

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4
提出年月日	2020年6月17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6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

下線部：今回ご提示資料

別紙1 地震応答解析における解析モデル及び手法

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 装置基礎及び杭のモデル化	別紙 1-4
3. 地盤のモデル化	別紙 1-7
3.1 原地盤のモデル化	別紙 1-7
3.2 地盤改良体 ¹ のモデル化	別紙 1-8
4. 境界条件の設定	別紙 1-10
4.1 基礎スラブー原地盤間	別紙 1-10
4.2 杭ー原地盤間	別紙 1-11
4.3 地盤改良体 ¹ ー原地盤間	別紙 1-16

1. 概要

本資料は、格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の地震応答解析に用いる解析モデルのモデル化方針を示すものである。

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」において、地震応答解析モデルは、装置基礎、場所打ち鋼管コンクリート杭（以下「杭」という。）及び地盤（原地盤及び地盤改良体）との相互作用を考慮した3次元FEMモデルとしている。3次元FEMモデルを用いることで、液状化対策として装置基礎の周囲に施工する地盤改良体の複雑な平面形状、複数の地盤改良工法に応じた物性値と改良深度の設定、群杭効果及びボックス形状の地盤改良体が装置基礎直下の原地盤の水平変形を拘束する効果を考慮することができる。

地震応答解析モデルの概要を表1-1に、地震応答解析モデルを図1-1に示す。

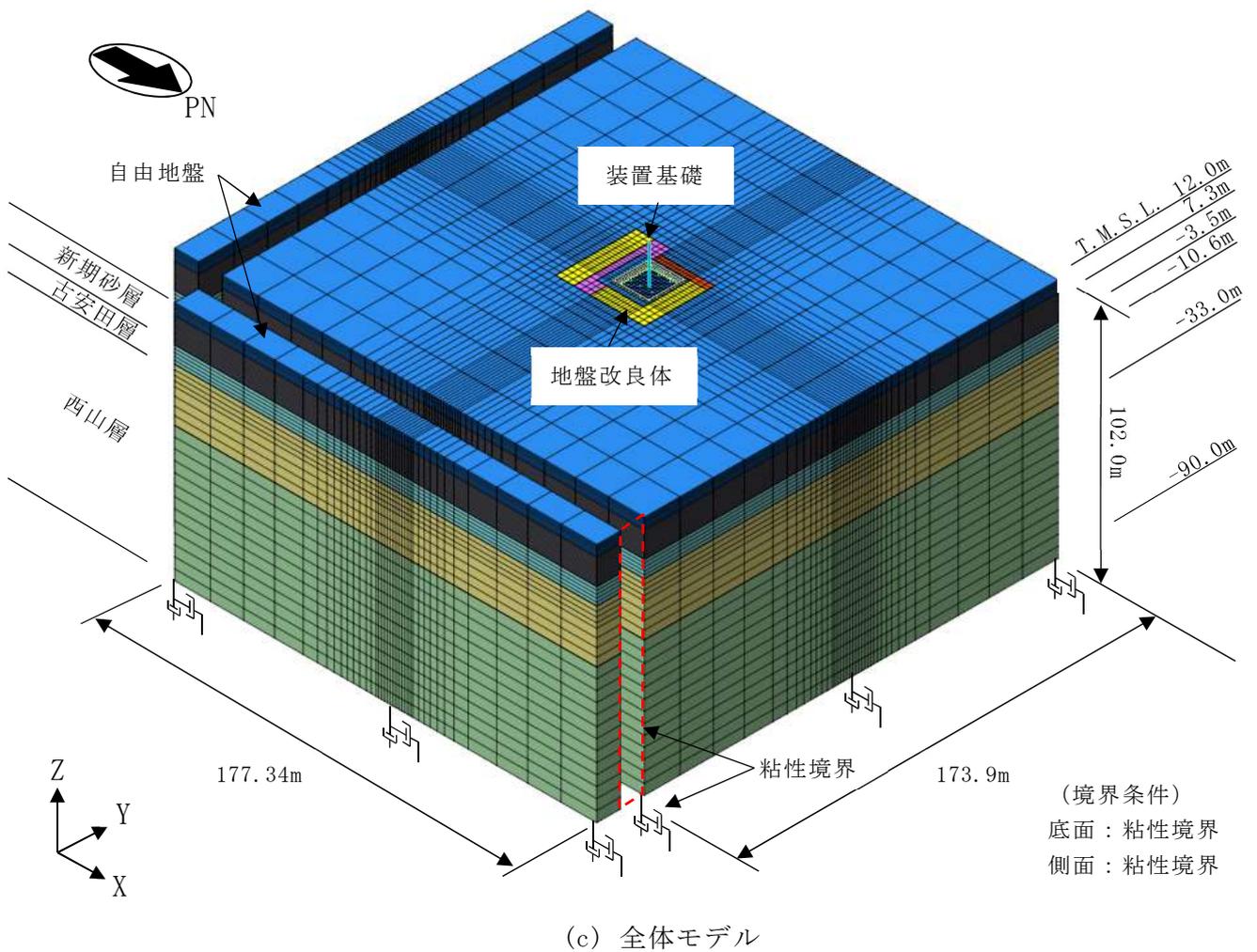
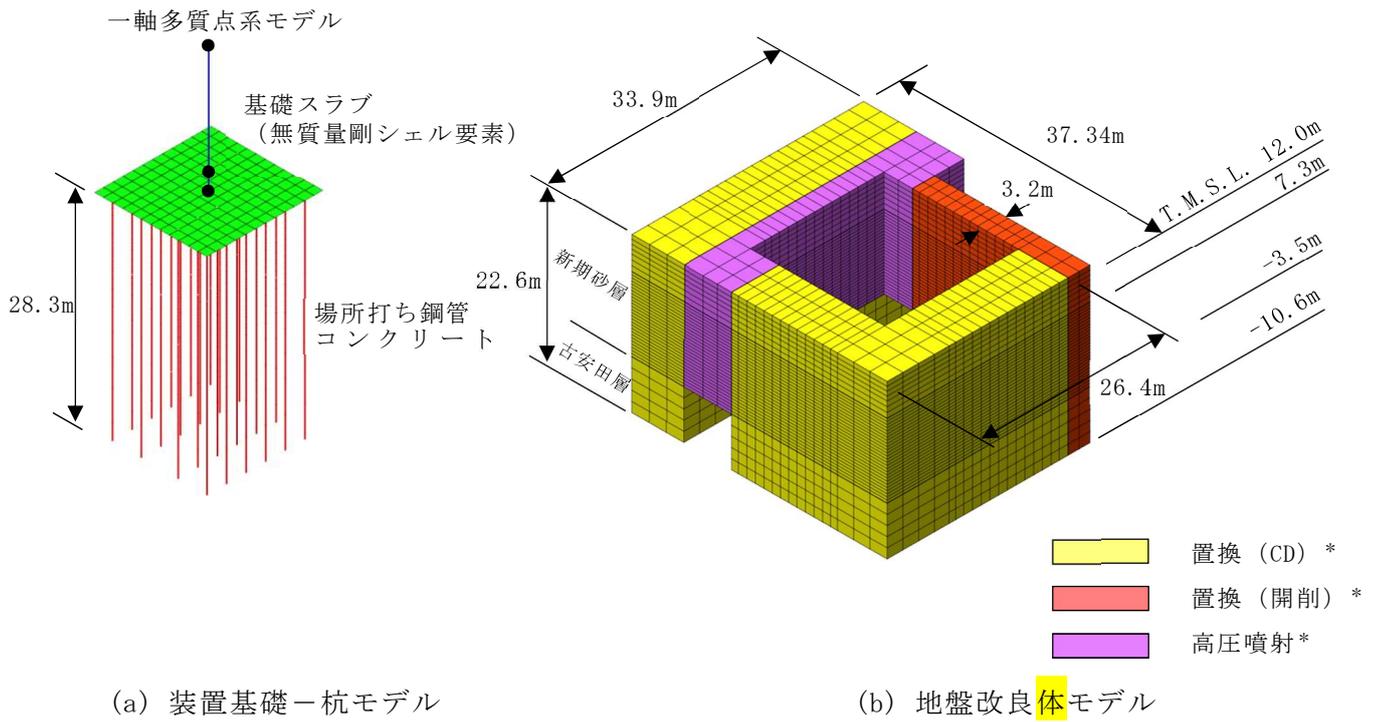
装置基礎のうちフィルタベント遮蔽壁（以下「遮蔽壁」という。）は一軸多質点系モデル、基礎スラブは一軸多質点系モデル及び無質量剛シェル要素でそれぞれモデル化する。また、杭ははり要素、原地盤及び地盤改良体はソリッド要素でそれぞれモデル化する。解析モデルの節点数は108993、要素数は105849である。

装置基礎及び杭のモデル化の詳細については「2. 装置基礎及び杭のモデル化」に、原地盤及び地盤改良体のモデル化の詳細については「3. 地盤のモデル化」に、境界条件の設定については「4. 境界条件の設定」にそれぞれ示す。

表 1-1 地震応答解析モデルの概要

項目		内容
入力地震動 の算定法	水平	基準地震動を用いて、一次元波動論により算定
	鉛直	基準地震動を用いて、一次元波動論により算定
解析コード		S o i l P l u s
装置基礎 及び杭の モデル化	モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・遮蔽壁 : 一軸多質点系モデル ・基礎スラブ : 一軸多質点系モデル及び無質量剛シェル要素 ・杭 : はり要素
	材料物性	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートのヤング係数 : $E = 22.7 \text{ kN/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 : $\nu = 0.2$ ・鋼管のヤング係数 : $E = 205 \text{ kN/mm}^2$ ・鋼管のポアソン比 : $\nu = 0.3$
	剛性評価	耐震壁を考慮 (設計基準強度)
	減衰定数	<ul style="list-style-type: none"> ・装置基礎 : 5% (レーリー減衰) ・杭 : 3%* (レーリー減衰)
	非線形特性	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震壁 水平方向 : 非線形特性を考慮 鉛直方向 : 考慮せず ・杭 : 曲げの非線形特性を考慮
地盤の モデル化	原地盤	一次元波動論により得られる等価地盤物性値を用いたソリッド要素による水平成層地盤
	地盤改良体	一次元波動論により得られる等価地盤物性値を用いたソリッド要素による水平成層地盤
境界条件	基礎スラブ - 原地盤間	<ul style="list-style-type: none"> ・底面 : ジョイント要素 (剥離・接触考慮)
	杭 - 原地盤間	<ul style="list-style-type: none"> ・杭周面 : ジョイント要素 (すべり考慮) ・杭先端 : ジョイント要素 (剥離・接触考慮)
	地盤改良体 - 原地盤間	<ul style="list-style-type: none"> ・側面 : ジョイント要素 (剥離・接触・すべり考慮) ・底面 : ジョイント要素 (剥離・接触考慮)
	地盤モデル 側面	粘性境界
	地盤モデル 底面	粘性境界

注記* : 杭の減衰定数は、コンクリートの減衰定数が5%、鋼管の減衰定数が2%であることを考慮し、コンクリートと鋼管のヤング係数比をふまえた等価断面積で加重平均することで3%に設定する。



注記* : 3.2 参照

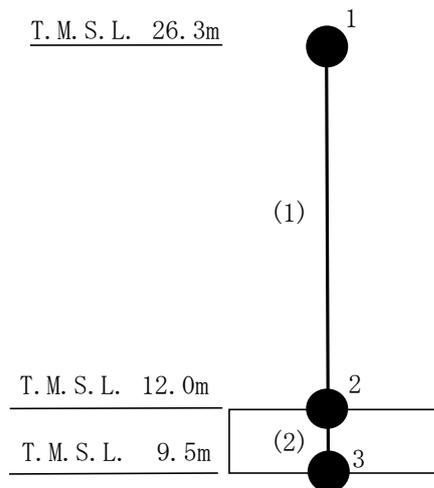
図 1-1 地震応答解析モデル (水平方向モデル・鉛直方向モデル共通)

2. 装置基礎及び杭のモデル化

装置基礎及び杭のモデル化は、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」の「3.2 地震応答解析モデル」による。装置基礎は、質点及びはり要素で構成される一軸多質点系モデルとし、杭ははり要素でモデル化する。一軸多質点系モデルについては、重量を集中質量で評価し、はり要素については、曲げ変形、せん断変形及び軸変形を考慮できるものとする。一軸多質点系モデルの概要を図2-1に示す。

一軸多質点系モデルは、基礎スラブ下端レベルの質点を基礎スラブ（無質量剛シェル要素）と剛接合し、杭（はり要素）は杭頭を基礎スラブ（無質量剛シェル要素）と剛接合する。

装置基礎及び杭の減衰定数はそれぞれ5%及び3%とし、建屋－杭連成系の一次固有振動数及び20Hzを用いたレーリー減衰として設定する。二次固有振動数は一次固有振動数の2～3倍程度（6～9Hz）と考えられるため、それと比べて十分に大きな振動数である20Hzを用いることで、保守的な設定となる。レーリー減衰の設定の概念図を図2-2に示す。固有振動数及び減衰定数を用いたレーリー減衰の設定方法は、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」（SoilPlus）に示すとおりである。装置基礎及び杭のレーリー減衰を表2-1に示す。



注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

図 2-1 一軸多質点系モデルの概要

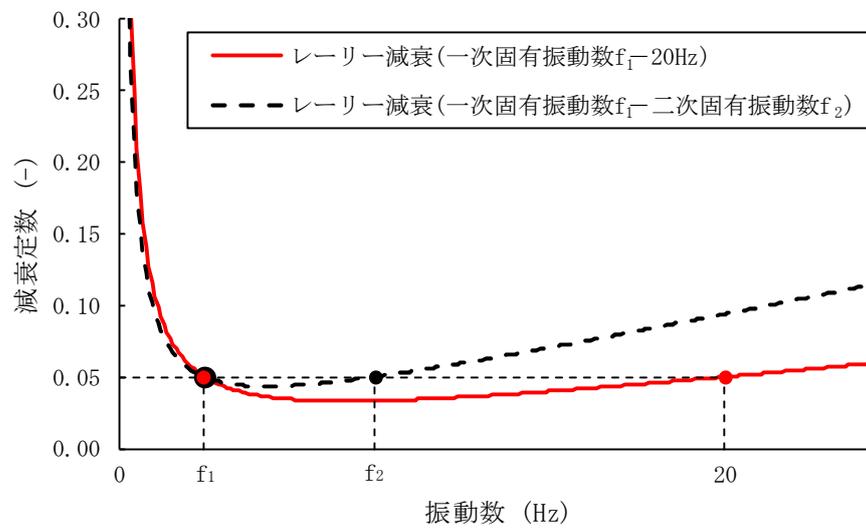


図 2-2 レーリー減衰の設定の概念図

表 2-1 装置基礎及び杭のレーリー減衰

(a) 装置基礎

基準地震動	方向	固有振動数*		モード減衰定数		粘性減衰の 質量項に関する 係数 α (Hz)	粘性減衰の 剛性項に関する 係数 β ($\times 10^{-4}$ /Hz)
		f_j (Hz)	f_k (Hz)	h_j (-)	h_k (-)		
Ss-1	水平	2.79	20.00	0.050	0.050	1.54	6.98
	鉛直	11.04	20.00	0.050	0.050	4.47	5.13
Ss-2	水平	2.88	20.00	0.050	0.050	1.58	6.96
	鉛直	11.04	20.00	0.050	0.050	4.47	5.13
Ss-3	水平	2.69	20.00	0.050	0.050	1.49	7.01
	鉛直	11.03	20.00	0.050	0.050	4.47	5.13
Ss-4	水平	2.98	20.00	0.050	0.050	1.63	6.92
	鉛直	11.35	20.00	0.050	0.050	4.55	5.08
Ss-5	水平	2.96	20.00	0.050	0.050	1.62	6.93
	鉛直	11.26	20.00	0.050	0.050	4.53	5.09
Ss-6	水平	2.96	20.00	0.050	0.050	1.62	6.93
	鉛直	11.29	20.00	0.050	0.050	4.53	5.09
Ss-7	水平	2.87	20.00	0.050	0.050	1.58	6.96
	鉛直	11.10	20.00	0.050	0.050	4.49	5.12
Ss-8	水平	2.89	20.00	0.050	0.050	1.59	6.95
	鉛直	11.18	20.00	0.050	0.050	4.51	5.10

注記*：水平方向の固有振動数 f_j は、NS方向及びEW方向の固有振動数のうち小さい方を採用する。

(b) 杭

基準地震動	方向	固有振動数*		モード減衰定数		粘性減衰の 質量項に関する 係数 α (Hz)	粘性減衰の 剛性項に関する 係数 β ($\times 10^{-4}$ /Hz)
		f_j (Hz)	f_k (Hz)	h_j (-)	h_k (-)		
Ss-1	水平	2.79	20.00	0.030	0.030	0.923	4.19
	鉛直	11.04	20.00	0.030	0.030	2.68	3.08
Ss-2	水平	2.88	20.00	0.030	0.030	0.949	4.17
	鉛直	11.04	20.00	0.030	0.030	2.68	3.08
Ss-3	水平	2.69	20.00	0.030	0.030	0.894	4.21
	鉛直	11.03	20.00	0.030	0.030	2.68	3.08
Ss-4	水平	2.98	20.00	0.030	0.030	0.979	4.15
	鉛直	11.35	20.00	0.030	0.030	2.73	3.05
Ss-5	水平	2.96	20.00	0.030	0.030	0.971	4.16
	鉛直	11.26	20.00	0.030	0.030	2.72	3.05
Ss-6	水平	2.96	20.00	0.030	0.030	0.971	4.16
	鉛直	11.29	20.00	0.030	0.030	2.72	3.05
Ss-7	水平	2.87	20.00	0.030	0.030	0.947	4.17
	鉛直	11.10	20.00	0.030	0.030	2.69	3.07
Ss-8	水平	2.89	20.00	0.030	0.030	0.953	4.17
	鉛直	11.18	20.00	0.030	0.030	2.70	3.06

注記*：水平方向の固有振動数 f_j は、NS方向及びEW方向の固有振動数のうち小さい方を採用する。

3. 地盤のモデル化

3.1 原地盤のモデル化

原地盤は、装置基礎直下の地盤調査結果に基づく水平成層地盤を仮定し、ソリッド要素でモデル化する。モデル化の範囲は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）」に基づき、水平方向については装置基礎水平方向幅の4倍以上に相当するNS方向177.34m、EW方向173.9mとし、深さ方向については杭先端から装置基礎水平方向幅以上の深さに相当する102.0m（T.M.S.L.12.0m～T.M.S.L.-90.0m）とする。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。

原地盤モデルの物性値は、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」の「3.2 地震応答解析モデル」の初期地盤物性値、せん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性を用いた一次元波動論により得られる等価地盤物性値とする。

3.2 地盤改良体のモデル化

西山層より上部の地層は、基準地震動 S_s により液状化を生じる可能性があることから、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セメント系の地盤改良を行う。地盤改良は装置基礎の施工後に実施するため、装置基礎直下ではなく周辺の地盤に対して実施する。なお、装置基礎の北西に位置する原子炉建屋は、地盤改良体より剛性が高いため、地盤改良体による装置基礎直下地盤の変位抑制効果を考慮する上では、モデル化しない。地盤改良は施工方法を考慮して表 3-1 に示す 3 種類の工法を用い、図 3-1 に示す範囲に施工する。地盤改良体はソリッド要素でモデル化し、地盤改良体による基礎直下の原地盤の拘束効果を考慮する。地盤改良体モデルの物性値は、表 3-2 の初期地盤物性値、せん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性を用いた一次元波動論により得られる等価地盤物性値とする。

表 3-1 地盤改良の工法

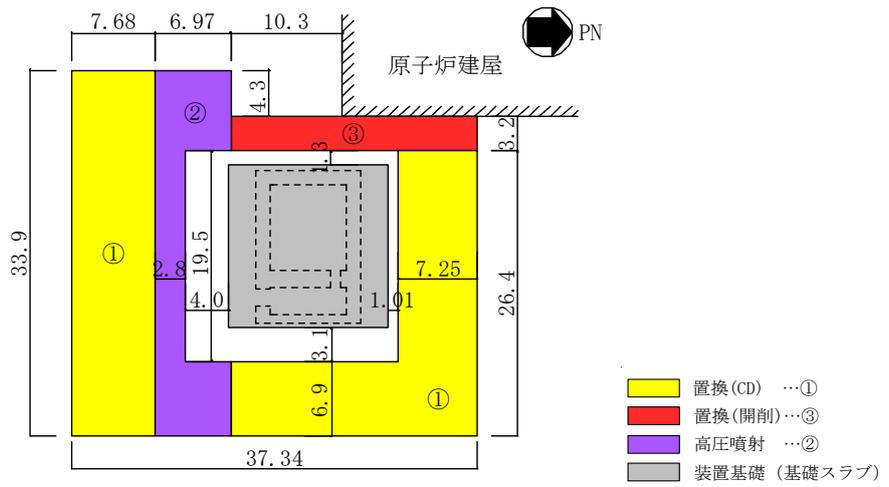
地盤改良工法の名称	工法概要
置換 (CD)	全周回転掘削機により地盤を必要深さまで掘削した後、流動化処理土を充填する工法
置換 (開削)	置換 (CD) と類似の工法で、狭隘部において小型建機を用いて地盤を必要深さまで掘削した後、流動化処理土を充填する工法
高圧噴射	セメントミルクとエアを高圧噴射して地盤とセメントミルクを攪拌混合する工法 (新期砂層のみ適用*)

注記* : 装置基礎周辺の古安田層はシルトを含むため、高圧噴射は用いない。

表 3-2 地盤改良体の物性値

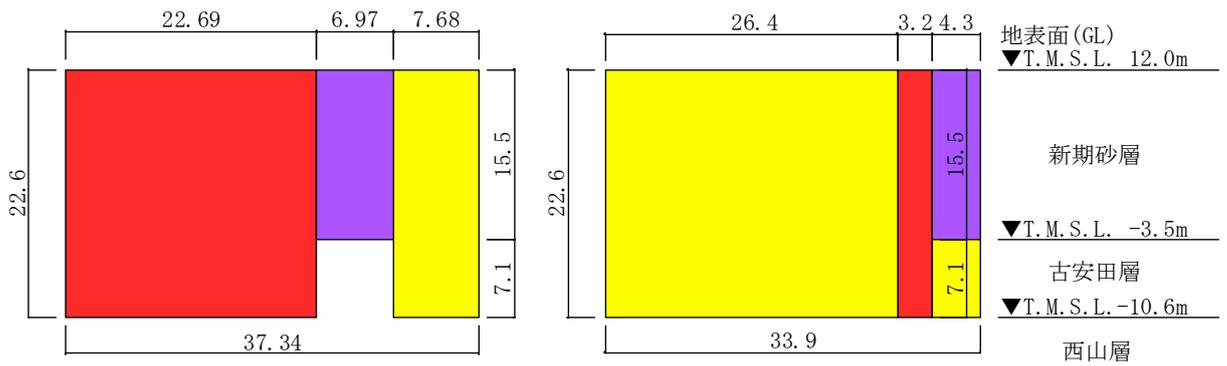
標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	$G/G_0 \sim \gamma$	$h \sim \gamma$ (%)
+12.0 ~ -3.5	置換 (CD)	800	17.9	0.302	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$\gamma/(0.172\gamma+0.00783)+0.401$
	置換 (開削)	840	18.1	0.302	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$\gamma/(0.172\gamma+0.00783)+0.401$
	高圧噴射	810	19.7	0.375	$1/(1+8.06\gamma^{1.14})$	$\gamma/(0.107\gamma+0.0109)+0.790$
-3.5 ~ -10.6	置換 (CD)	800	18.0	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	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$\gamma/(0.172\gamma+0.00783)+0.401$

注 : γ はせん断ひずみ (%) を表す



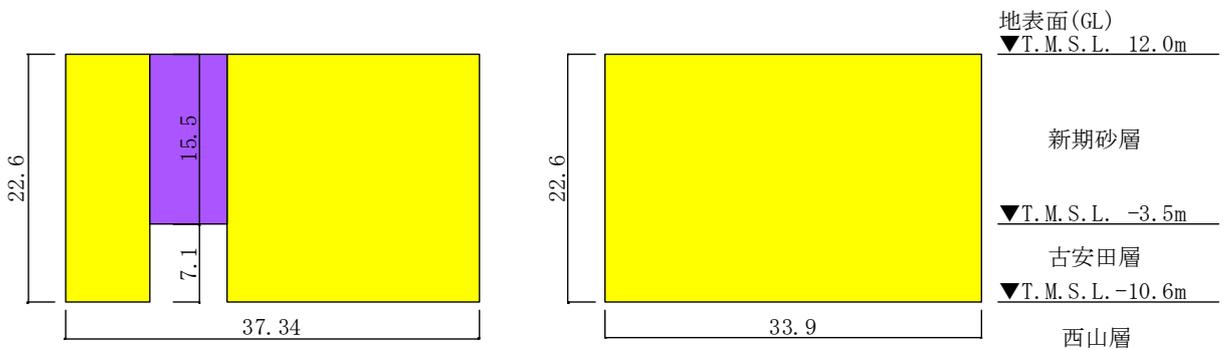
注：○印の番号は施工順序を示す。

(a) 平面図 (T.M.S.L. 12.0m)



(b) 側面図 (西側)

(c) 側面図 (北側)



(d) 側面図 (東側)

(e) 側面図 (南側)

(単位：m)

図 3-1 地盤改良範囲

4. 境界条件の設定

基礎スラブー原地盤間，杭ー原地盤間，地盤改良体ー原地盤間の境界は，それぞれ実際の挙動を考慮し，ジョイント要素及び多点拘束を設定する。以下に各境界の考え方を示す。

4.1 基礎スラブー原地盤間

基礎スラブの底面と原地盤の境界においては，装置基礎の地震時水平力が主として杭を介して原地盤に伝達することから，すべりを考慮したジョイント要素は設定せず，剥離・接触のみを考慮したジョイント要素を設定する。

基礎スラブ底面におけるジョイント要素の非線形特性を表 4-1 に示す。

表 4-1 基礎スラブの底面におけるジョイント要素の非線形特性

部位	境界モデル概念図	ジョイント要素の非線形特性
底面		

注記*：ばね定数は，数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定する。

4.2 杭－原地盤間

杭と原地盤の境界は、杭が周囲の地盤の変形に追従することを考慮し、水平自由度において多点拘束を設定する。

「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）」（以下「道路橋示方書」という。）には「群杭が水平力を受ける場合には、杭相互の干渉により、各杭の荷重分担が相違し、全体としての効率も単杭の場合に比べて低下する。」、「一般に杭の中心間隔が5D（Dは杭径）以下になると群杭の影響が現れ、荷重方向に対し、前列の杭から後列にいくほど、両側面の杭から中央にいくほど荷重の分担が小さくなる。」との記載があり、やむを得ず杭中心間隔を2.5D程度より小さくする場合は群杭の影響を考慮する必要があるとされている。ここで、「建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会，2019改定）」においては、「二次元・三次元FEM解析では、地盤を連続的にモデル化することが可能となり、相互作用を現実によく評価することが可能となる。また、不整形地盤、杭径や杭長の異なる杭基礎、群杭および異種基礎などの複雑な形状の建物をモデル化することができ、それらの相互作用を精度よく評価したい場合に適している。」とされている。装置基礎は地盤及び杭をFEMでモデル化しており、群杭の影響を考慮した解析となっている。なお、装置基礎のNS方向及びEW方向の杭間隔の平均値は2.7D程度であるが、図4-1に示すとおり杭頭の最大応答せん断力は後列や中央の杭の荷重の分担が小さくなっており、群杭の影響が現れている。

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「地盤の支持性能について」の参考資料7「杭基礎の支持力評価方法に関する補足」において、杭間隔2.5D～10Dとの記載があるが、これは地震時の杭と地盤の相互作用の3次元効果を2次元モデルで適切に考慮するために設定する杭－地盤相互作用ばねに関する検討範囲である。装置基礎の地盤及び杭は3次元FEMでモデル化しており、杭と地盤の地震時相互作用の3次元効果は解析モデル上で考慮されているため、杭－地盤相互作用ばねは設定しておらず、杭間隔2.5D～10Dの制限はない。

杭周面には摩擦によるすべりを考慮したジョイント要素を設定する。この結果、図4-2の軸力分布の概念図に示すとおり、杭頭から杭先端へ伝達していく軸力は摩擦によって低減されていくが、杭頭の発生軸力自体は変化しない。ここで、杭周面ジョイント要素に与えるせん断強度は、「道路橋示方書」に示される極限引抜き抵抗力を基に算定した残留引抜き抵抗力とし、以下に示す式(4.1)及び式(4.2)で評価する。

$$\text{極限引抜き抵抗力} \quad P_u = U \sum L_i f_i \cdots \cdots \cdots (4.1)$$

$$\text{残留引抜き抵抗力} \quad P_{Ru} = P_u / 1.2 \cdots \cdots \cdots (4.2)$$

ここに、

P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)

U : 杭の周長 (m)

- L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度であり、杭の施工方法及び地盤種別により、標準貫入試験の N 値及び地盤の粘着力を用いて定められる。装置基礎に用いる場所打ち鋼管コンクリート杭では、施工時に鋼管の外周面にグラウトを充填することから、地盤との摩擦面は場所打ち杭と同等である。このため、 f_i は場所打ち杭工法の値を参考に、砂質土の場合は $5N$ (≤ 200) (kN/m^2)、粘性土の場合は c 又は $10N$ (≤ 150) (kN/m^2) とする (N は標準貫入試験の N 値、 c は地盤の粘着力)。場所打ち鋼管コンクリート杭の施工手順を図 4-3 に示す。
- P_{Ru} : 地盤から決まる杭の残留引抜き抵抗 (kN)

杭先端には、剥離・接触を考慮したジョイント要素を設定する。なお、杭先端のジョイント要素については、初期軸力として装置基礎と杭の自重及び基礎スラブと杭に作用する浮力を考慮した杭先端荷重を考慮する。

杭周面及び杭先端におけるジョイント要素の非線形特性を表 4-2 に示す。

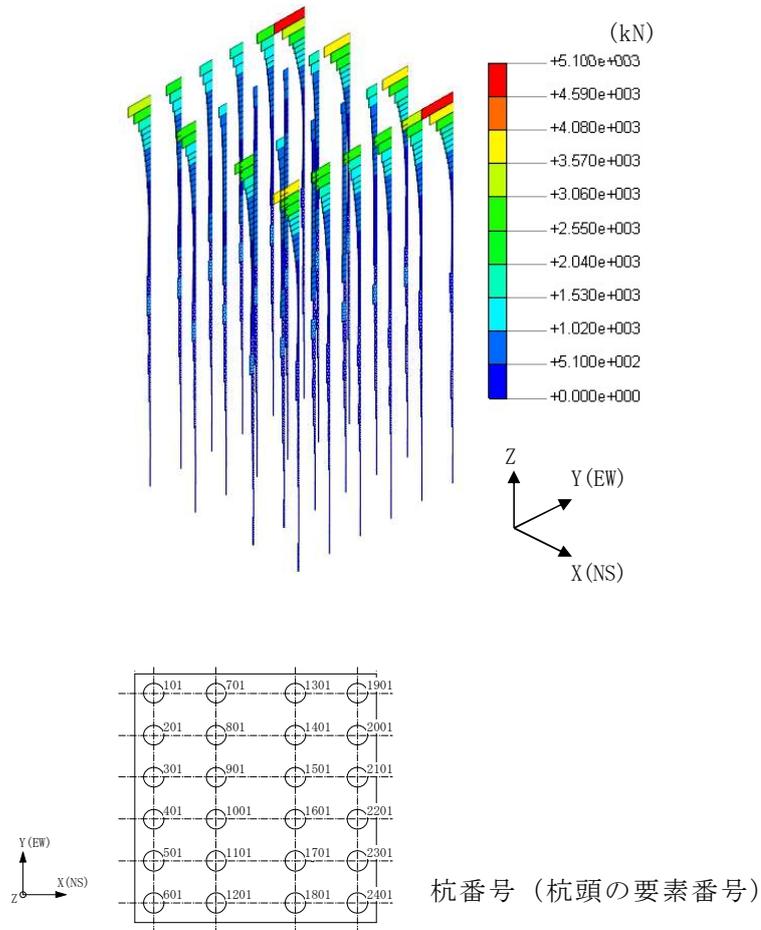


図 4-1 杭の最大応答せん断力 (基本ケース, Ss-1, EW 方向)

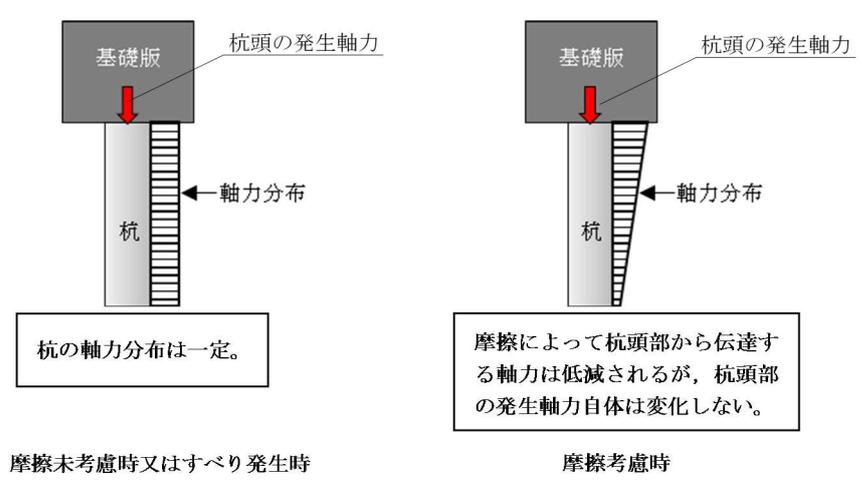


図 4-2 杭の軸力分布の概念図

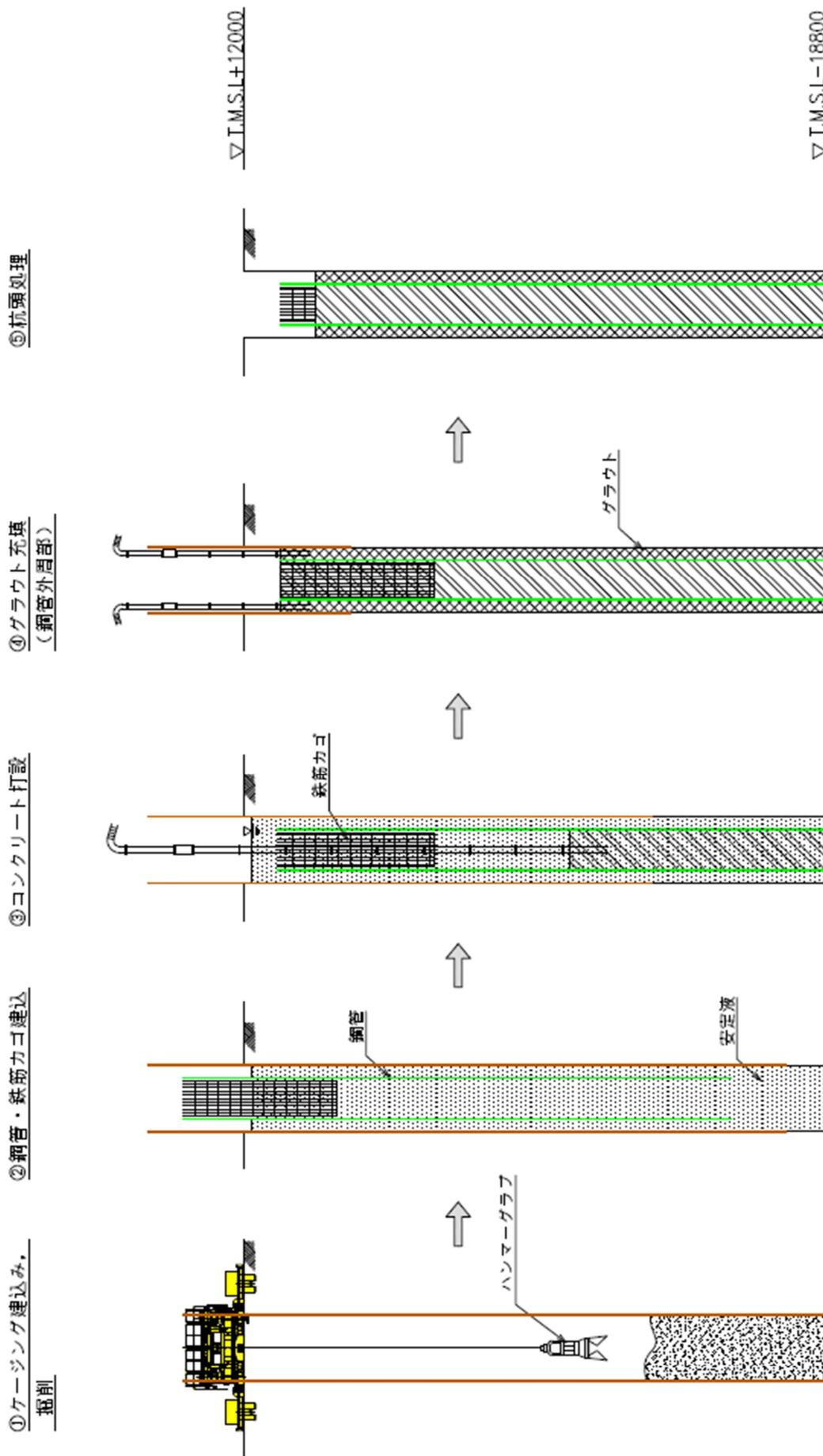
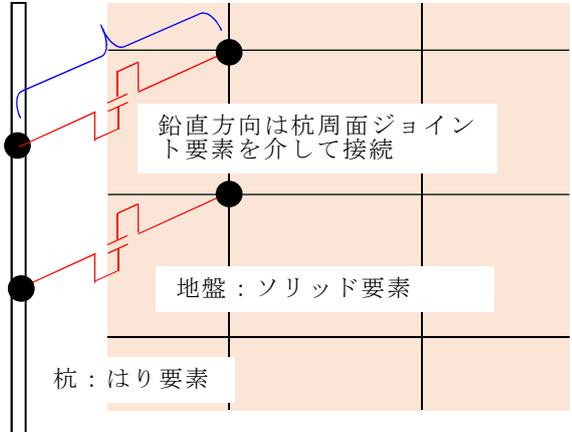
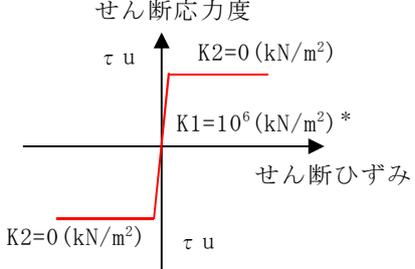
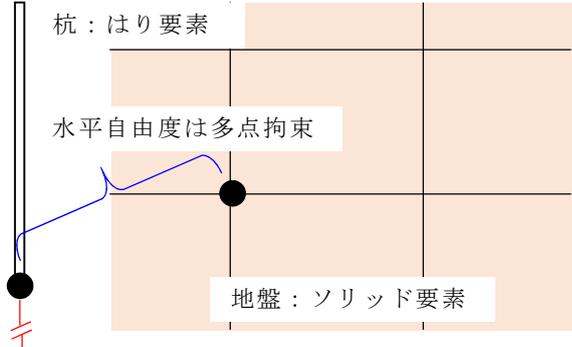
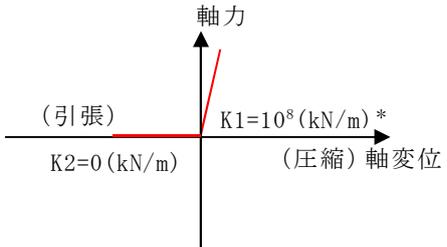


