

論文 鉛直接合部の滑りを許容した PCa 連層耐震壁の実験

小坂 英之^{*1}・山中 久幸^{*2}・荒井 康幸^{*3}・溝口 光男^{*4}

要旨 : PCa 連層耐震壁の工業化施工をよりいっそう推進することを目的として, 一体打ち R C 耐震壁と同等の性能を得ることに拘らず, 所要の性能を確保できればよいとの観点から, 鉛直接合部の滑りを許容する破壊実験を行った。その結果, 鉛直接合部滑り破壊型は優れた靱性能を有していること, 鉛直接合部の滑り変形は全層にわたってほぼ同一であること, 鉛直接合部が滑り破壊し, 壁パネルが曲げ降伏する場合の脚部モーメントは, 鉛直接合部全層のせん断力と壁縦筋の降伏強度から算定できることなどが解った。

キーワード : 鉄筋コンクリート, プレキャスト, 連層耐震壁, 鉛直接合部

1. はじめに

PCa 連層耐震壁の省力化工法として, 壁パネル側面からの接合筋 (コッター筋) を省略する工法の研究開発が行われているが, これらの研究では一体打ち R C 耐震壁と同等程度の性能を確保することが目標になっていると思われる。本報告では, より工業化施工を推進するために, 一体打ち R C 耐震壁の性能に拘らず, 所要性能を確保できればよいとの観点から鉛直接合部の滑りを許容する破壊実験を行ったので報告する。

試験体の製作は, 上下逆にして壁部分全層を先打ちし, 後に柱部分を打設する鉛直打ちとした。したがって, 水平接合部は設けていない。コンクリートは高流動豆砂利コンクリートであり, 材料試験結果を使用鉄筋と共に表-2 に示す。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体形状と配筋を図-1 に示す。層数は4層であるが梁形は設けていない。試験体数は柱主筋量とコッターの有無をパラメータにした5体であり, 試験体一覧を表-1 に示す。NO.1 は壁横筋を柱内に定着した一体打ち R C 造であり, NO.2~NO.5 が柱側面と壁側面に接合部を設けた PCa 耐震壁である。鉛直接合部には, コッター筋は設けていないが中間梁主筋は柱内に定着してあり, コッターの有無は同表に示す通りである。

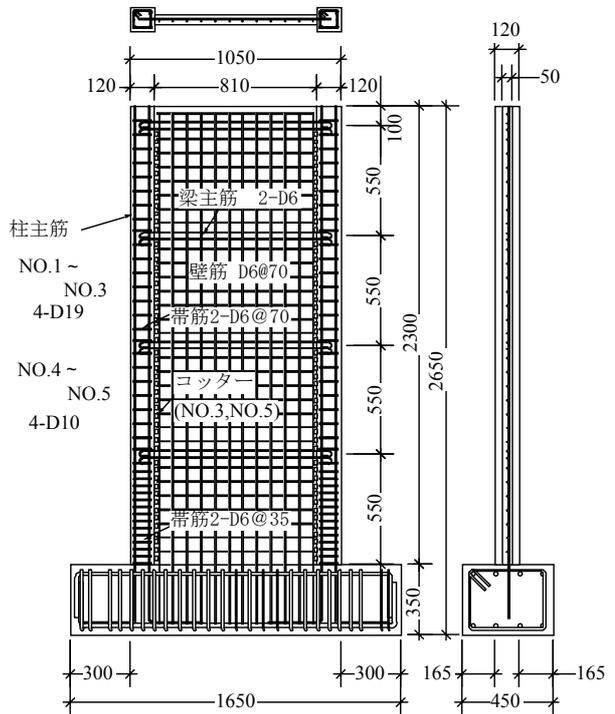


図-1 試験体形状および配筋

*1 三井住友建設 (株) 技術研究所主任研究員 工修 (正会員)

*2 三井住友建設 (株) 技術研究所建築研究開発部長 (正会員)

*3 室蘭工業大学 工学部建設システム工学科教授 工博 (正会員)

*4 室蘭工業大学 工学部建設システム工学科助教授 工博 (正会員)

