

## 8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

## 【目 次】

8.1. 評価方針 .....	8-1
8.1.1. 対象設備 .....	8-1
8.1.2. 設備概要 .....	8-2
8.2. 耐震安全性評価 .....	8-5
8.2.1. 評価方法 .....	8-5
8.2.2. 地震応答解析 .....	8-10
8.2.3. 評価基準 .....	8-19
8.2.4. 評価結果 .....	8-20
8.3. 軸方向に対する検討 .....	8-22
8.3.1. 検討方針 .....	8-22
8.3.2. 応力度に関する検討 .....	8-24
8.3.3. ブロック間相対変位に関する検討 .....	8-29
8.4. 設置地盤の支持性能に対する検討 .....	8-30
8.4.1. 検討方針 .....	8-30
8.4.2. 検討手法 .....	8-30
8.4.3. 検討結果 .....	8-30

【参考資料】

参考資料 8.1 せん断耐力の算定方法について

## 8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

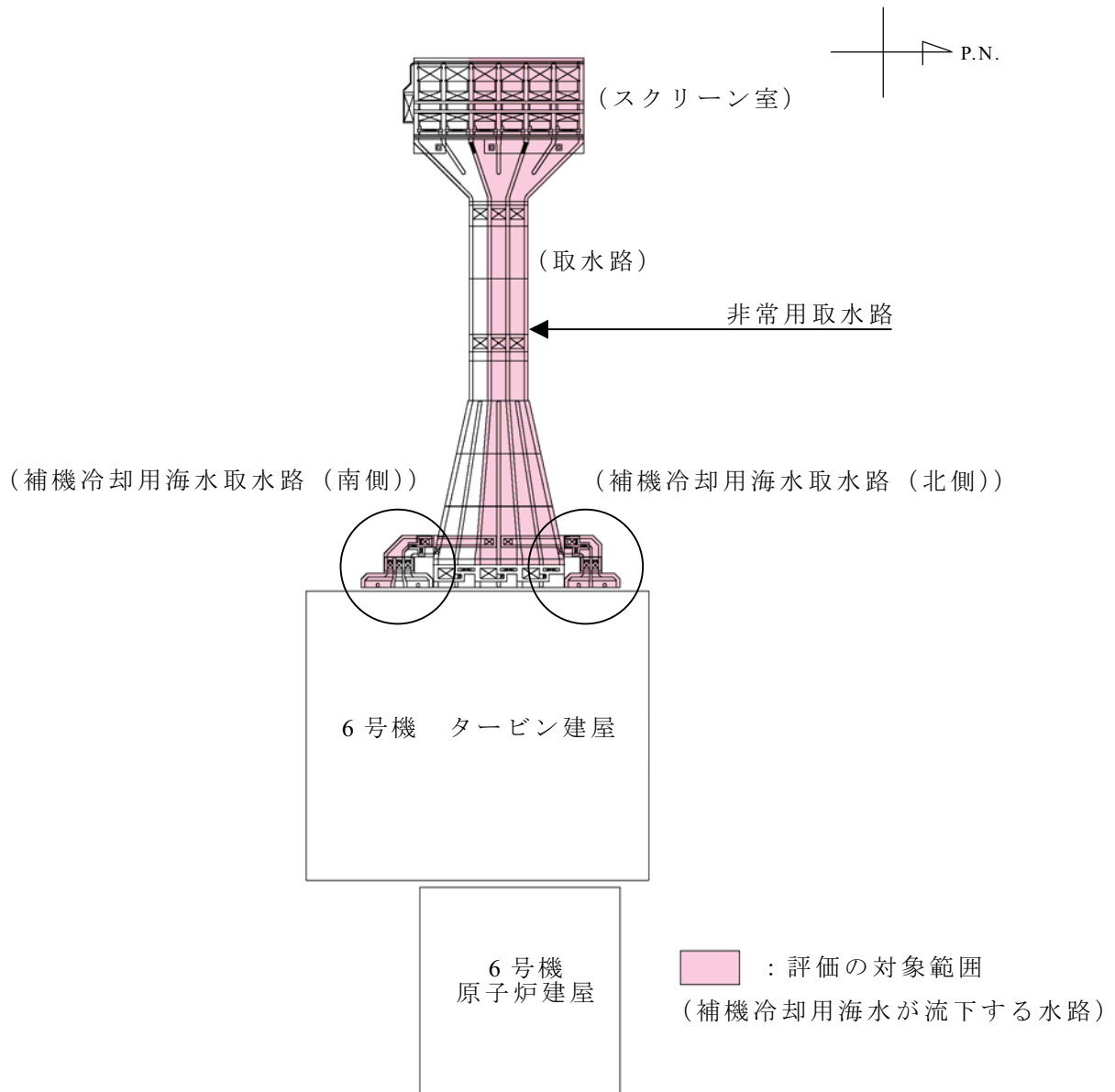
### 8.1. 評価方針

#### 8.1.1. 対象設備

屋外重要土木構造物について、その機能が保持されることを確認する。

評価対象は非常用取水路とする。非常用取水路はスクリーン室、取水路および補機冷却用海水取水路で構成されている。

屋外重要土木構造物の配置図を第 8.1.1-1 図に示す。

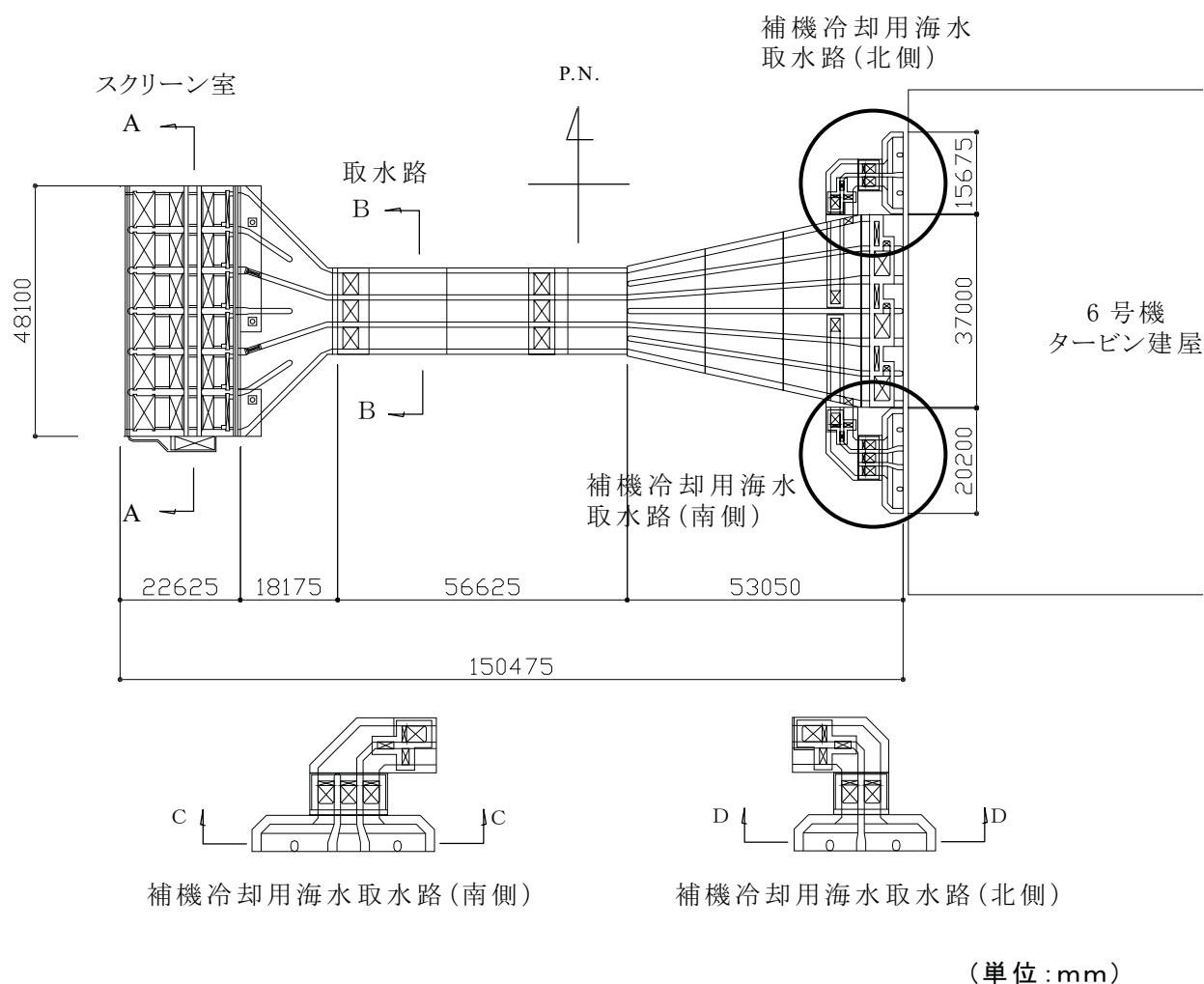


第 8.1.1-1 図 屋外重要土木構造物の配置図

### 8.1.2. 設備概要

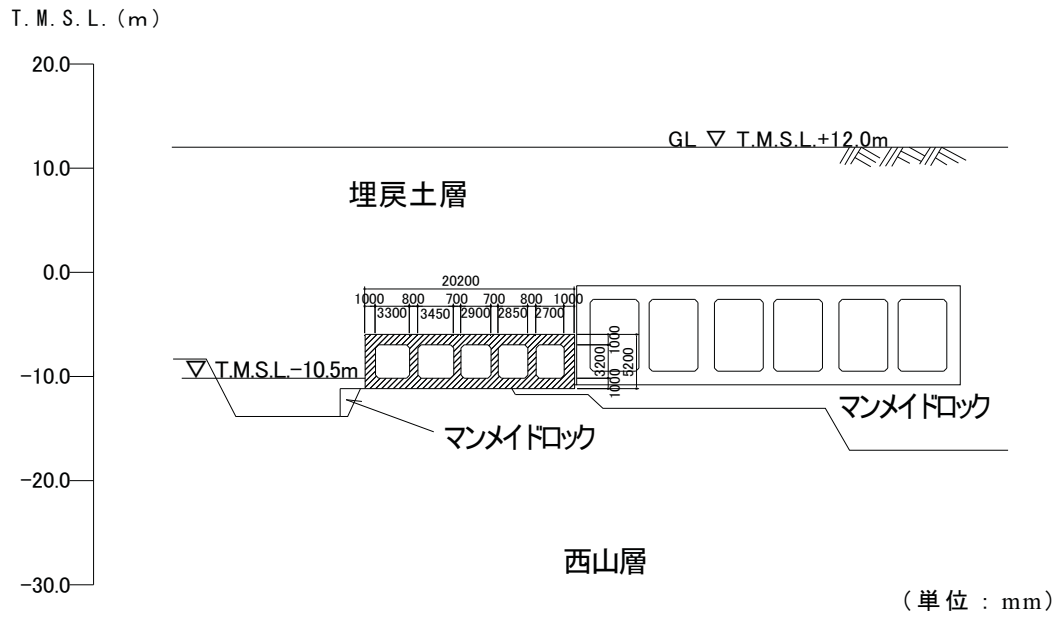
非常用取水路は鉄筋コンクリート造の地中構造物である。非常用取水路のうちスクリーン室および取水路は、新第三紀鮮新世の西山層泥岩の上位に分布する洪積層に直接設置されている。また、補機冷却用海水取水路は、西山層と同等以上の力学的特性を有するマンメイドロックを介して西山層に設置されている。

非常用取水路の平面図を第 8.1.2-1 図に、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）の各断面図を第 8.1.2-2 図～第 8.1.2-5 図に示す。

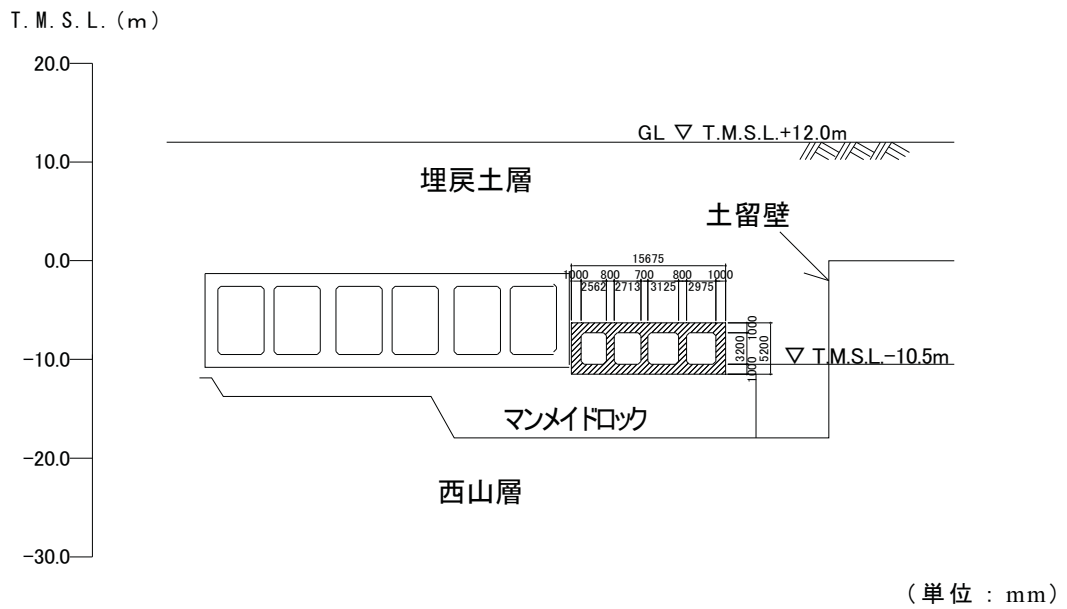


第 8.1.2-1 図 非常用取水路平面図





第 8.1.2-4 図 補機冷却用海水取水路（南側）断面図（C－C断面）



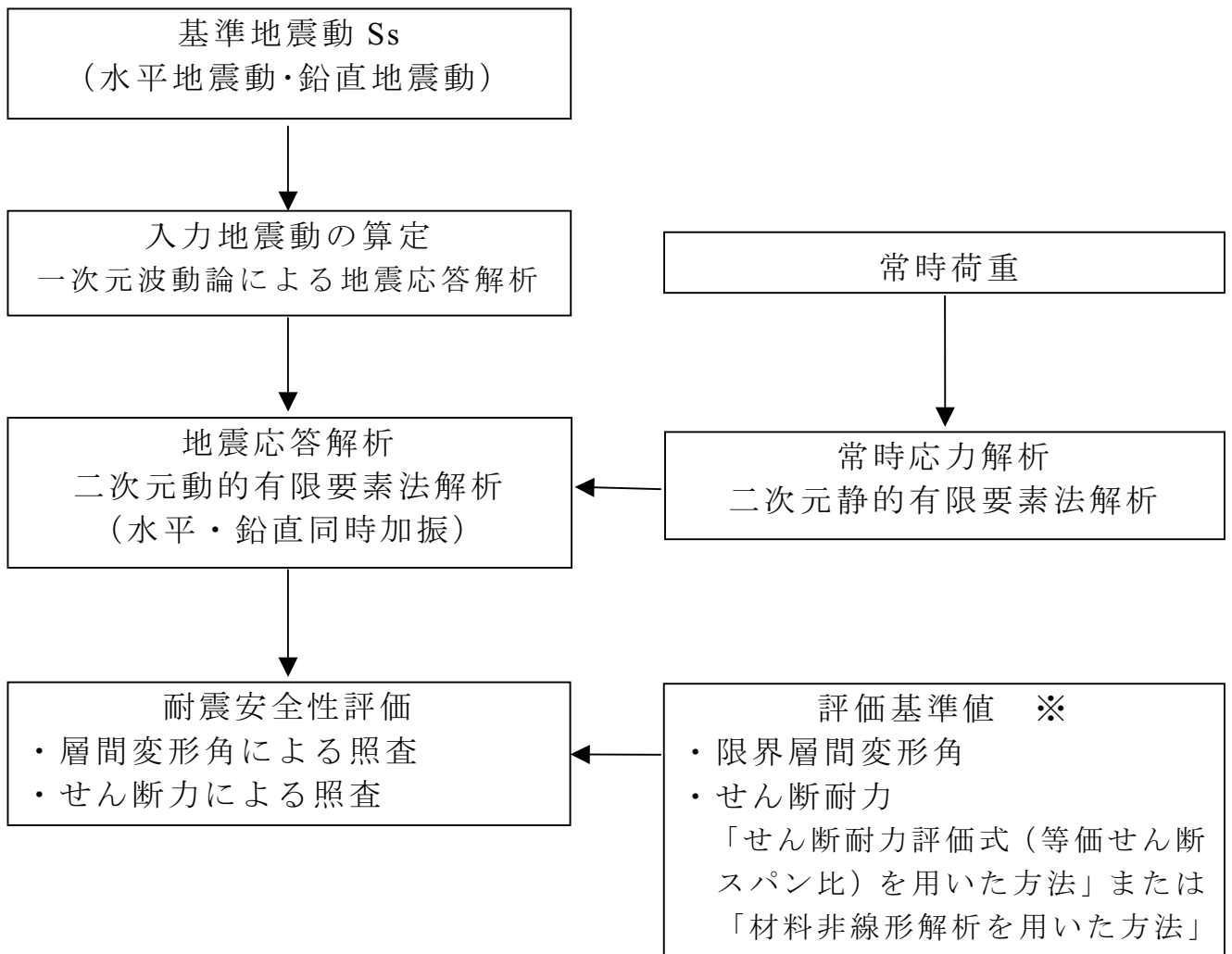
第 8.1.2-5 図 補機冷却用海水取水路（北側）断面図（D－D断面）

## 8.2. 耐震安全性評価

### 8.2.1. 評価方法

#### 8.2.1.1. 一般事項

非常用取水路の耐震安全性評価では，基準地震動  $S_s$  による構造物の層間変形角およびせん断力の照査用応答値がそれぞれ評価基準値を下回ることを確認する。非常用取水路の評価フローを第 8.2.1-1 図に示す。



※「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(土木学会原子力土木委員会, 2005年6月)」による

第 8.2.1-1 図 非常用取水路の評価フロー



### 8.2.1.2. 評価条件

地震応答解析に必要な地盤および非常用取水路の諸定数は、各種材料試験、地盤調査や文献調査の結果をもとに設定された設計時の値を用いる。

#### (1) 使用材料

使用材料を第 8.2.1-1 表に示す。

#### (2) 材料の物性値

材料の物性値を第 8.2.1-2 表に示す。

#### (3) 地盤の物性値

地盤およびマンメイドロックの物性値をそれぞれ第 8.2.1-3 表、第 8.2.1-4 表に示す。

#### (4) 荷重

##### a. 常時荷重

常時荷重として、自重、内水圧、機器荷重、土被り荷重、静止土圧および地下水圧を考慮する。

##### b. 地震時荷重

地震時荷重として、基準地震動  $S_s$  ( $S_{s-1} \sim S_{s-5}$  の 5 波) による地震応答解析により求まる荷重を考慮する。

第 8.2.1-1 表 使用材料

コンクリート	設計基準強度 $23.5\text{N/mm}^2$ ( $240\text{kgf/cm}^2$ )
鉄筋	SD345 相当(SD35)

第 8.2.1-2 表 材料の物性値

材料	単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )	ヤング係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )	ポアソン比
コンクリート	24 *	25.0	0.2
鉄筋		200	0.3

\* 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

第 8.2.1-3 表 地盤の物性値

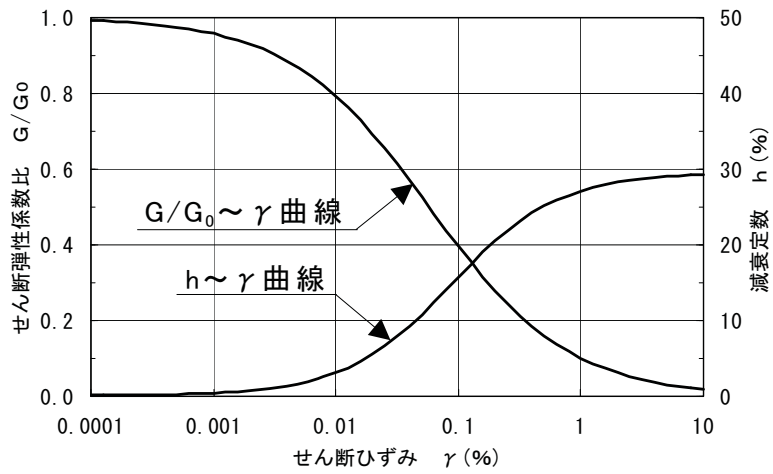
地層区分		単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比 $\nu$	初期せん断 弾性係数 $G_0(\text{kN/m}^2)$	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
埋戻土層		19.6 (18.6) <sup>*1)</sup>	0.41	<sup>*2)</sup>	第 8.2.1-2 図①による
洪積粘性土層(I)		17.8	0.49	$9.63 \times 10^4$	第 8.2.1-2 図②による
洪積粘性土層(II)		17.7	0.49	$1.13 \times 10^5$	第 8.2.1-2 図③による
洪積粘性土層(III)		18.2	0.48	$1.56 \times 10^5$	
洪積砂質土層(I)		18.6	0.48	$1.83 \times 10^5$	第 8.2.1-2 図④による
洪積砂質土層(II)		18.6	0.48	$2.07 \times 10^5$	
西山層	西山層上限面～ T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	$4.15 \times 10^5$	第 8.2.1-2 図⑤による
	～T.M.S.L.-90.0m	16.6	0.45	$4.75 \times 10^5$	
	～T.M.S.L.-136.0m	17.3	0.43	$6.13 \times 10^5$	
	～T.M.S.L.-155.0m	19.3	0.42	$8.32 \times 10^5$	
基盤		19.9	0.42	$1.05 \times 10^6$	—

\*1) ( ) は湿潤単位体積重量

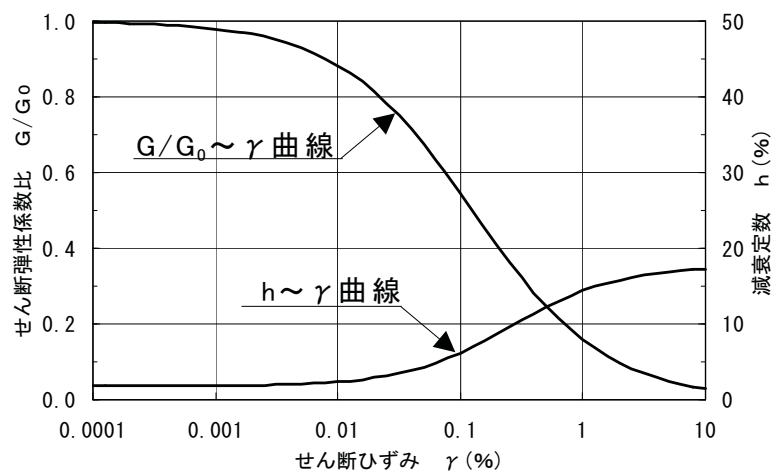
\*2)  $G_0 = 1980 \times \sigma_v^{0.667}$  (kN/m<sup>2</sup>) ,  $\sigma_v$  : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>) ,  $G_0$  の下限値  
 $2.75 \times 10^4$  (kN/m<sup>2</sup>)

第 8.2.1-4 表 マンメイドロックの物性値

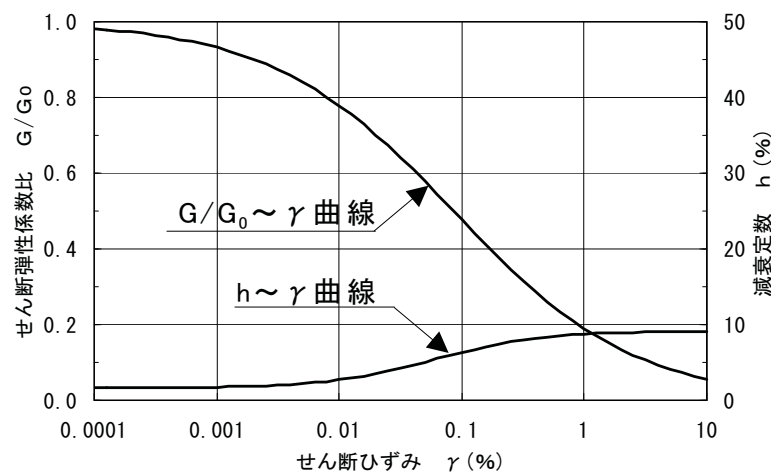
	単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比 $\nu$	初期せん断 弾性係数 $G_0(\text{kN/m}^2)$	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
マンメイドロック	17.2	0.36	$1.90 \times 10^6$	第 8.2.1-3 図による



① 埋戻土層

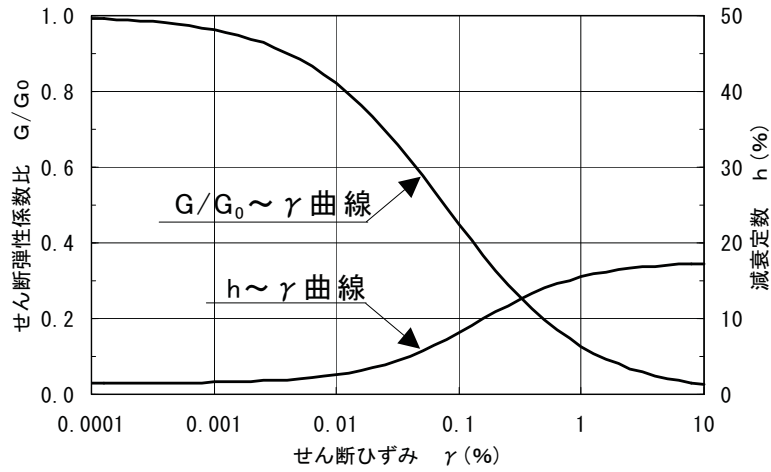


② 洪積粘性土層 (I)

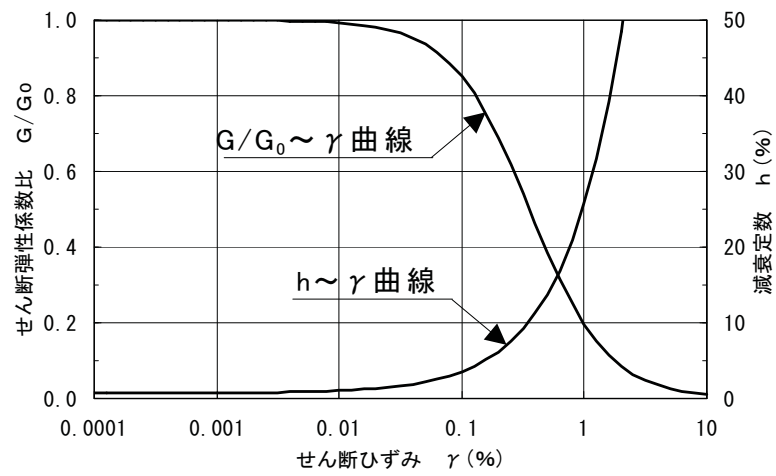


③ 洪積粘性土層 (II), (III)

第 8.2.1-2 図(1) 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

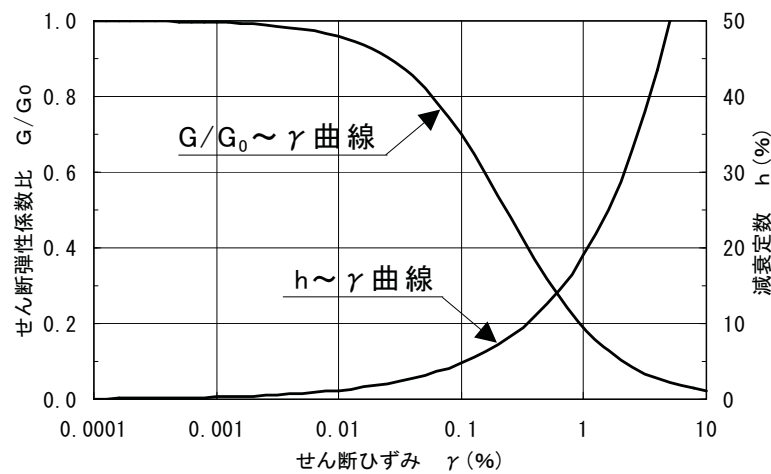


④ 洪積砂質土層 (I), (II)



⑤ 西山層

第 8.2.1-2 図(2) 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性



第 8.2.1-3 図 マンメイド<sup>®</sup>ロックのせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

## 8.2.2. 地震応答解析

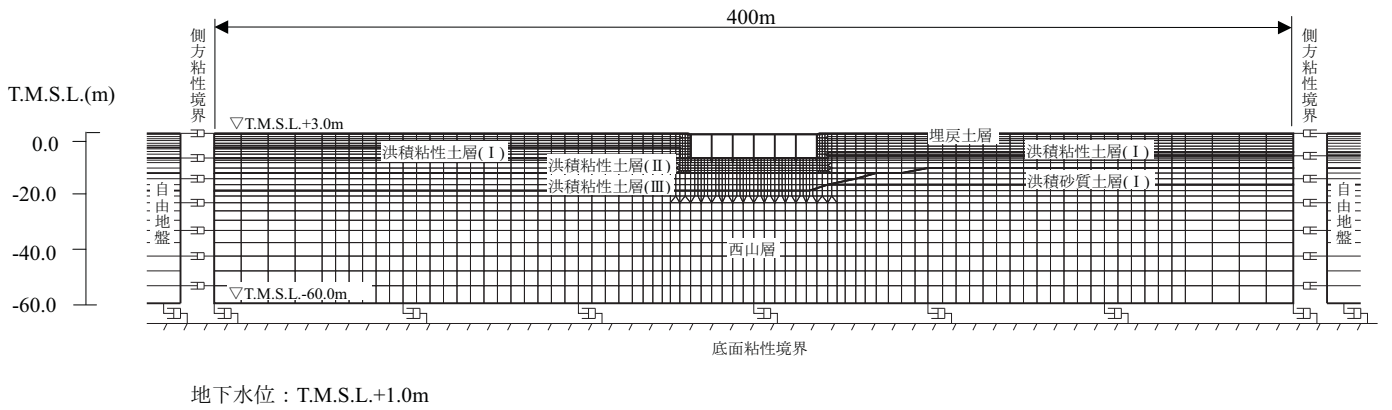
### 8.2.2.1. 解析手法

地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法解析（部材非線形解析）を用いる。部材非線形解析では、水平地震動と鉛直地震動を同時入力とした時刻歴応答解析を行う。

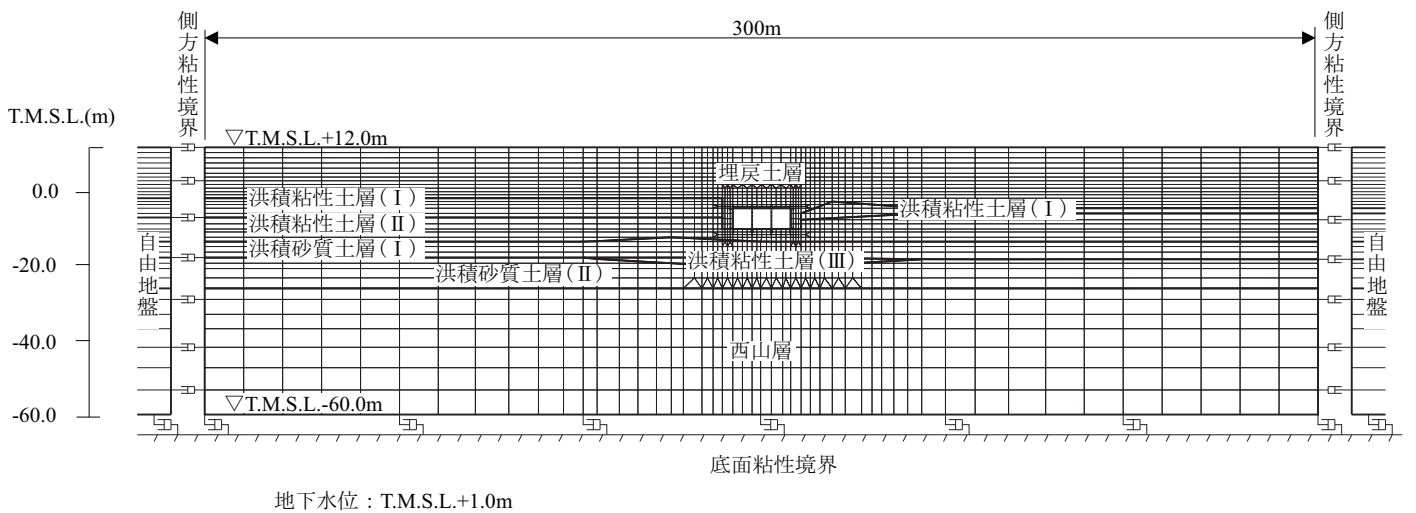
### 8.2.2.2. 解析モデル

地震応答解析モデルでは、構造物を線材要素（梁要素）でモデル化する。構造物と地盤との境界部分にはジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤との剥離等を考慮する。

