

中央自動車道上田川橋 PC 合成桁大規模更新工事

三田村 健二*1・坂田 圭信*2・後藤 健二*3・赤穂 健斗*4

本橋は中央自動車道 園原 IC ～中津川 IC 間の大規模更新事業のうち、PC 合成桁を床版打換えする計画であった。これまでプレストレストコンクリート（以下、PC）合成桁の床版取替は、現場打ち床版による打換えが主流であったが、既設床版の鉄筋の研り出しに時間と労力を費やし、また新設床版の現場施工は天候に左右されるなど、かぎられた対面通行期間内に完了しなくてはならない床版取替えには課題があった。

これらの課題に対して、本橋ではキャップスラブ工法（プレキャスト床版による取替え）を適用した床版取替えにより、工期短縮を図り、かぎられた規制期間内で工事を完了した。また、単純合成桁×4連をリンクスラブによりノージョイント化することで、走行性の向上と維持管理の改善を図った。

キーワード：PC 合成桁、PCa 床版、リンクスラブ、NAPP 工法

1. はじめに

高度経済成長期に整備された多くの高速道路の橋梁において、大型車交通量の増加や経年劣化などによる床版の損傷は著しく、速やかな床版取替え工事の必要性が高まっている。本稿は、大規模更新事業における PC 合成桁の床版打換えに代えて、PCa 床版を用いた床版取替えと 4 径間床版連結（リンクスラブ）化により、工期短縮、走行性の向上および維持管理の改善を図った上田川（かみたがわ）橋の設計および施工事例を報告する。

2. 工事概要

本工事は上田川橋を含め全 8 橋の床版取替えや付属物などを更新する工事であり、1 回の対面通行規制期間に複数の橋梁の床版取替えを実施する計画となっている。

上田川橋の橋梁諸元および工事概要を表 - 1 に、概要図を図 - 1 に示す。

上田川橋は上下線が近接する支間長約 30 m × 4 連の PC 単純合成桁橋である。供用後約 50 年を迎える本橋は既設

RC 床版が著しく損傷し、更新が必要であった。また、走行性の改善と漏水対策のためのノージョイント化も必要とされていた。床版取替えおよびノージョイント化は、約 70 日間の対面通行規制期間内に完了する必要があるため、現場での施工量を可能な限り縮減するためのさまざまな工夫が必要であった。

上田川橋上下線の床版取替え工事は 4 期に分けて行われるが、本報告は設計と、床版取替えが完了した下り線の施工について主に述べることにする。

表 - 1 橋梁諸元と工事概要

工事名称	中央自動車道（特定更新等） 柳川橋他 9 橋橋梁補修工事
発注者	中日本高速道路株式会社
施工場所	自）長野県下伊那郡阿智村 至）岐阜県中津川市
工期	2017.8.11 ～ 2021.3.22 このうち上田川橋の床版取替え施工 2019.5 ～ 7 月：下り線Ⅰ期、2019.10 ～ 12 月：下り線Ⅱ期 2020.5 ～ 7 月：上り線Ⅰ期、2020.9 ～ 11 月：上り線Ⅱ期（予定）
橋長および支間	L = 125.0 m（PC 単純合成桁橋 × 4 連） 30.4 m、29.9 m、31.3 m、30.4 m
有効幅員	9.610 m ～ 9.843 m
構造形式	PC 単純合成桁 × 4 連 → PRC 4 径間連結活荷重合成桁橋
床版取替え	RC 床版（ $t=210$ mm）→ PCaPC 床版（ $t=220$ mm）
壁高欄取替え	プレキャスト壁高欄
橋梁付属物	支承取替え、伸縮装置取替え、落橋防止装置設置 下部工検査路取替え、排水装置取替え

