

論文 鉄筋コンクリートL形断面耐震壁の二方向終局せん断耐力に関する実験的研究

溝口 光男*1・荒井 康幸*2・新岡 健司*3・赤石 達彦*3

要旨: L形断面を有する鉄筋コンクリート耐震壁の二方向終局せん断強度に関し、前報¹⁾の実験とは壁断面形状を変え、壁高を2とおりに変化させてせん断破壊実験を行った。その結果、L形断面耐震壁のせん断耐力は、変形方向の各壁板とのなす角度が45°に近くなること10数%小さくなる傾向があるものの、二方向せん断耐力図は概ね四辺形で表され、各壁に平行な方向の耐力は単一平面壁とほぼ同等になることを再確認した。

キーワード: 鉄筋コンクリート、耐震壁、L形断面、二方向、せん断耐力

1. はじめに

建築構造物には、直交する二方向の耐震壁が連続して配置され、L形の平面形状となる場合が少なくない。従来の設計では、L形耐震壁は各方向ごとに分割され、面内方向のみの強度や剛性が評価されてきた。L形耐震壁は水平面上二方向に広がりをもつものであるから、耐力や変形の評価に際しても二方向を考慮した検討が必要であるが、L形断面壁の耐力と加力方向の関係を検討した研究はみあたらない。これに関して筆者らは前報¹⁾において、せん断破壊するように試験体を設計して、力の方向を水平面上6とおりの方向に設定し、正負漸増の繰り返し加力実験を行って、加力方向とせん断強度の関係について実験的に検討した。この結果によれば、二方向せん断耐力図は概ね四辺形で表され、各壁に平行な方向の大きさはそれぞれ直交壁が圧縮フランジとなる場合の耐力となった。しかしながら、これは限られた1シリーズの実験結果であるため、本研究では壁断面形状を変え、壁高を2とおりに変化させた実験を行って再検討した。また、L形断面壁と同寸法の単一平面壁の実験も行って比較検討した。

2. 実験概要

- *1 室蘭工業大学助手 工学部建設システム工学科 工修 (正会員)
- *2 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 工博 (正会員)
- *3 室蘭工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻

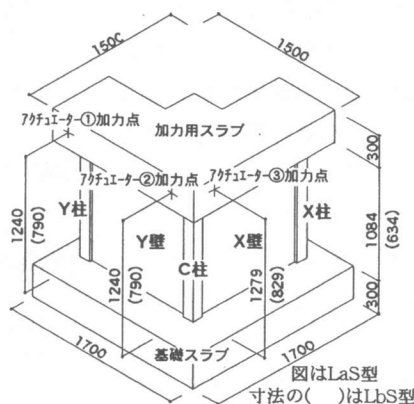


図-1 試験体形状 単位(mm)

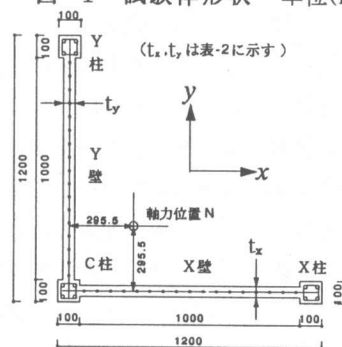


図-2 壁断面 単位(mm)

2.1 試験体

試験体の壁断面は、柱形のある等辺のL字形であり、壁断面の図心上に鉛直力を加えるために加力用スラブを設けた。本実験に用いた試験

体の形状、名称および壁の断面図を図-1と図-2に示す。柱断面は前報¹⁾の150mm角から100mm角に変えている。L形断面壁の試験体はLaS型(壁高1084mm)が3体、LbS型(壁高634mm)が4体の計7体であり、壁厚は全試験体両壁共通で52mmとして設計した。配筋についても全試験体共通で、壁の配筋は縦横とも4φのなまし鉄線@60mmとした。柱の配筋は主筋として4-D13を使用し、せん断補強筋として4φ@30mmの角スパイラル筋を巻いた。比較実験用の単一平面壁の試験体は、LaS型とLbS型のそれぞれX壁と同様であり、試験体名IaSとIbSの2体である。コンクリートはL形断面壁、単一平面壁ともに豆砂利普通コンクリート(砂利の最大寸法10mm)を使用した。打設は鉛直打ちとし、基礎スラブと壁・加力用スラブの2回に分けて行った。鉄筋とコンクリートの力学的性質をそれぞれ表-1、表-2に示す。

