

# RC 造柱の残存軸耐力に関する実験と考察

## Experimental study on residual axial load capacity of R/C columns

加藤大介<sup>\*</sup>, 李 柱振<sup>\*\*</sup>, 中村友紀子<sup>\*\*\*</sup>, 本多良政<sup>\*\*\*</sup>

Daisuke KATO, Zhuzhen LI, Yukiko NAKAMURA and Yoshimasa HONDA

Standard for evaluating method of seismic performances of existing R/C buildings revised in 2001 showed evaluating methods of residual axial load capacity and axial load capacity, which had dramatic effects on seismic performance indexes. In this study the feasibility of this method was discussed using experimental data. For this purpose static loading tests of R/C columns were conducted. Main variable was loading methods; i.e. monotonic eccentric axial loading, eccentric axial loading under constant lateral drift and normal reversed lateral loading under constant axial load. An evaluating method of residual axial load capacity was proposed and compared with the standard.

**Keywords :** Reinforced concrete columns, Evaluating method of seismic performance, Residual axial load capacity, Axial load capacity  
鉄筋コンクリート造柱, 耐震診断, 残存軸耐力, 軸力支持能力

### 1. はじめに

RC 造建築物の耐震診断基準 2001 年版<sup>1)</sup>では、柱部材の残存軸耐力と軸力支持能力の概念が取り入れられ、第 2 種構造要素の判定に使われており、耐震構造性能指標  $I_s$  値の評価に大きく影響を及ぼしている。しかしながら、この残存軸耐力と軸力支持能力の評価法には明確な実験的な裏付けはなく、その後、文献 2) などの研究により妥当性が検討されている程度で、検証は十分ではない。

筆者らは、文献 3) でさまざまな配筋詳細をもつ RC 造柱のせん断破壊後の軸力保持能力の評価実験について報告した。この実験は、単純軸圧縮実験結果（軸力 - 軸変形関係）と曲げせん断加力実験結果（軸力保持能力喪失部材角）との関連を検討することを第一の目的とし、軸加力実験と曲げせん断実験を同じ諸元を持つ試験体を用いて行っている。本報告では文献 3) で報告した試験体と同じ形状をもつ残存軸力試験体の実験結果を報告し、RC 柱の残存軸耐力に関する考察を行う。前述した文献 2) では水平力の除荷後に残存軸圧縮実験を行っているが、本実験では残存軸加力の載荷方法を主なパラメータにして実験を計画した。

### 2. 残存軸耐力の評価実験の概要

#### 2.1 試験体と加力装置

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諸元を、表 2 に各試験体の載荷方法と実験結果を、図 1 に試験体の断面と配筋図を、それぞれ示す。試験体は 180 × 180 × 1200mm であるが、

試験体の両端部が図のように基礎治具に挟まれるために試験区間は中心部の 360mm となる。実験パラメータはコンクリート強度（高強度（試験体名に H がつく、以下同様）、低強度（L））と帯筋の詳細（溶接帯筋（W）、90°フック型余長 4d（S））である。試験体はいずれの

表 1 試験体諸元

試験体	断面 (mm)	高さ (mm)	主筋(降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> ))	帯筋(詳細)	帯筋降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	帯筋間隔 (mm)	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )
SHシリーズ	180 × 180	360	4 - D10 (371)	D6(90度フック(4d))	316	70	32.2
SLシリーズ				D6(溶接)			19.1
WHシリーズ				D6(溶接)			32.2
WLシリーズ				D6(溶接)			19.1

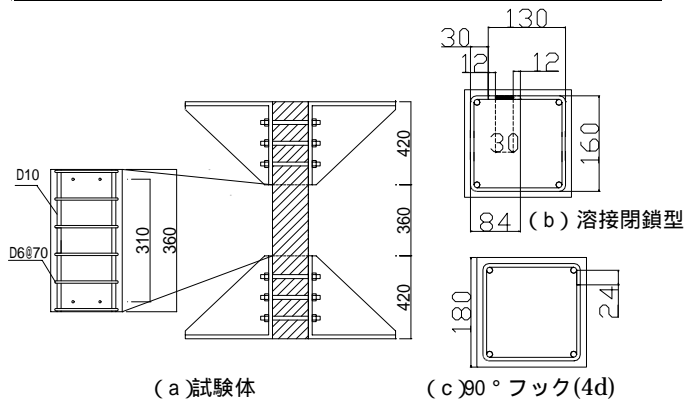


図 1 試験体と試験区間の配筋詳細図

\* 新潟大学工学部建設学科 教授・工博 Professor, Department. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University, Dr.Eng.  
 \*\* 新潟大学大学院自然科学研究科 博士後期課程 Graduated student, Department. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University.  
 \*\*\* 新潟大学工学部建設学科 講師・博士(工) Lecturer, Department. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University, Dr.Eng.  
 \*\*\*\* 新潟大学大学院自然科学研究科 博士研究生・博士(工) Research student, Department. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University.

