

# 腰壁・垂れ壁付 RC 柱のせん断耐力の実験的研究 - 腰壁・垂れ壁の形状と位置を変化させた場合 -

準会員 ○阿部友樹\*1 正会員 塩屋晋一\*2

## 2. 構造-8. 鉄筋コンクリート構造 建築構造

### 鉄筋コンクリート, せん断耐力, 柱, 腰壁, 垂れ壁

#### 1. はじめに

RC 造建物では腰壁・垂れ壁・袖壁が様々な形で様々な位置に設けられる。塩屋ら<sup>1), 2), 3)</sup>は、腰壁・垂れ壁付柱のせん断耐力の評価式を構築する目的で、柱に対する壁の接合状況や、柱の断面形状を系統的に変化させた場合の柱のせん断破壊加力実験を行ってきた。実験は2008年から行われている。本年度、残された腰壁・垂れ壁の形状と接合位置の場合の柱の実験を行った。また、これまで行った実験でせん断耐力の実験値が異常に小さかった試験体や、せん断破壊しなかった試験体について再実験を行った。

本報告では、本年度の実験概要と実験結果について述べ、これまでの実験データも含めて、腰壁・垂れ壁の形状と接合位置が系統的に変化する場合の柱のせん断耐力の変化傾向を述べる。

## 2. 加力破壊実験

### 2.1 試験体

図-1に今年度の試験体の柱幅に対する壁の位置と形状を示す。長方形断面(LRシリーズ)では、腰壁と垂れ壁が偏心接合される柱(図-1のLR-No.1~No.3)、腰壁が偏心接合される柱と中心接合される柱(LR-No.4~No.9)、高さが異なる腰壁と垂れ壁が偏心接合される柱(LR-No.10~No.12)などを主に対象にした。

このほか開口内法を柱長さとする柱(以後、開口内法柱)の5体の再実験を行った。正方形断面(Lシリーズ)では腰壁と垂れ壁が中心接合される柱(L-No.1)と、開口内法柱の1体を再実験を行った。図-2に試験体の形状・寸法・配筋・柱断面を示す。試験体の縮尺は実大の約1/10である。開口内法柱試験体の柱の上下は、直接スタブで支持した。表-1に2008~2011年度までの試験体と寸法, 最大水平荷重, 開口内法柱のせん断耐力に対する壁付柱のせん断耐力の低下率の実験値, および破壊形式を示す。表-2に材料特性を示す。今年度の試験体は、コンクリートの圧縮強度が13.1 N/mm<sup>2</sup>のLRシリーズおよび14.1 N/mm<sup>2</sup>のLシリーズである。LRシリーズは柱断面が長方形であり、それら以外は正方形である。図-3には表-1で用いる壁厚と梁幅の記号を示す。

