

R C 造柱の軸力保持性能に及ぼす主筋の効果

<Effects of Longitudinal Bars on Axial Load Capacity of R/C Columns>

八塚卓哉,
Takuya Yatsuzuka,

加藤大介
Daisuke Kato

抄録

本研究は鉄筋コンクリート造柱の軸力保持性能に及ぼす主筋の影響を実験的に解明することを目的としている。主筋の効果は主筋を拘束する帯筋の詳細によって異なるため、主筋の負担する軸力比の有効な割合を帯筋の詳細を考慮して実験的に求めた。実験パラメータは主筋と帯筋の組み合わせ 3 通りと軸力を 2 通りとした。その結果、帯筋が溶接閉鎖型の場合の主筋の負担軸力比の有効性 () を 1 としたときの 90 度フック型の は 0.2 となった。

Keywords R/C Columns Axial Load Capacity Collapse Joint Translation angle Axial Ratio
RC 造柱 軸力保持能力 崩壊部材角 軸力比

1. 研究目的

RC 造柱部材が軸力保持能力を喪失するメカニズムを解明する手法は未だ確立には至っていない。そこで筆者らは、帯筋形状や帯筋間隔を変えることによって、RC 造柱の軸力保持能力喪失のメカニズムを検討してきた^{[1][2]}。本研究では、新たに軸力保持能力に及ぼす主筋の影響を評価することを試みた。主筋の効果はそれを拘束する帯筋の詳細によって異なる。そこで、帯筋の拘束効果を表現する有効比 を導入し、この有効比 を実験的に求めた。

2. 研究計画・方法

表 1 に試験体諸元、図 1 に試験体断面図を示す。既往の研究では全ての試験体の主筋として D 1 0 を使用して

いるので、本研究では主筋を D 1 3 とした。また、主筋無しの試験体として 4 の試験体も作成した。帯筋は全て D6 を使用する。

図 1 に試験部分図、表 2 に鉄筋強度を示す。試験体は、180 mm × 180 mm × 1200 mm の直方体であるが、上下端部は基礎部分となっているため試験範囲は中央の 360 mm となる。本研究の帯筋間隔は全試験体 70 mm である。75mm 部分はアンカーボルト部分を避けるためである。

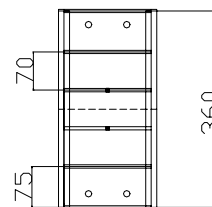


表 2 鉄筋強度

	降伏強度 (N/mm^2)	最大強度 (N/mm^2)
D6	335	445
D13	335	400
4	502	531

図 1 試験部分図

表 1 試験体諸元

試験体	断面 (mm^2)	高さ (mm)	主筋 (SD345)	引張鉄筋比 (%)	帯筋 (SD295)	帯筋間隔 (mm)	帯筋比 (%)	コンクリート 強度 (N/mm^2)
D13Sシリーズ	180 × 180	360	4-D13	0.784	D6(90°フック(余長 = 2d))	70	0.0051	26.7
D13Wシリーズ					D6(溶接加工)			
4Wシリーズ					4- 4			

*1 新潟大学大学院・大学院生

Graduated student, Niigata Univ.

*2 新潟大学工学部建設学科・教授

Professor, Dept. of Archi., Niigata Univ.

図2に試験体断面図を示す。試験部分の帯筋形状は溶接閉鎖型と90度フック型の2種類である。基礎部は全試験体共通で135°フックを用いている。帯筋の配置については基礎部(基礎治具で固定される部分)は通常の施工法で帯筋端部がローテーションとなるように配置し、試験体部(実際の測定部分)は帯筋の詳細の違いが顕著に表れるようにローテーションさせず、正面に向かって左側に揃えている。

