

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0610-1_改1
提出年月日	2021年10月4日

補足-610-1 建屋耐震評価に関する補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」、添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙1 応力解析モデルでモデル化している部材の扱いについて

別紙 1 応力解析モデルでモデル化している部材の扱いについて

目 次

1. 概要	別紙 1- 1
2. 応力解析でモデル化した部位の設計上の扱い.....	別紙 1- 2
2.1 既工認モデルとの今回工認モデルの比較（屋根トラス）	別紙 1- 4
2.2 既工認モデルと今回工認モデルの比較（基礎版）	別紙 1- 6
3. 屋根トラス評価モデルの耐震壁における設計上の確認事項.....	別紙 1- 8
3.1 応力分布の比較	別紙 1- 8
3.1.1 確認方法	別紙 1- 8
3.1.2 解析モデルと解析条件.....	別紙 1-10
3.1.3 燃料取替床レベル上部耐震壁の応力分布の比較結果.....	別紙 1-11
3.2 質点系モデルとの比較	別紙 1-20
3.2.1 評価方針	別紙 1-20
3.2.2 評価方法	別紙 1-20
3.2.3 評価結果	別紙 1-21
3.3 気密性に関する確認	別紙 1-24
3.3.1 評価方針	別紙 1-24
3.3.2 評価方法	別紙 1-24
3.3.3 評価結果	別紙 1-25
4. 基礎版評価モデルの耐震壁における設計上の確認事項.....	別紙 1-26
4.1 評価方針	別紙 1-26
4.2 評価方法	別紙 1-27
4.2.1 面内せん断力に対する検討.....	別紙 1-27
4.2.2 面外せん断力に対する検討.....	別紙 1-28
4.3 評価結果	別紙 1-29
4.3.1 面内せん断力に対する評価結果.....	別紙 1-29
4.3.2 面外せん断力に対する評価結果.....	別紙 1-30

1. 概要

原子炉建屋の耐震性についての計算においては、主たる耐震要素である耐震壁に対して質点系モデルを用いた地震応答解析を実施し、耐震壁が構造強度を有すること、機能維持することを確認している。また、各部の応力解析では、地震応答解析結果を踏まえて、それぞれの評価部位が構造強度を有すること、機能維持することを確認している。

一方で、3次元 FEM モデルを用いた応力解析においては、評価対象部位ではないものの耐震壁をモデル化しているものもあるため、本資料では建屋の主たる耐震要素である耐震壁について、応力解析により耐震壁に発生している応答値の設計上の扱いの整理、質点系モデルによる応答との傾向の比較を行うものである。

また、水平2方向および鉛直方向の地震力に対する検討においては、3次元 FEM モデルを用いて建屋全体をモデル化していることから、応力解析モデルと建屋全体3次元 FEM モデルで発生している応力の分布状況について比較を実施する。

本資料は、以下の添付書類の補足説明をするものである。

- ・添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「VI-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

2. 応力解析でモデル化した部位の設計上の扱い

原子炉建屋の各部位の3次元FEMモデルを用いた応力解析のうち、屋根トラス及び基礎版評価におけるそれぞれのモデル化範囲を表2-1に示す。

3次元FEMモデルによる応力解析においてモデル化している部材は、評価対象部位に発生する応力を精緻に算定するためにモデル化しており、評価対象部位以外の部材は評価対象部位を評価するために必要十分な精度のモデル化としているものの、評価対象部位以外の部材を直接評価するためにモデル化した部材ではない。例えば、屋根トラスを主な評価対象部位としている燃料取替床レベル上部の3次元弾塑性FEMモデルでは、評価対象としていない耐震壁は線形でモデル化している。したがって、評価対象部位以外の部材に発生する応力等は設計に直接反映しないこととしている。

しかし、評価対象部位以外の部材においても解析上応力を負担していることから、その応力発生状況が他の解析モデルと大きく異なることを主たる耐震要素である耐震壁に対して確認することとする。確認する対象は、既工認から新たに耐震壁をモデル化した屋根トラスの応力解析および既工認から耐震壁のモデル化を梁要素からシェル要素に変更した基礎版の応力解析について実施する。

既工認モデルと今回工認モデルの差異は、屋根トラスの応力解析モデルについては「2.1 既工認モデルとの今回工認モデルの比較（屋根トラス）」に、基礎版の応力解析モデルについては「2.2 既工認モデルとの今回工認モデルの比較（基礎版）」に示す。

注*：平成元年6月8日付け元資庁第2015号にて認可された既工事計画認可申請書 第1回申請添付書類「IV-2-6-1 原子炉格納施設の基礎に関する説明書」

表 2-1 応力解析モデルでモデル化している部材一覧

応力解析モデル	評価目的	評価対象部位	評価対象部位以外でモデル化している部材	モデル化している耐震壁の範囲	備考
屋根トラス	屋根トラスが基準地震動 S_s に対して、屋根スラブを支持できる構造強度を有すること、屋根トラス自体が構造強度を有することを確認する	屋根トラス (主トラス, サブトラス, 母屋, 方杖)	燃料取替床レベル上部の耐震壁, 屋根スラブ	燃料取替床レベル上部 (O.P. 33.2m より上部)	既工認ではモデル化していない燃料取替床レベル上部の耐震壁をモデル化
基礎版	基礎版が基準地震動 S_s に対して、機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと、構造強度を有することを確認する	基礎版	耐震壁, 床スラブの一部	地下階 (O.P. -8.1~O.P. 15.0m)	既工認では梁要素でモデル化していた耐震壁を一部シェル要素でモデル化

2.1 既工認モデルと今回工認モデルの比較（屋根トラス）

屋根トラスの解析モデルは、既工認では主トラス構面を2次元フレームとしてモデル化し、主トラス及び同じ構面の鉄筋コンクリート造（一部、鉄骨鉄筋コンクリート造）の柱・梁をモデル化対象としている。このモデルにおいては、屋根スラブ、燃料取替床上部の耐震壁は考慮していない。

一方、今回工認時では、サブトラス、屋根スラブ、燃料取替床上部の耐震壁を含む、燃料取替床上部の架構を3次元FEMの立体架構モデルとしている。

今回工認時において新しくモデル化した部材は、サブトラス、屋根スラブ、燃料取替床上部の耐震壁であり、これらの部材を追加した目的は、燃料取替床上部の架構を精緻にモデル化することにより、各部材による拘束効果や部材間の荷重伝達等の屋根トラスの立体的な挙動を考慮できるモデルとするためである。

既工認と今回工認における屋根トラスの応力解析モデルの比較を表2-2に示す。

表 2-2 屋根トラスの応力解析モデルの比較

項目	内容	既工認	今回工認
解析手法		・ 2次元フレームモデルを用いた応力解析 (静的弾性解析)	・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (時刻歴弾塑性解析)
解析コード		・ SD	・ fappase
解析モデル	モデル化範囲	1F, 0.P. 15.0m より上部の柱, はり部材をモデル化し, フレーム構面内にある 1 階, 2 階の壁の影響を考慮する。 フレーム構面内の燃料取替床レベル (3F, 0.P. 33.2m) より上部の壁はモデル化していない	燃料取替床レベル (3F, 0.P. 33.2m) より上部の鉄筋コンクリート造, 鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造部分をモデル化する。
	要素種別	<ul style="list-style-type: none"> ・ はり要素: 主トラスの上下弦材, 柱, はり ・ トラス要素: 主トラスの斜材, 束材 ・ シェル要素: 1 階, 2 階の壁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ はり要素: 主トラス及びサブトラスの上下弦材, 母屋, 柱, はり ・ トラス要素: 主トラス及びサブトラスの斜材・束材, 方杖, 壁面補強ブレース ・ シェル要素: 耐震壁, 追設耐震壁, 間仕切壁, スラブ
	モデル図		

2.2 既工認モデルと今回工認モデルの比較（基礎版）

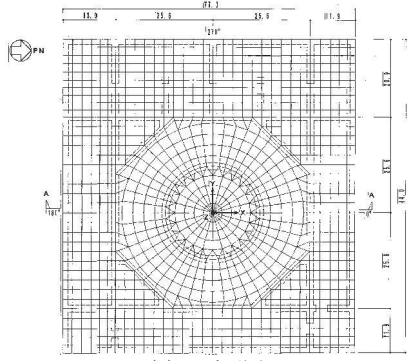

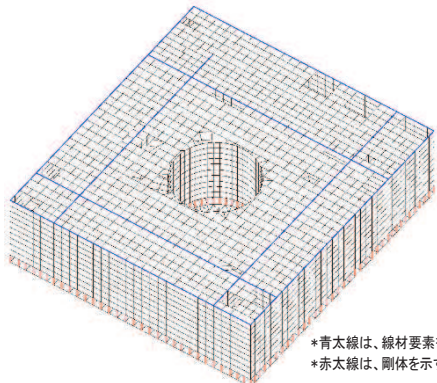
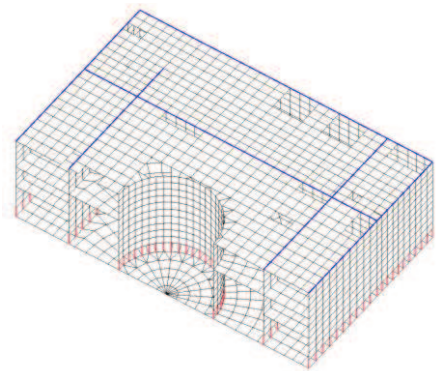
既工認時は、基礎版をシェル要素でモデル化し、基礎版に対する拘束部材としてボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い上部壁を等価な剛性を考慮したはり要素でモデル化している。本来、基礎版より上階において直交する耐震壁は相互につながっているが、その効果は考慮されない。

