

---

柏崎刈羽原子力発電所1号機  
原子炉建屋の設計時に想定していた地震時応力と  
中越沖地震時の応力との比較について

---

平成21年11月19日

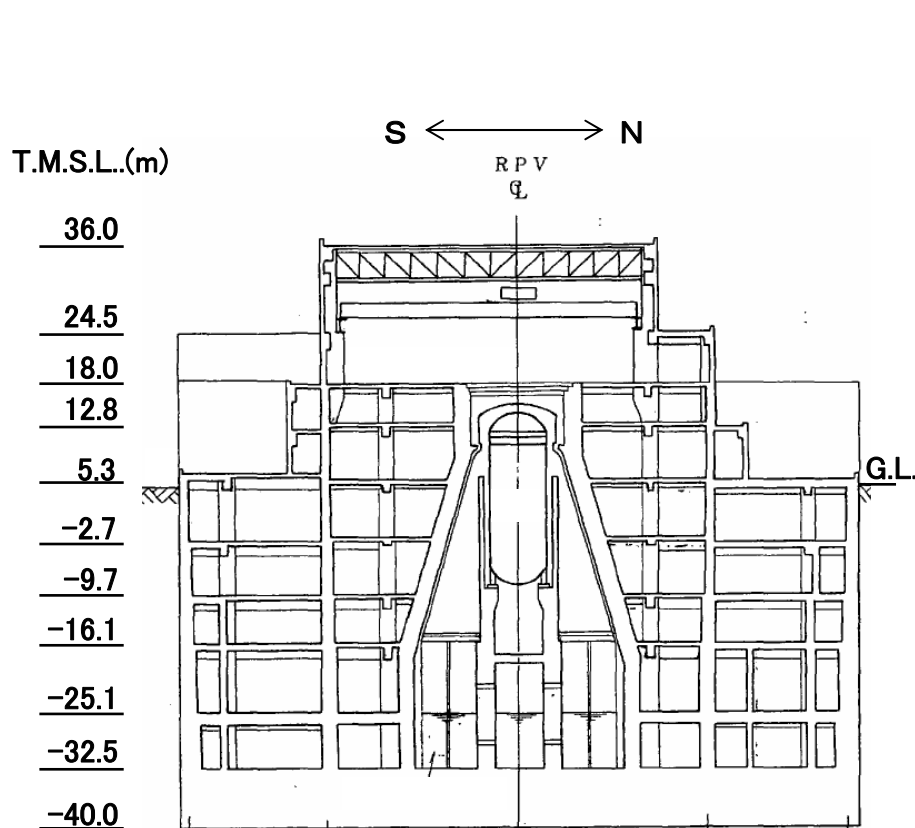
東京電力株式会社

# はじめに

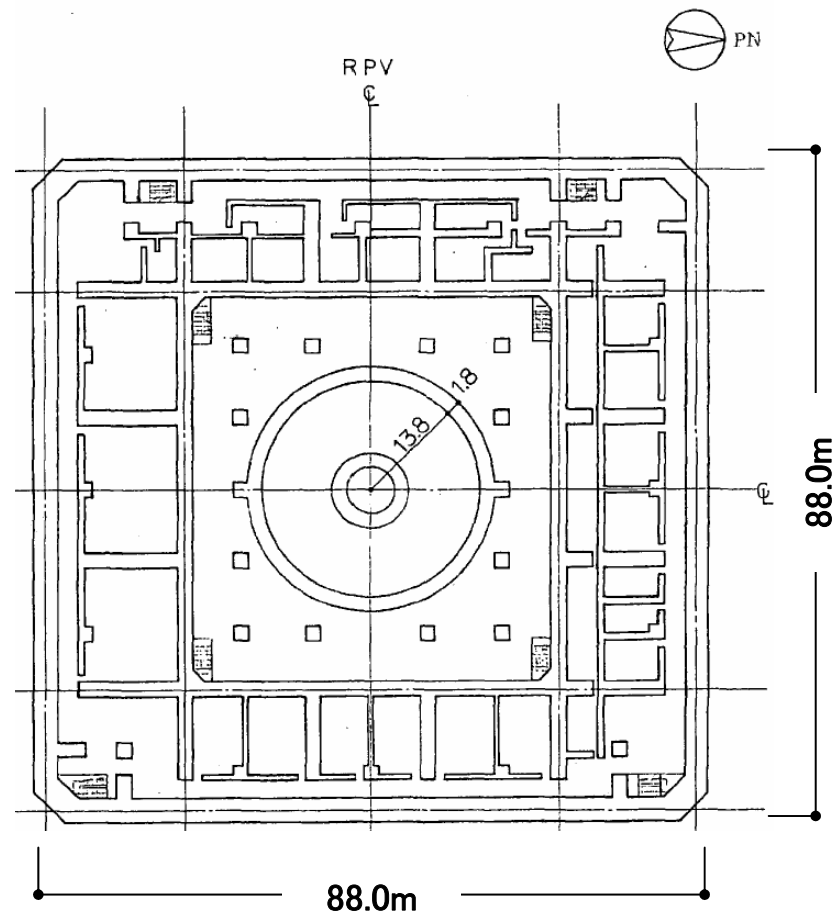
---

- 1号機の原子炉建屋については、中越沖地震後の点検・評価において、健全性が確保されているとの評価を行っている。
- 一方で、中越沖地震による地震動は、原子炉建屋の基礎マット上の観測記録で、設計時の地震応答解析による応答加速度を上回る大きなものであった。
- それにも関わらず、原子炉建屋が健全であったのはどのような要因が大きかったのかについて、主に設計時に想定していたせん断応力との対比によって考察する。

