

# 橋梁リニューアル技術

## Bridge Renewal Technology

田中 裕明 TANAKA Hiroaki JFE エンジニアリング 社会インフラ本部 技術開発部  
大谷 靖弘 OTANI Yasuhiro JFE エンジニアリング 技術本部 総合研究所 主任研究員  
土肥かおり DOI Kaori JFE エンジニアリング 社会インフラ本部 技術開発部

### 要旨

現在、高度成長期（1955 年～1972 年）に建設された橋梁は供用後 50 年以上が経過し、多くの橋梁の老朽化が進んでいる。そのため高速道路会社をはじめとして、老朽化した RC 床版をより耐久性の高い床版に取り替える更新事業や、橋桁の架け替え事業が進められている。橋梁の更新工事では、交通規制等による社会的影響や周辺環境への影響を極力抑えた施工技術が求められる。また、人口減少に伴う労働力不足への対応として省人・省力化技術も重要となっている。

本稿では、JFE エンジニアリングが開発した床版更新の施工技術や橋桁の架け替え技術について紹介し、概要を説明する。

### Abstract:

More than 50 years have passed since bridges were constructed during the high-growth period (1955-1972) in Japan, and many bridges are aging. Expressway companies are proceeding with renewal work of aging RC slabs and replacement work of bridge girders. In the renewal work of existing bridges, construction technology that minimizes the social impact of traffic regulations and the surrounding environment is required. In addition, personnel saving and labor saving technologies are also important as a response to the labor shortage. This paper introduces and outlines the slab renewal construction technology and bridge girder replacement technology developed by JFE Engineering.

## 1. はじめに

JFE エンジニアリングでは、インフラ老朽化への取り組みとして橋梁構造物の更新技術の開発を進めている。ここでは、床版更新技術に関し夜間 1 車線規制下での更新技術（SRF 工法）と機械化、自動化による省人・効率化技術について、また、橋桁架け替え技術に関し、送り出し架け替え工法と昇降装置による撤去更新技術について紹介する。

## 2. 床版更新技術

### 2.1 夜間 1 車線規制下での更新技術の開発

#### 2.1.1 概要

現在、高度成長期に建設された橋梁の老朽化した RC 床版をより耐久性の高い床版に取り替える更新事業が実施されている。既設橋梁の床版を更新する際には交通規制が必須であり、渋滞等による社会的影響を極力小さくすることが求められる。なかでも、都市部の高速道路等の高架橋では交通量が多く全線通行止めの影響が大きいことから、供用しながらの床版更新技術が求められている。そこで、2017

年から 2019 年にかけて首都高速道路株式会社と共同研究を実施し、都市部の高架橋を対象として、夜間 1 車線のみ規制し、昼間は交通を開放する条件下での床版更新を実現する施工方法を検討した。

#### 2.1.2 検討の条件

検討対象橋梁は支間長 30 m の単純合成桁橋とし、**図 1** に示すとおり 1 車線毎に床版を更新する方針とした。また、高架橋上の規制可能時間は 21 時から 5 時までの 8 時間とし、規制開始および規制解除に要する時間を除き 1 夜間での橋面上の作業可能時間は 6 時間とした。検討に際しては堀切小菅 JCT 間改良上部・橋脚工事の拡幅工事<sup>1)</sup> で実績のある、

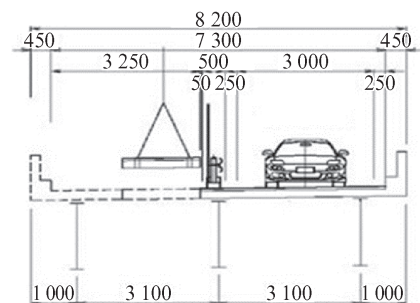


図 1 床版更新時の標準断面

Fig. 1 Section arrangement under slab renovation

移動式吊フレームを用いた SRF (Slab Renovation Frame) 工法 (図 2) の採用を前提とした。本工法では、一度吊フレームを組み立てると床版更新作業完了まで解体する必要がないため、夜間 1 車線規制時間内で効率的な床版更新作業ができる。また、更新床版は上部工の重量軽減のため鋼床版とし、現場施工時間の短縮のため工場で舗装し現場に搬入する構造とした。1 パネルの長さは 2 m とし、1 夜間で 2 パネル分 (長さ 4 m) 更新する条件とした。

