

## 鉄筋配置がPC構造物の持続荷重に及ぼす影響に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 工修 ○吉川 卓  
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 工修 玉越 隆史  
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 北村 岳伸  
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 工修 横井 芳輝

### 1. はじめに

PC橋における構造の合理化や高強度材料の活用は、耐久性の向上、施工性の向上、合理的な補修補強技術の確立、環境負荷の低減など、多くのメリットが期待される。一方、近年PC橋において定期点検時などに耐荷性能や耐久性に影響を及ぼすことが危惧されるひび割れが発見される場合がある。また、有ヒンジラーメン橋のヒンジ部において設計の想定を上回る垂れ下がりが発生した事例や、伸縮装置の遊間が想定以上に開いている事例など、持続荷重の影響が関与していると考えられる事例も報告されている。PC構造の耐久性の信頼性向上の観点から、このようなひび割れ発生や変形の原因と現状設計技術との関係性について調査することとした。

本研究は、PC橋のひび割れ発生の原因の一つとして考えられる持続荷重（クリープ）の影響に着目し、設計段階でのこれらが部材性能に及ぼす影響の推定精度を高めるための評価手法の提案を最終目的としている。本研究では、持続荷重に影響を及ぼす要因の一つとして考えられる鉄筋配置に着目して、その影響に関して供試体を用いた載荷試験を実施している。本稿では、その途中経過を報告する。

### 2. 実験概要

PC橋の設計において道路橋示方書(以下、道示)では、鉄筋の影響は少ないとして考慮されていないが、近年のPC橋は、耐震設計法の改定、コンクリートの高強度化による断面の縮小、複合構造の普及などにより断面内に配置される鉄筋比が多くなる傾向にある。鉄筋比が多い場合にはクリープ・乾燥

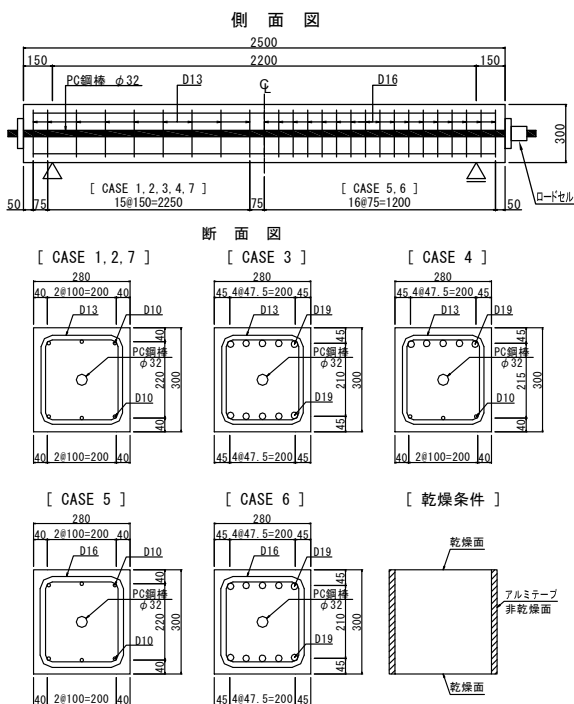


図-1 実験供試体

表-1 実験ケース

CASE	着目	緊張力 (応力度)	鉄筋配置	鉄筋比 ( $\rho_s$ )
1	基本ケース	569kN (6.9N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D10×3本 軸筋下段: D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
2	持続荷重の大きさの影響	285kN (3.4N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D10×3本 軸筋下段: D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
3	軸方向鉄筋の影響	569kN (6.9N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D19×5本 軸筋下段: D19×5本 横筋 : D13ctc150	3.4% 3.4% 0.6%
4	軸方向鉄筋偏心配置の影響	569kN (6.9N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D19×5本 軸筋下段: D10×3本 横筋 : D13ctc150	3.4% 0.5% 0.6%
5	横方向鉄筋の影響	569kN (6.9N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D10×3本 軸筋下段: D10×3本 横筋 : D16ctc75	0.5% 0.5% 1.9%
6	軸方向鉄筋および横方向鉄筋の影響	569kN (6.9N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D19×5本 軸筋下段: D19×5本 横筋 : D16ctc75	3.4% 3.4% 1.9%
7	基本ケース (プレストレス無し)	0kN (0N/mm <sup>2</sup> )	軸筋上段: D10×3本 軸筋下段: D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%

