

床版取替技術の高度化と

3号神戸線（京橋～摩耶）リニューアル工事への実装

阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 青井 一
阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 笹脇 壮太
阪神高速道路(株)計画部調査課 岩里 泰幸
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部保全事業課 長谷川 智昭

要 旨

当社は、高速道路リニューアルプロジェクト～大規模更新・修繕事業～のメニューの一つである床版取替えについて、これまでに共同研究を通じて平板型 UFC 床版および PS ジョイントを用いた PCa 床版について研究開発を行っており、2023年5月より19日間で実施した3号神戸線（京橋～摩耶）リニューアル工事にて両技術を実装した。平板型 UFC 床版は玉出入路および守 S20 において実装した実績・課題を踏まえて神 S360（上下線1径間 L = 30 m）に実装した。また、PS ジョイントを用いた PCa 床版は、中島排出路での試験施工の実績で得た課題を踏まえて、神 S391（下り線 L = 21 m）に実装した。リニューアル工事で各径間についてそれぞれ床版取替え日数が計画されており、本稿では、これらを施工条件として技術開発を行い、工事で実装した内容について報告する。

キーワード:RC 床版取替え, 平板型 UFC 床版, PS ジョイント, 都市高速道路本線, リニューアル工事

はじめに

阪神高速道路では、構造物の健全性を永続的に確保し、100年先も安心して利用できる高速道路を維持するため、大規模な工事を計画・実施している。このうち、一部の RC 床版では砂利化、ひび割れ、鉄筋腐食などの重大な損傷が顕在化して、表面から補修しても繰り返し損傷が発生する状況にある（写真-1）。この損傷が進展すると路面陥没などが頻発し、床版取替え工事が必要となるリスクを見据え、これまで共同研究を通じて超高強度繊維補強コンクリート（以下、「UFC ; Ultra-high strength Fiber reinforced Concrete」）を用いた床版や、HS プレストレスジョイント（以下、

「PS ジョイント ; High Smart Prestressed Joint」）を用いた PCa 床版（以下、「PS ジョイント床版」）を用いた床版取替技術の開発を進めている^{1) 2) 3)}。今回、2023年5月19日から19日間で実施した



写真-1 コンクリート床版の損傷の状況

阪神高速3号神戸線の京橋～摩耶間のリニューアル工事において、土砂化等の損傷が顕著な神 S360 径間および神 S391（下り）径間の床版取替え工事を実施した⁴⁾。この19日間のうち神 S360 では他径間で実装済みの UFC 床版を用いて10.5日間、神 S391（下り）は狭隘な施工条件を鑑み、PS ジョイント床版を用いて9日間で施工する計画となっていた。今回は、UFC 床版は玉出入路および守 S20 で実装した知見を踏まえた工程短縮技術の開発、PS ジョイント床版では初の本線実装となるが、施工は中島排出路での施工を踏まえた技術開発について報告する。

1. 平板型 UFC 床版

1-1 平板型 UFC 床版の概要と研究開発の経緯

新設床版を既設床版と同じ RC 床版で現行の設計基準を適用した場合、床版厚を厚くする必要が生じて縦断線形の変更や、床版自重が増加して鋼桁の補強や下部工への負担増が懸念される。

このような課題を解決するため、UFC 床版として、軽量かつ耐久性の高い床版として共同研究を通じて開発し、玉出入路、守 S20 において実装されていた⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

1-2 神 S360 の概要とリニューアル工事での課題

神 S360 は、1968年に単純合成鈹桁橋（5主桁）として設計・施工された。その後、阪神淡路大震災での被災を経て、耐震性向上を目的に、桁の連続化や支承受替が行われ、現在4径間連続合成鈹桁橋となっている。床版取替えが行われた神 S360 径間は4径間中の中間部のため、隣接径間との接続部に設置されていた伸縮装置が省かれ、ノージョイント化されている（図-1）（表-1）。

