

(V-55) カンファインドコンクリートの実用的応力-ひずみ曲線と柱の主筋閾値鉄筋比に関する研究

防衛大学校 正会員 ○加藤 清志
浅野工学専門学校 正会員 加藤 直樹
高周波熱錬 正会員 岩坂 紀夫

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物の耐震性向上は、耐久性向上とともに重要な課題の一つである。構造的には、はりよりもむしろ柱の被害が致命的で、大きな自重と地震力とにより、斜めせん断すべりを発生させ座屈する。

圧縮応力の支配的な横拘束されたRC短柱のひずみ軟化・硬化の基本メカニズムについては前報¹⁾で示した。柱の保有耐力向上のためには、「構造用コンクリートのせん断強度増一横筋の斜めせん断補強筋法の採用一横筋・主筋の高強度化」が三位一体化されていなければならない。また、ひずみ硬化を生起させる条件は、式(1)で与えられる。

$$\partial P_c / \partial \varepsilon = A_e \{ \partial \sigma_c(\varepsilon) / \partial \varepsilon + p E_s \} \equiv 0 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 P_c ：柱の耐力、 ε ：圧縮ひずみ、 A_e ：コンクリートの有効断面、 $\sigma_c(\varepsilon)$ ：カンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線、 p ：主筋鉄筋比、 E_s ：鉄筋の弾性係数。

よって、閾値鉄筋比は式(2)で与えられ、拘束コンクリートの応力-ひずみ曲線は重要な工学的要因で、本報ではこの関数の求め方とその応用を示す。

$$P_{th} = -1 / E_s \cdot \partial \sigma_c(\varepsilon) / \partial \varepsilon \dots \dots \dots (2)$$

2. カンファインドコンクリートの実用的応力-ひずみ曲線式

2.1 Manderの基本式 Manderら²⁾は横拘束筋のピッチを考慮した円管方法による応力-ひずみ曲線を式(3)のように示した。

$$\sigma_c(\varepsilon) = \gamma E_{sec} \varepsilon / \{ \gamma - 1 + (\varepsilon / \varepsilon_c)^\gamma \} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $\gamma = E_c / (E_c - E_{sec})$, (≥ 1) $\dots \dots \dots (4)$ 、 E_{sec} ：カンファインドコンクリートの終局割線係数 $E_{sec} = f'_{cc} / \varepsilon_{cc} \dots \dots \dots (5)$ 、 ε_{cc} ：カンファインドコンクリートの終局ひずみ、 f'_{cc} ：カンファインドコンクリートの終局強度、 ε ：カンファインドコンクリートの任意圧縮ひずみ。

Mander式は、前述の仮定と諸元を求めるのに多くの複雑な仮定に基づいているのが難点である。

2.2 カンファインドコンクリートの実用的応力-ひずみ曲線 式(4)から $\gamma = 1 / (1 - \lambda)$, $\lambda = E_{sec} / E_c \leq 1 \dots (6)$, $E_c = f'_{co} / \varepsilon_{co}$ 。ここに、 f'_{co} , ε_{co} ：プレーンコンクリートの終局強度とひずみ。

前報¹⁾で示したようにカンファインドコンクリートの圧縮強度は式(7)で与えられる。

$$f'_{cc} = \eta f'_{co} = f'_{co} (1.00 + 17.47 \xi - 23.274 \xi^2) \dots \dots \dots (7)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \{ 1 + 5 (f'_{cc} / f'_{co} - 1) \} = \varepsilon_{co} \{ 1 + 5 (\eta - 1) \} \dots \dots \dots (8)$$

$$E_{sec} = \eta f'_{co} / [\varepsilon_{co} \{ 1 + 5 (\eta - 1) \}] = E_c \{ 1 + 4 / (1.00 + 87.35 \xi - 116.37 \xi^2) \} / 5 = \lambda E_c \dots \dots \dots (9)$$