図 4-3 場所打ち鋼管コンクリート杭の施工手順

表 4-2 杭周面及び杭先端におけるジョイント要素の非線形特性

部位	境界モデル概念図	ジョイント要素の非線形特性
杭周面	<p>水平自由度は多点拘束</p>  <p>鉛直方向は杭周面ジョイント要素を介して接続</p> <p>地盤：ソリッド要素</p> <p>杭：はり要素</p>	 <p>せん断応力度 τu</p> <p>$K2=0$ (kN/m²)</p> <p>$K1=10^6$ (kN/m²)*</p> <p>せん断ひずみ τu</p> <p>$K2=0$ (kN/m²)</p>
杭先端	<p>杭：はり要素</p> <p>水平自由度は多点拘束</p>  <p>地盤：ソリッド要素</p>	 <p>軸力</p> <p>(引張) $K2=0$ (kN/m)</p> <p>$K1=10^8$ (kN/m)*</p> <p>(圧縮) 軸変位</p>

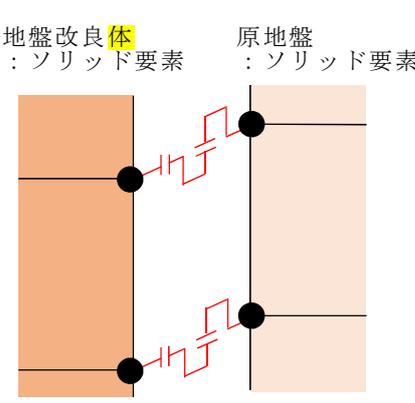
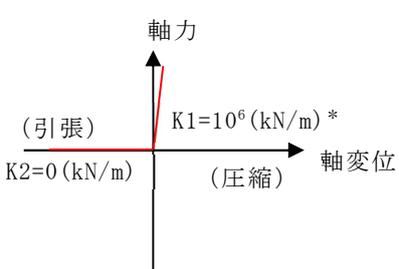
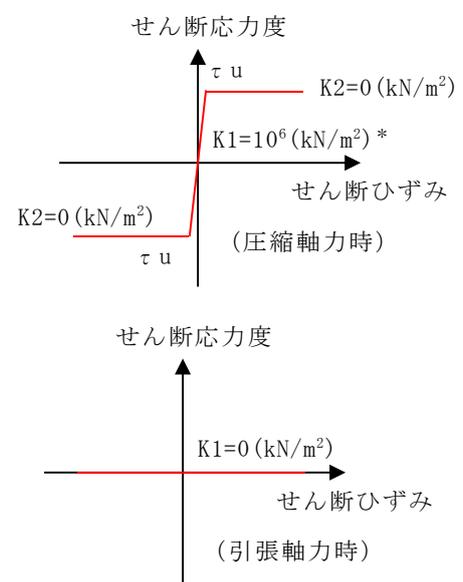
注記*：ばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定する。

4.3 地盤改良体—原地盤間

地盤改良体の側面と原地盤の境界においては剥離・接触と摩擦によるすべりを考慮したジョイント要素を設定する。一方、地盤改良体の底面と原地盤の境界においては、実際の施工では地盤改良体を西山層に埋込むためすべりを生じないと考えられることから、水平自由度において多点拘束を設定するとともに、鉛直方向に剥離・接触を考慮したジョイント要素を設定する。

地盤改良体の側面及び底面におけるジョイント要素の非線形特性を表 4-3 に示す。

表 4-3 地盤改良体の側面及び底面におけるジョイント要素の非線形特性 (1/2)

部位	境界モデル概念図	ジョイント要素の非線形特性
側面		
		

注記* : ばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定する。

表 4-3 地盤改良体の側面及び底面におけるジョイント要素の非線形特性 (2/2)

部位	境界モデル概念図	ジョイント要素の非線形特性
底面		

注記* : ばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定する。

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. 床応答に対する影響	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。

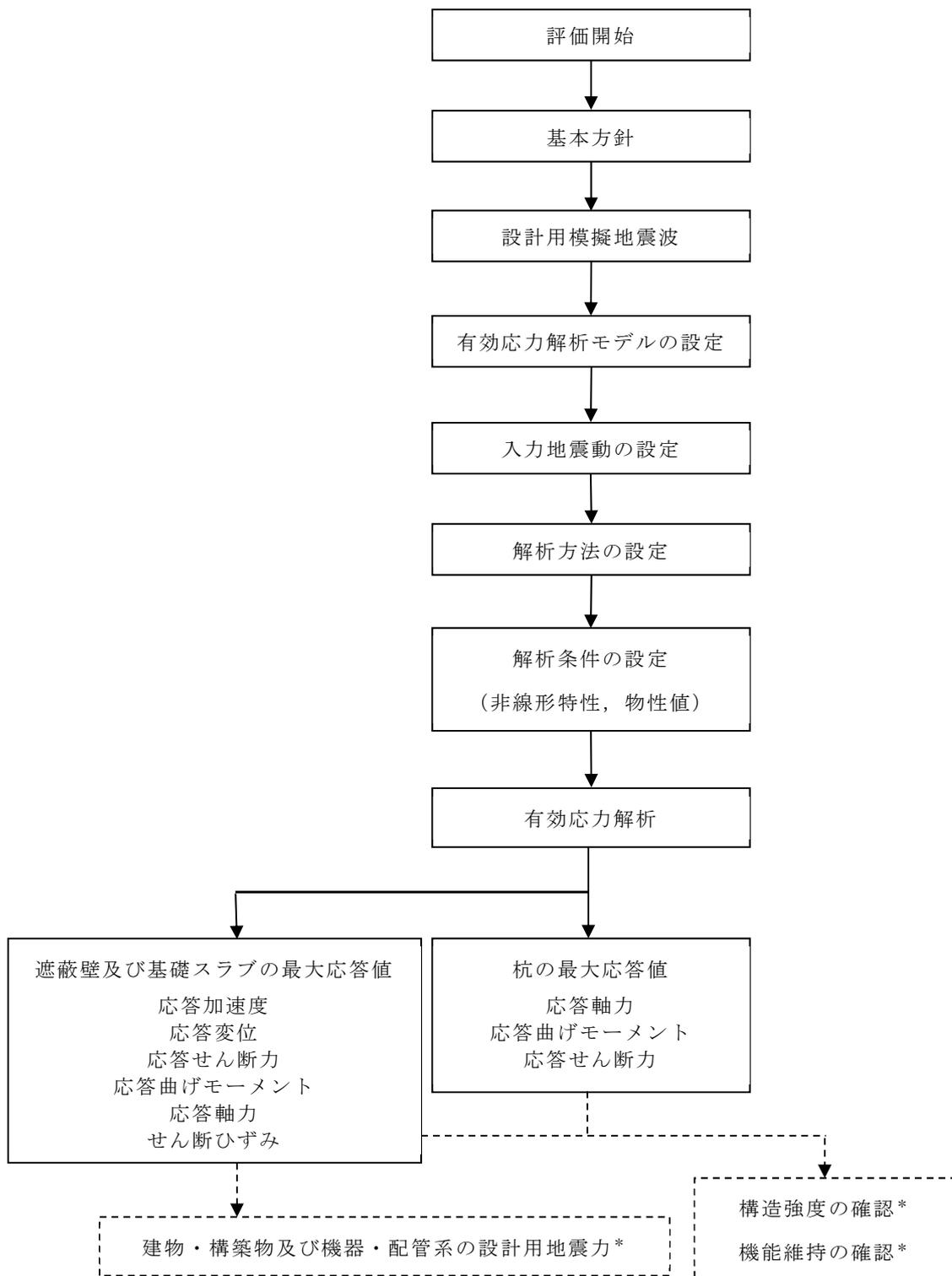
2. 解析方針

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)		$1. 04 \times 10^5$	$1. 26 \times 10^5$	$2. 14 \times 10^5$	$4. 16 \times 10^5$	$4. 75 \times 10^5$
	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)	$1. 31 \times 10^6$	$1. 45 \times 10^6$
	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

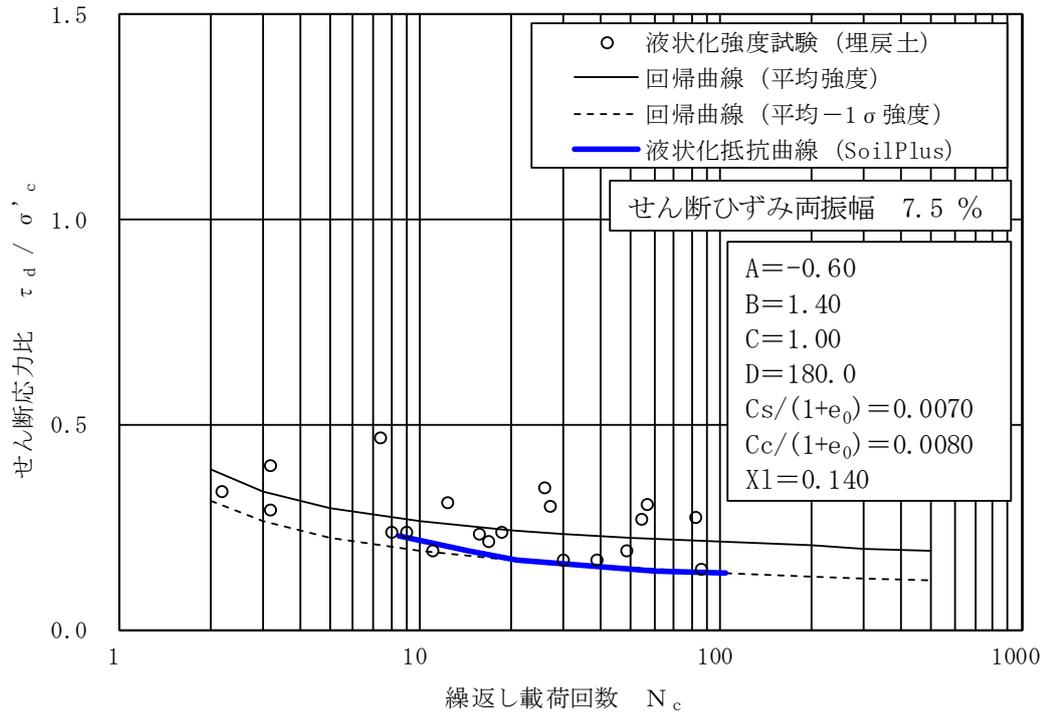


図 3-1 液状化抵抗曲線（埋戻土）

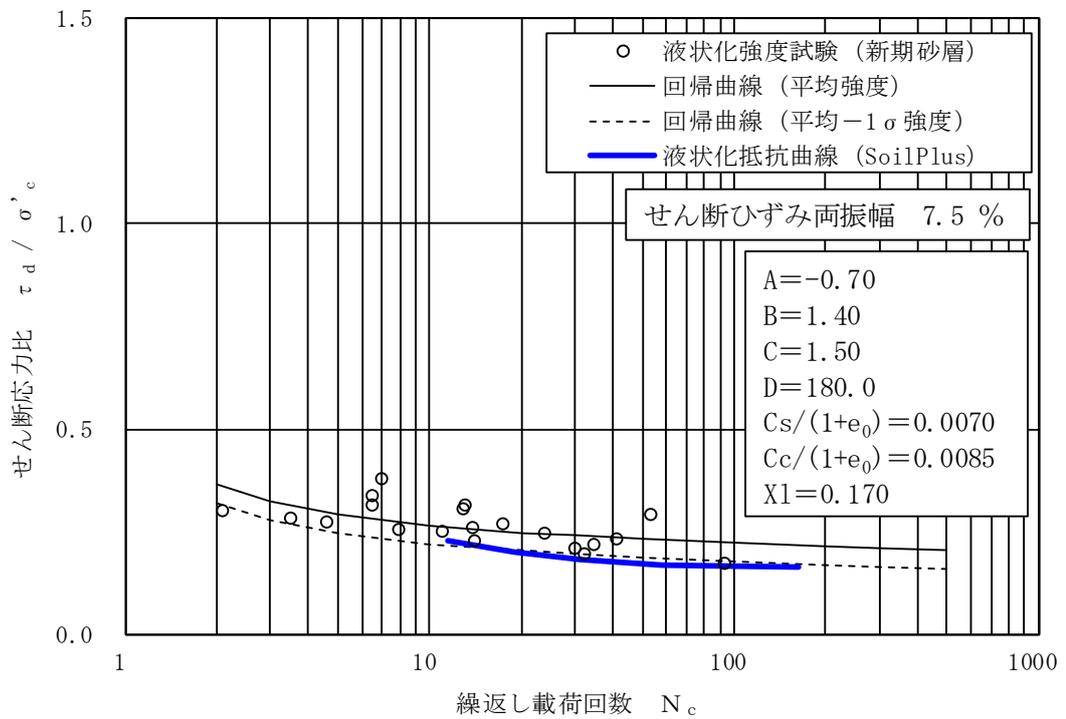


図 3-2 液状化抵抗曲線（新期砂層）

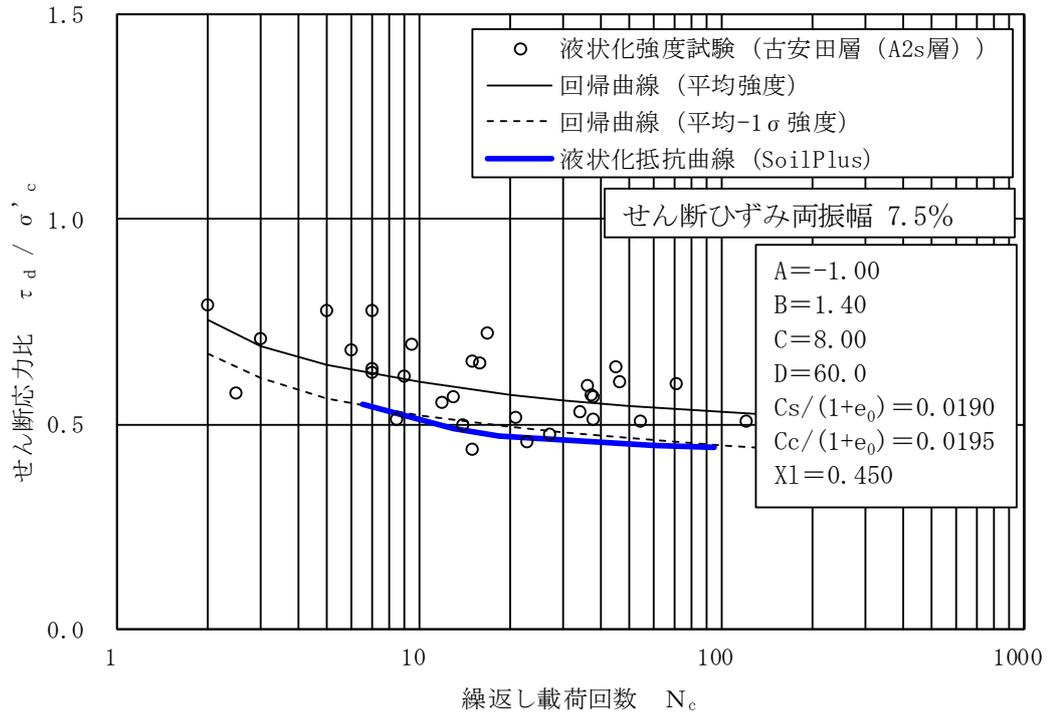


図 3-3 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s層))

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他に、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「*SoilPlus*」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

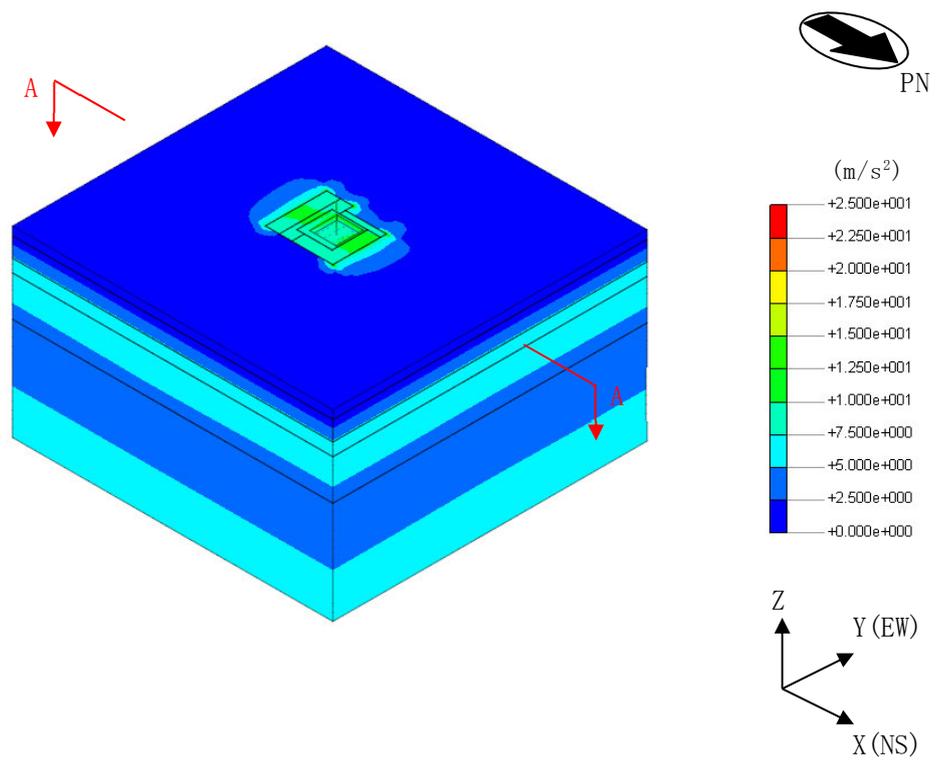
本章では、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」に示す地盤の有効応力の変化を考慮しない地震応答解析（以下「全応力解析」という。）による基本ケースの解析結果をケース1，有効応力解析結果をケース4として示す。

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。

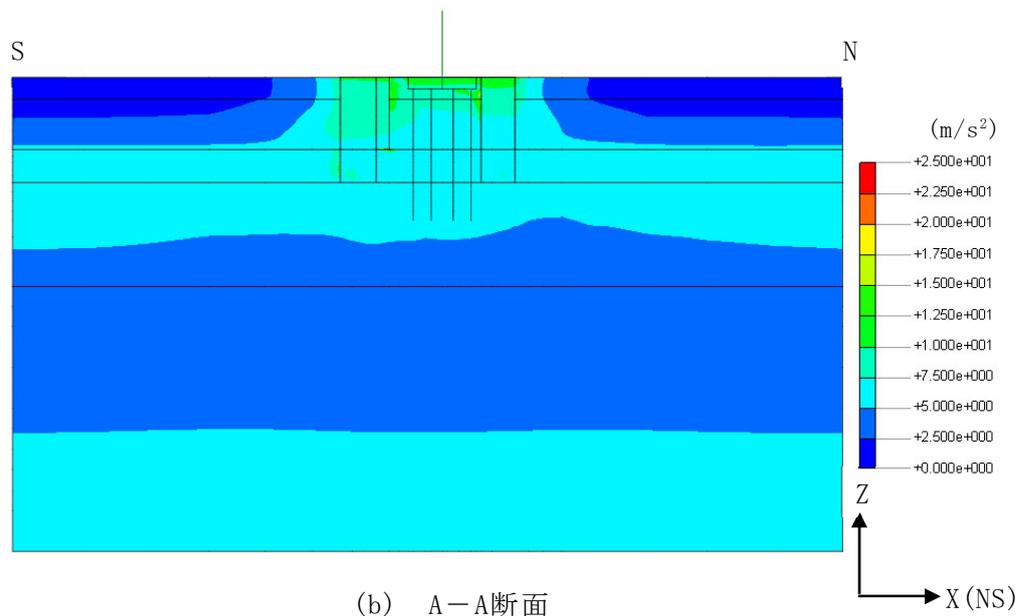
基準地震動 S_s の有効応力解析結果のうち，遮蔽壁，基礎スラブの応答値を図4-22～図4-34に示す。ケース4の応答値は，最大応答変位を除きいずれもケース1の応答値を下回っている。有効応力解析では，地盤剛性の低下により，地盤の変位は増大するが加速度は減少する。装置基礎においては，地盤変位の増大による応答値の増加に比べ，加速度の減少に伴う慣性力の減少による応答値の減少の方が影響が大きいと考えられる。

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。

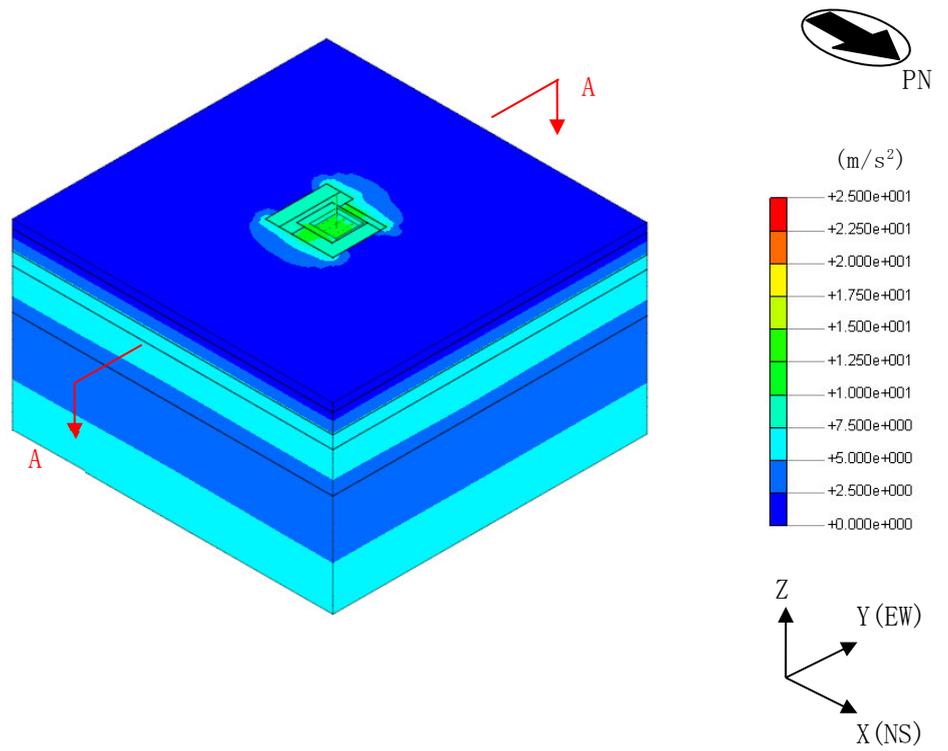


(a) 全体図

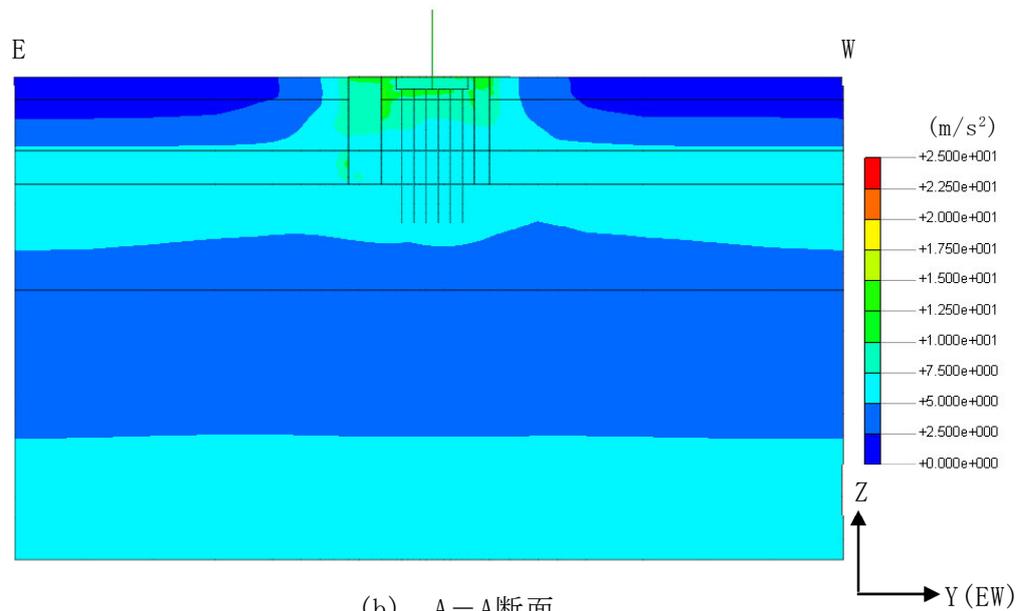


(b) A-A断面

図4-1 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

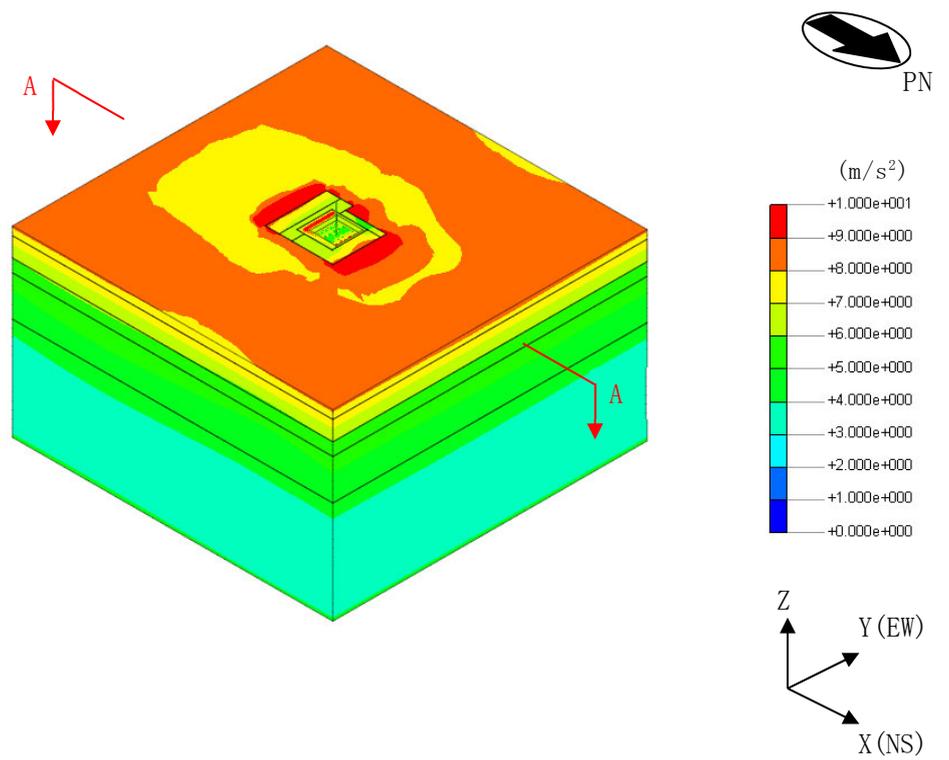


(a) 全体図

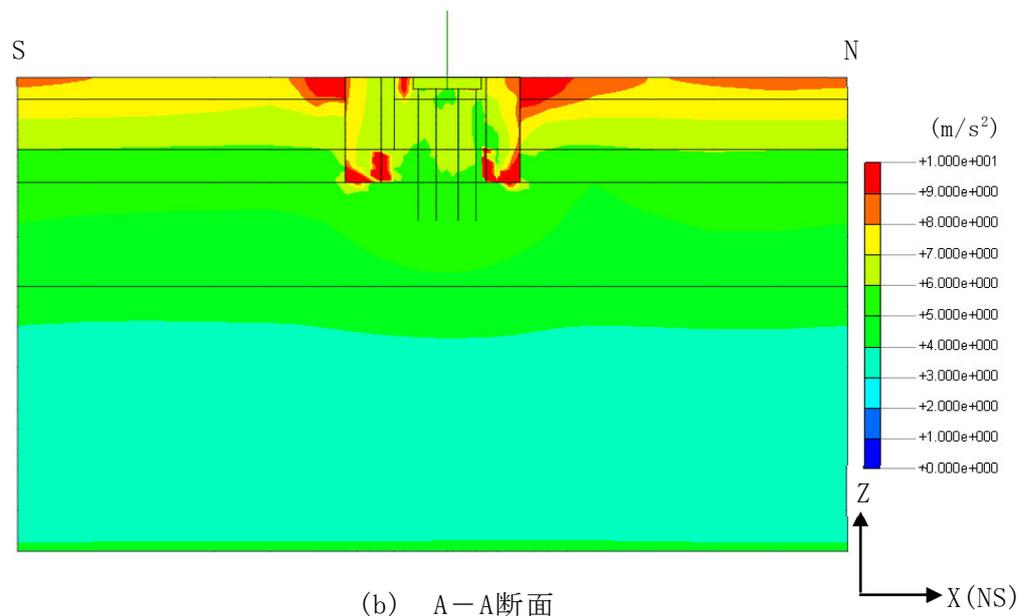


(b) A-A断面

図4-2 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

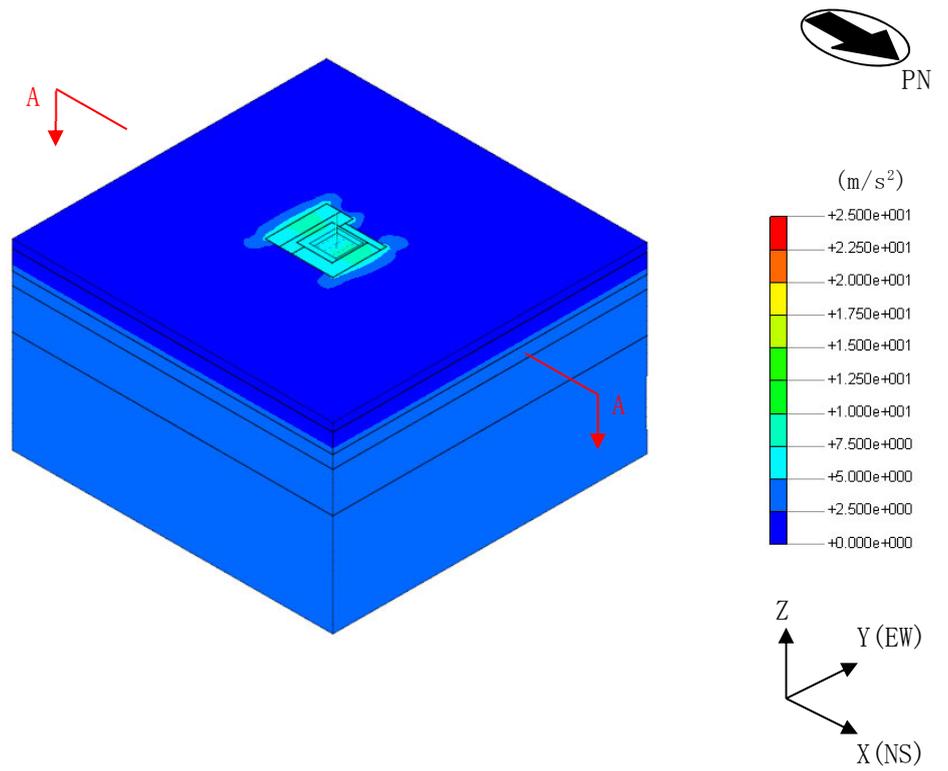


(a) 全体図

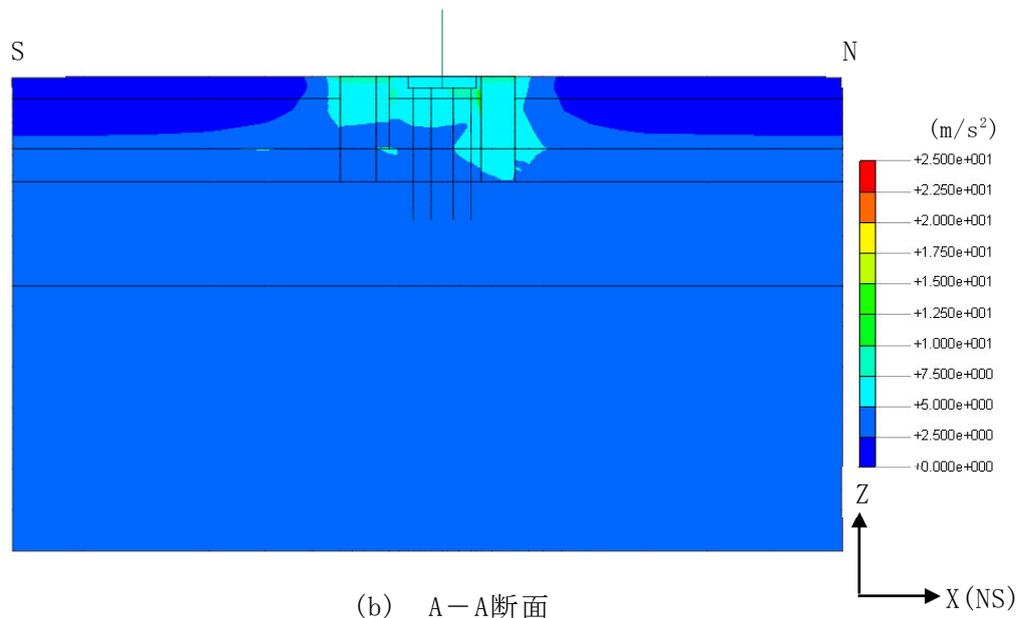


(b) A-A断面

図4-3 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, UD方向)

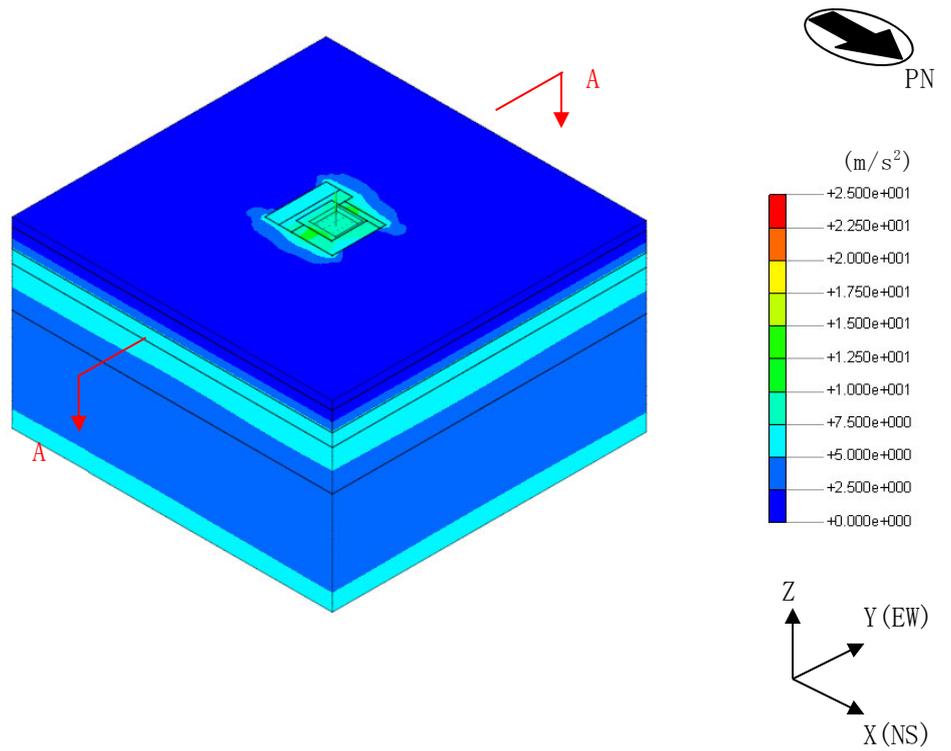


(a) 全体図

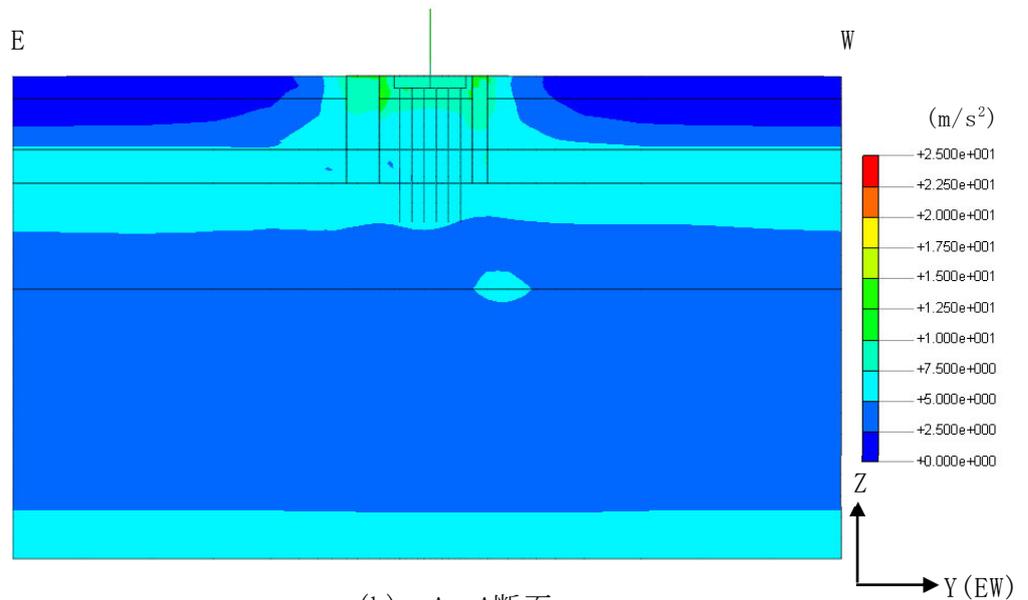


(b) A-A断面

図4-4 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, NS方向)

