

危険断面のモデル化が二次壁を有する8階建てRC造建物の塑性ヒンジ形成に及ぼす影響

鉄筋コンクリート フレームモデル 二次壁
 危険断面位置 荷重増分解析 塑性ヒンジ

1220010 池田 憲矢*1
 指導教員 鈴木 卓

1. はじめに

我が国の鉄筋コンクリート構造（以下、RCと呼称）建物の構造設計では、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。一次設計ではRC規準¹⁾の改定に伴い最新の研究成果が反映されてきた。二次設計では、鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説²⁾により袖壁付き柱、腰壁および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たことで、二次壁を有するRC建物の耐震性能評価精度の向上が期待されている。

一方、文献²⁾では二次壁付き柱・梁の危険断面位置は二次壁のフェイス位置に定義することが記載されている。しかしながら、柱・梁に二次壁が取り付く場合は二次壁による部材の拘束により危険断面位置の変動が明らかとなっている。例えば、平林らは腰壁による柱への拘束効果を評価する手法を提案している³⁾。しかし、同文献に従い算定した危険断面位置が建物全体の解析結果に及ぼす影響は不明瞭となっている。

そこで本研究では、1993年に着工された8階建てRC造建物を対象に二次壁による危険断面位置を変数とした荷重増分解析を実施した。本論では、建物の1層に着目した復元力、各構面の復元力および塑性ヒンジ形成の状況についての検討結果を述べる。

2. 対象建物概要

写真1に建物外観、表1に対象建物において同形状の数の多い柱、梁および二次壁の断面詳細、表2に設計図書に基づく建物重量および図1と図2に建物形状を示す。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階建ての計10層からなるRC造共同住宅である。東西方向4スパンはラーメン構造、南北方向3スパンは耐震壁付きラーメン構造となっている。本論では東西方向をX軸、南北方向をY軸と定義する。X1、X3およびX5構面に連層耐震壁、梁に取り付く腰壁および垂壁、柱に取り付く袖壁および平面図上のY1構面に方立壁を有する。Y3構面とY4構面の間にはEVホールを構成する壁板が取り付けられている。ここで、塔屋部をPH階と呼称する。

対象建物に使用されているコンクリートの圧縮強度は4層までが23.5N/mm²、それ以上の層が21N/mm²である。柱と梁の主筋にはSD345が、その他の鉄筋にはSD295がそれ



写真1 建物南東外観

表1 代表的な部材

部材名	幅×せい (mm)	仕様
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
	帯筋	2-D13@100
梁 2	幅×せい (mm)	400×700
	主筋	6-D25
	帯筋	2-D13@150
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 建物重量表

階	面積 A (m ²)	重量 W (kN)	W/A (kN/m ²)	ΣW (kN)
PH2	37.9	852	22.5	852
PH1	37.9	651	17.2	1,503
8	181.1	2,177	12.0	3,680
7	181.1	2,627	14.5	6,307
6	181.1	2,620	14.5	8,927
5	181.1	2,648	14.6	11,575
4	181.1	2,698	14.9	14,273
3	188.2	2,787	14.8	17,060
2	188.2	2,786	14.8	19,846
1	188.2	2,958	15.7	22,804

