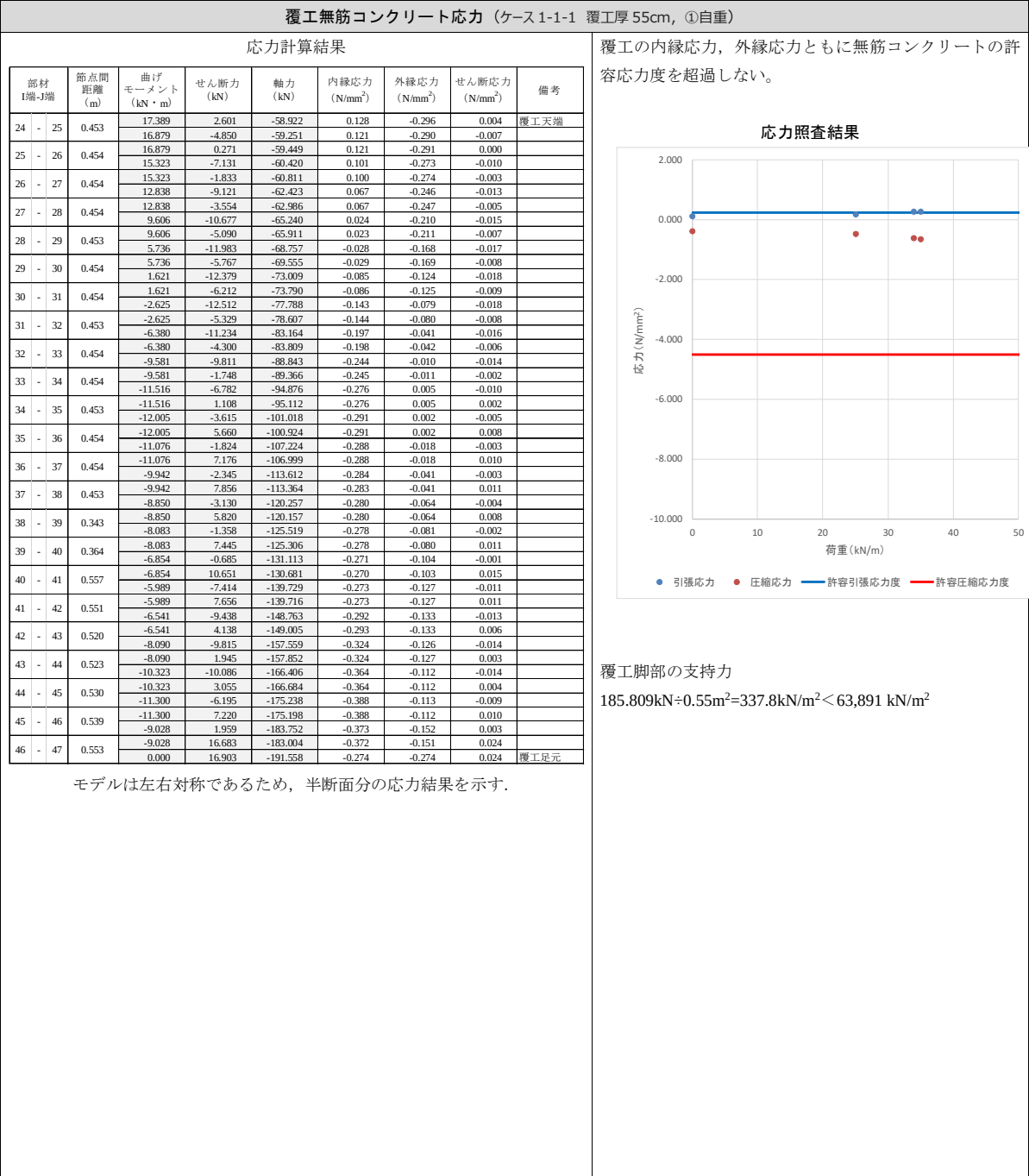
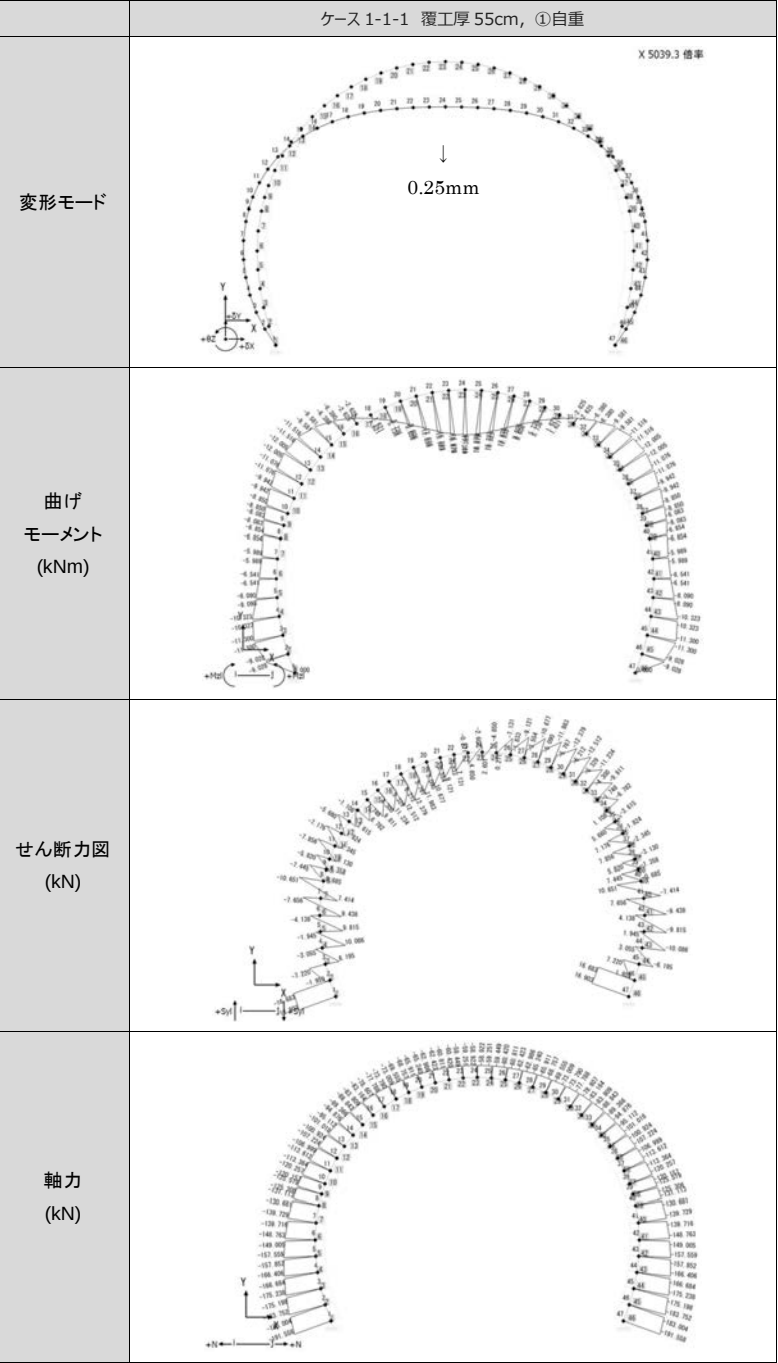
| 覆工コンクリート                                 |                   | 再生覆工              |
|------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )    | 18                | 50                |
| ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )           | $2.2 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )     | 23.5              | 23.5              |
| 引張強度 $f'_t$ (N/mm <sup>2</sup> )         | 1.579             |                   |
| 許容引張応力度 $\sigma'_a$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 0.225             | 0.625             |
| 許容圧縮応力度 $\sigma'_a$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 4.5               | 12.5              |

| 部材厚<br>(cm) | コンクリート単位<br>重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 荷重強度<br>g (kN/m) | 摘 要 |
|-------------|----------------------------------------------|------------------|-----|
| 55.0        | 23.5                                         | 12.925           |     |

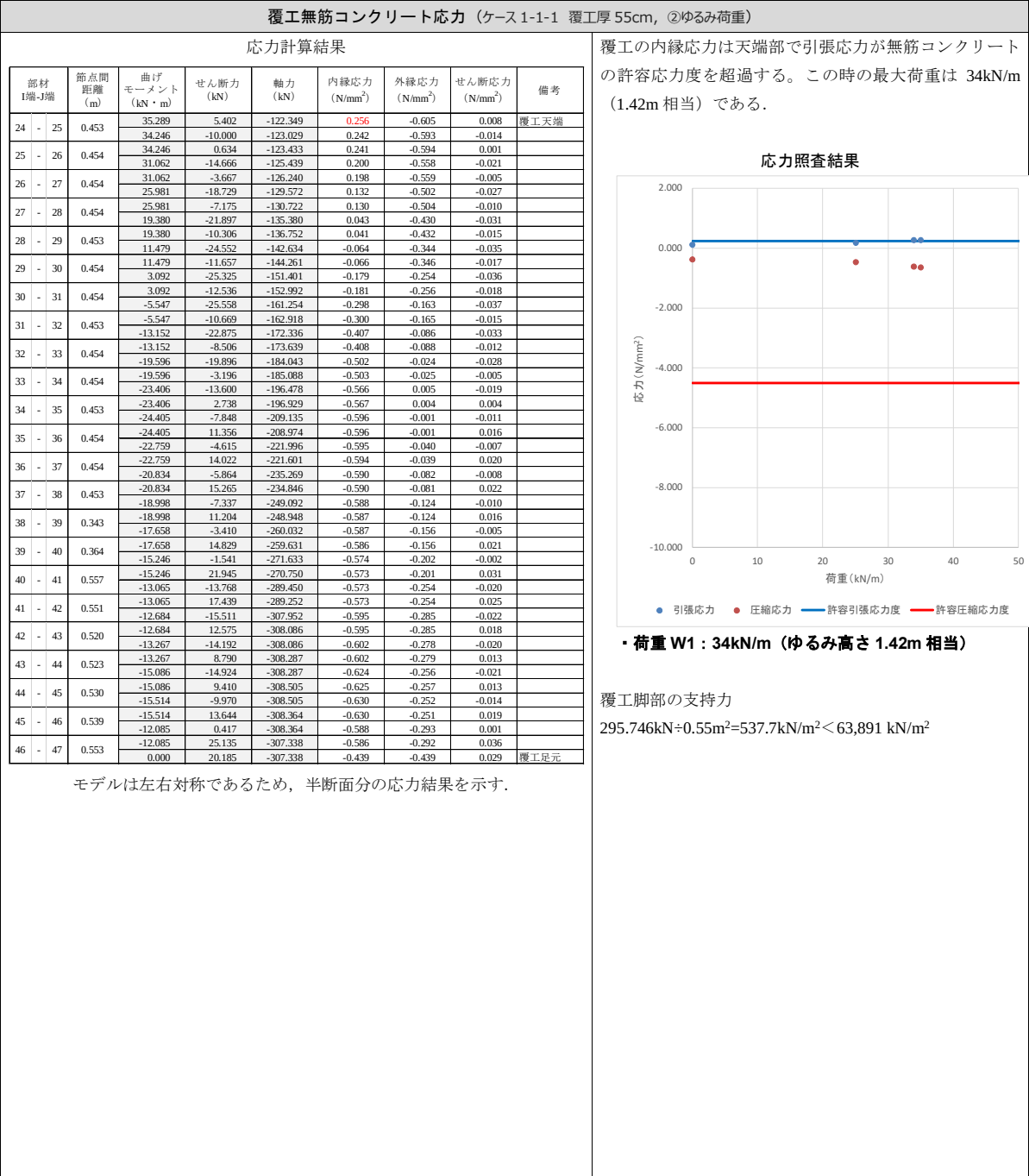
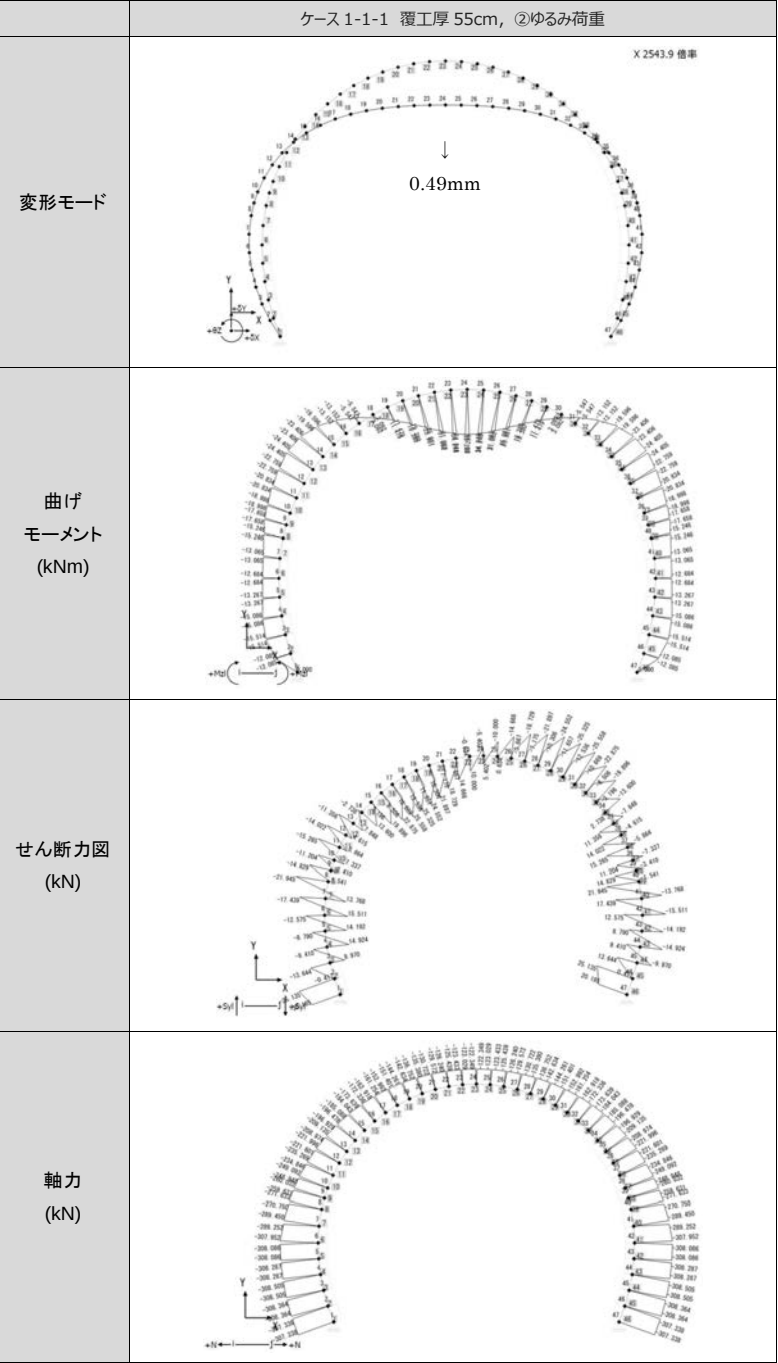


| 断面 | 補正係数<br>$\alpha$ | 変形係数<br>E (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅<br>B (m) | 地盤バネ定数<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|----|------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| C  | 1                | 2000                           | 7.80                  | 7.285E+05                      |

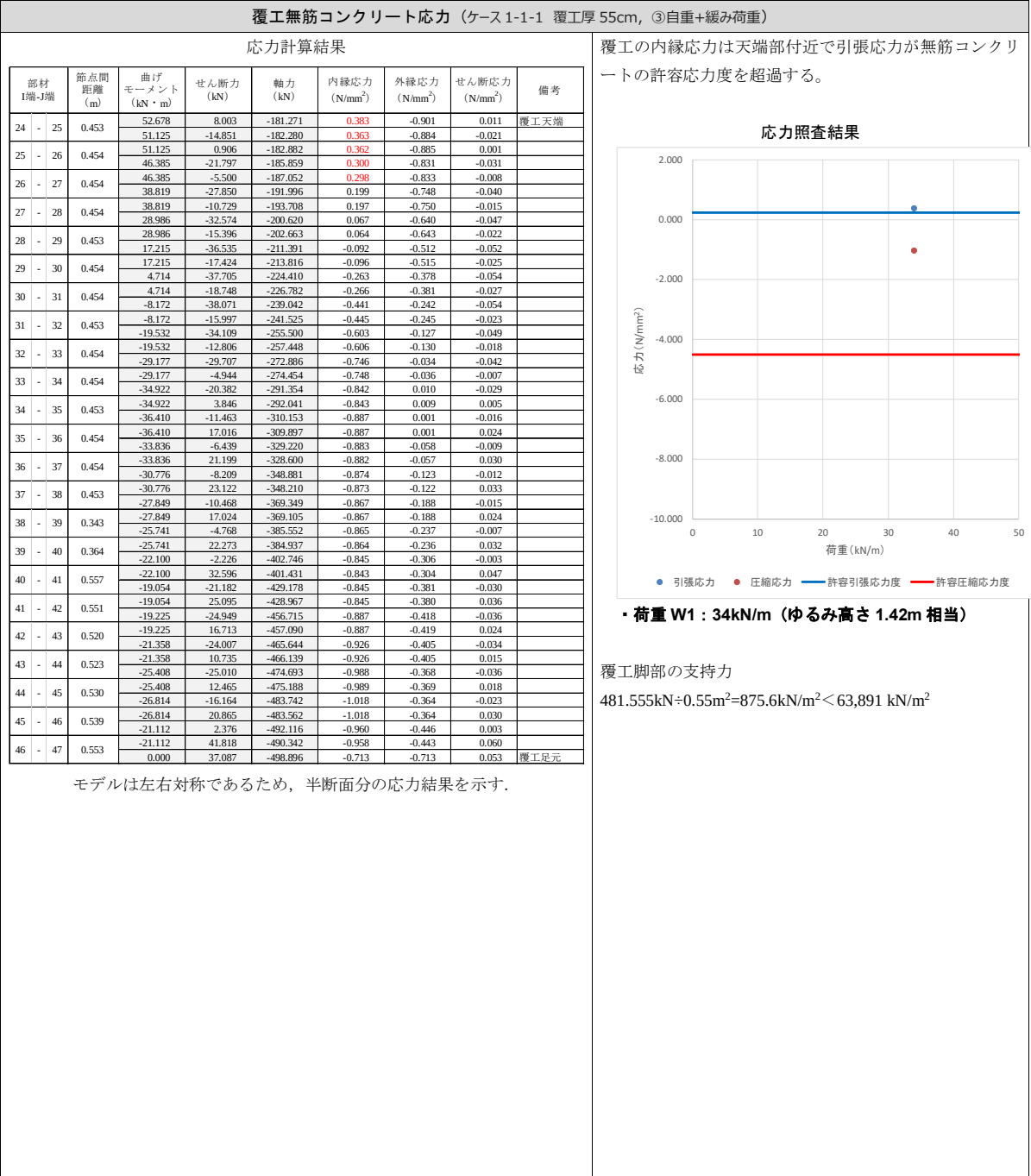
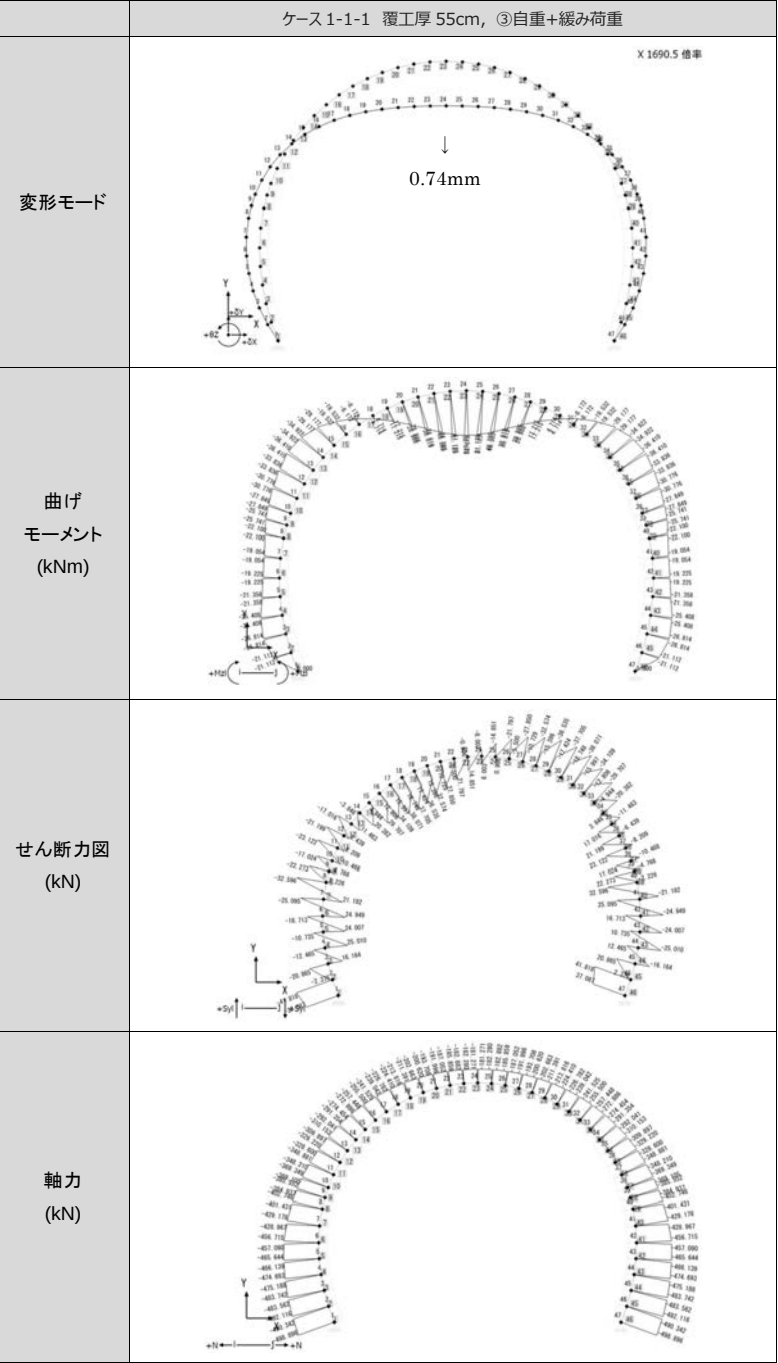
●解析結果：ケース1-1-1 覆工厚 55cm, ①自重

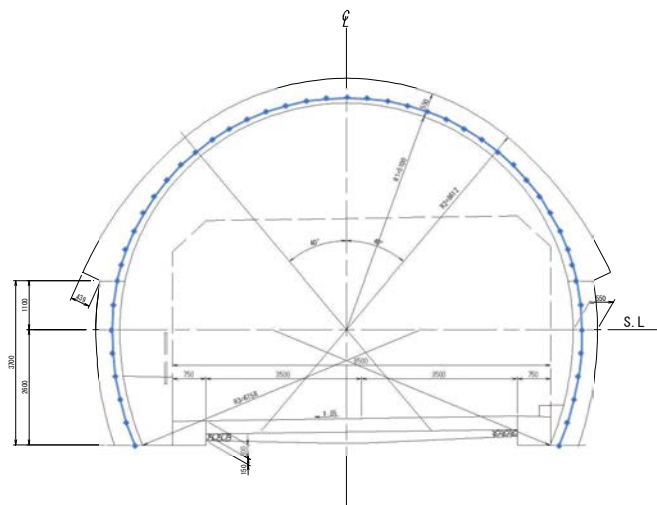
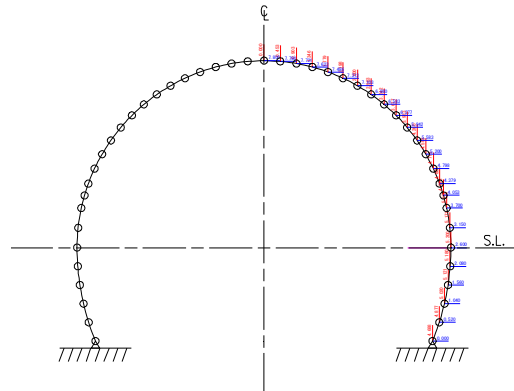
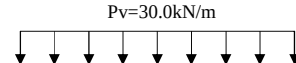


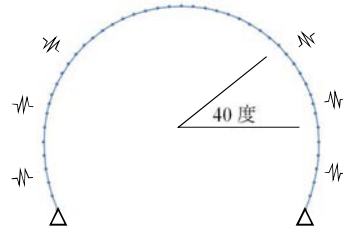
●解析結果：ケース 1-1-1 覆工厚 55cm，②ゆるみ荷重



●解析結果：ケース 1-1-1 覆工厚 55cm, ③自重+緩み荷重



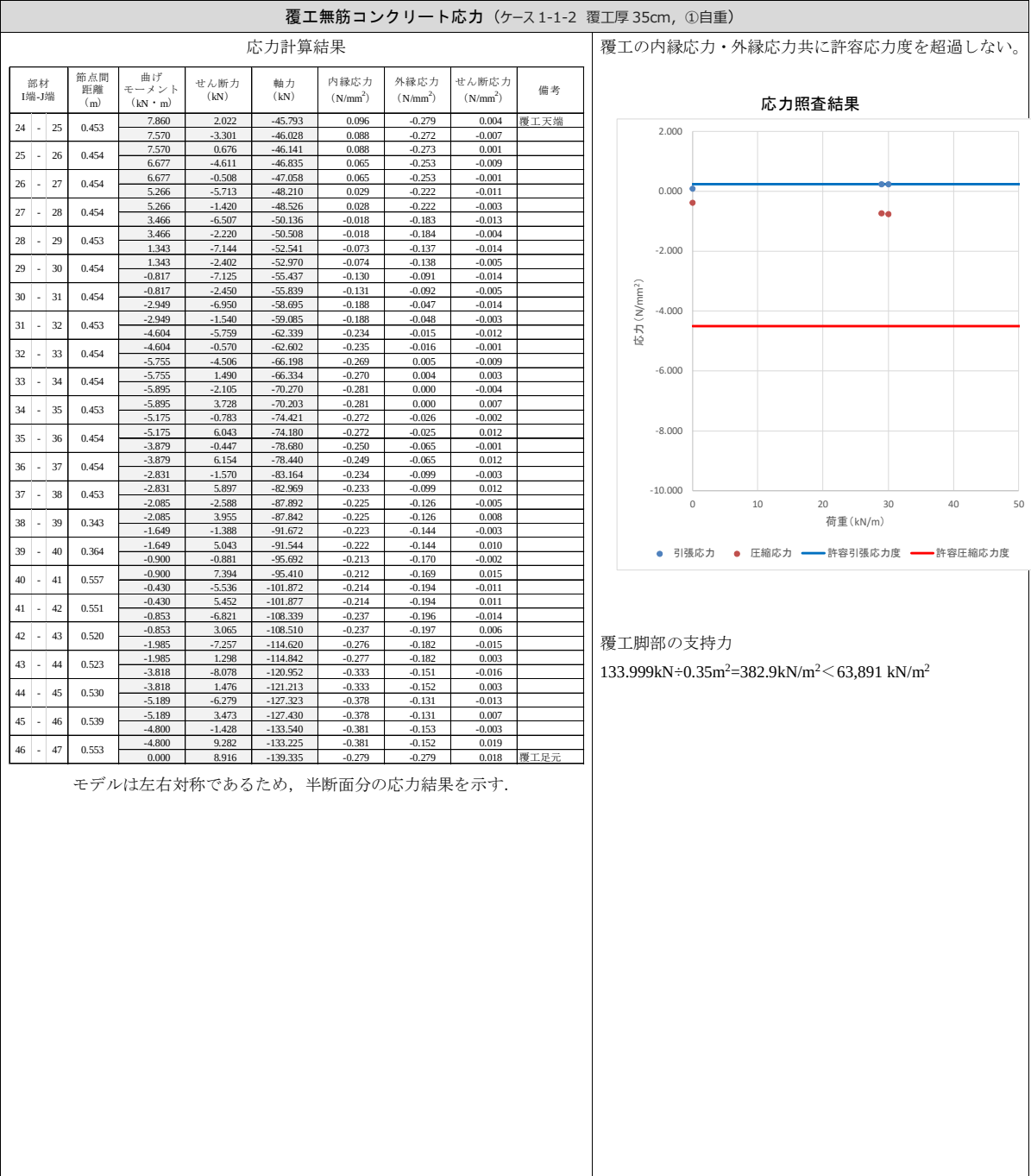
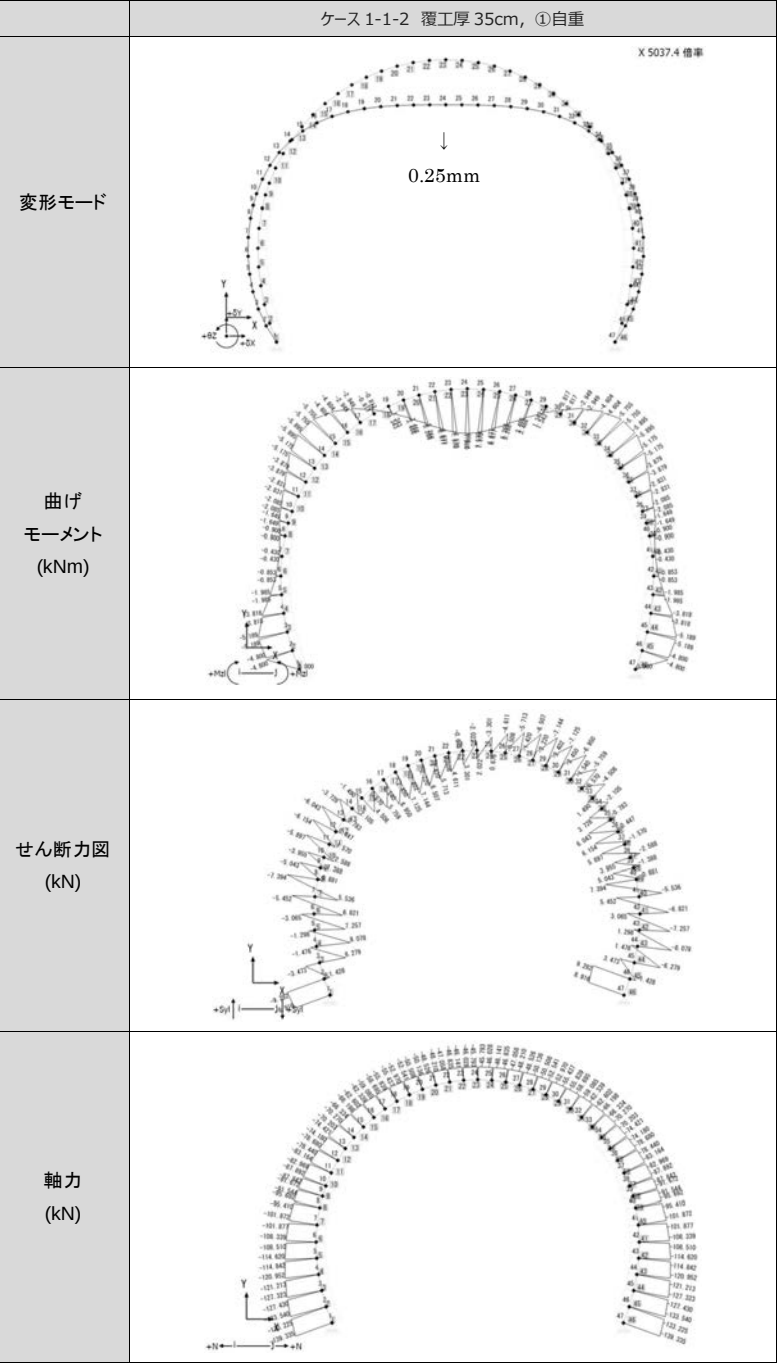
| ケース 1-1-2：既設覆工 35cm：①自重、②ゆるみ荷重、③自重+緩み荷重、周方向の地盤バネ（SL から 40 度以下固定）、せん断バネなし                                                                                                                                | 既設覆工・再生覆工コンクリート材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|-------------------------------------|-------|--|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------|-----|------|--|--|--|----------|------------------------------------------|-----------------|-----|------|------|-------|--|--------|--|--|--|-------------------------------|--|--|--|--------|--|--|--|------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-----|---|------|------|------|--|
| 検討対象トンネル断面は、矢板工法で施工されたトンネルを想定する。<br>本解析ケースの覆工設計巻厚は 35cm とし、既設覆工の耐荷重限界値 W2 を算出する。<br>なお、解析モデルのフレーム軸線は切削後の再生覆工（20cm）の図心を通るものとする。                                                                          | <table><tr><th colspan="2">覆工コンクリート</th><th>再生覆工</th></tr><tr><td>設計基準強度 <math>f'_{ck}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>18</td><td>50</td></tr><tr><td>ヤング係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td><math>2.2 \times 10^4</math></td><td><math>3.3 \times 10^4</math></td></tr><tr><td>単位体積重量 <math>\gamma</math>(kN/m<sup>3</sup>)</td><td>23.5</td><td>23.5</td></tr><tr><td>引張強度 <math>f'_{tk}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>1.579</td><td></td></tr><tr><td>許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>0.225</td><td>0.625</td></tr><tr><td>許容圧縮応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>4.5</td><td>12.5</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 覆工コンクリート          |                   | 再生覆工 | 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 18                                                                                                                     | 50 | ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $2.2 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ | 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 23.5 | 23.5 | 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 1.579 |  | 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 0.225                                                            | 0.625 | 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 4.5 | 12.5 |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 覆工コンクリート                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 再生覆工              |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                   | 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 50                |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                          | $2.2 \times 10^4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $3.3 \times 10^4$ |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                    | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 23.5              |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                     | 1.579                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                | 0.225                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.625             |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                | 4.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 12.5              |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| <div><p>覆工構造</p><p>フレームモデル</p></div> | <table><tr><th colspan="4">荷重条件</th></tr><tr><td colspan="4">荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（t=350）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。</td></tr><tr><td colspan="4">(1) 荷重</td></tr><tr><td colspan="4">a) 自重</td></tr><tr><td colspan="4">覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m<sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。</td></tr><tr><td colspan="4">表 自重</td></tr><tr><th>部材厚 (cm)</th><th>コンクリート単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>荷重強度 <math>g</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>35.0</td><td>23.5</td><td>8.225</td><td></td></tr></table> <div><p>Pv=30.0kN/m</p></div> <tr><td colspan="4">b) 土荷重</td></tr> <tr><td colspan="4">算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。</td></tr> <tr><td colspan="4">表 作用土圧</td></tr> <tr><th>岩質区分</th><th>地山単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>緩み高さ <math>h</math> (m)</th><th>荷重強度 <math>P_v</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr> <tr><td>C</td><td>24.0</td><td>1.25</td><td>30.0</td><td></td></tr> | 荷重条件              |                   |      |                                       | 荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（t=350）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 $\alpha a'$ となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。 |    |                                |                   | (1) 荷重            |                                      |      |      | a) 自重                               |       |  |                                          | 覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m <sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。 |       |                                          |     | 表 自重 |  |  |  | 部材厚 (cm) | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 荷重強度 $g$ (kN/m) | 摘 要 | 35.0 | 23.5 | 8.225 |  | b) 土荷重 |  |  |  | 算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。 |  |  |  | 表 作用土圧 |  |  |  | 岩質区分 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 緩み高さ $h$ (m) | 荷重強度 $P_v$ (kN/m) | 摘 要 | C | 24.0 | 1.25 | 30.0 |  |
| 荷重条件                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（t=350）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 $\alpha a'$ となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| (1) 荷重                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| a) 自重                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m <sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 表 自重                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 部材厚 (cm)                                                                                                                                                                                                | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 荷重強度 $g$ (kN/m)   | 摘 要               |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 35.0                                                                                                                                                                                                    | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 8.225             |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| b) 土荷重                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 表 作用土圧                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |                   |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| 岩質区分                                                                                                                                                                                                    | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 緩み高さ $h$ (m)      | 荷重強度 $P_v$ (kN/m) | 摘 要  |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |
| C                                                                                                                                                                                                       | 24.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1.25              | 30.0              |      |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |                               |  |  |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |



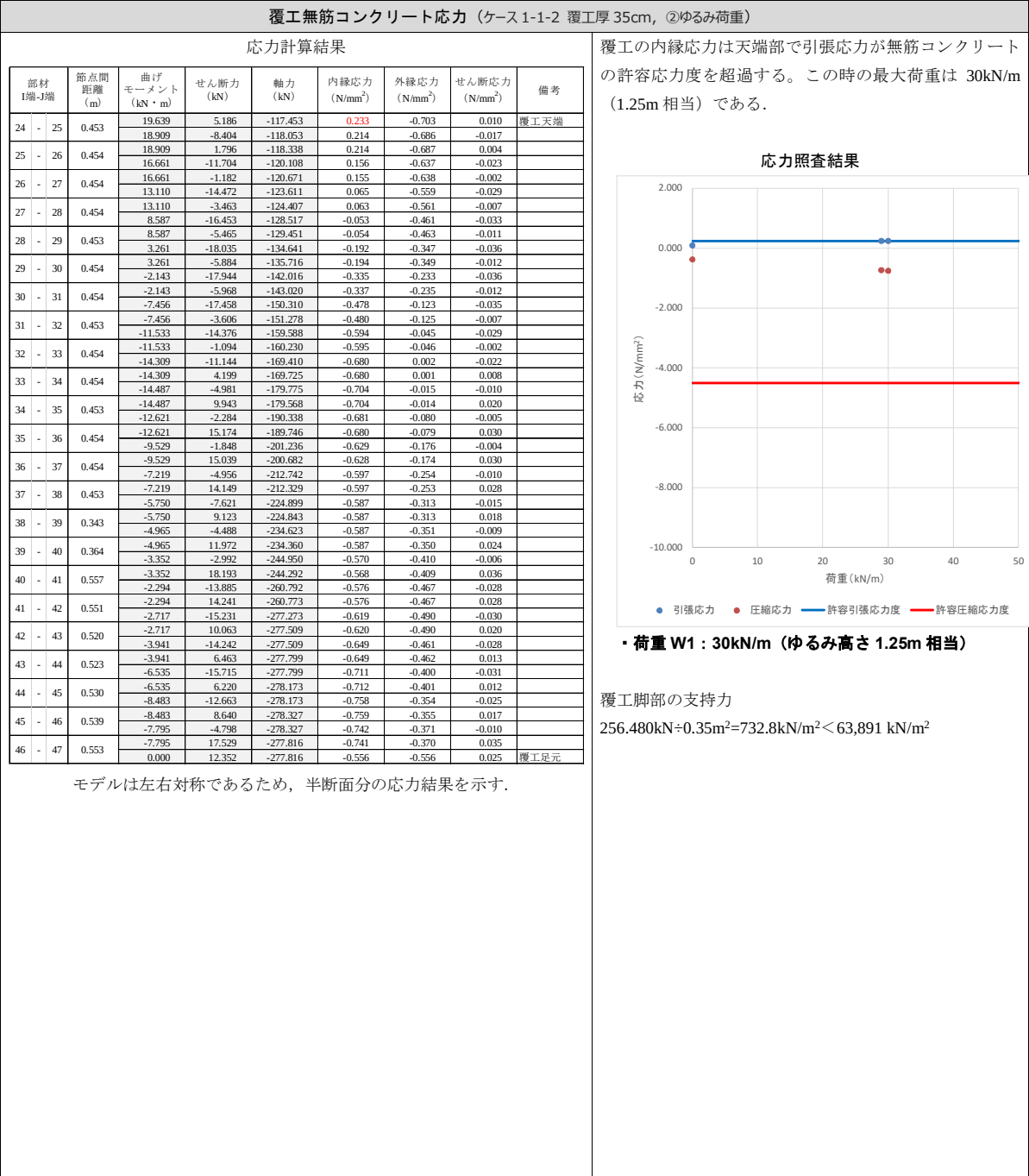
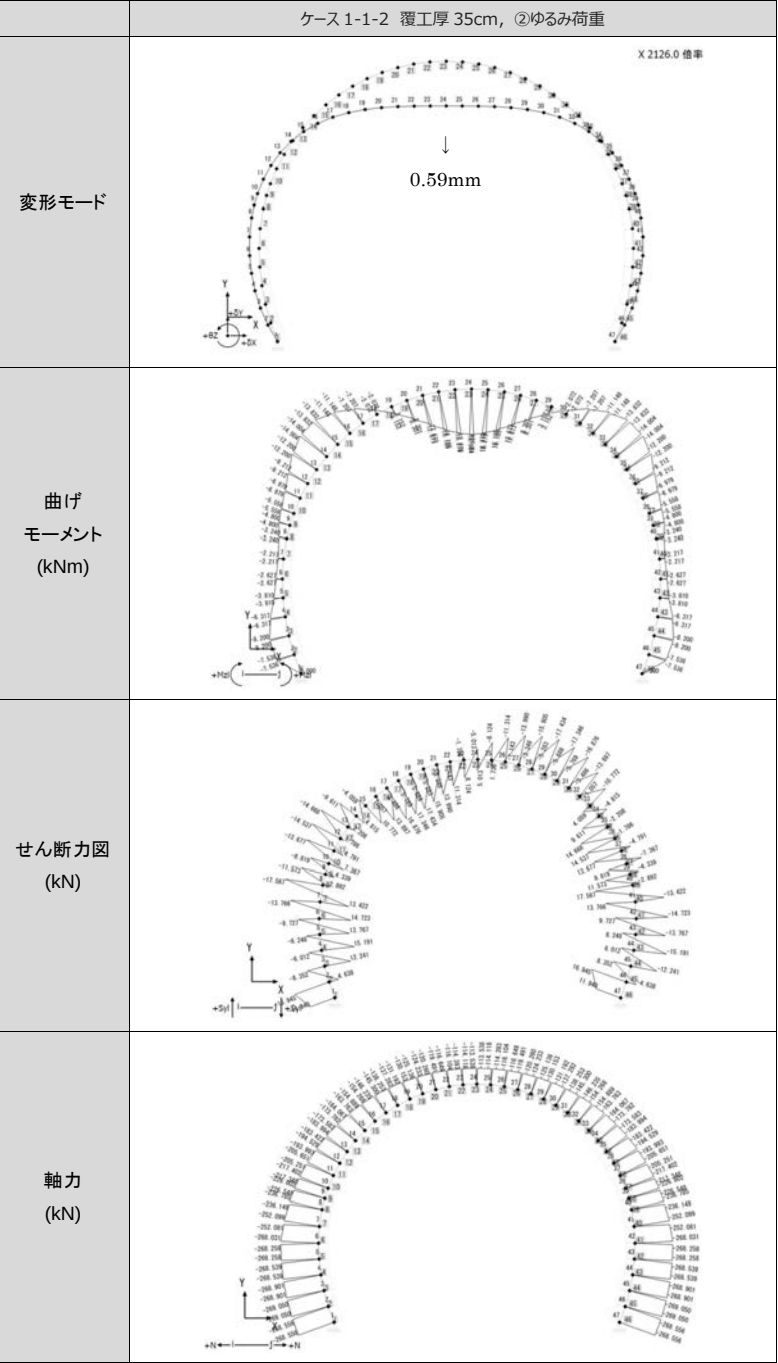
40 度

| (2) 地盤反力 | | | |
| 地盤反力は、トンネルの変形に応じた反力を、地盤ばねを介して構造に与える。地盤ばねの特性である地盤反力係数の設定は、「山岳トンネル設計施工標準・同解説、平成20年4月：鉄道建設・運輸施設整備支援機構」に示された算定式により算出する。なお、ばねは反力として作用するSLから40度以下の範囲に設定し、また、下半脚部支点はピン構造として支持する。 | | | |
| 表 地盤反力係数の設定 | | | |
| 断面 | 補正係数  $\alpha$ | 変形係数  $E$  (N/mm<sup>2</sup>) | 覆工コンクリートの図心幅  $B$  (m) | 地盤バネ定数 (kN/m<sup>3</sup>) |
| C | 1 | 2000 | 7.80 | 7.285E+05 |

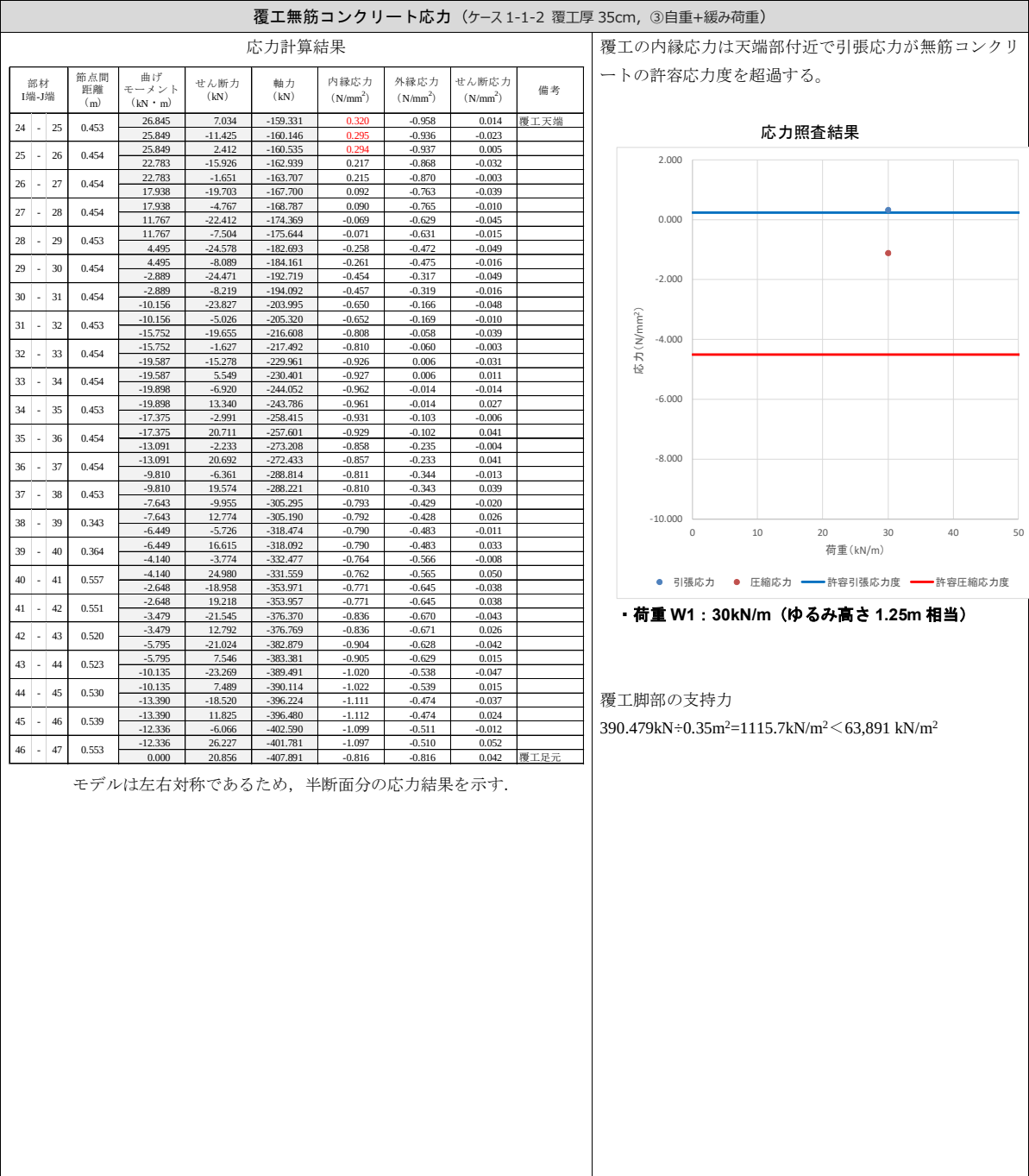
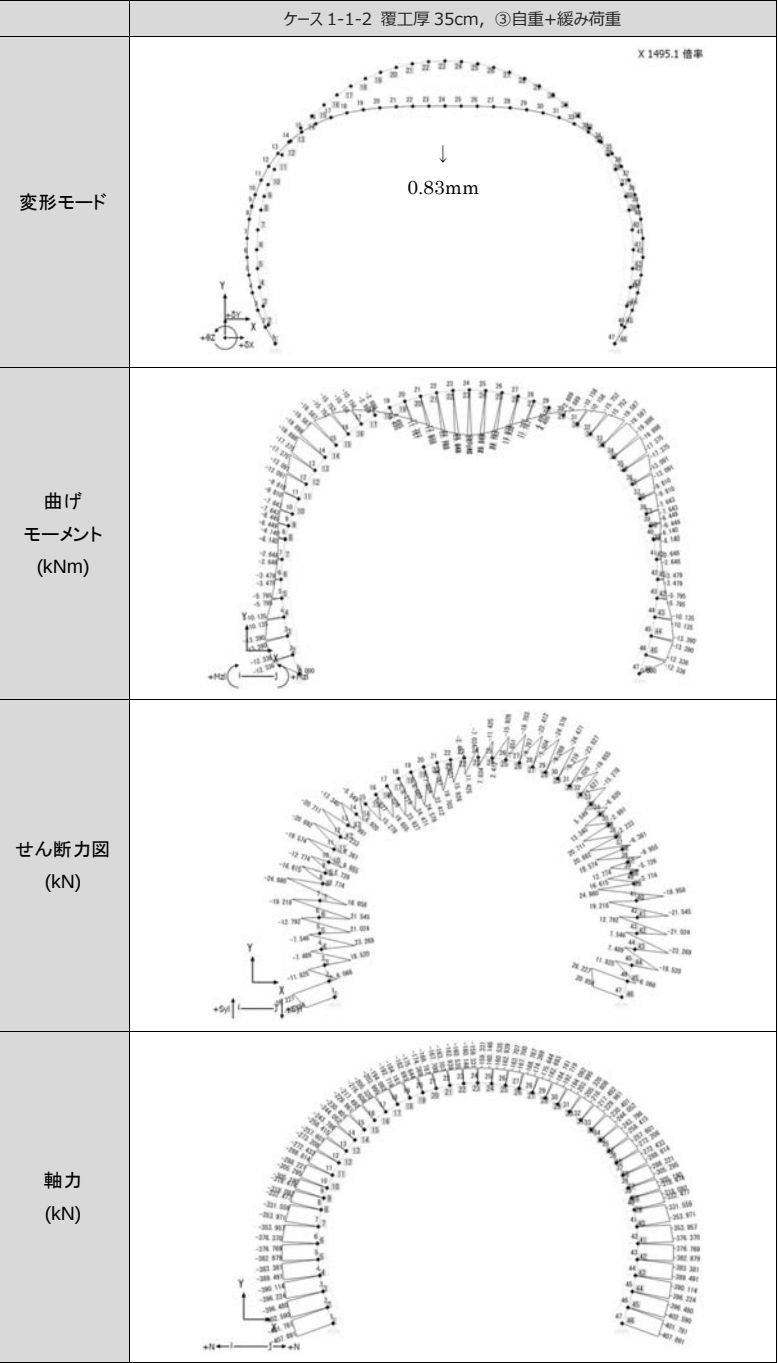
●解析結果：ケース1-1-2 覆工厚 35cm, ①自重



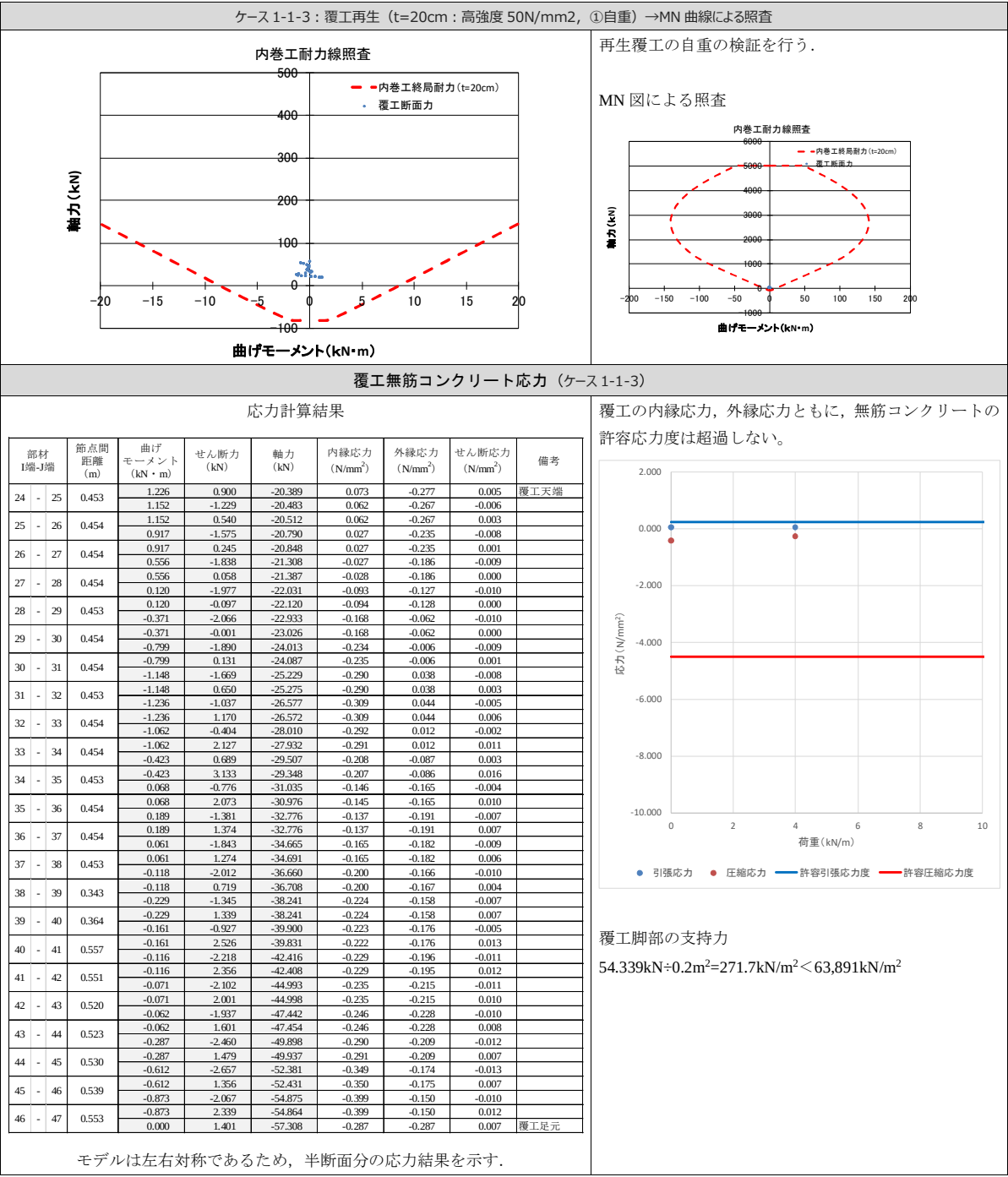
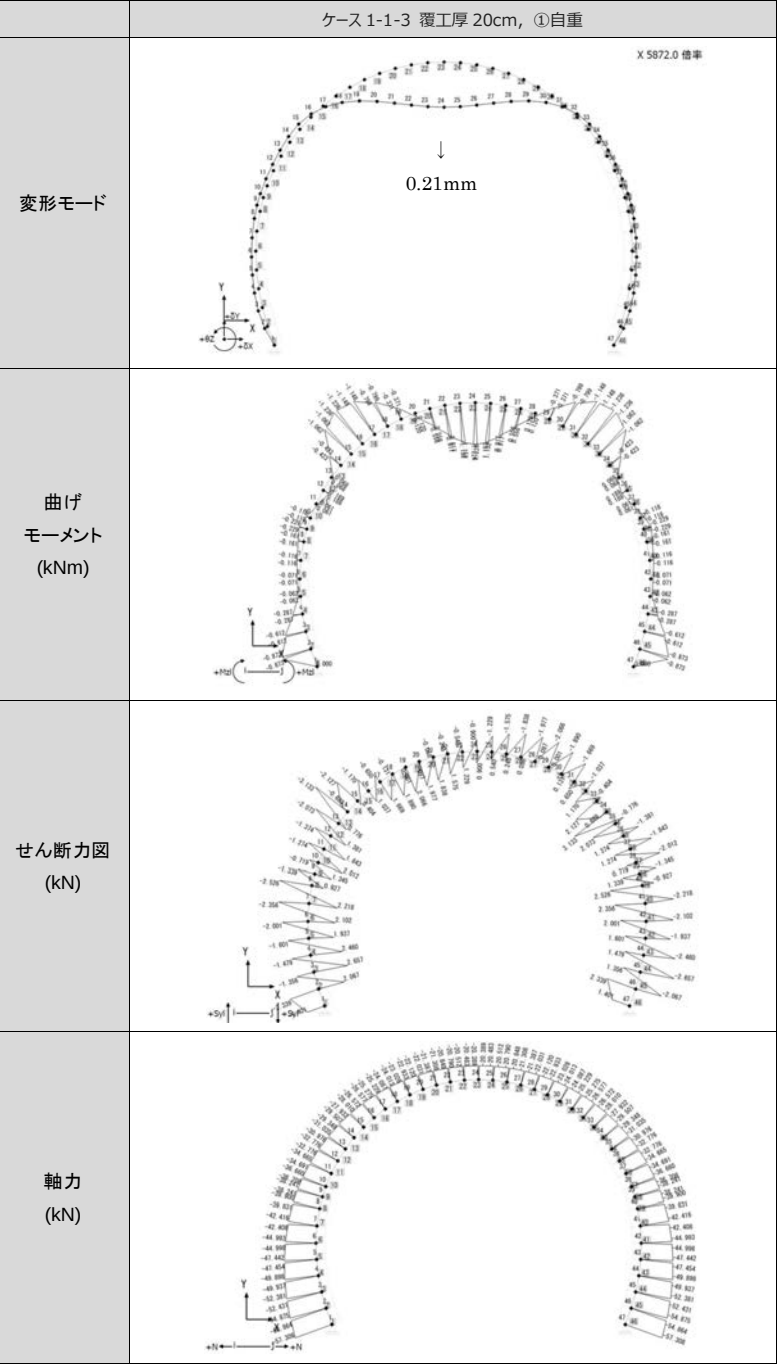
●解析結果：ケース 1-1-2 覆工厚 35cm，②ゆるみ荷重



