

論文 鋼管と鋼板を用いて補強した無開口耐震壁の耐震性能に関する研究

別枝和美^{*1}・江崎文也^{*2}・小野正行^{*3}

要旨: RC造無開口耐震壁の水平せん断耐力と靱性を改善する方法として考案した鋼管および鋼板で補強した無開口耐震壁について, 一定軸力下での正負繰返し水平力載荷実験を実施した。実験結果によれば, 側柱脚部を鋼管で補強すると, 水平せん断耐力は無補強試験体よりも低下するが, 靱性は若干改善された。また壁板を鋼板で補強すると, その耐力が増大し, 安定した曲げ破壊モードの履歴性状を示した。せん断変形は無補強試験体よりも小さくなる傾向を示した。鋼管および鋼板で補強すると, その耐力が増大し, $R=1\%$ を超えても, 急激に耐力が低下することなく安定した曲げ破壊モードの履歴性状を示した。

キーワード: 無開口耐震壁, 鋼管補強, 鋼板補強, 耐力, 靱性, 破壊モード

1. 序

RC造無開口耐震壁の研究によると, せん断破壊モードの耐震壁の場合は, 側柱脚部のせん断破壊が先行する場合と壁板がせん断破壊を起こす場合がある。著者らは昨年度, 壁板部のみを鋼板で補強した無開口耐震壁の水平力載荷実験の結果について報告を行った¹⁾。これに引き続き, 本報告では側柱脚部のせん断破壊を防止するために, 鋼板被覆による補強(以後, 鋼管補強)を施し, 無補強試験体, 側柱脚部鋼管補強試験体, 壁板部鋼板補強試験体, および側柱脚部と壁板をそれぞれ鋼管と鋼板で補強した試験体の計4体を計画した。鋼管および鋼板で補強した無開口耐震壁の力学的性質を明らかにするため, 一定軸力下での正負繰返し水平力載荷

実験を行い, 補強した無開口耐震壁の力学性状について検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

図-1に試験体形状・配筋の一例および補強詳細図, 表-1に試験体一覧, 表-2に使用した材料の力学的性質を示す。試験体にはSW t -ATの記号を付けている。Sはせん断破壊モードを示し, Wは壁板, t は壁厚(cm), Aは壁板の特殊補強(P:鋼板, S:スタッド, L:L型鋼) Tは側柱脚部の鋼管補強をそれぞれ示している。RC無開口耐震壁試験体SW5-0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破壊によって決まる水平せん断耐力

表-1 試験体一覧

Specimen	Column				Wall			
	Cross section $b \times D$ (mm x mm)	Longi.Rein. p_g (%)	Hoop p_w (%)	Steel Tube	Thickness t (mm)	Reinforcement		Reinforcing plate
						Arrangement	p_s (%)	
SW5-0	150x150	6-D13 (3.4)	4 ϕ @50 (0.33)	-	50	4 ϕ @100 Double Layer	0.5	-
SW5-T				-150x150				-
SW5-PSL				-				PL-1.6 L-20x20
SW5-PSLT				-150x150				StudM8@100

p_g : 主筋比, p_w : 帯筋比, p_s : 壁筋比, Steel Tube: 鋼管の鋼板厚さ $t=1.6$ mm 高さ $h=260$ mm

*1 近畿大学大学院生 産業技術研究科造形学専攻 (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)

表 - 2 材料の力学的性質

(1) コンクリート

Specimen	σ_B	σ_t	E_s
SW5-0	25.9	2.3	24.9
SW5-T			
SW5-PSL			
SW5-PSLT			

σ_B : シリンダー圧縮強度 (MPa)

