

壁式RC造建物の耐力に及ぼす直交壁の影響に関する解析的研究
(その1 壁式RC造建物のモデル化と荷重増分解析)

壁式鉄筋コンクリート造 荷重増分解析
直交壁の効果

準会員 ○八木 雄*1 正会員 蒲生 智*2
正会員 秋田 知芳*3 正会員 稲井 栄一*4

1. はじめに

壁式RC造の建物は耐震性能には優れているが、大きな間取りの変更ができない点や、開口部が制限されるというような課題がある。しかし、壁式RC造建物は耐震性能にとっても優れた構造である。今までの大規模な地震による上部構造の被害を見ると、木造やRC造の建物には倒壊や大破などの甚大な被害が見られたのに対し、壁式RC造の建物のほとんどは無被害、または軽微な被害にとどまっていた。2011年の東北地方太平洋沖地震でも、構造体に大きな被害は見られなかった。^{1), 2)}

このような、壁式RC造建物の地震に対する強さの理由の一つとして、直交壁の効果が関係していると考えられる。壁式RC造建物の直交壁の効果が耐震性にどれほど影響しているのか検討し、余力を把握することで、ある程度の壁量を低減し、より空間の自由度が高く、開放的な空間を実現できる可能性がある。

本研究では、壁式RC造建物の解析例が少ないため、既存の壁式RC造建物をモデル化し、モデル化の妥当性を確認する。そして、荷重増分解析を行い、直行壁の効果を検討する際に、耐力壁の耐力に影響を及ぼす壁の有効幅に着目して検討する。

2. 荷重増分解析

2.1 検討対象建物概要

モデル化を行った建物の概要を表1に、建物の基準階略図を図1に示す。検討対象建物は、図1で示した平面の隣にもう一つ、X方向に2つ並んだ建物である。この建物は地上3階建て、各階4戸、計12戸で構成された壁式RC造の共同住宅である。長辺方向は32.22m、短辺方向は7.15m、延べ床面積は約2295m²、基準階高さは2.2mである。

2.2 モデル化の方法

解析モデルは、部材を線材置換し剛床を仮定した立体骨組モデルとした。梁部材は、曲げとせん断を単軸バネモデルでモデル化し、軸方向に関しては剛床仮定により、変形しないものとしている。柱のモデルは、MS(マルチスプリング)モデルで軸方向と曲げ方向をモデル化し、単軸バネモデルでせん断方向のモデル化を行った。X方向の壁は、通常のモデル化

は、柱の間に壁を配置し、ピンで接合する形でモデル化が行われるが、本研究では薄型の柱に置換し、モデル化を行った。MSモデルの抵抗ヒンジ長さは柱せいDの1/2とした。

荷重増分解析に用いる水平力分布は、Ai分布に基づいて設定した。また、モデルの妥当性を検討する際に参考にした文献1)の実験において、等分布荷重が用いられており、比較用に、等分布荷重を用いたモデルでも荷重増分解析を行った。荷重増分解析の際の加力方向は、図1のY1からY3方向である。荷重増分解析は、1階の層間変形角が1/50radになるまで行った。

表1 モデル化建物概要と実大実験試験体概要

	モデル化建物	試験体
戸数	1層4戸×3層 (合計12戸)	1層2戸×5層 (合計10戸)
面積[m ²]	230.37 (32.22m×7.15m)	91 (13m×7m)
平面(1戸あたり)[m ²]	57.5	45.5
高さ[m]	8.5	14
総重量(基礎部分除く)[t]	1062(812)	420(320)
総重量(1戸あたり)[t]	67.7	32
壁厚[mm]	220	150
壁量(長手方向)[cm/m ²]	17.6	12
壁量(短手方向)[cm/m ²]	22.9	25.4
平均せん断応力度[kg/cm ²]	2.57	4.9
スラブ厚[mm]	130	130