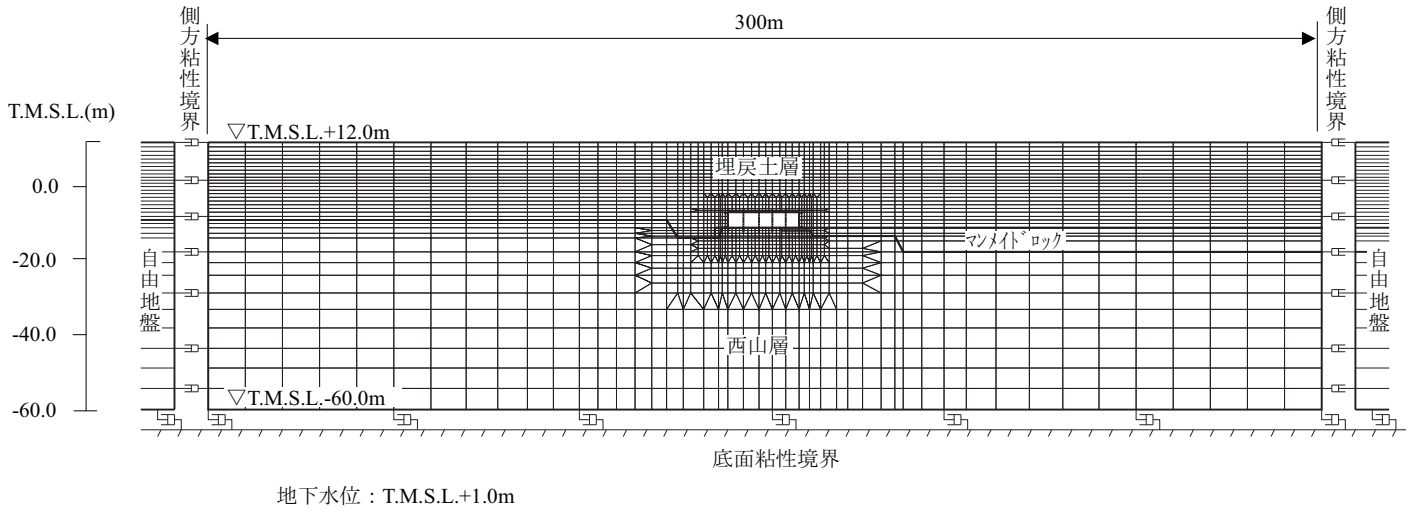
スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデルを第 8.2.2-1 図～第 8.2.2-4 図に示す。



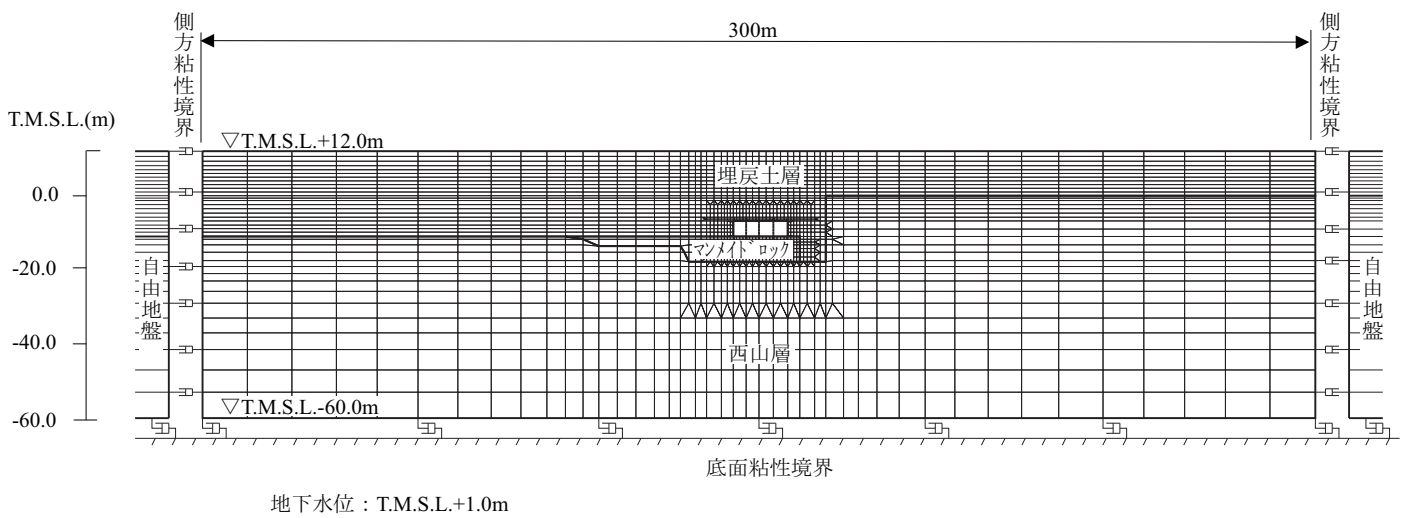
第 8.2.2-1 図 スクリーン室地震応答解析モデル



第 8.2.2-2 図 取水路地震応答解析モデル



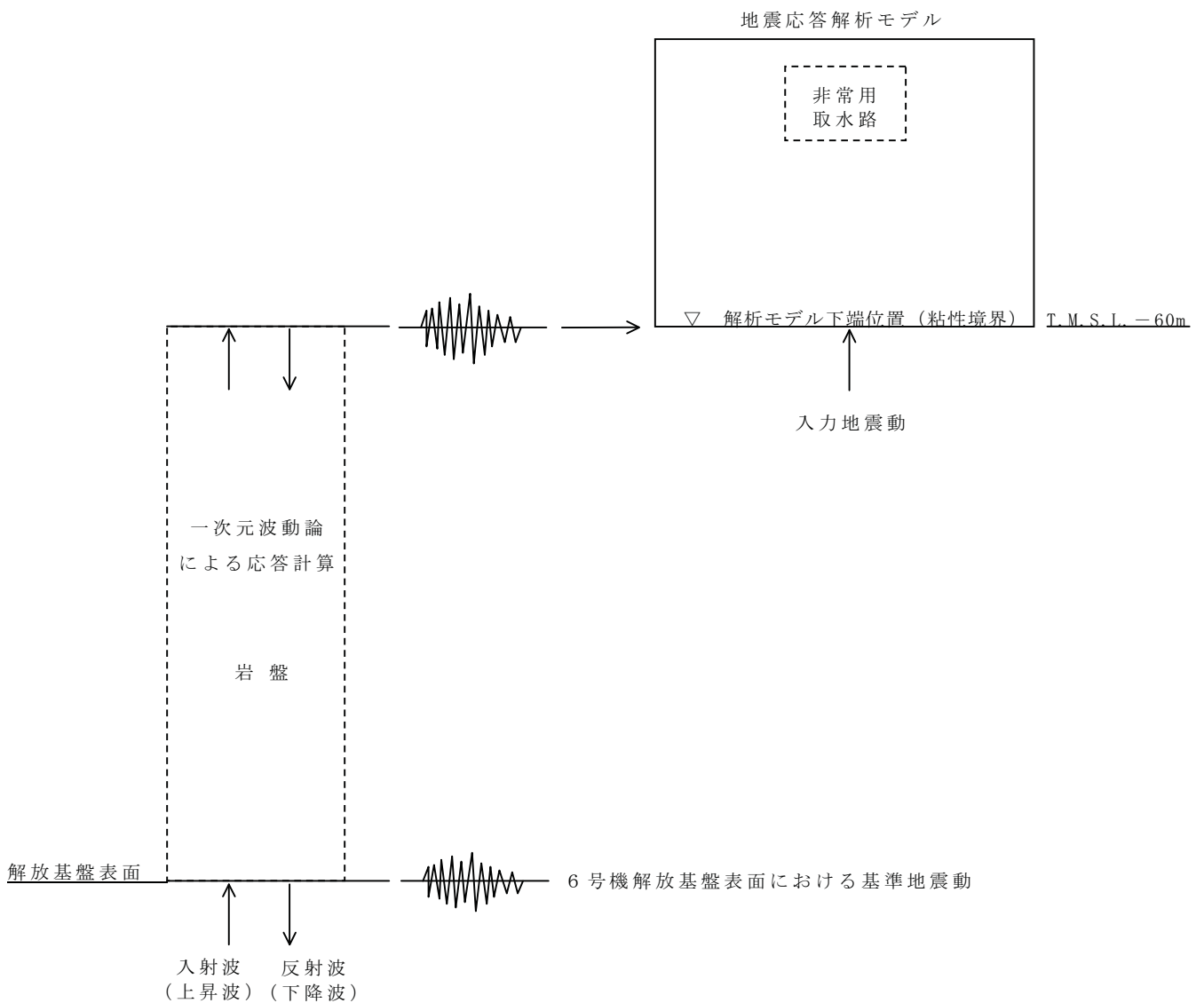
第 8.2.2-3 図 補機冷却用海水取水路（南側）地震応答解析モデル



第 8.2.2-4 図 補機冷却用海水取水路（北側）地震応答解析モデル

### 8.2.2.3. 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を用いて一次元波動論による地震応答解析を行い、地盤－構造物連成系の地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。入力地震動の作成モデルを第 8.2.2-5 図に示す。



第 8.2.2-5 図 入力地震動の作成モデル



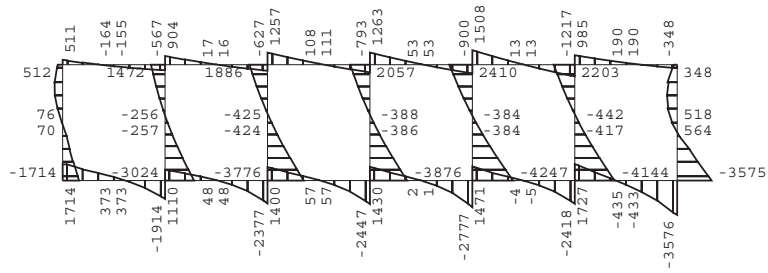
#### 8.2.2.4. 解析結果

地震応答解析から求めた構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を第 8.2.2-1 表に示す。

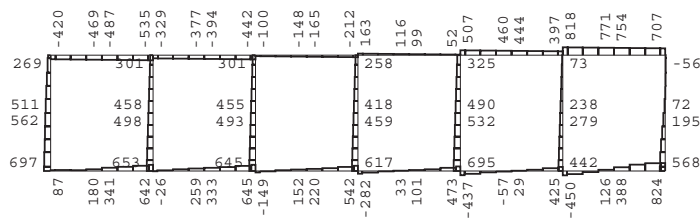
また、スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）について，構造物頂底版間の相対変位が最大となる基準地震動 Ss による地震応答解析から求められる断面力図を第 8.2.2-6 図～第 8.2.2-9 図に示す。

第 8.2.2-1 表 頂底版間の最大相対変位

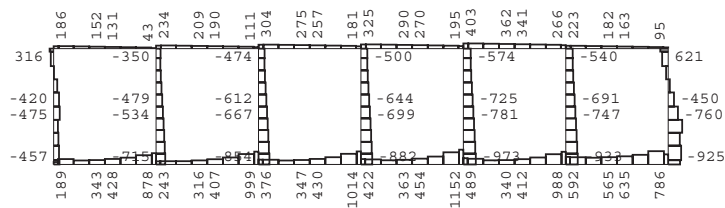
地震動	スクリーン室		取水路		補機冷却用海水取水路（南側）		補機冷却用海水取水路（北側）	
	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
Ss-1	33.6	5.78	18.9	6.59	11.3	5.72	10.5	6.49
Ss-2	13.9	21.85	10.0	21.02	4.5	22.42	4.9	22.92
Ss-3	20.6	35.70	23.9	17.75	13.3	37.38	15.5	37.35
Ss-4	9.1	51.89	7.8	51.72	3.8	51.66	3.6	51.65
Ss-5	7.1	51.89	8.4	46.62	3.2	46.54	3.2	46.55



曲げモーメント (kNm)

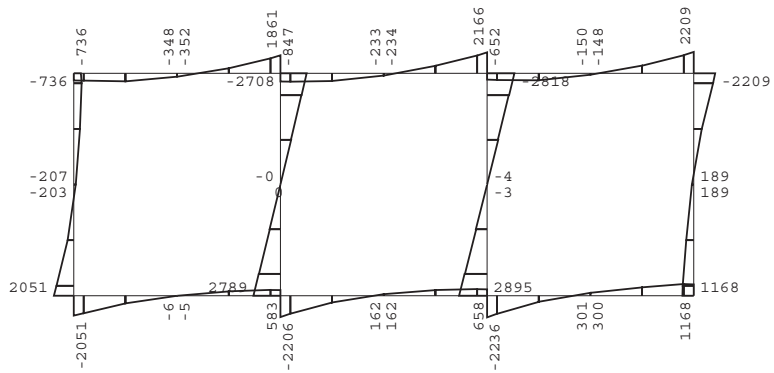


軸力 (kN)

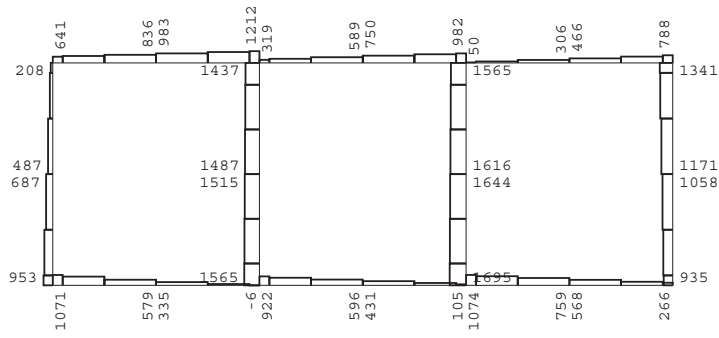


せん断力 (kN)

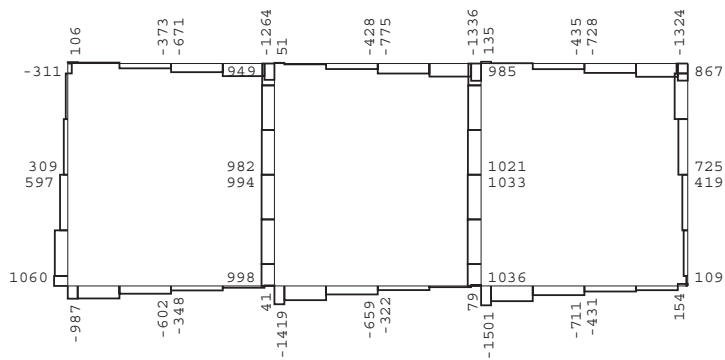
第 8.2.2-6 図 スクリーン室断面力図 (Ss-1, T=5.78 秒)



曲げモーメント (kNm)

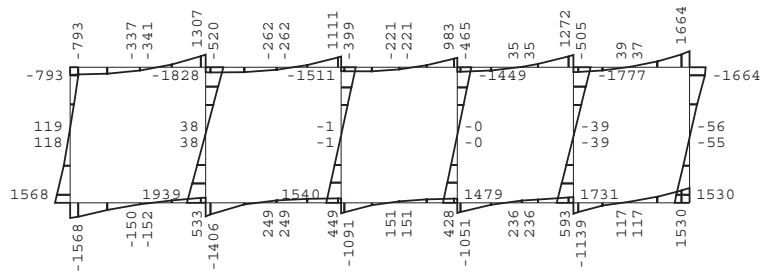


軸力 (kN)

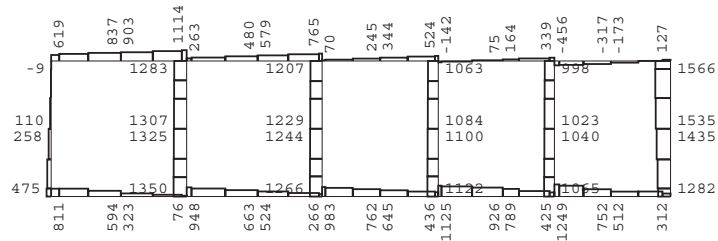


せん断力 (kN)

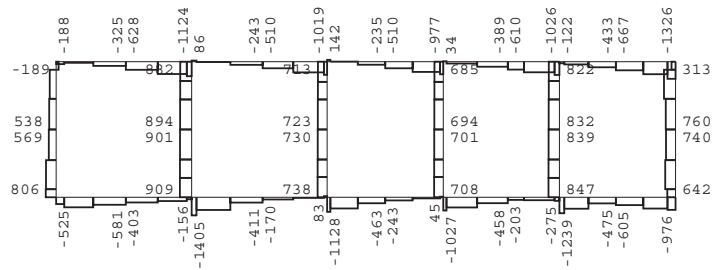
第 8.2.2-7 図 取水路断面力図 (Ss-3, T=17.75 秒)



曲げモーメント (kNm)



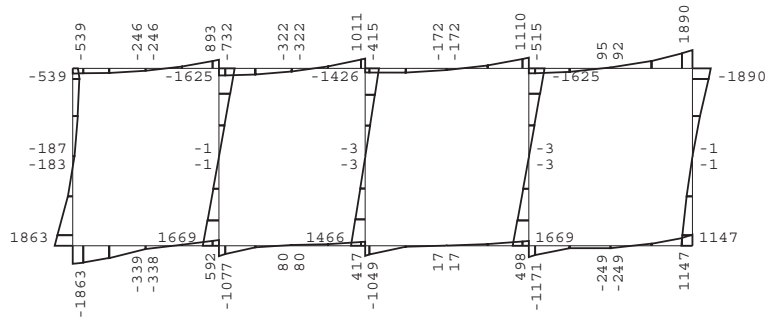
軸力 (kN)



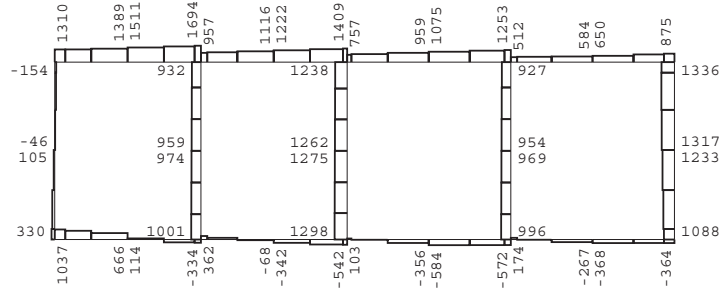
せん断力 (kN)

第 8.2.2-8 図 補機冷却用海水取水路 (南側) 断面力図

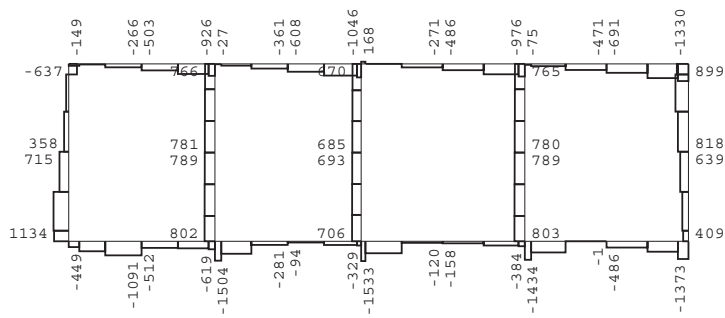
( $S_s=3$ ,  $T=37.38$  秒)



曲げモーメント (kNm)



軸力 (kN)



せん断力 (kN)

第 8.2.2-9 図 補機冷却用海水取水路 (北側) 断面力図

( $S_s=3$ ,  $T=37.35$  秒)

### 8.2.3. 評価基準

#### 8.2.3.1. 評価手法

非常用取水路の耐震安全性評価では、基準地震動  $S_s$  を用いた地震応答解析を実施し、変形による評価を行い評価位置において評価基準値を満足することを確認する。応答値の算定にあたっては、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）について、第 8.2.2-1 表に示す構造物頂底板間の相対変位が最大となる基準地震動  $S_s$  による地震応答解析から求められる応答値を用いる。

#### 8.2.3.2. 評価基準値

耐震安全性評価では、層間変形角およびせん断力について評価を行う。

層間変形角の評価基準値（限界層間変形角）は、「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，土木学会原子力土木委員会，2005 年 6 月」（以下、「耐震性能照査指針」という。）に基づき 1/100 とする。

せん断力の評価基準値（せん断耐力）は、「耐震性能照査指針」に基づき算定した値とする。算定にあたっては、「せん断耐力評価式(等価せん断スパン比)を用いた方法」を用いることを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析（以下、「材料非線形解析を用いた方法」という。）を用いる（「参考資料 8.1」参照）。

## 8.2.4. 評価結果

### 8.2.4.1. 層間変形角による照査結果

評価位置における層間変形角の照査用応答値は評価基準値を下回ることを確認した。層間変形角による照査結果を第 8.2.4-1 表に示す。

第 8.2.4-1 表 層間変形角による照査結果

	評価位置	照査用応答値 $R_d$	評価基準値 (限界層間 変形角) $R_u$	$R_d/R_u$
スクリーン室	頂版 ～底版	0.458/100	1/100	0.46
取水路	頂版 ～底版	0.512/100	1/100	0.51
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版 ～底版	0.380/100	1/100	0.38
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版 ～底版	0.443/100	1/100	0.44

### 8.2.4.2. せん断力による照査結果

評価位置におけるせん断力の照査用応答値は評価基準値を下回ることを確認した。せん断力による照査結果を第 8.2.4-2 表に示す。

第 8.2.4-2 表 せん断力による照査結果

	評価位置	照査用応答値 $V_d$ (kN)	評価基準値 (せん断耐力) $V_{yd}$ (kN)	$V_d/V_{yd}$
スクリーン室	頂版	416	952 <sup>*2</sup>	0.44
	底版	660	1174 <sup>*1</sup>	0.56
	側壁	917	1238 <sup>*1</sup>	0.74
	隔壁	967	3213 <sup>*2</sup>	0.30
取水路	頂版	1128	2590 <sup>*1</sup>	0.44
	底版	1160	2598 <sup>*1</sup>	0.45
	側壁	766	1266 <sup>*1</sup>	0.61
	隔壁	1088	2240 <sup>*2</sup>	0.49
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版	830	2004 <sup>*1</sup>	0.41
	底版	891	2141 <sup>*1</sup>	0.42
	側壁	725	993 <sup>*1</sup>	0.73
	隔壁	953	1862 <sup>*2</sup>	0.51
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版	944	2017 <sup>*1</sup>	0.47
	底版	711	1847 <sup>*1</sup>	0.38
	側壁	1244	2505 <sup>*2</sup>	0.50
	隔壁	739	1234 <sup>*2</sup>	0.60

\* 1 せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法

\* 2 材料非線形解析を用いた方法



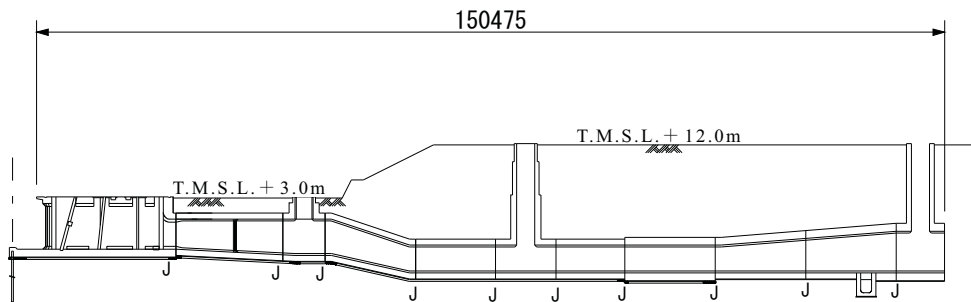
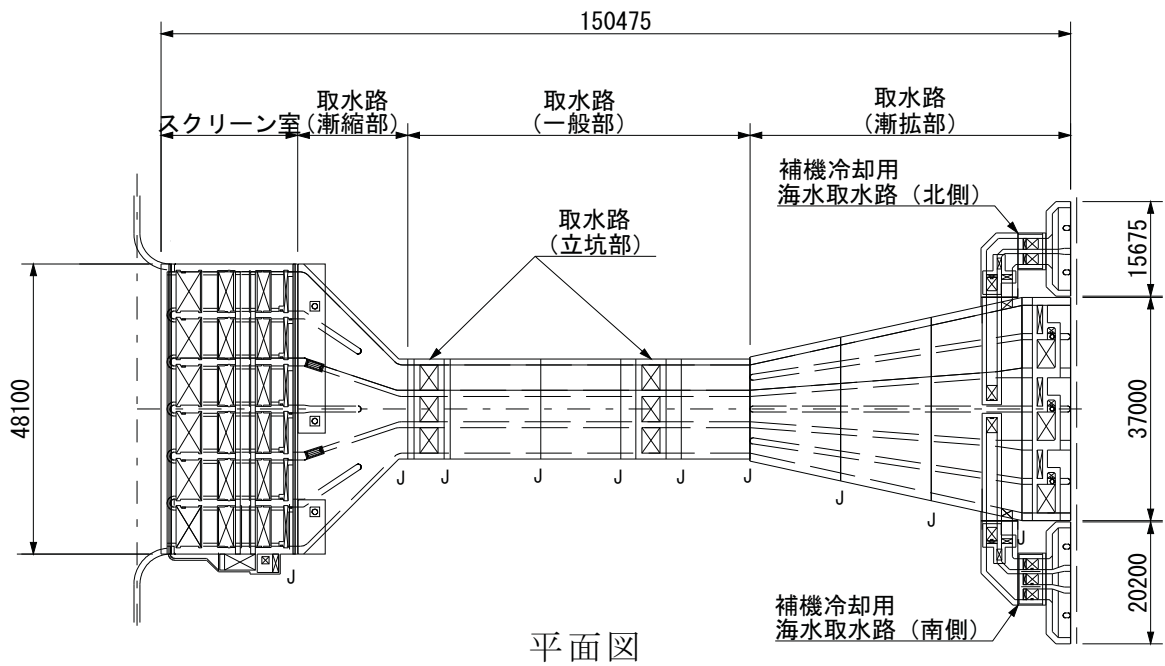
## 8.3. 軸方向に対する検討

### 8.3.1. 検討方針

非常用取水路は、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントが設置されており(第 8.3.1-1 図)、取水路軸方向について構造的に問題となるような応力が生じないよう設計されているが、念のため、軸方向の応力度とブロック間相対変位について検討する。

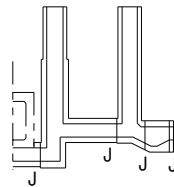
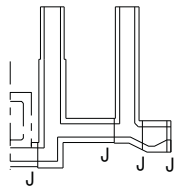
検討方法は、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書(改訂 1)(原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け、原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映)にならう。

なお、検討対象とする地震動は、耐震安全性評価結果において、構造物の変位が比較的大きかった基準地震動 Ss-1, Ss-3 とする。



補機冷却用海水取水路(南側)

補機冷却用海水取水路(北側)



J: 耐震ジョイント

(単位: mm)

第 8.3.1-1 図 非常用取水路のブロック分割

## 8.3.2. 応力度に関する検討

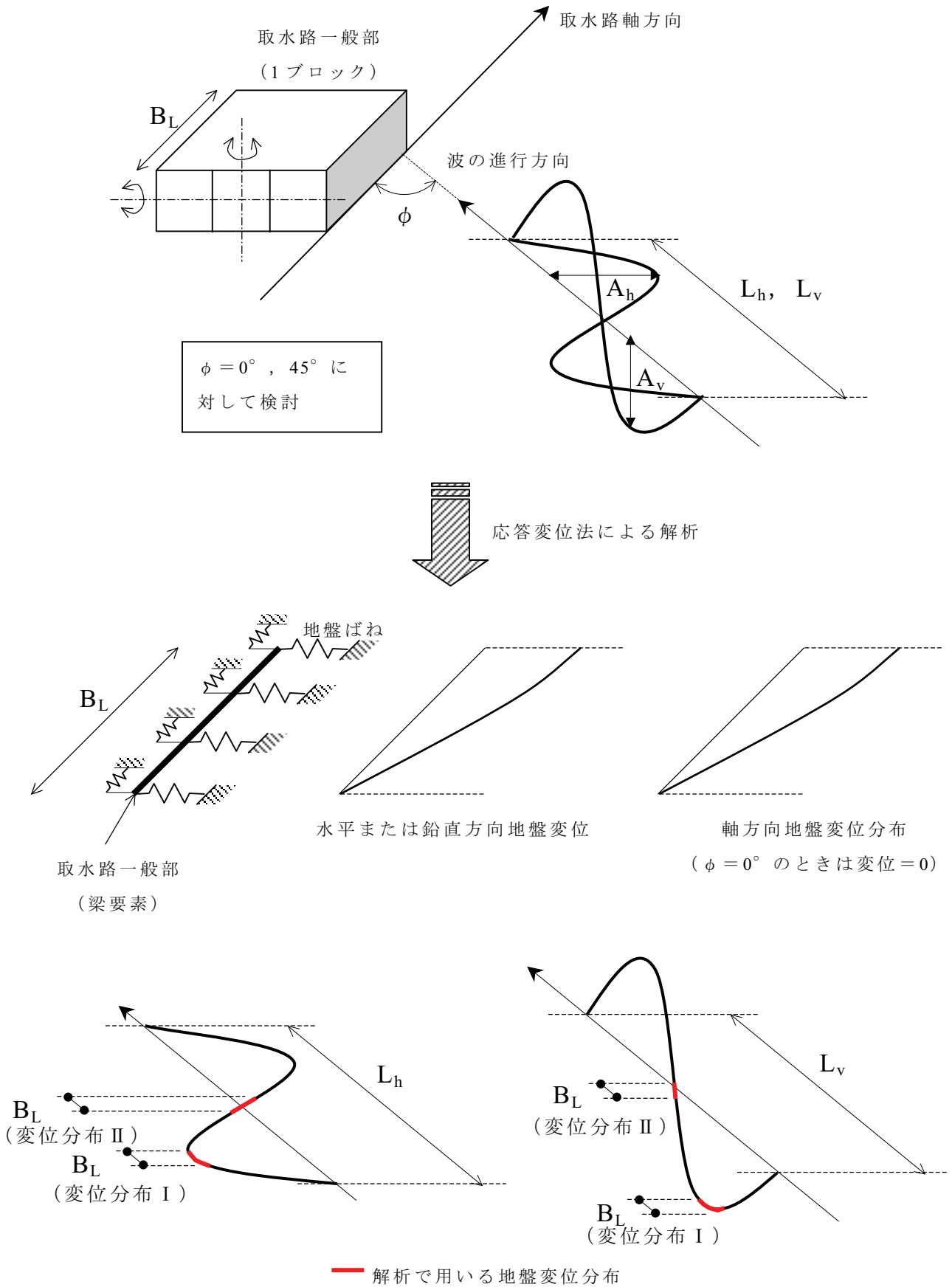
### 8.3.2.1. 検討手法

非常用取水路の各断面のうち、曲げ剛性が最も低い取水路を対象に、応力度に関する検討を行う。

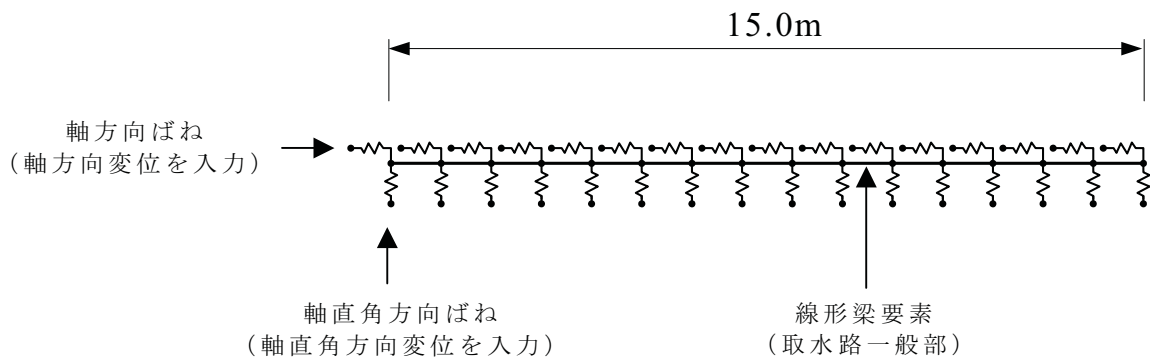
梁要素と地盤ばねからなる解析モデル(第 8.3.2-1 図)を用いて、静的に水平方向および鉛直方向の地盤変位分布を与えて断面力を求め、曲げ・軸力およびせん断力の発生応力度を算出する。このように算出した応力度について、曲げ・軸力については、「耐震性能照査指針」に基づき算出したコンクリート引張強度を、また、せん断力については、「耐震性能照査指針」のせん断耐力評価式による評価値を下回ることを確認する。

解析モデルを第 8.3.2-2 図に、地盤ばねを第 8.3.2-1 表に、地盤の波長と最大変位振幅を第 8.3.2-2 表にそれぞれ示す。

地盤ばねは「道路橋示方書・同解説 下部構造編(日本道路協会、平成 14 年 3 月)」に基づき、地盤物性値から推定される地盤反力係数を用いて経験式から算定する。また、地盤ばねを介して与える地盤変位は「共同溝設計指針(日本道路協会、昭和 61 年 3 月)」の考え方に従い、地盤振動の波長と最大変位振幅を用いて算定する。なお、最大変位振幅は、「8.2. 耐震安全性評価」において実施した取水路の地震応答解析結果に基づき、構造物中心－西山層上面間の最大相対変位(水平方向および鉛直方向)とする。



第 8.3.2-1 図 軸方向の検討方法の概念 (水平方向, 鉛直方向)



※ 別途算定した変位分布に従い，軸直角方向変位および軸方向の変位を各節点の地盤ばねを介して入力。

第 8.3.2-2 図 解析モデル

第 8.3.2-1 表 解析に用いた地盤ばね

地震動	方向	軸方向ばね定数 $K_1$ (kN/m)	軸直角方向ばね定数 $K_2$ (kN/m)
Ss-1	水平変位 入力モデル	$2.25 \times 10^5$	$2.47 \times 10^5$
	鉛直変位 入力モデル	$2.25 \times 10^5$	$3.54 \times 10^5$
Ss-3	水平変位 入力モデル	$2.18 \times 10^5$	$2.38 \times 10^5$
	鉛直変位 入力モデル	$2.18 \times 10^5$	$3.43 \times 10^5$

第 8.3.2-2 表 解析に用いた地盤振動の波長と最大変位振幅

地震動	方向	波長 $L$ (m)	最大変位振幅 $A$ (cm)
Ss-1	水平変位	281.8	8.21
	鉛直変位	281.8	0.287
Ss-3	水平変位	292.2	10.0
	鉛直変位	292.2	0.216