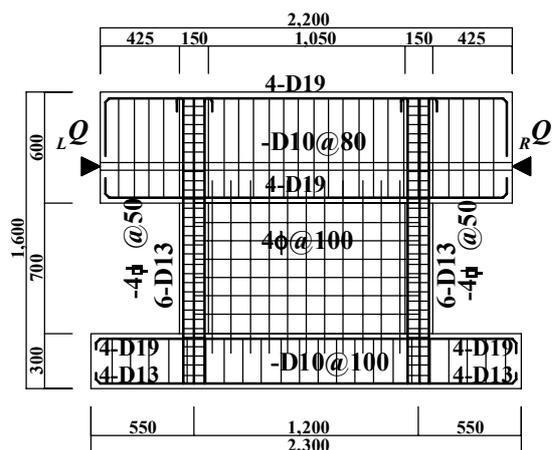
σ_t : 引張強度 (割裂強度) (MPa), E_c : ヤング係数 (GPa)

(2) 鋼材

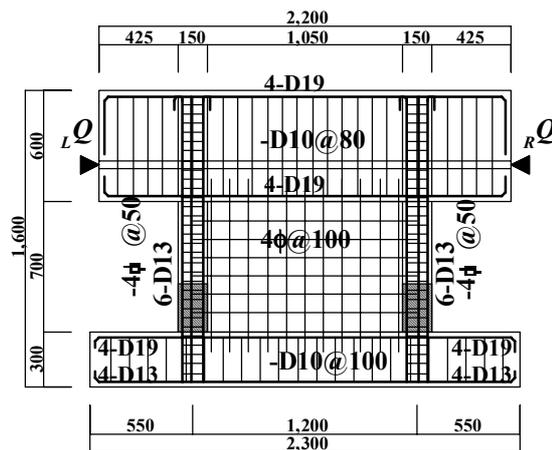
Bar	a	σ_y	σ_u	E_s	ϵ
4 ϕ	0.13	225	315	168	25.2
D10	0.71	375	528	178	21.6
D13	1.27	354	486	185	21.5
PL1.6	-	231	323	152	40.6
M-8, M-6	-	267	392	167	28.7

a : 断面積 (cm²), σ_y : 降伏点 (MPa)

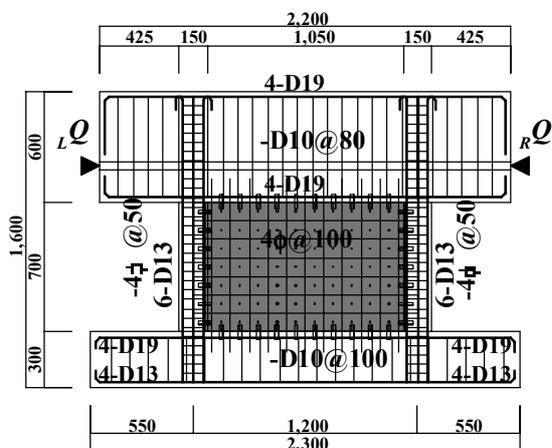
σ_u : 引張強度 (MPa), E_s : ヤング係数 (GPa), ϵ : 伸び (%)



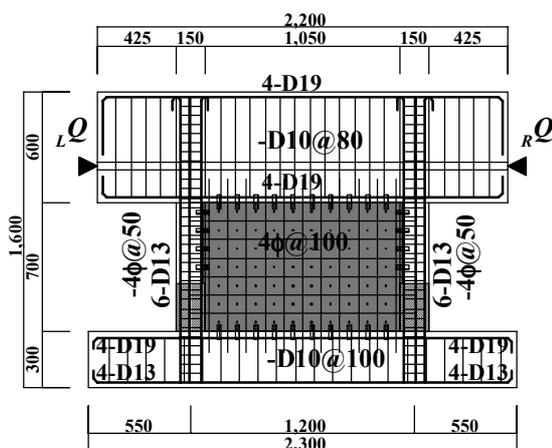
SW5-0



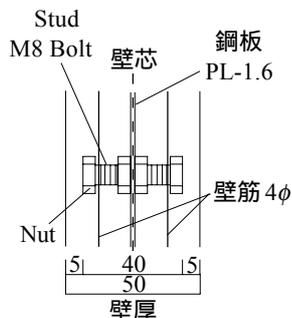
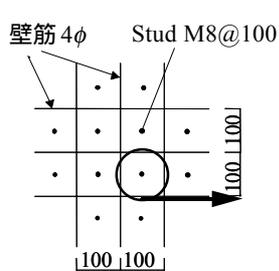
SW5-T