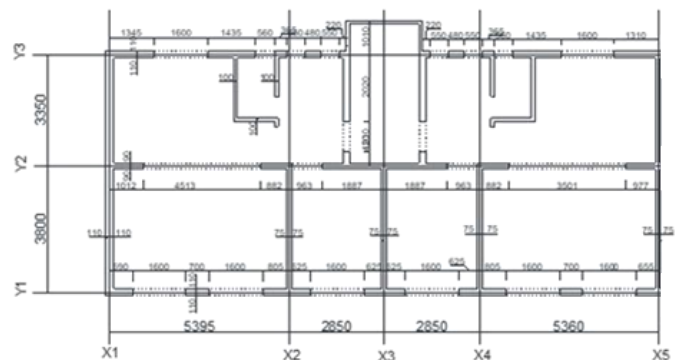


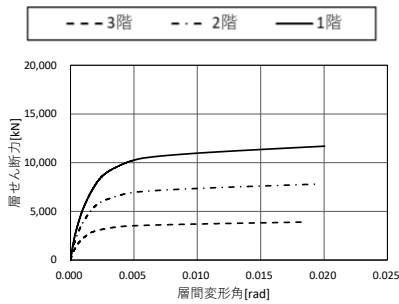
図1 基準階略図(2戸分)

An analytical Study on the Influence of the orthogonal walls on the capacity of WRC Buildings
(Part1 Modeling of WRC Buildings and the Pushover analysis)

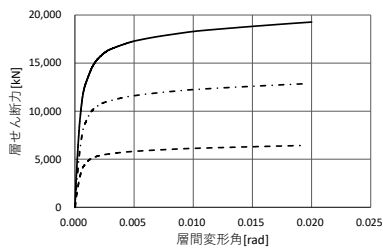
YAGI Yu, GAMOU Satoru, AKITA Tomofusa and INAI Eiichi

2.3 解析結果

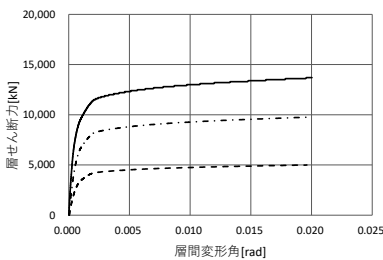
等分布荷重を用いた、長辺方向（以下 X 方向と呼ぶ）の層せん断力と層間変形角の関係を図 2(1)に、短辺方向（以下 Y 方向と呼ぶ）の層せん断力と層間変形角の関係を図 2(2)に示す。AI 分布を用いた、X 方向の層せん断力と層間変形角の関係を図 2(3)に、Y 方向の層せん断力と層間変形角の関係を図 2(4)に示す。図中の実線は 1 階、一点鎖線は 2 階、点線は 3 階を示す。Ai 分布の場合、X 方向の最大層せん断力は約 13700kN、Y 方向では約 18760kN であった。この時のベースシア係数は、X 方向は約 1.72、Y 方向は約 2.36 となっており、耐力がかなり大きい建物であった。



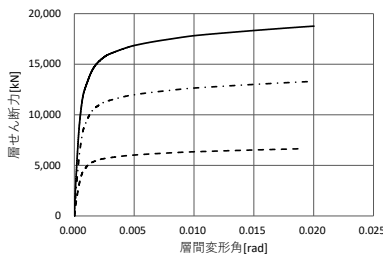
(1) X 方向 (等分布)



(2) Y 方向 (等分布)



(3) X 方向 (Ai 分布)



(4) Y 方向 (Ai 分布)

図 2 層せん断力と層間変形角の関係

3. 既往の実大実験との比較

3.1 実験の概要

実大 5 階建て壁式鉄筋コンクリート造アパートの破壊実験³⁾について示す。試験体の概要を表 1 に、基準階略伏図を図 3 に示す。ここで使用された試験体は、地上 5 階建て、各階 2 戸、計 10 戸で構成された壁式 RC 造の建物である。長辺方向は 13m、短辺方向は 7m、延べ床面積は約 455m²、基準階高さは 2.6m である。この実験では試験体の破壊まで行う水平加力実験と、弾性・塑性の動的特性を検討する振動実験の 2 つ行われた。水平加力実験は計 7 回、振動実験は計 5 回行われた。

