

阪神高速本線橋における急速床版取替

阪神高速道路株式会社

2020年11月に阪神高速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して実施したリニューアル工事において、阪神高速の本線橋で最初の床版更新工事を実施した。通行止めによる交通影響が非常に大きい都市高速道路の本線という条件から特に工程短縮が求められたため、本工事では、既設床版の撤去にウォータージェットを用いた既設床版急速撤去工法を、新設床版には平板型 UFC（超高強度繊維補強コンクリート）床版を採用した。本稿では、広幅員の本線橋への適用や工程短縮のために行った対策と合わせて工事施工について報告する。

1. はじめに

阪神高速道路は、営業を開始した1964年（昭和39年）から50年以上が経過し、2020年4月時点で総延長258.1kmのうち約4割にあたる111.8kmが開通から40年を超えている。また、現在の交通量は1日70万台以上におよび、大型車は一般道路に比べて約6倍で、膨大な交通量を抱え、過酷な使用状況であることは否めず、構造物の老朽化対策は急務である。このため、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～」として、高速道路の健全性を永続的に確保し、高速道路のネットワーク機能を将来にわたり維持していくための、橋の架け替えを含めた大規模な工事を実施していく計画を進めている。このうち、

昭和48年より前の道路橋示方書（以下、「道示」という）で設計され鋼板接着補強された鉄筋コンクリート床版（以下、「RC床版」という）において疲労耐久性の著しい低下がみられる箇所については更新を行うこととしており、これまでに15号堺線玉出入口で6径間のRC床版の更新を行っている。

本稿では、2020年11月に阪神高速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（図-1参照）にして実施したリニューアル工事における阪神高速の本線橋で最初の床版更新工事（以下、「本工事」）について報告する。本工事では、玉出入口でも採用した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



図-1 床版更新対象橋梁（阪神高速12号守口線守S20）

表一 床版更新対象橋梁の概要

竣工年	1967年
構造形式（建設時）	鋼単純合成鉄桁橋 橋長 35m (6主桁)
（現況）	2径間連続合成鉄桁橋 (2005年主桁連結) 橋長 35m+30m
既設床版形式	RC床版（床版厚 170mm）
幅員	17.6~18.6m (上下線一体)
設計活荷重（建設時）	TL-20
その他	床版鋼板接着補強済

と超高強度繊維補強コンクリート（以下、「UFC」という）を用いた平板型 UFC 床版を採用しているが、ランプ橋に比べ幅員が広く構造的に新たな対応が必要であったこと、通行止めによる交通影響が大きいために大幅な工程短縮が求められたことへの対策と合わせて報告する。

