

PC 合成桁のクリープ・乾燥収縮応力の基本式に関する検討

新日本技研(株) 東京支社 正会員 ○徳力 健 , 同 西部支社 非会員 田中 伸英
同 仙台支店 非会員 木村 寛治 , 同 本社 正会員 倉方 慶夫

1. はじめに

コスト削減に向けて新しい形式の PC 橋の開発が盛んであるが、クリープ・乾燥収縮の実践的な計算法になると古い方式からの切換えが不十分と思える。そのような例として PC 連結合成桁の問題を取上げる。

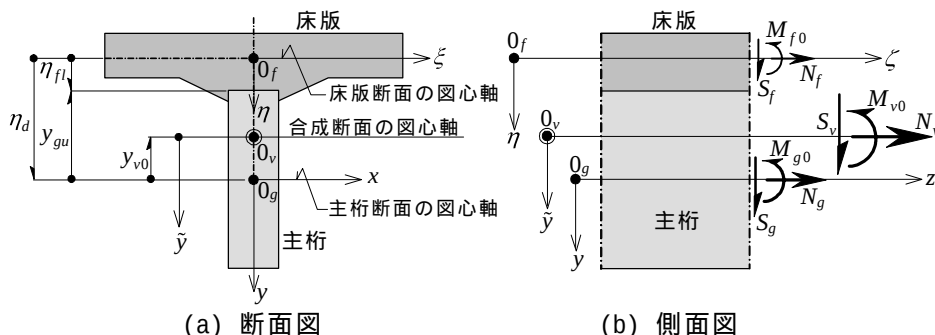


図-1 座標と断面力

道示 に PC 合成桁(図-1)のクリープ・乾燥収縮による応力の再分配の計算法として 1960 年代の Mattock の計算法が示されているが、この計算法では材齢係数が全く考慮されていないなどの問題があり、それを近似的に組込んだ Dischinger の計算法とも異なる。しかし、PC 連結桁の計算には後者の計算法が用いられ、このため PC 連結合成桁の設計計算は異質な計算法を組合せて行われている。このような不統一により、クリープ現象の本質的な理解が妨げられている。そこで、Trost 流の新しいクリープ理論に統一すべく新たに基本式を導き、数値比較を行ってみた。

2. 合成前の主桁応力と乾燥収縮による合成後のクリープ・乾燥収縮応力の基本式

材齢 t_0 に載荷された初期応力(クリープ応力を発生させる元となる応力) $\sigma_c^{(0)}$ による材齢 t におけるクリープ・乾燥収縮ひずみ $\varepsilon_c(t, t_0)$ は、材齢係数 $\rho(t, t_0)$ を導入して次式で表される。

$$\varepsilon_c(t, t_0) = \frac{\sigma_c^{(0)}}{E_c(t_0)} \phi(t, t_0) + \frac{\sigma_c(t, t_0)}{E_c(t_0)} (1 + \rho(t, t_0) \cdot \phi(t, t_0)) + \varepsilon_c^{(s)}(t) \quad (1)$$

ここに、 $E_c(t_0)$ はコンクリートのヤング係数、 $\sigma_c(t, t_0)$ はクリープ・乾燥収縮応力、 $\phi(t, t_0)$ はクリープ係数、 $\varepsilon_c^{(s)}(t)$ は乾燥収縮度を表す。これを基本式として、図-1 の床版と主桁の夫々の図心軸に関する断面力 N_f, S_f, M_{f0} と N_g, S_g, M_{g0} を算定し、それらから道示 のように床版と主桁の接合面の曲げモーメント $\bar{M}_f$ と $\bar{M}_g$ および軸方向力 N_f や N_g を求めると、以下のようである。

材齢 t_0 で主桁に初期応力(プレストレストと自重)が作用し、材齢 t_1 で床版が打設されるものとし、床版打設後の初期応力によるクリープ係数の増分を、 $\Delta\phi_g(t-t_1, t_0) = \phi_g(t, t_0) - \phi_g(t_1, t_0)$ と表すとき、

