

新設開口を伴う大規模改修に向けた既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅建物の耐震性能評価  
その3 WPC 構造建物の地震時挙動に及ぼす新設開口の影響と一改修事例の提案

WPC 構造 既存集合住宅ストック 新設開口  
静的増分解析 保有水平耐力 改修補強

正会員 ○中橋芳貴\*1 正会員 高木次郎\*2  
同 見波 進\*3 同 北山和宏\*4

### 1. はじめに

前報<sup>2)</sup>では、標準設計された壁式プレキャスト鉄筋コンクリート (WPC) 構造集合住宅建物の静的増分解析モデルを作成し、保有水平耐力を算出した。本報では、これを開口を新設した場合のモデルに展開し、開口位置に応じた耐震性能への影響を評価すると共に、1階に大きな開口を設けた場合の改修計画の提示および耐震性能評価を行う。

### 2. 新設開口位置に応じた耐震性能への影響

前報<sup>2)</sup>では開口のないモデル (無開口モデル) について考察を行ったが、本報では開口を新設した場合について考察する。新設開口は幅 950mm 高さ 2100mm とし、5通りおよび9通り (5通り架構) の A-B 通り間の耐震壁に設けることとする。開口補強は行わないものとし、開口位置は SB と干渉しないようスパン中央とする。1階の5通り A-B 間にのみ開口を設けたものを1階開口モデル、2階の5通り A-B 間にのみ開口を設けたものを2階開口モデル、1階から5階に開口を設けたものを連層開口モデル、4階のみに開口を設けなかったものを5階壁有モデル、1, 3, 5階は5通り架構 A-B 通り間の耐震壁、2, 4階は5通り架構 B-C 通り間の耐震壁に開口を設けたものを千鳥連

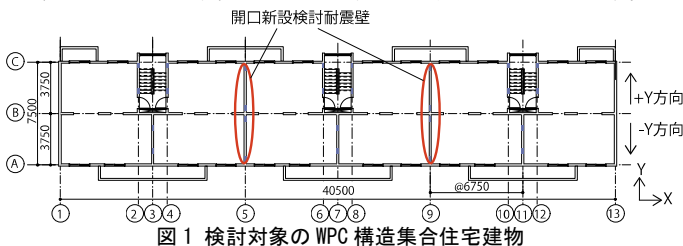


図1 検討対象のWPC構造集合住宅建物

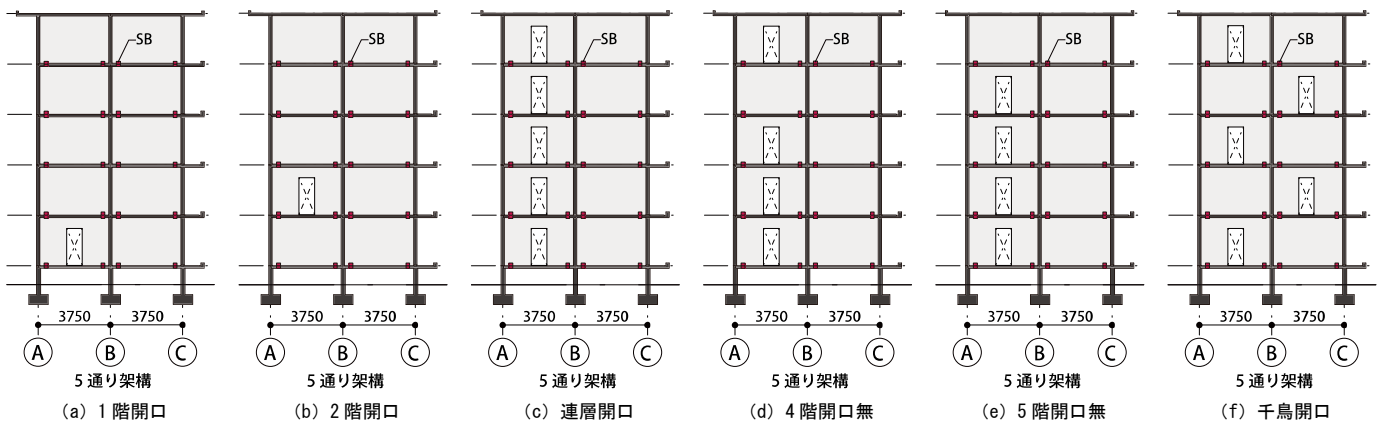


図2 張間方向軸組図

層開口モデルとする (図2)。前報<sup>2)</sup>で用いた無開口の解析モデルを基に、新設開口を伴う解析モデルを構成する。新設開口脇の左右の耐震壁は、幅 1200mm であり、上下辺に剛材を有する I 型の弾性線材としてモデル化した。水平剛材は新設開口側の端部で上下階の耐震壁の水平剛材と GP ばねにより接合されている。GP ばねは鉛直圧縮方向にのみ剛性を有している。新設開口上部には高さ 360mm の耐震壁の一部が残るが、梁として機能するには耐力が低いことからモデル化していない。

