

(91) 圧縮鋼材を有するPC桁の基礎クリープ試験

川田建設(株)開発部 正会員 ○大澤 浩二  
 同 上 正会員 小林 泰一郎  
 同 上 佐野 ユミ子  
 同 上 正会員 新井 達夫

1. はじめに

本論文は、道路橋において桁高を低く抑えることを目的として、主桁の圧縮域に補強鋼板を配置したプレストレストコンクリート桁(ハイブックス・ビーム)に関する実験的研究の報告である。同桁の特徴は、①補強鋼板による断面剛性の増加と、②クリープ・乾燥収縮による断面内の応力転移(補強鋼板の拘束効果)を活用し、主桁圧縮縁の応力度を改善することにある。前者については、過去に静的試験、動的試験<sup>1)~3)</sup>を行い、曲げ・せん断挙動に対する妥当性を確認している。後者については、同様に屋内環境での長期計測<sup>4)</sup>を行い、主に乾燥収縮に対する拘束効果の発現を確認している。

今回は、クリープを含めた断面内の応力転移の発生状況を把握するために、補強鋼板の有無、PC構造・RC構造の違いを考慮したはり供試体(150×300×2,200mm)を用いたクリープ試験を行った。なお、試験は恒温恒湿室を利用し、気温20℃、湿度70%の一定環境にて行った。

以下、材齢200日までの計測結果と比較のために行った解析結果を基に、クリープ・乾燥収縮による断面内の応力転移(補強鋼板の拘束効果)の挙動について報告する。

2. 試験概要

(1) 供試体

供試体の種類および形状寸法を表-1、図-1に示す。クリープ供試体として、PC構造2種類(PC-HC, PC-NC)、RC構造2種類(RC-HC, RC-NC)、乾燥収縮供試体として、RC構造2種類(RC-HS, RC-NS)の合計6種類について、それぞれ1体ずつ製作した。

また、無筋状態の乾燥収縮度を求めるために、曲げ試験モールドにて無筋乾燥収縮供試体(150×150×530mm)を1体製作した。

配筋条件は共通とし、軸方向鉄筋(D13mm)を4本(ps=1.1%)、スターラップ(D10mm)を250mmピッチ、補強鋼板は平鋼16×65mm(ps=2.3%)、PC鋼材は鋼棒φ23mm(導入力250kN、緊張後グラウト注入)としている。

なお、鋼板は12mmの角ジベルを600mmピッチで4本溶接し、コンクリートと一体化している。

また、クリープ供試体は、補強鋼板位置に実橋相当の圧縮応力度を作用させるために、はり上縁側にアンボンドタイプのPC鋼棒φ23mm(導入力250kN)を配置している。

使用材料諸元を表-2に示す。

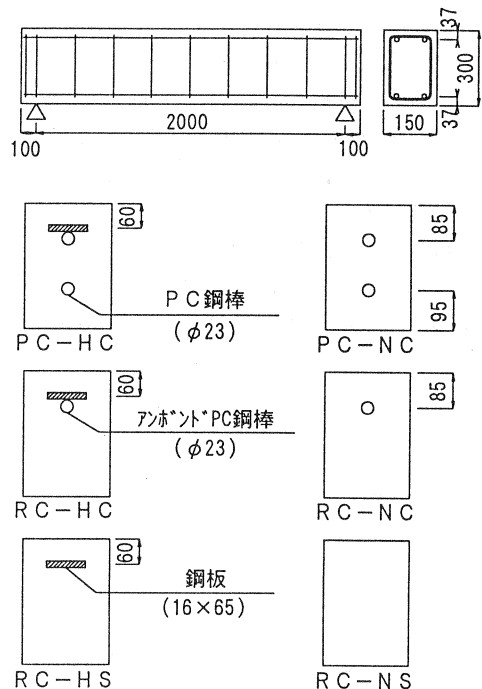


図-1 供試体形状図

表-1 供試体諸元

着目点	名称	鉄筋量 (片側)	PC鋼材量 緊張力	鋼板量 (mm)	コンクリート応力	
					上縁	下縁
クリープ	PC-HC	D13-2本	φ23 250kN	16×65	-9.1	-9.4
	PC-NC				-	-9.9
	RC-HC		-	16×65	-9.8	0.9
	RC-NC		-	-	-12.2	1.6
乾燥	RC-HS	-	-	16×65	-	-
	RC-NS	-	-	-	-	-

