

新設開口を伴う既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造耐震壁の性能評価
その2 変形挙動の分析と復元力特性の評価

WPC 構造 既存建物 新設開口
変形挙動 最大耐力 変形性能

正会員 ○鈴木清久*1
同 北山和宏*2
同 高木次郎*3
同 見波 進*4

1. はじめに

前報で試験体 W5(無開口)と N5S(有開口)について、2階耐震壁板における変形成分の分離を行った。その結果、両試験体ともに浮き上がり回転とスウェイの変形成分が、2階の層間変形の殆どを占めた。そこで本報では上記の2つの変形成分のみを抽出し、耐震壁板の変形挙動を検討し考察した。また最大耐力および変形性能について検討した。

2. 耐震壁板同士の相対的挙動

試験体を構成する壁板のうち、1~3階の耐震壁板のみに着目し、1階耐震壁板を基準とした時の2階・3階の耐震壁板の相対的な挙動を考える。この挙動を表す上で試験体 W5 は2階および3階の2枚の壁板、試験体 N5S は開口を考慮し2階壁板を左右の2枚に分割し3枚の壁板にそれぞれ置換した(図1)。考慮した変形成分は浮き上がり、回転および水平移動(スウェイ)の3成分である。壁板は剛体と仮定し、曲げ変形・せん断変形を考慮しない。この3成分を図2に模式的に示す。1階と2階の間(以降1-2階と表記)の浮き上がり量 R11 と R41 は前報の図1に示した変位計のうち B11 と V12、B41 と V42 の出力の合計値を、開口脇の浮き上がり量 R21 と R31 は V22、V32 の出力をそれぞれ用いた。また2階と3階の間(以降2-3階と表記)の浮き上がり量 R12、R42 はそれぞれ前報の図1における B14 と V15、B44 と V45 の出力の合計値を用いた。回転角 θ はそれぞれの耐震壁板において左右の浮き上がり量の差を壁板の水平断面のせいで除した値とした。スウェイは前報と同じ値を用いた。

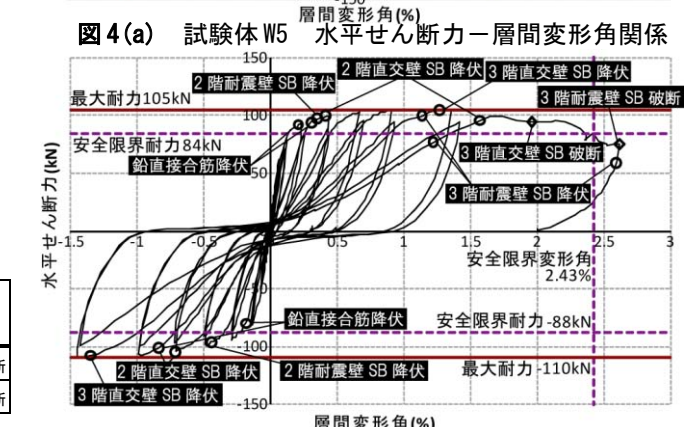
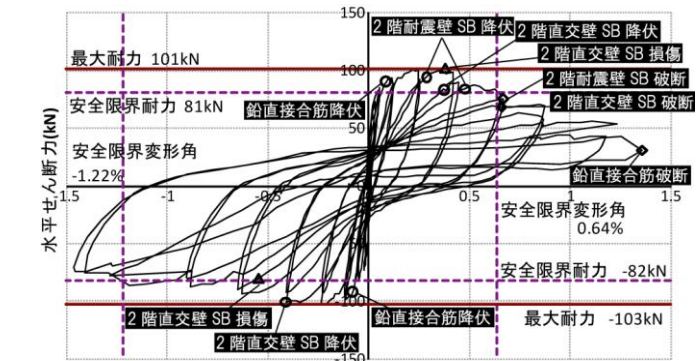
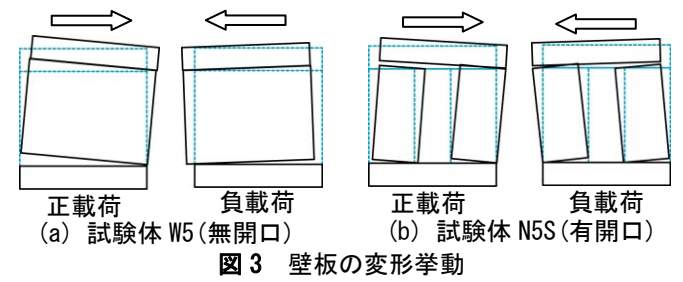
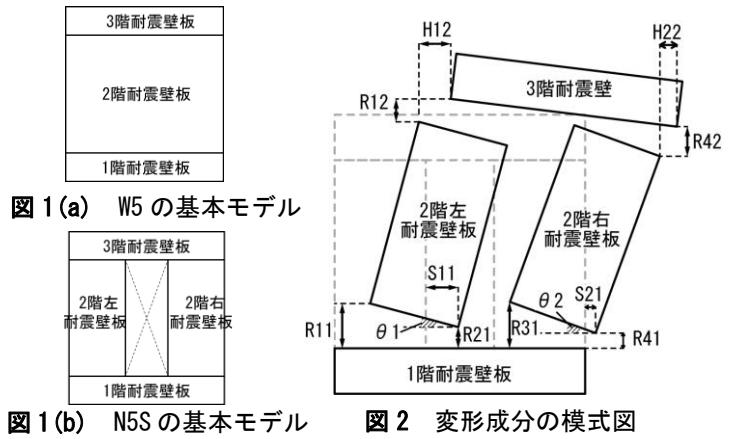
3. 挙動の考察

