

論文 側柱脚部のせん断強度に及ぼす軸方向力の影響

本多貴士^{*1}・江崎文也^{*2}・小野正行^{*3}・姜優子^{*4}

要旨:耐震壁付帯ラーメン側柱の応力状態を再現できる側柱要素試験体のせん断実験法を用いて、鉛直荷重による一定軸方向力を変動因子としたせん断力載荷実験を実施した。実験結果によれば、要素試験体の破壊機構は、耐震壁側柱のせん断破壊機構に極めて近似していることがわかった。また、軸方向力が増大すると側柱のせん断強度が上昇し、せん断強度は変動軸力も含めた軸方向応力度に影響を受けていることがわかった。

キーワード:耐震壁,側柱,せん断破壊,せん断強度,軸方向応力度

1. 序

耐震壁の付帯柱には鉛直荷重による一定軸方向力が作用していることから、側柱のせん断強度に及ぼす鉛直荷重による軸方向応力度の影響を明らかにする必要がある。前報¹⁾では、側柱の補強筋量を一定とし、鉛直荷重による軸方向応力度を変動因子とした側柱のせん断実験について報告した。それによれば、側柱のせん断強度上昇分が側柱に作用する鉛直荷重軸方向応力度に比例していることがわかった。しかし、側柱には変動軸力も作用していることから、側柱のせん断強度に及ぼす変動軸力も含めた軸方向応力度の影響を明らかにする必要がある。そこで、主筋量や帯筋量を変化させた試験体について、鉛直荷重による軸力を変動因子としたせん断実験を計画した。本論は、これらの実験結果について述べるとともに、変動軸力も含めた軸力が耐震壁側柱のせん断強度に及ぼす影響について検討した結果を述べるものである。

び割れが生じるのみである。そこで、せん断破壊の恐れが大きい耐震壁側柱脚部を想定し、実物の約1/3縮尺モデル側柱要素試験体によるせん断実験により側柱のせん断強度を検討することにした。壁板の厚さは、最大耐力時に壁板のスリップ破壊が先行しないように決めた。

表 - 1 に試験体一覧を示す。試験体にはEx-y-z-nの記号を付けている。xはコンクリートシリンドラー圧縮強度 σ_B の値(MPa), yは主筋比 p_g の値(%), zは帯筋比 p_w の値(%), nは鉛直荷重による側柱の軸圧縮応力度 $\sigma_o(N/(bD))$ (MPa)をそれぞれ示している。試験体の主筋比および帯筋比については、日本建築学会RC構造計算規準に規定されている柱主筋比の最小値0.8%に近い値と、そのおよそ3倍に近い値、および帯筋比の最小値0.2%に近い値と最大値1.2%に近い値を

2. 実験概要

2.1 試験体

耐震壁がせん断破壊を起こす場合、図 - 1 に示すように、側柱の柱頭や柱脚部分のせん断破壊が先行する場合がある。この部分は地震力による正負繰り返し水平力を受けても一方のひ

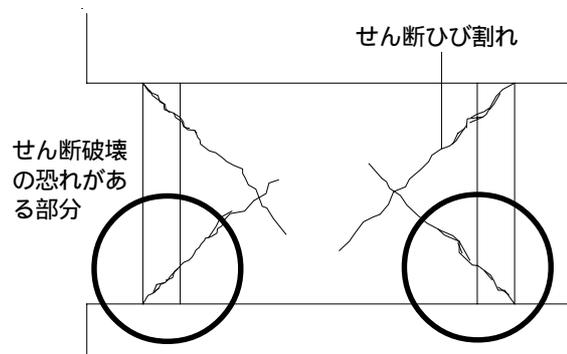


図 - 1 耐震壁のせん断実験における破壊機構

*1 平成建設 工修 (正会員)

*2 九州共立大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 近畿大学教授 九州工学部建築学科 博士(工学) (正会員)

*4 近畿大学大学院 産業技術研究科造形学専攻 工修 (正会員)

