

報告

半断面床版取替工法を用いた大谷橋の施工

志道昭郎*, 赤木渉**, 山口哲矢***, 川畑智亮****

* (株)ピーエス三菱, 広島支店土木技術部 (〒730-0016 広島県広島市中区鞆町 13 番 15 号)

** 西日本高速道路(株), 中国支社津山高速道路事務所 (〒708-0842 岡山県津山市河辺 796)

*** 西日本高速道路(株), 中国支社津山高速道路事務所改築第二課 (〒708-0842 岡山県津山市河辺 796)

**** (株)ピーエス三菱, 広島支店土木技術部 (〒730-0016 広島県広島市中区鞆町 13 番 15 号)

大谷橋の床版取替え施工では、架橋地点の条件による制約から、常時片車線を供用させた状態で片車線ごとに施工する「半断面床版取替工法」が採用された。本橋の施工に際しては、供用車線との境界に専用の仮設防護柵を設置し、片持ち状態で供用される既設床版に対して損傷程度を考慮した対応を行った。また、構造系が変化する各段階で実橋の載荷試験を行い、挙動を把握するとともに品質、安全性の確認を行った。

キーワード：半断面床版取替え、MuSSL 工法、プレキャスト壁高欄、仮設防護柵

1. はじめに

大谷橋は、中国自動車道作東 IC～美作 IC 間に位置する鋼 3 径間連続非合成板桁橋で、供用開始から 40 年以上経過している。近年、凍結防止剤による塩害などの影響で RC 床版の劣化損傷が顕在化し、プレキャスト PC 床版への取替えが実施されることとなった。

本橋は上下線に高低差があり、インターチェンジに近い架橋位置であったことから、一般的な対面交通規制による施工ではなく、片車線規制による半断面床版取替工法¹⁾が採用された(写真-1)。同工法による工事は、中国自動車道道谷第二橋上り線にて実施されている²⁾が、これは全面交通規制のもと試験的な施工が行われたものであり、常時片車線を供用した適用は本橋が初となる。

本稿では、施工の概要に加え、供用車線境界に設置した仮設防護柵や片持ち状態で供用される既設床版の損傷評価などの諸検討、実橋載荷試験等について報告する。

2. 施工概要

2.1 工事概要

工事名 : 中国自動車道(特定更新等)
大谷橋他2橋床版取替工事
工事場所 : 自) 兵庫県佐用郡作用町横坂
至) 岡山県美作市北山
発注者 : 西日本高速道路(株)中国支社
橋長 : 上り線106.5m, 下り線98.0m
支間長 : 上り線32.998m+39.500m+32.998m
下り線31.498m+34.000m+31.498m



写真-1 大谷橋施工状況(下り線2期施工)

2.2 施工概要

本工事は、令和2年度に上り線を、翌3年度に下り線を施工した。ともにゴールデンウィーク明けから交通規制を行い、盆休みの夏期混雑期間までに1期施工として追越車線側を施工し、盆休み明けから雪氷対策期前までに2期施工として走行車線側を施工した。供用側車線との境界には鋼製の仮設防護柵を設置し、夏期混雑期間は、追越車線と走行車線が仮設防護柵で分断された状態で両車線の交通開放を行った。図-1に施工概要図を示す。

床版の取替えは、専用の自立式架設機を用いて施工した。追越・走行に分割された床版には、それぞれ単独で交通荷重を支持するプレストレスをプレテンション PC 鋼材で導入し、2期施工のポストテンション PC 鋼材(以降、接合 PC 鋼材)によるプレストレス導入で一体化した。また、1期施工側には工期短縮のためプレキャスト壁高欄³⁾を採用した。

