

斜角を有する鋼単純合成桁橋の床版取替工事の設計・施工 ―東北自動車道藪川橋―

(株) 大林組 正会員 ○大谷 悠哉
東日本高速道路 (株) 正会員 永井 雄大 塩澤 海渡
(株) 大林組 大賀 猛 正会員 源 崇志
正会員 鶴味 浩太 正会員 坪倉 辰雄

1. はじめに

藪川橋は東北自動車道白石 IC～村田 IC に位置し、斜角 50°の鋼単純合成桁橋 2 連から成る橋梁であるが、既設 RC 床版の劣化により床版取替工事が計画されている (図-1)。

当初は支間中央部に長方形のプレキャスト (以下、PCa) 床版を架設し、桁端部に台形の場所打ち床版部を設ける計画であったが、床版を斜角に合わせた平行四辺形とすることで、桁端部まで床版を PCa 化することとした。また、床版取替により床版厚及び床版死荷重が増加するため、主桁補強の必要箇所を特定する目的で、H24 道示による照査、H29 道示 (Load Rating) による照査及び FEM 解析による詳細検討を実施した。本稿では、現場作業及び工程遅延リスクの低減を図るために平行四辺形の床版を採用し、P1 橋脚掛違い箇所において、工程短縮を図るために伸縮装置一体版を採用して床版をフルプレキャスト化した設計・施工事例を報告する。

2. 橋梁概要及び工事概要

東北自動車道藪川橋の橋梁概要及び床版取替工事の概要を表-1 に示す。藪川橋は 50°と小さい斜角を有する上下線計 4 連の鋼単純合成桁橋の床版取替工事の対象橋梁である。令和 7 年 8 月現在、上り線 2 連の施工が完了している。

3. 詳細設計

本橋は詳細設計付きの床版取替工事であり、詳細設計時の課題および解決策を以下に示す。

(1)床版割付案の比較

当初設計の標準案及び平行四辺形の床版割付とした変更案を図-2 に示す。標準案では桁端部に RC

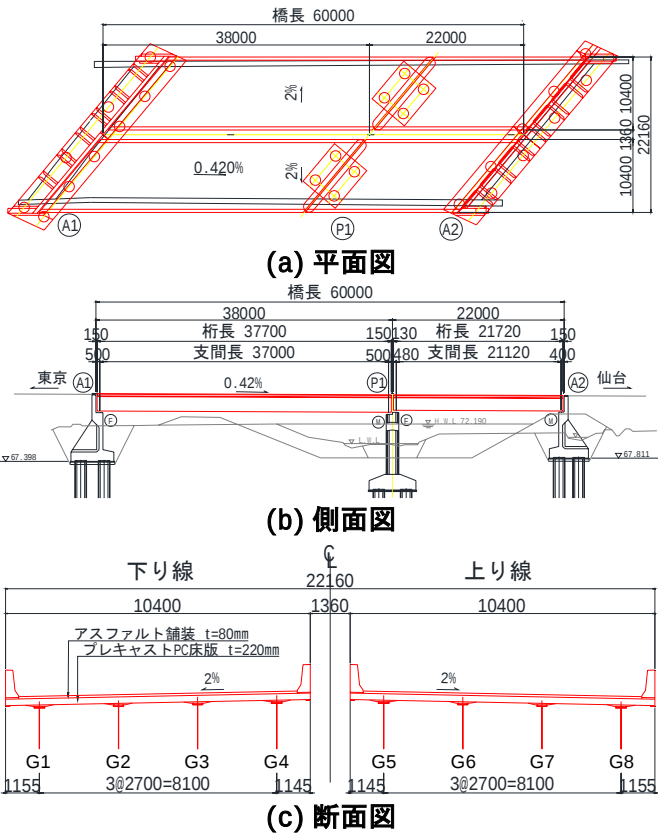


図-1 橋梁平面図及び断面図

表-1 橋梁概要及び工事概要

橋長 / 構造形式 / 支間割	L=60.000m / 鋼単純合成桁橋2連 / 38.000m + 22.000m
縦断 / 横断勾配	0.42% \ / 2%, 2% \ (拌み勾配)
平面線形 / 斜角	R=∞ / α=50° 0' 0"
有効幅員 (更新後)	9.510m
工事名称	東北自動車道宮城松川橋床版取替工事のうち、藪川橋工事
発注者	東日本高速道路(株) 東北支社
施工者	(株)大林組・大林道路(株) 東北自動車道宮城松川橋床版取替工事 特定建設工事共同企業体
施工場所	宮城県刈田郡蔵王町