表2 荷重方法と実験結果

シリーズ	試験体名	荷重方法				強度計算値		実験結果		
		荷重方法	事前荷重		事後荷重		曲げ強度 (kN)	せん断強度 (kN)	最大軸力 (kN)	残存軸力比***
			軸力 (kN)	最大部材角 (rad)	荷重時部材角 (rad)	拘束状態				
SH	SH-0*	中心軸圧縮				—		1018	1.00	
	SH-1*	曲げせん断	300	0.02	0	拘束	147	94	300	0.29
	SH-2*	曲げせん断	500	0.015	0	拘束	145		500	0.49
	SH-3	残存軸力	300	0.015	0	拘束	147		884	0.87
	SH-4		300	0.015	-0.015	フリー			450	0.44
	SH-5		300	0.015	-0.015	拘束			404	0.40
SL	SL-0*	中心軸圧縮				—			618	1.00
	SL-1*	曲げせん断	150	0.025	0	拘束	97	68	150	0.24
	SL-2*	曲げせん断	300	0.02	0	拘束	101		300	0.49
	SL-3	残存軸力	150	0.02	0	拘束	97		569	0.92
WH	WH-0*	中心軸圧縮				—			1001	1.00
	WH-1*	曲げせん断	300	0.02	0	拘束	147	94	503	0.30
	WH-2*	曲げせん断	500	0.015	0.015	拘束	145		560	0.50
	WH-3	残存軸力	300	0.015	0	拘束	147		967	0.97
	WL	WL-0*	中心軸圧縮				—		607	1.00
WL-1*		曲げせん断	150	0.04	0	拘束	97		68	210
WL-2*		曲げせん断	300	0.02	0	拘束	101	314		0.49
WL-3		残存軸力	150	0.02	0	拘束	97	497		0.82
WL-4	150		0.02**	0	拘束	575		0.95		
WL-5	150	0.02	-0.02	フリー	315	0.52				

試験体名の\* : 文献3)で報告した試験体(同文献では試験体名の前にD10がつく)  
 \*\* : WL-4の最大部材角は0.02radであるが、これは1サイクルで荷重  
 残存軸力比\*\*\* : 最大軸力(曲げせん断試験体は事前荷重の定軸力)/対応する中心軸圧縮実験の最大軸力

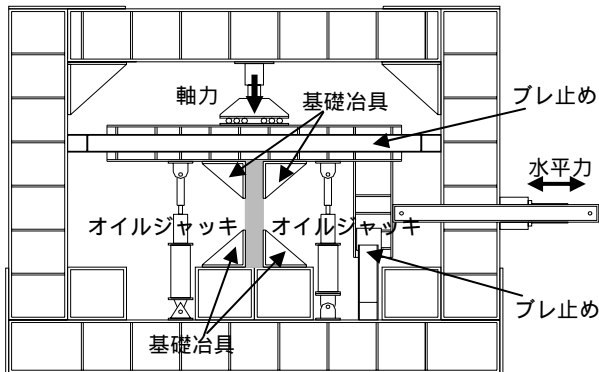


図2 加力装置

コンクリート強度および作用軸力でもせん断破壊が曲げ破壊に先行するように設計した。表2には曲げ強度と文献4)によるせん断強度が示してある。軸変形は試験体中央部310mmの区間を試験体の両面で2箇所ずつ、計4箇所測定した。

図2に加力装置を示す。試験体は上下の端部を基礎治具で挟み込んだ。軸力加力実験では左右の鉛直ジャッキにより試験体の上部の加力治具を水平に保った。また、曲げせん断加力実験では、左右の鉛直ジャッキにより試験体の上下で逆対称変形になるようにした。

2.2 荷重方法(事前荷重と事後荷重)

各シリーズで荷重条件を変え、計8体の残存軸力加力実験を行った。各試験体の荷重方法を表2の前半に示す。なお、表2には本報告で比較検討のために用いる文献3)で報告した試験体も示してある(荷重方法は中心軸圧縮あるいは曲げせん断と表記)。残存軸力加力実験の載

荷は事前荷重と事後荷重に分けて示した。すなわち、事前荷重として一定軸力下で繰り返し水平荷重を行い、その後、事後荷重としてある部材角において圧縮軸力加力を行っている。

表2には事前荷重での一定軸力と最大部材角、および、事後荷重時の部材角とその拘束状態を示した。残存軸力試験体の事前荷重での最大部材角は文献3)の対応試験体を参考に以下のように決定した。すなわち、文献3)では各シリーズで軸力レベルを2段階に変えて軸力保持能力を喪失するまで曲げせん断実験を行っているの、残存加力実験では、文献3)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最大部材角(すなわち、軸力負担能力喪失点)まで同じ荷重を行った。

事前荷重の曲げせん断加力実験で与える水平変形は、1/100, 1.5/100, 2/100, 2.5/100rad, ……、をそれぞれ2回づつを基本としている。荷重履歴の残存軸力に及ぼす影響は大きい、このような最大変形を漸増させる繰り返し荷重は地震時の挙動を表す方法としては一般に厳しい荷重と考えられ、本研究では基本的にこの荷重履歴を採用している。筆者らは文献5)で軸力負担能力に及ぼす荷重履歴の影響を実験的に検討しており、厳しいタイプの履歴として前述の最大変形漸増型履歴を、損傷の最も少ないタイプとして一方荷重(繰り返し無し)の試験体を比較し、一方荷重試験体の方が軸力負担能力喪失部材角が大きくなることを示している。本研究でも同様に事前荷重での損傷の程度の残存軸力に及ぼす影響を検討するために、試験体WL-4では、事前荷重の最大部材角は試験体WL-3と同じであるが、繰り返し数はこの部材角を1回のみとした。

