鉄筋配置等がPC橋のクリープ特性に与える影響に関する研究

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

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，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．PC 橋の耐久性，信頼性向上の観点から，本研究では PC 橋における持続荷重の影響に着目し，ひび割れ発生の原因と現状設計技術と関係性について調査することとした．

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・乾燥収縮に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** に示す通りであり，軸方向鉄筋量及び横方向鉄筋量は，実橋に配置される最少・最大量程度を想定して設定した．**表-2** に使用したコンクリートの配合を示す．供試体は，打設後 3 日目に脱型，5 日目に持続荷重を作用させた．なお，供試体の乾燥条件を実橋と同等にするため(V/S=150㎜)，脱型直後に側面にアルミテープを貼付け乾燥を防いだ．持続荷重は PC 鋼棒の緊張力によって与え，設定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，コンクリート及び鉄筋ひずみ，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 5 ヵ月間(H23 年 11 月～H24 年 3 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．

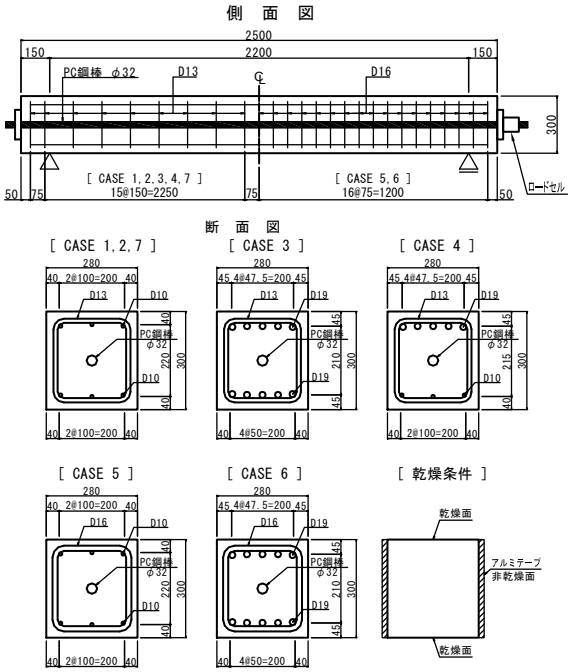


図-1　実験供試体

表-1　実験ケース

CASE	着目	緊張力 (応力度)	鉄筋配置	鉄筋比 (ρ s)
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%
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%
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%
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%
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%
6	軸方向鉄筋及び横方向鉄筋の影響	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%
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%

キーワード　PC 橋，持続荷重，クリープ，鉄筋比，鉄筋量
連絡先　〒305-0804　茨城県つくば市旭 1 番地　国土交通省　国土技術政策総合研究所　ＴＥＬ029-864-4919

3．実験結果

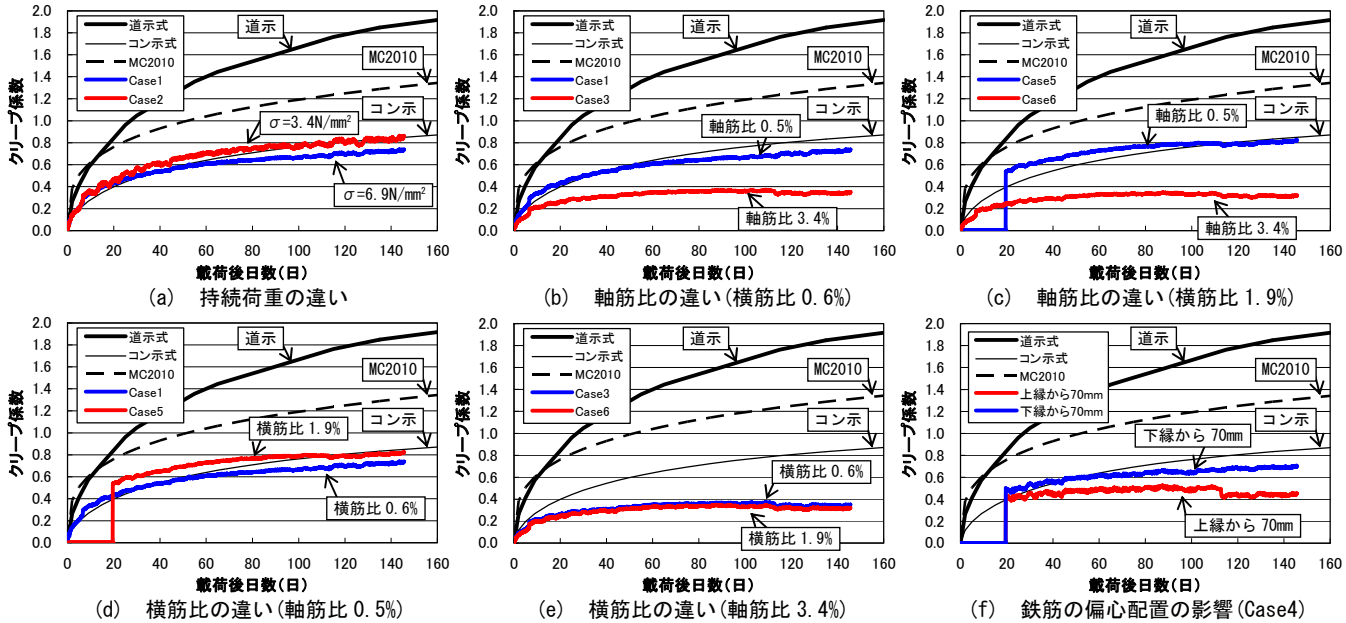
表-2　コンクリートの配合

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/m³)				
					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

呼び強度：40N/mm², セメント：早強セメント

図-2 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，図中には道示，コンクリート標準示方書(以下，標準示方書)及び fib Model Code 2010 の予測式を用いて算出したクリープ係数を併記した．

図-2(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り，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-2(b)，(c)は軸筋比の違いを比較したものであり，横筋比の大きさに関わらず，軸筋比 3.4%の供試体が軸筋比 0.5%の供試体と比較してクリープ係数が 1/2 程度となった．軸筋比 0.5%と 3.4%の鉄筋を換算した断面積の比率は 2 割程度であるが，クリープ係数の差は換算断面積の比率を上回る結果となった．図-2(d)，(e)は横筋比の違いを比較したものであり，横筋比が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-2(f)は，軸方向鉄筋を偏心配置させた Case4 において，設置高さが異なるひずみゲージの計測値から算出したクリープ係数である．軸筋比が大きい上側の値が，軸筋比が小さ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，設計の想定とは異なる応力状態となる場合もあり得ることが示唆された．



(a)　持続荷重の違い　(b)　軸筋比の違い(横筋比 0.6%)　(c)　軸筋比の違い(横筋比 1.9%)

(d)　横筋比の違い(軸筋比 0.5%)　(e)　横筋比の違い(軸筋比 3.4%)　(f)　鉄筋の偏心配置の影響(Case4)

図-2　クリープ係数の比較

4．まとめ

(1)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．

(2)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．

なお，本稿は 5 ヵ月間の計測からの評価であるが，今後も計測を継続する計画である．また標準示方書の予測式が実験値と比較的近い値を与えるのに対し，fib MC2010 による予測式と道路橋に特定した設計基準である道示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等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等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．