

RC 柱の残存軸力性能に及ぼす載荷方法とコンクリート強度の影響

Effects of loading method and concrete strength on residual axial load capacity of R/C columns

李 柱振¹, 加藤 大介²

本報告では、既往の研究に引き続き、せん断破壊する RC 造柱の地震終了後の軸力保持性能（残存軸力）に及ぼす載荷方法とコンクリート強度の影響を実験的に検討した結果を報告する。試験体はせん断補強筋の溶接帯筋フックと通常 90 度フックの配筋より余長が半分短い 4d を用いてコンクリート強度を変えた 4 シリーズ 12 体に対し中心圧縮、曲げせん断、残存軸力加力を行った。

Keywords R/C columns, Concrete strength, Residual axial load capacity, Axial load capacity
RC 造柱, コンクリート強度, 残存軸力, 軸力負担能力

1. 研究目的

筆者らはせん断破壊後の軸力伝達能力喪失のメカニズム解明を試みてきたが [1], 本研究では、地震後の柱の性能の一つである残存軸力に及ぼす載荷方法とコンクリート強度に着目して、実験を通じその影響を評価、提案することを目的とする。

2. 研究計画, 方法

4 シリーズの試験体を計画した。表 1 に各シリーズの試験体パラメータを示し、図 1 に試験体断面配筋図を示す。試験体は既往の研究と同じように 180 × 180 × 1200mm とし、長さも試験体の両端部が図 2 のように基礎治具に挟まれるために中心部の 360mm となる。今回はコンクリート強度の異なる試験体 H(高), L(低)シリーズを用い、それぞれの帯筋形状に 90° フック型余長 4d の S シリーズと溶接型 W シリーズの 4 シリーズである。

各シリーズで載荷方法を変え、計 12 体の実験を行っ

た。各試験体の載荷方法を表 2 に示す。加力は大きく分けると、中心軸圧縮実験と残存軸力載荷実験である。まず、各シリーズごとに 1 体中心軸圧縮実験を行った。次に、事前載荷で繰り返し水平載荷し、事後載荷で中心軸圧縮をかける残存軸力載荷実験を行った。表 2 には事前載荷での最大部材角とサイクル数、および、事後載荷時の部材角とその拘束状況を示した。

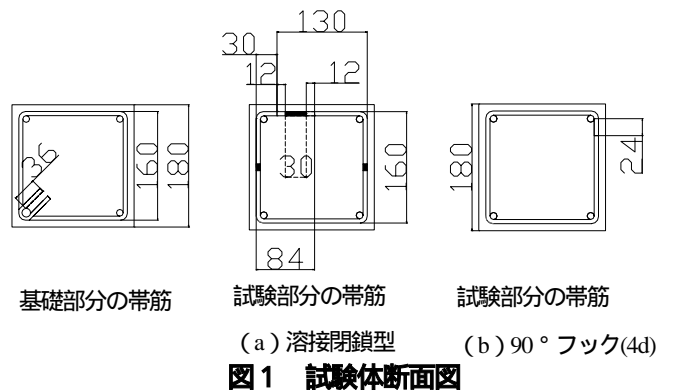


表 1 試験体諸元

試験体	断面 (mm ²)	高さ (mm)	主筋 (SD-345)	引張鉄筋比	帯筋 (SD-295)	帯筋形状	帯筋間隔 (mm)	帯筋比	コンクリート強度 (N/mm ²)
SHシリーズ	180 × 180	360	D-10	0.4414	D-6	90° フック	70	0.0051	32.2
SLシリーズ									19.1
WHシリーズ						32.2			
WLシリーズ						19.1			

*1 新潟大学大学院 修(工)

Graduated student, Niigata Univ.

*2 新潟大学自然系 (工学部建設学科) 教授 工博

Professor, Dept. of Archi., Niigata Univ.