一方、今回工認時では、地下3階、地下2階及び地下1階の耐震壁をシェル要素でモデル化し、地下2階、地下1階及び1階の床スラブをシェル要素でモデル化している。

今回工認モデルにおいて地下3階、地下2階、地下1階の耐震壁及び地下2階、地下1階、1階の床スラブをシェル要素でモデル化することは、基礎版に対する上部構造の立体的な形状による剛性を拘束効果として表現することを目的として採用している。既工認時にはり要素で考慮していた基礎版に対する面外剛性に加えて、耐震壁の面外剛性、面内剛性も考慮されることとなり、これらの壁及び床スラブが全体として基礎版への拘束部材となり、より実状に近い構造挙動となる。

既工認と今回工認における基礎版の応力解析モデルの比較を表2-3に示す。

表 2-3 原子炉建屋基礎版の応力解析モデルの比較

項目	内容	既工認	今回工認
解析手法		・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (弾性解析)	・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (弾塑性解析)
解析コード		・ NASTRAN	・ ABAQUS
解析モデル	モデル化範囲	(基礎版部分) ・ 基礎版 (上部構造モデル部分) ・ 基礎版より立ち上がる耐震壁	(基礎版部分) ・ 同左 (上部構造モデル部分) ・ 基礎版より立ち上がる耐震壁及び床スラブ
	要素種別	・ 基礎版全体をシェル要素でモデル化 ・ 外部、内部ボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁は、等価な剛性を考慮したはり要素でモデル化	・ 基礎版全体をシェル要素でモデル化 ・ 地下部分の一部はシェル要素でモデル化し、壁及び床スラブの立体的な形状による剛性への寄与を考慮
	モデル図	 <p>(a) 平面図</p>  <p>(b) 断面図</p>	 <p>(a) 全体図</p> <p>*青太線は、線材要素を示す。 *赤太線は、剛体を示す。</p>  <p>(b) 西側半分図化</p>

3. 屋根トラス評価モデルの耐震壁における設計上の確認事項

屋根トラス評価モデルにおいても燃料取替床レベル上部が3次元FEMでモデル化されている。一方、水平2方向および鉛直方向の地震力に対する検討においては、3次元FEMモデルを用いて建屋全体をモデル化している。そこで、両モデルにおいて共通にモデル化されている燃料取替床レベル上部の耐震壁について、応力分布の比較を行う。ただし、検討している地震動は、屋根トラスの評価では基準地震動 S_s 、水平2方向および鉛直方向の地震力に対する検討では弾性設計用地震動 S_d と異なるため、基準化した応力分布による比較を実施する。

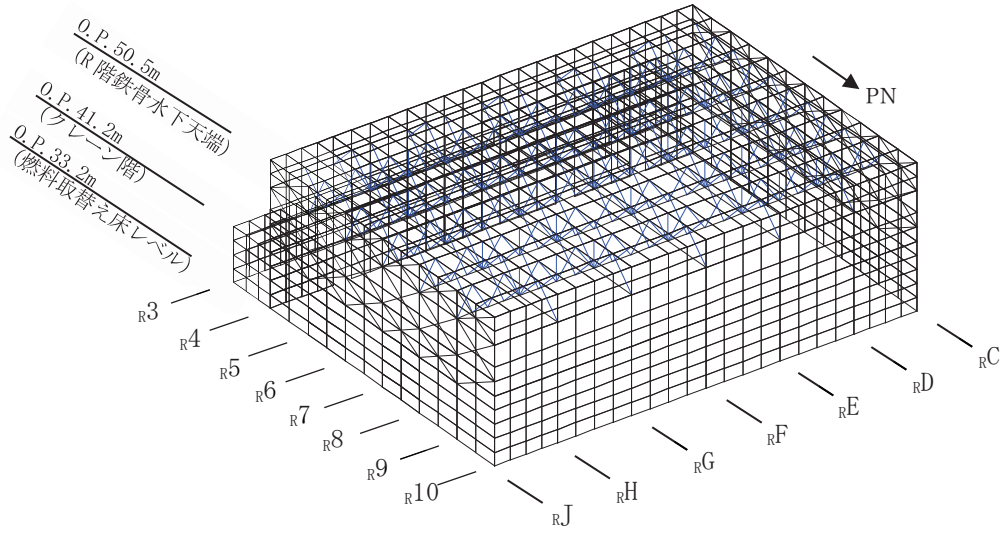
また、燃料取替床レベル上部の耐震壁は、気密性を担保する躯体となっているため、面内せん断ひずみについて設計で用いている質点系モデルの応答と比較し、屋根トラス評価モデルと質点系モデルの応答性状を確認する。さらに、屋根トラス評価モデルの耐震壁の各要素において発生する局所的な面内せん断ひずみにおいても気密性が確保されていることを確認する。

3.1 応力分布の比較

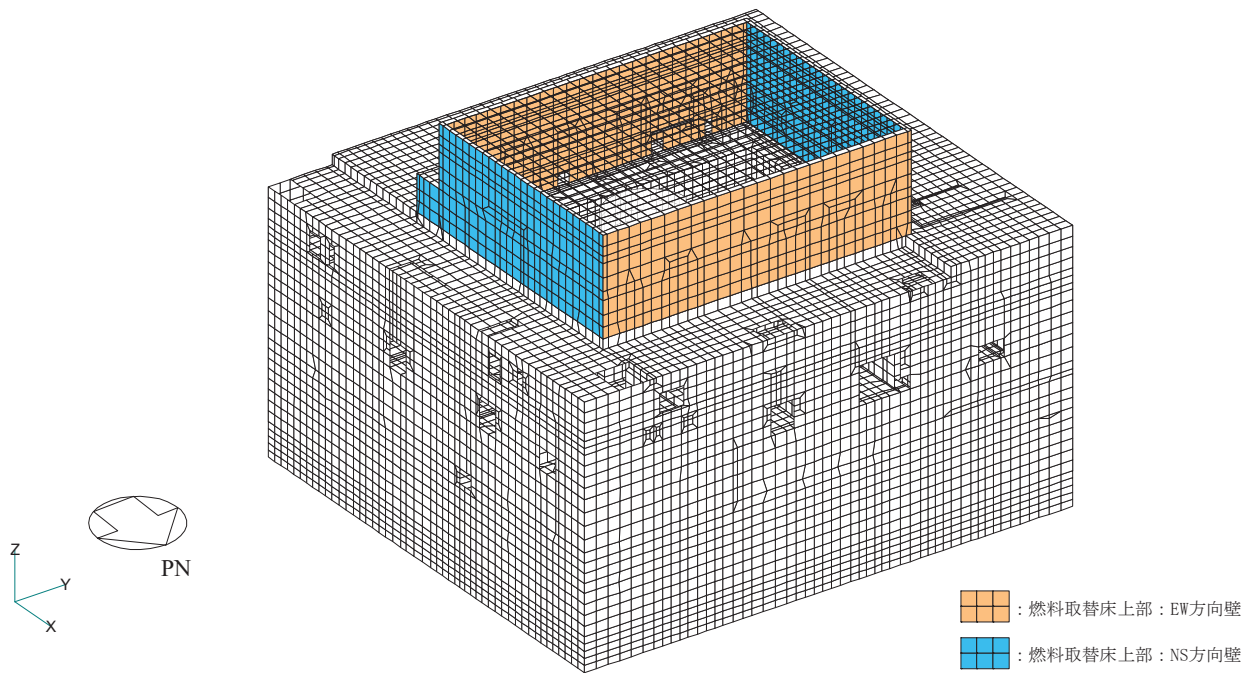
3.1.1 確認方法

屋根トラス評価モデルは、燃料取替床レベルより上部の耐震壁、鉄骨造の屋根トラス等を立体的にモデル化している。この屋根トラス評価を目的としたモデルでは、屋根トラス自体の評価を主に検討していたが、ここでは燃料取替床レベルより上部の耐震壁の応力について、建屋全体をモデル化した3次元FEMモデルによる評価結果と発生する応力分布について比較考察した結果を示す。

図3-1に屋根トラス評価モデルと建屋全体3次元FEMモデルを示す。



(a) 屋根トラス評価モデル



(b) 建屋全体3次元FEMモデル（屋根非表示）

図3-1 屋根トラス評価モデルと建屋全体3次元FEMモデル

3.1.2 解析モデルと解析条件

屋根トラス評価モデルと建屋全体をモデル化した3次元FEMモデルについて、解析モデルと解析条件を比較して表3-1に示す。

また、**屋根トラス評価モデル**では屋根トラスの弾塑性特性を考慮して基準地震動 S_s に対する検討を行っており、建屋全体3次元FEMモデルでは弾性応答解析のため弾性設計用地震動 S_d に対する検討を行っているため検討に用いる地震動はそれぞれ基準地震動 S_s-D2 及び弾性設計用地震動 S_d-D2 とする。地震動の入力レベルの違いがあることから応力分布の傾向について比較を実施する。