水平加力実験の加力方法は各階単独加力と等分布加力の 2 つが行われた。等分布加力の加力方法について図 4 に示す。

各階単独加力では、各階ごとに単独に 3 台の連動油圧ジャッキで静加力を与える。また、等分布加力では、各階に等しい荷重を加える。なお、振動実験では、最大起振力 10t の起振機を屋階中央に設置し、強制振動実験が行われている。加力方向は図 4 のように、長辺方向である。

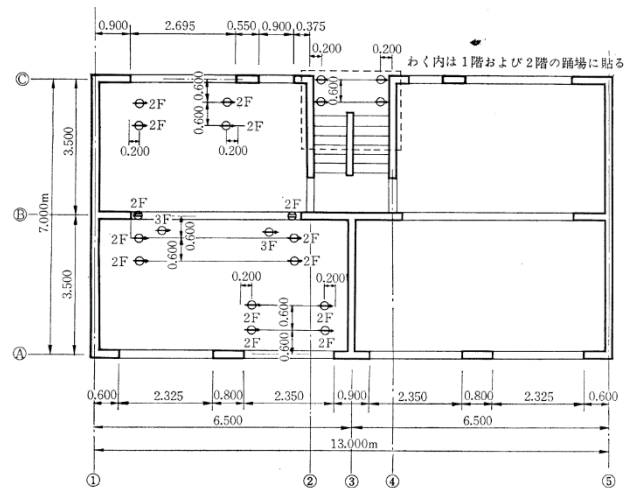


図 3 試験体 基準階略伏図³⁾

3.2 静加力実験結果

文献 1)の実験結果を目視で読み取り作成した、1 階の荷重と層間変形角の関係を図 5 に示す。最大荷重は約 253kN、その時の層間変形角 0.00523rad であった。

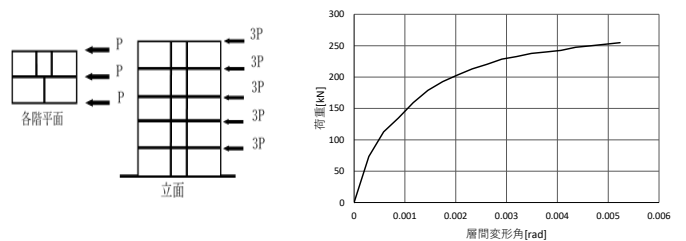


図 4 等分布加力

図 5 1 階の荷重と層間変形角の関係

3.3 既往の実験結果と増分解析結果の比較と考察

検討対象建物のモデル化が妥当であるかどうかを、長辺方向について、既往の実大実験の結果と比較して検討する。既往の実験結果と荷重増分解析の結果を、せん断力係数と変形角の関係に置き換え、結果を図6に示す。図6の実線は解析の結果、点線は既往の実験の結果を示す。

検討対象建物と試験体を比較すると、形状および壁の配置については図1と図3に示すように、比較的近い建物であるが、表1に示すように、壁厚、壁量(X方向)は検討対象建物の方が大きくなっている。これらのことから、検討対象建物の層せん断力が、試験体の層せん断力より大きくなるのが想定される。

2つのグラフを比較すると、層間変形角が0.002radより小さい値の範囲では、試験体の強度が少し大きくなっている部分があり、層間変形角が約0.002radを超えたあたりから検討対象建物の方が、せん断力係数が大きくなっていく。しかし、せん断力係数と層間変形角の関係が概ね対応していることから、このモデル化はおおよそ妥当であると考えられる。

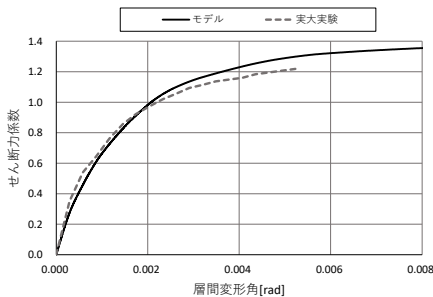


図6 せん断力係数と層間変形角の関係の比較

4. 直交壁の幅を変えた荷重増分解析

Y方向について直交壁の効果を検討する。Y方向に対して直交する壁を全幅有効とした場合、直交壁を無視する場合の荷重増分解析を行った。

文献4)によると、標準せん断力係数が0.2(短期荷重時)までの時、引張側直交壁の有効幅は壁の厚さtとして、約5t及び約7tとなることが示されている。また文献5)によると直交壁の有効幅は6tと規定されている。そこで本研究では、直交壁を全幅有効とした場合、直交壁を無視する場合の2つの場合に加えて、幅が6tを超える壁を6tに低減したケースを設定し、その場合についても荷重増分解析を行い比較した。

