

V-79 架設段階を追っ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の大型化に伴って、構造形式が複雑化・多様化しており、施工方法も多種多様な工法が考案されている。このような状況下、設計上で常に問題となっているクリープ及び乾燥収縮の影響評価はさらに重要な問題となってきている。特にPC斜張橋やアーチ橋などでは、段階架設工法を用いるのが一般的であり架設時のクリープによる断面力の変動が、完成構造系の応力状態を大きく左右すると考えられる。つまり、初期の架設ステージであるほどクリープによって変化する断面力は、完成構造系に至るまで変化量が累積・拡大され大きく影響することが考えられる。本文は、架設時のクリープによる影響評価の精度を高めるため、若材令での遅れ弾性成分を考慮したクリープの影響評価解析法を架設段階を追った解析に適用する際のコンクリートの応力・ひずみ基本式について報告するものである。

2. 仮定と基本式⁽¹⁾

次の仮定が適用できる構造物であれば、若材令での遅れ弾性成分を考慮したコンクリート部材の基本式は次のように表すことができる。

【仮定1】 連続的に変化するコンクリート応力の変化量に関するクリープ進行度のうちの、比較的短期間で現われる遅れ弾性成分は着目時間間隔毎に瞬時に発生すると考える。

【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。

【基本式】 遅れ弾性成分とフロー成分を $\phi_v(t_2-t_1)$ 、 $\phi_f(t_2, t_1)$ 。乾燥収縮を $\varepsilon_s(t_2, t_1)$ 。ヤング係数をE。クリープ及び乾燥収縮によって変化した応力度を $\Delta\sigma$ 。荷重(σ_0)の載荷時およびコンクリートひずみ(ε)を算出するコンクリートの有効材令を t_1 、 t_2 としたとき次式となる。

$$\varepsilon(t_2, t_1) = \frac{\sigma_0}{E} \cdot (1 + \phi_v(t_2-t_1) + \phi_f(t_2, t_1)) + \frac{\Delta\sigma}{E} \cdot \left(1 + \phi_v' + \frac{1}{2} \cdot \phi_f(t_2, t_1)\right) + \varepsilon_s(t_2, t_1) \quad (1)$$

ここで $\phi_v' = \phi_v(t_2-t_1)$: 【仮定1】より変化する応力度 $\Delta\sigma$ に関する時刻 t_1 で瞬時に発生する遅れ弾性成分をこの記号で示す。

3. 架設段階を追ったクリープ解析の実用式

ステージ1(構造系1) ステージ2(構造系2)

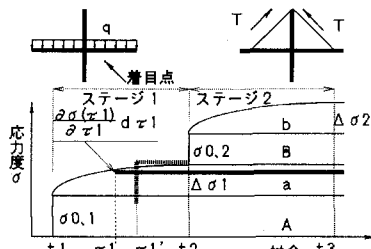


図-1 架設段階を追ったコンクリートの応力状態

図-1に示すようにステージ1で自重(q)が作用し(時刻 $t_1 \sim t_2$)、時刻 t_2 で構造系が変化して(ステージ2)斜材張力を導入する系を例にして時刻 t_3 における応力状態とその応力によるクリープひずみを考えてみる。コンクリートの応力 \sim ひずみ関係の基本式(式(1))は応力が連続的に変化する場合のみ適用できる式である。架設段階を追った解析を行う際には、ステージ毎に構造系が変化し、複数の荷重が異なった載荷材令に作用するので、コンクリート応力は不連続に変化し、上述の基本式(式(1))は適用できない。そこで、ステージ間の影響を別途評価した上で応力度が連続的に変化する区間毎に応力 \sim ひずみ関係の基本式(式(1))を適用し、重ね合わせの原理により、各架設段階のクリープの影響評価を行う。

