

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-025-5 改5
提出年月日	2020年7月22日

格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答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-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 地震応答解析における解析モデル及び手法

別紙 2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定

別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 4 地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果

別紙 5 装置基礎剛性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 6 装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 7 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 8 隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析結果

下線部：今回ご提示資料

別紙4 地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果

目 次

1. 概要	別紙 4-1
2. 解析方針	別紙 4-2
3. 解析方法	別紙 4-4
3.1 設計用模擬地震波	別紙 4-4
3.2 有効応力解析モデル	別紙 4-4
3.3 入力地震動	別紙 4-8
3.4 解析方法	別紙 4-8
3.5 解析条件	別紙 4-8
4. 解析結果	別紙 4-9
5. 機器・配管系評価に与える影響	別紙 4-39
6. まとめ	別紙 4-46

別紙4-1 地盤の液状化を考慮した杭軸力の評価結果

参考資料 1 有効応力解析に用いる解析用物性値の設定について

参考資料 2 有効応力解析に用いる解析用物性値の適用性について

参考資料 3 建物・構築物と屋外重要土木構造物の耐震評価手法について

1. 概要

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）では，装置基礎直下地盤の液状化による変位を拘束することを目的として，装置基礎周辺の地盤に地盤改良を行う。本資料では，この液状化対策の有効性を評価するため，地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析（以下「有効応力解析」という。）を行い，構築物及び杭の応答値に与える影響を確認するものである。

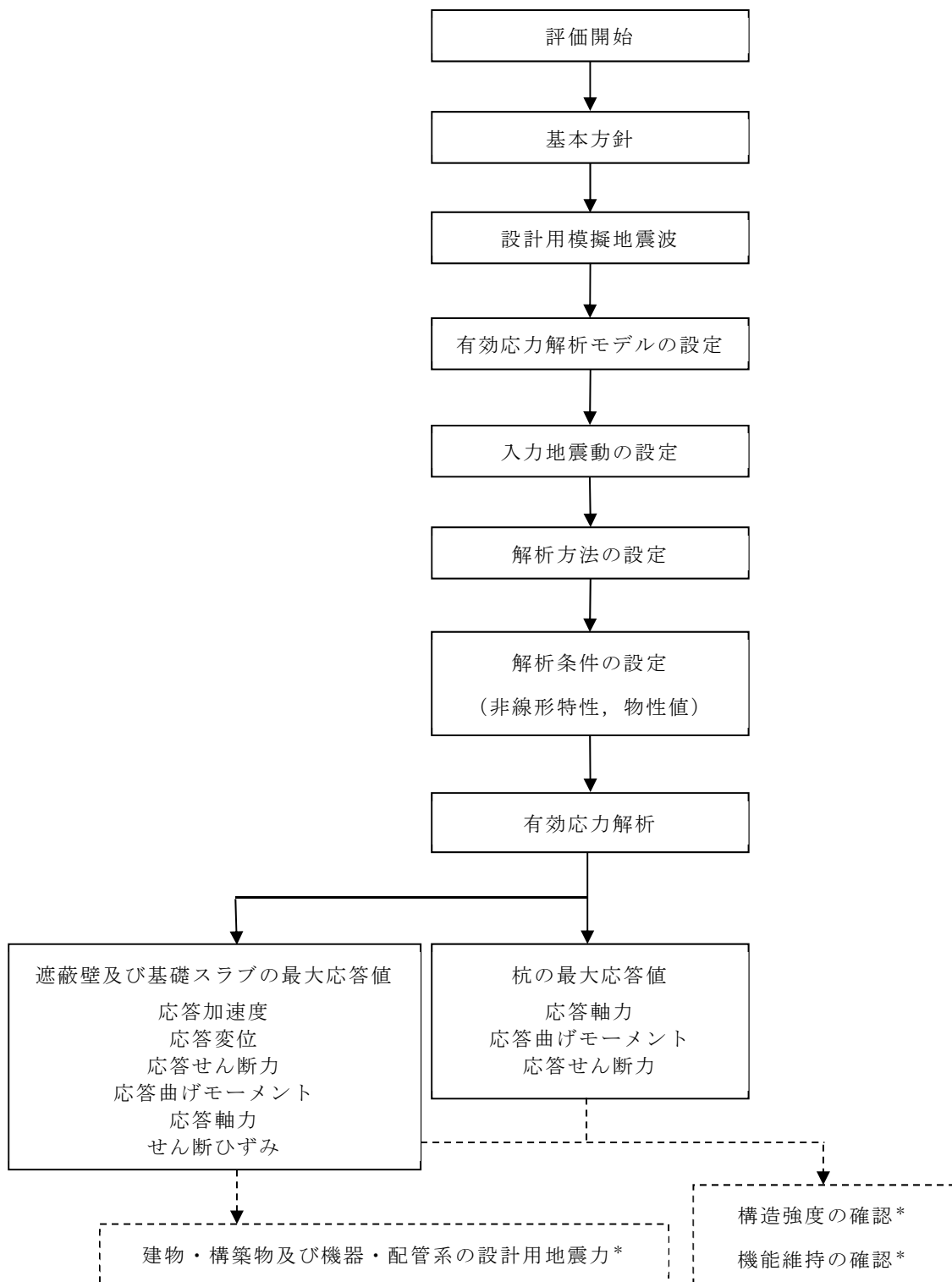
2. 解析方針

装置基礎の有効応力解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

有効応力解析フローを図2-1に示す。

有効応力解析は、「3.1 設計用模擬地震波」及び「3.2 有効応力解析モデル」において設定した有効応力解析モデルと「3.3 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「3.4 解析方法」及び「3.5 解析条件」に基づき、「4. 解析結果」において構築物及び杭の各種応答値を算出する。

なお、地下水位は保守的に観測最高水位以浅となるように地表面（T.M.S.L. 12.0m）に設定する。



注記*：有効応力解析結果における各種応答値が、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示す解析結果を下回った場合、破線部の検討は実施しない。

図2-1 有効応力解析フロー

3. 解析方法

3.1 設計用模擬地震波

装置基礎の有効応力解析モデルは、構築物と杭と地盤の相互作用を評価した構築物－杭－地盤連成モデルとする。この構築物－杭－地盤連成モデルへの入力地震動は、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を用いることとする。

基準地震動 S_s 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」と同一である。

3.2 有効応力解析モデル

有効応力解析モデルは、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定し、原則としてV-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同一とする。以下に、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と異なる条件を示す。

有効応力解析に用いる解析用物性値を表3-1、液状化抵抗曲線を図3-1～図3-3に示す。新期砂層（T.M.S.L. 12.0m～T.M.S.L. 7.3m）、新期砂層（T.M.S.L. 7.3m～T.M.S.L. -3.5m）及び古安田層に用いる解析用物性値については、地盤の液状化による影響を保守的に評価するため、地層の細分化は行わず、液状化抵抗曲線の最も低い埋戻土、新期砂層及び古安田層(A2s)を代用する。地盤改良体の密度は、基本ケースと同様に地盤改良を行う範囲に対して地盤改良体が占める体積（改良率）を考慮するため、表3-1に示す原地盤及び地盤改良体の密度を改良率で加重平均した値を用いて解析用物性値を設定する。また、地盤改良体の動せん断弾性係数は、表3-1に示す地盤改良体の動せん断弾性係数に改良率を乗じた値を用いて解析用物性値を設定する。

土の応力－ひずみモデルとして多重せん断モデルを、ひずみ依存特性として双曲線（修正Hardin-Drnevich）型モデルを採用し、液状化対象層のダイレイタンシー特性にはおわんモデルを採用する。解析領域の境界部においては、側面に地盤の液状化を考慮するための繰返し境界を、底面に半無限性を考慮するための粘性境界を設ける。解析用物性値の設定については（参考資料1）、適用性については（参考資料2）に示す。

なお、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」及び「道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」では、液状化が生じると判定された土層については耐震設計上土質定数（地盤反力係数、地盤反力度の上限値及び最大周面摩擦力度）を低減すると記載されている。本解析においては地盤を含めたモデル化を行うことで地盤の有効応力の変化に伴うせん断剛性及びせん断強度の低下を考慮しているため、地盤反力係数及び地盤反力度の上限値の低減を踏まえた応答評価となっている。杭周面のジョイント要素

については、最大周面摩擦力度の低減は考慮しないが、地盤の有効応力の変化に伴う地盤要素のせん断強度の低下により、最大周面摩擦力度の低減と同等の効果を考慮した応答評価となっている。

表 3-1 解析用物性値（有効応力解析）

(a) 原地盤

物性値		地質区分	埋戻土	新期砂層	古安田層 (A2s層)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m以浅)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m~-90.0m)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)		1.94	2.05	1.91	1.73	1.69
	間隙率 n		0.45	0.44	0.45	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)		1.04×10^5	1.26×10^5	2.14×10^5	4.16×10^5	4.75×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)		98.0	98.0	200.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν		0.33	0.33	0.33	0.451	0.446
	減衰定数の上限値 h_{max}		0.225	0.234	0.157	0.257	0.257
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)		0.0	0.0	0.0	$1370-5.04 \cdot Z^*$	$1370-5.04 \cdot Z^*$
	内部摩擦角 ϕ' (°)		35.9	34.6	36.6	0.0	0.0
液状化特性	液状化パラメータ (SoilPlus)		A	-0.60	-0.70	-1.00	-
			B	1.40	1.40	1.40	
			C	1.00	1.50	8.00	
			D	180.0	180.0	60.0	
			$C_s/(1+e_0)$	0.0070	0.0070	0.0190	
			$C_c/(1+e_0)$	0.0080	0.0085	0.0195	
			X1	0.140	0.170	0.450	

注記*：Zは標高(m)を示す。

(b) 地盤改良体

種別		置換	高压喷射
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.85	2.05
	間隙率 n	0.48	0.49
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	1.31×10^6	1.45×10^6
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.302	0.375
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	0.050
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	4000	4000

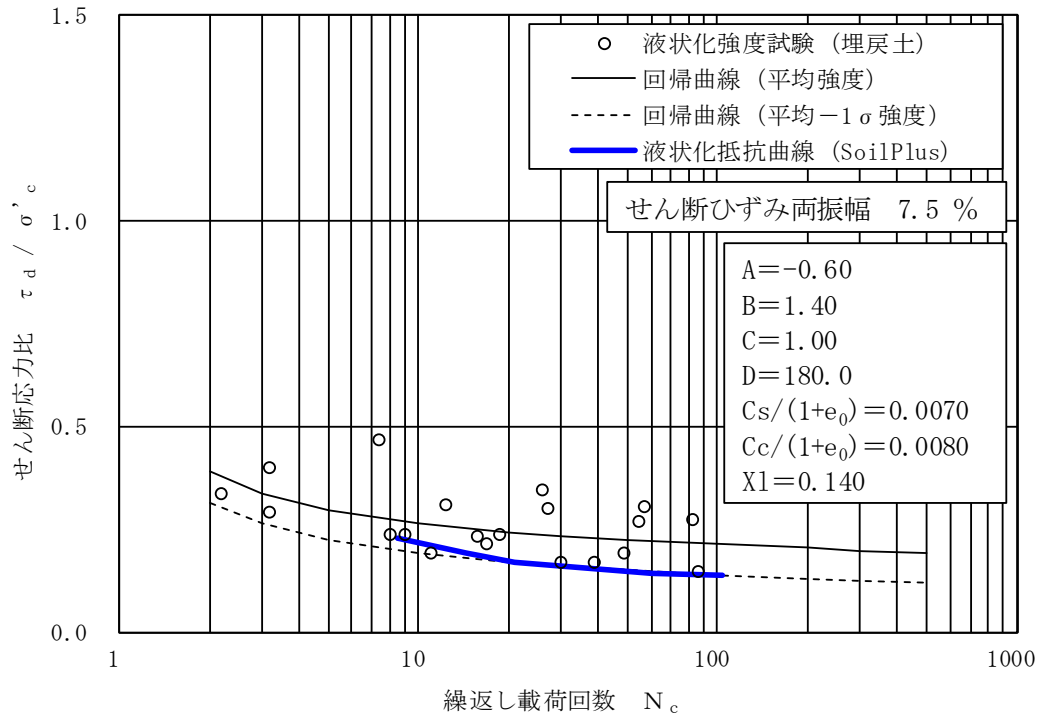


図 3-1 液状化抵抗曲線（埋戻土）

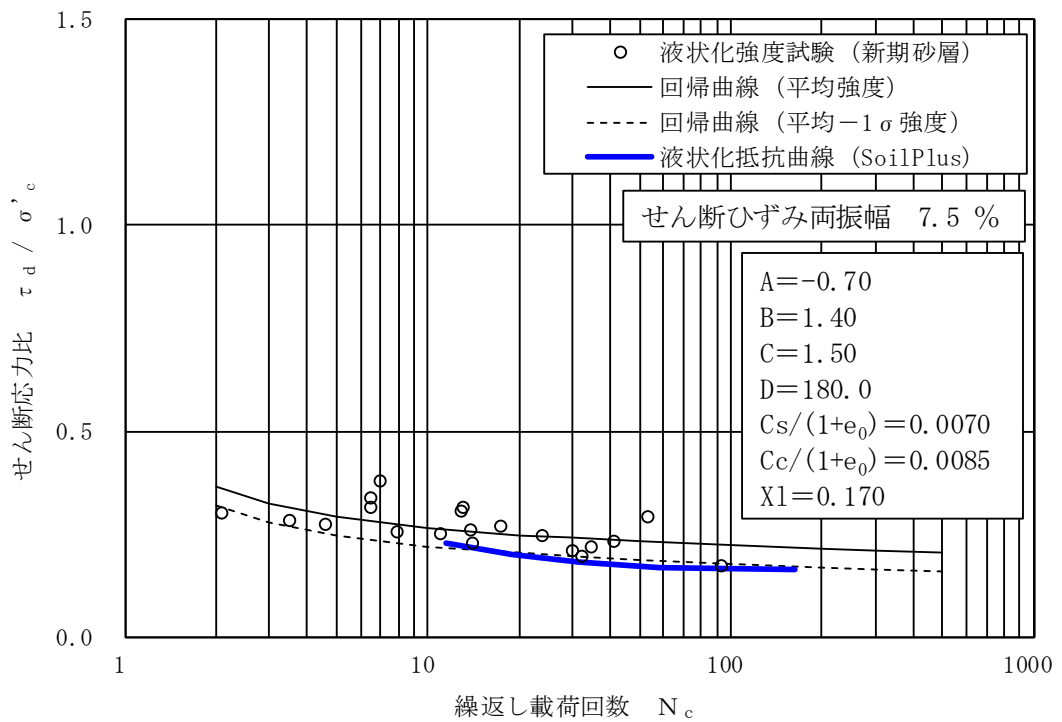


図 3-2 液状化抵抗曲線（新期砂層）

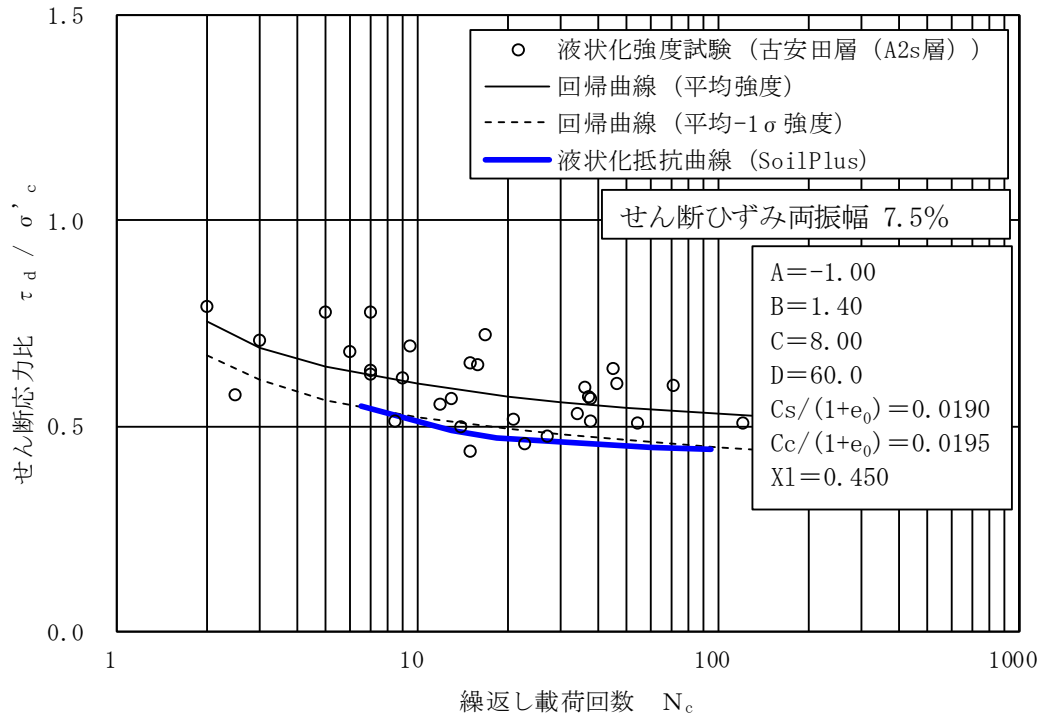


図 3-3 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s層))

3.3 入力地震動

有効応力解析に用いる入力地震動は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同一とし、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s から等価地盤物性値を用いた一次元波動論により有効応力解析モデルの底面位置（T.M.S.L.-90.0m）に対する応答として評価したものをを用いる。

検討に用いる地震波は、「別紙3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について」にて構築物の応答への影響の大きい波として選定した S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-8 とする。なお、 S_s-1 及び S_s-8 については水平方向の方向性が定義されていないことから、 S_s-1 及び S_s-8 に対する有効応力解析は、水平方向（NS方向又はEW方向）及び鉛直方向（UD方向）を同時に入力し、 S_s-2 に対する有効応力解析は、NS方向、EW方向及び鉛直方向を同時に入力する。

3.4 解析方法

建物・構築物の動的解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、地盤の有効応力を考慮した弾塑性時刻歴応答解析により実施する。同解析では、地盤の最大応答加速度、最大応答せん断ひずみ、最大過剰間隙水圧比のほかに、遮蔽壁及び基礎スラブの応答加速度、応答変位、応答せん断力、応答曲げモーメント、応答軸力、せん断ひずみ並びに杭の応答軸力、応答曲げモーメント、応答せん断力を算出する。なお、本検討では最大過剰間隙水圧比が95%を超えた場合に液状化を生じているものと判断する。

有効応力解析には、解析コード「S o i l P l u s」を用いる。

3.5 解析条件

装置基礎の復元力特性は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同一とする。

4. 解析結果

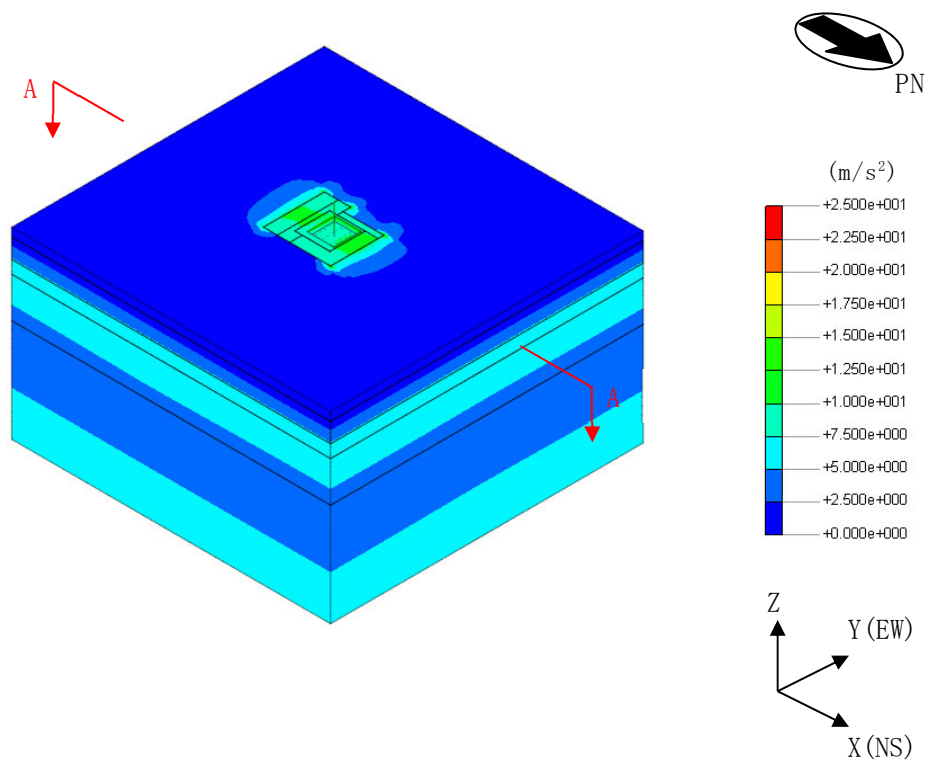
本章では、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示す地盤の有効応力の変化を考慮しない地震応答解析（以下「全応力解析」という。）による基本ケースの解析結果をケース1、有効応力解析結果をケース4として示す。

基準地震動 S_s の有効応力解析結果のうち、地盤の最大応答加速度、最大応答せん断ひずみ及び最大過剰間隙水圧比を図4-1～図4-21に示す。水平方向の地盤の最大応答加速度は、地盤改良体により原地盤のせん断変形が拘束されるため、装置基礎直下の地盤に比べて地盤改良体の外側では小さくなっている。新期砂層の最大応答せん断ひずみ及び最大過剰間隙水圧比は、地盤の有効応力の変化を考慮したことにより地盤改良体の外側では大きくなっているが、装置基礎直下の地盤については地盤改良体により原地盤のせん断変形が拘束されることで小さくなっている。装置基礎直下の最大過剰間隙水圧比はおおむね95%以下であることから、液状化を生じていないと判断できる。

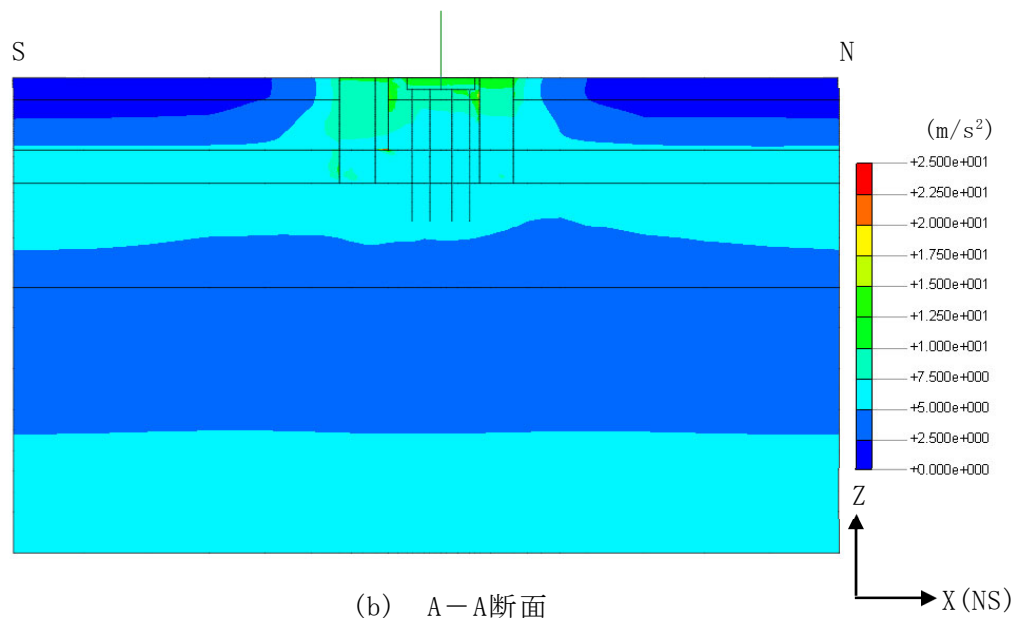
基準地震動 S_s の有効応力解析結果のうち、遮蔽壁、基礎スラブの応答値を図4-22～図4-34に示す。ケース4の応答値は、最大応答変位を除きいずれもケース1の応答値を下回っている。有効応力解析では、地盤剛性の低下により、地盤の変位は増大するが加速度は減少する。装置基礎においては、地盤変位の増大による応答値の増加に比べ、加速度の減少に伴う慣性力の減少による応答値の減少の方が影響が大きいと考えられる。

基準地震動 S_s の有効応力解析結果のうち、杭の応答値を S_s-1 の結果を代表として図4-35及び図4-36に示す。杭の曲げモーメント及びせん断力は、ケース1及びケース4のいずれも杭頭で最大となるため、杭の応答値は杭頭における値で評価する。杭頭の応答値を表4-1に示す。ケース4の応答値はいずれもケース1の応答値を下回っている。

図4-18において、杭周面に接する新期砂層の一部で最大過剰間隙水圧比が95%を超えており、部分的に液状化を生じていると判断される。これより、新期砂層における杭の周面摩擦力を考慮しない場合の許容限界を用いた杭軸力の評価結果を別紙4-1「地盤の液状化を考慮した杭軸力の評価結果」に示す。

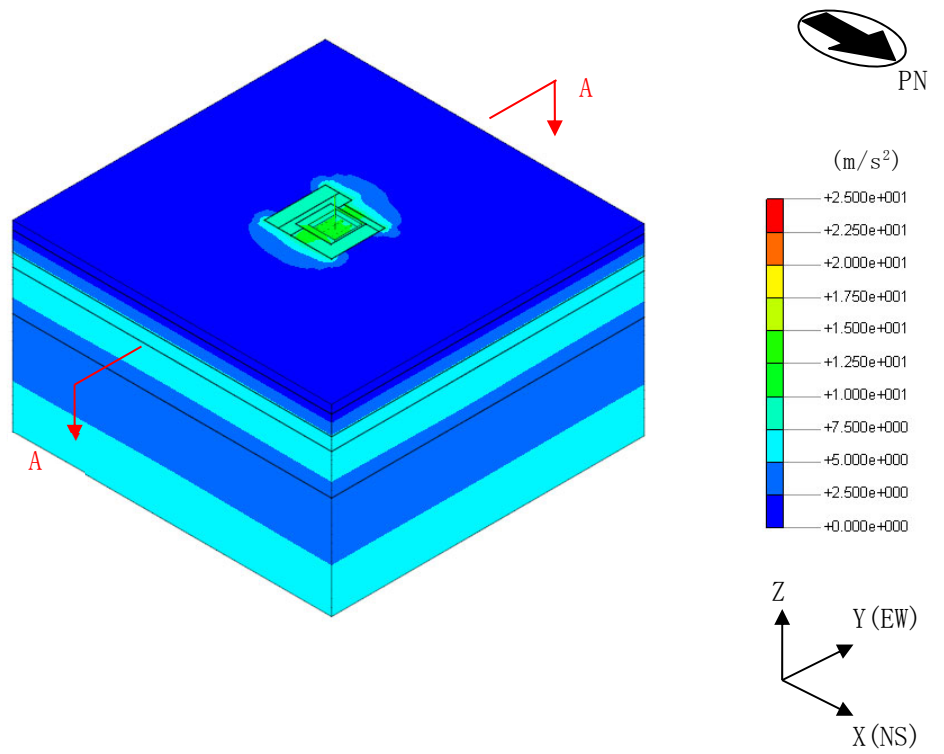


(a) 全体図

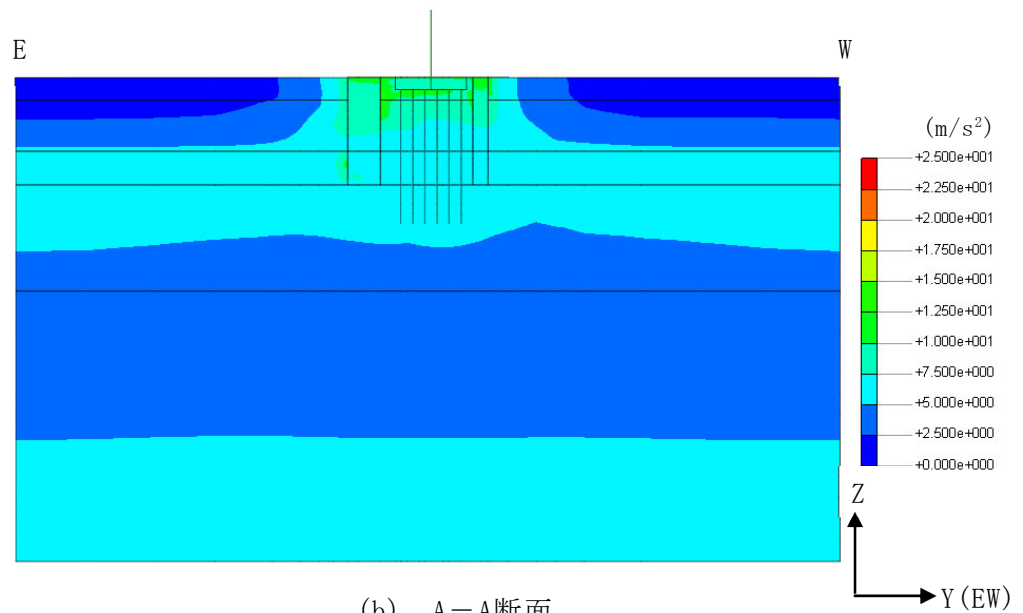


(b) A-A断面

図4-1 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

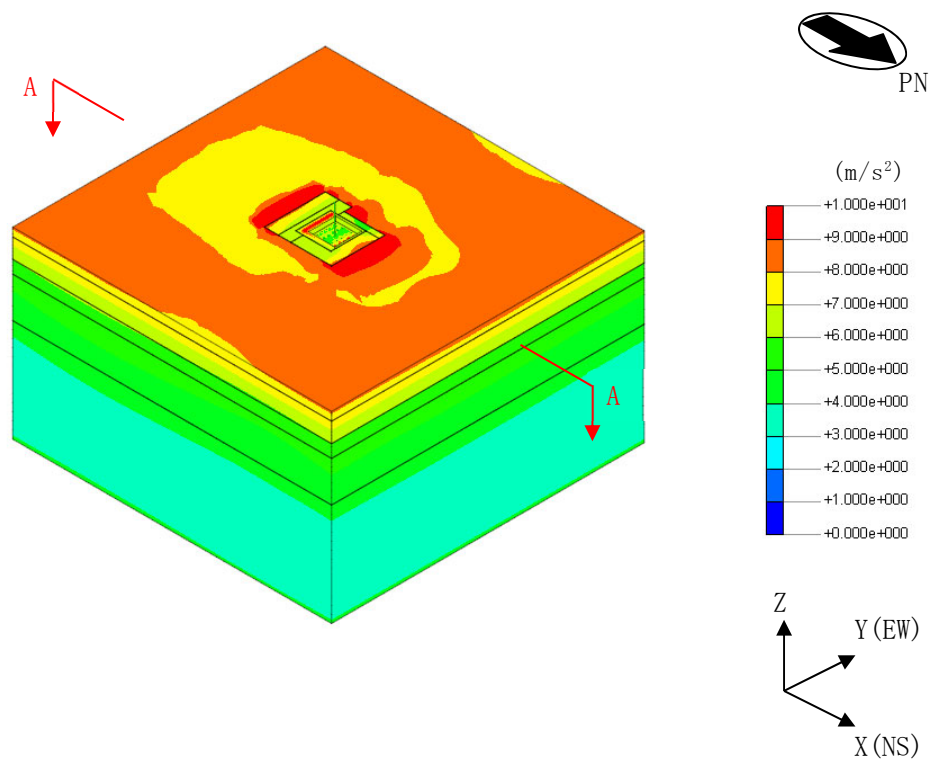


(a) 全体図

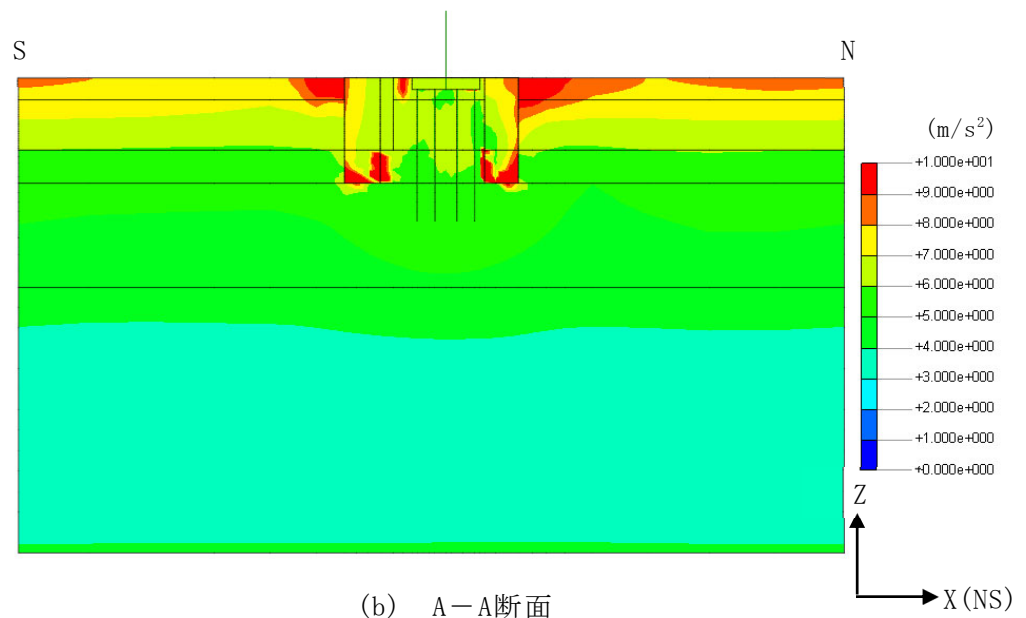


(b) A-A断面

図4-2 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

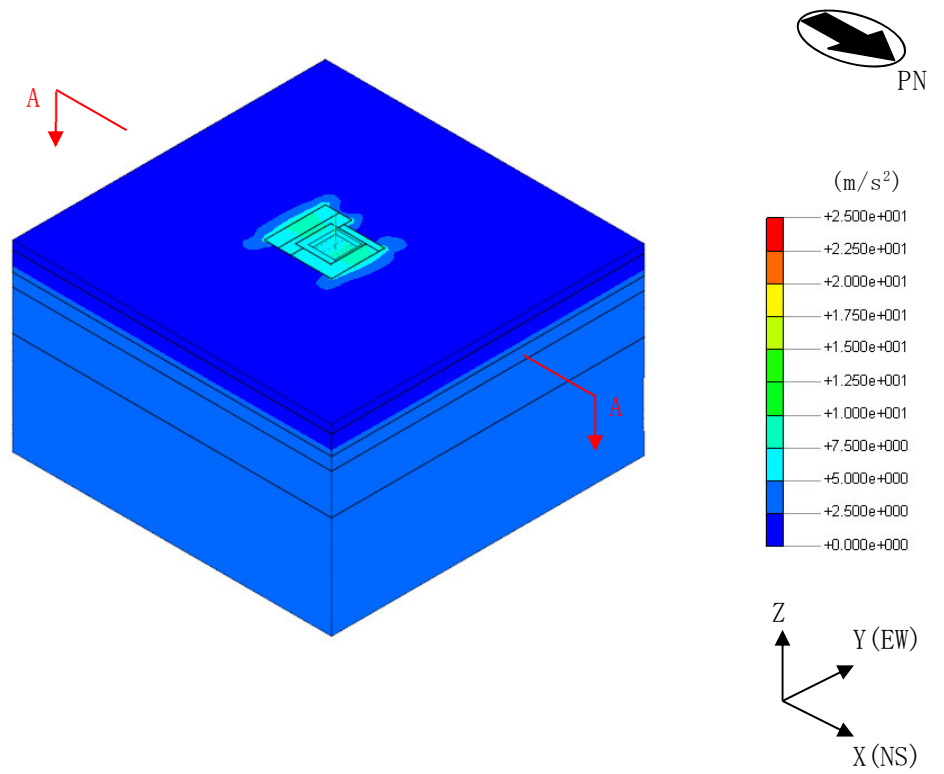


(a) 全体図

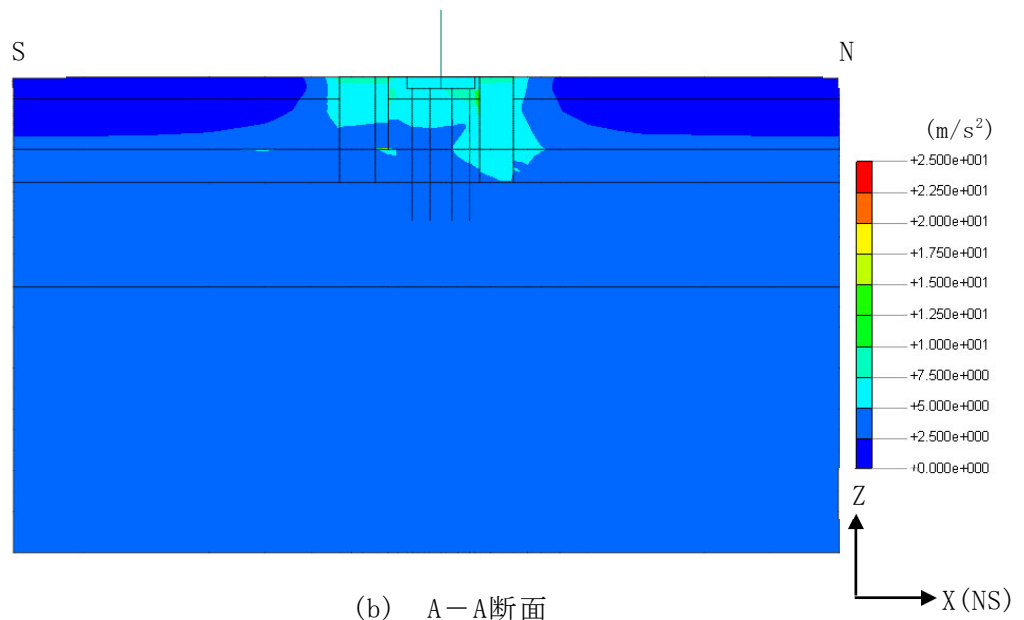


(b) A-A断面

図4-3 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, UD方向)

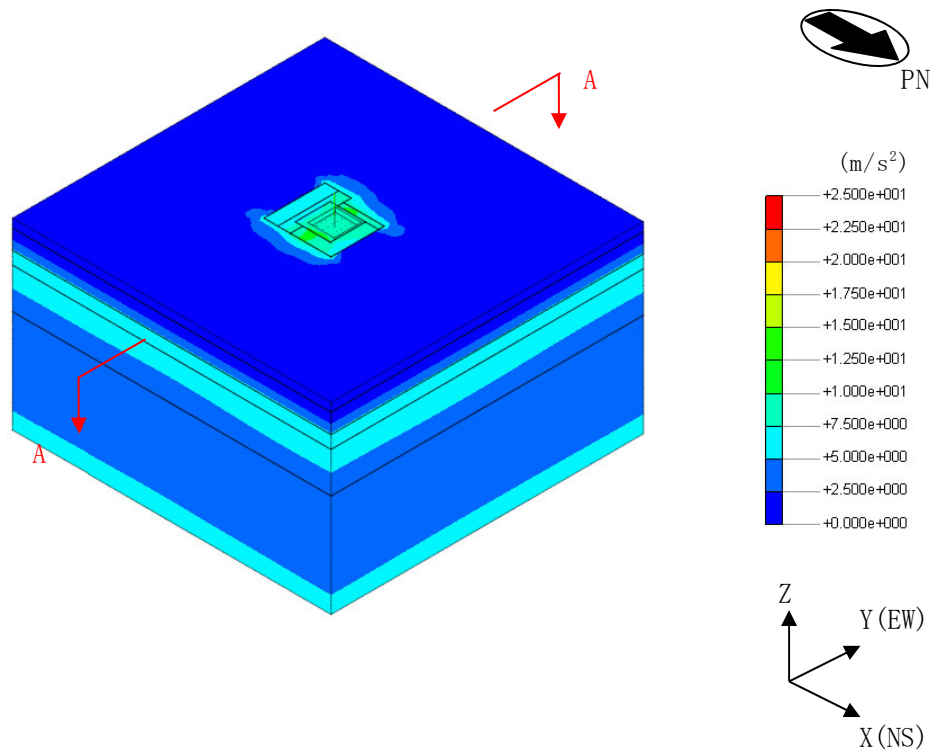


(a) 全体図

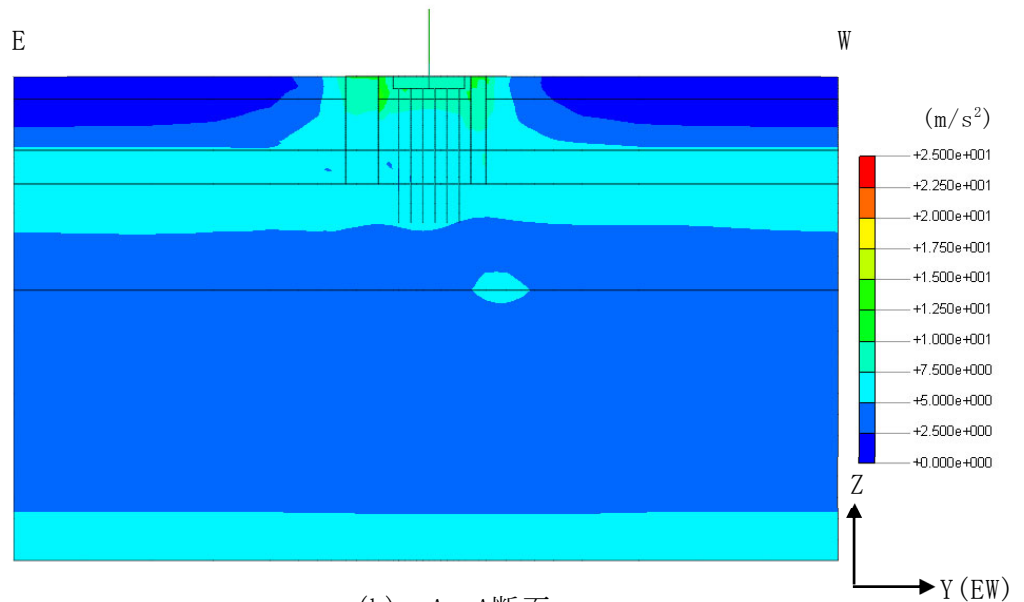


(b) A-A断面

図4-4 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, NS方向)