各モデルの荷重-変形関係を図3に示す。また、各モデルの保有水平耐力時の1階の層せん断力係数 ( $C_{q1}$ ) を表1に示し、5通り架構の変形と接合部ばねの損傷の様子を図4に示す。図中の●および○印は前報<sup>2)</sup>の接合部ばねの復元力特性の第1および第2折点に到達したことを示す。第1折点は塑性、第2折点は破断を示す。なお、開口新設に伴い、厳密には建物の重量および地震力が減少することになるが、その影響は非常に軽微であり、重量および地震力はモデルによらず一定値として扱っている。

無開口モデルと2階開口モデルとでは、荷重-変形関係、 $C_{q1}$  ともにほとんど変化がない。これは5通り架構において、1階耐震壁脚部の引抜によるロッキングが崩壊形であり (図4(a))、2階以上の開口の影響がほとんどないためである。従って、3階以上に開口を設けた場合についても同様に変化がないものと考えられる。

1階開口モデルでは、無開口モデルに比べて  $C_{q1}$  が 1% (+Y 方向) から 3% (-Y 方向) 低下している。 $C_{q1}$  の低下の割合が小さいのは、1階開口モデルでも基本的な崩壊形には変化がないためである。新設開口左側の耐震壁につ

表 1 各モデルの保有水平耐力比較

解析モデル		無開口	1階開口	2階開口	連層開口	4階開口無	5階開口無	千鳥開口	1階両開口	1階大開口
保有水耐力時の 1階層せん断力係数 〔無開口との比〕	+Y方向	0.67 [1.00]	0.66 [0.99]	0.67 [1.00]	0.59 [0.88]	0.66 [0.99]	0.65 [0.97]	0.66 [0.99]	0.65 [0.96]	0.70 [1.05]
	-Y方向	0.72 [1.00]	0.70 [0.97]	0.72 [1.00]	0.63 [0.88]	0.67 [0.93]	0.65 [0.90]	0.69 [0.97]	0.69 [0.96]	0.75 [1.04]

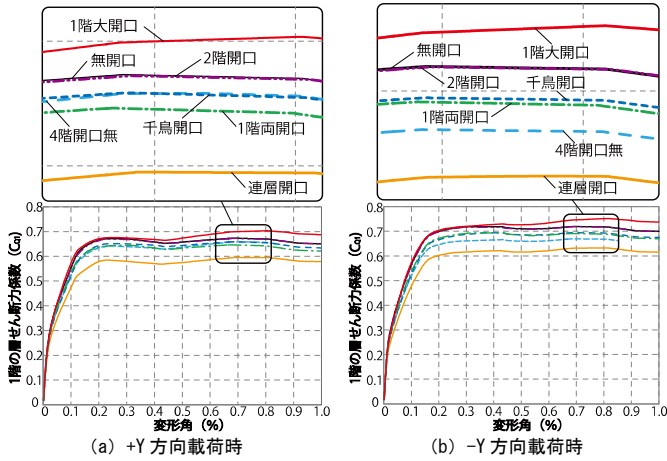


図 3 各モデルの荷重-変形関係

いては、1階壁下部ではなく1階壁上部（2階）のSBが引抜きに対して引張破断している。これは水平変位の増大に伴い、開口左側壁には大きな引張力が作用し、せん断力を負担できなくなることから、1階下部の接合部の方が、上部の接合部よりも2階床レベルで作用する荷重分だけ作用する引張力が小さくなるためだと考えられる。

連層開口モデルでは、無開口モデルに比べて、 $C_{01}$  が±Y方向ともに12%低下している。新設開口左右の連層耐震壁が独立してロッキングしており、それが耐力低下の主要因と考えられる（図4（b））。従って、新設開口上部の壁の補強により、当該部分を梁境界として機能させることができれば、相応の $C_{01}$ の上昇が期待できると推定できる。

