

鋼板耐震壁のアスペクト比の違いが簡易 FEM モデルの精度に与える影響

鋼板耐震壁	スチフナ補剛	連層	正会員	○高野 智樹*1	正会員	佐藤 大樹*1
FEM 解析	非線形解析	簡易モデル化	同	陳 引力*1	同	森岡 宙光*2
			同	佐藤 唯*3	同	張 弛*3

1 序

鋼板耐震壁(以下、壁)は、建築物の架構内に設置される耐震要素の一つである。安永ら¹⁾は、周辺架構を含む試験体の性能実験を再現できるような、部材全てをシェル要素でモデル化した FEM モデル(以下、詳細 FEM モデル)の検討を行ったが、膨大な解析時間を要する。そこで、渡邊ら²⁾は詳細 FEM モデルの応力状態を再現できる簡易なモデルとして、架構を線材、壁を平面応力要素で置換したモデル(以下、簡易 FEM モデル)を構築し、文献 3)では壁のアスペクト比を変化させた場合における簡易モデル化手法の構築を行った。本報では壁のアスペクト比の違いが簡易モデルの精度に与える影響について検討を行う。

2 解析概要

対象建物は鉄骨造地上 20 階建物⁴⁾とし、設計階層は 10 層目、スパンは 6400 mm、階高は 4000 mm である。また、柱は□-650×650×28、梁は H-800×300×16×32、間柱は H-750×300×16×32 であり、使用材料は SN490 である。なお、本報では壁が梁を介して連層で配置されることを想定し、3 層連層配置したうち、中間層(2 層目)について分析する。

2.1 詳細 FEM モデル概要

Fig.1 に詳細 FEM モデル、Table 1 にモデル諸元を示す。材料特性は Fig.1 に示すトリリニア型とし、部材すべてをシェル要素(S4)でモデル化する。また下梁は剛とし、全方向の移動と回転を拘束した。なお、解析には汎用構造解析ソフト ABAQUS ver.2024 を用いる。解析モデル名は、架構スパンの 1/4、1/2、3/4 に間柱、その左側に壁を配置したものを 1/4 モデル、1/2 モデル、3/4 モデルと称す。Fig.1 の下梁以外の赤面に同一の水平力を与え単調載荷を行う。

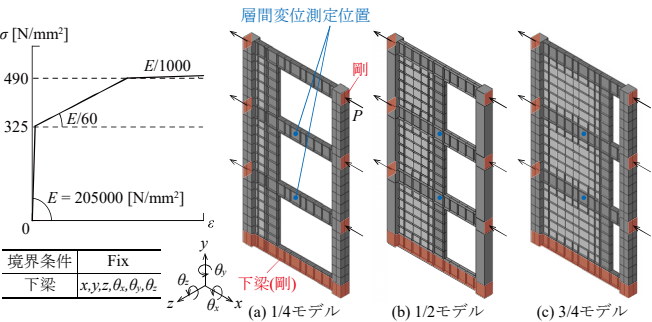


Fig.1 詳細 FEM モデル

Table 1 詳細 FEM モデル壁諸元

解析ケース	幅[mm]	高さ[mm]	板厚[mm]	せん断降伏強度[N/mm²]
1/4 モデル	900	3200	12	187.6
1/2 モデル	2500			
3/4 モデル	4100			

2.2 簡易 FEM モデル概要

Fig.2 に簡易 FEM モデル(1/2 モデル)、Table 2 にモデル諸元を示す。柱をファイバー要素、梁を梁要素、壁を 4 節点 4 角形平面応力要素でモデル化し、壁のメッシュ分割数は 10×10 とする。下梁は剛としてフェイス位置でモデル化し、境界条件・材料特性は詳細 FEM と同様にして、Fig.2 の下梁以外の赤面に同一の水平力を与え単調載荷を行う。解析には汎用構造解析ソフト RESP-F3T ver.3.2.0 を用いる。

簡易 FEM モデルにおける壁は、詳細 FEM モデルの壁より架構の断面幅分だけ大きくなるため、以下に示す 2 通りの方法で簡易 FEM モデル諸元を補正し比較を行う。

(i) 詳細 FEM と簡易 FEM のせん断剛性が等価²⁾

詳細 FEM モデルと簡易 FEM モデルのせん断剛性・せん断耐力が等価と仮定すると、簡易 FEM モデルの壁板厚 st_w およびせん断降伏強度 $s\tau_y$ は式(1)、(2)のように補正される。

$$st_w = \frac{sH_w}{dH_w} \cdot \frac{dB_w}{sB_w} \cdot dt_w, \quad s\tau_y = \frac{dH_w}{sH_w} \cdot d\tau_y \quad (1), (2)$$

ここで、 sH_w :簡易 FEM の壁高さ、 dH_w :詳細 FEM の壁高さ、 dB_w :詳細 FEM の壁幅、 sB_w :簡易 FEM の壁幅、 dt_w :詳細 FEM の壁板厚、 $d\tau_y$:詳細 FEM のせん断降伏強度である。

