論文 鋼管と鋼板を用いて補強した有開口耐震壁の耐震性能に関する研究

藤井 量久^{*1}・江崎文也^{*2}・小野正行^{*3}

要旨:無開口耐震壁の壁板中央に開口を設けた有開口耐震壁の靭性を改善する方法とし て,壁板全面をスタッドおよびL型定着付き鋼板で補強し,両側柱脚部を鋼管で補強し た試験体について,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,補強無しの試験体は計画した通りせん断破壊モードとなり、鋼管補強試験体も せん断破壊モードとなった。鋼板補強試験体は曲げ・せん断破壊モードとなり、鋼管・ 鋼板補強試験体は曲げ破壊モードに移行した。このことから,鋼管で補強すれば靭性が 改善でき、鋼板で補強すれば耐力の上昇が期待できることがわかった。 キーワード:有開口耐震壁,鋼板補強,鋼管補強,靭性,破壊モード

1. 序

RC構造物において RC 耐震壁は水平力に抵 抗させるための耐震要素として多用されており ,開口を設けた RC 有開口耐震壁も多い。RC 有 開口耐震壁に関する実験的および解析的研究が 数多く行われているが,耐震性能の向上という 点においてはいまだ有用かつ効果的な補強方法 は少ないのが現状である。既往の研究報告によ る RC 有開口耐震壁の力学的な性状としては, せん断破壊モードの耐震壁の場合は,比較的初 期の荷重サイクルで壁板部にひび割れが生じ, R が 0.5 ~ 0.6% 付近で水平せん断耐力に達す る。その後壁板部のひび割れ幅が拡幅しスリッ プ状のせん断破壊を起こすことが観察されてい る。また,側柱脚部もせん断破壊することによ り急激に耐力が低下する極めて脆性的な破壊性 状を示すことも観察されている¹⁾。そこで,著 者らの2002年度の研究報告では,開口横壁板 部のみを鋼板で補強した有開口耐震壁試験体の 水平力載荷実験の結果について報告を行った ²⁾。昨年に引き続き,本報告では,新たに柱脚 部のせん断破壊を防止するため,側柱脚部に鋼 板による被覆補強(以後,鋼管補強)を施し, 壁板部の鋼板の補強範囲を壁板全面とした有開 口耐震壁の一定軸力下での一定速度による正負 繰返し水平力載荷実験を計画した。

本報告は,側柱脚部のみ鋼管補強,壁板部の み鋼板補強および側柱脚部と壁板部をそれぞれ 鋼管と鋼板補強した有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。

表 - 1 試験体一覧

Specimen	Column				Wall				
	Cross Section bxD	Longi. Rein.	Ноор р _w (%)	op %) Steel Tube	Thickness t(mm)	Reinforcement		Dimension of Opening	Reinforcing Plate
	(mmxmm)	р _g (%)	1 // /			Arrangement	p _s (%)	$\hat{h}_{\theta} x l_{\theta}$	
SW5-0.28C-0	150x150	6-D13 3.4	4¢@100 0.33	-	50	4¢@100 Double Layer	0.5	210x315	
SW5-0.28C-T				□-150x150					-
SW5-0.28C-PSL				-					PL-1.6 L-20x20
SW5-0.28C-PSLT				□-150x150					Stud M8 @100

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

*1 近畿大学大学院 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 コンクリート調合表

Slump	W/C	W	С	S	G	C.ad.
(cm)	(%)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
21	67	207	309	925	844	0.618

W/C:水セメント比,W:水,C:セメント,S:細骨材,G:粗骨材(粒径 12mm 以下),C.ad.:混和材

表-3 使用した材料の力学的性質

2) 鋼材

1) コンクリート

Specimen	$\sigma_{\rm B}$	σ_{t}	Ec	
SW5-0.28C-0				
SW5-0.28C-T	25.1	2.2	22.6	
SW5-0.28C-PSL	23.1	2.2	25.0	
SW5-0.28C-PSLT				

σ_B:シリンダー圧縮強度 (MPa) σ,:引張強度(割裂強度) (MPa) Ec: ヤング係数 (GPa)

Bar	а	$\sigma_{\rm y}$	σ_{u}	Es	ε
4 ø	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_v:降伏強度 (MPa)



SW5-0.28C-0





SW5-0.28C-PSL



▶:鉛直荷重載荷位置 ▼:水平荷重載荷位置 縦壁筋定着長さ:100 横壁筋定着長さ:80 寸法:mm 図 - 1 試験体形状・配筋の一例および補強詳細図





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 たコンクリートの調合表を,表 - 3 に使用した 材料の力学的性質を示す。試験体にはSWt-C-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), は開口 周比 $\sqrt{h_0 l_0 / h l}$ (h_0 :開口高, l_0 :開口幅,h:壁板 の高さ,l:スパン長),Cは中央開口,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。

試験体の断面設計にあたっては, RC 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 $Q_{uf}^{(3)}$ とせん断破壊に よって決まる水平せん断耐力*Q*_w4)を用いて,せ ん断余裕度 Q_{uv}/Q_{uv} が0.7程度となるように断面 を設計した。表-3に示した材料の強度によれ ば無開口耐震壁のQ_{us}/Q_{uf}(=336/548)は0.61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との拘束範囲を 考慮して鋼管の高さを26cmとした。また,せ ん破壊が先行するように設計した無開口耐震壁 の壁板中央に開口周比が0.28の開口を設けて 有開口耐震壁の試験体とした。側柱脚部の鋼管 と鋼板とは一体化されておらず縁が切れてい る。L 型鋼は図 - 1 に示すようにボルトでがた が生じないようにしっかり締め付けている。



