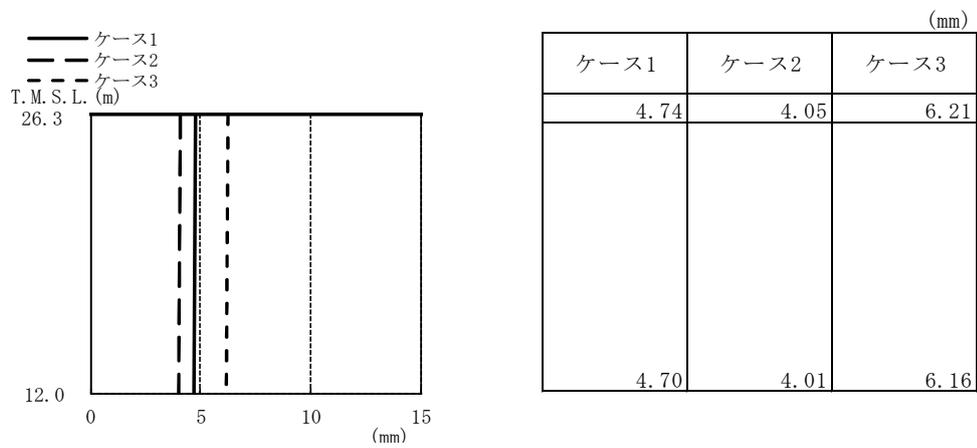
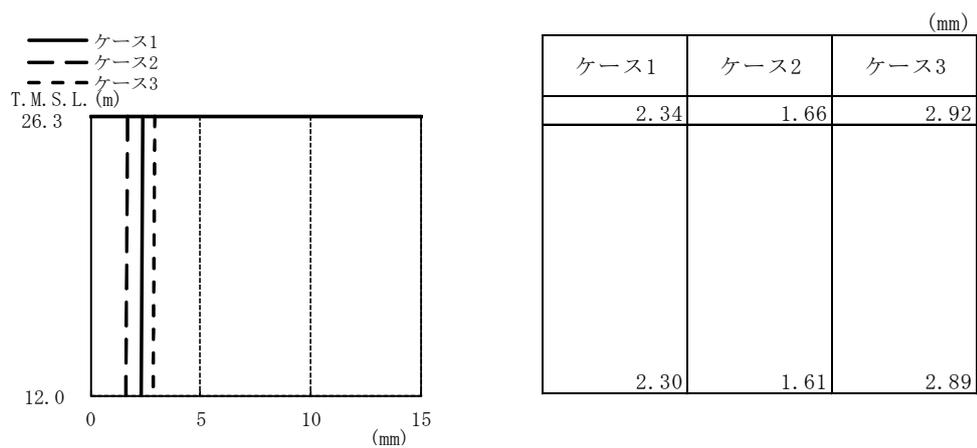


(a) Ss-1

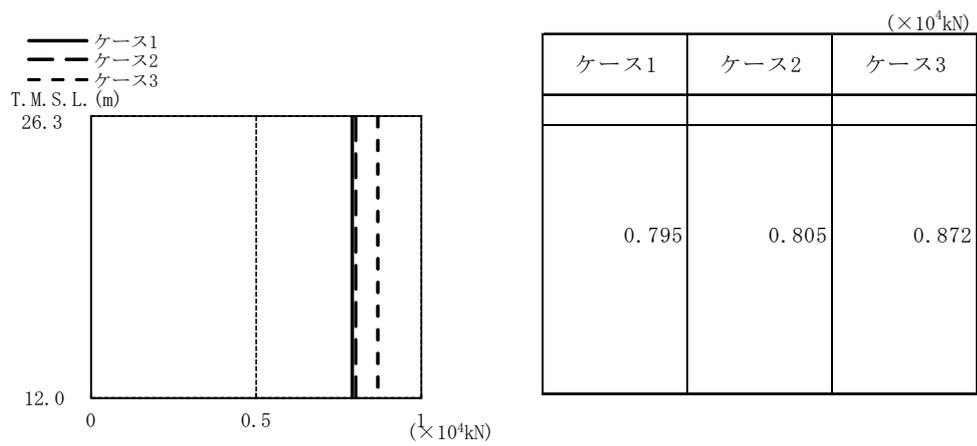


(b) Ss-2

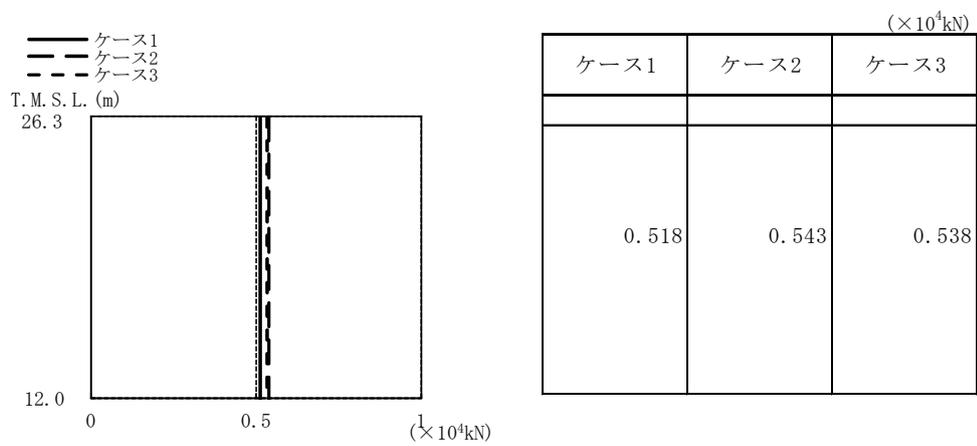


(c) Ss-8

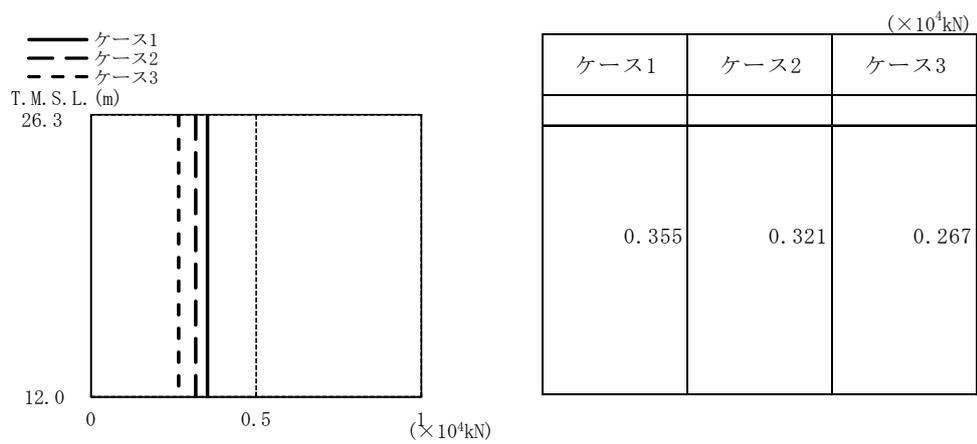
図2-10 最大応答変位 (基準地震動 S s , 鉛直方向)



(a) Ss-1



(b) Ss-2



(c) Ss-8

図2-11 最大応答軸力 (基準地震動 S s , 鉛直方向)

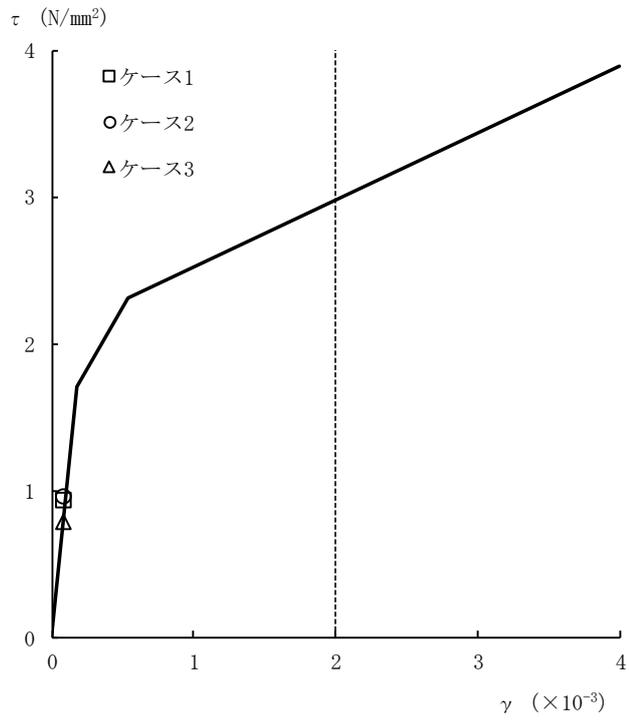


図2-12 $\tau - \gamma$ 関係と最大応答値 (Ss-1, NS方向)

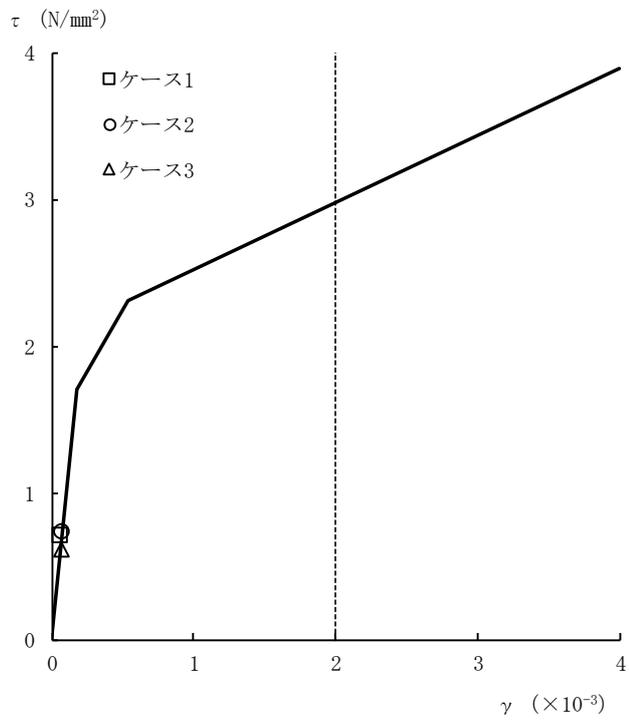


図2-13 $\tau - \gamma$ 関係と最大応答値 (Ss-2, NS方向)

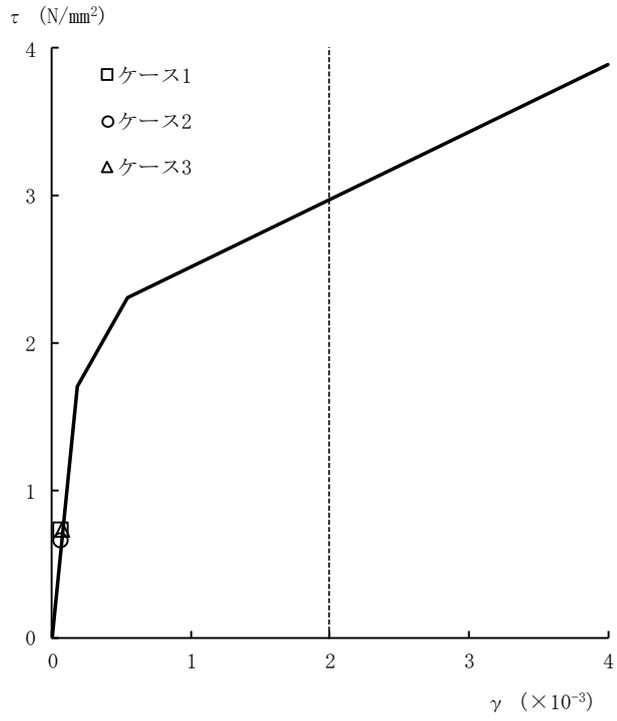


図2-14 $\tau - \gamma$ 関係と最大応答値 (Ss-8, NS方向)

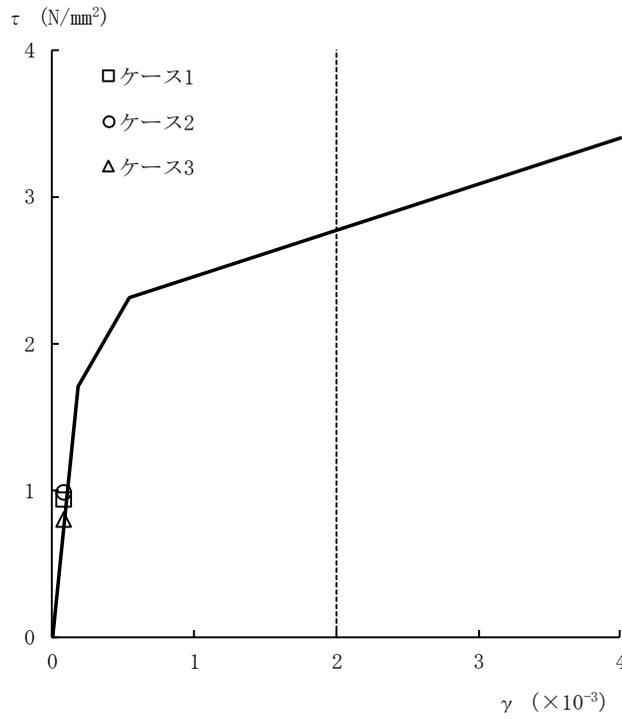


図2-15 $\tau - \gamma$ 関係と最大応答値 (Ss-1, EW方向)

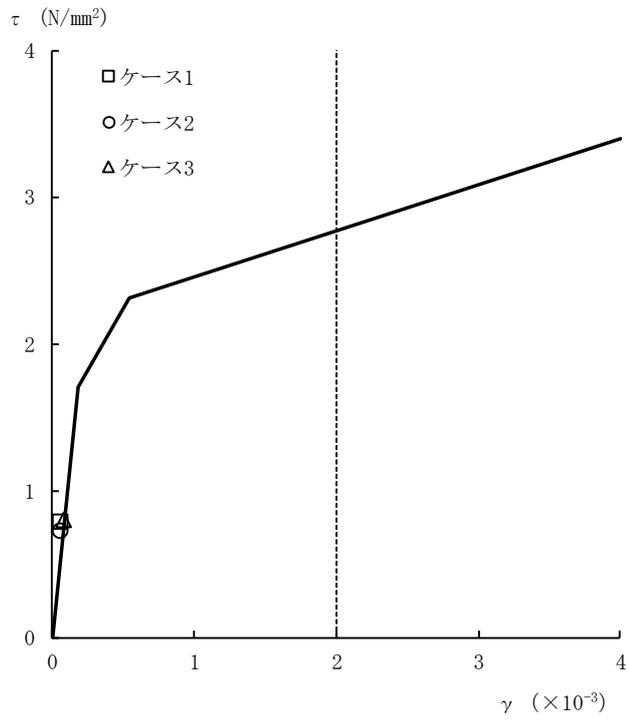


図2-16 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-2, EW方向)

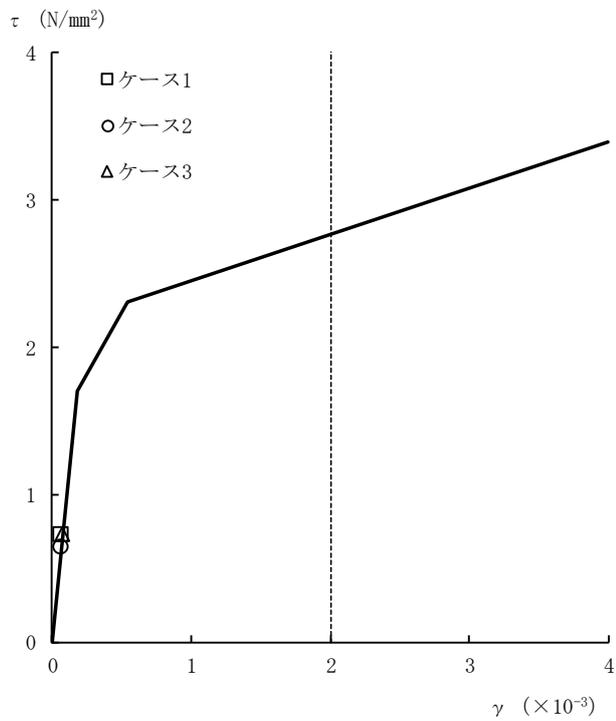


図2-17 τ - γ 関係と最大応答値 (Ss-8, EW方向)

表2-1 杭頭断面力一覧 (1/2)

(a) 最大応答軸力

解析 ケース	ケース1		ケース2		ケース3	
	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmax ($\times 10^3$ kN)
Ss-1(NS)	2401	7.52	101	7.47	101	8.17
Ss-1(EW)	101	8.63	101	8.62	601	8.69
Ss-2	601	9.55	1901	9.15	2401	10.4
Ss-8(NS)	1901	6.32	1901	5.22	2401	6.95
Ss-8(EW)	101	7.26	101	6.11	101	8.17

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1		ケース2		ケース3	
	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Nmin ($\times 10^3$ kN)
Ss-1(NS)	101	-6.42	101	-6.24	101	-5.62
Ss-1(EW)	601	-6.96	601	-7.36	2401	-6.58
Ss-2	601	-8.14	1901	-7.40	601	-9.91
Ss-8(NS)	101	-4.88	101	-4.23	101	-5.17
Ss-8(EW)	601	-5.65	601	-5.11	601	-5.97

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

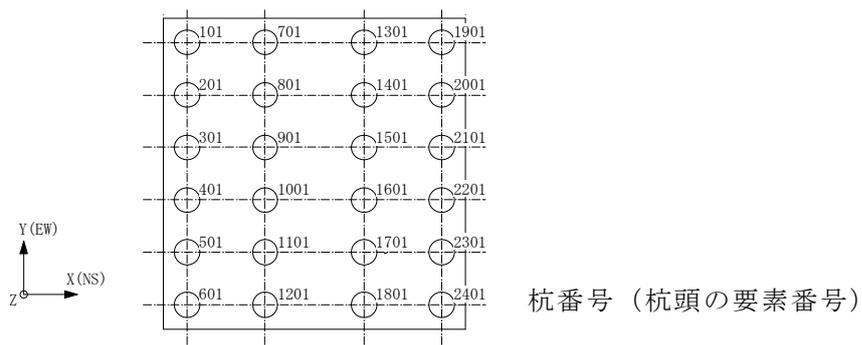


表2-1 杭頭断面力一覧 (2/2)

(c) 最大応答曲げモーメント

解析 ケース	ケース1			ケース2			ケース3		
	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)	杭番号	N ($\times 10^3$ kN)	Mmax ($\times 10^4$ kN・m)
Ss-1(NS)	1901	7.33	1.06	1901	6.55	0.984	1901	6.44	1.27
Ss-1(EW)	1901	8.03	1.10	1901	7.35	0.993	1901	6.66	1.31
Ss-2	1901	6.61	1.18	101	1.51	1.00	1901	6.07	1.28
Ss-8(NS)	1901	6.17	1.01	1901	4.82	0.824	1901	6.80	1.22
Ss-8(EW)	1901	6.56	1.04	1901	5.19	0.868	1901	7.00	1.24

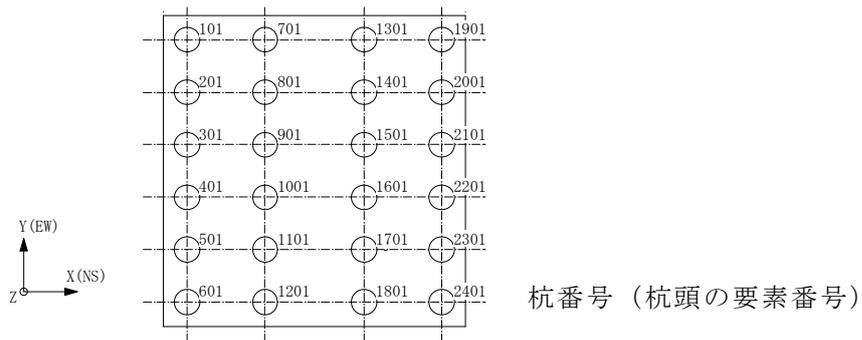
注1：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示

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1		ケース2		ケース3	
	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)	杭番号	Qmax ($\times 10^3$ kN)
Ss-1(NS)	1901	5.02	1901	4.93	1901	5.06
Ss-1(EW)	1901	4.98	1901	4.90	1901	4.92
Ss-2	2401	4.93	1901	4.55	2401	4.71
Ss-8(NS)	1901	4.60	1901	3.95	1901	5.07
Ss-8(EW)	1901	4.61	1901	4.01	1901	4.99

注：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示



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

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。

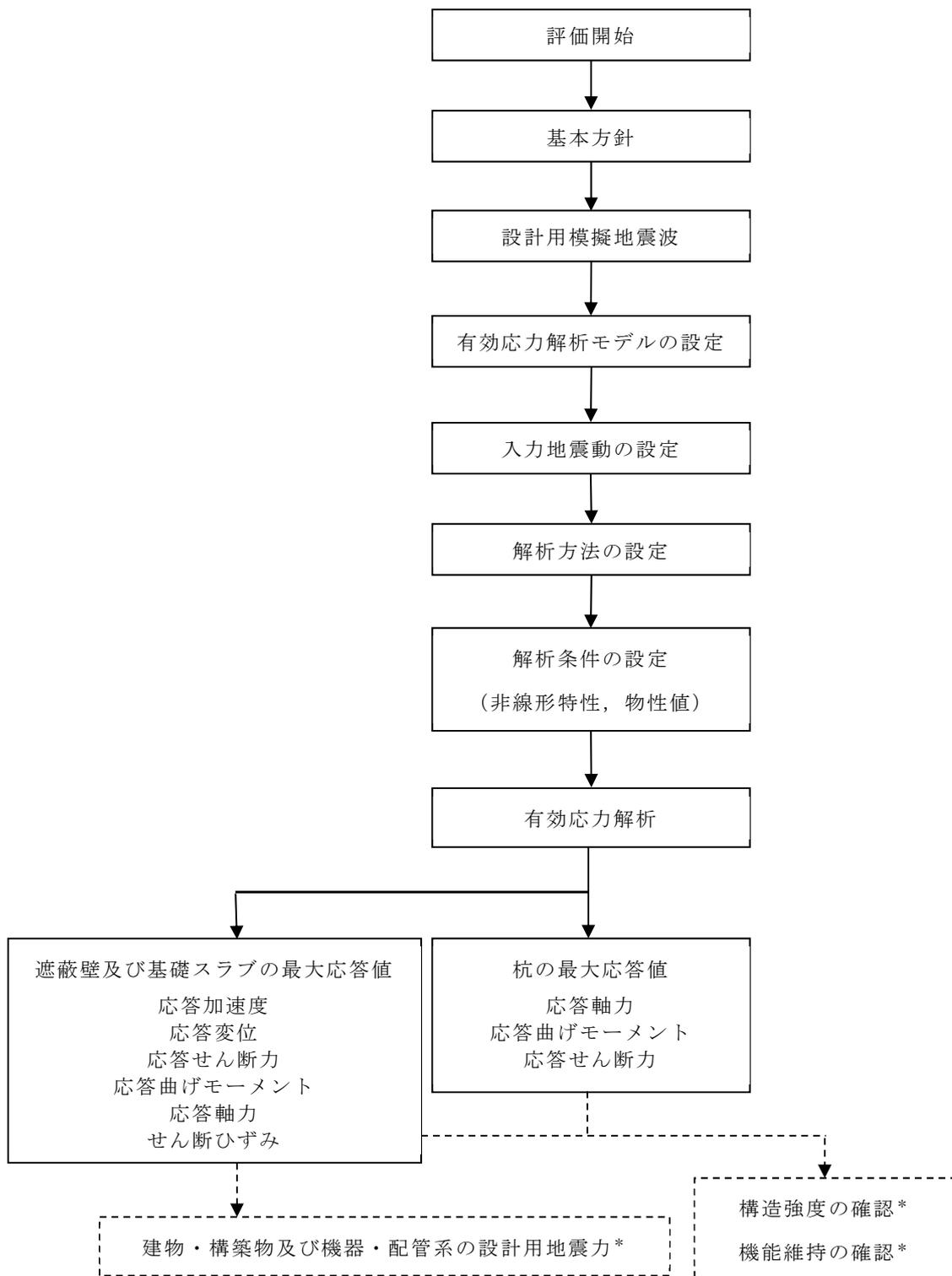
2. 解析方針

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）及び（V 耐震設計編）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の低下を考慮しているため、土質定数の低減を踏まえた応答評価となっている。

表 3-1 解析用物性値 (有効応力解析)

(a) 原地盤

物性値		地質区分	埋戻土	新期砂層	古安田層 (A2s層)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m以浅)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m~-90.0m)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)		1.94	2.05	1.91	1.73	1.69
	間隙率 n		0.45	0.44	0.45	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)		1.04×10^5	1.26×10^5	2.14×10^5	4.16×10^5	4.75×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)		98.0	98.0	200.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν		0.33	0.33	0.33	0.451	0.446
	減衰定数の上限値 h_{max}		0.225	0.234	0.157	0.257	0.257
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)		0.0	0.0	0.0	$1370-5.04 \cdot Z^*$	$1370-5.04 \cdot Z^*$
	内部摩擦角 ϕ' (°)		35.9	34.6	36.6	0.0	0.0
液状化特性	液状化パラメータ (SoilPlus)	A	-0.60	-0.70	-1.00	-	
		B	1.40	1.40	1.40		
		C	1.00	1.50	8.00		
		D	180.0	180.0	60.0		
		$C_e/(1+e_0)$	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	高圧噴射
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.85	2.05
	間隙率 n	0.48	0.49
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	1.31×10^6	1.45×10^6
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.302	0.375
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	0.050
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	4000	4000

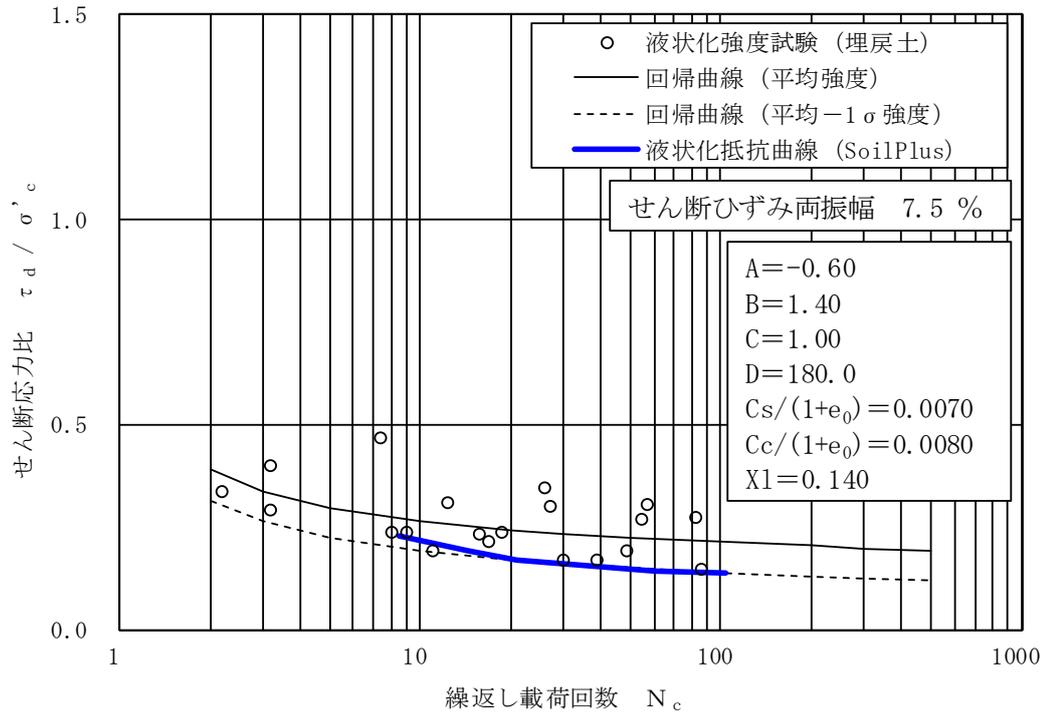


図 3-1 液状化抵抗曲線（埋戻土）

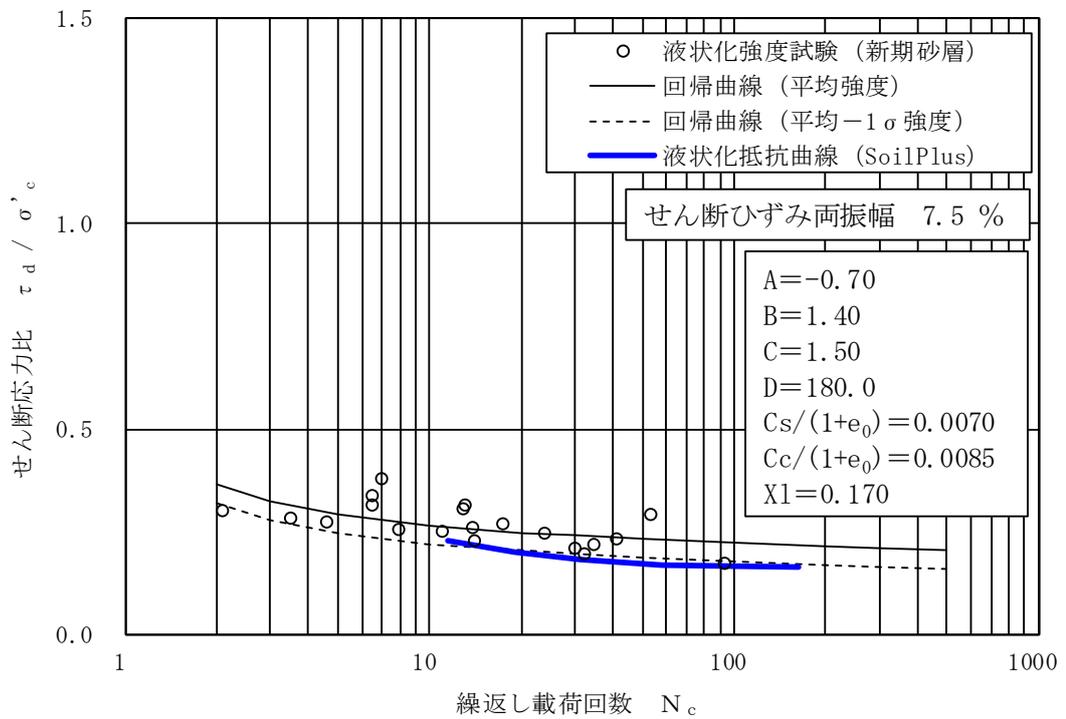


図 3-2 液状化抵抗曲線（新期砂層）

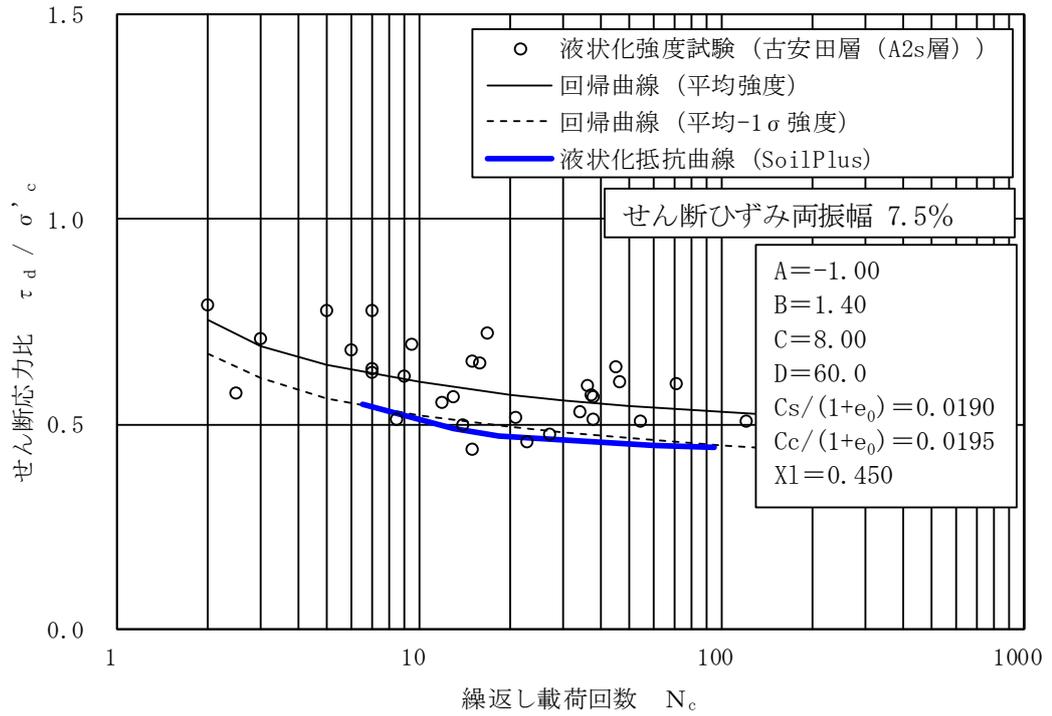


図 3-3 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s層))

