

論文 壁厚が部分的に異なる壁板を有する RC 有開口耐震壁の履歴性状

久保田雅和*1・小野正行*2・江崎文也*3

要旨：RC有開口耐震壁の靱性を改善するために、開口上下壁板の壁厚を部分的でなく全部薄くする方法を考案した。この方法による有開口耐震壁の履歴性状を検討するため、開口幅が同じ袖壁付きの試験体および壁厚を薄くした開口上下壁板の断面位置を実験変動因子とした一定軸力下の水平力載荷実験を実施した。その結果、開口上下壁板全部の壁厚を薄くした場合、水平せん断耐力以後の耐力低下が緩やかになり、靱性が改善される傾向があることがわかった。

キーワード：有開口耐震壁，靱性，せん断破壊，スリット

1. 序

比較的小さな開口を有するRC有開口耐震壁の場合、開口横の壁板がスリップ状せん断破壊を起こし、急激に水平せん断耐力が低下する脆性的な破壊性状を示すことが観察されている。このような脆性的な破壊性状をある程度改善するために、著者らは、せん断破壊が先行する無開口耐震壁の中央に開口周比が0.28の比較的小さな開口を設けた有開口耐震壁とその開口上下壁板の壁厚を部分的に薄くしたスリットを設けた有開口耐震壁との比較実験を行った。その結果、スリットを設けた有開口耐震壁は、水平せん断耐力以後の耐力低下が緩やかになり、スリット無しの有開口耐震壁よりも靱性が改善される傾向があることがわかった²⁾。そこで、これらの結果を考慮して、RC有開口耐震壁の靱性改善策として開口上下壁板の壁厚を部分的ではなく開口上下壁板を全部薄くする方法を考案した。この方法によるRC有開口耐震壁の履歴性状を検討するため、その耐震壁と同じ開口幅を有する袖壁付きの試験体および壁厚を薄くした開口上下壁板の断面位置を実験変動因子とした一定軸力下の水平力載荷実験を計画した。

本論は、壁板の壁厚が開口上下壁板のみ異なる

RC有開口耐震壁の履歴性状について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1に試験体一覧を示す。図-1に試験体形状・寸法・配筋および開口上下部壁板の形状・配筋を示す。表-2には使用した材料の力学的性質を示す。打設したコンクリートは壁厚が20mmのところもあるのでスランプは21cm、粗骨材粒径は12mm以下を使用した。実験変動因子は、開口上下壁板の断面位置である。試験体にはSWt- ξ C-0[A]の記号を付けている。Sはせん断破壊先行、Wは壁板、tは壁厚(cm)、 ξ は開口周比 $\sqrt{h_0/hl}$ (h_0 : 開口高さ、 l_0 : 開口幅、 h : 壁板の高さ、 l : スパン長)、Cは中央開口、0: 開口上下壁板の壁厚が他の部分の壁板と同じ、Aは開口上下壁板の断面位置(SCT1: 壁芯・壁筋有り、SET1: 偏芯・壁筋有り)をそれぞれ示している。試験体の断面設計にあたっては、無開口耐震壁に関して提案されている曲げ耐力によって決まる水平せん断耐力算定値 Q_{uf} ³⁾およびせん断耐力によって決まる水平せん断耐力値 Q_{us} ⁴⁾を用い、無開口耐震壁のせん断余裕度 Q_{us}/Q_{uf} が0.7程度となるように、断面を設

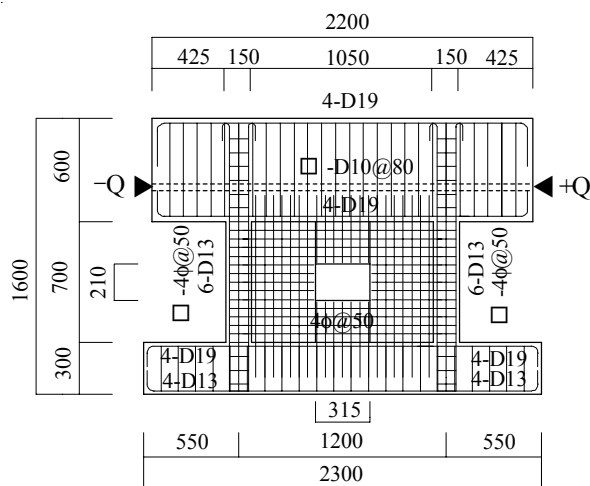
*1 近畿大学大学院 産業技術研究科造形学専攻 (正会員)

