

高速道路橋における PC 技術の進展

長谷 俊彦*

わが国の PC 技術について、高速道路橋を主としてプレストレストコンクリート工学会 50 周年頃からこれまでの 10 年間の進展について述べる。新東名高速道路や新名神高速道路などの開通により広域ダブルネットワーク化が形成され、高速道路のリダンダンシーを飛躍的に向上させた。これら高速道路橋の建設で進展のあった PC 技術を紹介する。また、2015 年 3 月より高速道路の特定更新等事業がスタートしており大規模更新や大規模修繕の設計・施工に開発採用されている PC 技術を紹介する。そして、高速道路の維持管理において点検・診断技術の高度化に向けた PC 技術のこの 10 年の取組みについて紹介する。最後に、これからの PC 技術の展望や期待について述べる。

キーワード：PC 60 周年、道路構造物、高速道路橋、建設、特定更新工事、点検・診断

1. はじめに

本稿では、プレストレストコンクリート工学会設立 50 周年頃からこれまでの 10 年間に進展した PC 技術として、高速道路橋に採用された設計・施工および更新・修繕、点検・診断のそれぞれの分野における技術動向について紹介し、これからの PC 技術の展望やあり方について述べる。

この 10 年間の高速道路橋を取り巻く環境については、2012 年以降の新東名高速道路や新名神高速道路の順次開通により、高速道路ネットワーク化が形成され、人の移動や物流幹線道路としてのリダンダンシーが飛躍的に向上した。

新東名や新名神建設におけるこの 10 年間は、建設業界の人材不足に対応するために、PC 橋の建設現場においては、現場作業の効率化や生産性向上の観点からの工夫がなされている。また、耐久性・耐荷性能の観点からも新たな構造形式や高強度材料が採用されている。一方、更新・修繕の分野においては、供用から約 40 年以上が経過した高速道路の道路構造物の老朽化が顕在化してきており、2015 年度から特定更新等事業がスタートし橋梁の床版取替工事などが実施されている。高速道路橋の床版取替工事においては、供用中の高速道路において大規模規制により床版取替工事を実施することから、現場作業工期短縮や規制渋滞の縮小化などが求められ、現場の施工条件も多様化しており、それらに対応していく技術開発が求められている。

高速道路橋の維持管理については、2012 年 12 月に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故を契機とし

て、道路構造物の法令点検において 5 年に 1 回の確実な点検・診断の実施が義務化されたことから、その効率化・高度化に向けた取組みや研究開発が進められている。

この 10 年間に、高速道路橋を取り巻く環境変化に対応しながら道路構造物の老朽化に対応する維持管理体制を確立しなければならない時代が到来し、大規模更新・修繕工事に伴う規制渋滞などの社会的影響の軽減や、維持管理における点検・診断の効率化や高度化など、環境多様性、事業効率化、生産性向上、点検・診断技術の高度化、人材育成が課題となるなかで PC 技術の着実な進展が図られている。

新東名高速道路・新名神高速道路で採用された生産性向上技術や耐久性向上の技術では、構造形式の進展、高強度コンクリート材料、高強度鉄筋、高強度 PC 鋼材があげられる。特定更新工事で実施された床版更新・修繕工事の技術では、プレキャスト PC 床版や壁高欄、PC 合成桁の打替え、外ケーブル補強があげられる。点検・診断の技術では、PC 鋼材の健全性評価のための調査・診断の研究開発の取組みがあげられる。これらについて以下に述べる。

