

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簡易モデル化手法の構築 その2 間柱を配置する場合
Title(English)	Simplified modeling method for steel plate shear walls reinforced by stiffener Part 2: With middle columns
著者(和文)	渡邊斐王羅, 佐藤大樹, 陳引力, 森岡宙光, 戸張涼太, 安永隼平, 小野潤一郎, 木村征也, 二島冬太, 佐野航
Authors(English)	Hiora Watanabe, Daiki Sato, Yinli Chen, Hiromitsu Morioka, Ryota Tobari, Jumpei Yasunaga, Junichiro Ono, Seiya Kimura, Tota Futashima, Wataru Sano
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 497-500
Citation(English)	, , , pp. 497-500
発行日 / Pub. date	2025, 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簡易モデル化手法の構築 その2 間柱を配置する場合

構造—鉄骨構造

正会員 ○ 渡邊斐王羅 ^{*1}	正会員 佐藤大樹 ^{*1}
〃 陳引力 ^{*1}	〃 森岡宙光 ^{*2}
〃 戸張涼太 ^{*3}	〃 安永隼平 ^{*2}
〃 小野潤一郎 ^{*4}	〃 木村征也 ^{*4}
〃 二島冬太 ^{*4}	〃 佐野航 ^{*4}

鋼板耐震壁	スチフナ補剛	連層
FEM 解析	非線形解析	簡易モデル化

1. はじめに

本報その1では、周辺架構を含む鋼板耐震壁の詳細FEMモデルの応力状態を正しく再現できるような簡易FEMモデル化方法を示し、間柱を用いない場合について検討した。その2では、間柱を介した場合でのモデルについて検討する。

2. 解析概要

本章では、本報で用いる解析モデルおよびなお、本報では、鋼板耐震壁が梁を介して連層で配置されることを想定し、3層を連層配置したうち、中間層である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 モデルの概要、Fig. 2 にメッシュ割を示す。また、材料特性および境界条件は、その2と同様である。解析モデル名は、部材すべてをシェル要素(S4)でモデル化したものを Detail-FEM と称し、架構のみのモデルとパネルを含んだ全体モデル、2枚のパネルのうち片方のみパネルが配置されたモデルの3つを用いる。本報では、その1と同様の条件で、解析モデルを用いて単調荷の大変形弾塑性解析を行う。

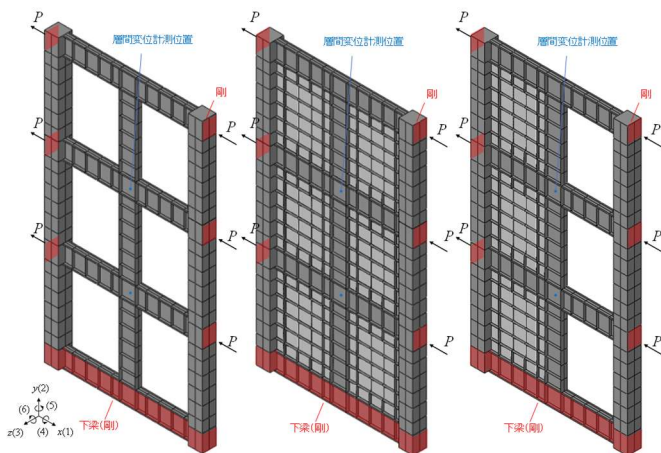
2.2 簡易 FEM モデル概要

本報では、その1と同様に簡易 FEM におけるパネルが、パネルのせん断剛性および耐力が等価になるような簡易 FEM のパネル厚 $s_t w$ およびパネルのせん断降伏強度 $s_t y$ を以下の式により補正する。なお、文献1)から、パネルの間に間柱があるようなモデルでは、間柱がパネルと同じような挙動を示すため、簡易 FEM モデルは、間柱を間柱として線材でモデル化した間柱ファイバー要素モデルと、間柱をパネルとみなして四角形平面応力要素でモデル化した間柱平面応力要素モデルの2つを用いる。なお、間柱ファイバー要素モデルでは、その1で示す(1)、(2)式を用い、間柱平面応力要素モデルでは、その2で示す(1)、(2)式を用いる。