試験体名に,N-CO(H)のように(H)が付いた試

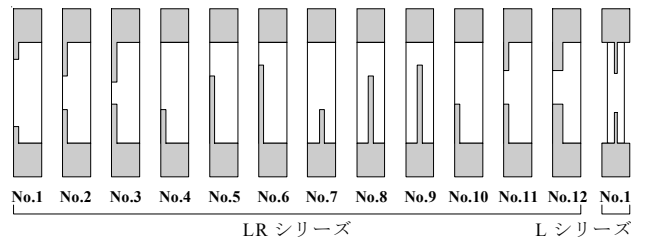


図-1 柱側面における壁の位置

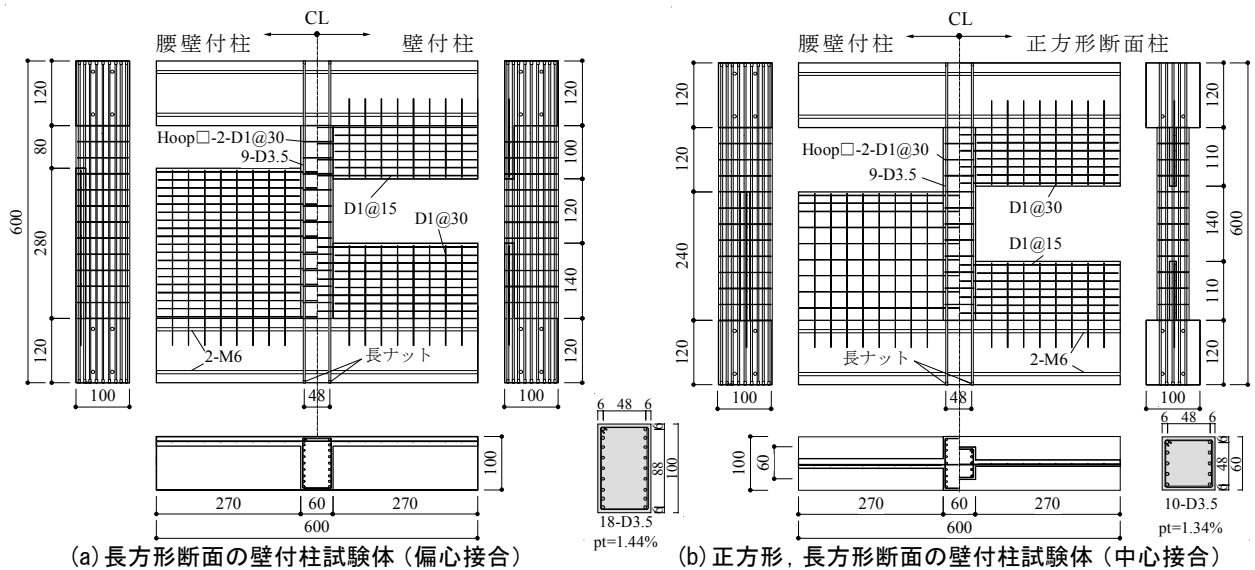


図-2 試験体の形状と配筋状況および寸法

表-1 試験体名とコンクリート圧縮強度と軸力と寸法と最大耐力と低下率および破壊形式の一覧

年度	シリーズ	試験体 No.	試験体名	圧縮強度	軸力	柱断面		内法高さ		壁高さ		壁厚		梁幅	偏心距離	最大耐力	低下率	破壊形式		
						設計	施工	設計	施工	設計	施工	設計	施工							
																			B×D	ho
				(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	e <sub>y</sub> /s <sub>u</sub>				
2008	N	No.2(08) No.3(08) No.8(08)	N-CWA2 N-CWA3 N-CO(H)	18.8 18.5	10.86	60×60	60.4×61.2 60.8×60.1 60.3×61.4	140 140 155	110	110 110 110	12	13.5 14.1 15.0	12.4		12 24 14.17	10.21 9.33 1.00	0.72 0.66 1.00	S S B		
2009	LR	No.1(09) No.2(09) No.3(09) No.4(09) No.5(09) No.6(09)	LR-CWB1(H) LR-CWB2(H) LR-CWB3(H) LR-CWB4(H) LR-CWB5(H) LR-CWB6(H)	12.1	10.86	100×60	101.6×61.3 103.7×60.7 100.9×60.4 103.5×61.0 101.5×60.5 101.8×61.2	121 123 122 121 121 121	100/140	100 101 100 100 100 100	140 136 139 139 140 140	18	19.4 20.4 20.1 20.0 19.5 18.5	19.5 19.4 21.2 21.2 20.8 18.5	41 26 11 4 19 41	10.26 10.66 12.68 12.24 10.76 9.76	0.72 0.75 0.89 0.86 0.75 0.68	S S S S S S		
		N	No.1(09) No.4(09) No.6(09)	N-CWA1(H) N-CWB4(H) N-CWA6(H)	19.3		60×60	61.7×60.9 62.9×60.8 63.5×61.0	140 141 141	110	110 111 110	110 108 109	12	12.5 12.6 13.4	12.6 12.7 13.4	0	10.90 11.19 11.48	0.77 0.79 0.81	B B S	
			L	No.2(09) No.3(09)	L-CWA2 L-CWA3	14.0		60×60	62.1×60.5 60.7×61.1	140 138	110	111 111	110 111	12	12.5 12.6	13.0 13.7	12 24	9.60 8.51	0.74 0.66	S S
				LR	No.1(10) No.2(10) No.3(10) No.4(10) No.5(10) No.6(10) No.7(10) C-No.1	LR-CWC1(H) LR-CO1(H) LR-CWC2(H) LR-CWC3(H) LR-CO3(H) LR-CWB4(H) LR-CO4(H) LR-CON(H)	12.3 13.3 12.3 13.3 12.5	10.86	100×60	103.5×61.2 101.5×61.2 101.8×61.1 102.7×60.2 102.4×60.3 102.9×60.3 102.7×61.7 100.7×60.2	81 81 120 241 241 302 301 360 361	140	140 140 120 60 59 30 31 30 361	140 140 120 120 120 18.5 18.8	18	19.0 18.0 18.1 18.1 18.6 18.3	18.0 18.0 18.1 18.1 18.3 18.8 18.8	0	12.74 13.49 12.04 9.59 9.37 8.19 9.65 8.44	0.76 0.76 0.84 0.89 0.85 1.00 1.00