表-2 使用材料諸元

	規格・記号
鉄筋	SD295A(D13)
	SD295A(D10)
補強鋼板	SS400(FB16×65)
PC鋼材	SBPR785/1030(φ23)

注) コンクリート応力(N/mm<sup>2</sup>)は初期持続応力(引張を正)である。

表-3 コンクリート配合仕様(50-8-20H)

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラブ <sup>o</sup> (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
					W	C	F	S	G	A
20	8	34.6	4.5	41.9	168	486	-	679	977	2.43

コンクリートは設計基準強度 $f_c=50\text{N/mm}^2$ (蒸気養生せず)、配合仕様を表-3に、材料試験結果を表-4に示す。

(2) 試験方法

供試体は、①材齢2日で脱枠し、材齢3日でスパン2.0mの2点支持とした後、②材齢7日で下縁側のPC鋼棒を緊張およびグラウト注入③材齢14日の上縁側のアンボンドPC鋼棒を緊張後、恒温恒湿室へ移動した。なお、乾燥収縮供試体については、3点支持とすることで、自重の影響を低減した。また、無筋乾燥収縮供試体は、体積表面積比(V/S)をその他の供試体と合わせるために上面を防水処理した。

計測は、供試体中央断面での補強鋼棒・軸方向鉄筋・PC鋼棒に添付したひずみゲージ、および埋込型ひずみゲージにより行った。また、載荷荷重として配置・緊張したアンボンドPC鋼棒は、ロードセルを介して導入力の変化をモニタリングし、一定値となるように調整した。図-2に試験期間中の温湿度変化、図-3にアンボンドPC鋼棒の導入力変化(供試体PC-HC)を示す。

表-4 コンクリート材料試験結果

材齢 t(日)	圧縮強度 $f_c(\text{N/mm}^2)$	弾性係数 $E_c(\text{kN/mm}^2)$
1	32.2	28.5
3	43.4	31.0
7	47.0	32.5
14	50.6	33.1
28	53.0	33.5
100	58.1	34.0
200	59.4	34.2

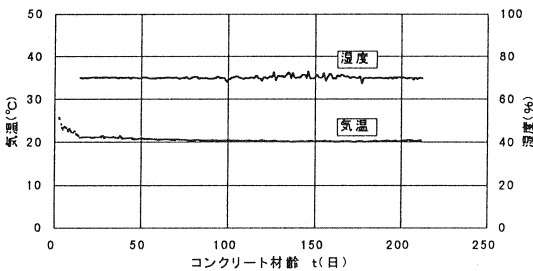


図-2 温湿度の経時変化

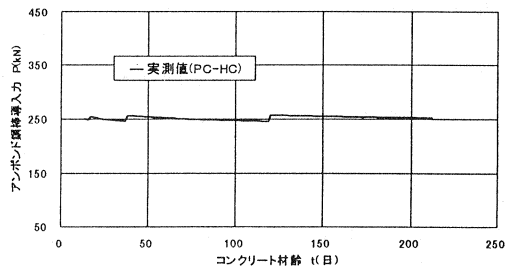


図-3 アンボンドPC鋼棒導入力の経時変化

3. 解析方法

(1) クリープ係数と乾燥収縮度

解析に用いたクリープ係数と乾燥収縮度は、「土木学会コンクリート標準示方書(平成8年版)」の解説

式によった。クリープ係数と乾燥収縮度の計算値(予測値)を図-4, 5に示す。図-5には、比較のために無筋乾燥収縮供試体の実測結果を掲載するが、予測値と実測値は良く一致している。

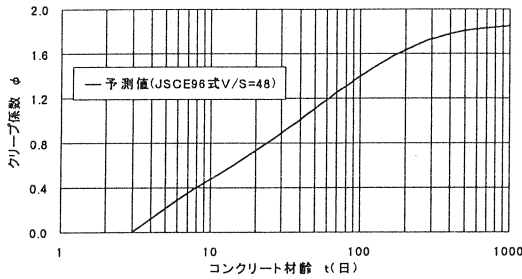


図-4 クリープ係数(予測値)

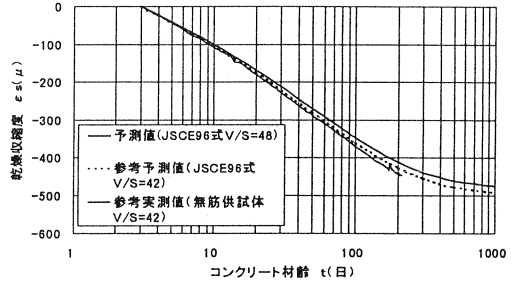
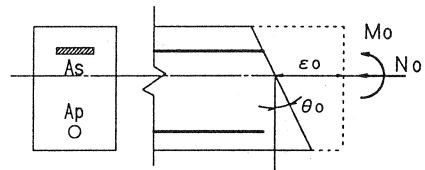


