

異なる横拘束形態を有する RC 柱の繰返し変形特性に関する実験的研究

大成ロテック (株) 正会員 〇杉山彰浩 (株) 安部日鋼工業 正会員 北瀬昭平
岡崎市役所 学生会員 亀田好洋 愛知工業大学 正会員 鈴木森晶
中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

繰返し曲げを受ける鉄筋コンクリート (RC) 柱の変形性能に大きな影響を与える要因として、1) 横拘束筋間隔、2) 配筋量および 3) 定着状態が挙げられる¹⁾。本研究では、横拘束筋および鋼板などによる横拘束形態の異なる RC 供試体を用いて、ポストピーク領域にまで及ぶ変形特性を実験的な観点から検証した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本実験では、横拘束条件の異なる RC 供試体を使用した。一つは、図-1 に示す、柱有効高さ 1,000 mm、断面寸法 200×200 mm、せん断スパン比 5 を有する供試体 (N1～N4) である。軸方向筋に D10 (SD295A) を 8 本、横拘束筋には D6 (SD295A) を間隔 $s = 65, 90, 105$ および 120 mm でそれぞれ配筋した。一つは、形状および軸方向筋の配筋は同じであるが、横拘束筋の代わりに鋼板により拘束した供試体である。

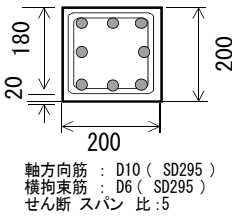


図-1 供試体断面図



写真-1 載荷実験装置

鋼板を用いた RC 供試体では横拘束筋を有する RC 供試体と鋼材量を等しくするため、鋼板厚さ 0.4 mm (横拘束筋間隔 65 mm に等価) と 0.24 mm (横拘束筋間隔 120 mm に等価) の 2 種類の RC 供試体 (P1, P2) を用いた。また、以上に示した供試体の他に、供試体 N1～N4 および供試体 P1, P2 に対応する、かぶりコンクリートの無い供試体 4 本 (NC1～NC4)、2 本 (PNC1, PNC2) を作製して、計 12 供試体により実験を実施した。打設コンクリートの設計基準強度は $f_{ck} = 40$ MPa である。また、材料試験より得られたデータ材料定数を表-1、横拘束筋間隔および鋼板の降伏変位、降伏荷重および最大耐力を表-2 に示す。

2.2 載荷装置および載荷パターン

供試体下部を鋼製治具に挿入し、高力ボルトにより完全固定して、一軸載荷装置にて繰返し実験を行った (写真-1)。載荷パターンとしては $0 \rightarrow 8 \rightarrow 8 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow 16 \rightarrow 16 (\times \delta_y)$ を設定した。また、かぶり無し供試体では $0 \rightarrow 8 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow 16 \rightarrow 16 (\times \delta_y)$ の載荷パターンを設定した。 δ_y は部材降伏時の変位量である (表-2)。

表-1 供試体ケースおよび材料定数表

拘束方法	間隔／板厚 [mm]	供試体略称	載荷軸力 [kN]	コンクリート圧縮強度 [MPa]	軸方向筋：D10		横拘束筋：D6									
					降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]								
横拘束筋	65	N1	87.9	39.7	328	452	326	423								
	90	N2														
	105	N3														
	120	N4														
	65	NC1	75.5	33.4					328	452	326	423				
	90	NC2														
	105	NC3														
	120	NC4														
鋼板	0.4	P1	83.1	37.3	328	452	326	423								
	0.24	P2														
	0.4	PNC1	75.1	33.2									328	452	326	423
	0.24	PNC2														

表-2 載荷実験から得た諸数

供試体ケース	降伏変位 δ_y [mm]	降伏荷重 P_y [kN]	最大耐力 P_{max} [kN]
N1	8.31	20.5	23.9
N2	8.35	20.2	23.7
N3	8.24	20.4	24.7
N4	8.05	22	27.6
NC1	7.88	13.5	18.5
NC2	7.49	14.2	19.8
NC3	7.6	14.5	19.7
NC4	7.34	12.9	18.5
P1	10.06	26.8	31.2
P2	5.24	17.5	29.2
PNC1	8.65	20.1	26.3
PNC2	9.55	22.2	26.7

