

# 高耐久化を目指した床版取替え

## — 中国自動車道蓼野第一橋 —

本荘 清司\*1・中野 将宏\*2・井俣 俊也\*3・水牧 稔晶\*4

蓼野第一橋は、中国自動車道の六日市IC～鹿野IC間に位置する橋長165.0mの鋼4径間連続非合成鉄桁橋であり、供用開始より27年が経過した橋梁である。本橋は、冬期の凍結防止剤による塩害劣化が発生し、数度の補修を実施したが、劣化が顕著となってきたため、プレキャストPC床版に取り替える全面補修を実施することとした。本工事は、中国自動車道の床版取替えパイロット工事であることおよび、先行工事事例ならびに架橋条件を踏まえて、更なる高耐久化を目指して各種対策を実施した。本稿では、その対策について報告する。

キーワード：高耐久化、プレキャストPC床版、床版取替え、高炉スラグ微粉末

### 1. はじめに

蓼野第一橋は、中国自動車道の六日市IC～鹿野IC間に位置する橋長165.0mで、 $A = 175 \sim R = 340$ mの平面曲線を有する鋼4径間連続非合成鉄桁橋であり、供用開始より27年が経過した橋梁である。本橋は、冬期に散布される凍結防止剤により塩害劣化が発生し、これまでに、舗装や床版上下面の応急補修およびはく落防止等の対策を実施してきた。しかし、近年、鉄筋腐食に伴う床版コンクリートの浮き・はく離が顕著となってきたため、抜本的な対策が必要となった。写真-1に、既設橋梁の劣化損傷状況を示す。

そこで、ライフサイクルコストの最小化を目指し、既設のRC床版を、高品質かつ高耐久な材料であるプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版と示す。）に取り替えることとした。

図-1に補修工事の概要を、図-2にPCaPC床版割付図を示す。



(a) 床版下面 (b) 舗装面

写真-1 既設橋梁の劣化損傷状況

本工事は、NEXCO西日本中国支社管内で2例目となる床版取替え工事であり、先行工事<sup>1)~3)</sup>を踏まえて各種の工夫を図り、高耐久化を目指した。本稿では、設計・施工において実施した各種の対策について報告する。

### 2. 工事概要

本工事は、NEXCO西日本中国支社管内で2例目となる床版取替え工事であり、先行工事<sup>1)~3)</sup>を踏まえて各種の工夫を図り、高耐久化を目指した。本稿では、設計・施工において実施した各種の対策について報告する。

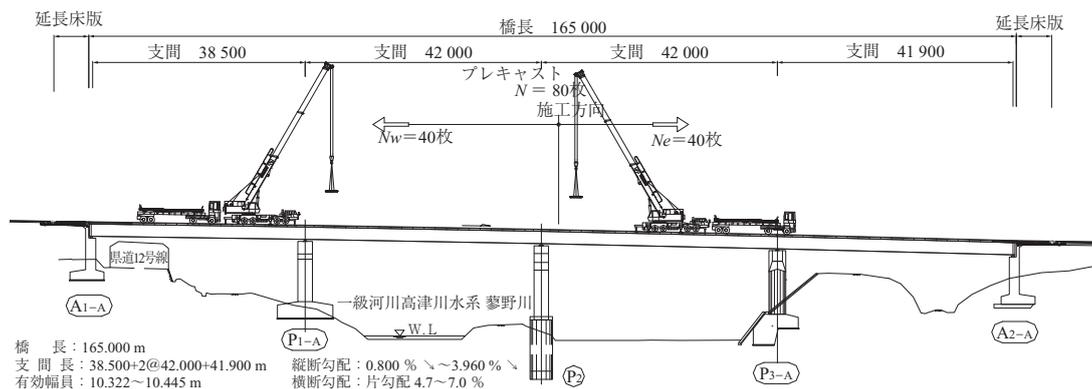


図-1 蓼野第一橋概要図

\*1 Kiyoshi HONJO：西日本高速道路(株)  
 \*2 Masahiro NAKANO：西日本高速道路(株)  
 \*3 Toshiya IHAYA：オリエンタル白石(株) 大阪支店 施工技術部  
 \*4 Toshiaki MIZUMAKI：オリエンタル白石(株) 大阪支店 施工技術部