*2 近畿大学教授 九州工学部建築学科 博士 (工学) (正会員)

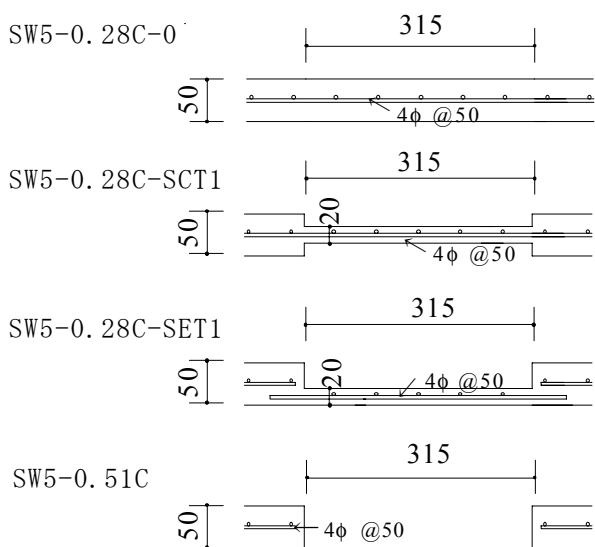
*3 九州共立大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

表－１ 試験体一覧（※１：文献２参照）

Specimen	Column			Wall		Dimension of opening (h ₀ ×l ₀ =mm×mm)
	Section b×D(mm×mm)	Longi.rein. P _g (%)	Hoop P _w (%)	Thickness (mm)	Reinforcement P _s (%)	
SW5-0.28C-0※1	150×150	6-D13	4φ@50	50	4φ@50	210×315
SW5-0.28C-SCT1		3.39	0.33		Single layer	
SW5-0.28C-SET1					0.5	
SW5-0.51C						



▶： 荷重位置



寸法単位：mm

図－１ 試験体形状・寸法・配筋および開口上下壁板の断面形状・配筋

計した。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

荷重装置を図－２に、荷重プログラムを図－３に示す。荷重にはコンピュータ制御によるアクチュエータ３台を用いた。試験体両側柱

表－２ 使用材料の力学的性質

(1) コンクリート

Specimen	σ _B	σ _t
SW5-0.28C-0	30.9	2.3
SW5-0.28C-SCT1	25.6	2.4
SW5-0.28C-SET1		
SW5-0.51C		

σ_B：シリンダー圧縮強度 (MPa), σ_t：引張強度 (割裂強度) (MPa)

(2) 鉄筋

Bar	a	σ _y	σ _u	E _s	ε (%)
4φ	0.12	178	289	120	37.7
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 (%)

の中心に、それぞれ110kNの鉛直荷重を２台のアクチュエータで荷重し、実験終了時まで一定に保持するようにした。鉛直荷重載荷後は、図－３に示すような荷重プログラムにて、試験体に変位漸増正負繰返し水平力をアクチュエータにて荷重した。また、せん断スパン比 (= M/Ql) が0.75となるように基礎梁上端より90cmの位置で水平力を荷重し、水平力の荷重速度 V_R は、上部の剛な側梁下端の層間変形角 R の速度が0.014%/secになるようにした。図－３に示す R は、上部の剛な梁の中央部における水平変位 δ を基礎梁上端より上部梁下端までの高さ h (=70cm) で除した値 δ/h である。

2.3 測定方法

荷重した水平力は、アクチュエータ先端に取り付けたロードセルにて測定した。試験体の曲げ変形や付帯ラーメンの変形を求めるために、図－４の測定装置により試験体各部の水平変位や鉛直変位を測定した。側柱脚部位置での柱主筋にひずみゲージを貼付し、それらのひずみを

