

PC 鋼材のひずみ測定に基づくクリープ係数評価方法

広島大学大学院 正会員 ○小川由布子
 成田国際空港株式会社 正会員 亀田 昭一
 広島大学大学院 フェロー会員 佐藤 良一
 防衛省中国四国防衛局 正会員 上谷 康晴

1. はじめに

プレストレストコンクリートの PC 鋼材の応力損失は、これまでプレストレス導入時コンクリート応力によるクリープひずみとコンクリートの変動損失応力を材齢係数により考慮したクリープひずみを加算して求められている。この場合クリープ係数は断面内で一様、応力損失履歴をそれぞれ仮定し、設計上は安全側に材齢係数を 1/2 と仮定して損失応力を近似的に求めている。

本論文では、断面深さ方向の複数の位置にある PC 鋼材のひずみ測定に基づいて損失応力を正確に把握し、各鋼材位置のクリープ係数を評価する方法を提案する。

2. 導出の方法

各鋼材位置におけるコンクリートのクリープ係数は、以下に示すとおり、①鋼材応力の算出、②コンクリート応力の算出、③クリープ係数の算出、の順で求めた。

2.1 鋼材応力の算出

鋼材応力の算出は、みかけの応力とリラクゼーションによる減少から成る式(1)を用いた。

$$\Delta\sigma_{pei}(t_e) = \Delta\sigma_{pei,cr}(t_e) + \Delta\sigma_{pei,r}(t_e) = E_p \varepsilon_{pei}(t_e) - (1 + r_i) \sigma_{pei} \quad (1)$$

ここで、 i : 所要の鋼材位置、 $\Delta\sigma_{pei}(t_e)$: i 番目の PC 鋼材応力の減少量、 $\Delta\sigma_{pei,cr}(t_e)$: クリープおよび収縮により減少した i 番目の PC 鋼材の見かけの応力(= $E_p \varepsilon_{pei} - \sigma_{pei}$)、 $\Delta\sigma_{pei,r}(t_e)$: リラクゼーションにより減少した i 番目の PC 鋼材応力(= $-r_i \sigma_{pei}$)、 r_i : i 番目の PC 鋼材の見かけのリラクゼーション率、 E_p : PC 鋼材のヤング係数

2.2 コンクリートの損失応力

プレストレス導入後の i 番目の PC 鋼材各位置のコンクリートの応力損失は各鋼材の応力損失から式(2)のとおり求められる。右辺に負で記述されているのはコンクリート応力が鋼材とは逆方向に生じるためである。

$$\Delta\sigma_{cpe,i}(t_e) = - \sum_{j=1}^i p_j \gamma_{ji} \Delta\sigma_{pej}(t_e) \quad \text{ただし、} \quad \gamma_{ij} = 1 + \frac{(d_i - c_g)(d_j - c_g)}{I_c / A_c} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\sigma_{cpe,i}(t_e)$: i 番目のコンクリート応力の減少量、 p_j : j 番目の PC 鋼材比(= A_{pi}/A_c)、 d_i : 上縁から i 番目の PC 鋼材までの高さ、 c_g : 上縁から図心までの高さ、 I_c : 鉄筋を考慮した断面二次モーメント、 A_c : 断面積

2.3 クリープ係数の算出

クリープ係数の算出に先立ち、コンクリートの応力損失を実測に基づいて式(3)の双曲線で近似した。ただし、 $\Delta\sigma_{cpei}(\infty)$ は変動応力の最終値、 C_i は実験定数を表す。

$$\Delta\sigma_{cpei}(t_e) = \frac{t_e}{t_e + C_i} \Delta\sigma_{cpei}(\infty) \quad (3)$$

これを用いれば、変動応力 $\Delta\sigma_{cpei,cr}(t_e)$ および一定応力下のクリープひずみ $\varepsilon_{cpei,cr}(t_e)$ は次式となる。

$$\Delta\varepsilon_{cpei,cr}(t_e) = \int \frac{\varphi_{cri}(t_e)}{E_c} d(\Delta\sigma_{cpei}(t_e)) = \frac{\varphi_{cri}(t_e)}{E_c} \Delta\sigma_{cpei}(\infty) \frac{t_e}{t_e + C_i} \quad \text{および} \quad \varepsilon_{cpei,cr}(t_e) = \frac{\varphi_{cri}(t_e)}{E_c} \sigma_{cpei} \quad (4) \text{ および } (5)$$

クリープひずみは、式(4)および(5)を加算したものであり、またコンクリートと鋼材ひずみの適合条件から鋼材ひずみ損失から弾性回復ひずみと収縮ひずみを引いたものである。最終的に i 番目の鋼材位置にある

キーワード プレストレストコンクリート、PC 鋼材ひずみ、収縮ひずみ、応力損失、クリープ係数

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山一丁目 4-1 広島大学 大学院工学研究院 TEL : 082-424-7785

クリープ係数は次式となる。なお、このクリープ係数は、標準養生 28 日のヤング係数 E_c を用いて定義した。

$$\varphi_{cri}(t_e) = \frac{E_c \varepsilon_{c,cri}(t_e)}{\sigma_{cpei} + \Delta\sigma_{cpei}(\infty) \frac{t_e}{t_e + C_i}} \quad (6)$$

