

[101] 連層耐震壁の水平耐力に関する実験資料の解析

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)

正会員 ○上原修一 (九州大学大学院)

1. 序

無開口単独耐震壁の水平耐力に関し、せん断破壊する場合の耐力は富井・江崎の提案式、曲げ破壊する場合の耐力は広沢の提案式により精度よく算定できることが明らかにされている^{1)~5)}。一方、連層耐震壁の実験は、近年特に活発に行なわれており、試験体累計で100体以上にものぼっている。

そこで、本論では、これらの実験資料を用いて、連層耐震壁の水平耐力を先の提案式により精度よく算定できるかどうかを検討した。

2. 資料の収集と分類

実験資料より収集した試験体より、破壊形式が次の3種類の破壊形式のひとつに該当するもの87体(2層のもの46体、3層のもの41体)を選び、解析の対象とした。

- i) 引張側柱主筋が引張降伏後耐力に達したものの、つまり曲げ破壊あるいは曲げせん断破壊したもの(76体)
- ii) 引張側柱主筋が引張降伏せず壁板のスリップ破壊によって耐力が支配されたもの(8体)
- iii) 引張側柱主筋が引張降伏せず同一層の柱のせん断破壊によって耐力が支配されたもの(3体)

また、収集した資料を加力形式別に、次の2種類に分けた。

- i) 最上層にのみ加力したもの(各層においてせん断力が一定のもの)(37体)
- ii) 各層に加力したもの(各層においてせん断力が変化するもの)(50体)

