

中国道西下野高架橋の床版取替における 長期耐久性向上に係る取組について

栗野 清文¹・中森 康裕²

¹西日本高速道路(株) 福岡高速道路事務所 (〒679-2204 兵庫県神崎郡福崎町西田原2023)

²西日本高速道路メンテナンス関西(株) 保全工事本部 (〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町5番1号)

中国自動車道は、中国地方のほぼ中央の山間部を通る高速道路で、建設から約40年が経過し、建設当時からの交通荷重増や経年による耐久性の低下もあり、中でも構造物の劣化損傷が顕著になってきている。特に西下野高架橋は、冬期の凍結防止剤による塩害劣化が発生し、数度の補修を実施したが、劣化が顕著となってきたため、プレキャストPC床版に取替える全面補修を実施した。近年施工が増加中の中国自動車道の床版取替工事の一つであるが、施工条件も厳しい場所での補修工事に際して、現在考え得る床版の長期耐久性向上に資する様々な新工法などを採用した。その取組ならびに施工について報告するものである。

キーワード 床版取替, プレキャストPC床版, SLJスラブ, 長期耐久性

1. はじめに

中国自動車道は、1970年に吹田IC～中国豊中ICの開通から徐々に延伸し、1983年に山口県下関ICまで全線開通した。その殆どの区間は、中国地方の中央山間部の山肌を縫うように建設されている。兵庫県佐用町に位置する西下野高架橋は、冬期に散布される凍結防止剤により塩害劣化が発生し、これまでに舗装や床版上下面の応急補修及び剥落防止等の対策を実施してきた。しかし、近年は、鉄筋腐食にともなう床版コンクリートの浮き・はく離が顕著となってきたため、抜本的な対策が必要となった。そこで、ライフサイクルコストの最小化を目指し、既設のRC床版を、高品質かつ高耐久な材料であるプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版と示す。）に取替えることとなった。

取替工事に際しては、床版の長期耐久性と安全性の向上を目標に、①品質の安定したプレキャストPC床版の採用 ②PC床版の軽量化及び施工性向上の観点からPC床版継手部にエンドバンド継手（SLJスラブ、NETIS KT-070081-A）を採用 ③コンクリートに凍結防止剤散布による塩化物イオンの浸透抑制と密実性向上のため、高炉スラグ微粉末（NETIS QS-980177-V）を混入 ④壁高欄は直接凍結防止剤が当たり、これによるコンクリートへの影響を軽減するためにシラン系含浸剤（NETIS KT-070047-V）による保護層を形成 ⑤鉄筋の腐食による爆裂防止対策として、結束線も含め全ての鉄筋にエポキシ樹脂被覆鉄筋を採用 ⑥鋼製伸縮装置の腐食を防止するため、アルミニウム・マグネシウム合金溶射（NETIS QS-040005-V）に

よる腐食防止対策 ⑦鋼製伸縮装置表面のスリップ事故防止対策としてアルミニウム・マグネシウムクロム合金溶射（NETIS QS-0027-A）による長寿命滑り止め対策 ⑧床板防水工に寒冷期施工が可能なウレタン防水工などを実施し、現在考え得る床版の長期耐久性向上に資する様々な新工法などを採用した工事である。

本文は、今回の工事で実施した長期耐久性向上に資する取組ならびに施工について報告するものである。

2. 工事概要と損傷状況

西下野高架橋は、中国自動車道の山崎 IC～佐用 IC 間に位置する橋長 303.9m で、3連からなる鋼 3 径間連続非合成鈹桁橋であり、供用開始より 38 年が経過した橋梁である。図-1 に橋梁位置図を、図-2 に全体一般図をそして、橋梁諸元を表-1 に示す。