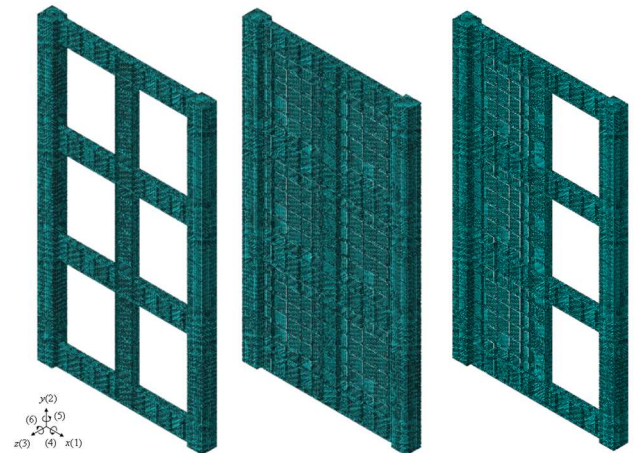
$$s_t w = \frac{s H_w}{d H_w} \times \left(\frac{d B_w}{s B_w} \times d t_w + \frac{d B_{mc}}{s B_w} \times d t_{mc} \right) \quad (1)$$

$$s_t y = \left\{ \left(\frac{d B_w}{s B_w} \right) \times \left(\frac{d t_w}{s t_w} \right) + \left(\frac{d B_{mc}}{s B_w} \right) \times \left(\frac{d t_{mc}}{s t_w} \right) \right\} \times d t_y \quad (2)$$

ここで、 $s H_w$ ：簡易 FEM のパネル高さ、 $d H_w$ ：詳細 FEM のパネル高さ、 $s B_w$ ：簡易 FEM のパネル幅、 $d B_w$ ：詳細 FEM のパネル幅、 $d t_w$ ：詳細 FEM のパネルの板厚、 $d B_{mc}$ ：詳細 FEM の間柱のせい半分の、 $d t_{mc}$ ：詳細 FEM のウェブ厚である。



(a) 架構のみ (b) 全体 (c) 片パネル
Fig. 1 解析モデル (Detail-FEM)



(a) 架構のみ (b) 全体 (c) 片パネル
Fig. 2 メッシュ割 (Detail-FEM)

Fig. 4 に簡易 FEM モデルの概要, Table 1 に詳細 FEM モデルでの各諸元, Table 2 に簡易 FEM での各諸元を示す。簡易 FEM モデルでも, その 1 と同様にモデル化する。解析モデル名は, パネルの分割数を x, y 方向にそれぞれ 4 分割したものを Simple-FEM と称し, Detail-