4階のみの新設開口を設置しない場合の耐力は連層開口より5%（-Y方向）から11%（+Y方向）増加した。また、5階のみの新設開口を設置しない場合の耐力は連層開口より2%（-Y方向）から9%（+Y方向）増加した。+Y方向と-Y方向によって耐力低下に差が生じる原因としては、図4（c, d）のように5通りA-B間とB-C間の耐震壁間にずれが生じ、ロッキングしており、+Y方向は-Y方向に比べ新設開口の荷重分だけ引張力が小さくなるためだと考えられる。このように連層開口ではなく、どこかの階に開口を設けないことによって耐力低下は軽減できる。開口を設けなかった階の耐震壁には、上下方向に大きなせん断力を受けるが、その平均せん断応力度は $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり、壁のせん断破壊<sup>3)</sup>には至らないと考えられる。

千鳥開口モデルでは連層開口より9%（-Y方向）から11%（+Y方向）増加した。千鳥開口モデルでは、連層開口時のように新設開口左右の壁が独立してロッキングしないため、耐力低下が低減できたと考えられる。

このように転倒モーメントによる引張力に抵抗する接

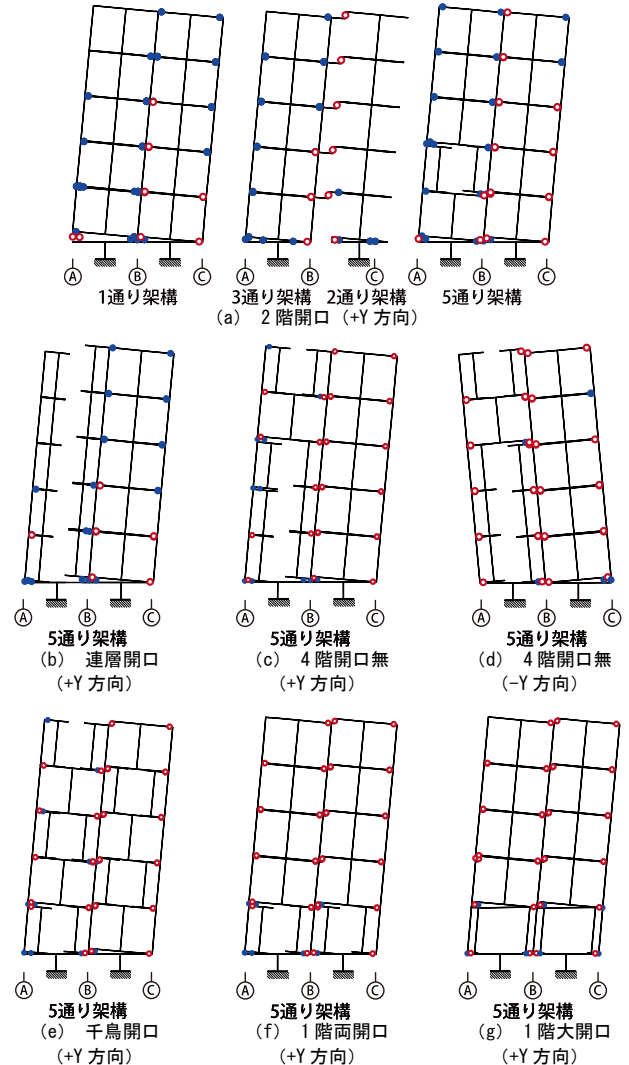


図 4 新設開口のある場合の崩壊形

合部の違いにより、各モデルの耐力に差が生じたと思われるが、崩壊形はいずれも境界梁のせん断破壊後の1階壁脚部の接合部ばねの破断を伴うロッキングであった。いずれのモデルにおいても接合部ばねの破断が支配的な崩壊形であったために壁自体に開口を設けた場合でも耐力低下が小さかったと考えられる。

### 3. 1階大開口改修計画の検討

1階5通り架構AB間、BC間にSB、鉛直接合筋に干渉しないよう開口幅を検討し、図5のように幅2500mmの開口を設けた。開口を設け、広く活用できるようになった空間には、カフェと託児所を計画し、左右の住戸は高齢者夫婦用の住戸として計画した。また、南面には新設のデッキを設けた。このように開口を設けた場合、構造的な課題が多く生じるため、図6-10のような補強を考えた。新設開口脇の壁は、地震荷重時の転倒モーメントによる

