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

報　告　書

平成27年4月23日

目　　次

1.　はじめに……1
2.　調査検討委員会……2
3.　床版下面吹付コンクリート界面はく離・落下事象の概要……5
3.1　路線及び橋梁概要……5
3.2　事象の概要……8
3.3　事象の経緯と対応状況……11
4.　設計施工及び点検の概要……17
4.1　設計概要……17
4.2　施工概要……19
4.3　点検概要……23
5　現地調査……30
5.1　PC 床版下面の状況……30
5.2　吹付コンクリートの落下状況……31
5.3　吹付コンクリートの接着状況……33
5.4　吹付コンクリートの白すじ……36
5.5　アンカーの調査……39
6.　落下にいたるまでの事象の推定……41
6.1　予備検討……41
6.2　現地調査等による落下にいたるまでの事象の推定……45
6.3　実験および解析による検証と実施内容……46
6.4　実験および解析結果と考察……55
6.5　実験および解析結果に基づく落下にいたるまでの事象の推定……79
7.　業務実施経緯の調査結果とプロセスの確認……81
7.1　設計……81
7.2　施工……81
7.3　維持管理……81
7.4　プロセス……81
8.　再発防止策……85
8.1　設計、施工、維持管理……85
8.2　プロセス……85
9.　調査検討委員会の総括……86
《参考》
議事要旨……87

(END 88)

1. はじめに

伊勢湾岸自動車道　上郷大成高架橋において、環境対策のためにあと施工した吹付けコンクリートが、2014(平成 26)年 9 月 2 日に落下する事象が発生した。

現場は四方を遮音壁で囲われており、第三者被害は生じなかったものの、事象の重要性に鑑み、原因究明・再発防止策の整理を行うことを目的に「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」(以下､「調査検討委員会」という。)が設置された。

原因究明と再発防止策の審議に当たっては、設計・施工・維持管理・プロセスにおける事実関係の検証結果をもとに、未解明な部分を含め事象を再現すべく実験・解析を行った。

再発防止に際し、今回のような構造においては、材料・部材強度の不均等性および荷重作用の不均一性、温度応力や乾燥収縮などに起因する応力作用が局所破壊を発生させ、これが経年的に進行して落下に至る可能性のあることを確認した。また、単なる安全率を機械的に用いることなく、所定の安全性を確保することや構造部材あるいは非構造部材を設計・施工する場合に、部材自身やその部位の落下の可能性を検討し、必要に応じて二重の安全対策などの冗長性を有する構造とし、部材や接続部の耐久性に十分配慮するとともに、点検しやすい構造とすることが重要となる。

本報告書は、2014(平成 26)年 9 月の第 1 回調査検討委員会から 2015(平成 27)年 2 月の第 3 回調査検討委員会にかけて審議した結果、本調査検討委員会で得られた新たな知見について情報発信し、同構造等に対して広く注意喚起するために取り纏めを行ったものであり、現場での適切な設計・施工・維持管理に役立てられることを期待するものである。

平成 27 年 4 月

「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」
委員長　池田　尚治

2. 調査検討委員会

2.1 設立趣旨

中日本高速道路株式会社が管理する伊勢湾岸自動車道豊田ジャンクションから豊田南インターチェンジ間（平成 16 年 12 月 12 日開通）に建設された上郷大成高架橋（かみごうたいせいこうかきょう）において、橋梁床版下面のジョイント部近傍に環境対策として追加設置した、あと施工の床版下面吹付コンクリートが界面ではく離し、高速道路用地内に落下する事象が発生した。

今回の落下事象を踏まえ、鋼少数主桁橋のプレキャスト PC 床版に、あと施工による下面吹付コンクリートを施工した構造を有する橋梁について、落下に至った原因の究明、今回の事象を踏まえた再発防止策の検証が必要である。

このため、鋼少数主桁橋のプレキャスト PC 床版下面吹付コンクリートの対応方針について、技術的かつ専門的見地から検討するため、本委員会を設立した。

2.2 調査検討委員会

表 2.2.1；調査検討委員会構成

	氏　名	所属機関・役職
委員長	池田　尚治	横浜国立大学　名誉教授
委　員	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	独立行政法人　土木研究所 材料資源研究ｸﾞﾙｰﾌﾟ　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

2.3 調査検討委員会の開催状況

第 1 回委員会　2014(平成 26) 年　9 月 16 日(火)　14:00～16:00
第 2 回委員会　2014(平成 26) 年 11 月　5 日(水)　10:00～12:00
第 3 回委員会　2015(平成 27) 年　2 月　6 日(金)　10:00～12:00

2.4　委員会規約

「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」規約

平成２６年　９月１６日

（名称）

第１条　この調査検討委員会は、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（以下「調査検討委員会」という）という。

（目的）

第２条　この規約は､「平成 26 年９月２日　伊勢湾岸自動車道　上郷大成(かみごうたいせい)高架橋床版下面吹付コンクリートはく離・落下事象」を受けて、発生原因の究明や、再発防止策等について技術的かつ専門的知見から検討することを目的とする。

（調査検討委員会の構成員）

第３条　本調査検討委員会の構成員は、別表のとおりとする。

（委員長）

第４条　調査検討委員会に委員長を置く。

２　委員長は、調査検討委員会の議長となり、構成員の招集及び議事の進行にあたる。

３　委員長に事故があるときは、構成員のうちから委員長が指名する者がその職務を代理する。

（調査検討委員会の事務）

第５条　調査検討委員会は、次の各号に掲げる事項について調査・検討及び審議を行う。

一　原因の究明

二　再発防止策

三　その他調査検討委員会が必要と認める事項

（調査検討幹事会の設置）

第６条　調査検討委員会が必要と認めた場合には、調査検討幹事会を設けることとする。

（関係機関との協力）

第７条　調査検討委員会は、必要に応じ、関係機関に審議に必要な資料の提供又は調査検討委員会への出席を求めることができる。

（議事の公開）

第８条　調査検討委員会は、非公表、非公開とする。事務局は、調査検討委員会資料及び議事要旨について、調査検討委員会の確認を得たのち、速やかにホームページで公開する。

（守秘義務）

第９条　調査検討委員会の構成員は、調査検討委員会の活動上知ることができた内容について守秘義務を負う。ただし、中日本高速道路株式会社に対する関係では、これを適用しない。

（雑則）

第 10 条　この規約に定めるもののほか、調査検討委員会の運営に関して必要な事項は、委員長が調査検討委員会に諮って定める。

附則

１　この規約は、平成２６年９月１６日から施行する。

以上

別表

○調査検討委員会

	氏　名	所属機関・役職
委員長	池田　尚治	横浜国立大学　名誉教授
委　員	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	独立行政法人　土木研究所 材料資源研究ｸﾞﾙｰﾌﾟ　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

3.　床版下面吹付コンクリート界面はく離・落下事象の概要

3.1　路線及び橋梁概要

1)　床版下面吹付コンクリート界面はく離・落下事象の概要

伊勢湾岸自動車道　豊田ジャンクション(ＪＣＴ)から豊明インターチェンジ(ＩＣ)間に建設された上郷大成高架橋(かみごうたいせいこうかきょう)及び刈谷高架橋(かりやこうかきょう)において、供用後に橋梁床版下面のジョイント近傍に環境対策としてあと施工の床版下面吹付コンクリートを追加設置した。このうち、上郷大成高架橋で床版下面吹付コンクリートがはく離し、高速道路用地内に落下する事象が発生した。

2)　路線及び橋梁概要

(1)　道 路 名　伊勢湾岸自動車道

(2)　橋 梁 名　上郷大成高架橋

(3)　橋梁形式　鋼７径間連続３主鈑桁橋（橋長 422.5m，最大スパン 75m，　床版は橋軸方向長さ 2.50ｍピッチのプレキャストプレテンションのＰＣ版）

(4)　当該区間の供用日　2004（平成 16）年 12 月 12 日

(5)　当該区間の交通量　79,132 台/日ＩＣ区間別年平均日交通量（2013(平成 25)年）

図 3.1.1;位置図

写真 3.1.1;航空写真

(6)　ＩＣ区間別年平均日交通量

伊勢湾岸自動車のＩＣ区間別年平均日交通量は、下記のとおりである。

表 3.1.1;伊勢湾岸自動車道　ＩＣ区間別年平均日交通量（2013(平成 25)年）

豊田南 IC～豊明 IC （刈谷高架橋） 開通： 2003(平成 15)年 12 月 25 日	断面	日交通量	**79,431**　台／日	
			上り	40,249　台／日
			下り	39,182　台／日
		大型車混入率	**34.8**　％	
			上り	34.7　％
			下り	35.0　％
豊田 JCT～豊田南 IC （上郷大成高架橋） 開通： 2004(平成 16)年 12 月 12 日	断面	日交通量	**79,132**　台／日	
			上り	40,013　台／日
			下り	39,119　台／日
		大型車混入率	**33.2**　％	
			上り	33.3　％
			下り	33.2　％

■交通量の推移

伊勢湾岸自動車道のＩＣ区間別年平均日交通量の推移は、下記のとおりである。

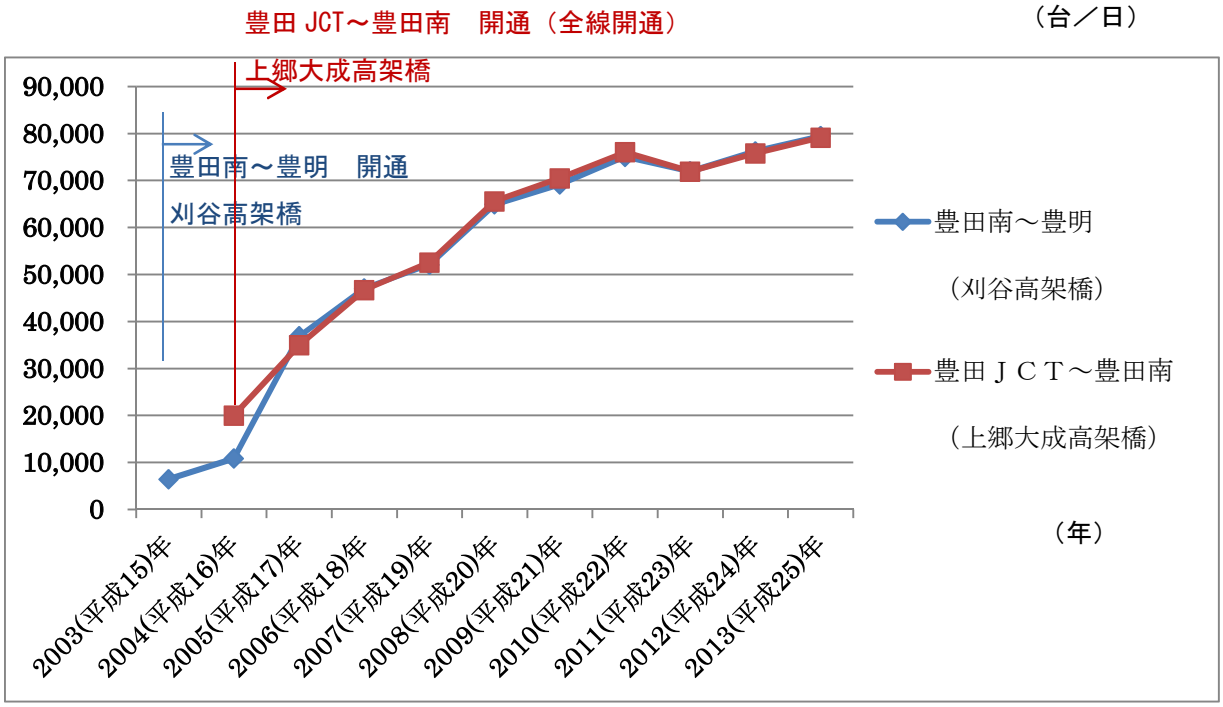


図 3.1.1;伊勢湾岸自動車道　ＩＣ区間別年平均日交通量の変化

■主な道路及び名古屋支社管内の平均交通量

名古屋支社管内の主な道路毎の全車交通量及び大型車混入率は、下記のとおりである。

表 3.1.2;道路別年平均日交通量（2013(平成 25)年）

	全車交通量（台／日）	大型車混入率（%）
東名高速道路	81,653	30.7
名神高速道路	53,219	32.9
伊勢湾岸自動車道	73,990	33.4
名古屋支社管内平均	40,761	27.8

3.2　事象の概要

1)　発生場所：伊勢湾岸自動車道　下り線　豊田 JCT　～　豊田南ＩＣ　7.3KP 付近

2)　発生日時：2014（平成 26）年 9 月 2 日　16:20 頃

3)　発生状況：ジョイント近傍に環境対策のため、あと施工した下り線追越車線側の床版下面吹付コンクリートが界面ではく離し高速道路用地内に落下したもの。

・１枚：長さ 10m　×　幅 5.25m　×　厚さ 0.23m、約 30t
・検査路及び排水管に下面吹付コンクリート版が落下した時に付いた傷痕が認められる。

4)　第三者被害：なし

5)　界面はく離・落下事象の状況写真

写真 3.2.1;界面はく離・落下全景

写真 3.2.2;界面はく離・落下状況近景

5)　床版下面吹付けコンクリートの設置

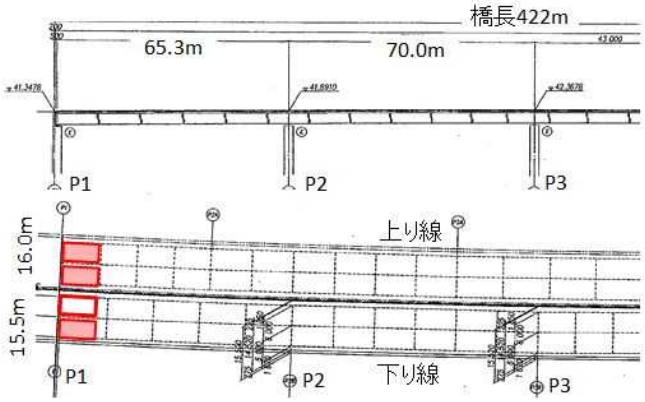
当該区間は 2004（平成 16）年に供用した後、騒音及び振動を低減するために 2006（平成 18）年に端横桁 RC 巻立て密閉、鋼ウェブのコンクリート打設（片面）、制振ダンパー設置とともに、床版下面にも端部から約 10m 区間に床版下面吹付コンクリートを施工した。なお、この床版下面吹付コンクリートは、支点付近の床版剛性を増すために設置していた。

工 事 名　　第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事

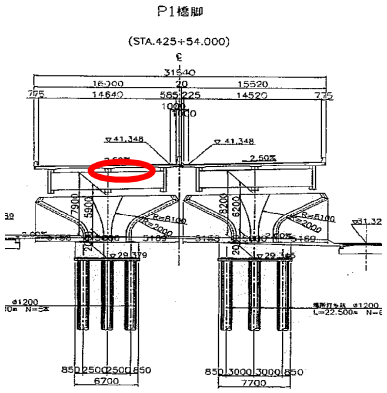
工　　期　　2006(平成 18)年 9 月 15 日～2007(平成 19)年 3 月 14 日

工事箇所　　刈谷高架橋（4 箇所 8 枚)、上郷大成高架橋（2 箇所 4 枚）

○床版下面吹付コンクリートの構造図



【側面図・平面図】



【橋脚断面図】

床版下面吹付コンクリートＬ＝10m

床版下面吹付コンクリートＬ＝10m（はく離・落下箇所）

図 3.2.1;上郷大成高架橋構造一般図

○床版下面吹付コンクリート詳細図

上郷大成高架橋は、大型車両が伸縮継手部を通過した際に衝撃力により主桁ウェブ、床版などの構造部材から騒音・振動が発生するという課題を受けて、床版下面吹付コンクリートを施工したものである。

当該橋梁は、鋼少数桁橋のプレキャストＰＣ床版に、あと施工により下面吹付コンクリートを層厚 23 ㎝で 3 層に分割して施工した。

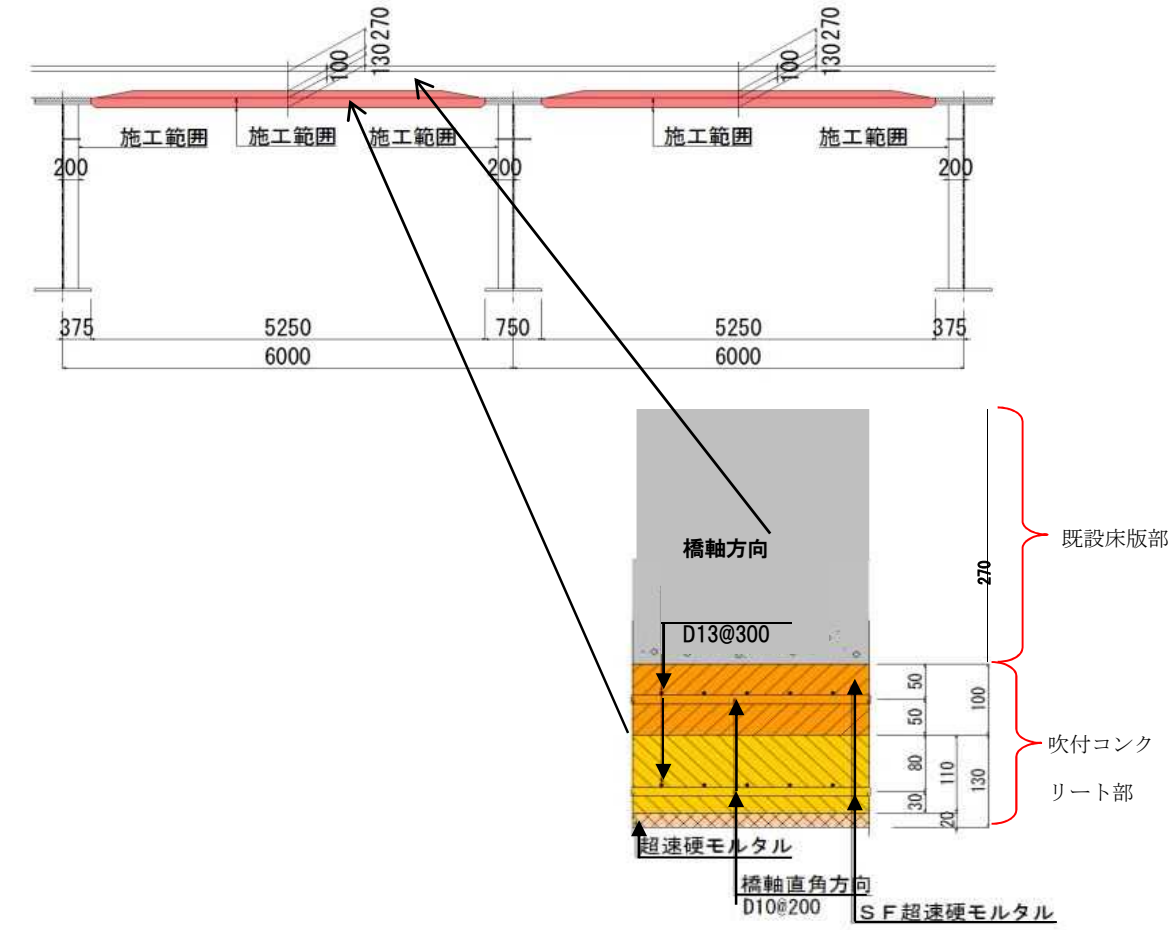


図 3.2.2;床版下面吹付コンクリート詳細図

3.3　事象の経緯と対応状況

上郷大成高架橋は、伊勢湾岸自動車道　豊田ジャンクション(ＪＣＴ)から豊田南インターチェンジ(ＩＣ)間(2004(平成 16)年 12 月 12 日開通)に建設された。

上郷大成高架橋において、橋梁床版下面のジョイント近傍に環境対策として設置した、あと施工の床版下面吹付コンクリートが界面ではく離し、高速道路用地内に落下する事象が発生した。

今回と類似構造である伊勢湾岸自動車道　刈谷高架橋においては、2012(平成 24)年 7 月 17 日にあと施工の床版下面吹付コンクリートが界面ではく離する事象が確認された。なお、界面ではく離・落下した場合には第三者被害が想定されたことから、翌日の 7 月 18 日に仮受支保工を速やかに設置し、その後、鋼部材による補強を 2013(平成 25)年 9 月 14 日に完了した。

3.3.1　位置図

あと施工で床版下面吹付コンクリートを施工した、上郷大成高架橋及び刈谷高架橋の位置については、図 3.3.1 に示すとおりである。

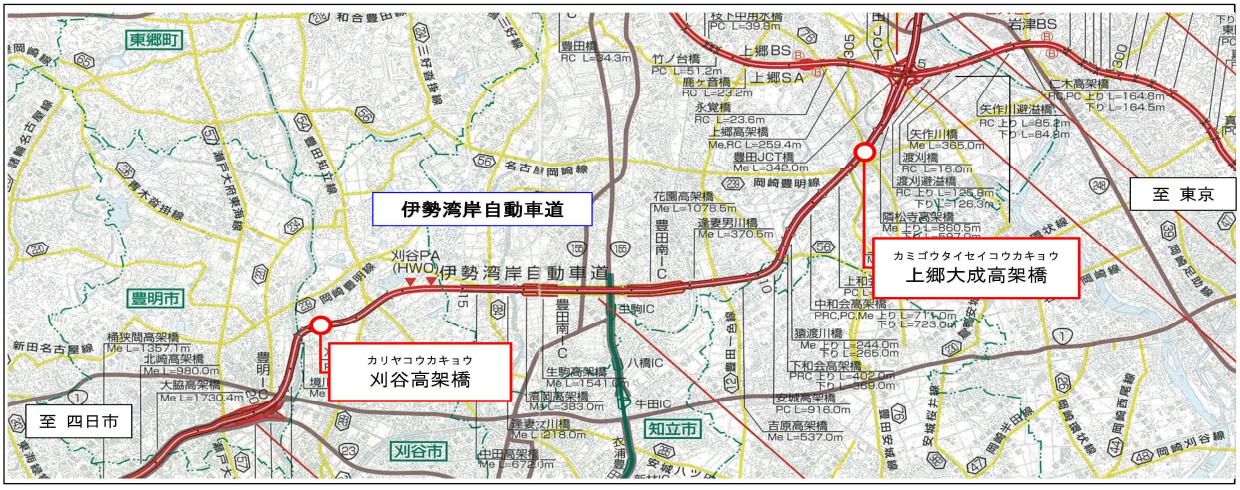


図 3.3.1;位置図

3.3.2　主な事象の経緯

下面床版吹付コンクリートの橋梁建設の完成から事象発生及び対応状況は、表 3.3.1 のとおりである。

表 3.3.1;橋梁完成からの経緯

No	年 月 日	事象の経緯
1	2002（平成14）年7月11日	刈谷高架橋 完成
2	2003（平成15）年12月25日	伊勢湾岸自動車道 豊田南 IC～豊明 IC　供用開始 （刈谷高架橋を含む区間）
3	2004（平成16）年8月31日	上郷大成高架橋 完成
4	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）
5	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）
6	2012（平成24）年7月17日	刈谷高架橋　上り P36 付近 床版下面 吹付コンクリート界面はく離発生
7	2012（平成24）年7月18日	刈谷高架橋　ビティ枠工による仮受を実施
8	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（上郷大成高架橋、刈谷高架橋）
9	2013（平成25）年9月14日	刈谷高架橋　補強工事　完了
10	2014（平成26）年2月13日	上郷大成高架橋　補強工事　手続き開始
11	2014（平成26）年8月 4日	上郷大成高架橋 補強工事 発注時期見直し着手
12	2014（平成26）年9月 2日	上郷大成高架橋　床版下面吹付コンクリート 界面はく離・落下事象発生
13	2014（平成26）年9月 9日	有識者による現地調査
14	2014（平成26）年9月16日	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1回）
15	2014（平成26）年11月5日	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）
16	2015（平成27）年2月 6日	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3回）

3.3.3　上郷大成高架橋における事象発生後の対応工程

上郷大成高架橋の床版下面吹付コンクリート界面はく離・落下事象に対する対応工程は、表 3.3.2 のとおりである。

表 3.3.2;事象発生後の対応工程

項　目	9月																				備 考
	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日		
	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土		
上郷大成高架橋 床版下面吹付コンクリートはく離・落下事象発生	■																				
地元説明	■（事象説明）	■（概要説明）		■（詳細説明）																	
専門家（社内）による現地確認		■	■	■																	
仮受架台の設計検討		■	■	■	■																
遮音壁の一部撤去・工事用進入路の設置		■	■	■																	
仮受架台引き込み用レールの設置、材料手配			■	■	■	■															
仮受架台設置（下り線：走行）							■	■	■	■	■										
仮受架台設置（上り線：走行・追越）												■	■	■	■	■	■	■			
後片付け																		■	■		
監視員配置		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
有識者による委員会等																					
有識者による現地調査								■													
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															■						

①監視員の配置

床版下面吹付コンクリートの界面はく離・落下事象を受け、作業のための開口部から第三者の立入りを防止するために、仮受架台の設置完了までの間、監視員を 24 時間配置した。

写真 3.3.1;上郷大成高架橋の出入口の監視状況

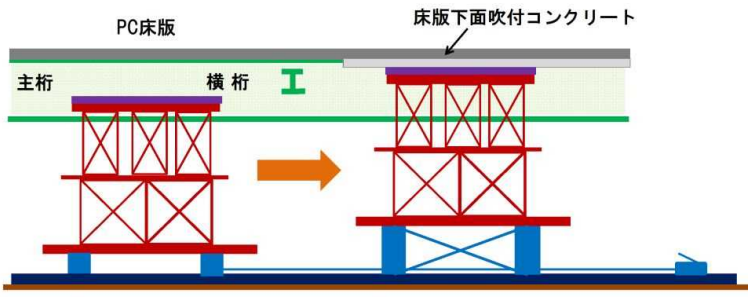


図 3.3.2;仮受架台：側面図

②仮受架台の設置

床版下面吹付コンクリートの界面はく離・落下事象を受け、上郷大成高架橋の同構造箇所について、仮受架台を設置した。仮受架台は、事前に別の場所で組立てたのち、横引きレールにより移動させ、ジャッキにより固定した。

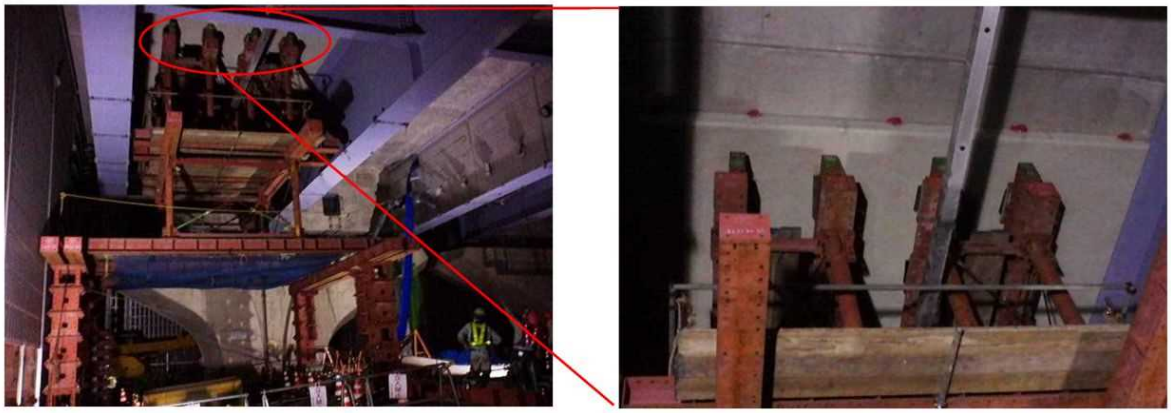


写真 3.3.2;上郷大成高架橋　下り線の仮受状況

3.3.4　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、さらに、その内側は、上端が橋梁下に接する遮音壁により囲まれている。また、遮音壁には施錠付の出入口扉が設置されており、第三者は立入りができない状態となっていた。

なお、この遮音壁は、他の環境対策と同じ 2007 年（平成 19）年 3 月に施工完了している。

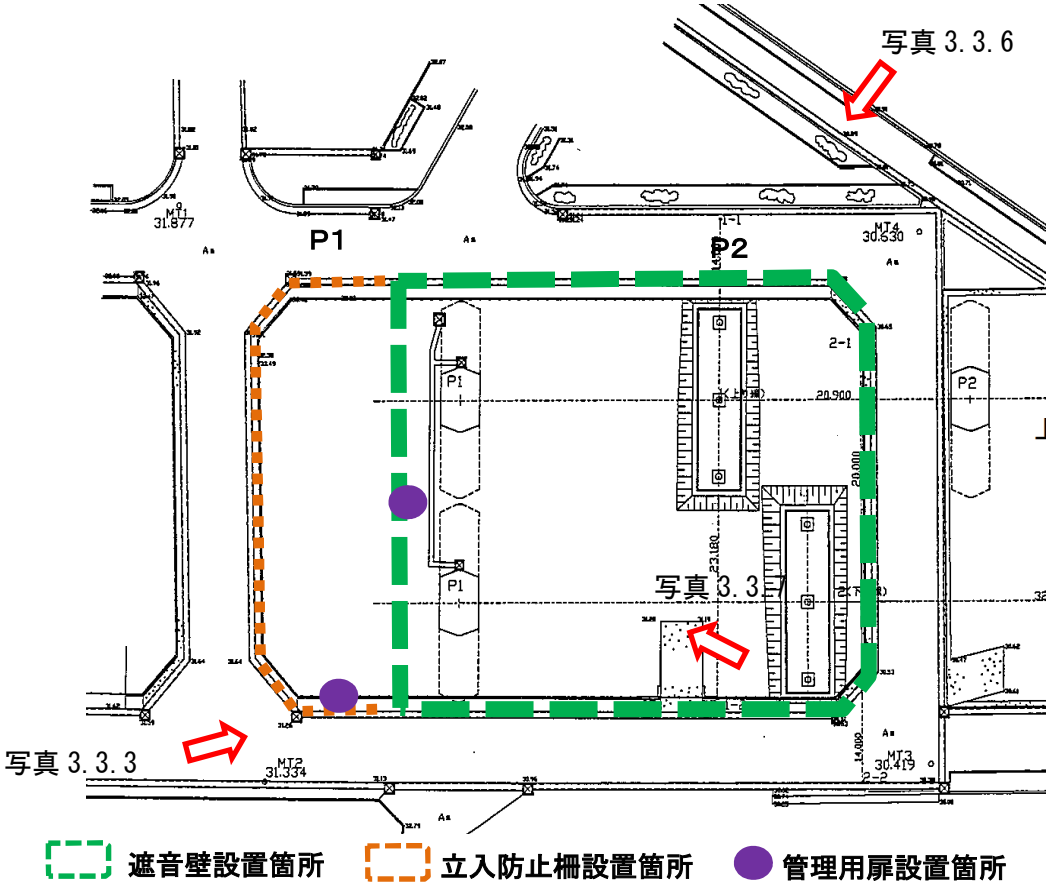


図 3.3.3;環境対策平面図

○　**遮音壁（外面側）および立入防止柵**

当該箇所は、立入防止柵（H＝1.5m）および遮音壁（H＝約 10m）が設置されており、第三者が立入りできない構造となっていた。

立入防止柵および遮音壁の管理用出入口には施錠を行い、第三者が立入らないよう管理していた。

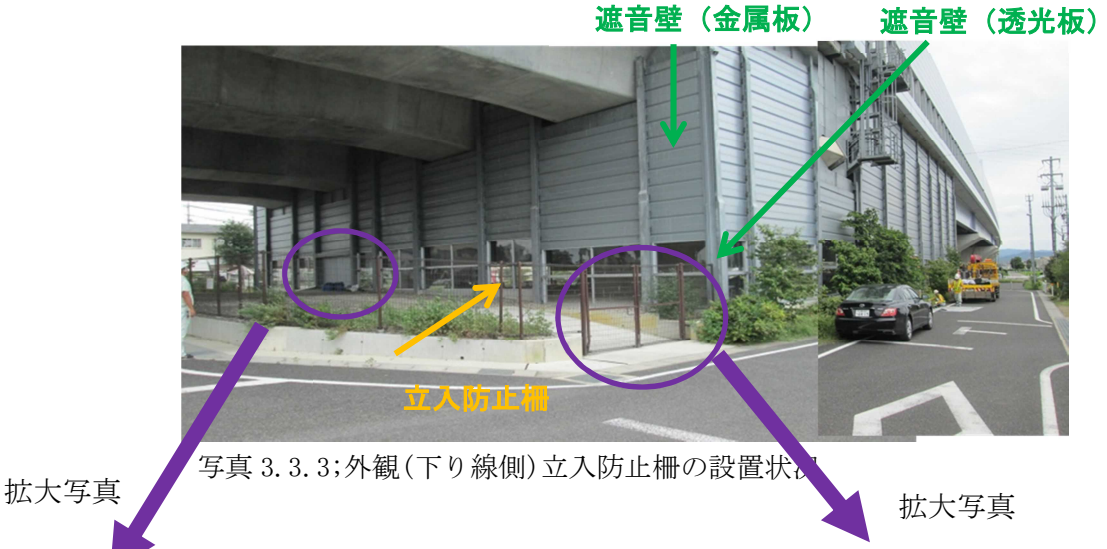


写真 3.3.3;外観（下り線側）立入防止柵の設置状況

写真 3.3.4;遮音壁出入り口施錠状況

写真 3.3.5;立入防止柵出入り口施錠状況

写真 3.3.6;外観（上り線側）遮音壁の外観からの状況写真

○　遮音壁（内面側）の状況

床版下面吹付コンクリートが落下したＰ1 橋脚は、四方を遮音壁（Ｈ＝約 10m）で囲まれており、第三者が立入りできない構造となっている。遮音壁の上側の約 8mは金属板、下側の約 2mが透光板である。