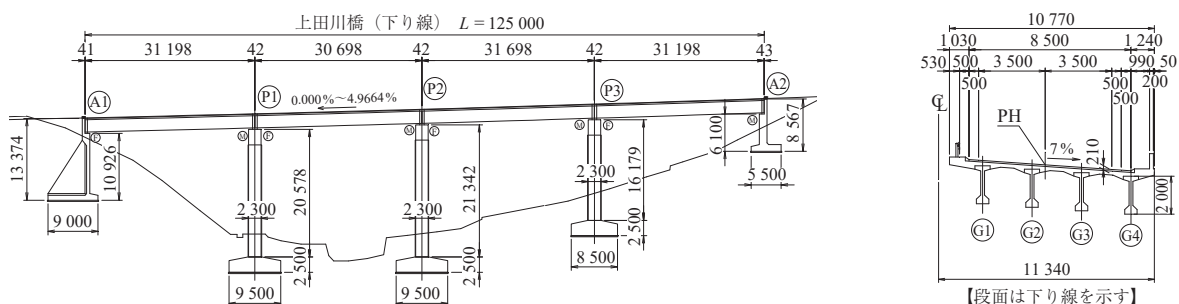


図 - 1 上田川橋の概要図（現況）

*1 Kenji MITAMURA：(株) 大林組 土木本部生産技術本部橋梁技術部

*2 Yoshinobu SAKATA：(株) 大林組・JFE エンジニアリング (株) 特定建設工事共同企業体

*3 Kenji GOTO：中日本高速道路 (株) 飯田保全・サービスセンター

*4 Kento AKAHO：中日本高速道路 (株) 飯田保全・サービスセンター

3. PC 合成桁へのキャップスラブ工法の適用

3.1 キャップスラブ工法の概要

発注時の床版取替え方法は、標準的な現場打ち RC 床版で打ち換えるものであった。その場合、既設主桁から突出しているスターラップ、ずれ止め鉄筋をウォータージェット（以下、WJ）ではつり出して再利用する。ハンチ筋については床版撤去とともに切断するが、エンクローズ溶接により復旧する必要があった（図 - 2）。

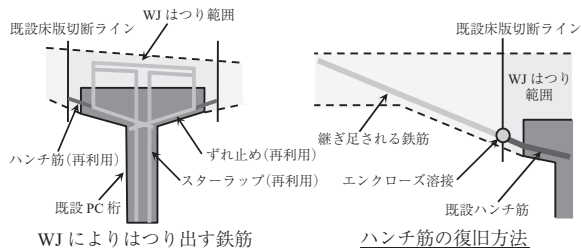


図 - 2 床版打換え時の鉄筋のはつり出し

この方法では、床版撤去に時間を要し、かぎられた交通規制期間内に床版打換えを完了できないことから、PCa床版を用いる計画に変更した。既設床版を主桁上フランジに沿って床版カッター（鉛直方向）とワイヤソー（水平方向）で切断・撤去したのち、図 - 3 に示すようにPCa床版と既設PC桁を接合する構造である。

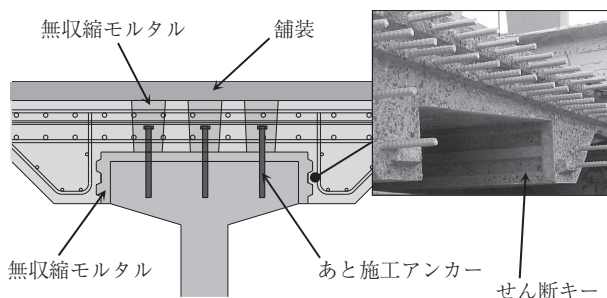


図 - 3 PCa床版と既設PC桁との接合部

3.2 PCa床版の構造的特徴

既設合成桁は、上フランジの一部が床版ハンチ内に埋め込まれた形式である。主桁上にPCa床版を設置する場合の床版形状としては、図 - 4 のAやBの形状があげられるが、A形状の場合は主桁近傍で負曲げに対する床版厚が不足して構造が不成立、またB形状の場合は既存の橋面高よりも、ハンチ厚分だけ橋面高が高くなり伸縮装置部や縦断線形への影響が大きく、適用が困難であった。そこで、標準厚の220mmを確保した床版の下に突起を設け、既設主桁の上フランジを帽子（以下、キャップ）のように取り囲む形状とした。このような形状とすることで、キャップがストラットとして機能して、負曲げによる床版の変形を抑制できる。床版上縁の最大引張応力度（橋軸直角方向）の低減効果はFEM解析により確認した（図 - 5）。結果として、主桁フランジ上においても最小床版厚220mmで床版の構造を成立でき、ハンチ厚の分、路面高さが高くなることを回避できた。

