

V-410

若材齢コンクリートのクリープを考慮した有効弾性係数の算定

名古屋工業大学 学生員 平本 昌生

大林 組 正会員 入矢桂史郎

名古屋工業大学 正会員 梅原 秀哲

1. まえがき

マスコンクリートの温度応力を正確に算定するためには、硬化しつつあるコンクリートの剛性を評価する必要がある。そして、一般に剛性の評価の指標として、静弾性係数がクリープによって低減されるとみなして、クリープの影響を考慮した有効弾性係数が用いられている。コンクリート標準示方書(以下、RC示方書)では、有効弾性係数の近似式を示しており、若材齢時の温度上昇下におけるクリープの影響が大きいことによる弾性係数の補正係数として、材齢3日まで $\Psi(t)=0.73$ 、材齢5日以降 $\Psi(t)=1.00$ としている。筆者らは、マスコンクリートを想定した圧縮・除荷・引張という荷重条件下での若材齢コンクリートのクリープ試験を行い、クリープひずみの定式化を試みてきた。本研究では、提案したクリープひずみ構成式を用いて有効弾性係数を算出し、RC示方書に示されている値との比較検討を行い、クリープ試験に基づいた有効弾性係数式を提案した。

2. 若材齢コンクリートのクリープを考慮した有効弾性係数の算出式

若材齢時のクリープを考慮した材齢 t 日における有効弾性係数 $E_c(t)$ は、筆者らの既往の研究^[2]より以下のように求めた。

$$E_c(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0(t) + \varepsilon_c(t)} \quad \text{ここに、} \sigma(t) : \text{応力、} \varepsilon_0(t) : \text{弾性ひずみ、} \varepsilon_c(t) : \text{クリープひずみ、} \\ = \frac{E_0(t)}{1 + J(t)E_0(t)} \quad (1) \quad E_0(t) : \text{静弾性係数、} \\ J(t) : \text{単位応力当たりのクリープひずみ量} \quad J(t) = \varepsilon_c(t)/\sigma(t)$$

したがって、実測結果から静弾性係数 $E_0(t)$ 、単位応力当たりのクリープひずみ量 $J(t)$ が得られれば、式(1)より有効弾性係数 $E_c(t)$ を求めることができる。

3. 静弾性係数式

静弾性係数試験を行い、静弾性係数 $E_0(t)$ を積算温度 M で整理し、以下の式を得た。

$$E_0(M) = \begin{cases} 0.3096 \log M - 0.7503 & (250 < M \leq 1000) \\ 0.0751 \log M - 0.0468 & (1000 < M \leq 41000) \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 $E_0(M)$ ：積算温度 M における静弾性係数(N/mm²)、 M ：積算温度(°Chr)

4. クリープひずみ構成式

クリープひずみ構成式については、筆者らの既往の研究^{[1][2]}において、次式を提案している。

圧縮クリープ構成式： $J_c(t)$ ($\times 10^{-6}$ /N/mm²)

$$J_c(t) = \xi_c(\tau) \cdot \phi_c(T) \cdot \left\{ 26.96 \left(1 - e^{-24.7t} \right) + 71.99 \left(1 - e^{-0.575t} \right) \right\} \quad (3)$$

ここに、載荷材齢関数 $\xi_c(\tau)$ ： $\xi_c(\tau) = -0.307 \log \tau + 1.0$

温度関数 $\phi_c(T)$ ： $\phi_c(T) = 0.0112T + 0.552$

τ ：載荷時の材齢(日)、 T ：温度(°C)、 t ：載荷材齢(日)

引張クリープ構成式： $J_t(t)$ ($\times 10^{-6}$ /N/mm²)

$$J_t(t) = \varphi_t(\sigma_{\max}) \cdot \xi_t(\tau) \cdot \phi_t(T) \cdot \left\{ 28.74 \left(1 - e^{-0.801t} \right) + 8.130 \left(1 - e^{-45.38t} \right) + 4.468t \right\} \quad (4)$$

ここに、圧縮応力関数 $\varphi_t(\sigma_{\max})$ ： $\varphi_t(\sigma_{\max}) = -0.17\sigma_{\max} + 0.701$

載荷材齢関数 $\xi_t(\tau)$ ： $\xi_t(\tau) = -1.107 \log \tau + 1.538$

温度関数 $\phi_t(T)$ ： $\phi_t(T) = 0.0257T + 0.487$

$\sigma_{\max}$ ：最大圧縮応力(N/mm²)、 τ ：載荷時の材齢(日)、 T ：温度(°C)、 t ：載荷材齢(日)

W/C=55%、スランプ8cm、空気量4%のコンクリートで行ったクリープ試験結果と、上式による解析値の比較を図-1に示す。図より、実測値と解析値は圧縮クリープ部分に差が見られるが、その他のクリープ挙動はほぼ一致しているといえる。

