

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1 間柱を配置しない場合
Title(English)	Simplified modeling method for steel plate shear walls reinforced by stiffener Part 1: Without 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. 493-496
Citation(English)	, , , pp. 493-496
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1 間柱を配置しない場合

構造—鉄骨構造

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

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}

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¹⁾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^{例えは 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周辺架構を含んだ静載荷実験を行い、その実験を再現できるような部材すべてをシェル要素でモデル化した FEM モデル（以降、詳細 FEM モデル）の検討がされた。しかし、詳細 FEM モデルは、膨大な解析時間を要するため、実務には適さない。そこで、より簡易なモデルとして、架構を線材要素、耐震壁（以降、パネル）を平面応力要素で再現したモデル（以降、簡易 FEM モデル）が使われることがあるが、このモデルが実現象をどの程度再現できているかは不明である。また、本報で対象とする鋼板耐震壁は、パネルの適用範囲が定められており、実際の建物では間柱を介して配置されることがある。このため、間柱を介した場合でも、実現象を正しく再現できるような解析モデルが必要となる。

そこで本報では、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 モデルの構築を目的とし、まず、その 1 では、間柱を用いない場合でのモデルについて検討し、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について解説する。Fig. 1 に本報で用いる鋼板耐震壁、Table 1 にパネルの諸元を示す。対象建物は鉄骨造地上 20 階建ての事務所ビル¹⁾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 であり、使用材料は SN490（基準強度：325 N/mm²）である。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. 2 に詳細 FEM モデルの概要、Fig. 3 にメッシュ割を示す。また、材料特性は 2 次剛性が弾性剛性の 1/60、3 次剛性が弾性剛性の 1/1000 となるようなトリリニア型とし、降伏強度 σ_y を 325 N/mm² とした。さらに、下梁は剛とし、すべての方向の移動と回転を拘束した。なお、解析ソフトには汎用構造解析プログラム ABAQUS Ver.2024³⁾を用いる。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の 2 つを用いる。本報では、解析モデルを用いて単調載荷の大変形弾塑性解析を行う。文献 2)と同様に、初期不整は、固有値解析で得られた 1 次座屈モードを用いて面外の最大変形量がパネルの高さの 1/1000 になるように入力した。Fig. 2 に赤で示す加力面にそれぞれ 6000 kN ずつ載荷する。なお、本資料では幾何学的非線形を考慮している。

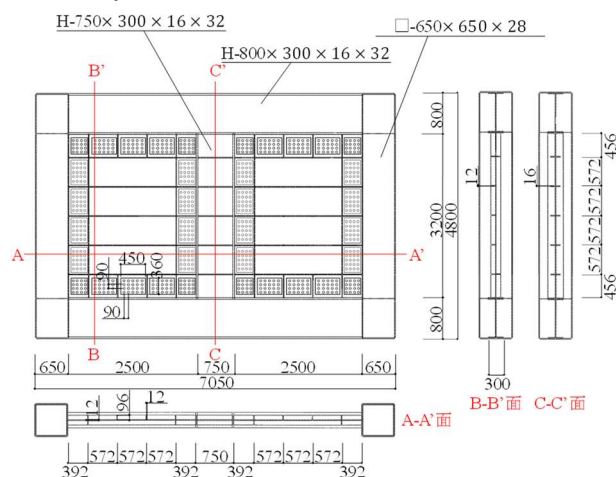


Fig. 1 鋼板耐震壁 (単位: mm)

Table 1 パネル諸元

幅 B(mm)	高さ H(mm)	板厚 t(mm)	アスペクト比 α	スチフナ枚数 $n_h \times n_b$	スチフナ高さ hs (mm)	水平耐力比(柱)	水平耐力比(間柱)
1716	2288	12	1.28	3 × 2	90	2.52	1.33

