

論文

[2050] 高軸力を受ける鉄筋コンクリート柱の変形性能に関する考察

正会員○岡西 努 (東京工業大学大学院)

正会員 林 静雄 (東京工業大学工業材料研究所)

正会員 香取慶一 (東京工業大学工業材料研究所)

正会員 東 健二 (東京工業大学工業材料研究所)

1. はじめに

近年、都市の過密化に伴う社会的要請として建物の高層化が必要となってきた。高層建物の下層階の柱においては、大地震時にはかなりの高軸力を受ける場合が考えられる。耐震設計上の観点からみると、建物の強度と靱性の確保は当然の課題であり、このような高軸力を受ける柱にも強度と靱性が要求されることは言うまでもない。

本考察では、昭和58年度文部省科学研究費補助金総合研究A(研究代表者 黒正清治)による「高軸力下における鉄筋コンクリート柱の耐震性能の評価に関する研究」の試験体の中から、軸力比が0.3~0.6の高軸力を受ける鉄筋コンクリート柱について、限界変形に及ぼすせん断補強量と軸力の影響を明らかにした。

2. 実験概要

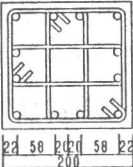
2. 1 試験体

試験体概要を表-1に示す。抽出した試験体は、断面 $b \times D = 20 \times 20$ cm、せん断スパン比 $a/D = 1.5$ であり、変動要因はせん断補強筋比を5水準、軸力比を4水準及び載荷方法となっている。

No.1, 2, 7~10では、せん断破壊が先行するように主筋に焼き入れ加工を施し、No.11~18は曲げ破壊先行型としてある。また、No.3~6は高軸力下においてせん断補強量が不足する場合を想定し、No.19~23は多量のせん断補強筋を配した場合の性状を見るために計画したものであり、総数23体とした。

使用した鉄筋及びコンクリートの力学的性質をそれぞれ表-2、表-3に示す。

表-1 試験体概要

No.	主筋	せん断補強筋	引張主筋比 pt(%)	せん断補強筋比 pw(%)	軸力比 ηo	載荷方法	試験体断面図
1	12-D13	4φ	1.27	0.42	0.4	M	
2					0.6		
3					0.3		
4	12-D10	D6	0.71	0.53	0.4	M	
5					0.5		
6					0.6		
7	12-D13	6φ	1.27	0.94	0.3	M	
8					0.4		
9					0.5		
10	12-D10	D6	0.71	1.07	0.6	M	
11					0.3		
12					0.4		
13					0.5		
14	12-D10	D6	0.71	1.07	0.6	R	
15					0.3		
16					0.4		
17	12-D10	D6	0.71	1.07	0.5	R	
18					0.6		
19					0.3		
20	12-D10	D6	0.71	1.60	0.4	R	
21					0.5		
22					0.6		
23	12-D10	D6	0.71	1.60	0.6	M	

M...一方単調載荷 R...正負交番繰返し載荷

2. 2 加力・測定方法

加力・測定図を図-1に示す。加力は、両端ピンの100tオイルジャッキを用いて所定の軸力を加えた後、軸力を一定に保ち、上部スタブに取り付けられた加力ビームを両端ピンの50tオイルジャッキで加力して、No.1~14,23については一方向単調載荷、No.15~22については正負交番繰返し載荷を行った。

繰返し載荷は変形制御で、単調載荷の結果、ひび割れが入らない範囲内の $\pm 0.5\text{mm}$ で1回、 $\pm 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18\text{mm}$ で各2回行い、その後、約 30mm (0.050rad) まで変形させて実験を終了した。実設計における限界変形としては一般に 0.010rad 程度を想定しているが、本実験においては、安全側における評価を試みるために 0.050rad までの変形を確認することとした。

また、この時上下スタブ間の相対回転を防ぐために、平行クランク機構を鉛直面内の直角2方向に取り付け、上下スタブの相対水平変位と柱の材軸方向の伸縮量を電気式変位計を用いて測定した。