5. 有効弾性係数の算出

有効弾性係数算出上の応力荷重パターンは、材齢3日までは圧縮応力、材齢3日以降は引張応力とした。材齢 t 日の有効弾性係数は t 日に応力が荷重され、5日間荷重された時の式(3)か式(4)で求まる値とした。なお、荷重期間を5日とした理由は、その期間のクリープひずみが大きいためである。RC示方書の有効弾性係数は、材齢91日の圧縮強度を29.4 N/mm²として算出した。

6. 結果および考察

図-2に、静弾性係数 $E_0(t)$ とクリープを考慮した有効弾性係数 $E_c(t)$ 、そしてRC示方書の有効弾性係数 $E_e(t)$ を示す。図より、 $E_c(t)$ は材齢7日においても約 1.2×10^4 N/mm²で $E_e(t)$ 、 $E_0(t)$ に比べてかなり小さいことがわかる。また、 $E_c(t)$ は、材齢3日以降 $E_c(t)$ の算定にクリープ量の小さい引張クリープ式(4)を用いているため、増加傾向がやや大きくなっている。

図-3に、RC示方書の補正係数 $\Psi(t)$ と、 $E_c(t)$ のRC示方書の補正前の有効弾性係数からの低減率 $\Psi_{ce}(t)$ と、静弾性係数 $E_0(t)$ からの低減率 $\Psi_{co}(t)$ を示す。図より、 $\Psi_{ce}(t)$ は常にRC示方書の補正係数 $\Psi(t)$ よりも小さいことがわかる。また、 $\Psi_{co}(t)$ は材齢3日以降の増加傾向が大きい、 $\Psi(t)$ はもちろん $\Psi_{ce}(t)$ と比べても常に値は小さい。したがって、若材齢時のクリープの影響を考慮すると、RC示方書よりさらに補正係数を低くする必要があると考えられる。以下に本研究で得られたクリープの影響を考慮した有効弾性係数の算定(補正)方法を示す。

RC示方書の有効弾性係数から算定する場合の補正係数

$$\text{材齢 } 1 \leq t \leq 5: \Psi_{ce}(t) = 0.58$$

$$\text{材齢 } 5 \leq t \leq 7: \Psi_{ce}(t) = 0.60$$

実測した静弾性係数から算定する場合の補正係数

$$\text{材齢 } 1 \leq t \leq 3: \Psi_{co}(t) = 0.45$$

$$\text{材齢 } 3 \leq t \leq 5: \Psi_{co}(t) = 0.48$$

$$\text{材齢 } 5 \leq t \leq 7: \Psi_{co}(t) = 0.53$$

7. まとめ

- (1) RC示方書の有効弾性係数に若材齢時におけるクリープの影響を考慮すると、その補正係数は現在のRC示方書の値よりも小さくなり、0.58～0.60の範囲となった。
- (2) 静弾性係数から有効弾性係数を求める際の補正係数は、さらに小さく0.45～0.53の範囲となった。

【参考文献】

- [1] 梅原、北川、吉田：マスコンクリートの温度応力へのクリープの影響に関する研究：コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1、1991
- [2] 野村、上原、梅原：クリープを考慮したマスコンクリートの温度応力に関する研究：コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、1993

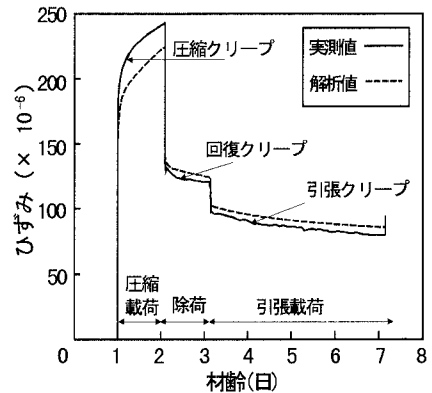


図-1 試験結果と解析値の比較

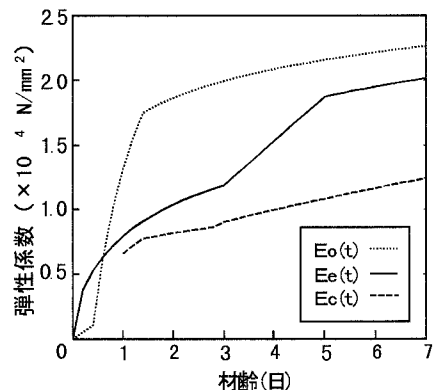


図-2 有効弾性係数の比較

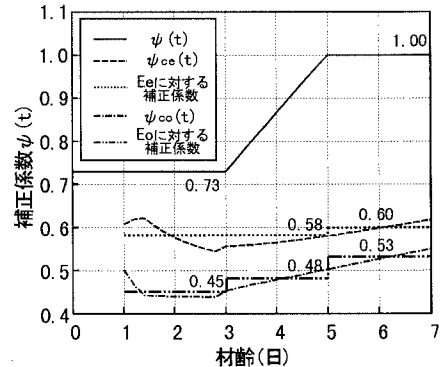


図-3 補正係数の比較と提案式