

[130] 円形断面鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊を鋼管補強により防止する設計法に関する実験的研究

正会員○肖 岩 (九州大学大学院)
 正会員 富井政英(九州大学工学部)
 正会員 崎野健治(九州大学工学部)

1. 序

著者らは、たれ壁・腰壁が取り付くことにより生じた短柱のせん断補強法として、短柱部分のみを局部的に鋼管で横補強する方法を提案した¹⁾。さらに、せん断スパン比が1の正方形断面RC短柱に関して、主筋量・軸力の大きさ、シャ・キーの有無を実験変数として繰り返しせん断実験を行ない、鋼管補強柱が次のような優れた性状を有することを明らかにした²⁾。

- 1) 施工上および断面算定上許容できる最大量の帯筋で補強した場合に得られるせん断耐力を、はるかに超える大きなせん断耐力を発揮できる。
- 2) 施工上および断面算定上許容できる最大量の主筋を配筋した場合でも、曲げ耐力を発揮でき、しかも部材角の振幅を増大しても、繰り返しによる耐力の低下はそれほどみられない。
- 3) 主筋とコンクリートの間の附着性能の劣化の要因となるかぶりコンクリートの剝離を鋼管補強により防止できるため、附着割裂び割れの進展を防ぎ、優れたエネルギー吸収性能を示す。

以上は、正方形断面柱の場合について得られた結論である。円形断面柱の場合については、鉛直荷重を支える柱の基本的な性状である中心圧縮性状に関する実験を行ない、次の結論を得ている³⁾。

中心圧縮耐力に関する限りは、鋼管を軸方向補強材として用いるより、著者らが提案するように、横方向補強材として用いる方が効果的である。

本論文においては、円形断面RC短柱について鋼管補強の有効性を実証するために行なった繰り返しせん断実験の実験結果と、比較のために行なった円形帯筋補強RC短柱の実験結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 試験体

断面形状(円形断面)、柱外径(178mm)、せん断スパン比($M/QD=1$)、主筋比($P_g=5.11\%$)および高強度コンクリート($364\sim 438\text{kg/cm}^2$)を用いて、軸力の大きさ($N/(AFC)=0, 0.35, 0.58$)およびせん断補強法を変えた実験を行なった。主筋にはD13の太径の鉄筋を用いた。主筋量は、施工が可能な範囲での最大主筋量であると考えている。実験はせん断補強法により、次の三つのシリーズに分けられる(表-1参照)。

表-1 実験条件および実験結果

試験体	補強法	F_c (kg/cm^2)	軸力		Q_u^+ (ton)	Q_u^- (ton)
			N(ton)	$N/(AFC)$		
C-10-0.00Nc-H	帯筋補強	424	0	0	14.6	14.1
C-10-0.35Nc-H	帯筋補強	413	34.8	0.35	18.6	16.9
C-10-0.00Nc-T	鋼管補強	438	0	0	15.1	14.7
C-10-0.35Nc-T	シャ・キー無し	433	37.7	0.35	24.4	25.4
C-10-0.58Nc-T	シャ・キー無し	409	60.0	0.58	28.8	29.1
C-10-0.00Nc-TSK	鋼管補強	390	0	0	15.3	14.6
C-10-0.35Nc-TSK	シャ・キー有り	364	31.3	0.35	23.2	24.1

- 注) 1) F_c : コンクリートの圧縮強度
 2) A : 断面積 = $\pi D^2/4$ (D は鋼管の外径)
 3) Q_u^+ , Q_u^- : 正加力時および負加力時の最大せん断力
 試験体名凡例: C-10-0.35Nc-T
 ① ② ③ ④
 ①: 円形(Circular) ②: 10-D13 ③: $N=0.35AFC$ ④: Tシリーズ

