

**鋼少数主桁橋の床版下面吹付コンクリートはく離・落下事象調査検討委員会
第2回 議事概要**

日時：2014（平成26）年11月5日（水）10：00～12：00

場所：中日本高速道路株式会社 伏見社屋15階会議室

委員長	池田 尚治	（横浜国立大学 名誉教授）
委員長代理	山田 健太郎	（名古屋大学 名誉教授）
委員	那須 清吾	（高知工科大学 マネジメント学部 学部長 工学部社会システム工学科 教授）
委員	舘石 和雄	（名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学 教授）
委員	中村 光	（名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学 教授）
委員	玉越 隆史	（国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室 室長）
委員	渡辺 博志	（（独）土木研究所 材料資源研究グループ 基礎材料チーム 上席研究員）
委員	紫桃 孝一郎	（株）高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究担当部長）

議事：

1. 設計施工と点検の概要
2. はく離・落下事象現場詳細状況調査
3. 落下にいたるメカニズムの推定
4. 解析および実験における検証

【調査検討委員会】

資料番号	資料名	頁
資料-1	第1回調査検討委員会議事要旨	1
資料-2-1	設計施工と点検の概要	2
資料-2-2	はく離・落下事象 現場詳細状況調査	9
資料-3	落下にいたるメカニズムの推定	18
資料-4	解析および実験による検証	19

■第1回 調査検討委員会議事要旨（確定版）

鋼少数主桁橋の床版下面の吹付コンクリートはく離・落下事象 調査検討委員会

【第1回議事要旨】

■委員会として、今回の事象に関して事実関係を確認した。

- ・吹付による増厚部分のコンクリートが床版との一体性を失って落下した。
- ・一体性を失った原因については、引き続き調査が必要。
なお、構造的には、付着と金属系アンカーで固定されていた。
- ・床版はじめ橋梁本体に影響のある損傷は確認されなかった。

■委員会として、設計、施工、維持管理の経緯について確認したが、原因の特定にはさらに調査、整理が必要である。

■今回の審議を踏まえ、落下メカニズムについても、特定にはさらなる調査、検討が必要である。

- ・なお、今回の不具合の生じた箇所の特徴としては、以下の点が挙げられる。

- 床版下面増厚コンクリートが、特に厚い箇所
- 高強度のコンクリートへ、金属系アンカーを用いて鉄筋を保持し、増厚した箇所

■環境対策に配慮したうえで、増厚した吹付コンクリート部を撤去することを確認

以 上

設計施工と点検の概要

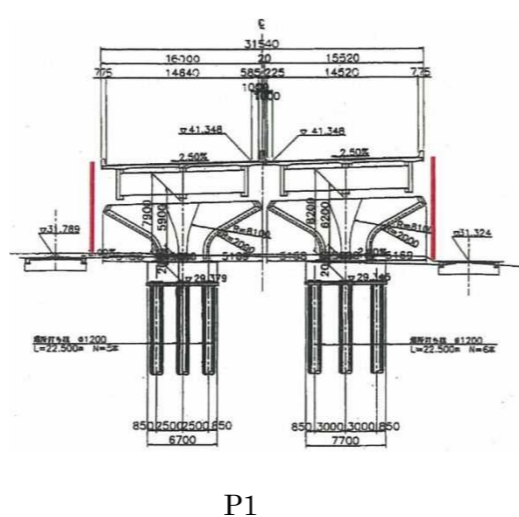
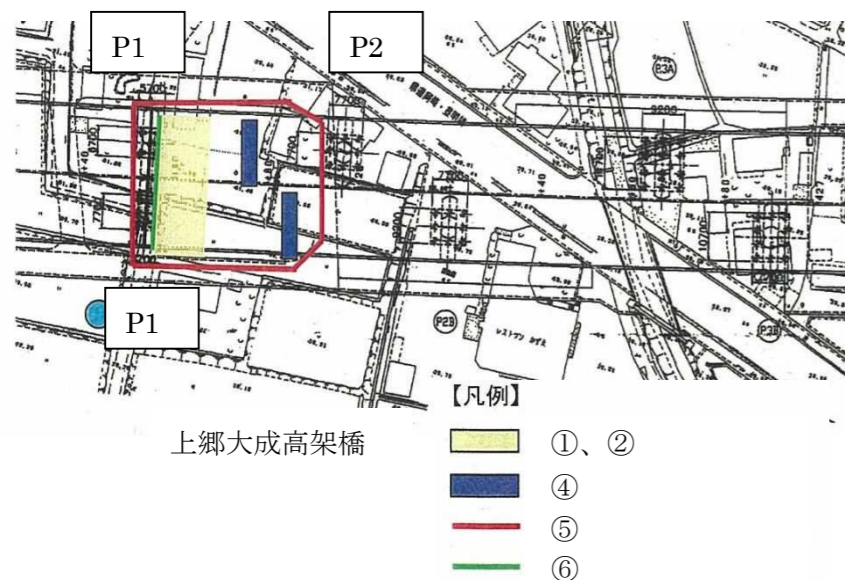
1. 概要

出典：「刈谷高架橋他環境対策設計」（平成18年9月）より要約

環境対策の概要を下表及び下図に示す。

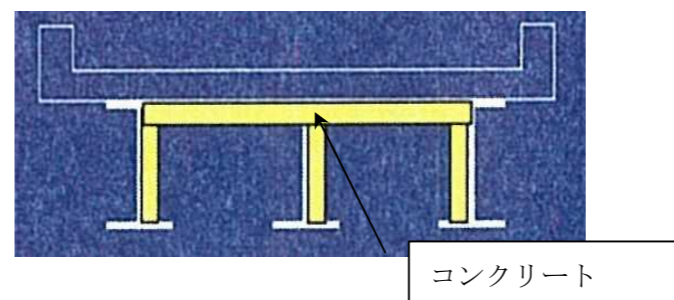
番号	対策工	選定理由	刈谷	上郷大成
①	下面吹付コンクリート	・床版と主桁ウェブが大きく振動しており、剛性強化で有効と考えられるため。 ・構造上の荷重制約もあることから、厚さ230mm、延長10m範囲として選定されている。	○	○
②	主桁ウェブのRC巻立	・下面吹付コンクリートにより振動数が高くなるにつれ主桁ウェブの発生振動数にも近接してくることから、主桁ウェブの巻立て対策も同時に実施する必要がある。	○	○
③	TMD設置※1	・桁上に設置するため、道路を横断する位置での使用が可能。 ・温度による減衰効果の変化はほとんどない。 ・対応振動数範囲が少なく、特定の周波数に対して効果がでるようダンパー（TMD※）を調整して設置する。 ・上部工質量の1%程度の荷重増となる。	○	○
④	センターダンパー設置※2	・対応振動数範囲が広い。 ・温度変化による移動量への対応と減衰効果の設定に留意する必要がある。 ・上部工への荷重の増加はない。	○	○
⑤	遮音壁設置	ジョイントを囲うように配置する。	○	○
⑥	サイレンサーボックス	・ジョイント下空間にウレタン材を詰めることにより、可聴音を緩和することを目的とする。	○	○

※1 Tuned Mass Damper の略。制震装置の一種。 ※2 制震装置の一種。

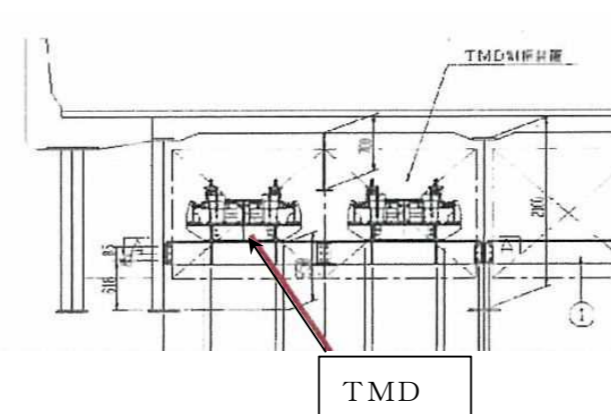


<工法概要図>

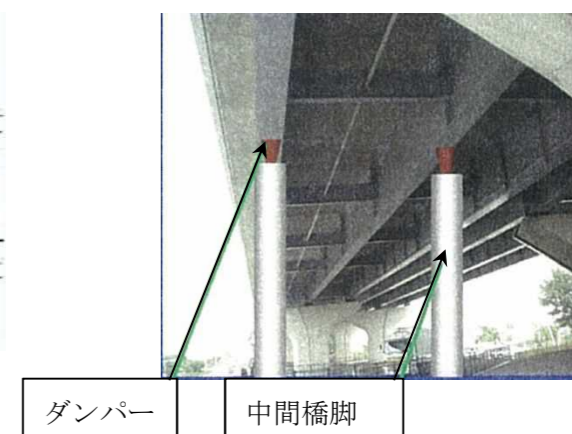
- ①下面吹付コンクリート
- ②主桁ウェブのRC巻立



- ③TMD-設置 (※1)



- ④センターダンパー設置 (※2)



- ⑤遮音壁設置



- ⑥サイレンサーボックス

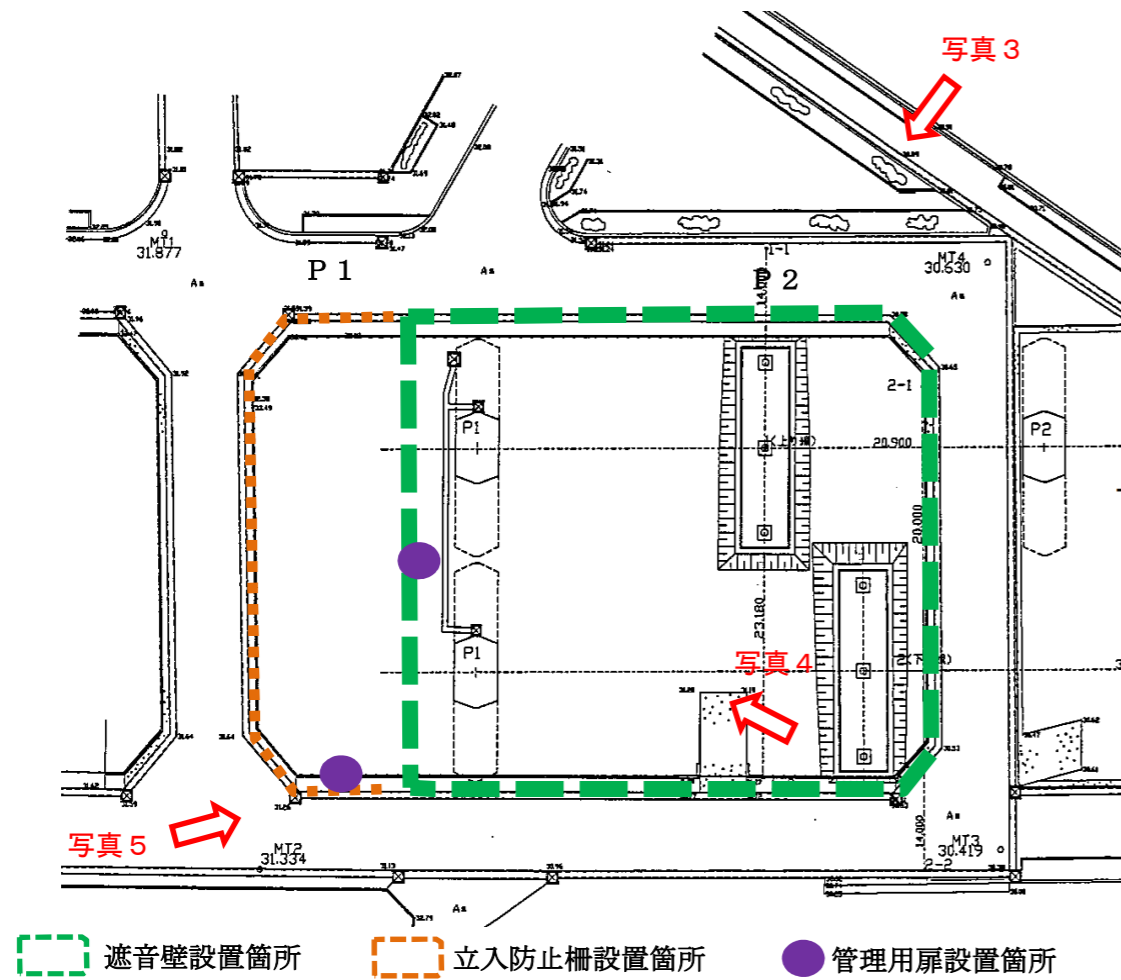


■第三者の立入りについて

当該現地箇所は、高速道路区域境に立入防止柵が設置されており、更にその内側に高さが橋梁下まである遮音壁に囲まれている。また、現地を囲っている遮音壁には人の出入り用の扉が設置され、その扉には施錠されており、第三者は立入りが出来ない状態となっている。

