

先進技術を用いた阪神高速本線橋初の RC 床版取替 ～ウォータージェットを用いた既設床版急速撤去技術 および平板型 UFC 床版の開発と適用～

阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 越野 まやか
阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 鈴木 英之
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部保全事業課 岩里 泰幸
阪神高速道路(株)建設事業本部建設企画部審査課 川崎 雅和

要 旨

2020 年 11 月に実施した阪神高速 1 号環状線南行リニューアル工事期間に、阪神高速 12 号守口線守 S20 において阪神高速の本線橋初の RC 床版取替を行った。既設床版の撤去にはウォータージェット（以下、「WJ」という）を用いた既設床版急速撤去工法、新設床版には超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を用いた平板型 UFC 床版を採用した。いずれの技術も 2018 年の 15 号堺線玉出入口における床版取替工事で採用した実績があるが、本線橋への適用にあたっては、交通影響低減のための工程短縮や広幅員・多主桁である構造への対応等の課題を解決が必要であった。本稿では、課題解決のために、新たに開発した技術とその適用について報告する。

キーワード:RC 床版取替, Hydro-Jet RD 工法, 平板型 UFC 床版, 都市高速道路本線

はじめに

阪神高速道路は、1964 年（昭和 39 年）の営業開始から約 60 年が経過し、総延長 258.1km のうち約 4 割が 40 年を超えている。さらに、現在の交通量は 1 日 70 万台以上におよび、大型車の交通量は一般道路の約 6 倍と過酷な使用状況であり、老朽化した構造物へ大きな負担を与えている。このため、当社は構造物の健全性を永続的に確保し、100 年先も安心してご利用いただける高速道路を維持するため、「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～」として橋の架け替えを含む大規模な工事を計画・実施している。

昭和 48 年より前の道路橋示方書を用いて設計された鉄筋コンクリート床版（以下、「RC 床版」という）は、現行の基準を用いて設計された RC 床版に比べ床版厚が薄く、鉄筋量が少ないため、疲労耐久性が低く、これまで対策として床版下面への鋼板接着補強を実施してきた。このうち、疲労耐久性の著しい低下が懸念される箇所については床版取替を実施することとしている。これまでは、2018 年に阪神高速 15 号堺線玉出入口で 6 径間の床版取替を実施した。本稿では、2020 年 11 月に 1 号環状線南行きと 12 号守口線の一部区間を全面通行止めにしたリニューアル工事期間中に実施した阪神高速本線において初めての床版取

替工事（以下、「本工事」）について報告する。

本工事では、床版撤去工法に WJ を用いた既設床版急速撤去工法、新設床版に RC 床版の更新用として開発した超高強度繊維補強コンクリート（以下、「UFC ; Ultra-high strength Fiber reinforced Concrete」という）を用いた平板型 UFC 床版を採用した。玉出入口で施工実績¹⁾²⁾はあるが、これらの技術は、本線橋へ適用するにあたり、ランプに比べて幅員が広いこと新たな構造対応が必要であった。さらに、通行止めによる交通影響低減のため、大幅な工程短縮が求められた。これらの対策も併せて報告する。

1. 本工事対象橋梁の概要

本工事で床版取替を実施した対象橋梁の概要を表-1 と図-1 に示す。1967 年の建設時は、単純合成鋼桁 2 連の構造であったが、後に主桁連結により 2 径間連続構造となっている。そのうち、北側の 1 径間の RC 床版を取り替えた。同橋の床版厚は 170mm と薄いため、1980 年に床版下面へ鋼板接着補強を実施している。しかし、2013 年の日常点検におけるポットホールが発見され、補修時には砂利化も確認されたため、床版を一部切り出し、輪荷重走行試験を行った結果、健全な床版に比べ大幅に疲労耐久性が低下していることがわかった。なお、切り出した床版の側面の状況から下段鉄筋位置にひび割れが多く発生していることが

確認された。また、補強鋼板とコンクリート面の間の浮きは局所的であったが、貫通ひび割れが生じており、鋼板の一部では腐食もみられたため、約 600m²の RC 床版を取り替えることとした。

