

# 偏在開口を有する RC 造連層耐震壁の曲げ性状に関する研究 (その1: 実験概要・結果)

|       |      |        |   |     |                     |   |                     |   |                   |
|-------|------|--------|---|-----|---------------------|---|---------------------|---|-------------------|
| 連層耐震壁 | 偏在開口 | ひび割れ強度 | 同 | 正会員 | ○石川俊介 <sup>*1</sup> | 同 | 岡田勇佑 <sup>*2</sup>  | 同 | 河野進 <sup>*2</sup> |
| 初期剛性  | 曲げ耐力 | 復元力特性  | 同 |     | 坂下雅信 <sup>*2</sup>  | 同 | 田中仁史 <sup>*3</sup>  | 同 | 福山洋 <sup>*4</sup> |
|       |      |        |   |     | 加藤博人 <sup>*4</sup>  | 同 | 諏訪田晴彦 <sup>*5</sup> |   |                   |

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下 RC と略記）造建物の主要な耐震要素として採用される耐震壁は建築設計上の要求により開口を有する場合が多い。有開口耐震壁は、建築学会規準<sup>1)</sup>（以下、RC 規準）においては開口周比に応じてせん断強度やせん断剛性を低減することにより、無開口耐震壁に準じた扱いがなされている。前報<sup>2)</sup>では、載荷実験を行い開口の位置及び大きさが耐震壁のせん断性状に与える影響を検証した。しかし、有開口耐震壁の曲げ性状について検討した研究例は加藤らの研究<sup>3)</sup>など数例のみであり、データの蓄積が急務であるといえる。

そこで本研究では、開口周比が 0.4 前後で開口が多層に渡って偏在配置された RC 造耐震壁の曲げ性状の把握を目的として載荷実験を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1. 試験体概要

本実験の試験体は 6 層の連層耐震壁を有する RC 造建物を想定し、その最下層 2.5 層の 1 スパンを 40% スケールでモデル化した偏在開口付き連層耐震壁である。実験変数は開口周比および開口位置である。試験体は無開口試験体 NF1、大開口試験体 RF1、小開口試験体 SF1、SF2 の計 4 体である。また、試験体 RF1 の袖壁長さは 300mm 及び

1125mm とし、試験体 SF1 及び SF2 の袖壁長さに対応させた。図-1 に試験体の寸法及び配筋を示す。

計算上全ての試験体で曲げ降伏後にせん断破壊することを確認した。なお、耐震壁のせん断耐力は文献 4) より求めた無開口耐震壁のせん断耐力に、表-1 の開口低減率を乗じることで算出した。開口補強筋については、短期許容せん断力に相当するせん断力 ( $rQ_w$ ) が壁板に作用した際に降伏しないように、文献 1) に従って配筋した。試験体の断面寸法を表-1 に、鉄筋及びコンクリートの力学的特性を表-2 に、各部材の配筋詳細を表-3 に示す。

表-1 試験体の壁板の断面と配筋

| 試験体名                                        | NF1                               | RF1   | SF1  | SF2  |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|-------|------|------|
| 開口幅 $l_o$ (mm)                              | —                                 | 825   | 400  | 400  |
| 開口高さ $h_o$ (mm)                             | —                                 | 800   | 800  | 800  |
| 等価開口周比 $\eta$                               | —                                 | 0.46  | 0.32 | 0.32 |
| $r_1 = 1 - 1.1 \times l_o / l$              | 1                                 | 0.67  | 0.84 | 0.84 |
| $r_2 = 1 - 1.1 \times \sqrt{h_o l_o} / h l$ | 1                                 | 0.54  | 0.68 | 0.68 |
| $\lambda = 1/2(1 + l_o / l)$                | —                                 | 0.65  | 0.57 | 0.57 |
| $r_3 = 1 - \lambda \sum h_o / \sum h$       | 1                                 | 0.72  | 0.76 | 0.76 |
| 開口低減率 $\text{Min}(r_1, r_2, r_3)$           | 1                                 | 0.54  | 0.68 | 0.68 |
| 壁厚 (mm)                                     | 80                                |       |      |      |
| 壁筋 (縦・横)                                    | D6@100 千鳥 (SD295A) $p_s = 0.40\%$ |       |      |      |
| 開口補強筋 (縦)                                   | —                                 | 1-D6  | —    | —    |
| 開口補強筋 (横)                                   | —                                 | 2-D10 | 2-D6 | 2-D6 |