2.2 加力および計測方法

加力方法は、図-2に示すように2層と4層位置にアクチュエータを配置して等分布载荷とし、加力の制御は4層目の部材角で行い、1000分の1,2,4,6,10,15,20 rad.でそれぞれ2回の繰り返し加力を行った。なお、水平力の試験体への伝達は同図中に示すように、加力用鉄骨を壁板コンクリートの両面から圧着して行い、柱部分からは入力していない。

変形の計測は、図-2に示すように2層と4層位置の両側柱の水平変位、柱脚の鉛直変位、1層と3層位置の壁と柱の相対変位を測定した。また、柱主筋と中間梁主筋の歪み度も計測した。

3. 実験結果

3.1 破壊状況と荷重-変形曲線

実験終了時におけるひび割れ状況を図-3に示す。一体打ちのNO.1は、全層にわたって斜めひび割れが発生し、柱主筋の降伏後に1層目の壁コンクリートが圧壊する曲げせん断破壊型となった。NO.1と柱主筋量が等しいNO.2とNO.3では、斜めひび割れは3層以上でほとんど発生せず、柱主筋も降伏せずに、壁と柱の接合面に滑りが生じて終局に至った。NO.2とNO.3を比べると、コッターのあるNO.3が1層目に加力の早期から斜めひび割れが発生した。これら3体に比べて柱主筋量の少ないNO.4とNO.5でも、終局時には鉛直接合部に滑りが生じているが、NO.4は柱主筋が降伏していないのに対して、NO.5は降伏した。また、NO.4の斜めひび割れの角度が幾分小さい。

荷重-変形曲線を図-4に示す。同図の荷重は1層目のせん断力 Q_1 であり、変形は4層目の部材角 R_4 （両側柱の平均）である。NO.1は部材角10/1000rad.で破壊し、極めて脆性的であるのに対して、鉛直接合部に滑り

表-1 試験体一覧

試験体名	柱主筋	鉛直接合部(1層分)		共通事項
		接合筋	コッター	
NO.1	4-D19	一体打ち		壁筋：縦横共 D6@70 (壁筋比0.906%) 帯筋：2-D6@70 (1層目は2-D6@35) コッター寸法： 20×20×高さ10
NO.2	4-D19	2-D6	無し	
NO.3	4-D19	2-D6	13個	
NO.4	4-D10	2-D6	無し	
NO.5	4-D10	2-D6	13個	

表-2 使用材料の力学的性質

コンクリート試験体名	部位	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数* (N/mm ²)
NO.1	壁・柱	31.9	2.92	22100
NO.2	壁	34.8	3.87	27400
	柱	40.2	2.64	23900
NO.3	壁	36.1	2.87	27400
	柱	36.8	2.89	30300
NO.4	壁	46.4	3.53	28500
	柱	45.1	3.41	27600
NO.5	壁	35.9	3.09	26300
	柱	34.0	3.59	27000

*：1/3割線弾性係数

鉄筋	断面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
D19	286.5	409	630	22.9
D10	71.3	418	594	24.1
D6	31.7	333**	537	25.0

**：0.2%耐力

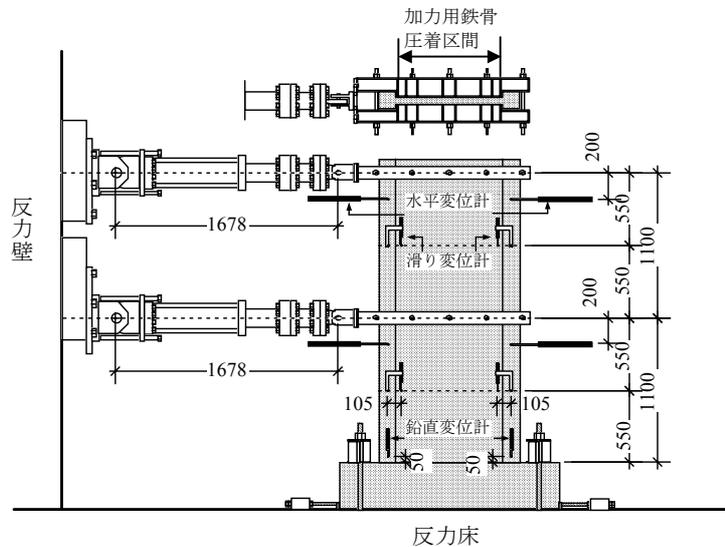


図-2 加力装置

が生じた NO.2~NO.5 は強度的には低いものの、優れた靱性能を示している。なお、図中に矢印 S で示すサイクルは後述するように鉛直接合部の滑りが大きくなったサイクルである。