写真 3.3.7：高架下の遮音壁内部の状況

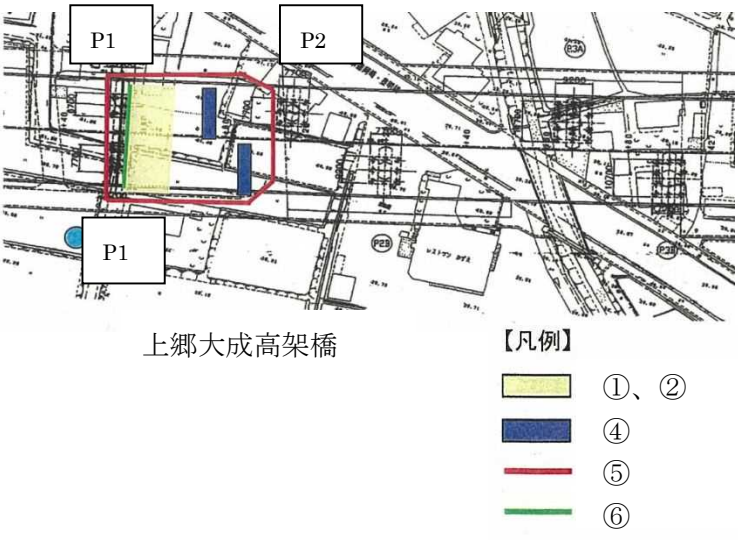
4.　設計施工及び点検の概要

4.1　設計概要

「刈谷高架橋環境対策設計業務において」、環境対策として下記の対策工を決定した。

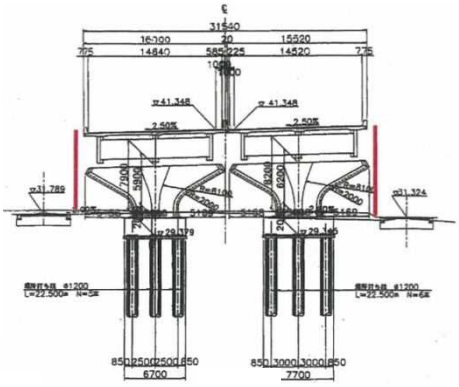
番号	対策工	選定理由	刈谷	上郷大成
①	下面吹付コンクリート	・床版と主桁ウェブが大きく振動しており、剛性強化で有効と考えられるため。 ・構造上の荷重制約もあることから、厚さ230mm、延長10m範囲として選定されている。	○	○
②	主桁ウェブのRC巻立	・下面吹付コンクリートにより振動数が高くなるにつれ主桁ウェブの発生振動数にも近接してくることから、主桁ウェブの巻立て対策も同時に実施する必要がある。	○	○
③	TMD設置※1	・桁上に設置するため、道路を横断する位置での使用が可能。 ・温度による減衰効果の変化はほとんどない。 ・対応振動数範囲が少なく、特定の周波数に対して効果がでるようダンパー(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。



上郷大成高架橋

【凡例】
①、②
④
⑤
⑥



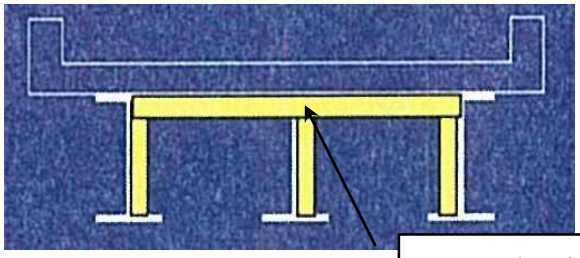
P1

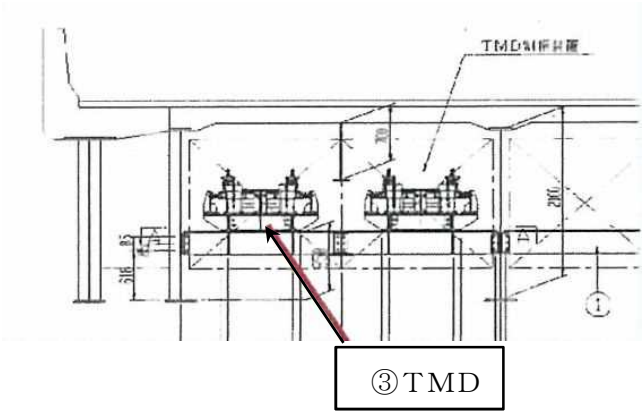
出典：「刈谷高架橋他環境対策設計」（2007(平成 18)年 9 月）より要約

図 4.1.1；環境対策設計概要

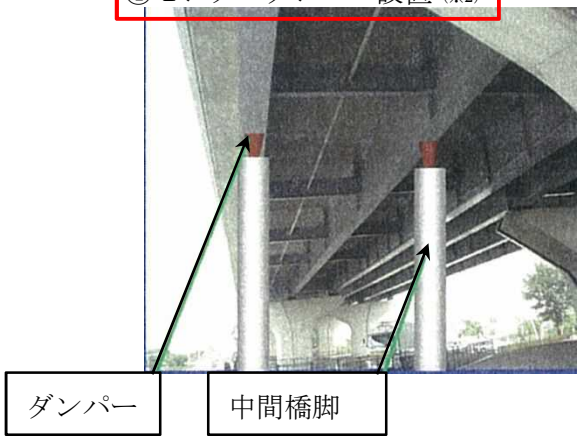
＜工法概要図＞

①下面吹付コンクリート、②主桁ウェブのＲＣ巻立





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

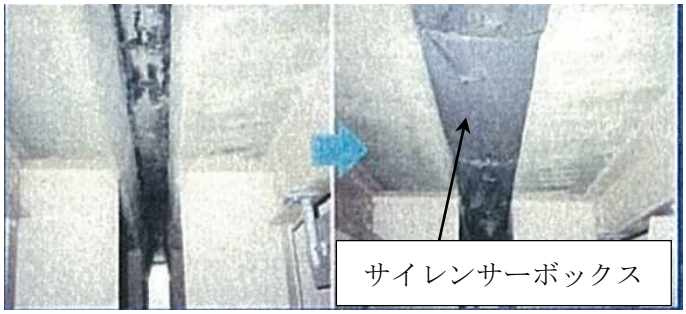


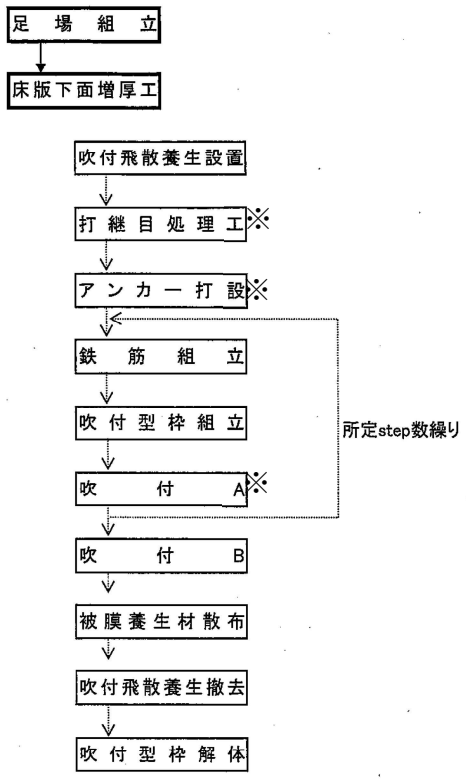
図 4.1.2；環境対策工法概要図

4.2　施工概要

4.2.1　吹付コンクリートの施工

「第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事」における施工計画は、下記のとおりである。なお、作業の手順「2.打継目処理　3.アンカー打設　6.吹付A」の施工方法については施工前試験を行って決定した。

フロー

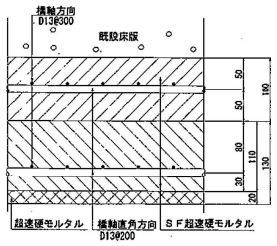


※施工前試験を実施

床版下面増厚工

区分	作業の手順	要点・急所
本作業	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ﾌﾞﾙｰｼｰﾄを用いて養生を行う。また，主桁等にﾓﾙﾀﾙが付着しない用にｳｪﾌﾞ面もﾌﾞﾙｰｼｰﾄにて養生する。
	2.打継目処理	・ﾊﾞｷｭｰﾑﾌﾞﾗｽﾄを用いて研掃材(アルミナ)を75kg/m2使用して表面の埃やﾚｲﾀﾝｽを除去する。
	3.ｱﾝｶｰ打設	・ﾊﾝﾏｰﾄﾞﾘﾙを用いて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	・ﾍﾞ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付ける。
	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



出典：第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事「施工計画書」より抜粋

図 4.2.1；吹付コンクリート施工概要

4.2.2　施工前試験の施工計画

打継目処理工、吹付施工、アンカー施工を着工するに先立ち、下記の項目について施工前試験を行い、施工効果を確認して施工方法を決定した。

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 （σ=24N/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）	ｱｸﾘﾙ系ﾌﾟﾗｲﾏｰ＋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	ﾊﾞｷｭｰﾑﾌﾞﾗｽﾄ（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	ﾊﾞｷｭｰﾑﾌﾞﾗｽﾄ（投射密度75kg/m^2）	〃	〃	〃
④	1m^2	ﾊﾞｷｭｰﾑﾌﾞﾗｽﾄ（投射密度100kg/m^2）	〃	〃	〃
⑤	1m^2	ｻﾝﾀﾞｰ処理	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

出典：第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事「床版下面増厚工施工前試験計画書」より抜粋

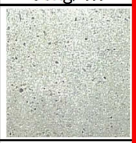
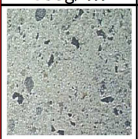
図 4.2.3；施工前試験計画

4.2.3　施工前試験の結果

以下の項目について施工前試験を行い、その結果を確認し施工方法を決定した。

(1)打継目処理工

下記の試験結果から、打継目処理はバキュームブラストを 75kg/m2 投射し、付着力が 1.5N/mm^2 以上あることを確認した。

打継目処理	未処理	バキュームブラスト　投射密度 50kg/m^2	バキュームブラスト　投射密度 75kg/m^2	バキュームブラスト　投射密度 100g/m^2	サンダー処理
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	無	無	無	無	無
付着力σ_7 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/m2)で実施した。レイタンスの除去状況では、50kg/m2のブラストでレイタンスが若干残るものの、75kg/m2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/m2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/m2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／m2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。

出典：第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事「床版下面増厚施工前試験報告書」より編集

図 4.2.4；施工前試験結果（打継目処理工）

なお、図中の「レイタンス」とは、「油脂等の汚れや脆弱部」をいう。

(2)圧縮強度

下記の試験結果から、吹付コンクリートの圧縮強度が 24N/m^2 以上あることを確認した。

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) 1	2	3	平均値	合・否	備考 養生期間
⑥	36.4	39.2	40.2	38.6	合・否	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：第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事「床版下面増厚施工前試験報告書」より抜粋

図 4.2.5；施工前試験結果(圧縮強度)

(3)アンカー引抜試験

下記の試験結果から、アンカーの引抜強度が 1.5kN 以上を有することを確認した。

なお、設計当時の既設床版へのアンカーの設置目的は、施工時の鉄筋の保持、およびコンクリートが硬化して強度（付着強度、接着強度）が発現するまでの間、吹付コンクリートの自重を支えることであった。

試験体⑦においてｺﾝｸﾘｰﾄｱﾝｶｰの引抜試験を行った。
床版面への打込で吹付ﾓﾙﾀﾙ死荷重に耐えうるだけの引抜強度を有することが確認された。

①	15 kN	
②	15 kN	
③	6 kN	打込直しの為
④	15 kN	
平均	13 kN	

アンカー施工によるひび割れの発生　無し

アンカー引抜試験状況

出典：第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事「床版下面増厚施工前試験報告書」より抜粋

図 4.2.6；施工前試験結果（アンカー引抜試験）

4.3　点検概要

上郷大成高架橋の点検については、実施時点に制定されている最新の「保全点検要領」に基づき点検を実施した。

4.3.1　保全点検の種別

構造物の点検については、当社が定めた「保全点検要領　構造物編（平成 26 年 7 月）」が最新の要領として規定されている。

この要領では、点検の種別（初期点検、日常点検、定期点検（基本点検、詳細点検）、臨時点検（特別点検、緊急点検）、点検手法（車上目視、遠望目視、近接目視、打音、非破壊検査機器）、点検頻度（日常点検：交通量に応じて 7 日/２週、定期点検：1 回以上/年）等について定めている。

平成 26 年度における点検要領に定められた点検の種別のついては、表 4.3.1 のとおりである。

表 4.3.1；点検の種別

項目		初期点検	日常点検	定期点検		臨時点検	備考
				基本点検	詳細点検		
内容		構造物の供用開始前の初期状態を把握することを目的に近接目視かつ触診や打音による行うもの	安全な道路交通を確保するとともに第三者被害を未然に防止するため及び構造物の変状発生状況などを日常的に確認するもの	定期的に構造物の変状発生状況を把握するもの 遠望目視または近接目視等により構造物の全般的な状況を定期的に確認するもの	健全性の把握のために行う詳細点検は、近接目視を行い、必要に応じて触診や打音を行うことを基本とする 安全な交通を確保するとともに、第三者等に対する被害を未然に防ぐという観点から行う詳細点検は、近接目視かつ触診や打音により行うことを原則とする	日常点検の経過観察では対応が困難な場合や詳細点検の補完、または、地震・異常気象時や災害、重大事故発生時などにおいて、構造物の状態を把握するために必要に応じて実施するもの	
点検頻度	2014（平成26年）7月以前	開通前に1回	4～7回／2週	1回以上／年	1回／5年※ 1回／10年	必要の都度	
	2014（平成26年）7月以降				1回／5年		
近接目視の定義	2014（平成26年）7月以前	構造物の状況について可能な限り検査路や足場などを利用して、構造物に接近または双眼鏡にて目視により点検する方法である。また、必要に応じて簡易な計測機械、器具などを使用するものとする。					
	2014（平成26年）7月以降	近接目視とは、肉眼により部材の変状の状態を把握し、評価が行える距離まで接近して目視を行う方法である。評価が行える距離まで接近する手段として、検査路や足場、高所作業車、橋梁点検車等を利用するものとする。					
遠望目視の定義		構造物の状況を降車し遠方から目視（双眼鏡を含む）により点検する方法					

※　安全な交通又は第三者に対し支障となる恐れがあり緊急的な対応が必要な場合

4.3.2　点検の経緯【上郷大成高架橋】

上郷大成高架橋の点検の経緯は、下記のとおりである。

表 4.3.2；点検の経緯

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）　異状なし	
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）　異状なし	
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）　異状なし	
8	2007（平成19）年3月14日		定期点検Ａ（上郷大成高架橋）　異状なし	
9	2008（平成20）年4月25日		定期点検Ａ（上郷大成高架橋）　異状なし	
10	2009（平成21）年3月16日		定期点検Ａ（上郷大成高架橋）　異状なし	
11	2010（平成22）年4月14日		定期点検Ａ（上郷大成高架橋）　異状なし	
12	2010（平成22）年8月2日		詳細点検　（上郷大成高架橋）　異状なし	
13	2011（平成23）年4月19日		定期点検Ａ（上郷大成高架橋）　異状なし	
14	2012（平成24）年4月25日		基本点検　（上郷大成高架橋）　異状なし	
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）　異状なし	
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。他の箇所は異状なし。	
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		

なお、15.17.19 における安全確認は臨時点検として実施したものである。

4.3.3　初期点検

上郷大成高架橋の橋梁建設時の初期点検の目的及び実施状況は、下記のとおりである。

表 4.3.3；初期点検の目的と点検の実施状況（橋梁建設時）

■ 点検の経緯　NO 2「初期点検(橋梁上部工)」　　(※1) 適用した道路構造物点検要領(案)(平成13年4月)からの抜粋

点検の目的	上郷大成高架橋の橋梁本体完成後の初期の状態を把握するために実施。	
初期点検の定義	構造物の完成後の初期状況を把握するために、近接目視および打音により行う点検。(※1)	
点検の頻度	①供用開始前。 ②供用後に改良工事等で構造物が新規に建設された場合、あるいは構造物の構造系が大きく変更された場合。	
	実施状況	道路構造物点検要領(※1)
点検の実施状況	■点検実施時期　2004(平成16)年9月～10月 ■点検の実施位置および点検手法 近接目視で初期の状態を点検。 ■点検結果 吹付コンクリート施工箇所には異状はなし。	初期点検は、足場等を用いて構造物に近接し、原則として近接目視と打音により行うものとする。 ・近接目視・・・構造物の状況を検査路や足場上から構造物に接近して目視により点検する方法。 ・打　　音・・・所定のハンマーにより対象構造物を打音して、構造物の状況(うき、はく離、ボルトのゆるみ等)を把握する点検方法。

4.3.4　環境対策工の初期点検

上郷大成高架橋の環境対策工事時の初期点検の目的及び実施状況は、下記のとおりである。

表 4.3.4；初期点検の目的と実施状況（環境対策工事）

■ 点検の経緯　NO 7「初期点検(環境対策工)」　　(※1) 適用した道路構造物点検要領(案)(平成13年4月)からの抜粋

点検の目的	上郷大成高架橋の環境対策工事完了後の初期の状態を把握するために実施。	
初期点検の定義	構造物の完成後の初期状況を把握するために、近接目視および打音により行う点検。	
点検の頻度	①供用開始前。 ②供用後に改良工事等で構造物が新規に建設された場合、あるいは構造物の構造系が大きく変更された場合。	
	実施状況	道路構造物点検要領(※1)
点検の実施状況	■点検実施時期　2007(平成19)年 1月17日～ 2007(平成19)年 2月24日 桁のコンクリート巻き立ての初期点検を実施。	初期点検は、足場等を用いて構造物に近接し、原則として近接目視と打音により行うものとする。 ・近接目視・・・構造物の状況を検査路や足場上から構造物に接近して目視により点検する方法。 ・打　　音・・・所定のハンマーにより対象構造物を打音して、構造物の状況(うき、はく離、ボルトのゆるみ等)を把握する点検方法。

≪第二東名高層道路　刈谷高架橋環境対策工事　特記仕様書抜粋≫

13.　打音等による外観検査の実施
乙は、「道路構造物点検要領(案)平成13年4月」(以下「点検要領」という。)及び監督員の指示に従って、のり面及びコンクリート構造物を目視及び打音による外観検査を行い、点検カルテ等必要な調書を作成し監督員へ提出しなければならない。
13－1　定義
打音等による外観検査とは、建設時ののり面の地山状況とコンクリート構造物のクラックや豆板等の初期状態及び補修履歴等を適正に把握することをいう。
13－2　検査手法
検査は、点検要領第2章初期点検編2－2点検の手法に基づき、次のとおり行うものとする。
(1)のり面は、のり面の整形時又はのり面対策工の施工前に、目視による外観検査を行うものとする。
(2)コンクリート構造物は、型わくの脱型時に近接目視と打音による外観検査を行うものとする。

4.3.5　詳細点検の概要

上郷大成高架橋の詳細点検の目的及び実施状況は、下記のとおりである。

表 4.3.5；詳細点検の目的と実施状況(1)

■ 点検の経緯　NO　12「詳細点検」

(※2)適用した保全点検要領　構造物編(平成18年4月)からの抜粋

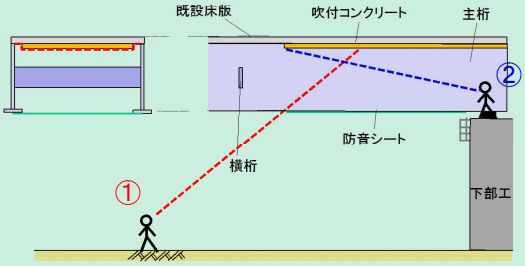
点検の目的	定期的に構造物の変状発生状況を詳細に把握するもの。	
詳細点検の定義	損傷メカニズムが比較的複雑な構造を対象として、構造物の健全性を把握するために、近接目視・打音等により詳細な診断を行う点検。	
点検の頻度	①安全な交通または第三者に対し支障となる恐れのある個所は、1回/5年 ②上記以外の個所は、1回/10年	
	実施状況	保全点検要領(※2)
点検の実施状況	≪点検実施者へのヒアリング≫ ■点検実施時期　2010(平成22)年 8月 2日 ■点検の実施位置および点検手法 ①吹付コンクリート下面の状態を地上面より目視で点検し、合わせて双眼鏡も使用して点検。 ②下部工上面から吹付コンクリート全体を目視で点検し、合わせて双眼鏡も使用して点検。  	詳細点検は、個々の構造物の状況を細部にわたって近接目視・打音等により行い、構造物の健全性を把握するための点検であり、構造物の設計条件や、施行条件、使用条件、環境条件等を総合的に勘案しつつ詳細な診断を行い、構造物の健全性を評価することを目的としている。 ・近接目視・・・構造物の状況を検査路や足場等を利用して、構造物に接近または双眼鏡にて目視により点検する方法。 ・打　　音・・・所定のハンマーにより対象構造物を打音して、構造物の状況(はく離(うき)、ボルトのゆるみ等)を把握する点検方法。

表 4.3.6；詳細点検の実施状況(2)

■ 点検の経緯　NO　12「詳細点検」

(※2)適用した保全点検要領　構造物編(平成18年4月)からの抜粋

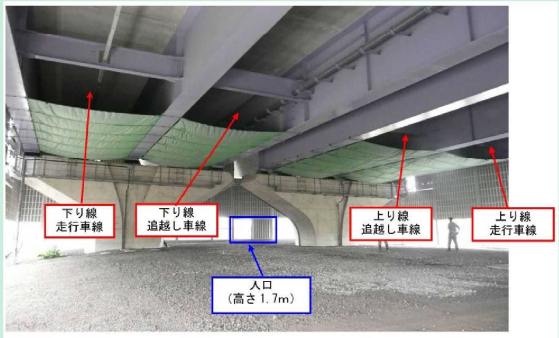
	実施状況	保全点検要領(※2)
点検の実施状況	■点検時の着目点 ・吹付コンクリート・・・ひび割れ・エフロレッセンス・浮き・はく離等に着目。後付けの構造物であることから、界面のはく離・付着状況等にも着目。 (※ただし、吹付コンクリート自体がはく離・落下するという認識はなかった) 点検時に撮影した写真(吹付コンクリート施工箇所) ■点検結果 ・吹付コンクリート端部の界面を点検し、異状はなかった。 ・橋脚上等からの確認の結果、吹付コンクリートにひび割れ・エフロレッセンス・浮き・はく離等の異状はなかった。	5-3-4　コンクリート床版 (3)損傷の着目個所　(b)点検の留意事項　抜粋 (ハ) 既に補修・補強対策を施している床版も劣化があり損傷する。そのため表５－３－４－３に示す個所に着目して点検を行うのがよい。 表５－３－４－３　点検部位と項目 補修・補強工法 / 着目個所 連続繊維シート接着工法 / 繊維シートのはく離(うき)、漏水、遊離石灰、錆汁 下面増厚工法 / ひび割れ、漏水、遊離石灰・錆汁、はく離(うき) 鋼板接着工法 / 鋼板端部やボルトキャップ部の錆び、うき、漏水、遊離石灰、錆汁 床版上面増厚工法 / 伸縮ジョイントや地覆部近傍のうき、舗装面のひび割れ、ポットホール、床版下面の漏水・遊離石灰
改善点	・対象構造物の構造や補修・補強情報の把握。 ・落下する可能性の意識を持った点検の実施が必要。	

4.3.6　刈谷高架橋のはく離事象発生後の詳細点検概要

刈谷高架橋の床版下面吹付コンクリートのはく離事象発生後の詳細点検の目的及び点検実施状況は、下記のとおりである。

表 4.3.7；詳細点検の実施状況（刈谷高架橋はく離事象発生後）

■ 点検の経緯　NO　16「詳細調査」

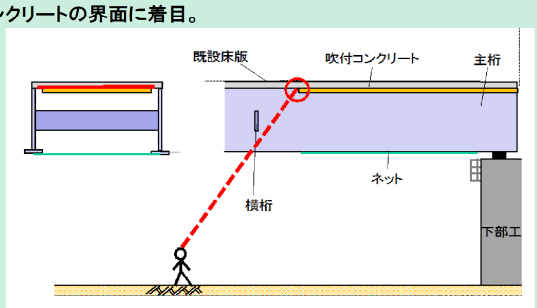
点検の目的	刈谷高架橋の事象を受け同様に環境対策工事を実施した箇所について、変状の調査を行ったもの。
	実施状況
点検の実施状況	■点検実施時期　2012(平成24)年 9月 6日～　2012(平成24)年10月 9日 ■調査の実施位置および点検手法 ・双眼鏡と望遠カメラを使用し、小口から調査。 ■調査結果 ・上り走行の小口側吹付コンクリート端部の界面にはく離を確認。他の箇所は異状なし。  上郷高架橋　全景

4.3.7　安全確認の概要

刈谷高架橋の床版下面吹付コンクリートのはく離事象発生後、臨時点検として安全確認を実施した目的及び点検実施状況は、下記のとおりである。

表 4.3.8；安全確認の実施状況

■ 点検の経緯　NO　17、19「安全確認」

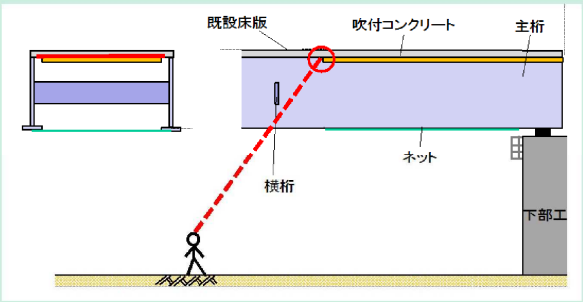
点検の目的	刈谷高架橋の事象を受けて臨時で実施したもの。道路構造物に異状が見られないか現地を確認するもの。
	実施状況
点検の実施状況	■点検実施時期 NO　17　2012(平成24)年12月26日 NO　19　2013(平成25)年10月22日 ■調査の実施位置および点検手法 ・地上より小口から目視で点検。 ※刈谷高架橋の界面はく離事象および詳細調査結果を把握している者が実施。 ■点検時の着目点 ・吹付コンクリートの界面に着目。  ■点検結果 ・吹付コンクリート端部の界面を点検し、詳細調査の結果と変化なし。 他の界面は、はく離なし。

4.6.8　基本点検の概要

基本点検の目的及び概要は、下記のとおりである。

表 4.3.9；基本点検の実施状況

■　点検の経緯　NO　18、20「基本点検」　　(※3)適用した保全点検要領　構造物編(平成24年4月)からの抜粋

点検の目的	定期的に構造物の変状発生状況を把握するもの。	
基本点検の定義（※3）	構造物を長期的に良好な状態に維持するための健全性の把握および安全な道路交通を確保するとともに、第三者等被害を未然に防止するために、定期的に構造物の変状発生状況を把握し、その状態を評価・判定することを目的として行う点検。	
点検の頻度（※3）	1回以上／年	
	実施状況	保全点検要領(※3)
点検の実施状況	■点検実施時期 NO　18　2013(平成25)年 4月19日 NO　20　2014(平成26)年 5月20日 ■点検の実施位置および点検手法 地上より小口から目視で吹付コンクリートの界面にはく離がないか着目して点検。  ■点検時の着目点 ・吹付コンクリート・・・界面のはく離・付着状況等に着目。 ■点検結果 ・上り走行側の界面に目に見えるはく離の進行なし。他の界面は、はく離なし。	基本点検とは、主として本線外より、遠望目視または近接目視等により構造物の全般的な状況を定期的に確認するもので、構造物における第三者等被害を防止することも含め、管理区間全体の構造物の状況を把握するものとする。 ・遠望目視・・・構造物の状況を降車し遠方から目視により点検する方法。 ・近接目視・・・構造物の状況を検査路や足場等を利用して、構造物に接近または双眼鏡にて目視により点検する方法。