FEM と同様に架構のみと全体, 片パネルモデルの 3 つを用いる。本報では, 解析モデルを用いて単調載荷の弾塑性解析を行う。

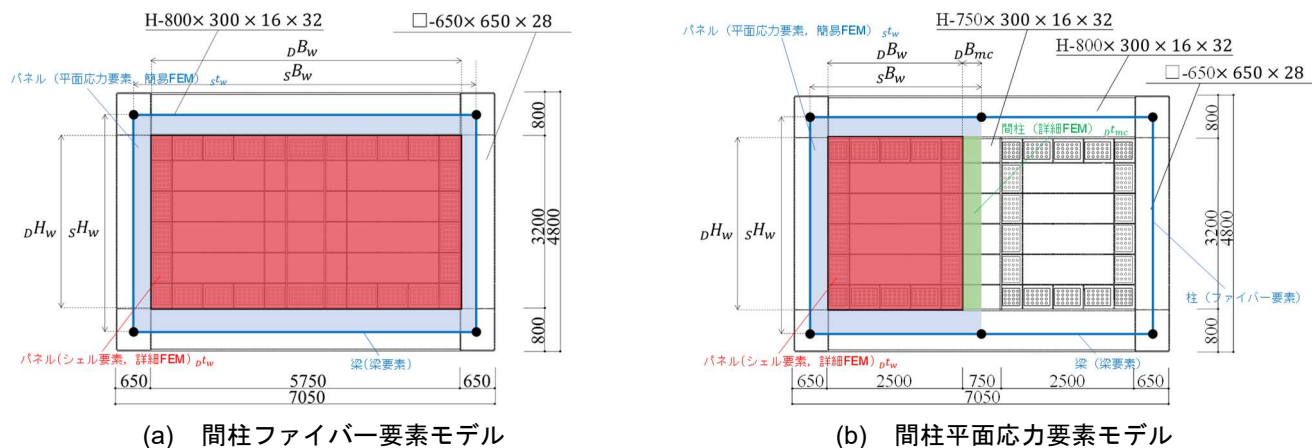


Fig. 3 簡易 FEM モデル化概要

Table 1 詳細 FEM 諸元

パネル幅 dB_w (mm)	パネル高さ dH_w (mm)	パネル板厚 dt_w (mm)	間柱せいの半分 dB_{mc} (mm)	間柱ウェブ板厚 dt_{mc} (mm)	パネルおよび間柱のせん断降伏強度 $d\tau_y$ (N/mm ²)
2500	3200	12	375	16	187.6

Table 2 簡易 FEM 諸元

解析ケース	パネル幅 sB_w (mm)	パネル高さ sH_w (mm)	パネル板厚 st_w (mm)	パネルおよび間柱のせん断降伏強度 $s\tau_y$ (N/mm ²)
Simple-FEM (間柱ファイバー要素モデル)	3200	3600 (1層) or 4000 (2,3層)	10.55 (1層) or 11.72 (2,3層)	166.8 (1層) or 150.1 (2,3層)
Simple-FEM (間柱平面応力要素モデル)	3200	3600 (1層) or 4000 (2,3層)	12.66 (1層) or 14.06 (2,3層)	166.8 (1層) or 150.1 (2,3層)

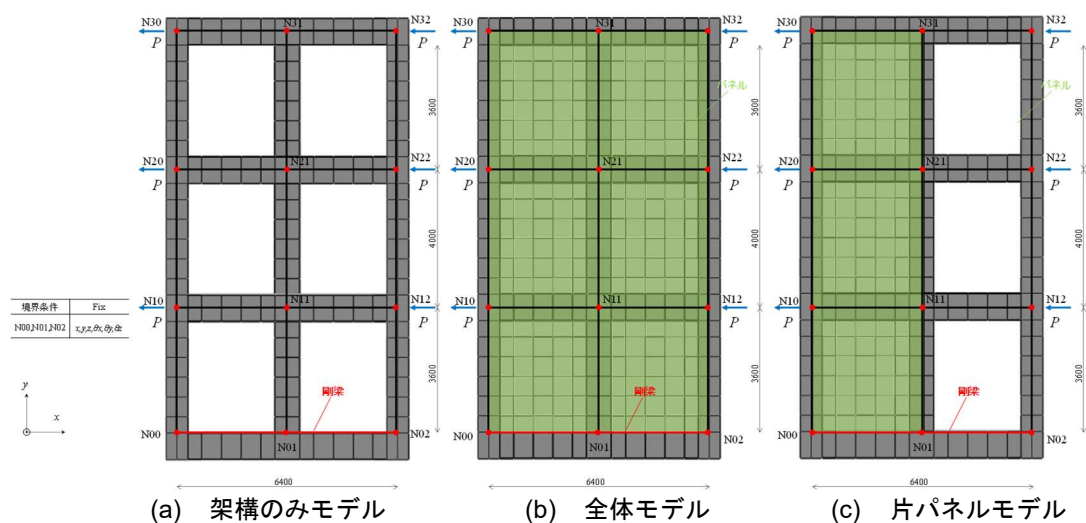


Fig. 4 解析モデル (Simple-FEM)

