

# 二次壁をモデル化した 8 階建て RC 建物の耐震性能に関する解析的研究

荷重増分解析 固有値解析 復元力特性  
二次壁 ベースシア

1210137 畑中 健優\*1  
指導教員 鈴木 卓

## 1. はじめに

わが国の鉄筋コンクリート構造（以下、RC と呼称）建物の構造設計は一次設計および二次設計の 2 段階の構造設計法から成る新耐震設計法（1981 年）が用いられている。許容応力度計算の行われる一次設計では、RC 規準<sup>1)</sup>の改定に伴い最新の研究成果が反映されてきた。一方の保有水平耐力計算の行われる二次設計では、文献 2)の改訂以降に新たな規準等の刊行はなかった。

これらの状況を受けて鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説<sup>2)</sup>が刊行された。同文献では、最新の研究成果に基づき、袖壁付き柱、腰壁、垂れ壁付き梁および方立壁（以下、二次壁と呼称）の構造性能評価法が明記され、二次壁付き部材を有する RC 建物に対する耐震性能評価精度の向上が期待された。しかし、同文献は新築 RC 建物を対象としたものであり、既存 RC 建物耐震性能に及ぼす評価精度は不明瞭である。

そこで本研究では、1993 年に着工された二次壁付き部材を有する 8 階建て RC 造建物を対象とした固有値解析および荷重増分解析を行った。本論では、文献 3)に基づきモデル化した二次壁が当該建物の 1 次固有周期およびベースシアに及ぼす影響の検討結果を述べる。

## 2. 検討対象建物

写真 1 に建物北東側の外観を、図 1 に建物形状を、表 1 にこの建物において同形状の数が多い柱、梁および壁板の断面詳細を示す。本研究対象建物は、1993 年に高知市内に着工された塔屋付き 8 階建て（約 28m）RC 造共同住宅であり、東西方向 4 スパン（約 15m）のラーメン構造、南北方向 3 スパン（約 16m）の耐震壁付きラーメン構造である。図 1 に示すように本論では東西方向を X 軸、南北方向を Y 軸と定義する。対象建物は、Y 軸方向に 3 枚の連層耐震壁を有し、梁に取り付く腰壁と垂れ壁、柱に取り付く袖壁および Y1 構面に方立壁を有する。また、対象建物では、Y3 と Y4 構面の間の東西方向にエレベーターホール（以下 EV と略称）を構成する壁板が取り付けられている。コンクリートの設計基準強度は、4 層以下が 240 kgf/cm<sup>2</sup>、5 層以上が 210kgf/cm<sup>2</sup> である。柱と梁の主筋には SD345 が、その他の鉄筋には SD295A が使用された。表 2 に設計図書に基づく建物重量およびコンクリート設計基準強度の実測値を示す。



写真 1 建物北東側外観

表 1 建物の代表的な部材断面詳細

部材	断面詳細	
	幅×せい(mm)	筋材
柱 1	幅×せい(mm)	650×650
	主筋	12-D25
	帯筋	2-D13@100
柱 2	幅×せい(mm)	850×720
	主筋	22-D25
	帯筋	5-D13@100
梁 1	幅×せい(mm)	450×750
	主筋	8-D25
	あばら筋	2-D13@100
梁 2	幅×せい(mm)	500×780
	主筋	14-D25
	あばら筋	5-D13@85
二次壁	壁厚(mm)	150
	縦横筋	D10@100
	開口補強筋（方立壁）	2-D13(縦)

表 2 建物重量およびコンクリートの設計基準強度

階	面積 (m <sup>2</sup> )	重量 W (kN)	W/A (kN/m <sup>2</sup> )	Σ W (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
					設計	実測 <sup>4)</sup>
PH2	37.9	852	22.5	852	20.4	-
PH1	37.9	651	17.2	1,503		-
8	181.1	2,177	12.0	3,680		29.8
7	181.1	2,627	14.5	6,307		28.6
6	181.1	2,620	14.5	8,927		26.6
5	181.1	2,648	14.6	11,575	23.5	27.4
4	181.1	2,698	14.9	14,273		28.0
3	188.2	2,787	14.8	17,060		29.4
2	188.2	2,786	14.8	19,846		28.9
1	188.2	2,958	15.7	22,804		27.0

