報　　告

プレキャストPC連続合成桁橋のコンクリートのクリープおよび乾燥収縮差による二次応力について

―― 異形鉄筋で連続する場合 ――

森　元　峯　夫*　野見山　維　昭***
成　田　康　夫**　吉　田　強***

1. まえがき

比較的スパンが短かく，連数の多い高架橋等ではプレキャストPC桁と現場打ちコンクリート床版との組合わせによる合成桁で，しかも支点上を異形鉄筋によって，連続した連続合成桁が用いられるようになり，現在わが国でも二，三の実例を見るようである。この場合，合成桁は普通活荷重合成であり[1]，まれに死活荷重合成[2]の場合もある。

このような合成桁の場合に，プレキャストPC桁と現場打ちのコンクリート床版との間の，乾燥収縮差およびクリープ差によって，二次的な不静定応力が生じる。この種の合成桁の単純桁の場合は，近似計算法とか，クリープの変化状態を考慮した解[3]が与えられ，一般に用いられている。

この種，連続合成桁の不静定二次モーメントは鉄筋コンクリートのプレキャスト部材による合成桁の場合[4]と異なり，プレキャストPC桁のプレストレスが大きく影響するため，クリープによる不静定二次モーメントは後者のそれと比較して，かなりの差異を示す。

著者らは最近，このような問題に実際設計で当面したので，この問題を考えて見た。この場合，単純合成桁の場合のスパン モーメントを用いて，3連モーメント式が単純に計算すると誤差が大きいので，中間支点上の二次モーメントの時間的変化を考慮して求めた方が適切であると思う。

このように考えて実際設計で計算しやすいような方程式を誘導して，数値計算によりその影響を調べて見た。

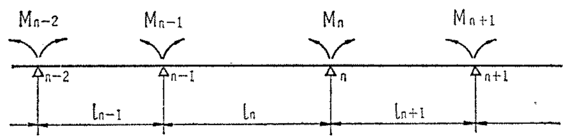
2. 不静定二次モーメントの誘導（クリープによる場合）

いま，連続合成桁の支点の番号と不静定二次モーメントを 図―1 のように定める。

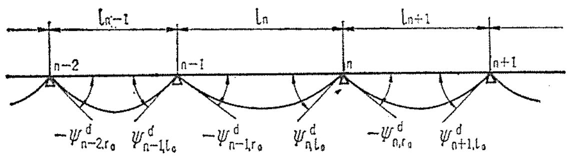
また，各荷重による支点のたわみ角を，おのおの次のように約束する。

*,*** ピー・エス・コンクリート株式会社研究部設計課
** ピー・エス・コンクリート株式会社東京事務所設計課

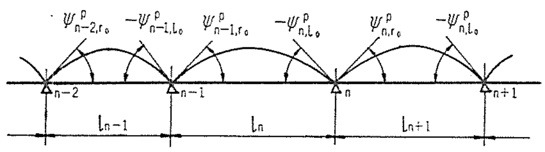
図―1 基本構造系



図―2 桁自重によるたわみ角 ($t=0$)



図―3 プレストレスによるたわみ角 ($t=0$)



(1) 桁自重およびプレストレスによるたわみ角 ($t=0$)

図―2, 3 にしたがって，プレストレス導入直後の支点のたわみ角は次のようになる。

$$\left.\begin{array}{l}\psi_{n,l_0}=\psi_n{}^d{}_{,l_0}+\psi_n{}^p{}_{,l_0}\\ \psi_{n,r_0}=+\psi_n{}^d{}_{,r_0}+\psi_n{}^p{}_{,r_0}\end{array}\right\}\cdots\cdots(1)$$