### 8.3.2.2. 検討結果

#### (1) 曲げ・軸力に関する検討

曲げ・軸力については，水平方向および鉛直方向変位に対して軸方向に生じる応力がコンクリート引張強度を下回ることを確認した。曲げ・軸力による検討結果を第 8.3.2-3 表に示す。

第 8.3.2-3 表 曲げ・軸力に関する検討結果

	構造物と地震波進行方向のなす角度 $\phi$ (°)	変位分布	発生応力度 $\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート引張強度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_d / f_t$
水平方向変位	0	I	0.00889	1.45	0.0061
		II	0.0000766	1.45	0.000053
	45	I	0.00379	1.45	0.0026
		II	0.128	1.45	0.088
鉛直方向変位	0	I	0.000757	1.45	0.00052
		II	0.00000681	1.45	0.0000047
	45	I	0.000289	1.45	0.00020
		II	0.00276	1.45	0.0019

(2) せん断力に関する検討

せん断力については, 水平方向および鉛直方向変位に対して軸方向に生じるせん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。せん断力による検討結果を第 8.3.2-4 表に示す。

第 8.3.2-4 表 せん断力に関する検討結果

	構造物と地震波進行方向のなす角度 $\phi$ (°)	変位分布	発生せん断力 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	$V_d / V_{yd}$
水平方向変位	0	I	300	76100	0.0039
		II	6.56	76100	0.000086
	45	I	106	73700	0.0014
		II	1.77	73700	0.000024
鉛直方向変位	0	I	13.7	54900	0.00025
		II	0.320	54900	0.0000058
	45	I	4.85	52400	0.000093
		II	0.0300	51200	0.00000059

### 8.3.3. ブロック間相対変位に関する検討

#### 8.3.3.1. 検討手法

スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）を対象に，ブロック間相対変位について検討する。

「8.2. 耐震安全性評価」において実施した地震応答解析結果に基づき，構造物中心－西山層上面間最大相対変位を求め，ブロック間に発生する相対変位が取水機能に影響を及ぼさないことを確認する。

#### 8.3.3.2. 検討結果

各断面における水平方向および鉛直方向の最大相対変位量を第8.3.3-1表に示す。隣接するブロック間の最大相対変位量は，最も大きく見積もっても各位置における最大相対変位量の2倍になるが，中越沖地震後に確認された耐震ジョイントの変位量（最大2.0cm）を加えても，耐震ジョイントの限界性能（伸び30cm，ずれ40cm）を下回ることから，取水機能に影響を及ぼすものではない。

第 8.3.3-1 表 各断面における最大相対変位量

	水平 (cm)	鉛直 (cm)
スクリーン室	7.18	0.144
取水路	10.00	0.287
補機冷却用海水取水路（南側）	0.672	0.0141
補機冷却用海水取水路（北側）	0.969	0.0436



## 8.4. 設置地盤の支持性能に対する検討

### 8.4.1. 検討方針

非常用取水路の各断面の等価な単位体積重量は  $14.5\sim 17.6\text{kN/m}^3$  であり、埋戻土層の単位体積重量  $18.6\text{kN/m}^3$  と比べて同等かやや小さいことから、設置地盤の支持性能は問題にならないと考えられるが、念のため、「8.2. 耐震安全性評価」において実施した地震応答解析結果に基づき、非常用取水路の設置地盤の支持性能について検討する。

### 8.4.2. 検討手法

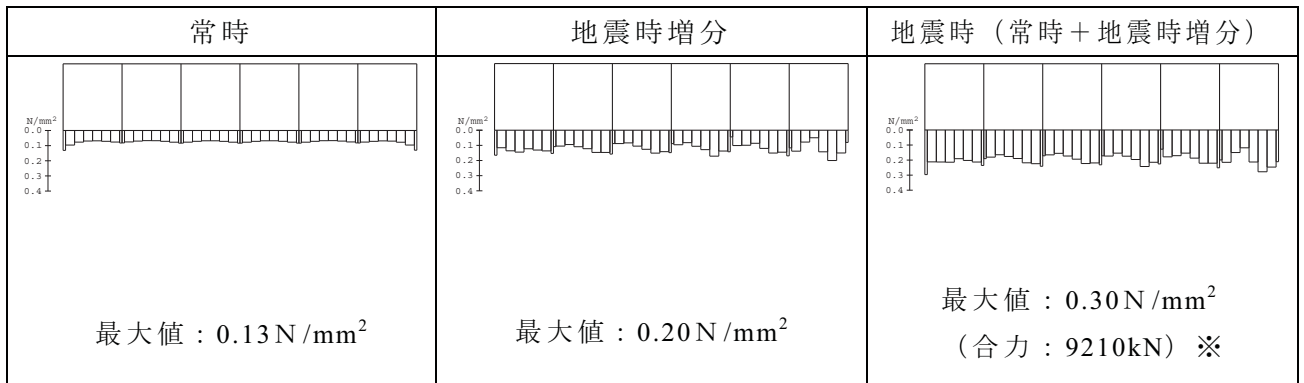
スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）を対象に、各構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力（V）および各構造物の底版に接する地盤要素の鉛直応力（ $\sigma_v$ ）が最大となるそれぞれの時刻について、要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面から、連続したすべり線が形成されないことを確認する。

また、構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力（V）が、「道路橋示方書・同解説 下部構造編（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき計算した設置地盤の極限支持力（ $Q_u$ ）を下回ることを確認する。

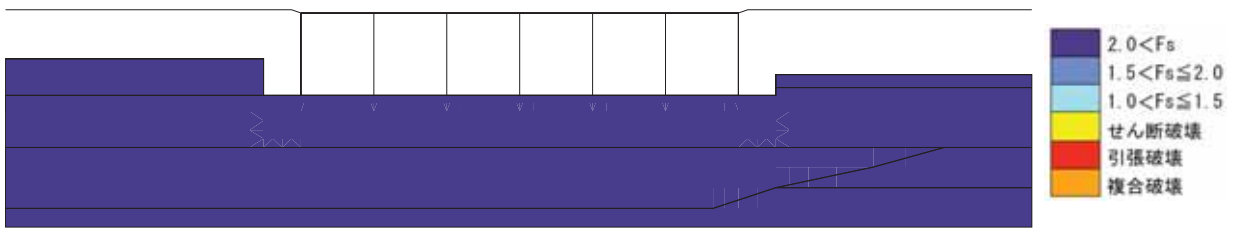
### 8.4.3. 検討結果

基準地震動  $S_s-1$  および  $S_s-3$  について、要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面から、破壊に至る要素が連続せず、すべり線が形成されないことを確認した。代表的なケースの地盤反力分布、要素ごとの安全係数分布、モビライズド面を第 8.4.3-1 図に示す。

## 接地圧分布

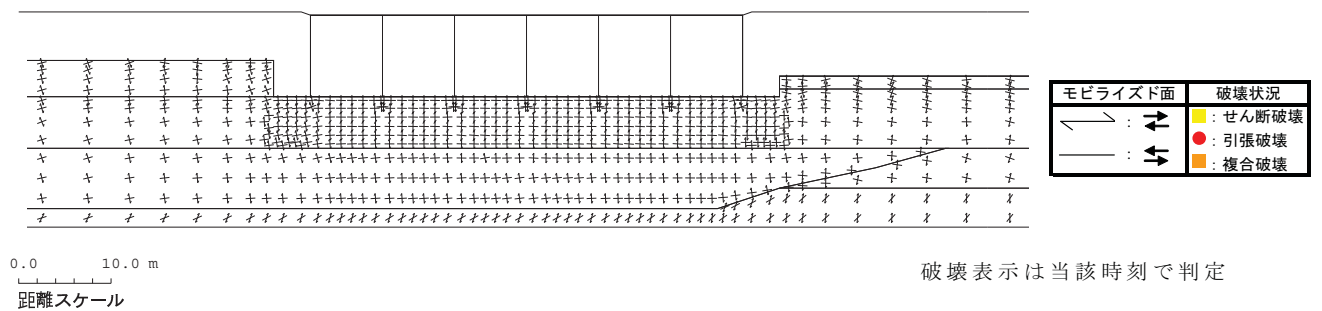


※ 奥行き 1m 当りの値



要素ごとの安全係数

破壊表示は当該時刻で判定

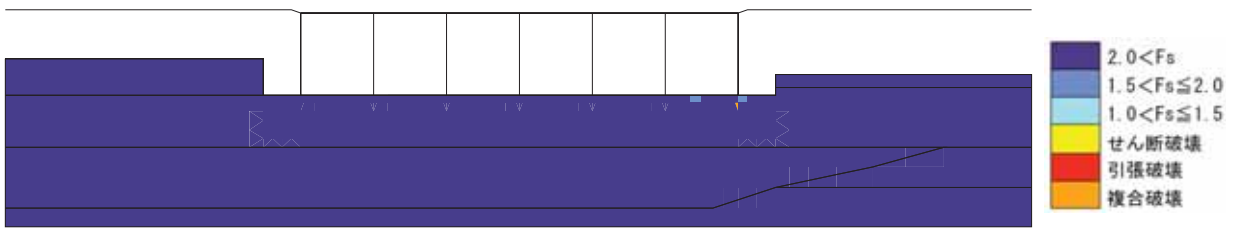
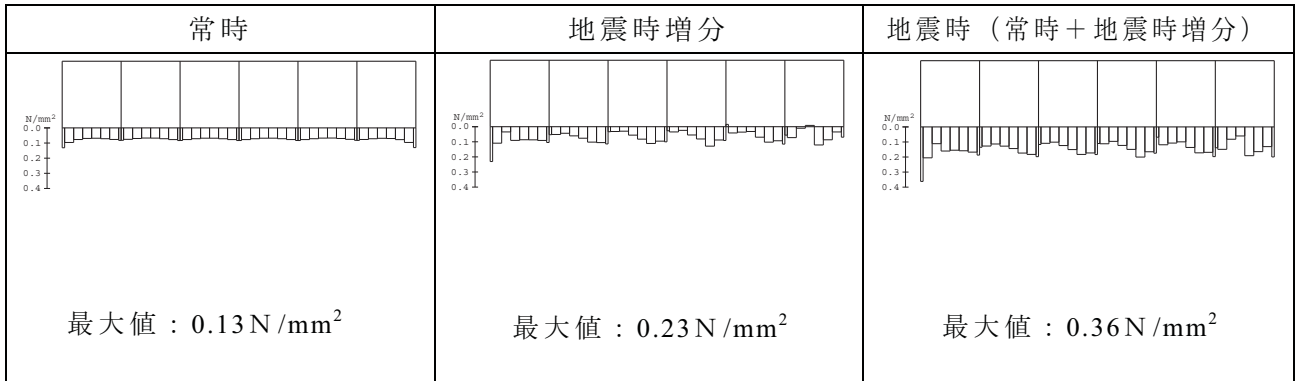


モビライズド面

破壊表示は当該時刻で判定

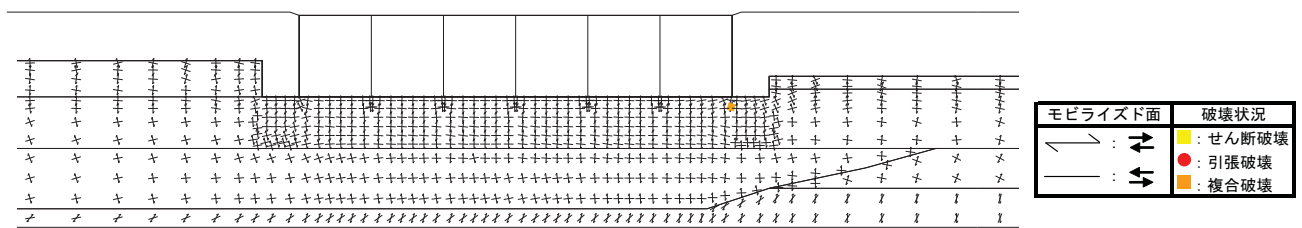
第 8.4.3-1 図(1) 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
(スクリーン室, Ss-1, 鉛直合力最大時, T=16.21 秒)

## 接地圧分布



破壊表示は当該時刻で判定

## 要素ごとの安全係数



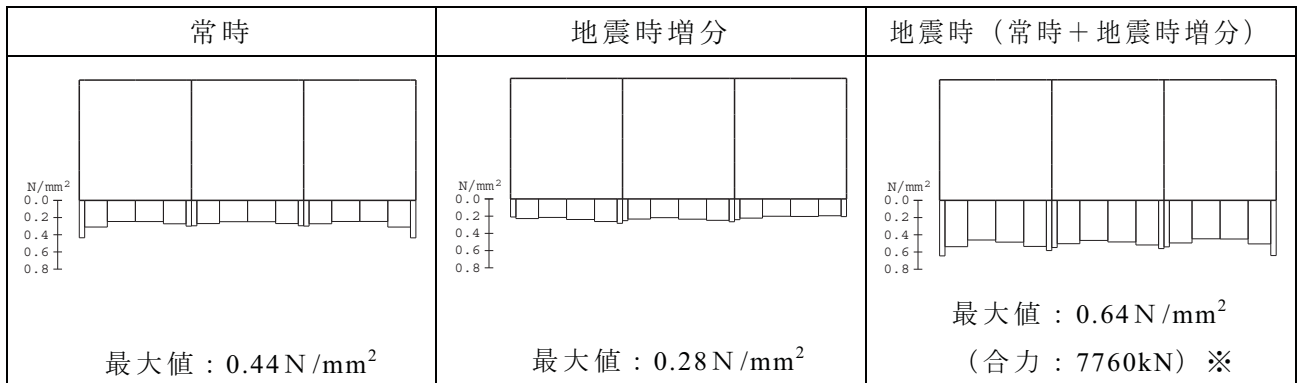
0.0      10.0 m  
距離スケール

破壊表示は当該時刻で判定

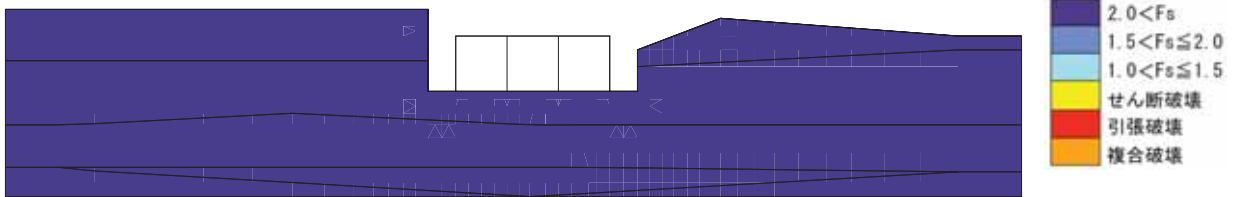
## モビライズド面

第 8.4.3-1 図(2) 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
(スクリーン室, Ss-1, 要素鉛直応力最大時, T=19.13 秒)

## 接地圧分布

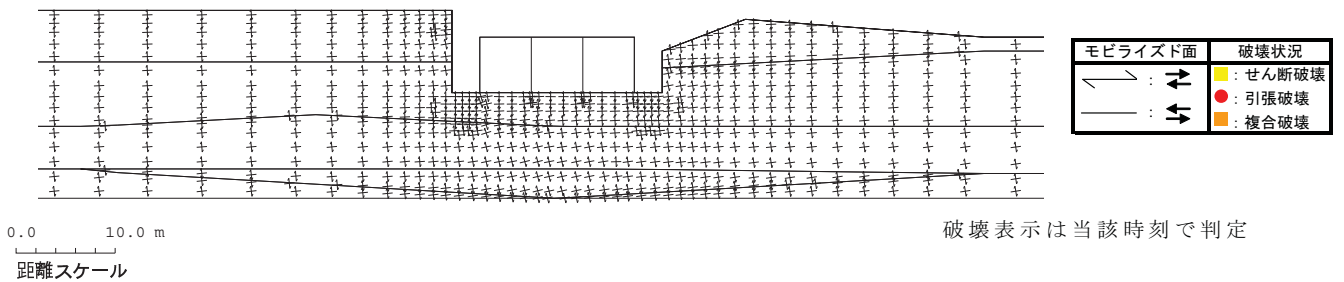


※ 奥行き 1m 当りの値



要素ごとの安全係数

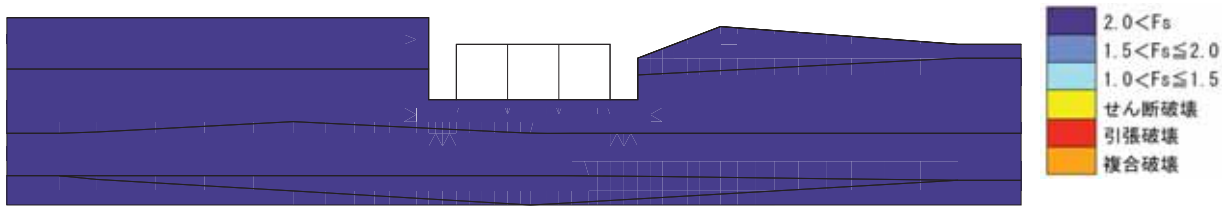
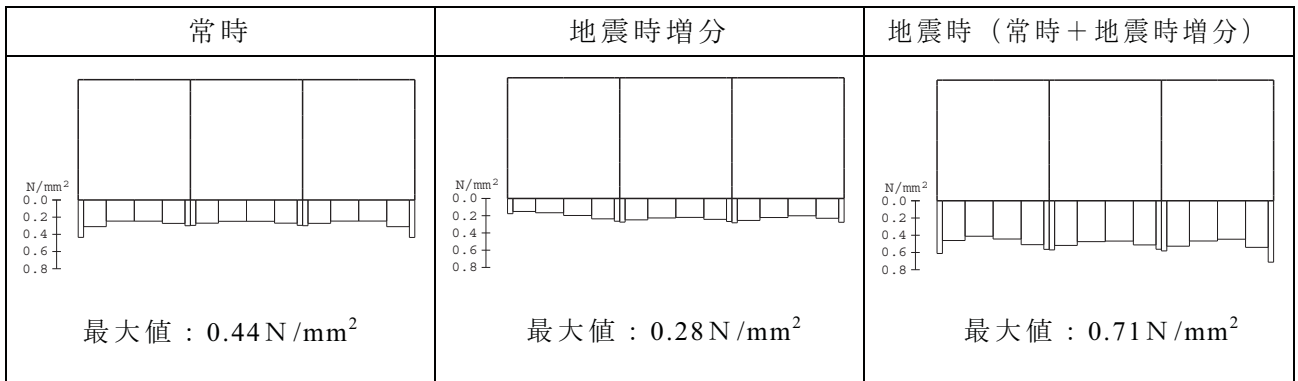
破壊表示は当該時刻で判定



モビライズド面

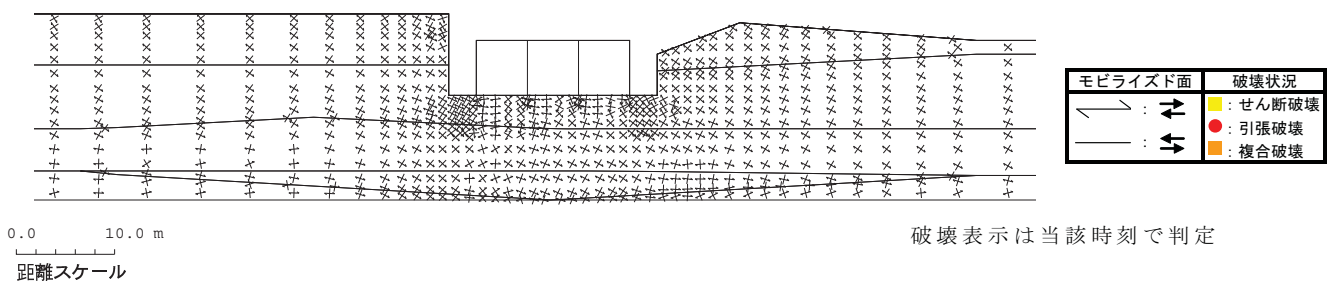
第 8.4.3-1 図(3) 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
（取水路，Ss-3，合力最大時 T=11.94 秒）

## 接地圧分布



破壊表示は当該時刻で判定

## 要素ごとの安全係数



破壊表示は当該時刻で判定

## モビライズド面

第 8.4.3-1 図(4) 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面  
（取水路，Ss-3，要素鉛直応力最大時 T=39.56 秒）

また、基準地震動 Ss-1 および Ss-3 について、構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力（V）が極限支持力（ $Q_u$ ）を下回ることを確認した。両者を比較した結果を第 8.4.3-1 表に示す。

第 8.4.3-1 表 極限支持力に関する検討結果

	鉛直力 ※ V (kN)	極限支持力※ $Q_u$ (kN)	$Q_u/V$
スクリーン室	9210	34400	3.7
取水路	7760	33700	4.3
補機冷却用海水取水路 (南側)	11900	32100	2.7
補機冷却用海水取水路 (北側)	8940	23600	2.6

※ 奥行き 1m 当りの値

なお、鉛直方向の相対変位量・傾斜に関しては、「8.3.3 ブロック間相対変位に関する検討」に示したとおり、取水機能に影響を及ぼさないことを確認した。

## 参考資料 8.1 せん断耐力の算定方法について

非常用取水路の耐震安全性評価において、部材のせん断耐力は、「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，土木学会原子力土木委員会，2005年6月」（以下、「耐震性能照査指針」という。）に基づき、「せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法」により算定することを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析（以下、「材料非線形解析を用いた方法」という。）により算定している。

せん断耐力の算定方法について、以下に示す。

### 1. せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法

「せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法」では、耐震性能照査指針に基づき、棒部材式あるいはディープビーム式によりせん断耐力を算定する。

棒部材式およびディープビーム式を以下に示す。

#### ①. 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに、 $V_{cd}$ ：コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$ ：せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd}^* = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$V_{sd}^* = \{ A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \} z / \gamma_{bs}$$

※詳細は「耐震性能照査指針」を参照

## ②. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここに、 $V_{cdd}$ : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sdd}$ : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd}^* = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$V_{sdd}^* = \phi \cdot V_{sd}$$

※詳細は「耐震性能照査指針」を参照



## 2. 材料非線形解析を用いた方法

「材料非線形解析を用いた方法」では、耐震性能照査指針に基づき材料非線形解析を行い、部材のせん断耐力を算定している。

材料非線形解析を用いたせん断耐力については、以下の解析により得られた結果を用いて、荷重ステップ毎の変位増分の拡大状況などを参照して判断している。

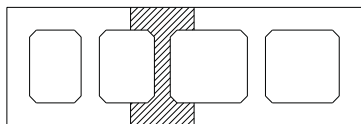
### ①. 解析手順

材料非線形解析は検討対象部材を有限要素でモデル化し（参図-8.1.1）、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、同荷重比率を維持しながら漸増载荷する（参図-8.1.2）。

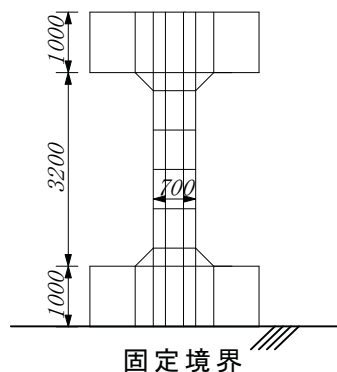
### ②. 材料特性

コンクリートの圧縮応力下の応力-ひずみ関係は、最大応力点を越えた軟化域まで表す曲線とし、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を表すものを用いる。また、引張応力下の応力-ひずみ関係には、鉄筋コンクリートにおけるコンクリートと鉄筋の付着効果等による相互作用を包含している（「別紙」を参照）。

補機冷却用海水取水路(北側)



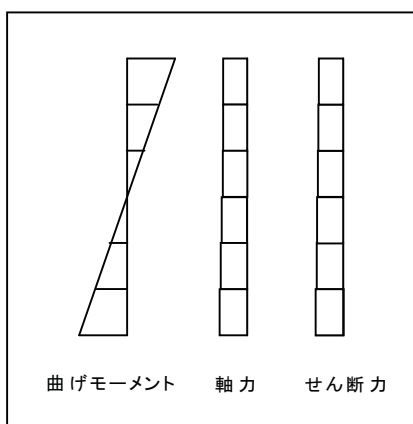
照査対象部  
材をモデル化



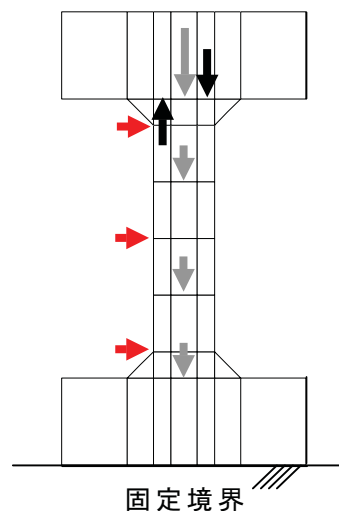
(単位: mm)

参図-8.1.1 材料非線形解析モデル  
(例: 補機冷却用海水取水路(北側) 隔壁部)

(部材非線形解析で得られた  
照査時刻の断面力分布)



部材非線形解析  
で得られた照査時  
刻の断面力分布  
を再現できる荷重  
分布を算出

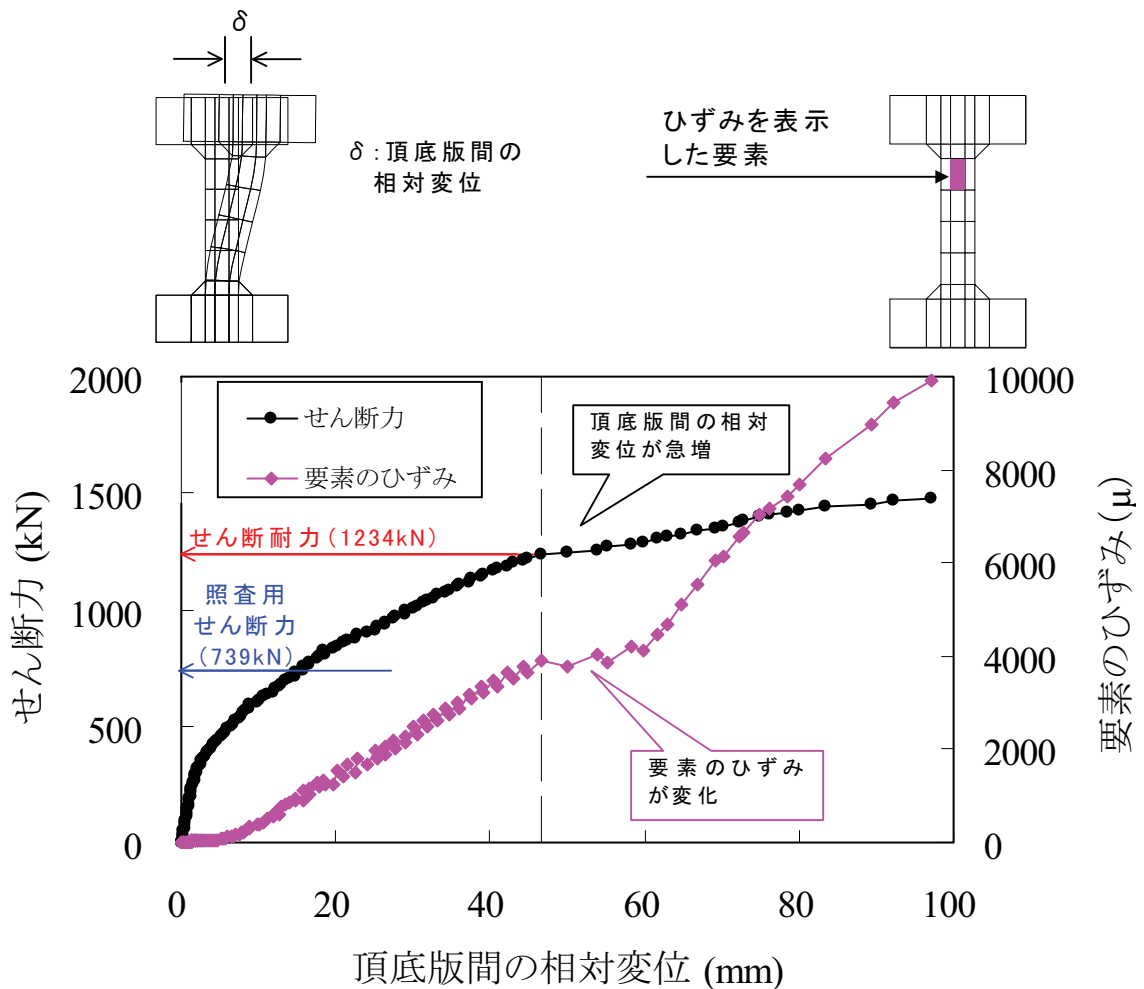


参図-8.1.2 材料非線形解析手法における载荷方法の概念図

### ③. 部材のせん断耐力の算定例

6号機非常用取水路うち補機冷却用海水取水路の隔壁部の耐震安全性評価において、材料非線形解析手法を用いた部材のせん断耐力の算定結果を示す。

参図-8.1.3 に、材料非線形解析から得られたせん断力～頂底板間の相対変位関係、および下図に示す要素のひずみ～頂底板間の相対変位関係を示す。解析の結果から、せん断力～頂底板間の相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位の増分が急増しており、これ以降、要素のひずみの増分も変化している点を部材のせん断耐力と判断している。



参図-8.1.3 材料非線形解析結果  
(例：6号機非常用取水路 補機冷却用海水取水路（北側）隔壁部)

## 材料非線形解析の非線形特性について

部材のせん断耐力の算定に用いた材料非線形解析の非線形特性について、以下に示す。

## 1. 材料の非線形特性

## ①. コンクリート

コンクリートの非線形特性を図-1 に示す。

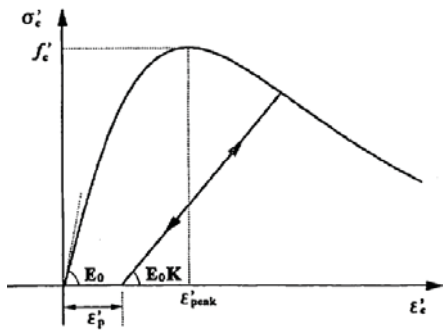
圧縮領域の応力－ひずみの骨格曲線は最大応力点を越えた軟化領域も表し、応力履歴については残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、引張領域に適用する軸方向の平均応力－平均ひずみの骨格曲線は鉄筋との付着作用を包含し、ひび割れ発生以降もひび割れ間のコンクリートが引張応力を分担することを考慮している。

## ②. 鉄筋

鉄筋の非線形特性を図-2 に示す。

鉄筋の応力－ひずみ骨格曲線は鉄筋降伏以後の部材の変形を算定するため、ひずみ硬化を考慮している。



$$\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_c}{\epsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \left[ 1 - \exp \left( -1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right] \right\}$$

$$\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \cdot \epsilon'_{peak} \left( 1 - \exp \left( -0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right)$$

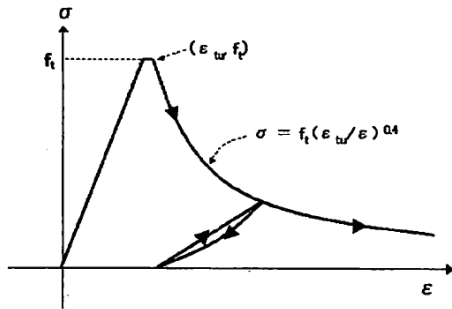
ここに、 $\epsilon'_{peak}$  : 圧縮強度に対応するひずみ

$\epsilon'_{max}$  : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

$\epsilon'_p$  : 塑性ひずみ

$K$  : 弾性剛性残存率

(圧縮応力下の履歴モデル)



ここに、

$\sigma_t$  : 引張応力

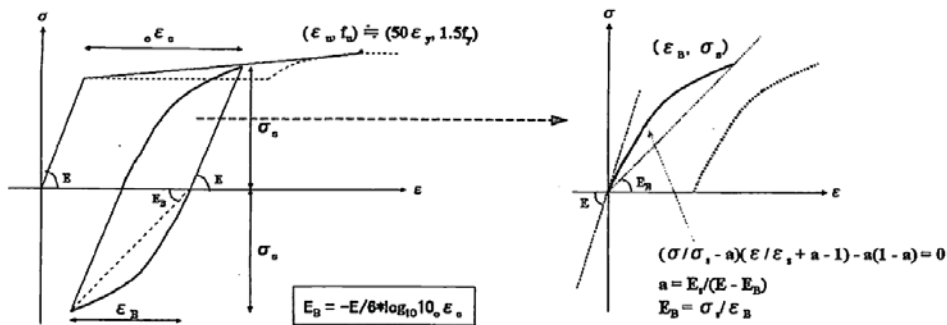
$\epsilon_t$  : 引張ひずみ

$f_t$  : 引張強度

$\epsilon_{tu}$  : ひび割れ発生限界ひずみ

(引張応力下の履歴モデル)

図-1 コンクリートの履歴モデル (1)



$$(\sigma / \sigma_s - a)(\epsilon / \epsilon_s + a - 1) - a(1 - a) = 0$$

$$a = E_y / (E - E_B)$$

$$E_B = \sigma_y / \epsilon_B$$

$$E_B = -(E/6) \cdot \log_{10} 10 \cdot \epsilon_s$$

ここに、 $\epsilon_s$  : 骨格曲線部の経験ひずみの総和  
 なお、引張から圧縮に向かう逆側のループは、対称

図-2 鉄筋の履歴モデル (1)

## 2. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

鉄筋とコンクリートの界面の付着特性をテンションステイフィニング効果（引張特性が硬化する現象）として，鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより，鉄筋コンクリートの構成則を直接与えるモデルとする。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は，次式<sup>(2)</sup>で表せる。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに， $\bar{\sigma}_s$ ， $\bar{\sigma}_c$ ：それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