図-3 計画載荷プログラム

2.2載荷方法および載荷プログラム

図 - 2 に示す載荷装置を用いて,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載荷し,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 に示す計画載荷プログラムに従っ て,各試験体に変位漸増正負繰返し水平力*Q*を アクチュエータにて載荷した。水平力の載荷 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の位置にて載荷した。水 平力の載荷速度は,0.1cm/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。 *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

試験体に載荷した荷重は,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,高感度変位計を取 り付け試験体各部の水平および鉛直の各変位 を測定した。変位測定装置の詳細については 文献5)を参照されたい。また,側柱脚部の主 筋と鋼管に基礎梁上端より2.5cmの位置にひ ずみゲージを貼付し材軸方向のひずみを測定 した。各測定値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取り 込んだ。試験体に生じたひび割れおよびコン



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

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り行った。

3. 実験結果

3.1 破壊性状および履歴性状

本報告では,水平せん断耐力以後どれだけ変 形可能かで規定される耐震性能の指標である破 壊モードにより破壊性状を分類した。図 - 4に 示す*Rb*は,0.8*Qmax(Qmax*:最大水平荷重)の 水平線と*Q-R*の包絡曲線との交点のうち大き いほうの値で,その正側と負側載荷の*Rb*の値 が異なるときは小さいほうの値を*Rb*とした。 図 - 5に各試験体の*Q*と*R*の履歴曲線・柱主筋 のひずみおよび実験終了時のひび割れと破壊状 況を示す。

各試験体の破壊性状および履歴性状について 述べると以下のようである。

(a)SW5-0.28C-0 (補強無し)

初期の荷重サイクルで開口横壁板に斜めひび 割れが生じ, R がおよそ 0.4% で水平せん断耐 力に達した。その後壁板がスリップ状のせん断 破壊を起こし,そのせん断破壊が柱脚および柱 頭にも進展し急激に耐力が低下する極めて脆性 的な破壊性状を示した。また,柱主筋は水平せ ん断耐力以降に降伏ひずみに達した。図-4に 示す破壊モードの定義によればせん断破壊モードとなった。

(b) SW5-0.28C-T (鋼管補強)

水平せん断耐力に達するまでは補強無し試験 体とほぼ同様の性状を示したが,鋼管補強によ りせん断破壊は確実に防止でき,水平せん断耐 力以後の耐力低下が補強無しの試験体よりもや や緩やかで靭性の改善が見られる。柱主筋・鋼 管のひずみは水平せん断耐力以降に降伏ひずみ に達した。破壊モードはせん断破壊モードと なった。

(c)SW5-0.28C-PSL (鋼板補強)

初期の荷重サイクルでは開口横壁板の斜めひ び割れは観察されず,Rがおよそ0.7%で水平 せん断耐力に達した。その後,水平変形の増大 とともに壁板がスリップ状のせん断破壊を起こ し,鋼板の座屈により補強鋼板と両面のコンク リートが完全に分離し面外に膨らむ破壊性状を 示した。水平せん断耐力以後の耐力低下は,補 強無しの試験体に比べると比較的緩やかな結果 となった。破壊モードについては,Rbが1%で 柱主筋が水平せん断耐力以前に降伏しているこ とから,曲げ・せん断破壊モードとなった。 (d) SW5-0.28C-PSLT (鋼管・鋼板補強)

水平せん断耐力近傍までは鋼板補強試験体と



SW5-0.28C-PSLT

図 - 5 各試験体の*Q*と*R*の履歴曲線・柱主筋のひずみおよび実験終了時のひび割れと破壊状況



図 - 6 *Q*-*R*の包絡曲線

同様の性状を示したが,水平せん断耐力以降の 耐力低下は壁板部鋼板補強試験体よりもやや緩 やかな結果となり,靭性の改善が見られる。鋼 管は降伏していないが,柱主筋は水平せん断耐 力以前に降伏ひずみに達していることから,破 壊モードは曲げ破壊モードとなった。

図 - 6 に各試験体の Q-R の包絡曲線を,図 - 7 に各試験体の水平せん断耐力以降の包絡曲 線の耐力低下率を示す。

以上のことから鋼板補強により耐力の上昇と 靭性の改善が見られることから,スタッドとL 型鋼を取り付けた鋼板による補強方法は十分に 補強効果が期待される。また,鋼管補強により 側柱脚部のせん断破壊が確実に防止でき,靭性 の改善効果も確認された。

4.結論

有開口耐震壁の補強について,一定軸力下で の一定速度による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)補強無しの有開口耐震壁試験体は計画した 通りせん断破壊モードとなった。また,鋼管補 強のみの試験体もせん断破壊モードとなった。 鋼板補強のみの試験体は,曲げ・せん断破壊 モードとなり,鋼板・鋼管補強試験体は,曲げ 破壊モードとなった。

2)側柱脚部を鋼管で補強し,壁板をスタッド とL型鋼を取り付けた鋼板で補強すれば耐力の 上昇と靭性の改善がなされる。



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および平成14年度近 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

- 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)藤井量久・小野正行・江崎文也・姜優子:開 口横壁板を補強した RC 有開口耐震壁の力 学性状,コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.499-504, 2002.6
- 3)日本建築防災協会:既存鉄筋コンクリート
 造建築物の耐震規準・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) 江崎文也・小野正行・松岡良智・徳田俊宏: 一定速度載荷を受ける RC 有開口耐震壁の 履歴性状,その1・2,日本建築学会九州支 部研究報告,第39号,pp.497-450,2000.3