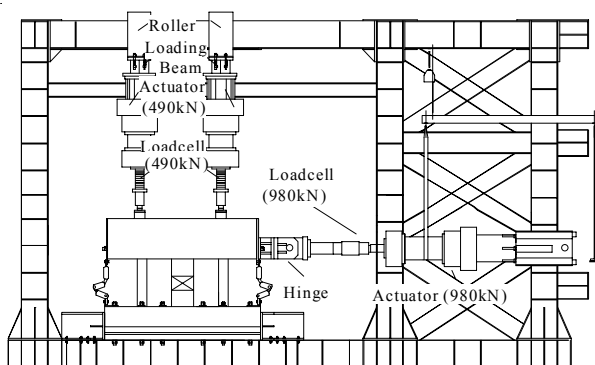


図-2 荷装置

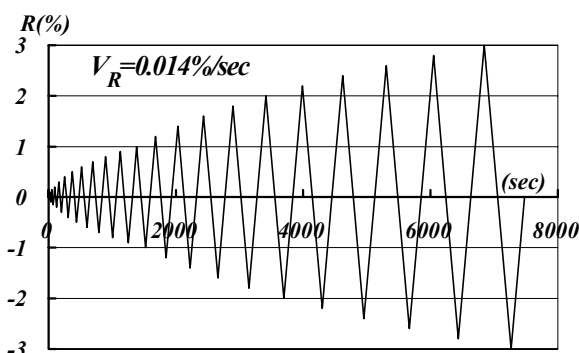


図-3 計画荷プログラム

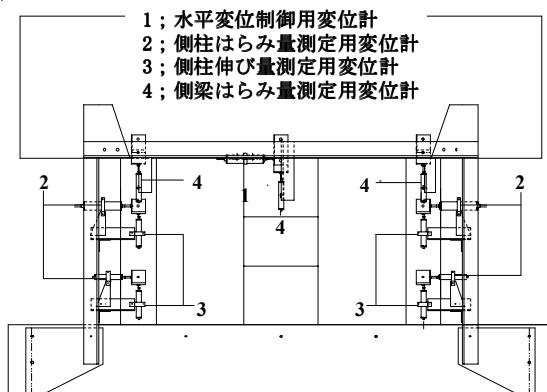


図-4 測定装置

測定した。水平荷重、水平変位および鉛直変位および柱主筋のひずみ測定値は動ひずみ測定器で0.2secのサンプリング間隔で取り込んだ。

試験体に生じたひび割れおよびコンクリートの剥落の記録は、目視、写真撮影およびビデオカメラによる撮影によった。

3. 実験結果

3.1 破壊性状および履歴性状

図-5に、各試験体の水平荷重 Q と層間変形角 R の時刻歴、履歴曲線および実験終了時の

ひび割れと破壊状況を示す。

