

報告 鉄道用 PCU 形桁の高低変位計測

西 恭彦*1・植木 茂夫*2・石川 太郎*3・池端 文哉*4

要旨：鉄道用 PCU 形桁 9 連にプレストレスを導入してから 2 年半程度の高低変位を計測し、うち 3 連について設計値と比較をした。PCU 形桁の高低変位は主桁にプレストレスを導入後、クリープ変形と上縁架設ケーブル切断による弾性変形による影響でその傾向がみられ、設計値とおおむね一致していた。場所打ち床版コンクリートの打込み後は、設計値では死荷重の载荷とクリープ変形でたわみ傾向がみられるのに対し、実測値は、死荷重の载荷による弾性変形ではたわむが、その後の変形ではたわみ傾向があまりみられず、時間の経過とともにそりが進行する場合もあり、異なる傾向を示した。

キーワード：プレストレストコンクリート、収縮・クリープ、U 形桁、鉄道橋、プレキャストコンクリート

1. はじめに

鉄道で近年、普及している保守を省力化した直結系軌道は、軌道を支持する構造物において軌道に影響を与えるようなクリープ、乾燥収縮、温度変化等による長期的な変形が生じないことを前提としている¹⁾。軌道は供用を開始する時点で仕上り基準値内に整備されるため、その後の PC 桁の変位に起因する軌道変位が整備基準値内であることが求められる²⁾。供用中の PCT 桁の長期変位計測や解析的な変形予測³⁾⁴⁾も行われているが、一般的には供用期間中の変位の計測は軌道に対して行われ、軌道の変位は整備基準値を超えないように整備されてしまうため、PC 桁の長期的な変形量やそれが軌道に与える影響が明確ではなかった。

そこで今回、PCU 形桁 9 連の主桁にプレストレスを導入してから 2 年半程度の高低変位(鉛直変位)を計測し、うち 3 連について設計値と比較をしたので報告する。

2. 計測対象の構造物と計測方法

PCU 形桁は、工場製作したプレテンション U 形桁を架設し、床版コンクリートを場所打ちして合成する U コンポ橋である。普通鉄道ではつくばエクスプレス線(常磐

新線)⁵⁾⁶⁾⁷⁾のほか、成田高速鉄道アクセス線⁸⁾⁹⁾に、新幹線鉄道では北陸新幹線、富山・稲荷千歳高架橋¹⁰⁾¹¹⁾で採用している。従来、適用してきたのは設計最高速度が 160km/h までの区間であるが、設計最高速度が 260km/h である新幹線の高架橋への適用を前提に、列車が高速走行することによる動的応答の検討が走行シミュレーションにより行われている¹²⁾。一方、PCU 形桁は薄肉の PC 構造のため、クリープ・乾燥収縮等による供用開始後の長期的な変位が問題になる可能性がある。新幹線が高速で走行する区間では走行性や軌道整備の点からの変位に関する要求がより厳しくなることが予想され、そうした区間への適用を検討するための長期的な変形についての知見を得ることを目的に計測を行った。

今回、計測した PCU 形桁 9 連は図-1 に示す桁長 20m の単純桁で、横断構成は図-2 に示す単線 2 主桁である⁷⁾。いずれも施工順序は、工場で主桁コンクリート打込み、プレテンション方式によるプレストレスの導入を行った後、現場へ運搬し、架設する。架設後、コンクリート上縁に作用する引張応力を抑制するための仮設ケーブルを切断し、U 型桁内の埋設型枠、U 型桁間のプレキャスト PC 版を敷設して、床版の型枠・配筋を行い、コン

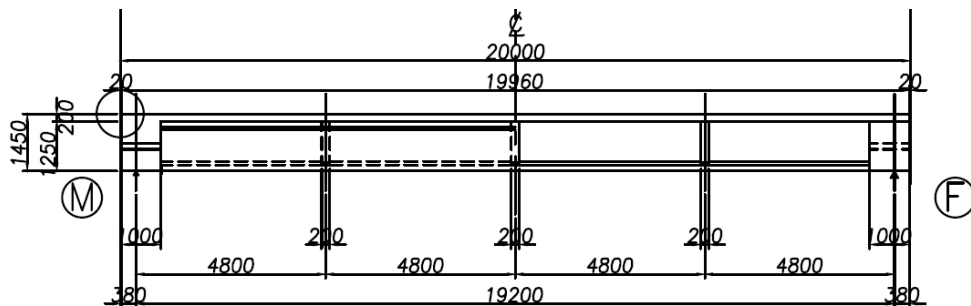


図-1 PCU 形桁側面図

- *1 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部設計第一課課長補佐 工修 (正会員)
- *2 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社計画部技術管理課課長補佐
- *3 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計部設計第一課担当係長 工修 (正会員)
- *4 パシフィックコンサルタンツ(株) グローバル事業本部鉄道部橋梁構造室室長