2.2 加力方法

および計測方法

加力装置を図-3に示す。鉛直力は油圧回路にリリーフ弁を取り付けて、常に設定した圧縮力を維持できる油圧ジャッキにより壁の図心位置に加えた。二方向水平力は水平面上に配置された3台のアクチュエーターによって加力用スラブに加え、加力方法は荷重方向を定める実験(3方向)と、変形方向を定める実験(x方向のみ)の2種を設定した。荷重方向を定める実験では、①号機で振れが生じないように制御しながら、②号機でx方向変位を与え、同時に①、②、③号機からx、y方向荷重を計測し、その合力の方向(荷重方向)が所定方向となるように③号機の変位を制御することで加力用スラブに強制変形を与えた。また、変形方向を定める実験では、①号機で振れが生じないように制御しながら、変形方向が所定方向となるように②、③号機で加力用スラブに強制変形を与

表-1 鉄筋の力学的性質

鉄筋	断面積 (cm ²)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	備考
D13	1.267	376	565	25.9	柱主筋(L型)
D13	1.267	379	553	25.7	柱主筋(I型)
4φ	0.125	174*	284	54.5	壁筋(L型)
4φ	0.125	159*	284	50.9	柱補強筋(L型)
4φ	0.125	219*	338	40.2	壁筋・柱補強筋(I型)

*印は0.2%耐力法による。

表-2 コンクリートの力学的性質

試験体名	壁厚 (mm)		σ_B (MPa)	$c\sigma_t$ (MPa)	$E_{1/3}$ (MPa)
	t_x	t_y			
LaSF-X	60	53	23.0	2.29	21700
LaSF-V	56	55	22.9	2.26	19400
LaSD-X	55	54	22.8	2.31	21000
LbSF-U	54	57	24.4	2.21	21700
LbSF-X	53	56	23.6	2.09	22100
LbSF-V	52	55	24.0	2.39	21800
LbSD-X	56	53	24.8	2.24	21700
IaS	57	-	26.3	2.45	22800
IbS	55	-	24.6	2.24	21100

σ_B : 圧縮強度

$c\sigma_t$: 引張強度

$E_{1/3}$: 1/3割線弾性係数

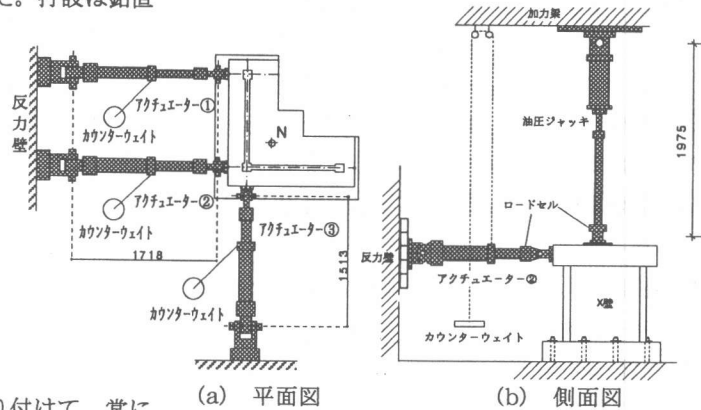


図-3 加力装置図概要 単位(mm)

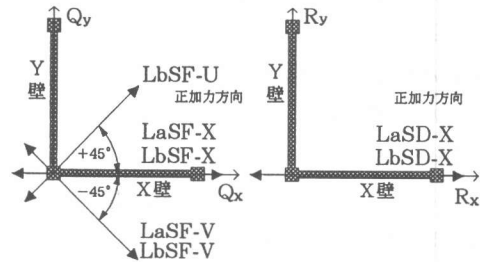


図-4 制御方向と試験体名

えた。各試験体の制御方向は図-4に示すようにx軸を基準とし、それぞれの制御方向に変位漸増繰り返し加力し、x方向の部材角が各サイクルピーク時で1000分の1,2,4,6,10,15,20(rad.)となるように強制変形を与えた。軸圧縮力はL