$A_s$ ， $A_c$ ：それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積， $A_{RC} = A_s + A_c$

## 3. 参考文献

- (1) 「2007年制定 コンクリート標準示方書（設計編）」  
土木学会，2007
- (2) 「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」  
土木学会原子力土木委員会，2005

## 9. 弾性設計用地震動 $S_d$ に対する検討

## 【目 次】

9.1.	検討方針 .....	9-1
9.2.	弾性設計用地震動 $S_d$ について .....	9-1
9.2.1.	弾性設計用地震動 $S_d$ の設定方針 .....	9-1
9.3.	原子炉建屋の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価 .....	9-4
9.3.1.	地震応答解析 .....	9-4
9.4.	機器・配管系の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価 .....	9-36
9.4.1.	弾性設計用地震動 $S_d$ による耐震評価条件について .....	9-36
9.4.2.	弾性設計用地震動 $S_d$ に対する重要な機器・配管系の耐震性 評価結果 .....	9-41
9.5.	まとめ .....	9-43



## 9. 弾性設計用地震動 $S_d$ に対する検討

### 9.1. 検討方針

旧耐震指針において  $S_1$  ないし静的地震力が果たしてきた役割を考慮するため、代表施設について弾性設計用地震動  $S_d$  および静的地震力に対する弾性設計評価を行い、旧耐震指針から新耐震指針への連続性の考察を行う。

建物・構築物については原子炉建屋を代表施設として、弾性設計用地震動  $S_d$  による最大応答値および最大応答せん断力の確認を行う。また、機器・配管系については原子炉を「止める」「冷やす」「閉じ込める」の観点から、代表的な設備を選定し、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する応力を確認する。

### 9.2. 弾性設計用地震動 $S_d$ について

#### 9.2.1. 弾性設計用地震動 $S_d$ の設定方針

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」で述べられている  $S_d$  の設定に関する記述は次の通りである。

#### (6. 耐震設計方針 (解説) III (2) より抜粋)

当該係数の設定に当たっては、基準地震動 $S_s$ の策定の際に参照した超過確率を参考とすることができる。・・・・・・(中略)・・・・・・弾性設計用地震動 $S_d$ と基準地震動 $S_s$ の応答スペクトルの比率 ( $S_d/S_s$ ) の値は、弾性設計用地震動 $S_d$ に求められる性格上、ある程度以上の大きさであるべきであり、めやすとして、0.5 を下回らないような値で求められることが望ましい。
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

このことを踏まえ、弾性設計用地震動  $S_d$  の設定に際しては、事故時荷重と地震荷重を組み合わせる観点から、原子力発電所耐震設計技術指針～重要度分類・許容応力編～JEAG4601・補-1984 (以下、JEAG4601 という) に記載のある基準地震動  $S_1$  と事故時荷重の組合せの考え方を参考に、基準地震動  $S_s$  の超過確率を参照することとした。

## 9.2.2 耐震安全性評価における弾性設計用地震動 $S_d$

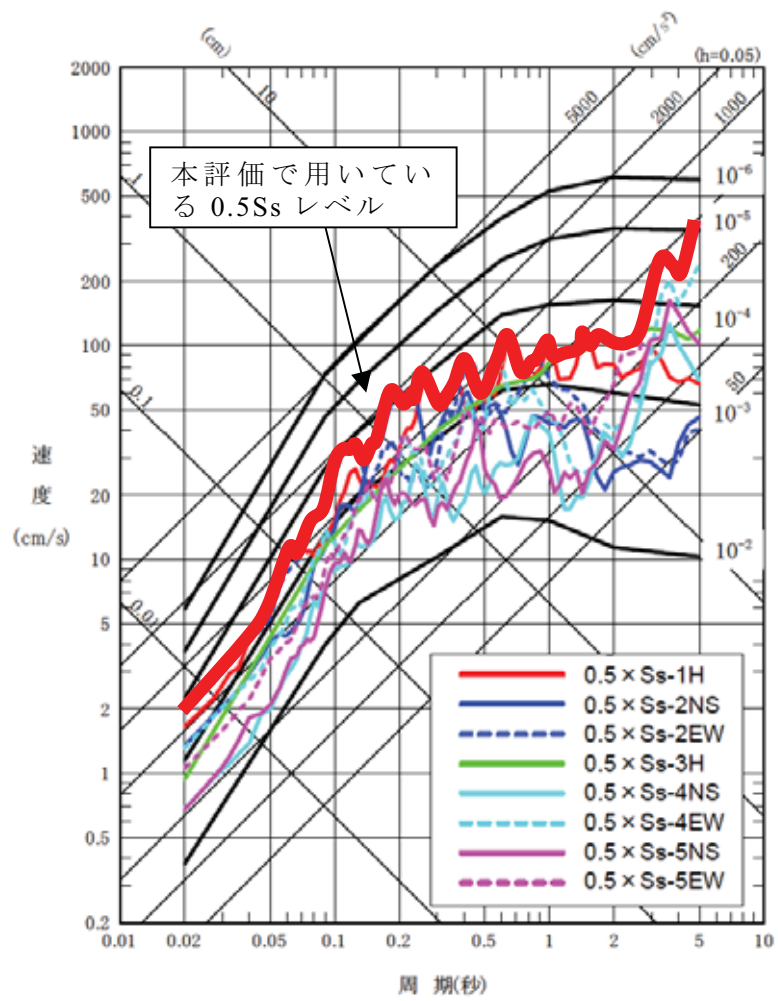
### (1) 地震動との組合せを想定すべき荷重状態の考え方

JEAG4601 の参考資料では、運転状態と地震の関連について述べられている。ここでは、地震動と同時に発生する確率が  $10^{-7}$  回/炉・年を下回ると判断される事象は、地震との組合せが不要となるとしている。

### (2) 弾性設計用地震動 $S_d$ の設定

$S_d/S_s$  の比率は、0.5 を下回らないこととされている。その 0.5 を採用して年超過確率を参照したところ、全ての  $0.5S_s$  の包絡レベルにおいて、年超過確率が概ね  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  であった。JEAG4601 で想定している事故発生確率が  $10^{-4}$ /年以下であることを考慮すると、 $S_d/S_s$  の比率を 0.5 を超えて設定すると、地震と事故が同時に発生する確率が  $10^{-7}$ /年を下回り、耐震安全性評価において考慮すべき事象とはいえなくなる。このことから、本評価においては、 $S_d/S_s$  の比率を 0.5 とした。

また、ここで設定した弾性設計用地震動  $S_d$  については、この地震動に基づく耐震性評価条件を算定し、従前の基準地震動  $S_1$  および静的地震力に基づく耐震性評価条件との比較を行うことで、旧耐震指針と新耐震指針との連続性を確認することとする。



第 9.2.2-1 図 0.5Ss の年超過確率

## 9.3. 原子炉建屋の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価

### 9.3.1. 地震応答解析

#### 9.3.1.1. 地震応答解析モデル

弾性設計用地震動  $S_d$  による評価に対する地震応答解析モデルは基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析に用いた解析モデルと同様とし、水平方向および鉛直方向の解析ともに建屋剛性は線形とする。

地盤は、弾性設計用地震動  $S_d$  による等価線形解析を実施し、地盤定数を設定する。第 9.3.1-1 表に地盤定数を示す。

地盤ばねは、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析時と同様に、水平方向解析時は側面および底面地盤ばねともに水平成分と回転成分を考慮する。鉛直方向解析時は底面地盤ばねの鉛直成分を考慮する。第 9.3.1-2 表に地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を示す。

#### 9.3.1.2. 地震応答解析結果

地震応答解析モデルの固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数を第 9.3.1-3 表および第 9.3.1-4 表に示す。

弾性設計用地震動  $S_d$ （水平）による最大応答値を、それぞれ第 9.3.1-1 図～第 9.3.1-6 図に示す。

弾性設計用地震動  $S_d$ （鉛直）による最大応答値を、それぞれ第 9.3.1-7 図～第 9.3.1-8 図に示す。

弾性設計用地震動  $S_d$  による応答の代表として、 $S_d-1$ ， $S_d-2$ ， $S_s-1$  および  $S_s-2$  のせん断スケルトン曲線上の最大応答値比較を第 9.3.1-9 図～第 9.3.1-10 図に示す。参考に、工認設計時の動的地震力  $S_1$ ， $S_2$ ，静的地震力および設計用地震力も併せて示す。

$S_d-1$  および  $S_d-2$  による最大応答せん断力を、工認設計時の動的地震力  $S_1$ ， $S_2$  静的地震力および設計用地震力と比較し、第 9.3.1-11 図～第 9.3.1-12 図に示す。

第 9.3.1-1 表(1) 地盤定数

(Sd-1)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.14	0.37	0.38	0.38	19	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.17	0.66	0.26	0.45	23	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.26	1.92	0.66	3.68	4	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	11.70	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.51	4.75	0.95	13.04	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.83	6.14	0.95	16.70	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.95	22.50	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

第 9.3.1-1 表(2) 地盤定数

(Sd-2)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.15	0.37	0.41	0.41	16	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.14	0.66	0.22	0.38	19	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.22	1.92	0.64	3.57	3	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	11.70	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.56	4.75	0.96	13.19	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.95	6.14	0.97	17.04	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	8.07	8.32	0.97	22.98	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

第 9.3.1-1 表(3) 地盤定数

(Sd-3)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.18	0.37	0.49	0.48	15	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.21	0.66	0.32	0.55	21	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.34	1.92	0.70	3.92	3	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	11.70	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.46	4.75	0.94	12.90	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.77	6.14	0.94	16.53	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.95	22.50	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

第 9.3.1-1 表(4) 地盤定数

(Sd-4)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 G <sub>0</sub> (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 G/G <sub>0</sub>	ヤング 係数 E (×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.20	0.37	0.53	0.53	11	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.26	0.66	0.39	0.67	16	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.34	1.92	0.70	3.92	3	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.07	4.16	0.98	11.81	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.60	4.75	0.97	13.30	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.95	6.14	0.97	17.04	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	8.07	8.32	0.97	22.98	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

第 9.3.1-1 表(5) 地盤定数

(Sd-5)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^2$ N/mm <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^2$ N/mm <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	ヤング 係数 $E$ ( $\times 10^2$ N/mm <sup>2</sup> )	減衰 定数 $h$ (%)	層厚 $H$ (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.18	0.37	0.48	0.48	11	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.21	0.66	0.32	0.55	14	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.34	1.92	0.70	3.92	3	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	11.70	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.56	4.75	0.96	13.19	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.83	6.14	0.95	16.70	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	7.98	8.32	0.96	22.73	3	19.0
-155.0		〔解放 基礎〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

第 9.3.1-2 表(1) 地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-1)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*)1</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*)2</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*)3</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.34×10 <sup>6</sup>	0.67	4.69×10 <sup>5</sup>	2.36
K2	7	側面・回転	1.04×10 <sup>9</sup>	0.01	1.16×10 <sup>8</sup>	2.36
K3	8	側面・並進	3.55×10 <sup>6</sup>	0.67	1.24×10 <sup>6</sup>	2.36
K4	8	側面・回転	2.76×10 <sup>9</sup>	0.01	3.09×10 <sup>8</sup>	2.36
K5	9	側面・並進	9.11×10 <sup>6</sup>	1.21	1.79×10 <sup>6</sup>	2.36
K6	9	側面・回転	7.17×10 <sup>9</sup>	0.01	4.13×10 <sup>8</sup>	2.36
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.36
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.02×10 <sup>8</sup>	2.36
K9	10	底面・並進	7.70×10 <sup>7</sup>	0.00	2.92×10 <sup>6</sup>	2.36
K10	10	底面・回転	7.50×10 <sup>10</sup>	0.00	6.28×10 <sup>8</sup>	2.36

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-1)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*)1</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*)2</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*)3</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.34×10 <sup>6</sup>	0.67	4.71×10 <sup>5</sup>	2.42
K2	7	側面・回転	1.04×10 <sup>9</sup>	0.01	1.17×10 <sup>8</sup>	2.42
K3	8	側面・並進	3.55×10 <sup>6</sup>	0.67	1.25×10 <sup>6</sup>	2.42
K4	8	側面・回転	2.76×10 <sup>9</sup>	0.01	3.10×10 <sup>8</sup>	2.42
K5	9	側面・並進	9.11×10 <sup>6</sup>	1.21	1.79×10 <sup>6</sup>	2.42
K6	9	側面・回転	7.17×10 <sup>9</sup>	0.01	4.16×10 <sup>8</sup>	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.03×10 <sup>8</sup>	2.42
K9	10	底面・並進	7.66×10 <sup>7</sup>	0.00	2.89×10 <sup>6</sup>	2.42
K10	10	底面・回転	8.08×10 <sup>10</sup>	0.00	7.35×10 <sup>8</sup>	2.42

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-1)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*)1</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.27×10 <sup>8</sup>	0.00	6.71×10 <sup>6</sup>	3.97

(\*1) f1 は連成系の 1 次固有振動数



第 9.3.1-2 表(2) 地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-2)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.29×10 <sup>6</sup>	0.66	4.62×10 <sup>5</sup>	2.37
K2	7	側面・回転	1.00×10 <sup>9</sup>	0.01	1.15×10 <sup>8</sup>	2.37
K3	8	側面・並進	3.42×10 <sup>6</sup>	0.66	1.22×10 <sup>6</sup>	2.37
K4	8	側面・回転	2.66×10 <sup>9</sup>	0.01	3.04×10 <sup>8</sup>	2.37
K5	9	側面・並進	9.08×10 <sup>6</sup>	1.21	1.79×10 <sup>6</sup>	2.37
K6	9	側面・回転	7.16×10 <sup>9</sup>	0.01	4.13×10 <sup>8</sup>	2.37
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.37
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.02×10 <sup>8</sup>	2.37
K9	10	底面・並進	7.76×10 <sup>7</sup>	0.00	2.93×10 <sup>6</sup>	2.37
K10	10	底面・回転	7.56×10 <sup>10</sup>	0.00	6.33×10 <sup>8</sup>	2.37

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-2)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.29×10 <sup>6</sup>	0.66	4.63×10 <sup>5</sup>	2.42
K2	7	側面・回転	1.00×10 <sup>9</sup>	0.01	1.15×10 <sup>8</sup>	2.42
K3	8	側面・並進	3.42×10 <sup>6</sup>	0.66	1.23×10 <sup>6</sup>	2.42
K4	8	側面・回転	2.66×10 <sup>9</sup>	0.01	3.05×10 <sup>8</sup>	2.42
K5	9	側面・並進	9.08×10 <sup>6</sup>	1.21	1.79×10 <sup>6</sup>	2.42
K6	9	側面・回転	7.16×10 <sup>9</sup>	0.01	4.15×10 <sup>8</sup>	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.03×10 <sup>8</sup>	2.42
K9	10	底面・並進	7.72×10 <sup>7</sup>	0.00	2.90×10 <sup>6</sup>	2.42
K10	10	底面・回転	8.14×10 <sup>10</sup>	0.00	7.37×10 <sup>8</sup>	2.42

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-2)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.28×10 <sup>8</sup>	0.00	6.73×10 <sup>6</sup>	3.98

(\*1) f1 は連成系の 1 次固有振動数

第 9.3.1-2 表(3) 地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-3)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 <sup>6</sup>	0.69	4.82×10 <sup>5</sup>	2.37
K2	7	側面・回転	1.10×10 <sup>9</sup>	0.01	1.19×10 <sup>8</sup>	2.37
K3	8	側面・並進	3.77×10 <sup>6</sup>	0.69	1.28×10 <sup>6</sup>	2.37
K4	8	側面・回転	2.93×10 <sup>9</sup>	0.01	3.17×10 <sup>8</sup>	2.37
K5	9	側面・並進	9.15×10 <sup>6</sup>	1.21	1.80×10 <sup>6</sup>	2.37
K6	9	側面・回転	7.20×10 <sup>9</sup>	0.01	4.15×10 <sup>8</sup>	2.37
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.37
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.02×10 <sup>8</sup>	2.37
K9	10	底面・並進	7.67×10 <sup>7</sup>	0.00	2.91×10 <sup>6</sup>	2.37
K10	10	底面・回転	7.47×10 <sup>10</sup>	0.00	6.34×10 <sup>8</sup>	2.37

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-3)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 <sup>6</sup>	0.69	4.83×10 <sup>5</sup>	2.42
K2	7	側面・回転	1.10×10 <sup>9</sup>	0.01	1.20×10 <sup>8</sup>	2.42
K3	8	側面・並進	3.77×10 <sup>6</sup>	0.69	1.28×10 <sup>6</sup>	2.42
K4	8	側面・回転	2.93×10 <sup>9</sup>	0.01	3.18×10 <sup>8</sup>	2.42
K5	9	側面・並進	9.15×10 <sup>6</sup>	1.21	1.80×10 <sup>6</sup>	2.42
K6	9	側面・回転	7.20×10 <sup>9</sup>	0.01	4.17×10 <sup>8</sup>	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.03×10 <sup>8</sup>	2.42
K9	10	底面・並進	7.63×10 <sup>7</sup>	0.00	2.89×10 <sup>6</sup>	2.42
K10	10	底面・回転	8.05×10 <sup>10</sup>	0.00	7.38×10 <sup>8</sup>	2.42

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-3)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.26×10 <sup>8</sup>	0.00	6.68×10 <sup>6</sup>	3.96

(\*1) f1 は連成系の 1 次固有振動数

第 9.3.1-2 表(4) 地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-4)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 <sup>6</sup>	0.69	4.82×10 <sup>5</sup>	2.38
K2	7	側面・回転	1.10×10 <sup>9</sup>	0.01	1.20×10 <sup>8</sup>	2.38
K3	8	側面・並進	3.77×10 <sup>6</sup>	0.69	1.28×10 <sup>6</sup>	2.38
K4	8	側面・回転	2.93×10 <sup>9</sup>	0.01	3.17×10 <sup>8</sup>	2.38
K5	9	側面・並進	9.22×10 <sup>6</sup>	1.21	1.81×10 <sup>6</sup>	2.38
K6	9	側面・回転	7.26×10 <sup>9</sup>	0.01	4.16×10 <sup>8</sup>	2.38
K7	10	側面・並進	4.82×10 <sup>6</sup>	1.31	8.89×10 <sup>5</sup>	2.38
K8	10	側面・回転	3.77×10 <sup>9</sup>	0.01	2.03×10 <sup>8</sup>	2.38
K9	10	底面・並進	7.82×10 <sup>7</sup>	0.00	2.94×10 <sup>6</sup>	2.38
K10	10	底面・回転	7.62×10 <sup>10</sup>	0.00	6.33×10 <sup>8</sup>	2.38

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-4)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 <sup>6</sup>	0.69	4.83×10 <sup>5</sup>	2.43
K2	7	側面・回転	1.10×10 <sup>9</sup>	0.01	1.20×10 <sup>8</sup>	2.43
K3	8	側面・並進	3.77×10 <sup>6</sup>	0.69	1.28×10 <sup>6</sup>	2.43
K4	8	側面・回転	2.93×10 <sup>9</sup>	0.01	3.18×10 <sup>8</sup>	2.43
K5	9	側面・並進	9.22×10 <sup>6</sup>	1.21	1.81×10 <sup>6</sup>	2.43
K6	9	側面・回転	7.26×10 <sup>9</sup>	0.01	4.19×10 <sup>8</sup>	2.43
K7	10	側面・並進	4.82×10 <sup>6</sup>	1.31	8.88×10 <sup>5</sup>	2.43
K8	10	側面・回転	3.77×10 <sup>9</sup>	0.01	2.04×10 <sup>8</sup>	2.43
K9	10	底面・並進	7.78×10 <sup>7</sup>	0.00	2.91×10 <sup>6</sup>	2.43
K10	10	底面・回転	8.21×10 <sup>10</sup>	0.00	7.37×10 <sup>8</sup>	2.43

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-4)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.29×10 <sup>8</sup>	0.00	6.75×10 <sup>6</sup>	3.99

(\*1) f1 は連成系の 1 次固有振動数

第 9.3.1-2 表(5) 地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数

(NS 方向, Sd-5)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 <sup>6</sup>	0.69	4.82×10 <sup>5</sup>	2.37
K2	7	側面・回転	1.10×10 <sup>9</sup>	0.01	1.19×10 <sup>8</sup>	2.37
K3	8	側面・並進	3.77×10 <sup>6</sup>	0.69	1.28×10 <sup>6</sup>	2.37
K4	8	側面・回転	2.93×10 <sup>9</sup>	0.01	3.17×10 <sup>8</sup>	2.37
K5	9	側面・並進	9.15×10 <sup>6</sup>	1.21	1.80×10 <sup>6</sup>	2.37
K6	9	側面・回転	7.20×10 <sup>9</sup>	0.01	4.15×10 <sup>8</sup>	2.37
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.37
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.02×10 <sup>8</sup>	2.37
K9	10	底面・並進	7.73×10 <sup>7</sup>	0.00	2.93×10 <sup>6</sup>	2.37
K10	10	底面・回転	7.56×10 <sup>10</sup>	0.00	6.33×10 <sup>8</sup>	2.37

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-5)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 <sup>(*1)</sup> K <sub>c</sub>	採用振動数 (Hz)	減衰係数 <sup>(*2)</sup> C <sub>c</sub>	採用振動数 <sup>(*3)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 <sup>6</sup>	0.69	4.83×10 <sup>5</sup>	2.42
K2	7	側面・回転	1.10×10 <sup>9</sup>	0.01	1.20×10 <sup>8</sup>	2.42
K3	8	側面・並進	3.77×10 <sup>6</sup>	0.69	1.28×10 <sup>6</sup>	2.42
K4	8	側面・回転	2.93×10 <sup>9</sup>	0.01	3.18×10 <sup>8</sup>	2.42
K5	9	側面・並進	9.15×10 <sup>6</sup>	1.21	1.80×10 <sup>6</sup>	2.42
K6	9	側面・回転	7.20×10 <sup>9</sup>	0.01	4.17×10 <sup>8</sup>	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 <sup>6</sup>	1.30	8.85×10 <sup>5</sup>	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 <sup>9</sup>	0.01	2.03×10 <sup>8</sup>	2.42
K9	10	底面・並進	7.69×10 <sup>7</sup>	0.00	2.90×10 <sup>6</sup>	2.42
K10	10	底面・回転	8.14×10 <sup>10</sup>	0.00	7.37×10 <sup>8</sup>	2.42

(\*1) K1, K3, K5, K7, K9 は kN/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNm/rad

(\*2) K1, K3, K5, K7, K9 は kNs/m K2, K4, K6, K8, K10 は kNsm/rad

(\*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-5)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K <sub>c</sub> (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C <sub>c</sub> (kNs/m)	採用振動数 <sup>(*1)</sup> f <sub>1</sub> (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.28×10 <sup>8</sup>	0.00	6.72×10 <sup>6</sup>	3.98

(\*1) f1 は連成系の 1 次固有振動数

第 9.3.1-3 表(1) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(NS 方向, Sd-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.423	2.36	1.584	地盤建屋連成一次
2	0.186	5.38	-0.690	
3	0.087	11.51	0.042	
4	0.075	13.32	0.105	
5	0.074	13.60	0.001	

(NS 方向, Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.423	2.37	1.584	地盤建屋連成一次
2	0.186	5.39	-0.690	
3	0.087	11.51	0.043	
4	0.075	13.33	0.105	
5	0.073	13.61	0.002	

(NS 方向, Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.423	2.37	1.584	地盤建屋連成一次
2	0.186	5.38	-0.689	
3	0.087	11.51	0.042	
4	0.075	13.32	0.106	
5	0.074	13.60	0.000	

注\*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-3 表(2) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(NS 方向, Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.420	2.38	1.585	地盤建屋連成一次
2	0.185	5.42	-0.693	
3	0.087	11.51	0.043	
4	0.075	13.33	0.105	
5	0.073	13.62	0.003	

(NS 方向, Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.421	2.37	1.584	地盤建屋連成一次
2	0.185	5.39	-0.691	
3	0.087	11.51	0.043	
4	0.075	13.33	0.105	
5	0.073	13.61	0.002	

注\*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-3 表(3) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(EW 方向, Sd-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.414	2.42	1.545	地盤建屋連成一次
2	0.185	5.42	-0.612	
3	0.079	12.66	-0.045	
4	0.074	13.49	0.144	
5	0.069	14.43	-0.036	

(EW 方向, Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.413	2.42	1.545	地盤建屋連成一次
2	0.184	5.43	-0.613	
3	0.079	12.67	-0.045	
4	0.074	13.49	0.145	
5	0.069	14.43	-0.036	

(EW 方向, Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.414	2.42	1.545	地盤建屋連成一次
2	0.185	5.42	-0.612	
3	0.079	12.66	-0.045	
4	0.074	13.49	0.144	
5	0.069	14.43	-0.036	

注\*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-3 表(4) 固有値（固有周期，固有振動数）および刺激係数  
（水平方向）

(EW 方向, Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.411	2.43	1.546	地盤建屋連成一次
2	0.183	5.46	-0.614	
3	0.079	12.67	-0.046	
4	0.074	13.50	0.146	
5	0.069	14.44	-0.036	

(EW 方向, Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.412	2.42	1.546	地盤建屋連成一次
2	0.184	5.43	-0.613	
3	0.079	12.67	-0.045	
4	0.074	13.49	0.145	
5	0.069	14.44	-0.036	

注\*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる刺激係数を示す。



第 9.3.1-4 表(1) 固有値(固有周期, 固有振動数)および刺激係数  
(鉛直方向)

(Sd-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.274	3.65	8.755	屋根トラス一次
2	0.252	3.97	-7.819	地盤建屋連成一次
3	0.077	13.03	0.094	
4	0.051	19.54	-0.107	
5	0.046	21.63	0.101	

(Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.274	3.65	8.545	屋根トラス一次
2	0.251	3.98	-7.609	地盤建屋連成一次
3	0.077	13.03	0.095	
4	0.051	19.54	-0.107	
5	0.046	21.64	0.102	

(Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.274	3.64	8.968	屋根トラス一次
2	0.253	3.96	-8.031	地盤建屋連成一次
3	0.077	13.03	0.093	
4	0.051	19.54	-0.106	
5	0.046	21.63	0.101	

注\*: 各モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる刺激係数を示す。

第 9.3.1-4 表(2) 固有値(固有周期, 固有振動数)および刺激係数  
(鉛直方向)

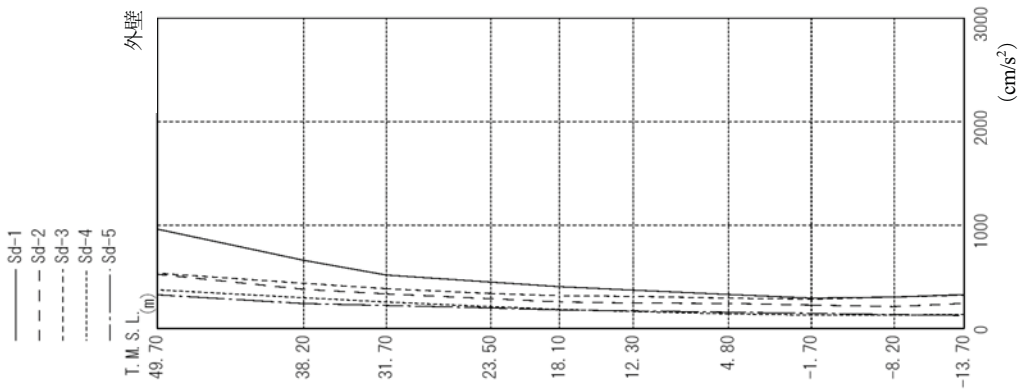
(Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.274	3.65	8.340	屋根トラス一次
2	0.250	3.99	-7.405	地盤建屋連成一次
3	0.077	13.03	0.096	
4	0.051	19.54	-0.108	
5	0.046	21.64	0.102	

(Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.274	3.65	8.545	屋根トラス一次
2	0.251	3.98	-7.609	地盤建屋連成一次
3	0.077	13.03	0.095	
4	0.051	19.54	-0.107	
5	0.046	21.64	0.102	

注\*: 各モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる刺激係数を示す。

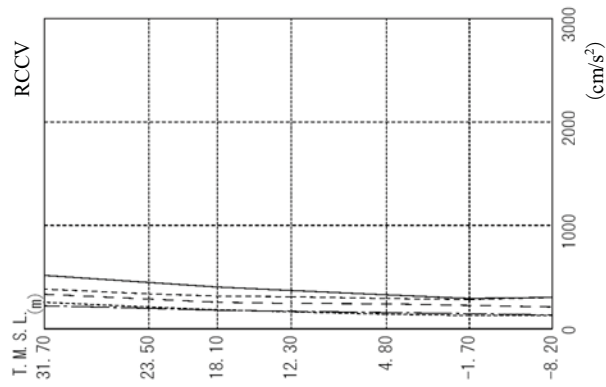


外壁  
(cm/s<sup>2</sup>)

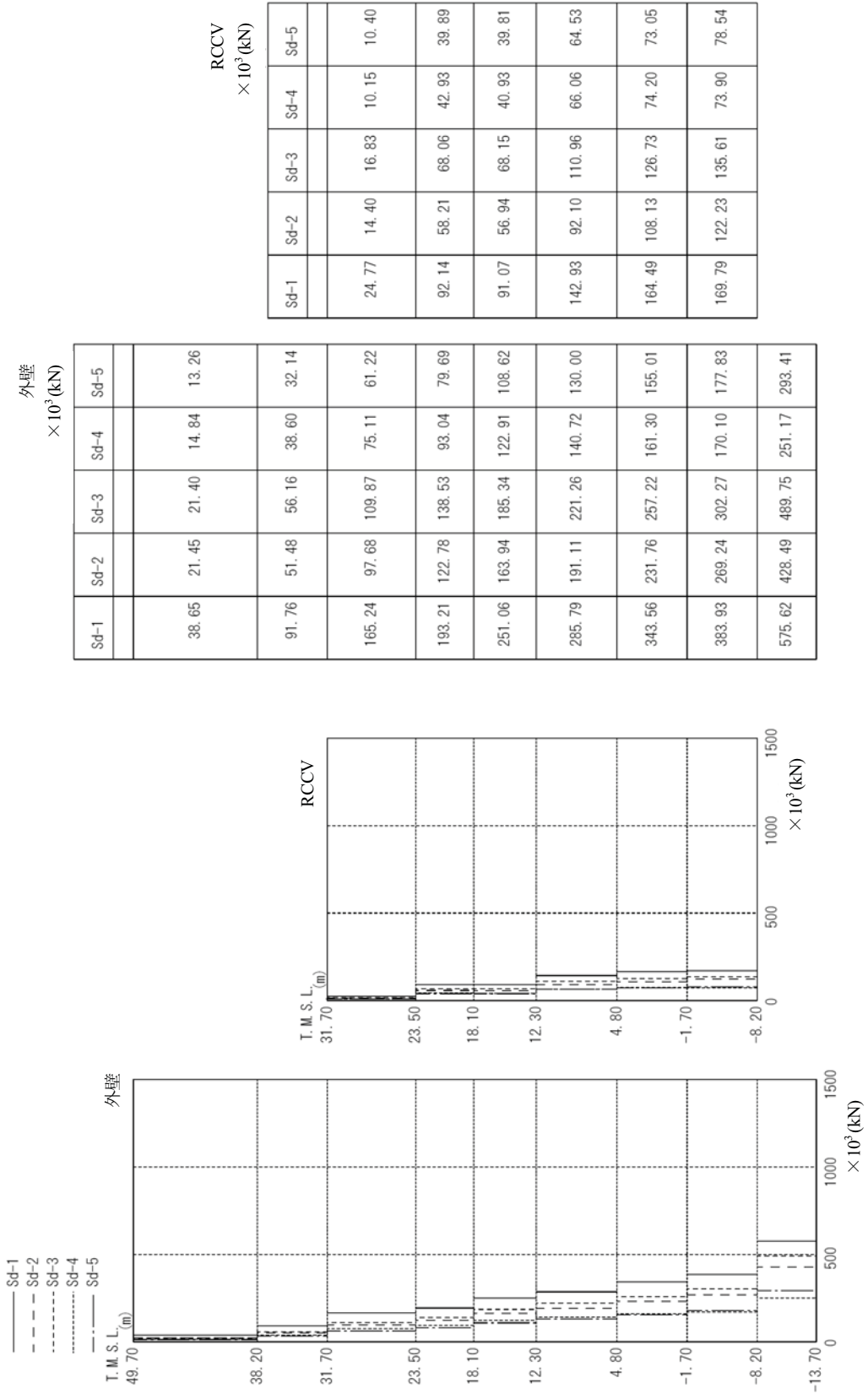
Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
960	524	535	373	326
659	379	437	297	241
516	334	384	256	223
449	288	338	211	199
404	257	316	185	180
371	246	311	165	170
329	242	293	141	158
294	227	283	129	147
304	211	304	130	134
328	243	322	135	126

RCCV  
(cm/s<sup>2</sup>)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
516	334	384	256	223
449	288	338	211	199
404	257	316	185	180
371	246	311	165	170
329	242	293	141	158
294	227	283	129	147
304	211	304	130	134



第 9.3.1-1 図 最大応答加速度 (NS 方向)