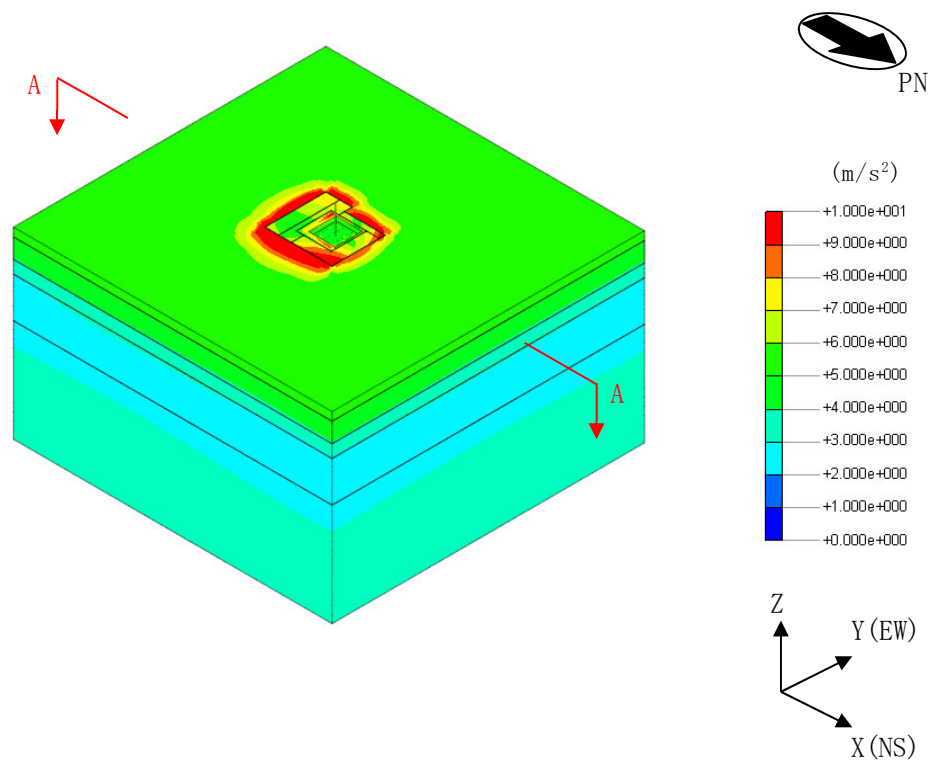


(a) 全体図

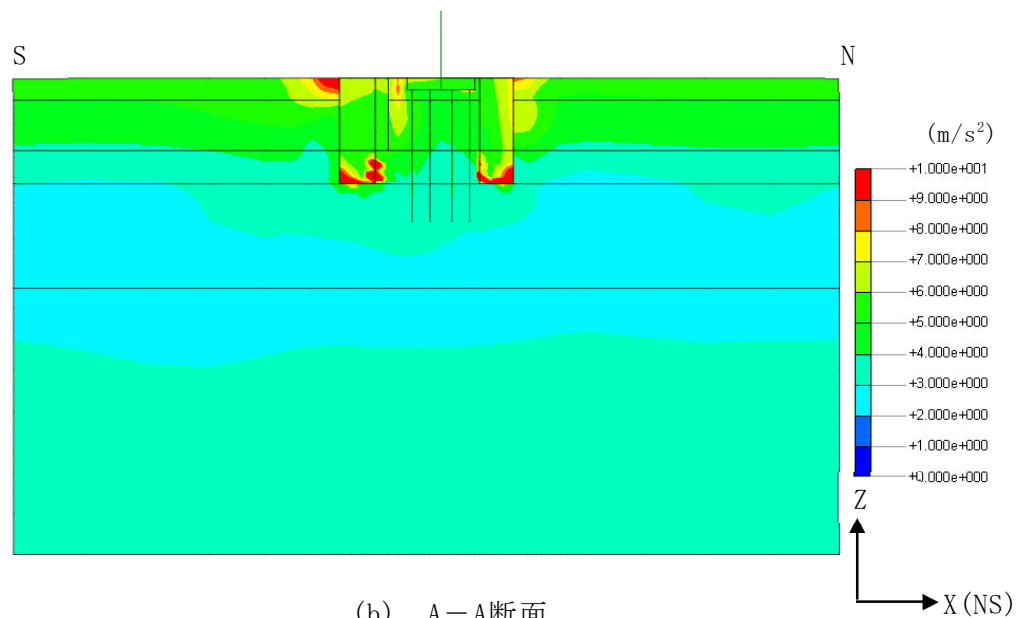


(b) A-A断面

図4-5 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, EW方向)

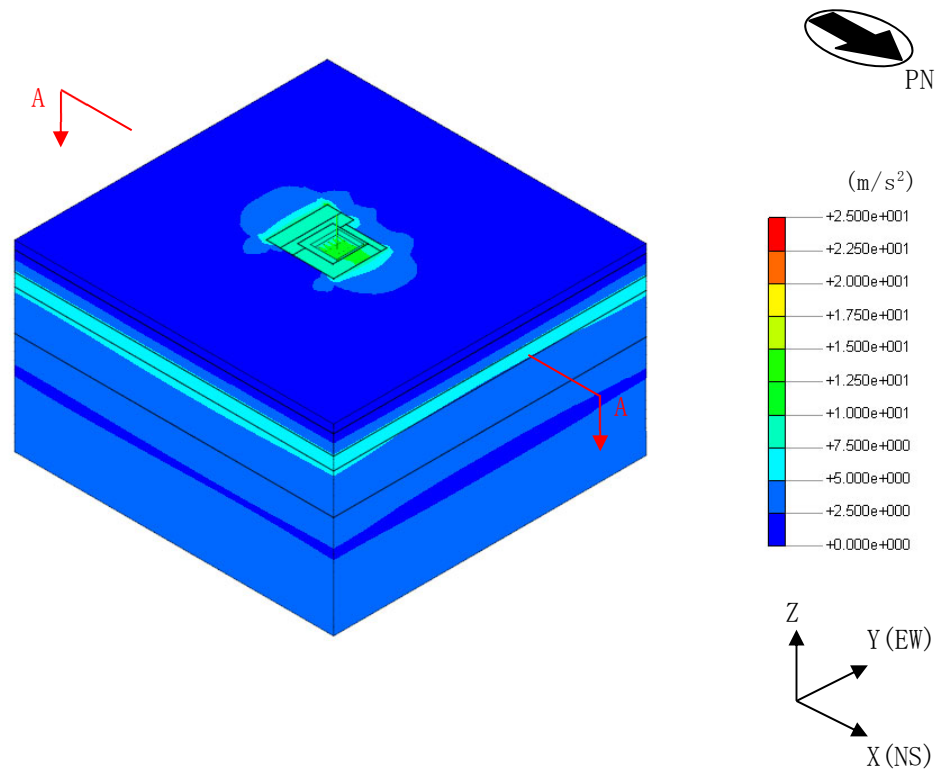


(a) 全体図

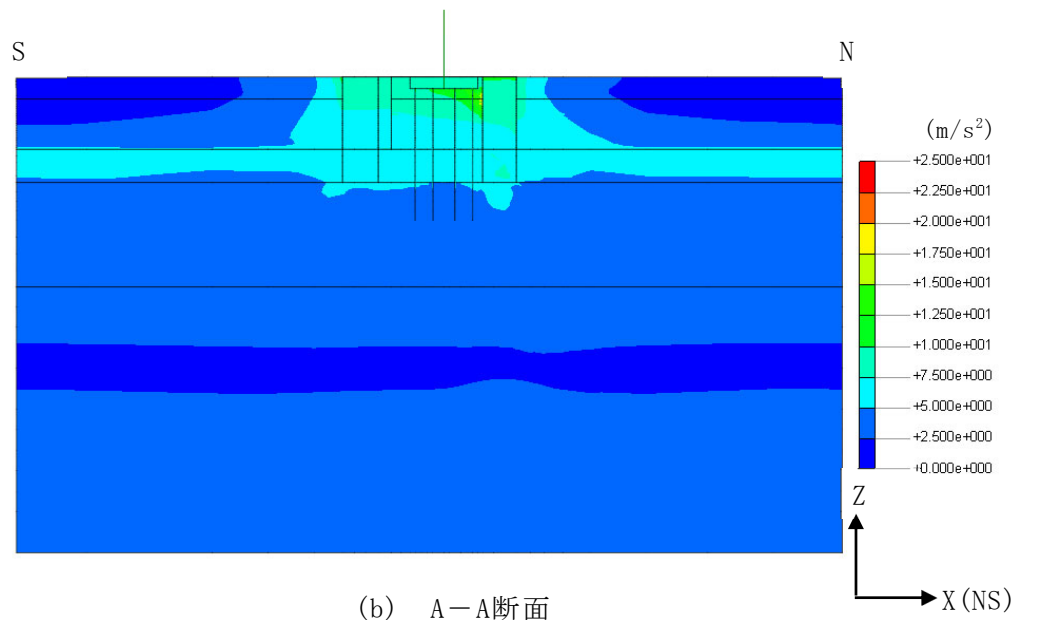


(b) A-A断面

図4-6 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, UD方向)

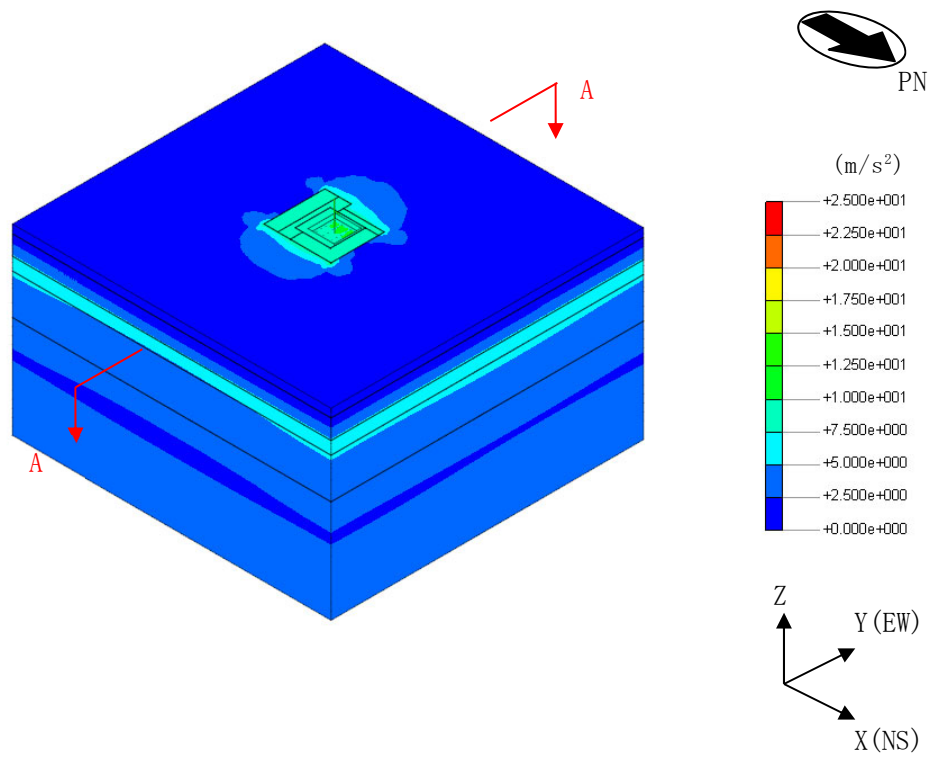


(a) 全体図

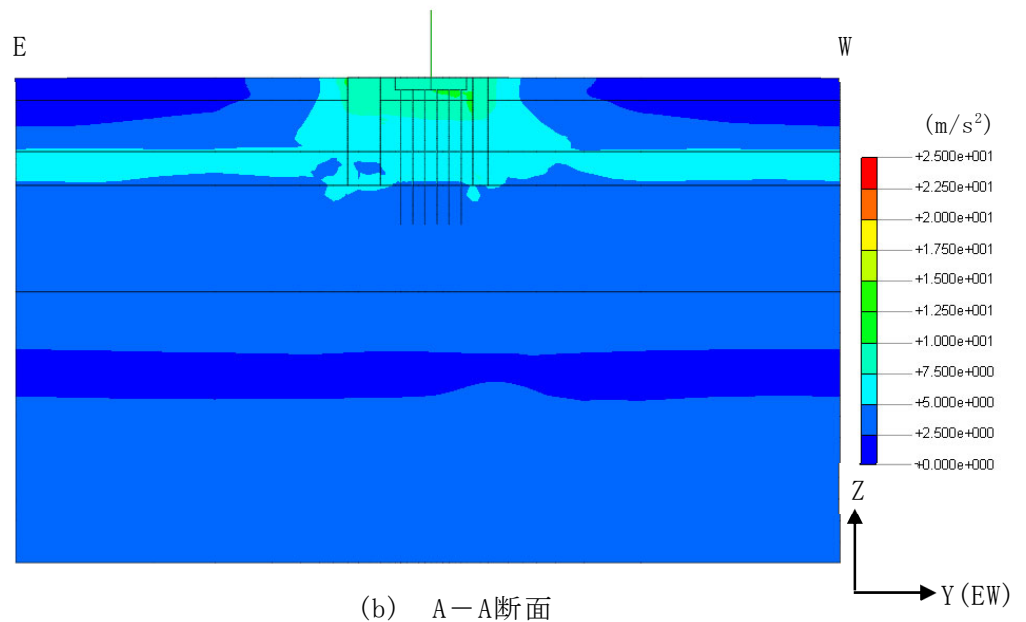


(b) A-A断面

図4-7 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, NS方向)

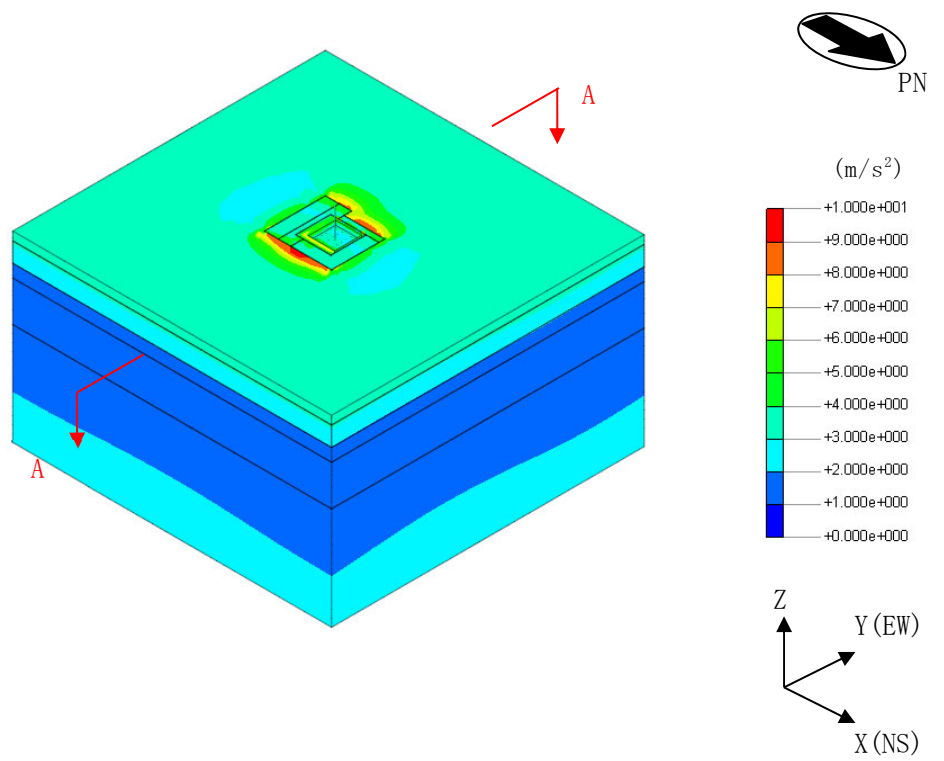


(a) 全体図

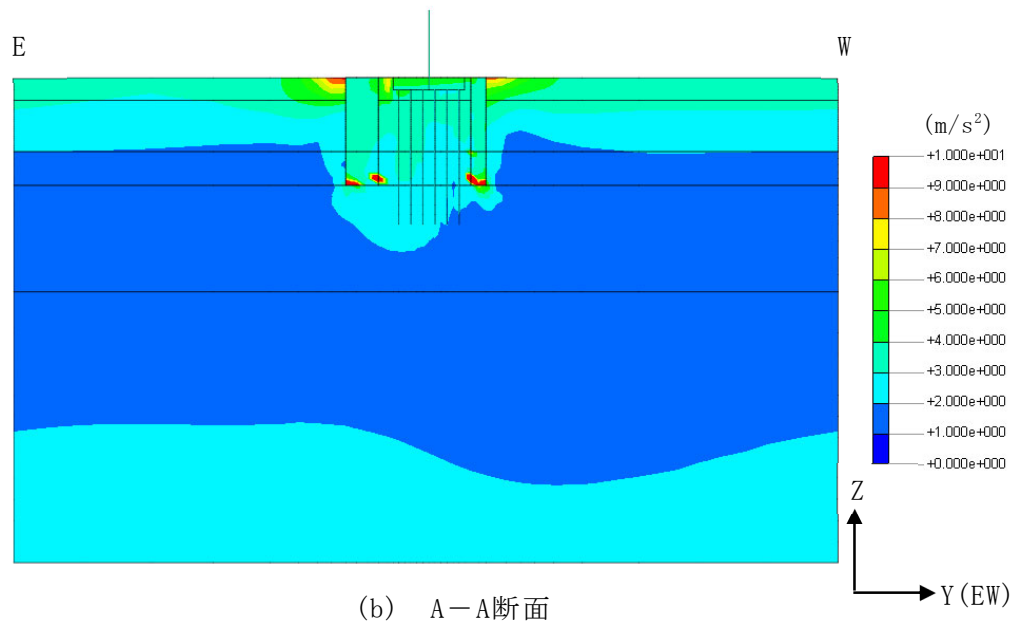


(b) A-A断面

図4-8 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, EW方向)

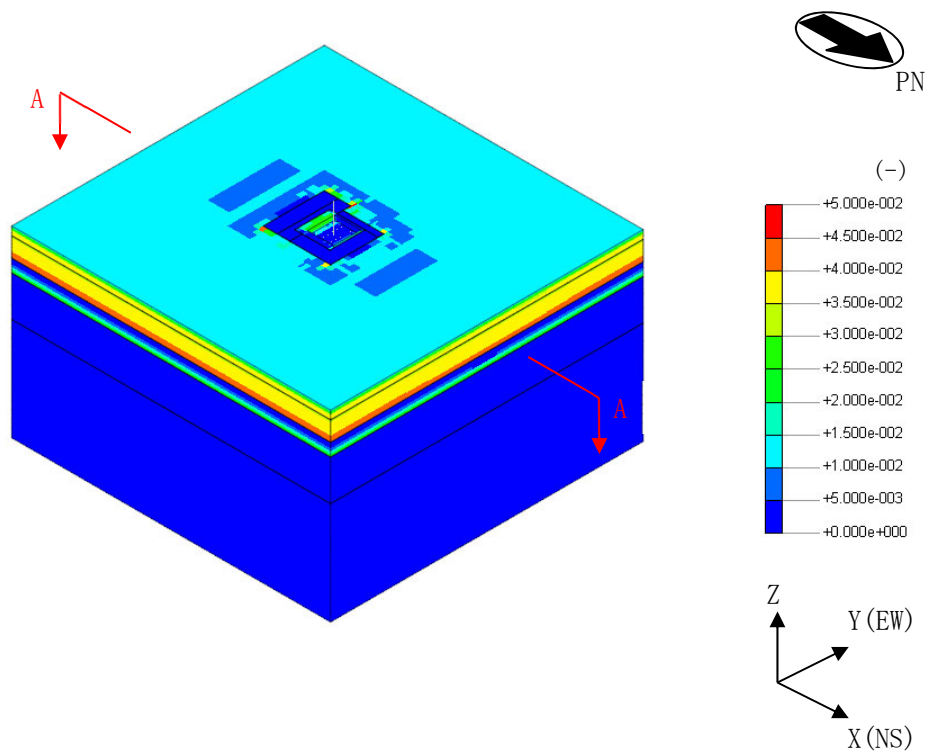


(a) 全体図

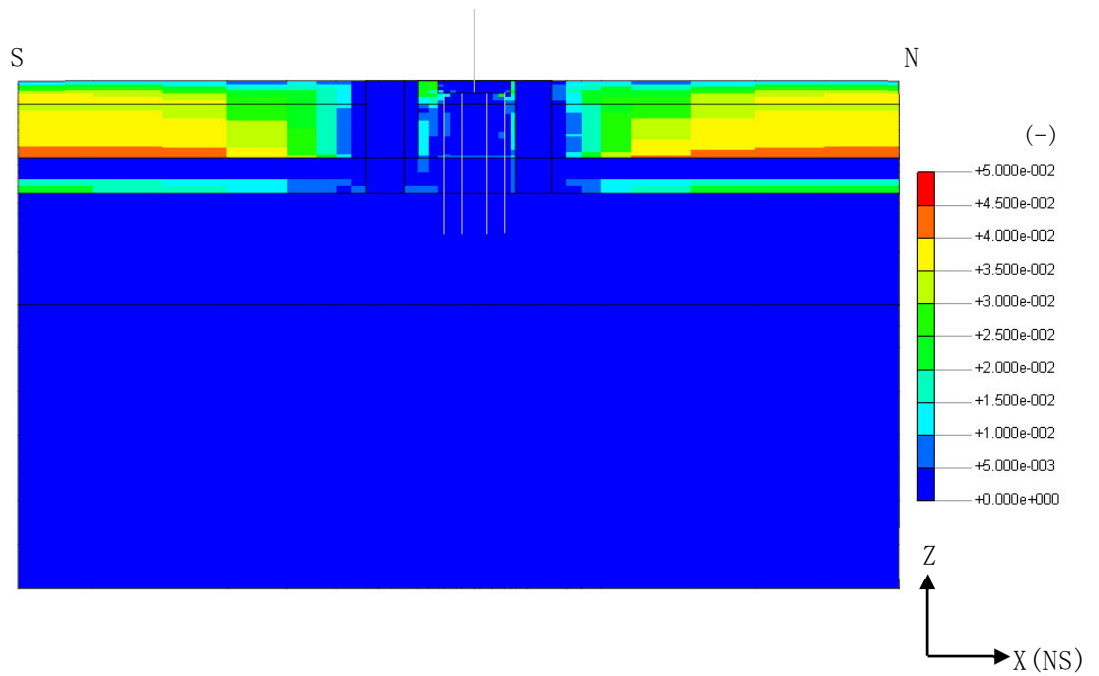


(b) A-A断面

図4-9 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, UD方向)

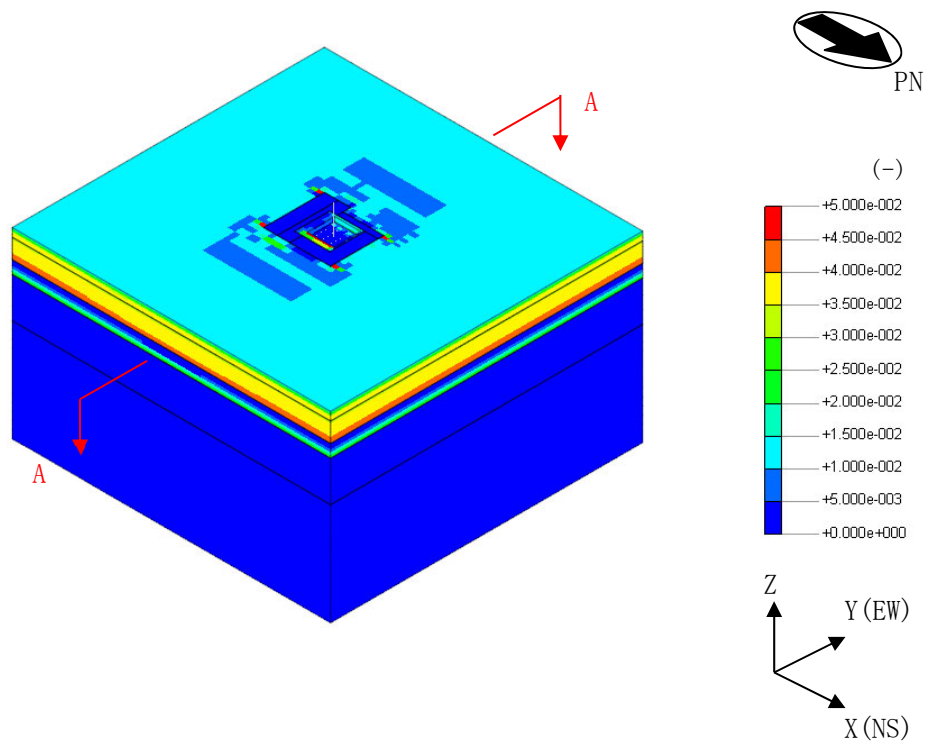


(a) 全体図

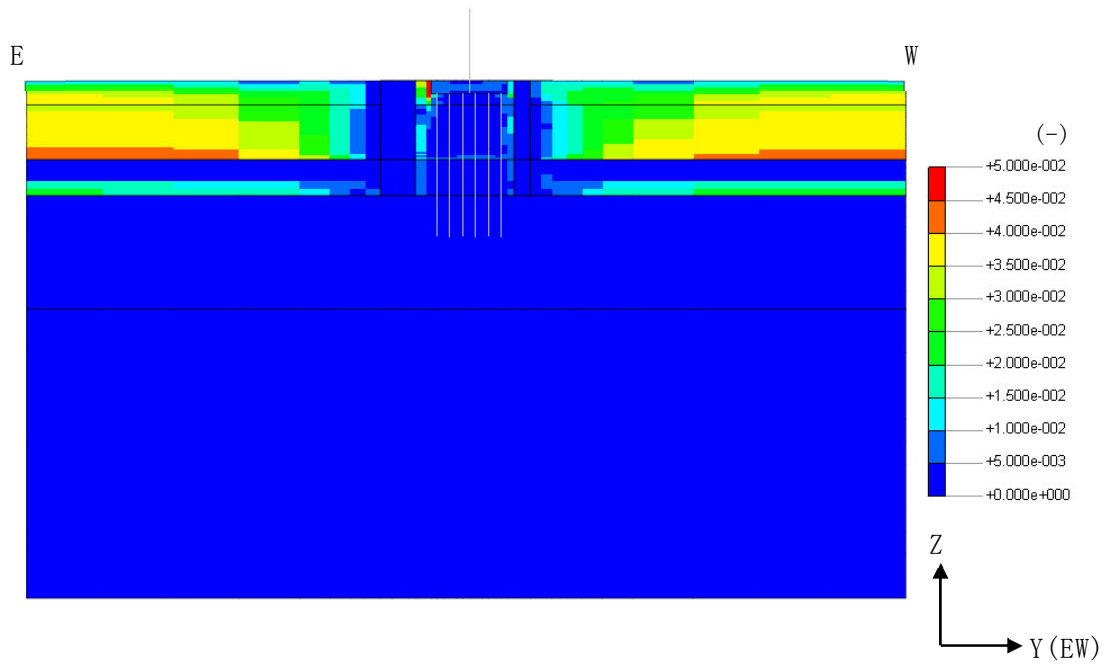


(b) A-A断面

図4-10 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-1, NS方向)

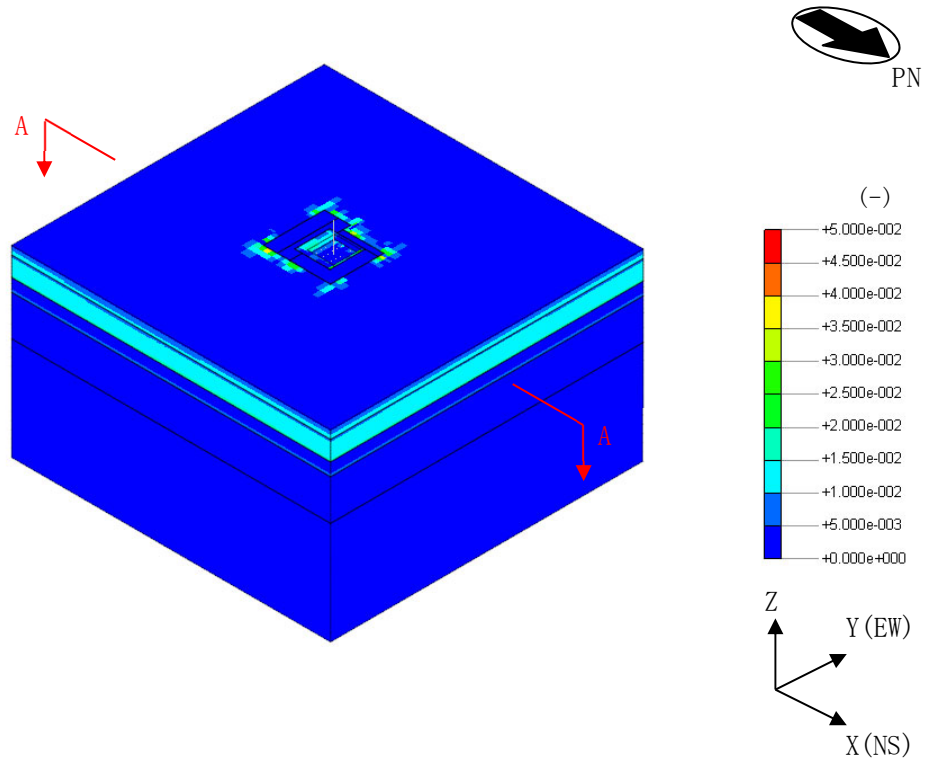


(a) 全体図

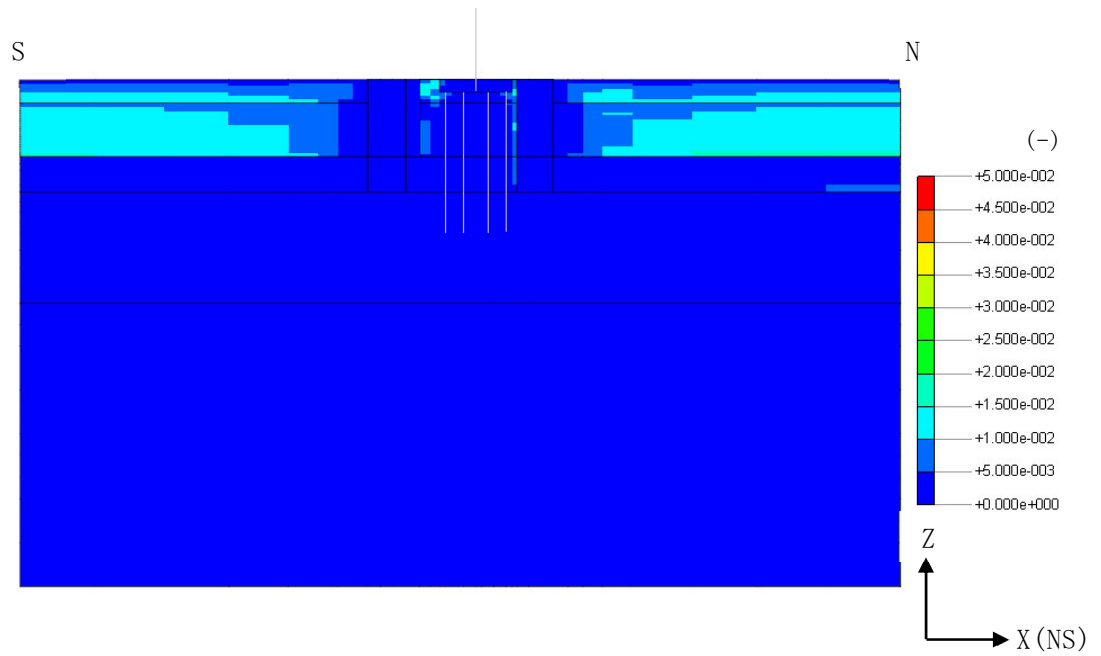


(b) A-A断面

図4-11 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-1, EW方向)

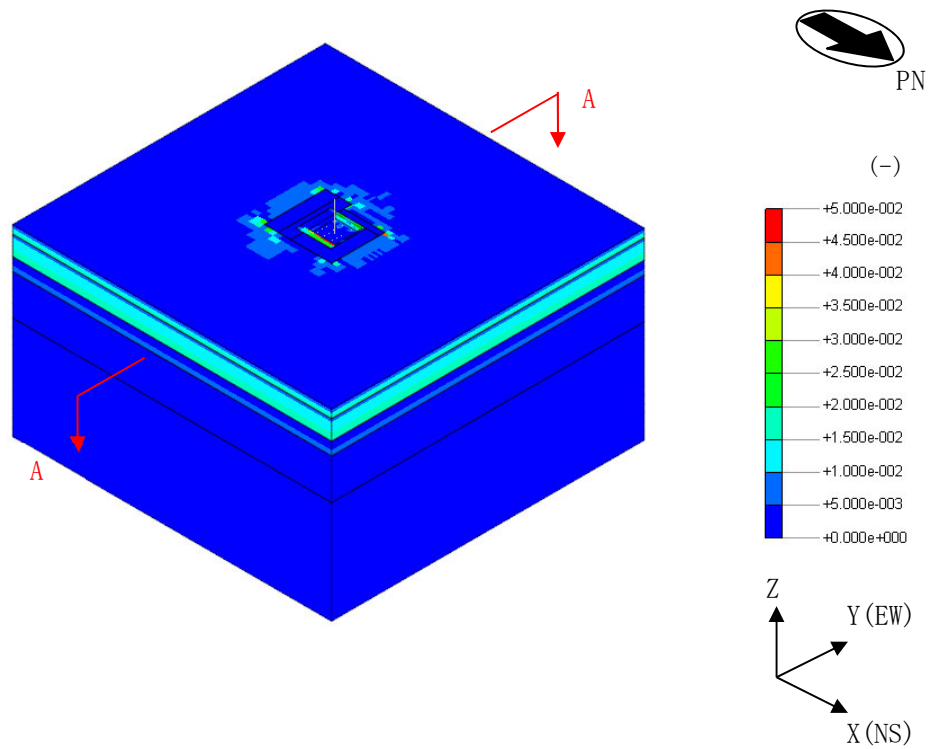


(a) 全体図

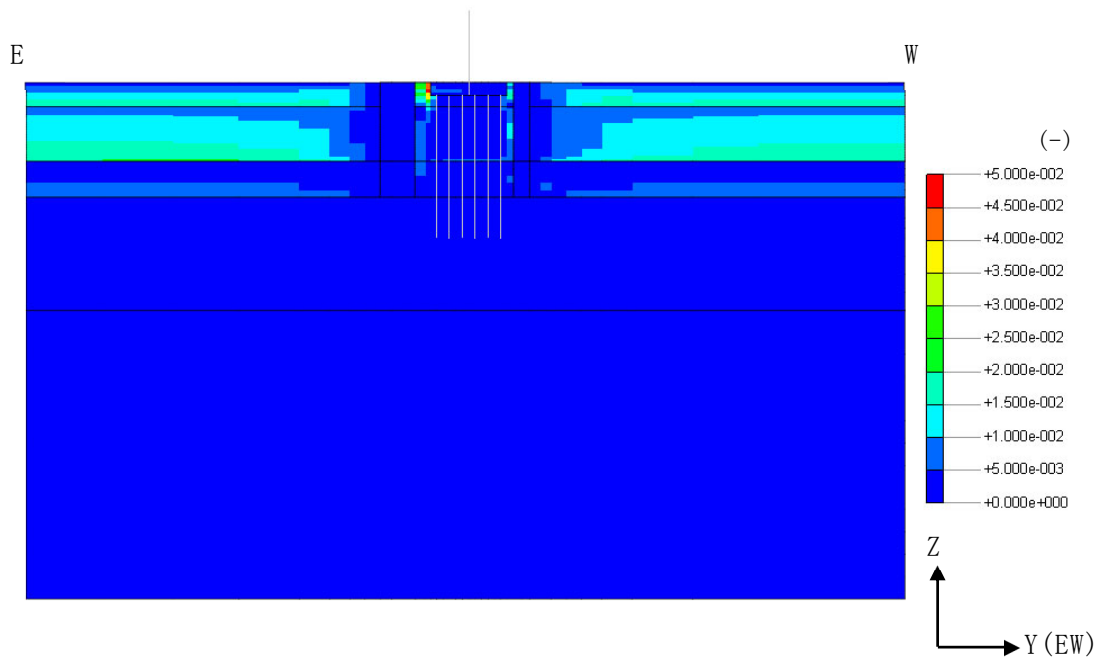


(b) A-A断面

図4-12 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-2, NS方向)

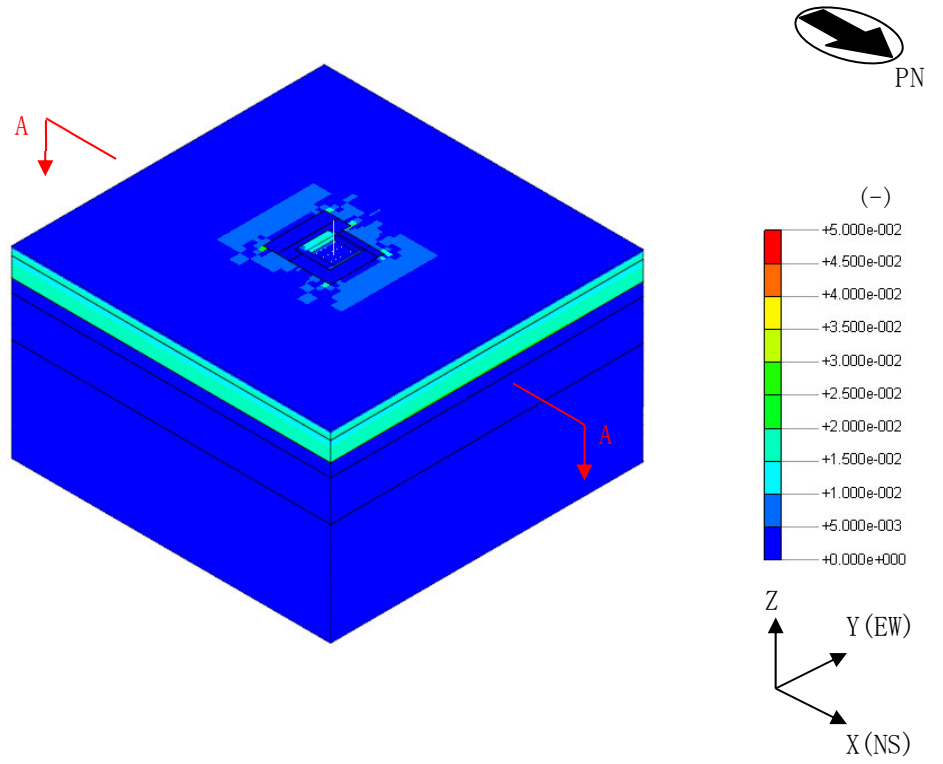


(a) 全体図

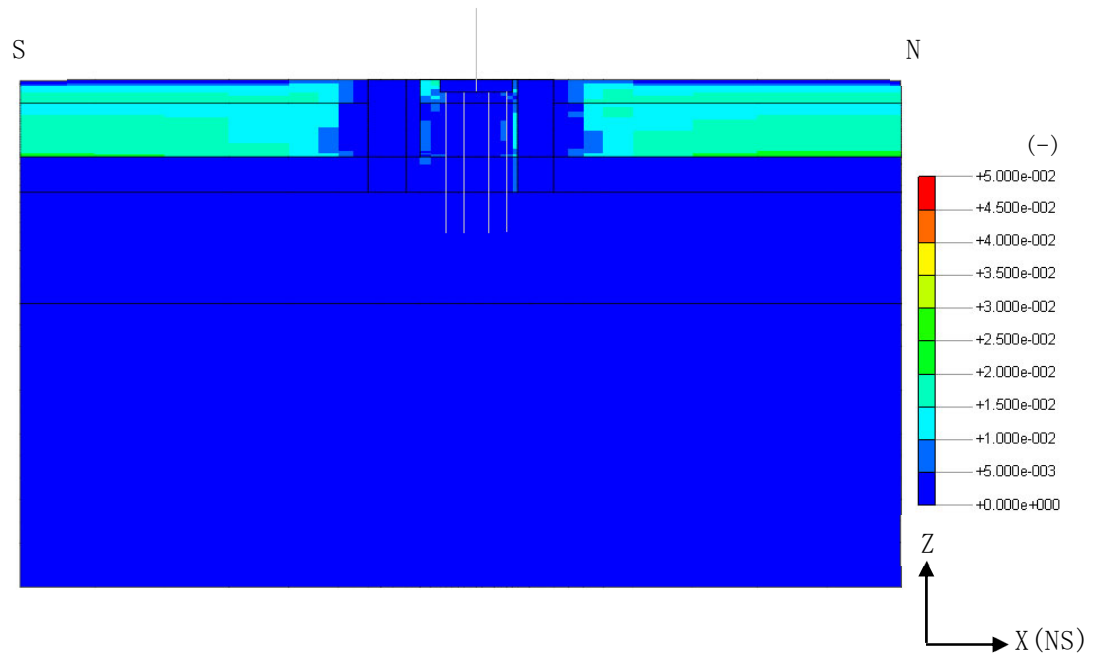


(b) A-A断面

図4-13 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-2, EW方向)

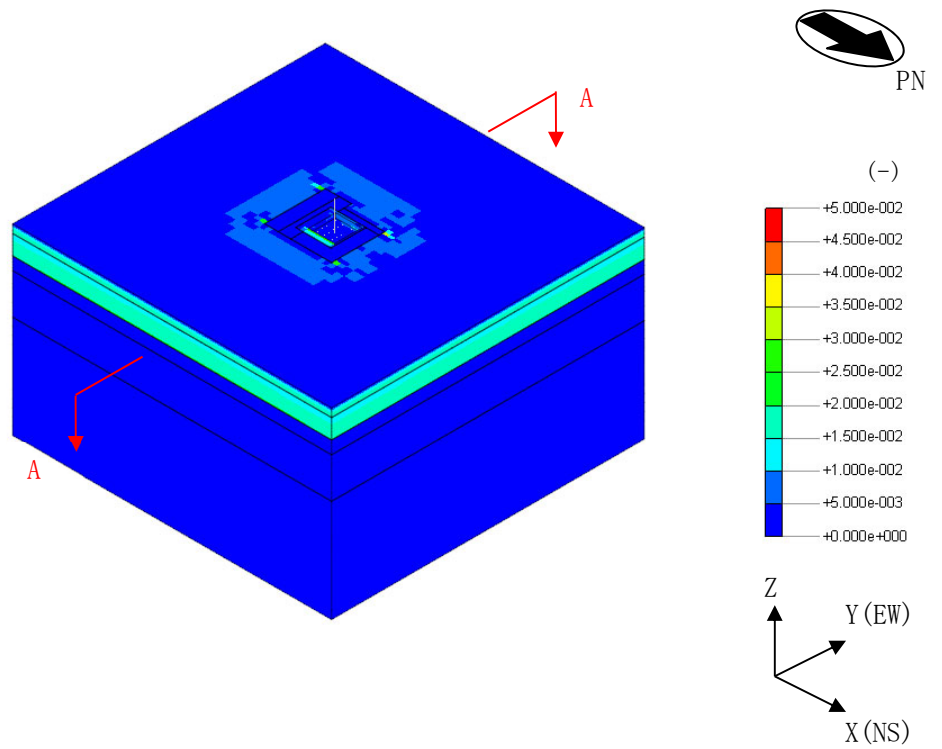


(a) 全体図

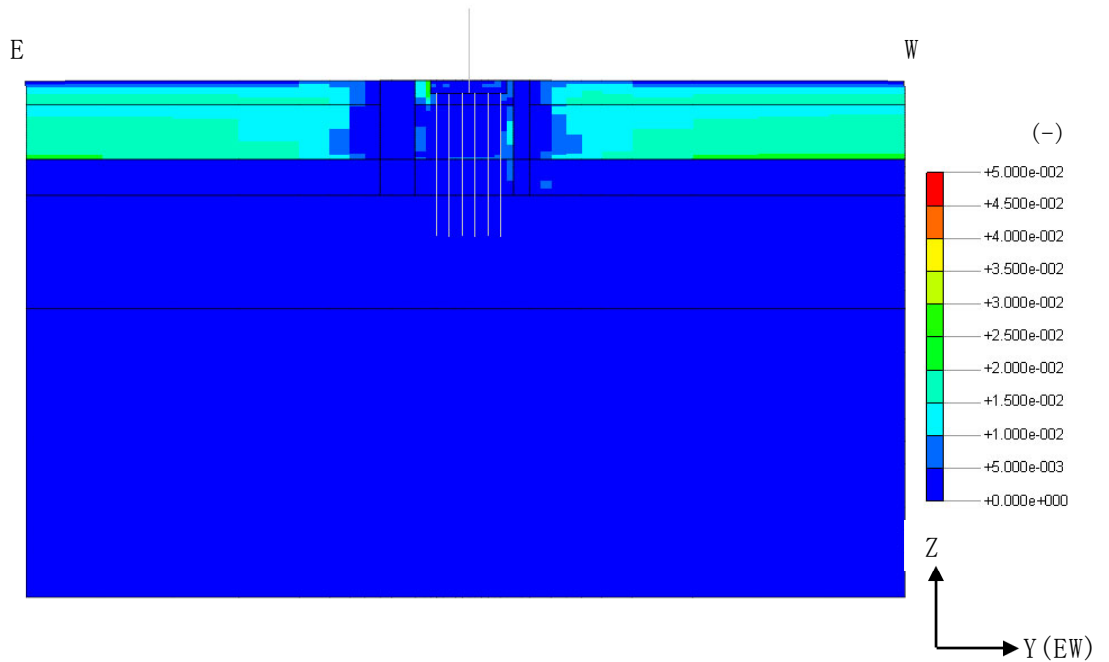


(b) A-A断面

図4-14 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-8, NS方向)

