

V-462

P C単純および連結合成桁のクリープ解析に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正員 石黒 如
 ドービー建設工業(株) 倉持 春雄
 日立造船(株) 岡田 俊之

まえがき: P C合成桁はプレキャスト桁と場所コンクリート床版の特長を併せ持ち、連結合成桁は走行性や維持管理の面でもすぐれている。しかし、その設計ではコンクリートのクリープ・乾燥収縮によるプレストレス減少量、主桁と床版の間の内部拘束増加量、断面力移行量を求め、これら相互の影響や主桁と床版のクリープ係数の違いによる影響、遅れ弾性歪みの影響などを適切に評価する必要がある。本報告では、次の項目を考慮した合成部材に対する段階的積分法を用いて、合成桁のクリープ解析における諸要因の影響について調べた。

- a) 主桁と床版の各コンクリート材令の進行に伴うフロー歪み係数、乾燥収縮度、弾性係数の変化。
 b) 弾性変形の発生時刻の違いとそれぞれの経過時間に伴う遅れ弾性歪み係数の変化。
 c) 鋼材によるコンクリートのクリープ変形の拘束。

解析方法(段階的積分法): 最初の荷重作用から計算時刻 t までを n 個の微小時間 Δt に分割し、断面力増分を最初の荷重作用を含めて $\{\Delta F_c\}_i (i=0, 1, 2, \dots, n)$ とおけば、 k 番目の Δt 間に生じる主桁と床版のクリープ・乾燥収縮による変形を拘束するのに必要な力 $\{\Delta F_{c\varphi a}\}_k, \{\Delta F'_{c\varphi a}\}_k$ は次式で与えられる。床版に関する変数は $'$ をつけて表わす。 $[K_c]_k$ は純断面の部材剛性マトリックス, $[E]$ は単位行列を表わす。 Δt 間の遅れ弾性歪み係数 $\Delta\varphi_d$ とフロー歪み係数 $\Delta\varphi_f$ は文献1), 弾性係数進行度 K_k は文献2)による。

$$\begin{aligned} \{\Delta F_{c\varphi a}\}_k &= -K_k \sum_{i=0}^{k-1} \{\Delta F_c\}_i (\Delta\varphi_d + \Delta\varphi_f)_{i,k} - [K_c]_k [E] \{\Delta\delta_e\}_k, \\ \{\Delta F'_{c\varphi a}\}_k &= -K'_k \sum_{i=0}^{k-1} \{\Delta F'_c\}_i (\Delta\varphi'_d + \Delta\varphi'_f)_{i,k} - [K'_c]_k [E] \{\Delta\delta'_e\}_k \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、節点力 $\{F\}$, 変位 $\{\delta\}$ および Δt 間の乾燥収縮の増分 $\{\Delta\delta_e\}$ は(2)式に示す通り。 ℓ は部材の長さ、添字 l, r は部材の両端を表わす。 Δt 間の乾燥収縮度 $\Delta\epsilon_s$ は文献1)による。

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} N_l \\ S_l \\ M_l \\ N_r \\ S_r \\ M_r \end{Bmatrix}, \quad \{\delta\} = \begin{Bmatrix} u_l \\ v_l \\ r_l \\ u_r \\ v_r \\ r_r \end{Bmatrix}, \quad \{\Delta\delta_e\} = \begin{Bmatrix} \Delta\epsilon_s \ell / 2 \\ 0 \\ 0 \\ -\Delta\epsilon_s \ell / 2 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

一方、拘束の解放によって合成断面に作用する等価節点力 $\{\Delta F_{\varphi 0}\}_k$ は次式で与えられる。ここで、合成断面の変形をコンクリート純断面に変換するマトリックス $[D]_k$ については文献4)を参照されたい。

$$\begin{aligned} \{\Delta F_{\varphi 0}\}_k &= K_k \sum_{i=0}^{k-1} [D]_k^T \{\Delta F_c\}_i (\Delta\varphi_d + \Delta\varphi_f)_{i,k} + K'_k \sum_{i=0}^{k-1} [D']_k^T \{\Delta F'_c\}_i (\Delta\varphi'_d + \Delta\varphi'_f)_{i,k} \\ &\quad + [D]_k^T [K_c]_k [E] \{\Delta\delta_e\}_k + [D']_k^T [K'_c]_k [E] \{\Delta\delta'_e\}_k \end{aligned} \quad (3)$$