2. WJ を用いた既設床版急速撤去工法

合成桁橋の鋼桁と床版の接合部には、両者を一体化するためスタッドを密に配置している。このため、合成桁橋の床版撤去時は、鋼桁と床版の分離作業に多大な時間を要し、通行止め期間が長期に及ぶという課題がある。また、従来工法では、スタッドまわりのコンクリートをブレーカーではつるため騒音や振動が発生する。この課題を解決するため、阪神高速道路(株)と飛島建設(株)、第一カッター興業(株)は共同で、工程短縮と施工時

表-1 対象橋梁の概要

竣工年	1967 年	
構造形式	建設時	鋼 6 主桁単純鋼桁橋
	現況	2 径間連続合成鋼桁橋 (2005 年主桁連結)
	橋長	35m
	橋長	35m+30m
既設床版形式	RC 床版 (床版厚 170mm)	
取替後床版形式	平板型 UFC 床版 (床版厚 140mm)	
幅員	17.6~18.6m (上下線一体)	
設計活荷重	TL20 (建設時)	
その他	床版鋼板接着補強済	

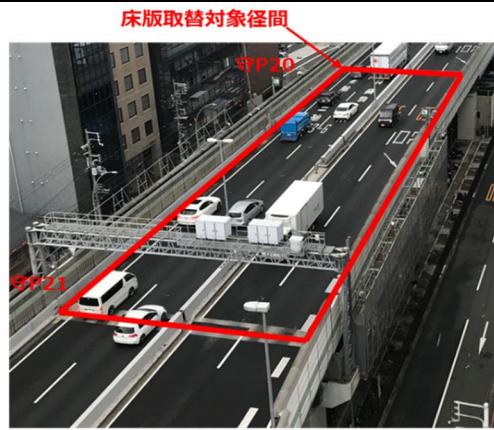
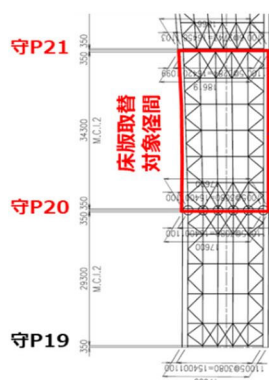


図-1 床版取替対象橋梁（阪神高速12号守口線守S20）

の騒音・振動を大きく低減可能な工法 Hydro-Jet RD 工法を開発した。高速道路供用下において合成桁の鋼桁と床版の接合部（以下、「ハンチ部」という）のコンクリートを WJ ではつり、スタッドを露出させ、撤去が容易な仮補強材により走行安全性を確保することで、通行止め後に仮補強材を撤去し、スタッドを切断するだけで床版を速やかに撤去することができ、通行止め期間を短縮する工法である。多主桁・広幅員である本線橋に適用するため、改良を行った。

2-1 Hydro-JetRD 工法の概要

本工法の概要を図-2 に示す。まず、供用中の道路橋下面から WJ を用いてハンチ部のコンクリートを一定区間ごとに除去し、スタッドを露出させる。接合部コンクリートの除去作業は、1 日ごとに WJ 除去、鋼製補強材設置、特殊モルタル注入を繰り返す。次に、ハンチ部のコンクリート撤去後の合成桁としての機能を確保するため、仮補強材を設置する。仮補強材は、鋼製補強材と特殊モルタルから構成され（写真-1）、せん断や押し抜きにより発生する応力を FEM 解析により求め、発生応力に抵抗するために必要な仮補強材の設置位置や個数を決定する。特殊モルタルは、可塑性を有し 15 時間で 40N/mm^2 の強度を発現する速硬モルタルで、鋼製補強材とスタッドおよび床版の間に注入し一体化させる。ただし、特殊モルタルが硬化し 40N/mm^2 に到達する材齢 15 時間までは補強効果が得られないものとし（図-3）、補強がない状態で安全性が確保できる延長を 1 日に除去



