

秋田大学 正 員 川上 洵
秋田大学 学生員 〇 福田 伸
秋田大学 学生員 矢野 勝弘

1. まえがき 本研究は、単純曲げを受ける任意形断面をもつPC部材に関し、収縮・クリープを考慮して終局およびひび割れ強度を解析的に明らかにし、得られた結果に基づいて電算プログラムを開発したものである。

2. 解析

2.1 収縮・クリープの考慮 乾燥収縮、クリープの考慮は土木学会PC示方書の次式を採用する。

$$\sigma_{pp} = \frac{\eta \varphi (\sigma_{cd} + \sigma_{cpv}) + E_p \varepsilon_{cs}}{1 + \frac{\eta \sigma_{cpv}}{\sigma_{pc}} (1 + \frac{\rho}{2})}$$

φ ; クリープ係数, ε_{cs} ; 乾燥収縮ひずみ, σ_{pc} ; PC鋼初期引張応力度
 σ_{pp} ; 収縮・クリープによるPC鋼の引張応力度の減少量
 σ_{cd} ; 死荷重によるPC鋼位置におけるコンクリート応力度
 σ_{pc} ; プレストレスによるPC鋼位置におけるコンクリート応力度

2.2 終局強度

2.2.1 仮定 (1)平面保持の仮定が成り立つ。(2)コンクリートの引張抵抗は無視する。(3)破壊は圧縮縁コンクリートの最大ひずみが終局ひずみ ε_c^* に達したときとする。(4)応力-ひずみ関係はコンクリートに対して2次放物線と矩形、PC鋼線PC鋼より線およびPC鋼棒1号に対してトライアングラ、そしてPC鋼棒2号に対してバイリニアと仮定する。

2.2.2 解析理論 図-1の任意形断面のPC部材が、単純曲げを受けるとき、任意点におけるコンクリートの圧縮応力、PC鋼の引張応力は、次の式(1)~(3)のとおりである。

$$\sigma_{cy} = \begin{cases} \frac{\sigma_c^*}{r + d_j^2} \{ 2r d_j (y - d_j) - (y - d_j)^2 \} & (0 \leq \frac{y}{d_j} \leq r) \\ \sigma_c^* & (r < \frac{y}{d_j} < 1) \end{cases} \quad (1)$$

$$\sigma_p = \begin{cases} E_p \varepsilon_p^* & (0 \leq \varepsilon_p^* \leq \varepsilon_{p1}^*) \\ 0.80 \sigma_{pu} & (\varepsilon_p^* > \varepsilon_{p1}^*) \end{cases} \quad (3)$$

$$\sigma_p = \begin{cases} E_p \varepsilon_p^* & (0 \leq \varepsilon_p^* \leq \varepsilon_{p1}^*) \\ C_1 \sigma_{pu} (\varepsilon_p^* - \varepsilon_{p1}^*) + 0.80 \sigma_{pu} & (\varepsilon_{p1}^* < \varepsilon_p^* \leq 0.015) \\ 0.93 \sigma_{pu} & (\varepsilon_p^* > 0.015) \end{cases} \quad (2)$$

但し $C_1 = (0.93 - 0.84)/(0.015 - \varepsilon_{p1}^*)$
 $\varepsilon_{p1}^* = 0.84 \sigma_{pu} / E_p$
 $\varepsilon_{p2}^* = 0.80 \sigma_{pu} / E_p$

一方PC鋼のひずみ ε_p は、 $\varepsilon_p^* = \varepsilon_{pu} + \varepsilon_{cpv} + \varepsilon_p$ のように表わされる。ここで

$$\varepsilon_{pu} = (\sigma_{cu} - \sigma_{pp}) / E_p = P(1 - \sigma_{pp} / \sigma_{pc}) / A_p E_p \quad \varepsilon_{cpv} \approx 0 \quad \varepsilon_p^* = \varepsilon_c^* \sigma_p / d_j \quad \text{である。但し } P \text{ は初期引張力}$$

力のつりあい式は次式に示すとおりである。

$$C_c = T_p \quad (4)$$

$$\int_A \sigma_{cy} dA_c = \sigma_p A_p \quad (5)$$

(4)式と(5)に関する式 $f(b)$ とすると

$$f(b) = C_c - T_p$$

これを一回微分して

$$f'(b) = C_c' - T_p'$$

ニュートン・ラフソン法により

$$b_{n+1} = b_n - f(b_n) / f'(b_n) \quad (6)$$

式(6)において $b = b_{n+1} = b_n$ により中立軸

を決定する。終局時の曲げモーメントは $M_u = \int_A \sigma_{cy} y dA_c + \sigma_p y_p A_p$ (7) より得られる。

式(5)、(7)における積分に関してはガウスの積分定理を用いる。¹⁾

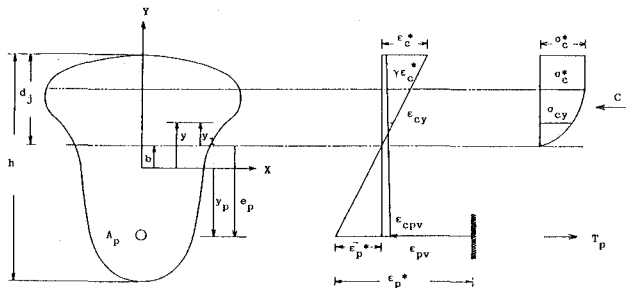


図-1

2.3 ひび割れ強度

2.3.1 仮定 (1)平面保持の仮定が成り立つ。(2)応力-ひずみ関係はコンクリートに対し圧縮部を線形、引張部と放物線と矩形とし、P.C鋼は、終局強度の仮定と同様である。(3)ひび割れの条件は引張ひずみ ϵ_{ty} が ϵ_{ty}^* に達したときとする。ここでは、 $\epsilon_{ty}^* = (18.5 + 0.02\sigma_p^*) \times 10^{-5}$ を採用した。²⁾