表3-1 屋根トラス評価モデルと建屋全体3次元FEMモデルの解析条件の比較

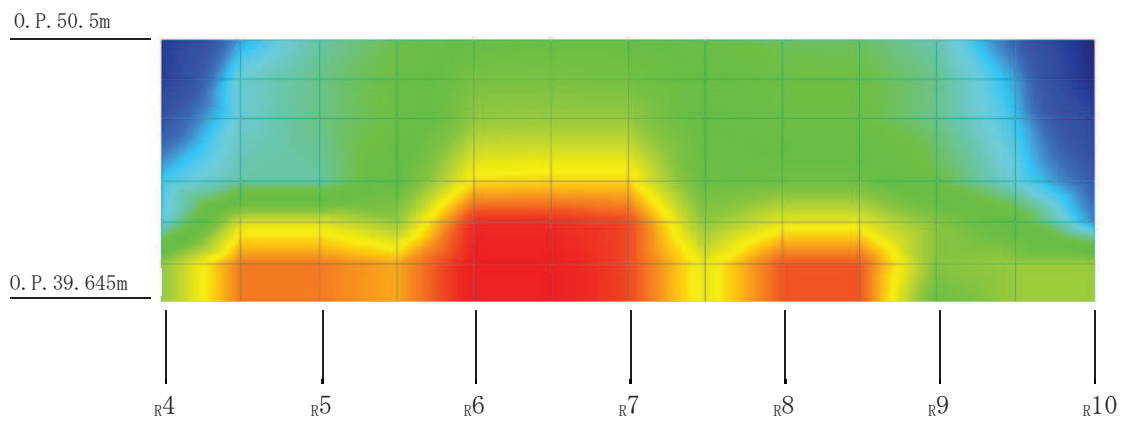
項目	屋根トラス評価モデル	建屋全体3次元FEMモデル
モデル化範囲	燃料取替床レベル（3F，O.P.33.2m）より上部	建屋全体
燃料取替床レベル上部耐震壁の補強	モデル化に反映	モデル化に反映
屋根トラスの補強	モデル化に反映	接合部補強の重量を考慮（質点系モデルと対応）
屋根スラブの面外剛性	非考慮	考慮
屋根トラスの非線形性	考慮（但し，結果は弾性）	非考慮
耐震壁の初期剛性	初期剛性低下を考慮（方向別に設定）	初期剛性低下を考慮（方向別に設定）
耐震壁の非線形性	非考慮	非考慮
検討に用いる地震動	S_s-D2	S_d-D2
入力方向と組合せ	NS+UD，EW+UD	NS+UD，EW+UD
地震動入力位置	燃料取替床レベル	基礎底面位置
解析モデルの境界条件	燃料取替床レベルで固定	基礎底面位置で地盤ばね支持

3.1.3 燃料取替床レベル上部耐震壁の応力分布の比較結果

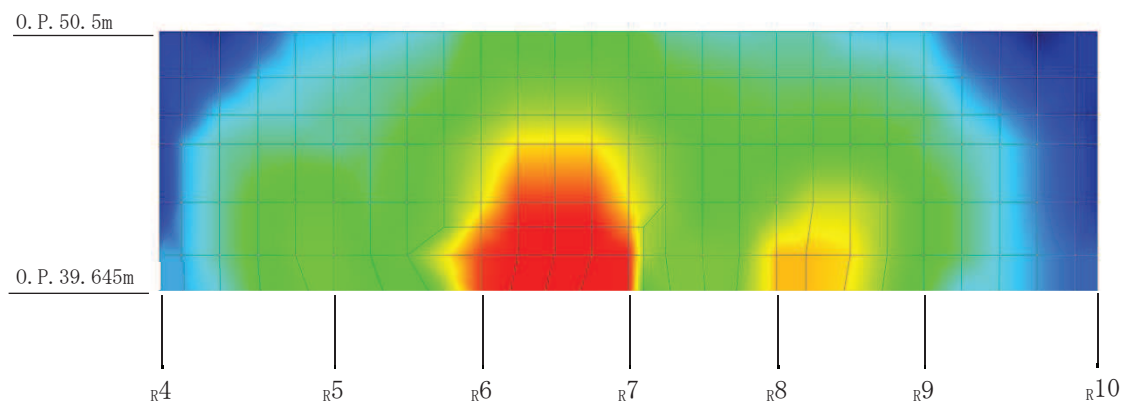
燃料取替床レベル（3F, O.P. 33.2m）より上部の耐震壁に発生する面内せん断応力について、屋根トラス評価モデルによる解析結果と建屋全体3次元FEMモデルによる解析結果を比較して、図3-2～図3-9に示す。なお、**屋根トラス評価モデル**の結果は基準地震動 S_s に対する結果であり、建屋全体3次元FEMモデルの結果は弾性設計用地震動 S_d に対するものであり、直接数値を比較できないため、壁厚の異なるO.P. 33.2m～O.P. 39.645m及びO.P. 39.645m～O.P. 50.5mにおいて最大値と最小値で基準化して、応力分布を示す。

これらより、燃料取替床レベル上部の耐震壁に発生する面内せん断応力の分布は、両モデルにおいて大きな違いはないことが確認できる。

なお、南面の開口形状は、建屋全体3次元FEMモデルでは開口形状を比較的忠実にモデル化しているが、**屋根トラス評価モデル**ではメッシュ形状を変形させない範囲で近似的にモデル化しているため、開口形状が若干異なっている。

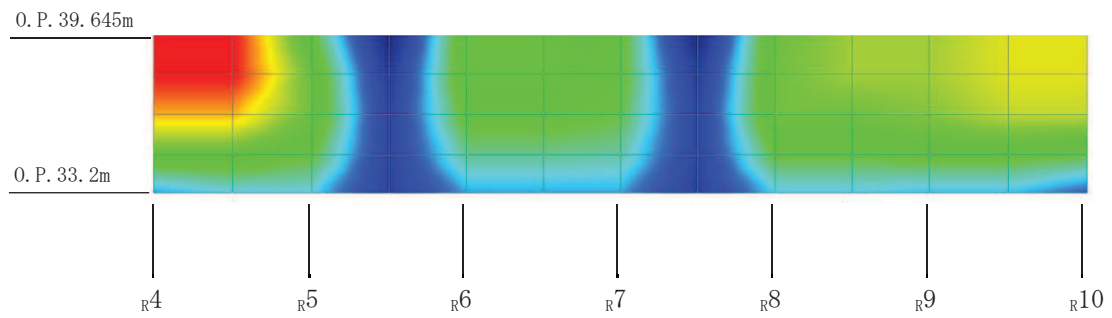


(a) 屋根トラス評価モデル

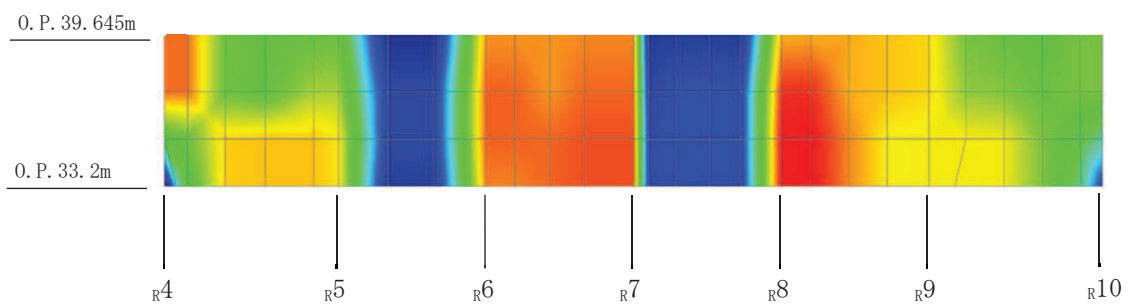


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-2 NS+UD 入力時の東面 (R_J 通り) の面内せん断応力分布
(O.P. 39.645m ~ O.P. 50.5m)