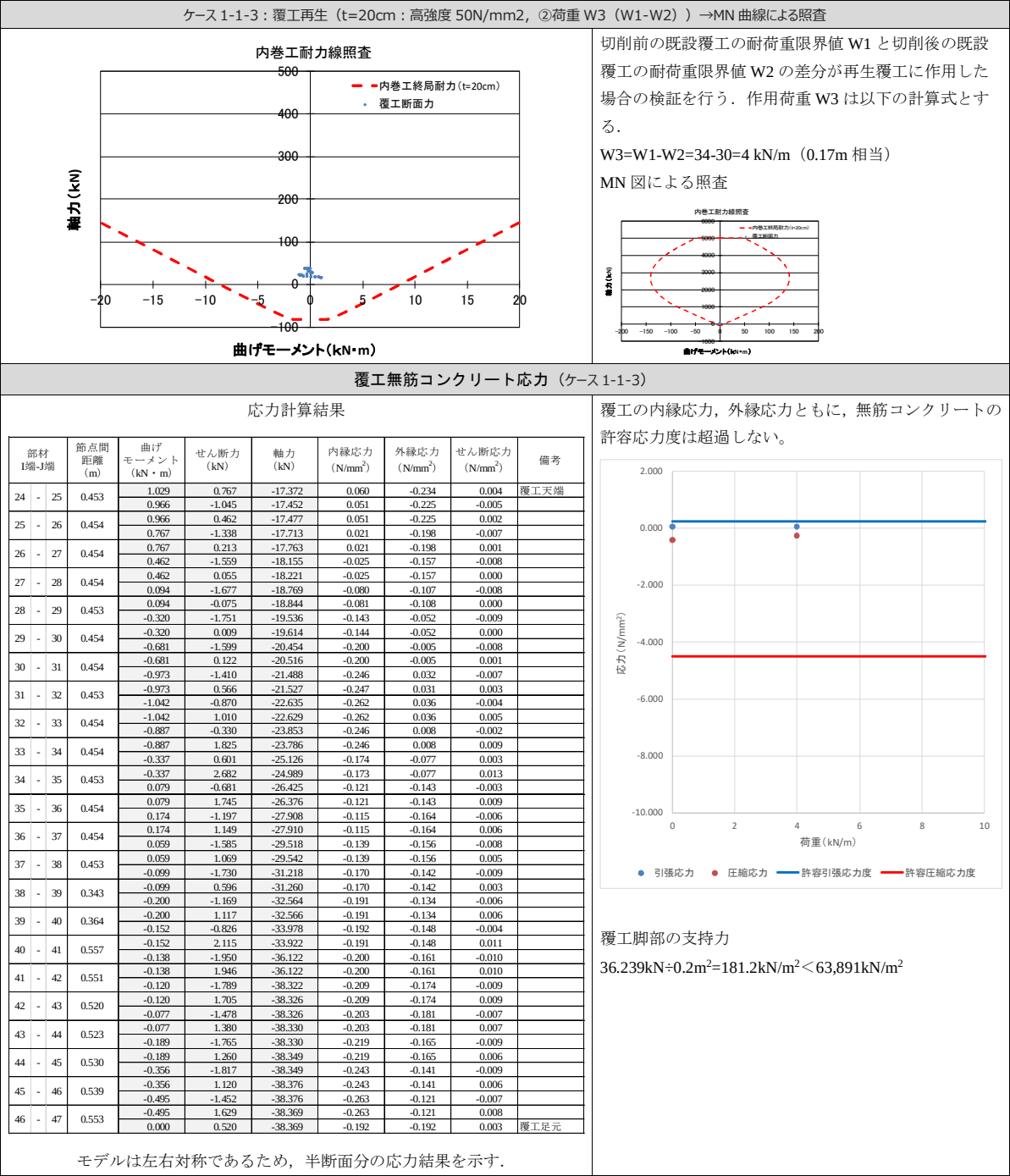
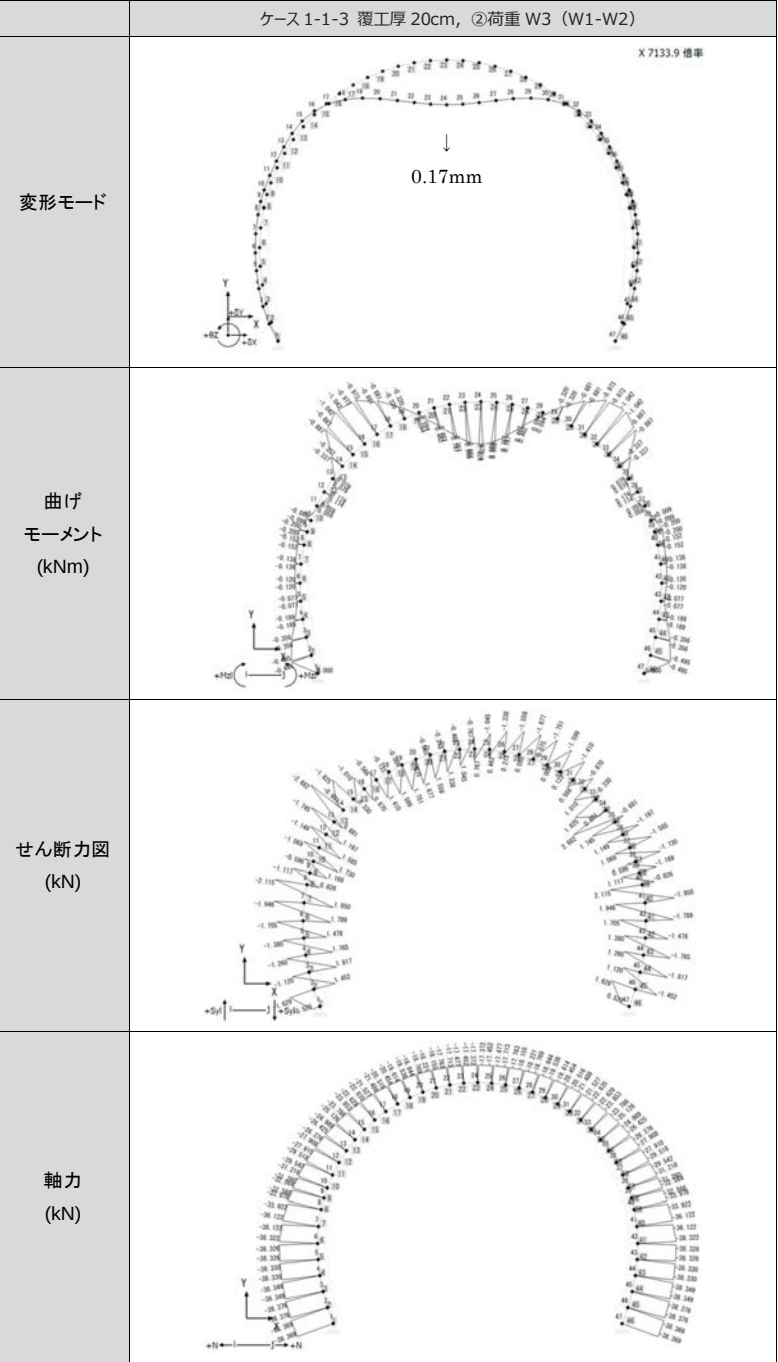
●解析結果：ケース 1-1-2 覆工厚 35cm，③自重+緩み荷重



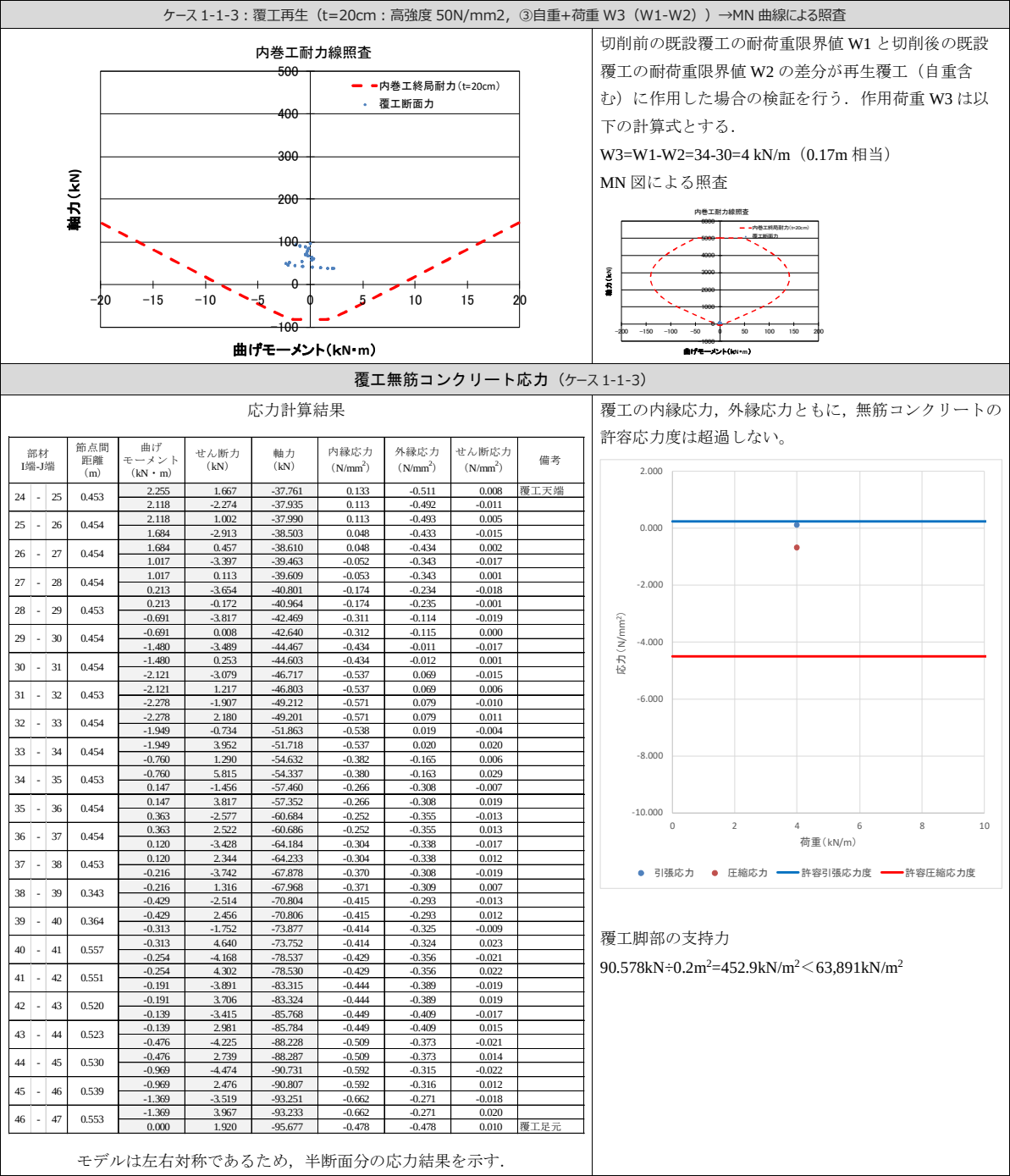
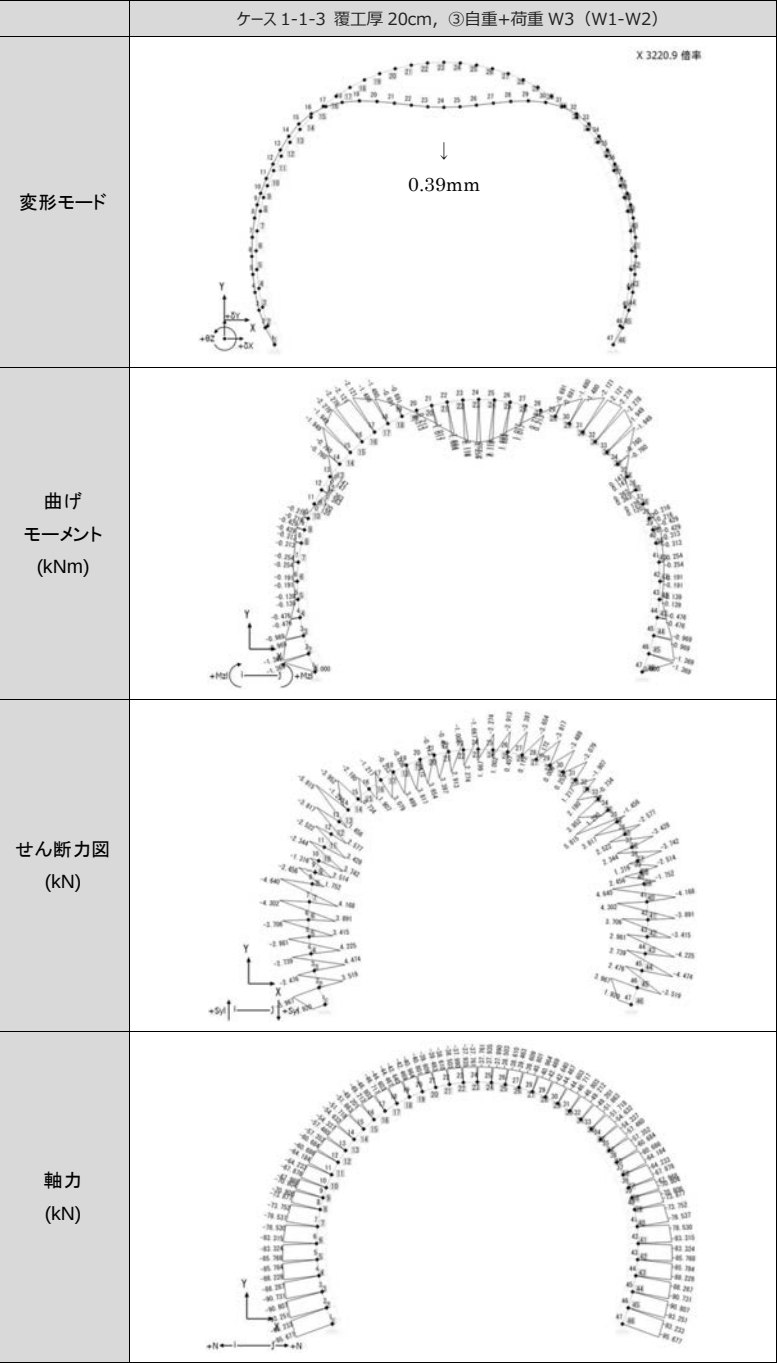
●解析結果：ケース1-1-3 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②荷重 W3 (W1-W2),  
③自重+荷重 W3 (W1-W2)



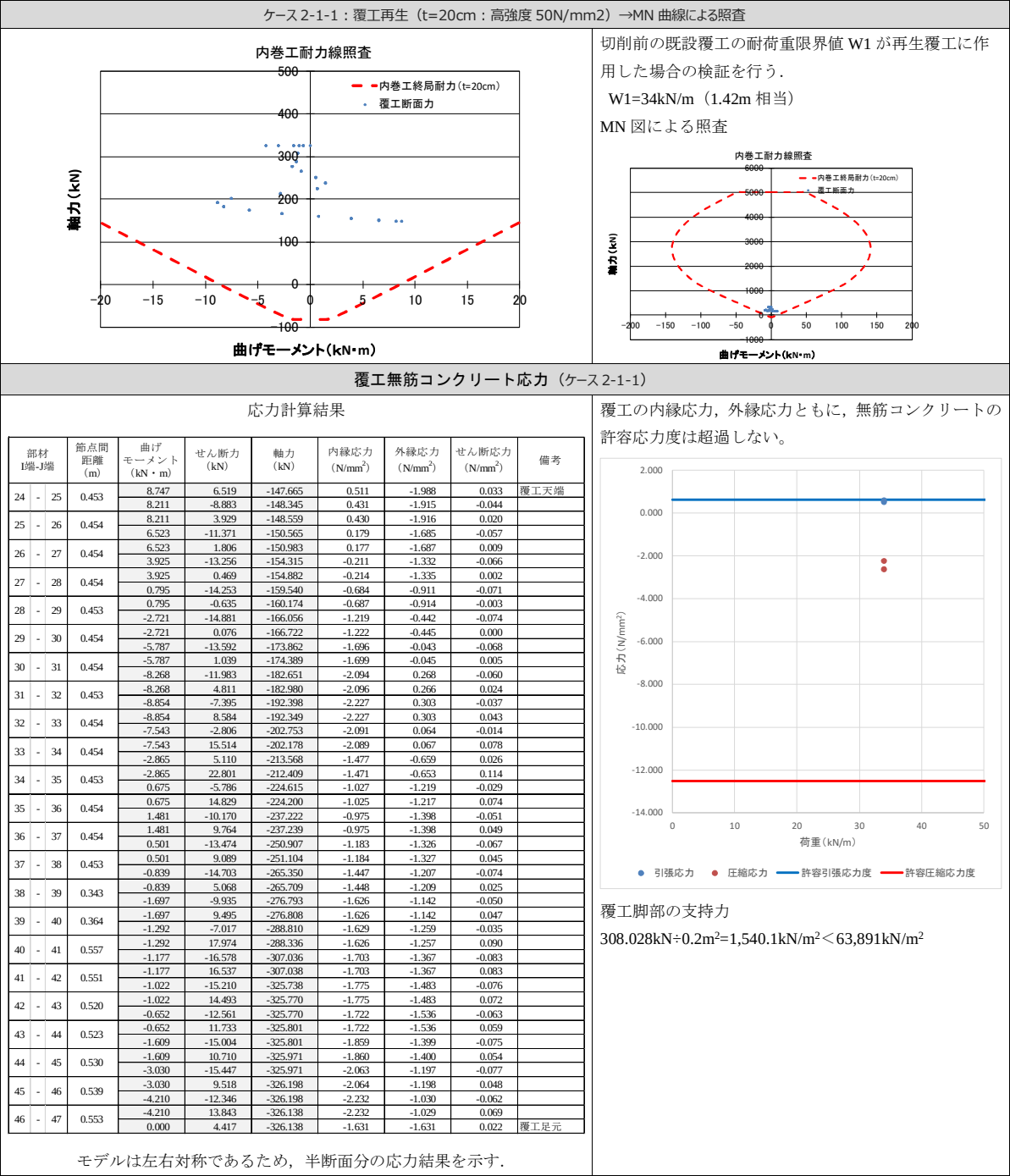
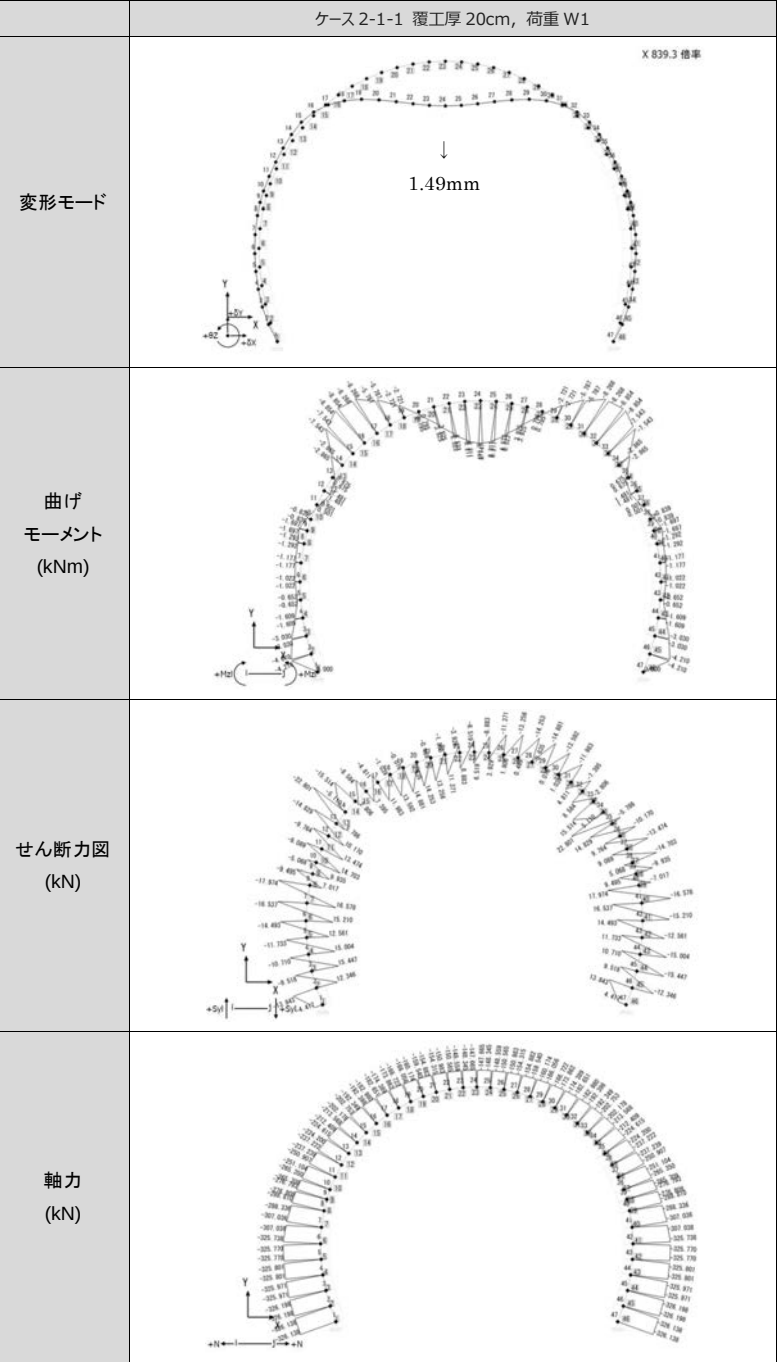
●解析結果：ケース 1-1-3 再生覆工厚 20cm, ②荷重 W3 (W1-W2)



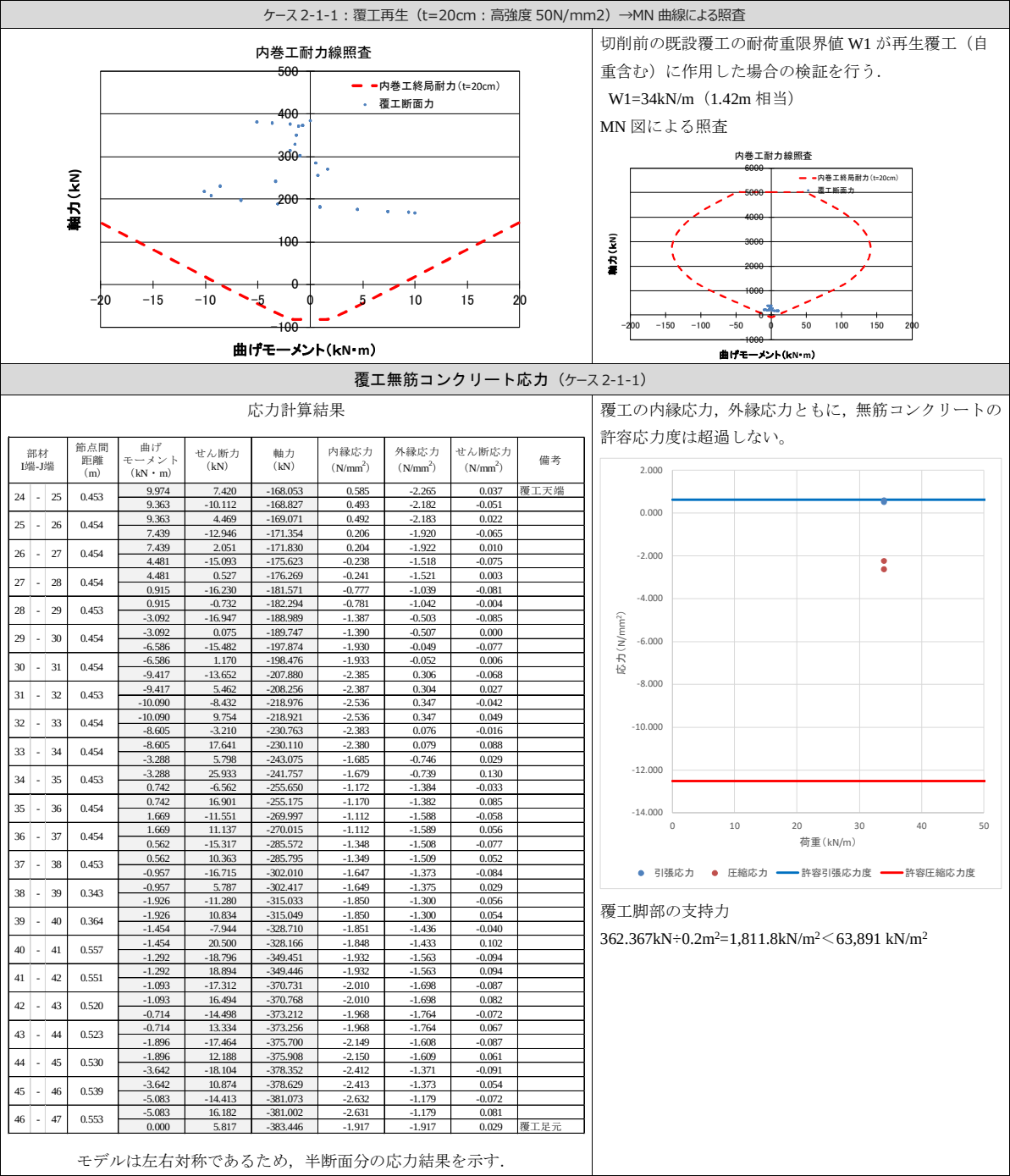
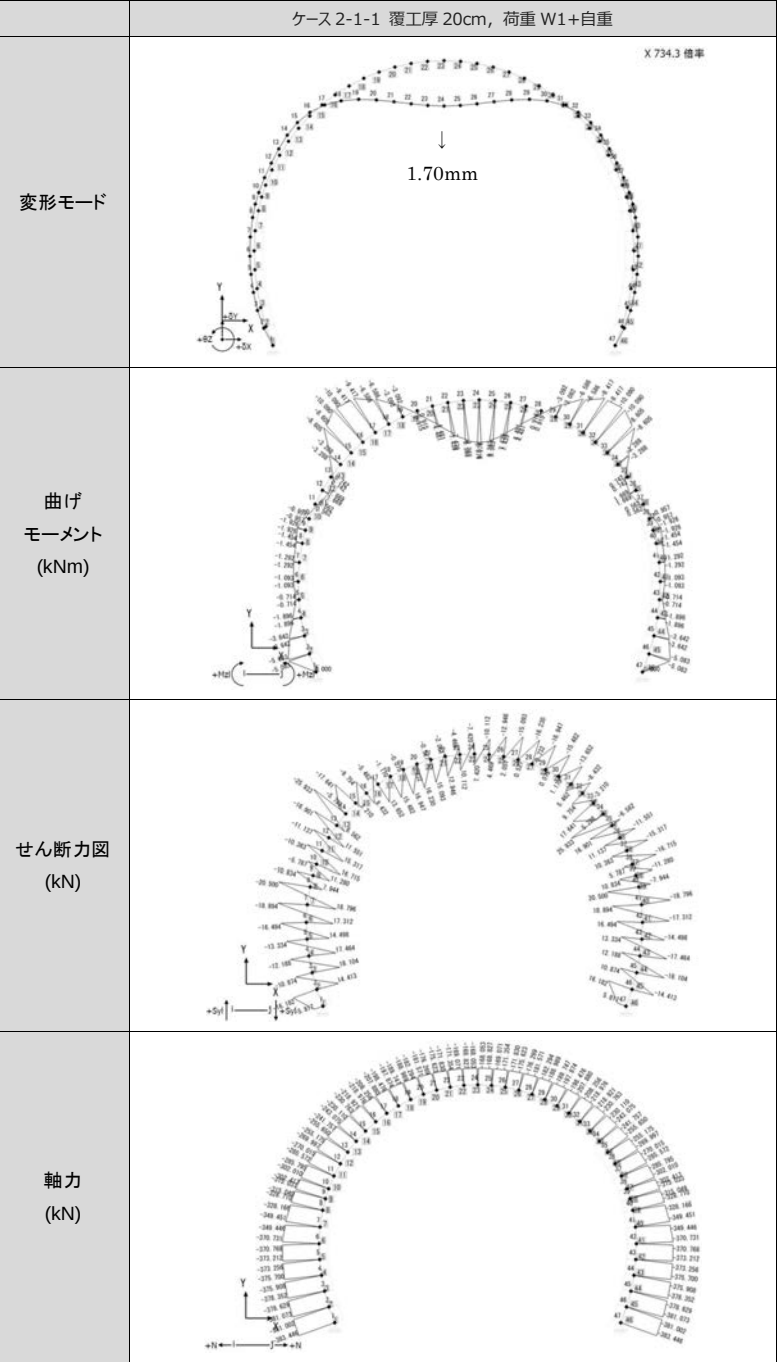
●解析結果：ケース 1-1-3 再生覆工厚 20cm, ③自重+荷重 W3 (W1-W2)



●解析結果：ケース 2-1-1 再生覆工厚 20cm, 荷重 W1



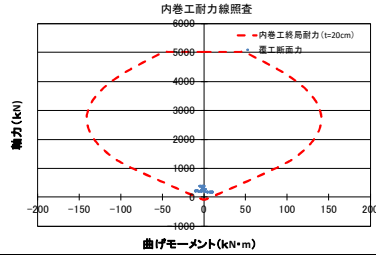
●解析結果：ケース2-1-1 再生覆工厚 20cm, 荷重 W1+自重



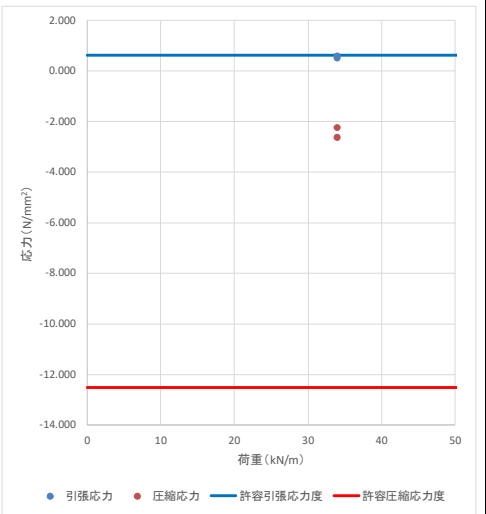
切削前の既設覆工の耐荷重限界値 W1 が再生覆工（自重含む）に作用した場合の検証を行う。

W1=34kN/m（1.42m 相当）

MN 図による照査

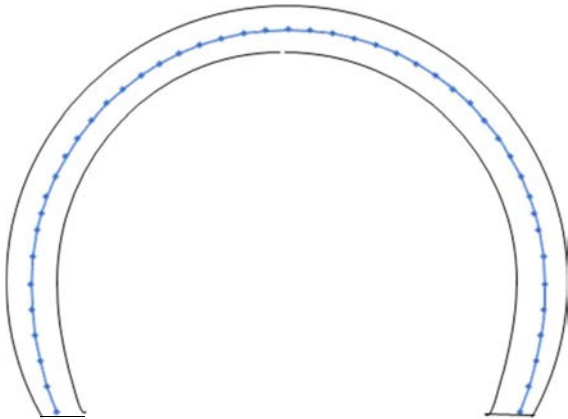
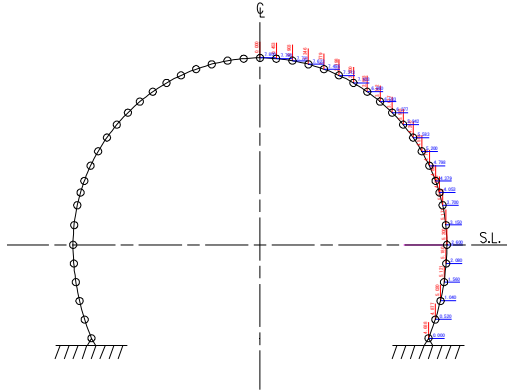
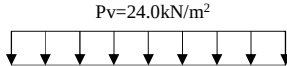
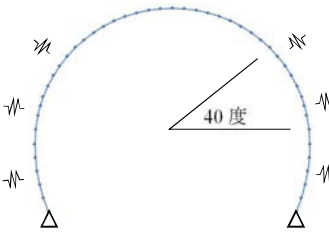


覆工の内縁応力、外縁応力ともに、無筋コンクリートの許容応力度は超過しない。

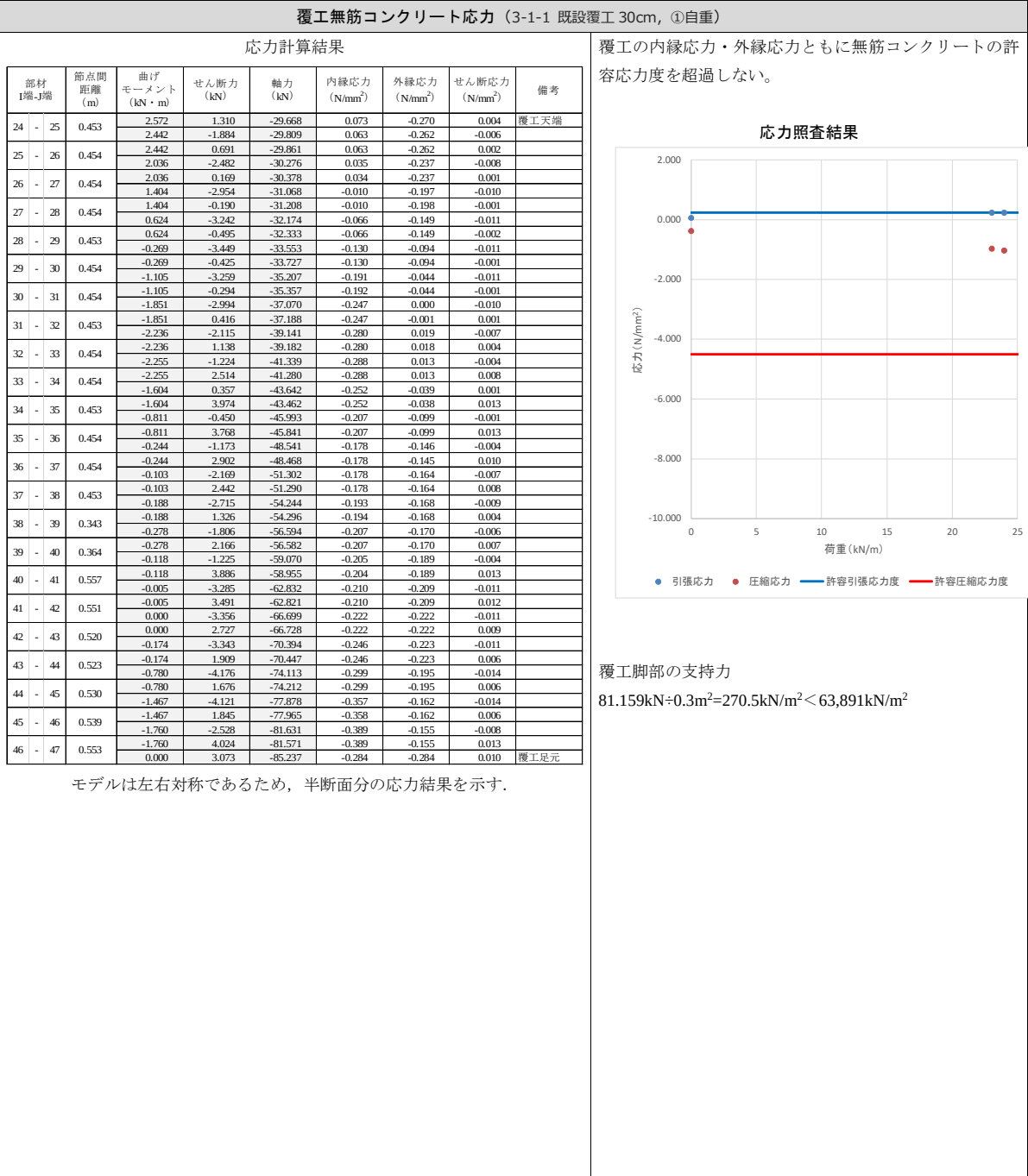
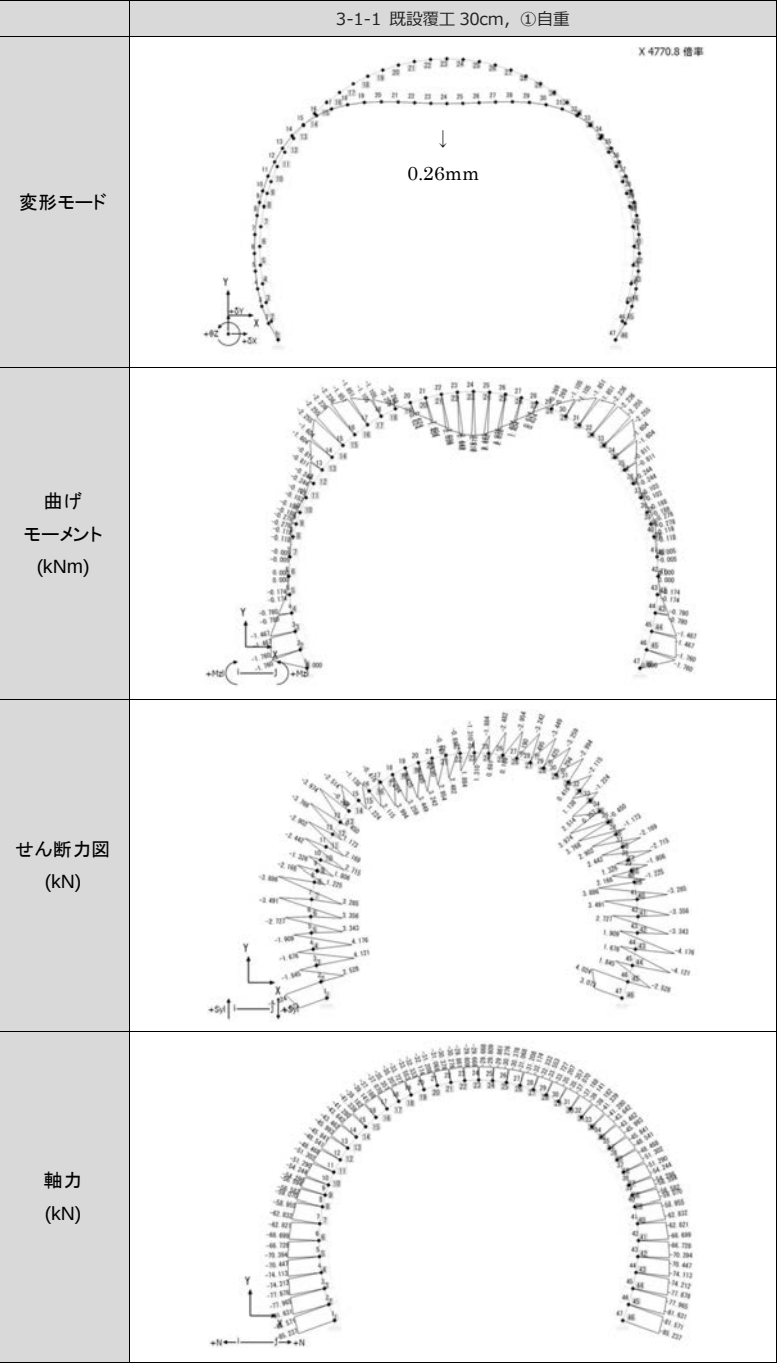


覆工脚部の支持力

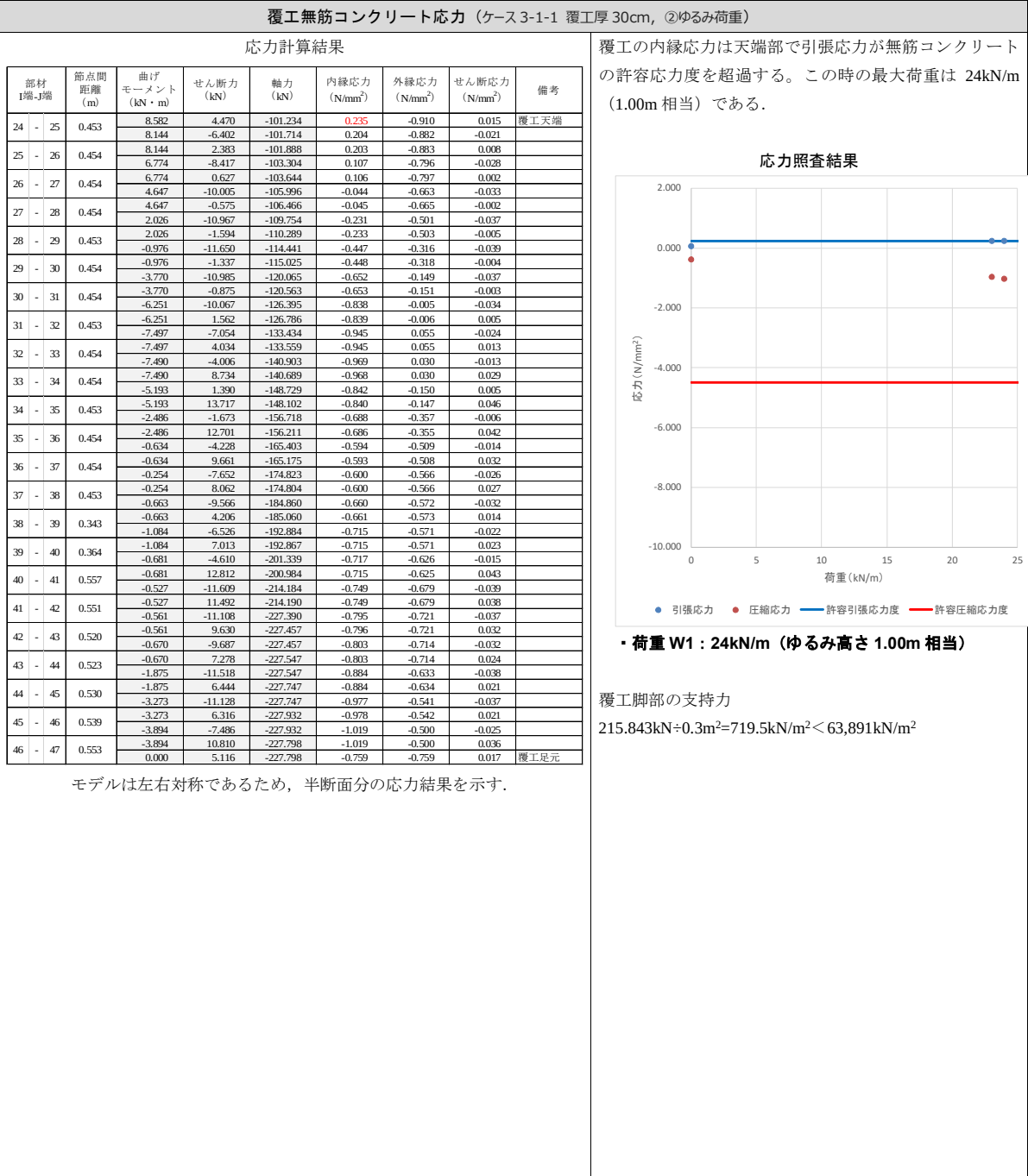
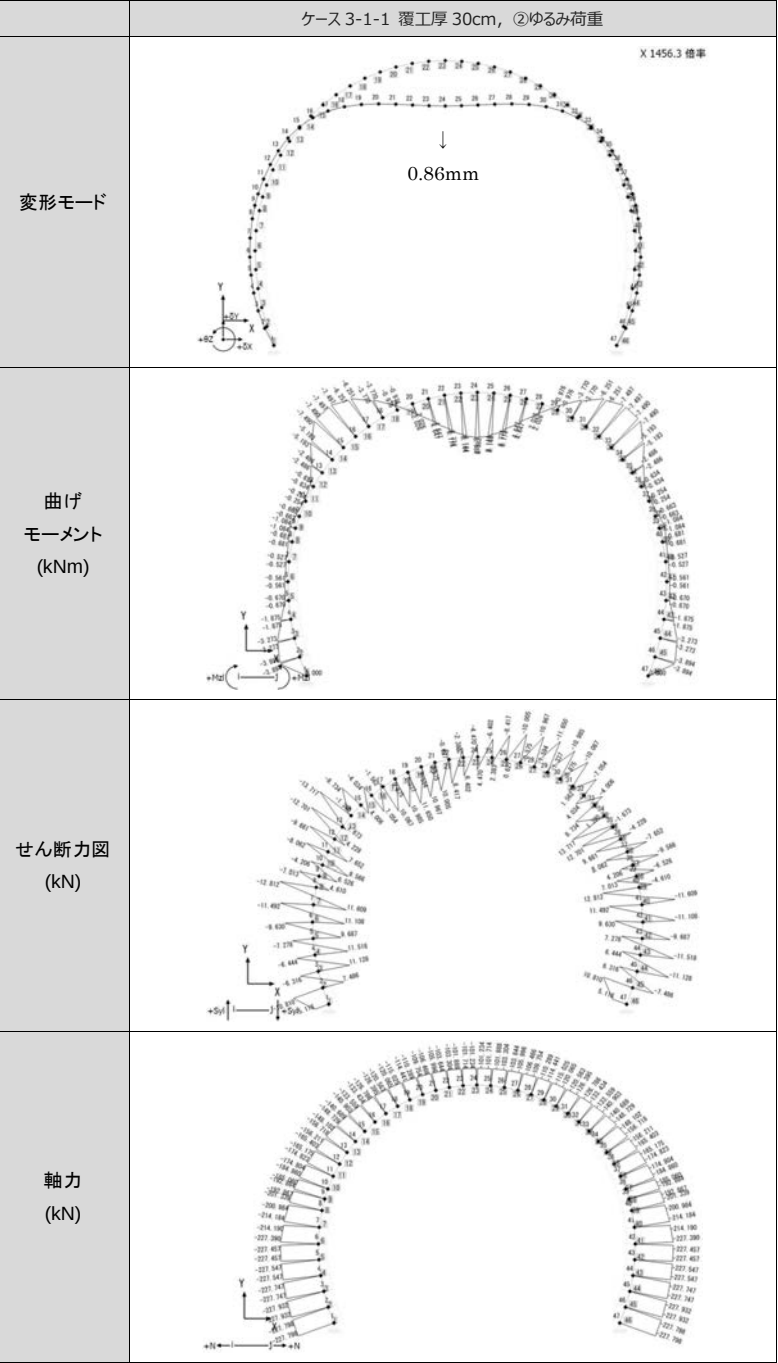
362.367kN÷0.2m<sup>2</sup>=1,811.8kN/m<sup>2</sup><63,891 kN/m<sup>2</sup>

| ケース 3-1-1：既設覆工 30cm：①自重，②ゆるみ荷重，③自重+緩み荷重，周方向の地盤バネ（SL から 40 度以下固定）、せん断バネなし                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 既設覆工・再生覆工コンクリート材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----|----|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|-------------------------------------|-------|--|------------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------|-----|------|------|--|--|--|----------|------------------------------------------|-----------------|-----|------|------|------|--|--------|--|--|--|--|------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-----|---|------|------|------|--|-------------|--|--|--|--|----|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---|------|------|-----------|
| <p>検討対象トンネル断面は、NATM で施工されたトンネルを想定する。</p> <p>本解析ケースの覆工設計巻厚は 30cm とし，既設覆工の耐荷重限界値 W4 を算出する。</p> <p>なお、解析モデルのフレーム軸線は切削後の再生覆工（20cm）の図心を通るものとする。</p> <div></div> <p>覆工構造</p> <div></div> <p>フレームモデル</p> | <table><tr><th colspan="2">覆工コンクリート</th><th>再生覆工</th></tr><tr><td>設計基準強度 <math>f'_{ck}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>18</td><td>50</td></tr><tr><td>ヤング係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td><math>2.2 \times 10^4</math></td><td><math>3.3 \times 10^4</math></td></tr><tr><td>単位体積重量 <math>\gamma</math>(kN/m<sup>3</sup>)</td><td>23.5</td><td>23.5</td></tr><tr><td>引張強度 <math>f'_{tk}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>1.579</td><td></td></tr><tr><td>許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>0.225</td><td>0.625</td></tr><tr><td>許容圧縮応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>4.5</td><td>12.5</td></tr></table> <p>荷重条件</p> <p>荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（<math>t=300</math>）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> となる上載荷重）を逆算より求め，設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。</p> <p>(1) 荷重</p> <p>a) 自重</p> <p>覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m<sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。</p> <table><tr><th colspan="4">表 自重</th></tr><tr><th>部材厚 (cm)</th><th>コンクリート単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>荷重強度 <math>g</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>30.0</td><td>23.5</td><td>7.05</td><td></td></tr></table> <div></div> <p>b) 土荷重</p> <p>算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。</p> <table><tr><th colspan="5">表 作用土圧</th></tr><tr><th>岩質区分</th><th>地山単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>緩み高さ <math>h</math> (m)</th><th>荷重強度 <math>P_v</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>C</td><td>24.0</td><td>1.00</td><td>24.0</td><td></td></tr></table> <div></div> <p>(2) 地盤反力</p> <p>地盤反力は、トンネルの変形に応じた反力を、地盤ばねを介して構造に与える。地盤ばねの特性である地盤反力係数の設定は、「山岳トンネル設計施工標準・同解説，平成20年4月：鉄道建設・運輸施設整備支援機構」に示された算定式により算出する。なお、ばねは反力として作用するSLから40度以下の範囲に設定し，また，下半脚部支点はピン構造として支持する。</p> <table><tr><th colspan="5">表 地盤反力係数の設定</th></tr><tr><th>断面</th><th>補正係数 <math>\alpha</math></th><th>変形係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</th><th>覆工コンクリートの図心幅 <math>B</math> (m)</th><th>地盤バネ定数 (kN/m<sup>3</sup>)</th></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>2000</td><td>7.80</td><td>7.285E+05</td></tr></table> | 覆工コンクリート                      |                      | 再生覆工                        | 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 18 | 50 | ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $2.2 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ | 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 23.5 | 23.5 | 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 1.579 |  | 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 0.225 | 0.625 | 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 4.5 | 12.5 | 表 自重 |  |  |  | 部材厚 (cm) | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 荷重強度 $g$ (kN/m) | 摘 要 | 30.0 | 23.5 | 7.05 |  | 表 作用土圧 |  |  |  |  | 岩質区分 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 緩み高さ $h$ (m) | 荷重強度 $P_v$ (kN/m) | 摘 要 | C | 24.0 | 1.00 | 24.0 |  | 表 地盤反力係数の設定 |  |  |  |  | 断面 | 補正係数 $\alpha$ | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) | D | 1 | 2000 | 7.80 | 7.285E+05 |
| 覆工コンクリート                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 再生覆工                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 50                            |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $2.2 \times 10^4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $3.3 \times 10^4$             |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 23.5                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1.579                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.225                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.625                         |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 4.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12.5                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 表 自重                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 部材厚 (cm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 荷重強度 $g$ (kN/m)               | 摘 要                  |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 30.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 7.05                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 表 作用土圧                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 岩質区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 緩み高さ $h$ (m)                  | 荷重強度 $P_v$ (kN/m)    | 摘 要                         |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 24.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1.00                          | 24.0                 |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 表 地盤反力係数の設定                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| 断面                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 補正係数 $\alpha$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |
| D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2000                          | 7.80                 | 7.285E+05                   |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |      |      |           |

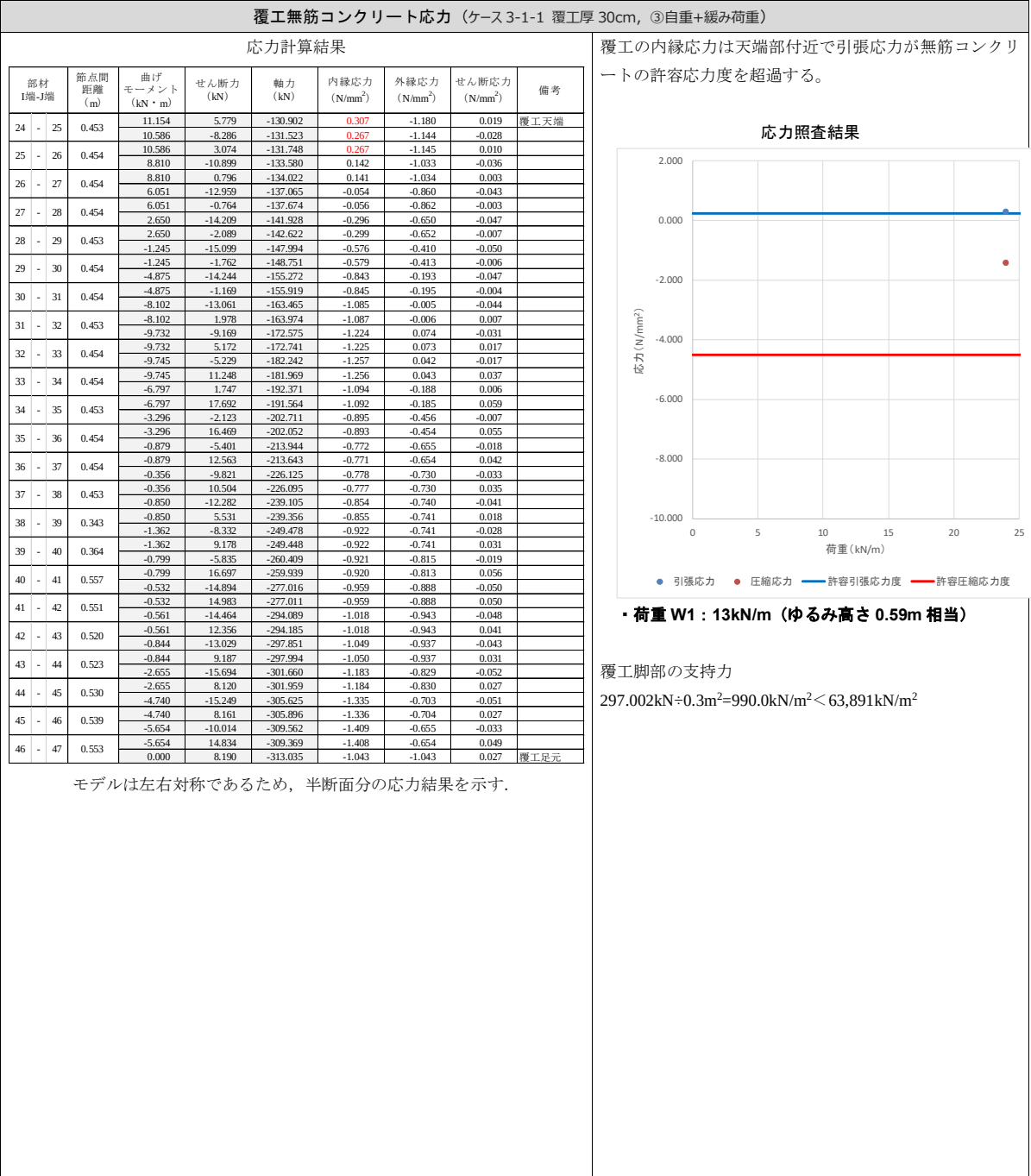
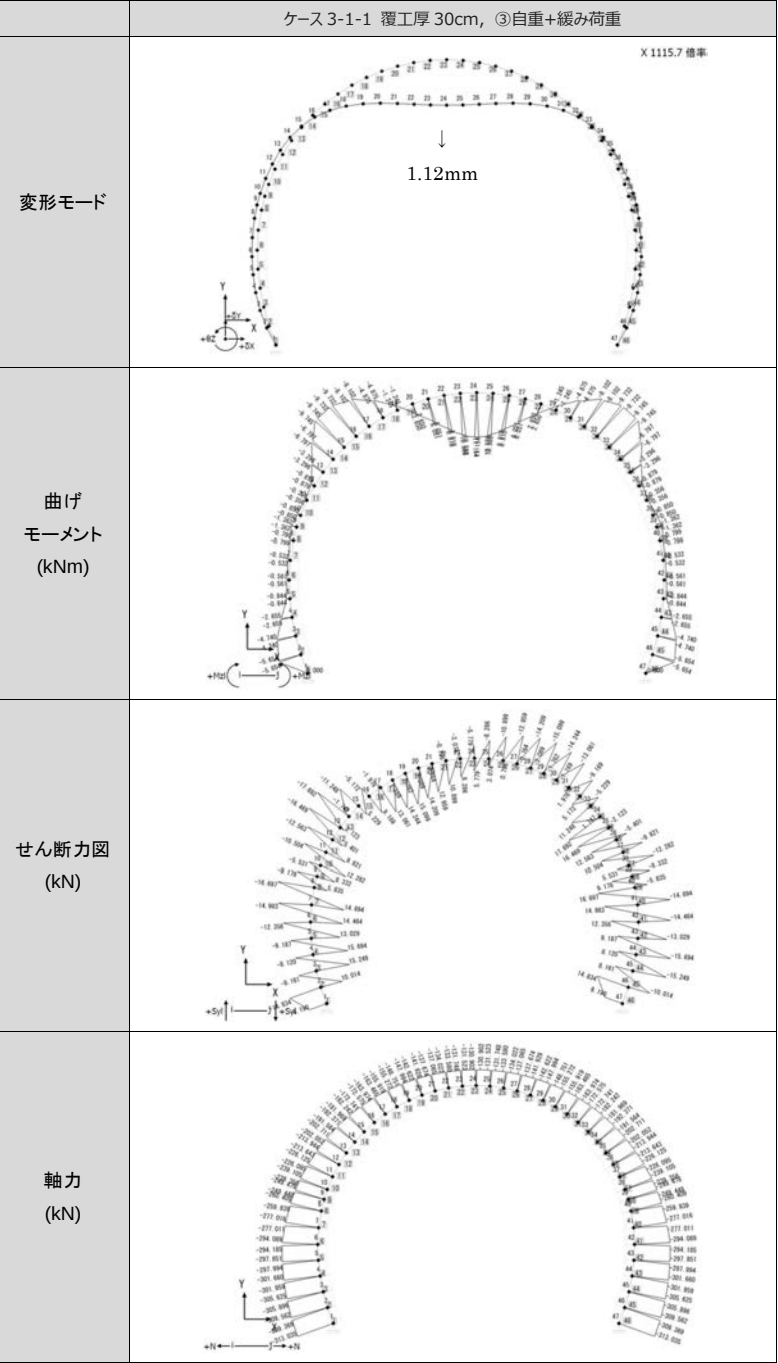
●解析結果：ケース3-1-1 既設覆工 30cm, ①自重



