

ウォータージェットを活用した合成桁橋の床版更新技術の開発

Development of Renewal Technology for Decks of Composite Girder Bridge Utilizing Water Jet

中山 佳 久^{※1}
Yoshihisa Nakayama

佐 竹 康 伸^{※1}
Yasunobu Satake

石 塚 健 一^{※2}
Kenichi Ishizuka

平 間 昭 信^{※3}
Akinobu Hirama

川 端 康 夫^{※1}
Yasuo Kawabata

吉 田 啓 助^{※4}
Keisuke Yoshida

堀 岡 良 則^{※5}
Yoshinori Horioka

橋 爪 大 輔^{※5}
Daisuke Hashizume

佐 藤 彰 紀^{※5}
Akinori Satou

西 原 知 彦^{※5}
Tomohiko Nishihara

【要旨】

現在、高度成長時代に大量に作られた高速道路の橋梁を大規模更新する時代となった。合成桁橋の修繕では、損傷した床版のみを撤去し、健全な鋼桁は再利用する。しかしながら、鋼桁と RC 床版は密に配置されたスタッドで接合されており、分離することが容易ではない。通行止め期間の短縮をするためには、これらを速やかに分離する方法が必要とされている。

我々は、『Hydro-Jet RD 工法 (Hydro Jet demolition technique for Replacing the decks)』を開発した。本技術は、第一段階で、車両を通行させながら、鋼桁と RC 床版の接合部をウォータージェットにて研り、鋼桁上のずれ止め (スタッド) を 5cm 程度露出させる。第二段階では、露出させたスタッドに鋼製補強材を装着する。これによって、鋼桁と RC 床版を分離させながら、合成桁橋としての性能を維持できる。

【キーワード】 大規模更新 合成桁橋 ウォータージェット ずれ止め (スタッド) 鋼製補強材

1. はじめに

コンクリート床版と鋼桁からなる合成桁橋は、経済性と合理性により 1950 年代から 60 年代に多く建設されており、東京では 1964 年のオリンピック、大阪では 1970 年の万国博覧会を契機に、都市高速道路網が整備される中で数多く採用された。建設後 50 年を迎え、想定以上の交通量の増加などによって床版の損傷が激しくなり、床版取替工事が数多く計画されている。

合成桁橋梁の RC 床版の取り替えは、初めに標準部の床版を切断・撤去し、後から鋼桁上部の床版を人力研りにて撤去するが、鉄筋とずれ止め (スタッド) が過密に配置されているため、現状では短時間に既設鋼桁と RC 床版を分離できず、このことが床版取替工事におけるクリティカルパスになっており、騒音・振動・粉じんなど環境負荷も大きい。