写真-1 仮補強材の設置状況

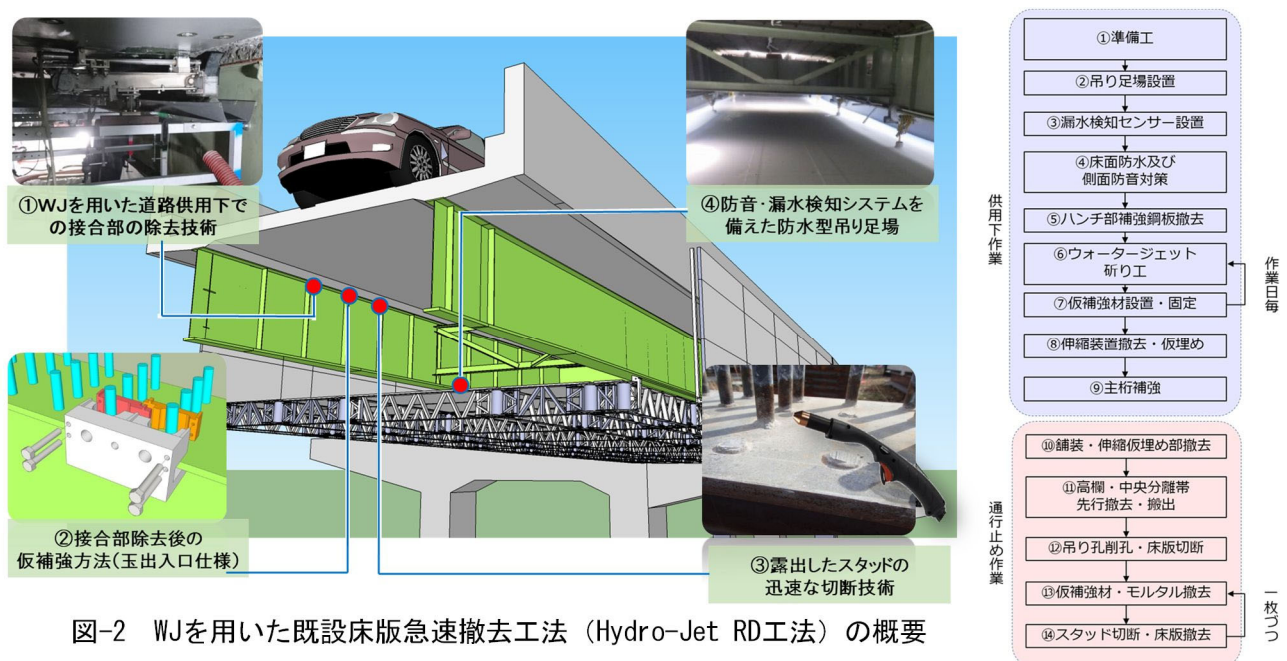


図-2 WJを用いた既設床版急速撤去工法（Hydro-Jet RD工法）の概要

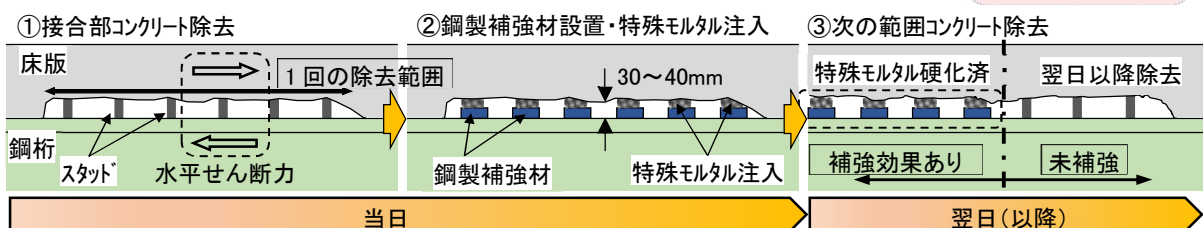


図-3 接合部コンクリート除去作業手順とスタッド補強効果

可能な上限とした。供用中にハンチ部のコンクリートを除去していることで、通行止め後の作業が大幅に削減できる。

2-2 本線適用へ向けた改良

多主桁・広幅員である本線での床版撤去に対応するため、課題を抽出し、解決のため以下のとおり改良を実施した。

(1) 鋼製補強材の薄型・小型化

今回の対象橋梁ではハンチ部に WJ で除去できないハンチ筋が存在し、従来型の鋼製補強材が干渉するため、ハンチ部のコンクリート切削高さ 50mm から 30mm への縮小に対応する薄型化を図った。また、従来型の鋼製補強材は主桁上フランジを挟み込む形状（オーバーハング）であり、主桁上フランジの端部から外側スタッドまでの距離が変化すると同じ形状の鋼製補強材が設置できず、汎用性が低い。このため、オーバーハングのない形状で必要な耐荷力を確保できるよう改良を行った（図-4）。改良後の補強材の形状は、最大高さ 25mm、全長 180mm、スタッドは 2 本掴みとし、スタッド間隔は基本 100mm である（写真-2）。スタッド孔の大きさは施工誤差±10mm を許容する大きさを想定している。また、仮補強材撤去時の作業性を考慮して前面と背面 2 つのパーツで構成される。