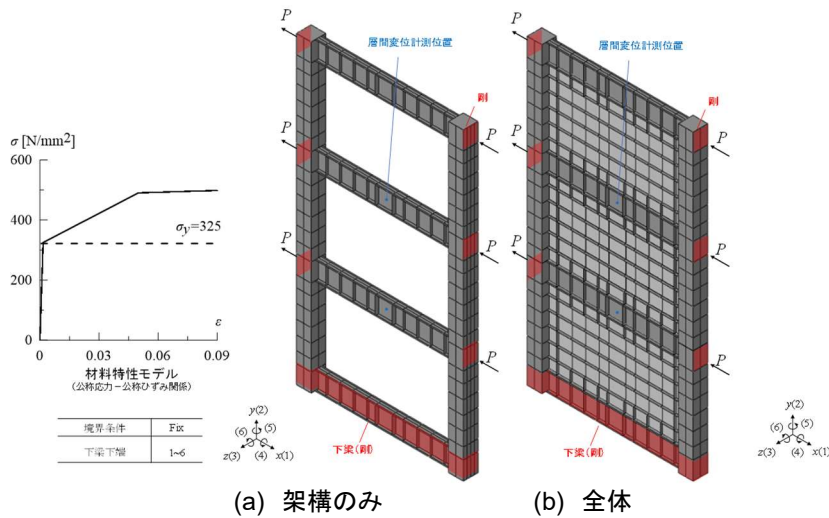


Fig. 2 解析モデル (Detail-FEM)

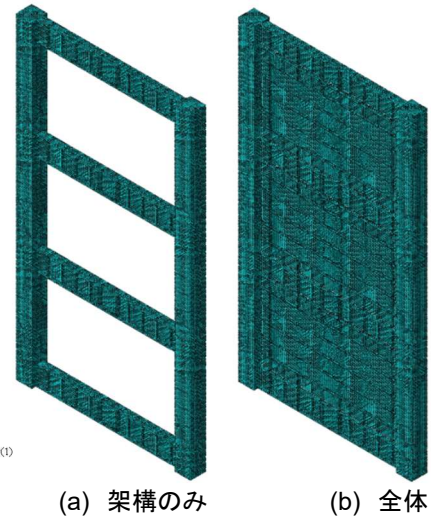


Fig. 3 メッシュ割 (Detail-FEM)

2.2 簡易 FEM モデル概要

簡易 FEM モデルにおける架構は、Fig. 4 に示すように詳細 FEM における架構の中心位置でモデル化する。これにより簡易 FEM におけるパネル (Fig. 4 青部分) が、架構の断面幅だけ大きくなるため、パネルのせん断剛性および耐力が等価になるよう簡易 FEM のパネル厚 $s t_w$ およびパネルのせん断降伏強度 $s \tau_y$ を以下の式により補正する。

$$s t_w = \frac{s H_w}{d H_w} \times \frac{d B_w}{s B_w} \times d t_w \quad (1)$$

$$s \tau_y = \frac{d B_w}{s B_w} \times \frac{d t_w}{s t_w} \times d \tau_y \quad (2)$$

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 のパネルの板厚である。

Fig. 5 に簡易 FEM モデルの概要、Table 2 に詳細 FEM モデルでの各諸元、Table 3 に簡易 FEM での各諸元を示す。簡易 FEM モデルでは、柱をファイバー要素、梁を梁要素、パネルを四角形平面応力要素でモデル化する。下梁を剛としてフェイス位置でモデル化し、詳細 FEM

と同様に移動と回転を拘束する。なお、解析には汎用構造解析ソフト RESP-F3T (Ver.3.32.0.0) を用いる。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モデルの 2 つを用いる。本報では、解析モデルを用いて単調荷重の弾塑性解析を行う。各節点に対し Fig. 5 に示す位置に水平力を与える。