2.1.3 施工フローおよび構造の検討

(1) 夜間 1 車線規制下の施工フローの検討

道路供用下での施工となるため、主桁の剛性確保の観点から既設主桁の上フランジ上で既設 RC 床版を切断・撤去し、上フランジと鋼床版をボルトで接合する構造とした (図 3)。主桁上フランジ上で既設 RC 床版を水平に切断する工法として、夜間 1 車線規制下での施工用に新たにコンパクトなワイヤーソーイング工法を開発した (図 4)。上記を踏まえ、規制時間内における既設床版撤去から更新床版の設置、新旧床版の接続部の施工までのフローを検討した (図 5)。

(2) 新旧床版間の接続構造の検討

昼間は交通開放するため、段差や隙間がなく走行安全性

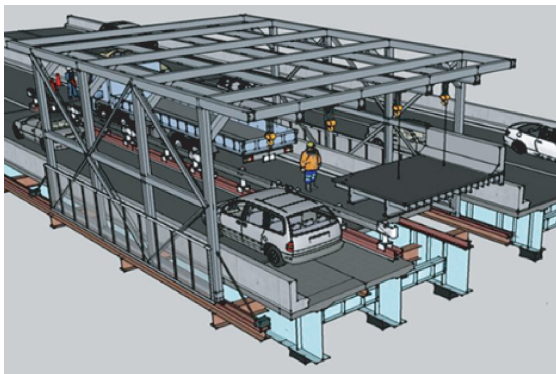


図 2 SRF 工法による床版更新工法  
Fig. 2 Slab renovation frame method

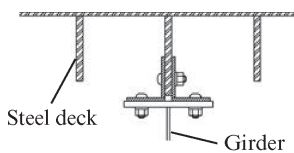


図 3 主桁と鋼床版の接合  
Fig. 3 Steel deck-girder connection

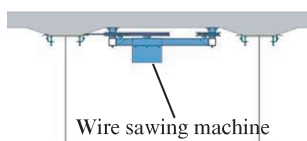


図 4 ワイヤソーイング工法  
Fig. 4 Wire sewing method

を確保でき、かつ設置・撤去が容易な新旧床版間の接続構造が課題であった。検討の結果、図 6 (a) に示すとおり鋼床版と既設 RC 床版を跨ぐように鋼製の接続パネルを設置し、隙間と高さを舗装補修材によって調整する構造とした。また、接続パネルと既設 RC 床版の取合い部の耐荷重を把握することを目的として弾塑性 FEM 解析を実施し、輪荷重に対して約 3 倍以上の耐荷力を有することを確認した。終局時のひび割れ性状を図 6 (b) に示す。

(3) 主桁補強の概略検討

合成桁橋の床版を供用下で更新するためには、床版を切断・撤去した状態や昼間交通開放時に橋梁の構造安全性を確保することが重要となる。そこで、最も荷重条件が厳しくなる支間中央部の床版更新時について主桁補強の試設計を行った。その結果、安全側の条件設定に対して、一般的な補強方法である補強フランジ追加と外ケーブルによる応力調整によって構造が成り立つことを確認した (図 7)。