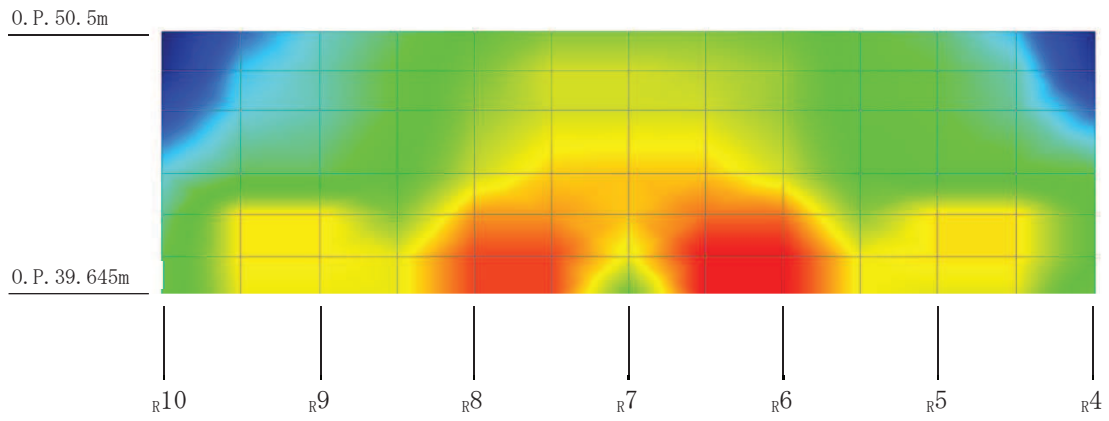


(a) 屋根トラス評価モデル

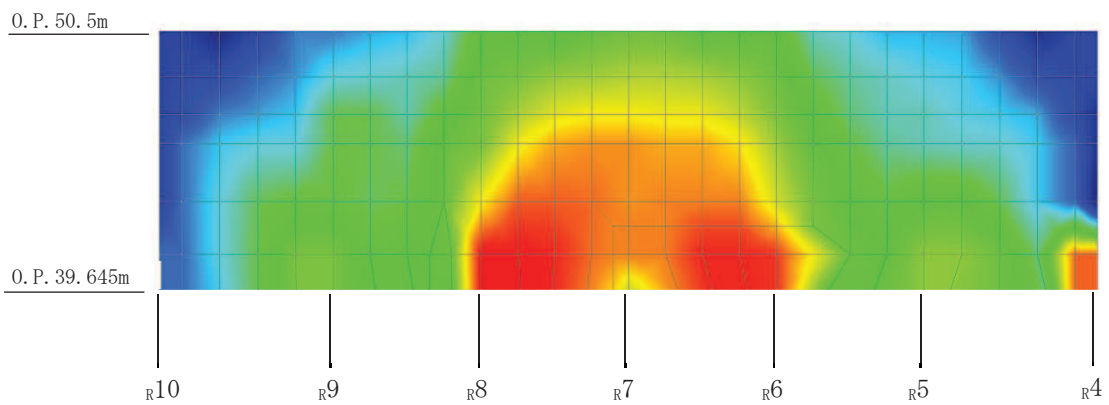


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-3 NS+UD 入力時の東面 (R_J 通り) の面内せん断応力分布
(O.P. 33.2m ~ O.P. 39.645m)

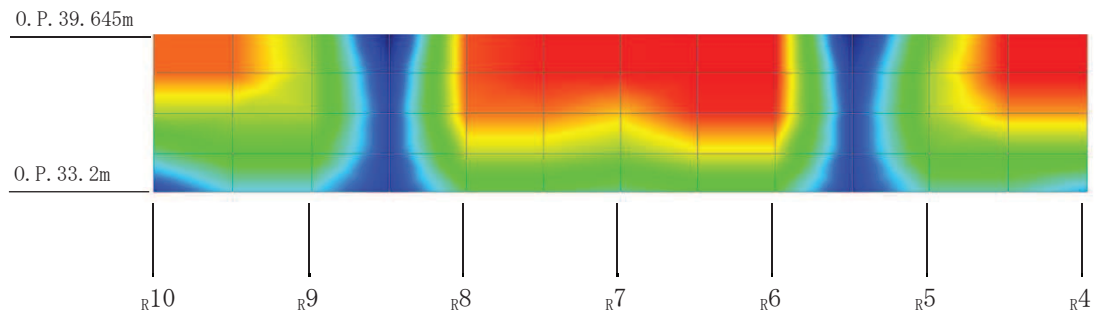


(a) 屋根トラス評価モデル

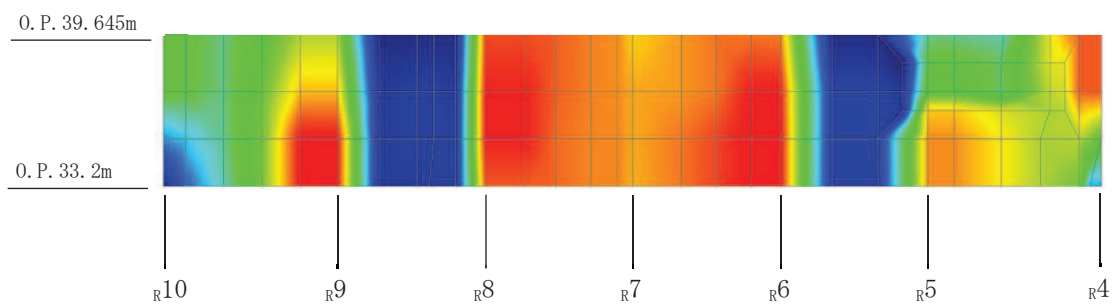


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-4 NS+UD 入力時の西面 (R_C 通り) の面内せん断応力分布
(O.P. 39.645m ~ O.P. 50.5m)

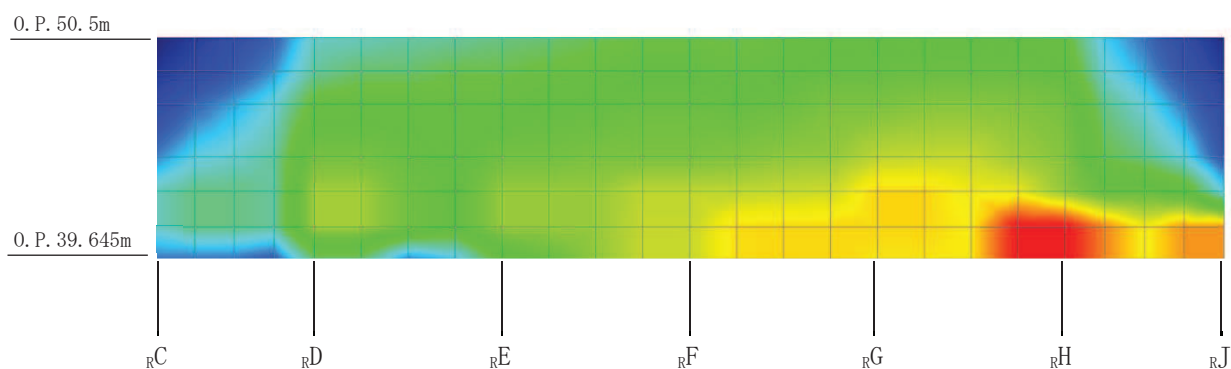


(a) 屋根トラス評価モデル

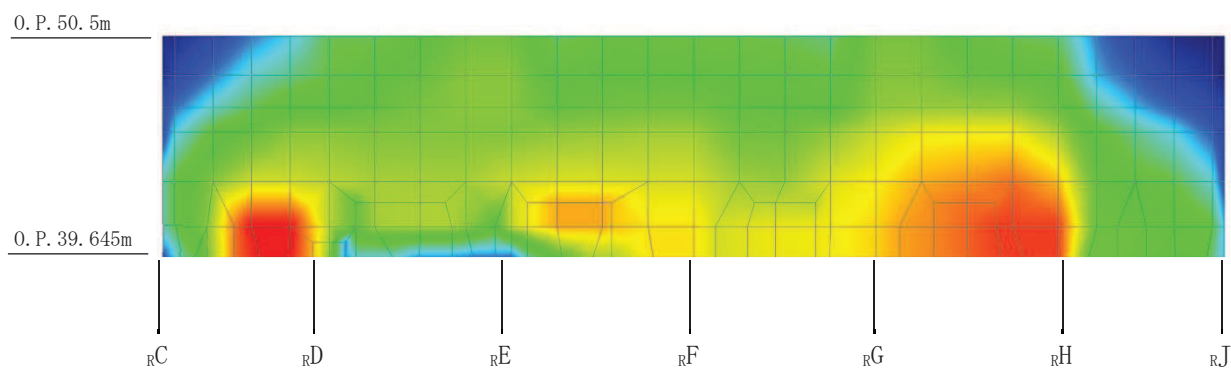


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-5 NS+UD 入力時の西面 (R_C 通り) の面内せん断応力分布
(0. P. 33.2m ~ 0. P. 39.645m)

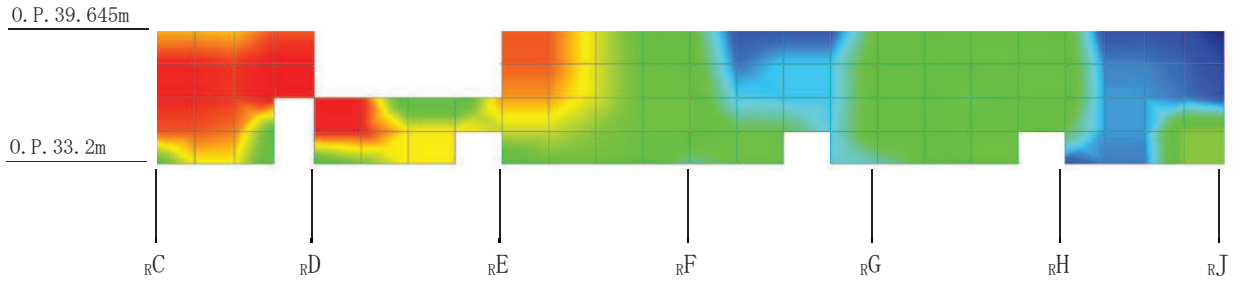


(a) 屋根トラス評価モデル

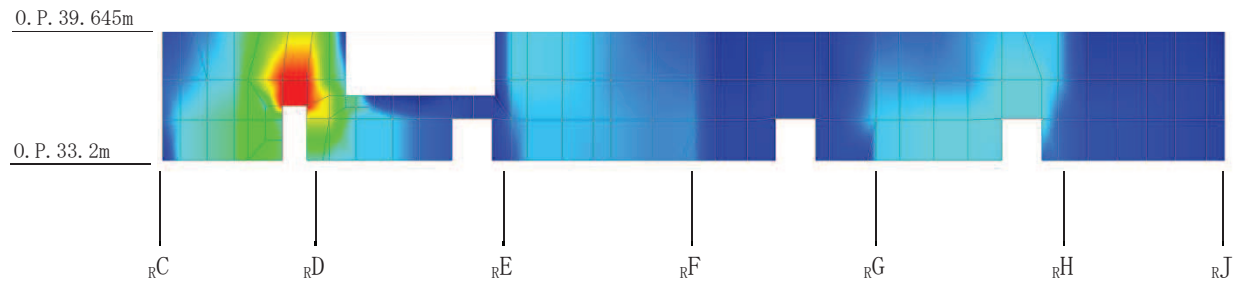


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-6 EW+UD 入力時の南面 (r4 通り) の面内せん断応力分布
(0. P. 39.645m~0. P. 50.5m)