設定し、その組み合わせによる3つの実験シリーズを計画した。各シリーズの実験変動因子は、鉛直荷重による側柱圧縮応力度 σ_0 である。

図 - 2 に試験体形状・配筋およびゲージ貼付位置を示す。

表 - 2 に使用した材料の力学的性質を示す。

2.2 荷重方法および測定装置

図 - 3 に示す自己バランス型の鉛直荷重載荷装置を用いて、側柱の軸心上に所定の鉛直荷重に相当する軸方向力を載荷後、試験機により手動によるコントロールで一方向単調増加荷重を載荷した。軸方向力は、試験機での載荷開始が

表 - 1 試験体一覧

specimen	edge column			wall		Vertical Load N/bD (MPa)
	cross section $b \times D$ (mm \times mm)	longitudinal reinforcement	transversal reinforcement	thickness (mm)	reinforcement	
E18-3-0.3-0	200 \times 200	10-D13 ($p_g = 3.2\%$)	D6@100 ($p_w = 0.32\%$)	100	D6@100mm (single layer) ($p_s = 0.32\%$)	0
E18-3-0.3-2						2
E18-3-0.3-4						4
E28-1-0.3-0	200 \times 200	6-D10 ($p_g = 1.1\%$)	D6@100 ($p_w = 0.32\%$)	100	D6@100mm (single layer) ($p_s = 0.32\%$)	0
E28-1-0.3-2						2
E28-1-0.3-4						4
E30-3-1.2-0	200 \times 200	10-D13 ($p_g = 3.2\%$)	D6@25 ($p_w = 1.28\%$)	100	D6@100mm (single layer) ($p_s = 0.32\%$)	0
E30-3-1.2-2						2
E30-3-1.2-4						4

p_g : 主筋比, p_w : 帯筋比, p_s : 壁筋比, N : 鉛直荷重, b : 側柱幅, D : 側柱せい

表 - 2 使用材料の力学的性質

コンクリート

Specimen	σ_B (MPa)	E_C (GPa)
E18-3-0.3-(0,2,4)	17.5	14.2
E28-1-0.3-(0,2,4)	28.2	22.2
E30-3-1.2-(0,2,4)	29.7	21.2

σ_B : シリンダー圧縮強度 (MPa), E_C : ヤング係数 (GPa)

鉄筋

bar	a	σ_y	σ_u	E_s	ϵ
D6	0.32	371	504	197	11.5
D10	0.71	375	528	178	21.6
D13	1.27	354	486	185	21.5

a: 断面積 (cm²), σ_y : 降伏点 (MPa), σ_u : 引張強度 (MPa)
 E_s : ヤング係数 (GPa), ϵ : 伸び (%)