残存軸荷実験の事前軸荷は文献[2]を参考に以下のよう
 により決定した。すなわち、文献[2]では、本研究と全
 く同じシリーズ内容で軸力保持能力喪失点まで曲げせん
 断加力を行っているが、このとき、各シリーズで軸力レ
 ベルを2段階に変えて曲げせん断実験を行っている。本
 研究では文献[2]での低い方の軸力を作用させ、高い方
 の軸力で行われた曲げせん断実験試験体の軸力負担能力
 喪失点まで同じ軸荷を行った。すなわち、本研究での事
 前軸荷での曲げせん断加力実験は、軸力負担能力喪失点
 まで至っていない範囲の加力といえる。その後の事後載
 荷は部材角を0に戻しその部材角を拘束して軸加力を行
 ったが、比較のために部材角を0に戻さないで事前軸荷
 時の最終部材角のまま加力した試験体も3体行った。さ
 らに、この3体のうち、その部材角を拘束した試験体
 (SH-5)と部材角を拘束せずフリーにして行った試験体
 (試験体SH-4とWL-5)がある。

これらの実験により、地震時のRC造柱への影響をモ
 デル化し、軸力伝達能力喪失を実験的に評価する。

3. 実験結果

図3に中心軸圧縮実験の結果を示す。なお、この試験
 体は文献[2]の試験体と共通である。この図を見るとコ
 ンクリート強度が強い溶接帯筋を持つWH-0と90°フッ
 クのSH-0、コンクリート強度が弱いWL-0とSL-0の最
 大軸耐力はほぼ同じであることが分かる。しかし、その
 後の安定領域では、溶接帯筋を持つWH-0、WL-0のほう
 がはるかに大きな軸力を保持していた。つまり、軸力負
 担能力はコンクリート強度が高い試験体が強く、帯筋フ
 ックの形とは関係がなかった。

図4は曲げせん断軸荷実験と残存軸力軸荷実験結果
 をシリーズ別に示した軸力-軸歪関係図である。図中の

印は事後軸荷である軸加力開始点を示している。表3
 には残存軸力軸荷実験で得られた残存軸耐力を示した。
 これらの図表には、比較のため同じシリーズの中心軸圧
 縮実験(0番)と文献[2]から引用した同じ一定軸力で行
 われた曲げせん断実験試験体(1番)の結果も示した。ま
 た、表3の基本軸力とは図3で示した中心圧縮実験の同
 じシリーズの試験体の最大軸耐力であり、残存軸力は事
 前、事後軸荷で経験した最大の軸力を示す。さらに、残
 存軸力比はその残存軸力の中心圧縮実験の最大軸耐力
 (基本軸力)に対する割合を%で示したものである。

