

# 論文 PC 合成桁のクリープ特性に関する解析的研究

石黒 如\*<sup>1</sup>・近藤 亮\*<sup>2</sup>・岡田 俊之\*<sup>3</sup>

要旨：本論文では、鋼材の拘束とコンクリート弾性係数の変化を考慮した合成部材についての段階的積分法の算式を示し、これを用いてPC単純および連結合成桁のクリープ特性を解析的に調べた。また、道路橋示方書算式の計算結果を本解法による値と比較し、プレストレス減少量・内部拘束増加量・断面力移行量の相互の影響の評価について調べた。

キーワード：クリープ解析、段階的積分法、PC合成桁、連結桁

## 1. まえがき

PC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、また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、これら相互の影響を適切に評価する必要がある。本論文では、次の要因を考慮した合成部材についての段階的積分法の算式を示し、これを用いて単純および連結合成桁のクリープ特性を解析的に調べた。

- 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。

さらに、道路橋示方書の算式による計算結果を本解法による値と比較し、プレストレス減少量と内部拘束増加量、断面力移行量の間の相互の影響が適切に評価されているかどうかを調べた。

## 2. 解析方法

### 2.1 解法 I (段階的積分法)

最初の荷重作用から計算時刻  $t$  までを  $n$  個の微小時間間隔  $\Delta t$  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、 $k$  番目の微小時間  $\Delta t$  に生じる主桁のクリープ・乾燥収縮による変形を拘束するのに必要な固定端力  $\{\Delta F_{c\phi a}\}_k$  は(1)式で与えられる。 $[K_c]_k$  は時刻  $t$  におけるコンクリート純断面の部材剛性マトリックス、 $[E]$  は単位マトリックスを表わす。コンクリート弾性係数の進行度  $K_k$ <sup>2)</sup>、 $\Delta t$  間に進行する遅れ弾性歪み係数  $\Delta\phi_d$ 、フロー歪み係数  $\Delta\phi_f$ <sup>1)</sup> は、コンクリート打設後の有効経過日数、仮想部材厚を考慮して計算する。

$$\{\Delta F_{c\phi a}\}_k = -K_k \sum_{i=0}^{k-1} \{\Delta F_c\}_i (\Delta\phi_d + \Delta\phi_f)_{i,k} - [K_c]_k [E] \{\Delta\delta_o\}_k \quad (1)$$

同様に、 $k$  番目の  $\Delta t$  間に生じる床版のクリープ・乾燥収縮による変形の拘束に必要な固定端力  $\{\Delta F'_{c\phi a}\}_k$  は(2)式で与えられる。床版についての変数は主桁の各変数に ' をつけて表わす。

\*1 パシフィックコンサルタンツ(株) 総合プロジェクト部 (正会員)

\*2 (有)カブコ

\*3 日立造船(株) 橋梁設計部

$$\{ \Delta F_{c\varphi_0} \}_k = -K'_k \sum_{i=0}^{k-1} \{ \Delta F'_c \}_i (\Delta \varphi'_d + \Delta \varphi'_r)_{i,k} - [K'_c]_k [E] \{ \Delta \delta'_s \}_k \quad (2)$$

節点力ベクトル  $\{ F \}$ ，変位ベクトル  $\{ \delta \}$  および  $\Delta t$  間に生じる主桁コンクリートの乾燥収縮による変形  $\{ \Delta \delta_s \}$  は (3) 式に示す通り。  $\ell$  は部材の長さ，添字  $l$  と  $r$  は部材の両端を表わし，  $\Delta \epsilon_s$  は  $\Delta t$  間の乾燥収縮度を表わす。床版の  $\{ \Delta \delta'_s \}$  についても同様である。

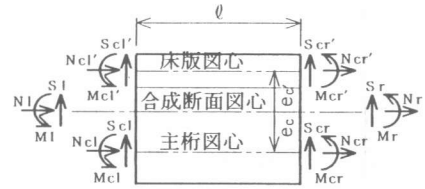


図-1 部材に作用する力

$$\{ F \} = \begin{Bmatrix} N_l \\ S_l \\ M_l \\ N_r \\ S_r \\ M_r \end{Bmatrix}, \quad \{ \delta \} = \begin{Bmatrix} u_l \\ v_l \\ r_l \\ u_r \\ v_r \\ r_r \end{Bmatrix}, \quad \{ \Delta \delta_s \} = \begin{Bmatrix} \Delta \epsilon_s \ell / 2 \\ 0 \\ 0 \\ -\Delta \epsilon_s \ell / 2 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

