

V-38

P C 曲線部材の時間依存性応力解析

秋田大学 学 生 員 松塚 忠政

秋田大学 フェロー 川上 洵

秋田県工業技術センター 正 会 員 菅原 純

1. まえがき

P C 曲線部材においてコンクリートのクリープ、乾燥収縮、リラクセーションを考慮した時間依存性解析と、ひび割れ後のコンクリート、鉄筋及びP C 鋼材の応力-ひずみ関係を非線形に適用した弾塑性解析を行いP C 曲線部材のひび割れ後の応力分布を解析的に求めるものである。

2. P C 曲線部材の弾性応力解析

解析において次の仮定を行う。1) 部材を構成する材料はフックの法則に従う。2) 平面保持の仮定 3) 全断面有効とする。図-1のように一軸対称断面を有する曲率半径 r のP C 曲線部材に対して対称軸上に基準点Oを設け、基準点に関して軸力 N 及び曲げモーメント M が同時に作用したものを考える。ここで、引張りの軸力及び応力を正、曲げモーメントは図-1の方向を正とする。基準点から距離 y の点のひずみは

$$\varepsilon_y = \frac{r}{r-y} (\varepsilon_0 + \psi y) \quad \dots (1)$$

またフックの法則により、コンクリート、鉄筋、P C 鋼材の弾性係数をそれぞれ E_c , E_s , E_p とおくと式(1)より各応力が求められその応力及び、アームを乗じたものを断面について積分することにより軸力、曲げモーメントが得られ、基準点のひずみと曲率は、

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_0 \\ \psi \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_c(A_r I_r - G_r^2)} \begin{bmatrix} I_r & -G_r \\ -G_r & A_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} \quad \dots (2)$$

3. P C 曲線部材の時間依存性応力解析

材齢 $t = t_0$ で死荷重及びプレストレスが作用すると、期間 $(t - t_0)$ においてクリープ、乾燥収縮、リラクセーションにより断面にひずみが生じる。その軸ひずみと曲率の変化分を $\Delta \varepsilon_0(t, t_0)$, $\Delta \psi(t, t_0)$ とすると式(2)から

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_0(t, t_0) \\ \Delta \psi(t, t_0) \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_c(\overline{A_r} \overline{I_r} - \overline{G_r}^2)} \begin{bmatrix} \overline{I_r} & -\overline{G_r} \\ -\overline{G_r} & \overline{A_r} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -\Delta N \\ -\Delta M \end{Bmatrix}_{res} \quad \text{ここで、材齢修正弾性係数は } \overline{E_c} = \frac{E_c(t_0)}{1 + \chi \phi}$$

χ : 材齢係数, ϕ : クリープ係数, $\overline{A_r}$, $\overline{G_r}$, $\overline{I_r}$: 材齢修正換算断面諸量, $\begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_{res}$: 拘束断面力

4. デコンプレッション力

材齢 $t = t$ でひび割れを生じさせるような軸力 ΔN と曲げモーメント ΔM が作用する。このときこの軸力と曲げモーメントをコンクリートの応力を0にするような軸力 ΔN_1 と曲げモーメント ΔM_1 とひび割れを生じさせる軸力 ΔN_2 と曲げモーメント ΔM_2 に分けて考える。材齢 $t = t$ でコンクリートに生じている応力を逆向きに作用させたコンクリートの応力を0にする軸力 ΔN_1 、曲げモーメント ΔM_1 を求めると

$$\begin{cases} \Delta N_1 = -E_c(t_0) \{ \Delta \varepsilon_0(t_0) A_r + \Delta \psi(t_0) G_r \} + \overline{E_c} \{ (\Delta \varepsilon_{0,free} - \Delta \varepsilon_0(t, t_0)) A_r + (\Delta \psi_{free} - \Delta \psi(t, t_0)) G_r \} \\ \Delta M_1 = -E_c(t_0) \{ \Delta \varepsilon_0(t_0) G_r + \Delta \psi(t_0) I_r \} + \overline{E_c} \{ (\Delta \varepsilon_{0,free} - \Delta \varepsilon_0(t, t_0)) G_r + (\Delta \psi_{free} - \Delta \psi(t, t_0)) I_r \} \end{cases}$$