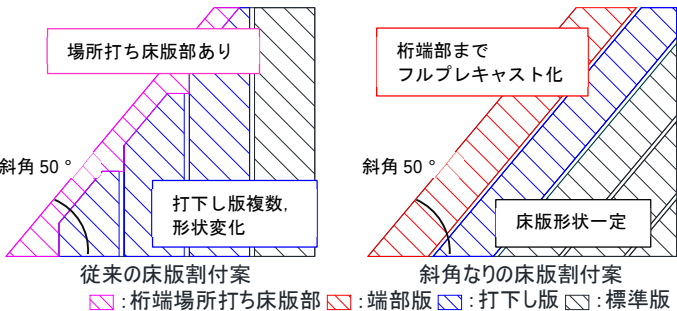


図-2 床版割付案の比較図

構造の場所打ち床版を設けているが、RC 床版は PCaPC 床版と比較して長期耐久性が劣る他、現場の施工条件等により品質のばらつきが生じやすい。また、天候等の現場条件による工程遅延リスクも大きい。加えて、桁端部と標準版との摺付け区間に寸法の異なる打下し版が複数必要になり、床版の種類が増加することで床版製作コストが増える。

そこで、PCaPC 床版の形状を一様な平行四辺形として床版を桁端部までフルプレキャスト化するように設計した。場所打ち床版の施工が不要となるため、品質の安定及び長期耐久性の向上、現場作業の省力化及び工期短縮等の効果が期待できる。床版運搬時の最大幅には 2.5m 以下の制約があるが、床版形状を平行四辺形とすることで橋軸方向に 2.6～2.8m の通常より幅広の床版を製作でき、運搬・架設枚数が減少する。

(2)斜版形状の PCaPC 床版の設計

床版割付図を図-3 に示す。床版の種類および枚数は、計 22 枚 (幅 2.6～2.8m) 及び伸縮装置一体版 1 枚である。橋軸直角方向では床版幅員は 10.4m、床版の支間は 2.7m であるが、斜角に沿った方向ではそれぞれ 13.576m、3.525m と大きくなる。特に端部版の設計においては、端ブラケットを必要としない構造を目指し、活荷重は 2 倍で検討を行った。

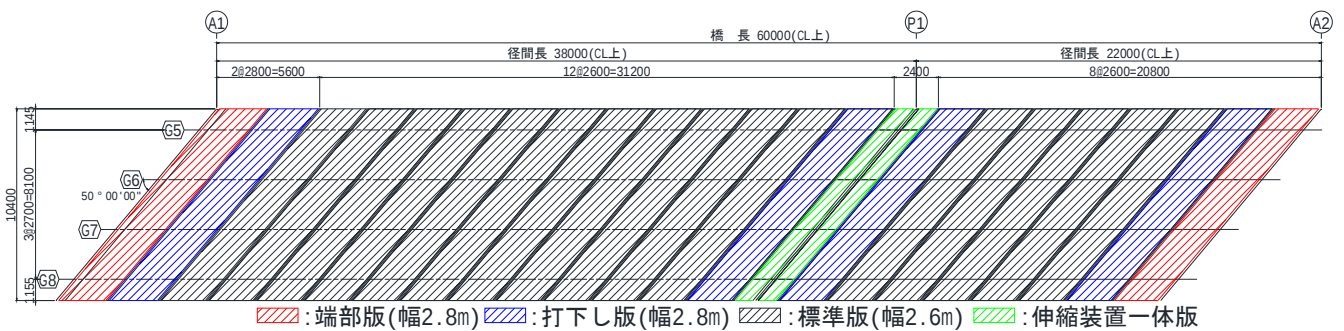


図-3 床版割付図

また、P1 掛違い箇所では伸縮装置一体版を採用して伸縮装置と床版を一体化して製作することで、2 枚の床版と伸縮装置を床版製作後に予め一体化して現場に搬入できる。現場での伸縮装置据付、あと打ちコンクリート打込みを省略し、現場の施工性改善に寄与できる一方で、伸縮装置一体版として運搬するためには、床版 2 枚の幅を合わせて部材短軸方向の幅 2.5m 以下に抑える必要がある。限られた床版幅の中で PC 鋼材を配置する必要があるが、最大数配置した場合でも設計荷重時の張出し床版主桁上縁の引張応力照査で制限値を超過したため、高強度 PC 鋼より線 (SWPR7HT) 1S15.2 を適用することとした。なお、伸縮装置一体版以外では標準タイプの PC 鋼より線 (SWPR7BL) 1S15.2 を配置した。床版厚は標準部で 220mm、打下し部で 270mm と決定したが、伸縮装置一体版のみ 10mm 増の 280mm とし、断面性能を向上させることで設計成立を図った。なお、伸縮装置一体版と隣接する打下し版との取合部では床版厚に 10mm の差異が生じるが、床版天端の高さを合わせ、間詰部の下面で擦りつけた。