(ii) 詳細 FEM と簡易 FEM の曲げせん断剛性が等価³⁾

詳細 FEM モデルと簡易 FEM モデルの曲げせん断剛性が等価と仮定すると、簡易 FEM モデルの壁板厚 st_w は式(3)の解となり、せん断降伏強度 $s\tau_y$ は式(4)のように補正される。

$$st_w = \frac{dK_b}{dK_s + dK_b} \cdot \frac{sK_s + sK_b}{sK_b} \cdot \frac{sH_w}{dH_w} \cdot \frac{dB_w}{sB_w} \cdot dt_w \quad (3)$$

$$s\tau_y = \frac{dt_w}{st_w} \cdot \frac{dB_w}{sB_w} \cdot d\tau_y \quad (4)$$

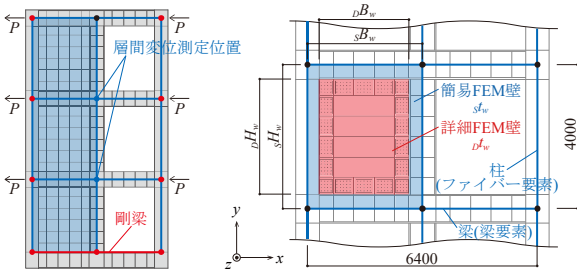


Fig.2 簡易 FEM モデル

Table 2 簡易 FEM モデル壁諸元

解析ケース	補正方法	幅[mm]	高さ [mm]	板厚 [mm]	せん断降伏強度 [N/mm ²]
1/4 モデル	(i)	1600	3200	8.44	150.1
	(ii)			11.37	111.4
1/2 モデル	(i)	3200		11.72	150.1
	(ii)			14.31	122.9
3/4 モデル	(i)	4800		12.81	150.1
	(ii)			14.77	130.2

また、以下の評価手順²⁾でせん断応力度の補正を行う。

Step 1 簡易 FEM モデルのせん断応力度 $s\tau$ が詳細 FEM モデルと等価な板厚の場合での応力度になるよう、
Step 1 補正後せん断応力度 $s\tau'$ を式(5)より算出する。

$$s\tau' = \frac{st_w}{dt_w} \cdot s\tau \quad (5)$$

Step 2 壁が塑性化している箇所がある場合、 $s\tau'$ が負担する仕事量 sW' と等価な仕事量 sW'' になるよう、Step 2 補正後せん断応力度 $s\tau''$ を式(6)により算出する。

$$s\tau'' = \sqrt{\frac{G}{G_2} \cdot s\tau'^2 + \left(1 - \frac{G}{G_2}\right) \cdot s\tau_y'^2} \quad \left(sW' \leq \frac{d\tau_y^2}{2G}\right) \quad (6)$$

$$s\tau'' = \sqrt{s\tau'^2 + \left(1 - \frac{G_2}{G}\right) \cdot (d\tau_y^2 - s\tau_y'^2)} \quad \left(sW' \geq \frac{d\tau_y^2}{2G}\right)$$

ここで、 $G_2:2$ 次せん断弾性係数であり、せん断降伏強度 $s\tau_y'$ は式(7)で表される。

$$s\tau_y' = \frac{st_w}{dt_w} \cdot s\tau_y \quad (7)$$

3 弾塑性解析結果

Fig.3 に 2 層目の(a)全体、(b)壁の荷重－変形関係を示す。簡易 FEM モデル補正(i)、(ii)同士の差は小さく、詳細 FEM モデルと概ね一致している。また、1/4 モデルの全体の荷

重－変形関係において詳細 FEM の剛性・耐力が大きい原因は、詳細 FEM では柱が幅を持つため、壁からのせん断力が伝わる位置と架構中心がずれ、柱に曲げ戻し力が働いた影響が考えられる。壁幅が広くなるにつれ、壁の負担が架構に比べて大きくなりこの差は小さくなっている。

Fig.4 に弾性域での曲げモーメント図を示す。壁のない架構では概ね一致しているが、壁の取り付け架構では材端に近づくにつれ簡易 FEM のモーメントが詳細 FEM より過大に評価されている。これは、詳細 FEM では柱に曲げ戻し力が働き架構の変形が抑えられた影響が考えられる。

Fig.5 に壁高さ中央位置でのせん断応力度の水平分布を示す。詳細 FEM と簡易 FEM の補正後せん断応力度は、弾性域・塑性域ともに概ね一致していることが確認できる。

4 結

壁のアスペクト比が異なる場合においても、簡易 FEM の壁諸元の補正を適切に行うことで簡易 FEM と詳細 FEM の荷重－変形関係およびせん断応力度は概ね一致する。