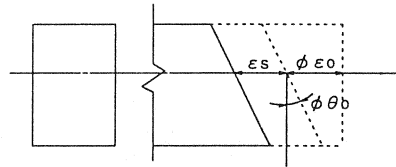
図-5 乾燥収縮度(予測値)

(2) 応力転移解析

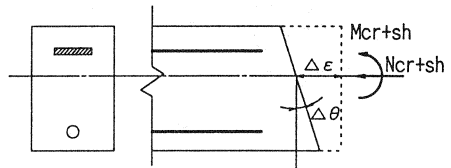
応力転移解析は、Dischinger式を基本とする材齢修正弾性係数法を用い、逐次積分により行った。クリープ・乾燥収縮による拘束応力の算出手順を図-6を用いて説明する。まず、材齢 $t_0$ において持続断面力( $N_0, M_0$ )が作用し断面図心にひずみ( $\epsilon_0, \theta_0$ )が生じ(図(a))、さらに材齢( $t_0 \sim t$ )間にクリープと乾燥収縮がそれぞれ( $\phi, \epsilon_s$ )だけ進行したものとす。拘束が全く無いとした場合、断面図心での自由ひずみ変動分は( $\phi \cdot \epsilon_0 + \epsilon_s, \phi \cdot \theta_0$ )となる(図(b))。そこで、この自由ひずみに相当する断面力( $N_{cr+sh}, M_{cr+sh}$ )を断面図心に作用させると、コンクリートのクリープ・乾燥収縮が鉄筋等に拘束されるため、実際に生じるひずみは図(c)に示す( $\Delta \epsilon, \Delta \theta$ )となり、その値は自由ひずみとは異なる。その結果、これらのひずみの差分は自己平衡応力の形でコンクリートに引張応力を発生させることになる。<sup>5)~6)</sup>



(a)  $t_0$ 時の初期ひずみ



(b) ( $t_0 \sim t$ )間に発生する自由ひずみ



(c) ( $t_0 \sim t$ )間に発生する実ひずみ

図-6 応力転移解析の流れ

$$\begin{Bmatrix} \Delta \epsilon \\ \Delta \theta \end{Bmatrix} = \frac{1}{Ecf(AI - Q^2)} \begin{bmatrix} I & -Q \\ -Q & A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_{cr+sh} \\ M_{cr+sh} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} N_{cr+sh} \\ M_{cr+sh} \end{Bmatrix} = Ecf \begin{bmatrix} A_c & Q_c \\ Q_c & I_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi \cdot \epsilon_0 + \epsilon_s \\ \phi \cdot \theta_0 \end{Bmatrix}$$