ここに，

ψ_{n,l_0}, ψ_{n,r_0}：プレストレス導入直後の n 支点の左側および，右側の単純桁のたわみ角（元線より時計まわりに回転あるものを負とする）

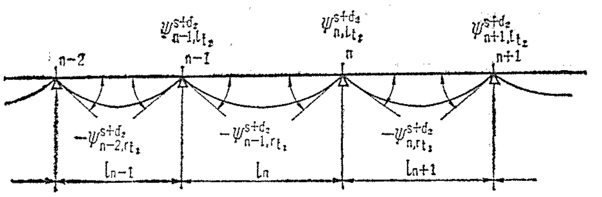
$\psi_n{}^d{}_{,l_0}$, $\psi_n{}^d{}_{,r_0}$：桁自重による n 支点の左側および右側の単純桁のたわみ角（スパンの左側負，右側が正である）

$\psi_n{}^p{}_{,l_0}$, $\psi_n{}^p{}_{,r_0}$：プレストレスによる n 支点の左側および右側の単純桁のたわみ角（スパレの左側が正，右側が負である）

(2) 場所打ちスラブによるたわみ角 ($t=t_1$)

場所打ちスラブはプレキャストPC桁のプレストレス導入ののち，$t=t_1$ の時間が経過したのち打設するものとする。

図—4　床版および地覆，高欄，舗装によるたわみ角



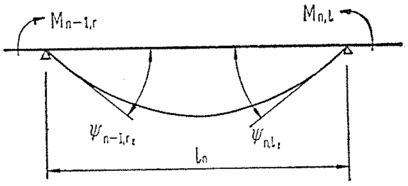
また近似的に，場所打ちスラブのコンクリートを打設してから地覆，高欄，舗装荷重が作用する時間が短かいので，これらは $t=t_1$ に同時に作用するものと仮定する。

したがって，$\psi_n{}^s{}_{,lt_1}$ の中に前記の地覆，高欄，舗装荷重によるたわみ角（連続桁としてのたわみ角）をふくめて考える。

また，この時刻 $t=t_1$ では，個々のはりは連続桁作用をしているものとする。また，この後に生じるコンクリートのクリープによる支点モーメント（不静定二次モーメント）をそれぞれ，M_{n-2}, M_{n-1}, M_n, M_{n+1}……とする。

いま，単純桁 l_n を取出し，この単純桁の支点上にそれぞれ $M_{n-1,r}$, $M_{n,l}$ を作用させた場合の l_n のたわみ角は，それぞれ次のように表わされる。

図—5　支点モーメントによるたわみ角



$$\psi_{n-1,rt_1}=\frac{l_n}{6EJ_n}(2M_{n-1,r}+M_{n,l})\quad\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$\psi_{n,lt_1}=\frac{l_n}{6EJ_n}(M_{n-1,r}+2M_{n,l})\quad\cdots\cdots\cdots(3)$$

桁 l_n において，時刻 $t=t_1$ における床版を打設し，連続桁になった直後の弾性変形のみのたわみ角を重ね合わせれば次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}\psi'_{n-1,rt_1}&=\psi_{n-1,r_0}+\psi_n{}^s{}_{-1,rt_1}+\psi_{n-1,rt_1}\\ \psi'_{n,lt_1}&=\psi_{n,l_0}+\psi_n{}^s{}_{,lt_1}+\psi_{n,lt_1}\end{aligned}\right\}\cdots(4)$$

さらに，支点上が結合されたあとでは，次の条件式が成立する。

$$\frac{d\psi'_{n,lt}}{dt}=\frac{d\psi'_{n,rt}}{dt}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

(2), (3) 式の値を (4) 式に代入して書きなおせば，弾性変形のみを考えた場合のたわみ角は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}&\psi'_{n-1,rt_1}=\psi_{n-1,r_0}+\psi_n{}^s{}_{-1,rt_1}+\frac{l_n}{6EJ_n}\\&(2M_{n-1,r}+M_{n,l})\\&\psi'_{n,lt_1}=\psi_{n,l_0}+\psi_n{}^s{}_{,lt_1}+\frac{l_n}{6EJ_n}\\&(M_{n-1,r}+2M_{n,l})\\&\psi'_{n,rt_1}=\psi_{n,r_0}+\psi_n{}^s{}_{,rt_1}+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}\\&(2M_{n,r}+M_{n+1,l})\end{aligned}\right\}\cdots(6)$$