表-2 使用材料の力学的特性

### (a) 鉄筋

| 呼び径         | D6     | D10 | D13 | D16 | D25   |
|-------------|--------|-----|-----|-----|-------|
| 鉄筋種         | SD295A |     |     |     | SD345 |
| 降伏強度 (MPa)  | 444    | 380 | 371 | 344 | 381   |
| 引張強度 (MPa)  | 526    | 536 | 524 | 509 | 575   |
| ヤング係数 (GPa) | 181    | 187 | 185 | 188 | 190   |

### (b) コンクリート

| 試験体名        | NF1  | RF1  | SF1  | SF2  |
|-------------|------|------|------|------|
| 圧縮強度 (MPa)  | 24.0 | 24.3 | 30.5 | 30.6 |
| 割裂強度 (MPa)  | 2.35 | 2.08 | 2.51 | 2.73 |
| ヤング係数 (GPa) | 19.9 | 21.4 | 23.3 | 22.9 |

表-3 柱及び梁の断面寸法と配筋 (共通)

| 部材 | 断面(mm)  | 主筋    | 主筋比   | せん断補強筋   | せん断補強筋比 |
|----|---------|-------|-------|----------|---------|
| 側柱 | 250×250 | 8-D16 | 2.54% | 2-D6@50  | 0.51%   |
| 梁  | 200×300 | 2-D13 | 0.47% | 2-D6@100 | 0.25%   |

※梁は上下段筋ともに 2-D13

### 2.2. 載荷装置

載荷装置を図-2 に示す。水平方向加力は東側方向への載荷を正方向と定義し、全体変形角を制御する静的正負交番繰返漸増載荷である。ただし、3 階梁高さ中央位置で

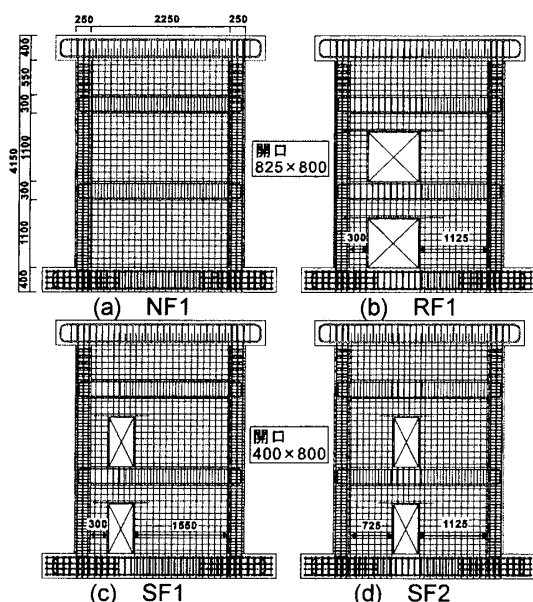


図-1 試験体形状および配筋図 (単位: mm)

の水平変位を基礎上面からの高さ 2650mm で除した変形角を全体変形角（以後 R）として定義する。水平方向载荷は 100kN で 1 回、R=0.05%, 0.1%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0% で各 2 回ずつ正負両方向に繰り返した後、R=4.0% となるまで正方向に単調加力したところで終了した。また、連層耐震壁の反曲点高さを基礎上面から 5000mm の位置とし、せん断スパン比が 2.0 となるように東西の鉛直ジャッキで変動軸力を加えた。東西の柱に作用させる軸力を式(1)及び式(2)に示す。Q は水平荷重であり、柱の長期軸力は 400kN とした。

$$N_E = 0.58Q + 400 \text{ kN} \quad (1)$$

$$N_W = -0.58Q + 400 \text{ kN} \quad (2)$$

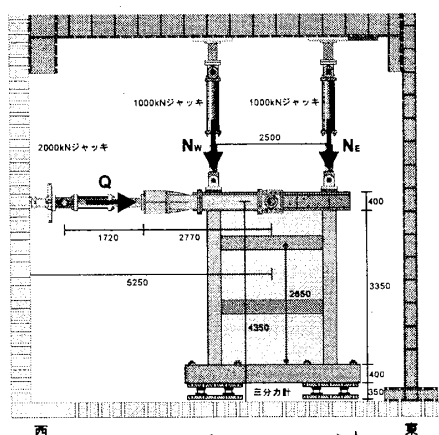


図-2 载荷装置（単位：mm）

### 3. 損傷の進展状況

図-3 に各試験体の最大耐力に到達したサイクルの除荷時におけるひび割れ状況を示す。各試験体とも、R=0.05% サイクルで壁板にせん断ひび割れが発生した。柱の曲げひび割れは、RF1 のみ R=0.25% サイクル、他試験体は R=0.1% サイクルで発生した。また、いずれの試験体も曲げ降伏が先行した。