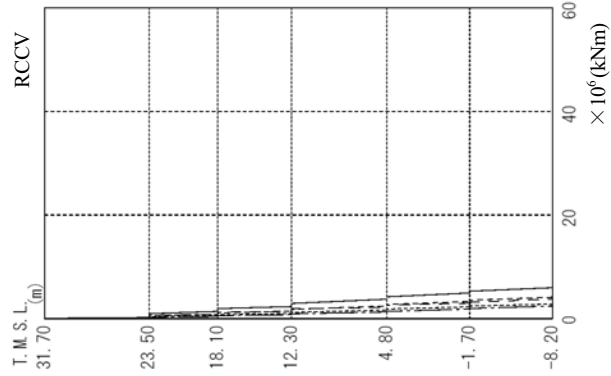
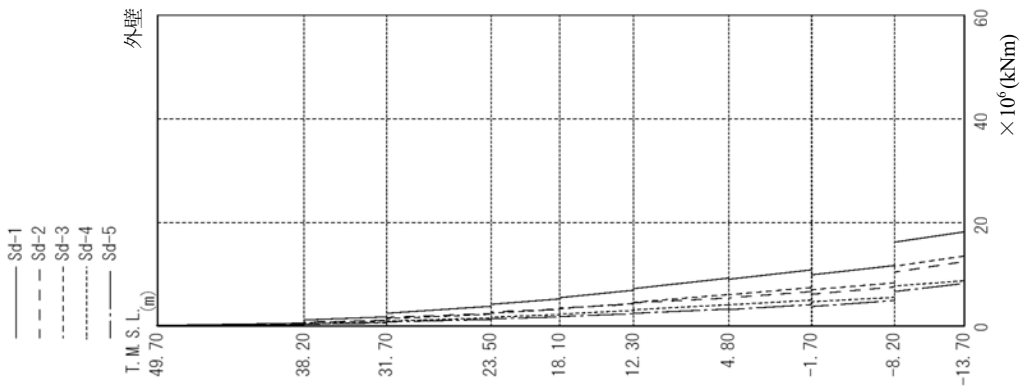
外壁  
× 10<sup>3</sup> (kN)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
38.65	21.45	21.40	14.84	13.26
91.76	51.48	56.16	38.60	32.14
165.24	97.68	109.87	75.11	61.22
193.21	122.78	138.53	93.04	79.69
251.06	163.94	185.34	122.91	108.62
285.79	191.11	221.26	140.72	130.00
343.56	231.76	257.22	161.30	155.01
383.93	269.24	302.27	170.10	177.83
575.62	428.49	489.75	251.17	293.41

RCCV  
× 10<sup>3</sup> (kN)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
24.77	14.40	16.83	10.15	10.40
92.14	58.21	68.06	42.93	39.89
91.07	56.94	68.15	40.93	39.81
142.93	92.10	110.96	66.06	64.53
164.49	108.13	126.73	74.20	73.05
169.79	122.23	135.61	73.90	78.54

第 9.3.1-2 図 最大応答せん断力 (NS 方向)



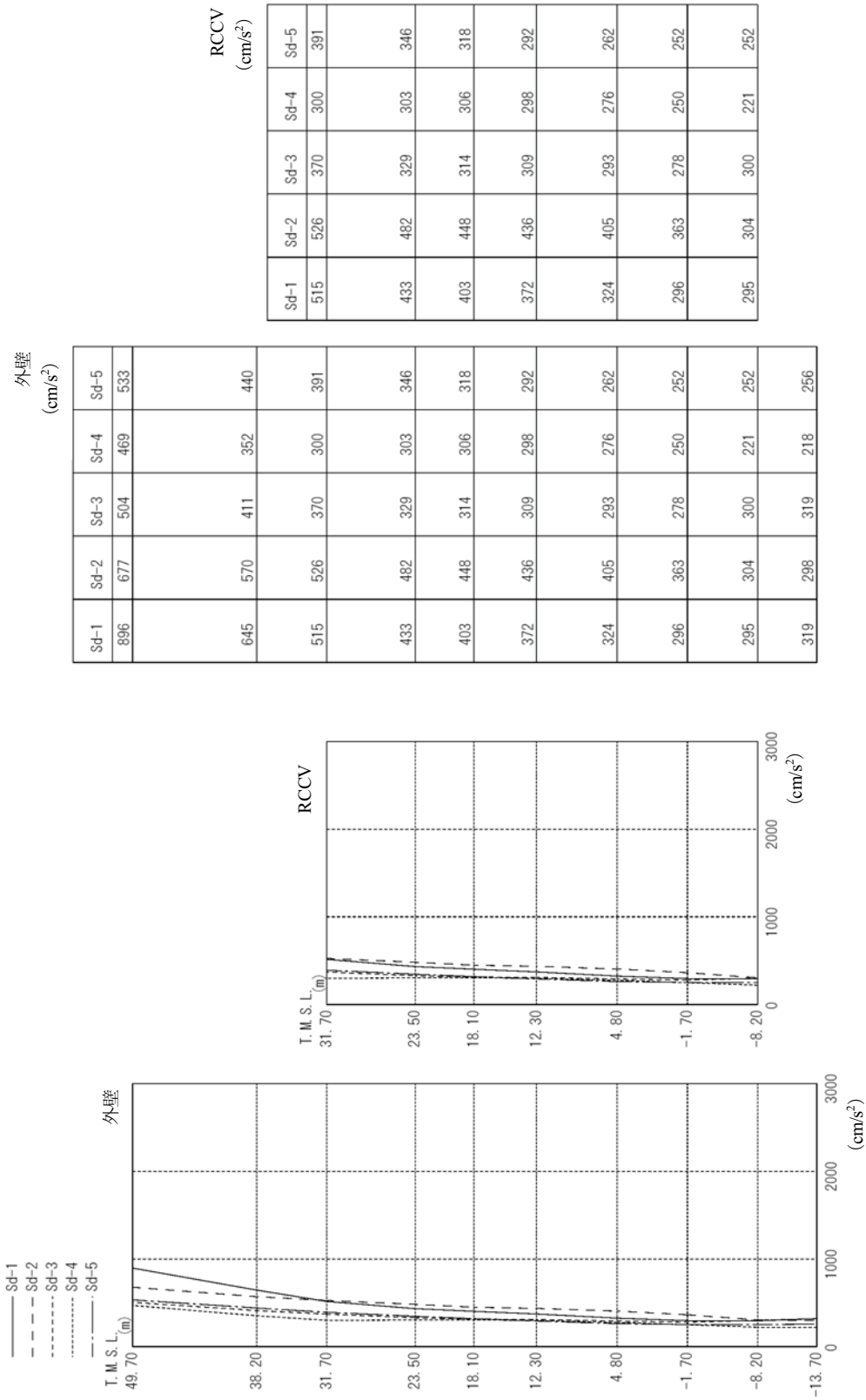
外壁  
× 10<sup>6</sup> (kNm)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
0.12	0.09	0.08	0.04	0.04
0.56 1.18	0.33 0.79	0.31 0.70	0.21 0.45	0.19 0.38
1.78 2.47	1.12 1.66	1.01 1.43	0.69 0.97	0.59 0.81
3.82 4.19	2.42 2.72	2.28 2.50	1.57 1.73	1.28 1.40
5.24 5.47	3.28 3.48	3.21 3.36	2.21 2.31	1.77 1.84
6.92 7.23	4.21 4.49	4.37 4.57	3.00 3.14	2.37 2.47
9.26 9.03	5.42 5.46	6.10 6.04	4.12 4.09	3.28 3.18
10.84 9.88	6.65 6.13	7.44 7.01	5.01 4.70	4.15 3.78
11.67 16.19	7.56 10.41	8.32 11.53	5.54 7.74	4.93 6.67
18.18	12.43	13.52	8.73	8.23

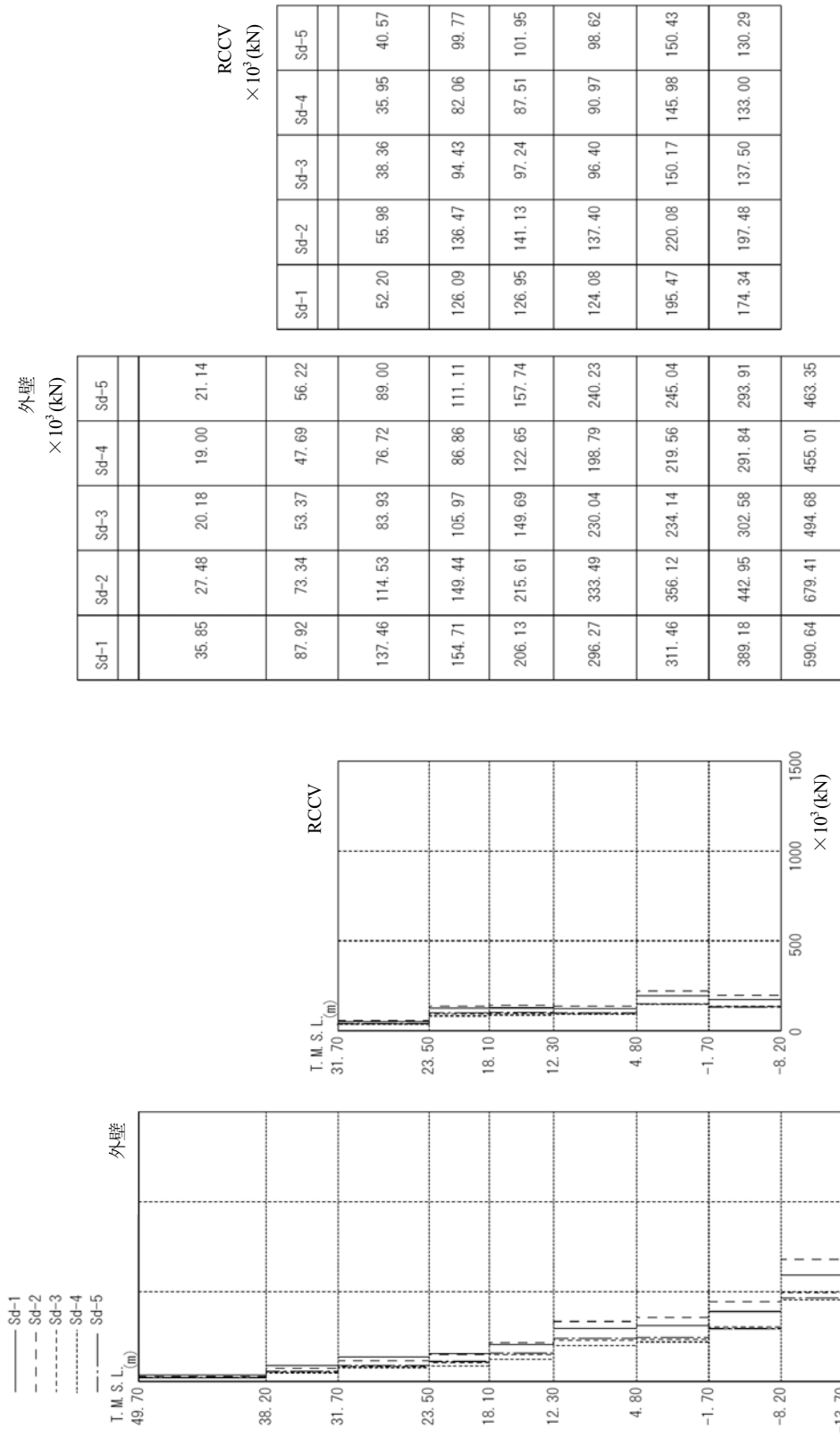
RCCV  
× 10<sup>6</sup> (kNm)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
0.07	0.05	0.04	0.02	0.02
0.23 0.97	0.14 0.64	0.16 0.54	0.11 0.36	0.10 0.28
1.40 1.94	0.85 1.25	0.84 1.12	0.58 0.78	0.46 0.60
2.33 2.94	1.41 1.91	1.43 1.79	0.99 1.23	0.77 0.93
3.76 4.22	2.19 2.61	2.44 2.72	1.66 1.86	1.30 1.40
4.96 5.30	3.00 3.17	3.33 3.56	2.28 2.43	1.87 1.95
5.97	3.78	4.14	2.82	2.45

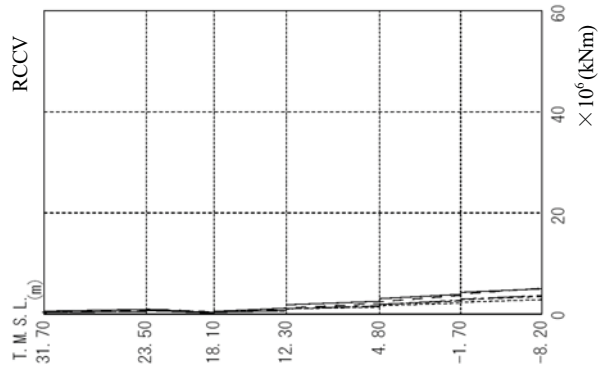
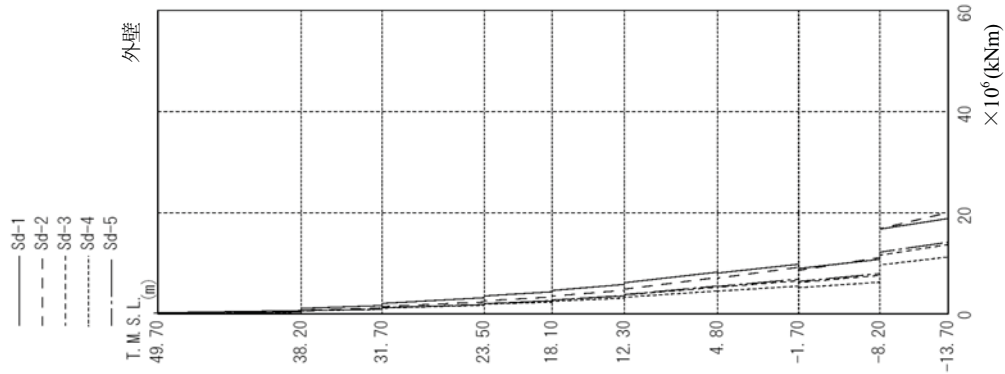
第 9.3.1-3 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)



第 9.3.1-4 図 最大応答加速度 (EW 方向)



第 9.3.1-5 図 最大応答せん断力 (EW 方向)



外壁  
× 10<sup>6</sup> (kNm)

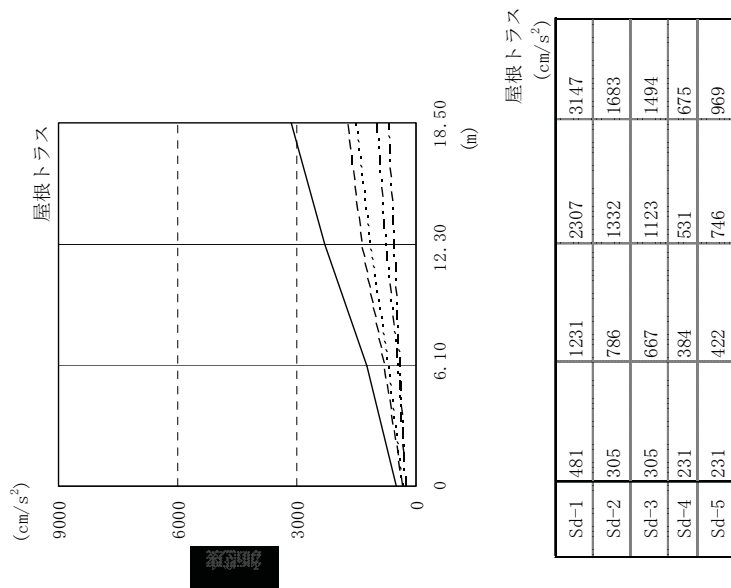
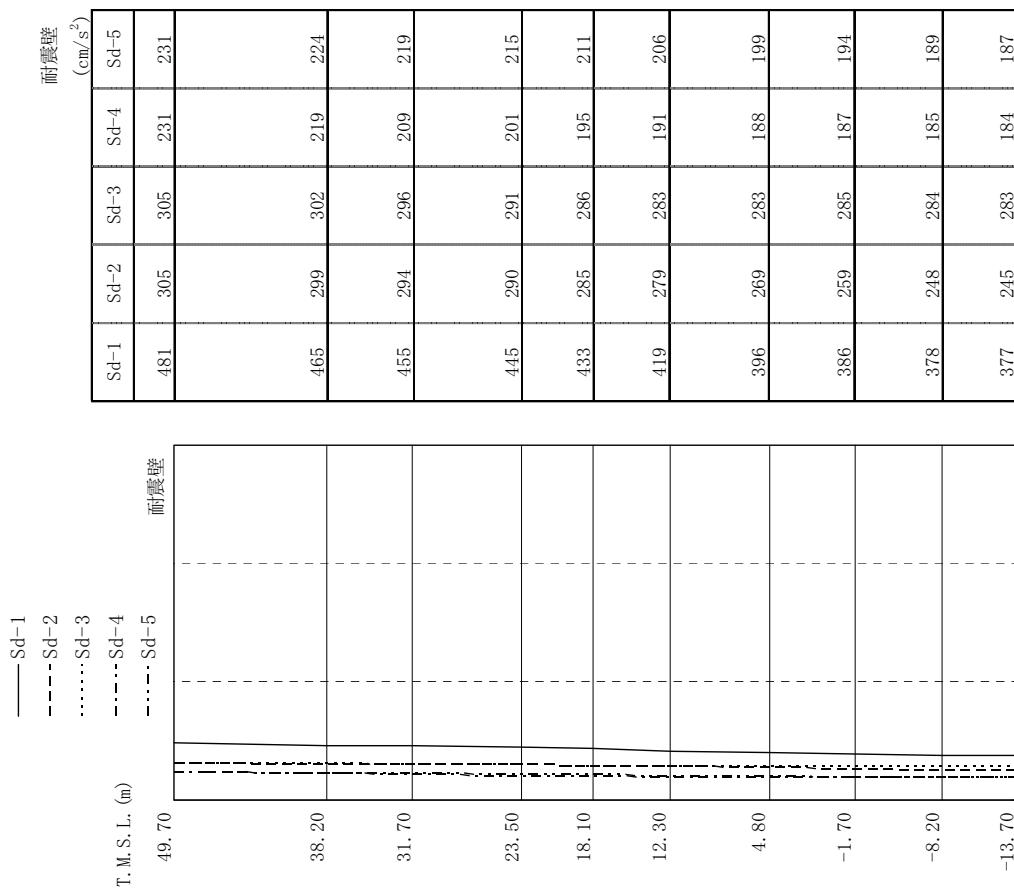
Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
0.23	0.16	0.13	0.14	0.15
0.64	0.45	0.35	0.34	0.35
1.08	0.72	0.59	0.61	0.64
1.65	1.18	0.93	0.88	0.93
2.06	1.43	1.16	1.14	1.20
3.19	2.36	1.82	1.70	1.84
3.53	2.57	2.02	1.92	2.02
4.37	3.33	2.54	2.32	2.59
4.62	3.50	2.70	2.48	2.73
5.82	4.65	3.51	3.12	3.61
6.15	4.88	3.73	3.29	3.80
8.26	7.20	5.29	4.53	5.50
8.07	7.08	5.28	4.50	5.42
9.81	9.21	6.55	5.49	6.87
8.97	8.61	6.20	5.18	6.40
10.78	11.11	7.61	6.26	7.96
16.74	16.80	11.60	9.67	12.19
18.85	20.02	13.70	11.24	14.16

RCCV  
× 10<sup>6</sup> (kNm)

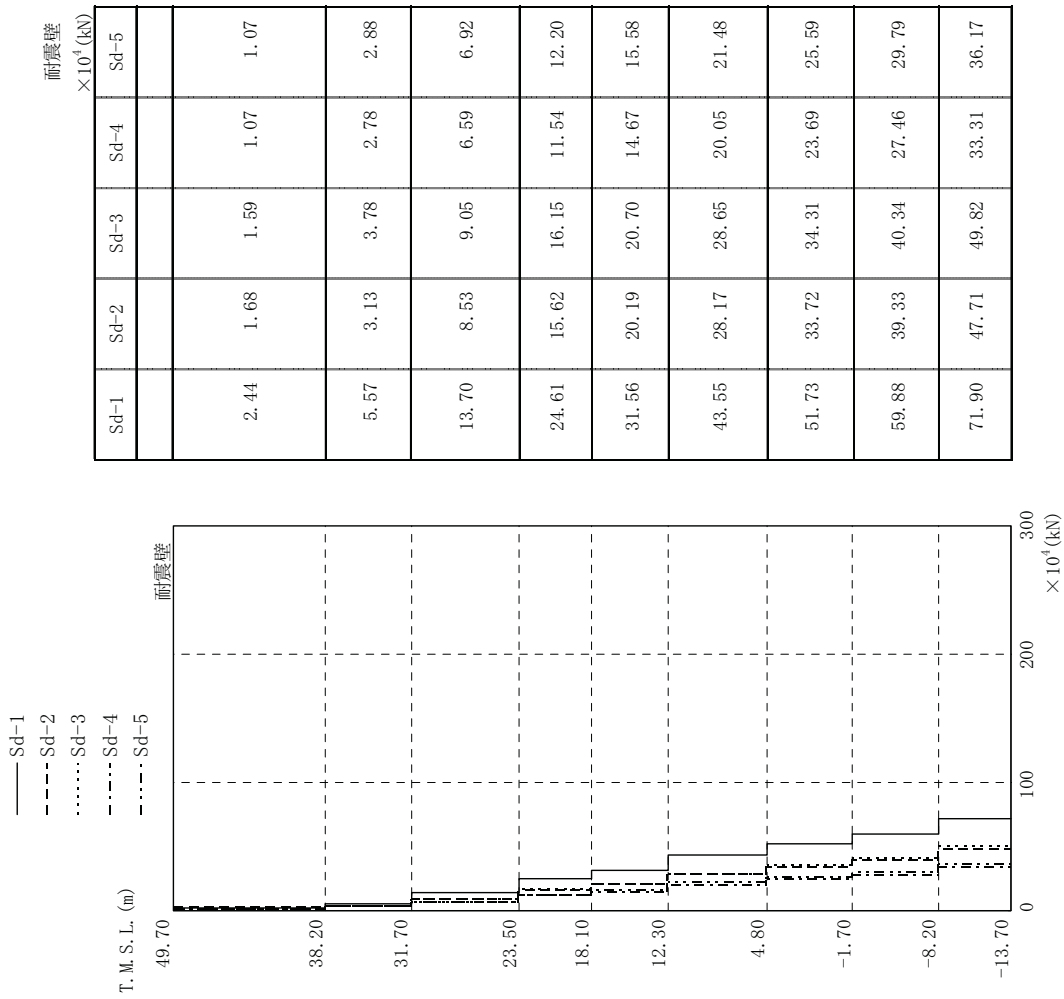
Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
0.59	0.48	0.37	0.35	0.32
0.94	0.71	0.50	0.53	0.55
0.96	1.04	0.71	0.72	0.73
0.33	0.44	0.25	0.29	0.22
0.54	0.61	0.46	0.38	0.38
1.18	0.85	0.65	0.67	0.68
1.84	1.23	1.03	1.04	1.09
2.54	2.10	1.57	1.41	1.64
3.06	2.44	1.90	1.67	1.92
3.92	3.70	2.62	2.19	2.75
4.30	3.96	2.85	2.37	2.95
5.00	5.13	3.49	2.86	3.66

第 9.3.1-6 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向)

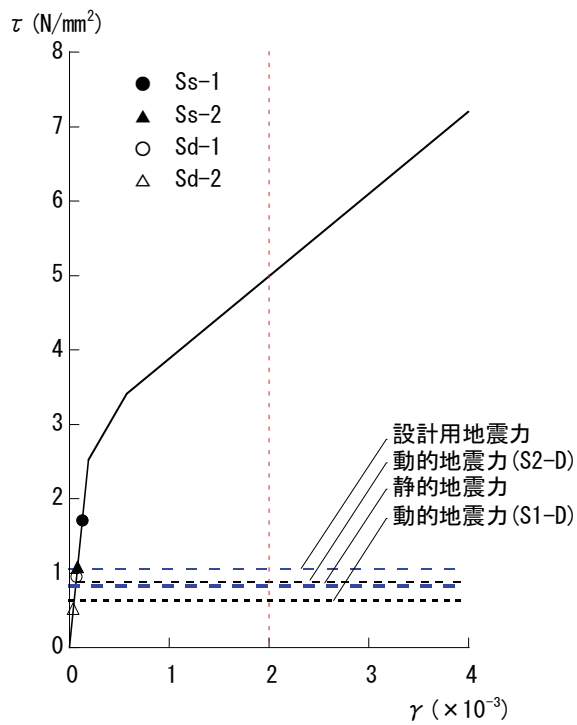




第 9.3.1-7 図 最大応答加速度 (鉛直方向)

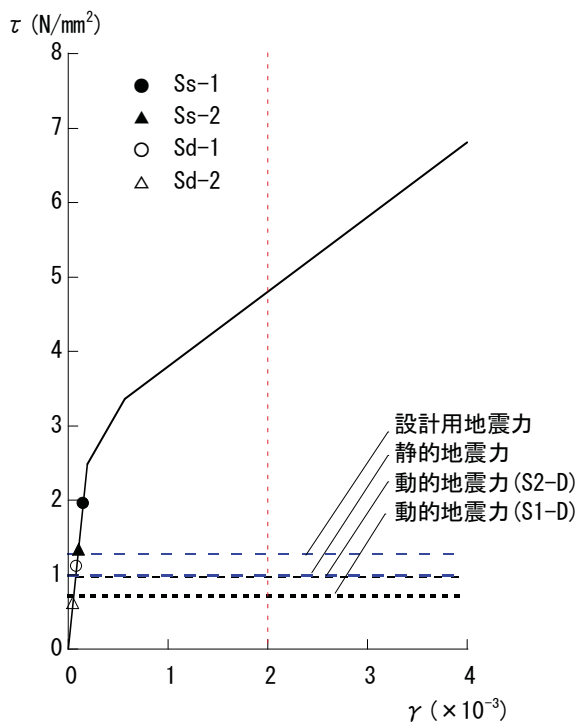


第 9.3.1-8 図 最大応答軸力 (鉛直方向)



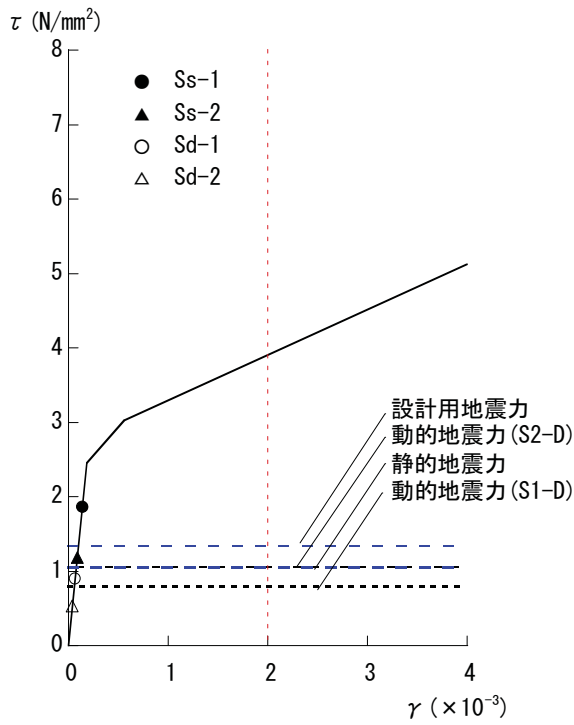
[外壁]

第 9.3.1-9 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,CRF)

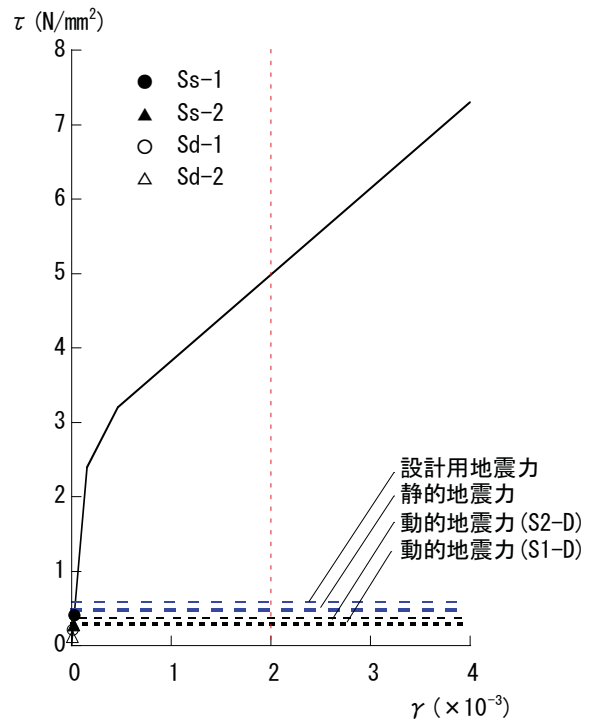


[外壁]

第 9.3.1-9 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,4F)

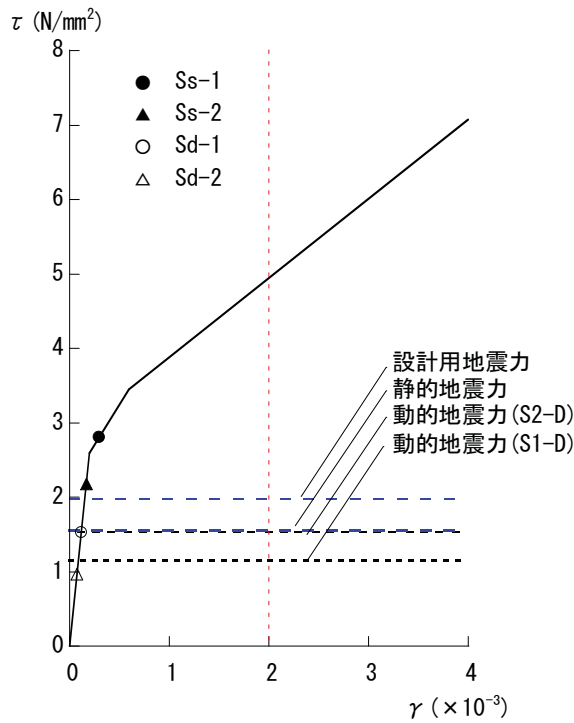


[外壁]

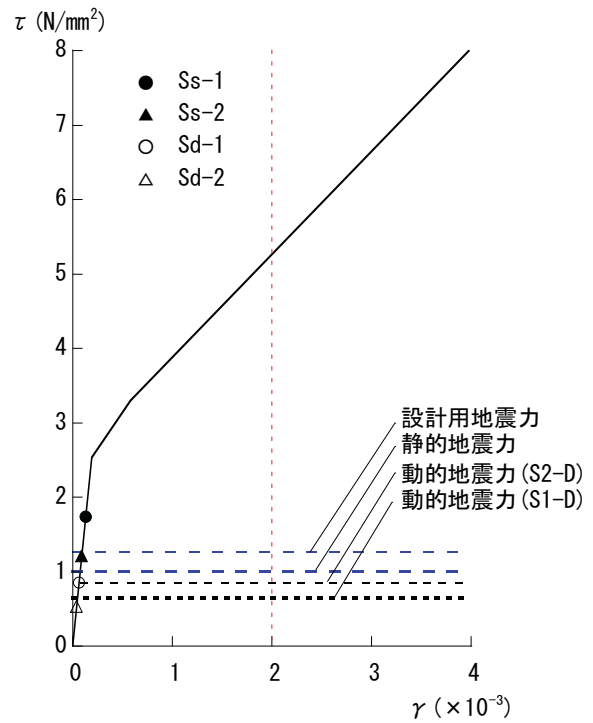


[RCCV]

第 9.3.1-9 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,3F)

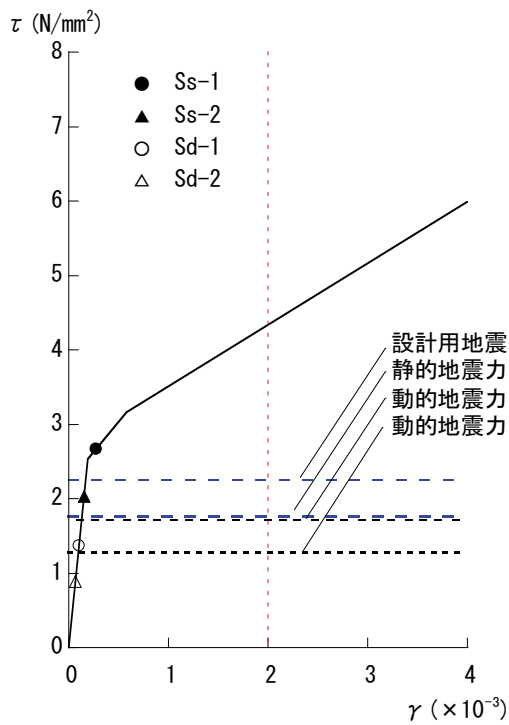


[外壁]

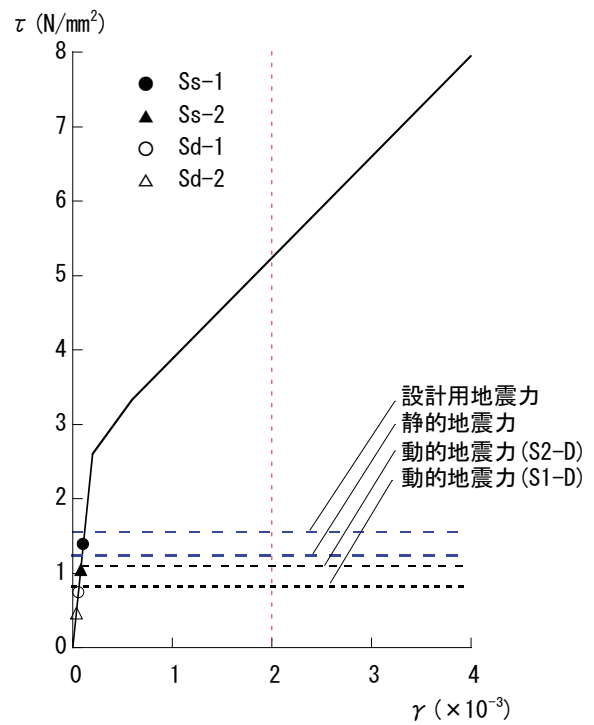


[RCCV]

第 9.3.1-9 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,2F)