2.1.4 実物大部分模型による施工性確認実験

検討した夜間 1 車線規制下の施工フローについて、各作業項目の作業時間を計測し、規制時間内での床版更新の実

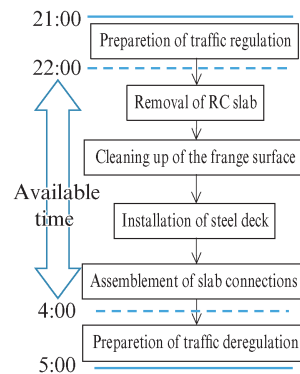
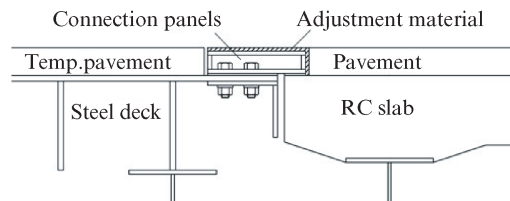
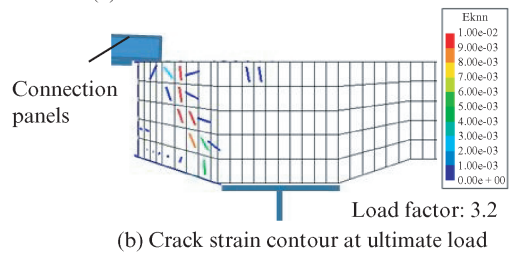