収縮による変形を鉄筋が拘束することにより無視できない影響が生じる可能性も考えられる。そこで、本研究では、鉄筋配置の違いなどがクリープ挙動に及ぼす影響と設計基準との基礎的な関係性を確認するために、図-1に示す7体の供試体を用いて長期的な計測を行っている。実験ケースは表-1に示すとおりであり、軸方向鉄筋量および横方向鉄筋量は、実橋に配置される最小・最大量程度を想定して

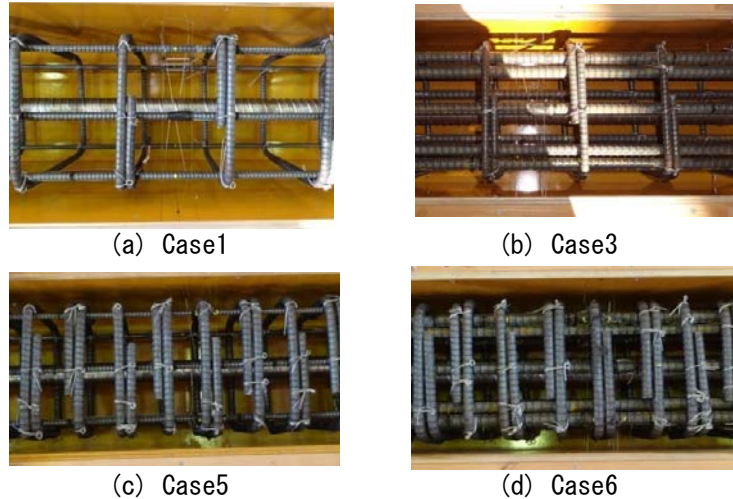


写真-1 配筋状況

設定した。なお、軸方向鉄筋比3.4%は、箱桁橋の下床版(t=250mm)にD25の鉄筋が125mm間隔で配置される程度、横方向鉄筋比1.9%は、箱桁橋のウェブ(t=300)にD22の鉄筋が125mm間隔で配置される程度の鉄筋量に相当する。写真-1に供試体の配筋状況を示す。

表-2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能 AE 減水剤
15	8±2.5	4.5±1.5	40	44.6	157	393	780	996	3.14

設計基準強度：40N/mm<sup>2</sup>、セメント：早強セメント

表-3 コンクリートの材料試験値

材齢	σ3	σ7	σ14	σ28	σ91
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	33.7	40.6	44.1	48.7	56.7
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	23.51	24.65	24.72	27.62

※σ3のヤング係数測定は実施していない

表-2に使用したコンクリートの配合を示す。本実験では、実橋で使用されるコンクリートを想定し、設計基準強度は40N/mm<sup>2</sup>、セメントの種類は早強セメントとした。

供試体は、コンクリート打設後3日間を湿潤養生とし、3日目に脱型、5日目にプレストレスを導入し持続荷重を作用させた。供試体の乾燥条件を実橋と同程度に設定するため、脱型直後に供試体側面にアルミテープを貼付け、側面からの乾燥を防いだ。なお、供試体の体積表面積比 (V/S) は150mmに設定した。供試体は、写真-2に示すように試験室内に設置した。持続荷重はPC鋼棒 (φ32)



写真-2 実験状況

の緊張力によって与え、設定した緊張力に対する誤差が±3%以下となるよう定期的に緊張力の調整を行った。計測項目は、外気温、湿度、PC鋼棒の緊張力、コンクリートおよび鉄筋ひずみ、供試体の変位量とし、緊張力載荷直前から計測を開始した。本稿では、持続荷重載荷後約6ヵ月間 (H23年11月～H24年4月) の計測結果について報告する。なお、計測期間における平均温度は13.5℃、平均湿度は50%であった。表-3にコンクリートの材料試験結果を示す。

### 3. 実験結果

#### 3.1 鉄筋配置がプレストレスに与える影響

コンクリート断面に配置されている鉄筋量が多い場合、プレストレス導入時に鉄筋がコンクリートの変形を拘束することにより、プレストレスにロスが生じることが想定される。図-2に導入時に計測