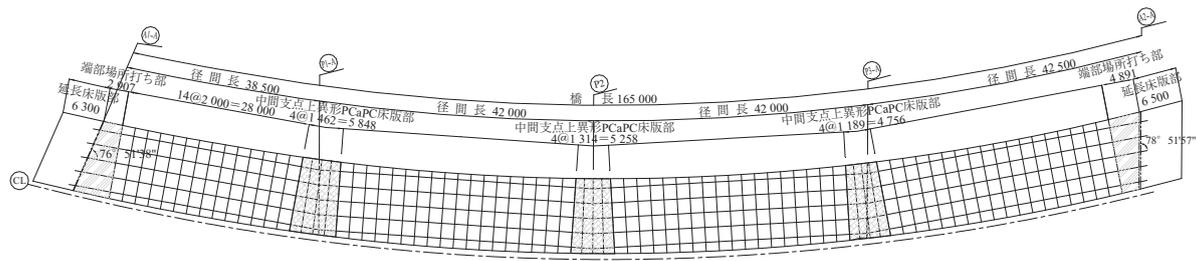


図 - 2 PCaPC 床版割付図

表 - 1 現地工事工程表

	8月		9月		10月		11月	
	20	1	10	20	1	10	20	1
交通規制	[昼夜連続車線規制]							
迂回路	[昼夜連続対面通行規制]							
舗装撤去	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
既設壁高欄・床版撤去	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
PCaPC 床版架設(80枚)	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
間詰め床版	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
場所打ち床版	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
延長床版	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
壁高欄	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
舗装	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

[ ] : 昼夜連続車線規制    [ ] : 昼夜連続対面通行規制

表 - 2 工事主要材料

名称	仕様	備考
PCaPC 床版*1	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ ・早強	PC 鋼材： SWPR7BL 1S15.2
PCa 延長床版*1	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ ・普通	
コンクリート*1	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ ・早強*2	端部・間詰め床版
	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ ・早強*2	壁高欄
PC 鋼材	SWPR19BL 1S28.6	プレグラウト(端部現場打ち部)

\*1 PCaPC 床版、PCa 延長床版を含む本工事でのコンクリートはすべて、高炉スラグ微粉末(比表面積 $6,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ )を50%置換としている。  
\*2 現場施工となる端部・間詰め床版ならびに壁高欄のコンクリートには、膨張材を使用している。

工 事 名：中国自動車道蓼野第一橋床版補修工事

工事場所：鳥根県鹿足郡吉賀町蓼野地内

発 注 者：西日本高速道路(株) 中国支社

施 工：オリエンタル白石(株)

工 期：平成21年9月19日～平成23年2月10日

本工事は昼夜連続対面通行規制下での工事であり、作業中の安全確保には留意する必要があった。とくに、既設床版撤去時におけるコンクリートガラ等の供用車線部への飛散防止対策としては、供用車線との境界部にネット併用の防護柵を設置した。

また、橋梁下には、清流として有名な蓼野川があり、既設床版撤去時に発生する汚濁水の流出についても留意した。その流失防止として、a) 足場全面への防水シートの敷設ならびに汚濁水の収集、b) 発生汚濁水のろ過装置および中和装置による処理等の一般的な対策に加えて、既設床版撤去時の汚濁水低減を目的として、c) 乾式コアボーリングマシンの使用、d) 乾式ワイヤーソーの使用、e)

バキューム付きコンクリートカッターの使用を実施した。なお、これらの乾式の機器を使用することにより懸念される粉塵対策として、i) 供用車線との境界部への防塵ネットの設置、ii) 乾式ワイヤーソー使用時の防護布養生、iii) 粉塵抑制を目的としたミスト(霧)装置および大型集塵機の使用等を実施した。施工時の対策状況を写真-2に示す。

また、工事全体での施工フローを図-3に示す。

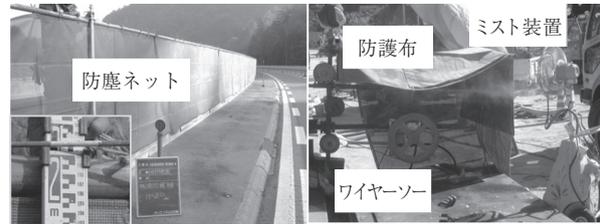


写真 - 2 対策状況(左：防塵ネット、右：ミスト装置)

