

北陸自動車道 日野川橋床版更新工事

— 耐久性の高いPC 床版の適用 —

山田 稔*1・山本 将*2・渡邊 輝政*3・谷口 正輝*4

北陸自動車は昭和47年に開通して以降、大型車交通量の増加や厳しい条件下で老朽化や劣化が顕在化しつつある。

今回の劣化したRC床版の床版取替えでは、長期耐久性や維持管理上の問題が少ないこと、現場工期の短縮と品質確保の観点からプレキャストPC床版が採用された。さらに、凍結防止剤の散布による塩害が懸念されることから、フライアッシュを混和したコンクリートとエポキシ樹脂塗装鋼材を用い、耐久性の向上を図った。

本稿では、北陸自動車道で最初の大規模更新工事である日野川橋床版更新工事の施工概要と耐久性向上対策およびフライアッシュを混和したコンクリートをプレキャストPC床版に適用するにあたり実施した検討の結果について報告する。

キーワード：プレキャストPC床版、大規模更新、床版取替え、フライアッシュ

1. はじめに

日野川橋は北陸自動車道の今庄IC～武生IC間に位置する橋梁で、昭和52年の供用から39年が経過（床版取替え実施時点）していた。過去に何度か鉄筋コンクリート床版の補修工事を実施しているものの、凍結防止剤の散布に起因する劣化が確認されていることから、床版取替えをとまなう大規模更新工事を行った。橋梁位置を図-1に示す。

日野川橋は鋼2径間連続鈹桁橋と2連の鋼3径間連続鈹桁橋で構成される8径間、橋長300mの橋梁である。本工事では、中央部分の鋼3径間連続鈹桁橋P2～P5（下り線）の床版更新工事を実施した。



図-1 施工位置

施工にあたっては、①交通規制による社会的影響を軽減するため短い規制期間での床版取替え工事、②凍結防止剤散布地域であることを考慮した耐久性向上対策、が求められた。本稿では、日野川橋床版更新工事の施工概要と、上記の要求事項に対して実施した対策について報告する。

2. 工事概要

本工事の工事概要を以下に、全体一般図を図-2に、規制概要を図-3に示す。本工事では、床版取替えを行う下り線を上り線に迂回させ、対面通行規制を実施した。

工事名：北陸自動車道（特定更新など）

日野川橋床版更新工事（平成27年度）

発注者：中日本高速道路株式会社 金沢支社

路線名：北陸自動車道

施工者：株式会社 日本ピーエス

工事場所：福井県南条郡南越前町

契約工期：平成28年2月23日～平成29年7月16日

橋梁形式：3径間連続非合成鈹桁（4主桁）

橋長：113.2m

支間：37.4m+37.4m+37.4m（道路中心線上）

幅員：10.180m

平面線形：R=1200m（A=500）



*1 Minoru YAMADA

中日本ハイウェイ・メンテナンス 名古屋(株)