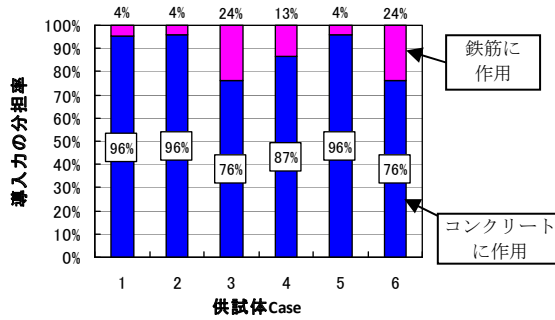


図-2 導入力の分担率

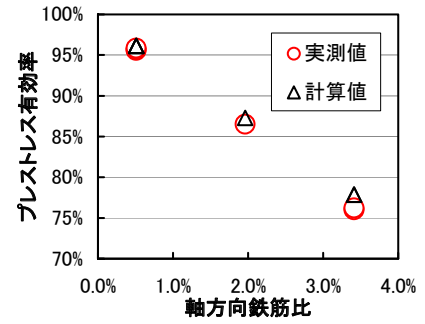


図-3 プレストレスの有効率

された鉄筋およびコンクリートのひずみ値から算出した導入力の分担率を示す。鉄筋に作用する導入力をプレストレスのロスとすると、軸方向鉄筋量の少ないCase1, 2, 5は4%程度のロスが生じる結果となった。一方、軸方向鉄筋量の多いCase3, 6は24%のロスが生じ、Case4は両者の中間である13%のロスが生じる結果となった。また、横方向鉄筋比の違いによる影響に着目すると、Case1とCase5、Case3とCase6がそれぞれ同程度のロスが生じていることから、本実験では横方向鉄筋はプレストレスに影響を与えない結果となった。コンクリートが分担する導入力の比率をプレストレスの有効率として、軸方向鉄筋比との関係を整理したものが図-3であり、軸方向鉄筋比とプレストレスの有効率は線形関係を示すことが分かる。なお、図中△は鉄筋換算断面を用いた計算値であり、実測値とほぼ一致した傾向を示している。

### 3.2 鉄筋配置などが持続荷重に与える影響

図-4に実験より得られたクリープ係数を示す。クリープひずみは、各供試体で計測されたひずみ値(クリープひずみ+乾燥収縮ひずみ)から無載荷供試体(Case7)で計測された乾燥収縮ひずみを除去して算出した。なお、一部の供試体において計測器の不調のため、載荷日から20日までの計測値が欠損となった。また、図中に参考として道示、コンクリート標準示方書(以下、コン示)、欧州の規準であるEN1992および米国の高速道路の規準であるAASHTOの予測式を用いて算出したクリープ係数を併記した。