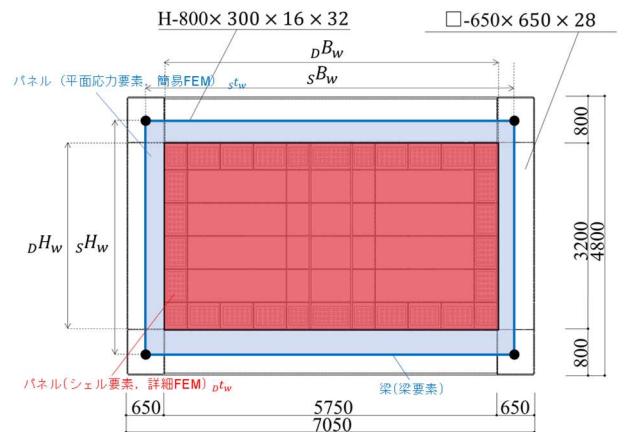


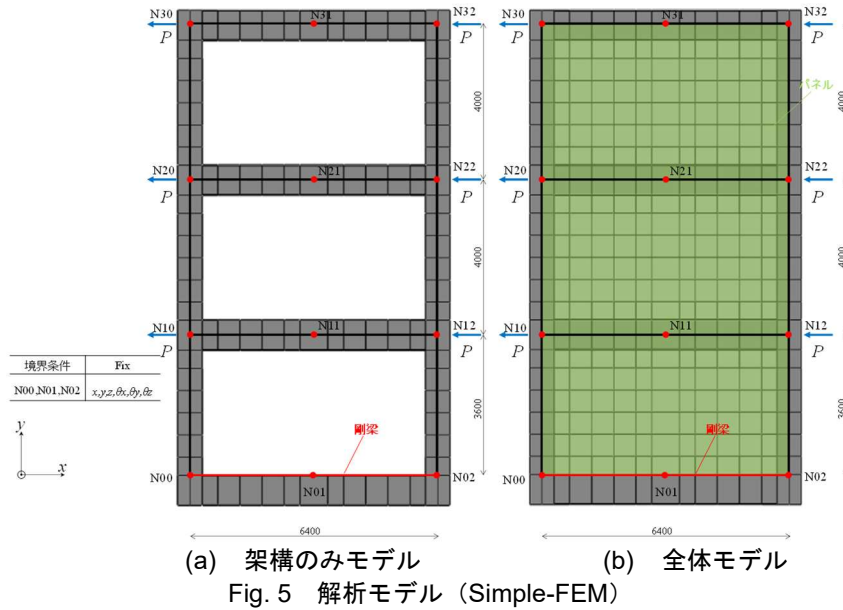
Fig. 4 簡易 FEM モデル化概要

Table 2 詳細 FEM 諸元

パネル幅 $d B_w$ (mm)	パネル高さ $d H_w$ (mm)	パネル板厚 $d t_w$ (mm)	パネルの せん断降伏強度 $d \tau_y$ (N/mm ²)
5750	3200	12	187.6

Table 3 簡易 FEM 諸元

解析ケース	パネル幅 $s B_w$ (mm)	パネル高さ $s H_w$ (mm)	パネル板厚 $s t_w$ (mm)	パネルの せん断降伏強度 $s \tau_y$ (N/mm ²)
Simple-FEM	6400	3600 (1層) or 4000 (2,3層)	12.13 (1層) or 13.48 (2,3層)	166.8 (1層) or 150.1 (2,3層)



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. 6 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. 7 に層せん断力 1200 kN 時の曲げモーメント図を示す。横軸は(4)式で示す層間変形角 R であり、縦軸はモデル全体の水平力 Q 、パネルの水平力 wQ 、架構の水平力 fQ 。なお、 wQ はパネルの中央高さでのせん断力、 fQ は(5)式で示す水平力である。

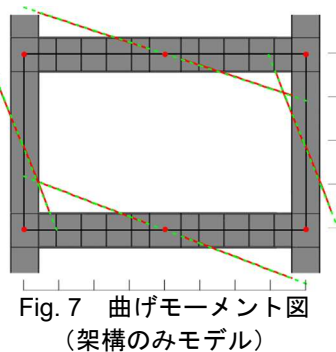
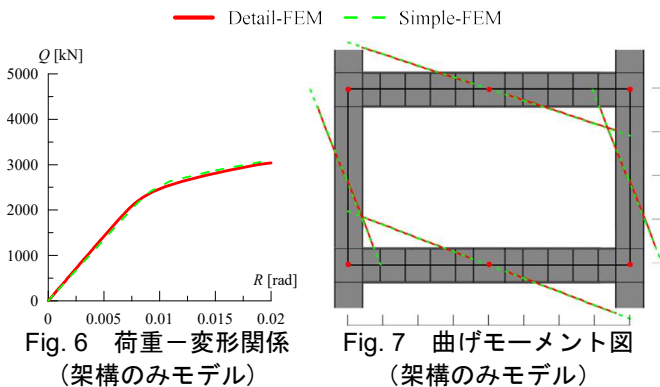
$$Q = (2P_{i+1} + 2P_i) \quad (3)$$

