

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	スチフナ補剛された鋼板耐震壁の有限要素解析に関する基礎的検討 - 使用要素・要素分割数の違いによる影響 -
Title(English)	Fundamental Study on Finite Element Analysis of steel plate shear walls reinforced by stiffener - The effect of the difference in element types and the number of elements -
著者(和文)	渡邊斐王羅, 佐藤大樹, 戸張涼太, 安永隼平, 森岡宙光, 植木卓也
Authors(English)	WATANABE Hiora, SATO Daiki, Ryota Tobari, YASUNAGA Jumpei, MORIOKA Hiromitsu, UEKI Takuya
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 297-300
Citation(English)	, , , pp. 297-300
発行日 / Pub. date	2024, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

スチフナ補剛された鋼板耐震壁の有限要素解析に関する基礎的検討

－ 使用要素・要素分割数の違いによる影響 －

構造－鉄骨構造

鋼板耐震壁 スチフナ補剛 裏表交差形式
FEM 解析 非線形解析

正会員 ○ 渡邊斐王羅^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*2}
〃 戸張涼太^{*3} 〃 安永隼平^{*4}
〃 森岡宙光^{*4} 〃 植木卓也^{*4}

1. はじめに

鋼板耐震壁は、建築物の架構内に設置される耐震要素の一つであり、主に水平剛性および耐力の確保のために用いられる。近年では、鋼構造制振設計指針りににおいて、制振要素としてのせん断パネルに関する研究成果がまとめられ、本報で対象とする鋼板耐震壁に関する研究は、安永らや五十嵐らによる成果^(例えば 2)-4)が報告されている。文献 4)では、裏表交差形式でスチフナ補剛された鋼板耐震壁の繰返しを含む静載荷実験を行い、実構造を想定した性能検証をしている。また、非線形 FEM 解析を用いて単調載荷を行い、 $R = 1/50$ 付近までの解析結果と実験結果が概ね一致していること確認した。しかし、FEM 解析には膨大な時間が必要となり、パラメトリックスタディをする際には計算時間の短縮が望まれる。計算時間の短縮には要素数を低減させることが有効であるが、解析精度が低下する恐れがある。

そこで本報では、文献 4)での試験体を対象に、FEM 解析での分割数および要素の違いが解析精度に与える影響について検討する。

2. 解析概要

2.1 モデル概要

本節では、本報で解析を行う 11 種類の鋼板耐震壁の解析モデルについて解説する。Fig. 1 に試験体の概要図、Table 1 に試験体の諸元を示す。試験体は実寸大の 1/3 モデルを想定し、壁面および周辺の柱・梁を模擬した周辺部材で構成されている。なお、試験体および実験の詳細については文献 4)を参照されたい。Fig. 2 に解析モデルの概要を示す。モデルには、文献 4)において、試験体 S-02 の静載荷実験を再現したモデルである F-02 を使用し、文献 4)と同様に、周辺部材と壁面を四角形シェル要素でモデル化した。ただし、周辺部材と壁面の間の高力ボルト摩擦接合は省略し、壁面と同じ板厚の板材でモデル化を行う。なお、解析ソフトには、汎用構造解析プログラム ABAQUS Ver.2020⁵⁾を用いた。また、解析に用いた材料特性はトリリニア型とし、降伏強度 σ_y を 235 N/mm^2 とした。試験体下部では、すべての方向

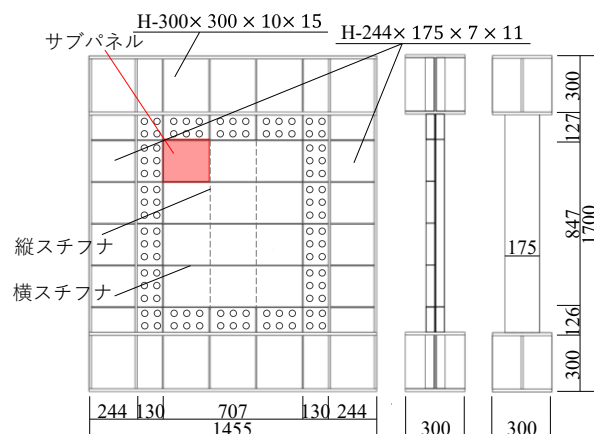


Fig. 1 対象試験体 (S-02) (単位: mm)