形断面壁が316kN，平面壁が169kN（コンクリート強度23.5MPaで軸圧比が0.1）となるように設定した。変位の測定は，加力用スラブの4カ所の水平変位と柱位置の鉛直変位を基礎スラブを基準にして計測した。また，せん断変形を求めるために壁高を6分割して各区間の曲率を計測し，柱主筋の歪み度はワイヤーストレインゲージで計測した。なお，以後の考察に用いる水平変位は鉛直変位を用いて，標点の位置から壁頂部位置（LaS型:1084mm，LbS型:634mm）に補正してある。

3. ひび割れおよび破壊状況

実験終了時のひび割れ状況をX，Y両壁を展開して図-5に示す。X壁は全試験体とも正加力時にC柱付近で発生したひび割れと，負加力時にX柱付近で発生したひび割れが，それぞれ変形の増大に伴って約45°の角度を保ちながら伸展し交差した。全ての試験体において壁中央部で斜めひび割れが拡大し，続いてコンクリートの剥落や圧壊などが見られ，終局に近づくにつれ破壊状況は激しくなった。Y壁では制御方向ごとに異なる破壊状況が見られ，LaSF-X，LaSD-X，LbSF-X，LbSD-Xでは終局時においても健在であった。LaSF-V，LbSF-U，LbSF-Vでは，X壁と同様，コンクリートの剥落や圧壊などの破壊状況が見られ，LaSF-V，LbSF-VではY壁がせん断破壊した。なお，LbSF-Uでは正加力時にC柱主筋が降伏して曲げ破壊し，負加力時にはX壁がせん断破壊した。平面壁はX壁と同様なひび割れ状況となっている。

4. 荷重 - 変形曲線

後で述べるように，L形断面壁では変形方向と荷重方向は一致しないので，制御方向であるT方向（荷重方向制御の実験では荷重方向，変形方向制御の実験では変形方向）についての荷重-変形 (Q_T-R_T) 曲線を図-6に示す。LbSF-Uの正加力時にはC柱主筋が降伏したので曲げ破壊型となっているが，他は正負加力時ともせん断