なお、この遮音壁は他の環境対策と同時に施工し、2007年(平成19)年3月に施工完了。

※赤色下線部は今回追記。



遮音壁 (金属板)

遮音壁 (透光板)



写真-3 外観 (上り線側)

遮音壁 (金属板)

遮音壁 (透光板)



写真-4 遮音壁内部

立入防止柵

遮音壁 (金属板)

遮音壁 (透光板)



写真-5①

遮音壁出入口施錠状況

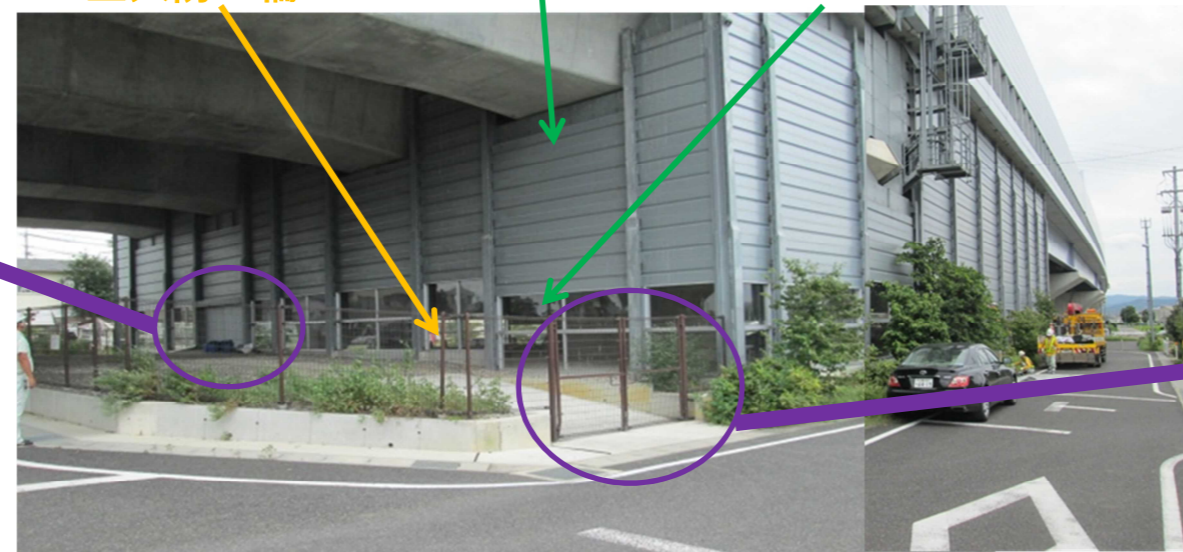


写真-5 外観 (下り線側)



写真-5②

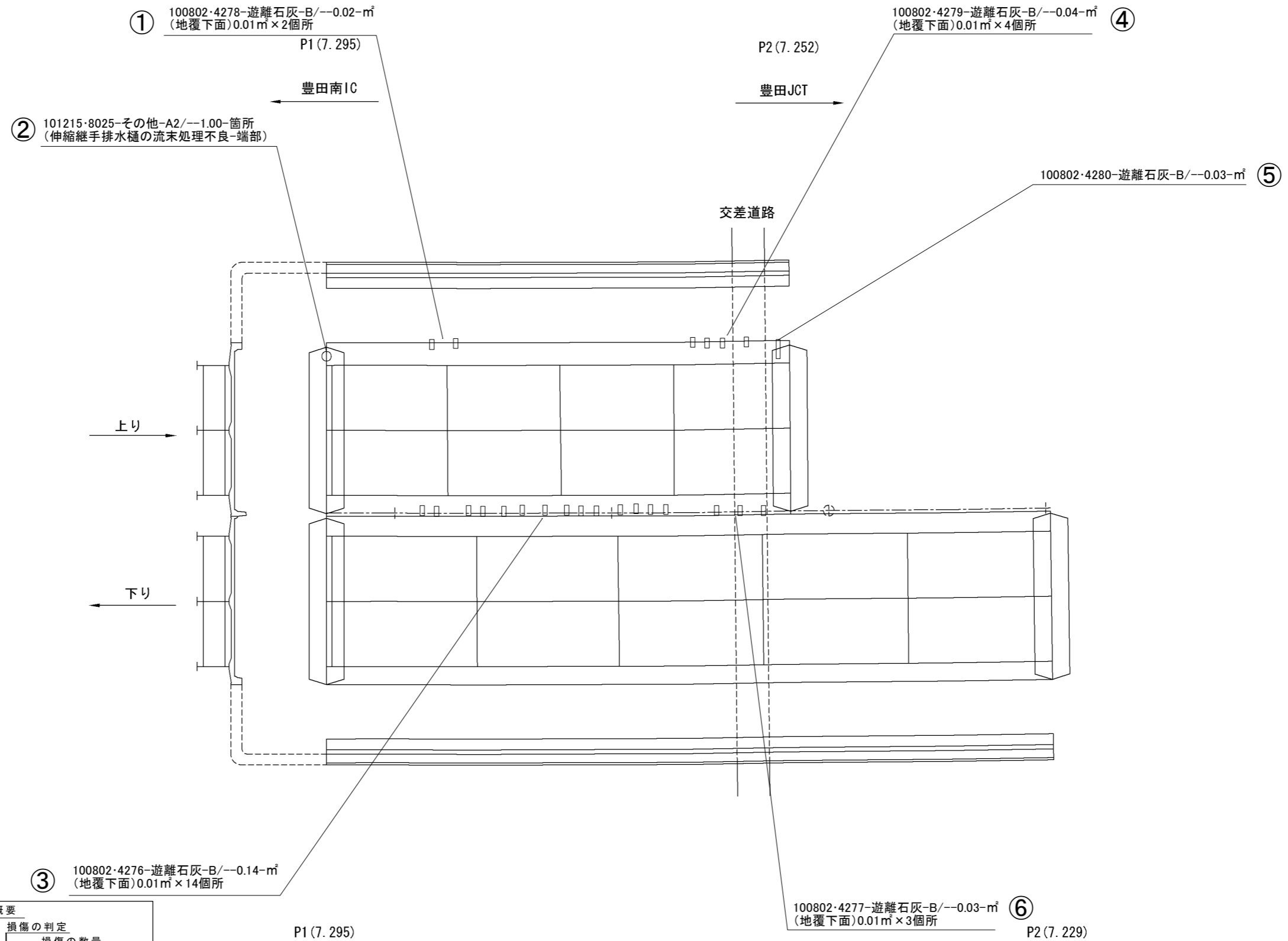
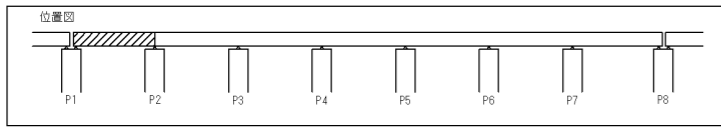
立入防止柵出入口施錠状況

点検の概要【上郷大成高架橋】

No	年月日	事象の経緯	内容	備考
1	2004（平成16）年8月31日	上郷大成高架橋 完成		
2	2004（平成16）年9月～10月		初期点検（上郷大成高架橋） 異常なし	
3	2004（平成16）年12月12日	伊勢湾岸自動車道 豊田JCT～豊田南IC 供用開始（上郷大成高架橋を含む区間）		
4	2006（平成18）年4月15日		定期点検A（上郷大成高架橋） 異常なし	
5	2006（平成18）年9月19日	環境対策設計 完了 （上郷大成高架橋、刈谷高架橋）		
6	2006（平成18）年9月15日 ～ 2007（平成19）年3月14日	環境対策工事 完了 （上郷大成高架橋、刈谷高架橋）		
7	2007（平成19）年1月17日 ～ 2007（平成19）年2月24日		初期点検（上郷大成高架橋） 異常なし	
8	2007（平成19）年3月14日		定期点検A（上郷大成高架橋） 異常なし	
9	2008（平成20）年4月25日		定期点検A（上郷大成高架橋） 異常なし	
10	2009（平成21）年3月16日		定期点検A（上郷大成高架橋） 異常なし	
11	2010（平成22）年4月14日		定期点検A（上郷大成高架橋） 異常なし	
12	2010（平成22）年8月2日		詳細点検（上郷大成高架橋） 異常なし	
13	2011（平成23）年4月19日		定期点検A（上郷大成高架橋） 異常なし	
14	2012（平成24）年4月25日		基本点検（上郷大成高架橋） 異常なし	
15	2012（平成24）年7月17日	刈谷高架橋 上りP36付近において、 床版下面吹付コンクリートのはく離発生 監視員を配置	安全確認（上郷大成高架橋） 異常なし	
16	2012（平成24）年9月6日 ～ 2012（平成24）年10月9日	詳細調査の実施	調査（上郷大成高架橋） 上り走行側にひび割れを確認。他の箇所は異常なし。	
17	2012（平成24）年12月26日		安全確認（上郷大成高架橋） 上り走行側の接合面に目に見えるひび割れの進行なし。他の接合面は、ひび割れ・はく離なし。	
18	2013（平成25）年4月19日		基本点検（上郷大成高架橋） 上り走行側の接合面に目に見えるひび割れの進行なし。他の接合面は、ひび割れ・はく離なし。	
19	2013（平成25）年10月22日		安全確認（上郷大成高架橋） 上り走行側の接合面に目に見えるひび割れの進行なし。他の接合面は、ひび割れ・はく離なし。	
20	2014（平成26）年5月20日		基本点検（上郷大成高架橋） 上り走行側の接合面に目に見えるひび割れの進行なし。他の接合面は、ひび割れ・はく離なし。	
21	2014（平成26）年9月2日	上郷大成高架橋（下り）P1～P2間 追越 側、床版下面吹付コンクリート はく離・落下事象発生		

詳細点検の報告事例 上郷大成高架橋（上り線）

図面番号	14/14
道路名	伊勢湾岸自動車道
形式	鋼7径間連続鈑桁橋
上下線	上下線共有



損傷・変状の凡例

整理番号	損傷の概要	損傷の判定	損傷の数量	単位
101001-4081-遊離石灰-B/--0.02- m^2 (地覆下面)0.01 m^2 × 2箇所				

損傷の発見時期 (年度(西暦)・月・日)

損傷位置

損傷数量の内容

詳細点検 写真一覧（上郷大成高架橋 上り線）

①




損傷	遊離石灰-B-0.020m ²
日付	2010/08/02-1-4278
損傷概要	地覆下面のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（上・P1-P2・路肩側）

②




損傷	その他-A2-1.000箇所
日付	2010/12/15-1-8025
損傷概要	伸縮継手排水樋に流末処理不良が見られる。（上・P1-P2）

③




損傷	遊離石灰-B-0.140m ²
日付	2010/08/02-1-4276
損傷概要	地覆下面のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（上・P1-P2・中分側）

④




損傷	遊離石灰-B-0.040m ²
日付	2010/08/02-1-4279
損傷概要	地覆下面のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（上・P1-P2・路肩側）

⑤



損傷	遊離石灰-B-0.030m ²
日付	2010/08/02-1-4280
損傷概要	張出部のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（上・P1-P2・路肩側）