5. 現地調査

剥落･落下事象の現場詳細状況調査を実施した。その概要は、下記のとおりである。

5.1 PC 床版下面の状況

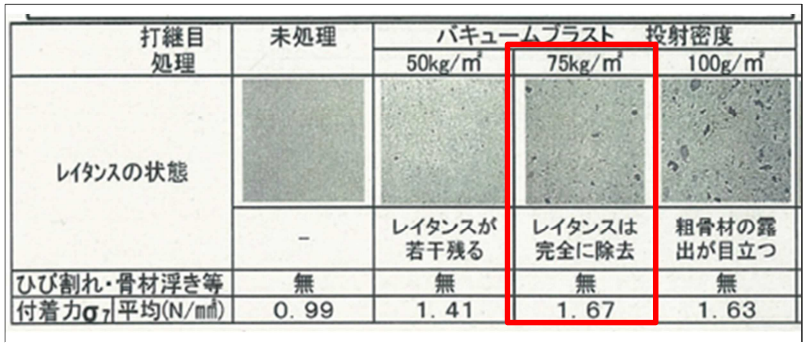
(1)はく離面の状況観察

【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接着状況を把握する。

【調査方法】各アンカー孔を撮影した写真から、周辺の目粗し状態（打継目処理）を判定。

【結果】施工前試験と同等の目粗し状態であることを確認した。

図 5.1.1；調査結果（抜粋）



出典；第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事
『床版下面層厚施工前試験 報告書』

図 5.1.2；施工前試験結果（打継目処理）

なお、図中の「レイタンス」とは「油脂等の汚れや脆弱部」をいう。

(2) PC 床版のコンクリート強度

【目的】PC 床版の推定強度と設計強度および施工時の品質管理結果を比較し、PC 床版の品質を確認する。

【調査方法】PC 床版下面でのシュミットハンマーによる強度推定を実施。

【結果】推定圧縮強度の平均値は、53.4N/mm² であった。PC 床版が、設計圧縮強度（σck＝50N/mm²）以上の圧縮強度を有していることを確認した。

表 5.1.1；シュミットハンマーによる PC 床版の推定圧縮強度測定結果

測定箇所	推定強度	備考	測定箇所	推定強度	備考
①	46.7N/mm²	場所打ち部	⑥	51.5N/mm²	
②	51.6N/mm²		⑦	54.2N/mm²	
③	55.3N/mm²		⑧	56.6N/mm²	増厚範囲外
④	52.3N/mm²		⑨	57.3N/mm²	増厚範囲外
⑤	53.1N/mm²		⑩	55.5N/mm²	増厚範囲外
			平均値	53.4N/mm²	

※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。

5.2　吹付コンクリートの落下状況

(1)　落下した吹付コンクリートのひび割れ状況

【目的】落下した吹付コンクリートの損傷状況を確認する。

【調査方法】目視およびクラックゲージによる記録。

【結果】図 5.2.1 のとおり。

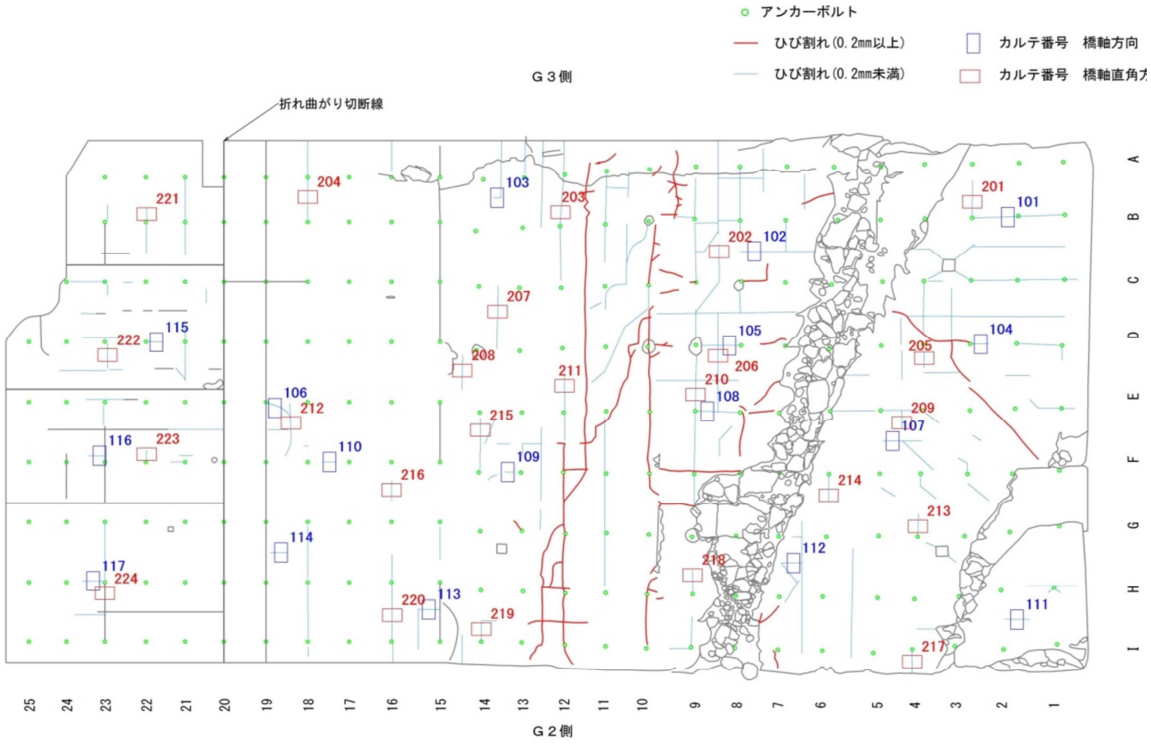


図 5.2.1；落下吹付コンクリートひび割れ状況調査結果

(2)　落下した吹付コンクリートのコンクリート強度

【目的】落下した吹付コンクリートの推定強度と設計強度を比較し、吹付コンクリートの品質を確認する。

【調査方法】落下した吹付コンクリート版の上面（接着面）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。

【結果】推定圧縮強度の平均値は、37.2N/mm^2 であった。採取コアによる圧縮強度試験の平均値は、64.2N/mm^2 であった。吹付コンクリートが、設計圧縮強度（σck＝24N/mm^2）以上の圧縮強度を有していることを確認した。ただし、採取コアによる圧縮試験は、スチールファイバーを含んだ供試体の小径（φ58mm）の試験結果である。

表 5.2.1；シュミットハンマーによる推定圧縮強度測定結果

計測箇所	推定強度	備考
①	38.0 N/mm²	
②	30.5 N/mm²	
③	44.0 N/mm²	
④	36.3 N/mm²	
平均	**37.2 N/mm²**	

※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。

表 5.2.2；採取コアによる圧縮強度測定結果

計測箇所	圧縮強度	静弾性係数	備考
⑤	65.3 N/mm²	29.1 kN/mm²	供試体ｻｲｽﾞ φ58mm×118mm
⑥	59.6 N/mm²	24.4 kN/mm²	
⑦	67.6 N/mm²	24.2 kN/mm²	
平均	**64.2 N/mm²**	**25.9 kN/mm²**	

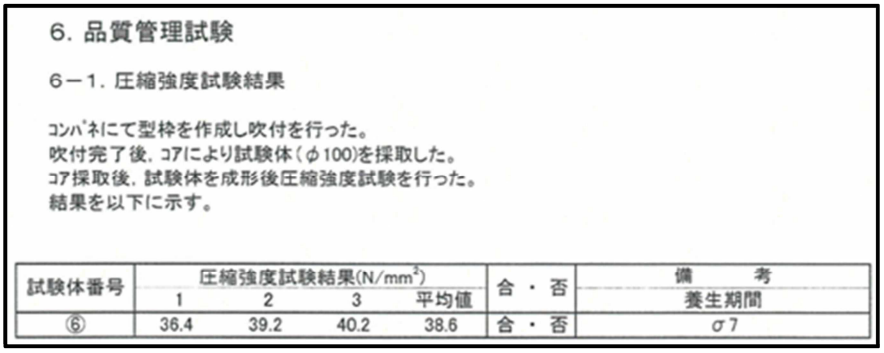
※スチールファイバーを含んだ供試体の径φ58 ㎜の試験結果。

(3) 吹付コンクリートの品質管理

【目的】吹付コンクリートの施工時の圧縮強度の品質管理データを整理し、管理状態を確認する。

【調査方法】品質管理データの整理。

【結果】適正な品質管理が実施されていたことを確認した。



6. 品質管理試験

6－1. 圧縮強度試験結果

ｺﾝﾊﾟ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/mm²)				合・否	備考
	1	2	3	平均値		養生期間
⑥	36.4	39.2	40.2	38.6	合・否	σ7

出典；第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事『施工前試験 報告書』

図 5.2.2；施工前試験結果（吹付コンクリート品質管理）

表 5.2.3；施工時圧縮強度試験結果

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

出典；第二東名高速道路　刈谷高架橋環境対策工事『使用材料試験成績書』

5.3 吹付コンクリートの接着状況

(1) 吹付コンクリートの接着状況

【目的】5.3（2）～（4）の調査結果を取りまとめ、吹付コンクリートの接着状況を推定する。

【調査方法】5. 3（2）～（4）のとおりである。

【結果】端部の吹付コンクリート上面（接着面）の中性化深さと施工直後から空気中に暴露されている吹付コンクリート下面の中性化深さは、同程度進行していた。また、衝撃弾性波法の試験結果から吹付コンクリート端部にはく離している傾向が多く見られた。これらのことから、吹付施工後、比較的早い段階で、吹付コンクリートの端部にはく離が発生した可能性が推定された。

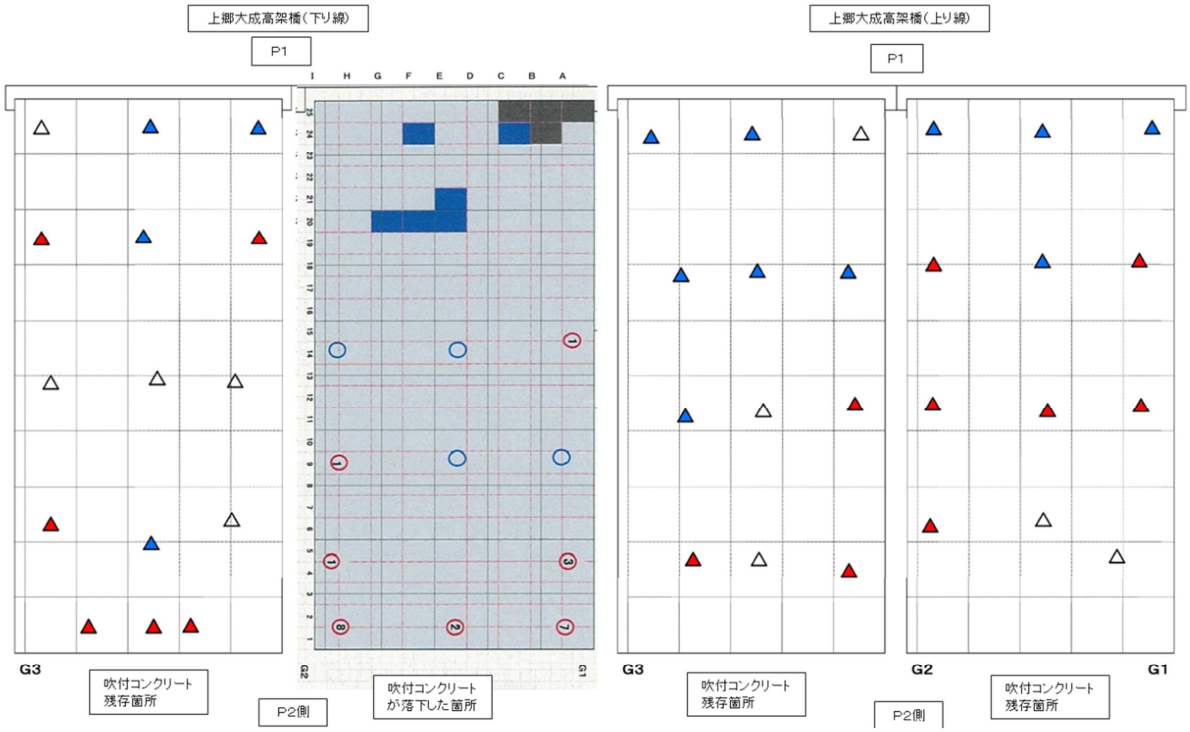
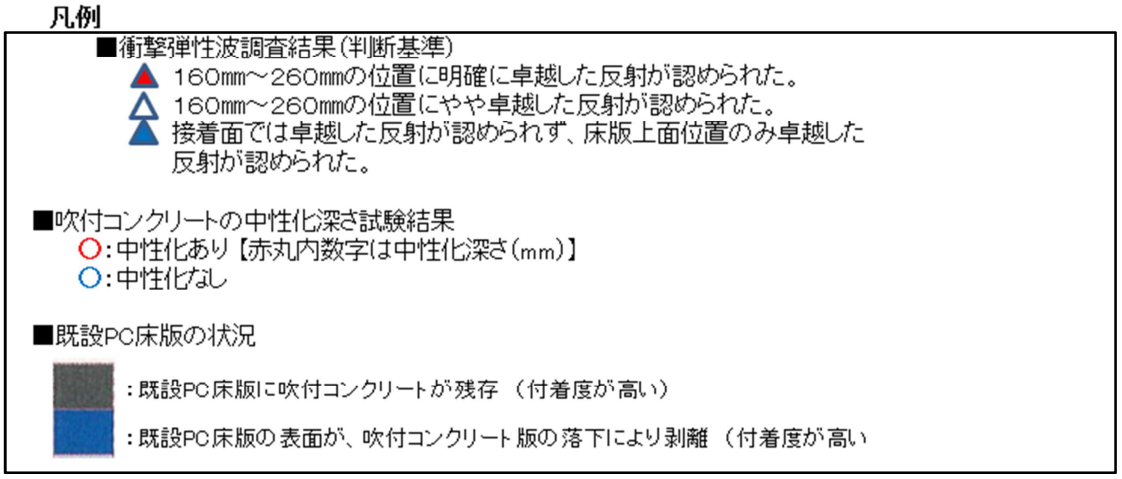


図 5.3.1；吹付コンクリートの接着状況整理図



(2)　落下した吹付コンクリートの中性化深さ

〔吹付コンクリート上面側（PC 床版との接着面)〕

【目的】吹付コンクリートの上面（接着面）の中性化深さから、はく離の時期を推定する。

【調査方法】落下した吹付コンクリート版から採取したコア（φ58mm）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 点について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。

【結果】落下した吹付コンクリート上面（接着面）の中性化深さは、0mm～7.6mm の範囲で分布していた。吹付コンクリートの支間中央側の端部の中性化深さの進行が相対的に大きい傾向にあることを確認した。

表 5.3.1；採取コアによる中性化深さ測定結果

P1 側

	箇所	平均値	箇所	平均値	箇所	平均値	
G2 側	③	0.0mm	②	0.0 mm	①	0.6mm	G1 側
	⑥	1.0 mm	⑤	0.0 mm	④	0.0mm	
	⑧	0.6 mm	－	－	⑦	2.8mm	
	⑪	7.6 mm	⑩	2.3mm	⑨	7.1mm	

P2 側（支間中央）

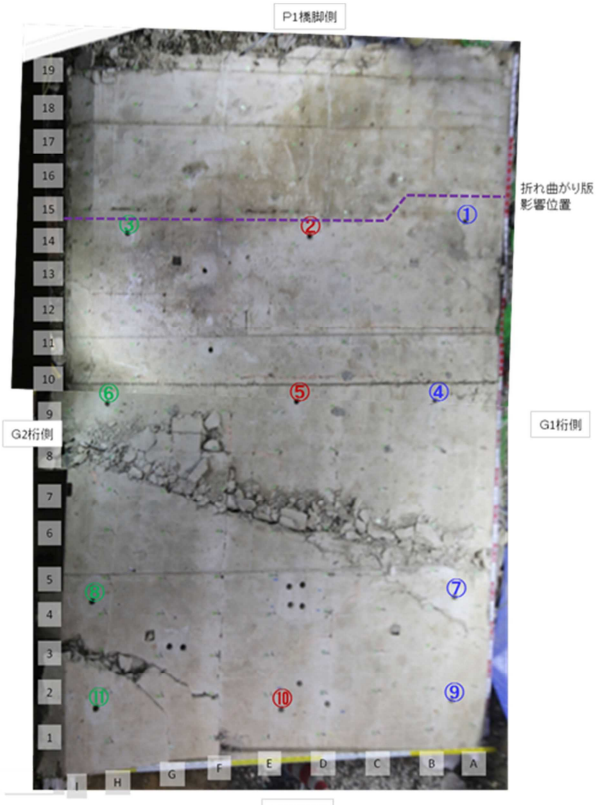


図 5.3.2；コア採取位置図

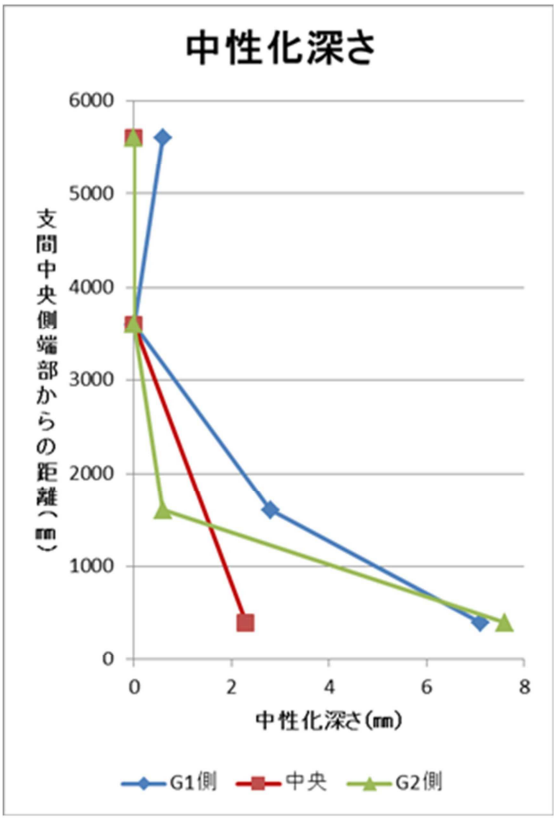


図 5.3.3；採取コアによる中性化深さ

(3)　残存している吹付コンクリートの中性化深さ（吹付コンクリート下面側）

【目的】吹付コンクリートの中性化深さの進行速度を推定するため、施工直後から空気に暴露されている落下していない吹付コンクリートの下面側の中性化深さを測定する。

【調査方法】残存している吹付コンクリートから採取したコア（φ25mm）の表面へフェノールフェ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 5 点について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。

【結果】最大値 12mm。最小値 1mm。平均値 7mm であった。施工直後から空気と接触している場合、中性化深さが 7mm 程度進行している可能性があることを確認した。

表 5.3.2；残存している吹付コンクリート下面の中性化深さ測定結果

最大値	12 ㎜
最小値	1 ㎜
平均値	7 ㎜

※採取コア径：φ25 ㎜

(4)　残存している吹付コンクリートのはく離状況の調査

【目的】残存している吹付コンクリートの現状の既設コンクリートと吹付コンクリートとの界面のはく離状況を確認する。

【調査方法】衝撃弾性波法によりはく離の深さを推定。

【結果】顕著な弾性波の反射が認められ、はく離の可能性が高い箇所は、相対的に端部に多く確認された。

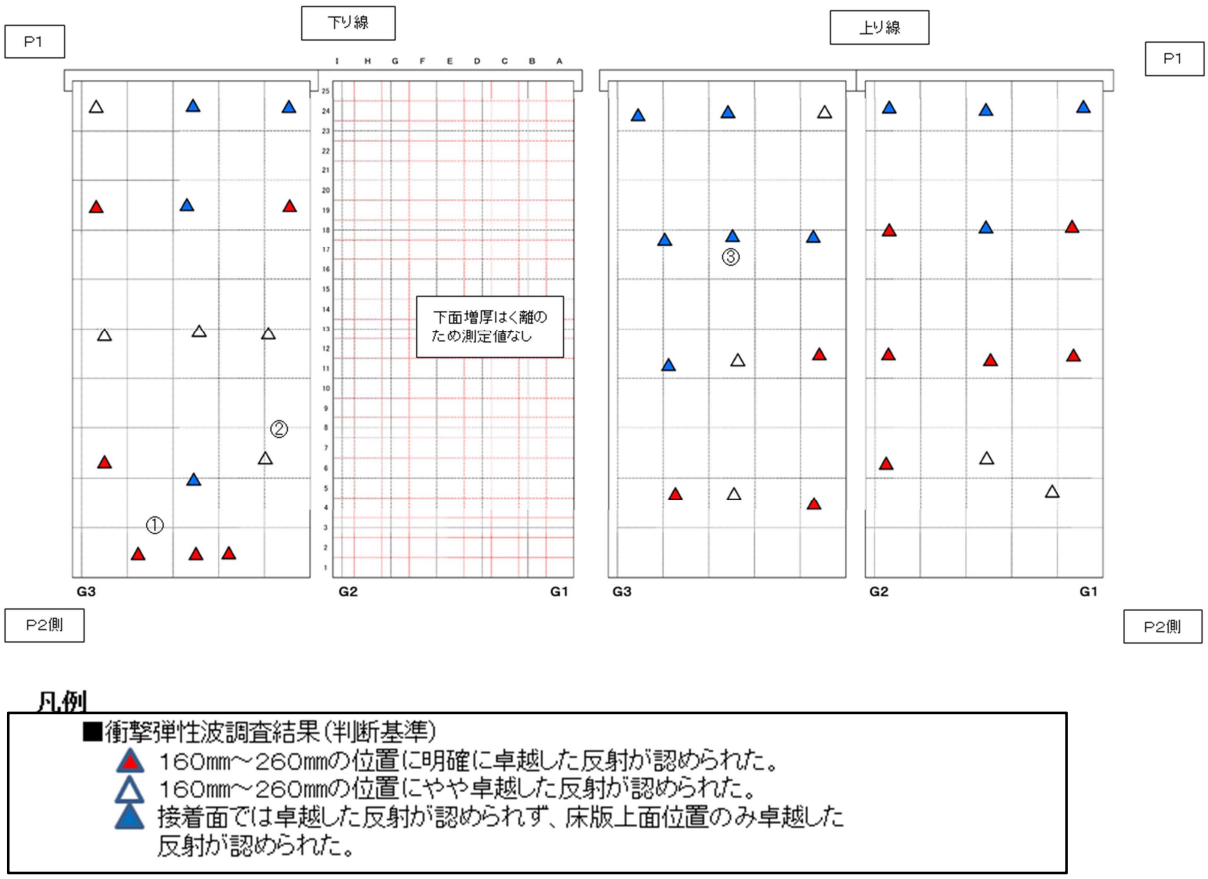


図 5.3.4；残存している吹付コンクリートのはく離状況調査結果

5.4　吹付コンクリートの白すじ

(1)　落下した吹付コンクリートの白すじ

【目的】落下した吹付コンクリートの上面（接着面）に、格子状の白すじが確認された。この白すじの状態を確認する。

【調査方法】目視、ノギス、金尺、クラックゲージによる観察。

【結果】ほぼすべての鉄筋位置に沿って白すじの発生を確認した。白すじの幅は、10mm～30mm で、白すじの箇所に顕著な凹凸はなかった。

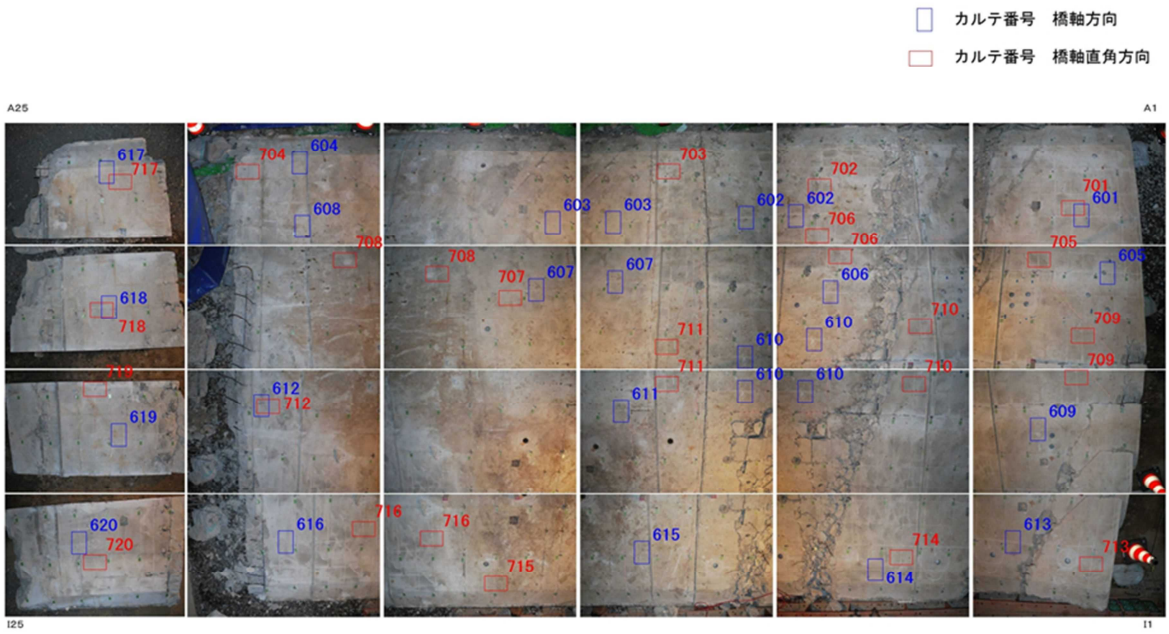


図 5.4.1；落下吹付コンクリート全景および白すじカルテ位置図

白すじ

位置番号	614		
白すじ位置(橋軸)	H～I	白すじ幅(mm)	11
白すじ位置(直角)	6～7	白すじ凹凸区分	なし
ひび割れ区分	なし	白すじ方向	橋軸

写真1

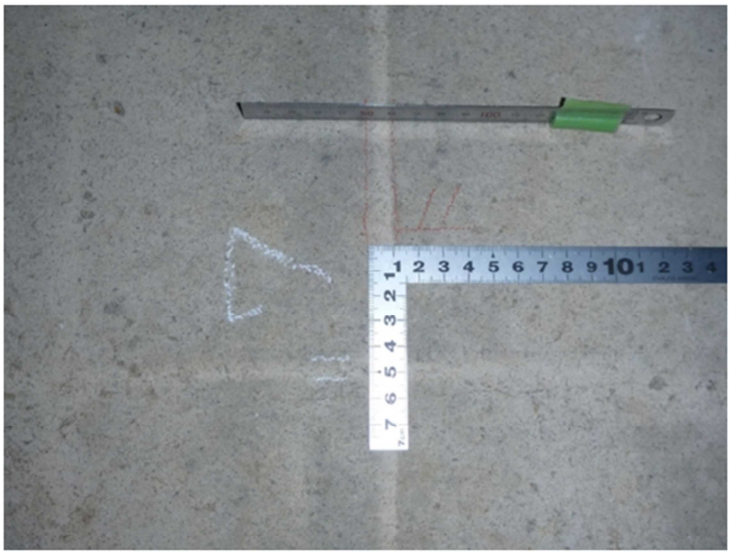


写真2(接写)

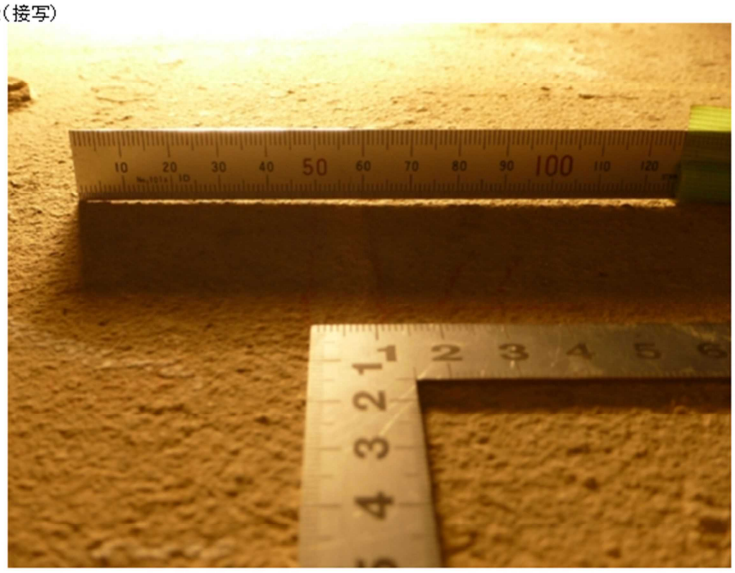


図 5.4.2；白すじカルテ(抜粋)

(2)　振動実験後の供試体の白すじ

【目的】落下した吹付コンクリート上面（接着面）で確認された白すじの発生原因を推定するため、今回実施した振動実験の供試体において、施工条件（振動有・無）や吹付厚さの違い（230㎜、70㎜）があっても発生しているか確認する。

【調査方法】目視確認。

【結果】振動の有無、吹付厚さの違いにかかわらず、すべての供試体で白すじが確認された。白すじ部にひび割れはなかった。白すじの発生による接着面に与える影響は、今回の実験からは確かめられなかった。