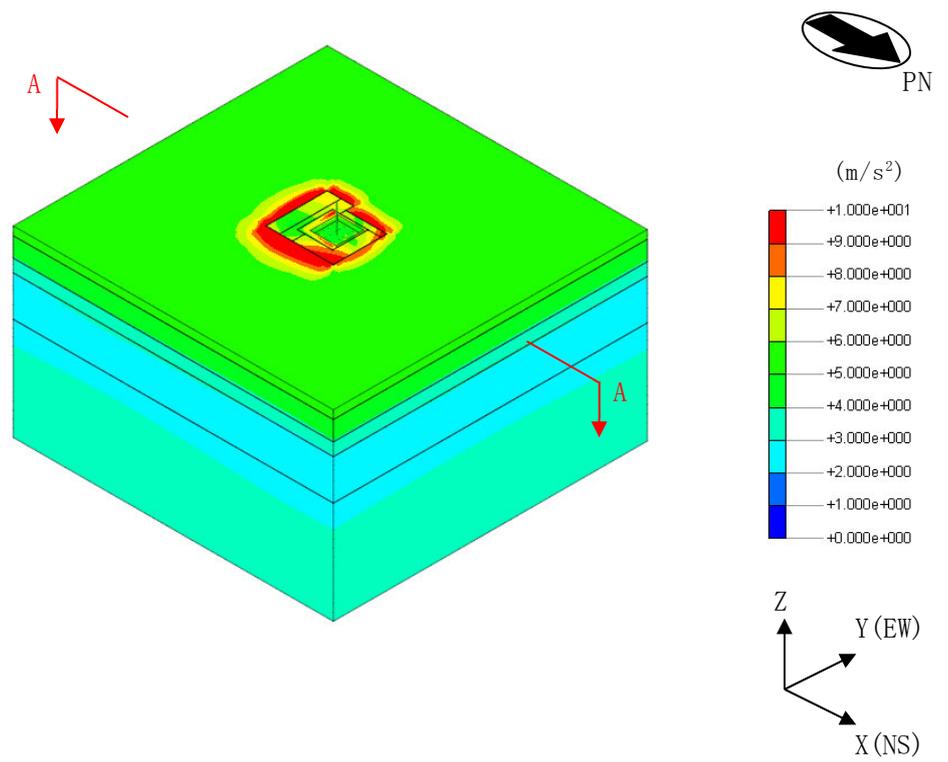


(a) 全体図

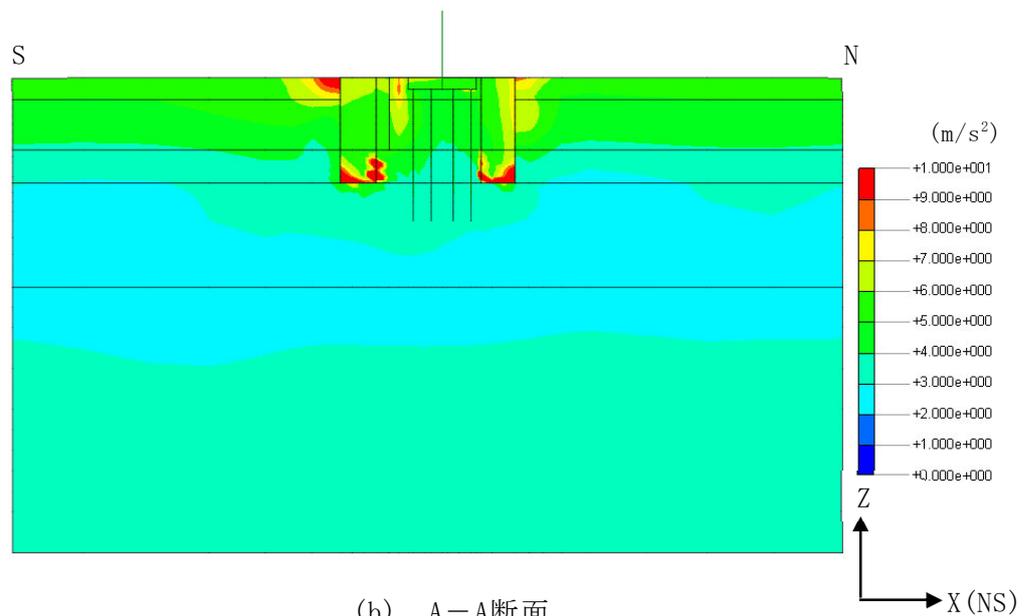


(b) A-A断面

図4-5 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, EW方向)

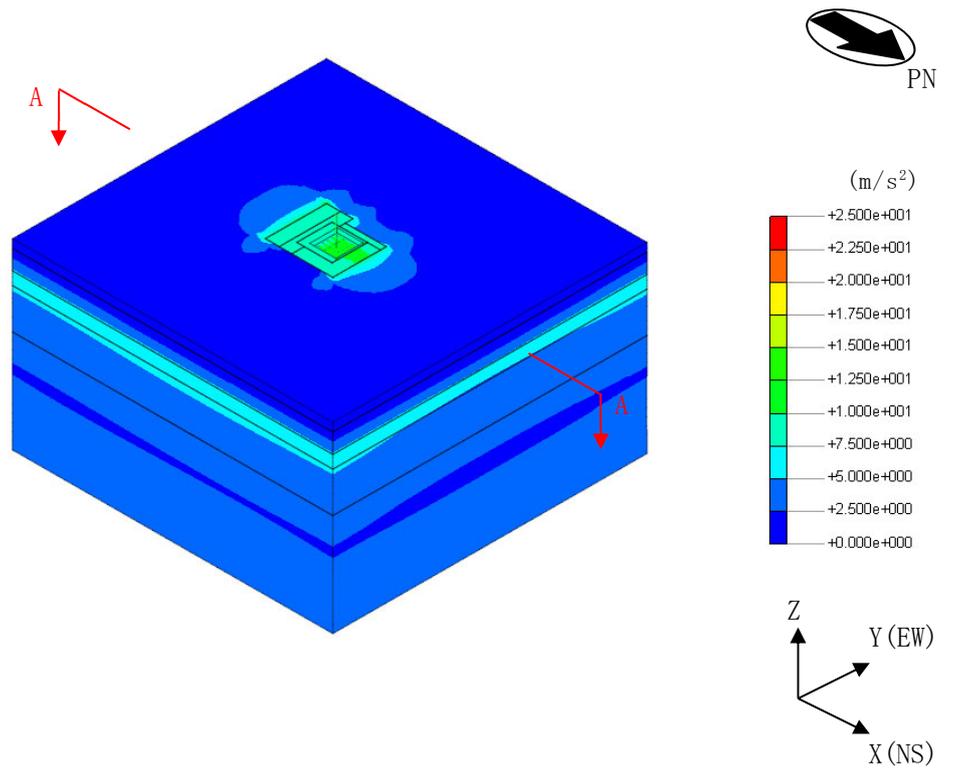


(a) 全体図

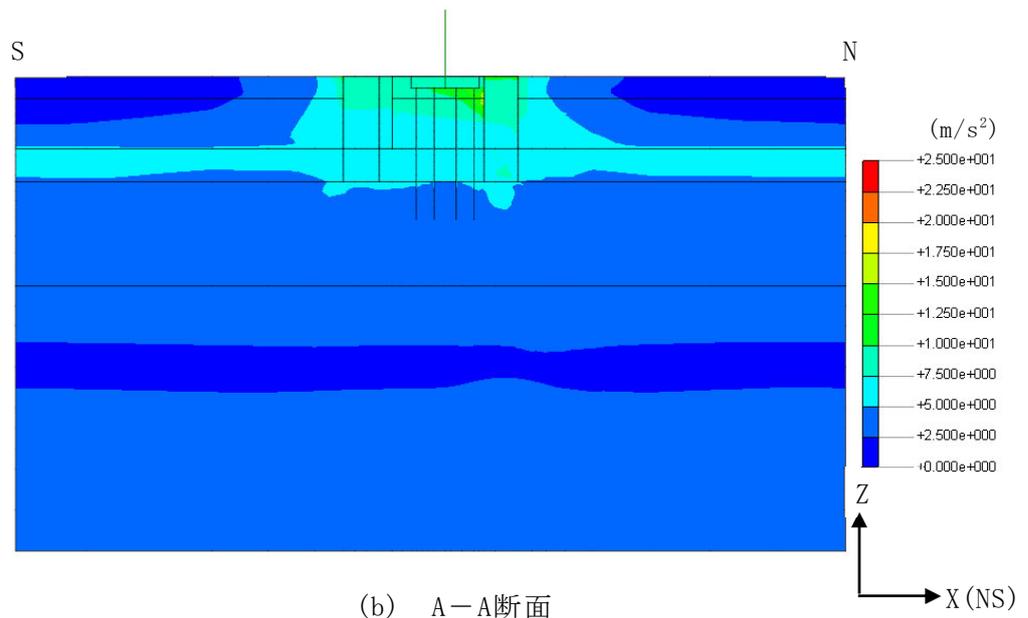


(b) A-A断面

図4-6 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, UD方向)

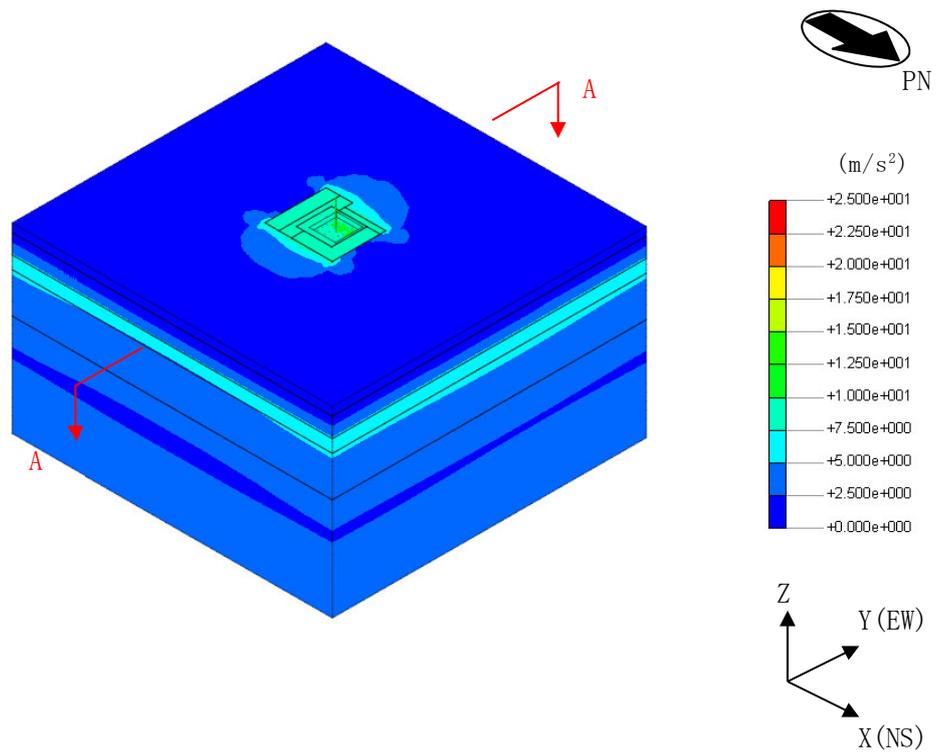


(a) 全体図

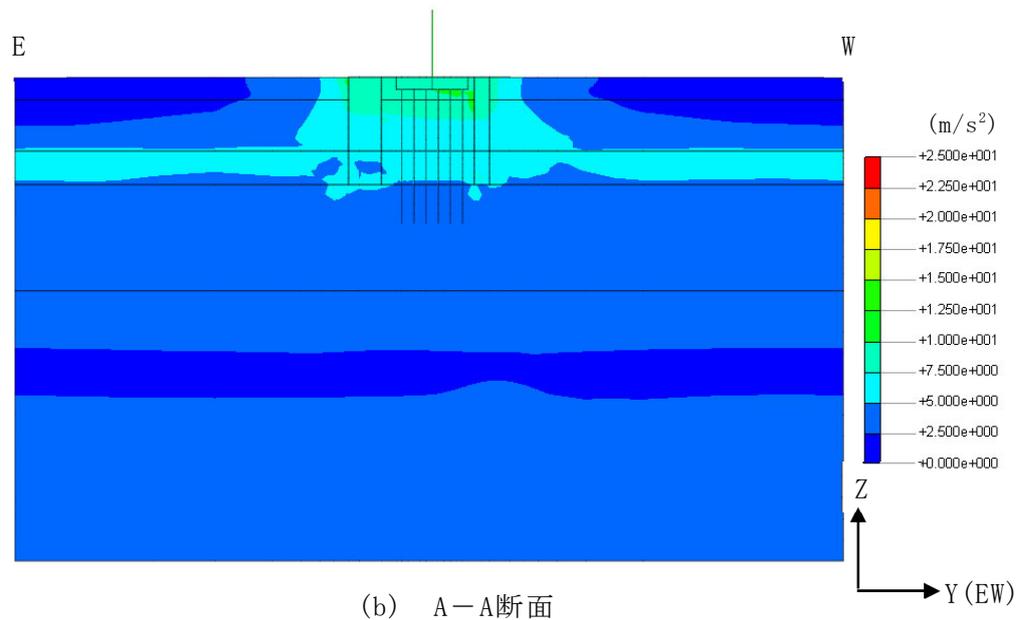


(b) A-A断面

図4-7 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, NS方向)

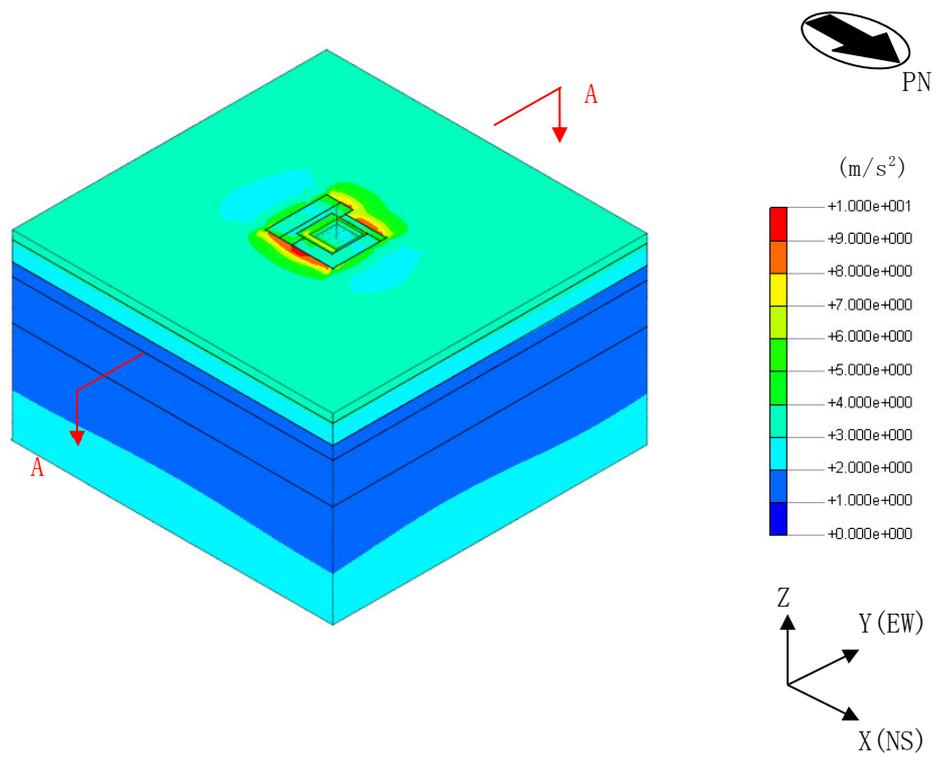


(a) 全体図

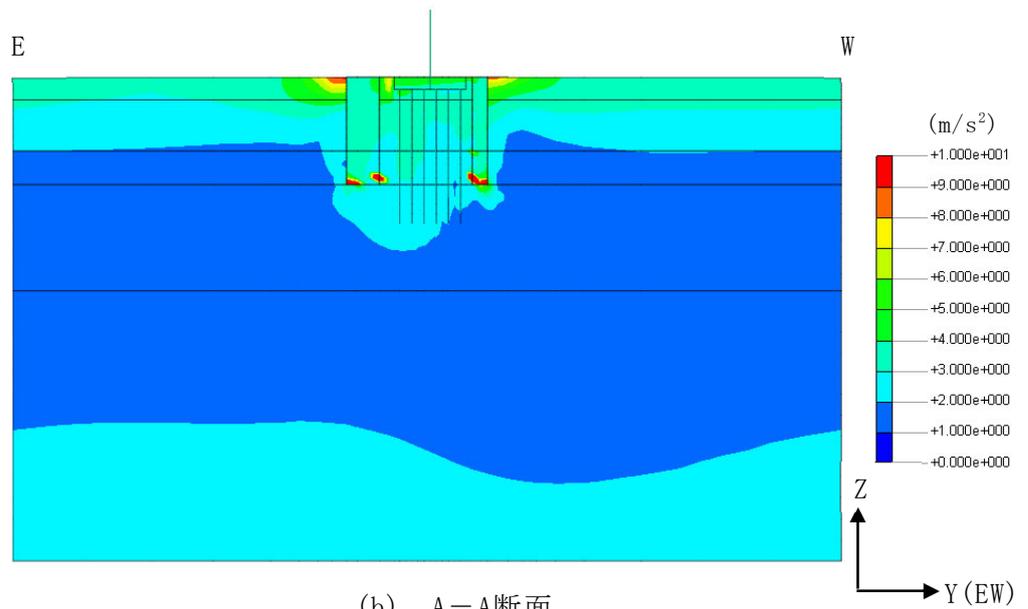


(b) A-A断面

図4-8 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, EW方向)

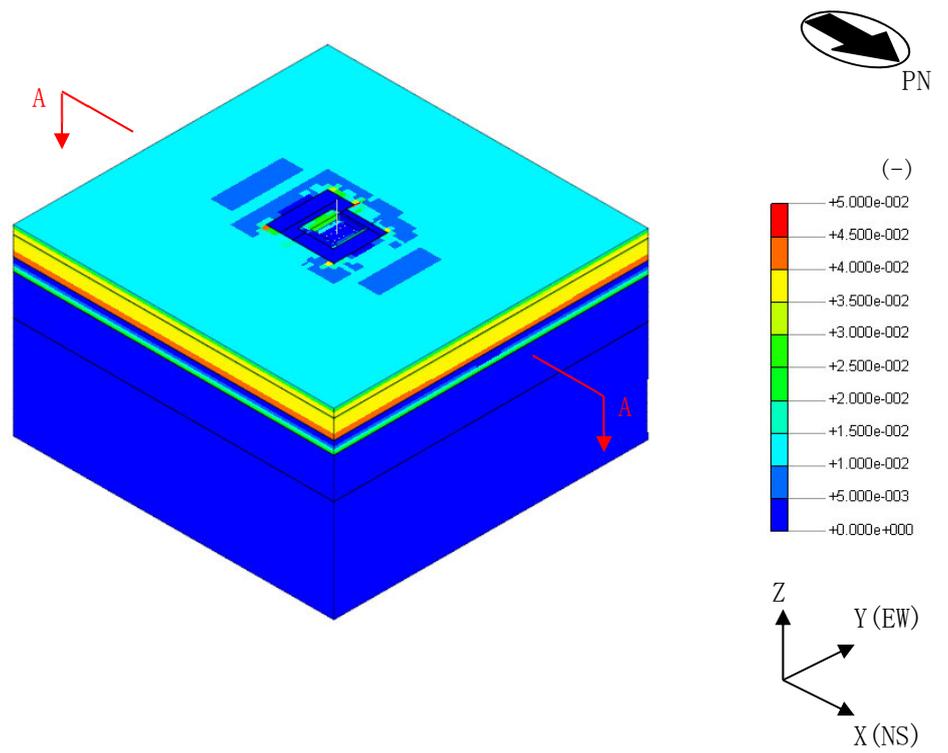


(a) 全体図

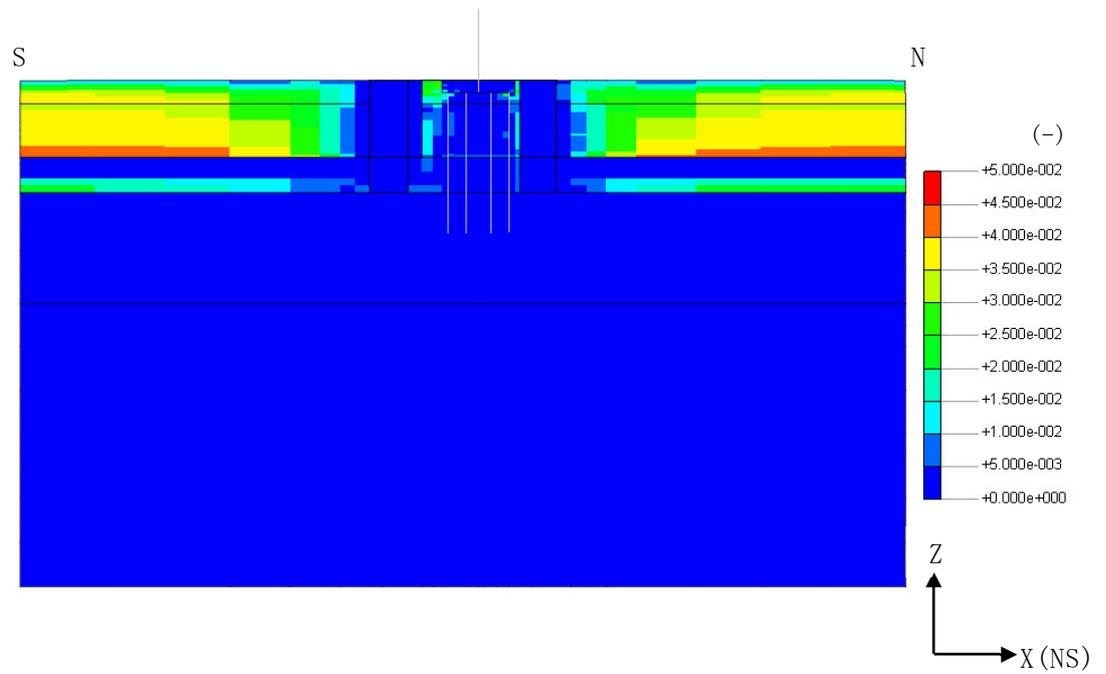


(b) A-A断面

図4-9 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, UD方向)

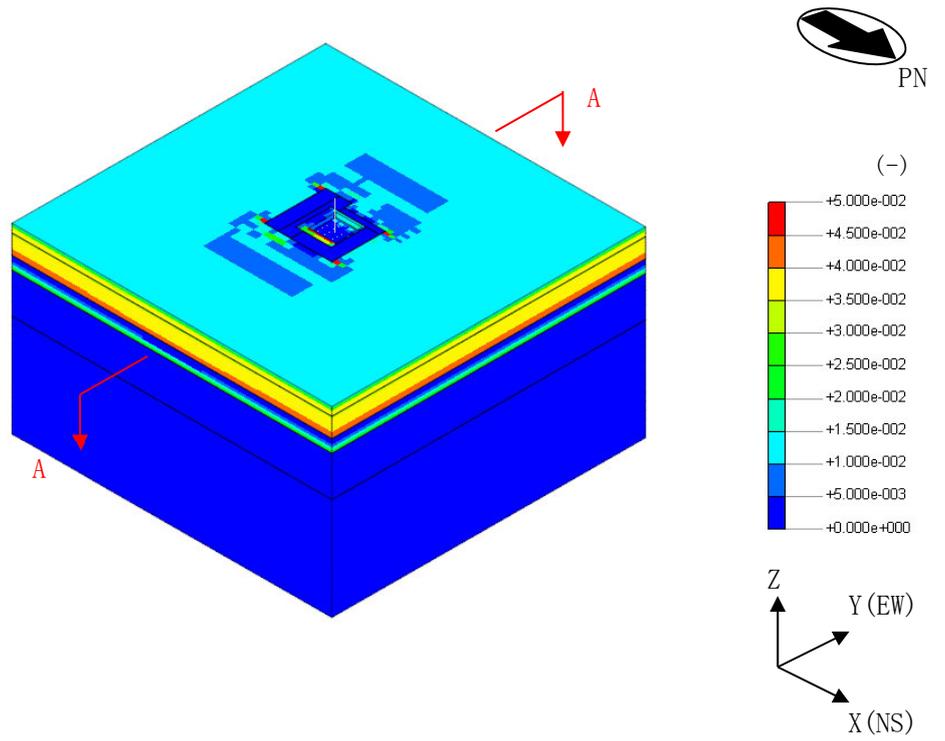


(a) 全体図

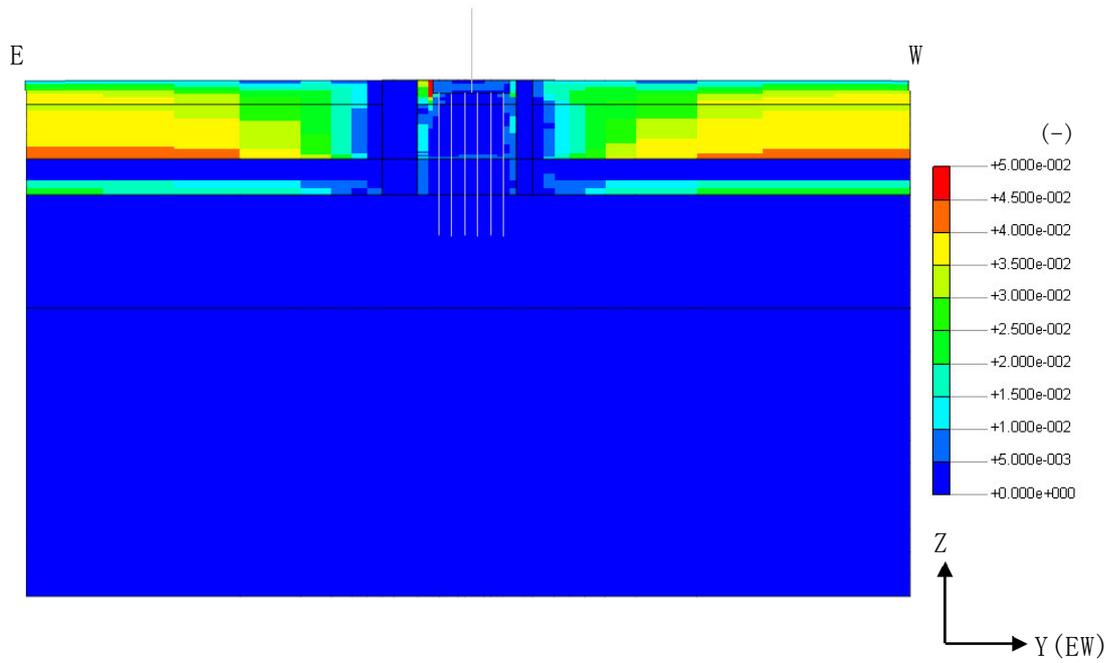


(b) A-A断面

図4-10 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-1, NS方向)

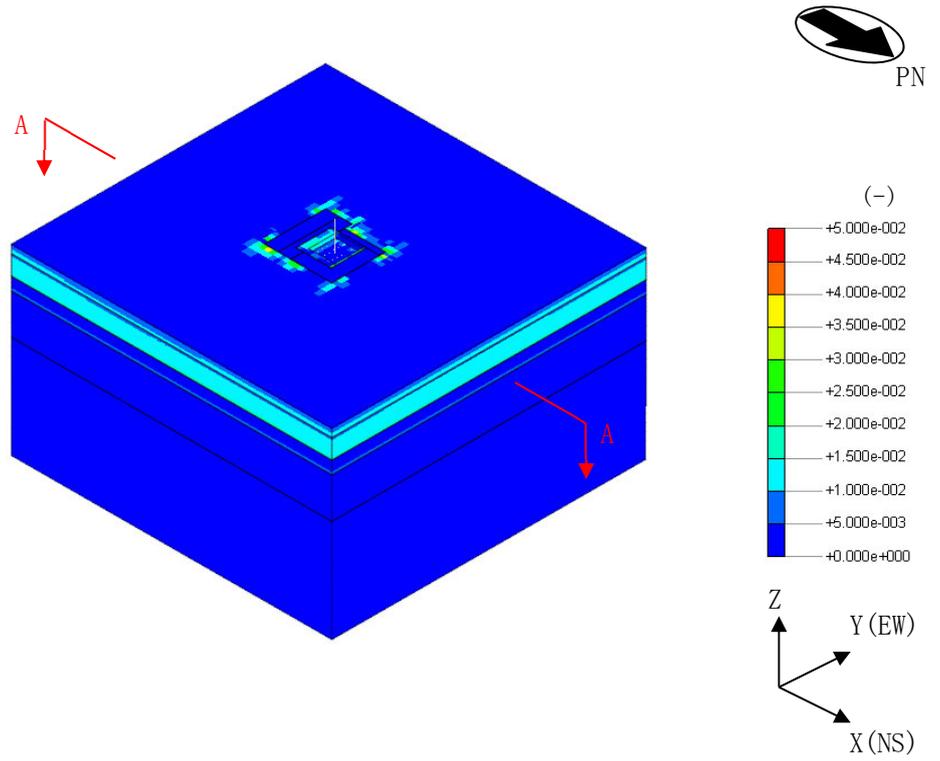


(a) 全体図

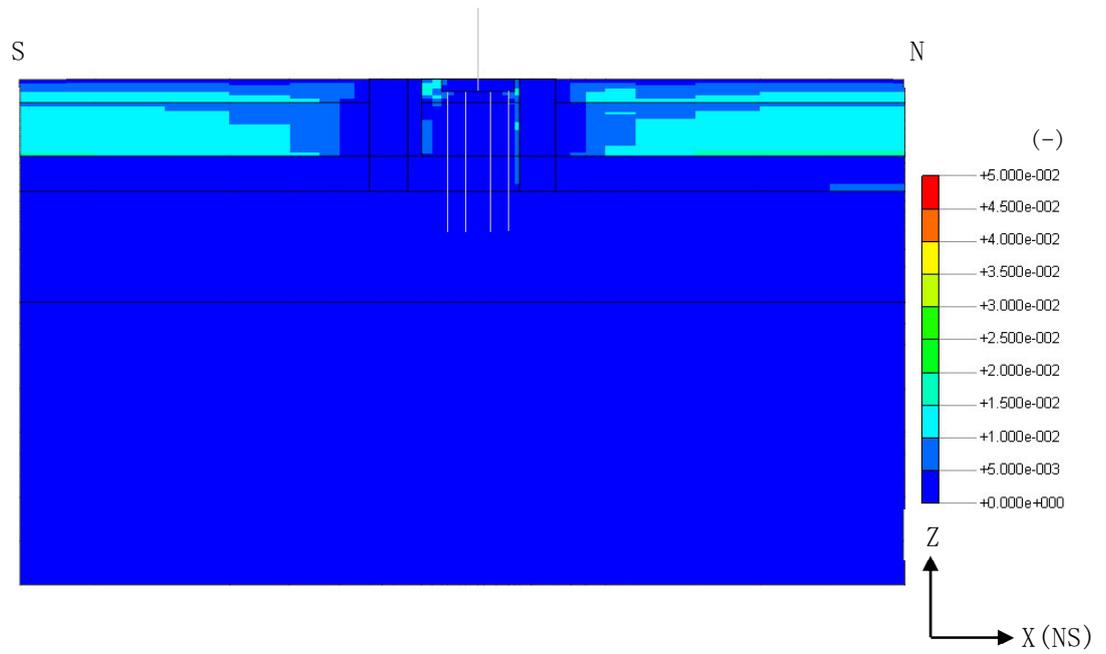


(b) A-A断面

図4-11 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-1, EW方向)

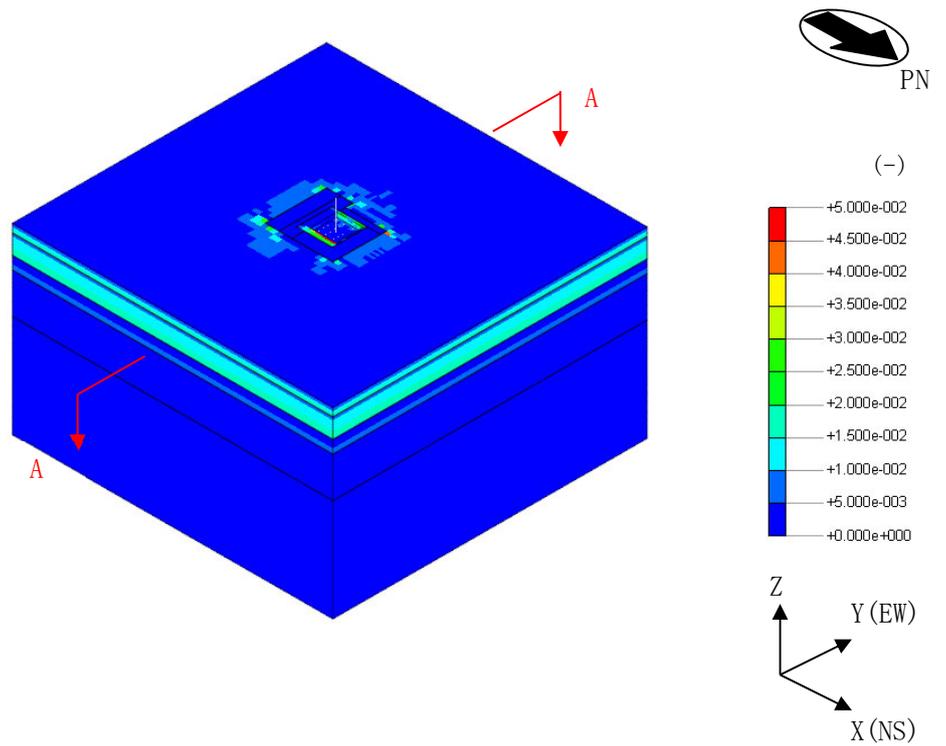


(a) 全体図

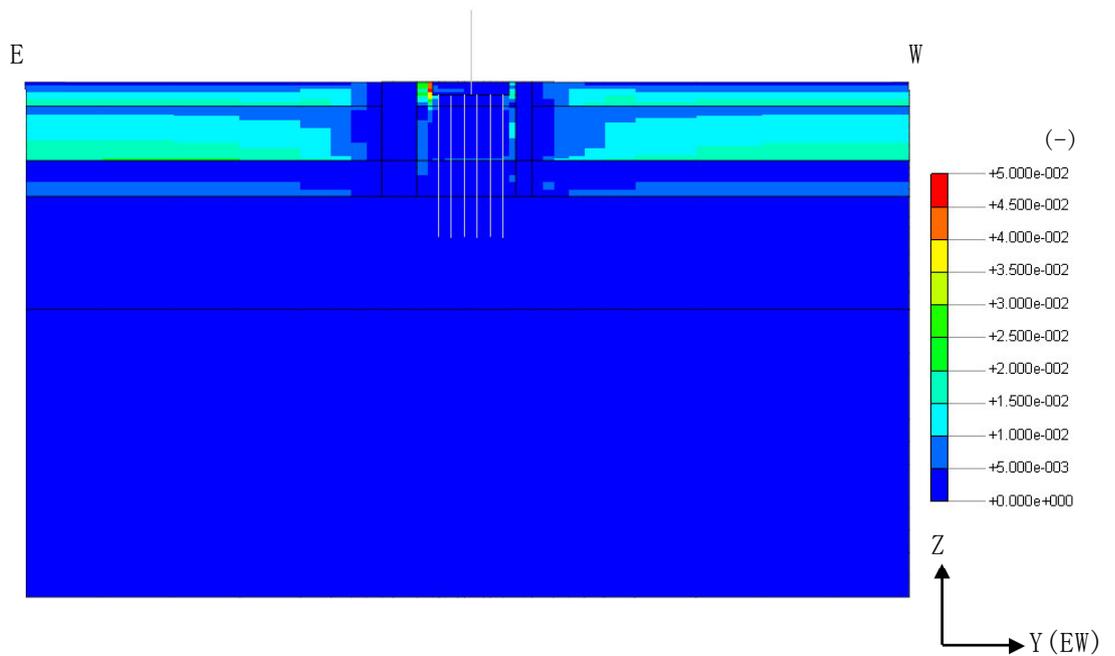


(b) A-A断面

図4-12 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-2, NS方向)

