

繰り返し曲げを受ける RC 柱部材の曲げ変形特性に関する実験的研究

名古屋工業大学 ○学生会員 亀田好洋 中部大学 正会員 水野英二
愛知工業大学 正会員 鈴木森晶

1. はじめに

筆者らは、これまで鉄筋コンクリート (RC) 柱に対する軸圧縮下での繰り返し曲げ載荷実験を実施してきた。本研究では、既往の研究¹⁾で扱った「横拘束筋間隔」および「載荷パターン」に加え、「コンクリート強度」も要因とした RC 柱供試体に対する繰り返し曲げ載荷実験を実施した。ここでは「横拘束筋間隔」ならびに「コンクリート強度」の違いが、変形挙動および損傷状況に代表される RC 柱の変形特性に与える影響について検証した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本実験では、図-1 に示すような断面 200×200 mm、有効柱高さ 1000 mm (せん断スパン比: 5) の RC 柱を供試体として用いた。軸方向筋には D10 (SD295) を 8 本、横拘束筋には D6 (SD295) を用い、柱基部 3D 区間 (D: 柱幅) に亘って、一定間隔 $s = 35, 50, 65, 90, 105, 120$ および 150 mm のいずれかで配置してある。また、コンクリートには設計基準強度 $f_{ck} = 20, 40$ および 60 MPa で配合した普通コンクリートを用いた。ここで、作製した供試体の一覧を表-1 に、鉄筋およびコンクリートの材料定数を表-2 にそれぞれ示す。

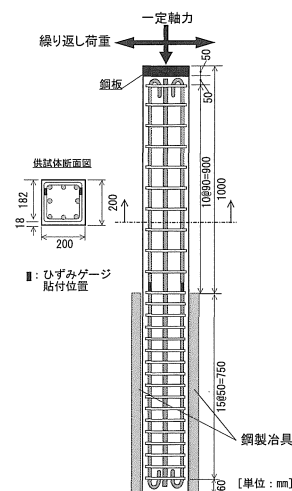


図-1 供試体図 (一例)

表-1 面積鉄筋比と力学的鉄筋パラメータ

横拘束筋 間隔 s [mm]	面積 鉄筋比 ρ_a [%]	力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m$ [%]		
		設計基準強度: f_{ck} [MPa]		
		20	40	60
35	1.23	20.08	7.69	5.15
50	0.86	11.42	5.39	3.60
65	0.66	11.40	4.44	3.18
90	0.48	6.45	3.45	2.30
105	0.41	5.06	3.01	2.06
120	0.36	5.86	2.40	1.79
150	0.29	3.54	2.07	1.43

表-2 材料定数一覧

横拘束筋 間隔 s [mm]	コンクリート			軸方向筋 (平均)	
	設計基準・圧縮強度 [MPa]			降伏強度	引張強度
	20	40	60	[MPa]	[MPa]
35	19.5	46.7	71.0	351.0	519.0
50	24.0	46.7	71.0		
65	18.5	43.6	61.8		
90	24.0	40.5	61.8		
105	25.8	39.8	59.2		
120	19.5	43.6	59.7		
150	25.8	40.5	59.7		

2.2 載荷パターン

本実験では、図-2 に示すような低変位レベルから大変位レベルにかけての繰り返し漸増載荷パターンを設定した。図中の「 δ_y 」は、供試体内の軸方向筋が初期降伏 (降伏ひずみ $\epsilon_y = 2,000 \mu$) した際の水平変位 δ を意味する。以下に、載荷パターンの内容を示す。

- 変位 0 mm $\rightarrow \pm 1 \delta_y$ (1 または 2 サイクル)
- $\rightarrow \pm 2 \delta_y$ (1 または 2 サイクル) $\rightarrow \pm 4 \delta_y$ (2 サイクル)
- $\rightarrow \pm 8 \delta_y \rightarrow \pm 16 \delta_y \rightarrow$ <一方向載荷> \rightarrow 荷重 0 kN