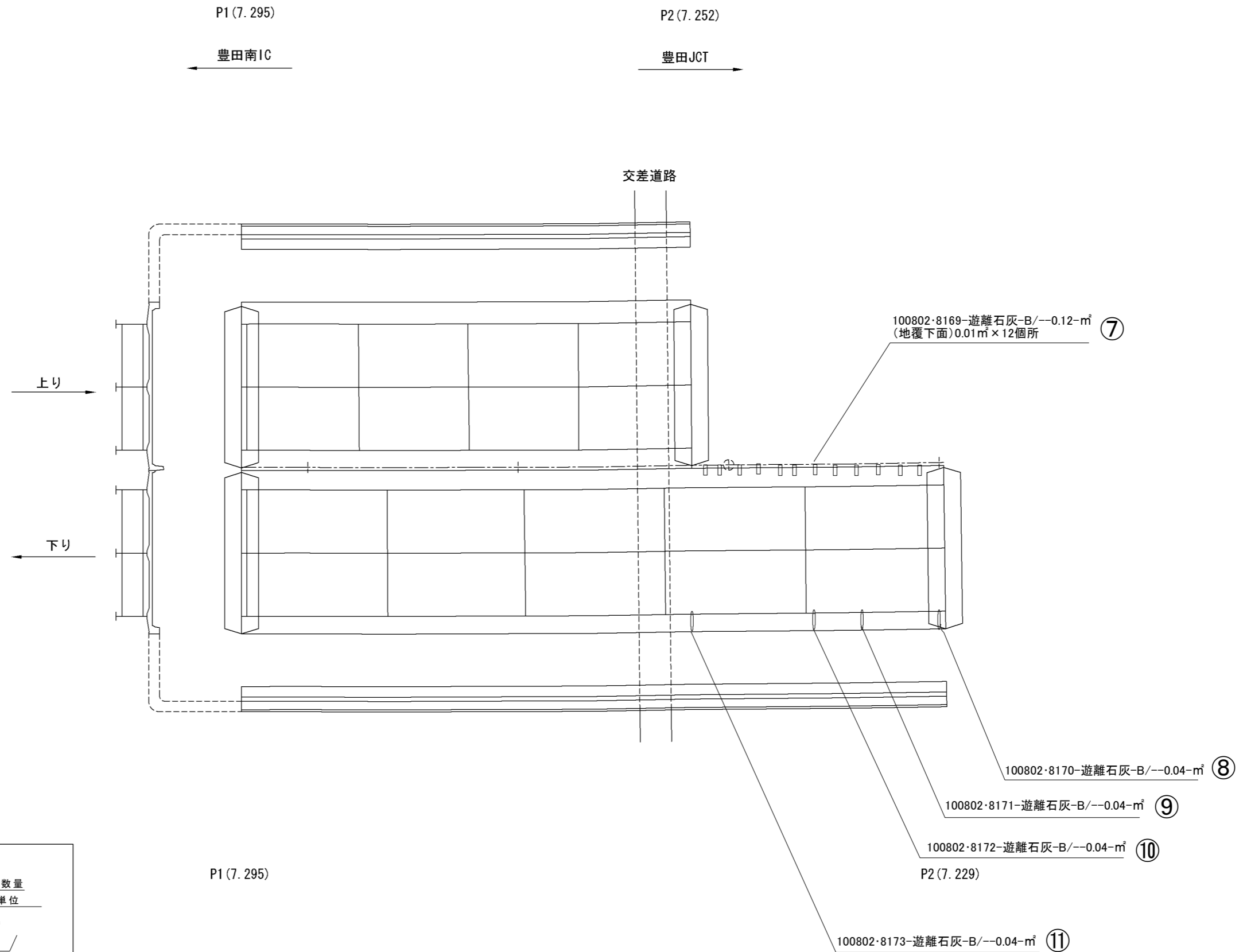
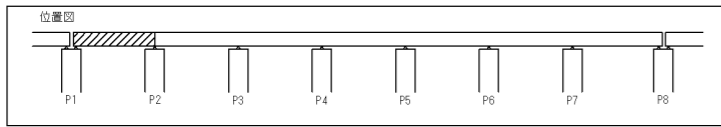
⑥



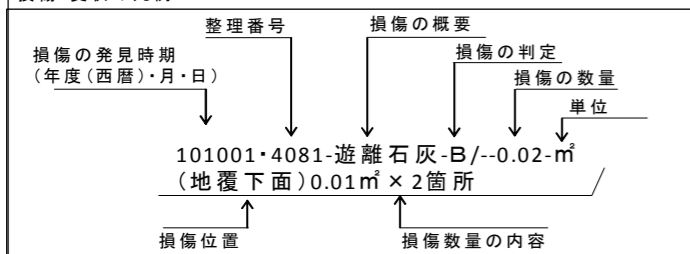
損傷	遊離石灰-B-0.030m ²
日付	2010/08/02-1-4277
損傷概要	地覆下面のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（上・P1-P2・中分側）

詳細点検の報告事例 上郷大成高架橋（下り線）

図面番号	14/14
道路名	伊勢湾岸自動車道
形式	鋼7径間連続鈹桁橋
上下線	上下線共有



損傷・変状の凡例




詳細点検 写真一覧（上郷大成高架橋 下り線）

⑦




損傷	遊離石灰-B-0.120m ²
日付	2010/08/02-1-8169
損傷概要	地覆下面のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（下・P1-P2・中分側）

⑧




損傷	遊離石灰-B-0.040m ²
日付	2010/08/02-1-8170
損傷概要	張出部のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（下・P1-P2・路肩側）

⑨



損傷	遊離石灰-B-0.040m ²
日付	2010/08/02-1-8171
損傷概要	張出部のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（下・P1-P2・路肩側）

⑩



損傷	遊離石灰-B-0.040m ²
日付	2010/08/02-1-8172
損傷概要	張出部のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（下・P1-P2・路肩側）

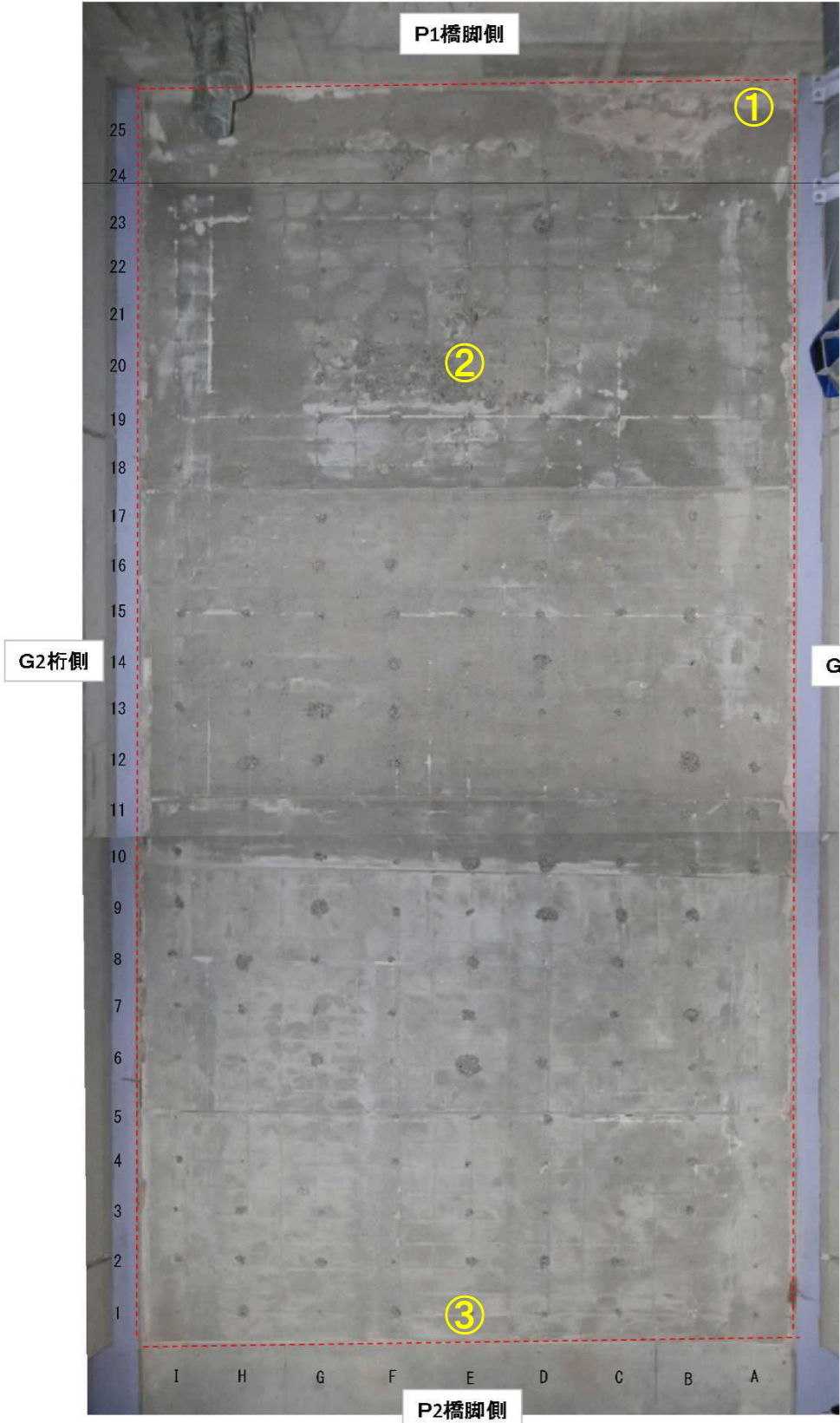
⑪



損傷	遊離石灰-B-0.040m ²
日付	2010/08/02-1-8173
損傷概要	張出部のコンクリートに遊離石灰の染み出しが見られる。（下・P1-P2・路肩側）

