

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-026-1 改9
提出年月日	2020年7月22日

原子炉建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2020年 7月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」及びV-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

- 別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較
- 別紙 2 応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方
- 別紙 3 応力解析における断面の評価部位の選定
- 別紙 4 原子炉建屋の既工認時の設計用地震力と今回工認における静的地震力及び弾性設計用地震動 S_d による地震力の比較
- 別紙 5 原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について
- 別紙 6 大物搬入建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料
- 別紙 7 保有水平耐力の安全余裕の考え方

下線部：今回ご提示資料

別紙6-3-4 隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析結果

目 次

1. 概要	別紙 6-3-4-1
1.1 隣接建屋の概要	別紙 6-3-4-1
1.2 検討概要	別紙 6-3-4-2
2. 検討方針	別紙 6-3-4-3
2.1 評価フロー	別紙 6-3-4-3
2.2 解析断面	別紙 6-3-4-4
2.3 解析ケース	別紙 6-3-4-4
2.4 解析モデル	別紙 6-3-4-5
2.4.1 建屋のモデル化	別紙 6-3-4-6
2.4.2 杭のモデル化	別紙 6-3-4-9
2.4.3 原地盤及び地盤改良体のモデル化	別紙 6-3-4-9
2.5 入力地震動	別紙 6-3-4-9
3. 検討結果	別紙 6-3-4-10
3.1 地震応答解析結果	別紙 6-3-4-10
3.2 大物搬入建屋の耐震評価に与える影響	別紙 6-3-4-14
4. まとめ	別紙 6-3-4-15