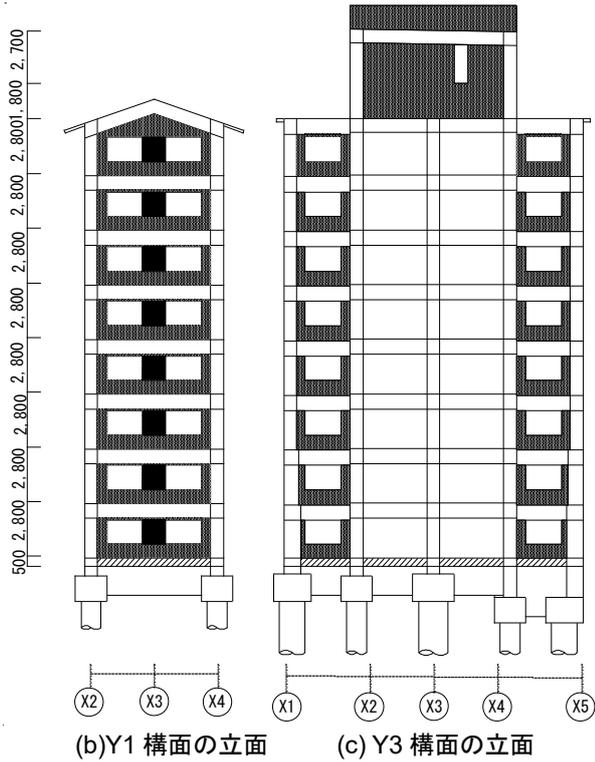
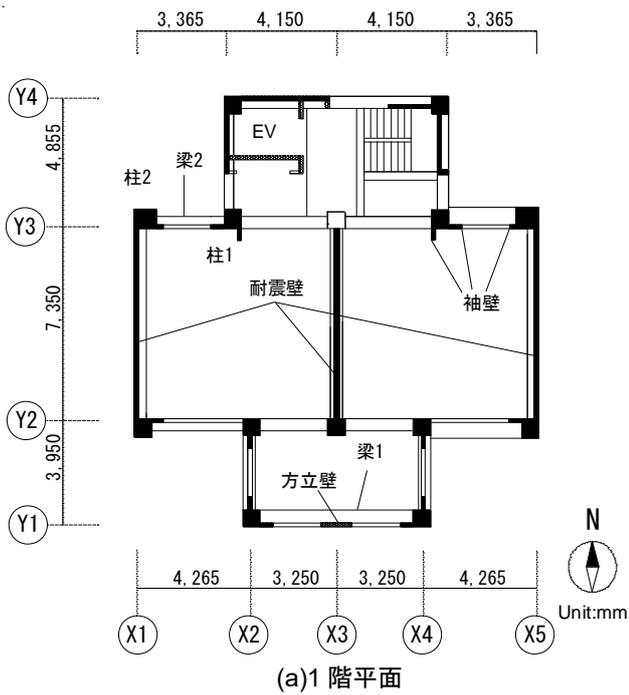


図1 建物形状

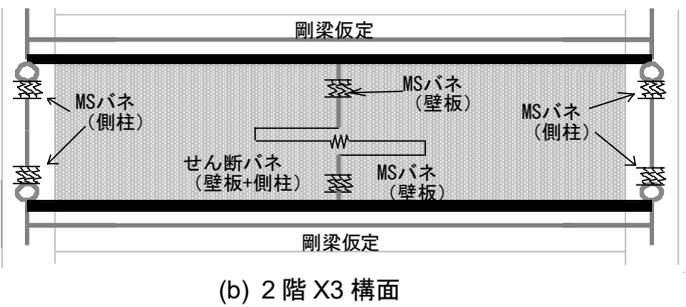
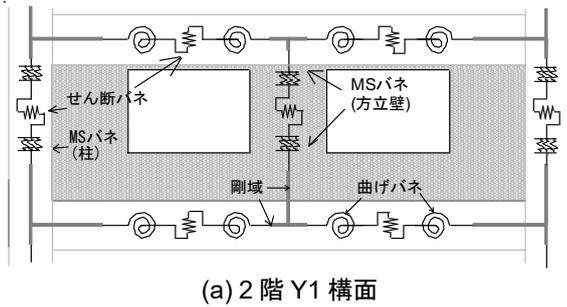


図2 解析モデル

### 3. 解析概要

#### 3.1 解析モデル

解析に使用したソフトウェアは SNAP Ver.7 である。図2に2階の Y1 構面および Y3 構面を例とした解析モデルを示す。解析は 3 次元立体フレームモデルである。梁部材は材端部の曲げバネと中央せん断バネを有する線材要素に、柱部材は材端部に複数の軸方向バネを有するマルチスプリング要素（以下、MS モデル）と中央せん断バネからなる線材要素に置換した。耐震壁は両側柱および壁板を 3 本の線材で表現する三本柱モデルに置換した。腰壁および垂れ壁の断面性能は梁に、袖壁の断面性能は柱にそれぞれ付与した。梁の断面性能には、スラブ厚さの影響が考慮されている<sup>2)</sup>。柱梁接合部は、各部材の接合部材せいりの 1/4 倍内側を部材の剛域として扱った<sup>2)</sup>。境界条件として最下層の柱脚はピン支持とした。また、各層床は剛床仮定を適用した。