# 1号機 原子炉建屋の概要



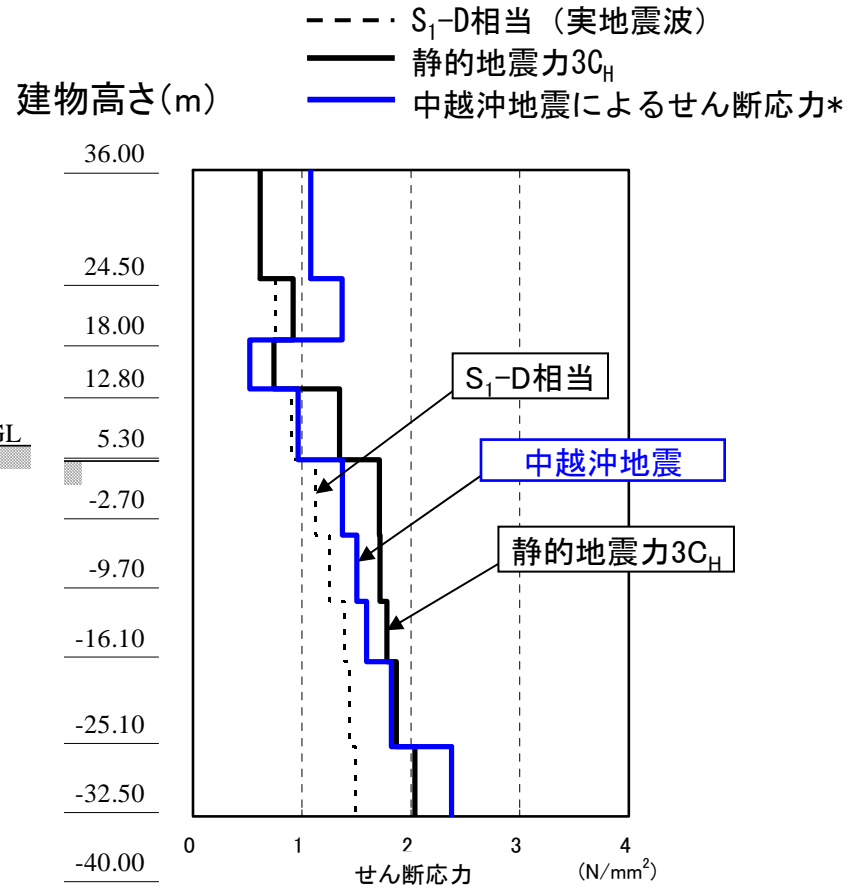
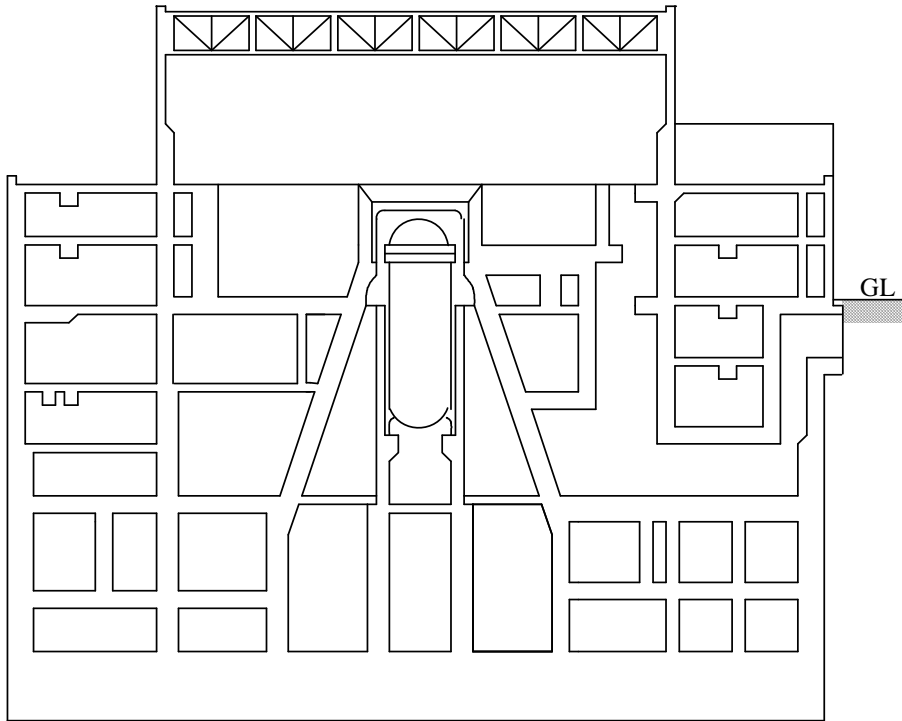
NS方向断面



基礎上平面 (T.M.S.L.-32.5m)