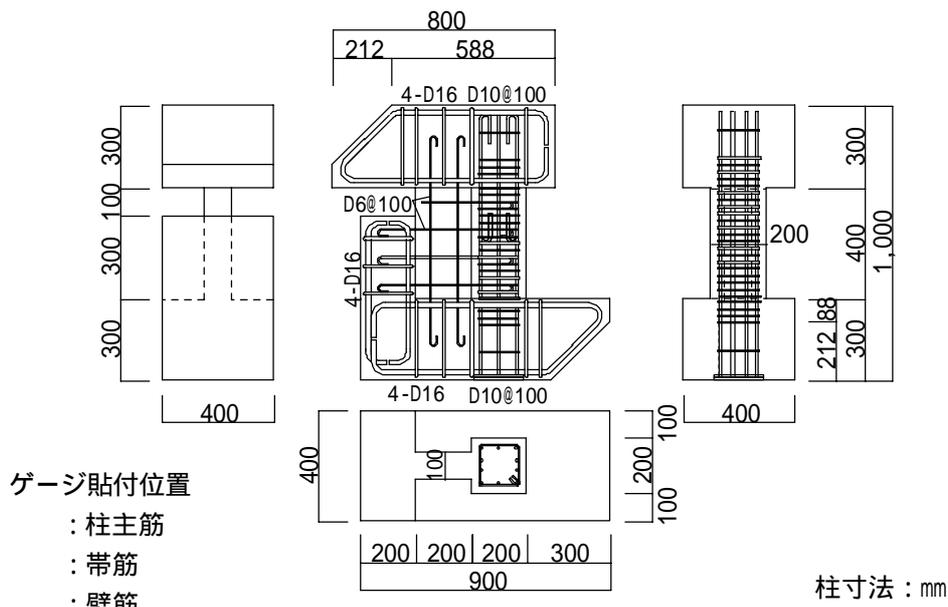


図 - 2 試験体形状・配筋およびゲージ貼付位置

ら実験終了まで一定値となるように制御した。なお、試験体下部は試験体ベッドに直接タッチさせた。

図 - 4 に示す測定装置を用いて、柱の水平および鉛直変形を測定した。また、図 - 2 に示す位置の柱主筋、帯筋および壁筋の各補強筋のひずみをワイヤーストレンゲージにて測定した。

荷重、変位および鉄筋のひずみの測定は、連続的に荷重を載荷しながら 0.1sec のサンプリング間隔でハードディスクに記録した。試験体に生じたひび割れの記録は、目視およびビデオ撮影によった。載荷速度はおよそ 1.6kN/sec である。

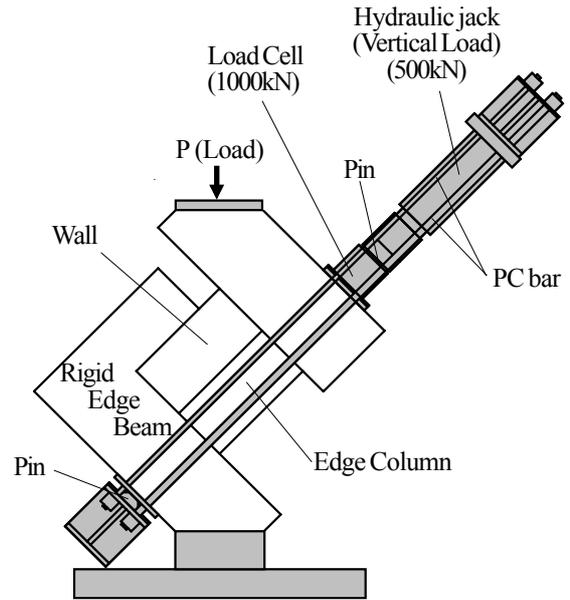


図 - 3 載荷方法

3. 実験結果

3.1 破壊性状

図 - 5 に、各試験体の水平荷重 Q と側柱部材角 R ($=$ 柱水平変位 / 柱内法高さ) および Q と側柱軸方向平均ひずみ ε_v ($=$ 柱鉛直変位 / 柱内法高さ) の各関係、図 - 6 に実験終了時のひび割れ状況を示す。なお、水平荷重 Q は試験機の荷重 P の水平成分とした。載荷荷重を徐々に増加させていくと、いずれの試験体とも、想定した破壊線に沿ったひび割れが側柱横の壁板に発生した。このひび割れは、側柱との境界部分へ

