

鉄道橋における PC 技術の進展

玉井 真一^{*1}・築嶋 大輔^{*2}・柏原 茂^{*3}・岡本 大^{*4}

2000 年代以降の鉄道橋における PC 技術の進展についてまとめた。技術基準の性能規定化により、鉄道事業者や新幹線建設主体の設計者には、要求性能に対応する限界状態を適切に設定する能力が要求されるようになった。とくに新幹線においては橋梁の長スパン化が進み、斜張橋、斜版橋、エクストラードズド橋のような大偏心ケーブル構造や連続ラーメン構造の適用が増えた。在来線では既設鋼橋を PC 桁に取り替える工事において、エクストラードズド橋やランガー橋のように低い桁高で長スパン化できる構造や、新材料、新構造を用いた構造が適用された。また、急速施工や施工制約の解消のため、プレキャスト工法が適用されている。維持管理では鉄道構造物等維持管理標準が制定されるとともに、PC 桁のモニタリング技術が開発されている。

キーワード：鉄道橋、長大化、プレキャスト、維持管理

1. はじめに

1954 年に信楽高原鐵道（当時は国鉄信楽線）の第一大戸川橋梁が最初の本格的な PC 鉄道橋として造られてから 65 年が経過した。この橋梁は現在も供用されており、2008 年には登録有形文化財に登録されている¹⁾。

以来、2000 年代初めまでの PC 鉄道橋の歩みは、本誌 50 周年特集号に「鉄道における PC の歴史」²⁾として石橋忠良氏により纏められているので、本稿では 2000 年代以降に焦点を置いて PC 鉄道橋の動向を記述する。

2. 技術基準の性能規定化

橋梁にかぎらず鉄道の技術基準は、国土交通省より「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」として鉄道事業者などに通達されている。この省令は 2001 年に性能規定化され、構造物に関しては「土工、橋りょう、トンネルその他の構造物は、予想される荷重に耐えるものであって、かつ、列車荷重、衝撃等に起因した構造物の変位によって車両の安全な走行に支障を及ぼすおそれのないものでなければならない。」とだけ定められている。そして、省令が要求する性能を定量的に照査するための標準的な方法（解釈基準）として「鉄道構造物等設計標準」が通達されている。

したがって、これら設計標準なども性能照査型の体系に準拠するように整備する必要がある。PC 橋の設計に用いる「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」はすでに 1992 年に限界状態設計法に移行していたが、さらに 2004 年に性能照査型に改訂された。また、省令条文後半の変位に対する安全性の照査方法を規定する「鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限）」が 2006 年に発刊された。

一方、維持管理に関して省令には「線路及び列車等を運転するための電気設備は、列車等が所定の速度で安全に運転することができる状態に保持しなければならない。」とあり、その解釈基準として「鉄道構造物等維持管理標準」が通達されている。

この性能規定化により、設計者、とくに鉄道事業者や新幹線建設主体のインハウス・エンジニアには、要求性能とそれに対応する限界状態を適切に設定する能力が要求されている³⁾。また、供用時の挙動により設計を検証することも重要である⁴⁾。

3. PC 橋の長大化

3.1 スパン 100 m 以上の PC 鉄道橋

鉄道の長大橋に PC 橋が本格的に適用されたのは山陽新幹線からである。スパンが最初に 100 m を超えたのは、



^{*1} Shinichi TAMAI

鉄道・運輸機構
設計部



^{*2} Daisuke TSUKISHIMA

JR 東日本
構造技術センター



^{*3} Shigeru KASHIWABARA

JR 西日本
構造技術室



^{*4} Masaru OKAMOTO

鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部

1975年に完成した東北新幹線の第二阿武隈川橋梁で、その後、表-1に示す19橋が建設された。このうち10橋が最近10年以内に完成または工事中の橋梁である。

鉄道橋は道路橋と比較して活荷重が大きく、たわみの制限が厳しいため、スパンを長くするためには桁高が大きくなり、経済性や耐震性の面で不利である。しかし、新幹線は高速性を損なわないように線形を優先しているため、道路、河川との交差角度が浅くなり、長スパンの橋梁が必要となる場合が多い。これが近年、長スパンの橋梁が増えている理由である。