クリートを打込む。桁の完成後は、地覆等の橋面工を施工し、さらに軌道敷設を行っている。コンクリートの設計用値を表-1に、桁の名称と主な工程を表-2に示す。

計測はU形桁にプレストレスを導入した後から、図-3に示すように、両支点上とスパン中央に設置したターゲットに対して行った。両支点上のターゲットを結んだ線とスパン中央に設置したターゲットとの相対変位を高低変位とした。架設後の計測は、床版で一体化されることから、見通しのよいG2桁側のみでトータルステーションにより行っている。トータルステーションの精度は、離れ1mに対して±0.024mmで、計測の距離が5m~10mの範囲では、0.12mm~0.24mmとなるが、実際の計測は1mm単位で行っている。

3. 変位の計測結果

図-4に高低変位の経過を示す。桁の変位は上方へのそりを正、下方へのたわみを負としている。主桁にプレストレスを導入後、床版コンクリートの打込みまでは、クリープ変形と上縁の仮設ケーブル切断による弾性変形で、ほとんどの主桁がそりあがる傾向を示している。

表-1 コンクリートの設計用値

	設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
G1, G2 主桁 (工場製作)	50	31.0
床版 (場所打ち)	30	28.0

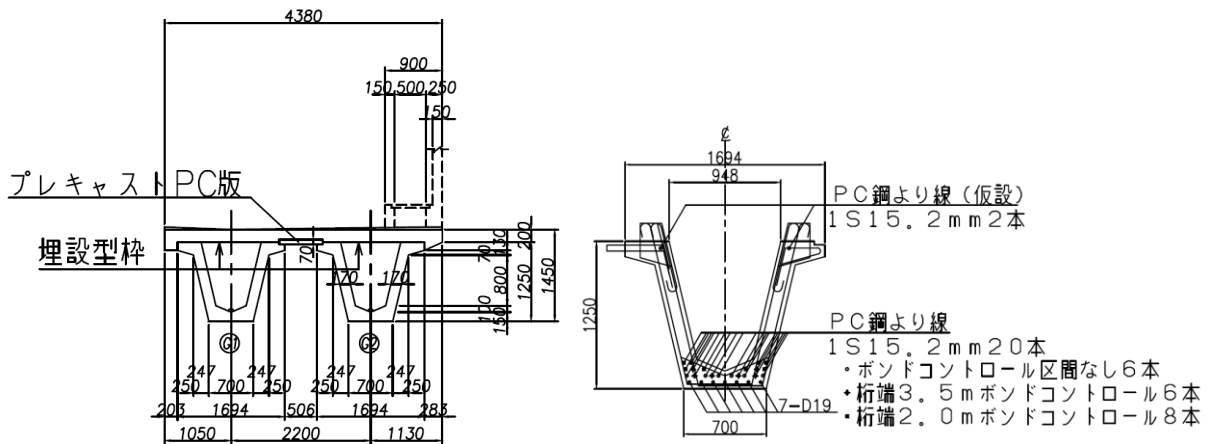


図-2 PCU形桁横断面図および鋼材配置図

表-2 桁の名称と主な工程

名称	桁	主桁 コンクリート 打込み	プレストレス 導入	架設	仮設 ケーブル 切断	床版 コンクリート 打込み	橋面工 完了	軌道工事完了後の計測
Cbp7	G1	2015/7/9	7/10	8/29	10/20	11/4	'16/1/26	(370日),(434日),(504日),(820日)
	G2	2015/7/14	7/15				(0日)	
Cbp8	G1	2015/7/3	7/4	8/28	10/13	10/29	'16/1/19	(376日),(440日),(510日),(826日)
	G2	2015/7/7	7/8				(0日)	
Cbp9	G1	2015/6/29	6/30	8/27	10/6	10/23	'16/1/19	(382日),(446日),(516日),(832日)
	G2	2015/7/1	7/2				(0日)	
Cbp10	G1	2015/6/23	6/24	8/26	9/29	10/15	'16/1/8	(390日),(454日),(524日),(840日)
	G2	2015/6/25	6/26				(0日)	
Cbp11	G1	2015/6/17	6/18	8/25	9/25	10/8	'16/1/8	(397日),(461日),(531日),(847日)
	G2	2015/6/19	6/20				(0日)	
Cbp12	G1	2015/6/11	6/12	8/24	9/16	10/1	12/22	(404日),(468日),(538日),(854日)
	G2	2015/6/15	6/16				(0日)	
Cbp13	G1	2015/6/5	6/6	8/22	9/11	9/28	12/22	(407日),(471日),(541日),(857日)
	G2	2015/6/9	6/10				(0日)	
Cbp14	G1	2015/6/3	6/4	8/21	9/2	9/19	12/14	(416日),(480日),(550日),(866日)
	G2	2015/6/1	6/2				(0日)	
Cbp15	G1	2015/5/21	5/22	8/20	9/1	9/15	12/14	(420日),(484日),(554日),(870日)
	G2	2015/5/28	5/29				(0日)	