図-1 西下野高架橋の位置

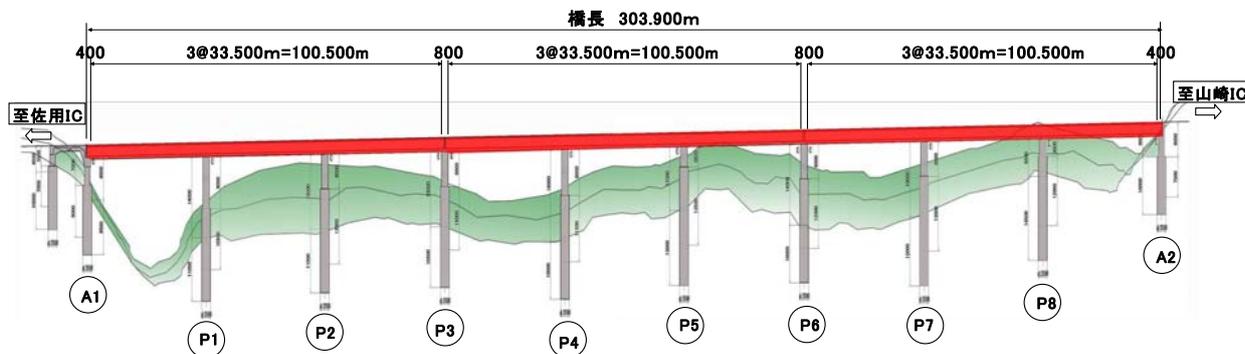


図-2 西下野高架橋全体一般図

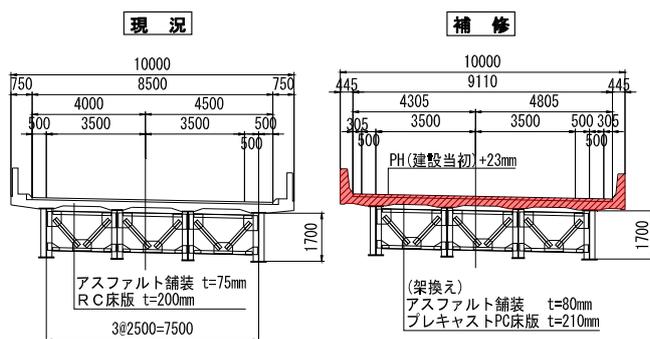


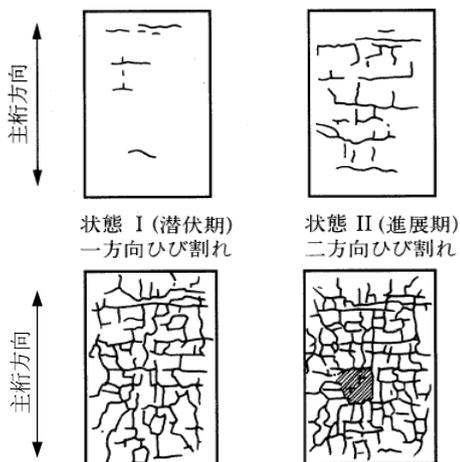
図-3 西下野高架橋 断面図

表-1 橋梁諸元

工事名	中国自動車道 西下野高架橋(下り線)床版補修工事
施工場所	兵庫県佐用郡佐用町西下野
発注者	西日本高速道路株式会社 福崎 高速路事務所
橋長	303.900m
構造形式	鋼 3径間連続非合成鉄桁橋×3連
支間	9@33.500m
有効幅員	9.110m (床版取替後)
横断勾配	2.0%
縦断勾配	1.323%
工期	2013年1月17日～2014年4月11日 (450日間)

(1) 損傷状況

一般に鋼桁の床版損傷は疲労による劣化の可能性が高く、これに施工条件や交通量、車両重量といった使用条件、あるいは走行位置により劣化の潜伏期から進展期に劣化過程が進む。さらに雨水の浸透水などの環境条件、橋面防水層の有無、補修補強の有無で加速期に進行し、やがて貫通ひび割れ、かぶりコンクリートの剥落などの劣化期に至る。西下野高架橋においても、図-4に示す潜伏期～進展期～加速期～劣化期が生じていったと考えられ、部分的に劣化期に至っている部分もあった。写真-1～4に西下野高架橋の劣化状況を示す。写真-1は、舗装部分の補修した状況である。アスファルト切削後の観察では床版上面が土砂化しており、そのため舗装にポットホールが生じ、頻繁な舗装補修が行われていた。写真-2は、床版下面の劣化状況で、下側まで貫通したひび割れから、遊離石灰や一部かぶりコンクリートが剥落しており、下面全体に劣化が見られる。



状態 III (加速期) ひび割れの網細化と角落ち
状態 IV (劣化期) 床版の陥没
図-4 鉄筋コンクリート床版の下面のひび割れと劣化状態¹⁾



写真-1 アスファルト舗装の部分補修



写真-2 床版下面の劣化 (ひび割れ、遊離石灰、剥落)



