

[102] 鉄筋コンクリート耐震壁のせん断破壊形式の判別法

正会員 富井政英 (九州大学工学部)

正会員 ○江崎文也 (九州大学工学部)

1. 序

鉄筋コンクリート耐震壁のせん断破壊形式として、壁板がスリップ破壊を起す場合と側柱または側ばりがせん断破壊を起す場合がある。いずれの破壊形式が先行して耐震壁の水平耐力が支配されるかを判別するためには、まず、それぞれの破壊形式別に耐震壁の水平抵抗・破壊機構に基づいた精度の良い水平耐力式を明らかにする必要がある。著者等は、1層1スパン耐震壁に関し、壁板のスリップ破壊によって支配される水平耐力および側柱または側ばりのせん断破壊によって支配される水平耐力を、耐震壁の水平抵抗・破壊機構に基づき精度良く求められる式を提案している¹⁾²⁾。側柱または側ばりがせん断破壊を起すと水平耐力以後の靱性がほとんど期待できず、側柱がせん断破壊を起すと鉛直荷重の支持能力が低下し補修することが極めて困難となる。本論は、既に提案した水平耐力式で求めた算定値と実験より得られた破壊形式との関係を示し、エネルギー吸収能力が大きく、補修も容易な壁板のスリップ破壊が先行するための条件を明らかにしたものである。

2. 壁板のスリップ破壊によって支配される水平耐力

壁板のスリップ破壊によって支配される水平耐力 $Q_{u(ws)}$ は(1)式で表わされ、実用上は(2)式で算定することができる¹⁾。

$$Q_{u(ws)} = \frac{1}{\kappa} (2.56\sqrt{F_c} + 3590 p_{s\min}) tl \dots\dots\dots(1)$$

$$\cong (2.4\sqrt{F_c} + 34 p_{s\min} \times 10^2) tl \dots\dots\dots(2)$$

適用範囲 $N \leq Q_{u(ws)}$

ただし κ : 壁板中央点のせん断応力度の等方性弾性解 τ_{wo} に関する形状係数
 t : 壁厚 l : 側柱中心間距離 F_c : コンクリートの圧縮強度
 $p_{s\min}$: 壁板の縦・横筋比 $p_r \cdot p_h$ のうち、いずれか小さい方で $p_{s\min} > 1.2 \times 10^{-2}$ の場合は $p_{s\min} = 1.2 \times 10^{-2}$ と置く。
 N : 耐震壁に作用する鉛直荷重

3. 側柱または側ばりのせん断破壊によって支配される水平耐力

側柱または側ばりのせん断破壊によって支配される水平耐力 $Q_{u(fs)}$ は(3)式で与えられ、 $Q_{u(cs)}$ は側柱のせん断破壊によって支配される水平耐力で(4a)式で算定することができる²⁾。 $Q_{u(bs)}$ は側ばりのせん断破壊によって支配される水平耐力で(4b)式で算定することができる²⁾。

$$Q_{u(fs)} = \min(Q_{u(cs)}, Q_{u(bs)}) \dots\dots\dots(3)$$

$$Q_{u(cs)} = \frac{p_h \sigma_{yh} \left(\frac{h'}{l'} - \frac{\sum D_c}{l'} \tan \theta \right) + 8.58 \frac{\sum b_c D_c}{tl'} + 0.374 \frac{\sum a_g \sigma_{yg}}{tl'} + 0.262 \left(p_r \sigma_{yr} + \frac{N}{tl'} \right)}{1 + \frac{\sum D_c}{2l'} - (1 - 0.262 \tan \theta) \left(1 + \frac{\sum D_c}{l'} - \frac{h'}{l'} \cot \theta \right) - 0.262 \frac{h'}{2l'} \left(1 + \frac{\sum D_b}{2h'} \right) \sum \psi} tl \dots\dots\dots(4a)$$

$$Q_{u(hs)} = \frac{p_r \sigma_{yr} \left(\frac{l'}{h'} - \frac{\sum D_b}{h'} \cot \theta \right) + 8.58 \frac{\sum b_b D_b}{lh'} + 0.374 \frac{\sum a_g \sigma_{yg}}{lh'} + 0.262 p_h \sigma_{yh}}{1 + \frac{\sum D_b}{2h'} - (1 - 0.262 \cot \theta) \left(1 + \frac{\sum D_b}{h'} - \frac{l'}{h'} \tan \theta \right) - 0.262 \frac{l'}{2h'} \left(1 + \frac{\sum D_c}{2l'} \right) \sum \Psi} \cdot l \dots \dots \dots (4b)$$