1. 概要

1.1 隣接建屋の概要

大物搬入建屋の設置位置を図1-1に示す。

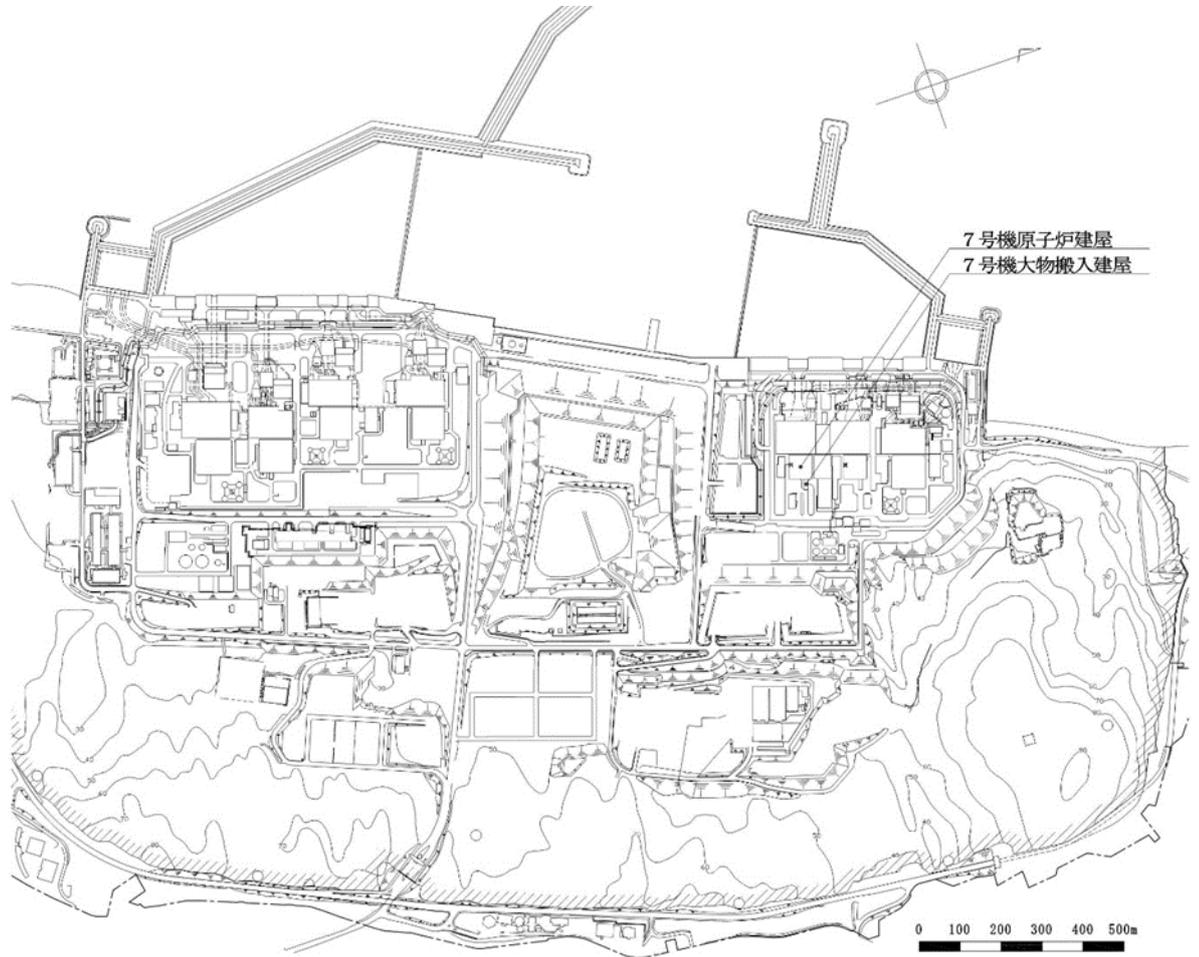


図1-1 大物搬入建屋の設置位置

1.2 検討概要

「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）」のうち「隣接建屋の影響に関する検討」では、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の配置状況を考慮した地震応答解析を実施し、隣接建屋が原子炉建屋、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している。

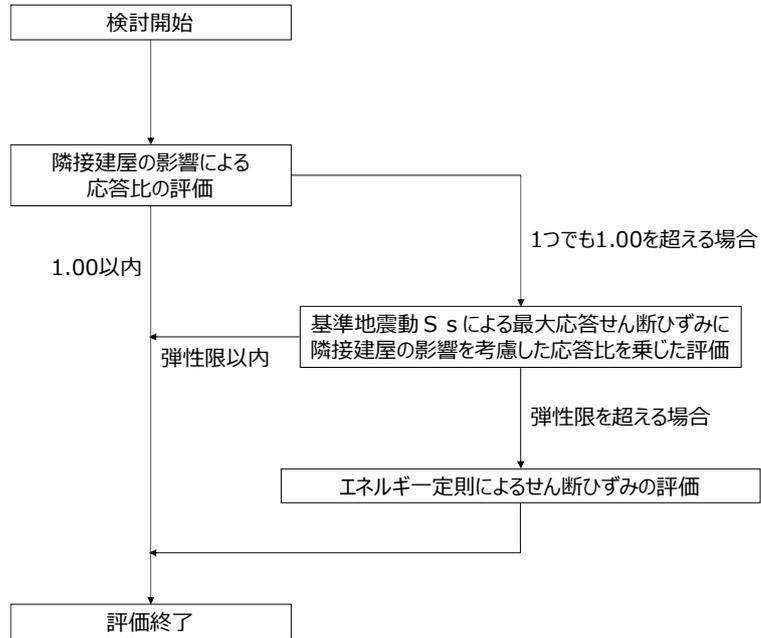
本資料では、隣接建屋の配置を考慮してモデル化する場合の地震応答解析を実施し、工認モデルと応答結果を比較することで、隣接建屋が大物搬入建屋の耐震評価に与える影響を確認する。