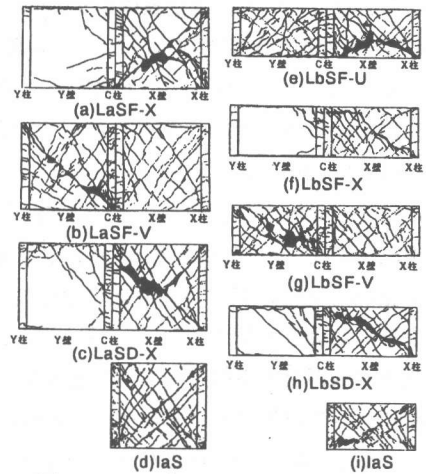


図-5 ひび割れ及び破壊状況

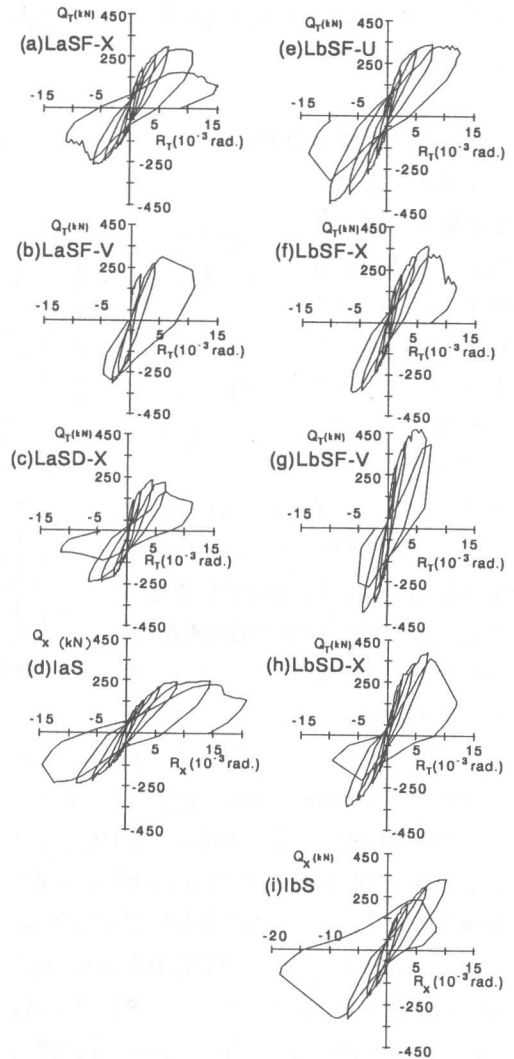


図-6 荷重 - 変形曲線

破壊型となっている。各試験体の x 方向についての荷重-変形包絡線を図-7に示す。同図(a)は全て x 方向加力であり、荷重方向制御と変形方向制御および平面壁とを比較したものである。壁高の低い LbSF-X, LbSD-X は正負加力時ともほぼ同じ曲線となっており、制御種別の違いが現れていないが、壁高の高い LaSF-X, LaSD-X の正加力時には異なった曲線になっており、制御種別による差異が見られる。同図(b)は全て荷重方向制御での主軸方向加力であるが、負加力時に比べて正加力時は試験体ごとの違いが大きい。なお、平面壁の IaS は柱主筋の降伏を伴ってせん断破壊したため、LaS 型よりも変形が大きくなっているが、負加力時の最大耐力は LaS 型とほぼ同じである。

5. 荷重方向と変形方向

荷重方向を定め

た実験の各サイクルピーク時の二方向部材角 (R_x, R_y) を図-8(a)~(e)に示す。荷重方向は図中に矢印で示してある。変形方向を定め

た実験では、その荷重について図-8(f),(g)に同じくピーク時の二方向荷重 (Q_x, Q_y) を示し、変形方向を矢印で示した。なお、図中に弾性解析²⁾での方向を一点鎖線で記してある。主軸方向加力である LaSF-V, LbSF-V, LbSF-U の正加力時では、変形方向は繰り返しサイクルの増加とともに、荷重方向からずれていき両壁の破壊の進行が偏ったことを示している。LaSF-X, LbSF-X では正加力時に y 方向荷重を与えていないにもかかわらず y 方向変形が生じ、最終サイクルで壁が破壊するまでは変形方向は弾性解析の方向にほぼ一致している。負加力時の y 方向変形は非常に少ない。変形方向制御の2体では、荷重方向は強軸よりになって