# 中越沖地震による原子炉建屋のせん断応力(静的地震力との比較)

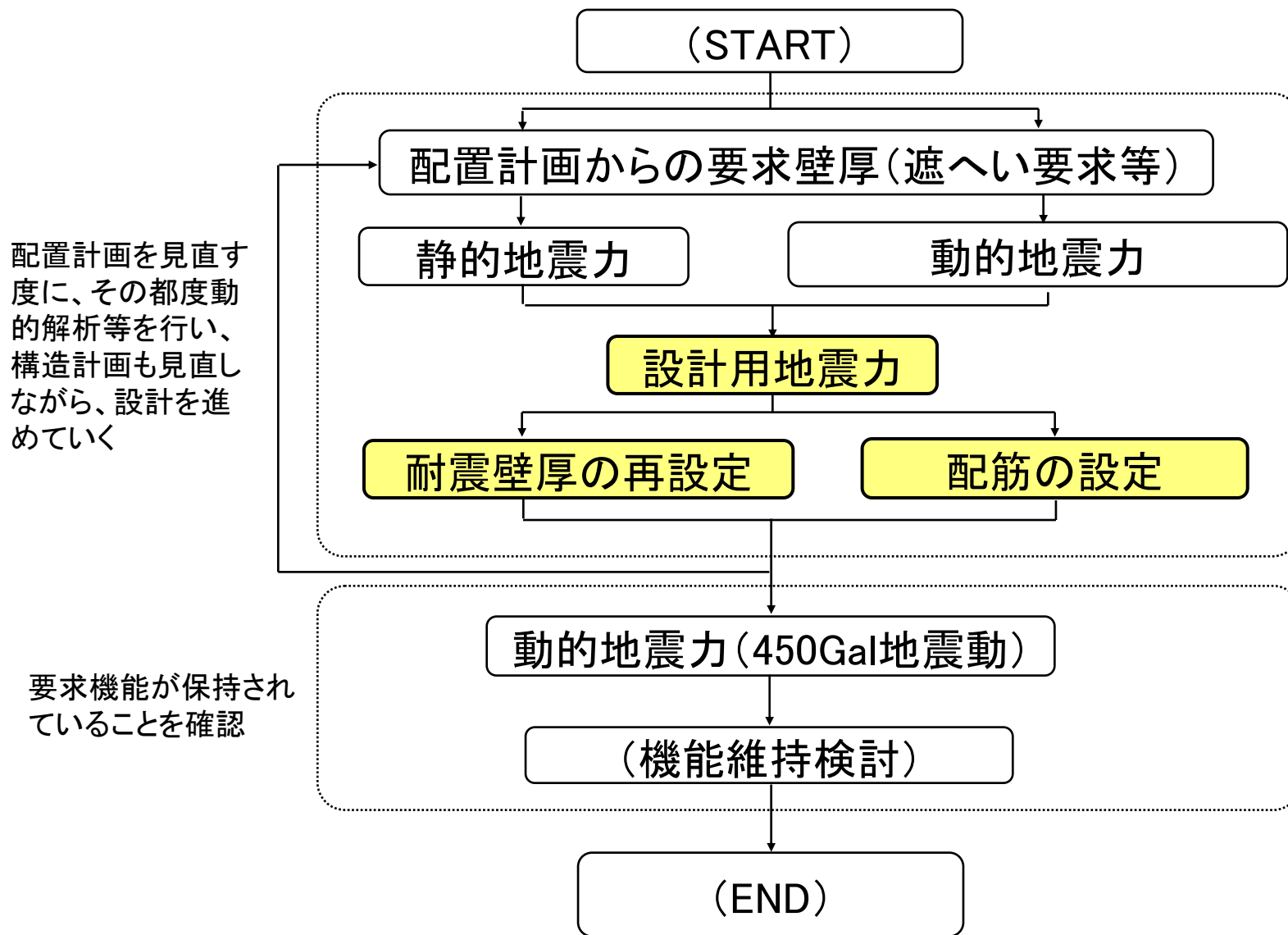
## 1号機 原子炉建屋



中越沖地震による原子炉建屋のせん断応力は、地上部は静的地震力と同程度かやや下回るが、最下階及び上層階は静的地震力を上回るレベルであった。

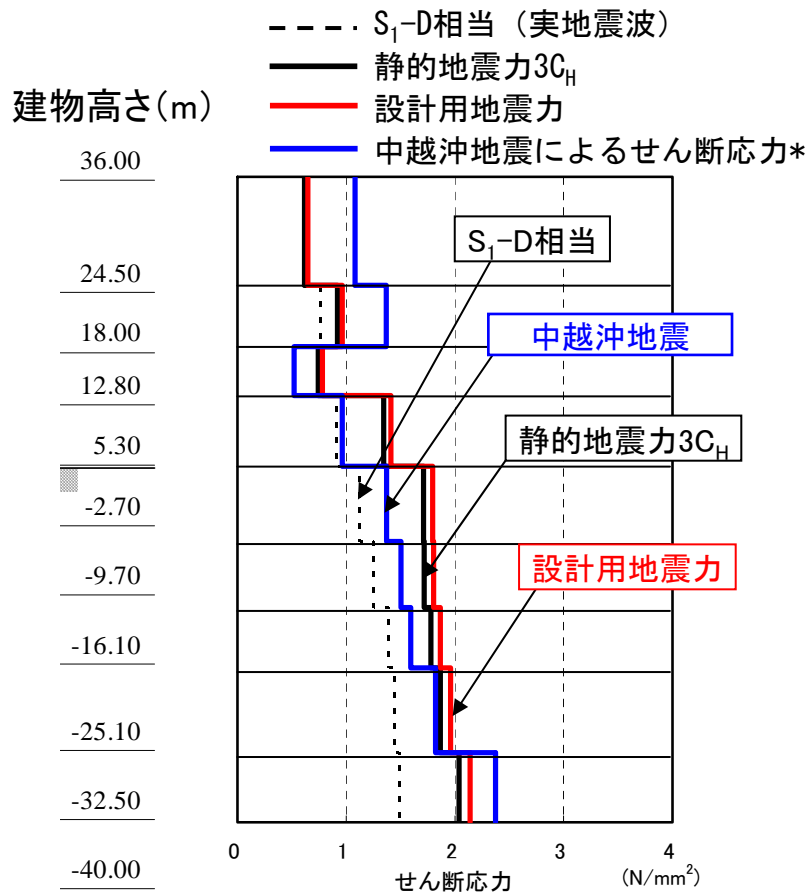
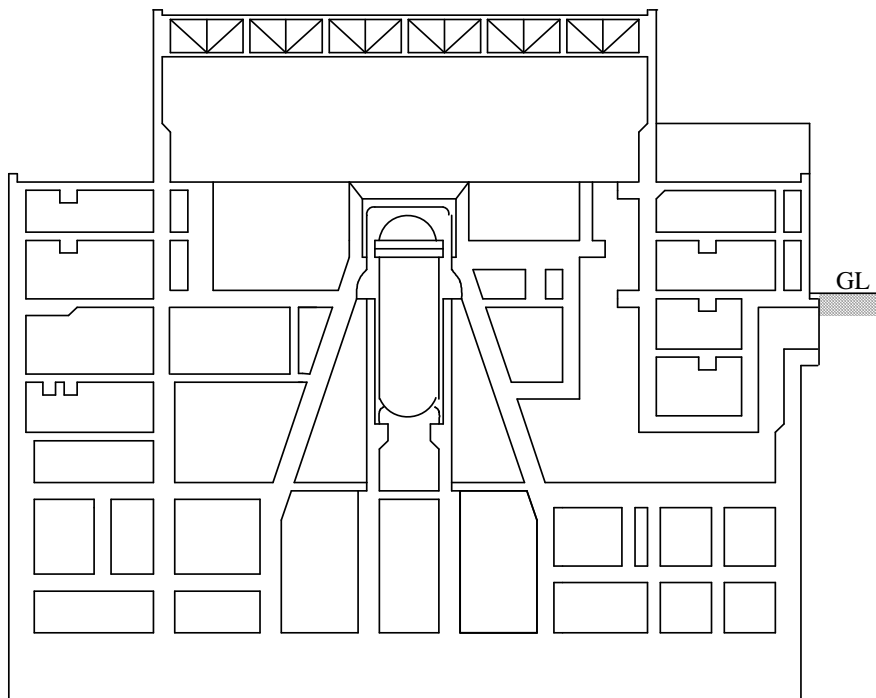
\* 中越沖地震によるせん断応力は、耐震壁及び補助壁を耐震要素として考慮した解析に基づき算定。