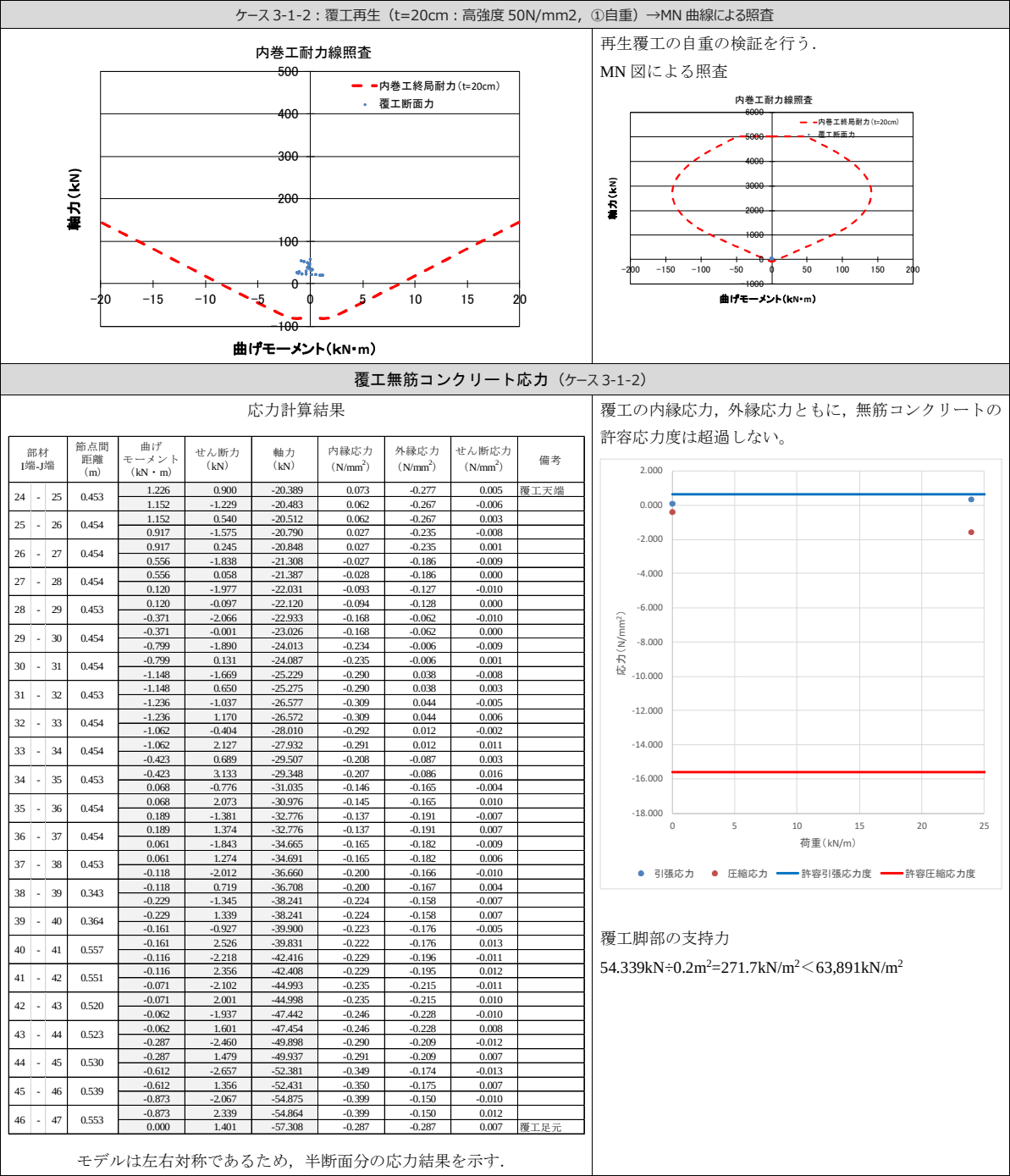
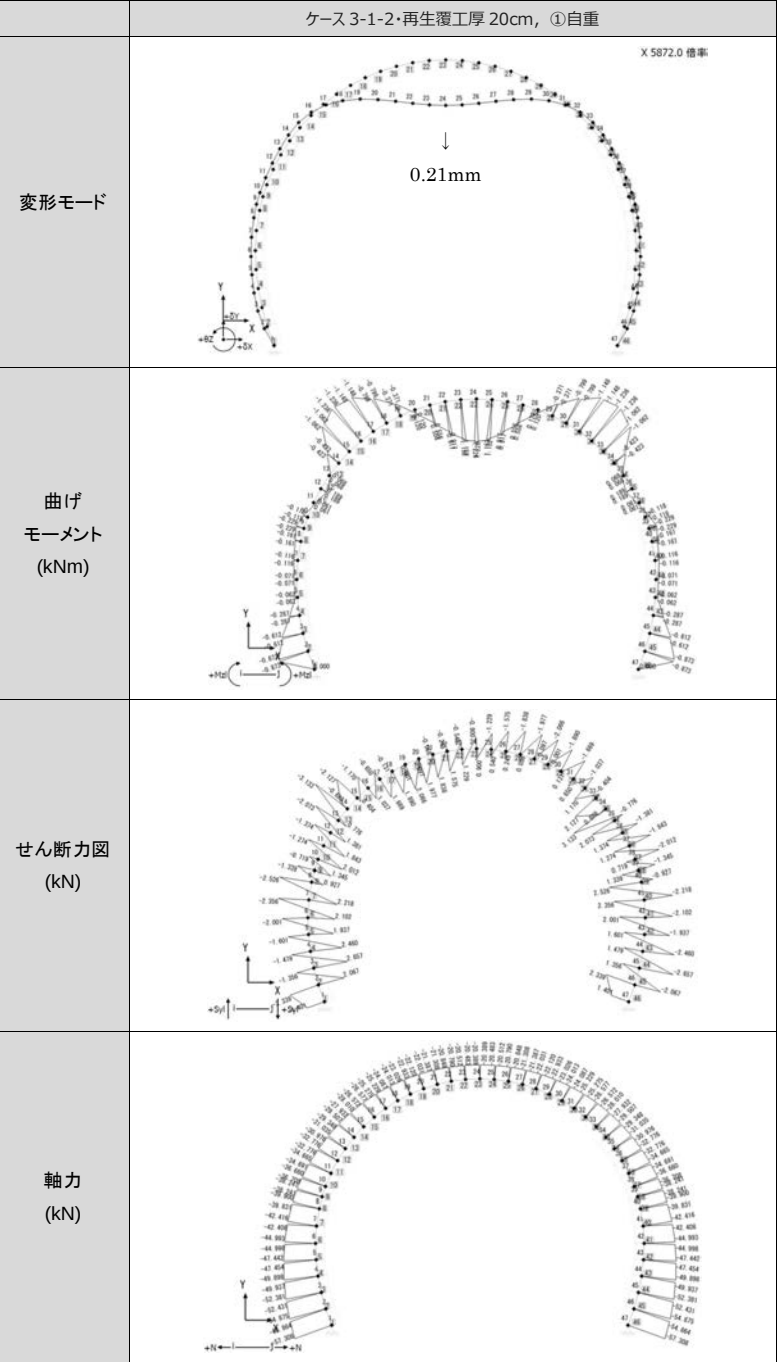
●解析結果：ケース3-1-1 覆工厚 30cm，②ゆるみ荷重



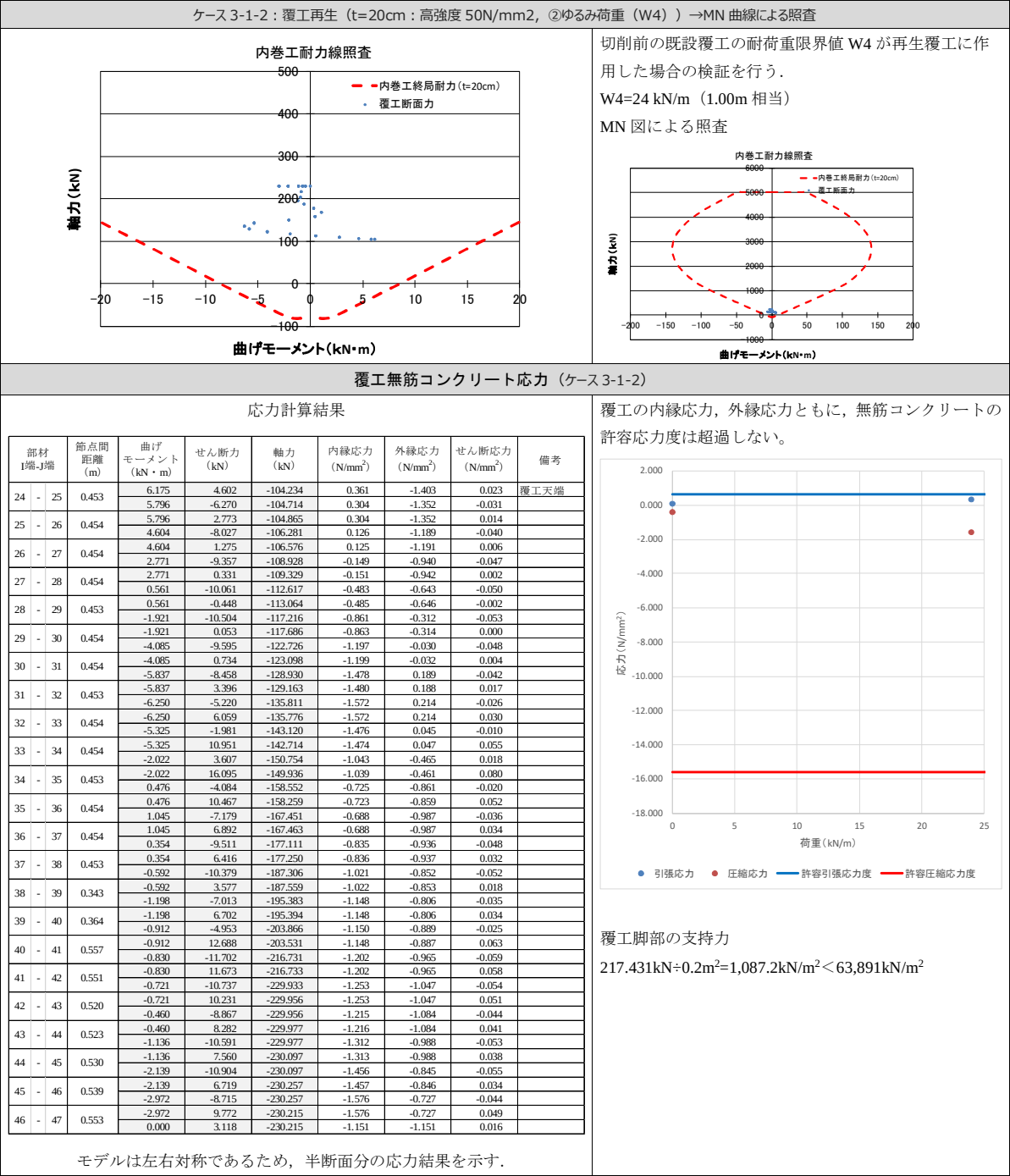
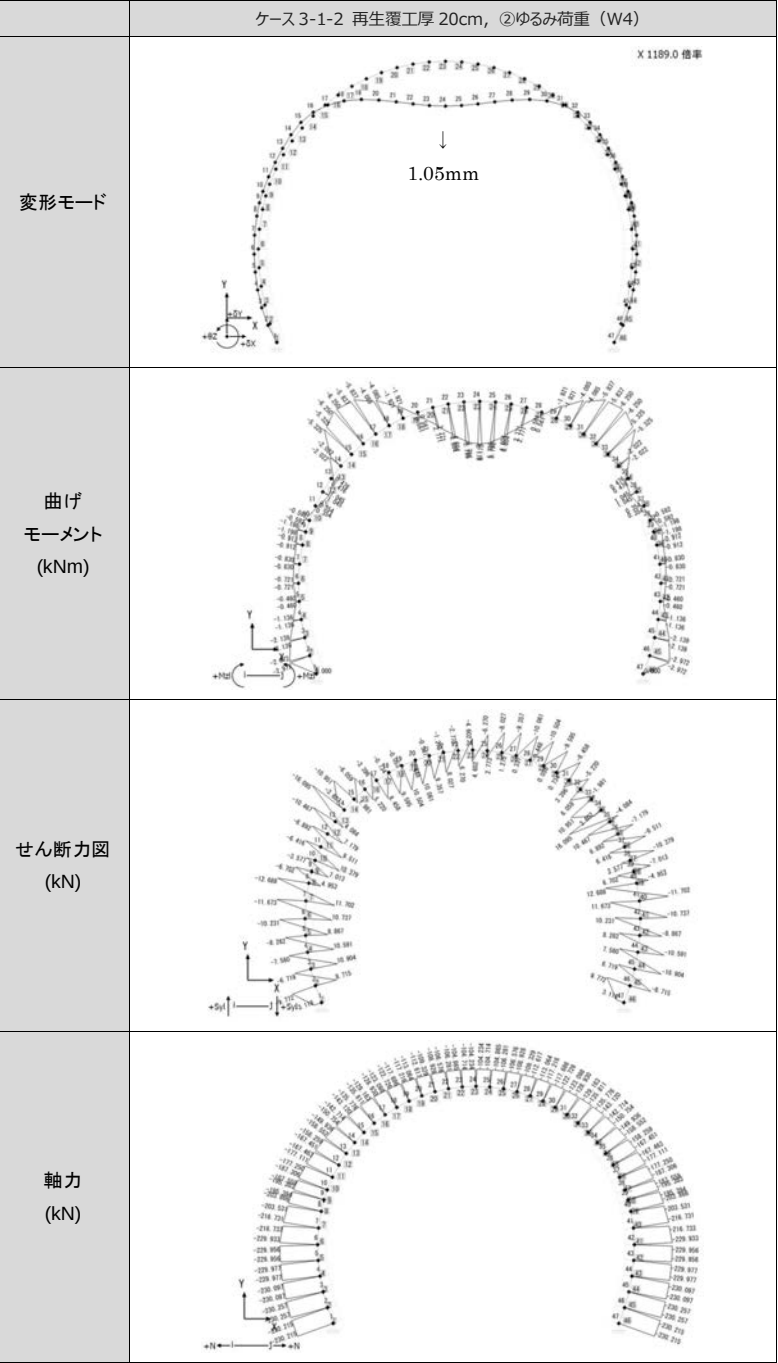
●解析結果：ケース 3-1-1 覆工厚 30cm, ③自重+緩み荷重



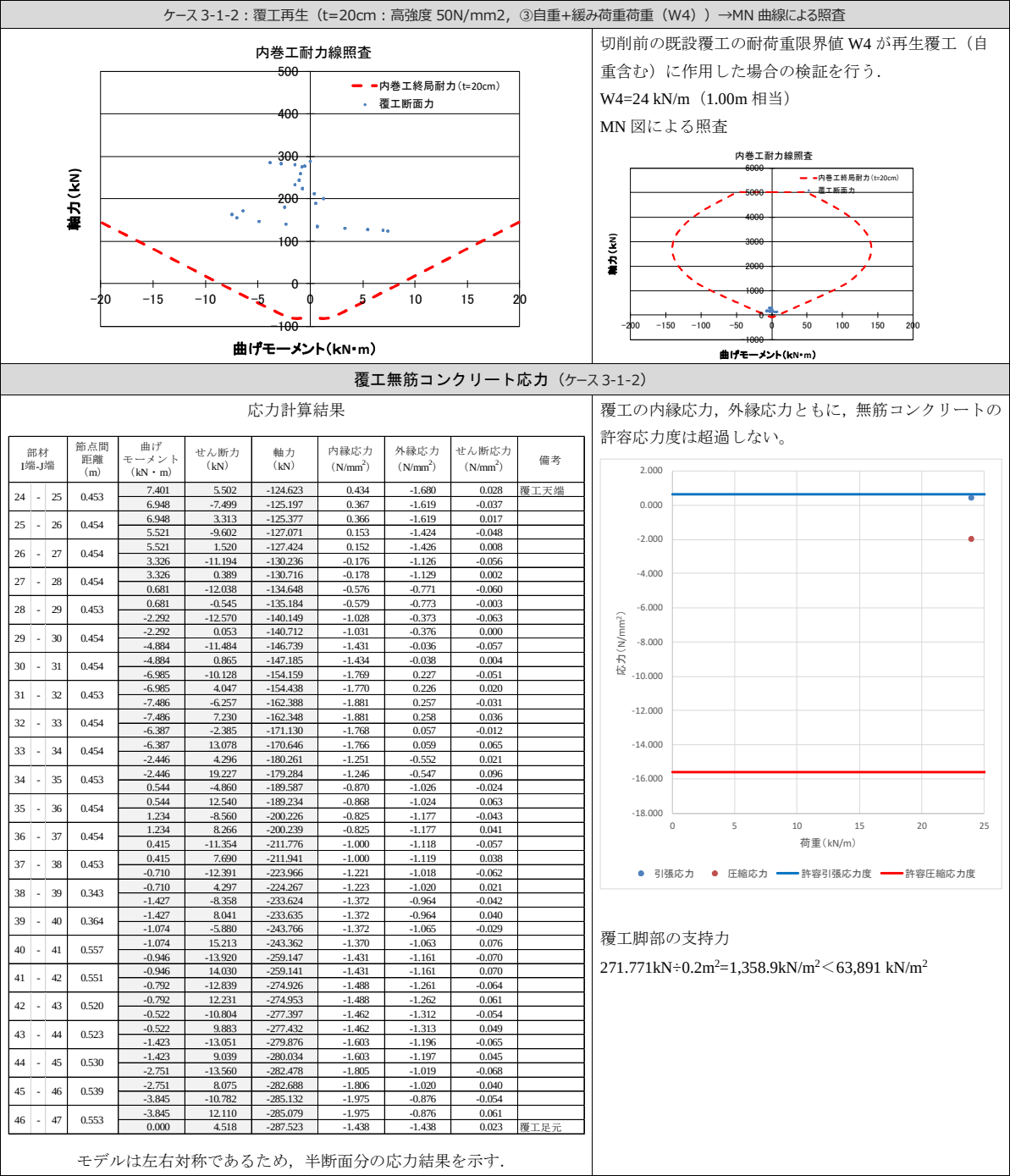
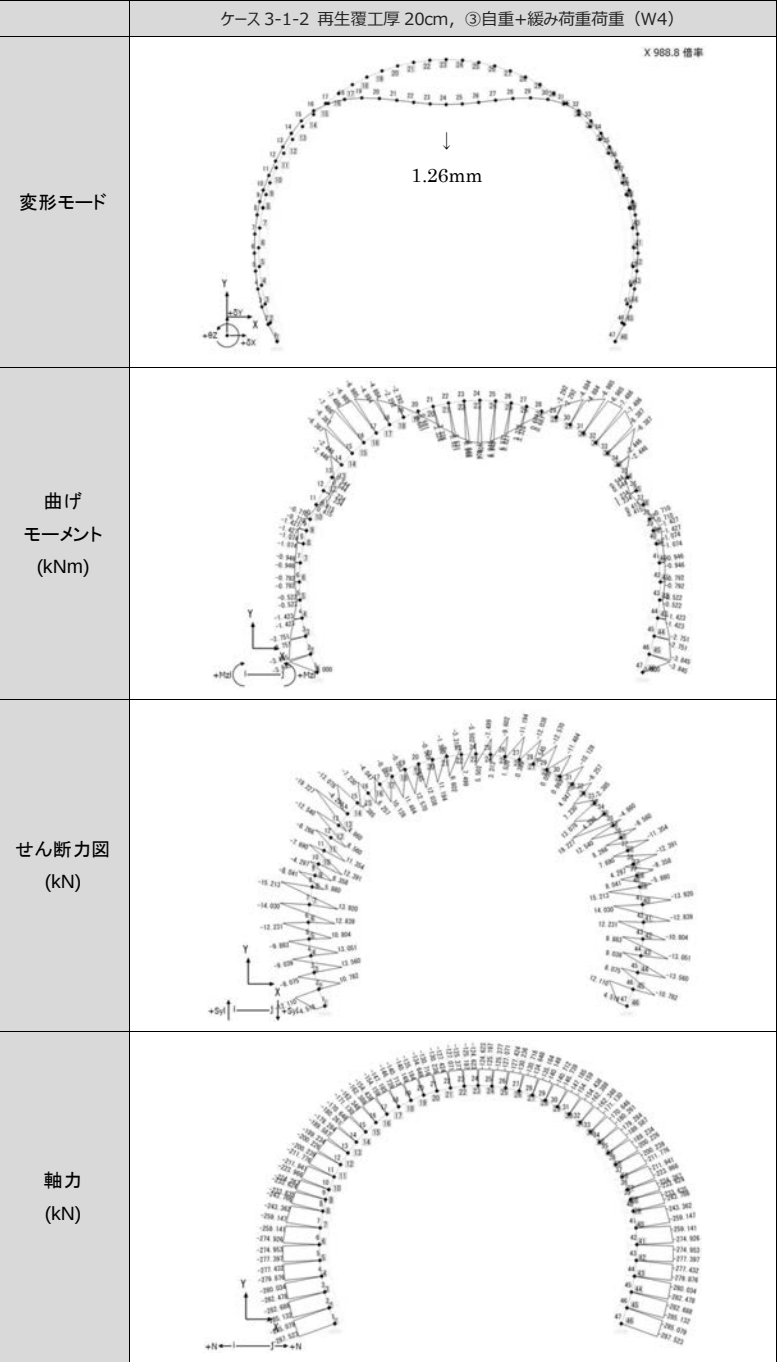
●解析結果: ケース 3-1-2 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②ゆるみ荷重 (W4), ③自重+緩み荷重荷重 (W4)



●解析結果: ケース 3-1-2 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②ゆるみ荷重 (W4), ③自重+緩み荷重荷重 (W4)

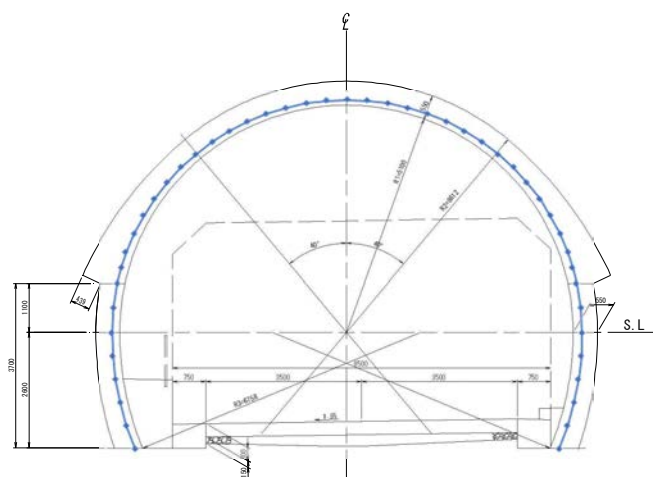
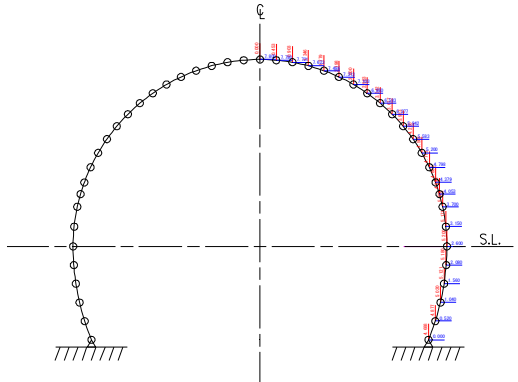
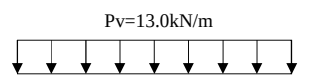
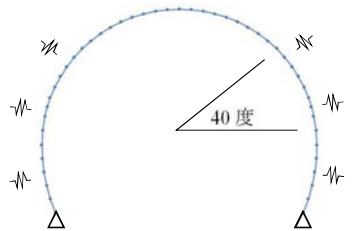


●解析結果:ケース 3-1-2 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②ゆるみ荷重 (W4) , ③自重+緩み荷重荷重 (W4)

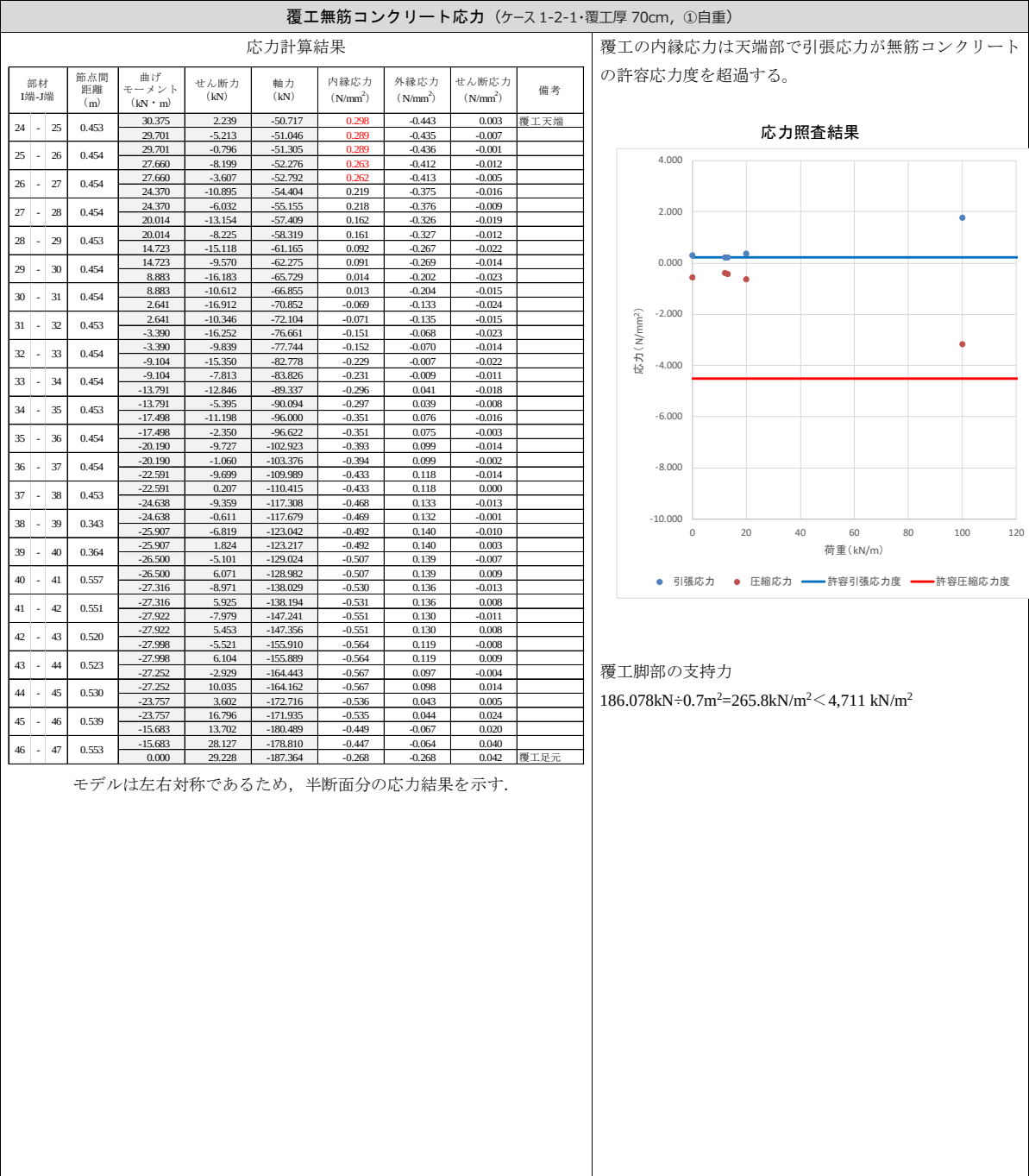
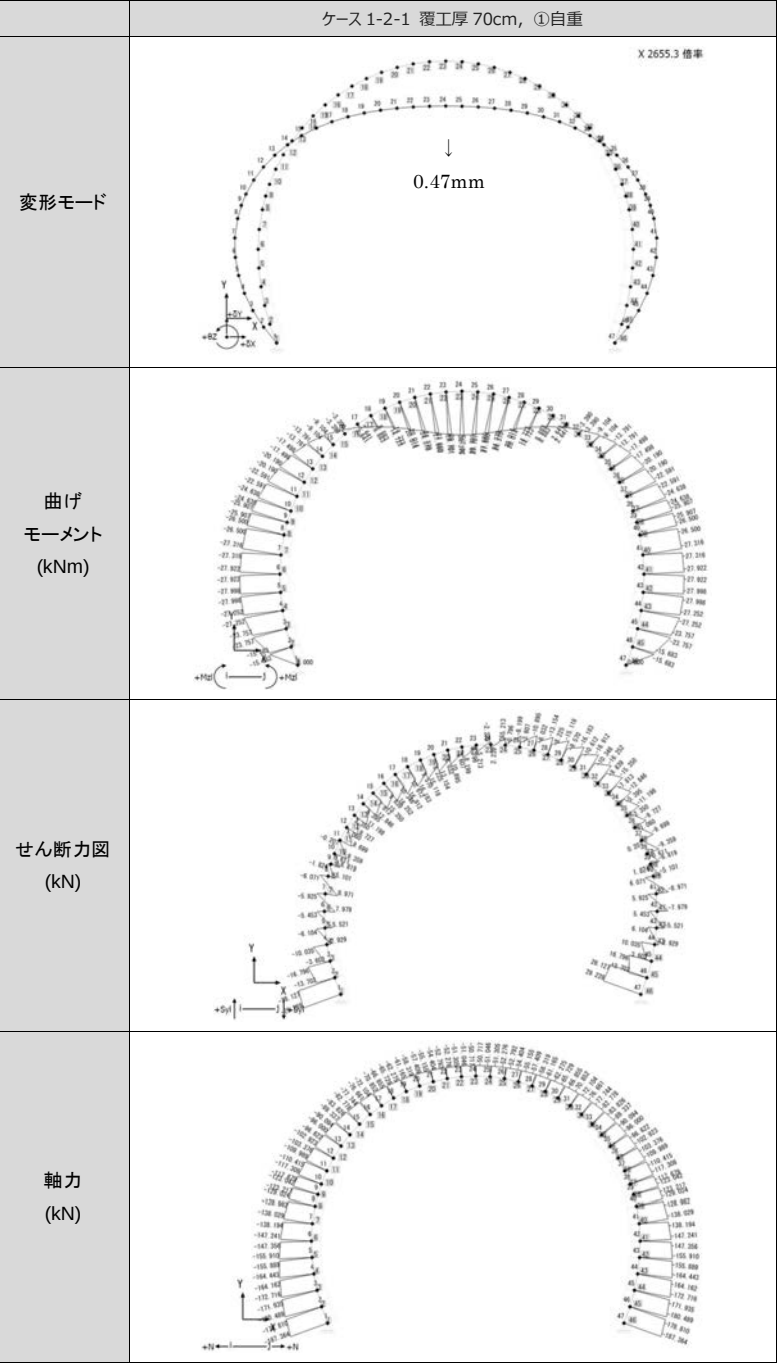


3-1：既設覆工の限界値 W1－覆工切削の限界値 W2 の整理

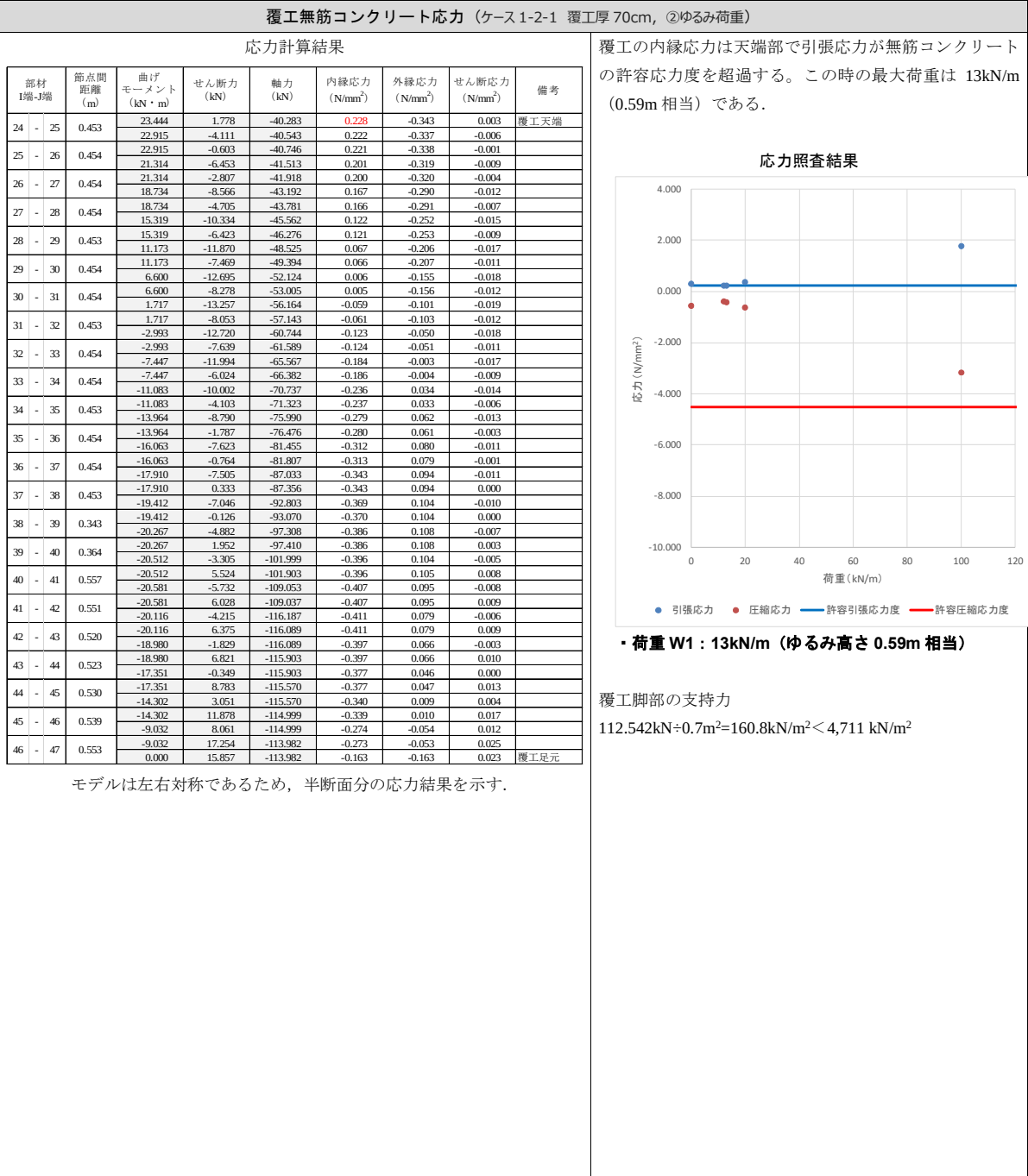
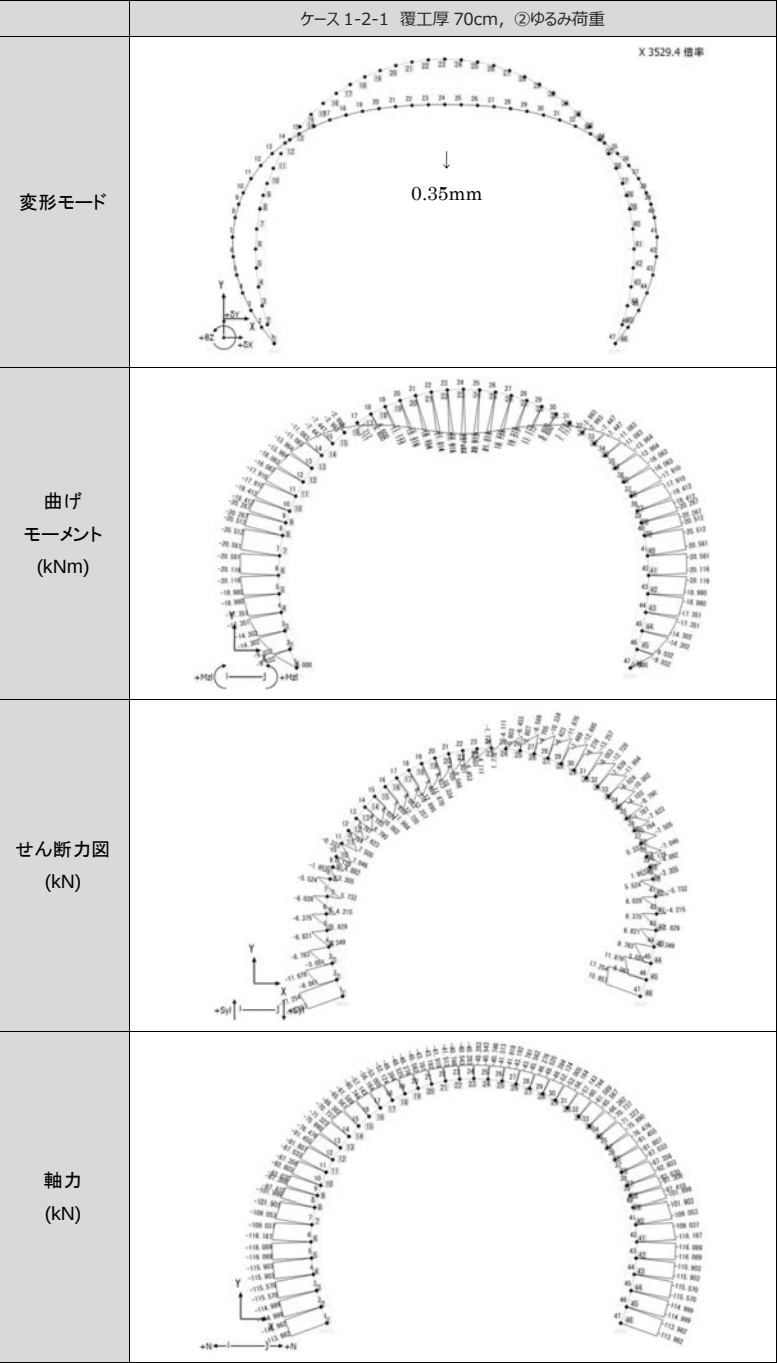
D 等級地山

| ケース 1-2-1：既設覆工 70cm：①自重、②ゆるみ荷重、③自重+緩み荷重、周方向の地盤バネ（SL から 40 度以下固定）、せん断バネなし                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 既設覆工・再生覆工コンクリート材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----|----|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|-------------------------------------|-------|--|------------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------|-----|------|------|--|--|--|----------|------------------------------------------|-----------------|-----|------|------|--------|--|--------|--|--|--|--|------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-----|---|------|------|------|--|-------------|--|--|--|--|----|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---|-----|------|-----------|
| <p>検討対象トンネル断面は、矢板工法で施工されたトンネルを想定する。</p> <p>本解析ケースの覆工設計巻厚は 70cm とし、既設覆工の耐荷重限界値 W1 を算出する。</p> <p>なお、解析モデルのフレーム軸線は切削後の再生覆工（20cm）の図心を通るものとする。</p> <div></div> <p>覆工構造</p> <div></div> <p>フレームモデル</p> | <table><tr><th colspan="2">覆工コンクリート</th><th>再生覆工</th></tr><tr><td>設計基準強度 <math>f'_{ck}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>18</td><td>50</td></tr><tr><td>ヤング係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td><math>2.2 \times 10^4</math></td><td><math>3.3 \times 10^4</math></td></tr><tr><td>単位体積重量 <math>\gamma</math>(kN/m<sup>3</sup>)</td><td>23.5</td><td>23.5</td></tr><tr><td>引張強度 <math>f'_{tk}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>1.579</td><td></td></tr><tr><td>許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>0.225</td><td>0.625</td></tr><tr><td>許容圧縮応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>4.5</td><td>12.5</td></tr></table> <p>荷重条件</p> <p>荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（<math>t=700</math>）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。</p> <p>(1) 荷重</p> <p>a) 自重</p> <p>覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m<sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。</p> <table><tr><th colspan="4">表 自重</th></tr><tr><th>部材厚 (cm)</th><th>コンクリート単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>荷重強度 <math>g</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>70.0</td><td>23.5</td><td>16.455</td><td></td></tr></table> <div></div> <p>b) 土荷重</p> <p>算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。</p> <table><tr><th colspan="5">表 作用土圧</th></tr><tr><th>岩質区分</th><th>地山単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>緩み高さ <math>h</math> (m)</th><th>荷重強度 <math>P_v</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>D</td><td>22.0</td><td>0.59</td><td>13.0</td><td></td></tr></table> <div></div> <p>(2) 地盤反力</p> <p>地盤反力は、トンネルの変形に応じた反力を、地盤ばねを介して構造に与える。地盤ばねの特性である地盤反力係数の設定は、「山岳トンネル設計施工標準・同解説、平成20年4月：鉄道建設・運輸施設整備支援機構」に示された算定式により算出する。なお、ばねは反力として作用するSLから40度以下の範囲に設定し、また、下半脚部支点はビン構造として支持する。</p> <table><tr><th colspan="5">表 地盤反力係数の設定</th></tr><tr><th>断面</th><th>補正係数 <math>\alpha</math></th><th>変形係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</th><th>覆工コンクリートの図心幅 <math>B</math>(m)</th><th>地盤バネ定数 (kN/m<sup>3</sup>)</th></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>500</td><td>7.80</td><td>1.821E+05</td></tr></table> | 覆工コンクリート                      |                      | 再生覆工                        | 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 18 | 50 | ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $2.2 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ | 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 23.5 | 23.5 | 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 1.579 |  | 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 0.225 | 0.625 | 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 4.5 | 12.5 | 表 自重 |  |  |  | 部材厚 (cm) | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 荷重強度 $g$ (kN/m) | 摘 要 | 70.0 | 23.5 | 16.455 |  | 表 作用土圧 |  |  |  |  | 岩質区分 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 緩み高さ $h$ (m) | 荷重強度 $P_v$ (kN/m) | 摘 要 | D | 22.0 | 0.59 | 13.0 |  | 表 地盤反力係数の設定 |  |  |  |  | 断面 | 補正係数 $\alpha$ | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) | D | 1 | 500 | 7.80 | 1.821E+05 |
| 覆工コンクリート                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 再生覆工                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 50                            |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $2.2 \times 10^4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $3.3 \times 10^4$             |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 23.5                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1.579                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.225                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.625                         |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12.5                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 表 自重                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 部材厚 (cm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 荷重強度 $g$ (kN/m)               | 摘 要                  |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 70.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 16.455                        |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 表 作用土圧                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 岩質区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 緩み高さ $h$ (m)                  | 荷重強度 $P_v$ (kN/m)    | 摘 要                         |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 22.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0.59                          | 13.0                 |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 表 地盤反力係数の設定                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 断面                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 補正係数 $\alpha$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 500                           | 7.80                 | 1.821E+05                   |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |        |  |        |  |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |

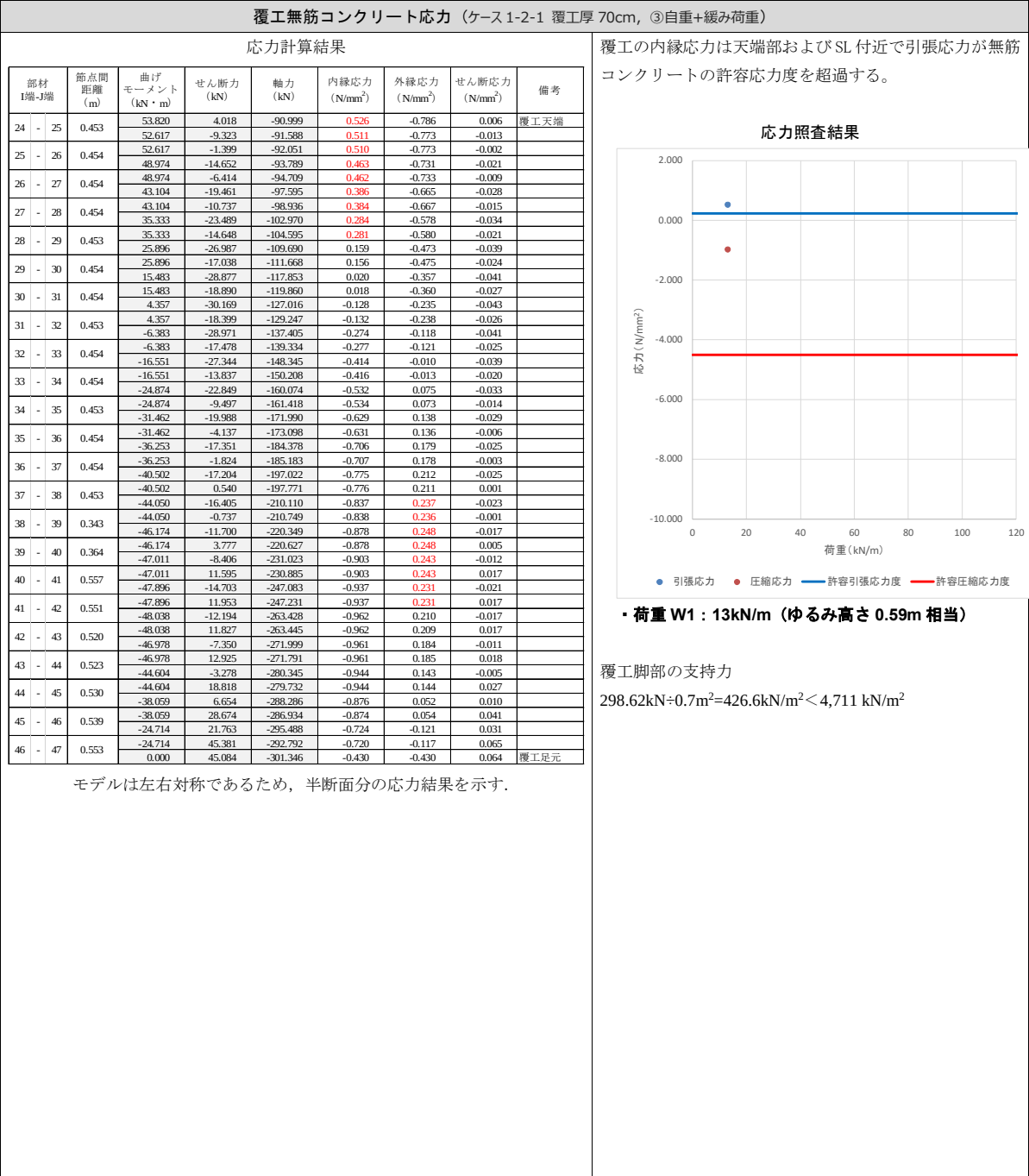
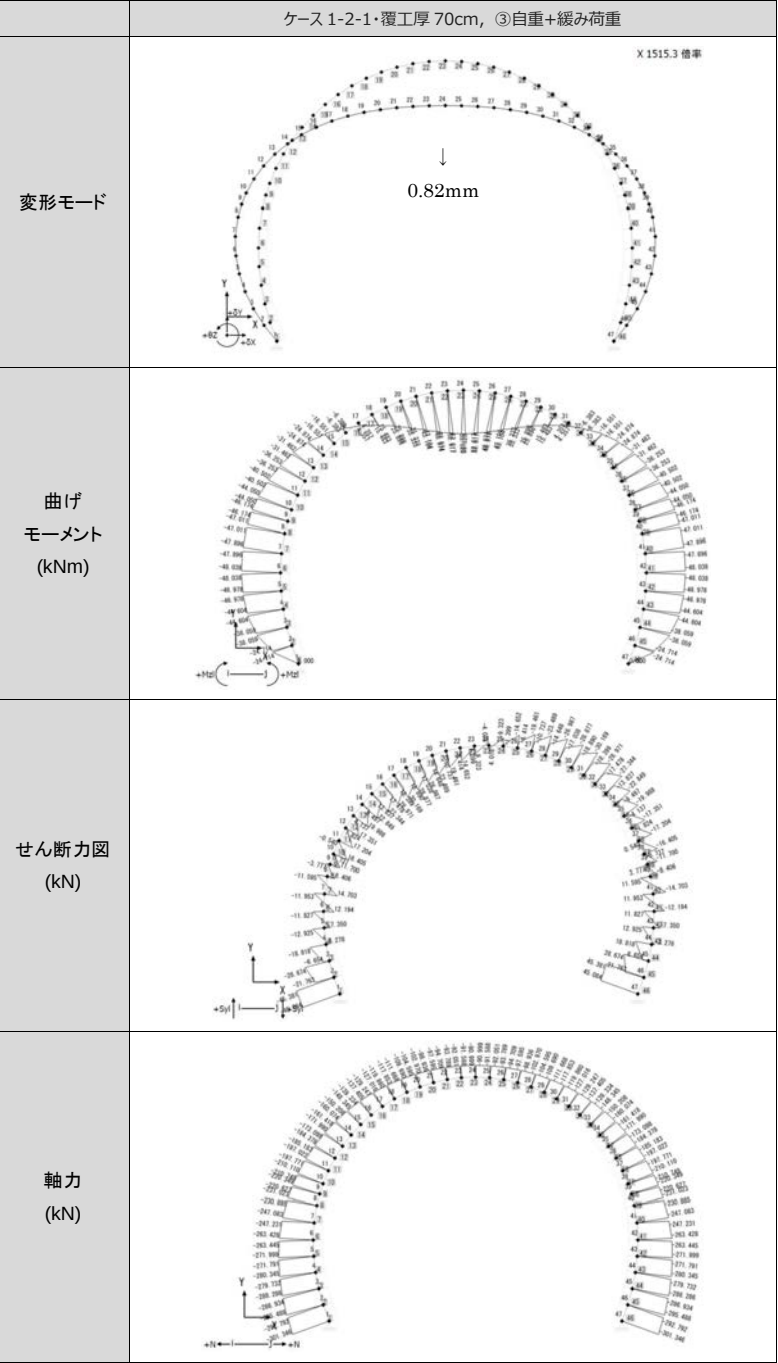
●解析結果：ケース1-2-1 覆工厚 70cm, ①自重

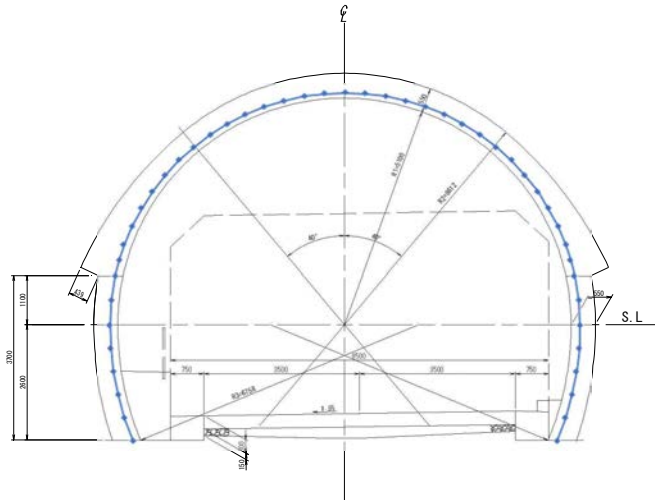
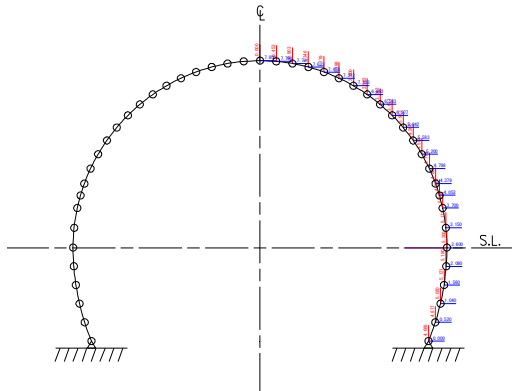
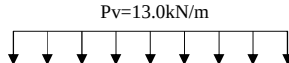
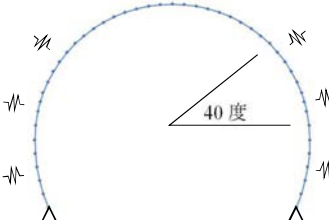


●解析結果：ケース1-2-1 覆工厚 70cm，②ゆるみ荷重

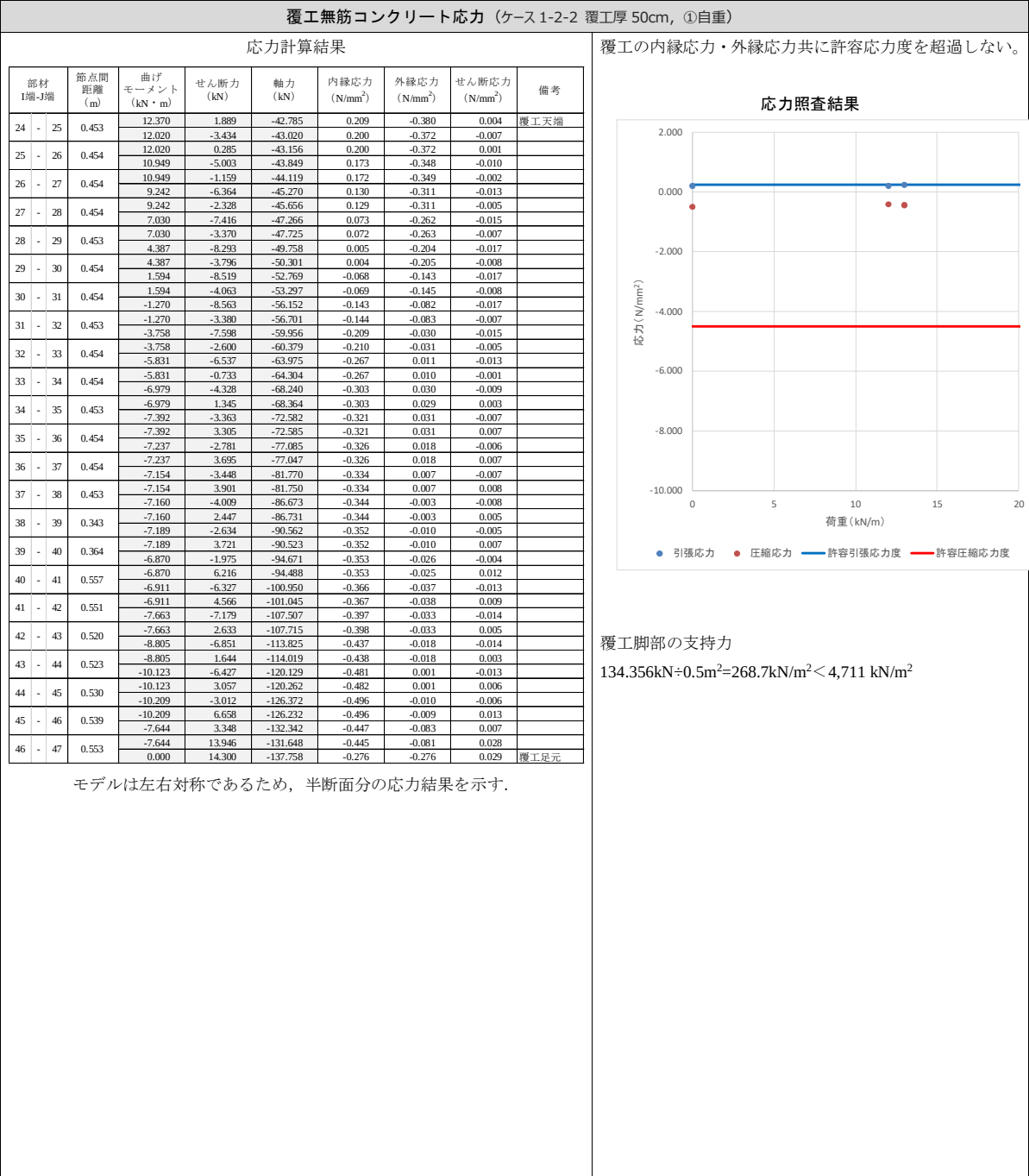
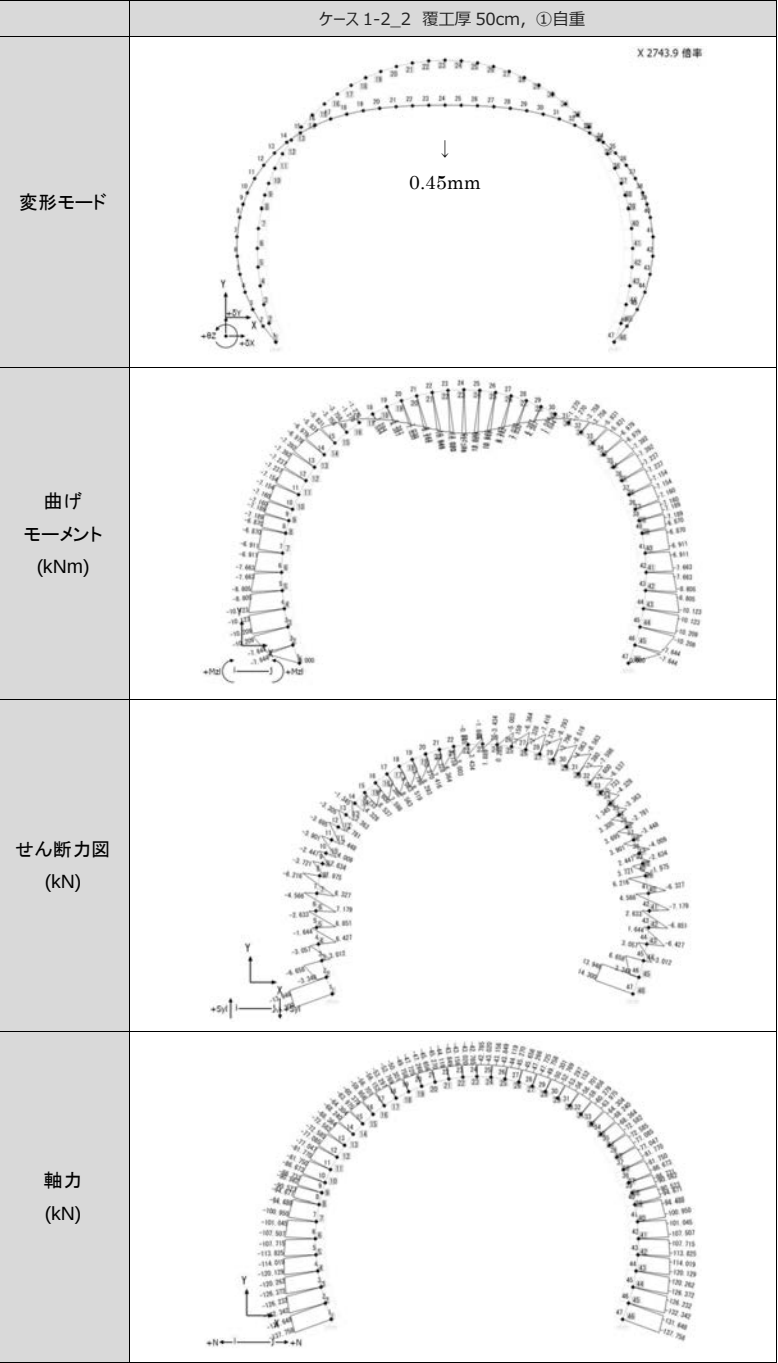