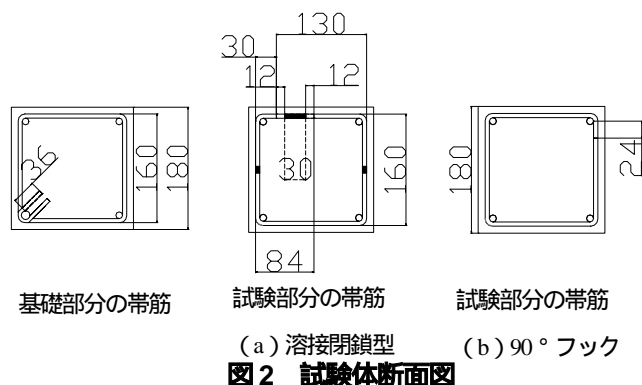


図2 試験体断面図

表3に加力方法を示す。本研究ではD13Sシリーズ3体, D13Wシリーズ4体, 4Wシリーズ3体の計10体の試験体を使用している。載荷方法は「中心軸圧縮実験」と「繰り返し水平載荷実験」の2通りを行う。中心軸圧縮実験は他の実験を行うにあたり基本的な実験となる。表3の加力方法にはないD13S-0, D13W-0, 4W-0の試験体が中心軸圧縮実験である。また、繰り返し水平載荷実験は、一定軸力下において、部材角+0.5%, -0.5%というようにプラス・マイナスの水平力を漸増載荷させていく実験である。なお、軸力保持能力を喪失した時点で水平部材角を0に戻し、軸方向加力に切り替え破壊形式の挙動をみる。

表3 加力方法

試験体	加力方法		
	加力形態	一定軸力(kN)	水平部材角
D13S - 1	一定軸力下	300	
D13S - 2	での曲げせ	500	
D13W - 1	ん断(一定軸	300	
D13W - 2	力を負担でき	500	
D13W - 3	なくなったら	500	
4 - 1	軸方向加力	300	
4 - 2	へ移行)	500	

水平部材角の ... $\pm 1/100\text{rad}$,
... $\pm 0.5/100\text{rad}$ を2回ずつ

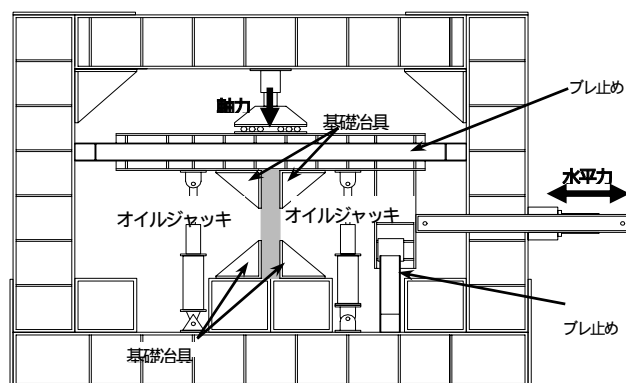


図3 加力装置

加力装置を図3に示す。灰色部分が試験体である。L型フレーム上部に設置されている軸力ジャッキにより軸方向加力を行い、水平力は水平ジャッキにより水平加力を行う。なお、D13W-2とD13W-3はパラメータが同一の試験体であるが、表2に示すようにD13W-2は水平部材角を $\pm 1/100\text{rad}$, D13W-3は水平部材角を $\pm 0.5/100\text{rad}$ から始めている。つまり、サイクルピークの部材角の達し方が異なる試験体となる。

3. 実験結果

3.1 中心軸圧縮実験結果

各試験体の中心軸圧縮実験の結果を図4に示す。結果の比較としては、一番大きい主筋のD13W-0(溶接閉鎖筋)は最大軸力が約900kNであり、D13Wと帯筋のみ異なるD13S-0(90°フック)はD13W-0よりも最大軸力が若干小さくなった。そして、主筋の無い4W-0(溶接閉鎖筋)の試験体では最大軸力は800kN以下であった。4は前述したように主筋の役割を果たすものではないので、4W-0の軸力はコンクリートが負担していたということになり、D13の主筋をいれることで約100kNの軸力を保持できる強度が増加した。