*2 Susumu YAMAMOTO

中日本高速道路(株) 金沢支社



*3 Terumasa WATANABE

(株)日本ピーエス 北陸支店技術グループ



*4 Masateru TANIGUCHI

(株)日本ピーエス 研究開発グループ

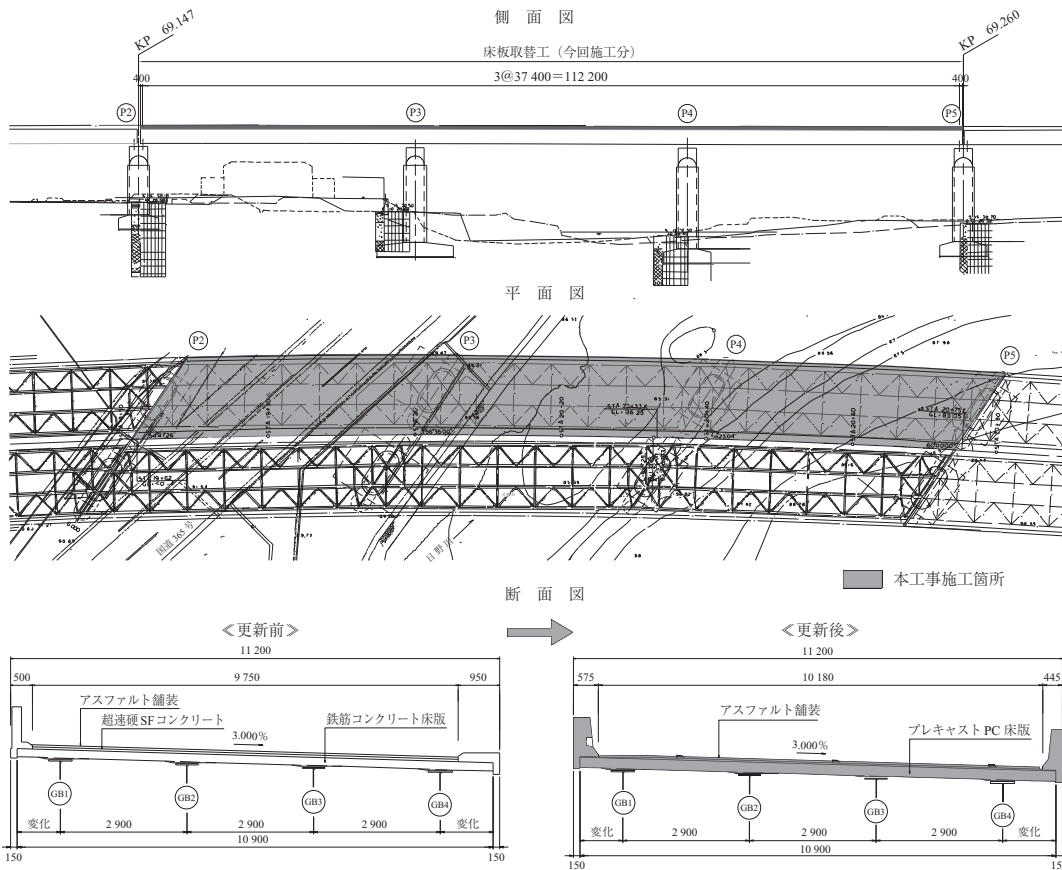


図 - 2 全体一般図

斜 角：50°～60°
 規制期間：平成 28 年 10 月 11 日～平成 28 年 11 月 2 日
 (対面通行規制の準備など含む)
 規制延長：約 2.8 km (全工事規制区間)
 規制区間：615 m (対面通行規制区間)
 路線区間：北陸自動車道 今庄 IC～武生 IC 間

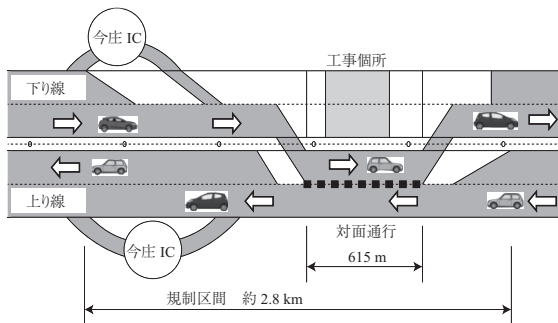


図 - 3 対面通行規制概要図

3. 施工概要

本工事の施工フローを図 - 4 に、既設 RC 床版撤去・プレキャスト PC 床版架設割付図を図 - 5 に示す。

床版の更新は、施工性および経済性などを考慮し橋面上に配置した 200 t クレーン 1 台による施工とし、短期間の対面規制で床版の更新を完了するため、P2 側から P5 側に向かって順次施工を進め、各工種を並行して施工した。とくに、各部位のコンクリート打設については、準備の整っ

