壁式RC造既存建物の実大壁の耐力と破壊性状 論文

浅野 裕輔*1・向井 智久*2・勅使川原 正臣*3・野村 設郎*4

要旨: 築後 40 年以上経過した壁式 RC 造建物の実大壁を対象に, 壁開口の有無を実験変数に した試験体2体の静的加力実験を行った。実験結果を変位成分とひび割れ性状に着目して分析 し,各壁部材の破壊モードに関する検討を行った。その結果,開口なし試験体においてスリッ プ変位が卓越していた。一方,開口有り試験体においては,全体的にせん断変位が卓越してい たが,開口の南北で異なった挙動を示した。

キーワード:実大実験,壁式 RC構造,開口の有無,ひび割れ幅,破壊性状

1. はじめに

筆者らは,壁式 RC 造建物の実大壁2体を対 象に,壁開口の有無を実験変数とした静的加力 実験を行った。本論では,壁のひび割れ幅や変 位に着目した破壊性状とその耐力について述べ る。また,開口を設けた試験体の開口部南北の 壁のひび割れや、変形性状の違いについても述 べる。

2. 実験概要

* 4

2.1 試験体概要

図 - 1には,対象建物の全景を示す。試験体 は,4階建て共同住宅の3階部分の戸境壁で建物 から2体分切り出した。図 - 2,図 - 3には各々 の試験体形状の実測値を示す。試験体の両端の 直交壁は,全長 1080mmとした。1体は無開口 壁(以下,開口なし試験体)とし,もう1体は

東京理科大学 理工学部建築学科 教授

壁のほぼ中央に高さ1900mm , 幅1000mm 程度 の開口(開口低減率 ri=1-1/10=0.63)を開けた壁 (以下,開口あり試験体)である。表 - 1にコ ンクリートと使用鉄筋の材料特性を示す。本試 験体は,1960年当時の設計基準 いにより設計さ れた古い建物の一部であるため,主筋には丸鋼 が使用され壁の鉄筋比は 0.2%である。スラブ 上面で壁が打ち継がれており, 壁縦筋は重ね継 手となっているが,打ち継ぎ目地など施工の詳 細は確認できていない。鉄筋腐食グレードは 1 であり,腐食がない状態と判断される²⁾。

表 - 1の材料特性と図 - 2,3の試験体形状に より文献 3)に示される算定式で求めた耐力壁 $M_{wu} = a_t \cdot \sigma_v \cdot l_w + 0.5a_w \cdot \sigma_{wv} \cdot l_w + 0.5N \cdot l_w \quad (1)$

$$Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.053p_{te}^{0.23} (Fc + 18)}{(M/Q \cdot D) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_{wh} \cdot \sigma_{wh}} + 0.1\sigma_0 \right\} t_e \cdot j$$
 (2)



(建築研究所 客員研究員)

-481-

工博

コンクリート		鉄筋			
試験体	圧縮強度 (Mpa)	使用鉄筋	使用箇所	降伏強度 (Mpa)	
開口なし	19.1	9	壁筋	270.5	
開口あり	20.5			570.5	

表 - 1 材料特性

表-2 耐力壁終局耐力計算值

層せん断耐力				
試験体	曲げ耐力(kN)	せん断耐力(kN)		
開口なし	1657.8	1890.1		
開口あり	1529.4	1197.9		

の曲げ終局強度 Mww, せん断終局強度 Qwww から 得られる値を層せん断力表示にし,表 - 2に示 す。なお軸力は試験体自重,治具,ジャッキの 合計とし,式中の記号は文献による。開口あり 試験体の曲げ耐力は,開口部分の壁縦筋の本数 を除いて算出した。この計算結果より,開口な し試験体は曲げ破壊先行型,開口あり試験体は せん断破壊先行型と算出された。

2.2 載荷方法

本実験は実大実物実験であるが,試験体外部 に反力壁を設けることが非常に困難であったた め,加力は自己完結的なものとした。図-4に は加力装置を示す。加力ジャッキを45.87°方 向に2本,東西両面で計4本取り付けた。南側 ジャッキを縮め北側ジャッキを伸ばすことで, 南側へ載荷できる。壁部材が南側に変形する時 を正載荷とし,逆側を負載荷とした。載荷は図 -4の試験体頂部の変位の平均値によって制御 する予定であったが,北側変位計はその計測治 具が試験体の回転の影響を受けていることが確 認されたため,開口なし試験体のstep180 (R=0.7/1000rad.)以降及び,開口あり試験体 では最初から南側変位計のみで制御した。