上記の条件で腰壁、垂れ壁付き梁、袖壁付き柱および耐震壁から解析モデルを作成したものを Case1 とする。Case1 を

表3 各ケースの解析変数

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
方立壁	無	有	有	有
EV 壁に取り付く壁	無	無	有	有
コンクリート強度	設計図書			文献 4)

基に Y1 構面における開口間の方立壁を柱と同様の線材要素でモデル化したものを Case2 とする。Case2 を基に Y3 および Y4 構面間の EV ホールを構成する壁板を耐震壁と同様の三本柱モデルでモデル化したものを Case3 とする。Case3 を基に本建物におけるコンクリートの圧縮強度およびヤング係数を表2に示す実測値<sup>4)</sup>を適用したものを Case4 とする。各ケースの変数を表3に示す。

#### 3.2 復元力特性

図3に各部材の復元力特性モデルを示す。腰壁・垂れ壁付き梁を表す曲げバネの曲げモーメント-回転角関係はひび割れ点および終局点からなるトリリニアモデルで表現した(図3(a))<sup>3)</sup>。各折れ点の曲げモーメントは式(1)および式(2)により、終局点における降伏点剛性低下率は式(3)により

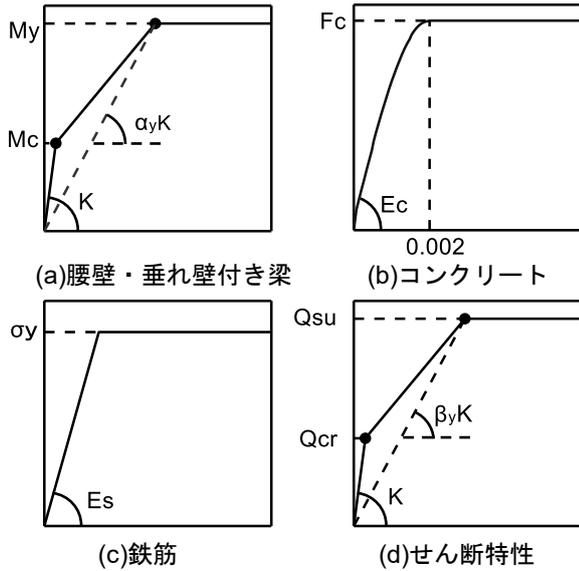


図3 復元力特性モデル

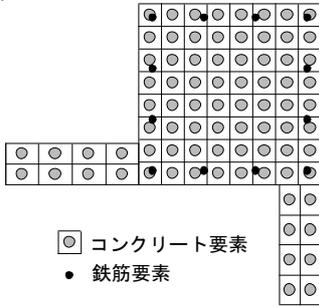


図4 袖壁付き柱のマルチスプリングモデル

表4 解析および実測による建物の1次固有周期

	解析 (sec)				実測 <sup>5)</sup> (sec)
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
X方向	0.360	0.342	0.325	0.315	0.23
Y方向	0.261	0.259	0.246	0.239	0.24

算出した。記号の詳細は文献3)を参照されたい。

$$M_{cr} = 0.56\sqrt{F_c}Z \quad (1)$$

$$M_y = 0.9a_t\sigma_y d \quad (2)$$

$$a_y = \left(0.043 + 1.64np_t + \frac{0.043a}{d} + 0.33\eta\right) (d/D)^2 \quad (3)$$

袖壁付き柱の曲げ復元力特性はMSモデルで表現した。

図3(b)にMSモデルに適用したコンクリートモデルを、図3(c)に鉄筋のモデルを、図4に柱1(表1参照)を対象としたMSモデルの要素分割をそれぞれ示す。MS要素の塑性長さは各柱せいの半分とした。