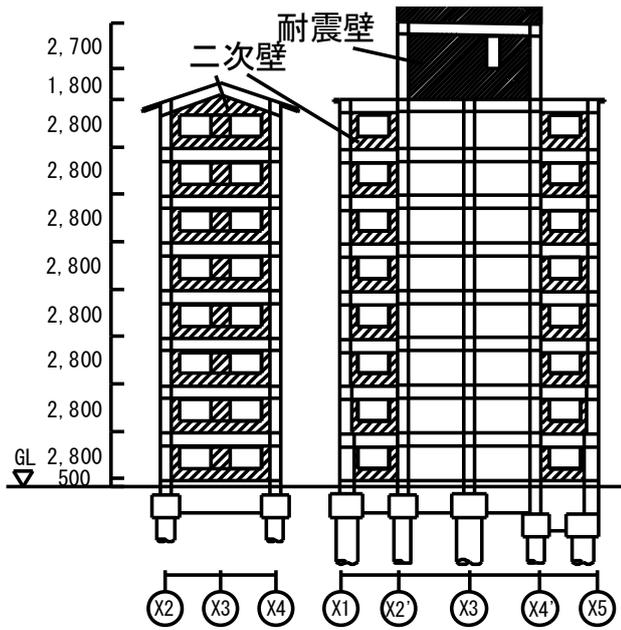


図1 Y1 および Y3 構面の立面

ぞれ使用されている。

3. モデル化方法

3.1 建物のモデル化

図3に方立壁のあるY1構面を例とした解析モデルを示す。解析モデルは3次元立体フレームモデルとした。梁部材は材端バネモデルに置換した。柱部材は材端部を複数の軸方向バネからなるマルチスプリング（以下、MSと呼称）モデルと中央部のせん断バネを有する線材要素に置換した。耐震壁およびEVホールを構成する壁部材は両側柱および壁板を3本の線材として表現する三本柱モデルに置換した。

腰壁および垂壁の断面性能は梁の一部として、袖壁の断面性能は柱の一部としてそれぞれ算定した。梁の断面性能にはスラブ厚さの影響が考慮されている。なお、文献2)では長さ450mm未満の二次壁は無視するものとなっており、本論においてもモデル化していない。ただし、当該二次壁は危険断面位置の算定には考慮した。方立壁は前述の柱と同様にモデル化した。柱梁接合部は各部材の危険断面位置から接合部材せいの1/4倍内側を部材の剛域として扱った。境界条件として最下層の柱脚はピン支持とし、各層および床は剛床仮定を適用した。

解析変数は二次壁の有無および二次壁の拘束による危険断面位置である。上記の条件で柱、梁および耐震壁のみをモデル化したものをCase1とした。Case1を基に文献2)に従い柱および梁を二次壁が取り付く部材としてモデル化したものをCase2とした。さらに、Case2を基に部材の危険断面を文献3)に従い変更したものをCase3とした。各

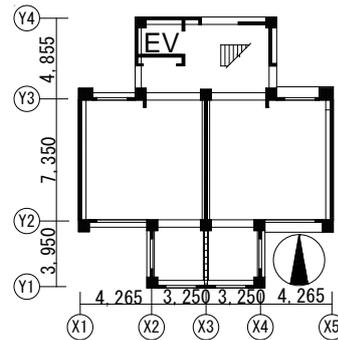


図2 1階平面

表3 各 Case の解析変数

	二次壁	危険断面算定法
Case1	無	文献2)
Case2	有	文献2)
Case3	有	文献3)

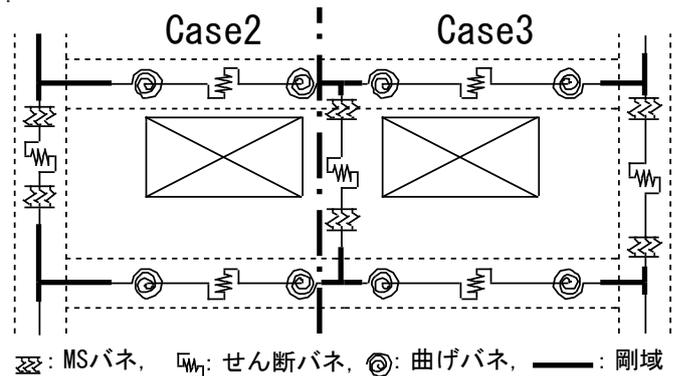


図3 材端バネモデル

Caseの変数を表3に示す。

3.2 危険断面位置

二次壁をモデル化していないCase1の危険断面位置は接合部材のフェイス位置とした。二次壁をモデル化したCase2の危険断面位置は文献2)に従い二次壁のフェイス位置とした。Case3では、二次壁の拘束効果による危険断面位置の変動をモデル化するために文献3)に従い危険断面位置を算定した。式(1)は腰壁が取り付く袖壁付き柱における腰壁コンクリートの圧縮反力、横筋の引張反力、柱の負担せん断力および曲げモーメントのつり合いにより腰壁のフェイス位置から危険断面位置までの長さLを導出したものである。

$$L = -h_0 + \sqrt{h_0^2 + \frac{2M_y}{(F_c + p_w \sigma_{wy})t}} \quad (1)$$

ここで、L：腰壁のフェイス位置から危険断面位置までの長さ、 h_0 ：反曲点高さ、 M_y ：柱の曲げ強度、 p_w ：腰壁横筋比、 σ_{wy} ：腰壁横筋の降伏強度、 t ：腰壁厚さである。

