

名城大学大学院	学生会員	○ 林 真弘
名城大学	正会員	石川 靖晃
名城大学	正会員	菊川 浩治

1. 序論

遷移材齢時におけるコンクリートの圧縮、引張クリープを正確に予測するためには、コンクリートの弾性ひずみ成分、粘弾性ひずみ成分として明確に区分し、考慮する必要がある。ところが、一般的に粘弾性ひずみ成分はクリープ関数を用いて全体型で表わされるため、通常の有限要素増分解析を行うにはあまりにも困難性を伴う。このため本研究では粘弾性成分において増分型のクリープ関数を提案し、その関数はなるべく簡単な形で弾性ひずみと粘弾性ひずみの区別が分かるような式になるように努めた。また、幾つかのクリープ試験と比較し、妥当性を確認をした。

2. 増分型粘弾性モデル

一般的にクリープひずみ $\varepsilon^{ve} = \int_0^t J(t, t') d\sigma(t')$ で表される。ところが、前式は一次元的であり、しかも、全体型で表されている。そのため一般的な有限要素増分解析ではすべての載荷応力履歴を記憶させておく必要があり、それは膨大な計算時間の消費となる。そこで、前式を増分化することを試みる。クリープ関数 $J(t, t')$ は Dirichlet 級数の形で近似すると次式のようになる。

$$J(t, t') = \sum_{\mu=1}^N \frac{1}{C_{\mu}(t')} \left[1 - \exp\left\{ -\frac{(t-t')}{\tau_{\mu}} \right\} \right] \quad (1)$$

式（1）を用いれば最終的に次式のように粘弾性ひずみ成分は増分型でしかも三次元の形で表すことが可能となる。

$$d\varepsilon_{ij}^{ve} = \frac{1}{E''} D_{ijkl} \Delta \sigma_{kl} + D_{ijkl} \Delta \varepsilon_{kl}'' \quad , \quad \Delta \varepsilon_{ij}^{ve} = \sum_{\mu=1}^N \left\{ 1 - \exp(-\Delta y_{\mu}) \right\} \gamma_{\mu(r)ij} \quad (2)$$

3. 遷移材齢時におけるクリープデータとの比較

前章で述べた解析理論の下で、実際に数値解析を行うには式（1）におけるパラメータを、実験的に得られたクリープデータから適切に決定する必要がある。本研究では、クリープ関数として式（3）を用いた。

$$J(t, t') = \frac{1}{E(t')} \left\{ \phi_0 \cdot (t-t')^n \right\} \quad \text{ただし、} \quad E(t') = \frac{B \cdot t'}{A + t'} \quad (3)$$

式（3）を用いたのは粘弾性パラメータを精度よく決定することが可能であるからである。 $t > 0$ に対して t^n は経験的に次式でよく近似されることがわかっている。¹⁾

$$t^n \approx \sum_{\mu=1}^{N+1} A_{\mu} \left[1 - \exp\left\{ -\frac{t}{\tau_{\mu}} \right\} \right] \quad \text{ただし} \quad A_{\mu} = a(n) \cdot \tau_{\mu} \quad \mu < N-1 \quad \tau_{\mu} = 10^{\mu-1} \cdot \tau_1$$

$$A_{\mu} = 1.2a(n) \cdot \tau_{\mu} \quad \mu = N \quad \tau_{\mu} = 10^{N-1} \cdot \tau_1 \quad (4)$$

$$A_{\mu} = -b(n) \cdot \tau_{\mu} \quad \mu = N+1 \quad \tau_{\mu} 10^6 \cdot \tau_1$$

ここで、 n, τ_i および N をまえて定数として与えておけば、式（4）に適当な $t_k^n (i=1,2,\dots,k)$ を与えることにより結局次の問題に帰着させることができる。つまり、

$$\phi = \sum_{k=1}^m \left[t_k^n - \sum_{\mu=1}^{N+1} A_{\mu} \left(1 - e^{-\frac{t_k}{\tau_{\mu}}} \right) \right]^2 \rightarrow \min \quad \text{となるように } a(n), b(n)$$