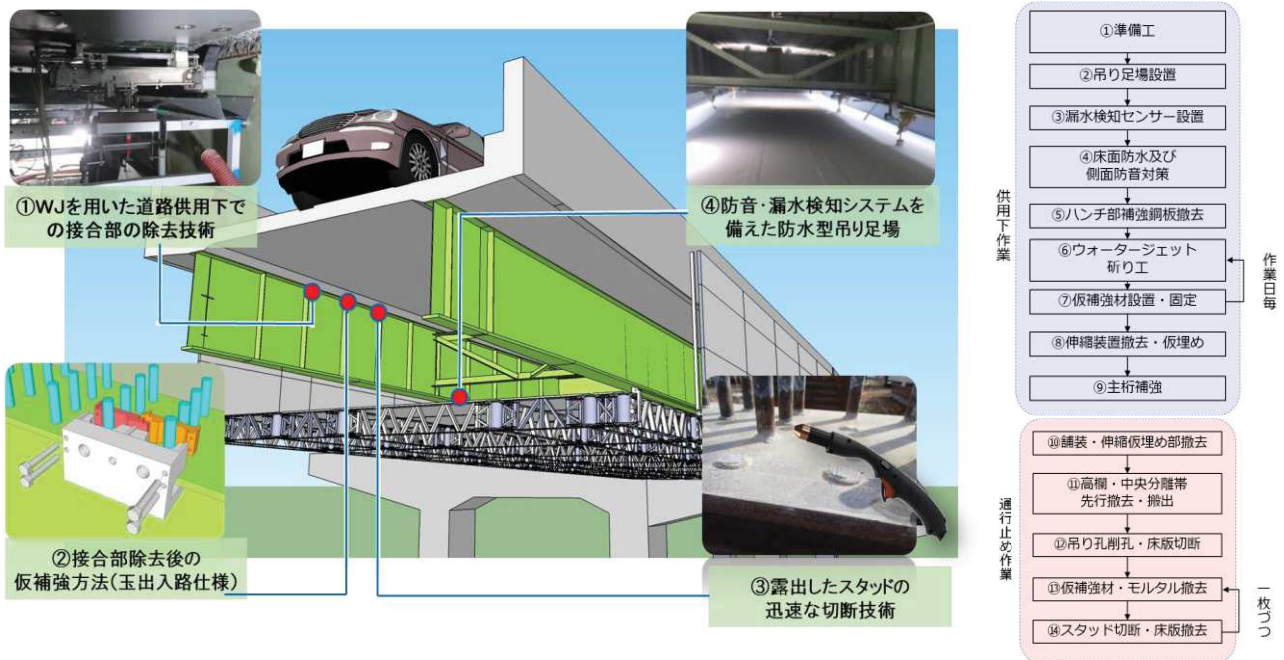
2. 床版更新対象橋梁の概要

床版更新の対象橋梁の概要を図一 および表一に示す。1967年供用時は、単純合成鉄桁2連の構造であったが、その後に桁連結を行い2径間連続構造となっており、そのうち北側1径間の床版を今回更新した。

対象橋梁の床版厚は170mmと薄く、1980年に床版下面への鋼板接着補強を施している。しかし、内部のひび割れや上面の土砂化もあり、床版を一部切り出して、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たことが分かった。RC床版と補強鋼板の間の浮きはごく一部を除いて見られなかったが、貫通ひび割れが生じており、鋼板の一部で腐食も見られた。そのため該当する約600㎡の床版を更新することとした。

3. WJを用いた既設床版急速撤去工法

合成桁における鋼桁と床版の接合部には、ずれ止め（スタッド）が密に配置されているため、既設床版撤去時には、鋼桁と床版の分離作業に多大な時間を要することが工程上の課題となる。そこで阪神高速道路（株）と飛島建設（株）と第一カッター興業（株）は、高速道路を供用させながら、合成桁の鋼桁と床版の接合部（以下、「ハンチ部」という）コンクリートをWJで撤去し、スタッドを露出させ、その後、容易に撤去が可能な仮補強を施すことで、通行止め後の作業を削減し、通行止め期間を短縮する工法 Hydro-JetRD 工法（図二）を開発した。本工法は、既に玉出入口での床版更新工事で適用した実績があるが、今回は本線構造物に適用するために、大幅な改良改善を実施した。



図二 WJを用いた既設床版急速撤去工法（Hydro-Jet RD工法）の概要



写真-1 仮補強材の設置状況

3.1 Hydro-JetRD 工法の概要

本工法は、まず供用中の高速道路の床版下面から WJ を使用しハンチ部コンクリートを所定の高さで除去して、スタッドを露出させる。この工程を一定区間ごとに行い、ハンチ部を鋼製補強材と特殊モルタルによる仮補強材に置き換える。通行止め後に仮補強材を取り除き、1 パネルごとにスタッドを切断して床版を桁から分離し撤去する。供用中に仮補強までの作業を実施することで、通行止め後の作業を大幅に削減することができる。仮補強材の設置位置や個数は、FEM 解析によって算出し、せん断や押し抜きに対する抵抗により決定している。スタッドと鋼製補強材の間には、可塑性を有し、15 時間で $40\text{N}/\text{mm}^2$ の強度を発現する特殊可塑性速硬モルタルを注入し、鋼製補強材とスタッドおよび床版を一体化させ（写真-1）、ハンチ部コンクリート除去後も合成桁としての機能を確保する。

3.2 本線橋床版撤去の適用に向けての改良事項

広幅員の本線床版の撤去に対応するための課題を抽出し、以下の通り技術改良を行い、実施工に適用した。

(1) 鋼製補強材の薄型・小型化

(オーバーハングの廃止)