●解析結果：ケース1-2-1 覆工厚 70cm，③自重+緩み荷重

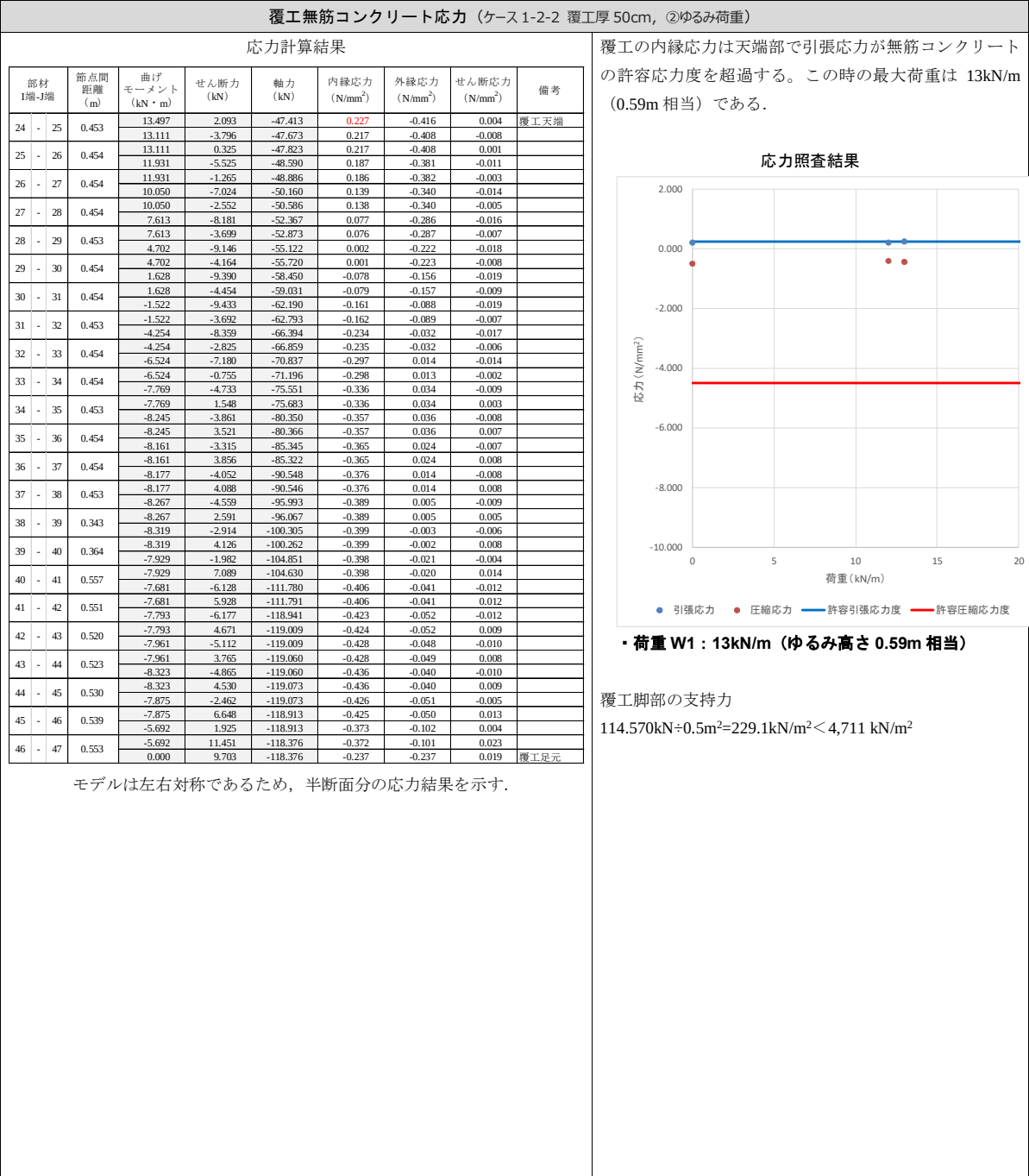
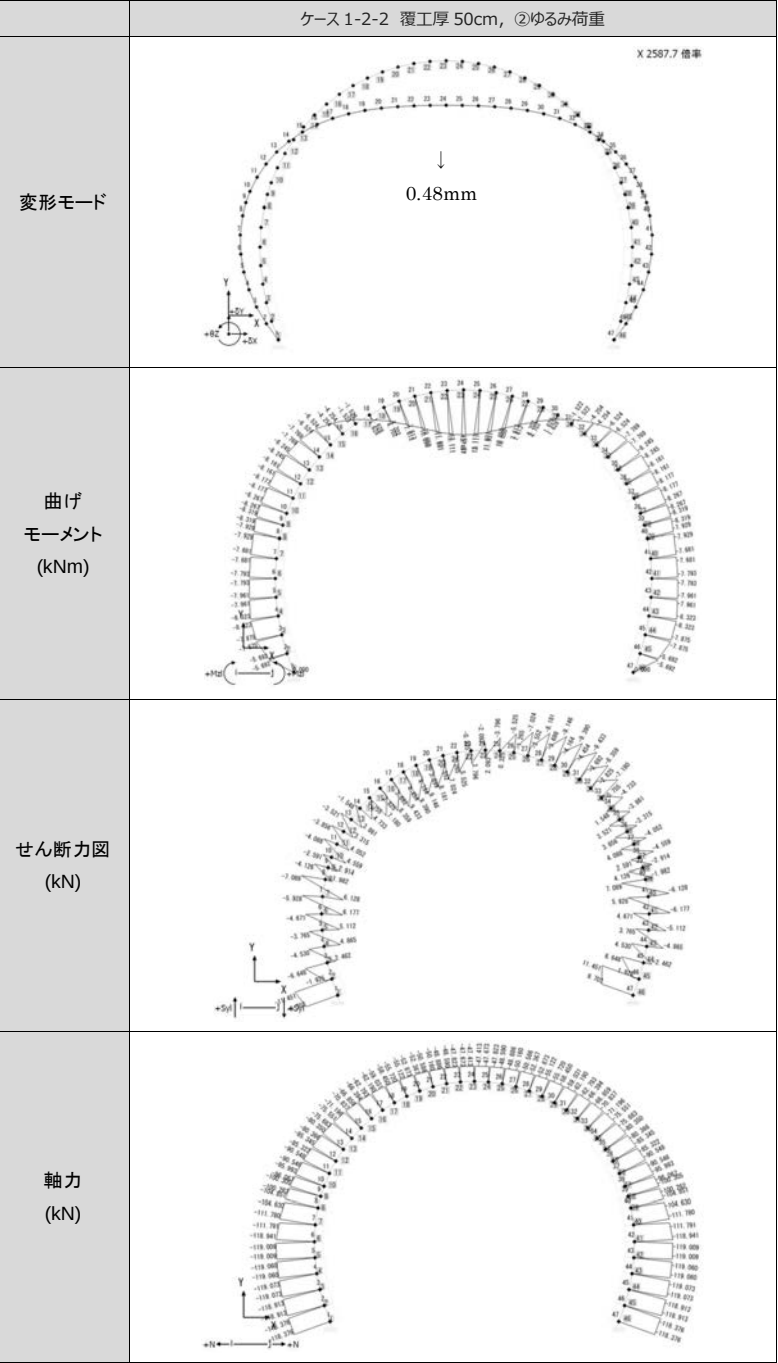


| ケース 1-2-2：既設覆工 50cm：①自重、②ゆるみ荷重、③自重+緩み荷重、周方向の地盤バネ（SL から 40 度以下固定）、せん断バネなし                                                                                                                        | 既設覆工・再生覆工コンクリート材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|-------------------------------------|-------|--|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------|-----|------|--|--|--|----------|------------------------------------------|-----------------|-----|------|------|-------|--|--------|--|--|--|------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-----|---|------|------|------|--|-------------|--|--|--|--|----|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---|-----|------|-----------|
| 検討対象トンネル断面は、矢板工法で施工されたトンネルを想定する。<br>本解析ケースの覆工設計巻厚は 50cm とし、既設覆工の耐荷重限界値 W2 を算出する。<br>なお、解析モデルのフレーム軸線は切削後の再生覆工（20cm）の図心を通るものとする。                                                                  | <table><tr><th colspan="2">覆工コンクリート</th><th>再生覆工</th></tr><tr><td>設計基準強度 <math>f'_{ck}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>18</td><td>50</td></tr><tr><td>ヤング係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td><math>2.2 \times 10^4</math></td><td><math>3.3 \times 10^4</math></td></tr><tr><td>単位体積重量 <math>\gamma</math>(kN/m<sup>3</sup>)</td><td>23.5</td><td>23.5</td></tr><tr><td>引張強度 <math>f'_{tk}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>1.579</td><td></td></tr><tr><td>許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>0.225</td><td>0.625</td></tr><tr><td>許容圧縮応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>4.5</td><td>12.5</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 覆工コンクリート                      |                      | 再生覆工                        | 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 18                                                                                                                     | 50 | ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $2.2 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ | 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 23.5 | 23.5 | 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 1.579 |  | 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 0.225                                                            | 0.625 | 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 4.5 | 12.5 |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 覆工コンクリート                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 再生覆工                          |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                           | 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 50                            |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                  | $2.2 \times 10^4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $3.3 \times 10^4$             |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                            | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 23.5                          |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                             | 1.579                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                        | 0.225                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.625                         |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                        | 4.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 12.5                          |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
|  <p>覆工構造</p>  <p>フレームモデル</p> | <table><tr><th colspan="4">荷重条件</th></tr><tr><td colspan="4">荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（t=500）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。</td></tr><tr><td colspan="4">(1) 荷重</td></tr><tr><td colspan="4">a) 自重</td></tr><tr><td colspan="4">覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m<sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。</td></tr><tr><td colspan="4">表 自重</td></tr><tr><th>部材厚 (cm)</th><th>コンクリート単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>荷重強度 <math>g</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>50.0</td><td>23.5</td><td>11.75</td><td></td></tr></table>  <p>b) 土荷重</p> <p>算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。</p> <table><tr><th colspan="4">表 作用土圧</th></tr><tr><th>岩質区分</th><th>地山単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>緩み高さ <math>h</math> (m)</th><th>荷重強度 <math>P_v</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>D</td><td>22.0</td><td>0.59</td><td>13.0</td><td></td></tr></table>  <p>(2) 地盤反力</p> <p>地盤反力は、トンネルの変形に応じた反力を、地盤ばねを介して構造に与える。地盤ばねの特性である地盤反力係数の設定は、「山岳トンネル設計施工標準・同解説、平成20年4月：鉄道建設・運輸施設整備支援機構」に示された算定式により算出する。なお、ばねは反力として作用するSLから40度以下の範囲に設定し、また、下半脚部支点はピン構造として支持する。</p> <table><tr><th colspan="5">表 地盤反力係数の設定</th></tr><tr><th>断面</th><th>補正係数 <math>\alpha</math></th><th>変形係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</th><th>覆工コンクリートの図心幅 <math>B</math> (m)</th><th>地盤バネ定数 (kN/m<sup>3</sup>)</th></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>500</td><td>7.80</td><td>1.821E+05</td></tr></table> | 荷重条件                          |                      |                             |                                       | 荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（t=500）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 $\alpha a'$ となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。 |    |                                |                   | (1) 荷重            |                                      |      |      | a) 自重                               |       |  |                                          | 覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m <sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。 |       |                                          |     | 表 自重 |  |  |  | 部材厚 (cm) | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 荷重強度 $g$ (kN/m) | 摘 要 | 50.0 | 23.5 | 11.75 |  | 表 作用土圧 |  |  |  | 岩質区分 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 緩み高さ $h$ (m) | 荷重強度 $P_v$ (kN/m) | 摘 要 | D | 22.0 | 0.59 | 13.0 |  | 表 地盤反力係数の設定 |  |  |  |  | 断面 | 補正係数 $\alpha$ | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) | D | 1 | 500 | 7.80 | 1.821E+05 |
| 荷重条件                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（t=500）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 $\alpha a'$ となる上載荷重）を逆算より求め、設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| (1) 荷重                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| a) 自重                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m <sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 表 自重                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 部材厚 (cm)                                                                                                                                                                                        | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 荷重強度 $g$ (kN/m)               | 摘 要                  |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 50.0                                                                                                                                                                                            | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 11.75                         |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 表 作用土圧                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 岩質区分                                                                                                                                                                                            | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 緩み高さ $h$ (m)                  | 荷重強度 $P_v$ (kN/m)    | 摘 要                         |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| D                                                                                                                                                                                               | 22.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.59                          | 13.0                 |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 表 地盤反力係数の設定                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 断面                                                                                                                                                                                              | 補正係数 $\alpha$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| D                                                                                                                                                                                               | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 500                           | 7.80                 | 1.821E+05                   |                                       |                                                                                                                        |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |                                                                  |       |                                          |     |      |  |  |  |          |                                          |                 |     |      |      |       |  |        |  |  |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |             |  |  |  |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |

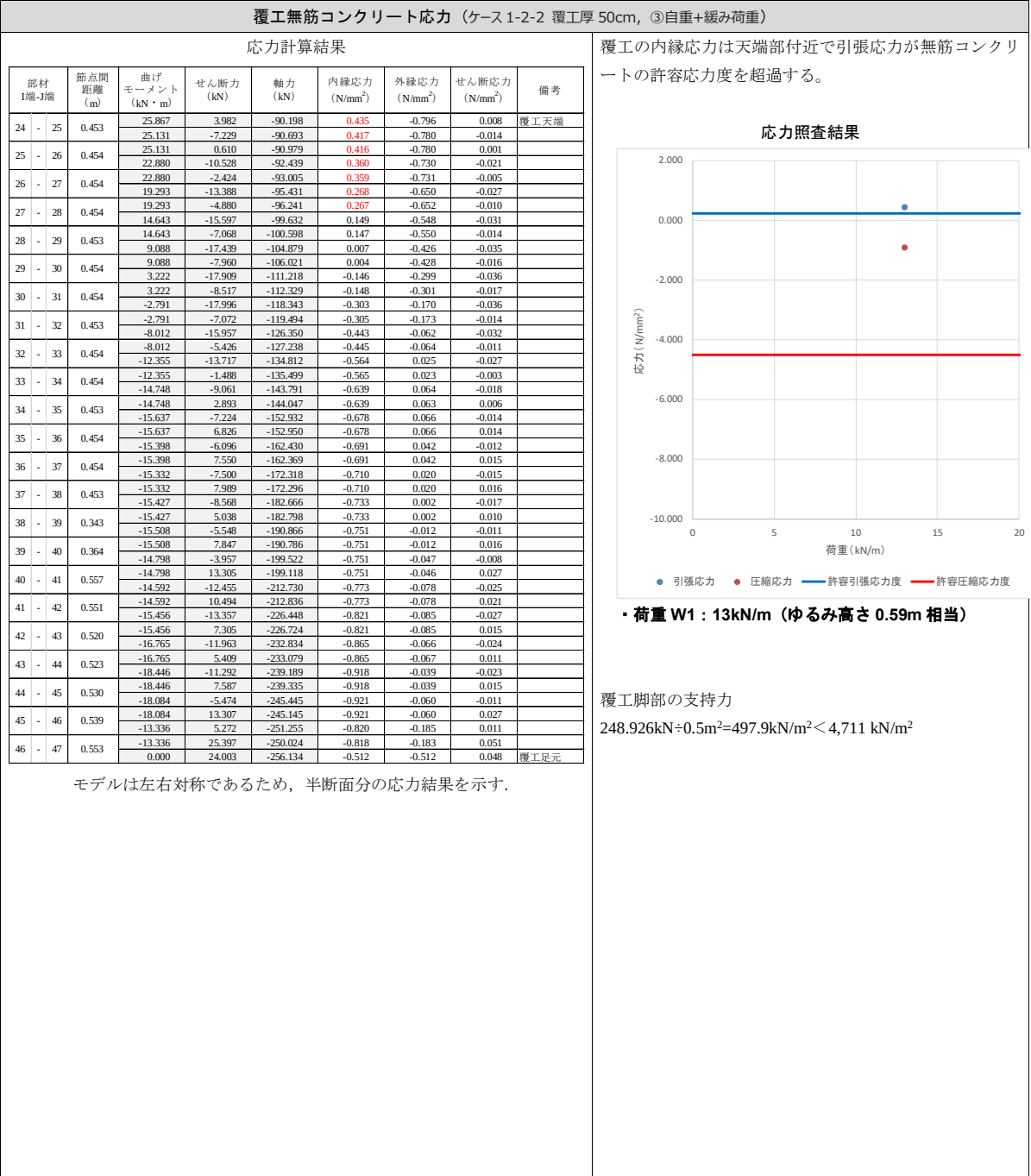
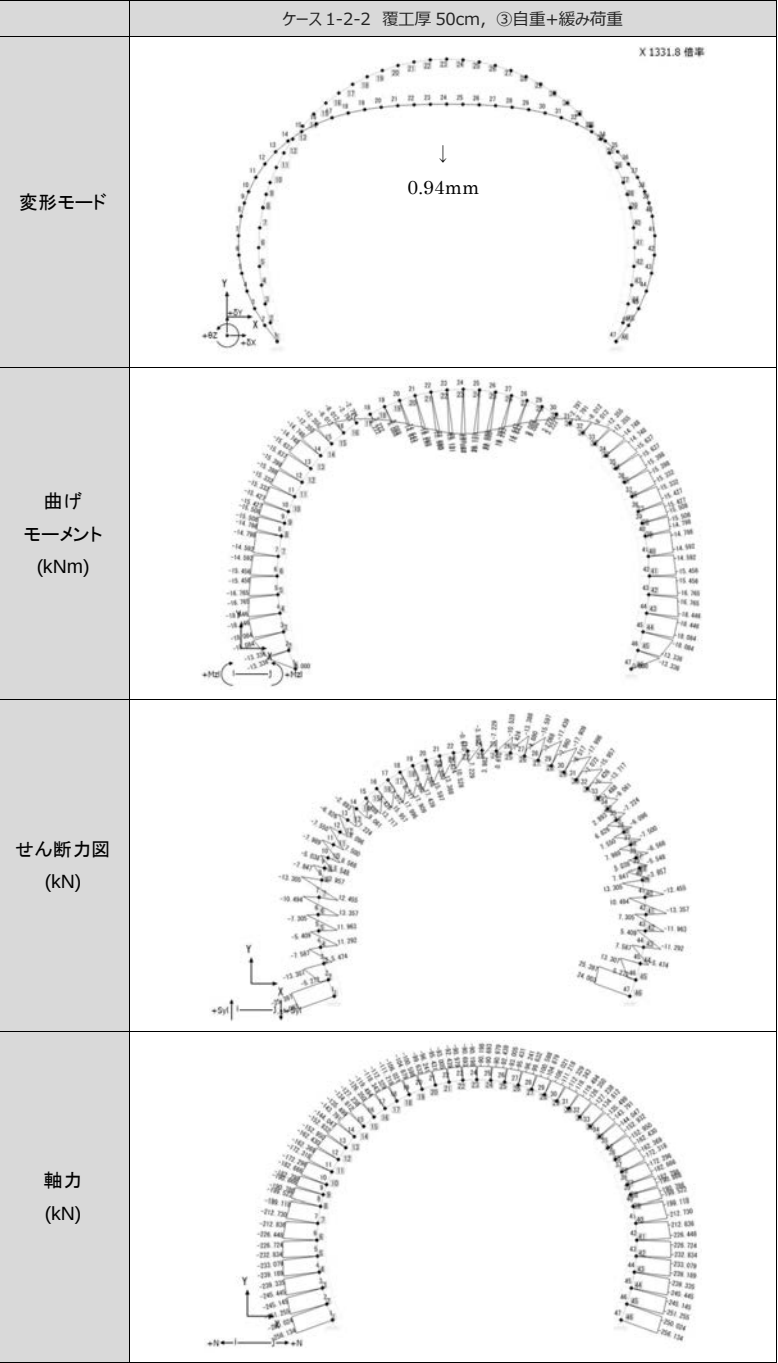
●解析結果：ケース1-2-2 覆工厚 50cm, ①自重



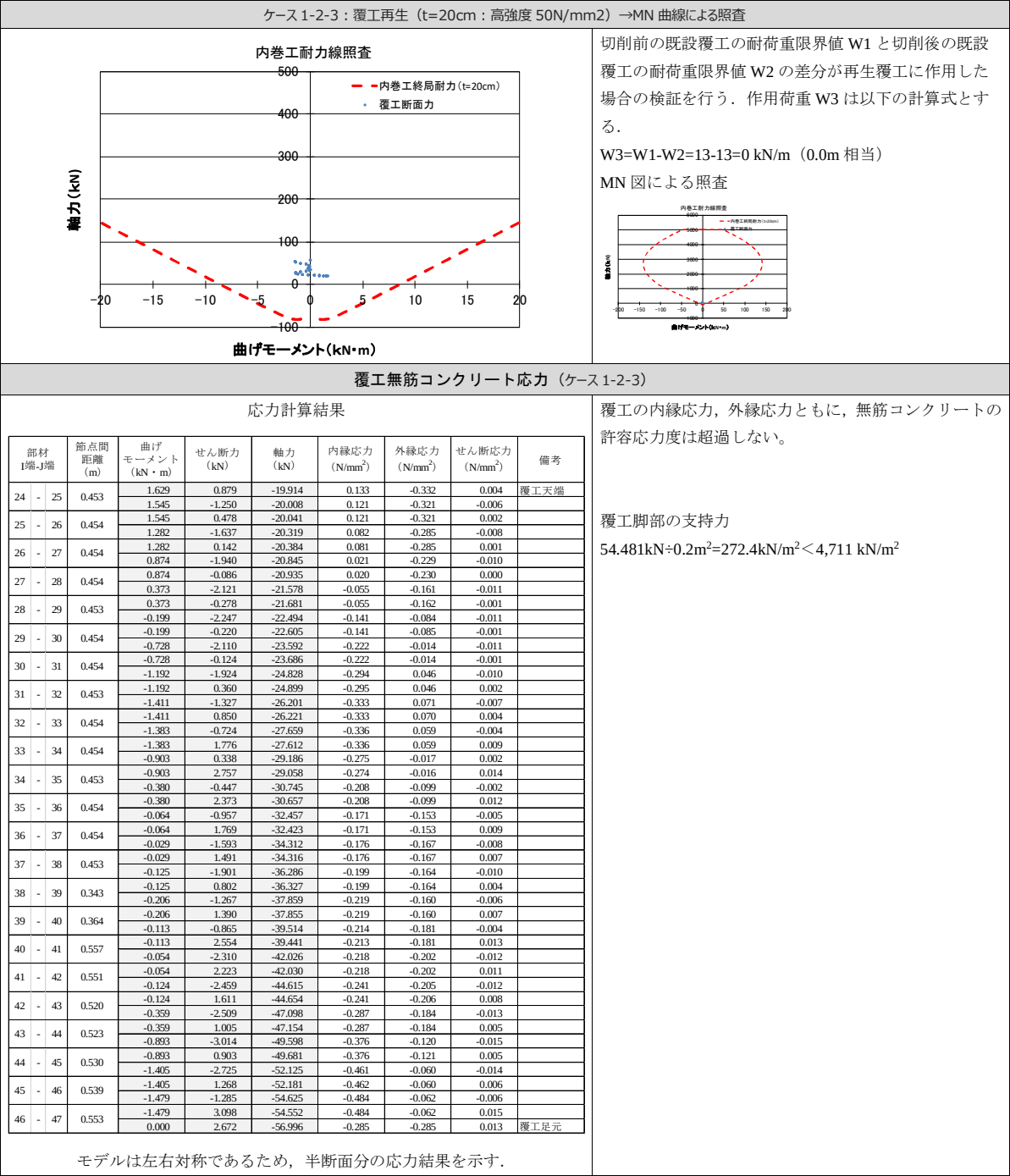
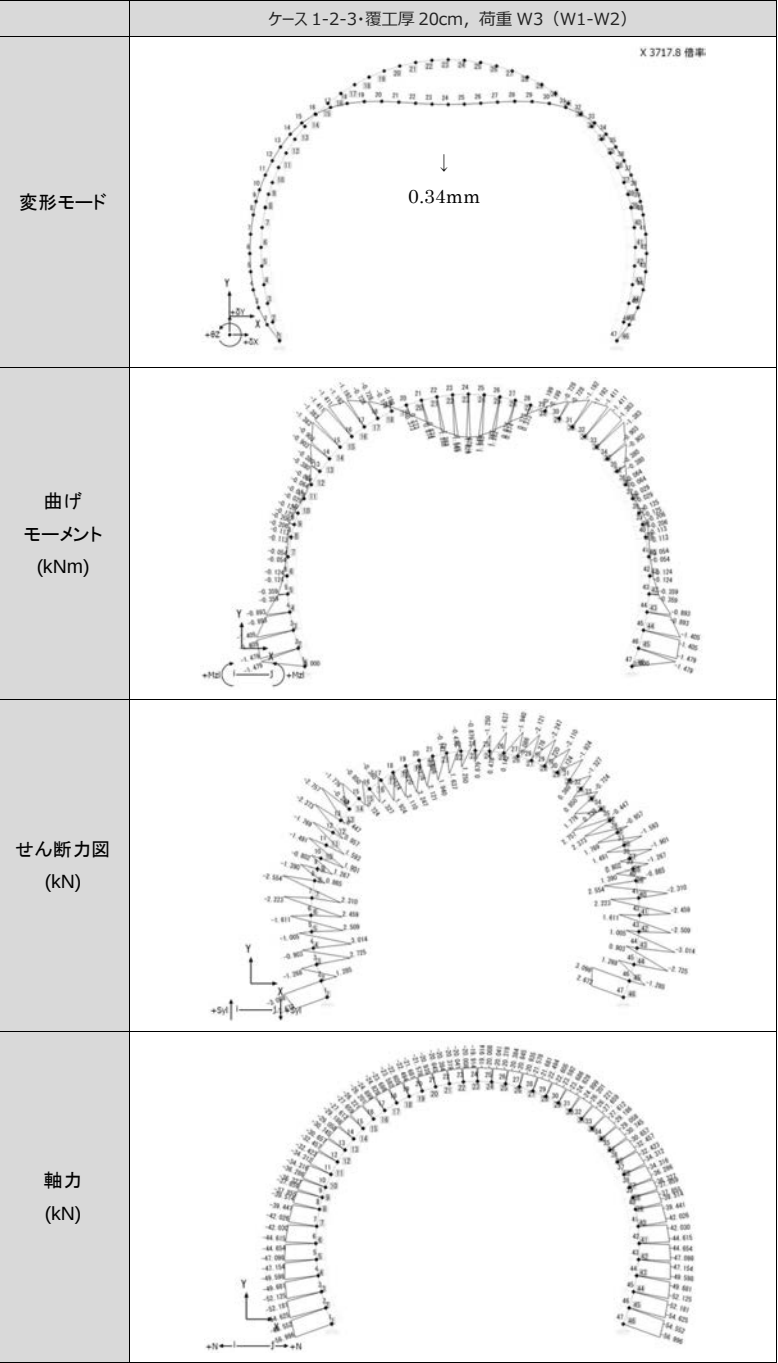
●解析結果：ケース1-2-2 覆工厚 50cm，②ゆるみ荷重



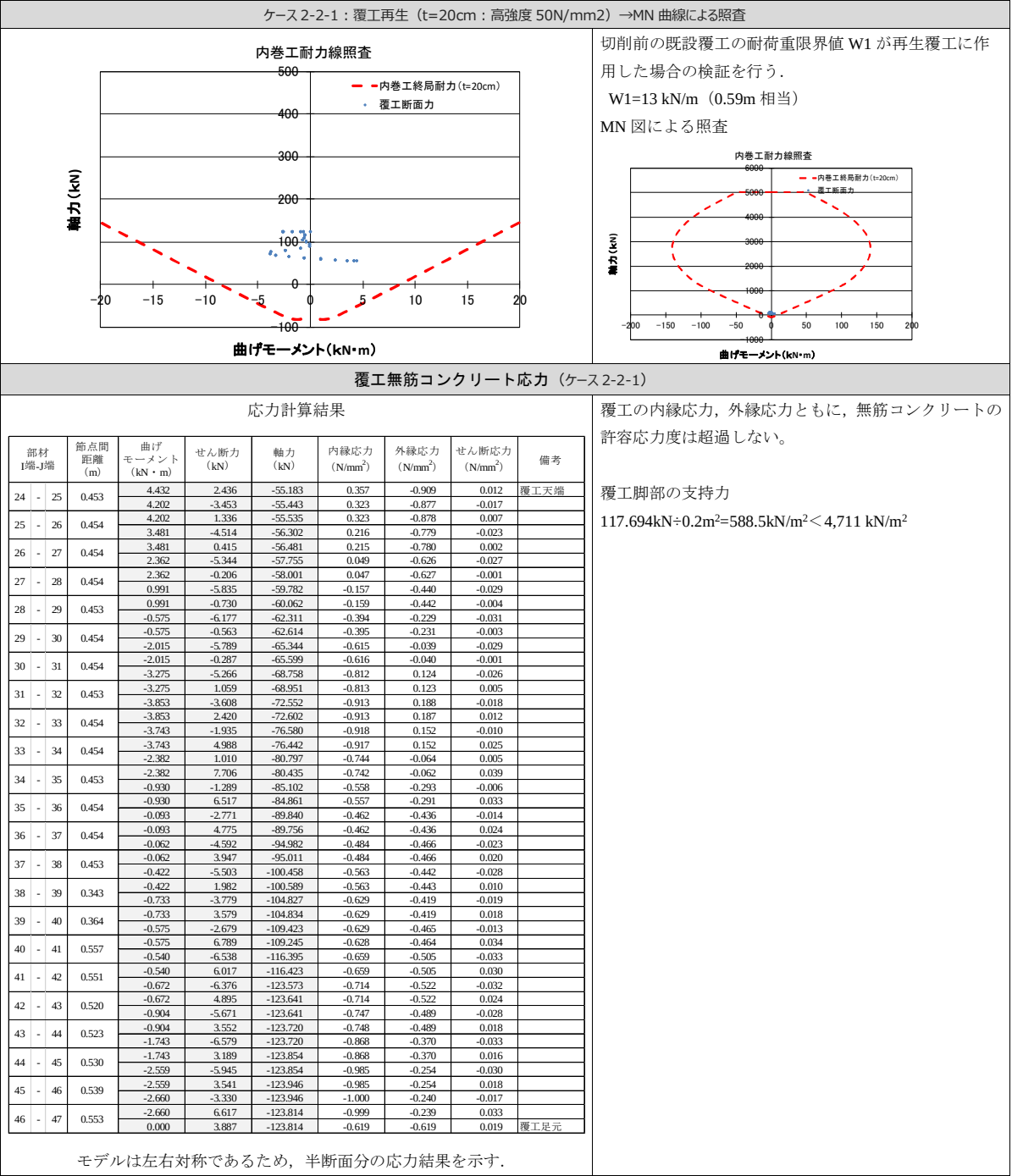
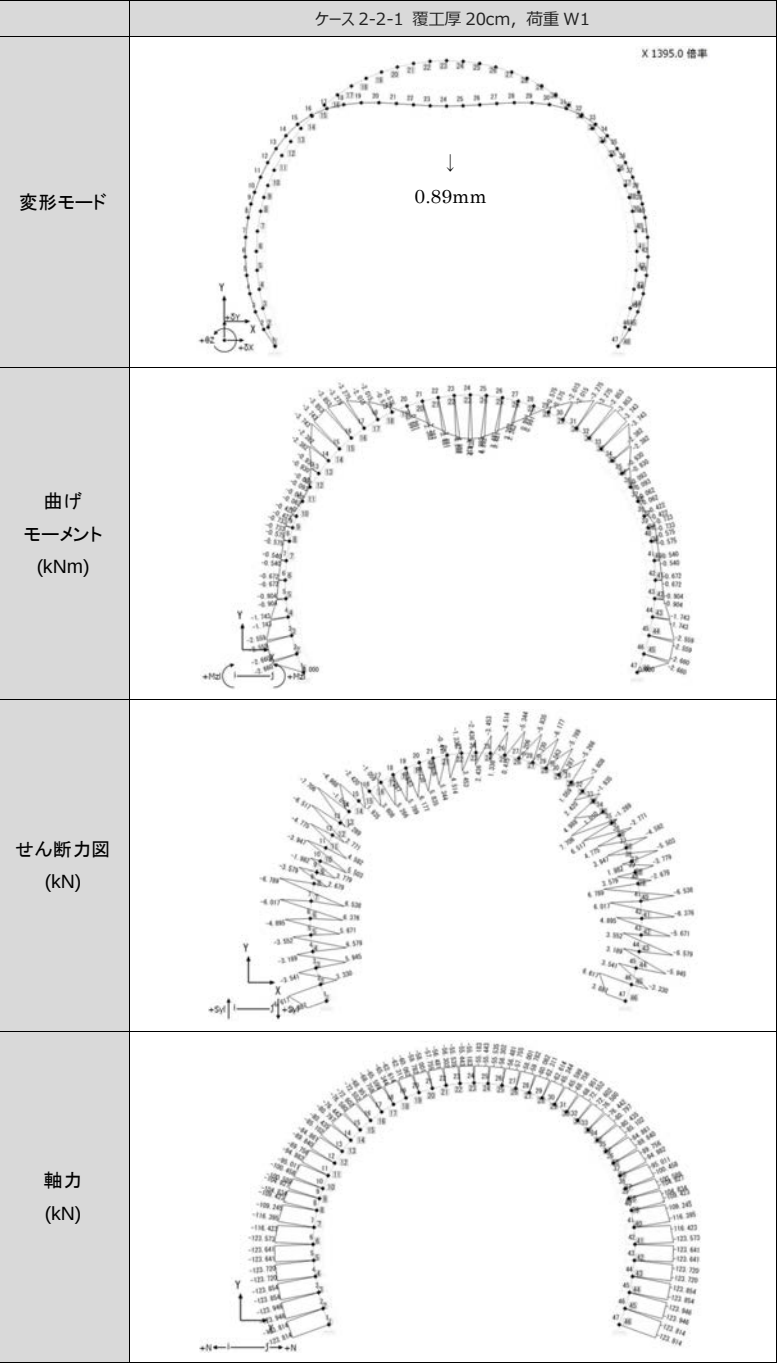
●解析結果：ケース1-2-2 覆工厚 50cm, ③自重+緩み荷重



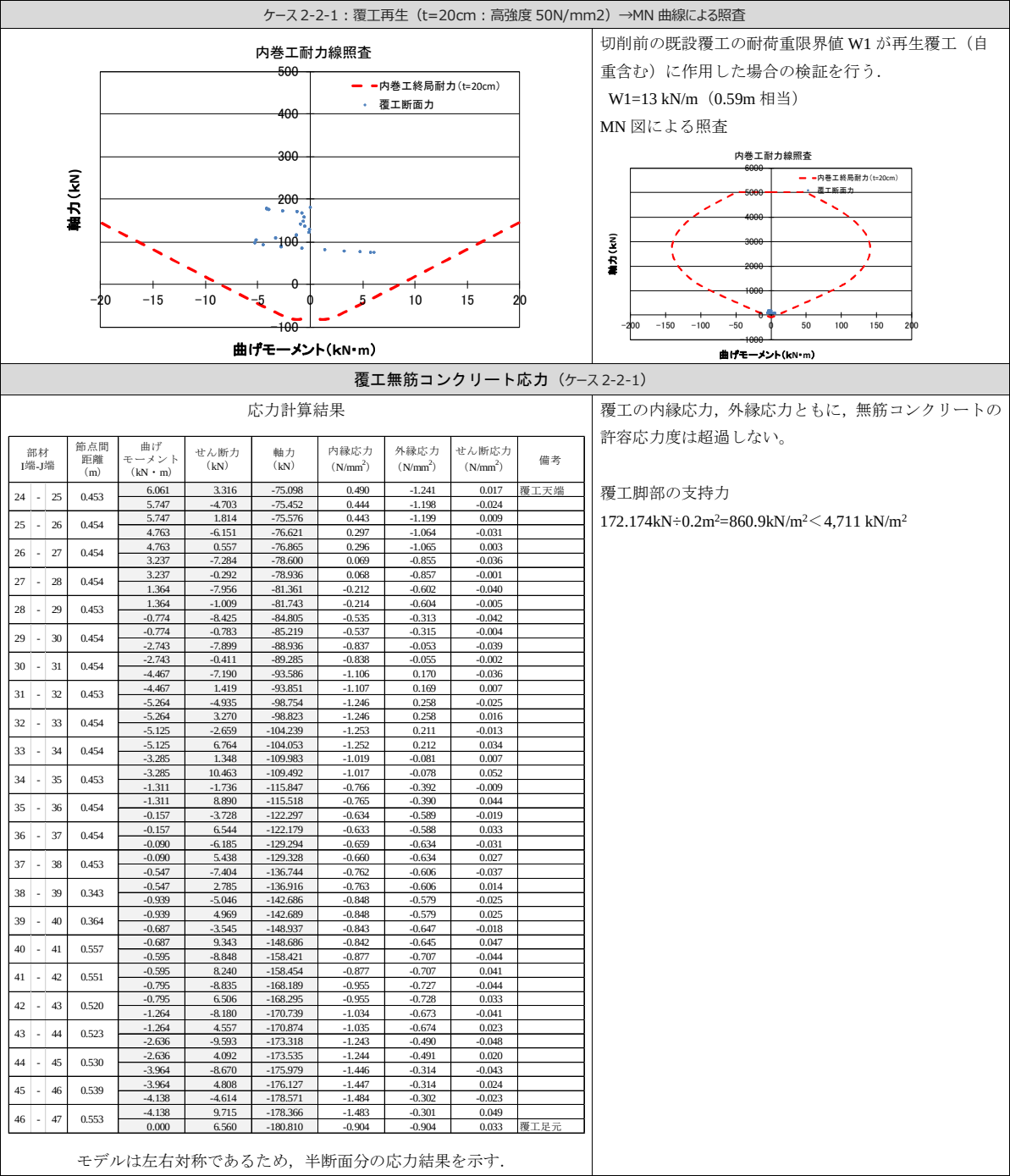
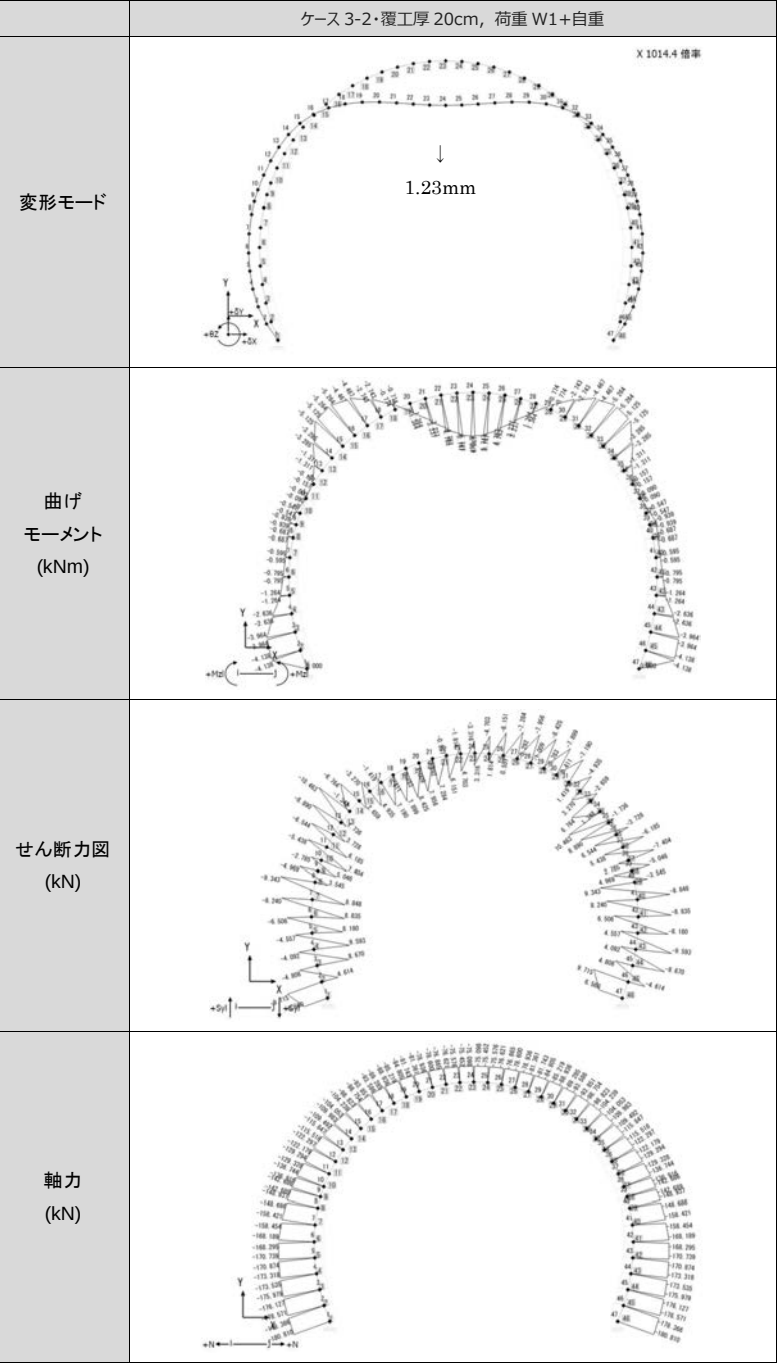
●解析結果：ケース 再生覆工厚 20cm, 荷重 W3 (W1-W2)

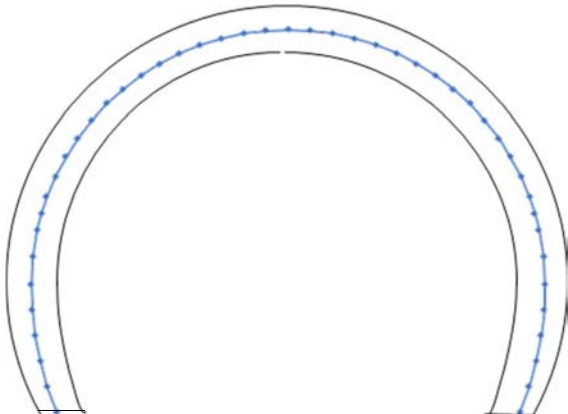
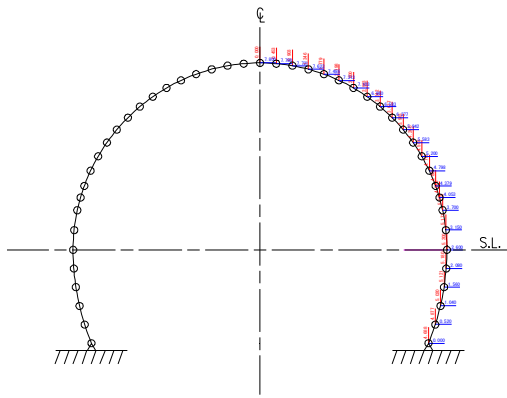
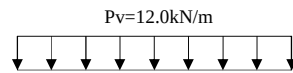
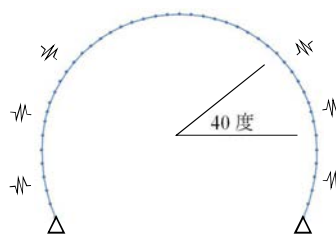


●解析結果：ケース2-2-1 再生覆工厚 20cm, 荷重 W1

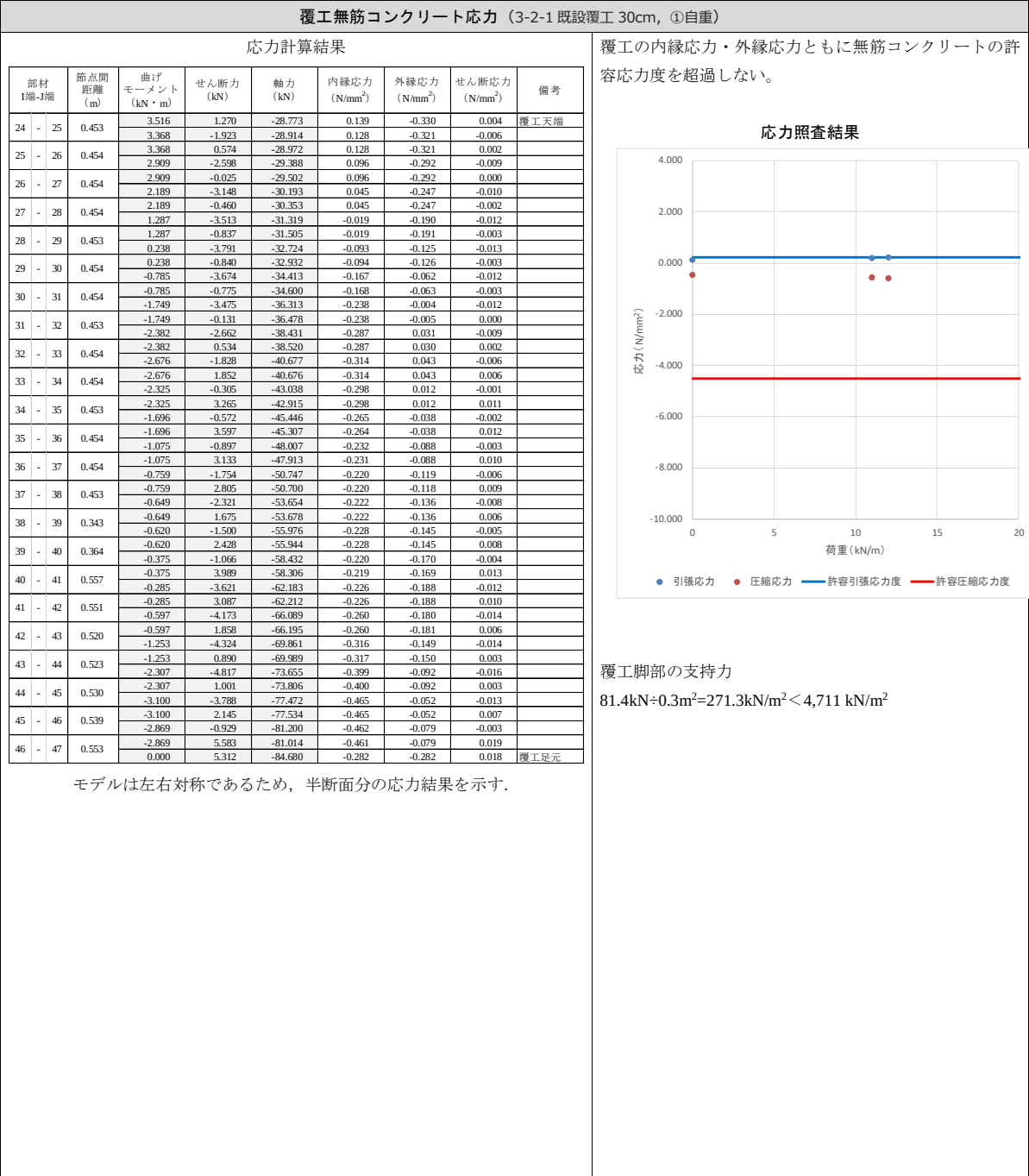
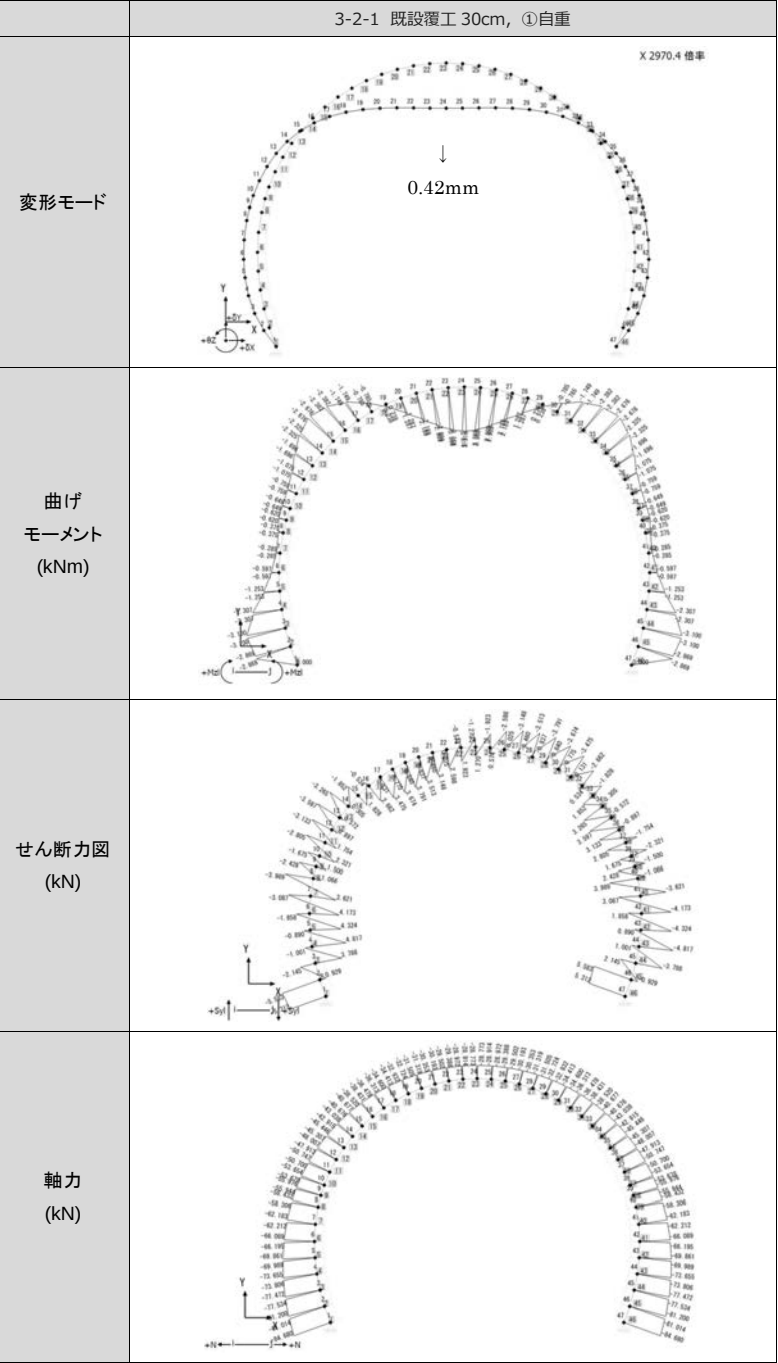


●解析結果：ケース2-2-1 再生覆工厚 20cm, 荷重 W1+自重

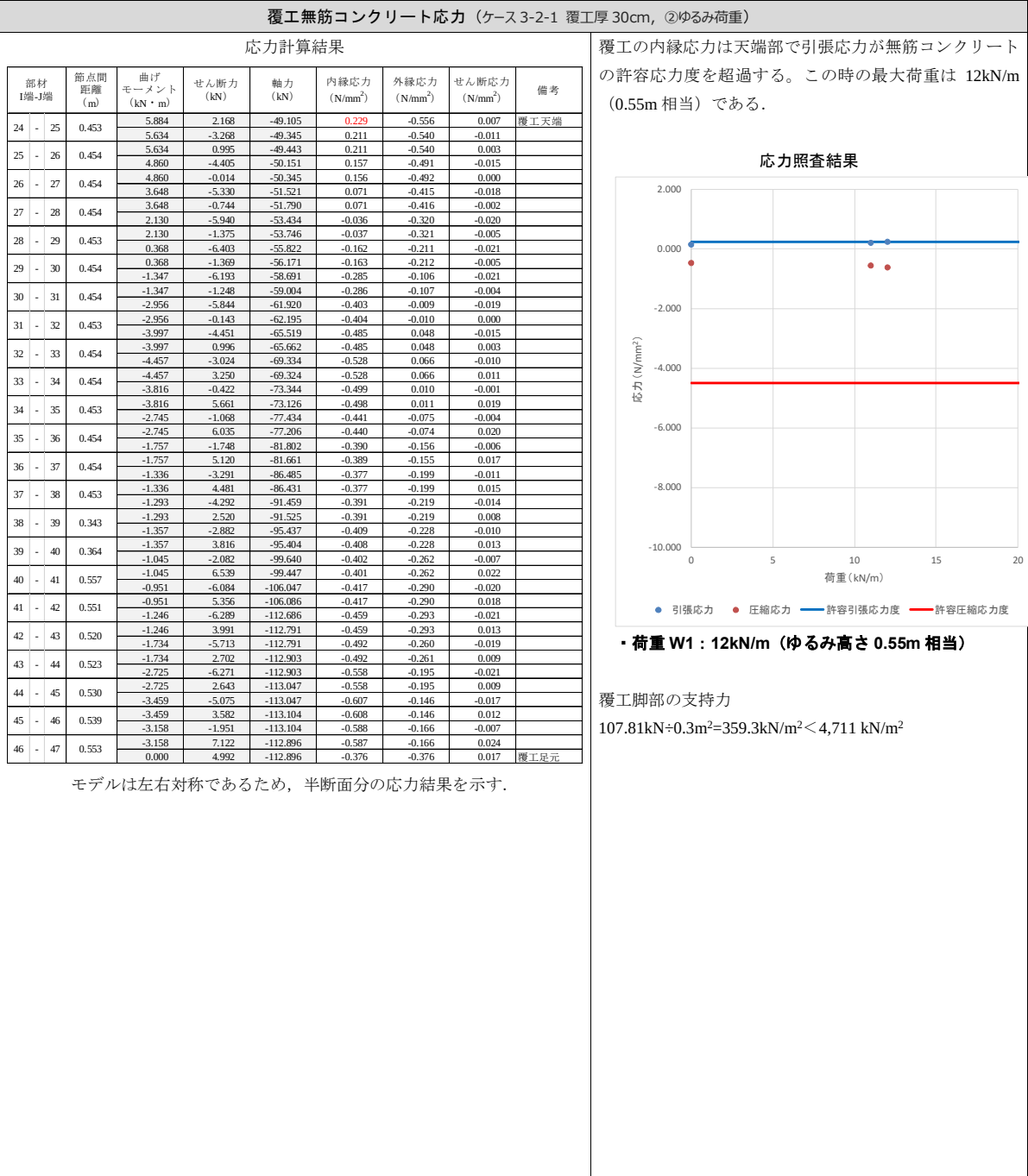
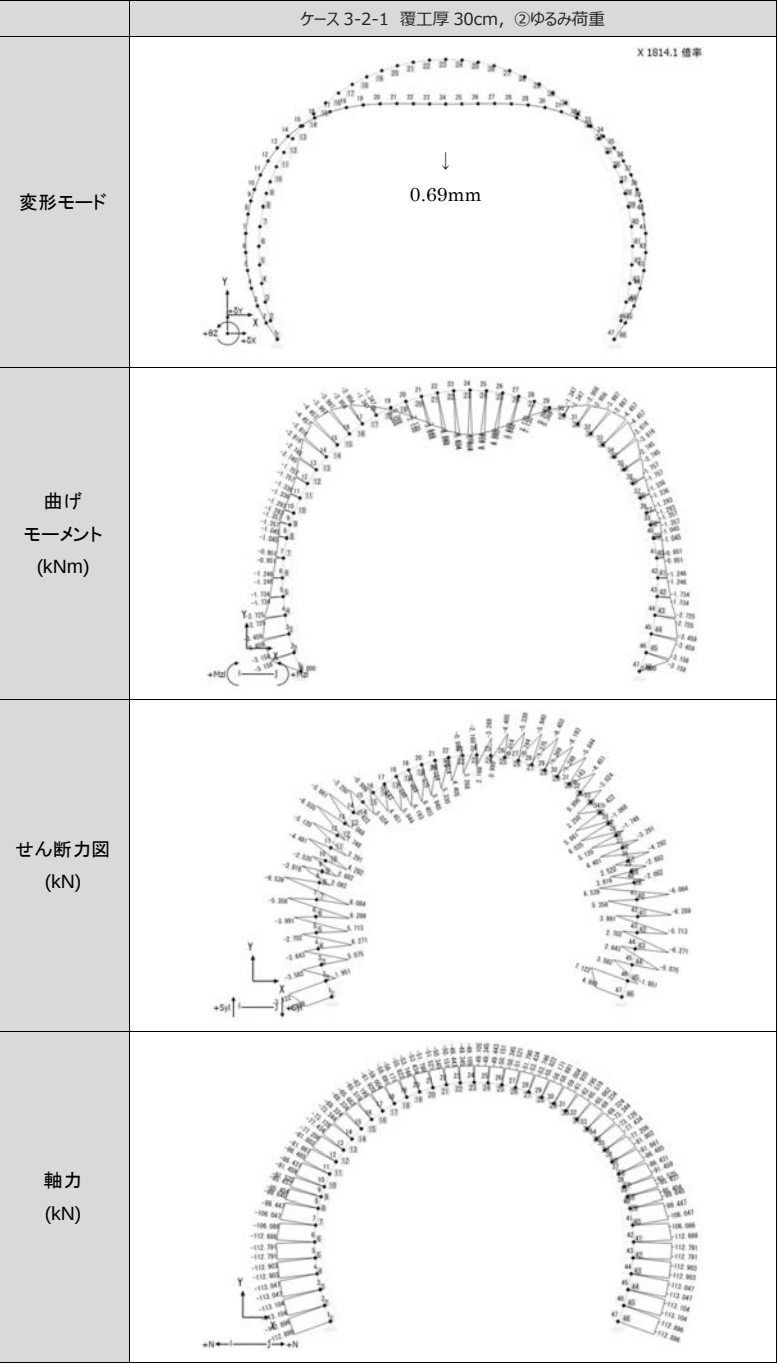


| ケース 3-2-1：標準巻厚 30cm：①自重，②ゆるみ荷重，③自重+緩み荷重，周方向の地盤バネ（SL から 40 度以下固定）、せん断バネなし                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 既設覆工・再生覆工コンクリート材料                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----|----|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|-------------------------------------|-------|--|------------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------|-----|------|----------|------------------------------------------|-----------------|-----|------|------|------|--|------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-----|---|------|------|------|--|----|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---|-----|------|-----------|
| <p>検討対象トンネル断面は、標準巻厚 30cm のトンネルを想定する。</p> <p>本解析ケースの覆工設計巻厚は 30cm とし，既設覆工の耐荷重限界値 W4 を算出する。</p> <p>なお、解析モデルのフレーム軸線は切削後の再生覆工（20cm）の図心を通るものとする。</p> <div></div> <p>覆工構造</p> <div></div> <p>フレームモデル</p> | <table><tr><th colspan="2">覆工コンクリート</th><th>再生覆工</th></tr><tr><td>設計基準強度 <math>f'_{ck}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>18</td><td>50</td></tr><tr><td>ヤング係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td><math>2.2 \times 10^4</math></td><td><math>3.3 \times 10^4</math></td></tr><tr><td>単位体積重量 <math>\gamma</math>(kN/m<sup>3</sup>)</td><td>23.5</td><td>23.5</td></tr><tr><td>引張強度 <math>f'_{tk}</math>(N/mm<sup>2</sup>)</td><td>1.579</td><td></td></tr><tr><td>許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>0.225</td><td>0.625</td></tr><tr><td>許容圧縮応力度 <math>\alpha a'</math> (N/mm<sup>2</sup>)</td><td>4.5</td><td>12.5</td></tr></table> <p>荷重条件</p> <p>荷重はトンネル覆工の自重と、周辺地山の緩み荷重を考慮する。緩み荷重は設計巻厚（<math>t=300</math>）で負担できる最大ゆるみ荷重（許容引張応力度 <math>\alpha a'</math> となる上載荷重）を逆算より求め，設定する。なお同荷重は鉛直方向のみ作用させる。</p> <p>（1）荷重</p> <p>a）自重</p> <p>覆工の自重は無筋コンクリートの単位体積重量を 23.5kN/m<sup>3</sup> として、これに部材厚を乗じて設定する。</p> <table><caption>表 自重</caption><tr><th>部材厚 (cm)</th><th>コンクリート単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>荷重強度 <math>g</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>30.0</td><td>23.5</td><td>7.05</td><td></td></tr></table> <div></div> <p>b) 土荷重</p> <p>算出された緩み荷重を下表に示す。土圧は鉛直のみを考慮する。</p> <table><caption>表 作用土圧</caption><tr><th>岩質区分</th><th>地山単位重量 <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</th><th>緩み高さ <math>h</math> (m)</th><th>荷重強度 <math>P_v</math> (kN/m)</th><th>摘 要</th></tr><tr><td>D</td><td>22.0</td><td>0.55</td><td>12.0</td><td></td></tr></table> <div></div> <p>（2）地盤反力</p> <p>地盤反力は、トンネルの変形に応じた反力を、地盤ばねを介して構造に与える。地盤ばねの特性である地盤反力係数の設定は、「山岳トンネル設計施工標準・同解説，平成20年4月：鉄道建設・運輸施設整備支援機構」に示された算定式により算出する。なお、ばねは反力として作用するSLから40度以下の範囲に設定し，また，下半脚部支点はピン構造として支持する。</p> <table><caption>表 地盤反力係数の設定</caption><tr><th>断面</th><th>補正係数 <math>\alpha</math></th><th>変形係数 <math>E</math> (N/mm<sup>2</sup>)</th><th>覆工コンクリートの図心幅 <math>B</math> (m)</th><th>地盤バネ定数 (kN/m<sup>3</sup>)</th></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>500</td><td>7.80</td><td>1.821E+05</td></tr></table> | 覆工コンクリート                      |                      | 再生覆工                        | 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 18 | 50 | ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $2.2 \times 10^4$ | $3.3 \times 10^4$ | 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 23.5 | 23.5 | 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 1.579 |  | 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 0.225 | 0.625 | 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 4.5 | 12.5 | 部材厚 (cm) | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 荷重強度 $g$ (kN/m) | 摘 要 | 30.0 | 23.5 | 7.05 |  | 岩質区分 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 緩み高さ $h$ (m) | 荷重強度 $P_v$ (kN/m) | 摘 要 | D | 22.0 | 0.55 | 12.0 |  | 断面 | 補正係数 $\alpha$ | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) | D | 1 | 500 | 7.80 | 1.821E+05 |
| 覆工コンクリート                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 再生覆工                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 50                            |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $2.2 \times 10^4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $3.3 \times 10^4$             |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 23.5                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 引張強度 $f'_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1.579                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 許容引張応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.225                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.625                         |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 許容圧縮応力度 $\alpha a'$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 4.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 12.5                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 部材厚 (cm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | コンクリート単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 荷重強度 $g$ (kN/m)               | 摘 要                  |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 30.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 23.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 7.05                          |                      |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 岩質区分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 地山単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 緩み高さ $h$ (m)                  | 荷重強度 $P_v$ (kN/m)    | 摘 要                         |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 22.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0.55                          | 12.0                 |                             |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| 断面                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 補正係数 $\alpha$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 変形係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 覆工コンクリートの図心幅 $B$ (m) | 地盤バネ定数 (kN/m <sup>3</sup> ) |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |
| D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 500                           | 7.80                 | 1.821E+05                   |                                       |    |    |                                |                   |                   |                                      |      |      |                                     |       |  |                                          |       |       |                                          |     |      |          |                                          |                 |     |      |      |      |  |      |                                      |              |                   |     |   |      |      |      |  |    |               |                               |                      |                             |   |   |     |      |           |

