

# 鋼橋床版の老朽化の現状と床版取替えの事例・課題

## — 中国自動車道 福崎 IC ～佐用 IC —

杉本 浩\*1・松井 隆行\*2・井隼 俊也\*3・亀崎 誠志\*4

高速道路における鋼桁 RC 床版の老朽化の現状とともに、約 10 橋での床版取替え事例を報告する。また、これらの床版取替え事例での高耐久化ならびに工期短縮に対する取組みについて報告する。さらに、今後の重交通路線下での床版取替えに対して、取り組むべき課題について報告する。

キーワード：既設鋼橋 RC 床版，老朽化，高耐久化，工期短縮

### 1. はじめに

1970 年代の高度成長期に建設された日本の高速道路橋は、使用開始からすでに 30 年以上経過している。経年劣化、車両の大型化や交通量の激増による疲労、飛来塩分や凍結防止剤の散布などによる塩害が問題となっている。そのなかでも鋼橋の RC 床版の損傷が著しく、大規模更新事業として、床版取替え工事を進めている。

本稿は、既設橋梁の老朽化の現状、床版取替え工事事例および当該工事における高耐久化や工期短縮に対する取組みを報告する。また、今後の重交通路線下での床版取替え工事に対する課題を報告する。

### 2. 高速道路における橋梁老朽化の現状

#### 2.1 既設橋梁の老朽化

鋼橋の RC 床版では、初期の乾燥収縮によるひび割れや、大型車両通行の累積による床版疲労によりひび割れが生じており、舗装面からの雨水などの漏水によるすり磨き作用により急速に劣化進行している。また、除塩不足の海砂を使用したことによる内在塩害や、冬季に散布する塩化ナトリウムなどの凍結防止剤の影響による塩害も顕在化しており、床版疲労と塩害による複合劣化によって急激に健全性が低下している。

鋼橋 RC 床版の劣化は、前述のとおり床版疲労と塩害が主な劣化要因であり、変状している部位は①床版上面、②床版下面、③張出し床版下面、④壁高欄、⑤補修補強の再劣化に細分化される。

床版上面では、主に凍結防止剤に起因する塩害の影響による上側鉄筋の腐食・爆裂（鉄筋の体積膨張によってコンクリートの内部からの破裂する現象）を起点とし、輪荷重や水の影響による床版コンクリートの土砂化、路面にポットホールが発生している（写真 - 1）。高速道路上の路面変状は、安全な走行に大きなリスクを生じさせるため、確実な予防保全が求められており、1998 年頃より床版防水

層が設置されている（写真 - 2）。

床版下面では、貫通ひび割れを通じて雨水やエフロレッセンスの漏出などが生じており、下側鉄筋位置においても塩害による鉄筋腐食が生じ、写真 - 3 に示すようにかぶりコンクリートが剥落している箇所も見受けられる。



(a) 舗装面 (b) 床版上面  
写真 - 1 床版上面の変状事例



写真 - 2 床版防水層施工状況 写真 - 3 床版下面かぶり剥落状況

#### 2.2 老朽化に対する補強事例

1970 年頃から鋼橋 RC 床版のひび割れ、剥離、抜落ちなどが生じ始めたことにより 1973 年には既供用路線に対して縦桁補強（写真 - 4）などが実施され、1993 年には車両総重量が 20 t から 25 t に引き上げられたことによる車両大型化対策が本格化し、既供用路線の床版に与える影響を勘案し劣化の著しい床版から優先的に床版上面増厚（写真 - 5）や床版下面の鋼板接着工法（写真 - 6）による補強が順次実施された。

\*1 Hiroshi SUGIMOTO：西日本高速道路(株) 関西支社

\*2 Takayuki MATSUI：西日本高速道路(株) 関西支社

\*3 Toshiya IHAYA：オリエンタル白石(株) 大阪支店

\*4 Seiji KAMEZAKI：オリエンタル白石(株) 大阪支店



写真 - 4 縦桁補強事例



写真 - 7 上面増厚変状 (既設床版との剥離)