しかし最大耐力を失った後はD13W-0は軸力のある程度保持しながら耐力低下しているのに対し、D13S-0

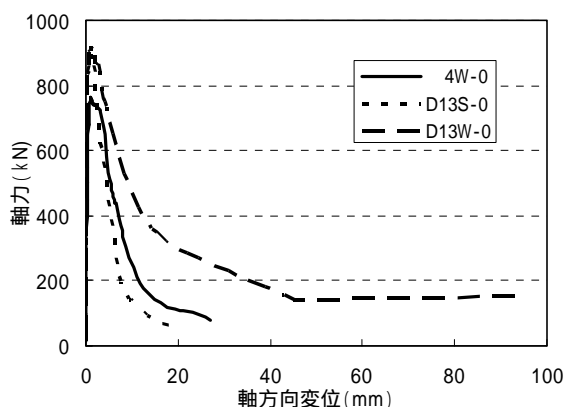


図4 中心軸圧縮実験の実験結果

と4W-0の試験体は急激に耐力低下している。特に、最大耐力に100kN以上もの差があったD13S-0の方が4W-0よりも耐力を保持できていない。このことから、主筋があるだけでは安定した挙動は得られず、帯筋の詳細が重要になってくるのがわかる。

3.2 繰り返し水平載荷実験結果

図5に水平力 - 水平変位関係の代表例として一定軸力300 kNのグラフ、表4に繰り返し水平載荷実験の試験体結果一覧を示す。グラフ中の●は軸力保持能力喪失点を表す。ここで、軸力保持能力喪失点に達するまでに経験した最大の部材角を「崩壊部材角」と定義する。

表4より、最大水平力には大きい差は現れなかった。しかし、最大水平力時の水平変位は一定軸力が300 kNのときの方が500 kNのときよりも約1.5 mm大きくなっているのがわかる。そのことから、一定軸力が低い方が軸力保持能力は高いといえる。

次にサイクル数で比較する。サイクル数はプラスマイナス方向に加力するため、最終サイクルは2つの値が生じてしまう。しかしプラス方向、マイナス方向のピーク時の部材角に違いはない。そのため崩壊部材角を記録したサイクルの絶対値の最大サイクル数を最終サイクルとする。例えば、-8サイクルのピーク前に崩壊部材角になった場合、その場合は7サイクルが最終サイクルとなる。-8でピーク後に崩壊した場合は、最終サイクルは8サイクルとなる。この点を踏まえて考察すると、最終サイクルでも一定軸力の低い試験体の方がサイクル数は高い。そのため軸力保持能力は高いということがいえる。

次に、一定軸力300 kNをかけた試験体で比較する。D13W - 1(b)と4W - 1(c)とでは崩壊部材角に大きな差は表れなかったが、D13S - 1(a)は崩壊部材角が前述の二つより小さい値で軸力保持能力を喪失した。同様

に一定軸力500 kNをかけた試験体を比較すると、D13W - 2、3が最も大きな崩壊部材角を示し、D13S - 2がそれよりも若干低い値となった。4W - 2は一定軸力300 kNのときとは大きく異なり、最も小さい崩壊部材角を示した。また、D13W - 2とD13W - 3はパラメータが同一であるが、D13W - 2はサイクルピークを $\pm 1/100$ radから始めるのに対して、D13W - 3は $\pm 0.5/100$ radから始めている。そのため、D13W - 3の方がサイクル数が高くなっている。サイクルピークに違いを設定しても、崩壊部材角、水平変位ともに同じ値をとった。このことから、サイクル数に関わらずパラメータが同様であれば、崩壊部材角も同様の値をとることがわかる。

次に試験体毎に比較する。D13Sの試験体では一定軸力300 kNのD13S - 1が一定軸力500 kNのD13S - 2よりも大きい崩壊部材角を示した。D13Wの試験体では、一定軸力300 kNのD13W - 1が一定軸力500 kNのD13W - 2,3より崩壊部材角が大きい値で軸力保持能力を喪失した。4も同様に、一定軸力の小さい4W - 1が4W - 2よりも崩壊部材角が大きくなった。このことから、一定軸力の小さい方の試験体が崩壊部材角は大きい値となり、そのことから靱性があるといえる。

帯筋が同形状のD13Wと4Wを比較すると、軸力300 kNの場合には水平変位10.8 (mm)、崩壊部材角0.03 (rad)と等しい値になったが、軸方向変位には違いが生じた。軸力500 kNの場合は、水平変位、部材角ともに値が異なり、D13Wは水平変位5.4 (mm)、部材角0.015