		N	C-No.1 C-No.1		N-CON(H) N-CON2(H)	19.6 14.3		60×60	61.1×61.3 60.8×61.2	360 361							6.01 6.24			S S
			LR		No.1(11) No.2(11) No.3(11) No.4(11) No.5(11) No.6(11) No.7-1(11) No.7-2(11) No.8(11) No.9(11) No.10(11) No.11(11) No.12(11)	LR-CWO1(H) LR-CWO2(H) LR-CWO3(H) LR-CWO1(H) LR-CWO2(H) LR-CWO3(H) LR-CWO4(H) LR-CWO5(H) LR-CWO6(H) LR-CWO7(H) LR-CWO8(H) LR-CWO9(H) LR-CWO10(H)	12.8 13.4 13.0 12.7	10.86	100×60	101.6×60.9 101.4×60.4 103.9×61.8 102.8×61.2 101.3×60.9 101.7×61.2 101.4×59.8 101.4×59.8 101.5×60.7 101.5×60.7 101.1×59.6 102.4×61.5 101.2×61.3 101.5×61.0 100.6×58.7 101.1×59.3	240 120 80 240 120 121 240 239 120 121 80 120 122 80 120 120 240	60	61 61 140 140 120 240 280 280 140 101 101	59 119 140 140 120 240 280 281 141 140 139	18	19.7 20.3 21.4 21.2 20.2 19.3 19.0 19.0 18.9 18.1 19.1 20.3 20.6	19.5 19.9 21.4 21.2 20.2 19.3 19.0 19.0 18.9 18.1 19.1 20.6 20.6	41 0 41	8.92 10.31 11.23 9.67 11.43 12.16 8.71 11.02 11.84 12.87 9.77 10.56 10.81 16.84 14.30 10.81	0.82 0.72 0.67 0.89 0.80 0.72 0.81 1.02 0.83 0.76 — 0.74 0.76 1.00 1.00 1.00
RE	No.1(11) No.2(11) No.3(11)	RE-CO1(H) RE-CO2(H) RE-CO3(H)			13.1		60×60	62.0×61.0 61.1×60.9	140 141	110	109 110	110	12	13.7 14.7		0	10.82 12.91	0.84 1.00	S S	
	L	No.1(11) No.8(11)			L-CWA1(H) L-CO2(H)	14.0		60×60	62.0×61.0 61.1×60.9	140 141	110	109 110	110	12	13.7 14.7		0	10.82 12.91	0.84 1.00	S S

B: 柱幅, D: 柱せい, H: 柱主筋に高強度鉄筋使用, eo: 偏心距離, e<sub>y</sub>/s<sub>u</sub>: 開口内法柱のせん断耐力に対する壁付柱のせん断耐力の比, S: せん断破壊  
F: 曲げ破壊, B: 付着割れ破壊, A,B,C: 壁の接合タイプ CON: 長柱, CO: 開口内法柱, RE: 再打設, CWC: 腰壁・垂れ壁付柱(中心接合) CWO: 腰壁・垂れ壁付柱(偏心接合), b: 腰壁付柱, ho: 開口内法高さ hw: 壁高さ hwt: 垂れ壁高さ hwb: 腰壁高さ tw: 壁厚 twt: 垂れ壁厚 twb: 腰壁厚 Bb: 梁幅(図-3参照)

表-2 2011年度材料の力学的特性

コンクリート	E <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>B</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ε <sub>B</sub> (%)
L シリーズ	1.82×10 <sup>4</sup>	13.1	0.19
LR シリーズ	1.82×10 <sup>4</sup>	14.1	0.19
鉄筋	E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	a (mm <sup>2</sup> )
D1	2.05×10 <sup>5</sup>	220	0.79
D3.5(H)	2.05×10 <sup>5</sup>	943	9.08