頂部変形角 $\pm 1\%$ の時の変形挙動を図3に示す。無開口試験体 W5 は正載荷時、負載荷時ともに1-2階の浮き上がりが非常に大きい。その一方で2-3階の浮き上がりは微小である。浮き上がりは正載荷時が、スウェイは負載荷時がそれぞれ卓越した。これは正載荷と負載荷を開始する際の圧縮側の壁端部に残留した浮き上がり量の違いによる。以下にその機構を示す。目標の最大変位が過去のピーク点を超

表1 実験結果と各種計算値

試験体	$\rho\sigma_B$ (N/mm ²)	最大耐力(kN)		計算値(kN)			R_{mu} (%)			破壊モード
		正加力	負加力	Q_{mu} *	Q_{su} *	Q_{hu} *	計算	正	負	
W5	58.6	101	103	104	327	169	1.22	0.64	1.22	2階スラブSBの破断
N5S	67.0	105	110	39	200	169	-	2.43	-	3階スラブSBの破断

* $\rho\sigma_B$:コンクリート圧縮強度 Q_{mu} :曲げ降伏強度 Q_{su} :せん断終局強度
 Q_{hu} :水平接合部終局せん断強度 R_{mu} :曲げ終局時層間変形角



Performance Evaluation of Existing Wall-type Precast Reinforced Concrete Shear Walls with New Opening
- Vol. 2 Analyses on Deformation Behavior and Evaluation of Restoring Force Characteristics -

SUZUKI Kiyohisa, KITAYAMA Kazuhiro
TAKAGI Jiro and MINAMI Susumu

えて増大する加力サイクルでは、直前の負方向荷重によって残留した浮き上がりは次の正方向荷重によって早期に解消されて、圧縮側壁端部でコンクリート同士の摩擦が生じるのでスウェイは抑制された。一方、水平変位が過去の最大変位を超えて増大するので、引張側壁端部では浮き上がり量が既往の最大値を超えて増加した。ここで荷重方向を反転させて負方向荷重すると、それまで引張を受けた壁端部は浮き上がり量の多くが残留したまま圧縮側に転じるため、コンクリート同士の接触が遅れてスウェイは増加した。開口を設けた試験体 N5S では 1-2 階、および 2-3 階ともに浮き上がりが生じて、開口左右の壁板がそれぞれ独立して回転した。すなわち各壁板の上下の対角位置において浮き上がりが生じたことから、それぞれの壁板は逆対称曲げモーメントを受けた時と同等の挙動を示したと判断できる。両試験体を比較すると壁板中央に開口を設けることによって浮き上がりの箇所が増加し、各水平接続金物（以降 SB と表記）での浮き上がり量が均一となり、個々の SB の浮き上がり量は小さくなった。