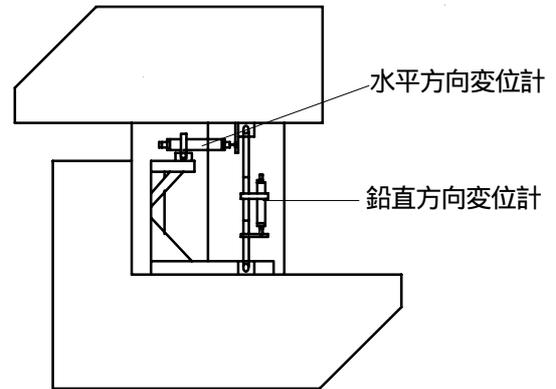


図 - 4 測定装置

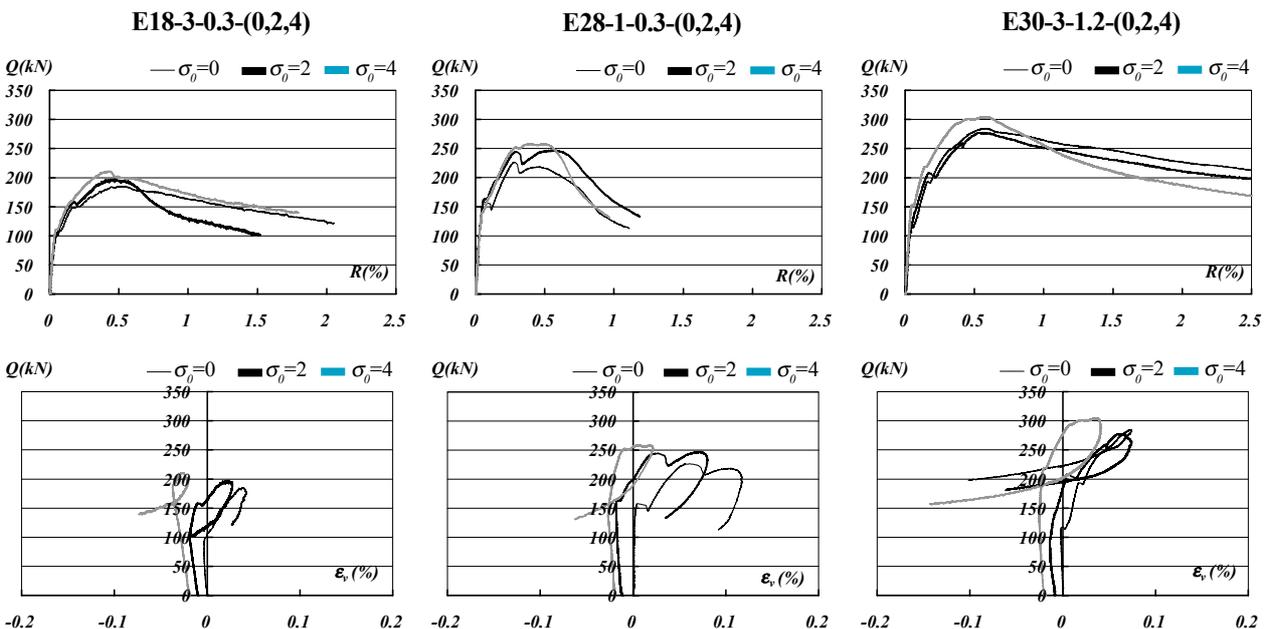


図 - 5 各試験体の水平荷重 Q と側柱部材角 R との関係および側柱軸方向平均ひずみ ε_v との関係

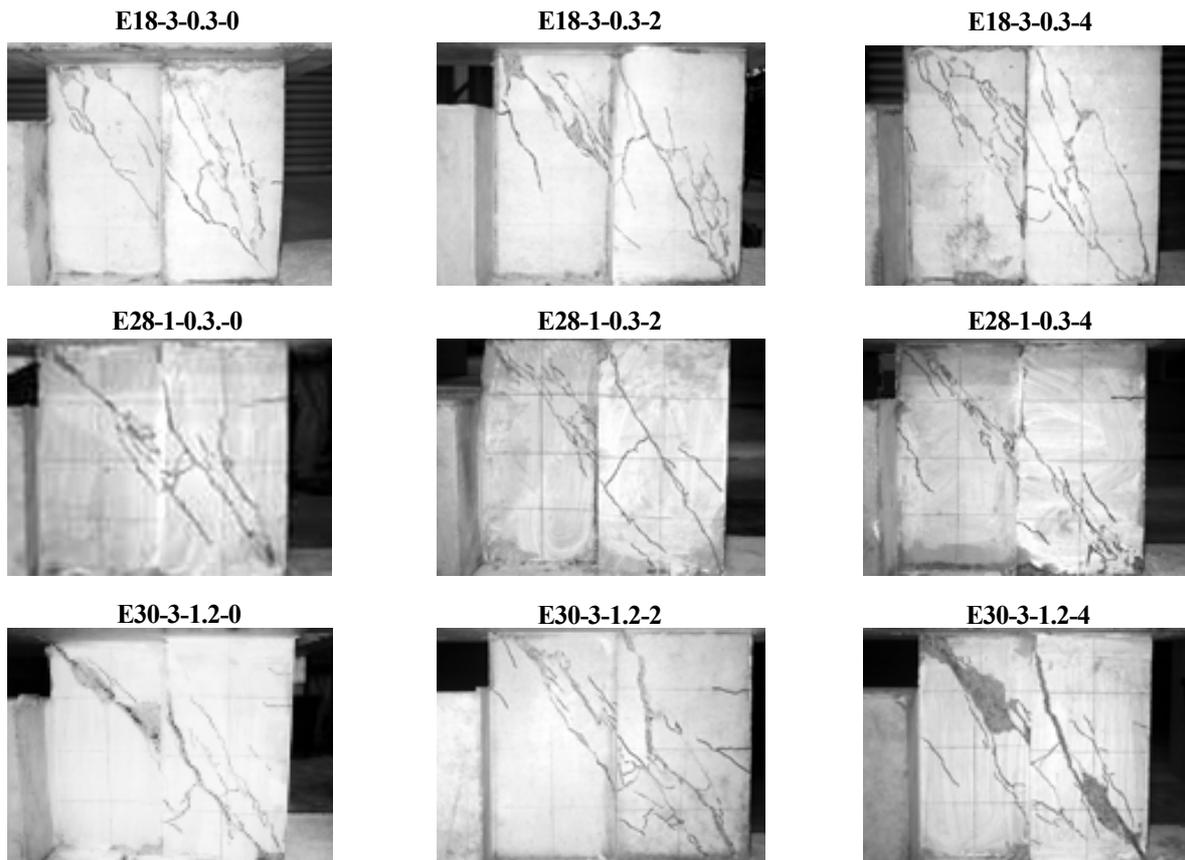


図 - 6 実験終了時のひび割れ状況

進展し、ひび割れの発生と同時に荷重が一旦低下するが、主筋量および鉛直荷重による軸方向力が增大するほど、荷重の低下は少なかった。ひび割れ発生後は徐々に荷重が増加し、側柱にも斜めせん断ひび割れが発生した。いずれの試験体とも側柱部材角 R がおよそ 0.5% 程度になると最大荷重に達し、最大荷重時には、壁板に生じたひび割れと柱に生じたひび割れが連続して、想定した破壊線が形成された。ひび割れの形状および本数は、いずれの試験体ともほぼ同じ状況であった。ひび割れ状況によれば、既往の耐震壁側柱のせん断破壊状況にきわめて類似していることがわかる。

最大荷重後は、想定した破壊線に沿ったひび割れ幅が拡大するとともに、壁板隅角部に圧壊現象が観察され、徐々に荷重が低下した。図 - 5 に示す側柱の平均軸方向ひずみ履歴曲線によれば、所定の鉛直荷重を載荷した試験体には軸方向圧縮ひずみが生じている。その後の試験機の荷重 P により側柱に変動軸力が作用するため、徐々に圧縮ひずみが増加するが、側柱にせ

ん断ひび割れが生じると、急激な伸びひずみが生じている。しかし、最大荷重後は伸びひずみの増加が停止または鈍化し、その後縮む方向に変化している。一般に部材がせん断破壊を起こすと部材が縮む現象が起こる。軸方向ひずみ履歴曲線から判断すると、最大荷重時には側柱がせん断破壊しているものと考えてよい。

図 - 7 に、主筋、帯筋および壁縦筋の各荷重ひずみ履歴曲線の一例を示す。これらによれば、最大荷重時には壁横筋は降伏しているようである。一方、主筋および帯筋は、いずれの試験体とも柱にひび割れが生じた後には引張ひずみが生じるが、最大荷重時には降伏ひずみに達していない。