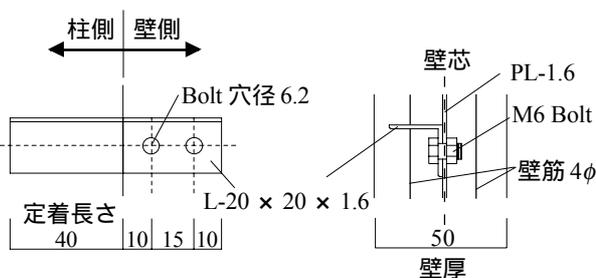
SW5-PSL



SW5-PSLT



スタッドと鋼板の取り付け詳細



L型鋼と鋼板の接合詳細

▶ : 載荷位置 寸法 : mm

図 - 1 試験体形状・配筋・寸法および補強詳細図

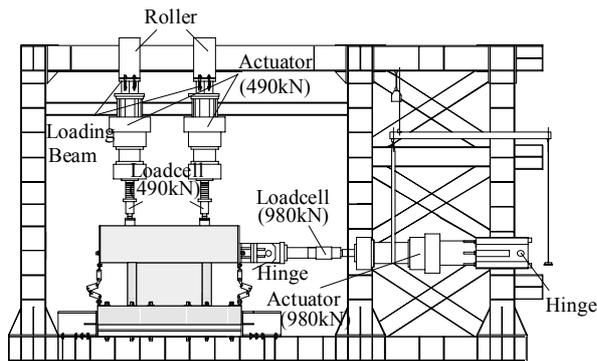


図 - 2 荷重装置

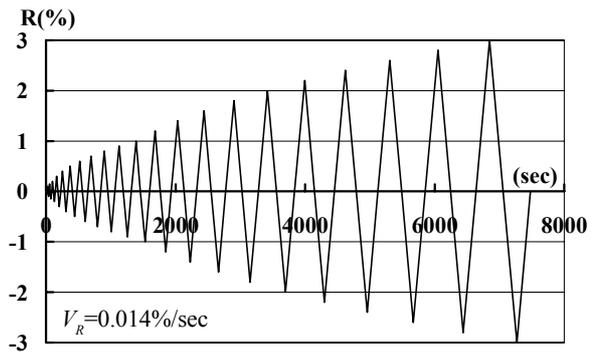
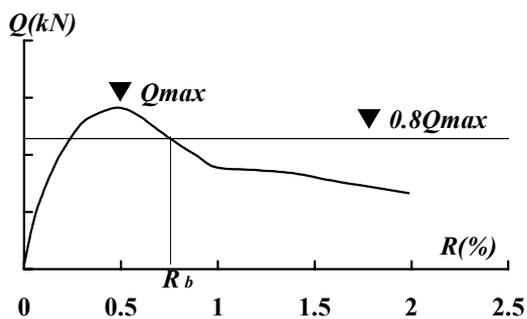
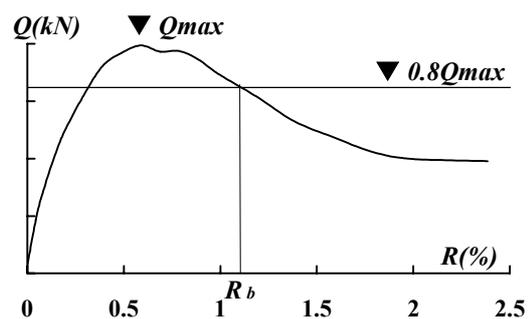


図 - 3 計画荷重プログラム



[せん断, 曲げ・せん断破壊モード]



[曲げ破壊モード]

せん断破壊モード	$R_b < 1.0\%$	側柱の全ての軸方向鉄筋が引張降伏していない
曲げ・せん断破壊モード	$R_b = 1.0\%$	側柱の全ての軸方向鉄筋が引張降伏している
曲げ破壊モード	$R_b > 1.0\%$	側柱の全ての軸方向鉄筋が引張降伏している