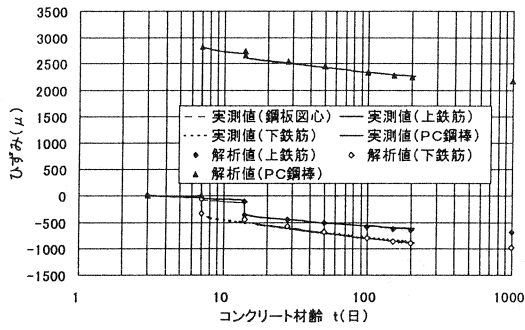
$$Ecf = \frac{E_c}{1 + 0.5\phi}$$

ここで、 $A_c, Q_c, I_c$  : 基準軸に関するコンクリート断面の断面諸定数

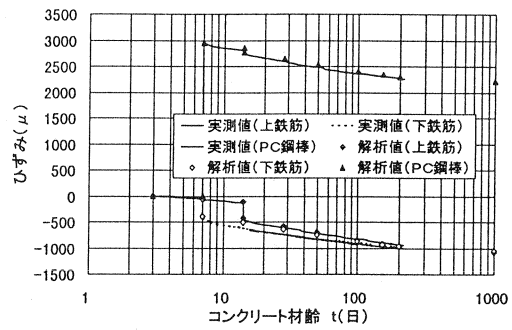
$A, Q, I$  : 基準軸に関する材齢修正換算断面諸定数

4. 試験結果および考察

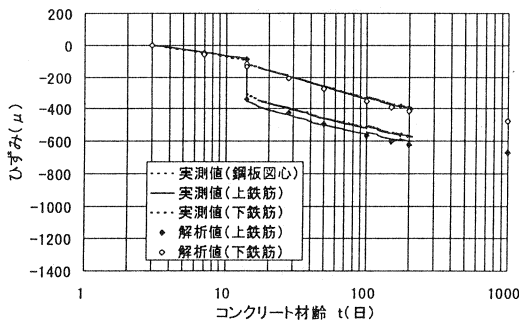
材齢200日までの全ひずみの計測結果を図-7に、材齢7日と200日時点での断面内のひずみ分布を図-8に示す。それぞれ解析値を併記したが、実測値と解析値は概ね良く一致しており、クリープ係数も土木学会標準方書の解説式により精度良く予測できることが分かる。さらに、断面内ではひずみの平面保持が成立しており、長期挙動に対しても鋼板がコンクリートと一体化されていることが確認できる。また、鋼板の拘束効果を理解するために、材齢200日時点での上縁ひずみの内訳(解析値)を図-9に示す。



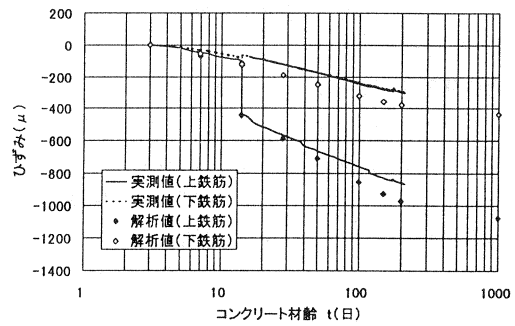
(a)PC-HC



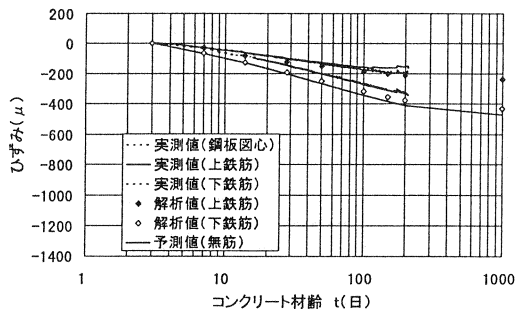
(b)PC-NC



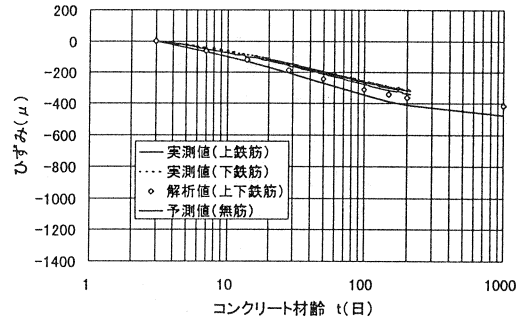
(c)RC-HC



(d)RC-NC

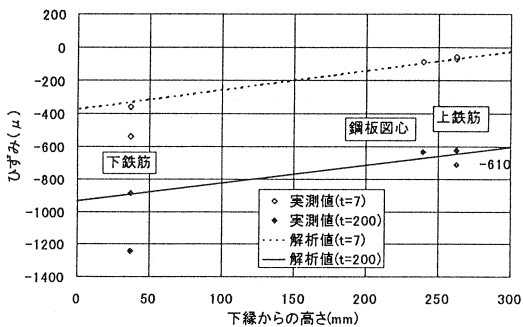


(e)RC-HS

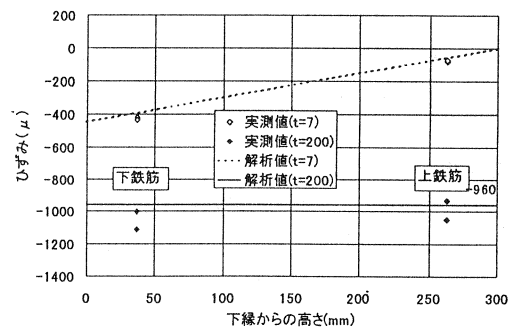


(f)RC-NS

図-7 全ひずみの経時変化(t=200日まで)