3.3 入力地震動

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

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

3.4 解析方法

建物・構築物の動的解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、地盤の有効応力を考慮した弾塑性時刻歴応答解析により実施する。同解析では、地盤の最大応答加速度、最大応答せん断ひずみ、最大過剰間隙水圧比の他に、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。

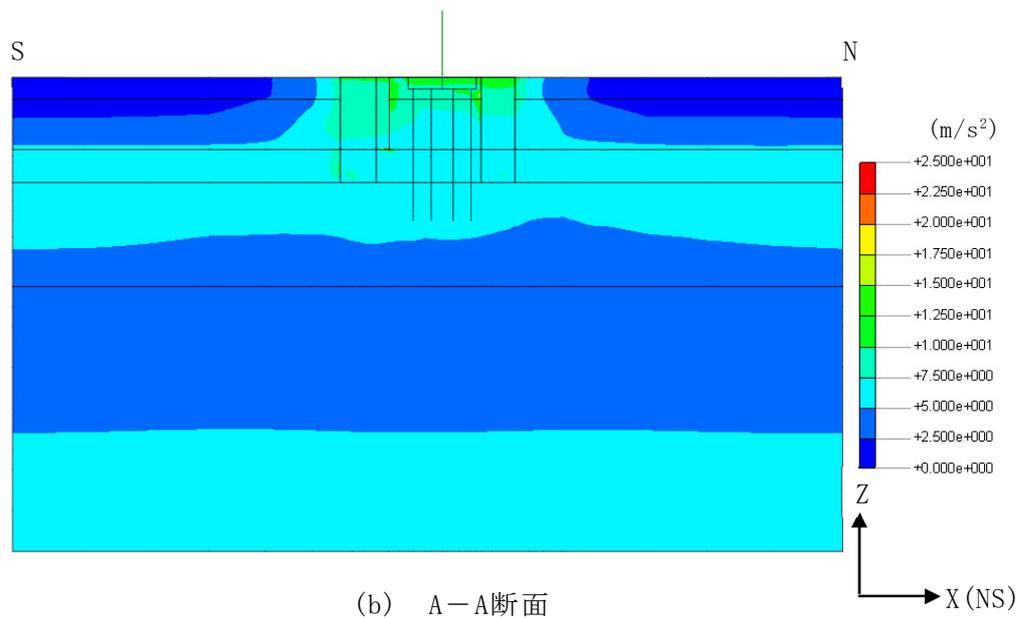
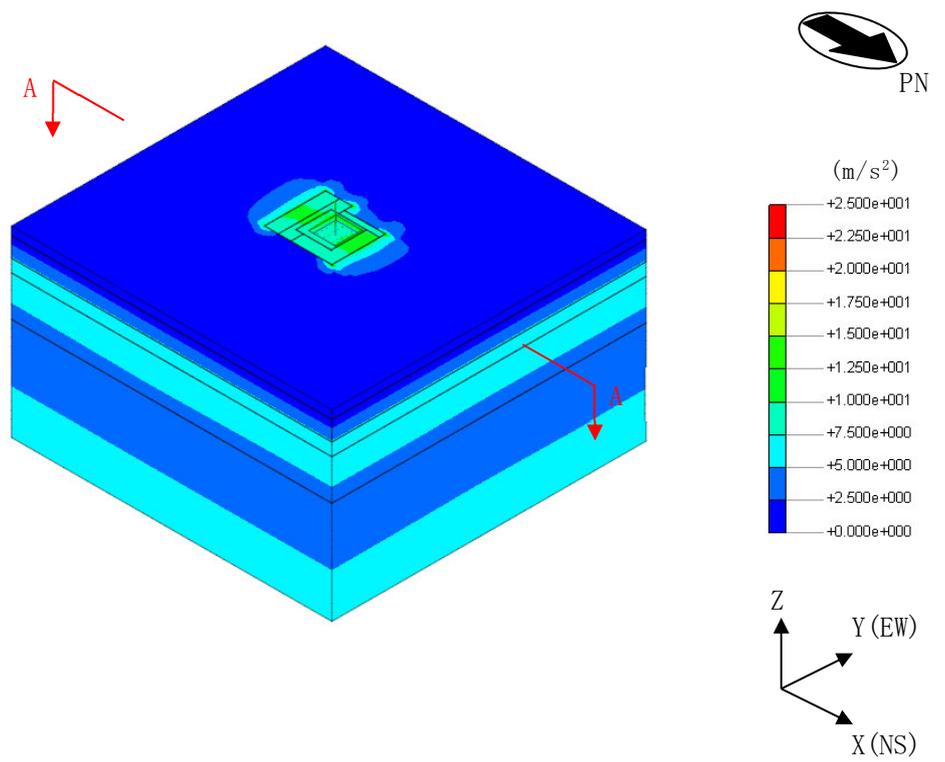
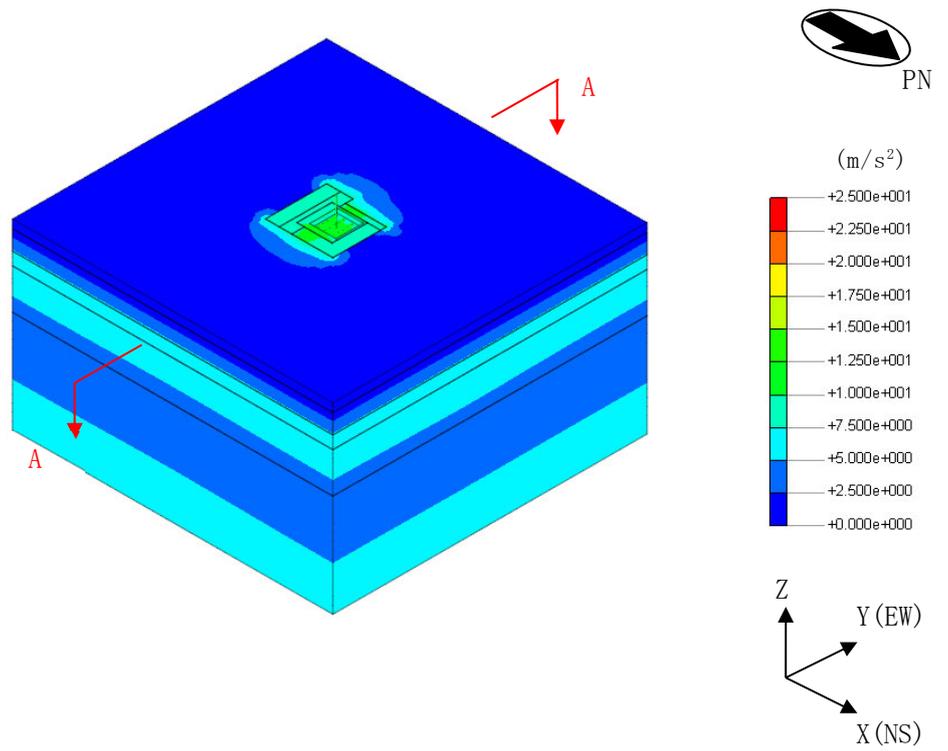
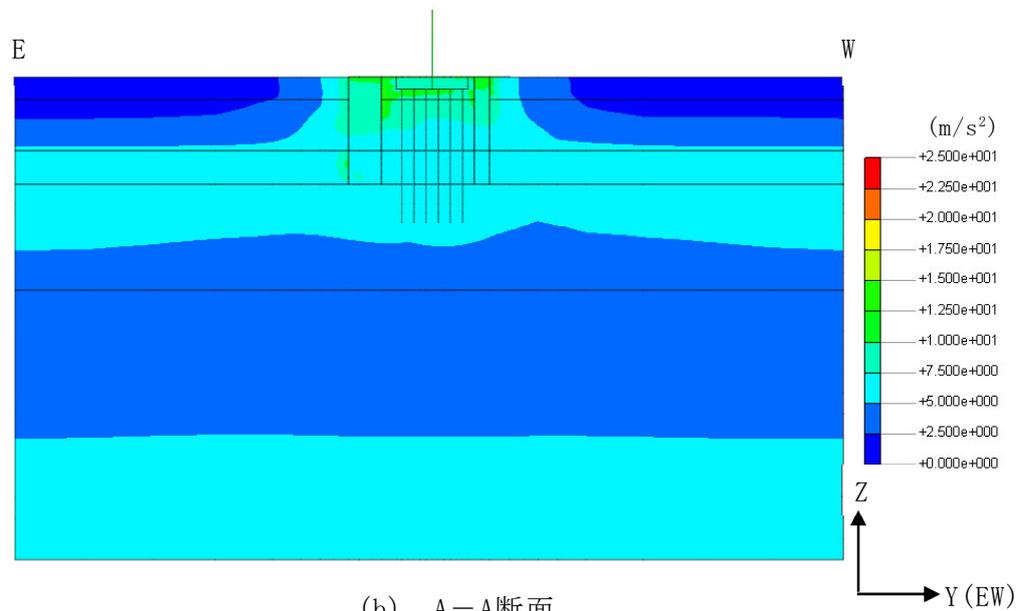


図4-1 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

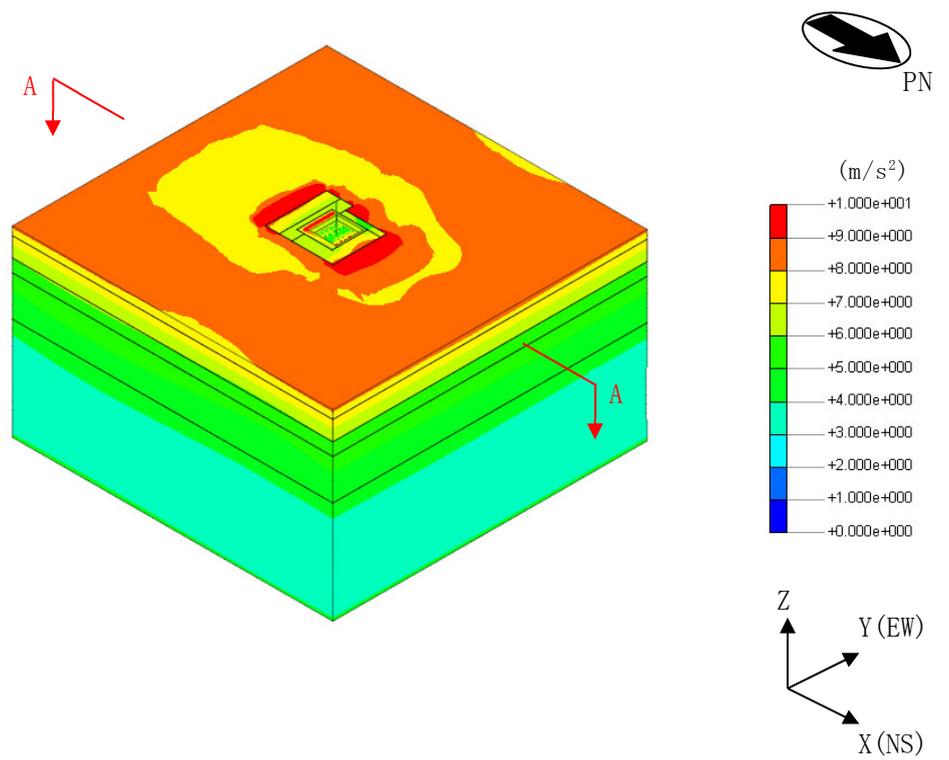


(a) 全体図

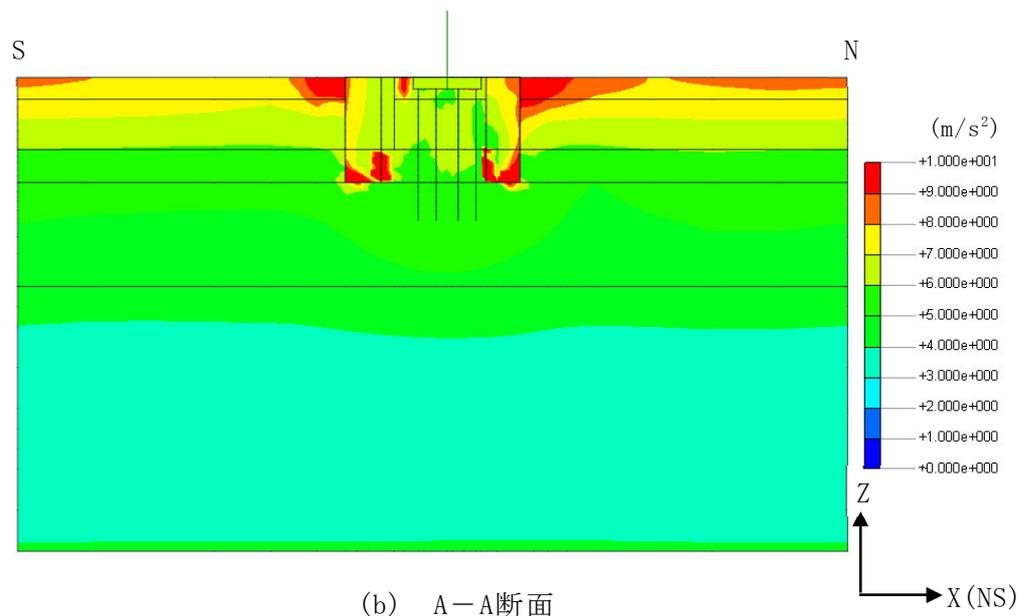


(b) A-A断面

図4-2 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

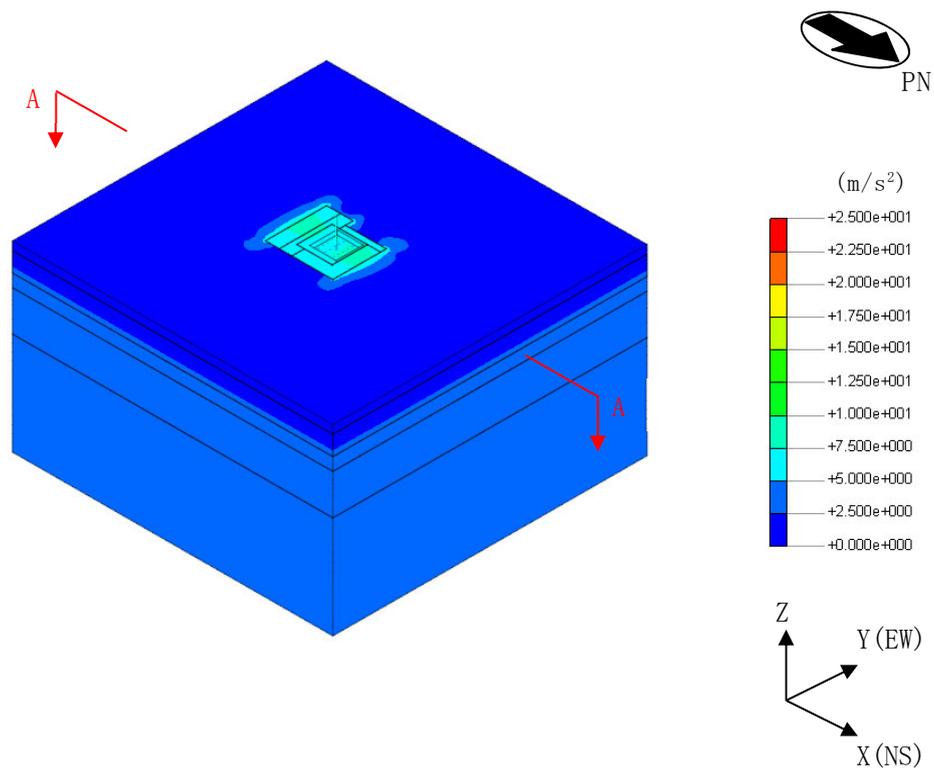


(a) 全体図

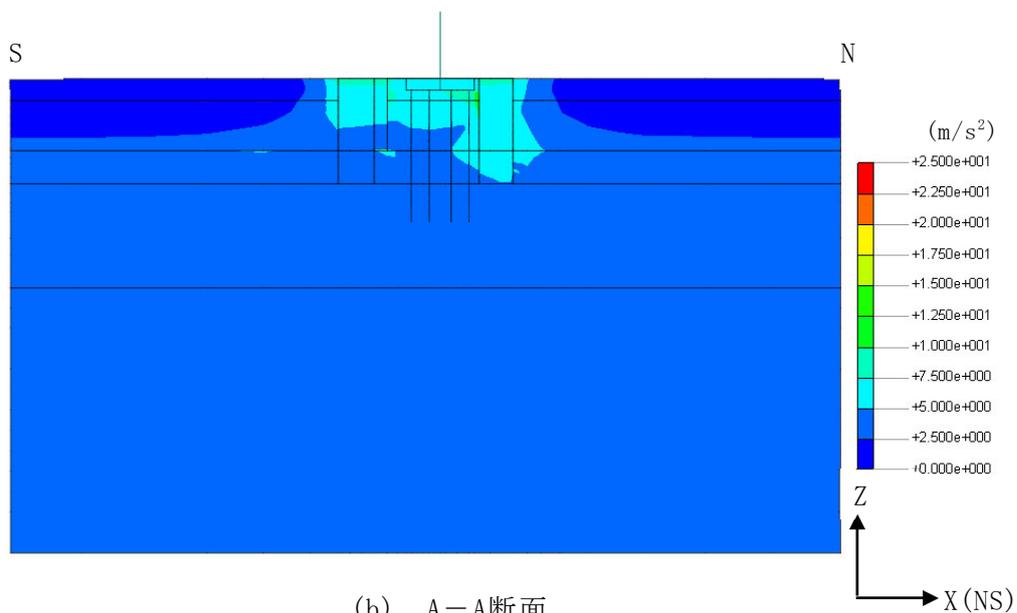


(b) A-A断面

図4-3 地盤の最大応答加速度 (Ss-1, UD方向)

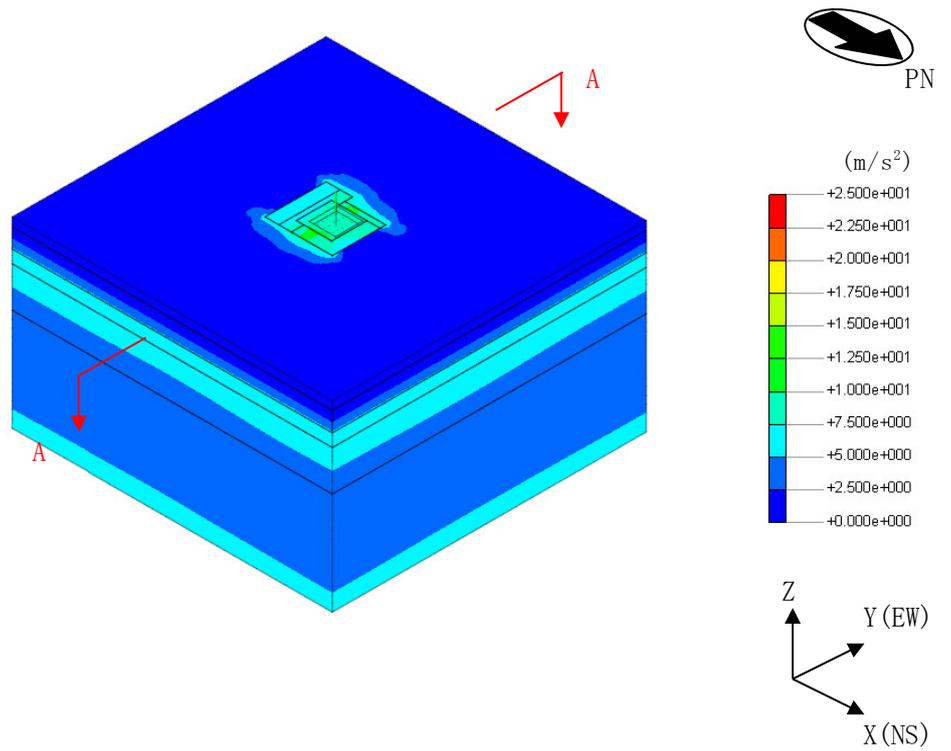


(a) 全体図

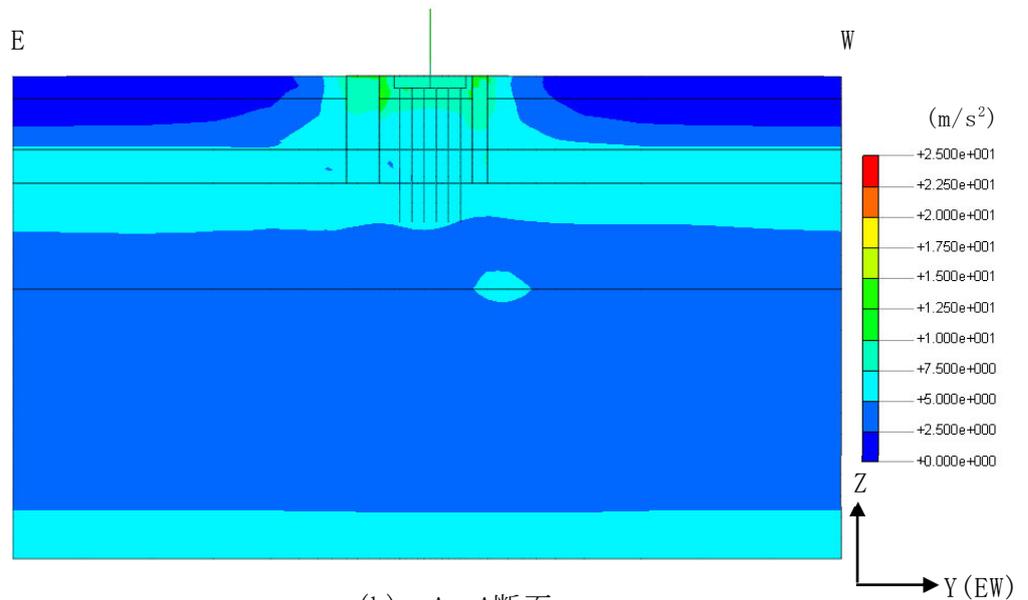


(b) A-A断面

図4-4 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, NS方向)

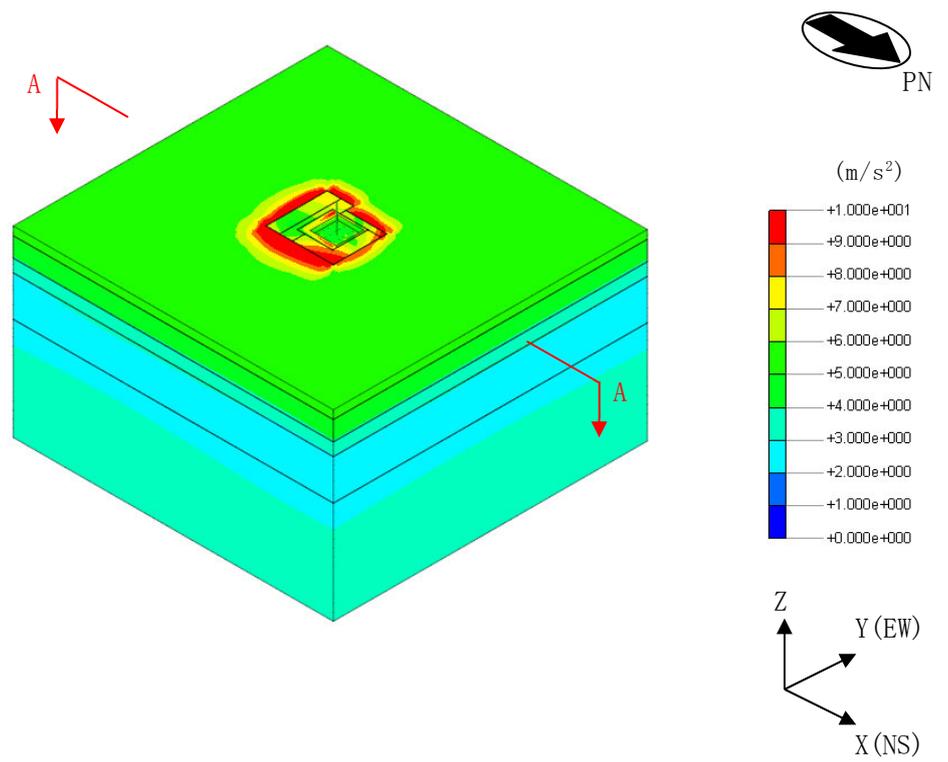


(a) 全体図

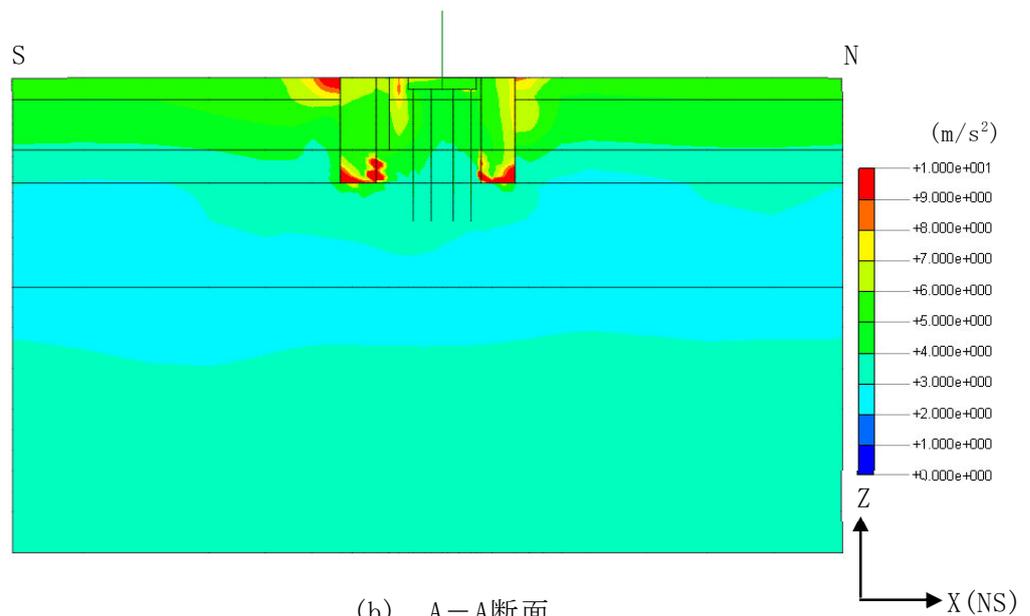


(b) A-A断面

図4-5 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, EW方向)