このデコンプレッション力によるひずみの変化分は式(3)で与えられ、 ΔN_1 , ΔM_1 が求められるとひび割れを生じさせる軸力と曲げモーメントは式(4)で求められる。この ΔN_2 , ΔM_2 を用いてひび割れ後の解析を行う。

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_0 \\ \Delta \psi \end{Bmatrix}_1 = \frac{1}{E_c(t)(A_r I_r - G_r^2)} \begin{bmatrix} I_r & -G_r \\ -G_r & A_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta N_1 \\ \Delta M_1 \end{Bmatrix} \quad \dots (3) \quad \begin{cases} \Delta N_2 = \Delta N - \Delta N_1 \\ \Delta M_2 = \Delta M - \Delta M_1 \end{cases} \quad \dots (4)$$

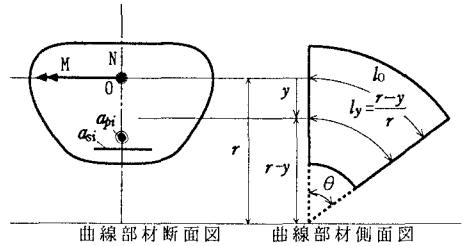


図-1 一軸対称断面を有するP C 曲線部材

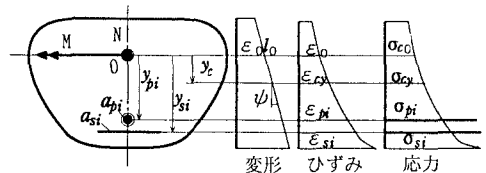


図-2 平面保持の変形とひずみ及び応力

となる。ここで A_r , G_r , I_r は換算断面諸量である。

5. P C曲線部材の弾塑性解析

弾塑性解析をするにあたり次の仮定をする。1) 平面保持の仮定、2) 引張部無視、3) 各材料の応力-ひずみ関係は図-3のようにコンクリートの応力-ひずみ関係は多数の連続した直線で表し、図-4、図-5のように鉄筋及びP C鋼材はそれぞれバイリニア、トライリニアの応力-ひずみ関係を用いる。コンクリート及び鉄筋、P C鋼材の応力とひずみはすべて直線関係であるから応力-ひずみ関係を近似した直線は式(5)のように表せる。

$\sigma = C\varepsilon + D$ ・・・(5) さらにひび割れ後の軸ひずみと曲率の変化を $\Delta\varepsilon_{o2}$, $\Delta\psi_2$ とし鉄筋、P C鋼材それぞれのデコンプレッション状態の応力 σ_{s1} , σ_{p1} に対応するひずみを ε_{s1} , ε_{p1} とおくと式(5)よりひび割れ後のコンクリート、鉄筋、P C鋼材の応力とひび割れ後の軸力、曲げモーメントの変化が次式から求められる。

$$\sigma_{c2k} = C_k(\Delta\varepsilon_{o2} + \Delta\psi_2 y_c) + D_k \quad \sigma_{s2k} = C_k(\Delta\varepsilon_{o2} + \Delta\psi_2 y_{si} + \varepsilon_{s1}) + D_i \quad \sigma_{p2im} = C_m(\Delta\varepsilon_{o2} + \Delta\psi_2 y_{pi} + \varepsilon_{p1}) + D_m \quad \dots (6)$$

$$\begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_c = \sum_i \begin{Bmatrix} \int_{A_{ck}} \sigma_{c2k} dA_{ck} \\ \int_{A_{ck}} \sigma_{c2k} y_c dA_{ck} \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_s = \sum_i \begin{Bmatrix} \sigma_{s2k} a_{si} - (\sigma_{si})_1 a_{si} \\ \sigma_{s2k} y_{si} a_{si} - (\sigma_{si})_1 y_{si} a_{si} \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \Delta N \\ \Delta M \end{Bmatrix}_p = \sum_m \begin{Bmatrix} \sigma_{p2im} a_{pi} - (\sigma_{pi})_1 a_{pi} \\ \sigma_{p2im} y_{pi} a_{pi} - (\sigma_{pi})_1 y_{pi} a_{pi} \end{Bmatrix}$$