3. 実験結果および考察

3.1 除荷点および再載荷点を基準とした荷重-変位曲線の考察

一例として、「横拘束筋間隔 $s = 65$ mm : かぶり有り」および「鋼板厚さ : 0.4 mm : かぶり有り」の場合の荷重-変位曲線を図-2 に示す。12 本の供試体に対する荷重-変位曲線を考察すると、供試体 N, NC の最大耐力は (23.7 kN～27.6 kN), (18.5 kN～19.8 kN)。また、供試体 P, PNC の最大耐力は (29.2 kN～31.2 kN), (26.3 kN～26.7 kN) となり、鋼板巻き供試体の方が大きな耐力を有することが分かる (表-2)。かぶり無しの場合は、内部コンクリートおよび引張を受ける側の軸方向筋が抵抗するだけであるため、かぶり有りの場合と比較すると、最大耐力は小さい値を示す。さらに、図-2 の荷重-変位曲線の除荷曲線および再載荷曲線の開始点を基準として整理した結果を図-3 に示す。図中の①, ③, ⑤は除荷曲線, ②, ④は再載荷曲線を表し、数字

キーワード : RC 柱, 横拘束形態, 横拘束筋, 鋼板巻き, 繰返し載荷, 耐力曲線

連絡先 : 中部大学都市建設工学科 〒487-8501 春日井市松本町 1200 TEL 0568-51-9542, FAX 0568-51-1495

の大きなものほど高変位レベルでの曲線を意味する。また、かぶり剥落を生じさせる载荷経路がない、かぶり無しの供試体に対しては、①、③は除荷曲線、②、④は再载荷曲線を表す。加えて、先に示した除荷-再载荷曲線に初期载荷レベル ($8\delta_y$) 以前の除荷曲線を有限要素法プログラム FEAP¹⁾ によって求めた。図-3 (a) ~ (d) に点線で示す解析曲線はいずれも初期载荷曲線の後の除荷曲線を示している。また、初期载荷曲線の除荷点の変位としては 13.2 mm, 33.0 mm の 2 パターンを設定し、変位 -250mm まで载荷を行った。図-3 より、 $8\delta_y$ 以前の除荷曲線においても、鋼板巻き供試体の方が横拘束筋の供試体に比べ、高い最大耐力を有することが解析的に分かった。

横拘束筋による供試体の高変位レベルにおいて、軸方向筋が降伏し内部コンクリートの損傷が顕著に表れるのに従い、荷重-変位曲線は右下がりの曲線を呈し、塑性ヒンジ挙動を示している。一方、鋼板の供試体の荷重-変位曲線は湾曲を描く曲線を呈し、鋼板による内部コンクリートへの拘束効果により耐力低下を抑制していることが分かる。

3.2 累積吸収エネルギーと座屈後の耐力との関係

一例として、供試体 N1~N4 および供試体 P1, P2 に対して、座屈発生点を生ずる除荷曲線および再载荷曲線の開始点での累積吸収エネルギーと座屈発生点での耐力との関係を図-4 に示す。図-4 から、横拘束筋による供試体では、繰り返し载荷を重ねるごとに耐力の低下度合いが大きくなるのに対し、鋼板巻き供試体では、耐力のそれほど大きな低下は見られない。また、初期座屈発生点での累積吸収エネルギー量 (図-4 の横軸) を比較すると、鋼板巻き供試体の方が約 1.5 倍大きな値を示すことが分かる。一方、ここでは割愛しているが、かぶり無し供試体のデータも考察すると、いずれの供試体 (鋼板巻き供試体および横拘束筋の供試体) も、初期载荷後の除荷において座屈が生じている。そのため、累積吸収エネルギー量はかぶり有り供試体のそれに比べ小さな値を示す。