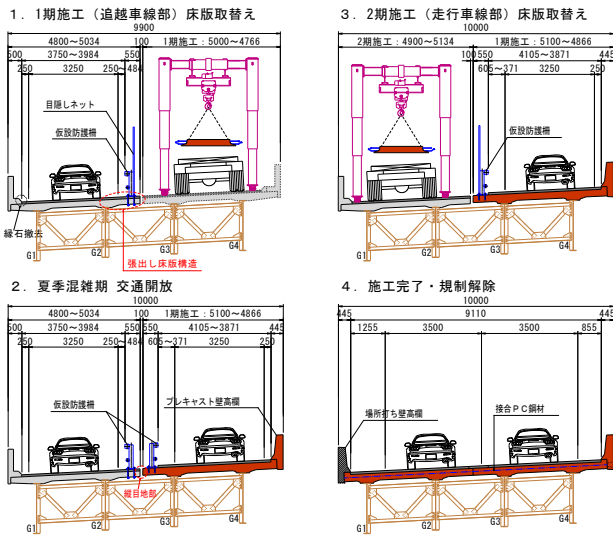


図-1 大谷橋施工概要図(上り線)

3. 施工時の安全性検討

3.1 仮設防護柵の性能設定

仮設防護柵は、すぐ背面で作業を行う作業従事者の安全を確保でき、設置スペースが狭く、損傷時に部分的な交換を人力で行う観点から、鋼製の支柱式防護柵を採用した。設置位置は、床版製作性および設置撤去の施工性から、幅員方向の分割目地(以降、縦目地)から一定の位置とし、既設床版側は貫通アンカーで、新設床版側はインサートアンカーで固定した。支柱間隔はプレキャストPC床版幅に合わせ2.0mとした。

床版撤去箇所は開口となるため、仮設防護柵の耐荷性能は、支柱単体で剛性防護柵(直壁型)のSB種の衝突荷重に抵抗可能な強度とした。また、早期復旧性から、アンカーボルトの安全率を他部材より小さく設定した。横桟により荷重が隣接支柱に伝達され、アンカーボルト降伏後も変形が抑えられ安全性は確保されると考える。

また、新設PC床版は、衝突に伴う防護柵支柱からの荷重伝達によって、耐荷力や耐久性が損なわれると部分的に取り替えるといった対応が難しい。そのため、実構造を反映した試験体による静的載荷試験を事前に行い、想定する破壊性状となることを確認した⁴⁾。

3.2 既設床版の施工時安全性の確認

既設床版をG2-G3桁間のほぼ中央で切断し、走行車線のG2桁から切断位置までの床版は張出し構造で供用される(図-1:1期施工参照)。連続床版から構造が変化するほか、床版の損傷状況によっては、張出し部分を仮支持する縦桁補強やサポート構造が必要となることが想定された。そのため、解析検討において損傷程度の目安を設定し、実構造の状態調査により安全性の確認を行った。