表-1 スパン100m以上のPC鉄道橋

最大スパン(m)	橋名	線区	構造形式	完成年	文献
180	第三吾妻川橋梁	吾妻線	C	2011	5
167	第二吾妻川橋梁	吾妻線	A, E	2009	6
155	細坪架道橋	北陸新幹線	A, F	工事中	
150	三内丸山架道橋	東北新幹線	B, F	2008	7
133.9	第二千曲川橋梁	北陸新幹線	B, D	1996	8
128	神通川橋梁	北陸新幹線	A, F	2012	9
125	第二竹田川橋梁	北陸新幹線	B	工事中	
120	北浦港橋梁	瀬戸大橋線	A	1988	10
116	赤谷川橋梁	上越新幹線	C	1979	11
115	第二本明川橋梁	九州新幹線	A	工事中	
113	大野川橋梁	九州新幹線	B, F	2009	12
110	太田川橋梁	上越新幹線	A	1978	11
109.5	吾妻川橋梁	上越新幹線	B	1978	11
108	名取川橋梁	東北本線	A, E	1995	13
106	常願寺川橋梁	北陸新幹線	B	2009	14
105	第二阿武隈川橋梁	東北新幹線	A	1975	15
105	屋代南架道橋	北陸新幹線	B, F	1996	16
103	三谷川橋梁	北陸新幹線	A	工事中	
100	中部国際空港海上連絡橋	名鉄空港線	B	2003	17

注) 最大スパン：アーチ橋ではアーチ支間
構造形式：A 連続桁、B ラーメン橋、C アーチ橋
D 斜張橋、E 斜版橋、F エクストラード橋

3.2 大偏心ケーブル構造

桁高を抑えながら長スパンを実現するために斜張橋、斜版橋、エクストラード橋のように桁断面外に大偏心ケーブルを有する橋梁が適用されている。表-2にこれま

でに建設されたこれらの橋梁を示す。現時点での最長スパンは在来線では第二吾妻川橋梁(写真-1)の167m、新幹線では三内丸山架道橋(写真-2)の150mである。

構造形式の欄に桁断面の種別を示したが、在来線では下路桁が多い。在来線の改良工事では橋梁の前後を既設の線路に接続するために下路桁とする場合が多いが、PC下路桁のスパンは60m程度が限界であり、さらに長スパンが必要な場合に大偏心ケーブル構造が使われている。

斜張橋では、第二千曲川橋梁以外はコンクリート被覆したPC斜材が用いられている。疲労強度と高い剛性が要求される鉄道橋には斜版橋とともに有利な構造形式であるが、重量が大きくなるため、大スパンの新幹線橋梁ではPCケーブル斜材を用いたエクストラード橋が多い。



写真-1 吾妻線第二吾妻川橋梁



写真-2 東北新幹線三内丸山架道橋

3.3 連続ラーメン構造

鉄道橋では軌道面の折れ角対策として中央ヒンジを有するカンチレバー橋は採用されず、連続桁が標準であった。しかし、近年では長スパン化に伴い経済性と耐震性に優れた連続ラーメン構造が適用されている(表-1)。

ただし、連続ラーメン構造は、伸縮桁長が長くなると温度変化による軌道変位が大きくなるため、適宜、桁長を分割したり、可動支承を挿入していることが鉄道橋の特徴である。可動支承は鋼製支承からゴム支承に代わったが、支承とともに用いられる粘性体によるダンパー式ストッパーは1970年代から継続して用いられている技術である。

表 - 2 鉄道の斜張橋, 斜版橋, エクストラードーズド橋

完成年	橋名	線区	構造形式	最大スパン(m)	文献
1979	小本川橋梁	北リアス線	α , D	85	18
1996	第二千曲川橋梁	北陸新幹線	α , D	133.9	8
1996	名取川橋梁	東北本線	γ , E	108	13
1996	屋代南架道橋	北陸新幹線	α , F	105	16
1996	屋代北架道橋	北陸新幹線	α , F	90	16
1996	第一玉川橋梁	田沢湖線	α , D	85	19
1996	西3条架道橋	根室本線	α , D	64.3	20
1997	新牛朱別川橋梁	宗谷本線	α , D	57	21
1999	新川高架橋	学園都市線	γ , F	58.375	22
2002	川内川橋梁	九州新幹線	β , E	96	23
2003	界川橋梁	東海道本線	γ , F	70	24
2003	須川橋梁	左沢線	γ , E	71.25	25
2004	荒子川橋梁	あおなみ線	γ , F	90	26
2008	三内丸山架道橋	東北新幹線	α , F	150	7
2008	平野地区高架橋	城東貨物連絡線	γ , F	63	27
2009	第二吾妻川橋梁	吾妻線	β , E	167	5
2009	大野川橋梁	九州新幹線	α , F	113	12
2011	余部橋梁	山陰本線	α , F	82.5	28
2012	神通川橋梁	北陸新幹線	α , F	128	9
工事中	細坪架道橋	北陸新幹線	α , F	155	