3. 実験結果

3.1 復元力特性と最終破壊性状

図 - 5には荷重 - 層間変形角関係を示す。層 間変形角は,試験体南側頂部に設置した変位計 の値を,変位計までの高さで除して算出した。 開口なし試験体の最大耐力は1135kN



図 - 6(b) 開口あり最終破壊性状

(R=-0.6/1000rad.),開口あり試験体では942.6kN (R=14/1000rad.)となった。最大耐力を比較する と開口あり試験体では,開口なし試験体に比べ 最大耐力が約200kN ほど低いことがわかる。ま た,表-2に示した計算値と比較すると両試験 体共に実験値の方が低い結果となった。開口あ り試験体において,正負の最大耐力が異なった 原因は後に考察する。

両試験体の最終破壊性状を図 - 6(a),(b)に 示す。壁の両側には,直交壁部分のひび割れを 示している。開口なし試験体においては,壁中 央部にせん断ひび割れも見られたが,特に壁と 床スラブとの接合部分に壁全長に渡るひびわれ が発生し、スリップしている様子が観察された。 開口あり試験体では,正載荷時に開口の南北で 同程度のひび割れであったものの,負載荷時に は南側に多くのひび割れが見られた。図 - 6(a) の, 点a, b部分の荷重0kN時(R=5/1000rad.)のひ び割れ幅は0.2~1mm と小さかった。一方図 - 6 (b)の開口入隅部分の点c, dでは,開口補強が ないため、他の箇所と比べひび割れ幅が大きく なった。荷重0kN時(R=10/1000rad.)における点 e 部分のひび割れ幅は1~2mm に達し,点f部分 では2mm 以上と大きな値に達していた。

3.2 各変位成分

3.2.1 各变位算出法

全体変位(以下, δ_{total})は曲げによる変位(以下, δ_{sh}), せん断による変位(以下, δ_{sh}), スリ ップによる変位(以下, δ_{sl})により構成される と考えられるため,各変位の算出を行った。各 変位の算出方法概念図を図 - 7に示す。 δ_m は, 壁構面内の縦に設置した変位計(以下,CS1, CS2)の変位差を δ_v とし,式(3)より算出した。 なお,式(3)で求める δ_m は曲げ変位の最大値を 算出していることになる⁴⁾。

$$\delta_{\rm m} = \rm H \times \tan^{-1} \left(\frac{\delta_{\rm V}}{l} \right)$$
 (3)

開口あり試験体においては,開口なし試験体 同様に開口の南北の壁について,それぞれ_{北δ}, _{漸δ} を算出し,それらの平均値を開口あり試験



体のδωとした。

δ_hの算出には, CS1及びCS2と斜めに設置し たワイヤー変位計(CW1, CW2)を使用した。 まず,変位計を設置している下の2点を不動点 とし,変形後の点A, Bの座標を式(4.1)~式(4.4) を用いて算出する。

$$Xa = \sqrt{\frac{X^2 + (h_1 + \Delta h_1)^2 - (l_1 + \Delta l_1)^2}{2X}}$$
 (4.1)

$$Ya = \sqrt{(h_1 + \Delta h_1)^2 - Xa^2}$$
 (4.2)

$$Xb = \sqrt{\frac{X^{2} - (h_{2} + \Delta h_{2})^{2} + (l_{2} + \Delta l_{2})^{2}}{2X}}$$
 (4.3)

$$Yb = \sqrt{(l_2 + \Delta l_2) - Xb^2}$$
 (4.4)

式中の は各変位計の伸縮量を示す。各座標 より変形角を算出し,式(4.5)に示すように高さ H を乗じてるかとするが,このるには るいとるのの成 分が含まれているため,実際のるかはその両者を 差し引いた値とした。開口あり試験体では る 同様に開口の南北で北るか, 南るかを算出し,これ らの平均値を δか とした。

$$\delta_{sh} = h \{ \tan^{-1} (Xa / Ya) + \tan^{-1} (Xb / Yb) \} / 2 \quad (4.5)$$

δaについては,式(5)より各スリップ変位計の 平均値とした。なお,開口ありは中央に変位計 を設置しないため2本の平均値とした。

$$\delta_{s1} = (\delta_{s1} 1 + \delta_{s1} 2 + \delta_{s1} 3)/3$$
(5)