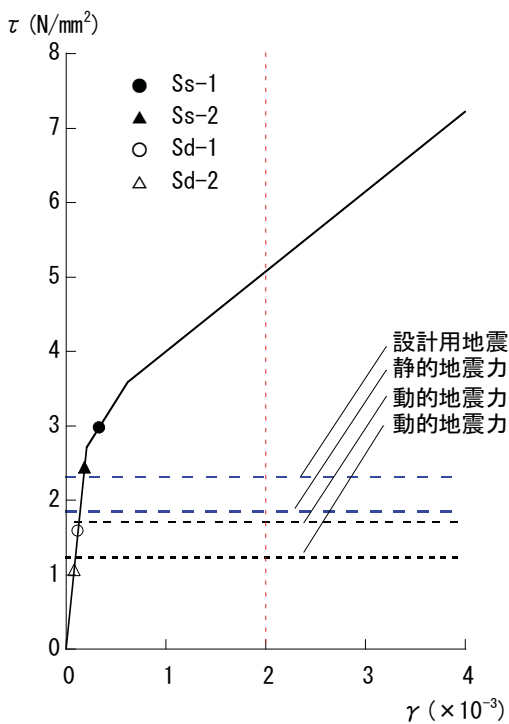


[外壁]

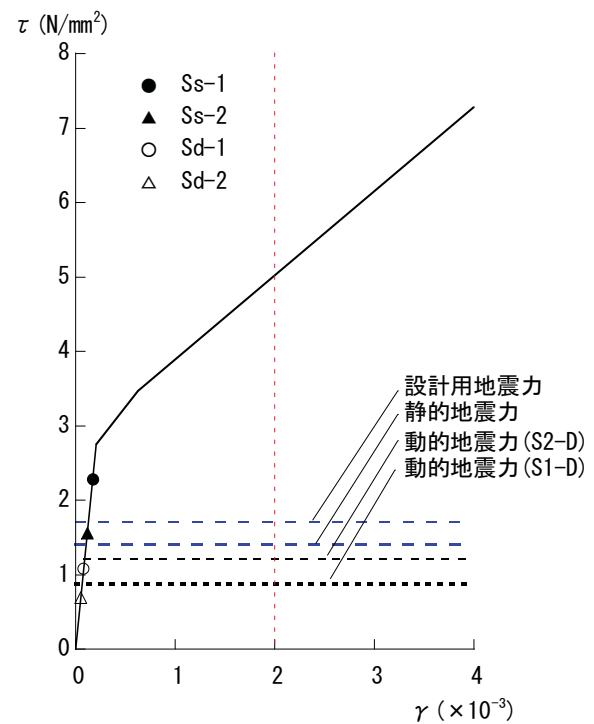


[RCCV]

第 9.3.1-9 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,1F)

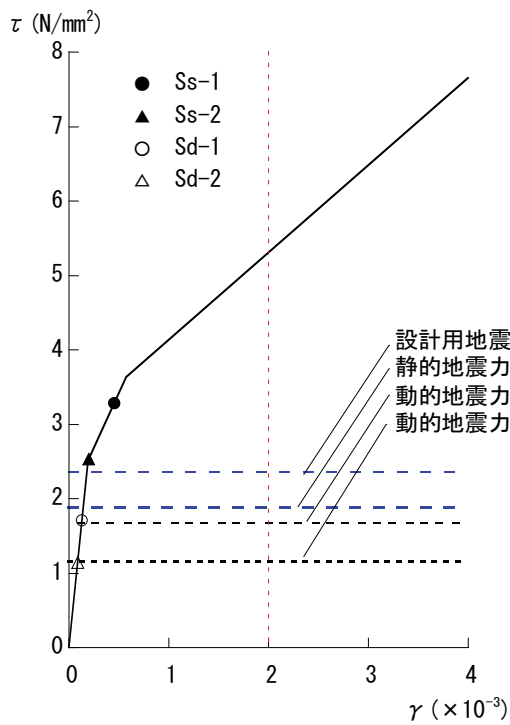


[外壁]

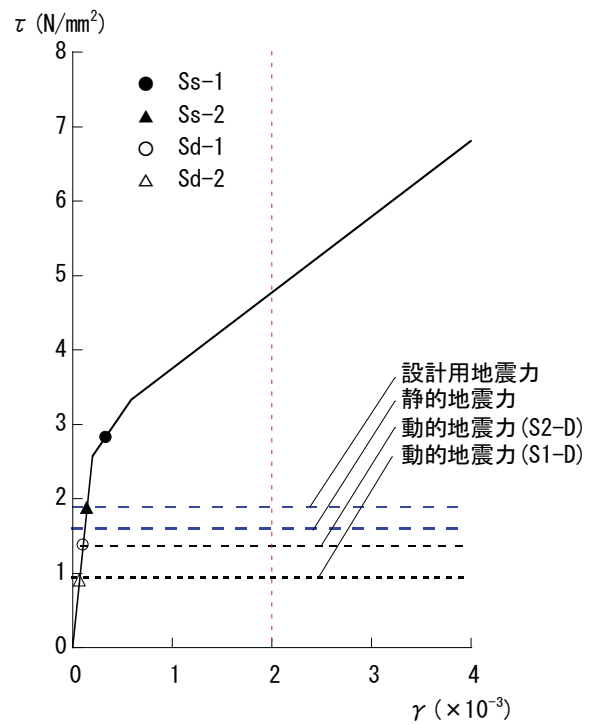


[RCCV]

第 9.3.1-9 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B1F)

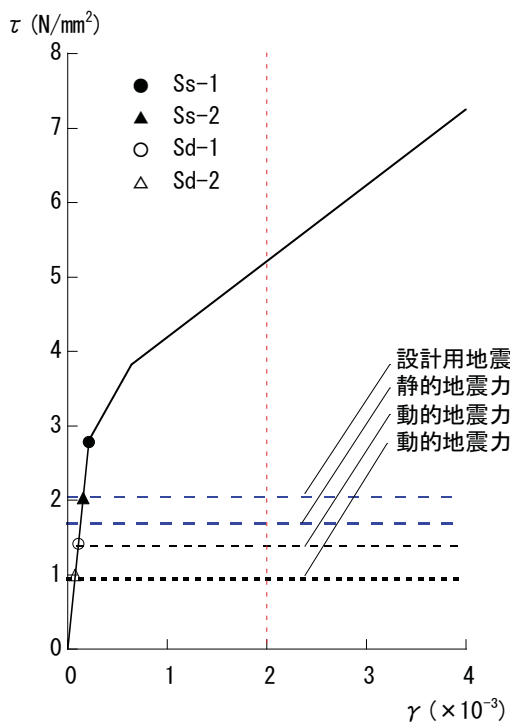


[外壁]

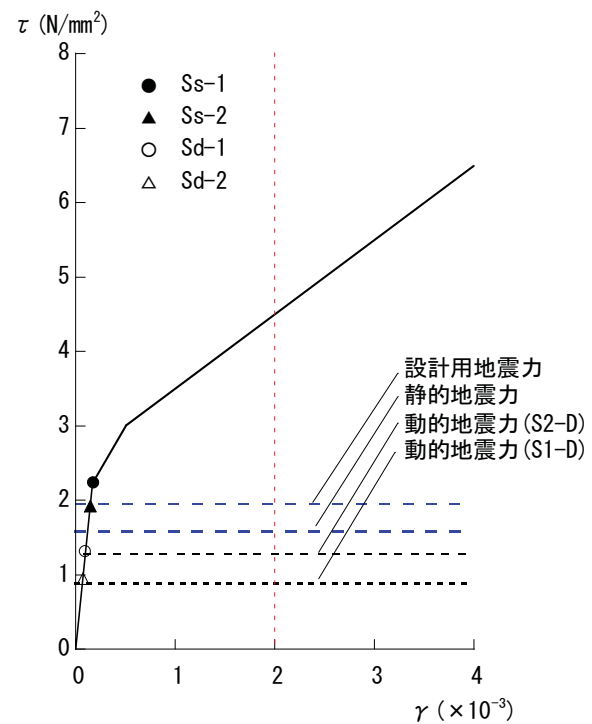


[RCCV]

第 9.3.1-9 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B2F)

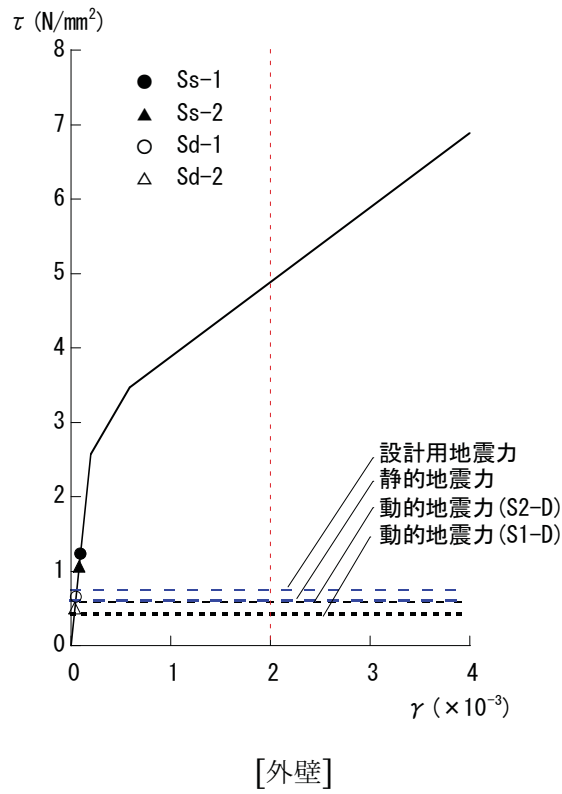


[外壁]

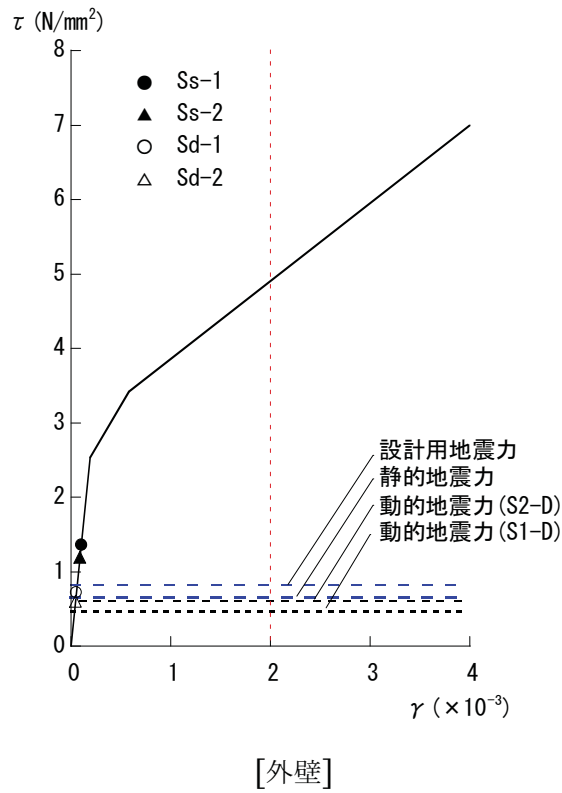


[RCCV]

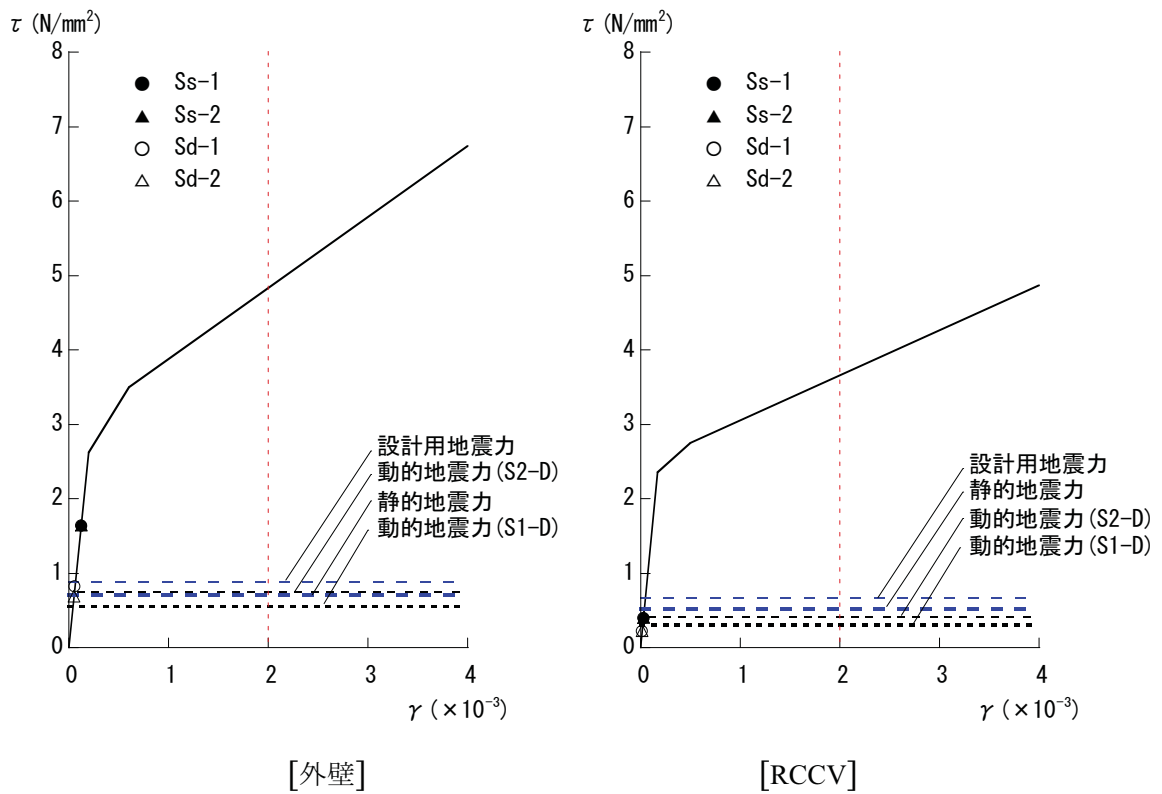
第 9.3.1-9 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B3F)



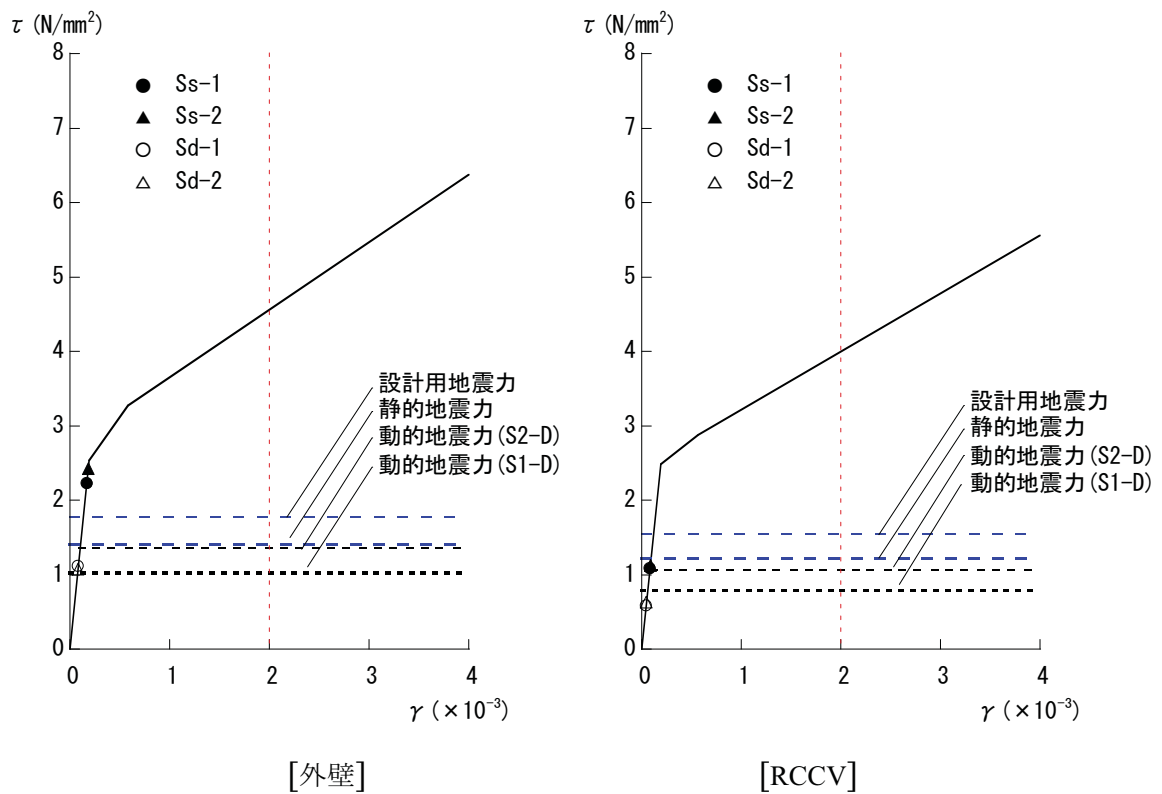
第 9.3.1-10 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,CRF)



第 9.3.1-10 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,4F)

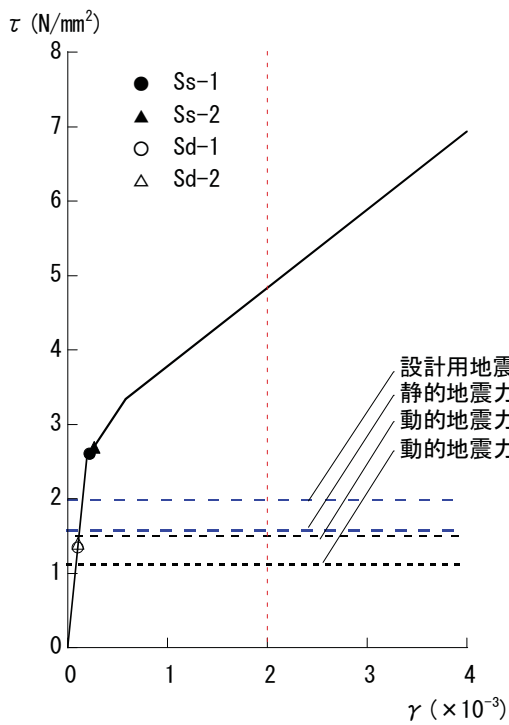


第 9.3.1-10 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,3F)

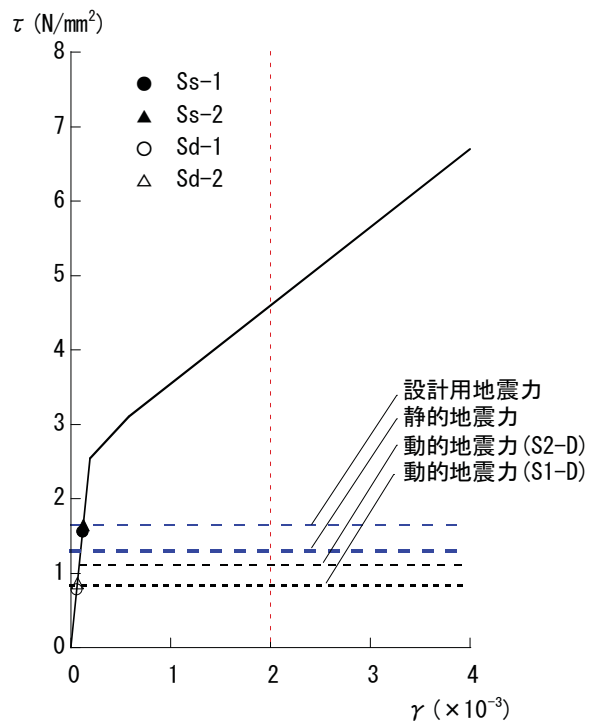


第 9.3.1-10 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,2F)



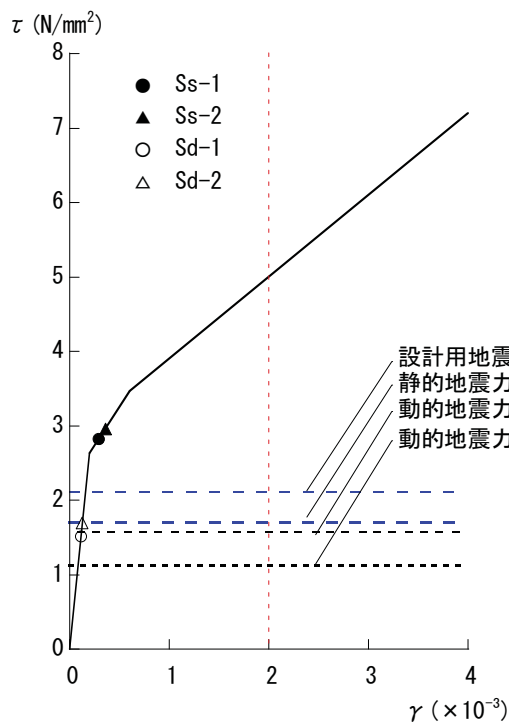


[外壁]

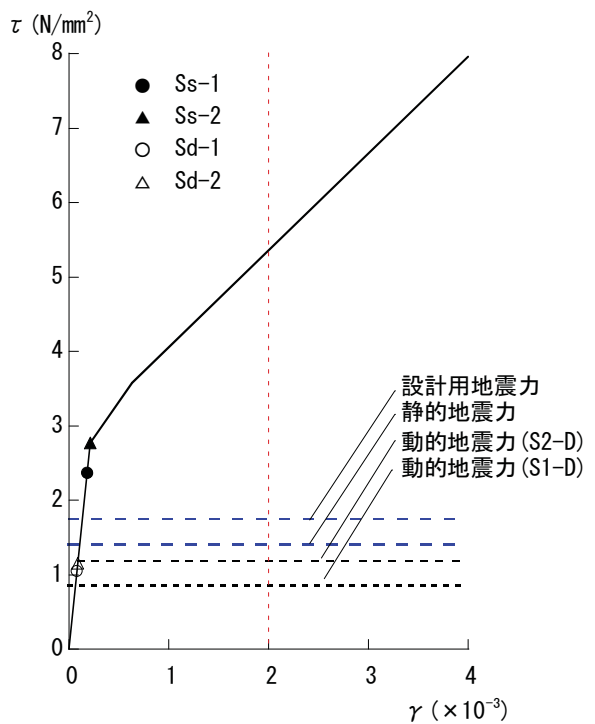


[RCCV]

第 9.3.1-10 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,1F)

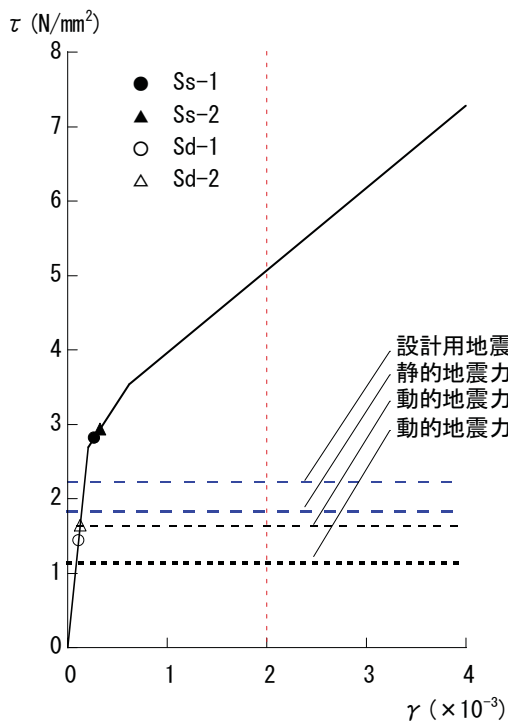


[外壁]

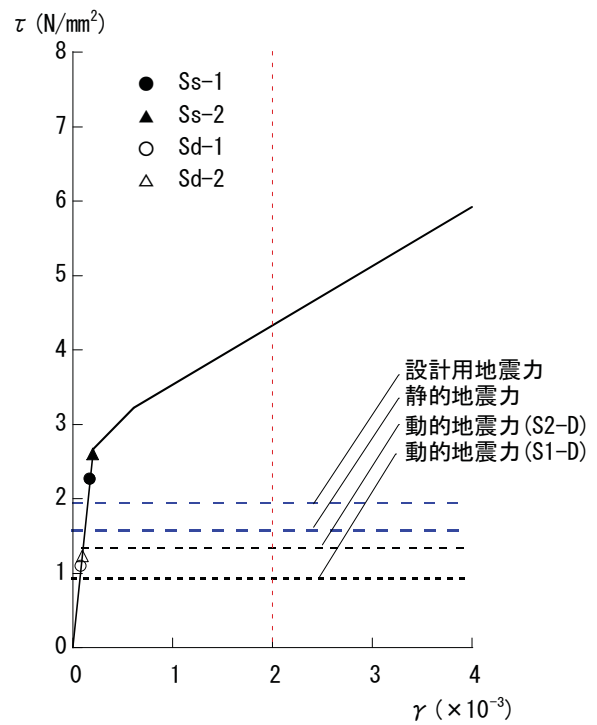


[RCCV]

第 9.3.1-10 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B1F)

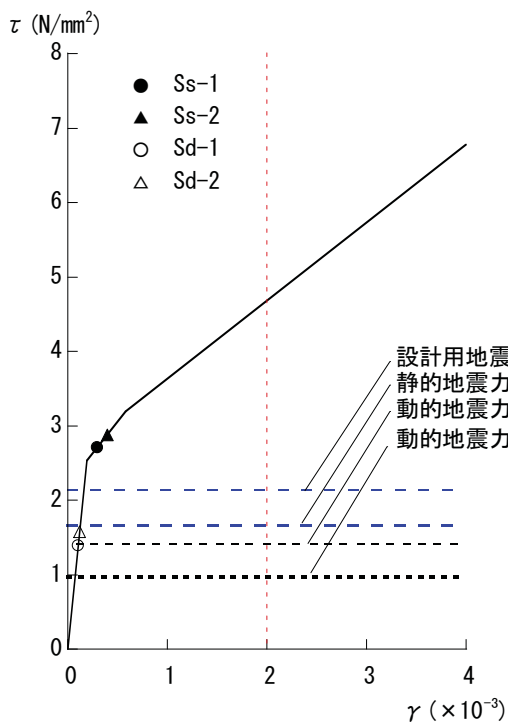


[外壁]

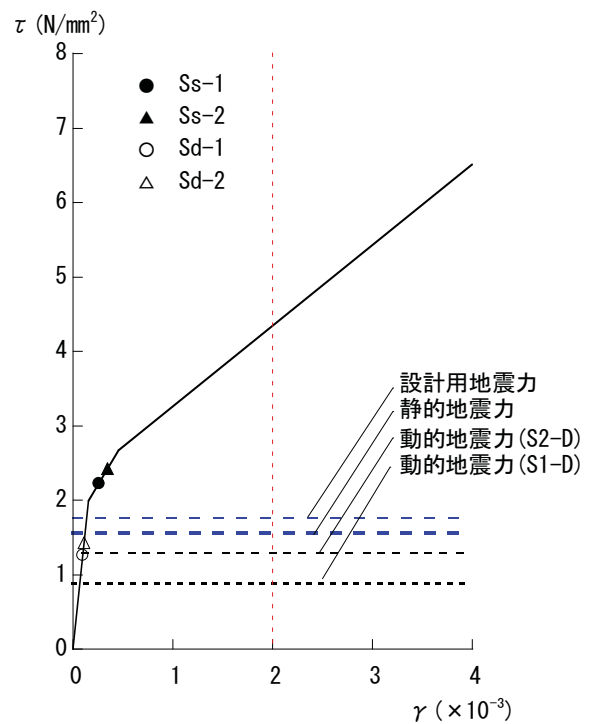


[RCCV]

第 9.3.1-10 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B2F)

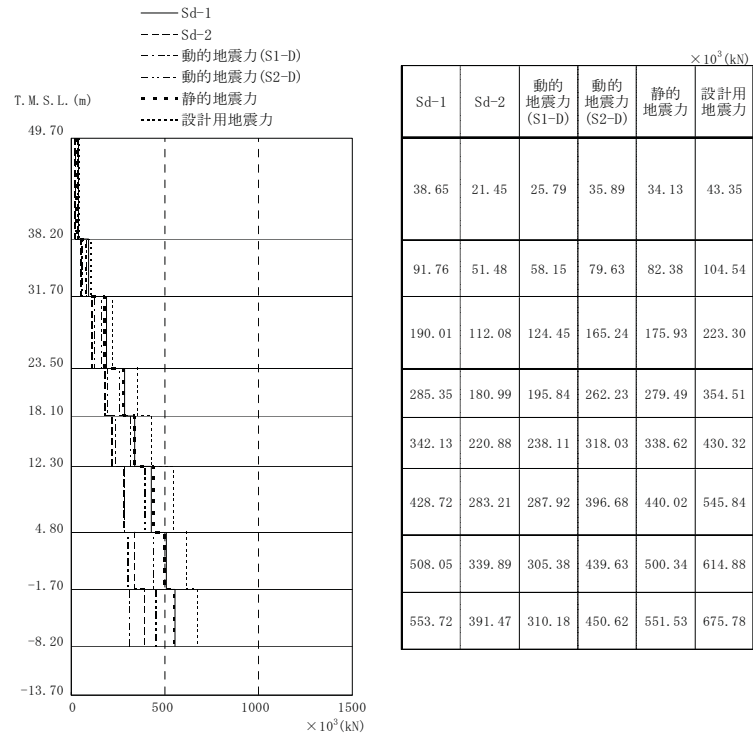


[外壁]

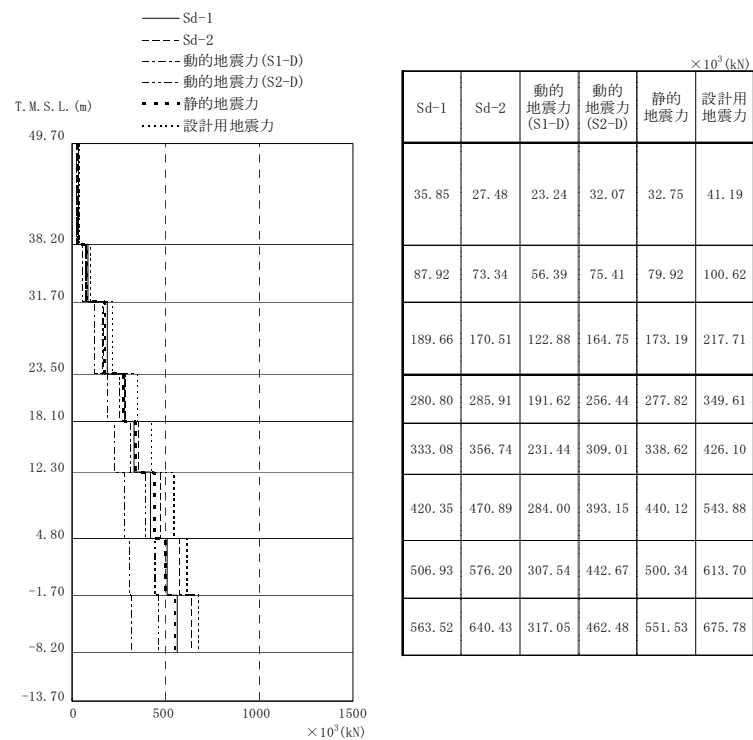


[RCCV]

第 9.3.1-10 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B3F)



第 9.3.1-11 図 最大応答せん断力比較 (NS 方向)



第 9.3.1-12 図 最大応答せん断力比較 (EW 方向)

## 9.4. 機器・配管系の弾性設計用地震動 $S_d$ による評価

9.2 で設定された弾性設計用地震動  $S_d$  と、9.3 で検討された弾性設計用地震動  $S_d$  による原子炉建屋地震応答解析結果を用いて、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する機器・配管系の応答に関する検討を行った。

### 9.4.1. 弾性設計用地震動 $S_d$ による耐震評価条件について

9.2 で設定した弾性設計用地震動  $S_d$  が、機器・配管系に対してどの程度の影響を及ぼすかを把握するために、建設時における静的震度、基準地震動  $S_1$  および基準地震動  $S_2$  による耐震性評価条件と、弾性設計用地震動  $S_d$  による耐震性評価条件の比較を行った。

耐震性評価条件には、主に次の3つの条件がある。

地震応答荷重：大型機器地震応答解析により得られる、地震動に対する大型機器（例えば原子炉本体）の地震応答荷重（モーメント、せん断力、軸力等）。原子炉本体や原子炉格納容器、炉内構造物などの大型機器の耐震性評価に用いる。

評価用震度：大型機器地震応答解析や原子炉建屋地震応答解析結果から得られる地震応答加速度に基づき設定されるもの。主に剛な構造の設備の耐震性評価に用いられる。

床応答スペクトル：大型機器地震応答解析や原子炉建屋地震応答解析結果から得られる地震応答加速度に基づき設定されるもの。主に柔な構造の設備の耐震性評価に用いられる。

本検討では、上記の耐震評価用条件を比較することで、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する原子炉建屋に設置されている機器の耐震性への影響について、網羅的に把握する。

(1) 大型機器の水平方向応答荷重の比較

代表的な大型機器について下記の地震動等による応答荷重を第 9.4.1-1 表に示す。第 9.4.1-1 表に示す通り、 $S_s$  の 0.5 倍で設定した  $S_d$  による応答荷重は、設計時の  $S_1^*$  又は  $S_2$  荷重とほぼ同等の大きさの荷重を与えるものとなっている。

- ・ 基準地震動  $S_1$  又は静的震度による荷重の最大値（以下、 $S_1^*$  という）
- ・ 基準地震動  $S_2$ （以下、 $S_2$  という）
- ・ 弾性設計用地震動  $S_d$ （以下、 $S_d$  という）
- ・ 基準地震動  $S_s$ （以下、 $S_s$  という）