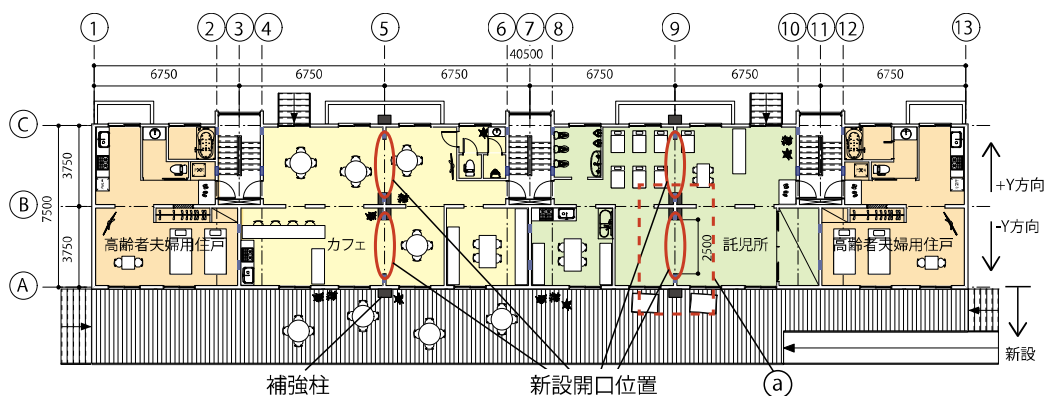


図5 改修補強案平面図

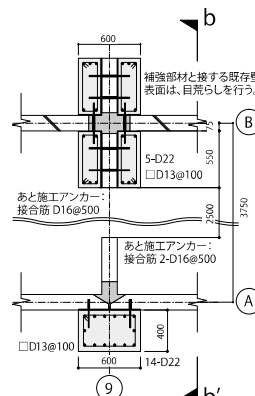


図6 平面詳細図  
(図5のa部)

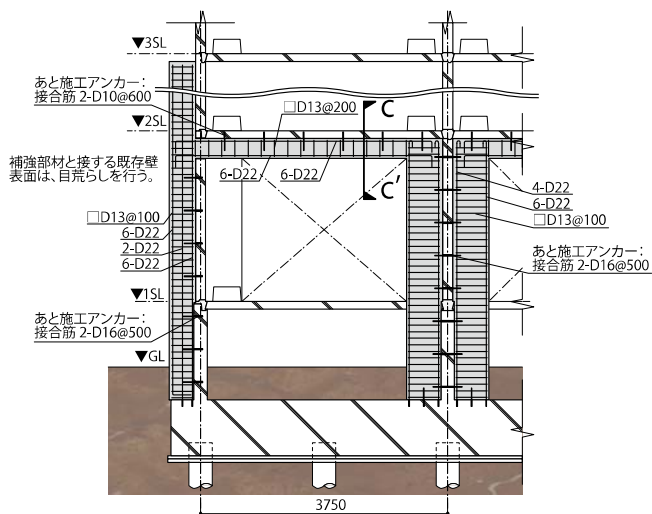


図7 架構詳細図(図6のb-b'断面)

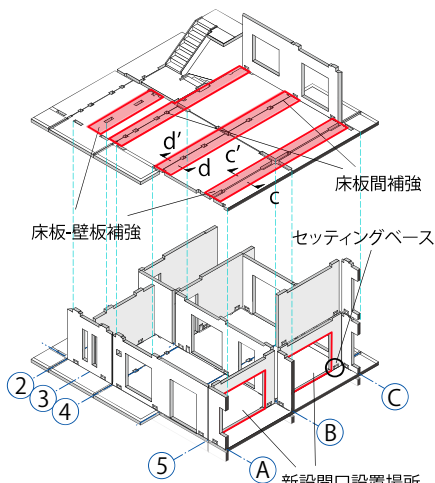


図8 WPC 構造集合住宅アクソメ図

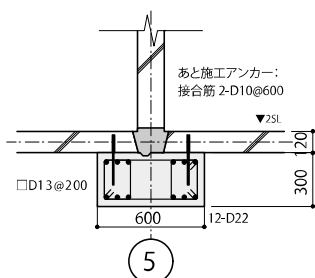


図9 壁板-床板補強  
(図8のc-c'断面)

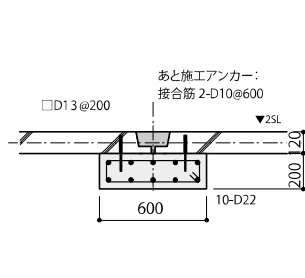


図10 床板間補強  
(図8のd-d'断面)