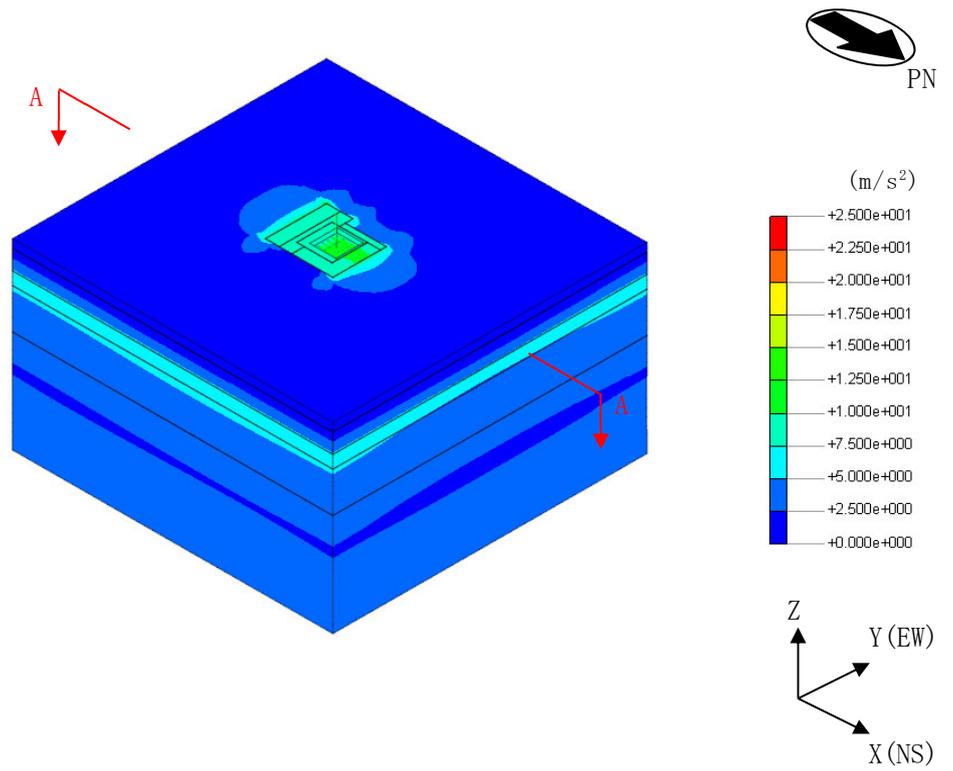


(a) 全体図

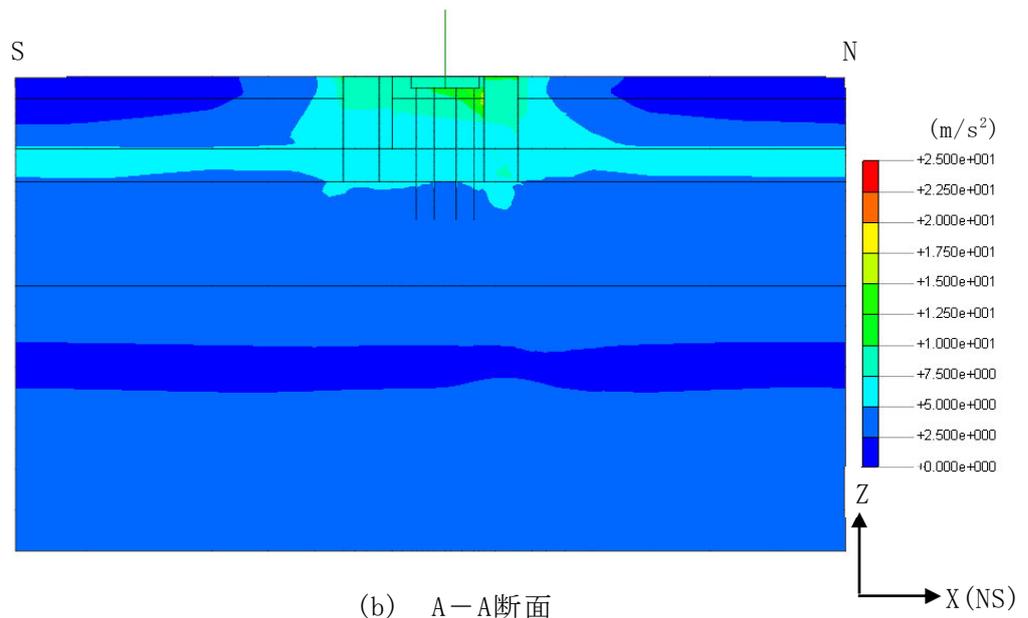


(b) A-A断面

図4-6 地盤の最大応答加速度 (Ss-2, UD方向)

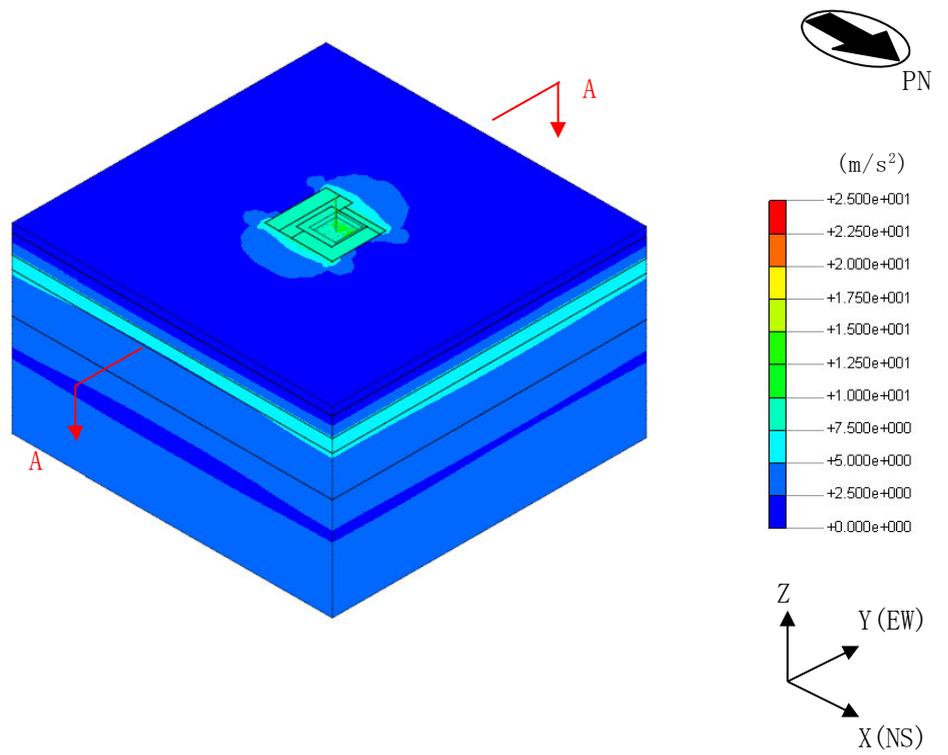


(a) 全体図

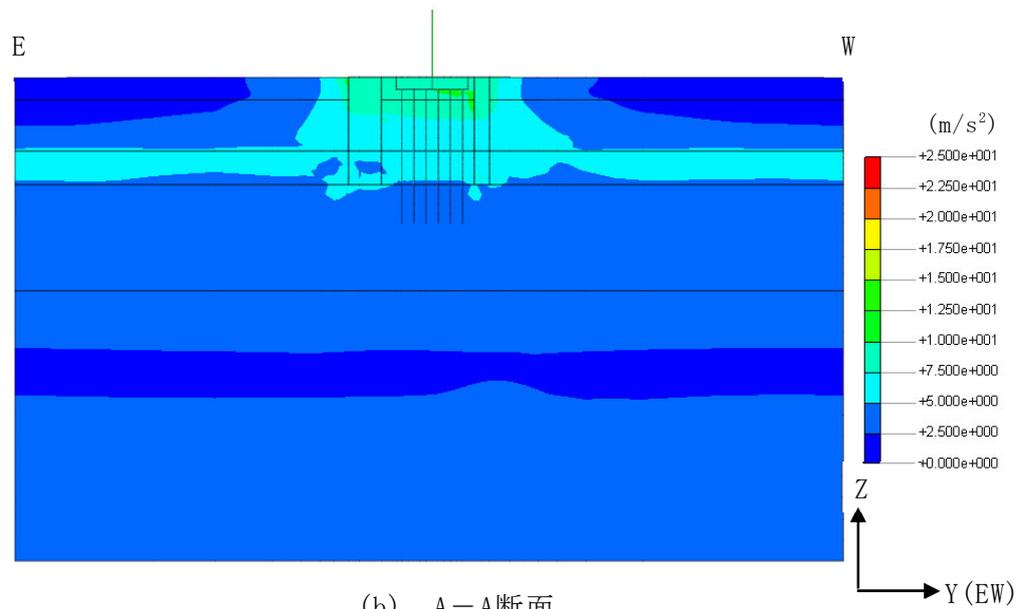


(b) A-A断面

図4-7 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, NS方向)

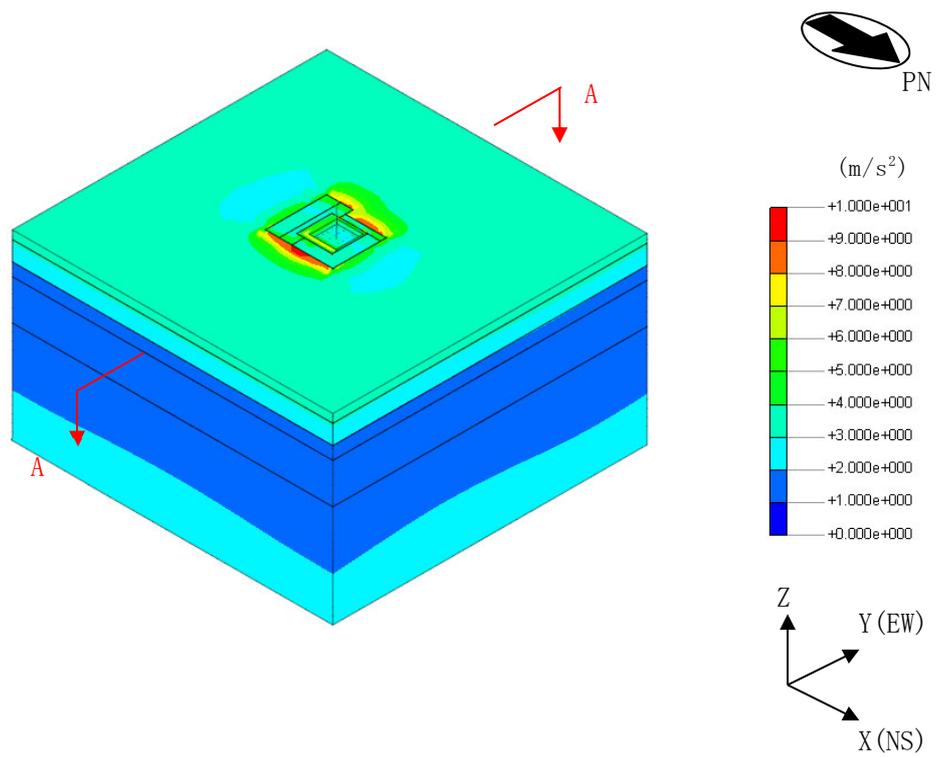


(a) 全体図

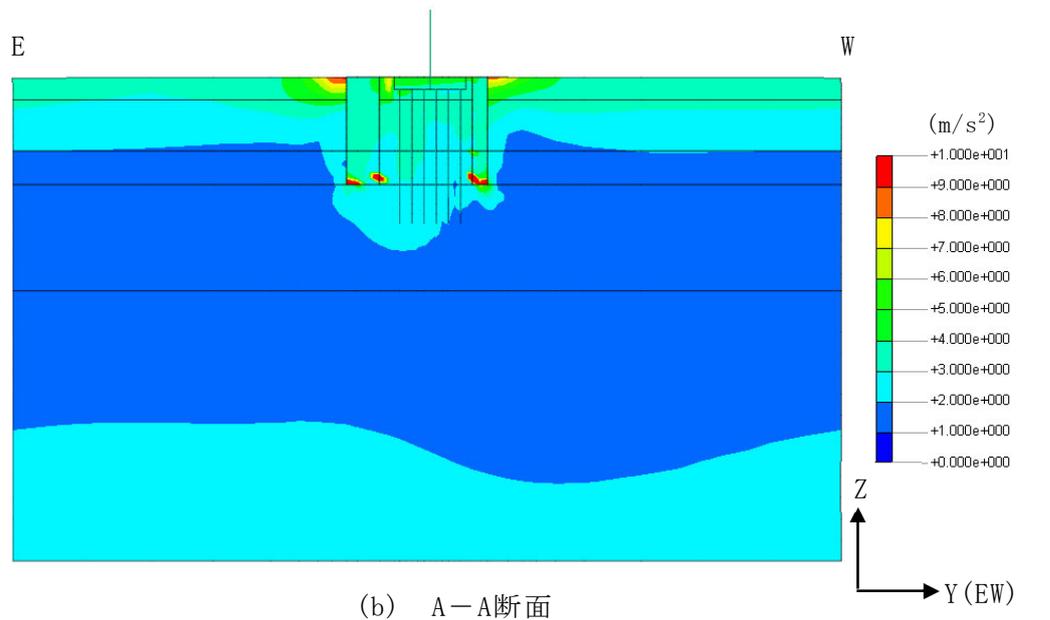


(b) A-A断面

図4-8 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, EW方向)

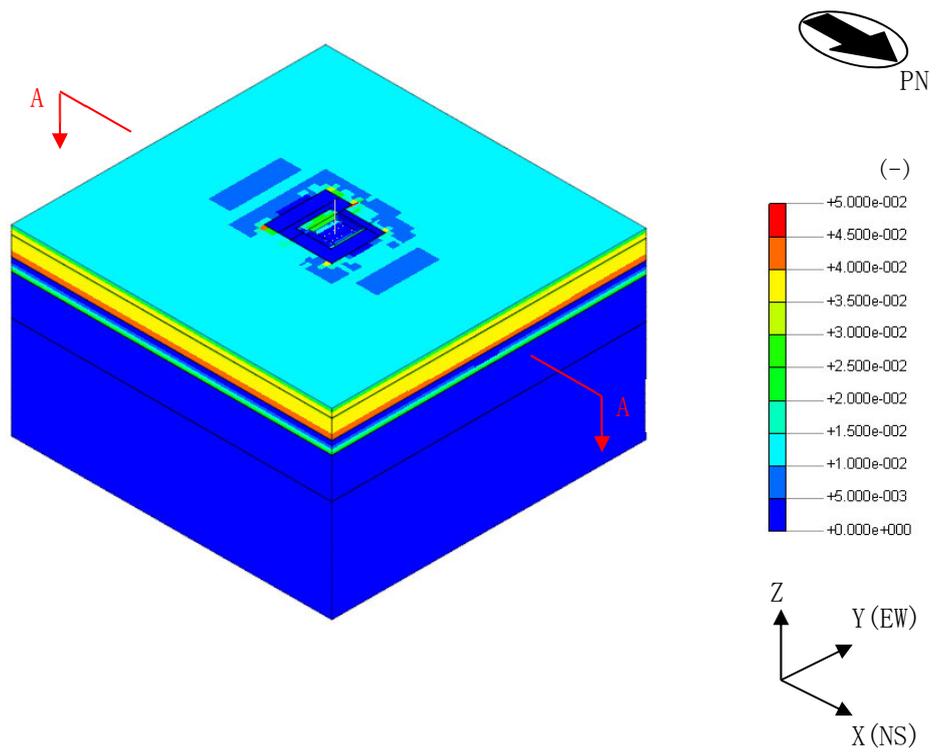


(a) 全体図

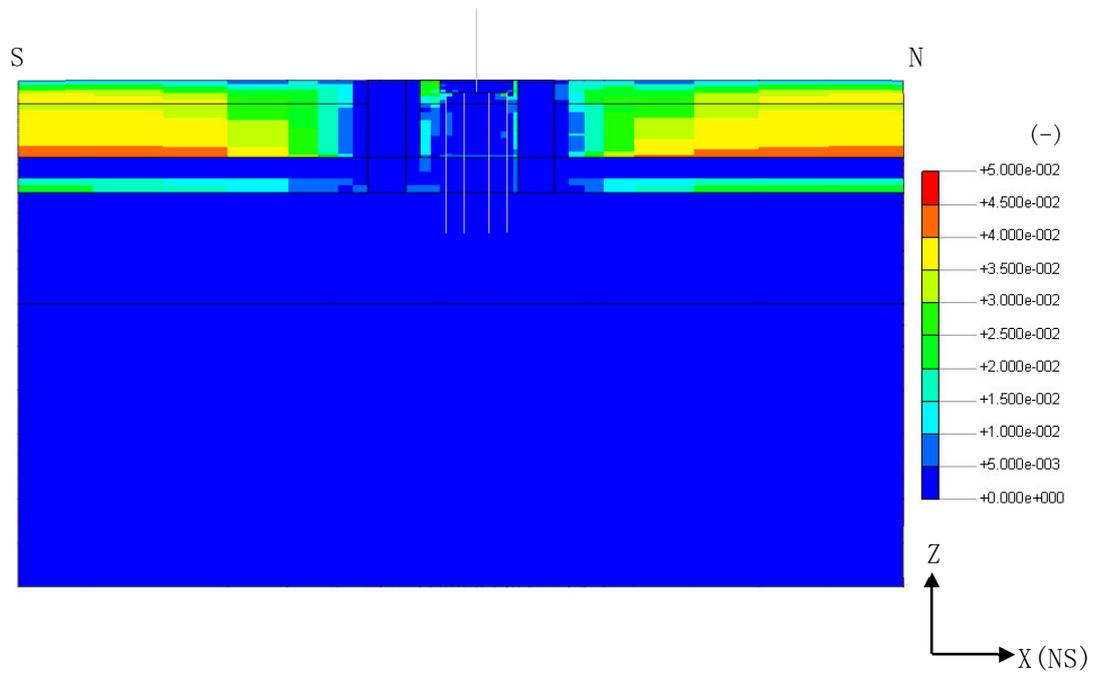


(b) A-A断面

図4-9 地盤の最大応答加速度 (Ss-8, UD方向)

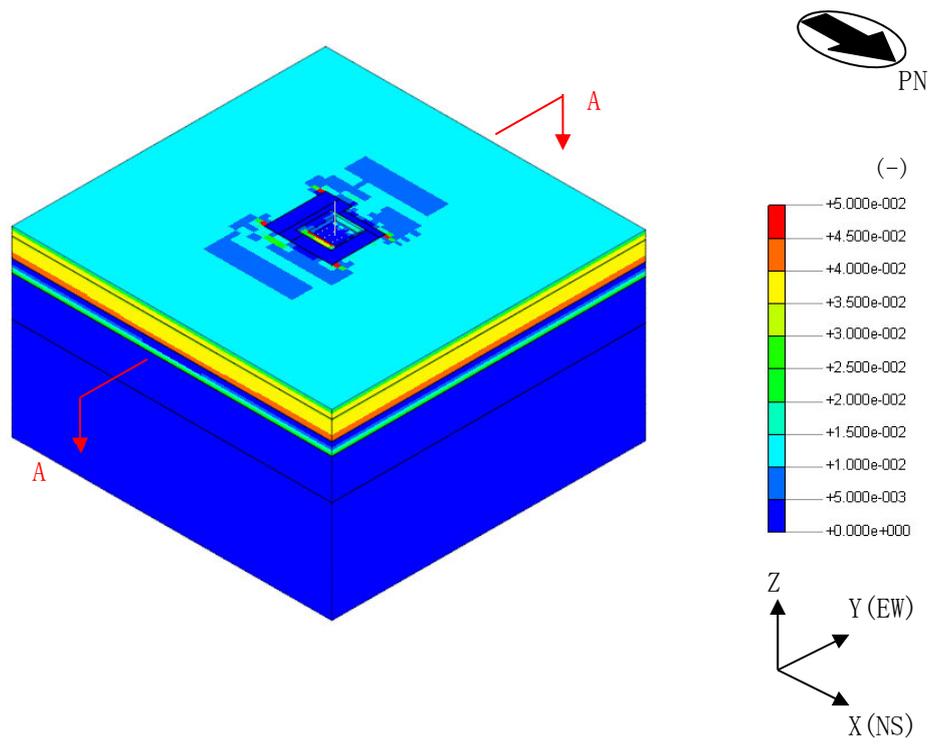


(a) 全体図

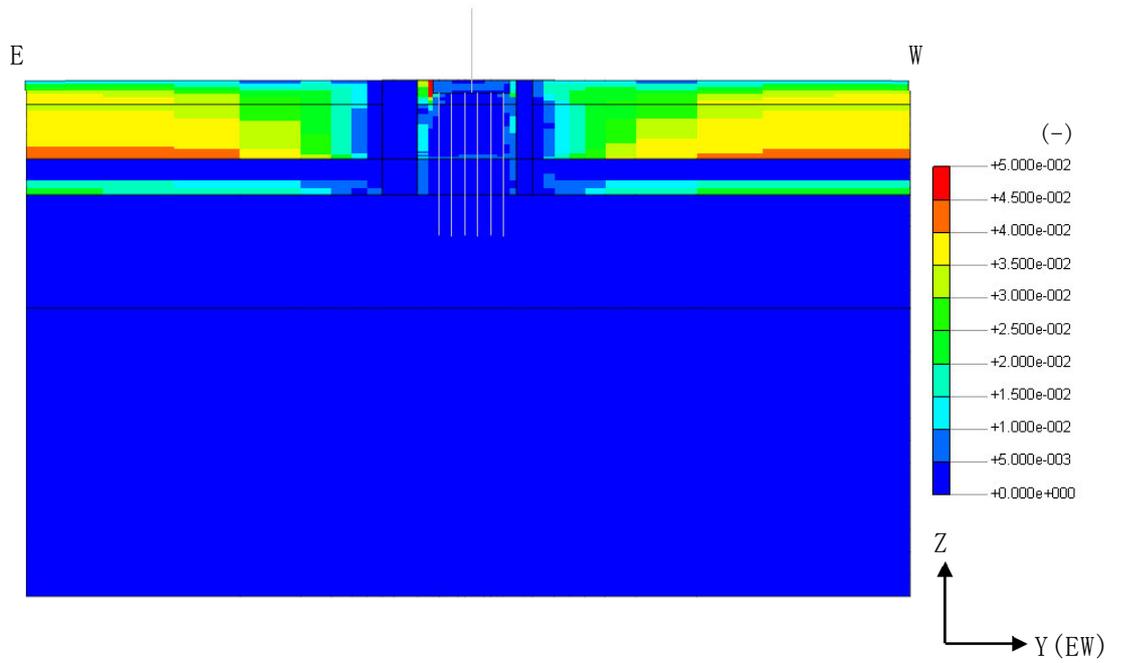


(b) A-A断面

図4-10 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-1, NS方向)

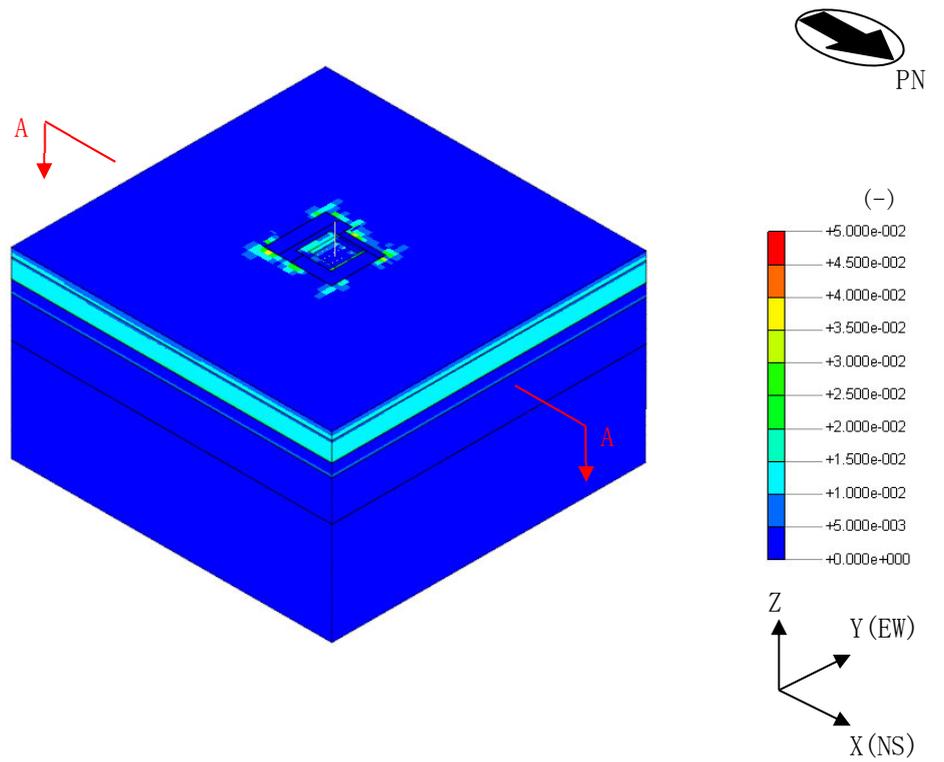


(a) 全体図

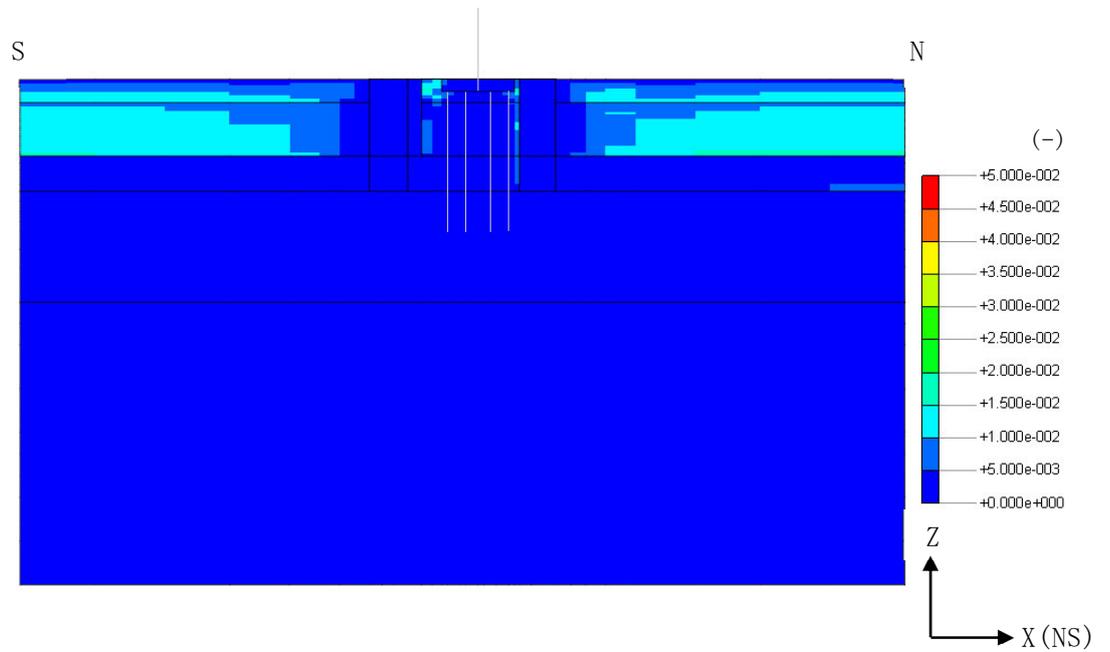


(b) A-A断面

図4-11 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-1, EW方向)

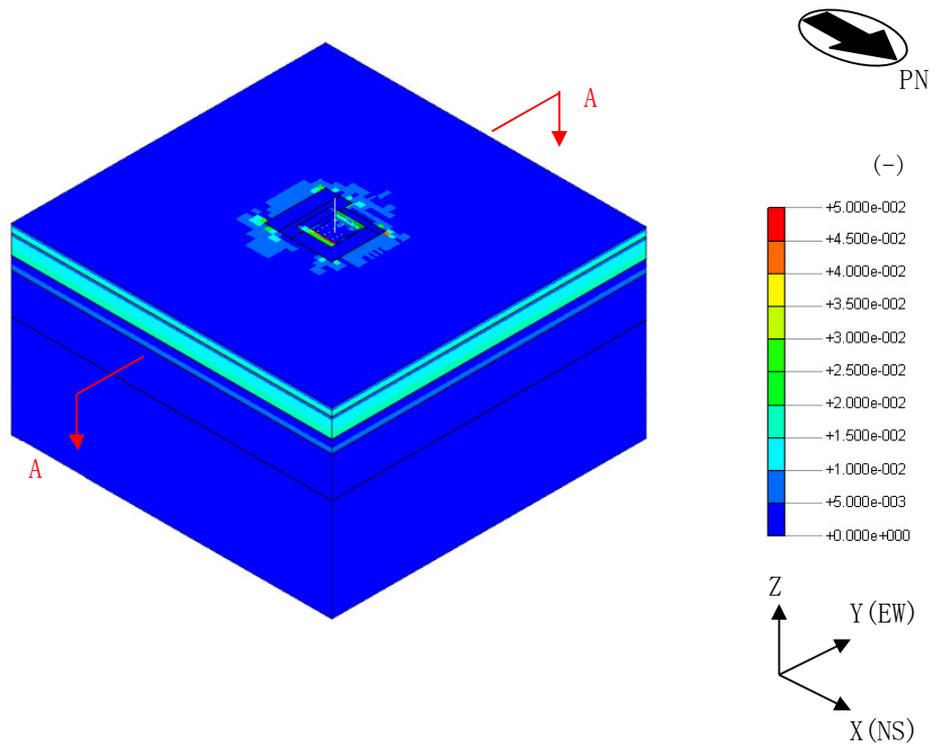


(a) 全体図

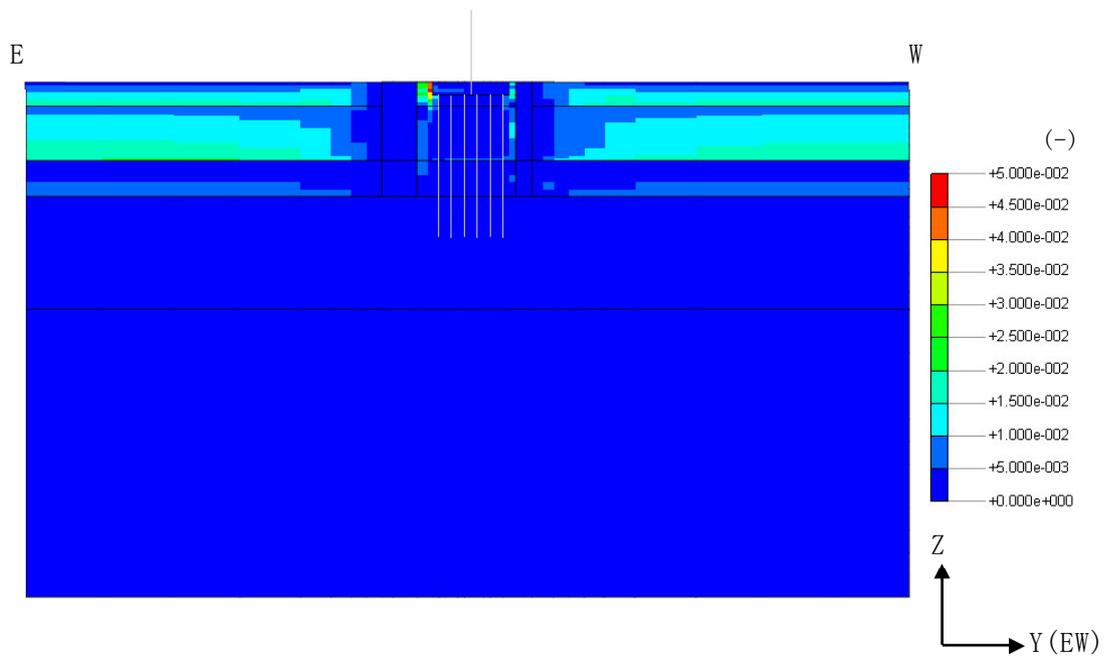


(b) A-A断面

図4-12 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-2, NS方向)