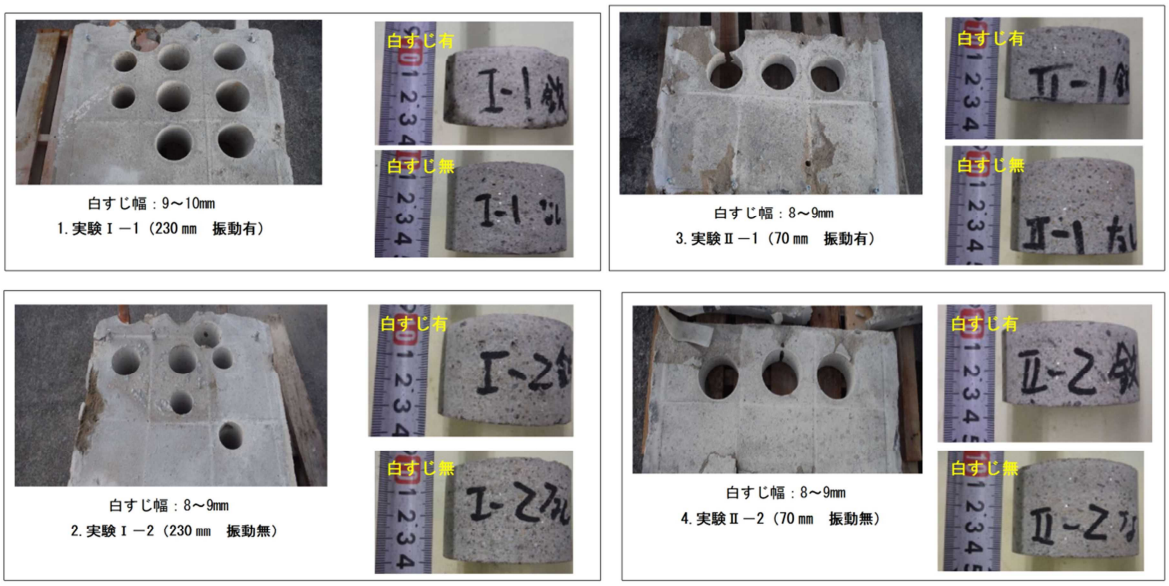


図 5.4.3；振動実験後の白すじ状況

5.5　アンカーの調査

【目的】施工中の鉄筋の保持など、仮設物として PC 床版に施工された、あと施工アンカーの損傷状態などを確認した。

【調査方法】ノギスによる計測。

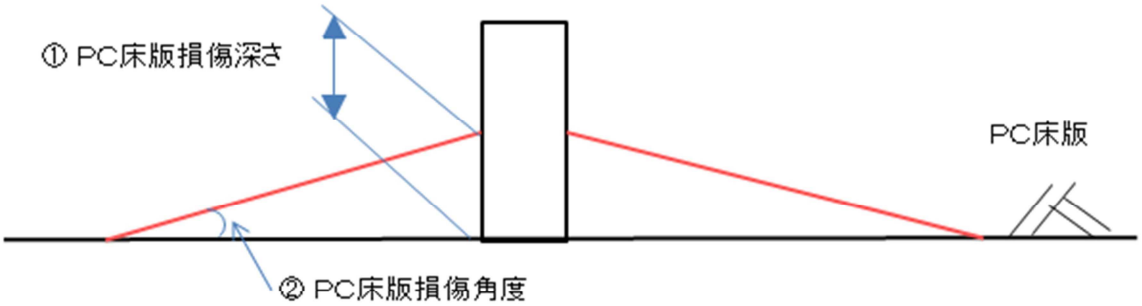
【結果】図 5.5.2 のとおり。

■アンカーによる PC 床版の破壊形態の定義

本報告書においては、アンカーによる PC 床版の破壊形態を次のとおり定義する。

◆表面剥離　：　PC 床版の損傷深さ 10 ㎜未満

◆深部破壊　：　PC 床版の損傷深さ 10 ㎜以上



◆表面剥離　：　PC 床版損傷深さ 10 ㎜未満

◆深部破壊　：　PC 床版損傷深さ 10 ㎜以上

図 5.5.1；アンカーによる PC 床版の破壊形態の定義

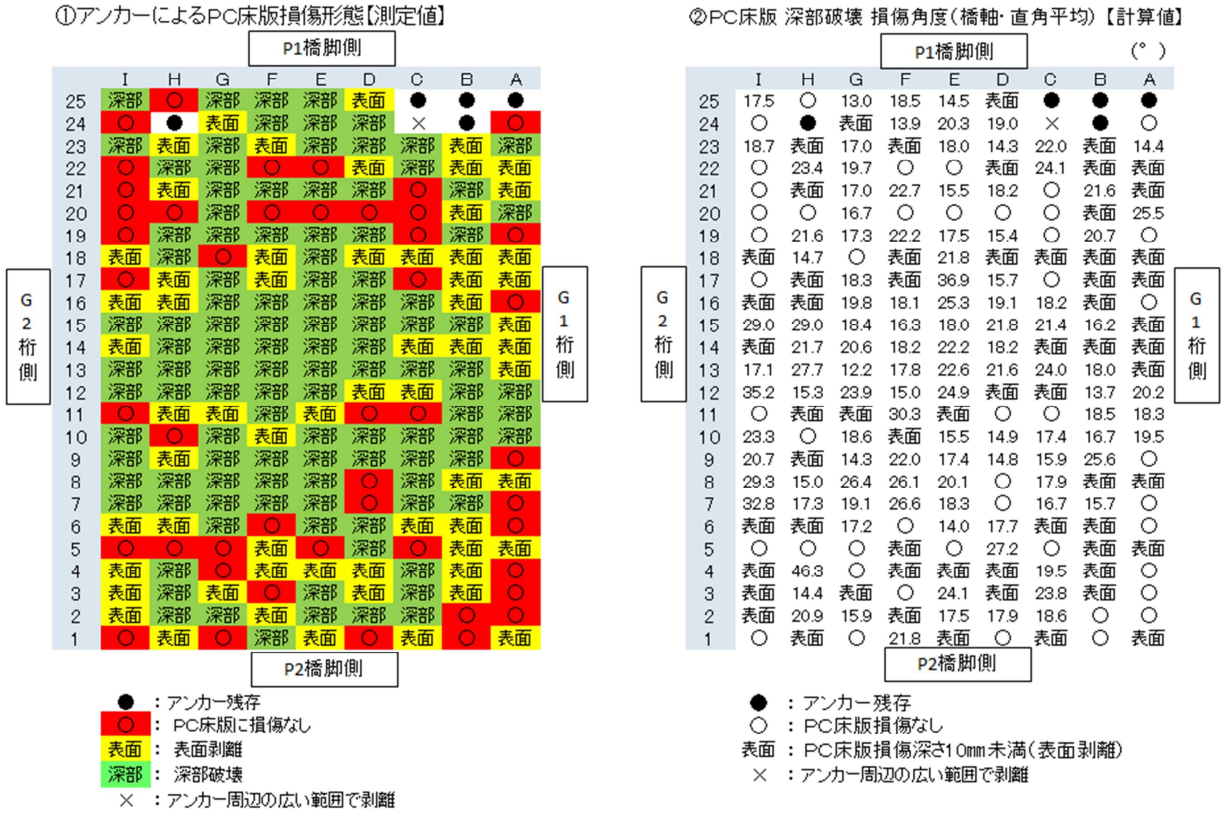


図 5.5.2；アンカー損傷状況

6.　落下にいたるまでの事象の推定

6.1 予備検討

目的　温度変化及び断面急変部の活荷重影響によるせん断力の発生状況の把握

6.1.1 解析条件

(1)解析モデル

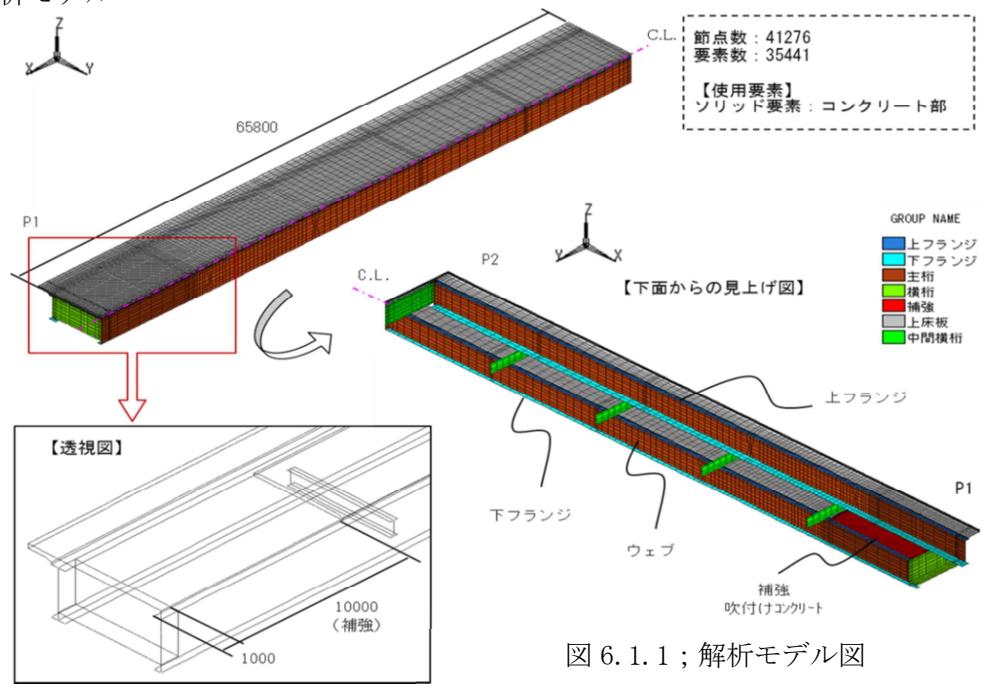


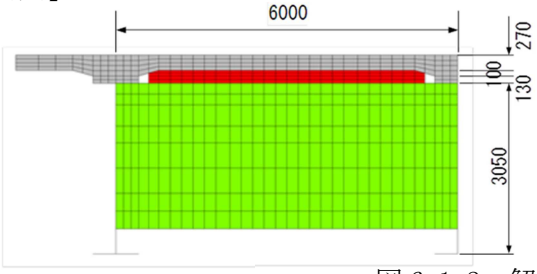
図 6.1.1；解析モデル図

【材料特性】

表 6.1.1；材料特性

種別	設計基準強度 (N/mm2)	ヤング係数 (N/mm2)	ポアソン比	線膨張係数 (μ)
既設床版	50	33000	0.167	10.0
吹付ｺﾝｸﾘｰﾄ	40	31000	0.167	10.0
鋼桁	-	200000	0.3	12.0

【断面図】



解析対象範囲：
1 径間の 1/2 モデル
PC 床版と吹付コンクリートは一体

図 6.1.2；解析モデル断面図

【拘束条件】

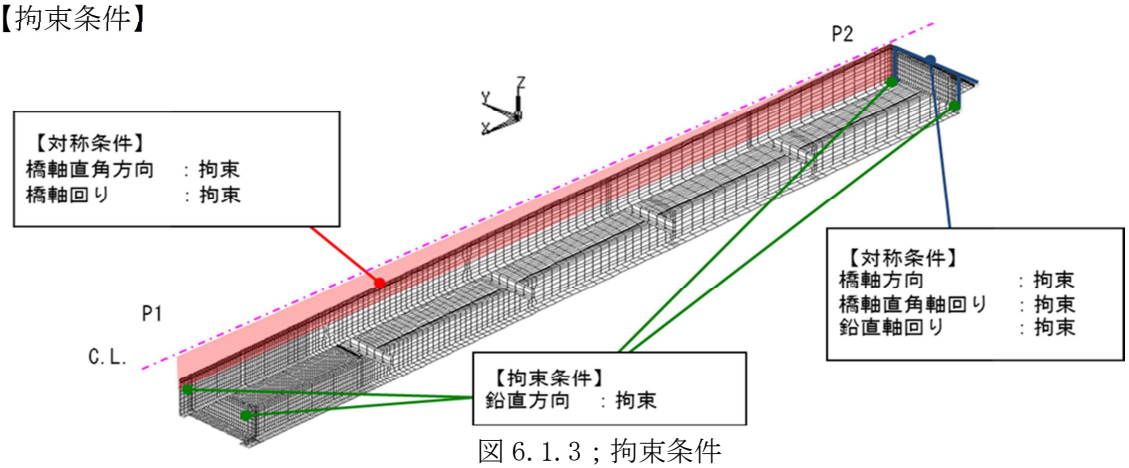


図 6.1.3；拘束条件

(2) 検討ケース

表 6.1.2；検討ケース

	下面増厚	体積変化 (-10℃)	T荷重
CASE1	―	―	○
CASE2	○	○	―
CASE3	○	―	○

(3) 作用

1) T荷重　　100kN（載荷面積 200*500mm）×4

2) 体積変化（温度換算）　-10℃（100μ相当）

※下面吹付コンクリート部のみに温度として与え、線膨張係数からひずみを換算する。

□断面図（②－②）

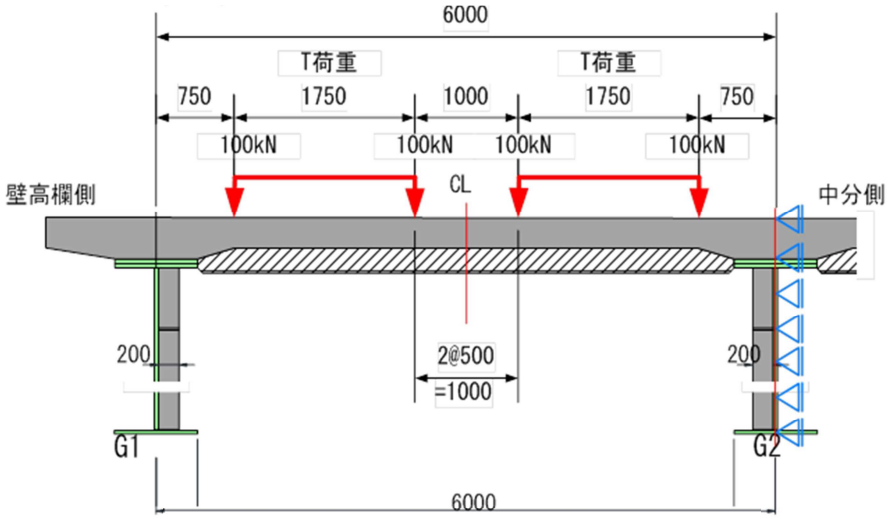


図 6.1.4；荷重載荷図(断面図)

橋軸方向

□側面図（①－①）

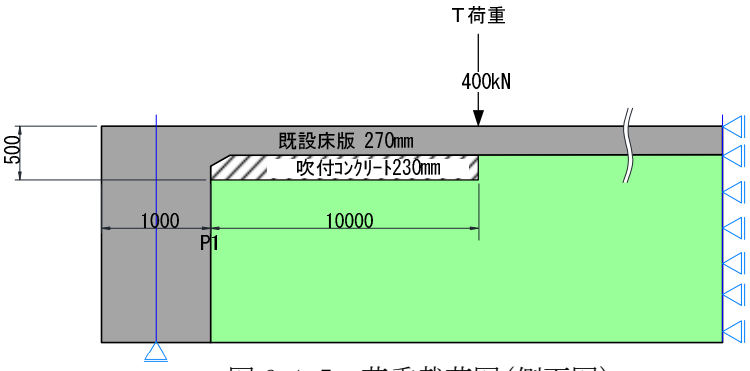


図 6.1.5；荷重載荷図(側面図)

□平面図

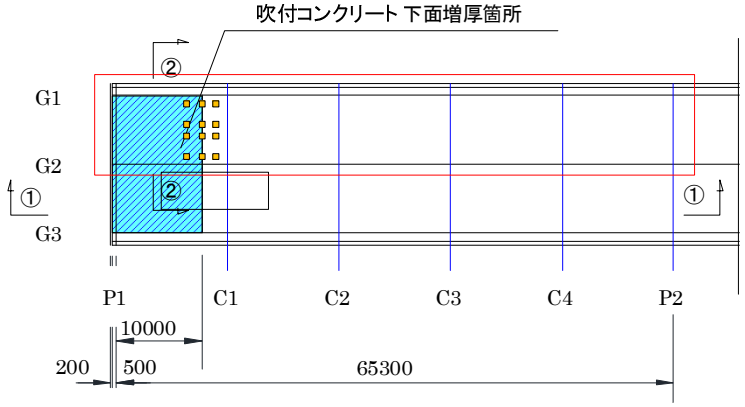


図 6.1.6；荷重載荷図(平面図)

6.1.2 解析結果

①T荷重(フル)載荷時よりも，体積変化(100μ,温度換算 10℃)に伴う境界面のせん断応力度が相対的に大きいことから，初期段階は吹付コンクリートの体積変化による水平方向にずれようとするせん断力の影響が大きい。

②体積変化に伴うせん断応力度は，四隅や端部の方が大きいことから，水平方向のずれはこの周辺から生じているものと推定される。

ＣＡＳＥ２　温度(体積変化)

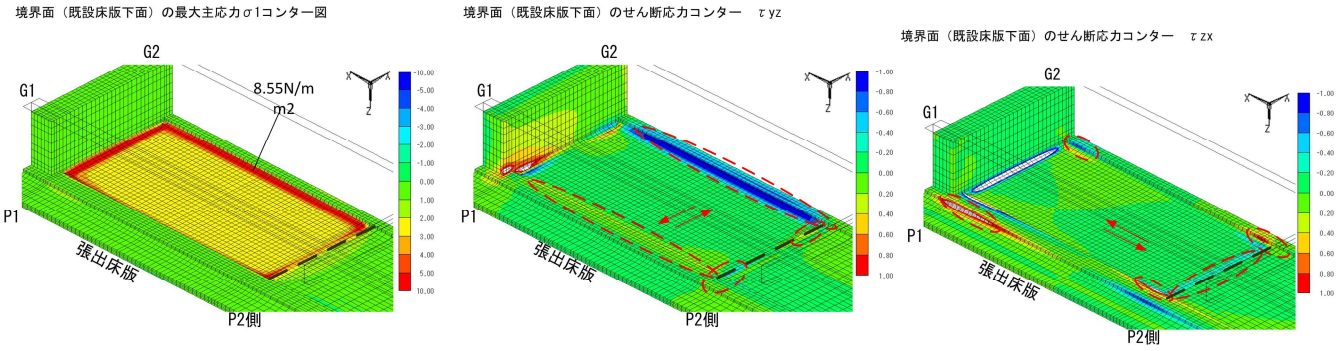


図 6.1.7；解析結果（CASE2　温度）

ＣＡＳＥ３　Ｔ荷重載荷

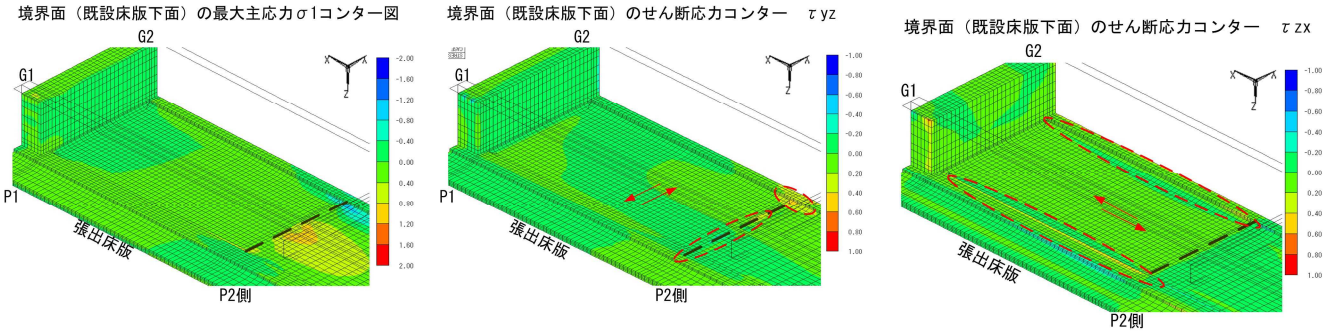
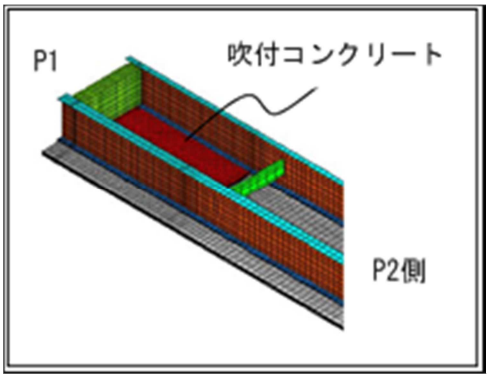


図 6.1.8；解析結果(CASE3　T 荷重載荷)



上記、コンター図は、図 6.1.9 のとおり、橋の下から、床版を見上げた図を示す。

図 6.1.9；解析結果説明図

■せん断応力度τｚｘの分布図（支間中央位置）

1)CASE1　無補強　Ｔ荷重載荷

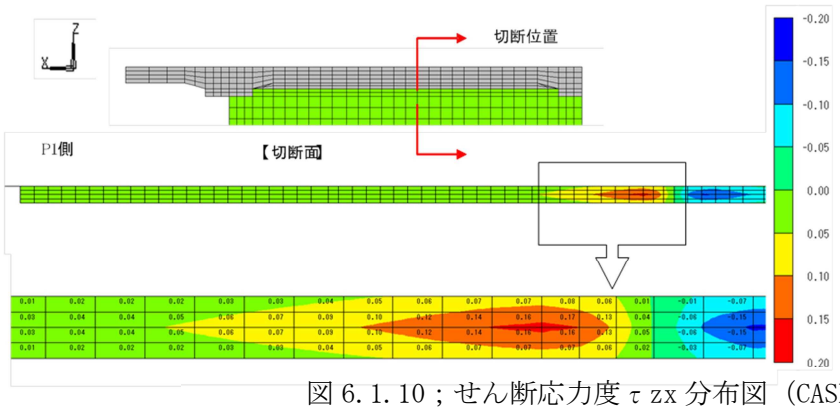


図 6.1.10；せん断応力度τzx 分布図（CASE1）

2)CASE3　Ｔ荷重載荷

①輪荷重載荷時において隅角部の応力特有の端部に交番点を有するせん断応力度分布になり、水平力が端部境界面に作用している。

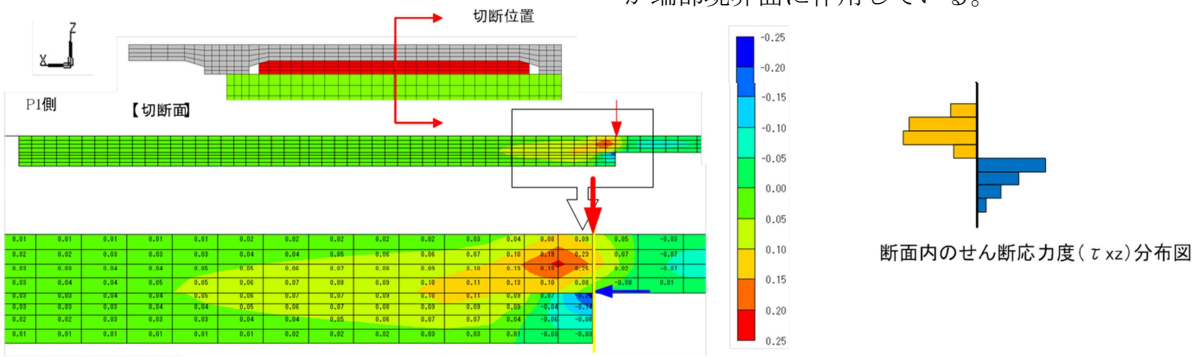


図 6.1.11；せん断応力度τzx 分布図（CASE2）

3）CASE2　体積変化(温度)

②吹付コンクリートの収縮による境界面端部のせん断応力度が卓越する（相対差大）。

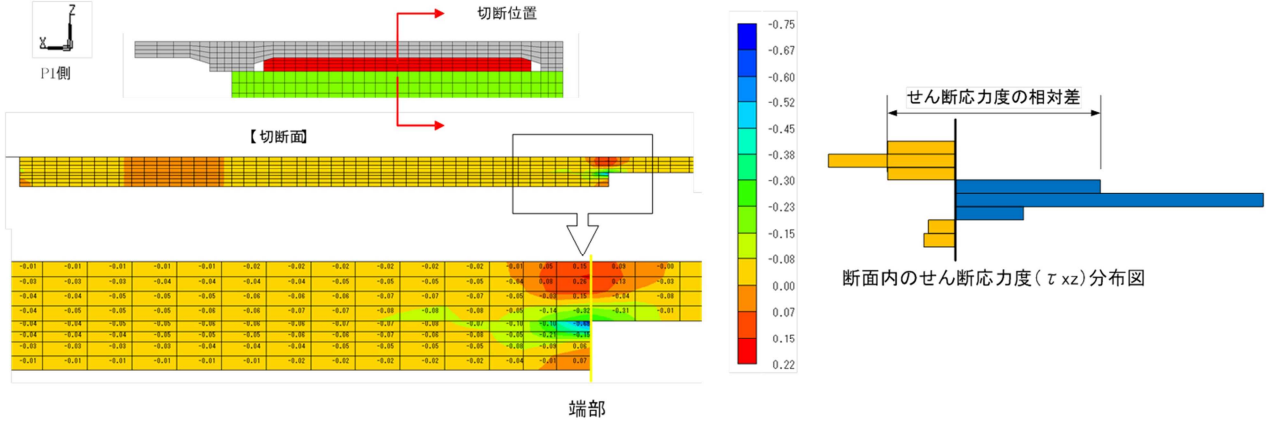


図 6.1.12；せん断応力度τzx 分布図（CASE3）

6.2　現地調査等による落下にいたるまでの事象の推定

現地調査および予備検討結果より落下にいたるまでの事象の推定を行った。

1)　考えられる影響

(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断面急変部でのせん断力の発生の影響

2)　現地調査および考えられる影響による落下にいたるまでの事象の推定(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(2)吹付コンクリート硬化時の振動の影響
・硬化時の振動の影響による付着強度や接着強度の低下
・増厚したことで断面急変部となり、輪荷重の載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

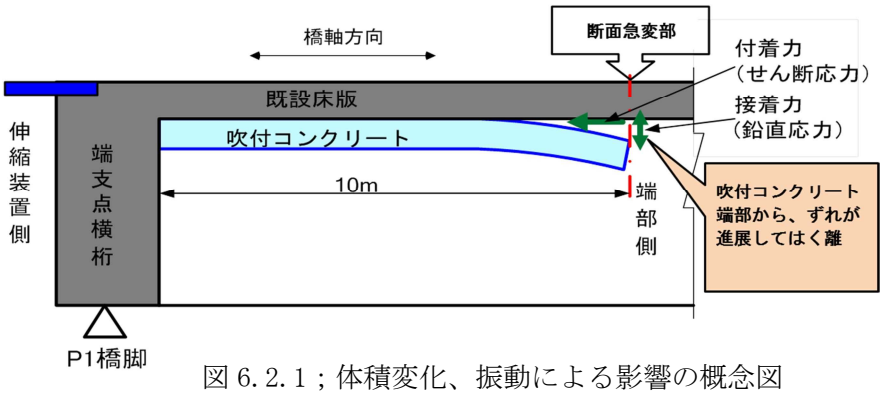


図 6.2.1；体積変化、振動による影響の概念図

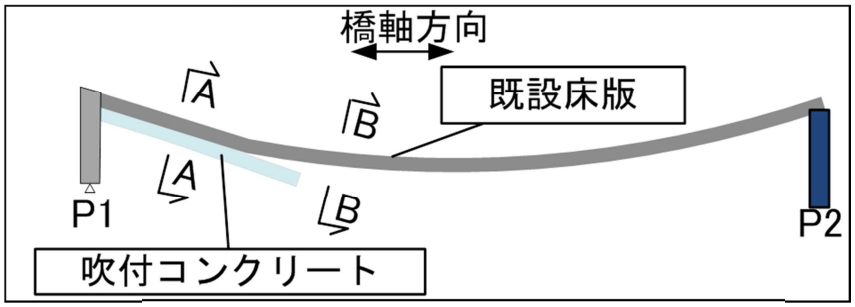


図 6.2.2；輪荷重載荷による影響の概念図

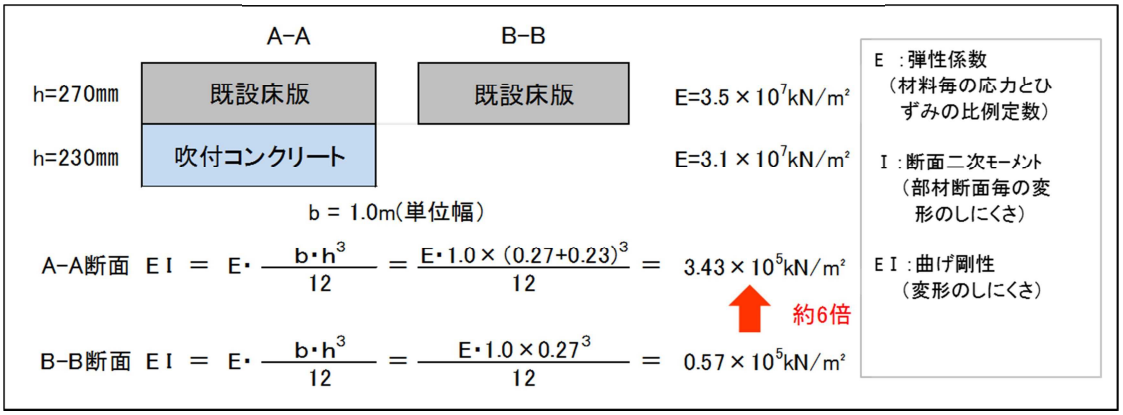


図 6.2.3；変形のしにくさを表す曲げ剛性(EI)の比較

6.3　実験および解析による検証と実施内容

6.3.1　検証の概要

実験および解析による検証結果は、以下のとおりである。

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 ■実物大実験

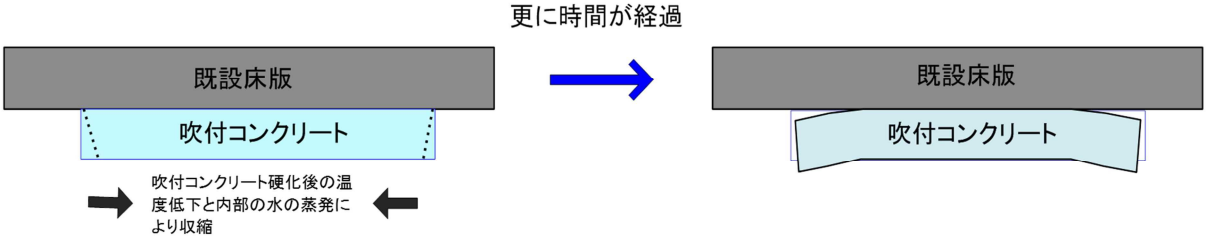


図 6.3.1；吹付コンクリートの変形のイメージ

検証(2)
吹付コンクリート硬化時の振動の影響
【検証方法】 **■振動実験**

検証 (3)
吹付厚が厚いことによる断面急変部でのせん断力の発生の影響
【検証方法】 ■解析：FEM 解析

6.3.2　実験および解析の実施内容

検証(1)～(3)について、それぞれの検証方法と実験、解析の実施内容は、下記のとおりである。

1)検証(1)【コンクリートの温度及び収縮による体積変化の影響】

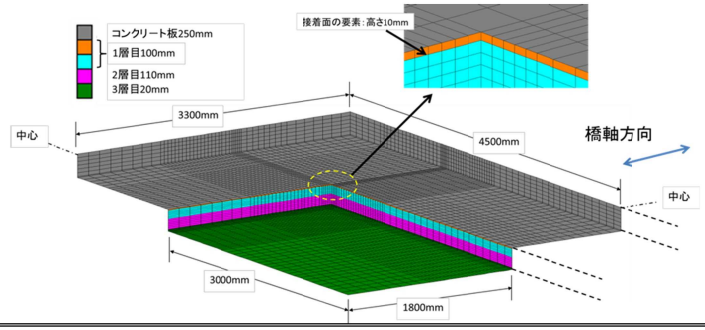
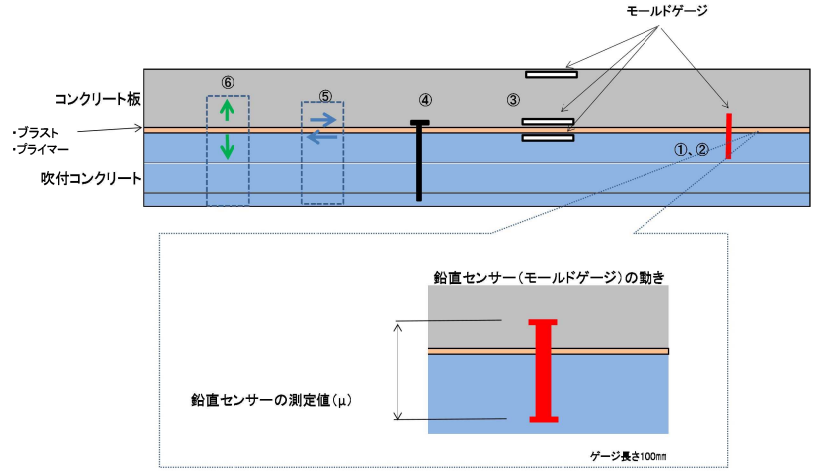
検証方法を表 6.3.1、実験規模を図 6.3.2、実験の吹付規模と計測器設置位置を図 6.3.3～図 6.3.4 に示す。