(6) 式は弾性変形のみによる時刻 $t=t_1$ におけるたわみ角を表わしている。

Dischinger によれば，クリープの問題に関して，弾性ひずみと塑性ひずみの関係は次のようになる。

$$\varepsilon_{\text{elast}}+\varepsilon_{\text{plast}}=\varepsilon_0+\varepsilon_0\cdot\varphi_n(1-e^{-t})\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

さらに，時刻 t_1 において作用する持続荷重の場合には，

$$\varepsilon_{\text{elast}}+\varepsilon_{\text{plast}}=\varepsilon_0+\varepsilon_0\ \varphi_n(e^{-t_1}-e^{-t})\quad\cdots\cdots\cdots(8)$$

$$\varphi_t=\varphi_n(1-e^{-t})$$

であるから，これらの関係を用いて，時刻 $t=t_1$ において，連続構造となったのちのクリープの進行時間を $t=t_1$ から t とすれば，時刻 (t_1+t) では，

$$\varphi_{(t_1+t)}=\varphi_n(1-e^{-(t_1+t)})\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

となる。

したがって，(6) 式をさらに，コンクリートのクリープ変形をも考慮して，時刻 $t=t_1$ からさらに t 時間後のたわみ角を求めれば次のようになる。

$$\begin{aligned}\psi'_{n,rt}&=\psi_{n,r_0}+\psi_{n,r_0}\cdot\varphi_n(1-e^{-(t_1+t)})+\psi_n{}^s{}_{,rt_1}\\&+\psi_n{}^s{}_{,rt_1}\cdot\varphi_n(1-e^{-t})+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}(2M_{n,r}\\&+M_{n+1,l})+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}(2M_{n,r}+M_{n+1,l})\\&\times\varphi_n(1-e^{-t})\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)\end{aligned}$$

$\psi'_{n,rt}$ の時間的変化は dt で微分して得られ次のようになる。

$$\begin{aligned}\frac{d\psi'_{n,rt}}{dt}&=\psi_{n,r_0}\cdot\frac{d\varphi_{(t_1+t)}}{dt}+\psi_n{}^s{}_{,rt_1}\cdot\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}\\&+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}\left(2\ \frac{dM_{n,r}}{dt}+\frac{dM_{n+1,l}}{dt}\right)\\&+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}(2M_{n,r}+M_{n+1,l})\cdot\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}\quad(11)\end{aligned}$$

場所打ちスラブの打設により，プレキャストＰＣ桁を連続にしたのちは，次の連続条件式が成立する。

$$M_{n,l}=M_{n,r},\quad\frac{d\psi'_{n,lt}}{dt}=\frac{d\psi'_{n,rt}}{dt}\quad\cdots\cdots\cdots(12)$$

(12) 式の条件式を用いて，$d\varphi_t$ で割り dt をかければ，同次微分方程式が得られる。また，(11) 式と同様に，$\psi'_{n,lt}$ の時間的変化率は次のようになる。

$$\begin{aligned}\frac{d\psi'_{n,lt}}{dt}&=\psi_{n,l_0}\cdot\frac{d\varphi_{(t_1+t)}}{dt}+\psi_n{}^s{}_{,lt_1}\cdot\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}\\&+\frac{l_n}{6EJ_n}\left(2\ \frac{dM_{n,l}}{dt}+\frac{dM_{n-1,r}}{dt}\right)\\&+\frac{l_n}{6EJ_n}(2M_{n,l}+M_{n-1,r})\cdot\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}\cdots(13)\end{aligned}$$