写真 - 5 床版上面増圧施工状況

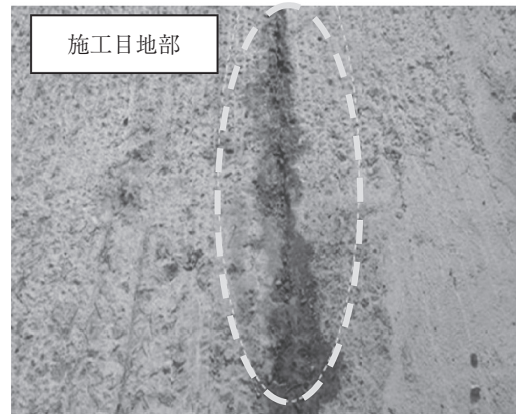


写真 - 8 上面増厚変状<sup>1)</sup>  
(施工目地部からの浸水)



写真 - 6 床版下面 鋼板接着補強事例



写真 - 9 既設床版の土砂化  
(上面増厚の撤去後)

### 2.3 補強後の経過観察

前述のように老朽化した鋼橋 RC 床版の補修・補強を順次行ってきた。

しかしながら、近年、補修・補強を実施した部分の再劣化も顕著化しており、鋼橋 RC 床版の健全性が損なわれてきている。

たとえば、写真 - 7 は 1995 年に施工した床版増厚の劣化状況であり、施工後 7 年で変状した事例である。劣化の状態としては、追越車線規制・走行車線規制に区分して施工した際に生じる施工継目 (写真 - 8) などから、漏水が生じる。この漏水により、写真 - 9 のように既設床版部分が土砂化したのち、増厚床版 (鋼繊維補強コンクリート)

が輪荷重の影響によって破壊し、舗装面にポットホールが発生して、写真 - 1 (a) に示す舗装補修が実施されてきた。

このように、高速道路の橋梁は、重交通による疲労や凍結防止剤による塩害など厳しい使用環境の影響により変状しきており、過去から補修・補強を繰り返してきているものの、十分な性能まで健全性が回復しておらず、長期にわたり橋梁の健全性を維持していくためには適切な時期に大規模な更新が必要となる構造物も存在してきている。

### 3. 中国自動車道（福崎 IC ～佐用 IC）の床版取替え

#### 3.1 工事概要

中国自動車道（福崎 IC ～佐用 IC）は、1975 年に供用を開始した山間部に位置する高速道路である。この区間では、冬季の凍結防止材散布により、RC 床版の劣化が著しく、1995 年頃より、床版補修や前述の対策を実施してきた。しかし、これらの対策による一定の延命化は図れたものの、補強対策後の 10 年程度で再劣化が確認され、大規模更新事業として、2010 年より順次、プレキャスト PC 床版（以下、PCaPC 床版という）への取替を実施している。本区間における床版取替え事例を表 - 1 に、工事状況事例を写真 - 10 に示す。



写真 - 10 工事状況事例 2)

#### 3.2 床版厚低減に対する試み

現在、床版は橋軸直角方向が PC 構造で橋軸方向が RC 構造としているのが一般的であり、橋軸方向の RC 接合方法はループ継手が用いられている場合が多い。ループ継手は接合部の鉄筋を曲げ加工する必要があるため、曲げ半径

の制約により床版厚を厚くせざるを得ない場合がある。

床版厚の増加は、死荷重増加による鋼桁の耐力低下や下部構造の耐震性への影響などが危惧されることから、できるかぎり床版厚を薄くすることが望まれる。そこで、本区間の C 橋の一部を除く 11 橋の床版取替え工事では、床版厚の低減と耐久性および施工性の向上を目的として、床版部材での継手構造としての性能が確認<sup>3)</sup>されているエポキシ樹脂塗装を施したエンドバンド継手（写真 - 11）を採用した。