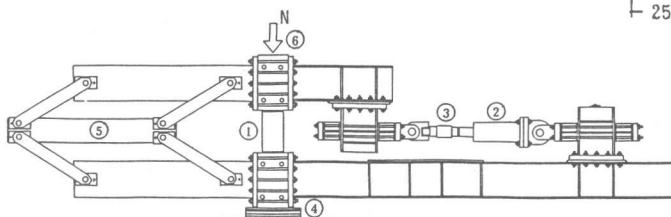


図-2 加力装置

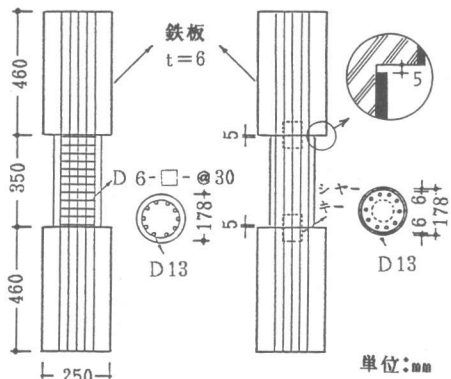


図-1 試験体の形状・寸法

- ① 試験体 ② 油圧ジャッキ
 ③ ロードセル ④ ローラー
 ⑤ 平行保持装置 ⑥ 油圧試験機

- i) Hシリーズ：円形溶接帯筋で補強された従来のRC柱(帯筋比は、建築学会RC規準で定められている補強効果を算入できるせん断補強筋比の上限値である1.2%とした。)
- ii) Tシリーズ：鋼管(管厚=6mm)で横補強された柱
- iii) TSKシリーズ：柱頭・柱脚に直接せん断破壊を防ぐためのシャー・キー(シャー・キーとしては、75φ-3.2、長さ100mmの円形鋼管を埋設した。)を有する鋼管補強柱

なお、高軸力($N/(Afc)=0.58$, 中心圧縮柱の長期許容軸力)を載荷した柱の実験は、Tシリーズについてのみの行った。試験体の形状・寸法を図-1に示す。

2.2 実験方法

図-2に示す加力装置を用いて、柱に逆対称の変形を与えた。載荷プログラムは、変位振幅を部材角で±0.005radずつ±0.03radまで増加させ、同一振幅で3サイクルずつ、計18サイクルの繰り返し載荷である。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

各試験体の実験終了後のひび割れ状況を図-3に示す。鋼管補強柱(T, TSKシリーズ)は、実験終了後鋼管を剥いでひび割れを観察した。図-3から分かるように、帯筋補強柱の場合は、多数の斜めひび割れが発生し、せん断型の破壊性状を示している。軸力を載荷した場合は、かぶりコンクリートはほとんど剝離・崩壊している。なお、帯筋の破断は観察されなかった。これに対して、鋼管補強柱の場合は、柱頭・柱脚に生じた曲げひび割れ以外には、ひび割れは見られず、曲げ破壊性状を示している。また、鋼管により拘束されているため、コンクリートの圧潰もほとんど観察されず、コンクリートが靱性に富む挙動を示したことがうかがわれる。

3.2 せん断力Q-部材角R関係

図-4, 5に各試験体のせん断力Qと部材角Rの関係を示す。図中の一点鎖線は、図-7に一点鎖線で示した応力度・ひずみ度関係を仮定して求めた曲げ終局強度にもとづく水平耐力である。図-7の一点鎖線は、正方形断面に適用した場合、ACI規準で推奨されているストレスブロックを仮定した場合と同一の終局曲げ強度を与える応力度・ひずみ度関係である。図-5より分かるように、帯筋補強柱の場合、曲げ終局強度計算値は発揮できるが、履歴曲線に顕著なピンチング現象が見られる。軸力を載荷した場合は、繰り返しによる耐力低下が著しく、破壊性状は、せん断破壊型へ移行している。これに比べて、鋼管補強柱の場合、履歴曲線の形状はエネルギー吸収性能に富む紡錘形となり、繰り返しによる耐力の低下はみられない。シャー・キーの有無による履歴性状の差はほとんど無い。さらに、図-4から分かるように、建築学会RC規準の柱の軸力制限推奨値(0.33Afc以下)よりさらに大きな軸力を載荷した短柱でも、鋼管により横補強すれば、非常に優れた履歴特性を持つ柱となる。