E<sub>c</sub>: コンクリートのヤング係数, σ<sub>B</sub>: 圧縮強度, ε<sub>B</sub>: 圧縮強度時ひずみ度  
E<sub>s</sub>: 鉄筋のヤング係数, σ<sub>y</sub>: 降伏強度, a: 鉄筋1本当たりの断面積

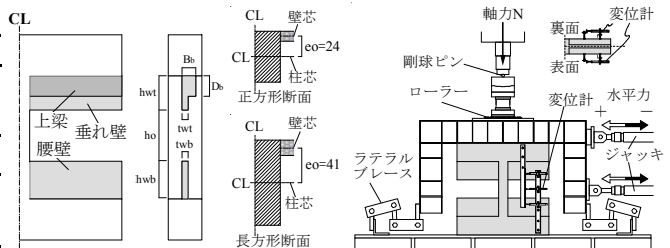


図-3 壁と梁の記号

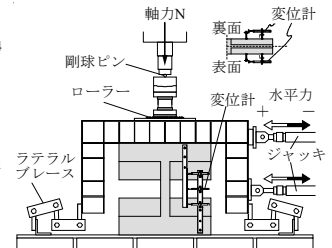


図-4 加力状況と測定状況

試験体は、主筋に高強度鉄筋を用いた。Lシリーズは2009年度で実験を行っているが、せん断強度が把握できなかったため、主筋を高強度にして追加実験を計画した。粗骨材は5mm以下の碎石とした。配合は重量比で水:セメント:砂:砂利を1.00:1.18:2.80:2.08とした。小径異形鉄筋の断面は測定が難しく、材料試験の軸剛性と等しくなるようにヤング係数を2.05×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup>に設定して求めた。

## 2.2 加力方法と測定方法

図-4に加力状況と測定状況を示す。水平力による繰り返しの逆対称曲げせん断加力を行い、上下のスタブを平行に維持した。軸力は10.86kNで一定とした。軸力比はLシリーズで0.214, LRシリーズで0.129~0.143である。上下のスタブ間のねじれ回転角は生じなかった。

## 2.3 水平荷重-変形角関係と破壊状況

図-5に水平荷重-変形角関係を示す。Rは層間変形を柱全長h(360mm)で, Roは開口内法高さhoで除している。LR-No.12(H)だけせん断ひび割れが発生した直後に、付着ひび割れも多数発生して最大荷重が決定した。それ以外は全てせん断破壊して最大荷重が決定した。写真-1に最終破壊状況の例を示す。壁が偏心接合される試験体は表と裏の状況を示している。表と裏で破壊状況が異なった。中心接合された試験体は表だけを示している。裏も同様な状況であった。