(13) 式の $\dfrac{d\varphi_{(t_1+t)}}{dt}$ は次のように表わされる。

$$\varphi_{t_1+t}=\varphi_n(1-e^{-(t_1+t)}) \quad \text{であるから，}$$

$$\frac{d\varphi_{(t_1+t)}}{dt}=\varphi_n\cdot e^{-t_1}\cdot e^{-t}=\varphi_n\cdot\mu\cdot e^{-t} \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

ただし $e^{-t_1}=\mu$ で既知数である。

一方，$\frac{d\varphi_t}{dt}=\varphi_n\cdot e^{-t}$ であるから，

$$\frac{d\varphi_{t_1+t}}{dt}=\mu\cdot\frac{d\varphi_t}{dt} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

(15) 式の関係を(11),(12),(13)式に代入すれば,(12)式より，

$$\psi_{n,r_0}\cdot\mu\frac{d\varphi_t}{dt}+\psi_n{}^s{}_{,rt_1}\frac{d\varphi_t}{dt}+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}\left(2\ \frac{dM_{n,r}}{dt}+\frac{dM_{n+1,l}}{dt}\right)+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}(2M_{n,r}+M_{n+1,l})$$
$$\times\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}=\psi_{n,l_0}\cdot\mu\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}+\psi_n{}^s{}_{,lt_1}\frac{d\varphi_{(t)}}{dt}+\frac{l_n}{6EJ_n}\left(2\ \frac{dM_{n,l}}{dt}+\frac{dM_{n-1,r}}{dt}\right)+\frac{l_n}{6EJ_n}$$
$$\times(2\ M_{n,l}+M_{n-1,r})\frac{d\varphi_{(t)}}{dt} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

さらに (12) 式より $M_{n,l}=M_{n,r}=M_n$ であるから，(16)式は次のようになる。

$$(\psi_{n,r_0}\cdot\mu+\psi_n{}^s{}_{,rt_1})+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}\cdot\frac{(2\ dM_n+dM_{n+1,l})}{d\varphi_{(t)}}+\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}(2\ M_n+M_{n+1,l})=(\psi_{n,l_0}\cdot\mu+\psi_n{}^s{}_{,lt_1})$$
$$+\frac{l_n}{6EJ_n}\cdot\frac{(2\ dM_n+dM_{n-1,r})}{d\varphi_{(t)}}+\frac{l_n}{6EJ_n}(2\ M_n+M_{n-1,r}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

いま，

$$C_n=(\psi_{n,l_0}\cdot\mu+\psi_n{}^s{}_{,lt_1})-(\psi_{n,r_0}\cdot\mu+\psi_n{}^s{}_{,rt_1}),$$

$$A_n=\frac{l_n}{6EJ_n},\quad A_{n+1}=\frac{l_{n+1}}{6EJ_{n+1}}, \quad \text{とすれば，}$$

(17) 式は次のようになる。

$$\boxed{C_n+A_n\cdot\frac{dM_{n-1,r}+2\ dM_n}{d\varphi_{(t)}}-A_{n+1}\cdot\frac{2\ dM_n+dM_{n+1,l}}{d\varphi_{(t)}}+A_n\cdot(M_{n-1,r}+2\ M_n)-A_{n+1}\cdot(2\ M_n+M_{n+1,l})=0}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

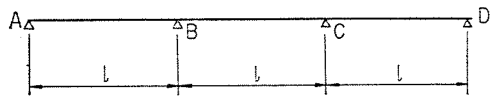
(18) 式がコンクリートの クリープによる 合成桁の不静定二次モーメントの条件式である。この場合，コンクリートの弾性係数の時間的変化は無視した。

(18) 式が n 連の連続桁に関する現場打ちコンクリート床版とプレキャストＰＣ桁を合成し鉄筋で連続桁とした場合のコンクリートのクリープによる不静定二次モーメントに関する微分方程式で，外力による支点モーメントの Clapeyrons theorem of three moments と同様に使用できる。

この微分方程式は，境界値条件 $t=t_1$ において，$\varphi_t=\varphi_{t_1}$, $M_n=0$ を用いて解くことができる。これはちょうど Monolythic に作られたＰＣ連続桁のプレストレスによる不静定二次モーメントと同様に考えることができる。