(1) FEM解析による応力度照査と閾値の設定

施工時に張出し構造となる既設床版について、弾性

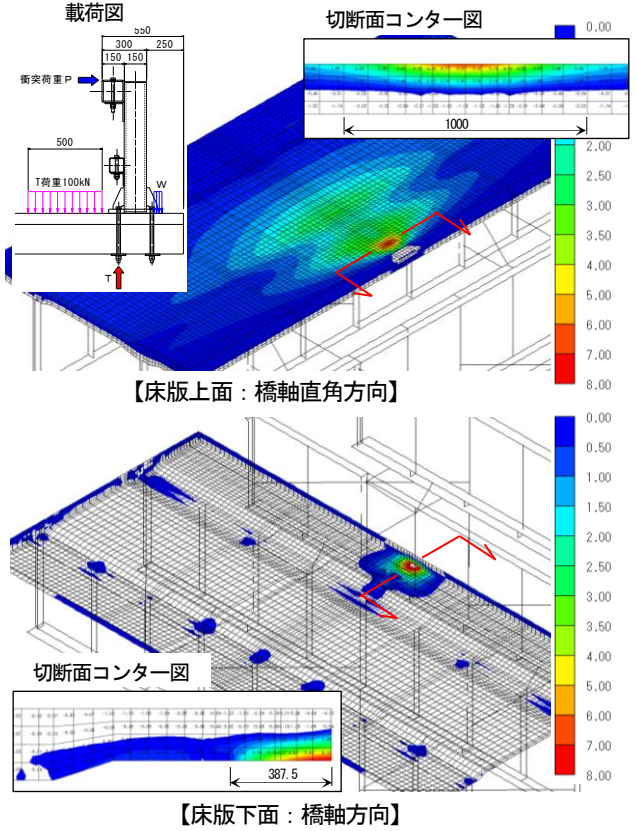


図-2 応力コンター図(D+L+衝突)

表-1 既設床版の検討結果

	橋軸直角方向			橋軸方向				
	健全	①	②	①+②	健全	①	②	①+②
欠損対象	下側かぶり			上側かぶり				
	上側直角方向鉄筋			下側軸方向鉄筋				
D+L	補強不要			補強不要				必要
D+L+衝突	補強不要		必要		補強不要			必要

※①: 圧縮側かぶりの欠損, ②: 引張鉄筋1/2断面欠損
 ※D+L: 許容応力度照査, D+L+衝突: 曲げ耐力照査

FEM解析による検討を行った。解析は、橋軸方向10mの切出しモデルを用い、死荷重およびT荷重、防護柵への衝突荷重を対象とした。解析の結果、衝突荷重作用時における防護柵支柱近傍の発生応力が顕著であることが判明した(図-2)。応力度から算出した断面力を用い、圧縮側かぶりコンクリートの欠損および腐食に伴う引張鉄筋の断面減少をパラメータとし、実構造の損傷程度に対する補強の可否を判断した。

表-1に検討結果を示す。橋軸直角方向は、圧縮側かぶりの欠損単体であれば問題なく、橋軸方向は圧縮側かぶりの欠損および引張鉄筋1/2断面欠損がそれぞれ単独であれば同様に問題ない結果が得られた。両損傷の影響が懸念される箇所は、その程度を評価して耐力を検討する。なお、施工前に舗装を撤去して上面側の損傷を調査した結果、鉄筋の腐食発生は軽微で、傷んだかぶりコンクリートは補修を実施した。そのため、本検討の対象は床版下面側の損傷(橋軸方向鉄筋の腐食程度)が主となる。

(2) 近接目視, 打音調査

直近の点検調査をもとに, 既設床版下面の目視および打音調査を実施した。浮きが生じている箇所や過去に断面修復が行われている箇所が点在しており, 下り線の一部では, かぶりコンクリートの剥落が近接して生じ, 鉄筋が露出して腐食に伴う断面減少も確認された。

(3) 非破壊検査による内部水平ひび割れ調査

かぶりコンクリートが剥落していない箇所でも床版耐力に影響するような鉄筋腐食の発生が懸念された。床版切断後の対応では, 工程に影響することが懸念されたため, 非破壊検査による水平ひび割れ調査を実施した。検査方法は, 衝撃弾性波を用いた非破壊検査手法⁵⁾とした。

ここでは, 下り線について記載する。検査箇所は, 連続性を把握するため断面方向は床版支間中央, ハンチ近傍およびその midpoint の3点 (図-3), 橋軸方向に0.5m間隔 (測点No.1~No.191) の計573点とした。非破壊検査の結果, 打音調査と概ね整合する傾向が確認された。

(4) 局所破壊による鉄筋腐食量調査

鉄筋の腐食程度を確認するため, 水平ひび割れの発生が顕著と思われる箇所 (No.167) について局所破壊調査を実施した。鉄筋径計測による断面残存率を算出した結果, No.167では鉄筋断面の減少は認められるものの, 補強の目安となる閾値を超えるものではなかった。一方, 鉄筋が露出しているNo.36近傍では鉄筋の残存率が閾値近くまで減少しており, 安全をみて補強構造を設置することとした。写真-2に内部鉄筋の状況を示す。