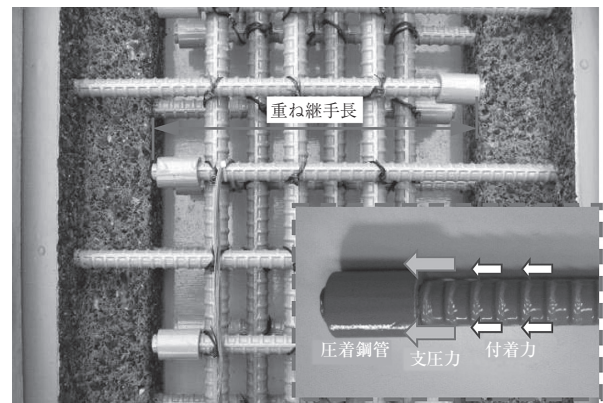


写真 - 11 エンドバンド継手<sup>3)</sup>

PCaPC 床版を用いる場合、床版支間から定まる最小床版厚は 170 mm である。一方、PCaPC 床版の橋軸方向の接合方法を RC 構造とし、一般的なループ継手を用いた場合は、ループ継手の曲げ内半径の制約や必要かぶり（施工誤差に対する余裕を含む）から床版厚は 240 mm となり、既設床版（建設時）に比べて約 15 ～ 20 % の増加となる。これに対して、エンドバンド継手を用いた場合の床版厚は 220 mm となり、約 5 ～ 10 % の増加となり、ループ継手と比較し約 10 % の低減が図れた（図 - 1）。

表 - 1 中国自動車道（福崎 IC ～佐用 IC）での床版取替え実績

橋名	A1 橋	B1, B2 橋	A2 橋	C 橋（上り線）	D1, D2 橋	E1, E2 橋	F1, F2 橋
橋長 (m)	303.9	2@69.1	303.3	87.5	75.8, 64.8	82.8, 96.8	226.7
全幅員 (m)	10	10.53, 9.95	10	10.2	2@11.4	2@11.4	2@11.4
斜角 (°)	90	45	90	50	90	90	63
構造型式	鋼(3@3 径間)連続非合成鋼桁橋	鋼 2 径間連続非合成鋼桁橋	鋼(5+4 径間)連続非合成鋼桁橋	鋼 3 径間連続非合成鋼桁橋	鋼 3 径間連続非合成鋼桁橋	鋼 3 径間連続非合成鋼桁橋	鋼(2+3 径間)連続非合成鋼桁橋
PCaPC 床版の設置方向	鋼桁直角方向	斜角方向	鋼桁直角方向	鋼桁直角方向	鋼桁直角方向	鋼桁直角方向	斜角方向
橋梁端部	場所打ち床版	PCaPC 床版	PCaPC 床版	PCaPC 床版	PCaPC 床版	PCaPC 床版	PCaPC 床版
PCaPC 版枚数	132	2@32	142	46	37, 32	41, 48	2@103
施工年度	2014	2015	2016	2016	2016, 2017	2016, 2017	2017, 2018

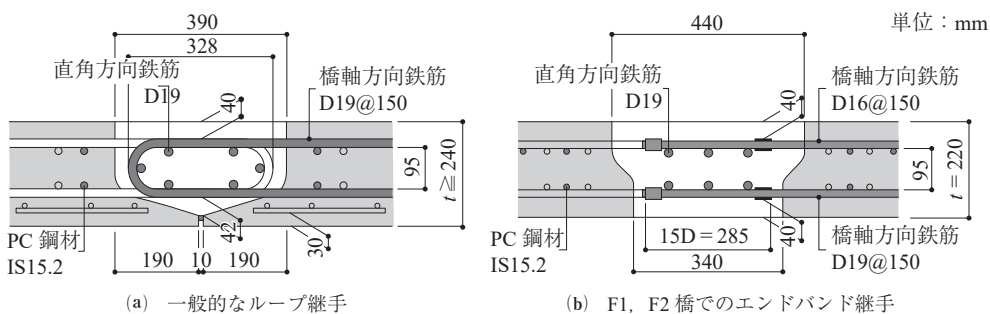


図 - 1 PCaPC 床版の RC 接合方法の比較

### 3.3 高耐久化に対する試み

中国自動車道における床版劣化の主要因である冬期の凍結防止剤散布による塩害に対して、耐久性の高い構造物とする必要がある。そのため、劣化因子を遮断する性能を向上させること、劣化因子が浸入しにくい材料および形状の選定が求められる。以下に、高耐久化のための各種対策について述べる。

#### (1) 高炉スラグ微粉末の使用

PCaPC 床版のみならず、工事箇所近傍のコンクリートプラントが供給元となる間詰め部や端部場所打ち部のコンクリートに、高炉スラグ微粉末（比表面積 6 000 cm<sup>2</sup>/g）を 50% の割合で置換した。

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透抑制効果は、「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）（JSCE-G 571-2010）」にて確認した。この試験に基づき得られた見掛けの拡散係数を図 - 2 に示す。通常の早強セメントのみの配合に比較して、高炉スラグ微粉末を混合した配合の見掛けの拡散係数は、1/10 程度となっている。