以上の結果を用いて，対称３経間連続桁の場合の不静定二次モーメントを求めれば次のようになる。

図—6　3径間連続桁



対称構造であるため，荷重状態も対称になるから $M_B=M_C=M_{B,t}$ であり (18) 式を用いて，

$$C_{l_2}-A_{l_2}\frac{3\ dM_{B,t}}{d\varphi_t}-A_{l_1}\frac{2\ dM_{B,t}}{d\varphi_t}-A_{l_2}\cdot 3\cdot M_{B,t}-A_{l_1}\cdot 2\cdot M_{B,t}=0 \cdots\cdots(19)$$

$$\frac{dM_{B,t}}{dt}(3\ A_{l_2}+2\ A_{l_1})+M_{B,t}(3\ A_{l_2}+2\ A_{l_1})=C_{l_2}$$

$$\therefore\ \frac{dM_{B,t}}{dt}+M_{B,t}=\frac{C_{l_2}}{(3\ A_{l_2}+2\ A_{l_1})} \cdots\cdots(20)$$

(20) 式の線型微分方程式を解き，$t=0\rightarrow M_{B,t}=0$ の境界値条件を用いれば，$M_{B,t}$ は次のようになる。

$$M_{B,t}=\frac{C_{l_2}}{3\ A_{l_2}+2\ A_{l_1}}(1-e^{-\varphi_t}) \cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

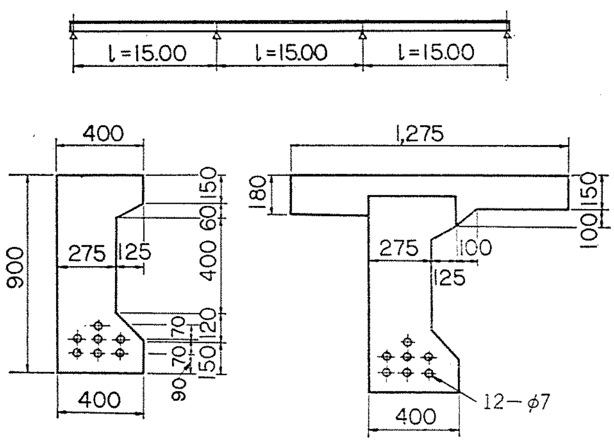
3.　計　算　例

次のような断面寸法のプレキャストＰＣ単純桁を架設したのち，ＰＣ単純桁から型わくを吊って，鉄筋コンクリートの場所打ちスラブを打設する。このとき異形鉄筋 Dϕ25 を支点上の連続用鉄筋として使用し，活荷重合成の連続合成桁とする。各荷重による単純桁のスパン中央の曲げモーメントは，それぞれ次のようである。

1. 桁自重による曲げモーメント　$M_{d_1}=20.78$ t·m
2. プレストレス モーメント

$M_p=51.22$ t·m (プレストレス導入時)

図—7　連続合成桁側面図



プレキャストPC桁断面　　　合成断面

3. 場所打ち床版による曲げモーメント

$$M_b=18.33\ \mathrm{t\cdot m}$$

4. 地覆高欄舗装による曲げモーメント

$M_{d_2}=9.7\ \mathrm{t\cdot m}$（連続桁として計算）

（1） プレストレス導入時の単純桁のたわみ角の計算

たわみ角の計算は Mohr の弾性荷重法による。

(a) 桁の自重によるたわみ角 $\psi_n{}^d{}_{,l_0}$ の計算

$$\psi_n{}^d{}_{,l_0}=\frac{2}{3}\times\frac{1}{2}\times 2\,078\,000\times 1\,500\times\frac{1}{3.1\times 10^5\times 2.219\times 10^6}=\frac{3.12\times 10^9}{20.64\times 10^{11}}=0.15\times 10^{-2}$$