図 - 4 破壊モードの定義

$Q_{uf}^{2)}$ の算定値とせん断破壊によって決まる水平せん断耐力 $Q_{us}^{3)}$ の算定値を用いて、曲げ破壊よりもせん断破壊が先行するように、せん断余裕度 Q_{us}/Q_{uf} を 0.7 程度とし、断面を設計した。表 - 2 に示した使用材料の強度によれば無開口耐震壁試験体 SW5-0 の Q_{us}/Q_{uf} (=344/547) は 0.63 となった。側柱脚部の鋼管補強は、側柱部のせん断ひび割れ角度とコンクリートの拘束範囲を考慮して、鋼管の高さを 26cm とした。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

図 - 2 に示す荷重装置を用いて、試験体両側柱の中心に、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た。鉛直荷重は、実験終了時まで一定に保持するようにした。鉛直荷重荷重後は、図 - 3 に示すような計画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。水平力の荷重は、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 の位置にて荷重した。水平力の荷重速度 V_R は、上部の剛な側梁下端の水平変位の速度が 0.01cm/sec、すなわち層間変形角 R の速度で 0.014%/sec になるようにした。図 - 3 に示す層間変形角 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

試験体に荷重した荷重は、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。また、試験体の変形を求めるため、試験体の剛な基礎梁に埋め込まれたボルトにて固定された変位測定用フレームに取り付けた高感度変位計にて、耐震壁各部の水平および鉛直の各変位を測定した。補強鉄筋および鋼管、鋼板、壁板コンクリートにひずみゲージを貼付し、それらのひずみを測定した。水平および鉛直の各荷重、試

験体各部の水平、鉛直の各変位、鉄筋のひずみは、いずれも動ひずみ測定器にて0.2secのサンプリング間隔でデータをパソコンに取り込んだ。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

本報告では、耐震壁の破壊モードを分類する際、破壊モードを用いた。これは、水平せん断耐力以降、どれだけ変形可能かで規定される耐震性能の指標であり、図 - 4 に示すように破壊モードを定義した⁴⁾。なお、図中の R_b は限界変形角で、 $0.8Q_{max}$ (Q_{max} : 最大水平荷重) の水平線と $Q-R$ の包絡線との交点の値である。

図 - 5 a, 5 b に各試験体の Q と R の履歴曲線、時刻歴、側柱脚部の主筋のひずみおよび実

験終了時のひび割れと破壊性状を示す。これによれば、測定された荷重速度は図 - 3 の計画荷重プログラムとほぼ一致していることがわかる。

以下に、各試験体の破壊性状および履歴性状について述べる。

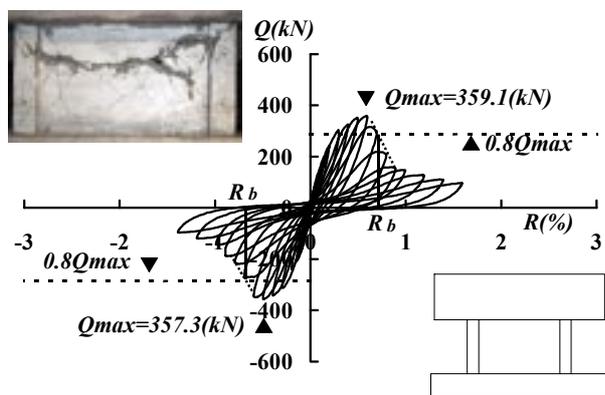
(1) SW5-0 (無補強試験体)

スリップ破壊で水平せん断耐力に達し、水平せん断耐力以後、壁板のスリップ状せん断破壊が進行して急激に耐力が低下するせん断破壊特有の脆性的な履歴性状を示し、破壊モードはせん断破壊モードである。

