

PC橋の持続荷重に及ぼす鉄筋拘束力の影響に関する研究

オリエンタル白石 (株)	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

1. はじめに

国が管理する道路橋では5年毎の定期点検において、PC橋に耐荷性や耐久性への悪影響が懸念されるひび割れが発見される例がある。また供用開始後2年程度で行う初回点検でも補修などの対策が必要と判断されるひび割れの報告例がある。さらに、有ヒンジラーメン橋では支間中央部のヒンジ部で設計の想定を上回る垂れ下がりが生じる橋が確認されている。これらの原因には不明な点もあり断定はできないものの、中には持続荷重の影響が関与していると考えられる不具合事例も報告されている。

このような背景から、著者らはPC道路橋の耐久性の信頼性向上を図る観点から、PC道路橋のひび割れや変形の発生と現在までのPC道路橋の設計技術や設計基準との関係性について調査をすすめてきた。

本稿では、持続荷重(クリープ)とひび割れの関係に着目し、特に設計における持続荷重の考慮方法の違いがひび割れ発生のリスクや竣工後に得られる部材性能に及ぼす影響をより高い精度で推定可能かどうかを明らかにするために行った実験や解析による検討結果について示す。

PC橋の設計において道路橋示方書(以下、道示)では、鉄筋の影響は一般に小さいとして考慮されない。一方、実現象として鉄筋比が多い場合にはクリープ・乾燥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、ひび割れなどの不具合の原因となっている可能性も考えられる。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、主として鉄筋配置に着目した供試体を用いて長期的な挙動の計測を行っている。また、実橋モデルを対象とした解析を行い鉄筋拘束力による影響の程度を検討した。

2. 供試体による載荷実験

2.1 供試体および実験概要

筆者らは、平成23年度より鉄筋配置を変えた梁供試体による持続荷重に着目した長期挙動の計測を開始し¹⁾、平成24年度には供試体の追加を行った。図-1および表-1に平成23年度の実験供試体(H23供試体)の概要を、図-2および表-2に平成24年度の実験供試体(H24供試体)の概要を示す。供試体は、軸方向鉄筋量および横方向鉄筋量、鉄筋の偏心配置、持続荷重の大きさ、PC鋼材の偏心配置をパラメータとして変化させ、PC鋼棒により持続荷重を作用させた状態での挙動を継続的に計測している。なお、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設定した。また、軸方向鉄筋比3.4%は、設計基準である道示に準拠して設計される道路橋では、耐震設計によって箱桁の下床版(t=250mm)にD25が125mm間隔で配置される程度の鉄筋量が確保されることを踏まえて設定したものである。

表-3にコンクリートの配合を示す。使用したコンクリートは、実橋に用いられるコンクリートを想定し、設計基準強度を40N/mm²、セメントの種類を早強セメントとした。なお、H23供試体とH24供試体は製作の都合上、異なるプラントのコンクリートを使用したため骨材の種類が異なっているものの、H24供試体の配合を可能な限りH23供試体の配合に近くなるよう調整を行った。また、コンクリートの違いによる影響の有無を確認するため、H23供試体とH24供試体で共通の供試体を製作し比較することとした。コンクリート打設後、材齢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。脱型直後に供試体側面にアルミテープを貼付け、側面からのコンクリートの乾燥を防ぐことで、

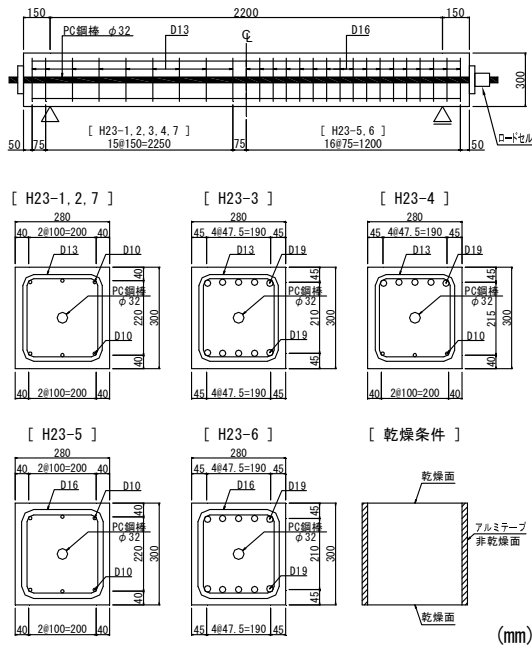


図-1 実験供試体 (H23年度)

表-1 実験ケース (H23年度)