図-5によれば、測定された荷速度は、図-3の計画荷プログラムの荷速度とほぼ一致していることが分かる。

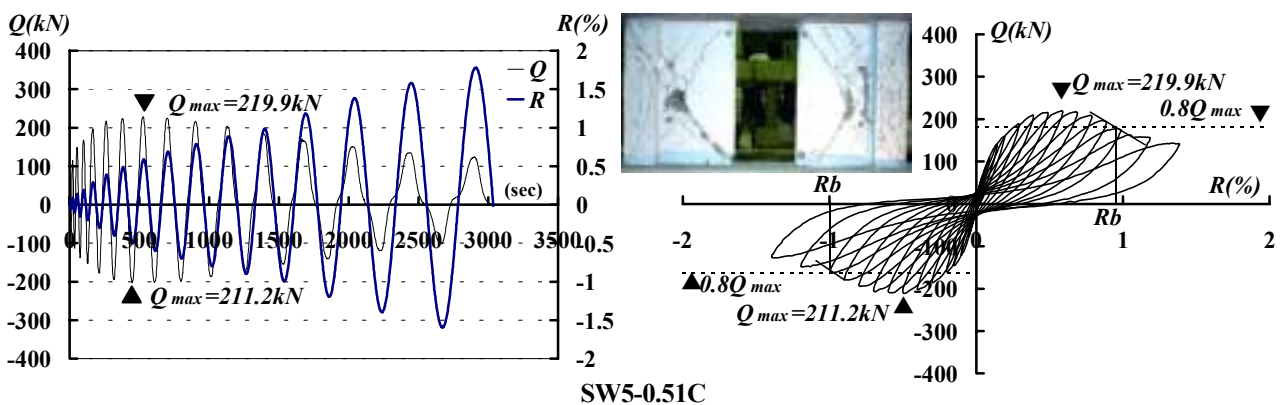
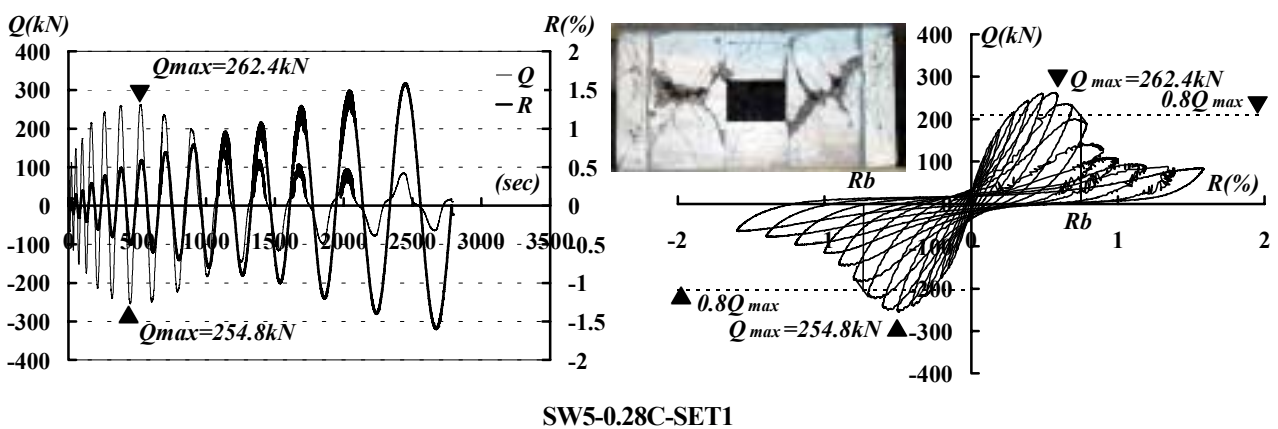
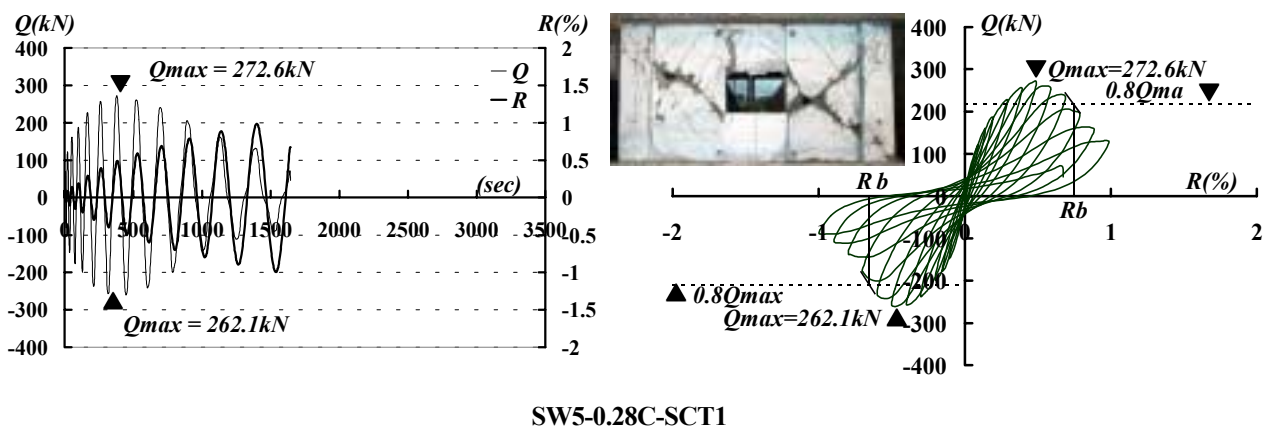
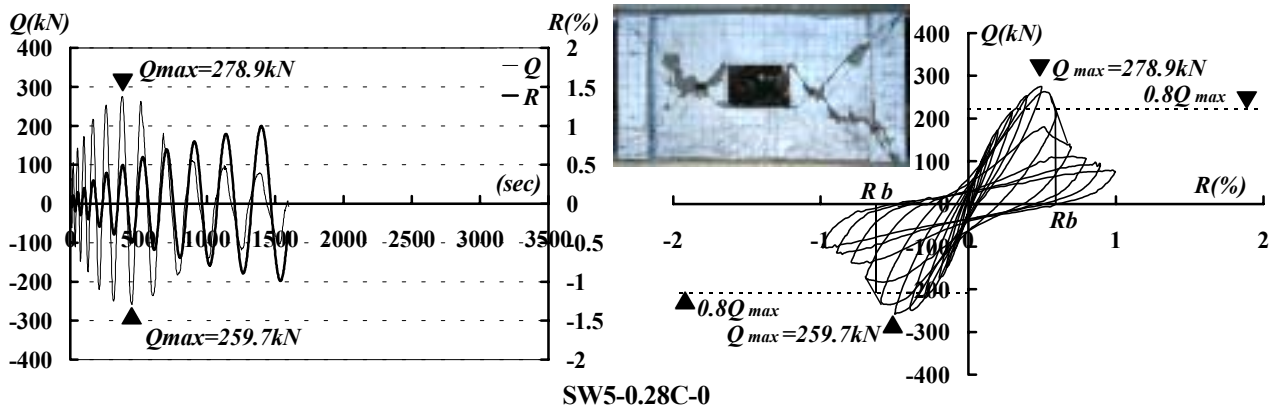
SW5-0.28C-0試験体は、 R が0.1%付近で壁板に斜めひび割れが発生し、その後の水平変位の増大とともに開口横の壁板の斜めひび割れが拡幅した。壁板の斜めひび割れは側柱へ進展したが、このひび割れ幅は、側柱柱脚部よりも柱頭部のほうが拡幅する傾向があった。 R が0.5%近傍で水平せん断耐力に達した後、急激に水平せん断耐力が低下する履歴性状を示した。