Table 1 試験体の諸元

試験体名	幅 $B(\text{mm})$	高さ $H(\text{mm})$	板厚 $t(\text{mm})$	スチフナ 枚数 $n_h \times n_b$	スチフナ 高さ $h_s(\text{mm})$
S-02	707	847	4.5	3 × 2	30

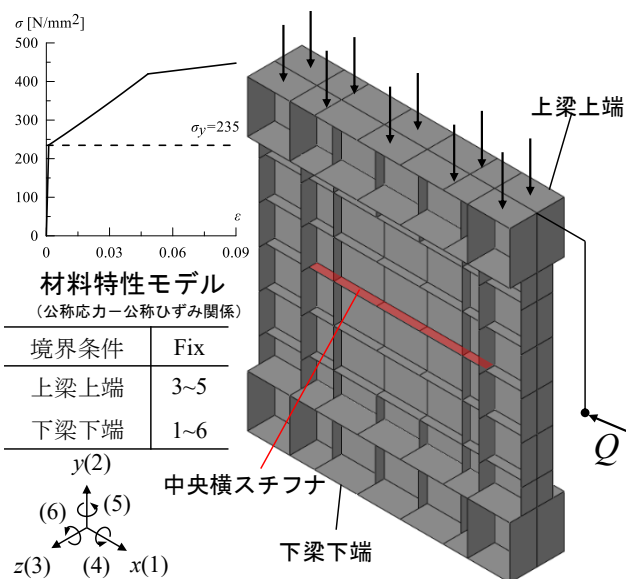


Fig. 2 解析モデル (F-02)

Fundamental Study on Finite Element Analysis of steel plate shear walls reinforced by stiffener - The effect of the difference in element types and the number of elements -

WATANABE Hiora, SATO Daiki, TOBARI Ryota, YASUNAGA Jumpei, MORIOKA Hiromitsu UEKI Takuya,

の移動と回転を拘束し、試験体上部では、 z 軸方向の移動と x, y 軸まわりの回転を拘束した。

Fig. 3 (a)~(d)に解析モデル別の要素分割を示し、Table 2 に解析モデル別の要素数と節点数を示す。要素には、四角形シェル要素のうち、一次完全積分要素（以降、S4）、一次低減積分要素（以降、S4R）、二次低減積分要素（以降、S8R）の3種類を用い、要素分割には、Fig. 1 に赤で示すサブパネル（スチフナで区画されたパネル）の高さ方向に 33, 11, 5, 3 分割の4種類を用いた。解析モデル名は、左から順に要素の種類、要素分割数で表され、例えば、S4R-5 は使用要素が S4R、サブパネルの要素分割数が5であることを示す。解析モデルのうち、S4-33 は文献4)で使用した解析モデル（以降、Original）である。Table 3 に本報で用いる解析ケースの一覧を示す。解析モデルは、本報で使用した解析ケースを○印で表す。なお、S8R-33 は、使用要素と分割数の問題で解析が収斂しないため、本報では使用しない。

2.2 大変形弾塑性解析概要

本報では、文献4)と同様に、試験体を模擬したモデルに対して単調荷重の大変形弾塑性解析を行う。初期不整は、固有値解析で得られた1次モードを用いて面外の最大変形量が $H/1000$ になるように入力した。試験体上部にL字型治具を模擬した剛梁を設け、静荷重実験と同様に軸力比 0.15 となるように一定の鉛直力を荷重した状態で x 方向に -100 mm 単調荷重した。なお、本解析では幾何学的非線形を考慮している。

3. 大変形弾塑性解析結果

Fig. 4 に使用要素、要素分割数別の解析モデルの骨格曲線と荷重実験⁴⁾での荷重-変形関係を示す。横軸は(1)式で表すパネルの層間変形角 R であり、縦軸は水平力 Q を(2)式で表される壁面のせん断降伏時における試験体全体の水平力 Q_y で無次元化した値である。

$$R = U_x/H \quad (1)$$

$$Q_y = {}_wQ_y + G_f \times {}_wR_y \times A_f \times 2 \quad (2)$$

ここで、 U_x ：モデル全体の x 軸方向の水平変位、 H ：パネルの高さ、 G_f ：左右両側の縦枠部材の水平剛性、 A_f ：縦枠部材 1 本当たりの断面積を示し、 ${}_wQ_y$ ：パネルのせん断降伏耐力、 ${}_wR_y$ ：せん断降伏変形角はそれぞれ以下の式で表される。

$${}_wQ_y = \tau_y \times B \times t \quad (3)$$

$${}_wR_y = \tau_y/G_w \quad (4)$$

ここで、 τ_y ：せん断降伏強度、 G_w ：パネルの水平剛性、 B ：パネルの水平幅、 t ：パネルの厚さを表す。

Fig. 4 より、要素分割数で比較すると、メッシュが粗くなるほど解析値が大きくなり、実験値から離れることが確認できる。分割数が小さくなると、要素分割数が 33 のときには、要素別の解析モデルが一致しており、Original の解析モデルの妥当性を確認できる。また、