なお、文献3)は腰壁の取り付け柱を対象としているが、本論文ではその他の二次壁が取り付け柱および梁の危険断面位置も式(1)を用いて算定した。

3.3 部材の復元力特性

図4に部材の復元力特性モデルを示す。文献2)に基づき二次壁付き梁および柱部材を示す曲げバネの曲げモーメント一回転角関係およびせん断バネのせん断力-せん断

変形角関係はトリリニアモデルで表現した。部材の曲げ耐力、せん断耐力および降伏点剛性低下率は以下の式(2)-(8)により算定した。記号の詳細は文献2)を参照された。

○曲げ耐力

- ・中立軸が壁内に存在する場合

$$M_y = \left\{ a_{te}(d_e - x_n) + a_{tz} \frac{(d_1 - x_n)^2}{d_e - x_n} + \frac{b_c x_n^3}{3n(d_e - x_n)} \right\} \sigma_y \quad (2)$$

- ・中立軸が梁内に存在する場合

$$M_y = a_{te} \sigma_y (d_e - x_{n2}) \quad (3)$$

$$\alpha_y = \left(0.043 + 1.64 \sum np_t + 0.043 \frac{M}{QL} \right) \left(\frac{d}{L} \right)^2 \quad (4)$$

○せん断耐力

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

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

$$Q_{suc} = \left\{ \frac{0.053 p_{tce}^{0.23} (F_c + 18)}{\frac{M}{Qd_w} + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{cwe} \sigma_{cwy}} \right\} t_{ce} j_{ce} \quad (7)$$

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

4. 解析結果

4.1 建物全体の復元力および応答値

増分解析によって得られた建物全体の復元力および応答点を図5に示す。なお、応答点は文献4)に従い検証用地震動に対する安全限界時の加速度応答スペクトルから算定した。

二次壁を考慮したCase2およびCase3は二次壁を考慮していないCase1と比べて初期剛性が高い。式(1)により危険断面位置を算定したCase3は危険断面位置を二次壁のフェイスとしたCase2と比べて初期剛性が低い。これは、式(1)により危険断面間の距離の増大に伴い剛域の長さが短くなったためである。また、Case2の応答点におけるベースシアはCase1の応答点におけるベースシアを上回った。Case3の応答点におけるベースシアはCase2を下回った。

4.2 各構面の復元力

図6に各構面の復元力を示す。二次壁をモデル化していないCase1は二次壁をモデル化したCase2および式(1)により危険断面位置を算定したCase3と比べて、方立壁のあるY1構面、二次壁の多く取り付くY3構面および1階の圧縮側柱に袖壁が取り付けられているY4構面では剛性および応答点におけるベースシアが低い。これは、方立壁のモデル化と二次壁による柱・梁の耐力上昇が応答点におけるベースシアの上昇に寄与したものと考えられる。Case3はCase2のものとは比べてY3構面では層間変形角 $4 \times 10^{-3} \text{rad}$ までの剛性および応答点におけるベースシアが低い。Y1構面ではCase3における層間変形角 $6 \times 10^{-3} \text{rad}$ までの剛性はCase2のもの

