

鋼コンクリート合成構造の乾燥収縮・クリープ解析における基礎式に関する考察

大阪市立大学・正会員 中井 博

大阪工業大学・正会員 〇栗田 章光

1. まえがき

コンクリートのクリープに対する考え方は、1960年頃より大きく変った。つまり、それ以前までの構造物設計におけるクリープ現象は1つの成分、すなわち、塑性成分のみとして取り扱われてきた。しかし、コンクリートの物性に関する多くの研究者達によって、クリープ現象は2つの成分、すなわち、遅れ弾性成分とフロー成分の2つから成り立っているとの考え方が実験的に明らかにされた。この考え方は、1972年の西ドイツにおける新・プレストレストコンクリート指針あたりから採用されるようになり、現在では、もちろん我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、現行の鋼合成げたの設計示方書には、この新しい考え方は反映されていない。その理由は、鋼合成げたの場合、架設系に応じて持続応力が変化するPC構造とは異なり、一般に遅れ弾性成分の影響を無視しても変化応力に大差がないとの判断によるものであろう。しかし、今後、多種多様な鋼コンクリート合成構造の出現が予想されることやコンクリート関係の設計規準類との整合性の点からして、鋼合成げた関係のこの種の設計規定を書き改める必要があるように思われる。

本文では、このような背景のもとで、PC構造を含む鋼コンクリート合成構造の乾燥収縮・クリープ解析の基礎式としてのコンクリートの応力-ひずみ関係式について2、3の考察を行った結果を報告する。

2. 各種解法における基礎式の考察

応力変化を伴うコンクリートの材令(t)における応力-ひずみ関係は次式で表される¹⁾。

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_{b0}}{E_b(t_0)} \cdot [1 + \phi(t, t_0)] + \int_{t_0}^t \frac{1 + \phi(t, t')}{E_b(t)} \cdot \frac{\partial \sigma(t')}{\partial t'} dt' + \varepsilon_s(t) \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon_b(t)$ ：任意の材令(t)におけるひずみ、 σ_{b0} ：当初応力、 $E_b(t_0)$ 、 $E_b(t)$ ：材令 t_0 およびtにおける弾性係数で一般に一定値と仮定される、 ϕ ：クリープ係数、 $\varepsilon_s(t)$ ：材令tでの乾燥収縮量、である。式(1)を構造解析へ適用するに当たって右辺第2項目の積分式を代数表現するため、いろいろな工夫がなされる。

今日、遅れ弾性成分(回復クリープ)を考慮した解法として、改良Dischinger法(ID法)、Trost-Bazant法(T-B法)および逐次法を挙げることができる。まず、ID法はRüschらの提案による方法で、遅れ弾性成分、つまり、遅れ弾性ひずみが持続応力の載荷時に弾性ひずみとともに瞬時に生じるとの仮定に基づくものであり、この方法は2つに分類される。その1つは $t - t_0 \geq 90$ 日に対して適用されるもので、ID法の原形と呼ばれる。他の1つは $t - t_0 < 90$ 日にも適用可能な拡張形である。ここに、 t_0 およびtはそれぞれ載荷および着目時のコンクリートの材令(日)を表している。この方法では、応力変化があまり大きくない場合を前提に、変化する応力 $\sigma(t')$ を一定とみなした平均値 $\sigma(t') = [\sigma(t) + \sigma_{b0}] / 2$ を考え、かつ、 $E_b(t)$ を一定値と仮定すれば、式(1)の右辺第2項目は

$$\frac{\sigma(t) - \sigma_{b0}}{E_b} \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \phi(t, t_0) \right] \quad (2)$$

で与えられ、式(1)の取扱いが極めて簡単になる。この段階で上式にはもちろん遅れ弾性成分に対するクリープ係数(ϕ)は含まれておらず、 $\phi(t, t_0)$ はフロー成分に対するクリープ係数である。この方法による場合、フロー成分に対するクリープ係数に乘ずる係数は常に1/2であるから、計算の効率は極めてよい。

しかし、応力変動が大きい問題を扱う場合、平均応力を仮定する以上、当然、計算誤差を生じることになり、DINでは応力変化量が30%以内の問題に本法の使用を認めている。本法での計算精度を上げるには、数回の時間区分を行えばよい。

