

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

大阪工業大学大学院 学生員○松本一朗
(株)トーニチコンサルタント 正会員 藤原 毅

1. はじめに

P C構造物の長期の応力・変形状を検討する際、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮等の影響によって付加される応力・変形を厳密に考慮する必要がある。その場合、荷重状態(荷重の大きさ、載荷時の材令、載荷期間)、部材特性(スパン、断面高さ比、鉄筋量、部材の拘束条件、プレストレスの大きさ等)、材料特性(コンクリート、鉄筋およびP C鋼材の性質等)によって影響を受けるが、これら個々の要因が及ぼす影響の大きさについて現状では十分解明されているとはいえない。そこで著者らは、クリープ挙動のみに限定し、持続応力が作用した直後から応力が漸減し、それに伴い回復クリープが生じるものとして、回復クリープの影響を考慮するのみならず、ヤング係数の経時変化をも考慮した¹⁾、より精度の高い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。この式に基づき、リラクセーション係数と類似の観点から数値計算を実施し、従来の解析による結果と比較、考察を行う。

2. 応力～ひずみ関係式

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想定する。また、ヤング係数は経時的に変化するものとして取り扱うため、本研究ではヤング係数を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。

したがって、時刻 t_1 より任意時刻 t におけるコンクリートのひずみの変化量は次式で表される²⁾。

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

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、次式で表される。

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

上式で、波線部分を無視すると、回復クリープの影響を無視した解式となる。

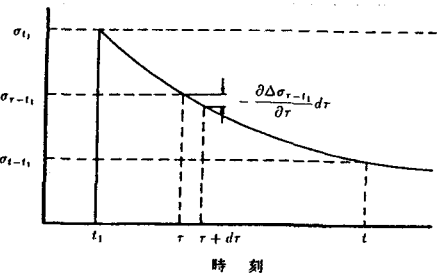


図-1 漸減する応力状態

3. 数値計算結果

実験から得られた表-1に示すヤング係数の経時データをもとに、ヤング係数の関数式に指数関数とCEB-FIP MODEL CODE 1990で規定される式とを用いて回帰分析すると、次式で表される。

$$E_c(t) = 4.583 \times 10^5 (1 - e^{-0.064123t}) \quad \dots(4)$$

$$E_c(t) = 3.931 \times 10^5 e^{\frac{1}{5}(1 - \frac{5.251}{t})} \quad \dots(5)$$

また、遅れ弾性クリープおよびフロークリープの最終値は、それぞれ $\phi_{\infty} = 0.132$ および $\phi_{\infty} = 1.390$ とし²⁾、初期荷材令 $t_1 = 10$ 日とした場合の η_{MKC} の経時変化を計算した。ヤング係数の関数式に指数関数を用いたものを図-2、CEB-FIP規定式を用いたものを図-3にそれぞれ示す。なお、 η_c はヤング係数を一定値とした場合の計算結果である。

次に、初期荷材令 t_1 を3日、30日、400日と変化させ、かつ式(5)を用いた場合の η_{MKC} と η_c の変化を図-4に示す。

4. まとめ

図-2および図-3より変化応力に乘じられる η_{MKC} は、回復クリープの影響を考慮した方が11~13%程度大きな値を示しており、応力の変化量(P C鋼材においてはその損失量)を小さく評価することが理解できる。また、ヤング係数の関数式に指数関数を用いた場合、若材令においてはヤング係数を一定値とする場合よりも大きくなり、高材令においては逆に小さくなるという結果が得られた。

さらに、若材令3日でコンクリートに持続応力を載荷する場合、ヤング係数の経時変化を考慮した η_{MKC} の方が、変化を考慮しないものよりも大きくなり、逆に高材令400日で載荷する場合は非常に小さくなった。つまり、コンクリートを打設してから時間を経過させてプレストレスを導入した方がP C鋼材の緊張応力の損失量が少なくなることを示しており、近年、特に注目をあびているP C桁および床版等のブロック化およびプレキャスト化の優位性を証明するものである。結局、 η_{MKC} は、初期荷時刻の影響を敏感に受ける重要なパラメータであることがわかった。

[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 ヤング係数の経時データ

材令 (日)	ヤング係数 (kgf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
3	3.23×10^5	486
7	3.36×10^5	560
28	3.93×10^5	766
90	3.89×10^5	779
180	4.17×10^5	765
365	4.17×10^5	833

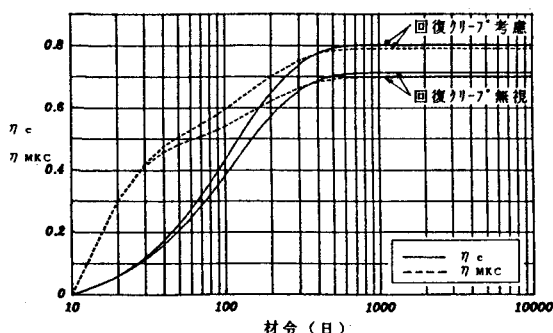


図-2 指数関数を用いた場合の η

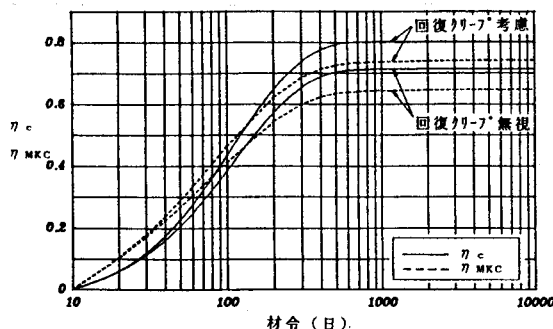


図-3 CEB-FIP規定式を用いた場合の η

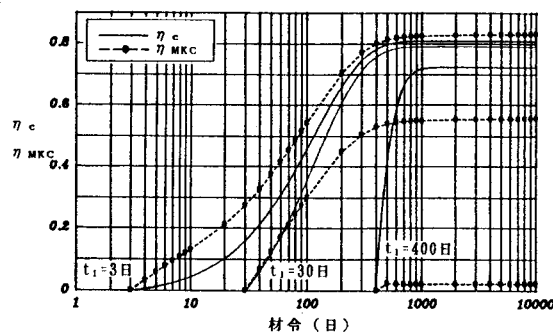


図-4 初期荷時刻を変化させた場合の η