4.1 Y方向の壁のモデル化設定

Y方向にある壁を耐力壁として、MS(マルチスプリング)モデルで軸方向と曲げ方向をモデル化した。荷重増分解析に用いる水平力分布は、Ai分布に基づいて設定した。直交壁を無視した場合のモデル化では、X方向の壁の長さをY方向の

壁の厚さと同じにしてモデル化を行った。

4.2 直交壁の効果の比較

変形が、耐力壁の降伏が始まる点に近い5mm(A点と呼ぶ)、建物の耐力が概ね発揮された20mmの点(B点と呼ぶ)での層せん断力を比較していく。

直交壁を全幅有効とした場合、直交壁を6tとした場合、直交壁を無視した場合の層せん断力と層間変形角の関係を図7に示す。図中の実線は1階、一点鎖線は2階、点線は3階の解析結果を示す。1つ目、2つ目の黒点はそれぞれ、層間変形が5mm、20mmの点を示している。それぞれの直交壁の幅において、各階の層せん断力の値を表2に示す。表2(1)はA点、表2(2)はB点の層せん断力を示す。

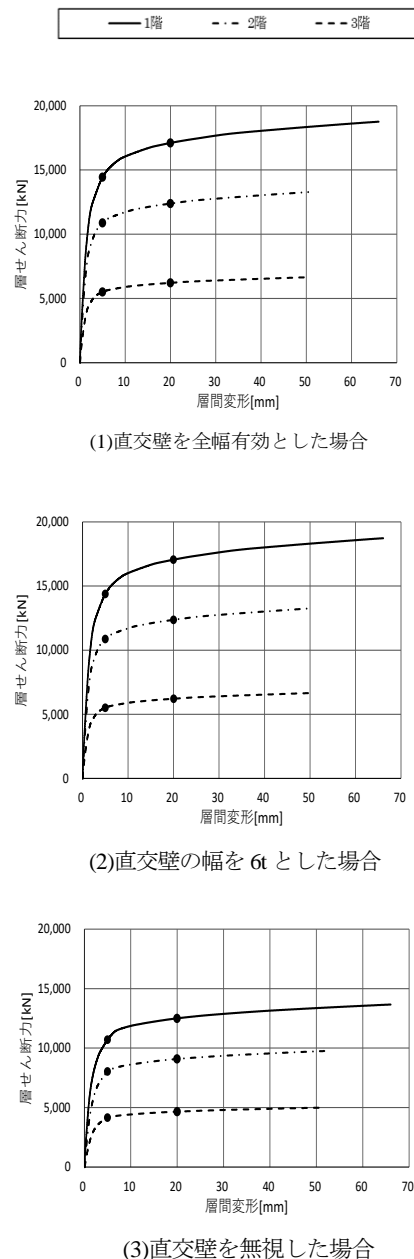


図7 層せん断力と層間変形の関係

表2 A点、B点での層せん断力

A点	層せん断力[kN]		
	1階	2階	3階
(1)全幅有効	14430	10880	5500
(2)直交壁 6t	14380	10870	5500
(3)直交壁無視	10700	8030	4160

B点	層せん断力[kN]		
	1階	2階	3階
(1)全幅有効	17100	12380	6210
(2)直交壁 6t	17050	12360	6210
(3)直交壁無視	12500	9090	4660