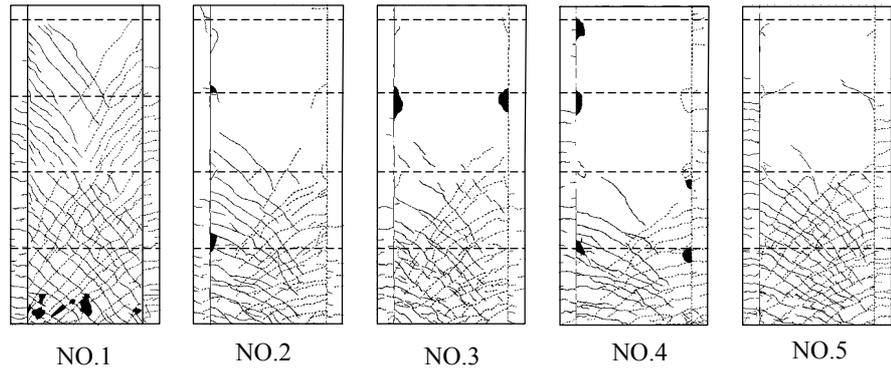


図-3 ひび割れ状況

図-5 に正荷重時における荷重-変形曲線の

包絡線を示す。コッターの無い NO.2 と NO.4 は、柱主筋量に拘わらずほとんど同じ曲線となっており、剛性急変後も荷重が徐々に上昇している。コッターを有する NO.3 と NO.5 は、両者ともコッターの無い場合より剛性低下後の傾きは大きい、曲線の形状はやや異なっている。

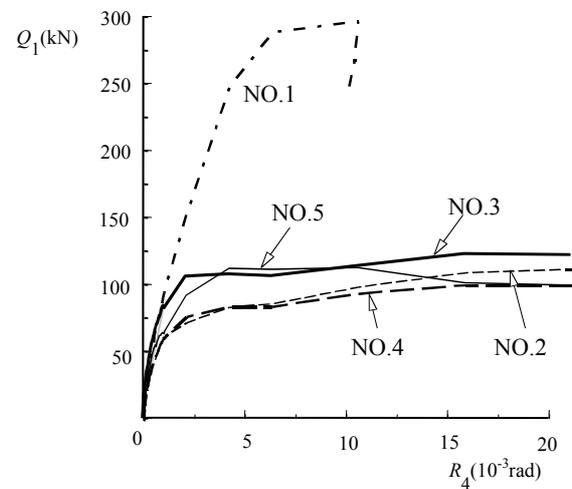


図-5 荷重-変形包絡線

3.2 鉛直接合部の滑り性状

1層と3層位置で計測した鉛直接合部の滑り変形 S と部材角 R_4 (4層位置) との関係を図-6 に示す。図は繰り返しサイクルのピーク時の値 (各部材角の1回目) を結んだものである。各変位計の記号は図-7 に示してあり、矢印の向きを正としている。図を見ると、加力の引張側となる接合部の滑り (R_4 が正の時 S_{3L} と S_{1L}) が

