

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を考慮した保有耐力向上法に関する研究

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 岩坂 紀 夫

1. まえがき

RC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、「構造体コンクリートのせん断強度増—横筋の斜めせん断補強筋法の採用—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、カンファインドコンクリートの応力-ひずみ曲線は重要な工学的要因で、この関数の実用化と主筋閾値鉄筋比の求め方を示す。

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(1)のように示した。 $\sigma_c(\epsilon) = \gamma E_{sec} \epsilon / \{\gamma - 1 + (\epsilon/\epsilon_c)^\gamma\} \dots \dots (1)$.ここに、 $\gamma = E_c / (E_c - E_{sec})$, (≥ 1) $\dots \dots (2)$, E_{sec} :カンファインドコンクリートの終局割線係数 $E_{sec} = f'_{cc} / \epsilon_{cc}$ $\dots \dots (3)$, $f'_{cc} \cdot \epsilon_{cc}$:カンファインドコンクリートの終局強度と終局ひずみ、 ϵ :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(2)から $\gamma = 1 / (1 - \lambda)$, $\lambda = E_{sec} / E_c \leq 1 \dots \dots (4)$, $E_c = f'_{co} / \epsilon_{co}$.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等は次のように与えられる。

$f'_{cc} = \eta f'_{co} = f'_{co} (1.00 + 17.47 \xi - 23.274 \xi^2) \dots \dots (5)$, $\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \{1 + 5 (f'_{cc} / f'_{co} - 1)\} = \epsilon_{co} \{1 + 5 \times (\eta - 1)\} \dots \dots (6)$, $E_{sec} = \eta f'_{co} / [\epsilon_{co} \{1 + 5 (\eta - 1)\}] = E_c \{1 + 4 / (1.00 + 87.35 \xi - 116.37 \xi^2)\} / 5 = \lambda E_c \dots \dots (7)$.ここに、 ξ :横拘束鉄筋比 p による拘束応力比、 η :複合せん断強度比 (τ_{uh} / τ_{uo}), τ_{uh} :複合せん断強度、 $\tau_{uo} = f'_{co} / 6$:単純せん断強度。

2.3 拘束応力比と横拘束筋比との関係 拘束応力比は式(8)で与えられる³⁾。

$\xi = 0.375 \{1 - (1 - 0.305 \mu f_{yd} \bar{p} / \tau_{uo})^{1/2}\} \dots \dots (8)$.ここに、 $\bar{p} \equiv \Sigma p \sin^2 \theta$, $\mu = 0.12 (f'_{cd})^{1/2} \dots \dots (9)$, $f'_{cd} = 0.77 f'_{ck} \approx 0.77 f'_{co} \dots \dots (10)$.

2.4 実用Mander修正式 Mander式(1)は式(11)のように修正される。

$\sigma_c(\epsilon) = \lambda / (1 - \lambda) \cdot E_c \epsilon / \{\lambda / (1 - \lambda) + (\epsilon/\epsilon_{cc})^\gamma\} = \phi E_c \epsilon / \{\phi + (\epsilon/\epsilon_{cc})^\gamma\} \dots \dots (11)$.ここに、 $\phi \equiv \lambda / (1 - \lambda) \dots \dots (12)$

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・プレーンコンクリート強度・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)、角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 $A_{es} = (12 \sec 70^\circ) \times 12 = 421.0 \text{cm}^2$, $f'_{co} = 400 \text{kgf/cm}^2$. [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 $\gamma = 1.5$, $\phi = 0.50$ ⑤図-4から $\epsilon_{cc} = 11,000 \times 10^{-6}$ ⑥ $E_c \approx 400 / 0.002 = 200,000 \text{kgf/cm}^2$ ⑦ $\sigma_c(\epsilon) = 100,000 \epsilon / \{0.50 + (\epsilon / 11,000 \times 10^{-6})^{1.50}\} \dots \dots (13)$.

3. 閾値鉄筋比の算出

3.1 一般式の誘導 RC短柱の耐力 (P_c) は式(14)で与えられる。 $\sigma_s(\epsilon) = (0.749,8 + 0.131,3 \epsilon) P_c = \sigma_c(\epsilon) \cdot A_e + \sigma_s(\epsilon) \cdot (p A_e) \dots \dots (14)$.ここに、 A_e :柱の有効断面積、 $\sigma_s(\epsilon)$:主筋の圧縮応力-ひずみ曲線 [高強度筋(SBPD130/145)の塑性域 $0.61 \leq \epsilon \leq 4.0\%$ に対し、 $-0.170,8 \epsilon^2$] f'_{pu} .ここに、 f'_{pu} :圧縮強度、 p :圧縮鉄筋比。ひずみ硬化の限界条件は $\partial P_c / \partial \epsilon$

$\equiv 0 \cdots \cdots (15)$. よって、式(14)・(15)とから閾値鉄筋比
 $\gamma / [\{ (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma + \phi \}^2 (0.131, 3 - 0.034, 16\varepsilon)] \cdots \cdots (16)$.