従来型鋼製補強材：7420g

改良型鋼製補強材：1780g（体積比約76%削減）

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、従来型の仮補強材では干渉する（図-3）ため、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

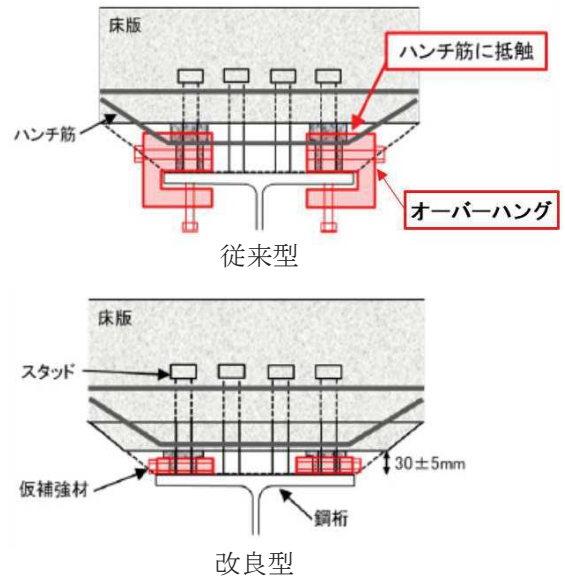


図-3 仮補強材の新旧比較

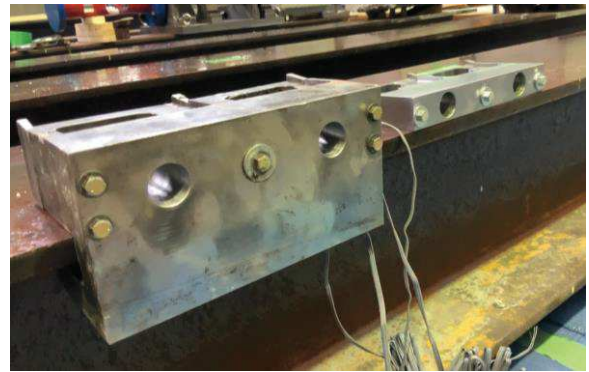


写真-3 従来型（左）と改良型（右）補強材

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、汎用性が低かった。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。これらの改良によって、上記のように大幅な薄型化・小型化（写真-3）につながった。

(2) ウォータージェットの高削高の縮小

従来型：50mm±5mm

改良型：30mm±5mm（切削高約40%削減）

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（写真-4）、さらに各 부품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。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

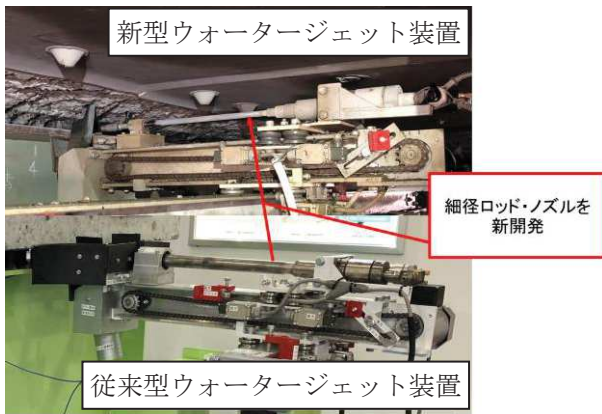


写真-4 新旧ウォータージェット装置

げ応力などを低減できた結果、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の省略が可能となった。

(3) 常時モニタリングシステムの開発・適用

本線橋では交通量が非常に多く、対象橋梁を供用しながらの事前工事中に不測の事態が発生した場合の影響が非常に大きい。このため、新たに常時モニタリングシステムを開発し、適用した。モニタリングは、桁と床版の合成作用が失われると中立軸が下がることに着目し、主桁上下フランジのひずみを常時計測し、中立軸を算出することによって合成桁としての機能が低下していないかを常時監視した。