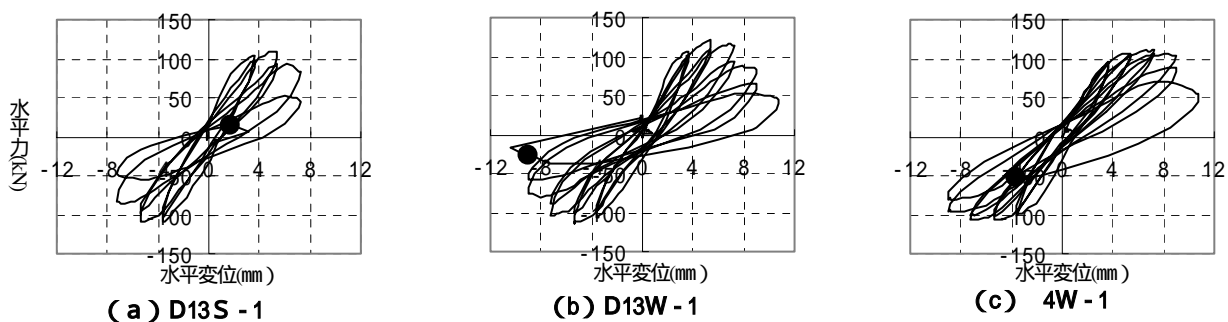


図5 軸力保持性能の検討

表4 繰り返し水平載荷実験の結果一覧

載荷方法	試験体名	一定軸力 (kN)	最大水平力 (kN)	最大水平力時水平変位 (mm)	最終サイクル	軸力負担能力喪失点			
						水平変位 (mm)	軸方向変位 (mm)	部材角 (rad)	部材角 (%)
繰り返し水平載荷	D13S - 1	300	110.1	5.3	-6	7.2	3.6	0.02	2
	D13S - 2	500	125.9	3.6	-4	5.8	2.4	0.01	1.61
	D13W - 1	300	122.3	5.4	+9	10.8	7.8	0.03	3
	D13W - 2	500	119.9	3.9	+3	5.4	1.8	0.015	1.5
	D13W - 3	500	114.6	3.6	-6	5.4	5.4	0.015	1.5
	4W - 1	300	110.8	7.2	+9	10.8	5.5	0.03	3
	4W - 2	500	107.5	3.5	+3	3.6	2.3	0.01	1

(rad)で、4Wは水平変位3.6(mm)、部材角0.01(rad)となった。このことから、水平力-水平変位関係にも主筋は影響していることがわかる。

図5を参照すると、一定軸力が低いためサイクル数が高いが、軸力保持能力点はサイクル途中であったり除荷中であったり様々である。そこでも、帯筋拘束力のないD13S-1が最も靱性がないことがわかる。

4. 考察

式にRC造柱の鉄筋負担分を引いたコンクリート負担分の軸力比 ρ_c を示す。

$$\rho_c = \frac{(N - \sigma_s \cdot a_s \cdot y) / b \cdot D \cdot B \cdot \dots}{\dots}$$

N ・・・RC造柱の設定軸力、 σ_s ・・・帯筋による有効比、 a_s ・・・主筋断面積
 y ・・・主筋の降伏強度、 $b \cdot D$ ・・・柱断面、 B ・・・コンクリート強度

式において一般的な軸力比と比較して異なることは、帯筋端部形状によるものである。 ρ_c が大きいほど帯筋の効果が大きくなるため、コンクリートの軸力負担分が軽減する。溶接閉鎖型(W)は最も性能が高く $\rho_c = 1$ と考えられるが、90°フック(S)は帯筋の拘束効果が小さいために軸力保持性能が低いと考えられる。そこでSの帯筋の有効比 ρ_s を求める。

図4は一例であるが有効値 ρ_s の検討図を示す。グラフ上部の数値は検討する ρ_s 値を、点は3種類の試験体を示している。これらの直線は全ての点をとって、それを平均した近似直線である。グラフを見てわかるとおり、 $\rho_s = 0.2$ が最も点と直線が近似していることがわかる。ここでSはWよりも性能が低いと考えられることから0