# 鉄筋コンクリート耐震壁の設計フローについて(1号機)



# 中越沖地震による原子炉建屋のせん断応力(設計用地震力との比較)

## 1号機 原子炉建屋

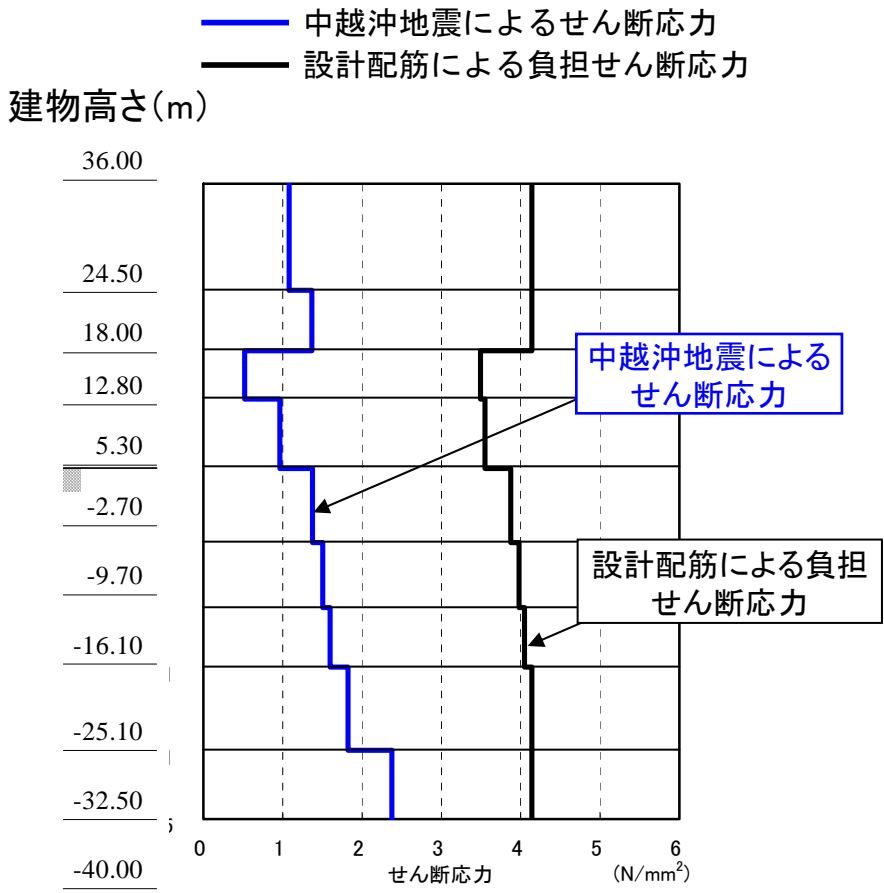
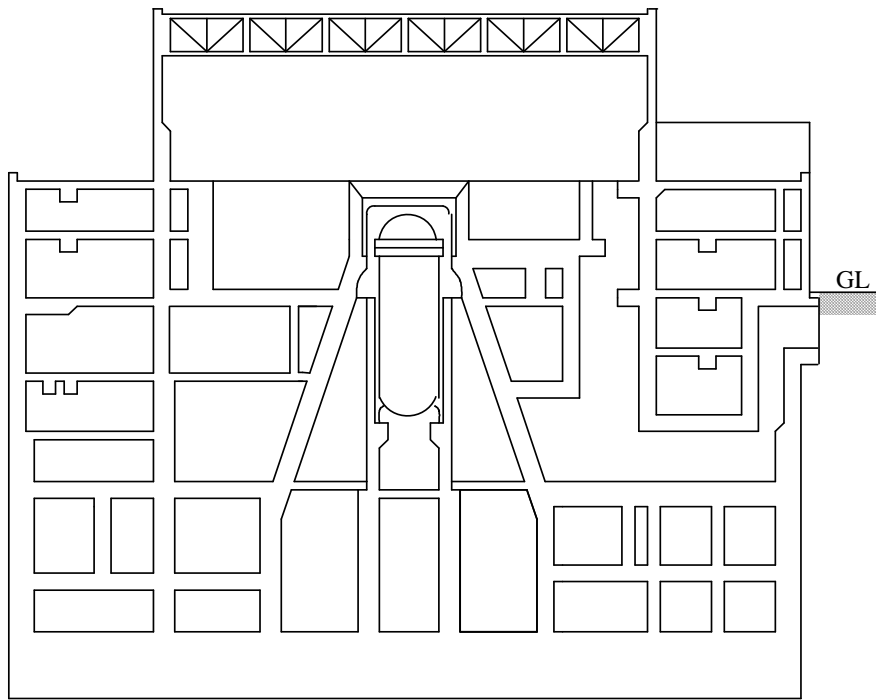