地震応答解析には、解析コード「S o i l P l u s」を用いる。

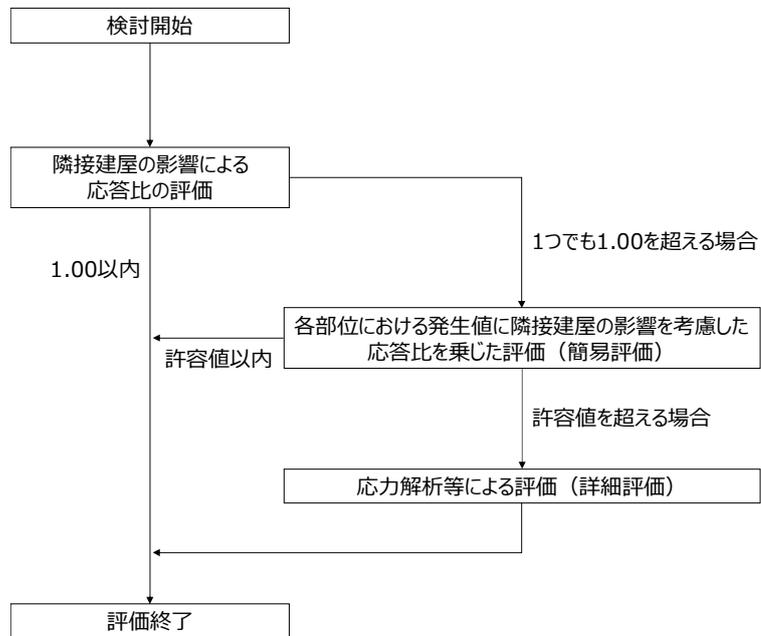
2. 検討方針

2.1 評価フロー

本検討の評価フローを図2-1に示す。



(a) 耐震壁



(b) 杭及び基礎スラブ

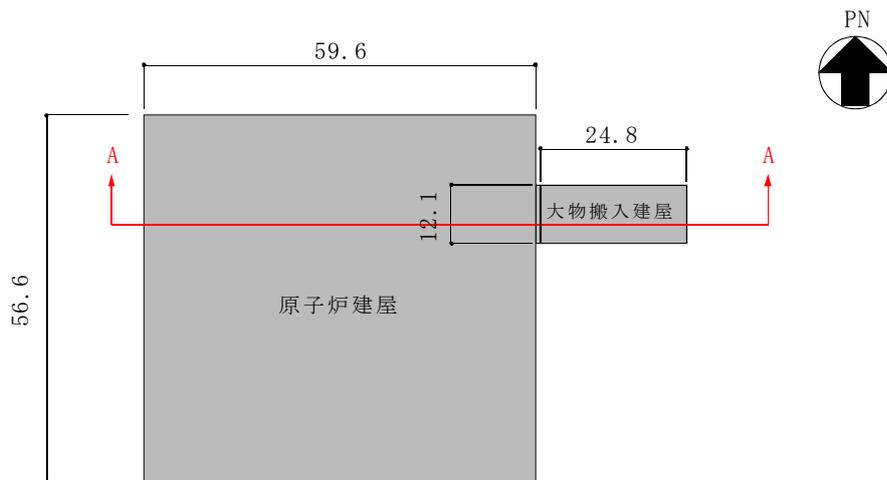
図 2-1 評価フロー

2.2 解析断面

隣接建屋の配置を図2-2に示す。

大物搬入建屋は、原子炉建屋に隣接し、相対的に規模の大きい原子炉建屋の応答の影響を受ける可能性がある。

地震応答解析は大物搬入建屋、原子炉建屋を含むA-A断面（EW方向）を解析断面とし、擬似3次元FEMモデルにて実施する。



(単位：m)

図 2-2 隣接建屋の配置

2.3 解析ケース

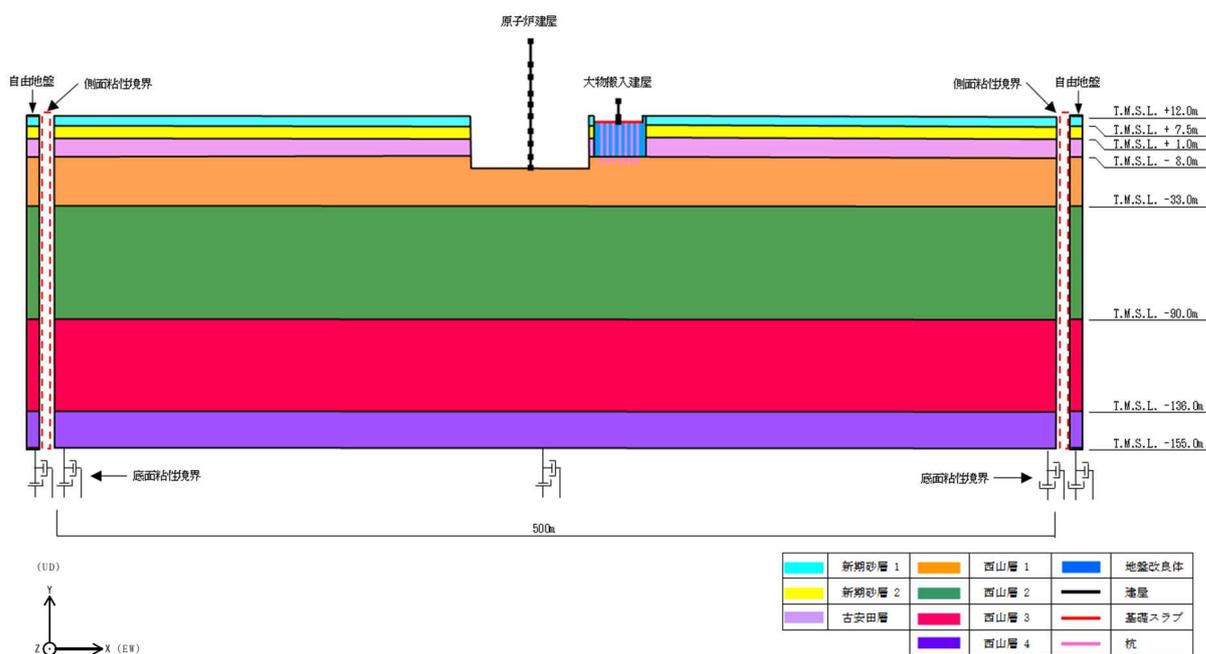
解析ケースを表2-1に示す。本検討では、大物搬入建屋を単独でモデル化する場合を基本ケースとし、大物搬入建屋及び原子炉建屋の配置を考慮してモデル化する場合を隣接影響ケースとする。