今回の工事では神 S360（写真-2）の床版取替えには10.5日間が割り当てられた。当該箇所では床版取替え実績のある UFC 床版を実装することとした。守 S20 でも10日間が設定されていたが、リニューアル工事とは別箇所であり、床版取替え単独での施工であった。このため、他工事が輻輳

する今回のリニューアル工事では工程に余裕がなく、更なる工程短縮に向けて下記を検討した。

- ①部材寸法による工程短縮
- ②横目地構造の改良
- ③縦締 PC 構造の改良

1-3 部材寸法による工程短縮

本工事では、前回、実装実績のある守 S20 より

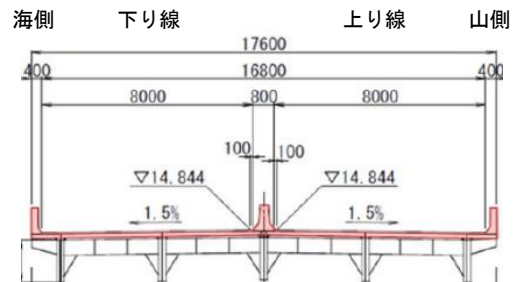


図-1 神 S360 断面図

表-1 対象橋梁の概要

竣工年	1968年	
構造形式	建設時	鋼5主桁単純鈹桁橋
		橋長 35 m
	現況	4径間連続合成鈹桁橋 (1996年主桁連結)
		橋長 30 m
既設床版形式	RC床版 (床版厚180 mm)	
更新後床版形式	平板型UFC床版 (床版厚150 mm)	
幅員	17.6 m (上下線一体)	
設計活荷重	TL-20 (建設時) B活荷重 (供用後)	
その他 (更新前)	床版補強鋼板接着済	



写真-2 現地状況（取替え前）

工程短縮を目指し、架設するパネル枚数を削減した。守 S20 では、製作する工場の設備を考慮した幅（標準パネル幅 1,730 mm）に設定したのに対し、神戸線では運搬可能な寸法（2,500 mm 以下）を基準にパネル割を検討した。平板型 UFC 床版は、標準パネル、端部パネル、交差定着パネルから成るため、各パネル重量が大きく変わらないように配慮した。

その結果、図-2 に示すように標準パネルおよび端部の長さを 2,310 mm とし、合計 26 枚構成とした。守 S20 では伸縮装置の切欠きを設ける必要から端部パネルに打ち下ろしを設けて計 42 枚のパネルでの構成だったが、桁連結されている本工事では伸縮装置がなく切欠きが不要なため、端部パネルに打ち下ろしを設けず標準パネルと同じくフラットな形状とした。

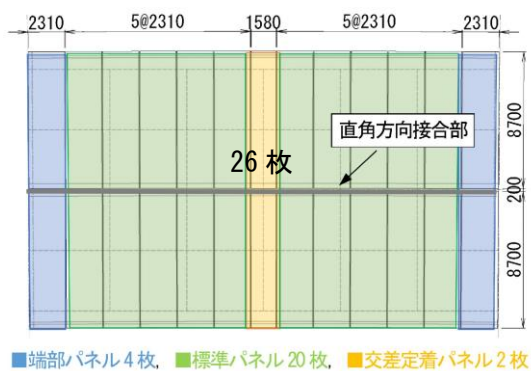


図-2 パネル割平面図

1-4 横目地構造の改良

平板型 UFC 床版の橋軸方向の接合部は、床版架設後に、場所打ち超高性能繊維補強コンクリート（以下、「UHPFRC ; Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete」）を打ち込み、強度発現後に橋軸方向にプレストレスを導入する施工手順とした。守 S20 では、橋軸方向接合部の目地幅を 20 mm にしており、粘性の高い UHPFRC の充填には目地幅が狭く、打込みに時間を要した。そこで打込み時間短縮のため、UHPFRC を用いた橋軸方向目地の最適目地幅を検討するために実験を行った。