中越沖地震による原子炉建屋のせん断応力は、地上部は設計用地震力と同程度かやや下回るが、最下階及び上層階は設計用地震力を上回るレベルであった。

\* 中越沖地震によるせん断応力は、耐震壁及び補助壁を耐震要素として考慮した解析に基づき算定。

# 中越沖地震による原子炉建屋のせん断応力 (設計配筋による負担せん断力との比較)

## 1号機 原子炉建屋



中越沖地震による原子炉建屋のせん断力は、設計配筋による負担せん断力に対して十分な余裕がある。

設計配筋による負担せん断力は、以下の式により算定

$$\tau_{st} = P_w \times \sigma_y$$

$P_w$  : 壁のせん断補強筋比  
 $\sigma_y$  : 鉄筋の短期許容応力度

# 弾塑性解析による検討について

---

## ○弾塑性解析による検討について

1号機については、中越沖地震による応答結果としておおむね短期許容応力度設計で想定していた荷重程度であったと考えられる。そのため、シミュレーション解析において弾性解析を行ったことと整合は取れていると考えられるが、弾塑性解析を行った場合にどのような結果になるのかを検討した。

## ○復元力特性の設定

JEAG4601に示されている標準的手法により、復元力特性を設定した。ただし、以下の点については補正を行った。

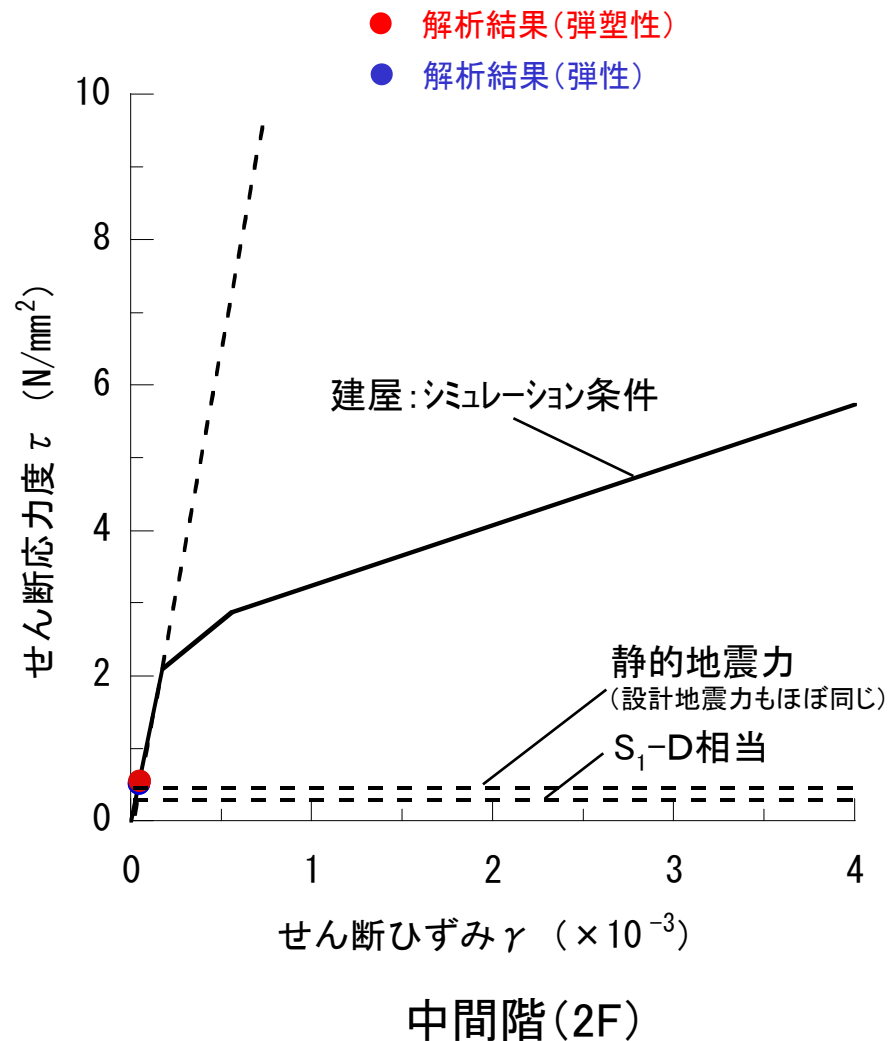
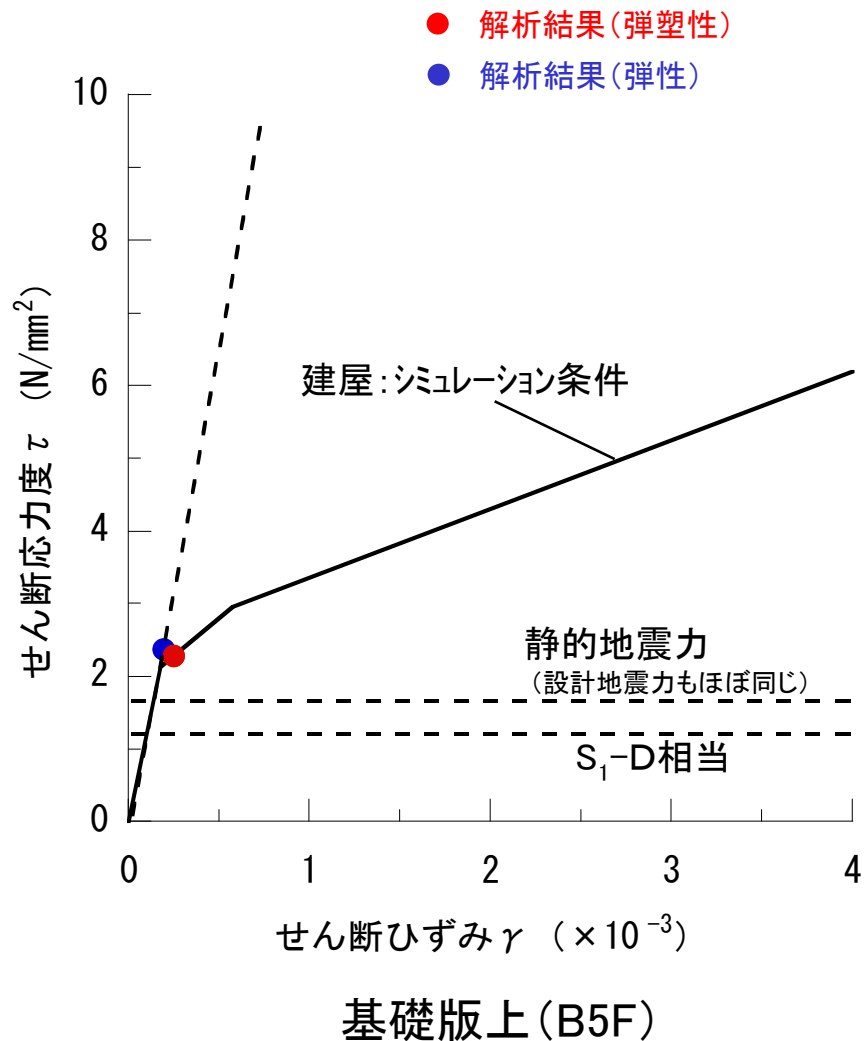
- ・コンクリート強度は、実強度を採用
- ・補助壁分も含める

