

# 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画認可申請に係る論点整理について

**TEPCO**

---

2020年7月16日  
東京電力ホールディングス株式会社

## 【説明内容】

- 下記の工事計画認可申請に係る論点及び第867回審査会合における指摘事項に対する回答について説明する。

### ■ 耐震評価に関する論点整理・指摘事項への回答

分類	No.	説明項目（論点/指摘事項への回答）	関連する 主な説明事項
耐震	1	建物・構築物における地震応答解析モデルの既工認からの変更点 (1) 原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因の確認 【指摘事項に対する回答】	[3]－4

## 【論点1】

建物・構築物における地震応答解析モデルの既工認からの変更点

- (1) 原子炉建屋の地震応答解析に影響を与える要因の確認  
【指摘事項に対する回答】

## 本日のご説明内容

### ▶ 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合の指摘事項に対する回答

No.	実施日	指摘事項
1-1	令和2年6月16日 第867回 審査会合	隣接建屋の影響について、柏崎刈羽原子力発電所が軟岩サイトに立地していること及び6・7号機がツインプラントであるため建屋群が近接していることから、他サイトに比べて影響が大きいと考えられるため、評価内容を説明すること。

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【概要】

- ・ 柏崎刈羽原子力発電所は、軟岩サイトに立地していること及び第6、7号機がツインプラントであるため、図1に示すとおり、建屋群（耐震安全上重要な建物・構築物（原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋））が近接していることから、隣接建屋の影響を確認する必要がある。
- ・ しかしながら、建物・構築物の地震応答解析は、構造的に一体となっている建屋ごとに独立して構築した質点系モデルを用いて実施しており、耐震評価においては、隣接建屋の影響は考慮していない。
- ・ 以上より、隣接建屋の影響が原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の構造健全性に与える影響を確認する。

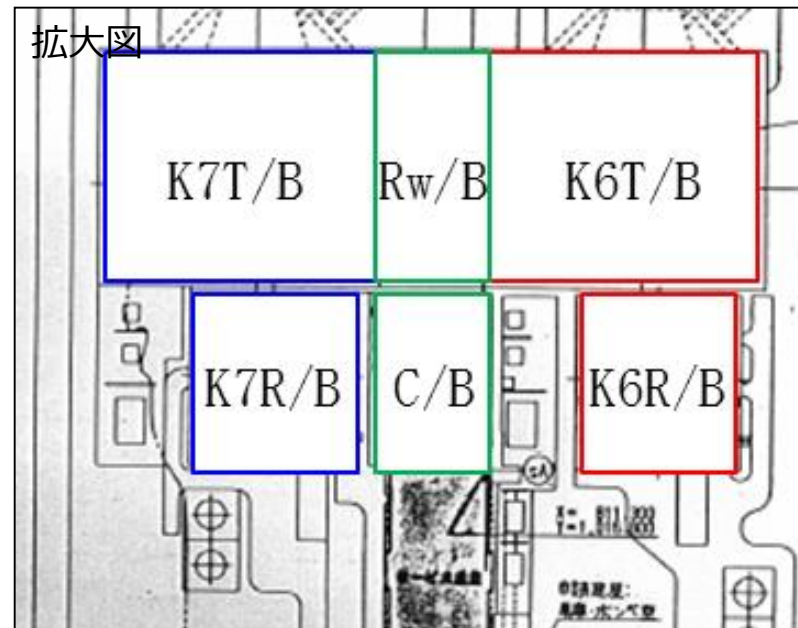
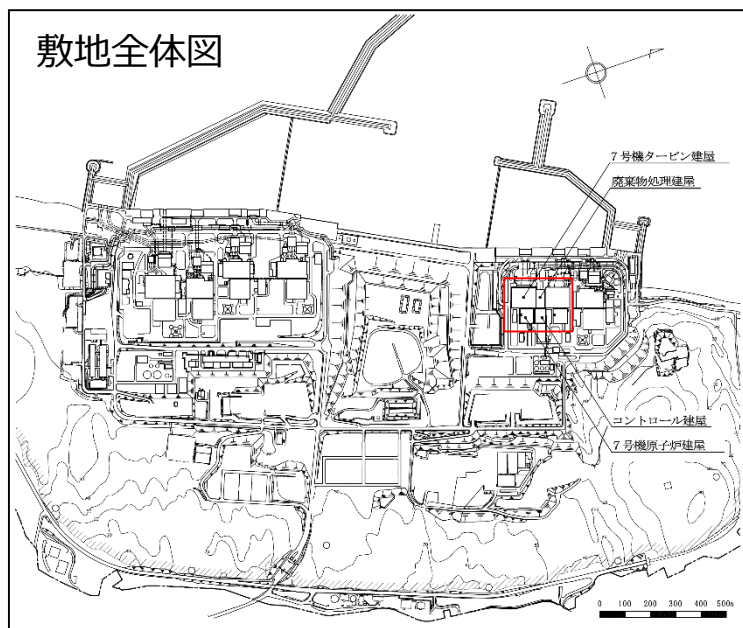


図1 柏崎刈羽原子力発電所第7号機配置図

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【検討概要】

- 第7号機の原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合（隣接モデル）と、各建屋を単独でモデルする場合（単独モデル）の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較することで隣接建屋が建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。
- 検討にあたっては、第7号機は第6号機と隣接しているため、6号機原子炉建屋及び6号機タービン建屋をモデル化対象建屋に含む。図2に評価に用いる隣接モデル及び各建屋の単独モデルについて示す。