表4には残存軸力軸荷実験における軸力負担能力喪
 失部材角(文献[2]より引用)と事前軸荷した部材角を

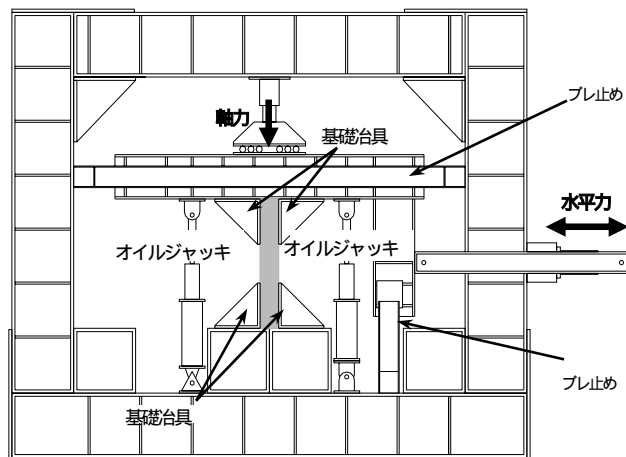


図2 加力装置

表2 軸荷方法

試験体	軸力 (kN)	事前軸荷		事後軸荷	
		サイクル	最大部材角(rad)	軸荷時部材角(rad)	拘束状態
中心圧縮実験					
SH-0				0	拘束
SH-3	300	-3	1.5/100	(-) 1.5/100	フリー
SH-4					
SH-5					
中心圧縮実験					
SL-0				0	拘束
SL-3	150	-5	2/100	0	拘束
中心圧縮実験					
WH-0				0	拘束
WH-3	300	3	1.5/100	0	拘束
中心圧縮実験					
WL-0				0	拘束
WL-3	150	-5	2/100		拘束
WL-4		-1	1/100		拘束
WL-5		-5	2/100	(-) 2.0/100	フリー

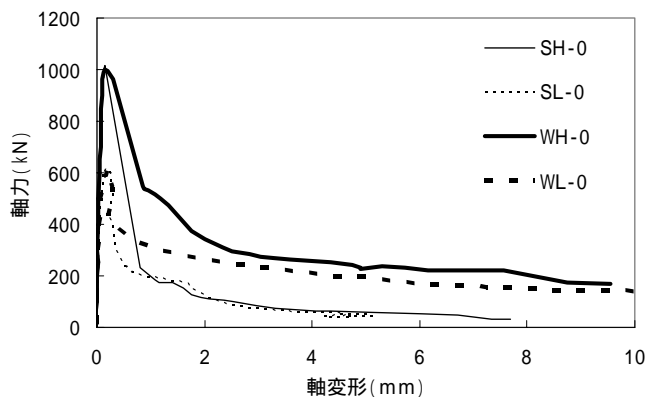


図3 中心圧縮実験結果

まとめて示す。

まず、図4と表3を合わせて見ると、図4(a)、90°
 フックにコンクリート強度が高いSHシリーズで、残存
 軸力試験体SH-3と曲げせん断試験体SH-1の残存軸力比
 の差(表3での87% - 29%)は58%、同じ90°フック、
 コンクリート強度が低いSLシリーズ(図4(b))では68%、
 溶接帯筋、コンクリート強度が高いWHは46%、コンク
 リート強度が低いWLは47%になっている。つまり、帯
 筋の拘束効果が強いほど、コンクリート強度が低いほど
 大きな残存軸力を持っているのが分かる。ただ、帯筋の
 拘束効果が強いほどコンクリート強度の影響が少なかっ

た。図4 (a)で同じシリーズで比較してみると、水平部材角を0に拘束したSH-3に比べ、1.5/100radに拘束したSH-5ではその残存軸力はSH-3の半分以下になっていた。また図4 (d)においても0に拘束したWL-3に対し2.0/100radでフリーにしたWL-5の残存軸力は3割以上減少していた。さらに事前载荷を5サイクルまで行ったWL-3と1サイクルしか行わなかった残存軸力比95%のWL-4を比べると事前载荷のサイクルが少ない程、大きな残存軸力があるということが分かる。

表3 残存軸力载荷実験での残存軸耐力

試験体	加力方法	基本軸力	残存軸力	残存軸力比 /
		kN	kN	%
SH-0	中心圧縮	1018	1018	100
SH-1	曲げせん断		300	29
SH-3	残存軸力		884	87
SH-4	残存軸力		450	44
SH-5	残存軸力		404	40
SL-0	中心圧縮	618	618	100
SL-1	曲げせん断		150	24
SL-3	残存軸力		569	92
WH-0	中心圧縮	1001	1001	100
WH-1	曲げせん断		503	50
WH-3	残存軸力		967	96
WL-0	中心圧縮	607	607	100
WL-1	曲げせん断		210	35
WL-3	残存軸力		497	82
WL-4	残存軸力		575	95
WL-5	残存軸力		315	52