(5) 張出し床版下側の補強対応

No.36 近傍における補強の対象は, 床版下面における防護柵支柱近傍での局所的な橋軸方向の引張応力である。足場組立完了から床版切断までの限られた期間で実施可能な方法として, 損傷近傍の支柱を対象とした4支柱3スパンに, 必要補強量を満足する溝形鋼6.5mを設置した (写真-3)。溝形鋼は, 防護柵支柱のアンカーおよび後打ちアンカーで床版に固定した。溝形鋼のボルト孔は, 各アンカー設置後にボルト孔を正確に位置決め削孔し床版との一体性を確保した。

4. 床版の製作

4.1 床版構造

図-4に本橋の床版構造を示す。床版厚は220mmとし, 橋軸方向の継手構造には間詰め部の施工に底型枠が不要なMuSSL工法⁶⁾を採用した。縦目地はコンクリートせん断キー形状とし, 接合位置決めを容易とするガイドキーを配置した。ガイドキーおよび接合PC鋼材のシースは非鉄製として縦目地部の耐久性に配慮している。なお, 角欠け防止のため縦目地近傍の下面側は増厚形状とした。

4.2 プレキャストPC床版の製作

本工法の縦目地部では, 形状およびPC鋼材やガイドキ

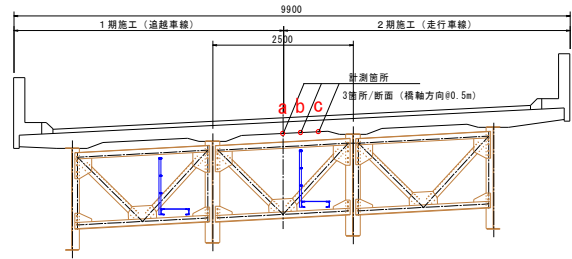


図-3 非破壊検査 計測箇所 (下り線)

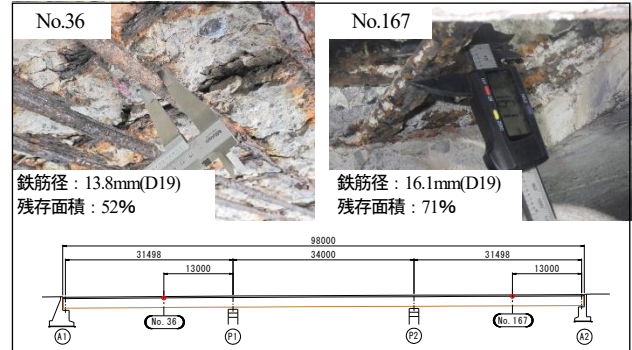


写真-2 既設鉄筋径の計測結果 (下り線)

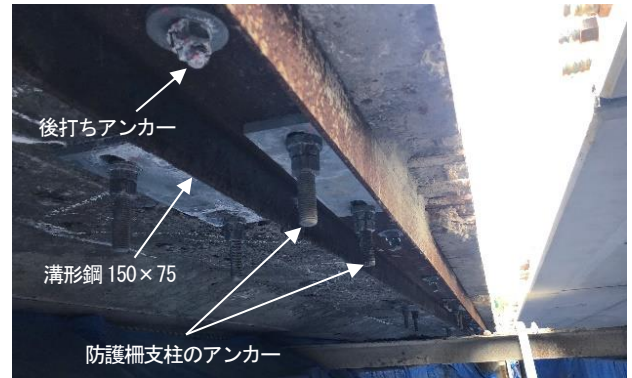


写真-3 張出し床版下側の補強構造 (No.36 近傍)