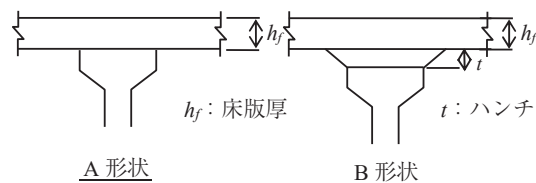


図 - 4 一般的なPCa床版の形状

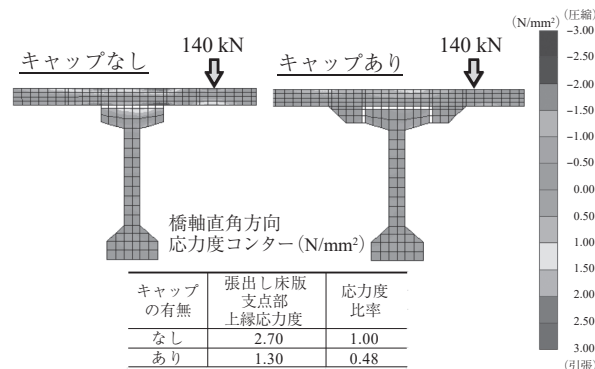


図 - 5 PCa床版キャップ形状の効果（T活荷重載荷時の例）

4. 既設合成桁のリンクスラブ化

4.1 リンクスラブの構造的特徴

発注時計画は単純桁を4径間連続化し、ジョイントレスによる走行性の改善と漏水対策を行う予定だった。内外PCケーブルを併用して、床版打換えと同時に現場でプレストレス（以下、PS）力を導入するというものであったが、かぎられた交通規制期間内で施工を完了させるためには、現場作業量を縮減する必要があった。そこで、PCa床版化し、床版のみを連結するリンクスラブを採用した（図 - 6）。リンクスラブによる連結化は、断面力の状態が単純桁に近くなる特徴がある。図 - 7 に連結化の場合の活荷重による曲げモーメント分布を示す。連結構造では、支点部において負曲げが約85%低減されていることが分かる。これにより、既存構造（単純桁）の挙動を変えることなく、ジョイントレス化を実現している。

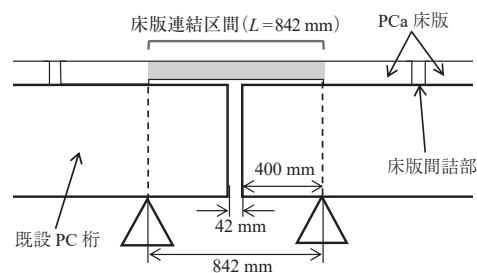


図 - 6 床版連結の概要

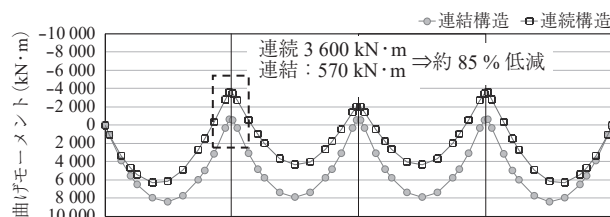


図 - 7 活荷重による曲げモーメント

4.2 リンクスラブへの主方向プレストレスの導入

上述したように、連結化によって支点部の負曲げは小さくなるものの、リンクスラブ区間は床版のみの断面で抵抗するため、橋軸方向上縁応力度がひび割れ発生限界を超過する。床版の長期耐久性を確保するため、床版コンクリートにひび割れを発生させないことを要求性能とし、支点上に位置する3枚のPCa床版には、橋軸方向のプレストレスを導入することとした。

PCa床版は、橋軸直角方向にはプレテンション方式(1S15.2)でPS力が導入されるため、主方向にもPS力を与えるためにNAPP鋼棒を採用した。計算上必要とされる橋軸方向PS力は1主桁あたりNAPP60Tユニット(導入PS力=620kN相当)が6本である。このようにすべてのPS力導入作業は工場で行うため、現地での緊張作業がなくなり、現場施工量の縮減に大きく寄与している。写真-1に二方向へPC鋼材を配置した状況を示す。

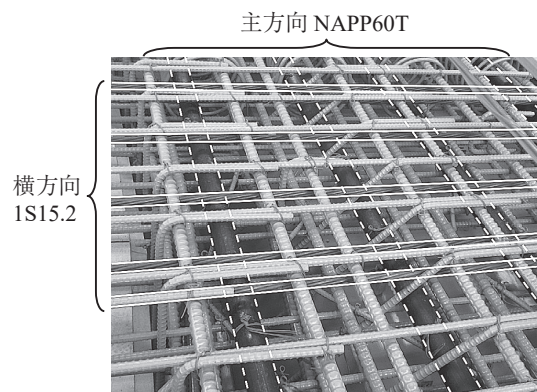


写真-1 二方向へのPC鋼材の配置

5. 施 工

5.1 施 工 概 要

2019年5月から7月までのA1～P2区間と10月から12月までのP2～A2区間の2期に分けて、上田川橋の下り線の床版取替え工事を実施した。上田川橋は、鋼桁と異なり、床版を引き剥がして撤去することは不可能であり、また、サイクル施工では逆に工程がかかってしまう。そこで、すべての範囲の既設床版撤去後に新設PCa床版を架設する手順とした。そのため、床版取替えする範囲にはクレーンを配置せず、橋台側に400tクレーン(2期は550t)を、P2橋脚側に220tクレーンを配置し、2台の大型クレーンですべての床版を架設できる計画とした。また、既設床版の撤去および新設PCa床版の架設は一方側から施工することで、撤去後の作業に速やかに取り掛かれる体制とした。PCa床版による施工は、従来工法と比較して約3倍程度早く施工できると試算している。図-8に全体施工フロー、図-9に床版取替えSTEPを示す。