PC床版下面状況の調査結果 【はく離面の状態観察】

・全景写真



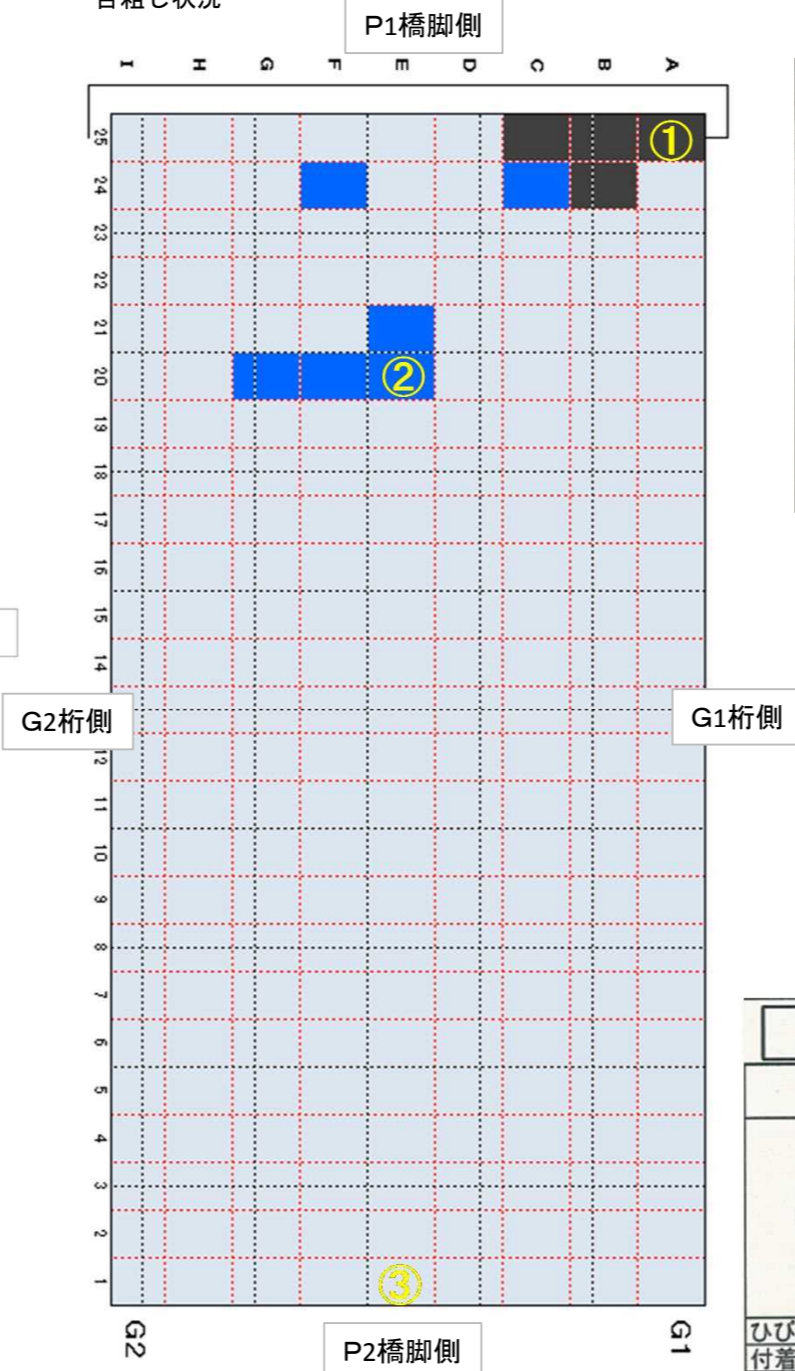
■目的

PC床版下面の目粗し状態（打継目処理）やはく離面の観察から、吹付コンクリート版との付着状況を把握する。

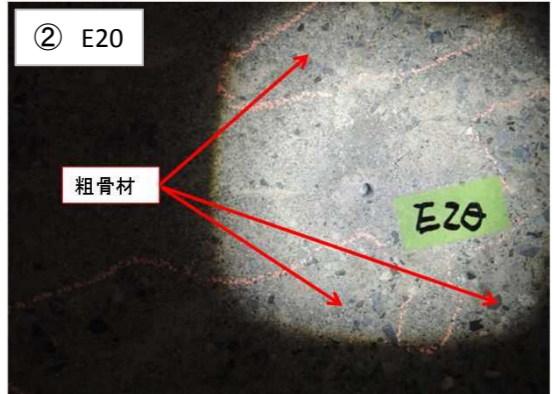
■試験方法

各アンカー孔を撮影した写真から、周辺の目粗し状況（打継目処理）を判定した。

目粗し状況



吹付コンクリート内で破壊



PC床版コンクリート内で破壊



レイタンス除去

出典：「床版下面増厚施工前試験 報告書」より編集

打継目処理	未処理	バキュームブラスト 投射密度			サンダー処理
		50kg/m ²	75kg/m ²	100kg/m ²	
レイタンスの状態	-	レイタンスが若干残る	レイタンスは完全に除去	粗骨材の露出が目立つ	粗肌程度
	ひび割れ・骨材浮き等 付着力σ ₇ 平均(N/mm ²)	無 0.99	無 1.41	無 1.67	無 1.63

※床版面に有害なひび割れ等は無し。
吹付コンクリートの写真との相対関係を合わせるため、見下げる方向に写真を反転させて表示。

■打継目処理の施工計画

出典：「施工前試験計画書」より

1. 概要

床版下面増厚工及び打継目処理工を着工するに先立ち、下記の項目について現場試験施工を行い、施工効果を確認し、施工方法を決定する。



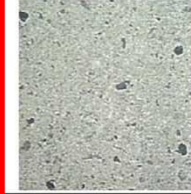
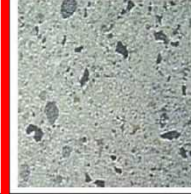
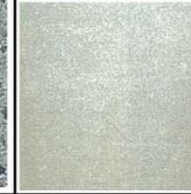
項目	目的	判定方法
打継目処理施工	・高強度コンクリートにおける打継目処理の効果と施工性の確認	・各試験体(*)における目視確認 ・各試験体(*)状況確認(凹凸部のスケール計測) ・吹付材と既設構造物の付着力
吹付施工	・打継目処理状態における付着力の確認 ・現場配合による圧縮強度確認	・各試験体における付着力の確認 ・コア削孔によりテストピースを採取し圧縮強度試験を行う($\sigma=24\text{N}/\text{mm}^2$)
アンカー施工	・アンカー削孔によるPC構造物への影響の確認 ・上面施工における耐力確認	・実施工(4本/ m^2)においてPC床版のひび割れ発生の有無(PC粗密域での比較) ・アンカーの引抜耐力試験(吹付死荷重との比較)

*試験体(吉原高架橋PC床版:平成16年 3月製作 設計コンクリート強度 50N/mm²)

番号	施工面積	打継目処理方法	吹付方法	アンカー施工本数	備考
①	1m ²	未処理 (ウエス清掃)	アクリル系プライマー + 超速硬モルタル	コンクリートアンカー4本/ m^2	ひび割れ有無 付着力試験
②	1m ²	ハキュームブラスト (投射密度50kg/ m^2)	"	"	ひび割れ有無 打継目処理状況 付着力試験
③	1m ²	ハキュームブラスト (投射密度75kg/ m^2)	"	"	"
④	1m ²	ハキュームブラスト (投射密度100kg/ m^2)	"	"	"
⑤	1m ²	サンダー処理	樹脂系接着剤 + 超速硬モルタル	"	"
⑥	0.25m ²	-	-	-	吹付圧縮強度試験体
⑦	-	-	-	コンクリートアンカー 3本	引抜き試験

■打継目処理の施工前試験結果

出典：「床版下面増厚施工前試験 報告書」より編集

打継目処理	未処理	ハキュームブラスト 投射密度			サンダー処理
		50kg/ m^2	75kg/ m^2	100g/ m^2	
レイトスの状態					
	-	レイトスが若干残る	レイトスは完全に除去	粗骨材の露出が目立つ	粗肌程度
ひび割れ・骨材浮き等	無	無	無	無	無
付着力 σ_f 平均(N/mm ²)	0.99	1.41	1.67	1.63	0.83

<考察>

打継目処理について、未処理、ブラスト処理、サンダー処理の3項目の処理を実施したが、ブラスト処理以外は付着力の確保は困難であった。ブラスト処理では、投射密度を3パターン(50、75、100kg/ m^2)で実施した。レイトスの除去状況では、50kg/ m^2 のブラストでレイトスが若干残るものの、75kg/ m^2 以上では完全に除去され、粗骨材まで表面に出てくる事を確認した。また、粗骨材の分布が多くなるまで追試験(8)を行ったが、処理深さは確実にとれるが時間的、経済的に不向きである。

付着試験では、50kg/ m^2 処理部で1.44N/mm²であり、一体性が保持できるとされる1.5N/mm²には若干不足した。75kg/ m^2 以上の処理部では試験器の治具付近での破壊であるが、1.67N/mm²の強度は確認でき、それ相応の数値である為、1.5N/mm²は確保できる。

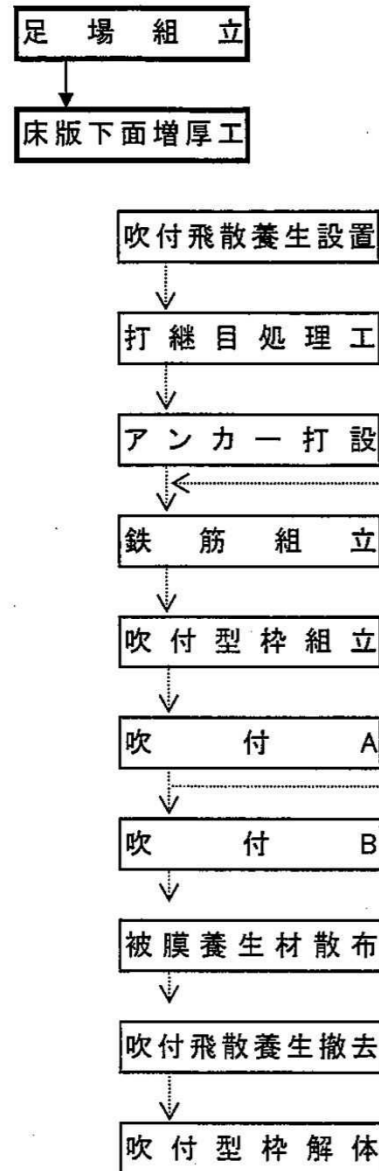
アンカー試験では、削孔や打設によるひび割れの発生の有無を観察したが見受けられず、床版への影響は無い。しかし、上向き施工であるために施工のバラツキが確認できるが、安全率3以上は確保できる。そこで、施工面では安全率3以上を規格値として施工する。

よって、打継目処理は75kg/ m^2 のブラスト処理にて施工することが望ましいと思われ、アンカー施工や吹付材料については問題無いことを確認した。

吹付コンクリートの施工

出典:「施工計画書」より

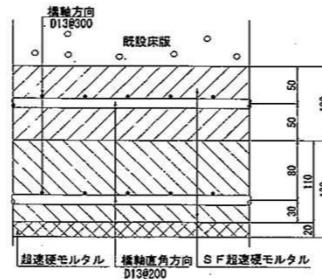
フロー



床版下面増厚工

区分	作業の手順	要点・急所
	1. 吹付飛散養生設置	・足場上から吹付材等が落ちないようにブルーシートを用いて養生を行う。また、主桁等にも丸が付着しない用にウェブ面もブルーシートにて養生する。
	2. 打継目処理	・パキュムプラストを用いて研掃材(アルミナ)を75kg/m ² 使用して表面の埃やレジンスを除去する。
	3. アンカー打設	・ハマードリルを用いてφ12.5, l=30mmの孔を明ける。その後、アンカーを挿入し、打ち込み棒にて打設する。
	4. 鉄筋組立	・図面通りに組立を行っていく。吹付によって結束が切れないようにしっかりと結束を行う。
	5. 吹付型枠組立	・ベニヤを用いて側部及び端部に型枠を設置する。取り付けられたアンカーにビニールテープを用いて所定高さの印をつける。
本作業	6. 吹付A	・ドライアウト防止目的としてプライマーを噴霧する。 ・各材料を配合計画に基づいてミキサーに投入し混合する。 ・所定の高さ、長さまで吹付が完了したら作業を終える。 ・吹付作業終了後、リバウンド材を土嚢袋等に入れ産業廃棄物として処分するために集積する。
	7. 繰り返し	・所定step数4~6を繰り返す。 (6m, t=100mm・210mm, 10m, t=100mm・210mm)
	8. 吹付B	・吹付A完了後配合計画に基づいてミキサーに投入し、混合する。 ・所定の高さまで吹付が完了したら作業を終える。 ・吹付作業完了後、リバウンド材を土嚢袋等に入れ産業廃棄物として処分するために集積する。 (10m, t=20mm)
	9. 被膜養生材散布	・噴霧器を用いて被膜養生材を散布する。
	10. 吹付飛散養生撤去	・1にて設置したブルーシートを撤去する。その際、リバウンド材等が下に落ちないように注意しながら作業を行う。
	11. 吹付型枠解体	・型枠の撤去を行う。

床版下面増厚工標準断面図



プラストキャリブレーション(自主検査)



鉄筋組立完了(立会検査)