実験は、目地幅をパラメータ（20, 50, 100, 150, 200 mm）として、実施工を想定したバケツ

を用いた充填試験を実施した。その結果、図-3 のように充填時間短縮のために上面の目地幅を標準 50 mm とした。また、下面型枠を簡素化して UHPFRC の繊維を充填させるために下面の目地幅標準 30 mm が最適であることを確認した。

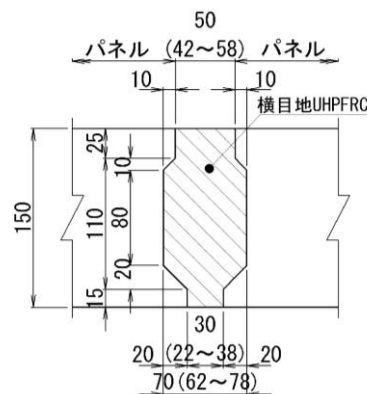


図-3 横目地断面図

1-5 床版の架設

(1) 残スタッドの切断

床版の架設に先立ち、床版撤去後に新しい頭付きスタッドを溶接するため、床版撤去後に残った既設スタッドを切断した。残スタッドの根元をフランジ上面すれすれで切断できる市販の工具を改良し、2 台を一組にしてフランジの両側から工具を水平かつ一定速度で押し削るための施工機械を新たに作製した（写真-3）。作業が自動化されることで効率化を図り、かつ安全に切断作業が可能となり工程短縮に寄与した。



写真-3 残スタッド切断状況

(2) 床版設置

本工事では、守 S20 と同様に 2 台の床版架設機を使用して床版を設置した。前述のとおり床版パ

ネルの寸法を拡大したため、橋面に搬入した床版パネルの荷降し・仮置きスペースが不足した。そこで、床版パネルの設置を上下線で逆方向とした。

床版架設機を使用する場合、最初に設置する端部パネルが隣接区間の壁高欄や遮音壁と近接するため、設置には多少の時間を要した。それ以外のパネル設置は、懸念した直角方向接合部の、配筋および頭付きスタッドの狭隘部でも、干渉は一切発生しなかった。床版設置状況を写真-4 に示す。



写真-4 床版設置状況

1-6 縦締 PC 構造の改良

(1) リブ付きメスコーンの適用

橋軸方向のプレストレスは、端部パネル側を固定端とし、中央に配置した交差定着パネルでたすき掛けにした PC 鋼材を緊張して床版全面に導入される。守 S20 では緊張を 3 段階に分け、床版全体に軸方向のプレストレスを導入して、局所応力が材料のひび割れ発生強度を越えないよう配慮した。その結果、緊張回数が配置本数の 1.5 倍になり、上下線の緊張作業に約 18 時間を要した。

本工事では、煩雑な段階緊張作業をなくすために、メスコーン自体を UFC 内部に埋め込み、緊張力をコンクリート表面からなくし、局所応力が発生しないコンクリート内部から伝達する定着体を採用した。(図-4) (写真-5)

この定着構造の適用に加え、自動緊張管理システムを使用することで緊張作業は飛躍的にスムーズとなり、緊張作業時間は守 S20 施工時の 1/3 となる約 6 時間で完了した。

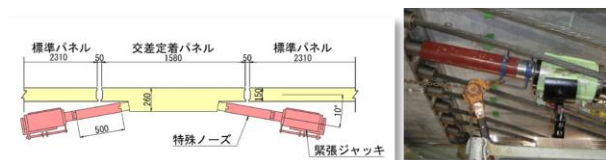


図-4 リブ付きメスコーンの構造



写真-5 交差定着部のリブ付きメスコーン

(2) 下面からのグラウト施工

橋軸方向 PC 鋼材の緊張後は、PC 鋼材の防錆および PC 鋼材と床版の付着のため PC グラウトの充填を行う。守 S20 では緊張作業後、橋面にグラウトホースを出して充填作業を行ったため、注入作業から充填材硬化後にホース処理着手まで約 24 時間は橋面での作業ができない状態であった。