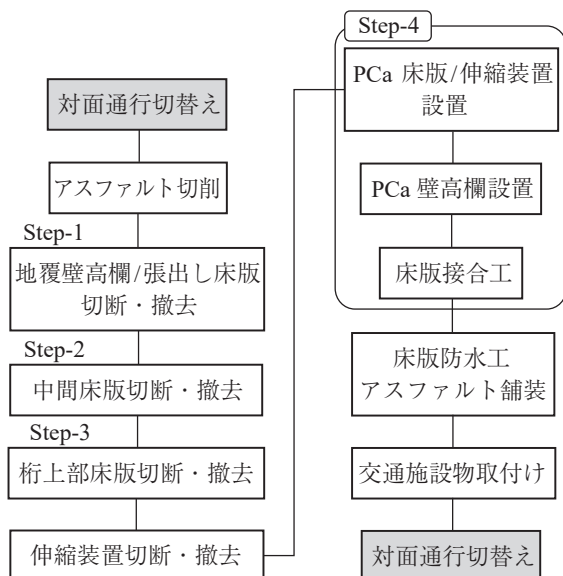
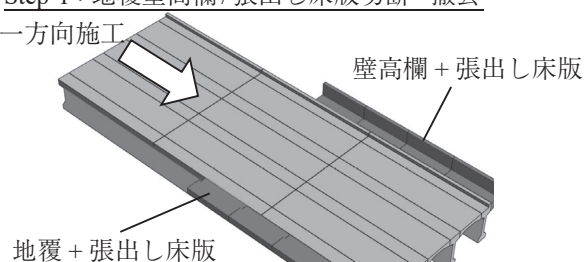
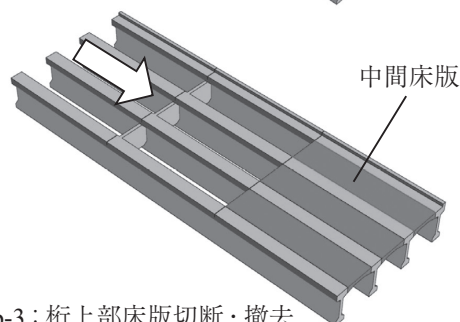


図-8 全体施工フロー

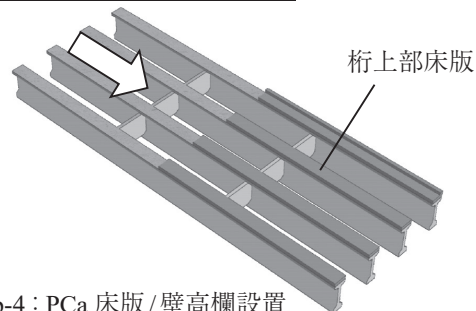
Step-1: 地覆壁高欄/張出し床版切断・撤去 一方側施工



Step-2: 中間床版切断・撤去



Step-3: 桁上部床版切断・撤去



Step-4: PCa床版/壁高欄設置

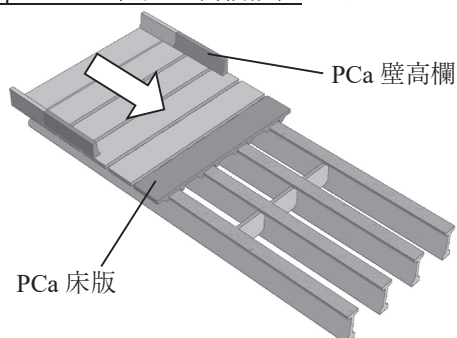


図-9 床版取替えSTEP図

5.2 PCa 床版の製作

キャップスラブ工法は、前述したように床版下に突起を設けて既設主桁の上フランジを帽子（キャップ）のように取り囲む形状である。そのため、床版架設時に既設主桁の位置が設計と異なるとキャップがおさまらず架設できないことが懸念された。そこで、PCa 床版の製作に先駆けて 3D スキャナーによる既設主桁位置の計測を行い、最小モルタル厚 20 mm を確保できるように PCa 床版のキャップ位置を床版製作に反映させた（図 - 10）。また、床版形状を決定する際に、床版割付けに合わせておのおのの断面ごとに断面図を復元し、床版タイプをグルーピングすることで、タイプ数を最小化し、床版製作工程を短縮した。

一般的な PCa 床版とは異なり、ハンチがキャップ形状と複雑なため、製作工場と検討を重ね、ハンチ部の型枠には組立てを容易にする構造や横締めによる弾性短縮を考慮した工夫をしている。