3. 弾塑性解析結果（架構のみ）

架構のみモデルの結果について説明する。Fig. 5 に解析モデル別の2層目の全体、パネル、架構の荷重-変形関係、Fig. 6 に層せん断力 1200 kN 時のモーメント図を示す。結果から、荷重-変形関係、曲げモーメント図ともに概ね一致しており、架構が正しくモデル化できていることが確認できる。

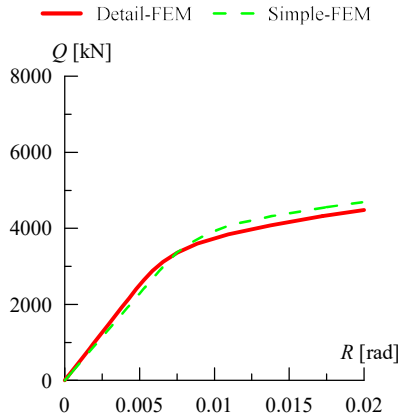


Fig. 5 荷重-変形関係（架構のみモデル）

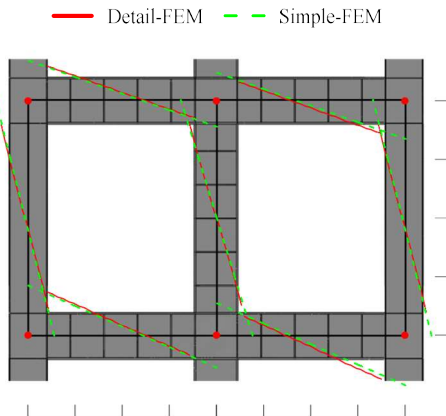


Fig. 6 曲げモーメント図（架構のみモデル）

4. 弾塑性解析結果（全体）

全体モデルでの結果について説明する。Fig. 7 に解析モデル別の2層目の全体、パネル、架構の荷重-変形関係、Fig. 8 に層せん断力 6000 kN 時のモーメント図を示す。結果から、荷重-変形関係では、間柱ファイバー要素モデルでパネル降伏以降の耐力が一致していないことが確認できる。一方、間柱平面応力要素モデルでは概ね一致していることが確認できる。このことから、荷重-変形関係を一致させるためには、間柱をパネルに置換した方がよいことがわかる。一方、モーメント図では、間柱平面応力要素モデルでは、反極点の位置は概ね一致しているが、材端に近づくにつれてモーメントが Detail-FEM よりも大きくなっていることが確認できる。これは、Simple-FEM におけるパネルが構造芯まで大きくなっているため、本来加わるはずのない力が加わった影響だと考えられる。また、間柱ファイバー要素モデルでは、同じく曲げモーメントの傾向は近いが、間柱の接合部でのモーメントが大きく異なる。これは、間柱をせん断剛性が等価なパネルに変換したことで、本来生じるはずのモーメントが生じなくなってしまうからだと考えられる。