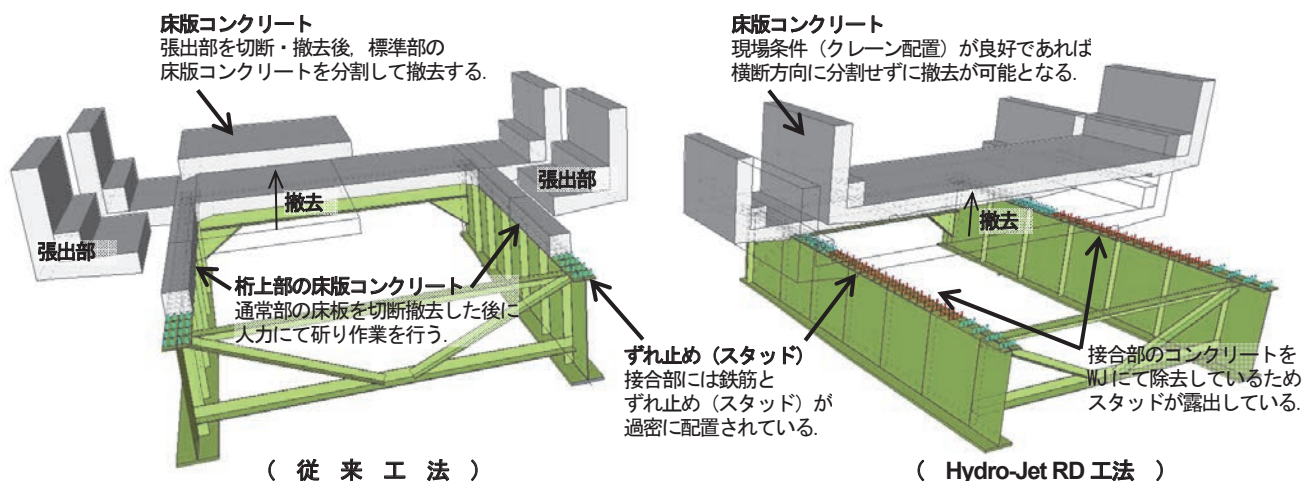


図-1 従来工法と新工法の床版撤去方法の比較

1.土木事業本部 リニューアル統括部 2.土木事業本部 土木技術部 設計G 構造コンクリートT
3.技術研究所 研究開発 G 4.第一カッター興業株式会社 5.阪神高速道路株式会社

2. 開発技術の概要

本工法は、図-2に示すように、交通供用下の床版下面より、鋼桁とRC床版の接合部をWJで研り、鋼桁上のずれ止め(スタッド)を全線に渡って5cm程度露出させ、露出させたスタッドに鋼製補強材を装着し、合成桁としての性能を損なうことなく交通供用を継続させることを特徴としている。開発技術の施工手順を図-3に示す。

- ①交通供用下において鋼桁と床版の接合部のハンチコンクリートをWJで除去する。
- ②コンクリートが除去された桁と床版の隙間に鋼製補強材とモルタルによる仮補強を設置する。
- ③通行止め後に仮補強を撤去して、床版を橋軸直角方向に切断し、床版を撤去する際にプラズマ切断機によりスタッドを切断する。

3. 接合部ハンチコンクリート除去時の構造安全性

本工法は、橋面を一般交通に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3次元弾性FEM解析で検討した。解析の結果、不完全合成桁は、交通量の多い高速自動車道を対象とした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。スタッドを曲げ降伏させなければ接合部ハンチコンクリート除去時の構造安全性を確保できると判断した。そこで接合部ハンチコンクリートの除去により露出したスタッドの曲げ補強方法(仮補強)を開発することとした。