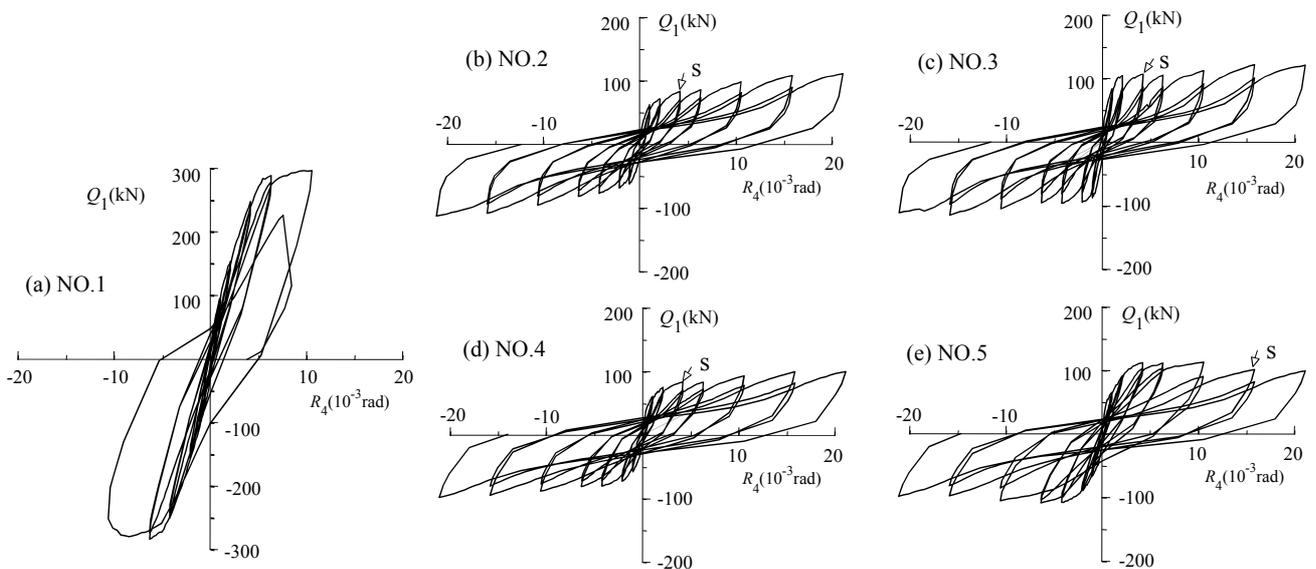


図-4 荷重-変形曲線

圧縮側に比べてかなり大きい。また、加力の引張側となる場合についてみると、3層目の滑りが1層目より僅かに大きい傾向があるがほとんど同じ滑り量となっている。なお、NO.2～NO.4では部材角 R_4 の小さなうちから滑りが生じているが、NO.5では部材角が千分の $-6\sim 10$ ラジアンの間で滑りは極めて小さい。図-8にNO.4とNO.5の柱脚の鉛直変位 V_{BL} 、 V_{BR} を示す。NO.5は部材角 R_4 の小さなうちから柱脚に鉛直変位が生じ、部材角 R_4 が大きくなるとほぼ一定の値になっていることが解る。

図-9に鉛直接合部のせん断力 Q_{vi} と滑り変形 S の関係を示す。 Q_{vi} は当該層のせん断力 Q_i から図中に示す式で算出した値である。前述のように1層目と3層目の滑りはほとんど同じであるので、滑り始める時のせん断力は図示のように大きく異なっている。図中の一点鎖線で示す Q_{DV} は、鉛直接合部の1層当たりの終局せん断力であり次式¹⁾で算出した値である。