破壊形式による分類で曲げ破壊と曲げせん断破壊の区別をしなかったのは、両破壊形を区別することが困難なこと、両破壊形に耐力上の差異がほとんど見られないことによる。

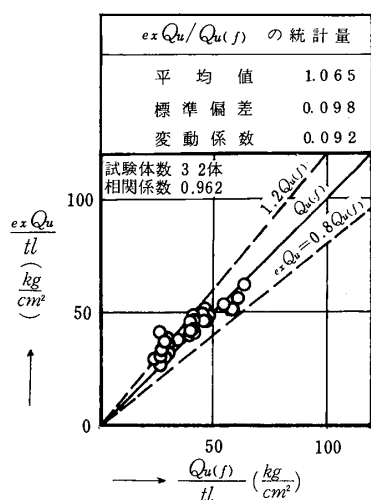


図1 曲げ破壊及び曲げせん断破壊試験体中の最上層加力試験体に関する $ex Qu/tl$ と $Qu(f)/tl$ の関係

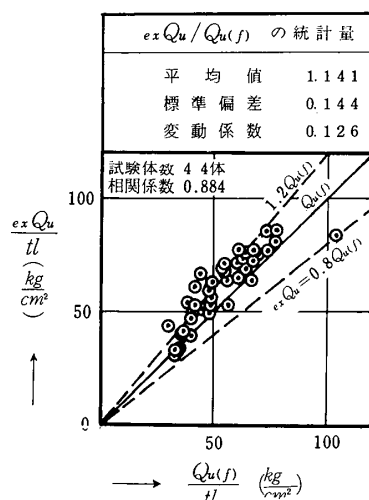


図2 曲げ破壊及び曲げせん断破壊試験体中の各層加力試験体に関する $ex Qu/tl$ と $Qu(f)/tl$ の関係

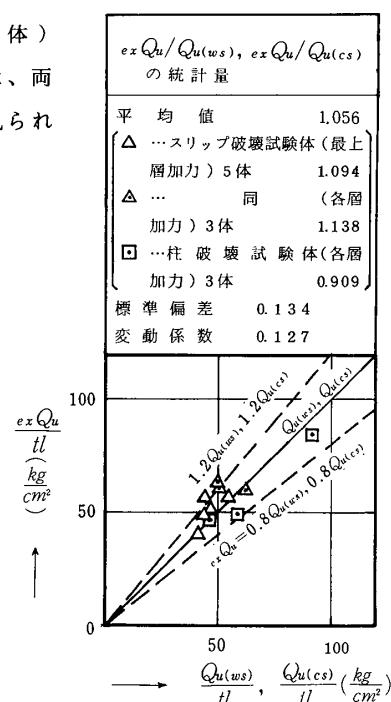


図3 スリップ破壊及び同一層における柱破壊試験体に関する $ex Qu/tl$ と $Qu(ws)/tl$, $Qu(cs)/tl$ の関係

なお、解析の対象とした試験体の実験値、各提案式による算定値及び破壊形式一覧を表1に示した。

3. 検討に用いた水平耐力算定式

曲げ破壊耐力算定式については広沢の提案式⁵⁾、せん断破壊耐力算定式については富井・江崎の提案式^{1)~4)}を用いた。

ここで、図表に用いた記号は以下の通りである。

$ex Q_u$: 水平耐力実験値

$Q_u(f)$: 広沢の曲げ破壊耐力式による算定値

$Q_u(ws)$: 富井・江崎の壁板のスリップ破壊によって耐力が支配される場合の水平耐力式による算定値

$Q_u(cs)$: 富井・江崎の側柱のせん断破壊によって耐力が支配される場合の水平耐力式による算定値

4. 各水平耐力算定式による検討

図1～図3は、破壊形式別に実験値と算定値の関係を示す。

図1、図2より、曲げ破壊及び曲げせん断破壊したもののうち、最上層加力のものは実験値と算定値がほぼ一致するが、各層加力のものは実験値が算定値をやや上まわる傾向がある。

5. 水平耐力算定値と破壊形式の関係

図5において、曲げ破壊及び曲げせん断破壊したもので各層加力のものは、実験値がスリップ破壊耐力算定値を上まわっているものがある。特に壁筋比が学会規準の制限値0.25%以下のものに多くみられるが、0.25%以上のものでも多少その傾向がある。このように各層加力のもののスリップ破壊耐力が単独耐震壁から得られたスリップ破壊耐力算定値を上まわる傾向を示しているのは、せん断力を集中して加えた単独耐震壁の場合、加力点近傍で壁板のせん断応力度が集中するのに対し、各層加力の場合の最下層ではせん断力の大半が分布荷重として加わり、壁板のせん断応力度がならされるためと考えられる。

また、図7において、柱破壊した3体はすべて各層加力であり、実験値がスリップ破壊耐力算定値を上まわっていること、及び図3において、スリップ破壊したもののうち各層加力のものは、実

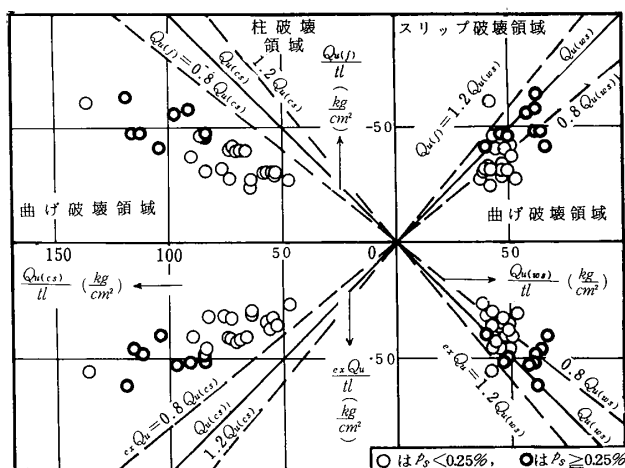


図4 曲げ破壊及び曲げせん断破壊試験体中の最上層加力試験体に関する $Q_u(f)/tl$, $Q_u(ws)/tl$, $Q_u(cs)/tl$, $ex Q_u/tl$ の関係