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 (4) 式で与えられる。  $[D]_k$  は合成断面に生じた変形を主桁のコンクリート純断面に対する値に変換するためのマトリックスであり，主桁断面図心から合成断面図心までの距離を  $e_c$  とおくと (5) 式で与えられる。床版の  $[D']_k$  についても同様である。

$$\begin{aligned} \{ \Delta F_{\varphi_0} \}_k &= K_k \sum_{i=0}^{k-1} [D]_k^T \{ \Delta F_c \}_i (\Delta \varphi'_d + \Delta \varphi'_r)_{i,k} \\ &\quad + K'_k \sum_{i=0}^{k-1} [D']_k^T \{ \Delta F'_c \}_i (\Delta \varphi'_d + \Delta \varphi'_r)_{i,k} \\ &\quad + [D]_k [K_c]_k [E] \{ \Delta \delta_s \}_k + [D']_k [K'_c]_k [E] \{ \Delta \delta'_s \}_k \end{aligned} \quad (4)$$

$$[D]_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & e_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & e_c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

拘束の解放によって生じる不静定力  $\{ \Delta F_{\varphi_1} \}_k$  は (4) 式の等価節点力を全体構造系に作用させ，変形法で解くことによって求められる。また，  $\Delta t$  間の合成断面に対する荷重作用による断面力増分を  $\{ \Delta F_c \}_k$  とおけば，  $t \geq 0$  に対して (6) 式と (7) 式が成り立つ。

$$\{ \Delta F_c \}_k = \{ \Delta F_{c\varphi_0} \}_k + [A]_k (\{ \Delta F_c \}_k + \{ \Delta F_{\varphi_0} \}_k + \{ \Delta F_{\varphi_1} \}_k) \quad (6)$$

$$\{ \Delta F'_c \}_k = \{ \Delta F'_{c\varphi_0} \}_k + [A']_k (\{ \Delta F_c \}_k + \{ \Delta F_{\varphi_0} \}_k + \{ \Delta F_{\varphi_1} \}_k) \quad (7)$$

ただし、 $t = 0$  (即ち  $k = 0$ ) のときは  $\{\Delta F_{c\varphi n}\}_k = \{\Delta F_{\varphi 0}\}_k = \{\Delta F_{\varphi 1}\}_k = \{0\}$ 。  $[A]_k$  は合成断面に作用する断面力を主桁のコンクリート純断面と鋼材に分配するためのマトリックスであり、断面に鋼材を  $m$  段配置するとき(8)式で与えられる。床版の  $[A']_k$  についても同様である。

$$[A]_k = \begin{bmatrix} \alpha_c & 0 & \beta_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_c & 0 & \beta_c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_c \end{bmatrix},$$

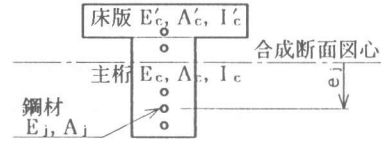


図-2 部材断面

$$\alpha_c = \frac{A_c}{A}, \quad \beta_c = \frac{A_c e_c}{I}, \quad \gamma_c = \frac{I_c}{I}, \quad \alpha_s = \frac{\sum_{j=1}^m n_j A_j}{A}, \quad n_j = \frac{E_j}{E_c}, \quad n = \frac{E'_c}{E_c},$$

$$A = A_c + n A'_c + \sum_{j=1}^m n_j A_j, \quad I = I_c + n I'_c + A_c e_c + n A'_c e'_c + \sum_{j=1}^m n_j A_j e_j \quad (8)$$