### 3. 設計概要

#### 3.1 PCaPC 床版形状

本橋の横断勾配は、4.7～7.0%と変化する。この横断勾配の変化に対して、PCaPC 床版形状を同一とすると、鋼主桁上のモルタル厚が最大109mmとなる箇所も生じ、この無収縮モルタル部が無筋となることより、施工上・維持管理上とも得策ではない。そこで、無収縮モルタル厚が増大する箇所については、図-4に示すように、PCaPC 床版と一体施工とした打下ろしコンクリートを設け、PCaPC 床版と同様に鉄筋を設置した。

また、標準的な厚さの無収縮モルタル部における鋼主桁の添接部では、添接板および添接ボルトにより、鋼主桁上のモルタル厚が確保できず、PCaPC 床版が所定の高さに据え付けられないことが懸念された。そこで、設計図書ならびに事前計測により、添接部の位置および厚さを確認して、図-5に示すようなPCaPC 床版ハンチ部の添接部用切欠きを計画した。なお、この切欠き部には、PCaPC 床版架設後、無収縮モルタルを充てんした。

#### 3.2 PCaPC 床版割付け

本橋のような平面曲線半径の小さなケースにおいて、PCaPC 床版の割付け計画時、一般には、中間支点上も端支点部と同じく、場所打ちにすることで平面線形への対応を図ることが多い。本工事では、中間支点部においても高品質のPCaPC 床版を適用することにより、高耐久化を図