ただし l' : 壁板のうちのり長さ h' : 壁板のうちのり高さ $b_c, D_c(b_h, D_h)$: 側柱(側ばり)の幅、せい
 a_g : (4a)式では側柱の主筋全断面積, $a_g = p_g b_c D_c$ (4b)式では側ばりの主筋断面積, $a_g = p_g b_h D_h$
 σ_{yg} : 側柱または側ばりの引張降伏点 $p_r \cdot p_h, \sigma_{yr} \cdot \sigma_{yh}$: 壁板の縦・横筋比とその引張降伏点
 \sum : (4a)式では左右側柱の和、(4b)式では上下側ばりの和を示す。 θ : ひび割れ角度
 Ψ : 実験の加力方法により決まる係数で次の値とする。

- (i) 部材の破壊端を材軸方向に圧縮し、他端をこれと等しい力で材軸方向に引張る場合 $\Psi = 0$
- (ii) 部材の破壊端を材軸方向に圧縮し、他端には材軸方向に力を加えない場合 $\Psi = 1$
- (iii) a. 部材の破壊端には軸方向に力を加えず、他端を材軸方向に引張る場合
 b. 正加力による部材破壊断面と負加力による部材破壊断面の間に材軸方向の全加力が作用する場合 $\Psi = -1$
- (iv) 破壊を起す部材の全長(側柱の場合は h , 側ばりの場合は l)にわたって材軸方向の加力が等分布に作用する場合

側柱が破壊する場合 $\Psi = -(h' - D_c \tan \theta)/h$, 側ばりが破壊する場合 $\Psi = -(l' - D_b \cot \theta)/l$

(4a)および(4b)式の適用にあたって $p_r \sigma_{yr}, p_h \sigma_{yh}$ および $p_g \sigma_{yg}$ はそれぞれ次に従うものとする。

- $p_r \sigma_{yr} > 30 \text{ kg/cm}^2$ の場合 $0.4 p_r \sigma_{yr} + 18 \text{ kg/cm}^2$ とする。
- $p_h \sigma_{yh} > 30 \text{ kg/cm}^2$ の場合 $0.4 p_h \sigma_{yh} + 18 \text{ kg/cm}^2$ とする。
- $p_g \sigma_{yg} > 80 \text{ kg/cm}^2$ の場合 $0.3 p_g \sigma_{yg} + 56 \text{ kg/cm}^2$ とする。

表-1a 耐震壁の水平耐力実験値 $e_x Q_u/tl$ と解析値 $Q_{u(ser)}/tl, Q_{u(fs)}/tl$ および破壊形式一覧 (単位: kg/cm^2)