(b) プレストレスによるたわみ角 $\psi_n{}^p{}_{,l_0}$ の計算

$$\psi_n{}^p{}_{,l_0}=\left[\frac{2}{3}\times\frac{1}{2}\times 0.907\times 10^6\times 1\,500+4\,215\times 10^6\times 1\,500\times\frac{1}{2}\right]\times\frac{1}{3.1\times 10^5\times 2.219\times 10^6}=0.52\times 10^{-2}$$

また，プレキャストＰＣ単純桁を製作したのち，$t_1=45$ 日で床版を施工し，異形鉄筋 Dϕ25 を用いて連続構造とする。∴ $\mu=e^{-t_1}=0.869$ となる。

（2） 場所打ち床版によるたわみ角 $\psi_n{}^s{}_{,l_{t1}}$ の計算

単純桁として計算し，プレキャストＰＣ桁の断面二次モーメントを用いて計算する。

$$\psi_{n,}{}^s{}_{l_{t1}}=\frac{2}{3}\times\frac{1}{2}\times 1\,833\times 10^6\times 1\,500\times\frac{1}{3.5\times 10^5\times 2.219\times 10^6}=0.13\times 10^{-2}$$

（3） 地覆，高欄，舗装によるたわみ角 $\psi_n{}^{d_2}{}_{,l_{t1}}$ の計算

地覆，高欄，舗装荷重は，場所打ち床版を打設したのち，ある程度時間が経過してから作用するが，これらによる応力度は小さく，時間的にも $t=t_1$ に近いので，近似的に床版荷重と同時に作用するものと考える。

また，この場合の断面二次モーメントは合成断面を用いたわみ角は，近似的に単純桁として計算する（くわしくは，連続桁としてのたわみ角を計算する）。

$$\psi_{n,}{}^{d_2}{}_{l_{t1}}=\frac{2}{3}\times\frac{1}{2}\times 970\,000\times 1\,500\times\frac{1}{3.5\times 10^5\times 2\,373\times 10^6}=0.06\times 10^{-2}$$

（4） 係数 C_n の計算

$$C_n=(\psi_{n,l_0}\cdot\mu+\psi^{s+d_2}_{n,l_{t1}})-(\psi_{n\ r_0}\cdot\mu+\psi^{s+d_2}_{n,r_{t1}})$$

ここに，

$$\psi_{n,l_0}=\psi_n{}^d{}_{,l_0}-\psi_n{}^p{}_{,l_0}$$

$$\psi_{n,r_0}=-\psi_n{}^d{}_{,r_0}+\psi_n{}^p{}_{,r_0}$$

$$\psi^{s+d_2}_{n,l_{t1}}=\psi^{s}_{n,l_{t1}}+\psi^{d_2}_{n,l_{t1}}$$

$$\psi^{s+d_2}_{n,r_{t1}}=-\psi_n{}^s{}_{,r_{t1}}-\psi_n{}^{d_2}{}_{,l_{t1}}$$

以上のことから，

$$C_n=\{(0.15-0.52)\times 10^{-2}\times 0.869+(0.13+0.06)\times 10^{-2}\}-\{(-0.15+0.52)\times 10^{-2}\times 0.869-(0.13+0.06)\times 10^{-2}\}=-0.314\times 10^{-2}$$

（5） 係数 A_n の計算

$$A_n=\frac{l_n}{6EJ_n}=\frac{1.5\times 10^3}{6\times 3.5\times 10^5\times 2.273\times 10^6}=\frac{1}{33.2\times 10^8}$$

また，$\varphi_t=2.0$ とすれば $(1-e^{-\varphi t})=0.865$ である。

したがって，コンクリートのクリープ差による不静定二次モーメントは次のようになる。

（6） 不静定二次モーメント $M_{B,t}$ の計算

以上の計算結果を (21) 式に代入すれば $M_{B,t}$ は次のようになる。

$$M_{B,t}=\frac{C_n}{5A_n}(1-e^{-\varphi t})=\frac{-0.314\times 10^{-2}}{5\times\dfrac{1}{33.2\times 10^8}}\times 0.865=\ominus 1.8^{t-m}$$