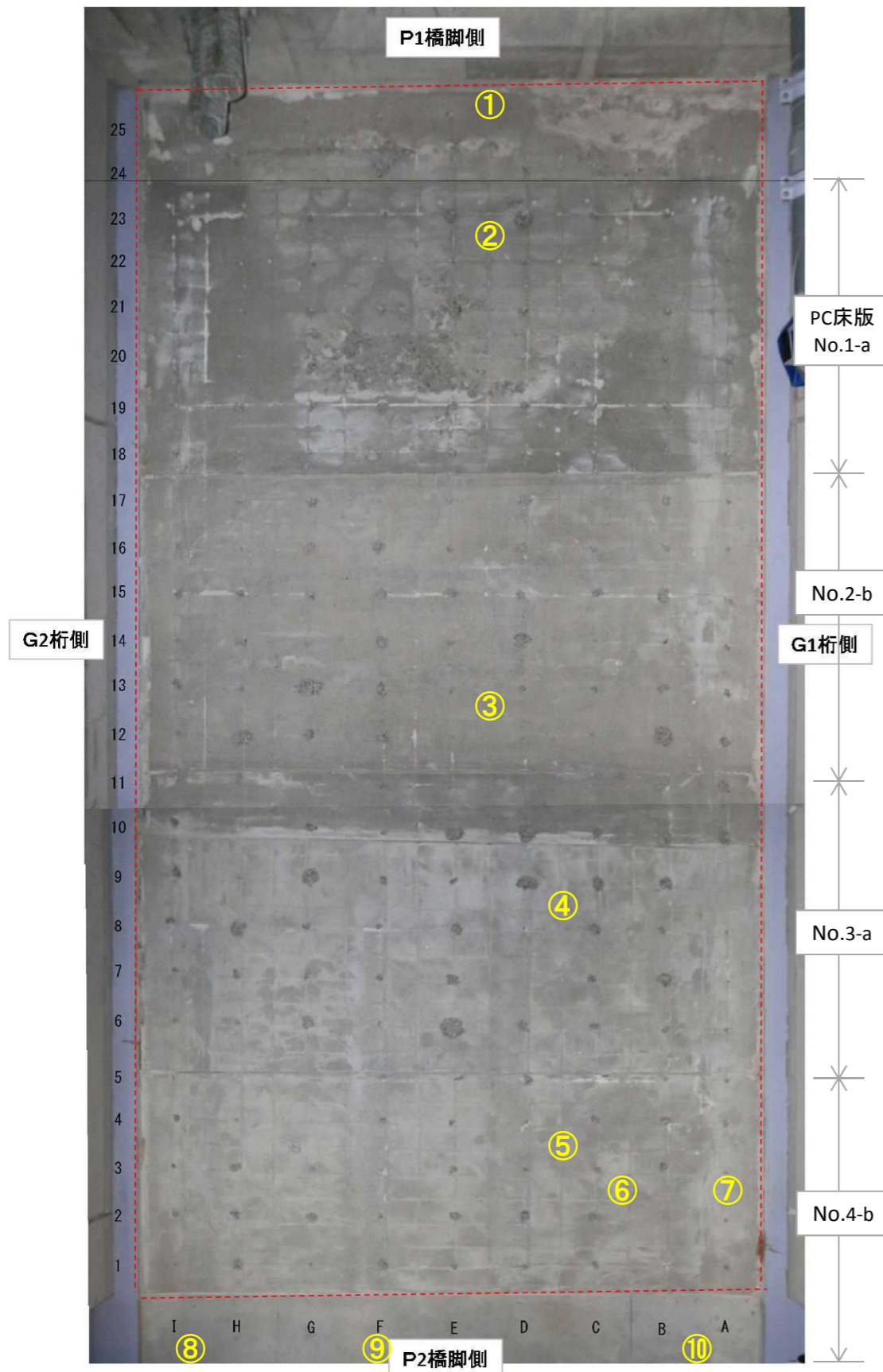


施工中の様子



PC床版下面状況の調査結果 【PC床版のコンクリート強度】

・全景写真



※床版面に有害なひび割れ等無し。
吹付コンクリートの写真との相対関係を合わせるため、
見下げる方向に写真を反転させて表示。

■目的

PC床版の推定強度を設計値と比較する。(設計圧縮強度 $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)

■今回実施した試験方法及び結果

シュミットハンマーによるコンクリートの推定強度の算出。

・シュミットハンマーによるコンクリート推定強度

計測箇所	推定強度	備考	計測箇所	推定強度	備考
①	46.7 N/mm ²	既設場所打ち部	⑥	51.5 N/mm ²	
②	51.6 N/mm ²		⑦	54.2 N/mm ²	
③	55.3 N/mm ²		⑧	56.6 N/mm ²	参考P2側増厚範囲外：G2桁側
④	52.3 N/mm ²		⑨	57.3 N/mm ²	参考P2側増厚範囲外：中央部
⑤	53.1 N/mm ²		⑩	55.5 N/mm ²	参考P2側増厚範囲外：G1桁側
			平均	53.4 N/mm ²	

※シュミットハンマーの推定強度値は材料学会式を用いて算定している。
計測箇所は全景写真の番号箇所。

■施工時の品質管理データ

・圧縮強度(出典「コンクリートの圧縮強度試験表」)

計測箇所 PC床版No.	圧縮強度(材齢28日)			
	供試体①	供試体②	供試体③	計測箇所平均
1-a	62.1 N/mm ²	61.2 N/mm ²	67.2 N/mm ²	63.5 N/mm ²
2-b	61.5 N/mm ²	64.4 N/mm ²	64.9 N/mm ²	63.6 N/mm ²
3-a, 4-b	58.8 N/mm ²	58.6 N/mm ²	61.4 N/mm ²	59.6 N/mm ²
			全体平均	62.2 N/mm ²

※試験体サイズ $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ197~199mm

・シュミットハンマーによるコンクリート推定強度(出典「PCプレキャスト床版受入時検査調書」)

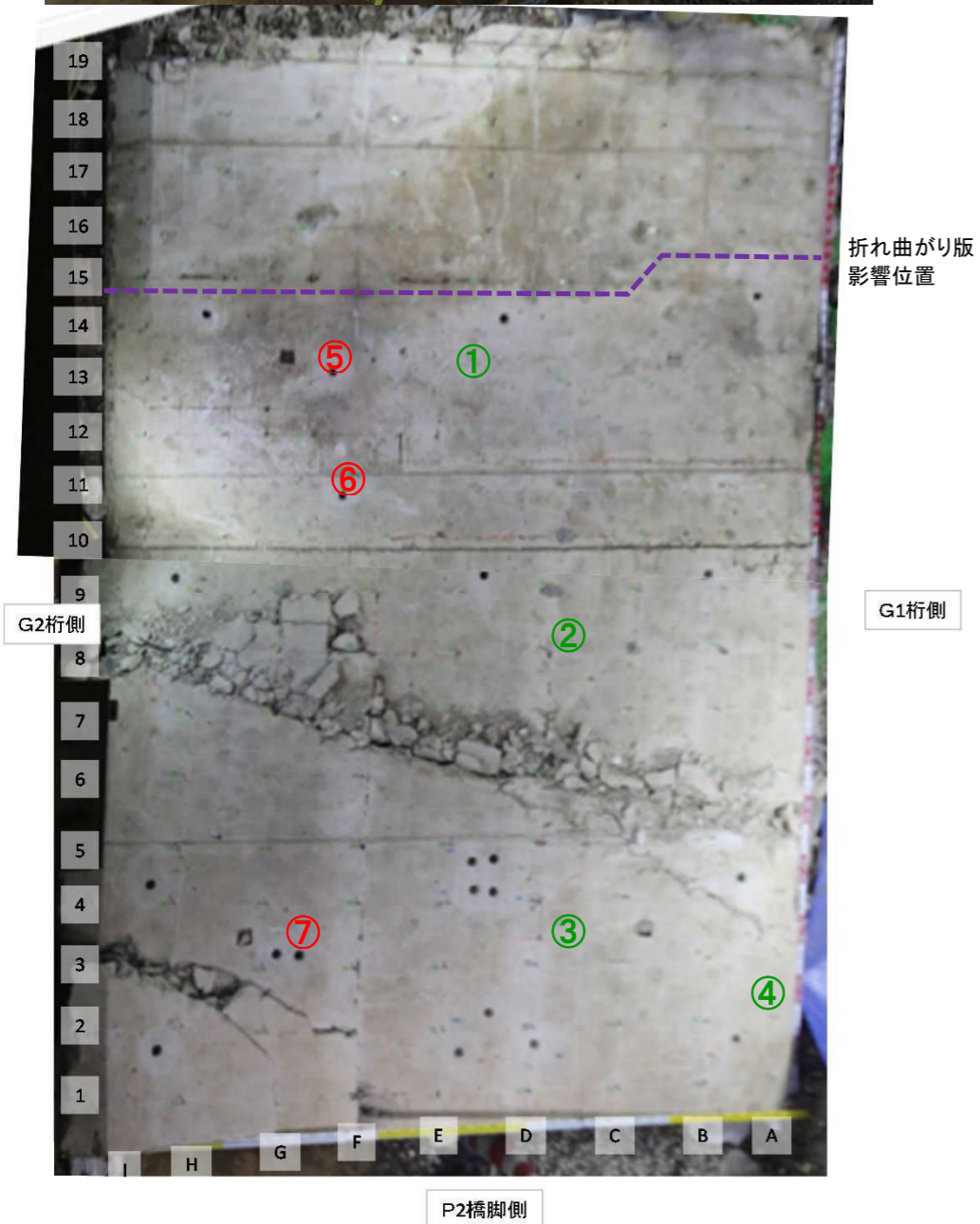
計測箇所 PC床版No.	推定強度(材齢104~123日)			
	測点①	測点②	測点③	計測箇所平均
1-a	64.2 N/mm ²	62.1 N/mm ²	62.9 N/mm ²	63.1 N/mm ²
2-b	61.5 N/mm ²	62.1 N/mm ²	61.5 N/mm ²	61.7 N/mm ²
3-a	63.8 N/mm ²	62.9 N/mm ²	63.7 N/mm ²	63.5 N/mm ²
4-b	63.1 N/mm ²	65.2 N/mm ²	64.5 N/mm ²	64.3 N/mm ²
			全体平均	63.2 N/mm ²

※シュミットハンマーの推定強度 $= 36.6 + 0.532 \sigma_s$

σ_s : シュミットハンマーによる強度

吹付コンクリート落下状況【吹付コンクリートのコンクリート強度】

・全景写真



折れ曲がり版
影響位置

G1桁側

P2橋脚側

緑字: シュミットハンマーによる推定強度計測箇所

赤字: 圧縮強度用コア採取箇所

■目的

落下した吹付コンクリート版の品質を確認する。(設計圧縮強度 $\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$)

■規定

14-3-3 材料及び施工

- (1) 床版下面増厚工の施工にあたっては、「コンクリート構造物の断面修復工法施工マニュアル(案) 平成15年3月」(日本道路公団)によるものとする。
- (2) 床版下面増厚工の材料は、超速硬セメントモルタルを用いるものとし、暫定配合は下記のとおりとする。

なお、示方配合は試験練等により監督員の承諾を得て決定するものとし、配合に大きな変更が無い場合は費用の変更を行わないものとする。

乾式吹付け 工の種類	材令3時間 における圧縮強 度 (N/mm ²)	W/C	S/C	単位量 (kg/m ³)			
				セメント	水	細骨材	鋼繊維
A	24	4.5	3	512	230	1536	78.5
B	24	4.5	3	518	233	1554	—

出典: 「工事請負契約書」
(2006(平成18)年9月)より抜粋

■試験方法

落下した吹付コンクリート版の上面(付着面)でのシュミットハンマーによる強度推定および採取コアによる圧縮強度試験を実施。

・シュミットハンマーによるコンクリート推定強度

計測箇所	推定強度	備考
①	38.0 N/mm ²	
②	30.5 N/mm ²	
③	44.0 N/mm ²	
④	36.3 N/mm ²	
平均	37.2 N/mm ²	