次に、事後荷重であるが、以下の3通りの拘束条件を考慮した。

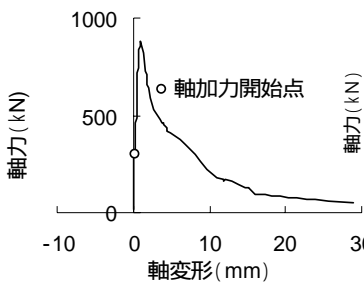
中心荷重: 事前荷重で所定の最大部材角に到達したら、事前荷重での一定軸力を保持したまま水平変形を0に戻し(通常の除荷)、その後水平変形を0に拘束したまま軸力加力を行うもの(以後中心荷重という)。この場合の拘束は水平変形が0を保つように水平力を与えることにより行う。

偏心荷重 拘束: 事前荷重で所定の最大部材角に到達したら、その部材角を拘束して軸力加力を行うもの(以後偏心荷重という)。この場合の拘束は水平変形が最大変形を保つように水平力を与えることにより行う。

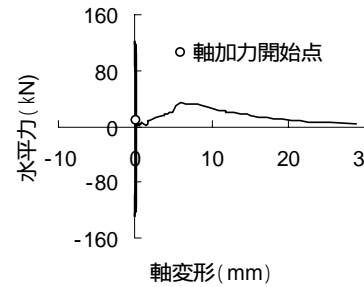
偏心荷重 フリー: 事前荷重での最大部材角において軸力加力を行うが、水平変形の進行を拘束しないもの。この場合、事前荷重終了時の水平荷重を作用させたまま軸力加力を開始する。従って、軸荷重に伴って水平変形は増加し、水平力は減っていく(これも偏心荷重であるが、表では拘束状態をフリーと表記)。

これらの3つの拘束条件は、地震被災後の残存軸力力を評価する際の建物と柱の状況を考慮するために想定した。すなわち、建物が健全で残留変形がほぼ0であるが、対象柱のみが軸力力を失う可能性がある場合(中心荷重)、建物がかなり変形しており残留変形があるが、建物全体として水平耐力を維持している場合(偏心荷重 拘束)、および、ほとんどの柱が同様に損傷している場合(偏心荷重 フリー)、である。なお、文献3)では報告していないが、曲げせん断試験体も本来の加力終了後に同様の事後荷重を行っているの、表に示してある。

3. 実験結果とその考察

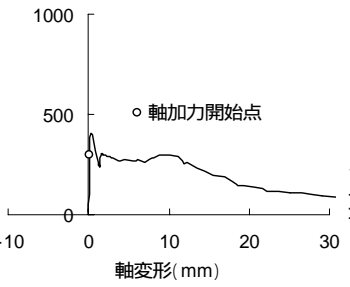


(a)軸力 軸変形関係

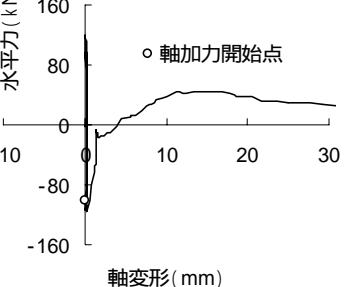


(b)水平力 軸変形関係

図3 変形0で拘束した試験体 (SH-3)の軸力 軸変形関係と水平力 軸変形関係

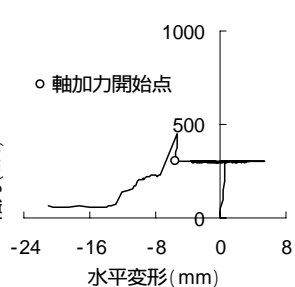


(a)軸力 軸変形関係

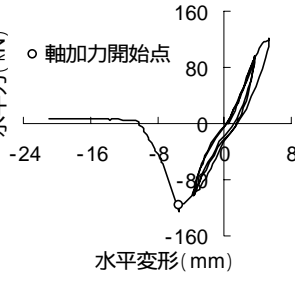


(b)水平力 軸変形関係

図4 偏心拘束型試験体 (SH-5)の軸力 軸変形関係と水平力 軸変形関係



(a)軸力 水平変形関係



(b)水平力 水平変形関係

図5 偏心フリー型試験体 (SH-4)の軸力-水平変形関係と水平力-水平変形関係

がわずかに増加している(図5 (b))。さらに、前述したように試験体には原点へ戻ろうとする復元力があるので、水平変形は最大軸力までは大きくは変化しない(図5 (a))。その後、試験体の復元力が減少していくと、試験体は水平力と軸力により水平変形は負方向に進行する。