図 5 施工フロー  
Fig. 5 Construction flow



(a) Connection between steel deck and RC slab



(b) Crack strain contour at ultimate load

図 6 新旧床版間の接続構造  
Fig. 6 Connection details between steel deck and RC slab

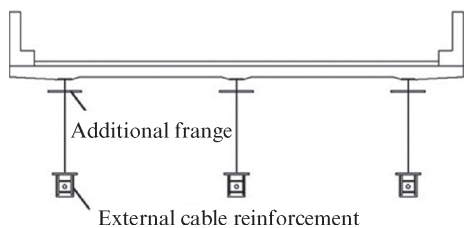


図7 主桁補強

Fig. 7 Arrangement of main girder reinforcements

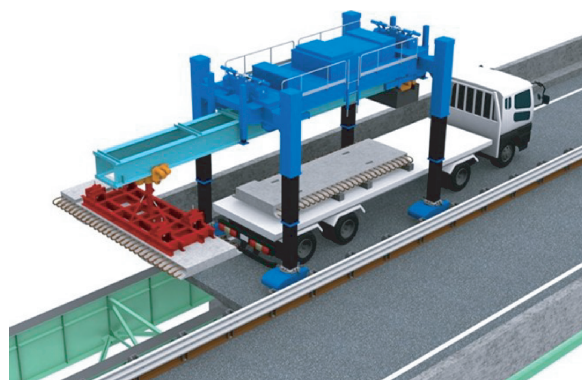


図9 床版撤去据付装置

Fig. 9 Deck removal installation machine

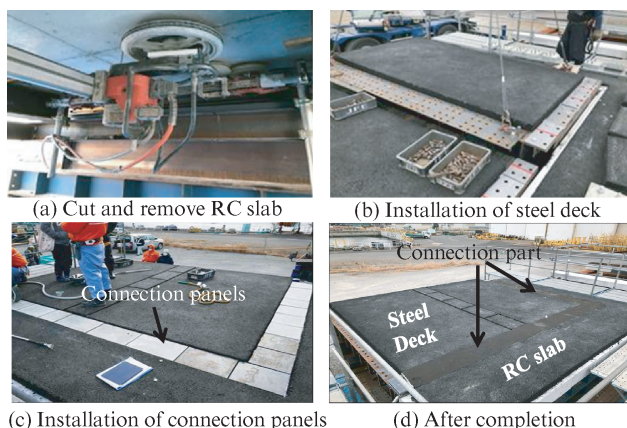


図8 施工性確認実験

Fig. 8 Confirmation test of workability of slab replacement

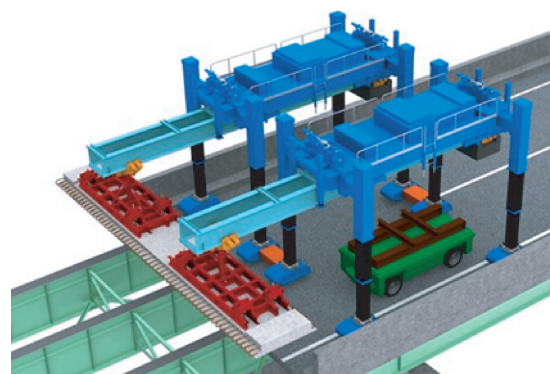


図10 2台連結適用イメージ

Fig. 10 Applicable image of two connected units

表1 作業時間の分析結果

Table 1 Summary of working times of SRF method

	Raguration	Deraguration
	21:00 22 23 24 1 2 3 4 5:00	
Removal of RC slab	Available time	
Cleaning up of the frange surface		
Installation of steel decks		
Assemblment of slab connections		
	Work time on the road : 339 min	

現性の確認を目的として実物大部分模型による施工性確認実験を行った。既設 RC 床版の切断・撤去から鋼床版の架設、新旧床版間の接続構造の施工までの一連の作業について施工性を確認した。実験の状況を図8に示す。また、実験により規制時間内の作業フローを分析した結果を表1に示す。今回実施した実験では、橋面上の作業が6時間以内で完了し、規制時間内で十分施工可能であることを確認できた。

## 2.2 機械化、自動化による省人・効率化技術の開発

### 2.2.1 張出型リフターによる位置調整・据付の機械化・自動化技術の開発

床版更新工事において、床版の撤去および据付は、多くの人員、作業時間を要する工程である。また、1車線規制や

夜間施工などの条件がある場合は、施工の難易度が増す。部材撤去据付装置の開発は、この工程の省人化、およびさまざまな工事条件への対応を目的としている。本開発装置の特徴を以下に記す。

#### (1) 基本構造

本開発装置は図9に示すように、門型構造、かつ張り出した梁を有する構造とした。門型構造にすることでトレーラーから直接部材を荷下ろし、積載できるため、旋回が必要なクレーンを用いる場合に比べて、作業の迅速化が図れる。さらに1車線内で作業を完結できる。

張り出した梁は、床版を作業位置まで移動させる役割を担う。一般的な門型クレーンなどでは吊り荷の移動範囲が脚の内側になるが、床版更新工事では作業箇所を跨って装置を設置する必要が生じてしまい、作業性が低下する。本開発装置は張出構造を採用することで、設置作業を簡易化した。なお、張出部へ吊り荷を移動させた際は、カウンターウェイトを用いてバランスを保つ。

本開発装置のサイズは、1車線分ごとの施工（半断面施工）を想定した。装置単体で半断面施工へ対応する一方で、2車線分の施工（全断面施工）が可能な工事では、図10に示すように、装置2台を連結して用いることを計画している。



(2) フレーム伸縮機能および自走機能

本開発装置は、**図 11** に示すように、高さ方向の伸縮機能および水平方向への展開機能を有している。この機能によりトレーラーへの積載、装置の組み立てが容易になる。さらに、脚部の展開、伸縮機能を用いることで、他の重機を用いずに自機の機能だけでトレーラーからの荷下ろしおよび搭載ができる。また、脚部の展開幅を調整できるため、幅員が狭い現場にも対応できる。

脚部には車輪による自走機能があるため、作業位置へ移動でき、また装置の設置位置を調整できる。

(3) 床版据付位置調整機能

床版の据付は正確な位置に合わせる必要があり、クレーンなどで吊り下げて設置する際には、多くの作業員を要した調整作業が必要であった。本開発装置は、平面方向2軸（橋軸方向、および橋軸直交方向）、高さ、床版の水平回転、床版傾斜の調整機能を備えることで、省人化、効率化を図っている。橋軸方向の移動は張出梁を走行するトロリーで行い、橋軸直交方向の位置調整は張出梁自体をスライドさせて行う。床版の水平回転、傾斜調整は、**図 12** に示す吊装置で行う。吊装置は床版接続プレート、ロッド状の吊材、回転装置、傾斜調整用油圧ジャッキなどで構成される。吊り代が短く、可動方向が限定できる吊材の構造により、微調整が可能である。