算出した δ_{m} , δ_{sh} , δ_{sl} の合計したものを δ_{total} と し,式(6)に示す。 $\delta_{total} = \delta_{m} + \delta_{sh} + \delta_{sl}$ (6)



図 - 9 各変位step歴とその割合(開口あり)

開口あり試験体においては_北δ_{total}, ^南δ_{total}を式 (7.1),式(7.2)に示す。

$_{\sharp L} \delta_{total} = _{\sharp L} \delta_{m} + _{\sharp L} \delta_{sh} + _{\sharp L} \delta_{sl}$	(7.1)
$_{\bar{\mathbf{m}}} \delta_{total} =_{\bar{\mathbf{m}}} \delta_{m} +_{\bar{\mathbf{m}}} \delta_{sh} +_{\bar{\mathbf{m}}} \delta_{sl}$	(7.2)

3.2.2 開口なし試験体

各stepにおける各変位成分の変化及び各加力 ループのピーク時における各変位割合をそれぞ れ図 - 8(a),(b)に示す。図 - 8(a)に着目する と δ_m , δ_{sh} は全体の変位に比べて少なく,step240 (R=-2/1000rad.)以降 δ_{sl} が大きな値となってい た。また,各変位量共に加力方向による変位量 の差異は小さかった。次に,図 - 8(b)を詳細に 検討する。2.5/1000rad.の1サイクル目までは正 側に比べ負側の δ_m が増加する一方, δ_{sh} は減少す る傾向であり,2.5/1000rad.以降では,逆に δ_m が減少し, δ_{sh} が増加する傾向が見られた。ま たサイクルを繰り返すごとに δ_m , δ_{sh} は減少し, δ_{sl} は増加する傾向にあり,2.5/1000rad.の2 サイ クル目では約 50%に達し,最終的には約 60% を超えていた。全体的に見ると,初期段階では δ_{sh} が最も卓越するが,最終的にはδыが最も卓越す る結果となった。なお正側の最大耐力時にはδы が大きな割合を示していた。

3.2.3 開口あり試験体

各stepにおける各変位成分の変化及び各加力 ループのピーク時における各変位割合をそれぞ れ図 - 9(a), (b) に示す。図 - 9(a) に着目する と, step350 (R=1.7/1000rad.) までは各変位共 に差が殆ど見られなかったが,その後正側にお いて δ_{sh}が, 負側においては step560 (R=-7/1000rad.)までは δaが卓越していた。次に 図 - 9(b)から各変位割合の推移を検討する。ま ず δ…について正側と負側を比較すると, 5/1000rad.の 1 サイクル目までは殆ど差が見ら れなかった。δыは全体として大きな割合を示 し,正負の最大耐力時付近においても60%,45% と大きな割合を示していた。るは開口なし試験 体ほど卓越することはないが,正側と負側を比 較すると,全体的に正側に比べ負側が大きな割 合を示していた。開口なし試験体ではスリップ



図 - 10 南北の各変位step歴比較[開口あり]

変位が卓越し,正負共に同程度の変位であった が,開口あり試験体では負側のみスリップ変位 が卓越した。これは開口を設けたことが原因と 考えられるため,南北の壁についてさらに詳細 に検討する。

開口の北側と南側での各変位の比較を図 - 10 に示す。δ_mは,正負載荷時共に断面が引張応力 状態となる壁部材(例えば,正載荷時には北側 壁)の値が大きい。すなわち北側では正側が, 南側では負側が大きな値であった。また正負を 比較すると,北側において正側に,南側におい ては正負同様ないしは負側に偏りが見られた。 次にδ_mについては,南側の値が北側に比べて大 きな値を示していた。正負の比較では南側にお いて正側に偏りが見られた。逆にδ_mでは,北側 の値が南側より大きく,負載荷時に大きな偏り が見られた。以上の様に,各変位に違いが見ら れたことから,南北での全体変位の比較を行う。

図 - 11には_{北δισι}と_{南δωτ}οstep 歴を示す。図よ りδ_{ωτa}では,各変位成分の比較の際に見られた



図 - 12 南北の各変位成分のstep 歴 [開口あり]

南北の差は殆どなかった。次に開口の南北の壁 についてさらに詳細に検討する。図 - 12に南北 側それぞれの各変位成分のstep歴を示す。北側 での各変位の推移を見ると,step350 (R=1.7/1000rad.)以降の正載荷時には δ_m ,負 載荷時には δ_m が卓越していた。ただし前述した ように, δ_m は最大値として算出した点に留意す る必要がある。次に南側での各変位の推移に着 目すると, δ_m 及び δ_m の変位が小さく, δ_m が常に 卓越していた。