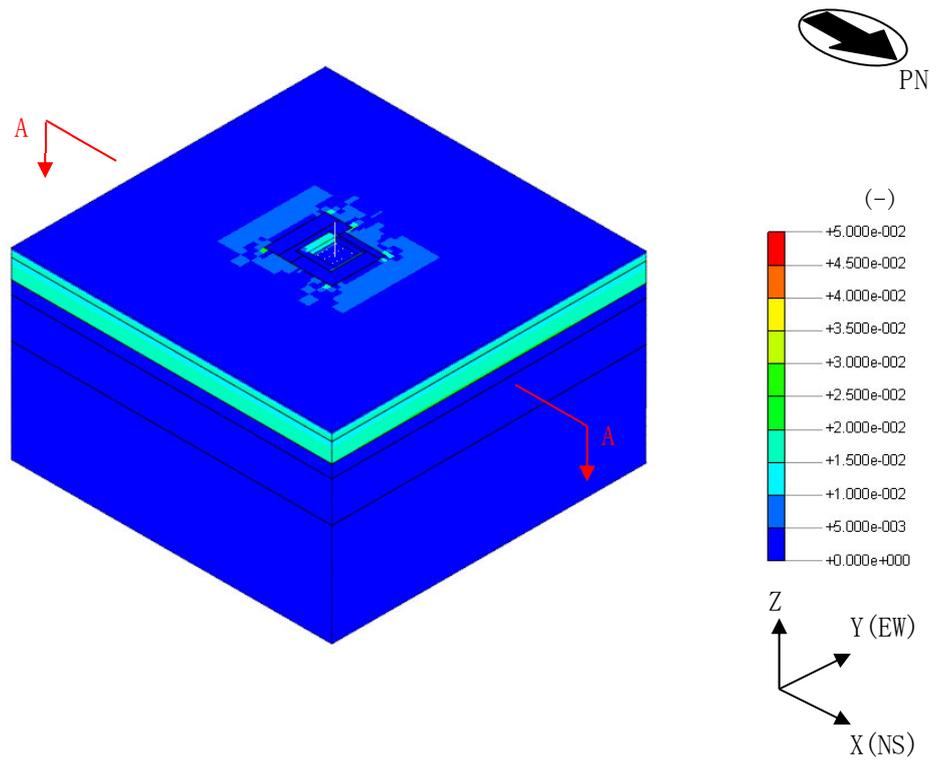


(a) 全体図

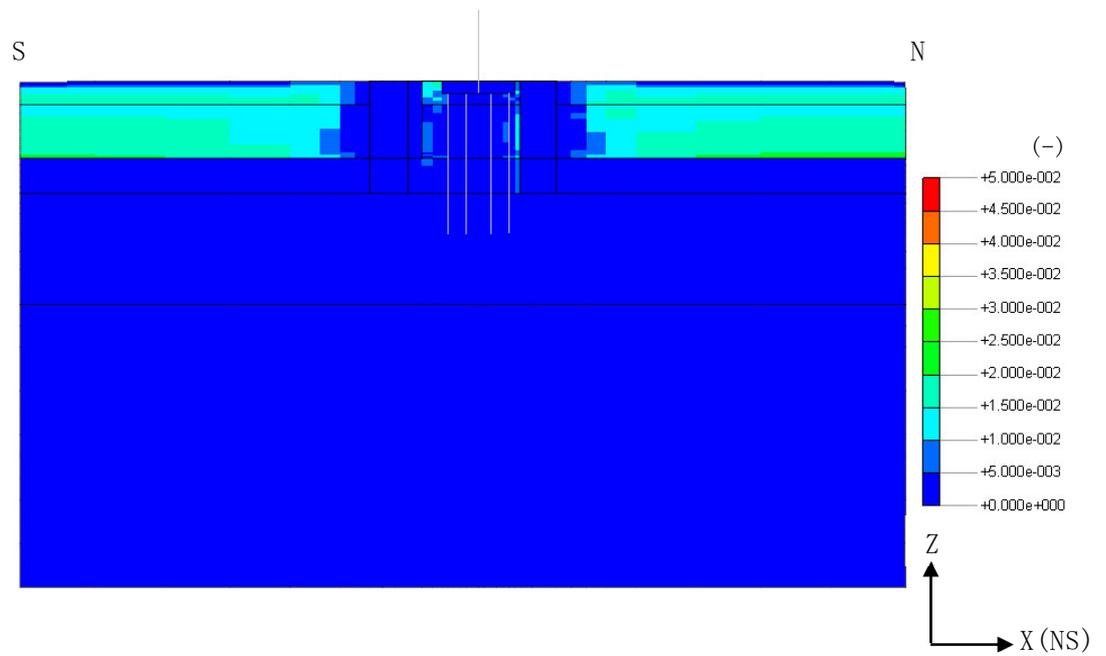


(b) A-A断面

図4-13 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-2, EW方向)

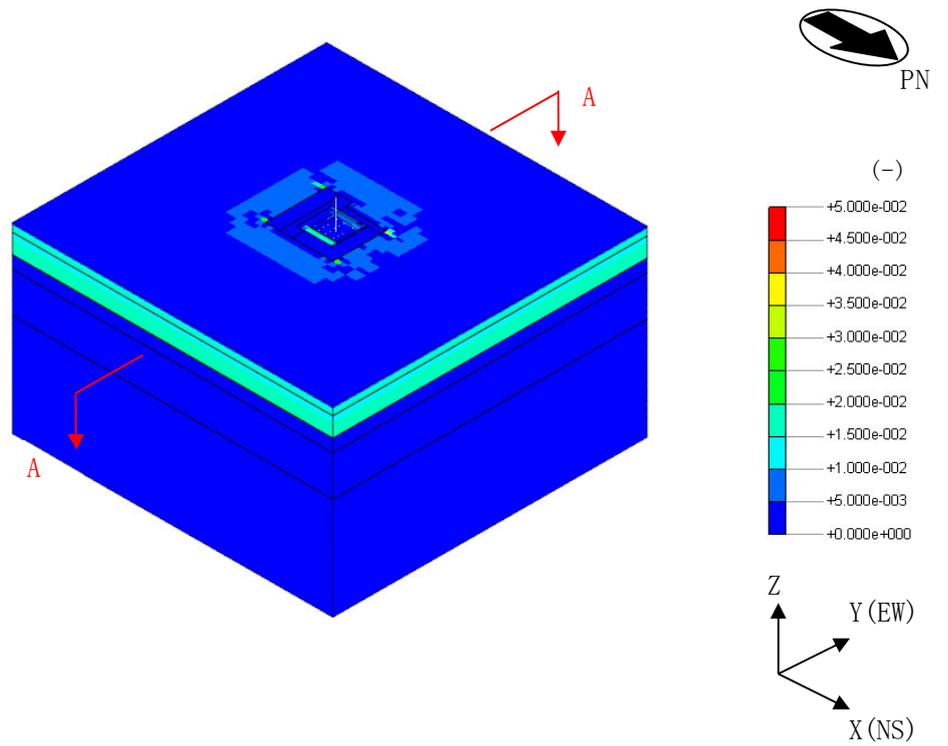


(a) 全体図

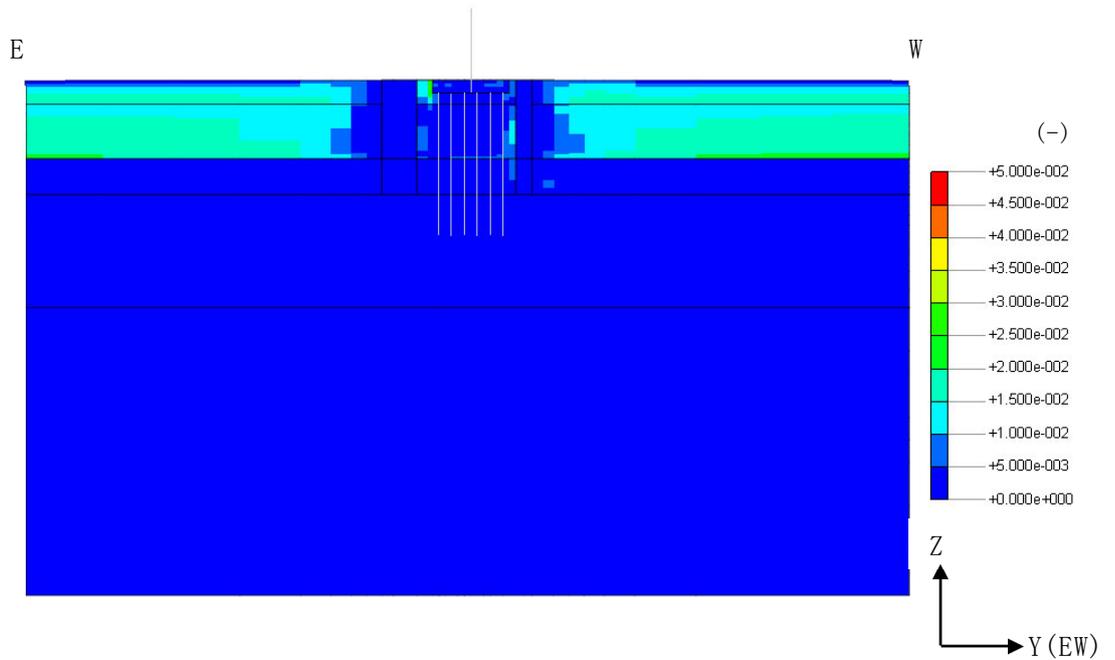


(b) A-A断面

図4-14 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-8, NS方向)

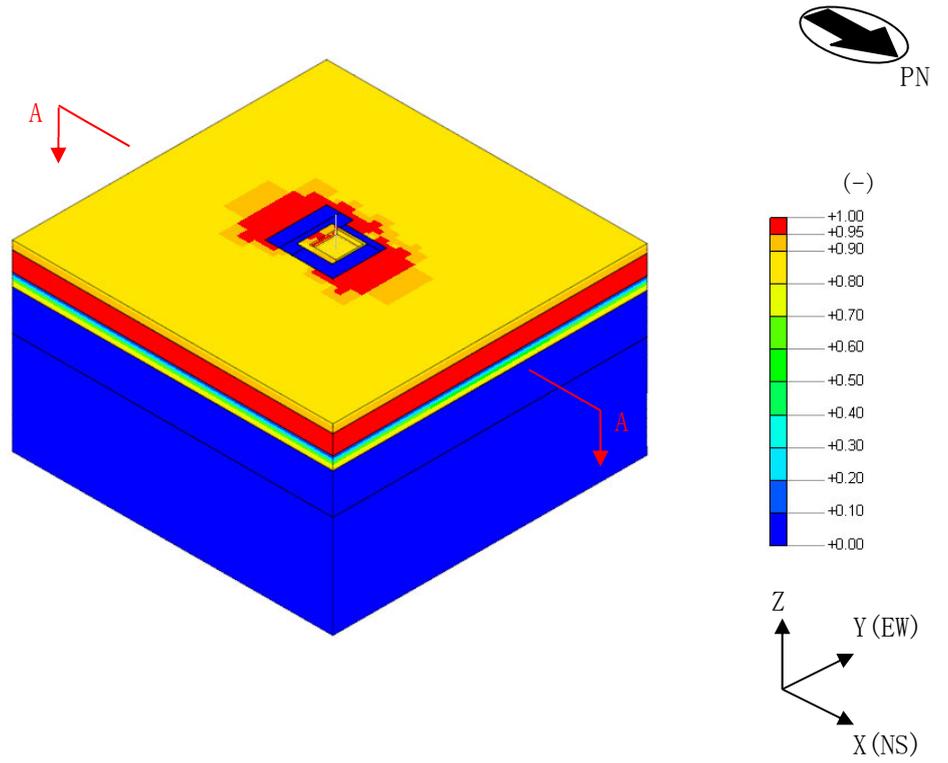


(a) 全体図

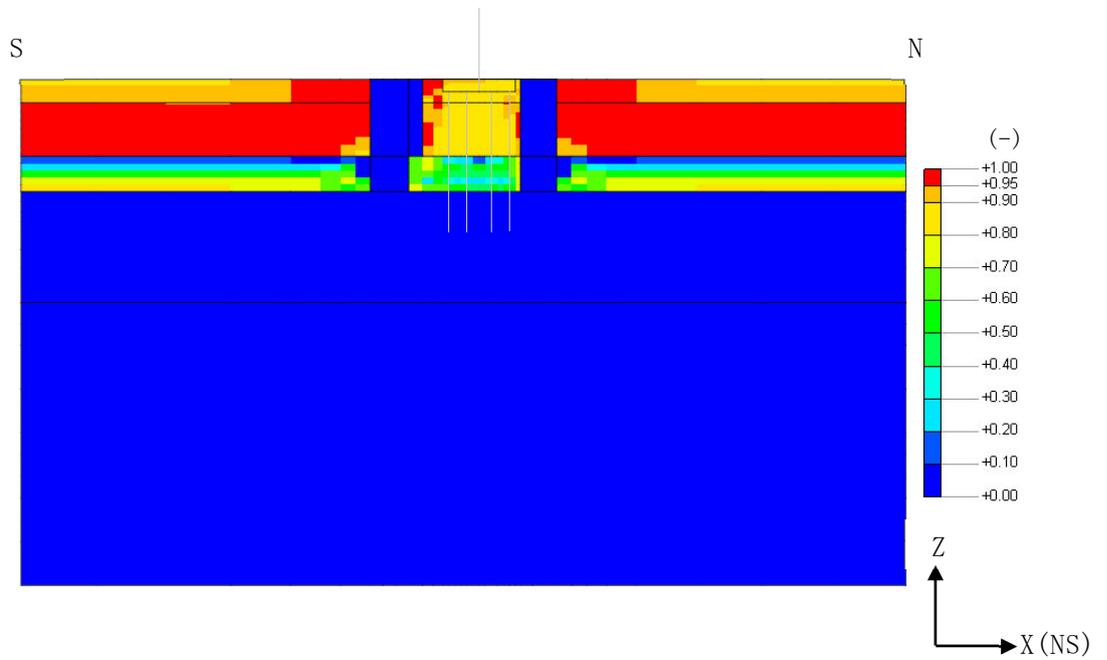


(b) A-A断面

図4-15 地盤の最大せん断ひずみ (Ss-8, EW方向)

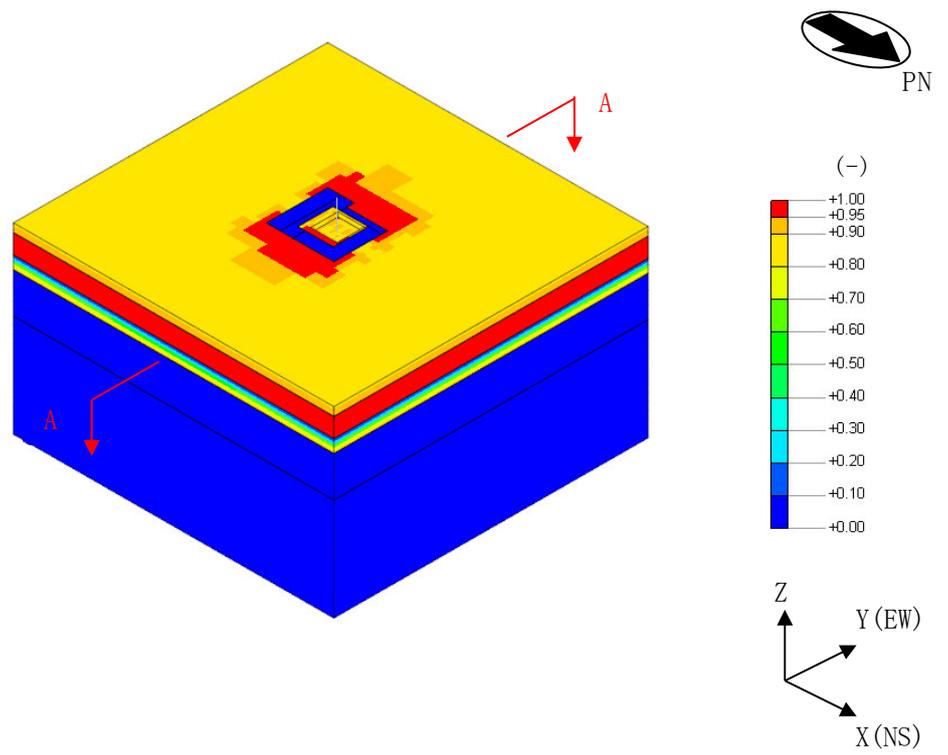


(a) 全体図

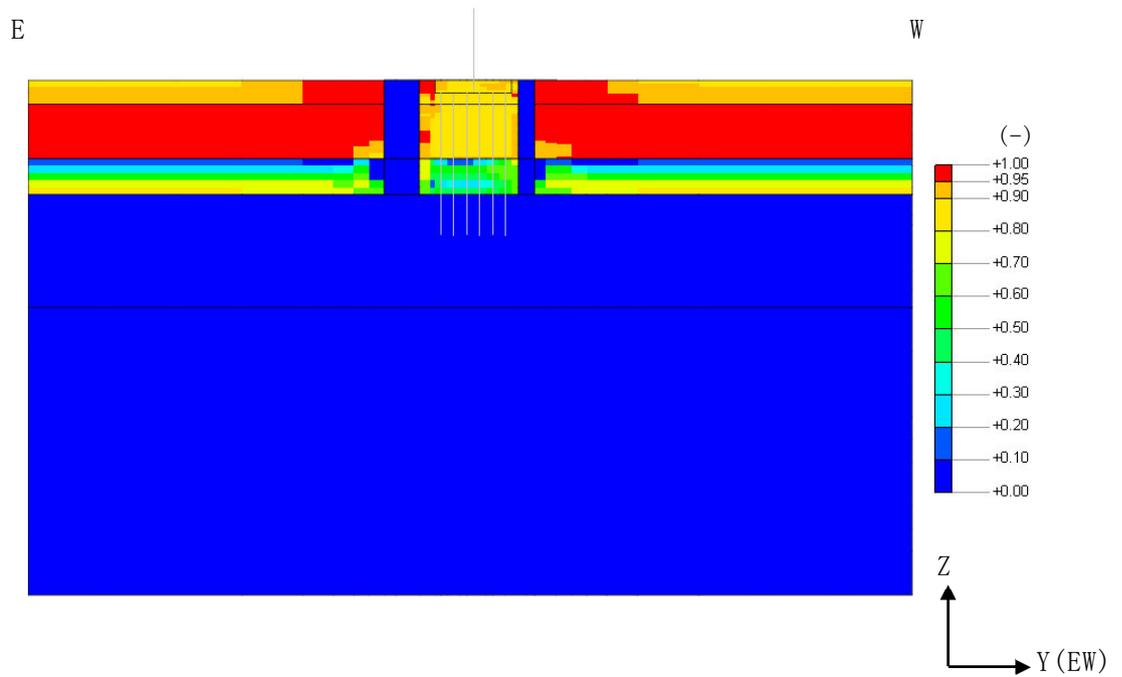


(b) A-A断面

図4-16 最大過剰間隙水圧比 (Ss-1, NS方向)

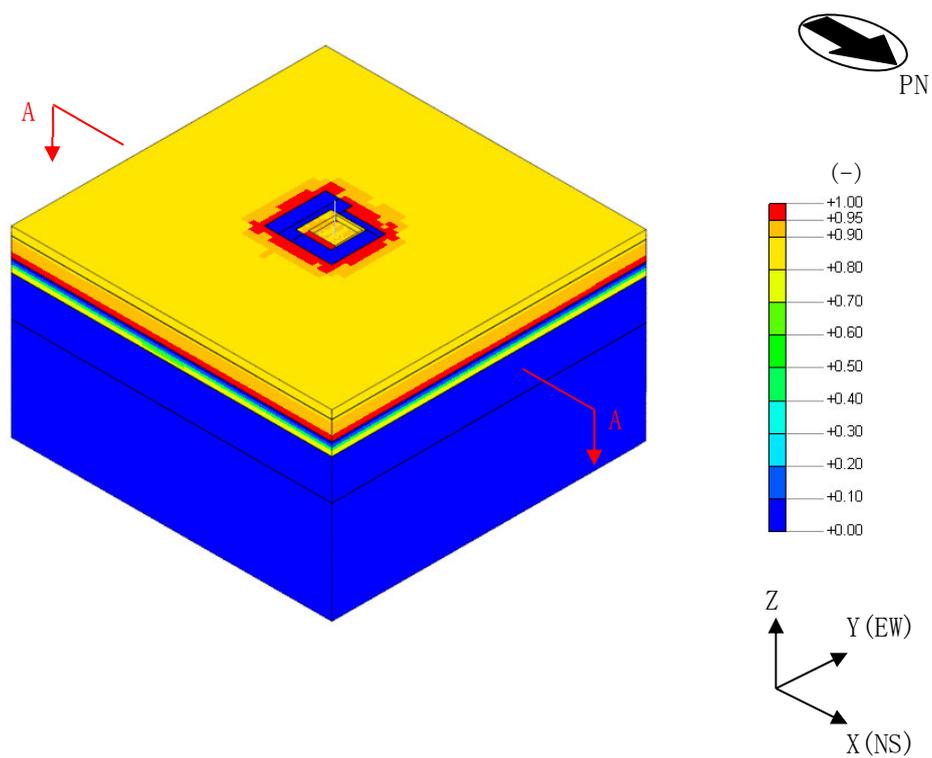


(a) 全体図

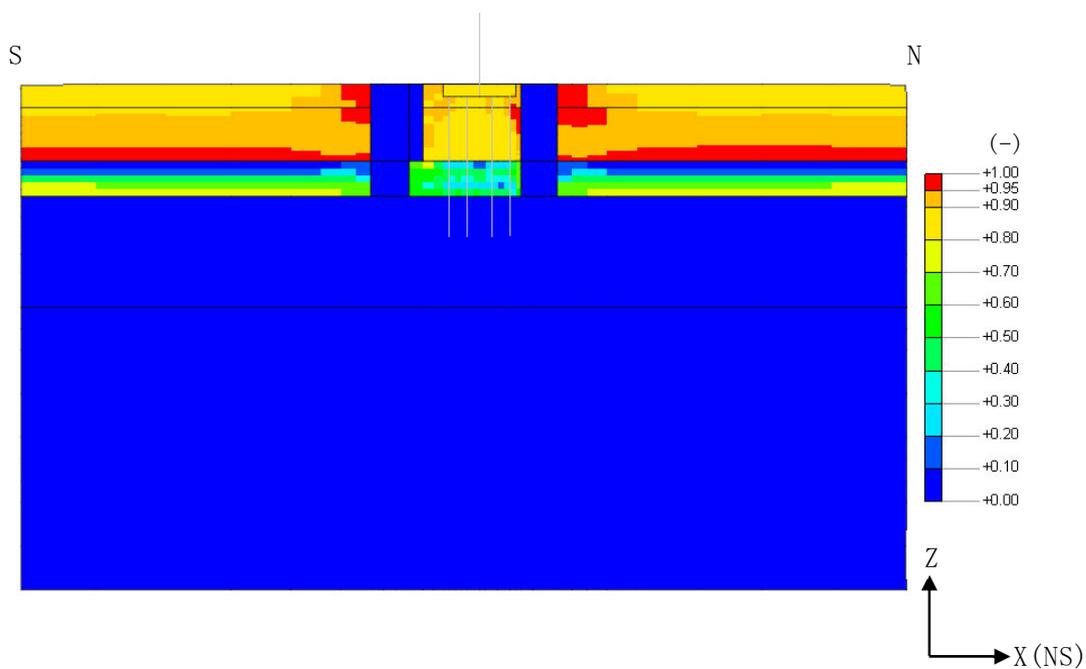


(b) A-A断面

図4-17 最大過剰間隙水圧比 (Ss-1, EW方向)

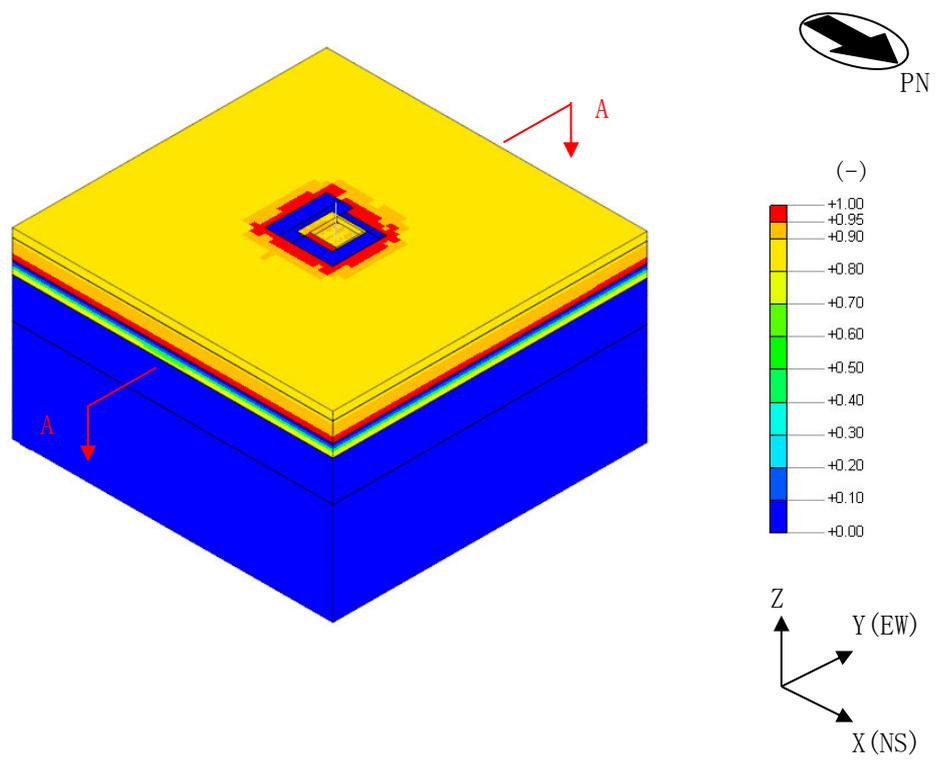


(a) 全体図

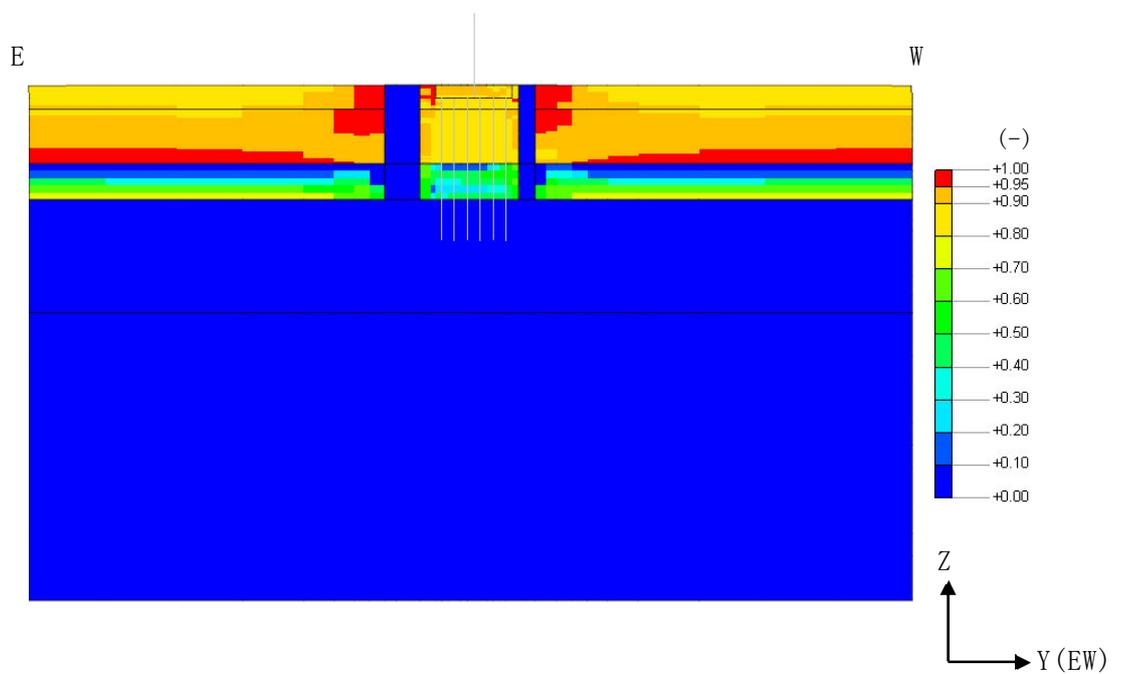


(b) A-A断面

図4-18 最大過剰間隙水圧比 (Ss-2, NS方向)