1と推測されるため、Sの ρ_s に0と1の値を入れて最も直線近似精度の値が大きくなる ρ_s が求めたい値ということになり、近似値の精度が良いといえる。その結果、直線近似は ρ_s が0.2のときが最も精度が高かった。そこで、本実験結果からは有効値 ρ_s は0.2とした。

このことを用いて、より軸力比 ρ_c を求める。その結果、D13Wの試験体は主筋比がもともと高いため低い

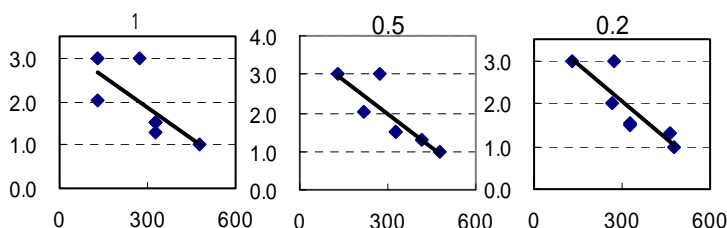


図4 有効値 ρ_s の検討図の一例
 (横軸は ρ_c を考慮した軸力、縦軸は崩壊部材角)

値、4Wの試験体では主筋が細いためD13Wの試験体よりも大きい値、D13Sの試験体においては、帯筋効果を考慮した軸力比のため4Wとほぼ同じ値となった。

最後にまとめとして、実験により得られた各試験体の崩壊部材角と、式より求めたコンクリート負担分の軸力比 ρ_c との関係を図5に示す。この図5は図4の $\rho_s = 0.2$ の図を詳しく表したものである。この図中の R^2 というのは、直線の近似精度値を示している。数式はグラフの傾き、切片を示す。この図より、崩壊部材角はコンクリート負担分の軸力比 ρ_c を用いて、帯筋の配筋詳細によって異なる鉄筋の軸力負担分を算出することができ、帯筋の有効比 ρ_s を評価することができる。

5. まとめ

- (1) 低軸力下の試験体の方が高軸力下の試験体よりも軸力保持能力喪失時の部材角が大きくなった。
- (2) 同パラメータである試験体は、サイクルピークが異なっても、結果に違いは生じなかった。
- (3) 帯筋による有効比は溶接閉鎖型が $\rho_s = 1$ の場合は、90°フックは $\rho_s = 0.2$ となり、軸力比 ρ_c の値がほぼ4Wの試験体の値と同じ値となった。

参考文献

- (1) 高田雅之、李柱振、菅勝博、加藤大介、中村友紀子：せん断破壊するRC造柱の軸力伝達能力の評価実験(その1～3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、2003、PP.223～PP.228
- (2) 八塚卓哉、菅勝博、加藤大介：RC造柱の軸力伝達能力に及ぼす荷履歴の影響の評価(その1～2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、2004、PP.347～PP.228

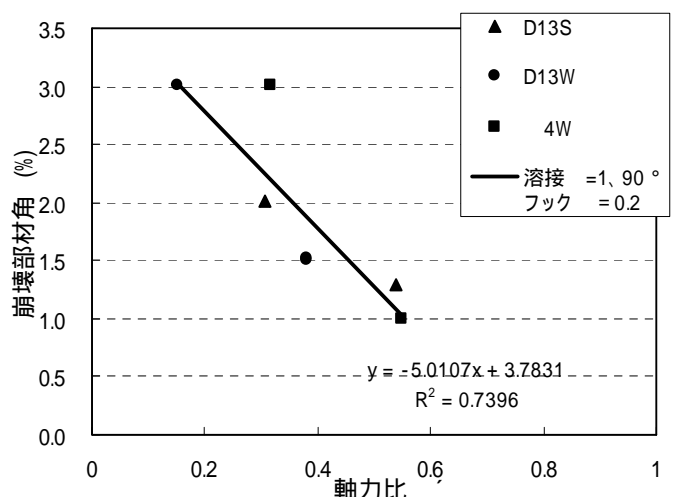


図5 崩壊部材角と軸力比の関係 ($\rho_s = 0.2$)