2.3 拘束応力比と横拘束筋比との関係 拘束応力比は式(10)で与えられる³⁾。

$$\xi = 0.375 \{ 1 - (1 - 0.305 \mu f_{yd} \bar{p} / \tau_{u0})^{1/2} \} \dots \dots \dots (10)$$

ここに、 $\bar{p} \equiv \Sigma p \sin^2 \theta$, $\mu = 0.12 (f'_{cd})^{1/2} \dots \dots \dots (11)$ 換算横拘束筋比 $\bar{p}$ は式(12)で与えられる。

$$\bar{p} = \{ 145.68 (1 - 1.333 \xi) \varepsilon_{u0} \} / \{ f_{yd} (f'_{cd})^{1/2} \} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{ここに、} \tau_{u0} = f'_{co} / 6, f'_{cd} = 0.77 f'_{ck} \approx 0.77 f'_{co} \dots \dots \dots (13)$$

2.4 実用Mander修正式 Mander式(3)は式(14)のように修正される。

$$\sigma_c(\varepsilon) = \lambda / (1 - \lambda) \cdot E_c \varepsilon / \{ \lambda / (1 - \lambda) + (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma \} = \phi E_c \varepsilon / \{ \phi + (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma \} \dots \dots \dots (14)$$

$$\text{ここに、} \phi \equiv \lambda / (1 - \lambda) \dots \dots \dots (15)$$

図-1 は換算鉄筋比・コンクリート強度・拘束応力比との関係を、図-2 はカンファインドコンクリー

ト強度・コンクリート強度・拘束応力比との関係を、図-3は $\gamma \cdot \phi \cdot \xi$ との関係を、図-4はカンファインドコンクリートの終局ひずみと拘束応力比との関係をそれぞれ示す。

2.5 ケーススタディ [1]柱モデル 角柱 (150×150×530mm)、スパイラル形斜めせん断補強筋法 (SD30; $a_s=1\phi 6=0.283\text{cm}^2$ 、らせん角20°、ピッチ40mm)、かぶり15mm、せん断有効断面 $A_{es}=(12\text{sec}70^\circ) \times 12=421.0\text{cm}^2$, $f'_{co}=400\text{kgf/cm}^2$. [2]計算手順 ① $\bar{p}=1.06\%$ ②図-1から $\xi=0.060$ ③図-2から $f'_{cc}=740\text{kgf/cm}^2$ ④図-3から $\lambda=1.5$ 、 $\phi=0.50$ ⑤図-4から $\varepsilon_{cc}=11,000 \times 10^{-6}$ ⑥ $E_c=400/0.002=200,000\text{kgf/cm}^2$ ⑦ $\sigma_c(\varepsilon)=100,000\varepsilon/\{0.50+(\varepsilon/11,000 \times 10^{-6})1.50\}$ (16). 式(16)を図-5に示す。

3. 閾値鉄筋比の算出 前述ケーススタディで、 $\varepsilon=0.015$ でひずみ硬化を生起させる閾値鉄筋比は、式(2)・(14)とから主筋SBPD130に対し $P_{th}=0.75\%$ 、SD30に対し $P_{th}=3.4\%$ が求まる。