3.2 強度性状

表 - 3 に、実験結果の一覧を示す。最大荷重時の側柱部材角は、鉛直荷重による軸方向力の有無にかかわらず、ほぼ同程度であった。側柱に作用する鉛直荷重による一定荷重 N が大きくなると最大荷重が増大している。そこで、側柱のせん断強度に及ぼす軸方向応力度の影響を

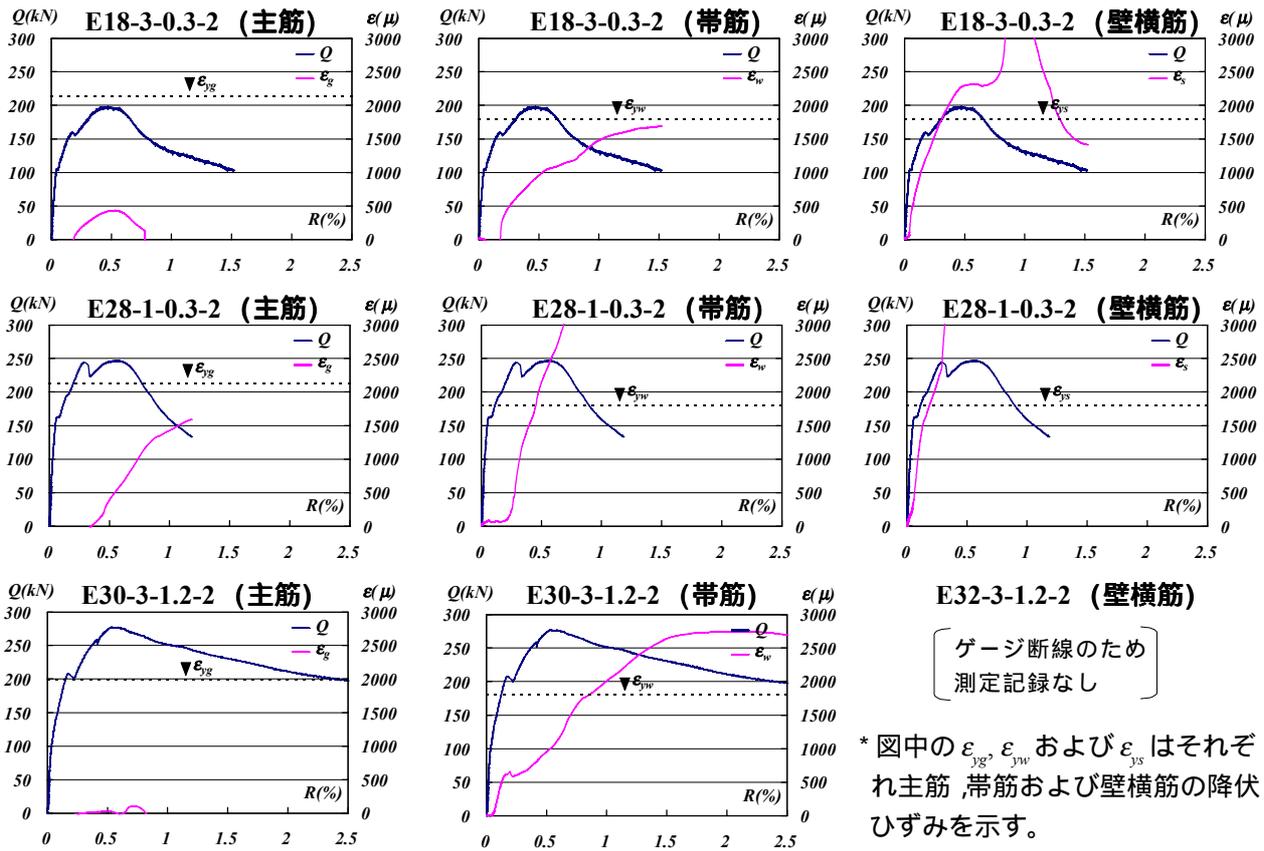


図 - 7 各試験体の主筋, 帯筋および壁横筋の各荷重ひずみ履歴曲線の一例

考察するため, 図 - 8 に示す側柱脚部のせん断破壊時の応力から, 側柱せん断強度 Q_{cu} と変動軸力を考慮した軸方向力 N_{cu} を求め, Q_{cu} と N_{cu} の関係を検討することにした。側柱せん断強度 Q_{cu} および側柱軸方向力 N_{cu} は, 壁筋が降伏していると仮定し, (1) 式および (2) 式により Q_{cu} と N_{cu} を求めた。 Q_{cu} と N_{cu} を側柱の断面積 bD (b : 側柱幅, D : 側柱せい) で除した側柱のせん断強度 $Q_{cu}/(bD)$ と軸方向応力度 $N_{cu}/(bD)$ との

表 - 3 実験結果一覧

Specimens	First crack		Maximam	
	Q_{cr}	R_{cr}	Q_u	R_u
E18-3-0.3-0	112	0.09	185	0.47
E18-3-0.3-2	106	0.06	200	0.48
E18-3-0.3-4	115	0.05	211	0.46
E28-1-0.3-0	153	0.13	226	0.28
