

高強度 RC 柱主筋の座屈を考慮した保有耐力に関する研究

浅野工学専門学校 正会員 ○殿廣 泰史

浅野工学専門学校 正会員 加藤 直樹

防衛大学校 加藤 清志

1. ま え が き

我が国を取り巻く自然環境は四季折り折りの美しさのほか、厳しさでせまり、国民を難渋に追い込んでいる。とくに平成7(1995)年1月17日の「兵庫県南部地震(M7.3, 震源: 淡路島付近)」は6434人もの死者を含む想定を超えた巨大直下型地震が発生した。その後も「天災は忘れないうちに来る」が常識化している。本報では、近年の構造材料の著しい高品質化を踏まえ、建物や橋脚の柱部材の圧縮載荷時の主筋座屈に伴う特性について論じている。

2. 柱構造体の座屈

2.1 基本式の再検討 古来よりオイラーの理論が用いられており、また、さまざまな実験公式がある。しかし、柱設計上には問題点もあり、とくに横拘束筋(フープ筋)間隔がコアコンクリートの内部拘束上きわめて重要である(Fig.1参照)。Fig.2はRC柱の座屈モード推定図と拘束カテゴリー¹⁾を示す。強調すべき点は、タイバー間隔 $d=50$ mm以下を重拘束、 $50 < d$ (mm) ≤ 100 を中拘束、 $100 \text{ mm} < d$ を軽拘束と定義し、とくに重要構造物には重拘束を推奨している。また、座屈長 ℓ はオイラー式の ℓ をそのまま使用するべきではなく、設計に当ってはモデル実験によりタイバー間隔のピッチ数から座屈長さを決定する必要がある。すなわち、実構造物の局部に座屈破壊

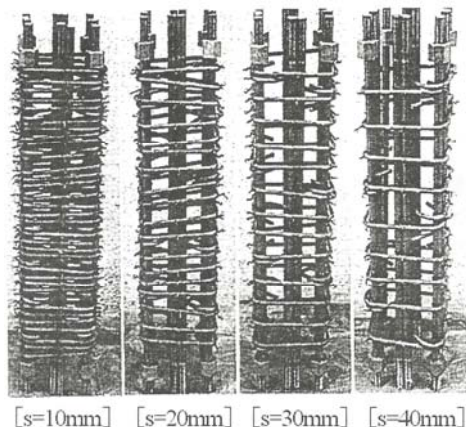


Fig.1 General view of reinforcement cages.

が生じるのである。このコンセプトは破壊力学 (Fracture mechanics) 上の最弱リンク理論 (Weakest link theory) 上の位置づけにある。

本報では中拘束の 75mm を採用し、軟鋼棒および硬鋼棒のいずれの場合も 4 ピッチ $\times$ 75mm = 300mm が座屈長さであることを実験により確認し、理論耐力と実験耐力とを比較検討した (Fig.3 参照)。なお、両鋼棒の一次弾性係数は $E_s=200$

kN/mm²とした。座屈鋼棒の両端境界条件は破壊状態から判定し、両端擬回転端 (Hinge) とした。超高強度コンクリートの概要は、粗骨材最大寸法として 20mm, $W/C=13\%$, $s/a=40\%$, 以下は単位量で、特殊混和剤 16.436 kg, $W=152.6$ kg, $C=1,174$ kg, $S=434.7$ kg, $G=655.0$ kg とした。管理供試体は $\phi 100 \times 200$ (mm),

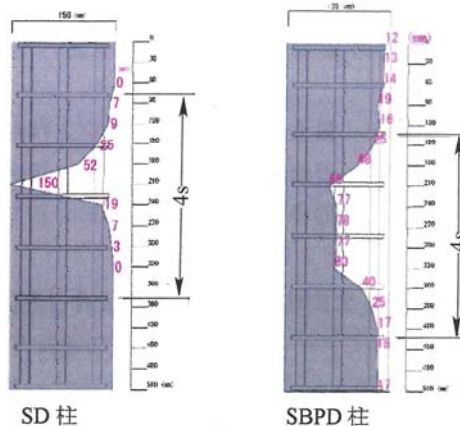


Fig.3 Determination of buckling length.

