

軸方向筋の座屈を考慮した RC 柱の耐荷特性に関する実験的研究

愛知工業大学 ○正会員 鈴木森晶

岡崎市役所 学生会員 亀田好洋 中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

一般に、鉄筋コンクリート (RC) 柱部材のポストピーク領域での耐力低下には、軸方向筋の座屈の有無が大きな影響を与えるとされる¹⁾。しかし、「軸方向筋の座屈発生」と「部材の耐力低下」との関連性について、詳細に検討した事例はあまり多くない。本研究では、文献 2) での繰返し曲げ載荷実験結果を基に、除荷および再載荷曲線に着目した考察を通して、軸方向筋の座屈が RC 柱の耐荷性能に与える影響について検証した。

2. 供試体ならびに実験概要

本実験²⁾で用いた供試体は、図-1で示すような断面形状を有し、「コンクリート強度 f_{ck} (20, 40 および 60 MPa の 3 水準)」および「横拘束筋間隔 s (35, 50, 65, 90, 105, 120 および 150 mm の 7 水準)」を有する (表-1 参照)。載荷パターンとして、変位 0 mm→ $\pm 1 \delta_y$ (1 または 2 サイクル) → $\pm 2 \delta_y$ (1 または 2 サイクル) → $\pm 4 \delta_y$ (2 サイクル) → $\pm 8 \delta_y$ (1 サイクル) → $\pm 16 \delta_y$ (1 サイクル) →荷重 0 kN である。ここで、「 δ_y 」は初期載荷引張側の軸方向筋の軸ひずみが 2,000 μ に達したときの水平変位をいう。また、仮想上部工重量として「累加軸耐力の 5%相当」を鉛直ジャッキにより載荷した。載荷した軸力ならびに鉄筋およびコンクリートの材料定数の一覧を表-1に示す。

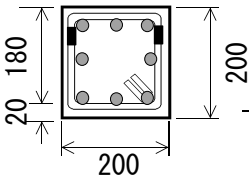


図-1 供試体断面

表-1 載荷軸力および材料定数一覧

間隔 s [mm]	コンクリート [MPa]			鉄筋 (平均)		降伏変位 δ_y [mm]	載荷軸力 [kN]		
	設計基準強度			降伏強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]		設計基準強度		
	20	40	60				20	40	60
35	20	47	71	軸方向筋 351 横拘束筋 315	軸方向筋 519 横拘束筋 512	7~9	48	102	148
50	24	47	71			8~10	48	102	148
65	19	44	62			8~9	46	95	131
90	24	41	62			8~9	48	94	131
105	26	40	59			8~10	60	88	130
120	20	44	60			8~9	48	95	127
150	26	41	60			8~9	60	94	127

3. 実験結果および考察

ここでは、一例として $f_{ck}=20$ MPaを有する供試体に対する考察を行う。

3.1 除荷および再載荷点を基準とした耐力-変位関係

本節で考察する耐力-変位関係は、載荷実験から得た荷重-変位曲線 (図-2の例を参照) を構成する除荷および再載荷曲線の開始点を基準として整理したものである。一例として、横拘束筋間隔 $s=35$ mm および 150 mm の供試体に対する耐力-変位関係を図-3に、耐力-変位関係の概略図を図-4にそれぞれ示す。図より、載荷パターンによらず、 $-8 \delta_y$ までの領域 (曲線番号⑭までの領域) では、図-4に示す限界曲線 (P- δ 効果による曲線) に漸近するように、耐力が上昇・下降する挙動 (曲線 A) を呈する。とくに、 $-4 \delta_y$ (曲線番号⑬) 以降の領域において、載荷途中で一時的に耐力増加が抑制され、変形量のみが増加するような挙動が確認できる (図-3中のシンボル▽)。この理由として、繰返し曲げを受けることにより、柱基部周辺でのコンクリートでひび割れ幅の拡大ならびに圧壊が生ずることにより、ヒンジ領域でのコンクリートの外力に対する抵抗が低下するためと考えられる。

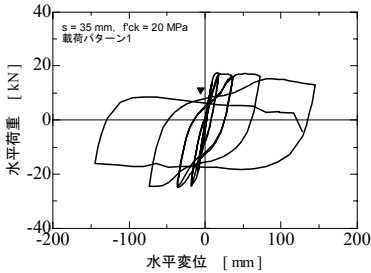


図-2 荷重-変位曲線 (一例)

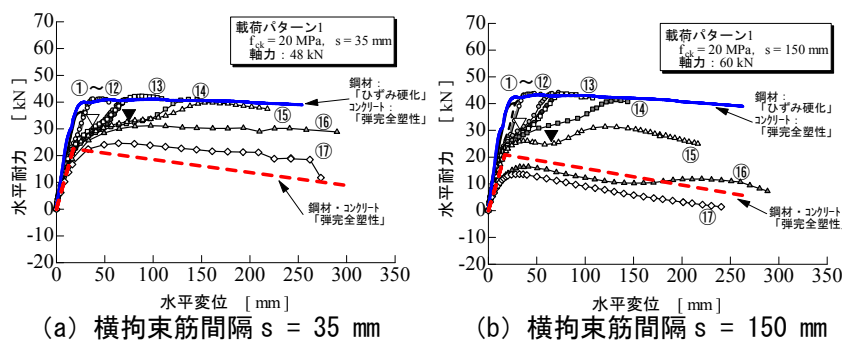
一方、 $-8 \delta_y$ から $+16 \delta_y$ までの載荷過程 (曲線番号⑮以降) では、一旦、耐力が減少 (図中のシンボル▼) した後、再度上昇し、限界曲線と同様な勾配で下降する挙動 (曲線 B) を呈する。この要因として、軸方向筋の座屈が生じることにより、一旦、耐力が減少するものの、その後、圧縮側コンクリートが持ち直すことにより、再び耐力の増加に転じるものと推察される。さらに、軸方向筋の座屈に加え、内部コンクリートに圧壊が進展する $-16 \delta_y$ から荷重 0 kN までの載荷過程 (曲線番号⑯) では、当該曲線上での最大耐力を迎えた後、一定の割合 (P- δ 効果の勾配) で耐力が低下する挙動を呈した。横拘束筋間隔 $s=150$ mm の供試体の方が、この傾向がより顕著に生じることが分かった。