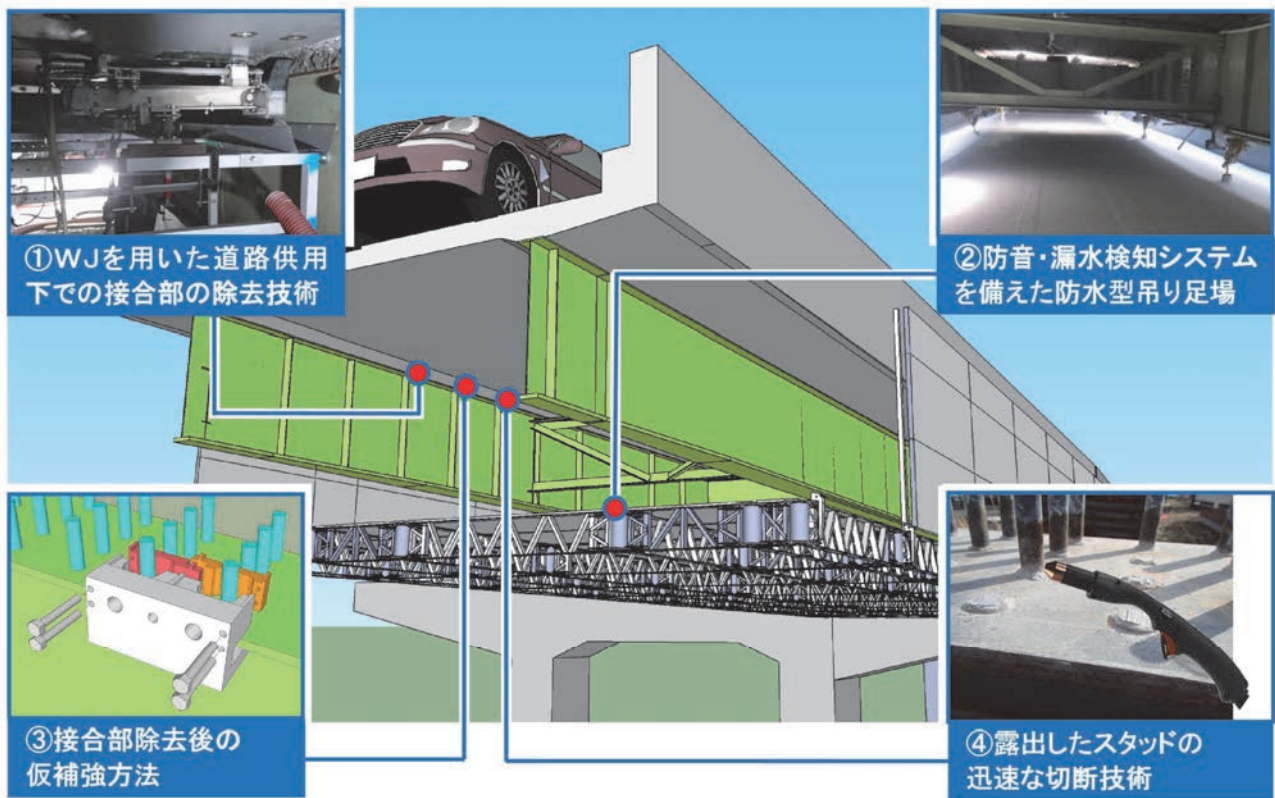


図-2 開発技術の概要

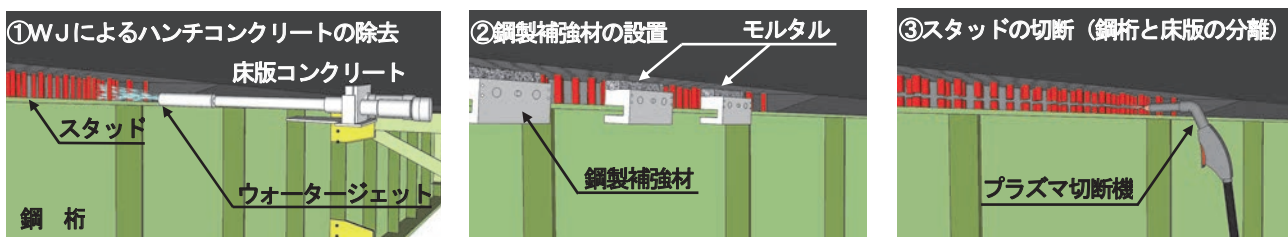


図-3 開発技術の施工手順



写真-1 移動架台付き WJ 削孔装置 (全体)



写真-2 移動架台付き WJ 削孔装置

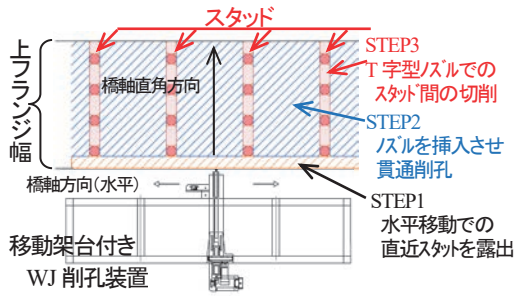


図-4 WJの施工ステップ

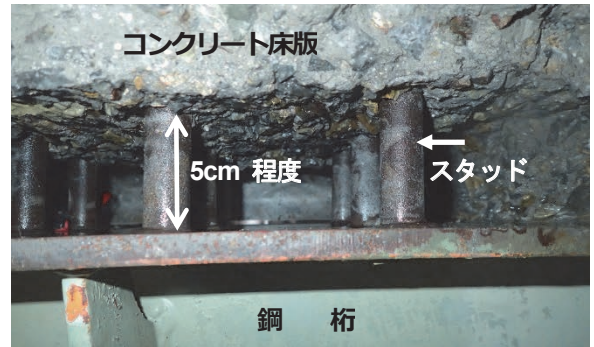


写真-3 鋼桁と床版の分離状況

4. WJを用いた接合部ハンチ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削孔装置の技術改良・組合せにより、移動架台付きWJ装置(写真-1, 2)を開発した。鋼桁とRC床版の分離作業は以下の3つのSTEPに分けて施工する(図-4)。

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5cm程度で貫通するまで切削する(写真-3)。

STEP-3: ノズルをT字型(又はL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。

5. 防水型吊り足場の開発

床版取替工事では主に吊り足場を使用するが、WJ施工にあたり、足場床面、特に吊りチェーン周りの漏水対策が課題であった。そこで、防水機能と漏水検知機能を備えた吊り足場構造を開発した(写真-4)。主な特徴を以下に示す。