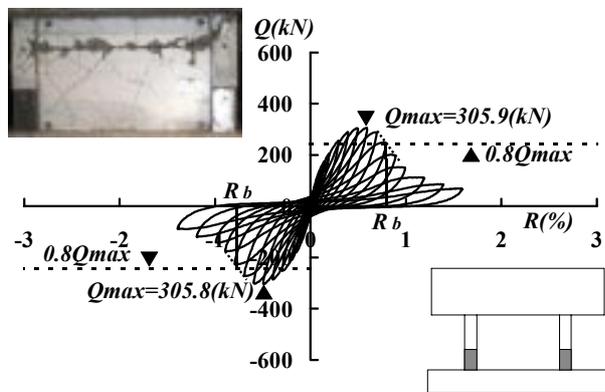
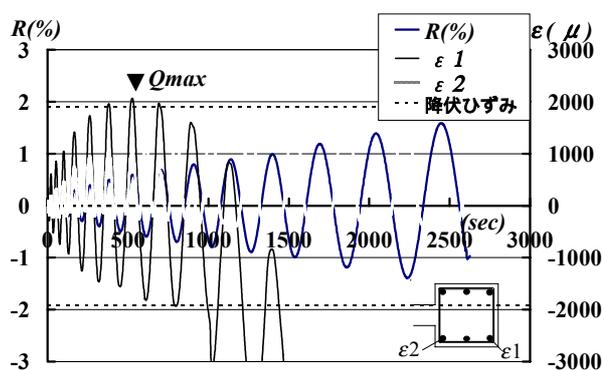
(2) SW5-T (鋼管補強試験体)

破壊性状などはSW5-0と同じである。水平せん断耐力はSW5-0より低下するが、靱性は若干改善された。破壊モードはせん断破壊モードである。

(c) SW5-PSL (鋼板補強試験体)



SW5-0



SW5-T

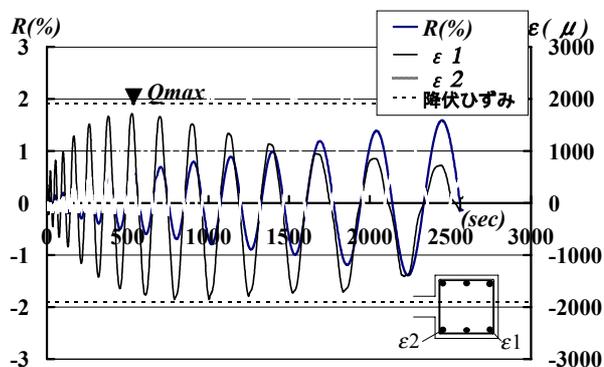
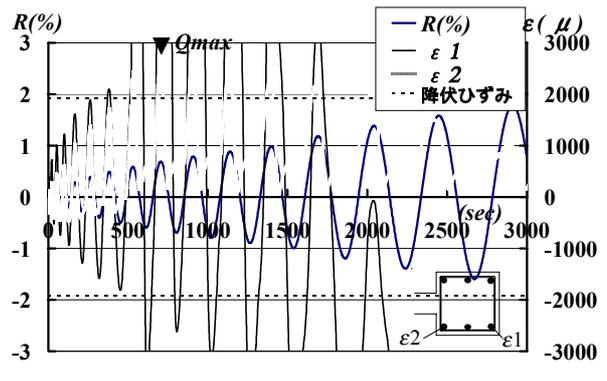
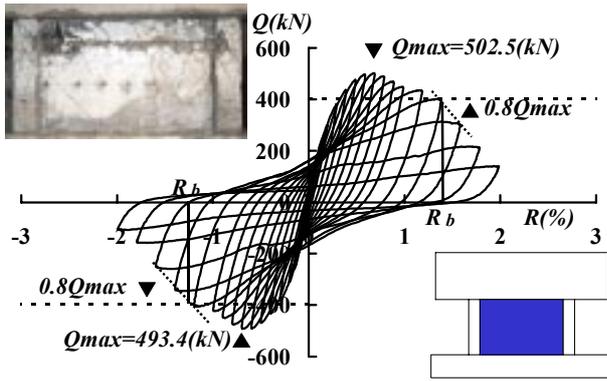
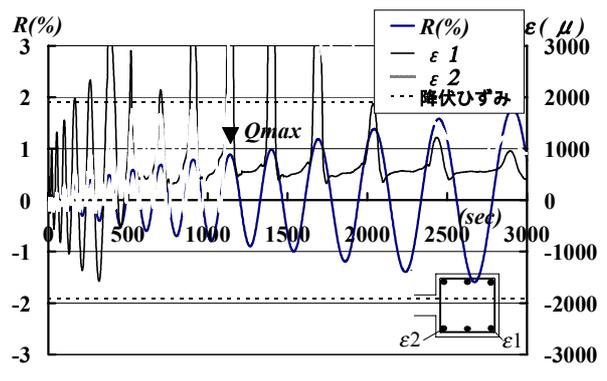
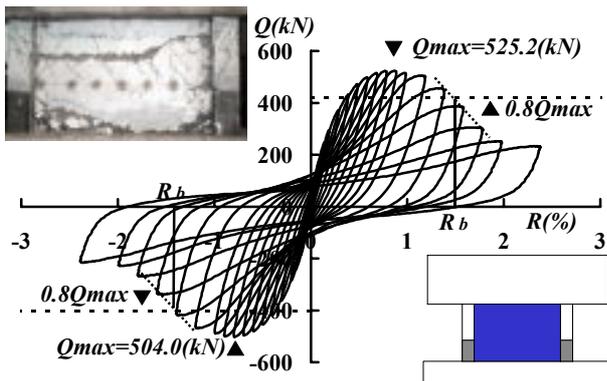