注) 構造形式: α 箱桁, β 中路桁, γ 下路桁
D 斜張橋, E 斜版橋, F エクストラードーズド橋

4. PC 桁による鋼桁の取替え

鉄道では、線路改良や河川改修に伴い橋梁を架け替える工事が行われる場合、既設の鋼桁を騒音が少ない PC 桁に取り替える事例が多い。既設橋より長いスパンが要求される場合には、上路橋では桁高が不足するので下路桁、中路桁が採用されるが、それでも桁剛性が不足の場合は、大偏心ケーブルやアーチ部材を付加する必要がある。

山陰本線余部橋梁²⁸⁾(写真 - 3)は1912年に建設された鋼トレスル橋であったが、沿岸部での維持管理と強風対策に課題があり、2011年にPC桁に取り替えられた。既設橋はスパン18.288mの鋼プレートガーダーを連ねたものであったが、新橋梁は最大スパン82.5mのエクストラ

ードーズド橋として建設された。

PC下路桁にアーチ部材を付加したPCランガー橋は、1996年に武蔵五日市駅付近で建設されたのが最初で、その後各地で建設されている。

羽越本線三跨川橋梁²⁹⁾(写真 - 4, 2009年)は橋長87.7mで同種の橋梁の中で最長である。奥羽本線第一新田川橋梁³⁰⁾(2000年)はアーチ材をコンクリート充填角形鋼管、鉛直材を角形鋼管、根室本線星が浦海岸通架道橋³¹⁾(2008年)は鉛直材を角形鋼管とした鋼・コンクリート複合構造を採用している。



写真 - 3 山陰本線余部橋梁



写真 - 4 羽越本線三跨川橋梁

5. プレキャスト工法

近年は橋梁にかぎらず、生産性向上の観点からプレキャスト工法の適用が検討され始めている。鉄道橋では生産性向上の観点からプレキャスト工法を適用した事例は少ないが、急速施工や施工制約の解消の観点からプレキャスト工法を適用した事例がいくつかある。

5.1 プレキャストセグメント工法

中部国際空港開港時に施工された空港連絡鉄道橋¹⁷⁾(2005年開業)では、海上橋の急速施工を目的としてプレキャストセグメントの張出し架設工法が採用されている。また、東京駅と上野駅の間で東北新幹線の直上に施工された東北縦貫線(上野東京ライン)³²⁾(写真 - 5, 2015年開業)では、狭隘箇所での施工と新幹線直上施工の安全性確保を

目的として、プレキャストセグメントのスパンバイスパン架設工法が採用されている。

5.2 PCU 形桁

PCU 形桁³²⁾は、工場製作した U 形断面のプレテンション 20 m 桁 (U 形コンボ桁) による単純桁式の高架橋で、つくばエクスプレス線 (2005 年開業)、成田スカイアクセス線 (2010 年開業)、北陸新幹線富山駅付近 (写真 - 6, 2015 年開業) に適用されている。



写真 - 5 東北縦貫線の施工



写真 - 6 北陸新幹線富山駅付近

5.3 ラーメン高架橋のプレキャスト化

RC ラーメン高架橋はコンクリート体積あたりの配筋量が多く、高度な配筋技能を要する。また、営業線改良工事に用いられる場合は近接施工の安全性を確保する必要がある。これらの理由でいくつかのプレキャスト工法が開発されている³²⁾。多くはプレキャスト RC 部材を用いているが、あおなみ線 (2004 年開業) や京急蒲田駅付近 (2012 年高架化) に用いられた工法では、ハーフプレキャスト部材にプレストレスを導入して、場所打ちコンクリートの支保工機能をもたせている。

6. 新材料・新構造の適用

6.1 UFC を使用した桁

三岐鉄道萱生川橋梁³³⁾ (写真 - 7, 2010 年) は、4 章で

述べたように既存の鋼桁を PC 桁に取り替えたものであるが、既設橋の桁高が小さく、下路桁としても一般的な PC 下路桁としての下床版厚が確保できない課題があった。そこで超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を使用することで、下床版厚 250 mm を実現している。UFC を使用した鉄道橋は最近、京王井の頭線³⁴⁾でも採用され、軽量であることを活かして夜間工事の効率化が図られている。



