

(23) 圧縮鋼材を有するPC桁のクリープ・乾燥収縮挙動について

川田建設(株) 正会員 野田行衛
 川田建設(株) 正会員 大澤浩二
 川田建設(株) 正会員 ○新井達夫
 川田建設(株) 正会員 渡部寛文

1. はじめに

橋梁の桁高を低くするために、圧縮域となる上フランジに補強鋼材(以下、圧縮鋼材)を配置したプレストレストコンクリート(PC)桁の静的・疲労・せん断試験結果についてはすでに報告してきた。^{1)・2)・3)} 本報告では、補強鋼材の有るものと無いものの2タイプの試験体を製作し、それぞれのクリープ・乾燥収縮に着目し、約9ヶ月の長期計測を実施した結果と、圧縮鋼材を考慮したクリープ解析の計算方法とその結果について述べる。

通常のPC桁と異なり、本形式の桁は圧縮域の応力改善を目的として厚鋼板を配置しているため、その長期挙動を正確に把握するためには合成構造物としての応力解析が必要となる。このため、クリープ・乾燥収縮の進行により発生する配分断面力をFritzの解法により求め、実測値と比較した。

本試験の結果、①補強鋼材によるコンクリートの拘束効果など、計算値と実測値は概ね一致する、②クリープ・乾燥収縮が進行してもひずみの平面保持の仮定は成り立つこと等が明らかになった。

2. 試験概要

(1) 試験体

実験に用いた試験体は桁長6.7m(支間6.4m)、桁高60cmのもので、その断面を図-1に示す。比較用として圧縮鋼材のない通常のPC桁試験体も同一寸法にて1体製作した。また、乾燥収縮用の試験体は圧縮鋼材の有るもの、無いもの各1体を同じ断面条件(長さ1.5m、PC鋼材配置、無緊張)で別途製作し、乾燥収縮の実測値として用いた。合計4体の試験体でひずみゲージによる長期計測を行った。

圧縮鋼材は、コンクリートとの付着を高めるため鉛直部にφ50mmの丸孔を100mmピッチであけたものを用いた。このため、この鉛直部は設計計算上考慮していない。また、本試験における圧縮鋼材量は、全断面の2.3%である。

プレストレスはφ32の鋼棒を1本用い、コンクリート材令t=5日の時点で行った。導入プレストレス力は約50tf(0.78σ_{py})とし、支圧板とナットで定着した。緊張後直ちにグラウトを行った。

表-1に、使用材料の諸元を示す。またコンクリートの配合を表-2に、材料試験結果を表-3に示す。クリープ・乾燥収縮の計算は、材料試験の結果を用いて行った。

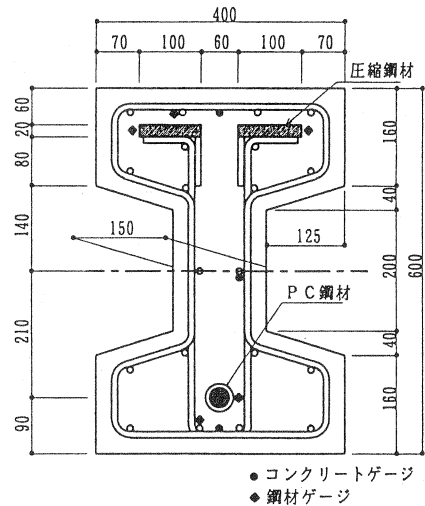


図-1 試験桁断面図

表-1 使用材料諸元

材料	規格・記号	備考
コンクリート	500-12-20H	
圧縮鋼材	SS400	溝形鋼を使用
鉄筋	SD295A	スタップ: D13, 他: D10
PC鋼棒	SBPR 785/930	φ32

表-2 コンクリート示方配合

目標 スパン° (cm)	目標 空気量 (%)	セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kgf/m³)				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
12	4.5	34.7	42.0	168	484	681	977	2.42

(2) 試験方法

各試験体ともに打設翌日に脱枠し、底板の拘束が乾燥収縮の妨げとならないように一時的に多点支持とした。その後、桁長6.7mの試験体については、材令5日でプレストレス導入、グラウトを行い、再度、支間6.4mの2点支持に置き換えた。乾燥収縮試験体は、グラウトのみを行い、1.2mの2点支持のまま放置した。