CASE	着目	緊張力 (応力度)	鉄筋配置	鉄筋比 (ρ_s)
H23-1	基本ケース	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
H23-2	持続荷重の大きさの影響	285kN (3.4N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
H23-3	軸方向鉄筋の影響	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D19×5本 軸筋下段:D19×5本 横筋 : D13ctc150	3.4% 3.4% 0.6%
H23-4	軸方向鉄筋偏心配置の影響	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D19×5本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	3.4% 0.5% 0.6%
H23-5	横方向鉄筋の影響	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D16ctc75	0.5% 0.5% 1.9%
H23-6	軸方向鉄筋・横方向鉄筋の影響	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D19×5本 軸筋下段:D19×5本 横筋 : D16ctc75	3.4% 3.4% 1.9%
H23-7	基本ケース (プレストレス無し)	0kN (0N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%

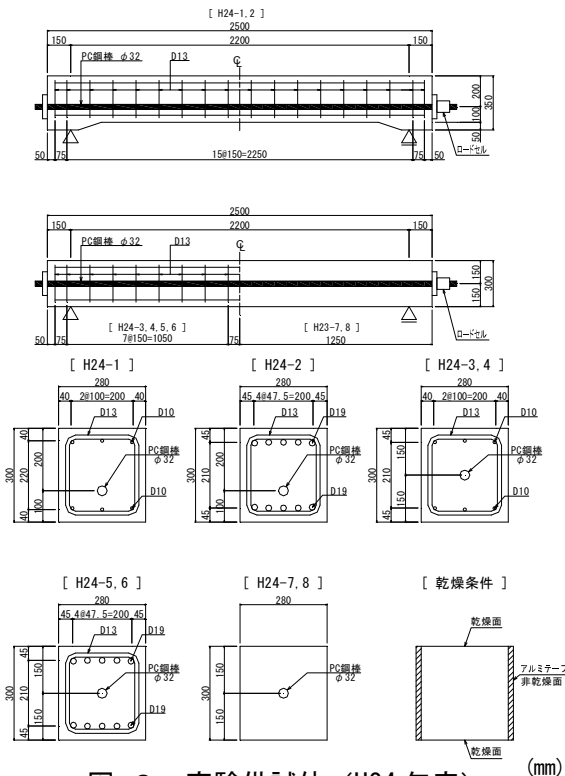


図-2 実験供試体 (H24年度)

表-2 実験ケース (H24年度)

CASE	着目	緊張力 (応力度)	鉄筋配置	鉄筋比 (ρ_s)
H24-1	PC 鋼材偏心 軸筋基本ケース	569kN (上縁:0.0N/mm ² 下縁:13.3N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
H24-2	PC 鋼材偏心 軸筋大	569kN (上縁:0.0N/mm ² 下縁:13.3N/mm ²)	軸筋上段:D19×5本 軸筋下段:D19×5本 横筋 : D13ctc150	3.4% 3.4% 0.6%
H24-3	基本ケース	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
H24-4	基本ケース (プレ無し)	0kN (0N/mm ²)	軸筋上段:D10×3本 軸筋下段:D10×3本 横筋 : D13ctc150	0.5% 0.5% 0.6%
H24-5	軸筋大	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段:D19×5本 軸筋下段:D19×5本 横筋 : D13ctc150	3.4% 3.4% 0.6%
H24-6	軸筋大 (プレ無し)	0kN (0N/mm ²)	軸筋上段:D19×5本 軸筋下段:D19×5本 横筋 : D13ctc150	3.4% 3.4% 0.6%
H24-7	無筋	569kN (6.9N/mm ²)	軸筋上段: - 軸筋下段: - 横筋 : -	0.0% 0.0% 0.0%
H24-8	無筋 (プレ無し)	0kN (0N/mm ²)	軸筋上段: - 軸筋下段: - 横筋 : -	0.0% 0.0% 0.0%

表-3 コンクリートの配合

供試体	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 ³)						
						水	セメ ント	細骨材	粗骨材	高性能 AE 減水剤	減水剤	AE 剤
H23 年度	15	8.0	4.5	40	44.6	157	393	780	996	3.14	-	-
H24 年度	15	8.0	4.5	43	50.0	157	365	890	921	-	3.10	3.65

体積表面積比(V/S)を一般的なPC橋と同程度の150mmとした。持続荷重はPC鋼棒(φ32)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%程度となるよう定期的に緊張力の調整を行った。

