

若材令での遅れ弾性成分を考慮したクリープ解析法の一提案

J I P エンジニアリング(株) 正員 ○富田 耕司
日本電子計算(株) 正員 廣河 和男

1. はじめに

近年、コンクリート構造物は大型化・多様化・複雑化に伴い、その設計・施工において、乾燥収縮およびクリープの問題が無視することのできない諸問題の1つになってきた。また、そのクリープの考え方も1つの成分、すなわち塑性成分のみで構成されているクリープモデルから2つの成分、すなわち、遅れ弾性成分(回復するクリープ成分)とフロー成分(回復しないクリープ成分)との2つから成りたっているクリープモデルに進歩してきた。現在、我が国のコンクリート関係の設計規準類にも採り入れられている。ところが、長大コンクリート橋など段階架設工法を用いる場合など特に問題となる若材令コンクリートでの施工段階を追ったクリープ・乾燥収縮影響評価に関して、この新しい考え方を純粋に採り入れた実用的な解析法は筆者らの知る限り、まだ報告されていない。そこで、筆者らは、2つの仮定を設け、高次の微分方程式を解くことなく任意形のコンクリート構造物に適用できる解析法を提案した。ここでは、その解法でのコンクリート部材の応力・ひずみ関係式について報告する。

2. クリープ係数算出式

道路橋示方書⁽¹⁾で採用している2つの成分からなるクリープモデルの算出式を用いる。

$$\phi(t, t_0) = \phi_{v0} \cdot \beta v(t-t_0) + \phi_{f0} \cdot \{\beta f(t) - \beta f(t_0)\} \quad (1)$$

ここで、 ϕ_{v0} は遅れ弾性ひずみに対する基本のクリープ係数で、一般に0.4の値が用いられている。 ϕ_{f0} はフローひずみに対する基本のクリープ係数で構造物の環境条件に応じて規定されている。 $\beta v(t-t_0)$ は載荷後の有効経過日数に関する関数である。 $\beta f(t)$ はコンクリートの有効材令 t および部材の仮想厚さに関する関数である。 t_0 、 t は載荷時およびクリープ係数の値を算出する時点でのコンクリートの有効材令。

若材令でのクリープの影響評価解析を行う際には上式(1)に含まれる遅れ弾性ひずみに対するクリープ係数 $\phi_{v0} \cdot \beta v(t-t_0)$ の取扱いが特に問題になる。

3. コンクリート応力度が変化する場合のコンクリートひずみ
線形材料特性が適用できる場合には、種々の応力成分によるクリープ変形量を重ね合わせることができる⁽²⁾。図-1のように、ある変化するコンクリート応力度 $\sigma(\tau)$ を仮定する。この時、有効コンクリート材令 t_0 で当初応力度 σ_0 が載荷された場合の着目材令 t でのコンクリートひずみは次式で表すことができる。

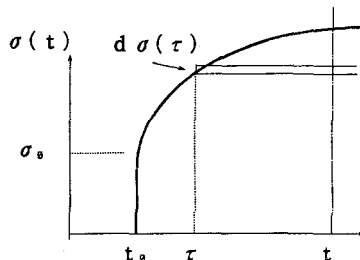


図-1 経時変化する応力度

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \cdot (1 + \phi(t, t_0)) + \int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma(\tau)}{\partial \tau} \cdot \frac{1}{E} \cdot (1 + \phi(t, \tau)) d\tau + \epsilon_s(t) \quad (2)$$

上式をコンクリート構造物の解析に直接適用することは困難であり、現行の道路橋示方書・同解説Ⅲでは平均応力度の考え方を採用し、Trost等はレラクション係数を導入することにより実用的な解法としている⁽³⁾。

本解法は若材令での回復クリープを評価し、かつ汎用的な解法として、次に提案するものである。

4. クリープ解析を行うための2つの仮定

式(2)を若材令のコンクリート構造物に適用できる実用式とするために、次の2つの仮定を設けた。

【仮定1】 クリープによって連続的に変化するコンクリート応力に関するクリープ進行度は、比較的短期間で現われる遅れ弾性成分を着目時間間隔について瞬時に発生すると考えると、クリープ係数は次式で算出される。

$$\phi(t, \tau) = \phi_{v'} + \phi_{f0} \cdot \{\beta f(t) - \beta f(\tau)\} \quad (3)$$