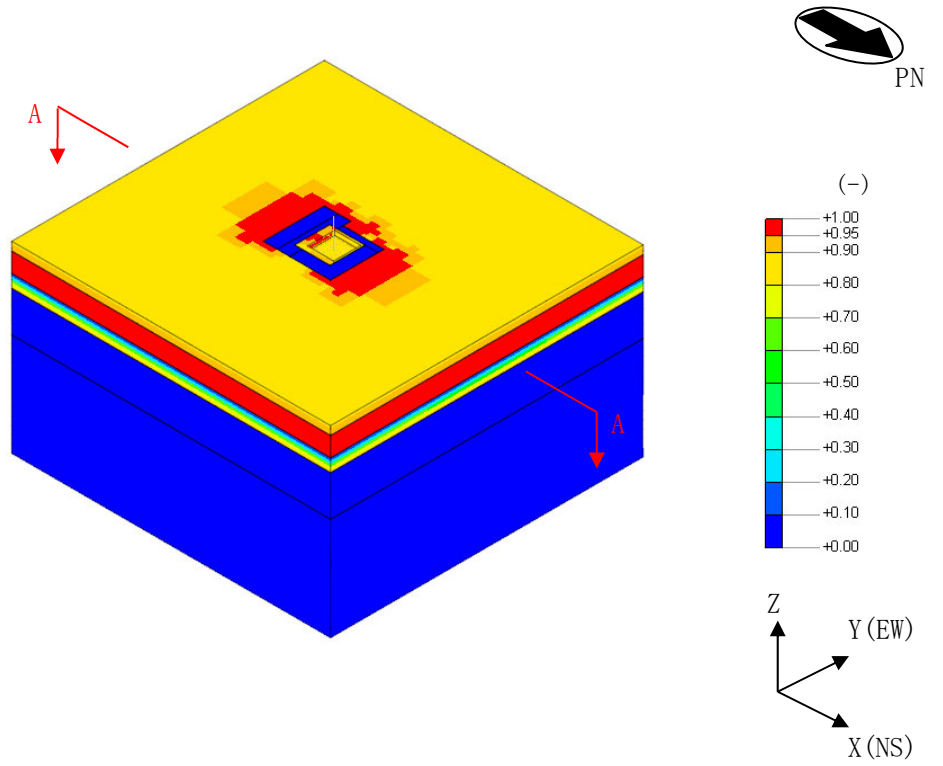


(a) 全体図

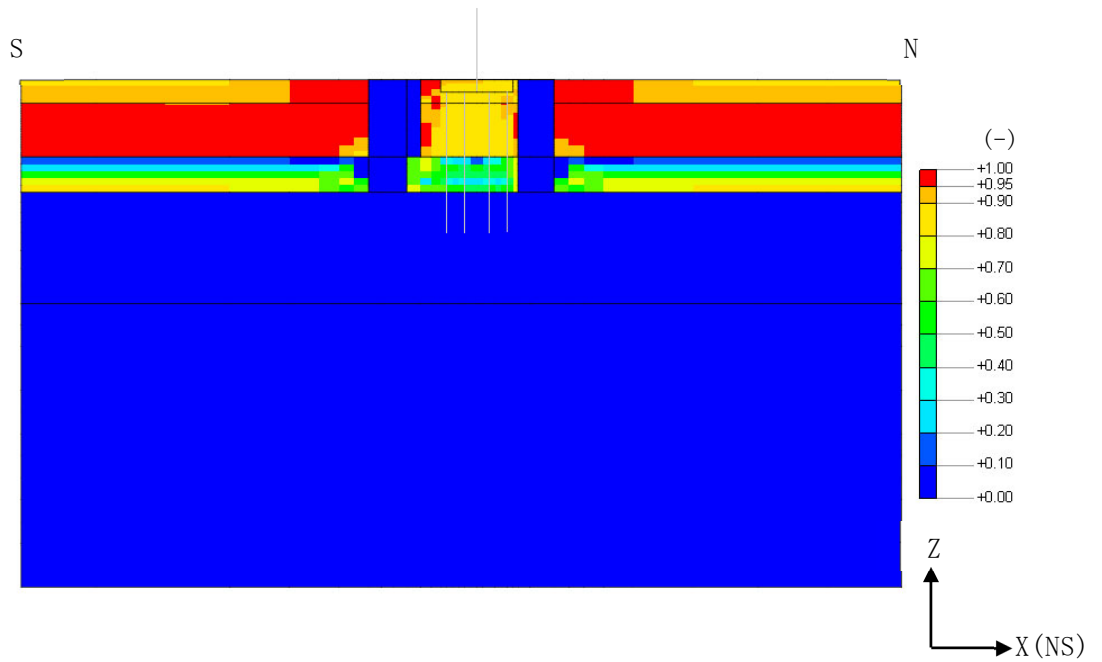


(b) A-A断面

図4-15 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-8, EW方向)

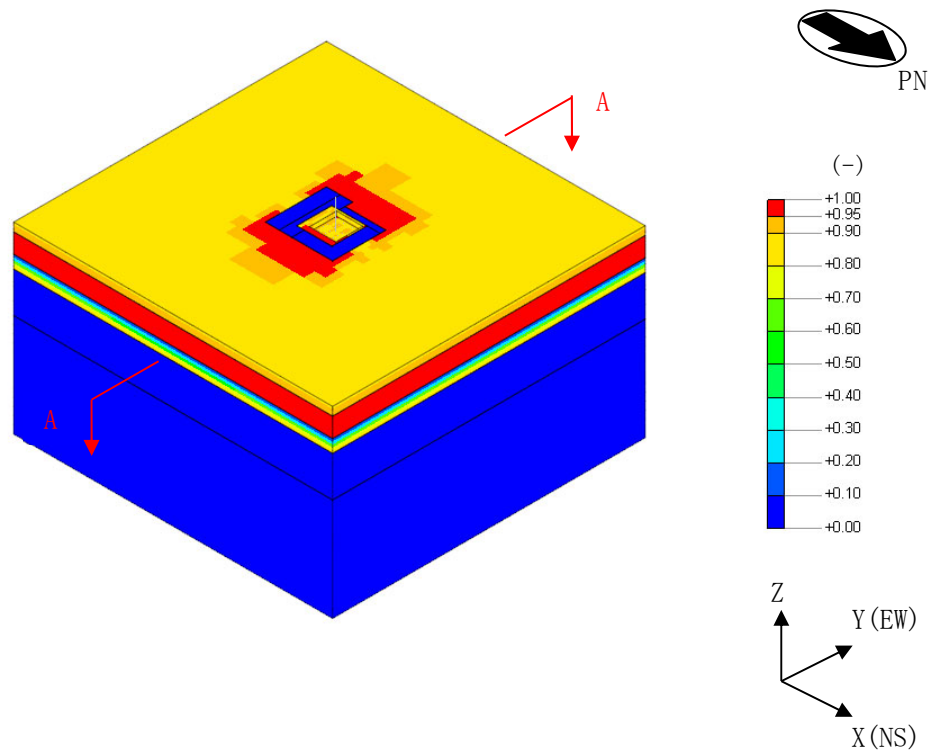


(a) 全体図

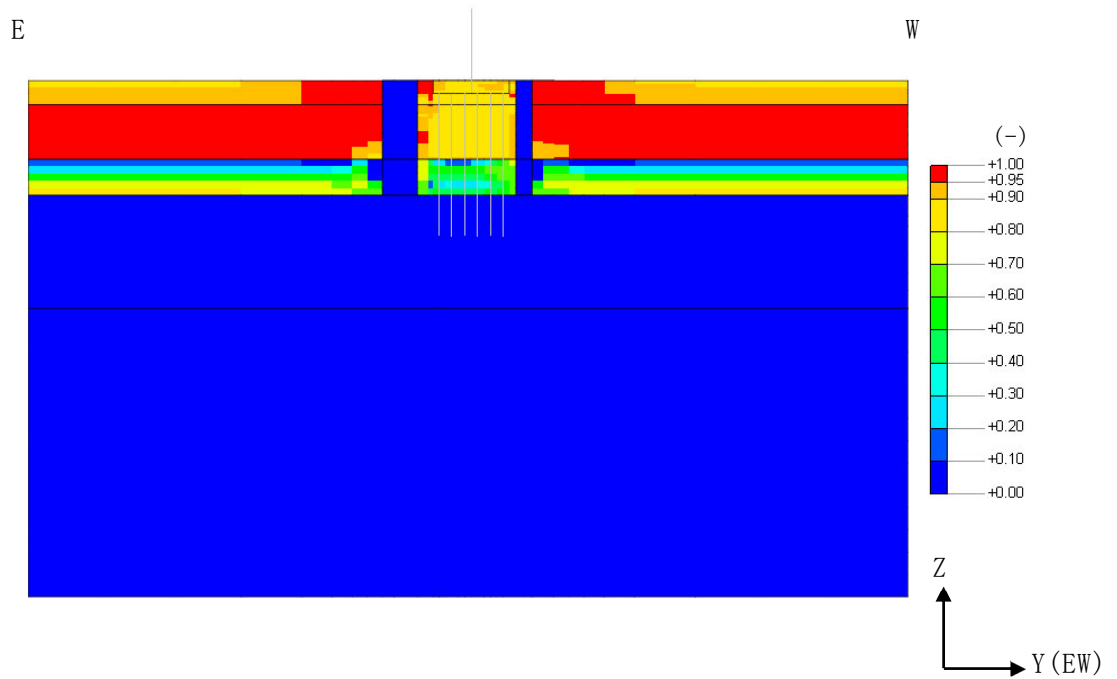


(b) A-A断面

図4-16 最大過剰間隙水圧比 (Ss-1, NS方向)

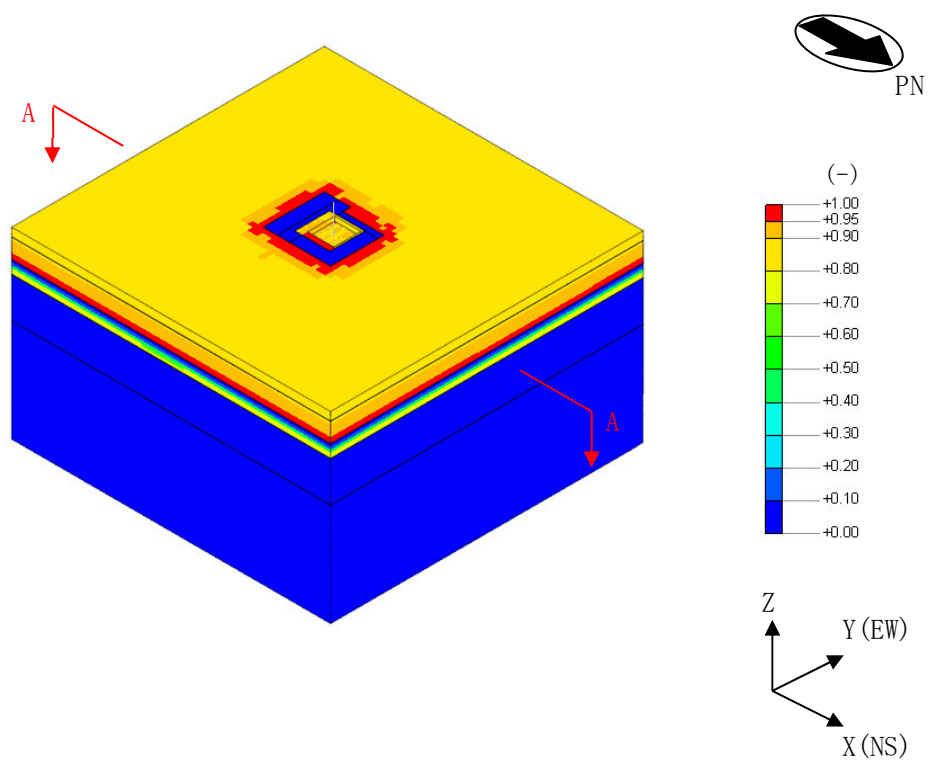


(a) 全体図

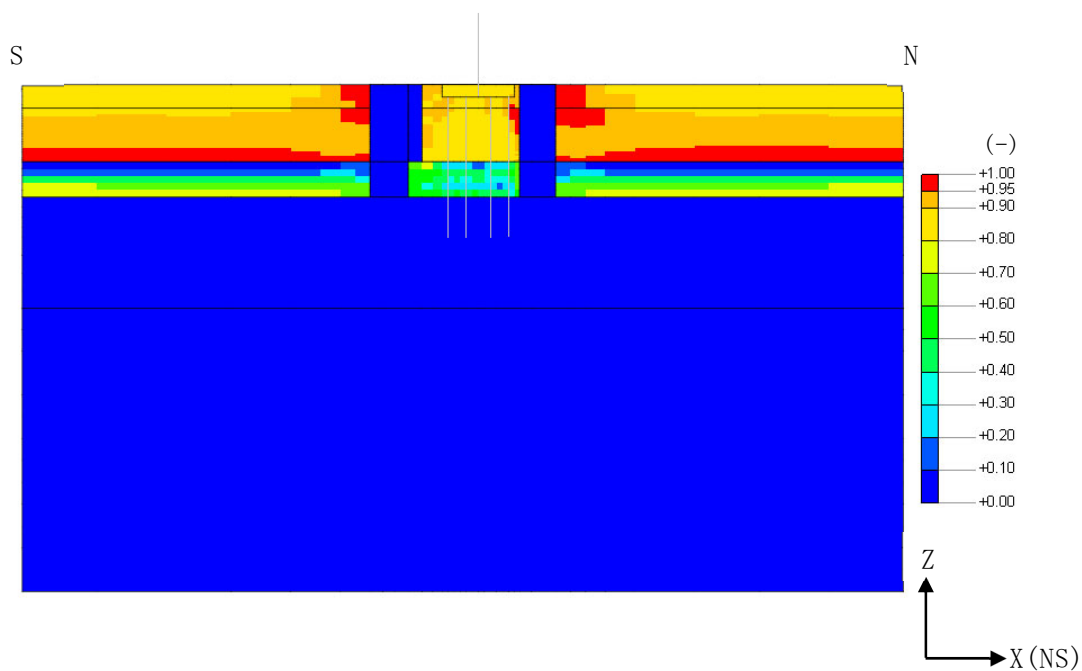


(b) A-A断面

図4-17 最大過剰間隙水圧比 (Ss-1, EW方向)

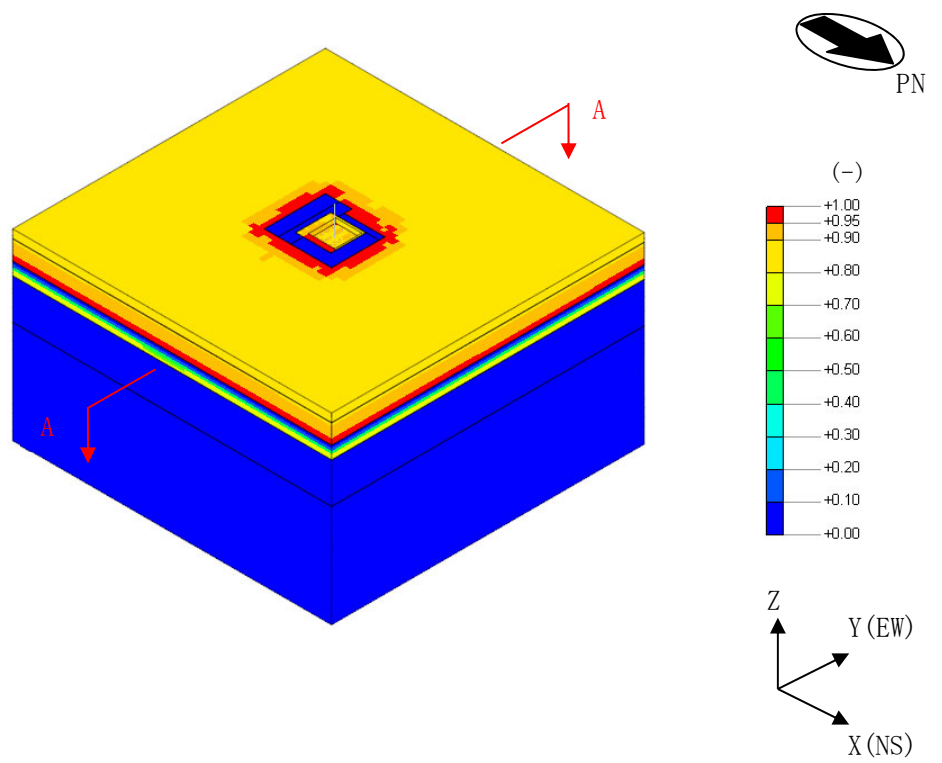


(a) 全体図

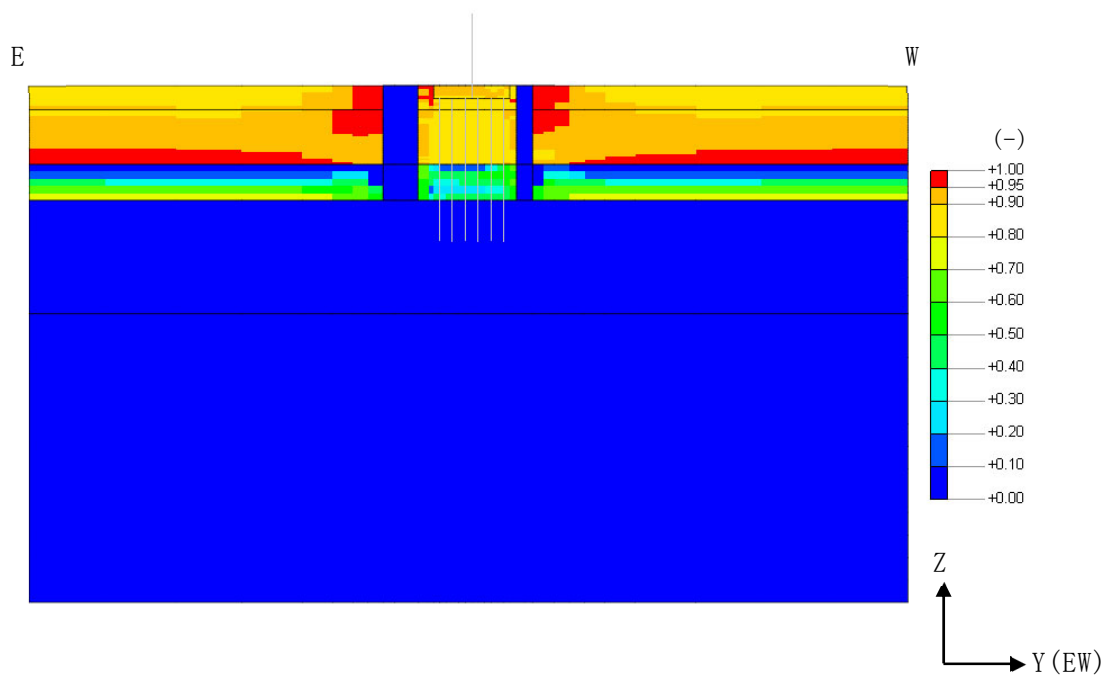


(b) A-A断面

図4-18 最大過剰間隙水圧比 (Ss-2, NS方向)

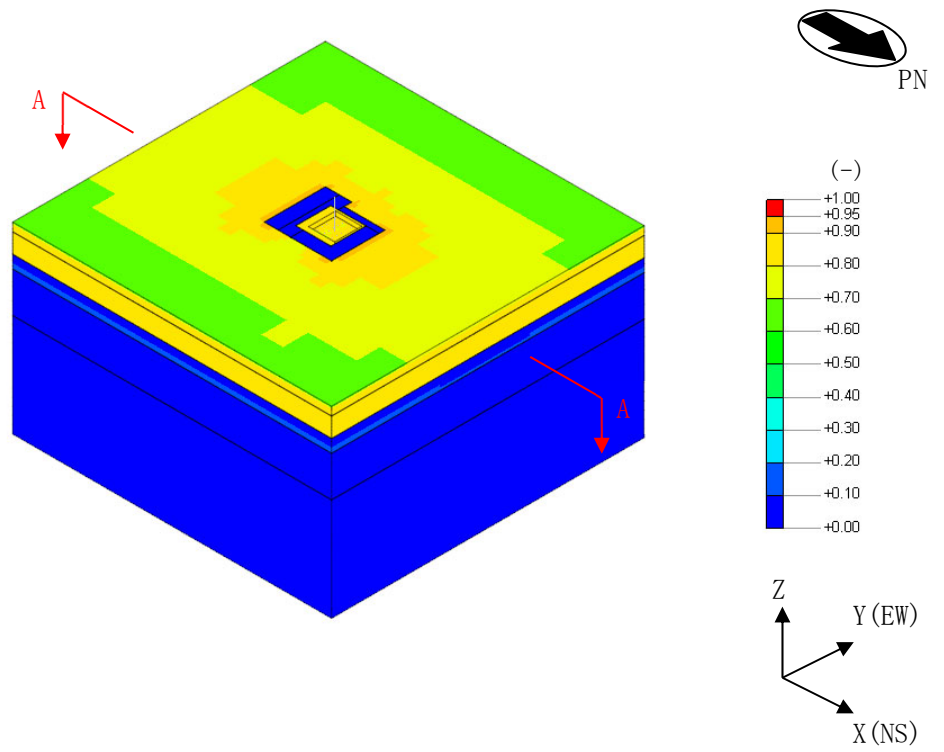


(a) 全体図

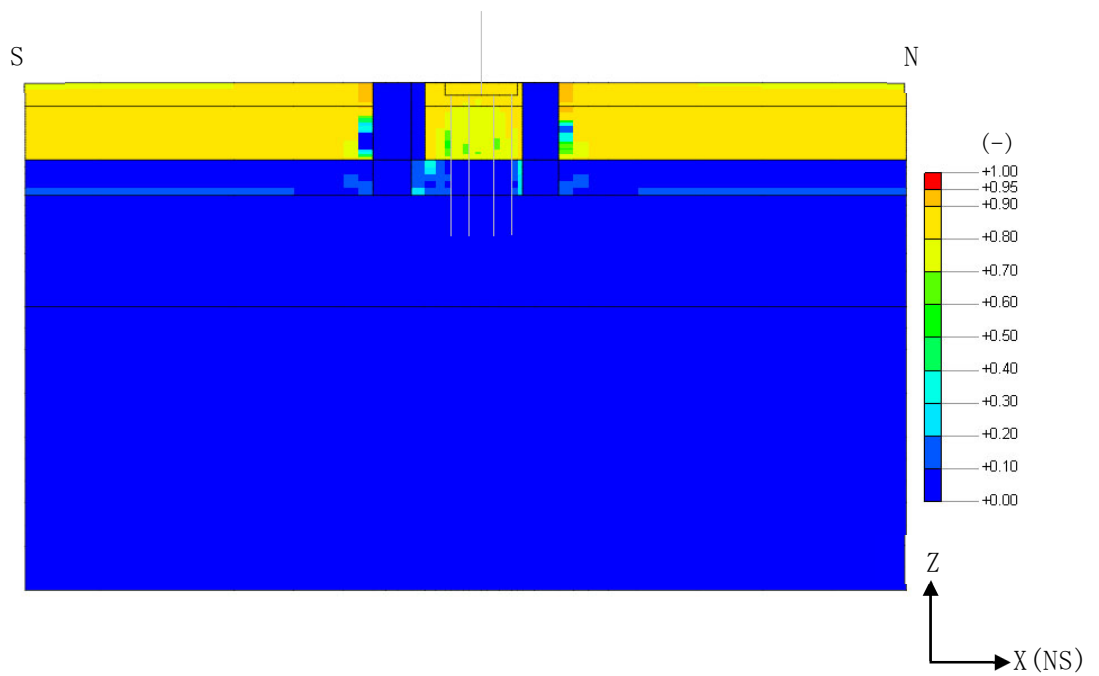


(b) A-A断面

図4-19 最大過剰間隙水圧比 (Ss-2, EW方向)

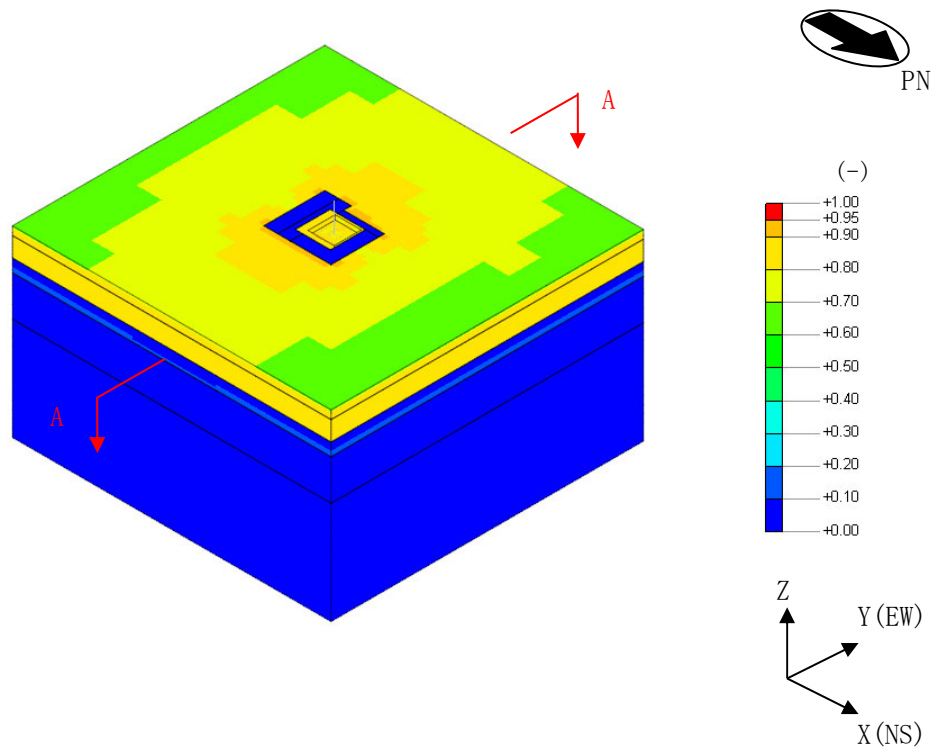


(a) 全体図

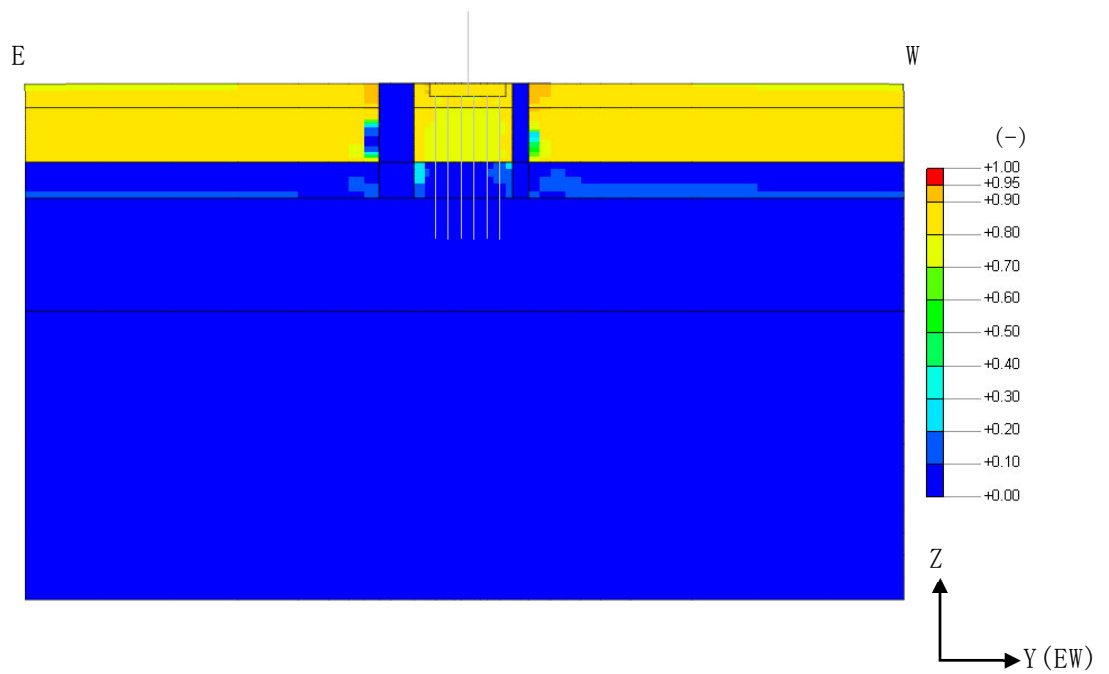


(b) A-A断面

図4-20 最大過剰間隙水圧比 (S_{s-8} , NS方向)



(a) 全体図



(b) A-A断面

図4-21 最大過剰間隙水圧比 (Ss-8, EW方向)

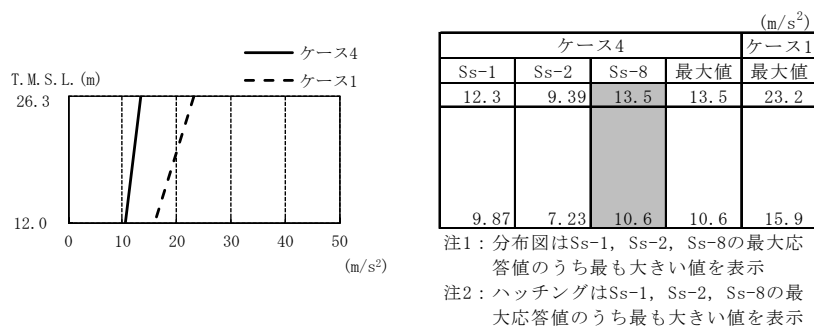


図4-22 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, NS方向)

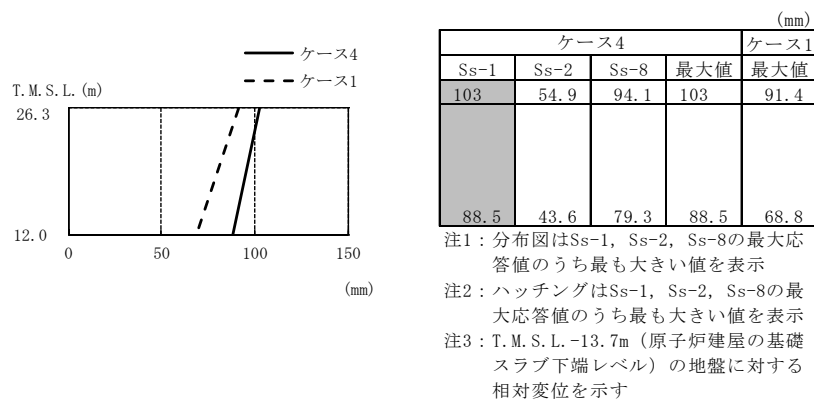


図4-23 最大応答変位 (基準地震動 S_s, NS方向)

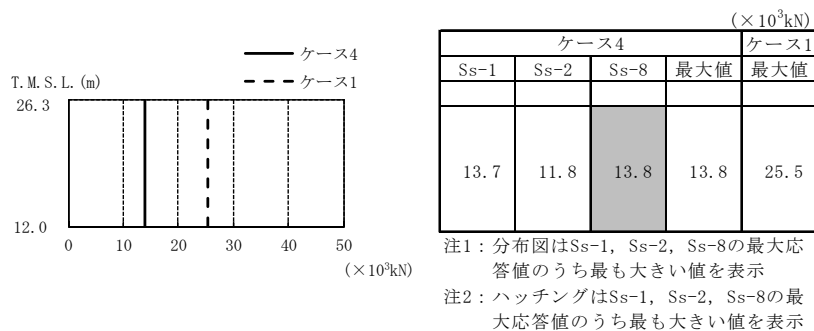


図4-24 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s, NS方向)

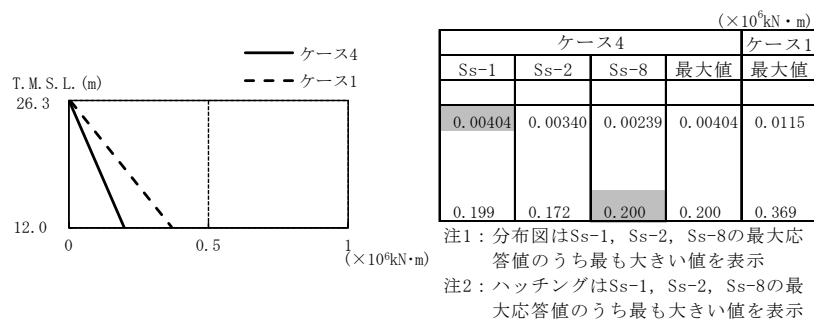


図4-25 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s, NS方向)

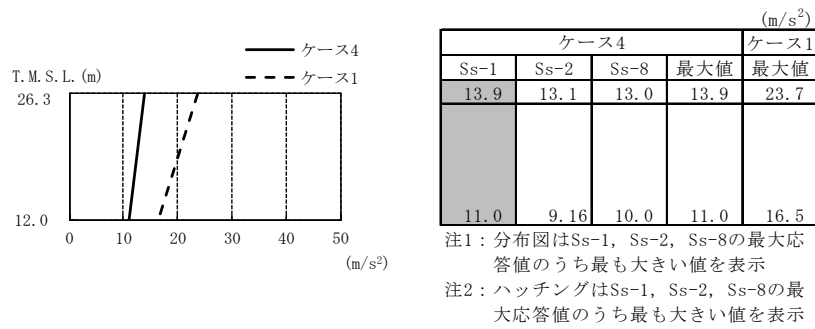


図4-26 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, EW方向)

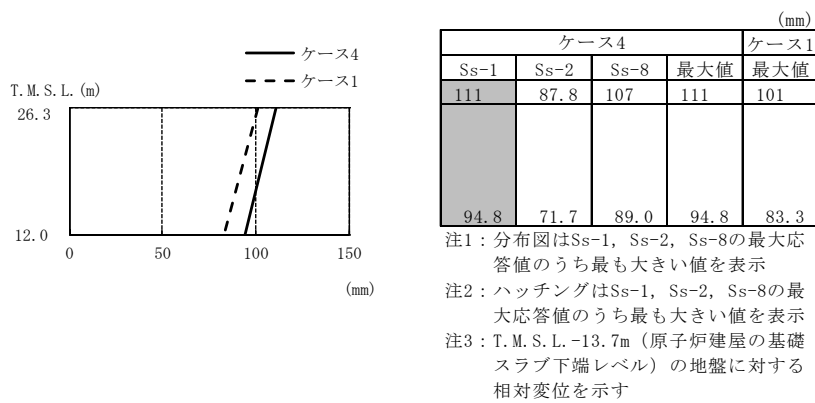


図4-27 最大応答変位 (基準地震動 S_s, EW方向)

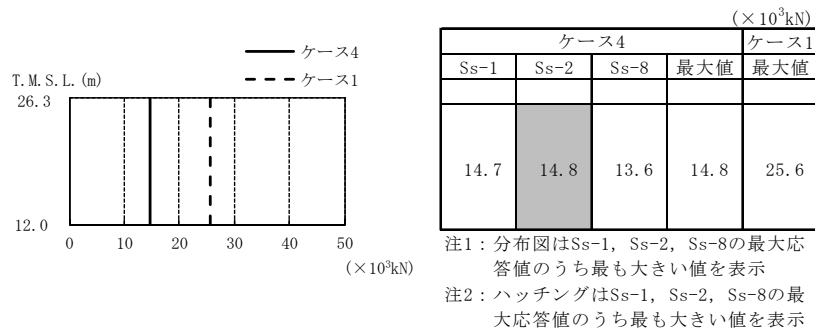


図4-28 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s, EW方向)

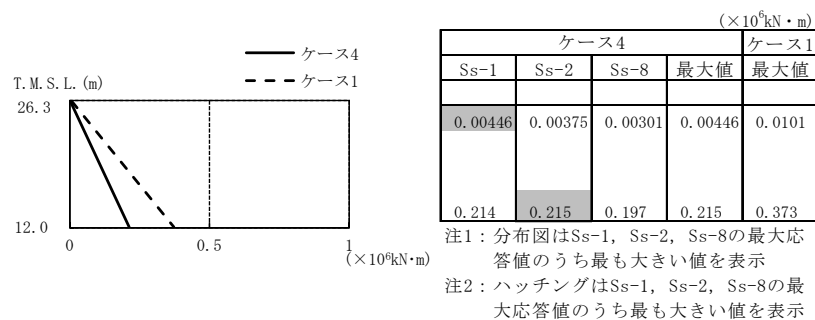


図4-29 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s, EW方向)

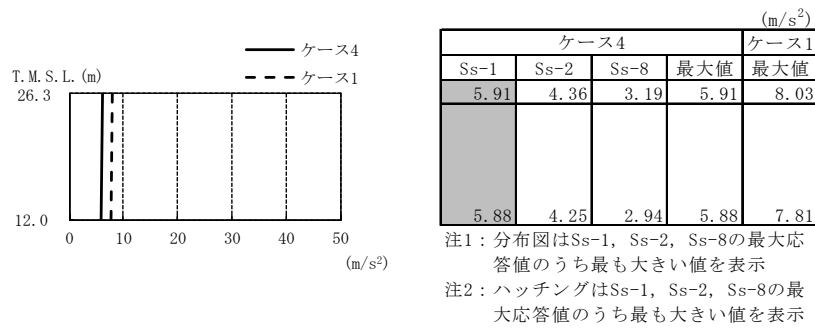


図4-30 最大応答加速度（基準地震動 S_s，鉛直方向）

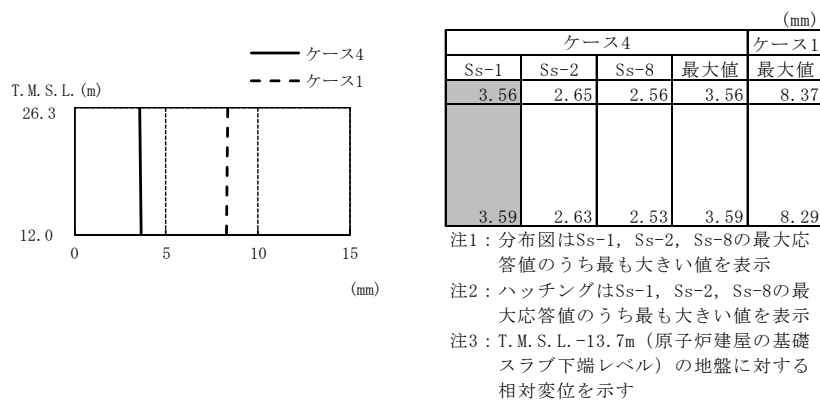


図4-31 最大応答変位（基準地震動 S_s，鉛直方向）

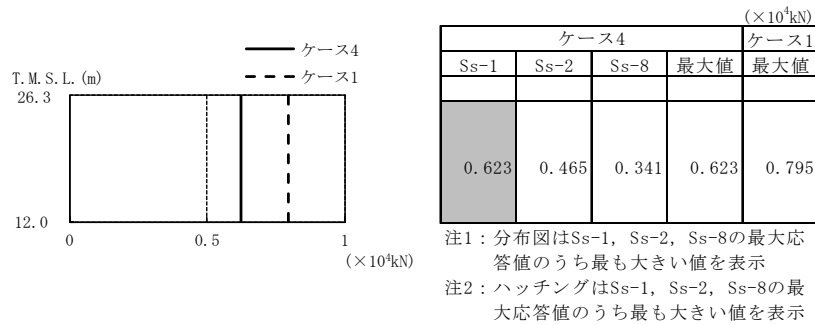


図4-32 最大応答軸力（基準地震動 S_s，鉛直方向）

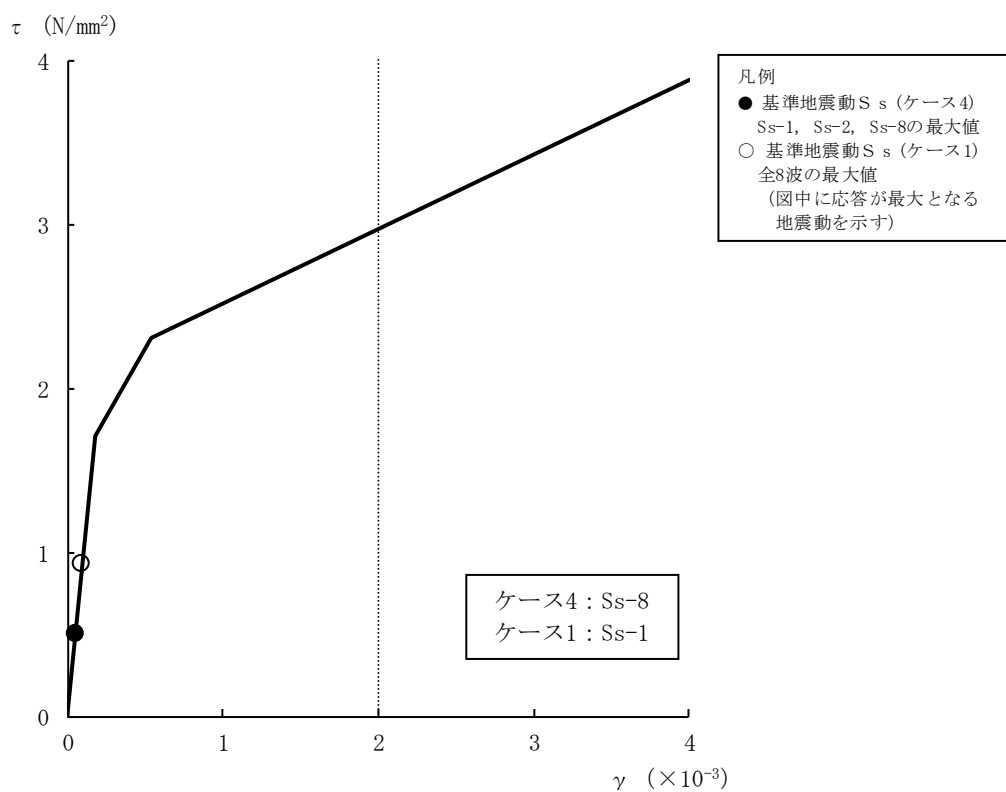


図4-33 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（基準地震動 S_s ，NS方向）

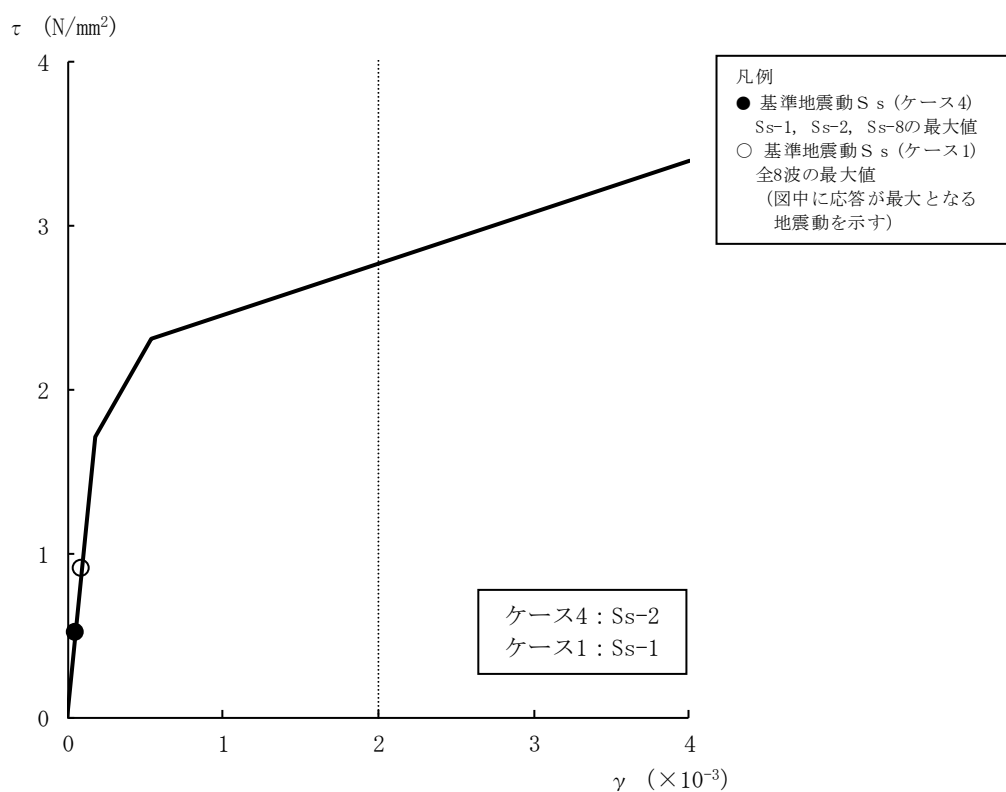
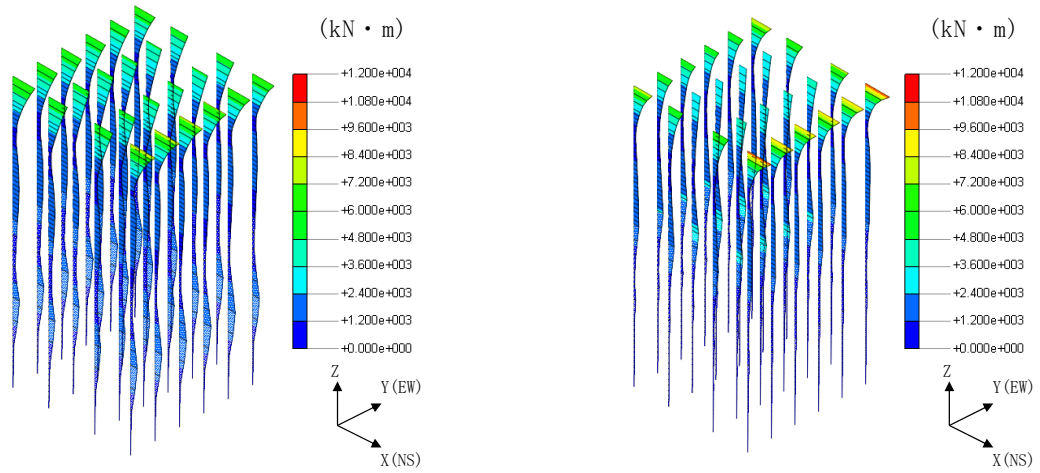