## ○設計時の荷重について

設計時の動的解析は全て弾性解析の結果であるので、せん断力の数値により図中に書き込むこととした。

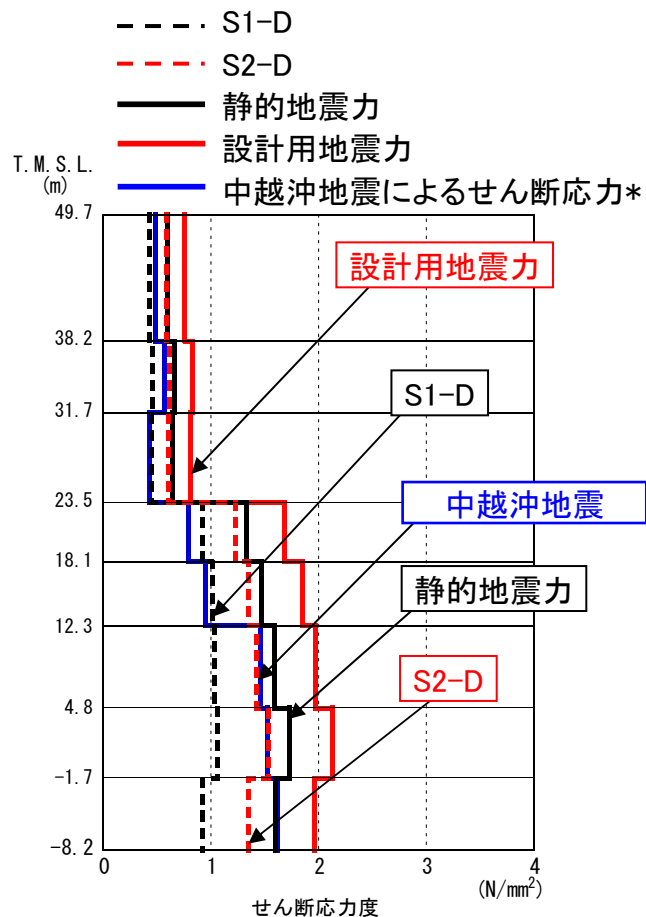
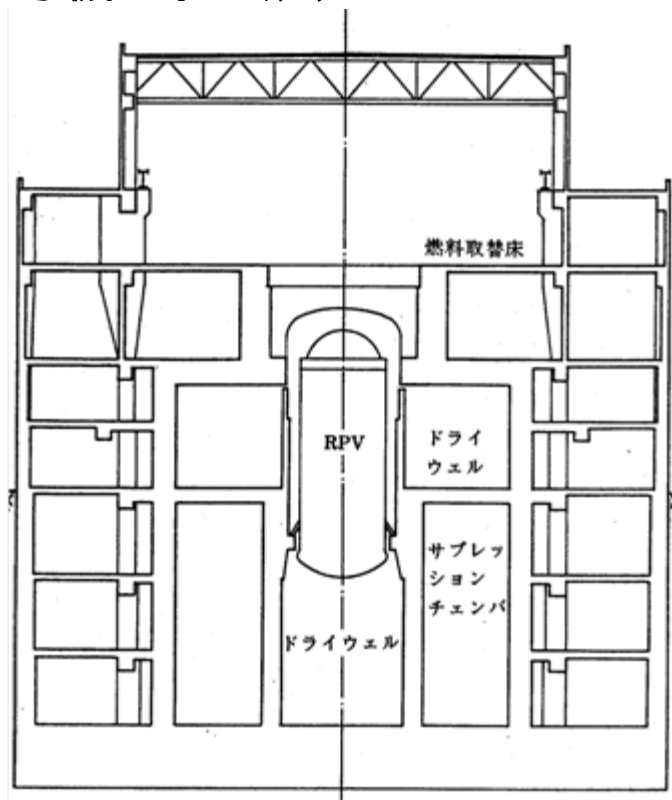