表 2-1 解析ケース

解析ケース	モデル化する建屋
基本ケース（工認モデル）	大物搬入建屋
隣接影響ケース	大物搬入建屋，原子炉建屋

2.4 解析モデル

解析モデルを図2-3に示す。解析モデルは、建物・構築物、杭及び地盤の相互作用を考慮した擬似3次元FEMモデルとし、解析領域は水平方向500m、鉛直方向167m（T.M.S.L. 12.0m～T.M.S.L. -155.0m）とする。大物搬入建屋は一軸多質点系モデル、杭ははり要素、原子炉建屋は多軸多質点系モデルとする。原地盤及び地盤改良体は平面ひずみ要素でモデル化し、解析領域の境界部において、側面はエネルギー逸散効果を、底面は半無限性を考慮するために粘性境界を設ける。



注1：面外粘性境界を考慮する。

注2：原子炉建屋は多軸多質点系でモデル化を行うが、本図では簡便化のため一軸多質点系で表示している。

図2-3 解析モデル

2.4.1 建屋のモデル化

大物搬入建屋及び原子炉建屋の地震応答解析モデルの設定に用いた物性値を表2-2に示す。大物搬入建屋の物性値はV-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルと同様とし、原子炉建屋の物性値はV-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルと同様とする。

大物搬入建屋の解析モデルは、V-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」と同様に一軸多質点系の曲げせん断棒モデルとし、大物搬入建屋の解析モデル諸元は、地震応答解析モデル (EW方向) で設定した値を用いる。

原子炉建屋の解析モデルを図2-4に示す。原子炉建屋の解析モデルは、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」と同様に多軸多質点系の曲げせん断棒モデルとし、基礎スラブ下端の質点と側面地盤の間には無質量剛はり要素を設定する。また、地下外壁部の質点と側面地盤の間には無質量剛はり要素を設定する。