【ステージ1】 まず、時刻 t_1 で自重(q)を載荷した直後から時刻 t_2 の直前すなわち、構造系が変化して斜材張力が作用する直前までの区間に着目するとクリープによるコンクリートひずみは式(1)より次式で得られる。

$$\Delta\varepsilon_{1} = \frac{\sigma_{0,1}}{E} \{ \phi_v(t_2-t_1) + \phi_f(t_2, t_1) \} + \frac{\Delta\sigma_1}{E} \left\{ 1 + \phi_v' + \frac{1}{2} \phi_f(t_2, t_1) \right\} \quad (2)$$

ここで $\phi_v' = \phi_v(t_2-t_1)$ 、 $\sigma_{0,1}$ は自重(q)による応力度、 $\Delta\sigma_1$ は時刻 t_2 で構造系が変化して斜材張力が作用する直前までのコンクリートの変化応力度である。

【ステージ2】 次に斜材が架設された構造系において斜材張力を導入した直後から時刻 t_3 までの区間に着目し、その区間で生じるクリープひずみを考えてみる。時刻 t_2 で初めて載荷される荷重(斜材張力)については、前述のステージ1と同様に式(1)を適用して次式で得られる。

$$\Delta\varepsilon_{2(B, b)} = \frac{\sigma_{0,2}}{E} \{ \phi_v(t_3-t_2) + \phi_f(t_3, t_2) \} + \frac{\Delta\sigma_2}{E} \left\{ 1 + \phi_v' + \frac{1}{2} \phi_f(t_3, t_2) \right\} \quad (3)$$

ここで $\phi_v' = \phi_v(t_3-t_2)$ 、 $\sigma_{0,2}$ は斜材張力(T)による応力度、 $\Delta\sigma_2$ は時刻 t_2 から時刻 t_3 までの区間に発生したコンクリートの変化応力度である。

次に、時刻 t_1 で載荷して時刻 t_2 まで既にクリープが進行している荷重について考えてみる。

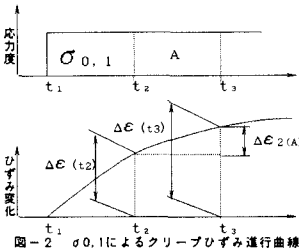


図-2 $\sigma_{0.1}$ によるクリープひずみ進行曲線

図-2に示すように時刻 t_1 で持続荷重が作用する場合の時刻 $t_2 \sim t_3$ の間で進行するクリープひずみはクリープひずみ進行曲線において時刻 $t_1 \sim t_3$ までのクリープひずみから時刻 $t_1 \sim t_2$ までのクリープひずみを差し引いた値であるので $\{\epsilon_{2(A)} = \epsilon(t_3) - \epsilon(t_2)\}$ 、フロー成分について、Whitneyの仮定⁽²⁾を用いて整理すれば次式のように示すことができる。

$$\Delta \epsilon_{2(A)} = \frac{\sigma_{0.1}}{E} \{(\phi_v(t_3 - t_1) - \phi_v(t_2 - t_1)) + \phi_f(t_3, t_2)\} \quad (4)$$

次にステージ1で発生した変化応力によるクリープひずみについて考えてみる。図-1に示すように、ステージ1で発生した変化応力は材令 t_1 から t_2 区間において連続的に荷重されているので、材令 t_2 から材令 t_3 区間の解析を行う際に、このままではクリープ進行度の評価に問題が起こる。そこで

ここで微小時間 $d\tau_1$ に発生する微小変化応力については、一定応力度下でのクリープ解析を適用できると考え、その微小変化応力度によるステージ2でのクリープひずみは次式のように表される。

$$d\epsilon_{2(a)} = \frac{\partial \sigma(\tau_1)}{\partial \tau_1} \cdot \frac{1}{E} \{(\phi_v(t_3 - \tau_1) - \phi_v(t_2 - \tau_1)) + \phi_f(t_3, t_2)\} d\tau_1 \quad (5)$$