2)検証(2)【コンクリート硬化時の振動の影響】

検証方法を表 6.3.2、実験規模を図 6.3.5 に示す。

3)検証(3)【断面急変部でのせん断力の発生の影響】

検証方法を表 6.3.3 に示す。

<table>
<tr><td colspan="3">推定される影響</td><td colspan="4">（1）コンクリートの温度および収縮による体積変化の影響（実物大実験）</td><td rowspan="2">【温度応力解析のモデル】
 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">検証方法</td><td>解析</td><td>解析方法</td><td colspan="4">温度応力解析等
（実験A、Bでの計測値を反映）</td></tr>
<tr><td></td><td>検証内容</td><td colspan="4">温度および材料収縮による体積変化での界面のせん断力の把握</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="10">実験</td><td>実験方法</td><td colspan="4">鋼繊維入り超速硬モルタルセメント（σ3=24N/mm²）</td><td rowspan="10">【実験の計測内容イメージ】
 

①発熱温度：コンクリートの温度履歴
②界面の挙動：鉛直センサーの動き
③吹付コンクリートと試験体の水平方向のひずみ
④鉄筋のひずみ：鉄筋の水平方向の挙動
⑤界面の付着強度（別途コア採取して試験）
⑥界面の接着強度（別途コア採取して試験）</td></tr>
<tr><td>ケース</td><td>実験A</td><td>実験B</td><td>実験C</td><td>実験D</td></tr>
<tr><td>吹付厚</td><td>吹付厚さ 230mm
・1層目100mm
・2層目110mm
・3層目20mm</td><td>吹付厚さ 70mm
・1層目50mm
・2層目20mm</td><td>吹付厚さ 230mm
・1層目100mm
・2層目110mm
・3層目20mm</td><td>吹付厚さ 230mm
・1層目100mm
・2層目110mm
・3層目20mm</td></tr>
<tr><td>ブラスト
投射密度</td><td colspan="2">75kg/m²</td><td>150kg/m²</td><td>75kg/m²</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td colspan="3">有
（鉄筋：水平方向のずれ止め）</td><td>有・無の比較</td></tr>
<tr><td>振動の有無</td><td colspan="4">無</td></tr>
<tr><td>試験体規模</td><td colspan="3">・試験体：コンクリート板
・吹付規模：3.6m×6m
・プライマー処理
・施工順序を考慮</td><td>・試験体：コンクリート板
・吹付規模：1.4m×1m
（安全上の都合で規模縮小）
・プライマー処理
・施工順序を考慮</td></tr>
<tr><td>計測内容</td><td colspan="3">・発現温度、界面の挙動、水平方向のひずみ
・鉄筋のひずみ（ずれ止め）の計測
・界面の付着強度（水平方向）と接着強度（鉛直方向）</td><td>・発現温度、界面の挙動、水平方向のひずみ
・鉄筋のひずみ（ずれ止め）の計測</td></tr>
<tr><td>検証内容</td><td colspan="4">・吹付厚による比較（実験AとB）
・ブラスト投射密度による比較（実験AとC）
・鉄筋の有無による比較（実験D）</td></tr>
</table>

表6.3.1；検証(1)の検証方法

■コンクリートの温度および収縮による体積変化の影響の実験規模（実物大実験）

吹付コンクリートの温度等による体積変化の影響については、実物大規模の試験体に吹付けを行い、界面の挙動や強度を把握する。吹付け厚さと試験体表面の表面処理方法、鉛直方向の鉄筋による影響を確認する。

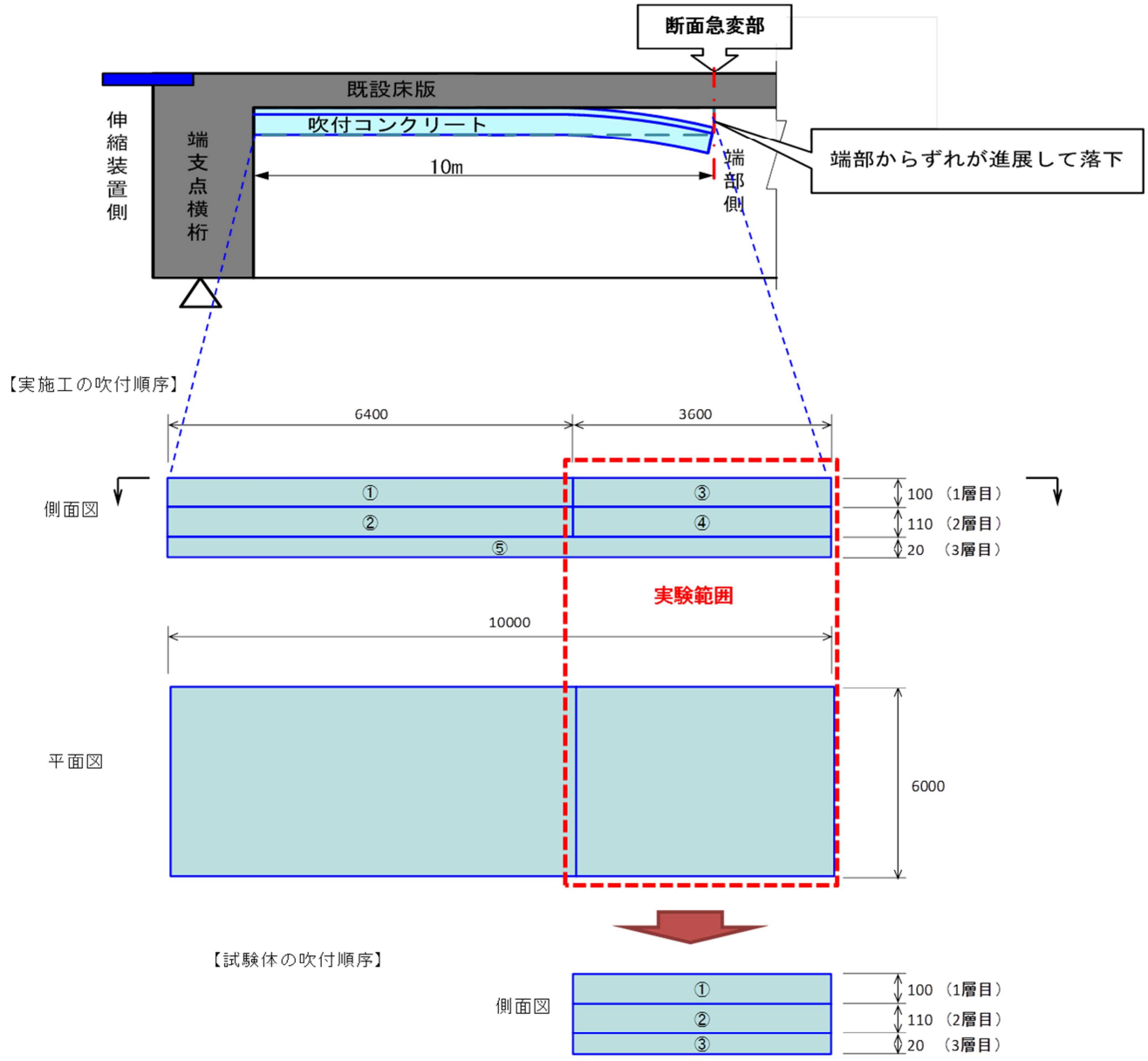


図 6.3.2；検証(1)の実験規模

実験Ａ～Ｃの実験規模と計測器設定位置を図 6.3.3 に示す。

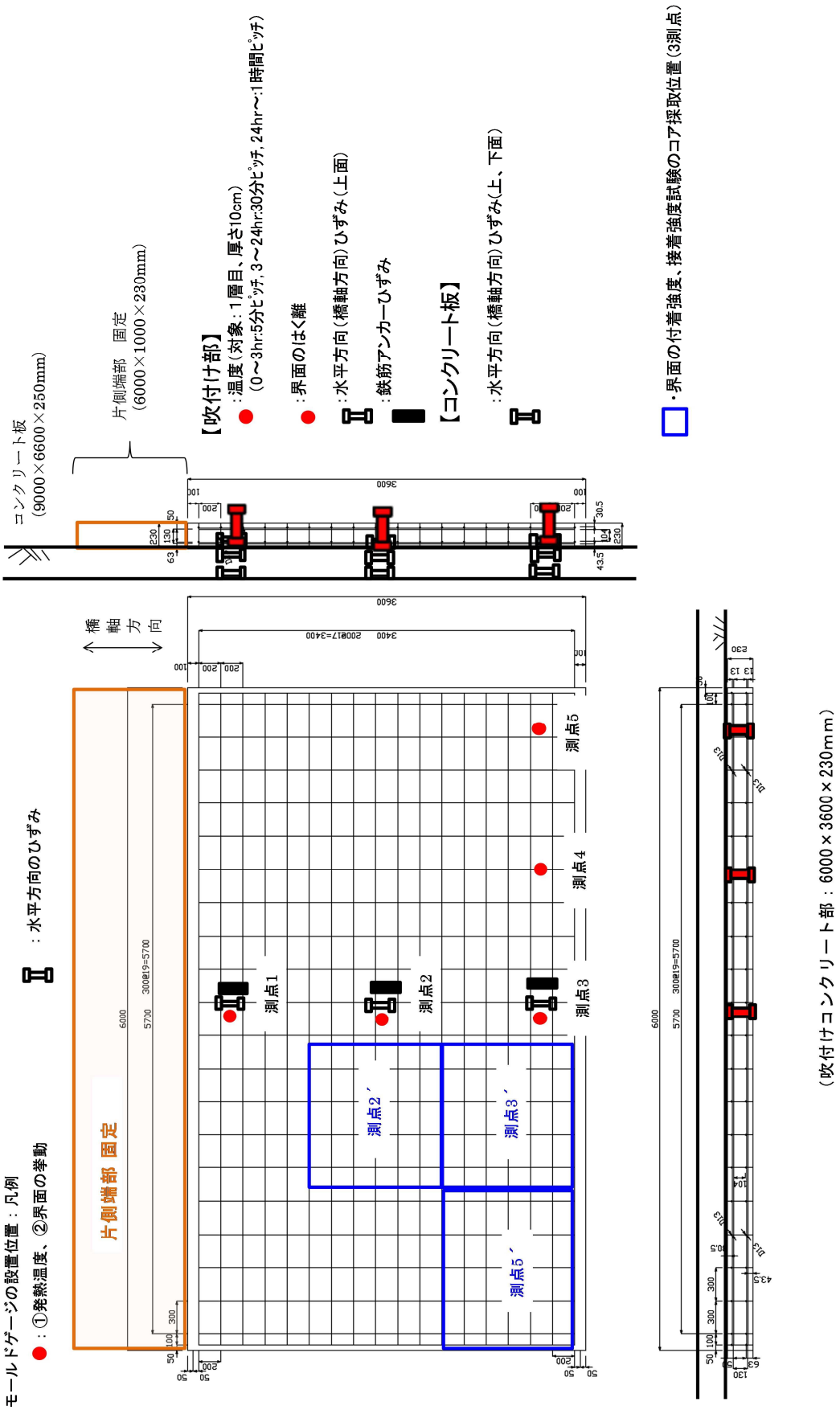


図 6.3.3；実験Ａ～Ｃ　吹付規模と計測器設置位置

実験Dの吹付規模と計測器設定位置を図 6.3.4 に示す。

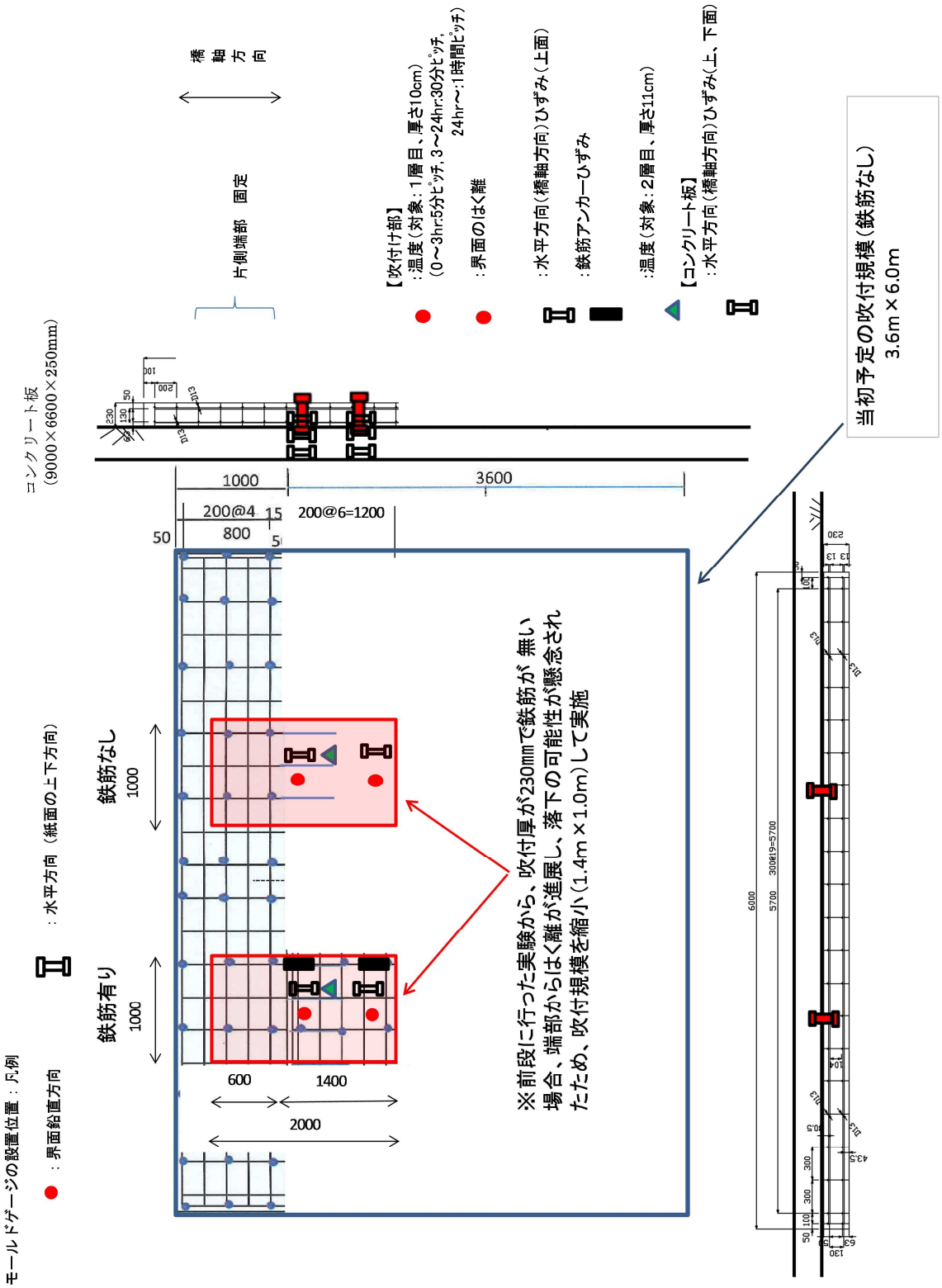
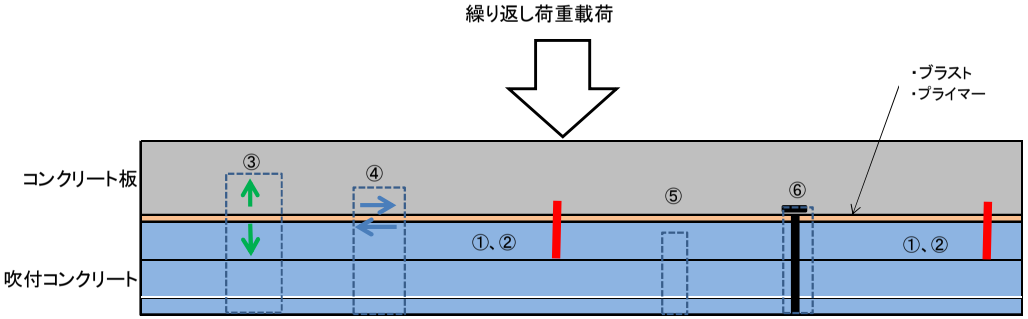


図 6.3.4；実験 D(鉄筋有無の比較)　吹付規模と計測器設置位置

推定される影響			(2)コンクリート硬化時の振動の影響(振動実験)			
検証方法	実験	実験方法	試験体に各ケース毎の形状で鋼繊維入り超速硬モルタルセメント(σ3=24N/mm²)を吹付け、振動の有無による温度変化・挙動等を計測			
		ケース	実験Ⅰ-1	実験Ⅰ-2	実験Ⅱ-1	実験Ⅱ-2
		吹付厚	吹付厚 230㎜ ・1層目100㎜ ・2層目110㎜ ・3層目 20㎜		吹付厚 70㎜ ・1層目50㎜ ・2層目20㎜	
		ブラスト投射密度	75kg/m²			
		鉄筋	有 (鉄筋:水平方向のずれ止め)			
		振動の有無	有	無	有	無
		試験体規模	・試験体:コンクリート板 ・吹付規模:1.8m×0.7m ・プライマー処理 ・鉄筋を配筋			
		計測内容	・発現温度、界面の挙動 ・界面の付着強度(水平方向)と接着強度(鉛直方向) ・鉄筋部(白すじの発生が想定)の状況			
		検証内容	・振動影響の有り無しによる相対比較(実験Ⅰ、実験Ⅱ) ・吹付厚による比較(実験Ⅰ、実験Ⅱ)			

【実験の計測内容イメージ】



①発熱温度:コンクリートの温度履歴(中央荷重載荷部と端部)
②界面の挙動:鉛直センサーの動き(中央荷重載荷部と端部)
③界面の接着強度(別途コア採取して試験)
④界面の付着強度(別途コア採取して試験)
⑤圧縮強度(別途コア採取して試験)
⑥鉄筋部の白すじの発生状況(別途コア採取して確認)

■　コンクリート硬化時の振動の影響の実験規模（振動実験）

交通振動環境下での影響を把握するため、供用下の実橋振動に相当する振動を試験体に与えながら下面に吹付けコンクリートを施工し、振動有りと無しの場合の界面の挙動等を比較し、振動の影響を把握する。

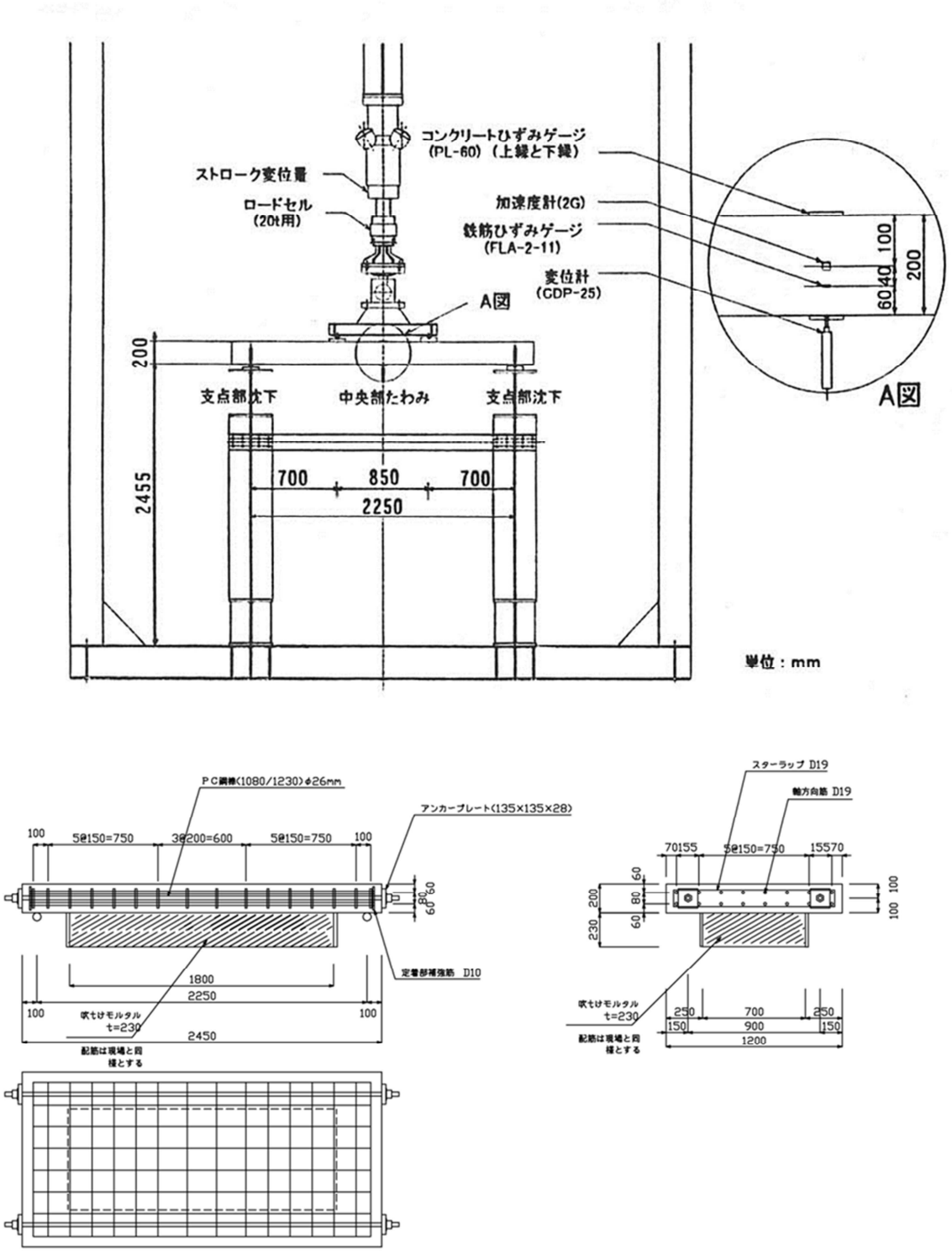
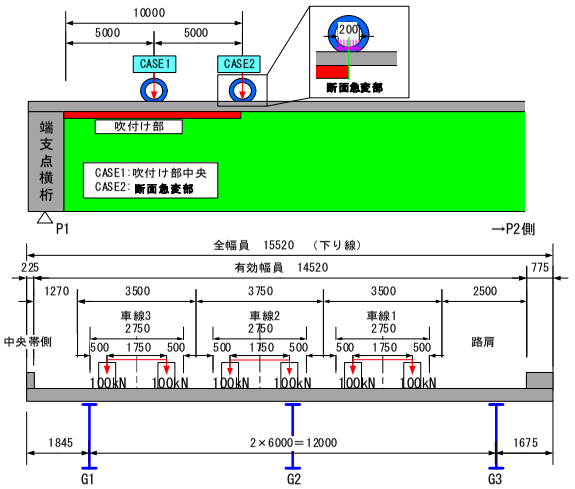


図 6.3.5；コンクリート硬化振動実験

推定される影響			（３）断面急変部でのせん断力の発生の影響		
検証方法	解析	解析方法	ＦＥＭ解析		
		解析内容	境界面で発生するせん断力の把握		
		ケース	解析１	解析２	解析３
		作用	輪荷重の影響		
		吹付厚さ	２３０mm	２３０mm	７０mm
		断面急変部	有	無	有
		拘束鉄筋 （アンカー部）	有	有	有
		境界面のﾓﾃﾞﾙ	弾性		
		検証内容	・断面急変部の有り無し影響（解析1と解析2） ・吹付け厚の影響（解析1と解析3）		

【解析における作用荷重】

①吹付コンクリート自重　　24.5 kN/m3
②Ｔ荷重　　100.0 kN （載荷面積200*500mm）　　3組



【拘束鉄筋のモデル】

6.4　実験および解析結果と考察

6.4.1　実験による界面挙動

1)コンクリートの温度および収縮による体積変化の影響（実物大実験）

(1)実験 A と実験 B の吹付厚さの違いの比較

実験 A と実験 B の吹付厚さの違いは、下記のとおりである。

【実験 A（吹付厚さ 230 mm）】

① 端部である測定 5 において、1 層目、2 層目の吹付施工時、鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3 層目以降は大きな変動はない。目視で界面はく離が確認されている。

② その他の測点 1～4 において鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。

代表的な測点 1、3、5 を以下に示す。

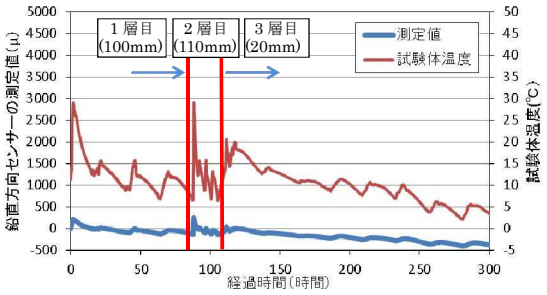


図 6.4.1；測定値(測点 1)

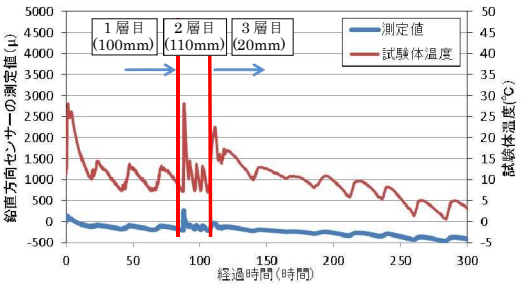


図 6.4.2；測定値(測点 3)

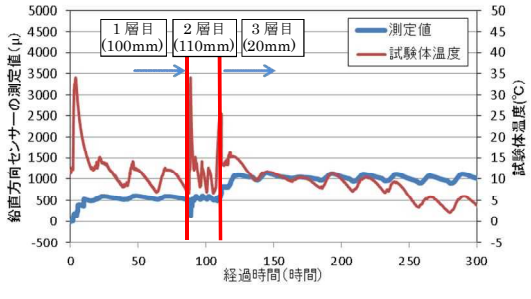


図 6.4.3；測定値(測点 5)

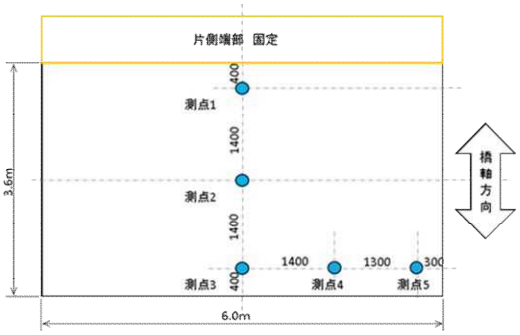


図 6.4.4；測定位置図

測点 5 のはく離状況の写真
（隙間 0.3mm）

図 6.4.5；測点 5 の界面はく離状況

【実験 B(吹付厚さ 70 ㎜　)】

① 測点 1～5 において鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。
代表的な測点 1、3、5 を以下に示す。
また、端部でも目視で界面はく離は確認されていない。

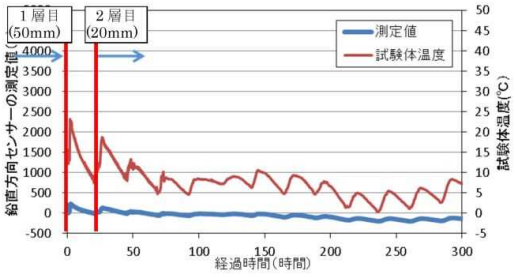


図 6.4.6；測定値(測点 1)

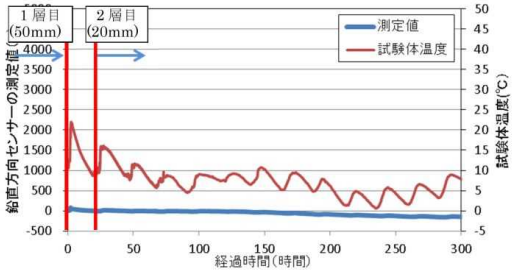


図 6.4.7；測定値(測点 3)

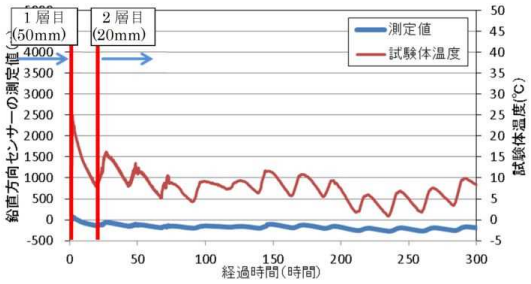


図 6.4.8；測定値(測点 5)

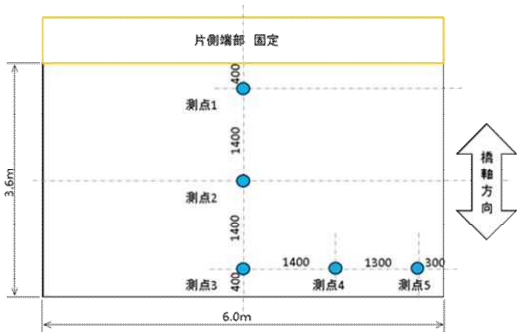


図 6.4.9；測定位置図

測点５の写真
(隙間なし)

図 6.4.10；測点５の界面はく離状況

(2) 実験 A と実験 C のブラスト投射密度の違いの比較

実験 A と実験 C のブラスト投射密度の違いは、下記のとおりである。

【実験 A（吹付厚さ　230 mm、ブラスト投射密度　75 kg/m²）】

① 端部である測定５において、1 層目、2 層目の吹付施工時、鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3 層目以降は大きな変動はない。目視で界面はく離が確認されている。

② その他の測点 1～4 において鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。

代表的な測点 1、3、5 を以下に示す。

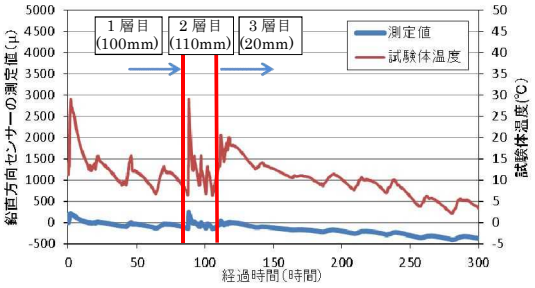


図 6.4.11；測定値(測点１)

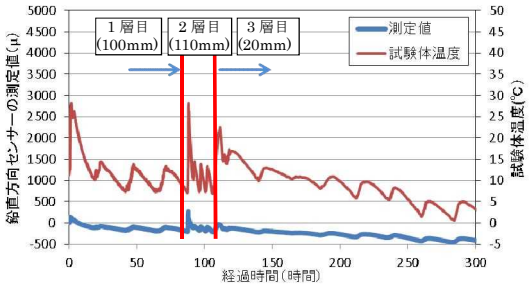


図 6.4.12；測定値(測点 3)