参考文献	試験体符号	$\frac{e_x Q_u}{tl}$	$\frac{Q_{u(ser)}}{tl}$	$\frac{Q_{u(fs)}}{tl}$	破壊形式	参考文献	試験体符号	$\frac{e_x Q_u}{tl}$	$\frac{Q_{u(ser)}}{tl}$	$\frac{Q_{u(fs)}}{tl}$	破壊形式	
2 D	0-1	33.3*	33.2	40.2	スリップ	11 D	1.0-RW-2	81.5	62.6	76.5	側柱	
	0-(1)	31.4*	33.2	34.8	〃	12 D	1.05-NR-2	76.3	79.9	81.4	側ばり	
	0-(2)	33.3*	33.2	40.2	〃		0.35-NR-1	67.9	55.9	63.8	〃	
	A-1	40.7	42.4	43.4	〃	13 D	0.35-NR-2	67.9	55.9	63.8	〃	
	A-2	38.9	42.4	43.4	〃		1.05-W-1	64.5	76.3	61.7	スリップ	
	B-1	50.0	51.3	51.6	〃	1.05-W-2	68.8	76.3	61.7	〃		
	B-2	46.3	51.3	51.6	側ばり	0.35-W-1	46.7	51.7	54.0	側柱		
	C-1	44.4	51.3	51.6	〃	0.35-W-2	52.6	51.7	51.1	側ばり		
C-2	46.3	51.3	51.6	〃	0.7-W-1	61.3	64.3	57.2	側柱			
3 D	0-1	48.2*	42.2	42.6	スリップ	14 D	0.7-W-2	61.6	64.3	57.2	〃	
	C-3	33.7	60.6	33.0	側ばり		Nu 1	37.1*	39.6	33.7	〃	
4 D	C-4	34.0	59.8	32.5	〃	Nu 2	59.0	61.6	59.7	〃		
	B-3	40.4	60.0	38.8	〃	1 C	5	31.4*	44.1	47.7	〃	
	B-4	40.2	58.4	39.5	〃		8	92.1	85.0	148.2	スリップ	
	C-2	35.1	60.0	35.0	側柱・側ばり		9	62.8	86.6	74.4	〃	
	C-4	37.7	60.4	36.3	〃		13	59.7	86.6	56.8	側柱	
	B-3	42.5	58.2	40.5	側ばり		15	49.0	76.1	46.3	〃	
	5 D	7-1.5W-1	50.3	57.0	63.8		スリップ	2 C	42	68.6	92.1	73.9
7-1.5W-2		50.5	58.2	63.8	〃		49		51.0	93.9	56.5	〃
9-1.5W-1		58.9	57.0	74.7	〃	54	38.7		82.2	46.5	〃	
9-1.5W-2		55.9	59.3	74.7	〃	3 C	A-0		60.2*	44.3	43.6	〃
7-2W-1		45.0	57.2	56.7	〃		A-2		104.0	87.2	104.4	〃
7-2W-2	47.2	54.3	56.7	〃	A-4		90.7	83.4	78.7	〃		
9-2W-1	50.5	57.0	68.3	〃	A-8		78.0	73.7	67.8	〃		
6 D	20×20-6	67.1	61.5	86.9	〃		B-0	43.1*	48.0	41.9	〃	
7 D	18×18-6	58.5	58.0	61.3	〃	B-2	98.3	87.2	89.8	〃		
8 D	15×18-8	71.3*	39.1**	65.2	側柱	B-4	81.2	86.8	70.0	〃		
10 D	1.05-RW-1	79.0	80.0	69.0	スリップ	B-8	64.7	72.2	59.1	〃		
	0.35-RW-1	62.3	56.1	57.6	側柱	C-2	80.5	89.4	85.0	〃		
	0.35-RW-2	68.7	56.1	57.6	側ばり	C-4	65.6	83.4	61.4	〃		
11 D	1.5-RW-1	65.8	62.6	60.6	スリップ	C-8	51.9	70.8	48.0	〃		
	1.5-RW-2	71.0	62.6	60.6	〃	4 C	1 B I-1	40.9*	38.0	32.6	〃	

注) *印は $f_c < 0.25\%$ のものを示す。 **印は(2)式の適用範囲外のものを示す。

4. 壁板のスリップ破壊が側柱または側ばりのせん断破壊より先行するための条件

耐震壁のせん断加力実験のうち対角線圧縮加力の場合、壁板がスリップ破壊を起した後もなお水平力が増大する傾向があることを考慮し、対角線圧縮加力以外の加力が行われた試験体で壁板のせん断ひび割れ角度θが判明している試験体128体に関し、(2)式で $Q_{u(ws)}/tl$ を、また(3)式および (4a, b) 式で $Q_{u(fs)}/tl$ を求め、両者の値とせん断破壊形式との関係を図-1に示す。図-1より(5)式の関係が成立する場合には、壁筋比 ρ_s が建築学会RC構造計算規準の下限値0.25%³⁾

を満足する試験体に対しては、壁板のスリップ破壊がほとんど確実に先行すると考えられる。

$$Q_{u(ws)} \leq 0.8 Q_{u(fs)} \dots \dots \dots (5)$$

$Q_{u(ws)} > 0.8 Q_{u(fs)}$ となっている耐震壁を、側柱および側ばりの断面形状を変更しないで(5)式が満足するようにするためには、側柱および側ばりの主筋量を増して $Q_{u(fs)}$ を大きくするか、壁厚を減らして $Q_{u(ws)}$ を小さくするか、あるいは両者を同時に行えばよい。