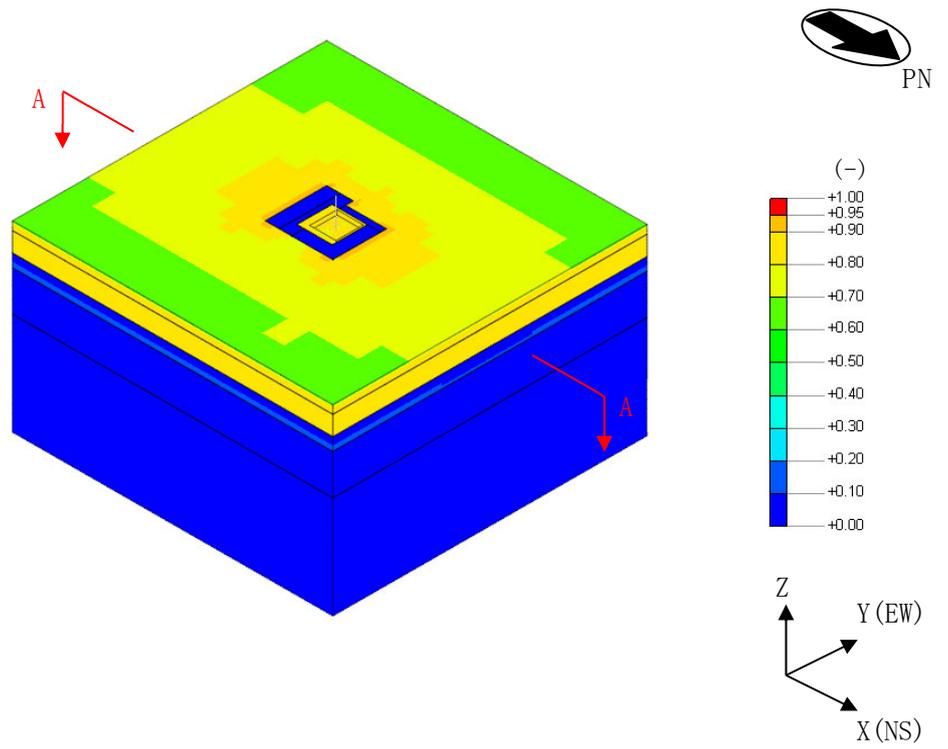


(a) 全体図

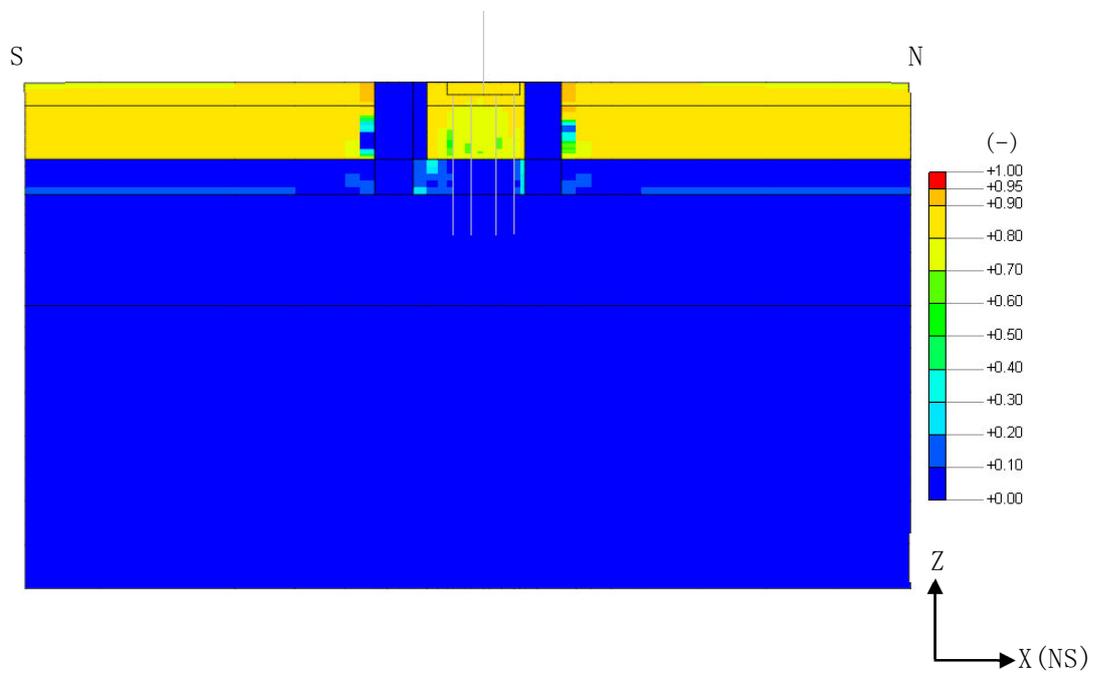


(b) A-A断面

図4-19 最大過剰間隙水圧比 (Ss-2, EW方向)

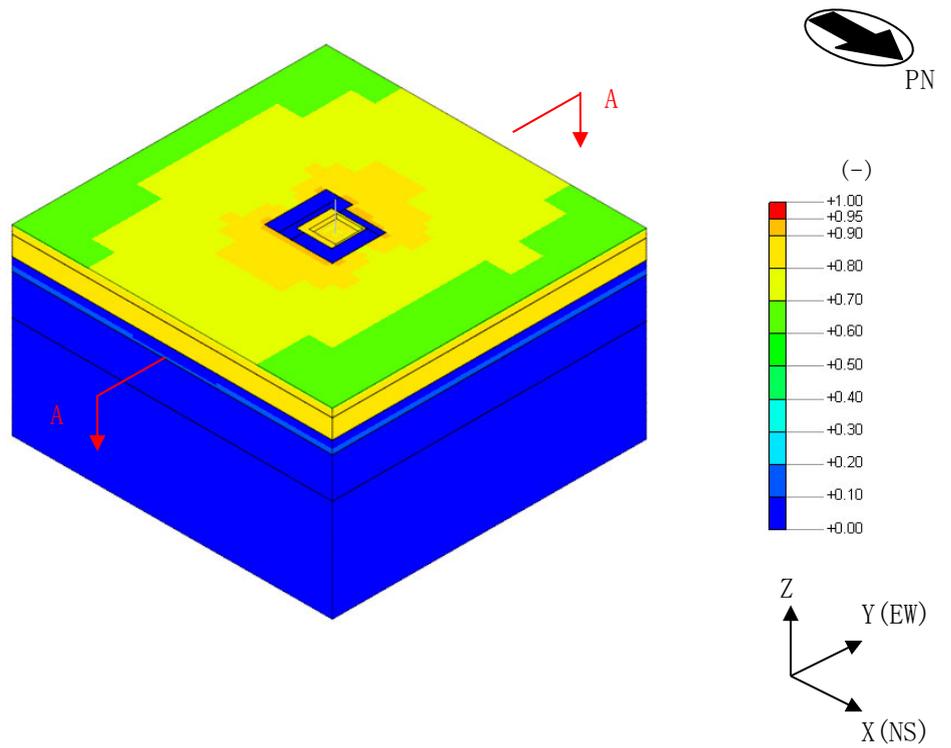


(a) 全体図

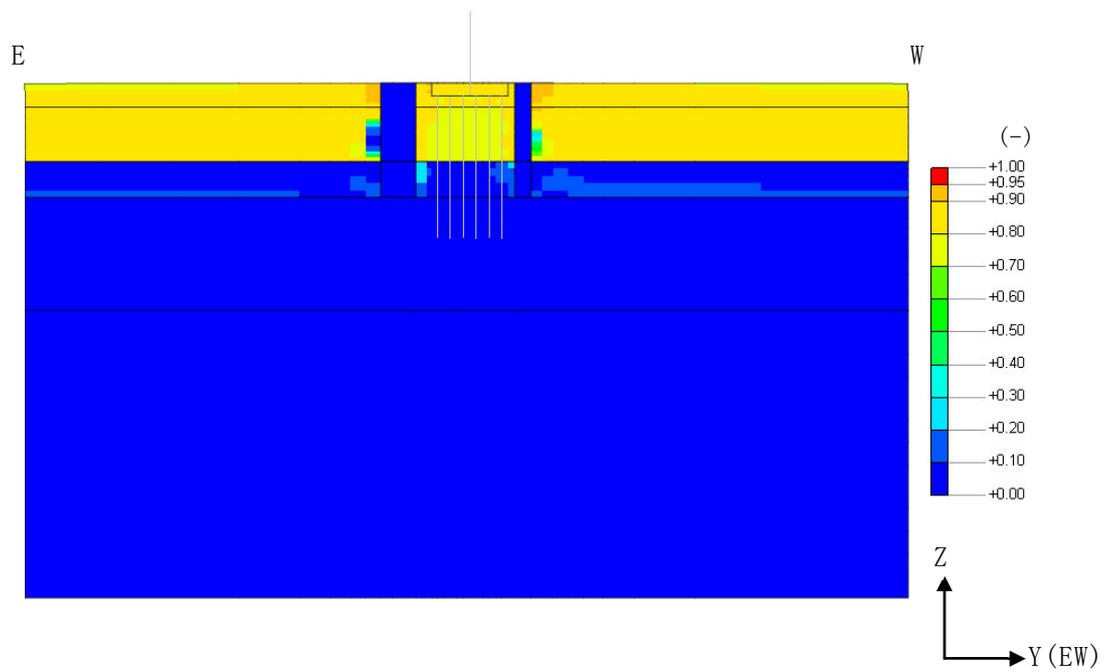


(b) A-A断面

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)

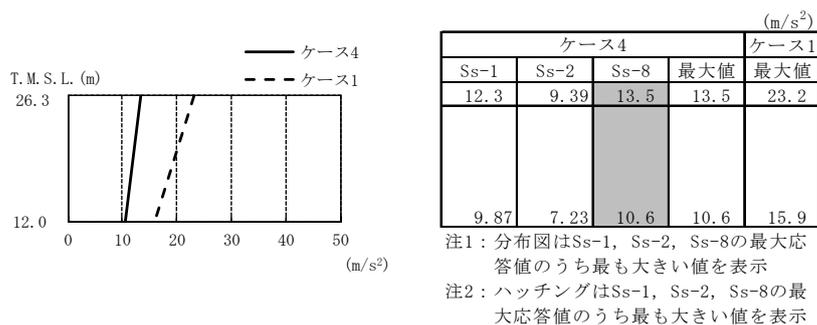


図4-22 最大応答加速度 (基準地震動 S s , NS方向)

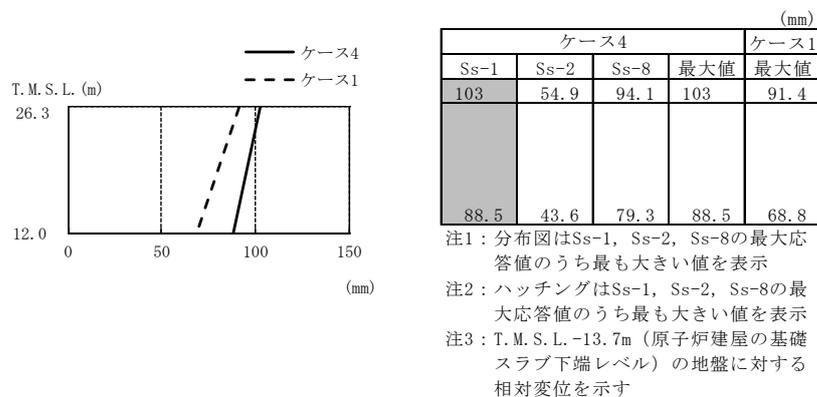


図4-23 最大応答変位 (基準地震動 S s , NS方向)

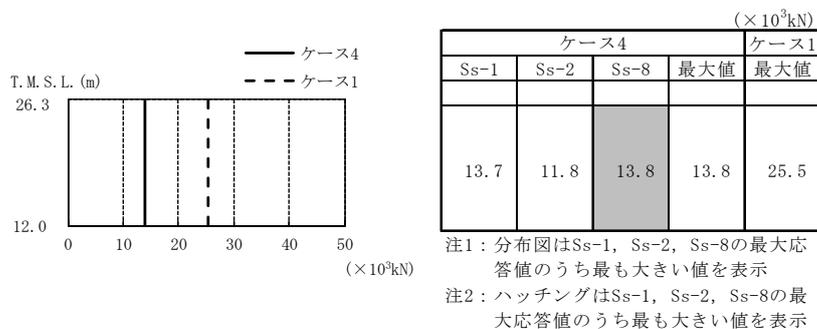


図4-24 最大応答せん断力 (基準地震動 S s , NS方向)

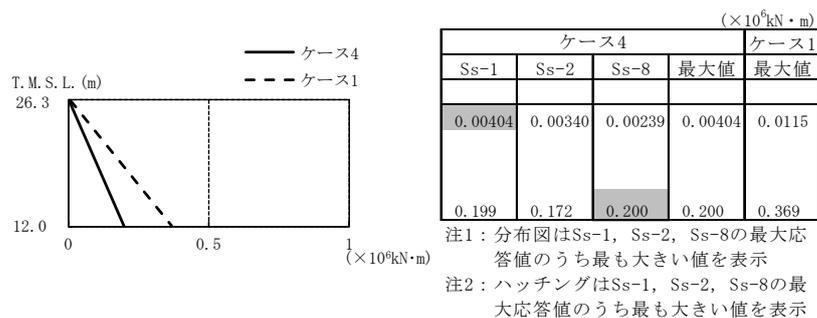


図4-25 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s , NS方向)

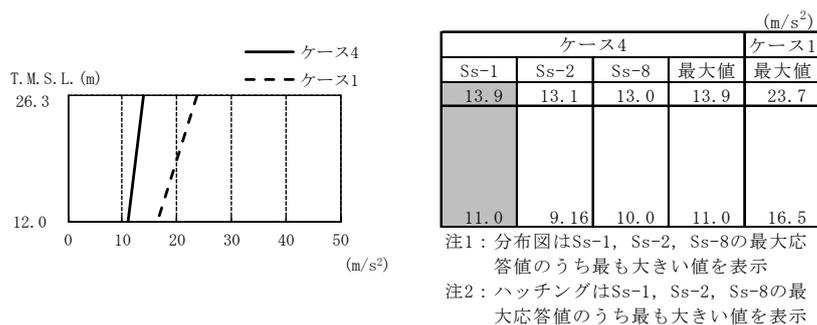


図4-26 最大応答加速度 (基準地震動 S s , EW方向)

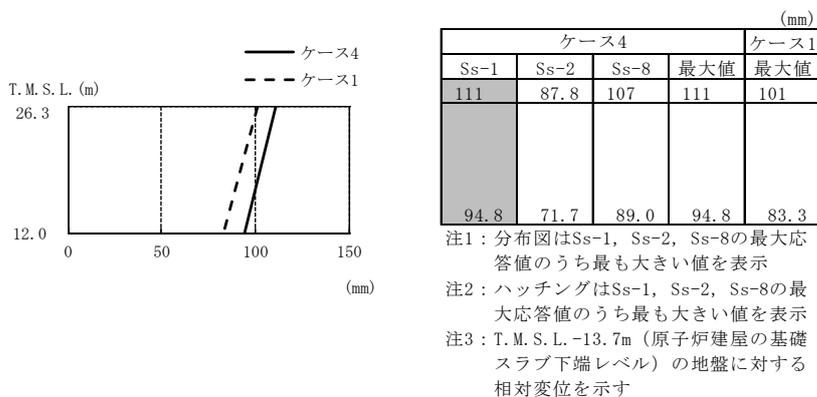


図4-27 最大応答変位 (基準地震動 S s , EW方向)

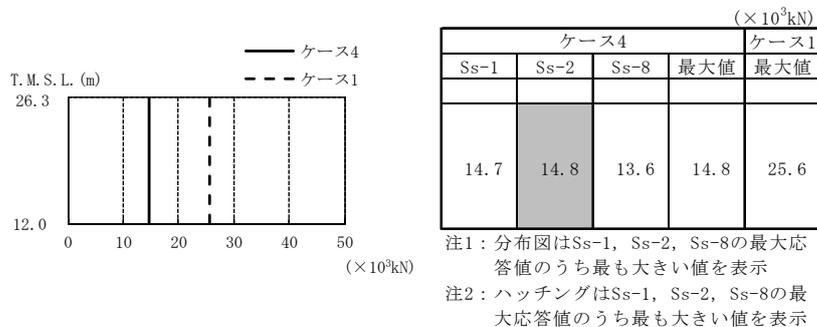


図4-28 最大応答せん断力 (基準地震動 S s , EW方向)

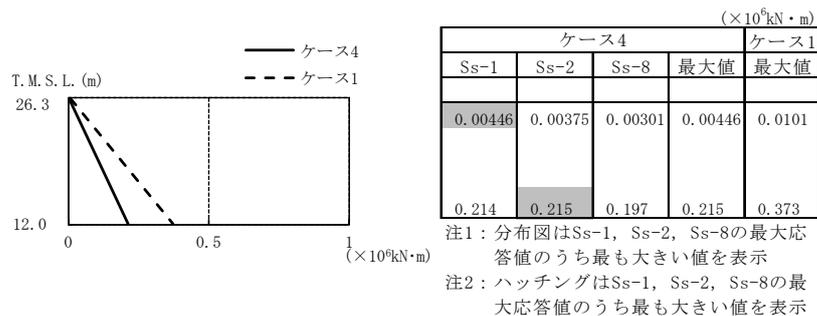


図4-29 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s , EW方向)

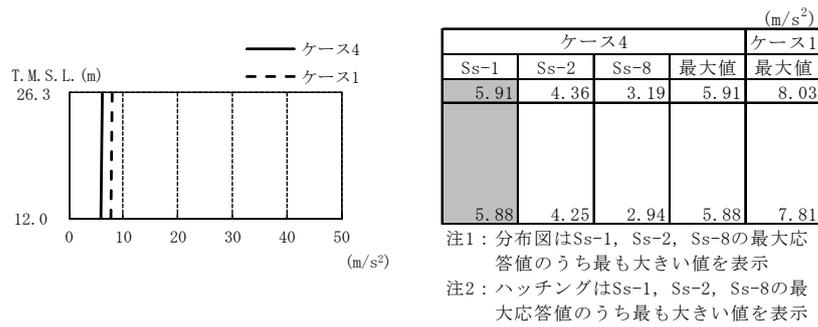


図4-30 最大応答加速度（基準地震動 S s ，鉛直方向）

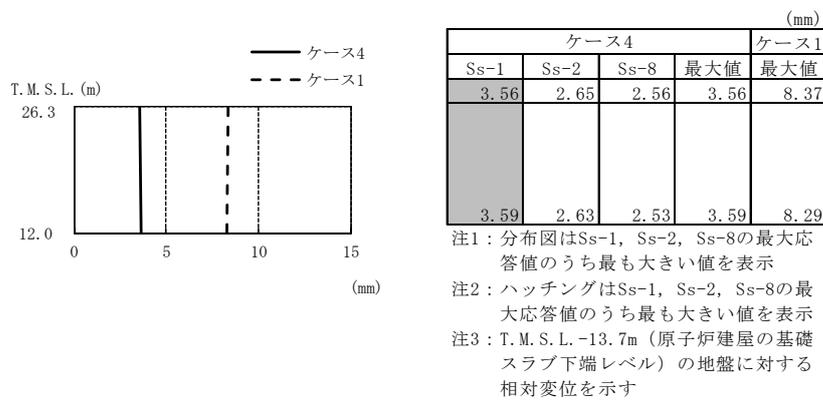


図4-31 最大応答変位（基準地震動 S s ，鉛直方向）

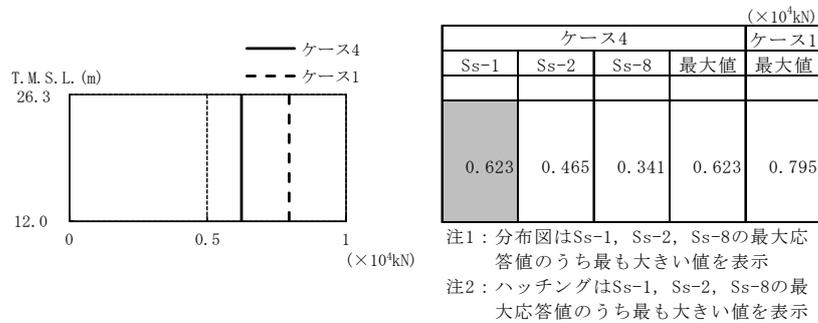


図4-32 最大応答軸力（基準地震動 S s ，鉛直方向）

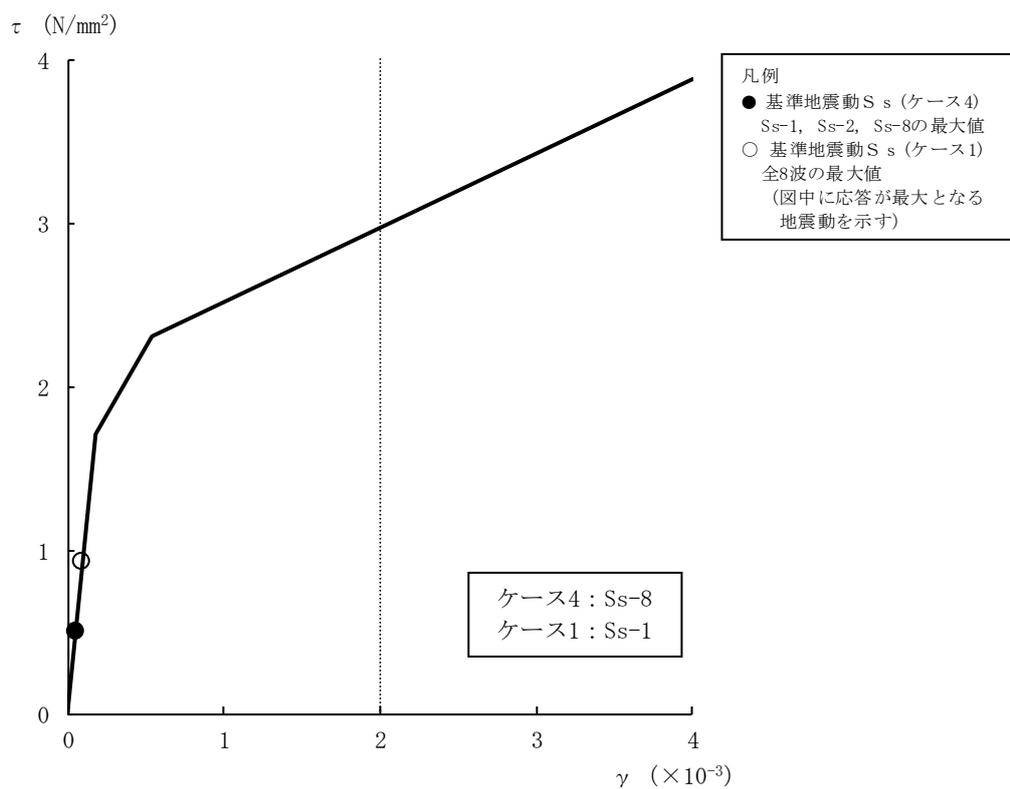


図4-33 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（基準地震動 S_s ，NS方向）

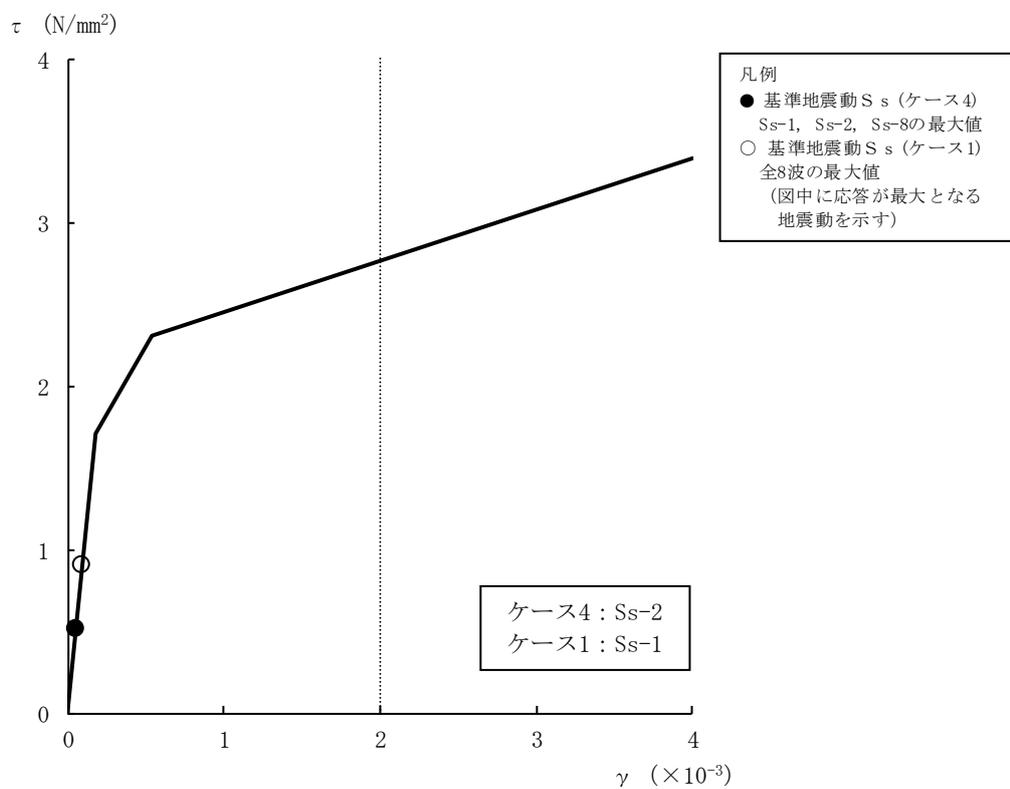
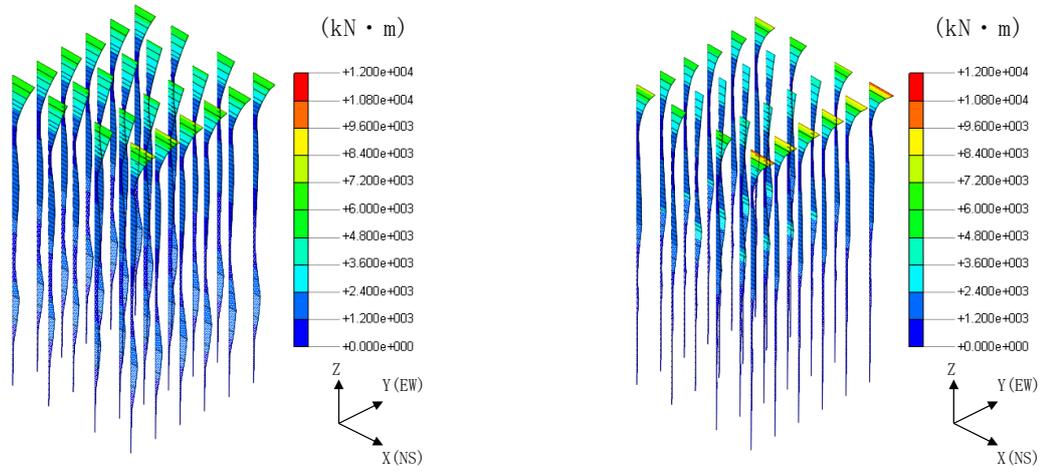


図4-34 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（基準地震動 S_s ，EW方向）

ケース 4

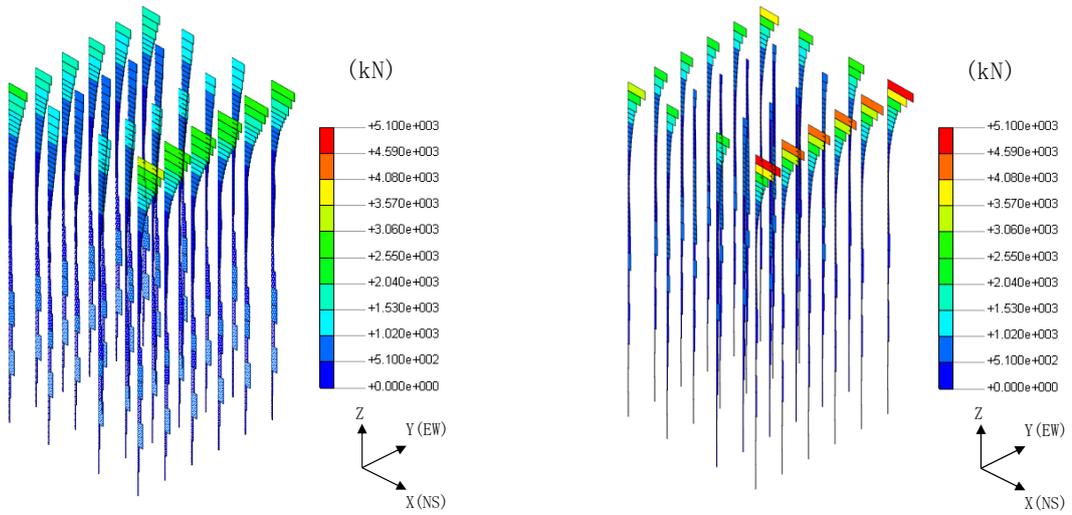
ケース 1



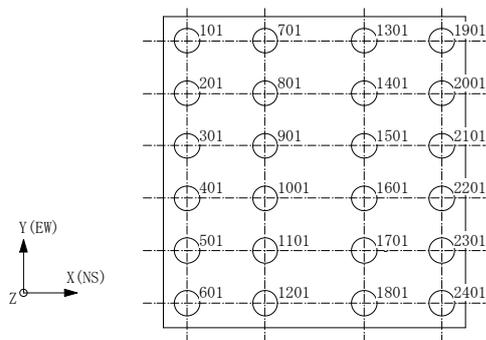
(a) 最大応答曲げモーメント

ケース 4

ケース 1

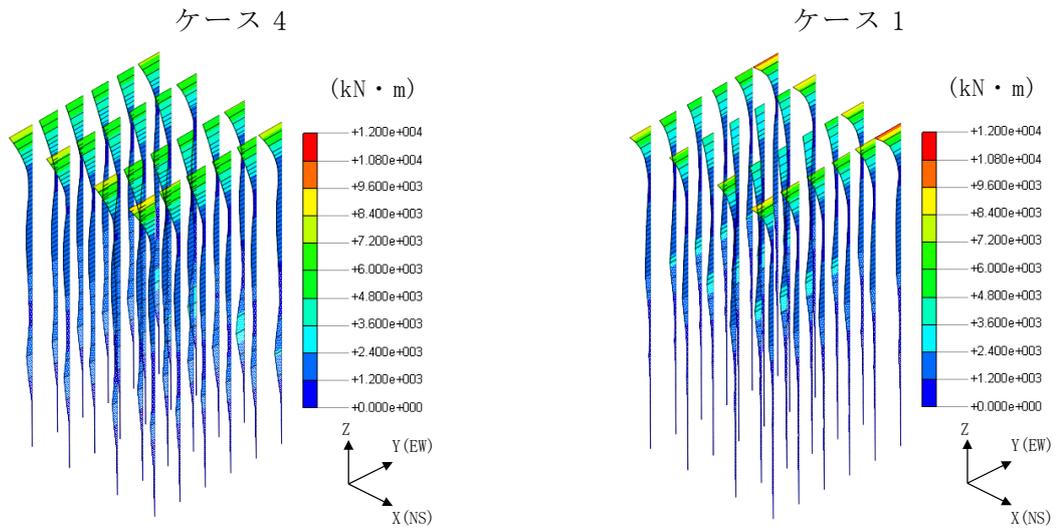


(b) 最大応答せん断力

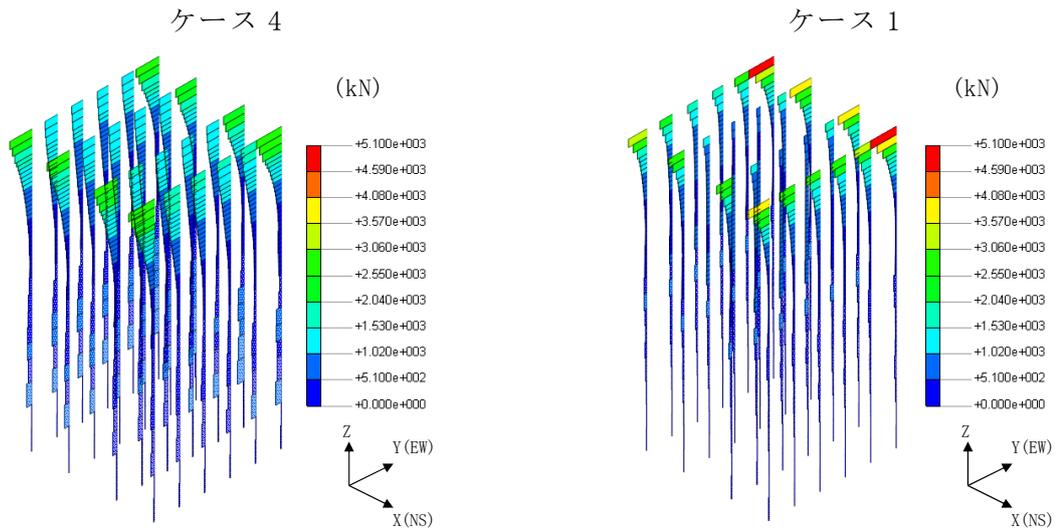


杭番号 (杭頭の要素番号)