図 - 5 a 各試験体の Q と R の履歴曲線、時刻歴側柱脚部の主筋のひずみおよび実験終了時のひび割れと破壊性状



SW5-PSL



SW5-PSLT

図 - 5 b 各試験体の Q と R の履歴曲線，時刻歴側柱脚部の主筋のひずみおよび実験終了時のひび割れと破壊性状

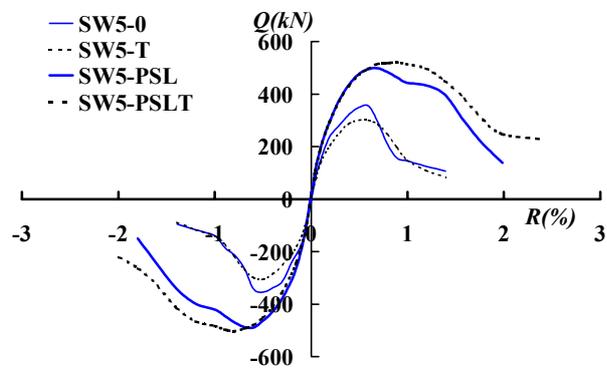


図 - 6 Q - R の包絡曲線

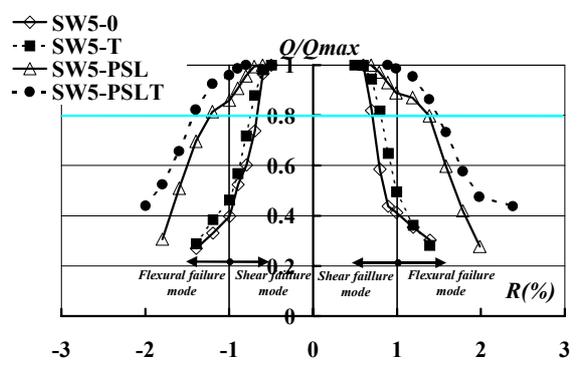


図 - 7 水平せん断耐力以後の包絡曲線の耐力低下率

上記2体の試験体と同様，壁板のスリップ破壊で水平せん断耐力に達した。スタッドとL型鋼により鋼板と壁板コンクリートとの一体化が確保されているために水平せん断耐力が増大し， $R=1\%$ 近傍まで急激に水平せん断耐力が低下することもなく安定した曲げ破壊モードの履歴性状を示した。

(d)SW5-PSLT (鋼管・鋼板補強試験体)

他の試験体と比較すると，水平せん断耐力が増大し， $R=1\%$ を超えても，急激に水平せん断

耐力が低下することもなく安定した曲げ破壊モードの履歴性状を示した。また， $R=2\%$ を超えても鉛直荷重を十分に維持している。

本実験の範囲では，鋼管補強試験体よりも無補強試験体の水平せん断耐力が大きくなっているが，これは鋼管と壁板コンクリートが一体化されていないためと考えられる。しかし，鋼板補強試験体と鋼管・鋼板補強試験体では，逆に前者の方の水平せん断耐力が小さくなっているが，これはスタッドによる鋼板と