現在、部材据付撤去装置は、試作機による検証実験を進めており、2022 年度以降に実用装置を製作する計画である。

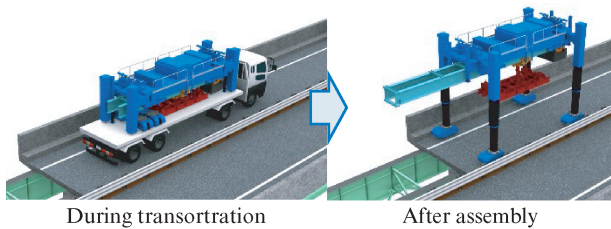


図 11 フレーム伸縮機能

Fig. 11 Frame expansion and contraction function

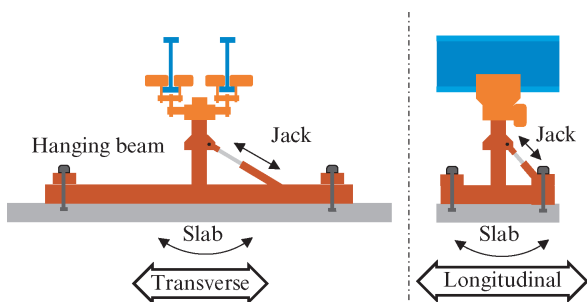


図 12 吊装置概要図

Fig. 12 Schematic diagram of hanging device

2.2.2 合成桁の床版撤去技術（スラブキラー）の開発

(1) 概要

合成桁橋の床版は、鋼桁上フランジ上のずれ止めによって主桁と堅固に一体化されており、既設床版の撤去に非常に多くの手間と労力を要している。そのため、より効率的で省人化された床版撤去技術が求められている。そこで、株式会社ニチワと共同で、合成桁の床版切断撤去の効率化・省人化を目的としてスラブキラー工法を新たに開発した。装置の概要を**図 13** に示す。この装置は、主桁等に固定したガイドレール上を自動で走行し、バンドソーによって主桁上面近傍の床版コンクリートとずれ止めを同時に切断する。主桁直上位置で切断するため、切り残った床版コンクリートが少なく後作業が容易であり、またコンクリートがらや粉塵の発生を抑制できる。

(2) 切断実験による検証

頭付きスタッドと馬蹄形ジベル（CH 型、ブロック型）のずれ止めをモデル化した長さ 4 m の RC 床版供試体を用いて切断実験を実施した。切断実験の様子を**図 14** に示す。実験の結果、頭付きスタッドタイプでは約 60 分、馬蹄形ジベ

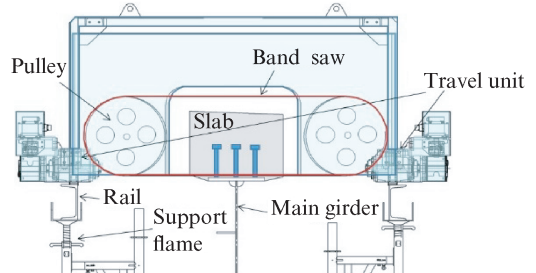


図 13 装置概要

Fig. 13 Equipment overview



図 14 実験の様子

Fig. 14 Scene of experiment

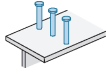
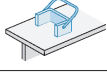
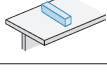


図 15 切断面 (stud)

Fig. 15 Cut surface (stud)



表2 切断実験結果  
Table 2 Result of cutting experiment

Case	Shear connector arrangement		Result	
			Cutting time	Cutting speed (Average)
Stud		3-Φ22×150 @100 mm	57 min/4 m	70 mm/min
CH		1-CH 180×50×12 @280 mm	100 min/4 m	40 mm/min
Block		1-PL 45×45×200 @300 mm	110 min/4 m	36 mm/min