NF1 は、負荷では R=1.5% サイクルにおいて、1 階壁板隅角部のコンクリート圧縮束の圧壊によるかぶり剥落

が始まり、その後損傷の進行とともに耐力が低下した。正荷では R=2.0% サイクルにおいて、1 階壁板隅角部の圧縮束の圧壊と同時に 1 階壁板対角方向にせん断滑りが生じ、耐力が大きく低下した。

RF1 は、負荷では R=0.75% サイクルで最大耐力に到達した後、2 階短スパン梁下の垂れ壁が損傷し、変形の増大に伴い徐々に耐力が低下した。R=1.5% サイクルにおいて、正負両方向ともに 2 階開口上部横圧縮側袖壁に水平ひび割れが発生し、正方向では耐力が大きく低下した。

SF1 は、負荷では R=0.5% サイクルで最大耐力に到達した後、2 階短スパン梁に損傷が集中したが、R=2.0% サイクルにおいて短スパン梁のせん断補強筋が破断するまでは大きな耐力低下は見られなかった。正荷では圧縮側柱脚部のせん断破壊により耐力が大きく低下した。

SF2 は、負荷では R=0.75% サイクルで最大耐力に到達した後、2 階短スパン梁におけるせん断ひび割れが開き耐力低下した。R=1.0% サイクルにおいて 2 階開口上部横圧縮側袖壁に水平ひび割れが発生し、再び耐力が大きく低下した。SF2 のみ負荷での耐力低下が正荷に先行した。正荷では、R=2.0% サイクルにおいて 2 階開口横圧縮側袖壁に斜め方向のひび割れが発生して滑り、耐力が低下した。その後、2 階壁板及び短スパン梁のコンクリートが剥落し、開口を挟んで左右の壁板が独立してロッキングするような挙動が見られた。

### 謝辞

本研究の一部は、平成 22 年度国土交通省「建築基準整備促進事業」プログラムによるものです。関係する方々に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010
- 2) 土井公人ほか：千鳥開口を有する RC 造連層耐震壁のせん断耐力評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.2，pp.355-360，2010
- 3) 加藤大介ほか：RC 造連層有開口壁の設計法に関する考案，コンクリート工学年次論文集，Vol.21，No.3，pp.721-726，1999
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震指針・同解説，1999
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説，2004
- 6) 石川俊介ほか：曲げ変形が卓越する有開口 RC 造耐震壁の終局性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.2，査読中，2011
- 7) 小野正行：大きな開口を有する開口壁の弾塑性性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.541-546，1995

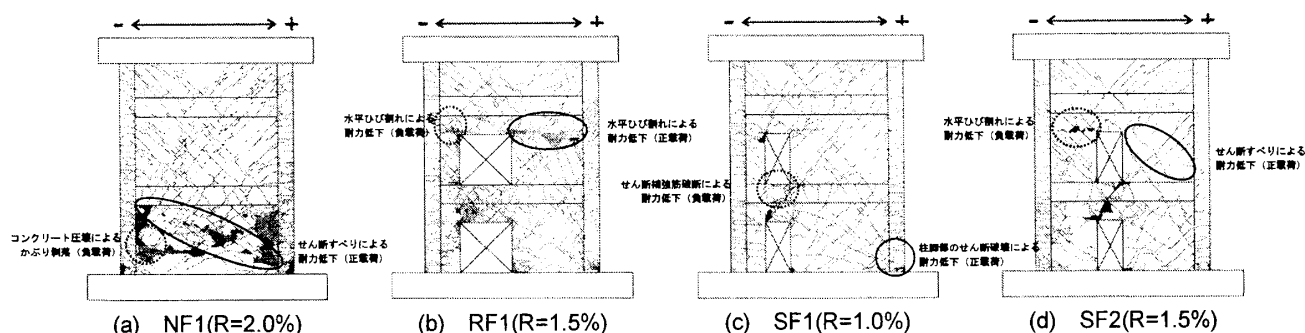


図-3 最大耐力時の損傷状況

- \*1 鹿島建設株式会社
- \*2 京都大学 建築学専攻
- \*3 京都大学 防災研究所
- \*4 独立行政法人 建築研究所
- \*5 国土交通省 国土技術政策総合研究所

- \*1 Kajima Corporation
- \*2 Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Kyoto University
- \*3 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
- \*4 Building Research Institute
- \*5 National Institute for Land and Infrastructure Management