- ①アスファルト(As)防水シートを吊り足場床面に敷き詰めることで、高い防水、防音機能を有する。
- ②吊りチェーンと吊り足場床面の交差部に、流動性、柔軟性のあるシリコンを充填し、振動に強い止水機能を有する。
- ③吊りチェーン部と防水シート下面に漏水検知センサを配置し、漏水の早期発見、漏水箇所の特定が可能なモニタリング機能を有する。

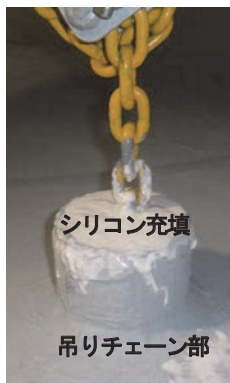


写真-4 防水型吊り足場

6. 仮補強（鋼製補強材と特殊モルタル）の開発

6.1 要求性能

仮補強は、①スタッドが降伏荷重の4倍程度の水平荷重（せん断力）に対しても弾性状態の変形性能（せん断剛性）を維持できること、②狭隘な場所での施工性（設置撤去）が確保できること、③鋼桁に削孔等のダメージを与えない補強方法であることを要求性能とした。

6.2 鋼製補強材の構造

仮補強（写真-5）は、鋼製補強材とスタッドの空隙を埋める特殊モルタルで構成される。仮補強は図-5に示すように、4本1列または4本2列のスタッドの最外側スタッドを鋼材で囲み、鋼材とスタッドの間および鋼材と床版の隙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支点ボルトを締め付けることで、スタッドが負担するせん断力減少を図っている。また、鋼製補強材は3ピースで構成（図-6）されており、組立・解体が容易な構造としている。



写真-5 仮補強の設置状況

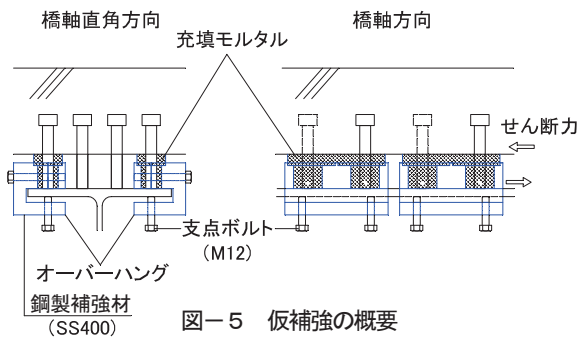


図-5 仮補強の概要

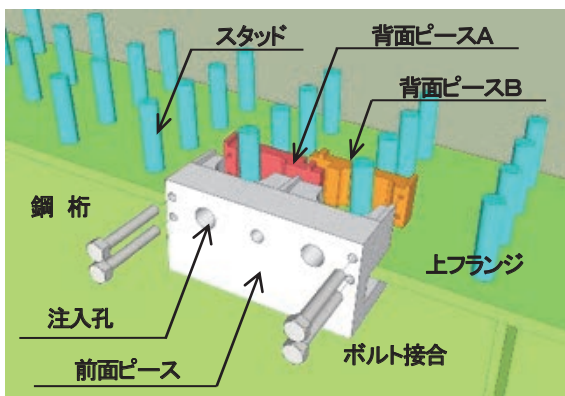


図-6 鋼製補強材の構成

6.3 鋼製補強材の性能

鋼製補強材の基本性能（所要変形性能を維持できる最大荷重）は要素試験（図-7）により確認した。試験結果（図-8）に示すように、露出したスタッドに仮補強を設置することで、スタッド無補強時の降伏水平荷重の約3.5倍 [2本づかみの場合] から約4倍 [1本づかみの場合] まで（全スタッドの下端が降伏するまで）、スタッド無補強時の弾性挙動と同等の変形性能を維持できることが判明した。

6.4 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とし、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（写真-6）でき、作業の翌朝（ $\sigma 15$ 時間程度）には $40\text{N}/\text{mm}^2$ の強度を発現する。