図4-34 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（基準地震動 S_s ，EW方向）

ケース 4

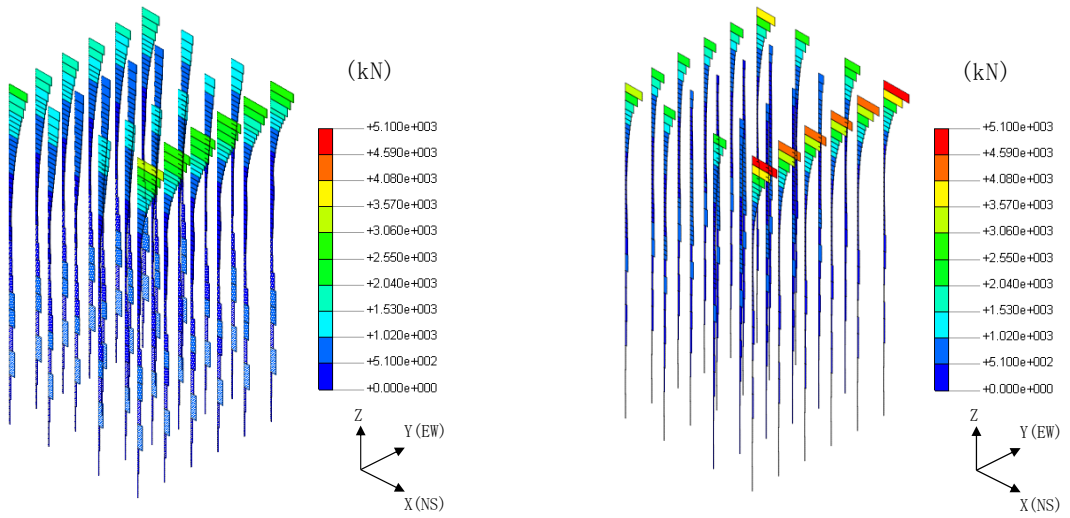
ケース 1



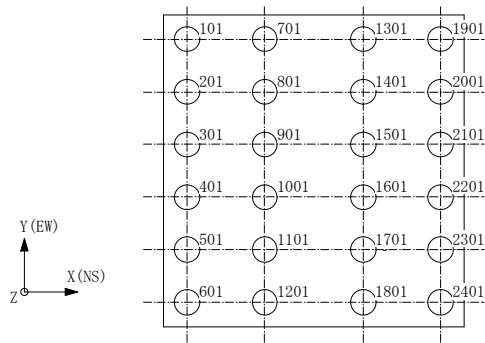
(a) 最大応答曲げモーメント

ケース 4

ケース 1

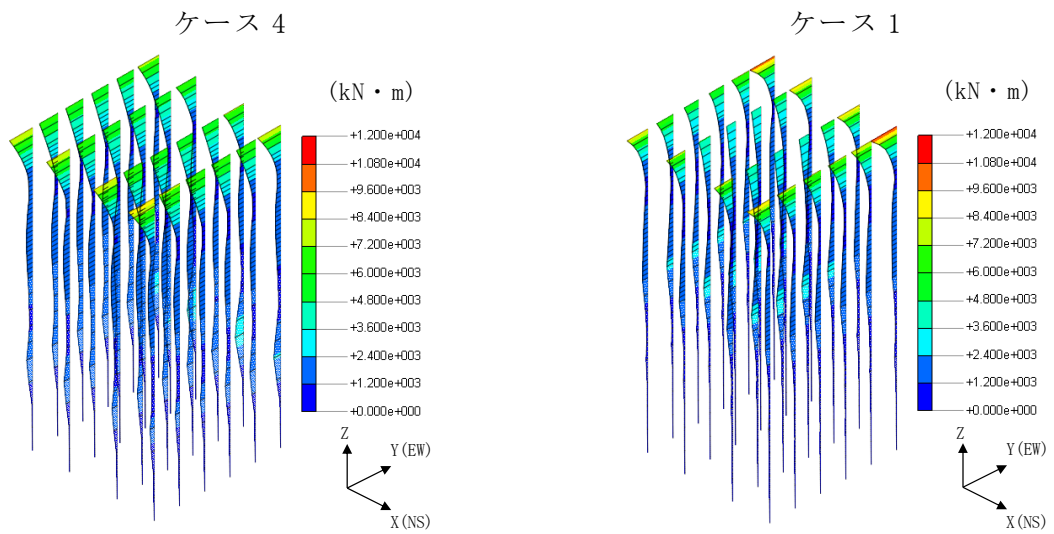


(b) 最大応答せん断力

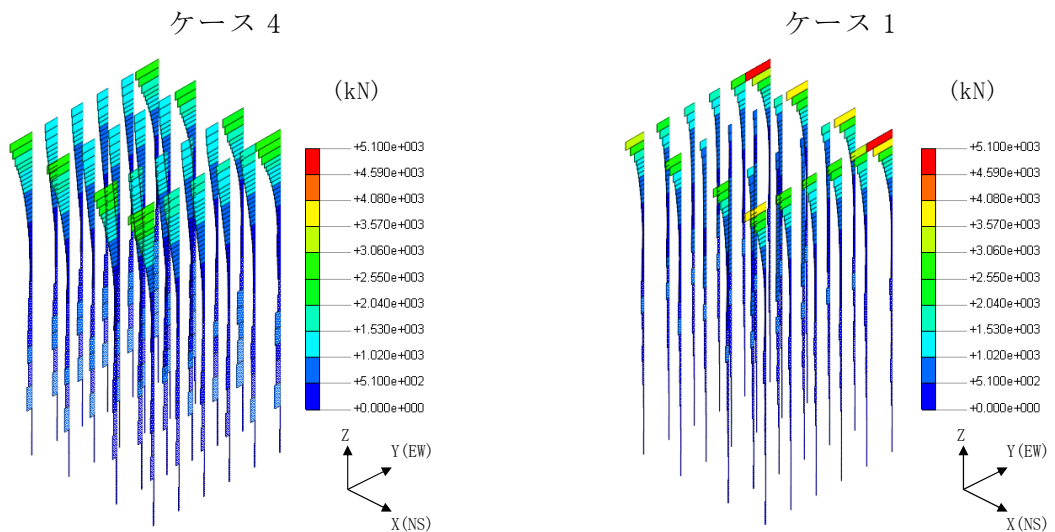


杭番号 (杭頭の要素番号)

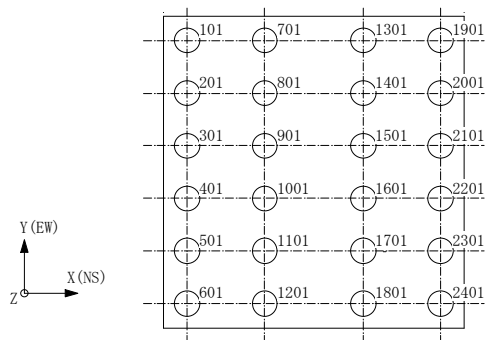
図 4-35 杭の応答値 (Ss-1, NS 方向)



(a) 最大応答曲げモーメント



(b) 最大応答せん断力



杭番号 (杭頭の要素番号)

図 4-36 杭の応答値 (Ss-1, EW 方向)

表4-1 杭頭断面力一覧 (1/2)

(a) 最大応答軸力

解析 ケース	ケース4		ケース1	
	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)
Ss-1 (NS)	601	5.45	2401	7.52
Ss-1 (EW)	2401	6.69	101	8.63
Ss-2	1901	7.79	601	9.55
Ss-8 (NS)	601	4.31	1901	6.32
Ss-8 (EW)	101	5.72	101	7.26

注1：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示

注2：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

解析 ケース	ケース4		ケース1	
	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)
Ss-1 (NS)	101	-3.53	101	-6.42
Ss-1 (EW)	1901	-4.84	601	-6.96
Ss-2	601	-6.44	601	-8.14
Ss-8 (NS)	101	-3.06	101	-4.88
Ss-8 (EW)	601	-4.08	601	-5.65

注1：ハッチングは最小応答値のうち最も小さい値を表示

注2：圧縮を正，引張を負とする

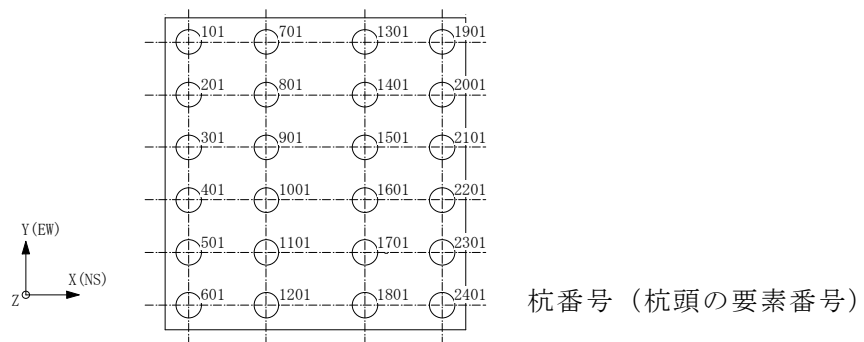


表4-1 杭頭断面力一覧 (2/2)

(c) 最大応答曲げモーメント

解析 ケース	ケース4			ケース1		
	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)
Ss-1 (NS)	2401	4.87	0.828	1901	7.33	1.06
Ss-1 (EW)	2401	3.21	0.951	1901	8.03	1.10
Ss-2	101	4.71	0.858	1901	6.61	1.18
Ss-8 (NS)	2401	3.27	0.847	1901	6.17	1.01
Ss-8 (EW)	1901	4.66	0.882	1901	6.56	1.04

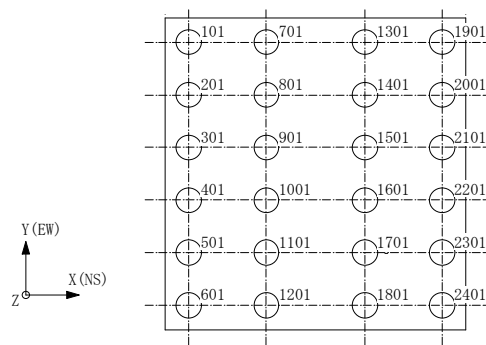
注1：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示

注2：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

解析 ケース	ケース4		ケース1	
	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)
Ss-1 (NS)	2401	3.19	1901	5.02
Ss-1 (EW)	2401	3.03	1901	4.98
Ss-2	101	3.23	2401	4.93
Ss-8 (NS)	2401	3.10	1901	4.60
Ss-8 (EW)	1901	2.94	1901	4.61

注：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示



杭番号 (杭頭の要素番号)

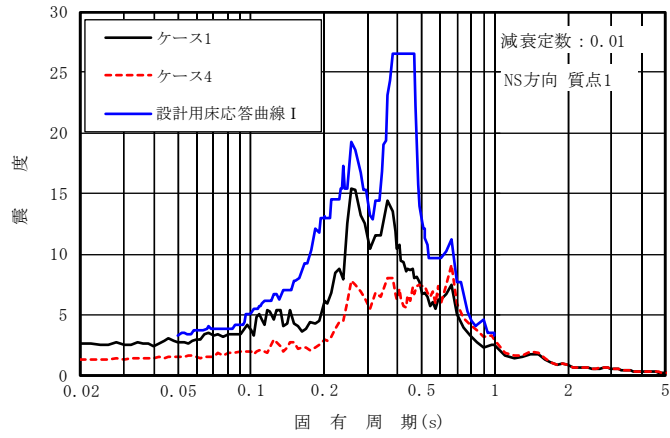
5. 機器・配管系評価に与える影響

装置基礎が内包する機器はフィルタ装置，よう素フィルタ，ドレンタンク及びドレン移送ポンプである。V-2-9-4-5-5-1「ドレン移送ポンプの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-1「ドレンタンクの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-3「フィルタ装置の耐震性についての計算書」及びV-2-9-4-7-1-4「よう素フィルタの耐震性についての計算書」に示すとおり，いずれも剛構造である。図4-22，図4-26及び図4-30に示すとおり，ケース4の最大応答加速度はケース1を下回ることから，機器の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

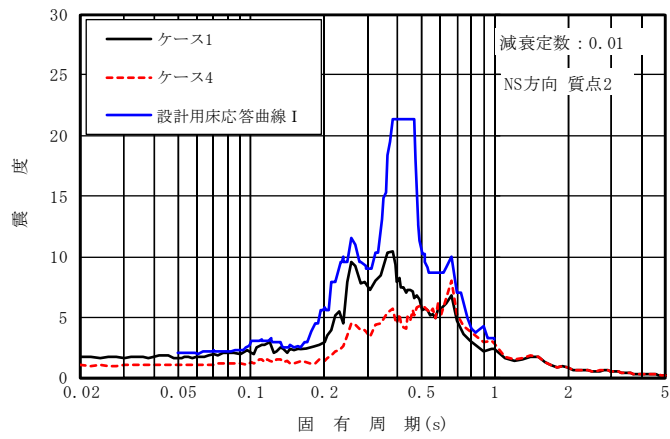
基準地震動 S_s におけるケース4とケース1の床応答スペクトル及び設計に用いている床応答スペクトル（V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線I）の比較を図5-1～図5-6に示す。図5-1～図5-6に示すとおり，地盤の有効応力の変化を考慮することにより，地盤剛性の低下に伴い全体的に長周期化する傾向であることを確認した。V-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」に示すとおり，配管の主要な周期帯は0.05s～0.07sである。ケース4の床応答スペクトルはケース1の床応答スペクトルよりも配管の主要な周期帯において小さくなり，設計用床応答曲線Iを下回ることを確認した。

図4-23及び図4-27に示すとおり，ケース4の水平方向の最大応答変位はケース1を上回るものの，V-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」に示すとおり十分な裕度をもたせている。

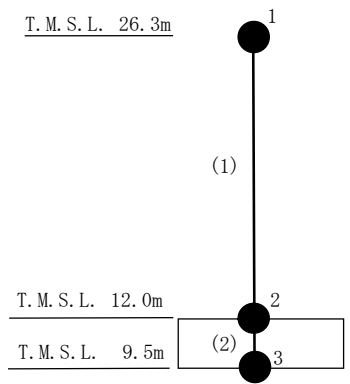
以上より，地盤の有効応力の変化を考慮しても機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。



(a) 質点 1

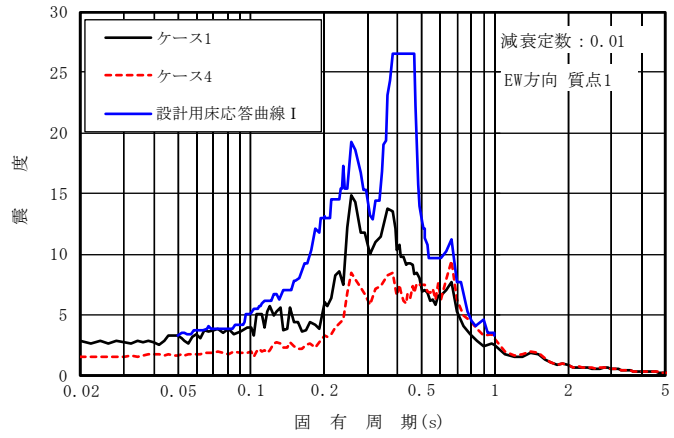


(b) 質点 2

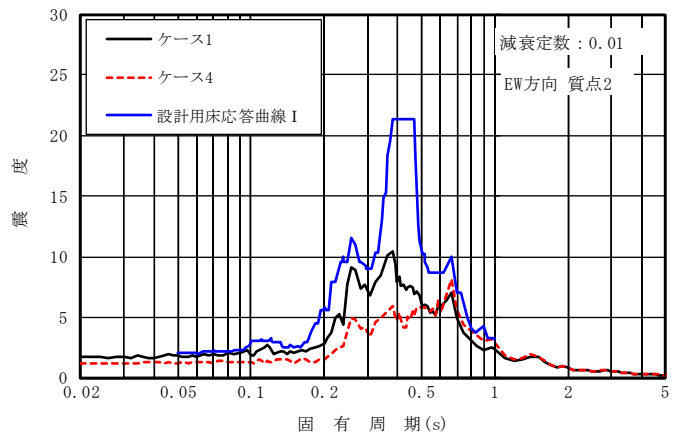


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

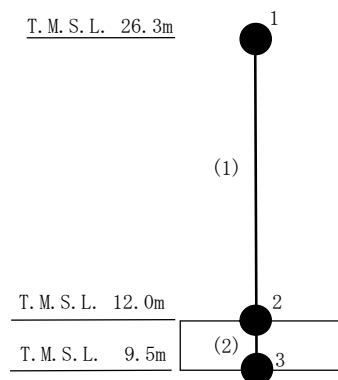
図 5-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

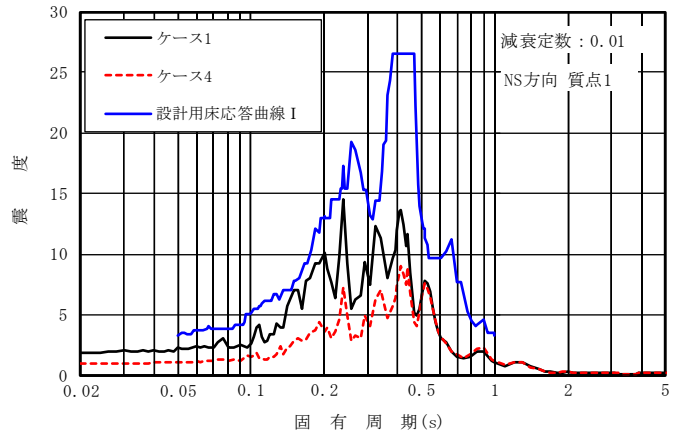


(b) 質点 2

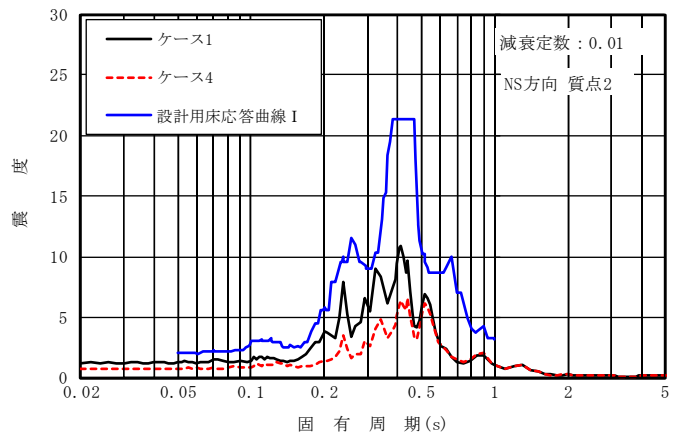


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

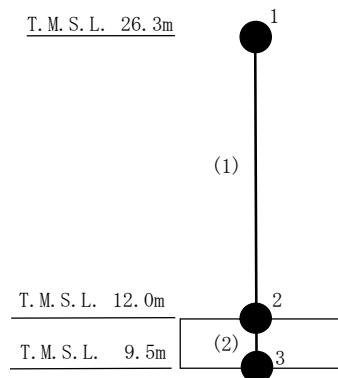
図 5-2 床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

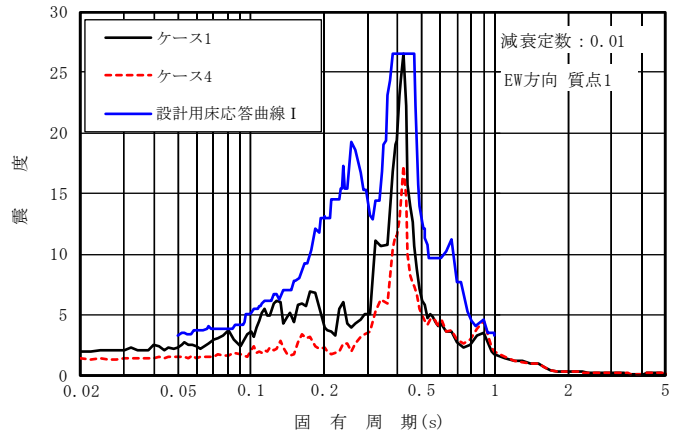


(b) 質点 2

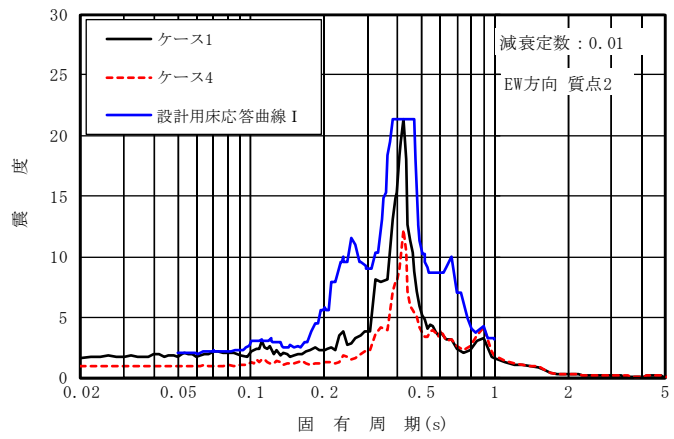


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

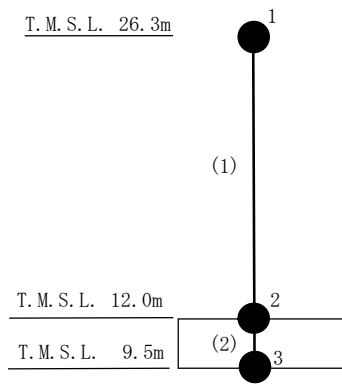
図 5-3 床応答スペクトル比較 (Ss-2, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

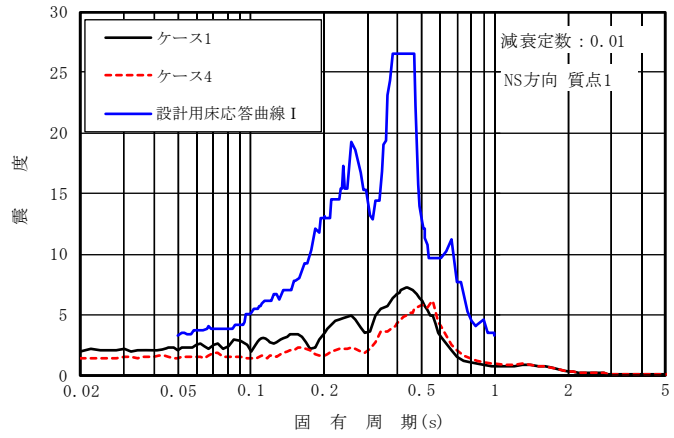


(b) 質点 2

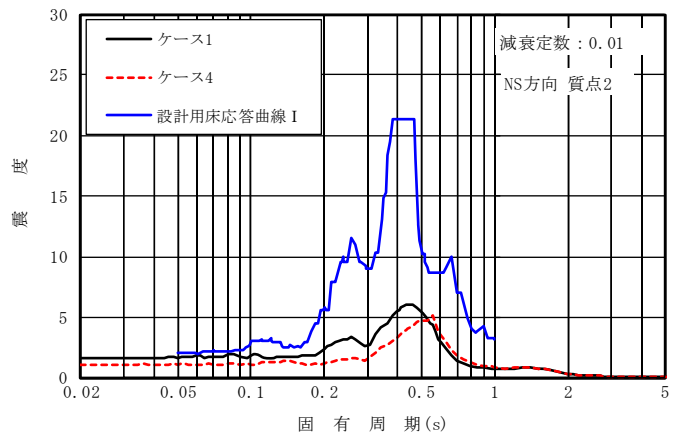


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

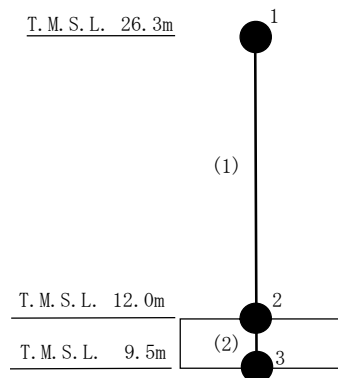
図 5-4 床応答スペクトル比較 (Ss-2, EW 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

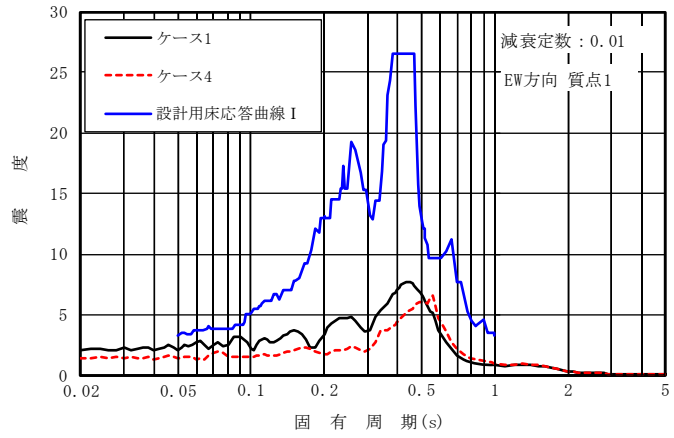


(b) 質点 2

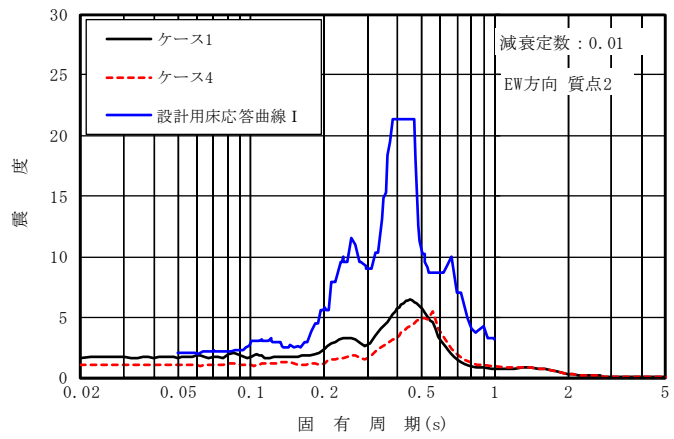


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

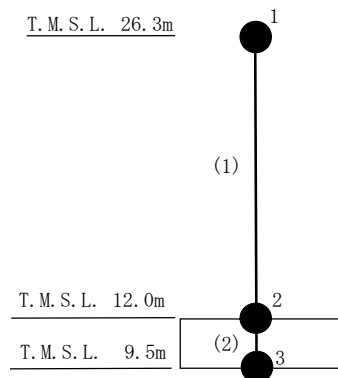
図 5-5 床応答スペクトル比較 (Ss-8, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1



(b) 質点 2



注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

図 5-6 床応答スペクトル比較 (Ss-8, EW 方向, h=0.01)

6. まとめ

有効応力解析を実施した結果、装置基礎の発生応力及びせん断ひずみについては有効応力解析の結果が全応力解析の結果を下回り、変位については有効応力解析の結果が全応力解析の結果を上回ることを確認した。変位は、建物・構築物の構造強度及び機能維持の確認に用いず、機器・配管系においてもV-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」に示すとおり十分な裕度をもたせていることから、全応力解析による各種応答値を用いて建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力を設定し、構造強度及び機能維持の確認を行うことは保守的な評価となることを確認した。

また、有効応力解析の床応答スペクトルは、基本ケースの床応答スペクトルを配管の主要な周期帯において下回り、設計用床応答曲線 I を下回ることから、配管の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

(参考資料3) 建物・構築物と屋外重要土木構造物の耐震評価手法について

1. 概要

装置基礎は、地上高さ 14.3m の構築物であり、建築基準法における工作物に該当するため、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち建物・構築物に基づき耐震評価を実施している。本資料は、有効応力解析を実施する建物・構築物と屋外重要土木構造物の耐震評価手法について示すものである。

2. 耐震評価手法の比較方法

有効応力解析を用いた建物・構築物と屋外重要土木構造物の耐震評価については、装置基礎と屋外重要土木構造物のうち、装置基礎と類似した構造物及び液状化対策を行う軽油タンク基礎に適用する規格・基準、解析条件等を比較する。装置基礎と軽油タンク基礎の構造比較を表 2-1 に示す。

表 2-1 装置基礎と軽油タンク基礎の構造比較

	格納容器圧力逃がし装置基礎 (FV)	軽油タンク基礎 (LOT)
上部構造物	耐震壁：鉄筋コンクリート造 基礎スラブ：鉄筋コンクリート造	基礎スラブ：鉄筋コンクリート造
基礎構造	杭基礎 場所打ち鋼管コンクリート杭 (ϕ 1200mm, 鋼管 t=25mm)	杭基礎 鋼管杭 (ϕ 800mm, t=12~18mm)
地盤改良体	液状化時の変形抑制を目的として施設周辺を地盤改良 新設地盤改良体(置換, 高圧噴射)	液状化時の変形抑制を目的として施設周辺を地盤改良 既設地盤改良体(置換, 高圧噴射), 新設地盤改良体(置換, 高圧噴射)

3. 耐震評価手法の比較結果

装置基礎と軽油タンク基礎に適用する規格・基準の比較表を表 3-1 に、解析条件の比較表を表 3-2 に示す。各施設とも地盤改良体を併用した杭基礎構造物であるが、適用する規格・基準、解析条件等に差異がある。この差異の理由は以下の 4 点に大別される。

- ① 建築基準法の適用の有無（適用する規格・基準）
- ② 杭種別（適用する規格・基準）
- ③ 地盤改良体の形状
- ④ 解析コード

ここで、①の差異については、装置基礎が建築基準法における工作物に該当するため、建築基準法が適用されるのに対し、軽油タンク基礎においては建築基準法の制約はない。それに伴い、耐震評価に用いる規格・基準が異なるが、いずれも適用実績のある規格・基準である。

②の差異については、構造物の特徴、要求機能及び施工性を考慮した設計過程で選定された仕様であり、いずれも杭種別に応じた規格・基準に準拠した評価となっている。

③の差異については、地盤改良体の複雑な平面形状、群杭効果及びボックス形状の地盤改良体が基礎直下の原地盤の水平変形を拘束する効果が構造物の応答に与える影響が特に大きいと考えられる装置基礎において、3次元 FEM モデルを採用している。

④の差異については、有効応力解析に用いた解析コードの違いであるが、各施設における液状化パラメータは共通の液状化試験結果に基づき設定されており、同等の液状化特性を表現できる有効応力モデルになっている。

以上より、装置基礎と軽油タンク基礎の耐震評価手法について比較した結果、各施設の建築基準法の適用の有無や構造物の特徴及びそれに伴うモデル化手法の違いはあるが、構造物の応答に影響を与える液状化パラメータが同等であることから、各施設における耐震評価手法は妥当であると考えられる。

表 3-1 適用する規格・基準の比較表

項目		格納容器圧力逃がし装置基礎 (FV)		軽油タンク基礎 (LOT)		FV/LOT 差異の理由
		適用する規格・基準	適用実績	適用する規格・基準	適用実績	
使用材料及び材料定数		・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005 制定)	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002 年)	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	①建築基準法の適用の有無
荷重及び荷重の組合せ		・建築基準法・同施行令 ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005 制定) ・JEAC4601-2008	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準 先行審査において適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002 年)	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	①建築基準法の適用の有無
許容限界	鉄筋コンクリート部材	・建築基準法・同施行令 ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005 制定) ・JEA4601-1987	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (2005 年)	先行審査において適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	①建築基準法の適用の有無
	杭	・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2001 改定)	先行審査において適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	・乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009 ・鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕(2008 年)	先行審査において適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	②杭種別
	基礎地盤の支持性能	・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (平成 14 年 3 月)	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (平成 14 年 3 月)	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	差異無し
地震応答解析		・JEA4601-2008	先行審査において適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	・JEA4601-1987	工認審査ガイドにおいて適用実績のある耐震設計に関連した規格・基準	①建築基準法の適用の有無

表 3-2 解析条件の比較表

項目	格納容器圧力逃がし装置基礎 (FV)		軽油タンク基礎 (LOT)		FV/LOT 差異の理由
	解析条件	適用する規格・基準, 適用実績等	解析条件	適用する規格・基準, 適用実績等	
地震応答解析 (有効応力解析)	解析モデル	3次元 FEM モデル	—	2次元 FEM モデル	・先行審査で適用実績のある解析モデル ③地盤改良体の形状
	解析コード	SoilPlus	・2次元 FEM では、玄海の先行審査で適用実績のある解析コードであるが、3次元 FEM モデルの適用実績がないため、解析コードの検証を実施	FLIP	・先行審査で適用実績のある解析コード ④解析コード
	地盤モデル	水平成層地盤	・先行審査で適用実績のあるモデル化手法	不整形地盤	・先行審査で適用実績のあるモデル化手法 ①建築基準法の適用の有無
	地盤の τ - γ 関係	H-D モデルを用いた多重せん断ばねモデル	・先行審査で適用実績のあるモデル化手法	H-D モデルを用いた多重せん断ばねモデル	・先行審査で適用実績のあるモデル化手法 差異無し
	有効応力モデル	おわんモデル	・液化化パラメータは、液化化試験結果に基づき設定	井合モデル	・液化化パラメータは、液化化試験結果に基づき設定 ④解析コード
	鉄筋コンクリート 部材のモデル	耐震壁：非線形モデル（トリリニアモデル） 基礎スラブ：線形モデル	・JEAG4601-1991 追補版 ・先行審査で適用実績のあるモデル化手法	— 基礎スラブ：線形モデル	・先行審査で適用実績のあるモデル化手法 差異無し
	杭のモデル	非線形モデル（バイリニアモデル）	・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2001 改定)	非線形モデル（バイリニアモデル）	・乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009 ・先行審査で適用実績のあるモデル化手法 ②杭種別
応力解析	鉄筋コンクリート部材のモデル	線形シェル要素	・先行審査で適用実績のあるモデル化手法	非線形積層シェル要素	・先行審査で適用実績のあるファイバー要素を 2 次元平面に拡張したモデル化手法 ①建築基準法の適用の有無

別紙5 装置基礎剛性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-2
2.1 装置基礎剛性の不確かさの設定	別紙 5-2
2.2 入力地震動	別紙 5-2
3. 検討結果	別紙 5-3
3.1 固有値解析結果	別紙 5-3
3.2 地震応答解析結果	別紙 5-6
3.3 装置基礎の耐震評価に与える影響	別紙 5-17
3.3.1 耐震壁	別紙 5-17
3.3.2 杭	別紙 5-18
3.3.3 基礎スラブ	別紙 5-19
4. 機器・配管系評価に与える影響	別紙 5-20
5. まとめ	別紙 5-23

1. 概要

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の剛性については，新設構造物であるため，設計基準強度を用いている。コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなることから，建物・構築物の耐震性評価においては不確かさを考慮していない。ただし，装置基礎については，重要な設備を内包しているため，機器・配管系への影響評価の観点で，装置基礎剛性の不確かさを考慮した場合の影響を検討する。本資料は，装置基礎剛性の不確かさを考慮した地震応答解析を行い，装置基礎剛性が機器・配管系評価に与える影響を確認するものである。

2. 検討方針

2.1 装置基礎剛性の不確かさの設定

地震応答解析モデルにおける装置基礎剛性の算定に用いるコンクリート強度の不確かさ検討の考え方を表2-1に示す。コンクリート強度は、「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準（(社)日本原子力学会，2007）」に基づき $1.4 \times F_c$ （ 33.6N/mm^2 ）で設定する。

表 2-1 コンクリート強度の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	コンクリート強度
基本ケース	設計基準強度 (F_c) 24.0N/mm^2
不確かさ	不確かさ強度 ($1.4 \times F_c$) 33.6N/mm^2

2.2 入力地震動

本検討は、機器・配管系評価に与える影響を確認するために行うことから、検討に用いる地震波は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる S_s-1 とする。なお、 S_s-1 については水平方向の方向性が定義されていないことから、地震応答解析においてNS方向、EW方向及び鉛直方向をそれぞれ入力する。

3. 検討結果

3.1 固有値解析結果

装置基礎剛性を変動させた地震応答解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表3-1、固有振動モードを図3-1に示す。表、図中では基本ケースをケース1、装置基礎剛性の不確かさを考慮したケースをケース5として示す。

ケース5の固有振動数は、ケース1と同等であることを確認した。

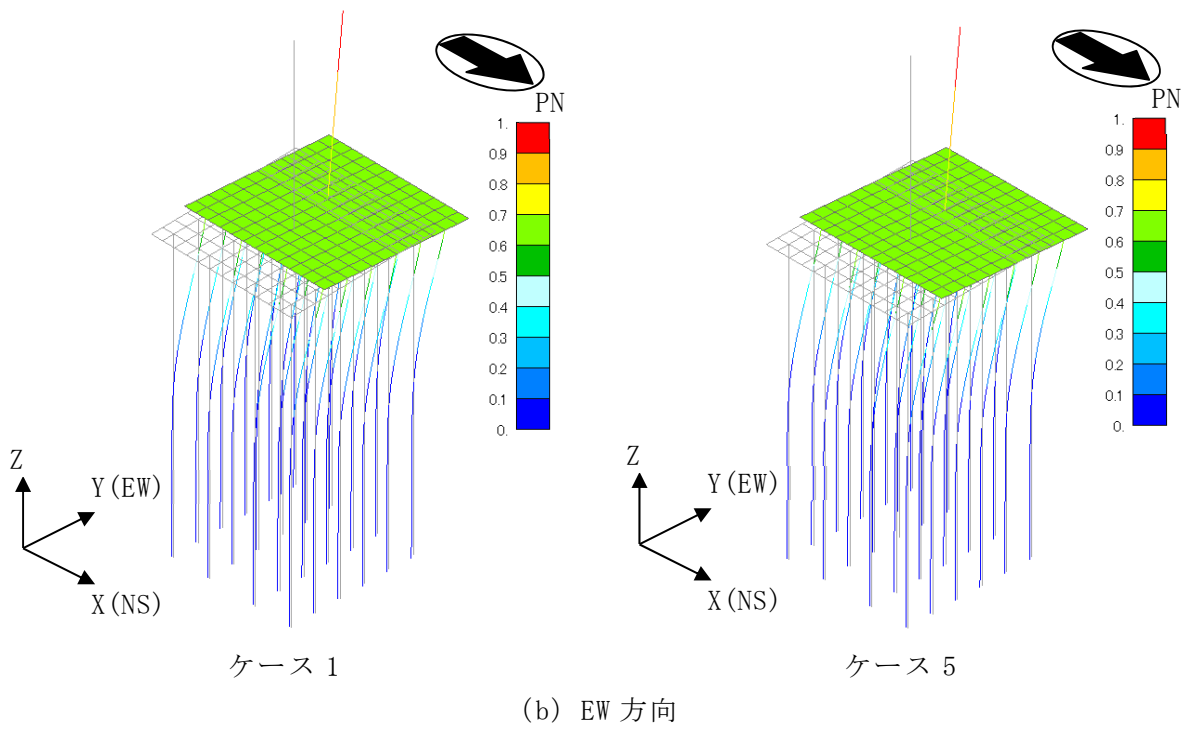
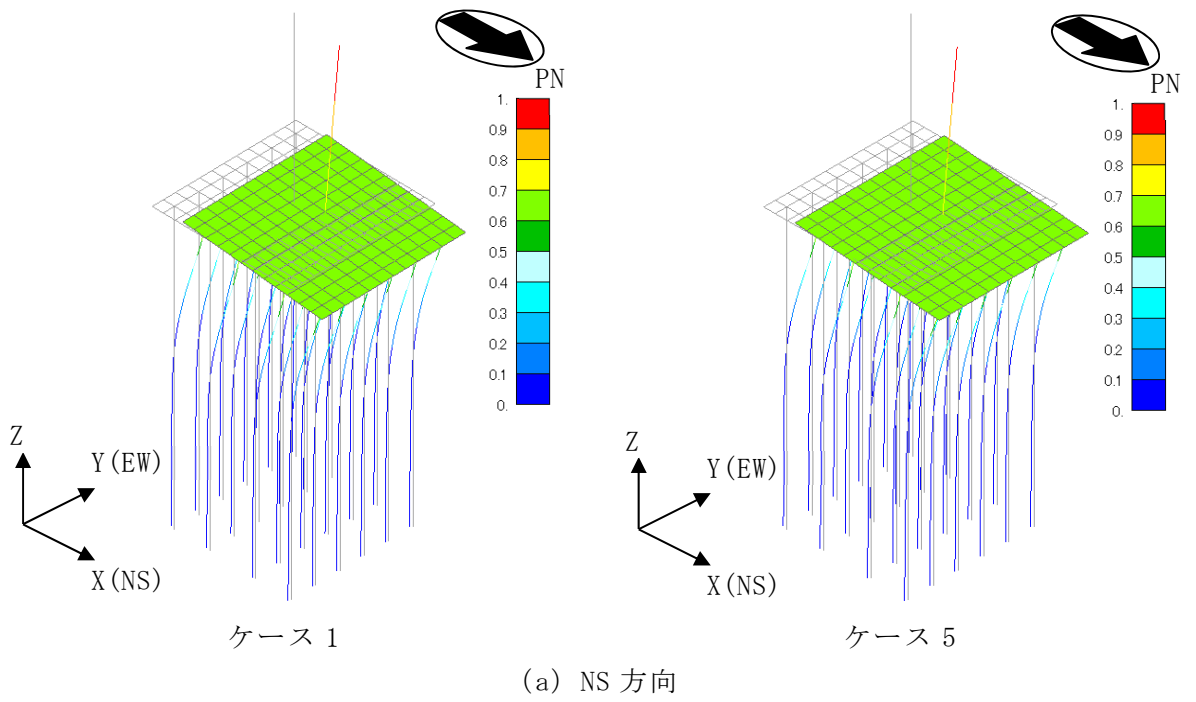
表 3-1 固有値解析結果 (Ss-1)

(単位 : Hz)