写真 - 7 三岐鉄道萱生川橋梁



写真 - 8 吾妻線第三吾妻川橋梁

6.2 新構造の適用

既存の鋼橋を PC 桁に取り替える際に桁高が不足する場合には、桁の中間を上から吊る形で支点を設けるという新構造が適用された事例がある。

大糸線除沢川橋梁³⁵⁾ (2001 年) は、PC 桁とは独立して河川軸直交方向に設けたコンクリート充填鋼管 (CFT) アーチから吊材をおろして、橋長 49.7 m の PC 桁の中間 2 点を吊っている。内房線姉ヶ崎橋梁³⁶⁾ (2002 年) は、橋長 81 m の単純 PC 下路桁上に直線部材の方杖を設け、その頂点から桁の中間 2 点を吊っている。

CFT アーチは橋梁の長スパン化のためにも用いられている。表 - 1 に示した吾妻線第三吾妻川橋梁⁵⁾ (写真 - 8, 2011 年) は、アーチリブの端部を RC、中間部を CFT とした複合構造を採用することでアーチスパン 180 m を達成し、コンクリート鉄道橋では最長スパンの橋梁である。

7. 維持管理

既設のポストテンションPC桁において、写真 - 9 に示すようなグラウトの充填不良³⁷⁾に起因したPC鋼材の腐食や破断が生じている場合がある。PC鋼材の破断は、横締め鋼材、主鋼材ともに発見されているが、とくに主鋼材の破断は、耐荷力の低下や落橋につながるおそれがある。そのため、主鋼材の破断に対するPC桁のモニタリング技術が開発されている。



写真 - 9 シース管内のグラウト充填不良状況の例

7.1 導電塗料を用いたPC桁のひび割れ検知

一般に、PC桁には複数のケーブルが配置されているため、一部の主鋼材が破断してもただちに破壊に至ることは少ないものの、プレストレスの減少にともなって列車通過時などに桁下面にひび割れが発生することが想定される。PC桁に発生したひび割れを発見することで、主鋼材の破断を検知することが可能となるが、列車通過時にのみ開口するひび割れを目視により発見することは困難である。そのため、導電性を有する塗料（以下、導電塗料）を用いて、ひび割れを検知する方法が開発されている³⁸⁾。このシステムでは、写真 - 10 に示すように導電塗料を桁下面にコの字型に塗布し、これに通電することで電気回路を構築する。そして図 - 1 に示すように、ひび割れの発生を、①



写真 - 10 桁下面への導電塗料塗布

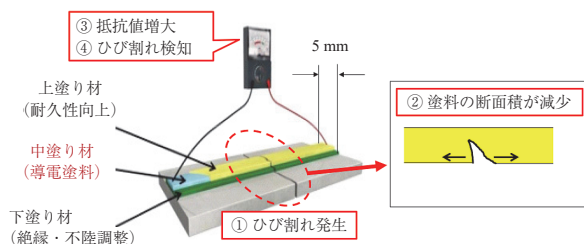


図 - 1 導電性回路の構成とひび割れ検知の原理

ひび割れ発生⇒② 塗料の断面積の減少⇒③ 回路抵抗値の増大、という原理で検知する。

7.2 外ケーブル張力モニタリング方式による鋼材の破断検知

外ケーブル張力モニタリング方式³⁹⁾は、内ケーブルの破断に対する予防保全的な維持管理手法として開発されている。この手法は、図 - 2 および写真 - 11 に示すように、PC桁に対して、あらかじめ外ケーブルを設置し、外ケーブルの張力変化をモニタリングすることによってPC桁の主鋼材の破断を検知する方式である。破断により性能の低下が確認された場合には、外ケーブルを再緊張して速やかに性能を回復することを意図して開発されている。なお、性能が低下する前に外ケーブルを設置することから、フェールセーフの機能も期待できるモニタリング技術である。