写真-3 床版下面の劣化 (かぶり剥落)



写真-4 壁高欄・伸縮装置の劣化状況

3. 長期耐久性向上に資する新工法

(1) SLJスラブの適用

現況の RC 床版の版厚は、床版増し厚により 235mm となっていた。建設当初の床版厚が 200mm であったが、それより 35mm 厚くなっている。舗装厚を含めると 310mm である。そのため、舗装厚が 75mm の隣接トンネル部や盛土部との舗装すりつけが行われている。このような状況に対して、舗装すりつけ区間の縮小と、既設鋼桁に対する死荷重の軽減を図ることを目的に、床版厚を薄くすることができる SLJ スラブが採用された。

SLJ スラブの特徴は、PCaPC 床版の接合部にエンドバンド鉄筋を用いたスラブで、写真-5 に示すような形状である。従来の PCaPC 床版はループ継ぎ手で接合される構造が多い。ループ継ぎ手の床版は、ループ継ぎ手の曲げ加工形状とかぶりにより版厚が決定されるが、SLJ スラブは、その接合の特徴から、ループ継ぎ手床版に比べて版厚を薄くすることができる。

本橋に適用した SLJ スラブの床版厚は 210mm で、舗装厚 80mm と合わせて 290mm となり、隣接区間との計画高の差は 15mm (290-275) に縮小できた。

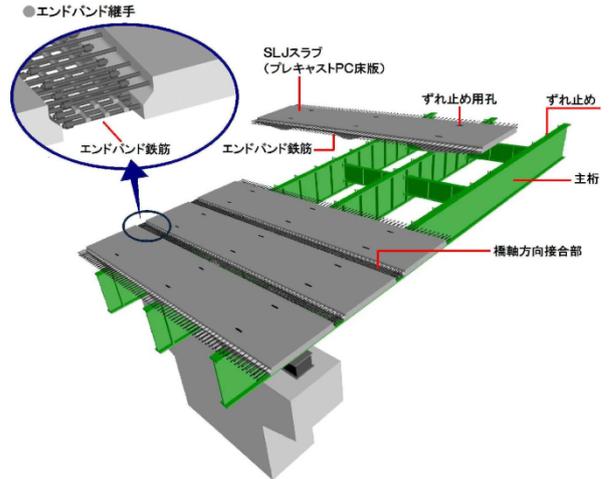
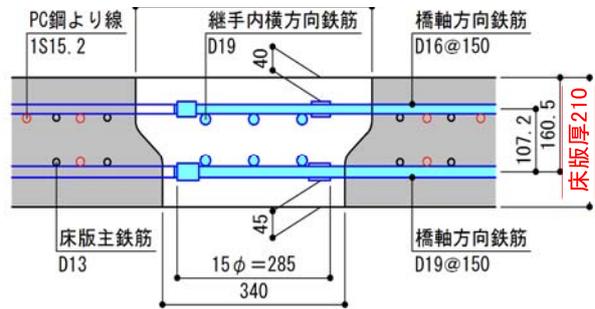
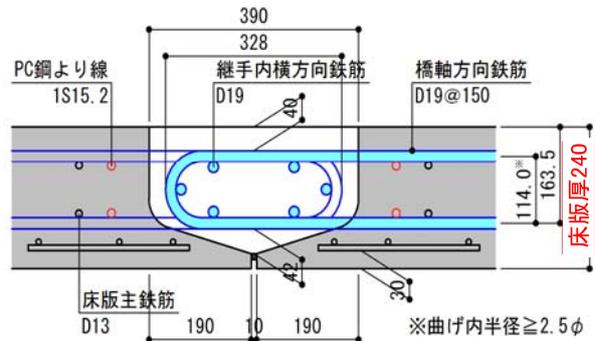