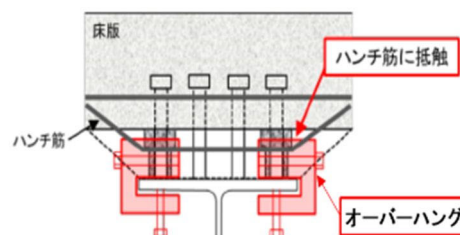
(2) WJ 切削高の縮小・精度向上

小型・薄型化する鋼製補強材に合わせ、WJ の切削高さをこれまでより縮小するため、WJ に使うロッド・ノズルをφ40mm程度からφ20mm程度に細径化し、さらに各部品の小型化と耐久性の向上により、ハンチ部のコンクリート切削高さを縮小できる WJ 装置を開発した（写真-3）。これにより、スタッドの露出長が短くなり、スタッドに生じる曲げ応力などが低減可能となった結果、要求される仮補強材の耐荷性能が低減し、上述した鋼製補強材のオーバーハングが省略可能となった。

(3) コンクリート除去手順の検討

接合部コンクリートの除去範囲が短いと安全性は向上するが、施工時間が長くなり、経済性の面

従来型(旧)



改良型(新)

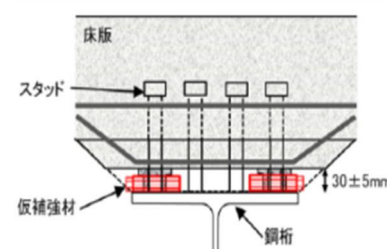


図-4 鋼製補強材の新旧比較

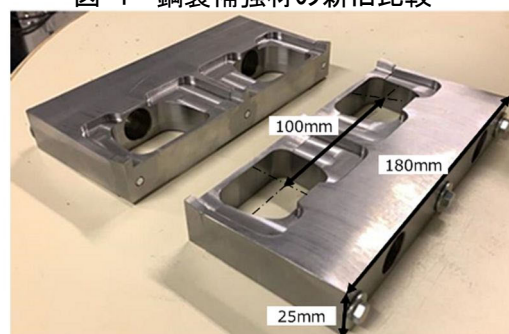


写真-2 改良型鋼製補強材

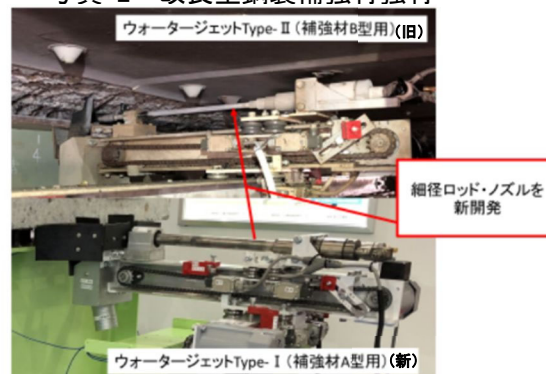


写真-3 新旧ウォータージェット装置

でも不利となる。機材運用面も考慮し、同一桁上の離れた位置や、異なる桁で同時に WJ 除去作業を行い、工程短縮を図るため、1 日に除去可能な長さや同時撤去可能な位置の組み合わせを解析的に検討した。