試験体の設置場所は、日照の影響を受けない室内とし、温湿度計を設置してクリープ係数・乾燥収縮度の計算時に考慮することとした。

ひずみゲージによる計測は、打設直後から継続して行った。

表-3 材料試験結果

	圧縮強度 (kgf/cm²)	引張強度 (kgf/cm²)	弾性係数 (kgf/cm²)	備考
コンクリート	405	****	2.98*10 ⁵	t=5日
	567	41.7	3.54*10 ⁵	t=35日
	652	****	3.58*10 ⁵	t=180日
	671	48.8	3.87*10 ⁵	t=360日
	降伏点 (kgf/mm²)	引張強さ (kgf/mm²)	弾性係数 (kgf/cm²)	備考
圧縮鋼材	35.3	47.8	2.07*10 ⁶	SS400
鉄筋	39.5	54.4	2.08*10 ⁶	SD295
P C鋼棒	94.0	116.7	2.04*10 ⁶	A種1号

3. 計算方法

合成構造におけるクリープ・乾燥収縮の計算は、Fritzの解析法を用いた。図-2は解析法のフロー図を示す。

Fritzの基本式は、式(1)で表され、 σ_c はコンクリート応力、 ϵ_s は乾燥収縮ひずみ、 ϕ はクリープ係数、 E_{c0} はコンクリート弾性係数を表す。 α_0 は個々の部材の剛性の比率である。式(1)の解から、一定荷重作用時および乾燥収縮状態の任意時間におけるコンクリート応力とひずみの関係が得られる。その場合コンクリートに対して仮想ヤング係数 $E_{c\phi}$ を導入し、クリープの進行に伴いコンクリートの剛性がみかけ上変化するものとして計算する。

$$\frac{d\sigma_c}{d\phi} + \alpha_0 \sigma_c + \alpha_0 \frac{\epsilon_s}{\phi} E_{c0} = 0 \quad (1)$$

ここで、

$$\alpha_0 = \frac{K_s(S_{c0} + S_s)}{K_{v0} \cdot S_{v0}}$$

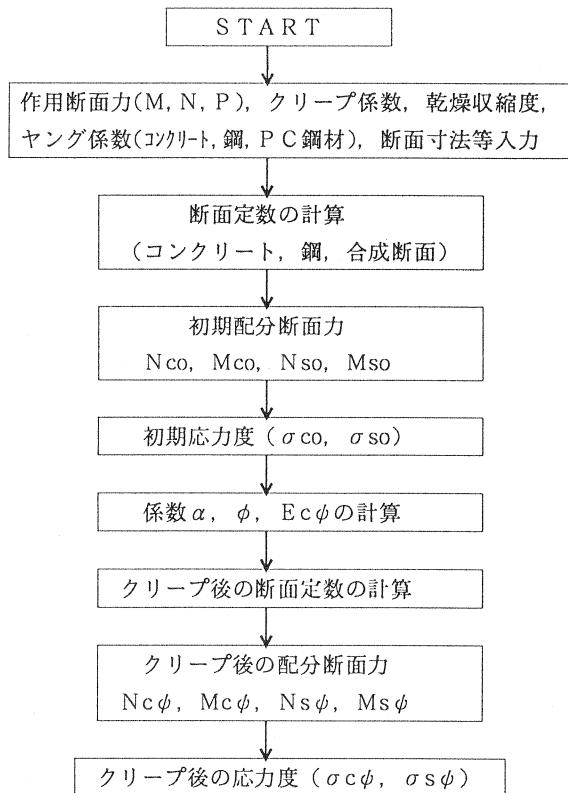


図-2 計算フロー

$K_i = E_i A_i$, $S_i = E_i I_i$ でそれぞれコンクリート鋼材, 合成断面の伸び剛性と曲げ剛性を表す. また, クリープおよび乾燥収縮に対する仮想ヤング係数は式(2), 式(3)で与えられる.

$$E_{c\phi} = \frac{E_{c0}}{1 + \phi \cdot \phi} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{e^{\alpha_0 \phi} - 1}{\alpha_0 \phi}$$

$$E_{c\phi}' = \frac{E_{c0}}{1 + \phi' \cdot \phi} \quad (3)$$

$$\phi' = \frac{e^{\alpha_0 \phi} - 1}{\alpha_0 \phi} - \frac{1}{\alpha_0 \phi}$$

なお, 各コンクリート材令におけるクリープ係数 ϕ と乾燥収縮度 ϵ_s は, コンクリート標準示方書(平成8年版)における算定式を用い, コンクリートの弾性係数 E_c , 湿度は実測値を用いた.