た箇所から順に打設を行った。
 工事のクリティカルパスを明確にし、複数の工種を並行

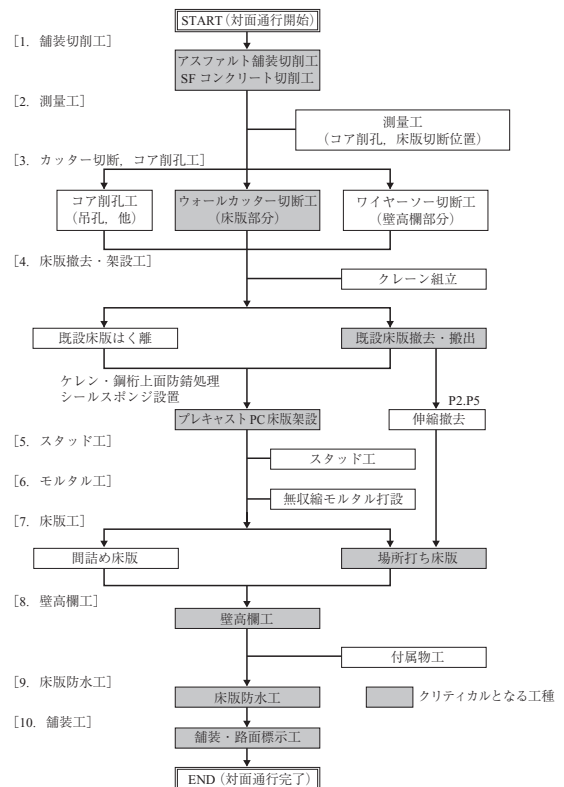


図 - 4 施工フロー

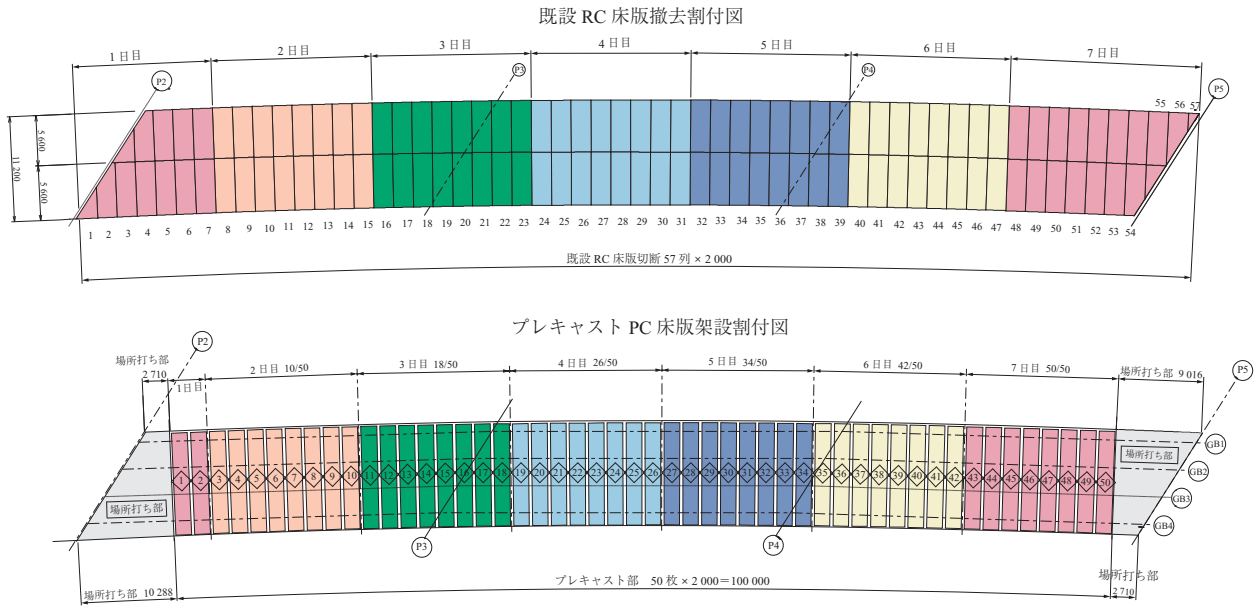


図 - 5 既存 RC 床版撤去・プレキャスト PC 床版架設割付図

して実施することで、最終的に 23 日間で通行規制を伴う工種を完了させた（内、対面通行規制は 20 日間）。

本工事の特徴的な工種について、3.1～3.5 に概説する。

3.1 アスファルト舗装切削および鋼繊維補強コンクリート切削

日野川橋の既存舗装は、平成 10 年度に行った床版改良工事によりアスファルト舗装 5 cm、鋼繊維補強超速硬コンクリート（超速硬 SF コンクリート）5 cm の構成となっていた。SF コンクリートは鋼繊維が含まれているためコンクリートがらとして処理する事ができない。そのため、舗装と SF コンクリートは切削機により除去を行った。施工状況を写真 - 1 に示す。