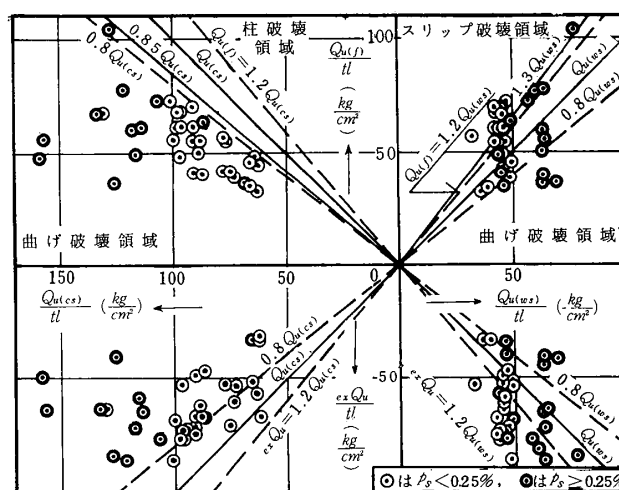


図5 曲げ破壊及び曲げせん断破壊試験体中の各層加力試験体に関する $Q_u(f)/tl$, $Q_u(ws)/tl$, $Q_u(cs)/tl$, $ex Q_u/tl$ の関係

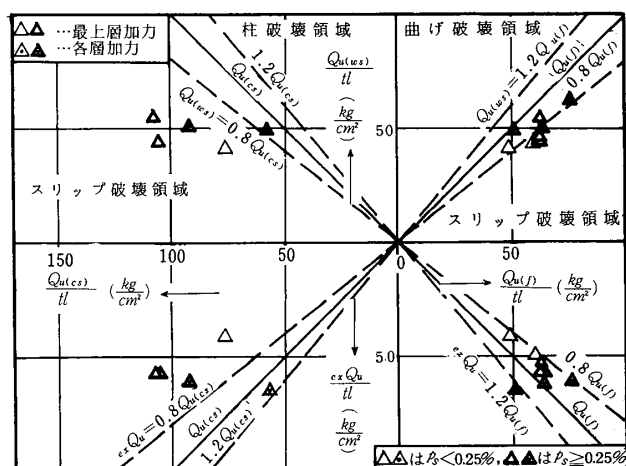


図6 スリップ破壊試験体に関する $Q_u(ws)/tl$, $Q_u(f)/tl$, $Q_u(cs)/tl$, $ex Q_u/tl$ の関係

験値と算定値の比の平均値が1よりやや大きいことは、同様の理由によるものと思われる。

一方、図4の第4象限では、実験値がスリップ算定値を上まわっているものはほとんどないこと、図3でスリップ破壊したものの中の最上層加力の場合は実験値と算定値の比の平均値が各層加力の平均値より1に近いことから、最上層加力の場合のスリップ破壊耐力はスリップ耐力算定値ではほぼ評価できると考えられる。このことは、スリップ破壊したものすべてが、単独耐震壁と同様壁板のせん断応力度の集中の大きい最上層で破壊していることから判断される。

図6から、スリップ破壊したものはすべてスリップ破壊領域にあり、破壊形式が算定値により判別されている。

破壊形を算定値により判別するための必要な条件を示すことは、せん断破壊したものが少ないため難しいが、

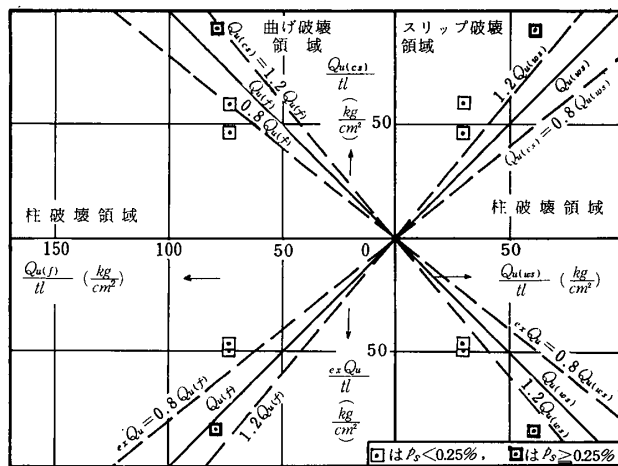


図7 同一層における柱破壊試験体に関する $Q_u(cs)/tl$, $Q_u(ws)/tl$, $Q_u(f)/tl$, $ex Q_u/tl$ の関係 (すべて各層加力試験体)