付加軸力と曲げモーメントに耐え、崩壊形がせん断破壊先行とならないよう添え柱による補強を施す(図6-7)。A、C通り脇の添え柱については1階と2階の耐震壁の一体化を増すため、2階上部までの添え柱とする。また、開口新設により1階と2階以上の壁が耐震性能上不連続になっており、当該架構の負担地震力は2階床スラブを介して他の架構に伝達されることになる。その伝達を可能にするため耐震壁と床板間の補強(図9)、および床板間に補強を施す(図10)。5通り架構については、添え柱と一体化するため補強梁の役割も果たし、ラーメン構造となる。解析モデルの変更点について概要を図11に示す。補強柱のモデル化として5通り架構直交壁部分の弾性線材に補強柱の断面分を加味している。補強柱を基礎から2階まで通したので、5通り架構A、C通りの1階壁脚部、上部のCRばね、B通りの1階壁脚部のCRばねの回転方向の剛性を十分高い値とした。

復元力特性については、補強柱の主筋の引張耐力を加味している(図12)。また、B通り付近の補強柱は最も近いSBばね、CRばねにそれぞれ主筋分の引張耐力を加味した。さらに、フレーム化に伴い、1階上部のJQばねを撤去し、弾性線材の梁要素で繋いでいる。補強改修モデルは±Y方向ともにおいてR=0.8付近で保有水平耐力に達し、 $C_{q1}$ はそれぞれ0.70(+Y方向)、0.75(-Y方向)であった(図2)。開口を設けた場合でも補強を施すことにより、耐力は無開口モデルに比べ4%(-Y方向)から5%(+Y方向)上昇した。補強改修モデルは、1階壁上部のSB、CRばねの引張破断を伴うロッキングが崩壊形となっている(図3(g))。

開口を設けた結果、1階5通り架構が負担するせん断力は、補強柱が負担していることになる。床板を介して、伝達される隣接架構の1階のせん断応力度は最大で $1.2\text{N/mm}^2$ であり、壁のせん断破壊<sup>3)</sup>には至らない。同様に床に発生するせん断応力度は最大で $0.4\text{N/mm}^2$ であり、床板にせん断破壊は生じない。床板間補強、耐震壁と床板間補強を施すことによりこのような伝達機構が成立すると思われる。ただし、新設開口上部の補強梁は、弾性部材としてモデル化しており弾塑性曲げ変形の影響を評価できていない。同梁は保有水平耐力時付近で曲げ破壊



すると考えられ、解析モデルの改良が必要である。補強柱については、「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」<sup>5)</sup>に準拠して、終局曲げ強度と終局せん断強度を算出し、第2種構造要素にならないことを確認している。

#### 4. まとめ

標準設計された壁式プレキャスト鉄筋コンクリート(WPC)構造集合住宅建物に対して、計画的に必要と考えられる平面上対象位置にある2箇所の戸境壁板に幅950mm高さ2100mmの新設開口を設けた解析モデルを作成し、開口新設の影響を評価した。1階または2階にのみ開口を設けた場合には、保有水平耐力の低下率は3%以下で、崩壊形は出入口上部のせん断破壊を伴う1階壁脚部接合部の破断によるロッキングであった。これは、開口新設前と同じ崩壊形である。連層で開口を設けた場合には、開口脇の耐震壁がそれぞれ独立してロッキングし、保有水平耐力は12%低減した。これに対し、連層開口のうち、4階あるいは5階のみに開口を新設しない場合、同階の耐震壁が境界梁の役割をはたし、崩壊形は開口新設前に近く、保有水平耐力の低下は1-10%に低減できることを確認した。

また、利便性の高い1階の5通り架構A-B通り間とB-C通り間の両方に幅2500mmの開口を新設した計画案を提案した。この場合に必要となると考えられる補強として、添え柱による開口新設脇壁の補強、壁板-床板間および、床板-床板間の補強方法例を示した。この場合の建物全体の保有水平耐力は開口設置前に比べ6%上昇した。ただし、開口上部の補強梁は弾性部材としてモデル化しており弾塑性曲げ変形の影響を評価できていないことから、解析モデルの改良が必要である。

工場生産されたプレキャスト耐震壁板の強度が高く、接合部が相対的に弱いWPC構造建物では接合部の破壊により崩壊形および保有水平耐力が決定されている。本研究では、耐震壁に開口を設けても、耐震性能への影響が限定的と考えられる事例(1階開口、2階開口)および、大胆な開口を設けても補強による保有耐力を向上させる可能性(1階大開口)があることを示した。これらより、耐震壁への開口新設を伴う大規模改修に向けたWPC構造建物の耐震性能評価の一資料を提示できた。