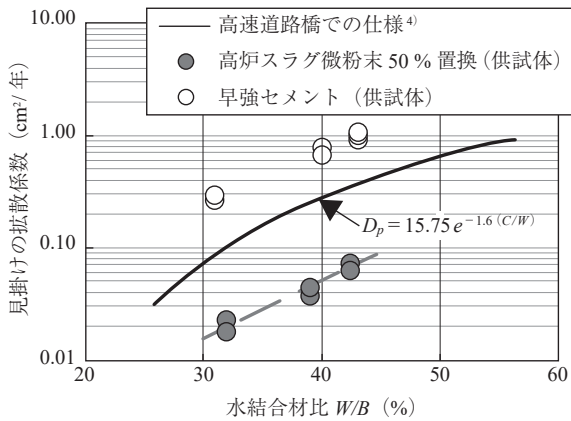


図 - 2 高炉スラグ混合コンクリートの拡散係数<sup>5)</sup>

なお、PCaPC 床版は、材齢 7 日まで水中養生を実施した。

写真 - 12 に養生状況を示す。

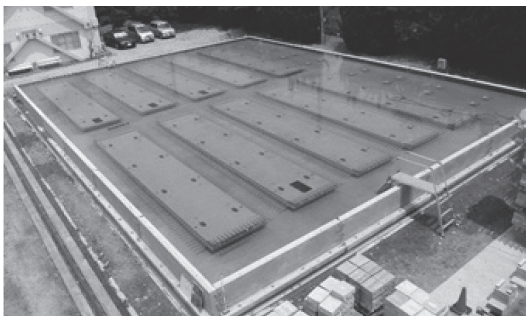


写真 - 12 水槽による水中養生状況

#### (2) 膨張材の使用

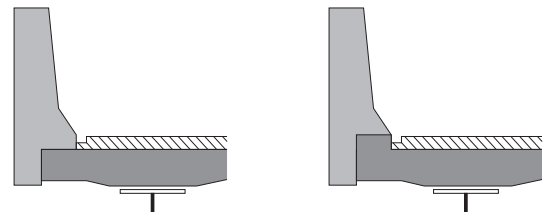
一般に高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、早強セメント単味コンクリートと比較して、自己収縮および乾燥収縮による初期ひび割れが大きくなり、耐久性の低下を招く初期ひび割れの発生が懸念される。そこで硬化初期の

段階で膨張効果が期待できる膨張材を混合した。

膨張材の使用にあたっては、コンクリート試験練り時に、拘束膨張試験（JIS A 6202）を実施して、収縮補償用コンクリートとしての膨張性能（150 μ ~ 250 μ）が確保されていることを確認した。

#### (3) その他の対策

高耐久化を目的として、現場施工と比較して高品質となる PCa 部材の積極的な活用を図った。具体的な例としては、① 端部場所打ち床版部を PCaPC 床版への変更、② PCa 壁高欄の採用、③ 壁高欄地覆部の工場製作に加えて、舗装面から地覆部への漏水経路を遮断することを目的とした④ PCaPC 床版製作時の地覆部の一体打設（図 - 3）がある。



(a) 従来形状 (b) 改良形状

図 - 3 壁高欄地覆部形状図<sup>6)</sup>

### 3.4 工期短縮に対する試み

床版取替は、上り線または下り線の昼夜連続対面通行規制を実施して、上下 1 車線を供用した状態で当該車線を全幅一括で取り替える方法とした。表 - 1 に示す床版取替え工事は、比較的交通量が少なく、かつ、積雪がない期間となる「5 月中 ~ 8 月中」と「9 月初 ~ 11 月末」の約 90 日間で実施してきた。加えて、これらの橋梁の周囲には民家があることから、作業時間も「8:00 ~ 21:00」に限定された工事であった。

A1 橋の工事工程を図 - 4 に示す。床版取替え工事における迂回路工と舗装工を除くと、床版取替え工としては約 70 日の期間で実施されている。

	9月			10月			11月		
	1	10	20	1	10	20	1	10	20
交通規制	[Shaded bar]								
迂回路	[Shaded bar]								
舗装撤去	[Shaded bar]								
既設壁高欄・床版撤去	[Shaded bar]								
PCaPC 床版架設	[Shaded bar]								
間詰め床版	[Shaded bar]								
場所打ち床版	[Shaded bar]								
壁高欄	[Shaded bar]								
防水・舗装	[Shaded bar]								