架設後は、G2桁側を計測した。()内は床版コンクリート打込みからの日数

場所打ち床版コンクリートの打込み後は、橋面工（防音壁・ダクト等）の施工、軌道工事により、死荷重が載荷されるためたわみ傾向となる。ただし、死荷重載荷直後は弾性変形により載荷前よりもたわむが、その後にはそりあがる傾向がみられる桁もある。また、軌道工事完了後に4回計測を行っているが、2回目（床版コンクリート打込み後434~484日）と3回目（同504~554日）の間

では、全ての桁にそり傾向がみられる。4回目の計測結果（同820~870日）は、3回目と同程度である。

4. 変位の設計値との比較

9連のうちCbp7, Cbp11, Cbp15の3連について、実工程を反映させて高低変位の設計値を算出した。コンクリートのクリープ係数は表-3の値を用いた。また、コ

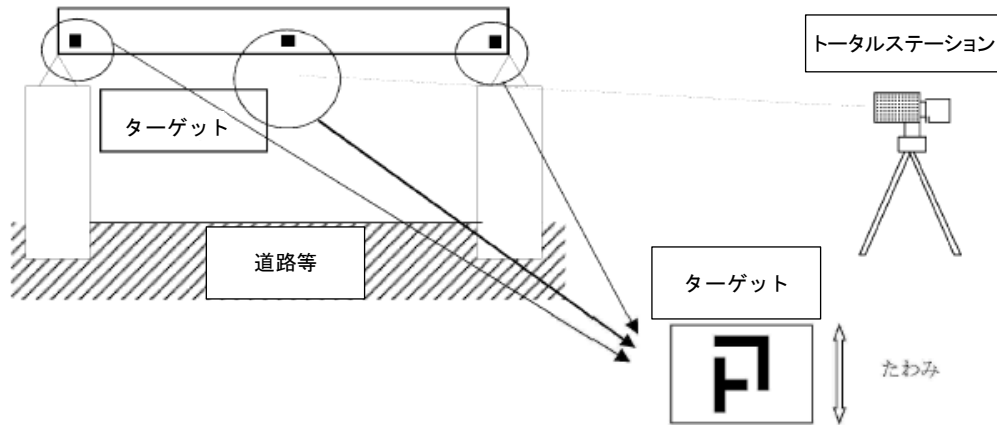


図-3 変位計測の概念図

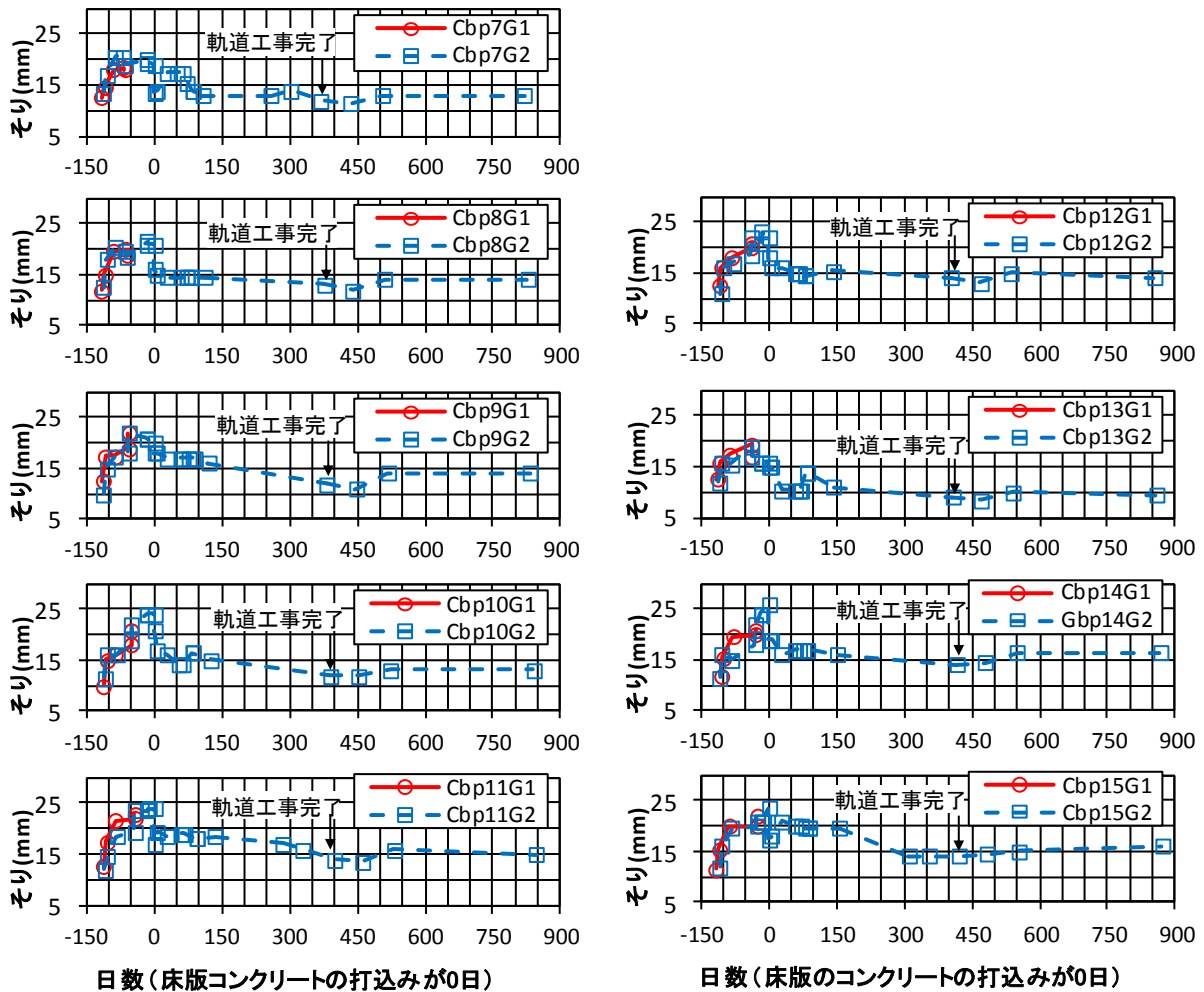


図-4 高低変位（そり）

コンクリートのヤング係数は、表-1 の設計値をそのまま使用した場合と、G1 桁、G2 桁、床版の各々のコンクリートの打込みで採取した供試体の載荷時点の実測値を使用した場合とで算出している。なお、設計値は PC 鋼材のリラクゼーション率を 5%として算定しているが、実際の施工では 1.5%のものを使用している。

