

V-402

ヤング係数の経時変化を考慮したPC部材のクリープ・乾燥収縮解析

大阪工業大学工学部 正会員 栗田章光 松尾橋梁(株) 正会員 松本一朗
(株)トーニチコンサルタント 正会員 新 照彰 オリエンタル建設(株) 正会員 田村 章

1. はじめに

PC構造物の維持・管理上、コンクリートのクリープと乾燥収縮によって付加される応力・変形状を厳密に評価する必要がある。そこで著者らは、ヤング係数の経時変化をも考慮したクリープおよび乾燥収縮解析用のコンクリートの応力～ひずみ関係式を、Trost-Bazant法と同様の形式で誘導した^{1) 2)}。その応力～ひずみ関係式を用いて、PC部材の全体解析を容易に行うために、クリープを考慮した剛性マトリックスやプレストレス力、乾燥収縮およびその他の代表的な荷重が作用した場合の荷重項を誘導し、PC部材のより厳密な経時挙動解析法を開発した。本文においては、モノレールPC軌道を対象に、キャンバーの解析値と実測値との比較・検討を行うことにする。

2. 応力～ひずみ関係式

本研究では、ヤング係数を経時的に変化するものとして取り扱うため、次式のように表記するものとする。

$$E_c(t) = E_c f_{EC}(t) \quad \dots(1)$$

ここで、 E_c は材令28日のヤング係数または設計基準強度により定まるヤング係数、 $f_{EC}(t)$ は時間変数 t を含んだヤング係数の進行式を示し、クリープ係数は $\phi(t-t_1)$ ($=\phi_d(t-t_1)+\phi_r(t)-\phi_r(t_1)$) とする。

図-1に示すように、時刻 t_1 でコンクリートに初期応力 σ_{t_1} が作用し、その直後から漸減する応力状態を

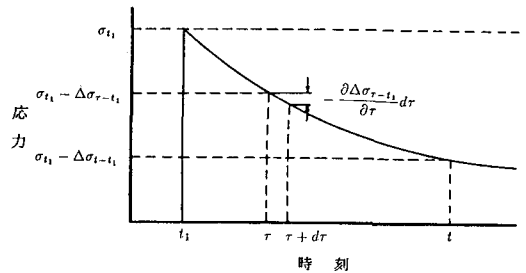


図-1 漸減する応力状態

想定する。そこで、時刻 t_1 より任意時刻 t までのコンクリートのクリープによるひずみの変化量は、

$$\Delta \varepsilon_{t-t_1} = \frac{\sigma_{t_1}}{E_c f_{EC}(t)} \phi(t-t_1) + \frac{\Delta \sigma_{t-t_1}}{E_c f_{EC}(t)} (1 + \eta_{MKC}) \quad \dots(2)$$

$$\eta_{MKC} = \frac{f_{EC}(t)}{\phi(t-t_1)} \left[\int_{t_1}^t \frac{1}{f_{EC}(\tau)} \left\{ \phi(\tau-t_1) \frac{\partial \phi(\tau-t_1)}{\partial \tau} - \frac{1}{\phi_{dn}} \phi(\tau-t_1) \frac{\partial \{\phi_d(\tau-t_1)\phi_d(t-\tau)\}}{\partial \tau} \right\} d\tau \right. \\ \left. + \int_{t_1}^t \frac{\partial \left\{ \frac{1}{f_{EC}(\tau)} \right\}}{\partial \tau} \left\{ \phi(\tau-t_1)^2 - \phi(\tau-t_1) - \frac{1}{\phi_{dn}} \phi(\tau-t_1) \phi_d(\tau-t_1) \phi_d(t-\tau) \right\} d\tau \right] \quad \dots(3)$$

となる²⁾。ここで、 η_{MKC} はヤング係数の経時変化と応力緩和を考慮したクリープ係数を表している²⁾。

乾燥収縮の場合も同様に、ヤング係数の経時変化を考慮して応力～ひずみ関係式を誘導すると、

$$\Delta \varepsilon_{sh,t} = \frac{\Delta \sigma_t}{E_c f_{EC}(t)} (1 + \eta_{MKS}) + \varepsilon_{sh,\infty} \frac{\phi_{sh}(t)}{\phi_{sh}(\infty)} \quad \dots(4)$$

$$\eta_{MKS} = \frac{f_{EC}(t)}{\phi_{sh}(t)} \left[\int_0^t \frac{1}{f_{EC}(\tau)} \left\{ \phi_{sh}(\tau) \frac{\partial \phi_{sh}(\tau)}{\partial \tau} \right\} d\tau \right. \\ \left. - \int_0^t \frac{\partial \left\{ \frac{1}{f_{EC}(\tau)} \right\}}{\partial \tau} \left\{ \phi_{sh}(\tau) + \phi_{sh}(\tau) \{\phi_{sh}(t) - \phi_{sh}(\tau)\} \right\} d\tau \right] \quad \dots(5)$$