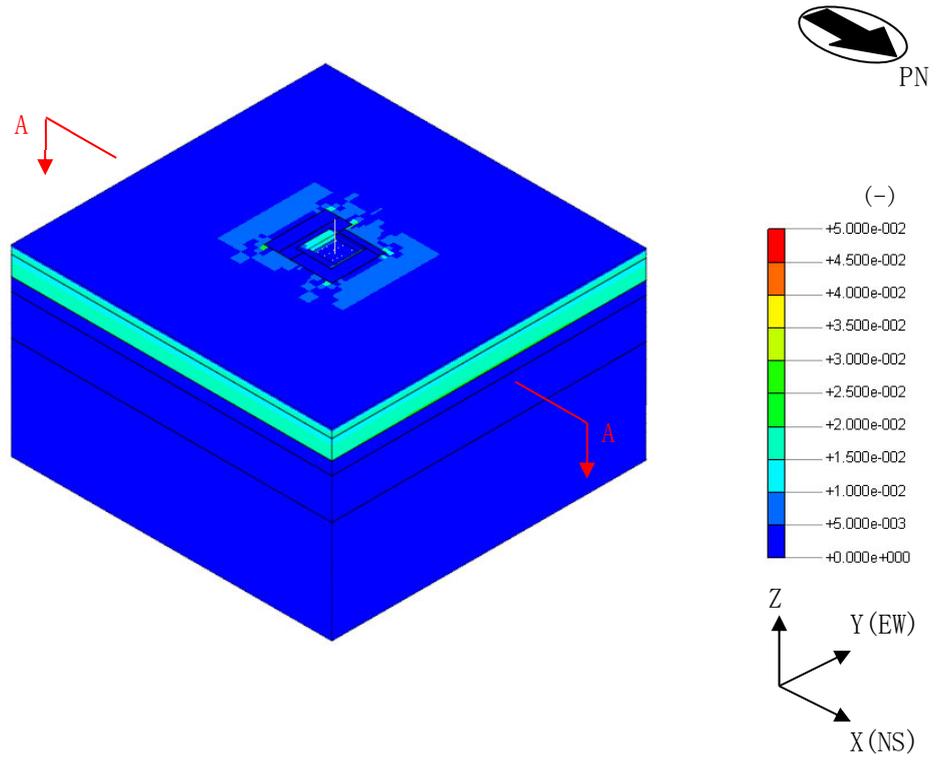


(a) 全体図

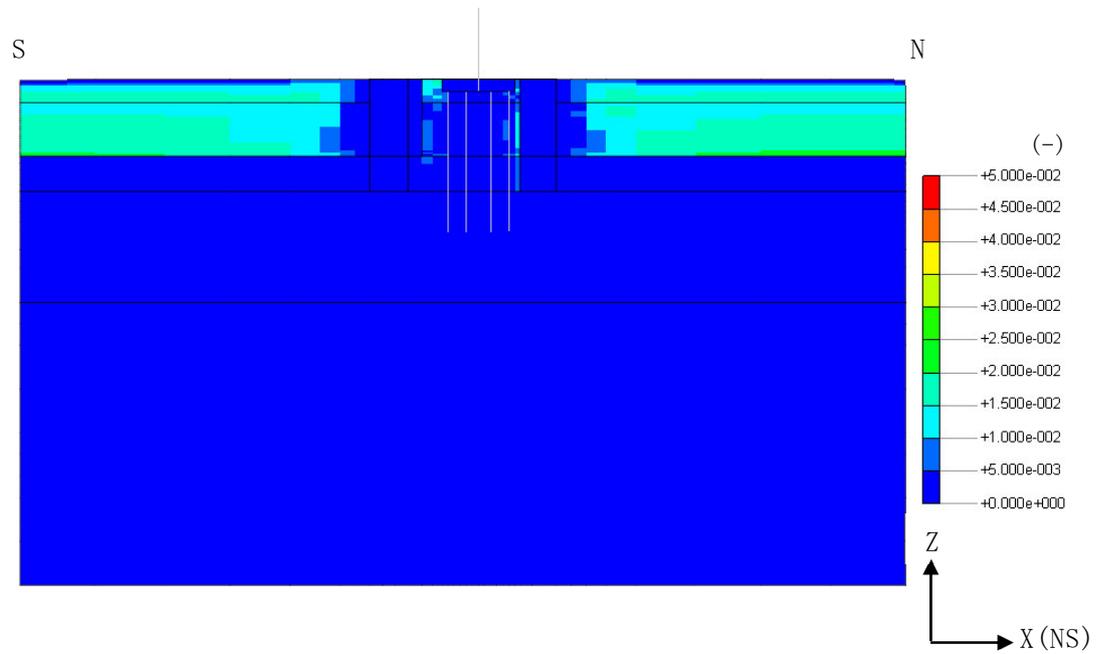


(b) A-A断面

図4-13 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-2, EW方向)

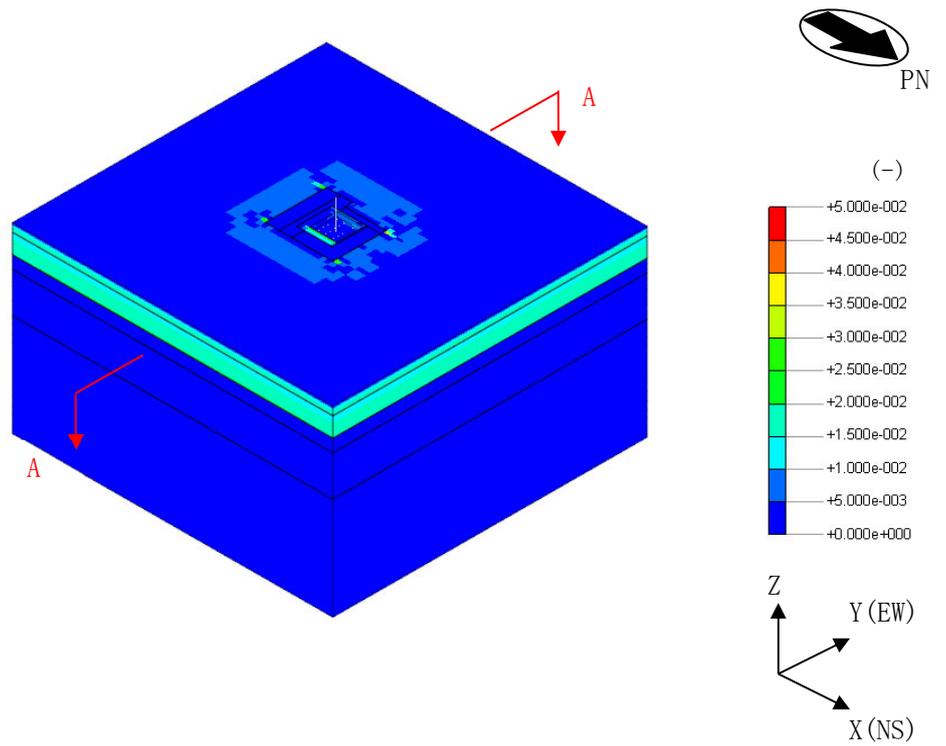


(a) 全体図

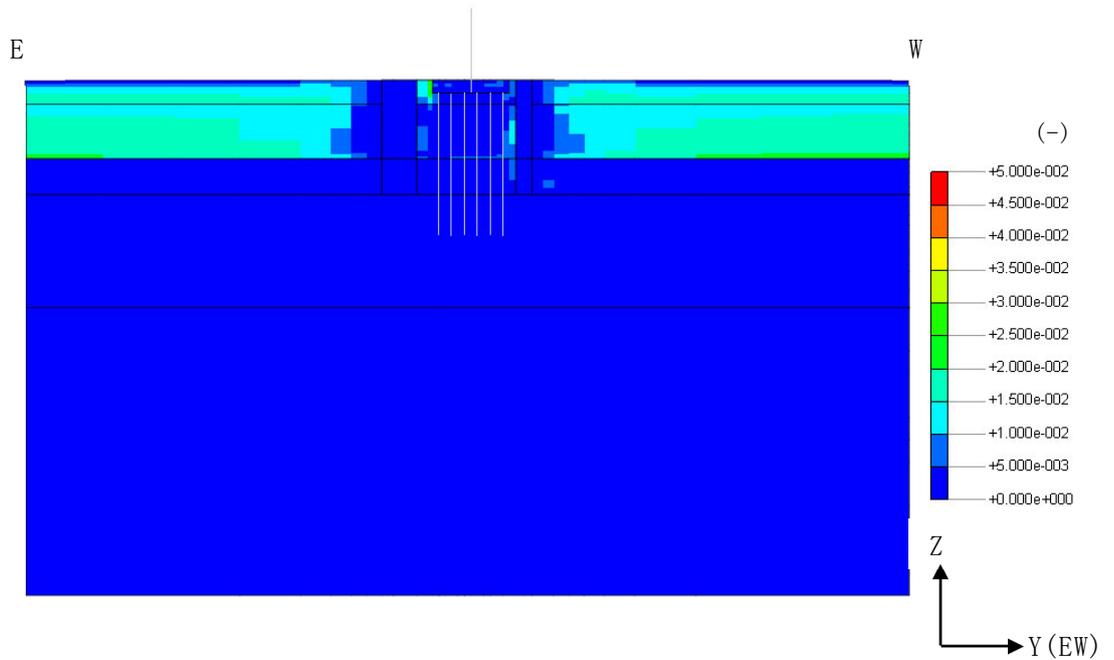


(b) A-A断面

図4-14 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-8, NS方向)

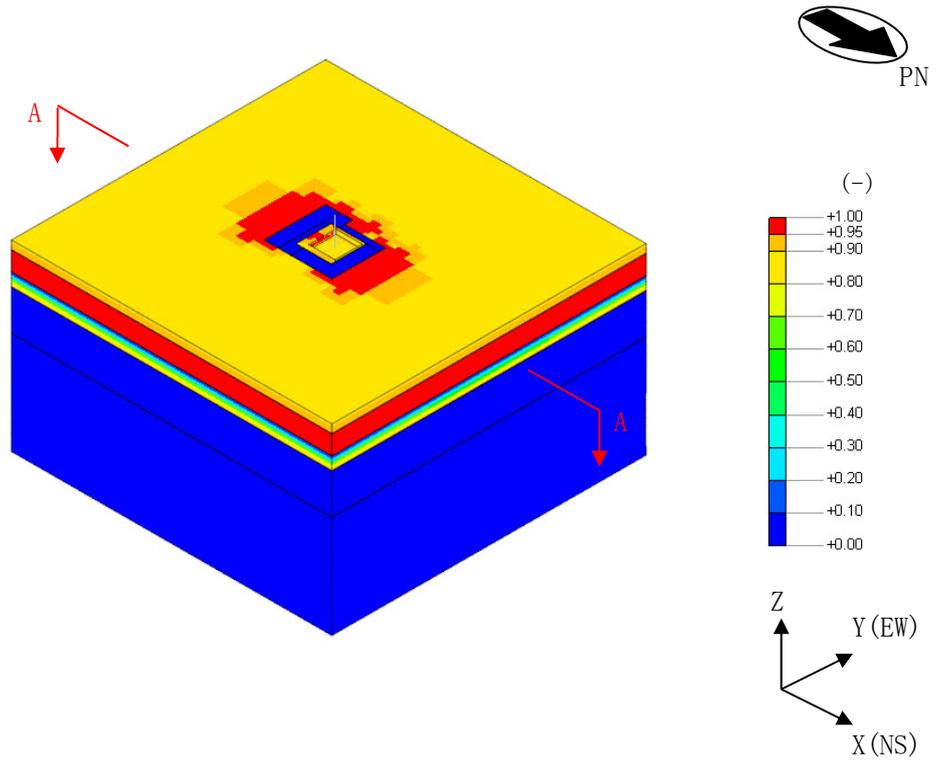


(a) 全体図

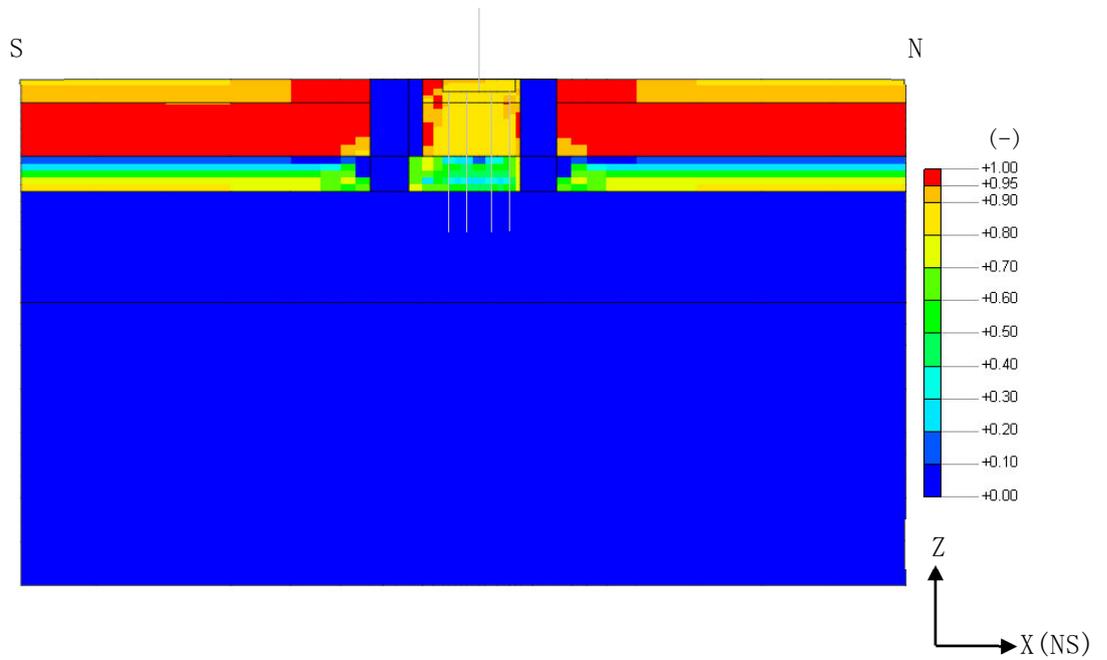


(b) A-A断面

図4-15 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-8, EW方向)

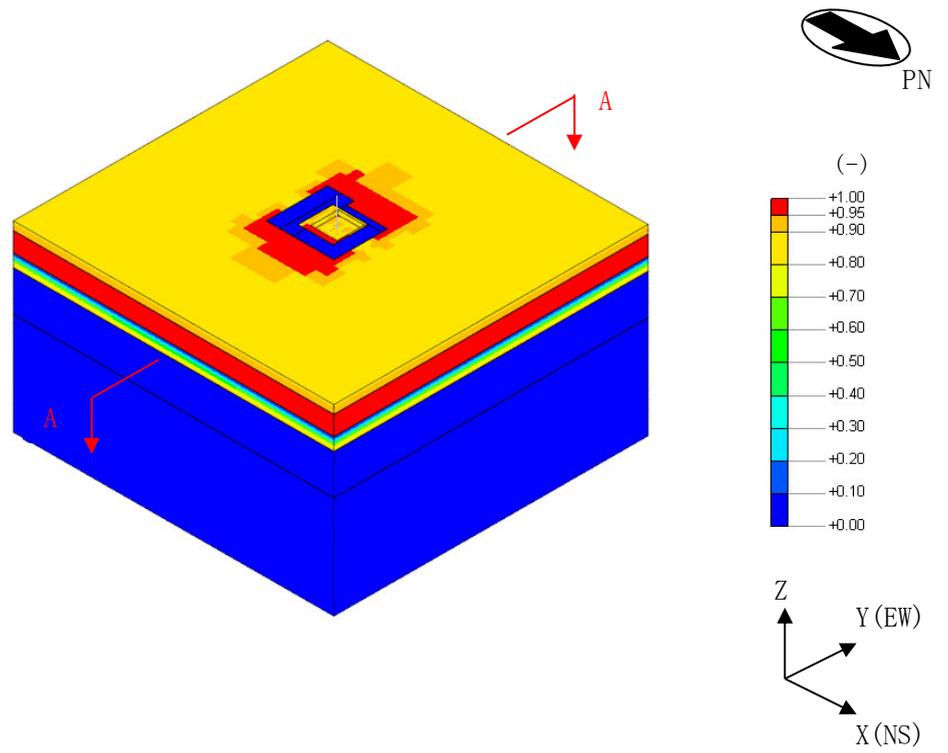


(a) 全体図

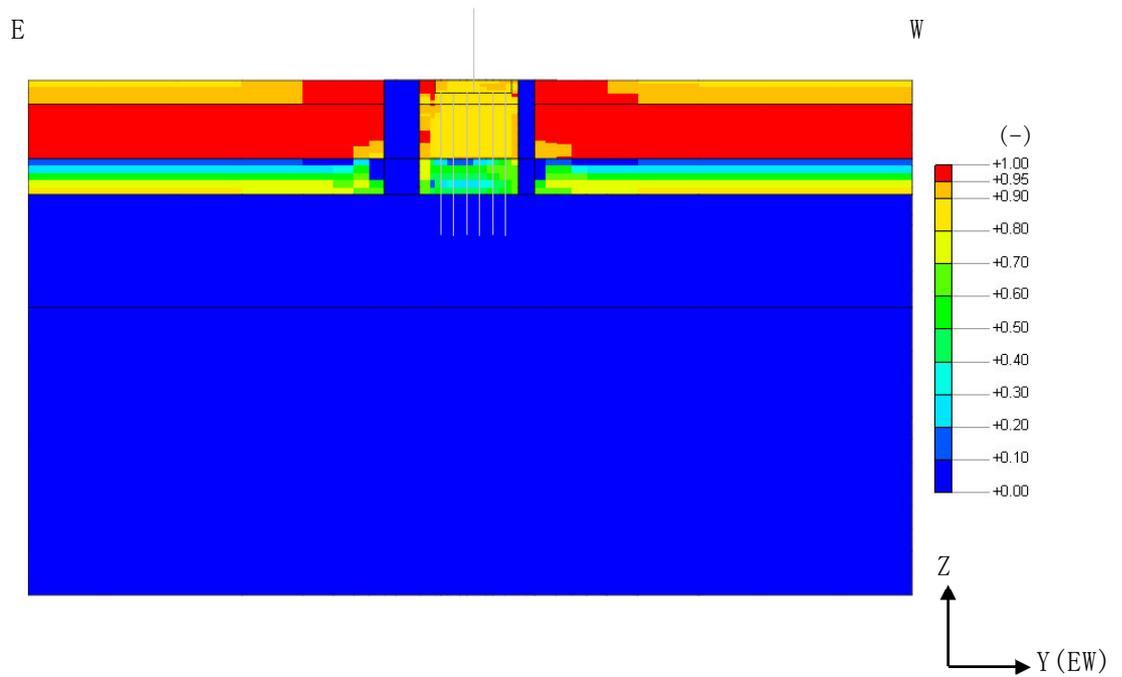


(b) A-A断面

図4-16 最大過剰間隙水圧比 (Ss-1, NS方向)

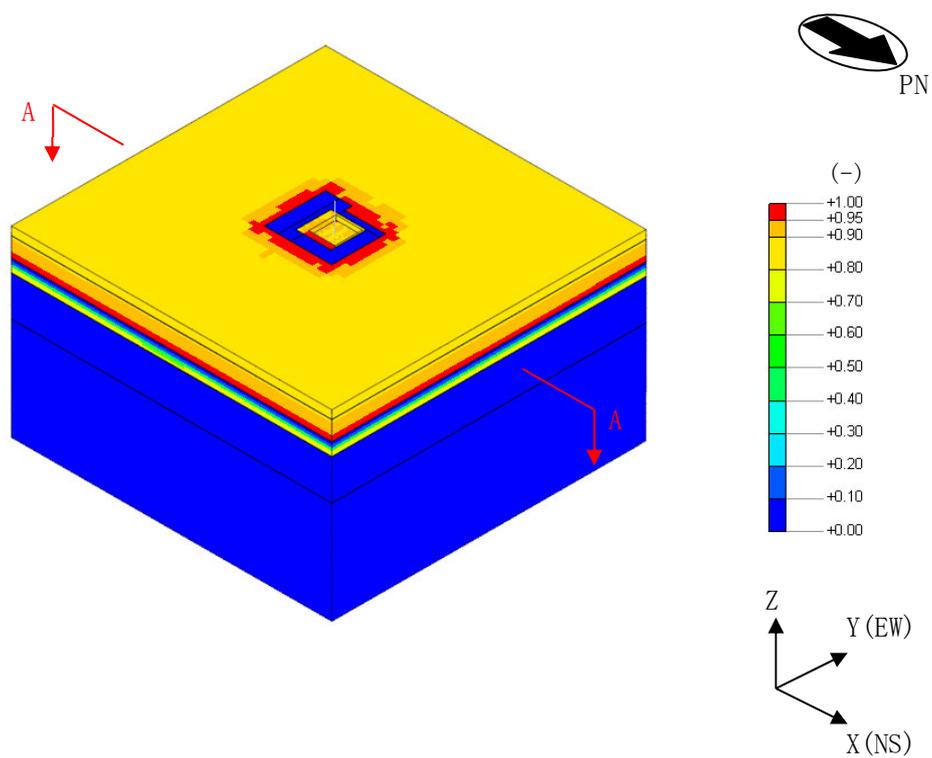


(a) 全体図

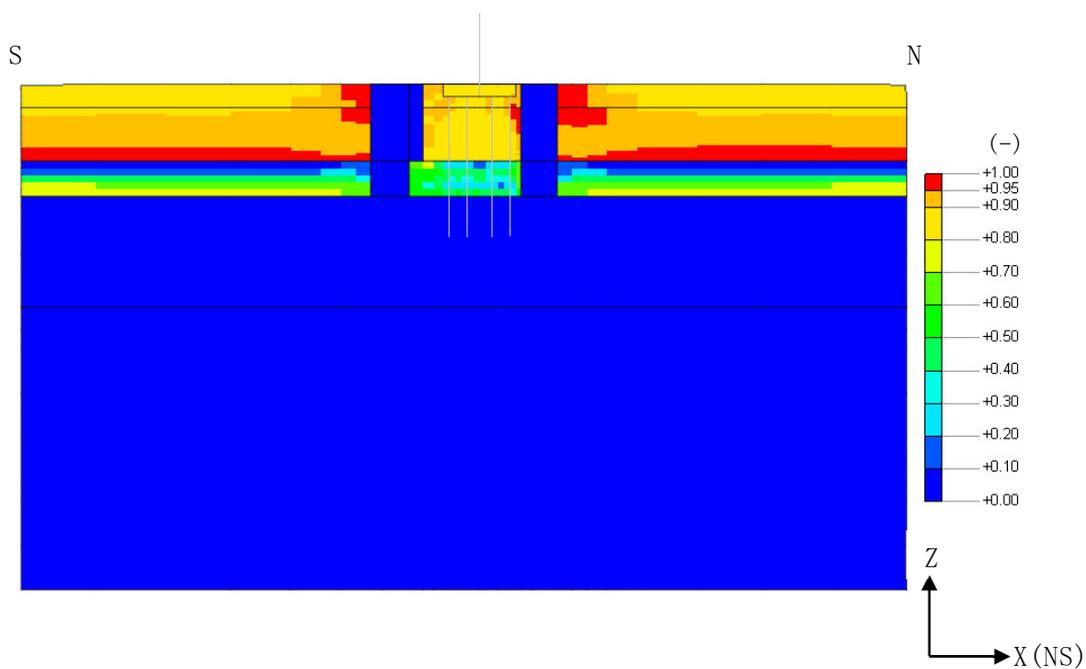


(b) A-A断面

図4-17 最大過剰間隙水圧比 (Ss-1, EW方向)

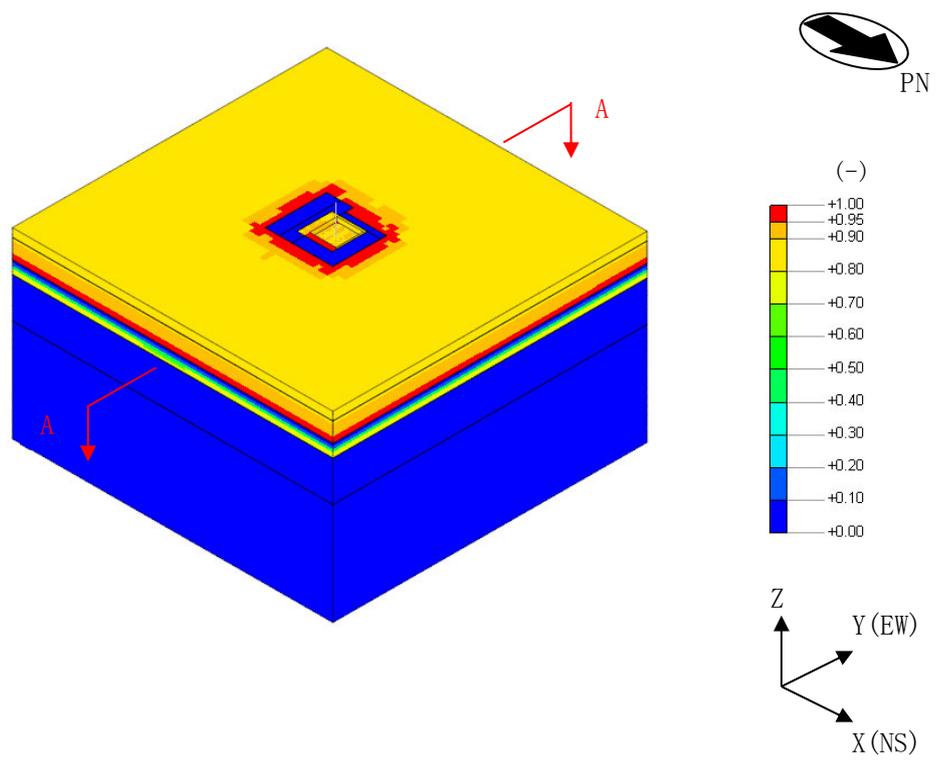


(a) 全体図

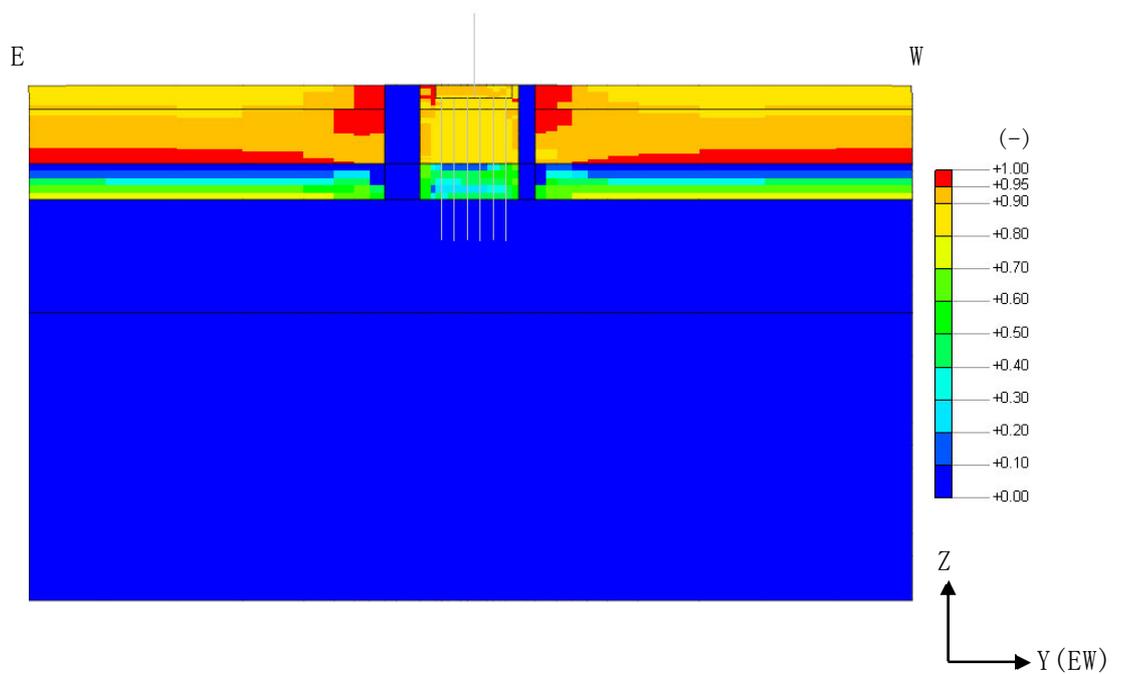


(b) A-A断面

図4-18 最大過剰間隙水圧比 (Ss-2, NS方向)

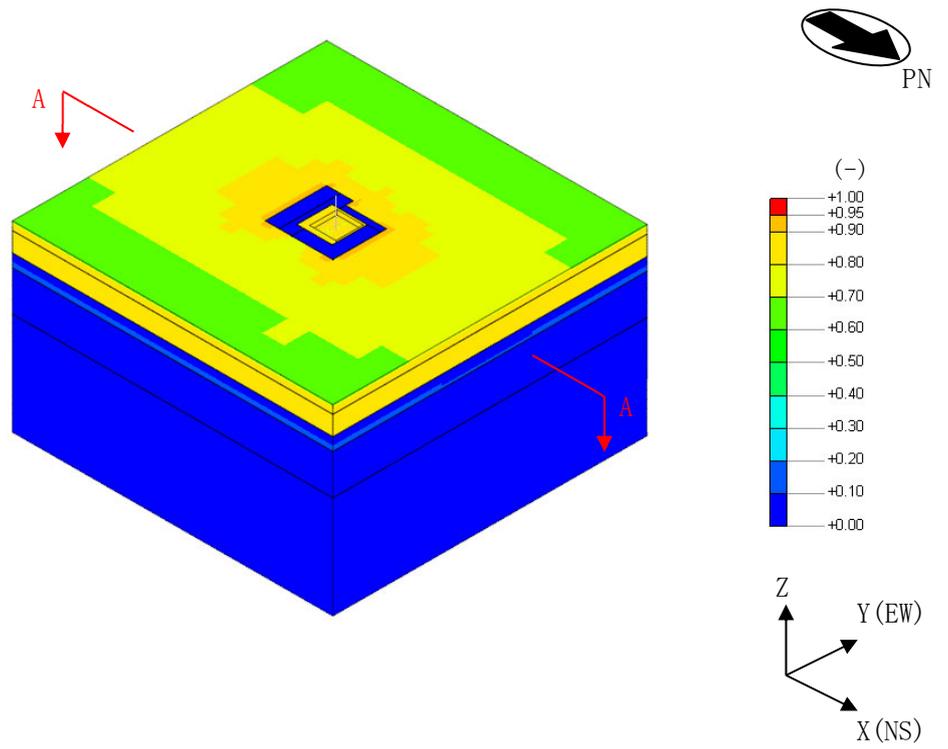


(a) 全体図

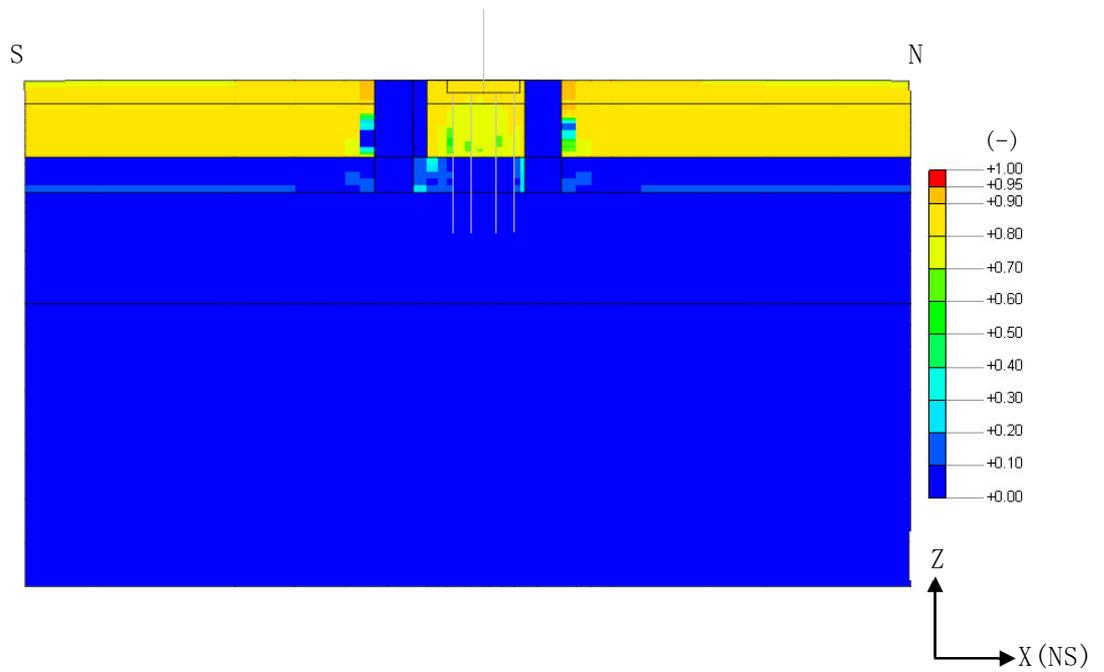


(b) A-A断面

図4-19 最大過剰間隙水圧比 (Ss-2, EW方向)

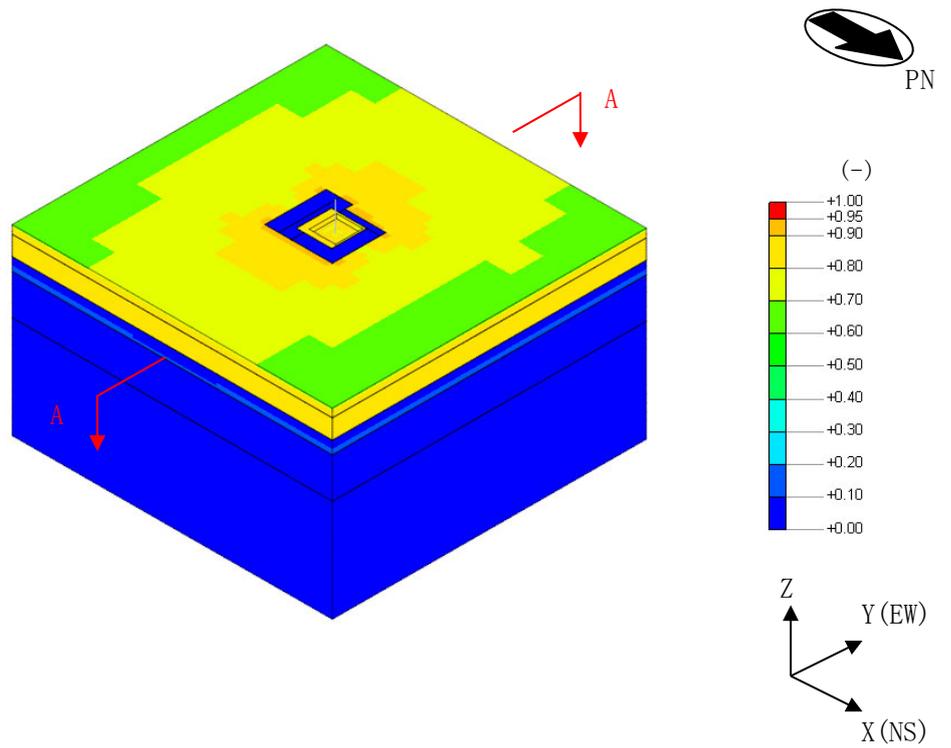


(a) 全体図

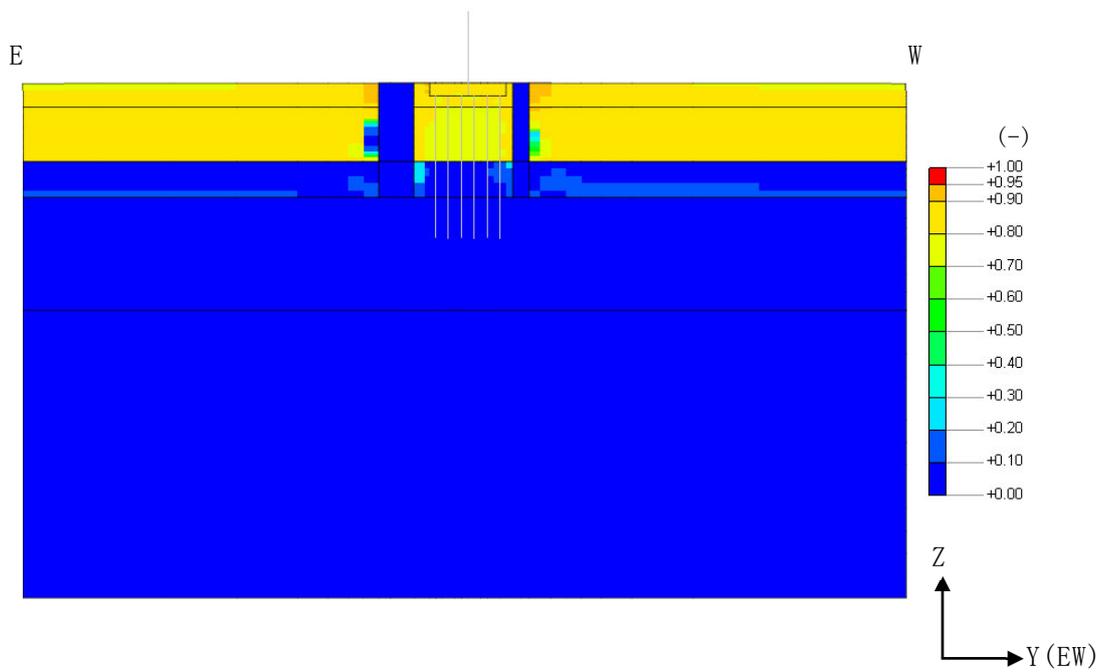


(b) A-A断面

図4-20 最大過剰間隙水圧比 (Ss-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)

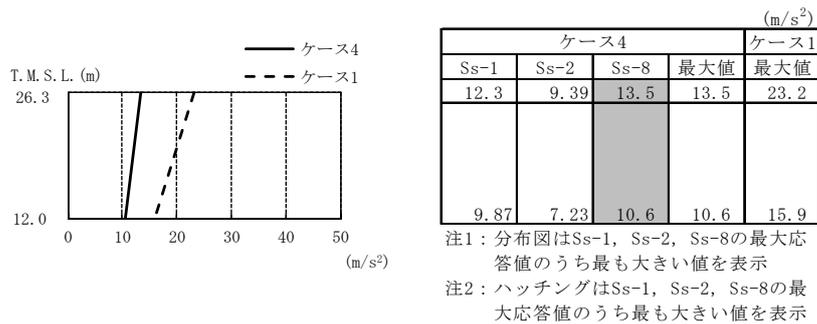


図4-22 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, NS方向)