# 中越沖地震と設計時との比較 (スケルトン曲線上へのプロット: 1号機)



# (参考) 7号機での評価事例(その1)

## 7号機 原子炉建屋

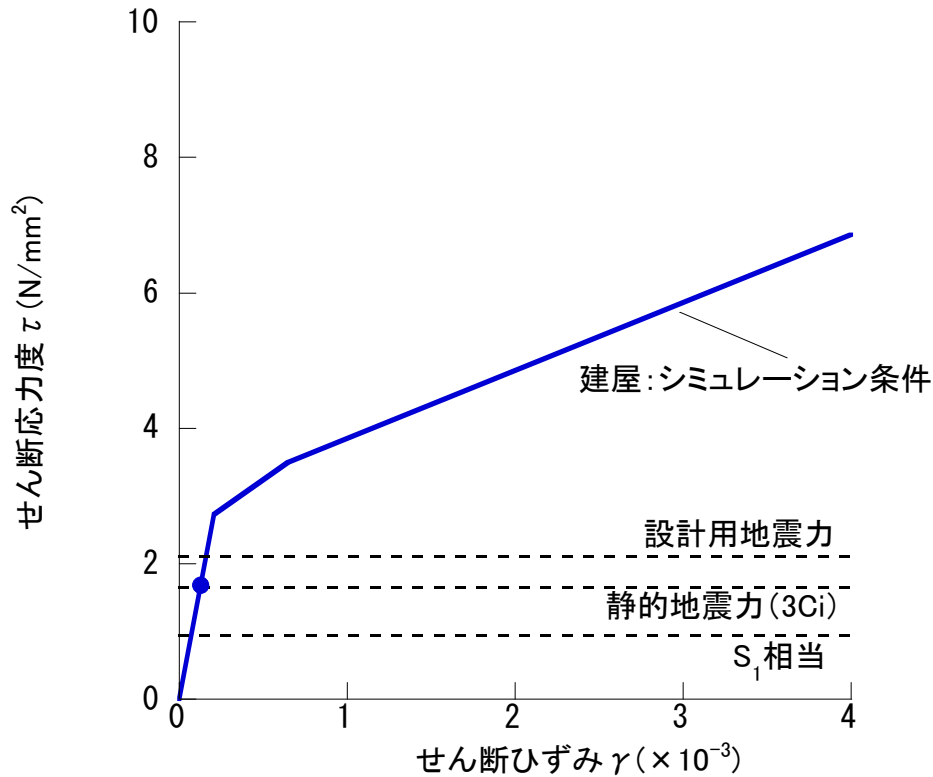


中越沖地震による原子炉建屋のせん断応力は、設計用地震力と比べると余裕を持って小さいレベルであった。

\* 中越沖地震によるせん断応力は、耐震壁及び補助壁を耐震要素として考慮した解析に基づき算定。

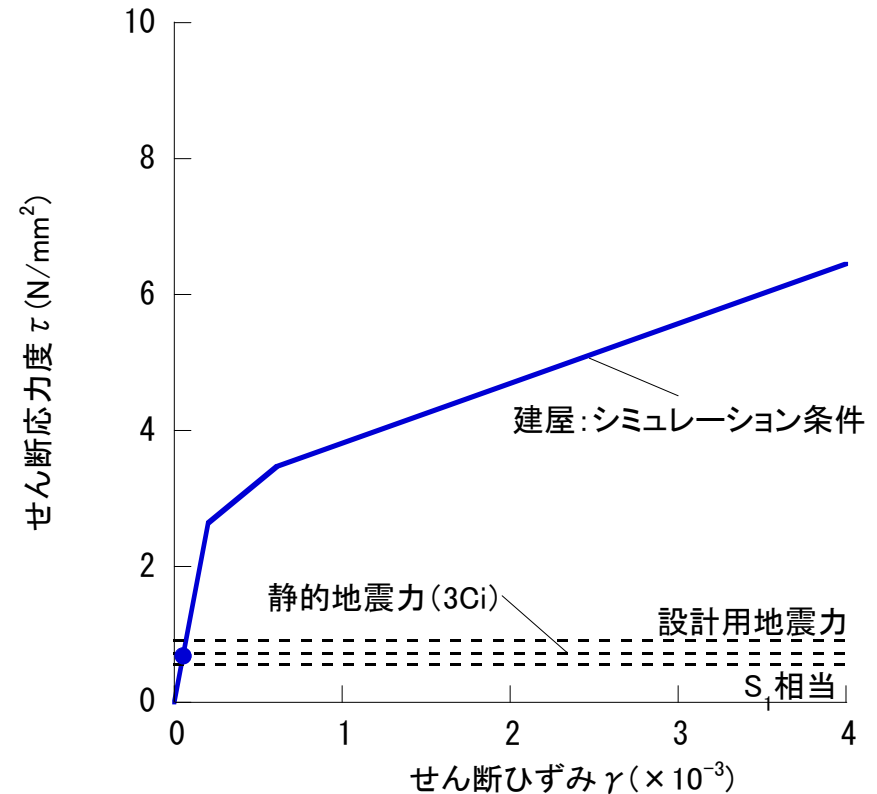
# (参考) 7号機での評価事例(その2)

● 解析結果



基礎版上 (B3F)

● 解析結果



中間階 (3F)

## 7号機との対比で異なる点

- 1号機の原子炉建屋の場合、中越沖地震による地震動は、敷地内で最大であり、基礎マット上で東西方向の最大応答加速度が680Galであった（7号機の場合には、356Gal）。
- 1号機における設計用地震力は、静的地震力に対しての余裕が5%程度と少ない（7号機では20～30%程度となっている）。
- 7号機では、①中越沖地震による発生応力は、おおむね静的地震力よりもやや小さかったこと、②静的地震力に対して大きな余裕を持った設計用地震力を設定していたこと、の2点から設計用地震力に対して十分な余裕があった。
- 1号機では、①中越沖地震による発生応力は、静的地震力と同等程度であるが、階によっては静的地震力を上回っている、②静的地震力に対して余裕が小さい設計用地震力を設定していたこと、の2点から階によっては設計地震力を上回ることがあった。

