

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 壁エレメントモデルを用いた鋼板耐震壁の解析モデルの作成方法 その1：1層1スパンモデルを用いた壁エレメントモデルと有限要素法解析モデルの比較                                                                                                             |
| Title(English)    | Analytical Modeling Method of Steel Plate Shear Wall using Wall Element Model Part1: Comparison between Wall Element Model and Finite Element Method Model in 1 Story 1 Span Frame |
| 著者(和文)            | 森岡宙光, 戸張涼太, 佐藤大樹, 植木卓也, 安永隼平, 小野潤一郎, 木村征也, 二島 冬太, 佐野航                                                                                                                              |
| Authors(English)  | Hiromitsu Morioka, Ryota Tobari, Daiki Sato, Takuya Ueki, Jumpei Yasunaga, Junichiro Ono, Seiya Kimura, Tota Futashima, Wataru Sano                                                |
| 出典(和文)            | 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, , pp. 1485-1486                                                                                                                                            |
| Citation(English) | , 構造III, , pp. 1485-1486                                                                                                                                                           |
| 発行日 / Pub. date   | 2025, 9                                                                                                                                                                            |
| 権利情報              | 一般社団法人 日本建築学会                                                                                                                                                                      |

## 壁エレメントモデルを用いた鋼板耐震壁の解析モデルの作成方法

## その 1 : 1 層 1 スパンモデルを用いた壁エレメントモデルと有限要素法解析モデルの比較

|               |               |              |     |                      |                       |                        |
|---------------|---------------|--------------|-----|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 耐震壁<br>FEM 解析 | 復元力特性<br>弾性剛性 | 壁エレメント<br>耐力 | 正会員 | ○森岡 宙光 <sup>*1</sup> | 同 戸張 涼太 <sup>*2</sup> | 同 佐藤 大樹 <sup>*3</sup>  |
|               |               |              |     | 植木 卓也 <sup>*1</sup>  | 同 安永 隼平 <sup>*1</sup> | 同 小野 潤一郎 <sup>*4</sup> |
|               |               |              |     | 木村 征也 <sup>*4</sup>  | 同 二島 冬太 <sup>*4</sup> | 同 佐野 航 <sup>*4</sup>   |

## 1. はじめに

筆者らは、図 1 に示す表裏面をスチフナで補剛した鋼板耐震壁（以下、耐震壁）を対象として、実験や有限要素法解析（以下、FEM 解析）により耐震壁の変形性能を把握し、所定の变形角まで耐震壁の耐力低下を防止するスチフナの設計方法を提案している（例えば 1）。

構造設計で耐震壁を解析モデルとして扱う場合、図 2 に示す FEM モデル（以下、シェルモデル）や壁エレメントモデル<sup>2)</sup>などが用いられる。壁エレメントモデルはシェルモデルに比べて計算負荷が低く、また断面力が直接得られるため、実務で扱いやすいモデルである。ここで、壁エレメントモデルは、耐震壁を柱（以下、壁柱）に置換してモデル化するが、RC 壁の場合に壁に作用する曲げモーメントの反曲点の位置により曲げ剛性を適切に評価できないという課題がある<sup>3,4)</sup>。

本論では、壁エレメントモデルの補正方法を提案し、補正した壁エレメントモデルの弾性剛性と水平耐力をシェルモデルと比較することで計算精度を確認する。その 1 では、1 層 1 スパン骨組、その 2 では、多層の魚骨骨組を対象に解析する。

## 2. 壁エレメントモデルの補正方法

## 2.1 弾性剛性の補正

壁エレメントモデルにおける壁柱の水平方向の弾性剛性  $K_{w,h}$  は次式で求められる。

$$K_{w,h} = 1 / \left( \frac{H_f^3}{12EI_w'} + \frac{H_f}{GA_{s,h}} \right) \quad (1)$$

