

(V-30) RC柱のひずみ硬化による保有耐力向上法と閾値鉄筋比

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
高周波熱錬機 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全世界的課題の一つである。現象論的には、はりよりもむしろ、柱の被害が構造物全体の使用性を不可能にすることが多い。一般に柱では、図-1に示すように水平から約70°方向に斜めせん断すべりが生じること、このような破壊のメカニズムからコンクリートの複合せん断強度と破壊基準を明らかにし、せん断伝達耐力筋の使用すなわち「斜めせん断補強筋法」を案出した¹⁾。

本報では、中心軸方向載荷されたRC短柱のひずみ硬化による保有耐力向上法とその基本メカニズムおよび閾値鉄筋比並びに標準示方書構造細目のあり方について述べる。

2. 柱の耐力評価の手順と算定式の一元化(記号は【備考】参照)

(1) 横方向拘束応力の決定 ($\xi = \sigma'_{nd} / \tau_{uo}$)

$$\xi = 0.375 \{ 1 - (1 - 0.3050 \mu \bar{p} f_{yd} / \tau_{uo})^{1/2} \} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$\mu = 1.1 (f'_{cd})^{1/2} / (\bar{p} f_{yd} + \sigma'_{nd})^{2/3} \leq 0.12 (f'_{cd})^{1/2} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

$$\bar{p} = p_1 \sin^2 \theta_1 + p_2 \sin^2 \theta_2 \quad (p_1 \cdot p_2: \text{前・背面鉄筋比、図-1参照。}) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

(2) 複合せん断強度比 ($\eta = \tau_{uh} / \tau_{uo}$) の決定

式①から決まる応力比により、複合せん断強度比は式④によって与えられる。

$$\eta = 1.010 + 17.47 \xi - 23.274 \xi^2 \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

(3) 見掛けの圧縮強度 (F'_c) の決定

$$F'_c = 6 \eta \tau_{uo} = \eta f'_c \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

(4) 耐力式の一元化

帯鉄筋法であれ、らせん鉄筋法であれ²⁾、すべり面上の横鉄筋比が同一であれば同一の耐力を与える。一元化された「斜めせん断補強筋柱耐力式」は、式⑥で与えられる。

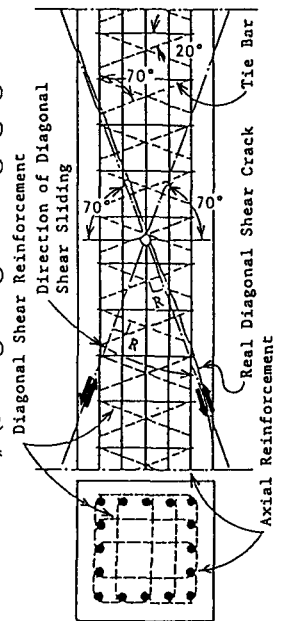


図-1 柱の一般配筋法

【備考】

- f'_c : 圧縮強度
- γ : 相関係数
- $\bar{p}$: 換算鉄筋比
- θ : せん断面と鉄筋との交角
- f'_{cd} : コンクリート設計圧縮強度
- f_{yd} : 鉄筋設計降伏強度
- SBPD130 : $f_{yd} = 13000 (\text{kgf/cm}^2)$
- SD30 : $f_{yd} = 3000 (\text{kgf/cm}^2)$
- A_e : 柱の有効断面積
- A_{st} : 軸方向筋の全断面積
- $\gamma_c \cdot \sigma_b$: 材料・部材係数

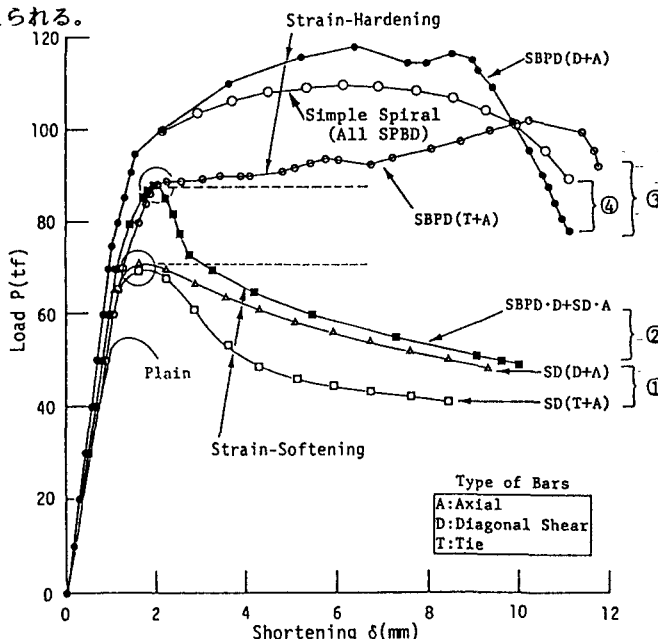


図-2 柱の荷重-変形曲線とひずみ軟化・硬化の状況

$$N'_{oud} = (0.85F'_c / \gamma_c \cdot A_e + f'_{yd} A_{st}) / \gamma_b \dots\dots\dots ⑥$$

3. 柱の保有耐力向上法とひずみ硬化の基本メカニズム

(1) モデルRC柱の構成と変形特性

正方形断面柱で、 $f'_{ck} = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 、せん断補強筋 (SD: $\phi 6$, SBPD: U6.4)、主筋 (SD: $\phi 13$, SBPD: U13) を用い、帯筋法 (ピッチ: 40mm) と $\bar{p} = 0.68\%$ 、主筋4本、柱寸法は $150 \times 150 \times 530 \text{ mm}$ とした。