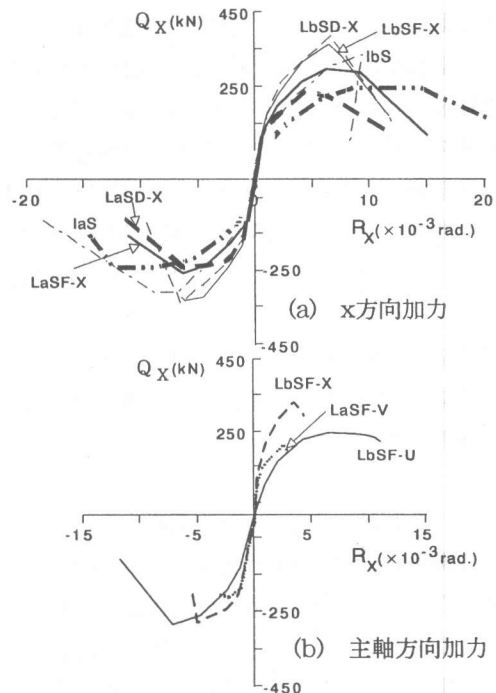


図-7 x 方向荷重-変形包絡線

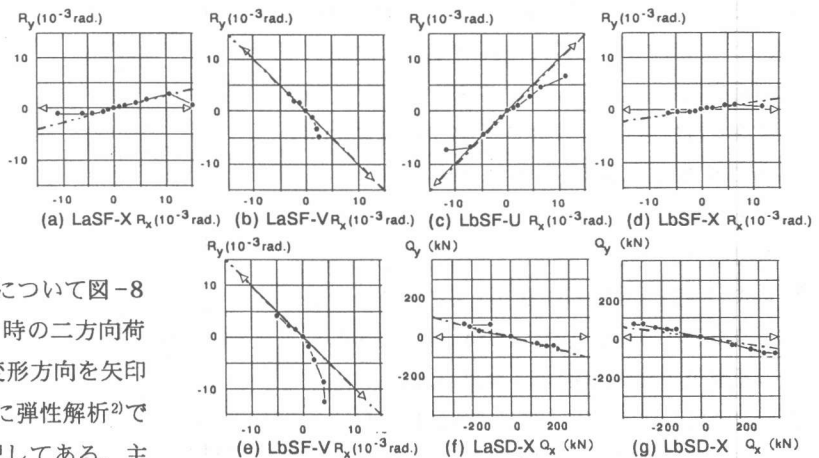


図-8 荷重方向と変形方向

おり、背の高い LaSD-X では荷重方向は弾性解析の方向に近くなっているのに対し、背の低い LbSD-X では正負加力時とも y 方向荷重が弾性解析値より大きくなっている。

6. 終局せん断耐力

各制御方向における最大耐力 Q_T を表-3 に示す。同表の Q_x, Q_y 及び R_x, R_y はそれぞれ Q_T を

表-3 制御方向最大耐力

試験体名	正加力時						負加力時					
	Q_T (kN)	R_T (10^{-3} rad.)	Q_x (kN)	Q_y (kN)	R_x (10^{-3} rad.)	R_y (10^{-3} rad.)	Q_T (kN)	R_T (10^{-3} rad.)	Q_x (kN)	Q_y (kN)	R_x (10^{-3} rad.)	R_y (10^{-3} rad.)
LaSF-X	295	6.32	295	0	6.32	1.61	-262	-6.27	-262	0	-6.27	-1.04
LaSF-V	301	5.35	216	-209	2.58	-4.98	-297	-2.95	-211	209	-2.31	1.87
LaSD-X*	237	4.35	237	-64	4.35	-0.36	-240	-6.39	-240	64	-6.39	-0.21
laS			247		14.47				-240			-8.45
LbSF-U	340	7.76	242	239	6.59	4.37	-409	-9.89	-287	-292	-7.10	-6.89
LbSF-X	364	6.50	364	0	6.50	0.90	-335	-6.20	-335	0	-6.20	-0.73
LbSF-V	467	9.04	333	-328	3.97	-8.82	-389	-6.55	-278	272	-5.14	4.12
LbSD-X*	394	6.92	394	-50	6.92	-0.88	-343	-6.85	-343	29	-6.85	-0.05
lbS			333		9.54				-313			-8.55

*印は変形方向を定めた実験のため、 Q_T は変形方向最大耐力を示す。その他は荷重方向最大耐力を示す。

とる時の x 及び y 方向の荷重と変形である。 Q_x , Q_y の値を x-y 座標上で表すと図-9のようになる。同図には対称性を考慮した値を含めて全周に渡ってプロットしてある。また二方向曲げ耐力計算値³⁾を一点鎖線で示した。(a),(b) 両図中の点線の正方形はそれぞれ平面壁の実験値を x, y 軸の正負両方向にとったものである。また図中の () 内の角度は表-3 の (R_x, R_y) から求めた耐力時の変形方向角度を示している。図-9(a)の LaS 型ではプロットした点の多くは正方形上にあるが、正加力時に点線の正方形からはみ出している LaSF-X の変形方向角度は 14° である。図-9(b)の LbS 型では正加力時において LbSF-U は曲げ破壊をしたため点線の正方形に対して大きく内側にプロットされている。その他では、ほとんどのプロットした点が正方形上にあるが、LbSD-X の正加力時のみ少しはみ出している。この時の変形方向角度は -7° となり x 軸方向に最も近い。X 壁と Y 壁のうち、せん断破壊した壁に平行な方向 (LaSF-V, LbSF-V のみ y 方向, 他は x 方向) の最大耐力 cQ_{su} とせん断変形角 R_{su} を表-4 に示す。表中の cQ_{su1} は広沢の平面壁のせん断耐力値⁴⁾, cQ_{su2} は富井、江崎の壁板のスリップ破壊時の水平耐力値⁵⁾, cQ_{su3} は