■ : 昼夜連続追越車線規制 ■ : 昼夜連続対面通行規制

図 - 4 A1 橋における工事工程

今後、重交通路線での工事規制に伴う一般車両の渋滞緩和、第三者影響の低減を目的として、工期短縮を図る必要があった。以降に、一連の工事での工期短縮に対する試みを示す。

(1) 端部場所打ち床版部への PCaPC 床版の採用

橋梁端部は、PCaPC 床版の設置誤差の吸収や伸縮装置設置のため、一般的には場所打ち施工で施工されてきた。しかし、端部の場所打ち床版の施工は、7日間程度の期間を要する。この端部場所打ち床版を PCaPC 床版に変更することにより、5日間程度の工程短縮が図れることから、B 橋以降は、橋梁端部においても PCaPC 床版を採用した。

(2) 壁高欄の施工合理化

床版取替え工事の工程において、壁高欄の施工による期間は約 15% の大きな割合を占める。従来は現地にて、鉄筋・型枠組立のうえ、コンクリート打設・養生を実施していた。一連の工事における壁高欄の施工合理化について、概要および施工状況に加えて、当該工事での施工歩掛実績を表 - 2 に示す。

表 - 2 壁高欄の施工合理化に対する取組み

Case 橋名	Case 1 A1, B1, B2 橋		Case 2 D1, E1, E2 橋		Case 3 A2, C2 橋	
	工場製作	現地施工	工場製作	現地施工	工場製作	現地施工
構造概要						
施工状況						
施工歩掛 (日/100m/4人工)	型枠工 15.5 鉄筋工 4.9 合計 20.4		型枠工 7.3 鉄筋工 3.8 合計 11.1		型枠工 9.9 鉄筋工 5.3 合計 15.2	

Case 橋名	Case 4 F1 橋		Case 5 D2 橋	
	工場製作	現地施工	工場製作	現地施工
構造概要				
施工状況				
施工歩掛 (日/100m/4人工)	型枠工 5.8 鉄筋工 1.6 合計 7.4		型枠工 5.2 鉄筋工 6.1 充填工 3.0 合計 14.3	

(3) 工程短縮化の効果

その他の施工上の工夫や架設重機の大型化による日あたりの PCaPC 床版架設枚数の増加などにより、工程短縮を図った。これらの工程短縮に対する施策の結果、当初工事では、床版取替え工としては約 70 日の期間を要していたが、直近の F1 橋での床版取替え工の期間としては約 50 日となり、20 日間程度の短縮が図ることができた。

4. 今後の課題

今後、床版取替え工事の施工箇所は、都市部近郊の重交通路線下となり、一般車両に対する影響の最小化を図る必要がある。以降に、今後取り組むべき課題について記す。

#### 4.1 間詰め床版施工の合理化

従前の床版取替え工事では、橋面積の約 20% 程度、現場施工となる間詰め床版が占める。この間詰め床版は、工程短縮化に対する阻害要因の項目であるとともに、現場施工であることによる床版構造の品質低下のリスクも懸念される。したがって、この間詰め床版部の最小化は、工程短縮および品質確保の観点より有用である。

D1 橋において、部分的ではあるが試験的に間詰め床版の最小化が可能な「コッター継手床版」を採用した。コッター継手床版の概要を図 - 5 に、施工状況を写真 - 13 に示す。なお、このコッター継手については、輪荷重走行載荷試験などの各種実験により、床版部材として所定の継手性能を有していることを確認している。

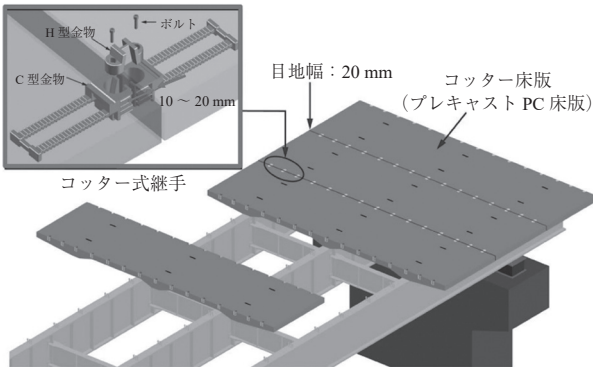


図 - 5 コッター継手床版の概要



(a) 架設状況 (b) トルク導入状況  
写真 - 13 コッター継手床版施工状況

#### 4.2 半断面による反復施工

床版取替え工事における交通規制は分離断面となっている上下 4 車線のうち片側 2 車線を完全に封鎖する。そのうえ、他車線側を対面 2 車線通行として、写真 - 10 に示すように床版取替えを実施する。