4. 考察

図5 図6はそれぞれ縦軸に残存軸力比(表3)を取り、横軸に事前载荷時の曲げせん断加力時最大部材角(図5)あるいは事前载荷時の曲

げせん断加力時最大部材角の軸力保持性能喪失部材角(表4の /)(図6)を取ったものである。

図5 (a)は、シリーズ別に事後载荷で水平部材角を0に拘束したものの残存軸力比の変化を表している。主に残存軸力比の高い残存軸力载荷実験で得られた結果と、残存軸力比の低い繰り返し水平载荷実験で得られた結果の2点を結んでいる。

この図を見ると各シリーズとも右下がりになっていることが分かる。つまり、事前载荷の曲げせん断加力時の最大部材角が大きければ大きいほど残存軸力比が小さくなっている。また、コンクリート強度が低いLシリーズの方が高いHシリーズより残存軸力比が大きいのは見当たるが、帯筋フックの形状によるWとSシリーズの変化はなかった。

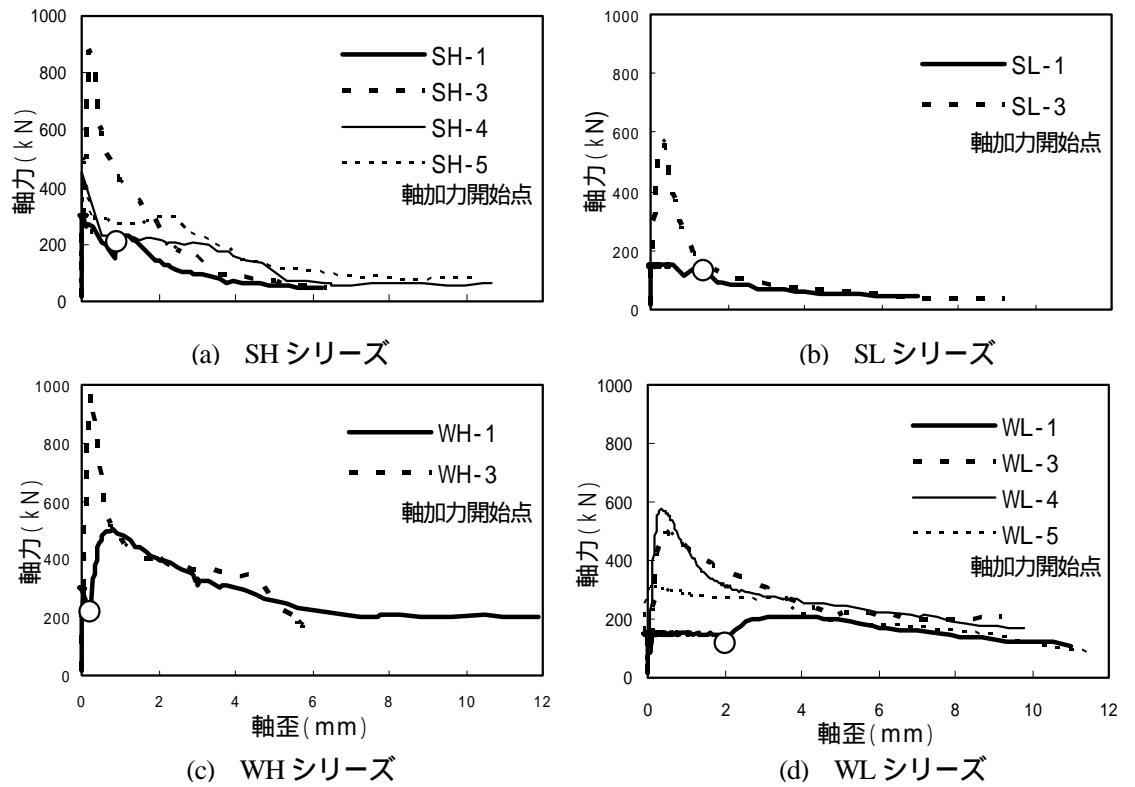
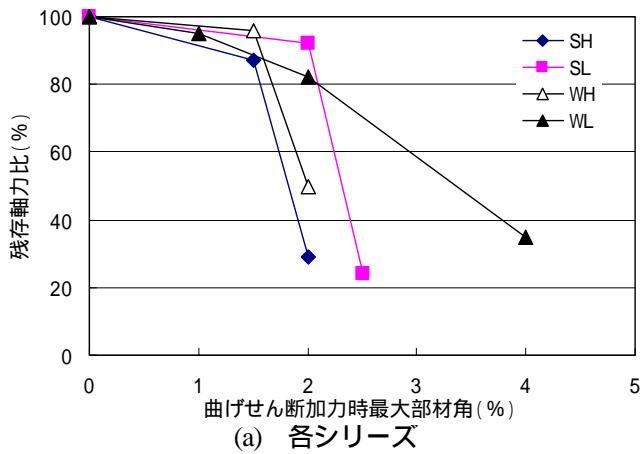


