

新設開口周りを当該階のみで補強した既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁の耐震性能

WPC 構造 既存建物 新設開口 正会員 ○栗本健多 1\*  
耐震補強 変形モード 変形性能 同 北山和宏 2\*\*

1. はじめに

高度経済成長期に建設された中低層壁式プレキャスト鉄筋コンクリート(WPC)構造集合住宅は、高い耐震性能を保持しながら現在の多様な住要式に適合していない。そのため、既存 WPC 構造集合住宅を有効活用した実績はほとんどない。これは既存のプレキャスト(以下 PCa)耐震壁板に開口を新設する技術に関する研究がほとんどなく、改修の制約となっているためである。そこで、既存 WPC 構造耐震壁に施工性が良く、耐震壁の耐震性能低下の少ない新設開口を設ける技術の開発が求められている。

本研究では 2009 年度に和田らが行った WPC 構造耐震壁実験<sup>1)</sup>を基に、新設開口設置による影響と補強効果を検討することを目的とする。

2. 実験概要

地上 5 階建て WPC 構造集合住宅の既存建物を対象建物とした。試験体は対象建物の 2 階壁および上下階の壁の約 1/3 を有し、平面上直交する PCa 板の交点は鉛直方向に床スラブを貫通する鉄筋(鉛直接合筋)を配し、コンクリート充填で一体化させ、2, 3 階のスラブと直交壁および耐震壁を水平接合金物(セッティングベース, 以下 SB と略記)の溶接と上下階 PCa 板間の敷モルタル充填で一体化させ、1/2 に縮小したものである。

試験体一覧を表 1 に、各試験体の概形を図 1 に示す。無開口試験体 W5, 2 階のみ開口を設けた無補強試験体 N5S, 開口周りを溝型鋼で補強した試験体 B5S の計 3 体である。B5S の鉄骨縦架材の上端は鉄骨横架材と溶接接合したが、下端は下階と接合しない。これは補強部分を当該階で収めることを目的としたためである。

加力方法は、水平ジャッキを 2 基取り付け、水平荷重を正負交番繰返し载荷した。鉛直荷重として初期状態で長期荷重 106kN を加え、それに付加する形で、水平荷重に応じて二つの鉛直ジャッキに上下の鉛直荷重を载荷することで反曲点高さを制御した。このとき建物頂部までの高さの 2/3 に反曲点があると想定した<sup>2)</sup>。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重変形関係およびひび割れ図

層せん断力-層間変形角関係を図 2 (左) に、最終ひび割れ図を図 2 (右) に、最大耐力, 安全限界変形角, 初期剛性, および破壊性状を表 1 に示す。最大耐力は開口の有無および、開口周囲の補強の有無に関わらず同程度であった。また、最終ひび割れ図から、W5 および B5S は 2 階床面(以下 2SL と略記)の SB 近傍にコンクリートの圧壊

表 1 試験体一覧

試験体	補強	最大耐力(kN)		*初期剛性 (kN/mm)	安全限界変形角 (%)	破壊性状
		正加力	負加力			
W5	無	101	103	166	1.22	2SLのSB破断
N5S		105	110	53	2.43	3SLのSB破断
B5S	鉄骨	113	106	64	1.2	2SLのSB破断