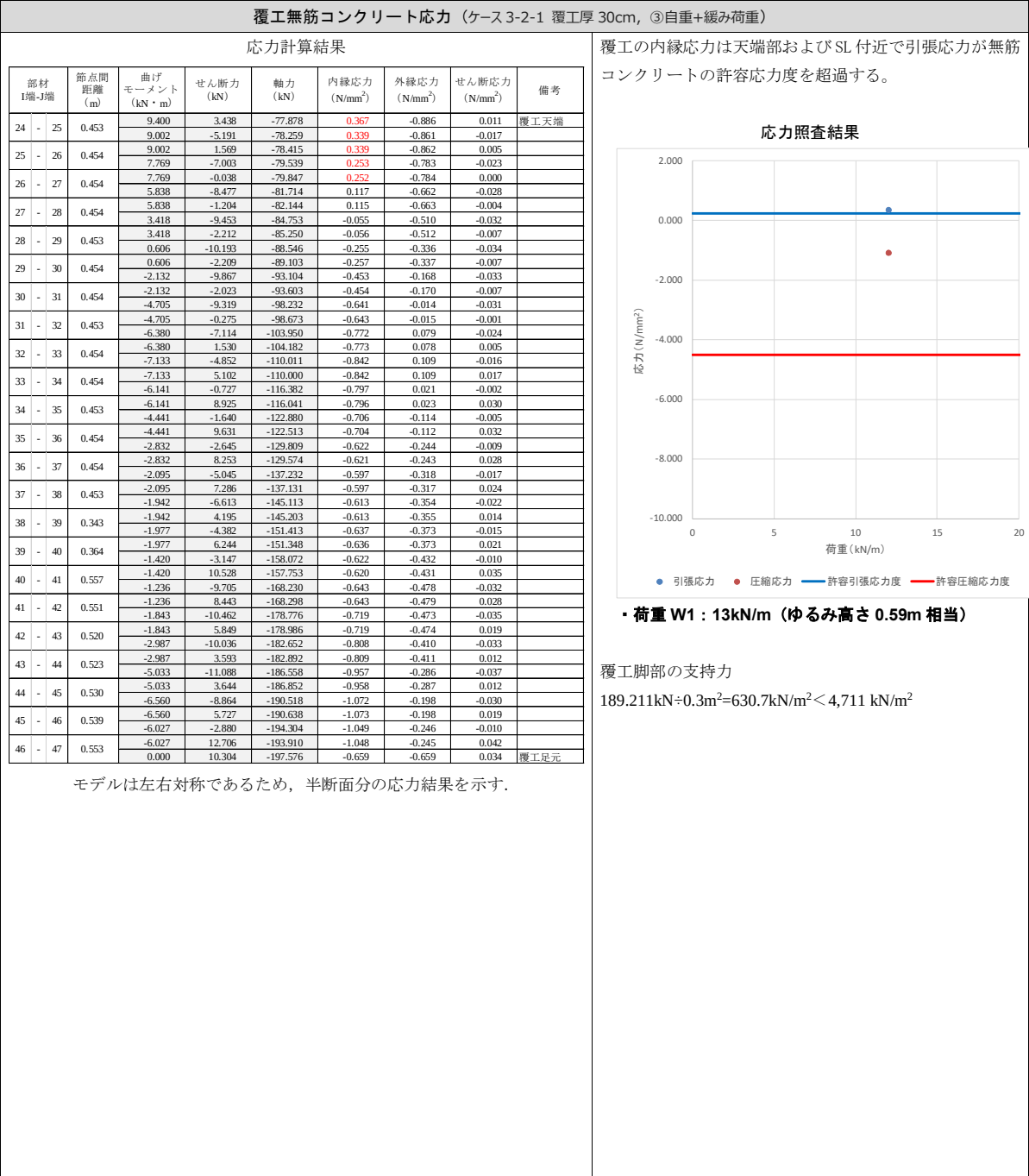
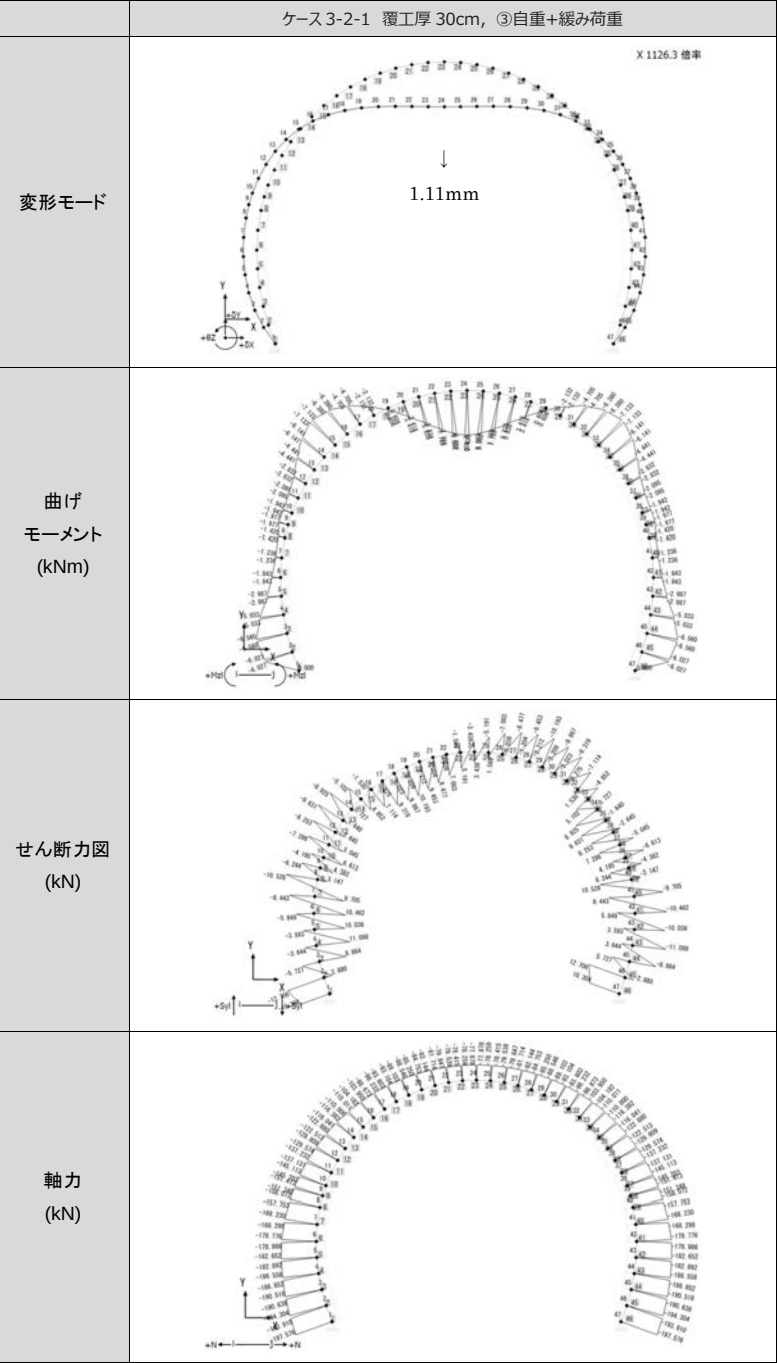
●解析結果：ケース3-2-1 既設覆工 30cm, ①自重



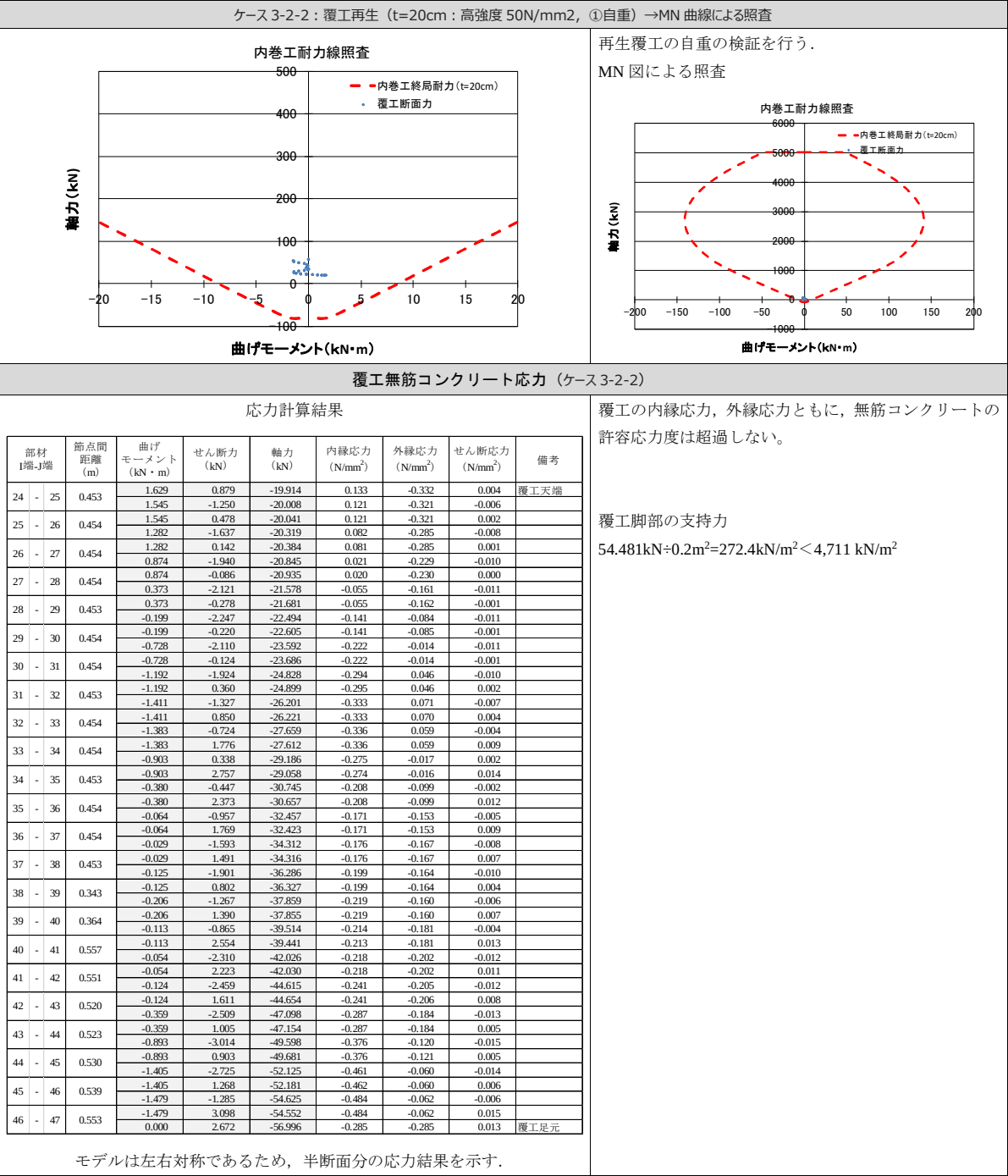
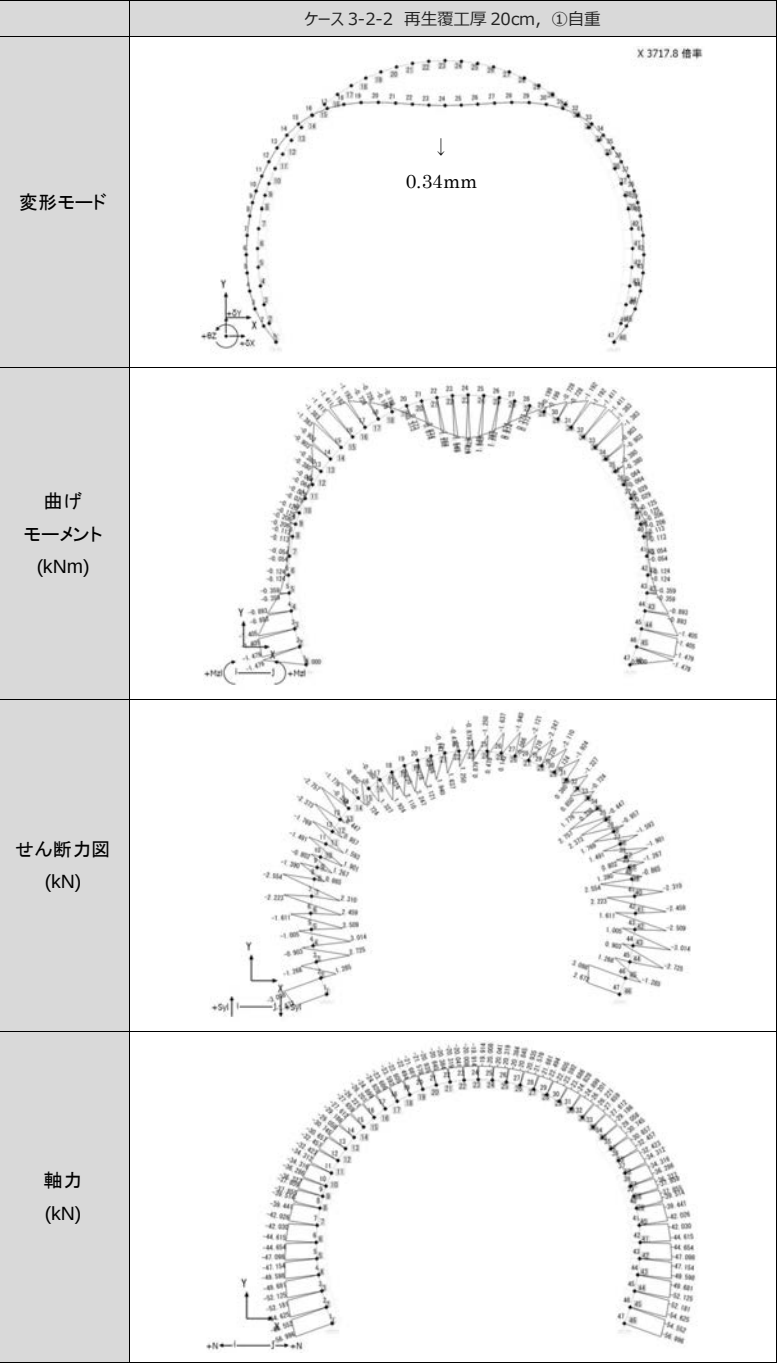
●解析結果：ケース3-2-1 覆工厚 30cm，②ゆるみ荷重



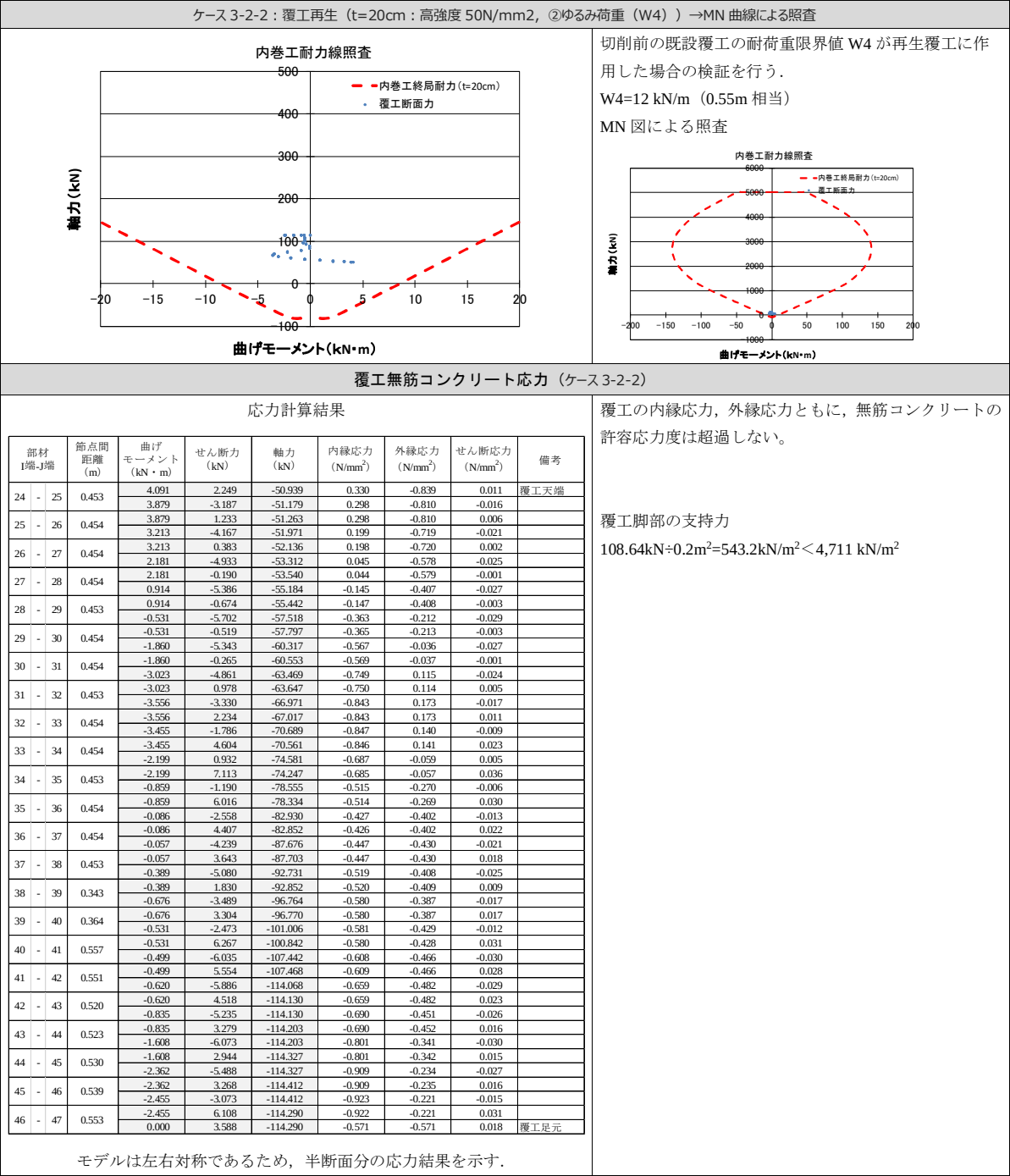
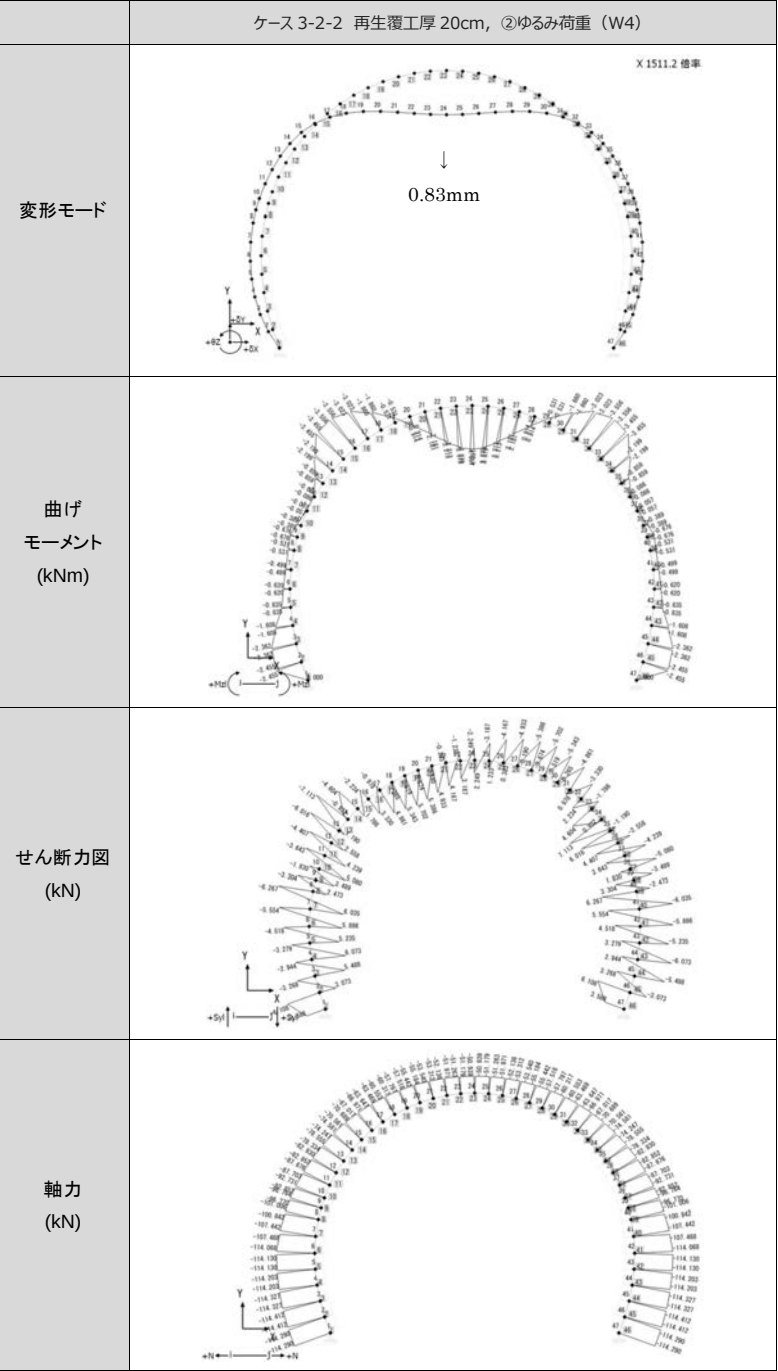
●解析結果：ケース3-2-1 覆工厚 30cm，③自重+緩み荷重



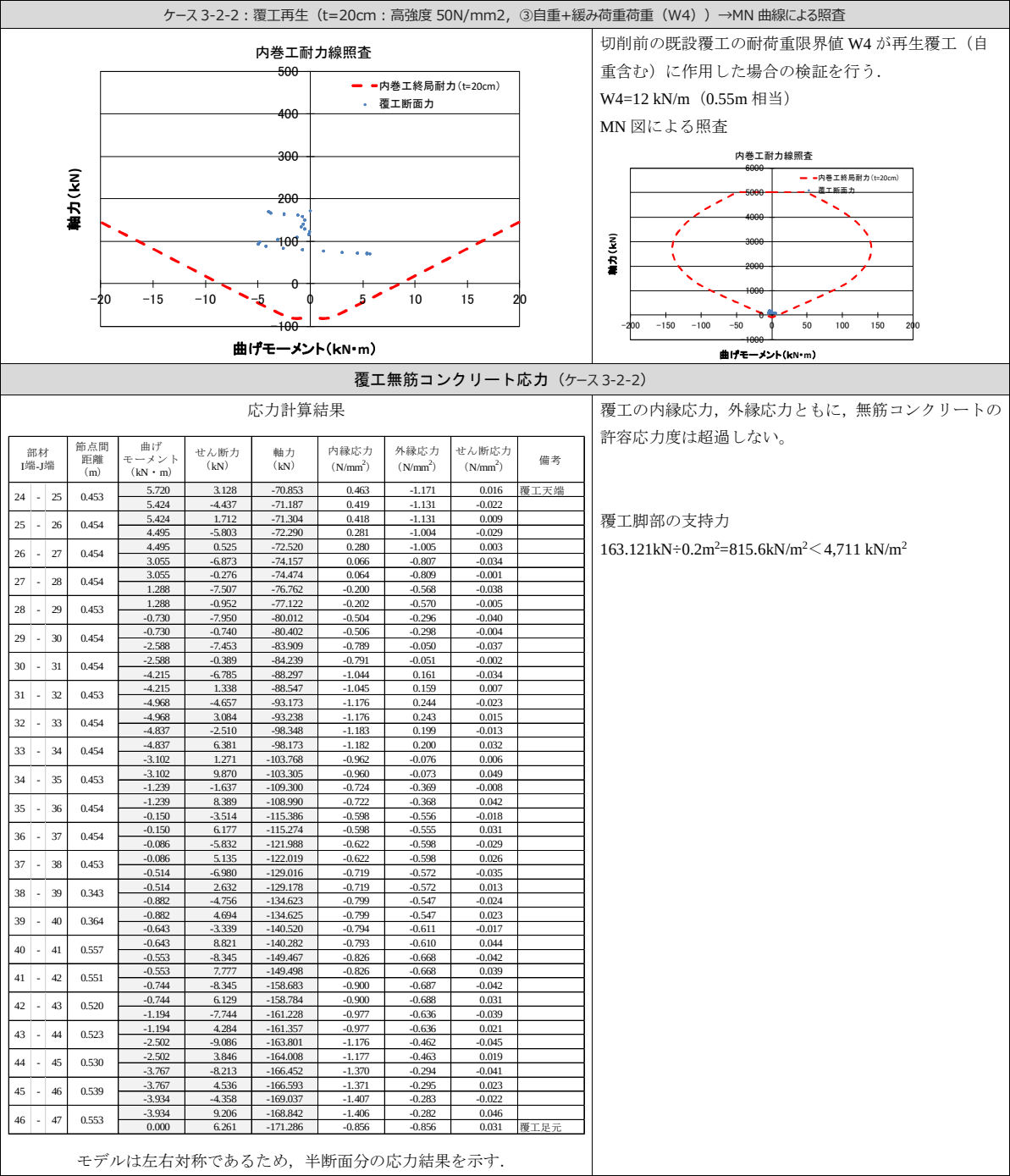
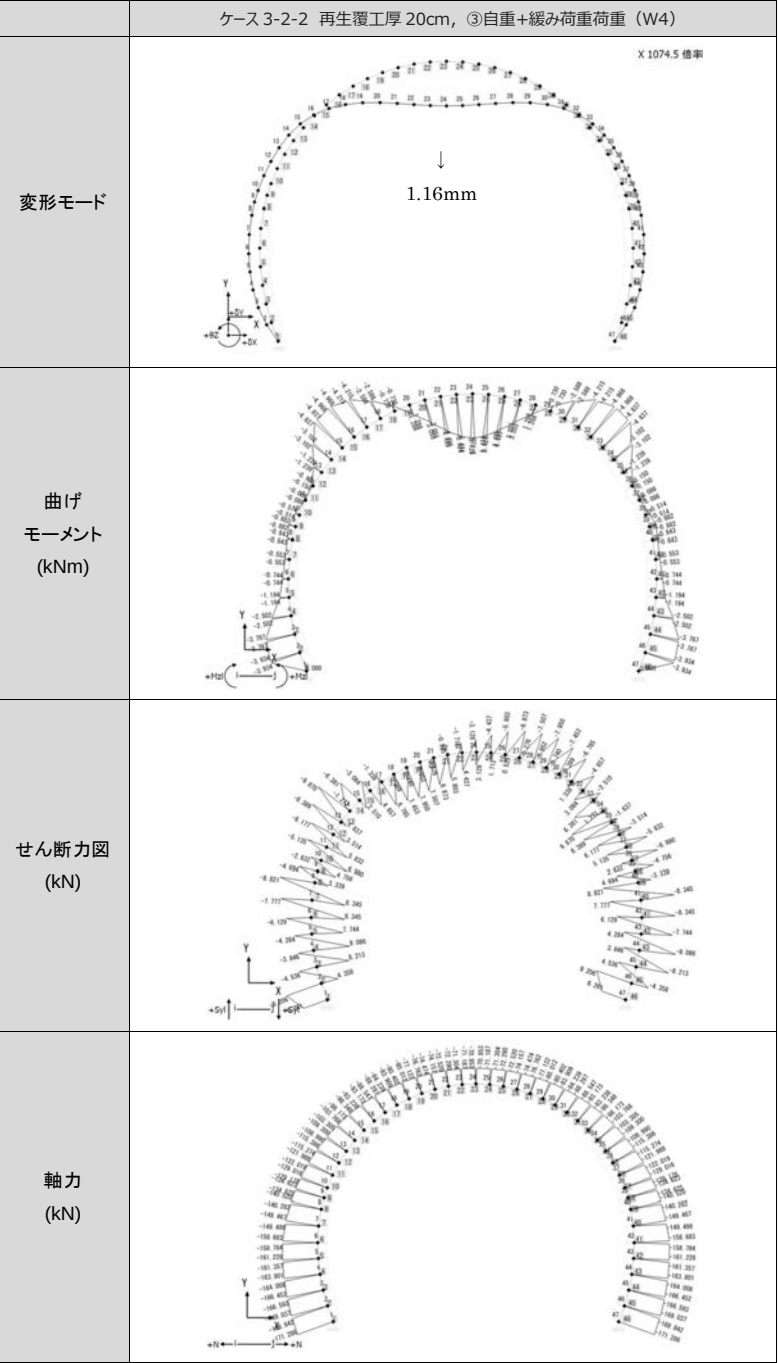
●解析結果:ケース3-2-2 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②ゆるみ荷重 (W4) , ③自重+緩み荷重荷重 (W4)



●解析結果:ケース 3-2-2 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②ゆるみ荷重 (W4), ③自重+緩み荷重荷重 (W4)



●解析結果: ケース 3-2-2 再生覆工厚 20cm, ①自重, ②ゆるみ荷重 (W4), ③自重+緩み荷重荷重 (W4)



### 3.6. 覆工切削(三次元 FDM)

覆工切削の解析条件を以下に示す。

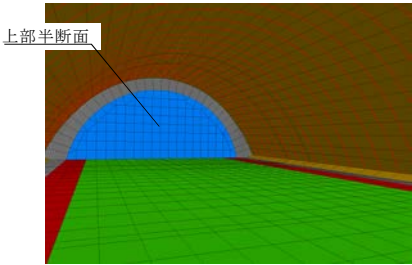
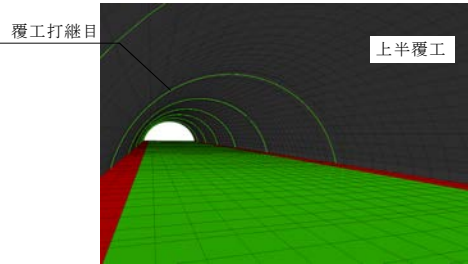
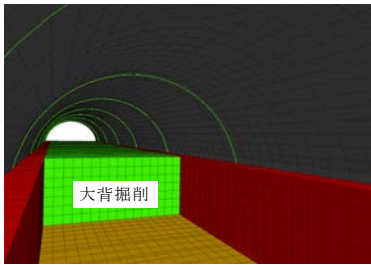
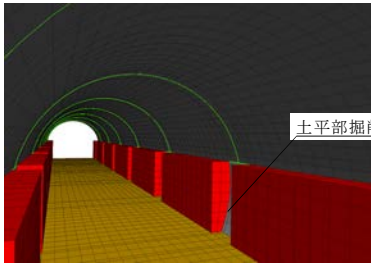
- ・ 覆工切削の一切削長さは、支保工建込間隔に合わせ、地山等級 C (1.0m)、地山等級 D (0.75m) とする。
- ・ 覆工切削モデルは、覆工全周を同一幅で切削するものとする。
- ・ 覆工切削に先行してロックボルトを打設する。ロックボルト材料は、異形棒鋼とする。
- ・ 覆工切削は、施工過程を考慮して横断半断面切削を先行し、縦断方向の切削範囲を施工した段階で残り半断面を切削する。
- ・ 本検討では切削厚は 20cm とする。
- ・ 既設覆工の応力限界値を確認する (許容応力度照査)。

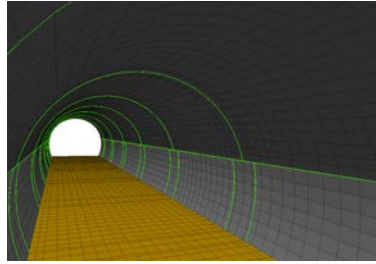
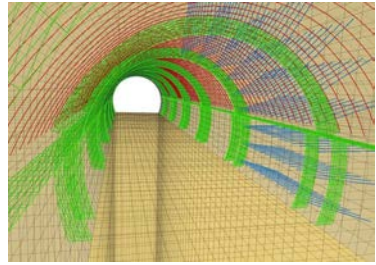
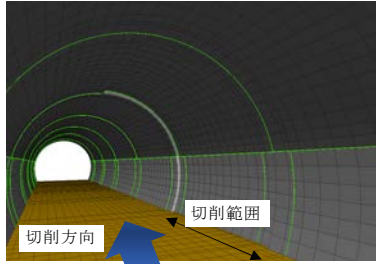
表 1.1 切削施工の検討ケース

| 解析<br>ケース | 岩質<br>区分 | 既設<br>覆工厚 | 切削<br>厚さ | 覆工切削長<br>(縦断方向)                              | 事前補強<br>(ロックボルト)                              |
|-----------|----------|-----------|----------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| CASE-1    | C        | 55cm      | 20cm     | ・ 縦断方向の覆工切削を<br>1.0m間隔で延伸<br>(既覆工耐力が許容するまで)  | ・ 鉛直方向<br>※ボルト長、周方向間隔<br>等は、パターンボルト<br>を参考とする |
| CASE-2    | D        | 70cm      | 20cm     | ・ 縦断方向の覆工切削を<br>0.75m間隔で延伸<br>(既覆工耐力が許容するまで) | ・ 鉛直方向<br>※ボルト長、周方向間隔<br>等は、パターンボルト<br>を参考とする |

■覆工切削時の安定性検討（三次元 FDM）

（１）解析ステップ（C 等級地山）

| Step                                                                | model                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Step1</b><br>上部半断面掘削<br>: 1.00m 逐次掘削<br>鋼製支保工<br>: 切羽から 1.00m 遅れ |    |
| <b>Step2</b><br>上半覆工<br>: 10.5m 逐次打設<br>打継目あり                       |    |
| <b>Step3</b><br>大背掘削<br>: 1.00m 逐次掘削                                |   |
| <b>Step4</b><br>大背切羽 50m 後方より<br>土平部掘削解放後、<br>足付コンクリート打設<br>水平打継目あり |  |

| Step                                                                                                            | model                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Step5</b><br>土平部掘削解放後、<br>側壁コンクリート打設<br>水平・打継目あり                                                             |   |
| <b>Step6</b><br>ロックボルト打設                                                                                        |   |
| <b>Step7</b><br>覆工切削厚（20cm）<br><br>・ 切削幅：<br>1 掘進長（1.00m）×84 シフト<br>=84.0m（8 スパン長分：10.5m×8 スパン）<br>※覆工目地部から切削開始 |  |

○ロックボルト諸元

|        | 単位<br>体積重量                    | 弾性係数                           | ポアソン比 | ボルト径        | 要素   | 備考       |
|--------|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------------|------|----------|
|        | $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) | E (MPa) [kgf/cm <sup>2</sup> ] | $\nu$ | $\phi$ (mm) |      |          |
| ロックボルト | 7800                          | 210,000 [2100,000]             | 0.3   | 25          | beam | ボルト長4.0m |

※ロックボルト：異形棒鋼とする。

### 3) 事前補強のロックボルトを打設するケース (L=84.0m区間逐次切削)

切削長に対する検証を行う。切削延長を下図に示すように 84.0m 区間 (1.0m×84 ステップ: 10.5m ×8 スパン) とし、各掘削時点における足付け部である断面位置①～⑥に着目し、応力分布、覆工コンクリート挙動やロックボルト軸力の検証を行う。

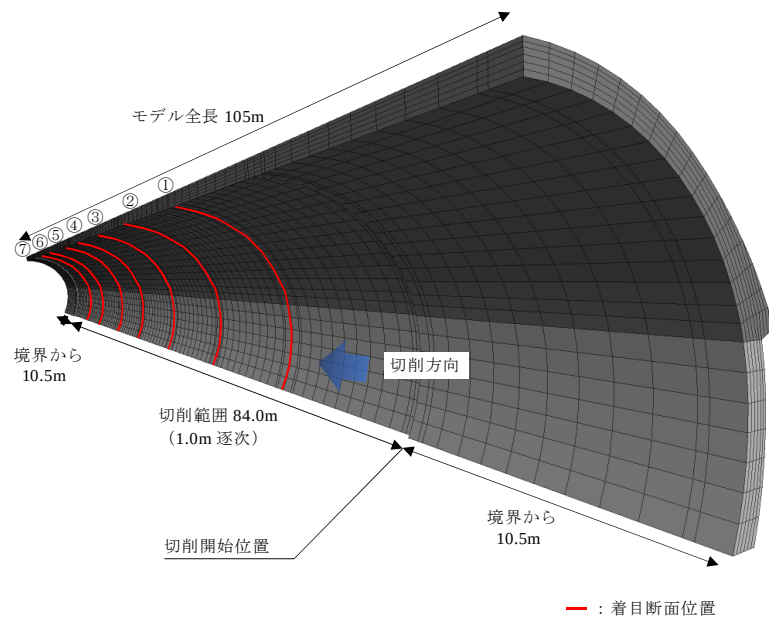


図 切削範囲

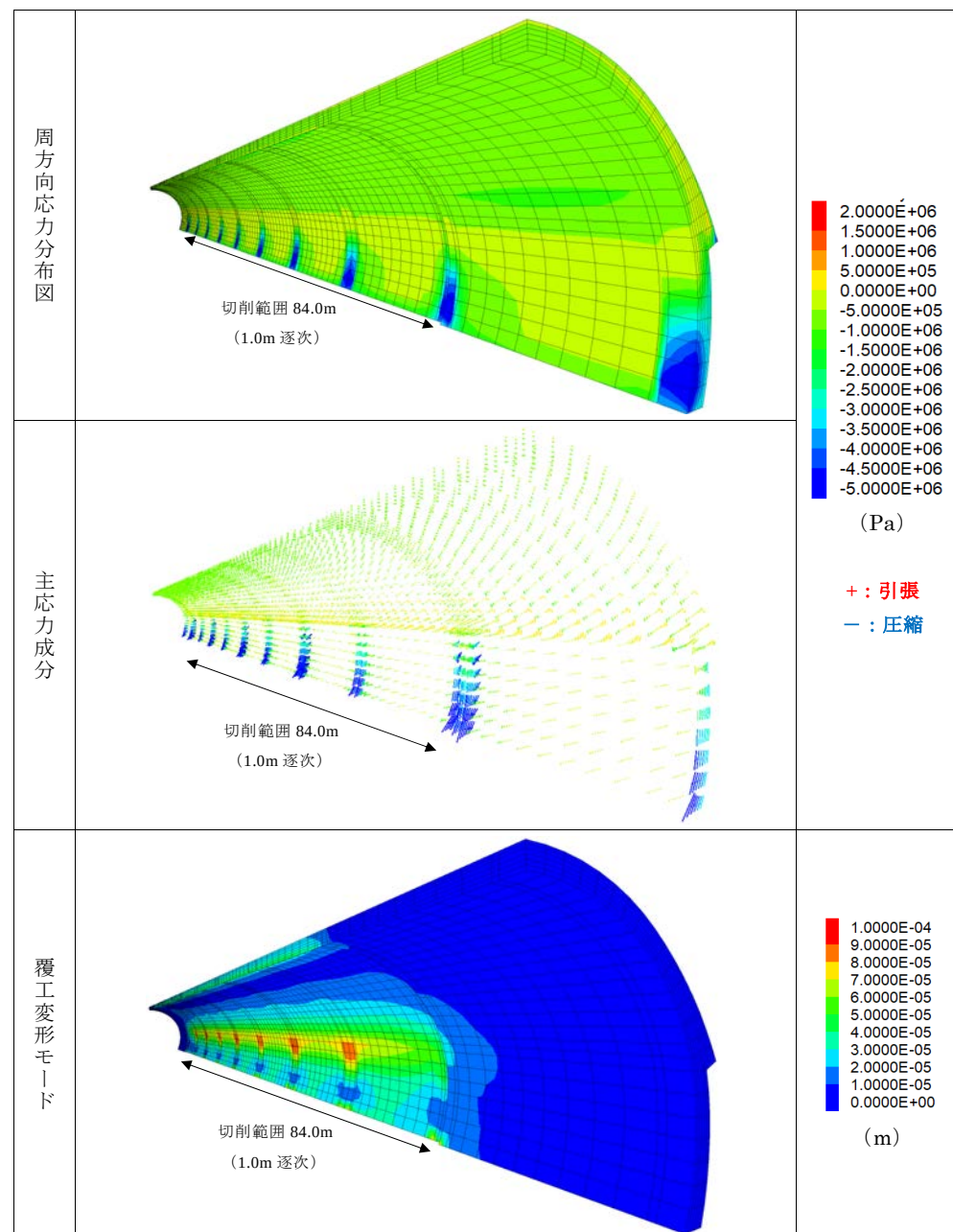


表 L=21.0m (1.0m×21 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ | ②切削開始位置から 21.0m 離れ | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                          |
| ロックボルト軸力分布 |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> <div>■: 弾性体</div> <div>■: 塑性体</div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                      |

表 L=31.0m (1.0m×31 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～②横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

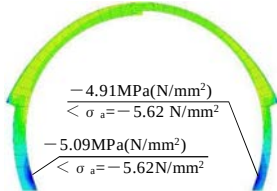
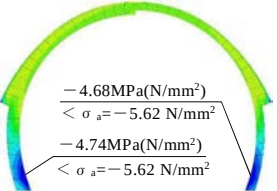
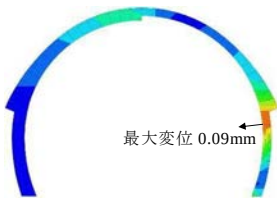
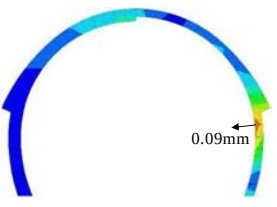
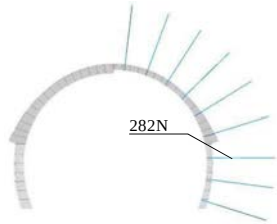
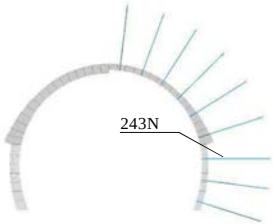
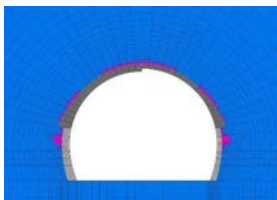
|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                  | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                  | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |    |    | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |    |    | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |    |    | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div>                                                                                                                       |
| ロックボルト軸力分布 |   |   | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div>                                                         |
| 塑性領域分布図    |  |  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div>■: 弾性体</div> <div>■: 塑性体</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                   |

表 L=42.0m (1.0m×42 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～③横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

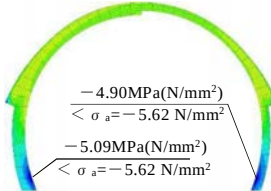
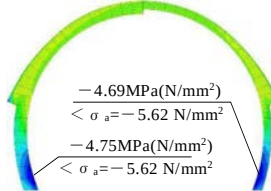
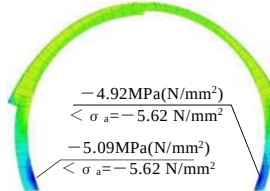
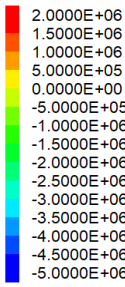
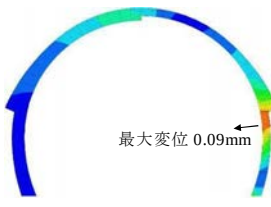
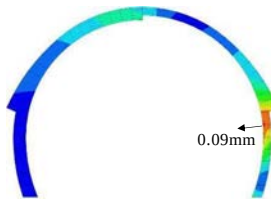
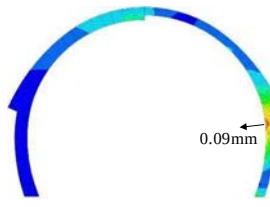
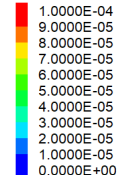
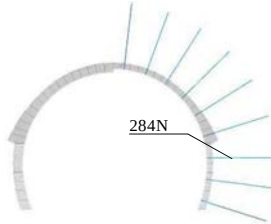
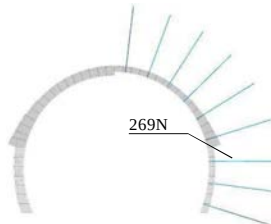
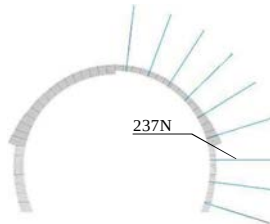
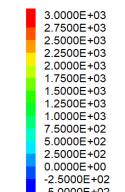
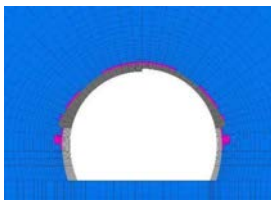
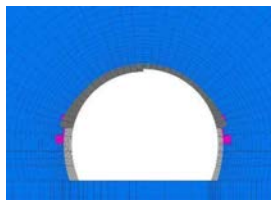
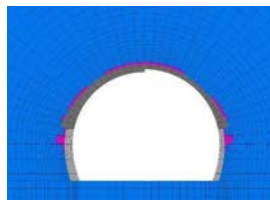
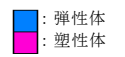
|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                      | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                      | ③切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                       | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                              |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <br>$-4.90\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.09\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.69\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.75\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.92\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.09\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | —                  | —                  | —                  | <br>(Pa)<br>+ : 引張<br>- : 圧縮 |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                 |
| 覆工変形モード    | <br>最大変位 0.09mm                                                                                                                                        | <br>0.09mm                                                                                                                                             | <br>0.09mm                                                                                                                                             | —                  | —                  | —                  | <br>(m)                      |
| ロックボルト軸力分布 | <br>284N                                                                                                                                              | <br>269N                                                                                                                                              | <br>237N                                                                                                                                              | —                  | —                  | —                  | <br>(N)                     |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      | —                  | —                  | —                  | <br>■ : 弾性体<br>■ : 塑性体     |

表 L=52.0m (1.0m×52 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～④横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

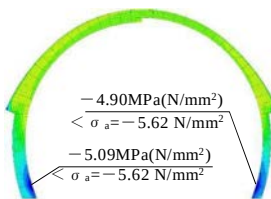
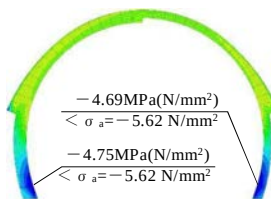
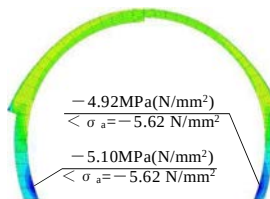
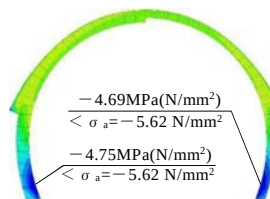
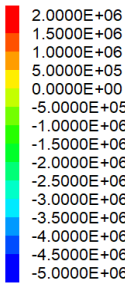
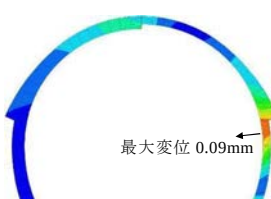
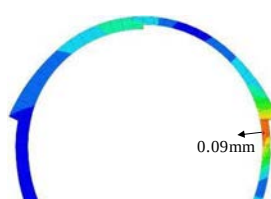
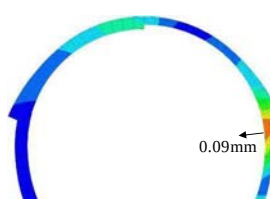
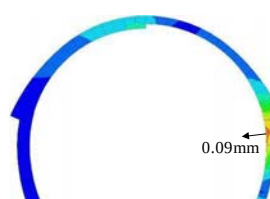
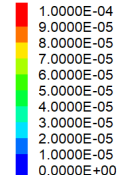
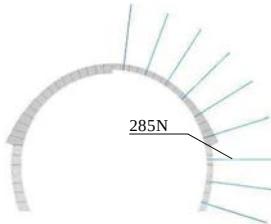
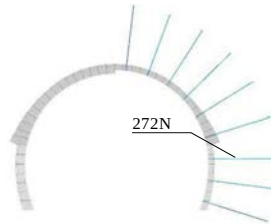
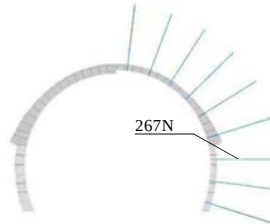
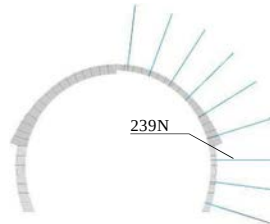
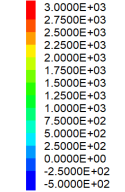
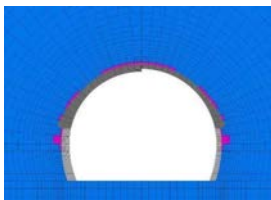
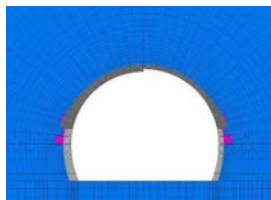
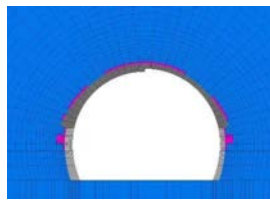
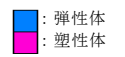
|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                     | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                     | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                      | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                       | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                              |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <br>$-4.90\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.09\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.69\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.75\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.92\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.10\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.69\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.75\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | —                   | —                   | <br>(Pa)<br>+ : 引張<br>- : 圧縮 |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        | —                   | —                   |                                                                                                                 |
| 覆工変形モード    | <br>最大変位 0.09mm                                                                                                                                        | <br>0.09mm                                                                                                                                             | <br>0.09mm                                                                                                                                             | <br>0.09mm                                                                                                                                             | —                   | —                   | <br>(m)                      |
| ロックボルト軸力分布 | <br>285N                                                                                                                                              | <br>272N                                                                                                                                              | <br>267N                                                                                                                                              | <br>239N                                                                                                                                              | —                   | —                   | <br>(N)                     |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      | —                   | —                   | <br>■ : 弾性体<br>■ : 塑性体     |

表 L=63.0m (1.0m×63 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑤横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

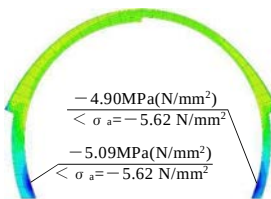
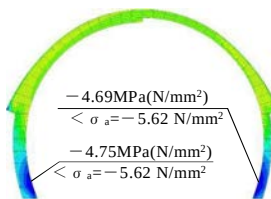
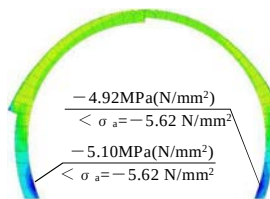
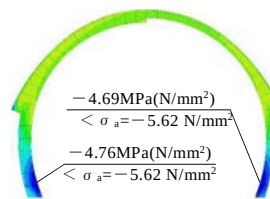
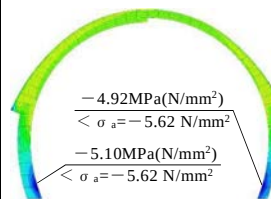
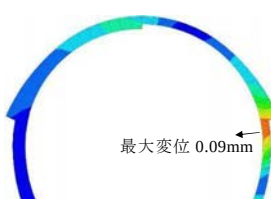
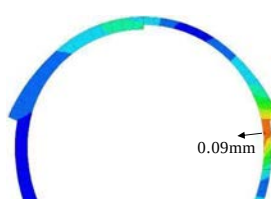
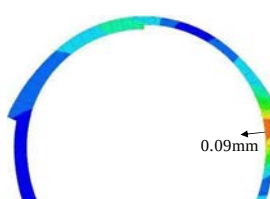
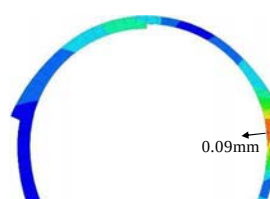
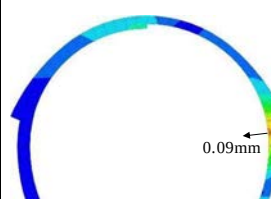
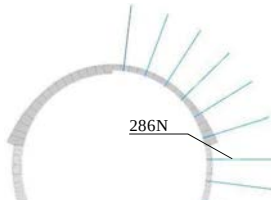
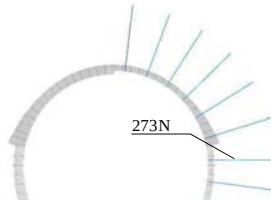
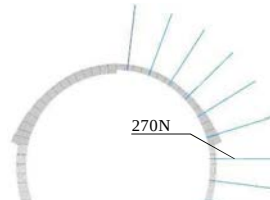
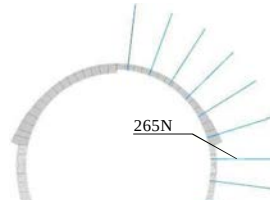
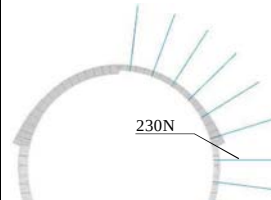
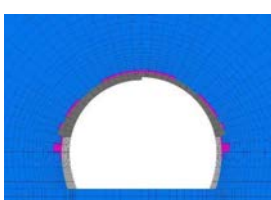
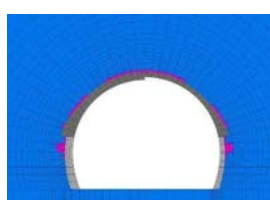
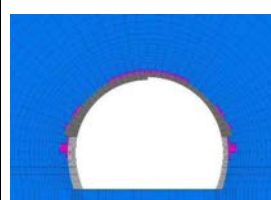
|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                      | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                      | ③切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                       | ④切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                        | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                        | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <br>$-4.90\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.09\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.69\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.75\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.92\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.10\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.69\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.76\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.92\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-5.10\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | —                  | <div> <div>2.0000E+06</div> <div>1.5000E+06</div> <div>1.0000E+06</div> <div>5.0000E+05</div> <div>0.0000E+00</div> <div>-5.0000E+05</div> <div>-1.0000E+06</div> <div>-1.5000E+06</div> <div>-2.0000E+06</div> <div>-2.5000E+06</div> <div>-3.0000E+06</div> <div>-3.5000E+06</div> <div>-4.0000E+06</div> <div>-4.5000E+06</div> <div>-5.0000E+06</div> </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                        | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    | <br>最大変位 0.09mm                                                                                                                                        | <br>0.09mm                                                                                                                                             | <br>0.09mm                                                                                                                                             | <br>0.09mm                                                                                                                                             | <br>0.09mm                                                                                                                                             | —                  | <div> <div>1.0000E-04</div> <div>9.0000E-05</div> <div>8.0000E-05</div> <div>7.0000E-05</div> <div>6.0000E-05</div> <div>5.0000E-05</div> <div>4.0000E-05</div> <div>3.0000E-05</div> <div>2.0000E-05</div> <div>1.0000E-05</div> <div>0.0000E+00</div> </div> <div>(m)</div>                                                                                                                                      |
| ロックボルト軸力分布 | <br>286N                                                                                                                                              | <br>273N                                                                                                                                              | <br>270N                                                                                                                                              | <br>265N                                                                                                                                              | <br>230N                                                                                                                                              | —                  | <div> <div>3.0000E+03</div> <div>2.7500E+03</div> <div>2.5000E+03</div> <div>2.2500E+03</div> <div>2.0000E+03</div> <div>1.7500E+03</div> <div>1.5000E+03</div> <div>1.2500E+03</div> <div>1.0000E+03</div> <div>7.5000E+02</div> <div>5.0000E+02</div> <div>2.5000E+02</div> <div>0.0000E+00</div> <div>-2.5000E+02</div> <div>-5.0000E+02</div> </div> <div>(N)</div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      | —                  | <div> <div>■ : 弾性体</div> <div>■ : 塑性体</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