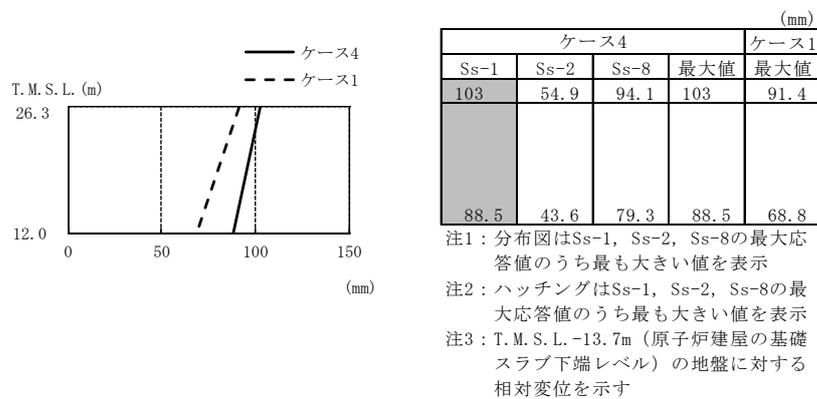


図4-23 最大応答変位 (基準地震動 S_s, NS方向)

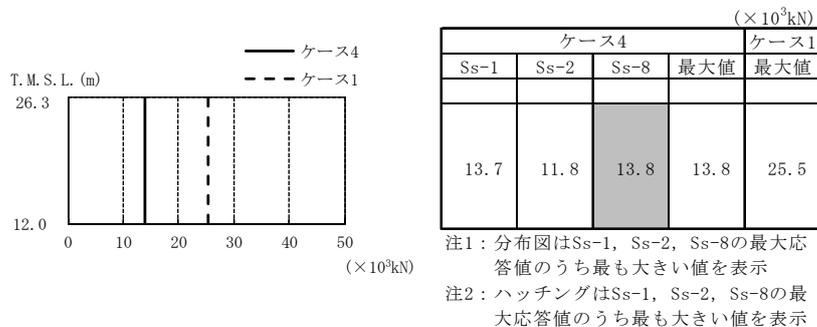


図4-24 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s, NS方向)

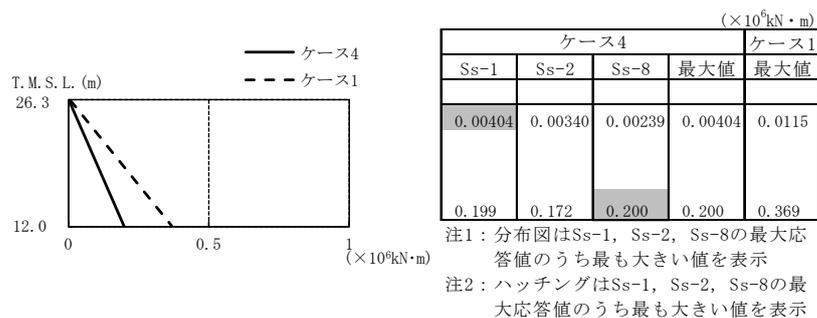


図4-25 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s, NS方向)

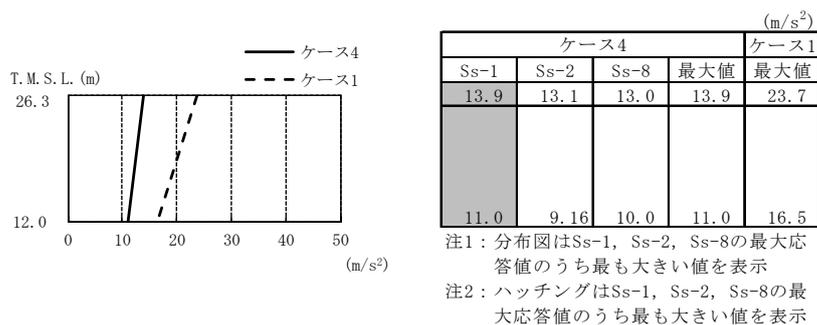


図4-26 最大応答加速度 (基準地震動 S s , EW方向)

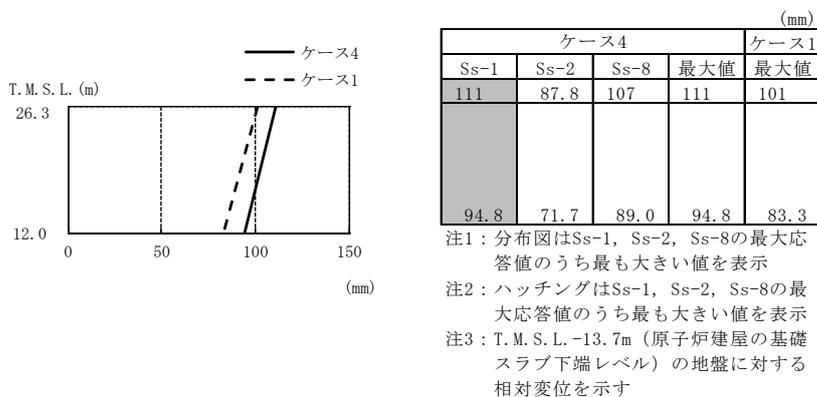


図4-27 最大応答変位 (基準地震動 S s , EW方向)

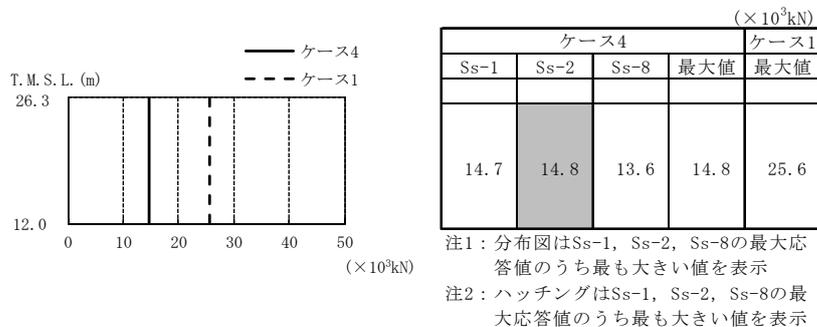


図4-28 最大応答せん断力 (基準地震動 S s , EW方向)

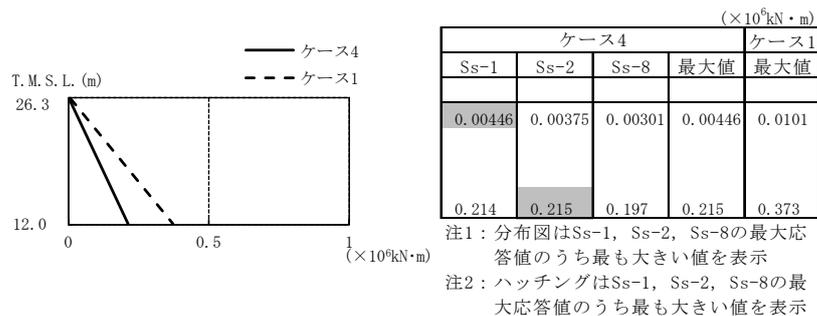


図4-29 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s , EW方向)

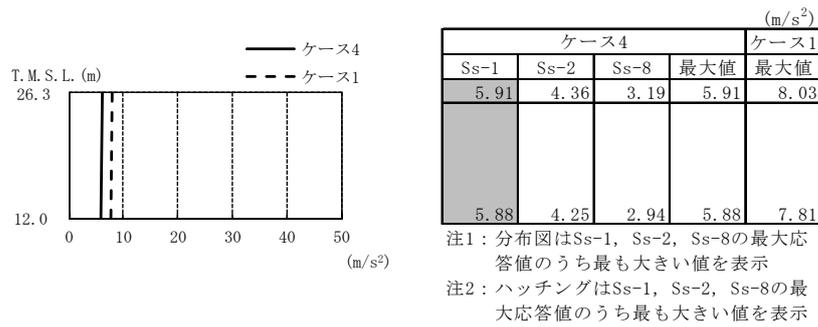


図4-30 最大応答加速度（基準地震動 S_s，鉛直方向）

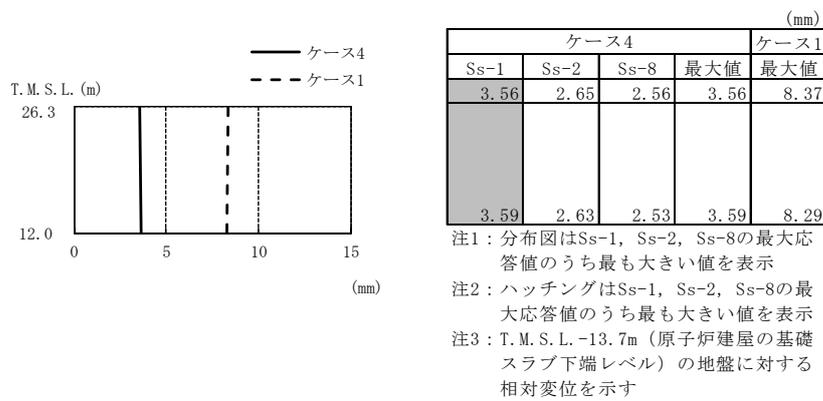


図4-31 最大応答変位（基準地震動 S_s，鉛直方向）

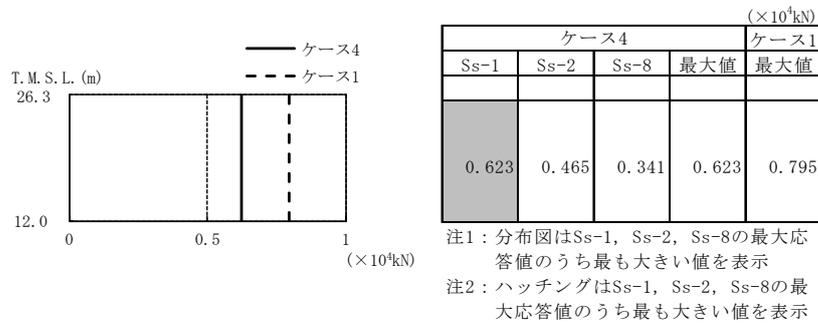


図4-32 最大応答軸力（基準地震動 S_s，鉛直方向）

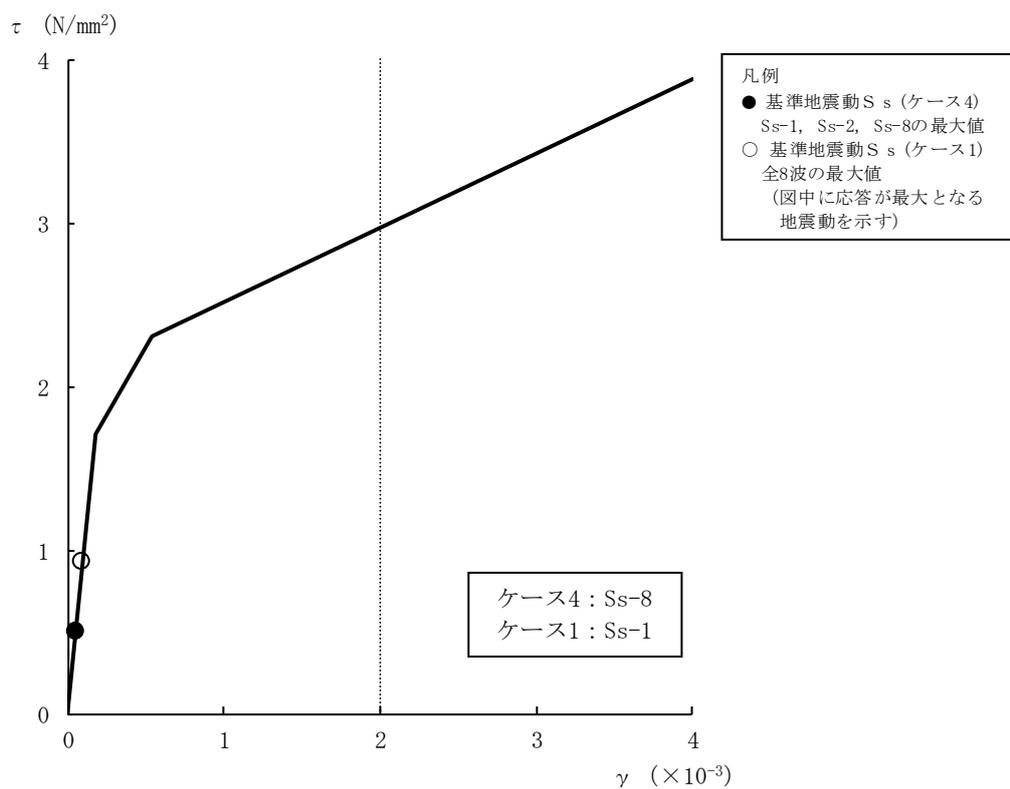


図4-33 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, NS方向)

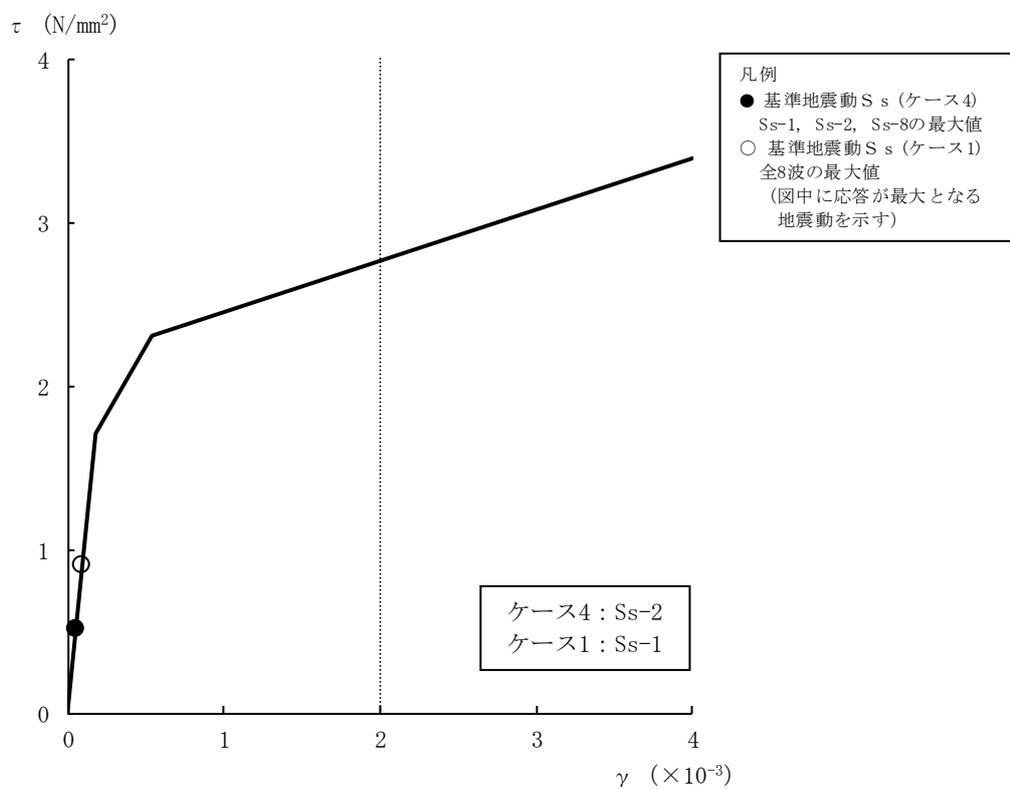
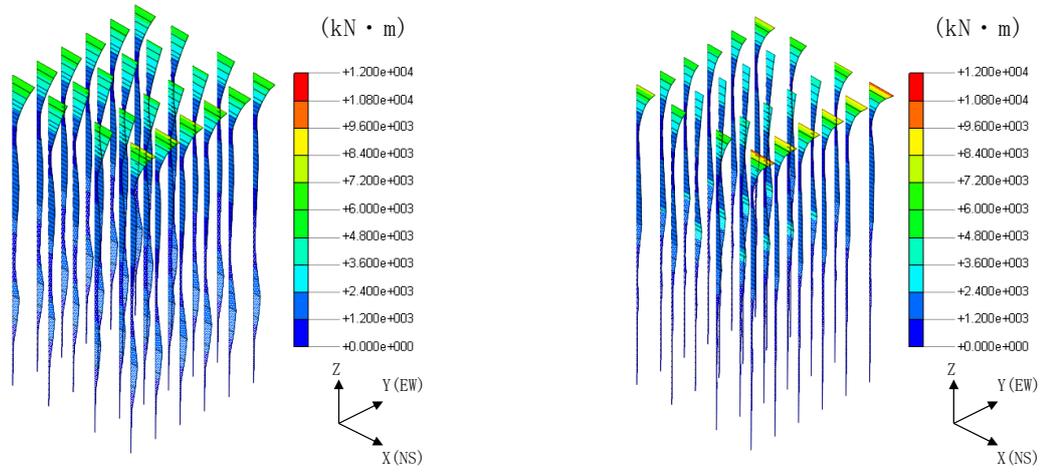


図4-34 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向)

ケース 4

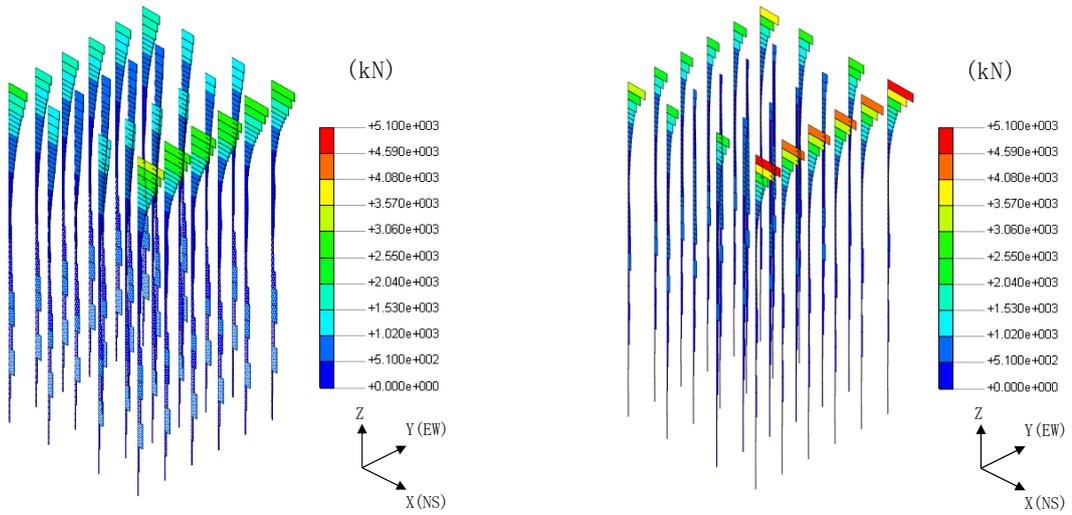
ケース 1



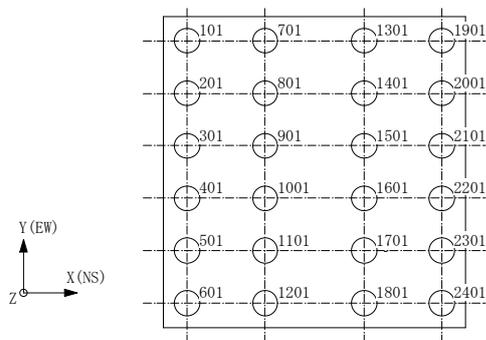
(a) 最大応答曲げモーメント

ケース 4

ケース 1

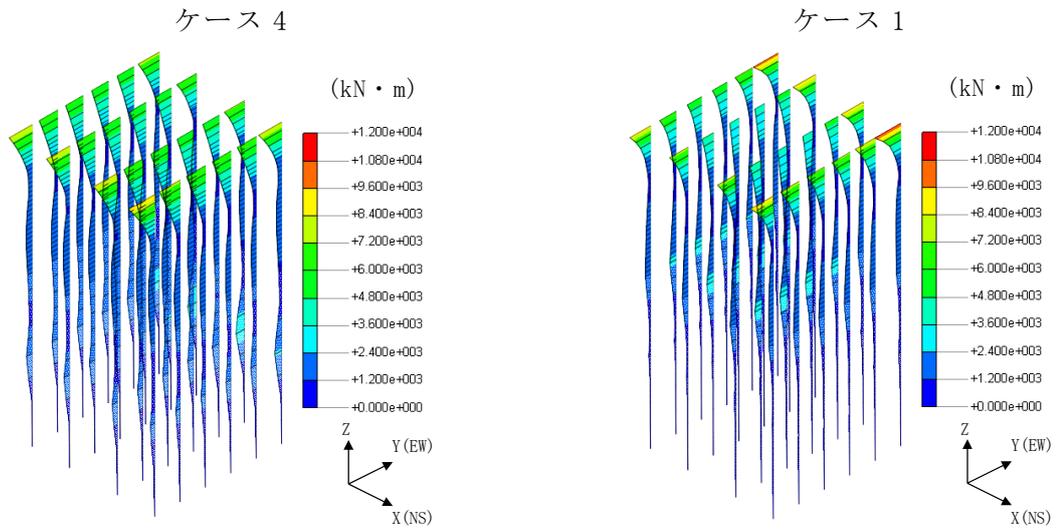


(b) 最大応答せん断力

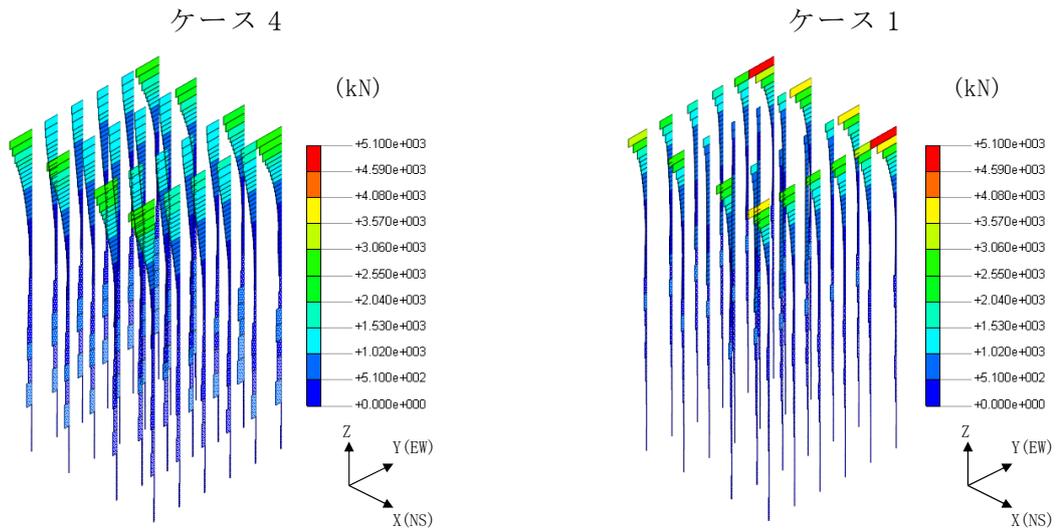


杭番号 (杭頭の要素番号)

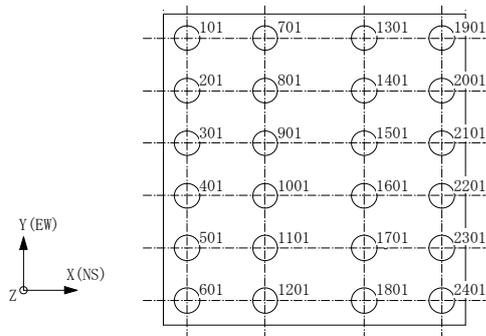
図 4-35 杭の応答値 (Ss-1, NS 方向)



(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

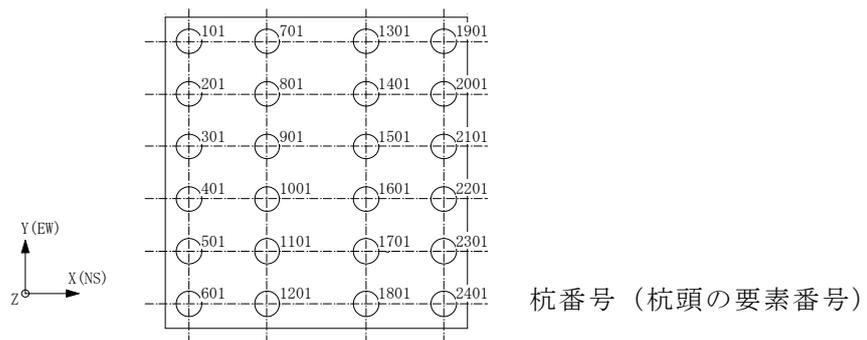


表4-1 杭頭断面力一覧 (2/2)

(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

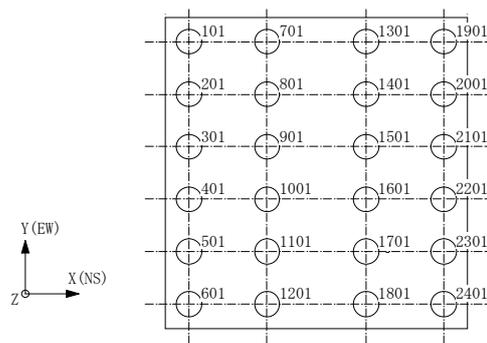
注1：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示

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

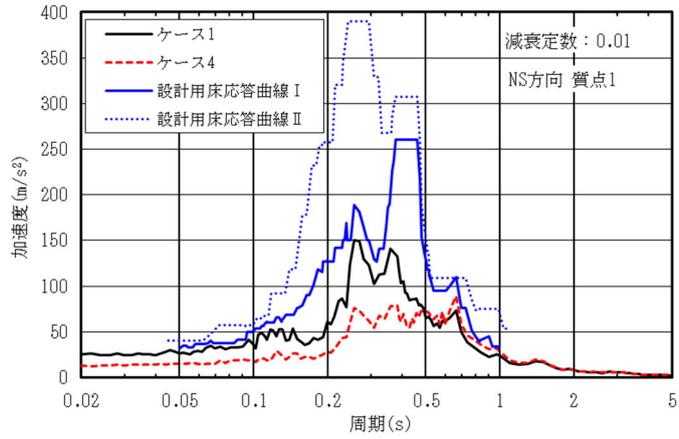


杭番号 (杭頭の要素番号)

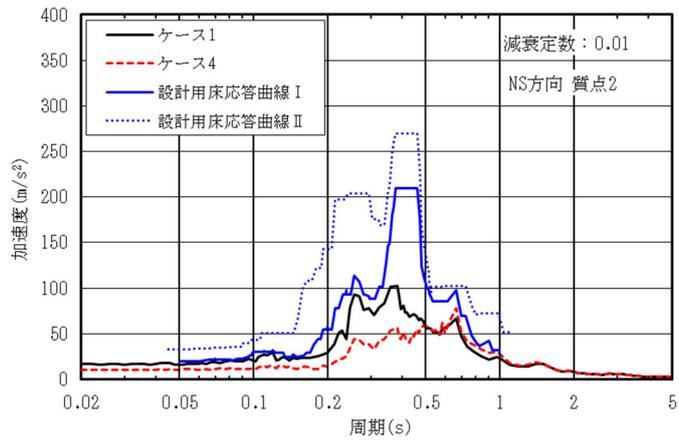
5. 床応答に対する影響

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（設計用床応答曲線）の比較を図 5-1～図 5-6 に示す。

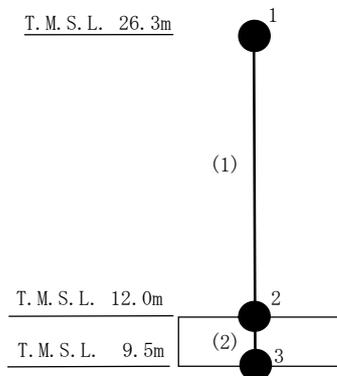
図 5-1～図 5-6 に示すとおり，地盤の有効応力の変化を考慮することにより，地盤剛性の低下に伴い全体的に長周期化する傾向であることを確認した。ケース 4 の床応答スペクトルはケース 1 の床応答スペクトルよりも主要な周期帯（ $0.05s \sim 0.07s$ ）において小さくなり，設計用床応答曲線を下回ることを確認した。



(a) 質点 1

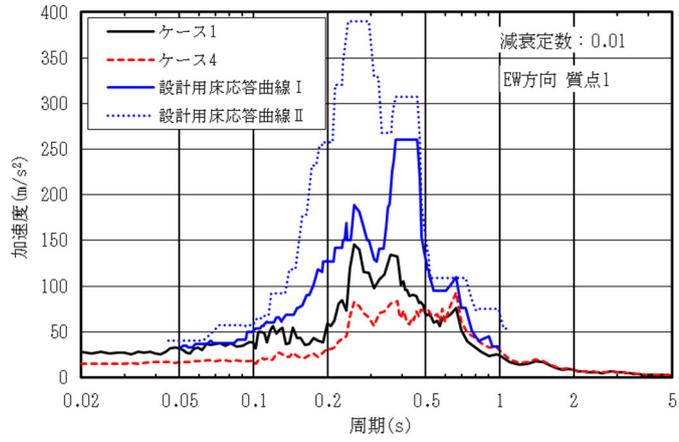


(b) 質点 2

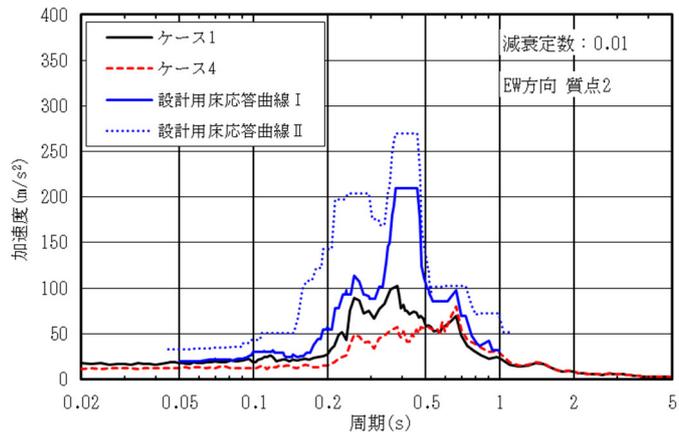


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

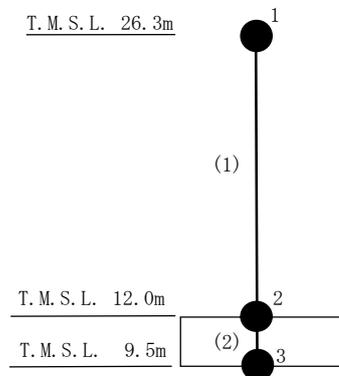
図 5-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

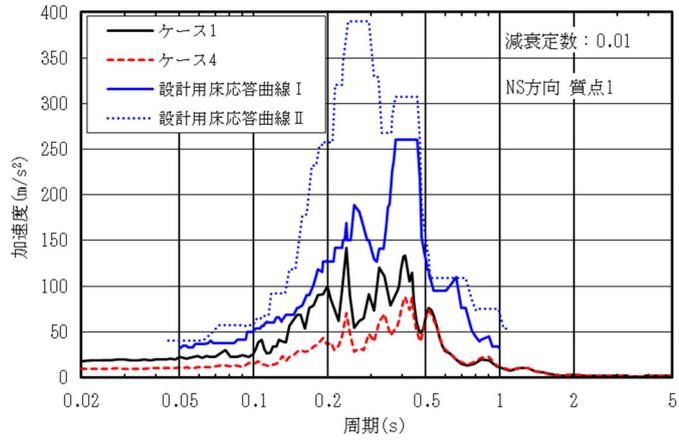


(b) 質点 2

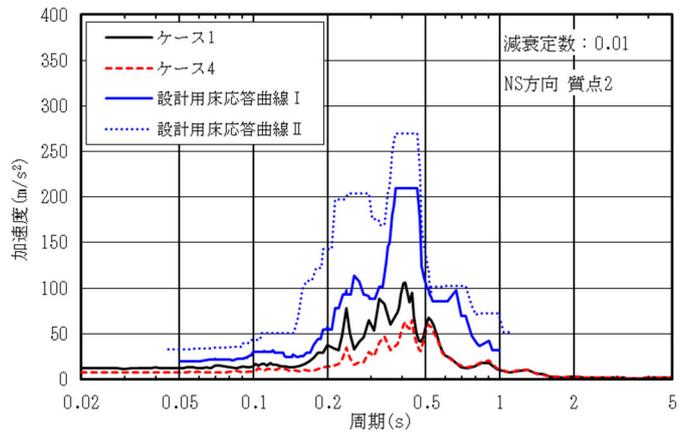


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

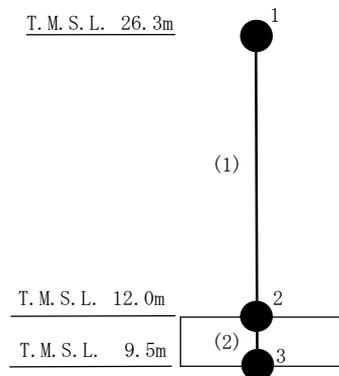
図 5-2 床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

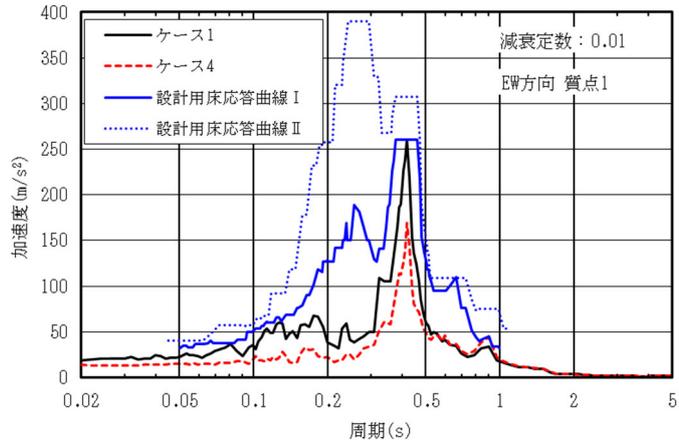


(b) 質点 2

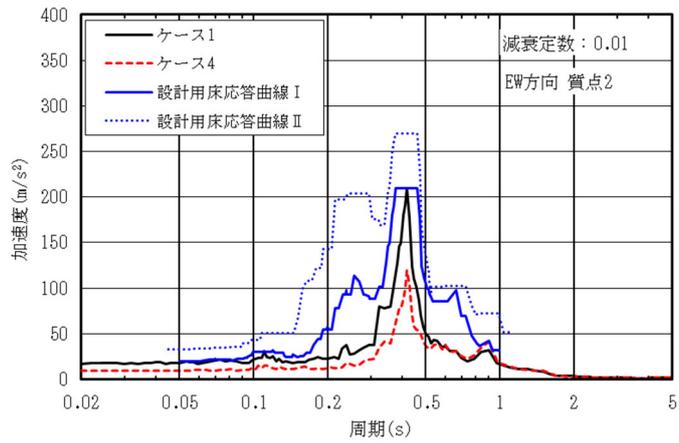


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

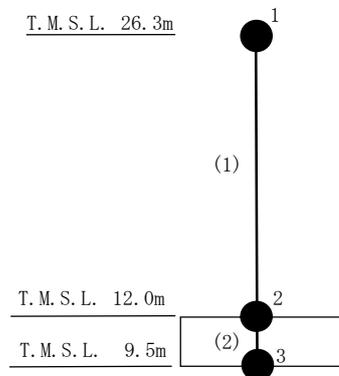
図 5-3 床応答スペクトル比較 (Ss-2, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

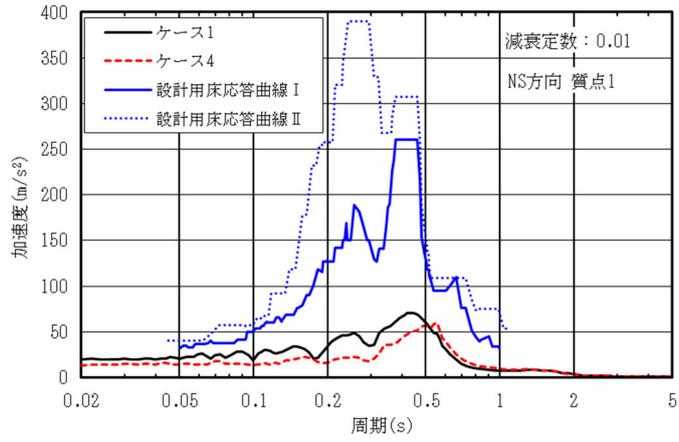


(b) 質点 2

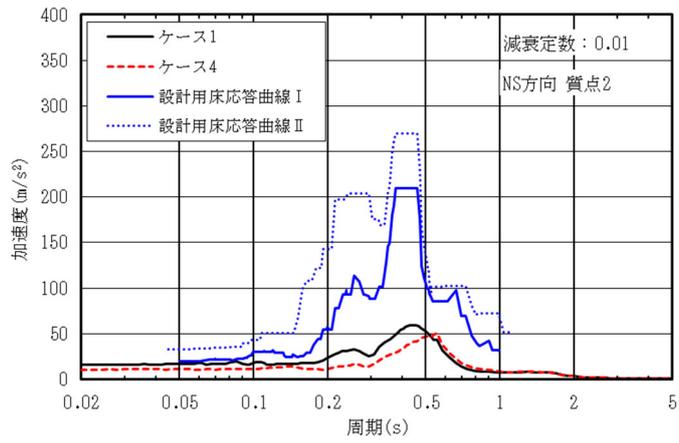


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

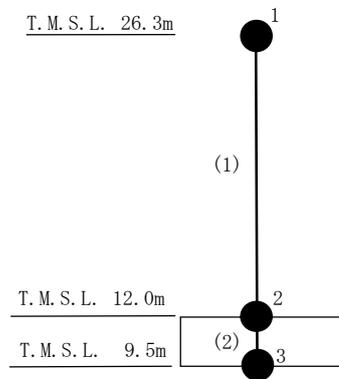
図 5-4 床応答スペクトル比較 (Ss-2, EW 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