本工事では工程短縮のために、写真-6 に示すようにグラウトホースを全て床版下面から出すこととした。ホースをシース外周に巻きつけることで、充填後に万一充填材がホースから漏出した場合でも、空隙がシース内部に到達することが無いように施工した。また、ホースを橋面側に出さないことで、ホース処理跡や雨水の浸入の可能性もなくなり、耐久性向上にも寄与した。



写真-6 下面グラウト治具と作業状況

2. PS ジョイント床版

2-1 PS ジョイント床版の構造について

床版更新に適用するプレキャスト PC 床版の橋軸方向の接合構造にはループ継手を用いた場所打ち鉄筋コンクリート構造が標準となっている。

この場合、床版厚がループ継手部の配筋仕様により制限され、既設床版と比べて床版厚が大きくなり、継手部の間詰めコンクリートの打込み作業により時間を要する等の課題が認められる。

このため、阪神高速道路では、2016 年より急速施工かつ既設床版と同等以下の床版厚・重量となるプレキャスト PC 床版として、橋軸方向の床版同士のワンタッチで接合してプレストレスを導入できるプレストレスジョイントの開発を進めた。

PS ジョイント床版の継手構造を図-5 に示す。

本床版は床版架設位置でオスボルトをメスケース内の皿ばねに押し付けられた楔形のコマに押し込むことでボルトをワンタッチで接合でき、接合後はコマとフタの楔機構により引抜き力を伝達する機械式継手である。本構造は、場所打ち RC 構造部の解消で現場作業の省略化、プレストレス導入による長期耐久性向上が得られる等の利点を有し、これまで床版の試設計、継手の耐荷性能・耐久性確認試験、輪荷重試験等を経て、床版としての性能を確認し、実構造物である中島排出路での床版取替え試験施工を行ってきた⁸⁾。

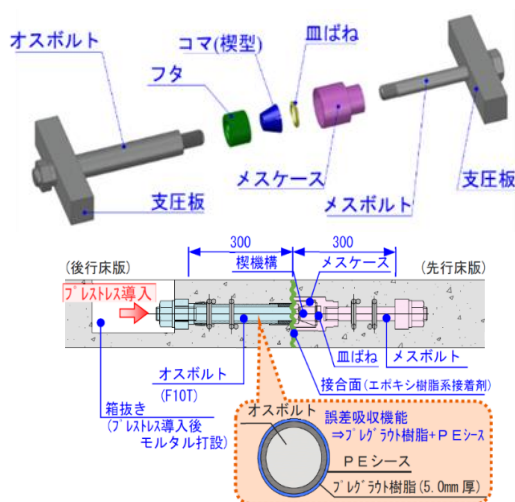


図-5 PS ジョイントの構造

2-2 神 S391 (下り) の概要とリニューアル工事の課題

神 S391 (下り) (図-6) は、表-2 のとおり活荷重合成単純格子桁橋として設計・施工され、供用後は下面ひび割れ等の損傷により鋼板接着で補強を行っている。

床版取替え工事にあたっては、当該箇所は活荷重合成桁であること、写真-7 のように生田川入路のランプ橋と近接しており、床版架設用クレーンの配置が困難と想定された。また、対象床版は下り線のみと施工スペースが狭隘であり、施工は、橋軸方向の床版同士をワンタッチで接合可能な PS ジョイント床版の実装が有意と判断した³⁾。