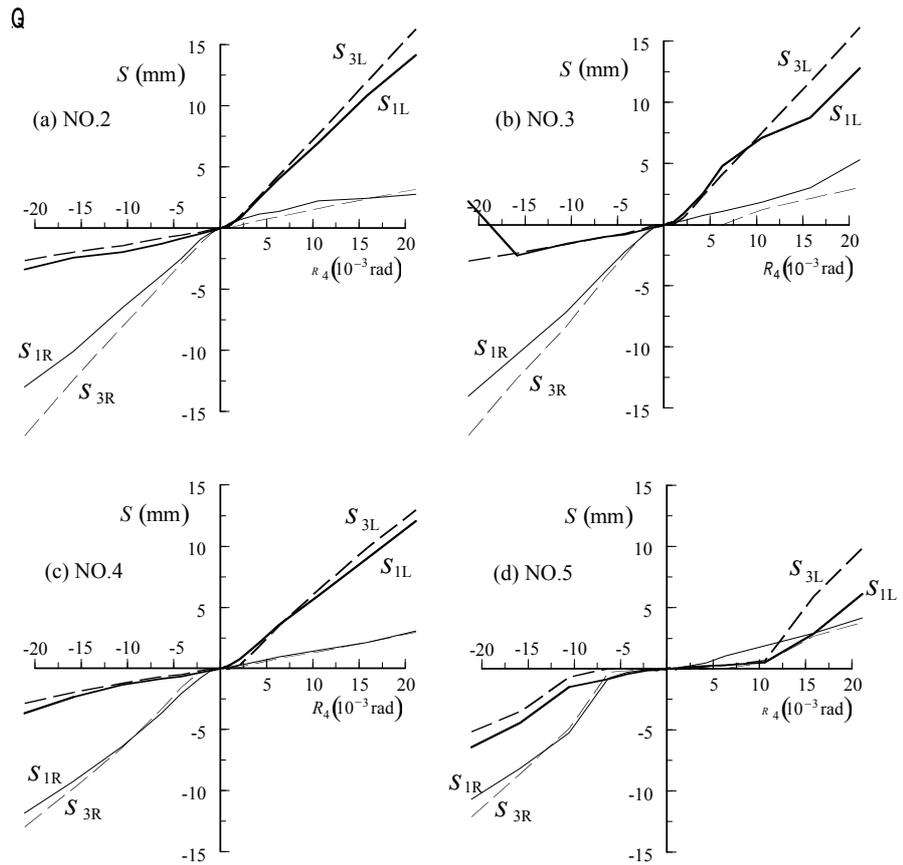


図-6 鉛直接合部の滑り変形

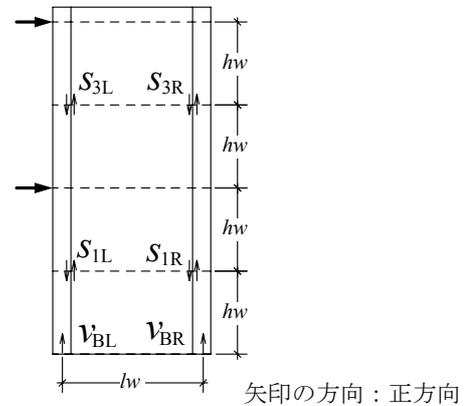


図-7 変位計の記号

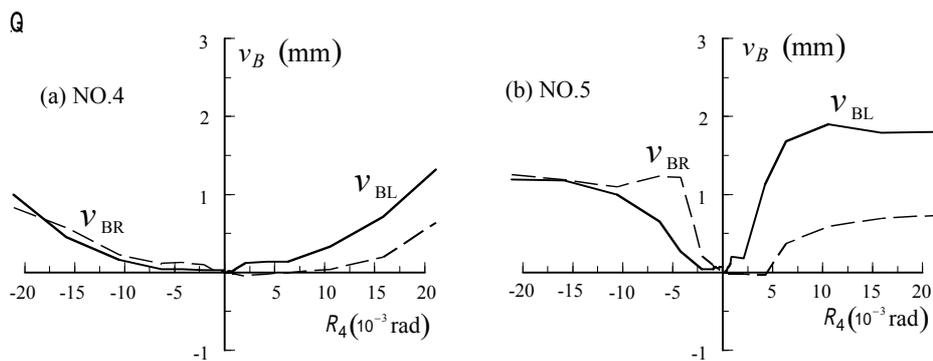


図-8 柱脚の鉛直変位

$$Q_{DV} = 0.10\sigma_B \cdot A_{sc} + \sigma_y \sum a_v \quad (1)$$

ここに、 σ_B ：コンクリート圧縮強度、 A_{sc} ：コッター断面積、 σ_y ：接合筋降伏強度、 a_v ：接合筋断面積

滑り開始せん断力を Q_{DV} と比べると、1層目は Q_{DV} よりかなり大きく、NO.5 では3層目は Q_{DV} より小さな値で滑り始めている。これはNO.2とNO.3についても同様である。

3.3 各種強度

表-3に各種強度の実験値（正加力時）と計算値を示す。表の強度は全て1層目のせん断力であり、変形 R_4 は強度時の4層位置での部材角である。

(1) 最大強度

NO.1の最大強度は、曲げ強度計算値 cQ_{BU} にほとんど一致し、同表の脚注に示したせん断強度を表す二式よりかなり大きな値となっている。NO.2とNO.3の最大強度は、鉛直接合部に滑りが生じて破壊したため、曲げ強度計算値よりかなり小さく、

その比はそれぞれ0.37, 0.41となっている。NO.4とNO.5でも滑りが生じているが、曲げ強度計算値との比がそれぞれ0.99, 1.12でありほぼ曲げ強度に等しい。NO.5は、1層目接合部のせん断力が終局強度を超えていると思われるが、最大強度時には柱主筋が降伏していることや、滑りがほとんど生じていないことから曲げによって強度に達したものと判断される。