解析により、コンクリート除去範囲ではスタッドの曲げ降伏が先行することが確認されたため、桁の各位置でスタッドが降伏しない除去長を設定した。また、桁端部と中間部の任意の範囲を同時撤去しても、スタッド応力度にほとんど影響がな

いことを確認し、同時撤去可能とした。

1 日に除去可能な制限を踏まえ、以下の方針で WJ 作業手順を計画した。

- ①桁端部の除去長は 1.0m 以下
- ②両外桁の P21 側端部は通行止め前の除去作業は行わない
- ③中間部は 5.7m を上限とし隣り合う桁で同時除去しない
- ④中間部と端部は単独除去時に安全な場合は組み合わせて同時除去可能

3. 平板型 UFC 床版への床版取替

床版取替の目的は疲労耐久性の向上であるため、新設の床版は現行の設計活荷重を用いて設計することとした。既設床版と同じ RC 床版とし、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あり、路面高さが変わるため前後区間も含めた縦断線形の変更や、床版自重が増加することによる鋼桁の補強や下部工への負担増が懸念される。このため、UFC を用いた軽量・薄肉かつ耐久性の高い平板型 UFC 床版（写真-4）を新設床版に採用した。

3-1 平板型 UFC 床版の概要

(1) UFC 床版の特長

UFC は、非常に緻密なセメント硬化体で、高強度の鋼繊維で補強された材料である（写真-5）。そのため、一般のコンクリートの 100 倍の物質浸透抵抗性を示し、経年劣化がほとんど生じない。また、圧縮強度は 180N/mm²、ひび割れ発生強度は 8.0N/mm²、弾性係数は 46kN/mm²である。このような材料特性を活かした UFC 床版は、超軽量で床版厚の薄い格子状のリブのあるワッフル型 UFC 床版と、軽量の平板型 UFC 床版の 2 種類がある。上部構造に鋼床版と同等の軽量さが求められる場合は、ワッフル型、鋼床版と同等までの軽量さが求められない場合は、平板型が適している。本工事は RC 床版の取替であるため、平板型 UFC 床版を適用した。平板型 UFC 床版は、更新用の



写真-4 平板型UFC床版



写真-5 UFC=超高強度繊維補強コンクリート

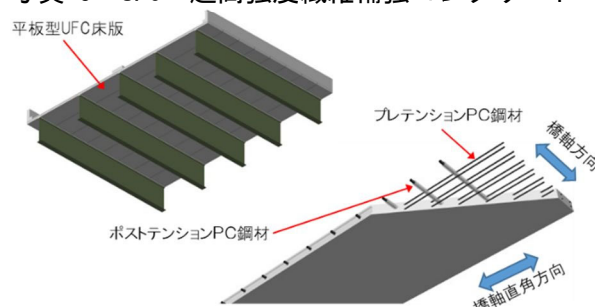


図-5 平板型UFC床版の構造

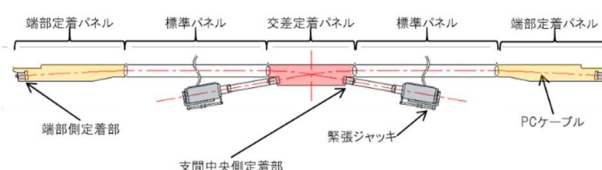


図-6 平板型UFC床版縦締め緊張概要図

一般的な PC 床版と比べ、大幅な高耐久化、30%以上の軽量化、約 36%の薄肉化を実現し、維持管理性の向上、鋼桁補強量の低減を実現したうえで、縦断線形の変更が不要となった。