を求める図-1は以上の方法により得られたもので t^n は式（4）で近似される。次に、式（4）に $t = t - t'$ 、 $N = N - 1$ とおいて、両辺に $\phi_0 / E(t')$ をかけて粘弾性パラメータを決定する。

ここでは、まずクリープ関数として電力中央研究所で行われたクリープ試験²⁾と式（3）のマッチングをし、各パラメータを決定した。その図を図-2に示した。本研究で式（3）のようなクリープ関数から得られるひずみというのはひずみをトータルなものとして計算している。それに対して本定式化から得られた式（1）のような Dirichlet 級数型のクリープ関数はひずみを増分形で計算している。この点が重要な違いである。しかし、図-3から、2通りの計算結果とも非常に近い値を示している。つまり、本研究で提案した式（3）は非常に Dirichlet 級数型のクリープ関数に適合しているといえる。また、この実験のほかにも、他のクリープ試験³⁾を用いてマッチングを行い、式（3）の妥当性について検討を行った。それから、本研究で提案した式（3）は圧縮、引張クリープ、また、混和材の有無に関わらずよい傾向を表しているが、水セメント比が小さくなると、あまり、良く傾向を表すことができないことが分かる。

4 結論

以上のように増分型粘弾性構成則に拡張可能な Dirichlet 級数型のクリープ関数に極めて良く近似可能なクリープ関数を提案した。またこの提案式は係数決定が簡単にできるという特徴がある。しかし、水セメント比が小さい場合は提案したクリープ関数にあまりマッチングしないという問題があるものの、統一的に変形挙動を捉えることができると思われる。

参考文献

- 1) Z.P.Bazant : Viscoelasticity of Solidifying Porous Material Concrete, Journal of the engineering mechanics division, pp.1049 - 1067, 1977
- 2) 原口、河角、田辺、岡沢 : 黒田ダム嵩上げ工事におけるコンクリート打設計画の検討(その1) - コンクリートの力学的、熱的性質の実験検討一、電力中央研究所報告、No.3775561, July, 1976
- 3) Benit Bissonnette and Michel Pigeon : Tensile creep at early ages of ordinary, Silica fume and fiber reinforced concretetes Cement and Concrete Research, Vol.25, NO.5, pp.1075-1085, 1995.

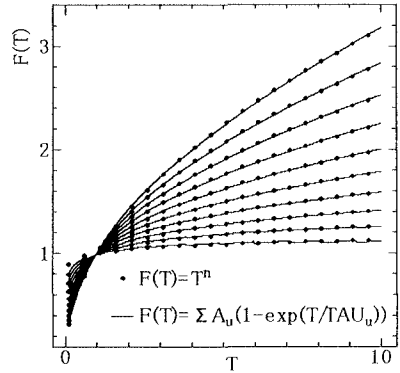


図-1 t^n と式（4）の比較

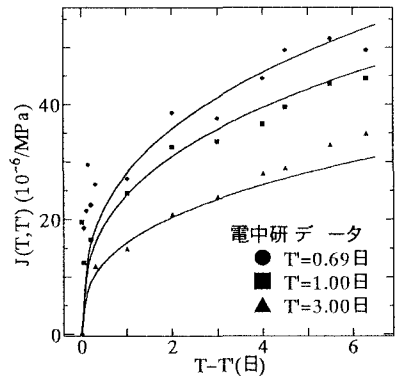


図-2 電中研 実験データと提案式（3）のマッチング

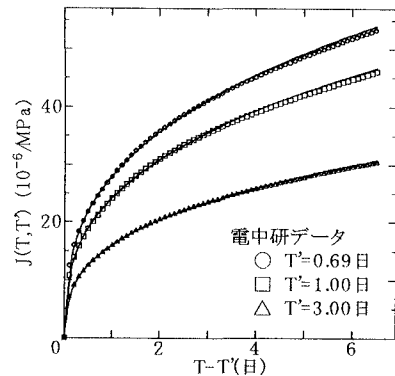


図-3 提案式（3）と Dirichlet 級数の比較