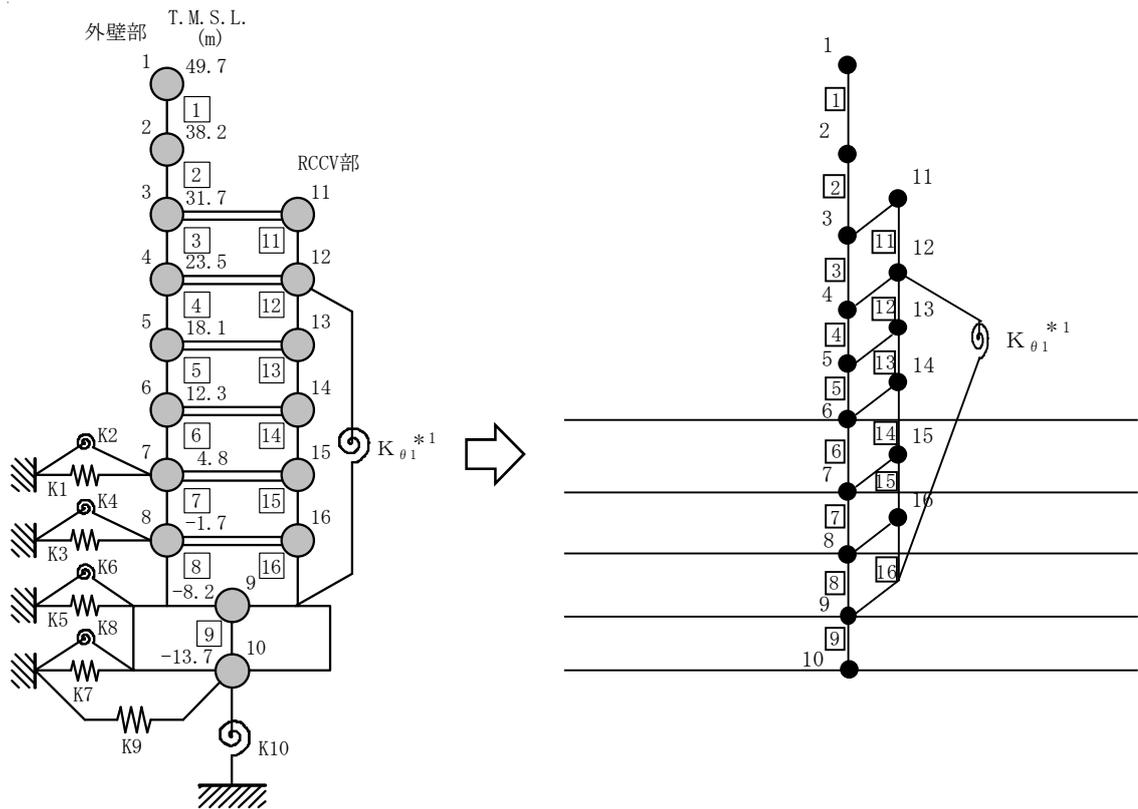
原子炉建屋の解析モデル諸元を表2-3に示す。原子炉建屋の解析モデル諸元は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの諸元に対して、面外方向 (NS方向) の奥行幅比 (大物搬入建屋奥行幅/原子炉建屋奥行幅) を乗じた値とする。

原子炉建屋の基礎スラブ下端の無質量剛はり要素と原地盤の間は水平及び鉛直自由度において多点拘束を設定する。原子炉建屋の質点6~9の無質量剛はり要素の端部と原地盤の間は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの側面地盤ばねと同様の効果を考慮するためにピン接合とする。

表 2-2 大物搬入建屋及び原子炉建屋の物性値

建物・構築物	部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	ポアソン比 ν
大物搬入建屋	建屋部	コンクリート： F _c = 33 (N/mm ²) 鉄筋：SD345, SD390	2.52 × 10 ⁴	1.05 × 10 ⁴	5	0.2
	基礎スラブ	コンクリート： F _c = 30 (N/mm ²) 鉄筋：SD345	2.44 × 10 ⁴	1.02 × 10 ⁴	5	0.2
	場所打ち鋼管 コンクリート杭	コンクリート F _c = 24 (N/mm ²)	2.27 × 10 ⁴	9.45 × 10 ³	3	0.2
		鋼管：SKK490 φ 1200mm × t25mm	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴		0.3
原子炉建屋	建屋部	コンクリート*： σ _c = 43.1 (N/mm ²) (σ _c = 440kgf/cm ²) 鉄筋：SD35 (SD345相当)	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	5	0.2
	基礎スラブ	コンクリート*： σ _c = 39.2 (N/mm ²) (σ _c = 400kgf/cm ²) 鉄筋：SD35 (SD345相当)	2.79 × 10 ⁴	1.16 × 10 ⁴	5	0.2

注記*：実強度に基づくコンクリート強度。



(a) スウェイ・ロッキングモデル*2

(b) 擬似3次元FEMモデル

注記*1: RCCV回転ばねを示す。

*2: V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の地震応答解析モデルを示す。

注1: 外壁部の質点左上及びRCCV部の質点右上の数字は質点番号を, □内の数字は部材番号を示す。

注2: 擬似3次元FEMモデルの外壁部(質点1~10)とRCCV部(質点11~16)は同一平面上にモデル化しているが, 無質量剛はり要素を地下外壁部の質点に設定することを示すために, 本図では分けて表示している。