3. 計算例

3.1 供試体概要

計算例に用いる PC 桁供試体は、図-1 に示すとおり、上縁幅 640mm、下縁幅 700mm、高さ 350mm の中実断面とし、長さは 4550mm である。PC 鋼材は、7 本より線 12.7mm (SRPR7BL) であり、供試体上縁から 70mm、205mm および 260mm の 3 段に配置されている。収縮ひずみ計測のための供試体は、PC 桁供試体と同断面とし、長さは 1800mm とした。長さ方向および断面幅方向中心に、上縁から 70mm、205mm、260mm の位置に埋込みひずみ計を設置し経時計測した。コンクリートの配合は水結合材比 0.17、単位水量 $155\text{kg}/\text{m}^3$ とし、セメントにはシリカフュームが質量 9.7% 相当プレミックスされた低熱ポルトランドセメントを使用した。また、ごみ溶融スラグ細骨材を細骨材容積に対して 30% 置換した。すべての供試体は、前養生 16 時間 (20℃)、昇温速度 $4^\circ\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 40°C 、最高温度保持時間 15 時間の蒸気養生を行い、端面を封かんし 4 面乾燥としている。

3.2 計算結果

図-2 にコンクリートのヤング係数の経時変化を双曲線近似した曲線とともに示す。図-3 に収縮ひずみの一例を、図-4 にコンクリートの応力損失 (細線) を双曲線近似値 (太線) と共に示す。図-5 に式 (6) で得られたクリープ係数の計算結果を示す。クリープ係数の最終値は 1.0 程度 (鋼材位置上縁側から 0.91、0.92、1.00) であり、既往の研究における水結合材比 0.15 から $0.35^{(1)(2)}$ のクリープ係数の収束値とほぼ等しく、妥当なクリープ係数が算出できている可能性が高いといえる。

4. まとめ

PC 鋼材位置ごとに、鋼材ひずみ、収縮ひずみからクリープ係数を算出する方法を提案した。今後、クリープ試験により求めたクリープ係数と比較し、妥当性を検証する予定である。

最後に、本研究の一部は、JSPS 科研費 24656272 (研究代表者: 佐藤良一) の助成により実施したもので、ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) Y. YANG et al.: Experimental Investigation on Shrinkage and Creep of High Strength Concrete at Early Age, Proc. of 4th CANMET/ACI/JCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, ACI International SP-179, pp. 201-215, 1998.
- 2) 鈴木雅博ほか: 超高強度膨張コンクリートの自由変形と拘束応力に関する検討、コンクリート年次論文集、Vol. 28、No. 1、2006.

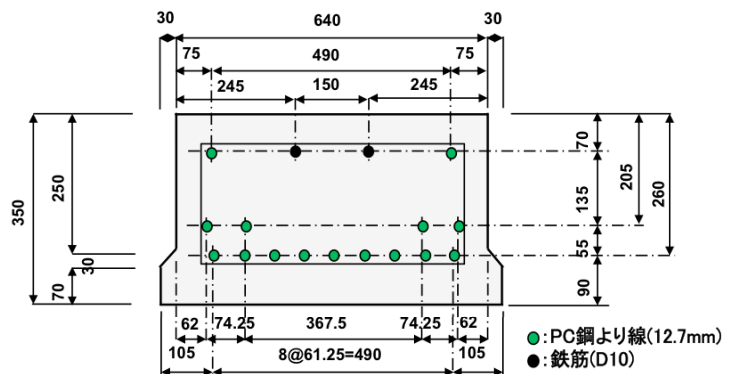


図-1 PC 供試体断面図 (単位:mm)

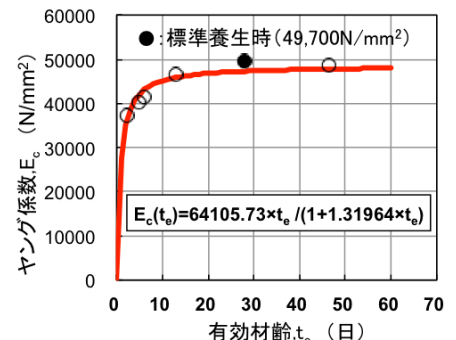


図-2 コンクリートのヤング係数

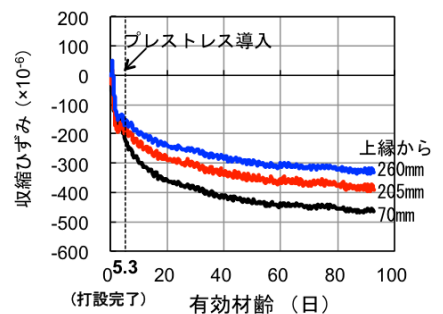


図-3 収縮ひずみ

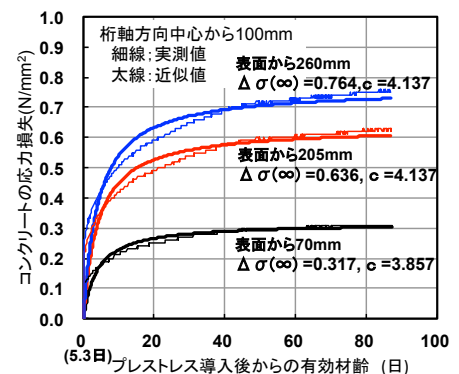


図-4 コンクリートの応力損失

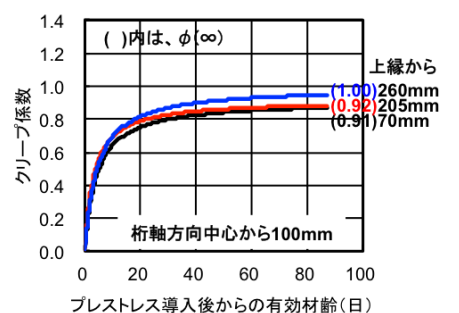


図-5 クリープ係数