方向	ケース1	ケース5
NS	2.84	2.84 (1.00)
EW	2.79	2.79 (1.00)
鉛直	11.04	11.04 (1.00)

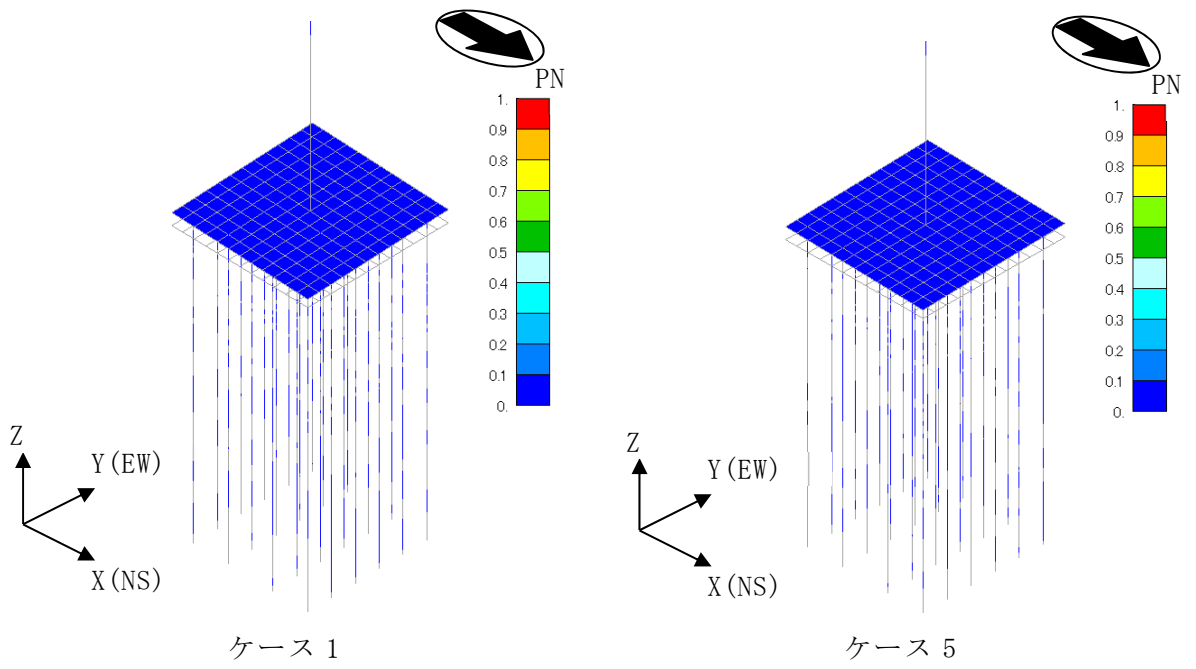
注 1 : 建屋-杭連成一次モード

注 2 : () 内は、ケース 1 に対する比率を示す



注：凡例は全体モデルにおいて基準化した固有ベクトルを示す。

図 3-1 固有振動モード (Ss-1) (1/2)



(c) 鉛直方向

注：凡例は全体モデルにおいて基準化した固有ベクトルを示す。

図 3-1 固有振動モード (Ss-1) (2/2)

3.2 地震応答解析結果

装置基礎剛性の不確かさを考慮したSs-1による地震応答解析結果を図3-2～図3-14及び表3-2に示す。また、ケース5の最大応答値と基準地震動Ss-1～Ss-8について材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果の包絡値*（以下「パラスタケース包絡値」という。）の比較を図3-15～図3-27及び表3-3に示す。ケース5の最大応答値はパラスタケース包絡値を部分的に上回ることから、耐震評価に与える影響を次節で確認する。

注記*：別紙3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」参照。

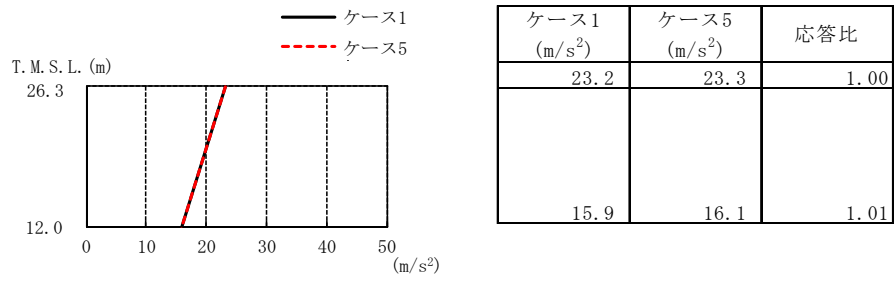


図3-2 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

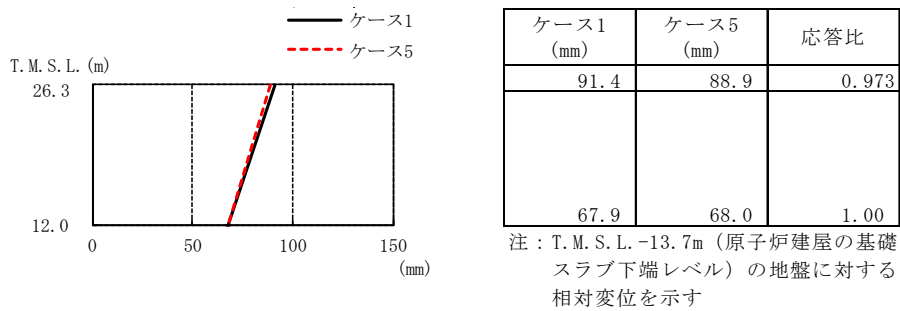


図3-3 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

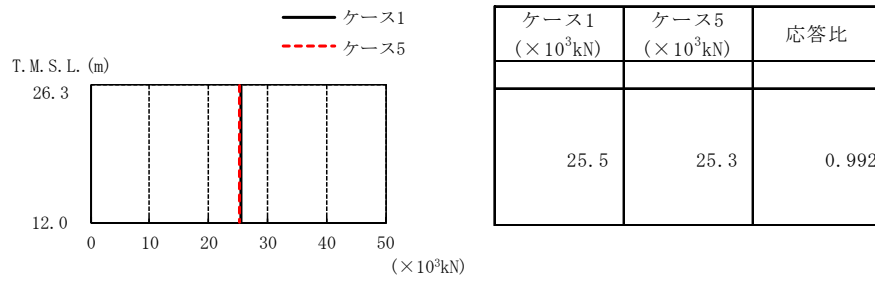


図3-4 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

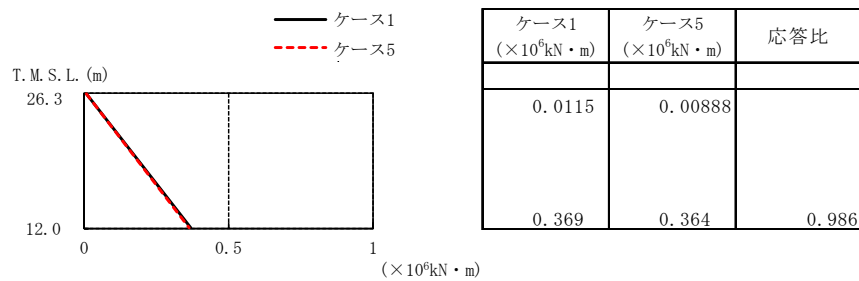


図3-5 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

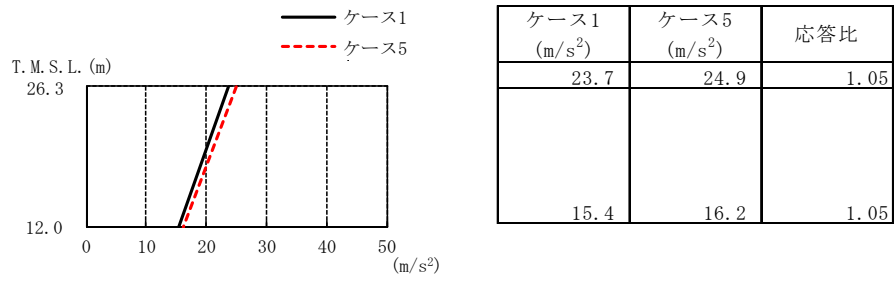


図3-6 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

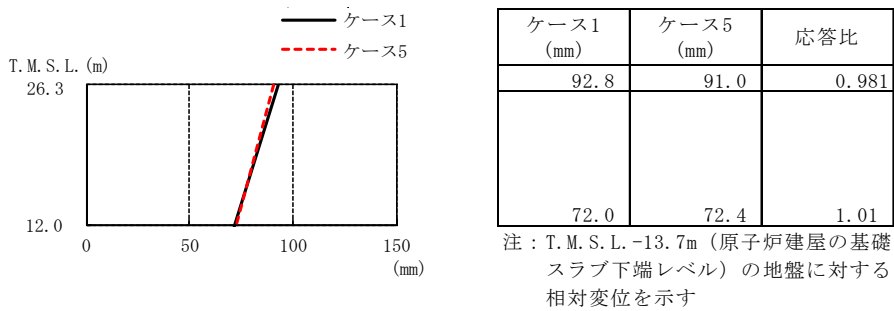


図3-7 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

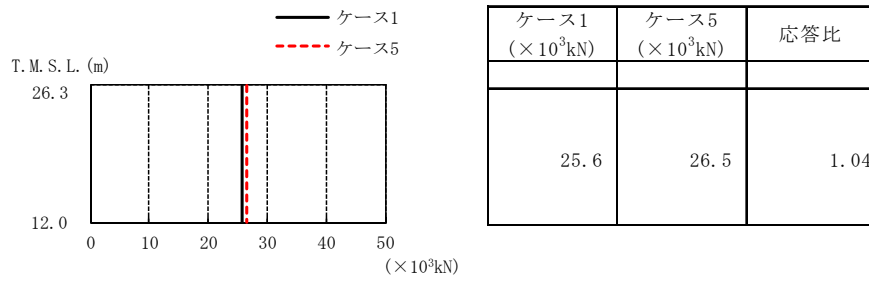


図3-8 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

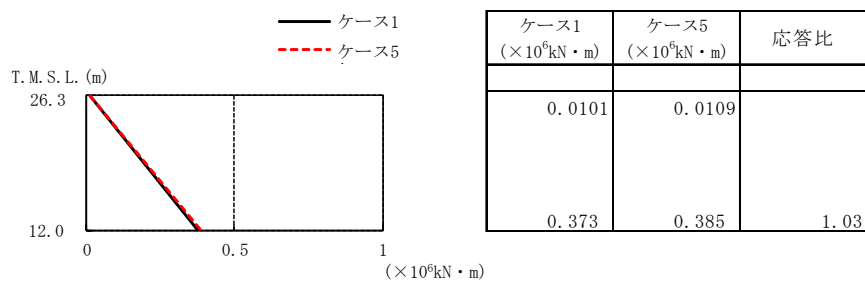


図3-9 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)

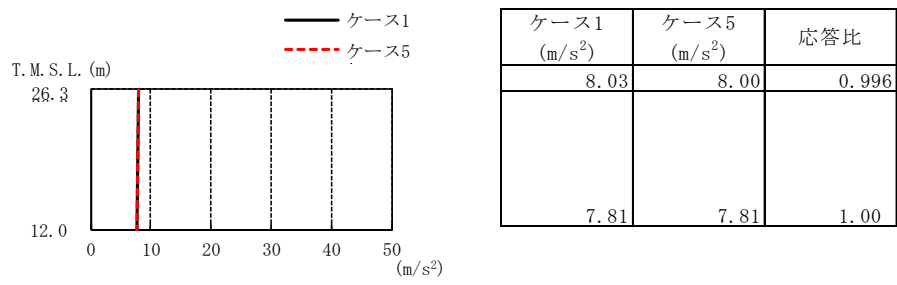


図3-10 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

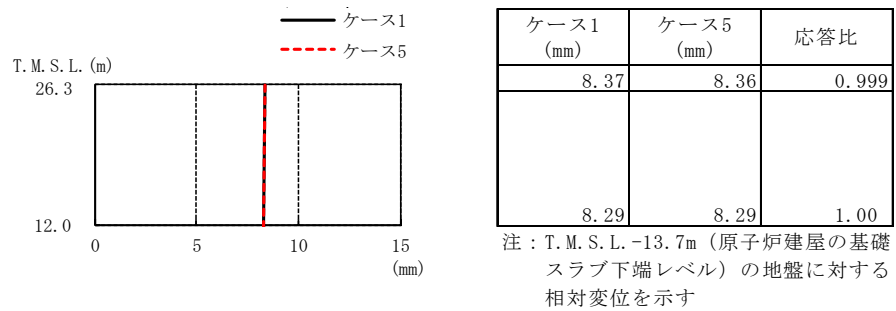


図3-11 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

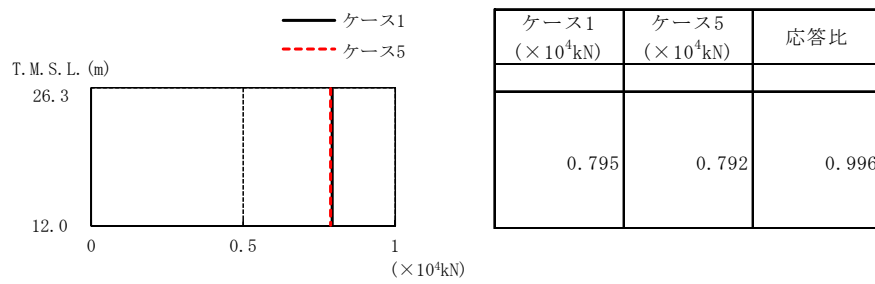


図3-12 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

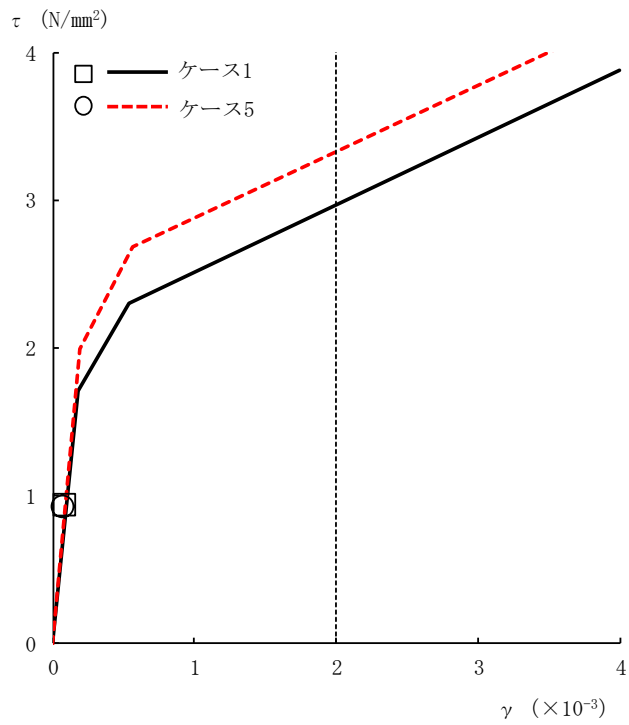


図3-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS方向)

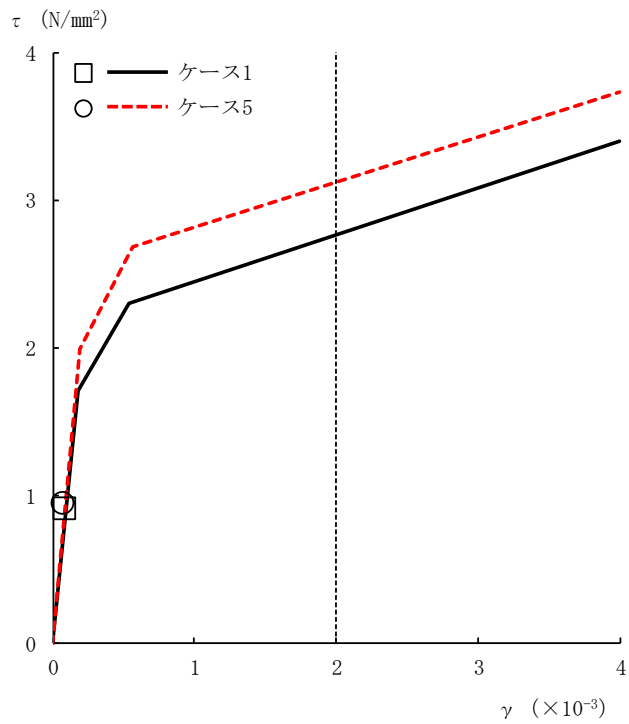


図3-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW方向)

表3-2 杭頭断面力一覧

(a) 最大応答軸力

解析 ケース	ケース1		ケース5		応答比
	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	2401	7.52	2401	7.55	1.00
Ss-1 (EW)	101	8.63	101	8.60	0.997

注：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

解析 ケース	ケース1		ケース5		応答比
	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	101	-6.42	101	-6.41	0.998
Ss-1 (EW)	601	-6.96	601	-6.95	0.999

注：圧縮を正，引張を負とする

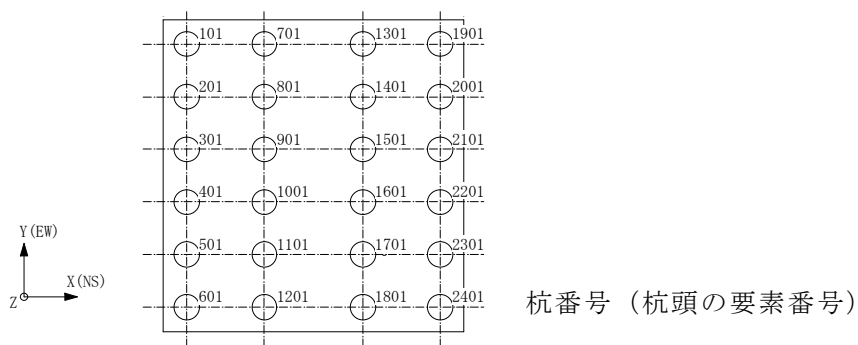
(c) 最大応答曲げモーメント

解析 ケース	ケース1			ケース5			応答比
	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	
Ss-1 (NS)	1901	7.33	1.06	1901	7.42	1.07	1.01
Ss-1 (EW)	1901	8.03	1.10	1901	8.00	1.12	1.02

注：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

解析 ケース	ケース1		ケース5		応答比
	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	1901	5.02	1901	5.09	1.01
Ss-1 (EW)	1901	4.98	1901	5.06	1.02



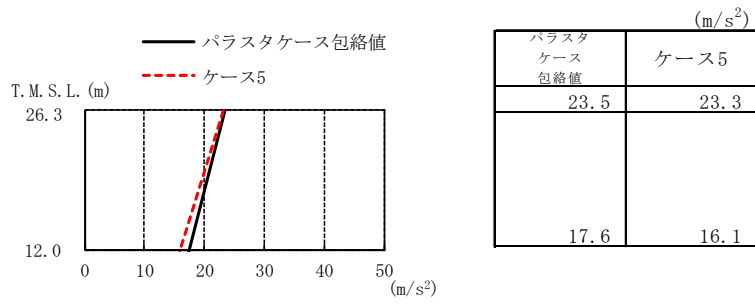


図3-15 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

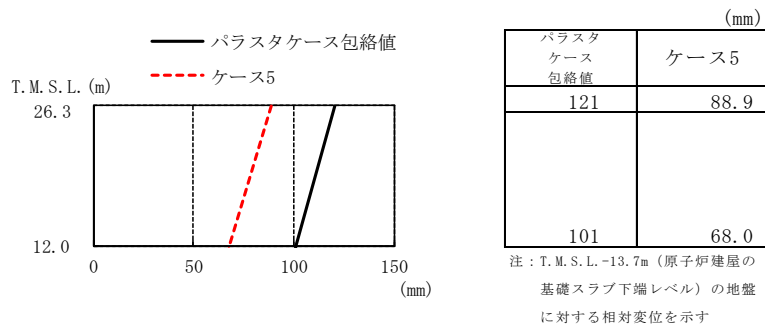


図3-16 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

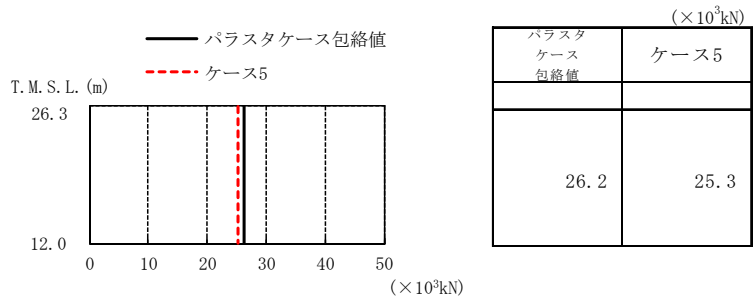


図3-17 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

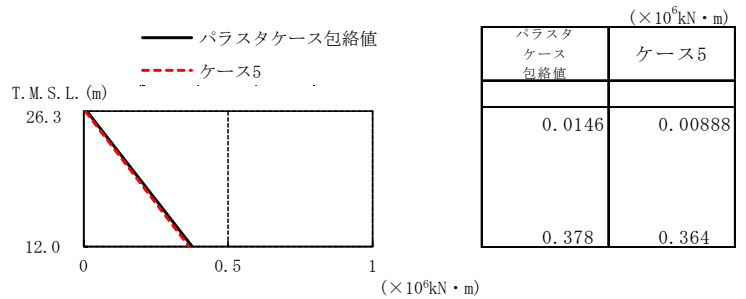


図3-18 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

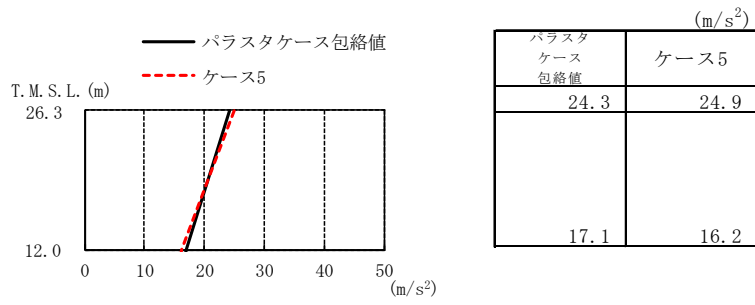


図3-19 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

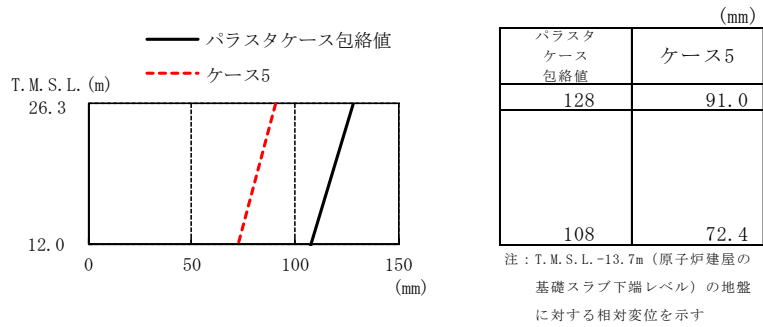


図3-20 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

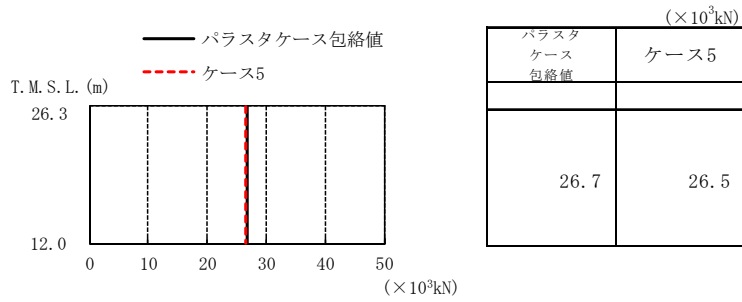


図3-21 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

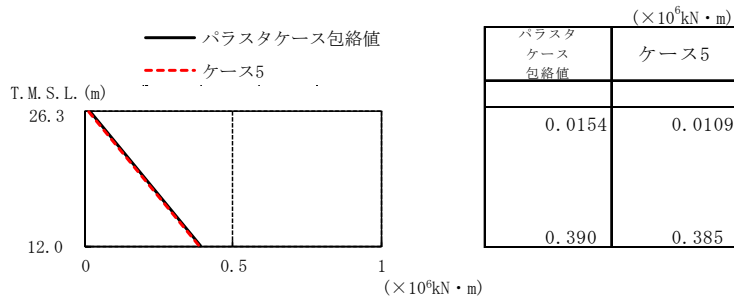


図3-22 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

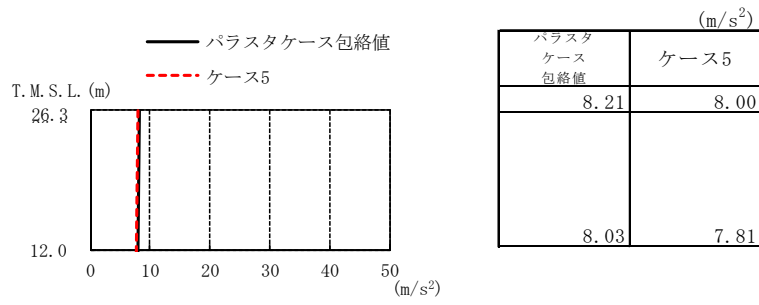


図3-23 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

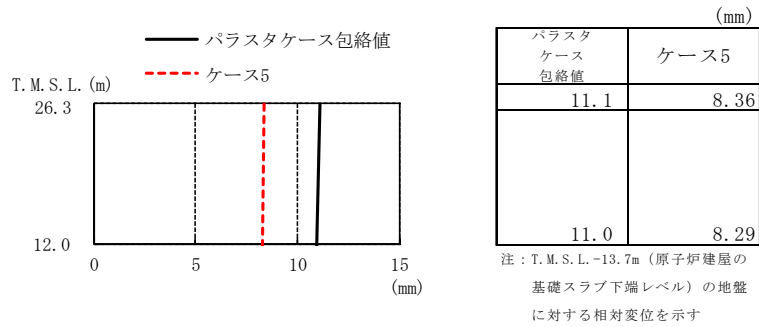


図3-24 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

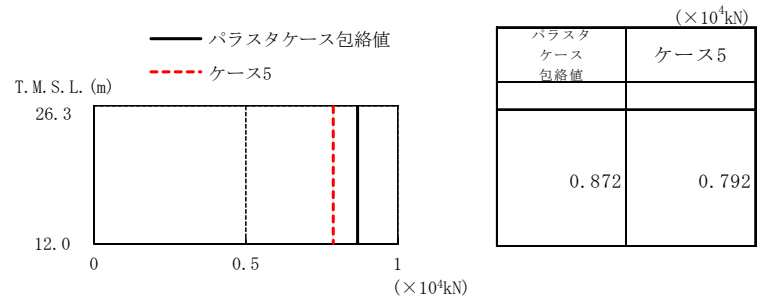


図3-25 最大応答軸力（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

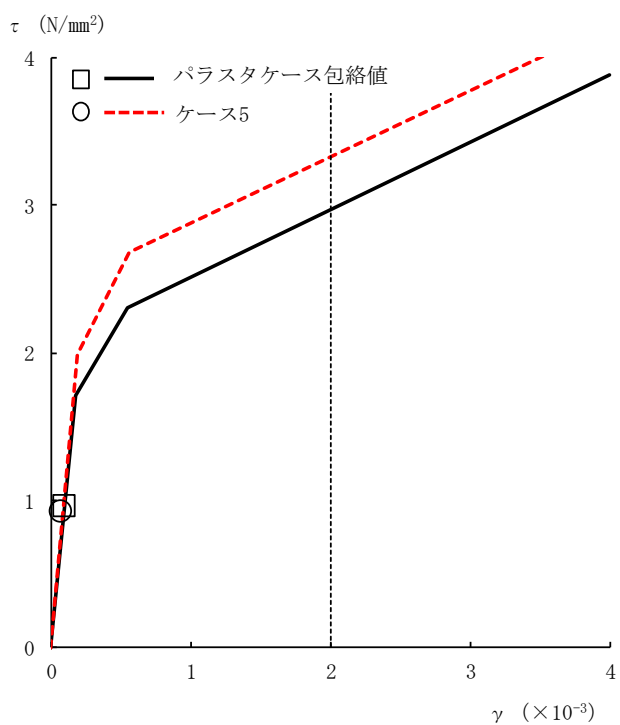


図3-26 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, NS方向)

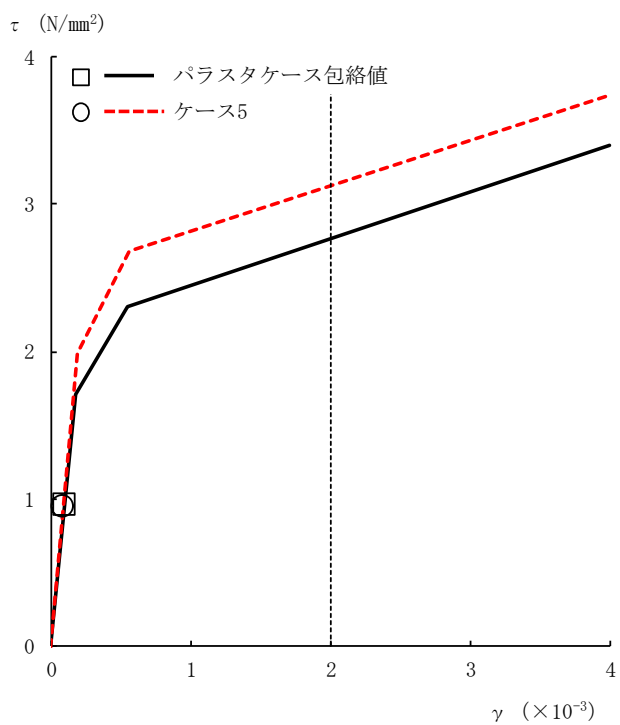


図3-27 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, EW方向)

表3-3 杭頭断面力一覧（パラスタケース包絡値との比較）

(a) 最大応答軸力

パラスタケース包絡値		ケース5	
杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)
2401	10.4	101	8.60

注：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

パラスタケース包絡値		ケース5	
杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)
601	-9.91	601	-6.95

注：圧縮を正，引張を負とする

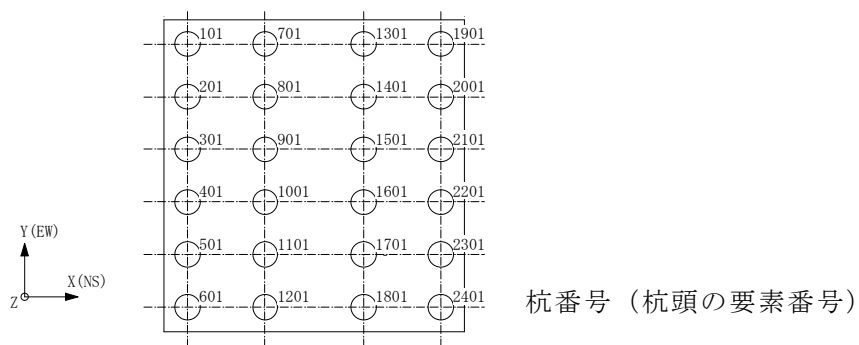
(c) 最大応答曲げモーメント

パラスタケース包絡値			ケース5		
杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)
1901	6.66	1.31	1901	8.00	1.12

注：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

パラスタケース包絡値		ケース5	
杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)
1901	5.07	1901	5.09



3.3 装置基礎の耐震評価に与える影響

3.3.1 耐震壁

耐震壁のせん断ひずみの評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す最大せん断ひずみに、基準地震動 S_s-1 に対するケース1とケース5の応答比（ケース5/ケース1）を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。この際、応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

装置基礎剛性の不確かさを考慮した耐震壁の評価結果を表3-4に示す。応答比を考慮した最大せん断ひずみが許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことから、装置基礎剛性の不確かさを考慮しても耐震壁の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

表3-4 装置基礎剛性の不確かさを考慮した耐震壁の評価結果

方向	最大せん断ひずみ（ $\times 10^{-3}$ ）		③応答比* （②/①）	最大せん断ひずみ（ $\times 10^{-3}$ ）	
	①ケース1 （ S_s-1 ）	②ケース5 （ S_s-1 ）		④材料物性の 不確かさ 考慮モデル	応答比を 乗じた値 （③ \times ④）
NS	0.0978	0.0866	1.00	0.101	0.101
EW	0.0959	0.0884	1.00	0.100	0.100

注記*：応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

3.3.2 杭

杭の評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎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、鉛直支持力には最大応答軸力、引抜き抵抗力には最小応答軸力、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の最大値を用いる。この際、応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

装置基礎剛性の不確かさを考慮した杭の評価結果を表3-5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、装置基礎剛性の不確かさ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3-5 装置基礎剛性の不確かさを考慮した杭の評価結果

評価項目	①検定値	②応答比*	応答比を乗じた値 (①×②)
鉛直支持力	0.434	1.00	0.434
引抜き抵抗力	0.583	1.00	0.583
曲げモーメント	0.898	1.02	0.916
せん断力	0.614	1.02	0.627

注記*：応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

3.3.3 基礎スラブ

基礎スラブの評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す基礎スラブの解析結果に、応答比を乗じた値が許容値を超えないことを確認する。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3-4及び図3-8）、最大応答曲げモーメント（図3-5及び図3-9）及び最大応答軸力（図3-12）のうち最大となる応答比を用いる。この際、応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

装置基礎剛性の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果を表3-6に示す。応答比を考慮した評価結果が許容値を超えないことから、装置基礎剛性の不確かさを考慮しても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。

表3-6 装置基礎剛性の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果

	方向	評価項目	①解析結果	②応答比*	応答比を乗じた値 (①×②)	許容値
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS	必要鉄筋量 設計配筋量	0.549	1.00	0.549	1.00
	EW	必要鉄筋量 設計配筋量	0.522	1.04	0.543	1.00
面外 せん断力	NS	面外せん断力 (kN/m)	4270	1.00	4270	5630
	EW	面外せん断力 (kN/m)	3230	1.04	3360	4580

注記*：応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

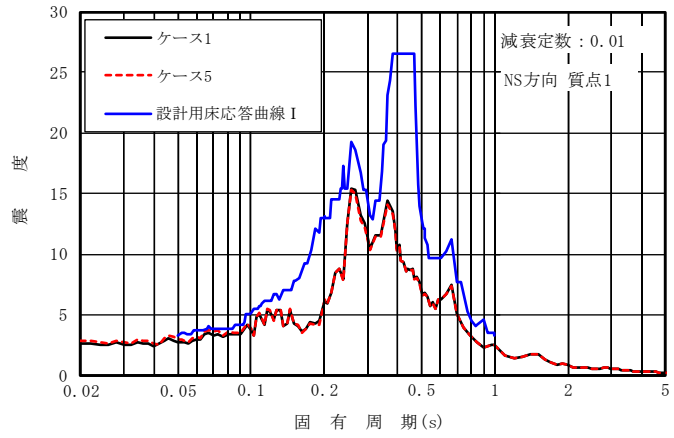
4. 機器・配管系評価に与える影響

装置基礎が内包する機器はフィルタ装置，よう素フィルタ，ドレンタンク及びドレン移送ポンプである。V-2-9-4-5-5-1「ドレン移送ポンプの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-1「ドレンタンクの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-3「フィルタ装置の耐震性についての計算書」及びV-2-9-4-7-1-4「よう素フィルタの耐震性についての計算書」に示すとおり，いずれも剛構造であり，裕度（許容値／発生値）の最小値は1.12である。図3-2，図3-6及び図3-10に示すとおり，最大応答加速度の応答比の最大値は1.05であり，機器の裕度が応答比を上回ることを確認した。

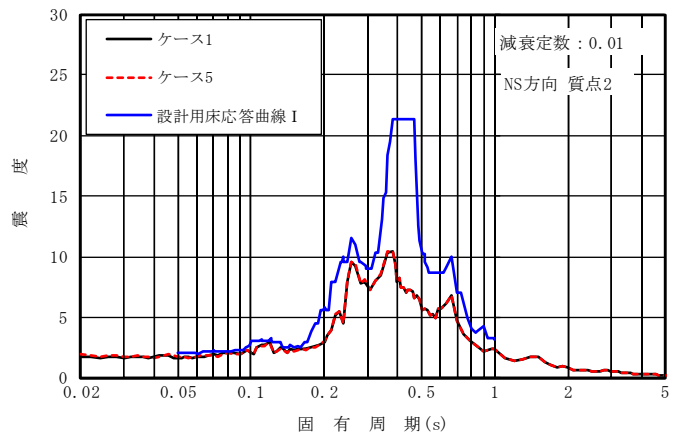
Ss-1におけるケース5とケース1の床応答スペクトル及び設計に用いている床応答スペクトル（V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線I）の比較を図4-1及び図4-2に示す。V-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」に示すとおり，配管の主要な周期帯は0.05s～0.07sである。図4-1及び図4-2に示すとおり，ケース5の床応答スペクトルはケース1の床応答スペクトルと配管の主要な周期帯において同等であり，設計用床応答曲線Iを下回ることを確認した。

図3-16，図3-20及び図3-24に示すとおり，ケース5の最大応答変位はパラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

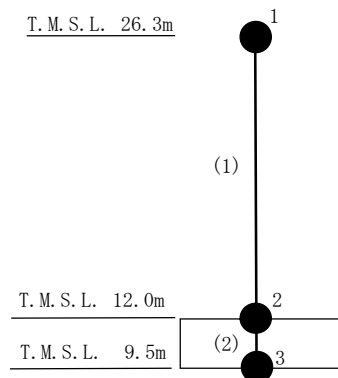
以上より，装置基礎剛性の不確かさを考慮しても機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。



(a) 質点 1

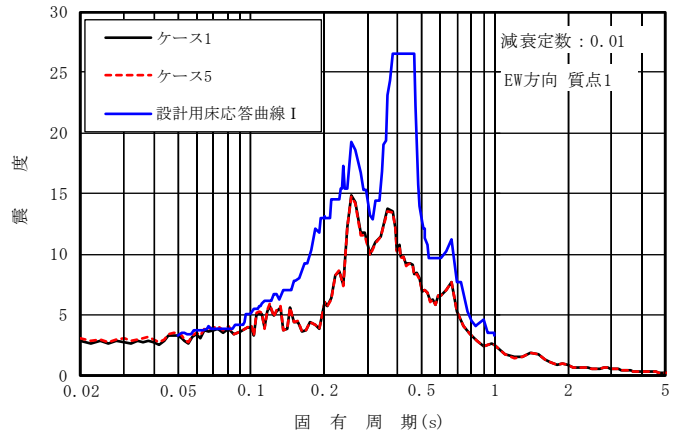


(b) 質点 2

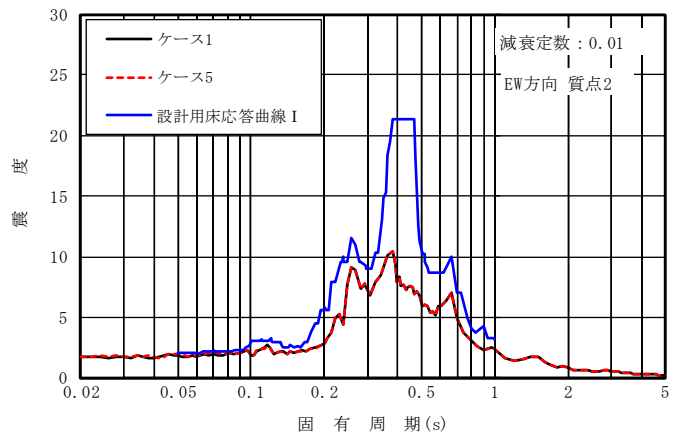


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

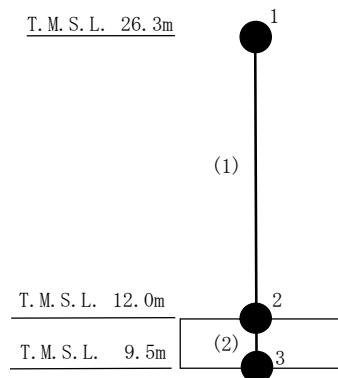
図 4-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1



(b) 質点 2



注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

図 4-2 床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01)

5. まとめ

装置基礎剛性の不確かさを考慮したモデルを用いて、Ss-1 に対する地震応答解析を実施し、基本ケースの結果と比較した。

その結果、装置基礎剛性の不確かさを考慮したモデルの最大応答値は、基本ケースの結果を部分的に上回るものの、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、装置基礎剛性の不確かさを考慮しても装置基礎の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

また、装置基礎が内包する機器の裕度が応答比を上回ることと、装置基礎剛性の不確かさを考慮したモデルの床応答スペクトルが、基本ケースの床応答スペクトルと配管の主要な周期帯において同等であり、設計用床応答曲線 I を下回ることから、機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

別紙6 装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した地震応答解析結果

目 次

1. 概要	別紙 6-1
2. 検討方針	別紙 6-2
2.1 装置基礎の減衰定数の不確かさの設定	別紙 6-2
2.2 入力地震動	別紙 6-2
3. 検討結果	別紙 6-3
3.1 地震応答解析結果	別紙 6-3
3.2 装置基礎の耐震評価に与える影響	別紙 6-14
3.2.1 耐震壁	別紙 6-14
3.2.2 杭	別紙 6-14
3.2.3 基礎スラブ	別紙 6-15
4. 機器・配管系評価に与える影響	別紙 6-16
5. まとめ	別紙 6-19

1. 概要

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の減衰定数については、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の補足説明資料「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙4「地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討」に示すとおりの5%を用いている。ただし、装置基礎については、重要な設備を内包しているため、機器・配管系への影響評価の観点で、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した場合の影響を検討する。本資料は、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、装置基礎の減衰定数が機器・配管系評価に与える影響を確認するものである。

2. 検討方針

2.1 装置基礎の減衰定数の不確かさの設定

地震応答解析モデルにおける装置基礎の減衰定数の不確かさ検討の設定を表2-1に示す。装置基礎については、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示すとおり耐震壁の最大せん断ひずみが小さいことを踏まえ、鉄筋コンクリート造部の減衰定数の不確かさとして3%を設定する。

表 2-1 装置基礎の減衰定数の不確かさ検討の設定

地震応答解析モデル	装置基礎の減衰定数
基本ケース	5%
不確かさ	3%

2.2 入力地震動

本検討は、機器・配管系評価に与える影響を確認するために行うことから、検討に用いる地震波は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせるSs-1とする。なお、Ss-1については水平方向の方向性が定義されていないことから、地震応答解析においてNS方向、EW方向及び鉛直方向をそれぞれ入力する。

3. 検討結果

3.1 地震応答解析結果

装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した S_s-1 による地震応答解析結果を図3-1～図3-13及び表3-1に示す。表、図中では基本ケースをケース1，装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮したケースをケース6として示す。また，ケース6の最大応答値と基準地震動 S_s-1 ～ S_s-8 について材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果の包絡値*（以下「パラスタケース包絡値」という。）の比較を図3-14～図3-26及び表3-2に示す。ケース6の最大応答値はパラスタケース包絡値を部分的に上回ることから，耐震評価に与える影響を次節で確認する。