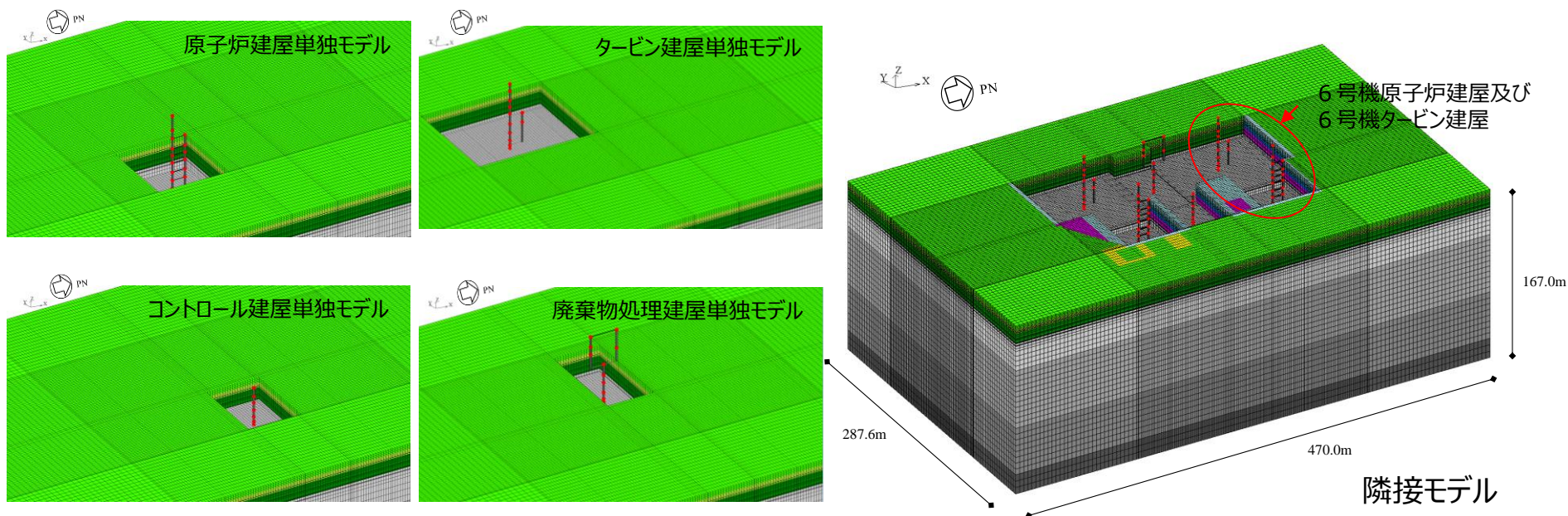


図2 評価に用いる隣接モデル及び各建屋の単独モデル（右：隣接モデル、左：各建屋の単独モデル）



## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【解析条件】

- 建屋のモデル化は、各建屋の地震応答計算書（「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」等）に基づく。
- 地盤のモデル化は、ソリッド要素でモデル化し、NS方向470m、EW方向287.6mの領域をモデル化し、地盤モデル底面は解放基盤位置（T.M.S.L.-155.0m）とする。地盤モデルの境界は、底面粘性境界、側面粘性境界かつ繰り返し境界とする。
- 入力地震動は、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響が大きい弾性設計用地震動Sd-1とする。表1に弾性設計用地震動Sd-1に基づく地盤物性を示す。
- 代表としてK7R/B及びK7T/Bの建屋側面と側面地盤間の結合イメージを図3に示す。

表1 地盤物性（弾性設計用地震動Sd-1）

標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.140	0.369	0.38	19
+8.0		200	16.1	0.308	0.170	0.657	0.26	23
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.26	1.92	0.66	4
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.51	4.75	0.95	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.83	6.14	0.95	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.95	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00

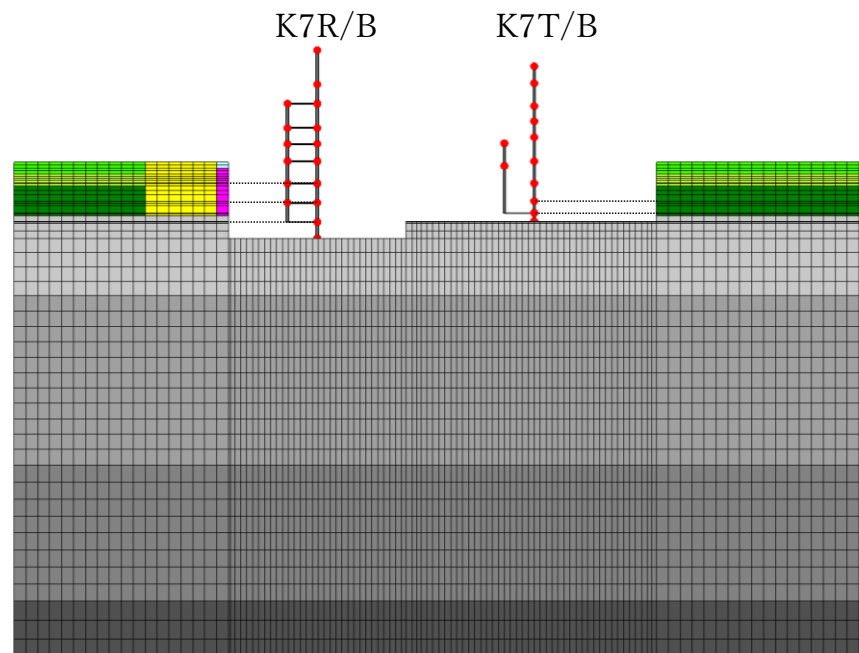


図3 建屋側面と側面地盤間の結合イメージ

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【解析結果（原子炉建屋）】

- 地震応答解析より得られた原子炉建屋の最大応答値について、全建屋を考慮した隣接モデル（ALL）と原子炉建屋を単独でモデル化したケース（S1）の比較結果を図4に示す。