写真 - 1 SF コンクリート切削状況

3.2 カッター切断およびコア削孔

既存床版の切断作業にはウォールカッターを、壁高欄部分の切断作業にはワイヤソーを使用した。床版部の切断と壁高欄部の切断を同時に行なうことで施工時間を短縮した。切断寸法は、橋軸方向は 2 m、橋軸直角方向は構造物中心にて 2 分割とした。ウォールカッターによる切断作業を写真 - 2 に、ワイヤソーによる切断作業を写真 - 3 に示す。

ウォールカッターによる切断は、円型に回転する機械的性質から前方に障害物があると端部まで切断することができない。そのため、壁高欄端部や伸縮装置付近などはコア

削孔を用いた打抜き切断も部分的に併用している。



写真 - 2 ウォールカッターによる床版切断状況



写真 - 3 ワイヤソーによる壁高欄切断状況

3.3 既存床版撤去およびプレキャスト PC 床版架設

床版の撤去・架設は、図 - 5 に色分けする 7 エリアに分割し、200 t クレーンを移動させながら撤去および架設を行った。

既存床版の剥離には、H 鋼架台と油圧ジャッキを使用した。剥離した床版は 200 t クレーンにて吊上げ、待機させた搬送車両に積込み、破砕場にて処理した。また、壁高欄と既存床版を一括撤去することで、作業の効率化を図り、壁高欄を先行撤去した場合に生じる開口部を無くし安全に配慮した。1 枚あたりの重量は約 6 t で、1 日あたり 16 枚を撤去した。施工状況を写真 - 4 に示す。



写真 - 4 既設床版剥離，撤去状況

剥離後の鋼桁上面は、コンクリートがらを除去しシンクリッチペイントによる防錆処置を行った。プレキャストPC床版の架設は撤去した既設床版と置き換える形で行っている。プレキャストPC床版1枚あたりの重量は約11.6tで、1日あたりの架設枚数は8枚（橋軸方向に約16m）とし、夜間に架設を行った。施工状況を写真 - 5 に示す。



写真 - 5 プレキャストPC床版架設状況

3.4 鉄筋組立て

架設が完了した部位より順次鉄筋組立てを行った。プレキャストPC床版の継手構造にループ継手を採用する場合、ループ継手内の直角方向鉄筋を橋面上から挿入できるようにするための対策として、鋼桁フランジ上のループ継手鉄筋の曲げ半径を小さくする。しかし、本橋のプレキャストPC床版は部材厚が240mmで、部分的な小径加工が行なえなかった。そこで横断方向鉄筋を5mに分割し、床版の端部から順次ループ継手内に送り込んだ。

間詰め部および場所打ち床版上面のひび割れは、凍結防止剤などの劣化因子の浸入を促進することから、FRP格子筋（50mm目）を配置し、ひび割れ抑制効果を高めた。配置位置を図 - 6 に示す。

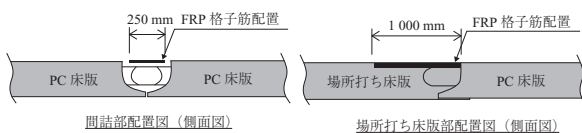


図 - 6 FRP格子筋配置図

3.5 床版防水工

床版防水は、橋面上の水や舗装浸透水など各種の劣化因子の浸入を防ぐ防水性能および排水性能が求められる。本

工事の床版防水は従来より性能を向上させたNEXCO規格グレードⅡに適合する床版防水工材料を用いた。

床版面のレイタンスや脆弱部は取り除く必要があったため、ショットブラストにより投射密度50kg/m²以上で床版表面の研掃を行った。施工状況を写真 - 6 に、研掃面比較を写真 - 7 に示す