図-5 SLJスラブの概要



(a) 西下野高架橋で採用したエンドバンド継手



(b) 一般的なループ継手

図-6 PCaPC 床版の RC 接合方法の比較

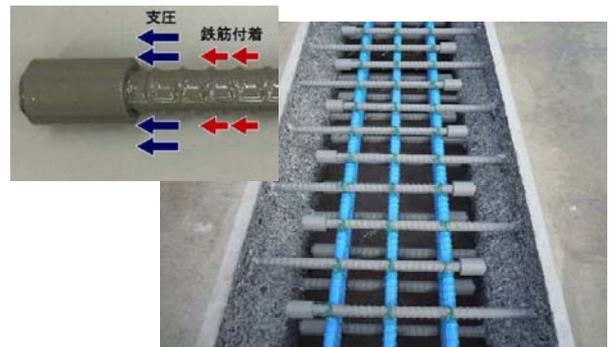


写真-5 SLJスラブの継手部

(2)高炉スラグ微粉末の使用

中国自動車道における構造物の主な劣化要因は、その多くが凍結防止剤の散布による塩害である。一部ではあるが、十分洗浄処理がされていない海砂をコンクリートに使用したため、内在塩分が影響している構造物もある。

a) 高炉スラグ微粉末の使用

架橋地点は山間で日射があたりにくい北側斜面にあるため、凍結防止剤が散布される。耐久性を確保する上で、その塩害対策が必要なため高炉スラグ微粉末（比表面積 6000cm²/g）を 50%置換したコンクリートとした。

高炉スラグ微粉末は、銑鉄を製造する際に排出される副産物であり、資源のリサイクルの観点からも有効な材料である。本工事では、高炉スラグ微粉末の添加は PCaPC 床版はもとより、現場打設となる間詰め床版、場所打ち床版、さらに壁高欄に添加した。一般に現場打設部分に特殊なセメントや混和材を使用する場合、現地のコンクリートプラントの適応が問題となる。本工事においても、高炉スラグ微粉末専用の貯蔵サイロの確保が困難なことであったため、セメント工場にて早強セメントと高炉スラグ微粉末をプレミックス（混合比率 50 : 50）した状態で、現地プラントに搬入する計画を立てた。当該工事地域では、山崎地区に 1 社だけプレミックスしたセメントを貯蔵できるサイロを確保できる現地コンクリートプラントがあったため、適用が可能となった。高炉スラグ微粉末を使用した配合を表-2 に示す。

b)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、自己収縮及び乾燥収縮による初期ひび割れが大きくなる。そのため、現場でのコンクリート打設となる間詰め床版、場所打ち床版及び壁高欄部に使用するコンクリートは、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、高炉スラグ微粉末や早強セメントとの相性、またその効果を検証することとし、コンクリート試験練り時に、拘束膨張試験（JIS A 6202）を実施した。材齢 14 日までの測定結果を図-7 に示す。この結果より、高炉スラグ微粉末を混合し、そこに膨張材を混合した場合でも、一般的な混含量（20kg/m³）で、収縮補償用コンクリートとしての膨張性能（150μ~250μ）が確保されていることを確認し、採用した。

c)コンクリート単位水量の低減

高性能AE減水剤を使用することで、単位水量を低減させ、合わせて単位セメント量を減少することにより、発熱量や乾燥収縮量を低減することが可能となる。現場打設となるレディミクストコンクリートは、品質変動が懸念されることから、ワーカビリティと材料分離抵抗性を確保するため、高性能AE減水剤の使用量を調整し、実施工を模擬した実機での試験練りにより、単位水量の低減に努めた。

単位水量は、管理の上限値である 175kg/m³ に対して、プレキャスト部材については 140kg/m³、現場打ちコンクリートについては 150kg/m³ とした。

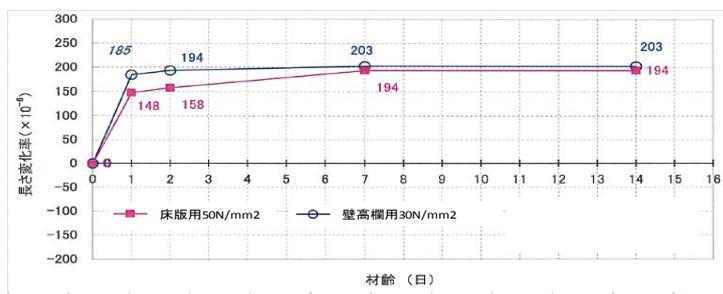


図-7 拘束膨張試験結果

表-2 高炉スラグ微粉末を置換した配合

	σ _{ck} (N/mm ²)	G _{max} (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					単位量 (g/cc/m ³)		
							水	セメント	高炉スラグ	膨張材	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤
現場打ち	50	20	15	5.0	37.0	43	150	193	193	20	748	1019	4050	40.5
プレキャスト部材	50	20	12	4.5	33.7	41	140	208	208	—	745	1078	1789	50