図-5 に Cbp7, Cbp11, Cbp15 における高低変位の実測値と設計値との比較、および、ヤング係数の実測値を

表-3 コンクリートのクリープ係数¹³⁾

コンクリートの材齢	4~7日	14日	28日	3ヶ月	1年
クリープ係数	2.6	2.3	2.0	1.7	1.2

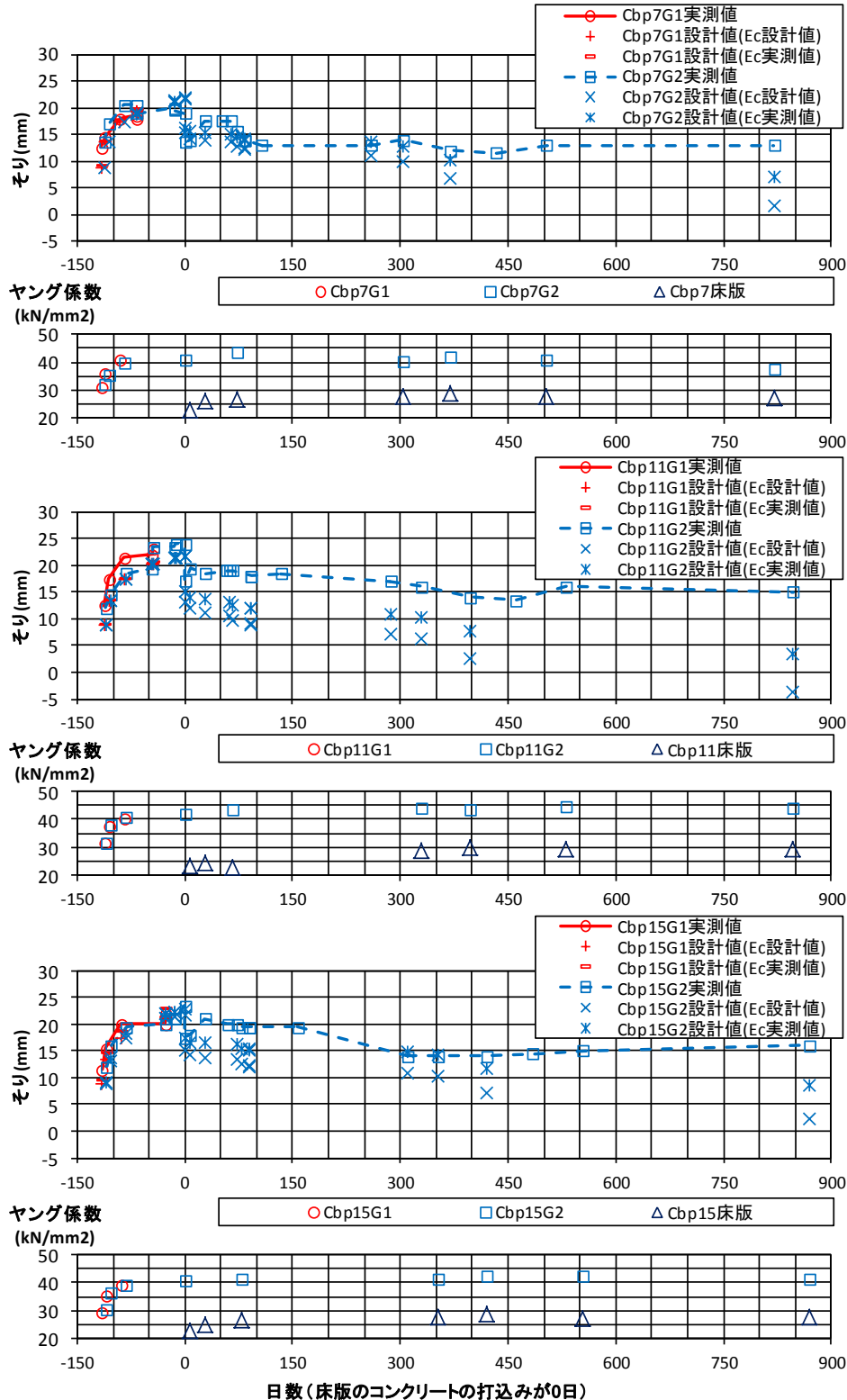


図-5 高低変位（そり）の実測値と設計値との比較およびコンクリートのヤング係数の実測値

示す。工場製作の主桁に使用したコンクリートのヤング係数の実測値は設計値より大きくなり、場所打ち床版に使用したコンクリートのヤング係数の実測値は設計値とおおむね同程度であった。高低変位については、場所打ち床版コンクリートの打込みまでの傾向は、設計値とおおむね一致していた。場所打ち床版コンクリートの打込み後の高低変位は、設計値では死荷重が載荷されたことによる弾性変形に続きクリープ変形によるたわみ傾向がみられる。一方、実測値は、死荷重の載荷後は弾性変形と考えられるたわみが生じているが、その後の変形ではたわみ傾向があまりみられず、時間の経過とともにそりが進行している場合もある。場所打ち床版コンクリートの打込み後の変位量としては、コンクリートのヤング係数の実測値を用いた方が実測値と設計値に近い値となっている。

場所打ち床版コンクリートの打込み後の高低変位の实測値と設計値が異なる原因として、PC 鋼材のリラクセーション率、コンクリートのヤング係数、収縮・クリープ性状等が設計時の仮定と異なる可能性が考えられる。コンクリートのヤング係数の影響は、クリープ係数が一定であれば、計算上は弾性変形量の差によって長期的な変位量に影響を及ぼす。しかし、場所打ち床版コンクリートの打込みまでの変位の傾向や死荷重載荷直後の弾性変形によるたわみの傾向は、設計値と実測値で大きく変わらないことから、死荷重載荷以降での桁のそり、たわみの傾向が設計値と実測値で異なることに対して、ヤング係数の影響は大きくないと考えられる。また、部材断面の水分分布に起因する部位ごとの収縮差によって桁のそり・たわみが生じることが示されており³⁾⁴⁾¹⁴⁾、PCU 形桁についても、工場製作した主桁と供用中も降雨の影響を受ける場所打ち床版との間の水分分布の影響によって、床版に対して U 形桁の収縮量が大きくなり、そり傾向が生じていることが考えられる。