5.3 既設床版の撤去

国内において、PC 合成桁の床版取替え実績はないが、類似の鋼合成鉄桁の床版取替えでの既設床版撤去では、既設床版を吊りながら切断し、撤去する方法が採用されていた。しかし、この方法では切断中はクレーンを必要とするため、1 ブロックずつしか撤去ができない。さらに、本工事では夜間に切断作業を実施できない条件であったため、かざられた規制期間内では床版取替えを完了することが困難であった。そこで、主桁を利用し、規制期間前に主桁を利用した支保工で既設床版を仮受けできる構造を構築した（図 - 11）。これにより、床版切断作業を先行して進められ、あと追い作業で床版を撤去できるため、規制期間内の工程を短縮できた。また、本橋は床版と中間横桁が接合されているため、中間床版を鉛直切断しても水平方向にも切断する必要がある。そこで、床版と中間横桁が接合されていない状態では、偏載荷（ねじりの影響）や面外力が作用したときの挙動の影響が懸念されたため、3 次元 FEM 解析によりその影響を確認した。その結果、発生応力度の増大が見られたが 0.5 N/mm^2 程度であり問題ないレベルであることを確認したため、中間横桁の切断を供用期間中に先行して実施することとした（図 - 12）。これにより、さらに規制期間中の切断作業工程を短縮することができた。

詳細な既設床版撤去手順を以下に示す（写真 - 2）。

Step-1: 対面通行規制切替え後、まず地覆、壁高欄、張出し床版をワイヤソーで橋軸直角方向に切断して分割し、床版カッターで橋軸方向を切断する。中分側は上り線の主桁を利用した支保工で仮受けし、路肩側は吊切り撤去する。

Step-2: 支保工で仮受けした桁間の中間床版を床版カッターで切断して撤去する。その際、切断面が鉛直になるように勾配調整架台を使用して切断する。また、主桁を損傷させないように深切り防止リングを設置し管理を行う。

Step-3: 中間床版を撤去したのち、主桁上部の床版をワイヤソーで水平切断して撤去したのち、切断面の不陸調整を行う。なお、床版と主桁の接合部の実験により切断面は、清掃のみで目荒らしが必要ないことを確認済みである。

上記床版切断において、事前に鉛直方向および水平方向

切断作業の試験施工を実施し、切断精度を検証している。その結果をカット割りなどの施工方法に反映させたことで、工程を確保しつつ精度良く切断することができた。

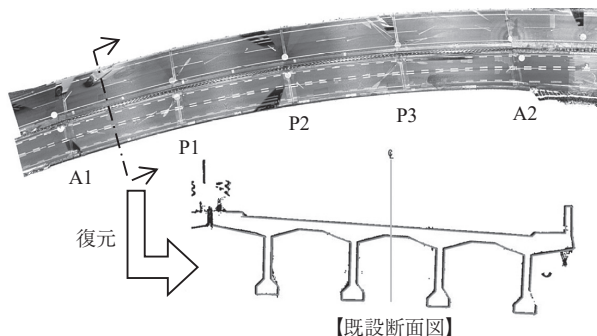


図 - 10 3D スキャナーによる既設断面の復元

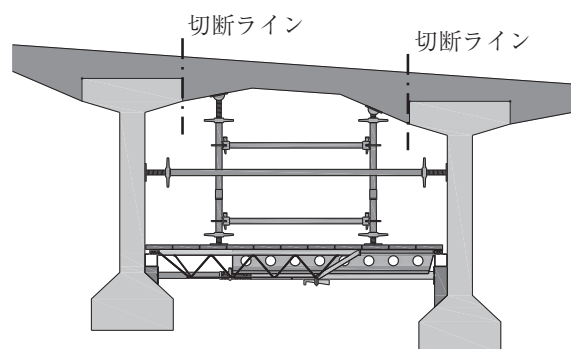


図 - 11 既設床版仮受用内部支保工



図 - 12 中間横桁の先行切断状況

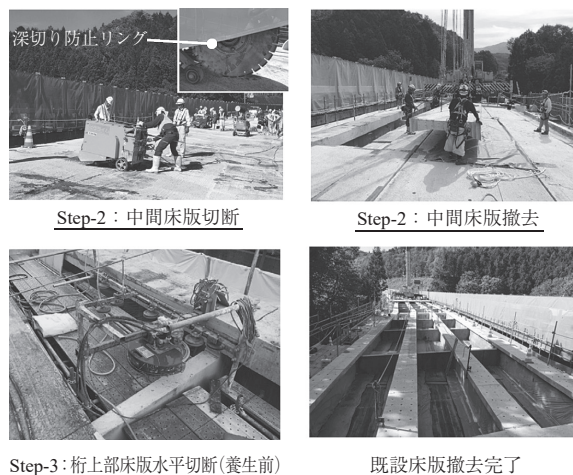


写真 - 2 既設床版切断・撤去状況

5.4 PCa 床版の架設とモルタル充填

事前計測結果から決定した位置に PCa 床版を架設し、主桁との間を無収縮モルタルで充填した（写真 - 3）。計画当初、鋼桁とは異なり、キャップ形状のため、モルタルの未充填が懸念された。そこで、モックアップを用いてモルタル充填試験施工を実施し、排出孔を設けることでハンチ角部や側面せん断キーまでモルタルが充填されることを確認した。第Ⅰ期では排出ホースを、第Ⅱ期では PCa 床版に排出孔を設置して目視で確認できるようにした。また、第Ⅰ期では充填検知センサーを設置して、ハンチ角部まで確実に充填できていることを確認している。