$$\left. \begin{aligned} \bar{M}_f &= M_{f0} - N_f \eta_{fl} = \frac{\Delta\phi_g(t-t_1, t_0)}{1 + \rho_g \phi_g(t, t_1)} (\bar{F}_{M1}^* \cdot \gamma_{Eg} T + \bar{F}_{M2}^* \cdot \gamma_{Eg} M_{d0}) + \frac{\phi_g(t, t_1) \cdot \bar{F}_{M2}^* M_{d1}}{1 + \rho_g \phi_g(t, t_1)} - \Delta\varepsilon_{f-g}^{(s)} E_f^* A_f \bar{F}_{M1}^{(s)*} \\ N_f &= -\frac{\Delta\phi_g(t-t_1, t_0)}{1 + \rho_g \phi_g(t, t_1)} (F_{N1}^* \cdot \gamma_{Eg} T + F_{N2}^* \cdot \gamma_{Eg} M_{d0}) + \frac{\phi_g(t, t_1) \cdot F_{N2}^* M_{d1}}{1 + \rho_g \phi_g(t, t_1)} + \Delta\varepsilon_{f-g}^{(s)} E_f^* A_f F_{N1}^{(s)*} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\bar{M}_g = M_{g0} - N_g y_{gu} = -\bar{M}_f, \quad N_g = -N_f \quad (3)$$

となる。ここに、 T は主桁のプレストレス張力(作用点の y 座標 = y_p)、 M_{d0} は主桁自重による曲げモーメント、 M_{d1} は床版打設による曲げモーメント、 $\Delta\varepsilon_{f-g}^{(s)}$ は床版と主桁の乾燥収縮ひずみの差であり、添字 f は床版、添字 g は主桁を表し、簡単のため道示 と同様に鋼材によるクリープ・乾燥収縮の拘束を無視した。また、その他の記号は以下のものである。

$$\text{ヤング係数関係: } \gamma_{Ef} = E_f(t_1)/E_f(t_1) = 1, \quad \gamma_{Eg} = E_g(t_1)/E_g(t_0) \quad (4)$$

キーワード PC 合成桁, クリープ, 乾燥収縮, クリープ係数, 材齢係数

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23 新日本技研(株)東京支社・設計部 TEL.03-3453-4321

$$E_f^* = \frac{E_f(t_1)}{1 + \rho_f \phi_f(t, t_1)}, \quad E_g^* = \frac{E_g(t_1)}{1 + \rho_g \phi_g(t, t_1)}, \quad n^* = E_f^* / E_g^* \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{F}_{M1}^* &= n^* \left(\frac{A_f \eta_{fl}}{A_v^*} - \frac{I_{f0} + A_f \eta_{fl} (\eta_d + y_{v0}^*)}{I_{v0}^*} (y_p - y_{v0}^*) \right), \quad \bar{F}_{M2}^* = n^* \frac{I_{f0} + A_f \eta_{fl} (\eta_d + y_{v0}^*)}{I_{v0}^*} \\ \bar{F}_{M1}^{(s)*} &= n^* \left(\frac{A_f \eta_{fl}}{A_v^*} + \frac{I_{f0} + A_f \eta_{fl} (\eta_d + y_{v0}^*)}{I_{v0}^*} (\eta_d + y_{v0}^*) \right) - \eta_{fl}, \quad F_{N1}^{(s)*} = n^* A_f \left(\frac{1}{A_v^*} + \frac{(\eta_d + y_{v0}^*)^2}{I_{v0}^*} \right) - 1 \\ F_{N1}^* &= n^* A_f \left(\frac{1}{A_v^*} - \frac{(\eta_d + y_{v0}^*) (y_p - y_{v0}^*)}{I_{v0}^*} \right), \quad F_{N2}^* = \frac{n^* A_f (\eta_d + y_{v0}^*)}{I_{v0}^*} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

A_f, A_g, I_{f0}, I_{g0} : 床版と主桁の断面積 A とそれぞれの図心に関する断面 2 次モーメント I_0

$$A_v^* = n^* A_f + A_g, \quad I_{v0}^* = n^* [I_{f0} + A_f (\eta_d + y_{v0}^*)^2] + I_{g0} + A_g y_{v0}^{*2}, \quad y_{v0}^* = -n^* A_f \cdot \eta_d / (n^* A_f + A_g) \quad (7)$$

3. 便覧との比較

以上において, 材齢係数を $\rho_f = \rho_g \Rightarrow 1$, 合成後のクリープ応力に対するクリープ係数を床版と主桁の区別無く $\phi_f = \phi_g \Rightarrow \phi_\infty$, プレストレスと自重に対する主桁のクリープ係数の合成後の増分を $\Delta\phi_g \Rightarrow \phi_t$, ヤング係数の材齢による変化は考慮せず常に $\gamma_f = \gamma_g \Rightarrow 1$ と置けば, 式(2)と(3)は道示の式(解 11.2.1)や式(解 11.2.1)と一致する。