\*初期剛性: 層間変形角 R=+0.025%時の割線剛性

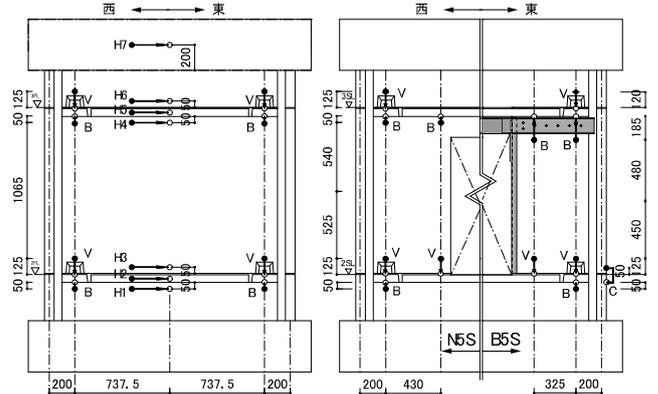


図 1 W5 (左) N5S, B5S (右) の概形および変位計設置位置

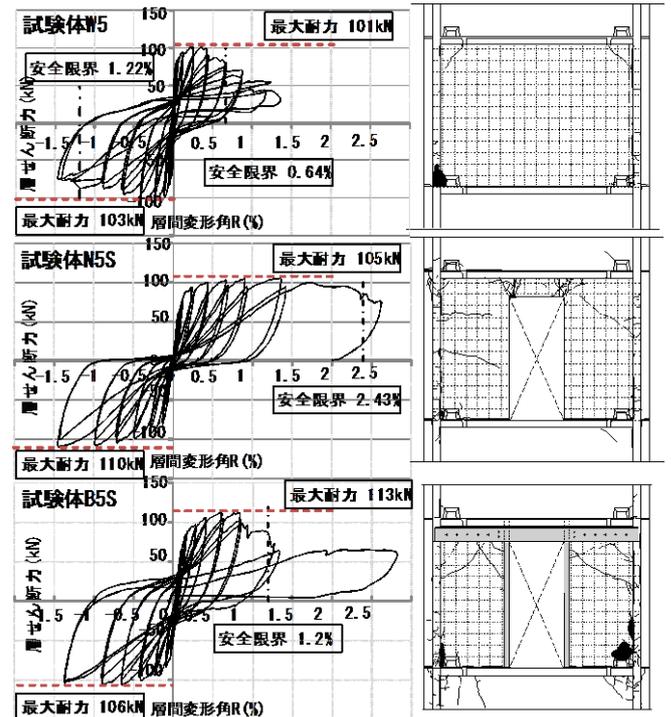


図 2 層せん断力-層間変形角関係(左)および最終ひび割れ図(右) W5 (上)、N5S (中)、B5S (下)

が生じたが、N5S では見られなかった。また、N5S の初期剛性は W5 の 32% に低下し履歴形状は痩せ、層間変形角 0 付近ではスリップ性状を示し、エネルギー吸収性能は低下した。B5S の初期剛性は N5S の 1.2 倍となり、履歴形状は紡錘形を示し、エネルギー吸収性能は向上した。この要因については 3.2 に記す。

### 3.2 変形モード（浮き上がり+スウェイモード）

先行研究<sup>3)</sup>に則り、2階耐震壁板の層間変形を曲げ変形、せん断変形、スウェイ、および浮き上がり回転に分離し、各変形成分の算出を行った。その中のスウェイによる変形量と図1における変位計V,Bの測定値（浮き上がり量）から頂部変形角+1%時の変形モードを作成した。これを図3に示す。以下にスウェイによる変形量の算出方法を示す。

W5は2階スラブ上下の水平変位の差（変位計H3とH1の差）とした。N5SとB5Sは2階スラブ上下の水平変位（変位計H1,H3）を測定できないため、N5Sは変位計H5とH2の差（2階の層間変位）から上述の3成分を引いて求めた。B5Sの東側壁板は変位計Cから1,2階直交壁の相対水平変位を求め、これより壁板の回転による影響を補整して求めた。西側壁板は変位計Cに不備があったため、N5Sと同様にして求めた。この時、1~3階の耐震壁板は剛体とした。以降、水平荷重によって引張力を受ける壁板（正加力時：西側）を引張側壁板、圧縮力を受ける壁板（正加力時：東側）を圧縮側壁板と呼ぶ。

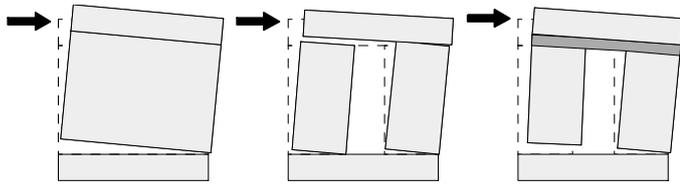


図3 頂部変形角1%時の変形モード W5(左) N5S(中) B5S(右)

