

第21回 国土技術開発賞 優秀賞受賞

合成桁橋のRC床版取替における
急速撤去技術

Hydro - Jet RD 工法

〔受賞者〕 阪神高速道路株式会社 / 飛島建設株式会社

〔本稿執筆者〕 阪神高速道路株式会社 橋爪 大輔
飛島建設株式会社 佐竹 康伸, 中山 佳久

以下に、第21回 国土技術開発賞 優秀賞を受賞した「合成桁橋のRC床版取替における急速撤去技術」を紹介します。

1. 開発の背景と現状の課題

(1) 技術開発の背景

阪神高速道路は、昭和39年に環状線（土佐堀～湊町）が最初に開通してから50年以上経過し全体の約3割で開通から40年以上が経過しており、構造物が高齢化している。さらに、大型車両交通量の増加や車両総重量の増加、凍結防止剤の使用などによって、大きなダメージを受けている。

こうした中で、阪神高速道路（株）では、構造物の健全性を永続的に確保し、高速道路ネットワークの機能を将来にわたり維持していくための抜本的な対策として、大規模更新・修繕事業に着手している。この事業には、損傷を有するRCコンクリートの床版の更新が含まれているが、1960年代初頭より建設が盛んとなった鋼コンクリート合成桁橋（以下、「合成桁橋」という）は、経済的な橋梁形式として阪神高速道路でも数多く建設されており、経済性を追求した鋼桁に撤去時の作業荷重が作用すると不安定になりやすいなど、合成桁橋特有の床版更新の難しさを有している。

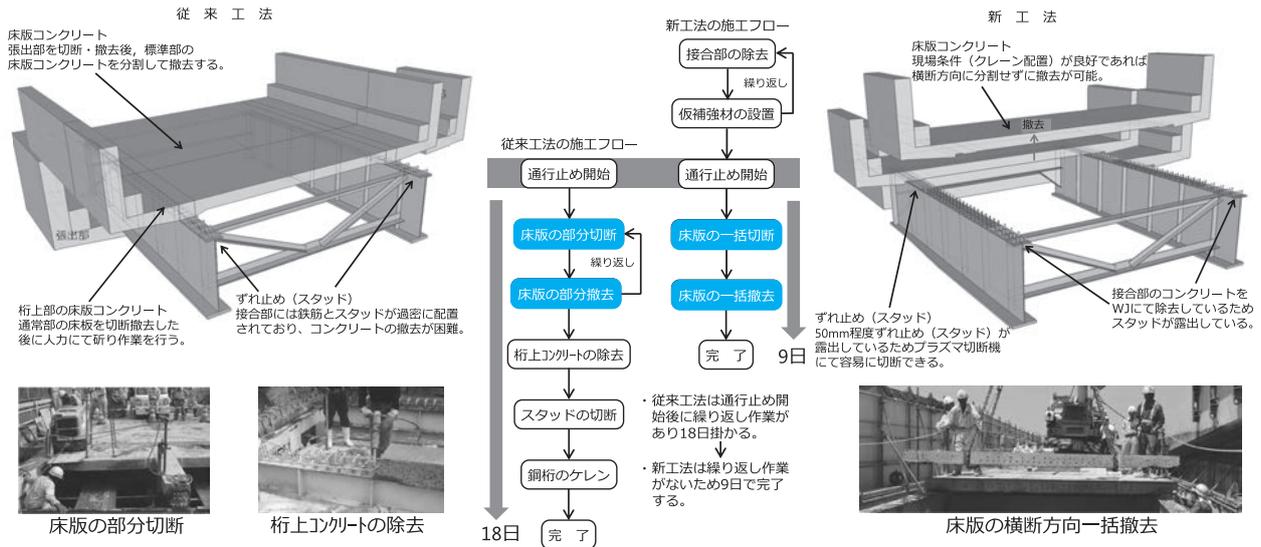
本技術は、①撤去作業の短縮、②通行止め期間の短縮、③周辺環境への配慮、をテーマに技術開発に取り組み、これらを実現したものである。