図6は以上の3試験体の事前載荷終了時のひび割れ図(3体とも同じなので試験体 SH-3のみ掲載)と最終形の写真である。事前載荷終了時は試験体としては最大水

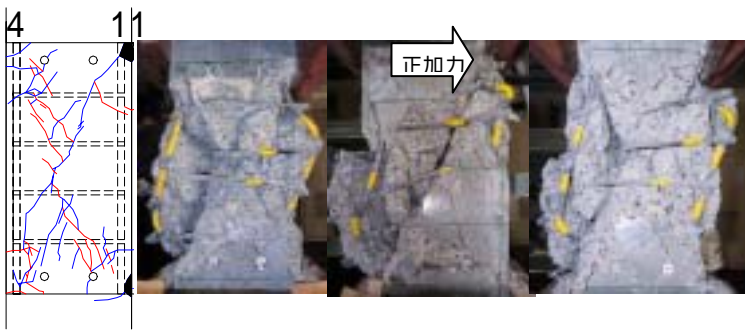
平力を記録した直後で、まだ脆性的な挙動を示していない領域であるが、明瞭なせん断ひび割れが見られる。最終形では、3体とも斜め方向のひび割れ面に沿って軸変形が生じていることがわかる。

### 3.2 実験結果のまとめ

図7に曲げせん断加力実験の結果をシリーズ毎に示す。いずれも実線が低い軸力の試験体、点線が高い軸力の試験体である。なお、前述したように残存実験の事前載荷は低い軸力で、高い軸力の最大部材角まで行っている。その挙動は実線で示した試験体とほぼ同様なので省略したが、事前載荷終了点を図中に 示した。

事前載荷終了後、ある試験体はその部材角で、他の試験体は変形を0に戻した後に、それぞれの拘束条件により軸圧縮載荷を行ったが、事後載荷による最大軸力を表2の後半に実験結果として示した。また、図8に残存軸力載荷実験の軸力 軸変形関係を単純軸圧縮試験結果と比較しながら示した。図中の 印は事後載荷である軸加力開始点を示している。なお、軸力が低く偏心載荷する場合(WL-5)は軸加力開始点では柱が伸びているために、軸変形は負から始まっている。残存軸加力実験の結果をまとめると以下ようになる。

- ・事後載荷を水平変形を0に戻しその変形を拘束して行った場合(中心載荷)、単純軸圧縮結果の82~97%の最大軸耐力を示した。(図8 (a)の試験体 SH-3, 図8 (b)の試験体 SL-3, 図8 (c)の試験体 WH-3, 図8 (d)の試験体 WL-3)
- ・事後載荷を水平変形を0に戻さず、事前載荷終了時の変形で拘束しないで(偏心載荷 フリー)載荷した場合、その最大軸耐力は大きく低下する。(図8 (a)の試験体 SH-4, 図8 (d)の試験体 WL-5)
- ・事後載荷を水平変形を0に戻さず、事前載荷終了時の変形で、変形を拘束して載荷した場合(偏心載荷 拘束)拘束しなかった場合(偏



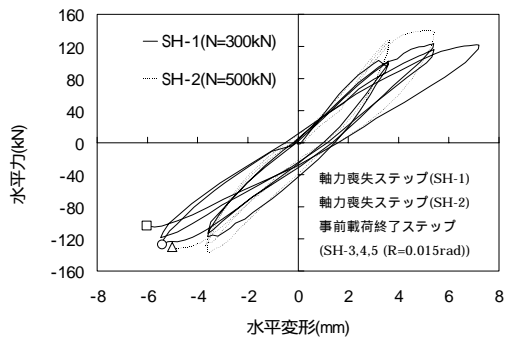
(a) SH-3 事前載荷 (b)SH-3 最終形 (c)SH-4 最終形 (d)SH-5 最終形 荷終了時(0.015rad)

図6 SHシリーズの損傷状況

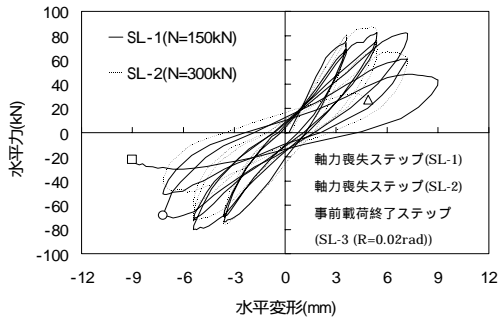
### 3.1 残存軸加力の実験結果の例

本節では SH シリーズを例にして、残存加力の実験結果を示す。図3 (a) (b)に変形0で拘束した試験体(SH-3)の軸力-軸変形関係(図(a))と水平力 軸変形関係(図(b))を、図4には偏心させて拘束した試験体(SH-5)の同じ関係をそれぞれ示す。変形0で拘束した試験体でも変形を0に拘束するために水平力が作用していることがわかる(図3 (b))。一方、偏心させて拘束した試験体の場合、図中 示した軸加力開始点は負方向載荷中であるが、残存軸加力の最大軸力点までは水平力が若干増加している(図4 (b))。すなわち、最大軸力点までは試験体の原点へ戻ろうとする復元力があり、それが外力(水平力+軸力)と釣り合っていることがわかる。その後、試験体の復元力が消滅すると、滑り破壊面で水平力と軸力の分力が釣り合うように、水平力は正方向に移行する。