ここで、 $H_f$  は梁せい中心間の距離、 $E$ 、 $G$  は材料のヤング率、せん断弾性係数、 $I_w'$  は補正した耐震壁の断面二次モーメン

ト、 $A_{s,h}$  は耐震壁のせん断断面積である。

実際の耐震壁では、耐震壁と周囲の柱と梁が全長にわたって接合され、柱と梁が耐震壁の 4 辺の軸変形を拘束する。一方、壁エレメントモデルでは、柱と梁が端部でのみ耐震壁と接合されるため、柱と梁による耐震壁の 4 辺の拘束効果が考慮されず、耐震壁の弾性剛性が過小評価されると考えられる。図 3 に示す逆対称曲げが作用する 1 層 1 スパンの骨組を考えると、柱と梁による軸拘束を考慮した耐震壁の弾性剛性  $K_{w,h}$  は次式で求められる。

$$K_{w,h} = 1 / \left( \frac{H_f^3}{12EI_h} + \frac{H_f B_f^2}{12EI_v} + \frac{H_f}{GA_{s,h}} \right) \quad (2)$$

$B_f$  は柱のスパン、 $I_h$ 、 $I_v$  は耐震壁と柱の水平断面を合わせた断面二次モーメント、耐震壁と梁の鉛直断面を合わせた断面二次モーメントであり次式で求められる。

$$I_h = I_{w,h} + A_c B_f^2 / 2, I_v = I_{w,v} + A_b H_f^2 / 2 \quad (3), (4)$$

ここで、 $I_{w,h}$ 、 $I_{w,v}$  は耐震壁の水平断面および鉛直断面の断面二次モーメント、 $A_c$ 、 $A_b$  は柱と梁の断面積である。理論的には、上式に柱と梁の断面二次モーメントの 2 倍を足す必要があるが、計算結果にほぼ影響しないため省略する。

(1)、(2) 式が等しくなる時の  $I_w'$  は、次式で求められる。

$$I_w' = 1 / \left( \frac{1}{I_h} + \frac{B_f^2}{I_v H_f^2} \right) \quad (5)$$

## 2.2 耐力の補正

図 3 に示すように、耐震壁のせん断応力  $\tau_w$  が周囲の柱と梁に伝わることで、柱と梁に軸力が生ずる。壁エレメントモデルで、この軸力による柱と梁の曲げ耐力の低下を再現するために、柱と梁の塑性断面係数は次式に示す  $Z_{cp}'$ 、 $Z_{bp}'$  を用いる。ここで、 $m_{pn,c}$ 、 $m_{pn,b}$  は軸力による低減係数<sup>5)</sup>、 $Z_{cp}$ 、 $Z_{bp}$  は柱と梁の塑性断面係数であり、 $\tau_w$  が耐震壁の降伏

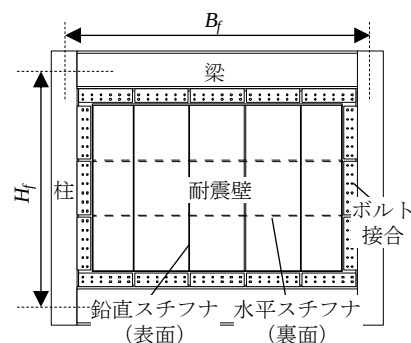


図1 鋼板耐震壁

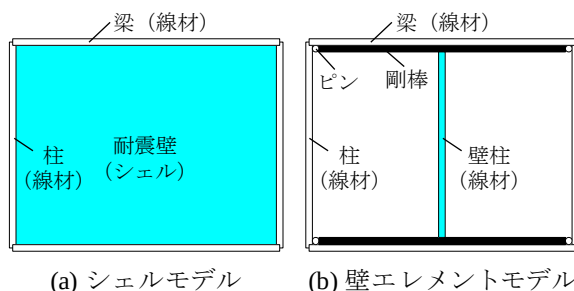


図2 耐震壁の復元力モデルの例

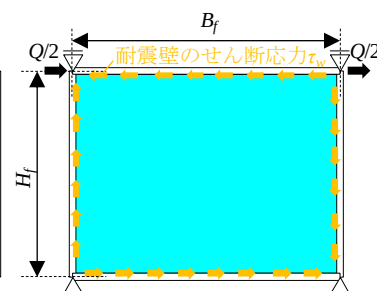


図3 評価対象

せん断応力  $\tau_{wy}$  と等しいと仮定して軸力を算出する.