(2) 従来技術及び類似技術と問題点（図-1）

従来の合成桁橋の床版撤去は、鉄筋やずれ止め（スタッド）が密に配置されている桁上部を残して床版を切断し、細かく分割して撤去しなければならない。残った桁上部の床版コンクリートの除去にも時間が掛かるため、撤去工程が長くなっていた。また、コンクリート破砕時の騒音・振動・粉塵による周辺環境への負荷も課題である。

近年普及しているワイヤーソーで鋼材と床版を切断する工法は、鋼材が密に配置されている接合部内部の状況を確認できないため、鋼桁を損傷させないようにワイヤーの位置を誘導する装置を設けるなど慎重な作業が必要であり、大幅な工程短縮には至っていない。

このように、合成桁橋のRC床版の更新事業では、床版撤去に時間が掛かり、周辺道路での渋滞や周辺環境への負荷増大が社会問題となっており、合成桁橋のRC床版取替における急速撤去技術が必要とされていた。



図－1 従来技術および類似技術と開発技術の工法比較

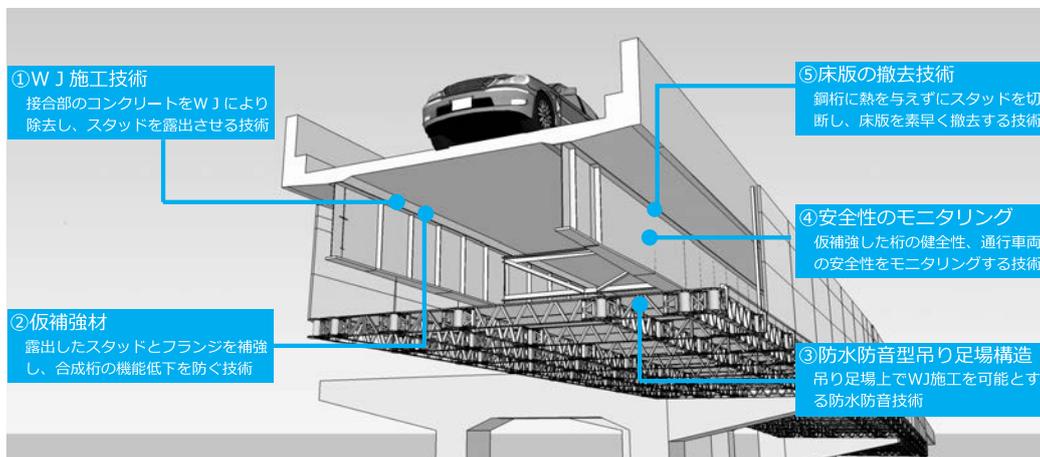
2. 合成桁橋の床版撤去技術の開発

(1) 開発技術の概要（図－2）

従来技術での合成桁橋の床版撤去において、手間が掛かり問題となっている鋼桁とRC床版の接合部（以下、「接合部」という）の除去に、ウォータージェット（以下、「WJ」という）を活用することとした。まず、交通供用下の床版下面より接合部をWJにて研り、鋼桁上のずれ止め（スタッド）を全延長線にわたって50mm程度露出させ、鋼桁とRC床版を分離する。続いて、露出させたスタッドに鋼製補強材と特殊モルタルとで構成される仮補強材を装着し、合成桁橋として構造

性能を確保することで交通供用を継続させることが可能となる。通行止め実施後は、仮補強材を取り外してスタッドを切断することで、速やかにコンクリート床版と鋼桁を撤去できることとなる。以上のように床版撤去の準備作業として事前に床版と鋼桁を分離し、撤去開始までの期間、交通供用を継続できる技術は他に例がない。

WJによる接合部の除去は50mm±5mmの精度で均一に除去でき、床版厚さの範囲を損傷させることがない。また、仮補強材は容易に設置・撤去できる構造としており、撤去工程の負担とならず、事前に鋼桁とRC床版が分離されているため、合成桁橋の床版撤去に伴う通行止め期間を従来の1/2以下、床版のブロック撤去に掛かる工程