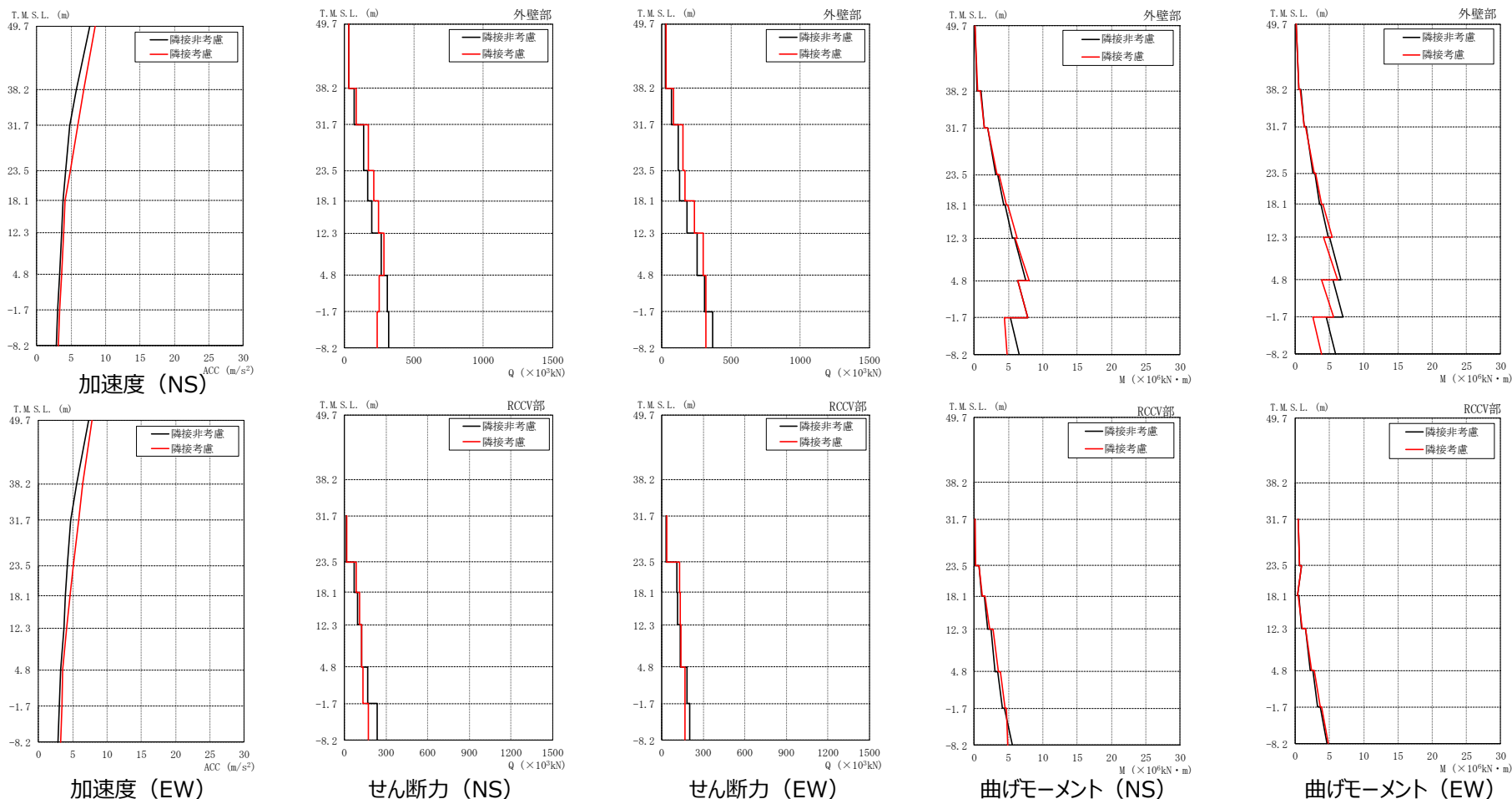


図4 最大応答値の比較（左から、加速度・せん断力・曲げモーメント）



## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【解析結果（原子炉建屋の床応答スペクトル）】

- 地震応答解析より得られた原子炉建屋の加速度応答に基づく床応答スペクトルについて、全建屋を考慮した隣接モデル（ALL）と原子炉建屋を単独でモデル化したケース（S1）の比較結果を図5に示す。

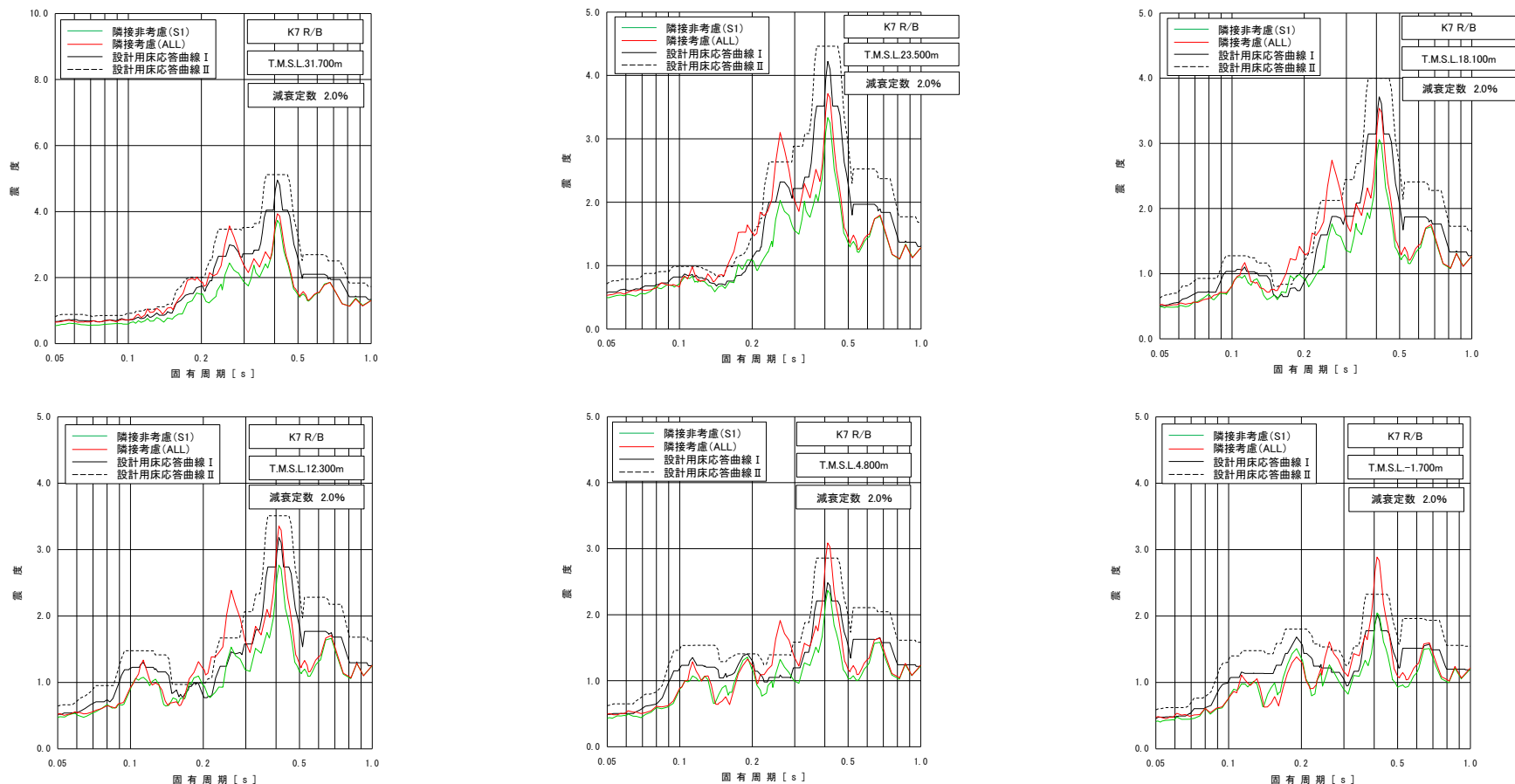


図5 床応答スペクトルの比較 (R/B、水平方向 (NS、EW包絡)、減衰定数2.0%)