SW5-0.28C-SCT1試験体は、 R が0.2%近傍で壁板にせん断ひび割れが発生した。その後、水平変形の増大とともに壁板にひび割れが連続・進展し、壁板の斜めひび割れが柱脚や柱頭部に進展した。 R が0.5%近傍で水平せん断耐力に達した。その後、水平変形の増大とともに開口上下壁板の圧壊が十分に生じなかったため、袖壁付き架構の抵抗機構が完全に形成されず、開口横の壁板のスリップ状せん断破壊により水平せん断耐力が徐々に低下する履歴性状を示した。

SW5-0.28C-SET1試験体は、 R が0.2%近傍で壁板にせん断ひび割れが発生した。その後、水平変形の増大とともに連続・進展し、壁板の斜めひび割れが柱脚や柱頭部に進展した。 R が0.5%近傍で水平せん断耐力に達した。その後の水平変形の増大とともに開口上下壁板の圧壊が十分に生じなかったため、袖壁付き架構の抵抗機構が完全に形成されず、開口横の壁板のスリップ状せん断破壊により水平せん断耐力が徐々に低下する履歴性状を示した。

SW5-0.51C試験体では R が0.2%付近で壁板に斜めひび割れが発生した。以後水平変形の増大につれて壁板内の斜めひび割れの数が増し、柱に進展した。壁板のスリップ状圧縮破壊により R が0.5%近傍で水平せん断耐力に達し、その後、緩やかな耐力低下をする履歴性状を示した。