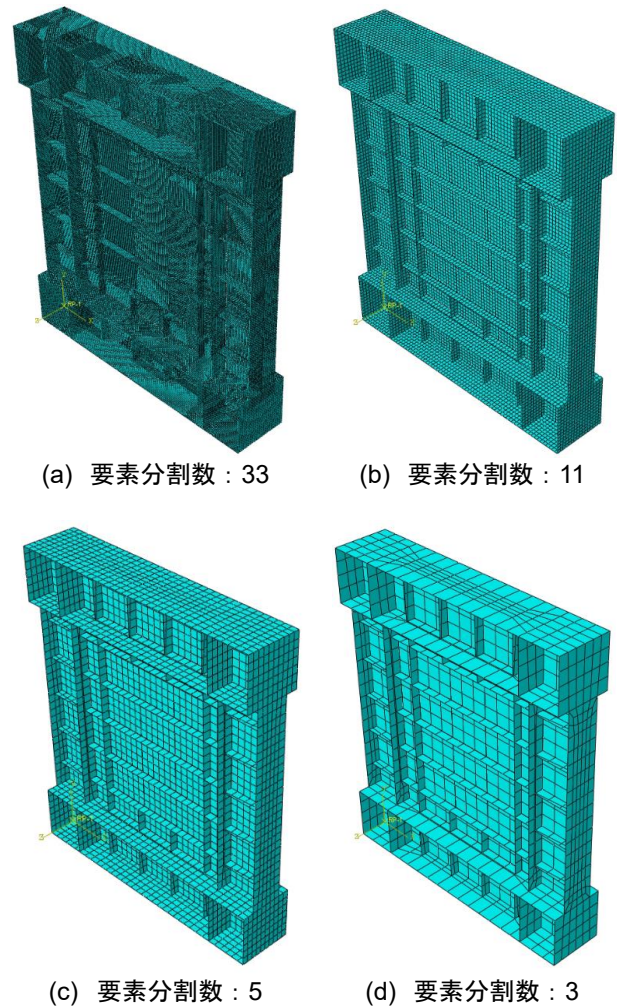


Fig. 3 要素分割

Table 2 要素諸元

解析モデル名		要素数	節点数
要素	要素分割数		
S4	33 (Original)	167163	168860
	11	18464	19002
	5	4988	5191
	3	1987	2032
S4R	33	167163	166774
	11	18464	19002
	5	4988	5191
	3	1987	2032
S8R	33	167163	500710
	11	18464	56498
	5	4988	15400
	3	1987	6081

Table 3 解析ケース一覧

サブパネルの高さ方向の要素分割数	33	11	5	3
S4	○ (Original)	○	○	○
S4R	○	○	○	○
S8R	-	○	○	○

要素タイプで比較すると、メッシュが粗くなるにつれて S4 の精度が悪くなっていることがわかる。これは、要素が大きくなることで、曲げ変形を表現できなくなったからだと考えられる。

Table 4 に弾性域 ($R=1/500$) と載荷実験での最大耐力時 ($R=3/100$ 付近) の解析値と、実験値および Original の解析値に対する各モデルの解析値の比と、Original の解析時間に対する各モデルの解析時間の比を示す。Table 4 より、解析値について、実験値および Original と比較すると、弾性域では概ね一致し、 $R=3/100$ でも最大 3% 程度しか変化しなかった。今後のパラメトリックスタディの際に実現現象を想定する場合、層間変形角は 1/50 程度までしか用いないため、荷重-変形関係においては、どのモデルを用いても問題ないことが確認できる。また、Table 4 の解析時間の比較から、解析時間は要素分割数が少なくなるほど解析時間は短くなり、要素の種類ごとに比べると、 $S4R < S4 < S8R$ の順で解析時間が長くなる傾向があることがわかる。これは Table 2 に示したように節点数が多くなるほど計算点が増え、解析時間が長くなるからだと考えられる。特に要素分割数が 33 と 11 を比べると、分割数 11 の解析時間が分割数 33 の解析時間の 10% 以下になっており、大幅に計算時間を減らすことができることがわかる。