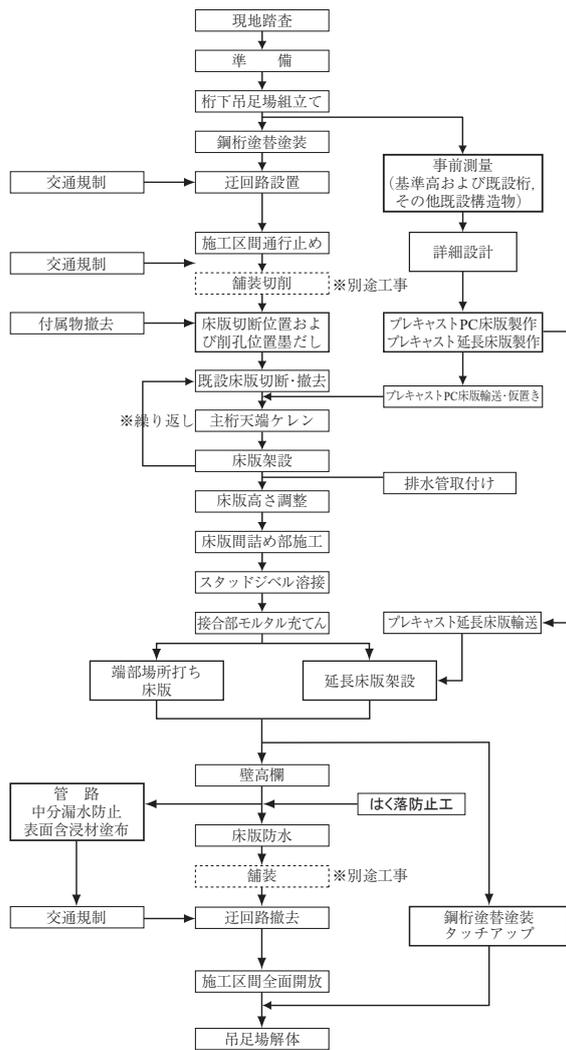


図 - 3 工事フロー

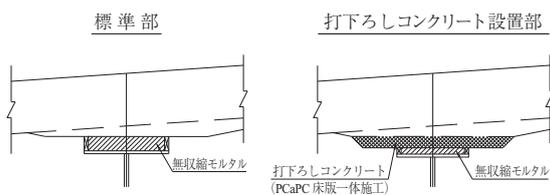


図 - 4 PCaPC 床版一体打下ろしコンクリート形状

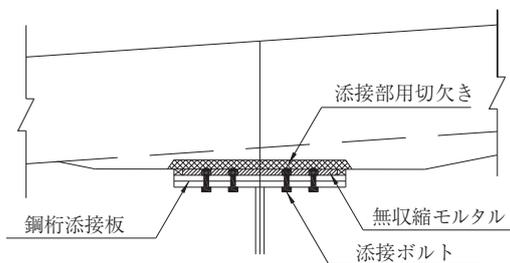


図 - 5 鋼主桁添接部の PCaPC 床版形状

った (図 - 2)。なお、中間支点部の PCaPC 床版の形状は、各支間の交角差を吸収させるため、台形状の調整版とし

た。また、この台形状の調整版は、架設据付け時の誤差吸収が容易なように、アゴ部の無い形状とした (写真 - 3)。

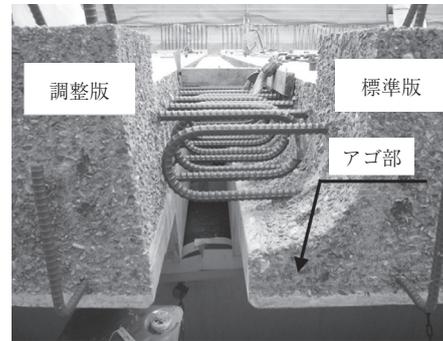


写真 - 3 調整版形状

### 3.3 PCaPC 床版配筋

本工事のような縦横断勾配が変化する橋梁に PCaPC 床版を適用する場合には、図 - 6 に示すように、隣接する PCaPC 床版の据付け勾配が異なり、段差が生じる。この段差に対して、間詰め部鉄筋について、かぶりが確保できるように、PCaPC 床版の配筋を計画した (図 - 7)。

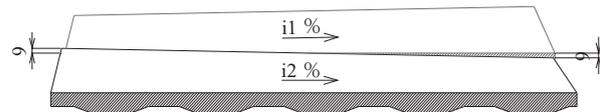


図 - 6 PCaPC 床版段差概念図

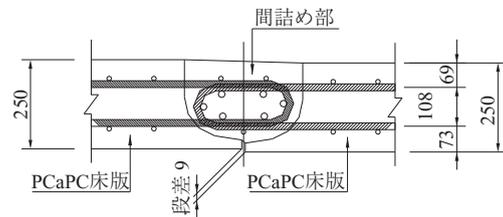


図 - 7 間詰め部配筋概念図

### 3.4 橋梁床版端部場所打ち床版

図 - 2 に示す端部場所打ち部は、PCaPC 床版を用いた床版取替えであっても、RC 構造とすることが多い。本橋では、耐久性向上を目指して PRC 構造とした。

### 3.5 壁高欄地覆部

高耐久化を目指す本橋においては、床版部からの漏水経路を無くすことを目的として、図 - 8 に示すように、壁高欄地覆部の一部を、PCaPC 床版と一体打設した。

## 4. 高耐久化への対策

蓼野第一橋床版取替え工事においては、中国自動車道における床版劣化の主要因である冬期の凍結防止剤散布による塩害に対して、耐久性の高い構造物とする必要がある。そのため、劣化因子を遮断する性能を向上させること、劣

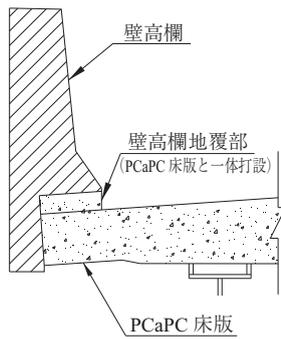


図 - 8 壁高欄地覆部形状図

化因子が浸入しにくい材料および形状の選定、劣化因子が浸入しても適切な排出経路を確保しておくことが求められる。以下に、高耐久化のための各種対策について述べる。

4.1 材料における対策

高耐久化のため、凍結防止剤由来の塩化物イオン等の劣化因子がコンクリート内部に浸入しにくい材料の選定および初期ひび割れの抑制が課題となる。

(1) 高炉スラグ微粉末の使用

本工事では、PCaPC床版やPCa延長床版のみならず、工事箇所近傍のコンクリートプラントが供給元となる地覆壁高欄や間詰め・端部場所打ち部のすべてのコンクリートに、高炉スラグ微粉末（比表面積 6 000 cm<sup>2</sup>/g）を 50 % の割合で置換した。

なお、現地工事での高炉スラグ微粉末の適用にあたっては、通常の前強セメントとはべつに、高炉スラグ微粉末専用の貯蔵サイロの確保が困難であったこと、ならびに、前強セメントと高炉スラグ微粉末の混合比率（50：50）の高精度化を図る必要があったことから、セメント工場にて前強セメントと高炉スラグ微粉末をプレミックスした状態で、現地のコンクリートプラントに搬入した。

(2) 膨張材の使用

現地でのコンクリート打設となる間詰め床版、端部場所打ち床版および地覆壁高欄部に用いるコンクリートは、高炉スラグ微粉末の混合により、通常の前強セメント単味のコンクリートと比較して、自己収縮および乾燥収縮による初期ひび割れが大きくなると想定され、耐久性の低下をまねく初期ひび割れの発生が懸念された。そこで、養生初期段階で膨張効果が期待できる膨張材を混合した。ただし、高