3.2 座屈発生後の耐力-累積吸収エネルギー関係

本節では、図-4中に示すような異なる 3 点の座屈発生後の耐力 (図中の耐力①~③) のうち、上昇域での耐力

キーワード: RC 柱, 軸方向筋座屈, 耐力-変位関係, 累積吸収エネルギー, 有限要素解析

連絡先: 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学 工学部 都市環境学科 土木工学専攻 TEL0565-48-8121(代)

図-3 耐力-変位関係 ($f'_{ck} = 20$ MPa の場合)

(以下、耐力①)と当該ループの開始点での累積吸収エネルギーとの関係について考察する。一例として、コンクリート強度 $f'_{ck} = 20$ MPa の供試体に対する座屈発生後の耐力-変位関係から得た、耐力①と累積吸収エネルギーとの関係を図-5 に示す。ここで、「累積吸収エネルギー」とは当該ループの開始点での累積吸収エネルギーである。図より、いずれの供試体も軸方向筋の座屈が進展する(累積吸収エネルギーが増大する)に従い、耐力が低下する傾向が確認できる。横拘束筋間隔が大きくなるに従い、当該ループの開始点での累積吸収エネルギーと座屈発生時の耐力との関係が脆性的に低下しており、軸方向筋の座屈発生後の挙動に横拘束筋間隔の影響があると推察される。

4. 解析から求めた補助線による耐荷性能の考察

図-3 に、有限要素解析プログラム FEAP³⁾ (ファイバーモデル) による解析結果から得た、耐力-変位関係を補助線(太線の実線および破線)で示す。ここでは、最大耐力となる水平変位 13 mm 付近での除荷曲線を用いて検証を行った。材料構成モデルとして、鋼材に「ひずみ硬化型」、コンクリートに「弾完全塑性型」を採用した解析結果は、実験から得た限界曲線(図-3 および図-4 参照)と概ね一致していることが分かる。さらに、軸方向筋のみが外力を負担する最終破壊状態を再現するため、鋼材の構成関係を「弾完全塑性」、柱基部周辺の全コンクリート要素の圧縮強度をゼロ強度とした解析結果から得た、耐力-変位関係を図-3 に破線で示す。図より、横拘束筋間隔 $s = 35$ mm の供試体の実験結果(図-3 中の曲線番号⑩)は、解析結果を上回る傾向を示した。それゆえ、横拘束筋間隔 35 mm の供試体では、高変位レベルに至る過程でも、横拘束筋による拘束効果により内部コンクリートへの損傷が少ないため、著しい耐力減少を生じないものと推察される。

5. まとめ

本研究では、実験的ならびに解析的観点からの考察を通して、以下のことを確認した。

- 1) 内部コンクリートに対する破壊が進展した場合、それ以降は軸方向筋のみが外力に抵抗する形態に移行することにより、P- δ 効果の影響を受け、耐力が低下する。また、横拘束筋間隔が大きくなるに従い、より脆性的な傾向となることを確認した(図-5 参照)。
- 2) 繰り返し力を受ける RC 柱のポストピーク領域での耐力-変位関係は、上限界(図-3 中の実線)および下限界(図-3 中の破線)の間に概ね位置することを確認した。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、平成 22-24 年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C) 22560488 代表：水野英二)、中部大学特別研究費 A(研究代表者：水野英二)および愛知工業大学耐震実験センター研究助成金を得た。ここに謝意を表す。

参考文献：

- 1) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート構造物のポストピーク挙動評価と設計への応用，2003。
- 2) 亀田好洋・水野英二・鈴木森晶・梅原秀哲：一方向繰り返し曲げを受ける鉄筋コンクリート柱の変形特性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31, No.2, pp.139 - 144, 2009.7。
- 3) Zienkiewicz, O.C. : The Finite Element Method, Third Ed., (吉識雅夫，山田嘉昭監訳「マトリックス有限要素法」)，培風館，pp.672-796, 1984。

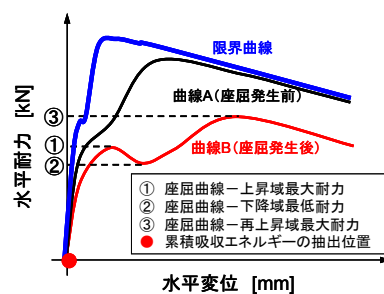
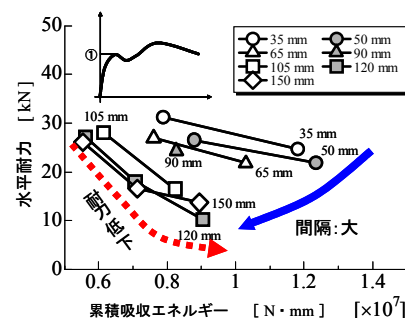


図-4 耐力-変位関係の概念図

図-5 座屈開始後の水平耐力-累積吸収エネルギー関係 ($f'_{ck} = 20$ MPa の場合)