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【応答増幅の影響について】

- 隣接建屋の影響によって応答が増幅又は減少する効果があることを確認した。影響が見られる応答成分や方向に違いが見られることから、これらの効果を建屋毎に確認する。
- 本ページ以降において、「耐震評価を実施している躯体関係の応答増幅の影響検討」、「建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅の影響検討」及び「機器・配管系への影響検討」について、それぞれ結果を示す。

### 【躯体関係の応答増幅の影響検討】

- 検討対象を表 2 に示す。
- 隣接建屋を考慮した応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）と、各検討対象の評価結果より影響検討を行う。

表 2 検討対象

検討対象	建屋名称
耐震壁	原子炉建屋
	コントロール建屋
	タービン建屋
	廃棄物処理建屋

検討対象	建屋名称
原子炉格納容器コンクリート部 (RCCV)	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
使用済燃料貯蔵プール(SFP)	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
基礎スラブ	原子炉建屋
	コントロール建屋
	タービン建屋
	廃棄物処理建屋

検討対象	建屋名称
屋根トラス	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
主排気筒	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
復水貯蔵槽(CSP)	廃棄物処理建屋

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【躯体関係の応答増幅の影響検討】

- 表3に躯体関係の応答増幅の影響検討結果の概要を示す。
- 次ページ以降に原子炉建屋耐震壁、原子炉建屋基礎スラブ及び原子炉格納容器コンクリート部について、具体的な評価内容を示す。

表3 躯体関係の応答増幅の影響検討結果の概要

検討対象	建屋名称	評価に用いる隣接応答倍率	概略評価結果
耐震壁	原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋	各建屋のせん断力の隣接応答倍率	せん断ひずみ:OK
基礎スラブ	原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋	各建屋の基礎スラブ直上のせん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率	コンクリート・鉄筋 または必要鉄筋量:OK 面外せん断力:OK
屋根トラス	原子炉建屋	隣接応答倍率(隣接ケースの検定値／単独ケースの検定値)	主トラス、つなぎばり、 上弦面水平ブレース:OK
原子炉格納容器コンクリート部(RCCV)	原子炉建屋	せん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率	コンクリート・鉄筋:OK、膜力:OK 面内せん断力:OK、面外せん断力:OK
使用済燃料貯蔵プール(SFP)	原子炉建屋	加速度、せん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率	コンクリート・鉄筋:OK、軸力:OK 面内せん断力:OK、面外せん断力:OK
主排気筒	原子炉建屋	隣接応答倍率(隣接ケースの検定値／単独ケースの検定値)	鉄塔部、筒身部、基礎:OK
復水貯蔵槽(CSP)	廃棄物処理建屋	せん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率	必要鉄筋量:OK 面外せん断力:OK

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【原子炉建屋の耐震壁の応答増幅の影響検討】

- 原子炉建屋の耐震壁については構造強度の観点から、地震応答解析による評価結果として最大せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認している。
- 耐震壁の応答増幅の検討においては、最大せん断ひずみにせん断力の隣接応答倍率を乗じた場合の評価を行う。評価に際しては、材料の不確かさを考慮した最大せん断ひずみを用いる。
- 原子炉建屋の耐震壁において、隣接応答倍率を乗じた場合の最大せん断ひずみは、 $0.721 \times 10^{-3}$  (EW方向、地下1階壁) であり、許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 以内であることから、構造健全性に問題ないことを確認した。

### 【原子炉建屋の基礎スラブの応答増幅の影響検討】

- 上部構造物から伝わる基礎スラブへの地震時反力を地震荷重として考慮することから、基礎スラブ直上の部材におけるせん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率を用いる。評価に用いる隣接応答倍率を表4に示す。
- 原子炉建屋の基礎スラブについては、耐震計算書において、すべての地震応答解析の最大応答値を包絡した保守的な荷重に基づく応力解析を実施している。RCCV底部及び周辺部基礎においては、検定値が最大となる評価項目の検定値に、隣接応答倍率の最大値1.07を乗じることとする。
- 評価結果を表5に示す。耐震壁同様に、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

表4 評価に用いる隣接応答倍率

項目	NS方向	EW方向
せん断力 (建屋部)	0.75	0.86
せん断力 (RCCV部)	0.74	0.82
曲げモーメント (建屋部)	0.82	0.66
曲げモーメント (RCCV部)	1.07	1.06
最大値	1.07	1.06

表5 隣接建屋を考慮した基礎スラブの評価結果

部位	評価項目		方向	検定値	隣接応答倍率	評価結果
RCCV底部	面外せん断力	面外せん断応力度	放射	0.832*	1.07	0.891*
周辺部基礎	面外せん断力	面外せん断応力度	EW	0.785	1.07	0.840

注記\* : 応力平均化後の値を示す。

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【原子炉格納容器コンクリート部（RCCV）の応答増幅の影響検討】

- RCCVについては、V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」の評価結果に対して部位に応じたせん断力の応答倍率を乗じた評価（以下、「簡易評価」という。）を実施する。
- 簡易評価では、RCCVの耐震計算書における荷重状態Ⅲ～Ⅴのすべての組合せケースについて、応力解析による発生値に応答倍率を乗じた評価値を許容値と比較する。
- 簡易評価結果から、「組合せケース5-3（荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（3））」のMS/FDW開口における面外せん断応力度の評価値のみが許容値を超えることを確認した。
- そのため、当該ケースについて、RCCVの耐震計算書の地震荷重に部位に応じたせん断力及び曲げモーメントの応答倍率を乗じた地震荷重を用いて応力解析（以下、「詳細評価」という。）を実施する。
- 詳細評価結果を表6に示す。表6に示すとおり、簡易評価ではNGとなったMS/FDW開口の面外せん断応力度について発生値が許容値以内であることを確認した。また、その他部位の各評価項目についても、発生値が許容値を超えないことを確認した。以上より、構造健全性に問題ないことを確認した。