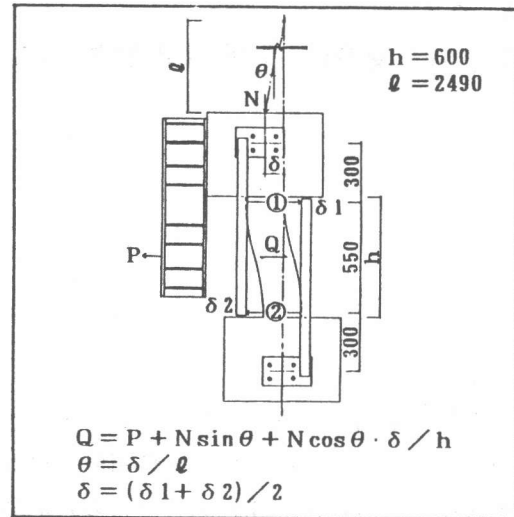


図-1 加力・測定図

表-2 鉄筋の力学的性質

種別	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
4φ	2134	2797	1.83×10^{-6}
6φ	3643	4703	2.13×10^{-6}
D6	4037	5667	1.80×10^{-6}
D10	4319	6199	1.87×10^{-6}
D13	8051	8544	1.84×10^{-6}

表-3 コンクリートの力学的性質

試験体No.	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
1, 2, 7~10	314	2.29×10^{-5}
3~6	307	1.90×10^{-5}
11~14	385	2.39×10^{-5}
15~18	237	1.79×10^{-5}
19~23	279	1.89×10^{-5}

3. 実験結果

3. 1 破壊性状

高軸力下では、せん断ひび割れの材軸となす角度が小さくなる傾向が見られた。

No.1, 2, 7~10は、最大耐力後急激に耐力を失いせん断破壊した。特にせん断補強筋の少ないNo.1, 2は極めて脆性的な破壊をした。No.3~6, 14は圧縮筋降伏後のせん断圧縮破壊、No.11~13, 15~17, 19~23は圧縮筋降伏先行型の曲げ破壊、No.18は圧縮筋降伏先行型の曲げ破壊で最終的には圧縮側コンクリートの圧壊によって破壊した。

3. 2 変形状

高軸力下では変形能力は小さくなり、最大耐力に到達した後の保持せん断力の低下も急であったが、多量のせん断補強筋を配置することでコアコンクリートと主筋を拘束すると、高軸力を受ける柱部材の変形能力を増大させる傾向が見られた。

$p_w=1.07\%$ で、繰返し載荷を行ったNo.15~18のせん断力-変形曲線を図-2に示す。復元力特性は、低軸力下では逆S字形、軸力が大きくなるにしたがって紡錘形に移行し、高軸力下では紡錘形で中太りの傾向が見られた。また、繰返し載荷のNo.15~18の包絡線を単調載荷のNo.11~14と比較すると、それぞれの軸力比において、載荷方法による差はほとんど見られなかった。

また、多量のせん断補強筋を配して繰返し載荷を行ったNo.19~22は、比較的安定な復元力特性を示し、変形が 30mm に至るまで保持せん断力の低下はほとんど見られなかった。

3. 3 最大耐力

実験結果を表-4に示す。No.15,19~21では最大耐力を確認する以前に変形が30mmに到達したためその点を最大耐力とした。

せん断補強筋の少ないNo.1~6では、軸力の増加に伴う最大耐力の増加はほとんど見られなかったのに対し、それ以外の試験体では若干増加する傾向が見られた。しかし、高軸力になるとコンクリートの圧壊が先行するために最大耐力の上昇はほとんど見られなかった。