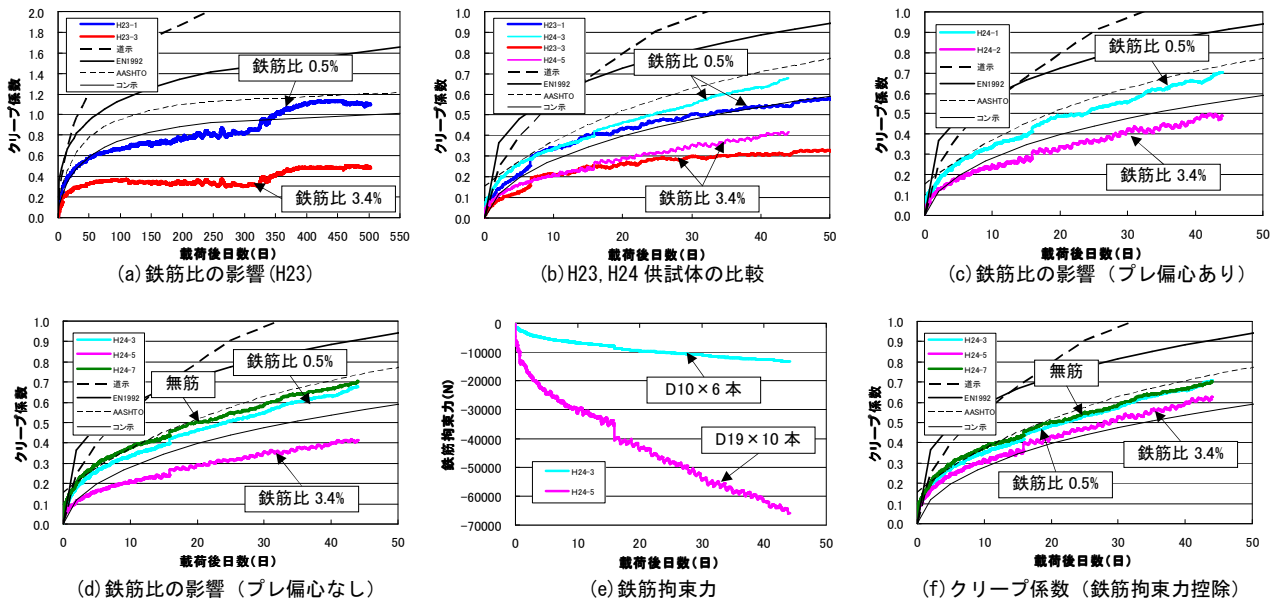


図-3 クリープ係数の比較

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。

2.2 クリープ係数の評価

図-3に埋込型ひずみ計の計測値より得られたクリープ係数および各基準類の評価手法によって算出したクリープ係数の推定値を示す。クリープひずみの値は、持続荷重を作用させた供試体で得られたひずみ値(クリープひずみ+乾燥収縮ひずみ)から、同一配筋の無載荷供試体で得られた乾燥収縮ひずみを差し引くことで評価した。図-3(a)は、H23供試体のクリープ係数を示しており、軸方向鉄筋比が大きな供試体のクリープ係数が小さな値となっている。なお、載荷後320日付近(9月中旬)を境にクリープ係数が急増している。図-3(b)は、H23供試体とH24供試体の同一鉄筋配置の供試体のクリープ係数を比較して示している。H24供試体の方がH23供試体と比較してクリープ係数が若干大きな値となっているが、本稿執筆時点では明確な差は生じていない。図-3(c)は、プレストレスを偏心させた供試体のクリープ係数であり、鉄筋の拘束力の影響により軸方向鉄筋比が大きな供試体のクリープ係数が小さな値となっている。図-3(d)は、軸方向鉄筋比が3.4%、0.5%および無筋供試体のクリープ係数を比較しており、軸方向鉄筋比が0.5%の場合には無筋供試体とほぼ同等のクリープ係数となっている。図-3(e)は、軸方向鉄筋のひずみから算出した鉄筋拘束力(クリープ変形によって鉄筋に作用する軸力の合計値)の推移を示しており、クリープの進行とともに鉄筋拘束力が増加していく傾向となっている。図-3(f)は、図-3(d)のクリープ係数から図-3(e)の鉄筋拘束力の影響を控除して評価したクリープ係数を示している。鉄筋拘束力の影響を控除することによって、鉄筋比の違いによらず、無筋供試体とほぼ同程度のクリープ係数が評価されている。

3. 実橋モデルによる鉄筋拘束力の影響評価

3.1 解析概要

断面に配置されている鉄筋が実橋の応力状態に与える影響を把握することを目的として、道示に従って設計された3径間連続ラーメン橋のモデル橋(図-4)を対象とした検討を行った。架設方法は張出し架設を想定し、施工ステップを考慮した段階解析によってコンクリートの応力度を算出した。解析ケースは、①：鉄筋を考慮しないケース、②：耐震設計で決定される程度の鉄筋を配置し、鉄筋による拘束力を考慮したケース、③：ケース②に対してクリープ係数を約1.5倍(標準の相対湿度70%に対して40%に設定)としたケースとした。設定した鉄筋配置は、耐震設計で決定される鉄筋量を想定して