Fig. 5 に Fig. 2 に赤で示す中央横スチフナの $R=9/100$ (100 mm 載荷時) の Mises 応力と縦スチフナの位置 (黒線) を示す。縦軸は Mises 応力を表し、横軸は x 軸方向のスチフナの位置を表す。また、Fig. 6 (a)~(k) に $R=9/100$ の Mises 応力コンタを示す。Fig. 5, Fig. 6 から、中央横スチフナの Mises 応力は縦スチフナの交差位置で応力が高くなる傾向があることがわかる。一方、分割数が 5 以下では、応力の分布や大きさが傾向からずれている。特に S8R では、応力が約 1.8 倍になっており、実現現象に近い応力が再現できていない可能性があるため、どのモデルの応力が正しいか今後検討する必要がある。

4. まとめ

本報では、スチフナ補剛された鋼板耐震壁の大変形弾塑性解析結果から、要素の種類や要素分割数による解析精度への影響を検証した。

解析結果から、分割数が 5 以下および S8R では解析に用いるのには不向きではないかと考えられる。また、解析時間を考慮すると、分割数 33 や S8R では解析時間が大幅に長いので、今後、実構造を想定したモデルのパラメトリックスタディをする際には、分割数 11 で S4 や S4R での解析モデルを使うべきだと考えられる。一方、局所的な応力や座屈形状を見る際には、要素分割数を細かくするなどの注意が必要である。

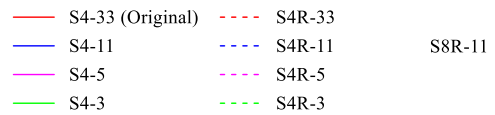


Fig. 4 荷重-変形関係

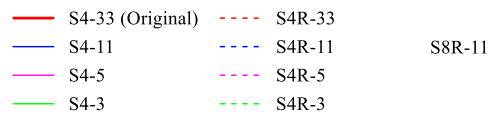


Fig. 5 中央横スチフナの Mises 応力

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造制振設計指針第 1 版，2014.11
- 2) 安永隼平，植木卓也，村上行夫，小野潤一郎，木村征也，大山翔也，五十嵐規矩夫：表裏交差形式でスチフナ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.83，No.743，pp.191-199，2018.1
- 3) 五十嵐規矩夫，下村隼人，安永隼平，植木卓也，小野潤一郎，大山翔也：スチフナ補剛された鋼板耐震壁の座屈性状に周辺部材が及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.85，No.767，pp.141-150，2020.1
- 4) 安永隼平，植木卓也，小野潤一郎，木村征也，大山翔也，五十嵐規矩夫：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
- 5) ABAQUS Manual, Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc;1997.

Table 4 解析値および解析時間

解析モデル名		弾性域 ($R = 1/500$)			最大耐力時 ($R = 3/100$)			解析時間
要素	要素分割数	Q/Q_y	解析値 / 実験値	解析値 / 解析値(Original)	Q/Q_y	解析値 / 実験値	解析値 / 解析値(Original)	Time / Time (Original)
Experiment		0.857	1.000	-	1.490	1.000	-	-
S4	33 (Original)	0.928	1.084	1.000	1.553	1.042	1.000	1.000
	11	0.930	1.085	1.002	1.576	1.058	1.015	0.070
	5	0.931	1.087	1.003	1.595	1.070	1.027	0.015
	3	0.932	1.088	1.004	1.602	1.075	1.031	0.006
S4R	33	0.928	1.084	1.000	1.553	1.042	1.000	0.714
	11	0.929	1.085	1.001	1.574	1.056	1.013	0.046
	5	0.930	1.086	1.002	1.591	1.067	1.024	0.010
	3	0.929	1.085	1.001	1.597	1.072	1.028	0.004
S8R	33	-	-	-	-	-	-	-
	11	0.931	1.086	1.003	1.550	1.040	0.998	0.240
	5	0.933	1.089	1.005	1.572	1.055	1.012	0.042
	3	0.935	1.091	1.007	1.579	1.060	1.017	0.011