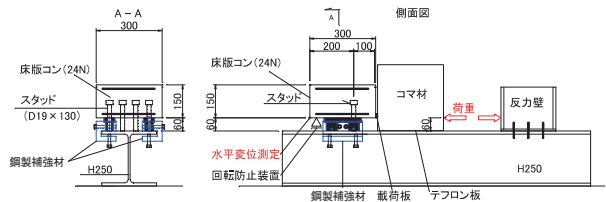


図-7 要素試験

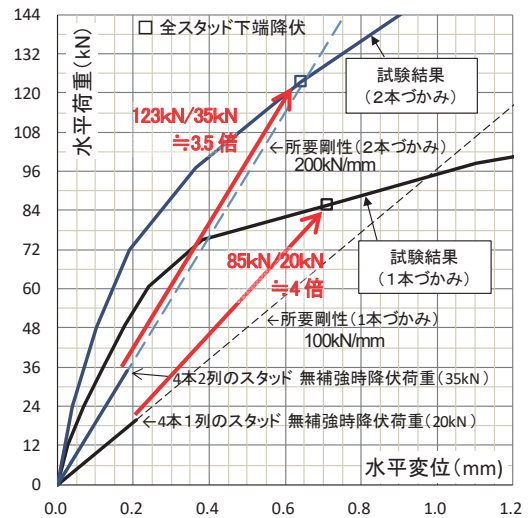


図-8 要素試験結果

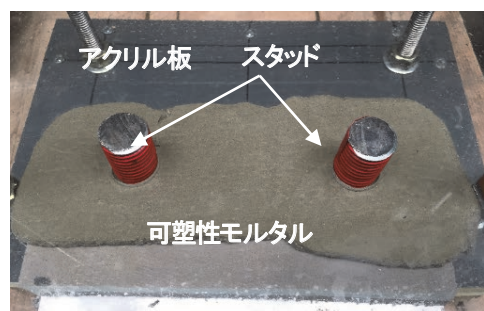


写真-6 特殊モルタル充填試験

6.5 大型供試体試験による仮補強の性能確認

不完全合成桁における仮補強の効果は、図-9に示す実物大規模の大型供試体の載荷試験で確認した。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)、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様に仮補強の組数を配置した。図-10に支間中央における鋼桁フランジの荷重-ひずみ関係を示す。仮補強の設置により、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。

7. 露出したスタッドの迅速な切断技術

スタッドの切断は、予熱作業が不要なプラズマ切断機を採用した。鋼製補強材を撤去した隙間 (約55mm) で施工可能な切先装置 (写真-7) を用い、スタッドの切断残長5mm程度、切断後の桁温度40℃、切断時間20秒/本程度 (表-1) で、鋼桁への影響が軽微であることを確認した。

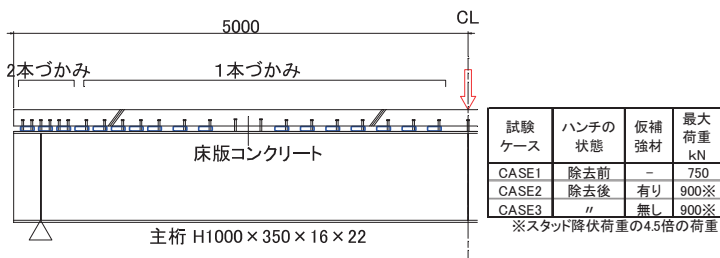


図-9 大型模型載荷試験 (半断面図) と実験条件

8. 試験施工による検証

阪神高速 14 号松原線、阿倍野管理用入路、3 主桁、施工延長 10m (径間長 22m) で試験施工を実施し、本技術の実橋での実現性を確認した。

8.1 WJによるハンチコンクリートの切削

切削量 1.5~2.0m/日程度 (橋軸方向出来形)、切削幅は 50~60mm の範囲を遵守でき、残渣を残さず切削できた。使用水量は 4m³/日程度 (0.5m³/hr) で、排水装置が機能し、使用水量の 80% を装置内で回収できた。一方で残りの排水は、床面に落水したが、防水足場の効果により、足場下に一切落水することなく回収できた。なお、切削による騒音は、発生源からの離隔距離 13m で規制値 85dB であった。