4. 試験結果

圧縮鋼材のある試験桁(タイプ1)と圧縮鋼材のない通常のPC桁(タイプ2)の試験結果と計算結果を比較したグラフを図-3, 4に示す.

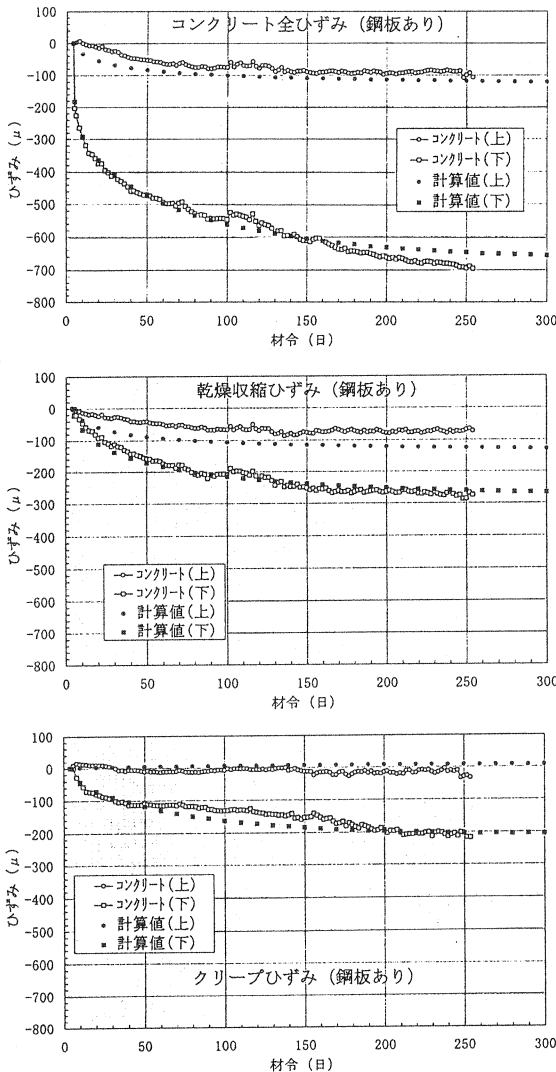


図-3 タイプ1(圧縮鋼材あり)

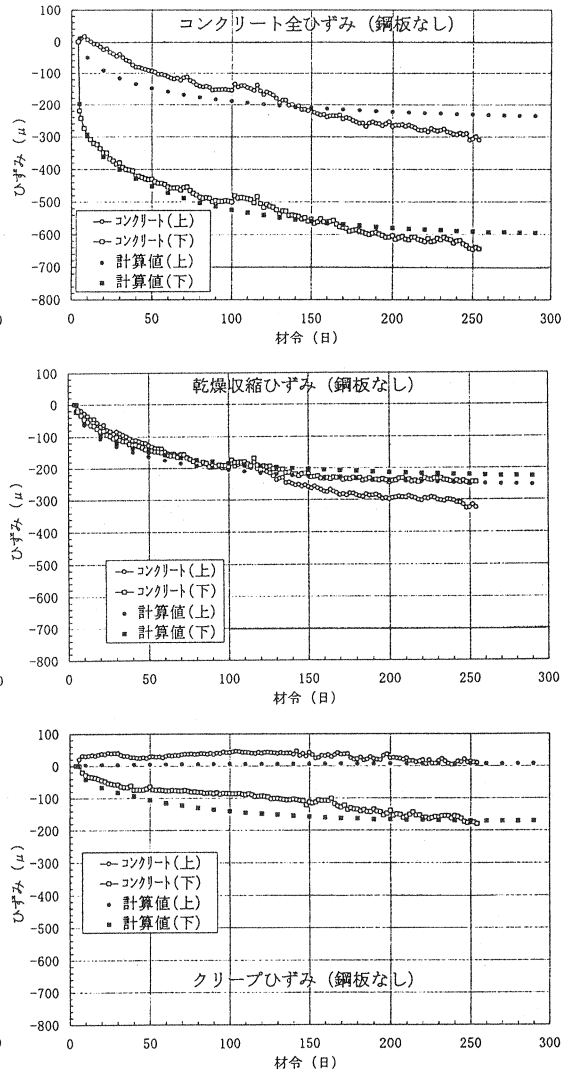


図-4 タイプ2(圧縮鋼材なし)