2. この 10 年間にける高速道路の PC 橋

2.1 高速道路の建設

(1) 新東名高速道路

静岡県区間（御殿場 JCT～三ヶ日 JCT 間）162 km が 2012 年 4 月に開通した。当該区間における PC 技術として、ストラット付き PC 床版を有する波形鋼板ウェブ箱桁の片持ち張出し架設、PC 複合トラスの合理化が採用されている。新東名建設初期の 3 車線断面（有効幅員：16.5 m）では PC1 室箱桁が多く計画されたが、上部工重量の軽減を図るためストラット付き PC 床版を有する箱桁形式が適用拡大され、さらに支間長 100 m を超える橋梁においては、コンクリートウェブから波形鋼板ウェブ構造（写真 - 1）へと軽量化を図り、長支間化に対応している¹⁾。PC 複合トラス橋では、鋼トラスウェブとコンクリート床版の複合構造断面のさらなる進展として、4 主構トラス構造から 3 主構トラス構造（写真 - 2）への合理化による工期短縮と



*1 Toshihiko NAGATANI

(株) 高速道路総合技術研究所
道路研究部 橋梁研究室長



写真 - 1 谷津川橋のストラットと波形鋼板ウェブ



写真 - 3 青木川橋の上部工張出し架設状況



写真 - 2 PC複合トラス橋(3主構トラス)の張出し架設



写真 - 4 錐ヶ瀧橋のプレテンションウェブ箱桁橋

コスト縮減が図られている²⁾。

愛知県区間(浜松いなさJCT～豊田東JCT間)の建設では、工事入札時の極端な低価格により落札者が決定する事象に対処するために、価格以外の技術的な要素を取り入れて品質管理や安全管理の品質低下を改善することを目的としたデザインビルド方式などの総合評価落札方式が試行的に実施されている。デザインビルド方式により、技術評価点の高い者が受注する確率が向上し、品質確保に寄与するなどの効果や、施工方法の自由度が増したことから、新しいPC技術の進展に寄与するものである。また、上下部工の一体工事で発注計画された橋梁工事では、技術提案として、コンクリートや鉄筋、PC鋼材などの材料において高強度材の提案がなされ、品質の向上と工期の短縮が図られている。

デザインビルド方式の先行試行工事として、実施された青木川橋工事(写真 - 3)においては、上下線4車線一体断面の上下部工を一体工事として工事入札を行なった結果、技術提案により入札制限価格に対して約20%のコスト縮減と150日間の工期短縮が図られている³⁾。片持ち張出し架設工法のPC箱桁橋の錐ヶ瀧橋(写真 - 4)においては、プレテンションウェブの採用が提案され、設計基準強度50 N/mm²の高強度コンクリートによる断面設計の合理化が図られるとともに工期短縮を実現した⁴⁾。新東名高速道路で最大橋脚高さを有する佐奈川橋(写真 - 5)においては、高橋脚に設計基準強度50 N/mm²の高強度コンクリートと降伏強度685 N/mm²の高強度鉄筋(SD685)を用いたSuper-RC構造による技術提案がなされ、RC橋脚断面の合理化と自昇式型枠足場支保工の採用による工期短縮を実現した⁵⁾。



写真 - 5 佐奈川橋の高強度RC橋脚

郡界川橋(写真 - 6)は、不など橋脚高を有する広幅員断面のPC箱桁橋において国内最大級の連続ラーメン構造を実現した橋梁である。主桁コンクリートに設計基準強度50 N/mm²の高強度コンクリートを、外ケーブルに高強度PC鋼より線を採用し、上部工の軽量化および橋脚の変形性能を高めて連続ラーメン構造が可能となったものである。そのため、橋脚高さの低い個所においては、現地盤を掘り込み柱基部の位置を下げて設計・施工されている⁶⁾。橋梁上下部工一体の工事範囲とし、設計・施工一括(デザインビルド)の契約方式を採用することで、施工業者から

の自由な技術提案を取り入れられ、新しい発想や技術の進展が図られたものである。



写真 - 6 郡界川橋の片持ち張出し施工

(2) 新名神高速道路

朝明川橋(写真 - 7)は、新四日市 JCT ~ 菰野 IC (仮称)間に建設される橋長 325 m の鋼・PC 混合 3 径間連続アーチ補剛箱桁橋である。国内初の橋梁形式であり、二級河川朝明川と国道 365 号バイパスを跨いでいる。朝明川には、架橋地点直下に井堰があり、また、東邦ガスが川底を横断しており、交差物件に支障しないように中央径間長を 225 m とされている。構造形式として、中央径間には大型トラフリブを用いた合理化鋼床版を有する鋼アーチ補剛箱桁形式を採用し、アーチリブは主桁中央部に配置する単弦ローゼ形式が採用されている⁷⁾。