ルでは約100分～110分で切断できることを確認した(表2)。また、切断面は凹凸なく水平に切断できることを確認した(図15)。残りのコンクリートはハンマー等で容易に撤去可能なため、本工法により合成桁の床版撤去の効率化、省人化が実現できる。

### 3. 桁架け替え技術

#### 3.1 概要

NEXCO 中国自動車道の老朽化した高架橋の架け替えや、都市再開発による日本橋周辺の首都高速道路の撤去など、都市部高架橋を対象とした撤去や架け替えの大規模プロジェクトが進められている。

都市部高架橋は、一般的に交通量の多い幹線道路に平行して建設され、建物と近接する等現場の制約条件が厳しく建設ヤードの確保が困難なケースが多い。このため、都市部高架橋の改築工事には、周辺環境等への影響を低減し効率的に施工できる工法が求められる。そこで本検討では、都市部高架橋の撤去・架け替えを対象として、①跨線橋や跨道橋等で高架橋の桁下空間がヤードとして使用できない場合と②高架橋の桁下空間がヤードとして使用できる場合のそれぞれについて、周辺環境への影響を軽減し効率的に高架橋の撤去や架け替えができる工法を検討した。

#### 3.2 送り出し架け替え工法

##### 3.2.1 概要

3.1で述べた①の施工条件下における橋梁架け替えについて本工法を考案した。本工法は、対象路線のみの通行止めで行えることを特徴としている。

一般的な架設工法であるクレーンベント工法を用いる場合、一般道と並行する高規格道路の高架橋架け替え時には一般道上にクレーンを設置し、新設桁の地組みや架設、既設桁の撤去を行うことから、架け替え対象の高規格道路と一般道の両方の通行止めが必要になる(図16)。また、架け替え対象高架橋の周辺が住宅地である場合は、クレーンの配置そのものが困難である(図17)。