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クリープ・乾燥収縮差による内部拘束増加量の和  $\{F_{\varphi c}\}_n$  は(9)式で表わされ、クリープによる断面力移行量  $\{F_{\varphi 1}\}_n$  は(10)式で表わされる。これらの値は数値積分によって計算される。

$$\{F_{\varphi c}\}_n = \sum_{k=1}^n (\{\Delta F_{c\varphi n}\}_k + [A]_k \{\Delta F_{\varphi 0}\}_k) \quad (9)$$

$$\{F_{\varphi 1}\}_n = \sum_{k=1}^n \{\Delta F_{\varphi 1}\}_k \quad (10)$$

## 2. 2 解法 II (道路橋示方書による解法)

現在、道路橋示方書の算式に基づいて一般的に用いられている解法は以下の通りである。主桁自重による曲げモーメントを  $M_d$ 、床版自重による曲げモーメントを  $M_d'$  とおくと、主桁と床版のクリープ差によって生じる力は(11)式および(12)式で計算される。ただし、本論文では主桁自重と床版自重についてのみ解法 I との比較を行うこととし、プレストレス力は考えない。

$$N_{\varphi} = -\frac{K_1 M_d (C - B y)}{C^2 - B F} - \frac{K_0 M_d' (C - B y)}{C^2 - B F},$$

$$M_{\varphi} = -\frac{K_1 M_d (F - C y)}{B F - C^2} - \frac{K_0 M_d' (F - C y)}{B F - C^2} \quad (11)$$

$$B = 1 + m, \quad C = y - m z, \quad F = y^2 + r_1^2 + m(z^2 + r_1'^2),$$

$$m = \frac{E_c I_f}{E'_c I'_f}, \quad r_1^2 = \frac{I_f}{A_f}, \quad r_1'^2 = \frac{I'_f}{A'_f}, \quad K_0 = \frac{\varphi_0}{1 + \varphi_0}, \quad K_1 = \frac{\varphi_1}{1 + \varphi_0} \quad (12)$$

ここで、 $\varphi_0$ 、 $\varphi_1$  はプレストレス導入および床版合成から計算時刻までの主桁のクリープ係数であり、他の変数は図-3に示すように主桁と床版の総断面(充実断面)に関する値である。

一方、主桁と床版の乾燥収縮差を  $\varepsilon$  とおけば、乾燥収縮差による力は(13)式で計算される。

$$N_s = E_c I_r \frac{B}{BF - C^2} \frac{\varepsilon_s}{1 + \varphi_0},$$

$$M_s = E_c I_r \frac{C}{C^2 - BF} \frac{\varepsilon_s}{1 + \varphi_0} \quad (13)$$

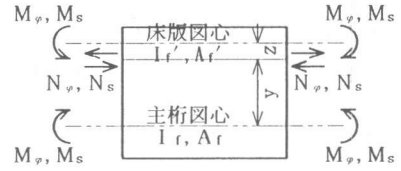


図-3 材合差による力

以上より、クリープ・乾燥収縮差による主桁に対する内部拘束増加量  $M_{\phi G}, N_{\phi G}$  は(14)式で計算される。

また、文献3)によれば、クリープによる断面力移行量  $M_{\phi 1}$  は荷重によるものとクリープ・乾燥収縮差によるものの和として表わされ、(15)式で与えられる。ただし、 $M_{d1}, M_{d1}', M_{s1}$  は主桁自重および床版自重、乾燥収縮差を連続合成桁構造に作用させた場合の不静定モーメントである。

$$M_{\phi G} = M_{\phi} + M_s + (N_{\phi} + N_s)y, \quad N_{\phi G} = N_{\phi} + N_s \quad (14)$$

$$M_{\phi 1} = (M_{d1} + M_{d1}')(1 - e^{-\varphi t}) - (M_{d1} + M_{d1}') \frac{\varphi t}{1 + \varphi_0} + M_{s1} \frac{1}{1 + \varphi_0} \quad (15)$$

これに対して、Mattock は主桁と床版の間の変形適合条件すなわちクリープ・乾燥収縮差の影響を考慮した断面力移行量の算式として(16)式を示している。<sup>4)</sup> Mattock は(12)式と(13)式についても分母を  $1 + \varphi_t$  としている。本論文では、これらの結果も段階的積分法による値と比較する。

$$M_{\phi 1} = (M_{d1} + M_{d1}') \frac{\varphi t}{1 + \varphi_t} + M_{s1} \frac{1}{1 + \varphi_t} \quad (16)$$