グラフの実測値は、支間中央断面上・下フランジに設置した埋込型コンクリートひずみ計のデータであり、プレストレス導入前日(材令4日)を初期値としている。上段が弾性ひずみを含めた全ひずみデータを、中段のグラフは乾燥収縮試験体の発生ひずみ、そして下段グラフは全ひずみから弾性ひずみと乾燥収縮ひずみを差し引いたクリープひずみを表す。

自重とプレストレスにより発生する弾性ひずみはタイプ1、タイプ2ともほぼ等しく初期応力状態は近似している。このため、クリープひずみは、両タイプとも同様の挙動を示している。

これに対し、乾燥収縮ひずみは圧縮鋼材の影響が顕著に現れ、タイプ1と2では全く異なる性状を示すことがわかる。すなわち、圧縮鋼材によって上フランジコンクリートの乾燥収縮が拘束され下フランジに比べ半分以下の発生量となる。収縮が拘束される時コンクリートには引張応力が発生するが、実橋では、桁上縁側の圧縮応力が改善される方向に働くことになる。

図-5には、両タイプの経時的な断面内ひずみ分布を示した。これは、全ひずみの実測結果を示したものであるが、タイプ1が鋼材の拘束により断面内のひずみ分布が回転をおこなっているのに対し、タイプ2では上下ともほぼ均等に圧縮増加の傾向を示している。また、両タイプともウェブ位置(中)のひずみが若干大きく計測されたものの、コンクリート上・中・下および圧縮鋼材のひずみ分布は直線関係にあり、平面保持の関係が成り立っていることが確認された。

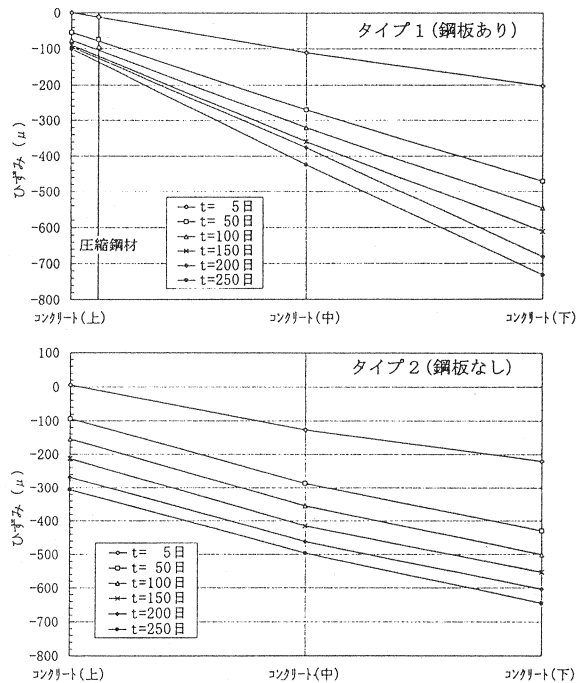


図-5 タイプ1、2の断面内ひずみ分布

5. まとめ

以上の試験結果から次のことが明らかとなった。

- 1) 鋼材のあるPC桁の乾燥収縮ひずみは、上側鋼材の拘束の影響を大きく受ける。
- 2) 今回の場合、鋼材付近の初期応力が小さく、鋼材の存在によるクリープひずみの違いは余り明確ではなかった。
- 3) 圧縮鋼材を有するPC桁断面は、長期的に平面を保持しており、Fritzらのクリープ理論の仮定と一致する。
- 4) 圧縮鋼材を有する桁の長期挙動は、概ねFritzの理論で把握することができ、設計計算にも適用が可能と考えられる。

参考文献

- 1) 野田・新井・児島：桁高の低いPC桁の開発，プレストレストコンクリート協会第3回シンポジウム論文集，1992. 11
- 2) 野田・新井・北野：圧縮鋼材を有するPC桁の疲労試験，プレストレストコンクリート協会第4回シンポジウム論文集，1994. 10
- 3) 大澤・渡部・北野：圧縮鋼材を有するPC桁のせん断試験，プレストレストコンクリート協会第5回シンポジウム論文集，1995. 10
- 4) 野田・渡部：合成構造物のクリープについて，プレストレストコンクリート協会第2回シンポジウム論文集，1991. 11