#### 謝辞

本研究の遂行に際して堀富博氏(一般財団法人住総研/シグマ建築構造研究所)から有意義なご助言をいただいた。また、一般財団法人住総研およびプレハブ建築協会の関係諸氏よりご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

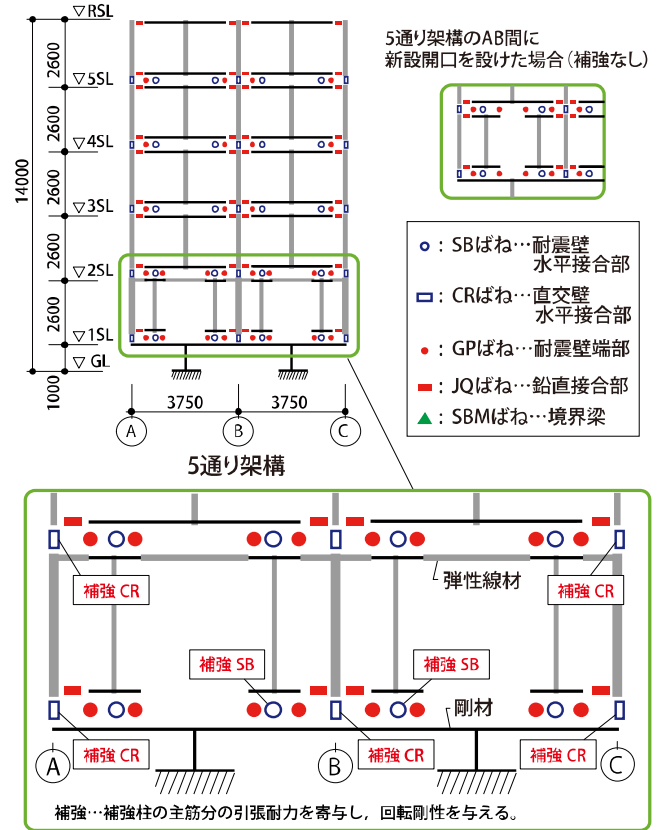


図11 数値解析モデルの構成

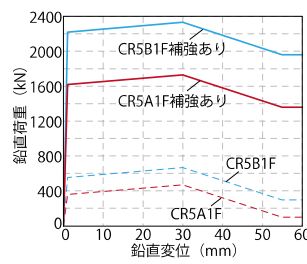


図12 CRばね復元力特性

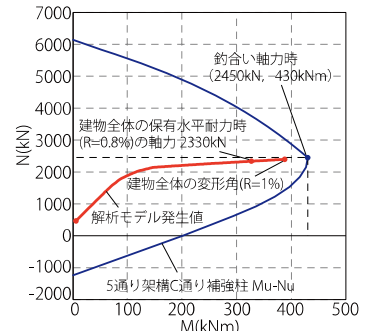


図13 C通り補強柱のM-N相互作用図(+Y方向荷重時)

#### 参考文献

- 1) 長谷川俊一, 高木次郎, 北山和宏, 見波 進: 大規模改修に向けた新設開口を有する既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅建物の耐震性能評価 その1 耐震壁実験における変形成分の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 構造IV, 2012
- 2) 下錦田聡志, 高木次郎, 北山和宏, 見波 進: 大規模改修に向けた新設開口を有する既存壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造集合住宅建物の耐震性能評価 その2 解析モデルの構築と比較分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 構造IV, 2012
- 3) 高木次郎, 北山和宏, 見波 進: 新設開口補強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数値解析モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第663号, pp1015-1024, 2011.5
- 4) 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.
- 5) 日本建築防災学会: 2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説, 2001
- 6) Midas GEN Ver. 761, MIDAS Information Technology Co., LTD, 2009

\*1 首都大学東京 都市環境科学研究科 大学院生  
 \*2 首都大学東京 都市環境科学研究科 准教授・Ph.D.  
 \*3 東京電機大学 理工学部建築・都市環境学系 准教授・工学博士  
 \*4 首都大学東京 都市環境科学研究科 教授・工学博士

\*1 Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.  
 \*2 Associate Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.  
 \*3 Associate Prof., School of Science and Engineering, Div of Architectural, Civil and Environmental Engineering Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.  
 \*4 Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.