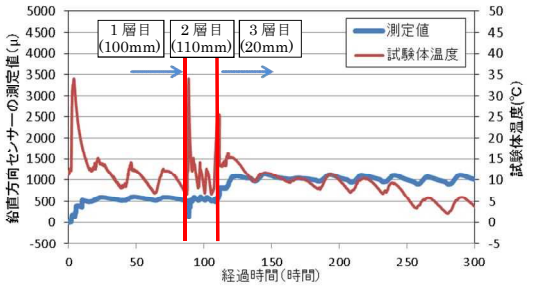


図 6.4.13；測定値(測点 5)

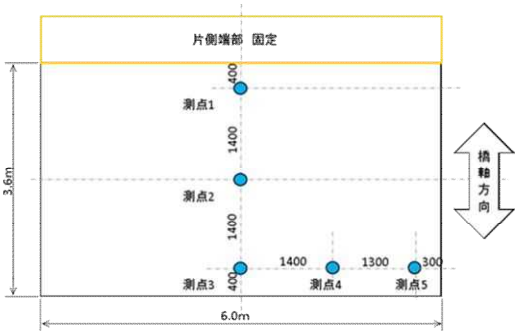


図 6.4.14；測定位置図

測点５のはく離状況の写真
（隙間 0.3mm）

図 6.4.15；測点５の界面はく離状況

【実験 C（吹付厚さ　230 ㎜、ブラスト投射密度　150 kg/㎡）】

① 端部である測定５において、2 層目の吹付によって、1 層目の温度が上昇・下降し、これにより膨張・収縮することで、施工の直後に鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3 層目以降は大きな変動はない。ひずみは実験 A と比べて値は小さいが、目視ではく離が確認されている。

② 測点 1～4 において鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。

代表的な測点 1、3、5 を以下に示す。

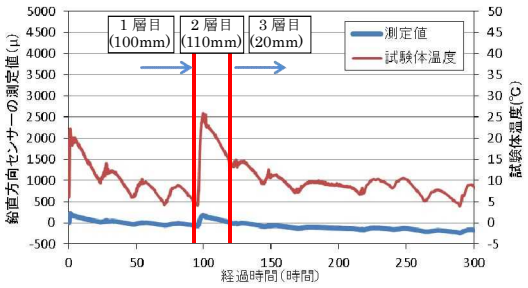


図 6.4.16；測定値(測点 1)

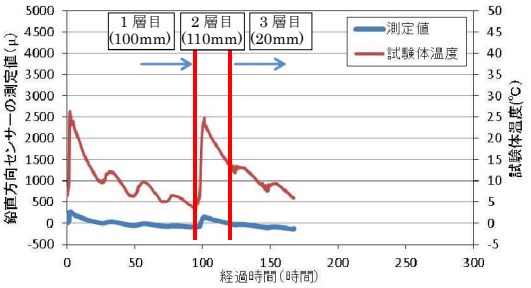


図 6.4.17；測定値(測点 3)

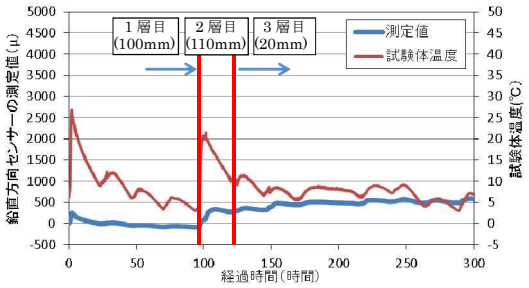


図 6.4.18；測定値(測点 5)

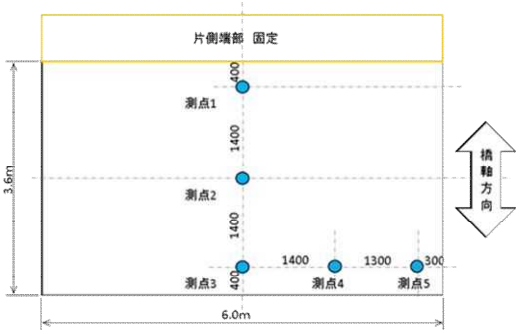


図 6.4.19；測定位置図

測点５の写真
（隙間 0.4mm）

図 6.4.20；測点５の界面はく離状況

(3) 実験 D での鉄筋（水平方向のずれ止め）の有り無しの比較

実験 D での鉄筋の有り無しの比較は、下記のとおりである。

【鉄筋あり】

① 端部において 1 層目、2 層目施工時に鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3 層目以降は大きな変動はない。目視で界面はく離が確認されている。

② 固定部は鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。

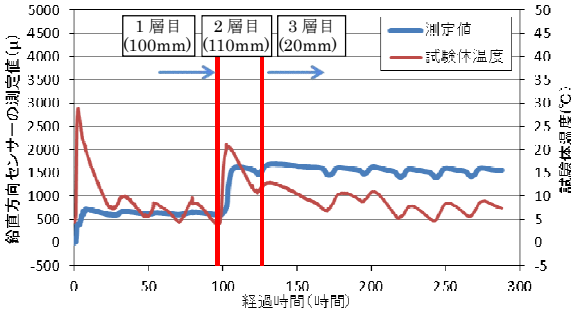


図 6.4.21；測定値（端部：鉄筋あり）

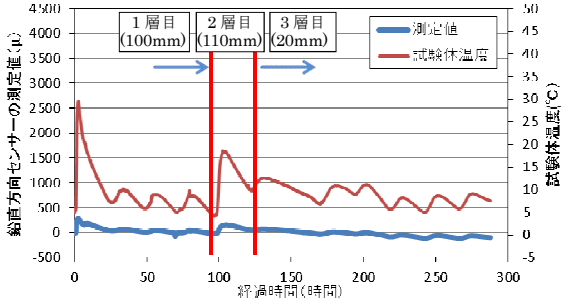


図 6.4.22；測定値（中央部：鉄筋あり）

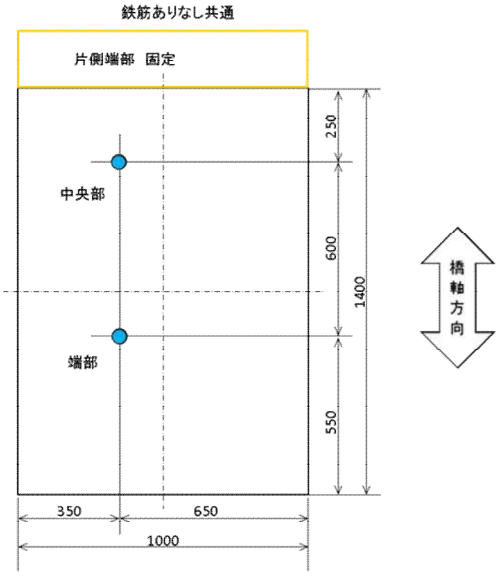


図 6.4.23；測定位置図

端部の拘束鉄筋ありの写真
（隙間 0.4mm）

図 6.4.24；端部の界面はく離状況

【鉄筋なし】

① 端部において 1 層目、2 層目施工時に鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3 層目以降は大きな変動はない。センサーのひずみおよび目視による界面はく離は、鉄筋ありの場合と比較して大きい。

② 固定部は鉛直方向センサーにひずみが生じている。

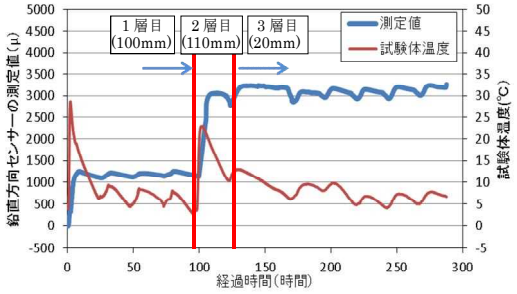


図 6.4.25；測定値(端部：鉄筋なし)

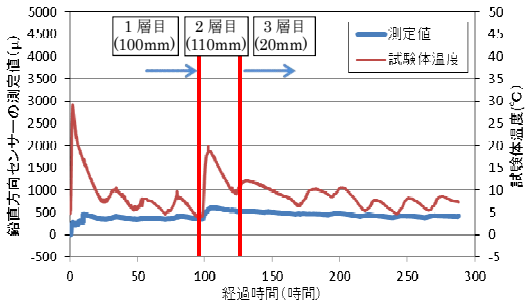


図 6.4.26；測定値(中央部：鉄筋なし)

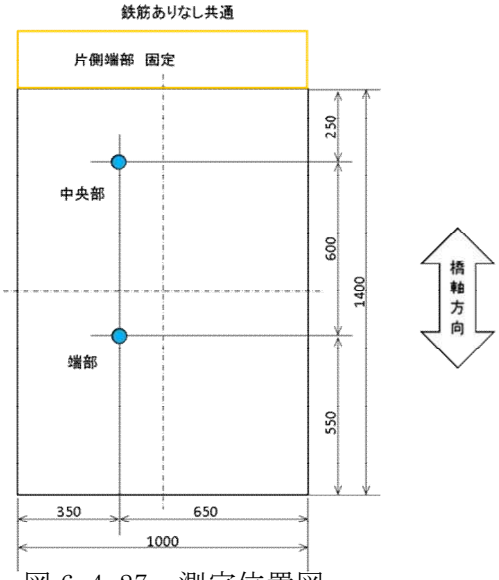


図 6.4.27；測定位置図

端部の拘束鉄筋なしの写真
(隙間 1.4mm)

図 6.4.28；端部の界面はく離状況

2)コンクリート硬化時の振動の影響（振動実験）

(1)実験Ⅰ-1と実験Ⅱ-2での振動の有り無しの比較(吹付厚さ230㎜)

実験Ⅰ-1と実験Ⅱ-2での振動の有り無しの比較は、下記のとおりである。

【実験Ⅰ－1（振動あり）】

① 端部において2層目施工時に鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3層目以降は大きな変動はない。また、目視で界面はく離が確認されている。

② 中央部では、鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。

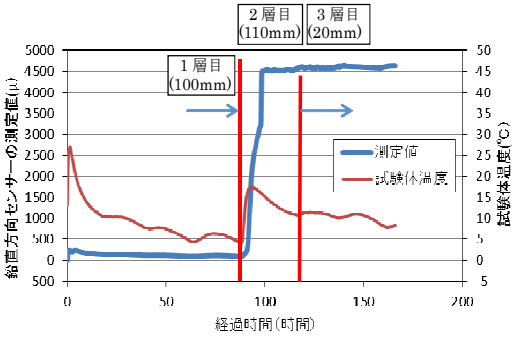


図 6.4.29；測定値(端部振動有り)

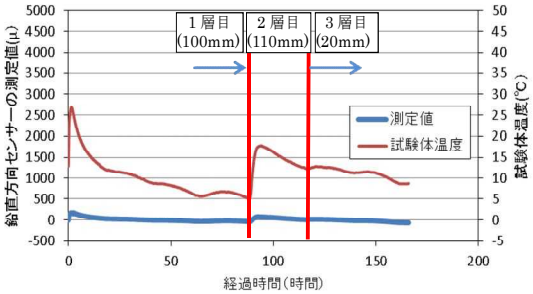


図 6.4.26；測定値(中央部：振動有り)

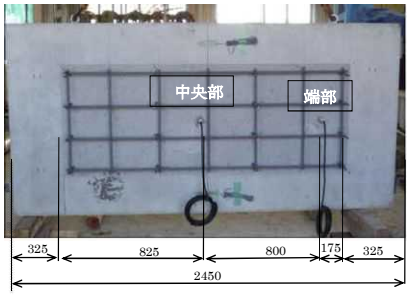


図 6.4.31；測定位置図

振動有りの端部のはく離写真
（隙間 0.8mm）

図 6.4.32；端部の界面はく離状況

【実験Ⅰ－2（振動なし）】

① 端部において2層目施工時に鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみが発生し、3層目以降は大きな変動はない。また、目視で界面はく離が確認されている。中央部では、鉛直方向センサーにひずみはほとんど生じていない。

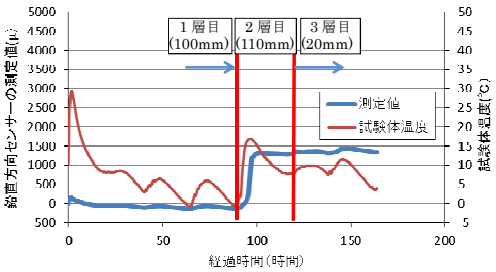


図 6.4.33；測定値(端部：振動無し)

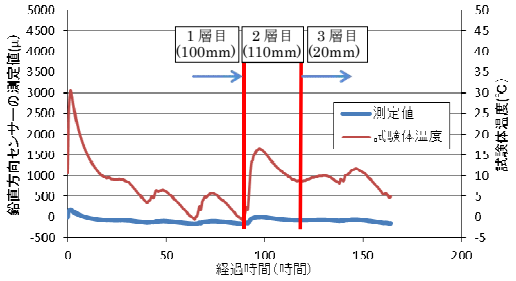


図 6.4.34；測定値(中央部：振動無し)

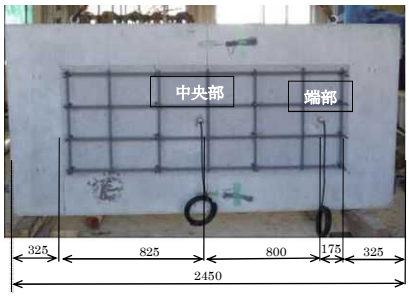


図 6.4.35；測定位置図

振動無しの端部のはく離写真
（隙間 0.3mm）

図 6.4.36；端部の界面はく離状況

振動有りの場合、振動無しの場合と比較して鉛直センサーのひずみは大きく、目視確認での界面はく離の値（隙間）は大きい。

(2) 実験Ⅱ-1 と実験Ⅱ-2 での振動の有り無しの比較(吹付厚さ 70 ㎜)

実験Ⅱ-1 と実験Ⅱ-2 での振動の有り無しの比較は、下記のとおりである。

【実験Ⅱ－１（振動あり）】

① 端部、中央部とも鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみはほとんど生じておらず、目視で界面はく離は確認されていない。

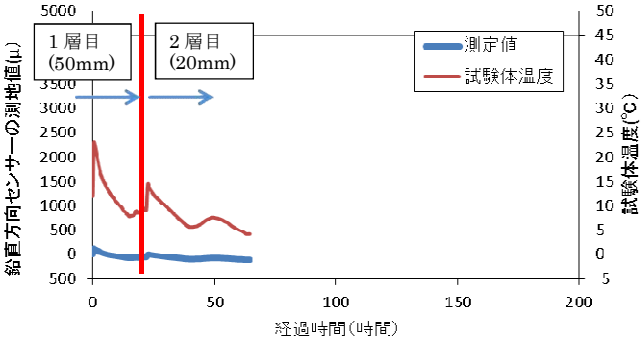


図 6.4.37；測定値(端部：振動有り)

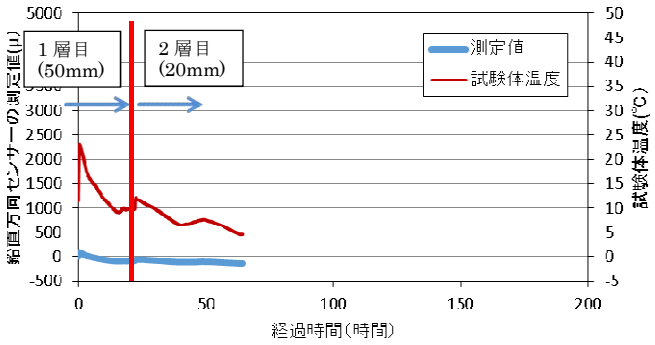


図 6.4.38；測定値(中央部：振動有り)

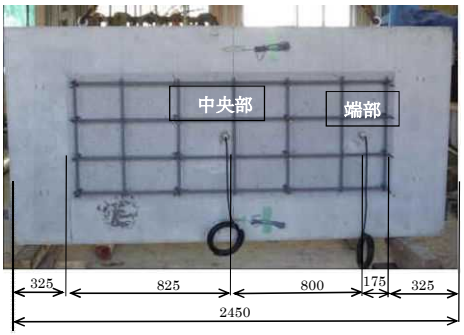


図 6.4.39；測定位置図

振動有りの端部のはく離写真
(隙間なし)

図 6.4.40；端部の界面はく離状況

【実験Ⅱ－２（振動なし）】

① 端部、中央部とも鉛直方向センサー（界面はく離しようとする方向）にひずみはほとんど生じておらず、目視でも界面はく離は確認されていない。

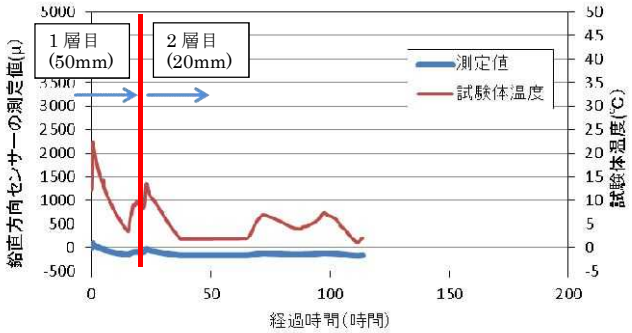


図 6.4.41；測定値(端部：振動無し)

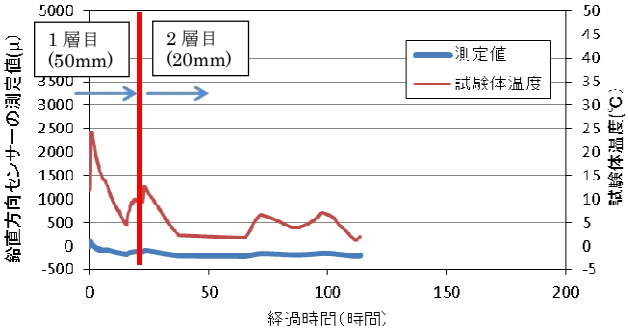


図 6.4.42；測定値(中央部：振動無し)

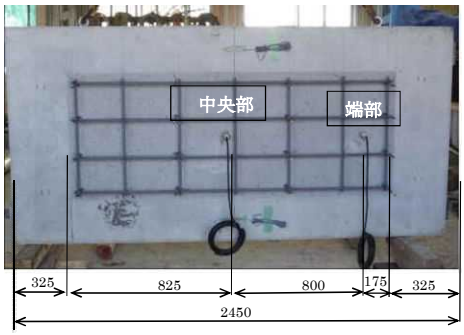


図 6.4.43；測定位置図

振動無しの端部のはく離写真
（隙間なし）

図 6.4.44；端部の界面はく離状況

6.4.2　実験による界面強度（実物大実験 A、B、C）

界面の水平方向の付着強度について、コアを採取し、簡易一面せん断試験により計測を行った。結果は、下記のとおりである。

(1)水平方向の付着強度（せん断強度）の比較

① せん断強度は、吹付厚さやブラスト投射密度、測点による差異はあまり見られない。

② せん断強度は、ばらつきはあるが、1.7N/mm²～4N/mm²程度の範囲となっている。

③ 摩擦係数は 1.1～1.3 程度で、ばらつきは少ない。

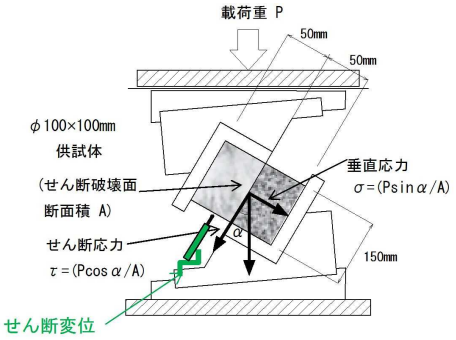


図 6.4.45；簡易一面せん断試験機

表 6.4.1；せん断強度試験結果

	実験A ・吹付厚230mm ・ブラスト投射密度 75kg/m²		実験B ・吹付厚70mm ・ブラスト投射密度 75kg/m²		実験C ・吹付厚230mm ・ブラスト投射密度 150kg/m²	
測点	せん断強度 τ_0 (N/mm²)	摩擦係数 f [傾き]	せん断強度 τ_0 (N/mm²)	摩擦係数 f [傾き]	せん断強度 τ_0 (N/mm²)	摩擦係数 f [傾き]
測点(2)'	3.16	1.18	1.74	1.34	2.48	1.31
測点(3)'	2.18	1.32	3.73	1.11	3.97	1.17
測点(5)'	2.39	1.17	3.23	1.19	3.08	1.25

※せん断強度は、垂直応力0N/mm2におけるせん断応力の推定値

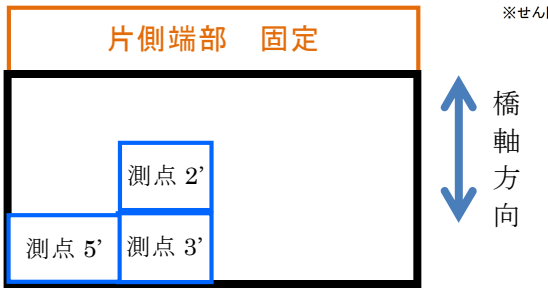
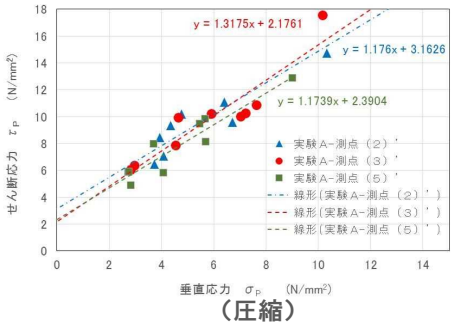


図 6.4.46；コア採取位置図

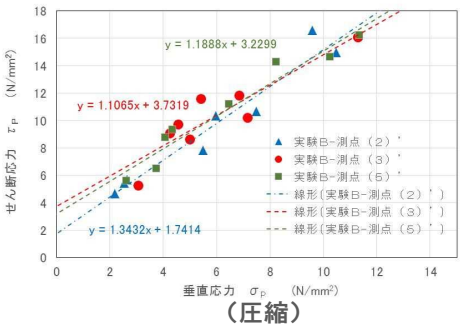
せん断応力と垂直応力との関係は、下記のとおりである。

実験Ａ（吹付厚 230mm、ﾌﾞﾗｽﾄ投射密度　75 kg/m²）



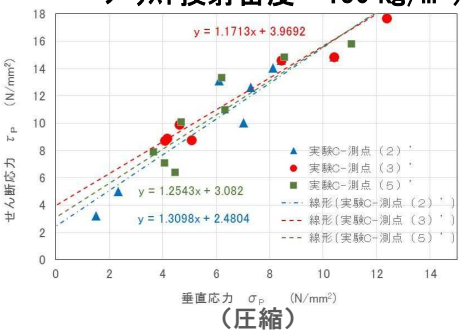
（圧縮）

実験Ｂ（吹付厚 70mm、ﾌﾞﾗｽﾄ投射密度　75 kg



（圧縮）

実験Ｃ（吹付厚 230mm ﾌﾞﾗｽﾄ投射密度　150 kg/m²）



（圧縮）

図 6.4.47；せん断応力と垂直応力の関係

(2)鉛直方向の接着強度の比較

界面の鉛直方向の接着強度について、コアを採取して引張試験を行い計測した。結果は、下記のとおりである。

破断状況が試験体によって異なり、界面の接着強度を示す値として不明な点があるため、試験体自体の引張（破断）強度として比較する。

① 実験 A（吹付厚 230 ㎜）は 0.7～1.0N/㎟、実験 B（吹付厚さ 70 ㎜）は 1.1～1.4N/㎟と、厚さが厚い場合、強度が低い傾向となっている。

② 実験 A（ﾌﾞﾗｽﾄ投射密度 75kg/㎡）は 0.7～1.0N/㎟、実験 C（ﾌﾞﾗｽﾄ投射密度 150kg/㎡）は 1.2～1.5N/㎟と、ﾌﾞﾗｽﾄ投射密度が小さい場合、強度が低い傾向となっている。

表 6.4.2：接着強度試験結果

実験名	吹付け厚さ (mm)	ブラストの投射密度 (kg/㎡)	No.	測点	接着強度 各値 (N/㎟)	接着強度 平均値 (N/㎟)	破断状況
実験A	230	75	1	測点2'	0.70	0.99	A
			2		1.11		AB
			3		1.16		AとAB
			1	測点3'	0.98	0.74	AとAB
			2		0.98		B
			3		0.27		AB
			1	測点5'	0.89	0.73	AとAB
			2		0.91		ABとB
			3		0.41		AB
実験B	70	75	1	測点2'	1.02	1.35	AB
			2		1.36		AB
			3		1.68		AとAB
			1	測点3'	1.38	1.41	AB
			2		1.59		A
			3		1.27		ABとB
			1	測点5'	1.16	1.14	AとAB
			2		1.32		AとAB
			3		0.95		AB
実験C	230	150	1	測点2'	0.89	1.48	B
			2		1.97		B
			3		1.58		B
			1	測点3'	1.27	1.26	B
			2		1.32		B
			3		1.18		B
			1	測点5'	1.52	1.25	AB
			2		1.11		AとAB
			3		1.11		AB

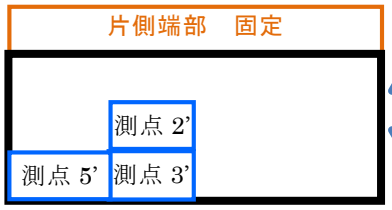


図 6.4.49；コア採取位置図

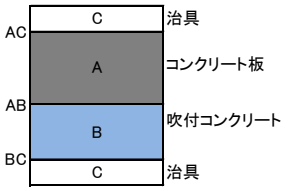


図 6.4.50；コア破断模式図

写真 6.4.1；接着試験状況

写真 6.4.2；破断位置 A（コンクリート板）

写真 6.4.3；破断位置 AB(界面)

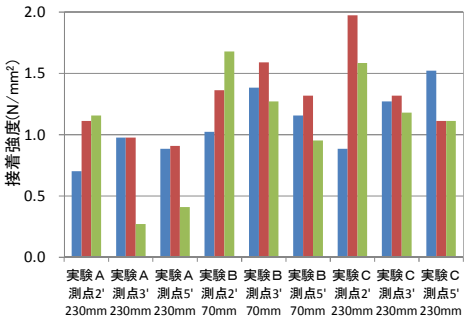


図 6.4.48；実験ケースと測点と強度の関係

写真 6.4.4；破断位置 B(吹付コンクリート)

6.4.3　解析による界面での温度等の影響による挙動

湿度応力解析により吹付厚の違いによる影響を確認した。結果は、下記のとおりである。

1)吹付厚さ 230 ㎜と 70 ㎜の温度変化の比較

① 積層で吹き付けることにより、いずれも前層は次層の温度の影響を受け、いったん低下した温度が上昇する。

② 吹付厚が 230 ㎜の場合の 1 層目は、2 層目吹付厚が 110 ㎜と厚いため 20℃程度まで上昇する。

③ 吹付厚が 70 ㎜の場合の 1 層目は、2 層目吹付厚が 20 ㎜と薄いため温度上昇は 13℃程度である。

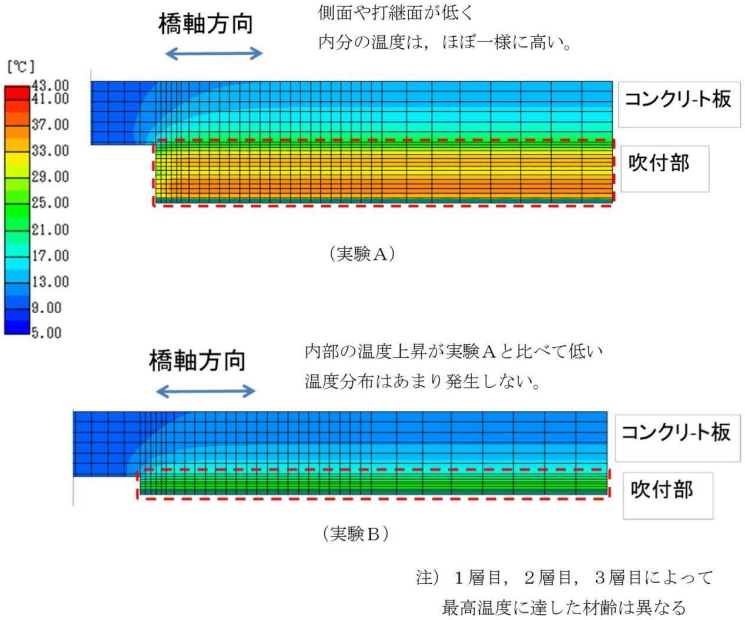
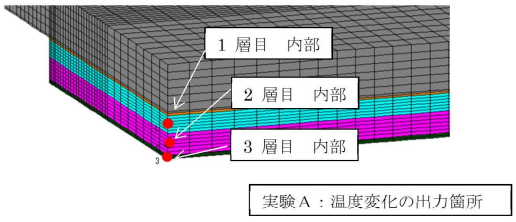
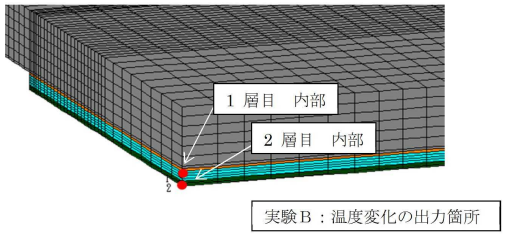
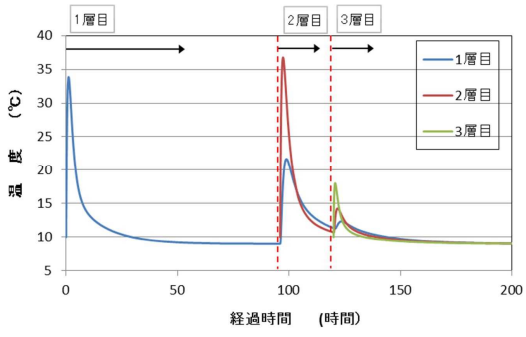


図 6.4.51；上昇した最高温度の断面分布(経験値図)

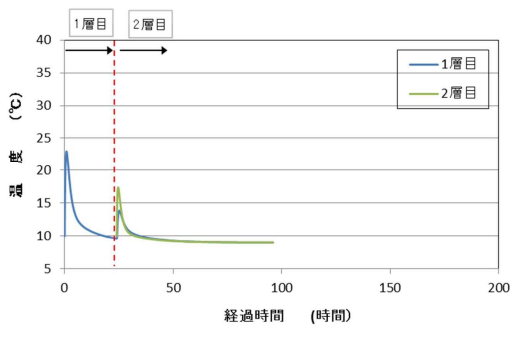






（実験Ａ：吹付厚さ 230㎜　各層の温度変化）

図 6.4.52；各層の温度変化(実験 A)