図-6に、各試験体の $Q-R$ の包絡曲線を



R_b : 限界変形角⁵⁾ $R_b < 1.0$: セン断破壊モード, $R_b \geq 1.0$: 曲げ破壊モード

図-5 水平荷重 Q と層間変形角 R の時刻歴, 履歴曲線
および実験終了時のひび割れと破壊状況

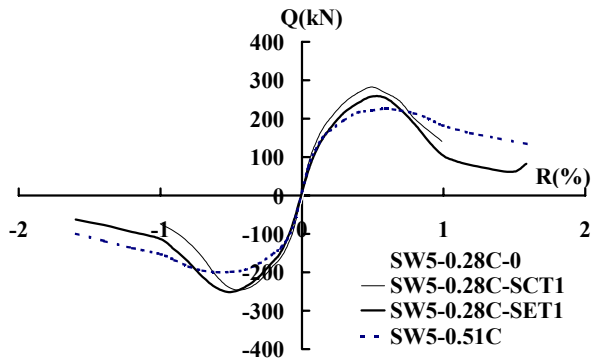


図-6 各試験体の Q-R の包絡曲線

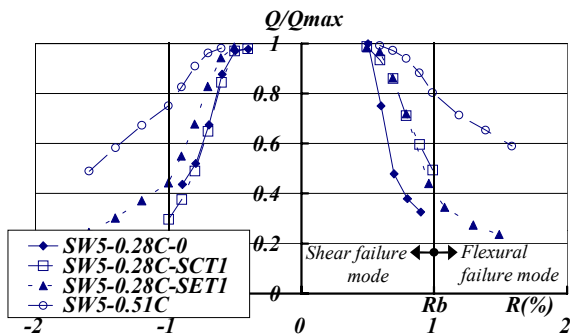


図-7 水平せん断耐力以後の包絡曲線の耐力低下率

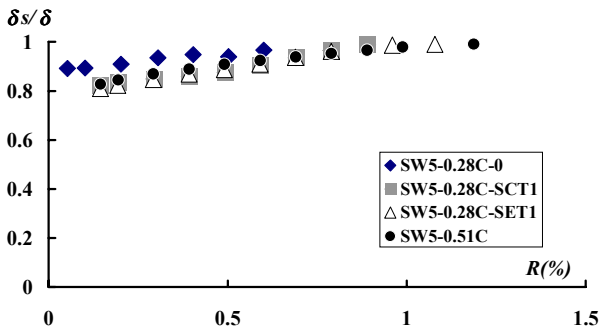


図-8 せん断変形率 (δ_s/δ)

示す。図-6に示すように、開口上下壁板の壁厚を全部薄くすることで、SW5-0.28C-0試験体よりも水平せん断耐力以降の耐力低下が小さくなり、靱性が改善されていることがわかる。靱性の改善には、開口上下壁板の断面位置による顕著な違いはみられなかった。本実験の範囲では袖壁付き架構ほどの靱性は見られなかったが、開口上下壁板を薄くすることで、開口上下壁板に部分的薄くしたスリットを設けた試験体²⁾とほぼ同等の靱性改善がみられるようである。

図-7には、水平せん断耐力以後の包絡曲線の耐力低下率を示す。各試験体の水平せん断

耐力以後のQを水平せん断耐力 Q_{max} で除した値とRとの関係を示したものである。これらによれば、SW5-0.28C-0試験体は水平せん断耐力以後急激に耐力低下しているのに対して、開口上下壁板を全部薄くした有開口耐震壁の試験体は水平せん断耐力以後緩やかな耐力低下している。

図-8に各試験体のやはり中央における水平変形 δ とせん断変形 δ_s との比 δ_s/δ を示す。 δ_s は両側柱の鉛直変位から曲げ変形 δ_b を求め、 $(\delta - \delta_b)$ より求めた。開口上下壁板を全部薄くした有開口耐震壁と袖壁付き架構のせん断変形はほぼ同じである。

図-9に各試験体の等価粘性減衰定数 $heq(\%)$ とRの関係を示す。等価粘性減衰定数 $heq(\%)$ は、1変位振幅1サイクルの正負繰返しによる各ループ面積より求めた。開口上下壁板を全部薄くした有開口耐震壁は水平せん断耐力以後急激に大きくなっているが、水平せん断耐力近傍ではいずれの試験体の場合ともほぼ同じ値になった。

3.2 強度性状

表-3に示す水平せん断耐力の計算値は、著者らが提案している耐力低減率 $\Gamma_u (= \sqrt{Ae/hi})$ を用いて求めた¹⁾。 Γ_u を求める際に必要な圧力場を形成する壁板の面積和 ΣAe は壁板の斜めひび割れ傾斜角の影響を受ける。壁板の斜めひび割れは場所によっては水平軸に対して45度が発生するとは限らない。壁板の斜めひび割れが場所によって異なるのは、耐震壁の形状、壁板の負担する軸方向力の大きさ、開口の大きさ、形状、位置、数などの影響と考えられ、その傾斜角を正確に予測することは困難である。文献1,5で報告しているように、本実験と既往の実験結果をもとに、簡便さと実用性を考慮して図-10のように求めた。無開口耐震壁の水平せん断耐力の計算値 $calQ_{us}$ ⁴⁾と Γ_u および比較のためにRC規準の耐力低減率 r ⁶⁾を用いて、本実験の水平せん断耐力 exQ_u と算定値の水平せん断耐力 $\Gamma_u \cdot calQ_{us}$ と $r \cdot calQ_{us}$ との適合性に付