以上の結果を図示すれば次の 図—8 のようになる。

この $M_{B,t}$ は，場所打ち床版とプレキャストＰＣ桁の材令の差によるクリープの影響を考えた場合の連続合成桁のクリープによる不静定二次モーメントである。したがってクリープによる断面力は，単純桁の場合のコンクリートのクリープによる断面力とこの不静定二次モーメントによる断面力を重ね合わせたものとなる。この単純桁の場合のクリープによる断面力の計算は例えば参考文献 3) に示されている。なおこの ⊖1.8 t•m は不静定二次モーメント $M_{B,t}$ を，桁の上側に引張力を生じる場合を正として誘導したので，桁の下側に引張力を生じるように作用し，これは一般のモーメントに関する符号の約束からすれば⊕モーメントになる。

4. コンクリートの乾燥収縮差による二次モーメント

ＰＣ桁と床版コンクリートの材令の差による乾燥収縮差によって，桁は変形し，中間支点には二次的モーメントを生じるこの Differential Shrinkage の影響については次の二つの段階を考える。

（1） 連続桁の全スパンにわたって，Differential Shrinkage が作用する。この場合，桁は弾性的性状を示す。したがって，不静定二次モーメントは３連モーメントの式などを用いて解けばよい。この場合の合成断面に作用する Differential Shrinkage Moment は

$$M_s=\varepsilon_s\cdot E_s\cdot A_s\left(y'+\frac{t}{2}\right)\quad\cdots\cdots(22)$$

ここに，

ε_s : Differential Shrinkage Strain

（ＰＣ桁と床版の乾燥収縮ひずみ差）

E_s：床版コンクリートの弾性係数

A_s：床版コンクリートの断面積

$\left(y'+\frac{t}{2}\right)$：合成断面の図心と床版の図心との距離

(2)　**(1)** で計算された Differential Shrinkage Moment はコンクリートのクリープの影響を考えないものであるから，この影響を考慮するために，M_s に，$(1-e^{-\varphi t})/\varphi_t$ の係数を乗ずればよい。この係数は $\varphi=2.0$ のとき $(1-e^{-\varphi})=0.87$, $(1-e^{-\varphi})/\varphi=0.43$ となる。また，ε_s は床版とプレキャストＰＣ桁の乾燥収縮差であるから，これらの両コンクリートの材質，温度，湿度，床版と主桁の形と大きさ，両コンクリートの材令差などによって決まるものである。したがって，この ε_s を決めるときは以上の要素を念頭において決めるべきであるが，ＰＣプレキャスト桁の場合は，この Differential Shrinkage によって，クリープによる，正の不静定二次モーメントを減少させるように作用するから，ε_s の値は，小さ目の値[5] を用いるのがよいようである。

次に，床版コンクリートの E はこの Differential Shrinkage によるひずみが発達している間，連続的に変化する。しかし E は最初の数日で急速に増加し，その後は，ほとんど一定となるので，計算に用いる E 値は，床版コンクリートの σ_{28} に対応する値を用いればよい。

等スパンの 3 経間連続合成桁の場合のこの Differential Shrinkage による不静定二次モーメントは中間支点において次の値となる。

$$M_{\mathrm{dif.s}}=\ominus\frac{6}{5}M_s\frac{(1-e^{-\varphi})}{\varphi}\qquad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