図－2 開発した技術の概要

に限っては1/3に短縮することが可能となった。

(2) 接合部コンクリート除去時の構造安全性

本工法は、橋面を交通供用しながら作業可能なことが特徴であるが、鋼桁とRC床版の接合部のハンチコンクリートをWJで除去した合成桁（以下、「不完全合成桁」という）は、合成構造が不完全となることが懸念されるため、その構造的な影響を三次元弾性FEM解析で検討した。

解析の結果、接合部のコンクリートを除去した状態の不完全合成桁は、交通量の多い高速自動車道で適用されるB活荷重作用時に、鋼桁と床版のずれ変形に起因するせん断力により、スタッドに降伏応力の3～4倍程度の曲げ応力が発生するものの、鋼桁、RC床版については応力が若干増加する程度であり、許容応力度は満足した。

したがって、スタッドを曲げ降伏させなければ、接合部除去時の構造安全性を確保できる（鋼桁とRC床版は許容応力度を満足している）ため、接合部除去により露出したスタッドの補強方法（仮補強材）の開発を目指した。

(3) WJを用いた接合部コンクリートの除去技術の開発

橋軸方向と橋軸直角方向への移動を制御できる

XY 研り装置と WJ 装置の技術改良・組合せにより、移動架台付き WJ 装置（写真-1）を開発した。WJ 装置のノズルは切削するコンクリート面に正対する向き（90°）に固定し、ノズルを切削する接合部内部へ挿入することで、上フランジ幅の接合部のコンクリートを短時間で除去することができる。接合部の切削は、以下の3つのSTEPに分けて施工する（図-3）。

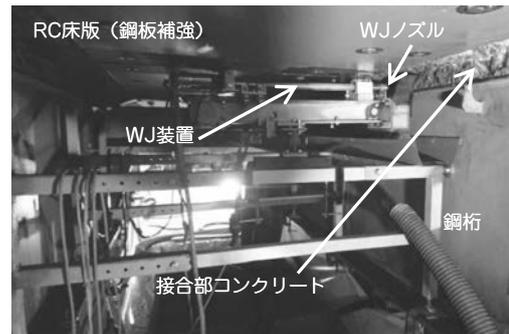


写真-1 移動架台付き WJ 装置

STEP-1

橋軸方向（水平）に WJ 装置を移動させて接合部ハンチコンクリート表面を研り、直近のスタッドを露出させてスタッド配置を確認する。

STEP-2

WJ 装置をスタッド間で反転往復させながらノズルを挿入し、鋼桁上を高さ 50 mm 程度で貫通

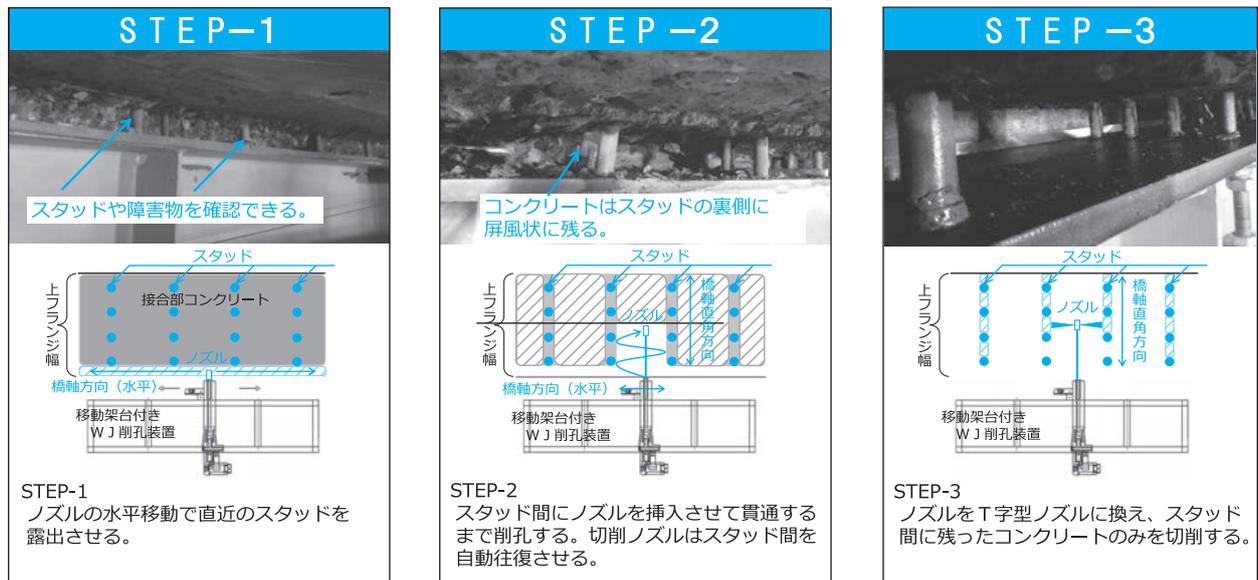
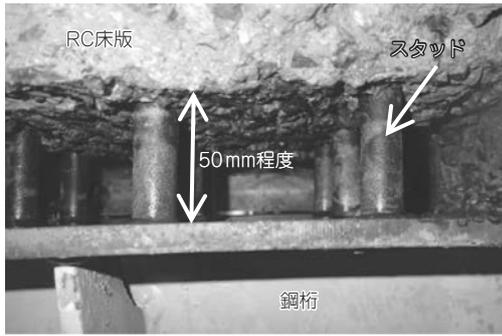