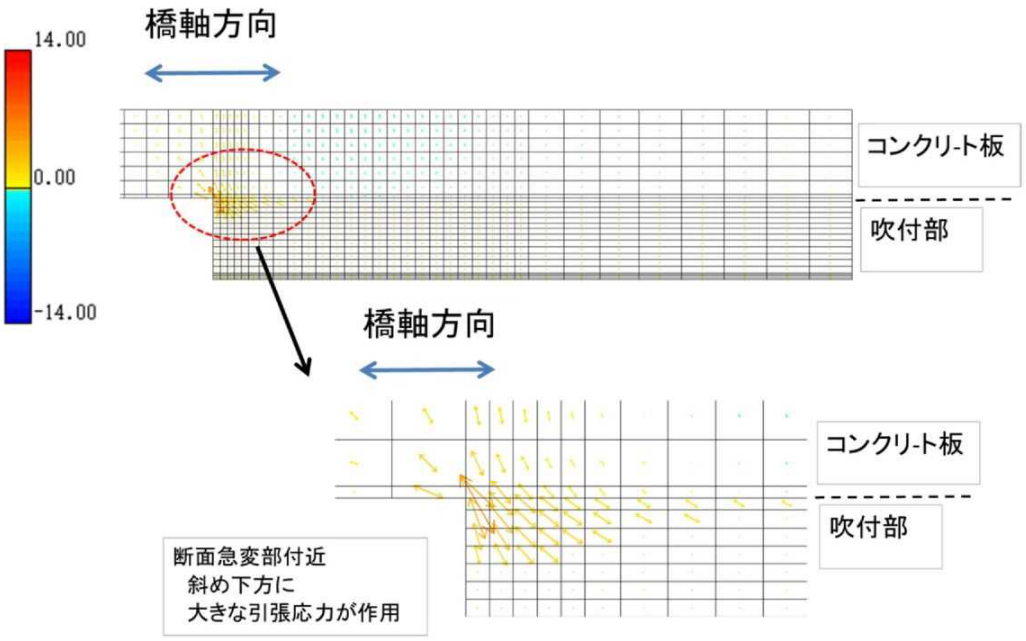
（実験Ｂ：吹付厚さ 70㎜　各層の温度変化）

図 6.4.53；各層の温度変化(実験 B)

湿度応力解析による界面での発生応力の作用方向は、下記のとおりである。

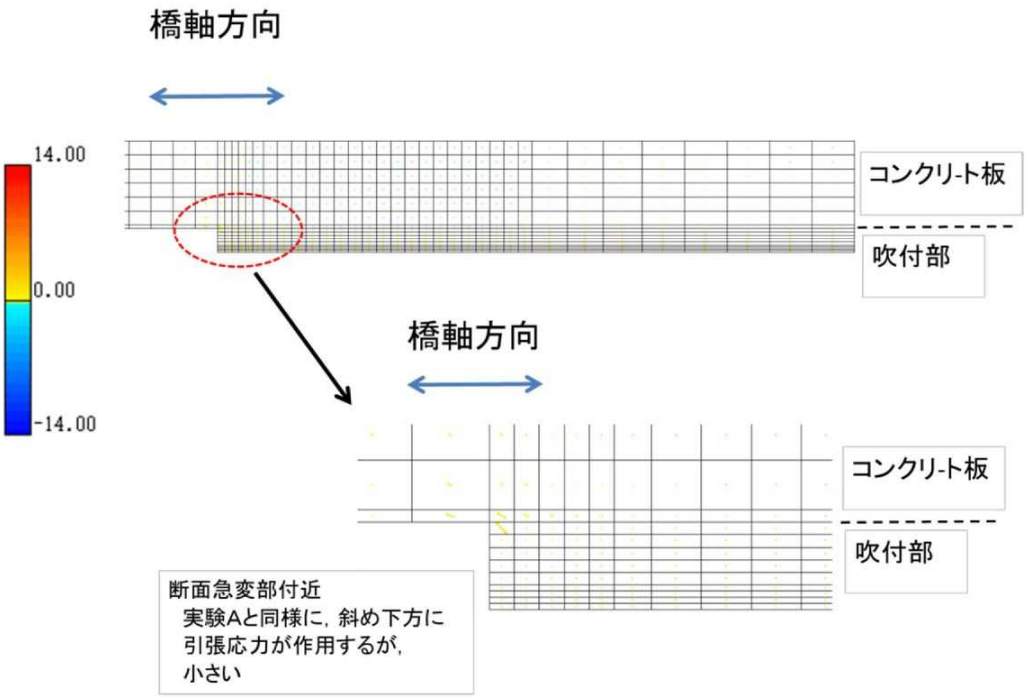
(2) 吹付厚さ 230 ㎜と 70 ㎜の界面での発生応力（主応力）の作用方向の比較

① いずれも断面急変部に斜め下方向に応力が作用しており、鉛直方向：水平方向＝４：１程度である。



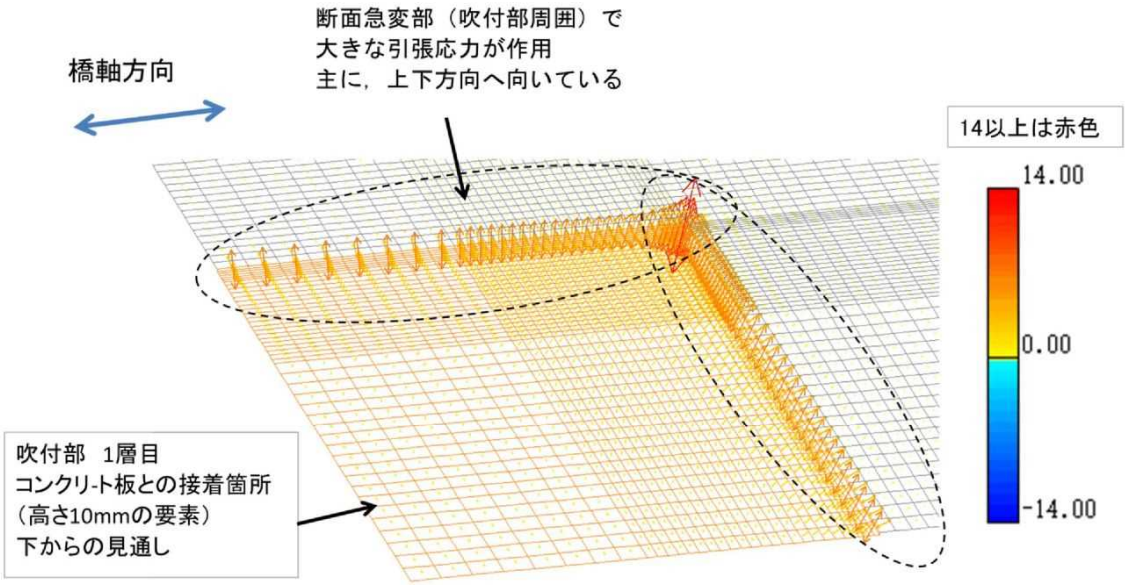
（実験Ａ:3層目吹付後　最大となる80時間後の主応力　向き）

図 6.4.54；主応力の向き（実験 A）



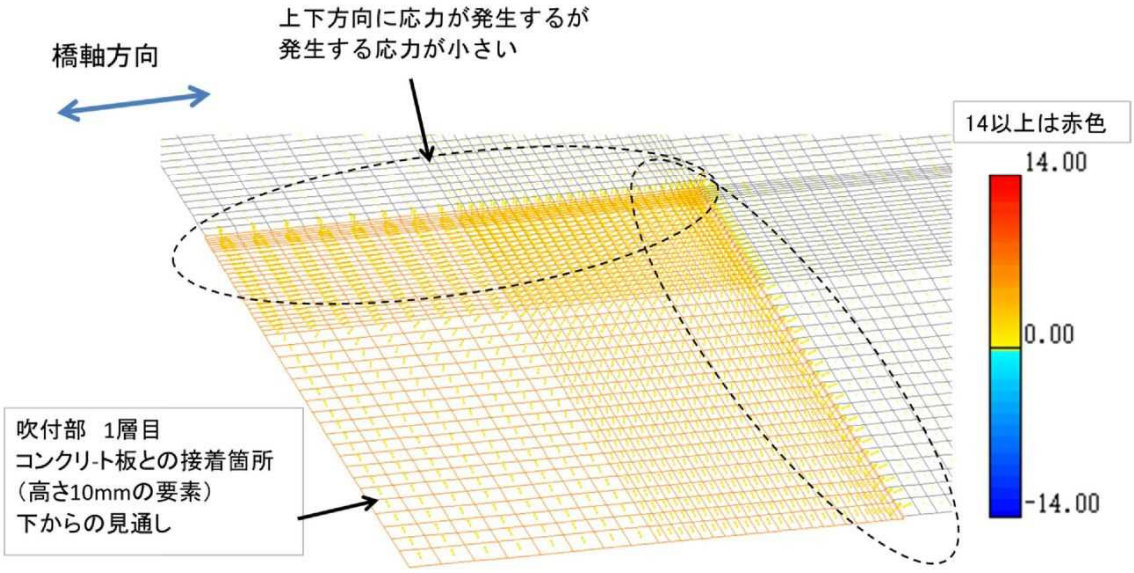
（実験Ｂ:2層目吹付後　最大となる72時間後の主応力　向き）

図 6.4.55；主応力の向き（実験 B）



（実験Ａ：3 層目吹付後　最大となる 80 時間後の主応力　向き）

図 6.4.56；接着箇所の主応力の向き（実験 A）



（実験Ｂ：2 層目吹付後　最大となる 72 時間後の主応力　向き）

図 6.4.57；接着箇所の主応力の向き（実験 B）

3）吹付厚さ 230 ㎜と 70 ㎜の界面での発生応力（主応力）の比較

湿度応力解析による界面の発生応力（主応力）は、下記のとおりである。

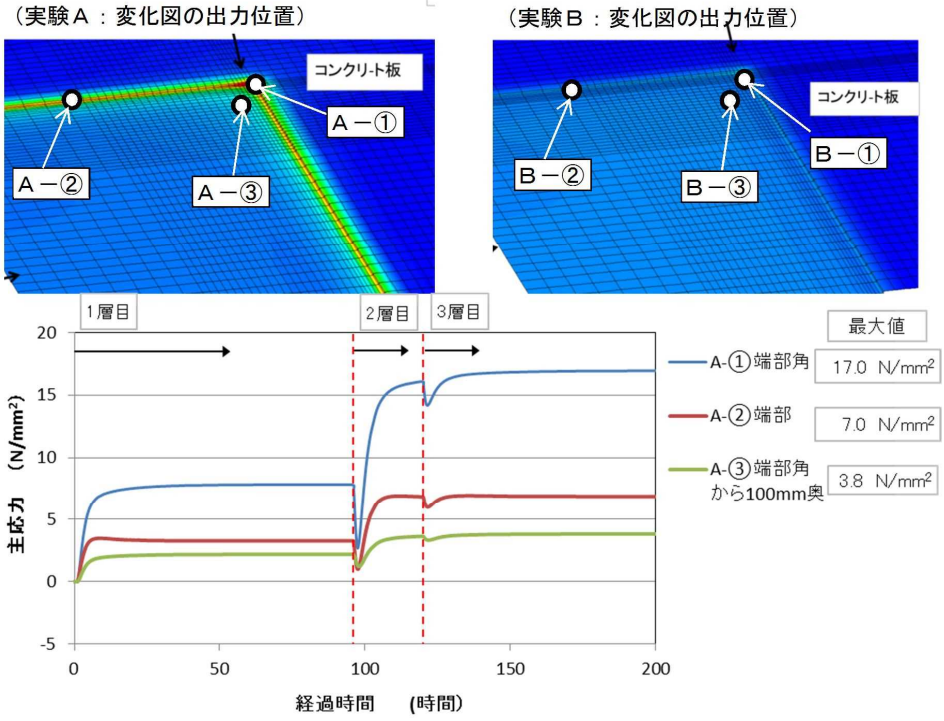
① いずれも 2 層目吹付施工後に応力が大きくなる。
（2 層目の吹付後、1 層目の収縮後に 2 層目の収縮の力が更に加わり、界面に応力が発生）

② いずれも端部角において、発生する応力が最大となる。

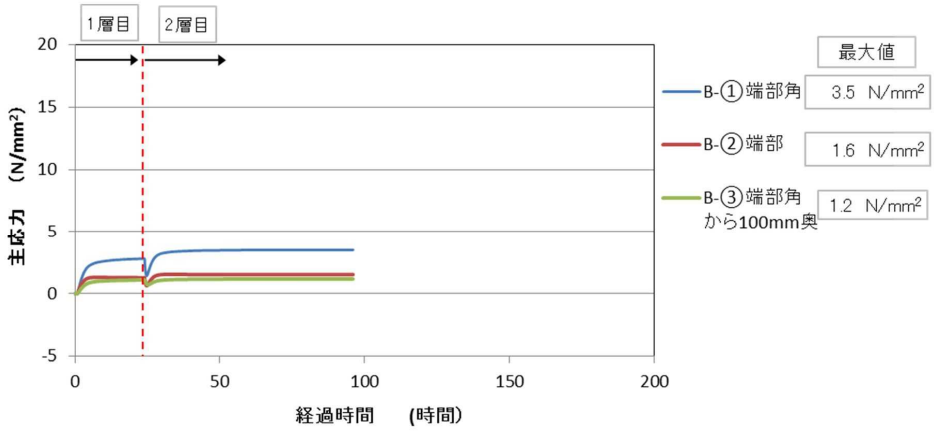
③ いずれも端部角から 100 ㎜内部の位置では緩和される傾向にある。

④ いずれも端部では端部角の半分程度の応力となっている。

⑤ 吹付厚さ 230 ㎜は吹付厚さ 70 ㎜に対して、3～5 倍の応力が発生している。



（実験Ａ：吹付厚さ 230㎜）



（実験Ｂ：吹付厚さ 70㎜）

図 6.4.58；接着箇所の主応力の変化

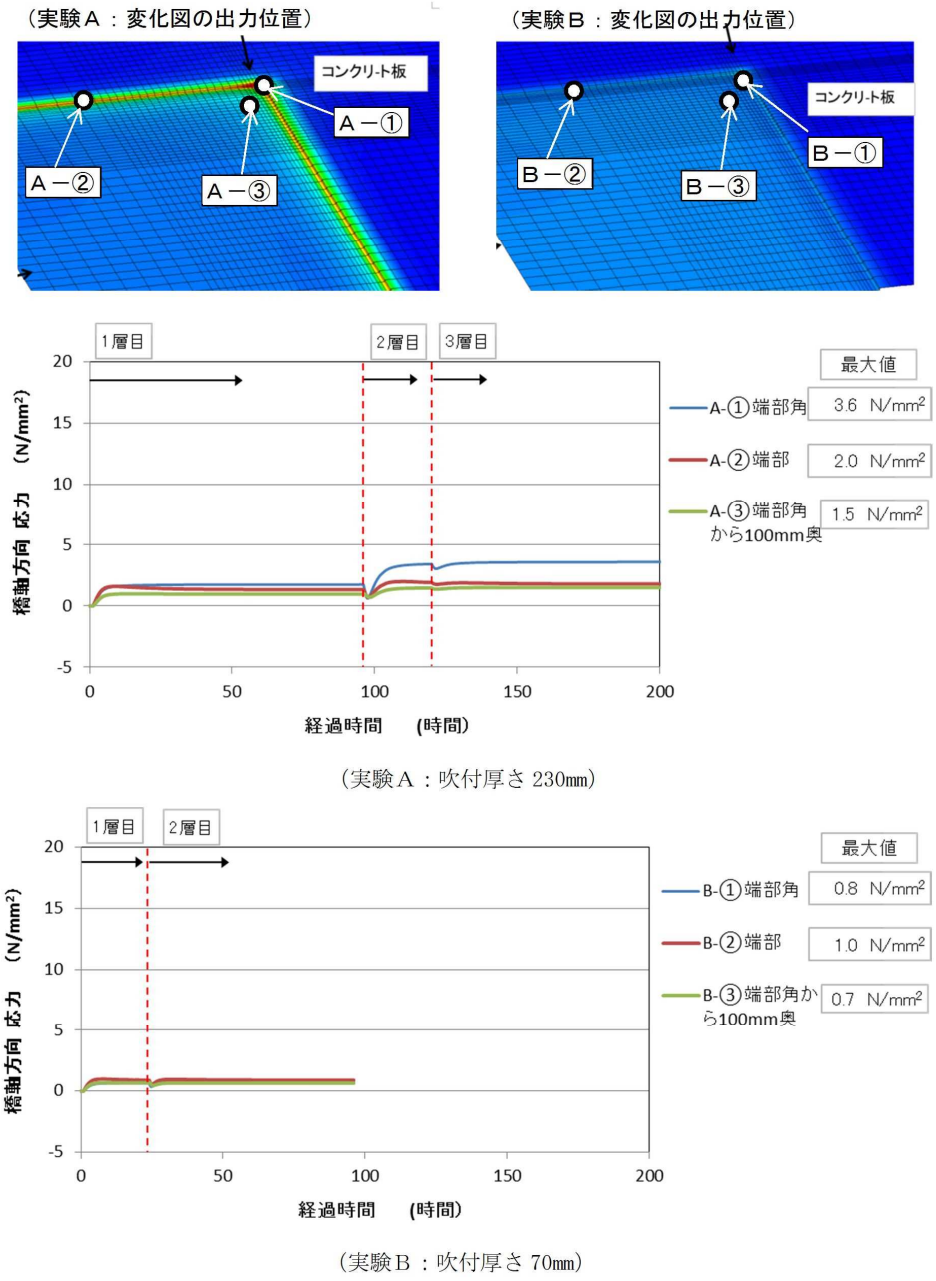


図 6.4.59；接着箇所の橋軸方向（水平方向）の応力変化

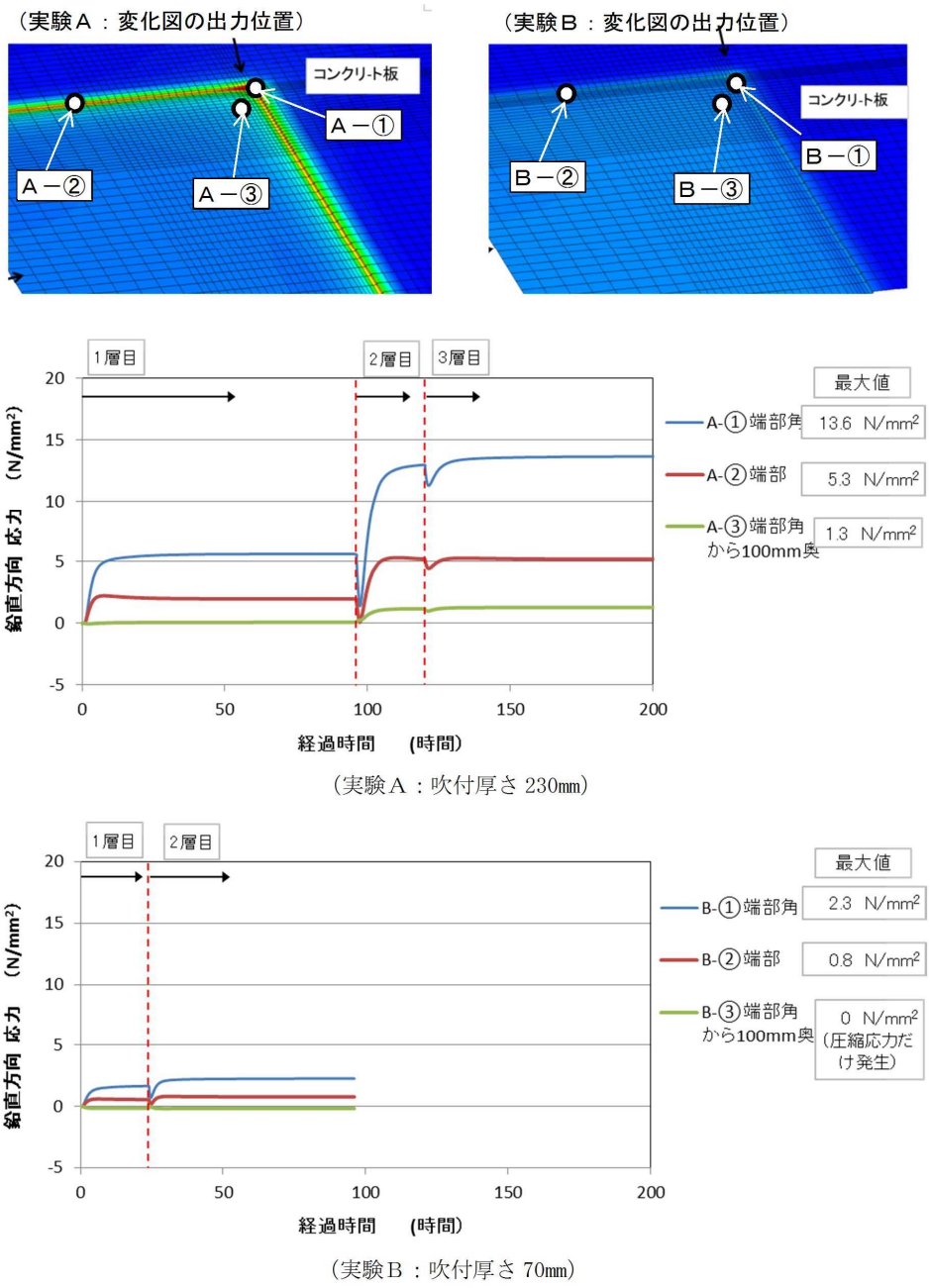


図 6.4.60；接着箇所の鉛直方向の応力変化

4) 温度応力解析による端部の界面の挙動イメージ

温度応力解析による端部の界面の挙動のイメージは、下記のとおりである。

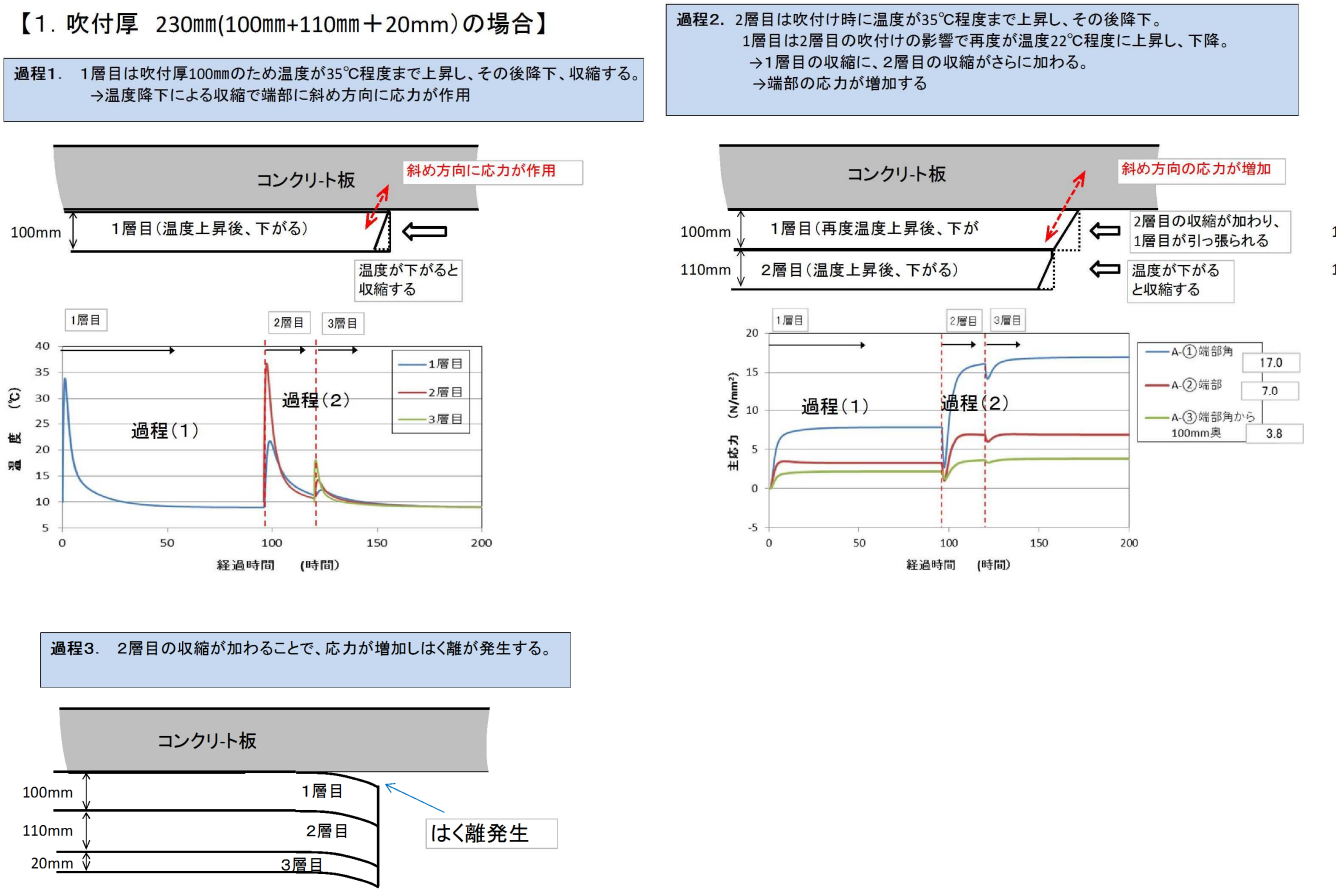


図 6.4.61；温度応力解析による端部の界面の挙動のイメージ(吹付厚 230mm)

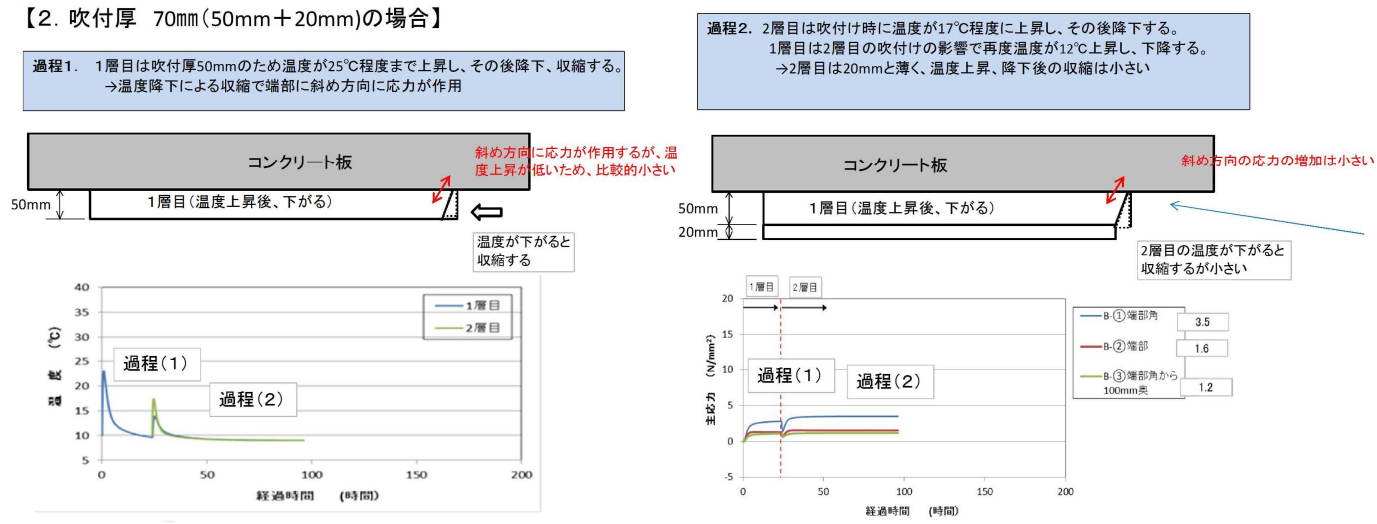


図 6.4.62；温度応力解析による端部の界面の挙動のイメージ(吹付厚 70mm)

6.4.4　実験による界面強度と解析による発生応力

実物大実験でコア採取した試験体の界面の強度と、温度応力解析により得られる界面で発生する応力の関係は、以下のとおりである。

解析による界面の発生応力と実験での界面の強度を比べると、鉛直および水平方向とも吹付厚 230 ㎜の場合、発生応力が界面の強度を上回っている傾向がある一方、吹付厚 70㎜ の場合は、界面の強度が概ね上回っている傾向がみられる。

表 6.4.3；実験による界面強度と解析による発生応力　（N/mm^2）

方向	区　分	吹付厚さ 230 ㎜			吹付厚さ 70 ㎜		
鉛直方向	発生応力※	端部	端部角から 100㎜ 奥	端部角	端部	端部角から 100㎜ 奥	端部角
		5.3	1.3	13.6	0.8	0（圧縮のみ）	2.3
	界面の強度（接着力）試験体の引張破断強度	0.73～0.99			1.14～1.41		
水平方向	発生応力※	端部	端部角から 100㎜ 奥	端部角	端部	端部角から 100㎜ 奥	端部角
		2.0	1.5	3.6	1.0	0.7	0.8
	界面の強度（付着力）	2.18～3.16			1.74～3.73		