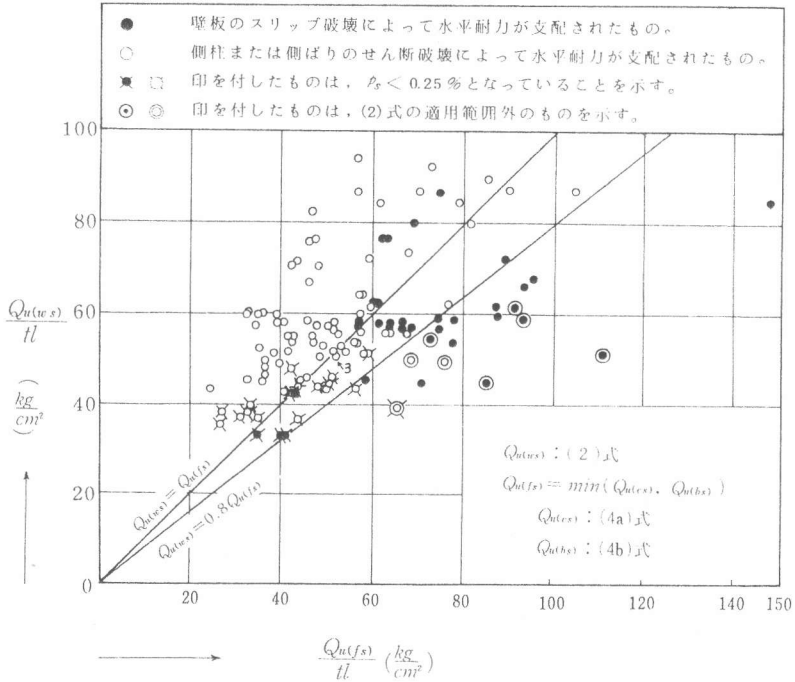


図-1 解析値 $Q_{u(ws)}/tl$ および $Q_{u(fs)}/tl$ とせん断破壊形式の関係

5. 結 論

壁板のスリップ破壊によって支配される水平耐力 $Q_{u(ws)}$ を(2)式で求

表-1b 耐震壁の水平耐力実験値 $e_x Q_u/tl$ と解析値 $Q_{u(ws)}/tl$, $Q_{u(fs)}/tl$ および破壊形式一覧 (単位: kg/cm^2)