図-3 3つのステップによる WJ 施工

するまで切削する（写真－2）。



写真－2 接合部コンクリートの除去状況

STEP-3

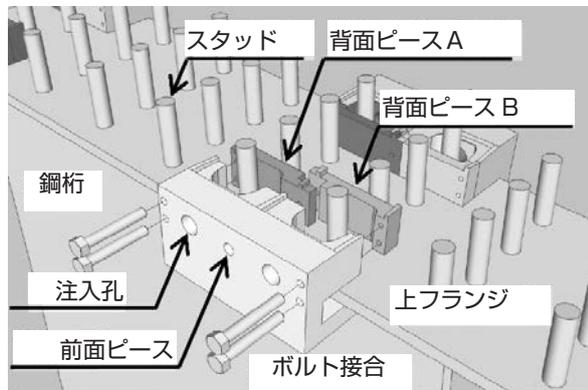
ノズルをT字型（又はL字型）に変更し、スタッド前後に残ったコンクリートを切削する。

以上の3つのSTEPに分けて施工することで切削と排出の作業効率が向上し、上フランジ幅250mmの場合の日施工量L = 2.5mを達成し、使用水量を4m³/日程度まで削減できた。また、WJ装置のノズルを接合部内部に挿入することで、発生する作業騒音の低減が図れた。

(4) 仮補強材の開発

① 鋼製補強材の構造

仮補強材は、鋼製補強材とスタッドとの空隙を埋める特殊モルタルで構成される。仮補強材は図－4に示すように、最外側スタッドを鋼材で囲み、鋼材とスタッドの隙間および鋼材と床版の隙



- ・ 仮補強材は、鋼製補強材と特殊モルタルで構成される
- ・ 鋼製補強材は3つのピースからなり、スタッドを囲むように配置する
- ・ 前面の注入孔から特殊モルタルを充填し、鋼桁と床版を一体化する

図－4 鋼製補強材の構造

間にモルタルを充填して、活荷重作用時の鋼桁と床版のずれ変形を抑制する構造とした。さらに、鋼桁の上フランジをオーバーハングする部材を鋼製補強材に設けて支点ボルトにて締め付けることで、スタッドが負担するせん断力の低減を図っている。また、鋼製補強材は3ピースで構成され、組立時の背面パーツの差し込みが容易な形状とし、解体用ボルトを差し込むだけで解体できるなど、組立・解体が容易な構造としている。