表6 詳細評価結果

評価項目		発生値（許容値）				
		シェル部及びトップスラブ部		貫通部		局部
		シェル部	トップスラブ部	MS/FDW開口	L/Dアクセス トンネル開口	
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	0.425 (3.00)	0.314 (3.00)	0.365 (3.00)	0.455 (3.00)	0.439 (3.00)
	鉄筋ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	1.08 (5.00)	0.692 (5.00)	1.22 (5.00)	1.26 (5.00)	0.902 (5.00)
膜力	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	8.50 (21.4)	—	—	—	0.126 (21.4)
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2.15 (5.73)	—	—	—	1.59 (6.25)
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.788 (1.73)	2.11 (2.60)	1.86 (2.05)	0.666 (2.09)	1.18 (1.83)

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅の影響検討】

- ・ 検討対象を表7に示す。
- ・ 隣接建屋を考慮した応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）と、各検討対象の評価結果より影響検討を行う。
- ・ 具体的には、各検討対象の耐震性の計算方法に応じて、最大応答加速度の比較または最大応答せん断力の比較から求まる隣接応答倍率 $\alpha$ を、隣接非考慮時の最大検定値に乗じて求めた各検査対象の検定値が1を超過しないことを確認する。

表7 検討対象

検討対象	建屋名称
中央制御室待避室遮蔽	コントロール建屋

検討対象	建屋名称
燃料取替床 ブローアウトパネル	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
主蒸気系トンネル室 ブローアウトパネル	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
原子炉建屋エアロック	原子炉建屋

検討対象	建屋名称
取水槽閉止板	タービン建屋

検討対象	建屋名称
水密扉	原子炉建屋
	タービン建屋

検討対象	建屋名称
水密扉付止水堰	原子炉建屋
	タービン建屋

検討対象	建屋名称
止水堰	原子炉建屋
	タービン建屋



## 隣接建屋の影響に関する検討

【建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅の影響検討】

表8に建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅の影響検討結果を示す。

表8 影響検討結果

検討対象	最大 検定値	隣接応答倍率		検定値 × $\alpha$	
		倍率 $\alpha$	応力種別・方向		
中央制御室待避室遮蔽 C/B 2階 T.M.S.L.17.3m	新設壁	0.850	1.00*	せん断・NS	0.850
燃料取替床ブローアウトパネル R/B 4階 T.M.S.L.41.1m~45.18m	Sd閉機能維持	0.489	1.09	加速度・NS	0.534
	Ss開機能維持	0.119	1.12	せん断・EW	0.134
主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル R/B 1階 T.M.S.L.12.3m~23.5m	Sd閉機能維持	0.001	1.20	加速度・EW	0.002
	Ss開機能維持	0.136	1.27	せん断・NS	0.173
FCS室エアロック R/B 1階 T.M.S.L.12.3m	ヒンジピン	0.374	1.16	組合せ(曲げ, せん断)・EW	0.434
ギャラリー室エアロック R/B 4階 T.M.S.L.34.5m	締付ローラー	0.123	1.24	定格荷重・EW	0.153
タービン補機冷却用海水取水槽閉止板 T/B 地下1階 T.M.S.L.4.9m	戸当り	0.05	1.04	曲げ・NS	0.06
水密扉 R/B 地下2階 T.M.S.L.-1.7m	アンカーボルト	0.73	1.08	せん断・EW	0.79
水密扉 R/B 1階 T.M.S.L.12.3m	締付装置受けピン	0.21	1.16	組合せ(曲げ, せん断)・EW	0.25
水密扉 T/B 地下1階 T.M.S.L.4.9m	アンカーボルト	0.69	1.04	せん断・NS	0.72
水密扉付止水堰 R/B 4階 T.M.S.L.31.7m	止水堰部アンカーボルト	0.51	1.25	せん断・NS	0.64
水密扉付止水堰 T/B 1階 T.M.S.L.12.3m	止水堰部アンカーボルト	0.28	1.04	せん断・NS	0.30
鋼製落とし込み型堰 T/B 1階 T.M.S.L.12.3m	アンカーボルト	0.42	1.04	引張・NS	0.44
鋼板組合せ堰 R/B 4階 T.M.S.L.31.7m	アンカーボルト	0.24	1.25	引張・NS	0.30

注記\*：隣接応答倍率は0.96であり1を下回るため倍率 $\alpha$ を1.00とした。

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【機器・配管系への影響検討】

- 検討対象は原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋に設置される機器とする。
- 隣接応答倍率 $\alpha$ （隣接考慮／隣接非考慮）と各検討対象の評価結果（裕度：許容値／発生値）の比較による簡易検討、及び必要に応じて隣接応答倍率を考慮した耐震条件による詳細検討を行う。（図6）
- 床応答スペクトルに関する隣接応答倍率 $\alpha$ は、検討対象の1次固有周期以下の最大値とすることを基本とする。（図7）