表 L=73.0m (1.0m×73 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

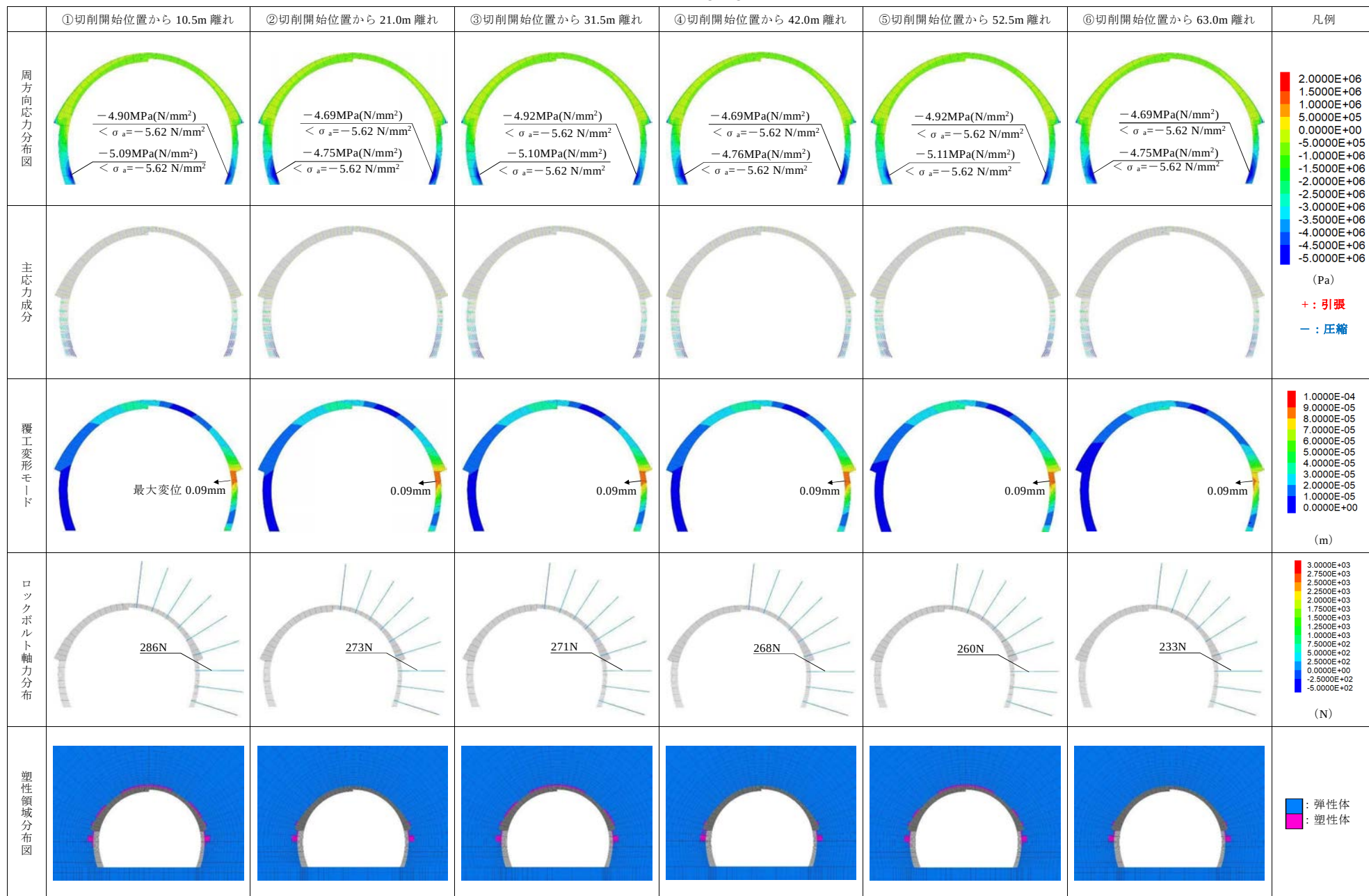


表 L=84.0m (1.0m×84 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮) その①

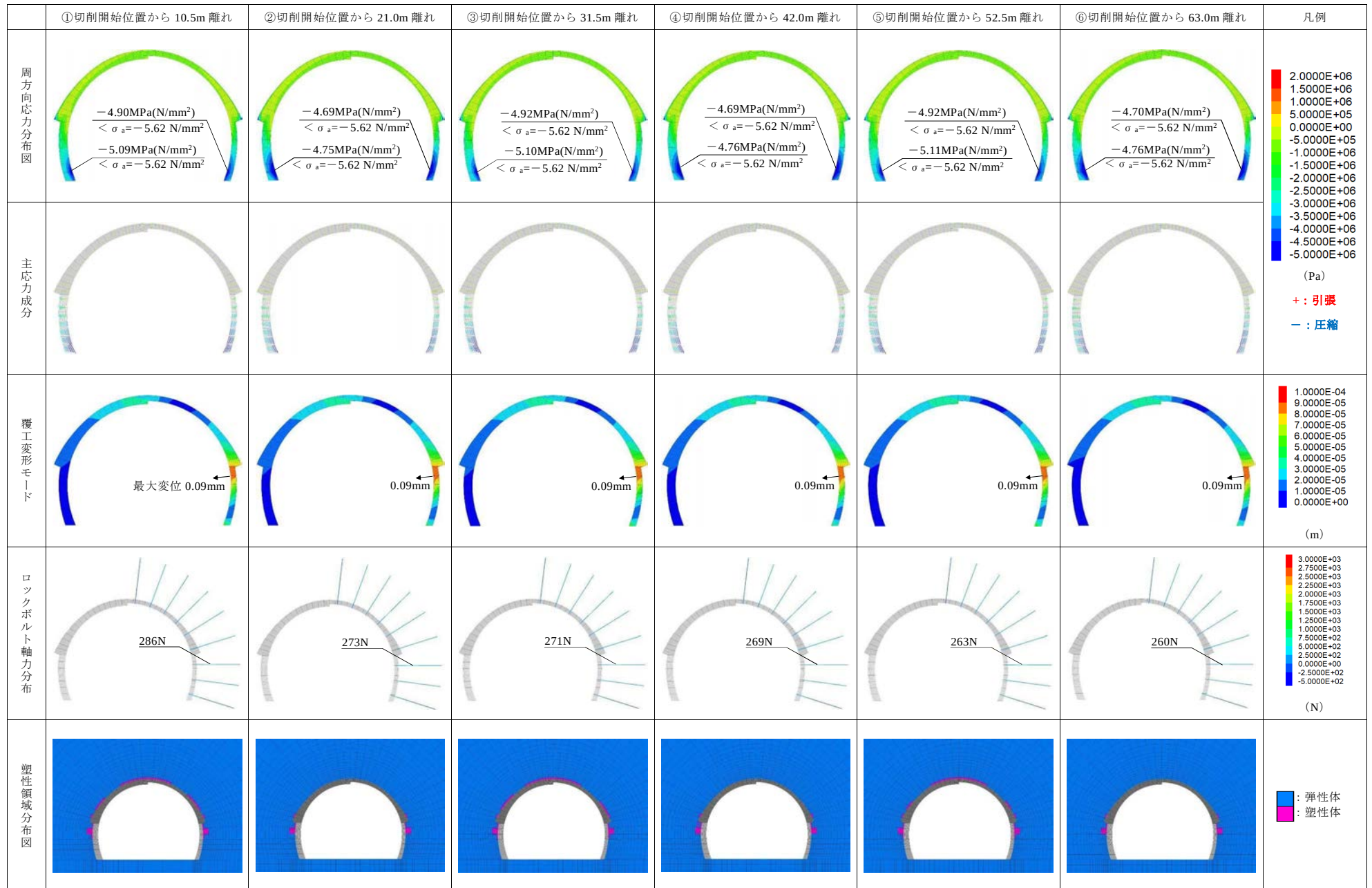


表 L=84.0m (1.0m×84 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮) その②

|            | ⑦切削開始位置から 73.5m 離れ                                                                                                                                                                                                  | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.93\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>-5.11\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math> </p> | <p> <math>2.0000\text{E}+06</math><br/> <math>1.5000\text{E}+06</math><br/> <math>1.0000\text{E}+06</math><br/> <math>5.0000\text{E}+05</math><br/> <math>0.0000\text{E}+00</math><br/> <math>-5.0000\text{E}+05</math><br/> <math>-1.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-1.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-2.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-2.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-3.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-3.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-4.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-4.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-5.0000\text{E}+06</math> </p> <p>(Pa)</p> <p>+ : 引張</p> <p>- : 圧縮</p> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 覆工変形モード    | <p>最大変位 0.09mm</p>                                                                                                                                                                                                  | <p> <math>1.0000\text{E}-04</math><br/> <math>9.0000\text{E}-05</math><br/> <math>8.0000\text{E}-05</math><br/> <math>7.0000\text{E}-05</math><br/> <math>6.0000\text{E}-05</math><br/> <math>5.0000\text{E}-05</math><br/> <math>4.0000\text{E}-05</math><br/> <math>3.0000\text{E}-05</math><br/> <math>2.0000\text{E}-05</math><br/> <math>1.0000\text{E}-05</math><br/> <math>0.0000\text{E}+00</math> </p> <p>(m)</p>                                                                                                                                                                                        |
| ロックボルト軸力分布 | <p>237N</p>                                                                                                                                                                                                         | <p> <math>3.0000\text{E}+03</math><br/> <math>2.7500\text{E}+03</math><br/> <math>2.5000\text{E}+03</math><br/> <math>2.2500\text{E}+03</math><br/> <math>2.0000\text{E}+03</math><br/> <math>1.7500\text{E}+03</math><br/> <math>1.5000\text{E}+03</math><br/> <math>1.2500\text{E}+03</math><br/> <math>1.0000\text{E}+03</math><br/> <math>7.5000\text{E}+02</math><br/> <math>5.0000\text{E}+02</math><br/> <math>2.5000\text{E}+02</math><br/> <math>0.0000\text{E}+00</math><br/> <math>-2.5000\text{E}+02</math><br/> <math>-5.0000\text{E}+02</math> </p> <p>(N)</p>                                      |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                                                                                                     | <p> <span style="color: blue;">■</span> : 弾性体<br/> <span style="color: red;">■</span> : 塑性体         </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### 3) 事前補強のロックボルトを打設するケース (L=84.0m区間逐次切削)

これまでにより、L=84.0mまで半断面の覆工切削が可能であると検証された。右側の84.0m区間切削後に引続き行う左側の切削長に対する検証を行う。先の検討と同様に、切削延長を下図に示すように84.0m区間(1.0m×84ステップ)とし、各掘削時点における足付け部である断面位置①～⑥に着目し、応力分布、覆工コンクリート挙動やロックボルト軸力の検証を行う。

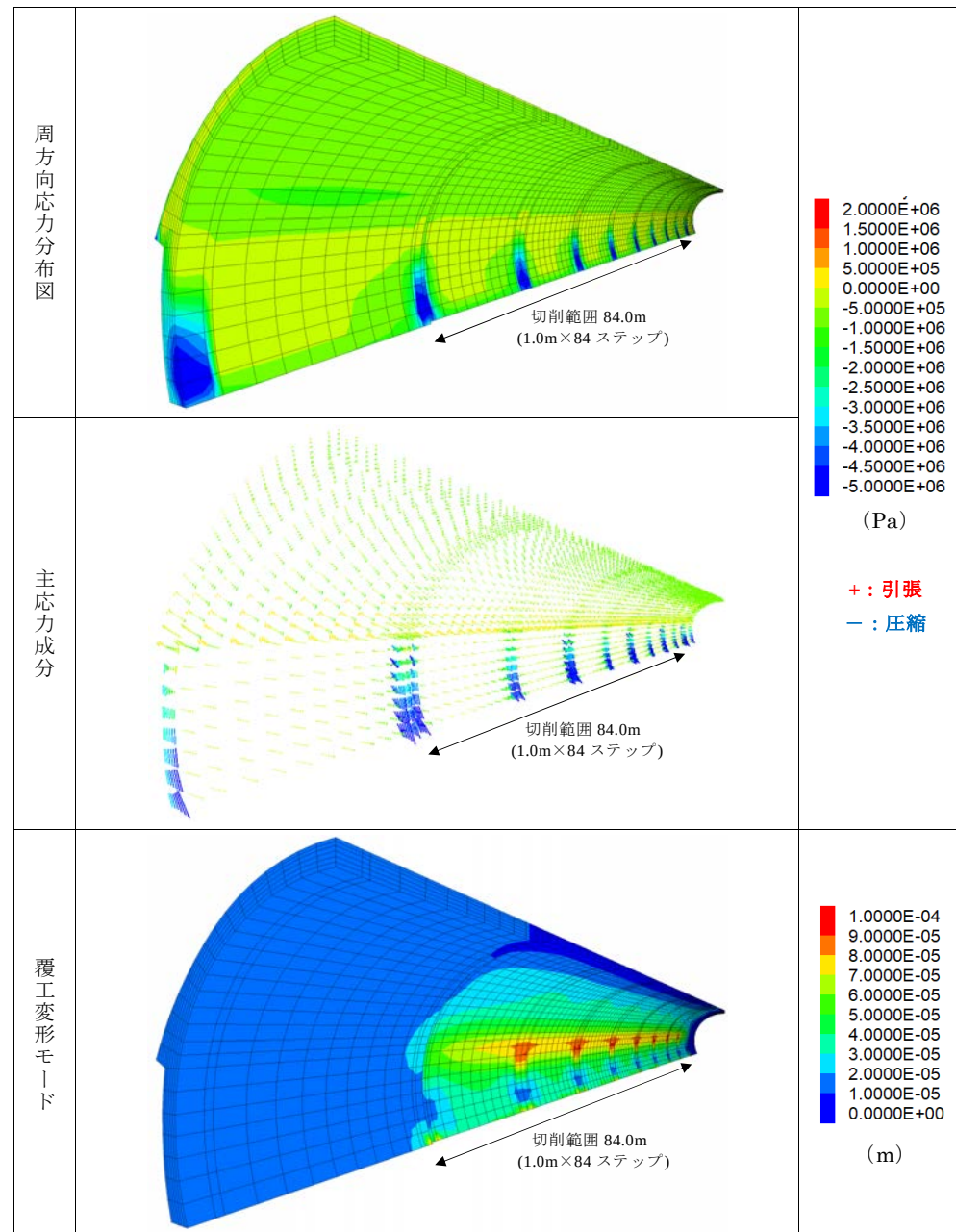
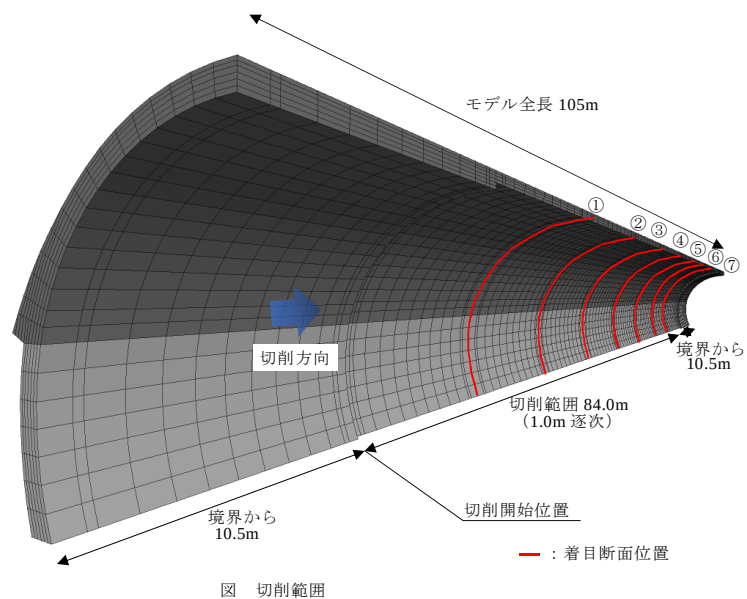


表 L=21.0m (1.0m×21 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

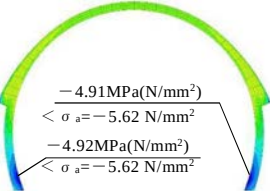
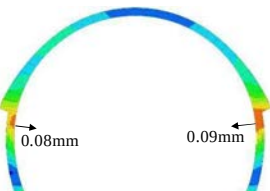
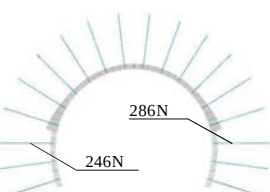
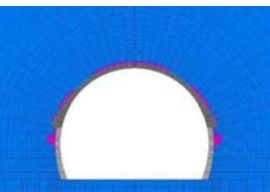
|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                  | ②切削開始位置から 21.0m 離れ | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div> +: 引張<br/>-: 圧縮 </div> </div> |
| 主応力成分      |    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 覆工変形モード    |    | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div>                                                                                                                  |
| ロックボルト軸力分布 |   | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div>                                                    |
| 塑性領域分布図    |  | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div>■: 弾性体</div> <div>■: 塑性体</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                              |

表 L=31.0m (1.0m×31 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～②横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ | ②切削開始位置から 21.0m 離れ | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div> +: 引張<br/>-: 圧縮 </div> </div> |
| 主応力成分      |                    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 覆工変形モード    |                    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div>                                                                                                                  |
| ロックボルト軸力分布 |                    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div>                                                    |
| 塑性領域分布図    |                    |                    | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div>■: 弾性体</div> <div>■: 塑性体</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                              |

表 L=42.0m (1.0m×42 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～③横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ | ②切削開始位置から 21.0m 離れ | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                    |                    |                    | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |                    |                    |                    | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |                    |                    |                    | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                          |
| ロックボルト軸力分布 |                    |                    |                    | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                    |                    |                    | —                  | —                  | —                  | <div> <div> <div>弾性体</div> <div>塑性体</div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                            |

表 L=52.0m (1.0m×52 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～④横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                          |
| ロックボルト軸力分布 |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> <div>弾性体</div> <div>塑性体</div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                            |

表 L=63.0m (1.0m×63 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑤横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                     |                     |                     |                     |                     | —                   | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |                     |                     |                     |                     |                     | —                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |                     |                     |                     |                     |                     | —                   | <div> <div> 1.0000E-04<br/>9.0000E-05<br/>8.0000E-05<br/>7.0000E-05<br/>6.0000E-05<br/>5.0000E-05<br/>4.0000E-05<br/>3.0000E-05<br/>2.0000E-05<br/>1.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                          |
| ロックボルト軸力分布 |                     |                     |                     |                     |                     | —                   | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                     |                     |                     |                     |                     | —                   | <div> <div> <div>弾性体</div> <div>塑性体</div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                            |

表 L=73.0m (1.0m×73 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

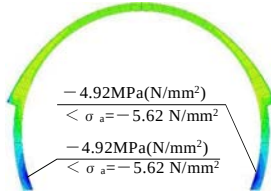
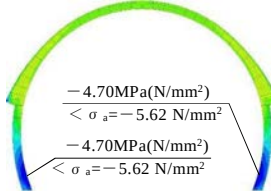
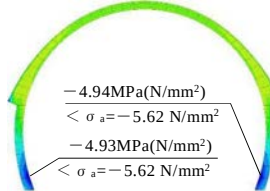
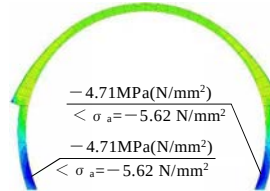
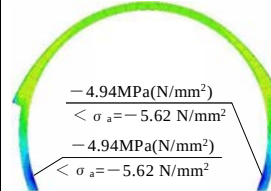
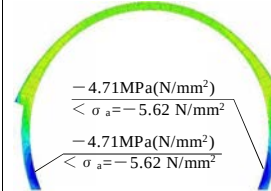
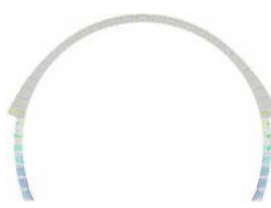
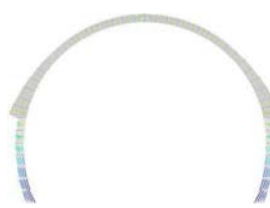
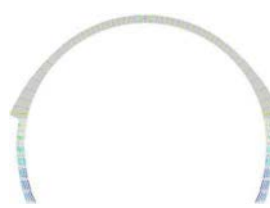
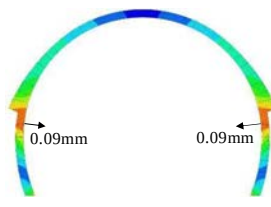
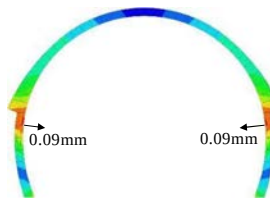
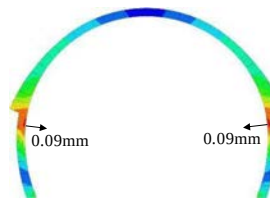
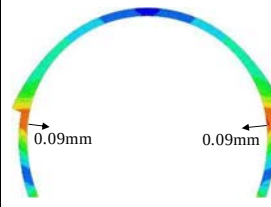
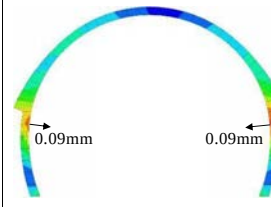
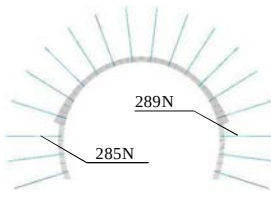
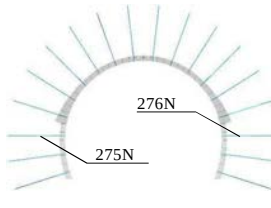
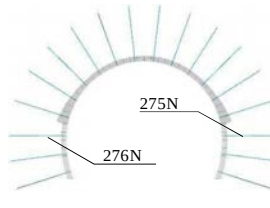
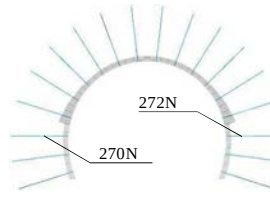
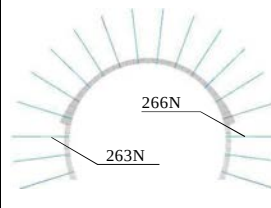
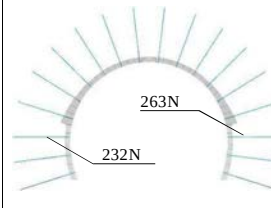
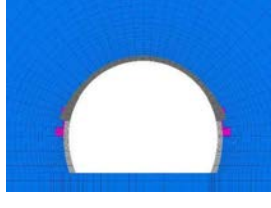
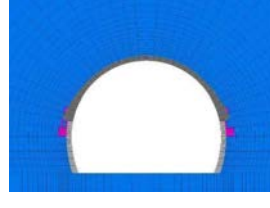
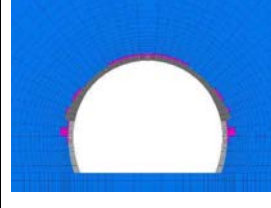
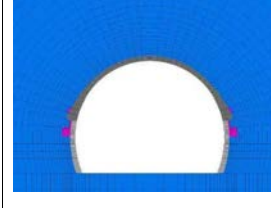
|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                       | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                       | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                        | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                         | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ                                                                                                                                                                                                         | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ                                                                                                                                                                                                         | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <br>$-4.92\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.92\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.70\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.70\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.94\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.93\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.94\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.94\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <div> <div>2.0000E+06</div> <div>1.5000E+06</div> <div>1.0000E+06</div> <div>5.0000E+05</div> <div>0.0000E+00</div> <div>-5.0000E+05</div> <div>-1.0000E+06</div> <div>-1.5000E+06</div> <div>-2.0000E+06</div> <div>-2.5000E+06</div> <div>-3.0000E+06</div> <div>-3.5000E+06</div> <div>-4.0000E+06</div> <div>-4.5000E+06</div> <div>-5.0000E+06</div> </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <div> <div>1.0000E-04</div> <div>9.0000E-05</div> <div>8.0000E-05</div> <div>7.0000E-05</div> <div>6.0000E-05</div> <div>5.0000E-05</div> <div>4.0000E-05</div> <div>3.0000E-05</div> <div>2.0000E-05</div> <div>1.0000E-05</div> <div>0.0000E+00</div> </div> <div>(m)</div>                                                                                                                                      |
| ロックボルト軸力分布 | <br>289N<br>285N                                                                                                                        | <br>276N<br>275N                                                                                                                        | <br>275N<br>276N                                                                                                                        | <br>272N<br>270N                                                                                                                        | <br>266N<br>263N                                                                                                                        | <br>263N<br>232N                                                                                                                        | <div> <div>3.0000E+03</div> <div>2.7500E+03</div> <div>2.5000E+03</div> <div>2.2500E+03</div> <div>2.0000E+03</div> <div>1.7500E+03</div> <div>1.5000E+03</div> <div>1.2500E+03</div> <div>1.0000E+03</div> <div>7.5000E+02</div> <div>5.0000E+02</div> <div>2.5000E+02</div> <div>0.0000E+00</div> <div>-2.5000E+02</div> <div>-5.0000E+02</div> </div> <div>(N)</div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        | <div> <div>弾性体</div> <div>塑性体</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

表 L=84.0m (1.0m×84 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮) その①

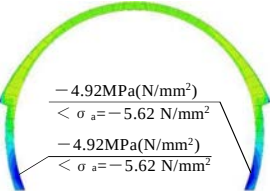
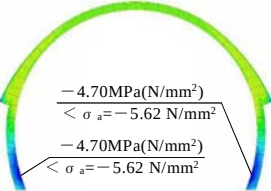
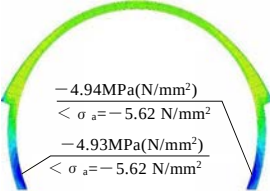
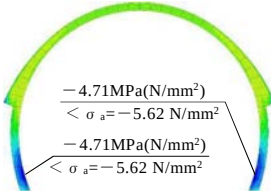
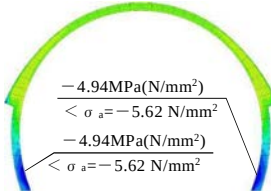
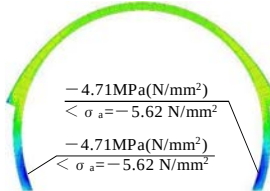
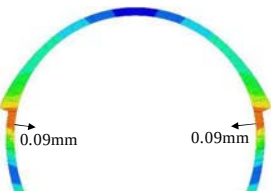
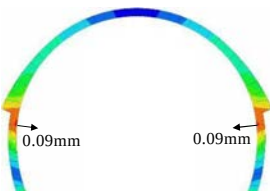
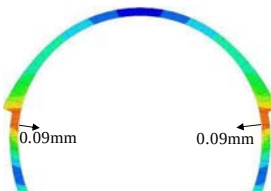
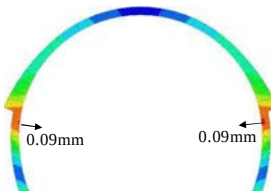
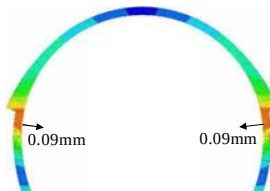
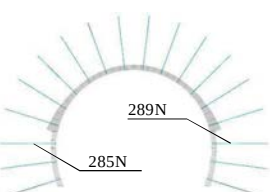
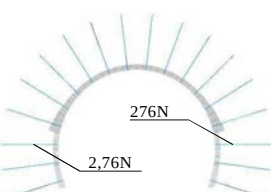
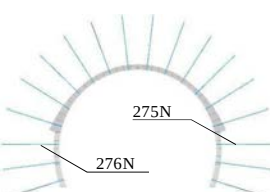
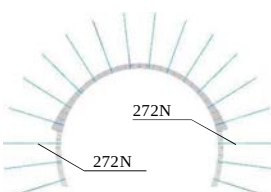
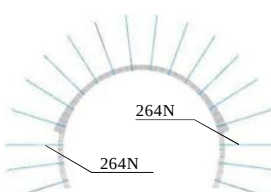
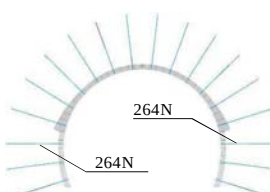
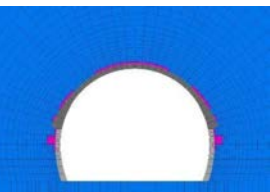
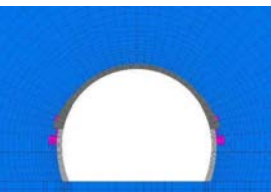
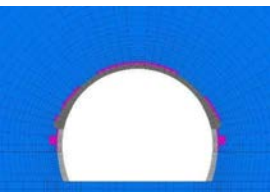
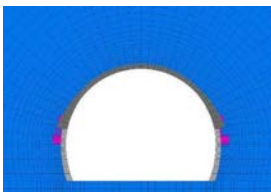
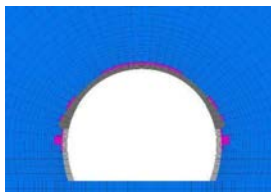
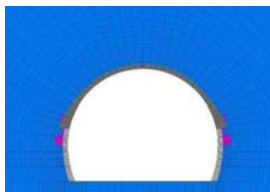
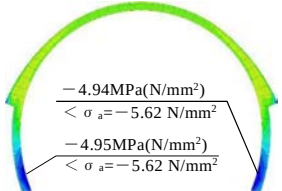
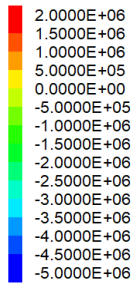
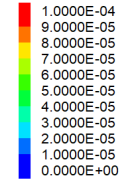
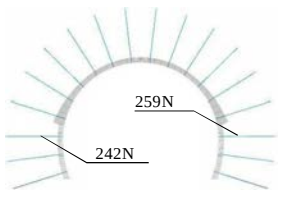
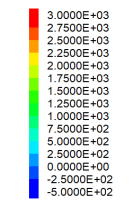
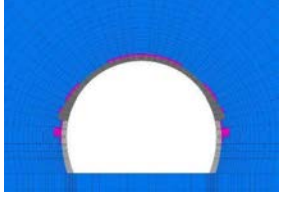
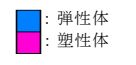
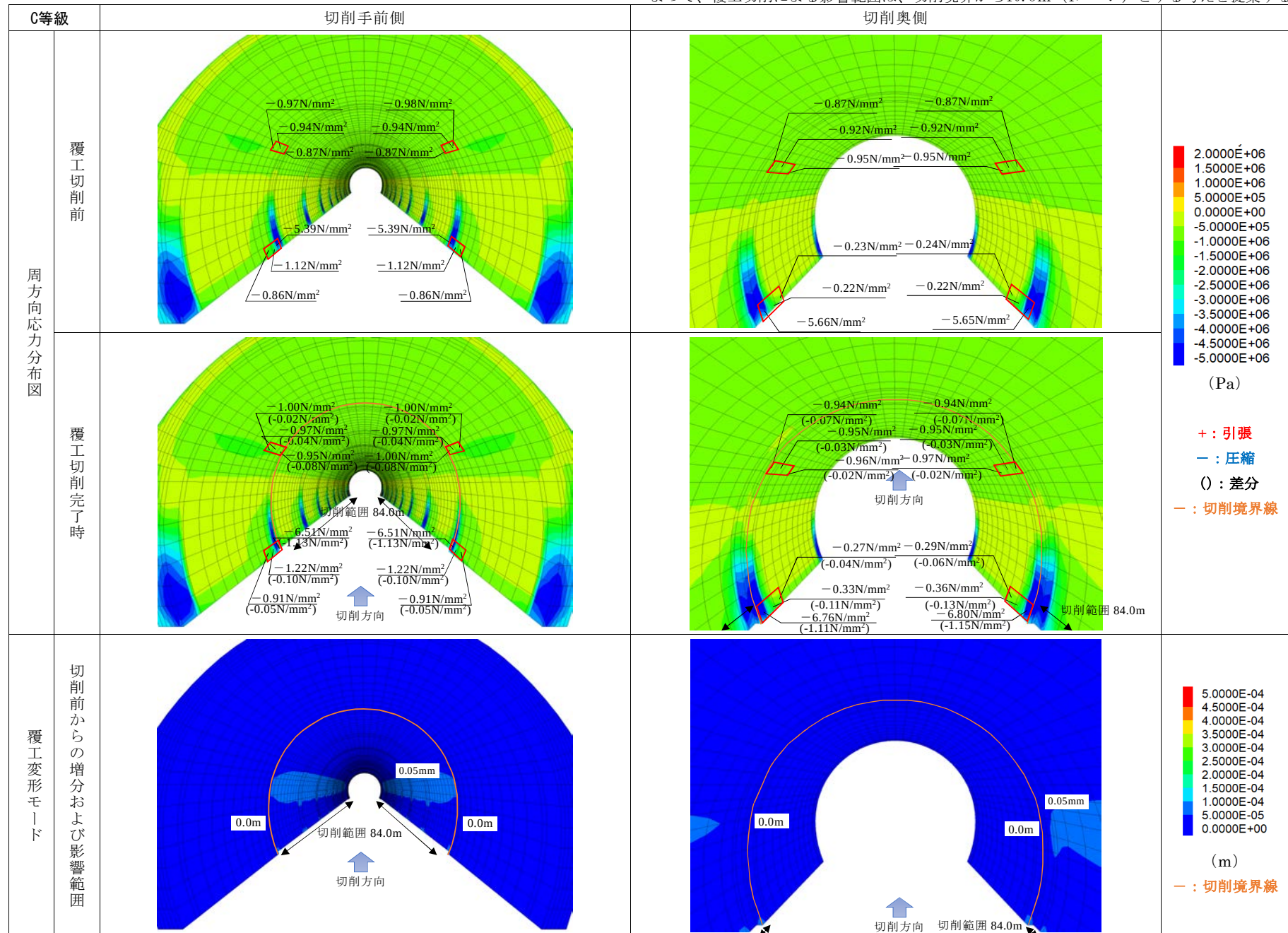
|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                       | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                       | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                        | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                         | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ                                                                                                                                                                                                         | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ                                                                                                                                                                                                         | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <br>$-4.92\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.92\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.70\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.70\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.94\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.93\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.94\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.94\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$<br>$-4.71\text{MPa(N/mm}^2)$<br>$< \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2$ | <div> <div>2.0000E+06</div> <div>1.5000E+06</div> <div>1.0000E+06</div> <div>5.0000E+05</div> <div>0.0000E+00</div> <div>-5.0000E+05</div> <div>-1.0000E+06</div> <div>-1.5000E+06</div> <div>-2.0000E+06</div> <div>-2.5000E+06</div> <div>-3.0000E+06</div> <div>-3.5000E+06</div> <div>-4.0000E+06</div> <div>-4.5000E+06</div> <div>-5.0000E+06</div> </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <br>0.09mm                                                                                                                               | <div> <div>1.0000E-04</div> <div>9.0000E-05</div> <div>8.0000E-05</div> <div>7.0000E-05</div> <div>6.0000E-05</div> <div>5.0000E-05</div> <div>4.0000E-05</div> <div>3.0000E-05</div> <div>2.0000E-05</div> <div>1.0000E-05</div> <div>0.0000E+00</div> </div> <div>(m)</div>                                                                                                                                      |
| ロックボルト軸力分布 | <br>289N<br>285N                                                                                                                        | <br>276N<br>2,76N                                                                                                                       | <br>275N<br>276N                                                                                                                        | <br>272N<br>272N                                                                                                                        | <br>264N<br>264N                                                                                                                        | <br>264N<br>264N                                                                                                                        | <div> <div>3.0000E+03</div> <div>2.7500E+03</div> <div>2.5000E+03</div> <div>2.2500E+03</div> <div>2.0000E+03</div> <div>1.7500E+03</div> <div>1.5000E+03</div> <div>1.2500E+03</div> <div>1.0000E+03</div> <div>7.5000E+02</div> <div>5.0000E+02</div> <div>2.5000E+02</div> <div>0.0000E+00</div> <div>-2.5000E+02</div> <div>-5.0000E+02</div> </div> <div>(N)</div>                                            |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        |                                                                                                                                        | <div> <div>弾性体</div> <div>塑性体</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

表 L=84.0m (1.0m×84.0 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮) その②

|            | ⑦切削開始位置から 73.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 凡例                                                                                                                      |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |  <p> <math>-4.94\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_{\theta} = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>-4.95\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_{\theta} = -5.62 \text{ N/mm}^2</math> </p> |  <p>(Pa)</p> <p>+ : 引張<br/>- : 圧縮</p>  |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                         |
| 覆工変形モード    |  <p>0.09mm 0.09mm</p>                                                                                                                                                                                                              |  <p>(m)</p>                            |
| ロックボルト軸力分布 |  <p>259N<br/>242N</p>                                                                                                                                                                                                             |  <p>(N)</p>                           |
| 塑性領域分布図    |                                                                                                                                                                                                                                  |  <p>  : 弾性体<br/>  : 塑性体         </p> |

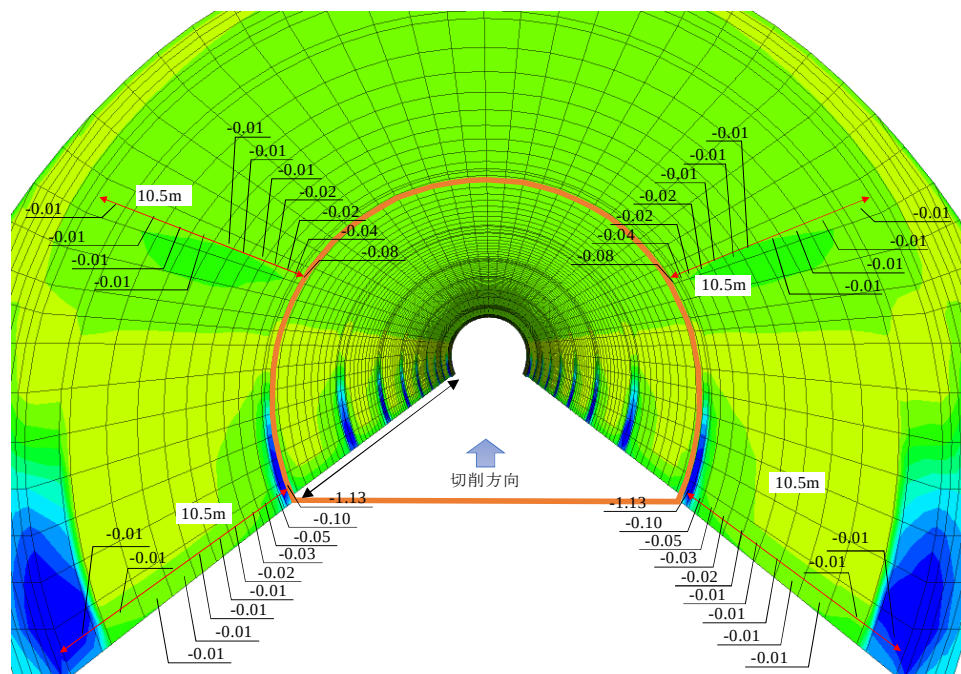
【影響範囲】

- ・覆工変形モードより、変位量0.05mm未満を閾値とすると「5m」が影響範囲となる。
- ・増分圧縮応力度の0.01N/mm<sup>2</sup>未満を閾値とすると「10.5m」が影響範囲となる。
- ・よって、覆工切削による影響範囲は、切削境界から10.5m（1スパン）とする考えを提案する。

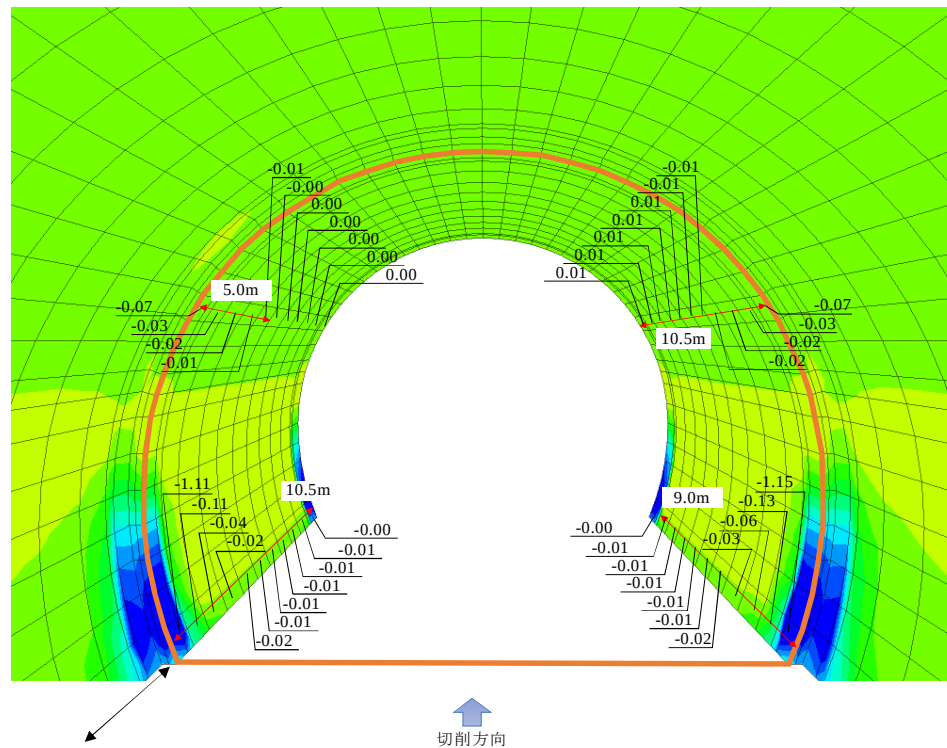


C等級

切削手前側



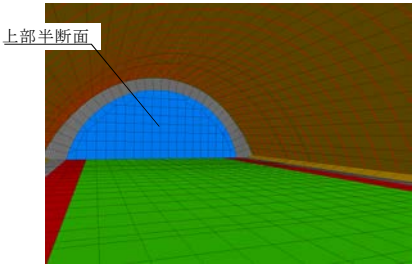
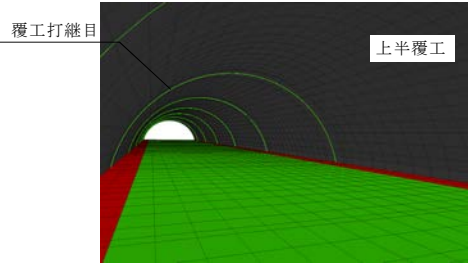
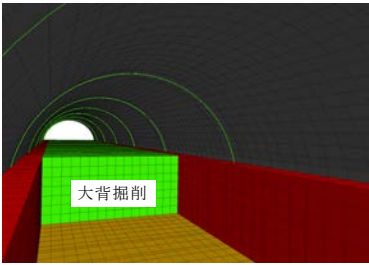
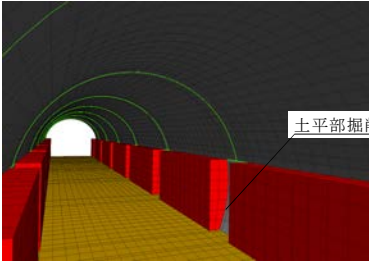
切削奥側

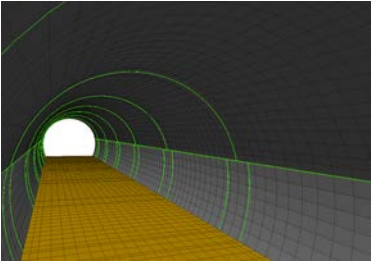
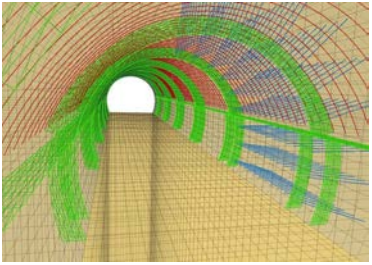
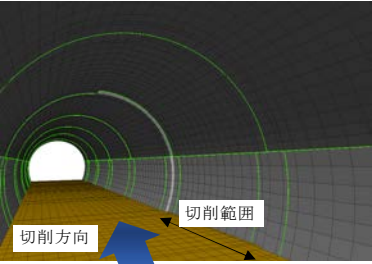


差分のみ表記（単位：N/mm<sup>2</sup>）

■覆工切削時の安定性検討（三次元 FDM）

（１）解析ステップ（D 等級地山）

| Step                                                         | model                                                                               |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Step1<br>上部半断面掘削<br>： 0.75m 逐次掘削<br>鋼製支保工<br>： 切羽から 0.75m 遅れ |    |
| Step2<br>上半覆工<br>： 10.5m 逐次打設<br>打継目あり                       |    |
| Step3<br>大背掘削<br>： 0.75m 逐次掘削                                |   |
| Step4<br>大背切羽 50m 後方より<br>土平部掘削解放後、<br>足付コンクリート打設<br>水平打継目あり |  |

| Step                                                                                | model                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Step5<br>土平部掘削解放後、<br>側壁コンクリート打設<br>水平・打継目あり                                        |   |
| Step6<br>ロックボルト打設<br>（ロックボルト打設ケースのみ）                                                |   |
| Step7<br>覆工切削厚（20cm）<br><br>・ 切削幅：<br>1 掘進長（0.75m）×14 シフト<br>=10.5m<br>※覆工目地部から切削開始 |  |

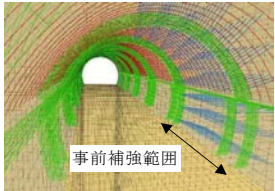
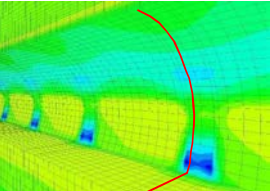
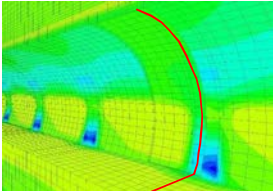
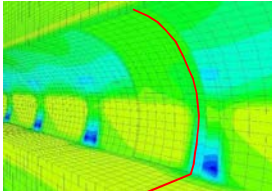
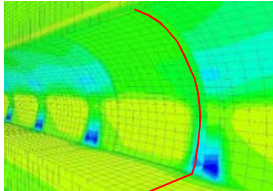
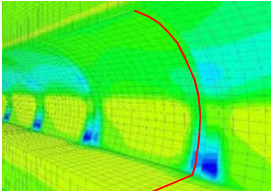
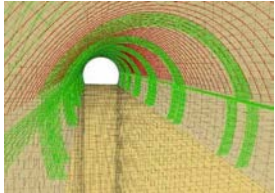
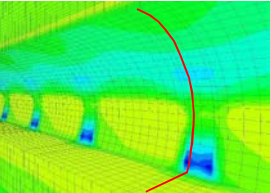
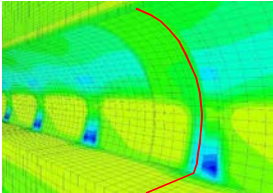
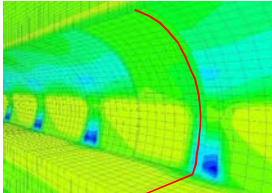
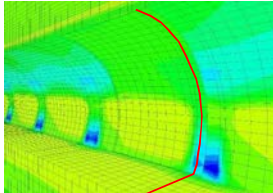
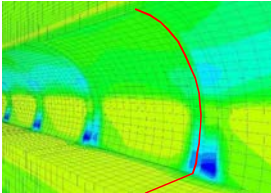
○ロックボルト諸元

※ロックボルト：異形棒鋼とする。

|        | 単位<br>体積重量             | 弾性係数<br>E (MPa) [kgf/cm <sup>2</sup> ] | ポアソン比<br>ν | ボルト径<br>φ (mm) | 要素   | 備考       |
|--------|------------------------|----------------------------------------|------------|----------------|------|----------|
|        | γ (kg/m <sup>3</sup> ) |                                        |            |                |      |          |
| ロックボルト | 7800                   | 210,000 [2100,000]                     | 0.3        | 25             | beam | ボルト長4.0m |

### ①覆工切削時の応力図概要

— : 着目断面位置

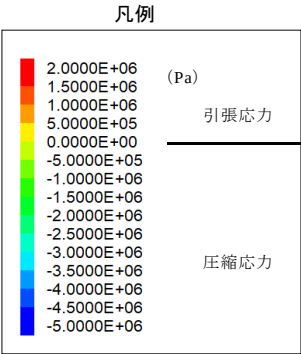
| ステップ   |              | 事前補強                                                                              | 覆工切削前                                                                             | 覆工切削（延長 L=3.75m）<br>5 掘進長分                                                         | 覆工切削（延長 L=5.25m）<br>7 掘進長分                                                          | 覆工切削（延長 L=7.50m）<br>10 掘進長分                                                         | 覆工切削（延長 L=10.5m）<br>14 掘進長分                                                         |
|--------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 覆工切削解析 | 事前補強ロックボルトあり |  |  |  |  |  |  |
|        | 事前補強ロックボルトなし |  |  |  |  |  |  |

## ②許容応力度の設定

下記の無筋コンクリートの許容応力度で評価する。

設計基準強度  $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$  より、

- ・許容引張応力度  $\sigma_a'$  : 0.225N/mm<sup>2</sup>= 225kPa
- ・許容圧縮応力度  $\sigma_{ca}'$  : -4.5 N/mm<sup>2</sup>= -4500kPa



### 【參考資料】

最工増加率に於ける許容値の目安は、設計基準強度 $\sigma_c$ に於ける比率が目安として表1.1に示すが、明記にあつては既設トンネルの健全度や地盤の特性、近接工事の状況等を十分に考慮するものとする。

表 3-1 4 巻工増加応答の許容値の目安

| 既設トンネル掘削<br>の掘削速度と圧入 | 増加掘削能力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 増加引張応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| R <sub>1</sub> 0.6   | 0.3 0.2                        | 0.06 0.1                       |
| 0                    | 0.2 0.2                        | 0.04 0.1                       |
| M                    | 0.1 0.2                        | 0.02 0.1                       |

1) 事前補強のロックボルトを打設するケース (L=10.5m 区間)

■覆工応力照査

覆工切削による発生応力を照査する。

覆工切削前の既往覆工は、全圧縮応力状態にある。覆工切削することで覆工脚部の圧縮応力が増加するが、許容圧縮応力度を超えることはない。よって、覆工切削 L=10.5m の 1 スパンまで半断面の覆工切削が可能であることを検証した。

また、天端部の増加圧縮応力は、ロックボルトを打設したモデルのほうが小さい値を示すことから、事前補強のロックボルト効果が期待できる。

■覆工切削前の覆工応力（フレーム計算結果と対比）

以下にケース 2-1 (W1) と対比した覆工応力を示す。

- ・フレーム解析では天端部に引張応力が発生している。また、覆工脚部の支点はピン構造としているため、曲げモーメントは生じない。
- ・三次元解析では、上半部覆工と足付け部の境界部に打ち継ぎ目を再現していることから、境界付近の発生応力は小さくなっている。

以上の解析モデルの違いはあるが、天端付近より脚部の圧縮応力が大きくなる応力状態は概ね同等と考えられる。

| 部材<br>I端-J端 | 節点間<br>距離<br>(m) | フレーム解析<br>内縁応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 応力<br>分布    | 三次元解析<br>最大主応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 応力<br>分布    | 備考   |
|-------------|------------------|----------------------------------------|-------------|----------------------------------------|-------------|------|
| 24 - 25     | 0.453            | 0.282                                  | 引<br>張<br>側 | -1.807                                 | 圧<br>縮<br>側 | 覆工天端 |
| 25 - 26     | 0.454            | 0.279                                  |             | -1.817                                 |             |      |
| 26 - 27     | 0.454            | 0.270                                  |             | -1.838                                 |             |      |
| 27 - 28     | 0.454            | 0.254                                  |             | -1.874                                 |             |      |
| 28 - 29     | 0.453            | 0.231                                  |             | -1.933                                 |             |      |
| 29 - 30     | 0.454            | 0.197                                  |             | -2.024                                 |             |      |
| 30 - 31     | 0.454            | 0.151                                  |             | -2.160                                 |             |      |
| 31 - 32     | 0.453            | 0.088                                  |             | -2.352                                 |             |      |
| 32 - 33     | 0.454            | 0.008                                  |             | -2.587                                 |             |      |
| 33 - 34     | 0.454            | -0.100                                 |             | -2.827                                 |             |      |
| 34 - 35     | 0.453            | -0.234                                 | 圧<br>縮<br>側 | -3.041                                 |             |      |
| 35 - 36     | 0.454            | -0.405                                 |             | -3.120                                 |             |      |
| 36 - 37     | 0.454            | -0.602                                 |             | -3.020                                 |             |      |
| 37 - 38     | 0.453            | -0.839                                 |             | -2.619                                 |             |      |
| 38 - 39     | 0.343            | -1.095                                 |             | -1.847                                 |             |      |
| 39 - 40     | 0.364            | -1.292                                 |             | -1.079                                 |             |      |
| 40 - 41     | 0.557            | -1.472                                 |             | -1.187                                 |             |      |
| 41 - 42     | 0.551            | -1.737                                 |             | -0.876                                 |             |      |
| 42 - 43     | 0.520            | -1.817                                 |             | -1.598                                 |             |      |
| 43 - 44     | 0.523            | -1.844                                 |             | -2.537                                 |             |      |
| 44 - 45     | 0.530            | -1.860                                 |             | -3.198                                 |             |      |
| 45 - 46     | 0.539            | -1.794                                 |             | -3.793                                 |             |      |
| 46 - 47     | 0.553            | -1.575                                 |             | -4.493                                 |             | 覆工脚部 |

表 覆工切削前の周方向応力と変形モード

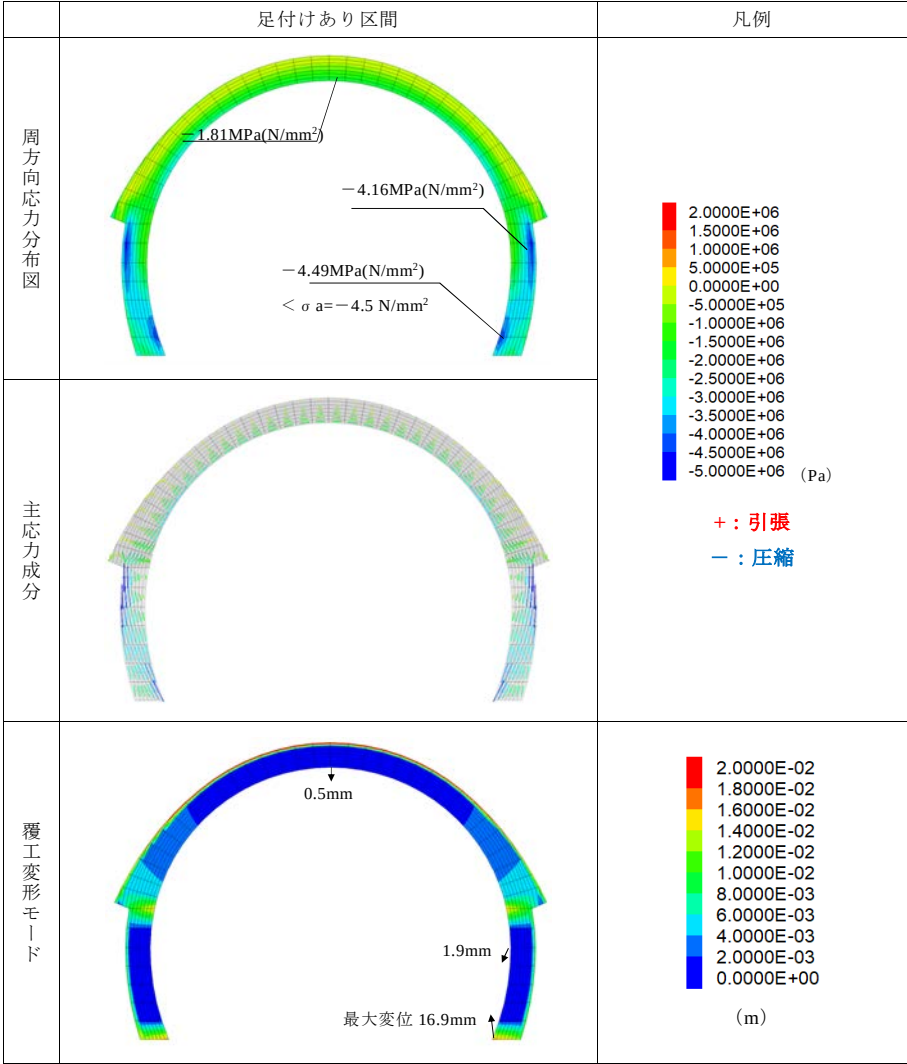
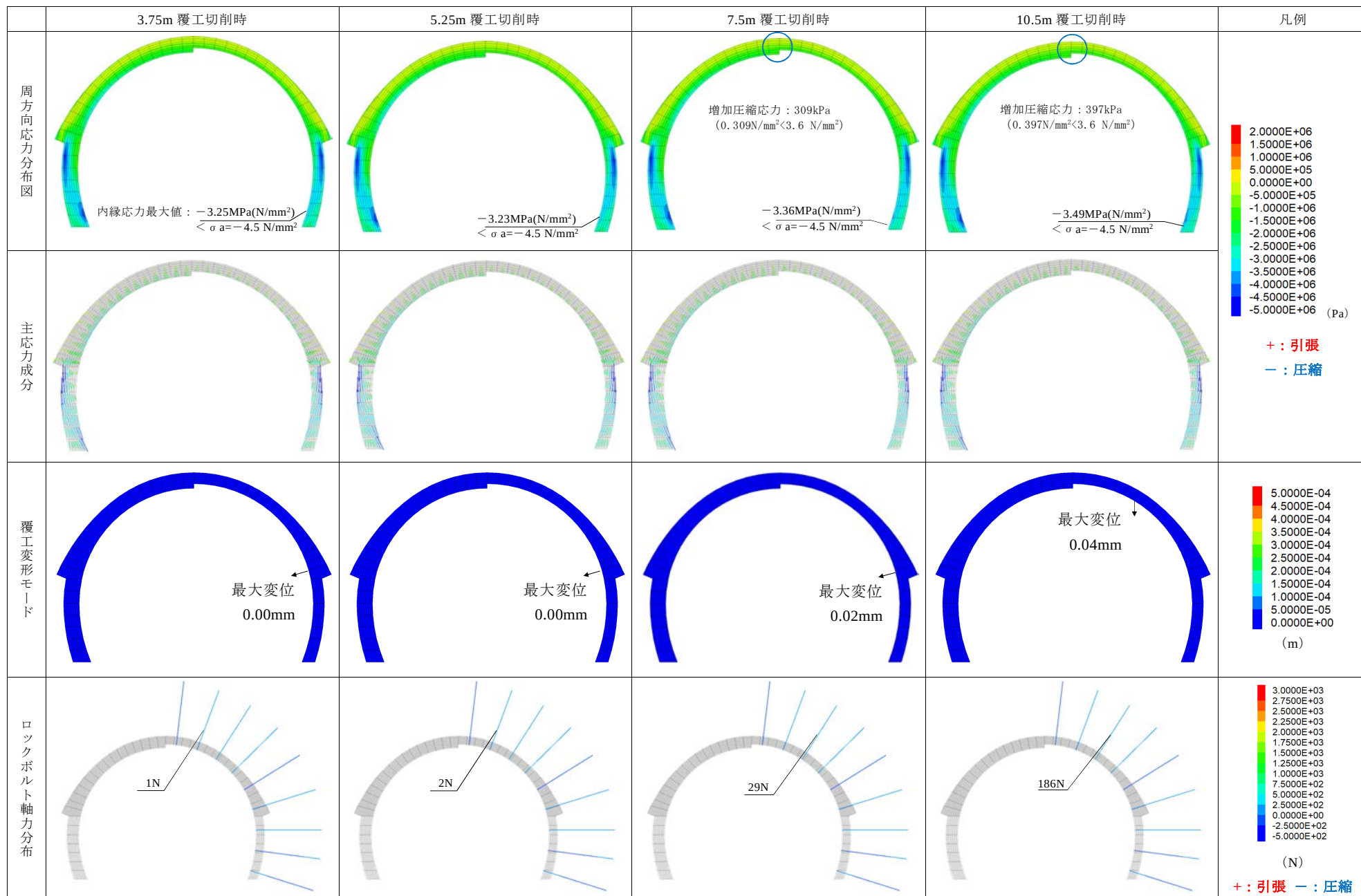