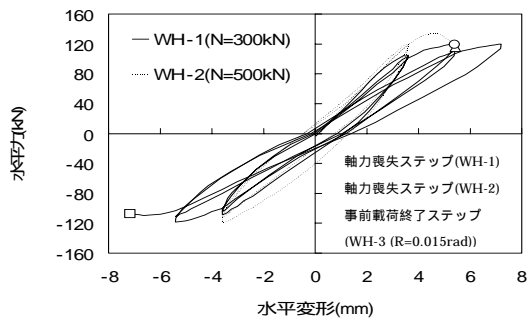
一方、図5 (a) (b)は偏心させてフリーで載荷した試験体(SH-4)の軸力-水平変形関係(図(a))と水平力 水平変形関係(図(b))である。この場合は、図中 示した軸加力開始点は負方向載荷中であるが、変形を拘束した場合と同様に残存軸加力の最大軸力点までは水平力



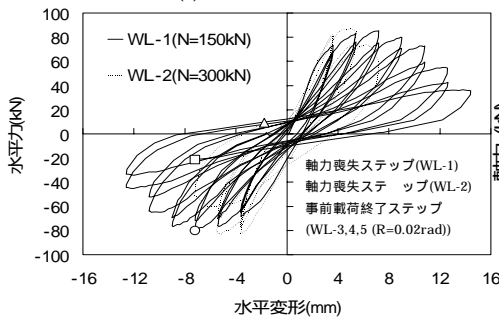
(a) SH シリーズ



(b) SL シリーズ

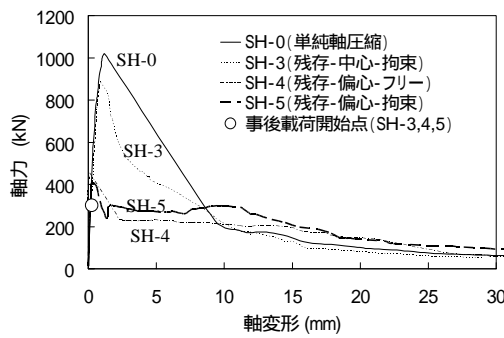


(c) WH シリーズ

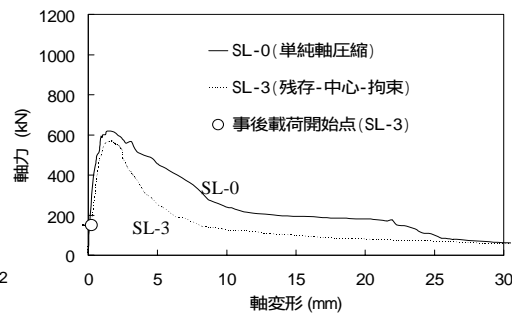


(d) WL シリーズ

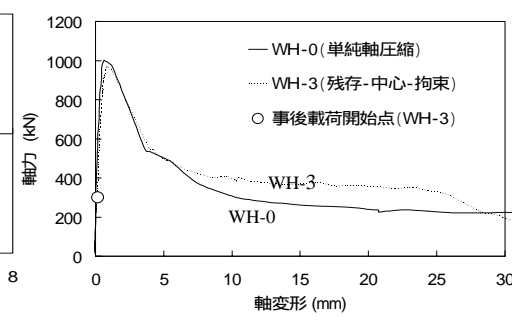
図7 対応する曲げせん断試験体の結果と残存軸力試験体の事前載荷終了ステップ



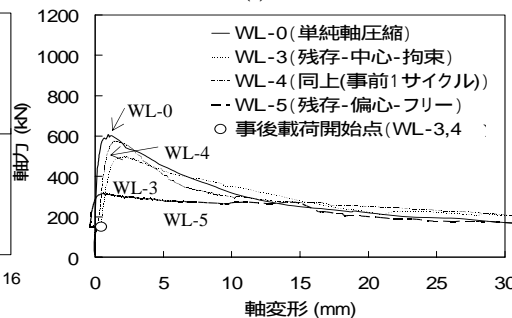
(a) SH シリーズ



(b) SL シリーズ



(c) WH シリーズ



(d) WL シリーズ

図8 単純軸圧縮試験体と残存軸力載荷試験体の比較図(軸力 - 軸変形)

心載荷 フリー) とほぼ同じ最大強度であった。(図8(a)の試験体 SH-4 と SH-5, 3.1 節参照)

・事前載荷での損傷程度により残存軸耐力は影響を受けた。すなわち、同じ最大部材角であるが、繰返しを1回のみ行った試験体(図8(d) WL-4)は複数回繰返しした試験体(図8(d) WL-3)より大きな残存軸耐力を示した。

・曲げせん断試験体の事後載荷では、帯筋が溶接の場合は事前載荷の定軸力より上昇したが(表2の試験体 WH-1,2 と WL-1,2), 90度フ

ックの場合は上昇しなかった(表2の試験体 SH-1,2 と SL-1,2)。

・配筋詳細の効果を個々の試験体結果を直接比較すると、必ずしも溶接帯筋を用いた試験体が90度フックの試験体より軸耐力や残存軸耐力が高くない場合もある(SL0とWL0, SL3とWL3, など)筆者らはこれをばらつきと考えている。すなわち、軸強度に及ぼす配筋詳細の影響は少ないと考えているが、本実験での事前載荷の損傷も配筋詳細の影響は大きくなかったといえる。これについては今後の検討課題としたい。