5.5 ずれ止め鉄筋の施工

ずれ止め鉄筋は PCa 床版架設前に、削孔および孔内清掃のみ行い、PCa 床版架設後に無機系あと施工アンカーにて設置した。耐久性照査をふまえて、ずれ止め鉄筋のうち床版上面側に、エポキシ樹脂塗装を施している（写真 - 4）。なお、PCa 床版内に配置される鉄筋についても、同照査の結果、すべてにおいてエポキシ樹脂塗装鉄筋としている。

5.6 壁高欄の設置

壁高欄には、EMC 壁高欄を採用し、フルプレキャスト化した。1 ブロック長 4 m を基本とした割付けにより、曲線線形を再現した。設置後は、壁高欄同士、壁高欄と床版をボルト接合した後、ボルト BOX をモルタルで保護する容易な構造なため、他作業と干渉することなく作業可能である（図 - 14）。これにより、床版接合部の施工やモルタル充填作業と並行した作業が可能となり、全体工程を短縮できた。

5.7 床版接合部の施工

床版接合部には、常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用いた新たな床版接合工法を採用した（写真 - 5）。

橋軸方向鉄筋の継手には先端に加工などの無い通常の異形鉄筋を用い、UFC 内の鉄筋定着長 6.5 ϕ を採用することで、床版接合部の幅を従来工法の約 50 % に低減している。また、鋼繊維配合により橋軸直角方向の鉄筋が不要となるため、現場作業を省略したスピーディな接合部施工が可能となる。とくに、本橋のような合成桁では、ずれ止め鉄筋が多数必要であるが、干渉する横方向の鉄筋が接合部にならないため、接合部にもずれ止め鉄筋を配置でき、従来工法よりも床版側のあと埋め孔を削減できるメリットがある。

5.8 暫定仮接続部の施工

本橋は、前述したとおり、2 期に分割して床版取替えを実施している。そのため、Ⅰ期施工とⅡ期施工を仮接続して、2 ヶ月程度交通開放する必要がある。この仮接続部の構造については、新設床版と既設床版の間を現場打ちコンクリートで仮接続することで対応した。また、Ⅰ期施工時には、路面是新設側と既設側で 100 mm 程度の段差となるため、擦付けが必要であり、伸縮装置部の高上げに樹脂モルタルを使用した「ドーロガード工法」を採用した（写真 - 6）。なお、Ⅱ期施工では、現場打ちコンクリートは新設床版を損傷させないように、WJ 工法を用いて撤去した。壁高欄は EMC 壁高欄を採用することで、接合ボルトを取り外し、ジャッキアップするのみで撤去可能とした。