E28-1-0.3-2	163	0.08	247	0.58
E28-1-0.3-4	141	0.06	258	0.51
E30-3-1.2-0	117	0.05	285	0.59
E30-3-1.2-2	106	0.04	277	0.59
E30-3-1.2-4	153	0.06	305	0.60

Q_{cr} : ひび割れ時のせん断強度, R_{cr} : ひび割れ時の部材角
 Q_u : 最大耐力時のせん断強度, R_u : 最大耐力時の部材角

関係を, 図 - 9 に示す。各試験体のコンクリート圧縮強度 σ_B が異なることから, それらを σ_B で除した値で比較した。

$$Q_{cu} = Q_u - Q_w \quad (1)$$

$$N_{cu} = N_u + N_w + N \quad (2)$$

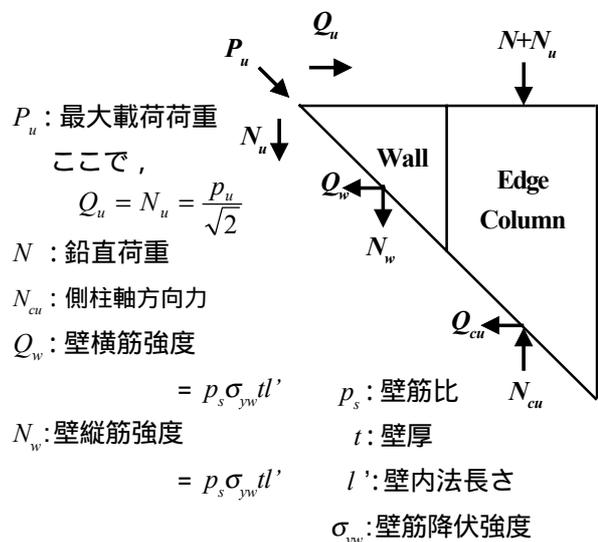


図 - 8 側柱脚部破壊時の応力

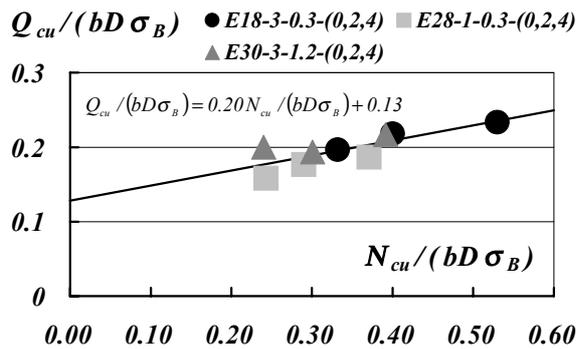


図 - 9 側柱のせん断強度 $Q_{cu}/(bD\sigma_B)$ と軸方向応力度 $N_{cu}/(bD\sigma_B)$ との関係

これらによると、せん断強度 $Q_{cu}/(bD\sigma_B)$ は、変動軸力を含めた軸方向応力度 $N_{cu}/(bD\sigma_B)$ に比例していることがわかる。この関係を回帰直線として求めてみると(3)式が得られた。(3)式で示す N_{cu} の定数0.2は、文献3)より小さい値となった。これらについては、今後、更に検討する予定である。