拘束の解放によって生じる不静定力を $\{\Delta F_{\varphi 1}\}_k$ とおき、 Δt 間の合成断面に対する弾性変形による断面力増分を $\{\Delta F_c\}_k$ とおけば、 $t \geq 0$ に対して次式が成り立つ。但し、 $t=0$ では $\{\Delta F_c\}_k = [A]_k \{\Delta F_e\}_k$ 。

$$\begin{aligned} \{\Delta F_c\}_k &= \{\Delta F_{c\varphi a}\}_k + [A]_k (\{\Delta F_c\}_k + \{\Delta F_{\varphi 0}\}_k + \{\Delta F_{\varphi 1}\}_k), \\ \{\Delta F'_c\}_k &= \{\Delta F'_{c\varphi a}\}_k + [A']_k (\{\Delta F'_c\}_k + \{\Delta F_{\varphi 0}\}_k + \{\Delta F_{\varphi 1}\}_k) \end{aligned} \quad (4)$$

主桁と床版に断面力を分配するマトリックス $[A]_k$ については文献4)を参照されたい。以上より、時刻 t の主桁に対するクリープ・乾燥収縮によるプレストレス減少量と内部拘束増加量の和 $\{\Delta F_{\varphi 0}\}_n$ および断面力移行量 $\{F_{\varphi 1}\}_n$ は(5)式で表わされる。これらの値は数値積分によって求められる。

$$\{\Delta F_{\varphi 0}\}_n = \sum_{k=1}^n (\{\Delta F_{c\varphi a}\}_k + [A]_k \{\Delta F_{\varphi 0}\}_k), \quad \{F_{\varphi 1}\}_n = \sum_{k=1}^n \{\Delta F_{\varphi 1}\}_k \quad (5)$$

比較計算: 図-1 に示す単純合成桁およびこれを3径間連結した構造を考える。コンクリート強度は主桁 $\sigma_{c,k}$

$=400\text{kgf/cm}^2$ 、床版 $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ （ともに早強セメント使用）、コンクリート温度は 15°C 、相対湿度は70%で一定とする。主桁の桁高 H 、主桁と床版の仮想部材厚は $h_{1h}=0.517$, $h_{1h}'=1.003$ とし、床版合成は主桁打設後 6日、60日、600日、主桁連結はその直後とする。段階的積分に用いる時間間隔については、文献4)の著者らの研究より十分厳密な計算精度が得られる時間間隔条件を $\Delta\varphi_i \leq 0.1$ とする。

PC合成桁の床版の仮想部材厚は主桁の2倍程度であるが、表-1、2のようにこれを主桁と同じ値と仮定した場合でも内部拘束増加量と断面力移行量の値にはあまり変化がない。これに対して、床版合成時刻または主桁連結時刻の違いによるこれらの値の変化は大きい。このことから、合成桁のクリープ特性に対しては床版合成または主桁連結時の主桁の残留クリープの影響が大きいと考えられる。表-2に示す連結桁側間中央の内部拘束増加量は表-1の単純桁支間中央の値に極めて近い。これは移行量が合成断面全体に作用し、内部拘束に与える影響が小さいためと考えられる。主桁自重、床版自重、乾燥収縮のいずれの場合も、遅れ弾性歪みを考慮した方が考慮しないときより内部拘束増加量および断面力移行量の値が小さい。これは、最初の荷重作用による遅れ弾性歪みよりも内部拘束または移行量による遅れ弾性歪みの方が大きいためと考えられる。ただし、床版自重では床版合成または主桁連結時に荷重作用に対する遅れ弾性歪みの全量が残っているため、この回復クリープの傾向は小さく、合成・連結-3では遅れ弾性歪みを考慮した方が値が小さくなっている。本計算例では主桁の仮想部材厚が床版より小さいため、合成・連結-1で乾燥収縮差による曲げモーメントが負、その移行量が正となっている。

まとめ：本研究により、PC単純および連結合成桁のクリープ解析における諸要因の影響について以下のことがわかった。今後、近似解法でこれらを適切に評価する方法について検討する必要がある。

