

V-37

2 軸曲げを受ける P C 部材の時間依存性応力解析

秋田大学 学生員 ○若山 悟史

秋田大学 永島 正紀

秋田大学 フェロー 川上 洵

1. まえがき

軸力及び2軸曲げを受けるP C部材においてコンクリートのクリープ、乾燥収縮及びP C鋼材のリラクセーションを考慮した時間依存性の応力を解析的に求めるものである。

2. 解析理論

2.1 仮定

1) 平面保持の仮定 2) 部材はフックの法則に従うものとする。3) 全断面有効とする。4) 軸力Nは引張のときを正、曲げモーメント M_x 、 M_y については、図-1の方向を正とする。

2.2 載荷直後（材齢 t_0 ）における応力とひずみ

材齢 t_0 においてプレストレス P_i 及び荷重 $\{N, M_x, M_y\}$ を基準点Oにおける軸力とモーメントに換算し作用荷重とする。

$$\begin{Bmatrix} N \\ M_x \\ M_y \end{Bmatrix}_{eq} = \begin{Bmatrix} N - \sum P_i \\ M_x - \sum P_i y_{pi} \\ M_y - \sum P_i x_{pi} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

プレストレス導入直後の基準点のひずみ ε_0 及び曲率 ψ_x 、 ψ_y は

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_0(t_0) \\ \psi_x(t_0) \\ \psi_y(t_0) \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_c(t_0)} \begin{bmatrix} A & G_x & G_y \\ G_x & I_x & I_{xy} \\ G_y & I_{xy} & I_y \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} N \\ M_x \\ M_y \end{Bmatrix}_{eq} \quad (2)$$

ここで、

A : 換算断面積

G_x 、 G_y : x、y軸に関する換算断面1次モーメント

I_x 、 I_y : x、y軸に関する換算断面2次モーメント

I_{xy} : 換算断面相乗モーメント

$E_c(t_0)$: 材齢 t_0 におけるコンクリートの弾性係数

従って、任意点(x, y)のコンクリート、各鉄筋及び各P C鋼材の応力は

$$\sigma_c(t_0) = E_c(t_0) [\varepsilon_0(t_0) + \psi_x(t_0)y + \psi_y(t_0)x]$$

$$\sigma_{si}(t_0) = E_s [\varepsilon_0(t_0) + \psi_x(t_0)y_{si} + \psi_y(t_0)x_{si}]$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ワレテンション方式 } \sigma_{pi}(t_0) &= E_p [\varepsilon_0(t_0) + \psi_x(t_0)y_{pi} + \psi_y(t_0)x_{pi}] + \frac{P_i}{a_{pi}} \\ \text{ポステンション方式 } \sigma_{pi}(t_0) &= \frac{P_i}{a_{pi}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

E_s : 鉄筋の弾性係数 E_p : P C鋼材の弾性係数

2.3 時間依存性応力とひずみの変化^{*})

クリープと乾燥収縮及びP C鋼材のリラクセーションにより、ひずみと曲率は経時変化する。この時間依存性応力を4ステップに分けて解析する。

ステップ 1 : クリープ及び乾燥収縮が拘束を受けずに自由に生じるとし、材齢 t_0 から t の期間における軸ひずみと曲率の変化を求めると、 $\phi(t, t_0)\varepsilon_0(t_0) + \varepsilon_{cs}(t, t_0)$ 、 $\phi(t, t_0)\psi_x(t_0)$ 、及び $\phi(t, t_0)\psi_y(t_0)$ となる。 $\phi(t, t_0)$ はクリープ係数、 $\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ は乾燥収縮ひずみである。

ステップ 2 : ステップ 1で求めたクリープ及び乾燥収縮の変化を拘束するために必要な応力は、

$$\sigma_{res} = -\bar{E}_c [\phi \{\varepsilon_0(t_0) + \psi_x(t_0)y + \psi_y(t_0)x\} + \varepsilon_{cs}] \quad (4)$$

ここで、 $\bar{E}_c$ は材齢修正弾性係数であり次のように定義する。

$$\bar{E}_c = \frac{E_c(t_0)}{1 + \chi\phi}$$

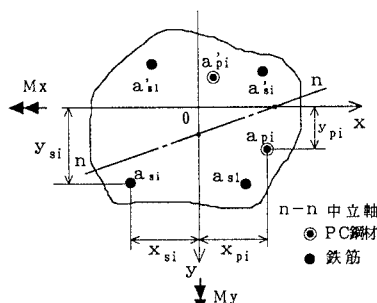


図-1 任意形断面

χ は材齢係数であり、通常0.6～0.9の間である。

ステップ 3：

$$\text{クリープを拘束する力} \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{cc} = -\bar{E}_c \phi \begin{Bmatrix} A_c & G_{cx} & G_{cy} \\ G_{cx} & I_{cx} & I_{cxy} \\ G_{cy} & I_{cxy} & I_{cy} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_o(t_o) \\ \psi_x(t_o) \\ \psi_y(t_o) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{乾燥収縮を拘束する力} \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{cs} = -\bar{E}_c \varepsilon_{cs} \begin{Bmatrix} A_c \\ G_{cx} \\ G_{cy} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