※シュミットハンマーの推定強度値は材料学会式を用いて算定している。

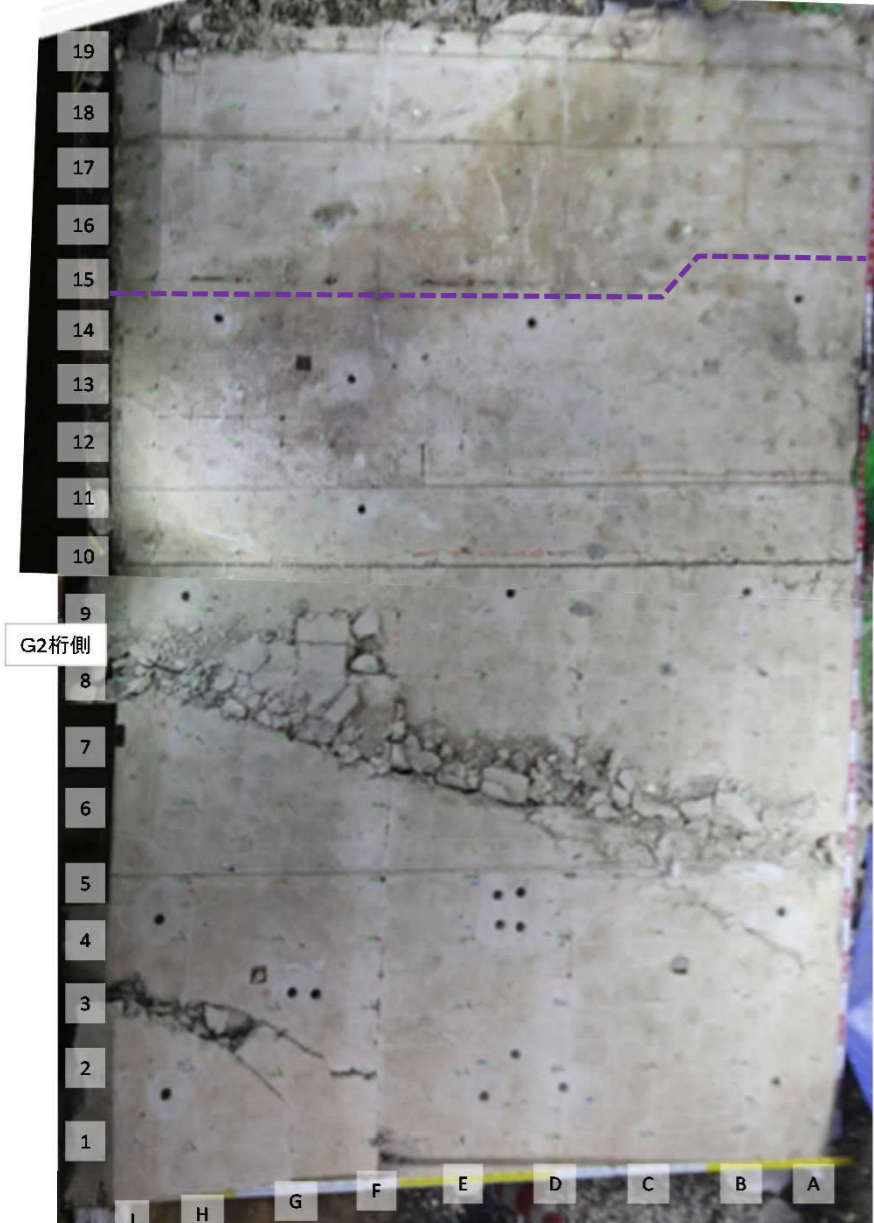
・採取コアによる圧縮強度

計測箇所	圧縮強度	静弾性係数	備考
⑤	65.3 N/mm ²	29.1 kN/mm ²	供試体サイズ φ58mm × 118mm
⑥	59.6 N/mm ²	24.4 kN/mm ²	
⑦	67.6 N/mm ²	24.2 kN/mm ²	
平均	64.2 N/mm ²	25.9 kN/mm ²	

※スチールファイバーを含んだ供試体の径φ58mmの試験結果。

吹付コンクリート落下状況【吹付コンクリートの品質管理】

・全景写真



折れ曲がり版
影響位置

G1桁側

P2橋脚側

■施工時の品質管理データ
・吹付コンクリートの圧縮強度品質管理データ

規定

14-3-3 材料及び施工

- 床版下面増厚工の施工にあたっては、「コンクリート構造物の断面修復工法施工マニュアル(案)平成15年3月」(日本道路公団)によるものとする。
- 床版下面増厚工の材料は、超速硬セメントモルタルを用いるものとし、暫定配合は下記のとおりとする。
なお、示方配合は試験練等により監督員の承諾を得て決定するものとし、配合に大きな変更が無い場合は費用の変更を行わないものとする。

乾式吹付け 工の種類	材令3時間 における圧縮強 度(N/mm ²)	W/C	S/C	単位量(kg/m ³)			
				セメント	水	細骨材	鋼繊維
A	24	4.5	3	512	230	1536	78.5
B	24	4.5	3	518	233	1554	—

出典：「工事請負契約書」
(2006(平成18)年9月)より抜粋

施工前確認

6. 品質管理試験

6-1. 圧縮強度試験結果

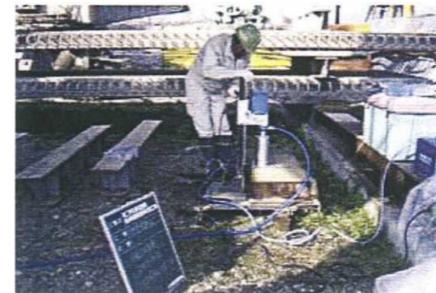
コンパネにて型枠を作成し吹付を行った。
吹付完了後、コアにより試験体(φ100)を採取した。
コア採取後、試験体を成形後圧縮強度試験を行った。
結果を以下に示す。

試験体番号	圧縮強度試験結果(N/mm ²)				合・否	備 考
	1	2	3	平均値		
⑥	36.4	39.2	40.2	38.6	合・否	養生期間 σ7

※供試体サイズ φ100mm * 200mm



圧縮強度試験体吹付状況



圧縮強度試験体採取状況

出典：「施工前試験結果報告書」
(2006(平成18)年11月)より抜粋

施工時

第二東名高速道路 刈谷高架橋環境対策工事

吹付け圧縮強度試験結果一覧表

番号	施工日	施工箇所	圧縮強度試験				
			材令	試験日	強度	設計基準強度	差
1	10/31	試験施工(能登川工場)	σ7	11/7	38.6	24.0	14.6
2	10/31		σ28	11/28	48.6		24.6
3	11/13	上郷 S1 下り線 ①	σ7	11/20	46.8		22.8
4	11/16	上郷 S1 上り線 ①	σ6	11/22	46.4		22.4
5	11/18	刈谷 S1 上り線 ①	σ7	11/25	44.0		20.0
6	11/21	上郷 S1 下り線 ②	σ7	11/28	48.5		24.5
7	11/23	上郷 S1 上り線 ②	σ7	11/30	51.4		27.4
8	11/23	刈谷 S1 下り線 ①	σ7	11/30	47.7		23.7
9	11/27	刈谷 S1 上り線 ②	σ7	12/4	51.8		27.8
10	11/27	上郷 S1 下り線 ③	σ7	12/4	39.6		15.6
11	11/28	上郷 S1 上り線 ③	σ7	12/5	54.3		30.3
12	11/30	上郷 S1 上り線 ④	σ7	12/7	51.7		27.7
13	11/30	刈谷 S1 下り線 ②	σ7	12/7	54.5		30.5
14	12/1	上郷 S1 下り線 ④	σ7	12/8	41.7		17.7
15	12/2	上郷 S1 下り線 ⑤	σ6	12/8	45.1		21.1
16	12/4	上郷 S1 上り線 ⑤	σ4	12/8	44.8		20.8
17	12/5	刈谷 S1 上り線 ③	σ7	12/12	43.0		19.0
18	12/7	刈谷 S2 下り線 ①	σ5	12/12	51.2		27.2
19	12/7	刈谷 S1 下り線 ③	σ5	12/12	51.1		27.1
20	12/9	刈谷 S1 上り線 ④	σ6	12/15	42.1		18.1
21	12/12	刈谷 S1 下り線 ④	σ7	12/19	49.7		25.7
22	12/12	刈谷 S2 上り線 ①	σ7	12/19	45.5		21.5
23	12/13	刈谷 S2 上り線 ③	σ7	12/20	50.7		26.7
24	12/14	刈谷 S2 下り線 ②	σ6	12/20	46.2		22.2
25	12/15	刈谷 S2 下り線 ③	σ5	12/20	48.5		24.5
26	12/15	刈谷 S1 下り線 ⑤	σ5	12/20	42.0		18.0
27	12/16	刈谷 S1 上り線 ⑤	σ4	12/20	40.5		16.5
28	12/18	刈谷 S2 上り線 ②	σ7	12/25	48.9		24.9
29	12/20	刈谷 S2 下り線 ④	σ7	12/27	44.1		20.1
30	12/21	刈谷 S2 上り線 ④	σ6	12/27	40.3		16.3
31	12/22	刈谷 S2 下り線 ⑤	σ5	12/27	38.6		14.6
32	12/23	刈谷 S2 上り線 ⑤	σ4	12/27	42.3		18.3