表-4 実験結果

No.	せん断補強筋比 pw(%)	軸力比 ηo ()は 実験時の値	載荷 方法	最大耐力 Q_{max} (t.f)	最大耐力 時変形 δ_{max} (mm)	限界変形 δ_u (mm)	限界 部材角 R_u (rad)
1	0.42	0.4 (0.46)	M	20.9	4.1	6.5	0.011
2		0.6 (0.69)		19.4	4.5	5.8	0.010
3	0.53	0.3 (0.35)	M	16.8	10.0	23.7	0.040
4		0.4 (0.47)		16.5	7.0	17.2	0.029
5		0.5 (0.59)		16.5	7.6	13.5	0.023
6		0.6 (0.70)		17.7	7.8	9.2	0.015
7	0.94	0.3 (0.34)	M	27.4	11.9	20.9	0.035
8		0.4 (0.46)		29.1	11.4	19.2	0.032
9		0.5 (0.57)		27.3	9.6	15.9	0.027
10		0.6 (0.69)		29.0	9.5	15.0	0.025
11	1.07	0.3 (0.28)	M	18.4	13.0	*29.5	*0.049
12		0.4 (0.37)		19.3	9.3	*30.0	*0.050
13		0.5 (0.47)		19.9	11.0	*29.0	*0.048
14		0.6 (0.56)		20.8	12.3	20.6	0.034
15	1.07	0.3 (0.46)	R	*15.6	*28.7	*28.7	*0.048
16		0.4 (0.61)		16.8	8.8	14.7	0.025
17		0.5 (0.76)		18.3	12.0	15.7	0.026
18		0.6 (0.91)		17.0	9.1	15.0	0.025
19	1.60	0.3 (0.39)	R	*18.1	*29.7	*29.7	*0.050
20		0.4 (0.52)		*20.9	*29.4	*29.4	*0.049
21		0.5 (0.65)		*20.6	*31.7	*31.7	*0.053
22		0.6 (0.77)		20.1	15.2	*30.0	*0.050
23	1.60	0.6 (0.77)	M	21.7	24.1	*30.0	*0.050

M...一方向単調載荷 R...正負交番繰り返し載荷

*...変形制御 [30mm(0.050rad)] による値

4. 限界部材角の検討

4. 1 せん断補強筋比の影響

限界変形及び限界部材角を表-4に示す。

限界変形は、最大耐力 Q_{max} 以降、最初に Q_{max} の80%に耐力が低下した点の変形と定義した。但し、 Q_{max} 以降で80%に耐力が低下する前に、あるいは Q_{max} を迎える前に変形が30mmに到達し、変形制御によって除荷した場合はその点を限界変形とした。

限界部材角-せん断補強筋比関係を図-3に示す。せん断補強筋比が増加するに伴って限界部材角も増加する傾向が見られた。

pw=0.53%では、軸力比によって限界部材角は比較的ばらついているものの、pw=0.94%では、ばらつきは小さくなっている。

載荷方法別に見ると、単調載荷では軸力比0.3~

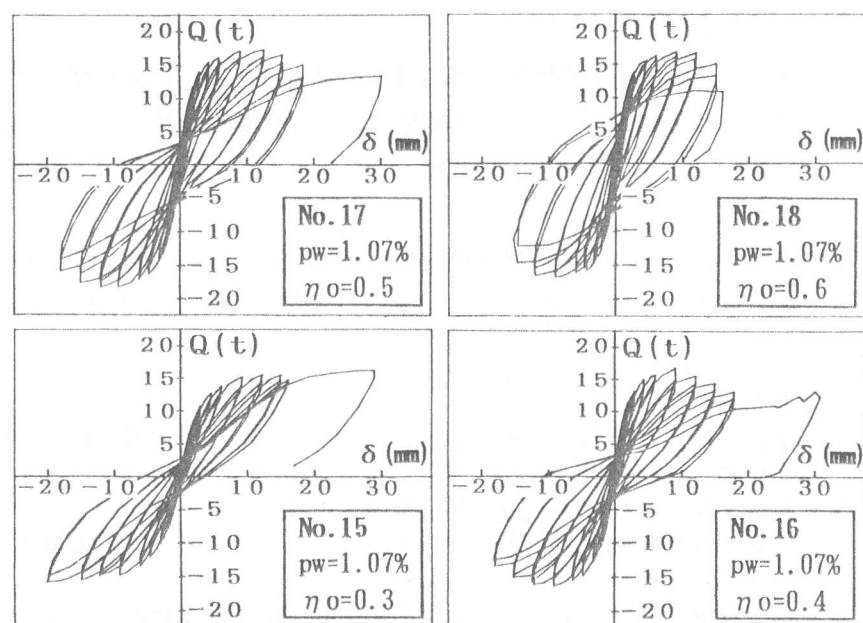


図-2 せん断力-変形曲線

0.5の場合には、 $pw=1.07\%$ で 0.050rad 以上の限界部材角を示している。

一方、繰り返し载荷では軸力比 0.3 の場合では、 $pw=1.07\%$ あれば 0.050rad 以上の限界部材角を示しているものの、軸力比 $0.4\sim 0.6$ においては $pw=1.07\%$ では 0.025rad 程度でほぼ一定となり、多量のせん断補強筋を配した $pw=1.60\%$ の場合で 0.050rad 以上の限界部材角となった。