本稿では紙面の都合上、標準版、A1 端部版、伸縮装置一体版 (A1-P1 側) における合成曲げ応力度を抜粋して表-2 に示す。標準版では PC 鋼より線を 1 段配置で 15 本 (図-4)、A1 端部版では PC 鋼より線を上段 13 本+下段 11 本の 2 段配置で計 24 本 (図-5)、伸縮装置一体版では高強度 PC 鋼より線を上段 9 本+下段 8 本の 2 段配置で計 17 本 (図-6)、それぞれ配置している。標準版では支

表-2 PCa 床版の合成曲げ応力度 [N/mm²]

作用位置			支間中央部		連続支点部		片持ち支点部	
			上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
標準版	死荷重時	応力度σ	3.89	2.77	5.20	1.15	3.79	2.86
		制限値σ _a	0≦σ≦17.0					
	設計荷重時	応力度σ	3.89	-2.38	0.97	1.15	-2.14	2.86
		制限値σ _a	-3.12≦σ≦17.0		-2.92≦σ≦17.0		-2.92≦σ≦17.0	
端部版 (A1)	死荷重時	応力度σ	5.12	3.23	5.16	5.16	3.62	7.02
		制限値σ _a	0≦σ≦17.0					
	設計荷重時	応力度σ	5.12	-0.22	0.75	5.16	-2.57	7.02
		制限値σ _a	-2.92≦σ≦17.0					
伸縮装置一体版 (第一径間)	死荷重時	応力度σ	9.06	2.94	9.50	4.35	8.23	5.92
		制限値σ _a	0≦σ≦17.0					
	設計荷重時	応力度σ	9.06	-0.20	5.84	4.35	-2.02	5.92
		制限値σ _a	-2.88≦σ≦17.0					

間中央部の下縁側, 両端部版では片持ち支点部の上縁側での引張応力度が最も厳しい結果であり, 当該断面で必要 PC 鋼材本数を決定した。

本橋はスタッドを密に配置する必要のある合成桁であるため, 床版間詰部にはスリムファスナー工法¹⁾を適用している。間詰部にもスタッドを配置して床版内のスタッド孔数を低減することで, 必要本数の PC 鋼材配置を可能としている。また, 橋軸方向鉄筋の結束及び橋軸直角方向鉄筋の配置が省略でき, 床版設置時間及び現場作業を削減できる。さらに, 間詰間隔を従来の 50%程度である 175mm に低減でき, 施工に時間を要する間詰部の場所打ちモルタル (超高強度繊維補強コンクリート; UFC) 数量を削減することができる。

(3)既設主桁の照査

床版取替工事に伴い, 床版厚の増加及び壁高欄の架設により上部工死荷重が増加することに加え, 設計活荷重が建設当初の TL-20 から B 活荷重に変更されたことで活荷重が増加し, 既設主桁の曲げ応力度が増加するため, 既設主桁の照査を実施した。照査フローを図-7 に示す。H24 道示に基づき主桁の曲げ応力度を照査した結果, 全主桁において許容値を超過する範囲が見られた。特に外桁である G5 桁, G8 桁で発生応力度が大きく, 下フランジの支間中央部及び主桁断面形状の変化点, 上フランジの主桁断面形状の変化点で発生応力度が許容値を超過した。G5 桁第一径間における発生応力度を図-8 に示す。次に, H29 道示に基づいて作用による応答値と許容値を算出し, Load Rating (以下, LR) による照査²⁾を実施した。LR の照査式を図-9 に示す。LR による照査では, 対象橋梁が基準となる活荷重の何倍の耐荷力を有するかを示す Rating Factor 値 (以下, RF 値) を算出し, その値が 1.0 以上か否かによって主桁補強の必要性を判定する照査手法である。LR の照査結果においても外桁である G5 桁, G8 桁で RF 値が 1.0 以下となり, 支間中央部や主桁断面形状の変化点で発生応力度が許容値を超過した。なお, LR において斜角 75°以上の直線橋では, 格子解析結果と実際の橋梁における発生応力度の差異を考慮して活荷重応力度の低減が可能である。しかし, 本橋の斜角は 50°であり, 本橋のような小さな斜角の橋梁につい

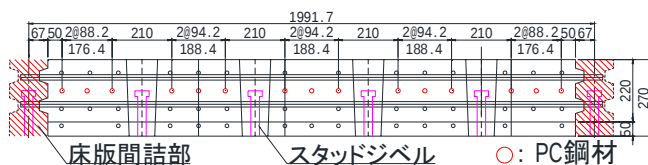


図-4 PC 鋼材配置図 (標準版)