3.3 主筋とコンクリートの間の附着性状

主筋の附着性状を調べるため、各試験体の加力方向に沿って一番外側の二本の主筋につき、材軸方向のひずみ度分布を測定した(図-6の付図参照)。各変位振幅における第1サイクル正荷重時除荷点の平均附着応力度を図-6に示す。平均附着応力度は、ひずみ度の測定値を用いて次式により計算した値である。

$$\tau = \frac{sE \cdot \Delta \epsilon}{l \cdot \psi}$$

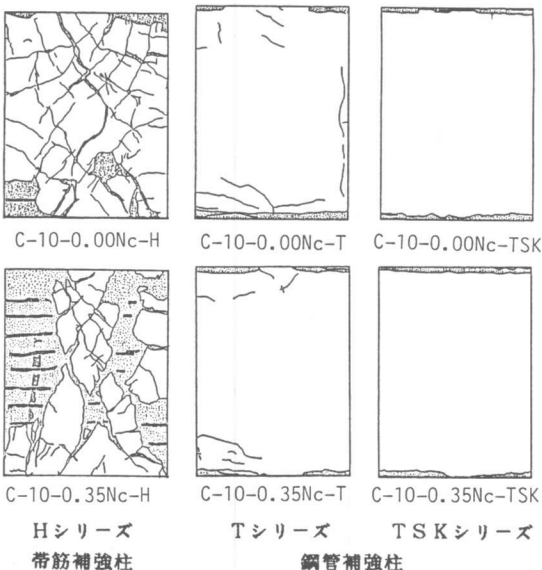


図-3 実験終了後のひび割れ状況

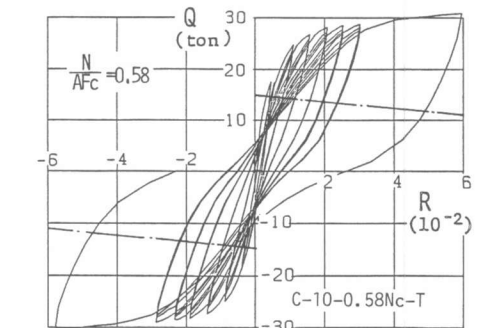


図-4 せん断力Q-部材角R関係 (鋼管補強柱 (Tシリーズ、シャー・キー無し))

τ : 平均付着応力度, sE : 鉄筋のヤング係数 ($2.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$), $\Delta \varepsilon$: ひずみゲージ 2 と 4 の測定値の差 (図-6 の付図参照), l : ひずみゲージ間の距離 (17.5cm), ψ : 鉄筋の周長 (4cm)

図-6 から分かるように、帯筋補強柱の場合は、大変位振幅時に付着性状が著しく劣化している。この原因は、斜めひび割れの発生とそれに続くかぶりコンクリートの剝離によるためと考えられる。この付着性状の劣化が、履歴曲線に見られるピンチング現象をもたらししている。これに比べて、鋼管補強柱の場合付着性能は著しく改善されていることがわかる。このことが、エネルギー吸収能力の増大をもたらししている。

4. 軸力と曲げを受ける鋼管補強柱の終局強度

前節で述べたように、鋼管補強柱の水平耐力は、ACI 標準のストレスブロックと等価な応力度・ひずみ度関係 (図-7 の一点鎖線) を仮定して計算した曲げ終局強度にもとづく水平耐力を上回っている。この原因は、鋼管の拘束によるコンクリートの圧縮強度と変形能力の上昇にあると考えられる。それを検討するために、鋼管で拘束されたコンクリートの応力度・ひずみ度関係 ($\sigma - \varepsilon$ 関係) として、図-7 の実線で示す $\sigma - \varepsilon$ 関係を仮定して曲げ終局強度を計算し、実験値との比較を行なった。図-7 の実線で示す $\sigma - \varepsilon$ 関係の圧縮強度と圧縮強度に達した後の性状は、円形鋼管で横補強した無筋コンクリート短柱の中心圧縮実験³⁾とその解析結果⁴⁾より推定したものである。また、圧縮強度時のひずみ度および圧縮強度に至るまでの性状は、Park 等の提案による円形帯筋で