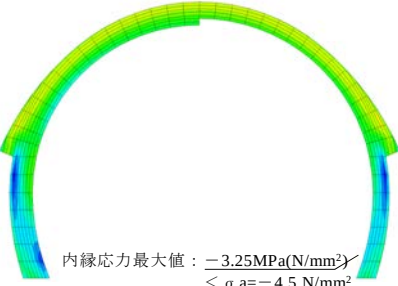
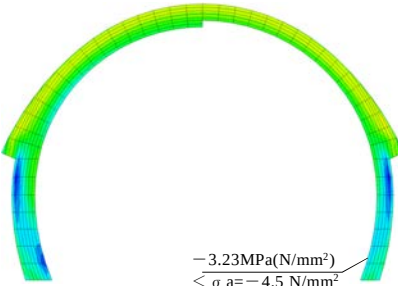
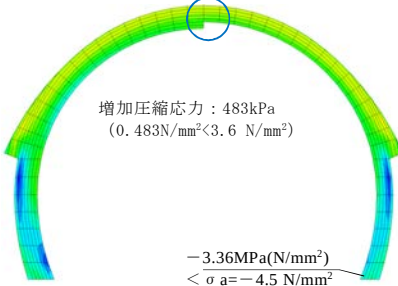
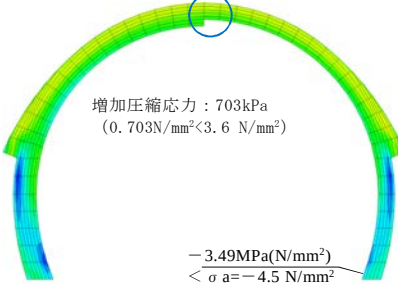
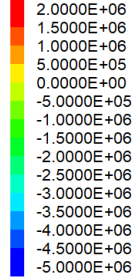
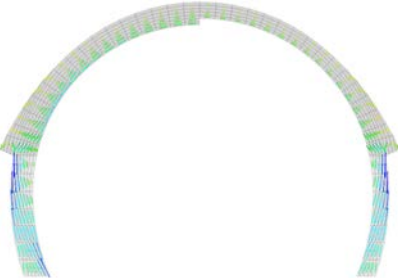
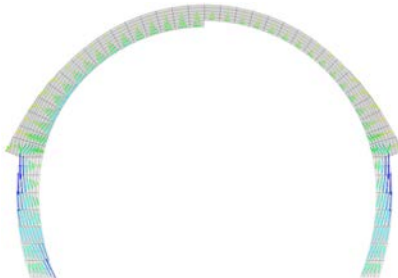
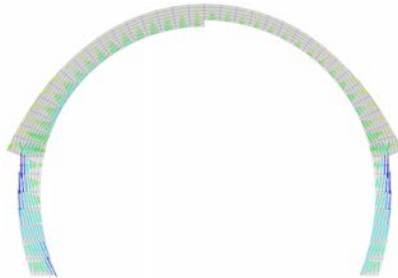
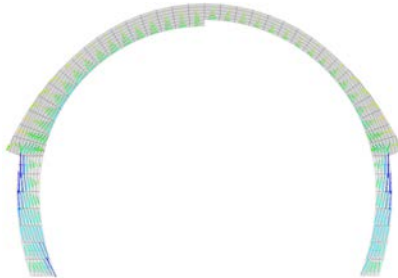
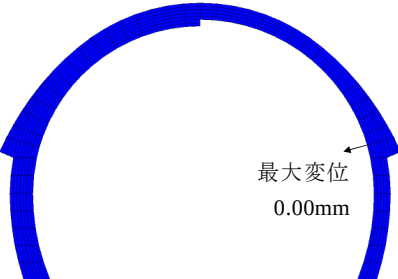
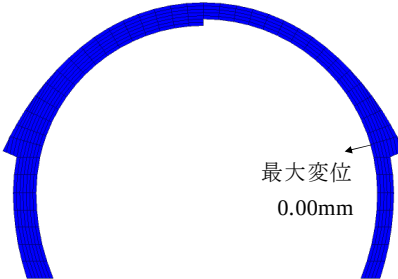
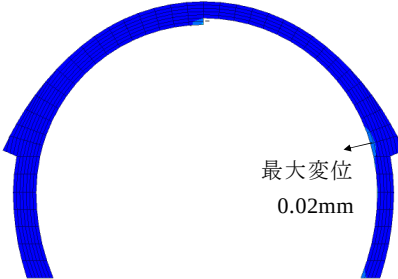
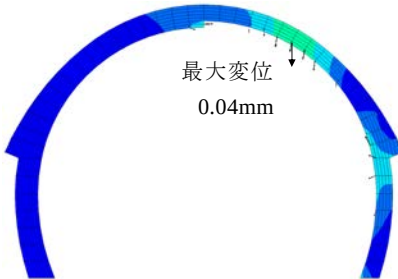
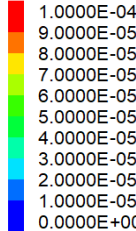
表 L=10.5mの覆工切削時における各横断位置の周方向応力と変形モード（+：引張、－：圧縮）



2) 事前補強のロックボルトを打設しないケース (L=10.5m区間)

事前補強ロックボルトの有無による差はほとんど無い。

表 L=10.5mの覆工切削時における各横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|          | 3.75m 覆工切削時                                                                                                                                                                                                       | 5.25m 覆工切削時                                                                                                                                                                                              | 7.5m 覆工切削時                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 10.5m 覆工切削時                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 凡例                                                                                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図 |  <p>内縁応力最大値 : <math>-3.25\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/><math>&lt; \sigma_a = -4.5 \text{ N}/\text{mm}^2</math></p> |  <p><math>-3.23\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/><math>&lt; \sigma_a = -4.5 \text{ N}/\text{mm}^2</math></p> |  <p>増加圧縮応力 : <math>483\text{kPa}</math><br/>(<math>0.483\text{N}/\text{mm}^2 &lt; 3.6 \text{ N}/\text{mm}^2</math>)</p> <p><math>-3.36\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/><math>&lt; \sigma_a = -4.5 \text{ N}/\text{mm}^2</math></p> |  <p>増加圧縮応力 : <math>703\text{kPa}</math><br/>(<math>0.703\text{N}/\text{mm}^2 &lt; 3.6 \text{ N}/\text{mm}^2</math>)</p> <p><math>-3.49\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/><math>&lt; \sigma_a = -4.5 \text{ N}/\text{mm}^2</math></p> |  <p>(Pa)</p> <p>+ : 引張<br/>- : 圧縮</p> |
| 主応力成分    |                                                                                                                                 |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                          |
| 覆工変形モード  |  <p>最大変位<br/>0.00mm</p>                                                                                                        |  <p>最大変位<br/>0.00mm</p>                                                                                              |  <p>最大変位<br/>0.02mm</p>                                                                                                                                                                                                                     |  <p>最大変位<br/>0.04mm</p>                                                                                                                                                                                                                     |  <p>(m)</p>                         |

### 3) 事前補強のロックボルトを打設するケース (L=73.5m区間逐次切削)

1) ~2) より、覆工切削 L=10.5m の 1 スパンまで半断面の覆工切削が可能であると検証された。より長い切削長に対する検証を行う。切削延長を下图に示すように 73.5m 区間 (0.75m×98 ステップ) とし、各掘削時点における足付け部である断面位置①～⑥に着目し、応力分布、覆工コンクリート挙動やロックボルト軸力の検証を行う。

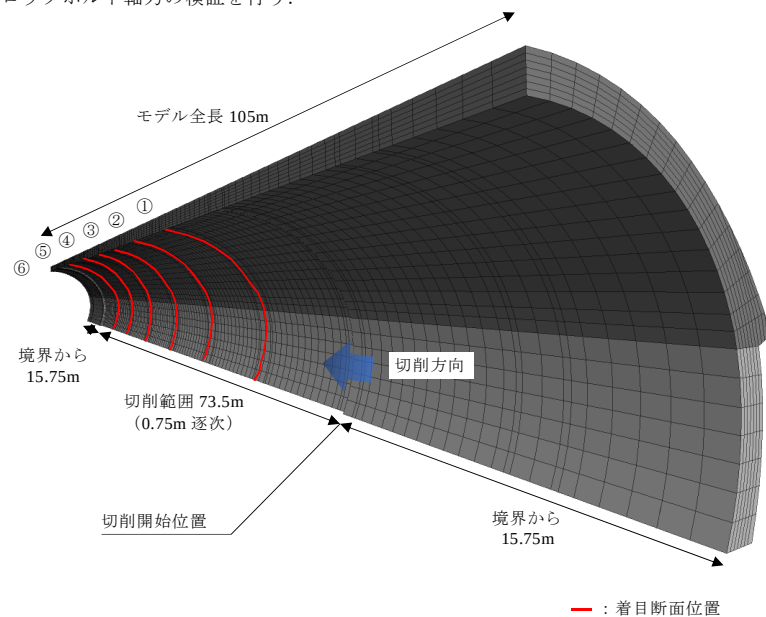


図 切削範囲

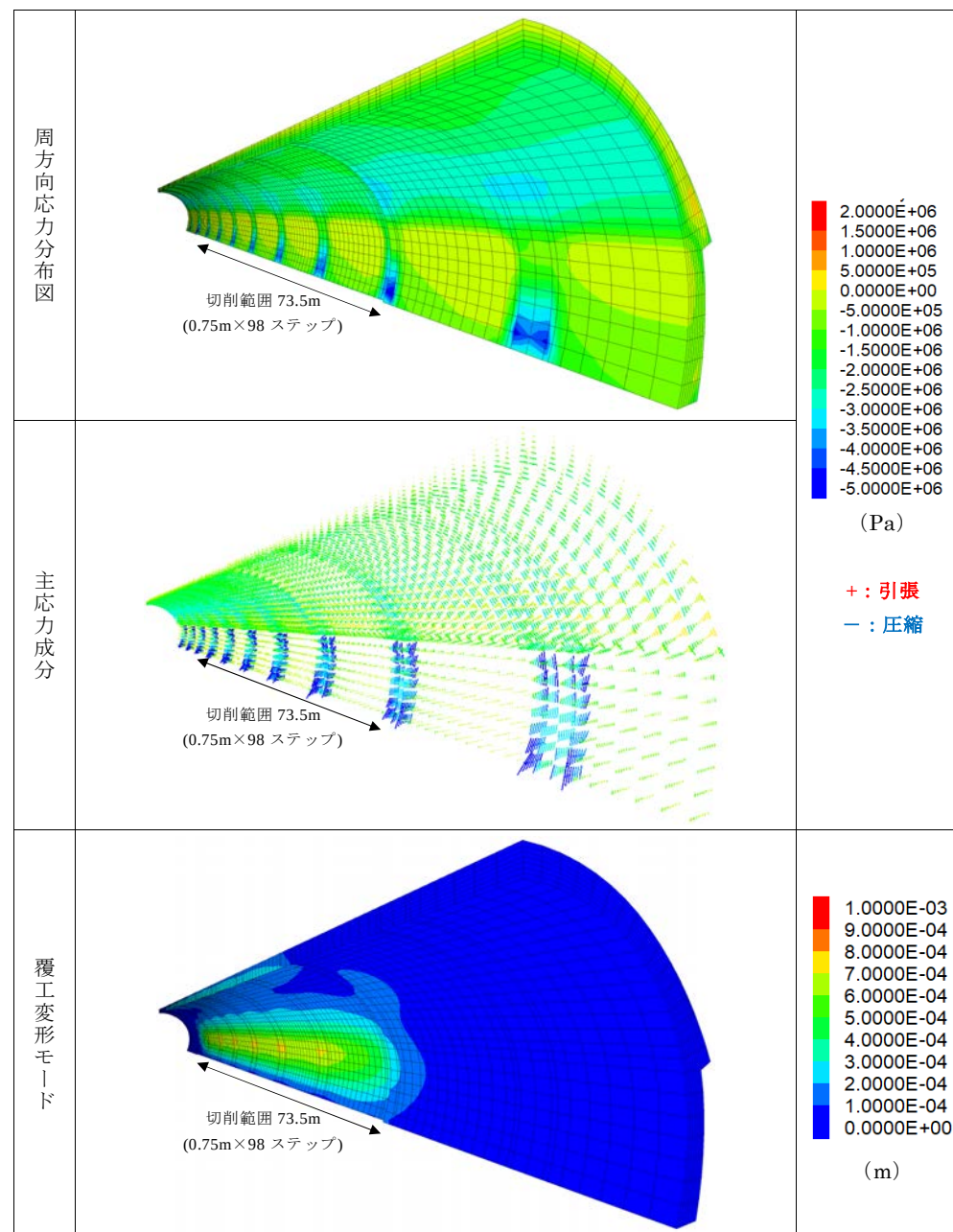


表 L=15.0m (0.75m×20 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ②切削開始位置から 21.0m 離れ | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.01\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N}/\text{mm}^2</math><br/> <math>(-1.14\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/> <math>-4.49\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N}/\text{mm}^2</math><br/> <math>(-1.63\text{N}/\text{mm}^2)</math><br/>           建設時<math>-2.86\text{N}/\text{mm}^2, -2.87\text{N}/\text{mm}^2</math> </p> | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <p> <math>2.0000\text{E}+06</math><br/> <math>1.5000\text{E}+06</math><br/> <math>1.0000\text{E}+06</math><br/> <math>5.0000\text{E}+05</math><br/> <math>0.0000\text{E}+00</math><br/> <math>-5.0000\text{E}+05</math><br/> <math>-1.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-1.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-2.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-2.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-3.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-3.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-4.0000\text{E}+06</math><br/> <math>-4.5000\text{E}+06</math><br/> <math>-5.0000\text{E}+06</math><br/>           (Pa)<br/>           + : 引張<br/>           - : 圧縮         </p> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 覆工変形モード    | <p>最大変位 0.25mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <p> <math>5.0000\text{E}-04</math><br/> <math>4.5000\text{E}-04</math><br/> <math>4.0000\text{E}-04</math><br/> <math>3.5000\text{E}-04</math><br/> <math>3.0000\text{E}-04</math><br/> <math>2.5000\text{E}-04</math><br/> <math>2.0000\text{E}-04</math><br/> <math>1.5000\text{E}-04</math><br/> <math>1.0000\text{E}-04</math><br/> <math>5.0000\text{E}-05</math><br/> <math>0.0000\text{E}+00</math><br/>           (m)         </p>                                                                                                                                                                                                        |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,412N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <p> <math>3.0000\text{E}+03</math><br/> <math>2.7500\text{E}+03</math><br/> <math>2.5000\text{E}+03</math><br/> <math>2.2500\text{E}+03</math><br/> <math>2.0000\text{E}+03</math><br/> <math>1.7500\text{E}+03</math><br/> <math>1.5000\text{E}+03</math><br/> <math>1.2500\text{E}+03</math><br/> <math>1.0000\text{E}+03</math><br/> <math>7.5000\text{E}+02</math><br/> <math>5.0000\text{E}+02</math><br/> <math>2.5000\text{E}+02</math><br/> <math>0.0000\text{E}+00</math><br/> <math>-2.5000\text{E}+02</math><br/> <math>-5.0000\text{E}+02</math><br/>           (N)         </p>                                                      |

表 L=22.5m (0.75m×30 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.03\text{MPa(N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.50\text{MPa(N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.64\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.86N/mm<sup>2</sup>, -2.87N/mm<sup>2</sup> </p> | <p> <math>-3.96\text{MPa(N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.09\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.50\text{MPa(N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.62\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.88N/mm<sup>2</sup>, -2.87N/mm<sup>2</sup> </p> | —                  | —                  | —                  | —                  | 2.0000E+06<br>1.5000E+06<br>1.0000E+06<br>5.0000E+05<br>0.0000E+00<br>-5.0000E+05<br>-1.0000E+06<br>-1.5000E+06<br>-2.0000E+06<br>-2.5000E+06<br>-3.0000E+06<br>-3.5000E+06<br>-4.0000E+06<br>-4.5000E+06<br>-5.0000E+06<br>(Pa)<br>+ : 引張<br>- : 圧縮 |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 覆工変形モード    | <p>最大変位 0.33mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>0.18mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —                  | —                  | —                  | —                  | 5.0000E-04<br>4.5000E-04<br>4.0000E-04<br>3.5000E-04<br>3.0000E-04<br>2.5000E-04<br>2.0000E-04<br>1.5000E-04<br>1.0000E-04<br>5.0000E-05<br>0.0000E+00<br>(m)                                                                                        |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,867N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>913N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | —                  | —                  | —                  | —                  | 3.0000E+03<br>2.7500E+03<br>2.5000E+03<br>2.2500E+03<br>2.0000E+03<br>1.7500E+03<br>1.5000E+03<br>1.2500E+03<br>1.0000E+03<br>7.5000E+02<br>5.0000E+02<br>2.5000E+02<br>0.0000E+00<br>-2.5000E+02<br>-5.0000E+02<br>(N)                              |

表 L=30.0m (0.75m×40 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.04\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.17\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.50\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.64\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時<math>-2.86\text{N/mm}^2, -2.87\text{N/mm}^2</math> </p> | <p> <math>-4.02\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.15\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.51\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.63\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時<math>-2.88\text{N/mm}^2, -2.87\text{N/mm}^2</math> </p> | —                  | —                  | —                  | —                  | 2.0000E+06<br>1.5000E+06<br>1.0000E+06<br>5.0000E+05<br>0.0000E+00<br>-5.0000E+05<br>-1.0000E+06<br>-1.5000E+06<br>-2.0000E+06<br>-2.5000E+06<br>-3.0000E+06<br>-3.5000E+06<br>-4.0000E+06<br>-4.5000E+06<br>-5.0000E+06<br>(Pa)<br>+ : 引張<br>- : 圧縮 |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 覆工変形モード    | <p>最大変位 0.35mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>0.31mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | —                  | —                  | —                  | —                  | 5.0000E-04<br>4.5000E-04<br>4.0000E-04<br>3.5000E-04<br>3.0000E-04<br>2.5000E-04<br>2.0000E-04<br>1.5000E-04<br>1.0000E-04<br>5.0000E-05<br>0.0000E+00<br>(m)                                                                                        |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,965N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>1,701N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | —                  | —                  | —                  | —                  | 3.0000E+03<br>2.7500E+03<br>2.5000E+03<br>2.2500E+03<br>2.0000E+03<br>1.7500E+03<br>1.5000E+03<br>1.2500E+03<br>1.0000E+03<br>7.5000E+02<br>5.0000E+02<br>2.5000E+02<br>0.0000E+00<br>-2.5000E+02<br>-5.0000E+02<br>(N)                              |

表 L=37.5m (0.75m×50 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～③横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                     |                     |                     | —                   | —                   | —                   | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |                     |                     |                     | —                   | —                   | —                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |                     |                     |                     | —                   | —                   | —                   | <div> <div> 5.0000E-04<br/>4.5000E-04<br/>4.0000E-04<br/>3.5000E-04<br/>3.0000E-04<br/>2.5000E-04<br/>2.0000E-04<br/>1.5000E-04<br/>1.0000E-04<br/>5.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                          |
| ロックボルト軸力分布 |                     |                     |                     | —                   | —                   | —                   | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                            |

表 L=45.0m (0.75m×60 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～④横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div> + : 引張<br/>- : 圧縮 </div> </div> |
| 主応力成分      |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 覆工変形モード    |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> 5.0000E-04<br/>4.5000E-04<br/>4.0000E-04<br/>3.5000E-04<br/>3.0000E-04<br/>2.5000E-04<br/>2.0000E-04<br/>1.5000E-04<br/>1.0000E-04<br/>5.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                       |
| ロックボルト軸力分布 |                     |                     |                     |                     | —                   | —                   | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                         |

表 L=60.0m (0.75m×80 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑤横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ③切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ④切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.03\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16\text{N/mm}^2)</math> </p> <p> <math>-4.50\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&gt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.64\text{N/mm}^2)</math> </p> <p>建設時-2.86N/mm<sup>2</sup>, -2.87N/mm<sup>2</sup></p> | <p> <math>-4.03\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16\text{N/mm}^2)</math> </p> <p> <math>-4.53\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&gt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.65\text{N/mm}^2)</math> </p> <p>建設時-2.88N/mm<sup>2</sup>, -2.87N/mm<sup>2</sup></p> | <p> <math>-4.04\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16\text{N/mm}^2)</math> </p> <p> <math>-4.53\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.65\text{N/mm}^2)</math> </p> <p>建設時-2.88N/mm<sup>2</sup>, -2.88N/mm<sup>2</sup></p> | <p> <math>-4.04\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.15\text{N/mm}^2)</math> </p> <p> <math>-4.54\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.65\text{N/mm}^2)</math> </p> <p>建設時-2.89N/mm<sup>2</sup>, -2.89N/mm<sup>2</sup></p> | <p> <math>-4.09\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.15\text{N/mm}^2)</math> </p> <p> <math>-4.60\text{MPa}(\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.66\text{N/mm}^2)</math> </p> <p>建設時-2.94N/mm<sup>2</sup>, -2.94N/mm<sup>2</sup></p> | —                  | <p>(Pa)</p> <p>+ : 引張<br/>- : 圧縮</p> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —                  |                                      |
| 覆工変形モード    | <p>最大変位 0.36mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>0.36mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>0.32mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | —                  | <p>(m)</p>                           |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,993N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1,982N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1,922N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1,887N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1,606N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | —                  | <p>(N)</p>                           |

表 L=73.5m (0.75m×98 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----|
| 周方向応力分布図   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |    |
| 主応力成分      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |    |
| 覆工変形モード    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |    |
| ロックボルト軸力分布 |                     |                     |                     |                     |                     |                     |    |

### 3) 事前補強のロックボルトを打設するケース (L=73.5m区間逐次切削)

これまでにより、L=73.5mまで半断面の覆工切削が可能であると検証された。右側の73.5m区間切削後に引続き行う左側の切削長に対する検証を行う。先の検討と同様に、切削延長を下図に示すように73.5m区間(0.75m×98ステップ)とし、各掘削時点における足付け部である断面位置①～⑥に着目し、応力分布、覆工コンクリート挙動やロックボルト軸力の検証を行う。

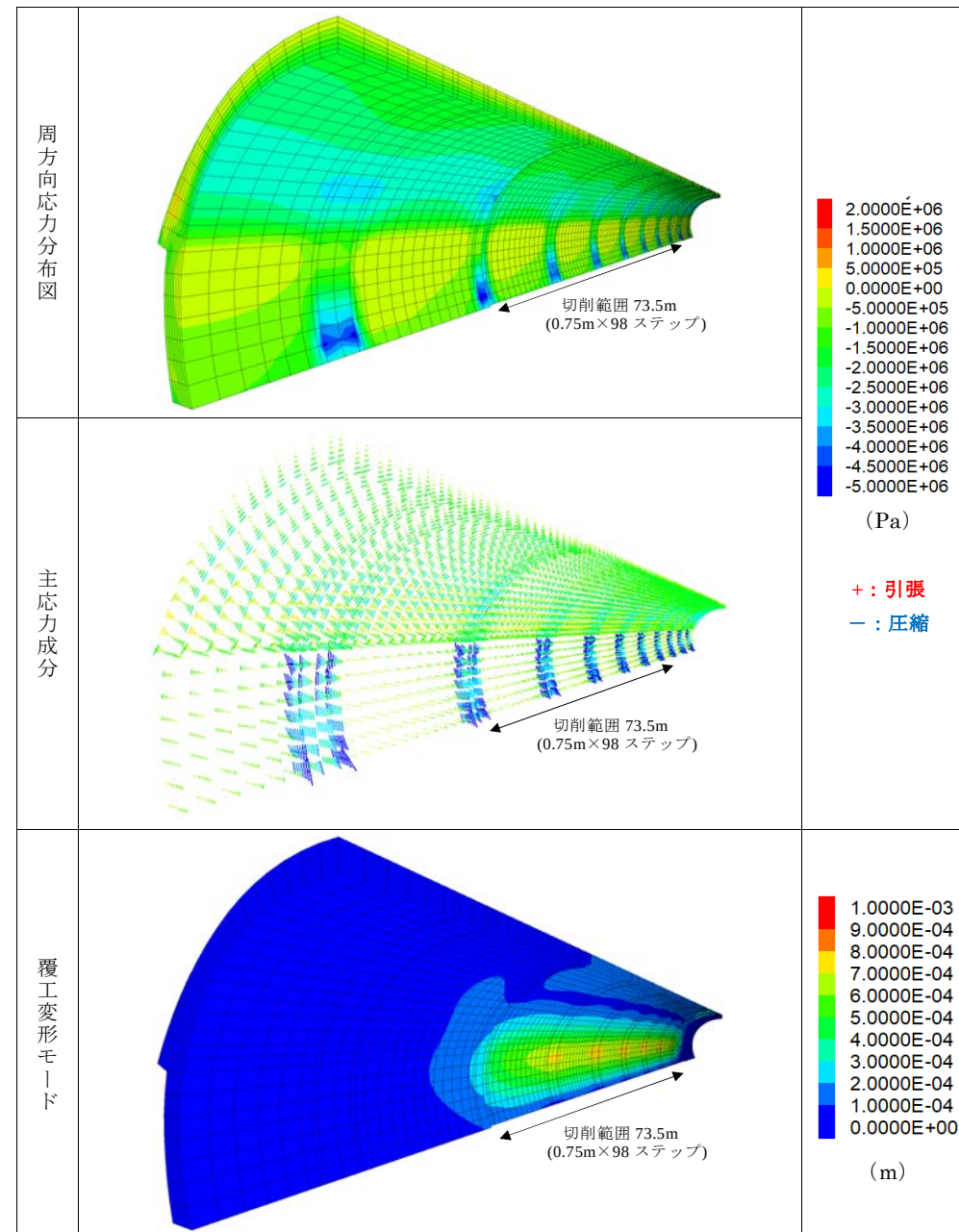
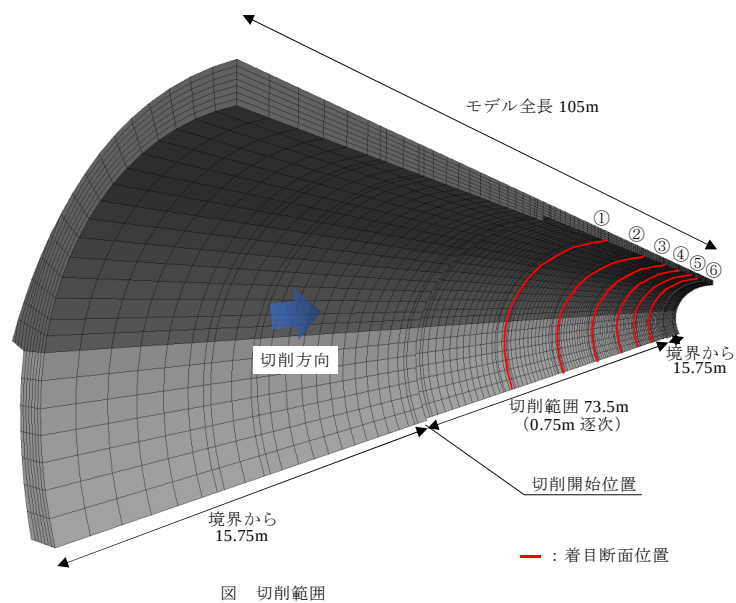


表 L=15.0m (0.75m×20 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

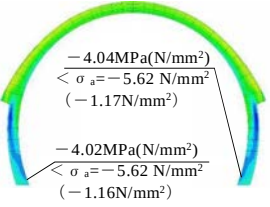
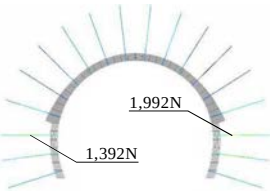
|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                | ②切削開始位置から 21.0m 離れ | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   |  <p>建設時-2.86N/mm²,-2.87N/mm²</p> | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 2.0000E+06<br/>1.5000E+06<br/>1.0000E+06<br/>5.0000E+05<br/>0.0000E+00<br/>-5.0000E+05<br/>-1.0000E+06<br/>-1.5000E+06<br/>-2.0000E+06<br/>-2.5000E+06<br/>-3.0000E+06<br/>-3.5000E+06<br/>-4.0000E+06<br/>-4.5000E+06<br/>-5.0000E+06 </div> <div>(Pa)</div> <div>+: 引張</div> <div>-: 圧縮</div> </div> |
| 主応力成分      |                                  | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 覆工変形モード    |  <p>0.25mm 0.36mm</p>            | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 5.0000E-04<br/>4.5000E-04<br/>4.0000E-04<br/>3.5000E-04<br/>3.0000E-04<br/>2.5000E-04<br/>2.0000E-04<br/>1.5000E-04<br/>1.0000E-04<br/>5.0000E-05<br/>0.0000E+00 </div> <div>(m)</div> </div>                                                                                                          |
| ロックボルト軸力分布 |  <p>1,992N 1,392N</p>           | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | <div> <div> 3.0000E+03<br/>2.7500E+03<br/>2.5000E+03<br/>2.2500E+03<br/>2.0000E+03<br/>1.7500E+03<br/>1.5000E+03<br/>1.2500E+03<br/>1.0000E+03<br/>7.5000E+02<br/>5.0000E+02<br/>2.5000E+02<br/>0.0000E+00<br/>-2.5000E+02<br/>-5.0000E+02 </div> <div>(N)</div> </div>                                            |

表 L=22.5m (0.75m×30 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ①切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ②切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ③切削開始位置から 31.5m 離れ | ④切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.05 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18 \text{ N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.04 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18 \text{ N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.86N/mm², -2.87N/mm²         </p> | <p> <math>-4.03 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16 \text{ N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.00 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.12 \text{ N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.88N/mm², -2.87N/mm²         </p> | —                  | —                  | —                  | —                  | 2.0000E+06<br>1.5000E+06<br>1.0000E+06<br>5.0000E+05<br>0.0000E+00<br>-5.0000E+05<br>-1.0000E+06<br>-1.5000E+06<br>-2.0000E+06<br>-2.5000E+06<br>-3.0000E+06<br>-3.5000E+06<br>-4.0000E+06<br>-4.5000E+06<br>-5.0000E+06<br>(Pa)<br>+ : 引張<br>- : 圧縮 |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —                  | —                  | —                  | —                  |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 覆工変形モード    | <p>0.33mm 0.36mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>0.18mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | —                  | —                  | —                  | —                  | 5.0000E-04<br>4.5000E-04<br>4.0000E-04<br>3.5000E-04<br>3.0000E-04<br>2.5000E-04<br>2.0000E-04<br>1.5000E-04<br>1.0000E-04<br>5.0000E-05<br>0.0000E+00<br>(m)                                                                                        |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,900N 1,974N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>1,981N 800N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | —                  | —                  | —                  | —                  | 3.0000E+03<br>2.7500E+03<br>2.5000E+03<br>2.2500E+03<br>2.0000E+03<br>1.7500E+03<br>1.5000E+03<br>1.2500E+03<br>1.0000E+03<br>7.5000E+02<br>5.0000E+02<br>2.5000E+02<br>0.0000E+00<br>-2.5000E+02<br>-5.0000E+02<br>(N)                              |

表 L=37.5m (0.75m×50 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～③横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.06\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt;\sigma_a = -5.62\text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.04\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt;\sigma_a = -5.62\text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時<math>-2.86\text{N/mm}^2, -2.87\text{N/mm}^2</math> </p> | <p> <math>-4.05\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt;\sigma_a = -5.62\text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.08\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt;\sigma_a = -5.62\text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.20\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時<math>-2.88\text{N/mm}^2, -2.87\text{N/mm}^2</math> </p> | <p> <math>-4.05\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt;\sigma_a = -5.62\text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.17\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.06\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt;\sigma_a = -5.62\text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時<math>-2.88\text{N/mm}^2, -2.88\text{N/mm}^2</math> </p> | —                   | —                   | —                   | <p>(Pa)</p> <p>+: 引張</p> <p>-: 圧縮</p> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | —                   | —                   | —                   |                                       |
| 覆工変形モード    | <p>0.37mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>0.36mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>0.29mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | —                   | —                   | —                   | <p>(m)</p>                            |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,979N 2,053N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1,961N 1,975N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1,913N 1,518N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | —                   | —                   | —                   | <p>(N)</p>                            |

表 L=45.0m (0.75m×60 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～④横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.06 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19 \text{ N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.04 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18 \text{ N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.86N/mm², -2.87N/mm²         </p> | <p> <math>-4.06 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19 \text{ N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.08 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.20 \text{ N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.88N/mm², -2.87N/mm²         </p> | <p> <math>-4.06 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18 \text{ N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.07 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19 \text{ N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.88N/mm², -2.88N/mm²         </p> | <p> <math>-4.05 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16 \text{ N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.02 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.13 \text{ N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.89N/mm², -2.89N/mm²         </p> | —                   | —                   | 2.0000E+06<br>1.5000E+06<br>1.0000E+06<br>5.0000E+05<br>0.0000E+00<br>-5.0000E+05<br>-1.0000E+06<br>-1.5000E+06<br>-2.0000E+06<br>-2.5000E+06<br>-3.0000E+06<br>-3.5000E+06<br>-4.0000E+06<br>-4.5000E+06<br>-5.0000E+06<br>(Pa)<br>+ : 引張<br>- : 圧縮 |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | —                   | —                   |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 覆工変形モード    | <p>0.37mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>0.37mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>0.36mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>0.24mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | —                   | —                   | 5.0000E-04<br>4.5000E-04<br>4.0000E-04<br>3.5000E-04<br>3.0000E-04<br>2.5000E-04<br>2.0000E-04<br>1.5000E-04<br>1.0000E-04<br>5.0000E-05<br>0.0000E+00<br>(m)                                                                                        |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,981N 2,057N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>1,967N 2,014N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>1,902N 1,915N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>1,906N 1,189N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | —                   | —                   | 3.0000E+03<br>2.7500E+03<br>2.5000E+03<br>2.2500E+03<br>2.0000E+03<br>1.7500E+03<br>1.5000E+03<br>1.2500E+03<br>1.0000E+03<br>7.5000E+02<br>5.0000E+02<br>2.5000E+02<br>0.0000E+00<br>-2.5000E+02<br>-5.0000E+02<br>(N)                              |

表 L=60.0m (0.75m×80 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑤横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ | 凡例   |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| 周方向応力分布図   |                     |                     |                     |                     |                     | —                   |      |
| 主応力成分      |                     |                     |                     |                     |                     | —                   | (Pa) |
| 覆工変形モード    |                     |                     |                     |                     |                     | —                   |      |
| ロックボルト軸力分布 |                     |                     |                     |                     |                     | —                   |      |

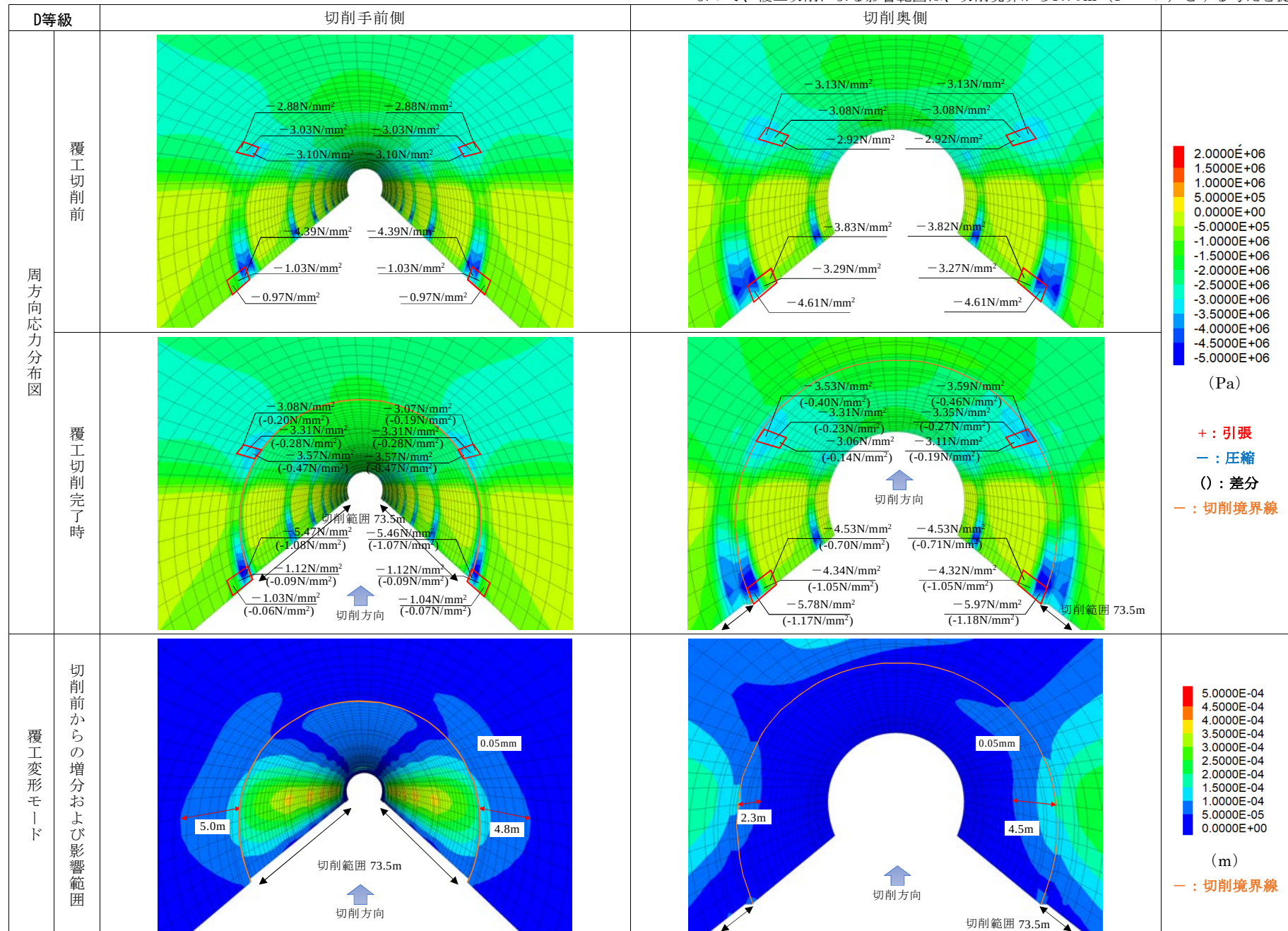
表 L=73.5m (0.75m×98 ステップ) 間の覆工逐次切削完了時における①～⑥横断位置の周方向応力と変形モード (+ : 引張、- : 圧縮)

|            | ① 切削開始位置から 10.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ② 切削開始位置から 21.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ③ 切削開始位置から 31.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ④ 切削開始位置から 42.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ⑤ 切削開始位置から 52.5m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ⑥ 切削開始位置から 63.0m 離れ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 凡例                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 周方向応力分布図   | <p> <math>-4.06\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.04\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.86N/mm², -2.87N/mm²         </p> | <p> <math>-4.06\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.08\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.20\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.88N/mm², -2.87N/mm²         </p> | <p> <math>-4.07\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.07\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.88N/mm², -2.88N/mm²         </p> | <p> <math>-4.07\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.05\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.16\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.89N/mm², -2.89N/mm²         </p> | <p> <math>-4.13\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.19\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.12\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.94N/mm², -2.94N/mm²         </p> | <p> <math>-4.12\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/> <math>-4.12\text{MPa(N/mm}^2\text{)}</math><br/> <math>&lt; \sigma_a = -5.62 \text{ N/mm}^2</math><br/> <math>(-1.18\text{N/mm}^2)</math><br/>           建設時-2.94N/mm², -2.94N/mm²         </p> | <p>(Pa)</p> <p>+ : 引張<br/>- : 圧縮</p> |
| 主応力成分      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      |
| 覆工変形モード    | <p>0.37mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>0.38mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>0.38mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>0.38mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>0.38mm 0.38mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>0.34mm 0.37mm</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>(m)</p>                           |
| ロックボルト軸力分布 | <p>1,983N 2,060N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>1,972N 2,029N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>1,914N 2,003N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>1,902N 1,973N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>1,881N 1,926N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>1,790N 1,725N</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>(N)</p>                           |

【影響範囲】

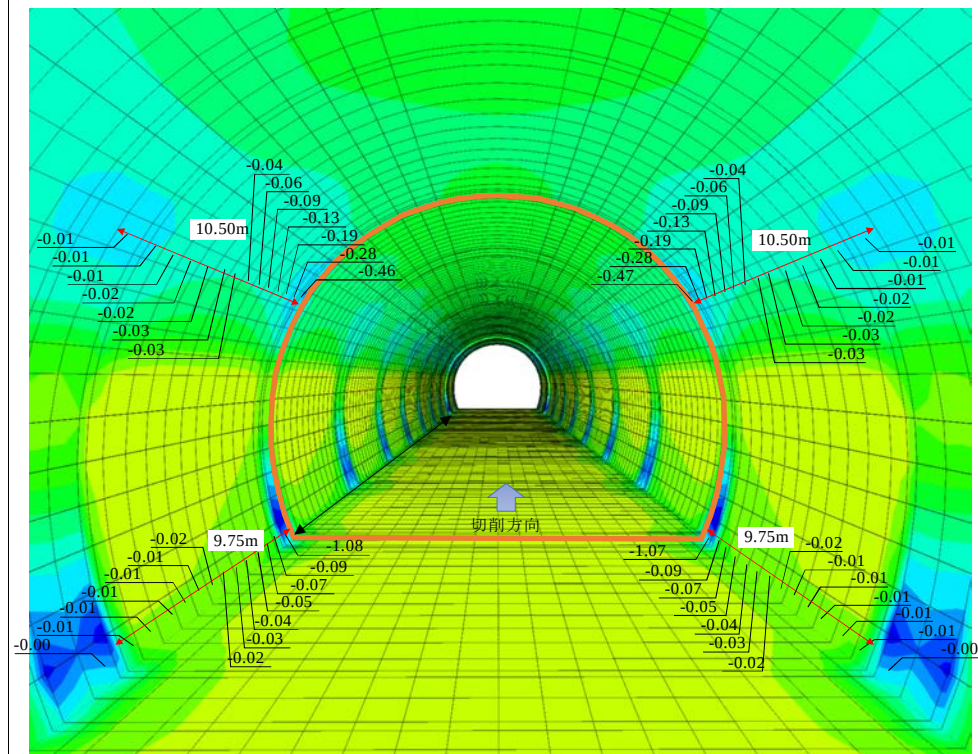
- ・覆工変形モードより、変位量0.05mm未満を閾値とすると「5m」が影響範囲となる。
- ・増分圧縮応力度の0.01N/mm<sup>2</sup>未満を閾値とすると「10.5m」が影響範囲となる。
- ・よって、覆工切削による影響範囲は、切削境界から10.5m（1スパン）とする考えを提案する。

1. 覆工切削による既存覆工への影響範囲について

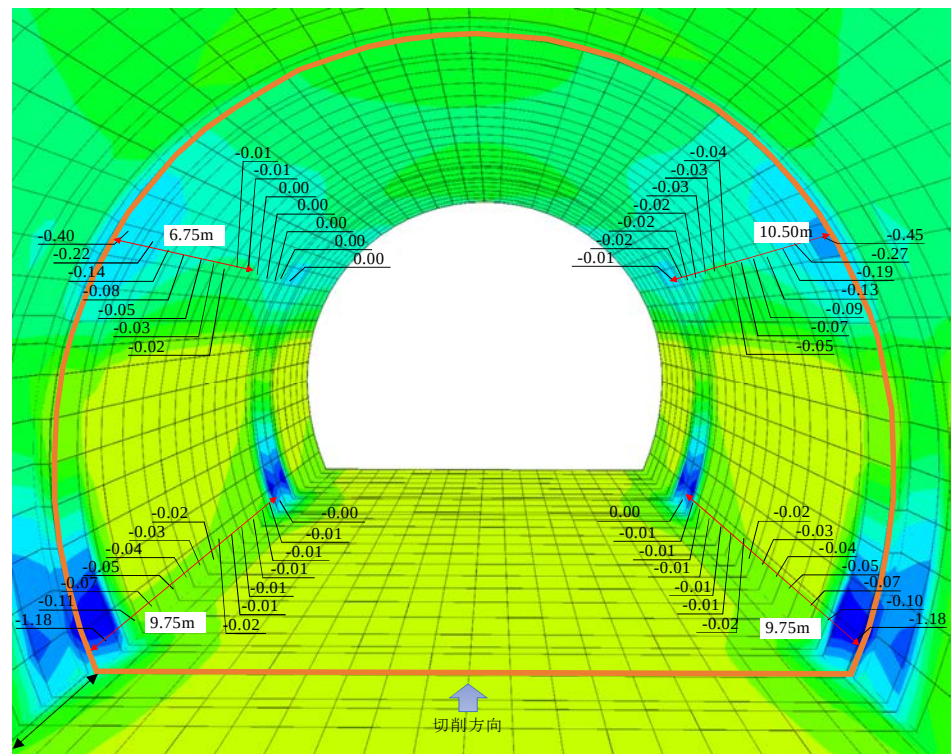


D等級

切削手前側



切削奥側



差分のみ表記（単位：N/mm<sup>2</sup>）

## 参考資料-3

### 既設トンネルの附属物等の移設 及び防護工の設置事例

## 1. 防護工設置事例

### a. 防護工の設置条件

防護工は、工事期間中における通行車両の交通を確保する目的で設置される、いわゆる「防護用仮設備」である。防護工の形状・寸法は、既設トンネル及び再生覆工の断面寸法や、日交通量、通過する車両の寸法によって決定され、施工方法や上載荷重によってその構造が決定される。また、組立・解体するヤードの大きさ、設置・撤去方法、交通規制条件についても合わせて検討が必要である。

防護工の設置に関する制約条件を以下に示す。

#### ① 既設トンネル及び新設(拡幅)トンネル断面による制約

- ・ 既設トンネルの車線数(2 車線、1 車線)
- ・ 防護工設置後の施工空間
- ・ 施工方法、施工機械の選定、人力による施工の割合

#### ② 日交通量による制約

- ・ 片側交互通行による交通への影響(待機時間、渋滞の発生状況)
- ・ 2 車線を確保する方法(迂回路の併用、2 車線防護工(大断面トンネル))

### b. 防護工の方法

防護工の方法は、門型防護工による場合として利用する。

#### ① 門型防護工を設置する方法

鋼材を主材として構成された門型形状の防護工を、工事区間に設置し、通行車両は防護工内を通行する形式である。過去の実績では、防護工内は交通 1 車線を確保する例がほとんどである。図 2.1 に 1 車線用防護工の事例を示す。

但し、分岐・合流部において 2 車線用防護工を設置した例や、大蔵トンネルのように 2 車線トンネルから 3 車線トンネルに拡幅する場合に 2 車線用防護工を設置した事例もある。図 2.2 に 2 車線用防護工の事例を示す。

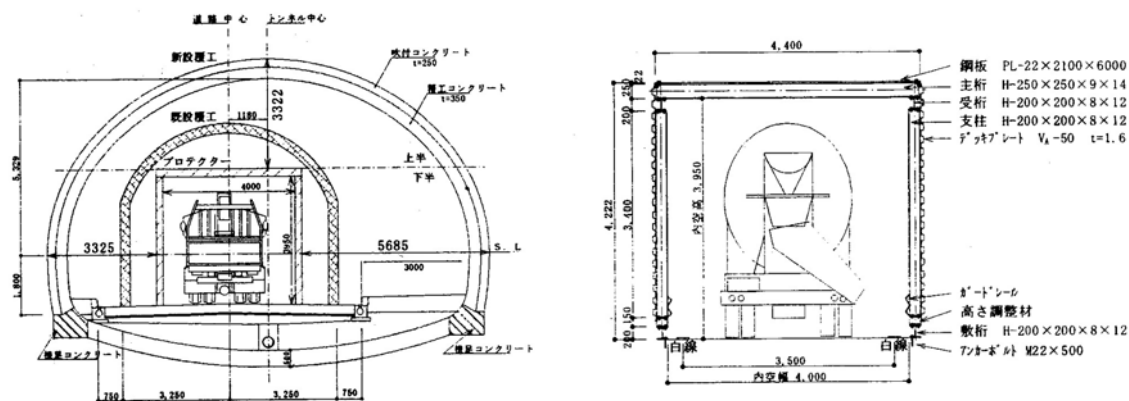


図 2.1 1 車線用防護工構造(勝岩トンネル)

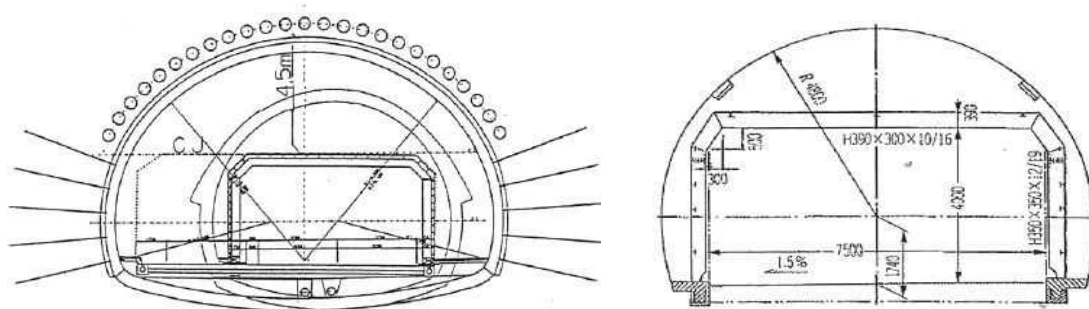


図 2.2 2 車線用防護工構造(大蔵トンネル)

門型防護工は実績として最も多い形状であるが、設計思想に標準的なものは無く、各工事条件により通行する車両や設計荷重等を想定して構造を決定している。

### c. 防護工の形状・寸法

施工実績としてはほとんどが 1 車線を確保する門型の形状であり、2 車線を確保している事例は前述した大蔵トンネル、分岐・合流部の活線拡幅工事における豊浜トンネル、銀河トンネルの 3 例程度である。

防護工に必要な内空寸法としては、通行車両に対する建築限界を確保することが基本となる。但し、既設のトンネル断面により防護工の寸法に制約があり、車両制限をする必要がある場合、別途迂回路を設定する必要がある。

内空寸法の実績としては、車道部で内空幅 3.5～4.0m、内空高さで 3.8～4.0m を確保しているものが多い。単位長さ(m)当りの重量の実績としては、1 車線用防護工で 2.0～3.0tf/m、2 車線用防護工では 4.3～5.0tf/m程度である。

一般拡幅部、分岐・合流部、既設トンネル補強における防護工の設置事例を表 2.1～2.4 に示す。

表 2.1 一般拡幅部門型防護工設置例(1) (※一部加筆修正)

| トンネル名            | 防護工形状・寸法                                                                                                                                                           | 検討対象(荷重条件)                                                                                                                                         |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 松島トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型<br/>B=4.0m、H=4.05m</li> <li>重量(L=130m、314t、2.4t/m)</li> </ul>                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>切羽崩壊時を考慮</li> <li>MRH-S45 (16.5t)</li> </ul>                                                                |
| 鳥越トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型<br/>B=4.0m、H=4.0m</li> </ul>                                                                                           |                                                                                                                                                    |
| 灘浦トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(H-250) 車道部: B=3.75m、H=4.0m 歩道部: B=1.0m、H=2.5m</li> <li>重量(L=165m、365t、2.2t/m)</li> <li>防護工背面をコンクリートにて充填</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>ロードヘッダ S45 (16.5t)</li> </ul>                                                                               |
| 葉山トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型<br/>B=4.1m、H=3.9m</li> <li>重量(L=156m、389t、2.5t/m)</li> <li>防護工背面をエアモルタルにて充填</li> <li>アンカー固定</li> </ul>                 |                                                                                                                                                    |
| 多比第2トンネル         | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(H-250)<br/>B=6.0m</li> <li>防護工背面をコンクリートにて充填</li> <li>自転車、歩行者専用防護工</li> </ul>                                           |                                                                                                                                                    |
| 茶津トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型<br/>車道部: B=3.7m、H=3.8m 歩道部: B=0.75m、H=2.5m</li> <li>重量(L=126m、248t、2.0t/m)</li> <li>歩車道分離、基礎コンクリート+アンカーピン固定</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>600 kg級ブレーカ(13t)</li> </ul>                                                                                 |
| 丑山トンネル<br>打越トンネル | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(柱 H-200、梁 H-250)<br/>B=5.75m、H=3.94m</li> <li>1 基当り重量(L=6.0m、18t、3.0t/m)</li> <li>防護工内部で車歩道分離</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>カッターローダ 9E (12t)</li> <li>キャリアダンプ (17.3t)</li> </ul>                                                        |
| 東栗子トンネル          | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(H-250)<br/>B=3.5m、H=4.1m</li> <li>重量(L=73.2m、177t、2.4t/m)</li> </ul>                                                   |                                                                                                                                                    |
| 真木トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(柱 H-300、梁 H-200)<br/>B=3.5m、H=3.8m</li> <li>防護工と既設覆工間をエアモルにて充填</li> <li>アンカー固定</li> </ul>                              |                                                                                                                                                    |
| 大蔵トンネル           | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(柱 H-350、梁 H-350)<br/>B=7.5m、H=4.15m(2 車線確保)</li> <li>1 基当り重量(L=12.0m、60t、5.0t/m)</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂荷重(t=50cm)</li> <li>油圧ヒッカー(12.85t)</li> <li>クローラジャンボ(26t)</li> <li>覆工衝撃荷重(14.5t)</li> <li>水平土圧</li> </ul> |
| 敷島内トンネル          | <ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製門型(H-350)<br/>B=4.0m、H=4.0m</li> <li>移動式防護工</li> <li>重量(L=46.5m、350t、7.5t/m)</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>発破衝撃荷重(47.4t)</li> <li>発破ずり荷重</li> <li>クローラジャンボ(17.5t)</li> </ul>                                           |

表 2.2 一般拡幅部門型防護工設置例(※一部加筆修正)

| トンネル名   | 防護工形状・寸法                                       | 検討対象(荷重条件)           |
|---------|------------------------------------------------|----------------------|
| 小瀬戸トンネル | ・鋼製門型 B=3.5m、H=4.0m<br>・根固めアンカー                |                      |
| 横間トンネル  | ・鋼製門型 B=5.1m、H=3.7m<br>・重量(L=50m、68t、1.4t/m)   | ・600 kg級ブレーカ(13t)    |
| 須賀トンネル  | ・鋼製門型 B=4.1m、H=3.5m<br>・重量(L=282m、682t、2.4t/m) | ・ロード‘ヘッダ’ S45(16.5t) |
| 朝日トンネル  | ・鋼製門型 B=4.2m、H=4.0m<br>・重量(L=78m、261t、3.3t/m)  |                      |
| 新権田トンネル | ・鋼製門型 B=4.8m、H=3.9m<br>・重量(L=55m、21t、0.4t/m)   | ・通行防護のみ<br>(重機載荷なし)  |

表 2.3 分岐・合流部門型防護工設置例(※一部加筆修正)

| トンネル名    | 防護工形状・寸法                                                                                                                               | 検討対象(荷重条件)                                   |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 第2布引トンネル | ・鋼製門型<br>B=4.0m、H=4.0m(建築限界 B=3.75、H=3.8m)<br>・重量(L=330m、1,930t、5.8t/m)<br>・非常用設備(水噴霧設備、火災検知機他)                                        | ・SD シャンボ(48t)<br>・落石(0.5t、H=2m)<br>・緩衝材として敷砂 |
| 新豊浜トンネル  | ・鋼製門型(柱 H-300、梁 H-400)車道部:B=6.6m、<br>H=4.0m(2車線確保)歩道部:B=1.5m、H=2.5m<br>・1基当り重量(L=6.0m、26t、4.3t/m)<br>・防護工背面をエアモルタル又はコンクリートにより充填、アンカー固定 | ・600 kg級ブレーカ(13t)                            |
| 狩場3号トンネル | ・鋼製門型<br>B=3.75m、H=4.0m<br>・防護工背面をエアモルタル又はコンクリートにより充填<br>・他に横移動可能な防護工、吊下げ式防護工を採用                                                       |                                              |
| 銀河トンネル   | ・鋼製門型(2車線確保)<br>B=7.0m、H=4.0m                                                                                                          |                                              |

表 2.4 既設トンネル補強例(※一部加筆修正)

| トンネル名  | 防護工形状・寸法                                                                                  | 検討対象(荷重条件)                                          |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 引治トンネル | ・H-150+ライナープレート<br>(支保工基礎部にストラット H-150)<br>・車道部:B=3.0m、H=3.3mを確保<br>・歩道部:B=1.5m、H=2.5mを確保 | ・上半掘削後の側壁土圧を考慮<br>・上半掘削時の落石等の衝撃荷重を考慮                |
| 磐船トンネル | ・H-150+吹付コンクリート(t=20cm)<br>H=3.1mを確保<br>・根固めコンクリート                                        | ・掘削時の切り刃前方ゆるみ荷重、上半掘削時の落石等の衝撃荷重を考慮<br>・上半掘削後の側壁土圧を考慮 |

#### d. 防護工の型式

門型防護工については、構造や施工条件等により大きく以下のような3つの型式に分けられる。

##### ① 固定式防護工

主に鋼材により組立てられた防護工を所定の位置へ設置し、アンカーや鋼材により既設トンネルの舗装面に固定する形状である。拡幅掘削の完了後、防水シートの施工による仮防護若しくは覆工コンクリートの施工が完了した後に撤去することになる。過去の施工事例では、多くの防護工がこの型式である。

固定式防護工の事例(構造図)を図2.3に示す。

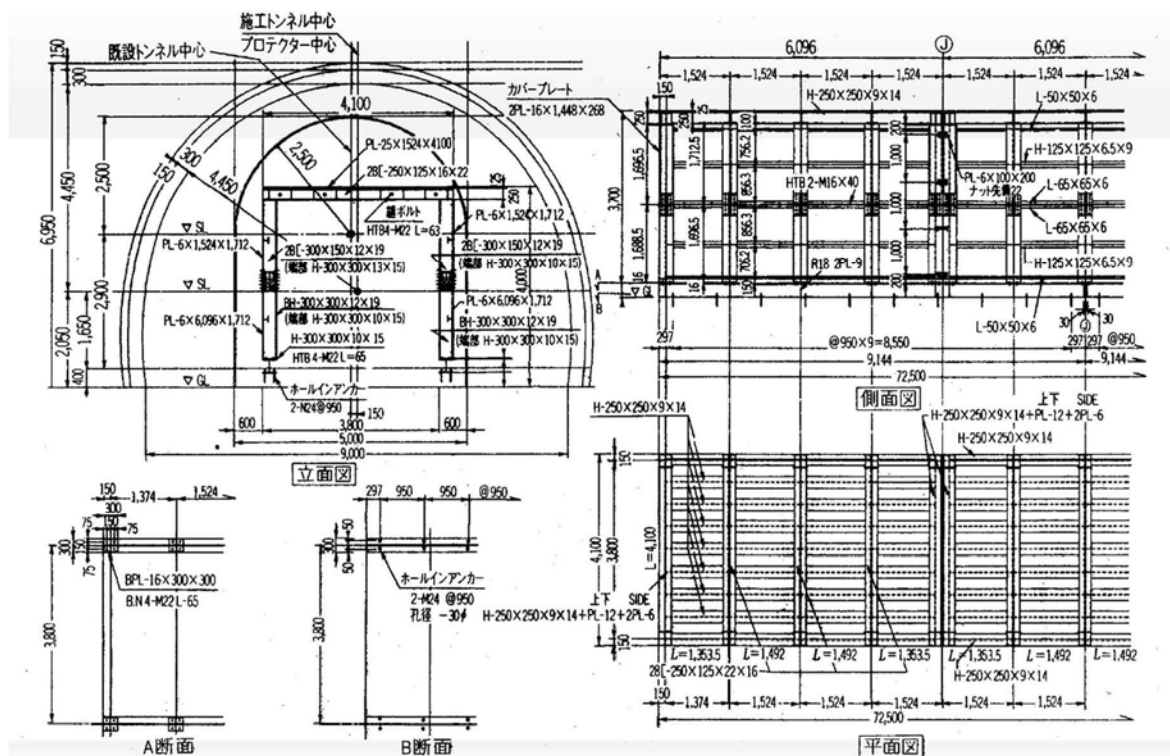


図 2.3 固定式防護工構造図(小瀬古トンネル)