$$R = (U_{x(i)} - U_{x(i-1)})/H_i \quad (4)$$

$$fQ = Q_i - wQ \quad (5)$$

ここで、 P_{i+1} : $i+1$ 層での荷重、 P_i : i 層での荷重、 $U_{x(i)}$: i 層での x 方向変位、 $U_{x(i-1)}$: $i-1$ 層での x 方向変位、 H_i : i 層の階高を表す。

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いることが確認できる。このことから、架構が正しくモデル化できていることがわかる。



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. 8 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. 9 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、概ね一致していることが確認できる。一方、モーメント図では、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 の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、モーメント図に関しては、今後の検討課題とする。

また、Fig. 10 にせん断応力度の補正概要、Fig. 11 にパネル中央高さでのせん断応力度の水平方向分布を示す。簡易 FEM モデルでは、パネルのせん断剛性および耐力が等価になるよう板厚、せん断降伏強度を補正しているため、せん断応力度分布が詳細 FEM モデルと異なる。設計においては、実現に近い応力度を得ることでパネルの降伏時点を判断できるため、簡易 FEM モデルで得られた応力度を補正する必要がある。そこで、以下の手順で簡易 FEM モデルの応力度を補正する。

- 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せん断応力度になるよう step1 補正後せん断応力度 $s\tau'$ を(6)式により算出する。

$$s\tau' = \frac{s t_w}{D t_w} \times s\tau \quad (6)$$

- 2) パネル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 step2 補正後せん断応力度 $s\tau''$ を(7)式により算出する。

$$s\tau'' = \sqrt{\frac{G}{G_2} \times s\tau'^2 + \left(1 - \frac{G}{G_2}\right) \times s\tau_y'^2} \quad \left(sW' \leq \frac{D t_y'^2}{2G}\right) \quad (7)$$

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

ここで、 G : 弾性せん断弾性係数、 G_2 : 2 次せん断弾性係数を示し、step1 補正後せん断降伏強度 $s\tau_y'$ は以下の式で表される。

$$s\tau_y' = \frac{s t_w}{D t_w} \times s\tau_y \quad (8)$$

結果から、せん断応力度を補正することで弾性域、塑性域ともに概ね一致することがわかる。

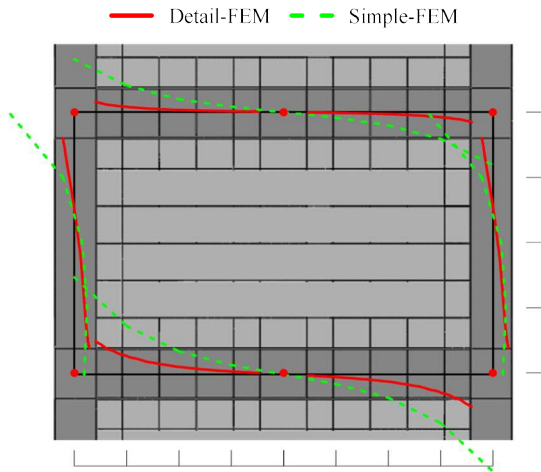


Fig. 9 曲げモーメント図 (全体モデル)

5. まとめ

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。その結果、荷重-変形関係では概ね一致を確認した。一方、曲げモーメント図では、材端に近づくにつれて詳細 FEM モデルよりも簡易 FEM モデルのほうが大きくなることを確認した。