## 3. せん断耐力の変化傾向

これまでの実験データに基づいて、腰壁と垂れ壁の

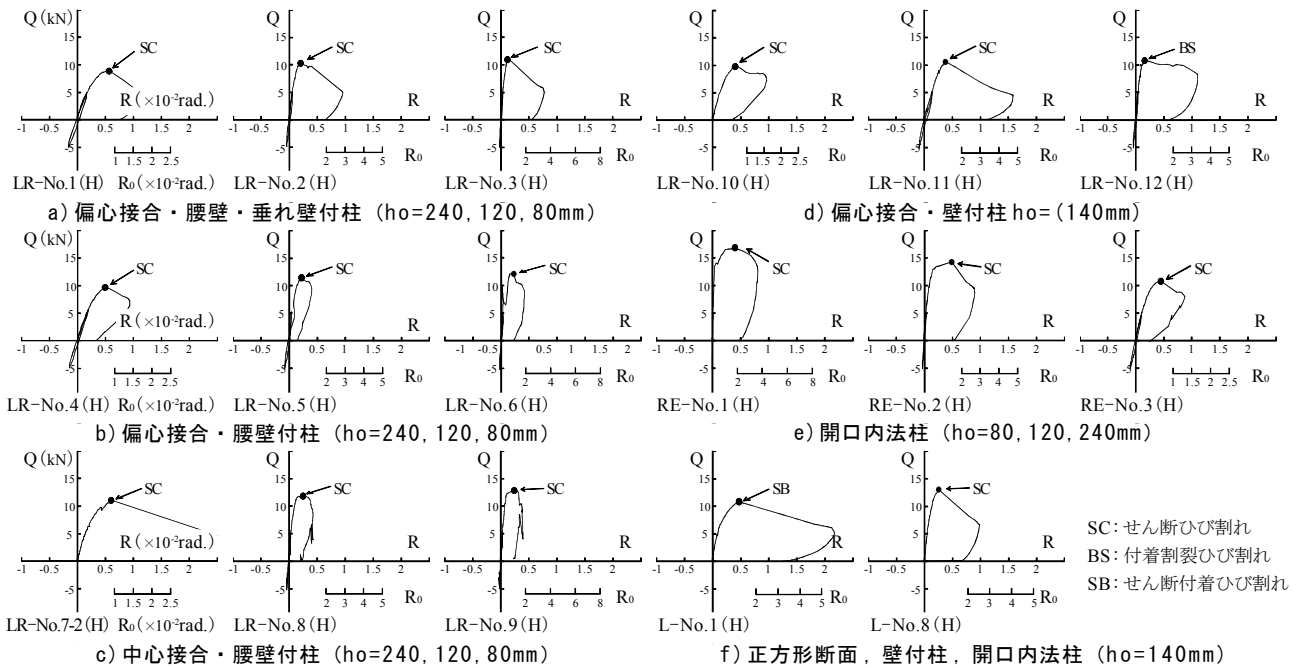


図-5 水平荷重-変形角関係

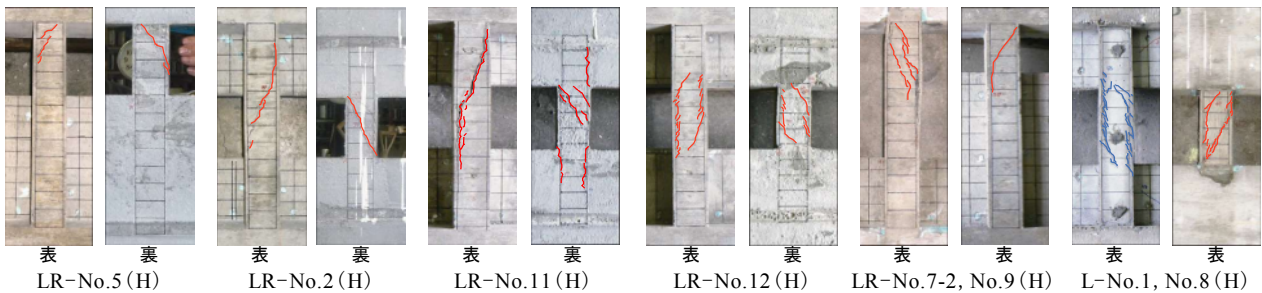


写真-1 LR, Lシリーズの最終破壊状況の例

形状・寸法・位置が系統的に変化した場合のせん断耐力の変化傾向の特徴について述べる。

### (1) 柱幅に対する壁の位置が変化する場合

図-6 (a), (b) に正方形断面の腰壁・垂れ壁付柱で、中心接合、偏心接合とこれらの中間位置の接合の場合のせん断耐力の変化を示す。また両側には開口内法柱と長柱のせん断耐力も示している。これらは腰壁・垂れ壁付柱の上限と下限の耐力になる。図-6 (a) はコンクリート圧縮強度が  $19.3\text{N/mm}^2$  の N シリーズで、図-6 (b) は  $14.1\text{N/mm}^2$  の L シリーズである。

横軸の  $eo/B$  は柱幅の中央から壁芯までの偏心距離  $eo$  を柱幅  $B$  で除した値である。0.0 は中心接合を意味しており、0.5 に近づくと最も偏心していることを意味する。中心接合の□はせん断ひび割れの発生と同時に付着破壊したものである。○はせん断破壊したものである。□の値はせん断耐力に近いものと考え、両図では壁付柱のせん断耐力は  $eo/B$  に応じて直線的に変化している。このことから、中心接合と偏心接合の間の位置に壁が設けられる場合には  $eo/B$  に応じて、直線補間で近似できる。