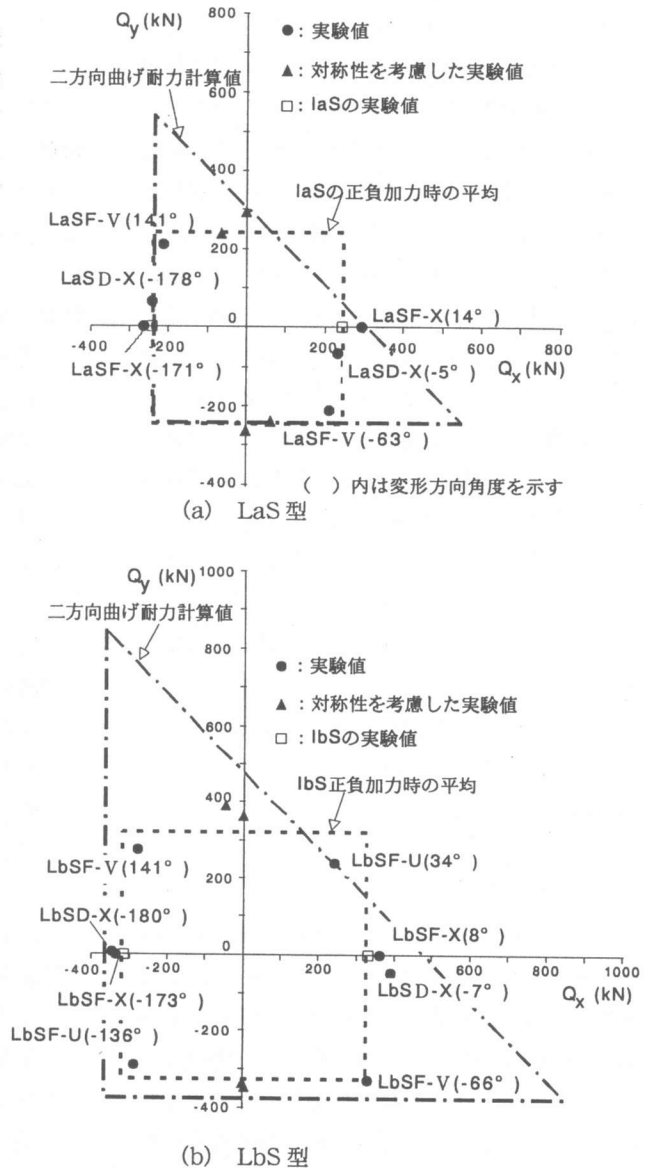


図-9 二方向最大耐力図

表-4 破壊した壁板の最大耐力

試験体名	壁	正加力時						負加力時						計算値		
		$t_{Q_{su}}$ (kN)	R_{su} (10^{-3} rad.)	$t_{Q_{su}}/IS$	$t_{Q_{su}}/c_{Q_{su1}}$	$t_{Q_{su}}/c_{Q_{su2}}$	$t_{Q_{su}}/c_{Q_{su3}}$	$t_{Q_{su}}$ (kN)	R_{su} (10^{-3} rad.)	$t_{Q_{su}}/IS$	$t_{Q_{su}}/c_{Q_{su1}}$	$t_{Q_{su}}/c_{Q_{su2}}$	$t_{Q_{su}}/c_{Q_{su3}}$	$c_{Q_{su1}}$ (kN)	$c_{Q_{su2}}$ (kN)	$c_{Q_{su3}}$ (kN)
LaSF-X	X	295	4.26	1.21	1.38	0.94	1.25	262	4.00	1.08	1.22	0.83	1.11	214	315	236
LaSF-V	Y	210	4.53	0.86	1.03	0.71	0.95	209	1.78	0.86	1.03	0.71	0.95	203	294	220
LaSD-X	X	237	3.44	0.97	1.17	0.81	1.08	240	2.78	0.99	1.18	0.82	1.09	203	294	219
laS		247	9.22		1.10	0.78	0.96	240	6.98		1.07	0.76	0.93	224	317	257
LbSF-U	X	242*	4.40					287	5.52	0.89	1.37	0.97	0.98	210	297	292
LbSF-X	X	364	4.92	1.13	1.77	1.26	1.30	335	5.41	1.04	1.64	1.16	1.20	205	289	280
LbSF-V	Y	329	7.30	1.02	1.56	1.10	1.12	273	4.43	0.84	1.29	0.91	0.93	211	299	294
LbSD-X	X	394	5.58	1.22	1.83	1.28	1.29	343	5.44	1.06	1.59	1.12	1.12	216	307	306
lbS		333	8.08		1.54	1.11	1.10	313	7.62		1.44	1.04	1.04	217	300	302