(3)表面含浸材の塗布

壁高欄は直接凍結防止剤が当たるため、これによるコンクリートへの影響を軽減するためにシラン系含浸剤（NETIS KT-070047-V）を塗布し、保護層を形成した。

(写真-6)



写真-6 表面含浸剤塗布

(4)鉄筋の腐食対策

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、コンクリートのみでは鉄筋の腐食を防げないような過酷な塩分環境下に設置される鉄筋コンクリート構造物の最も信頼のおける防食方法として、耐久性にも優れており、多くの構造物に適用されている。(写真-7, 8)

鉄筋の腐食による爆裂防止対策として、結束線も含め全ての鉄筋にエポキシ樹脂被覆鉄筋を採用した。この「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針：土木学会」は、1986年に制定され、2003年に改定されている。

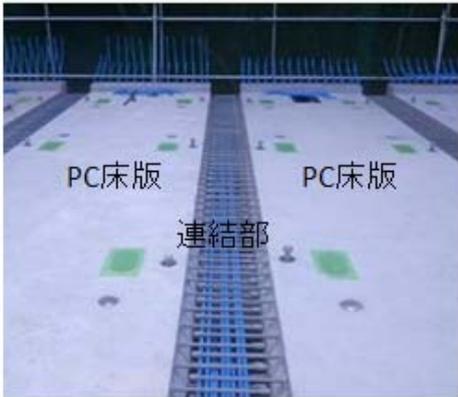


写真-7 エポキシ樹脂鉄筋 (床版部)



写真-8 エポキシ樹脂鉄筋 (壁高欄部)

(5)伸縮装置の耐久性向上

橋の劣化・損傷は桁端部が多くを占めており、その主因は伸縮装置からの漏水である。特に、凍結防止剤を散布する地域では、その高い塩化物イオン濃度により伸縮装置と止水材との取付け部位の腐食が促進され、早期に漏水が生じている。また、この凍結防止剤を含む水が伸縮装置とコンクリートとの界面に浸透することで、伸縮装置が腐食し、コンクリートにひび割れや浮きが生じる場合もある。このように、伸縮装置の耐久性の確保は、桁端部の劣化・損傷を抑制する上で特に重要である。

そこで、伸縮装置の金属部分の防錆被膜として、アルミニウム・マグネシウム合金 (Al-(5%)Mg) のプラズマアーク溶射を採用した。また、伸縮装置表面のスリップ事故防止対策としてアルミニウム・マグネシウムクロム合金溶射を採用した。(図-8、写真-9)。この防食被膜は、環境遮断、犠牲陽極および自己修復の各作用により優れた防食性能を発揮し、中性塩水噴霧サイクル試験では溶融亜鉛めっきの6倍以上、フッ素系重防食塗装の4倍以上の耐久性が確認されている。

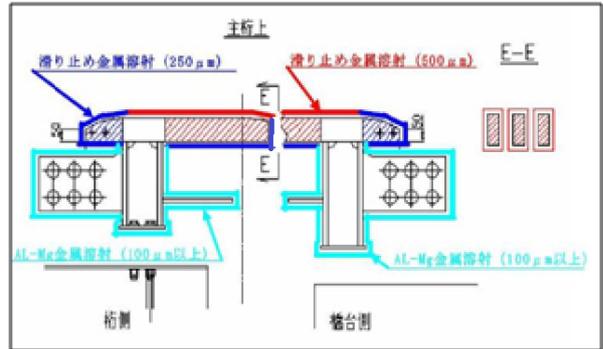


図-8 伸縮装置金属溶射区分図

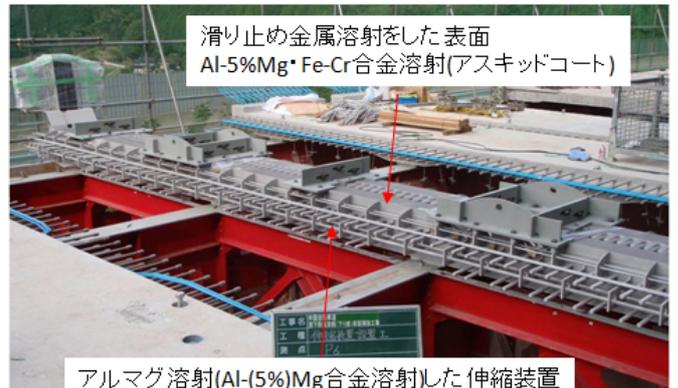


写真-9 アルマグ溶射

(6)床版防水層の形成

床版防水層に高機能床版防水として寒冷期施工が可能なウレタン系速硬化型床版防水システムを採用した。ここで、防水層との接着面に施されるコンクリート打設時の仕上げ補助・塗膜養生剤には、防水層の接着性能の規格値を確保できることが確認された材料を用いた。