(a) 完成状況全景



(b) 夜間送出し架設

写真 - 7 朝明日川橋

上部工は、右岸側 PC 箱桁を支保工施工した後に、PC 箱桁橋の橋上を利用して鋼アーチ補剛箱桁を送り出す架設工法が採用されている。

阪神区間(高槻 JCT ~ 神戸 JCT 間)においては、さらなる PC 技術の進展が見られた。建設現場における技術者不足や熟年労働者の減少に伴い、現場の生産性向上や効率化に向けた機運が高まるなかで、PC 橋の建設においても

新たな取組みがなされている。

川下川橋(写真 - 8)は、設計・施工一括の発注方式の試行工事として、上下部一体で発注され、経済性や維持管理性の観点から PRC 3 径間連続ラーメン箱桁橋が採用された。橋脚高 95 m、最大張出し架設長 110 m を有する国内最大規模のコンクリート橋であり、95 m の高橋脚には設計基準強度 50 N/mm² の高強度コンクリートと降伏強度 685 N/mm² の高強度鉄筋(SD 685)が用いられ、橋脚断面が大幅に縮小されている。片持ち張出し施工時の橋面高さ調整は、A2 橋台から PC 鋼棒を用いて上部工を水平方向に牽引する方法を採用している⁸⁾。



写真 - 8 川下川橋の高強度 RC 橋脚

生野大橋(写真 - 9)は、橋長 606 m の波形鋼板ウェブエクストラードロード橋で、供用開始時の全幅員は 25.15 m、将来の 6 車線拡幅時には 35.40 m となる。将来の拡幅に備えて、斜材は一面吊構造となっている。また、鉄道営業線上空を約 15 度の交差角で横断するため、中央径間長は国内最大規模の 188 m を有している。大幅な工程短縮を目的として、片持ち張出し架設時の張出ブロック長を通常規模の 4 m に対して 8 m としブロック数を半減させて、超大型移動作業車を用いた張出し架設を実施している。このため、エクストラードロード橋区間で、1 ブロックの上部工重量の低減を図るために当初設計のコンクリートウェブ構造が波形鋼板ウェブ構造に変更されており、一面吊構造として国内初の波形鋼板ウェブエクストラードロード橋を実現した⁹⁾。



写真 - 9 生野大橋の片持ち張出し架設状況

芥川橋(写真 - 10)や新名神武庫川橋(写真 - 11)では、東九州自動車道の田久保川橋で最初に使用されたバタフライウェブを用いた構造形式が採用されている。バタフライ

ウェブ（図 - 1）は、PC 箱桁のコンクリートウェブを蝶型のコンクリートパネルに替えた構造で、図 - 1 に示すダブルワーレントラスに類似した特性により、せん断力をウェブパネル内の引張力と圧縮力に分解して伝達する。ウェブのパネルは工場で製作され、設計基準強度 80 N/mm² の高強度繊維補強コンクリートが用いられている。上下床版との接合に関しては、トラスウェブの格点構造に対して、本形式では線状の接合構造となることから、簡易なジベル構造での接合が可能となっている¹⁰。新名神武庫川橋においては、それをさらに発展させて、PC 箱桁構造の上部工重量の軽減を図り、耐震性能を向上させるため、世界初のバタフライウェブエクストラード橋を採用し、大幅な工期短縮を可能とした¹¹。また、維持管理性能上も開口部の自然光による明かりで桁内の点検が可能であり、桁内照明設備が不要となっている。以上のとおり、高速道路橋の PC 橋の建設技術については、この 10 年間で建設技術者の不足や環境変化に対応しながら、着実な進展を遂げている。