$$Z'_{cp} = m_{pn,c} \cdot Z_{cp}, Z'_{bp} = m_{pn,b} \cdot Z_{bp} \quad (6), (7)$$

### 3. 壁エレメントモデルとシェルモデルの比較

解析により, シェルモデルとエレメントモデルの復元力特性を比較する. 解析ソフトは, シェルモデルの解析に Abaqus ver.2021 を, 壁エレメントモデルの解析にエクセルで作成したプログラムを用いる.

解析モデルは図3に示す1層1スパン骨組とし, 上側の梁の端部に水平力  $Q$  を与え, 層間変形角  $R$  が  $1/50\text{rad}$  になるまで単調載荷する. 柱は  $\square\text{-}650 \times 28$ , 梁は  $\text{H-}800 \times 300 \times 16 \times 32$  とし, 耐震壁から作用する軸力に対して軸降伏しないように設計した. 解析パラメータは耐震壁の板厚  $t_w$  とアスペクト比  $H/B$  であり,  $t_w = 3 \sim 40\text{mm}$ ,  $H/B = 0.3 \sim 2.5$  とする. ここで, 柱と梁を線材でモデル化する際に, 耐震壁の幅が実際より大きくなるため, 次式により, 耐震壁のせん断面積が等価になるように補正した板厚  $t'_w$  を用いる.  $D_c$  は柱の外径である.

$$t'_w = t_w (B_f - D_c) / B_f \quad (8)$$

使用する鋼材はすべての部材で同じとし, ヤング率は  $205,000\text{N/mm}^2$ , ポアソン比は  $0.3$ , 真応力-真ひずみ関係は降伏点が  $325\text{N/mm}^2$ , 二次剛性が  $205\text{N/mm}^2$  のバイリニア型とする. FEM 解析のシェル要素は4節点四角形の完全積分要素とし, 解析では幾何非線形を考慮する. 耐震壁は,  $R = 1/50\text{rad}$  まで局部座屈で耐力低下しないようにスチフナで補剛することを想定し (文献1) のグレード I 相当), 面外変位を拘束して解析する.

図4に解析モデルの弾性剛性  $K$ ,  $R = 1/100\text{rad}$ ,  $1/50\text{rad}$  時

の水平耐力  $Q_{1/100}$ ,  $Q_{1/50}$  を示す. グラフの横軸は耐震壁のアスペクト比  $H/B$ , グラフの縦軸は壁エレメントモデルの結果をシェルモデルの結果で除した値であり, 図4(a)が補正なしの壁エレメントモデル ( $I_w = I_{w,h}$ , 柱と梁の  $Z_p$  の低減なし), 図4(b)が補正ありの壁エレメントモデルの結果である. 図より, 補正前の壁エレメントモデルはシェルモデルの  $K$  を  $-66 \sim +22\%$ ,  $Q_{1/100}$ ,  $Q_{1/50}$  をそれぞれの  $-7 \sim +9\%$ ,  $-10 \sim +8\%$  差異で評価し, 補正後の壁エレメントモデルはシェルモデルの  $K$  を  $-4 \sim 0\%$ ,  $Q_{1/100}$ ,  $Q_{1/50}$  をそれぞれの  $-7 \sim +2\%$ ,  $-10 \sim 0\%$  差異で評価する. 図5に各モデルの荷重  $Q$ -変形角  $R$  関係の一例を示す. 提案した補正法により, 壁エレメントモデルとシェルモデルで  $Q$ - $R$  関係の差異が小さくなる.

### 4. まとめ

本報では, 壁エレメントモデルの補正方法を提案した. 1層1スパンの骨組の水平載荷解析の結果より, 補正した壁エレメントモデルはシェルモデルと弾性剛性で  $-4 \sim 0\%$ ,  $R = 1/100\text{rad}$ ,  $1/50\text{rad}$  時の水平耐力をそれぞれの  $-7 \sim +2\%$ ,  $-10 \sim 0\%$  の差異で対応する.