今回の工事では、中島排出路で得た主に下記の課題を反映して施工方法を検討した。

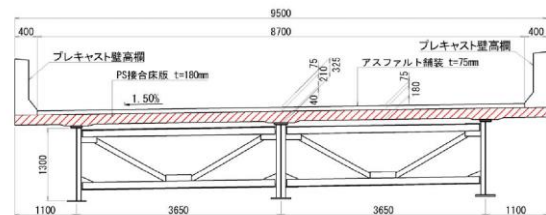


図-6 神 S391 (下り) 断面図

表-2 対象橋梁の概要

竣工年	1969年	
構造形式 (現況)	活荷重合成単純格子桁橋 (3主桁)	
	橋長	21 m
既設床版形式	RC床版 (床版厚180 mm)	
更新後床版形式	PSジョイント床版 (床版厚140 mm)	
幅員	9.5 m	
設計活荷重	TL-20 (建設時)	
	B活荷重 (供用後)	
その他 (更新前)	床版補強鋼板接着済	



写真-7 現地状況 (取替え前)

- ①ボルト支圧板の PC 鋼材配置見直し
- ②床版上面かぶりコンクリートのはく離防止
- ③道路中心線からのずれ対策

2-3 ボルト支圧板の PC 鋼材配置見直し

中島排出路での試験施工では、ボルト軸力導入後に路肩側でボルトに沿ったひび割れが発生した。原因として、①ボルト軸力導入に伴いボルト軸直交方向に引張応力が発生した可能性がある、②プレテンション方式による PC 鋼材端部はプレストレスが十分に入らない、③ボルト箱抜き等の影響で PC 鋼材配置間隔が乱れた、ことが挙げられた。

このため、図-7 に示すとおり、ボルト支圧板背面～接合面までの実証実験により PC 鋼材配置見直しを行った。鋼材の配置は試験施工時の PC 鋼材配置の上下 2 本から上下 6 本にすることで軸力導入時に発生する引張応力とプレテンション方式の PC 鋼材端部のプレストレスの低下を防止した。

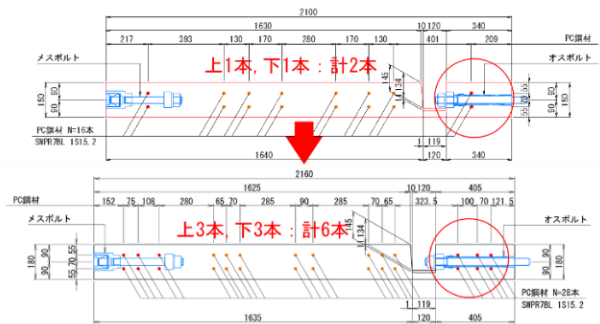


図-7 ボルト支圧板の PC 鋼材配置見直し



図-8 コンクリートのはく離防止

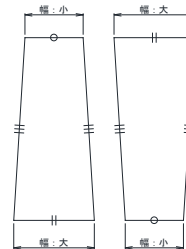


図-9 1 対の方向修正版のイメージ

2-4 床版上面かぶりコンクリートのはく離防止

中島排出路での試験施工では、床版上面かぶりコンクリートのはく離が生じた。この原因としてボルト軸力導入初期段階において、床版上下面に生じたわずかな目開き、縦断勾配変化の影響が複合的に作用して、床版同士が局所的に接触して応力集中が発生し、かぶりコンクリートがはく離したものと推測した。対策として、目開き量の比較的大きいところから順番に低い軸力で均等に面接合を実施した。さらに、図-8 のとおり、床版パネル同士の接触面での切欠き部の設置や面取りを行うこととした。

2-5 道路中心線からのずれ対策

中島排出路での試験では、PS ジョイント床版の構造中心が道路中心線に対して約 30mm のずれが生じた。原因としては、誤差修正の難しい本床版特有の現場打ちの目地のない構造であり、床版の製作誤差の累積と推測した。

そこで、接合した複数枚の床版に対してアンカ

一箱抜き孔の拡幅、ボルト強度区分の向上と径の低減により全体的な方向修正を施した上で、プレキャスト壁高欄を用いて調整範囲を拡大させた。さらに、図-9 のとおり 1 対の異形版を適切な位置に挿入して方向修正した。