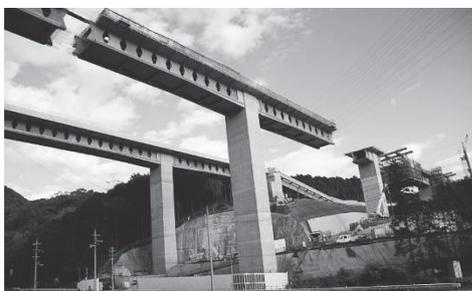


写真 - 10 芥川橋の片持ち張出し架設状況



写真 - 11 新名神武庫川橋

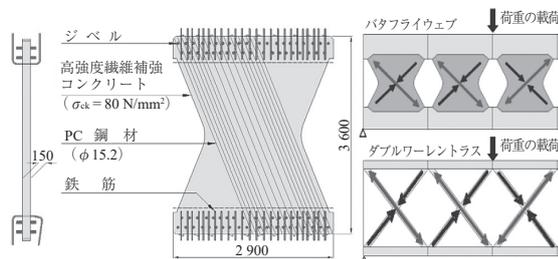


図 - 1 バタフライウェブの構造詳細と構造特性

2.2 高速道路橋の特定更新工事

(1) 概要

東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株) (以下、NEXCO という) の管理する高速道路は、名神高速道路の開通から 50 年以上が経過し、供用延長約

9 000 km に達している。そのうち供用から 30 年以上を経過した延長が約 3 700 km と全延長の 4 割程度を占め、老朽化の進展とともに変状が顕在化している。橋梁の平均経過年数は約 30 年となっており、交通量増加による疲労や飛来塩分・凍結防止剤散布による塩害などにより劣化が進行している。そのため NEXCO では、「高速道路資産の長期安全および更新のあり方に関する技術検討委員会」(委員長：東京大学 藤野陽三特任教授(当時)における検討結果を踏まえ、大規模更新・修繕計画を策定、2015 年 3 月 25 日に国土交通大臣より特定更新等事業の事業許可を得て、2015 年度より高速道路橋リニューアル工事を実施している(表 - 1)。

表 - 1 橋梁の特定更新工事における対策項目¹²⁾

分類	橋種	部材	対策区分	対策項目
大規模更新	RC 橋	RC 床版	更新	床版取替え、高性能床版防水
		RC 桁	更新	桁架替え
	PC 橋	中空床版	更新	床版部の全面的打替え 桁架替え
		RC 床版	更新	床版部の全面的打替え
大規模修繕	鋼橋	RC 床版	予防保全	高性能床版防水(床版補修含む)
			補強	床版上面増厚(床版補修含む)
		PC 床版	予防保全	高性能床版防水(床版補修含む)
		鋼床版	補強	SFRC 補強(き裂補修含む) 高性能床版防水
	鋼桁	補強	桁補強(き裂補修含む)	
	RC 橋	RC 桁	予防保全	表面被覆(断面修復含む)
		中空床版	予防保全	高性能床版防水(部分補修含む)
		中空床版(桁)	予防保全	表面被覆(断面修復含む)
	PC 橋	RC 床版	予防保全	高性能床版防水
		PC 床版	予防保全	高性能床版防水(床版補修含む)
PC 桁		予防保全	表面被覆(断面修復含む)	
PC 鋼材		補強 予防保全	外ケーブル補強・モニタリング、 PC グラウト再注入	

(2) 対策例

橋梁における主な対策内容は、橋梁の劣化程度に応じて大規模更新と大規模修繕に区分されている。大規模更新は、鋼橋 RC 床版の取替えや RC 中空床版の打替え、RC 桁の架替えなどが対象で、大規模修繕は、予防保全の高性能床版防水工や PC 桁の断面修復・桁補強などが対象である。特定更新工事の実施は、供用中の高速道路を昼夜連続対面通行規制などの大規模規制と合せて工事を実施することとなる。そのため、あらかじめ大規模規制に伴う交通渋滞予測などを実施して、社会的な影響を最小限に抑える規制計画、床版取替え設計・施工計画、工事の事前広報、工事期間の大規模規制区間の安全管理やリアルタイムな渋滞情報提供などの工夫が必要となる(図 - 2)。