参考文献	試験体符号	$e_x Q_u/tl$	$Q_{u(ws)}/tl$	$Q_{u(fs)}/tl$	破壊形式	参考文献	試験体符号	$e_x Q_u/tl$	$Q_{u(ws)}/tl$	$Q_{u(fs)}/tl$	破壊形式
4C	1B I-2	27.2*	35.5	26.8	側 柱	5C	50	32.8	48.6	36.5	側 柱
	1B II-2a	57.8	53.7	46.9	〃		51	40.2	49.3	39.4	〃
	1B II-2b	46.7	55.2	46.9	〃		54	34.2	46.7	36.3	〃
	3B I-1	23.3	52.8	35.1	〃		55	30.9	54.2	41.8	〃
	3B I-3	36.7	54.0	55.7	〃		58	30.6	51.9	41.3	〃
	R-1	39.5	42.8	40.7	〃		60	37.5	51.6	38.4	〃
	R-5	32.8	45.7	32.2	〃	6C	A-1	61.6*	43.7	56.2	〃
	VR-3	37.8	53.1	49.3	〃		A-2	61.8*	51.2	58.5	〃
	3A2-1	58.3	55.7	52.4	〃	8C	WA-1	56.0*	44.7	50.7	〃
	3A2-2	39.3	43.0	50.2	〃		WC-8	49.5	53.7	77.5	スリ ッ プ
	3A2-3	44.4	53.2	53.2	〃	9C	WC-8A	54.7	58.8	77.5	〃
	4B I-2	32.1*	37.1	31.1	〃		WC-16	41.3	58.0	39.6	側 柱
	4B I-3	28.8*	36.9	34.9	〃	10C	W1-3	46.9	45.0	70.7	スリ ッ プ
	4B I-4	29.5*	38.2	26.9	〃		11C	W-2	57.4	58.6	56.4
	4B II-4	40.6	57.1	41.0	〃	12C	3P80-71A-76	67.8	67.8	95.2	〃
	A1-A	43.1	70.4	42.0	〃	13C	S-30-5	66.4	54.5**	72.6	〃
	A1-B	50.8	71.2	43.3	〃		R-30-5	60.7	57.0	66.3	〃
	A2-B	45.5	76.2	47.3	〃		R-30-10	60.7	58.3	66.3	〃
	C-1	53.5*	46.2	51.1	〃		S-0-5	43.9	57.7	47.8	側 柱
	C-5	39.9*	36.7	43.7	〃		S-0-10	48.1	54.8	42.3	〃
NV-1	39.5	57.6	34.4	〃	R-0-5		36.6	58.7	45.4	〃	
VRR-1	41.1	53.7	47.3	〃	R-0-10		35.8	55.1	41.4	〃	
MS-1	37.3	45.4	44.2	〃	S-30-10		66.2	55.4	67.7	〃	
5C	6	43.0	44.9	35.8	〃	14C	Ns 2	84.2	49.7**	68.3	〃
	10	54.1	46.0	45.4	〃		Ns 4	77.4	49.7**	75.9	〃
	13	49.4	50.5	48.7	〃	15C	W8	82.0	72.3	89.0	スリ ッ プ
	25	48.8	67.1	46.0	〃		16C	4S25W40-79	48.1	45.1**	85.0
	32	53.1	57.5	50.3	〃	4S50W40-78		50.6	59.0**	93.2	〃
	35	48.3	56.4	51.8	〃	4S67W40-78		58.1	66.0	93.2	〃
	37	43.0	58.5	51.8	〃	4S50W20-78		57.1	61.6**	91.1	〃
	41	56.3	54.2	56.4	〃	4S50W60-78		49.0	59.6	87.4	〃
	45	32.8	43.6	23.8	〃	17C	RC. 01-6	65.2	51.4**	110.7	〃

め、また側柱または側ばりのせん断破壊によって支配される水平耐力 $Q_{u(fs)}$ を(3)式および(4a, b)式で求め、(5)式の関係 $Q_{u(ws)} \leq 0.8 Q_{u(fs)}$ が満足されれば壁板のスリップ破壊の先行が可能となることが1層1スパンの単独耐震壁について明らかとなった。

本研究は昭和56年度文部省科学研究費(一般研究B)によった。

参考文献

- 1) 富井・江崎「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」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭56.9
- 2) 富井・江崎「鉄筋コンクリート耐震壁の水平耐力に関する研究 その3」 建築学会九州支部研究報告, 昭57.3
- 3) 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説 1979」 昭54.11

点対称加力試験体に関するもの:

- 1 D) 富井・大崎「架構付無開口壁の剪断抵抗に関する研究第1報, 第2報」 建築学会論文報告集第51号, 昭30.9, 同52号, 昭31.3
- 2 D) 富井「ラーメン付壁板の対角線加力に関する研究(架構付無開口壁の剪断抵抗に関する研究第3報)」 建築学会論文報告集第60号, 昭33.10
- 3 D) 富井・宮田「有開口耐震壁のせん断実験概要(有開口壁のせん断抵抗に関する第1報)」 建築学会論文報告集第66号, 昭35.10
- 4 D) 富井「耐震壁の周辺に剪断力を与える実験」 建築学会論文報告集第89号, 昭38.9
富井「耐震壁の付帯ラーメンの拘束効果」 日本A. C. I第1回研究発表講演会講演概要, 昭39.2
- 5 D) 望月「鉄筋コンクリート壁体の亀裂発生後の架構拘束の実験(一層一振間の場合)」 建築学会論文報告集第249号, 昭51.11
- 6 D) 富井・毛井・山口「壁板の付帯ラーメンが耐震壁の弾塑性挙動に及ぼす影響に関する研究第2報」 建築学会九州支部研究報告, 昭52.2
- 7 D) 富井・毛井・山口・山本「壁板の付帯ラーメンが耐震壁の弾塑性挙動に及ぼす影響に関する研究第4報」 建築学会中国・九州支部研究報告, 昭53.2
- 8 D) 富井・毛井・山口・山本「壁板の付帯ラーメンが耐震壁の弾塑性挙動に及ぼす影響に関する研究第5報」 建築学会中国・九州支部研究報告, 昭53.2
- 9 D) 山田・河村・稲田「鉄筋コンクリート耐震壁の弾塑性変形状並びに崩壊性状に及ぼす周辺架構の拘束効果に関する研究Ⅲ」 建築学会近畿支部報告, 昭53.2
- 10 D) 望月・松尾「正負交番繰返し純せん断力を受ける周辺架構付壁体の実験その1」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭53.9
- 11 D) 望月・川辺「正負交番繰返し純せん断力を受ける周辺架構付壁体の実験その2」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭54.9
- 12 D) 望月・保坂「純せん断力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁の復元力特性に関する実験その1」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭54.9
- 13 D) 望月「鉄筋コンクリート壁体のひび割れ後の周辺架構の応力に関する研究, 壁筋比の異なる場合」 建築学会論文報告集第291号, 昭55.5
- 14 D) 江崎・富井・永井「付帯柱がせん断破壊する耐震壁の実験」 建築学会中国・九州支部研究報告, 昭56.3