(2) 鉛直接合部滑り強度

鉛直接合部滑り強度 Q_{IS} は、図-10の1層せん断力-滑り変形曲線上に矢印Sで示したとおり、滑り変形が急増したサイクルのせん断力である。荷重-変形曲線上では図-4に矢印Sで示してある。なお、 S_L は1層目 S_{1L} と3層目 S_{3L} の平均値

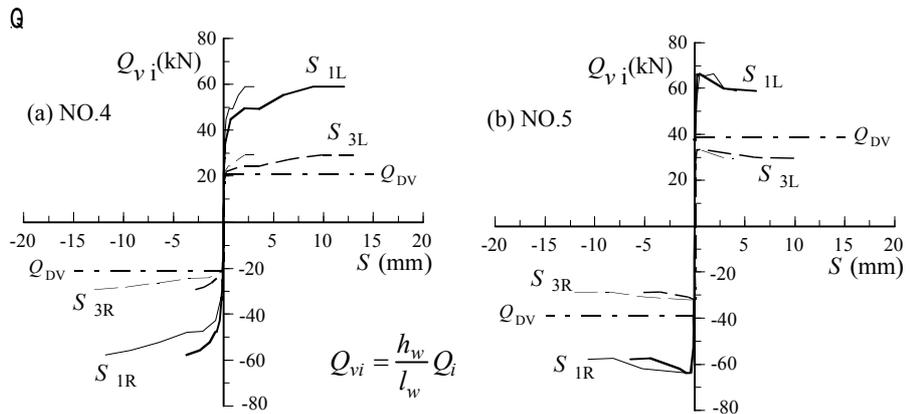


図-9 鉛直接合部せん断力と滑り変形の関係

表-3 各種強度一覧

試験体名	実験値							計算値		破壊形式
	最大強度			鉛直接合部滑り強度				曲げ強度	滑り強度	
	Q_{1max} (kN)	$\frac{Q_{1max}}{cQ_{BU}}$	R_4 ($10^{-3}rad.$)	Q_{IS} (kN)	$\frac{Q_{IS}}{cQ_{VS}}$	S_L (mm)	R_4 ($10^{-3}rad.$)	cQ_{BU} ^{注1} (kN)	cQ_{VS} (kN)	
NO.1	297	0.99	10.6	—	—	—	—	301	241 ^{注2} 258 ^{注3}	曲げ降伏後のせん断破壊
NO.2	111	0.37	21.1	83.4	1.00	2.53	4.22	301	83.2	滑り破壊
NO.3	122	0.41	15.9	107.1	0.85	2.49	4.22	301	126	滑り破壊
NO.4	99.7	0.99	21.1	83.8	1.01	1.98	4.22	101	83.2	滑り破壊
NO.5	113	1.12	10.6	101.1	0.82	4.41	15.9	101	123	曲げ降伏後の滑り破壊

注1： $M_{BU} = 0.9a_r\sigma_y D + 0.4a_w\sigma_{wy}D + 0.5ND(1 - N/BDF_c)$ ²⁾ より算出した1層目せん断力

注2： $Q_{su} = \left\{ 0.068p_{ie}^{0.23} (F_c + 180) / \sqrt{M/(QD)} + 0.12 + 2.7\sqrt{\sigma_{wh}P_{wh}} + 0.1\sigma_0 \right\} b_e j$ ²⁾ [重力単位]

注3： $V_u = t_w l_{wb} P_s \sigma_{sy} \cot\phi + \tan\theta(1 - \beta) f_w l_{wa} v \sigma_B / 2$ ³⁾