表1 耐震壁の水平耐力実験値 $ex Q_u/tl$ と算定値 $Q_u(f)/tl$, $Q_u(ws)/tl$, $Q_u(cs)/tl$ 及び破壊形式一覧 (kg/cm^2)

参考文献	試験体名	$ex Q_u/tl$	$Q_u(f)/tl$	$Q_u(ws)/tl$	$Q_u(cs)/tl$	破壊形式	参考文献	試験体名	$ex Q_u/tl$	$Q_u(f)/tl$	$Q_u(ws)/tl$	$Q_u(cs)/tl$	破壊形式
2S)	W7101	41.7	41.2	65.6	73.1	f	4M)	2W-2	47.1	40.1	47.9	85.6	f
	W7102	35.4	31.0	46.5	56.7	f		2W-3	53.3	47.7	算定不可	95.9	f
	W7104	52.3	46.7	46.5	83.6	f		2W-4	69.3	55.1	算定不可	98.9	f
3S)	W7401	36.3	31.0	42.3	53.5	f	5M)	W1-2	84.0	78.3	62.0	92.5	CS
	W7402	33.1	31.0	44.6	算定不可	f		W1-3	72.5	60.0	64.2	117.0	f
	W7403	38.3	31.1	48.7	56.1	f		W1-4	85.7	77.9	63.8	120.8	f
	W7404	33.4	31.0	45.3	54.3	f		W1-5	76.0	65.0	算定不可	算定不可	f
4S)	W7501	41.1	39.6	47.9	66.3	f		W1-6	63.8	56.0	65.0	155.7	f
	W7502	42.6	39.6	44.5	70.4	f		W1-7	41.1	36.6	63.7	125.5	f
	W7503	41.8	39.6	43.6	68.1	f		W1-8	49.6	47.8	算定不可	158.4	f
	W7504	48.7	45.8	48.8	84.3	f		W2-1	64.7	60.9	63.6	112.7	f
5S)	W7505	52.3	63.4	47.5	算定不可	WS		W2-2	81.1	76.7	60.6	算定不可	f
	W7506	56.5	63.3	45.3	104.8	WS		W2-4	43.8	30.2	64.4	算定不可	f
	1WO. 32H	39.7	39.7	43.0	算定不可	f	6M)	W3-1	57.0	48.9	45.1	63.5	f
6S)	1WO. 40H	35.0	32.4	41.3	算定不可	f		W3-2	58.6	48.5	45.8	115.0	f
	1WO. 50H	27.5	26.6	37.9	47.0	f		W3-3	84.0	103.6	77.8	127.0	f
7S)	W7601	53.3	55.6	58.1	97.4	f		110	60.0	75.9	62.9	算定不可	WS
	W7602	41.3	49.3	41.8	76.1	WS	7M)	210	42.3	37.1	69.7	算定不可	f
	W7603	52.4	58.4	61.2	91.1	f		302	63.4	50.1	46.0	88.3	f
8S)	W7604	31.4	26.7	52.9	63.9	f		402	75.3	69.7	43.2	89.8	f
	W7605	32.7	27.6	47.3	72.6	f		404	76.7	71.2	46.9	算定不可	f
	W7606	47.2	42.4	46.6	72.3	f		406	76.7	72.9	57.9	106.0	f
9S)	1WO. 32H2	45.7	41.0	49.7	算定不可	f	8M)	202A	54.0	39.2	50.3	71.8	f
	1WO. 32H3	35.6	29.4	49.8	53.0	f		402A	72.7	61.0	46.5	94.7	f
	1WO. 40C1	38.0	33.6	47.8	算定不可	f		402B	71.3	61.0	45.1	90.2	f
10S)	76W101	30.0	24.5	42.2	64.5	f		402C	76.7	61.0	43.8	95.6	f
	76W201	40.6	36.5	51.0	90.4	f	9M)	602D3	86.0	73.2	48.8	99.6	f
	76W401	49.1	60.2	44.2	算定不可	WS		602D4	70.5	54.9	48.4	74.7	f
11S)	77W202	47.6	48.0	60.6	112.4	f		602D5	67.2	43.9	48.1	60.7	f
	77W203	39.6	40.8	39.8	104.0	f	11M)	D3/120	31.3	33.1	算定不可	61.8	f
	77W204	46.3	48.0	64.1	115.7	f		D3/190	32.7	33.5	40.0	算定不可	f
	77W205	31.7	31.4	40.5	82.9	f		D15/190	64.0	66.9	算定不可	132.1	f
12S)	78W207	55.8	61.3	41.6	136.4	f		D3MW/190	34.0	35.4	46.5	64.6	f
	78W208	31.9	32.1	40.5	76.3	f	12M)	D3MH/190	33.3	33.4	37.4	61.8	f
13S)	79W402	61.7	64.2	62.1	119.1	f		79W209	52.4	45.7	49.9	65.4	f
	79W403	46.4	46.2	42.6	83.7	f	13M)	79W210	64.4	67.3	46.2	130.4	f
14S)	RCW	56.7	62.0	55.3	106.9	WS		80D3/2M	61.3	42.4	45.7	73.6	f
	N.7(FW3B)	52.8	57.1	32.6	77.2	f		80D3/2A	53.3	42.4	46.0	77.3	f
1M)	N.8(FW4B)	68.1	63.8	50.2	86.0	f		80D3/3M	66.7	55.0	43.0	87.2	f
	RCA(FW4A)	61.1	63.8	51.2	92.2	WS		80D3/3A	67.3	55.0	43.8	90.2	f
2M)	RCB(FW7)	63.9	52.4	50.4	57.2	WS		80D3/4M	77.3	67.7	43.6	96.8	f
	PC-31(FW6A)	48.6	72.8	29.9	58.7	CS		80D3/4A	73.3	67.7	43.8	95.9	f
3M)	PC-32(FW6B)	45.8	72.8	29.9	46.2	CS		MS-3	40.5	40.2	46.8	算定不可	f
	2W-1	49.3	41.3	45.6	89.6	f							