### 3. 比較計算

#### 3.1 PC単純合成桁

支間長  $L$  は 25m, 30m, 35m とし、基本諸元は日本道路公団標準設計に従う。コンクリート強度は主桁  $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ 、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  $15^\circ\text{C}$ 、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  $h_{1h}, h_{1h}'$  は表-1 に示す通り。床版合成時期は主桁コンクリート打設後 6日, 60日, 600日 の3ケースとする。段階的積分に用いる時間間隔については、先に著者らが文献5)で

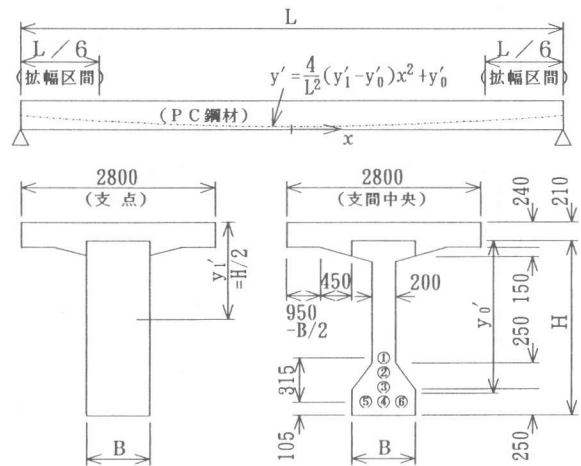


図-4 合成桁の基本形状

行った研究より、十分に厳密な計算精度が得られる時間間隔の条件を  $\Delta\varphi_t \leq 0.1$  とする。 $t'$  は実経過日数、 $t$  は有効経過日数を表わす。また、解法IではPC鋼材 (I2S12.4) を考慮した場合との比較も行うが、鋼材本数  $N$ 、定着端と支間中央での鋼材図心  $y'_1, y'_0$  は表-1 に示す通り。

表-1 基本諸元

| (m)    | L  | H    | B    | $h_{1h}$ | $h_{1h}'$ | N     | $y_1'$ | $y_0'$ |
|--------|----|------|------|----------|-----------|-------|--------|--------|
| Type-1 | 35 | 1.55 | 0.65 | 0.510    | 0.983     | 6 @-6 | 0.775  | 1.419  |
| Type-2 | 30 | 1.85 | 0.70 | 0.517    | 1.003     | 5 @-6 | 0.925  | 1.682  |
| Type-3 | 25 | 2.10 | 0.75 | 0.529    | 1.025     | 4 @-6 | 1.050  | 1.890  |

表-2 時間間隔

| i  | 主 桁       |          |                       |                       | 床 版        |          |                       |                        |
|----|-----------|----------|-----------------------|-----------------------|------------|----------|-----------------------|------------------------|
|    | $t_0$ (H) | t(H)     | $\varphi_r$           | ( $\Delta\varphi_r$ ) | $t'_0$ (H) | t'(H)    | $\varphi'_r$          | ( $\Delta\varphi'_r$ ) |
| 0  | 3         | 5        | 0.000                 |                       | 0          | 0        | 0.000                 | (0.364)                |
| 1  | 4         | 7        | (0.160/2 $\leq$ 0.1)  |                       | 3          | 5        | 0.364                 |                        |
| 2  | 6         | 10       | (0.160)               |                       | 4          | 7        | (0.123/2 $\leq$ 0.1)  |                        |
| 3  | 8         | 13       | (0.636/7 $\leq$ 0.1)  |                       | 6          | 10       | 0.487                 |                        |
| 4  | 12        | 20       |                       |                       | 10         | 17       | (0.429/6 $\leq$ 0.1)  |                        |
| 5  | 17        | 28       |                       |                       | 16         | 27       |                       |                        |
| 6  | 23        | 38       |                       |                       | 24         | 40       |                       |                        |
| 7  | 32        | 53       |                       |                       | 34         | 57       |                       |                        |
| 8  | 44        | 73       |                       |                       | 46         | 77       |                       |                        |
| 9  | 60        | 100      | (0.796)               |                       | 60         | 100      | 0.916                 |                        |
| 10 | 76        | 127      | (0.884/10 $\leq$ 0.1) |                       | 76         | 127      | (0.819/10 $\leq$ 0.1) |                        |
| 11 | 95        | 158      |                       |                       | 95         | 158      |                       |                        |
| 12 | 120       | 200      |                       |                       | 120        | 200      |                       |                        |
| 13 | 150       | 250      |                       |                       | 150        | 250      |                       |                        |
| 14 | 190       | 317      |                       |                       | 190        | 317      |                       |                        |
| 15 | 240       | 400      |                       |                       | 240        | 400      |                       |                        |
| 16 | 310       | 517      |                       |                       | 310        | 517      |                       |                        |
| 17 | 380       | 633      |                       |                       | 380        | 633      |                       |                        |
| 18 | 470       | 783      |                       |                       | 470        | 783      |                       |                        |
| 19 | 600       | 1000     | (1.680)               |                       | 600        | 1000     | 1.735                 |                        |
| 20 | 760       | 1267     | (0.592/7 $\leq$ 0.1)  |                       | 760        | 1267     | (0.683/8 $\leq$ 0.1)  |                        |
| 21 | 980       | 1633     |                       |                       | 980        | 1633     |                       |                        |
| 22 | 1300      | 2167     |                       |                       | 1300       | 2167     |                       |                        |
| 23 | 1800      | 3000     |                       |                       | 1800       | 3000     |                       |                        |
| 24 | 2500      | 4167     |                       |                       | 2500       | 4167     |                       |                        |
| 25 | 3800      | 6333     |                       |                       | 3800       | 6333     |                       |                        |
| 26 | 30000     | $\infty$ | 2.272                 |                       | 6000       | 10000    |                       |                        |
| 27 |           |          |                       |                       | 30000      | $\infty$ | 2.418                 |                        |