第 9.4.1-1 表 大型機器の地震応答荷重

水平方向評価用地震荷重		$S_1^*$	$S_2$	$S_d$	$S_s$
原子炉圧力容器スカート	モーメント (kN・m)	45,209	39,423	42,900	76,200
	せん断力 (kN)	8,493	6,943	9,190	17,600
遮へい壁	モーメント (kN・m)	30,106	31,283	38,200	49,100
	せん断力 (kN)	6,423	6,472	7,980	15,600
原子炉本体基礎	モーメント (kN・m)	586,438	518,772	457,000	750,000
	せん断力 (kN)	30,303	26,478	25,400	44,100

＜参考＞S クラス施設に対する静的地震力  
 建物・構築物： $3.0C_1$ により算定  
 機器・配管系： $3.6C_1$ により算定

## (2) 水平方向評価用震度の比較

建屋床に設置されている設備に適用する評価用震度について(1)と同様のケースで比較したものを第 9.4.1-2 表に示す。Ss の 0.5 倍で設定した Sd による評価用震度は、設計時の S<sub>1</sub>\*又は S<sub>2</sub> とほぼ同等の大きさとなっている。

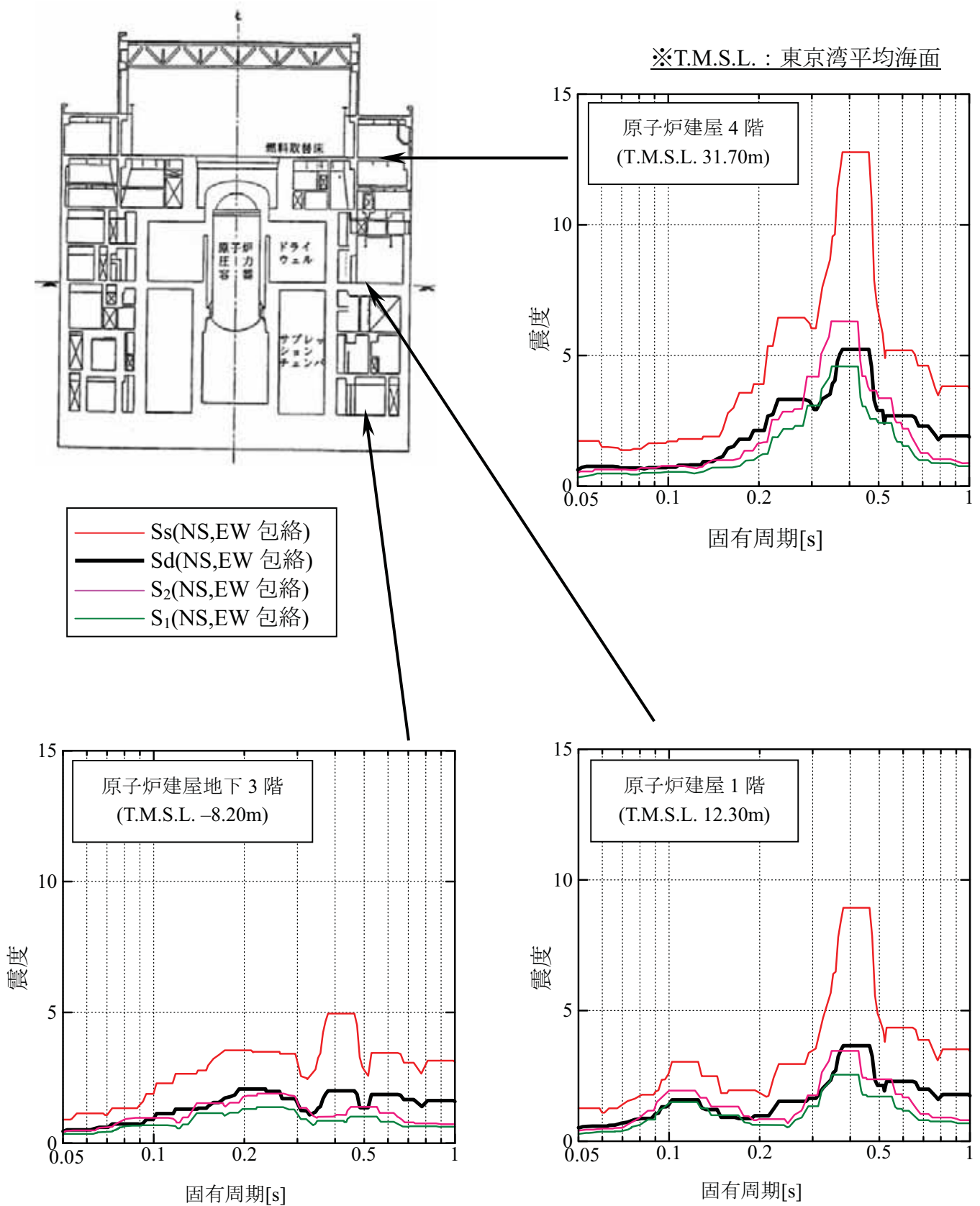
第 9.4.1-2 表 原子炉建屋設置機器の評価用震度

標高 T.M.S.L. (m)	震 度			
	S <sub>1</sub> *	S <sub>2</sub>	Sd	Ss
49.7	0.90	0.96	1.18	2.12
38.2	0.78	0.67	0.81	1.52
31.7	0.69	0.58	0.65	1.34
23.5	0.62	0.51	0.59	1.17
18.1	0.58	0.47	0.55	1.12
12.3	0.44	0.42	0.54	1.06
4.8	0.36	0.34	0.50	0.99
-1.7	0.29	0.33	0.45	1.04
-8.2	0.24	0.33	0.38	0.90

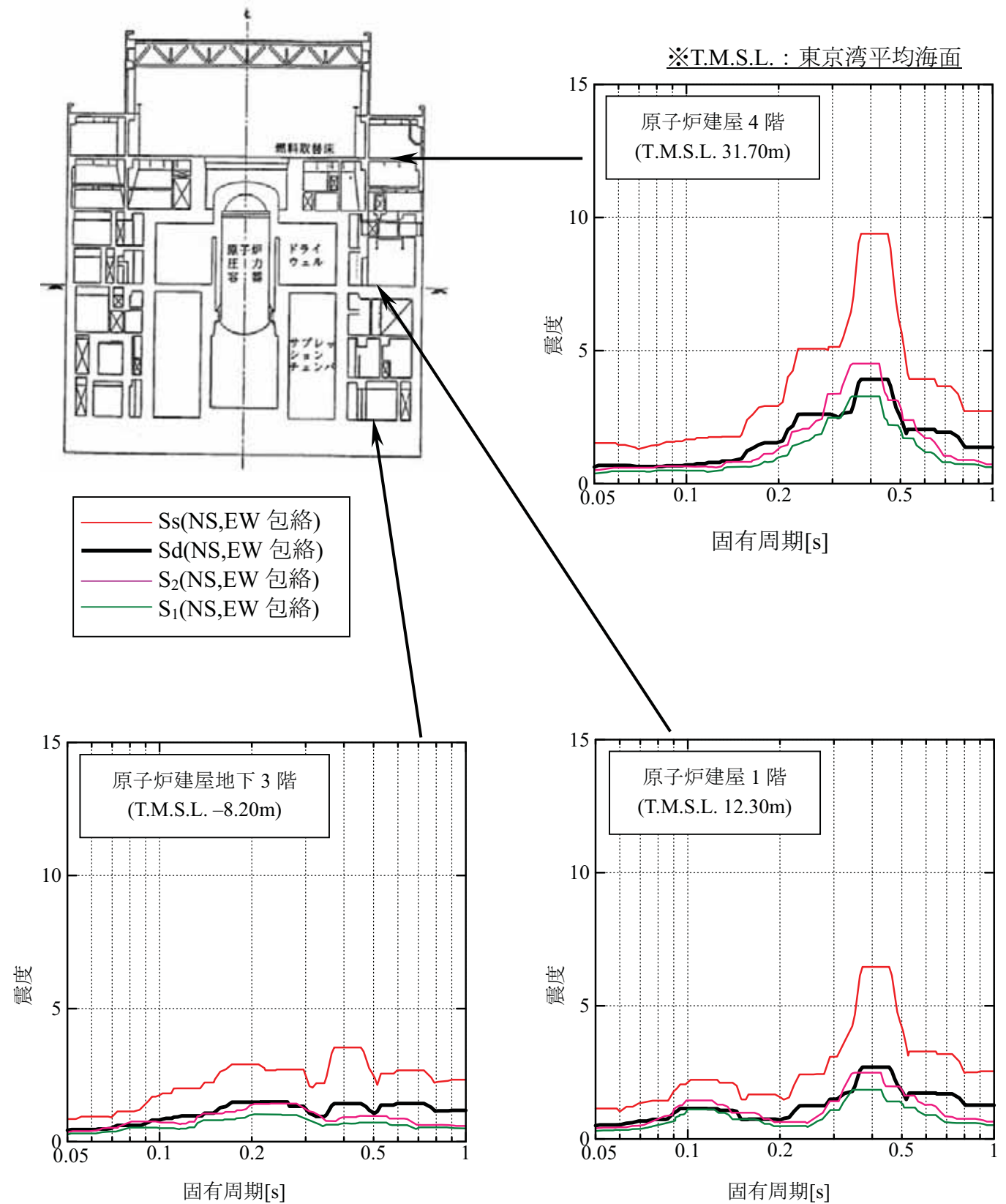
## (3) 床応答スペクトル（水平方向）の比較

原子炉建屋の代表床における機器・配管系評価用の床応答スペクトルを(1)と同様のケースで比較したものを次頁の第 9.4.1-1 図および第 9.4.1-2 図に示す。なお、比較に用いた床応答スペクトルは、溶接構造物に適用する減衰定数 1%（第 9.4.1-1 図）と配管系に適用する減衰定数 2%（第 9.4.1-2 図）とした。

Ss の 0.5 倍で設定した Sd による評価用床応答スペクトルは、設計時の S<sub>1</sub> 又は S<sub>2</sub> とほぼ同等の大きさとなっている。



第 9.4.1-1 図 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル (減衰 1%, 水平)



第 9.4.1-2 図 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル (減衰 2%, 水平)



#### 9.4.2. 弾性設計用地震動 Sd に対する重要な機器・配管系の耐震性評価結果

6号機の原子炉施設のうち、主要でかつ重要な設備について、弾性設計用地震動 Sd に対する耐震性の評価を行った。評価対象設備は、原子炉を「止める」「冷やす」「閉じ込める」という観点から、代表的な設備を選定した。耐震性の評価に当たっては、構造強度評価を行うこととした。また、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」では、弾性設計用地震動 Sd に対して施設が概ね弾性状態にあることとしていることから、本検討における評価基準値はⅢ<sub>A</sub>S 相当の値とした。

第 9.4.2-1 表に示したとおり、今回の評価対象機器は、弾性設計用地震動 Sd に対して、発生値がⅢ<sub>A</sub>S 相当の許容基準値を下回ることを確認した。なお、今回の評価対象機器は、地震応答荷重を用いて強度評価を行う設備、評価用震度を用いて強度評価を行う設備、床応答スペクトルを用いて強度評価を行う設備のそれぞれの設備について、弾性設計用地震動 Sd に対する耐震性の確保が確認できていることを付け加えておく。

第 9.4.2-1 表 弾性設計用地震動 Sd による主要設備の耐震性評価結果\*

機能	評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (Sd)	評価基準値 (Ⅲ <sub>A</sub> S)	評価条件 (※)	評価方法 (注)
止める	炉心支持構造物	シュラウドサポート	一次一般膜	121	246	荷重	B1
冷やす	残留熱除去ポンプ	原動機台取付ボルト	引張	12	444	震度	B2
	残留熱除去系配管	配管	一次	130	219	FRS	B2
閉じ込める	原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張	97	499	荷重	B2
	主蒸気系配管	配管	一次	128	281	FRS	B2
	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ出入口	せん断	15	137	震度	B1

※評価条件における「荷重」は、大型機器地震応答解析結果から得られる荷重に基づき評価したものを示す。

※評価条件における「震度」は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析結果から得られる震度に基づき評価したものを示す。

※評価条件における「FRS」は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析結果から得られる床応答スペクトルに基づき評価したものを示す。

注：評価方法については、第7章の第7.5.1-1表における評価方法の凡例と同様である。

A1：応答倍率法において、基準地震動 Ss による地震力と既往評価の地震力との応答比を用いた評価法

A2：応答倍率法において、基準地震動 Ss による床応答スペクトル等と、既往評価で用いた床応答スペクトル等から水平加速度と鉛直加速度の比をそれぞれ求め、大きい方の値を用いた評価方法

B1：詳細評価（既往評価の地震荷重と地震以外の荷重を区別し、地震荷重による応力のみに応答比を乗じ、地震以外の荷重による応力を組み合わせて、発生値を求める手法）

B2：詳細評価（スペクトルモーダル解析法等による評価）

\*弾性設計用地震動 Sd によるものと静的地震力によるものの包絡条件で本評価を行った。

## 9.5. まとめ

本検討で定めた弾性設計用地震動  $S_d$  は、原子炉建屋および機器・配管系に対して概ね従前の基準地震動  $S_1$  と同等の耐震評価条件を与えることを確認した。また、主要な設備に対して弾性設計用地震動  $S_d$  に対する耐震性評価を行ったところ、すべての評価対象設備の発生値が評価基準値を下回ることを確認した。

なお、主要な設備には、地震応答荷重、評価用震度および床応答スペクトルを用いる評価が網羅されていたが、そのいずれにおいても、評価基準値を下回る評価結果が得られた。

## 10. 地震随件事象に対する考慮（周辺斜面の安定性）

## 【目 次】

10. 地震随伴事象の考慮（周辺斜面の安定性） .....	10-1
10.1. 評価方針 .....	10-1
10.2. 6号機周辺の状況 .....	10-1
10.3. 参考文献 .....	10-1

## 10. 地震随件事象の考慮（周辺斜面の安定性）

### 10.1. 評価方針

耐震安全上重要な機器・配管系を内包する建物・構築物（以下「対象施設」という）の周辺斜面が施設の安全機能に重大な影響を与えるおそれがないことについて、以下により評価する。

対象施設と周辺斜面の離間距離に基づき、地震時における安定性評価の対象とすべき斜面の有無を確認する。安定性評価の対象とすべき斜面は、「原子力発電耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」<sup>(1)</sup> に従い、斜面法尻と対象施設の離間距離が約 50m 以内あるいは斜面高さの約 1.4 倍以内の斜面とする。安定性評価の対象とすべき斜面がある場合は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、当該斜面が施設の安全機能に重大な影響を与えるおそれがないことを確認する。

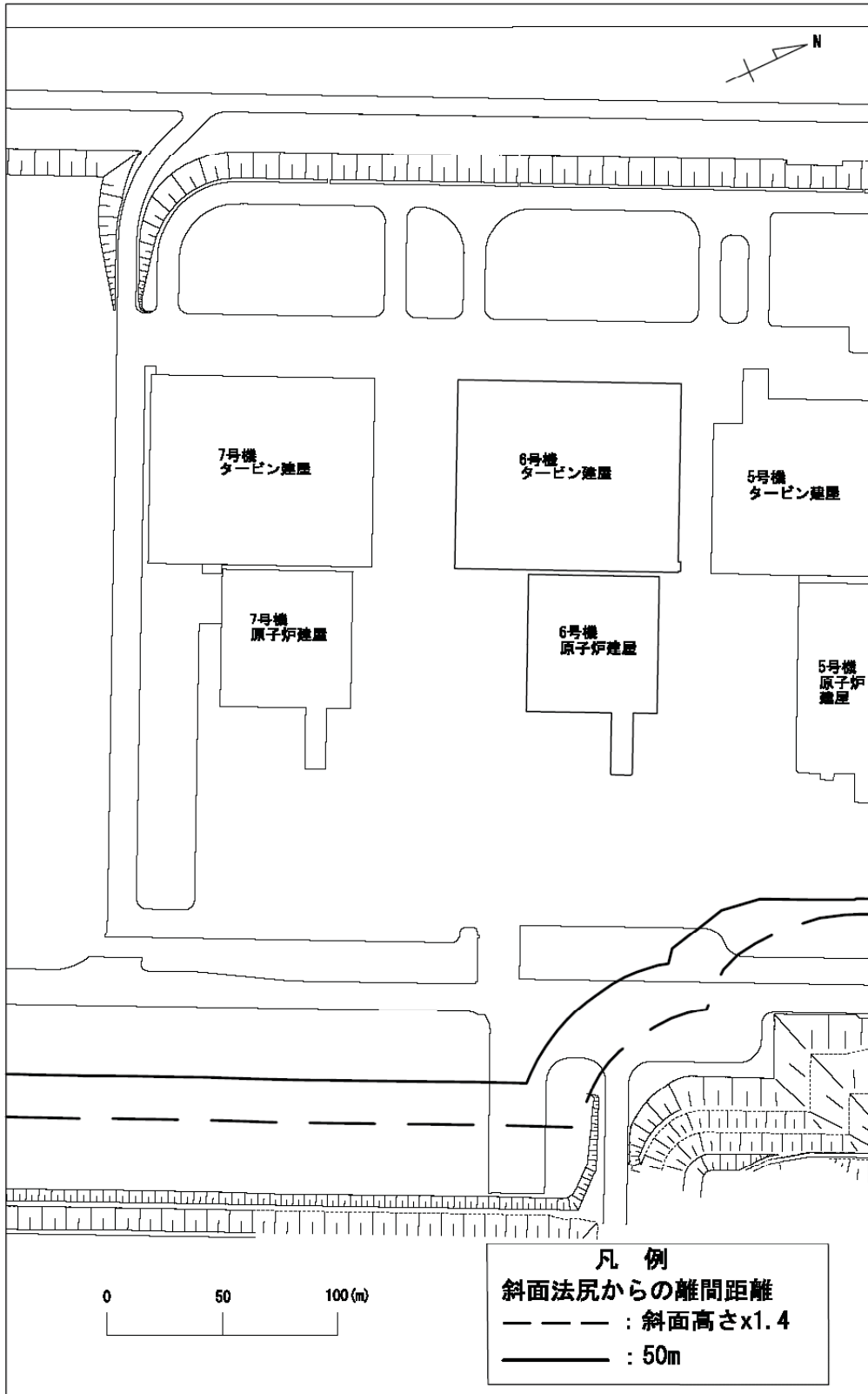
### 10.2. 6号機周辺の状況

第 10.2-1 図に 6 号機敷地周辺平面図を示す。同図に斜面法尻から 50m の範囲および斜面高さの 1.4 倍の範囲を示す。

第 10.2-1 図より 6 号機の施設の周辺には安定性評価の対象とすべき斜面がないことを確認した。

### 10.3. 参考文献

- (1) 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」 社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会，89p，170p，184p，1987



第 10.2-1 図 6 号機敷地周辺平面図

1 1 . 地震随件事象に対する考慮  
(津波に対する安全性)



## 【目 次】

11. 地震随件事象に対する考慮（津波に対する安全性） .....	11-1
11.1. 評価方針 .....	11-1
11.2. 評価方法 .....	11-1
11.3. 津波の想定及び数値シミュレーション .....	11-1
11.4. 津波に対する安全性の評価 .....	11-1
11.4.1 津波水位の評価 .....	11-2
11.4.2 津波に対する安全性の評価 .....	11-2
11.5. 二次的な影響に対する評価 .....	11-4
11.6. 評価結果 .....	11-4
11.7. 参考文献 .....	11-4

## 【参考資料】

- 参考資料 11.1 日本海東縁部の地震活動領域のうち，新潟～山形沖の領域を詳細パラメータスタディの対象とするものの妥当性について
- 参考資料 11.2 日本海東縁部の地震活動域における基準断層モデルの設定について
- 参考資料 11.3 浮遊砂濃度の上限値 5%による砂移動解析
- 参考資料 11.4 強震動モデルによる津波水位評価
- 参考資料 11.5 新潟県中越沖地震津波の再現計算による解析コード及び解析モデルの妥当性検証
- 参考資料 11.6 砂移動評価における解析時間に関する検討

## 11. 地震随件事象に対する考慮（津波に対する安全性）

### 11.1. 評価方針

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.2. 評価方法

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.3. 津波の想定及び数値シミュレーション

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.4. 津波に対する安全性の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震

設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂1）  
（原管発官20第441号 平成21年1月9日付け,原管発官21  
第40号 平成21年4月24日付けで「柏崎刈羽原子力発電所7号  
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱  
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

#### 11.4.1 津波水位の評価

柏崎刈羽原子力発電所7号機 「発電用原子炉施設に関する耐震  
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂1）  
（原管発官20第441号 平成21年1月9日付け,原管発官21  
第40号 平成21年4月24日付けで「柏崎刈羽原子力発電所7号  
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱  
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

#### 11.4.2 津波に対する安全性の評価

柏崎刈羽原子力発電所7号機 「発電用原子炉施設に関する耐震  
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂1）  
（原管発官20第441号 平成21年1月9日付け,原管発官21  
第40号 平成21年4月24日付けで「柏崎刈羽原子力発電所7号  
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱  
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

##### 11.4.2.1. 津波による水位上昇に対する安全性

柏崎刈羽原子力発電所7号機 「発電用原子炉施設に関する耐震  
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂1）  
（原管発官20第441号 平成21年1月9日付け,原管発官21  
第40号 平成21年4月24日付けで「柏崎刈羽原子力発電所7号

機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

#### 11.4.2.2. 津波による水位低下に対する安全性

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂 1) (原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

#### 11.4.2.3. 取水施設の水利特性による水位変動への影響 (6 号機)

想定津波による 6 号機の取水施設の水利特性による水位変動について, 数値シミュレーションにより以下のとおり検討した。

##### (1) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションは, 取水口からスクリーン室, 取水路, 取水路分岐, 補機系取水路を経て補機冷却海水ポンプ室に至る取水路系について検討した。数値シミュレーションの計算条件を第 11.4.2-1 表に, 6 号機の取水施設の概要図を第 11.4.2-1 図に示す。

##### (2) 対象津波

6 号機取水口前面において最低水位を示す長岡平野西縁断層帯 ( $\delta = 35^\circ$ ) による津波を対象とした。

##### (3) 検討結果

想定津波を対象とした 6 号機取水施設の水利特性による水位変動について, 数値シミュレーションを実施した結果, 補機冷却海

水ポンプ室における津波による最低水位は，原子炉補機冷却海水ポンプの吸い込み可能レベルより上方であることから，必要な取水は十分確保できる。

取水設備の水理特性による水位変動の検討結果を第 11.4.2-2 図に示す。

### 11.5. 二次的な影響に対する評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け，原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 11.6. 評価結果

以上により，津波に対して，柏崎刈羽原子力発電所 6 号機の原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認した。なお，同じ日本海沖で発生した 1993 年北海道南西沖地震のように V 字型の谷地形や岬のような地形において津波が増幅して高くなることがあるが，敷地周辺の沿岸にはそのような地形はない。

### 11.7. 参考文献

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け，原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱

いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

第 11.4.2-1 表 水位変動の数値シミュレーションの計算条件

項目	計算条件
計算領域	取水口～スクリーン室～取水路～取水ピット～ 取水路分岐～補機取水路～補機冷却ポンプ室
計算時間間隔	0.005sec
基礎方程式	非定常管路及び開水路流れの連続式及び運動方程式
取水量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 循環水ポンプ(CWP)：停止</li> <li>・ 原子炉補機冷却海水ポンプ(RSW)：1,800(m<sup>3</sup>/h/台)×6 台</li> <li>・ タービン補機冷却海水ポンプ(TSW)：2,800(m<sup>3</sup>/h/台)×3 台</li> </ul>
摩擦損失係数	マンニングの粗度係数 (n=0.02m <sup>-1/3</sup> s)
貝の付着代	貝代 10cm を考慮
局所損失係数	電力土木技術(1995) <sup>(32)</sup> ，千秋(1967) <sup>(33)</sup> ，及び土木学会(1999) <sup>(34)</sup> による
初期水位	下降側：L.W.L (=T.M.S.L.-0.02m)
計算時間	断層変位後 4 時間

開水路の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left( \frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

管路の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left( \frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

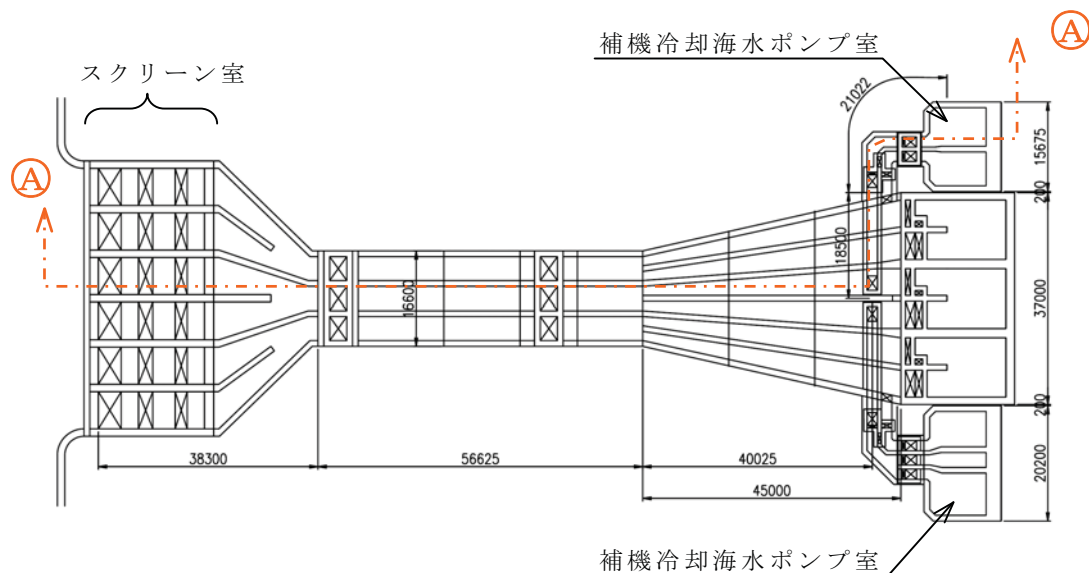
ここに、  
 $t$ ：時間， $Q$ ：流量， $v$ ：流速， $x$ ：管底に沿った座標  
 $A$ ：流水断面積  
 $H$ ：圧力水頭+位置水頭(管路の場合)，位置水頭(開水路の場合)  
 $z$ ：管底高， $g$ ：重力加速度， $n$ ：マンニングの粗度係数  
 $R$ ：径深， $\Delta x$ ：管路の流れ方向の長さ， $f$ ：局所損失係数

水槽および立坑部

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

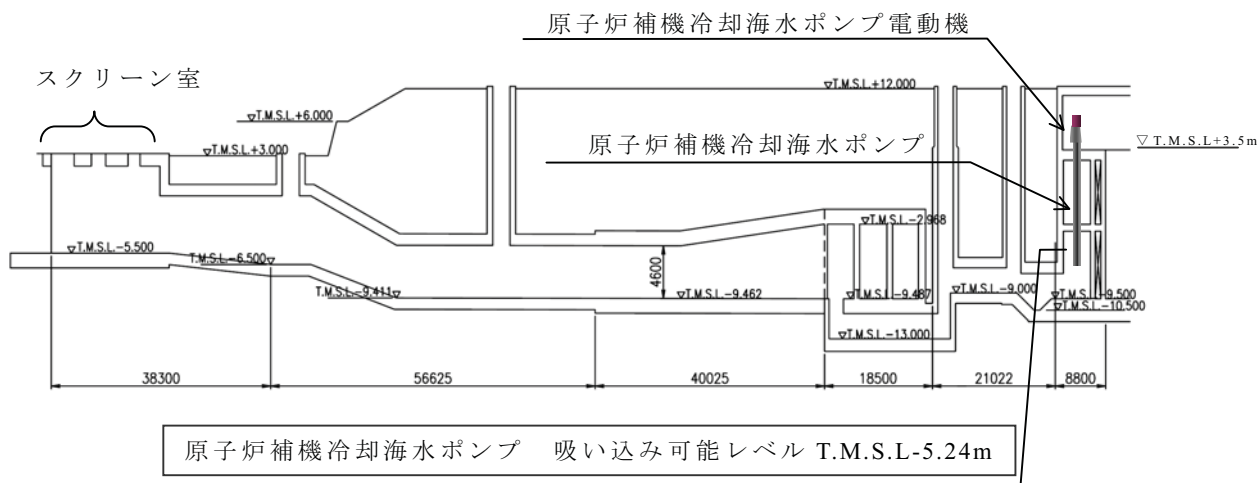
ここに、  
 $A_p$ ：水槽の平面積（水位の関数となる）， $H_p$ ：水槽水位  
 $Q_s$ ：水槽へ流入する流量の総和， $t$ ：時間





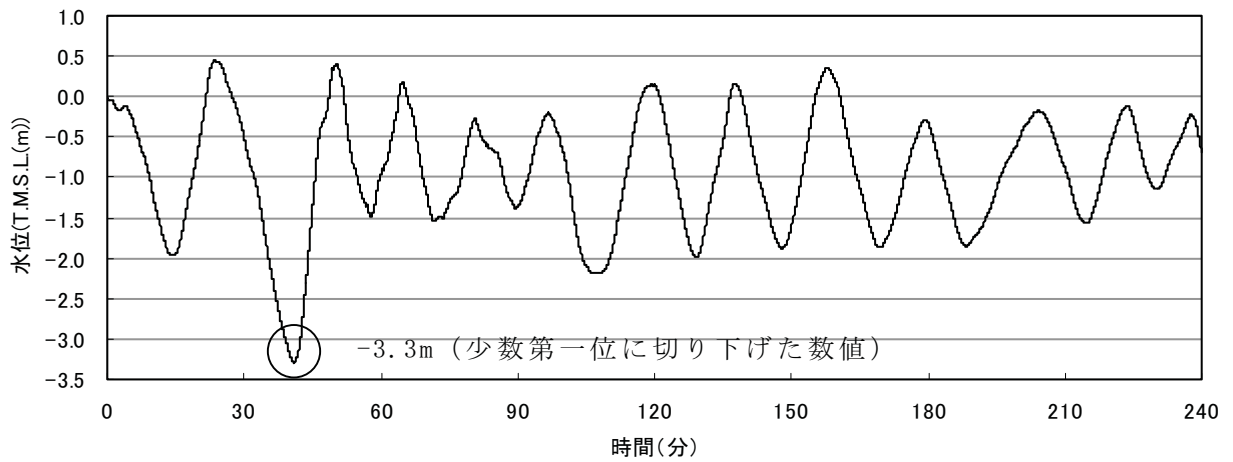
取水施設平面図

A - A 断面

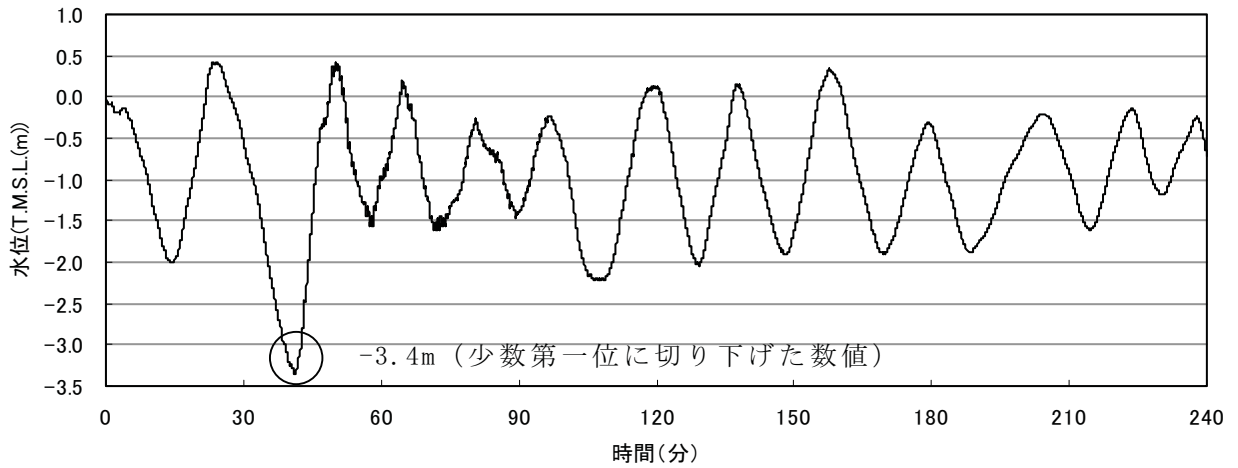


補機冷却海水取水施設断面図

第 11.4.2-1 図 6 号機取水施設概要図



取水口前面の津波水位変動



補機冷却海水ポンプ室の津波水位変動

(単位：T.M.S.L. (m))

プラント	最低水位	原子炉補機冷却海水ポンプ 吸い込み可能レベル*)
6号機	-3.4	-5.24

\*) 地盤の隆起を考慮

第 11.4.2-2 図 取水施設の水利特性による検討結果

### 参考資料 11.1 日本海東縁部の地震活動領域のうち、新潟～山形沖の領域を詳細パラメータスタディの対象とすることの妥当性について

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 参考資料 11.2 日本海東縁部の地震活動域における基準断層モデルについて

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

### 参考資料 11.3 浮遊砂濃度の上限値 5%による砂移動解析

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号

機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

#### 参考資料 11.4 強震動モデルによる津波水位評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

#### 参考資料 11.5 新潟県中越沖地震津波の再現計算による解析コード及び解析モデルの妥当性検証

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

## 参考資料 11.6 砂移動評価における解析時間に関する検討

本報告書では、再現計算時間を4時間に設定して砂移動による影響評価を行っているが、ここでは解析時間をより長く設定した場合の砂移動による影響について検討した。

### (1) 解析条件

本報告書と同様に、藤井ほか（1998）<sup>(1)</sup> および高橋ほか（1999）<sup>(2)</sup> の手法に基づき、浮遊砂濃度上限値 1% の条件により再現計算時間を6時間に設定して砂移動解析を実施した。また、念のため、浮遊砂濃度上限値 5% の条件でも解析を実施した。検討対象は、最高水位を示す日本海東縁部の津波と、最低水位を示す長岡平野西縁断層帯（ $\delta = 35^\circ$ ）による想定津波とした。