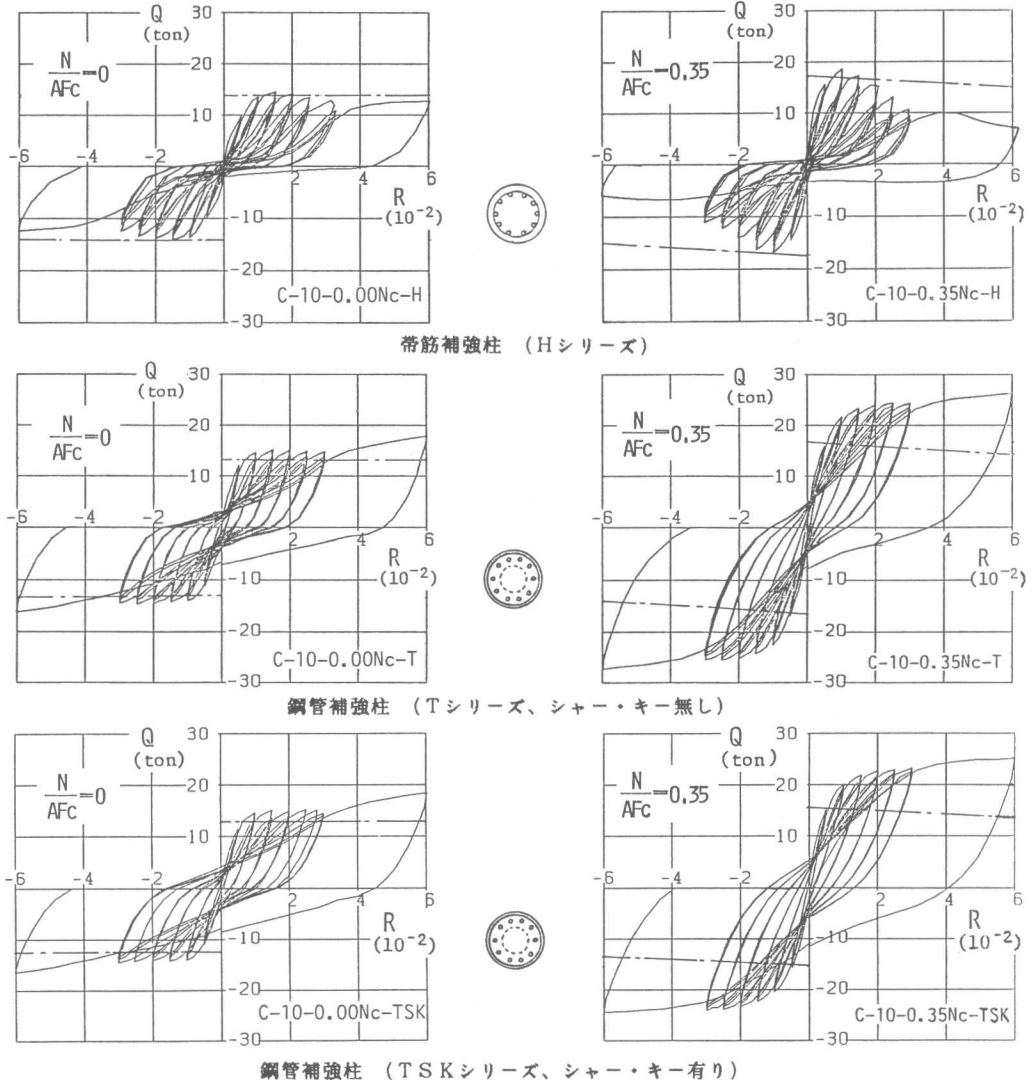


図-5 せん断力Q-部材角R関係

拘束されたコンクリートの $\sigma - \epsilon$ 関係の実験式⁵⁾を準用した。参考までに、その実験式を円形鋼管補強柱に適用した場合の $\sigma - \epsilon$ 関係を図-7に点線で示す。