ステージ1で発生した変化応力によるステージ2でのクリープひずみ量は上記の微小変化応力度によるものの累積として評価できる(式(6))。しかし、式(6)を用いて解析するのは、

$$\Delta \epsilon_{2(a)} = \int_{t_1}^{t_2} d\epsilon_{2(a)} \quad (6)$$

煩雑な数値積分を行う必要がある。そこで、下記の"手法"を設定し、時間関数(積分変数)である遅れ弾性成分の項を時間に無関係な定数項として評価することで実用的な解法が得られる。

【"手法"】次ステージ以降($t_{i+1} \sim t_{i+2}$)での遅れ弾性成分を評価する際の応力、ひずみは材令 t_i から t_{i+1} の区間において連続的に発生した変化応力度が材令 τ_i' ($t_i < \tau_i' < t_{i+1}$) で瞬時に荷重されたと考えて求めるものとする。

即ち、図-1に示すようにステージ1で発生した変化応力は材令 τ_1' で瞬時に荷重されたと考え、これによる時刻 t_3 でのクリープひずみは次式のように表すことができる。

$$\Delta \epsilon_{2(a)} = \frac{\Delta \sigma_1}{E} \{ \phi_{v,1,2}^* + \phi_f(t_3, t_2) \} \quad (7)$$

ここで $\phi_{v,1,2}^* = \phi_v(t_3 - \tau_1') - \phi_v(t_2 - \tau_1')$

ステージ2でのクリープひずみは重ね合わせの原理により式(3)、(4)、(7)から求めることができる。

上記の考え方にに基づき、任意ステージnにおいて発生するクリープひずみは下記のように表すことができる。

$$\Delta \epsilon_n = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{0.1}}{E} \{ \phi_{v,i,n} + \phi_{f,n} \} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta \sigma_i}{E} \{ \phi_{v,i,n}^* + \phi_{f,n} \} + \frac{\Delta \sigma_n}{E} \left\{ 1 + \phi_{v,n,n} + \frac{1}{2} \phi_{f,n} \right\} \quad (8)$$

- ここで、 $\sigma_{0.1}$: ステージiで荷重されたコンクリートの弾性応力
- $\Delta \sigma_i$: ステージiにおいて、クリープによって発生したコンクリートの変化応力
- $\phi_{v,i,n}$: ステージiでの荷重荷重によるステージnで発生する遅れ弾性成分の変化量
- $\phi_{f,n}$: ステージnにおけるフロー成分の変化量 (Whitneyの仮定より)
- $\phi_{v,i,n}^*$: ステージnにおけるステージiで発生した変化応力に関する遅れ弾性成分の変化量
- $\Delta \sigma_n$: ステージnで、クリープによって発生するコンクリートの変化応力
- E : コンクリートのヤング係数

また、乾燥収縮を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係式も式(8)と同様の考え方で取り扱える⁽⁹⁾。

4. 結論と展望

前述のように長大コンクリート橋の共通の問題点であった段階施工でのクリープ・乾燥収縮の問題を若材令での遅れ弾性成分を考慮した形で解決する方法を得た。架設時の構造物は一般に若材令のコンクリート部材で構成されているので、遅れ弾性成分の影響が大きいと言える。従来のDischinger法によるクリープ解析は、遅れ弾性成分を無視した解析であるので、架設中の解析結果に誤差があり、さらにこれが累積されて、完成系では大きな誤差が生じることが考え得る。本解法は、架設系での遅れ弾性成分を考慮しており、これらの累積誤差が小さく完成系でのクリープの影響評価の精度が高いと言える。今後は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P C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に深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 富田、廣河：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：平成4年度土木学会関西支部年次学術講演集：平成4年5月発表予定
 2) 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
 3) 富田、廣河：若材令での遅れ弾性成分を考慮したクリープの影響評価解析法：J I P 情報処理学会：第12回J I P S 論文集、JIIPS-91-11、1991年11月