② 特殊モルタルの性能

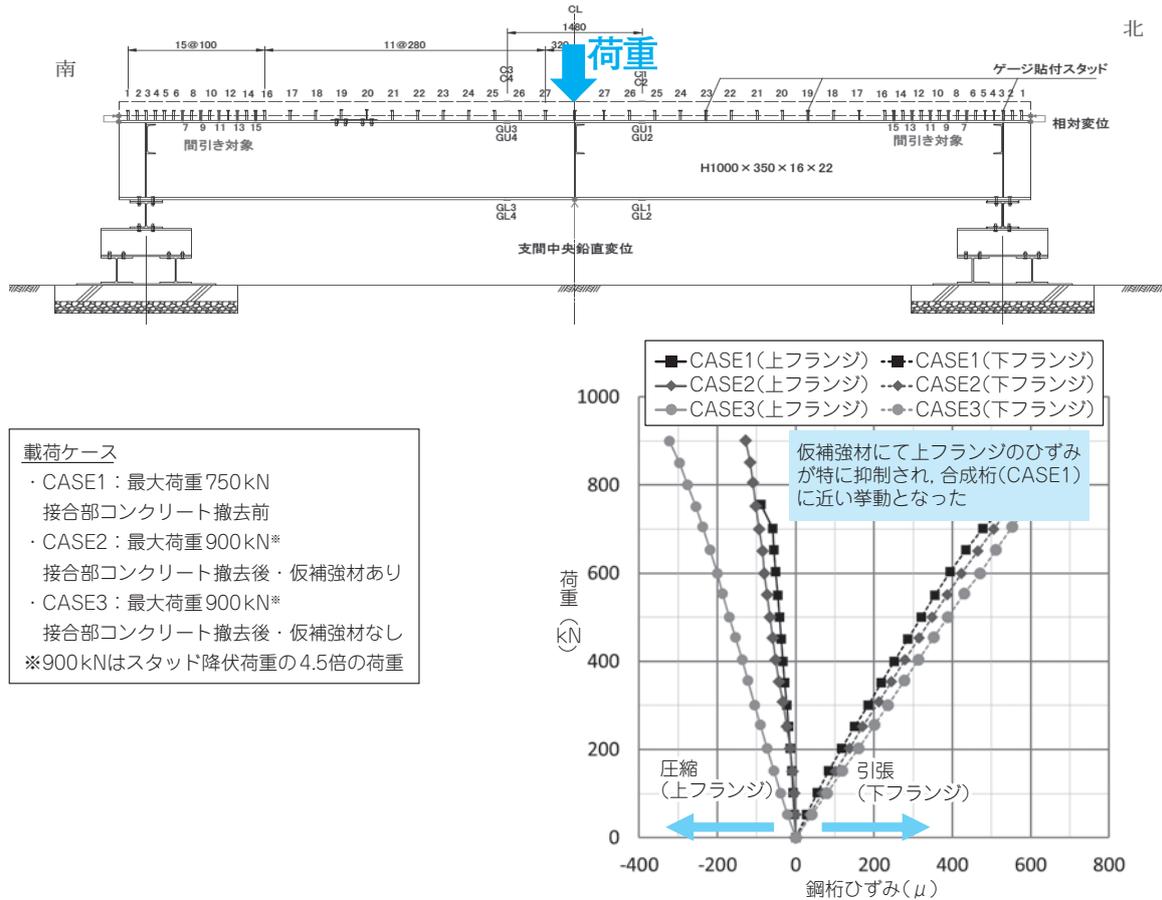
鋼製補強材とスタッドの空隙を埋める特殊モルタルは、可塑性を有する高強度無収縮モルタルを開発した。鋼製補強材前面から注入することで、鋼製補強材内部とコンクリート床版との隙間を隅々まで充填でき、作業の翌朝（σ₁₅時間程度）には40N/mm²の強度を発現する。可塑性を有することで充填完了後の空隙の発生を防ぎ、鋼桁と仮補強材、RC床版の一体性を確保する。