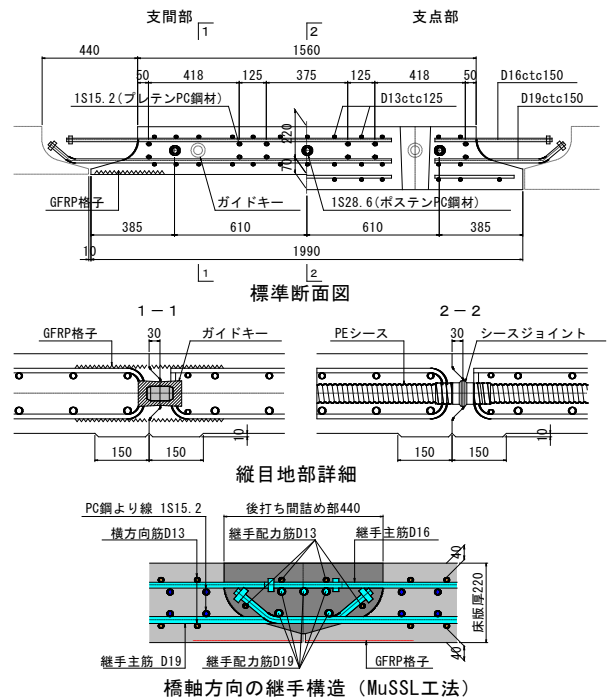


図-4 床版構造

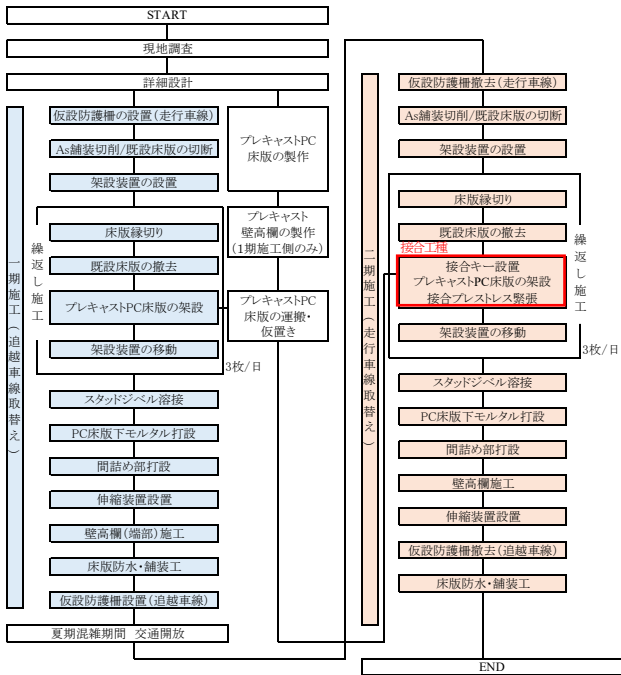


図-5 施工フロー

一の配置について高い製作精度が求められる。しかし、プレテンション方式でプレストレスを導入するため、縦目地部をマッチキャスト方式とすることは困難であった。そのため、縦目地部には削出し形成した型枠を用い、形状および貫通配置される部材位置の精度を確保した(写真-4)。コンクリートは、耐久性向上の観点から高炉スラグ微粉末を50%置換した配合とし、蒸気養生終了後3日間の水中養生を実施した。

4.3 プレキャスト壁高欄の製作

夏期混雑期間の規制解除に対する工程短縮策として、1期施工の追越車線側にプレキャスト壁高欄を採用した。プレキャストPC床版と同じ幅の壁高欄を床版架設前に製作し、床版と壁高欄一体の状態で運搬・架設する。架設後は、壁高欄相互の接合目地に専用の無収縮モルタルを充填して施工が完了するため、場所打ち施工と比較して大幅な現場工程の短縮が可能となる。

養生完了後、床版を工場内の製作ヤードに運搬し壁高欄の構築を行った。製作ヤードには横断勾配を反映した製作架台を設置し、壁高欄の連続性を確認しながらPC版10枚程度ごとの製作を行った。