非点対称加力試験体に関するもの:

- 1 C) 田辺・勝田・東「耐震壁に関する研究第2報」 建築学会大会論文集, 昭9.4
- 2 C) 田辺・勝田・東「耐震壁に関する研究第3報」 建築雑誌, 昭10.3
田辺・勝田・東「耐震壁に関する研究第4報」 建築学会大会論文集, 昭10.4
- 3 C) Gerard D. Galletly and Robert J. Hansen "Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls under Static Load." Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Sanitary Engineering, Aug. 1952
- 4 C) Jack R. Benjamin and Harry A. Williams "Investigation of Shear Walls." Department of Civil Engineering, Stanford University Apr. 1952~Dec. 1956
Jack R. Benjamin and Harry A. Williams "Behavior of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls." Journal of the Structural Division of the American Society of Civil Engineering, Vol. 83, No. ST3, May 1957
- 5 C) Joseph Antebi, Senol Utku and Robert J. Hansen "The Response of Shear Walls to Dynamic Loads." Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Sanitary Engineering, Aug. 1960
- 6 C) 仲・廖「鉄筋コンクリート造有孔壁に関する実験的研究その1」 建築学会論文報告集第69号, 昭36.10
梅村・青山・廖「鉄筋コンクリート補強組積造耐震壁に関する研究」 東大梅村研究室, 昭39.8
- 7 C) 横山・山田・島村・小室「高層建築の耐震壁の実験」 建築学会関東支部研究報告, 昭41.6
- 8 C) 菅野「溶接金網を使用する鉄筋コンクリート耐震壁の破壊実験」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭45.9
- 9 C) 青柳・降井・江崎「人工軽骨材を用いた鉄骨鉄筋コンクリート構造における耐震壁の実験的研究Ⅰ, Ⅱ」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭49.10
- 10 C) 下島・岡・鬼武「開口が偏在する耐震壁の剛性に関する研究その1」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭49.10
- 11 C) 黒正・福原・林・池田・林「増設耐震壁の耐力実験」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭51.10
- 12 C) 村橋「RC造独立耐震壁に関する実験的研究その1」 建築学会九州支部研究報告, 昭52.2
- 13 C) 阿知良・上田・小川・高島・武田「鉄筋コンクリート造無開口耐震壁に関する実験」 建築学会北海道支部研究報告, 昭52.3
- 14 C) 馬場「耐震壁の復元力特性に関する研究その3」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭53.9
- 15 C) 深田「鉄筋コンクリート造耐震壁の動的破壊実験」 建築学会大会学術講演梗概集, 昭54.9
- 16 C) 村橋「RC造独立耐震壁の強度および変形状に関する実験研究」 建築学会九州支部研究報告, 昭55.2
- 17 C) 徳広・三谷・源川・荒・山崎「周辺架構の構造形式が異なる耐震壁に関する実験的研究 その1, その2, その3」 建築学会九州支部研究報告, 昭55.2