③ 大型供試体試験による仮補強材の性能検証

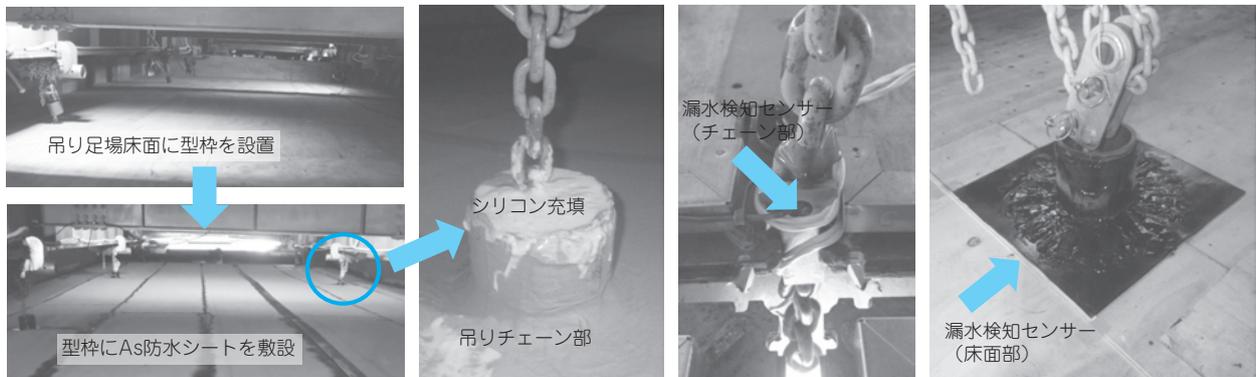
不完全合成桁における仮補強材の効果は、図－5に示す実物大規模の大型供試体の載荷試験で検証した。試験ケースは、ハンチ除去前（CASE1；合成桁）、ハンチ除去後仮補強時（CASE2；補強済不完全合成桁）、ハンチ除去後無補強時（CASE3；不完全合成桁）とし、CASE2およびCASE3における最大荷重は、無補強時のスタッド降伏荷重の4.5倍（900kN）とした。また、CASE2における仮補強総耐力が、CASE3の最大荷重時にスタッドに生じるせん断力の総和を上回るように、仮補強材の組数を配置した。仮補強材の設置により、上フランジのひずみが特に抑制されるとともに合成桁（CASE1）に近い挙動を検証できた。

(5) 吊り足場の防水構造の開発

床版取替工事では主に吊り足場を使用するが、WJ施工では足場床面、特に吊りチェーン周りの漏水対策が求められる。そこで、漏水検知機能を備えた吊り足場の防水構造を開発した。主な特徴、ならびに施工状況を写真－3に示す。



図－5 鋼製補強材の性能確認試験（大型供試体実験）



写真－3 防水・防音型吊り足場構造

3. 床版更新工事への開発技術の適用

(1) 更新工事の概要

平成30年に阪神高速道路15号堺線の玉出入口において、阪神高速道路として大規模更新・修繕事業における最初の床版取替工事を行った。玉出入口は、橋梁部と土工部から構成される。橋梁部

は6径間の単純合成桁であり、1970年（昭和45年）に供用開始し、現在までに約50年が経過している。供用から12年後の1982年（昭和57年）には、疲労対策として床版下面に厚さ4.5mmの鋼板を接着する補強を実施している。それから約30年後の点検で、鋼板に広範囲の浮きが確認され、これを受けて実施した詳細調査で、床版内部に水平方向のひび割れが面的に発生していること

が確認された。更新工事の内、本線側3径間に開発技術を適用した。

床版撤去に先立ち、橋面上の施工幅が狭く大型クレーンの配置が困難なため、高欄を先行して撤去し、床版の撤去重量を軽減した。高欄を切断・撤去する際は、接合部に仮補強材を設置した状態でクレーンを設置するため、三次元FEM解析を実施し、鋼桁の補強を行うことなく撤去する径間内にクレーンを設置できることを確認した。

高欄撤去後、接合部の仮補強材を取り外し、床版を切断した(写真-4)。床版の搬出は、隣接する径間にクレーンを据える計画とし、床版搬出時の鋼桁補強が不要であることを解析で検証した。床版の切断は主に橋軸直角方法に行い、クレーン能力を考慮し、できるだけ大きく切断し、搬出回数が少なく効率的に作業できるように計画した。床版を吊った後、スタッドを切断し、床版を搬出した(写真-5)。スタッドの切離しにプラズマ切断機を適用したことで、1本当り10秒以下で切断でき、鋼桁への熱伝達の抑制、作業時間の短縮が図れた(写真-6)。