4. 2 軸力の影響

限界部材角－軸力関係を図－4に示す。

軸力が増加するに伴って、限界部材角は一般に減少する傾向が見られたが、 $pw=0.42, 1.60\%$ では、軸力の値によらず限界部材角はほぼ一定の値を示し、特に $pw=1.60\%$ では、単調载荷、繰り返し载荷ともに限界部材角は 0.050rad 以上となった。

軸力比 $0.3\sim 0.6$ において限界部材角が減少の傾向を示しているのは $pw=0.53, 0.94\%$ で、その傾きは $pw=0.53\%$ の方が若干急となっている。

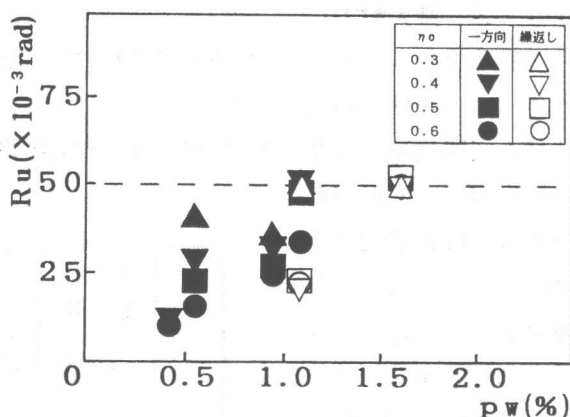
$pw=1.07\%$ では、単調载荷の軸力比 $0.3\sim 0.5$ の試験体で、最大耐力の後 0.050rad までの変形能力を確認したが、軸力比 0.6 に関しては 0.034rad と低くなっている。また $pw=1.07\%$ の繰り返し载荷では、軸力比 0.3 において 0.050rad の変形能力を示したものの、軸力比 $0.4\sim 0.6$ では限界部材角は 0.025rad 程度でほぼ一定となった。

5. まとめ

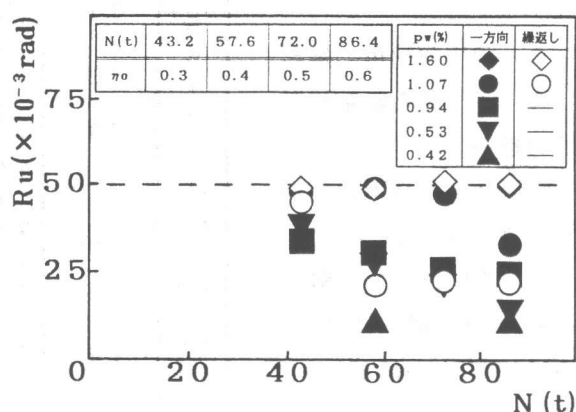
- (1) 軸力の増加による限界部材角の減少の割合は、せん断補強量の増加に伴い小さくなる傾向が認められ、軸力比 $0.3\sim 0.5$ の範囲では、せん断補強筋比が 1.07% あれば限界部材角は 0.050rad 以上となり、 1.60% では高軸力下においても 0.050rad 以上の限界部材角を示すことが確認できた。
- (2) 限界部材角は、せん断補強筋比が 1.07% では、単調载荷に比べ繰り返し载荷の方が小さくなる傾向を示したが、 1.60% では、高軸力下においても载荷方法による差は見られなかった。

[参考文献]

- 1) 黒正清治：高軸力下における鉄筋コンクリート柱の耐震性能の評価に関する研究、研究成果報告書、1984.3
- 2) 黒正・松崎・瀧口・和田・林・福原・小林・三枝：高軸力下における鉄筋コンクリート柱の耐震性能の評価に関する研究（その1）～（その4）、日本建築学会大会学術講演梗概集、No.2759、PP.2109-2110、1983.9
- 3) 林 静雄：鉄筋コンクリート柱の靱性評価に関する検討、コンクリート構造物の靱性とその評価法に関するコロキウム、日本コンクリート工学協会、PP.I-164-I-179、1988.3



図－3 限界部材角－せん断補強筋比関係



図－4 限界部材角－軸力関係