次に、T-B法では、 $E_b(t)$ を一定値とみなし、式(1)での積分項を2つに分けて取り扱う。第1項目は容易に積分され、

$$\int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma(t')}{\partial t'} dt' = \sigma(t) - \sigma(t_0) = \sigma(t) - \sigma_{b0} = \Delta \sigma(t) \quad (3)$$

となり、第2項目の中に無次元量としてのリラクセーション係数 (ρ) を

$$\rho(t, t_0) = \frac{\int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma(t')}{\partial t'} \cdot \phi(t, t') dt'}{[\sigma(t) - \sigma(t_0)] \cdot \phi(t, t_0)} \leq 1 \quad (4)$$

なる形で導入すれば、式(1)は代数式として表される。遅れ弾性成分を含めたクリープ係数 $\phi(t, t_0)$ に対する $\rho(t, t_0)$ の具体的な算定法は割愛するが、例えば、Schadeの方法²⁾がある。この方法では、式(1)に含まれる積分項を与えられたクリープ係数に対して前処理することが出来るので、乾燥収縮・クリープ解析が1回の計算で行える利点がある。種々の条件下での ρ の計算結果から $t - t_0 \geq 180$ 日の問題に本法を適用する場合、近似的に $\rho = 0.8$ を用いてよいことが明かにされている³⁾。

逐次法は、解法上、一般に工学的判断を必要としない、いわゆる数学的な直接計算の手段で、式(1)に含まれる積分項を任意のクリープ係数に対して順次区分求積を行う方法であるから、ID法やT-B法と比べて実計算で多大の時間を必要とする。区分求積の方法にはいくつかの方法があり、一般に、平均応力を用いる方法が使用されているようである。なお、式(1)中の $\varepsilon_s(t)$ は、 $\varepsilon_s(t) = \varepsilon_s(\infty) \cdot \phi(t, t_0) / \phi(\infty, t_0)$ として取り扱われる場合が多い。

これら3つの方法をまとめて示すと次表のようになる。ただし、次表では $\phi(t, t_0)$ を $\phi(t)$ と表してある。

応力-ひずみ関係式の比較

解 法 名		基 礎 式
ID 法	原 形	$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_{b0}}{E_b} [1.4 + \phi_r(t)] + \frac{\Delta \sigma(t)}{E_b} [1.4 + \frac{1}{2} \phi_r(t)] + \varepsilon_s(t)$
	拡張形	$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_{b0}}{E_b} [1 + \phi_v(t) + \phi_r(t)] + \frac{\Delta \sigma(t)}{E_b} [1 + \phi_v(t) + \frac{1}{2} \phi_r(t)] + \varepsilon_s(t)$
T - B 法		$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_{b0}}{E_b} [1 + \phi^*(t)] + \frac{\Delta \sigma(t)}{E_b} [1 + \rho \phi^*(t)] + \varepsilon_s(t)$
逐 次 法		$\Delta \varepsilon_{b,i} = \frac{\sigma_{b0}}{E_{i-1}} \Delta \phi_i + \frac{\Delta \sigma_{i-1}}{E_{i-1}} (1 + \frac{1}{2} \Delta \phi_i) + \Delta \varepsilon_{s,i}$
		T-B法 : $\phi^*(t) = \phi_v(t) + \phi_r(t)$
		逐次法 : $\Delta \varepsilon_{b,i} = \varepsilon_{b,i} - \varepsilon_{b,i-1}$, $\Delta \phi_i = \phi_i - \phi_{i-1}$, $\Delta \varepsilon_{s,i} = \varepsilon_{s,i} - \varepsilon_{s,i-1}$

3. あとがき

以上に、コンクリートのクリープに関する新しい知見を含んだ3つの方法について、それらの仮定、考え方および実計算への適用性について述べたが、 ρ に関する前計算の必要があるものの1度の計算で乾燥収縮・クリープ解析が実行できるT-B法が現時点で最も有効な方法であると考えられる。

1) Neville, A.M. : Creep of Concrete-Plain, Reinforced and Prestressed, North-Holland, 1970.

2) Schade, D. : Alterungsbeiwerte für das Kriechen ----- , Beton-und Stahlbetonbau, H5, 1977.

3) Leonhardt, F. : Vorlesungen über Massivbau, Fünfter Teil, Springer-Verlag, 1980.