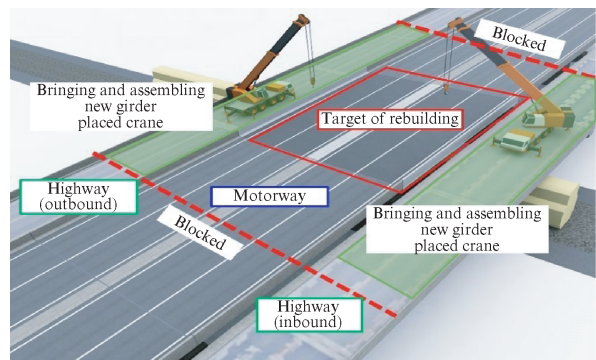


図16 クレーンベント工法の施工状況

Fig. 16 Construction scene by crane bent method

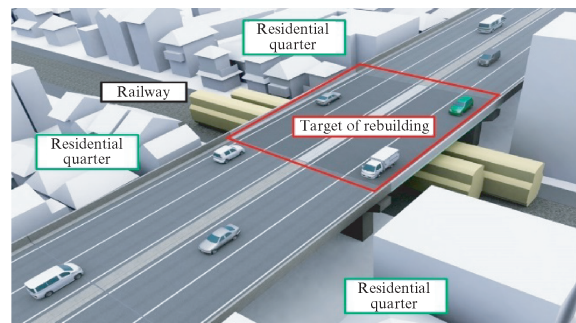


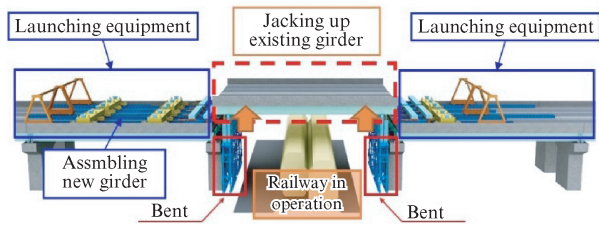
図17 クレーン配置が困難な施工箇所

Fig. 17 Site of difficult to place crane

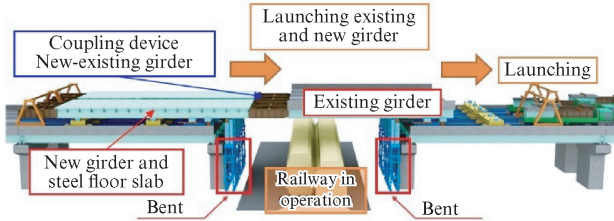
本工法では対象路線のみを通行止めとし、対象路線の橋面上で新設桁、床版の仮組立てから既設桁の撤去、新設桁の架設を行う。これにより、クレーンヤード確保の必要がなくなり、並行して走行する他路線の通行止めなしで、高架橋の架け替えを行える。

また、本工法では撤去する既設桁と新設桁を連結して送り出すことで、撤去と架設の2工程を1工程にできるため、工期短縮が期待できる。送り出し撤去後の既設桁の解体作業と新設桁ジャッキダウン等の作業を並行して行えることも工期短縮に寄与する。

Setting launching equipment ~ Jacking up existing girder ~ Assembling new girders



Setting coupling devices ~ Launching



Completed ~ Demolishing existing girder and temporary equipment

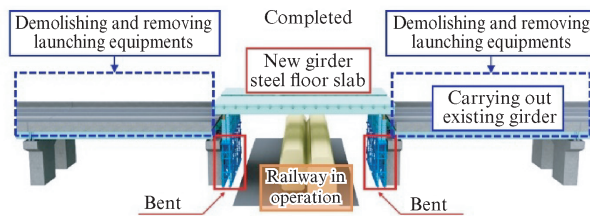


図 18 送り出し架け替え工法 ステップ図

Fig. 18 Step of launching erection method for replacement

### 3.2.2 構造 (施工方法)

本工法の施工順序を図 18 に示す。対象橋梁に対して橋軸方向に隣接する前後の橋梁路面上に、軌条設備や台車等の桁送り出し設備を設置する。それと並行して対象橋梁橋脚近傍に対象桁をジャッキアップするための設備として、ベントを構築しベント上に油圧ジャッキを配置する。

軌条設備上に新設する桁を組み立て、連結構を取り付ける。既設桁をジャッキアップし、連結構に接続し前送りの準備をするとともに、新設桁を送り出すための連結構と既設桁の後部を接続する。こうして既設桁を送り出すとともに新設桁の送り出しが行われ、架け替えが完了する。

## 3.3 昇降装置による撤去更新

### 3.3.1 概要

高架橋の桁下空間を利用して既設桁の架け替えや撤去を行う場合を想定し、上部工の撤去作業と架設作業の両方に適用できる上部工昇降装置を開発した。これまで桁下空間を使用して架け替えを行う場合、既設桁の桁下空間にベント等の支保工を設置して更新桁を組立て、既設橋を撤去した後に支保工上に取り付けたジャッキ等の昇降装置を用いて更新桁をジャッキアップして架設する工法が考えられた。