- 1) 合成桁では床版合成または主桁連結時の主桁の残留クリープが内部拘束増加量および断面力移行量の計算結果に与える影響が大きく、床版の仮想部材厚の変化による影響は小さい。
- 2) 断面力移行量が内部拘束増加量に与える影響は小さく、計算上問題にはならない。
- 3) 遅れ弾性歪みを考慮した方が考慮しないときより内部拘束増加量および断面力移行量の値は小さく、回復クリープの傾向がみられる。ただし、床版自重では遅れ弾性歪みによるこのような傾向は小さい。

参考文献：1) 道路橋示方書・解説(Ⅰ)(Ⅲ)、日本道路協会、1994

2) コンクリート道路橋設計便覧、日本道路協会、1985

3) コンクリート道路橋設計便覧、日本道路協会、1994

4) 石黒 如：鋼材の拘束を考慮した段階的積分法によるPC斜張橋のクリープ解析、コンクリート工学年次論文報告集、vol.13, No.2, pp.121-126, 1991

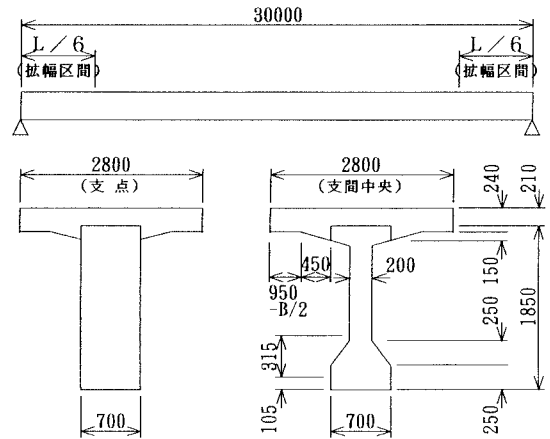


図-4 合成桁の基本形状

表-1 単純合成桁の解析結果

内部拘束増加量 (支間中央)	床版合成-1 (6日)		床版合成-2 (60日)		床版合成-3 (600日)	
	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視
主桁自重 M_{pgd}	-91.2	-95.8	-74.9	-83.3	-37.3	-46.7
$(h_{1h}'=h_{1h})$	(-91.7)	(-96.8)	(-75.5)	(-84.3)	(-37.7)	(-47.2)
床版自重 M_{pgd}'	-97.1	-99.7	-85.0	-86.6	-56.3	-48.6
$(h_{1h}'=h_{1h})$	(-97.6)	(-100.8)	(-85.5)	(-87.7)	(-56.4)	(-47.7)
乾燥収縮 M_{sgs}	-2.0	-1.0	0.5	1.6	15.4	19.4

表-2 連結合成桁の解析結果

内部拘束増加量 (側間中央)	合成・連結-1 (6日)		合成・連結-2 (60日)		合成・連結-3 (600日)	
	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視
主桁自重 M_{pgd}	-91.5	-96.4	-75.7	-84.3	-38.1	-47.9
$(h_{1h}'=h_{1h})$	(-91.8)	(-97.0)	(-76.1)	(-84.9)	(-38.3)	(-48.2)
床版自重 M_{pgd}'	-97.5	-100.3	-86.0	-87.7	-58.5	-49.8
$(h_{1h}'=h_{1h})$	(-97.8)	(-100.9)	(-86.3)	(-88.3)	(-58.6)	(-50.2)
乾燥収縮 M_{sgs}	-1.9	-0.9	0.6	1.9	15.3	19.1
断面力移行量 (中 間 支 点)	合成・連結-1 (6日)		合成・連結-2 (60日)		合成・連結-3 (600日)	
	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視	遅れ弾性考慮	遅れ弾性無視
主桁自重 M_{p1d}	-134.2	-141.7	-111.9	-124.9	-57.2	-72.3
$(h_{1h}'=h_{1h})$	(-134.2)	(-141.8)	(-111.9)	(-125.0)	(-57.2)	(-72.3)
床版自重 M_{p1d}'	-141.4	-145.8	-126.1	-128.6	-89.0	-74.4
$(h_{1h}'=h_{1h})$	(-141.4)	(-145.9)	(-126.1)	(-128.6)	(-89.0)	(-74.4)
乾燥収縮 M_{p1s}	5.2	2.1	-2.3	-6.0	-43.3	-54.1