図-4 (a)は、作用する持続荷重の大きさの違いを比較したものである。持続荷重の大きさが小さい

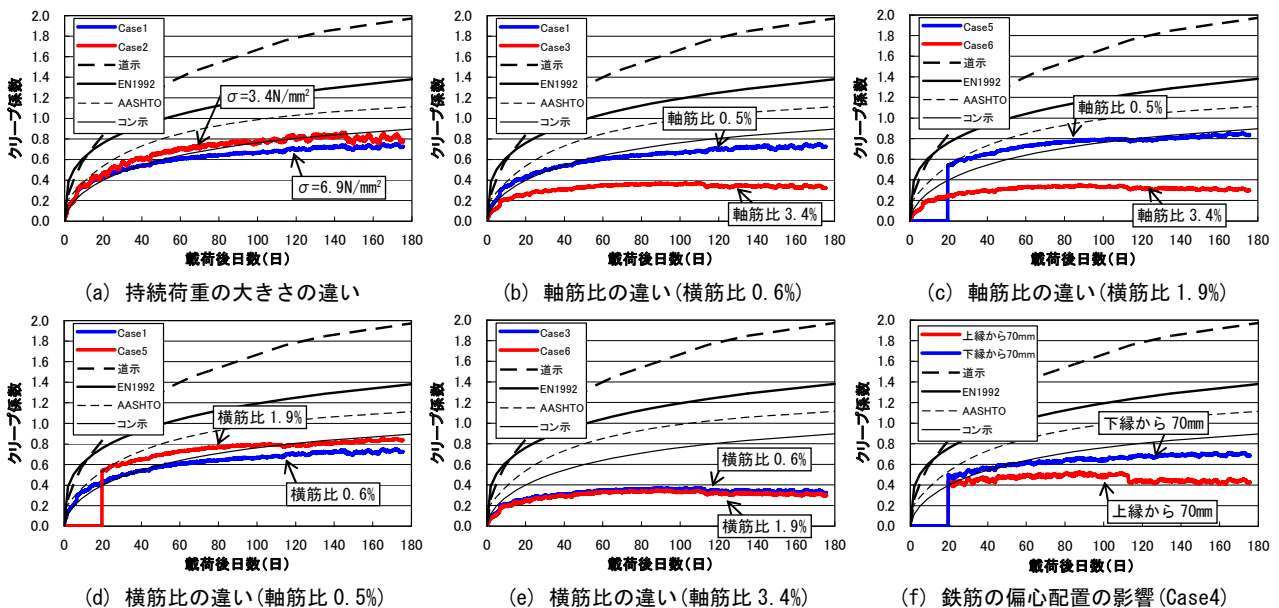


図-4 クリープ係数の比較



Case2がCase1と比較して若干大きな値を示しているが有意な差は生じておらず、持続荷重の大きさの違いはクリープ係数に大きな影響を与えない結果となった。図-4 (b), (c)は軸方向鉄筋比の違いを比較したものである。横方向鉄筋比の大きさにかかわらず、軸方向鉄筋比3.4%の供試体が軸方向鉄筋比0.5%の供試体と比較してクリープ係数が1/2程度となっており、軸方向鉄筋比の大きさの影響が顕著となっている。図-4 (d), (e)は横方向鉄筋比の違いを比較したものである。横方向鉄筋比が3倍程度異なる場合でもクリープ係数に大きな違いが生じていないことから、横方向鉄筋がクリープ変形を拘束する影響は小さいものと推察される。図-4 (f)は、軸方向鉄筋を偏心配置させたCase4において、設置高さが異なる埋込型ひずみ計の計測値から算出したクリープ係数である。軸方向鉄筋が多い上側のクリープ係数が、軸方向鉄筋の少ない下側の値より小さく評価されている。この結果から、実構造物において断面の上下で鉄筋量に差が大きい場合には、断面内の上下で異なるクリープ変形が生じることで、設計計算とは異なる応力状態となる可能性が推察される。

本実験で計測されたクリープ係数には軸方向鉄筋の影響が含まれている。計測されたクリープ係数を各基準類の予測値と比較を行うための参考値として、図-4の結果から無筋コンクリートのクリープ係数の推定を行った。ここで、クリープ係数の推定は、軸方向鉄筋比の大きさ ( $\rho_s=0.5\%$ ,  $3.4\%$ )と実測されたクリープ係数が線形関係にあると仮定して  $\rho_s=0.0\%$ 時の値を算出した。図-5にクリープ係数の推定値を示す。推定した無筋コンクリートのクリープ係数は、Case1のクリープ係数を若干上回る程度となった。この結果から、軸方向鉄筋比が0.5%程度であれば、鉄筋がクリープ挙動に与える影響は僅かであると推定される。なお、無筋供試体のクリープ係数と各基準類の予測値を比較すると、コン示の予測値に近い性状を示す結果となった。

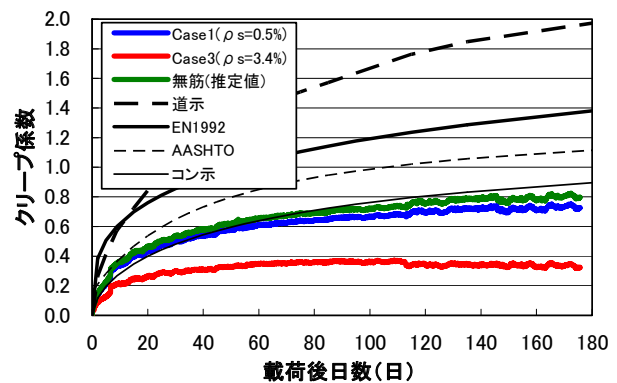


図-5 クリープ係数の推定

#### 4. まとめ

- (1)プレストレス導入時のプレストレスのロスは鉄筋比に比例して生じ、鉄筋を考慮した換算断面を用いた計算値とほぼ一致する。
- (2)本実験では、鉄筋がコンクリートのクリープに与える影響は軸方向鉄筋量の影響が大きく、持続荷重の大きさ、横方向鉄筋量の影響は顕著ではない結果となった。
- (3)鉄筋の偏心配置によって断面内で異なるクリープ変形が生じることが確認された。
- (4)軸方向鉄筋比が0.5%程度であれば、鉄筋がクリープ挙動に与える影響は僅かであると推定される。

なお、本稿は約6ヵ月間の計測からの評価であり、今後も計測を継続する計画としている。またコン示の予測式が実験値と比較的に近い値を与えるのに対し、EN1992による予測式と道路橋に特定した設計基準である道示およびAASHTOの予測式は明確に大きい値を与えていることがわかる。各予測式がどのような観点で、あるいはどのような設計対象や手法により性能などの照査に適用されるべきものとして定められているのかなどが必ずしも同じではないと考えられるため単純な比較は困難である。各式の特性や思想、精度に関わる要因などについて引き続き精査を行い、目的に応じて合理的な予測ができるための方法を検討していく。

なお、本研究は国土技術政策総合研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会の共同研究として実施されたものである。