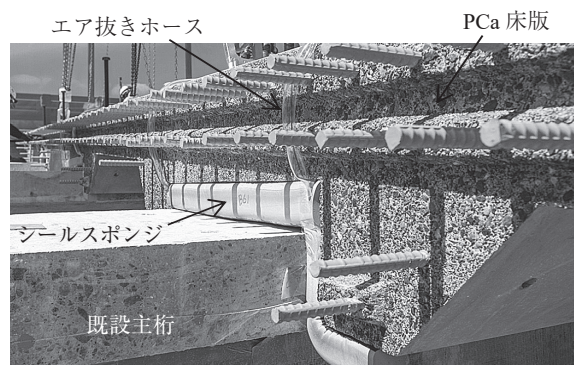


写真 - 3 モルタル充填部詳細

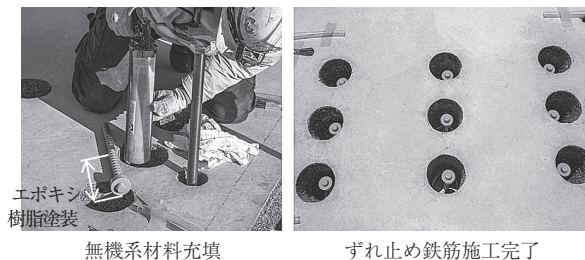


写真 - 4 ずれ止め鉄筋施工状況

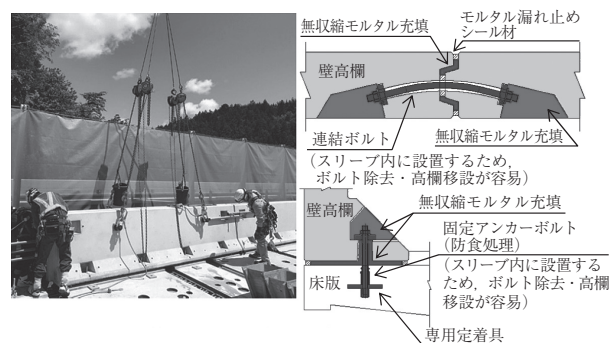


図 - 13 EMC 壁高欄の概要

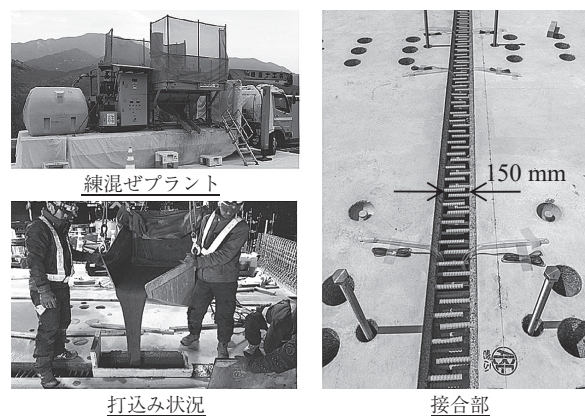


写真 - 5 常温硬化型の UFC 施工状況

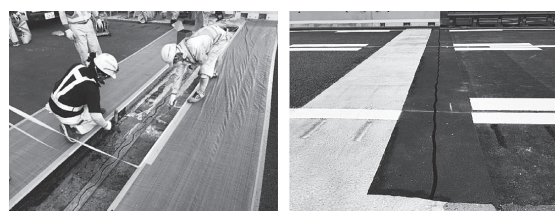


写真 - 6 伸縮装置嵩上げ「ドーロガード工法」

6. 支承取替えと主桁補強

6.1 支承取替え

現況は単純桁4連であり、支承条件は固定-可動が連続するものであった。しかし、床版取替え後は、4連の単純桁が床版連結されるため、支承取替えのステップが床版取替えに大きく影響する(図-14)。そのため、Ⅰ期施工の床版取替えが開始されるまでにA1とP1の支承を取り替えて支承条件を変更し、Ⅰ期施工の期間中にP2～A2の支承取替えを行い、支承条件を変更することで、床版取替え工事を円滑に進めた。

P2支点部は、最終的には固定支承となるが、支承取替え後、主桁への影響を最小限に抑えるため、Ⅱ期施工の床版架設直前までは可動支承構造としておき、床版連結直前に固定に切り替えた(写真-7)。この新支承には、主桁側のアンカー鋼棒に変わり、主桁下フランジ側面に水平力支持鋼製リブを設置する構造の支承を採用している(写真-8)。なお、支承条件の変更により、橋軸方向地震時の水平力を分担する下部構造数が1基減るが、耐震照査の結果、補強などが必要ないことを確認している。

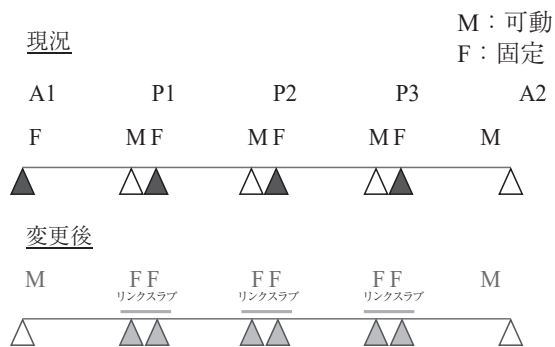
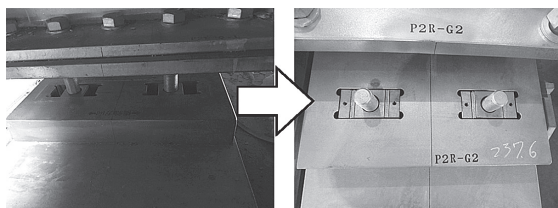


図 - 14 支承条件の変更



可動の状態

固定の状態

写真 - 7 P2 支承 (若番) の可動と固定の切替え部

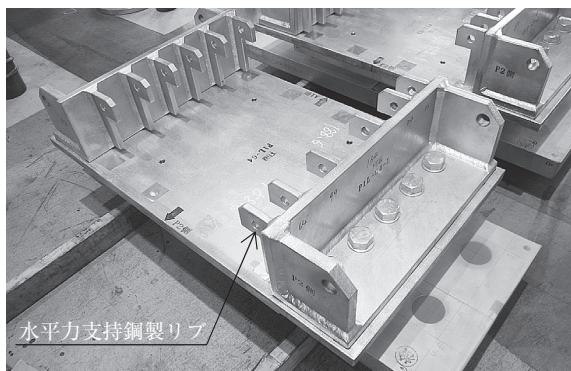


写真 - 8 水平力支持鋼製リブ

詳細な施工手順を以下に示す(写真-9)。

Step-1: 下部工横梁の劣化や損傷している箇所、鉄筋探査などの調査を行い、補修の必要性を判定する。また、鉄筋探査結果をもとに、ブラケットアンカーおよび支承アンカーの削孔位置を計画する。