### (2) 柱幅に対する壁の接合位置と上梁の影響

図-6 (c) は横軸に  $eo/B$  の値をとり、せん断耐力の

変化を示したものである。長方形断面柱の腰壁・垂れ壁付柱で、上梁が設けられた場合と上下の壁高さや厚さが多少異なる場合も含めて、柱幅に対する壁芯の位置を変化させた場合のせん断耐力の変化を示す。開口内法高さは全て同じである。耐力は両側の開口内法柱の上限耐力と下限耐力の間に全てある。

壁芯が偏心するほどせん断耐力が低下している。●は上梁が設けられたものである。腰壁と垂れ壁が中心接合された No.3 (10) の○と偏心接合された No.11 (11) の○を一点鎖線で結び示す。梁が付いている場合のせん断耐力は、その一点鎖線の前後になり、一点鎖線はそれらのせん断耐力の下限値をほぼ推定する結果になっている。今回、設けた梁であれば、図-6 (a), (b) と同様に梁を無視して  $eo/B$  の値に応じてせん断耐力を直線補間で近似できる結果になっている。

### (3) 開口内法柱のせん断耐力

図-7 (a) に長方形断面の開口内法柱のせん断耐力と  $ho/D$  の関係を示す。  $ho$  は開口内法高さで、  $D$  は柱せいである。  $ho/D$  の変化に伴ってせん断耐力は双曲線的に変化している。この変化傾向は、一般的なせん断耐力の変化傾向と一致しており、今回基準にする開口内法