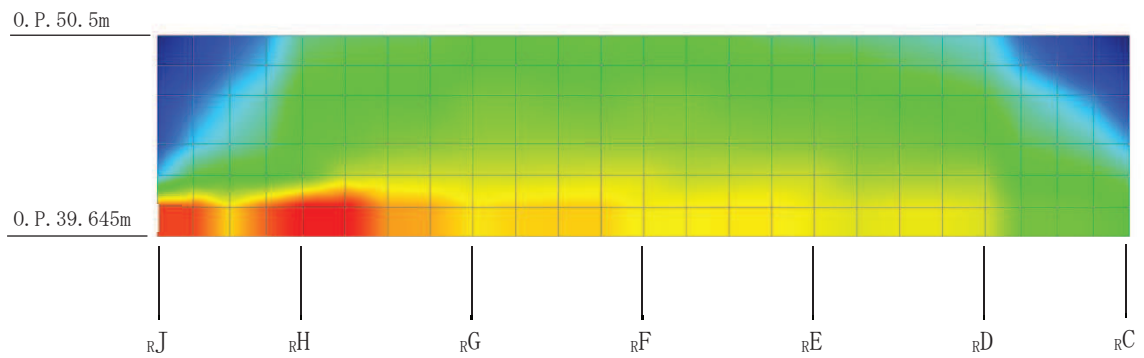


(a) 屋根トラス評価モデル

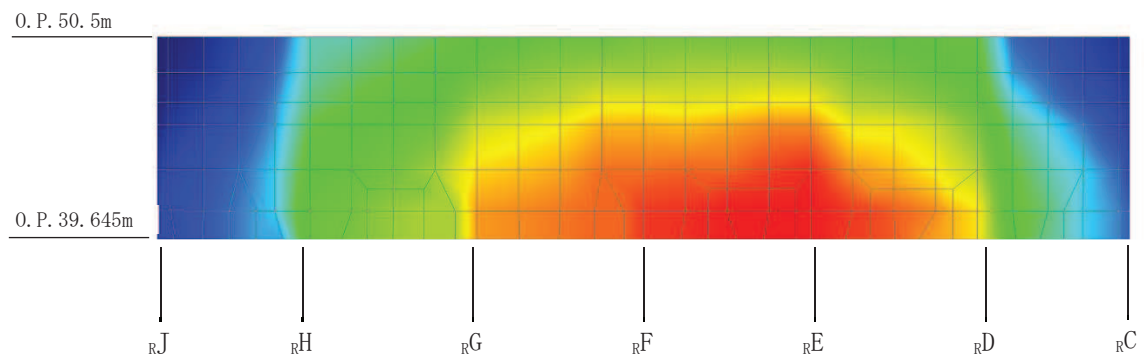


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-7 EW+UD 入力時の南面 (R4 通り) の面内せん断応力分布
(0. P. 33.2m~0. P. 39.645m)

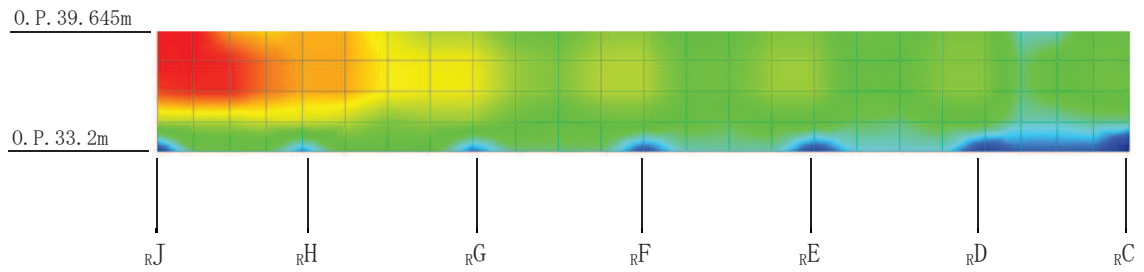


(a) 屋根トラス評価モデル

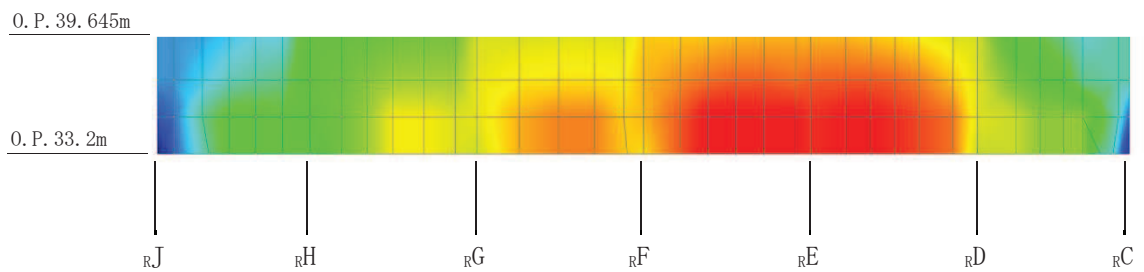


(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-8 EW+UD 入力時の北面 (R10 通り) の面内せん断応力分布
(0. P. 39.645m ~ 0. P. 50.5m)



(a) 屋根トラス評価モデル



(b) 建屋全体3次元FEMモデル

図 3-9 EW+UD 入力時の北面 (r10 通り) の面内せん断応力分布
(0. P. 33.2m ~ 0. P. 39.645m)

3.2 質点系モデルとの比較

3.2.1 評価方針

屋根トラス評価モデルでモデル化されている燃料取替床レベル上部の耐震壁の面内せん断ひずみについて、設計で用いている質点系モデルの応答と比較し、屋根トラス評価モデルと質点系モデルの応答性状を確認する。

3.2.2 評価方法

燃料取替床レベル上部の耐震壁について、壁厚の異なる O.P. 33.2m～O.P. 39.645m 及び O.P. 39.645m～O.P. 50.5m において、それぞれ各要素の面積で重み付け平均した面内せん断応力を算出する。この平均面内せん断応力を、図 3-10 のようにエネルギー等価な耐震壁のスケルトン上の応答値に換算し、屋根トラス評価モデルの平均面内せん断応力に相当する面内せん断ひずみが質点系モデルの応答値と比較して応答性状に大きな差がないことを確認する。比較に用いる地震動は「3.1 応力分布の比較」と同様に基準地震動 $S_s - D2$ とする。