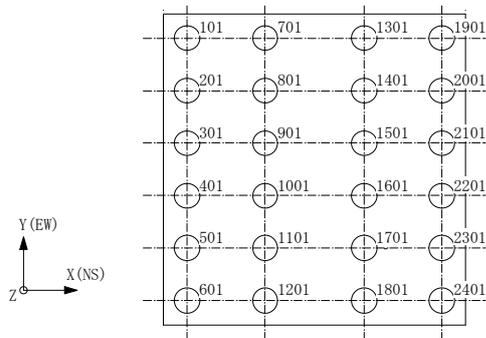
図 4-35 杭の応答値 (Ss-1, NS 方向)



(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

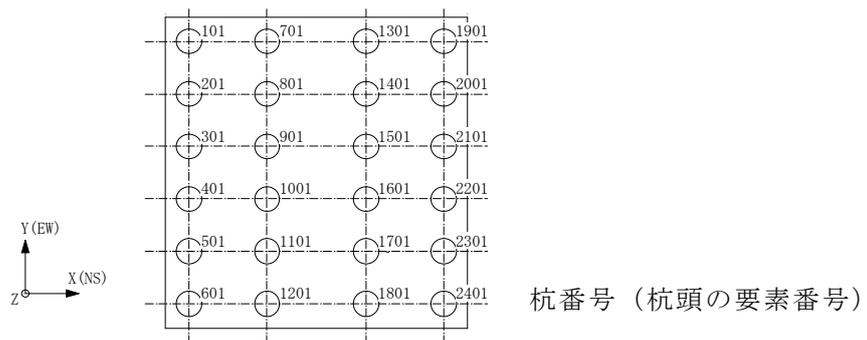


表4-1 杭頭断面力一覧 (2/2)

(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

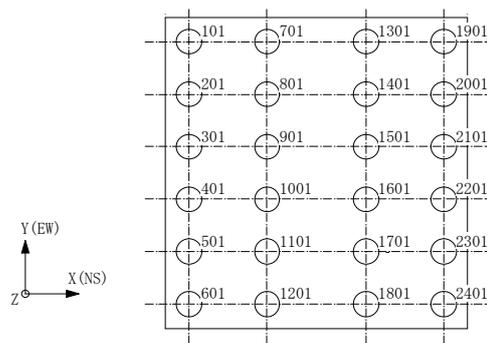
注1：ハッチングは最大応答値のうち最も大きい値を表示

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

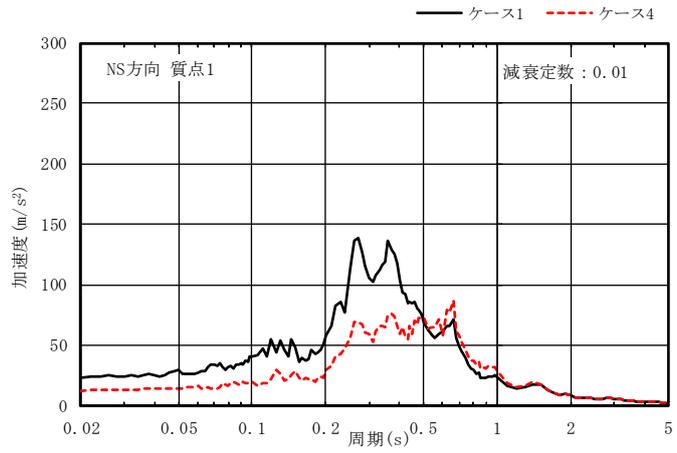


杭番号 (杭頭の要素番号)

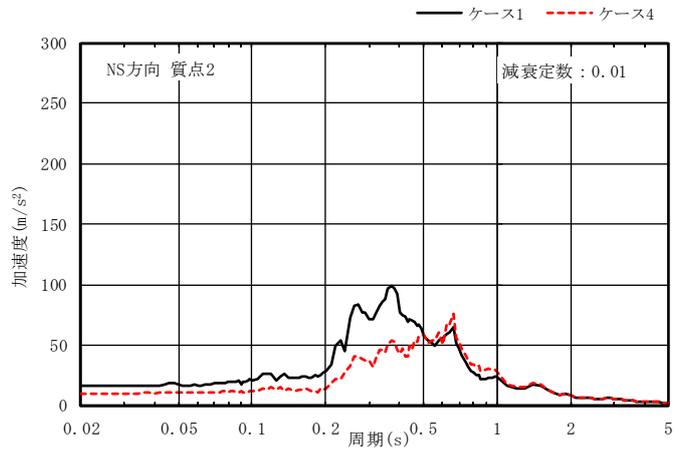
5. 床応答に対する影響

基準地震動 S_s におけるケース 4 の床応答スペクトルとケース 1 の床応答スペクトルの比較を図 5-1～図 5-6 に示す。

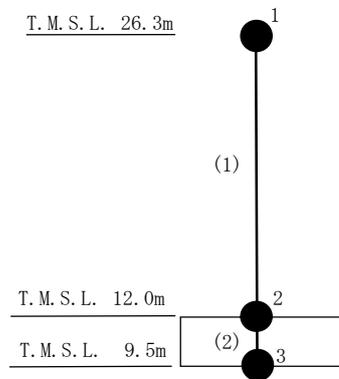
床応答スペクトルの比較を行った結果、地盤の有効応力の変化を考慮することにより、地盤剛性の低下に伴い全体的に長周期化する傾向であることを確認した。また、主要な周期帯において小さくなることを確認した。



(a) 質点 1

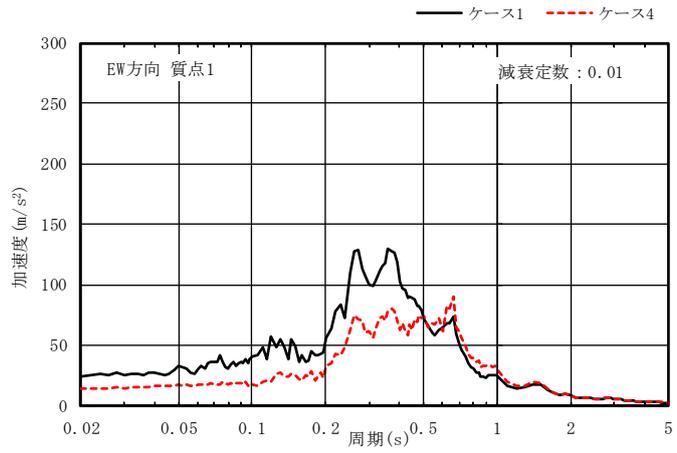


(b) 質点 2

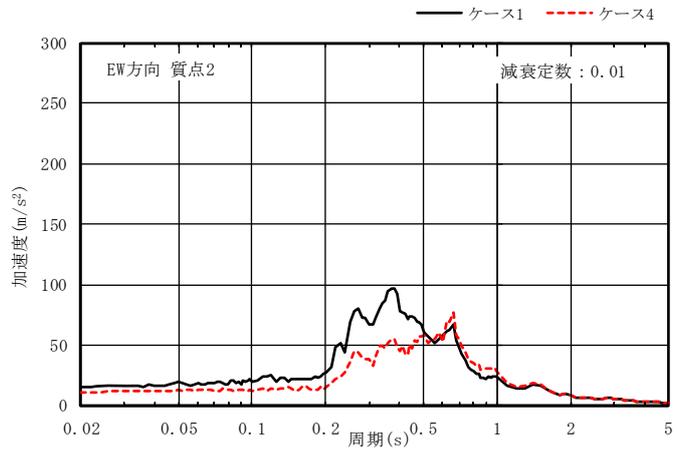


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

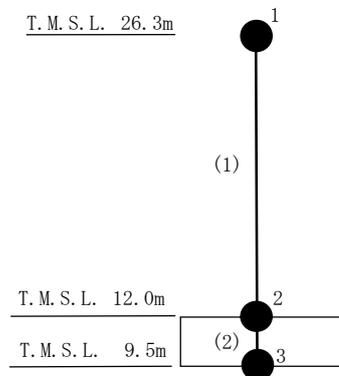
図 5-1 床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

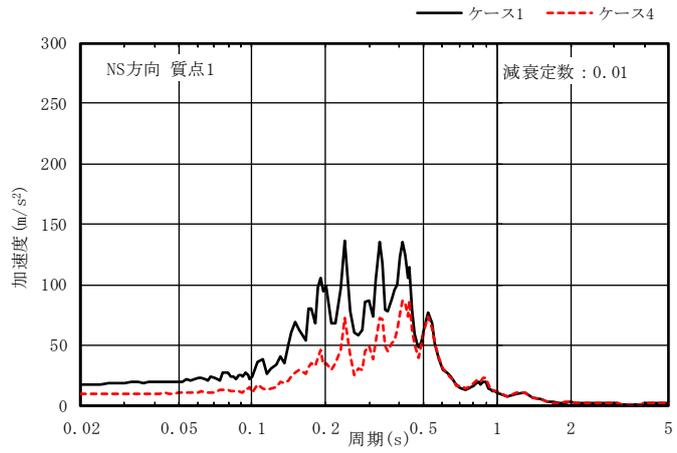


(b) 質点 2

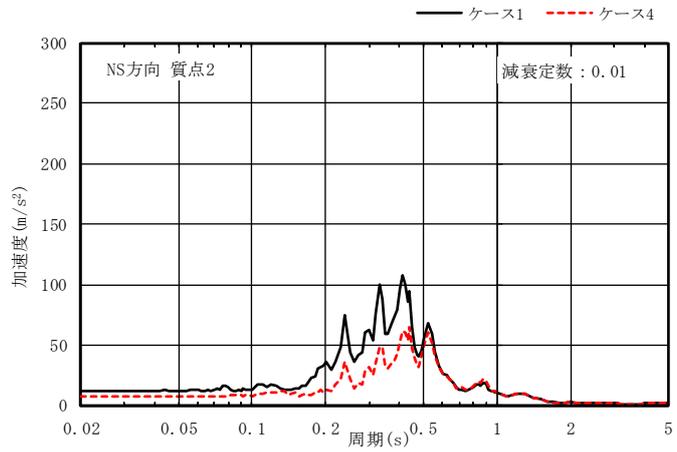


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

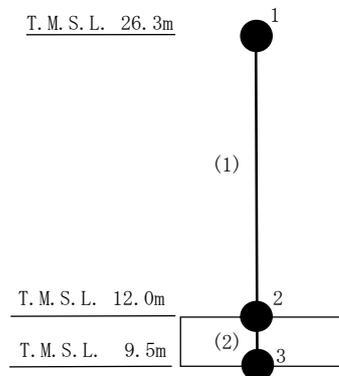
図 5-2 床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

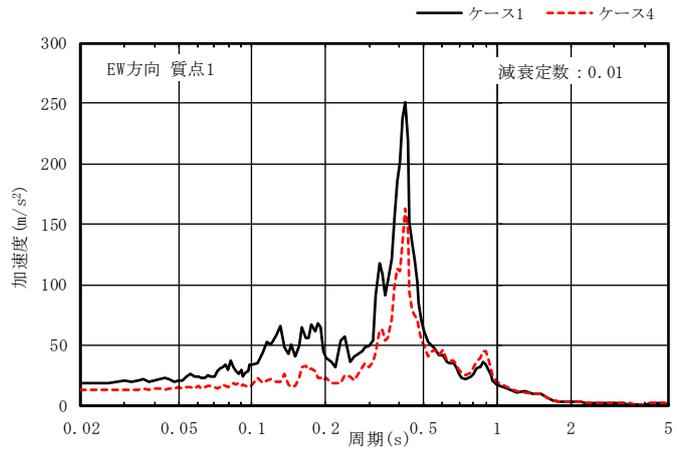


(b) 質点 2

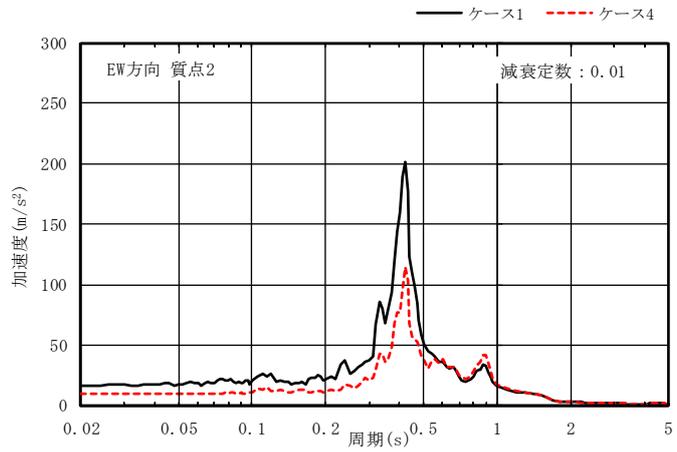


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

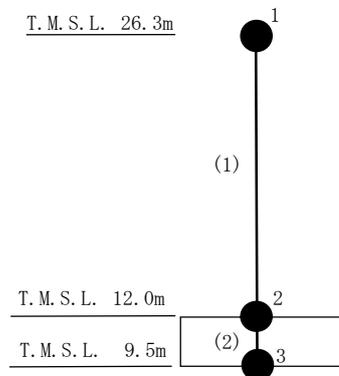
図 5-3 床応答スペクトル比較 (Ss-2, NS 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

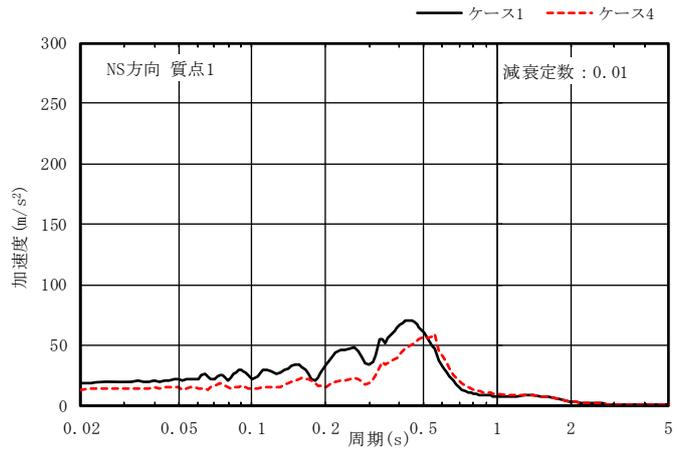


(b) 質点 2

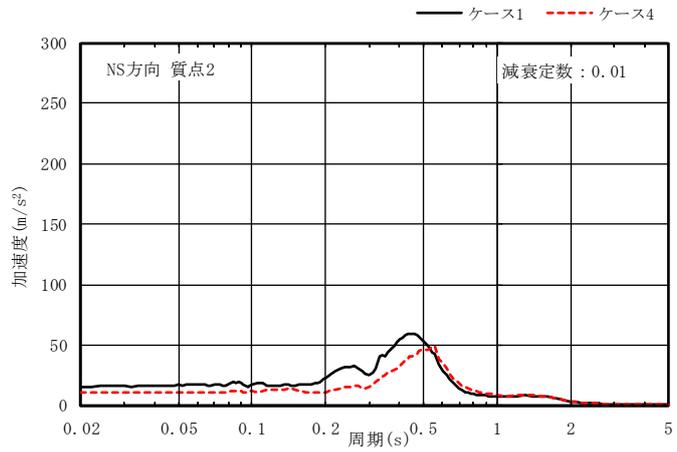


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

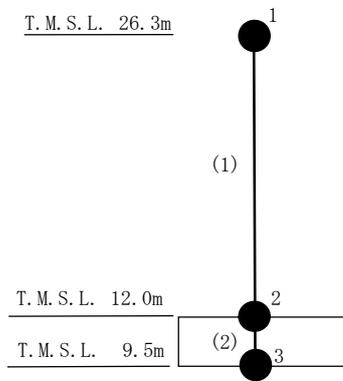
図 5-4 床応答スペクトル比較 (Ss-2, EW 方向, h=0.01)



(a) 質点 1

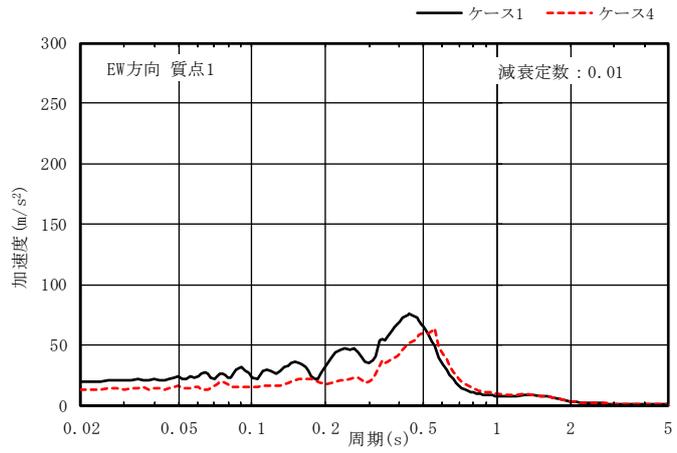


(b) 質点 2

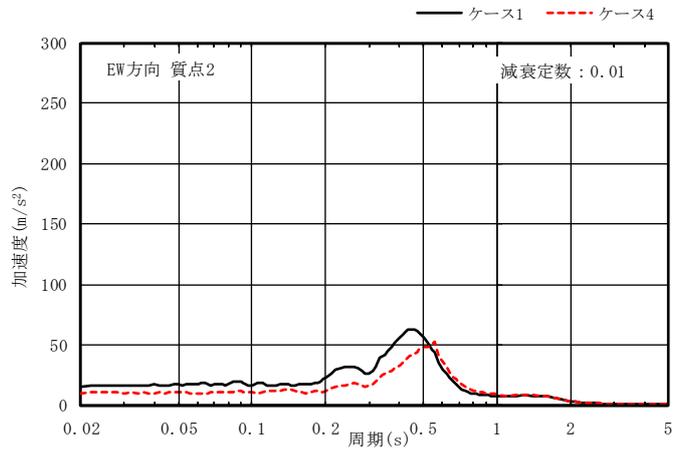


注：数字は質点番号を，（ ）内は部材番号を示す。

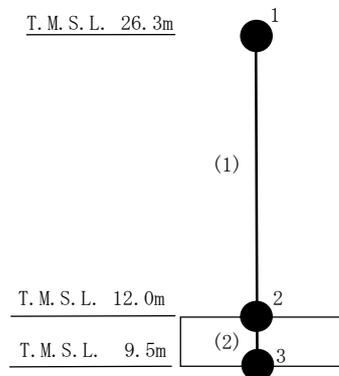
図 5-5 床応答スペクトル比較 (Ss-8, NS 方向, h=0.01)



(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。

別紙4-1 地盤の液状化を考慮した杭軸力の評価結果

目 次

1. 概要 別紙 4-1-1
2. 杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力の設定 別紙 4-1-1
3. 杭の評価結果 別紙 4-1-4

1. 概要

別紙4「地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果」においては、杭周面に接する新期砂層で部分的に液状化を生じた。本資料は、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」に基づき、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設定し、地盤の液状化を考慮した地震応答解析より求めた杭軸力を評価した結果を示すものである。

2. 杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力の設定

本資料では、新期砂層における杭の周面摩擦力を考慮しないものとし、杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力を設定する。地盤から決まる極限支持力及び極限引抜き抵抗力の評価式並びに杭体から決まる極限支持力及び極限引抜き抵抗力の算定結果については、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」の補足説明資料「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関する補足説明資料」の別紙4「杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力の設定」に示すとおりである。地盤から決まる極限支持力及び極限引抜き抵抗力の算定に用いる諸元と算定結果を表2-1及び表2-2に、杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力を表2-3及び表2-4に示す。

表2-1 地盤から決まる極限支持力の算定に用いる諸元と算定結果
(新期砂層における杭の周面摩擦力を考慮しない場合)

項目		算定結果
地盤から決まる極限支持力 R_u (kN)		15630
杭先端における単位面積あたりの極限鉛直支持力度 q_d (kN/m ²)		6178
杭先端面積 A (m ²)		1.131
杭の周長 U (m)		3.770
周面摩擦力を考慮する層の 最大周面摩擦力度 f_i (kN/m ²)	新期砂層(1) (T. M. S. L. 9.5m~T. M. S. L. 7.3m)	0
	新期砂層(2) (T. M. S. L. 7.3m~T. M. S. L. -3.5m)	0
	古安田層 (T. M. S. L. -3.5m~T. M. S. L. -10.6m)	150
	西山層 (T. M. S. L. -10.6m~T. M. S. L. -18.8m)	150

表2-2 地盤から決まる極限引抜き抵抗力の算定に用いる諸元と算定結果
(新期砂層における杭の周面摩擦力を考慮しない場合)

項目		算定結果
杭の有効重量を考慮した地盤から決まる極限引抜き抵抗力 P_u (kN)		9106
地盤から決まる極限引抜き抵抗力 P_u (kN)		8652
杭の有効重量 W (kN)		454
杭の周長 U (m)		3.770
周面摩擦力を考慮する層の 最大周面摩擦力度 f_i (kN/m ²)	新期砂層(1) (T. M. S. L. 9.5m~T. M. S. L. 7.3m)	0
	新期砂層(2) (T. M. S. L. 7.3m~T. M. S. L. -3.5m)	0
	古安田層 (T. M. S. L. -3.5m~T. M. S. L. -10.6m)	150
	西山層 (T. M. S. L. -10.6m~T. M. S. L. -18.8m)	150

表 2-3 杭の極限支持力（新期砂層における杭の周面摩擦力を考慮しない場合）

（単位： $\times 10^3 \text{kN}$ ）

地盤から決まる極限支持力	杭体から決まる極限支持力	杭の極限支持力
15.6	50.0	15.0

表 2-4 杭の極限引抜き抵抗力（新期砂層における杭の周面摩擦力を考慮しない場合）

（単位： $\times 10^3 \text{kN}$ ）

地盤から決まる 極限引抜き抵抗力	杭体から決まる 極限引抜き抵抗力	杭の極限引抜き抵抗力
9.11	28.8	9.10

3. 杭の評価結果

地盤の液状化を考慮した地震応答解析により求めた杭の軸力に対する評価結果を表3-1に示す。

地盤の液状化を考慮した場合においても、発生する杭の軸力が許容限界を超えないことを確認した。

表 3-1 杭の鉛直支持力及び引抜き抵抗力に対する評価結果

	許容限界	S s 地震時 ^{*1}	検定比 ^{*2}
鉛直支持力 (×10 ³ kN)	15.0	7.79	0.520
引抜き抵抗力 (×10 ³ kN)	9.10	6.44	0.708

注記*1：有効応力解析結果のうち、杭の最大応答軸力及び最小応答軸力を示す。

*2：評価結果は地盤の液状化を考慮したものである。

(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

1. 概要

本資料は、装置基礎の有効応力解析に用いる解析用物性値及びその設定根拠を示すものである。

2. 有効応力解析に用いる解析用物性値

装置基礎の有効応力解析に用いる解析用物性値は原則としてV-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」と同一とするが、使用する解析コードが異なることから、液状化パラメータ及び非液状化検討対象層のポアソン比の設定は異なる。液状化パラメータの設定については、「3.2 解析パラメータの設定方針」に示す。非液状化検討対象層のポアソン比は、PS検層に基づき設定する。解析用物性値を表2-1及び表2-2に、その設定根拠を表2-3及び表2-4に示す。

表2-1 有効応力解析に用いる解析用物性値（原地盤）

物性値		地質区分	埋戻土	新期砂層	古安田層 (A2s層)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m以浅)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m~-90.0m)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)		1.94	2.05	1.91	1.73	1.69
	間隙率 n		0.45	0.44	0.45	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)		1.04×10^5	1.26×10^5	2.14×10^5	4.16×10^5	4.75×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)		98.0	98.0	200.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν		0.33	0.33	0.33	0.451	0.446
	減衰定数の上限値 h_{max}		0.225	0.234	0.157	0.257	0.257
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)		0.0	0.0	0.0	1370-5.04・Z*	1370-5.04・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。

表2-2 有効応力解析に用いる解析用物性値（地盤改良体）

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

表2-3 有効応力解析に用いる解析用物性値の設定根拠（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	物理試験				
	間隙率	n	物理試験						
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ma}	PS検層によるS波速度、密度に基づき設定						
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}'	慣用値*	G_{ma} に対応する値			慣用値*		
	ポアソン比	ν	慣用値*				PS検層		
	減衰定数の上限値	h_{max}	動的変形特性に基づき設定						
強度特性	粘着力	c'	三軸圧縮試験						
	内部摩擦角	ϕ'							
液状化特性	液状化パラメータ (SoilPlus)	A	液状化強度試験結果 に基づく要素シミュレーション				-		
		B							
		C							
		D							
		$C_s/(1+e_0)$							
		$C_c/(1+e_0)$							
		X1							

注記*：液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法（港湾技研資料No.869）（運輸省港湾技術研究所，平成9年6月）

表2-4 有効応力解析に用いる解析用物性値の設定根拠（地盤改良体）

種別（地盤種別）		置換	高压噴射（砂質土）	
物理特性	密度	ρ	工法別平均値	対象土層の最大値
	間隙率	n	工法別平均値	
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ma}	設計S波速度、密度に基づき設定	
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}'	慣用値*1	
	ポアソン比	ν	工法別実績値 軽油タンク基礎（置換）に基づき設定	工法別実績値 軽油タンク基礎（高压噴射（砂質土））に基づき設定
	減衰定数の上限値	h_{max}	文献*2	
強度特性	粘着力	c	設計一軸圧縮強度	

注記*1：液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法（港湾技研資料No.869）（運輸省港湾技術研究所，平成9年6月）

*2：改訂版「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—」（日本建築センター，平成14年11月）

3. 有効応力解析の液状化パラメータの設定方針

3.1 有効応力解析コード SoilPlus について

解析コード「SoilPlus」は、2005年に伊藤忠テクノソリューションズ（株）において開発され、2次元及び3次元の静的・浸透・動的問題を取り扱うことができる総合的な汎用計算機プログラムである。SoilPlusの主な特徴として、以下の6点が挙げられる。

- ① 有限要素法に基づくプログラムである。
- ② はり要素、シェル要素及びソリッド要素等を用いた応力解析が可能である。
- ③ 地震応答解析では、一般的な運動方程式に基づく地震応答解析に加え、地盤の有効応力の変化及び地盤の非線形特性を地盤-構造物の連成モデルにおいて考慮することが可能である。
- ④ 地盤要素の非線形モデルとして、双曲線型の修正 H-D(Hardin-Drnevich)モデル、修正 GHE(General Hyperbolic Equation)モデル及び修正 R-O(Ramberg-Osgood)モデル、鉄筋コンクリート等の構造部材については部材軸力の依存性を考慮したM- ϕ 関係に基づく非線形構造モデル等が適用可能である。
- ⑤ 土の応力-ひずみモデルとして多重せん断モデルを採用している。2次元多重せん断モデルについては東畑・石原^{*1}の方法、3次元多重せん断モデルについては西村・東畑^{*2}の方法を採用している。
- ⑥ 液状化におけるダイレイタンス特性にはおわんモデルを用いている。

装置基礎の有効応力解析では、土の応力-ひずみ関係に修正 H-D モデルを適用している。また、履歴ループについては、その大きさを任意に調整可能なように拡張した Masing 則を用いている。図 3-1 に多重せん断モデルの概念図を、図 3-2 に排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図を示す。

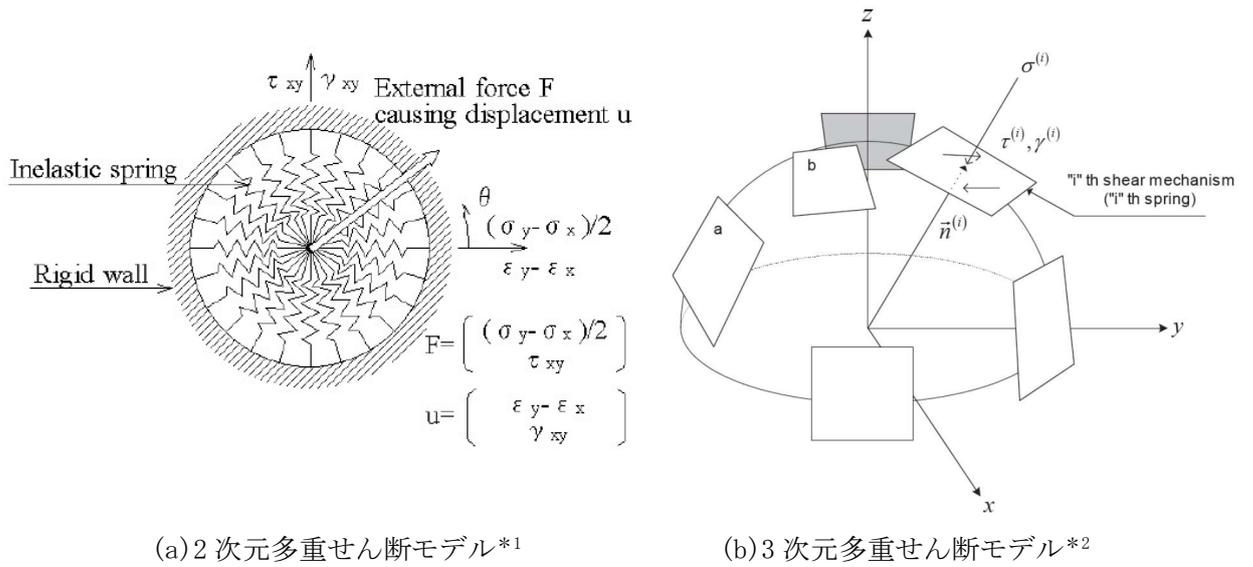
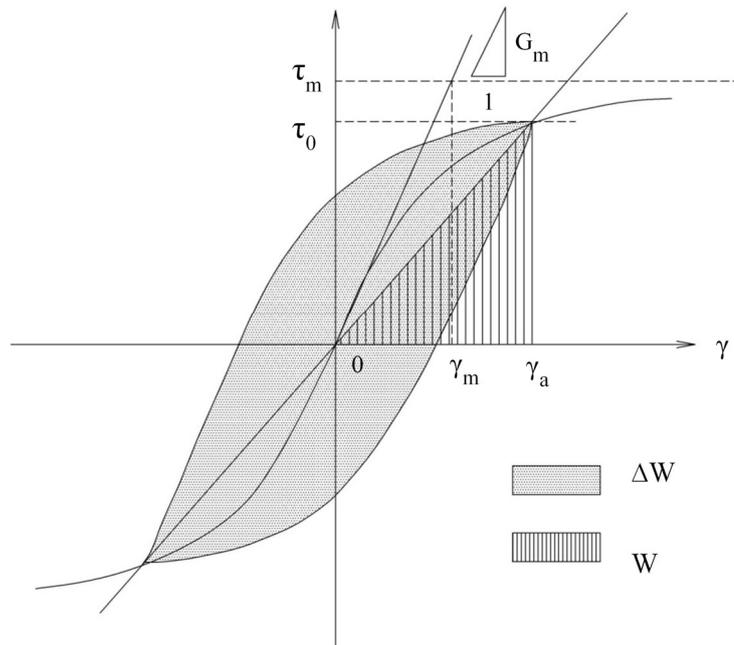


図 3-1 多重せん断モデルの概念図



注記*1 : Tohata, I. and Ishihara, K. : Modelling soil behavior under principal stress axes rotation, Proc. of Fifth International Conference on Numerical Method in Geomechanics, pp.523-530, 1985.