(23) 式において，$M_s>0$ であるから，$M_{\mathrm{dif.s}}$ は常に負の値となり，クリープによる不静定モーメントと反対方向に作用する。例えば **図—7** の合成桁の場合にプレキャストＰＣ桁の材令 45 日において，床版コンクリートを打設するものとすれば，床版コンクリートとプレキャストＰＣ桁との乾燥収縮差 ε_s は，

$$\varepsilon_s=15\times10^{-5}-7.8\times10^{5}=7.2\times10^{-5},$$

$$E_s=3.5\times10^{6},\quad A_s=1.606\ \mathrm{cm}^2,\quad y'+\frac{t}{2}=31.2\ \mathrm{cm}$$

$$\therefore\quad M_s=7.2\times10^{-5}\times3.5\times10^{6}\times1.606\times10^{3}\times31.2$$

$$\times\frac{(1-e^{-\varphi})}{\varphi}=126.3\cdot\left(\frac{1-e^{-\varphi}}{\varphi}\right)\mathrm{t\cdot m}$$

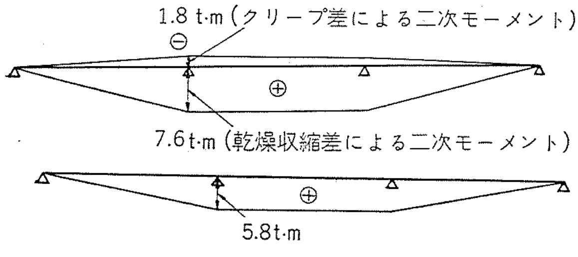
いまクリープ係数 $\varphi_{(45)}=1.035$ とすれば

$$\varphi_\infty-\varphi_{(45)}=0.965\quad\therefore\quad\frac{1-e^{-0.965}}{0.965}\fallingdotseq0.6$$

$$M_s=126.3\times0.6=7.6\ \mathrm{t\cdot m}$$

以上の計算結果を図示すれば **図—8** のようである。

図—8　クリープおよび乾燥収縮による二次モーメント



5. む す び

以上のようにして，ＰＣプレキャスト単純桁とＲＣ床版による連続合成桁の，コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による不静定二次モーメントの計算ができる。

普通の施工法では，コンクリートのクリープによるものよりも，乾燥収縮による影響の方が大きい。またこれらの不静定二次モーメントによって反力移動が生じるが，この値は，不静定二次モーメントを用いて容易に計算できる。この不静定二次モーメントは，本文で用いた計算例では，支点上の設計曲げモーメントに対し約 12% 側経間の 4 点に対して，2.5% 中央経間のスパン中央に対して 7% 程度の比率となっている。

以上のことから，中間支点に対しては，きわめて有利に作用するが，スパン中央では逆にかなりの負担となって作用することがわかる。

しかし，この不静定二次モーメントは，工期が許せば一般のＰＣ連続桁のプレストレスによる不静定二次モーメントと同様，適当に調整できる。このようなことから死活荷重合成のＰＣ連続合成桁が考えられるが，死活荷重合成の合成連続桁は，連続構造とするとき，端支点を順次ジャッキ ダウンしながら合成する作業労力に比して，クリープと乾燥収縮による負モーメントの減少が大きいので，実際には，あまり効果的な方法ではないように思われる。以上ＰＣプレキャスト桁を用いた連続合成桁橋における，コンクリートのクリープ差と乾燥収縮，による不静定二次モーメントについて述べたが，この種の構造物の設計に少しでも，御参考になればこの小論の目的は達せられたと思う。

参 考 文 献

1) 猪股俊司：プレキャストＰＣ連続橋，ＰＣ協会誌 Vol. 3, No. 5, October 1961.
2) Earl D, Bishop: Continuity Connection for Precast Prestressed Concrete Bridges, J.A.C.I., April 1962, Proceedings V. 59, No. 4.
3) 坂・岡田・六車：プレストレストコンクリート 朝倉書店
4) Herrmann Rühle: Die Herstellung statisch unbestimmeter Systeme durch nachtägliche Verabindung von Stahlbeton-fertigteilen, Beton und Stahlbetonbau 49, Jahrgang Heft 2, Februar 1954.
5) A. H. Mattock: Precast-Prestressed Concrete Bridges, 5. Creep and Shrinkage Studies, J. of the PCA Research and Developement Laboratories, May 1961.

1962.10.22・受付