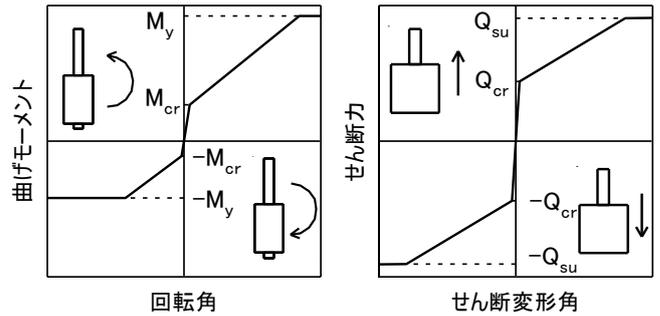


図4 復元力特性

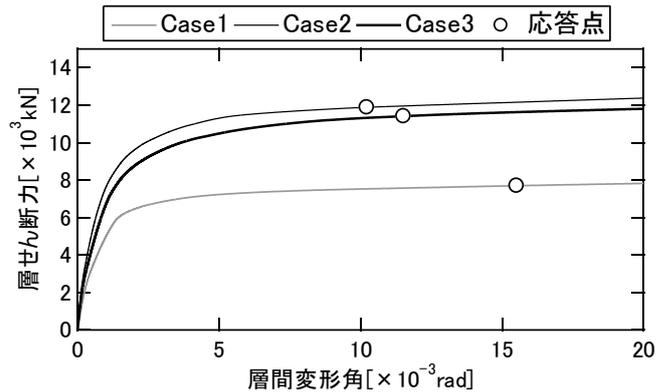


図5 建物の復元力および応答点

のと比べて低い。しかし、応答点におけるベースシアに大きな差はみられなかった。また、Y4構面では剛性および応答点におけるベースシアに大きな差は確認されなかった。これは、同構面では梁に二次壁が取り付けられていないことにより柱の危険断面位置が変動しないためである。一方のY2構面では、二次壁が短い剛域および柱・梁の耐力に差が生まれず、各Caseの剛性および応答点におけるベースシアに大きな差はみられなかった。

4.3 塑性ヒンジ形成状況

応答点におけるY1およびY3構面の塑性ヒンジの形成状況を図7に示す。ここで、载荷方向は同図のX1からX5の方向である。

Case1のY1構面では、1層の柱および基礎梁以外の梁に曲げ破壊の発生が認められ、梁曲げ破壊型の全体崩壊形の様相を示した。

危険断面位置を二次壁のフェイス位置としたCase2のY1構面では、Case1のものとは比べて梁の曲げ破壊の減少および方立壁と圧縮側柱のせん断破壊の発生が確認された。Y3構面では、Case1のものとは比べてX1-X2間の梁曲げ破壊が生じず、X4とX5の1層の柱にせん断破壊の発生が認められた。これは、二次壁のモデル化に伴いせん断スパンが短くなり、部材のせん断耐力が曲げ耐力と比べて低くなったためである。