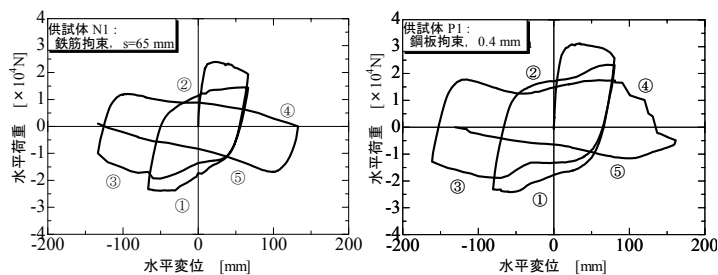
4. 結論

- (1) $8\delta_y$ 以前の曲線でも鋼板巻き供試体の方が大きな耐力を示す。高変位レベルにおいて、横拘束筋による供試体の荷重-変位曲線は右下がりを、鋼板の供試体のそれは湾曲を描く曲線を呈する。
- (2) 横拘束筋による供試体は繰り返し载荷を重ねるごとに耐力の低下度合いが大きくなるのに対し、鋼板巻き供試体ではそれほど大きな耐力低下は見られない。
- (3) 初期座屈発生点での累積吸収エネルギー量を比べると、鋼板巻き供試体の方が横拘束筋による供試体に比べ高い値を示す。かぶり無し供試体はかぶり有り供試体に比べ、座屈が早い段階で生じ、累積吸収エネルギーはかぶり有りに比べ小さな値を示す。

謝辞：本研究は、科学研究費基盤研究 (C) (22560488 代表：水野英二)、中部大学特別研究費 (A) (代表：水野英二) ならびに愛知工業大学耐震実験センターの研究助成により行った。ここに感謝の意を表す。

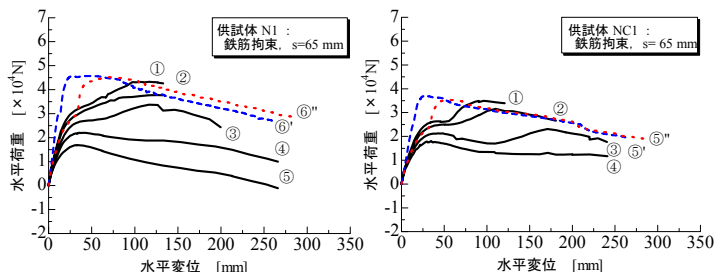
参考文献：

- 1) 水野英二・鈴木森晶・亀田好洋：繰り返し曲げを受ける鉄筋コンクリート柱の破壊領域における変形特性に関する実験的研究、総合工学 第22巻 2010。



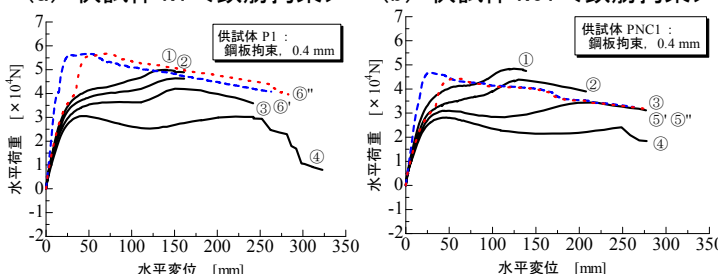
(a) 供試体 N1 <鉄筋拘束> (b) 供試体 P1 <鋼板拘束>

図-2 水平荷重-水平変位関係 (一例)



(a) 供試体 N1 <鉄筋拘束>

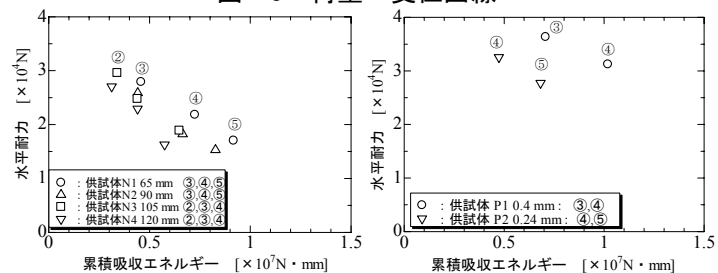
(b) 供試体 NC1 <鉄筋拘束>



(c) 供試体 P1 <鋼板拘束>

(d) 供試体 PNC1 <鋼板拘束>

図-3 荷重-変位曲線



(a) 横拘束筋拘束 供試体 N

(b) 鋼板拘束 供試体 P

図-4 累積吸収エネルギーと座屈後の耐力との関係