数値には、実験条件や材料等によるばらつきの他、解析における各種物性値の外挿による誤差が含まれる。

※：発生応力の値の位置は図 6.4.63 参照

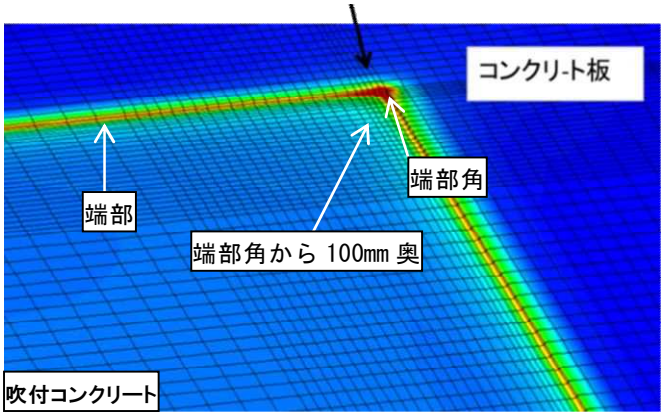


図 6.4.63；発生応力の出力位置図

6.4.5　実験による界面強度と解析による発生応力

1）吹付厚さ 230 ㎜で断面急変部有り無しの場合の比較

① 断面急変部がある場合、水平方向にずれようとするせん断力が 0.3N/㎟ 程度発生

② 断面急変部がない場合、水平方向にずれようとするせん断力は小さい。

図 6.4.64 は、吹付厚さ 230 ㎜で断面急変部有り無しの場合の比較を示す。

2)吹付厚さ 230 ㎜と 70 ㎜の場合の断面急変部で発生応力の比較

① 吹付厚さ 230 ㎜の場合 0.3N/㎟程度、70 ㎜の場合 0.35N/㎟程度と差は少ない。

図 6.4.65 は吹付厚さ 230 ㎜と 70 ㎜の場合の断面急変部の発生応力の比較を示す。

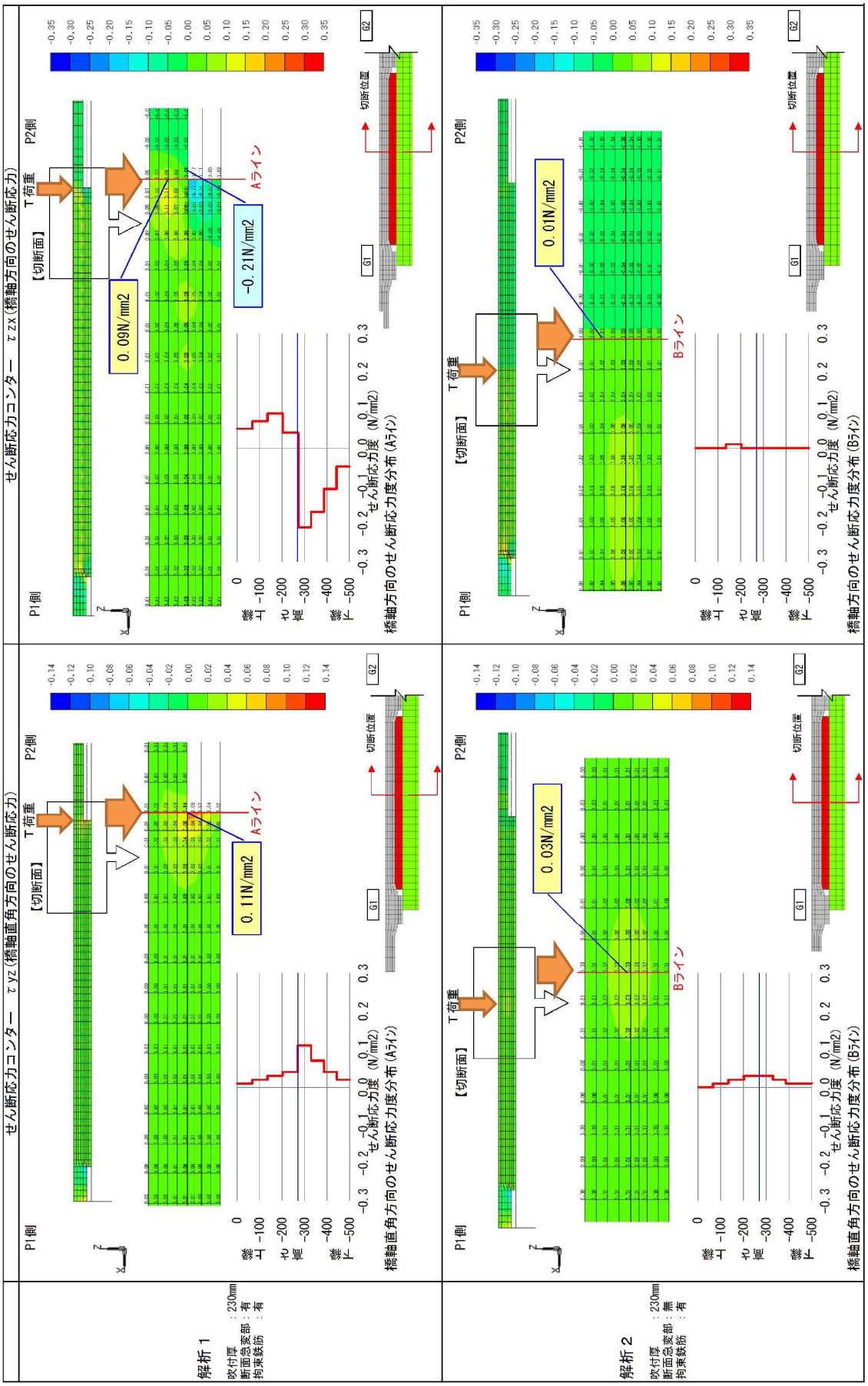


図 6.4.64；吹付厚 230mm の断面急変部有り無しの解析結果

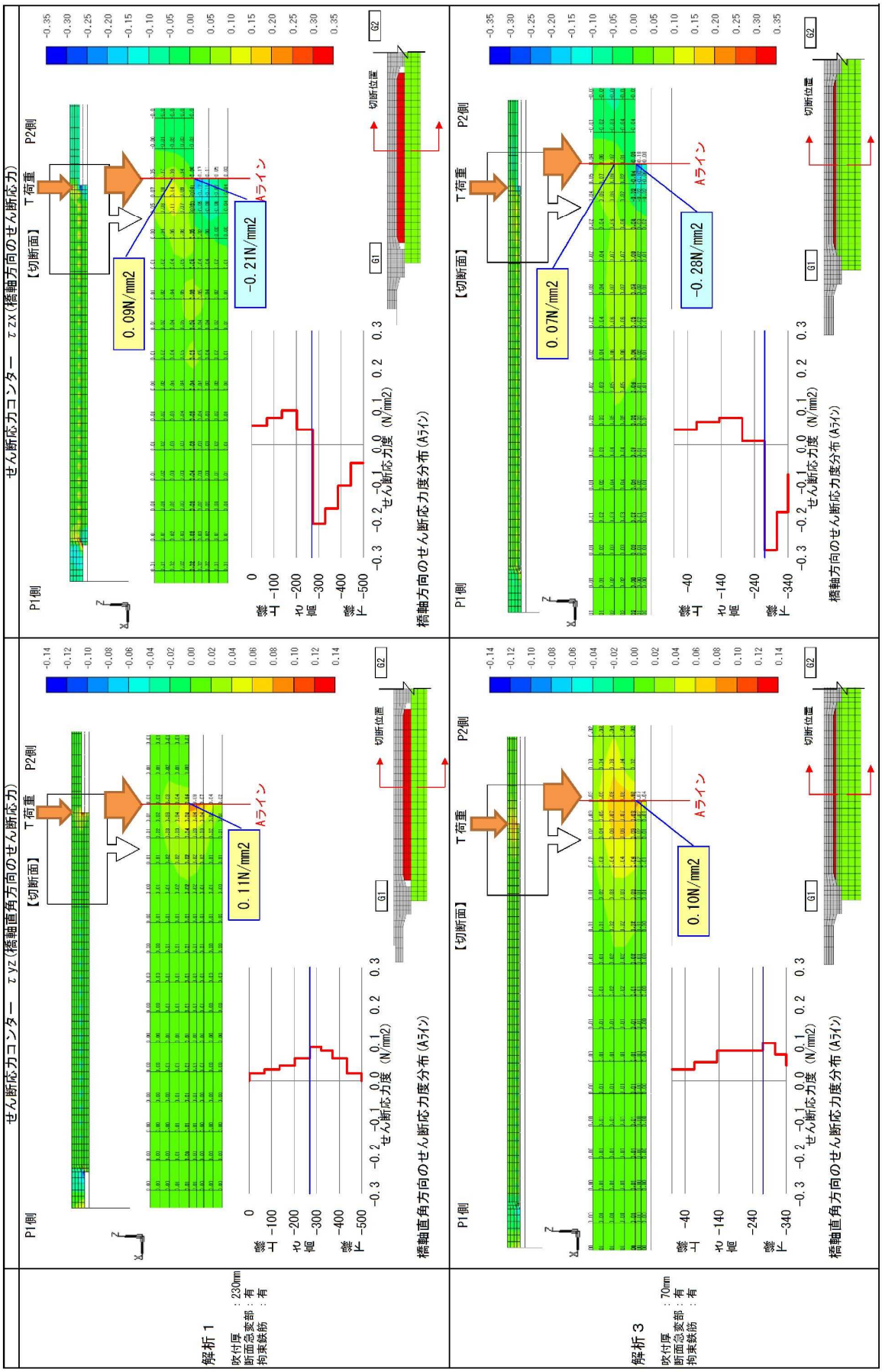


図 6.4.65；吹付厚 230mm と 70mm の断面急変部の解析結果

6.4.6 実験、解析結果の考察

実物大実験、振動実験および解析結果より下記のとおり考察する。

(1) 吹付厚 230 ㎜の場合、吹付施工後の初期の段階で、既設コンクリート床版と吹付コンクリート端部との界面にはく離が生じる可能性が高い。

(2) 吹付厚 230 ㎜の場合、1 層目の吹付後（厚さ 100 ㎜）の温度降下時の収縮により界面に応力が生じ、2 層目（110 ㎜）の吹付け後の収縮による影響が更に加わることで、界面のひずみや発生する応力は、2 層目の吹付施工以降、大きくなる傾向がある。

(3) 吹付厚が 230 ㎜の場合、コンクリート硬化時の振動は、端部の界面のはく離に影響を与えることが推定される。

(4) 吹付厚 70 ㎜の場合、吹付厚が 1 層目 50㎜、2 層目 20㎜ と薄いため上昇温度が低く、温度降下時の収縮による影響も小さいため、界面にはく離が生じていないものと推定される。

(5) 床版下面の断面急変部では、輪荷重の影響で水平方向にずれようとするせん断力が生じる。(2)(3)やこの影響により、施工直後または早い時期に端部の界面はく離が生じた可能性がある。実橋では輪荷重が繰り返し作用し、また乾燥収縮や温度変化の影響もあり、初期の段階で端部に生じた界面はく離が内部に進展する可能性がある。

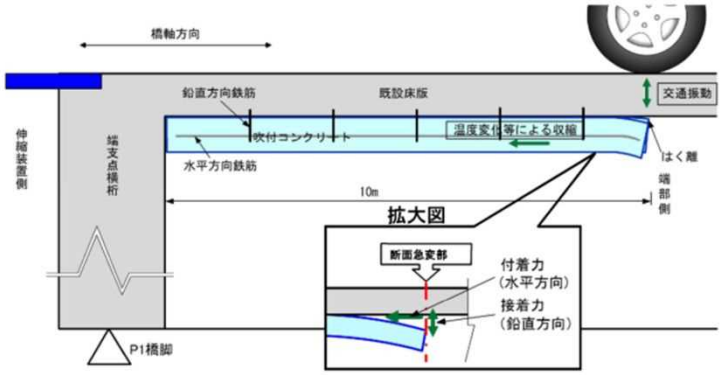
(6)既設床版にアンカーにより定着した鉄筋は、界面はく離が生じて進展しようとする場合に抵抗する一定の効果があると考えられる。

下線部：実験、解析で新たに確認できた内容

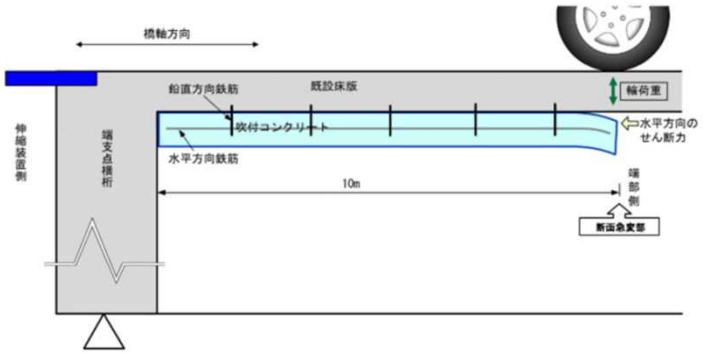
6.5　実験および解析結果に基づく落下にいたるまでの事象の推定

検証として実施した実験及び解析結果に基づき、次ページ図 6.5.1 に示すとおり、吹付コンクリート落下に至るまでの事象を推定した。

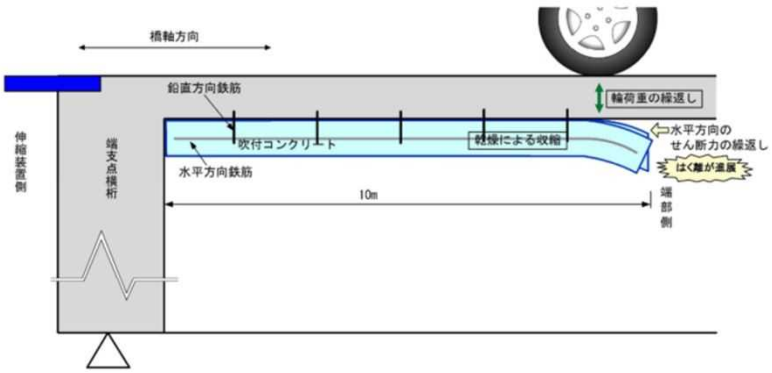
1. 吹付厚が 230mm と暑いため、コンクリートの硬化時の温度変化等による収縮および交通振動の影響で、吹付端部の界面で鉛直方向の接着力および水平方向の付着力が低下し、吹付端部の界面ではく離が発生



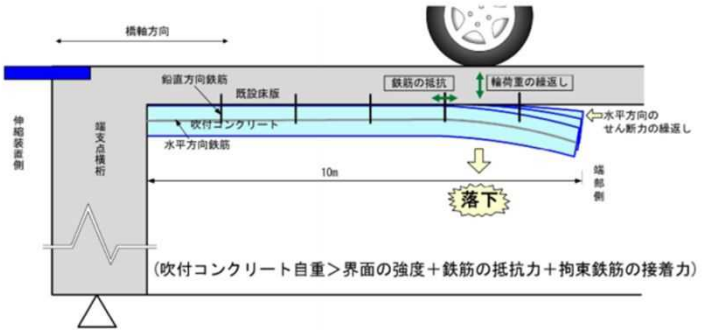
2. 増厚したことで端部が断面急変部となり、輪荷重（交通車輌）の載荷により水平方向にずれようとする応力集中が発生



3. 輪荷重により水平方向にずれようとするせん断力の繰り返しや、コンクリートの乾燥収縮の影響等で端部に発生した界面はく離が内部に進展



4. 界面はく離が進展する際、既設床版にアンカーにより定着した鉄筋は、これに抵抗する一定の効果はあるが、材料や界面の強度の不均等性もあり、最終的にコンクリートの自重を支えきれず落下



7.　業務実施経緯の調査結果とプロセスの確認

7.1　設計

技術基準の適用範囲を超える場合、吹付コンクリートに対する下記の影響が明確でなかった。

・吹付厚が 230㎜ と厚いことによる、コンクリートの硬化時の温度変化等による収縮の影響
・コンクリートの硬化時の交通振動の影響
・増厚したことで端部が断面急変部となり、輪荷重（交通車両）の載荷による応力集中が繰り返し発生する影響

そのため、端部において施工直後または打設後の早い段階に界面はく離が発生すること、およびこれが進展していくことを予測できなかった。

7.2　施工

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）を参考に、施工前試験内容について検討し実施したが、施工当時は吹付部が厚いことにより端部に界面はく離が発生するという知見が無く、吹付規模、層数、層厚、形状が大きく影響することに着目できなかった。

結果として、施工前試験の内容が、実施工で発生する問題点を十分に反映させたものとなっていなかった。（表 7.2.1「施工前試験と検証実験の比較」に示す）

なお、当時は下面増厚工法に関する具体的な施工管理基準についても定められておらず、施工管理項目を検討し、施工前試験によって確認された結果に基づき施工管理を行った。

第二東名高速道路刈谷高架橋環境対策工事にて行った施工管理項目について、現在定められている施工管理基準の内容と比較した結果、定められていない項目があった。（表 7.2.2～表 7.2.3「下面増厚施工管理実施状況」に示す）

7.3　維持管理

吹付厚が厚いことにより端部に界面はく離が生じるという知見がなく、設計・施工において点検のしやすい構造としていなかったので、端部に注目した点検ができていなかった。

脆性的な落下が早期に発生することを想定していなかった。なお、第三者等に影響が及ばない場所であったことから、安全性向上３ヵ年計画内に対策を完了させる計画で、工事発注に向けて準備中であった。

7.4　プロセス

設計・施工基準にない、又はその適用基準を超える工法等を採用する際の審査と維持管理段階の評価において、どのような内容をどのような仕組みで行うか、明確に定められていなかった。

表-7.2.1；施工前試験と検証実験の比較

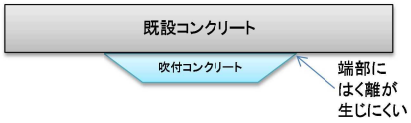
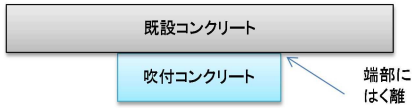
	施工前試験	検証実験	
		実物大実験	振動実験
吹付規模	1.0m X 1.0m	3.6m X 6.0m	1.8m X 0.7m
吹付厚	120mm 1層のみ施工	230mm 1層目：100mm 2層目：110mm 3層目： 20mm	230mm 1層目：100mm 2層目：110mm 3層目： 20mm
吹付端部形状	既設コンクリートにすり付け（台形状） 	鉛直 	鉛直 
計測内容	①ひび割れの有無 ②界面の接着強度 ③圧縮強度 ④打継目処理状況	①発熱温度：コンクリートの温度履歴 ②界面の挙動：鉛直センサーの動き ③吹付コンクリートと試験体の水平ひずみ ④鉄筋のひずみ：鉄筋の水平方向の拘束効果 ⑤界面の付着強度 ⑥界面の接着強度	①発熱温度：コンクリートの温度履歴 ②界面の挙動：鉛直センサーの動き ③界面の接着強度 ④界面の付着強度 ⑤圧縮強度 ⑥鉄筋部の白すじの発生状況
施工写真			
備考	今回の実証実験は、端部の界面の挙動（はく離）も着眼点とした試験内容に対して、実橋の施工前試験は、界面の接着強度と全体のひび割れなどを主眼としており、端部にはく離が生じにくい試験条件となっている。		

表 7.2.2；下面増厚施工管理実施状況(1/2)

上郷大成高架橋の下面増厚工については、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)により施工を行った。当時、下面増厚工法に関する具体的な施工管理基準については定められておらず、NEXCO監督員と請負人にて検討した項目について施工前試験を行い、確認された結果に基づき施工管理を行った。 現在定められている構造物施工管理要領等の基準を用い、施工当時の施工管理実施状況と比較する。

◆適用できると思われる現行の基準◆
SFRC工 ・・・・・ 構造物施工管理要領 (平成21年7月)
あと施工アンカー工 ・・・・・ 高速道路付属物の二重の安全対策設計・施工暫定要領 平成26年 7月

凡例: ○ ・・・ 有り
○※ ・・・ ヒアリングにより実施を確認
× ・・・ 無し
－ ・・・ 無し(立会義務のないもの)

1. 断面修復 出典:構造物施工管理要領 (平成21年7月)

●基準試験 ・・・・・ 施工前に材料や施工設備の性能を確認し、計画された断面修復が施工可能であることを確認する(性能証明書の照査により省略できる)

項目	試験項目	試験の頻度	監督員の立会	基準値	報告書の様式(記載内容)	記載されている確認内容等	工事での実施状況 監督員の立会・記録	請負人の検査	備考
材料	コンクリートとの付着性	実施工前(試験施工)	○	1．5N/㎟以上	(様式の規定なし)	・性能・品質基準は十分確立されていない ・環境や施工条件、過去の施工実績等を考慮し、試験成績表による検討や室内試験を行い、当該工事に適したものであるか否かを判断する必要がある	○	○	施工前試験を実施 請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
設備・施工	圧縮強度		○	設計基準強度以上		・必要に応じて試験施工を実施し、(中略)適用可能であることを確認するとともに、得られた結果を施工上、管理上の留意事項として反映させるとよい ・試験施工においては、当該工事における留意事項、チェックポイントや品質の確認方法等を検討して施工計画に反映させ、実施工においてはこれを遵守することにより、工事の品質を確保するように努めるとよい	○	○	施工前試験を実施 請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
	鉄筋背面への充填性		○	有害な空隙が無いこと		・試験施工における試験項目等については慎重に計画する必要がある ・試験方法は定期管理試験と同じ	×	×	施工前試験ではアンカーの設置のみ(配筋を行わず吹付実施)

●定期管理試験 ・・・・・ 施工が長期に及ぶ場合や変更を伴う場合には、定期的に使用材料や設備が所定の性能・品質を有していることを確認する

項目	試験項目	試験の頻度	監督員の立会	基準値	報告書の様式(記載内容)	確認内容等	監督員の立会・記録	請負人の検査	備考
材料	コンクリートとの付着性	施工単位ごと	○	1．5N/㎟以上	(様式の規定なし)	JIS A 6909 試験法432	×	×	引張試験を実施せず、ブラスト状況の施工前試験状況との比較を実施
	圧縮強度		○	設計基準強度以上		JIS R 5201 試験法432	○	○	請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
設備・施工	設備の定期試験値との比較		○	－		－	×	×	

●日常管理試験 ・・・・・ 施工した構造物が所定の性能を有することを確認し、日々施工される断面修復部が計画どおりの品質で施工されていることを確認する

項目	試験項目	試験の頻度	監督員の立会	基準値	報告書の様式(記載内容)	確認内容等	監督員の立会・記録	請負人の検査	備考
使用材料の確認	納品書や性能証明書等の確認	施工日ごと	○	性能証明書に記載の材料と一致していること	(様式の規定なし)	JIS JSCE 試験法432 など	○	○	請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
施工条件	気温、湿度等、性能に影響する項目			－		－	×	×	
材料使用量	材料の使用量確認		○	標準使用量範囲内であること		単位施工数量あたりの材料使用量	×	○※	

表 7.2.3；下面増厚施工管理実施状況(2/2)

2. あと施工アンカー　出典：高速道路付属物の二重の安全対策設計・施工暫定要領 平成26年 7月

●基準試験　・・・・・ 施工に先立ちあと施工アンカー製品評価認証書を照査し、施工計画書に示された製品と一致することを確認する、施工開始前に行う試験である

項目	試験方法	頻度	監督員の立会	規格値	報告書の様式（記載内容）		確認内容等	工事での実施状況（施工前試験を実施） 監督員の立会・記録	請負人の検査	備考
引張耐力	引張試験	1）工事開始前に1回 2）製品種別ごとに1回 1回あたり1本以上のアンカーで実施する	○	金属系拡張アンカーの製品特性から求まる引張耐力T以上 変位に異常がないこと	管理様式－1	①母材強度（N/㎟）	・ねじ径が9㎜未満の製品は、製造者の品質規格を確認する ・製品の入荷ごとに品質規格証明書を確認し、あと施工アンカー製品評価認証書に記載された製品と一致するか確認する	－	×	
						②削孔径(㎜)		－	○※	
						③削孔長(㎜)		－	○※	
						④埋込長(㎜)		－	○※	
						⑤最大荷重(kN)	・引張耐力T(N)は、鋼材の降伏点強度から求まる引張耐力T_1(N)と、コンクリートのコーン状破壊から求まる引張耐力T_2(N)のうち、いずれか小さい方とする	○	○	請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
						⑥荷重・変位曲線		×	×	

●定期管理試験　・・・・・ 施工された金属系拡張アンカーの品質を確認するものであり、定期的に抜取りを実施する試験である

項目	試験方法	頻度	監督員の立会	規格値	報告書の様式（記載内容）		確認内容等	監督員の立会・記録	請負人の検査	備考
許容引張力	引張試験	製品種別ごとに1回／300本以上、もしくは同一施工エリアにつき1回以上で頻度が多い方とする 1回あたり3本以上のアンカーで実施する	○	金属系拡張アンカーの製品特性から求まる許容引張力（Ta）以上 変位に異常がないこと	管理様式－1	①母材強度（N/㎟）	・ねじ径が9㎜未満の製品は、定期管理試験を省略できるものとする	－	×	
						②削孔径(㎜)		－	○※	
						③削孔長(㎜)		－	○※	
						④埋込長(㎜)		－	○※	
						⑤最大荷重(kN)		○	○	請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
						⑥荷重・変位曲線		×	×	

●日常管理試験　・・・・・ 施工された金属系拡張アンカーの品質を確認するもの

項目	試験方法	頻度	監督員の立会	規格値	報告書の様式（記載内容）		確認内容等	監督員の立会・記録	請負人の検査	備考
材料確認	品質規格証明書との整合	材料の納入ごと	－	品質規格証明書の記載事項と一致すること	－		材料検収報告　（写真等による）	○	○	請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
施工条件の確認	管理様式による項目の確認	施工日毎	－	異常がないこと	管理様式－2	①施工場所	①施工場所に施工の支障となるものがない	－	○※	
						②墨出し位置	②施工に支障となるものが無いよう墨出しを行う	－	○※	
						③穿孔ドリル装置	③使用するアンカーに適した機械を用いる	－	○※	
						④穿孔ドリル径の確認	④アンカーに適合するドリルビットを選定して確認する	－	○※	
						⑤穿孔ドリル長の確認	⑤ドリルビットに穿孔深さを表示して確認する	－	○※	
						⑥穿孔後の清掃	⑥集塵機、ブロアー、ブラシで適切に切粉を除去する	－	○※	
						⑦穿孔径、深さの測定	⑦穿孔径、深さを測定して規定値であることを確認する	－	○※	
						⑧アンカーの打込み	⑧専用打込み棒を用いてハンマにて適切に打込みする	－	○※	
						⑨打ち込み完了の確認	⑨アンカー、周辺コンクリートに異常がないことを確認する	○	○	請負人の検査はNEXCO立会と兼ねて実施
出来形	監理様式による確認	全数	－	許容誤差内であること	管理様式－3	①配置等の図示		○	○	
						②アンカー番号		○	○	
						③削孔径(㎜)		－	○※	
						④埋込み深さ(㎜)（設計値／実測値）		－	○※	

8. 再発防止策

8.1 設計、施工、維持管理

今回の事象について、落下にいたるまでの事象の推定と業務の実施内容の状況調査を行い、再発防止策を整理した。

条件が整わない場合には、吹付厚が 70mm を超える下面増厚工法は採用すべきではない。

今回のような構造においては、材料や部材強度の不均等性および荷重作用の不均一性、温度応力や乾燥収縮などに起因する応力作用が局所破壊を発生させ、これが経年的に進行して落下に至る可能性のあることを認識し、単なる安全率を機械的に用いることなく、所定の安全性を確保する。

構造部材あるいは非構造部材を設計・施工する場合は、部材自身やその部位の落下の可能性を検討し、必要に応じて二重の安全対策などを含む冗長性を有する構造とする。また、部材や接続部の耐久性に十分配慮するとともに、点検しやすい構造とする。

8.2 プロセス

現在では、安全性向上３ヵ年計画の取組みの一環として、設計・施工基準に無い新技術や新工法等を採用する際、設計内容、適用範囲、点検方法、維持管理段階での評価方法、補修・取換方法等を記載したカルテを審査内容として定め、それにより審査を行い採用する仕組みを定めている。

今回の事象を受け、更なる改善策を以下の方針で検討していくことを NEXCO より報告を受けた。

・審査の適用範囲について、より明確にするため、「設計・施工基準にない、又はその適用基準を超える工法等」とし、その採用時における体制を強化するとともに、維持管理段階での評価をより適切に行うため、審査時と同じ体制で継続して評価も行う。なお、審査に当たっては、必要に応じて学識経験者等による委員会を設け審議を行う。

9　調査検討委員会の総括

第 3 回の委員会を行い、今回の事象に関して原因究明と再発防止に関して審議した。

原因究明については、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にいたるまでの事象を実験・解析によって詳細な知見を得ることにより、力学的に妥当な検証を行った。

再発防止について、業務の実施内容（設計、施工、維持管理の経緯）の状況を調査の上、以下の点が重要であると整理した。

○今回のような構造においては、材料や部材強度の不均等性および荷重作用の不均一性、温度応力や乾燥収縮などに起因する応力作用が局所破壊を発生させ、これが経年的に進行して落下に至る可能性のあることを認識し、単なる安全率を機械的に確保するのみならず、所定の安全性を確保する。

○構造部材あるいは非構造部材を設計・施工する場合は、部材自身やその部位の落下の可能性を検討し、必要に応じて二重の安全対策などの冗長性を有する構造とする。また、部材や接続部の耐久性に十分配慮するとともに、点検しやすい構造とする。

《参考》　議事要旨

1.　第 1 回委員会の議事要旨

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、付着と機械式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、厚い

・　高強度のコンクリートへ、鉄筋を吊るための仮設として金属系アンカーを用いている

2.　第 2 回委員会の議事要旨

現地調査より、委員会として下記のとおり事実関係を確認した。

・　当該箇所の既設 PC 床版下面のブラスト処理は、目視調査結果から施工前試験にて設定した処理レベルと同程度であった。

・　当該個所の既設 PC 床版および吹付コンクリートの圧縮強度は、強度試験の結果から設計値以上の強度を有していた。

・　界面ではく離・落下した吹付コンクリートは、中性化深さの測定結果から、吹付コンクリートの端部側（支間中央側）で進行している傾向がみられた。

・　上空に残る吹付コンクリートにおいて下面から衝撃弾性波試験を行った結果、吹付コンクリートの端部側（支間中央側）が界面ではく離している傾向がみられた。

現地調査結果も踏まえ、下記のような討議を行った。

・　吹付厚が厚いことによるコンクリート収縮による体積変化が影響した可能性がある。

・　超速硬コンクリートの場合、若材齢の挙動について十分検証すること。

・　吹付コンクリート硬化時に床版の交通振動が影響した可能性がある。

今後の解析および実験を行って検証し、メカニズムの推定を進めることを委員会として確認した。

3.　第 3 回委員会の議事要旨

第 3 回の委員会を行い、今回の事象に関して原因究明と再発防止に関して審議した。

原因究明については、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にいたるまでの事象を実験・解析によって詳細な知見を得ることにより、力学的に妥当な検証を行い、以下のとおり推定した。

① 付厚が 230㎜ と厚いため、コンクリートの硬化時の温度変化等による収縮およびの交通振動の影響で、吹付け端部の界面で鉛直方向の接着力および水平方向の付着力が低下し、界面はく離が発生

②増厚したことで端部が断面急変部となり、輪荷重（交通車両）の載荷により水平方向にずれようとする応力集中が発生

③輪荷重による水平方向にずれようとするせん断力の繰り返しや、コンクリートの乾燥収縮の影響等で端部に発生した吹付端部の界面のはく離が内部に進展

④界面のはく離が進展する際、既設床版にアンカー定着した鉄筋はこれに抵抗する一定の効果はあるが、材料や界面の強度の不均等性もあり、最終的にコンクリートの自重を支えきれず落下。

再発防止について、業務の実施内容（設計、施工、維持管理の経緯）の状況を調査の上、以下の点が重要であると整理した。

○今回のような構造においては、材料や部材強度の不均等性および荷重作用の不均一性、温度応力や乾燥収縮などに起因する応力作用が局所破壊を発生させ、これが経年的に進行して落下に至る可能性のあることを認識し、単なる安全率を機械的に用いることなく、所定の安全性を確保する。

○構造部材あるいは非構造部材を設計・施工する場合は、部材自身やその部位の落下の可能性を検討し、必要に応じて二重の安全対策などの冗長性を有する構造とする。また、部材や接続部の耐久性に十分配慮するとともに、点検しやすい構造とする。

○現在では、安全性向上３カ年計画の取組みの一環として、設計・施工基準にない新技術や新工法等を採用する際、設計内容、適用範囲、点検方法、維持管理段階での評価方法、補修・取換方法等を記載したカルテを審査内容として定め、それにより審査を行い採用する仕組みを定めている。

○今回の事象を受け、更なる改善策を以下の方針で検討していく。

・審査の適用範囲について、より明確にするため、「設計・施工基準にない、又はその適用基準を超える工法等」とし、その採用時における体制を強化するとともに、維持管理段階での評価をより適切に行うため、審査時と同じ体制で継続して評価も行う。なお、審査に当たっては、必要に応じて学識経験者等による委員会を設け審議を行う。