(2) 平板型 UFC 床版の構造

平板型 UFC 床版は、床版下面に凸凹やハンチのないフラットな形状のプレキャスト版で床版内部に鉄筋を配置しない。PC 構造は、橋軸直角方向はプレテンション方式、橋軸方向はポストテンション方式であり、床版同士の接合部は橋軸方向のポストテンション方式の PC 鋼材にプレストレスを導入して接合する構造である（図-5）。UFC の高い圧縮強度を活かし、PC 鋼材定着部をコンパクト化し端部パネルに埋設し、支間中央部で交差して緊張する交差定着パネル（図-6）を設けた

ことにより、伸縮装置部の径間端部の床版まですべての床版をプレキャスト床版とするオールプレキャスト化を図り工程短縮や耐久性の向上へ繋がった。また、今回適用した平板型 UFC 床版は、床版厚 140mm とし、曲げ剛性が既設の RC 床版と同等となるようにしたため、縦断線形の変更や鋼桁の供用下における補強は不要である。

(3) 平板型 UFC 床版の架設

床版の架設は一般に移動式クレーンを使用して行うが、架設時において、隣接径間の鋼桁に多大な補強が必要となる場合が多い。本工事では、プレキャスト部材の運搬・設置に使用される機械をベースに、道路幅員内で架設可能なアーム式専用架設機 2 台使用して UFC 床版の架設を行った（写真-6）。一般的な PC 床版に比べ軽量である UFC 床版、一般的に使用するクレーンに比べ軽量の床版架設機を使用したため、鋼桁の補強は軽微なものにとどめることが可能となった。

3-2 本線適用へ向けた新技術の開発

多主桁・広幅員の本線での床版取替に対応するため、以下の技術改良・開発を行い課題解決及び工程短縮を図り実橋での施工に適用した。

(1) UFC 床版と鋼桁の接合部の構造

床版と鋼桁の一体化には、ずれ止めとして頭付きスタッドを鋼桁に配置し、床版に設けた貫通孔から間詰材の充填を行う。頭付きスタッドの設置は、架設する床版との干渉を避けるため、床版架設後に新設床版に設けた貫通孔から行うことが多い。交通影響の大きい本線での施工においては、工程短縮のため、床版架設後のスタッドの設置本数を減らす構造を開発した（図-7）。

間詰内部に収まるボルトをあらかじめ UFC 床版下面に、さらに、短い頭付きスタッドを鋼桁に配置して、超高性能繊維補強セメント系複合材料（以下、「UHPFRC ; Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete）を充填する接合構造を考案した。UHPFRC は、長さ 15mm の鋼繊維を 1.5% 混入しており、UFC と同じく材料の組織が緻密で、耐久性が高い。UHPFRC を貫通孔から充填

するため、一般的な頭付きスタッドとの併用になるが、床版架設後のスタッドの設置本数を削減でき、工期短縮だけでなく、水の侵入経路も削減されるため、耐久性の向上が期待できる。

(2) 広幅員施工へ対応する上下線接合部の構造

本工事の対象橋梁は、上下線一体構造で中央分離帯から路側帯に向け 1.5% の横断勾配が設けられているため、上下線一体での工場製作には床版の屈曲が必要となるが、プレテンション方式で横方向にプレストレスを与える平板型 UFC 床版の屈曲させた製作は課題が多い。また、幅員が 18m であるため、床版を上下線一体構造とすると製作工場からの運搬も課題となる。このため、中央分離帯の下に橋軸直角方向の継ぎ目（以下、縦目地）（図-8）を設け、床版設置後に現場で上下線を一