##### ② 移動式防護工

レール用の車輪やタイヤを装備した構造により、防護工本体が工事の進捗に合わせてトンネル進行方向へ移動する形状である。発破による拡幅掘削の敷島内トンネルや、分岐部の拡幅施工である狩場トンネルにて採用されているが、施工事例は少ない。

移動式防護工の特徴として、移動(駆動)装置や移動時の変形防止措置が必要となるため、一般的には固定式防護工に比べて重量増となる。移動式防護工の事例を図2.4及び図2.5に示す。

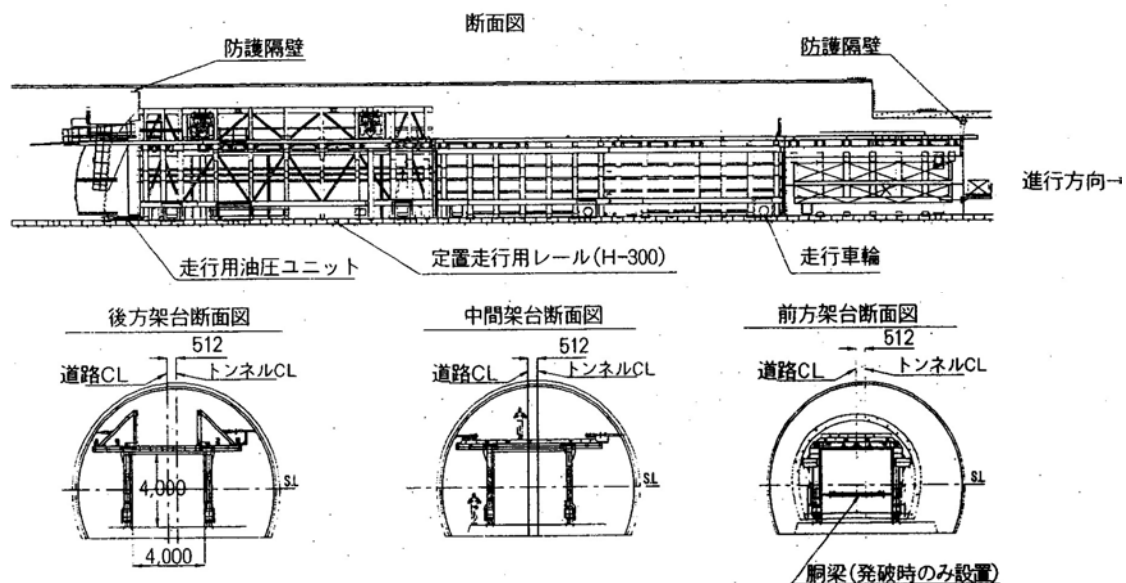


図 2.4 移動式防護工構造図(敷島内トンネル)

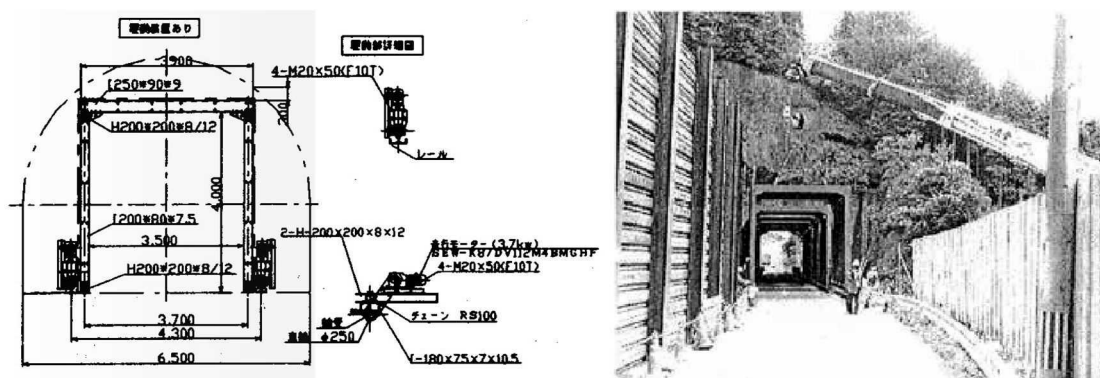


図 2.5 移動式防護工構造図(川尻第2トンネル)

### ③ 簡易防護工

掘削完了後から防水シートを設置するまでの期間において、吹付けコンクリートの小片や湧水の落下を防止する、あるいは拡幅掘削の影響によって既設覆工の劣化箇所から小規模な剥離が懸念されるような場合を想定した構造であり、拡幅作業区間と通行車両帯の間仕切りを目的とした形状である。掘削土や既設覆工の撤去塊、掘削重機等の大きな積載荷重を受けることが無いため、前述した①の固定式防護工よりも軽微な構造である。

過去の実績では、移動式防護工と合わせて採用されており、敷島内トンネルの事例では既設覆工の防護として移動式防護工の前方に設置されている。狩場トンネルの事例では、吊下げ式構造の簡易防護工が採用されている。図 2.6 にパネル式簡易防護工、図 2.7 に吊下げ式簡易防護工の事例を示す。

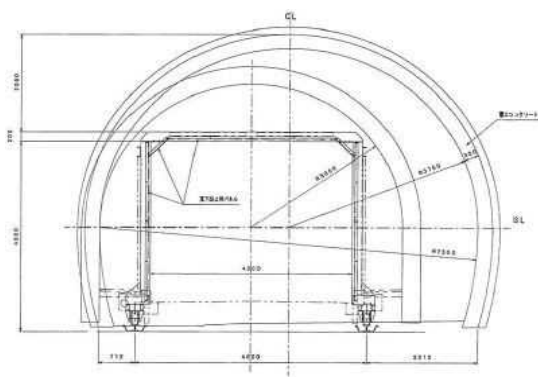


図 2.6 パネル式防護工(参考図)

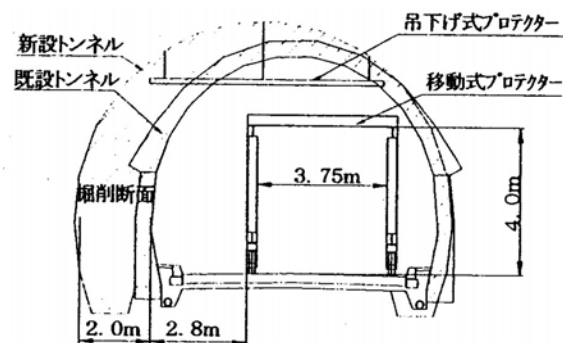


図 2.7 吊り下げ式簡易防護工(3号狩場トンネル)

#### e. 設計事例

##### ① 大蔵トンネルの設計例(車道 2 車線を確保した防護工構造)

###### ・ 主要寸法

現場での組立時間を短縮するために、1ブロックごとに分割された(L=12m、10 ピースに分割)ピース材を工場製作して現場へ搬入し、写真 2.1 に示すような大型特殊運搬車(ユニットドーリ)によりトンネル坑内へ搬入できるような構造である。図 2.8 に防護工の寸法を示す。



写真 2.1 防護工運搬車両

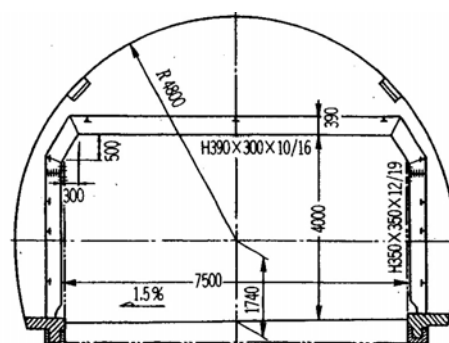


図 2.8 防護工寸法図

図 2.9 に防護工のブロック分割図、図 2.10 にブロック間の連結図を示す。

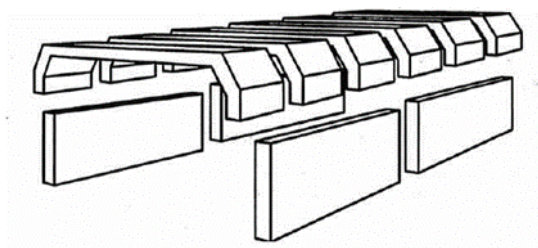


図 2.9 ブロック分割図(10 ピース)

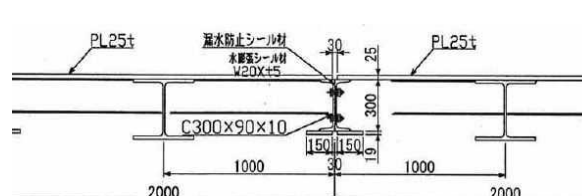


図 2.10 ブロック間連結図(天板部)

###### ・ 設計荷重条件

防護工に作用する荷重としては、作業重機による荷重、掘削に伴うずり荷重、防護工側面に作用する水平土圧及び既設覆工取り壊し時の衝撃荷重(50 cm角の覆工コンクリート塊が落下すると想定)である。防護工の構造は、施工時に想定される上記の荷重の組合せを考慮して決定している。なお、重機稼動時には、重機重量以外に稼動時の衝撃荷重及び偏土圧が作用するものと考えられることから、割増した荷重を考慮している。

・ 荷重検討ケース

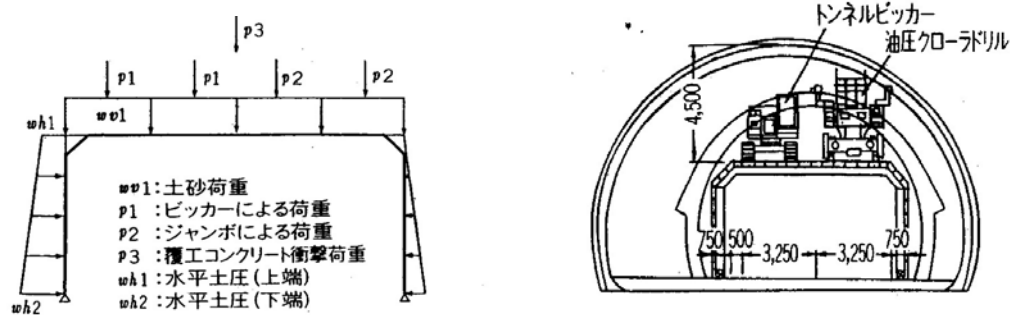
図 2.11 に、掘削時において防護工に作用する荷重載荷モデルを示す。

検討するケースとしては、大きく以下の 2 ケースになる。

(Case.1)トンネル掘削時油圧クローラジャンボとトンネルビッカーの同時作業

(衝撃荷重及び偏土圧を考慮)

(Case.2)重機離合時油圧クローラジャンボとトンネルビッカーの離合(衝撃荷重を考慮しない)



|                        |                                                  |
|------------------------|--------------------------------------------------|
| wv1:防護工上に 50 cm厚のずりが堆積 | $W=0.9\text{tf/m}^2$                             |
| p1:トンネルビッカー            | $W=12.85\text{tf}$                               |
| p2:油圧クローラジャンボ          | $W=26\text{tf}$                                  |
| p3:覆工コンクリート衝撃荷重        | $P=14.5\text{tf}$                                |
| wh1:防護工側方の水平土圧 (左)     | $wh1:0.5\text{tf/m}^2$ 、 $wh2:4.28\text{tf/m}^2$ |
| (右)                    | $wh1:0.0\text{tf/m}^2$ 、 $wh2:3.78\text{tf/m}^2$ |

## 2. 設計上の留意点

### a. 掘削加背について

活線施工の場合には、通行車両の安全確保のために防護工が設置されるのが一般的である。このため、防護工天端における施工空間と使用できる施工機械、施工方法を検討して加背割が決定される。また、防護工の両側を拡幅する場合には、左右の加背が別々の施工となるため、加背数が多くなる。

このことから、各加背の作業空間に応じた施工方法や施工機械の選定がそれぞれ必要となる場合も見られる。但し、掘削途中の段階で、掘削面や支保構造が不安定となるような加背は極力避ける必要がある。

## 参考資料-4

### 防護工の性能事例

## 1. 防護工の性能

(1) 切削区間の覆工片の落下等からトンネル利用者を保護する区間(前方防護を目的とした防護工区間)

防護工の設置延長は、既存覆工のひび割れ状態を検討し決めることが必要であるが、切削による既設覆工への影響範囲は、既設トンネルの覆工再生時の現場計測から切削から前方へ最大で 1.5D～2D(D: 覆工再生トンネル幅)程度、数値解析結果からは、切削から前方へ 0.5D 程度の結果が得られている。また、これまでの実績では、2 車線を 3 車線に覆工再生した際に固定式の防護工を採用した事例では、拡大端部から 1D の範囲まで防護を行った例、トンネル幅約 4.5m を約 10m のトンネルに覆工再生した際に移動式の防護工を採用した事例では切削の前後に 0.4D 程度の長さの防護工を用いた例などがある。

防護工の構造は、岩塊落下による防護工の衝撃荷重( $P_{max}$ )式 6.1 を参考に算出し、設計している例がある。なお、次式の落下質量  $m$  および落下高さ  $H$  の設定については、これまでの実績では岩塊もしくはコンクリート塊として  $\phi 30\text{cm}$  のものが 1.0m の高さから、50cm 角のものが 2.0m の高さから落下することを想定した設定例などがあり、これら実績も参考にしながら、既設覆工ひび割れ状況、切削方式などを考慮して決定する必要がある。

実際の計算においては、落片質量、落下高さ、ラーメ定数などの設定条件によって衝撃荷重が大きく異なるため、以下の事項について意識して検討を行うことが必要である。

- ① 落片質量は切削により破砕する既設覆工ひび割れの大きさに決定されるため、地山条件や施工方法を考慮して切削時に発生する既存覆工ひび割れの実績を踏まえ、設定する必要がある。
- ② ラーメ定数の設定はロックシェッドの設計では一般的に緩衝砂を考慮して  $1,000\text{kN/m}^2$  が用いられているが、防護工の設計においては緩衝材の検討を行ったうえでラーメ定数を決定する。

|                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------|
| $P_{max}=2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5}$ |
| $P_{max}$ : 落石の衝撃力 (kN)                                                   |
| $m$ : 落石質量 (t)                                                            |
| $g$ : 重力の加速度 ( $\text{m/s}^2$ )                                           |
| $H$ : 落下高さ (m)                                                            |
| $\lambda$ : 被衝突体のラーメの定数                                                   |
| 非常に柔らかいもの..... $1,000 \text{ kN/m}^2$                                     |
| 柔らかいもの..... $3,000 \sim 5,000 \text{ kN/m}^2$                             |
| 固いもの..... $10,000 \text{ kN/m}^2$                                         |

式5.1 落石衝撃力の推定式「落石対策便覧(社)日本道路協会、平成29年12月」より

防護工の設計時に考慮する主な荷重の種類と考え方を以下に示す。

### ① 鋼材荷重

防護工を構成する鋼材の自重である。

### ② 衝撃荷重

主に、既設コンクリート片が防護工の天板上(プレート上)へ直接落下するときの衝撃荷重である。荷重は、片の規模(大きさ)と落下高さにより算出される。衝撃荷重の算出には、ロックシェッド等の落石防護工の設計時に用いられる「ラーメの法則」が引用している設計事例が見られる。

### ③ 上載荷重(掘削土・掘削重機)

切削時に作用する切削コンクリートガラ(土)の土荷重(鉛直土圧)や作業員の荷重などである。本再生覆工では、防護工の上には重機が乗らないため見込まないものとする。

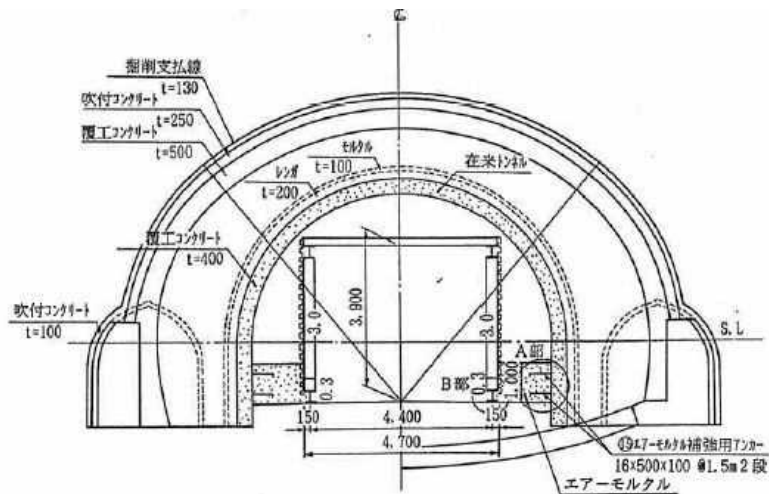


図 5.1 葉山トンネルの防護工(側方部をエアモルタルにて充填)

④ 車の衝突による衝撃荷重

車両の衝突による衝撃荷重である。作用する荷重は、防護柵の設置基準・同解説による瞬間的ではあるがかなり大きな荷重となることから、採用する防護工の構造は、一般的な固定式防護工と比べて鋼材の強度や構造形式をより剛にする必要がある。

追突時の防護柵の強度は、280kJ 以上で、種別は路側用のSB種とする。

表 5.1 種別の設定

| 防護柵の種別 | 追突速度<br>V(km/h) | 衝撃度<br>Is(kJ) | 追突荷重F(kN) |        |        |
|--------|-----------------|---------------|-----------|--------|--------|
|        |                 |               | 単スロープ型    | フロリダ型  | 直壁型    |
| C      | 26              | 43.68         | 9.12      | 9.32   | 11.5   |
| B      | 30              | 58.15         | 12.14     | 12.41  | 15.31  |
| A      | 45              | 130.83        | 27.31     | 27.91  | 34.44  |
| SC     | 50              | 161.52        | 33.71     | 34.46  | 42.51  |
| SB     | 65              | 272.98        | 56.98     | 58.84  | 71.85  |
| SA     | 80              | 413.50        | 86.31     | 88.22  | 108.84 |
| SS     | 100             | 646.10        | 134.86    | 137.85 | 170.06 |

出典:附属物施設物設計施工要領 大6編[車両用防護施設編]:首都高速道路(株)

(2) 切削の影響がない区間(切削後既存覆工コンクリートからの小片落下を防護と作業用防護工区間)

本区間の防護工は、トンネルの切削後、防水工を施工するまでの間を防護するもので、既存覆工コンクリート片が落下しても耐えられる荷重を防護工に作用すると考える。また、作業員等が防護工の上で作業することも考慮して討護工の構造安定性について確認しておく必要がある。防護工の設置延長は、各工法により施工が円滑にできる延長とする。



## 参考資料-5

既設トンネルの断面拡幅時の挙動計測事例

## 目 次

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 1. 概要 .....           | 4-2  |
| 2. 現場計測の概要 .....      | 4-3  |
| 3. Aトンネル .....        | 4-3  |
| 3.1 トンネル概要 .....      | 4-3  |
| 3.2 計測項目および計測方法 ..... | 4-3  |
| 3.3 計測結果 .....        | 4-4  |
| 4. Bトンネル .....        | 4-6  |
| 4.1 トンネル概要 .....      | 4-6  |
| 4.2 計測項目および計測方法 ..... | 4-6  |
| 4.3 計測結果 .....        | 4-6  |
| 5. Cトンネル .....        | 4-8  |
| 5.1 トンネル概要 .....      | 4-8  |
| 5.2 計測項目および計測方法 ..... | 4-8  |
| 5.3 計測結果 .....        | 4-8  |
| 6. Dトンネル .....        | 4-9  |
| 6.1 トンネル概要 .....      | 4-9  |
| 6.2 計測項目および計測方法 ..... | 4-9  |
| 6.3 計測結果 .....        | 4-9  |
| 7. まとめ .....          | 4-10 |

### 1. 概要

断面拡幅・改築時のトンネルの支保構造は、新設トンネルの設計方法に準拠して新設トンネルと同規模の支保構造を採用している場合が多いものの、特に明確な設計方法がないのが現状である。そのため、既設トンネルが存在することによる先進導坑としての効果や既設トンネル掘削によるトンネル周辺部の緩み域の存在などを考慮した、より合理的な断面拡幅・改築用のトンネル支保構造の設計方法が求められている。

ここでは、断面拡幅・改築を行うトンネルの支保構造の設計方法の確立に必要な基礎的なデータを収集することを目的として、断面拡幅を行ったトンネルにおいて、既設トンネルの変形・覆工のひずみ、拡幅トンネルの支保部材に作用する応力等の計測を行ったので、計測の概要とその結果について述べる。

## 2. 現場計測の概要

現場計測は表 4.1 に示す 4 本のトンネルで実施した。いずれも既設トンネルの断面拡幅工事であり、A～C トンネルでは車両を通しながらの活線施工である。A・B トンネルは、断面拡幅掘削時の既設覆工への影響把握のため覆工表面ひずみ、天端および内空変位測定を、また、拡幅トンネルの支保構造の挙動を把握するための鋼アーチ支保工応力、吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力の計測を行った。

さらに B トンネルにおいては、一部側壁部に斜めにロックボルトを打設した区間での計測を実施し、斜め打設の影響を把握した。C・D トンネルは事前補強として断面拡幅掘削前に打設したロックボルトについて、その効果を確認するためのロックボルト軸力測定を行った。以下、各トンネルについてトンネル概要、計測項目および方法、計測結果を示す。

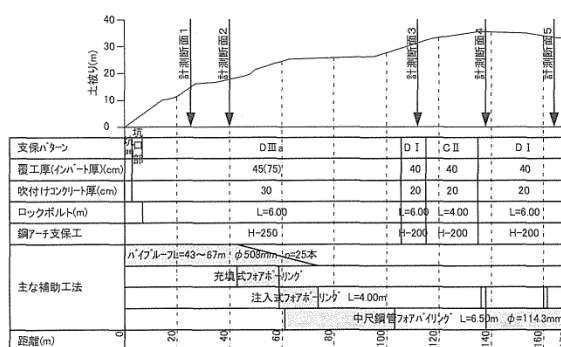
表 4.1 計測トンネル一覧

| トンネル名                    | Aトンネル           | Bトンネル                                | Cトンネル                                | Dトンネル           |
|--------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| 既設トンネル工法                 | 在来工法<br>1973年供用 | 在来工法<br>1950年供用                      | 在来工法<br>1962年供用                      | 在来工法<br>1938年供用 |
| 延長(m)                    | 975.0           | 115.5                                | 146.0                                | 81.9            |
| 内空幅(m)                   | 9.8             | 6.0                                  | 6.0                                  | 6.0             |
| 内空高さ(m)                  | 6.3             | 4.9                                  | 5.0                                  | 5.1             |
| 覆工厚(cm)                  | 50～70           | 30                                   | 35                                   | 30              |
| 拡幅トンネル工法                 | NATM            | NATM                                 | NATM                                 | NATM            |
| 延長(m)                    | 170             | 120                                  | 146                                  | 102             |
| 内空幅(m)                   | 15.6            | 12.5                                 | 9.75                                 | 12.5            |
| 内空高さ(m)                  | 8.0             | 7.0                                  | 7.1                                  | 7.0             |
| 覆工厚(cm)                  | 45.40           | 30.35                                | 30                                   | 30.35           |
| 主な地質                     | 砂岩、頁岩、凝灰岩互層     | 泥岩                                   | 安山岩                                  | シルト質泥岩          |
| 地山強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 16～30           | 1～9                                  | 13,150                               | 4～10            |
| 最大土被り(m)                 | 約38             | 約38                                  | 約42                                  | 約30             |
| 掘削方式                     | 機械掘削            | 機械掘削                                 | 爆破掘削                                 | 機械掘削            |
| 計測項目                     | 既設覆工側の計測        | 覆工のひずみ<br>天端沈下<br>内空変位               | 天端沈下<br>内空変位                         | —               |
|                          | 新設覆工側の計測        | 鋼アーチ支保工応力<br>吹付けコンクリート応力<br>ロックボルト軸力 | 鋼アーチ支保工応力<br>吹付けコンクリート応力<br>ロックボルト軸力 | —               |
|                          | 事前ロックボルトの計測     | —                                    | ロックボルト軸力                             | ロックボルト軸力        |

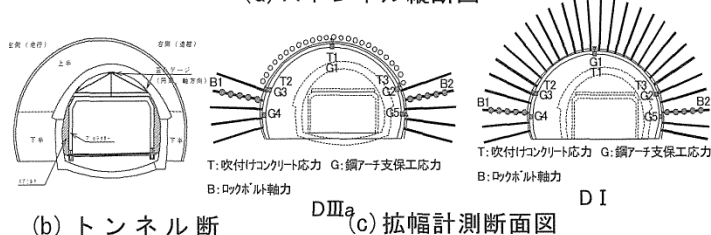
## 3. A トンネル

### 3.1. トンネル概要

A トンネルは、1973 年に在来工法によって施工されたトンネルであり、坑口部 70m 区間を現在の 2 車線から 3 車線に断面を拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、砂岩、頁岩、凝灰岩の互層からなる。坑口 150m 付近のボーリングコアによる地山の圧縮強度は約 16～30N/mm<sup>2</sup> が得られている。なお、拡幅トンネルの支保構造は、新設トンネルの 3 車線断面に適用される標準支保パターンに準拠して決定された。



(a) A トンネル縦断面図



### 3.2. 計測項目および計測方法

A トンネルの既設覆工の計測は、図 4.1(a)に示す計測断面 4、5 において

図 4.1(b)に示すようにプロテクタ上部の空間を利用して天端付近およびアーチ肩部にひずみゲージを貼付し、覆工のひずみを計測するとともに、壁面間の 2 点間距離を変位計により 4 測線の内空変位、天端沈下計測を行った。一方、拡幅トンネルの支保構造の計測は、計測断面 1～4 において図 4.1(c)に示す各点で鋼アーチ支保工応力、吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力の測定を行った

図 4.1 A トンネルの計測概要図

### 3.3. 計測結果

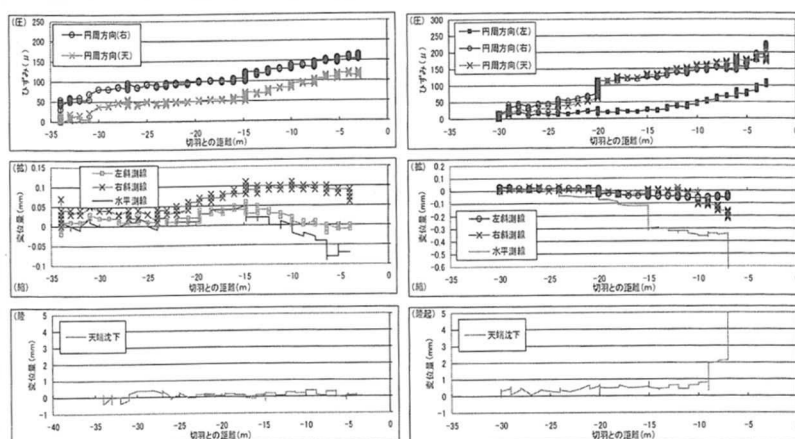
#### (1) 既設覆工の計測結果

計測断面 4 と計測断面 5 の切羽の進行に伴う既設覆工コンクリートの円周方向ひずみ、内空変位量、天端沈下を図 4.2 に示す。

計測断面 4 では、覆工コンクリートの円周方向のひずみは切羽が 0m(2D、D:拡幅後のトンネル幅)程度で一旦増加し、さらに 15m(ID)程度まで近づくと再び増加傾向を示す。

内空変位は 25m(1.5D)程度まで切羽が近づくと水平測線および左・右斜測線の変位が、円周方向のひずみの変化に対応して変化し、切羽が 15m(1D)程度まで近づくと、

それまで拡大傾向にあった内空変位が全体的に収縮側に変化しており、掘削による影響が現れている。ただし、天端沈下の変化は認められない。計測断面 5 では、覆工コンクリートの円周方向のひずみは、切羽が 25m(1.5D)程度まで近づくと顕著な増加傾向を示し、さらに切羽が 3m 程度まで近づくと急激な増加を示す。内空変位は、25m 程度まで切羽が近づくと水平測線および左・右斜測線の変位が縮小側へ変化し、切羽が 10m(0.6D)程度近づくと天端沈下が地山側へ隆起する方向へ変化している。



(a) 計測断面 4

(b) 計測断面 5

図 4.2 既設覆工の計測結果

#### (2) 拡幅トンネルの支保構造の計測結果

##### 1) 天端変位および内空変位

図 4.3 に天端変位および内空変位の最終値を示す。坑口付近の計測断面 1、2 は、土被りが 20m 程度以下と薄く、内空変位はそれほど大きくないものの天端変位は大きく、沈下卓越型の変状を示した。この区間は、建設当初より地質が悪く、天端上部にゆるみ域が確認されたため、当初設計よりパイプラーフ工法を採用した DIIIa 区間であった。一方、坑口より 100m 以上の距離にある計測断面 3、4 は、長さ 6.5m の注入式中尺鋼管フォアポーリングを採用した DI 区間であったが、天端沈下および内空変位ともに 10mm 以内であり、DI 区間としては比較的変位が小さい結果となった。

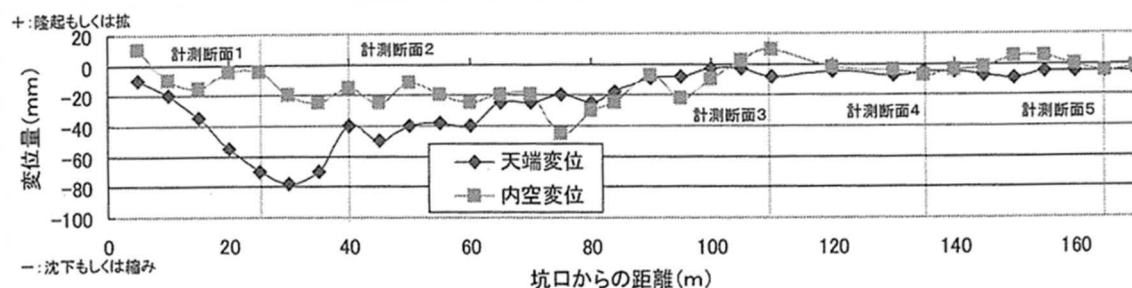


図 4.3 天端沈下および内空変位結果

## 2) 鋼アーチ支保工応力および吹付けコンクリート応力

図 4.4、4.5 に計測断面 3 の鋼アーチ支保工応力および吹付けコンクリート応力の経時変化を示す。それぞれ天端の測点を除き、支保建込み後、徐々に応力が増加するものの下半掘削の影響により一旦低下し、その後、再び増加する傾向を示す。ただし、増加後のそれぞれの支保に発生する応力はともに小さい。他の計測断面でも経時変化の挙動はほぼ同様であった。図 4.6 に各支保の、収束したと考えられる最終値を示す。鋼アーチ支保工応力は、土被りが 20m 程度以下と薄い計測断面 1、2 の一部の測点では約 240N/mm<sup>2</sup> 程度と比較的大きな応力となっている。土被り 30m 程度以上の計測断面 3、4 では支保パターンはともに DI であるが、一部の測点で最大約 60N/mm<sup>2</sup> の応力となっているものの、全体的に見れば 20～30N/mm<sup>2</sup> の応力と比較的小さい。吹付けコンクリート応力も土被りの薄い地点で約 10N/mm<sup>2</sup> を超える部分があるが、他は 4N/mm<sup>2</sup> 以下と小さい。

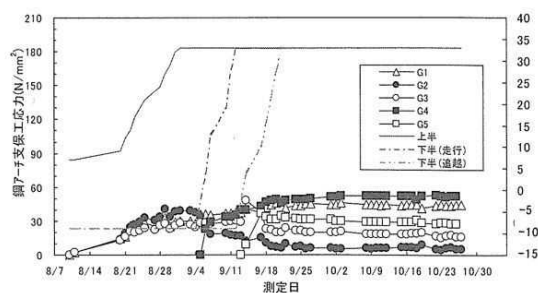


図 4.4 鋼アーチ支保工応力の経時変化  
(計測断面 3)

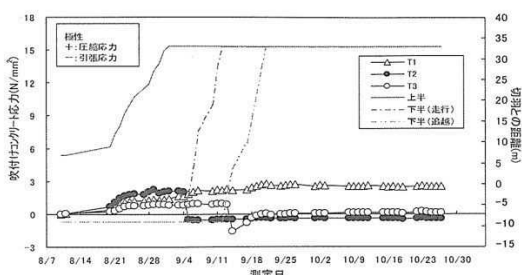


図 4.5 吹付けコンクリート応力の経時変化

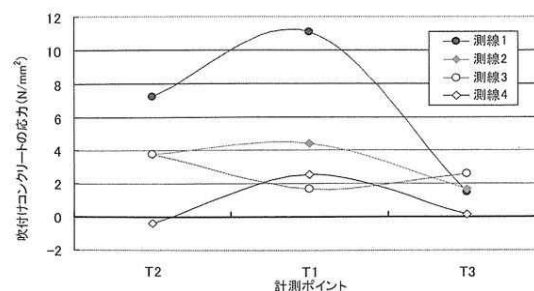
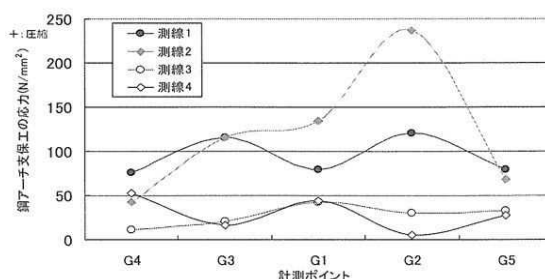


図 4.6 各支保部材の最終値

## 3) ロックボルト軸力

図 4.7 にロックボルト軸力を示す。鋼アーチ支保工応力、吹付けコンクリート応力が大きい計測断面 2 では、B2 のボルト中央部で最大軸力 120kN 程度が発生している。しかし、計測断面 4 のロックボルト軸力はいずれも壁面近傍で最大 60kN 以下と小さい。

以上より、土被りが薄い部分で鋼アーチ支保工応力、吹付けコンクリート応力の一部が高くなる場合があるが、ある程度の土被り以上の場合には、各支保の応力は小さく、また、ロックボルト軸力も小さいことから、支保構造の規模としては耐力に十分余裕があるといえる。

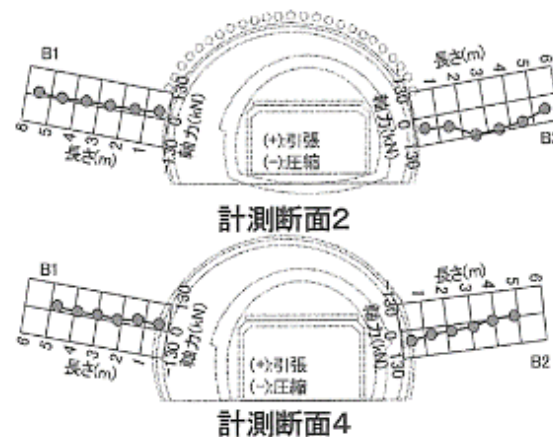


図 4.7 各支保部材の最終値

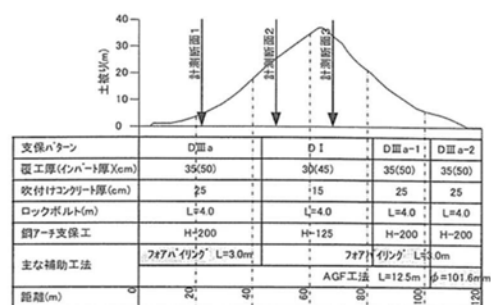
## 4. B トンネル

### 4.1. トンネル概要

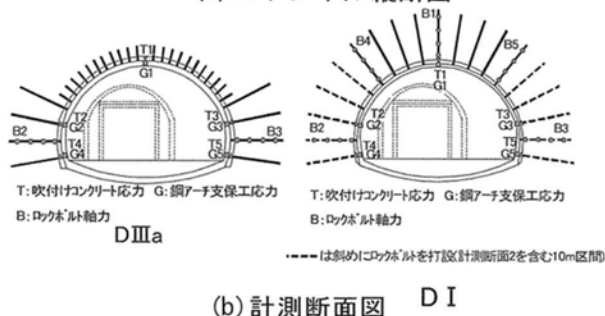
B トンネルは、1950 年に矢板工法によって施工された幅員 6m 程度の狭隘断面のトンネルであり、大型車のすれ違いが困難なことから、断面を拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、塊状の泥岩が主体であり、全体的に弱風化となっている。ボーリングコアによる地山の圧縮強度は 1～9N/mm<sup>2</sup> が得られている。

### 4.2. 計測項目および計測方法

B トンネルの既設覆工の計測は、図 4.8 に示す計測断面 1、2 の 2 地点でプロテクタ上部の空間を利用して天端沈下、内空変位の計測を実施した。拡幅トンネルの支保構造の計測は、坑口部 DⅢa 区間の計測断面 1、支保パターン DI 区間の計測断面 2、3 の各断面で鋼アーチ支保工応力、吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力の計測を実施した。計測断面 2 では試験的に計測断面をほぼ中心としてトンネル延長方向 10m の区間に両側壁部 5 本のロックボルトを通常のロックボルトと同じ材質・長さのボルトを斜め前方 45 度に打設し、計測断面 3 との比較を行った。施工手順は、上半掘削、下半左掘削、下半右掘削、下半左下掘削、下半右下掘削の順に実施した。



(a) B トンネル縦断面図



(b) 計測断面図 DI

図 4.8 B トンネルの計測概要図

### 4.3. 計測結果

#### (1) 既設覆工側の計測結果

既設覆工の天端沈下の測定結果を図 4.9 に示す。両計測断面での天端沈下はともに 0.5mm 以内と非常に小さい。また、内空変位も 0.2mm 以内と非常に小さい値であった。本計測結果からは拡幅トンネルの切羽の進行に伴う顕著な変化は認められなかった。

#### (2) 拡幅トンネルの支保構造の計測結果

##### 1) 天端変位および内空変位

拡幅トンネルの天端沈下、内空変位を図 4.9 に示す。天端沈下量は、坑口部 DⅢa およびトンネル中央付近の支保パターン DI 区間においても最大約 20mm 以内と小さい。内空変位は、計測位置により異なり、計測断面 1 ではほぼゼロ、計測断面 2 で地山側へ、計測断面 3 で内空側へそれぞれ変化した。

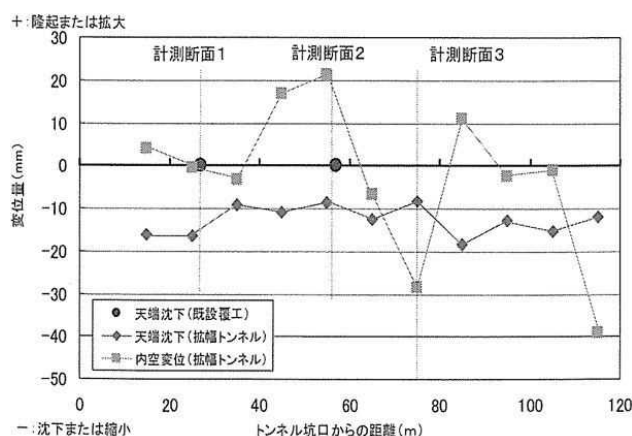


図 4.9 天端沈下および内空変位

## 2) 鋼アーチ支保工応力および吹付けコンクリート応力

図 4.10、4.11 に計測断面 2 の鋼アーチ支保工応力および吹付けコンクリート応力の経時変化を示す。

鋼アーチ支保工応力は、切羽の進行に伴って増加する傾向を示し、特に G1 および G3 の応力が高くなっている。一方、吹付けコンクリート応力は、2 N/mm<sup>2</sup> 以下と全体的に小さく、切羽進行に伴う掘削による顕著な変化は認められない。図 4.12 に各支保の、収束したと考えられる最終値を示す。

図より鋼アーチ支保工応力は、土被り約 10m 以下の計測断面 1 と土被り約 30m の計測断面 3 では、それぞれ最大で約 60 N/mm<sup>2</sup>、約 30 N/mm<sup>2</sup> と土被りの小さい計測断面 2 が大きい。また、斜めにロックボルトを打設した区間の計測断面 2 の応力は坑口付近と同程度となり若干計測断面 3 より大きい。また、斜めにロックボルトを打設した区間の計測断面 2 の応力は坑口付近と同程度となり若干計測断面 3 より大きい。また、吹付けコンクリート応力についても最大で約 4 N/mm<sup>2</sup> 程度と小さく、各支保部材には大きな荷重は作用していないものと考えられる。

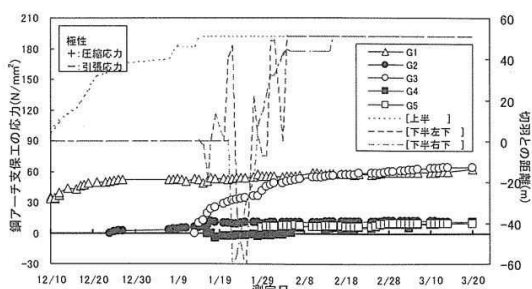


図 4.10 鋼アーチ支保工の経時変化  
(計測断面 2)

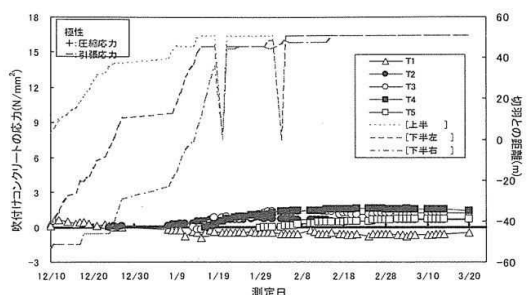


図 4.11 吹付けコンクリート応力の経時変化  
(計測断面 2)

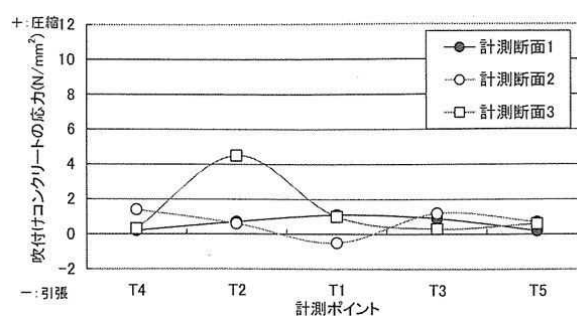
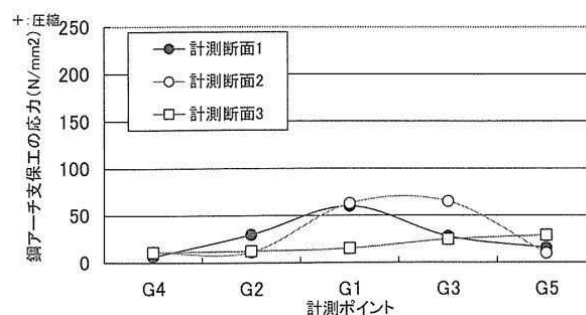


図 4.12 各支保部材の最終値

## 3) ロックボルト軸力

図 13 に収束したと考えられる計測断面 1～3 のロックボルトの軸力分布を示す。軸力は全ての計測断面ともに引張側で最大 20kN 程度と極めて小さい値を示しており、側壁部については打設角度による顕著な差は認められない。

以上より、側壁部のロックボルトを斜めに打設した場合でも、鋼アーチ支保工応力の一部で高い値が発生したものの支保部材の耐力に対して十分余裕のある状態であり、ロックボルトの軸力も壁面に垂直に打設した場合と斜めに打設した場合とで顕著な差が認められないことから、本トンネル条件下では側壁部の一部を斜めに打設してもその影響は小さいものと考えられる。

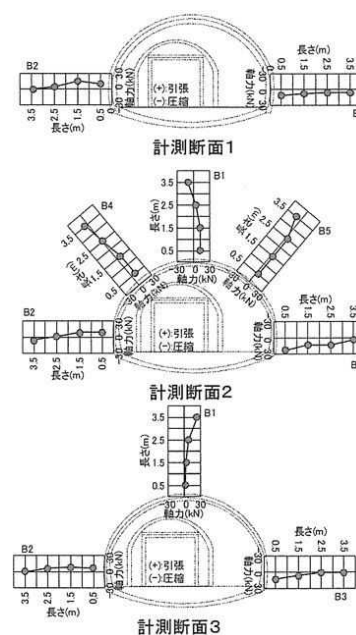


図 4.13 ロックボルト軸力

## 5. Cトンネル

### 5.1. トンネルの概要

Cトンネルは、1962年に在来工法によって施工された幅員6m程度の狭隘断面のトンネルであり、大型車のすれ違いが困難なことから断面を拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、安山岩を主体とした地山の圧縮強度が平均150N/mm<sup>2</sup>程度の塊状であり、地山の一部に平均13N/mm<sup>2</sup>程度の破碎・風化部が介在している。

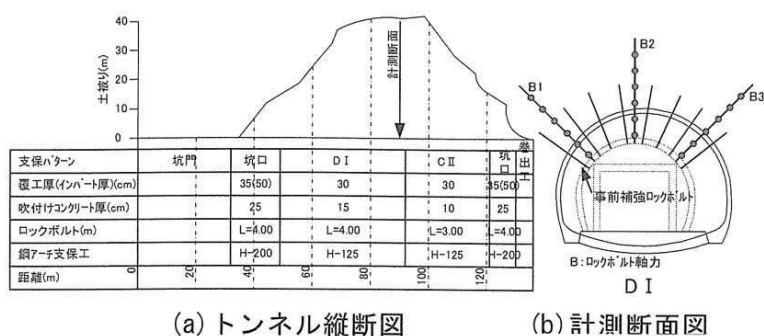


図 4.14 Cトンネルの計測概要図

### 5.2. 計測項目および計測方法

Cトンネルでは、図 4.14 に示すように掘削前に天端部に補強目的で全線に渡り長さ3mのFRP製のロックボルトを打設した。ロックボルトの軸力は、計測断面のみに打設した長さ6mの3本のロックボルトに対して測定した。計測断面は、ほぼ中央の位置で実施した。なお、施工は既設トンネルの舗装および路盤採石を全線に渡り撤去した後に、トンネルの拡幅掘削を実施した。

### 5.3. 計測結果

図 4.15 に路盤掘削からトンネル掘削によりロックボルトが切断されるまでの天端(B2)のロックボルト軸力の経時変化を示す。図から、路盤掘削とともにすべてのロックボルトで引張力が発生している。これは、路盤掘削により覆工が下方に変形したことに対応したものと考えられる。

一方、トンネル拡幅掘削時はほぼ全体に切羽が近づくに伴い圧縮力が発生した。軸力分布から、路盤掘削にともないトンネル周辺2～3mまで60～70kNと比較的大きな引張軸力が発生している。図 4.16 は、天端のボルトのトンネル拡幅による影響を見るため、天端のボルト(B2)についてトンネル拡幅前のデータを基準(軸力=0)として、切羽との距離で整理するとともに、トンネル拡幅前および計測断面におけるトンネル拡幅直前時のロックボルトの軸力分布を示す。切羽との影響を詳しく見ると、切羽が10m(1D)程度の接近した段階から軸力に有意な変化が見られ、圧縮力が増加している。さらに、2.5m(0.25D)程度からはその変化は急激に増加し、拡幅に伴う既設トンネルの影響範囲としては1D程度と考えられる。また、ロックボルトの軸力分布図から、トンネル拡幅時に切羽接近に伴いトンネル周辺3m程度まで圧縮力が発生し、トンネル壁面近傍が最大となっているのが特徴的である。

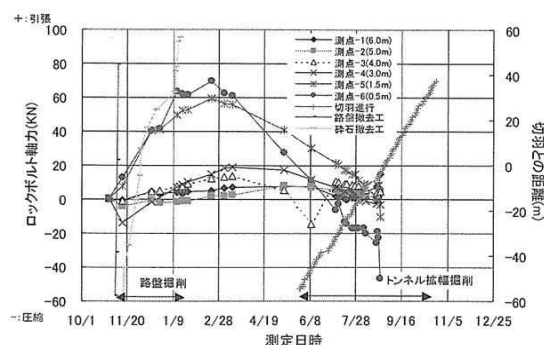


図 4.15 拡幅時のロックボルト軸力変化 (B2)

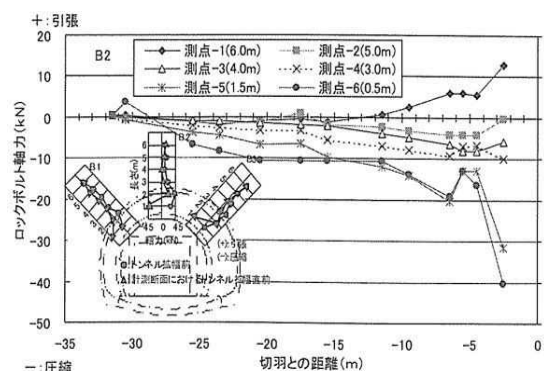


図 4.16 ロックボルト軸力

## 6. D トンネル

### 6.1. トンネルの概要

トンネルは、1938年に在来工法によって施工された幅員 6m 程度の狭隘断面のトンネルであり、大型車のすれ違いが困難なことから、トンネル拡幅するものである。トンネル周辺の地質は、塊状の泥岩が主体であり、全体的に弱風化となっている。ボーリングコアによる地山の圧縮強度は 4～10N/mm<sup>2</sup> が得られている。

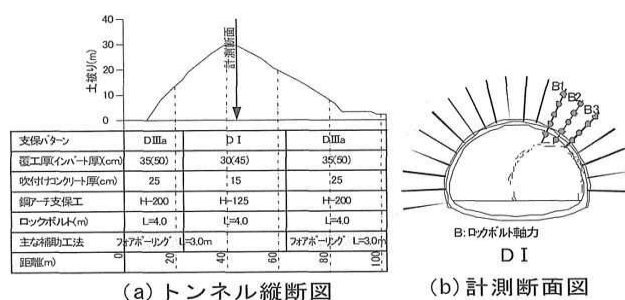


図 4.17 Dトンネルの計測概要図

### 6.2. 計測項目および計測方法

計測は図 4.17 に示すようにトンネルの中央付近の支保パターン DI 区間 10m に事前に 3 本のロックボルトの打設を行い、ほぼ中間の 1 断面で既設トンネルの拡幅掘削時におけるロックボルトの挙動計測を行った。なお、事前に打設したロックボルトは、削孔径  $\phi 50\text{mm}$  の全面接着方式の自穿孔ロックボルトであり、拡幅トンネルのパターンボルトの一部として使用するため、拡幅掘削に伴い切羽が到達した段階で拡幅断面掘削部分のロックボルトの一部を一時的に切断して計測を継続した。

### 6.3. 計測結果

図 4.18 にロックボルト(B2)の切羽の進行に伴う経時変化と切羽通過直前および収束したと考えられるロックボルト軸力分布を示す。図より、当初は切羽の進行に伴って大きな軸力の変化は認められないが、その後、切羽通過後に引張軸力が増加し 10～20m 程度切羽が通過後にある一定の値に収束している。この軸力の変化は、事前にロックボルトを打設することで、切羽掘削時に天端から肩部にかけて地山掘削に伴う地山の变形を抑制する効果などが期待できることを示しているものと考えられる。なお、本トンネルの拡幅掘削時の内空変位は、最大で約 5mm 程度と非常に小さい結果であった。ロックボルトの軸力は深度 3.36m 付近(ボルト切断後はトンネル壁から 1.5m)で最大値を示した。他の 2 本のロックボルトの切羽進行時の経時変化もほぼ同様であり、また、各ロックボルトとも最終的に最大でも 20kN と非常に小さい軸力しか発生していない。

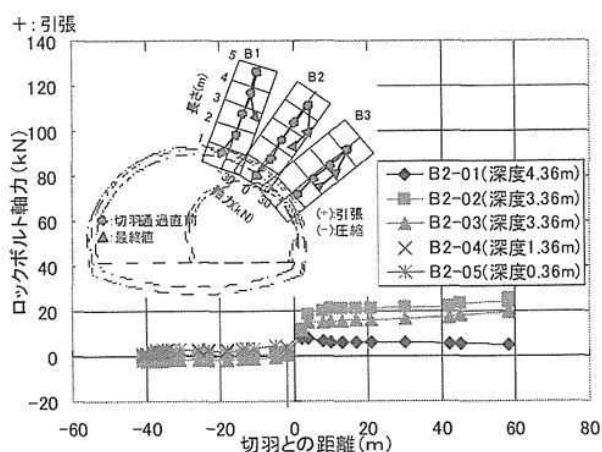


図 4.18 ロックボルト軸力

## 7. まとめ

断面拡大を実施した4本のトンネルにおける現場計測結果から、次のことが明らかとなった。

- (1) 断面拡幅による既設トンネルへの影響範囲は、最大でも切羽前方1.5D～2D程度までである。
- (2) 断面拡幅トンネルの鋼アーチ支保工、吹付けコンクリートに発生する応力は、土被りが薄い坑口部等で一部高くなる場合があるが、ある程度の土被り以上の場合は比較的小さい。
- (3) 断面拡幅トンネルのロックボルトに発生する軸力は小さい。また、側壁部にロックボルトを斜めに打設した場合とトンネル壁面に打設した場合との顕著な差は認められない。
- (4) 断面拡幅前に補強目的で事前にロックボルトを打設した場合、切羽掘削時に天端から肩部にかけて地山の変形抑制の効果が期待できる。

## 参考文献

- 1) 石村利明、真下英人、森本智:既設トンネルの断面拡大時の挙動計測、(社)土木学会第33回岩盤力学に関するシンポジウム,平成16年1月

## 参考資料-6

## 試験施工

## 1. 試験施工

### 1-1 一般

覆工再生の手引き(案)に基づき施工される工事に先立ち、手引きで定められた施工方法について、施工状況や管理方法等に検証するために試験施工として施工を行うときに確認する項目について定めたものである。

(1)計画、(2)調査(3)設計、(4)施工、(5)仮設備、(6)その他  
(7)安全性、(8)品質、(9)出来形、(10)環境

#### (1) 計画

- ・ 全工程の施工時間を確認し、規制計画を策定する(全体の施工時間から、規制期間内でどれだけ施工できるかを確認する)。→施工歩掛りから防護工の延長を決定し、規制計画に反映する。

#### (2) 調査

#### (3) 設計

##### ①設計の妥当性

- ・ 覆工切削時の変位、変形、応力の変化と解析結果との照合→計測計画
- ・ 再生覆工の発生応力の解析結果との照合

##### ②計測監視

- ・ 計測項目と監視内容の確認検証 → 計測管理

##### ③再生覆工

- ・ 再生覆工の材料・配合(繊維、強度、流動性等・・ → 配合試験

##### ④排水系統

- ・ 裏面排水工→・・→横断排水工→円形水路 → 排水計画

#### (4) 施工

##### ①先行補強

- ・ 座掘りおよび鋼管膨張ボルトの施工性、削孔後の湧水処理方法の検討 → 確認項目
- ・ 先行補強工は、車線規制で施工が可能か確認する(供用中路線での施工の可否:ドリフターのはみ出し、粉塵の発生、削孔水の飛び散りなどの確認)

##### ②切削方法

- ・ 人力切削と機械切削の施工能力、施工環境(振動、粉じん、剥落・・)、仕上がり面性状等、出来形確認方法検討
- ・ 再生覆工の施工性、施工管理方法・・試験方法および試験頻度 → 確認方法
- ・ 断面変化部(横断的に見て、切削したところと切削しなかったところでは、再生覆工の厚さが大きく変化する)にひび割れが発生しないかの確認。
- ・ 覆工目地部が通常の目地寸法で問題ないか確認する。

##### ③再生覆工

- ・ 再生覆工の施工性、施工管理方法・・試験方法および試験頻度 → 管理項目
- ・ 生コンの供給方法の検討(アジテータ車での供給は可能か、ポンプ設備はどこに設置するのか、配管方法検討、車線規制は必要か)。
- ・ 生コンのポンプ圧送距離の確認、配管閉塞時の対応方法の検討。

##### ④覆工セントル

- ・ 断面構造、覆工強度、施工性(型枠バイブレータ使用状況含む)、仕上り面、アジテータ車、ポンプ車等、衝突対策 → 構造設計

##### ⑤防水工・シート台車

- ・ 施工性、断面構造、作業性、衝突対策、小片落下対策(プロテクターがないので) → 構造設計

- ⑥安全監視
  - ・ 安全監視項目と内容
- ⑦繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性と繊維混入率試験の頻度
- ⑧型枠バイブレータの使用は通常のトンネル施工と同様に考えているかどうか？
- (5) 仮設備
  - ①防護工
    - ・ 防護工構造、衝突対策施工性、移動方法、移動能力、・・・ → 組立・解体
  - ②プロテクター移動工は、1 夜間通行止めで可能か確認する。
  - ③保安施設(トンネル内施設含み)
    - ・ 保安設備配置、機能確認、トンネル内施設の移設状況確認
  - ④交通規制
    - ・ 規制方法、規制作業
  - ⑤非常用施設の機能維持方法の検討。
- (6) その他
  - ①モニタリング
    - ・ 規制方法、規制作業点検項目と方法 → 計測項目
  - ②維持管理
    - ・ 規制方法、規制作業点検項目と方法 → 点検項目
- (7) 安全性
  - ①切削後の覆工の安定性
  - ②水平目地の有無
- (8) 品質
  - ①ロックボルトの引抜試験の頻度 ⇒最初の 3 半断面とそれ以降の頻度を変更
- (9) 出来形
  - ①ドラムカッターの切削面の確認
  - ②再生覆工の施工誤差 ⇒ $\pm 5 \text{ cm}$
  - ③覆工切削深さの規定 ⇒設計覆工切削深さの 110%以下  
→現在採用されている切削機で切削した場合に切削面にどれくらいの凹凸が発生するかも確認
- (10) 環境
  - ①切削時における粉塵の状況
  - ②覆工切削時に生じる粉塵の処理として通行車両や作業員等の環境が保持されること。
  - ③先行補強工時に必要な給水については給水車で対応する。
  - ④電力及び照明設備は切削及び覆工打設時等に必要な電力、照明設備とする。
  - ⑤仮設備は、施工が防水工と再生覆工施工時には中央施工となることから、これらの切り替えにも対応できるようにすること。
  - ⑥給気設備は切削時に必要な設備を設けるものとする。
  - ⑦覆工切削時に覆い等でトンネル断面を塞ぐ場合は、その影響が出ないようにする設備を設けるものとする。

■その他確認項目、検討項目

- ・ 効率的なコンクリートガラ搬出、生コン供給方法の検討