注記*：別紙3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」参照。

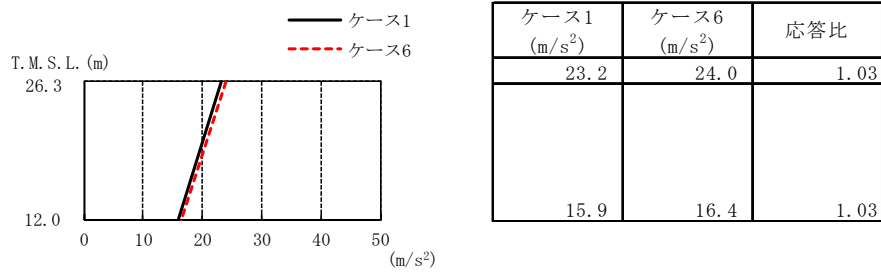


図3-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

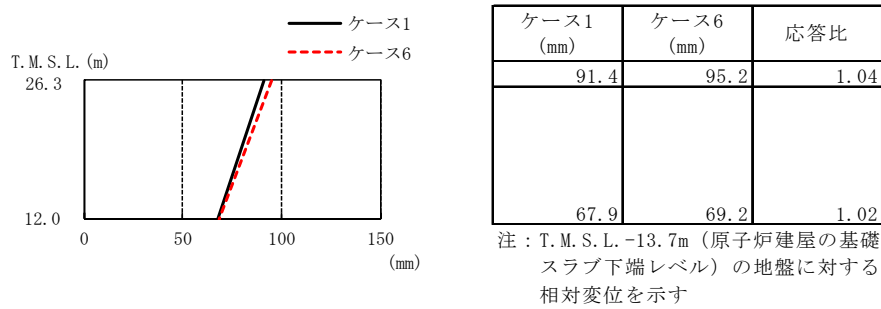


図3-2 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

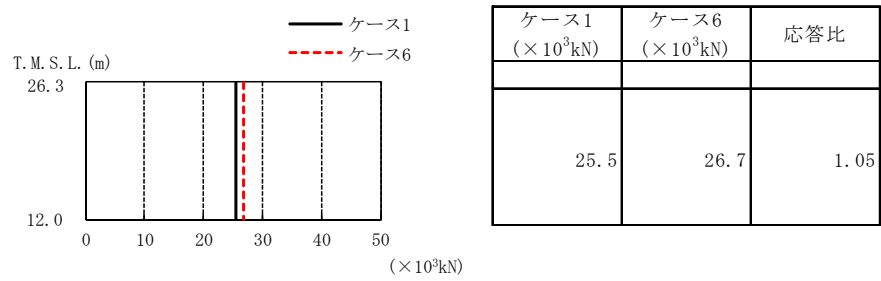


図3-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

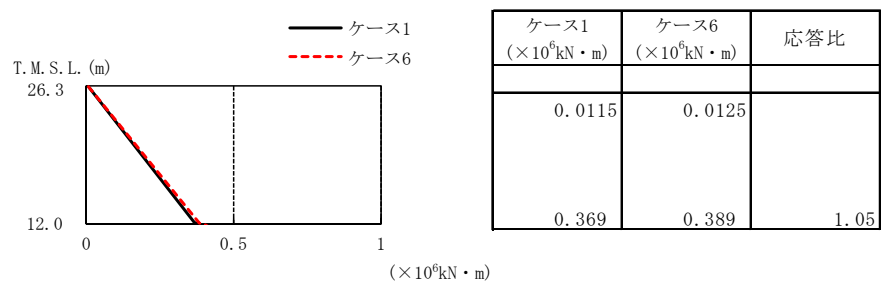


図3-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

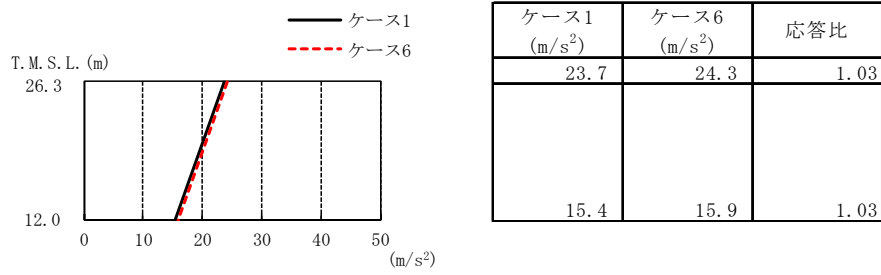


図3-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

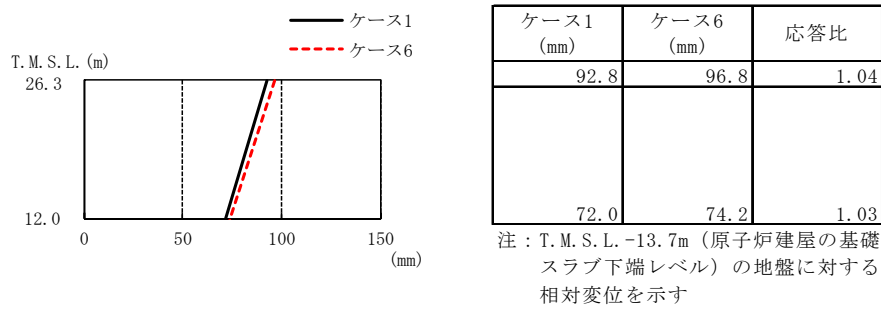


図3-6 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

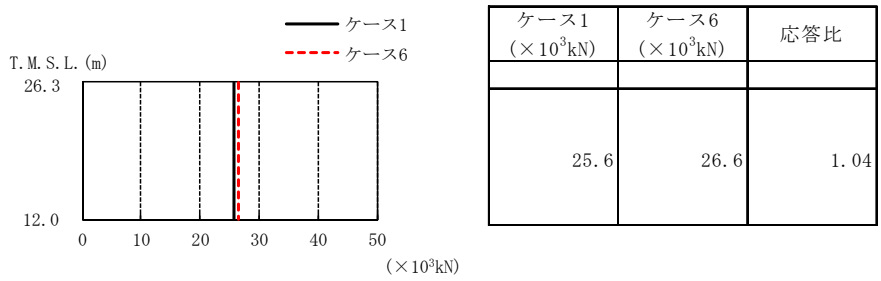


図3-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

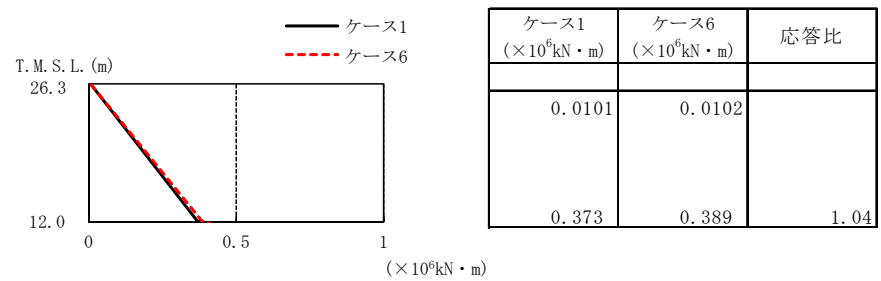


図3-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)

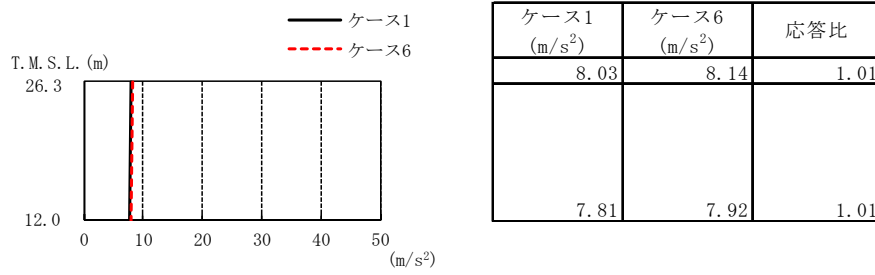


図3-9 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

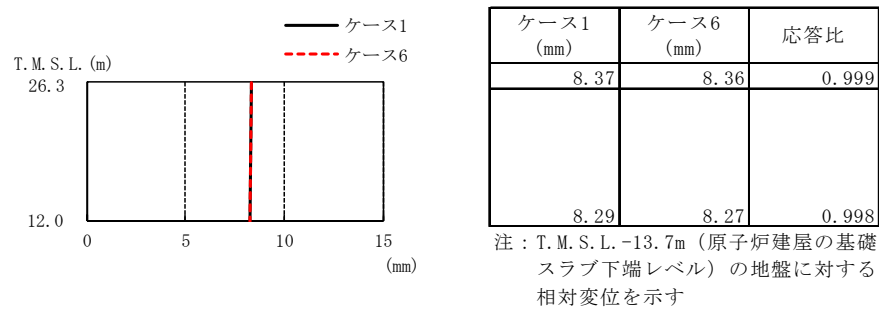


図3-10 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

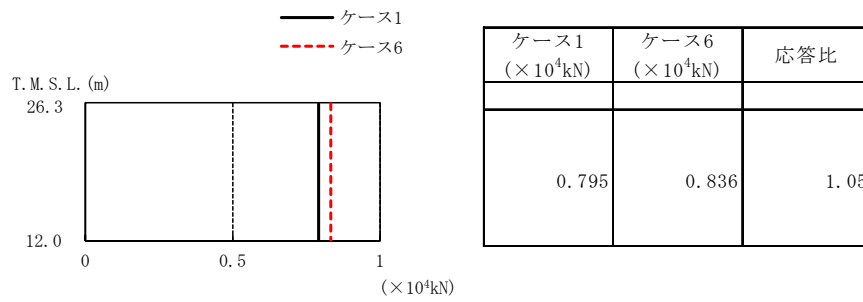


図3-11 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

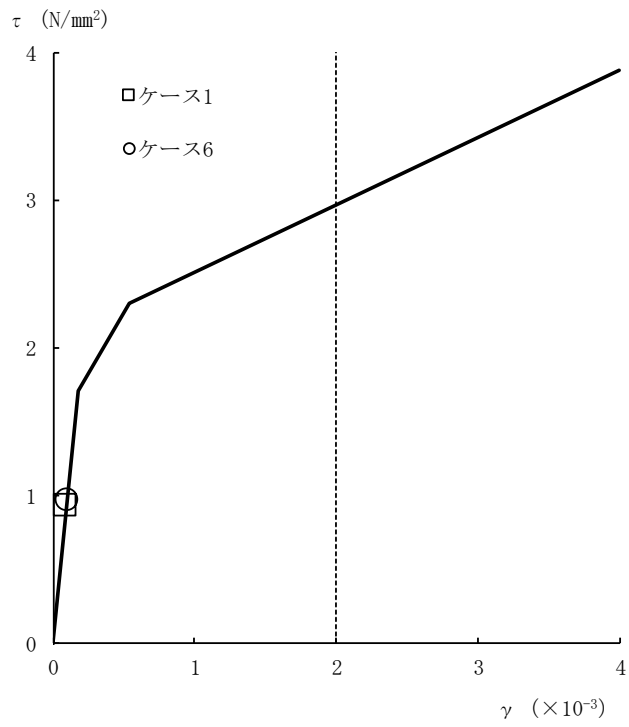


図3-12 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS方向)

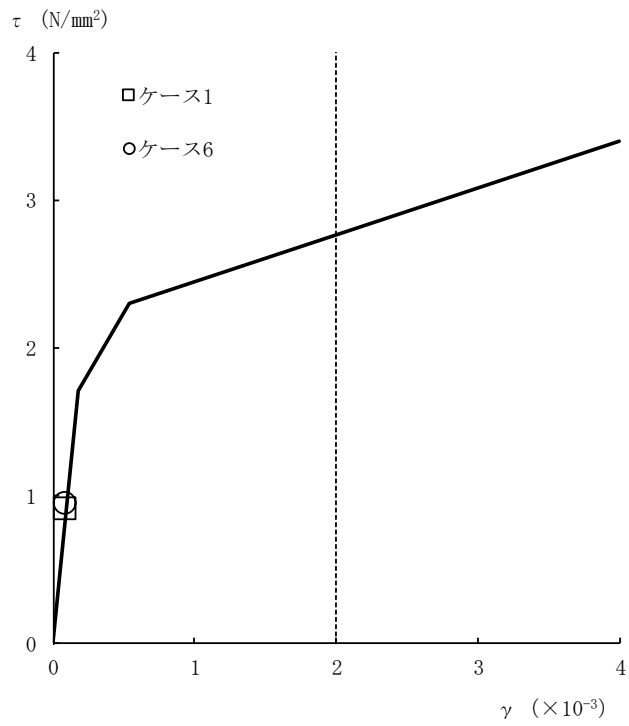


図3-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW方向)

表3-1 杭頭断面力一覧

(a) 最大応答軸力

解析 ケース	ケース1		ケース6		応答比
	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	2401	7.52	2401	7.72	1.03
Ss-1 (EW)	101	8.63	101	8.89	1.03

注：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

解析 ケース	ケース1		ケース6		応答比
	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	101	-6.42	101	-6.70	1.04
Ss-1 (EW)	601	-6.96	601	-7.28	1.05

注：圧縮を正，引張を負とする

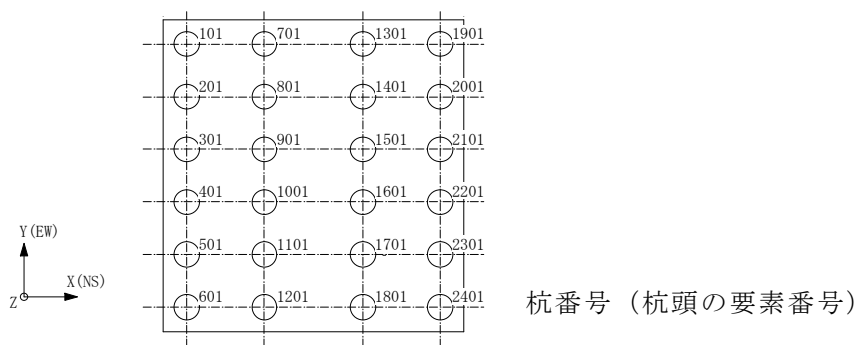
(c) 最大応答曲げモーメント

解析 ケース	ケース1			ケース6			応答比
	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	
Ss-1 (NS)	1901	7.33	1.06	1901	7.52	1.07	1.01
Ss-1 (EW)	1901	8.03	1.10	1901	8.28	1.15	1.05

注：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

解析 ケース	ケース1		ケース6		応答比
	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	1901	5.02	1901	5.14	1.02
Ss-1 (EW)	1901	4.98	1901	5.21	1.05



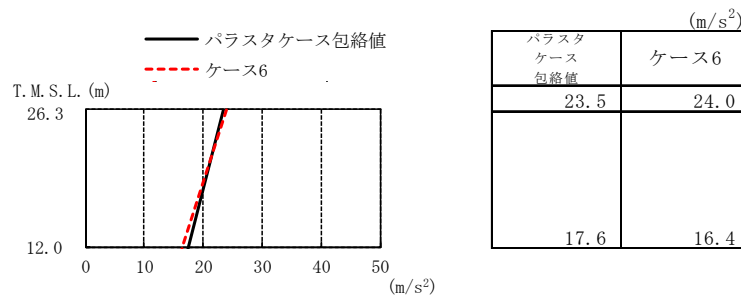


図3-14 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

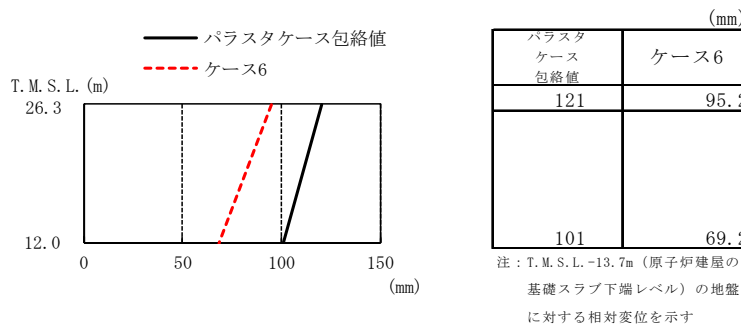


図3-15 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

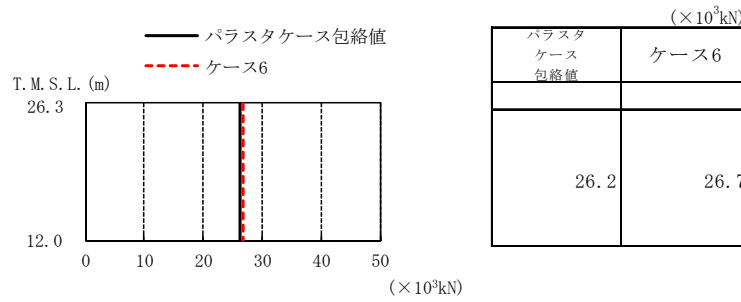


図3-16 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

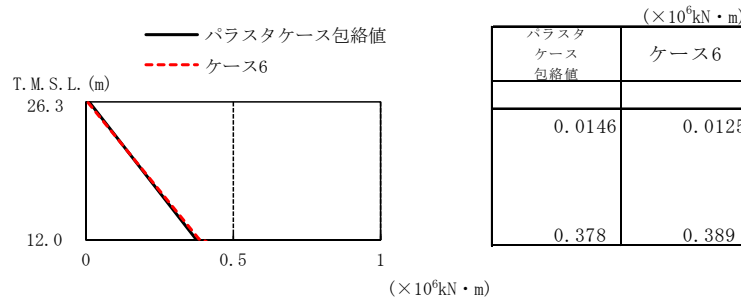


図3-17 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

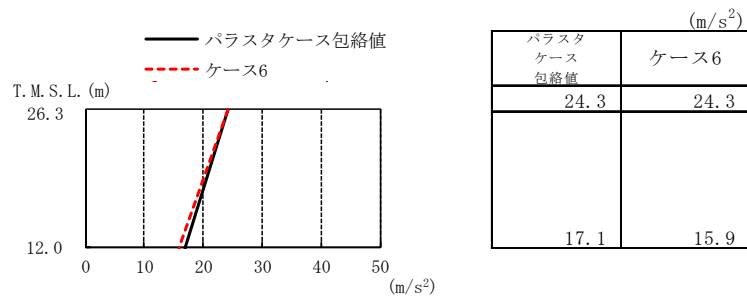


図3-18 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

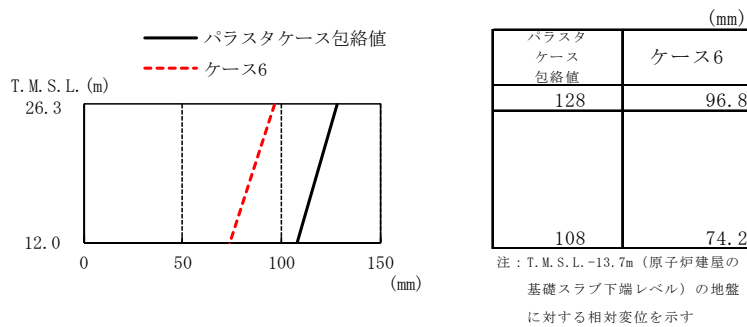


図3-19 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

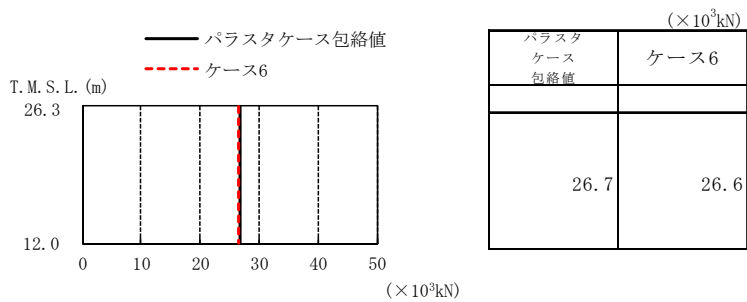


図3-20 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

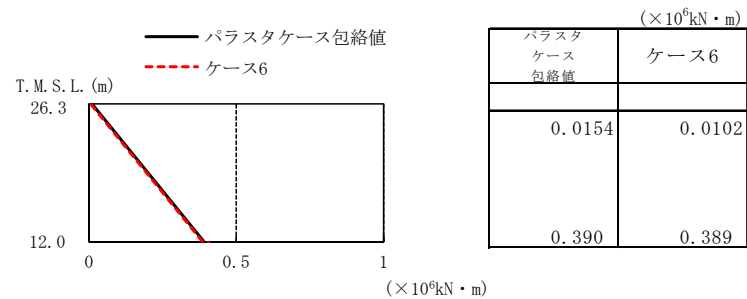


図3-21 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

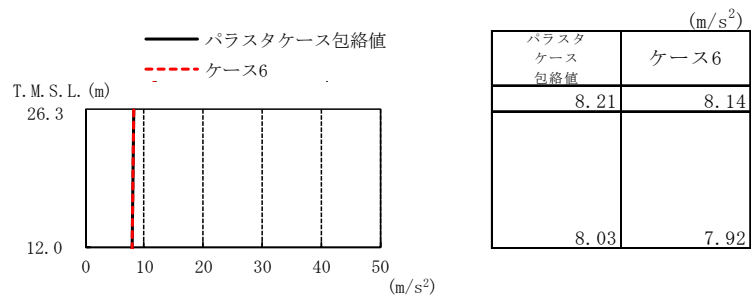


図3-22 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

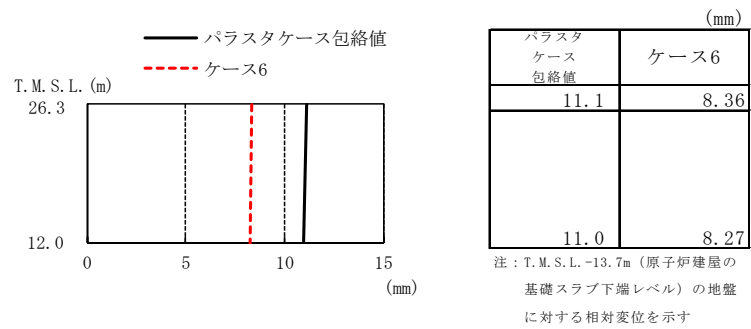


図3-23 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

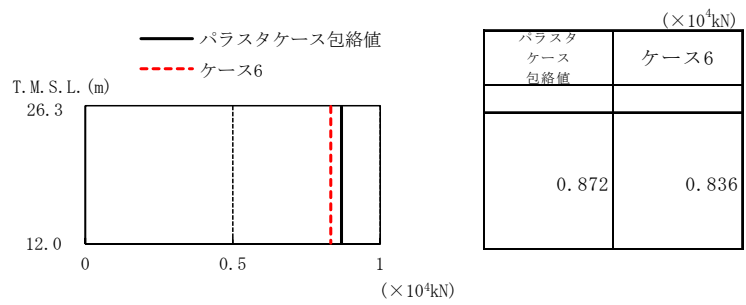


図3-24 最大応答軸力（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

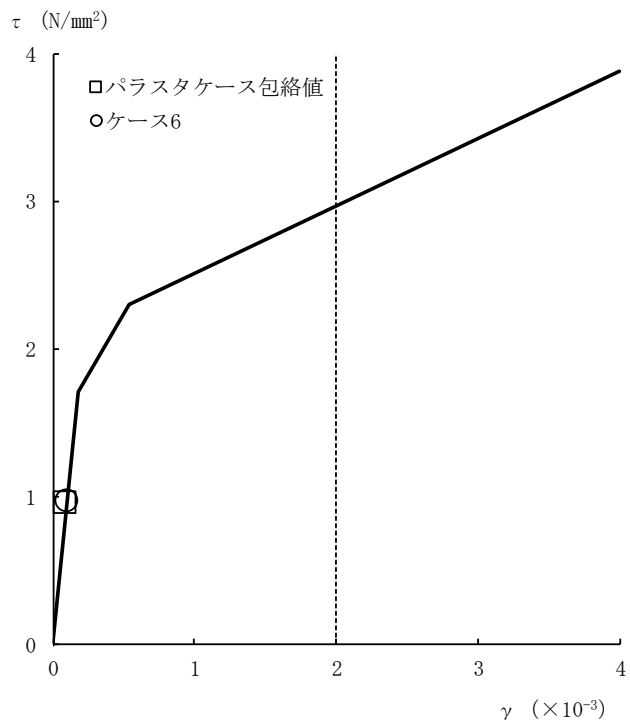


図3-25 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, NS方向)

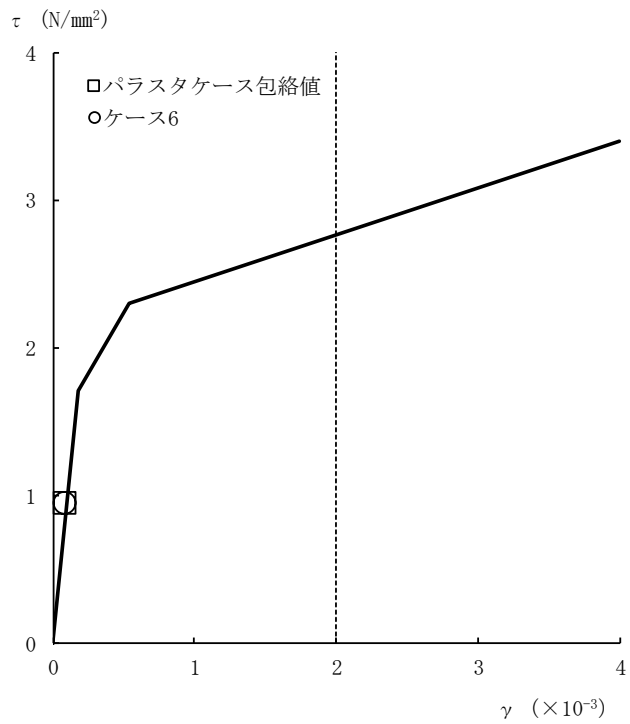


図3-26 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, EW方向)

表3-2 杭頭断面力一覧（パラスタケース包絡値との比較）

(a) 最大応答軸力

パラスタケース包絡値		ケース6	
杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)
2401	10.4	101	8.89

注：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

パラスタケース包絡値		ケース6	
杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)
601	-9.91	601	-7.28

注：圧縮を正，引張を負とする

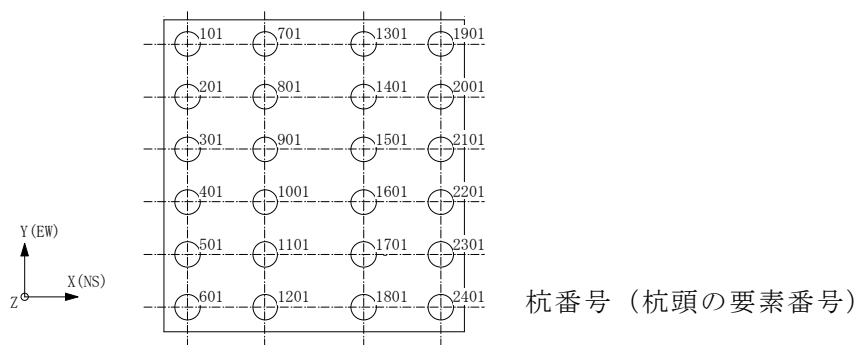
(c) 最大応答曲げモーメント

パラスタケース包絡値			ケース6		
杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)
1901	6.66	1.31	1901	8.28	1.15

注：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

パラスタケース包絡値		ケース6	
杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)
1901	5.07	1901	5.21



3.2 装置基礎の耐震評価に与える影響

3.2.1 耐震壁

耐震壁のせん断ひずみの評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す最大せん断ひずみに、基準地震動Ss-1に対するケース1とケース6の応答比（ケース6/ケース1）を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。

装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した耐震壁の評価結果を表3-3に示す。応答比を考慮した最大せん断ひずみが許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことから、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮しても耐震壁の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

表3-3 装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した耐震壁の評価結果

方向	最大せん断ひずみ（ $\times 10^{-3}$ ）		③応答比 （②/①）	最大せん断ひずみ（ $\times 10^{-3}$ ）	
	①ケース1 （Ss-1）	②ケース6 （Ss-1）		④材料物性の 不確かさ 考慮モデル	応答比を 乗じた値 （③ \times ④）
NS	0.0978	0.102	1.04	0.101	0.105
EW	0.0959	0.0996	1.04	0.100	0.104

3.2.2 杭

杭の評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎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3-1に示す応答比のうち、鉛直支持力には最大応答軸力、引抜き抵抗力には最小応答軸力、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の最大値を用いる。

装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した杭の評価結果を表3-4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、装置基礎の減衰定数の不確かさ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3-4 装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した杭の評価結果

評価項目	①検定値	②応答比	応答比を乗じた値 （① \times ②）
鉛直支持力	0.434	1.03	0.447
引抜き抵抗力	0.583	1.05	0.613
曲げモーメント	0.898	1.05	0.943
せん断力	0.614	1.05	0.645

3.2.3 基礎スラブ

基礎スラブの評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す基礎スラブの解析結果に、応答比を乗じた値が許容値を超えないことを確認する。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3-3及び図3-7）、最大応答曲げモーメント（図3-4及び図3-8）及び最大応答軸力（図3-11）のうち最大となる応答比を用いる。

装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果を表3-5に示す。応答比を考慮した評価結果が許容値を超えないことから、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮しても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。

表3-5 装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果

	方向	評価項目	①解析結果	②応答比	応答比を乗じた値 (①×②)	許容値
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS	<u>必要鉄筋量</u> 設計配筋量	0.549	1.05	0.577	1.00
	EW	<u>必要鉄筋量</u> 設計配筋量	0.522	1.05	0.549	1.00
面外 せん断力	NS	面外せん断力 (kN/m)	4270	1.05	4490	5630
	EW	面外せん断力 (kN/m)	3230	1.05	3400	4580

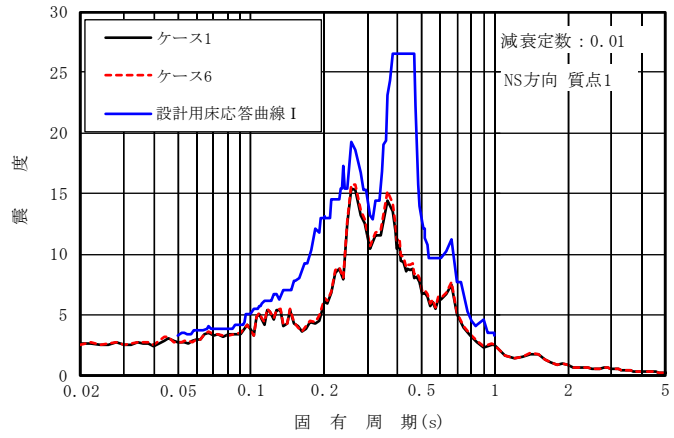
4. 機器・配管系評価に与える影響

装置基礎が内包する機器はフィルタ装置，よう素フィルタ，ドレンタンク及びドレン移送ポンプである。V-2-9-4-5-5-1「ドレン移送ポンプの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-1「ドレンタンクの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-3「フィルタ装置の耐震性についての計算書」及びV-2-9-4-7-1-4「よう素フィルタの耐震性についての計算書」に示すとおり，いずれも剛構造であり，裕度（許容値／発生値）の最小値は1.12である。図3-1，図3-5及び図3-9に示すとおり，最大応答加速度の応答比の最大値は1.03であり，機器の裕度が応答比を上回ることを確認した。

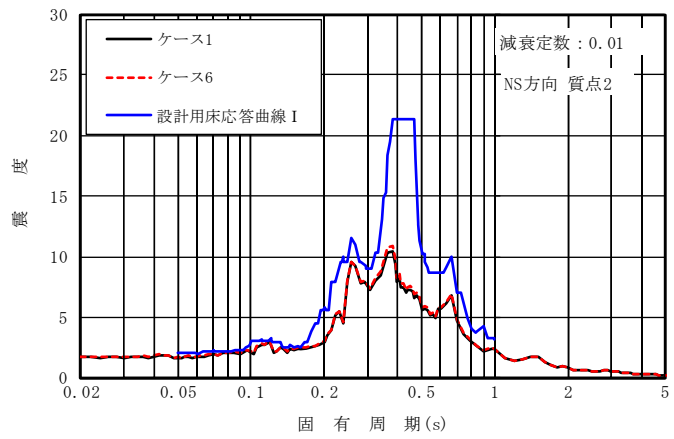
Ss-1におけるケース6とケース1の床応答スペクトル及び設計に用いている床応答スペクトル（V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線I）の比較を図4-1及び図4-2に示す。V-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」に示すとおり，配管の主要な周期帯は0.05s～0.07sである。図4-1及び図4-2に示すとおり，ケース6の床応答スペクトルはケース1の床応答スペクトルと配管の主要な周期帯において同等であり，設計用床応答曲線Iを下回ることを確認した。

図3-15，図3-19及び図3-23に示すとおり，ケース6の最大応答変位はパラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

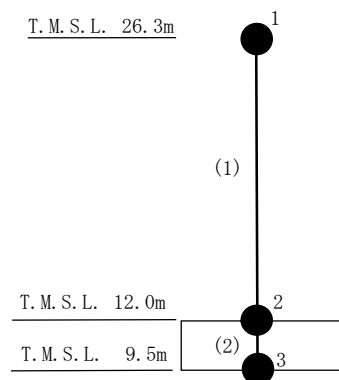
以上より，装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮しても機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。



(a) 質点 1

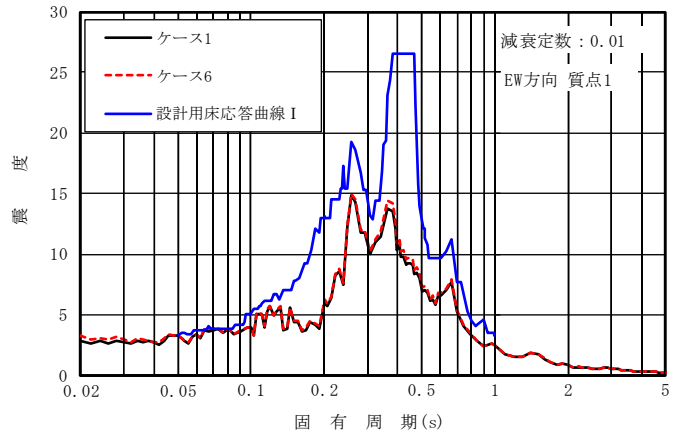


(b) 質点 2

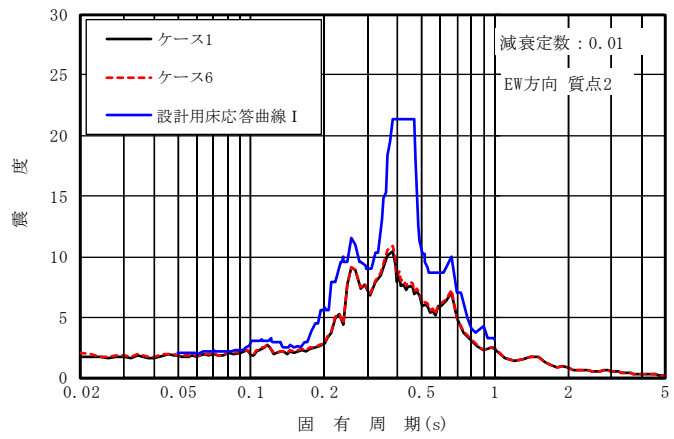


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

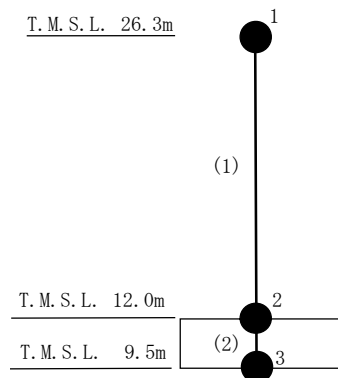
図 4-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1



(b) 質点 2



注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

図 4-2 床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01)

5. まとめ

装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮したモデルを用いて、Ss-1 に対する地震応答解析を実施し、基本ケースの結果と比較した。

その結果、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮したモデルの最大応答値は、基本ケースの結果を部分的に上回るものの、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、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮しても装置基礎の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

また、装置基礎が内包する機器の裕度が応答比を上回ることと、装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮したモデルの床応答スペクトルが、基本ケースの床応答スペクトルと配管の主要な周期帯において同等であり、設計用床応答曲線 I を下回ることから、機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

別紙7 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した地震応答解析結果

目 次

1. 概要	別紙 7-1
2. 検討方針	別紙 7-2
2.1 地盤改良体の物性値の不確かさの設定	別紙 7-2
2.2 入力地震動	別紙 7-3
3. 検討結果	別紙 7-4
3.1 固有値解析結果	別紙 7-4
3.2 地震応答解析結果	別紙 7-7
3.3 装置基礎の耐震評価に与える影響	別紙 7-18
3.3.1 耐震壁	別紙 7-18
3.3.2 杭	別紙 7-18
3.3.3 基礎スラブ	別紙 7-19
4. 機器・配管系評価に与える影響	別紙 7-20
5. まとめ	別紙 7-23

1. 概要

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の地盤改良体は施工中であるため、解析用物性値として設計値や近傍の既設地盤改良体*の解析用物性値を用いている。別紙3「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」においては、原地盤の地盤剛性の不確かさを考慮したが、地盤改良体の地盤剛性は設計値を上回るように施工され、構造物評価の観点では地盤剛性を低く評価する方が地盤のせん断変形が生じやすいことから、不確かさを考慮していない。ただし、装置基礎については、重要な設備を内包しているため、機器・配管系への影響評価の観点で、地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した場合の影響を検討する。本資料は、地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した地震応答解析を行い、地盤改良体の物性値が機器・配管系評価に与える影響を確認するものである。

注記*：2018年12月時点で竣工済の地盤改良体

2. 検討方針

2.1 地盤改良体の物性値の不確かさの設定

地盤改良体の物性値の不確かさ検討の考え方を表2-1に示す。地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した解析用物性値は、装置基礎周辺における施工済の地盤改良体の事後調査結果に基づき設定する。なお、高圧噴射攪拌工法を用いた地盤改良体については、事後調査結果が得られてないため、置換工法（CD掘削工法）の解析用物性値で代用する。設定した解析用物性値を表2-2に、基本ケースにおける地盤改良体の解析用物性値を表2-3に、設定根拠を表2-4に示す。

原地盤については、別紙3「地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討」に示した地盤剛性の不確かさを考慮するものとし、初期せん断波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $+1\sigma$ ）を考慮する。

表 2-1 地盤改良体の物性値の不確かさ検討の考え方

地震応答解析モデル	解析用物性値
基本ケース	設計値や近傍の既設地盤改良体の解析用物性値*
不確かさ	事後調査結果に基づく解析用物性値

注記*：V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」の補足説明資料を参照

表 2-2 地盤改良体の事後調査結果に基づく解析用物性値

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 γ_t (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	$G/G_0 \sim \gamma$	$h \sim \gamma$ (%)
+12.0	置換 (CD) 高圧噴射	1580	19.1	0.269	$1/(1+6.28 \gamma^{0.966})$	$\gamma / (0.615 \gamma + 0.00640) + 1.33$
	置換 (開削)	1650	19.4			
-3.5	置換 (CD) 高圧噴射	1580	19.2			
-10.6	置換 (開削)	1650	19.4			

注： γ はせん断ひずみ (%) を表す

表 2-3 基本ケースにおける地盤改良体の解析用物性値

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 γ_t (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	$G/G_0 \sim \gamma$	$h \sim \gamma$ (%)
+12.0	置換 (CD)	800	17.9	0.302	$1/(1+10.1 \gamma^{1.21})$	$\gamma / (0.172 \gamma + 0.00783) + 0.401$
	置換 (開削)	840	18.1	0.302	$1/(1+10.1 \gamma^{1.21})$	$\gamma / (0.172 \gamma + 0.00783) + 0.401$
	高圧噴射	810	19.7	0.375	$1/(1+8.06 \gamma^{1.14})$	$\gamma / (0.107 \gamma + 0.0109) + 0.790$
-3.5	置換 (CD)	800	18.0	0.302	$1/(1+10.1 \gamma^{1.21})$	$\gamma / (0.172 \gamma + 0.00783) + 0.401$
-10.6	置換 (開削)	840	18.1	0.302	$1/(1+10.1 \gamma^{1.21})$	$\gamma / (0.172 \gamma + 0.00783) + 0.401$

注： γ はせん断ひずみ (%) を表す

表 2-4 地盤改良体の解析用物性値の設定根拠

種別		基本ケース		事後調査結果*	
		置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)
物理特性	密度 ρ	工法別平均値に基づき設定	対象土層の最大値に基づき設定	物理試験	置換で代用
変形特性	動せん断弾性係数 G_0	設計 S 波速度, 密度に基づき設定	設計 S 波速度, 密度に基づき設定	PS 検層による S 波速度, 密度に基づき設定	
	ポアソン比 ν	軽油タンク基礎 (置換) 実績値に基づき設定	軽油タンク基礎 (高圧噴射 (砂質土)) 実績値に基づき設定	PS 検層	
	$G/G_0 \sim \gamma$			動的変形特性に基づき設定	
	$h - \gamma$				

注記* : 装置基礎北側の燃料移送系配管ダクトにおける事後調査結果

2.2 入力地震動

本検討は、機器・配管系評価に与える影響を確認するために行うことから、検討に用いる地震波は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる Ss-1 とする。なお、Ss-1 については水平方向の方向性が定義されていないことから、地震応答解析において NS 方向、EW 方向及び鉛直方向をそれぞれ入力する。

3. 検討結果

3.1 固有値解析結果

地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した地震応答解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表3-1、固有振動モードを図3-1に示す。表、図中では原地盤の地盤剛性を $+1\sigma$ としたケースをケース2、原地盤の地盤剛性を $+1\sigma$ とし地盤改良体の物性値の不確かさを考慮したケースをケース7として示す。

ケース7の固有振動数は、ケース2と同等であることを確認した。

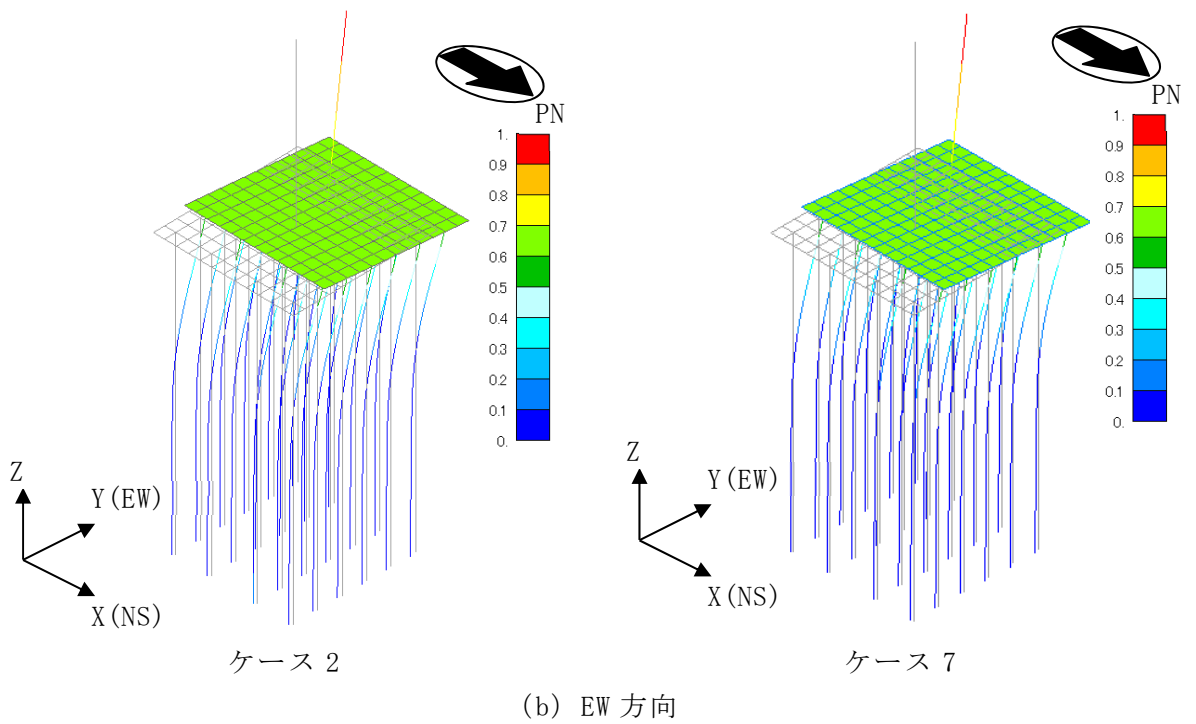
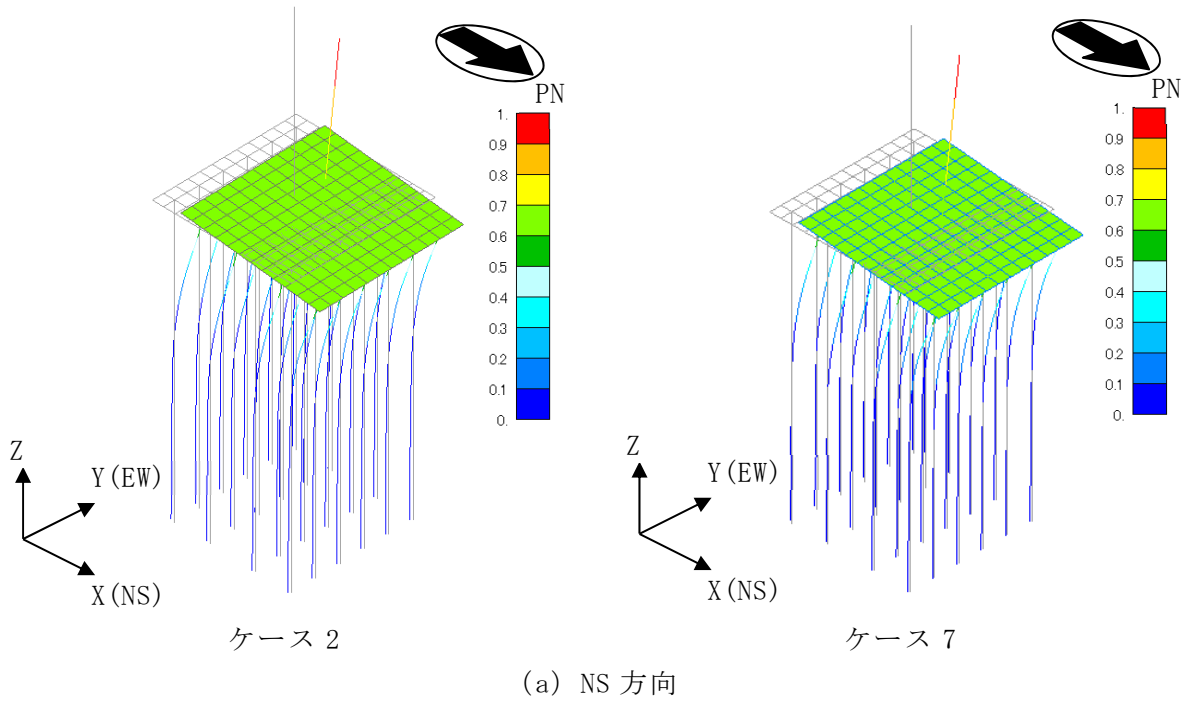
表 3-1 固有値解析結果 (Ss-1)