4. 平板型UFC床版への更新

疲労耐久性の向上についても床版更新を実施する目的の一つであることから、更新後の新設床版は現行の設計活荷重を用いて設計を行うこととした。この場合、既設床版と同じRC構造として設計すると、床版厚を大きくする必要があり、路面の高さへの影響や床版自重が増えることによる鋼桁の補強、下部工への影響が懸念される。このような課題に対応するため、阪神高速道路(株)と鹿島建設(株)が共同で開発したUFCを用いた軽量かつ耐久性の高い平板型UFC床版を適用した。UFCは、非常に緻密なセメント硬化体であり、しかも高強度(圧縮強度150N/mm²以上)で鋼繊維で補強された材料(写真-5)で、一般のコンクリートの100倍以上の物質浸透抵抗性を示し、経年劣化が殆ど進行しない。このような材料特性を活かしたUFC床版をオールプレキャスト化することにより、更なる床版の耐久性向上と工期短縮を図った。



写真-5 UFC=超高強度繊維補強コンクリート



写真-6 平板型UFC床版

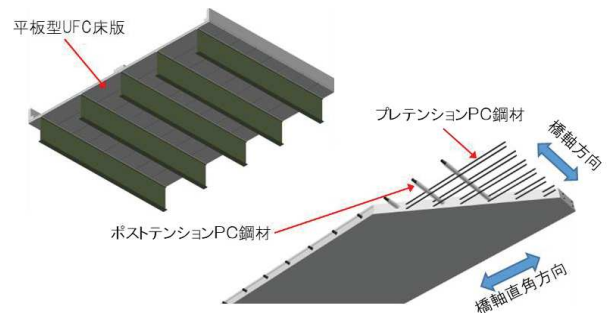


図-4 平板型UFC床版の構造

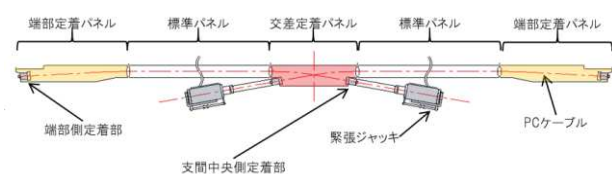


図-5 平板型UFC床版縦締め緊張概要図

4.1 新設床版の構造概要

今回採用する平板型UFC床版は、床版下面に凹凸やハンチの無いフラットな形状のプレキャスト版(写真-6)で、内部には鉄筋を配置しないため、構成が簡素である。また、橋軸直角方向にはプレテンション方式、橋軸方向にはポストテンション方式によって、プレストレスが導入される。(図-4)床版同士の接合部は橋軸方向のポストテンション方式によるPC構造である。ポストテンションPC鋼材を支間中央で交差して定着部を設け、緊張することによって、伸縮装置部の端部床版まで全ての床版を、プレキャスト床版としたうえで、プレ

表-2 床版厚・床版重量の比較

	床版厚 (mm)	床版重量 (kN)	重量増減 (%)
既設RC床版(TL-20)	170	2964	—
平板型 UFC 床版 (B活荷重)	140	2329	-21.4
プレキャスト PC床版 (B活荷重)	220	3664	23.7



図-6 平板型UFC床版架設フロー

ストレスを導入した構造とすることができる。(図-5)

既設RC床版の設計活荷重はTL-20、厚さは170mmである。これに対し、現行の設計荷重であるB活荷重で設計した場合、一般的なプレキャストPC床版の最小厚は190mmとなるが、床版継目部での配筋を考慮し、一般に220mmの床版厚が必要とされる。本工事で使用する平板型UFC床版は床版継目部を考慮しても厚さ140mmとなり、既設RC床版より薄い(表-2)ため、一般的なプレキャストPC床版への更新で必要となる道路縦断線形の変更が不要である。また、重量も既設のRC床版から約20%軽減されるため、架設時の一時的な補強を除き、建設当時の設計活荷重よりも大きな現在の設計活荷重を考慮しても鋼桁の補強が不要で、橋脚や基礎への負担も軽減が可能となった。

4.2 平板型UFC床版の架設

平板型UFC床版の架設フローを図-6に示す。床版の架設、取替工事では、一般に移動式クレーンを使用するが、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床版専用架設機を使用した(写真