しかし、都市部近郊での重交通路線では、社会的影響を抑制するために、工事期間中でも、4 車線を確保することが必要となることも想定される。この時、断面分割による反復施工が必要となる (図 - 6)。この断面分割による反復施工は、数事例<sup>7)</sup>しか実施されておらず、施工目地部での接合方法や効率的な施工方法など、今後の課題として取り組む必要がある。

### 5. おわりに

本稿は、日本の高速道路における橋梁の老朽化の現状、床版取替え事例での各種の取組みおよび今後の課題について記した。日本の高速道路においては、今後、老朽化に伴

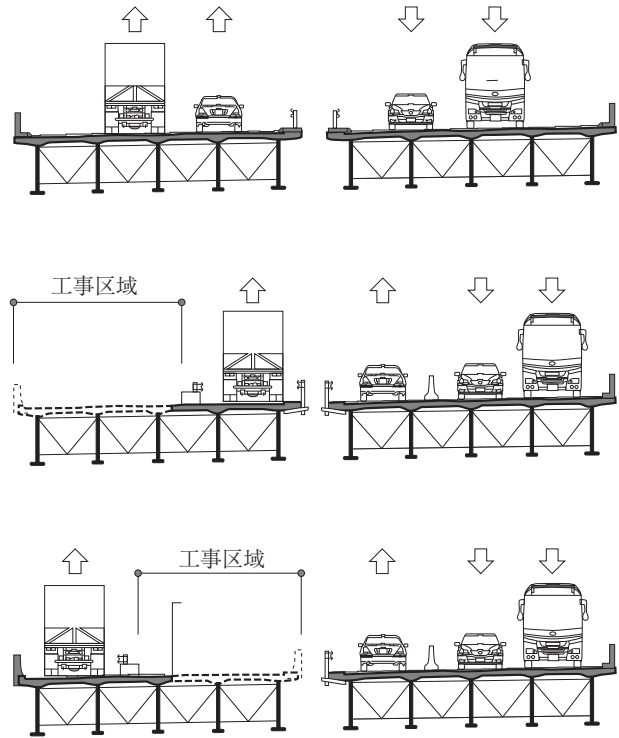


図 - 6 断面分割による反復施工の要領案

う対策として大規模な更新事業が計画され、実施されはじめています。本文が同種工事の参考になればと願っています。

最後に、日本における床版取替え工事の黎明期に、開発および工事に携われた諸先輩方および一連の工事で設計や施工に関与していただきました関係者の方々に、心より感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 松永, 岩谷, 永久, 飯田: 中国自動車道 菅野川床版取替工事の施工報告, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.383-386, 2017.
- 2) 松永, 崎谷, 武知, 杉田: 高耐久化を目指したプレキャスト床版による床版取替え~中国自動車道西下野高架橋~, 関西道路研究会, 2014
- 3) 原, 二井谷, 照井, 脇坂: エポキシ樹脂塗装鉄筋による機械式定着を併用したプレキャスト床版の重ね継ぎ手, 第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.165-170, 2011.
- 4) 廣松, 池田: コンクリート道路橋の塩害対策 その現状と課題《道路橋の改訂を中心に》, セメント・コンクリート, No.674, pp.11-17, 2003.4
- 5) Kenji Miyamoto, Taichirou Nagi, Hideo Wakisaka, Takahisa Iwabuchi and Meguru Tsunomoto: Slab Replacement at Igei Via-duct in the Okinawa Expressway, The 12th Japan-Korea Joint Symposium on Steel Bridges
- 6) 本荘, 中野, 井牟, 水牧: 高耐久化を目指した床版取替え~中国自動車道蓼野第一橋~, プレストレストコンクリート, vol.54, pp.53-59, 2012.5
- 7) 浦野, 田中, 神谷, 片田, 大谷, 長谷: 断面分割によるプレキャスト PC 床版取替え工事の設計と施工~中央自動車道 上長房橋 (上り線), 橋梁と基礎, vol.50, pp.12-18, 2016.9

【2018年3月6日受付】