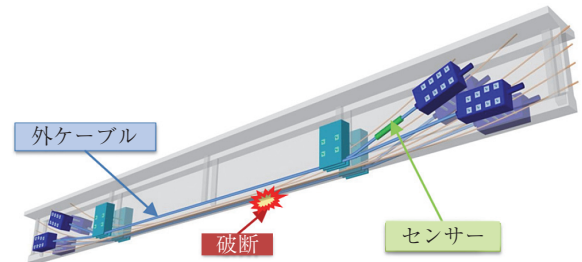


図 - 2 外ケーブルモニタリング方式による主鋼材の破断検知



写真 - 11 実構造物での試験施工状況

8. 鉄道技術の海外輸出

鉄道分野での海外協力には長い歴史があるが、これまでは現地の設計基準による工事であった。現在、インドのムンバイ・アーメダバード間でJICAによる技術協力、資金援助が実施されているインド高速鉄道プロジェクト⁴⁰⁾は、日本の技術基準を基としたインド高速鉄道用の技術基準作成から始めており、土木から設備、車両に至るまで鉄道システム全体の技術を輸出する事業である。本事業では日本とは異なり高架橋区間はPC桁を主体とした構造計画としている。まだ工事着手したばかりであるが、今後の進捗にご期待いただきたい。

9. おわりに

PC構造物のうち鉄道橋の割合は10%以下⁴¹⁾であるが、

道路橋にはない列車走行に関する要求性能や、既設橋梁の架替えなど、鉄道橋に特有の事情から道路橋とはやや異なる橋梁が建設されている。今後も技術開発や創意工夫が継続され、海外工事にも活用されることが望まれる。