炉スラグ微粉末を使用したコンクリートへの膨張材混合事例が少ないことより、効果ならびに最適な混合量を検証することとし、コンクリート試験練り時に、膨張材混合量を要因（0、10、20、30 kg/m<sup>3</sup>）として、拘束膨張試験（JIS A 6202）を実施した。その試験結果として、材齢 7 日での測定値を表 - 3 に例示する。

表 - 3 拘束膨張試験結果（材齢 7 日）

膨張材混合量 (kg/m <sup>3</sup> )	0	10	20	30
膨張量 (μ)	-67	74	157	274

この試験より、高炉スラグ微粉末を混合したコンクリートにおいても、通常のコンクリートと同様に、一般的な混合量（20 kg/m<sup>3</sup>）で、収縮補償用コンクリート<sup>4)</sup>としての膨張性能（150～250 μ）は確保されることを確認した。

また、間詰めコンクリート部については、前述の材料特性による初期収縮ひずみに加えて、PCaPC床版による外部拘束の影響を受けるものと想定された。そこで、外部拘束の影響を実物大の試験体を用いて、膨張材混合量を要因とした試験により、ひび割れ性状の確認を行った。なお、この実物大相当の試験体設定においては、事前解析により実物と同等の引張応力度が発生することを確認して決定した。試験体の形状図を図 - 9 に、間詰め部コンクリートの材齢 35 日でのひび割れ性状としての平面図（上面）を図 - 10 に示す。なお、本試験での養生は、実施工における不確実性を考慮し、最低養生日数とし、3 日間の散水養生とした。

試験結果としては、膨張材を混合していないケースおよび混合量 10 kg/m<sup>3</sup> のケースでは、コンクリートの初期収

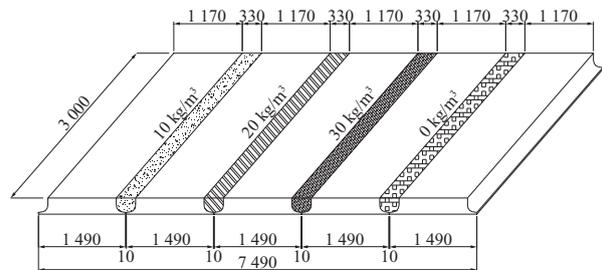


図 - 9 実物大相当試験体形状図

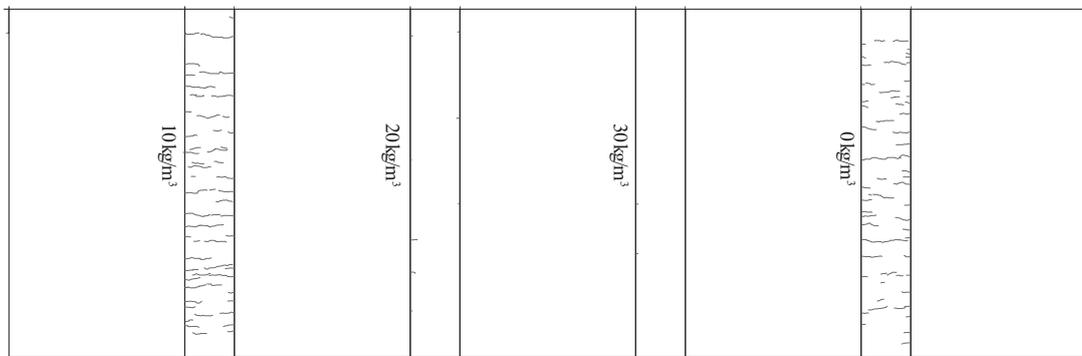


図 - 10 ひび割れ性状図

縮と PCaPC 床版による外部拘束の影響により、多数のひび割れ発生が確認された。一方、混合量を 20 および 30 kg/m<sup>3</sup> としたケースでは、両者に大きな性状の相違は認められず、両者とも極微少なひび割れは散見されたものの、ひび割れ抑制には十分な効果が得られることを確認した。以上の結果より、実施工においては、地覆・壁高欄も含め現地打設コンクリートすべてにおいて、膨張材混合量を 20 kg/m<sup>3</sup> とした。