表-1 ヤング係数 $E_c(t)$ (N/mm²)

	便覧の 例題	MC-90		
		クリープ計算用		弾性解析用
主桁	t 日	---	4	90
	$E_c(t)$	3.1×10^4	2.95×10^4	3.83×10^4
床版	t 日	---	---	4
	$E_c(t)$	2.5×10^4	---	2.58×10^4

(*) 主桁: $\sigma_{ck} = 40$ N/mm², 床版: $\sigma_{ck} = 24$ N/mm²

次に「コンクリート道路橋設計便覧(日本道路協会)」の第 19 章の例題を対象として数値上の比較を行う。この例題では主桁の材齢 4 日にプレストレスを与え, 床版打設時の主桁の材齢を 90 日としており, 計算に用いているヤング係数やクリープ係数を表-1 と 2 の“便覧の例題”の欄に示す。このうち, 主桁の材齢($\infty, 90$)や床版の材齢($\infty, 4$)に対するクリープ係数は括弧内の数値を用いるべきと考えるが, 何れ

表-2 クリープ係数と材齢係数

	$t_0 \rightarrow t$	便覧の例題		MC-90		
		$\phi(t, t_0)$	$\Delta\phi$	$\phi(t, t_0)$	$\Delta\phi$	$\rho(t, t_0)$
主桁 (早強セメント)	4 $\rightarrow$ 90	1.2	1.4	1.08	0.96	0.726
	4 $\rightarrow \infty$	2.6		2.04		0.642
	90 $\rightarrow \infty$	2.6(1.7)	---	1.47	---	0.889
床版(普通セメント)	4 $\rightarrow \infty$	2.6(2.8)	---	2.50	---	0.676

(*) MC-90 の計算では, 主桁, 床版とも有効部材厚を 25.0cm, 湿度 70% とした。

に対しても $\phi(\infty, t_0) = 2.6$ を採っている。おそらく Mattock の式では床版と主桁のクリープ係数の違いを扱えなかったためと思える。一方, 式(1)~(7)を用いる場合は, CEB-FIP Model Code 1990(以下, MC-90 と略す)によってヤング係数, クリープ係数および材齢係数を算定した。ただし, 床版と主桁の乾燥収縮度の差は, クリープ計算法の違いを比較することを目的としているので, 便覧と同じく $\Delta\epsilon_{f-g}^{(s)} = 6.0 \times 10^{-4}$ とした。

図-2 に計算結果を図示する。クリープ応力度では初期応力別に $\pm 20\%$ 前後の違いがあり, その合計では 15% 前後便覧の方が大きい。乾燥収縮による応力度は, 逆に約 40% 以上便覧の方が小さくなる。

4. 結語

上記の応力度の違いが直接的に設計に影響するものではないが, この他に, 床版と主桁との間にクリープ係数差があるため後死荷重によってもクリープ応力が発生すること, および連結桁の連結部の応力には計算法の違いがより大きく影響することから, 早期に新しい計算法への統合が望まれる。

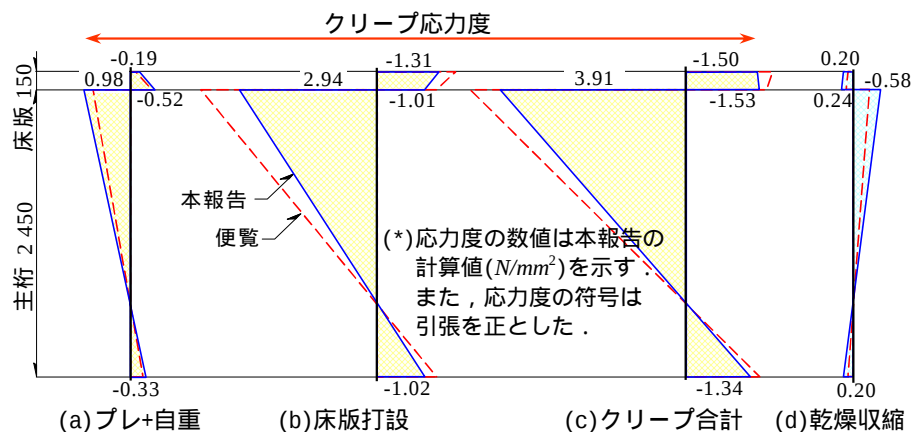


図-2 クリープ・乾燥収縮応力度の比較