図2-4 原子炉建屋の解析モデル

表2-3 原子炉建屋の解析モデル諸元

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ³ kN・m ²)	部材番号	せん断断面積 A _s (m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)
1	8440	31.4			
2	17210	64.2	1	11.7	6400
3	19150	63.9	2	26.3	13400
4	14380	58.9	3	36.9	18800
5	10730	45.1	4	28.2	17500
6	16810	68.6	5	35.6	19800
7	16390	67.7	6	38.3	24500
8	16940	69.4	7	45.2	26500
9	73210	222.2	8	55.5	28000
10	46190	137.7	9	721.2	213500
合計	417970				
11	18450	57.2	11	46.8	1400
12	36890	101.5	12	47.6	5000
13	23100	72.7	13	44.3	4900
14	43140	96.9	14	32.5	5000
15	27250	92.5	15	38.5	4500
16	29690	87.6	16	35.1	5100

注1: RCCV回転ばね $K_{\theta 1} 4.21 \times 10^9$ (kN・m/rad)

注2: 大物搬入建屋の面外方向の奥行幅比を乗じた値を示す。

2.4.2 杭のモデル化

杭はV-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」と同様にはり要素でモデル化する。杭の断面性能，杭の曲げモーメントー軸力相関，曲率関係及び履歴特性は，V-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルで設定した値を用いる。

2.4.3 原地盤及び地盤改良体のモデル化

地盤はV-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」と同様に水平成層地盤とし，原地盤及び地盤改良体は平面ひずみ要素でモデル化する。地盤の地層区分，地盤定数及び層厚は，V-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルで設定した値を用いる。

2.5 入力地震動

本検討に用いる入力地震動は，「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）」のうち「隣接建屋の影響に関する検討」と同様とし，V-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する設計用模擬地震波のうち，全周期帯の応答が大きく，耐震評価への影響も大きい弾性設計用地震動 S_d-1 を用いる。弾性設計用地震動 S_d として作成した設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルは，V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。入力地震動は，V-2-9-3-1 別紙1 (I)「大物搬入建屋の地震応答計算書」と同様に解析モデル下端レベル（T.M.S.L.-155.0m）に入力する。

3. 検討結果

3.1 地震応答解析結果

隣接建屋の影響を考慮したSd-1による地震応答解析結果を図3-1～図3-3，表3-1及び表3-2に示す。

建屋の最大応答値は，基本ケースよりも隣接影響ケースの方が小さくなった。杭頭断面力の最大応答値は，基本ケースよりも隣接影響ケースの方が大きくなった。杭頭断面力について，隣接影響ケースにおいては原子炉建屋によって建屋周辺地盤の変位及び地盤改良体のロッキングが拘束されるため，基本ケースよりも大きくなったと考えられる。応答比（隣接影響ケース／基本ケース）は0.856（基礎スラブ脚部の曲げモーメント）～1.26（杭の軸力）であり，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。ここで応答比が1.00を超える杭について，隣接影響評価を行うこととする。

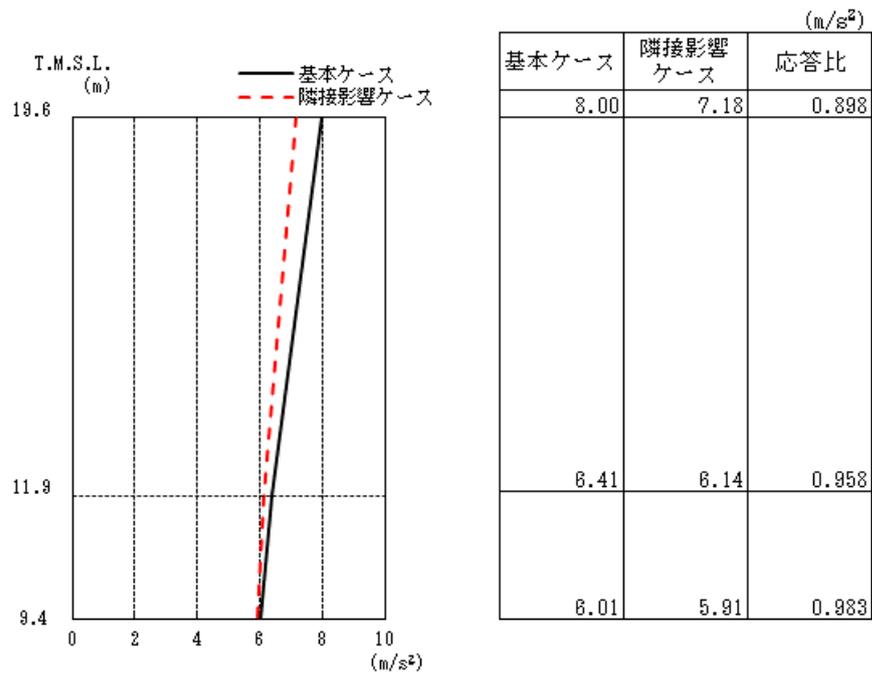


図3-1 最大応答加速度 (Sd-1, EW方向)