*2 : 西村聡, 東畑郁生 : マルチスプリングモデルによる砂の三次元構成則, 第 37 回地盤工学研究発表会, pp.481-482, 2002.

3.2 解析パラメータの設定方針

有効応力解析コード Soil Plus では、動的変形特性を規定するパラメータと、液状化に伴うダイレイタンスーを規定する液状化パラメータを設定する必要がある。Soil Plus における解析パラメータを表 3-1 に示す。このうち、液状化パラメータは、液状化検討対象層にのみ設定する。

液状化パラメータは、要素シミュレーションを実施し、これより得られる解析上の液状化抵抗曲線が、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」に記載された液状化強度試験から得た液状化抵抗曲線（回帰曲線 -1σ ）に対して同等になるように設定する。Soil Plus における液状化パラメータの設定フローを図 3-3 に示す。地層ごとに設定した要素シミュレーション上の液状化抵抗曲線を図 3-4～図 3-6 に示す。なお、有効応力解析に用いる解析用物性値の適用性については、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」に示す。

表 3-1 Soil Plus において必要となる解析パラメータ

分類	解析パラメータ	
動的変形特性	G_{oi}	基準拘束圧下における動せん断弾性係数
	m	拘束圧依存係数
	γ_{ri}	基準拘束圧下における基準ひずみ
	h_{max}	履歴減衰の上限値
液状化特性	A	ダイレイタンスー成分のうち、膨張成分 ϵ_r を表すパラメータであり、合せん断ひずみに対する係数部分を表す
	B	ダイレイタンスー成分のうち、膨張成分 ϵ_r を表すパラメータであり、合せん断ひずみに対する指数部分を表す
	C	ダイレイタンスー成分のうち、圧縮成分 ϵ_g を表すパラメータであり、 $1/C$ はせん断初期におけるダイレイタンスーの勾配を表す
	D	ダイレイタンスー成分のうち、圧縮成分 ϵ_g を表すパラメータであり、 $1/D$ は双曲線の漸近線（最大圧縮量）を表す
	$C_s/(1+e_0)$	有効応力が減少する場合における土の体積ひずみの変化を表すパラメータであり、 C_s は膨潤指数、 e_0 は初期間隙比を表す
	$C_c/(1+e_0)$	有効応力が増加する場合における土の体積ひずみの変化を表すパラメータであり、 C_c は圧縮指数、 e_0 は初期間隙比を表す
	X 1	液状化強度の下限値

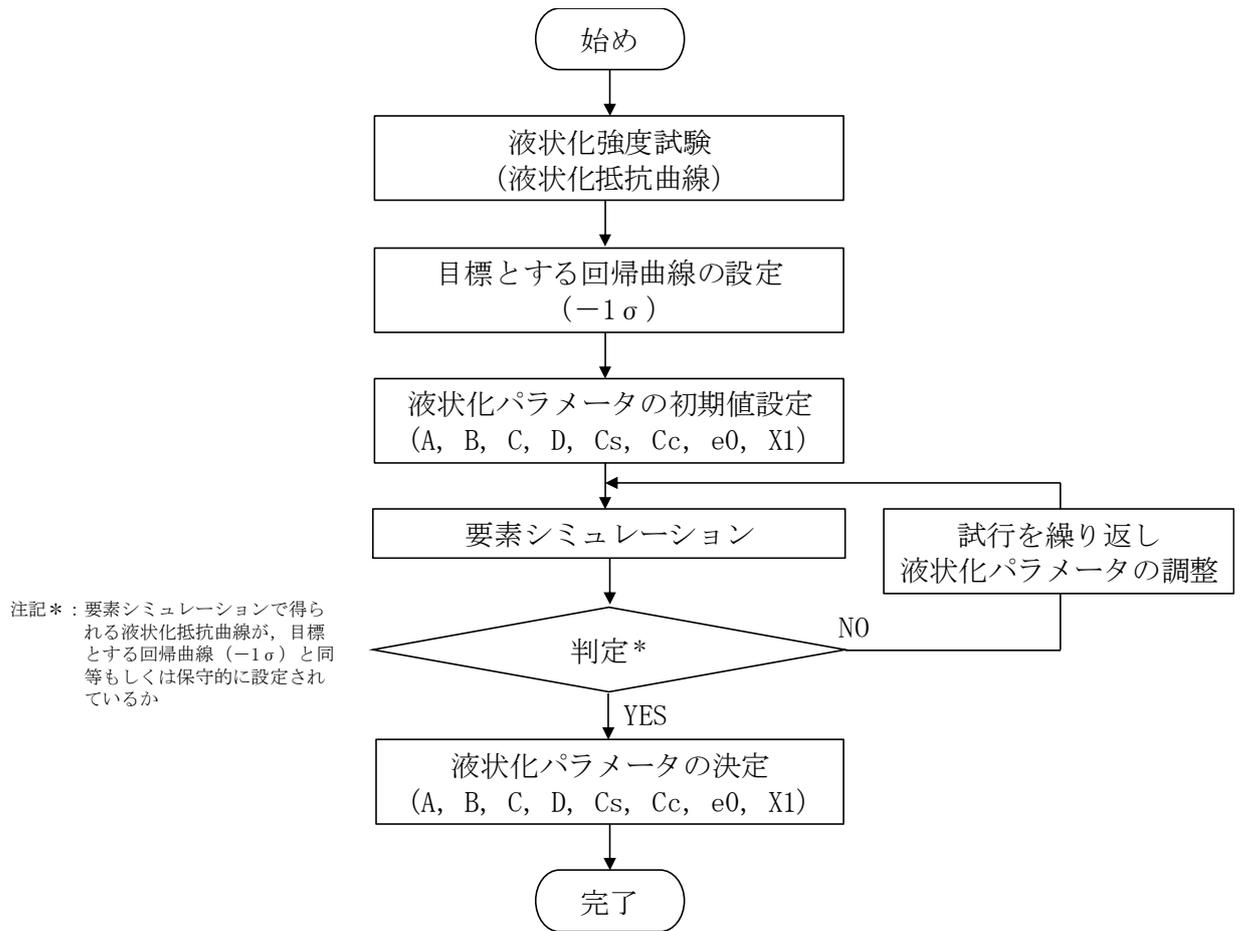


図 3-3 Soil Plus における液状化パラメータの設定フロー

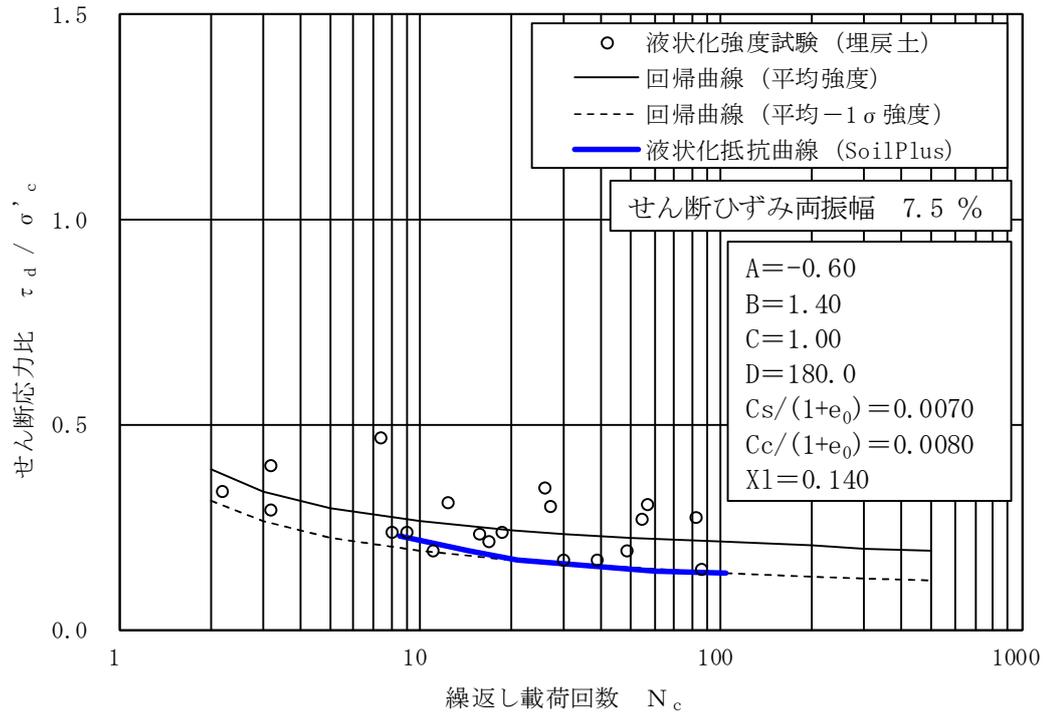


図 3-4 液状化抵抗曲線 (埋戻土)

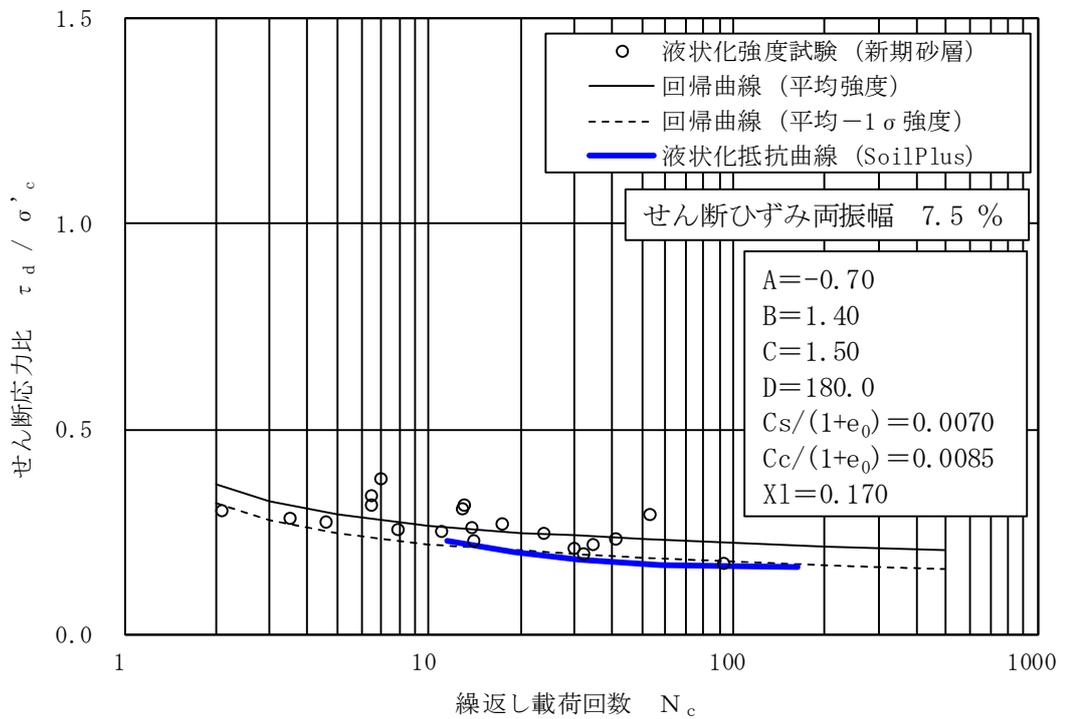


図 3-5 液状化抵抗曲線 (新期砂層)

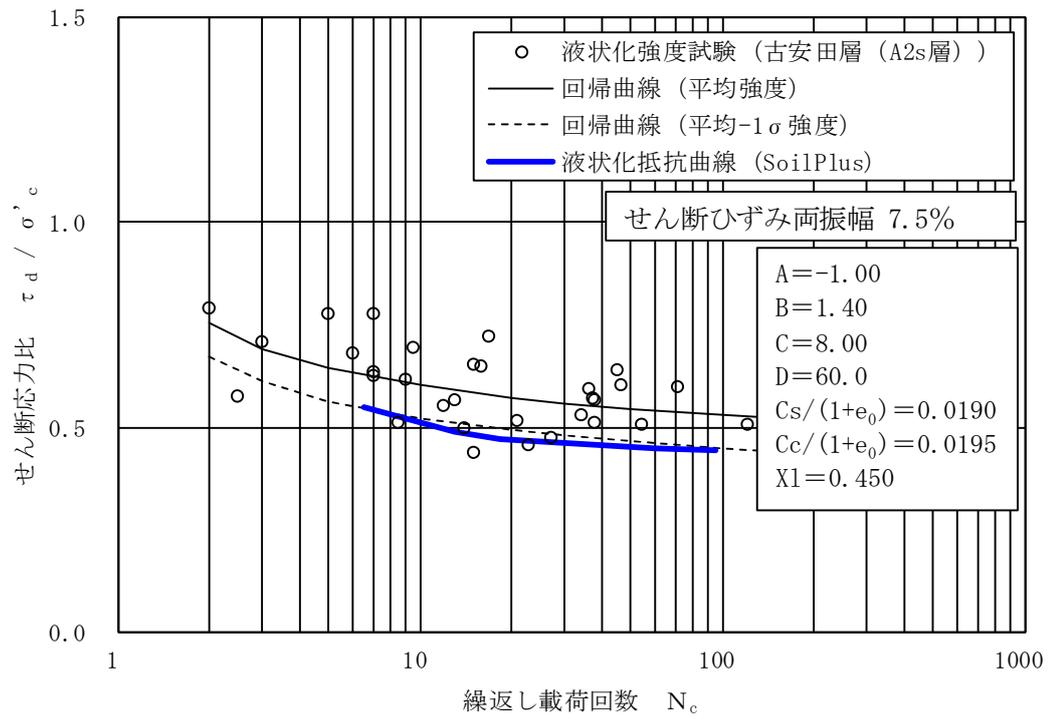


図 3-6 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s 層))

(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

1. 概要

本資料では、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」で設定した地盤の液状化強度特性に対して、耐震評価への適用性を確認するため、2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした解析コード Soil Plus による有効応力解析を行い、当該地震時に敷地内で観察された地盤変状と比較する。検討フローを図 1-1 に示す。なお、同図における「新潟県中越沖地震と敷地内地盤変状の整理」については、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 5「有効応力解析に用いる解析用物性値の適用性について」(以下「V-2-1-3 補足参考資料 5」という。)に示す通りである。

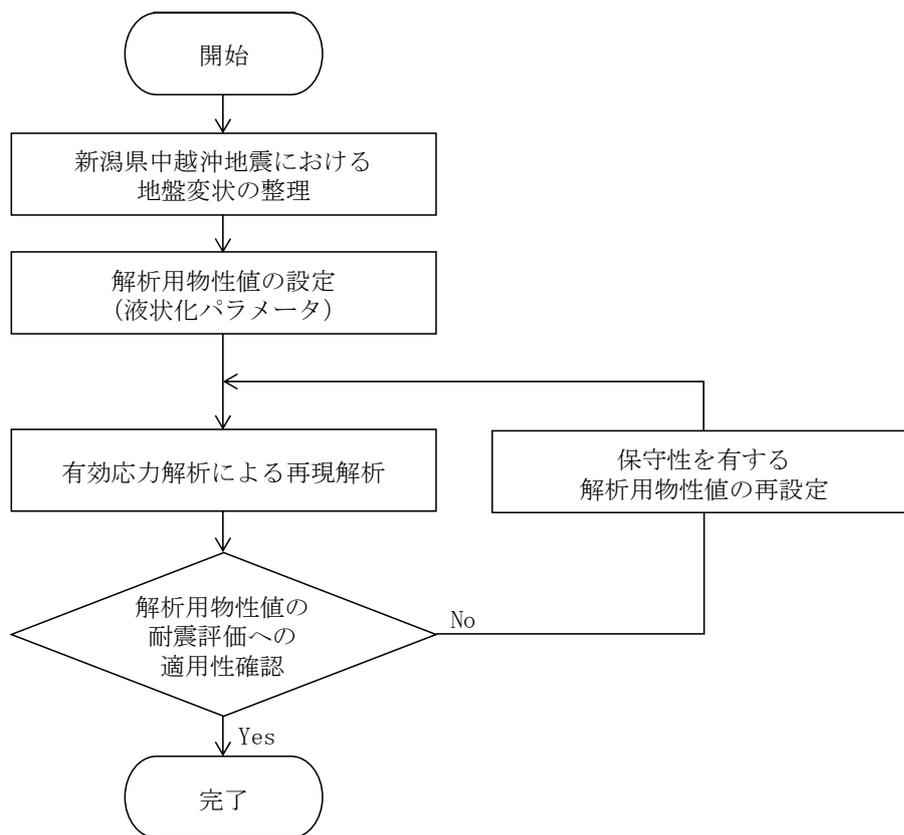


図 1-1 解析用物性値の適用性検討のフロー

2. 有効応力解析による再現解析

2.1 解析条件

2.1.1 解析断面

装置基礎の有効応力解析に用いる基準地震動 S_s は新潟県中越沖地震より大きいことから、本解析では V-2-1-3 補足参考資料 5 における 2 つの解析断面のうち、水平方向の地盤変状が大きい北断面を代表として解析する。解析モデルを図 2-1 に示す。なお、解析領域の境界部においては、V-2-1-3 補足参考資料 5 と同様に側方及び底面に粘性境界を設ける。

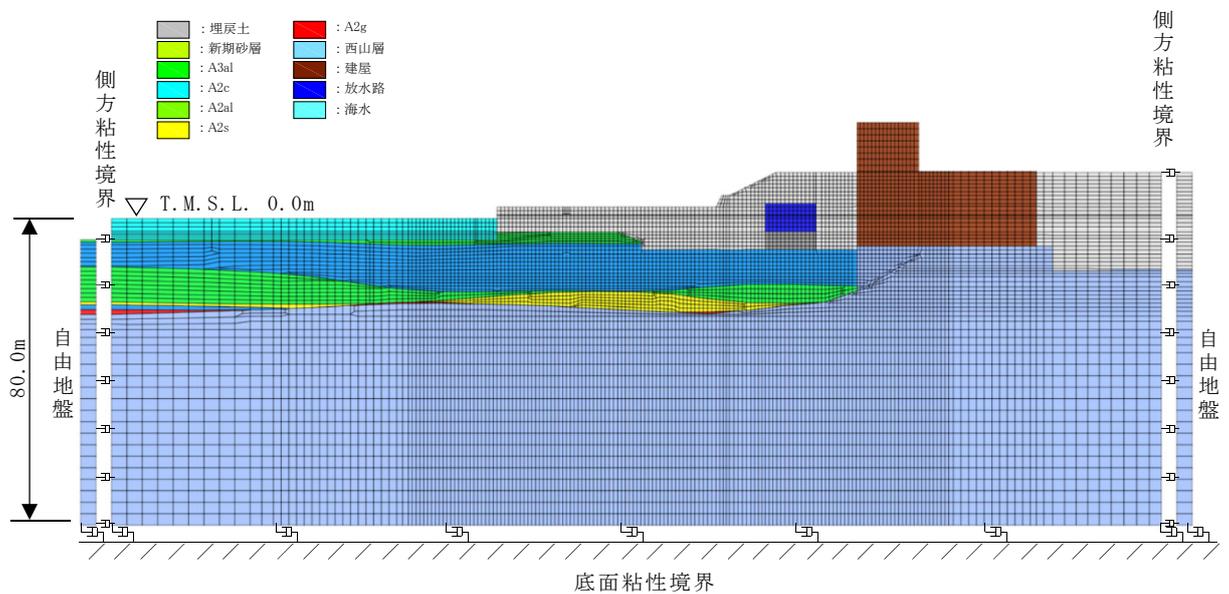


図 2-1 再現解析の解析モデル（北断面）

2.1.2 地下水位設定

地下水位は、V-2-1-3 補足参考資料 5 と同様に T.M.S.L. 1.0m とする。また、海水位は T.M.S.L. 0.0m とする。

2.1.3 入力地震動

入力地震動は、V-2-1-3 補足参考資料 5 と同様に、新潟県中越沖地震において 5 号機原子炉建屋で観測された地震記録を解析モデル下端 (T.M.S.L. -80.0m) に引き戻した地震動を用いる。

2.1.4 解析用物性値（液状化パラメータ）の設定

耐震評価に用いる解析用物性値は、保守性を考慮するため、地盤の液状化強度特性のばらつきを踏まえ、液状化強度試験の「回帰曲線-1 σ 」に基づいて液状化パラメータを設定している。再現解析においては、解析コードの再現性と適用性に着目することから、V-2-1-3 補足参考資料 5 と同様に、「回帰曲線（平均値）」に基づいて液状化パラメータを設定する。

本検討では、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」に示した解析用物性値を『基本ケース』とし、液状化強度試験の平均値に基づき設定した解析用物性値を『平均値ケース』とする。表 2-1 に再現解析における「平均値ケース」の解析用物性値を、図 2-2～図 2-4 に液状化抵抗曲線をまとめる。なお、比較のため、「基本ケース」の結果も併記する。

表 2-1 再現解析に用いる解析用物性値（液状化検討対象層：平均値ケース）

物性値		地質区分			
		埋戻土	新期砂層	古安田層 (A2s層)	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.79)*	2.05 (2.00)*	1.91	
	間隙率 n	0.45	0.44	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	1.04×10^5	1.26×10^5	2.14×10^5	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	98.0	200.0	
	ポアソン比 ν	0.33 (0.42)*	0.33 (0.44)*	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.225	0.234	0.157	
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	0.0 (9.6)*	0.0 (94.4)*	0.0	
	内部摩擦角 ϕ' (°)	35.9 (34.8)*	34.6 (27.6)*	36.6	
液状化特性	液状化パラメータ (SoilPlus)	A	-1.00	-0.70	-0.45
		B	1.40	1.40	1.40
		C	2.00	1.50	38.00
		D	150.0	180.0	120.0
		$C_s/(1+e_0)$	0.0060	0.0070	0.0060
		$C_c/(1+e_0)$	0.0075	0.0085	0.0061
		X1	0.230	0.230	0.540

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

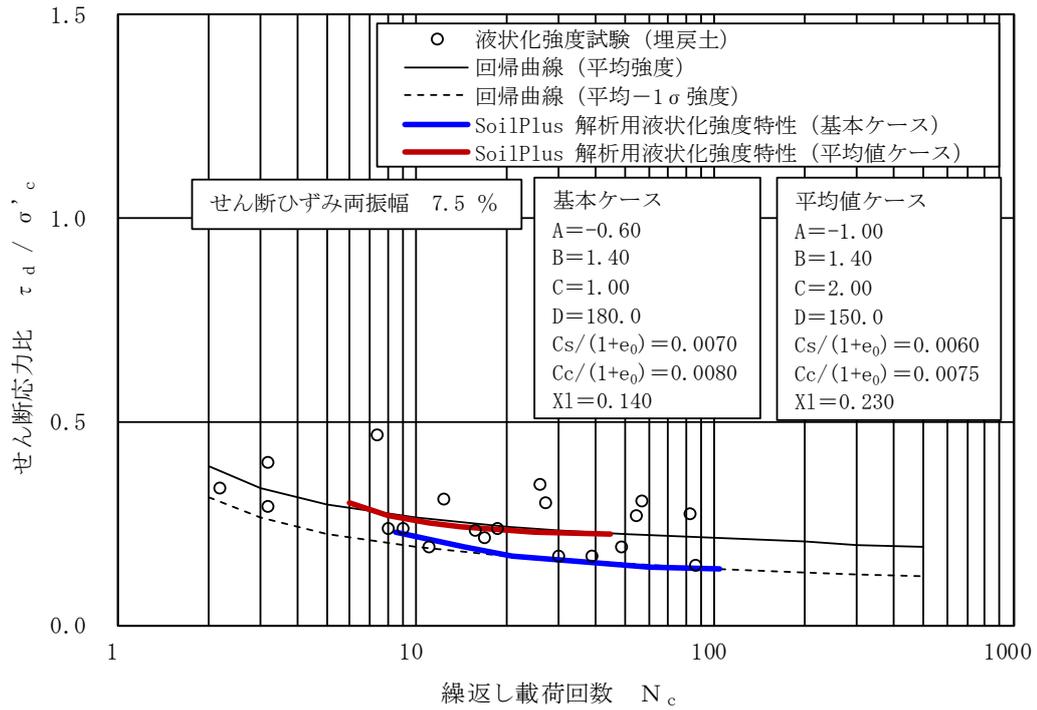


図 2-2 液状化抵抗曲線 (埋戻土)

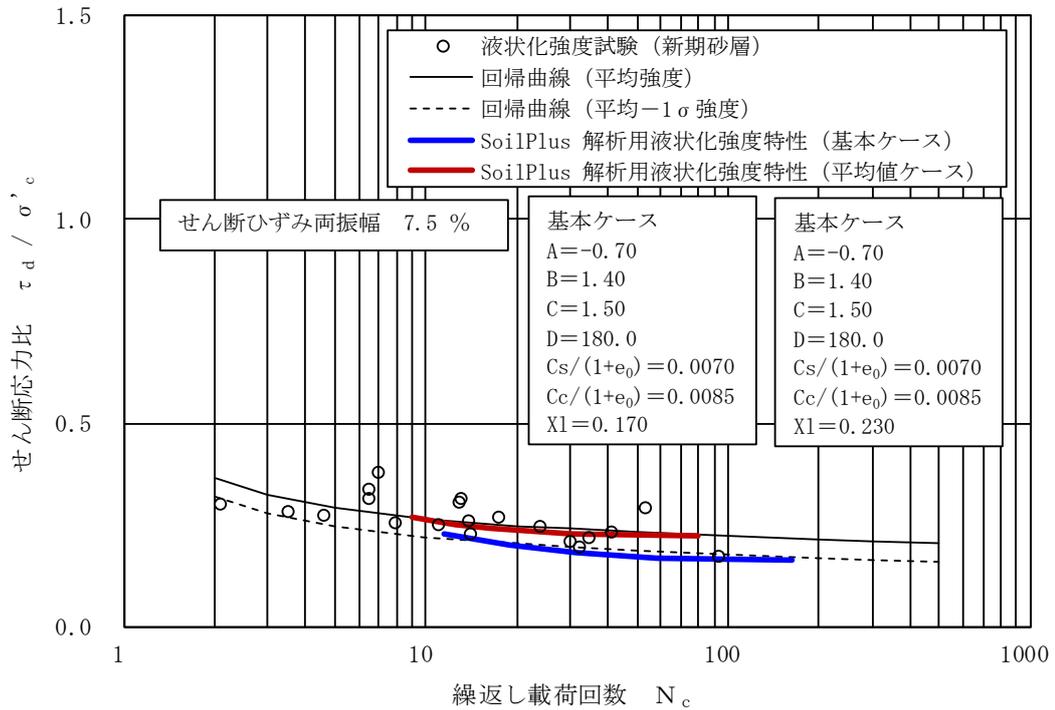


図 2-3 液状化抵抗曲線 (新期砂層)