写真-4 コンクリートカッターでの床版切断



写真-5 隣接径間からの床版撤去



写真-6 ずれ止め(スタッド)の切断

(2) 適用効果

① 防水・防音効果

防水・防音型吊り足場は、高性能な漏水検知装置を備え、道路や鉄道、河川との交差部や商業施設の上部に架かる橋梁での適用が可能である。作業時の防水機能のみならず、作業終了時の水洗い洗浄が可能であり、常に清掃が行き届いた環境を維持することで、粉塵の発生による周辺環境の悪化を防止できる。12mm合板にAs防水シートを貼り付けた床面の防音は約20dBの低減効果があった。

② 撤去工程の大幅な短縮

本工法を用いた場合の床版撤去は、従来工法の半分以下の工程で実施できる。床版の撤去に先立ち、供用下で鋼桁上のずれ止め(スタッド)を全延長にわたって50mm程度露出させるため、通行止め後はスタッドを切断するだけで速やかに床版を撤去できる。また、鋼桁位置に関係なく床版を切断することができ、撤去ブロック数を少なくできる。以上によって、通行止め後の撤去工程の大幅な短縮が可能となることを確認した。

径間長20m、2主桁、1径間では、桁上コンクリートを手すりする従来工法では通行止めは18日だが、本工法では9日に短縮できると試算していた。玉出入路での実施工では、径間長22m、2主桁、3径間の床版撤去を昼間施工(8時間)のみで、20日間で完了した(1径間当り7日間)。

4. まとめ

今回紹介した技術によって、高速道路の通行止

め期間の短縮が行え、社会的な負荷の低減が図れることを確認した。高速道路の床版更新工事は20日～月単位での通行止め等の大規模な交通規制を繰り返すことによって実施されることが一般的であるが、本技術の適用によって、交通規制期間の短縮、規制回数の低減、施工範囲の拡大が可能である。また、環境面においても、床版撤去時の斫り作業が不要となるため、騒音の発生時間を低減できることに加え、WJ作業で発生する騒音は、吊り足場床面の防水および側面の防音設備によって抑制できることを確認した。

今後は、更新床版の設置を含む工事全体の工程を見直すことで、更なる通行止め期間の短縮を目指していく必要がある。

【参考文献】

- 1) Yojiro Murakami, Takashi Kosaka, Akinori Sato, Seisuke Muragishi, Kimio Saito, Yasuo Kawabata: Design and Construction of UHPFRC Deck for Replacement of Deteriorated Concrete Slab, 40th IABSE Symposium
- 2) 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を用いた急速撤去技術の開発(その1: 概要と構造検討), 第73回年次学術講演会, VI部門-328, 2018.
- 3) 川端康夫, 佐藤彰紀, 中山佳久, 吉田啓助: 合成桁橋のRC床版取替におけるウォータージェットを用いた急速撤去技術の開発(その2: 施工技術の開発と試験施工), 第73回年次学術講演会, VI部門-329, 2018.

【プロジェクトデータ】

橋名: 阪神高速道路15号堺線玉出入路橋 既設床版撤去
所在: 大阪府大阪市西成区玉出西
橋長: 66.0 m
支間長: 22.0 + 22.0 + 22.0 m
構造形式: 単純鋼鈹桁
荷重: B活荷重
事業主: 阪神高速道路(株)
適用示方書: 道路橋示方書・同解説(平成24年3月)
施工: 飛鳥建設(株)・第一カッター興業(株)共同企業体
施工協力: 構造解析: (株)オリエンタルコンサルタンツ
WJ斫り: 第一カッター興業(株)
防水型吊り足場: (株)大阪防水建設社, 日綜産業(株)
床版撤去: (株)ティ・ビー・シー・ダイヤモンド
メーカー: 特殊モルタル: デンカ(株)
プラズマ切断機: (株)アクティオ
工期: 平成29年11月～平成31年1月(既設床版撤去)