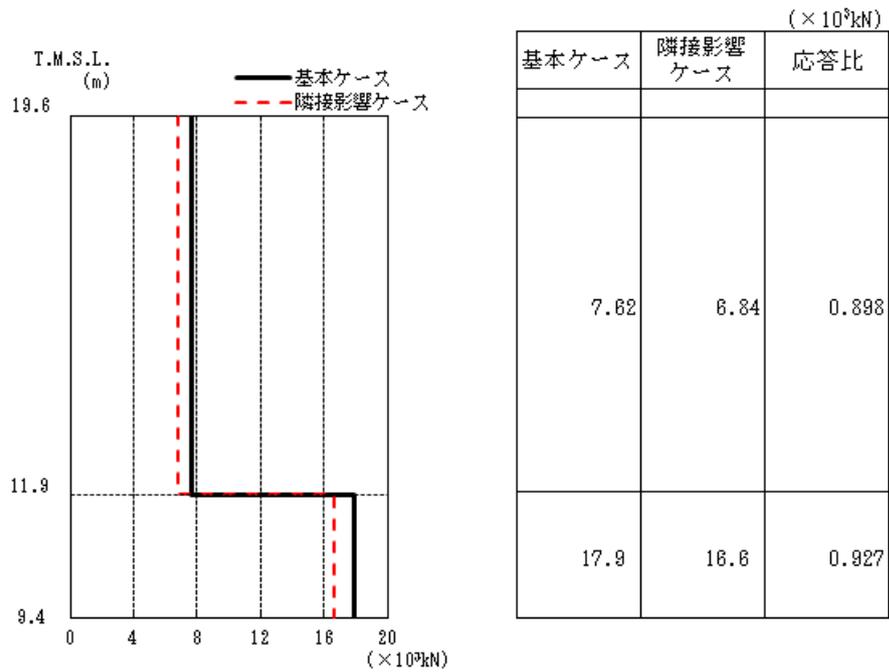


図3-2 最大応答せん断力 (Sd-1, EW方向)

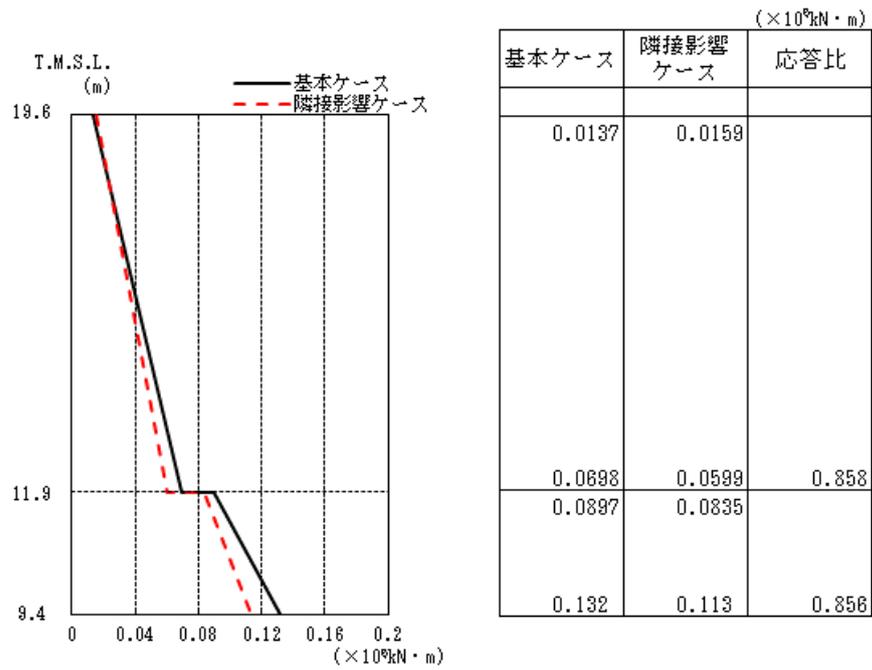


図3-3 最大応答曲げモーメント (Sd-1, EW方向)