3.2 ケーススタディ 式(16)は図-5のように表されるが、いま、 $\xi = 0.060$ 、 $\varepsilon = 1.4\%$ 、 $f'_{co} = 200 \text{ kgf/cm}^2$ とすると、 $p_{th} = 4.5\%$ と容易に求まるのである。

$$p_{th} = [\phi E_c / f'_{pu} \{ (\gamma - 1) (\varepsilon / \varepsilon_{cc})^\gamma - \phi \}]$$

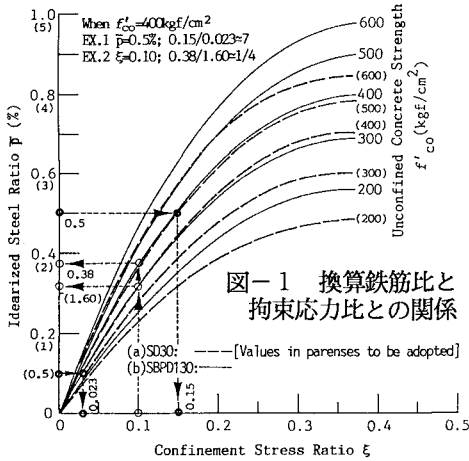


図-1 換算鉄筋比と拘束応力比との関係

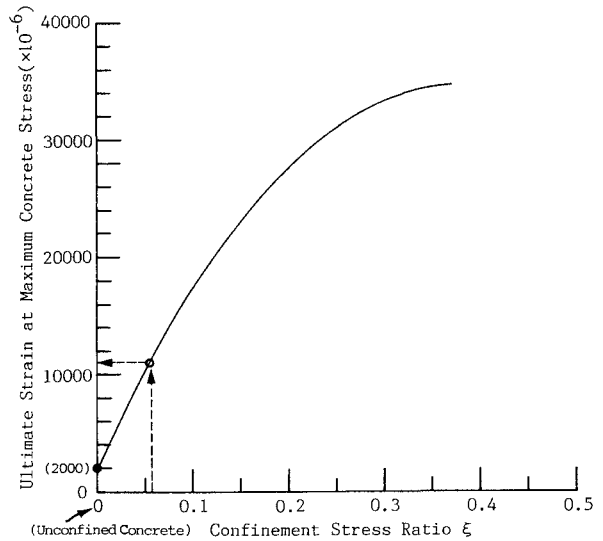


図-4 拘束応力比と終局ひずみとの関係

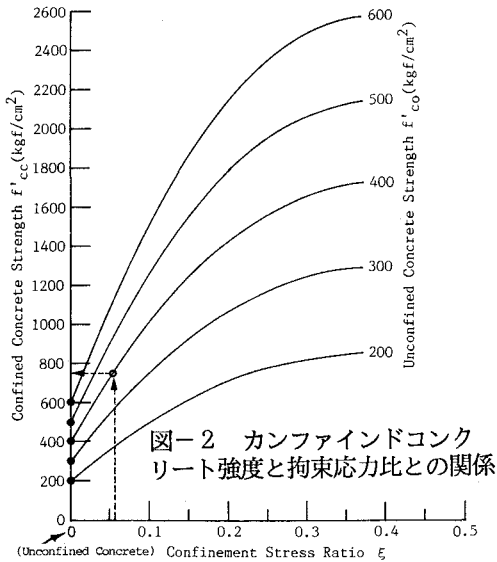


図-2 カンファインドコンクリート強度と拘束応力比との関係

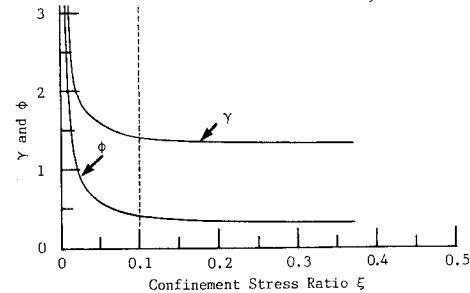


図-3 拘束応力比と ϕ 、 λ との関係

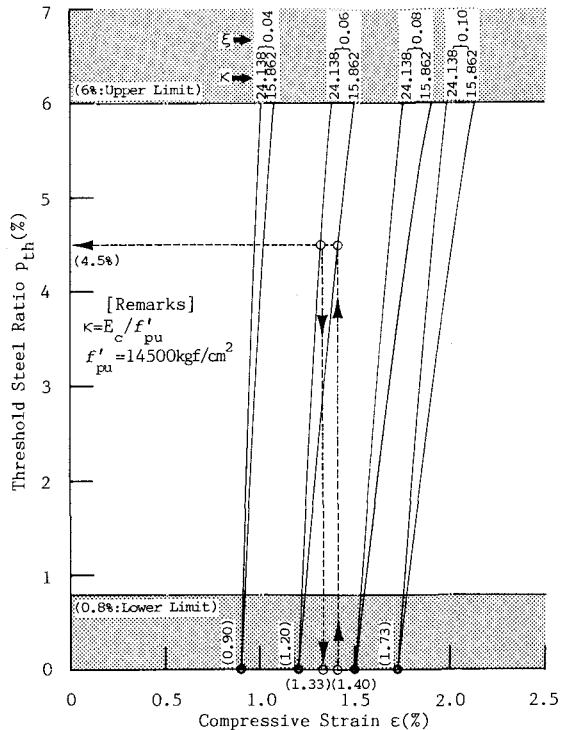


図-5 閾値鉄筋比と任意圧縮ひずみとの関係

<謝辞>ワープロ印書は、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.