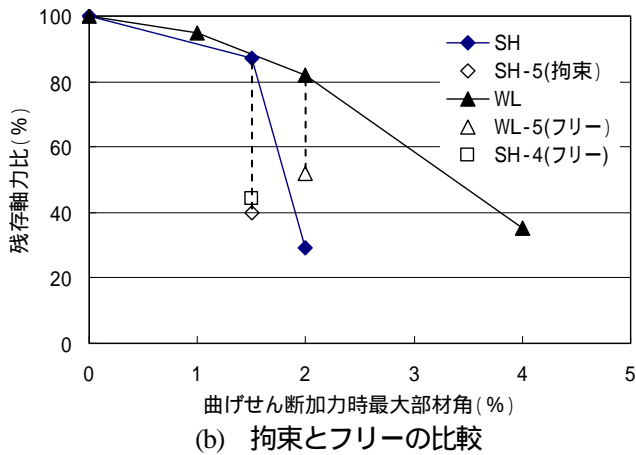
図4 曲げせん断载荷試験体と残存軸力载荷試験体の比較図(軸力 - 軸歪)

表4 軸力負担性能喪失部材角 [2] と残存軸力载荷実験での作用部材角

試験体	加力方法	曲げせん断加力時軸力	軸力負担能力喪失部材角	曲げせん断加力時最大部材角	軸力载荷時部材角	/
		kN	rad	rad	rad	%
SH-1	曲げせん断	300	0.02	0.02	0(拘束)	100
SH-3	残存軸力			0.015	0(拘束)	75
SH-4	残存軸力			0.015	0.015(フリー)	75
SH-5	残存軸力			0.015	0.015(拘束)	75
SL-1	曲げせん断			150	0.025	0.025
SL-3	残存軸力	0.02	0(拘束)			80
WH-1	曲げせん断	300	0.02			0.02
WH-3	残存軸力			0.015	0(拘束)	75
WL-1	曲げせん断			150	0.04	0.04
WL-3	残存軸力	0.02	0(拘束)			50
WL-4	残存軸力	0.01	0(拘束)			25
WL-5	残存軸力	0.02	0.02(フリー)			50