ここで、 A_c 、 G_{cx} 、 G_{cy} 、 I_{cx} 、 I_{cy} 、 I_{cxy} は、コンクリート部分のみの断面諸量である。

$$\text{P C鋼材のリラクセーションを拘束する力} \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{pr} = \begin{Bmatrix} \Delta \bar{\sigma}_{pr} \sum a_{pi} \\ \Delta \bar{\sigma}_{pr} \sum a_{pi} y_{pi} \\ \Delta \bar{\sigma}_{pr} \sum a_{pi} x_{pi} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$\Delta \bar{\sigma}_{pr}$ は材齢 t_o から t までの低減リラクセーション値である。

クリープ、乾燥収縮による変形及びリラクセーションを拘束する力は式 (5)、(6)、(7) を合計することにより得られる。

$$\begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{res} = \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{cc} + \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{cs} + \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \end{Bmatrix}_{pr} \quad (8)$$

これらの拘束を解除することにより、ひずみの変化を式 (9) で求められる。

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_o(t, t_o) \\ \Delta \psi_x(t, t_o) \\ \Delta \psi_y(t, t_o) \end{Bmatrix} = \frac{1}{\bar{E}_c} \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{G}_x & \bar{G}_y \\ \bar{G}_x & \bar{I}_x & \bar{I}_{xy} \\ \bar{G}_y & \bar{I}_{xy} & \bar{I}_y \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} -\Delta N \\ -\Delta M_x \\ -\Delta M_y \end{Bmatrix}_{res} \quad (9)$$

ここで、 $\bar{A}$ 、 $\bar{G}_x$ 、 $\bar{G}_y$ 、 $\bar{I}_x$ 、 $\bar{I}_y$ 、 $\bar{I}_{xy}$ は材齢修正弾性係数を用いて得られる材齢修正換算断面に関する断面諸量である。

ステップ 4：期間 $(t - t_o)$ において、コンクリート、鉄筋及びP C鋼材の応力変化は

$$\left. \begin{aligned} \Delta \sigma_c &= \sigma_{res} + \bar{E}_c [\Delta \varepsilon_o(t, t_o) + \Delta \psi_x(t, t_o) y + \Delta \psi_y(t, t_o) x] \\ \Delta \sigma_{si} &= E_s [\Delta \varepsilon_o(t, t_o) + \Delta \psi_x(t, t_o) y_{si} + \Delta \psi_y(t, t_o) x_{si}] \\ \Delta \sigma_{pi} &= \Delta \bar{\sigma}_{pr} + E_p [\Delta \varepsilon_o(t, t_o) + \Delta \psi_x(t, t_o) y_{pi} + \Delta \psi_y(t, t_o) x_{pi}] \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

3. 数値計算例

図-2に示すプレテンション方式のコンクリート部材に材齢 t_o でプレストレス力 $P=1250\text{kN}$ と曲げモーメント $M_x=500\text{kN-m}$ 、 $M_y=100\text{kN-m}$ が作用する。材齢 t_o と t における応力を以下に与えるデータから計算せよ。

$$E_c(t_o) = 24\text{ GPa} \quad E_s = E_p = 200\text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cs} = -300 \times 10^{-6}$$

$$\phi = 2.0 \quad \chi = 0.8 \quad \Delta \sigma_{pr} = -90\text{ MPa}$$

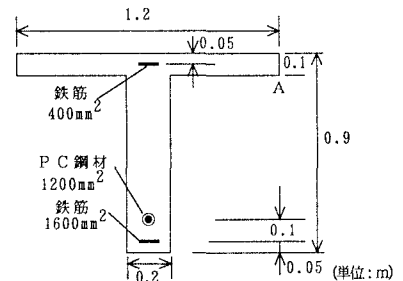


図-2 P C断面

表-1 解析結果

	材 齢 t_o		$t - t_o$		材 齢 t	
	ひずみ($\times 10^{-6}$)	応力 (MPa)	ひずみ($\times 10^{-6}$)	応力 (MPa)	ひずみ($\times 10^{-6}$)	応力 (MPa)
コンクリート (点A)	-334	-6.28	-957	9.50	-1291	3.22
引張鉄筋	-182	-67.44	-245	-24.51	-427	-91.95
P C鋼材	5028	1005.6	-295	-149.1	4733	856.5

4. むすび

本研究により任意形P C断面におけるコンクリートのクリープ、乾燥収縮及びP C鋼材のリラクセーションを考慮した時間依存性応力を求めることができる。

<参考文献> *) A.Ghali・R.Favre著 川上 洵・樫福 浄 他訳：コンクリートの応力と変形，技報堂出版，1995。