

PC橋脚のクリープ解析

秋田大学 正会員 川上 洵
 秋田大学 学生員 佐藤 重一
 秋田大学 学生員 鈴木 淳一

1. まえがき

長大橋の橋脚には、PC構造がよく用いられる。これらのPC橋脚の応力とひずみは、コンクリートのクリープ、乾燥収縮、あるいはPC鋼材のリラクセーションが徐々に進むことによって、長時間にわたり変化する。このような経時変化を伴う応力と変形の解析には、代表的な解析法として、AEMM、IDM¹⁾などであるが、本論文では、逐次解析法(SSM)による解析を行い他の解析法との比較を行ったものである。

2. 逐次解析法(SSM)による解析²⁾

図-1に示されるような断面図心に関して対称に鉄筋が配置された2軸対称断面を有するPC橋脚に対し、断面図心に一定に持続するプレストレス P_0 及び軸力 P_1 が材齢 t_i で荷重されたとき、期間 $(t_\infty - t_i)$ におけるコンクリートに作用する応力及びひずみの変化を求める。ここで、 t_∞ は荷重後、無限大時間後の材齢である。コンクリートの任意材齢 t_j における弾性係数を $E_c(t_j)$ 、鉄筋及びPC鋼材の弾性係数を E_s 、内力によって生じる応力とひずみを、それぞれ、 $\sigma_c(t_j)$ 及び $\sigma_s(t_j)$ 、 $\varepsilon_c(t_j)$ 及び $\varepsilon_s(t_j)$ で表す。また、圧縮側を正量とする。

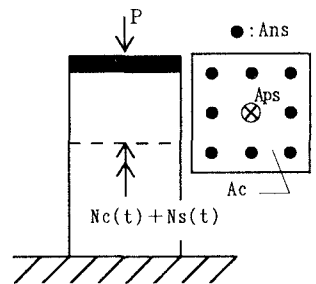


図-1

図-2のように応力変化の生じている時間を i 区間に分割する。このとき、 t_i 、 $t_{i+1/2}$ は、区間 i でのコンクリートの中間材齢、終点材齢を表し、中間材令 t_i で区間 i における応力増分が生じたものとし、連続曲線 $\sigma_c(t)$ を階段状の折れ線に近似する。また、初期応力増分 $(\Delta\sigma_c)_1$ のような急激な応力増分は、区間長が零の区間に作用しているものとする。このとき、始点、中間点及び終点の材令は同じである。材齢 $t_{i+1/2}$ におけるつり合いを考えると、

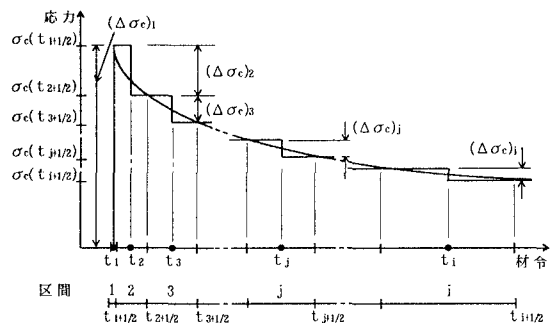


図-2

$$P = N_c(t_i) + N_s(t_i) = \sigma_c(t_{i+1/2}) \cdot A_c + \sigma_s(t_{i+1/2}) \cdot A_s$$

ただし、 $A_s = A_{ns} + A_{ps}$

ここで、 $N_c(t_i)$ 及び $N_s(t_i)$ は材齢 t_i において $P = -P_0 + P_1$ に対してコンクリート、鉄筋及びPC鋼材に作用する内力である。図-2から $\sigma_c(t_{i+1/2})$ は区間1～ i までの応力増分の合計だから式で表すと、

$$P = \sum_{j=1}^i (\Delta\sigma_c)_j \cdot A_c + \sigma_s(t_{i+1/2}) \cdot A_s$$

$$\text{上式より、} \sigma_s(t_{i+1/2}) = \frac{P}{A_s} - \sum_{j=1}^i (\Delta\sigma_c)_j \cdot \frac{1}{\rho} \quad \left(\rho = \frac{A_s}{A_c} \right) \quad \dots (1)$$

$$\varepsilon_s(t_{i+1/2}) = \frac{\sigma_s(t_{i+1/2})}{E_s} = \frac{P}{A_s E_s} - \sum_{j=1}^i (\Delta\sigma_c)_j \cdot \frac{1}{E_s \rho} \quad \dots (2)$$

また、コンクリートの全ひずみは、

$$\varepsilon_c(t_{i+1/2}) = \sum_{j=1}^i \frac{(\Delta \sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \{1 + \phi(t_{i+1/2}, t_j)\} + \varepsilon_{sh}(t_{i+1/2}, t_i) \quad \cdots (3)$$