計算値と実験値の比較を図-8に示す。計算値は、柱頭・柱脚の鋼管で補強していない部分(鋼管に軸方向応力度が導入されないようにするため設けた部分で、長さは5mm)の断面にもとづき、図-7の実線、点線、一点鎖線で示される $\sigma - \epsilon$ 関係を仮定して計算した。実験値を表わす点は、載荷した軸力と、部材角振幅が0.03radにおける正加力時の最大水平耐力に対応する材端曲げモーメントを示している。材端曲げモーメントには軸力と水平変位による付加曲げモーメントも考慮している。図-8から分かるように、実験値は著者等の提案による鋼管の拘束効果を考慮した計算値(実線)、あるいはPark等の提案による $\sigma - \epsilon$ 関係を準用した計算値(点線)とよく一致している。

5. 結論

- 1) 従来のRC柱のせん断補強筋としては、最も優れていると言われる円形溶接帯筋を、施工上および断面算定上許容できる最大量配筋しても、せん断破壊を防ぐことができなかった円形断面RC短柱を、円形鋼管で横補強することにより、靱性とエネルギー吸収性能に富む、曲げ降伏先行の柱にすることができる。
- 2) 横補強材として用いる円形鋼管は、柱のせん断破壊、付着割裂破壊を防ぐのみならず、コンクリートを拘束して圧縮強度と変形能力を上昇させることにより、柱の曲げ終局強度を、特に高軸力を受ける場合に、著しく高めることができる。

[謝辞] 実験にあたって、九州大学文部技官藤原文夫、川口晃両氏ならびに九州大学学生魚永幸人、浜野哲也両氏の協力を得た。ここに深く感謝します。本研究は文部省科学研究補助金・総合研究(A)(課題番号60302071)により行なわれた。

[参考文献] 1) 富井政英・崎野健治：鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊を鋼管補強により防止する設計法に関する実験的研究 - その1 建築学会学術講演梗概集，昭和60年10月pp413~414。 2) 富井政英・崎野健治・渡辺宏一・肖岩：同上 - その3, その4, 同上, pp417~418, pp419~420。 3) 崎野健治・渡辺宏一・富井政英：同上 - その2, 同上, pp415~416。 4) 肖岩・富井政英・崎野健治：同上 - その5, 建築学会学術講演梗概集，昭和61年8月 5) Mander J. B., Priestley M. J. N. and Park R.: Seismic Design of Bridge Piers, Report 84-2, Department of Canterbury, February 1984.

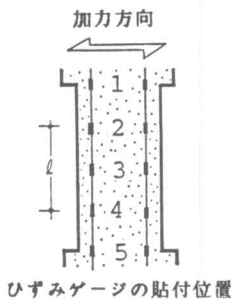


図-6 平均付着応力度・部材角関係

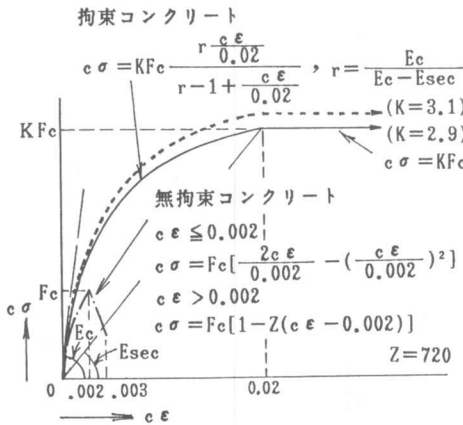


図-7 コンクリートの応力度・ひずみ度関係

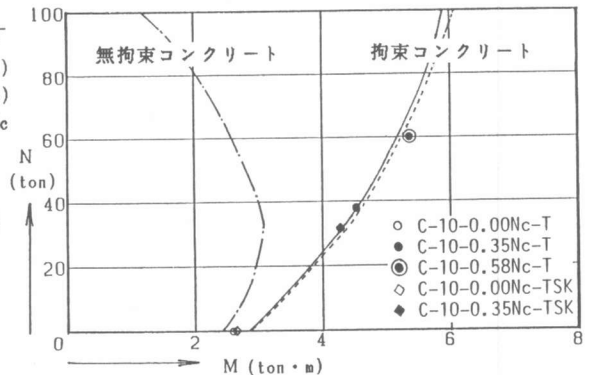


図-8 鋼管補強短柱の曲げ終局強度