このようにして求めた各軸力と曲げモーメントと

$$\Delta N_2, \Delta M_2 \text{ との釣り合いを考えると式(7)が成り立つ。} \quad \begin{cases} \Delta N_2 - (\Delta N_c + \Delta N_s + \Delta N_p) = 0 \\ \Delta M_2 - (\Delta M_c + \Delta M_s + \Delta M_p) = 0 \end{cases} \quad \dots (7)$$

そして式(7)を満たす $\Delta\varepsilon_{o2}$, $\Delta\psi_2$ を繰り返し計算により見出し、式(6)から応力が求められる。

6. 数値計算例

図-6に示す断面を有するプレテンションP C曲線部材において $t=t_0$ でプレストレス力1100kNが作用し、さらに材齢 $t=t_0 \sim t=t$ の間にコンクリート部材はクリープ、乾燥収縮、リラクセーションをうけ、材齢 $t=t$ で曲げモーメント 100kN-m が作用し、コンクリート部材にひび割れが生じるものとする。コンクリートのひび割れ後の応力分布を求める。コンクリートの応力-ひずみ関係は放物線変化部分を100等分した直線の連続で近似し、解析にあたり次の諸量を仮定する。 $r=3m$ $E_c(t_0)=24 \text{ GPa}$ $E_c(t)=35 \text{ GPa}$ $E_s=206 \text{ GPa}$ $E_p=196 \text{ GPa}$ $\phi=2.4$ $\chi=0.8$ $\varepsilon_{cs}=-240 \times 10^{-6}$ $\sigma_{pr}=-90 \text{ MPa}$

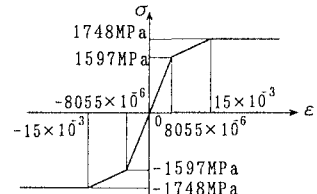
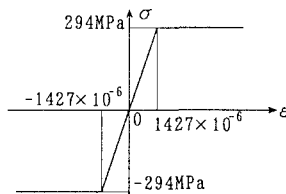
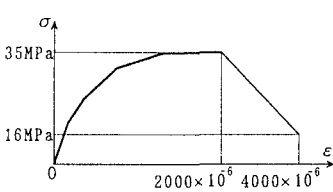


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係 図-4 鉄筋の応力-ひずみ関係 図-5 P C鋼材の応力-ひずみ関係

デコンプレッション力は

$$\Delta N_1 = 597.8 \text{ kN} \quad \Delta M_1 = 23.96 \text{ kN-m}$$

ひび割れを生じさせる断面力は

$$\Delta N_2 = -597.8 \text{ kN} \quad \Delta M_2 = 76.04 \text{ kN-m}$$

繰り返し計算により得られた

軸ひずみと曲率は

$$\begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon_o(t_2) \\ \Delta\psi(t_2) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -26.05 \times 10^{-6} \\ 6.376 \times 10^{-3}/m \end{Bmatrix}$$

であり応力分布を図-6に示す。

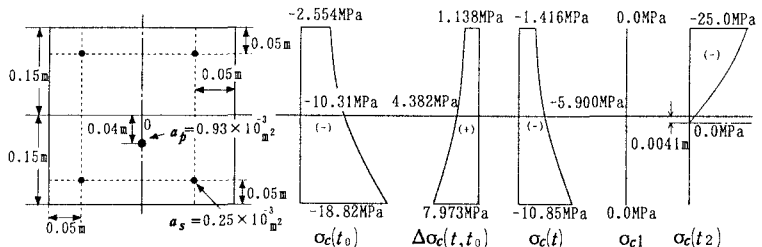


図-6 コンクリートの応力分布図