以上の結果,開口なし試験体では最終破壊性 状にスリップ変位が,開口あり試験体ではせん 断変位が大きく影響していることを確認した。

4. 最終破壊メカニズム時耐力の検証

前章までの検証により,開口なし試験体にお いて,&の卓越が見られた。また最終破壊性状 からも,試験体の壁と床スラブの接合部におけ るスリップによる顕著なひび割れが見られた。 表 - 2に示したように,耐力壁の曲げ,およ びせん断終局強度計算値は,実験値を大きく上 回っている。そこで壁式 RC 構造の壁部材にお けるスリップ耐力について,文献 5),6)に示さ れる壁式プレキャスト造接合部の耐力式を準用 して検討する。直交壁部分を考慮して,文献 5),6)に示される水平接合部の終局せん断耐力式 (8)(9),文献 6)に示される ACI規準によるせん断 強度式(10)を用いて算出し,その結果を表 - 3 に示した。なお式中の記号は文献によるものと し,表中の()内は実験値を計算値で除したも のとする。

 $V_{Hj(a)} = \left\{ \mu \left(a_w \sigma_{wy} + N_L \right) + C \right\} \cdot \xi$ (8)

$$Q_{\rm DH} = 0.7 \left(\sigma_{\rm y} \cdot P_{\rm h} + N_{\rm h} \right) \tag{9}$$

$$V_n = A_{vf} f_y \mu$$
(10)

表-3 スリップ耐力(開口なし)

V _{Hj} [kN]	1017(1.1)	
Q _{DH} [kN]	1060.2(1.1)	
V _u [kN]	873.5(1.3)	
実験値[kN]	1135.6	

この結果より,開口なし試験体では式(8),式 (9)において,実験値に近い値に,式(10)では値 が離れているものの計算値は安全側となった。

次に開口あり試験体について検討する。前章 で述べた様に,最大耐力において&か支配的で あった。そこで表-2のせん断耐力の計算値と 実験値を比較すると,計算値が大きくなり危険 側に算出されていた。開口あり試験体において 正負で最大耐力が異なり,かつ計算値と実験値 が異なった理由として次の2つが推測される。

1 つ目の理由は図 - 9(a)に示した様に,正負 の最大耐力時の最も卓越した変位成分が異なり 開口の南北で異なる破壊モード(せん断破壊と スリップ破壊)が発生した。

2 つ目は,開口の南北の破壊モードは共にせん断破壊であったが,それぞれ終局せん断耐力に至る変位が異なった。

5.まとめ

本論では,壁式 RC 建物の実大壁の実験につ いて,破壊性状と各変位成分に着目した検討を 行い,また各試験体の最大耐力算出を行い,実 験結果と比較した。以下に得られた知見を示す。

- 1)開口なし試験体では最終的にスリップ変位が 卓越していた。そこでスリップ耐力を計算し た結果,実験値と近い値が得られた。
- 2)開口あり試験体では,開口の南北共に最終的 にせん断変位が卓越していた。しかし,せん 断耐力の計算値は実験値を過大評価する結果 となった。さらに正負の最大耐力及びその時 の変位は異なっていた。

謝辞

本研究は,(社)建築研究振興協会に組織された 「次世代に対応した室内空間拡大技術の開発委 員会」の研究の一環として実施しました。実験 に際しては,都市再生機構小谷氏,秋山氏,㈱ 青木あすなろ建設北嶋氏,その他,関係各位の 多大なご協力を得ました。ここに感謝の意を表 します。

参考文献

1)日本建築学会:特殊コンクリート造設計基準,4章壁式コンクリート造,1995

 2)日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の 耐久性調査・診断及び補修指針(案)・同解説,
 1997

3)日本建築センター:建築物の構造関係技術基準解説書 2001

4) 平石久廣: 耐震壁のせん断変形と曲げ変形の 算出方法,日本建築学会構造系論文集,第333 号, p55-62,昭和58年,11

5)日本建築学会:プレキャスト鉄筋コンクリート連層耐震壁の水平せん断耐力の評価法と設計例,2002

6)日本建築学会:プレキャスト鉄筋コンクリー ト構造の設計と施工,1986