写真-7 専用架設機によるUFC床版の架設

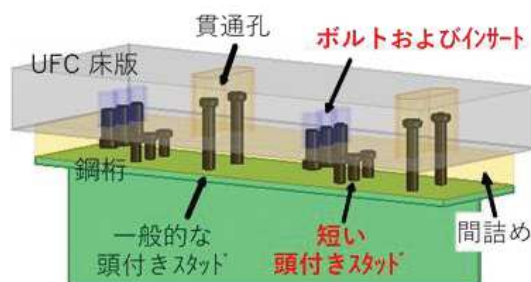


図-7 新たに改良したスタッド構造

図-7)。UFC床版が軽量であるうえに、軽量の床版専用架設機を使用したため、床版架設時の鋼桁補強も軽微な補強にとどめることが可能となった。

4.3 本線床版更新のための改良

本線橋の床版更新に平板型UFC床版を適用するための課題を抽出し、以下の技術開発により課題を解決し、本工事に適用した。

(1) スタッド構造の改良

床版と鋼桁を一体化させるためにずれ止めスタッドを使用するが、プレキャスト床版の場合、床版に設けた貫通孔にスタッドを配置して間詰める構造が一般的である。本工事では、あらかじめ床版側のインサートアンカーにボルトを、鋼桁に短いスタッドを設置し、高強度なUHPFRC (Ultra High Performance Fiber Reinforced cement-based Composites:場所打ちで施工し、水結合材比が15%程度で極めて緻密な繊維補強セメント系材料)を間詰りとして用いることによって貫通孔が不要となるずれ止め構造を採用した。(図-7) また、プレキャスト床版と鋼桁の間にUHPFRCを充填するために貫通孔が必要なため一般的なスタッドも併用し

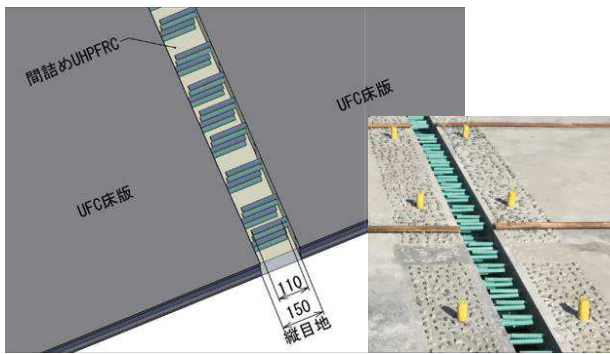


図-8 縦目地構造

たが、貫通孔を半分程度に減らすことができ、床版を架設する前にスタッドを設置することによって工程を短縮するとともに、水の侵入経路を減らすことによって耐久性の向上が期待できる。

(2) 上下線の接続構造

本工の対象橋梁は、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。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には課題が多い。また、上下線一体での床版幅は18m程度となり、製作工場からの道路運搬も課題となる。このため、本工事では平板型UFC床版を中央分離帯の位置で上下線に分割し、床版設置後に現場で上下線を一体化することとした。

上限線間の接合部（以下、「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、縦目地には橋軸直角方向のプレストレスを与えない構造とし、プレキャストUFC床版の側端面から鉄筋径の5倍ずつ重なり合うように継手用鉄筋を突出させ、付着強度の高いUHPFRCを充填することで、上下線床版の一体性を確保した。（図-8）この結果、縦目地幅は標準部で150mmとなり、底型枠の組立て・解体作業が簡素化された。

(3) 壁高欄・中央分離帯のプレキャスト化

玉出入口での床版更新工事では、現場打ち壁高欄を採用したが、本工事では工程短縮のためプレキャスト壁高欄（写真-8）、プレキャスト中央分離帯を採用した。

5. おわりに

WJを用いた既設床版急速撤去工法と平板型UFC床版を適用し、さらにランプ橋での床版更新工事



写真-8 プレキャスト壁高欄



写真-9 床版・高欄中央分離帯設置完了



写真-10 完成後（路下より）

での技術に新たな技術開発・改良を行い、阪神高速道路本線で最初のRC床版更新を17日間の通行止め期間で実現した。阪神高速のリニューアルプロジェクトでは、更新の可能性のあるRC床版が数多く残されており、今後とも更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。

6. 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島建設(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。