写真 - 6 床版面研掃状況



写真 - 7 研掃面比較

プライマー塗布後、次工程となる防水工に進むには、所定の期間プライマーを乾燥させ、翌日以内（夏季時）に施工する必要がある。ただし、この期間に降雨などにより乾燥が阻害されると、防水層の付着性能が著しく低下する。そこで、粘着テープによる表面乾燥試験と引張接着試験によりプライマーが所定の品質を確保されていることを確認した上で、迅速に防水工を行った。施工状況を写真 - 8 に示す。



写真 - 8 防水施工状況

4. 耐久性向上対策

平成5年頃からスパイクタイヤが規制された影響により、凍結防止剤の使用量が規制前後で約1.6倍に増加している。高速道路の凍結防止剤散布量の推移を図 - 7 に示す²⁾。とくに、凍結しやすい橋梁部は散布量が多くなる傾向にあり、橋梁の劣化・変状発生の大きな要因となってい

る。そこで、更新床版の更なる耐久性向上を目指し、4.1～4.4に示す耐久性向上対策を実施した。

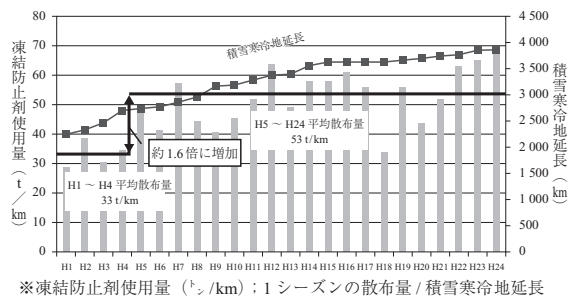


図 - 7 高速道路の凍結防止剤散布量の推移

4.1 フライアッシュコンクリートの使用

(1) フライアッシュコンクリートの概要

フライアッシュを混和材として用いることでコンクリートは緻密化し、塩害やアルカリシリカ反応（以下、ASR）に対する耐久性が向上することが知られている³⁾。日野川橋では、冬期間に凍結防止剤が散布されることから、耐久性向上を目的として、プレキャストPC床版、間詰め床版、場所打ち床版および壁高欄にフライアッシュを混和したコンクリート（以下、FAコンクリート）を使用し、耐久性の向上を図った。なお、プレキャストPC床版は、敦賀工場で作成した。

フライアッシュは、北陸電力(株)敦賀火力発電所産の分級品を用いた。分級品とは、分級装置を用いて、フライアッシュの原粉（JIS A 6201 II種適合品）から細かい粒径のフライアッシュのみを分離したものを示している。フライアッシュの分級前後の諸数値の比較を表-1に示す⁴⁾。いずれの特性値においても、分級品は原粉を上回っており、分級によりフライアッシュの品質が向上している。

表 - 1 分級前後のフライアッシュの特性値

フライアッシュ種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	活性度指数 (%)	
			材齢 28 日	材齢 91 日
フライアッシュ原粉	2.23	3 740	81	95
フライアッシュ分級品	2.36	4 810	87	105
JIS A 6201 II種 規格値	1.95 以上	2 500 以上	80 以上	90 以上

(2) FAコンクリートの配合

各部材に用いたFAコンクリートの配合を表-2に示す。プレキャストPC床版、間詰め床版および場所打ち床版は設計基準強度50 N/mm²のFAコンクリートを、壁高欄は30 N/mm²のFAコンクリートを用いた。なお、場所打ち床版は、設計図書では設計基準強度30 N/mm²のコンクリートを用いることとしていたが、プレキャストPC床版部と同などの品質が求められることから、50 N/mm²のFAコンクリートに変更している。

フライアッシュの置換率は、ASR抑制対策として有効とされている15%とし、各部材のコンクリートの水結合材比(W/B)は、交通規制解除(間詰めおよび場所打ち床版は材齢6日、壁高欄は材齢5日)までに設計基準強度に達することを条件として試験練りを行い決定した。

間詰め床版および場所打ち床版のFAコンクリートには、

収縮ひび割れ防止を目的として膨張材を添加した。ただし、これらの部位に用いるFAコンクリートはW/Bが小さいため、所要の膨張率が確保できないことが懸念された。そこで、「JIS A 6202 コンクリート用膨張材 付属書2」に示される膨張コンクリートの拘束膨張試験を行い、収縮補償用コンクリートの膨張率である150～250 μを確保できるように、膨張材の添加量を調整した。