4. 最大耐力の検討

図 4 に水平せん断力-2 階の層間変形角関係および最大耐力、安全限界時の耐力と変形角、SB と鉛直接合筋の降伏・損傷・破断の時期を、表 1 に実験結果と各種計算値を示す。試験体 W5 について既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針²⁾の第 2 次耐震診断に則り曲げ降伏時せん断力 Q_{mu} 、せん断終局強度 Q_{su} および水平接合部せん断終局強度 Q_{hu} を算出した結果、 $Q_{mu}=103.5kN$ 、 $Q_{su}=327.3kN$ 、 $Q_{hu}=169.1kN$ となった。 Q_{mu} が最も小さくなり鉛直接合筋および 2 階 SB の引張降伏による曲げ破壊が予想された。実験では 2 階 SB が降伏とほぼ同時に最大耐力である正荷重時 101kN、負荷重時 103kN に達したことから、指針²⁾による最大耐力評価は妥当であると判断する。

指針²⁾では無開口および小開口を設けた際の立体耐震壁の最大耐力の計算方法は示されているが、試験体 N5S の様な大開口を設置した際の耐力評価の手法は記載されていない。そこで試験体 N5S については既往の研究⁴⁾をもとに、圧縮側耐震壁 SB が引張に有効な曲げ補強筋となるよう壁板の長さを短く仮定し最大耐力を計算した。 $Q_{mu}=38.9kN$ 、 $Q_{su}=199.5kN$ 、 $Q_{hu}=169.1kN$ となり Q_{mu} の値が最小となったことから、2 階 SB および鉛直接合筋の降伏による曲げ破壊が予想された。一方実験における最大耐力は正荷重時 105kN、負荷重時 110kN となり計算値(38.9kN)の 2.7 倍程度の耐力を示し、既往研究による耐力評価は過少であった。また実験では 2 階 SB の降伏によって耐力が一定となったが、その後には 3 階 SB が破断し計算結果と異なった。

5. 安全限界変形角の検討

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。無開口試験体 W5 の靱性指標 F は指針²⁾によれば 2.0 である。この F 値に対して降伏変形角 R_y を $1/150$ と仮定し、既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準⁵⁾に則り求めた終局変形角 R_{mu} は 1.22% である。一方実験における安全限界変形角は、鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価指針(案)・同解説⁶⁾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変形角と定義した。実験での限界変形角は試験体 W5 で正方向 0.64%、負方向 1.22%となり、正方向では計算値(1.22%)よりも小さく、指針による評価は過大となった。これに対して開口を設けた試験体 N5S では正方向 2.43%、負方向 1.45%以上(耐力低下せず)となり、試験体 W5 と比較して 2.0~3.8 倍の値を示し、見かけ上の変形性能は向上した。これは開口設置によって、変形部位が分散し個々の浮き上がり量は小さくなったためである。その一方で初期剛性は無開口試験体の場合の 32%に低下し、履歴形状は痩せて、エネルギー吸収性能が低下した。

6. まとめ

- ・既存 PCa 壁板に開口を設けると、開口左右の壁板はその各々の対角上下で浮き上がりを生じて剛体的に回転した。これにより各水平接続金物での浮き上がりは分散し、また均一的となり個々の浮き上がり量は減少した。その結果、変形性能は見かけ上、向上した。その一方履歴ループは逆 S 字形を描き、エネルギー吸収性能は低下した。
- ・既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針²⁾の第 2 次耐震診断により得られた無開口耐震壁の曲げ降伏時せん断力は、実験の最大耐力とほぼ等しく、指針による評価は妥当である。
- ・既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針²⁾の第 2 次耐震診断による無開口耐震壁の限界変形角 (1.22%、靱性指標 F 値では 2.0) は正荷重において実験値の 1.9 倍大きく、実験結果を過大評価した。

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, コンクリート工学会年次報告集 Vol. 32, No. 2, pp1075-1080, 2010.
- 2) 日本建築防災協会: 既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断指針, 第 2 版 3 刷, 2008
- 3) 平石久広: 耐震壁のせん断変形と曲げ変形の算出方法, 日本建築学会大会論文報告集, 第 333 号, pp55-62, 1983. 11
- 4) 今泉麻由子, 北山和宏, 高木次郎, 見波進, 坂元尚子, 和田芳宏: 既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅の耐震性能と開口新設後の性能評価手法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 655-656, 2009. 8
- 5) 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基準・同解説, 改訂版 6 刷 2001 年 2 月 25 日発行
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価指針(案)・同解説, 第 1 版第 1 刷 2004 年 1 月 20 日発行

*1 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学域

*2 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 教授・工博

*3 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 准教授・Ph.D.

*4 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 助教・博士(工学)

*1 Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ

*2 Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.

*3 Associate Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.

*4 Assistant Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.