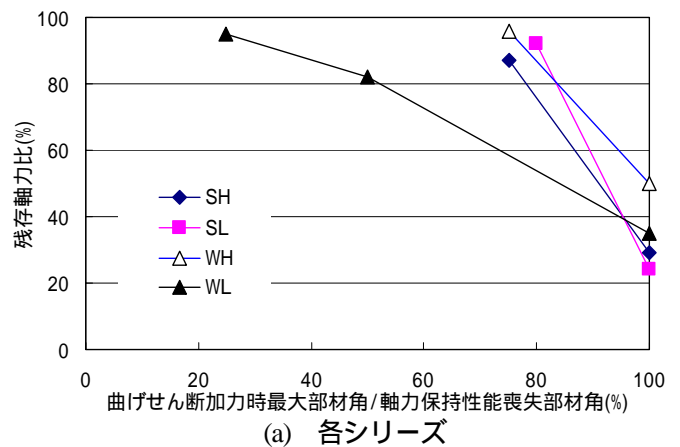


(a) 各シリーズ

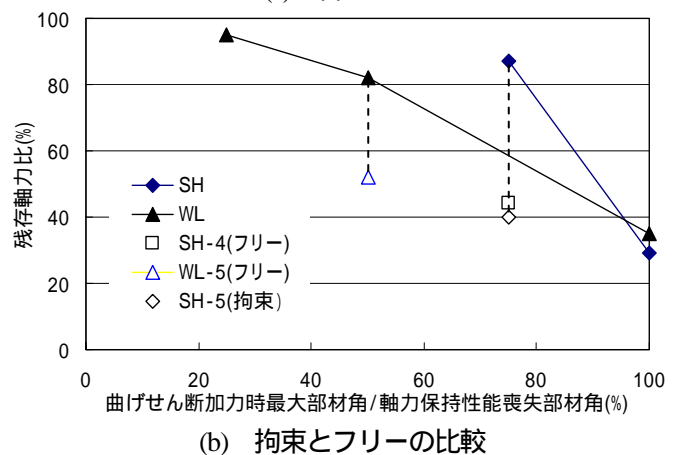


(b) 拘束とフリーの比較

図5 残存軸力比と曲げせん断加力時最大部材角の関係図



(a) 各シリーズ



(b) 拘束とフリーの比較

図6 残存軸力比と残存部材角比の関係図

次に図5 (b)は、SHシリーズとWLシリーズにおいて事後載荷で部材角を0に拘束しなかった場合に、0に拘束した場合と比べ残存軸力比がどのように変化しているのかも示した。実線で結ばれている所が0拘束した試験体で、点線で結ばれた点がフリー若しくは最大部材角で拘束した試験体である。

まず、SHシリーズでは、0拘束したSH-3に比べ1.5/100radに拘束したSH-5が残存軸力比が47%低下し、1.5/100radのフリー状態でを行った試験体SH-4に比べてもわずかながら残存軸力比が低かった。またWLシリーズでも0拘束しなかった場合は0拘束した場合に比べ30%の残存軸力比が低下している。

このように地震時に柱が変形してしまって本来の軸力支点にズレが生じると、軸力保持能力が急激の落ち込んでしまうということが分かる。

図6 (a)は各シリーズの残存軸力比と事前載荷時の曲げせん断加力時最大部材角の軸力保持性能喪失部材角の関係であるが、これも図5 (a)と同じように右下がりですが、横軸が大きくなるほど残存軸力比が小さくなるが、帯筋フック、コンクリート強度による影響は見当たらない。しかし、WLシリーズ以外のシリーズで横軸が80%に達

しているにもかかわらず残存軸力比が90%くらいだった。つまり、WH,SH,SLシリーズは破壊部材角の8割までいっても最大軸耐力を90%発揮できるが分かった。解析データを増やして今後検討する必要がある。

図6 (b)を見ると、WL,SHシリーズとも部材角フリーの試験体のほうが0拘束した試験体より残存軸力比が低く、その部材角で拘束した試験体はフリーよりもっと低いことが分かった。

5. まとめ

- (1) 同じ条件かで、帯筋の拘束効果が強いほど、コンクリート強度が低いほど大きな残存軸力比を持っているのが分かった。
- (2) 地震時に柱が変形してしまい、本来の軸力支点にズレが生じると、その柱の軸力保持能力が急激に減少することが分かった。

参考文献

- [1] 李柱振, 加藤大介, 菅勝博, 中村友紀子: せん断破壊するRC造柱の軸力負担能力に及ぼす載荷方法の影響, 第27回コンクリート工学年次論文報告集 27-2
- [2] 李柱振, 八塚卓哉, 加藤大介: RC柱の軸力保持能力に及ぼすコンクリート強度の影響, 日本建築学会北陸支部研究報告集第49号, 2006 (投稿中)