W5の1-2階間における浮き上がりは非常に大きく、2-3階間に浮き上がりはほとんど生じない。N5Sは引張側、圧縮側共に1-2階間、および2-3階間に浮き上がりが生じ、開口左右の壁板が各々独立して回転した。このため、各SBで発生する浮き上がり量は均一となった。B5Sは引張側壁板の浮き上がりは非常に大きい、2-3階間の浮き上がりは小さく、W5に近い変形モードを示した。これは開口上部に増設した鉄骨横架材により、開口左右の壁板の一体性が高まったためである。この時、引張側壁板は浮き上がりによって2階スラブと接地していないため、圧縮側壁板と床スラブの接地点に圧縮力が集中し、2階SLの圧縮側壁板のSB近傍にコンクリートの圧壊が生じた。このためB5Sのエネルギー吸収性能が向上したと考えられる。

### 3.3 変形性能の評価

各試験体の変形性能について安全限界変形角を用いて比較する。安全限界変形角は、鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説<sup>4)</sup>における耐震壁の安全限界状態を参考に、最大耐力の80%に耐力が低下した時の層間変形角と定義した。図2（左）に安全限界変形角を示す。W5の安全限界変形角は正方向で2SLのSB溶接部破断により0.64%、負方向で2SLの圧縮側SB近傍のコンクリートの圧壊により1.22%と決定した。このとき、正方向の安

全限界変形角0.64%は損傷した2SLのSB隅肉溶接の溶接量の不足から生じたため、本研究では、W5の安全限界変形角は負方向の1.22%を採用する。N5Sは正方向で3SLのSB隅肉溶接の破断により2.43%と決定した。B5Sは正方向で2SLのSB隅肉溶接の破断により1.2%と決定した。

N5Sは正方向でW5の2倍の安全限界変形角を示し、見かけ上の変形性能は向上した。これは図3に示すように、開口の新設に伴い、開口左右の壁板が各々独立して回転を生じたため、各SB位置での浮き上がりが分散され、個々の浮き上がり量が減少したためである。B5Sの正方向の見かけ上の変形性能はN5Sの半分に低下した。B5SはW5に近い変形モードを示し、W5と同様に2階SLの引張側壁板のSB位置に浮き上がりが集中したためである。また同様の変形モードを示したW5とB5Sの安全限界変形角はほぼ同値であり開口の新設後も同等の変形性能を得られた。

### 3.4 最大耐力についての検討

先行研究<sup>3)</sup>により、W5とN5Sの最大耐力が同程度だったことに対する検討はなされている。本論ではB5Sの最大耐力が他の2体と同程度だったことに対して検討を行う。B5Sに増設した開口上部の鉄骨横架材は、曲げ戻しの効果による最大耐力の上昇を期待して設置した。しかし、B5Sの正加力、最大耐力時（113kN）における鉄骨横架材のひずみから梁端部に発生するモーメントを算出し、鉄骨横架材の内法長さで除すことで鉄骨横架材の鉛直せん断力を求め、これより水平力に対する鉄骨横架材の抵抗寄与分を算出したところ2.4kNとほとんど水平耐力に寄与しなかった。このため、B5Sの最大耐力の上昇が得られなかった。

### 4. まとめ

当該階のみで新設開口周りを補強すると、開口左右の壁板の一体性が増し、その変形モードは無開口時に近づいた。そのため水平力に対して引張を受ける壁板の浮き上がり量は無補強時と比べ非常に大きくなり、引張側壁板は2階床スラブと接地せず、圧縮側壁板と2階床スラブの接地点に圧縮力が集中し、コンクリートの圧壊を生じることで無補強時と比べエネルギー吸収性能が向上した。その一方で、浮き上がり箇所が2階SLの引張側SB位置に集中したため、見かけの変形性能は無補強時の半分に低下した。また、鉄骨横架材による曲げ戻しの効果を得られなかったため、最大耐力の上昇が見られなかった。

#### 参考文献

- 1) 和田芳宏、見波進、北山和宏、高木次郎：既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁における新設開口補強効果の実験的研究 コンクリート工学年次論文集 Vol.32, No.2, pp1075-1080, 2010.
- 2) 日本建築防災協会：既存壁式鉄筋コンクリート構造建物の耐震診断指針、第2版3刷 2008年8月29日発行
- 3) 長谷川俊一、北山和宏、見波進、高木次郎：新設開口補強を有する既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造壁の耐震性能評価 コンクリート工学年次論文集 Vol.34, No.2, pp1051-1056, 2012.
- 4) 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、2004.1

\*1 首都大学東京大学院

\*1. Graduate School, Tokyo Metropolitan University

\*2 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 教授・工博

\*2. Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.