式(1)より危険断面位置を算定したCase3では、Case2のものとは比べてY1およびY3構面において柱のせん断破壊か

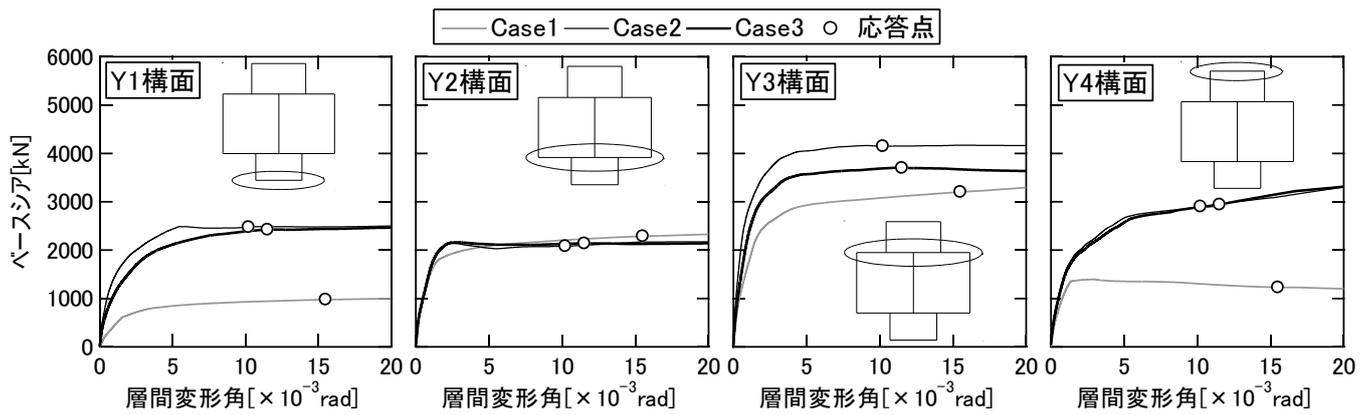


図 6 各構面の復元力および応答点

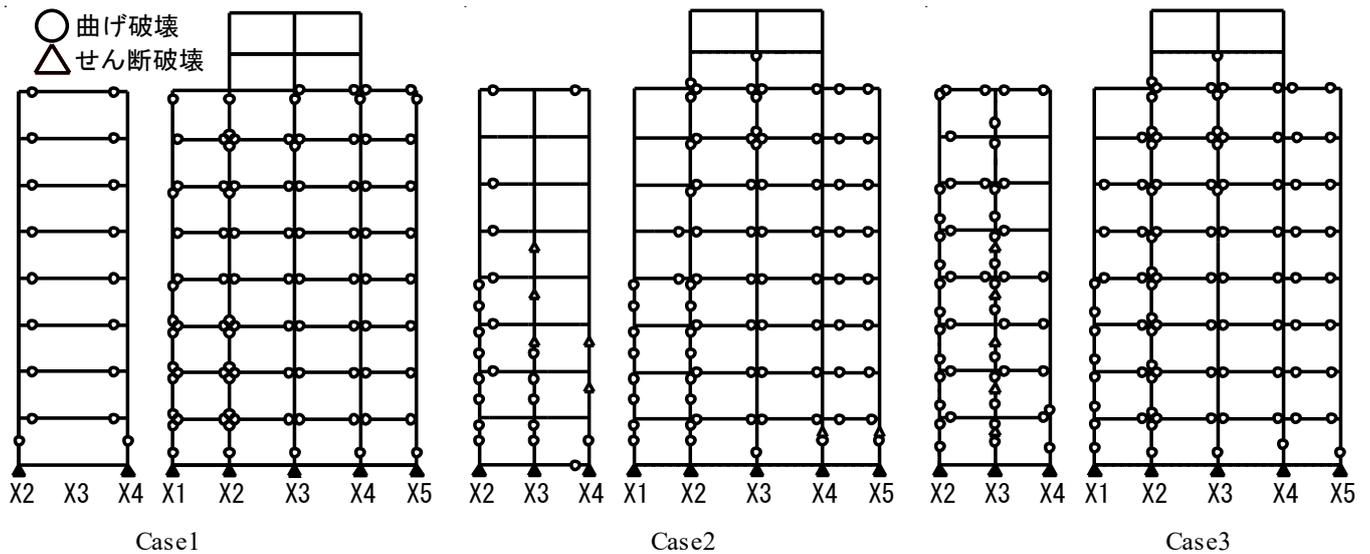


図 7 応答点でのY1およびY3構面の塑性ヒンジ形成状況

ら曲げ破壊への移行が確認された。しかし、Y1構面では方立壁の破壊モードに変化はみられなかった。以上をまとめると、同Caseの崩壊形は全体崩壊形の様相を示した。

以上のことより、文献2)に従った二次壁の取り付く建物のモデル化だけではせん断破壊の発生を示す恐れがある。しかし、文献2)に文献3)による危険断面位置の算定法を組み合わせることで全体崩壊形の破壊モードに移行する傾向が認められた。

5. まとめ

本論では、二次壁およびそれに伴う危険断面位置を考慮したRC造建物の静的増分解析を行った。本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 二次壁のモデル化により、建物の初期剛性と応答点におけるベースシアの増加が確認された。
- 2) 文献3)に基づき危険断面間距離を算定した解析ケースでは、建物の初期剛性および応答点におけるベースシアの減少が認められた。

- 3) 本論に示す建物では、二次壁をモデル化したいずれのケースにおいても方立壁のせん断破壊の発生が危惧される。一方で、文献3)に従い危険断面間距離を算定した解析ケースにおける袖壁付き柱の破壊モードは文献2)に従い算定したケースのものとは比べてせん断破壊から曲げ破壊に移行する傾向が確認された。

参考文献

- 1) AIJ：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999
- 2) AIJ：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説，2021
- 3) 平林，中村，勅使川原：腰壁・垂壁付柱の危険断面位置および曲げ終局時せん断力の評価，コンクリート工学年次論文集，V61.36，No2，pp97-102，2014年9月
- 4) AIJ：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