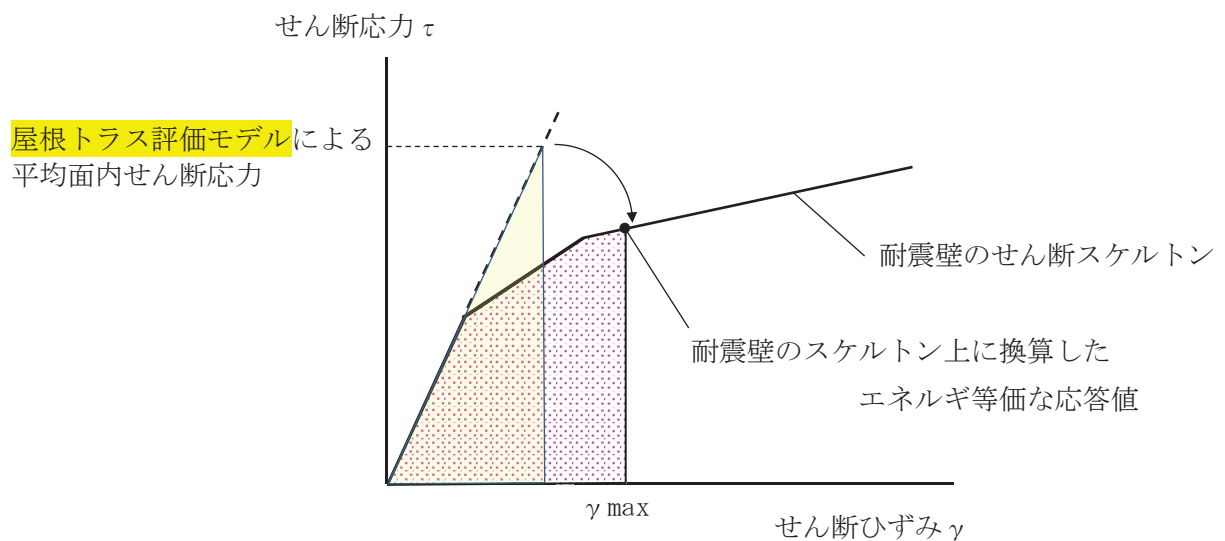


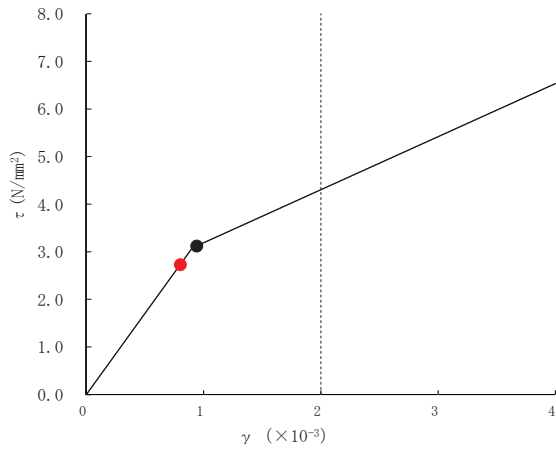
図 3-10 エネルギー一定則に基づく各耐震壁のせん断ひずみの評価方法

3.2.3 評価結果

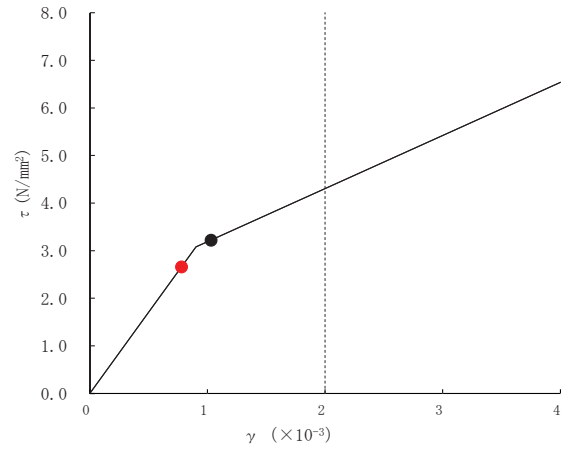
屋根トラス評価モデルの耐震壁の平均面内せん断応力を構面毎、レベル毎に算出し、耐震壁のスケルトン上の応答値に換算した結果を質点系モデルの応答値と比較して図 3-11 及び図 3-12 に示す。

屋根トラス評価モデルの耐震壁部分の応答は、クレーン階 (CRF, 0. P. 41. 2m) より上部では質点系モデルの応答と概ね対応している。燃料取替床レベル (3F, 0. P. 33. 2m) からクレーン階 (CRF, 0. P. 41. 2m) では屋根トラス評価モデルの耐震壁部分の応答は質点系モデルより小さ目に評価され、質点系モデルが保守的な評価であることが確認できる。クレーン階 (CRF, 0. P. 41. 2m) より下部で屋根トラス評価モデルの耐震壁部分の応答が小さい理由として、質点系モデルで考慮されていない部分もせん断力を負担していること、補強耐震壁が線形でモデル化されていることから補強耐震壁のせん断力の負担割合が大きくなっているため、既設耐震壁のせん断力の負担割合が小さくなっていることが考えられる。

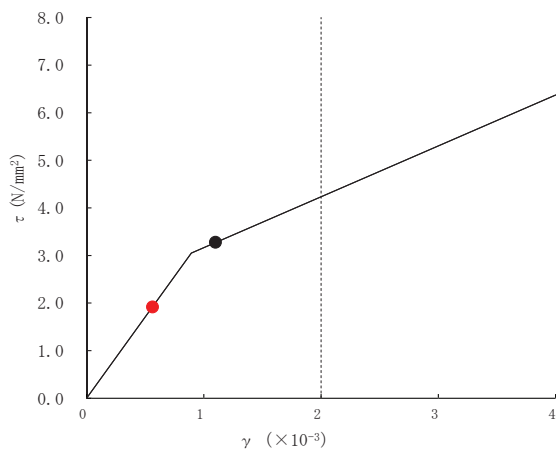
したがって、屋根トラス評価モデルの耐震壁部分の応答はクレーン階 (CRF, 0. P. 41. 2m) より上部の応答は質点系モデルと概ね対応し、クレーン階 (CRF, 0. P. 41. 2m) より下部の応答は質点系モデルよりも若干小さい結果であるが、屋根トラスの評価モデルと質点系モデルは概ね対応しており、質点系モデルは保守的な傾向を示していることを確認した。



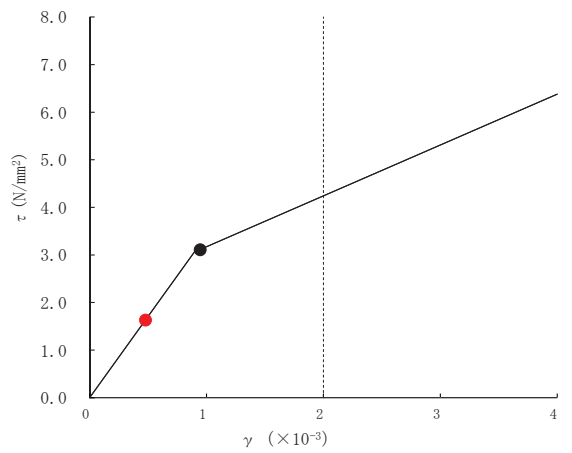
(a) 東面 (R_J 通り) 耐震壁
クレーン階～R 階



(b) 西面 (R_C 通り) 耐震壁
クレーン階～R 階



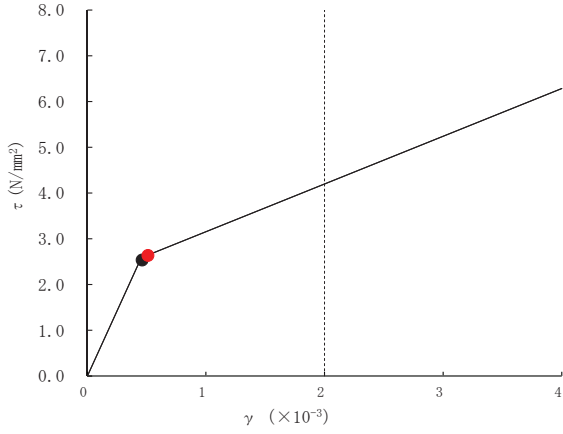
(c) 東面 (R_J 通り) 耐震壁
3 階～クレーン階



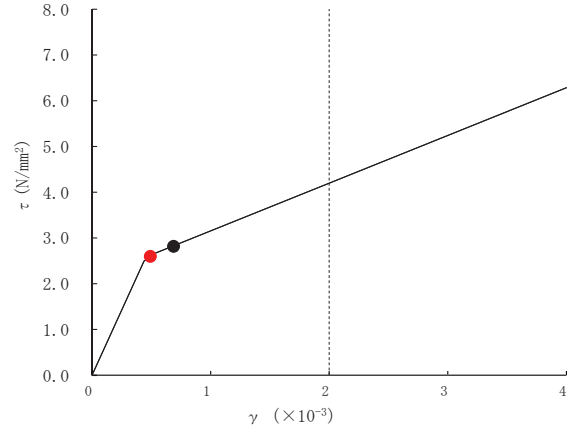
(d) 西面 (R_C 通り) 耐震壁
3 階～クレーン

図 3-11 屋根トラス評価モデル耐震壁の平均せん断応力から換算した応答値と
質点系モデルの応答値との比較 (NS 方向耐震壁)

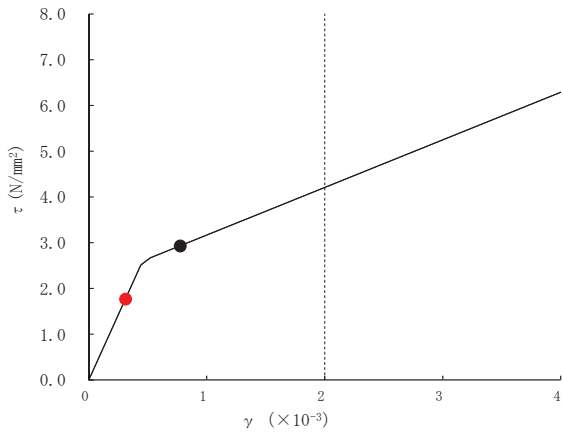
● 質点系モデル ● 屋根トラスモデル



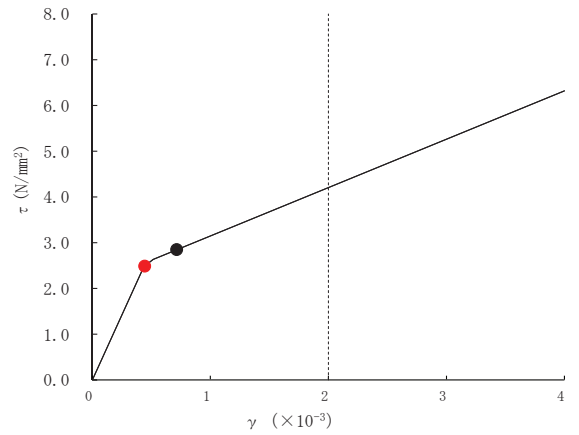
(a) 南面 (R4 通り) 耐震壁
クレーン階～R 階



(b) 北面 (R10 通り) 耐震壁
クレーン階～R 階



(c) 南面 (R4 通り) 耐震壁
3 階～クレーン階



(d) 北面 (R10 通り) 耐震壁
3 階～クレーン

図 3-12 屋根トラス評価モデル耐震壁の平均せん断応力から換算した応答値と
質点系モデルの応答値との比較 (E W 方向耐震壁)