参考文献

- 菅原 操：PC 橋梁初の有形文化財登録－信楽高原鐵道の第一大戸川鉄道橋－，プレストレストコンクリート Vol.50, No.5, pp.42-46, 2008.9
- 石橋忠良：鉄道における PC の歴史，プレストレストコンクリート Vol.51, No.1, pp.35-40, 2009.1
- 玉井真一，西 恭彦，下津達也：整備新幹線の PC 橋における性能照査型設計法の適用，第 23 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.495-498, 2014.10
- 進藤良則，玉井真一，下津達也：PC 橋梁のたわみ測定結果に対する考察－北陸新幹線（長野・金沢間）－，プレストレストコンクリート，Vol.58, No.1, pp.17-24, 2016.1
- 白神 亮，大郷貴之，森井慶行，赤松 篤：JR 吾妻線第三吾妻川橋梁の施工，プレストレストコンクリート，Vol.53, No.1, pp.20-28, 2011.1
- 大郷貴之，東 隆介，宇津木一弘，福田一郎：3 径間連続 PRC 斜版中路桁橋の施工，プレストレストコンクリート，Vol.51, No.5, pp.20-29, 2009.9
- 玉井真一，鈴木 隆，加藤 学，坂本貴嗣：東北新幹線三内丸山架道橋の施工，プレストレストコンクリート，Vol.50, No.3, pp.22-29, 2008.5
- 稲葉紀昭，高薄和雄，平澤泰作，金森 真：第 2 千曲川橋梁の設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol.38, No.1, pp.10-18, 1996.1
- 杉原浩明，石島修祐，高瀬智章，水谷正樹：北陸新幹線神通川橋りょうの施工，プレストレストコンクリート，Vol.54, No.2, pp.90-97, 2012.3
- 神 弘夫，松田大六，大坪正行，山岸 明：四国側陸上部の PC 鉄道高架橋の設計・施工－北浦港橋梁－，プレストレストコンクリート，Vol.29, 特別号，pp.80-86, 1987
- 青木浩一：上越新幹線の PC 橋梁，プレストレストコンクリート，Vol.23, No.4, pp.22-29, 1981.7
- 福永初男，長井崇徳，鈴木光雄，永江祥治：九州新幹線大野川橋りょうの施工，橋梁と基礎，Vol.43, No.2, pp.23-27, 2010.2
- 村井剛之，大庭光商，大村田義廣，宮内雅美，岩崎郁夫：名取川橋梁の設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol.39, No.2, pp.76-84, 1997.3
- 玉井真一：北陸新幹線，北海道新幹線の PC 橋，プレストレストコンクリート，Vol.54, No.2, pp.45-48, 2012.3
- 西田正之，鳥居興彦，加藤勝美，小林明夫：第 2，第 3 阿武隈川橋梁の設計施工について(1)～(2)，プレストレストコンクリート，Vol.17, No.5, pp.34-42, 1975.10～No.6, pp.1-15, 1975.12
- 梅原俊夫，剣持三平，湯山和利，田島和之：北陸新幹線屋代橋梁の設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol.39, No.1, pp.10-19, 1997.1
- 川口興二郎，石田喜洋，加藤一志，南雲広幸：中部国際空港連絡鉄道橋の設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol.46, No.2, pp.47-55, 2004.3
- 沢野耕二，小林哲久：久慈線小本川 PC 斜張橋について，プレストレストコンクリート，Vol.20, No.4, pp.10-16, 1978.8
- 渡部 修，津吉 毅，太田哲郎，佐藤茂美：第一玉川橋梁の施工，プレストレストコンクリート，Vol.39, No.3, pp.59-66, 1997.5
- 吉野伸一，小澤直正，菊地 眞，菅原広道：西 3 条架道橋の設計，第 5 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.453-458, 1995.10
- 境谷 徹：牛朱別川斜張橋における斜材プレキャスト化，日本鉄道施設協会誌，Vol.36, No.1, pp.56-58, 1998.1
- 高木敏雄，吉田 徹，岡川秀幸，塚本敦之：エクストラードスド PC 橋の押出し架設，プレストレストコンクリート，Vol.41, No.5, pp.44-52, 1999.9
- 川野幸生，古賀 学，中村 敦，上杉泰右：4 径間連続 PC 斜版橋の計画と設計，プレストレストコンクリート，Vol.42, No.1, pp.46-53, 2000.1
- 坂井克衡，古谷佳久，杉山一弥，北原 剛：界川橋りょうの施工，橋梁と基礎，Vol.37, No.12, pp.2-8, 2003.12
- 古林秀之，岩田道敏，大庭光商，古山章一，後藤公一：軽量コンクリートを用いた PRC 下路斜版橋の設計・施工，橋梁と基礎，Vol.38, No.6, pp.25-32, 2004.6
- 井上敏弘，酒井克衡，越智 聰，駒井克明：西名古屋港線荒子川橋りょうの設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol.46, No.2, pp.71-79, 2004.3
- 山根明治，尾谷和彦，品地雅之，武山和夫，大西直巳，小林 顕：過密市街地での鉄道高架橋の施工－城東貨物線平野地区高架橋の施工－，橋梁と基礎，Vol.42, No.10, pp.13-18, 2008.10
- 金子 雅，佐伯奈都美，前田利光，錦織礼二：余部橋りょうの設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol.53, No.3, pp.62-69, 2011.5
- 皆川一四，吉田昭二，一場浩一，小林久人，水澤秀樹：長大 PC ランガー橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.43, No.2, pp.29-33, 2009.2
- 井上 崇，佐藤清一：第一新田川橋梁，橋梁と基礎，Vol.36, No.8, pp.90-91, 2002.8
- 川村 力，枝松正幸，古道知広，小幡和由，佐藤茂美，土井至朗：星が浦海岸通架道橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.42, No.9, pp.21-27, 2008.9
- 築嶋大輔，大郷貴之，玉井真一，西 恭彦，石井秀和，岡本 大：鉄道の取組み，第 46 回 PC 技術講習会資料，pp.65-84, 2018.6
- 森川陽平，谷村幸裕，中野誠嗣，相浦 聡：三岐鉄道「萱生川橋梁」の設計・施工，プレストレストコンクリート，Vol.53, No.1, pp.64-69, 2011.1
- 篠田貴宏，網島竜大，岩元篤史，山口 卓，北村 健，趙 唯堅：UFC 鉄道橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.52, No.4, pp.15-20, 2018.4
- 佐藤清一，伊藤昭夫，丸山 孝，駿河正敏：除沢川橋梁，橋梁と基礎，Vol.36, No.8, pp.92-93, 2002.8
- 青木大地，柳原雅樹，津吉 毅，鎌田則夫：内房線姉ヶ崎橋梁の設計，プレストレストコンクリート，Vol.43, No.5, pp.37-43, 2001.9
- 岡本 大，田所敏弥，曾我部正道，谷村幸裕，玉井真一：コンクリート鉄道橋のメンテナンス，第 41 回 PC 技術講習会資料，pp.57-75, 2013.6
- 永坂亮介，仁平達也，岡本 大：鉄道 PC 桁における導電塗料を用いた曲げひび割れ検知システムの構築，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.647-650, 2017.10
- 湯浅康史，近藤拓也，松田好史：開業 40 周年を迎えた山陽新幹線 PC 桁の維持管理，プレストレストコンクリート，Vol.58, No.1, pp.11-16, 2016.1
- 光畑 太：インド国ムンバイ～アームダバード間高速鉄道建設事業への取組み，橋梁と基礎，Vol.52, No.8, pp.145-148, 2018.8
- 平成 29 年度用途別受注実績：プレストレスト・コンクリート建設業協会ホームページ，<http://www.pcken.or.jp/pubinfo/jisseki/yotobestu/index.shtml>（参照 2018-12-26）

【2018 年 12 月 26 日受付】