$Q_u=N_u$ および $Q_w=N_w$ を考慮し、(1)式、(2)式および(3)式を用いると、側柱要素試験体のせん断耐力 Q_u が(4)式で表される。

$$Q_{cu}/(bD\sigma_B)=0.20N_{cu}/(bD\sigma_B)+0.13 \quad (3)$$

$$Q_u=1.5Q_w+0.25N_u+0.16bD\sigma_B \quad (4)$$

鉛直荷重が作用していない側柱要素試験体²⁾の場合にも変動軸力が作用する。そこで、変動軸力の影響を検討するため、これらの実験値 $ex Q_u$ と(4)式で求めた計算値 $cal Q_u$ の関係を図-10に示した。これらによれば、変動軸力も含めた軸力の影響を考慮した(4)式により側柱要素試験体のせん断耐力をおよそ予測できるものと考えられる。

4. 結論

鉛直荷重による一定軸方向力が側柱のせん断強度に及ぼす影響を検討するため、軸方向力を変動させた実験を行った結果、以下のことがわかった。

1) 実験終了時の破壊状況は、耐震壁側柱のせん断破壊状況と酷似していた。

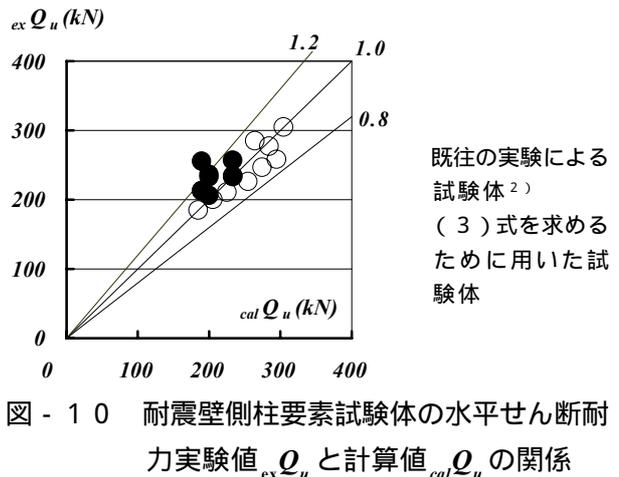


図 - 10 耐震壁側柱要素試験体の水平せん断耐力実験値 $ex Q_u$ と計算値 $cal Q_u$ の関係

2) 最大荷重時の側柱部材角は、鉛直荷重による軸方向力の有無にかかわらず、ほぼ同程度であった。

3) 側柱に作用する軸方向力に比例して側柱のせん断強度が上昇した。

4) 本実験より導いた耐震壁側柱のせん断強度式を用いると、耐震壁側柱要素試験体のせん断強度をおよそ予測できる。

今後は、側柱がせん断破壊を起こして水平せん断耐力に達した耐震壁の水平せん断耐力と、本実験から得られた側柱のせん断強度との関係を検討する予定である。

参考文献

- 1) 徳田俊宏、江崎文也、小野正行、本多貴士：鉛直荷重による軸力が耐震壁側柱のせん断強度に及ぼす影響、日本コンクリート工学年次論文報告集、Vol.24、No.2、pp.535-540、2002.6
- 2) 徳田俊宏、江崎文也、小野正行：軸力が作用しない耐震壁側柱のせん断強度に関する実験的研究、日本コンクリート工学年次論文報告集、Vol.23、No.3、pp.493-498、2001.7
- 3) 富井正英・江崎文也：Lateral Shear Capacity of One-Bay One-Story Reinforced Concrete Framed Shear Walls Whose Edge Columns or Edge Beam Fail in Shear、日本建築学会構造系論文報告集、第27号、pp.225-228、1983