荷重-変形曲線を図-2に示す。配筋法上は斜めせん断補強筋法が、材質上からは高強度筋SBPD材が、耐力・保有耐力上から有利であることがわかる。

(2) ひずみ硬化の基本メカニズムと定式化

図-3に構成材料の応力-ひずみ曲線と荷重-変形曲線を示す。基本的には、主筋のSBPD化とその閾値鉄筋比の存在 (ここでは、3.14%) 以上でひずみ硬化が確保される。柱の耐力 P_c は、式⑦で与えられる。

$$P_c = \sigma_c(\epsilon) \cdot A_e + E_{SB} \cdot \epsilon \cdot (p A_e) \dots\dots\dots ⑦$$

ひずみ硬化を生起させる条件: $\partial P_c / \partial \epsilon = 0$

$$\text{閾値鉄筋比: } P_{th} = -1 / E_{SB} \cdot \partial \sigma_c(\epsilon) / \partial \epsilon \dots\dots\dots ⑧$$

Desayi式³⁾によれば、 $\epsilon / \epsilon_0 \equiv \lambda$ として、

$$P_{th} = E_c / E_{SB} \cdot (\lambda^2 - 1) / (\lambda^2 + 1)^2 \dots\dots\dots ⑨$$

いま、 $E_c = 280 \text{ tf/cm}^2$ 、 $\epsilon = 0.004$ では $P_{th} = 1.68\%$; $\epsilon = 0.0061$ では $P_{th} = 1.23\%$ 。

前述の $P_{th} = 3.14\%$ の約1/2となるが、この差はコンクリートの応力-ひずみ曲線の減耐力の程度に依存する。

(3) 横筋ピッチの重要性

図-4は、横筋ピッチが40mmと80mmの場合の破壊モードを示すが、ピッチが大きいとコアが欠損し、耐力低下が激しい。施工性も考慮し、統一的に、「40mm~粗骨材最大寸法 $\times 4/3$ 」が望まれる。

4. 結論 躯体コンクリートのせん断強度増・斜めせん断補強筋法・横筋と主筋の高強度化による要因の三位一体化、さらに主筋の閾値鉄筋比以上の使用と横筋ピッチの緊密化とにより高耐力を確保できる。

<謝辞>本研究には、防衛大学校 佐藤純一事務官の助力を受けた。付記して謝意を表する。

<参考文献> 1) Kato, K.; Kato, N.; Iwasaka, N.: Development of Loading Capacity of RC Column Considering Complex Shear Strength of Concrete and Strength of Shear Reinforcement, Theoretical and Applied Mechanics, V.40, Proc.40th Japan Nat. Cong. for Applied Mechanics, 1991, pp.233-248. 2) 土木学会: コ示設計編、平3、pp.51-52. 3) Desayi, P. et al.: Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete, ACI Jour. V.61, Mar.1964, pp.345-350.

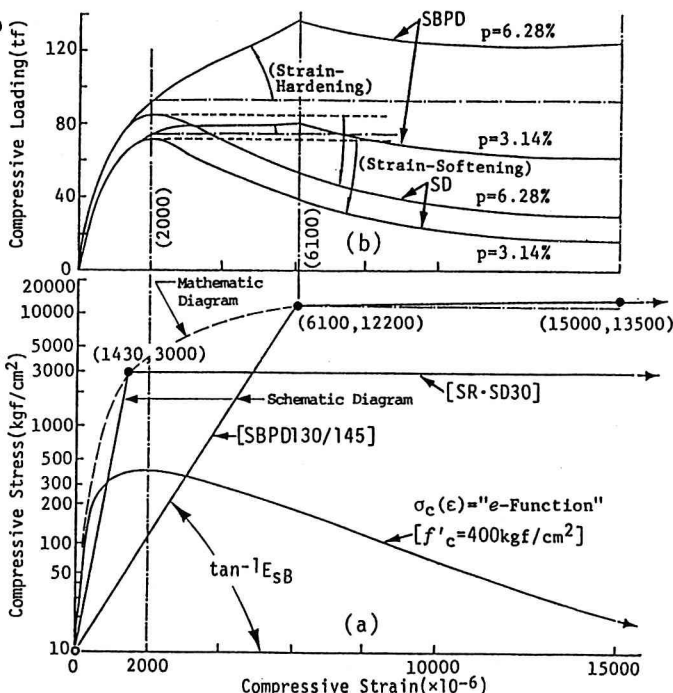


図-3 材料の物性が柱のひずみ軟化・硬化に及ぼす影響

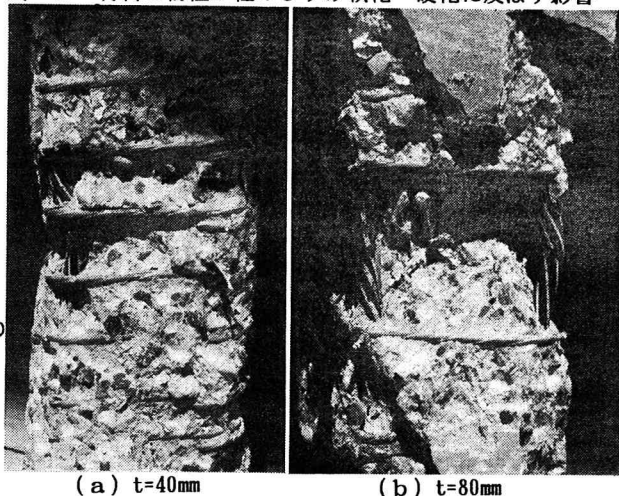


図-4 横筋のピッチ間隔が破壊モードに及ぼす影響