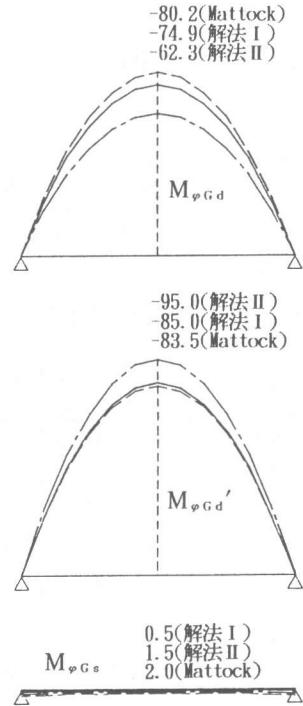


図-5 内部拘束増加量 (TYPE-2)

表-3 単純合成桁解析結果

| 支間中央 (tfm)          | TYPE-1       |         | TYPE-2      |          |              |         | TYPE-3        |         |         |          |         |
|---------------------|--------------|---------|-------------|----------|--------------|---------|---------------|---------|---------|----------|---------|
|                     | 床版合成-2 (60H) | (60H)   | 床版合成-1 (6H) | (6H)     | 床版合成-2 (60H) | (60H)   | 床版合成-3 (600H) | (600H)  |         |          |         |
| $M_{\varphi G_d}$   | 解法 I         | -46.9   | 1.000       | -91.2    | 1.000        | -74.9   | 1.000         | -37.3   | 1.000   | -110.8   | 1.000   |
|                     | 解法 II        | [-56.2] |             | [-105.6] |              | [-91.5] |               | [-58.4] |         | [-136.9] |         |
| $M_{\varphi G_d'}$  | 解法 I         | -39.0   | 0.832       | -91.3    | 1.001        | -62.3   | 0.832         | -23.1   | 0.619   | -92.0    | 0.830   |
|                     | 解法 II        | (-50.3) | (1.072)     | (-91.3)  | (1.001)      | (-80.2) | (1.071)       | (-48.7) | (1.306) | (-118.2) | (1.067) |
| $M_{\varphi G_s}$   | 解法 I         | -62.8   | 1.000       | -97.1    | 1.000        | -85.0   | 1.000         | -56.3   | 1.000   | -110.1   | 1.000   |
|                     | 解法 II        | [-67.0] |             | [-106.5] |              | [-92.1] |               | [-60.1] |         | [-120.8] |         |
| $M_{\varphi G_s'}$  | 解法 I         | -70.4   | 1.121       | -95.0    | 0.978        | -95.0   | 1.118         | -95.0   | 1.687   | -122.6   | 1.114   |
|                     | 解法 II        | (-61.8) | (0.984)     | (-95.0)  | (0.978)      | (-83.5) | (0.982)       | (-50.8) | (0.902) | (-107.9) | (0.980) |
| $M_{\varphi G_s''}$ | 解法 I         | 0.4     | 1.000       | -2.0     | 1.000        | 0.5     | 1.000         | 15.4    | 1.000   | 0.4      | 1.000   |
|                     | 解法 II        | [ 6.6]  |             | [ 7.6]   |              | [ 10.0] |               | [ 24.9] |         | [ 13.4]  |         |
| $M_{\varphi G_s''}$ | 解法 I         | 1.1     | 2.750       | -0.9     | 0.450        | 1.5     | 3.000         | 10.6    | 0.688   | 1.9      | 4.750   |
|                     | 解法 II        | ( 1.4)  | (3.500)     | (-0.9)   | (0.450)      | ( 2.0)  | (6.400)       | ( 22.3) | (1.448) | ( 2.4)   | (6.000) |