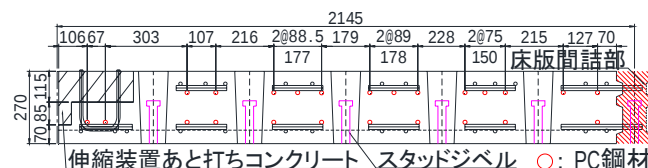


図-5 PC 鋼材配置図 (A1 端部版)

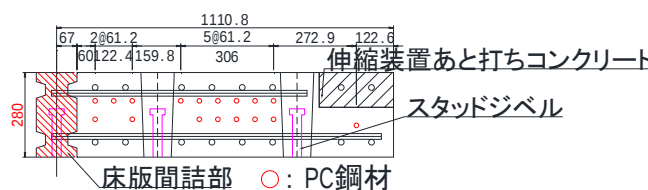


図-6 PC 鋼材配置図 (伸縮装置一体版)

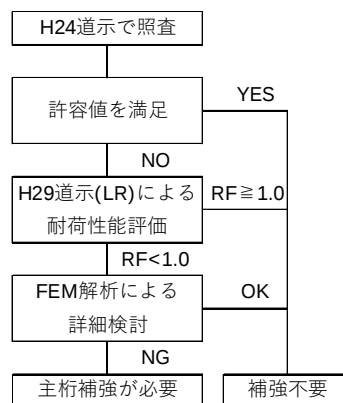


図-7 主桁の照査フロー

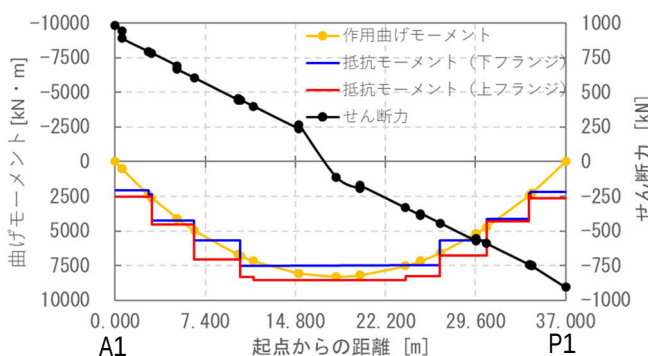


図-8 G5 桁第一径間 曲げモーメント (H24 道示)

$$RF = \frac{\Phi_s \Phi_c R - \gamma_D D}{\gamma_L L (1.0 + i)}$$

γ_D : 死荷重係数(1.05) D : 死荷重効果
 γ_L : 活荷重係数(1.25) L : 活荷重効果
 R : 応力制限値 i : 衝撃係数

Φ_s : システム係数

(システムリダンダンシーの効果を考慮する係数: 本稿では鋼主桁部材を弾性範囲内で照査するため, 1.0 と規定)

Φ_c : 状態係数

(点検結果により判明した橋梁の損傷・劣化による耐力の低減効果を考慮する係数: 本稿では床版取替工事施工時に鋼主桁の損傷・劣化は補修するため, 1.0 と規定)

図-9 LR 照査式²⁾

ては格子解析と実測値の比較検討データが乏しいため、安全側をみて活荷重応力度の低減は行わないこととしており、許容値超過の要因であると考えられる。そこで、FEM 解析による詳細検討を実施した。解析に際して、死荷重に対しては主桁のみで抵抗するが、活荷重に対しては主桁に加え床版と壁高欄の剛性を考慮した断面で抵抗するモデルを用いており、死荷重と活荷重のそれぞれについて、別途解析を実施して発生応力度を合成している。解析モデルを図-10、G8 桁に着目した場合の活荷重載荷範囲を図-11、主桁の橋軸方向応力コンターを図-12、主桁の発生応力度を図-13にそれぞれ示す。FEM 解析の結果、主桁発生応力度は下フランジで大きくなる傾向があるが、すべての桁において許容値内に収まっており、主桁の補強は不要な結果となった。