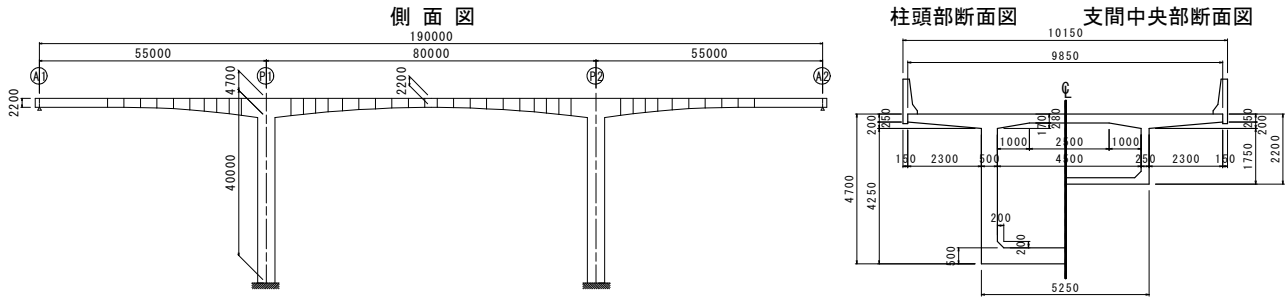


図-4 検討対象橋梁

いるため部位ごとに鉄筋量が異なるが、鉄筋比は最大で3.7% (側径間の下床版にD25を配置)、最小で0.6% (柱頭部付近の下床版) となり、実験供試体で設定した鉄筋比の範囲とほぼ同等である。

3.2 実橋モデルにおける検討結果

図-5に死荷重時および設計荷重+温度時の断面下縁の応力度を示す。死荷重時の応力度に着目すると、ケース②およびケース③で引張応力度が発生した。設計荷重+温度時に着目すると、ケース①では許容引張応力度 2.0N/mm^2 に対して余裕がある状態であるが、ケース②の側径間では -2.14N/mm^2 と許容値を

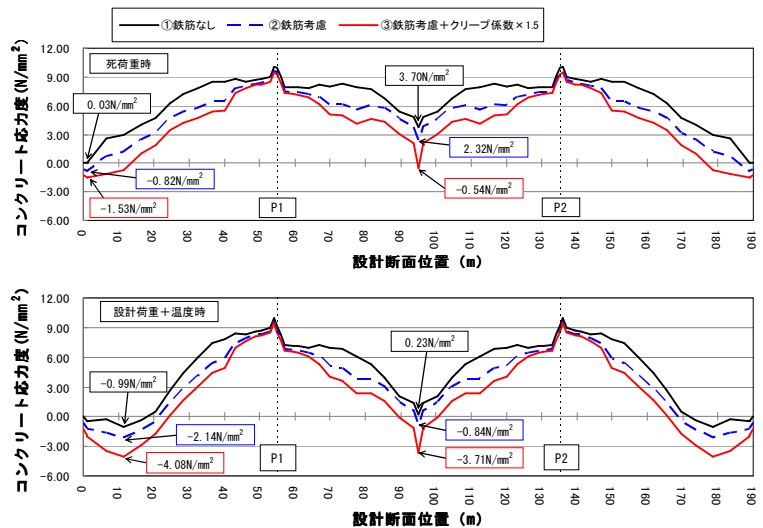


図-5 断面下縁応力度

わずかに超過する結果となった。また、ケース③では支間中央で -3.71N/mm^2 、側径間で -4.08N/mm^2 と許容値を大きく超過する引張応力度が発生する結果となった。このように、通常的设计計算において考慮していない鉄筋拘束力の影響によって、実構造物では設計で想定していない応力状態となる可能性があることが確認された。また、鉄筋拘束力に加えてクリープ係数の変動によっても応力度が大きく低下することが確認された。耐震設計などによって断面内に多くの鉄筋が配置される場合には、鉄筋拘束力の影響を考慮した設計が必要であると考えられる。

4. まとめ

- (1) 軸方向鉄筋配置の違いにより、クリープ変形に明確に差異が生じることが実験により確かめられた。この原因は、鉄筋がクリープ変形を拘束することによるものと考えられる。
- (2) 実橋モデルを対象とした解析結果から、断面に配置された鉄筋による拘束力の影響でコンクリート応力度が低下する場合があります、ひび割れなどの発生原因の一つになりうるということが示唆された。
- (3) PC桁では、鉄筋比に応じて鉄筋拘束力の影響を適切に考慮した設計を行うことで、実際の応力状態やクリープ変形の影響をより正確に評価でき、設計の合理化やひび割れなどの不具合の発生のリスクの減少につなげられるものと考えられる。

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。

参考文献

- 1) 吉川, 玉越, 北村, 横井: 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, 第21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, pp393-369, 2012. 10.