3. 実験結果および考察

各供試体の力学的鉄筋パラメータ²⁾ $\rho_a \cdot m$ の一覧を表-1 に示す。ここで、 ρ_a は面積鉄筋比 (%), m は強度比 (横拘束筋の降伏強度 σ_{ys} をコンクリートの一軸圧縮強度 f_c で除した値) を表す。なお、本章では、力学的鉄筋パラメータが同値 (表-1 に および で示す) の供試体の載荷実験から得た実験結果に対する考察を行う。

3.1 水平荷重-水平変位関係

力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 3.5\%$ および 5.2% を有する供試体 (各 3 体) の水平荷重-水平変位関係を図-3 (a) および (b) に示す。

変位レベル $8 \delta_y$ までの履歴特性を考察すると、力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 3.5\%$ の場合には、コンクリート強度 20 MPa を有する供試体の除荷側での体力が他の 2 ケースと比較して低い。一方、力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 5.2\%$ の場合には、コンクリート強度 60 MPa を有する供試体の除荷側での耐力が他の 2 ケースと比較して高いことが分かる。

$-8 \delta_y$ から終局状態までの領域では、力学的鉄筋パラメータに関係なく、低いコンクリート強度 (この場合には、大

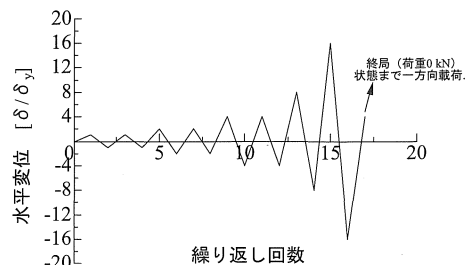


図-2 載荷パターン

キーワード: RC 柱, 横拘束筋間隔, コンクリート強度, 力学的鉄筋パラメータ, 繰り返し曲げ, 変形挙動, 損傷状況

連絡先: 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学 工学部 都市建設工学科 水野研究室 TEL 0568-51-1111 (代)

きい横拘束筋間隔)を有する供試体では、ピーク耐力の低下および履歴曲線の軟化勾配が大きくなる傾向が確認できる。とくに、 $+16\delta_y$ から終局変位にかけての領域では、コンクリート強度の低い供試体の耐荷性能が大きく低下し、水平変位軸に扁平な挙動を呈する。このことから、コンクリート強度および横拘束筋間隔が大変位領域での変形特性に影響を及ぼすと考えられる。

3.2 部材の損傷状況

一例として、力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 5.2\%$ を有する供試体(3体)の変位レベル: $\pm 4\delta_y$ および部材終局(載荷終了)時の柱基部2D区間での損傷状況を写真-1に示す。

写真としては掲載していないが、いずれの供試体も横拘束筋に沿った水平ひび割れが変位 $+1.5\text{ mm}$ 前後より進展し、 $\pm 1\delta_y$ 区間の載荷終了時には、左右両面からの水平ひび割れが貫通した。また、 $\pm 2\delta_y$ 区間の繰り返し載荷では、既存ひび割れの開口幅の拡大のみで、水平ひび割れの進展はほとんど確認できなかった。

写真から分かるように、 $\pm 4\delta_y \sim \pm 8\delta_y$ にかけての繰り返し載荷過程では、力学的鉄筋パラメータが同値であっても、横拘束筋間隔が小さい供試体では、水平ひび割れが卓越する傾向を示すのに対し、横拘束筋間隔が大きくなるに従い、水平ひび割れから斜めひび割れに移行する傾向を示している。また、コンクリート強度40 MPaかつ横拘束筋間隔50 mmの供試体では、柱基部付近でのひび割れが細部にまで進展する傾向が確認できる。さらに、 $-8\delta_y$ 以降の繰り返し載荷過程において、力学的鉄筋パラメータが同値であっても、横拘束筋間隔が大きく(コンクリート強度が小さく)なるに従い、終局時には軸方向筋のはらみ出しならびにコンクリートの圧壊などの繰り返し劣化が生ずる傾向が確認できた。