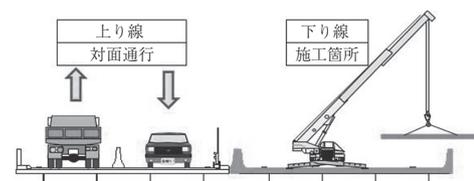
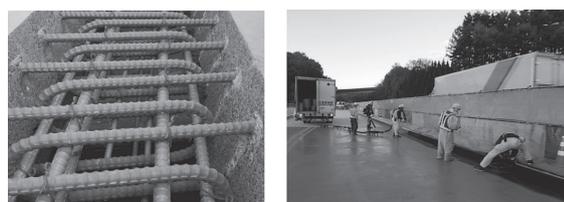


図 - 2 大規模車線規制による床版取替え工事の例

写真 - 12 に示す鋼橋 RC 床版の取替え工事は、既設 RC 床版を撤去し、プレキャスト PC 床版を架設して、写真 - 13 に示す接合部の鉄筋 (RC ループ継手) を現場で組み



写真 - 12 小早川橋の床版取替え



(a) RC ループ継手 (b) 高性能床版防水工

写真 - 13 RC ループ継手部と高性能床版防水工

立てて場所打ち施工により床版を一体化させたのちに、高性能床版防水工を施工するものである。

また、更新床版のコンクリートは、対象橋梁の位置する路線ごとに、高速道路の冬期交通確保のための凍結防止剤の散布量に応じた塩害対策として、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を使用することが有効である。プレキャスト PC 床版による床版取替えについて、宮崎自動車道長江川橋では、設計基準強度 50 N/mm^2 で、高炉スラグ微粉末 6000 を用い、置換率 50% 、水結合材比 34.0% が採用されている。高炉スラグの使用に関して、自己収縮によるひび割れ発生の抑制と初期プレストレス導入時強度 36 N/mm^2 を確保するため、蒸気養生温度 50°C 以下となるように実施し、プレストレス導入後 15 日間の湿潤養生を実施している¹³⁾。また、北陸自動車道の日野川橋では、ASR 抑制対策と塩害対策を兼ねて、分級品のフライアッシュ（原粉 JIS A 6201 II 種適合品から細かい粒径のみを分離したもの）が採用されている。フライアッシュの置換率は、ASR 抑制対策で有効とされている 15% とし、 $150 \sim 250 \mu$ の収縮保障用膨張材を使用している¹⁴⁾。



写真 - 14 床版上面コンクリートの劣化事例

既設 PC 床版の予防保全については、対策として高性能床版防水工を施工するものである。既設床版上面の健全性を確認したうえで、高性能な床版防水工を施工する必要があることから、写真 - 14 のように床版上面が劣化してい

る場合には、上面補修と不陸調整を実施する必要がある。

RC 中空床版の床版打替えは、中空断面を形成する円筒型枠上の被りコンクリート厚が薄い個所において、大型車両の通行による押抜きせん断疲労破壊による損傷が発生しやすいことから、薄い被りコンクリート部分を必要厚さを確保するように打替えを行うものである。打替え範囲が多い場合や中空床版全体が塩害などによる劣化の影響を受けている場合は、全体取替えの検討も必要となる（図 - 3）。