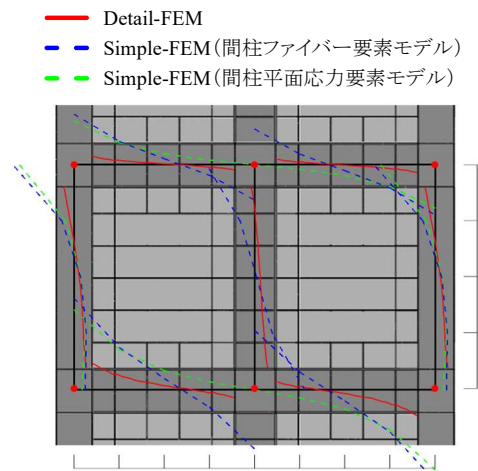


Fig. 8 曲げモーメント図（全体モデル）

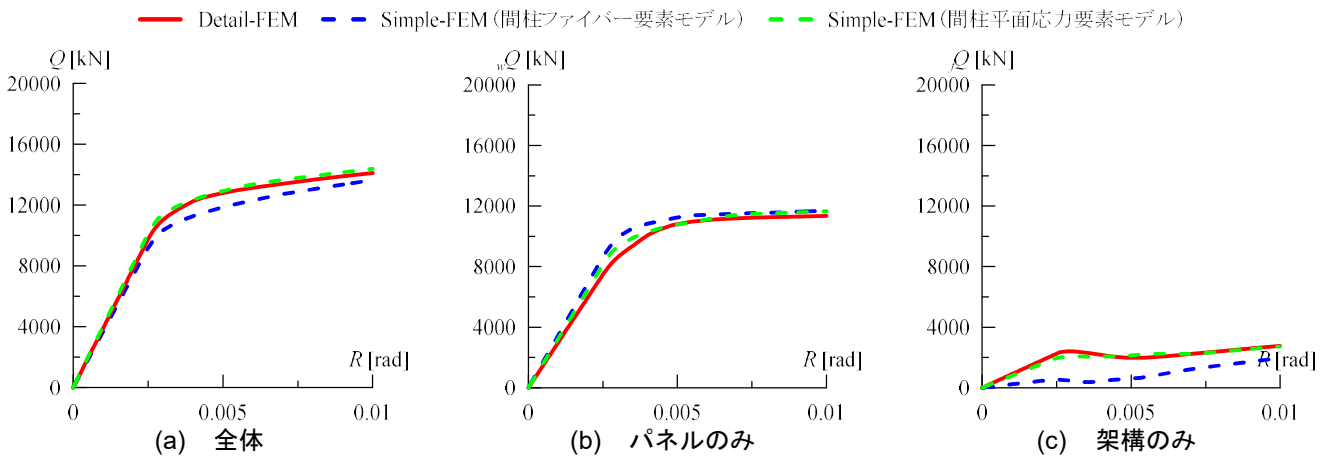


Fig. 7 荷重-変形関係（全体モデル）

5. 弾塑性解析結果（片パネル）

片パネルモデルでの結果について説明する。Fig. 9 に解析モデル別の2層目の全体、パネル、架構の荷重-変形関係、Fig. 10 に層せん断力 2400 kN 時のモーメント図を示す。結果から、荷重-変形関係では、間柱平面応力要素モデルで弾性剛性が一致していないことが確認できる。一方、間柱ファイバー要素モデルでは、概ね一致していることが確認できる。これは、Table 3 に示すように、層間変形角を求めるための水平変位がモデル化方法によって異なることが原因であり、間柱による軸剛性の影響が大きいと考えられる。このことから、荷重-変形関係を一致させ、かつ、より実現象に近い変形を再現するためには、間柱をパネルに置換しない方がよいことがわかる。一方、モーメント図では、両モデルで、前節と同様の傾向が確認できる。

— Detail-FEM
 — Simple-FEM (間柱ファイバー要素モデル)
 — Simple-FEM (間柱平面応力要素モデル)

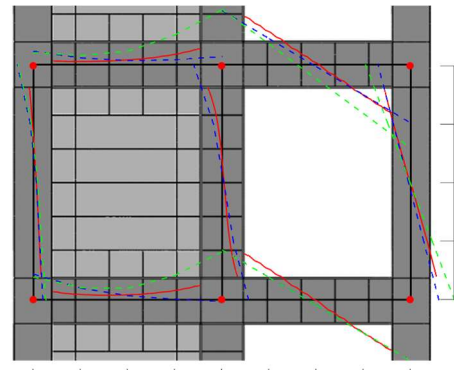


Fig. 10 曲げモーメント図 (片パネルモデル)