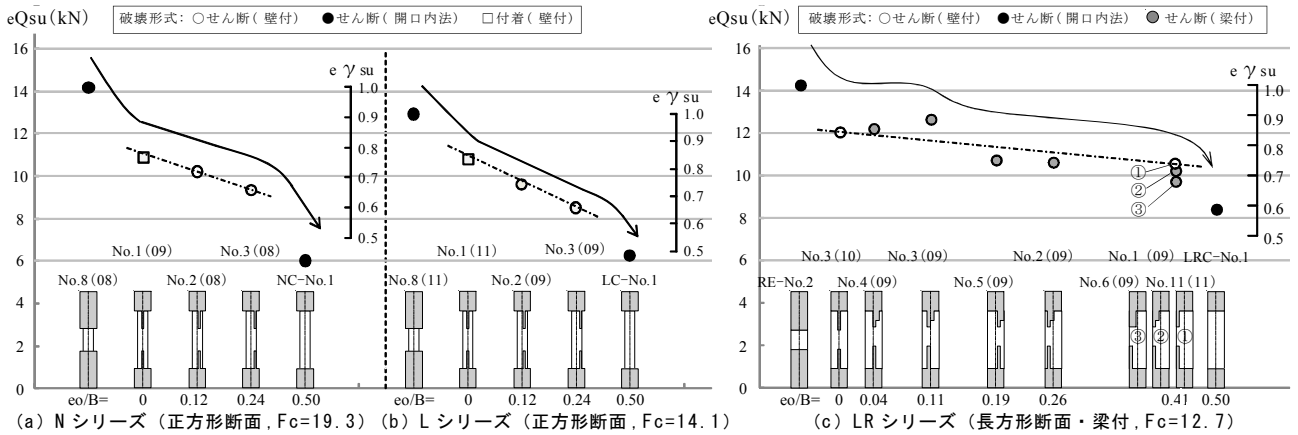


図-6 柱側面に対する壁の位置を変化させた場合のせん断耐力の変化

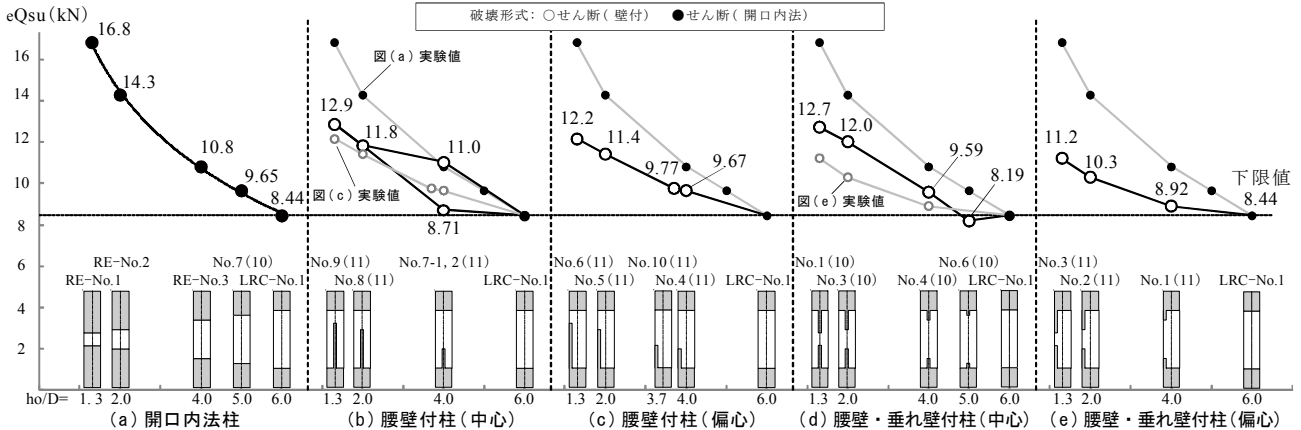


図-7 開口内法高さを変化させた場合のせん断耐力の変化(LRシリーズ)

柱のせん断耐力は妥当な実験値と判断される。

(4) 壁高さを变化させた壁付柱のせん断耐力

図-7 (b), (c) に長方形断面柱で腰壁だけが中心接合された場合と偏心接合された場合のせん断耐力と  $ho/D$  の関係を示す。腰壁高さが低くなり、開口内法高さ  $ho$  が大きくなると、せん断耐力は低下して長柱の下限耐力に近づいている。図中 (b) には薄線で同図 (c) の偏心接合のデータを薄線で示す。偏心接合の耐力が多少小さいが、その差はあまり大きくない。

同図 (d) と (e) に腰壁と垂れ壁が中心接合された場合と偏心接合された場合のせん断耐力と  $ho/D$  の関係を示す。同様に壁高さが低くなり、開口内法高さ  $ho$  が大きくなると、せん断耐力は低下して長柱の下限耐力に近づいていく。図中 (d) には薄線で同図 (e) の偏心接合のデータを示す。腰壁・垂れ壁が設けられる場合は、中心接合に対して偏心接合の耐力が同図 (d) より大きく低下している。

4. まとめ

柱に対する壁の接合状況や柱の断面形状を系統的に変化させた場合の柱のせん断破壊加力実験について述べ、せん断耐力の変化傾向を検討した。

- (1) 腰壁・垂れ壁付柱のせん断耐力は、開口内法柱のせん断耐力を上限とし、壁を設けない長柱のせん断耐力を下限として、これらの間の値になった。
- (2) 壁の接合位置が中心から偏心するにつれて、腰壁・垂れ壁付柱のせん断耐力は低下する。壁の接合位置がそれらの間にある場合の柱のせん断耐力は、壁の位置に応じて直線補間により近似できた。
- (3) 垂れ壁に上梁が設けられる場合、上梁を無視してもせん断耐力を安全側で評価できる。
- (4) 腰壁付柱と腰壁・垂れ壁付柱のせん断耐力は開口内法高さが増加するにつれて低下した。
- (5) 壁が偏心接合されることによりせん断耐力が低下する程度は、腰壁だけが設けられる柱より、腰壁と垂れ壁が同時に設けられる柱の方が、大きかった。

参考文献

- 1) 渡辺達也, 塩屋晋一, 今村祐輔: 接合位置や形状が異なる腰壁・たれ壁付柱のせん断耐力と終局変形角に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.241-244, 2009
- 2) 孔合テキ, 塩屋晋一, 門田基靖: 接合位置や形状が異なる腰壁・垂れ壁付RC柱のせん断耐力の評価に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.259-262, 2010
- 3) 孔合テキ, 塩屋晋一, 岡崎駿也: 腰壁・垂れ壁が中心接合されたRC柱のせん断耐力の評価に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.141-144, 2011

\*1 鹿児島大学工学部建築学科

\*2 鹿児島大学大学院理工学研究科教授・博士(工学)

\*1 Kagoshima University

\*2 Professor, Kagoshima University Dr. Eng.