i) 破壊形式において f; 曲げ破壊あるいは曲げせん断破壊, WS; スリップ破壊, CS; 柱破壊である。

ii) 算定値一覧において算定不可と記したものは、 $Q_u(ws)/tl$ の場合適用範囲外 ($N > Q_u(ws)$) のものであり、 $Q_u(cs)/tl$ の場合ひび割れ角度 θ が不明なものである。

曲げ破壊、曲げせん断破壊したものが多数あることから、曲げ破壊あるいは曲げせん断破壊を先行させるための必要条件を示せば、図 4，図 5 の第 1，第 2 象限より次式を得る。

$$Q_{u(f)} \leq 1.3 Q_{u(ws)}, \quad Q_{u(f)} \leq 0.85 Q_{u(cs)}$$

6. 結 論

各層に加力した連層耐震壁のスリップ破壊耐力は、せん断力の大半が分布荷重として加わり、壁板のせん断応力度がならされるため、加力点近傍で壁板のせん断応力度の集中を生ずるような単独耐震壁の実験結果より求めたスリップ破壊耐力算定値を上まわる傾向にあることが明らかとなった。

このことは、建物中の耐震壁に加わるせん断力がほとんど分布荷重となる実情を考慮すると、スリップ破壊耐力算定式は、連層耐震壁のスリップ耐力を安全側に評価していることになるが、破壊形式の判別にあたっては注意する必要がある。