2-6 合成桁用床版架設機の開発

現地の施工条件は、①対象橋梁が活荷重合成桁であり、床版取替え時に床版架設用のクレーンを対象橋梁上に配置できない、②連続高架橋であるため隣接橋梁上に床版架設用クレーンを配置する必要がある、③対象橋梁の終点側上空はランプ橋と交差し、床版架設用クレーンが配置できないこと等が挙げられる。

このような施工条件で床版をクレーン架設するためには 220 t 級の大型クレーンが必要となるが、クレーン反力に対して隣接橋の耐力不足であることが分かった。そこで、活荷重合成桁の床版取替え工事に実装できる床版架設機を開発して施工を

行った。具体的には、図-10のように主桁3本に対して各々伸縮脚、前輪、後輪で構成し、上部フレームによる位置調整機能（左右±50mm、前後250mm）を持たせた。また、本体重量を既存機械の40%以下の約6tに改良し、施工中の鋼桁補強量を最小限に抑えた。床版架設機の運搬機能によりクレーンの小型化を図り、クレーンを設置する隣接橋梁の補強を不要とした。さらに、PSジョイント床版へのプレストレス導入には、自動制御の機器を使用することで工程短縮と接合部の品質を確保した。

2-7 本線リニューアル工事施工後の検証

PSジョイント床版が実橋梁への実装が可能であることを確認した。参考に、PSジョイント床版の工程短縮効果を図-11に整理するが、本床版は一般的なPCaPC床版と比べて架設には時間が要するものの、架設作業と並行して接合作業が可能となるため今回の施工対象のような床版長25m（床版10枚）程度の橋梁においては2.5日の短縮効果があることを確認した。

おわりに

神戸線リニューアル工事内でUFC床版およびPSジョイント床版を用いた床版取替えを実現できた。

UFC床版は、前回の守S20の工事实績から、工程短縮を目的に課題を抽出して対策を検討し、各作業の工程短縮を実現でき、予定工程10.5日を9日で完工できた。今後も現場で確認される課題を

抽出し、UFC床版の適用拡大に向けて改良を重ねたい。

PSジョイント床版は、今回が初めての本線実装であったが、予定工程9日に対し、約8日で完工できた。床版の架設作業は、8時間/日の作業時間において、4枚/日の架設が可能であることを確認した。

今後は、阪神高速道路におけるRC床版の大規模な更新・修繕に向けて、効率よく合理的、かつ戦略的に実施していく必要がある。今回の成果を含めて、RC床版の補修・補強・取替え等の工法選定や対策区分の判定にあたっての調査と計画、ならびに各種工法の設計と施工等についての基本的事項を取りまとめていく必要がある。

謝辞：本工事の実施にあたり、ご理解、ご協力頂きました地元住民の皆さまをはじめ関係機関の皆さま、ならびに共同で技術開発を行った飛鳥建設(株)、第一カッター興業(株)、鹿島建設(株)、清水建設(株)、ユニタイト(株)、住友電気工業(株)、昭和コンクリート工業(株)の関係者各位に深く謝意を示します。

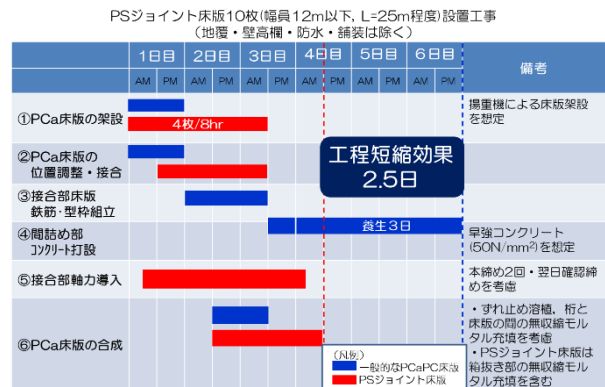


図-11 工程短縮効果(参考)