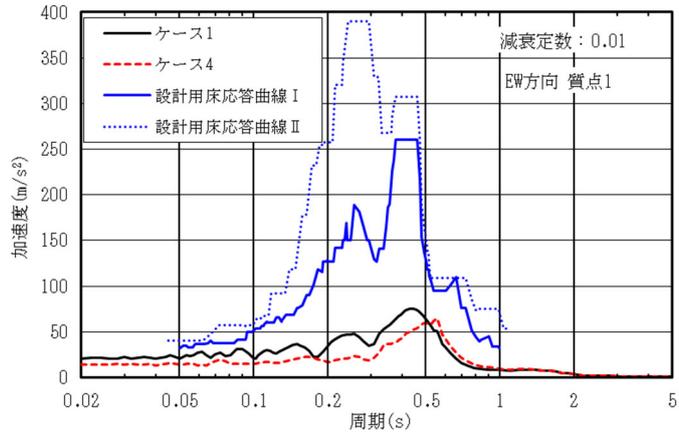


(b) 質点 2

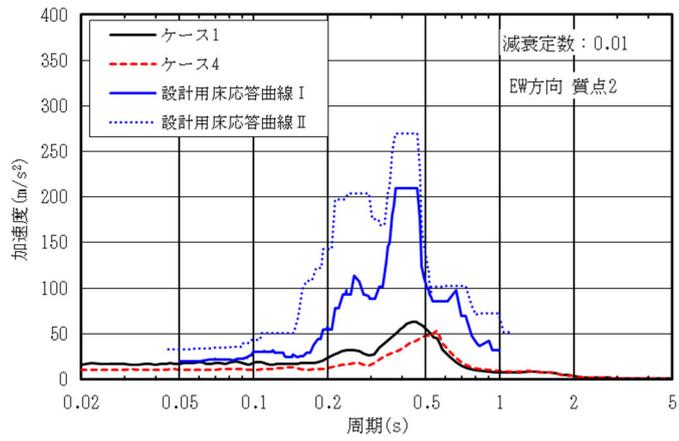


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

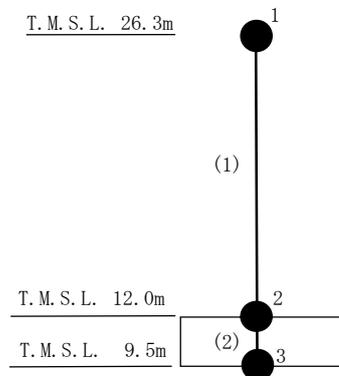
図 5-5 床応答スペクトル比較 (Ss-8, NS 方向, h=0.01)



(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」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主要な周期帯において下回り、設計用床応答曲線を下回ることから、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。

(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の適用規格・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 3-1 に示す。

表 3-1 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の適用規格・基準，解析条件等の一覧を表 3-2 及び表 3-3 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，適用規格・基準，解析条件等に差異がある。この差異理由は以下の 4 点に大別される。

- ① 建築基準法の適用の有無（適用規格・基準）
- ② 杭種別（適用規格・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ものである。

②の差異については，構造物の特徴や要求機能，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適用規格・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，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 3-2 適用規格・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及び基準	・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及び基準	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及び基準	・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及び基準	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) ・JEAC4601-1987	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及び基準	・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及び基準	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及び基準 工認審査ガイドにおいて適用実績のある杭(場所打ち鋼管コンクリート杭)	・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及び基準	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及び基準	・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及び基準	差異無し
地震応答解析	・ JEAG4601-2008	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及び基準	・ JEAG4601-1987	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及び基準	①建築基準法の適用の有無	

表 3-3 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	Soil Plus	・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 施している。	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 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	・液状化パラメータは、液状化 試験結果に基づき設定	井合モデル	・液状化パラメータは、液状化 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 ファイバー要素を二次元平 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 5-17
3.3.3 基礎スラブ	別紙 5-18
4. 床応答に対する影響	別紙 5-19
5. まとめ	別紙 5-22

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。

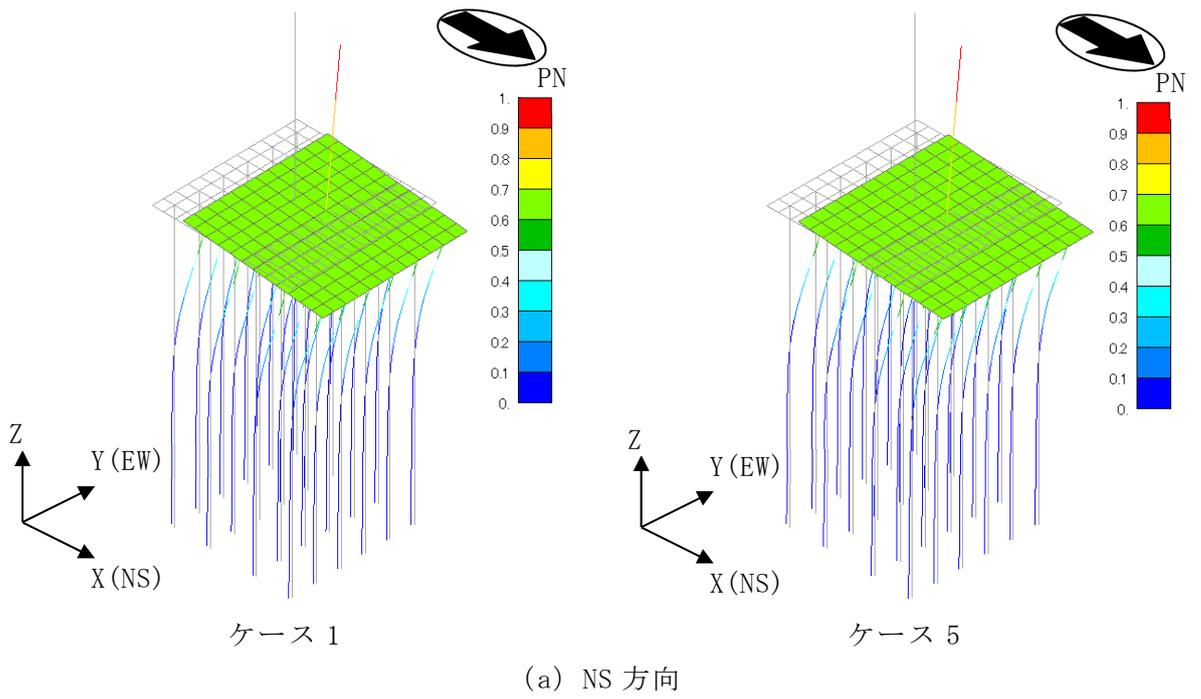
表 3-1 固有値解析結果 (Ss-1)

(単位 : Hz)

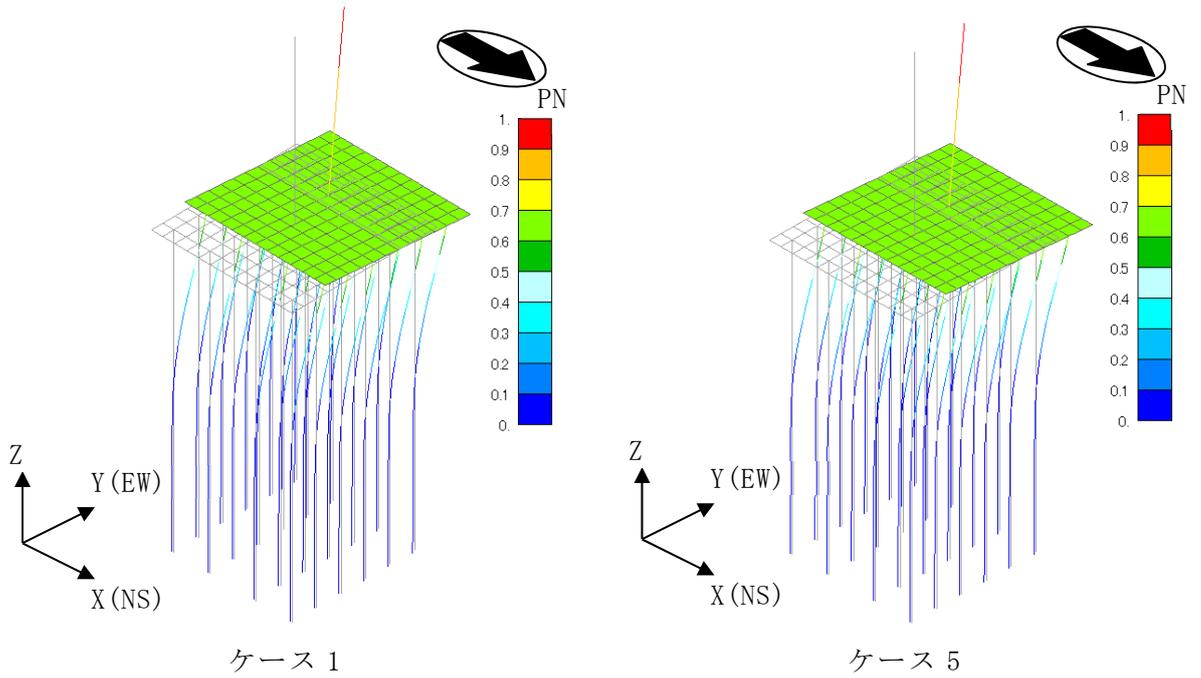
方向	ケース1	ケース5
NS	2.84	2.84 (1.00)
EW	2.79	2.79 (1.00)
鉛直	11.04	11.04 (1.00)

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



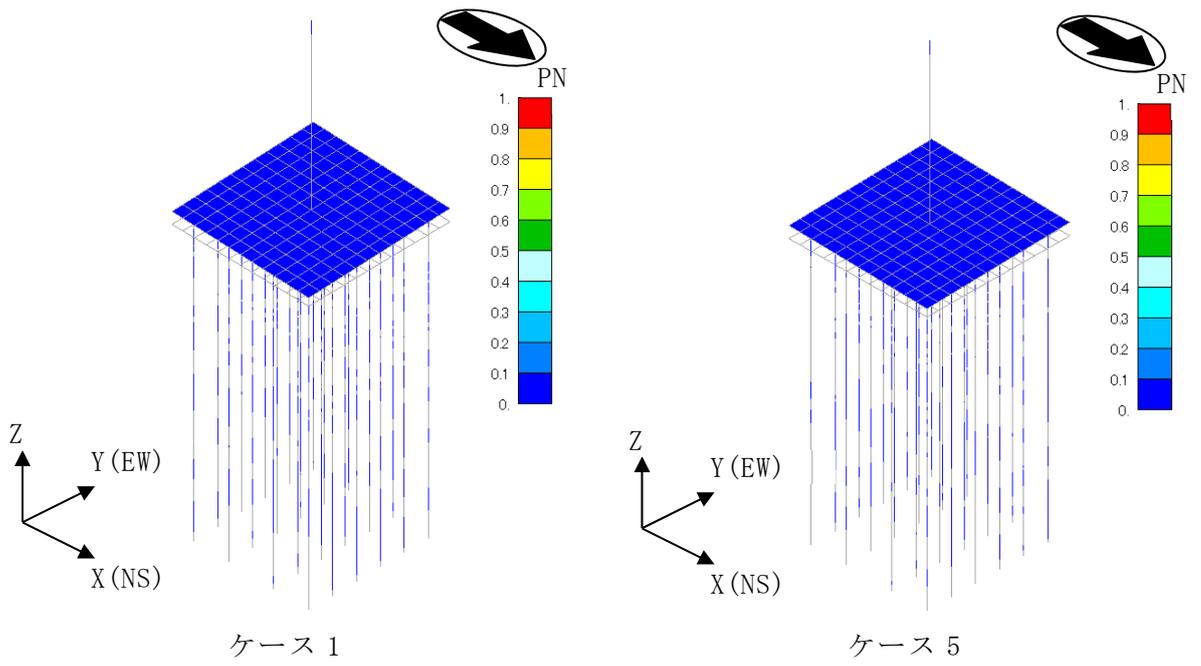
(a) NS 方向



(b) EW 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) (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。

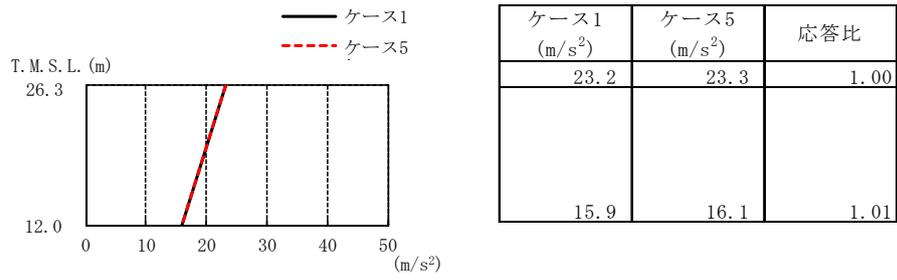


図3-2 最大応答加速度 (S_s-1, NS方向)

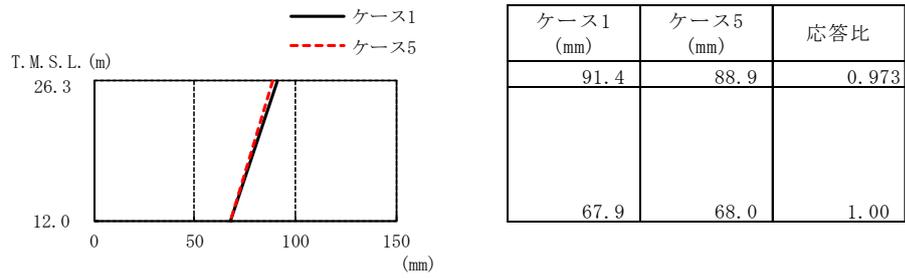


図3-3 最大応答変位 (S_s-1, NS方向)

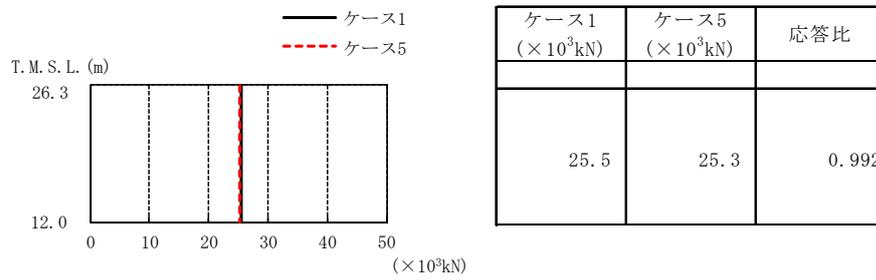


図3-4 最大応答せん断力 (S_s-1, NS方向)

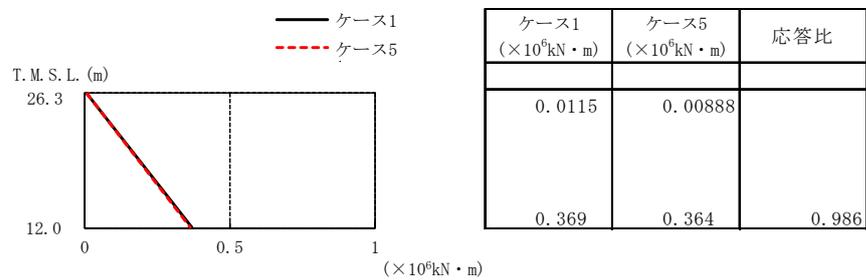


図3-5 最大応答曲げモーメント (S_s-1, NS方向)

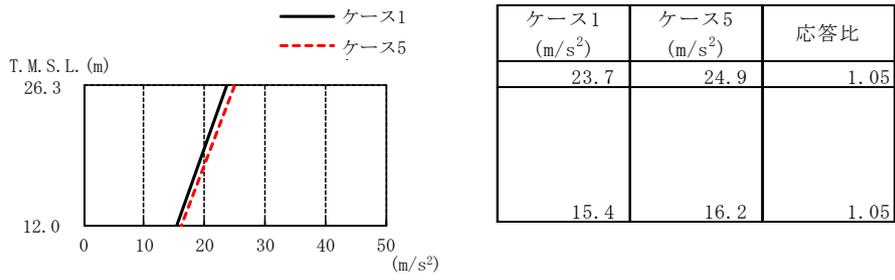


図3-6 最大応答加速度 (S_s-1, EW方向)

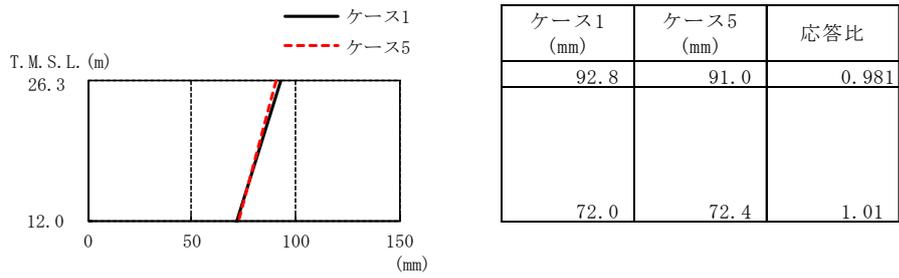


図3-7 最大応答変位 (S_s-1, EW方向)

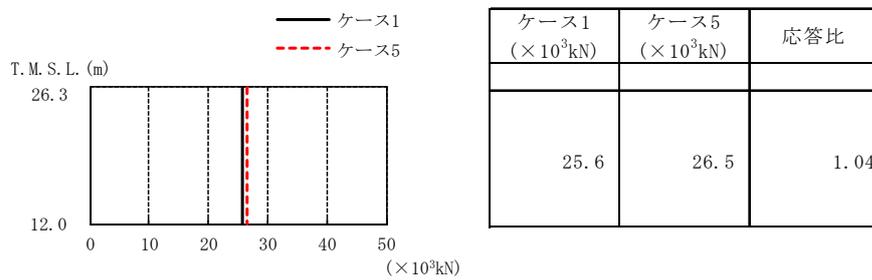


図3-8 最大応答せん断力 (S_s-1, EW方向)

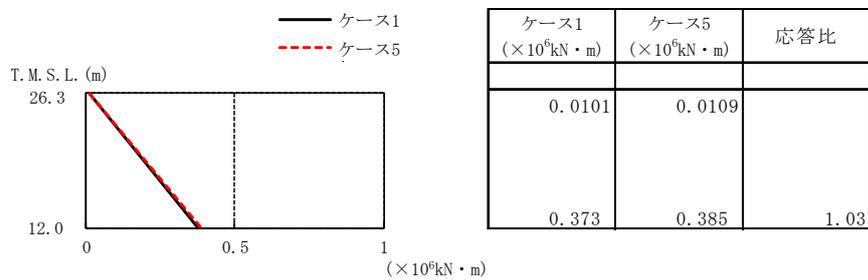


図3-9 最大応答曲げモーメント (S_s-1, EW方向)

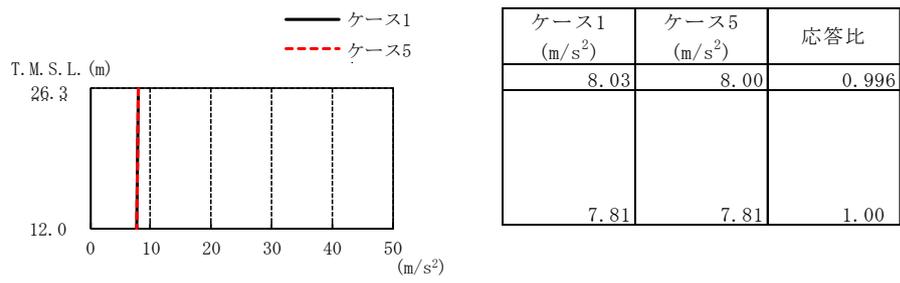


図3-10 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

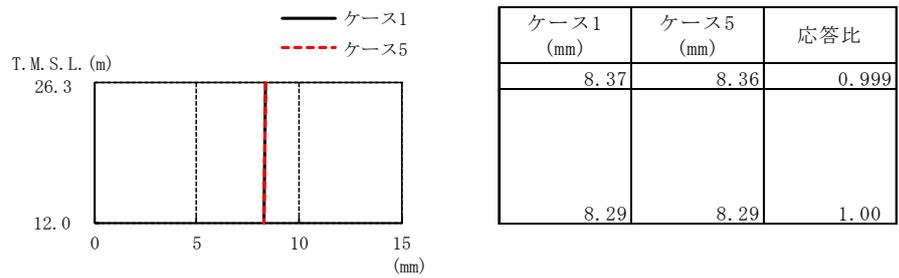


図3-11 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

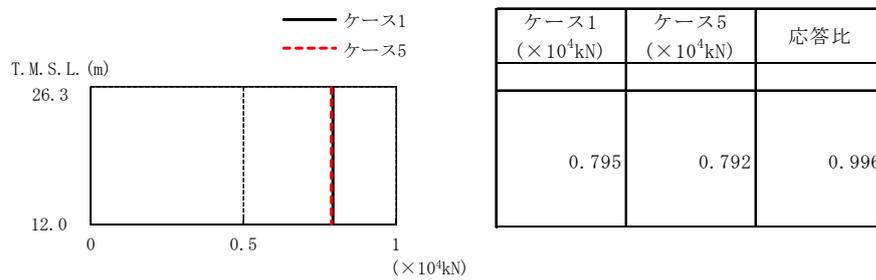


図3-12 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

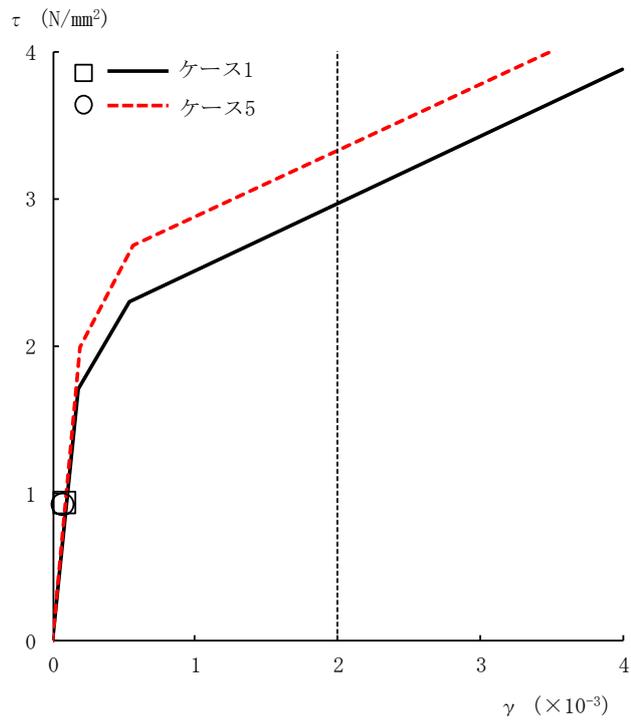


図3-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS方向)

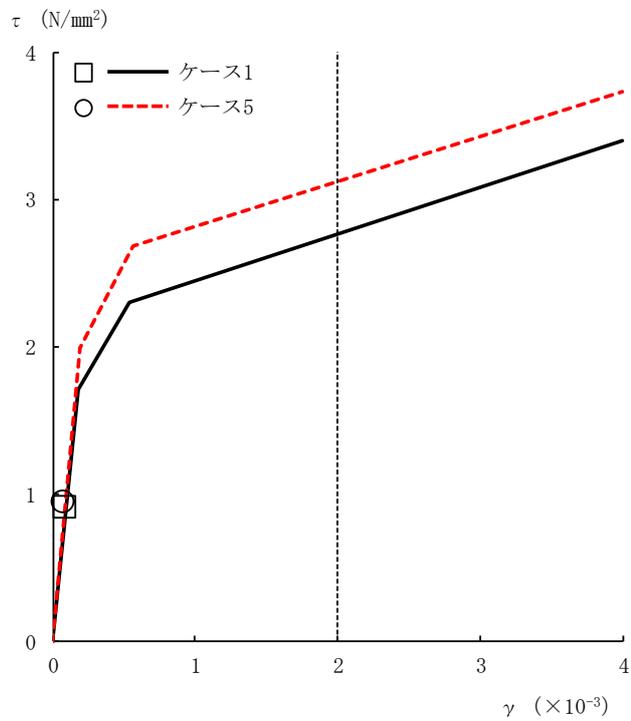


図3-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW方向)

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

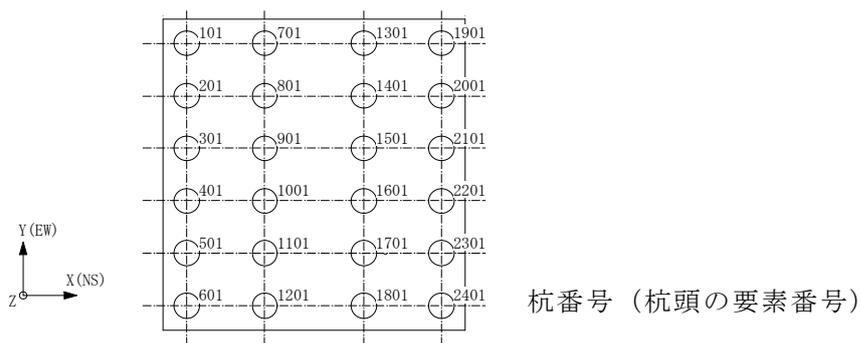
(c) 最大応答曲げモーメント

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



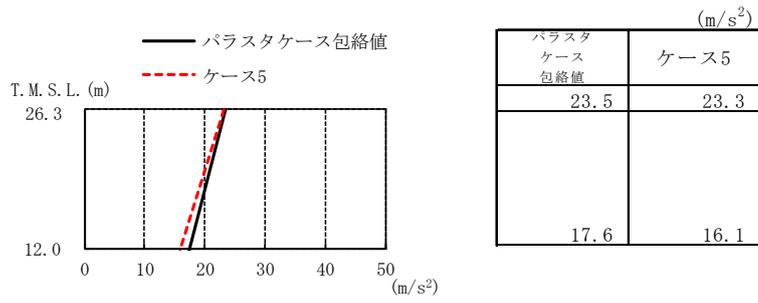


図3-15 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

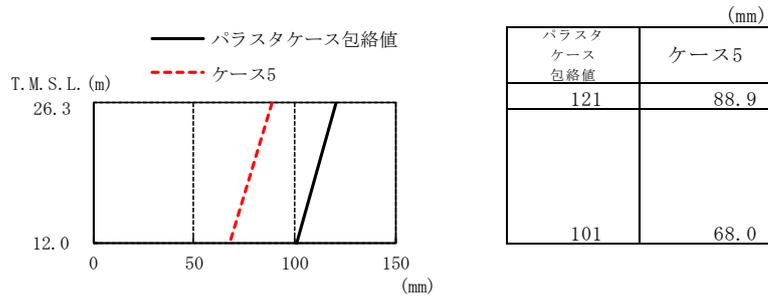


図3-16 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

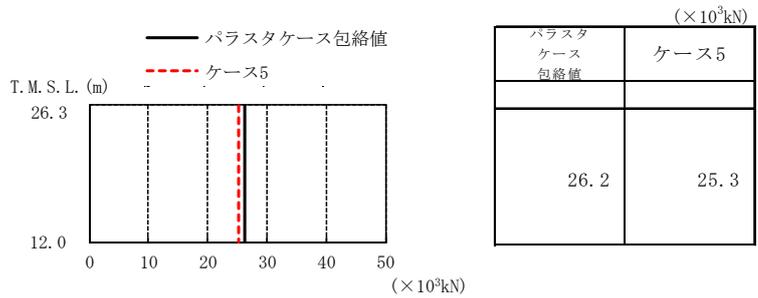


図3-17 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

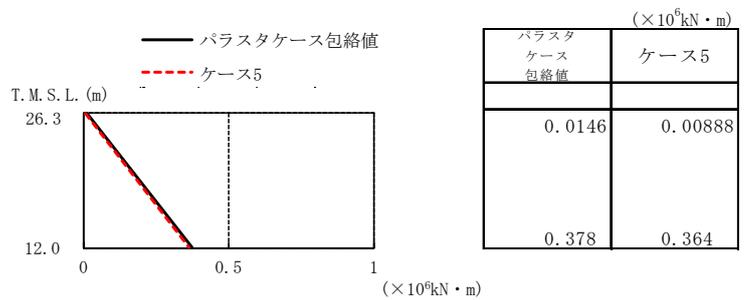


図3-18 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

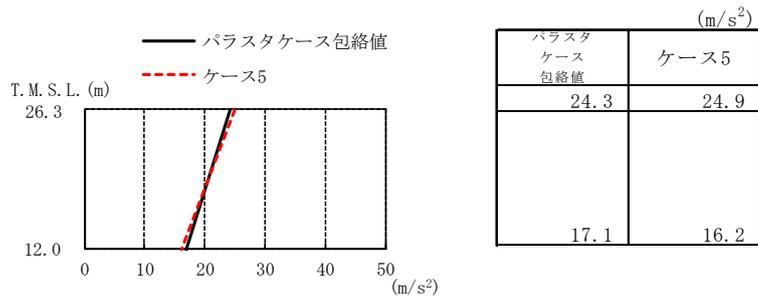


図3-19 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

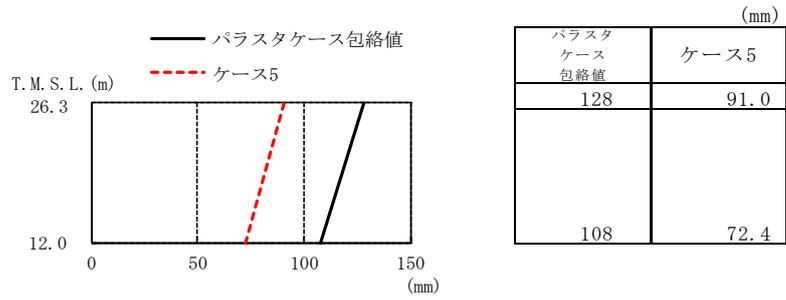


図3-20 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

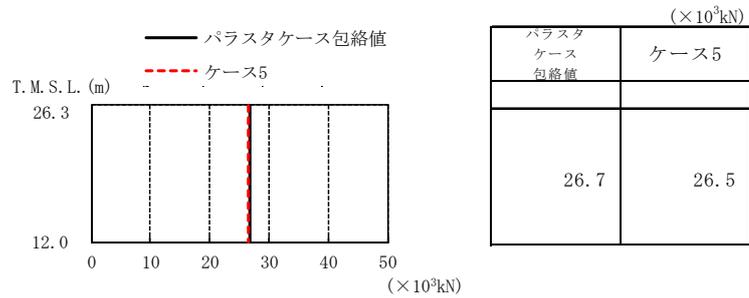


図3-21 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

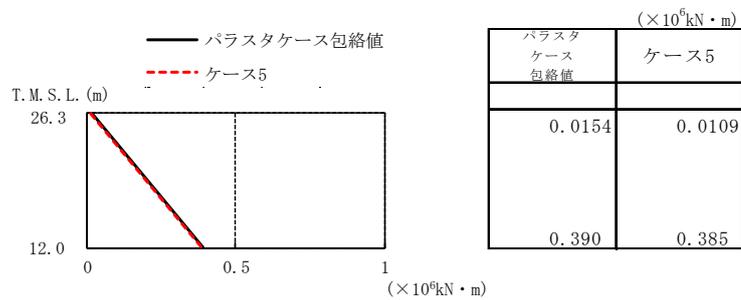


図3-22 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，EW方向）

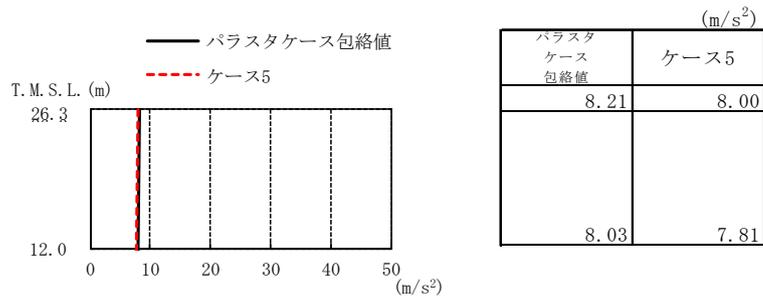


図3-23 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

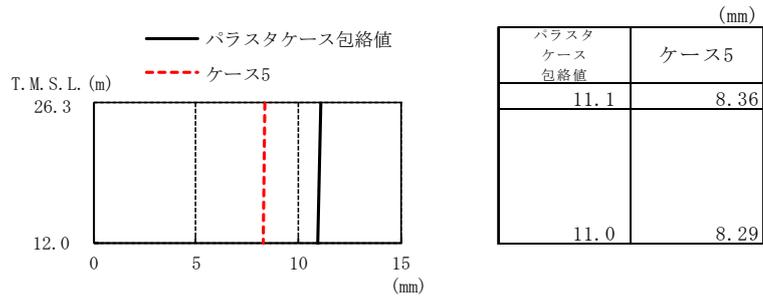


図3-24 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

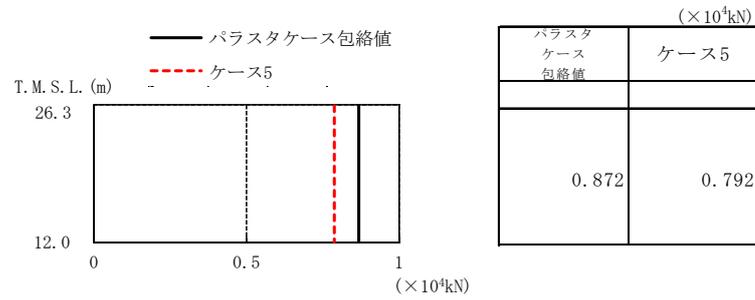


図3-25 最大応答軸力（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

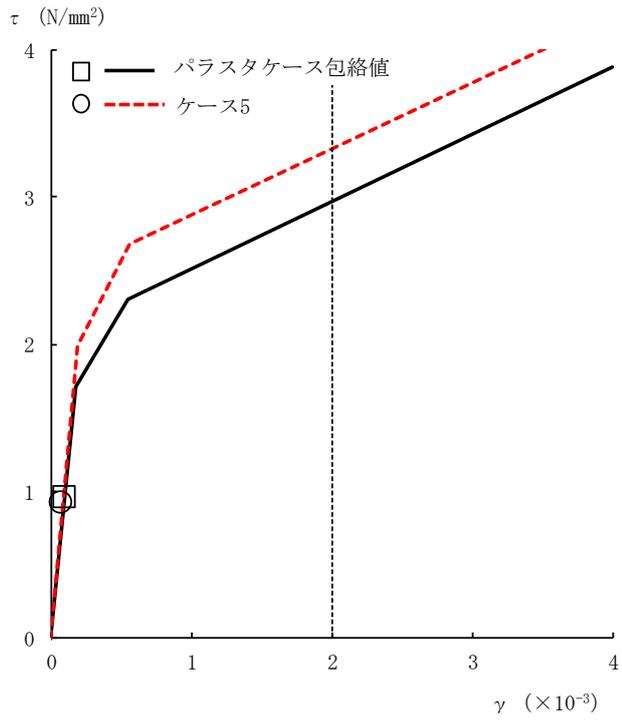


図3-26 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, NS方向)

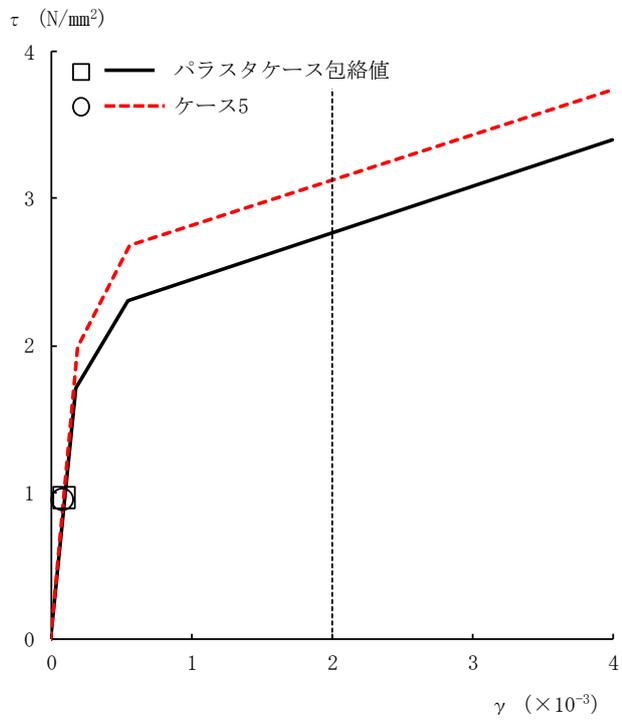


図3-27 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, EW方向)

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

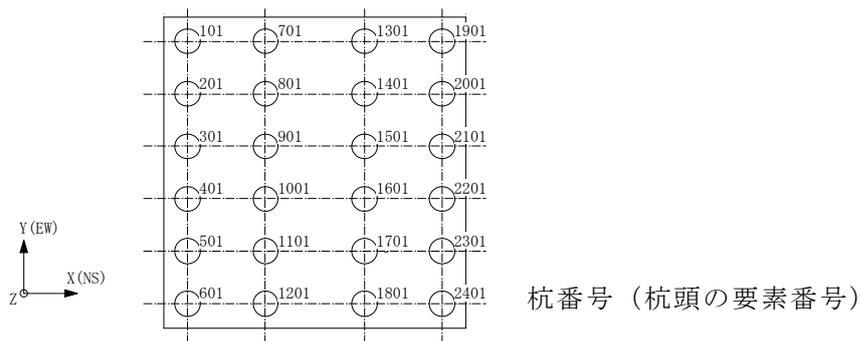
(c) 最大応答曲げモーメント

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Ss-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。

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 (Ss-1)	②ケース5 (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 (③×④)
NS	0.0978	0.0866	0.885	0.101	0.0894
EW	0.0959	0.0884	0.922	0.100	0.0922

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1.0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。

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1.0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	0.999	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