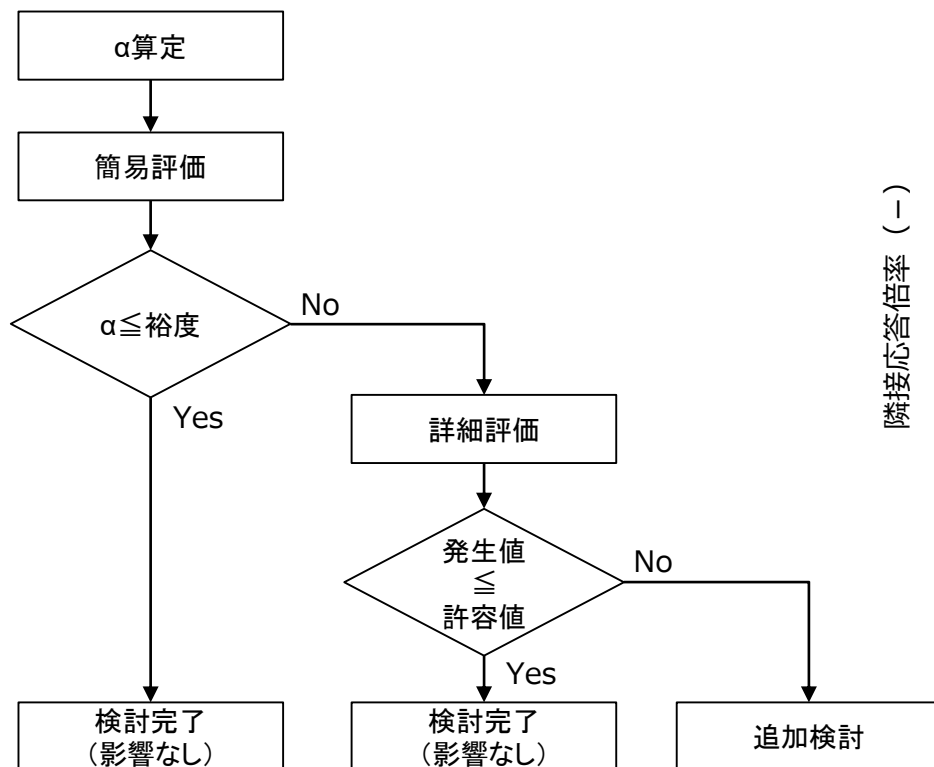


図6 影響検討フロー（機器・配管系）

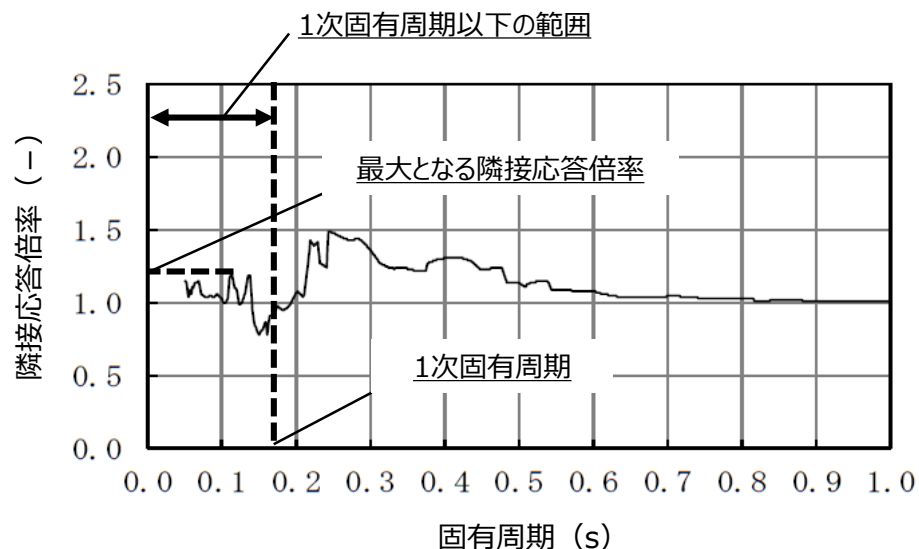


図7 床応答スペクトルに関する隣接応答倍率 $\alpha$

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【機器・配管系への影響検討】

- 表9に簡易評価で「a> 裕度」となり詳細評価が必要となった機器について、影響検討結果を示す。

表9 影響検討結果（1 / 2）

No.	機器名称	建屋	標高 T. M. S. L. (m)	減衰 定数	簡易評価				詳細評価	
					評価部位	応力分類	裕度	隣接応答 倍率	裕度	結果
1	CUW-PD-1	K7R/B	23.5	2.0%	配管	一次+二次	0.87* (0.0359)	1.19	1.01	○
2	HPCF-R-3	K7R/B	-1.7	2.0%	配管	一次+二次	0.99* (0.0003)	1.19	0.97* (0.0004)	○
3	HPCF-W-1	Rw/B	-1.1	2.0%	配管	一次+二次	1.06	1.41	1.05	○
4	MUWC-W-1	Rw/B	-1.1	2.0%	配管	一次+二次	1.06	1.51	1.03	○
5	RCW-T-4	K7T/B	-1.1	2.0%	配管	一次+二次	0.56* (0.2071)	1.09	0.54* (0.2546)	○
6	HPCF-R-024	K7R/B								
7	RCW-T-1	K7T/B								
8	RCW-T-3	K7T/B								
9	RCW-T-5	K7T/B								
10	SGTS-R-3	K7R/B								
11	HCVS-R-1	K7R/B								
12	FCVS-R-5	K7R/B								

追 而

注記\*： 一次+二次応力の計算結果が許容応力を上回り、疲労評価を実施し疲労累積係数が許容値を満足することを確認している。

( ) 内に疲労累積係数を示す。

## 隣接建屋の影響に関する検討

### 【機器・配管系への影響検討】

- 表9に簡易評価で「a> 裕度」となり詳細評価が必要となった機器について、影響検討結果を示す。

表9 影響検討結果（2 / 2）

No.	機器名称	建屋	標高 T. M. S. L. (m)	減衰 定数	簡易評価				詳細評価	
					評価部位	応力分類	裕度	隣接応答 倍率	裕度	結果
13	使用済燃料 貯蔵プール 水位・温度 (SA)	K7R/B								
14	使用済燃料 貯蔵プール 水位・温度 (SA 広域)	K7R/B								
15	原子炉補機 冷却系 熱交換器	K7T/B								
16	配管遮蔽	K7R/B								

追 而

## 隣接建屋の影響に関する検討

---

### 【まとめ】

隣接建屋の影響について確認した結果を、以下①～③に示す。

#### ①耐震評価を実施している躯体関係の応答増幅の影響検討

原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の躯体関係について、応答増幅による影響評価を行い、いずれの施設においても、構造健全性に問題ないことを確認した。

#### ②建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅の影響検討

原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋に内包される付帯設備について、応答増幅による影響評価を行い、いずれの施設においても、構造健全性に問題ないことを確認した。