(3) コンクリート単位水量の低減

高性能 AE 減水剤を使用することで、単位水量を低減させ、同時に単位セメント量が減少することにより、発熱量や乾燥収縮量を低減することが可能となる。また、工場と比べ運搬時の品質変動が懸念されるレディミクストコンクリートでは、設計基準強度が 50 N/mm<sup>2</sup> 程度になると、高性能 AE 減水剤を使用しても、ワーカビリティと材料分離抵抗性を確保するために、単位水量が多くなると思われるが、実施工を模擬した実機での試験練りおよびポンプ圧送試験等により、単位水量の低減に努めた。本工事での単位水量は、上限値<sup>5)</sup>となる 175 kg/m<sup>3</sup> に対して、工場製作となるプレキャスト部材については 150 kg/m<sup>3</sup>、間詰め床版等の現地でのレディミクストコンクリートについては 160 kg/m<sup>3</sup> とした。

4.2 形状設定における対策

前述の地覆・壁高欄の一部を、PCaPC 床版と一体打設することも含めて、供用期間において劣化因子が浸入しにくい構造や浸入した場合の適切な排出経路を計画しておくことが課題となる。

(1) 延長床版ヒンジ位置

本橋で計画される PCa 延長床版は、橋梁床版との接合部にヒンジが設けられる。このヒンジ位置については、一般には、橋梁本体の支承直上に設置されることが多い。しかし、供用期間において、このヒンジ部より漏水が生じ、床版および鋼桁本体の耐久性の低下が懸念された。そこで、不測の事態であるヒンジ部よりの漏水に対しても、橋梁本体の耐久性の低下をまねかないように、本橋ではヒンジ位置を変更した(図 - 11)。

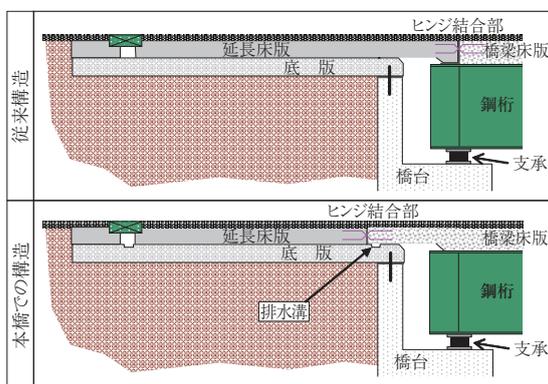


図 - 11 ヒンジ結合部位置の変更

また、ヒンジ位置を橋台背面に移動したことにより、橋梁本体の支承部の回転変形により、ヒンジ部にキックアッ

プが生じた状態で、ヒンジ結合部近傍に輪荷重が載荷されると図 - 12 の着目断面に、過大な応力が生じることが懸念された。そこで、ヒンジ位置までの長さを、図 - 12 に示すように変化 ( $L = 500$  or  $650$  or  $800$  mm) させ、適切な長さについて、FEM 解析により検討を実施した。ここでは、ヒンジ部より橋梁床版側をモデル化し、鋼桁で鉛直支持させた床版部材に対して、片持ち状態となるヒンジ部近傍に輪荷重 ( $P = 100$  kN) を載荷した。

FEM 解析結果の一例として、 $L = 650$  mm のケース(実施工にて採用)における床版上面の橋軸方向応力図を図 - 13 に示す。ヒンジ部近傍に輪荷重が載荷されることにより、図 - 12 の着目断面の上縁側に、最大 5 N/mm<sup>2</sup> 程度の引張応力度が発生していることが確認できる。

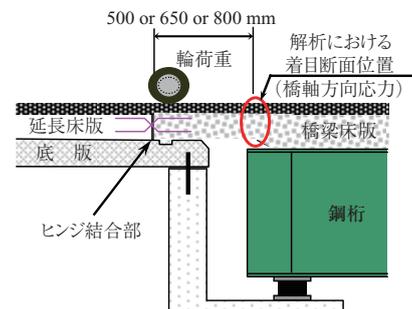


図 - 12 ヒンジ位置検討概要

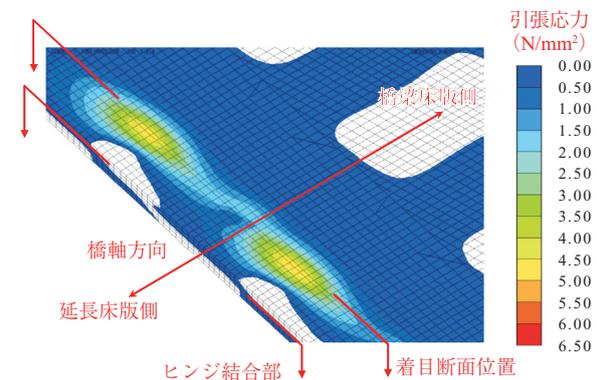


図 - 13 FEM 解析結果 ( $L = 650$ mm)