表-3 に示す解法 I の結果で、クリープ・乾燥収縮差による内部拘束増加量のうち床版自重による  $M_{\varphi G_d'}$  は主桁自重による  $M_{\varphi G_d}$  に比べて床版合成時期の違いによる変化が小さい。これは合成時に残留する遅れ弾性歪みが大きいためと考えられる。解法 II の(12)式の結果はこの遅れ弾性歪みの影響を大きく、( )内の Mattock の算式の結果はやや小さく見積もっている。これは Mattock の算式では(12)式の分母を  $1 + \varphi_1$  としているためである。全体としては Mattock の算式による計算結果が(12)式の結果より解法 I に近い値を与えている。また、解法 II では床版の残留クリープが主桁より大きいことを考慮していないため、(13)式および Mattock の算式のいずれの計算結果も乾燥収縮差による内部拘束増加量を過大に見積もる傾向がある。なお、本計算例では主桁の仮想部材厚が床版より小さいため、床版合成-1 で乾燥収縮差による曲げモーメントが負になっている。

表-3 の [ ]内は P C 鋼材の拘束を考慮した場合の値を示しているが、鋼材拘束を考慮しない場合の値との差についてはプレストレス減少量の計算の中で考慮する必要がある。

### 3. 2 P C連結合成桁

前述の合成桁を3径間連結する構造を考え、連結時期は床版合成の直後とする。

表-4 連結合成桁解析結果

| 側径間中央<br>(tfm)    |       | TYPE-1       |         | TYPE-2      |         |              |         |               |         | TYPE-3       |         |
|-------------------|-------|--------------|---------|-------------|---------|--------------|---------|---------------|---------|--------------|---------|
|                   |       | 合成・懸-2 (60日) |         | 合成・懸-1 (6日) |         | 合成・懸-2 (60日) |         | 合成・懸-3 (600日) |         | 合成・懸-2 (60日) |         |
| M <sub>φc,d</sub> | 解法 I  | -47.3        | 1.000   | -91.5       | 1.000   | -75.7        | 1.000   | -38.1         | 1.000   | -112.1       | 1.000   |
|                   | 解法 II | -39.0        | 0.825   | -91.3       | 0.998   | -62.3        | 0.823   | -23.1         | 0.606   | -92.0        | 0.821   |
|                   |       | (-50.3)      | (1.063) | (-91.3)     | (0.998) | (-80.2)      | (1.059) | (-48.7)       | (1.278) | (-118.2)     | (1.054) |
| M <sub>φc,d</sub> | 解法 I  | -63.4        | 1.000   | -97.5       | 1.000   | -86.0        | 1.000   | -58.5         | 1.000   | -111.6       | 1.000   |
|                   | 解法 II | -70.4        | 1.110   | -95.0       | 0.974   | -95.0        | 1.105   | -95.0         | 1.624   | -122.6       | 1.099   |
|                   |       | (-61.8)      | (0.975) | (-95.0)     | (0.974) | (-83.5)      | (0.971) | (-50.8)       | (0.868) | (-107.9)     | (0.967) |
| M <sub>φc,s</sub> | 解法 I  | 0.5          | 1.000   | -1.9        | 1.000   | 0.6          | 1.000   | 15.3          | 1.000   | 0.7          | 1.000   |
|                   | 解法 II | 1.1          | 2.200   | -0.9        | 0.474   | 1.5          | 2.500   | 10.6          | 0.693   | 1.9          | 2.714   |
|                   |       | ( 1.4)       | (2.800) | ( -0.9)     | (0.474) | ( 3.2)       | (5.333) | ( 22.3)       | (1.458) | ( 2.4)       | (3.429) |
| 中間支点<br>(tfm)     |       | TYPE-1       |         | TYPE-2      |         |              |         |               |         | TYPE-3       |         |