表 - 2 FAコンクリートの配合

部 材	設計基準強度 (N/mm ²)	SL (cm)	水結合材比 (W/B) (%)	水 (W) (kg/m ³)	セメント (C) (kg/m ³)	混和材		細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)
						FA (kg/m ³)	膨張材 (kg/m ³)		
プレキャストPC床版	50	12	33.0	151	389	69	-	699	1 074
間詰め床版 場所打ち床版	50	12	31.7	165	419	74	28	609	1 074
壁高欄	30	12	43.3	170	313	55	25	709	1 068

4.2 フライアッシュコンクリートの施工性の確保

一般的に、FAコンクリートは早強セメント単味のコンクリートと比較して、若材齢での強度が小さくなる傾向にあるが、本工事では交通規制期間の関係から早期に設計基準強度を確保することが要求された。この相反する課題に対し、FAコンクリートのW/Bを調整することで対応したが、場所打ち施工となる間詰め床版および場所打ち床版のFAコンクリートにおいて、粉体量が多くなることによる施工性の低下が懸念された。

そこで、FAコンクリートの配管圧送試験を実施し、フレッシュ性状の経時変化の確認、およびコンクリートの打設方法の検討を行った。配管圧送試験では、実際の施工条件を模擬して5インチの配管を100m接続し、FAコンクリートの練混ぜ直後、アジテータ車にて40分運搬後(敦賀工場から現場までの運搬時間に相当)、配管100m圧送後の各タイミングでスランプ試験および空気量試験を行った。

配管圧送試験でのFAコンクリートのフレッシュ性状の変化を表-3に示す。練混ぜ直後のスランプ値は14.0 cm、現場到着時(練混ぜ開始から40分後)のスランプ値は12.5 cmと、いずれのタイミングにおいても目標とする範囲内であったが、配管圧送後(練混ぜ開始から70分後)のスランプ値は6.5 cmと目標とする範囲から外れる結果となった。なお、空気量はいずれのタイミングにおいても目標範囲に収まった。

表 - 3 フレッシュ性状の経時変化

試験のタイミング	スランプ (cm)		空気量 (%)	
	目標値	実測値	目標値	実測値
練混ぜ直後	15 ± 2.5	14.0	4.5 ± 1.5	5.1
現場到着時を想定 (練混ぜ40分後)	12 ± 2.5	12.5		4.2
配管圧送後の筒先を想定 (練混ぜ70分後)		6.5		4.5

圧送前後のスランプロスの要因として、圧送によるスランプロスと経時変化によるスランプロスの両方が考えられた。そこで、間詰め床版および場所打ち床版コンクリートの施工にあたり、以下の対策を取ることとした。

- 間詰め床版および場所打ち床版コンクリートの打設方法をポンプ打設からバケツを用いた打設方法に変更し、

スランプロスを抑制した。間詰め床版部のコンクリート打設状況を写真 - 9 に示す。



写真 - 9 バケットによる間詰め床版部の打設

- 間詰め床版部は打設範囲が狭く、場所打ち床版部よりも施工性に劣るため、打設完了までの時間も長時間になることが予測された。そこで、アジテータ1台あたりのレディーミクストコンクリートの運搬量を、プラントの練混ぜミキサの1回あたりの最大練混ぜ量となる1.0m³以内とし、練混ぜ開始から打設完了までの所要時間を約30分短縮することで、経時によるスランプロスを低減した。
- 場所打ち床版部は、打設範囲が広く施工性がよいため、アジテータ1台あたりのレディーミクストコンクリートの運搬量を1.0~2.5m³とした。

壁高欄のFAコンクリート（設計基準強度：30N/mm²）は粉体量が少ないため、事前にフレッシュ性状の経時変化が小さいことを確認したうえで、打設方法をポンプ打設とし、アジテータ1台あたりのレディーミクストコンクリートの運搬量を2.5m³~3.0m³の範囲に設定した。