(単位 : Hz)

方向	ケース2	ケース7
NS	3.33	3.37 (1.01)
EW	3.27	3.29 (1.01)
鉛直	12.00	12.13 (1.01)

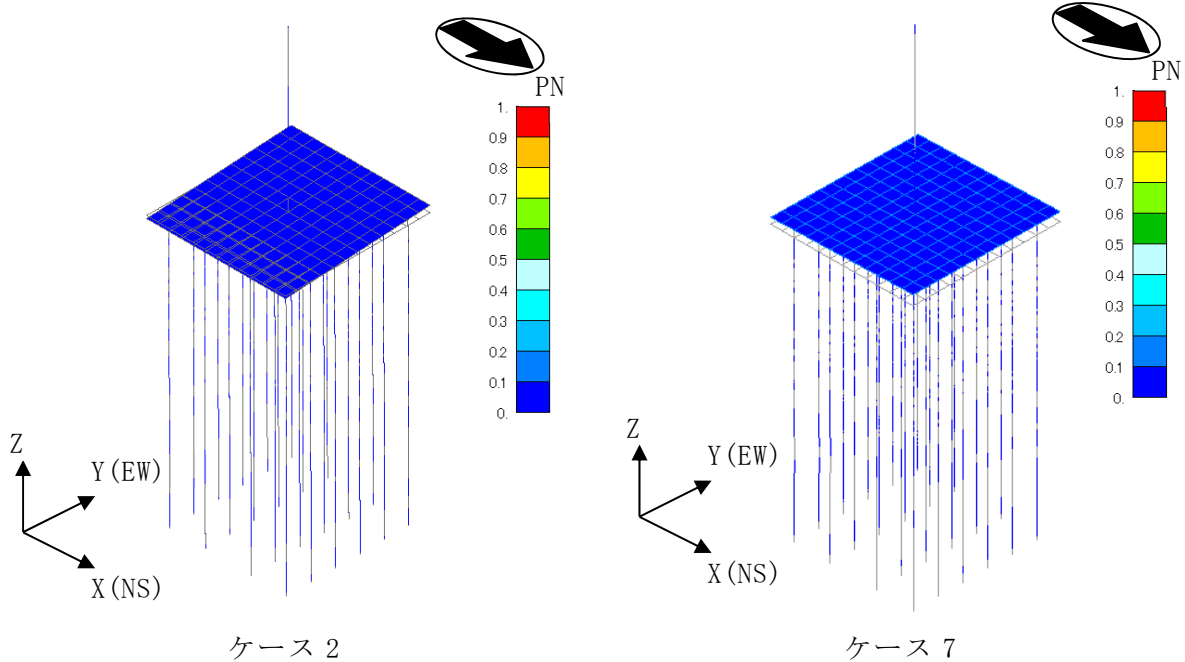
注 1 : 建屋-杭連成一次モード

注 2 : () 内は、ケース 2 に対する比率を示す



注：凡例は全体モデルにおいて基準化した固有ベクトルを示す。

図 3-1 固有振動モード (Ss-1) (1/2)



(c) 鉛直方向

注：凡例は全体モデルにおいて基準化した固有ベクトルを示す。

図 3-1 固有振動モード (Ss-1) (2/2)

3.2 地震応答解析結果

地盤改良体の物性値の不確かさを考慮したSs-1による地震応答解析結果を図3-2～図3-14及び表3-2に示す。また、ケース7の最大応答値と基準地震動Ss-1～Ss-8について材料物性値の不確かさを考慮した地震応答解析結果の包絡値*（以下「パラスタケース包絡値」という。）の比較を図3-15～図3-27及び表3-3に示す。ケース7の最大応答値はパラスタケース包絡値を部分的に上回ることから、耐震評価に与える影響を次節で確認する。

注記*：別紙3-2「材料物性値の不確かさを考慮した地震応答解析結果」参照。

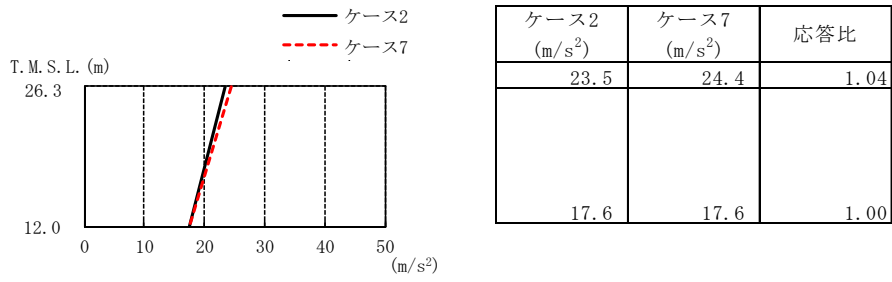


図3-2 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

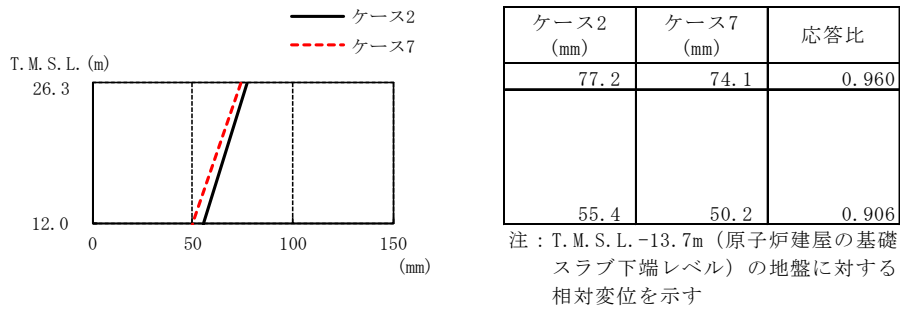


図3-3 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

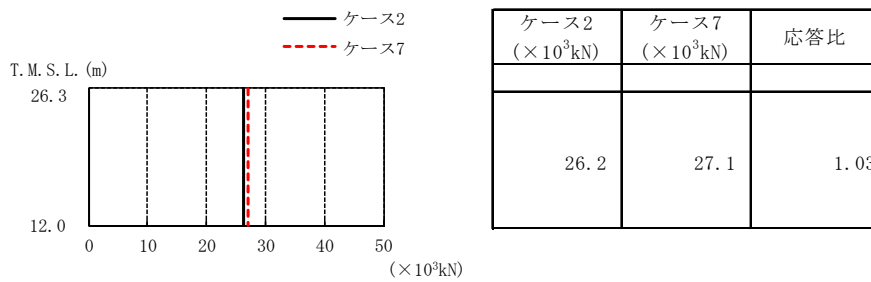


図3-4 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

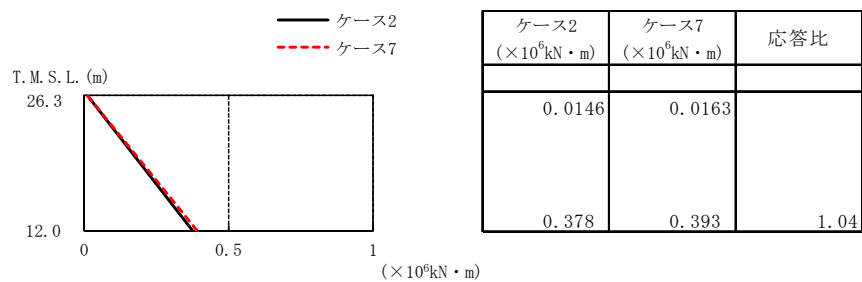


図3-5 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

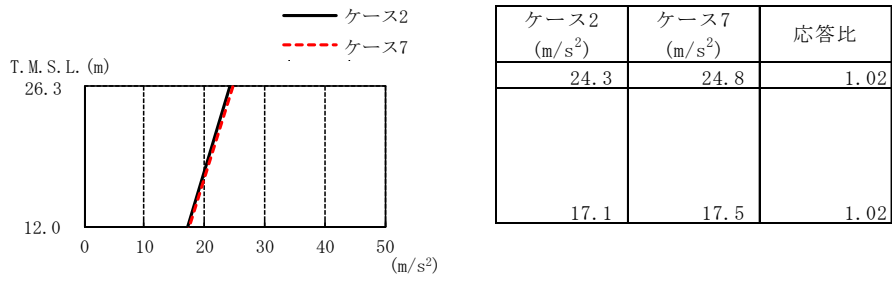


図3-6 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

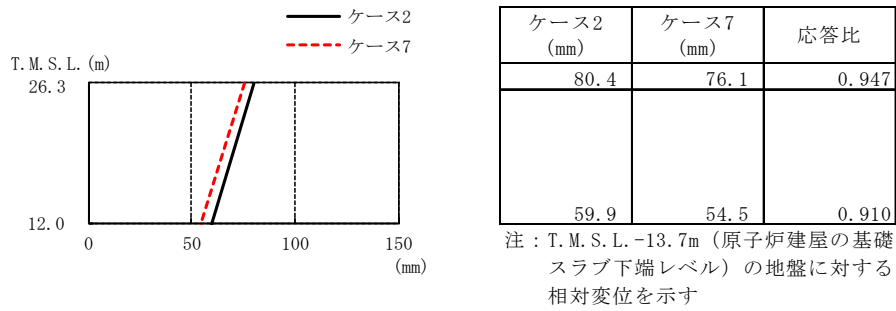


図3-7 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

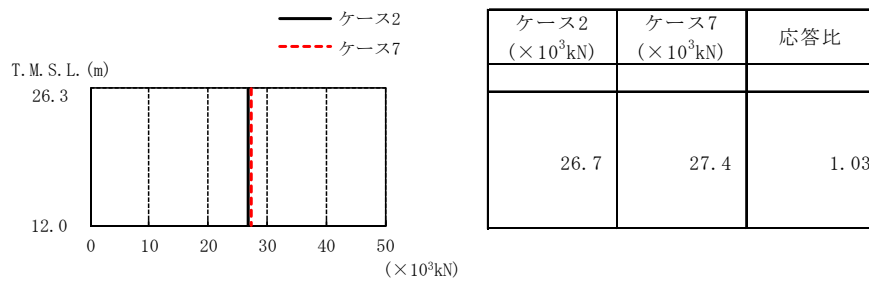


図3-8 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

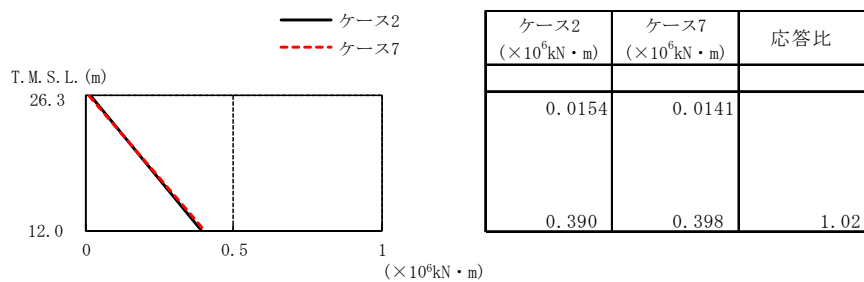


図3-9 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)

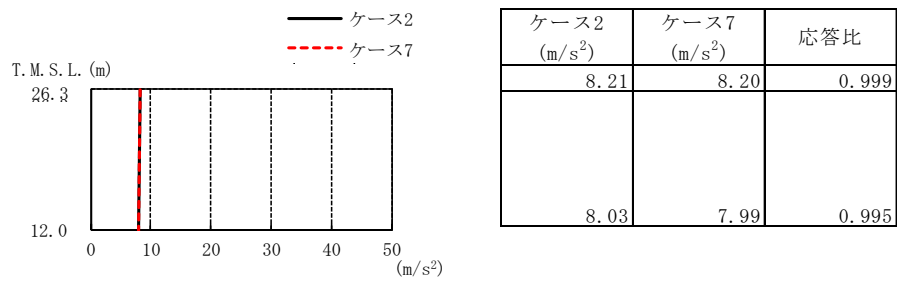


図3-10 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

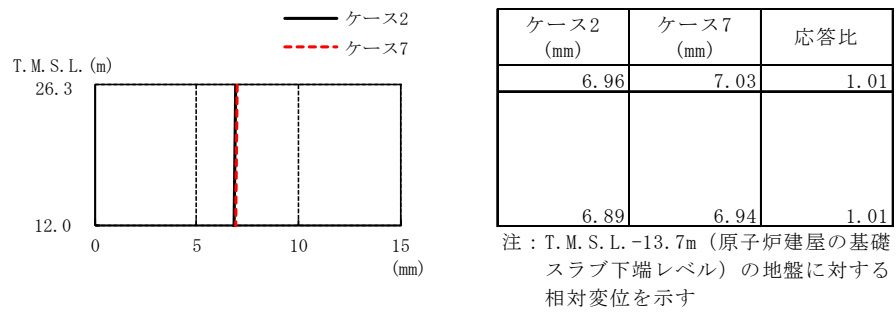


図3-11 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

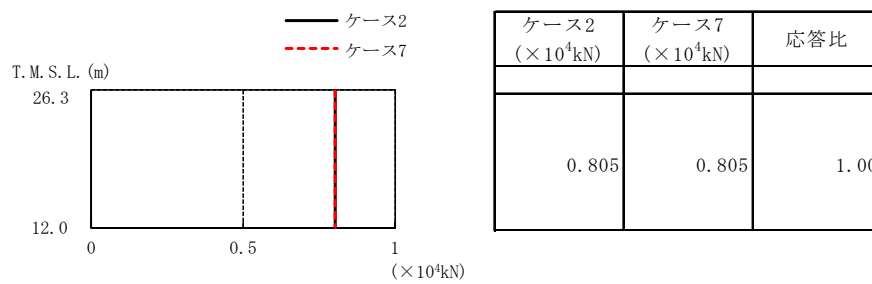


図3-12 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

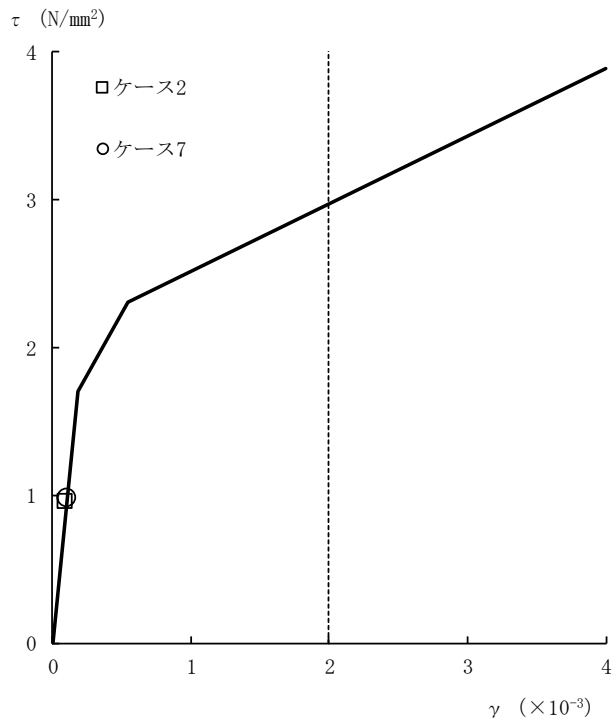


図3-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS方向)

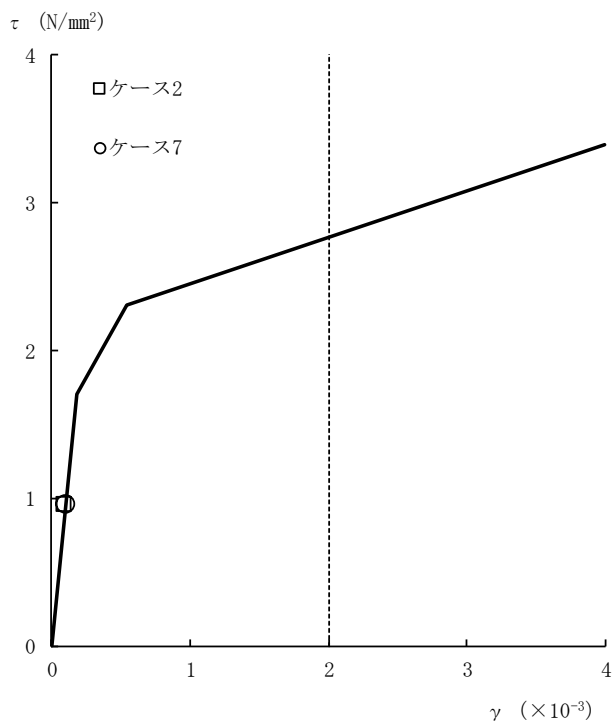


図3-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW方向)

表3-2 杭頭断面力一覧

(a) 最大応答軸力

解析 ケース	ケース2		ケース7		応答比
	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	101	7.47	101	7.83	1.05
Ss-1 (EW)	101	8.62	101	8.42	0.977

注：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

解析 ケース	ケース2		ケース7		応答比
	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	101	-6.24	101	-6.54	1.05
Ss-1 (EW)	601	-7.36	601	-7.45	1.01

注：圧縮を正，引張を負とする

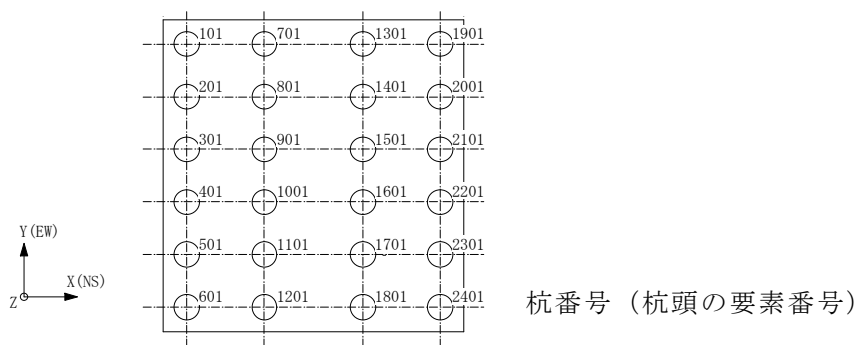
(c) 最大応答曲げモーメント

解析 ケース	ケース2			ケース7			応答比
	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	
Ss-1 (NS)	1901	6.55	0.984	1901	6.80	0.998	1.01
Ss-1 (EW)	1901	7.35	0.993	1901	7.41	1.01	1.02

注：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

解析 ケース	ケース2		ケース7		応答比
	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	
Ss-1 (NS)	1901	4.93	1901	5.22	1.06
Ss-1 (EW)	1901	4.90	1901	5.20	1.06



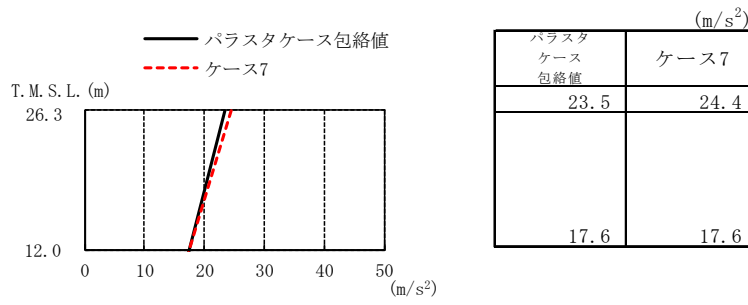


図3-15 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

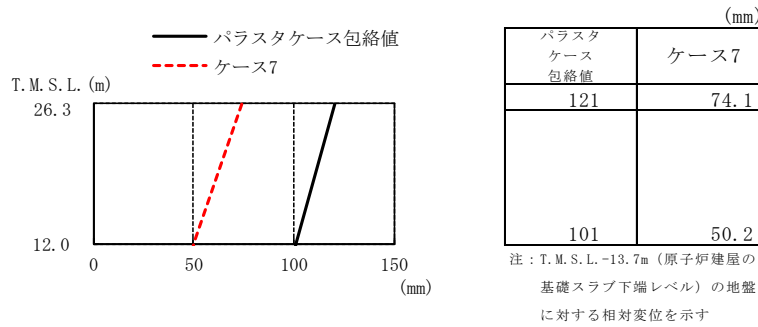


図3-16 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

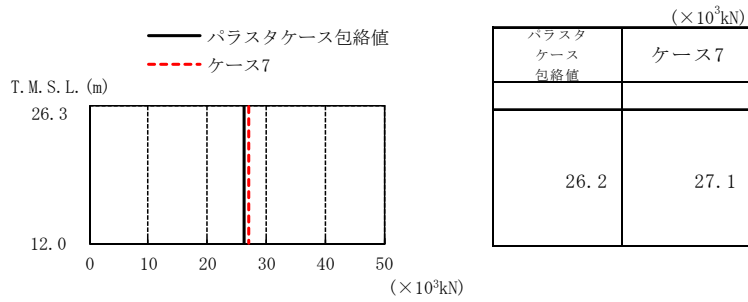


図3-17 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

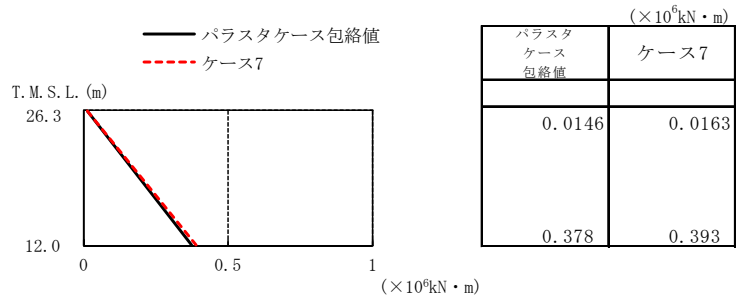


図3-18 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

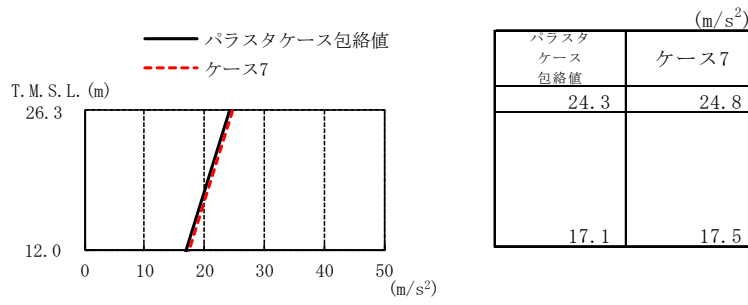


図3-19 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

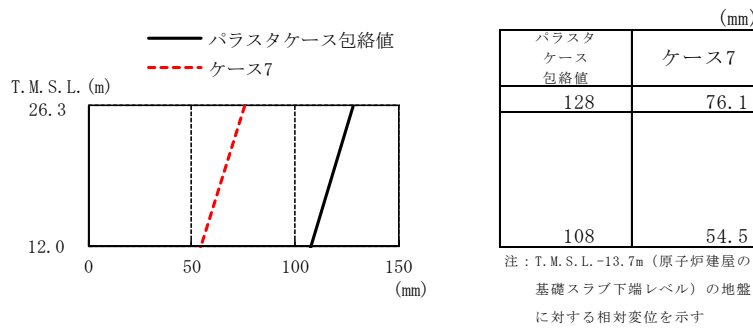


図3-20 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

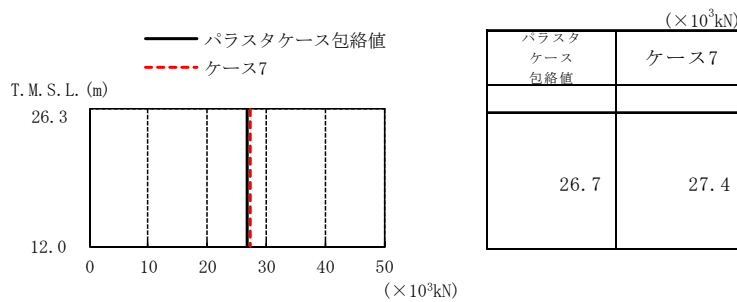


図3-21 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

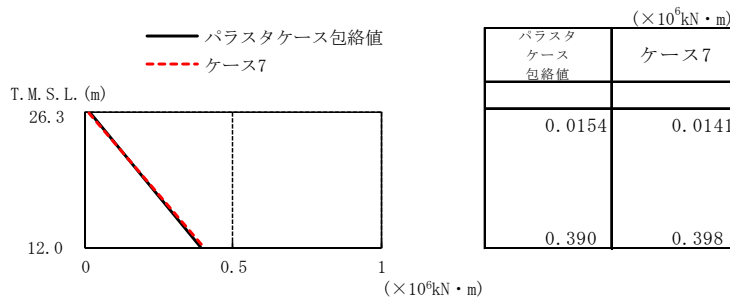


図3-22 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

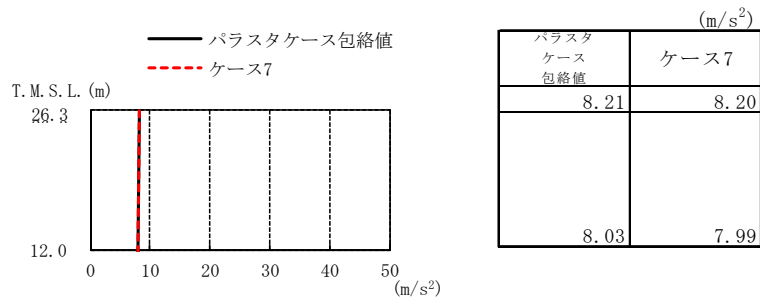


図3-23 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

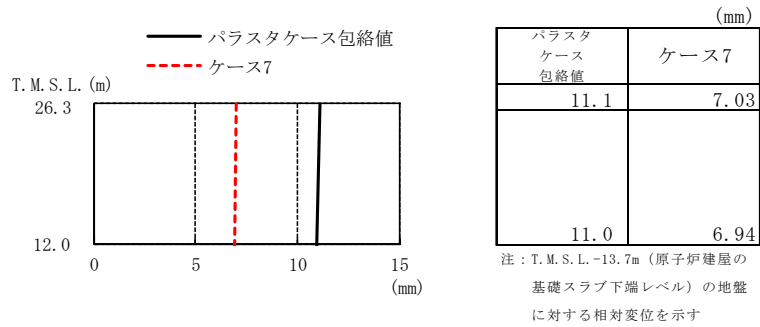


図3-24 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

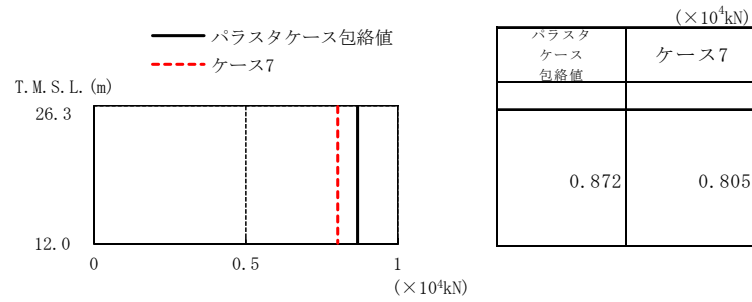


図3-25 最大応答軸力（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

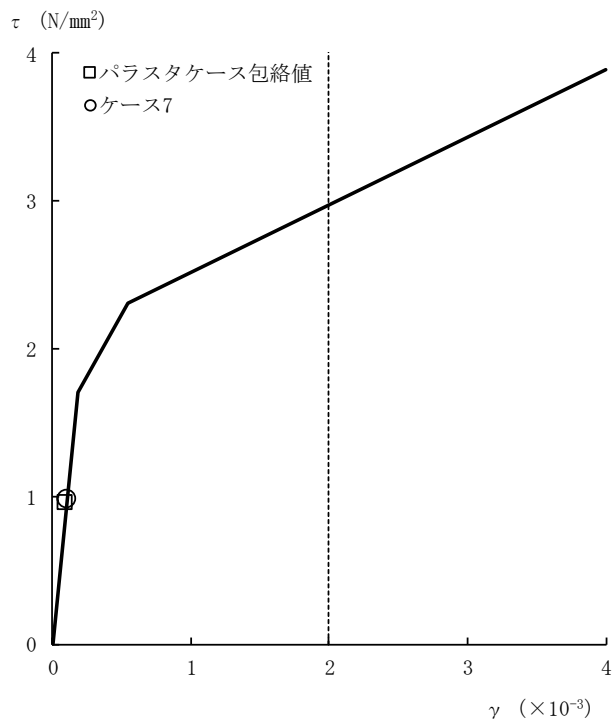


図3-26 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, NS方向)

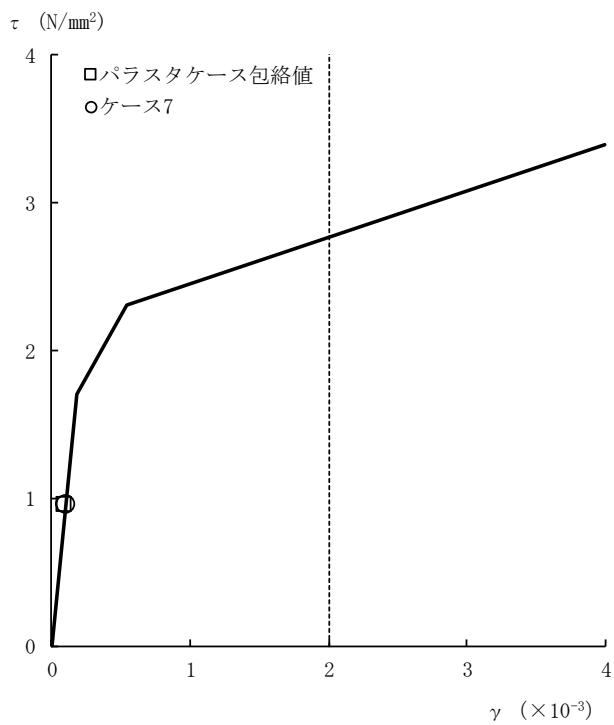


図3-27 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, EW方向)

表3-3 杭頭断面力一覧（パラスタケース包絡値との比較）

(a) 最大応答軸力

パラスタケース包絡値		ケース7	
杭番号	N _{max} (×10 ³ kN)	杭番号	N _{max} (×10 ³ kN)
2401	10.4	101	8.42

注：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

パラスタケース包絡値		ケース7	
杭番号	N _{min} (×10 ³ kN)	杭番号	N _{min} (×10 ³ kN)
601	-9.91	601	-7.45

注：圧縮を正，引張を負とする

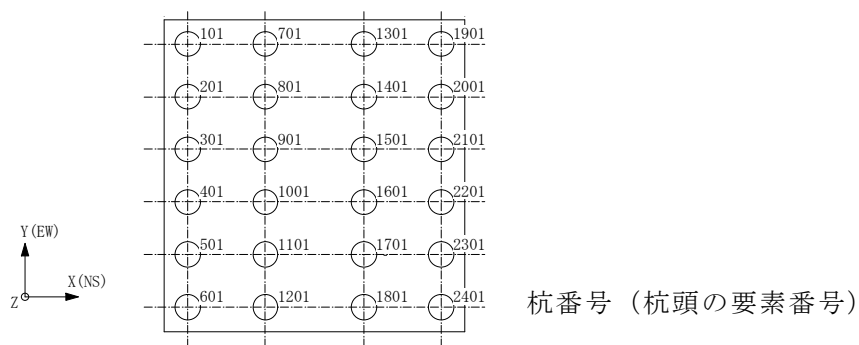
(c) 最大応答曲げモーメント

パラスタケース包絡値			ケース7		
杭番号	N (×10 ³ kN)	M _{max} (×10 ⁴ kN・m)	杭番号	N (×10 ³ kN)	M _{max} (×10 ⁴ kN・m)
1901	6.66	1.31	1901	7.41	1.01

注：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

パラスタケース包絡値		ケース7	
杭番号	Q _{max} (×10 ³ kN)	杭番号	Q _{max} (×10 ³ kN)
1901	5.07	1901	5.22



3.3 装置基礎の耐震評価に与える影響

3.3.1 耐震壁

耐震壁のせん断ひずみの評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す最大せん断ひずみに、基準地震動Ss-1に対するケース2とケース7の応答比（ケース7/ケース2）を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。

地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した耐震壁の評価結果を表3-4に示す。応答比を考慮した最大せん断ひずみが許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことから、地盤改良体の物性値の不確かさを考慮しても耐震壁の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

表3-4 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した耐震壁の評価結果

方向	最大せん断ひずみ（ $\times 10^{-3}$ ）		③応答比 （②/①）	最大せん断ひずみ（ $\times 10^{-3}$ ）	
	①ケース2 （Ss-1）	②ケース7 （Ss-1）		④材料物性の 不確かさ 考慮モデル	応答比を 乗じた値 （③ \times ④）
NS	0.101	0.104	1.03	0.101	0.104
EW	0.100	0.103	1.03	0.100	0.103

3.3.2 杭

杭の評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎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、鉛直支持力には最大応答軸力、引抜き抵抗力には最小応答軸力、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の最大値を用いる。

地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した杭の評価結果を表3-5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、地盤改良体の物性値の不確かさ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3-5 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した杭の評価結果

評価項目	①検定値	②応答比	応答比を乗じた値 （① \times ②）
鉛直支持力	0.434	1.05	0.456
引抜き抵抗力	0.583	1.05	0.613
曲げモーメント	0.898	1.02	0.916
せん断力	0.614	1.06	0.651

3.3.3 基礎スラブ

基礎スラブの評価では、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す基礎スラブの解析結果に、応答比を乗じた値が許容値を超えないことを確認する。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3-4及び図3-8）、最大応答曲げモーメント（図3-5及び図3-9）及び最大応答軸力（図3-12）のうち最大となる応答比を用いる。

地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果を表3-6に示す。応答比を考慮した評価結果が許容値を超えないことから、地盤改良体の物性値の不確かさを考慮しても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。

表3-6 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果

	方向	評価項目	①解析結果	②応答比	応答比を乗じた値 (①×②)	許容値
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS	<u>必要鉄筋量</u> 設計配筋量	0.549	1.04	0.571	1.00
	EW	<u>必要鉄筋量</u> 設計配筋量	0.522	1.03	0.538	1.00
面外 せん断力	NS	面外せん断力 (kN/m)	4270	1.04	4440	5630
	EW	面外せん断力 (kN/m)	3230	1.03	3330	4580

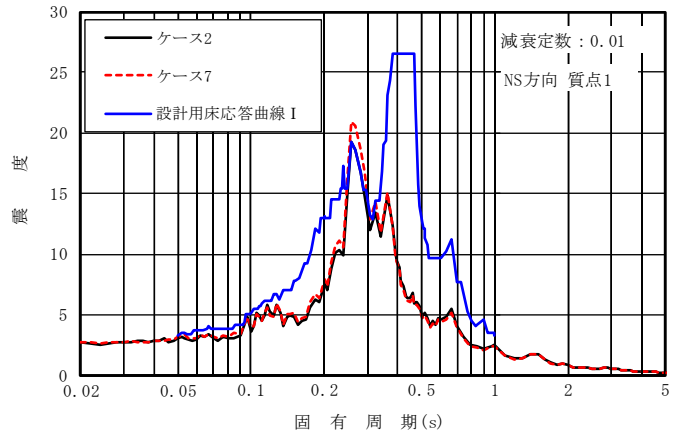
4. 機器・配管系評価に与える影響

装置基礎が内包する機器はフィルタ装置，よう素フィルタ，ドレンタンク及びドレン移送ポンプである。V-2-9-4-5-5-1「ドレン移送ポンプの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-1「ドレンタンクの耐震性についての計算書」，V-2-9-4-7-1-3「フィルタ装置の耐震性についての計算書」及びV-2-9-4-7-1-4「よう素フィルタの耐震性についての計算書」に示すとおり，いずれも剛構造であり，裕度（許容値／発生値）の最小値は1.12である。図3-2，図3-6及び図3-10に示すとおり，最大応答加速度の応答比の最大値は1.04であり，機器の裕度が応答比を上回ることを確認した。

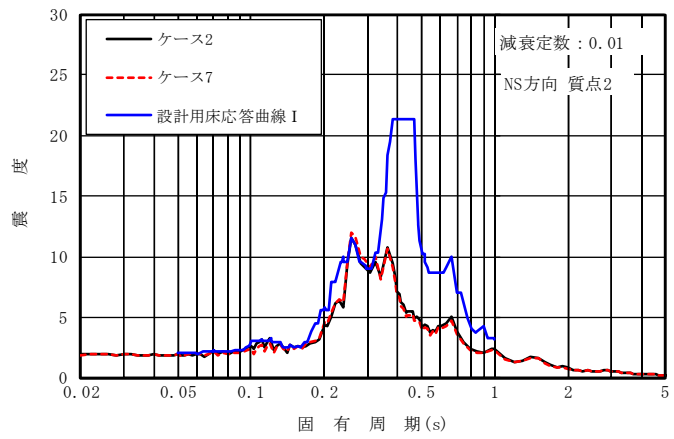
Ss-1におけるケース7とケース2の床応答スペクトル及び設計に用いている床応答スペクトル（V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線I）の比較を図4-1及び図4-2に示す。V-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」に示すとおり，配管の主要な周期帯は0.05s～0.07sである。図4-1及び図4-2に示すとおり，ケース7の床応答スペクトルはケース2の床応答スペクトルと配管の主要な周期帯において同等であり，設計用床応答曲線Iを下回ることを確認した。

図3-16，図3-20及び図3-24に示すとおり，ケース7の最大応答変位はパラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

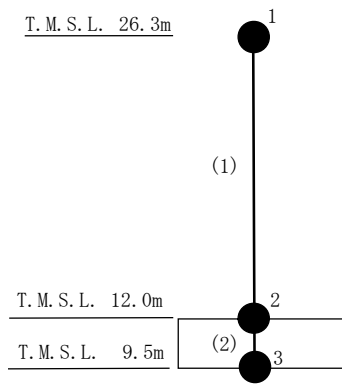
以上より，地盤改良体の物性値の不確かさを考慮しても機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。



(a) 質点 1

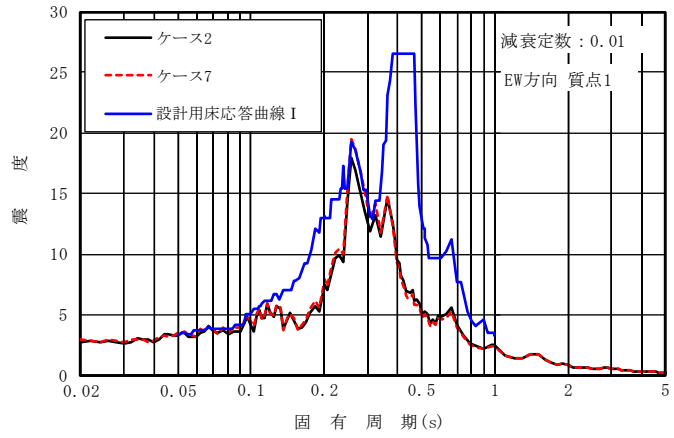


(b) 質点 2

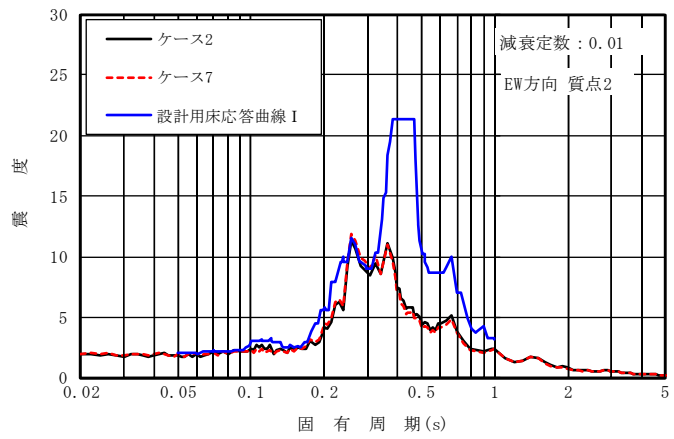


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

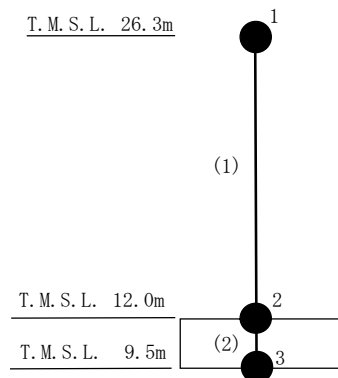
図 4-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1



(b) 質点 2



注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

図 4-2 床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01)

5. まとめ

原地盤の地盤剛性を $+1\sigma$ とし地盤改良体の物性値の不確かさを考慮したモデル（ケース7）を用いて、Ss-1に対する地震応答解析を実施し、原地盤の地盤剛性を $+1\sigma$ としたモデル（ケース2）の結果と比較した。

その結果、ケース7の最大応答値は、ケース2の結果を部分的に上回るものの、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、地盤改良体の物性値の不確かさを考慮しても装置基礎の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

また、装置基礎が内包する機器の裕度が応答比を上回ることと、ケース7の床応答スペクトルが、ケース2の床応答スペクトルと配管の主要な周期帯において同等であり、設計用床応答曲線Iを下回ることから、機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

なお、地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した解析用物性値は、装置基礎周辺の施工済の地盤改良体の事後調査結果の平均値から設定している。表2-2及び表2-3に示すとおり、事後調査結果のせん断波速度は設計値に対して約2倍に増大しているが、本設定を用いた床応答スペクトルはケース2の床応答スペクトルと主要な周期帯において同等であり、設計用床応答曲線Iを下回ることから、事後調査結果のせん断波速度にばらつきを見込んだとしても、耐震評価に影響を与える変動はないと判断した。

別紙8 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 8-1
1.1 隣接建屋の概要	別紙 8-1
1.2 検討概要	別紙 8-2
2. 検討方針	別紙 8-3
2.1 評価フロー	別紙 8-3
2.2 解析断面	別紙 8-4
2.3 解析ケース	別紙 8-5
2.4 解析モデル	別紙 8-5
2.4.1 建屋のモデル化	別紙 8-7
2.4.2 杭のモデル化	別紙 8-10
2.4.3 原地盤及び地盤改良体のモデル化	別紙 8-10
2.5 入力地震動	別紙 8-12
3. 検討結果	別紙 8-13
3.1 地震応答解析結果	別紙 8-13
3.2 装置基礎の耐震評価に与える影響	別紙 8-16
3.3 機器・配管系評価に与える影響	別紙 8-17
4. まとめ	別紙 8-19