解析結果を比較検討し、ヒンジ位置が橋台パラペット背面となり、かつ、橋梁本体の回転変形(キックアップ)時にヒンジ部近傍に輪荷重載荷を想定したうえで、補強鉄筋が D22 ctc 125 でひび割れ抑制が可能となるように、橋梁端部よりヒンジ位置までの長さを 650 mm とした。

なお、ヒンジ部よりの不測の漏水が、橋梁の遊間部に到達することのないように、底版上面に図 - 11 に示す排水溝を設置した。

(2) 壁高欄水切りに対するはく落対策

本橋の既設構造においては、壁高欄水切り部のコンクリートのはく落および浮きが多数見られた。そこで、水切り部に 3 軸アラミドメッシュによるはく落防止を行うとともに、同箇所での漏水を抑制するために中央分離帯部での上下線間の遊間部に、図 - 14 に示すゴム板による漏水防止

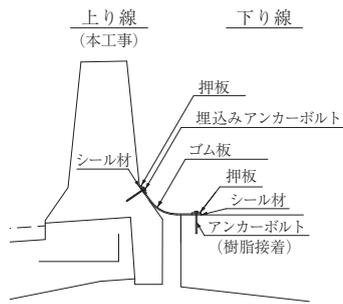


図 - 14 壁高欄の対策

対策を実施した。

4.3 製作・施工面における対策

高耐久化のため、製作・施工面より凍結防止剤等の劣化因子がコンクリート内部に浸入しにくいように、コンクリート表面の緻密化および初期ひび割れの抑制が課題となる。

(1) 散水養生の実施

本工事における高炉スラグ微粉末混合コンクリートの養生は、PCaPC床版においても、脱枠後の2次養生として散水養生を標準としている。しかし、本工事で全面的に適用する高炉スラグ微粉末混合コンクリートに対して、2次養生日数に関する既往の実験・報告等が確認できなかった。そこで、養生日数を試験要因とした「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案)(JSCE-G 571-2010)準拠」を実施した。この試験の実施にあたっては、実物大相当の試験体を製作・養生の上、コア採取した試験体を用いた。この試験結果を表 - 4 に示す。標準と想定した「蒸気+散水3日」の養生方法に比較して、2次養生の散水日数の増加により、塩分浸透に対する改善傾向は確認された。しかし、その差は微小であり、有意な差異とは評価し難い。したがって、本工事では、製作サイクル(生産性)より、「蒸気+散水3日」の養生を実施した。

なお、早強単味のコンクリート<sup>2)</sup>に比べて、実効拡散係数は1/10程度以下となっており、高炉スラグ微粉末の混合により、遮塩性が向上することが確認された。

表 - 4 試験結果

養生条件		実効拡散係数 (cm <sup>2</sup> /年)	
1次養生	2次養生	上面(金ゴテ)	下面(型枠)
蒸気	散水3日	0.0646	0.0303
蒸気	散水5日	0.0513	0.0257
蒸気	散水7日	0.0420	0.0310

(2) 端部場所打ち床版へのプレストレスの導入

端部場所打ち床版部のプレストレス導入時に、隣接するPCaPC床版や延長床版にプレストレスが分散して、場所打ち床版部に所定のプレストレスが導入されないことが懸念された。そこで、図 - 15 に示す施工順序として、端部場所打ち床版部へのプレストレス導入を計画した。また、

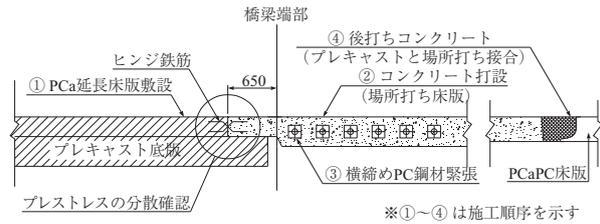


図 - 15 橋梁端部場所打ち床版施工順序図

延長床版側については、FEM解析によりプレストレス分散の影響を確認したうえで、横締めPC鋼材の配置間隔を決定した。

また、プレストレス導入に際して、実構造物では鋼桁上フランジ上面と床版コンクリートの付着や摩擦等により、延長床版への応力分散以外にも、プレストレスの導入を阻害する要因があると想定された。そこで、プレストレスによるコンクリート応力を確認するため、コンクリート表面および鉄筋に貼ったひずみゲージにより、プレストレス導入直後のプレストレスによるコンクリート応力の計測を実施した。