になる。ここで、 η_{MKS} はヤング係数の経時変化と乾燥収縮による応力緩和を考慮したクリープ係数を、 $\varepsilon_{sh,\infty}$ は乾燥収縮の最終値を、 $\phi_{sh}(t)$ は乾燥収縮に伴うクリープ係数を、それぞれ示している²⁾。

η_{MKC} および η_{MKS} ともに直接積分が不可能であり、数値積分によりそれぞれの値を求めた。また、コンク

リート打設時のヤング係数を0とし、以後CEB-FIPモデルコード1990に規定される式(6)のようにヤング係数は変化するものとする。

$$E_c(t) = 3.931 \times 10^5 e^{\frac{1}{8}(1 - \frac{5.25t}{\sqrt{t}})}$$

...(6)

3. モノレールP C軌道桁の概要

橋長19.97mのモノレールP C軌道桁の桁中央でのキャンバーの変化を約400日間にわたり測定した。軌道桁の断面図を図-2に示す。軌道桁は、コンクリート打設後2日目に製作台車上より仮置きヤードへ移される際に、亀裂が入るのを防ぐため上部4本のP Cケーブルが1次緊張され、8日目に残り5本のケーブルが2次緊張されるという手順で製作された。

4. 数値計算

数値計算を行う際に、クリープ係数と乾燥収縮の最終値はそれぞれ1.4と 246×10^{-6} を用いている。これらの値は、著者らが2年間にわたるモノレール軌道桁の実物大供試体を用いたクリープおよび乾燥収縮試験を行って得た結果であり、先に述べた η_{MC} と η_{MS} の特性に大きな影響を与える。キャンバー（鉛直変位）は、プレストレス導入直後の弾性変位成分、クリープ成分および乾燥収縮成分に分けられ、表-1は各々の成分に分けて計算結果を示したものである。この結果より、乾燥収縮は鉛直変位成分にほとんど関与せず、クリープ変位の予測値が、桁キャンバーの精度管理に大きな影響を与えることがわかる。また、桁中央でのキャンバーの実測値と理論値を示したものが図-3である。

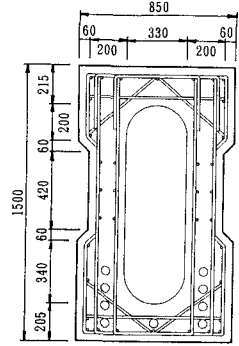


図-2 桁断面図(単位:mm)

5. まとめ

本研究において誘導した、ヤング係数の経時変化を考慮した解析式を用いて、桁のキャンバーの計算を行うと、ヤング係数を一定とした場合と比べ若材令で若干の差が生じているものの、最終値ではほとんど差はみられない。

鉄筋のひずみ拘束考慮の有無の影響をみると、解析上考慮する方がよりキャンバーの実測値に近づくことがわかった。

また、クリープ係数の最終値として道路橋示方書で規定される2.6を用いると、キャンバーの値をかなり過大評価する結果になることがわかった。

しかしながら、実験より得られたクリープ係数を用いた解析値と実測値との差は3~5mm程度であり、この場合の理論値は実際の状態を精度よく評価することがわかる。

【参考文献】

- 1) J. Haensel: Effects of Creep and Shrinkage in Composite Construction, INSTITUT FÜR KONSTRUKTIVEN INGENIEURBAU RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM, Okt. 1975.
- 2) 松本一朗: プレストレストコンクリート部材の経時挙動に関する研究, 大阪工業大学修士論文, 1994年3月.

表-1 着目材令400日の鉛直変位の各成分(単位:cm)

	ヤング係数の経時変化考慮		ヤング係数の経時変化無視	
	鉄筋拘束考慮	鉄筋拘束無視	鉄筋拘束考慮	鉄筋拘束無視
①1次緊張直後	0.35	0.38	0.09	0.10
②2次緊張直後	1.01	1.08	0.86	0.92
③クリープ成分	1.22	1.42	1.32	1.54
④乾燥収縮成分	0.03	0.04	0.02	0.03
⑤合計値	2.26	2.54	2.20	2.49
②/⑤	0.45	0.43	0.39	0.37
③/⑤	0.54	0.56	0.60	0.62
④/⑤	0.01	0.01	0.01	0.01

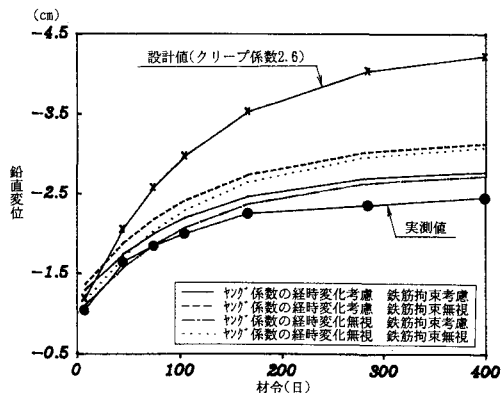


図-3 キャンバーの経時変化