|                   |       | 合成・懸-2 (60日) |         | 合成・懸-1 (6日) |         | 合成・懸-2 (60日) |         | 合成・懸-3 (600日) |         | 合成・懸-2 (60日) |         |
| M <sub>φ1,d</sub> | 解法 I  | -65.6        | 1.000   | -134.2      | 1.000   | -111.9       | 1.000   | -57.2         | 1.000   | -174.4       | 1.000   |
|                   | 解法 II | -30.2        | 0.460   | -32.5       | 0.242   | -51.5        | 0.460   | -43.8         | 0.766   | -80.0        | 0.459   |
|                   |       | (-57.9)      | (0.883) | (-112.4)    | (0.838) | (-98.8)      | (0.883) | (-60.1)       | (1.051) | (-154.0)     | (0.883) |
| M <sub>φ1,d</sub> | 解法 I  | -87.4        | 1.000   | -141.4      | 1.000   | -126.1       | 1.000   | -89.0         | 1.000   | -171.9       | 1.000   |
|                   | 解法 II | -36.8        | 0.421   | -33.4       | 0.236   | -53.0        | 0.420   | -45.1         | 0.507   | -72.0        | 0.419   |
|                   |       | (-70.5)      | (0.807) | (-115.7)    | (0.818) | (-101.7)     | (0.807) | (-61.9)       | (0.696) | (-138.7)     | (0.807) |
| M <sub>φ1,s</sub> | 解法 I  | -1.8         | 1.000   | 5.2         | 1.000   | -2.3         | 1.000   | -43.3         | 1.000   | -2.3         | 1.000   |
|                   | 解法 II | -4.4         | 2.444   | 3.0         | 0.577   | -5.2         | 2.261   | -36.2         | 0.836   | -5.8         | 2.522   |
|                   |       | ( -5.6)      | (3.111) | ( 3.0)      | (0.577) | ( -6.7)      | (2.913) | (-76.2)       | (1.760) | ( -7.4)      | (3.217) |

表-4 の解法 I による側径間中央の内部拘束増加量の計算結果は、前述の単純桁に近い値となっている。これはクリープによる断面力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。中間支点の断面力移行量のうち床版自重によるものは、主桁連結時に残留する遅れ弾性歪みが大きいいため、主桁自重によるものに比べて連結時期の違いによる変化が小さい。また、( )内に示すように断面力移行量についても Mattockによる(16)式が(15)式より解法 I に近い値を与えているが、遅れ弾性歪みの影響をやや小さく、乾燥収縮差を大きく見積もる傾向がある。

#### 4. まとめ

P C単純および連結合成桁のクリープ特性とその評価方法について以下のことがわかった。

- 1) 内部拘束増加量と断面力移行量のいずれについても Mattockの算式が精度のよい値を与える。
- 2) 内部拘束増加量あるいは断面力移行量のうち床版自重によるものは主桁自重によるものより床版合成・連結時期の違いによる変化が小さく、これは残留する遅れ弾性歪みが大きいためと考えられるが、このような遅れ弾性歪みの影響を適切に評価する方法を検討する必要がある。
- 3) 断面力移行量が内部拘束増加量に与える影響は小さく、計算上問題とはならない。
- 4) 内部拘束増加量および断面力移行量に対する乾燥収縮差の影響などを適切に評価するため、床版と主桁の残留クリープの違いを考慮できる計算方法についての検討が必要である。

#### 5. 参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説(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, 1985.10
- 3) コンクリート道路橋設計便覧, 日本道路協会, 1994.2
- 4) Mattock, A. H.; 高速道路調査会(訳): P C合成桁の実験と理論解析, クリープおよび乾燥収縮の研究, 高速道路調査会, 1967.1
- 5) 石黒 如: 鋼材の拘束を考慮した段階的積分法による P C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