5. 現場施工

5.1 施工フロー

半断面ごとの床版取替えでは、供用車線との境界で仮設防護柵の設置、撤去を行う。既設床版の撤去およびプレキャストPC床版の架設には、専用架設機を用いて片押しで施工した。2期施工では供用車線を追越車線に切り替え、1期施工と同様の施工を行うが、供用している追越車線側の新設PC床版との接合工種が追加となる。施工フローを

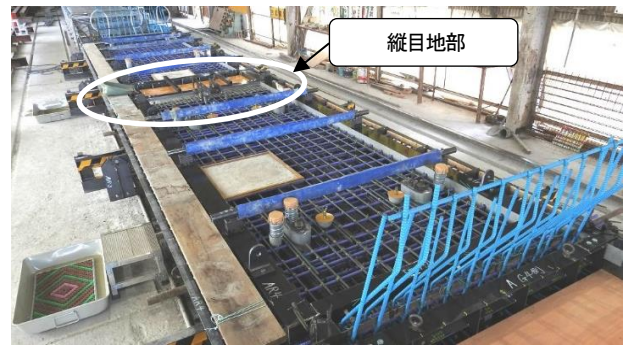


写真-4 プレキャストPC床版の製作状況



写真-5 仮設防護柵(既設床版)の設置状況



写真-6 CCDカメラによる床版下側の確認

図-5に示す。

5.2 1期施工

(1) 仮設防護柵の設置

片車線規制のもと、1期施工時に供用される走行車線側の既設床版に仮設防護柵を設置した。運搬、組立ては4tユニックを用いた。支柱は、既設床版を貫通削孔し、床版下面の定着プレートとアンカーボルトで強固に固定した。写真-5に仮設防護柵の設置状況を示す。

(2) 既設床版の切断

舗装切削後、1期施工の範囲をまとめて既設床版の切断を行った。橋軸直角方向の切断間隔は、プレキャストPC床版幅に合わせて2mとし、鋼桁部材の損傷防止対策をとってカッターで切断した。橋軸方向は、カッター切断の隙間では床版撤去時に供用中の2期施工側の床版に干渉して交通にも影響することも懸念されたため、100mm間隔2ラインで切断し100mm幅部分を事前に撤去した。

また、カッター切断時の床版下面側の確認は従来目視で行っていたが、切断の振動によって劣化したかぶりコ



写真-7 架設機の設置



写真-9 盆休み（夏期混雑）期間の状態



写真-8 追越し側床版の架設状況



写真-10 走行側床版の架設状況

ンクリートが剥落し、目視確認者に接触するリスクがあった。そのため、本工事では CCD カメラによる画像を床版上面から確認する方法を採用した（写真-6）。

(3) 架設装置の設置

本工事では、施工スペースが 1 車線内に限定されるため、専用開発した架設機を使用した。写真-7 に架設機の設置状況を示す。本架設機は、現地にトレーラで輸送後、油圧シリンダーで支持脚が水平および鉛直に伸長して自立する。運搬車両への積込み、積下ろし、設置を架設機自身で行えるほか、自動水平調整機能を有しているため、多様な橋面勾配にも安全に対応できる構造となっている。

(4) 既設床版撤去、プレキャスト PC 床版架設、架設機移動

カッター切断で分割した既設床版は、油圧ジャッキを用いて鋼桁から引き剥がし、架設機で搬出用トラックへ積み込みを行った。鋼桁上に残ったコンクリート片は人力で撤去清掃し防錆剤を塗布した。

プレキャスト PC 床版の架設は、架設機を使用して行った。壁高欄が片側に構築された状態での架設となるため、あらかじめ重心位置を想定し横断勾配をレバーブロックで調整後架設した。写真-8 に架設状況を示す。

鋼桁上に架設機移動時の仮受けのゴム板を配置し、移動後に高さ調整ボルトで所定の高さに据え付けた。架設機は、床版上に設置した軌条上を自走で移動させた。1 期施工では、プレキャスト PC 床版 3 枚の撤去・架設を行い、架設機の移動後、翌日施工分の既設床版の引剥がしまでを 1 日の架設サイクルとして繰り返す施工を行った。