Step-2: 橋脚横梁の補修前にブラケットアンカーおよび支承アンカーを削孔して型取りを行い、ジャッキアップブラケットの製作に反映する。

Step-3: ブラケット製作期間中に、下部工調査結果により補修が必要と判断された箇所の補修を行う。補修方法は、劣化部をWJ工法で除去後、吹付けまたは左官工法による断面修復およびひび割れ注入を行う。

Step-4: 補修完了後、アンカーを定着し、ブラケットの設置を行う。

Step-5: ジャッキを設置し、単動型の手動ポンプにてジャッキアップを行う。支承線4基を同時にジャッキアップして各ポンプの圧力差は桁ごとの反力差以内とし、上限値は設計荷重時の反力とした。ジャッキアップ量はダイヤルゲージにより、上限値3mmで管理した。

Step-6: ジャッキアップ後、WJ工法により台座コンクリートおよび主桁下フランジ部を研り、既設支承を撤去する。

Step-7: 既設支承撤去後、台座コンクリートを施工して新支承を設置し、沓座モルタルを施工する。設置時の高さ管理は、ゴムの弾性変形量を考慮し、ジャッキアップ前と同じ高さになるように上げ越して設置した。

Step-8: 台座コンクリートおよび沓座モルタルの強度が橋脚の設計基準強度以上であることを確認したのち、ジャッキダウンを行う。ジャッキダウン後は、ゴムの変形や支承のなじみにより高さが変化するため、経時変化を計測し、変位が収束したことを確認した。



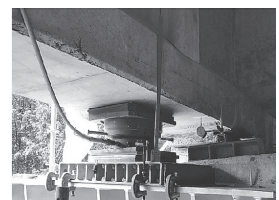
横梁補修前



支承取替え前



ブラケット設置



ジャッキ設置



既設支承撤去



取替え完了

写真 - 9 支承取替え状況

6.2 主桁補強

連結桁構造では、断面力の状態は現況からは大きくは変わらないが、既存構造物が現行のB活荷重に対応していないことから、主桁の補強が必要であった。上田川橋では曲げ補強およびせん断補強ともに、CFRPによる補強を採用した。比較的大きな補強量が必要な桁下縁の曲げ補強にはCFRPプレートを、補強量が小さなウェブのせん断補強にはCFRPシートを採用した（図 - 15）。

曲げ補強範囲は、常時荷重に対して曲げひび割れ発生限界を超える応力度が生じる範囲に実施した。また、せん断補強については、終局荷重時に不足するせん断耐力を補う補強量とした。

施工は、主桁のひび割れ補修や断面修復を行ったのち、せん断補強を先行、ウェブにCFRPシートを貼り付け、CFアンカーを設置する。せん断補強後、主桁下縁にCFRPプレートを設置して曲げ補強を行う（写真 - 10）。

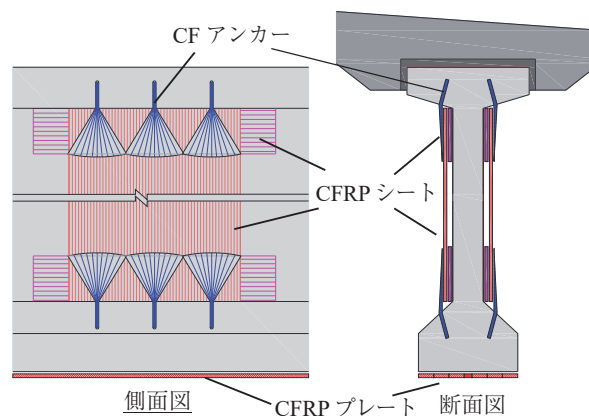


図 - 15 主桁補強の概要



炭素繊維シート



CF アンカー



CFRP プレート



補強後全景

写真 - 10 主桁補強の状況

7. おわりに

本稿は、既設PC合成桁の大規模更新事業に伴い、PCa床版を用いた床版取替え、支承受替えおよび主桁補強の設計・施工事例である。本工法は、今後のPC合成桁の床版取替えだけでなく、新設PC合成桁にも適用でき、工事で得られた知見をもとにさらなる工法の改善を行う予定である。

最後に、新しい構造の採用に理解いただき、ご指導とご助言をいただきましたNEXCO中日本ならびに関係各位の皆様にご感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 仲田、富永、三田村、菅、池端、檜作：中央自動車道 上田川橋 PC合成桁の床版取替え工事、橋梁と基礎、Vol.53、2019.11



下り線完了（全景）



I期完了



II期完了

写真 - 11 完成写真（下り線）

【2020年6月30日受付】