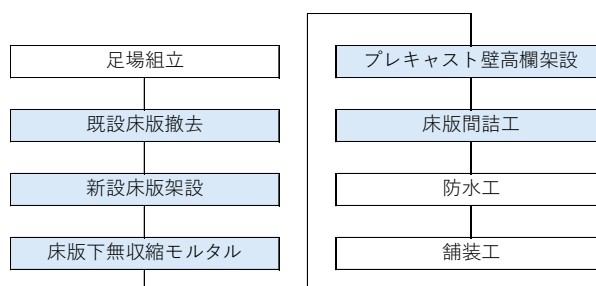
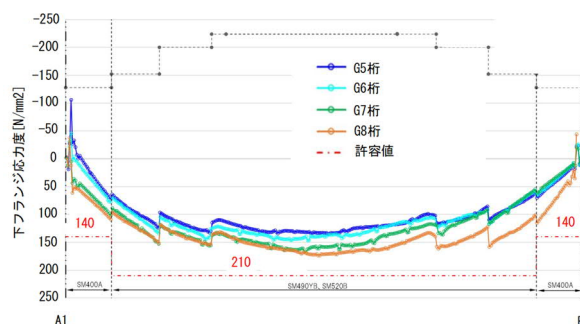
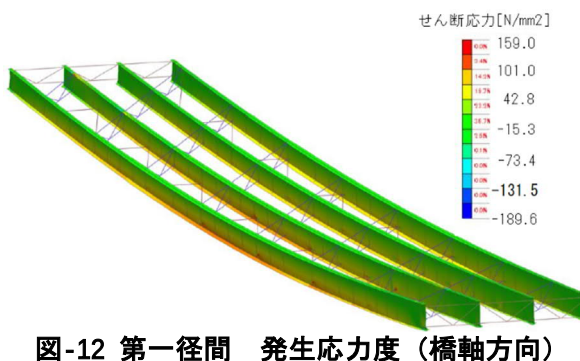
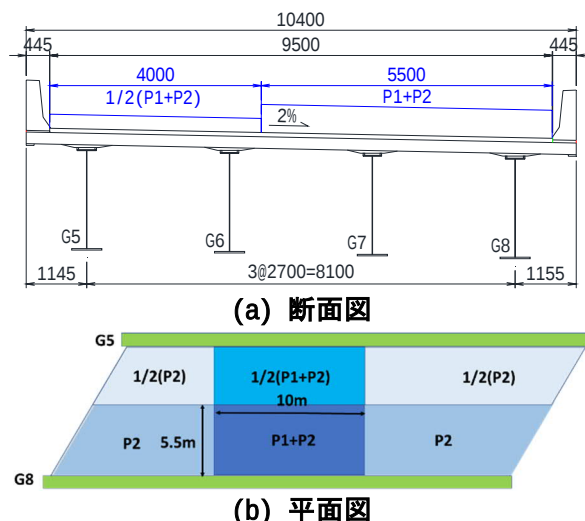
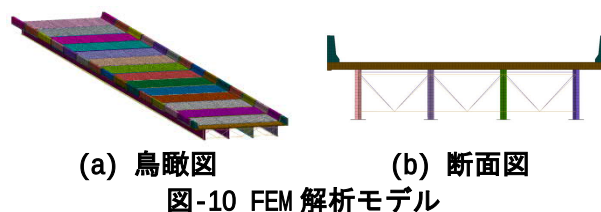
種々の検討結果を踏まえ、本橋では FEM 解析結果を採用し、主桁の補強は不要であると結論付けた。H24 道示による照査及び H29 道示による照査 (Load Rating) では主桁の補強が必要な結果であったが、斜角の規定で発生応力度を低減できないなど安全側の照査であり、これらの照査結果のみを根拠として主桁の補強を実施することは不経済であると判断した。一方、FEM 解析結果は対傾構による応力伝達や床版・壁高欄の剛性等を考慮しているために実橋梁に近い応力状態を再現できていると考えられ、主桁の補強は不要とするのが合理的であると考えた。

4. 施工報告

次に、床版取替工事の施工について報告する。本工事は 5 日間の日曜閉所を含む 62 日間の集中工事期間中での施工であり、一部の作業を除き昼間作業で施工した。

(1) 施工概要

床版取替工事の施工フローを図-14に示す。本稿では、本工事の特徴であるフローで着色した工程について説明する。床版取替工事において、クレーンを既設床版上に配置し、施工に伴ってクレーンを移動させながら既設床版撤去及び新設床版架設を行う施工方法が一般的である。藪川橋は橋長 $L=60.0\text{m}$ の合成桁橋であり、主桁はクレーン荷重を支持できなかったため、クレーンを土工部に設置して既設床版を全撤去可能となる 550t 級オールテレーンクレーン 2 台を定置配置したクレーン計画にて施工を行った (写真-1)。また、合成桁橋のため主桁と



床版は馬蹄形ジベルで強力に固定されており、馬蹄形ジベルの撤去作業に長時間を要する。既設床版の撤去に際しては、工程短縮のために非合成桁橋の床版撤去と同様に桁間と桁上の床版に分けずに一括で撤去することとした。