3.3 気密性に関する確認

3.3.1 評価方針

屋根トラス評価モデルでモデル化されている燃料取替床レベル上部の耐震壁について、耐震壁の各要素において発生する局所的な面内せん断ひずみにおいても気密性が確保されていることを確認する。

3.3.2 評価方法

燃料取替床レベル上部の各面の耐震壁について、局所的に発生する最大せん断ひずみを図 3-13 のようにエネルギー等価な耐震壁のスケルトン上の応答値に換算し、局所的にも最大せん断ひずみが 2000μ 以下であることを確認する。比較に用いる地震動は「3.1 応力分布の比較」と同様に基準地震動 $S_s - D2$ とする。

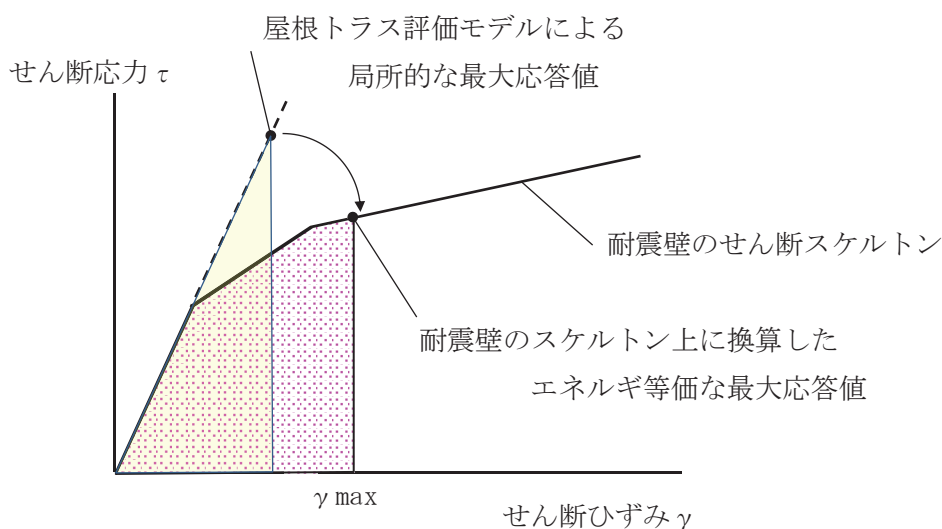


図 3-13 エネルギー一定則に基づく各耐震壁のせん断ひずみの評価方法

3.3.3 評価結果

屋根トラス評価モデルの耐震壁に局所的に発生する最大面内せん断ひずみを構面毎、レベル毎に算出した結果を表3-2に示す。

屋根トラス評価モデルの耐震壁に局所的に発生する面内せん断ひずみは、許容限界（せん断ひずみ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

表3-2 屋根トラス評価モデルによる最大面内せん断ひずみ
(S_s-D2)

位置	レベル	屋根トラスモデル線形応答値		等価 最大面内 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)
		最大面内 せん断応力度 (N/mm ²)	最大面内 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
東面 (_R J通り)	0. P. 41. 2m ~0. P. 50. 5m	3. 65	1. 069	1. 079
	0. P. 33. 2m ~0. P. 41. 2m	3. 70	1. 085	1. 098
西面 (_R C通り)	0. P. 41. 2m ~0. P. 50. 5m	3. 26	0. 955	0. 956
	0. P. 33. 2m ~0. P. 41. 2m	3. 41	1. 000	1. 004
南面 (_R 4通り)	0. P. 41. 2m ~0. P. 50. 5m	3. 73	0. 656	0. 691
	0. P. 33. 2m ~0. P. 41. 2m	4. 20	0. 740	0. 803
北面 (_R 10通り)	0. P. 41. 2m ~0. P. 50. 5m	3. 41	0. 600	0. 619
	0. P. 33. 2m ~0. P. 41. 2m	4. 01	0. 705	0. 757

4. 基礎版評価モデルの耐震壁における設計上の確認事項

水平 2 方向および鉛直方向の地震力に対する検討においては、3 次元 FEM モデルを用いて建屋全体をモデル化しており、基礎版評価モデルで新たにシェル要素としてモデル化した耐震壁もモデル化されているが、基礎版評価モデルによる評価では地震時の浮上り状況が応力分布に大きな影響を与える一方で 3 次元 FEM モデルでは建屋の浮上りを考慮できないこと、基礎版評価においては新たにシェル要素としてモデル化した部材は境界条件として位置付けていることから地震荷重や鉛直荷重を加えていないこと等、建屋全体の 3 次元 FEM 解析と基礎版解析では解析の目的が異なり、応力性状に支配的な設定条件が異なるため同等の比較が困難であるため、ここでは、基礎版評価モデルにおいて基礎版に対する拘束効果として期待しているシェル要素でモデル化した耐震壁が過度な荷重の負担状況となっていないか、面内応答と面外応答について確認する。

4.1 評価方針

原子炉建屋基礎版の応力解析において境界条件として考慮している各耐震壁（シェル壁（S/W）、内部ボックス壁（I/W）及び外部ボックス壁（O/W））の面内せん断力及び面外せん断力の応力レベルについて確認をする。

面内せん断力については、原子炉建屋基礎版の応力解析において、発生する各耐震壁の最大応答せん断ひずみが基準地震動 S_s における耐震壁の支持性能を維持するための許容限界（せん断ひずみ 2.0×10^{-3} ）に対して十分余裕があることを確認する。

面外せん断力については、原子炉建屋基礎版の応力解析において耐震壁が負担する面外せん断力が面外せん断に対するコンクリートの短期許容応力以内に収まっていることを確認する。

原子炉建屋基礎版の耐震壁配置状況を図 4-1 に示す。

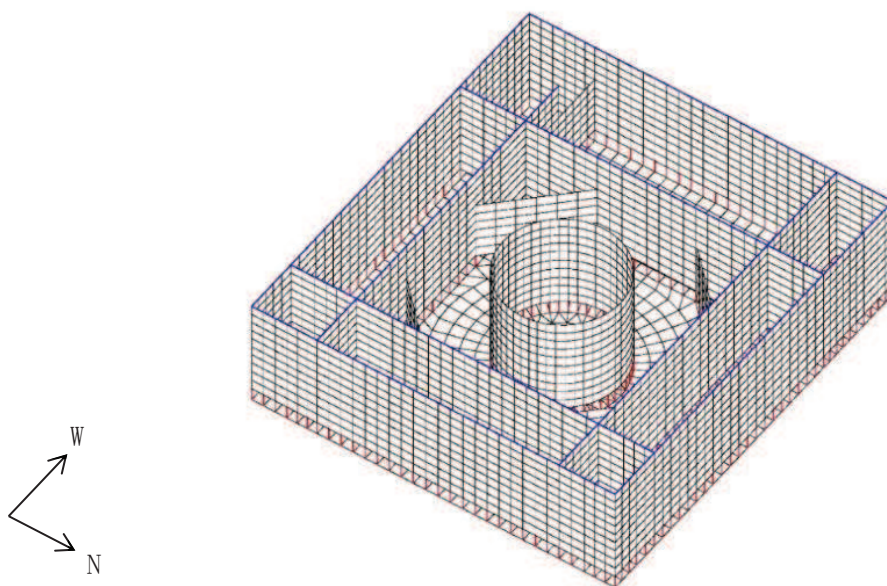


図 4-1 耐震壁配置状況

4.2 評価方法

4.2.1 面内せん断力に対する検討

原子炉建屋基礎版の応力解析において耐震壁の剛性を考慮しているシェル要素に生じる面内せん断力に対して、各耐震壁のせん断スケルトンカーブ上にプロットすることで、応力解析による各耐震壁のせん断ひずみのレベルを確認する。シェル要素に生じる面内せん断力は、耐震壁を一定範囲で分割したうえで平均化した値とする。

ここで、各耐震壁のせん断力及びせん断ひずみが弾性限界（せん断スケルトンカーブ上の第一折点）を超えている場合には、エネルギー一定則を用いてせん断力及びせん断ひずみを算定する。エネルギー一定則に基づく各耐震壁のせん断力及びせん断ひずみの算出方法を図4-2に示す。