#### ③機器・配管系への影響検討 （追而）

## 隣接建屋の影響に関する検討（参考）

### 【解析結果（コントロール建屋）】

- 地震応答解析より得られたコントロール建屋の最大応答値について、全建屋を考慮した隣接モデルとコントロール建屋を単独でモデル化したケースの比較結果を図8に示す。

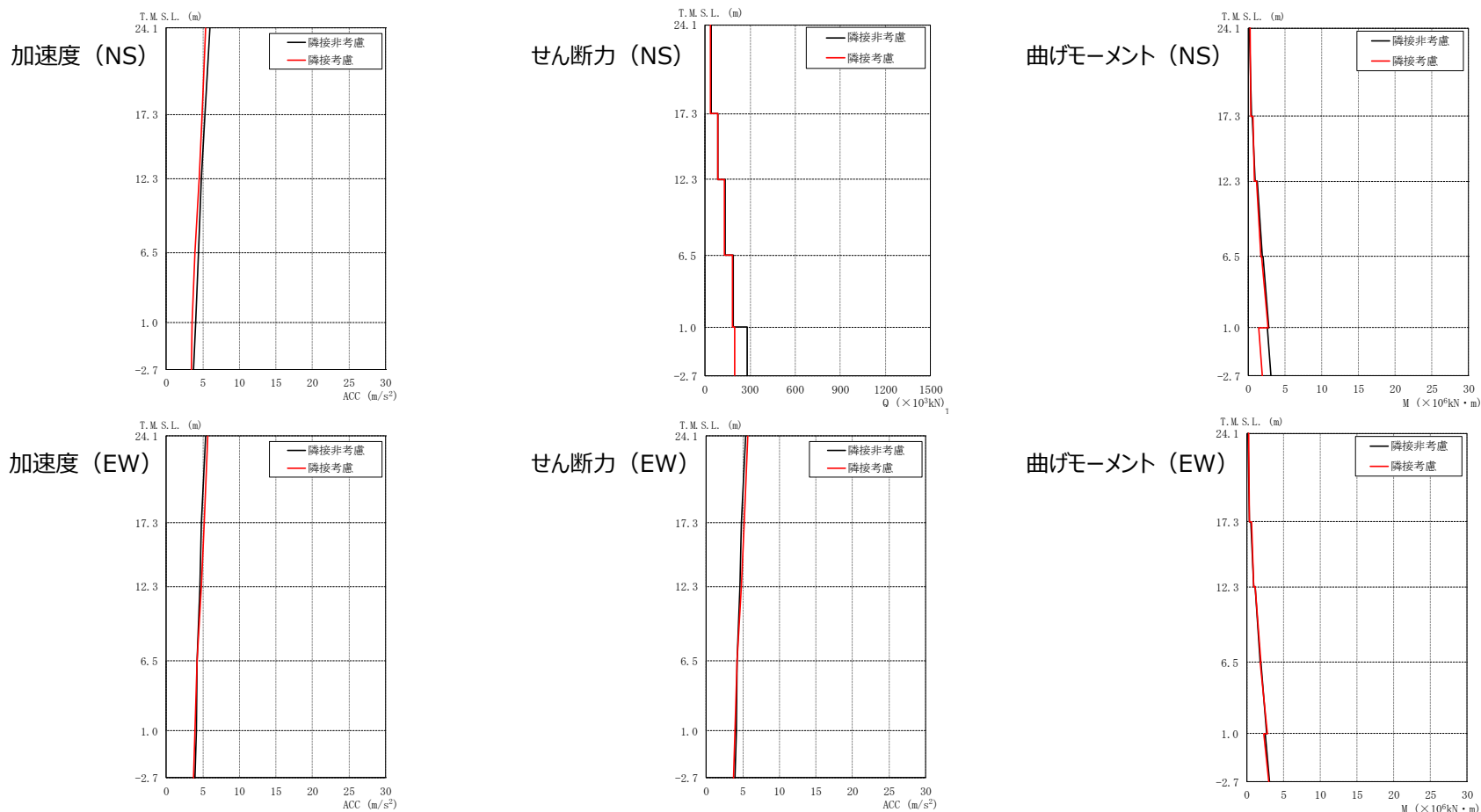


図8 最大応答値の比較（左から、加速度・せん断力・曲げモーメント）



## 隣接建屋の影響に関する検討（参考）

### 【解析結果（タービン建屋）】

- 地震応答解析より得られたタービン建屋の最大応答値について、全建屋を考慮した隣接モデルとタービン建屋を単独でモデル化したケースの比較結果を図9に示す。