# まとめ

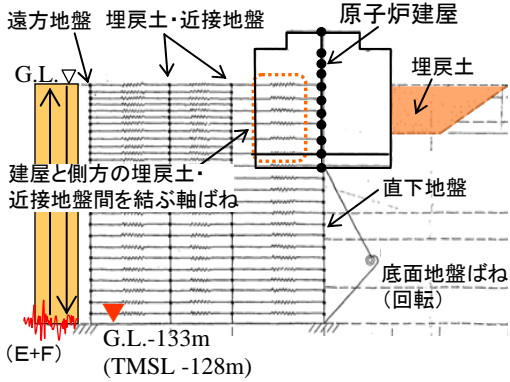
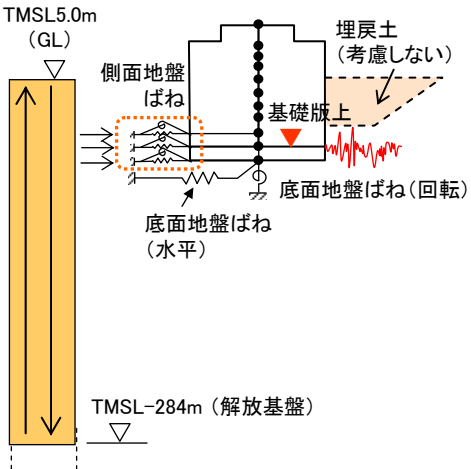
---

- 1号機の原子炉建屋の場合、中越沖地震による地震動によるせん断力は、設計用地震力と同等程度であるが、階によっては設計用地震力を上回っている。
- 設計地震力を上回っている階においては、配筋設計時の余裕などもあり、鉄筋で負担できるせん断力と比較すると十分な余裕を確保している。
- せん断応力が最も大きい地下5階について、参考までに弾塑性解析を行った結果では、わずかに第一折点を超える結果となっている。
- 以上のことから、中越沖地震による地震動は設計時の基準地震動のレベルを大きく超えるレベルであったと考えられるが、静的地震力や設計上の余裕があったことなどから、健全性が確保されているものと考えられる。

---

# 参考 1号機原子炉建屋の設計時との 条件比較について

# 1号機原子炉建屋の地震応答解析の条件比較(解析モデル)

	設計時	健全性評価
<p>モデル化条件</p>	<p>考慮する地震動: 3地震波300Gal (GL-133m, E+F) に規準化した地震動(水平)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エルセントロ(1940.5.18)</li> <li>・タフト(1952.7.21)</li> <li>・ゴールデンゲート(1957.3.22)</li> </ul> <p>建屋 : 質点系1軸モデル            地盤 : 格子型モデル            相互作用 : 格子型モデルの軸ばね等及び底面地盤ばね(回転)により考慮            入力動 : 格子型モデル下端(固定境界)へ直接入力</p>  <p>▼:地震動入力位置 = 格子型モデル下端(E+F)</p>	<p>考慮する地震動: 基礎版上で観測された地震動 (水平・鉛直)</p> <p>建屋 : 質点系1軸モデル            地盤 : -            相互作用 : 側面及び底面地盤ばね(水平・回転)により考慮            ただし、埋戻土は考慮しない            入力動 : (基礎版上の観測波)</p>  <p>▼:地震動入力位置 = 基礎版上</p>

# 1号機原子炉建屋の地震応答解析の条件比較(応答評価)

		工認設計	健全性評価
建屋 モデル	モデル重量	通常運転時重量+雪荷重	中越沖地震時の状態を考慮した重量*1
	コンクリートの材料物性	設計基準強度23.5N/mm <sup>2</sup> に基づく ヤング係数 (2.06 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )*2	実強度44.1N/mm <sup>2</sup> に基づく ヤング係数(2.90 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )
	剛性評価に考慮する壁	耐震壁	耐震壁+補助壁
	減衰定数	5%	5%
地盤 モデル	底面ばね	水平:格子型モデル 回転:三次元FEM	水平・回転: 振動アドミッタンス
	側面ばね	水平:格子型モデル	水平・回転: NOVAK
応答解析		弾性解析	弾性解析

\*1 1号機は雪荷重の削除及び定検時の機器重量に伴う増減を考慮 (添付資料参照)

\*2 設計基準強度及びヤング係数は、工認図書記載の値をSI単位に換算した値



# 添付資料 1号機原子炉建屋 地震応答解析モデルの重量について

1号機原子炉建屋は、中越沖地震発生時に定検状態にあった。このため、健全性評価に用いる地震応答解析モデルに考慮する重量については、通常運転状態で考慮される重量から、雪荷重の削除のほか、定検に伴う機器の一時的な移動やプール水の注入等も考慮して、表1のとおり、増減することとした。

表1 1号機原子炉建屋の地震応答解析モデルの各床位置における質点重量

T.M.S.L. (m)	質点重量 ① (kN)	質点重量 ② (中越沖地震時) (kN)	重量増減 ②-①	
			定検作業 (kN)	雪荷重減 (kN)
36.0	43,410	38,622		-4,788
24.5	73,600	71,957		-1,643
18.0 (オヘフロ)	240,790	239,485	7,698	-9,003
12.8	318,300	330,948	12,648	
5.3	441,780	436,814	-4,966	
-2.7	457,760	457,760		
-9.7	507,740	507,740		
-16.1	656,310	656,310		
-25.1	779,300	779,300		
-32.5	1,000,190	1,000,190		
-40.0	697,960	697,960		
合計	5,217,140	5,217,086	15,380	-15,434

雪荷重の削除による重量減を考慮

PCVヘッドの取外しによる移動、D/Sプール及びウエルプール水の注入等による重量増減を考慮