写真-6 アーム式専用架設機によるUFC床版の架設

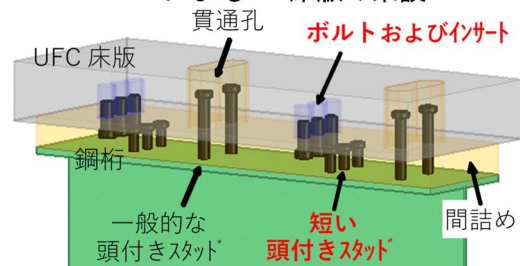


図-7 間詰内部に収まるずれ止めを用いた床版と鋼桁の接合構造

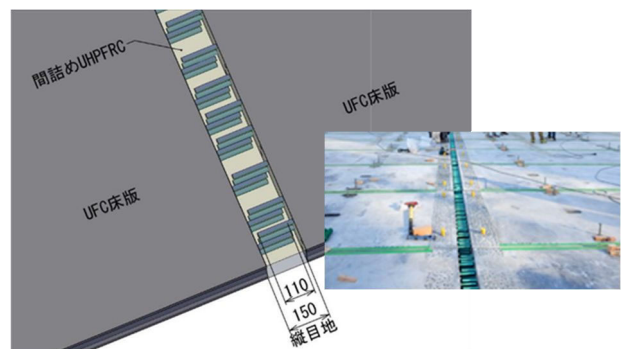


図-8 縦目地の構造

体化させることとし、接合部の構造を新たに開発した。なお、縦目地は車両が通行しない中央分離帯下に位置するため、橋軸直角方向にはプレストレスを与えない構造とした。

床版同士を接合する構造としては、一般的にループ継ぎ手や鉄筋端部に定着体を設けた継手がある。しかし、前者は床版厚が最低 220mm 必要であり、後者は 400mm の幅が必要となり、今回施工した厚さ 140mm の UFC 床版の接合構造には適用が難しい。このため、UHPFRC を用いた接合構造を新たに開発した。UHPFRC は圧縮強度や引張強度が高いため、鉄筋の付着定着長を短くすることができ、接合構造を小さくすることが可能である。その結果、橋軸直角方向に径間長分発生する縦目地の幅は標準部で 150mm と狭くなり、現場での作業量が削減され工期短縮が期待できる。また、今後上下線を分割し順次床版取替工事を行う場合においても、車両通行幅員を広く確保できる継手構造である（図-9）。

(3) 壁高欄・中央分離帯のプレキャスト化

本工事では、工程短縮を図るため、壁高欄と中央分離帯ともにプレキャスト製とした。壁高欄には衝突荷重により、直角外側に回転する曲げモーメントが作用する。この作用に対し、通常の壁高欄基部では床版との接合面において、床版と一体化した鉄筋が引張材として機能し抵抗する。今回採用したプレキャスト壁高欄は、引張材としてアンカーボルトを用い、UFC 床版下面にアンカープレートを設置して抵抗する構造とした（図-10）。また、壁高欄に使用しているコンクリートに比べ UFC は高耐久であるため、将来の取替の時期は壁高欄が先であることが予想される。本工事で採用した壁高欄は、床版をアンカーボルトが貫通しており、床版下面からナットを緩めれば壁高欄の撤去が可能となるため、床版を傷つけずに壁高欄を取り替えることができる。また、プレキャスト壁高欄の橋軸方向の接合部には、せん断キーを設け、面外方向のずれに対して断面力を伝達して一体化した構造である（図-11）。なお、この構造は、FEM 解析により構造の成立性を事前に確認した

うえで実車衝突実験を行い車両用防護柵としての各種性能を確認した。

3-3 UFC 床版のモニタリング計測

床版設置完了後に縦目地の一体化について、健全性を確認するため、光ファイバを用いたひずみ計測を実施している。この計測は、UFC 床版と縦目地の目地部の開きの有無を確認するため、光ファイバを床版下面に貼付し、床版に生じるひずみを静的に計測するものである。これまでに、供用開始前に初期値の計測（1 回目）と初期値計測の同日に 2 回目の計測、供用開始後約 3 か月後に 3 回目の計測を行っており、問題が生じていないことを確認している。今後も UFC 床版の維持管理