ここで $\phi_{v'} = \phi_{v0} \cdot \beta v(t-t_0)$

Kouji Tomita ; Kazuo Hirokawa

【仮定2】 クリープによって変化するコンクリート応力度の進行度はクリープのフロー成分の進行と相似であると仮定する。すなわち、コンクリート材令 t_0 から材令 t の区間で発生する進行度は次式で表される。

$$\sigma(\tau) = \sigma(t_0) + \frac{\sigma(t) - \sigma(t_0)}{\beta f(t) - \beta f(t_0)} \cdot \{\beta f(\tau) - \beta f(t_0)\} \quad (4)$$

5. 本解法のコンクリートの応力・ひずみ関係式

仮定2を適用することにより、連続して変化する応力度の変化速度は、式(4)を $\beta f(\tau)$ で微分することで、次式のように表すことができる。

$$d\sigma(\tau) = \frac{\sigma(t) - \sigma(t_0)}{\beta f(t) - \beta f(t_0)} d\beta f(\tau) \quad (5)$$

上式の材令 τ で発生した微小変化応力度 ($d\sigma(\tau)$) による着目材令 t でのひずみ変化は一定応力度下のコンクリートひずみと考えられ、次式で表される。

$$d_\tau \varepsilon(t) = \frac{\sigma(t) - \sigma(t_0)}{\beta f(t) - \beta f(t_0)} \cdot \frac{1}{E} \cdot (1 + \phi(t, \tau)) d\beta f(\tau) \quad (6)$$

さらに、仮定1を適用すると次式のようになる。

$$d_\tau \varepsilon(t) = \frac{\sigma(t) - \sigma(t_0)}{\beta f(t) - \beta f(t_0)} \cdot \frac{1}{E} \cdot (1 + \phi v' + \phi f_0 \cdot \{\beta f(t) - \beta f(\tau)\}) d\beta f(\tau) \quad (7)$$

式(2)の右側第2項は式(7)を $\beta f(\tau)$ で積分することによって展開できる。

すなわち、

$$\Delta \varepsilon(t) = \frac{\sigma(t) - \sigma(t_0)}{E} \cdot \left(1 + \phi v' + \frac{1}{2} \cdot \phi f_0 \cdot \{\beta f(t) - \beta f(t_0)\} \right) \quad (8)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon(t)$ は材令 t_0 から材令 t の間に発生した変化応力度によるひずみ変化量ゆえに式(2)のコンクリートの応力・ひずみ関係式は次式のようになる。

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \cdot (1 + \phi(t, t_0)) + \frac{\sigma(t) - \sigma_0}{E} \cdot \left(1 + \phi v' + \frac{1}{2} \cdot \phi f_0 \cdot \{\beta f(t) - \beta f(t_0)\} \right) + \varepsilon_s(t) \quad (9)$$

6. 結論と展望

前述のように変化応力度下におけるクリープ・乾燥収縮による応力・ひずみ関係式は式(2)に示す積分方程式から式(9)に示す平易な代数式に変換できた。これは例えば、架設段階を追った解析を行う場合に架設間隔ごとの遅れ弾性成分のみが瞬時に発生すると評価して用いれば、従来の解法に比べて遅れ弾性成分の評価精度が高くなる。また、載荷材令の異なる複数のクリープ進行度を有する構造物の解析にも適用できるので、着目架設段階での変化応力によるひずみ変化量も重ね合わせの原理により容易に評価できるものである⁽⁴⁾。

今後は架設段階を追ったクリープ解析に適用する場合の実用式ならびに任意形構造物に適用できるクリープ構造解析法を提案する予定である。なお、本文をまとめるにあたってご指導を頂いたPC斜張橋設計施工支援システム開発会参加各社の技術者各位ならびに大阪工業大学の栗田章光講師⁽⁵⁾に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説Ⅲ、コンクリート橋編、丸善、平成2年
- 2) F.レオンハルト著、横道英雄監訳 : レオンハルトのコンクリート講座5 プレストレスコンクリート、鹿島出版会、S58
- 3) D.Schade : Alterungsbeiwerte für das Kriechen von Beton nach den Spannbetonrichtlinien. Beton und Stahlbetonbau 72(1977).S.113.117
- 4) JIPS情報処理学会 : 第12回JIPS論文集、JIIPS-91-11、1991年11月
- 5) 長大コンクリート橋設計施工支援システム研究会 : PC斜張橋設計施工支援システムに関する調査研究報告書、日本電子計算(株)、平成元年5月