二次壁付き部材を表すせん断バネのせん断力-せん断ひずみ度関係はひび割れ点、終局点からなるトリリニアモデルで表現した。(図3(d))<sup>3)</sup>各折れ点のせん断力は式(4)から式(7)により、終局点における降伏点剛性低下率は式(8)により算定した。記号の詳細は文献3)を参照されたい。

$$Q_{cr} = \sqrt{\sigma_t(\sigma_t + \sigma_0)}bD/1.5 \quad (4)$$

$$Q_{su} = Q_{suw} + Q_{suc} + 0.1N \quad (5)$$

$$Q_{suw} = \left\{ \frac{0.053p_{wve}^{0.23}(F_c+18)}{Q_{dw}^{+0.12}} + 0.85\sqrt{p_{wh}\sigma_{why}} \right\} t_w j_w \quad (6)$$

$$Q_{suc} = \left\{ \frac{0.053p_{fce}^{0.23}(F_c+18)}{Q_{dce}^{+0.12}} + 0.85\sqrt{p_{cwe}\sigma_{cwy}} \right\} b_{ce} l_{ce} \quad (7)$$

$$\alpha_y = (Q_{su} - Q_{cr}) / (0.004GA_s - Q_{cr}) \quad (8)$$

耐震壁を表す三本柱モデルの各線材、方立壁およびEVホールの二次壁は柱部材と同様にMSモデルに置換した。当該部材におけるせん断バネのひび割れ強度は式(4)より、せん断終局強度は式(9)より、剛性低下率は式(10)によりそれぞれ算定した。記号の詳細は文献3)を参照されたい。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068p_{wve}^{0.23}(F_c+18)}{Q_{law}^{+0.12}} + 0.85\sqrt{p_{whe}\sigma_{why}} + 0.1\sigma_0 \right\} b_e j \quad (9)$$

$$\beta_u = \frac{0.46p_w\sigma_y}{F_c} + 0.14 \quad (10)$$

## 4. 解析結果

### 4.1 固有値解析

表4に固有値解析から得られた各CaseにおけるX方向およびY方向の1次固有周期を示す。同表には、文献5)に示された当該建物の固有周期の実測値を併せて示している。

X方向Y方向ともに、Case1からCase4にかけて1次固有周期の減少が認められ、二次壁のモデル化および材料特性修正の影響が伺える。固有周期の最も低いCase4に着目すると、Y方向における解析および実測の固有周期は良好な対応関係を示した。一方のX方向における解析の固有周期は実測のものに比べて約1.4倍高い値を示した。X方向の固有周期に及ぼす建物モデルの影響は今後の検討課題としたい。

### 4.2 荷重増分解析

各ケースに対してX方向およびY方向のそれぞれに荷重増分解析を実施した。ここで水平力の荷重方法はAi分布である。図5に各ケースのベースシアー1層層間変形角を、図6に1層層間変形角2%rad時における各部材のベースシアの負担状況をそれぞれ示す。図6では、各Caseにおいて袖壁付き柱、耐震壁、方立壁およびEVホール壁に区別して示している。

X方向ではCase1から3にかけてせん断力の増大が、Y方向ではCase2からCase3にかけてせん断力の顕著な増大が確認された。X方向Case2のベースシアはCase1のものに比べて、方立壁により4%増加し、全体で9%高くなる傾向が確認された。これは、方立壁の負担せん断力の存在により梁および柱の応力が再配分された影響によるものと推察される。一方のY方向に方立壁は存在しないことからCase1およびCase2のベースシアに及ぼす方立壁の影響はほぼ確認されなかった。次にX方向およびY方向ともにCase3のベースシアはCase2のものに比べてEVホールの壁により顕著に増加する傾向が確認された。さらにX方向およびY方向ともにCase3およびCase4のベースシアに及ぼすコン

クリート強度の影響はほぼ確認されなかった。これは、各部材の曲げ耐力に及ぼす影響がコンクリートの圧縮強度と比べて主筋の降伏強度に依存しているためと推察される。

図7に Case1 および Case3 の Y1 および Y3 構面における各部材の塑性ヒンジの形成状況を示す。同図は 1 層の層間変形角 1%rad 時のものであり、曲げ終局点に達した部材を○で、せん断終局点に達した部材を△で示している。

Y1 構面では、柱と梁の曲げ降伏に加えて各層の方立壁および下層部の柱にせん断破壊の発生が認められる。一方の Y3 構面においても、建物右側の梁のせん断破壊および 1 層柱のせん断破壊の発生が認められる。これらは、柱および梁のせん断スパン長さが二次壁により短くなったことが主要因と考えられる。

### 5. まとめ

本論では、二次壁のモデル化方法を変数とした RC 建物の固有値解析および荷重増分解析を行った。本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 方立壁と EV ホールの壁のモデル化および文献 4) に示されたコンクリートの材料特性への修正に伴い建物各方向の 1 次固有周期の減少が確認された。
- 2) 荷重増分解析の結果, X 方向では方立壁と EV ホールの壁のモデル化に伴うベースシアの増大が, Y 方向では EV ホールの壁のモデル化に伴うベースシアの増大がそれぞれ確認された。
- 3) 文献 4) に示されたコンクリートの材料特性への修正が各方向のベースシアに及ぼす影響は限定的であった。これは曲げ降伏に及ぼす鉄筋の影響がコンクリートと比べて大きいためと推察される。
- 4) 塑性ヒンジの形成状況から、本建物では二次壁を有する圧縮側の柱、梁および方立壁では曲げ降伏より先にせん断破壊の発生が認められた。これは、柱および梁のせん断スパン長さが二次壁により短くなったことが主要因と考えられる。