表3-1 最大応答せん断ひずみ (Sd-1, EW方向)

標高 T.M.S.L. (m)	最大せん断ひずみ (×10 ⁻³)		応答比
	基本ケース	隣接影響ケース	
19.6~11.9	0.0196	0.0176	0.898

表3-2 杭頭断面力一覧

(a) 最大応答軸力

解析ケース	要素番号	最大応答軸力 (kN)
基本ケース	286	-170
隣接影響ケース	286	416
	応答比	—

注1：表には杭一本当たりの応答値を示し、軸力は引張を正とする。

注2：基本ケースと隣接影響ケースで符号が異なるため応答比は算出していません。

(b) 最小応答軸力

解析ケース	要素番号	最小応答軸力 (kN)
基本ケース	286	-3220
隣接影響ケース	286	-4050
	応答比	1.26

注：表には杭一本当たりの応答値を示し、軸力は引張を正とする。

(c) 最大応答曲げモーメント

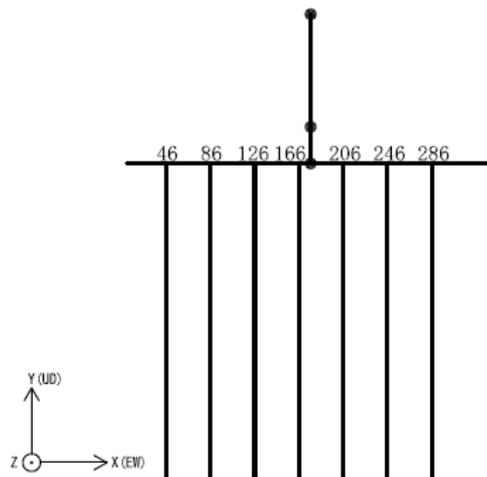
解析ケース	要素番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)
基本ケース	166	774
隣接影響ケース	286	792
	応答比	1.02

注：表には杭一本当たりの応答値を示す。

(d) 最大応答せん断力

解析ケース	要素番号	最大応答せん断力 (kN)
基本ケース	166	1070
隣接影響ケース	46	1250
	応答比	1.17

注：表には杭一本当たりの応答値を示す。



杭頭要素番号

3.2 大物搬入建屋の耐震評価に与える影響

耐震壁の評価では最大応答せん断ひずみ（表 3-1）の応答比を，基礎スラブの評価では上部構造から基礎スラブへ伝わる地震時反力を地震荷重として考慮することから，上部構造の最大応答せん断力（図 3-2）及び最大応答曲げモーメント（図 3-3）の応答比を用いるが，いずれの応答比も 1.00 を超えないことから，隣接建屋の影響を考慮しても耐震壁及び基礎スラブの耐震評価に影響を与えないことを確認した。

杭の評価では，V-2-9-3-1 別紙 1（Ⅱ）「大物搬入建屋の耐震性についての計算書」に示す杭の検定値に，応答比を乗じた値が 1.00 を超えないことを確認する。表 3-2 に示す応答比のうち，鉛直支持力には最小応答軸力，引抜き抵抗力には最大応答軸力，曲げモーメントには最大応答曲げモーメント，せん断力には最大応答せん断力の応答比を用いる。

隣接建屋の影響を考慮した杭の評価結果を表 3-3 に示す。応答比を考慮した検定値が 1.00 を超えないことから，隣接建屋の影響を考慮しても杭の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

表3-3 隣接建屋の影響を考慮した杭の評価結果

評価項目	①検定値 (基準地震動 S_s)	②応答比 (S_d-1)	応答比を乗じた値 (①×②)
鉛直支持力	0.54	1.26	0.69
引抜き抵抗力	0.59	—	—
曲げモーメント	0.20	1.02	0.21
せん断力	0.54	1.17	0.64

4. まとめ

隣接建屋の配置を考慮してモデル化する場合の地震応答解析を実施し、工認モデルと応答結果を比較した。

建屋及び杭頭断面力の最大応答値について確認した結果、応答比（隣接影響ケース／基本ケース）は 0.856（基礎スラブ脚部の曲げモーメント）～1.26（杭の軸力）であり、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。また、応答比を考慮した評価結果が許容限界を下回ることから、隣接建屋の影響を考慮しても大物搬入建屋の耐震評価に影響を与えないことを確認した。