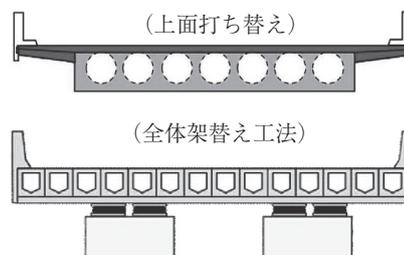


図 - 3 RC 中空床版橋の架替え工法および架替工法

PC 連続合成桁の大規模修繕について、中間支点上の橋軸方向に PC ケーブルを配置した 1 次床版の打替え対策事例について述べる。中央自動車道沢底川橋（写真 - 15）は、岡谷 JCT～伊北 IC 間に位置する橋長 70 m の PC 3 径間連続合成桁橋である。本橋は、1981 年（昭和 56 年）の供用開始から 35 年近くが経過しており、建設当時の交通量の増加や冬期の凍結防止剤の散布による塩害、および凍結融解に伴う凍害などの影響でコンクリート床版が著しく劣化した状態となっていた。とくに、PC 鋼材が配置されている中間支付近の 1 次床版の損傷が激しく、その部分の床版に抜落ちが発生し、PC 鋼材が腐食・破断していることが調査で確認された。過去に床版の部分的な補修が何度も繰返し行われており、抜本的な対策として 1 次床版を撤去し、コンクリートを打替え、外ケーブル補強工事を実施した¹⁵⁾。



(a) 橋梁全景 (b) 1 次床版打替え

写真 - 15 沢底川橋の 1 次床版打替えと外ケーブル補強

2.3 高速道路の PC 橋の健全度評価方法と対策

高速道路橋の安全・安心を持続するためには、橋梁の健全性を評価したうえで、適切な時期に適切な補修・補強を行うことが重要となる。PC 鋼材の腐食が進行した場合、外観目視による点検では耐荷性能低下の予兆を捉えることが困難で、PC 鋼材の状態を把握することが PC 構造物の健全性の評価において重要となる。NEXCO においては、PC 橋の主要点検部位を PC 鋼材と定め、弾性波、電磁波レーダ法、放射線線透過法、漏洩磁束法などの手法により調査を行うこととしている¹⁶⁾。PC 鋼材の健全度調査方法は、PC 鋼材の位置出し、非破壊計測による PC グラウト



(a) 計測機器 (b) 計測状況

写真 - 16 広帯域超音波法によるグラウト充填調査

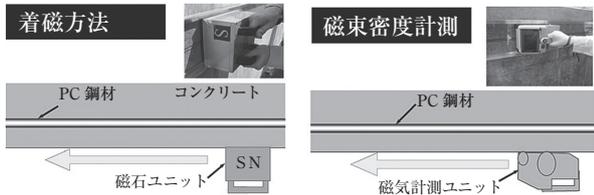


図 - 4 漏洩磁束法による PC 鋼材の破断検知



(a) 作業全景 (b) グラウト再注入

写真 - 17 PC グラウト再注入工法の実施例

充填状況調査を行い、必要に応じて削孔調査を併用する。

PC グラウト充填状況の調査方法は、放射線線透過法、打音振動法、広帯域超音波法(写真 - 16)、インパクトエコー法などが用いられる。また、PC 鋼材の状態把握の調査方法は、漏洩磁束法(図 - 4)、放射線透過法、削孔調査が用いられる。また、非破壊検査の状態を画像処理する技術などで SIBIE 法などがある。一方、健全度評価と対策は、長大橋の場合には、PC グラウトの充填不良による PC 鋼材の腐食・破断リスクをどこまで調査して把握するかによって、必要となる補修・補強の実施レベルが異なることが考えられる。そこで PC グラウトの再注入(写真 - 17)や外ケーブル補強などの対策と合せて、モニタリング計測を併用することも考えられる。PC グラウト再注入には、適切な品質管理が必要となり、再注入用 PC グラウトの粘性と防錆剤、イオン交換材、塩素吸着剤の配合により、再注入グラウトのレオロジー特性が異なる性質があるため、適切な材料の組合せを確認する品質管理方法の確立が必要となっている。

3. これからの 10 年間における高速道路の PC 橋

これからの 10 年間、高速道路建設においては、新東名高速道路や新名神高速道路の早期全線開通に向けての事業が進められることから、工事現場における生産性向上や業務効率化に向けた継続的な取り組みが必要である。