(2)既設床版切断撤去

a)切断撤去工

藪川橋は合成桁橋であり、主桁上面には馬蹄形ジベルが設置されているために床版引剥し機を用いたジャッキアップによる既設床版撤去手法は採用できなかった。従来、合成桁橋の床版取替では、準備工として予め既設床版の下面で支保工を設置し、床版を張出し床版部（地覆壁高欄部）・桁間床版部・桁上床版部に分けて支保、切断、揚重撤去を行う。その後、主桁上の床版部を人力斫りやウォータージェット（以下、WJ）斫り等により撤去し、馬蹄形ジベルを露出させ撤去するが、作業工程の長期化が懸念された。そこで本工事では、対面通行規制開始前に、既設床版下の限られたスペースでも作業が可能な超低空頭式の乾式ワイヤーソーを用いて桁上床版部のハンチ部分を先行して水平切断し、桁と既設床版を分離させた（図-15）。これにより既設床版を張出し床版部（地覆壁高欄部）・桁間床版部・桁上床版部に分けることなく、非合成桁床版撤去と同様の大型ブロックとして揚重撤去することを可能にした（写真-2、3）。

b)主桁ケレン

ワイヤーソーによる切断位置は、主桁を傷つけないよう主桁の 20mm 程度上方としているため、残った薄いコンクリートをチップperで除去した。その後、馬蹄形ジベルを撤去した。過去の工事実績から、馬蹄形ジベルの撤去は施工数量が多く溶接線も長いため、クリティカル工程となることが予想された。本工事ではワイヤーソーにて桁上で既設床版を切断しており、残置される馬蹄形ジベルの全高は 20mm 程度と極めて低い。そのため、床版下モルタル厚 60mm の中に残置しても問題はない。よって、撤去する箇所は①新設のスタッドと干渉する箇所、②床版下モルタル厚が確保できない箇所、③床版下モルタルの型枠であるソールスポンジと干渉する箇所のみとし、作業工程を大幅に短縮することができた。既設床版撤去後の残存馬蹄形ジベルを写真-4 に、撤去状況を写真-5 にそれぞれ示す。

馬蹄形ジベルの撤去後、主桁のケレン作業を行った。既



写真-1 クレーン2台による施工状況

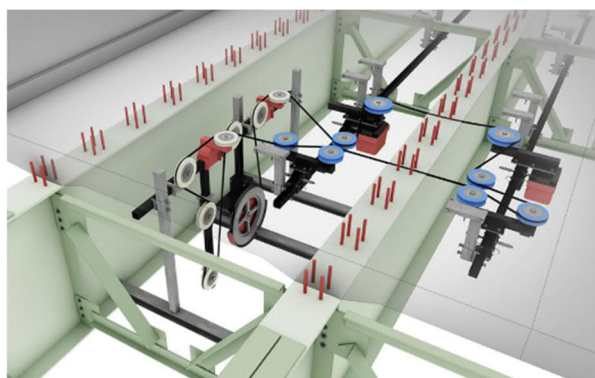


図-15 超低空頭式ワイヤーソー概要図



写真-2 床版引剥し機による既設床版撤去状況

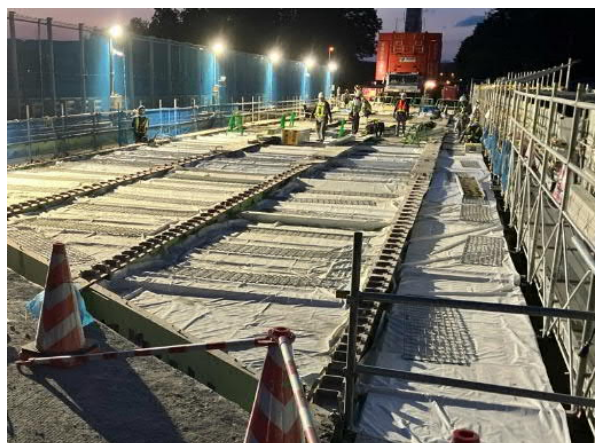


写真-3 既設床版の撤去完了状況

設主桁の天端ケレン作業及び素地調整作業には、ブラスト噴射装置とケレンくずやブラスト材を回収するバキューム装置を有するブラスト機を用いた(写真-6)。また、主桁上面端部がフェザーエッジとならないように、2R 処理を行った。主桁天端面の塗装は、有機ジンクリッジペイントを用いた塗装を施工した。乾燥待機時間を短縮するため、乾燥後の膜厚管理ではなく、塗装後にウェットゲージを用いた膜厚管理を行い、指触により乾燥を確認後、床版下モルタルの型枠として使用するソールスポンジを設置した。