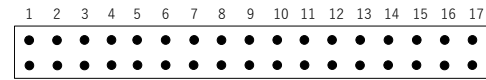
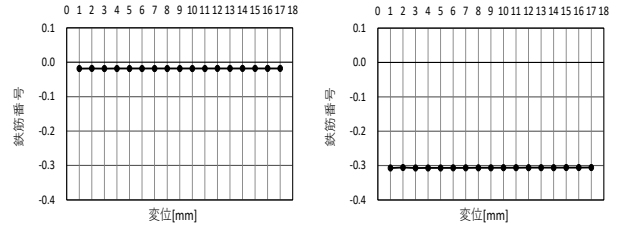


図8 鉄筋の配置と番号



(1)1階の層間変形角が5mmの時 (2)1階の層間変形角が20mmの時

図9 鉄筋の位置と鉄筋の変位の関係

(1) 直交壁を全幅有効とした場合と無視した場合の比較

1階では、直交壁を全幅有効とした場合の層せん断力は、直交壁を無視した場合に対して、A点で約1.35倍、B点で約1.37倍であった。2階では、A点、B点、ともに約1.36倍となり、3階では、A点は約1.32倍、B点は約1.33倍であった。1階から3階を通して、直交壁として1.3~1.4倍の効果があった。

(2) 直交壁を全幅有効とした場合と幅6tとした場合の比較

有効幅を6tとすると、ほとんどの壁は全幅有効となり、図1のY2とX3が交わる場所を中心とする壁(壁1と呼ぶ)のみの低減に留まった。そのため、1階から3階を通して、層せん断力にほとんど変化は見られなかった。

6. モデル化の鉄筋の設定の検討

直交壁にある鉄筋の伸びを見た。モデル化を行った建物で最も大きな直交壁である壁1に着目して検討し、鉄筋の配置を図8に、鉄筋の伸びを図9に示す。直交壁を全幅有効とした場合の1階の、層間変位が5mm、20mmの点での鉄筋の伸びを調べた。

文献4)の実験では、耐力壁脚部の歪が比較的片勾配となっており、平面保持が成り立っていた。つまり、直交壁が結合している壁の中心では歪が大きく、外側になるに従って、歪も小さくなっていった。しかし、Y方向について、鉄筋の伸びを見ると、層間変形が5mmの時、20mmの時で、すべての鉄筋がほとんど一様に変位していることが確認できた。

7. まとめ

本研究では、壁式RC造の建物をモデル化し、荷重増分解析を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 実大実験の結果と比較して、モデル化が妥当であることが確認した。
- (2) 直交壁を全幅有効とした場合と直交壁を無視した場合での耐力の比較から、直交壁の全幅有効とした場合の耐力が約1.3~1.4倍大きくなった。
- (3) 直交壁の有効幅を壁厚の6倍にした場合、今回の建物ではほとんどの壁が全幅有効となったため、全幅有効とした場合と、耐力はほとんど同じとなった。

参考文献

- 1) 時田伸二・井上芳生・稲井栄一・飯塚正義・佐々木隆浩・勅使川原正臣：2011年東北地方太平洋沖地震におけるRC系壁式構造建物の地震被害(その1)仙台市内公共賃貸住宅の調査、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、p.1011-1012、2012年9月
- 2) 時田伸二・北堀隆司・稲井栄一・飯塚正義・日比野陽・勅使川原正臣：平成28年熊本地震におけるRC系壁式構造物の地震被害(その1)熊本県内の公共住宅の調査および現場打RC壁式構造建物の被害例、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)2017年8月
- 3) 松島 豊：実大5階建て壁式鉄筋コンクリート造アパートの破壊実験報告、コンクリートジャーナル8巻1号、p11-21、1970年
- 4) 小平渉・野村翔舞・勅使川原正臣・神谷隆：論文 壁式RC構造における耐力壁の挙動に及ぼす直交壁の影響、コンクリート T.学年次論文.Vol.39,Vol.2、p283-288、2017年
- 5) 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算基準・同解説、日本建築学会、2015年

*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 学部生

*2 山口大学大学院創成科学研究科 大学院生

*3 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士(工学)

*4 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士(工学)

Student, Dept. of Perceptual Sciences and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.

Graduate Student, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.

Lecturer, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

Prof. Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.