(写真-10)



写真-10 ウレタン床版防水工

4. 床版取替えの施工

本工事は、橋長 303.9m の全区間を床版取替えの対象としており、1 工事での床版取替延長としては、国内でも比較的長い延長である。

床版取替えは、上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下り線を全幅一括で取替える方法とした。橋梁の前後を連続するトンネルや急カーブに挟まれており、下り線から上り線に移行できる区間を橋梁近傍に設定できない。そのため、2km に及ぶ対面交通区間を設定し、車線減少区間を含めると総延長 6km の交通規制区間を設けた。(図-10) この対面通行規制は、8 月のお盆及び夏休みとなる期間を除き、年末年始繁忙期までに完了しなければならない。床版取替えの施工フローを図-9 に示す。最終的に、安全対策及び重機の配置に苦慮しながら対面交通規制は 9/2 から開始し、12/5 に解除し施工することができた。昼夜連続対面通行規制での床版取替状況を写真-11、12 に示す。

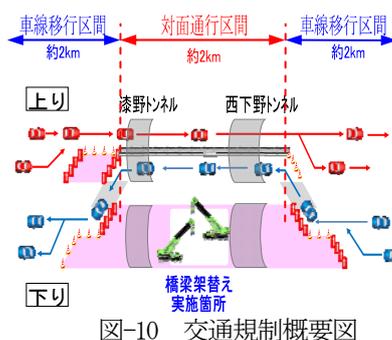


図-10 交通規制概要図



写真-12 対面通行規制下での施工状況

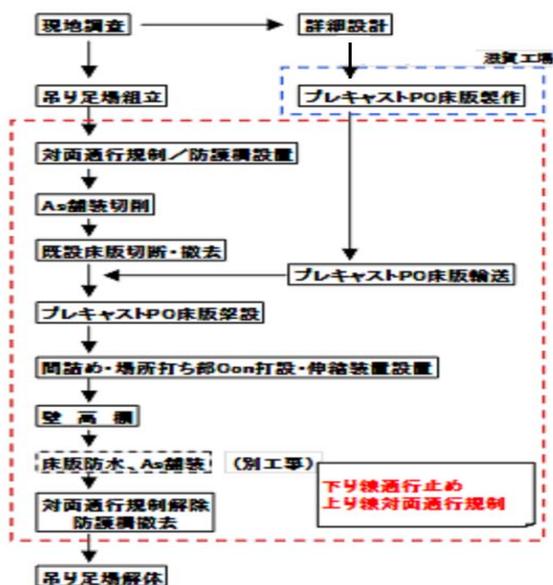


図-9 施工フロー



写真-11PcaPC 床版の設置状況

5. おわりに

本工事では、床版取替後も凍結防止剤散布による構造物の塩害劣化等を防ぐ、施工および長期耐久性を向上するために、PCaPC 床版の RC 接合のエンドバンド継手 (SLJ スラブ) の採用、コンクリートに高炉スラグ微粉末 6000 を混合、伸縮装置にアルミニウム・マグネシウム合金溶射を行うなどの様々な取組を行った。また、山岳部での約 6km 交通規制課下での床版取替えに対して、本工事で採用した仕様や施工方法などが、今後の同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕、2008.3
- 2) 本荘ら、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一、プレストレストコンクリート Vol.54, No.3, May 2012
- 3) 脇坂ら、エポキシ樹脂塗装エンドバンド継手を用いた伊芸高架橋の床版取替え工事、プレストレストコンクリート工学会、第 21 回シンポジウム論文集 (2012 年 10 月)
- 4) 亀谷ら、重交通区間における鋼橋 RC 床版取替え工事―九州自動車道・向佐野橋一、プレストレストコンクリート技術協会、第 20 回シンポジウム論文集 (2011 年 10 月)