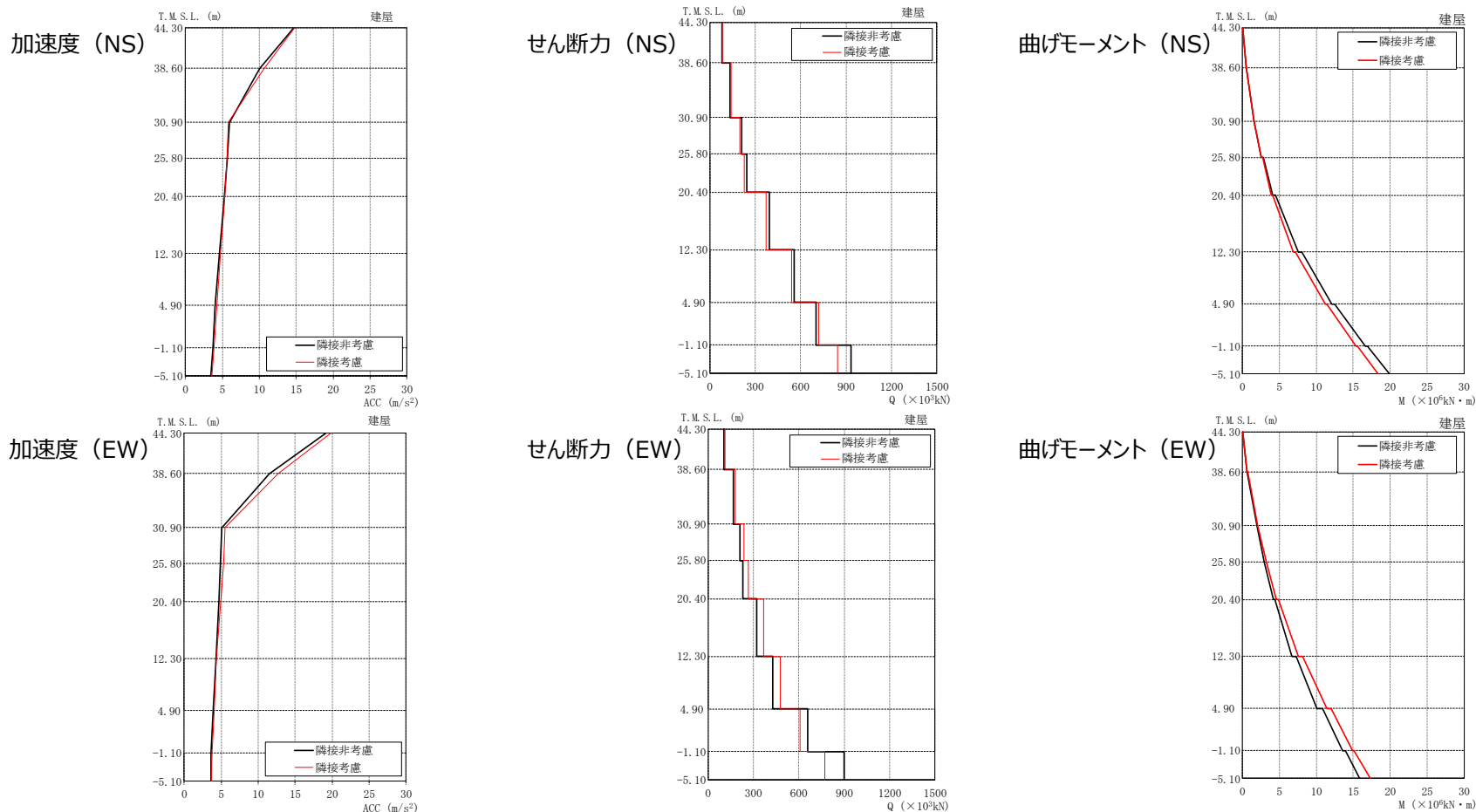


図9 最大応答値の比較（左から、加速度・せん断力・曲げモーメント）

## 隣接建屋の影響に関する検討（参考）

### 【解析結果（廃棄物処理建屋）】

- 地震応答解析より得られた廃棄物処理建屋の最大応答値について、全建屋を考慮した隣接モデルと廃棄物処理建屋を単独でモデル化したケースの比較結果を図10に示す。

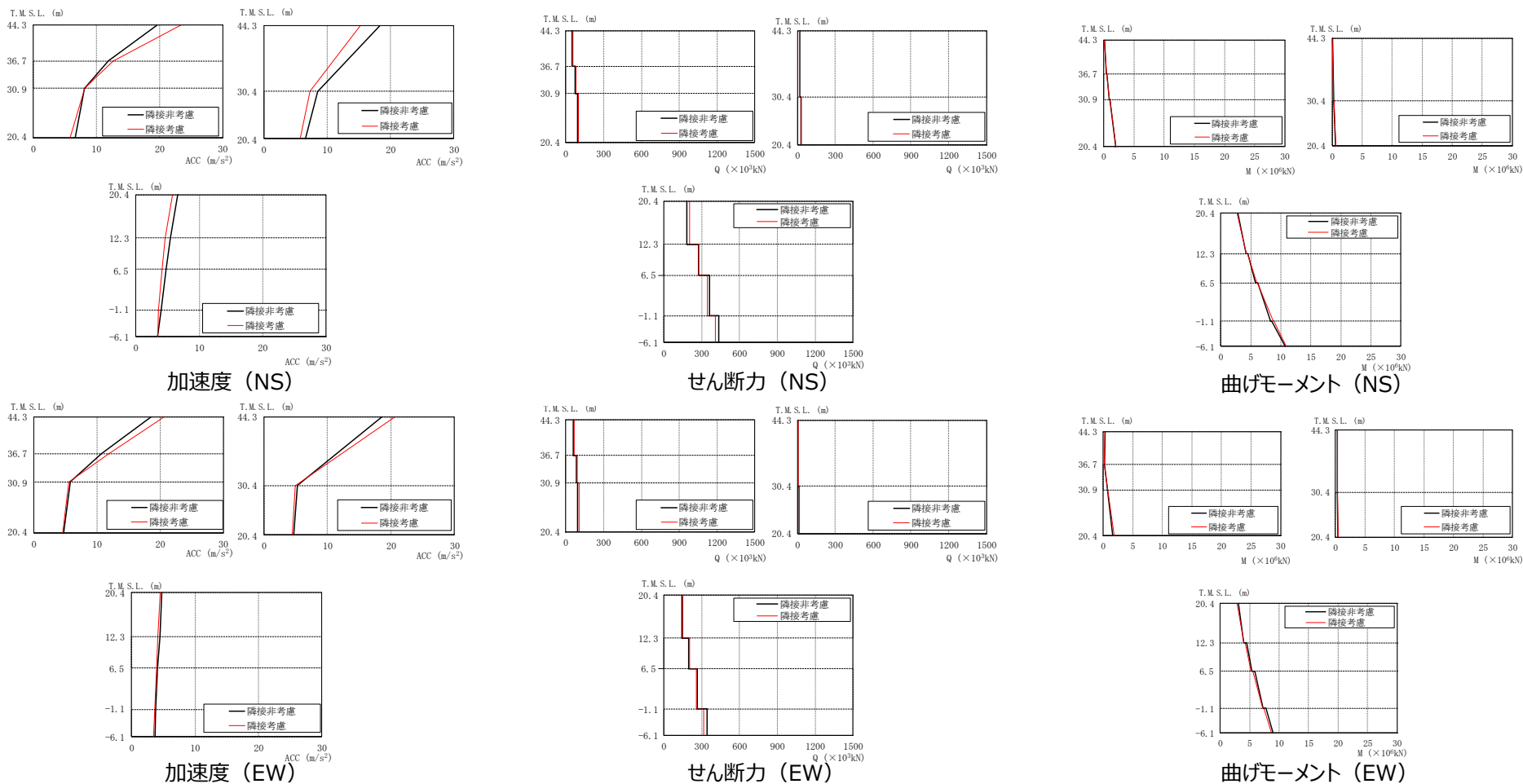


図10 最大応答値の比較（左から、加速度・せん断力・曲げモーメント）