5. まとめ

複線 2 主桁の PCU 形桁 9 連について、プレストレスの導入から 2 年半程度の高低変位を計測し、うち 3 連について設計値と比較を行った。これにより以下のことが分かった。

- (1) PCU 形桁の高低変位は主桁にプレストレスの導入後、クリープ変形と上縁架設ケーブル切断による弾性変形による影響でその傾向がみられる。場所打ち床版コンクリートの打込み後は、死荷重の載荷による弾性変形ではたわむが、時間の経過とともにその傾向がみられる場合がある。
- (2) PCU 形桁のヤング係数について、供試体の実測値を設計値と比較すると、工場製作の主桁に使用したコ

ンクリートのヤング係数の実測値は設計値より大きくなり、場所打ち床版に使用したコンクリートのヤング係数の実測値は設計値とおおむね同程度であった。

- (3) 高低変位の实測値と設計値を比較すると、場所打ち床版コンクリートの打込みまでの傾向は、おおむね一致していた。場所打ち床版の打込み後は、設計値では死荷重が載荷されたことによる弾性変形に続きクリープ変形によるたわみ傾向がみられる。一方、実測値は、死荷重の載荷後は弾性変形と考えられるたわみが生じているが、その後の変形ではたわみ傾向があまりみられず、時間の経過とともにそりが進行する場合もあり、異なる傾向が示された。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造，丸善，2012.1
- 2) 佐藤望，初貝隆一：P R C 桁施工に関する上げ越し計画，東北支部技術研究発表会講演概要集，Vol.48，V-44，2011
- 3) 大野又稔，渡辺健：供用 PC 桁の長期変形計測による部位ごとの収縮クリープ特性の評価，プレストレストコンクリート工学会，第 24 回シンポジウム論文集，pp.735-740，2015.10
- 4) 大野又稔，渡辺健：要素試験体の水分・収縮評価に基づく供用環境下 PC 桁の変形予測，日本コンクリート工学会，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.361-366，2017
- 5) 佐々木養一，鈴木光雄，鈴木富夫：つくばエクスプレス（常磐新線）で採用した省力化プレキャスト PCU 形桁について，土木学会第 57 回年次学術講演会第 1 部門，pp.681-682，2002.9
- 6) 柿崎孝夫，川崎誠，金森真：つくばエクスプレス（鉄道）に採用した PCU 型桁式高架橋の開発，プレストレストコンクリート，Vol.47，No.5，pp.36-40，2005.9
- 7) 青柳広樹：つくばエクスプレス線，車両基地出入庫線複線化工事，プレストレストコンクリート，Vol.54，No.1，pp.41-46，2016.1
- 8) 清水正志，藤田照幸，椎名敦：成田高速線，案能架道橋外 8 箇所（PC けた）の施工，プレストレストコンクリート技術協会，第 19 回シンポジウム論文集，pp.177-180，2010.10
- 9) 中西孝治，清水正志：工程短縮にみる PCU 桁の省力化施工一案能架道橋外 8 箇所一，土木施工，Vol.52，No.3，pp.90-92，2011.3
- 10) 山東徹生，河瀬日吉：北陸新幹線（長野・金沢間）の PC 桁の設計について—PC 標準設計桁と特殊橋り

- ょうー, プレストレストコンクリート, Vol.56, No.2, pp.39-49, 2014.3
- 11) 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—狹隘施工事例—, 第 46 回 PC 技術講習会, pp.65-84, 2014.3
- 12) 石川太郎, 井上翔, 渡辺勉, 後藤恵一: 整備新幹線用 PCU 形桁の開発に向けた検討, プレストレストコンクリート工学会第 27 回シンポジウム論文集, pp.465-470, 2018.11
- 13) 鉄道総合技術研究所編: SI 単位版 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善, 1999.12
- 14) 中村麻美, 渡辺健, 大野又稔, 安保知紀: 吸水現象の時間依存性を考慮した水分移動モデルとコンクリートの変形予測手法, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.435-440, 2018