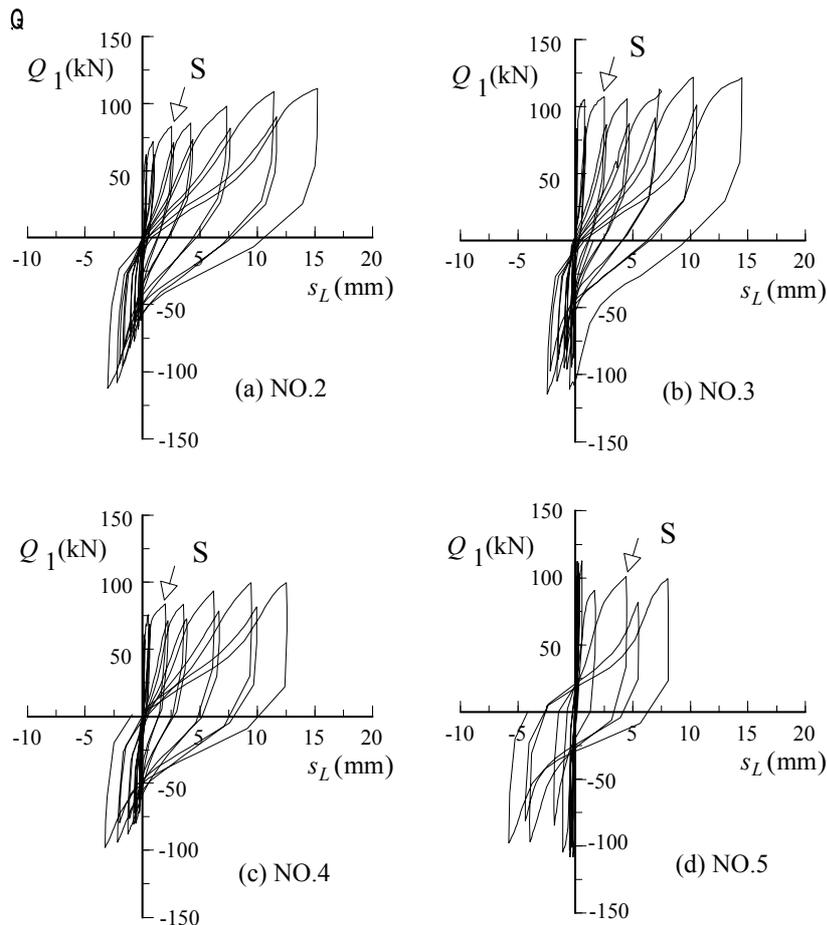


図-10 1層せん断力と鉛直接合部滑り変形の関係

であり、NO.5 以外は表示のように 2mm 前後の値になっている。計算値 cQ_{VS} は次式で求めた壁脚部モーメント M_{VS} から 1 層せん断力を算出した値である。

$$M_{VS} = l_w \sum Q_{DVi} + a_w \sigma_{wy} l_w / 2 \quad (2)$$

ここに、 a_w, σ_{wy} : それぞれ壁縦筋の断面積、降伏強度

上式は、前述のように鉛直接合部の滑りが全層にわたってほぼ等しいことから、図-11 に示すように、鉛直接合部全層のせん断力を考慮して壁パネルの終局曲げモーメントを求めたものである。滑り変形が小さく、壁パネルがせん断破壊する場合には別の考え方が必要であろう。

cQ_{VS} と実験値 Q_{IS} を比較すると、コッターの無い NO.2 と NO.4 ではほとんど一致している。一方、コッターの有る場合には実験値がやや小さくなっている。鉛直接合部のすべりは全層にわたってほぼ等しいものの、損傷の大きな 1, 2

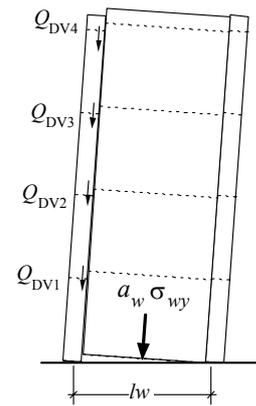


図-11 応力機構

層目のコッターが終局時においてどの程度寄与しているか不明であり、強度に関するコッターの有効な範囲について検討する必要がある。

4. むすび

鉛直接合部が滑り破壊する PCa 連層耐震壁の水平加力実験を行った結果をまとめると以下ようになる。

- (1)鉛直接合部滑り破壊型は優れた靱性能を有している。
- (2)鉛直接合部の滑り変形は全層にわたってほぼ同一である。
- (3)鉛直接合部が滑り破壊し、壁パネルが曲げ降伏する場合の脚部モーメントは、鉛直接合部全層のせん断力と壁縦筋の降伏強度から算定できる。ただし、コッターの有効範囲についての検討が必要である。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規準・同解説, 1984
- 2) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能 (1990)
- 3) 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