コンクリートとの一体化およびL型鋼による壁板と側柱との一体化により、鋼管部分と壁板とのせん断位置の劣化の影響が見られず、鋼管補強による側柱コンクリートの破壊が防止されたためと考えられる。

図 - 6 に $Q-R$ の包絡曲線を、図 - 7 に水平せん断耐力以後の包絡曲線の耐力低下率を示した。これらによれば、SW5-PSL と SW5-PSLT 試験体の実験結果によれば、鋼管と鋼板で補強することによって耐震壁の水平せん断耐力と靱性面積より求めた、 heq は $R=0.5$ 近傍までは全試験体ともほぼ同じ値であるが、 0.5 以降は緩やかに直線的に増加する。

図 - 9 に各試験体せん断変形 δ_s を水平変位 δ で除した正側載荷のせん断変形率 δ_s/δ を示す。 δ_s/δ は壁板部を鋼板補強した試験体の方が小さい傾向にある。

4. 結論

両側柱脚部を鋼管補強し、壁板を鋼板補強した無開口耐震壁について、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) 側柱脚部を鋼管補強すると、水平せん断耐力は無補強試験体より低下するが、靱性は若干改善された。破壊モードはせん断破壊モードである。
- (2) 壁板を鋼板補強すると、スタッドとL型定着により鋼板と壁板のコンクリートとの一体化が確保されているために水平せん断耐力が増大し、 $R=1\%$ 近傍まで急激に耐力が低下することもなく安定した曲げ破壊モードの履歴性状を示した。
- (3) 鋼管・鋼板補強すると、水平せん断耐力が増大し、 $R=1\%$ を超えても、急激に水平せん断耐力が低下することもなく安定した曲げ破壊モードの履歴性状を示した。
- (4) 壁板部を鋼板補強すると、せん断変形が小さくなる傾向にある。

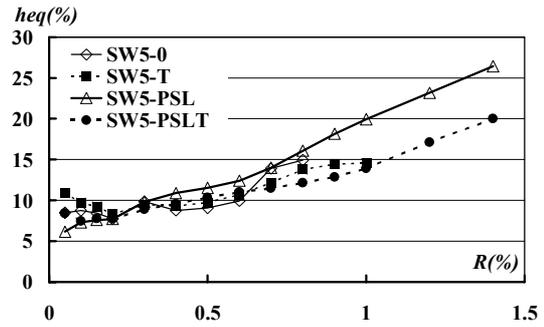


図 - 8 等価粘性減衰定数 heq

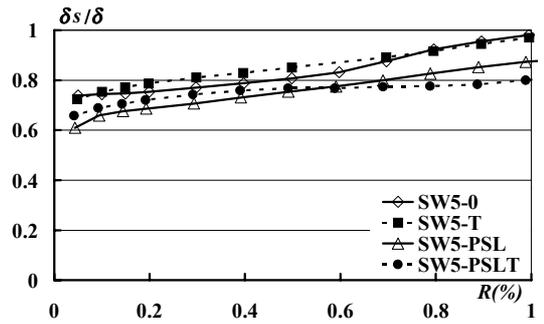


図 - 9 せん断変形率 δ_s/δ

謝辞

試験体作製および実験の実施にあたっては、九州共立大学技師、高田一俊、米原義則、青木治の各氏、および平成 14 年度九州共立大学工学部建築学科江崎研究室、近畿大学九州工学部建築学科小野研究室の卒論生の協力を得た。ここに、関係者各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 別枝和美・小野正行・江崎文也：無開口耐震壁の力学性状に及ぼす壁板補強効果に関する実験的研究 その2 鋼板による補強効果，日本建築学会九州支部研究報告，第 41 号，pp.617-620, 2002.3
- 2) 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規準・同解説，pp.11-12, 1992.8
- 3) 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
- 4) 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 有開口耐震壁の水平載荷実験，学位論文 2001.3.15, pp.59-63