(3)新設床版架設

a)架設検討

新設床版の架設に際し、床版架設時は主桁が非合成状態となるため、既設床版撤去後及び新設床版架設後の主桁のたわみ量（壁高欄、間詰、舗装等の重量を考慮）を事前に算出し、床版ごとに上越し量を加味した床版架設計画を作成して施工した。主桁のたわみを考慮した床版架設により、床版天端面の高さを管理基準値以内で管理することができた。

b)新設床版架設

本工事では試験的に新設床版の突出し鉄筋も含めた 3D モデルを導入している。床版製作に先駆けて事前に床版からの突出筋の干渉状況及び主桁と床版の位置関係等を確認した。また、モデル化の精度と信頼性を確認し、床版出来形を反映した床版据付位置を微調整する目的で、床版を架設前に別途整備したヤードで仮組した(写真-7)。その後、新設床版を土工部に据付けたクレーンで揚重し、架設した。床版架設に際しては、新設床版に加えて既設の主桁・橋台を統合的にモデル化し、床版の座標を一括管理した。事前にモデル化及び仮組をすることで床版の出来形を反映した据付座標を設定可能となり、床版架設時間を短縮して現場作業を省力化することができた。

c)P1 掛違い部の伸縮装置一体版

藪川橋は 2 連の単純桁橋であるが、P1 掛違い部において伸縮装置一体版を採用し、11 日の工程短縮を図った。従来工法では床版及び伸縮装置の架設、あと打ちコンクリート型枠脱型までの工程には 12 日程度を要する(表-3)。そこで、伸縮装置（製品ジョイント）と隣接する床版 2 枚を床版製作工場にて剛結し、伸縮装置一体版とし



写真-4 既設床版撤去後の残存馬蹄形ジベル

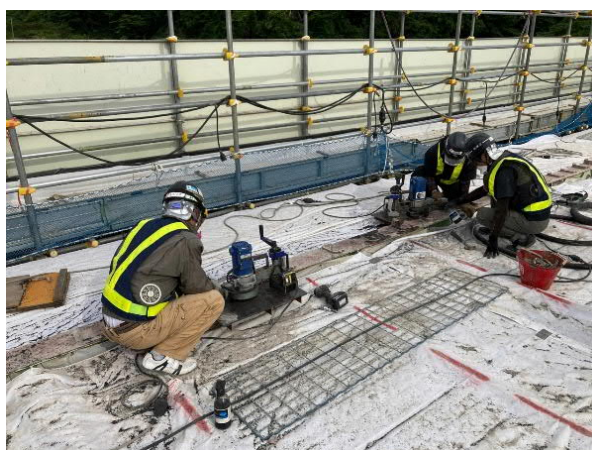


写真-5 残存馬蹄形ジベル撤去状況



写真-6 主桁ケレン状況



写真-7 仮組状況

表-3 伸縮装置架設、あと打ちコンクリート構築の工程（例）

工種		現場での作業											
		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目
従来工程	床版架設												
	伸縮装置架設												
	鉄筋型枠組立												脱型
	コンクリート打込み								膨張コンクリート	5日間養生			
伸縮装置一体版	伸縮装置一体版架設				伸縮装置一体版の採用による工程短縮効果：11日								

て現場に搬入した（写真-8）。現場作業は伸縮装置一体版の架設のみとなるため、施工は1日で完了する。

d)床版下無収縮モルタル

床版下面の主桁部には、主桁と床版を一体化させるために無収縮モルタルを充填した。床版下モルタルの型枠にはソールスポンジを用いたが、主桁端部の上フランジ幅が狭く新設スタッド本数が3本以上となる箇所についてはソールスポンジを設置した場合、スタッドの被り（40mm以上）を確保できないため、新設床版架設後、床版下面に木製型枠を設置して無収縮モルタルを充填した（図-16）。また、早期の強度発現が求められるため超速硬型の無収縮モルタルを使用し、強度発現日数を短縮することで工程短縮を図った。なお、モルタル充填高さは床版下までとし、床版部については50N/mm²の膨張材を配合したコンクリートを用いた。

(4)プレキャスト壁高欄工

本工事では壁高欄として、フルプレキャスト製品の壁高欄を使用した（写真-9）。桁端部まで壁高欄をプレキャスト化することで伸縮装置あと打ち部以外の場所打ち地覆・壁高欄を排除した構造とし、現場での鉄筋及び型枠の組立、コンクリートの打込みといった天候に左右されやすいクリティカル作業の省略を可能としている。壁高欄の架設後に連結ボルトを締付けて床版と壁高欄及び壁高欄同士を連結し、壁高欄下の目地に無収縮モルタルを充填することで床版と一体化させる構造である。本工事では壁高欄1基の延長を床版幅の2.6mではなく、床版1.5枚分である3.9mと設定し（製作可能な最大延長：4m）、壁高欄の据付基数を最小化して架設工程の短縮を図った。また、壁高欄と床版の連結は壁高欄下部に設けたボルトボックス内のアンカーボルトを締め付けることで行うが、ボルトボックス内部の充填については、従来の型枠組立によるモルタル充填ではなく、二次製品であるモルタル蓋を使用し、型枠の組立・解体を省略する他、従来必要になるモルタル充填後の養生期間が不要となることで、工程短縮に寄与できた（写真-10）。