4. まとめ

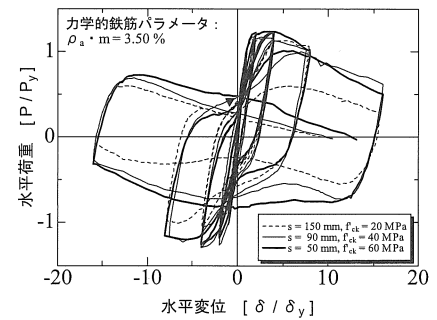
本研究では、力学的鉄筋パラメータおよび載荷パターンに着目した実験結果の考察を通して、以下の知見を得た。

- 1) 力学的鉄筋パラメータが同値であっても、「横拘束筋間隔」および「コンクリート強度」の違いにより、部材の変形挙動に差異が生じることを確認した。とくに、横拘束筋間隔が小さいかつコンクリート強度の高い供試体では、その挙動がより延性的になることが分かった。
- 2) 軸方向筋のはらみ出しおよびコンクリート圧壊が顕著となる $-8\delta_y$ 以降の領域においては、変形挙動および部材の損傷状況を「力学的鉄筋パラメータ」により統一的に評価することが難しいことが分かった。とくに、力学的鉄筋パラメータが同値であっても、横拘束筋間隔の大きい供試体では斜めひび割れが卓越する傾向を確認した。

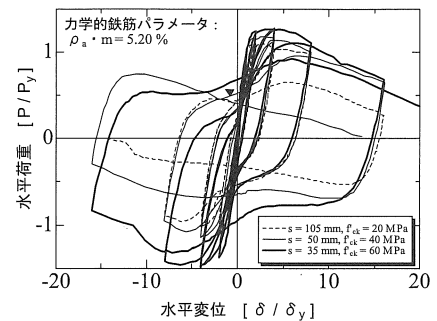
謝辞：本研究を遂行するにあたり、平成20年度中部大学総合工学研究所研究補助金(第5部門)の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献：

- 1) 亀田好洋・水野英二・伊藤 睦・梅原秀哲：圧縮下で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.30, No.3, pp.145-150, 2008.7.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 (V：耐震設計編) 2002年度版，pp.160-163, 2002.



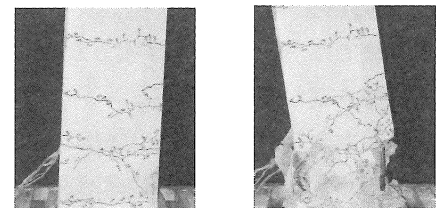
(a) 力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 3.5\%$



(b) 力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 5.2\%$

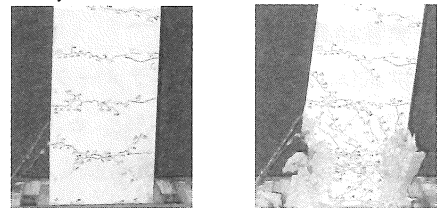
図-3 水平荷重—水平変位関係

+4 δ_y (39.3 mm) 部材終局



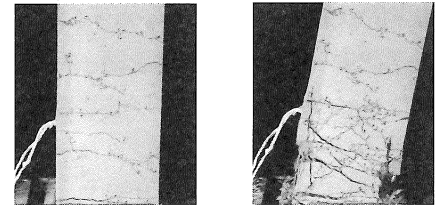
(a) 力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 5.2\%$
<横拘束筋間隔 $s = 105\text{ mm}$ ($f'_{ck} = 20\text{ MPa}$) >

+4 δ_y (35.4 mm) 部材終局



(b) 力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 5.2\%$
<横拘束筋間隔 $s = 50\text{ mm}$ ($f'_{ck} = 40\text{ MPa}$) >

+4 δ_y (26.7 mm) 部材終局



(c) 力学的鉄筋パラメータ $\rho_a \cdot m = 5.2\%$
<横拘束筋間隔 $s = 35\text{ mm}$ ($f'_{ck} = 60\text{ MPa}$) >

写真-1 部材の破壊進展状況