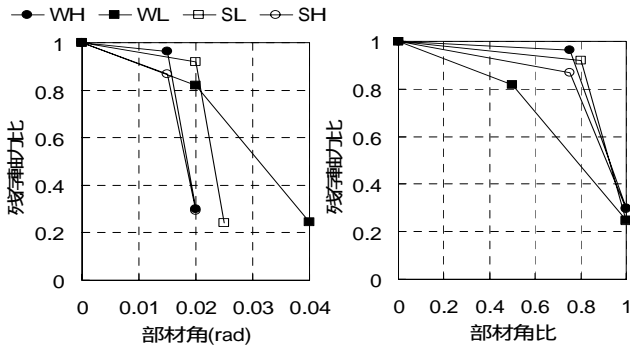
### 3.3 実験結果の考察

本節では実験結果を定量的に評価することを試みる。表2の右端に残存軸力比の実験結果を示した。この残存軸力比は事後載荷での最大軸力を対応する中心軸圧縮実験の最大軸耐力で除したものであるが、曲げせん断試験体の最大軸力は事前載荷で与えた一定軸力とした。図9(a)は、水平変位を0にしてなおかつ拘束した残存軸力試験体(中心載荷)の事前載荷時での最大水平部材角と残存軸力比の関係を示したものであるが、比較のため中心軸圧縮試験体と同じ一定軸力を受けた曲げせん断試験体の結果も示した。便宜上同じシリーズを線で結んだが、3つの点のうち左端が中心軸圧縮試験体(横軸0, 縦軸1), 右端が曲げせん断試験体となる。

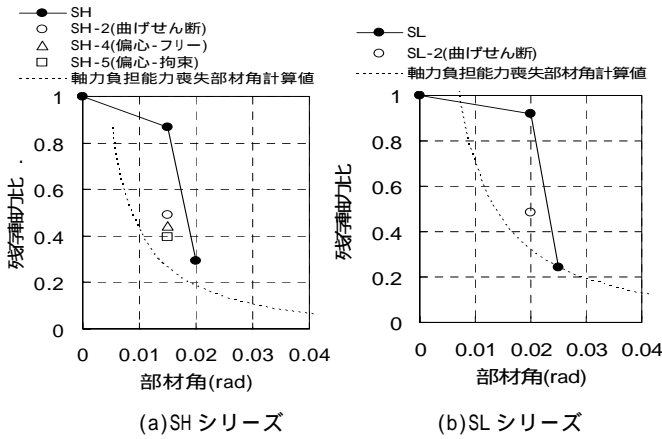
図9(b)は図9(a)の横軸を同じシリーズの最大値で基準化して部材角比として示したものである。

前述した通り、中心載荷の残存軸力比は80~100%程度であり、かなり高い。

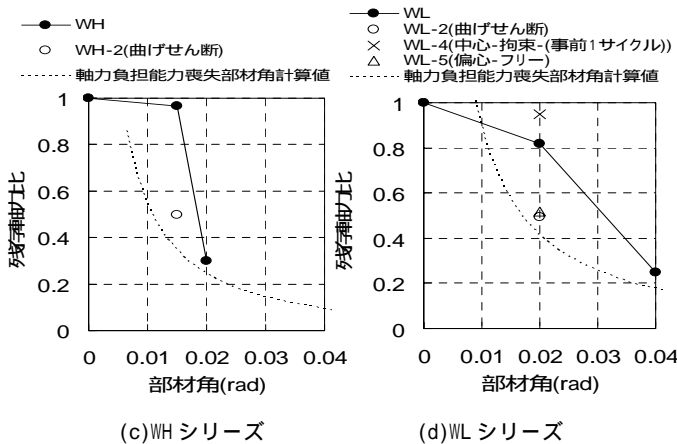
図10(a)~(d)は図9(a)と同じ図であるが、全試験体の結果をシリーズ別に示した。いずれの図も曲げせん断試験体を、フリーの偏心試験体を、拘束された偏心試験体をで示した。ここで、フリーの偏心試験体の横軸は事後載荷加力開始時の部材角としているが、これは3.1節で示したように本実験では最大軸耐力を示してから水平変形が進行しただためである。ところで、前述したとおり



(a)横軸は事前載荷での最大部材角 (b)横軸を同じシリーズの最大部材角で基準化  
図9 事前載荷での最大部材角と残存軸力比の関係



(a)SH シリーズ (b)SL シリーズ



(c)WH シリーズ (d)WL シリーズ

図10 拘束条件の影響と計算値(軸力保持能力喪失部材角)との比較

これらの点( )は中心載荷試験体を大きく下回る点に位置する。これらの図で最も注目すべき点は、偏心試験体( )とこれらの偏心試験体の最大部材角が軸力保持性能喪失部材角となる曲げせん断試験体( )がほぼ同じ点に位置することである(図10(a)(d))。言い換えると、ある部材角まで加力した後のその柱の残存軸耐力(偏心載荷の場合)は、その部材角が軸力保持能力喪失部材角となる曲げせん断加力柱に与えられた一定軸力と等しいとなる。このことは、軸力を保持する能力は斜めのせん断ひび割れ面の摩擦によるが、偏心載荷の場合と曲げせん断載荷のいずれの載荷の場合も軸力保持能力を失う点の応力状態はほぼ同じ(異なる点は偏心載荷は軸力が変動するのに対し、曲げせん断載荷は水平力が変動)