計測による実測値と設計値およびFEM解析値との対比を、張出し床版部と中間床版部について図 - 16 に示す。ここでの設計値とは、通常の設計で用いられる平面骨組み解析により算出した数値である。

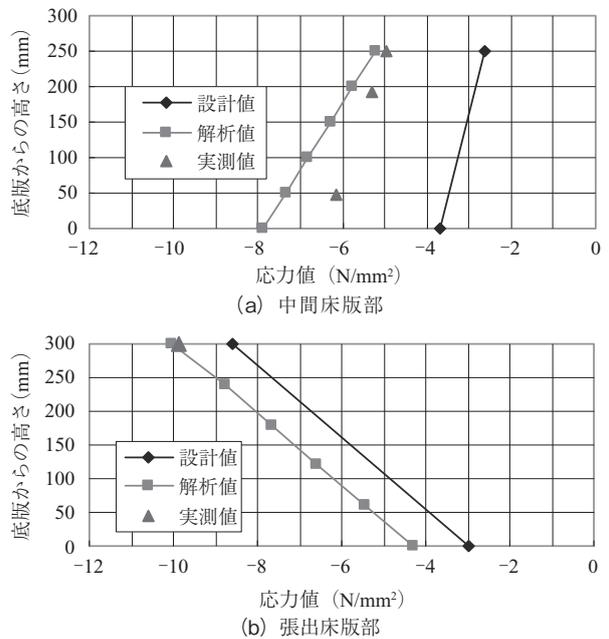


図 - 16 プレストレス導入の確認

張出し床版部については、FEM解析値と実測値において、おおむね整合しており、延長床版へのプレストレスの分散が適切に評価されたことが確認された。一方、中間床版部については、FEM解析値に比較して、実測値は上縁側で91%、下縁側で78%であった。これは、想定していた鋼桁上フランジ上面と床版コンクリートの付着や摩擦等の影響によるものと考えられる。なお、設計値と解析値の

乖離については、端部場所打ち床版をバチ形状としているため、横締め PC 鋼材を放射状に配置しているが、通常的设计計算上はもっとも間隔が広がる鋼材間隔で設計しているのに対して、FEM 解析では PC 鋼材配置を実配置どおりの放射状で設定していることによる相違である。なお、応力計算上は、計測箇所すべてにおいて、設計値以上のプレストレス応力であることを確認した。

### (3) その他の対策

耐久性向上のための対策として、先行工事の対策<sup>3)</sup>を踏まえて、1) 壁高欄部への表面含浸材の塗布、2) 高性能ウレタン防水層の設置、3) 舗装のレベリング層に水密性の高い砕石マスチックアスファルト混合物を、表層にハイブリッド舗装用アスファルト混合物を採用することにより防水性の向上を目指した。

## 5. おわりに

本工事では、LCC の最小化を目的とし、製作および施

工時の品質確保、劣化因子の遮断性能の向上と排出経路の確保等に着眼して、橋梁の高耐久化を目指した。これらの取り組みが今後の床版取替え工事の参考となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 本荘清司, 中野将宏, 田中寛規, 桐川潔: 高耐久化を目指した床版取替え (中国自動車道青津橋), 第 19 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2010
- 2) 本荘清司, 田中寛規, 桐川潔: プレキャスト PC 床版の耐久性向上のための一考察, 第 20 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2011
- 3) 本荘清司, 中野将宏, 田中寛規, 桐川潔: 鋼橋 RC 床版の全面補修 - 中国自動車道青津橋 -, プレストレスコンクリート Vol.53, No.3, pp.17 ~ pp.24, 2011
- 4) 社団法人土木学会: コンクリート標準示方書 [施工編], 2007
- 5) 東日本・中日本・西日本高速道路(株): コンクリート施工管理要領, 2009.7

【2012年3月7日受付】



刊行物案内

## 第 40 回 PC 技術講習会テキスト

東日本大震災と PC 構造物

平成 24 年 2 月

定 価 6,000 円 / 送料 500 円

会員特価 5,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレスコンクリート技術協会