2.3.2 解析理論

図-2に示す任意形断面のP.C部材に単純曲げが作用するとき、任意の点におけるコンクリートの圧縮および引張応力とP.C鋼の引張応力は、式(8)~(11)で与えられる。

$$\sigma_{cy}' = \frac{E_c \epsilon_{cy}^*}{\epsilon_{cy}^*} (y - b) \quad (8)$$

$$\sigma_{cy} = \begin{cases} -\frac{\sigma_{cy}^*}{\epsilon_{cy}^*} \left\{ 2\epsilon_{cy}^* (y - b) - (y - b)^2 \right\} & (0 \leq \frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}^*} \leq \epsilon_{cy}^*) \\ \sigma_{cy}^* & (\epsilon_{cy}^* < \frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}^*} \leq 1) \end{cases} \quad (9)$$

$$\sigma_p = \begin{cases} E_p \epsilon_p^* & (0 \leq \epsilon_p^* \leq \epsilon_{pu}^*) \\ C_1 \sigma_{pu} (\epsilon_p^* - \epsilon_{pu}^*) + 0.84 \sigma_{pu} & (\epsilon_{pu}^* < \epsilon_p^* \leq 0.015) \\ 0.93 \sigma_{pu} & (\epsilon_p^* > 0.015) \end{cases} \quad (10)$$

$$\sigma_p = \begin{cases} E_p \epsilon_p^* & (0 \leq \epsilon_p^* \leq \epsilon_{pu}^*) \\ 0.80 \sigma_{pu} & (\epsilon_p^* > \epsilon_{pu}^*) \end{cases} \quad (11)$$

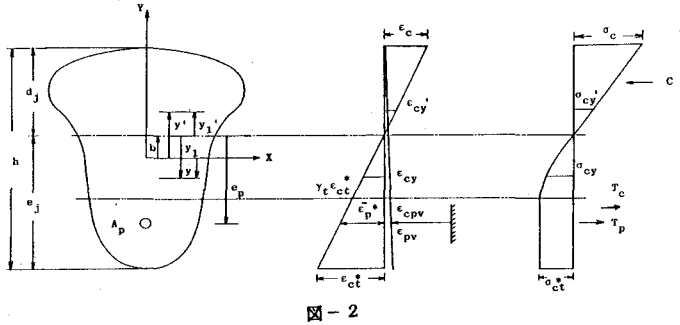


図-2

P.C鋼のひずみ ϵ_p^* は次式で表わされる。 $\epsilon_p^* = \epsilon_{pu} + \epsilon_{pu} + \epsilon_p^*$ $\epsilon_{pu} = (\sigma_{pu} - \sigma_{py})/E_p$ $\epsilon_{pu} \approx 0$ $\epsilon_p^* = \epsilon_{pu} + \epsilon_p^*$

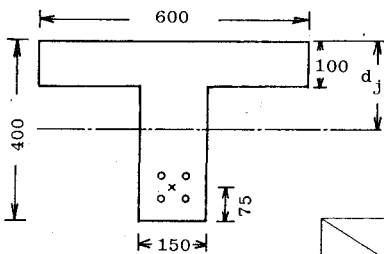
力のつりあい式は次式に示すとおりである。 $C_c = T_c + T_p$ (12) $\int_A \sigma_{cy}' dA_c = \int_A \sigma_{cy} dA_c + \sigma_p A_p$ (13)

(11)式と(12)に関する式 $f(b)$ とすると $f(b) = C_c - T_c - T_p$ これを b に対して一回微分して

$f'(b) = C_c' - T_c' - T_p'$ ニュートン・ラフソン法により $b_{n+1} = b_n - f(b_n)/f'(b_n)$ を使って b を計算しこれにより中立軸を決定する。ひび割れ発生時の曲げモーメントは次式で計算出来る。

$$M_b = \int_A \sigma_{cy}' y dA_c + \int_A \sigma_{cy} y dA_c + \sigma_p y_p A_p \quad (14)$$

3. 数値計算例



$\gamma_c = 0.6$ $\gamma_s = 0.65$ $\psi = 2.0$ $\epsilon_{cs} = 0.0002$
 $\sigma_c^* = 400 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{ct}^* = 34.4 \text{ kgf/cm}^2$ $M_{cd} = 7.38 \text{ tf-m}$ $P = 15 \times 4 = 60 \text{ tf}$
 $\sigma_{pu} = 13500 \text{ kgf/cm}^2$
 $\epsilon_c^* = 0.0035$ $\epsilon_{ct}^* = 0.000265$
 $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ $E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
 $A_p = 5.309 \times 4 = 21.236 \text{ cm}^2$

表-1 収縮・クリープを考慮したひび割れおよび終局強度

	プレストレスの減少量 tf (%)	ひび割れ強度		終局強度	
		dj(cm)	$M_{cr}(tf-m)$	dj(cm)	$M_u(tf-m)$
収縮・クリープを考慮しない	0.0 (0.0)	23.783	19.573	12.763	63.358
収縮のみ考慮	4.604 (7.67)	23.300	18.468	12.763	63.358
クリープのみ考慮	14.502 (24.17)	22.152	16.085	12.763	63.358
収縮・クリープを考慮	19.108 (31.85)	21.560	14.975	12.763	63.358

参考文献

1)川上他 "Limit States of Cracking and Ultimate Strength of Arbitrary Concrete Sections Under Biaxial Loading"

J.ACI. Vol.82 No.2 1985. p203~p212

2)横道. 藤田 鉄筋コンクリート工学(訂正2版) 共立出版 1980 p235