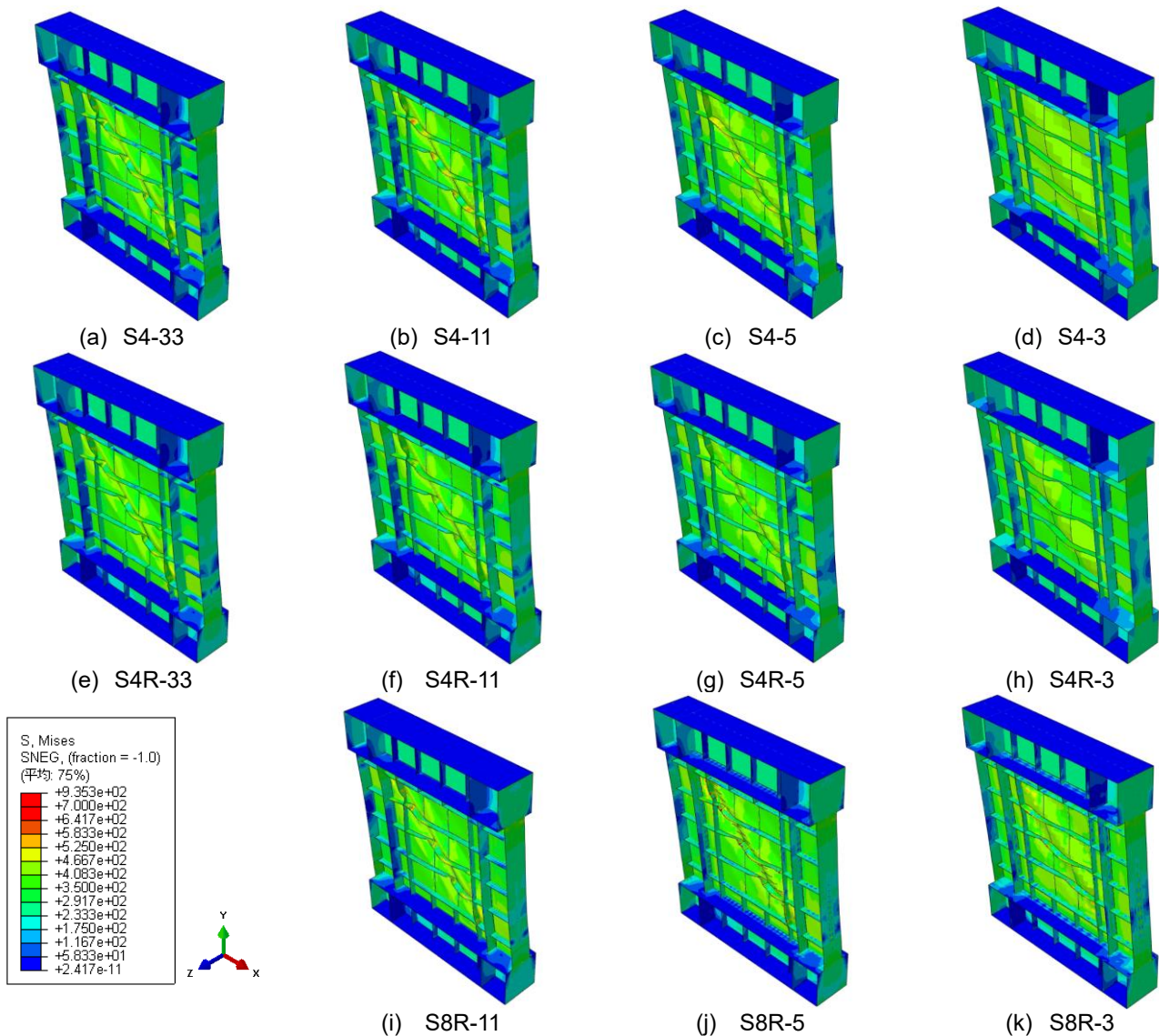


Fig. 6 Mises 応力コンタ [N/mm²] ($R = 9/100$)

*1 東京工業大学 環境・社会理工学院 大学院生
 *2 東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授・博士 (工学)
 *3 JFE シビル株式会社
 *4 JFE スチール株式会社

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology^{*1}
 Associate Professor, IIR, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng^{*2}
 JFE Civil Engineering & Construction Corporation^{*3}
 JFE Steel Corporation^{*4}