【参考文献】

- 1) 安永ら：片面スチフナ形式で補剛された鋼板耐震壁の簡易設計手法，日本建築学会構造系論文集，Vol.86，No.786，pp.1213-1223，2021.8
- 2) 渡邊ら：スチフナ補剛された鋼板耐震壁の簡易モデル化手法の構築，日本建築学会関東支部研究報告集，2069，pp.497-500，2025.3
- 3) 高野ら：架構の一部に配置された鋼板耐震壁の簡易モデル化手法の構築，日本建築学会関東支部研究報告集，2004，pp.229-232，2026.3
- 4) 日本建築学会：鋼構造制振設計指針第1版，2014.11

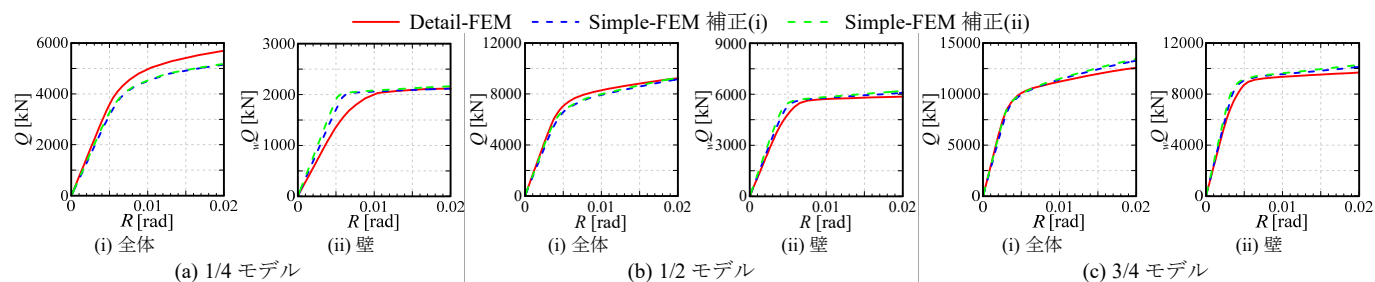


Fig.3 荷重－変形関係

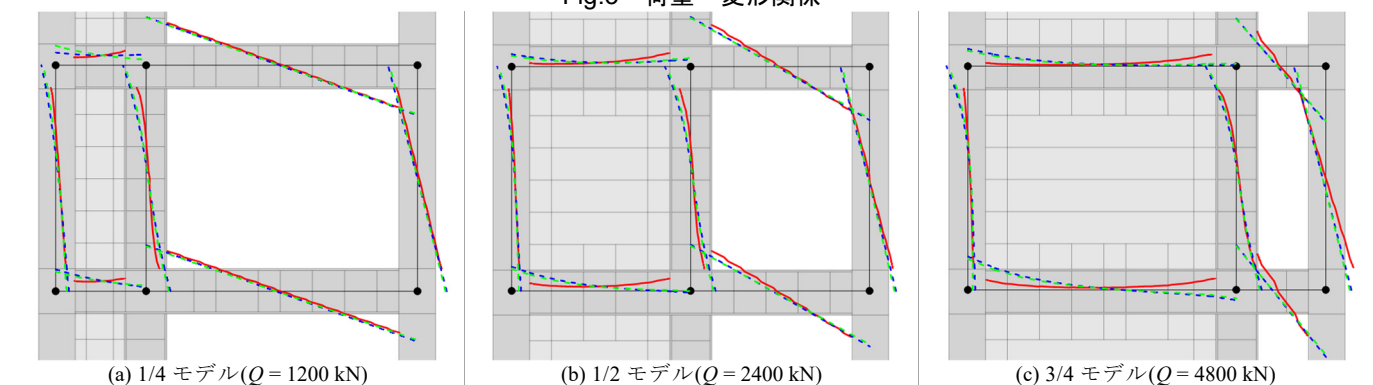


Fig.4 曲げモーメント図

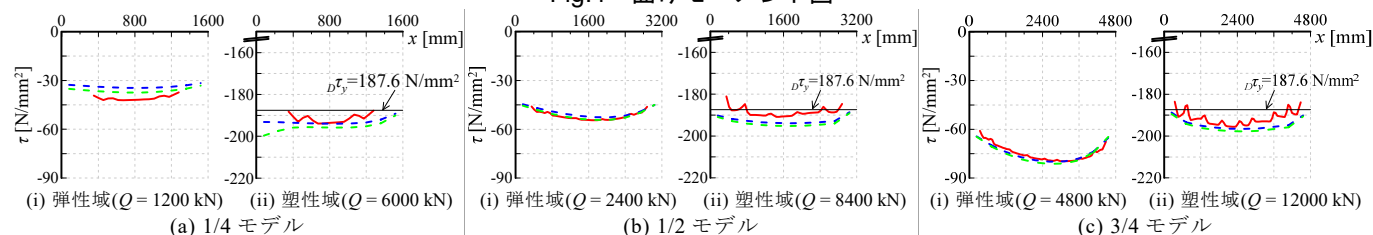


Fig.5 せん断応力度の水平分布

*1 東京科学大学

*2 JFE スチール株式会社

*3 JFE シビル株式会社

*1 Institute of Science Tokyo

*2 JFE Steel Corporation

*3 JFE Civil Engineering & Construction Corporation