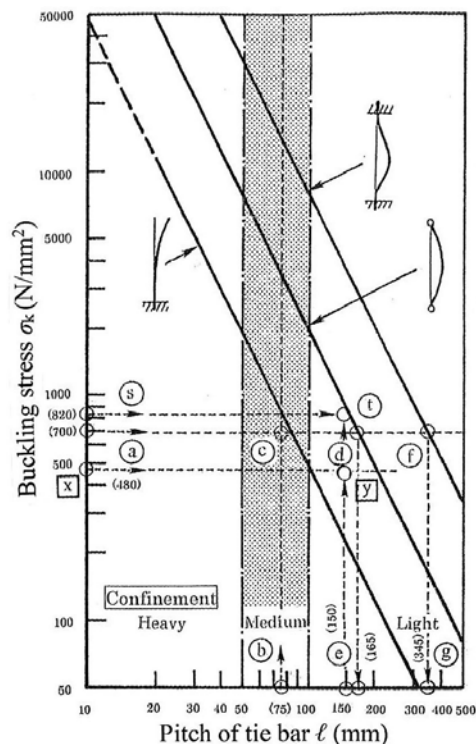


Fig.2 Estimation Diagram of Buckling Mode of Confinement Category of RC Column.

28 日圧縮強度は 6 本の平均 126 N/mm² である。Fig.4 で Stage I, II はそれぞれ見掛け上の弾性域、塑性域を示す。

キーワード RC 柱, 超高強度コンクリート, SBPD 材, SD 材, 座屈応力度, 包括割線係数

連絡先 〒220-0073 横浜市神奈川区子安台 1-3-1 浅野工学専門学校 TEL:045-421-0403 FAX:045-431-9724

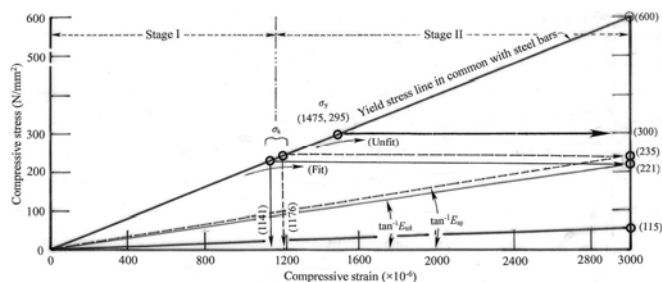


Fig.4 Relations of Compressive Strain of Concrete vs. Yield Strength, Buckling Strength and Elastic Modulus of Primary Rebars.

2.2 圧縮主鉄筋の座屈 一般：主筋経はSD材では $\phi 12.7\text{mm}$ (D13), SBPD材では $\phi 13.1\text{mm}$ (U13); 主筋径 A_{st} (A_0 : コンクリート柱断面面積)は設計基準²⁾ $0.8\% \leq A_{st} / A_0 \leq 6\%$ を考慮し, 4本と8本をそれぞれ, 下限と上限とした。

2.3 圧縮主筋座屈応力度および柱耐力の算定法

[Case A] (1)SD295 $p=2.22\%$ (主筋 4 $\phi 12.7\text{mm}$)

$$\text{座屈応力度 } sd\sigma_{k4} = \pi^2 E_s \{ (\phi / 4) / (4s) \}^2$$

ここに, E_s : 鋼棒弾性係数, ϕ : 鋼棒径, s : ピッチ

$$1) \text{ Stage I } sd\sigma_{k4} = \pi^2 \times 200 \times 10^3 \{ (12.7/4) / (4 \times 75) \}^2 = 221.1 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_y = 300 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$2) \text{ Stage II } E_{sd} = 221.1 \text{ (N/mm}^2\text{)} / (3000 \times 10^{-6}) = 73.7 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$$\text{主筋軸応力 } sd\sigma_{k4} = \pi^2 \times 73.7 \times 10^3 \{ (12.7/4) / (4 \times 75) \}^2 = 81.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$sdP_{k4} = sd\sigma_{k4} \times cA_{k4} = 81.5 \times 507 \{ \text{mm}^2 / (4 \text{ 本}) \} = 41.3 \text{ (kN)}$$

$$\text{コンクリート耐力 } sdP_{co} = 115 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times 21,993 \text{ (mm}^2\text{)} = 2,529.2 \text{ (kN)}$$

$$3) \text{ 全耐力: } sdP_4 = sdP_{k4} + sdP_{co} = 41.3 + 2,529.2 = \underline{2,570.5 \text{ (kN)}} \quad [1.06]$$

実験値 2,423 (kN) [1.00]; よく一致している。

(2)SD295 $p=4.44\%$ (主筋 8 $\phi 12.7\text{mm}$)

$$1) \text{ Stage I } sd\sigma_{k8} = sd\sigma_{k4} = 221.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$2) \text{ Stage II } E_{sd} = 73.7 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$$\text{主筋軸応力 } sd\sigma_{k8} = sd\sigma_{k4} = 81.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$sdP_{k8} = 81.5 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times 2 \times 507 \{ \text{mm}^2 / (4 \text{ 本}) \} = 82.6 \text{ (kN)}$$

$$\text{コンクリート耐力 } sdP_{co} = 115 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times 21,486 \text{ (mm}^2\text{)} = 2,470.9 \text{ (kN)}$$

$$3) \text{ 全耐力: } sdP_8 = sdP_{k8} + sdP_{co} = 82.6 + 2,470.9 = \underline{2,553.5 \text{ (kN)}} \quad [1.05]$$