(a)PC-HC



(b)PC-NC

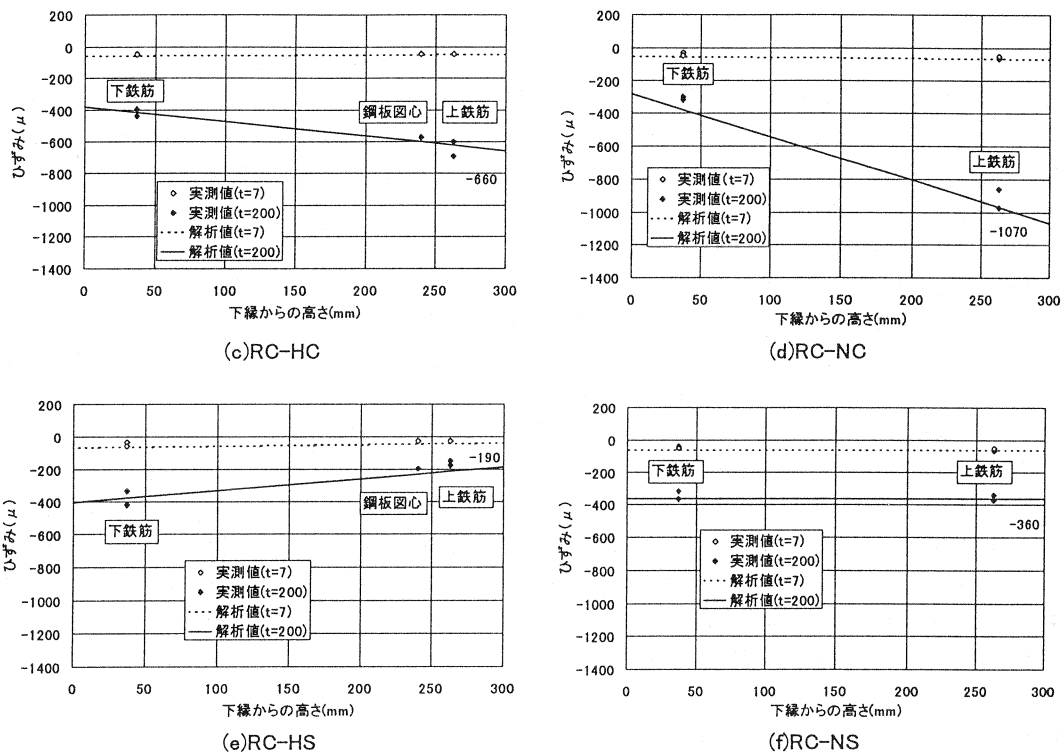


図-8 断面内ひずみ分布変化の比較(t=7日とt=200日)

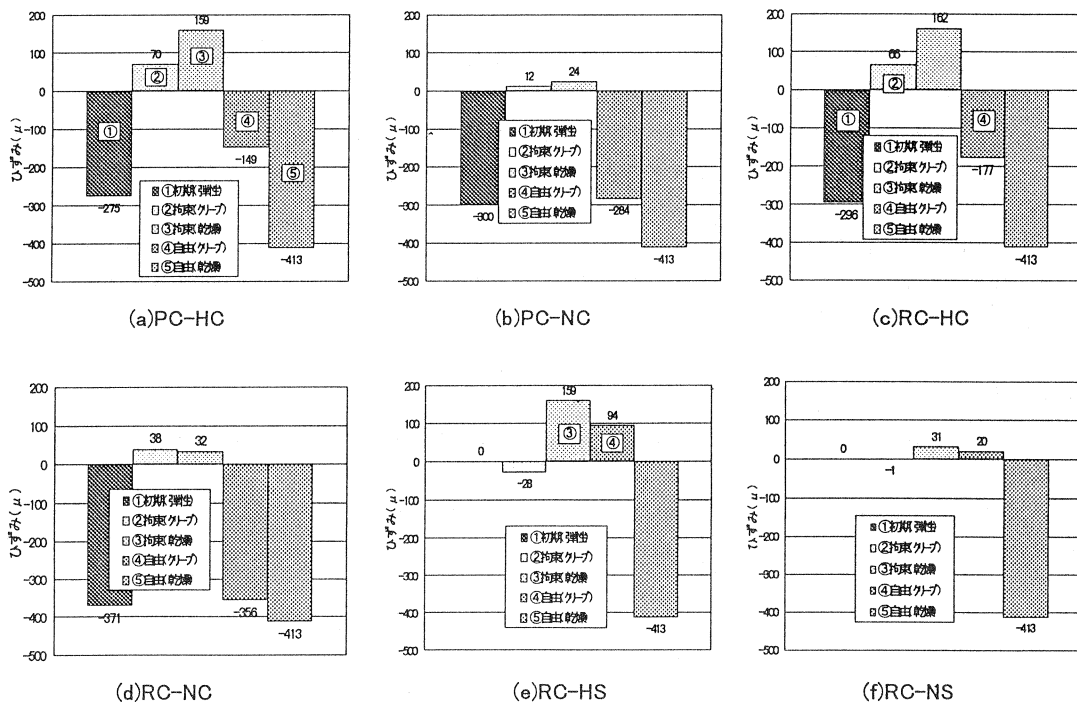


図-9 上縁ひずみの内訳(解析・材齢t=200日)