特定更新工事においては、2015 年より国の事業許可を得て 3 年が経過しており、今後、事業全体が最盛期を迎

える時期となる。床版取替えなどでは、プレキャスト PC 床版分割施工のニーズが高まり、継手構造の技術開発が促進することが考えられる。また、PC 橋では、PC 桁の健全度調査、補修・補強設計、工事、モニタリングなどの PC 技術が求められる。

4. おわりに

これからの 10 年間において、わが国の PC 技術がさらなる進展と次世代への技術継承を遂げながら、インフラ社会資本を支えていくための技術として永続的に発展していくことに期待しています。

参考文献

- 1) 村井弘恭, 高橋昭一, 稲葉尚文, 今井平佳: 新東名高速道路谷津川橋(上り線・下り線)の施工報告, 第 20 回 PC シンポジウム, pp.577-580, PC 工学会, 2011.10
- 2) 鈴木宣政, 藤岡篤史, 伊藤祐一: PC 複合トラス橋の設計, (株)ピーエス三菱技報, No.5, pp.4-5, 2007
- 3) 中安義顕, 伊藤正人, 谷口陽一, 大谷英夫: 新東名高速道路青木川橋の設計・施工, PC シンポジウム, Vol.21, pp.183-186, PC 工学会, 2012.10
- 4) 忽那幸浩, 柳野和也, 堤 忠彦, 西永卓司: 設計 VE によるブレンションウェブの適用 - 新東名高速道路 鍾ヶ瀬橋上り線 -, プレストレストコンクリート, Vol.54, No.6, pp.76-79, PC 工学会, 2012.11
- 5) 相馬良太, 渋谷和弘, 戸張正利, 盛田行彦: 新東名高速道路 佐奈川橋(仮称)の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.54, No.6, pp.26-31, PC 工学会, 2015.
- 6) 吉野正道, 中積健一, 松永直樹, 畔柳昌己: 新東名高速道路 郡界川橋の計画・設計, 第 21 回 PC シンポジウム, pp.1-4, PC 工学会, 2012.10
- 7) 野島昭二: 朝明川橋の設計と施工: 橋梁と基礎, Vol.50, No.3, pp.2-10, 建設図書, 2016.3
- 8) 下條和寿, 尾鍋卓巳, 波田匡司, 田中康仁: 新名神高速道路 川下川橋の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.2, pp.78-82, PC 工学会, 2018.3
- 9) 細谷 学, 水谷正樹, 利波宗典, 長尾賢二: 新名神高速道路 生野大橋の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.2, pp.36-41, PC 工学会, 2018.3
- 10) 紙永祐紀, 河野信介, 大城社司, 小柳公治: 新名神高速道路 芥川橋の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.3, pp.43-48, PC 工学会, 2018.3
- 11) 水野克彦, 富山茂樹, 松原 勲, 楠井英正: 新名神高速道路 新名神武庫川橋の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.2, pp.74-77, PC 工学会, 2018.3
- 12) 東・中・西日本高速道路の更新計画; 2015.3.25
- 13) 長濱正健, 山下義明, 只熊公義, 中原 晋: 宮崎自動車道 長江川橋床版取替工事; プレストレストコンクリート, Vol.60, No.6, pp.69-73, PC 工学会, 2017.11
- 14) 山田 稔, 山本 将, 渡邊輝政, 谷口正輝: 北陸自動車道 日野川橋床版更新工事; プレストレストコンクリート, Vol.59, No.6, pp.58-64, PC 工学会, 2017.11
- 15) 田尻丈晴・萩原 幹・崎谷和也・吉川 卓: 中央自動車道 沢底川橋の補強工事; プレストレストコンクリート, Vol.59, No.2, pp.46-53, PC 工学会, 2017.3
- 16) 村西信哉・緒方辰男: NEXCO における PC 鋼材の維持管理上の課題と取り組み, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.6, pp.19-24, PC 工学会, 2018.11

[2018 年 12 月 20 日受付]