(5) 夏期混雑期の交通規制の解除

取り替えた追越車線の PC 床版と、走行車線の既設床版とは 60mm 程度の高低差があり、限られた工程の中で車線間の乗入れを行う切回し処理は対応が難しいと判断した。そのため、1 期施工完了後、取替えが完了した追越車線側の新設床版にも仮設防護柵を設置し、夏期混雑期間中は走行および追越車線を仮設防護柵で分離した状態で交通規制の解除を行った。写真-9 に盆休み（夏期混雑）期間の状態を示す。

5.3 2期施工

2 期施工は、架設機移動から始め、既設床版の引剥がし後、プレキャスト PC 床版 3 枚の撤去・架設を行い、架設機の移動準備までを 1 日の架設サイクルとして繰り返す施工を行った。ここでは、1 期施工と作業内容が異なるプレキャスト PC 床版の架設および接合について紹介する。

走行側車線のプレキャスト PC 床版の架設では、縦目地部に配置したガイドキーにより、正確な位置決めと迅速な架設作業を可能とした。接合面に専用の高い弾性率を有するエポキシ樹脂系の接着剤を塗布し、架設機にて接合位置近傍まで吊り下ろし、レバーブロックで引き寄せて接合した（写真-10）。接合完了後、接合 PC 鋼材を走行車線足場より人力で挿入し、所定のプレストレスを導入して分割架設した床版を一体化した。

6. 各段階での実橋載荷による挙動確認

6.1 試験概要

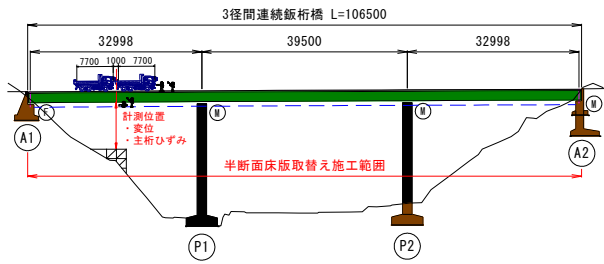


図-6 計測箇所

半断面ごとの床版取替えは、施工段階で構造が変化し、常に供用車線からの交通荷重の影響を受ける。そのため、上り線の各施工段階で実構造挙動の確認を目的に、「静的載荷試験」、「動的載荷試験」、「頻度計測」の各試験を以下の5回実施した。各段階の実施目的は、着手前のstep①をイニシャル値とし、step②および③で各車線の床版剛性が損なわれた状態の確認、step④は縦目地部の挙動確認、step⑤は施工前後の変化の有無の確認である。試験実施箇所は現場条件からA1-P1径間中央とした(図-6)。

Step①_着手前

Step②_1期施工(追越車線側)既設床版切断完了時

Step③_2期施工(走行車線側)床版取替え時

Step④_2期施工(走行車線側)間詰めCon打込み前

Step⑤_施工完了後

- ・静的載荷試験：総重量20tのダンプトラック2台を試験車とし、施工側車線A1-P1径間の支間中央に停車。主桁の鉛直変位、鋼桁の橋軸方向ひずみを計測。
- ・動的載荷試験：総重量20tのダンプトラック1台を試験車とし、供用側車線中央を時速50kmで走行させ、計測径間を通過する際の主桁の振動(加速度)、ひずみの動的挙動を計測。
- ・頻度計測：実交通荷重の把握を目的として、一般車交通によって生じる主桁フランジひずみの領域と出現頻度を、着工前の供用中に7日間計測。

また、2期施工の間詰めコンクリートは場所打ち施工で1期施工側に打ち継がれる構造となるため、打継ぎ部の品質確認を目的に供用車線の交通荷重によるプレキャストPC床版の縦目地間位相差をStep④時に計測した。