$t_{Q_{su}}/IS$ 欄はLaS型、LbS型それぞれの平面壁の実験値(正負加力の平均)との比を表す。

*印は曲げ破壊したことを示す。

日本建築学会の終局強度型耐震設計指針式による値⁶⁾である。直交壁が圧縮フランジとなる負加力時をみると、 $t_{Q_{su}}/IS$ は0.84~1.08、平均で0.97となっており、単一平面壁の耐力にほぼ等しいが、壁板に対して45°方向加力のLaSF-V、LbSF-U、LbSF-Vはそれぞれ0.86、0.89、0.84であり、10数%小さな値となっている。直交壁が引張フランジとなる正加力時の $t_{Q_{su}}/IS$ は0.86~1.22、平均で1.07であるが、壁板に平行加力のLaSF-X、LbSD-Xはそれぞれ1.21、1.22であり他に比べて幾分か大きな値になっている。しかしながら、L形断面壁の各壁板方向のせん断耐力は、加力方向によらず単一平面壁のせん断耐力に大略等しいと言えよう。平面壁の $t_{Q_{su}}$ と各計算値を比較すると、 $t_{Q_{su}}/c_{Q_{su1}}$ は1.07~1.54、平均で1.29、 $t_{Q_{su}}/c_{Q_{su2}}$ は0.76~1.11、平均で0.92、 $t_{Q_{su}}/c_{Q_{su3}}$ は0.93~1.10、平均で1.01となっており、本実験では指針式による計算値がよく適合している。また、L形断面壁のせん断耐力時のせん断変形角は、正負加力によらず $1.78 \sim 7.30 \times 10^{-3}$ rad.、平均で 4.57×10^{-3} rad.となっている。

7. むすび

L形断面耐震壁のせん断耐力は、変形方向の各壁板とのなす角度が45°に近くなると10数%小さくなるものの、二方向せん断耐力図は概ね四辺形で表される。各壁に平行な方向の大きさは単一平面壁の耐力にほぼ等しいが、直交壁が引張フランジとなる場合の耐力はそれよりも大きくなる傾向がある。この結果は前報¹⁾と同様

である。ただし、x方向正加力でy方向変形を拘束したLbSD-Xの耐力が非拘束のLbSF-Xよりも大きくなったのは前報¹⁾の傾向と同じであるが、LaS型ではその逆となっており、これらの点に関しては更に検討したい。

謝辞

本研究は平成8,9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(c);代表者荒井康幸)によって行った。

参考文献

- 1) 荒井康幸・溝口光男・新岡健司:二方向水平力と軸圧を受ける鉄筋コンクリートL形断面耐震壁のせん断破壊実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.1095-1100, 1997
- 2) 荒井康幸・柴田拓二:一般骨組内の開断面立体耐震壁の解析について, 日本建築学会論文報告集, 第313号, pp.48-57, 1982.3
- 3) 溝口光男・荒井康幸:二方向水平力を受ける鉄筋コンクリートL型開断面耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究(その2)二方向曲げ終局強度について, 日本建築学会構造系論文集, 第464号, pp.101-108, 1994.10
- 4) 広沢雅也:建築研究資料, No.6, 建設建築研究所, p.43, 1975.3
- 5) 富井政英・江崎文也:鉄筋コンクリート耐震壁の水平耐力に関する研究(その1), 日本建築学会大会(九州), pp.1587-1588, 1981
- 6) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説 1990