ここで、P C橋脚の断面は平面保持するので、 $\varepsilon_o = \varepsilon_s$ であり、従って、式(2)、(3)より、

$$(\Delta \sigma_c)_i = \left[\frac{P}{A_s E_s} - \varepsilon_{sh}(t_{i+1/2}, t_i) - \sum_{j=1}^{i-1} \left\{ \frac{1 + \phi(t_{i+1/2}, t_j)}{E_c(t_j)} + \frac{1}{E_s \rho} \right\} (\Delta \sigma_c)_j \right] \cdot \left[\frac{1 + \phi(t_{i+1/2}, t_i)}{E_c(t_i)} + \frac{1}{E_s \rho} \right]^{-1}$$

次に瞬間ひずみについて考えると、 $\varepsilon_o(t_i) = \sum_{j=1}^i \varepsilon_o(t_j) = \sum_{j=1}^i \frac{(\Delta \sigma_c)_j}{E_c(t_j)}$

また、クリープひずみは、

$$\varepsilon_{creep}(t_{i+1/2}) = \varepsilon_c(t_{i+1/2}) - \varepsilon_o(t_i) - \varepsilon_{sh}(t_{i+1/2}, t_i)$$

3. 数値計算例

図-3のような2軸対称である中空八角形断面のP C橋脚について、上記の解析理論に従い数値計算を行う。この数値計算を行う際に必要なクリープ係数及びコンクリートの弾性係数、乾燥収縮を表-1に与える。また、その他の必要な値として、次の値を与える。P₀ = -40 × 10⁶ N, P₁ = 120 × 10⁶ N, A_c = 14.56 m², A_{ns} = 0.2912 m², A_{ps} = 0.0319 m², E_s = 200 GPa, B = 0.8331 m, b = 0.6096 m, H = 0.6299 m, h = 0.4064 m, w = 0.06096 mとする。

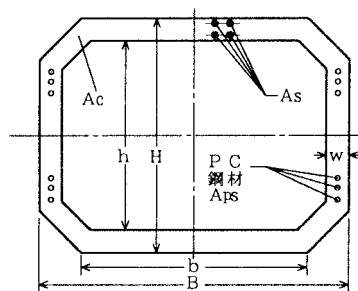


図-3

4. 結果

数値計算例の結果を表-2に示す。また、その他の応力解析法として、A E M M及びI D Mを用いたときの結果を表-3にまとめる。

表-2

解析法	S S M				
材齢 (日)	σ_c :MPa	σ_s :MPa	ε_c : $\times 10^{-6}$	ε_o : $\times 10^{-6}$	ε_{creep} : $\times 10^{-6}$
10	9.73	63.2	316	316	0
36	8.50	112	562	279	248
110	7.92	138	692	263	361
10010	5.41	251	1256	196	599

表-1

区間 i	1	2	3	4	5
中間材齢 t_i	10	15	28	48	85
終点材齢 $t_{i+1/2}$	10	20	36	60	110
$\phi(t_{i+1/2}, t_1)$	0	0.65	0.85	1.05	1.30
$\phi(t_{i+1/2}, t_2)$		0.55	0.80	1.00	1.20
$\phi(t_{i+1/2}, t_3)$			0.55	0.85	1.10
$\phi(t_{i+1/2}, t_4)$				0.65	0.95
$\phi(t_{i+1/2}, t_5)$					0.70
$E_c(t_i)$ (GPa)	30.8	32.0	33.5	34.5	35.3
$\varepsilon_{sh}(t_{i+1/2})$ ($\times 10^{-6}$)	0	21	34	48	68

表-3

解析法	A E M M					I D M				
材齢 (日)	σ_c :MPa	σ_s :MPa	ε_c : $\times 10^{-6}$	ε_o : $\times 10^{-6}$	ε_{creep} : $\times 10^{-6}$	σ_c :MPa	σ_s :MPa	ε_c : $\times 10^{-6}$	ε_o : $\times 10^{-6}$	ε_{creep} : $\times 10^{-6}$
10	9.73	63.2	316	316	0	9.73	63.2	316	316	0
36	8.59	111	553	277	241	8.84	96.6	483	287	92
110	7.98	135	677	259	350	8.01	134	672	260	205
10010	4.98	271	1353	162	730	6.14	218	1093	199	433

参考文献

- 1) R.I.Gilbert:The Effects in Concrete Structures;Elsevier,1988
- 2) Ghali,A.and Favre,A:Concrete Structures;Stress and Deformations,Chapman and Hall,2ed,1994