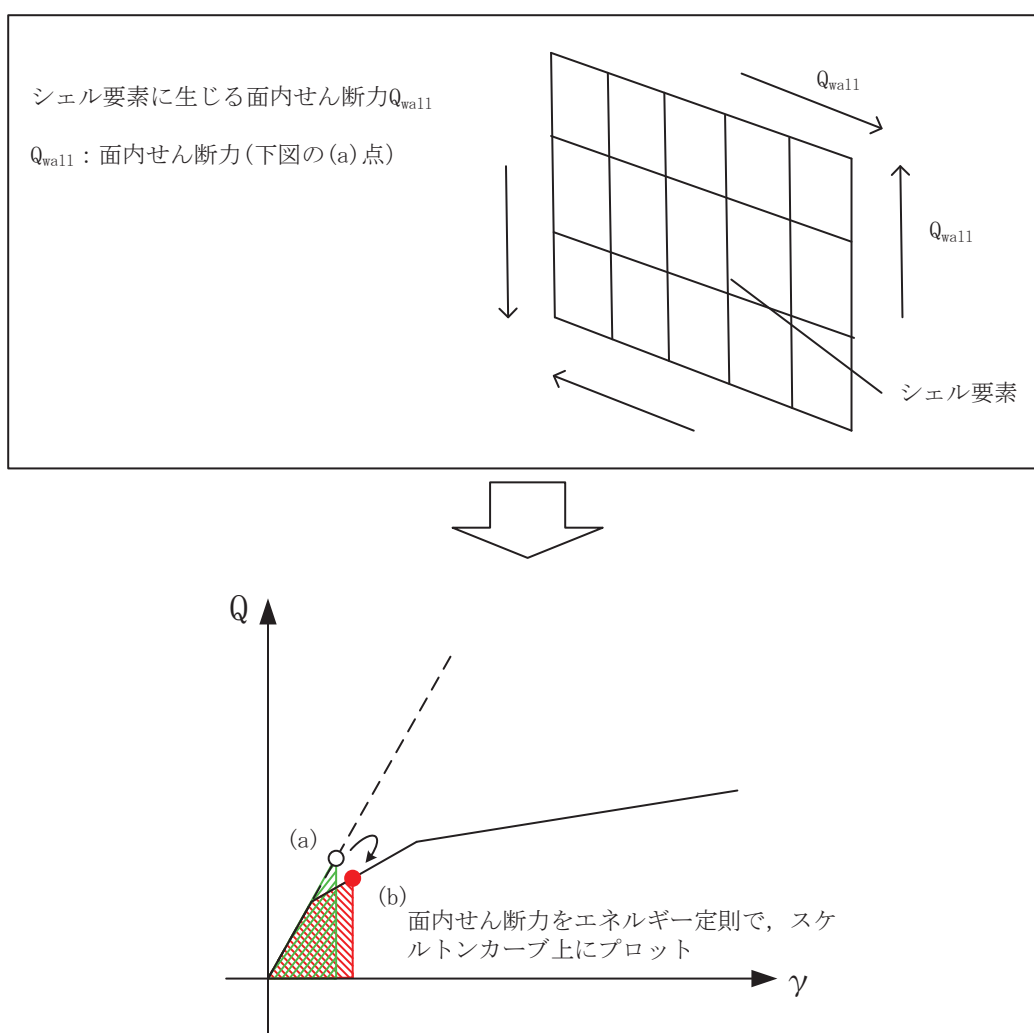


図4-2 エネルギー一定則に基づく各耐震壁のせん断ひずみの評価方法

4.2.2 面外せん断力に対する検討

原子炉建屋基礎版の応力解析において耐震壁に生じる面外せん断力が、コンクリートの短期許容応力度以下に収まっていることを確認する。表 4-1 にコンクリートの短期許容せん断応力度を示す。

表 4-1 コンクリートの短期許容せん断応力度

設計基準強度 F_c (N/mm^2)	短期
	せん断 (N/mm^2)
32.4	1.21

4.3 評価結果

4.3.1 面内せん断力に対する評価結果

応力解析により耐震壁に生じるせん断ひずみが最大となる組合せケースにおける面内せん断応力度のコンター図を図4-3に示す。また，耐震壁の最大応答せん断ひずみを表4-2に示す。

表4-2より，耐震壁の最大応答せん断ひずみは，地下3階2通りにおける内部ボックス壁（EW方向）の 0.505×10^{-3} であり，許容限界のせん断ひずみ 2.0×10^{-3} に対して十分余裕があることを確認した。なお，基礎版評価の応力解析では地震荷重は基礎版位置に载荷しているため，表4-2に示すせん断ひずみには耐震壁の地震荷重分が含まれていない。表4-2のせん断ひずみに対し，保守的に質点系地震応答解析で発生する基準地震動 S_s に対する最大応答せん断ひずみを加算した場合の耐震壁の最大せん断ひずみを表4-3に示す。保守的に加算した場合のせん断ひずみも許容限界のせん断ひずみ 2.0×10^{-3} に対して十分余裕があることを確認した。

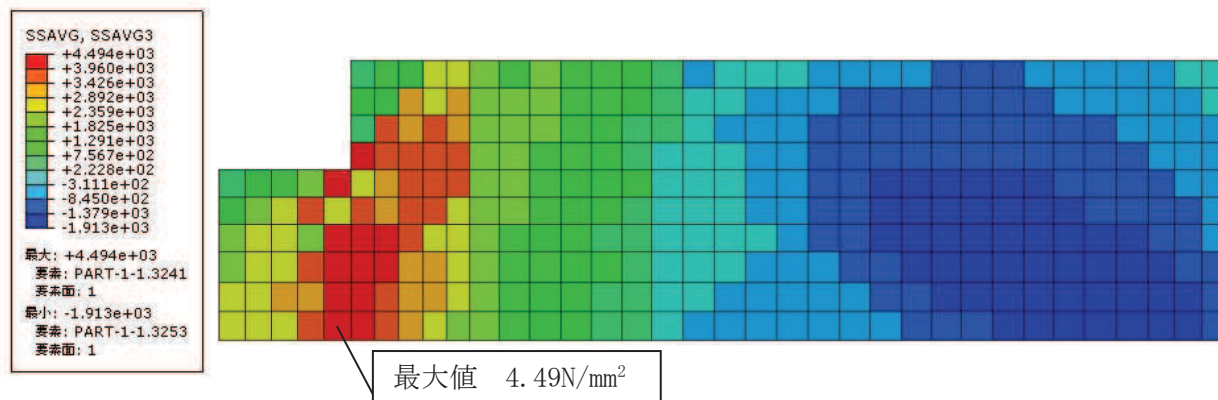


図4-3 面内せん断応力度のコンター図（R2通り・組合せケース6）

表4-2 基礎版解析により耐震壁に生じるせん断ひずみ

部位	組合せケース	(a)シェル要素に生じる面内せん断力 $Q_{wall} (\times 10^3 \text{kN})$	スケルトンプロット後*	
			(b)せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	(b)せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)
B3階 I/W-2	6	716	512	0.505

注記*：エネルギー一定則を適用し，スケルトンカーブ上にプロットした値

表4-3 耐震壁の最大せん断ひずみ

部位	基礎版解析により生じるせん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	地震応答解析により生じる最大応答せん断ひずみ* ($\times 10^{-3}$)	せん断ひずみ合計 ($\times 10^{-3}$)
B3階 I/W-2	0.505	0.678	1.183

注記*：地震応答解析結果の不確かさケースを含む最大値

4.3.2 面外せん断力に対する評価結果

応力解析により耐震壁に生じる面外せん断応力度が最大となる組合せケースにおける面外せん断応力度のコンター図を図4-4に示す。

図4-4より面外せん断応力度は概ね 0.4N/mm^2 以下となっている。要素ごとの最大値でも、 1.14N/mm^2 であり、コンクリートの短期許容せん断応力度(1.21N/mm^2)に収まる結果となっている。

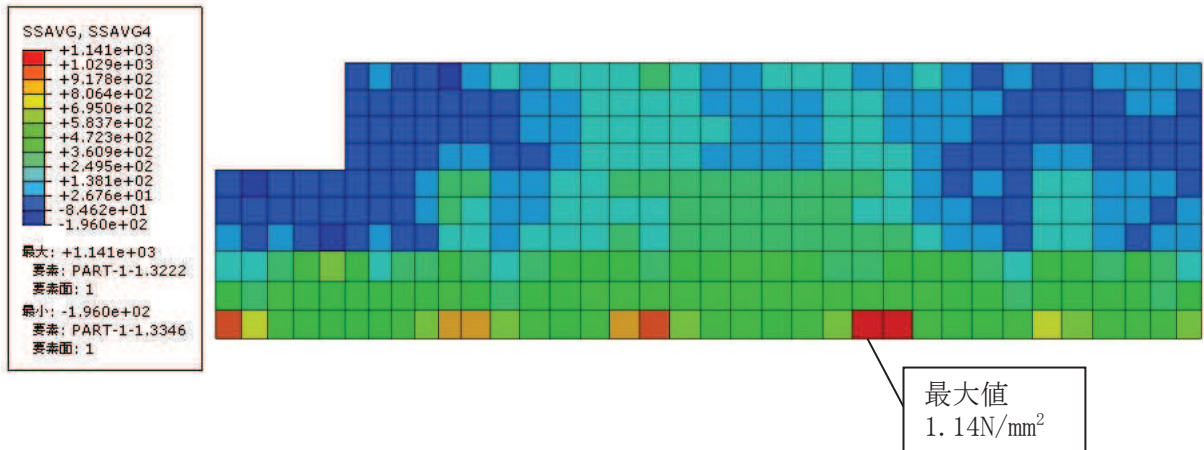


図4-4 面外せん断応力度のコンター図 (R2 通り・組合せケース4・ τ_y)