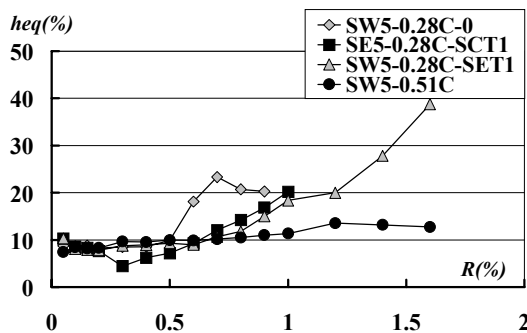


図-9 等価粘性減衰定数 $heq(\%)$ と層間変形角 $R(\%)$ の関係

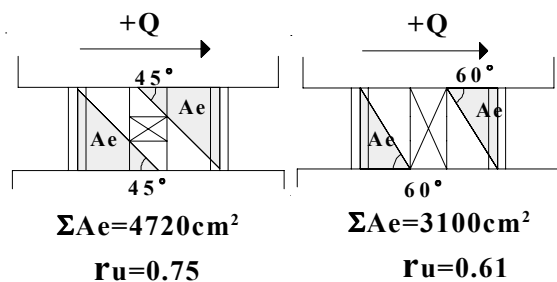


図-10 圧力場を形成する壁板の面積和 ΣAe と耐力低減率 r_u

表-3 実験値の最大強度 exQ_u と算定値の最大強度 $r_u \cdot calQ_{us}$ と $r \cdot calQ_{us}$ の比較

Specimen	exQ_u (kN)	$calQ_{us}$ (kN)	r_u	r (r_1, r_2)	$\frac{exQ_u}{r_u \cdot calQ_{us}}$	$\frac{exQ_u}{r \cdot calQ_{us}}$
SW5-0.28C-0	260	383	0.75	0.738	0.91	0.92
SW5-0.28C-SCT1	262	335	0.75	0.738	1.04	1.06
SW5-0.28C-SET1	255	335	0.75	0.738	1.01	1.03
SW5-0.51C	211	335	0.61	0.488	1.03	1.29

注) exQ_u は正側と負側載荷の小さいほうの値を採用

いて検討を行った。その結果を表-3に示す。表-3によれば、各試験体の算定値の r_u により算定される水平せん断耐力は、実用上十分な精度で実験値を捉えている。また、 r を本実験に適用することは問題があるが、本論では比較検討のために用いた。 r により算定される水平せん断耐力は、袖壁付き試験体を除いて r_u とほぼ同じ精度で実験値を捉えている。

4. 結論

開口上下壁板の壁厚を全部薄くした有開口耐震壁の一定軸力下での正負繰返し水平力載荷実験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 開口上下壁板の壁厚を全部薄くした場合、水平耐力以後の耐力低下が緩やかになり、靱性が改善される傾向にあるが、袖壁付き架構のような曲げ破壊モードに移行するほどの靱性改善はない。
- 2) 開口上下壁板の壁厚を全部薄くした有開口耐震壁と袖壁付き架構のせん断変形はほぼ同じである。
- 3) 開口上下壁板を薄くすると水平せん断耐力が低下するが、袖壁付き架構の水平せん断耐力程度までは低下しない。

- 4) 開口上下壁板の壁厚を全部薄くした有開口耐震壁の等価粘性減衰定数は、水平せん断耐力近傍までほぼ同じ値となった。

参考文献

- 1) 小野正行・徳広育夫：鉄筋コンクリート造耐震壁の開口の影響による耐力低減率の提案，日本建築学会構造系論文報告集，第435号，pp.119-129，1992.5
- 2) 小野正行・江崎文也・久保田雅和：スリット付き有開口耐震壁の履性状に関する実験的研究（その1 スリット部の壁筋が破壊性状に及ぼす影響），日本建築学会九州支部研究報告，第40号，pp.649-652，2001.3
- 3) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，pp.11-12，1992.8
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度型耐震設計指針・同解説，pp.122-135，1990.11.1
- 5) 小野正行：鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の弾塑性性状に関する研究，第4章RC有開口耐壁の水平載荷実験，学位論文（工学院大学），pp.59-63，2001.3.15
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999 改定