### 参考文献

- 1) AIJ：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018.12
- 2) AIJ：建築耐震設計における保有耐力と変形性能（1990），1990.10
- 3) AIJ：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説，2016.6
- 4) 鈴木卓，他 2 名：連層耐震壁付き 8 階建て RC 造共同住宅のコンクリートの非破壊試験，
- 5) 大野仁，他：実測データに基づく 8 階連層耐震壁付き RC 造共同住宅の解析モデル検証，日本建築学会四国支部研究報告集，pp21-22，2019.5

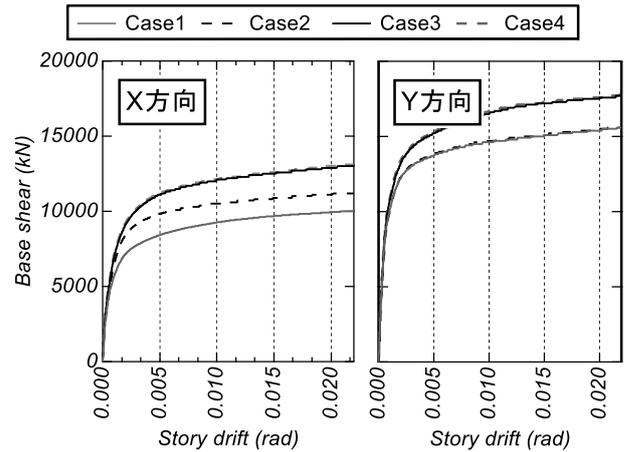


図5 ベースシア-1層層間変形角

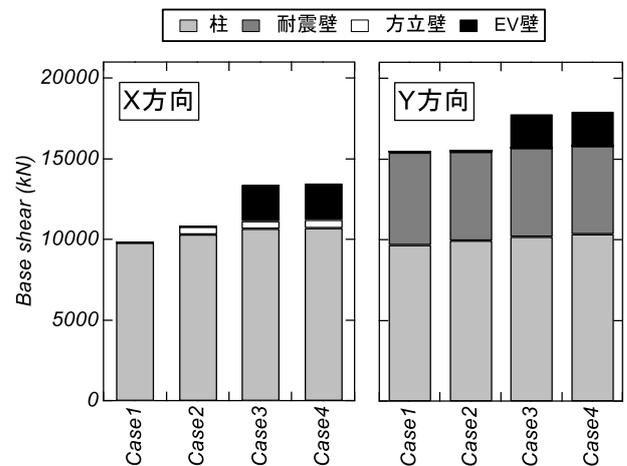


図6 各部材ベースシア負担状況

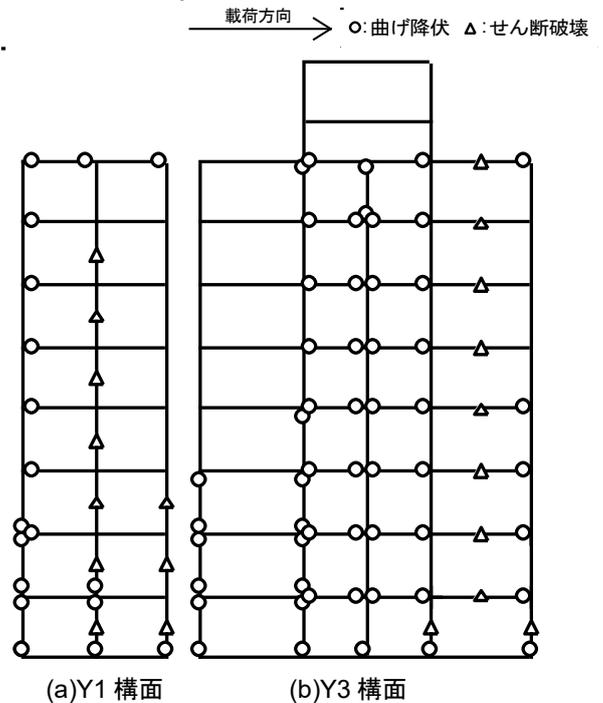


図7 塑性ヒンジ形成状況 (Case3, 1.0%rad)