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。

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。

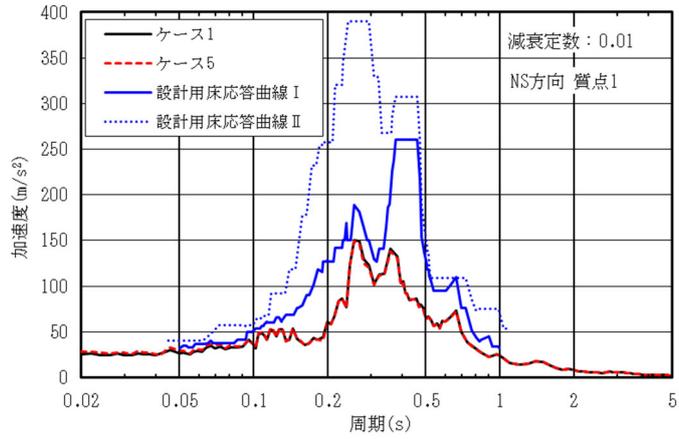
表3-6 装置基礎剛性の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果

	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	<u>必要鉄筋量</u> 設計配筋量	0.549	0.996	0.547	1.00
	EW	<u>必要鉄筋量</u> 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	0.996	4260	5630
	EW	面外せん断力 (kN/m)	3230	1.04	3360	4580

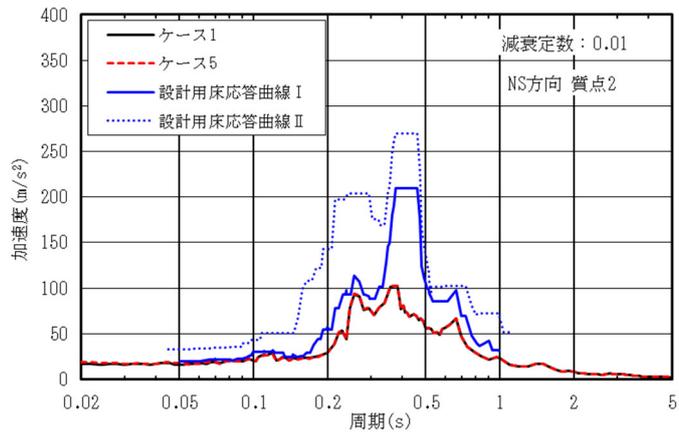
4. 床応答に対する影響

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（設計用床応答曲線）の比較を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

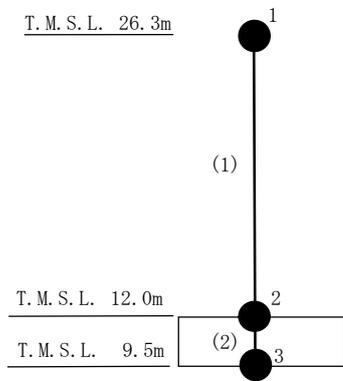
図 4-1 及び図 4-2 に示すとおり，ケース 5 の床応答スペクトルはケース 1 の床応答スペクトルと主要な周期帯（0.05s～0.07s）において同等であり，設計用床応答曲線を下回ることを確認した。



(a) 質点 1

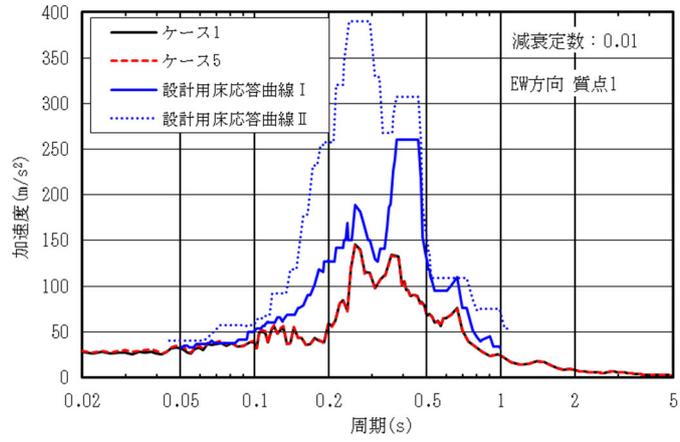


(b) 質点 2

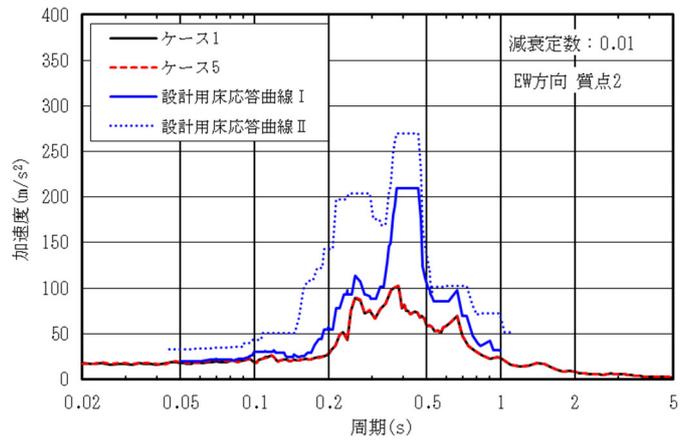


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

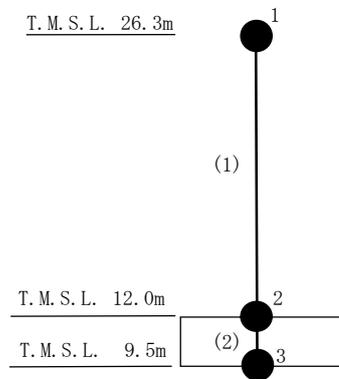
図 4-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(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、装置基礎剛性の不確かさを考慮したモデルの床応答スペクトルは、基本ケース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. 床応答に対する影響	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」に示す通り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。

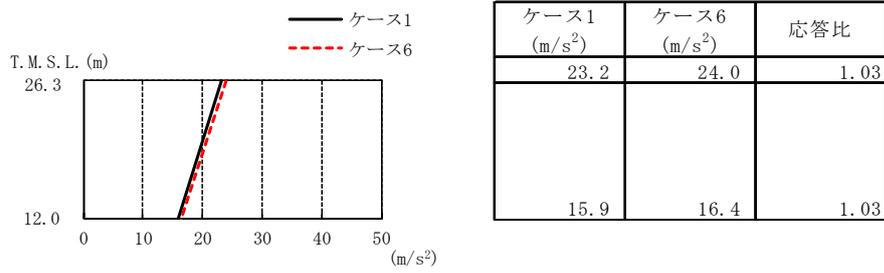


図3-1 最大応答加速度 (S_s-1, NS方向)

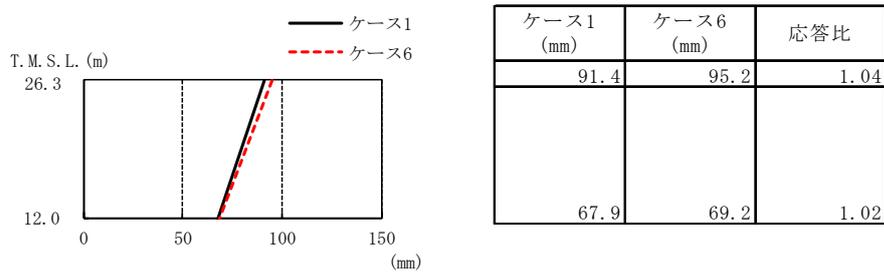


図3-2 最大応答変位 (S_s-1, NS方向)

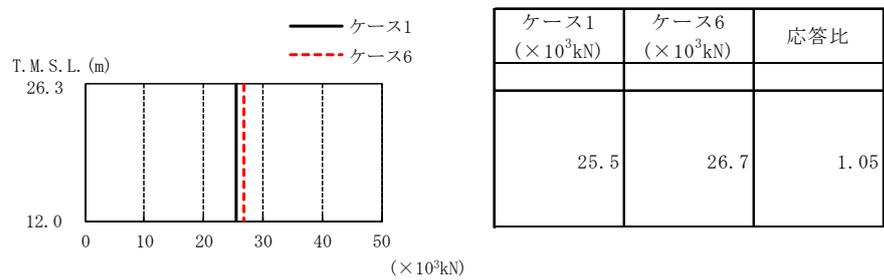


図3-3 最大応答せん断力 (S_s-1, NS方向)

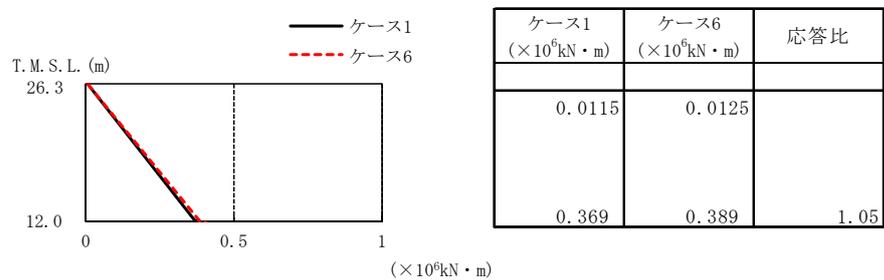


図3-4 最大応答曲げモーメント (S_s-1, NS方向)

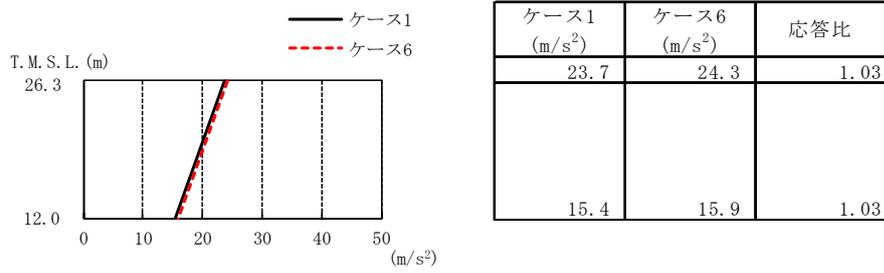


図3-5 最大応答加速度 (S_s-1, EW方向)

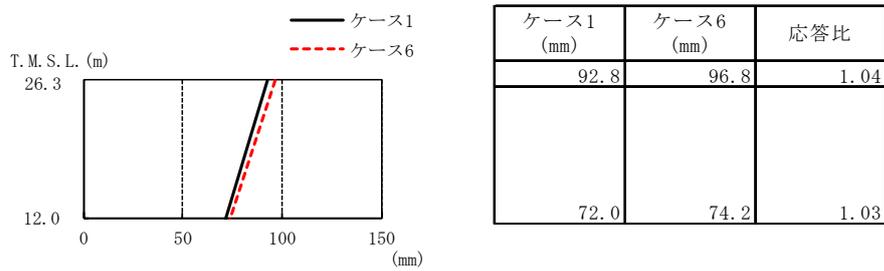


図3-6 最大応答変位 (S_s-1, EW方向)

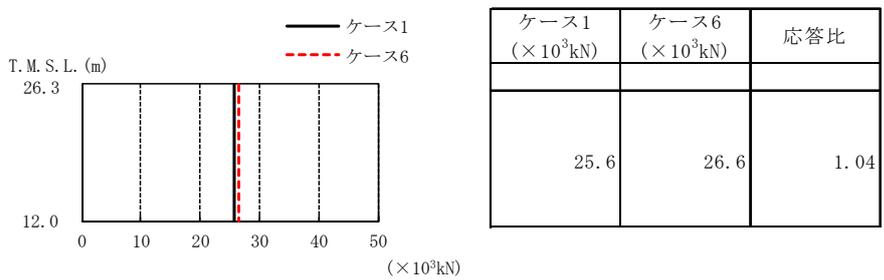


図3-7 最大応答せん断力 (S_s-1, EW方向)

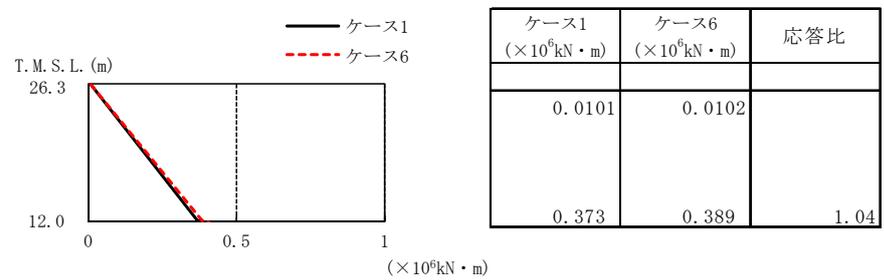


図3-8 最大応答曲げモーメント (S_s-1, EW方向)

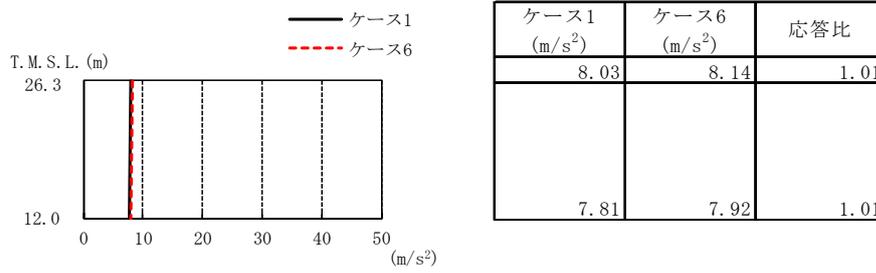


図3-9 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

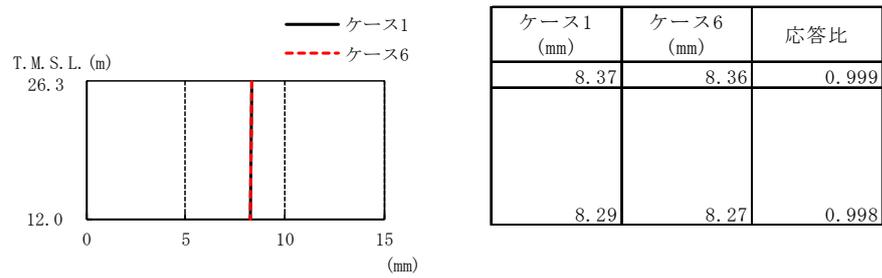


図3-10 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

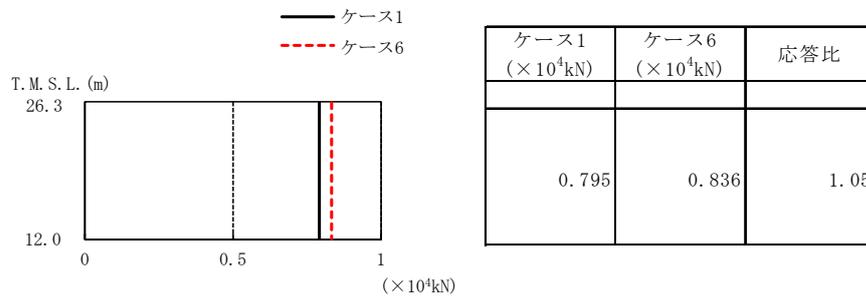


図3-11 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

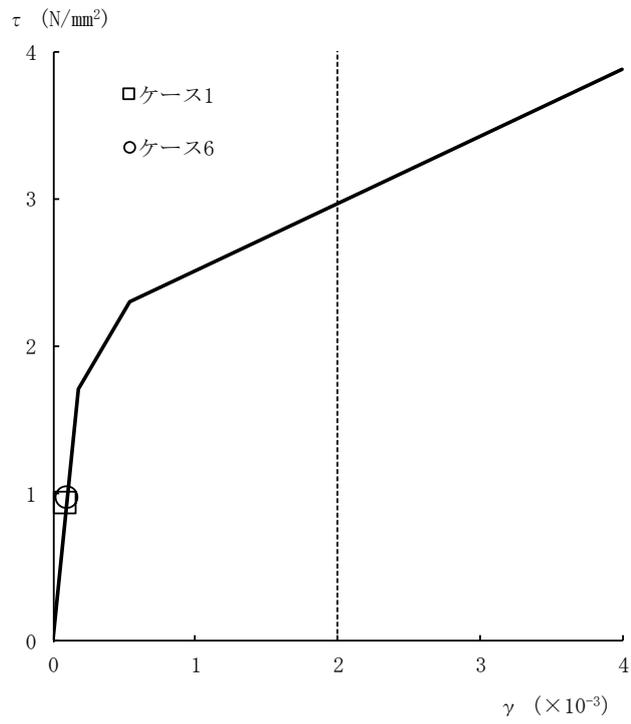


図3-12 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS方向)

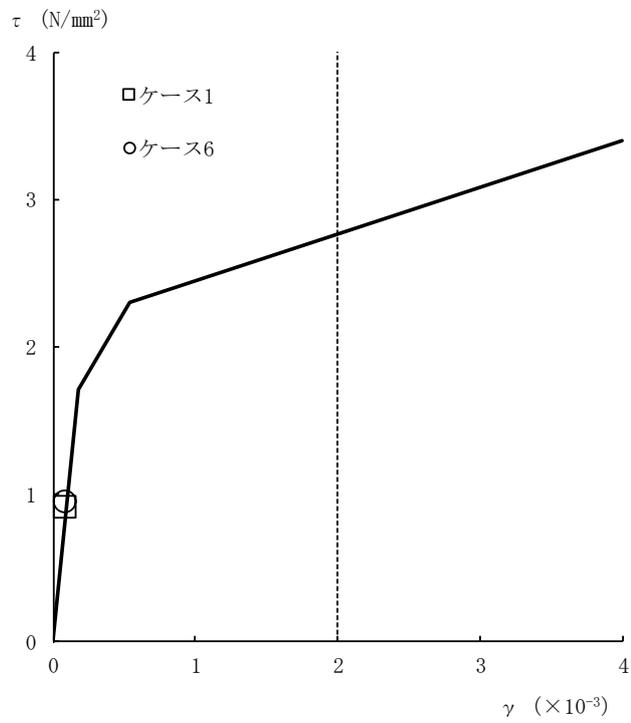


図3-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW方向)

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

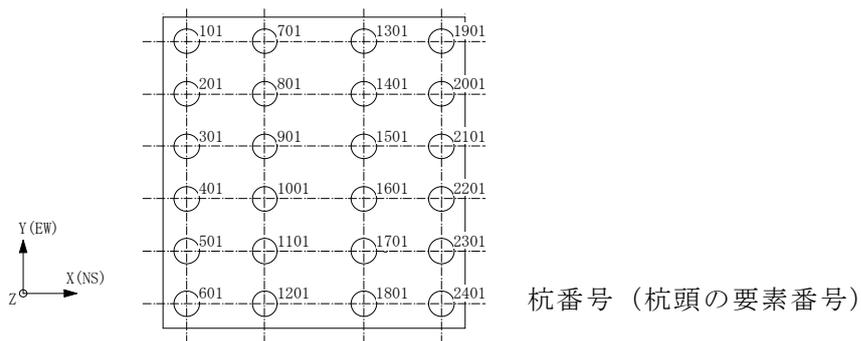
(c) 最大応答曲げモーメント

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



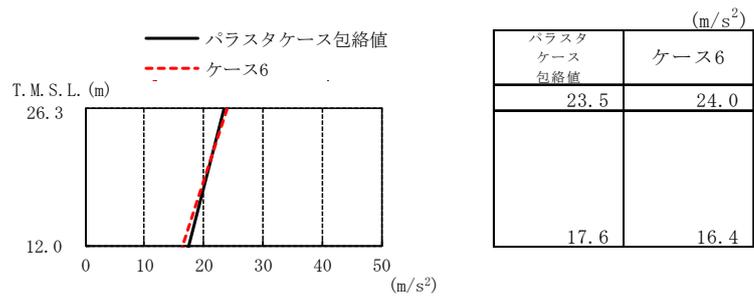


図3-14 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

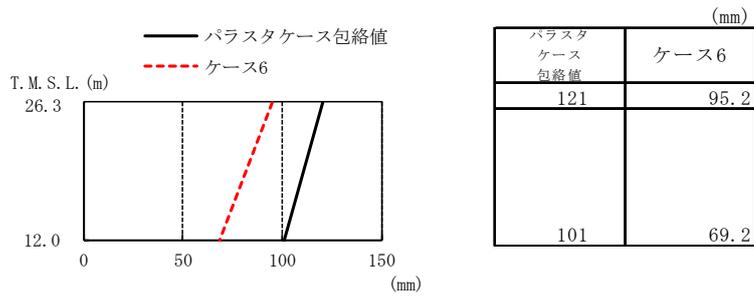


図3-15 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

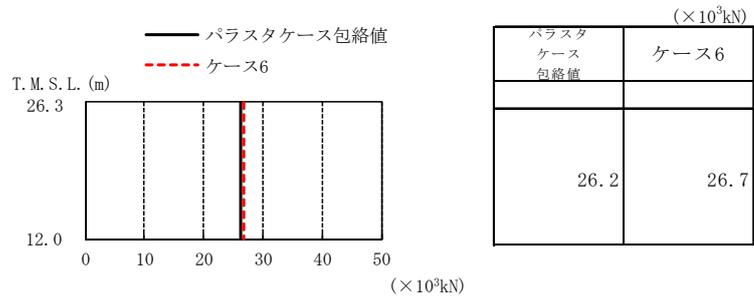


図3-16 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

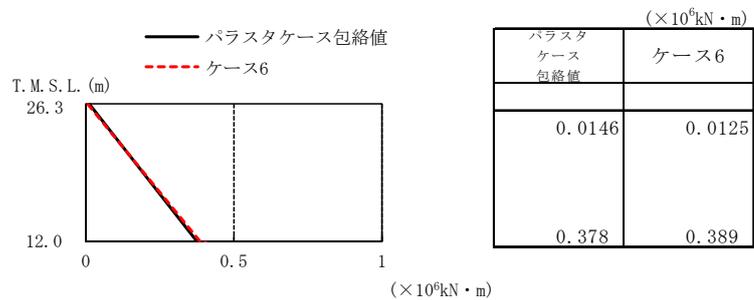


図3-17 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

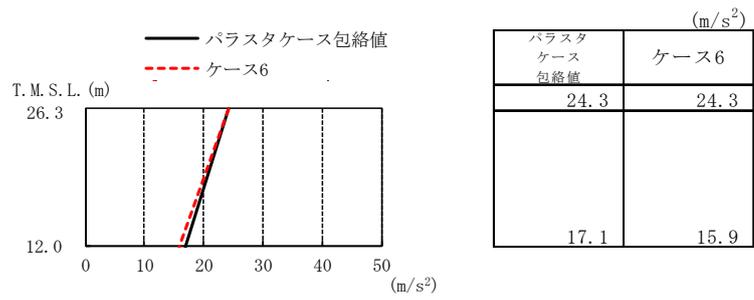


図3-18 最大応答加速度（バラストケース包絡値との比較，EW方向）

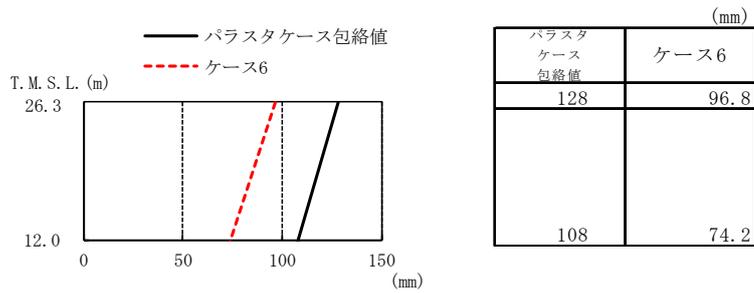


図3-19 最大応答変位（バラストケース包絡値との比較，EW方向）

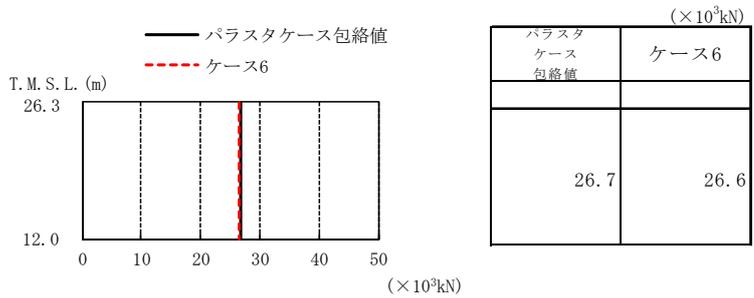


図3-20 最大応答せん断力（バラストケース包絡値との比較，EW方向）

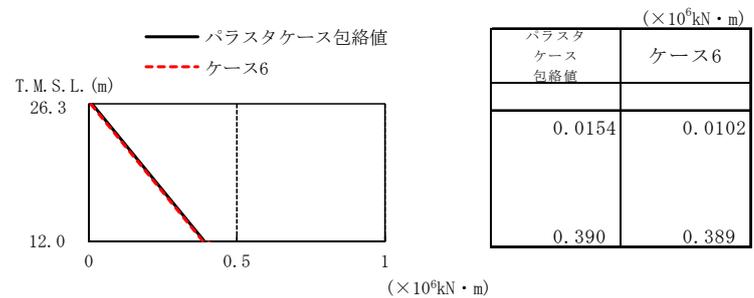


図3-21 最大応答曲げモーメント（バラストケース包絡値との比較，EW方向）

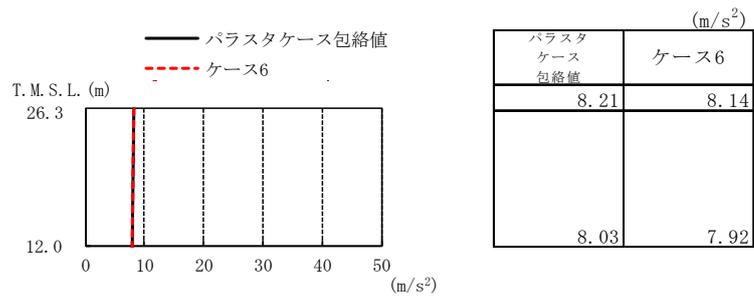


図3-22 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

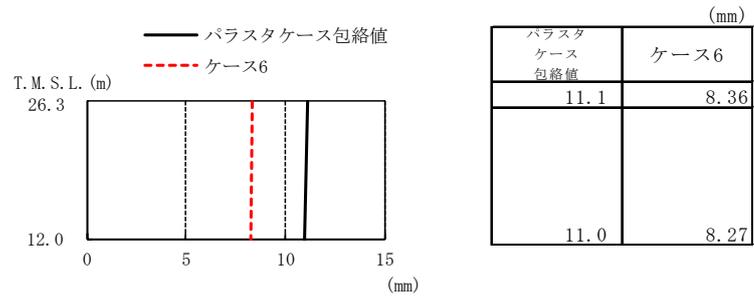


図3-23 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

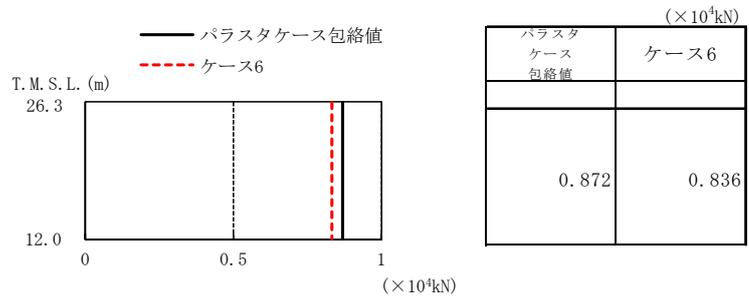


図3-24 最大応答軸力（パラスタケース包絡値との比較，鉛直方向）

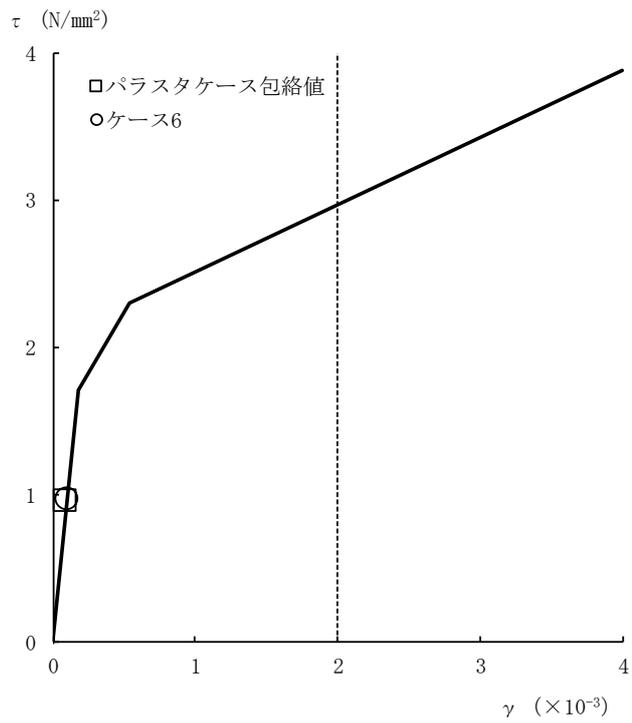


図3-25 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, NS方向)

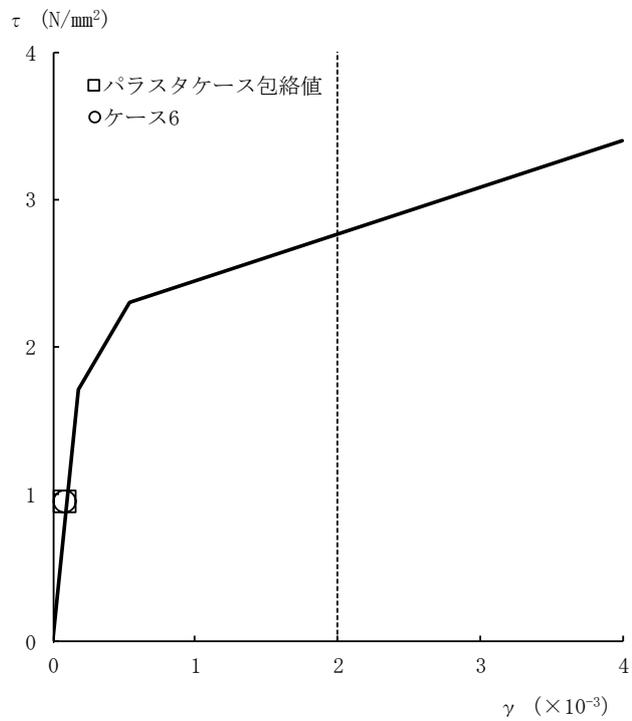


図3-26 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, EW方向)

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

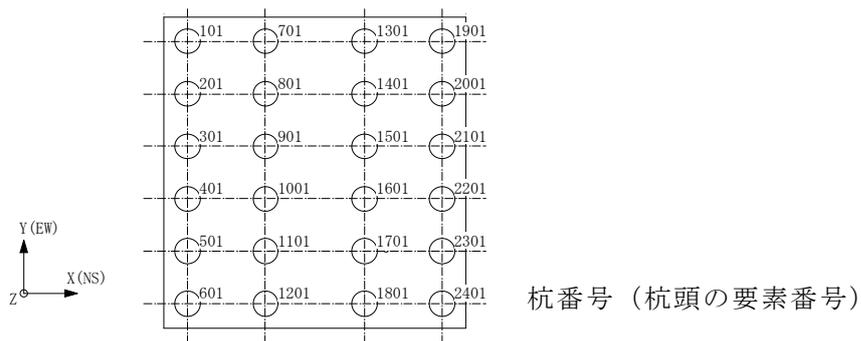
(c) 最大応答曲げモーメント

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1.0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1.0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。

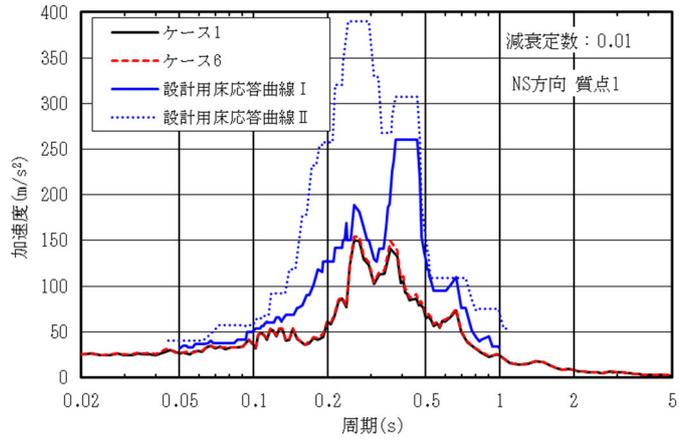
表3-5 装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果

	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

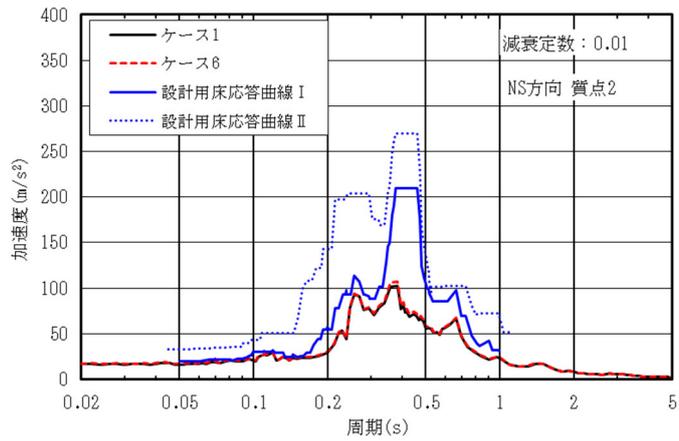
4. 床応答に対する影響

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（設計用床応答曲線）の比較を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

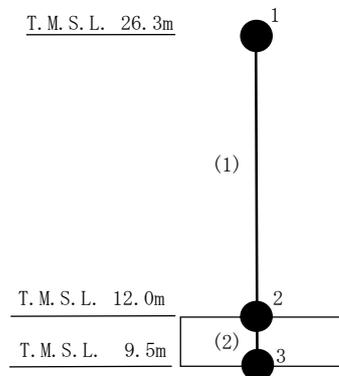
図 4-1 及び図 4-2 に示すとおり，ケース 6 の床応答スペクトルはケース 1 の床応答スペクトルと主要な周期帯（0.05s～0.07s）において同等であり，設計用床応答曲線を下回ることを確認した。



(a) 質点 1

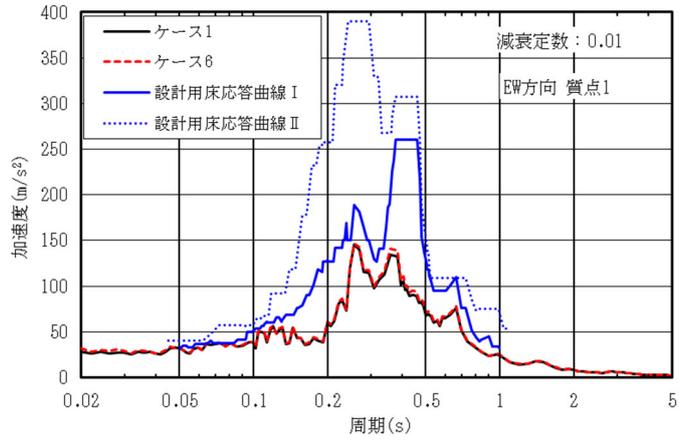


(b) 質点 2

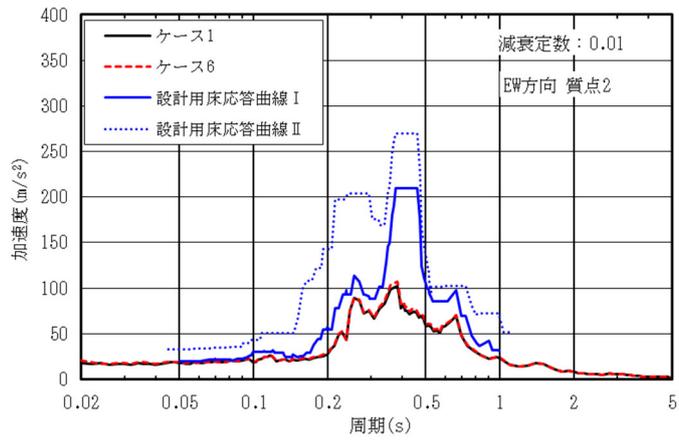


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

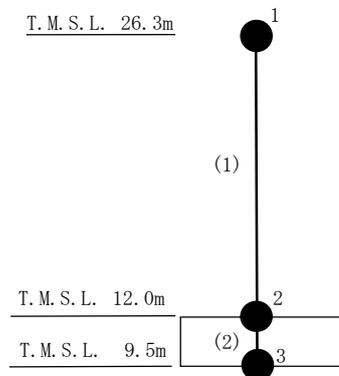
図 4-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(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は、基本ケース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. 床応答に対する影響	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（+1σ）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			
	置換 (開削)	1650	19.4			
-10.6						

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	$1/(1+10.1 \gamma^{1.21})$	$\gamma / (0.172 \gamma + 0.00783) + 0.401$
	置換 (開削)	840	18.1	0.302	$1/(1+10.1 \gamma^{1.21})$	$\gamma / (0.172 \gamma + 0.00783) + 0.401$
-10.6						