表4 耐震診断における残存軸耐力と軸力支持能力の評価法(文献1)より転載)

F値		1	1.27	2	3
層間変形角R(rad)		0.0040	0.0067	0.0123	0.0281
極脆性柱	0.4<pw	0.4	0.3	0.1	0
	0.2<pw<0.4	0.3[0.4]	0.1	0	0
	pw<0.2	0[0.3]	0	0	0
せん断柱	0.4<pw	0.6	0.4	0.2	0
	0.2<pw<0.4	0.5	0.3[0.4]	0.1	0
	pw<0.2	0.4	0[0.4]	0	0
曲げ柱	0.4<pw	0.6	0.6	0.5	0.4
	0.2<pw<0.4	0.5	0.5	0.3[0.4]	0.2[0.3]
	pw<0.2	0.4	0.4	0[0.3]	0[0.2]

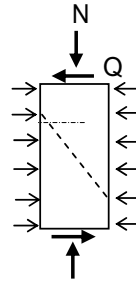


図11 式(1)における力(N,Q)とひび割れ角度( )の符号( )  
tは帯筋による拘束応力度)

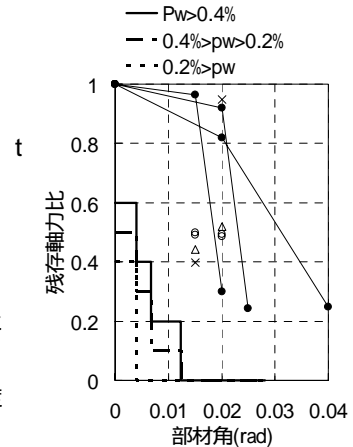


図12 耐震診断における残存軸耐力と軸力支持能力の評価法と実験結果の比較

であるからと解釈できる。

#### 4. せん断柱の残存軸耐力の評価法に関する検討

##### 4.1 評価法

3.3 節の最後に述べた知見によれば、せん断破壊後の残存軸耐力(偏心載荷の場合)は、せん断破壊後の軸力保持能力喪失部材角により評価できる可能性がある。文献3)ではこのせん断破壊後の軸力保持能力喪失部材角の評価式(実験値の平均を評価)を提案している。以下にその提案式を示す。

$$R = \frac{0.027}{\eta} \quad \left( \eta = \frac{eN}{P_{frcal}} \right) \quad (1)$$

$$eN = N + Q \frac{\sin^2 \theta - \cos^2 \theta - 2\mu \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{\sin \theta \cdot \cos \theta - \mu \cdot \cos^2 \theta}$$

$$P_{frcal} = P_{fro} \cdot \left( 1 - 0.5 \cdot \frac{S}{D} \right) \cdot R_d$$

$$P_{fro} = b \cdot D \cdot p_w \cdot \sigma_{wy} \frac{\sin \theta \cdot \cos \theta + \mu \cdot \sin^2 \theta}{\sin \theta \cdot \cos \theta - \mu \cos^2 \theta} + A_s \cdot \sigma_y$$

ここで、Nは作用軸力、Qは喪失時のせん断力であるが、せん断強度としてよい。μは滑り面での摩擦係数で0.77、θは滑り角度で60度、b、Dは断面の幅とせい、p<sub>w</sub>、σ<sub>wy</sub>、Sは帯筋比、降伏応力度、間隔、A<sub>s</sub>、σ<sub>y</sub>は主筋の全断面積と降伏応力度である。さらに、R<sub>d</sub>は配筋

詳細の有効係数で、溶接帯筋で1, 90度フック(余長4d)では0.8である。図11に式(1)における力(N, Q)とひび割れ角度( )の符号を示してあるが、式(1)の はせん断力Qがひび割れ面にそって滑らせる効果を考慮した軸力比を意味している(図11のQの正の向きは等価軸力を減じる向きに働く)。なお、式(1)はpwが0.4~0.68%、 $\rho$ がおよそ0.7% < 2.8%範囲の実験データより導かれている。

図10(a)~(d)には、式(1)による計算値を点線で示した。この計算値はシリーズごとに作用軸力を変化させ、横軸に式(1)による部材角Rを、縦軸に作用軸力を( $bD \rho_s + A_s \rho_c$ )で除したもの(  $\rho_c$ はコンクリート強度),をそれぞれとって示したものである(縦軸の軸力比は式(1)の とは違うので注意)。なお、せん断強度Qは文献4)によった。この計算値は曲げせん断試験体( と右端の )の結果により導かれたものなので、当然これらの点の近傍を通る。従って、偏心載荷の場合の残存軸耐力も式(1)で評価しうる。

#### 4.2 耐震診断基準の残存軸耐力に関する考察と問題点

本章では耐震診断基準における残存軸耐力の評価法の妥当性を検討する。耐震診断基準では部材を極脆性柱,せん断柱,および曲げ柱に分類し,さらに帯筋比別に あるF値まで許容される軸力比が示されている。これを表4に示す。ここで、残存軸耐力とはその柱が保有するF値を超えた場合に支持しうる軸力,軸力支持能力はそのF値に達する前に支持しうる軸力である。なお、耐震診断基準ではF値と建物の層間変形角が対応づけられており,その値も表に示した。