写真-8 伸縮装置一体版

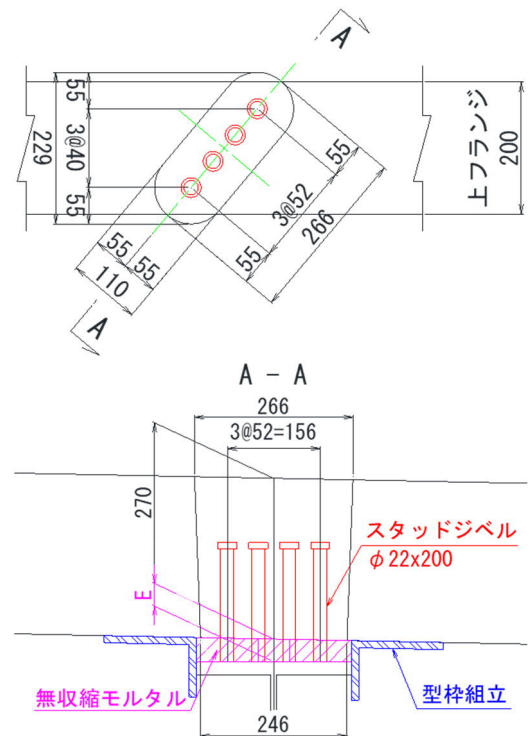


図-16 床版下無収縮モルタル・型枠概要図

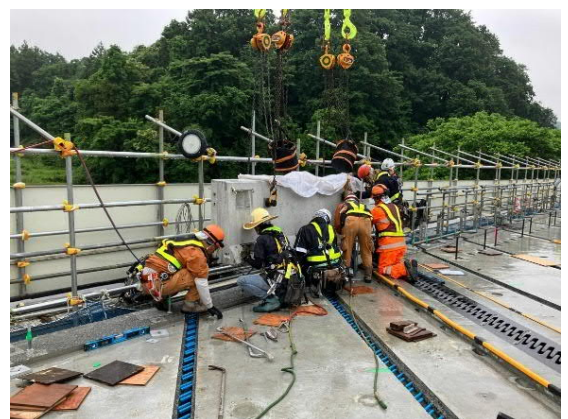


写真-9 プレキャスト壁高欄架設状況

(5)床版間詰工

新設床版間詰部の継手は、床版の棲部に設けたせん断キーと超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いた構造で、橋軸直角方向の鉄筋配置及び橋軸方向鉄筋の結束が不要となる。UFCは強度が高く、緻密で耐久性が高い。また、現場練りプラントで製造可能で、いつでもフレッシュな状態で打込み可能である。UFCは粘性が高いため、練混ぜには攪拌しながら打込みが可能なパドルホッパーを用いた。常温硬化型のUFCを使用しており、蒸気養生が不要で給熱養生のみで早期強度が3日程度で発現する。そのため、打込み後から規制開放までの日数が少ない中でも、規定の強度を確保することができた。施工状況を写真-11に示す。

5. まとめ

鋼単純合成桁橋における床版取替工事の設計・施工について報告した。当初案の場所打ち床版を省略し、平行四辺形のPCaPC床版を用いて伸縮装置を含めた端部版までフルプレキャスト化した設計施工事例である。

施工においては、対面通行規制に先駆けた既設床版下面の切断による床版撤去工程の短縮、3Dモデルを用いた床版架設検討、P1掛違い部での伸縮装置一体版の採用、壁高欄のフルプレキャスト化、床版間詰部の鉄筋組立の省力化等を実施した。

設計・施工の両面で作業の効率化及び工程短縮を図り、定められた対面通行規制期間内で施工を完了することができた。本報告が鋼単純合成桁橋における床版取替工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 富永高行ほか：新たな床版接合工法を用いた床版取替え工事の急速施工，プレストレストコンクリート工学会 第28回シンポジウム論文集，pp.25-28，2019
- 2) 床版取替工事における既設鋼桁照査に関する参考資料，東日本高速道路株式会社，2023



写真-10 モルタル蓋



写真-11 床版間詰部の施工状況