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。

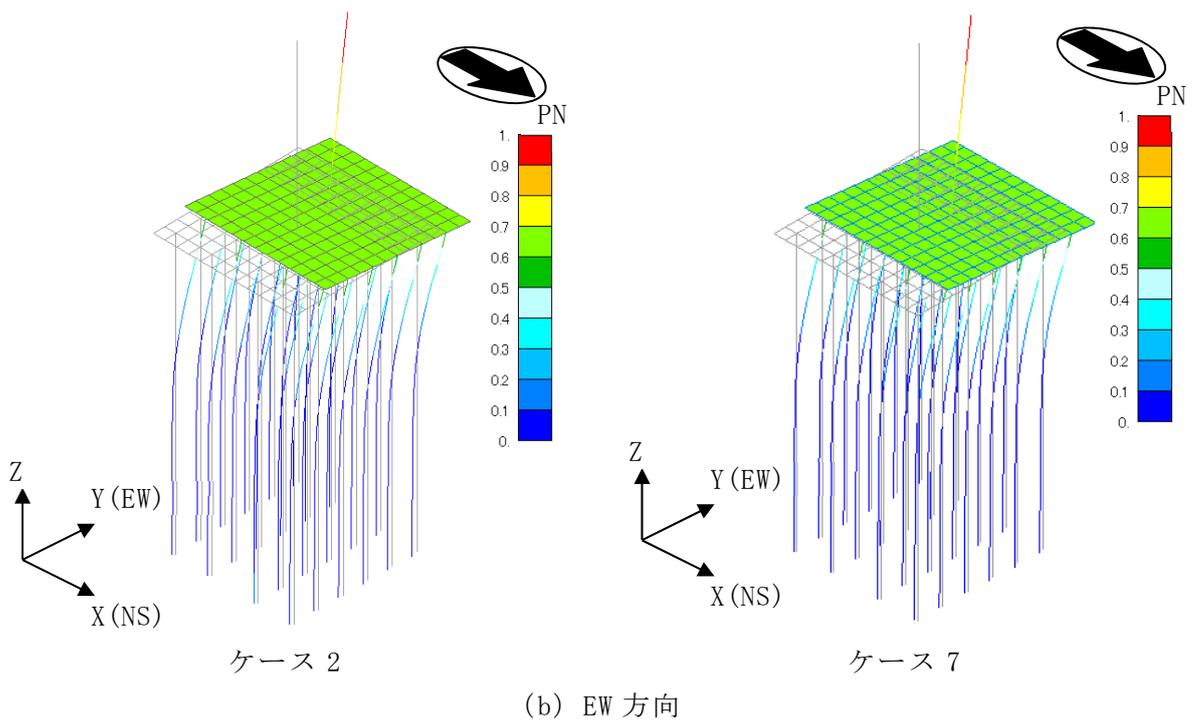
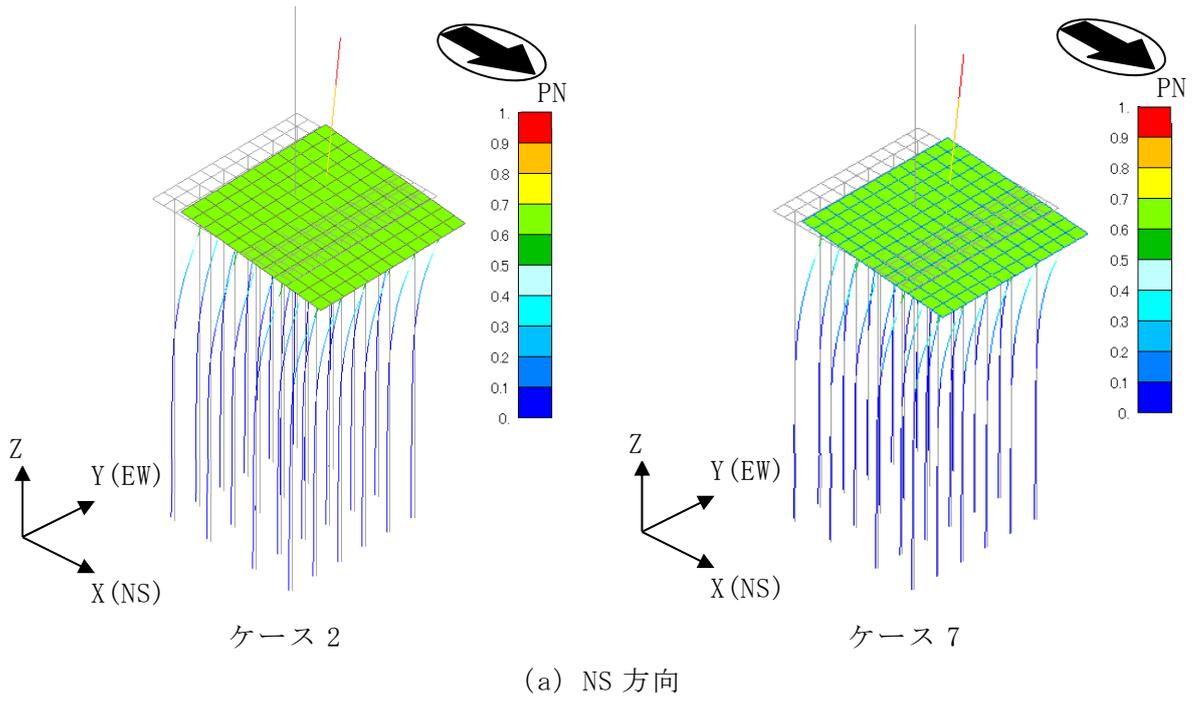
表 3-1 固有値解析結果 (Ss-1)

(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)

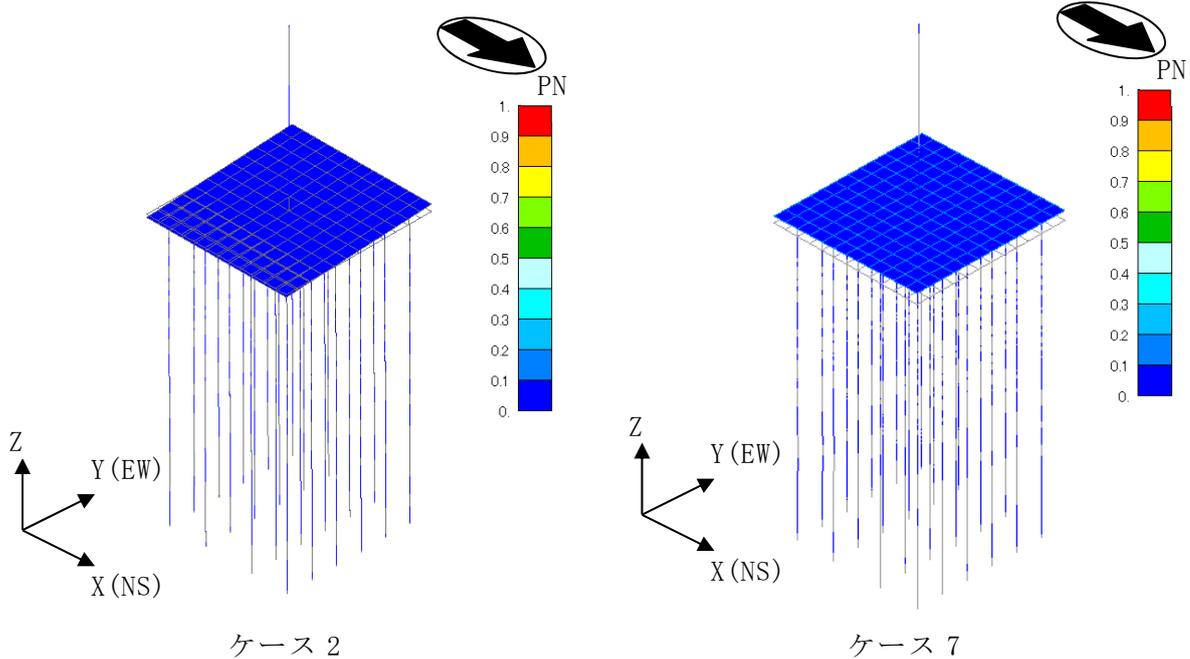
注 1 : 建屋-杭連成一次モード

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 S_s-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 S_s-1 ～ S_s-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。

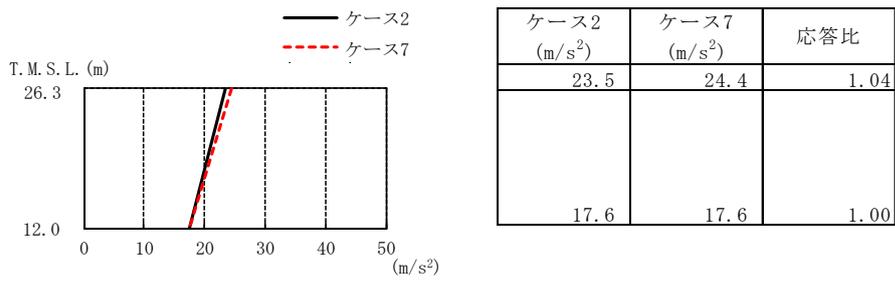


図3-2 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

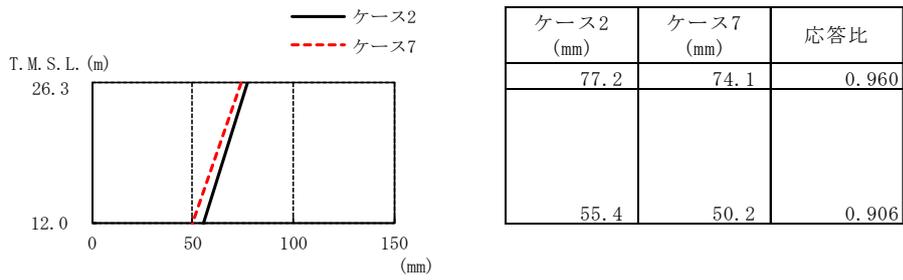


図3-3 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

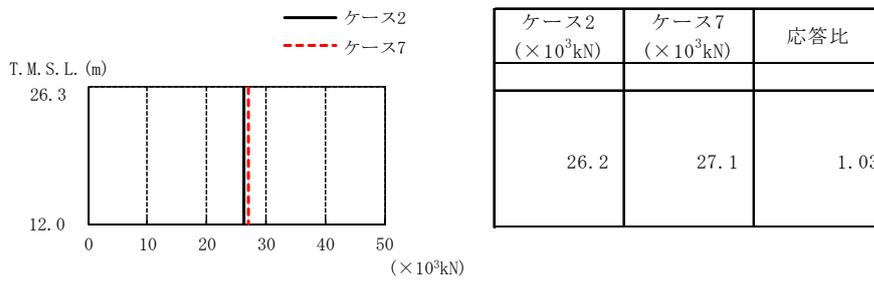


図3-4 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

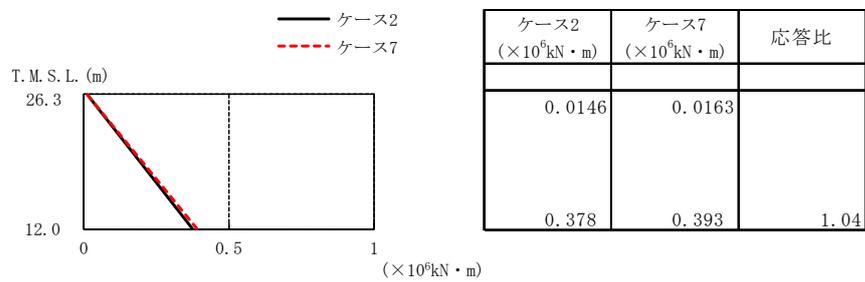


図3-5 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

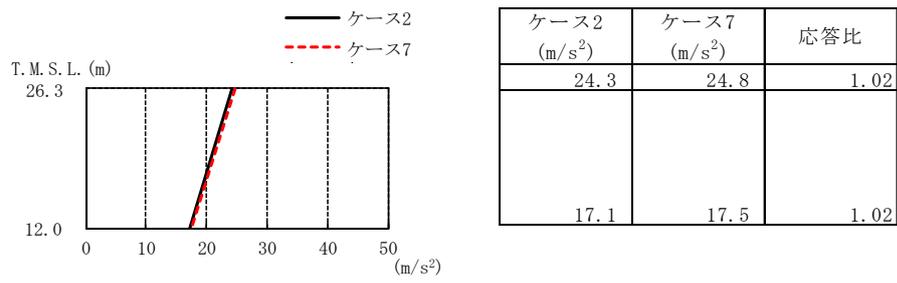


図3-6 最大応答加速度 (S_s-1, EW方向)

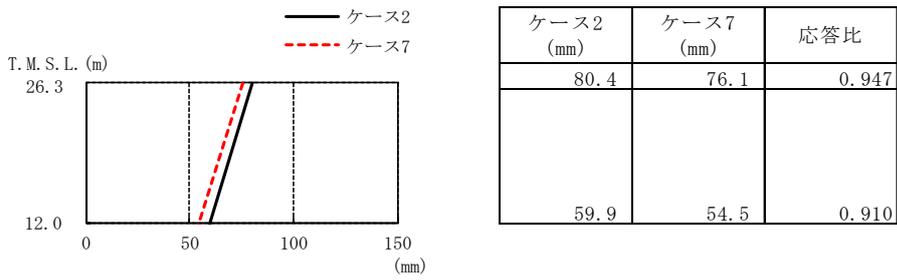


図3-7 最大応答変位 (S_s-1, EW方向)

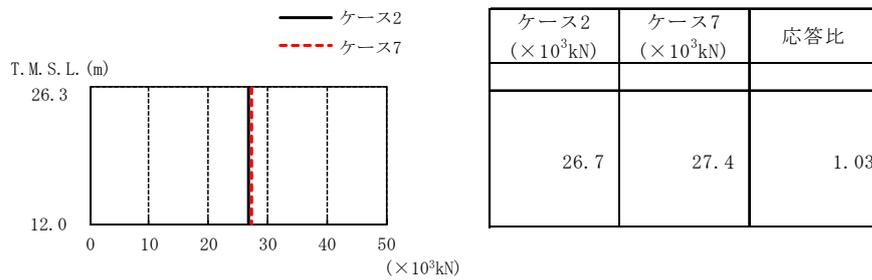


図3-8 最大応答せん断力 (S_s-1, EW方向)

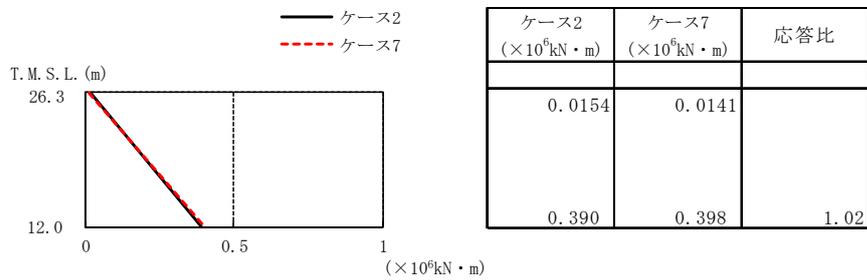


図3-9 最大応答曲げモーメント (S_s-1, EW方向)

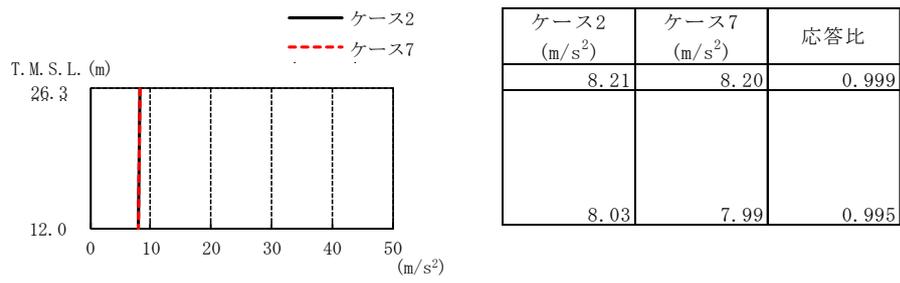


図3-10 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

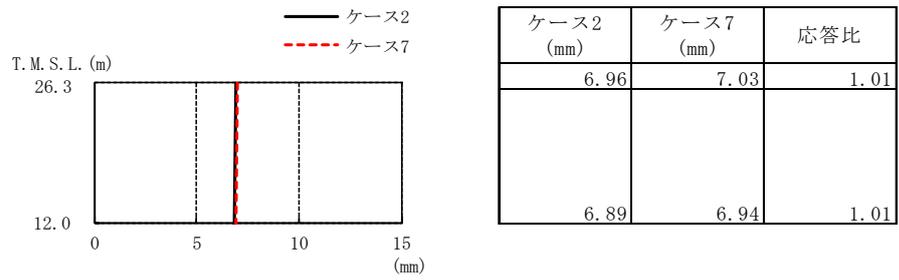


図3-11 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

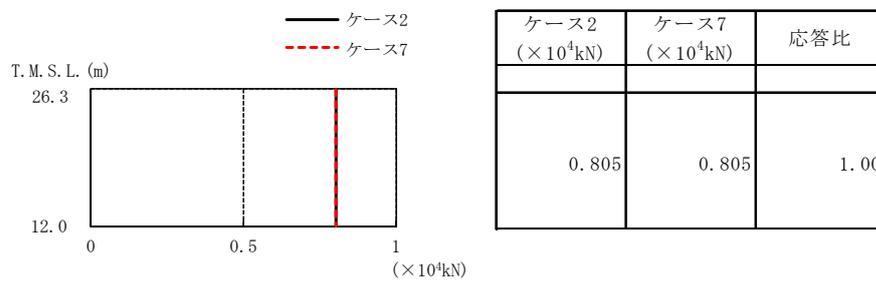


図3-12 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

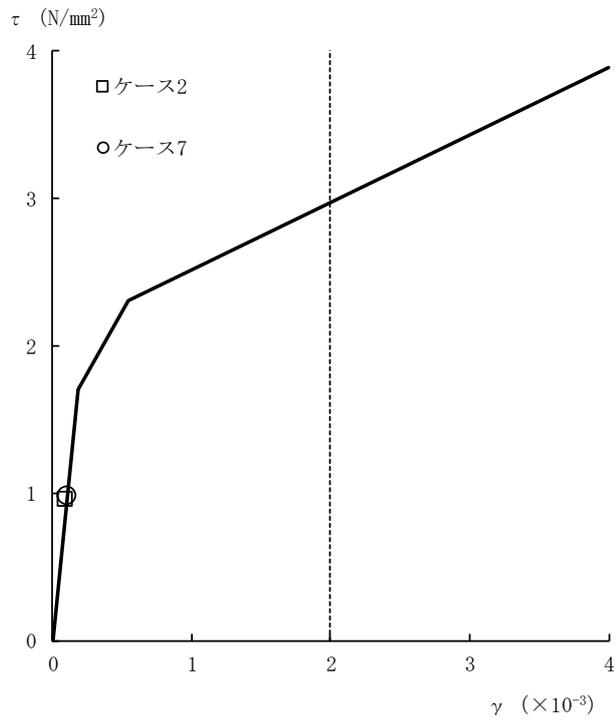


図3-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS方向)

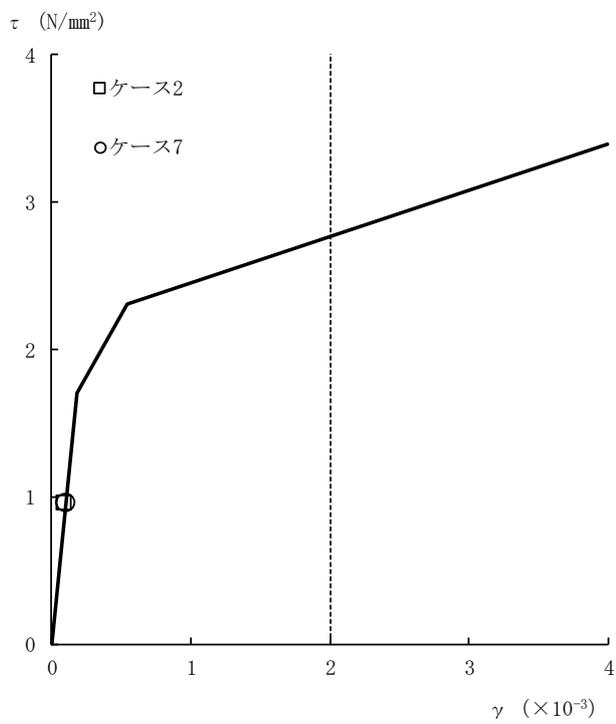


図3-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW方向)

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

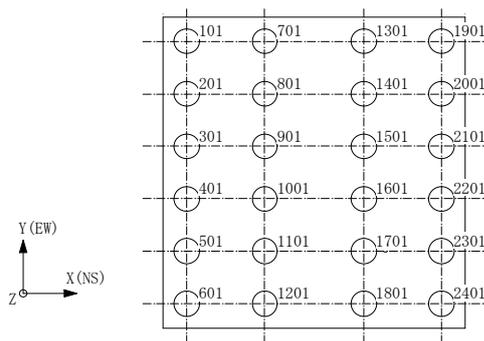
(c) 最大応答曲げモーメント

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



杭番号（杭頭の要素番号）

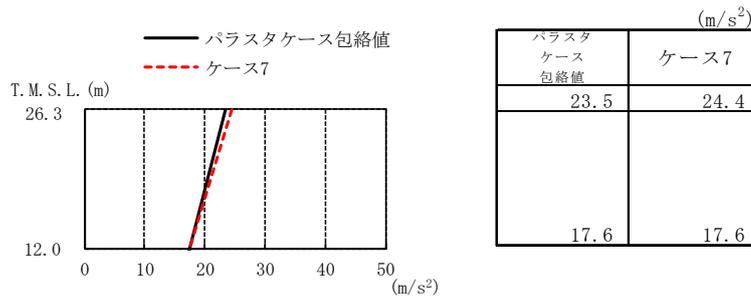


図3-15 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

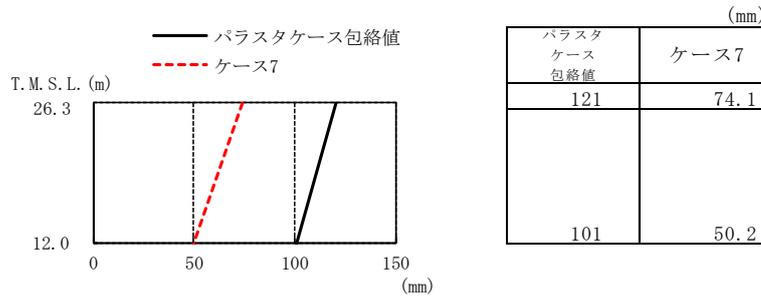


図3-16 最大応答変位（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

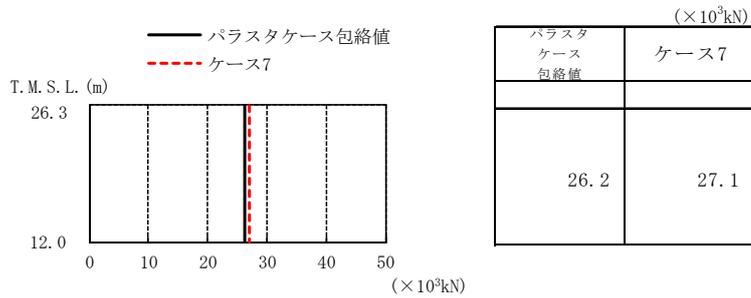


図3-17 最大応答せん断力（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

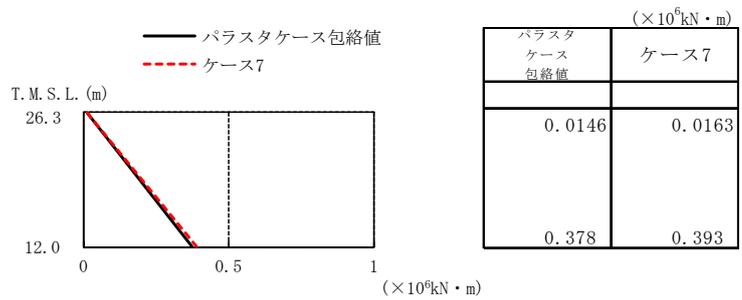


図3-18 最大応答曲げモーメント（パラスタケース包絡値との比較，NS方向）

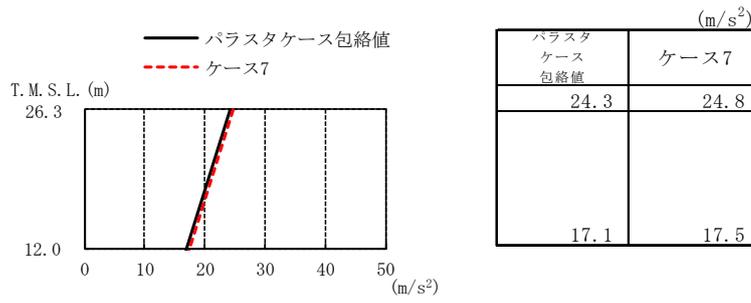


図3-19 最大応答加速度（パラストケース包絡値との比較，EW方向）

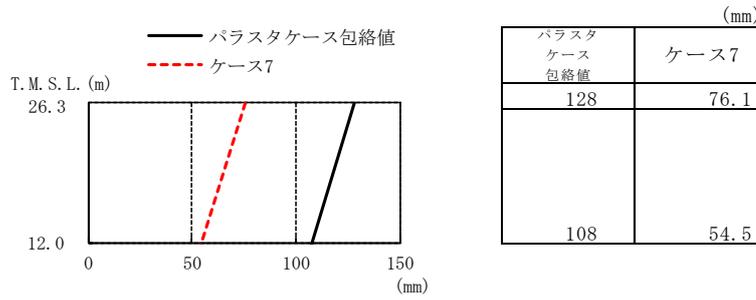


図3-20 最大応答変位（パラストケース包絡値との比較，EW方向）

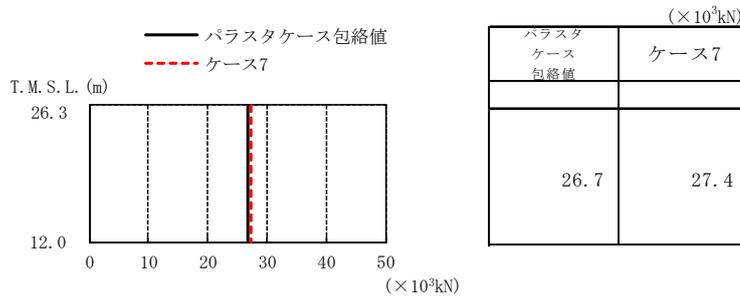


図3-21 最大応答せん断力（パラストケース包絡値との比較，EW方向）

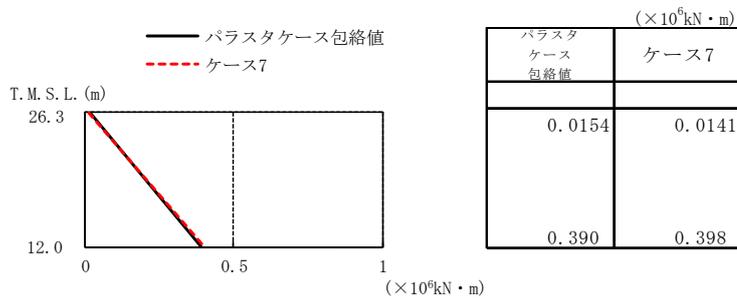


図3-22 最大応答曲げモーメント（パラストケース包絡値との比較，EW方向）

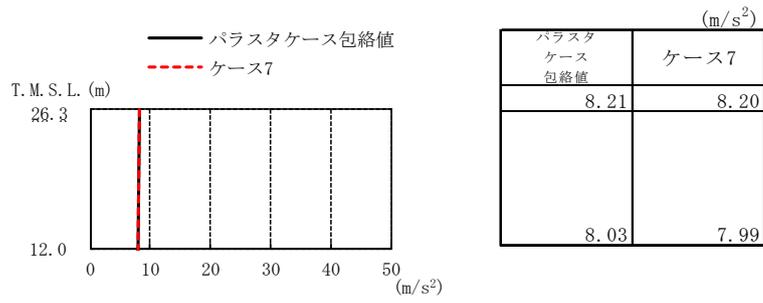


図3-23 最大応答加速度（バラストケース包絡値との比較，鉛直方向）

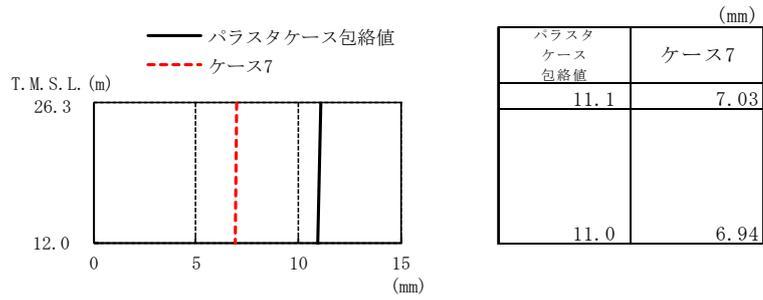


図3-24 最大応答変位（バラストケース包絡値との比較，鉛直方向）

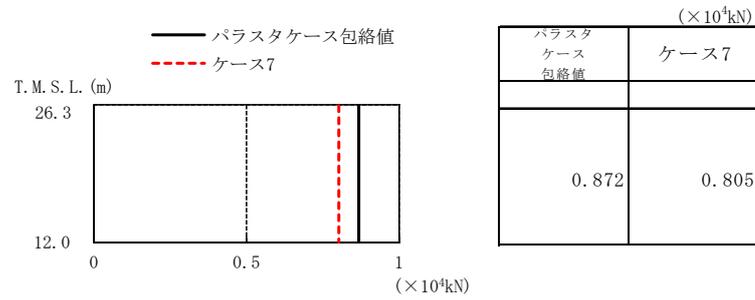


図3-25 最大応答軸力（バラストケース包絡値との比較，鉛直方向）

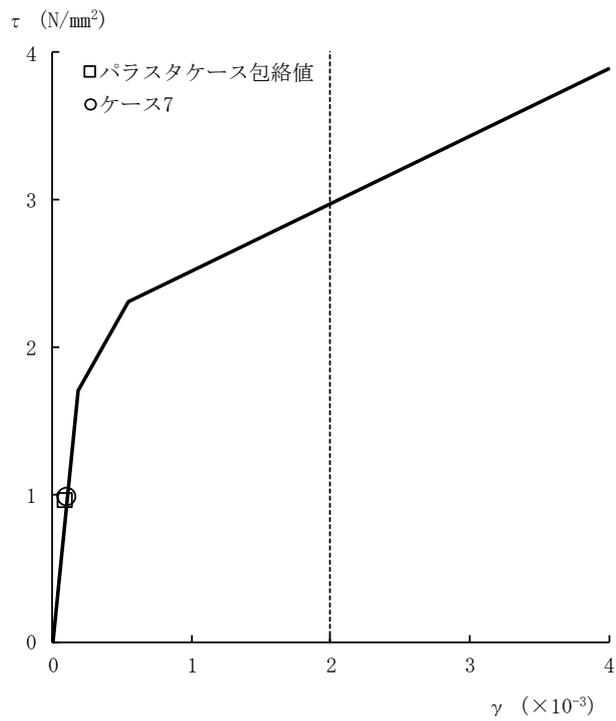


図3-26 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, NS方向)

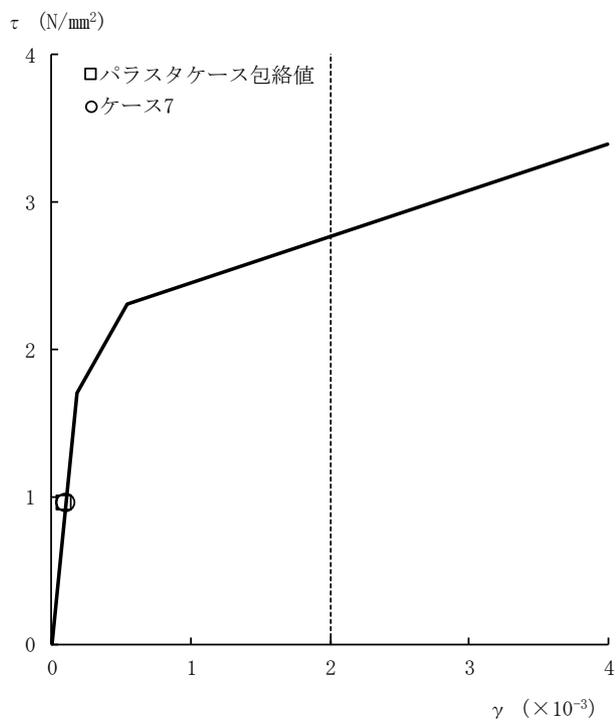


図3-27 せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(パラスタケース包絡値との比較, EW方向)

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} ($\times 10^3$ kN)	杭番号	N _{max} ($\times 10^3$ 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} ($\times 10^3$ kN)	杭番号	N _{min} ($\times 10^3$ kN)
601	-9.91	601	-7.45

注：圧縮を正，引張を負とする

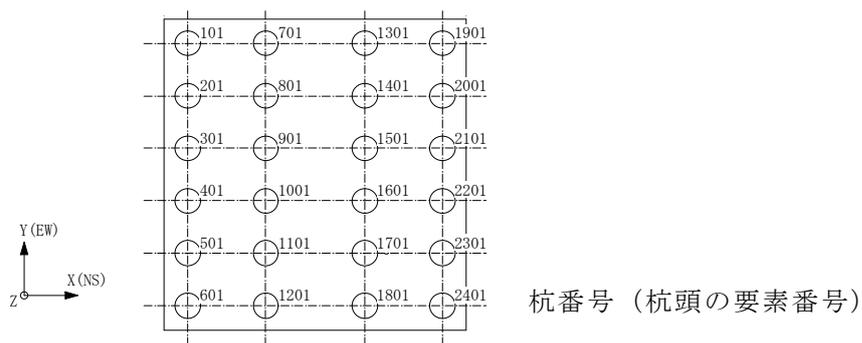
(c) 最大応答曲げモーメント

パラスタケース包絡値			ケース7		
杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	M _{max} ($\times 10^4$ kN・m)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	M _{max} ($\times 10^4$ 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} ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Q _{max} ($\times 10^3$ 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1.0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1.0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。

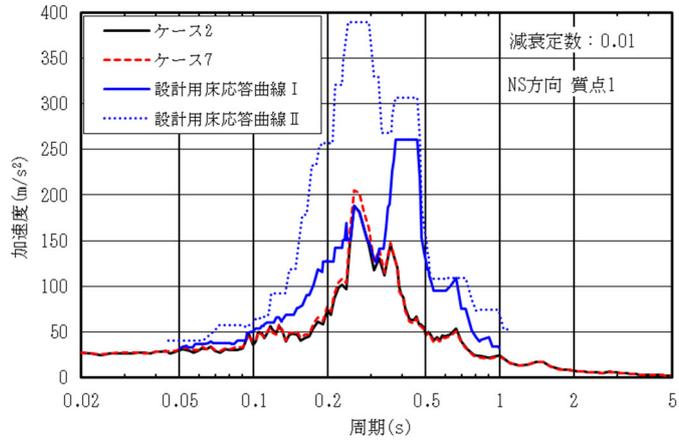
表3-6 地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した基礎スラブの評価結果

	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

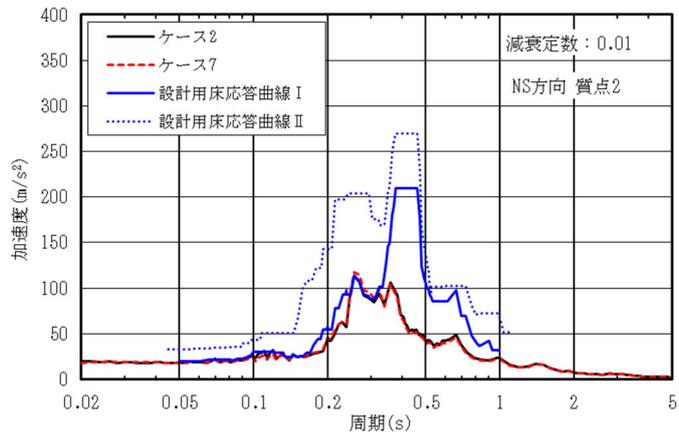
4. 床応答に対する影響

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（設計用床応答曲線）の比較を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

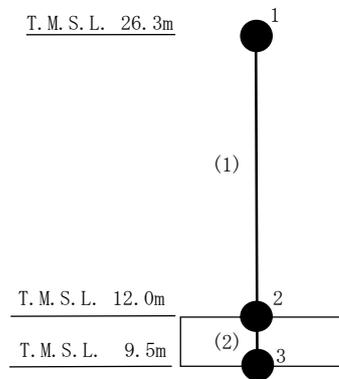
図 4-1 及び図 4-2 に示すとおり，ケース 7 の床応答スペクトルはケース 2 の床応答スペクトルと主要な周期帯（ $0.05s \sim 0.07s$ ）において同等であり，設計用床応答曲線を下回ることを確認した。



(a) 質点 1

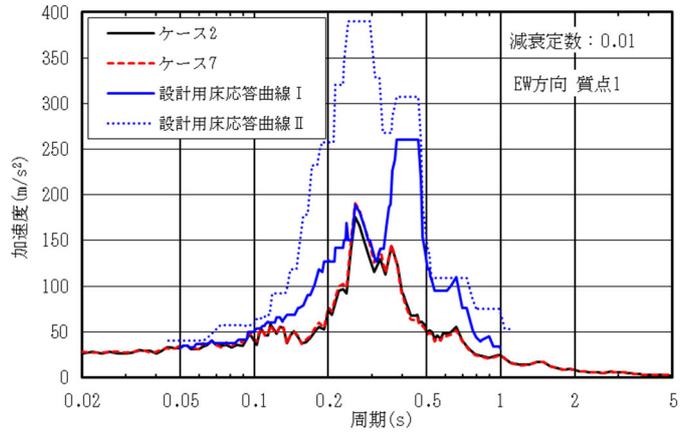


(b) 質点 2

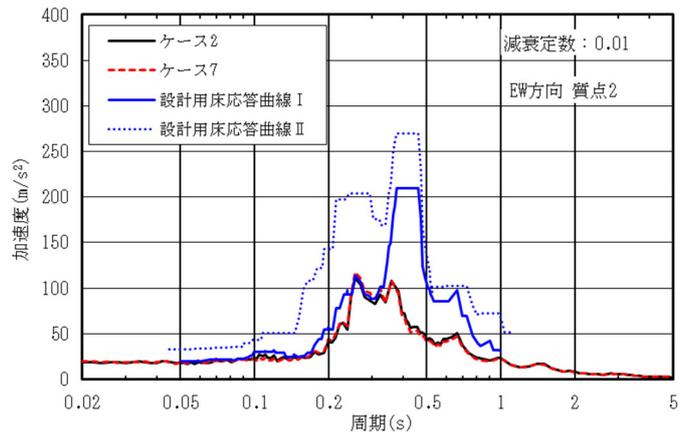


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

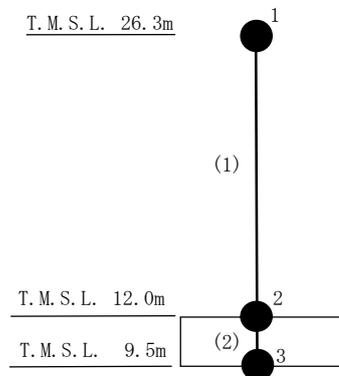
図 4-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(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、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主要な周期帯において同等であり、設計用床応答曲線を下回ることから、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。