実験値 2,431 (kN) [1.00]; よく一致している。

(3)留意点 以上から, 主筋量の増大はその分超高強度コンクリート断面が減少し, かつ主筋座屈強度が低下するので, 全体としての耐力は顕著に増大しない。

よって設計に当たっては十分配慮する必要がある。

[Case B] (1)SBPD1275 (4 $\phi 13.1$) 1) Stage I $sp\sigma_{k4} = \pi^2 E_{sp} \{ (13.1/4) / (4 \times 75) \}^2 = 235.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_y = 1275 \text{ N/mm}^2$
2) Stage II $E_{sp} = 78.4 \text{ (kN/mm}^2\text{)} \{ \text{cf. } (3,000 \times 10^{-6}), 235.2 \text{ N/mm}^2 \}$
 $sp\sigma_{k4} = \pi^2 \times 78.4 \times 10^3 \{ (13.1/4) / (4 \times 75) \}^2 = 92.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$$spP_{k4} = 4 \text{ (本)} \times 125 \text{ (mm}^2/\text{本)} \times 92.2 \text{ (N/mm}^2\text{)} = 46.1 \text{ (kN)}$$

$$spP_{co} = 115 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times spA_{co} = 115 \times 22,000 \text{ (mm}^2\text{)} = 2,530.0 \text{ (kN)}$$

$$3) \text{ 全耐力: } spP_4 = spP_{k4} + spP_{co} = 46.1 + 2,530.0 = 2,576.1 \text{ (kN)} \quad [0.98] \quad \text{実験値 } 2,610.0 \quad [1.00]$$

(2)SBPD1275 (8 $\phi 13.1$) 1) Stage I $sp\sigma_{k8} = sp\sigma_{k4}$

$$= 235.2 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad 2) \text{ Stage II } E_{sp} = 78.4 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$$sp\sigma_{k8} = \pi^2 \times 78.4 \times 10^3 \{ (13.1/4) / (4 \times 75) \}^2 = 92.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$spP_{k8} = 8 \text{ (本)} \times 125 \text{ (mm}^2/\text{本)} \times 92.2 \text{ (N/mm}^2\text{)} = 92.2 \text{ (kN)}$$

$$spP_{co} = 115 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times spA_{co} = 115 \times 21,500 \text{ (mm}^2\text{)} = 2,472.5 \text{ (kN)}$$

$$3) \text{ 全耐力: } spP_8 = spP_{k8} + spP_{co} = 92.2 \text{ (kN)} + 2,472.5 \text{ (kN)} = 2,565 \text{ (kN)} \quad \text{実験値 } 2,610 \text{ (kN)} \quad [0.98] \quad [1.00]$$

(3)留意点 以上から, 全般に安全側に精度よく評価している。これは包括割線係数により Stage II の変位ドメインを実状に即し取り込んだことに起因している。

3. 結論

高強度材の使用は, 圧縮部材としても曲げ部材¹⁾としても力学的諸特性に有利に機能する。重拘束は Fig.5 に示すように, 内的引張りひび割れを抑制すること, 自己誘発プレストレス (Self-induced prestress) 効果³⁾による大きな復元力は特記に値する。

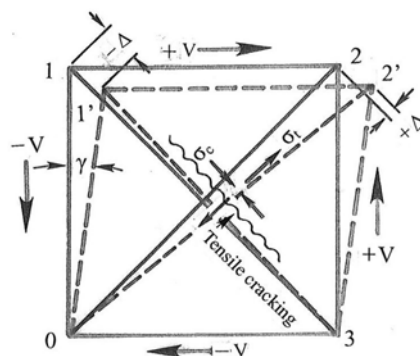


Fig.5 Essential Element under Shear Deformation.

(V: Shear force, γ : Shear strain, σ_c : Compressive stress, σ_t : Tensile stress)

参考文献

- 1) 殿廣・加藤(直)・木田・近藤・今野・須藤・長谷川・高野・若松・加藤(清): 超高強度構造材からなる RC 柱・梁の主筋挙動と高じん性化に関する研究, 日本材料学会第 66 期学術講演会論文集, pp.375-376 (2017).
- 2) 土木学会標準示方書 (設計編)
- 3) 伊澤・木田・加藤(清)・須藤: 両振り曲げ載荷を受ける RC 材の耐力に関する研究, Cem. Sci. and Conc. Tech., No.58, pp.669-676 (2004).