6.2 試験結果

図-7にStep①およびStep②の静的載荷試験における鋼桁の上下フランジひずみの計測結果を示す。Step②では既設床版はG2-G3桁間の中央で橋軸方向に、中分側(G3およびG4上)床版が橋軸直角方向に2mピッチで切断された状態であり、非合成構造で設計された橋梁ではあるが、カッター切断に伴って床版が負担していた圧縮応力が鋼桁上フランジに移行している状況を確認できた。その他施工の各段階における主桁の変位やひずみは、設計想定範囲で、傾向もおおよそ整合した結果が得られた。

図-8に2期施工間詰めコンクリート打込み前に行った一般の大型車両通行時における縦目地両側での鉛直方

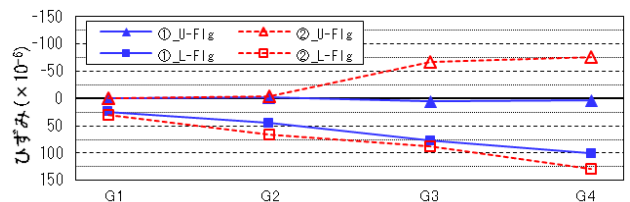


図-7 静的載荷試験-鋼桁ひずみ

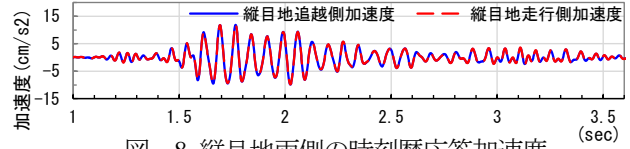


図-8 縦目地両側の時刻歴応答加速度

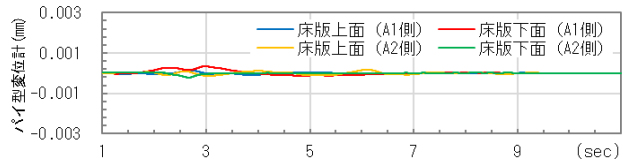


図-9 目開き量の時刻歴応答

向の加速度の計測結果を、図-9に縦目地の開きの計測結果を示す。縦目地両側で鉛直方向の加速度波形は一致しており、接合された分割床版は一体となって挙動している。また、縦目地の開きは最大で0.0003mm(6μ)とわずかで目開きは生じていない。以上の結果から間詰コンクリートの打継ぎ部の品質に悪影響は生じないと考える。

7. おわりに

本工事は、常時片車線を供用しながら半断面床版取替工法を本格的に適用した初めての工事である。先行した道谷第二橋上り線工事の試験施工を踏まえ、仮設防護柵の計画や既設床版の安全性の確認など、より実施に即した諸検討を加え、所定の期間内で無事工事を完了した。

参考文献

- 1)大柳修一, 青木圭一 他: 縦目地構造を有したPC床版の輪荷重疲労載荷試験, PC工学会 第24回シンポジウム論文集, pp415-418, 2015
- 2)本荘清司, 山下恭敬 他: 半断面施工による高耐久化を目指した床版取替え-中国自動車道道谷第二橋-, PC工学会 第26回シンポジウム論文集, pp411-414, 2017
- 3)河中良一, 上城良文 他: PC床版と同時架設するプレキャスト壁高欄の開発, PC工学会 第28回シンポジウム論文集, pp337-340, 2019
- 4)志道昭郎, 安野克彦 他: 半断面床版取替え施工の計画~大谷橋床版取替え工事~, PC工学会 第29回シンポジウム論文集, pp715-718, 2020
- 5)大田一成, 山本雅行 他: 衝撃弾性波を用いた床版の水平ひび割れ検出精度の検証, 土木学会第71回年次学術講演会概要集, VI-721, pp.1441-1442, 2016
- 6)久徳貢大, 志道昭郎 他: 新しい継手構造を適用したプレキャストPC床版の疲労耐久性確認試験, PC工学会 第27回シンポジウム論文集, pp375-378, 2018

(2022年7月8日受付)

(2022年9月9日受理)