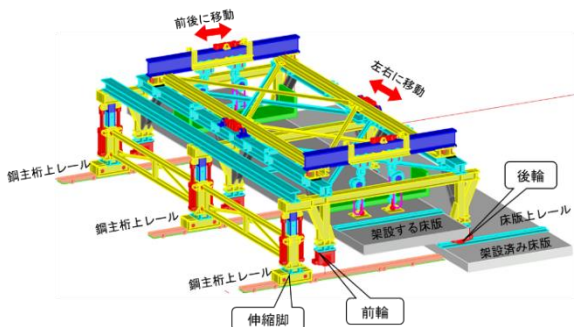


図-10 合成桁用床版架設機の開発

参考文献

- 1) 小坂崇, 金治英貞, 一宮利通, 齋藤公生: 鋼床版と同等の軽量かつ耐久性の高いUFC道路橋床版の開発, 第22回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, プレストレストコンクリート工学会, 2013.10.
- 2) 橋爪大輔, 大西和行, 一宮利通, 齋藤公生, 村岸聖介, 藤代勝: 平板型UFC床版の設計・製作・架設-阪神高速道路15号堺線玉出入路橋の床版取替え-, 橋梁と基礎, pp23-28, 2019.7.

- 3) 小林顕, 新名勉, 興石正巳: プレストレスジョイントを用いた PCa 床版の設計, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp 499-504, 2018.
- 4) 岩里泰幸, 笹脇壮太, 他: 阪神高速 3 号神戸線リニューアル工事の報告, 橋梁と基礎, Vol.57, No.10, 2023.10.
- 5) 川崎雅和, 岩里泰幸, 越野まやか, 齋藤公生, 藤代勝, 熊部淳: 都市高速道路本線での床版更新への平板型 UFC 床版の適用, 土木学会第 76 回年次学術講演会概要集, 2021.
- 6) 藤代勝・齋藤公生・鈴木英之, 佐藤彰紀: 阪神高速道路玉出入路ランプ橋の床版取替え工事, プレストレストコンクリート, プレストレストコンクリート工学会, 2019.1.
- 7) 山名宗之, 大西和行, 齋藤公生, 佐竹康伸: 都市高速道路初の広幅員本線橋における床版更新工事—阪神高速 1 号環状線リニューアル工事と 12 号守口線床版取替え工事—, 橋梁と基礎, Vol.55, 2021.9.
- 8) 安田篤司, 太田智久, 岩里泰幸, 長谷川智昭: 阪神高速道路 5 号湾岸線 中島排出路の試験施工, プレストレストコンクリート工学会, Vol.65 No.1, 2023.10.

UPGRADED SLAB REPLACEMENT TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATION TO KOBE ROUTE 3 RENEWAL PROJECT

Hajime AOI, Sota SASAWAKI, Yasuyuki IWASATO and Tomoaki HASEGAWA

The replacement of concrete slabs is one of the top menus in Large-Scale Expressway Renewal and Repair Project. Flat plate type UFC (Ultra-strength steel-Fiber Concrete) slab and The pre-casted concrete slab with pre-stressed joints are recent technologies developed by joint research program. The both technologies were applied to the Kobe Line renewal work (Kyobashi to Maya) that started in May 2023 and lasted 19 days. The UFC slab was applied to the whole 30m-long span based on lessons learned in test application in a ramp and main girder in Osaka. The pre-stressed joint slab was also applied to the half of 21m-long span after the test implementation at a ramp span in Osaka. The required days for slab replacement is limited and precisely set for each section in the renewal work. This paper reports on the details of the development and full-scale application of these two new technologies under such strict work conditions.

青井 一



阪神高速道路株式会社
管理本部 管理企画部
保全技術課
Hajime AOI

笹脇 壮太



阪神高速道路株式会社
管理本部 管理企画部
保全技術課
Sota SASAWAKI

岩里 泰幸



阪神高速道路株式会社
計画部 調査課
Yasuyuki IWASATO

長谷川 智昭



阪神高速道路株式会社
管理本部 大阪保全部
保全事業課
Tomoaki HASEGAWA