図12は図10(a)~(d)の実験値をすべてまとめて示したものである。この図に,表4に示したせん断柱の数値を合わせて図示した。ただし,F値に対応する層間変形角を横軸にとっている。すなわち,実際には層間変形角の方が柱の部材角より小さくなることに注意を要する。また,診断基準では軸力比はコンクリート断面のみで評価するが,実験値は主筋も含めた軸力比になっている点にも注意を要する。これらの実験値の帯筋比は0.51%であるが,基準のpw>0.4%の線と比べると,今回の実験値は診断基準が層間変形角であることを考慮しても診断基準を十分上回っている。すなわち,この実験範囲では,最も不利な偏心載荷の場合でも,診断基準は安全側に設定されていることがわかる。診断基準で主筋を無視していることもさらに安全側である。

以降は実験範囲外であるが,参考のために診断基準で示されている残存軸耐力を4.1節で提案した評価式と比較してみる。図13(a)~(c)は,せん断柱の基準の値を式(1)による計算値と比較したものである(横軸の大きさがそれぞれ違うので注意)。なお,式(1)の適用に当たり, $b=D=700\text{mm}$ , $Q=0$ ,帯筋( $\rho_s=293\text{N}/\text{mm}^2$ )は9mmの90度フック( $R_p=0.8$ ),主筋12#22(全主筋),と仮定した。

帯筋比が0.4%以上の図13(a)では帯筋比を0.4%として, $\rho_c=0.4\%$ (図13(b))では0.2%として, $\rho_c=0.2\%$ 以下では(図13(c))では0.1%として計算した。コンクリート強度を変化させて3つの評価式を示している。なお,計算値はコンクリートの断面のみによる軸力比を示した。また,参考のために診断基準の軸力支持能力も併せて示した。式(1)はコンクリート強度に依存しないので,結果としてコンクリート強度が高いほうが危険側となる。その結果,帯筋比で0.2%以下でF=1の場合の診断基準の想定が危険側となった。この領域での実験等での検討が必要である。

#### 5. まとめと今後の検討課題

(1)水平変形を0に戻しその変形を拘束して残存軸加力を行った場合(中心載荷),その最大軸耐力は単純軸圧縮結果の82~97%と高い値を示した。

(2)水平変形を0に戻さないで残存軸加力を行った場合(偏心載荷),その最大軸耐力は水平方向の変形の拘束条件に関わらず大きく低下する。

(3)ある部材角まで加力した後のその柱の残存軸耐力(偏心載荷の場合)は,その部材角が軸力保持能力喪失部材角となる曲げせん断加力柱に与えられた一定軸力とほぼ等しかった。

(4)上記(3)より導かれた残存軸耐力の評価式(偏心載荷)を診断基準で示されている残存軸耐力と比較すると,本実験の範囲内では安全側であった。ただし,帯筋比が本実験範囲外の0.2%以下のせん断柱でF=1の場合が危険側となった。帯筋比が0.2%以下の柱は本実験範囲の挙動と大きく異なる可能性があり,今後のさらなる検討が必要である。

(5)事前載荷を一方向載荷とした試験体は繰り返し載荷とした試験体より残存軸耐力が高くなったが,定量的な評価までは至らなかった。今後の検討課題である。

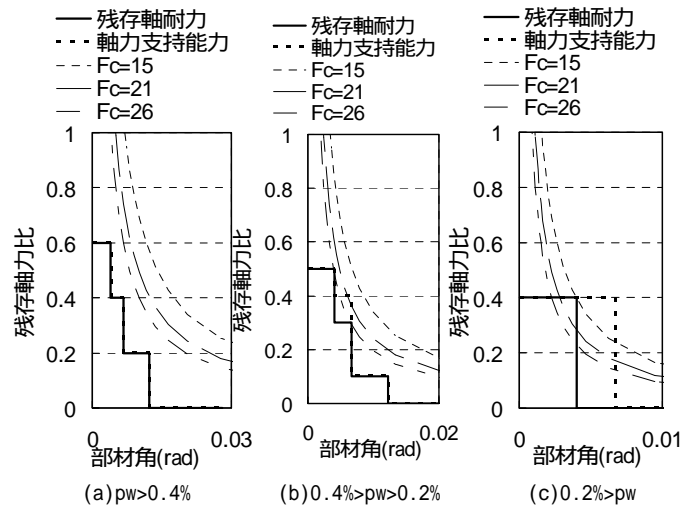


図13 耐震診断における残存軸耐力と軸力支持能力の評価法の妥当性の検討(せん断柱)

謝辞 本研究は平成17年度科学研究費補助金基盤研究(B)「単純軸圧縮挙動に基づいたRC系柱の軸力保持能力の評価手法の開発」(代表加藤大介)によった。

#### 参考文献

- 1) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説, 2001年10月
- 2) 黒木光博, 田才晃, 他: 耐震診断基準における残存耐力の検証(その1~3): 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2構造, pp.127-134, 2005年
- 3) 加藤大介, 李柱振, 中村友紀子, 本多良政: 配筋詳細に着目したRC造せん断破壊柱の軸力保持性能に関する実験(軸加力実験と曲げせん断加力実験の関係), 日本建築学会構造系論文報告集, 第610号, pp.153-159, 2006年12月
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999年
- 5) 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, pp.217-222, 2005年