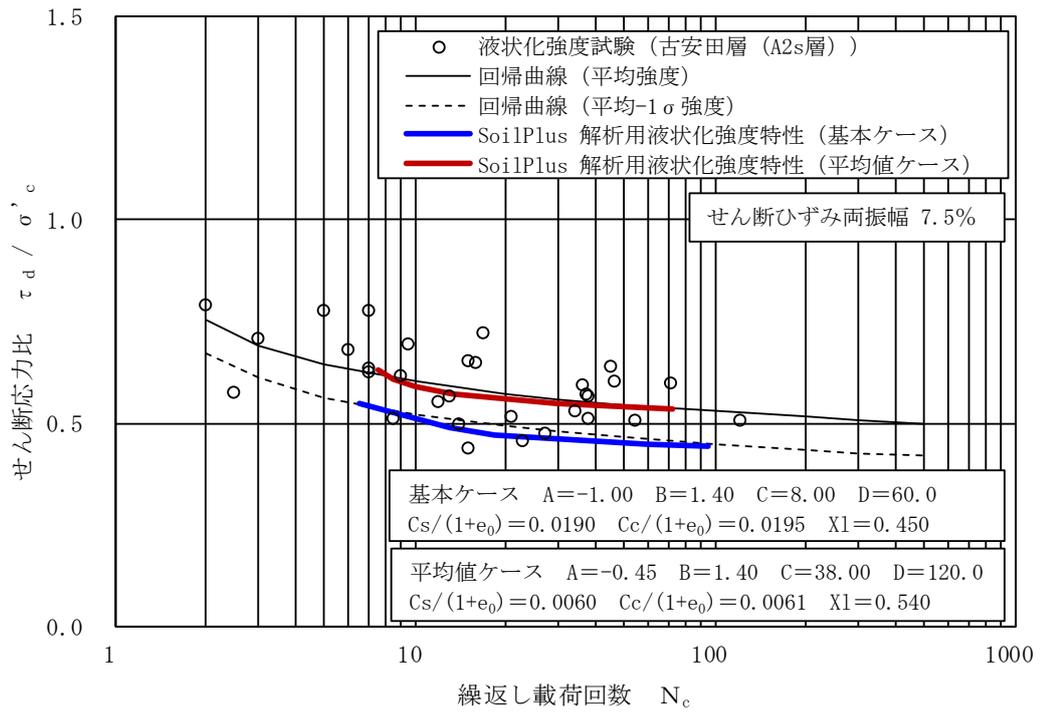


図 2-4 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s 層))

2.1.5 減衰定数

耐震評価に適用する有効応力解析では履歴減衰と粘性減衰を考慮し，V-2-1-3 補足参考資料 5 と同様に設定する。

2.2 解析結果

再現解析により得られた「水平変位量」及び「鉛直変位量」を観測記録と比較し、解析用物性値の再現性と適用性を確認する。

2.2.1 再現解析結果（水平変位量）

有効応力解析による地表面水平変位量の結果を図 2-5 に示す。図の水平座標は護岸からの距離で示している。

(1) 基本ケース

基本ケースについて、護岸天端における地表面水平変位は「1.76m」となり、地震後に観察された変位である「0.59m」と比較して 3.0 倍の変位量となった。護岸から離れた位置においても、実績に比して大きな水平変位量が得られている。

したがって、基本ケースで設定している解析用物性値は、変形量の観点から十分な保守性を有していると判断できる。

(2) 平均値ケース

平均値ケースについて、護岸天端の地表面水平変位は「1.35m」となり、地震後に観察された変位である「0.59m」と比較して 2.3 倍の変位量となった。平均的な液状化強度特性を設定した場合でも実測値よりも大きな変位となった。

実際の変位量と比較して解析結果の方が大きな変位が得られた要因としては、保守性を考慮した液状化強度特性にあると考えられる。過剰間隙水圧比及び最大せん断ひずみ分布を図 2-6～図 2-9 に示す。新潟県中越沖地震を入力波とした場合、比較的浅い深度にある飽和した液状化検討対象層（埋戻土、新期砂層）で液状化の判断指標である過剰間隙水圧比 95%を超えており、大きなひずみが得られている。

今回用いている有効応力解析の解析コードは、変形量の観点からは、液状化試験結果の平均値を採用した場合にも保守性を有すると判断できる。

以上より、新潟県中越沖地震の再現解析を実施した結果、今回用いている有効応力解析の解析コードは、実測値よりも変位量を概ね大きく評価していることから、耐震評価への適用性を確認した。なお、有効応力解析の耐震評価に用いている解析用物性値は、地盤の液状化強度のばらつきを考慮していることから、変形量の観点から保守性を有していると考えられる。

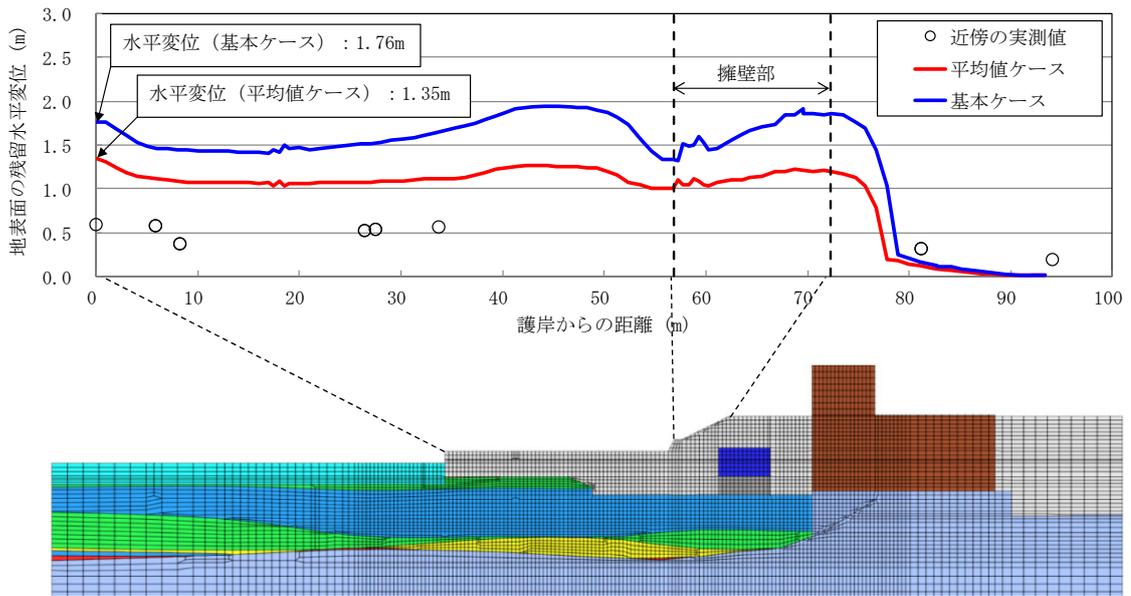


図 2-5 護岸からの距離と地表面水平変位の関係

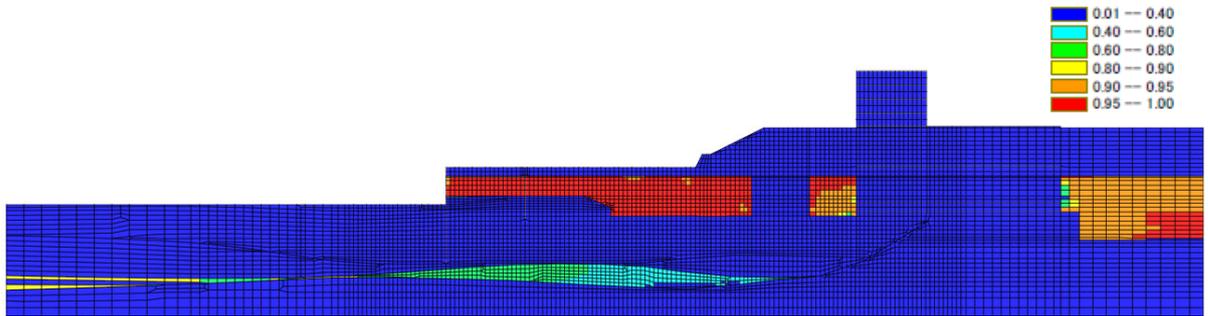


図 2-6 最大過剰間隙水圧比 (基本ケース)

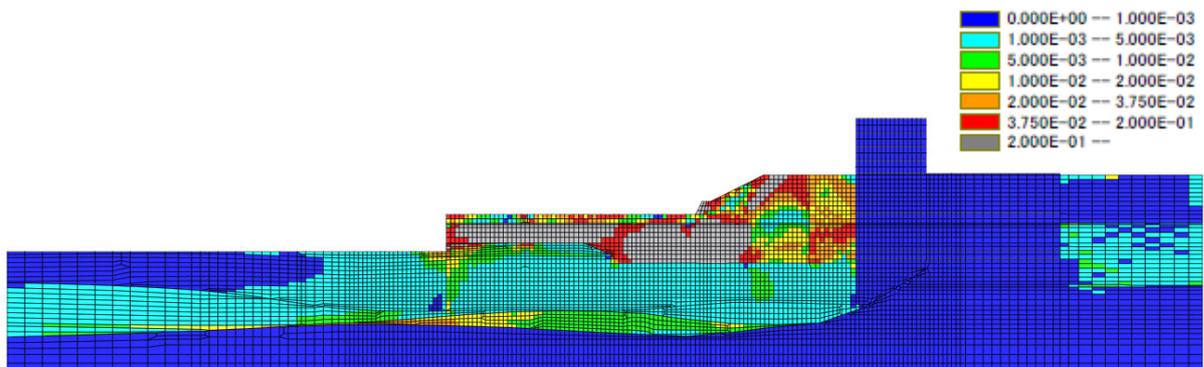


図 2-7 最大せん断ひずみ γ_{max} (残留値: 基本ケース)

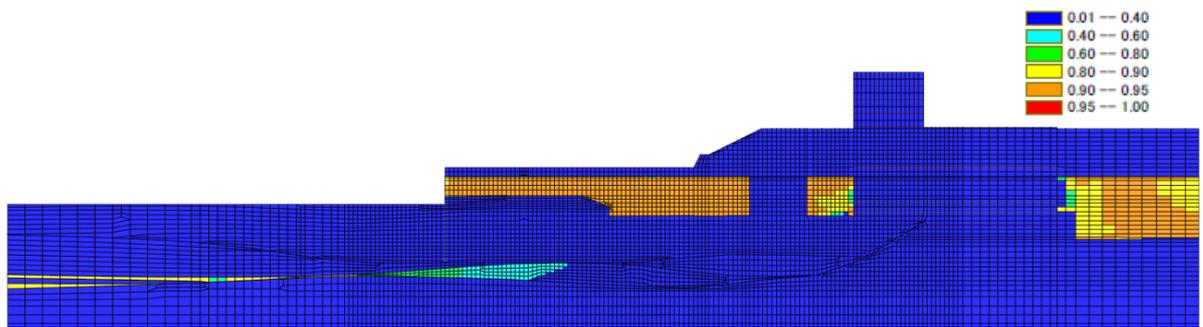


図 2-8 最大過剰間隙水圧比 (平均値ケース)

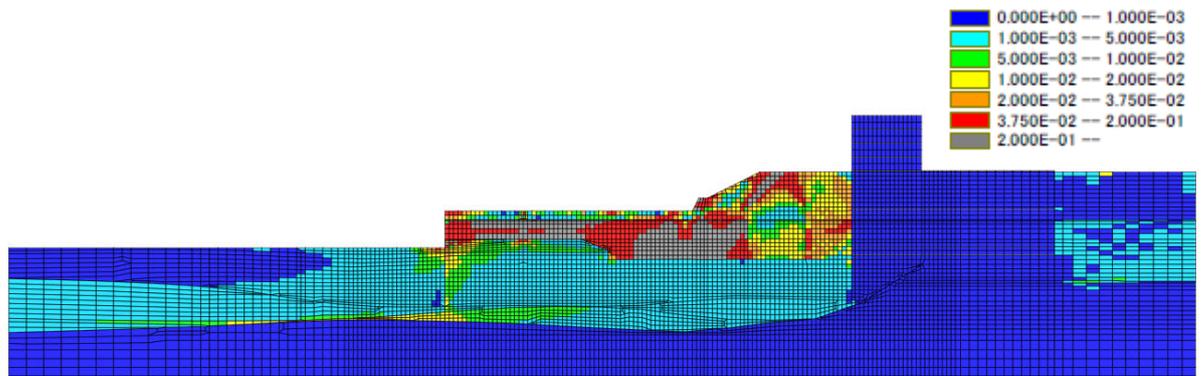


図 2-9 最大せん断ひずみ γ_{max} (残留値: 平均値ケース)

2.2.2 再現解析結果（鉛直変位量）

有効応力解析による地表面鉛直変位量の結果を図2-10に示す。図の水平座標は護岸からの距離で示している。

(1) 基本ケース

基本ケースについては、有効応力解析の鉛直変位量は、地表面形状に応じて側方流動の影響を受けた沈下と隆起を生じており、新潟県中越沖地震時に観察された実績の沈下量とは異なる傾向を示す。

有効応力解析による護岸付近の鉛直変位量は「0.62m」であり、側方流動による変形の影響で生じているが、これは実績の沈下量の「0.00m」と比較して大きい。擁壁付近の有効応力解析結果についても、側方流動の影響により法尻で隆起、法肩で沈下しているが、実績沈下量は小さく明瞭な傾向は認められていない。いずれも、有効応力解析では側方流動の影響に伴う鉛直変位量を保守的に算定している。

(2) 平均値ケース

平均値ケースについては、有効応力解析の鉛直変位量は、基本ケースと比較して沈下と隆起の傾向が抑制されるものの、新潟県中越沖地震時に観察された実績の沈下・隆起量に対して有効応力解析の地表面変位量が大きいことから、側方流動の影響に伴う鉛直変位量を保守的に算定している。

以上より、新潟県中越沖地震の再現解析を実施した結果、今回用いている有効応力解析の解析コードは、実測値よりも変位量を概ね大きく評価していることから、耐震評価への適用性を有していると考えられる。なお、有効応力解析の耐震評価に用いている解析用物性値は、地盤の液状化強度のばらつきを考慮していることから、変形量の観点から保守性を有していると考えられる。

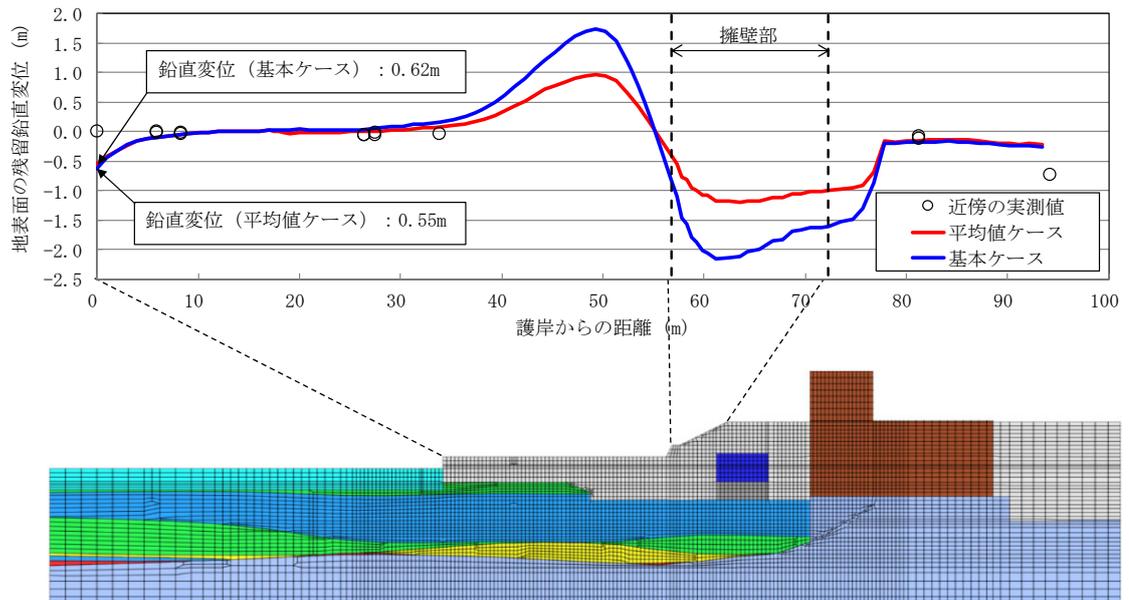


図 2-10 護岸からの距離と地表面鉛直変位の関係

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
4. 床応答に対する影響	別紙 5-12
5. まとめ	別紙 5-15

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。

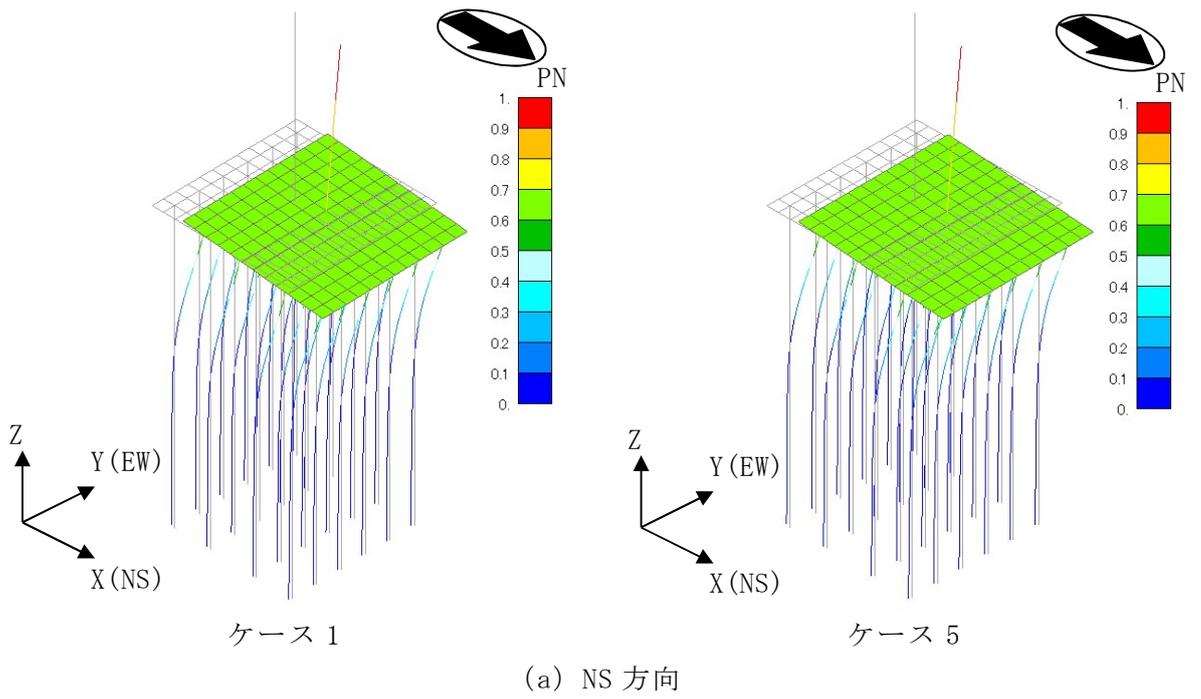
表 3-1 固有値解析結果 (Ss-1)

(単位 : Hz)

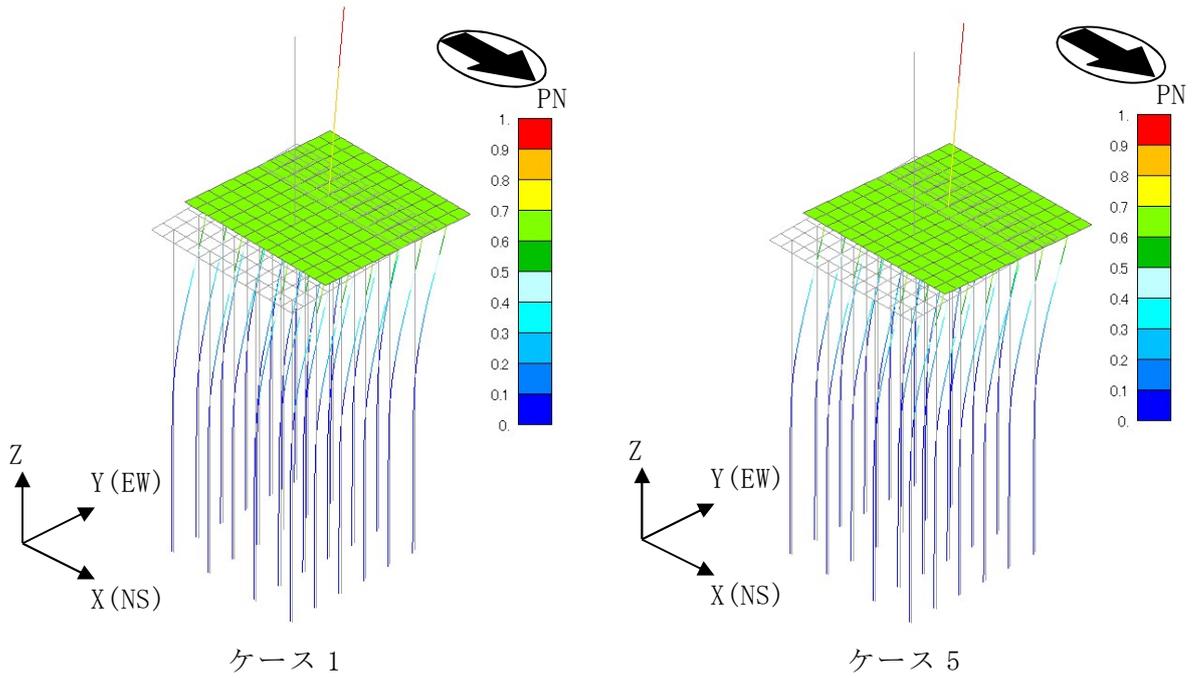
方向	ケース1	ケース5
NS	2.84	2.84 (1.00)
EW	2.79	2.79 (1.00)
鉛直	11.04	11.04 (1.00)

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



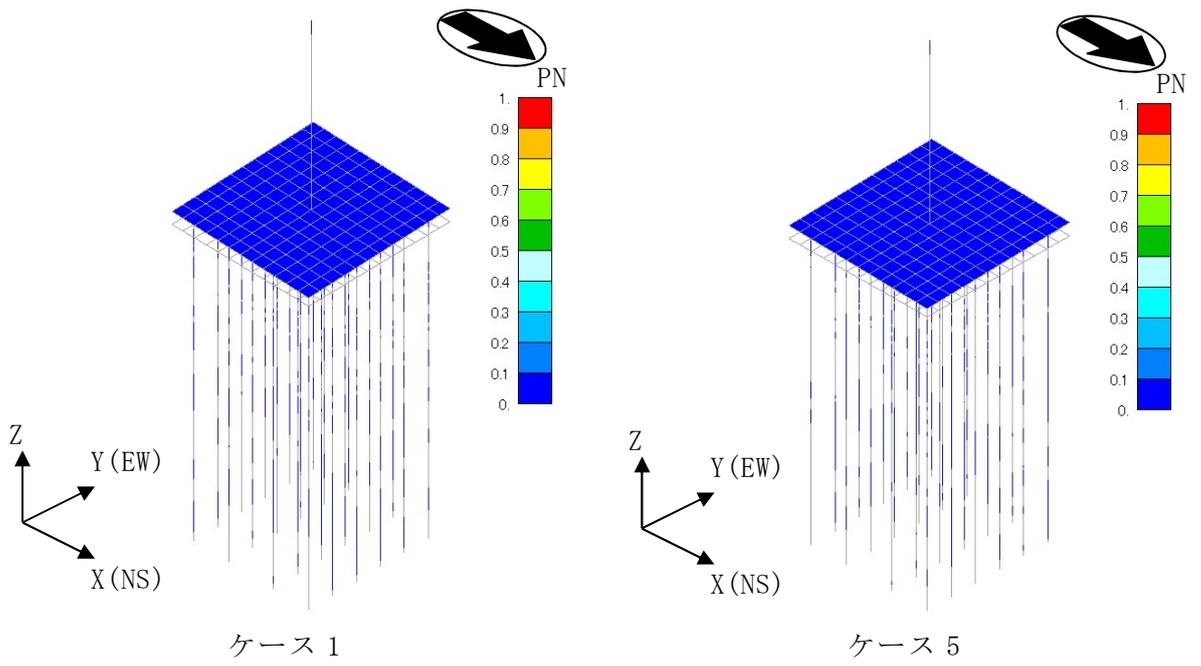
(a) NS 方向



(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)



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。ケース5の最大応答値は、ケース1の結果と同等であることを確認した。

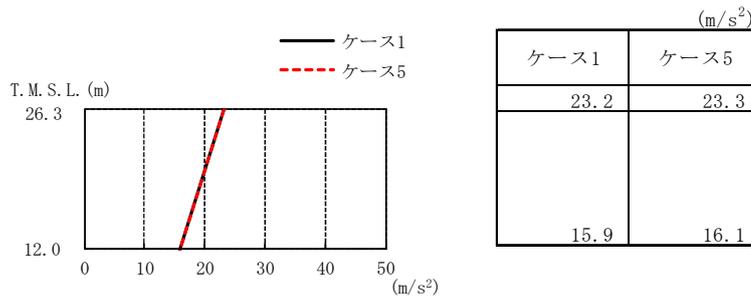


図3-2 最大応答加速度 (Ss-1, NS方向)

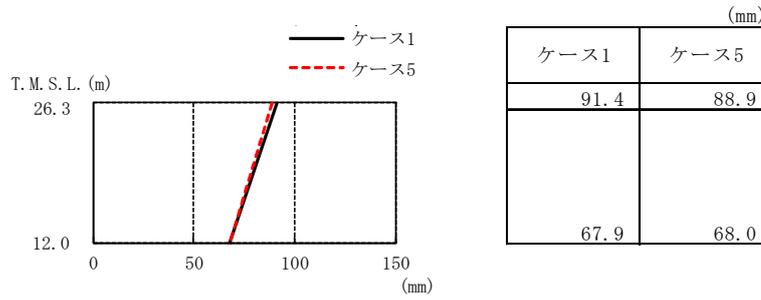


図3-3 最大応答変位 (Ss-1, NS方向)

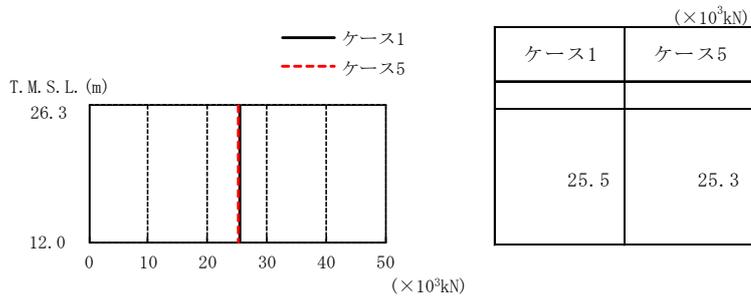


図3-4 最大応答せん断力 (Ss-1, NS方向)

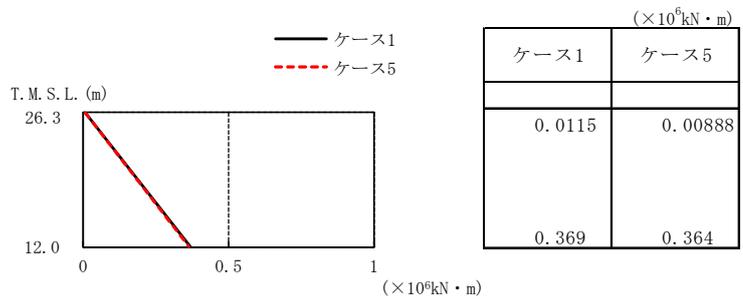


図3-5 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS方向)

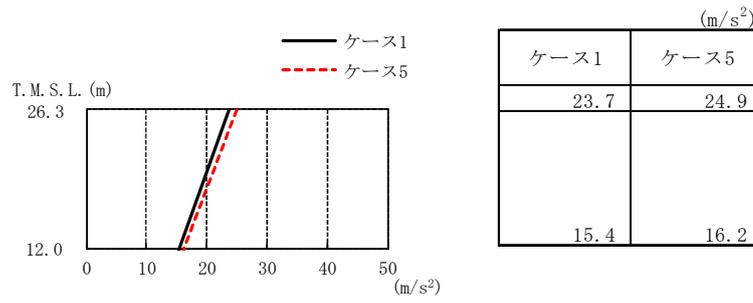


図3-6 最大応答加速度 (Ss-1, EW方向)

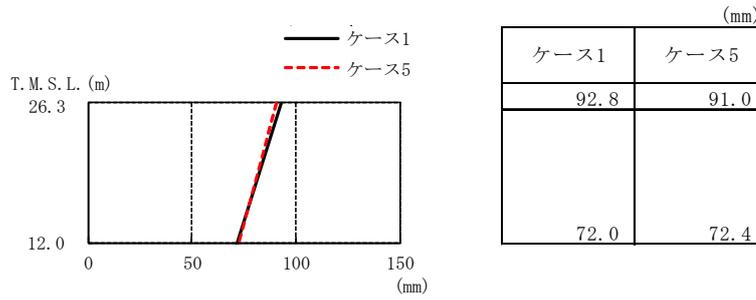


図3-7 最大応答変位 (Ss-1, EW方向)

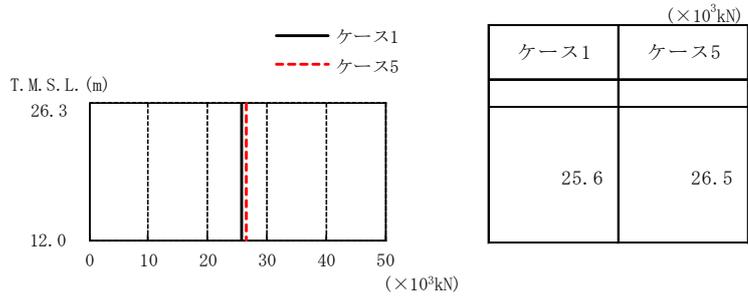


図3-8 最大応答せん断力 (Ss-1, EW方向)

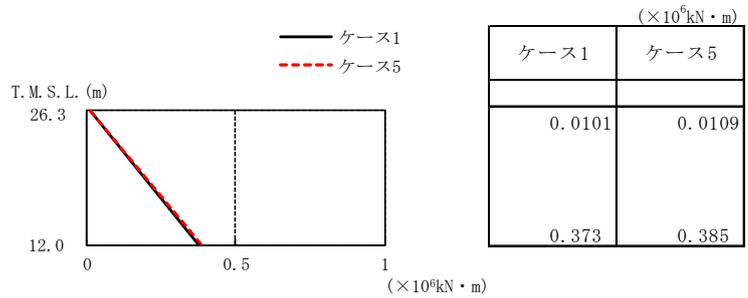


図3-9 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW方向)