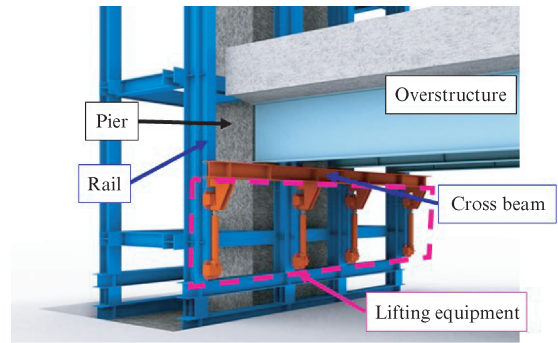


図 19 昇降装置の構造

Fig. 19 Overview of lifting structure

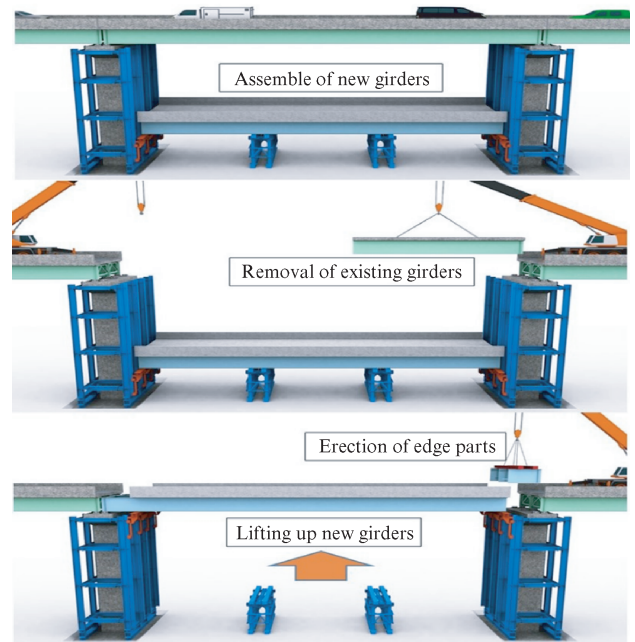


図 20 昇降装置による撤去更新工法 ステップ図

Fig. 20 Step of the lifting erection method for replacement

しかし、支保工を用いてジャッキアップする方法ではジャッキアップ時に支保工を逐次盛替えて更新桁を上昇させることから大規模な支保工設備が必要であり施工に手間がかかるといった課題があった。そこで、橋脚近傍に上下方向に配置したレールを設け、レール上に沿って可動する昇降装置によって上部工を上昇・降下できる装置を考案した。

### 3.3.2 昇降装置の構造

装置は図 19 のとおり、橋脚近傍の上下方向にレールを構築し、それぞれのレールに昇降装置を取付け、横梁を介して上部工を支持する構造となっている。上部工の上昇と降下を本装置で行うことができ、上部工の端部付近を昇降装置で支持しレールに沿って昇降させる仕組みのため、支保工で上部工を下から支持しなくてもジャッキアップダウンが可能となる。このため、橋脚が高い場合でも大規模なベント設備が不要となり、ジャッキアップダウン時に支保工を逐次盛り替える必要がなく施工の効率化が図れる。また、本

装置では高架橋の架け替えだけでなく撤去にも適用できる。

### 3.3.3 昇降装置を用いた撤去更新工法

本装置による高架橋の撤去更新工法の一例を図 20 に示す。まず、高架橋の桁下空間を利用し、対象路線を供用しながら橋脚近傍に上部工昇降装置を設置してあらかじめ新設桁を組み立てる。架け替えを行う通行止め期間では、既設桁をクレーン等によって撤去し、あらかじめ桁下に組立られている新設桁を本装置によってジャッキアップした後に桁端部を架設することで高架橋の架け替えを行える。

また、本装置はジャッキダウンも容易に行えることから、高架橋の架け替えだけでなく、撤去・解体工事にも適用できる。

## 4. おわりに

床版更新の施工技術および橋桁の架け替え技術の開発について概要を紹介した。今回紹介した技術も含め、今後も橋梁更新工事において様々な現場施工条件に応じた新工法や現場作業の省人・省力化に資する装置の開発を推進し、老朽化した橋梁構造物の更新に貢献していく所存である。

## 謝辞

夜間 1 車線規制下における床版更新技術の共同研究において、多くの貴重なご意見、ご指導をいただいた首都高速道路株式会社の関係者の皆様、床版撤去技術（スラブキラー）の共同開発にご協力いただいた株式会社ニチワの関係者の皆様に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 大西達也, 高橋邦博, 深谷道夫, 岩川貴志, 河川上空における高速道路拡幅工事の施工計画. 土木学会第 72 回年次学術講演会. 2017, VI-043.



田中 裕明



大谷 靖弘



土肥かおり