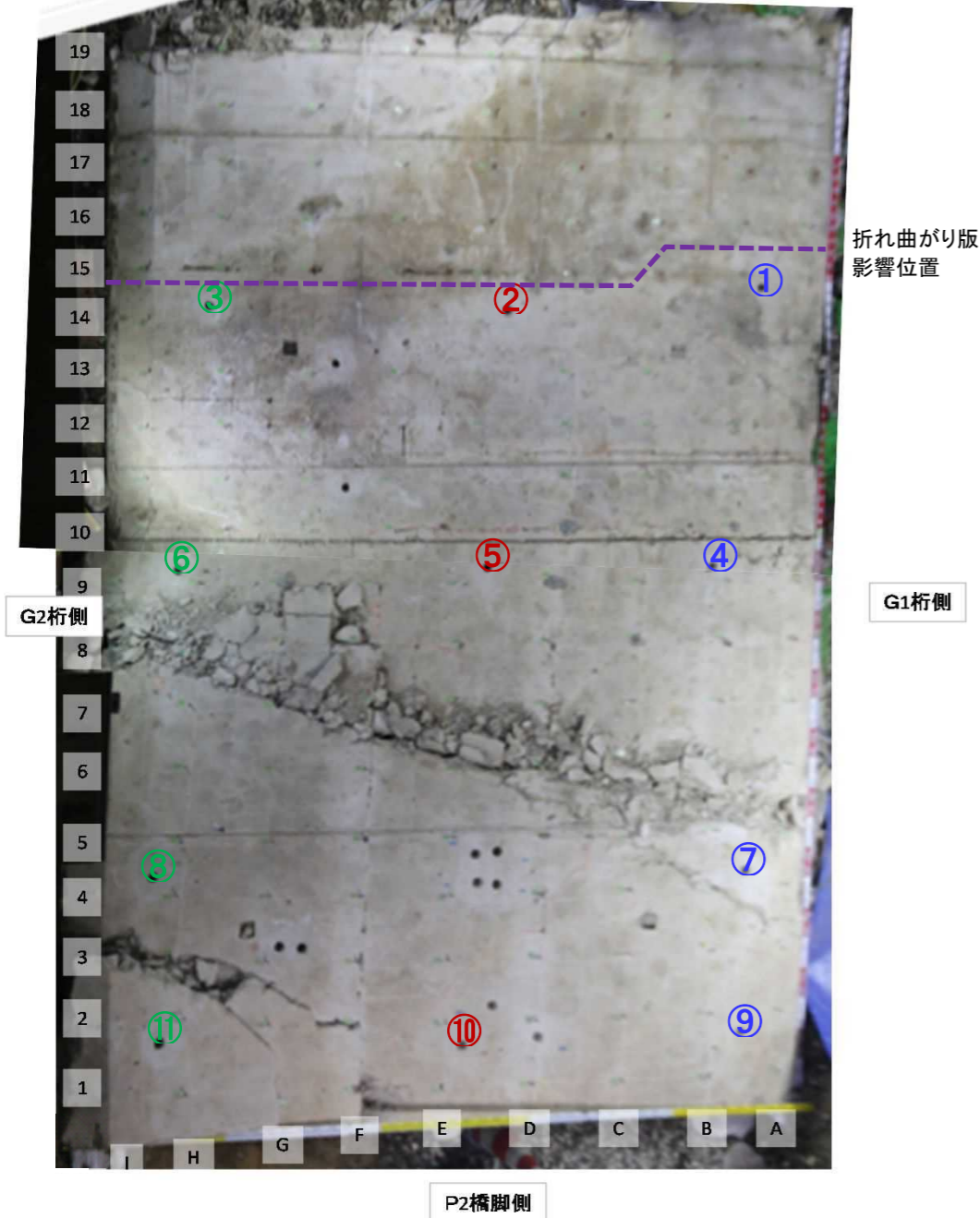
※供試体サイズ φ100mm * 200mm

出典：「使用材料試験成績書」
(2007(平成19)年3月)より抜粋

吹付コンクリートの中性化深さ

■吹付コンクリートはく離面の中性化深さ

・全景写真



■目的

吹付コンクリート版の付着面の中性化深さから、はく離の時期を推測する。

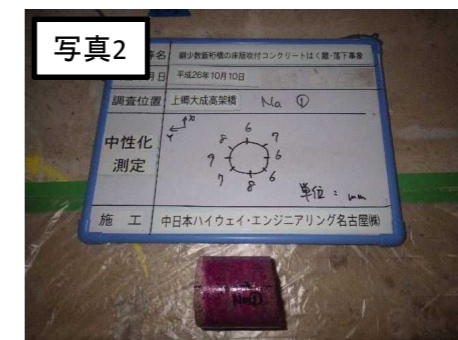
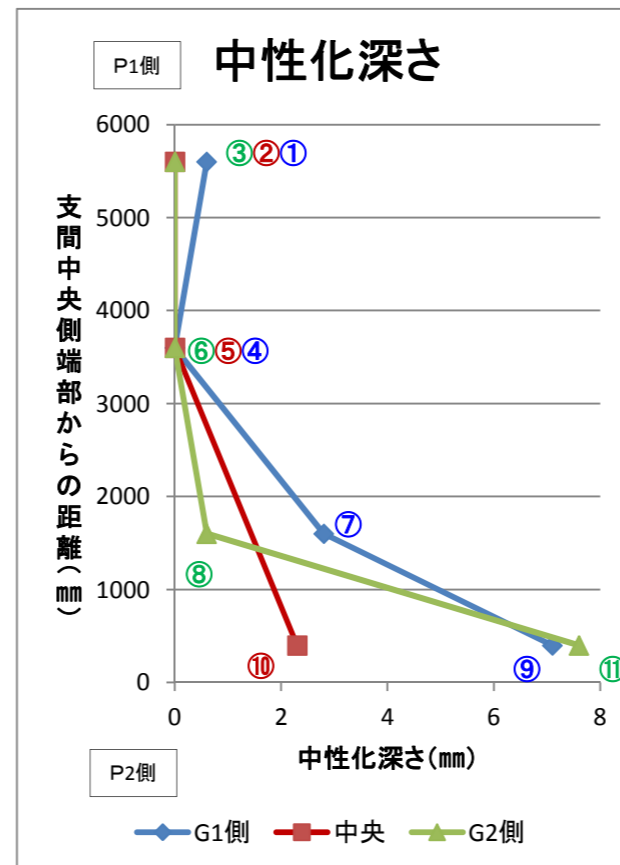
■試験方法

落下した吹付コンクリート版から採取したコア(φ58)表面へフェノールフタレイン溶液を噴霧後、赤色変化状況を観察し、1コア当たり8点、変色しなかった深さを測定し、その平均値で、中性化深さを判定。

・採取コアによる中性化深さ

計測箇所	中性化深さ		備考	計測箇所	中性化深さ		備考
	平均値	最大値			平均値	最大値	
①	0.6 mm	1 mm		⑦	2.8 mm	7 mm	
②	0.0 mm	0 mm		⑧	0.6 mm	2 mm	
③	0.0 mm	0 mm		⑨	7.1 mm	9 mm	写真2
④	0.0 mm	0 mm	写真1	⑩	2.3 mm	8 mm	
⑤	0.0 mm	0 mm		⑪	7.6 mm	13 mm	
⑥	1.0 mm	1 mm					

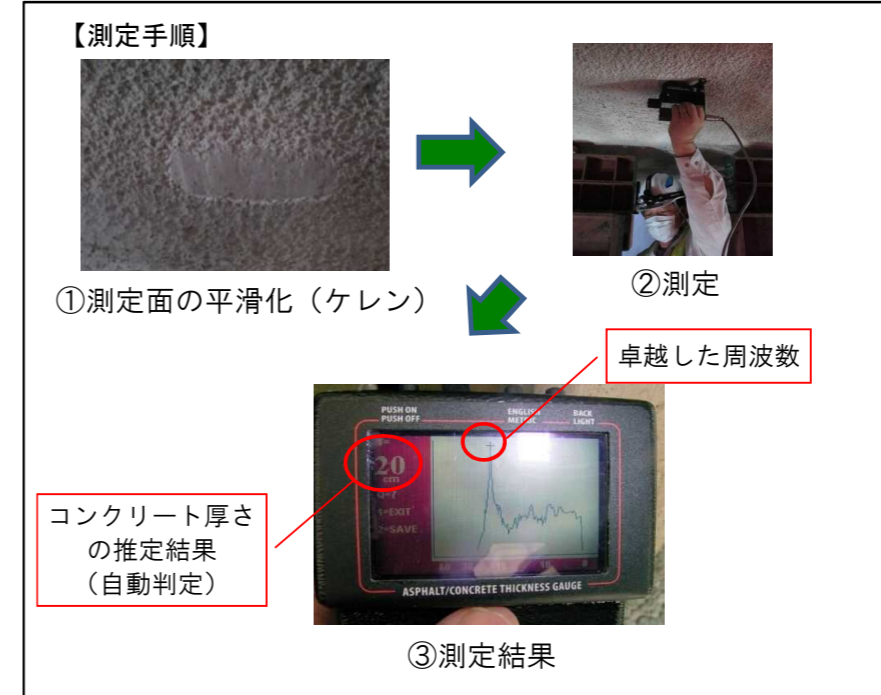
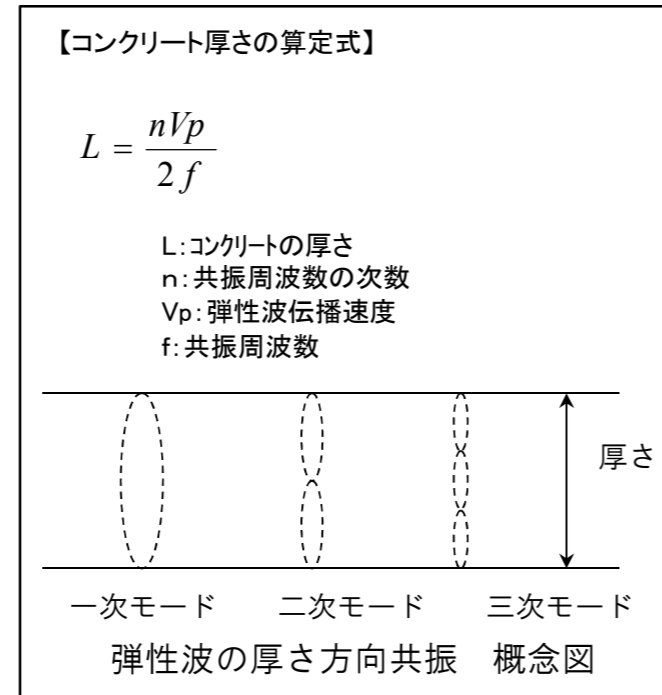
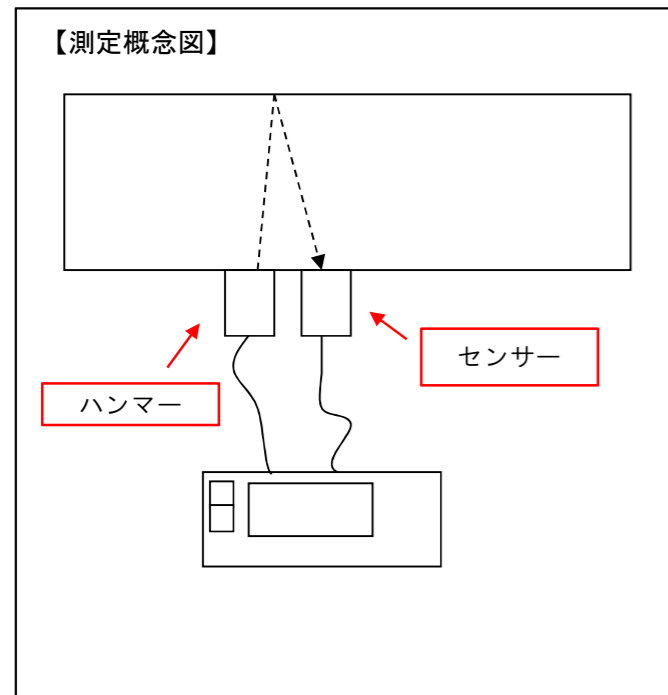
※採取コアサイズ φ 58 × 50 ~ 150mm



吹付コンクリートのはく離状況の調査

■衝撃弾性波法の概要

コンクリート表面から打撃等により弾性波を生じさせると、コンクリート部材の厚さ方向に半波長の整数倍の共振が生じる。これを利用してコンクリート内部欠陥までの距離や剥離深さを推定することができる。(出典:コンクリート診断士テキスト)

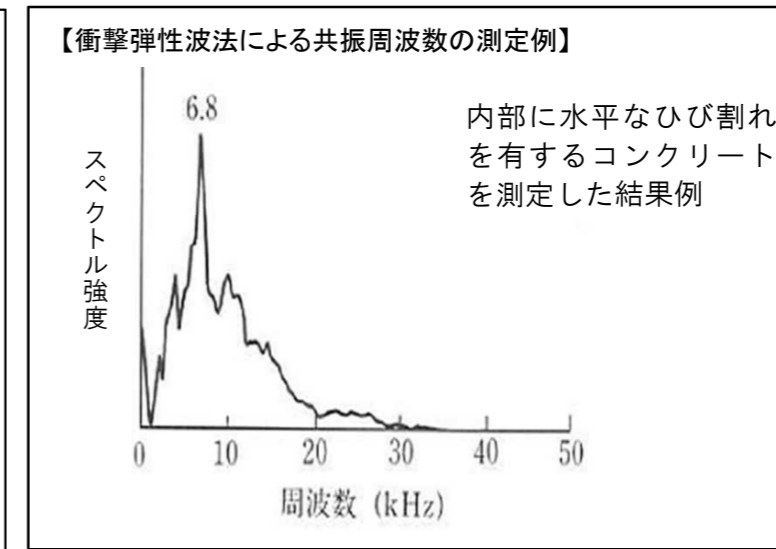


【使用機器】CTG-TTC: オルソン インストルメント製(米国)

センサー

ハンマー

—機器仕様—
測定原理: 衝撃弾性波
測定範囲: 50~300mm (内部コイル使用時)
300~2500mm (外部ハンマー使用時)
測定精度: ±10% (普通強度のコンクリートの場合)