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。

〈謝辞〉 資料の整理には卒論生、尾宮洋一氏の協力を得た。また、熊本大学工学部村橋助教授、九州共立大学工学部毛井講師には終始貴重な助言を得た。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 富井他「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」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 56.9
- 2) 富井他「鉄筋コンクリート耐震壁の水平耐力に関する研究 その 2」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 56.9
- 3) 富井他「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」 九州支部研究報告 昭 57.3
- 4) 富井他「鉄筋コンクリート耐震壁のせん断破壊形式の判別法」 第 4 回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1982
- 5) 広沢「既往の鉄筋コンクリート造耐震壁に関する実験資料とその解析」 建築研究資料 No. 6 昭 50.3
- 6) 富井他「既往の実験資料による建層耐震壁の水平耐力に関する研究」 九州支部研究報告 昭 57.3

最上層加力試験体に関するもの：

- 1 S) 小倉他「耐震壁の研究（その 18）実験的考察 No. 5」 日本建築学会研究報告集 昭 26.10
- 2 S) 遠藤他「中層鉄筋コンクリートビルおよび高架橋等の地震による崩壊防止に関する特別研究」 建築研究所年報 昭 46
- 3 S) 小野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 4」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 50.10
- 4 S) 小野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 7」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 51.10
- 5 S) 遠藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 8」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 51.10
- 6 S) 後藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 9」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 51.10
- 7 S) 小野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 16」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 52.10
- 8 S) 遠藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 17」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 52.10
- 9 S) 後藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 18」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 52.10
- 10 S) 佐藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する実験研究その 1」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 52.10
- 11 S) 佐藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する実験研究その 3」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 53.9
- 12 S) 小野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する実験研究その 8」 関東支部研究報告 昭 54
- 13 S) 佐藤他「鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する実験研究その 9」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 55.9
- 14 S) 武田他「変形能力のあるせん断破壊型鉄筋コンクリート耐震壁に関する実験的研究その 1」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 56.9

各層加力試験体に関するもの：

- 1 M) 小倉他「耐震壁の研究（その 24）実験的考察 No. 6」 日本建築学会研究報告集 昭 27.5
- 2 M) 武藤他「鉄筋コンクリート二層耐震壁についての実験的研究 No. 1」 日本建築学会論文報告集 昭 28.9
- 3 M) 黒正他「鉄筋コンクリート二層耐震壁についての実験的研究 No. 2」 日本建築学会研究報告集 昭 30.5
- 4 M) 広沢他「軸方向荷重を有する有壁ラーメンの水平耐力その 1 実験結果」 日本建築学会論文報告集 昭 40.2
- 5 M) 菅野他「曲げ・せん断・軸力をうける鉄筋コンクリート耐震壁に関する研究」 竹中技術研究報告 昭 50.10
- 6 M) 狩野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 6」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 50.10
- 7 M) 狩野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 10」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 51.10
- 8 M) 狩野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究その 19」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 52.10
- 9 M) 高木他「小型 3 層鉄筋コンクリート造耐震壁の強度及び変形性状に関する実験的研究」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 53.9
- 10 M) 狩野他「小型 3 層鉄筋コンクリート造耐震壁の強度及び変形性状に関する実験的研究」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 54.9
- 11 M) 高木他「小型 3 層鉄筋コンクリート造耐震壁の強度及び変形性状に関する実験的研究その 1」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 55.9
- 12 M) 小野他「鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する研究その 10」 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 55.9
- 13 M) 狩野他「小型 3 層鉄筋コンクリート耐震壁の強度及び変形性状に関する実験的研究」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 56.9
- 14 M) 狩野他「鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の開口周比に関する実験的研究」 日本建築学会学術講演梗概集 昭 56.9
- 15 M) Jack R Benjamine, "Investigation of Shear Walls Part II continued studies of combined normal and shear load ultimate resistance of multi-story shear wall bents and resistance of brick walls" December 1956