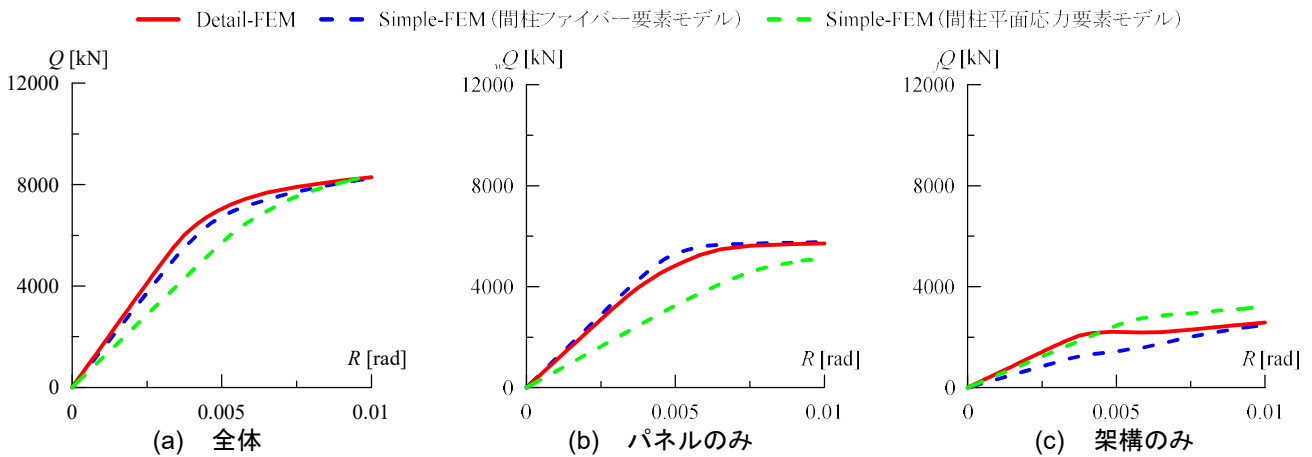


Fig. 9 荷重-変形関係 (片パネルモデル)

Table 3 層間変位 (2層目層せん断力：2400 kN 時)

解析モデル	2層目変位	1層目変位	2層目層間変位	S-FEM / D-FEM
Detail-FEM	U_x : -10.2 mm U_z : 1.9 mm	U_x : -4.4 mm U_z : 1.4 mm	U_x : 5.8 mm	U_x : 1.00
Simple-FEM (間柱ファイバー要素モデル)	U_x : -11.2 mm U_z : 1.9 mm	U_x : -4.8 mm U_z : 1.4 mm	U_x : 6.4 mm	U_x : 1.10
Simple-FEM (間柱平面応力要素モデル)	U_x : -13.9 mm U_z : 3.6 mm	U_x : -5.6 mm U_z : 3.0 mm	U_x : 8.3 mm	U_x : 1.43

6. まとめ

本報その 2 では、周辺架構を含む鋼板耐震壁の詳細 FEM モデルの応力状態を正しく再現できるような簡易 FEM モデル化方法を示し、間柱を介した場合でのモデルについて検討した。その結果、全体モデルにおいては、間柱を平面応力要素でモデル化することで荷重-変形関係が概ね一致することを確認した。一方、曲げモーメントを一致させるためには、間柱をファイバー要素でモデル化したほうが詳細 FEM モデルに近づくこ

とを確認した。また、片パネルモデルでは、間柱をファイバー要素でモデル化することで荷重-変形関係が概ね一致することを確認した。

参考文献

- 1) 後藤広大, 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: スチフナ補剛された鋼板耐震壁の FEM 解析を用いた分析 その 2 連続配置による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1239-1240, 2024.9

*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
 *4 株式会社日建設計

Institute of Science Tokyo *1
 JFE Steel Corporation *2
 JFE Civil Engineering & Construction Corporation *3
 NIKKEN SEKKEI LTD. *4