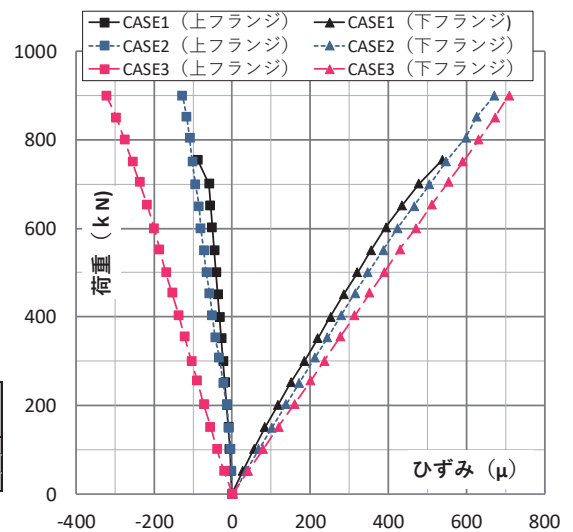


図-10 大型供試体載荷試験結果



表-1 スタッド切断工法の比較

	スタッドの切断残長	切断後の桁温度	桁中央スタッドの切断容易	切断時間 (本当たり)	必要資格
レシプロソー	30mm~40mm	常温	×	200 秒	不要
ガス溶断	5mm	高熱	○	80 秒	技能講習
プラズマ切断 (通常タイプ)	20mm	30 度程度	△	20 秒	特別教育
プラズマ切断 (新型タイプ)	5mm	40 度程度	◎	20 秒	特別教育



写真-8 スタッド切断・仕上げ状況の比較

8.2 仮補強の設置・撤去

仮補強は埋設金物などの影響により、計画の位置に配置できない場合があった。これらが構造上問題とならないよう、配置位置に自由度を持たせる設計を行った。特殊モルタルは密実な充填性と所定の強度発現 (σ 15 時間 = 47.3N/mm²) を確認した。仮補強の設置作業は 15 分/個、撤去は 10 分/個、さらにスタッド周りの補強モルタルの除去は 5 分/個程度と極めて短く、開発目標の工程短縮が行えることを確認した。

8.3 載荷試験による性能確認

仮補強は、構造解析により、全スタッド列の約 50% に適用し、車両重量 20t のダンプによる載荷試験 (着手前, WJ 施工後, 仮補強後) を実施した。これによって、仮補強後において着手前の合成桁への回復効果、スタッドやフランジの曲げ応力の低減効果を検証し、自由度のある配置計画の妥当性を確認した。

9. おわりに

ハンチコンクリート除去後、仮補強後のスタッドが降伏荷重の 4 倍程度まで弾性挙動することを目指した。さらに仮補強の構造仕様を決定し、その構造性能を検証したことで、本技術の実現可能性が確認できた。また WJ

を用いた鋼桁と RC 床版を分離する施工技術を考案、要素技術の開発と実橋試験施工を行い、実用可能性を検証した。今後、交通供用下での実証実験を実施し、本技術の実用化に向けて、さらなる検討を進める予定である。

本稿は、床版撤去までの工法についての報告であり、床版撤去の検証結果については、別稿にて報告させていただく予定である。

謝辞 : 本工法は、阪神高速道路株式会社が募集するコミュニケーション型共同研究に、第一カッター興業株式会社と共に応募して共同開発した技術である。本工法の開発に際してご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

【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.
- 2) 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.

Summary Many of the expressway bridges built during Japan's period of rapid economic growth are now approaching the time when major repairs are required. For composite girder bridges, it is necessary to remove damaged decks while retaining steel girders in good condition. On the one hand, separating reinforced concrete decks from steel girders is difficult because they are joined by a dense configuration of studs. On the other, they must be separated quickly to minimize the duration for a bridge is closed to traffic. In this context, Tobishima Corporation developed the Hydro-Jet RD method (Hydro Jet Demolition Technique for Replacing Decks). In the first stage of this method, which allows with the vehicle running on the decks, the portion of the concrete at the area joined to the steel girder is removed using a water jet to expose a length of approximately 5 cm of each stud. In the second stage, steel reinforcements are fixed to the exposed studs to maintain the design performance of the composite girder bridge while the girders and decks remain separated.

Key Words : *Replece on a large scale, Composite Girder, Water Jet, Shear Connector(Stud), Steel Reinforcement*