### 参考文献

- 1) 安永ら: 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法, 日本建築学会構造系論文集, 第83号, 第743号, 191-199, 2018.1
- 2) 和田ら: 構造設計のためのメモランダム5 耐震壁のモデル化の方法とその比較, 建築技術, 347, 131-154, 1980.7
- 3) 日本建築学会: 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算基準・同解説, pp.167-168, 2015
- 4) 中野ら: 鉄筋コンクリート造耐震壁のエレメント置換モデルの剛性評価 (その1 弾性時), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.355-356, 2022.9
- 5) 井上ら: 建築鋼構造-その理論と設計-, 鹿島出版

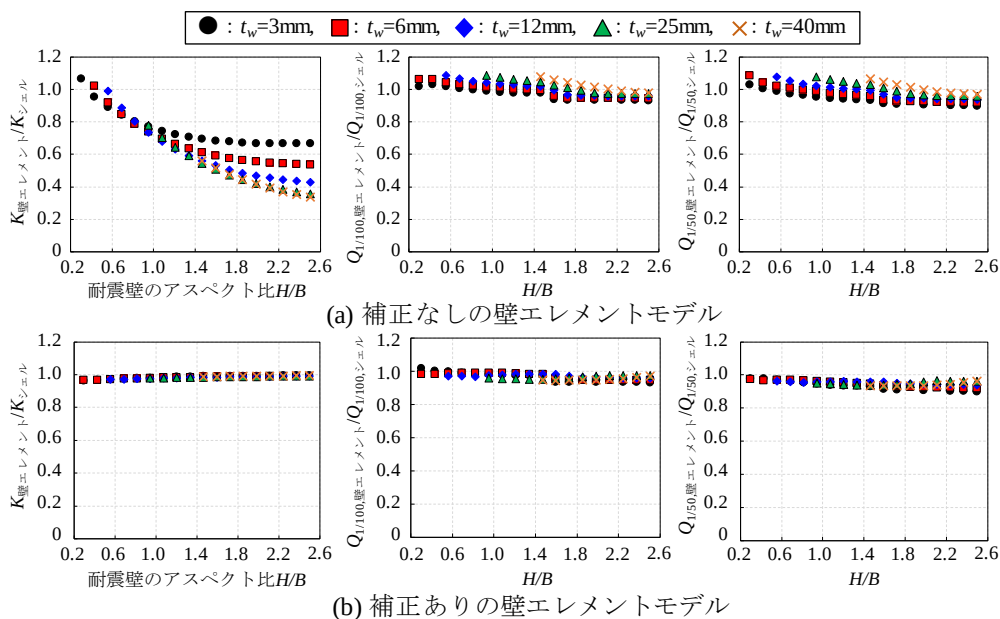


図4 壁エレメントモデルとシェルモデルの比較

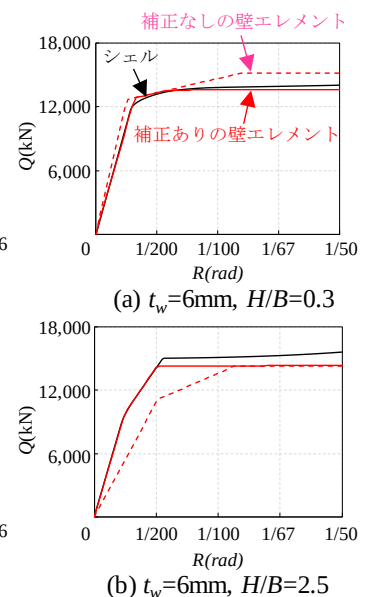


図5 荷重  $Q$ -変形角  $R$  関係

\*1 JFE スチール  
\*2 JFE シビル  
\*3 東京科学大学  
\*4 日建設計

\*1 JFE Steel Corp.  
\*2 JFE Civil Engineering & Construction Corp.  
\*3 Institute of Science Tokyo  
\*4 Nikken Sekkei Ltd.