1. 概要

1.1 隣接建屋の概要

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の設置位置を図1-1に示す。装置基礎の周辺は、原子炉建屋、軽油タンク基礎及び大物搬入建屋が配置されている。

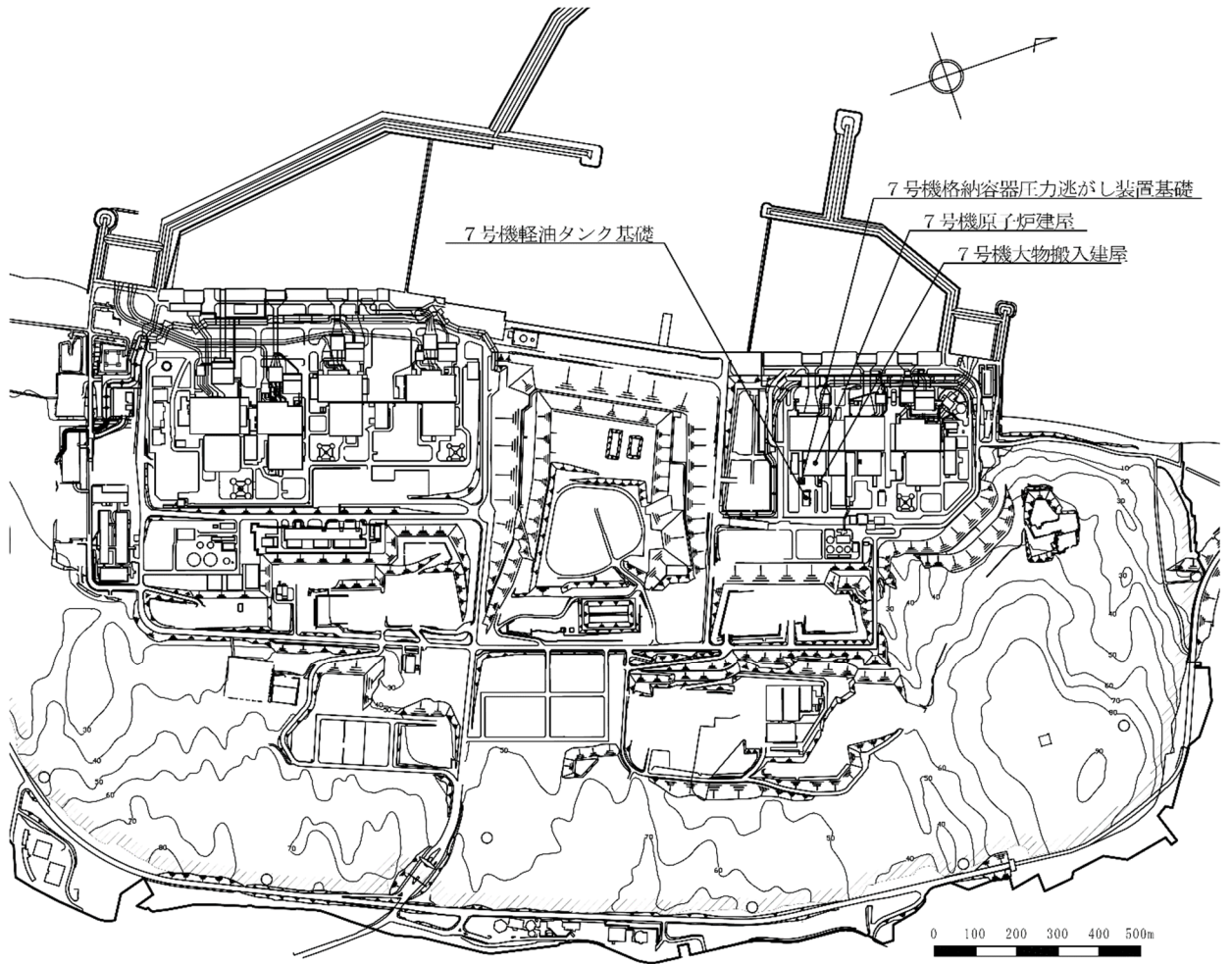


図1-1 装置基礎の設置位置

1.2 検討概要

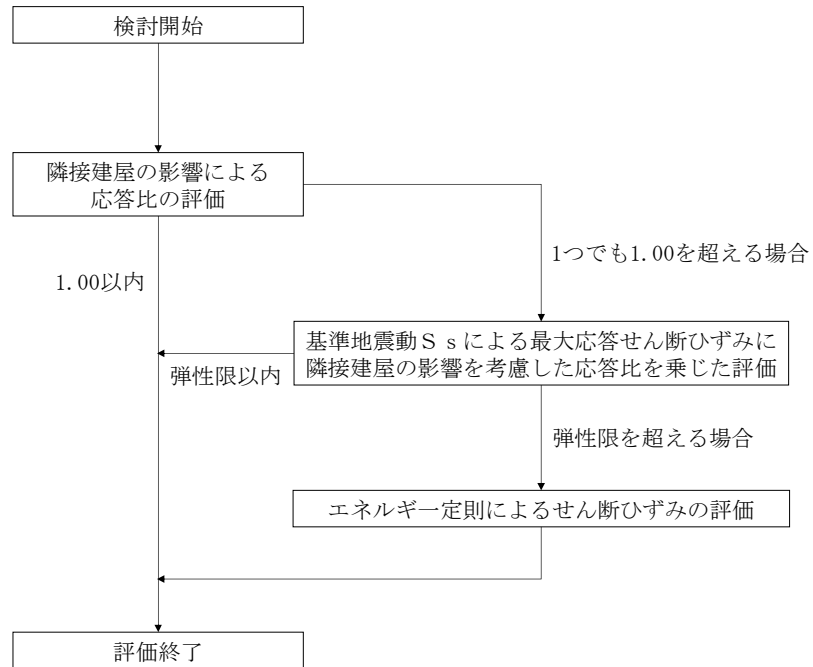
「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）」のうち「隣接建屋の影響に関する検討」では、原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の配置状況を考慮した地震応答解析を実施し、隣接建屋が原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の構造健全性に与える影響を確認している。一方、装置基礎の地震応答解析では、装置基礎及び装置基礎の周辺に施工する地盤改良体を考慮しているが、原子炉建屋等は地盤改良体より剛性が高いため、隣接建屋の影響を考慮していない。本資料では、装置基礎を単独でモデル化する場合と、隣接建屋の配置を考慮してモデル化する場合について地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較することで、隣接建屋が装置基礎及び機器・配管系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。

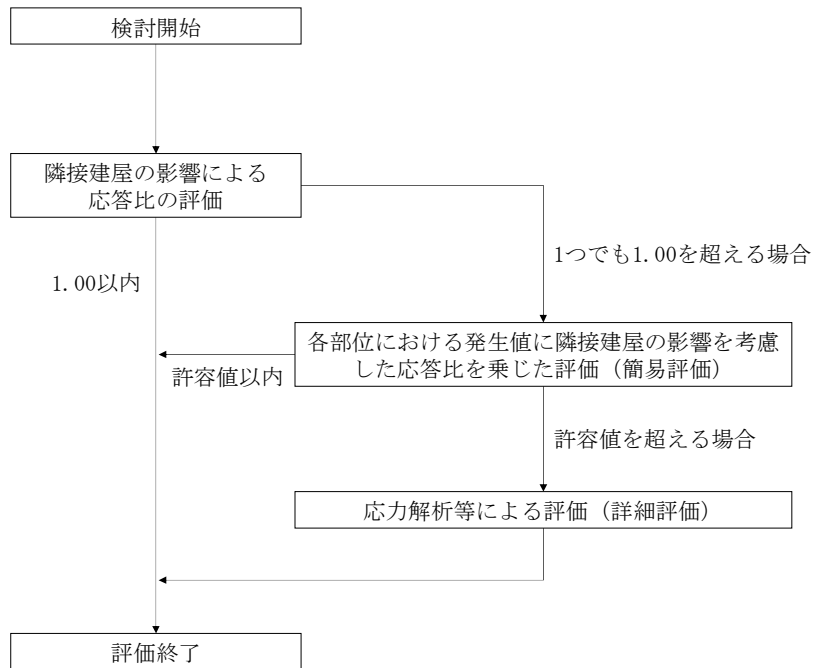
2. 検討方針

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

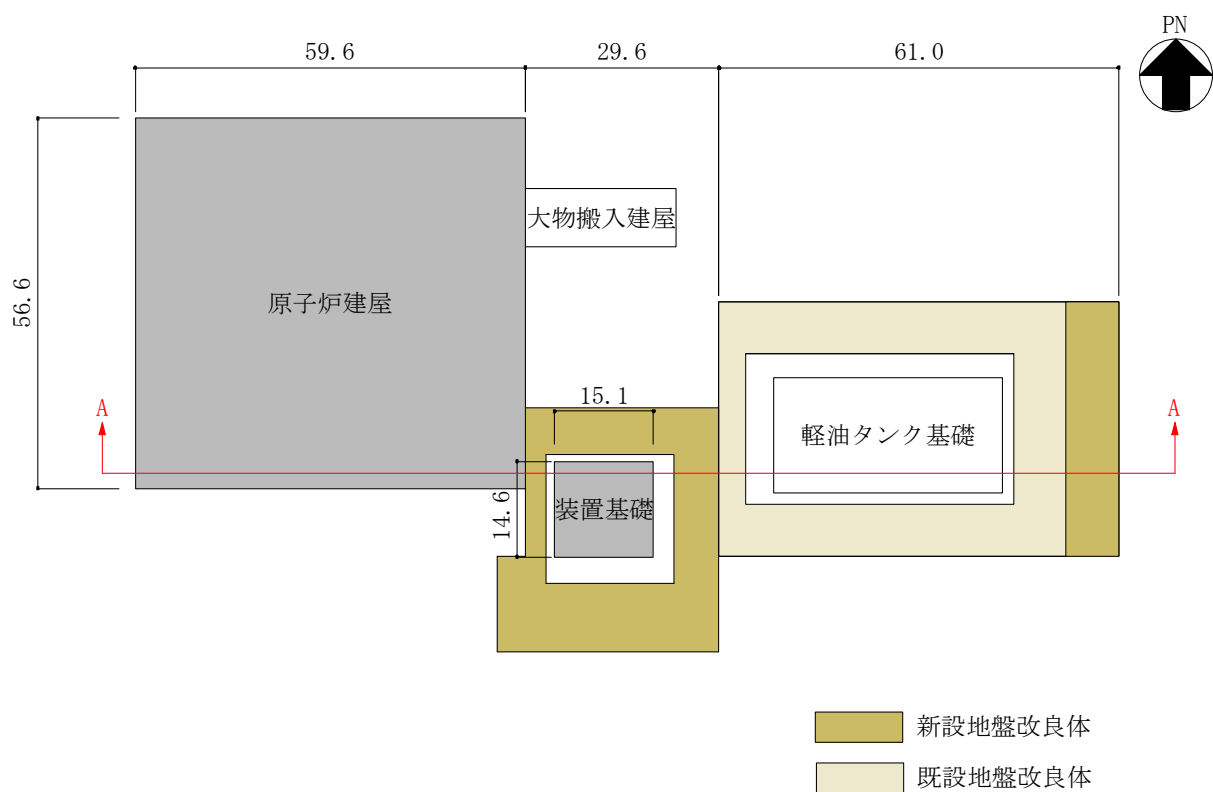
2.2 解析断面

隣接建屋の配置を図2-2に示す。

原子炉建屋は装置基礎に隣接する建屋の中で最も規模が大きく、装置基礎に隣接しているため、装置基礎の応答に影響を及ぼす可能性がある。軽油タンク基礎周辺の地盤改良体は、装置基礎に隣接しているため、装置基礎の応答に影響を及ぼす可能性がある。大物搬入建屋は原子炉建屋に比べて規模が小さく、装置基礎から十分に離れて配置されているため、装置基礎の応答に及ぼす影響は小さいと考えられる。

以上より、地震応答解析は装置基礎、原子炉建屋及び軽油タンク基礎を含むA-A断面（EW方向）を解析断面とし、2次元FEMモデルにて実施する。

なお、地盤改良体については、2018年12月時点で竣工済みのものを「既設地盤改良体」、施工中若しくは計画中のものを「新設地盤改良体」と称する。



(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、装置基礎を単独でモデル化する場合をケース8とし、装置基礎、原子炉建屋及び軽油タンク基礎の配置を考慮してモデル化する場合をケース9とする。

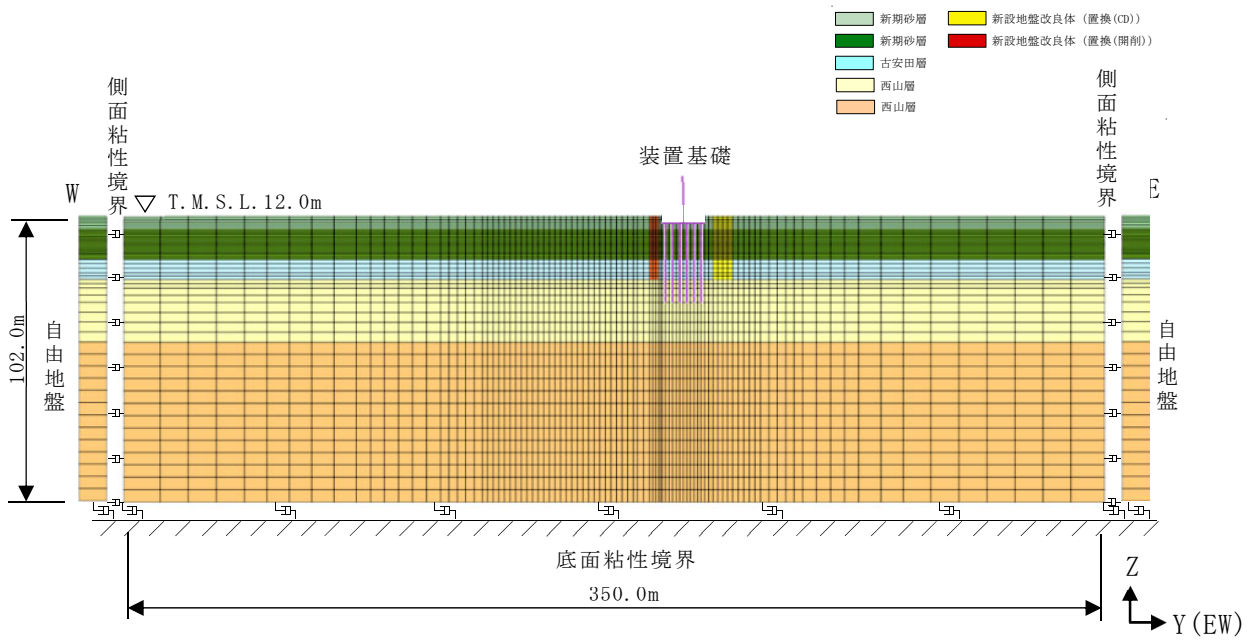
表 2-1 解析ケース

解析ケース	モデル化する建屋及び地盤改良体
ケース 8 (隣接非考慮)	装置基礎, 装置基礎の新設地盤改良体
ケース 9 (隣接考慮)	装置基礎, 装置基礎の新設地盤改良体, 原子炉建屋, 軽油タンク基礎の新設地盤改良体及び既設地盤改良体

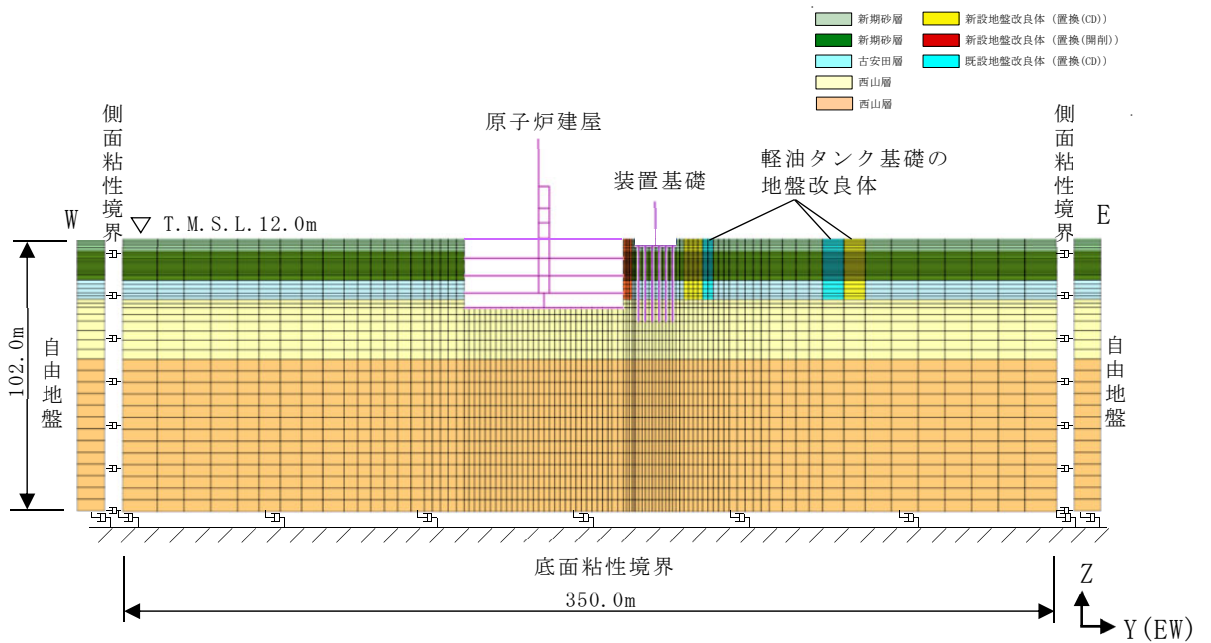
2.4 解析モデル

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2次元FEMモデルとし、解析領域は水平方向350m、鉛直方向102m (T. M. S. L. 12.0m~T. M. S. L. -90.0m) とする。装置基礎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シェル要素でモデル化し、解析領域の境界部においては、側面にエネルギー逸散効果を、底面に半無限性を考慮するために粘性境界を設ける。

なお、軽油タンク基礎については地盤改良体に囲まれた杭基礎構造物であり、同じく地盤改良体に囲まれた杭基礎構造物である装置基礎の応答に及ぼす影響は小さいと考えられるため、ケース9 (隣接考慮) では軽油タンク基礎本体を考慮せず、軽油タンク基礎の周辺に施工する地盤改良体のみ考慮する。



(a) ケース 8 (隣接非考慮)



(b) ケース 9 (隣接考慮)

図 2-3 解析モデル

2.4.1 建屋のモデル化

装置基礎及び原子炉建屋の物性値を表2-2に示す。装置基礎の物性値はV-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」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。

装置基礎の解析モデルは、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同様に一軸多質点系の曲げせん断棒モデルとし、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。

装置基礎の解析モデル諸元は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示す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。

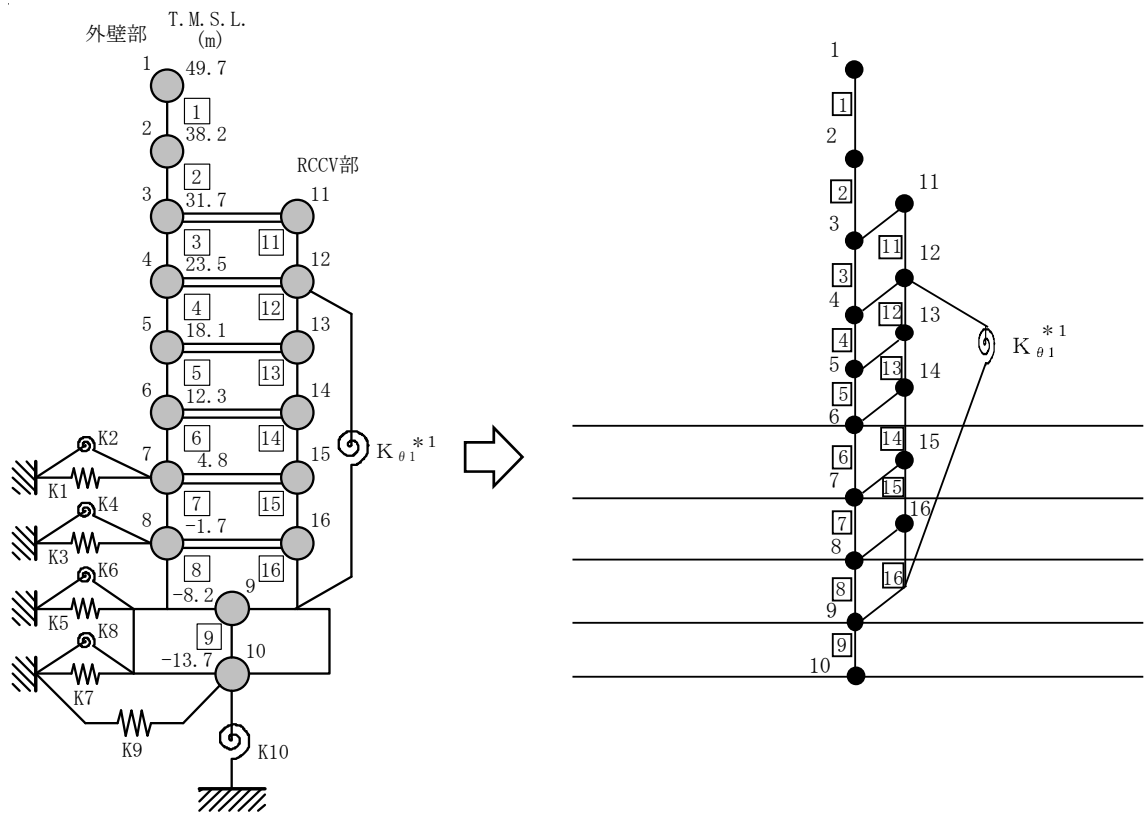
原子炉建屋の解析モデル諸元を表2-3に示す。原子炉建屋の解析モデル諸元は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの諸元に対して、面外方向（NS方向）の奥行幅比（装置基礎奥行幅／原子炉建屋奥行幅）を乗じた値とする。

装置基礎の基礎スラブ下端の無質量剛はり要素と原地盤の間にはすべりを考慮したジョイント要素及び水平自由度の多点拘束は設定せず、剥離・接触のみを考慮したジョイント要素を設定する。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自由度において多点拘束を設定するとともに、鉛直方向には剥離・接触を考慮したジョイント要素を設定する。原子炉建屋の質点7～9の無質量剛はり要素の端部と原地盤又は地盤改良体の間は、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。また、質点6の無質量剛はり要素の端部と地表面（T.M.S.L. 12.0m）の原地盤又は地盤改良体の間にはすべりを考慮したジョイント要素及び鉛直自由度の多点拘束は設定せず、剥離・接触のみを考慮したジョイント要素を設定する。これにより、ケース9（隣接考慮）において原子炉建屋の応答が表層付近の地盤改良体を介して装置基礎の応答に及ぼす影響を保守的に考慮する。

表 2-2 装置基礎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
装置基礎	耐震壁 基礎スラブ	コンクリート： F _c = 24 (N/mm ²) 鉄筋：SD345	2.27 × 10 ⁴	9.45 × 10 ³	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・ロックングモデル*2

(b) 2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2：2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 ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)	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)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)	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	10190	37.9	□1	14.1	7700	11	22260	69.1	□11	56.5	1700
2	20770	77.4	□2	31.7	16100	12	44510	122.4	□12	57.5	6000
3	23100	77.2	□3	44.5	22700	13	27870	87.8	□13	53.5	6000
4	17350	71.1	□4	34.0	21100	14	52050	116.9	□14	39.2	6000
5	12950	54.4	□5	43.0	23900	15	32880	111.6	□15	46.5	5500
6	20280	82.7	□6	46.3	29600	16	35820	105.7	□16	42.4	6100
7	19780	81.7	□7	54.6	32000						
8	20440	83.7	□8	66.9	33800						
9	88340	268.1	□9	870.2	257600						
10	55730	166.2									
合計	504320										

注1：RCCV 回転ばね $K_{\theta 1} 5.08 \times 10^9$ ($\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$)

注2：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

杭ははり要素でモデル化し、基礎スラブ下端の無質量剛はり要素と剛接合する。杭の断面性能、杭の曲げモーメントー軸力相関及び曲率関係は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの設定に対して、2次元FEMにおける面外方向の杭本数（4本）を考慮した値として設定する。

杭と原地盤の境界は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置の地震応答計算書」と同様のジョイント要素を設定する。

2.4.3 原地盤及び地盤改良体のモデル化

地盤は水平成層地盤とし、原地盤及び地盤改良体はシェル要素でモデル化する。地盤定数はV-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同様に算定した等価地盤物性値とする。ここで、地盤改良体の初期地盤物性値及びひずみ依存特性は表2-4のとおり設定する。なお、同表に示す単位体積重量及びせん断波速度は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同様に改良率を考慮して算定した値である。

弾性設計用地震動S_dに対する地盤定数を表2-5に示す。

地盤改良体と原地盤の境界は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置の地震応答計算書」と同様のジョイント要素を設定する。

表 2-4 地盤改良体の物性値

(a) 新設地盤改良体

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 γ _t (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	G/G ₀ ~γ	h~γ (%)
+12.0	置換 (CD)	800	17.9	0.302	1/(1+10.1γ ^{1.21})	γ/(0.172γ+0.00783) +0.401
-3.5	置換 (開削)	840	18.1	0.302	1/(1+10.1γ ^{1.21})	γ/(0.172γ+0.00783) +0.401
-3.5	置換 (CD)	800	18.0	0.302	1/(1+10.1γ ^{1.21})	γ/(0.172γ+0.00783) +0.401
-10.6	置換 (開削)	840	18.1	0.302	1/(1+10.1γ ^{1.21})	γ/(0.172γ+0.00783) +0.401

注：γはせん断ひずみ(%)を表す

(b) 既設地盤改良体

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 γ _t (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	G/G ₀ ~γ	h~γ (%)
+12.0 -3.5	置換 (CD)	1250	17.9	0.302	1/(1+10.1γ ^{1.21})	γ/(0.172γ+0.00783) +0.401
-3.5 -10.6	置換 (CD)	1240	18.0	0.302	1/(1+10.1γ ^{1.21})	γ/(0.172γ+0.00783) +0.401

注：γはせん断ひずみ(%)を表す

表 2-5 地盤定数 (Sd-1)

(a) 原地盤

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 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	16900	36900	0.46	16
+7.3		200	16.1	0.308	15700	65700	0.24	24
-3.5	古安田層	330	17.3	0.462	124000	192000	0.65	4
-10.6	西山層	490	17.0	0.451	403000	416000	0.97	3
-33.0		530	16.6	0.446	456000	475000	0.96	3
-90.0		590	17.3	0.432	583000	614000	0.95	3
-136.0		650	19.3	0.424	798000	832000	0.96	3
-155.0	椎谷層	720	19.9	0.416	1050000	1050000	1.00	—

(b) 新設地盤改良体 (置換 (CD))

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 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新設地盤改良体 (置換 (CD))	800	17.9	0.302	1140000	1170000	0.98	0
+7.3		800	17.9	0.302	1140000	1170000	0.98	0
-3.5 -10.6		800	18.0	0.302	1130000	1170000	0.97	1

注：T. M. S. L. -10.6m 以深は原地盤の値を採用する

(c) 新設地盤改良体 (置換 (開削))

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 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新設地盤改良体 (置換 (開削))	840	18.1	0.302	1290000	1310000	0.99	0
+7.3		840	18.1	0.302	1290000	1310000	0.99	0
-3.5 -10.6		840	18.1	0.302	1270000	1310000	0.97	1

注：T. M. S. L. -10.6m 以深は原地盤の値を採用する

(d) 既設地盤改良体 (置換 (CD))

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 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	既設地盤改良体 (置換 (CD))	1250	17.9	0.302	2820000	2850000	0.99	0
+7.3		1250	17.9	0.302	2820000	2850000	0.99	0
-3.5 -10.6		1240	18.0	0.302	2790000	2820000	0.99	0

注：T. M. S. L. -10.6m 以深は原地盤の値を採用する

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。入力地震動の算定方法は、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」と同様とする。設定した地盤定数に基づき算定した解析モデル底面位置（T. M. S. L. -90.0m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図2-5に示す。

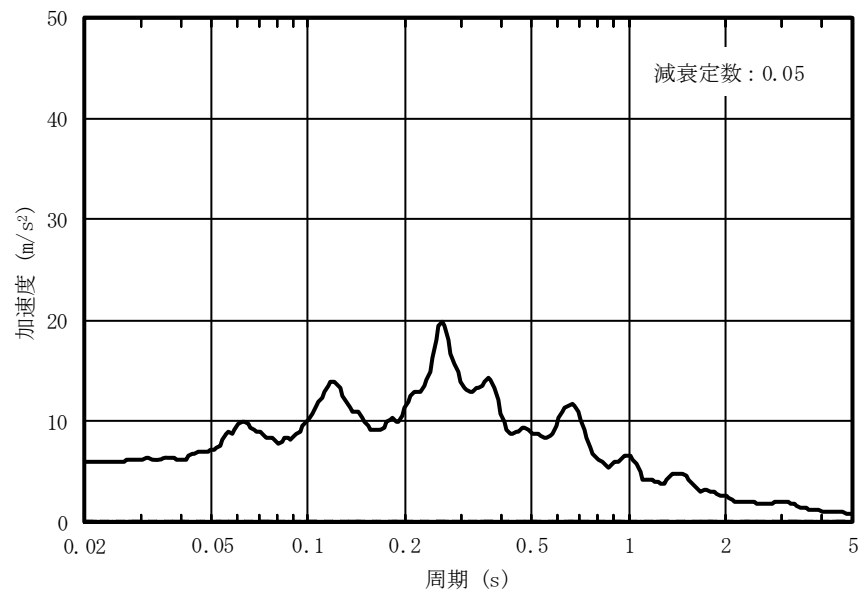


図 2-5 入力地震動の加速度応答スペクトル
(S_d-1, T. M. S. L. -90.0m, EW 方向)

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。

建屋及び杭頭断面力の最大応答値について確認した結果、ケース9（隣接考慮）の応答値は、装置基礎の最大応答加速度及び杭の最大応答せん断力を除き、ケース8（隣接非考慮）よりも小さくなった。装置基礎の最大応答加速度については、ケース9（隣接考慮）において装置基礎が原子炉建屋及び軽油タンク基礎の地盤改良体に拘束されることで、装置基礎のロッキング動が抑制されスウェイ動が主体となったため、質点番号2（T.M.S.L.12.0m）でケース8（隣接非考慮）よりも大きくなったと考えられる。杭の最大応答せん断力については、ケース9（隣接考慮）において原子炉建屋が地盤改良体を介して杭と地盤の相互作用に影響を与えたため、ケース8（隣接非考慮）よりも大きくなったと考えられる。応答比（ケース9／ケース8）は0.632（杭の軸力）～1.47（杭のせん断力）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。

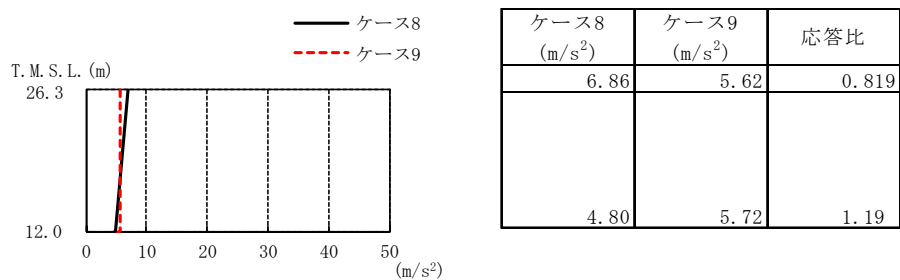


図3-1 最大応答加速度 (Sd-1, EW方向)

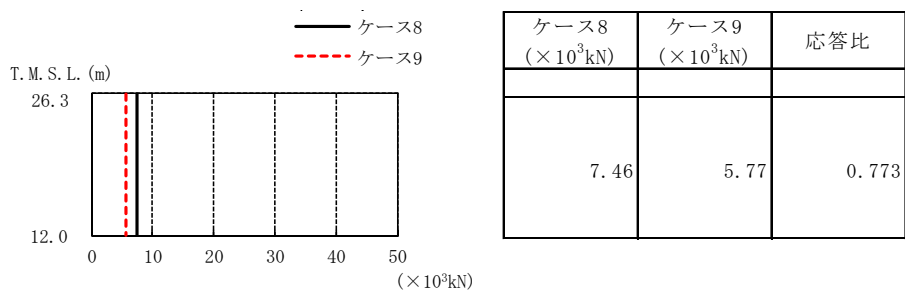


図3-2 最大応答せん断力 (Sd-1, EW方向)

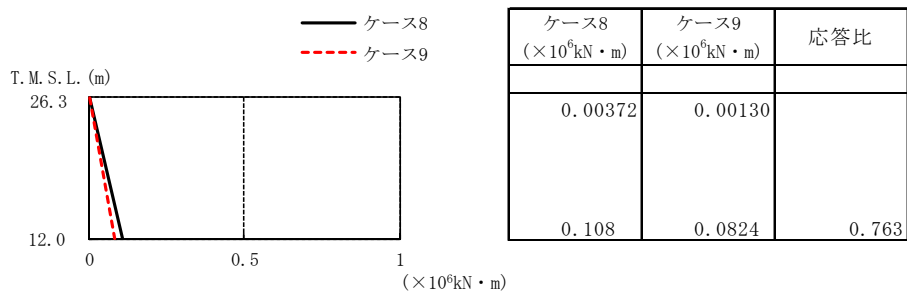


図3-3 最大応答曲げモーメント (Sd-1, EW方向)

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
	ケース8	ケース9	
26.3~12.0	0.0279	0.0215	0.771

表3-2 杭頭断面力一覧

(a) 最大応答軸力

解析 ケース	ケース8		ケース9		応答比
	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	
Sd-1(EW)	1	4.62	1	3.35	0.725

注1：杭1本あたりの値を示す

注2：圧縮を正，引張を負とする

(b) 最小応答軸力

解析 ケース	ケース8		ケース9		応答比
	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	
Sd-1(EW)	6	-1.82	1	-1.15	0.632

注1：杭1本あたりの値を示す

注2：圧縮を正，引張を負とする

(c) 最大応答曲げモーメント

解析 ケース	ケース8			ケース9			応答比
	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)	
Sd-1(EW)	6	-1.82	0.405	1	-1.15	0.380	0.938

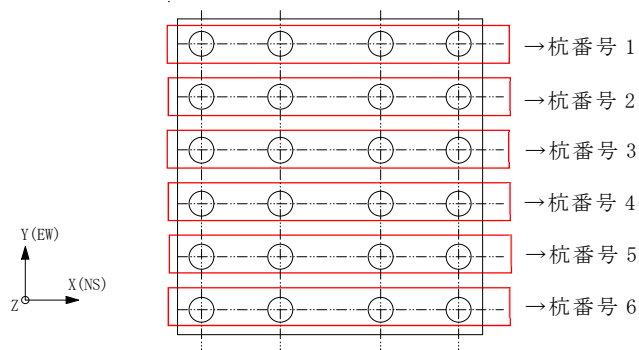
注1：杭1本あたりの値を示す

注2：Nは最大応答曲げモーメント発生時の軸力を示す

(d) 最大応答せん断力

解析 ケース	ケース8		ケース9		応答比
	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	
Sd-1(EW)	6	1.17	1	1.72	1.47

注：杭1本あたりの値を示す



3.2 装置基礎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-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」に示す杭の検定値に，弾性設計用地震動 Sd-1 に対するケース 8 とケース 9 の応答比（ケース 9/ケース 8）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，鉛直支持力には最大応答軸力，引抜き抵抗力には最小応答軸力，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。この際，応答比が 1.00 を下回る場合は 1.00 とする。

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* (Sd-1)	応答比を乗じた値 (①×②)
鉛直支持力	0.434	1.00	0.434
引抜き抵抗力	0.583	1.00	0.583
曲げモーメント	0.898	1.00	0.898
せん断力	0.614	1.47	0.903

注記*：応答比が1.00を下回る場合は1.00とする。

3.3 機器・配管系評価に与える影響

機器・配管系評価の検討フローを図3-4に示す。

装置基礎が内包する機器・配管系について、V-2-9-4-5-5-1「ドレン移送ポンプの耐震性についての計算書」、V-2-9-4-7-1-1「ドレンタンクの耐震性についての計算書」、V-2-9-4-7-1-2「管の耐震性についての計算書（格納容器圧力逃がし装置）」、V-2-9-4-7-1-3「フィルタ装置の耐震性についての計算書」及びV-2-9-4-7-1-4「よう素フィルタの耐震性についての計算書」に示す裕度（許容値／発生値）と応答比を比較し、全て裕度が応答比以上となることから、隣接建屋の影響を考慮しても耐震評価に影響を与えないことを確認した。

なお、評価において、床応答スペクトルに関する応答比は固有周期 0.05s～1.0s の範囲での最大値を用いた。

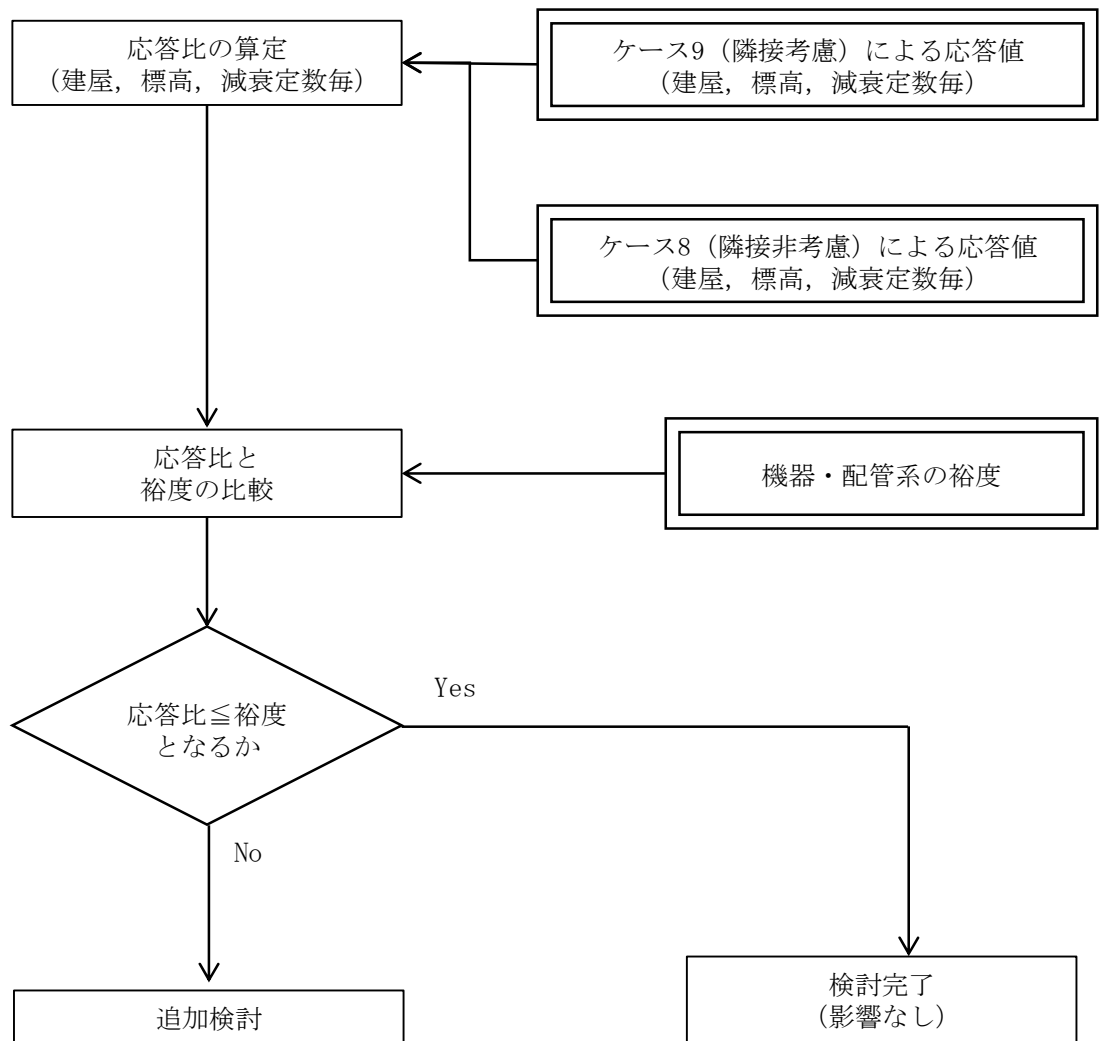
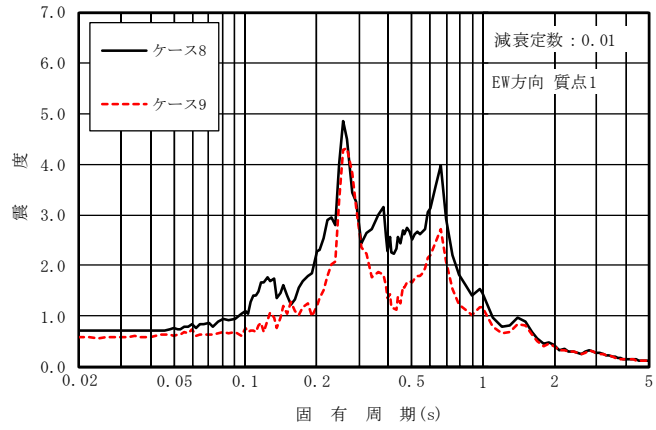
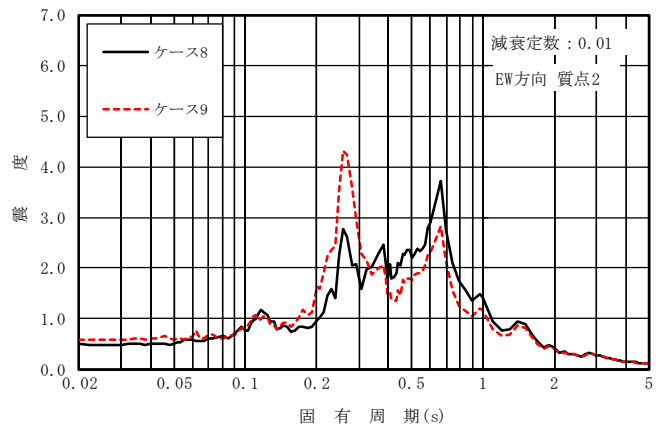


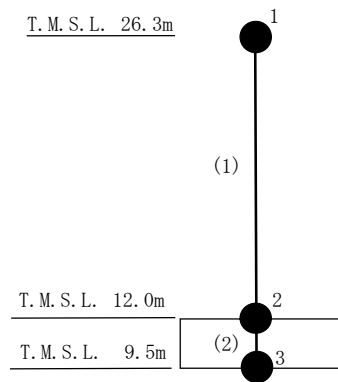
図3-4 影響検討フロー



(a) 質点 1



(b) 質点 2



注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

図 3-5 床応答スペクトル比較 (Sd-1, EW 方向, h=0.01)

4. まとめ

装置基礎を単独でモデル化する場合と、隣接建屋の配置を考慮してモデル化する場合について地震応答解析を実施し、両者の建屋応答、杭頭断面力及び床応答スペクトルを比較した。

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（隣接考慮／隣接非考慮）は 0.632（杭の軸力）～1.47（杭のせん断力）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装置基礎の耐震評価に影響を与えないことを確認した。

装置基礎が内包する機器・配管系について、裕度（許容値／発生値）と応答比を比較し、全て裕度が応答比以上となることから、隣接建屋の影響を考慮しても機器・配管系の耐震評価に影響を与えないことを確認した。