4.3 フライアッシュコンクリートを用いたプレキャストPC床版の養生対策

プレキャストPC床版は敦賀工場にて製作し、隣接するストックヤードにて養生を行った。既往の研究により、FAコンクリートは、材齢初期の湿潤養生が強度増進や耐久性の向上に寄与することが報告されている⁹⁾。そこで本工事では、打設当日は蒸気養生、脱枠後~材齢7日まではミスト噴霧による湿潤養生、材齢8日~材齢28日までは保水養生テープによる封緘養生を実施した。

ここで、蒸気養生は養生温度60℃、養生時間7時間、温度勾配15℃/時間とし、早強セメント単味のコンクリートを用いた場合よりも養生温度を5℃高く、養生時間を2時間長くして、材齢1日でのプレストレスの導入強度を確保した。また、ミスト養生では専用養生室を設け、養生空間の湿度80%以上を確保した。ミスト噴霧による湿潤養生の状況を写真 - 10 に、保水養生テープによる封緘養生の状況を写真 - 11 に示す。

これらの養生方法の組合せにより水和反応を促進させ、組織の緻密化による強度増進および耐久性向上、乾燥収縮の低減によるひび割れの抑制を図った。

4.4 エポキシ樹脂塗装鋼材の使用

PC床版の設計では、一般的に死荷重時および設計荷重作用時はひび割れを許容せず、温度の影響、風荷重および



写真 - 10 ミスト噴霧による湿潤養生



写真 - 11 保水養生テープを用いた封緘養生

衝突荷重作用時はひび割れ幅を制御することで、所要の耐久性を確保することとしている。そこで、衝突荷重作用時にひび割れが生じた場合においても、所要の耐久性を確保するため、エポキシ樹脂被覆PC鋼材とエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することとした。エポキシ被覆PC鋼材の外観を写真 - 12 に示す。

なお、間詰め床版、場所打ち床版および壁高欄についても、プレキャストPC床版と同様に、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。



写真 - 12 エポキシ樹脂被覆PC鋼材

5. プレテンション構造への適用性

本工事にて耐久性向上対策の一環として使用したFAコンクリートをプレテンション構造に適用した事例は少ない。そこで、FAコンクリートをプレテンション構造に採用する前に、5.1、5.2に示すPC鋼材の定着長測定実験と供試体による曲げ載荷実験を実施し、プレテンション構造への適用性を検証した。

5.1 PC 鋼材の定着長測定実験

(1) 定着長測定実験の概要

定着長測定実験の概要を図 - 8 に示す。供試体は、□ 125 × 3 500 mm の角柱形状とし、断面中心に 1S15.2PC 鋼より線を配置した無筋コンクリートとした。測定項目は、コンクリートひずみとし、供試体側面に貼り付けたひずみゲージにて測定を行った。

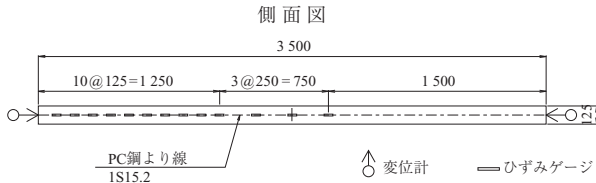


図 - 8 定着長測定実験の概要

(2) 定着長測定実験の結果

定着長の測定結果 (N=3 の平均値) を図 - 9 に示す。定着長は、プレストレス導入後のひずみ分布をもとに、勾配を有する部分の線形近似直線と応力棚の交点として算出した。実験の結果、FA コンクリートの定着長は道路橋示方書で想定している 65φ (φ は PC 鋼より線の直径) とほぼ同等の結果となった。また、材齢 14 日までのひずみの経時変化を測定した結果、クリープおよび乾燥収縮の影響によりひずみは変化しているものの、定着長には変化はほとんどみられなかった。