■ 衝撃弾性波試験結果 【上郷大成高架橋】

■ 目的

残存吹付コンクリート版が、現状でどの程度はく離しているかを確認するため。

■ 試験方法

吹付コンクリート下面から衝撃弾性波を送り、顕著な反射が認められた場合は界面(はく離)が存在すると推定される。

■ 判断基準

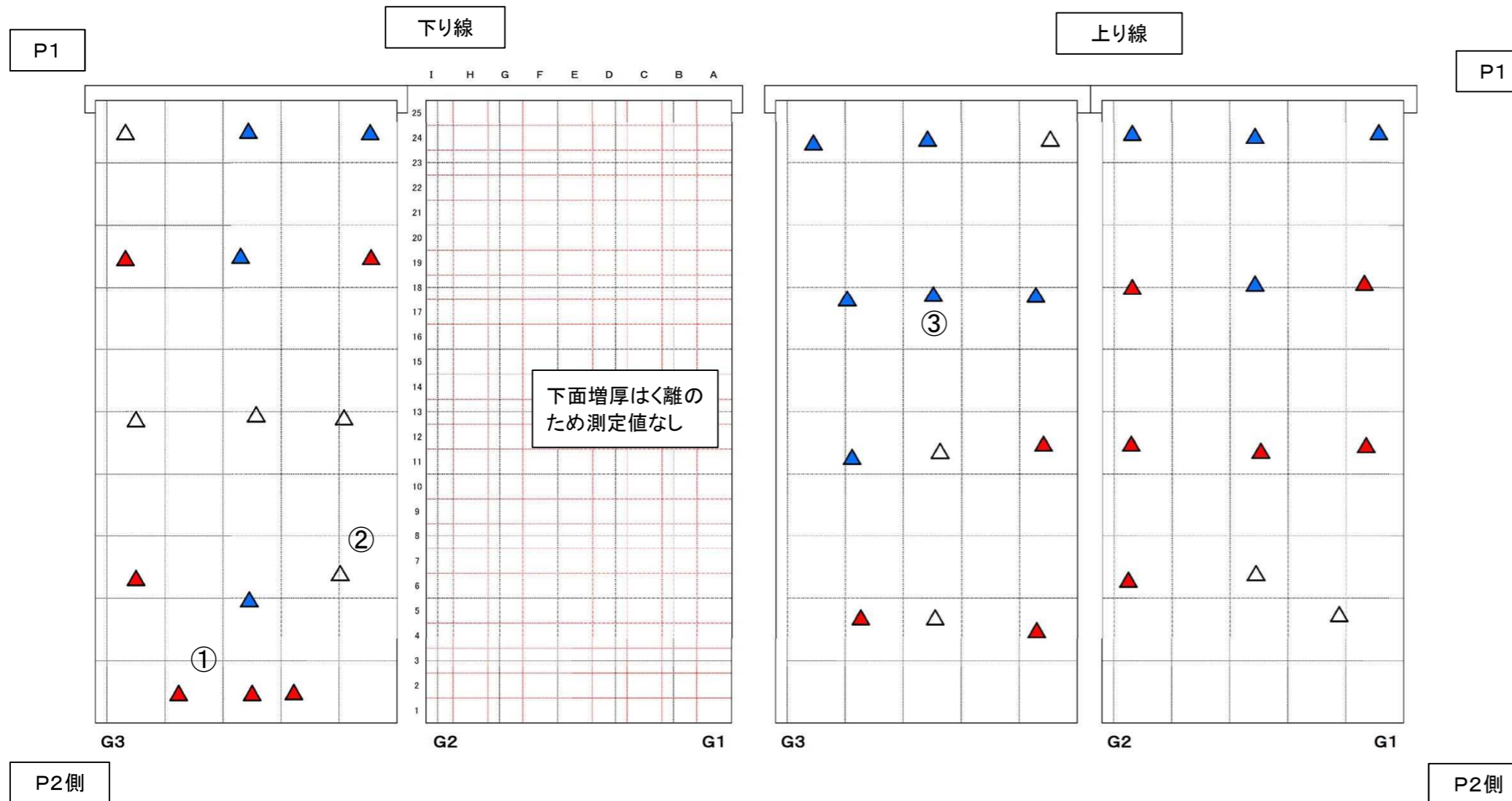
- ▲ 160mm~260mmの位置に明確に卓越した反射が認められた。
- △ 160mm~260mmの位置にやや卓越した反射が認められた。
- ▲ 接着面では卓越した反射が認められず、床版上面位置のみ卓越した反射が認められた。

【凡例】

▲ ①はく離

△ ②はく離の可能性

▲ ③完全密着

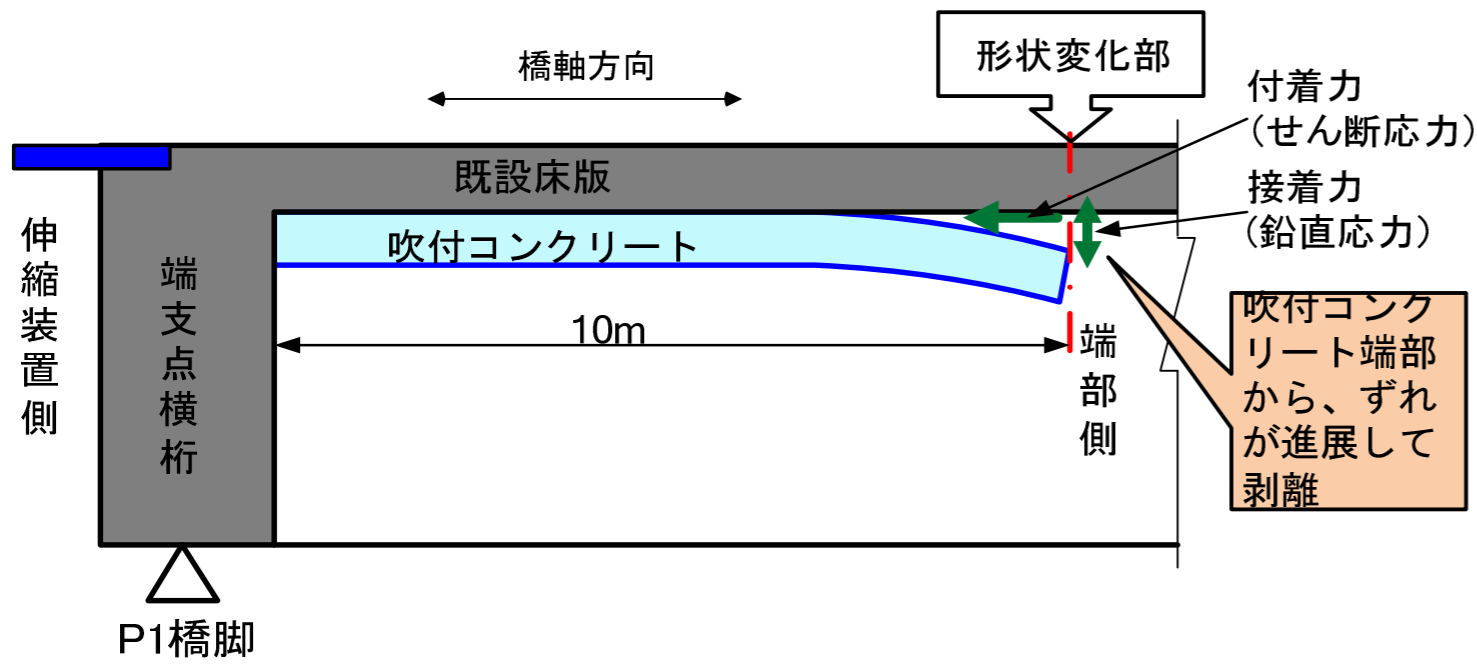


1. 影響要因

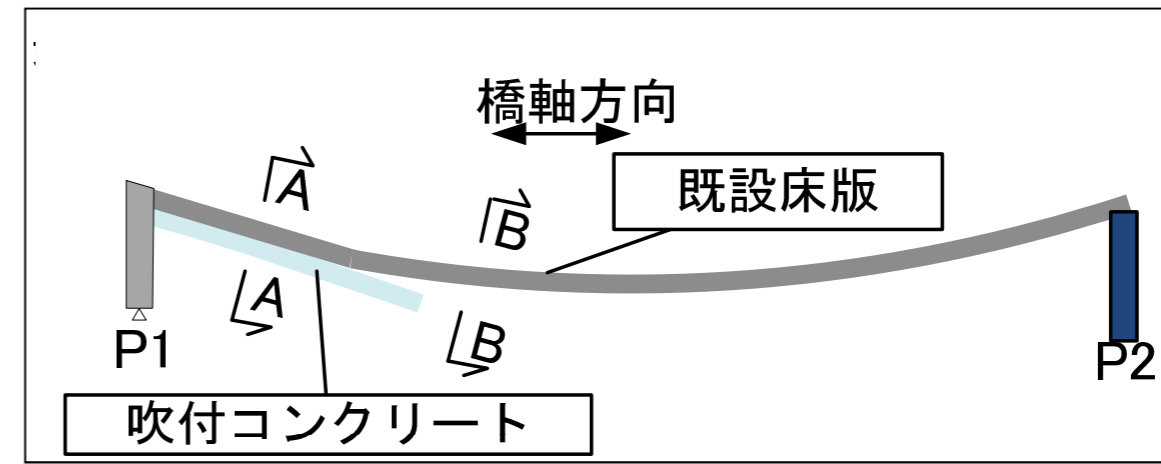
- (1) 吹付厚が厚いことによるコンクリートの温度および収縮による体積変化の影響
- (2) 吹付コンクリート硬化時の振動の影響
- (3) 吹付厚が厚いことによる形状変化部でのせん断力の発生の影響

2. 現地調査、影響要因からの落下メカニズムの推定(可能性の一つ)

- ・ コンクリートの温度変化と収縮の影響で、端部側の界面に水平方向にずれようとするせん断力が発生
- ・ 硬化時の振動の影響による付着強度や接着強度の低下
- ・ 増厚したことで形状変化部となり、輪荷重の载荷により界面に水平方向にずれようとするせん断力が発生
- ・ 繰り返し荷重の影響もあり、端部側からずれが進展して最終的に落下



体積変化、振動による影響の概念図



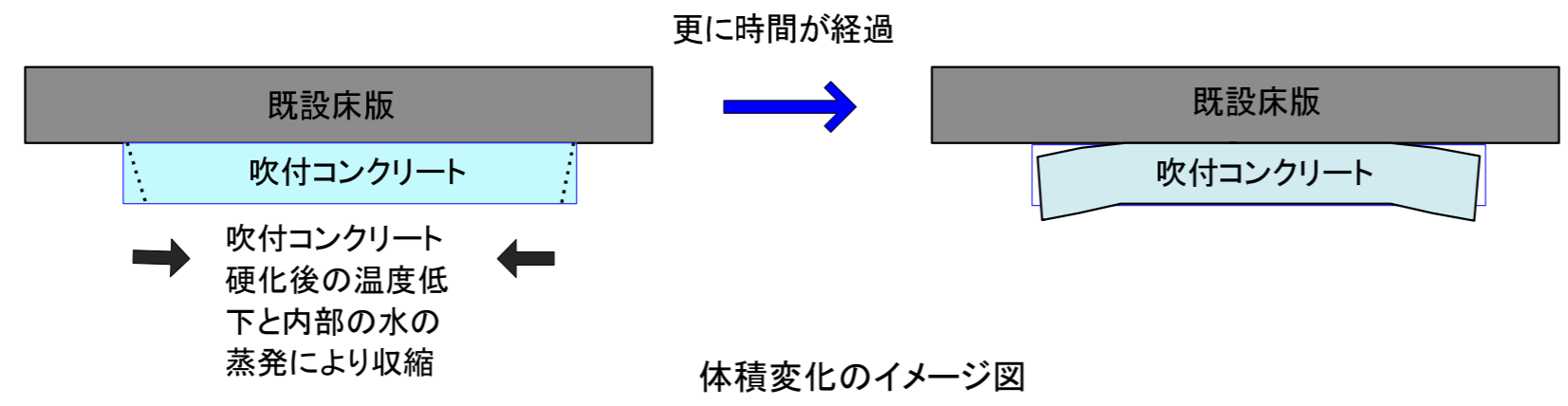
輪荷重载荷による影響の概念図

	A-A	B-B	
h=270mm	既設床版	既設床版	E=3.5 × 10 ⁷ kN/m ²
h=230mm	吹付コンクリート		E=3.1 × 10 ⁷ kN/m ²
b = 1.0m(単位幅)			
A-A断面	$EI = E \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{E \cdot 1.0 \times (0.27+0.23)^3}{12} = 3.43 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$		E : 弾性係数 (材料毎の応力とひずみの比例定数) I : 断面二次モーメント (部材断面毎の変形のしにくさ) EI : 曲げ剛性 (変形のしにくさ)
B-B断面	$EI = E \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{E \cdot 1.0 \times 0.27^3}{12} = 0.57 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$		

↑ 約6倍

変形のしにくさを表す曲げ剛性(EI)の比較

落下にいたるメカニズムの検証(1)
吹付厚が厚いことによるコンクリートの温度および収縮による体積変化の影響
【検証方法】 ■解析: 温度応力解析等 ■実験



落下にいたるメカニズムの検証(2)
吹付コンクリート硬化時の振動の影響
【検証方法】 ■実験

落下にいたるメカニズムの検証(3)
吹付厚が厚いことによる形状変化部でのせん断力の発生の影響
【検証方法】 ■解析: FEM解析