(1) 乾燥収縮に対する拘束効果

まず、乾燥収縮に対する鋼板の拘束効果を見るために、乾燥収縮供試体(RC-HS, RC-NS)を比較する。材齢200日時点で、鋼板を配置していない供試体(RC-NS)は上下縁とも $-360\mu$ の圧縮ひずみが生じているのに対して、上縁側に鋼板を配置した供試体(RC-HS)は上縁ひずみが $-190\mu$ となり、約 $170\mu$ の引張ひずみが付加され、鋼板による乾燥収縮を拘束する効果が現れている。また、この効果はひずみの内訳より、③の乾燥収縮による引張拘束ひずみと④のこれに伴うクリープひずみが5倍程度に増加した結果であることが分かる。

(2) クリープに対する拘束効果

次に、クリープに対する鋼板の拘束効果を見るために、クリープRC供試体(RC-HC, RC-NC)を比較する。材齢200日時点で、鋼板を配置していない供試体(RC-NC)は上縁に $-1070\mu$ の圧縮ひずみが生じているのに対して、上縁側に鋼板を配置した供試体(RC-HC)は上縁ひずみが $-660\mu$ となり、約 $410\mu$ の引張ひずみが付加されている。クリープを拘束する効果は、前述の乾燥収縮分を差し引き、約 $240\mu$ の引張ひずみとして現れている。また、この効果はひずみの内訳より、①の剛性増加による初期持続応力の圧縮弾性ひずみの減少と②のクリープによる引張拘束ひずみの増加により、④のクリープひずみが減少した結果であることが分かる。

同様にして、クリープPC供試体(PC-HC, PC-NC)を比較する。材齢200日時点で、鋼板を配置していない供試体(PC-NC)は上縁に $-960\mu$ の圧縮ひずみが生じているのに対して、上縁側に鋼板を配置した供試体(PC-HC)は上縁ひずみが $-610\mu$ となり、RC供試体と同程度の約 $350\mu$ の引張ひずみが付加されている。クリープを拘束する効果は、ここで仮に前述の乾燥収縮分を差し引くと、約 $180\mu$ の引張ひずみとなる。また、この効果はひずみの内訳より、RC供試体と同様の結果であることが分かる。これは、両供試体において初期持続上縁応力を同レベルに設定したことによる。

5. まとめ

以上の試験結果と解析値の比較から、次のことが確認できた。

- 1) コンクリートのクリープ係数と乾燥収縮度は、土木学会標準示方書(平成8年版)の解説式にて精度良く予測できる。
- 2) この予測値を材齢修正弾性係数法による解析に適用することで、長期経過後の断面内のひずみ分布および応力分布を精度良く予測することができる。
- 3) 断面の圧縮縁に鋼板を配置することで、鋼板がコンクリートの乾燥収縮による圧縮ひずみとクリープによる圧縮ひずみを拘束し、コンクリートにはその反作用として、引張拘束ひずみが生じ、圧縮応力が減少(改善)される。
- 4) 断面の圧縮縁に鋼板を配置し圧縮縁の応力改善を図る手法において、断面剛性の増加効果に加えて、クリープ・乾燥収縮の拘束効果を考慮することができ、その効果の算出には材齢修正弾性係数法等による解析を適用することができる。

参考文献

- 1) 野田・新井・児島：桁高の低いPC桁の開発，PC技術協会第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，PC技術協会第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，PC技術協会第5回シンポジウム論文集，1995.10
- 4) 野田・大澤・新井・渡部：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，PC技術協会第6回シンポジウム論文集，1996.10
- 5) 北島：鋼・コンクリート合成構造の汎用クリープ・乾燥収縮解析，川田技報VOL.3，1983.1
- 6) A.Ghali・R.Favre(訳:川上・他)：コンクリート構造物の応力と変形，技報堂，1995.1