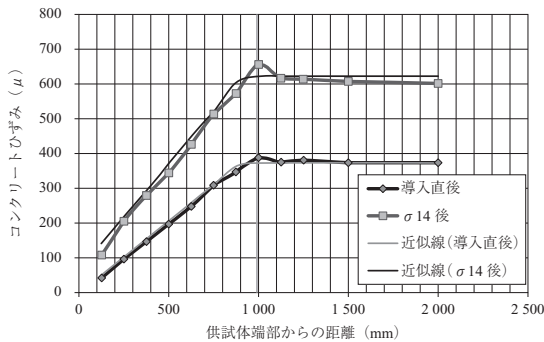


図 - 9 定着長測定結果

5.2 曲げ載荷実験

(1) 曲げ載荷実験の概要

曲げ載荷実験の概要を図 - 10 に示す。載荷実験の計測項目は、① ひび割れ発生荷重、② 破壊荷重、③ 支間中央部のたわみ、④ ひび割れ発生状況とした。載荷方法は、計算ひび割れ荷重で 5 回の繰返し載荷を行った後、破壊に至るまで載荷した。ひび割れ発生荷重の計算に用いる引張強度は、土木学会の推定式を用いて算出した⁶⁾。

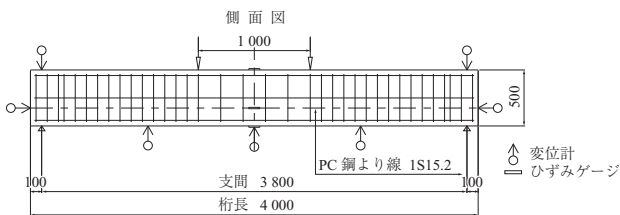


図 - 10 曲げ載荷実験の概要

(2) 曲げ載荷試験の結果

曲げ載荷実験の結果を表 - 4 に示す。ひび割れ発生荷重および破壊荷重の計算値と実測値を比較すると、前者は計算値に対して実測値が 7.4~12.1% 程度上回り、後者は実測値が 11.6~18.0% 程度上回る結果であった。この結果から、終局時においても FA コンクリートと PC 鋼材が一体となって挙動していると推測される。

表 - 4 曲げ載荷試験の結果一覧

供試体種類	曲げ載荷実験時		ひび割れ発生荷重		破壊荷重	
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (× 10 ⁴ N/mm ²)	計算値 (kN)	実験値 (kN)	計算値 (kN)	実験値 (kN)
①	57.9	3.290	126.8	138	263.5	294
②			129.3	145	263.3	305
③			135.0	145	262.8	310

6. おわりに

本工事は、23 日間の昼夜連続規制のなかで施工を行うものであったため、一旦工程に遅れが生じると回復が困難となる。そこで、約 6 ヶ月間に渡り施工計画を練り、入念な準備のもと施工を行った。

本工事で採用した FA コンクリートは、FA の性質上、早強セメント単味のコンクリートと比較して若材齢での強度が小さくなる傾向にある。そのため、FA コンクリートの配合の検討にあたっては、規制期間内での設計基準強度の発現と、所要の施工性の確保というトレードオフに苦慮した。耐久性の向上が期待できる FA コンクリートは、今後の更なる利用範囲の拡大が予測されるが、施工性の確保と、高強度の FA コンクリートを製造できる生コンプラントの確保が今後の課題になると考えられる。

本工事は平成 28 年 11 月に床版取替え工事を終え、その後、既設鋼桁塗替え塗装や検査路・排水取付け、コンクリート表面保護工を施工し、平成 29 年 7 月にしゅん工した。

しゅん工まで事故無く施工できたことは、関係各位の多大なる尽力の賜物であり感謝に堪えない。施工にあたり、ご指導・ご協力いただいた皆様と関係各位に、紙面をお借りして深く御礼申し上げますとともに、本報告が今後の関係工種の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 中日本高速道路 (株): リニューアル工事 HP <http://www.c-nexco.co.jp/koushin/>
- 2) 高速道路資産の長期保存及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書: 平成 26 年
- 3) 依道和, 吳承寧, 石川嘉崇, 滝上邦彦: プレストレストコンクリートへのフライアッシュの適用性に関する基礎試験, コンクリート工学論文集, Vol.33, No.1, pp.197-202, 2011
- 4) 「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会」報告書, p.12, 平成 25 年 6 月
- 5) (国研) 土木研究所・(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会: 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書 (II), pp.49-54, 平成 28 年 1 月
- 6) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], pp.34-35, 平成 25 年 3 月

[2017 年 9 月 6 日受付]