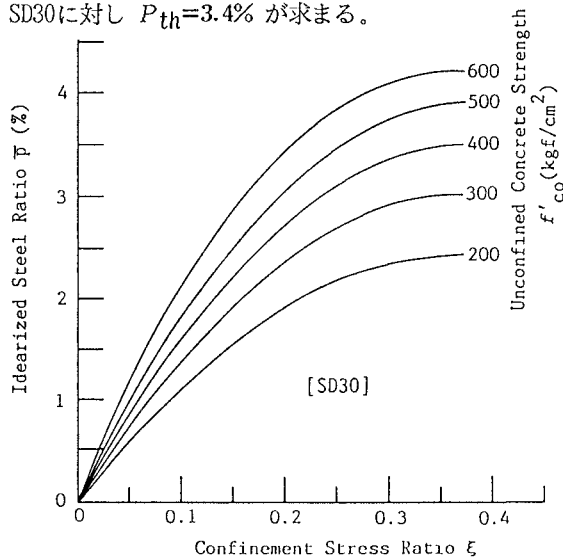


図-1 換算鉄筋比と拘束応力比との関係

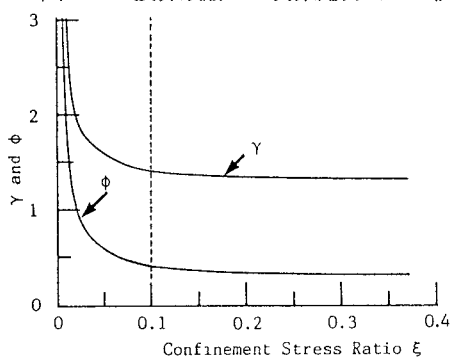


図-2 カンファインドコンクリート強度と拘束応力比との関係 図-4 拘束応力比と終局ひずみとの関係

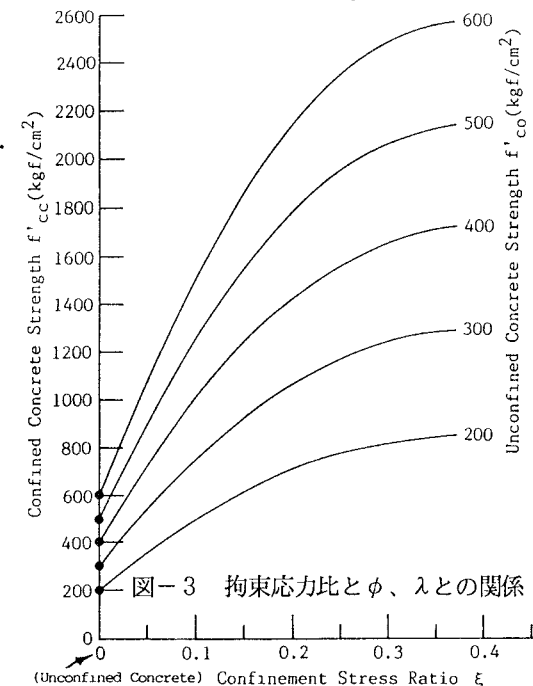
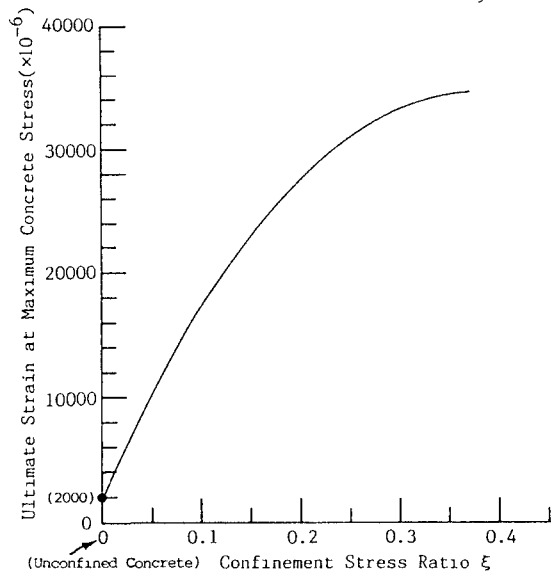


図-3 拘束応力比と ϕ 、 λ との関係



<謝辞> タイプ印書には、防大 佐藤純一事務官の尽力によった。付記して謝意を表する。
<参考文献> 1) Kato, K. et al., Theoretical and Applied Mechanics, V.42, Univ. of Tokyo Press, 1992, pp.159-168. 2) Mander, J.B. et al., J. Struct. Engrg, V.114, No.8, 1988, pp.1804-1826. 3) Kato, K. et al., ibid.1), V.40, 1991, pp.233-248.