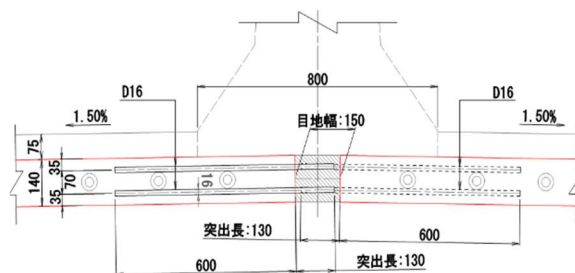


図-9 縦目地接合構造断面

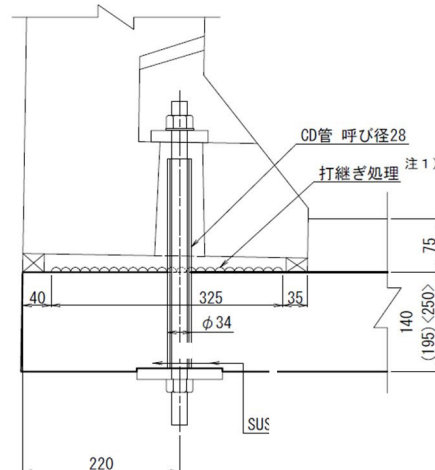


図-10 壁高欄アンカー詳細図

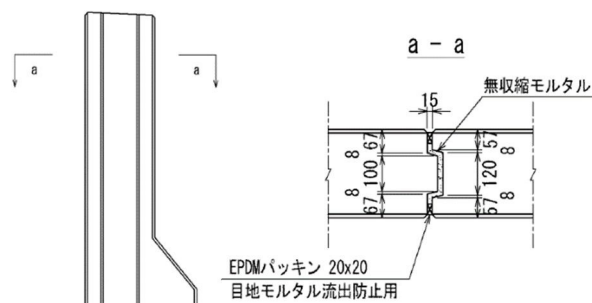


図-11 橋軸方向のせん断キー構造

に資するべく、継続してモニタリング計測を行う予定である。

4. おわりに

WJ を用いた床版急速撤去工法と新設床版に平板型 UFC 床版を適用し、玉出入口での床版取替工事の実績から本線適用へ向け工程短縮や多主桁・広幅員施工に対応するための課題解決を目的とし、新たな技術開発や技術改良を行った。それらの技術の本線に適用し、阪神高速本線で初の RC 床版取替工事を 17 日間の通行止め期間で実現した。今後ともさらなる技術革新に取り組み、RC 床版のリニューアルを進めていく予定である。

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)の皆さまに改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤彰紀, 橋爪大輔, 石塚健一, 佐竹康伸: 合成桁橋の RC 床版取替におけるウォータージェットによる床版急速撤去技術の開発 (その1), 平成30 年度土木学会年次講演会
- 2) 藤代勝, 齋藤公生, 鈴木英之, 佐藤彰紀: 阪神高速道路玉出入口路橋の床版取替工事, プレストレストコンクリート, vol.61,2019.1

FIRST RENEWAL OF REINFORCED CONCRETE DECK SLABS ON THE HANSHIN EXPRESSWAY MAIN LANES USING NEW TECHNOLOGIES

Mayaka KOSHINO, Hideyuki SUZUKI, Yasuyuki IWASATO and Masakazu KAWASAKI

The reinforced concrete deck slabs of the Hanshin Expressway main lanes were renewed for the first time in November, 2020. The Hanshin Expressway employed a hydrodemolition technique using a high-pressure water jet to quickly separate the existing concrete slabs from the steel girders. For the new deck slabs of a flat shape, ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) was adopted. These technologies were already used in previous replacement work on entrance/exit lanes. However, for application to main lane structures, they needed to be adapted to larger widths and multiple main girders, as well as requirements for shorter construction periods to minimize impacts to traffic. This paper reports the new technologies developed to solve these problems and their application to the renewal project.

越野 まやか



阪神高速道路株式会社
管理本部管理企画部
保全技術課
Mayaka KOSHINO

鈴木 英之



阪神高速道路株式会社
管理本部管理企画部
保全技術課
Hideyuki SUZUKI

岩里 泰幸



阪神高速道路株式会社
管理本部大阪保全部
保全事業課
Yasuyuki IWASATO

川崎 雅和



阪神高速道路株式会社
建設事業本部
建設企画部審査課
Masakazu KAWASAKI