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

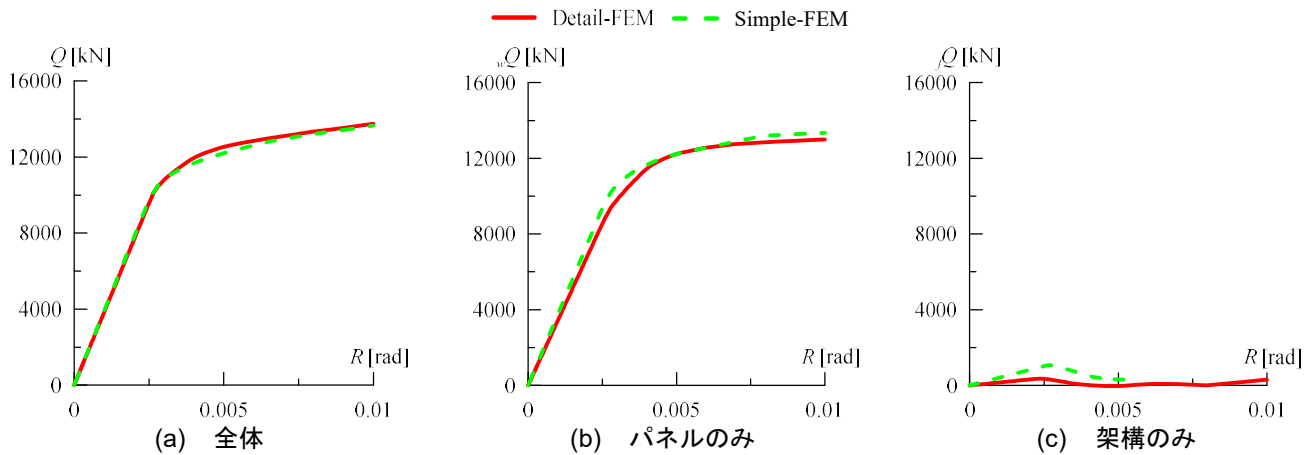


Fig. 8 荷重-変形関係 (全体モデル)

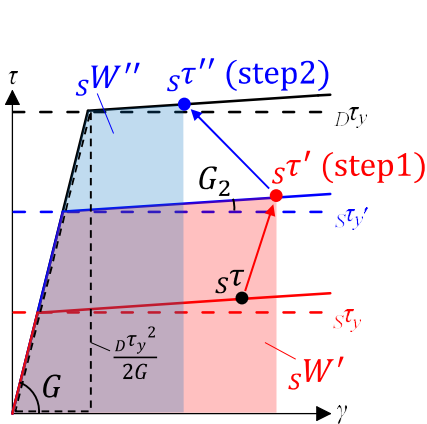


Fig. 10 せん断応力度の補正概要

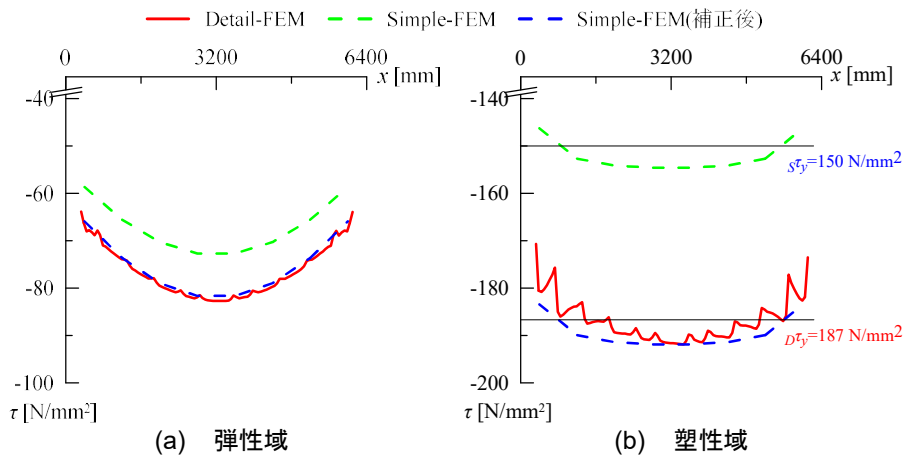


Fig. 11 せん断応力度の水平方向分布

*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
*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}