### (2) 解析結果

砂移動解析による6時間後の海底地形変化量分布図を参図-11.6.1に示す。参考までに4時間後の海底地形変化量分布図も併せて示す。いずれの解析手法でも、6時間後の方が、堆積しやすいエリアはより堆積量が多く、同様に侵食されやすいエリアはより多く侵食される傾向がある。参図-11.6.2には、堆積量及び侵食量のより大きいケースとして、高橋ほか（1999）の手法による再現計算時間6時間のうちの最大堆積量を示すが、海底地形変化量分布と同様の傾向が見られる。

参図-11.6.3に、堆積量及び侵食量のより大きいケースとして、高橋ほか（1999）の手法による、各号機の取水口前面の水位と地形変化を時系列で示し、参図-11.6.4には取水口前面の砂の堆積量が比較的多い、3号機～4号機の取水口前面の詳細な地形変化量を示

す。最高水位ケース及び最低水位ケースのいずれについても、再現計算時間 4 時間後以降も取水口前面に砂の堆積量の増加がみられる号機もあるが、その量は少なく、再現計算時間 6 時間のあいだ、いずれの号機も取水口前面では常に 2 m 以上の水深が確保されていることから、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に影響はない。また、水位変動の振幅は約 5 時間後以降、収束傾向にあることが確認できる。なお、念のため、浮遊砂濃度上限値 5% の条件により、同様に砂移動解析を実施した結果を参図-11.6.5～参図-11.6.8 に示すが、浮遊砂濃度上限値 1% の条件と同様の傾向であり、いずれの号機も取水口前面では常に 1 m 以上の水深が確保されていることから原子炉補機冷却海水ポンプの取水に影響はない。

#### 参考文献

(1) 「津波による海底地形変化に関する研究」

藤井直樹・大森政則・高尾 誠・金山 進・大谷英夫，  
海岸工学論文集第 45 巻， pp. 376－380， 1998

(2) 「掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発」

高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔，  
海岸工学論文集， 第 46 巻， pp. 606－610， 1999

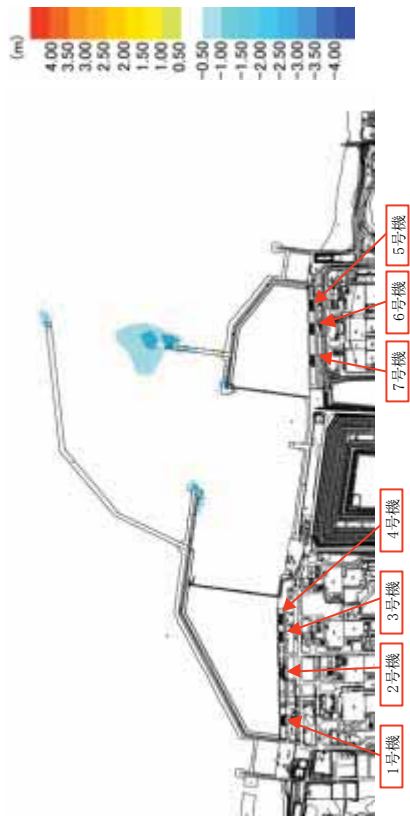
6 時間後の海底地形変化量

藤井ほか (1998)

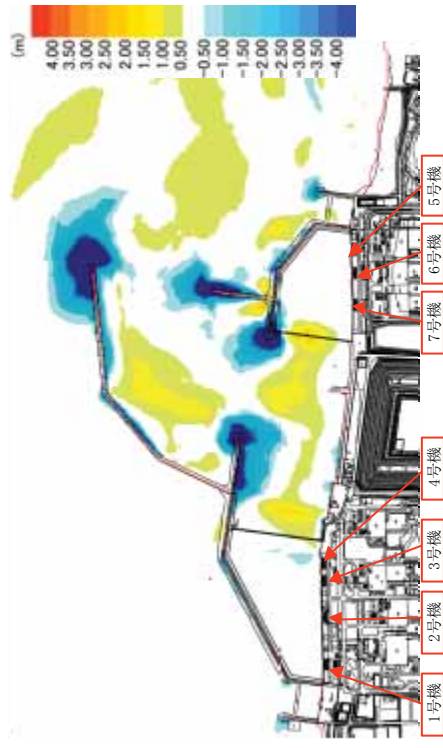


【参考】 4 時間後の海底地形変化量

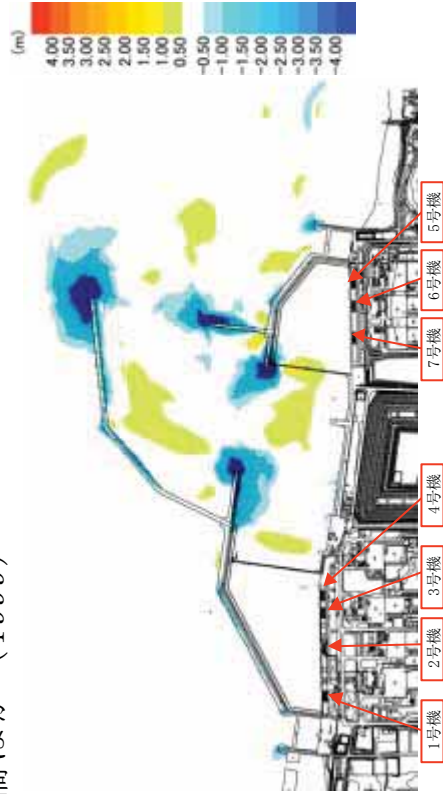
藤井ほか (1998)



高橋ほか (1999)



高橋ほか (1999)



参図-11.6.1(1) 砂移動に伴う地形変化量-最高水位ケース：日本海東縁部の想定津波-  
(浮遊砂濃度上限値=1%)



6 時間後の海底地形変化量

藤井ほか (1998)

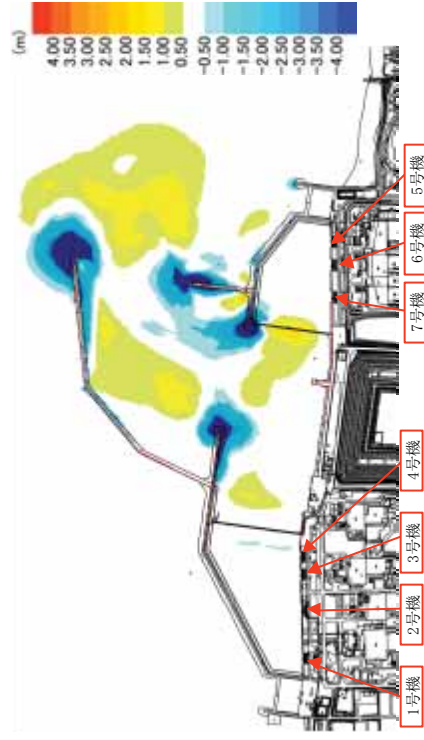


【参考】 4 時間後の海底地形変化量

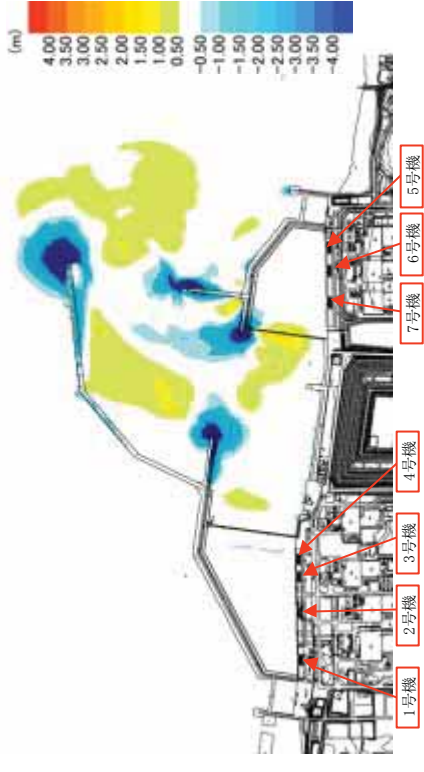
藤井ほか (1998)



高橋ほか (1999)







高橋ほか (1999)

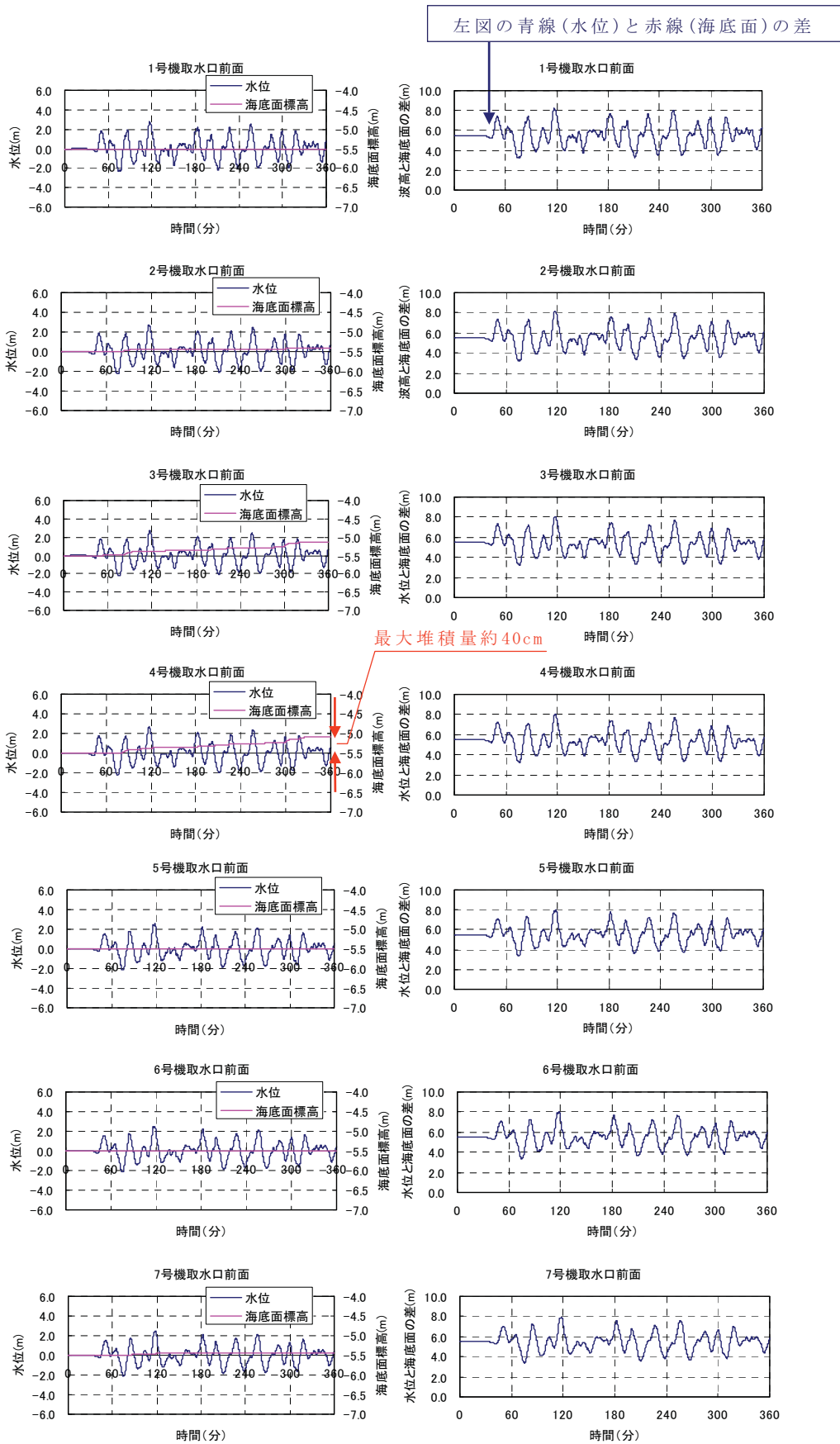


参図-11.6.1(2) 砂移動に伴う地形変化量-最低水位ケース：長岡平野西縁断層帯 ( $\delta = 35^\circ$ ) - (浮遊砂濃度上限値=1%)

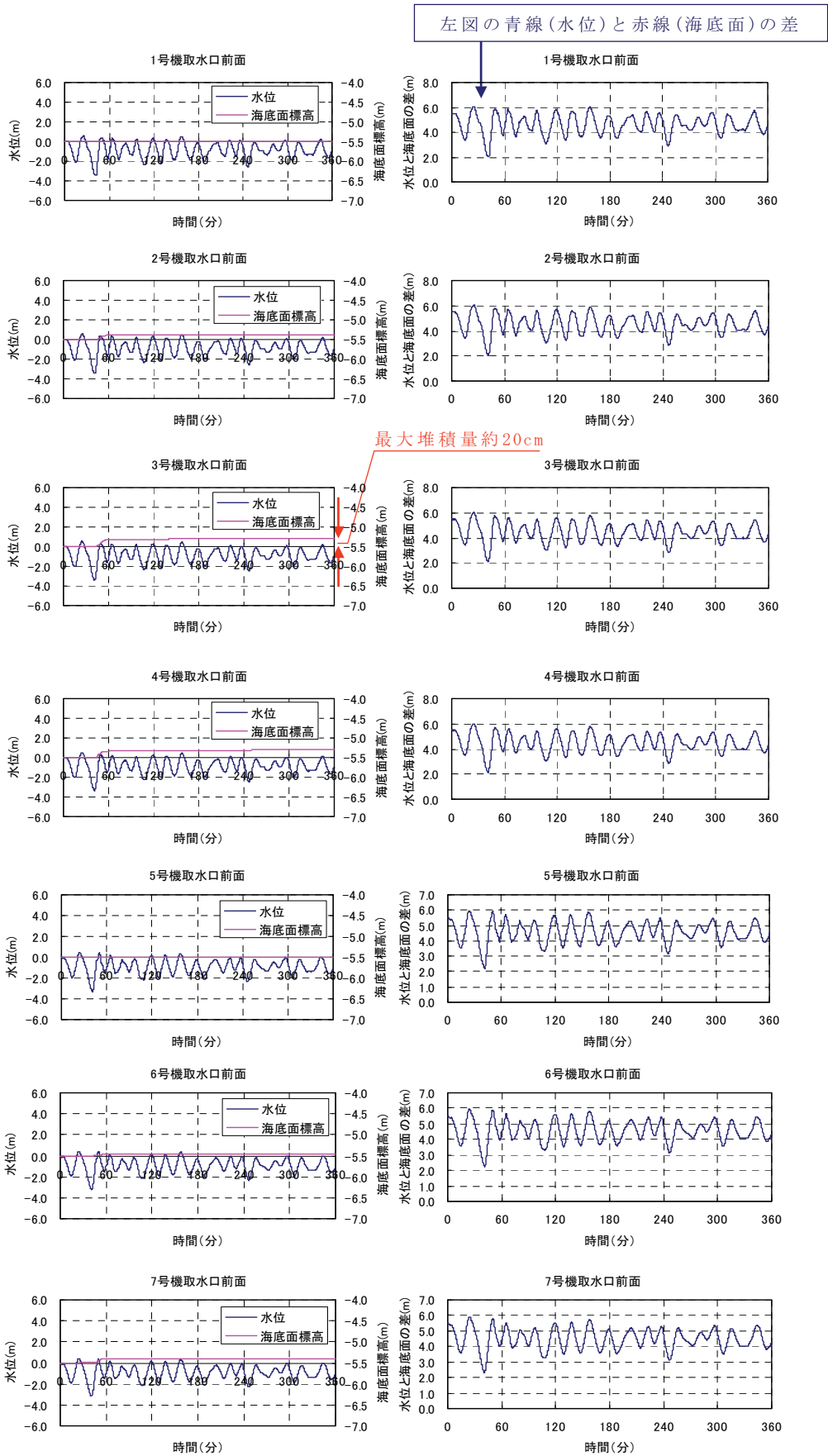


	最大堆積量 (解析時間 = 6 時間)	【参考】 最大堆積量 (解析時間 = 4 時間)
<p>(日本海東縁部の想定津波) 最高水位ケース</p>	<p>高橋ほか (1999)</p> 	<p>高橋ほか (1999)</p> 
<p>(長岡平野西縁断層帯 <math>\delta = 35</math> 度) 最低水位ケース</p>	<p>高橋ほか (1999)</p> 	<p>高橋ほか (1999)</p> 

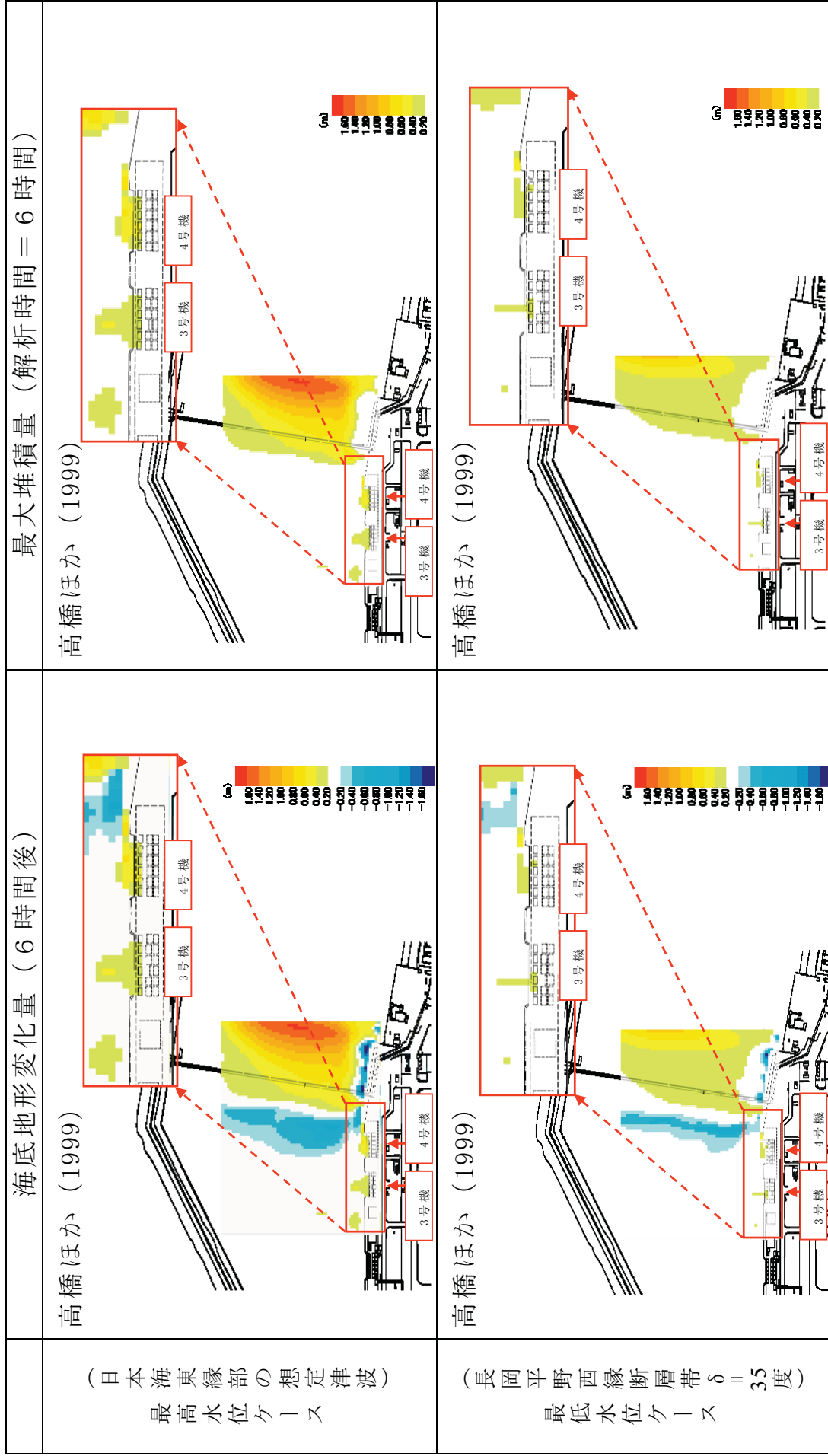
参図-11.6.2 砂移動に伴う再現解析時間中の最大堆積量  
(浮遊砂濃度上限値 = 1%)



参図-11.6.3(1) 取水口前面における津波水位と海底面の変動時刻歴  
 - 最高水位ケース：日本海東縁部の想定津波 -  
 (浮遊砂濃度上限値=1%)



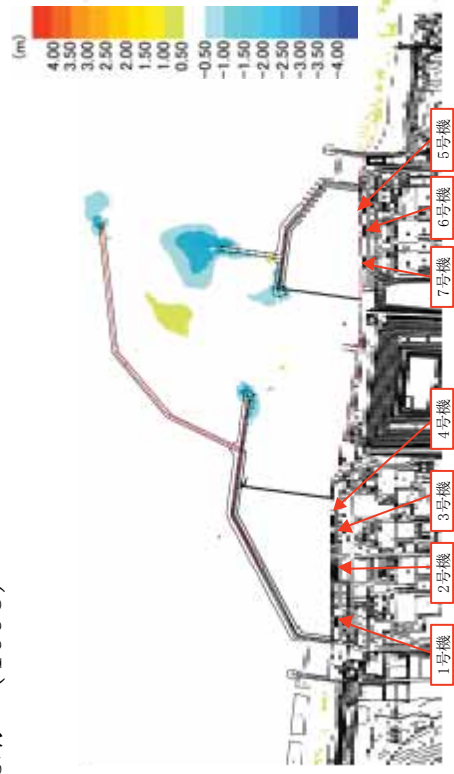
参図-11.6.3(2) 取水口前面における津波水位と海底面の変動時刻歴  
 -最低水位ケース：長岡平野西縁断層帯( $\delta = 35^\circ$ ) -  
 (浮遊砂濃度上限値 = 1%)



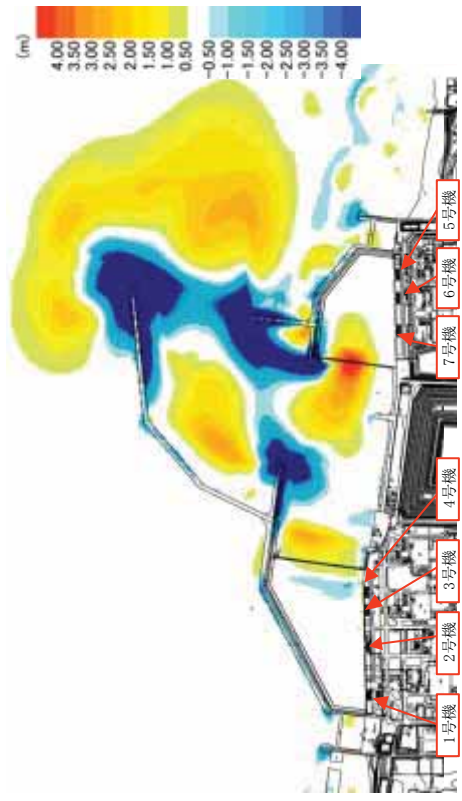
参図-11.6.4 砂移動に伴う3号機~4号機取水口前面の地形変化量  
 (浮遊砂濃度上限値=1%)

6 時間後の海底地形変化量

藤井ほか (1998)

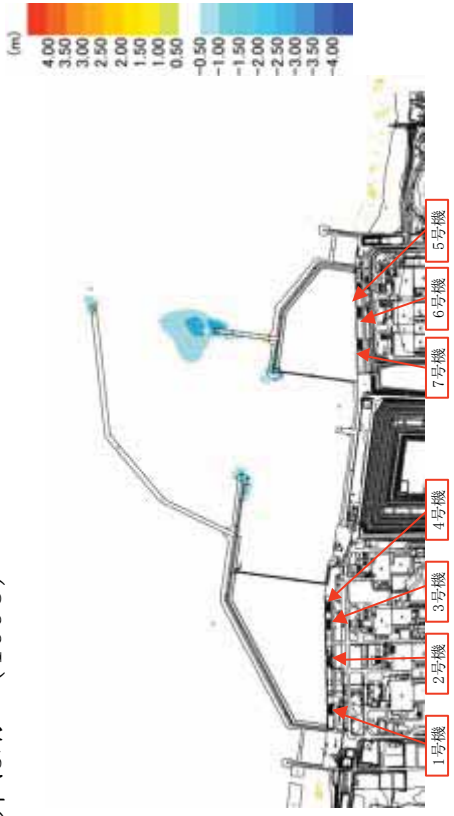


高橋ほか (1999)

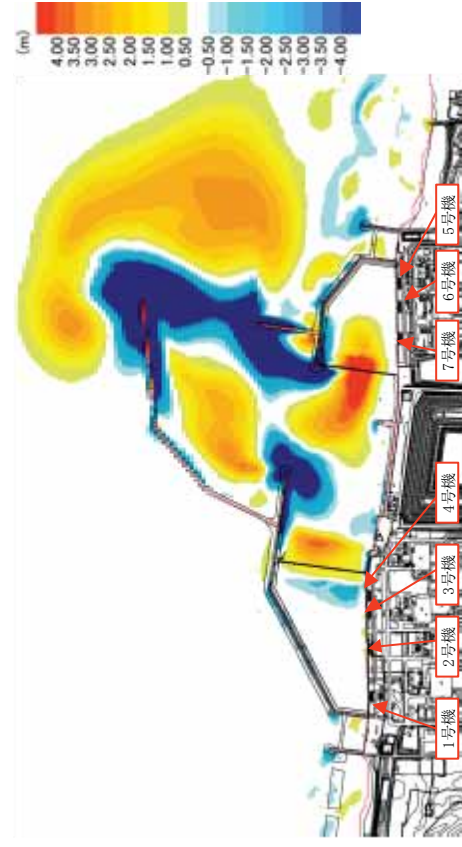


【参考】 4 時間後の海底地形変化量

藤井ほか (1998)

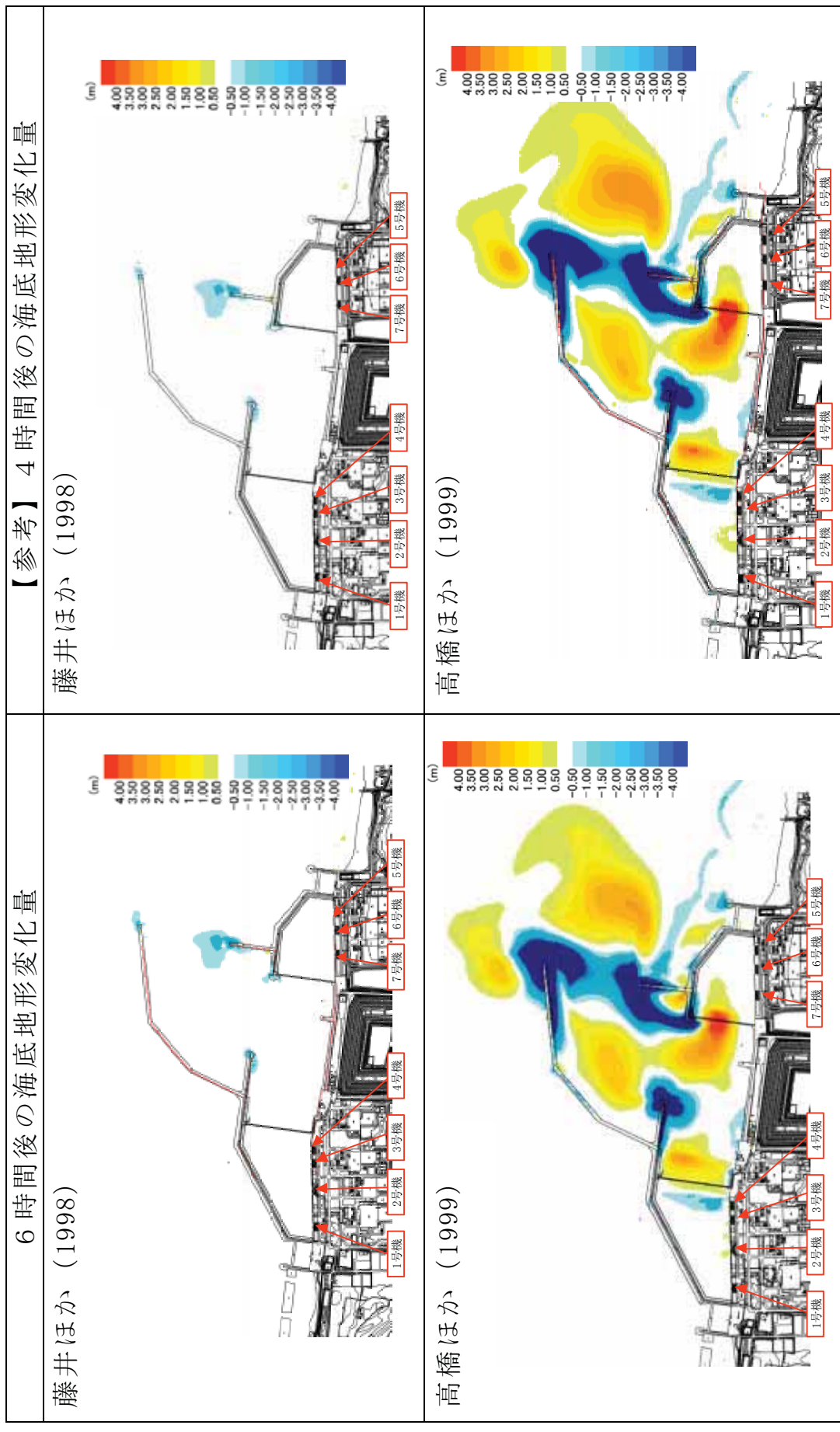


高橋ほか (1999)

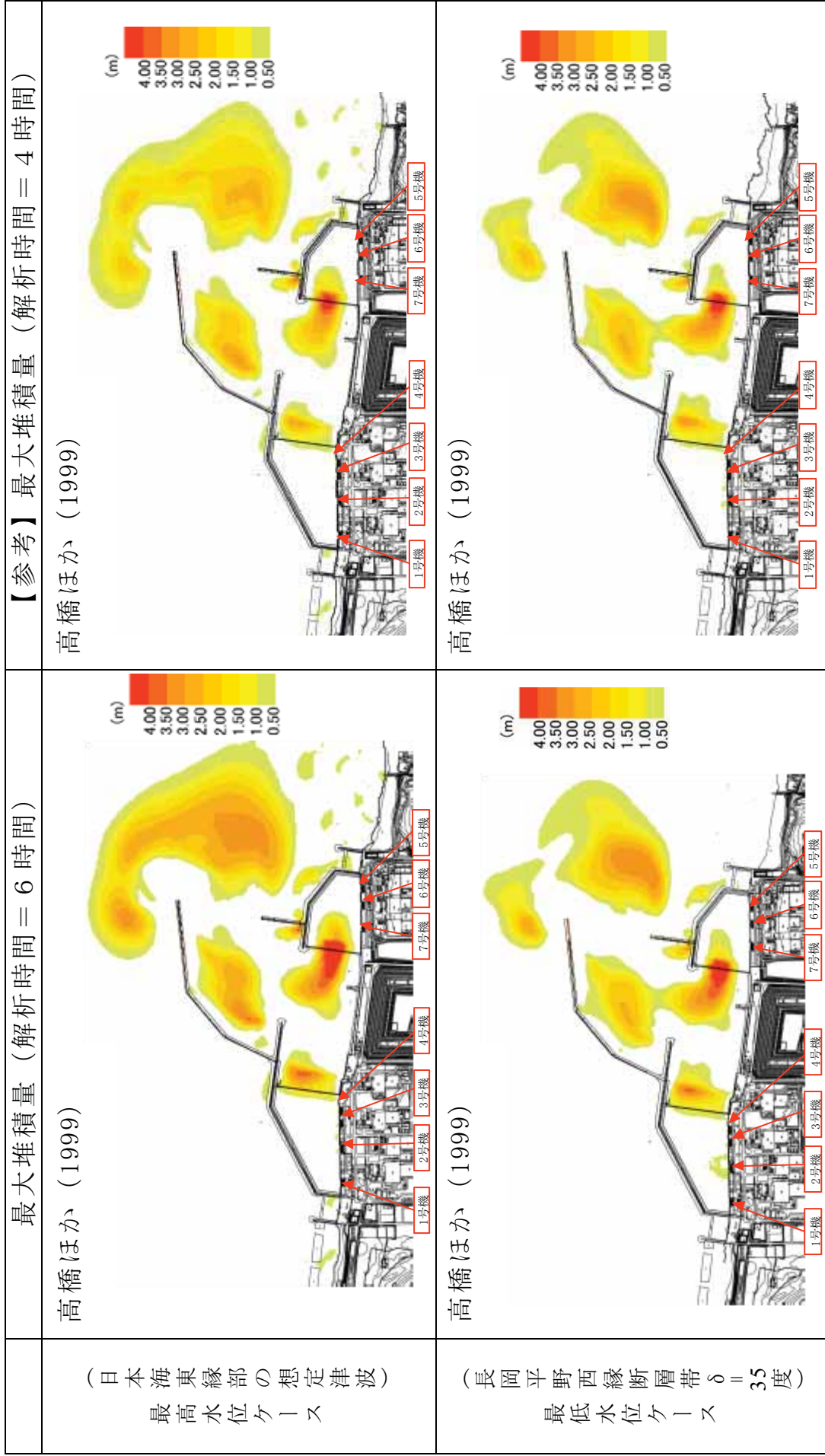


参図-11.6.5(1) 砂移動に伴う地形変化量-最高水位ケース：日本海東縁部の想定津波-  
(浮遊砂濃度上限値=5%)

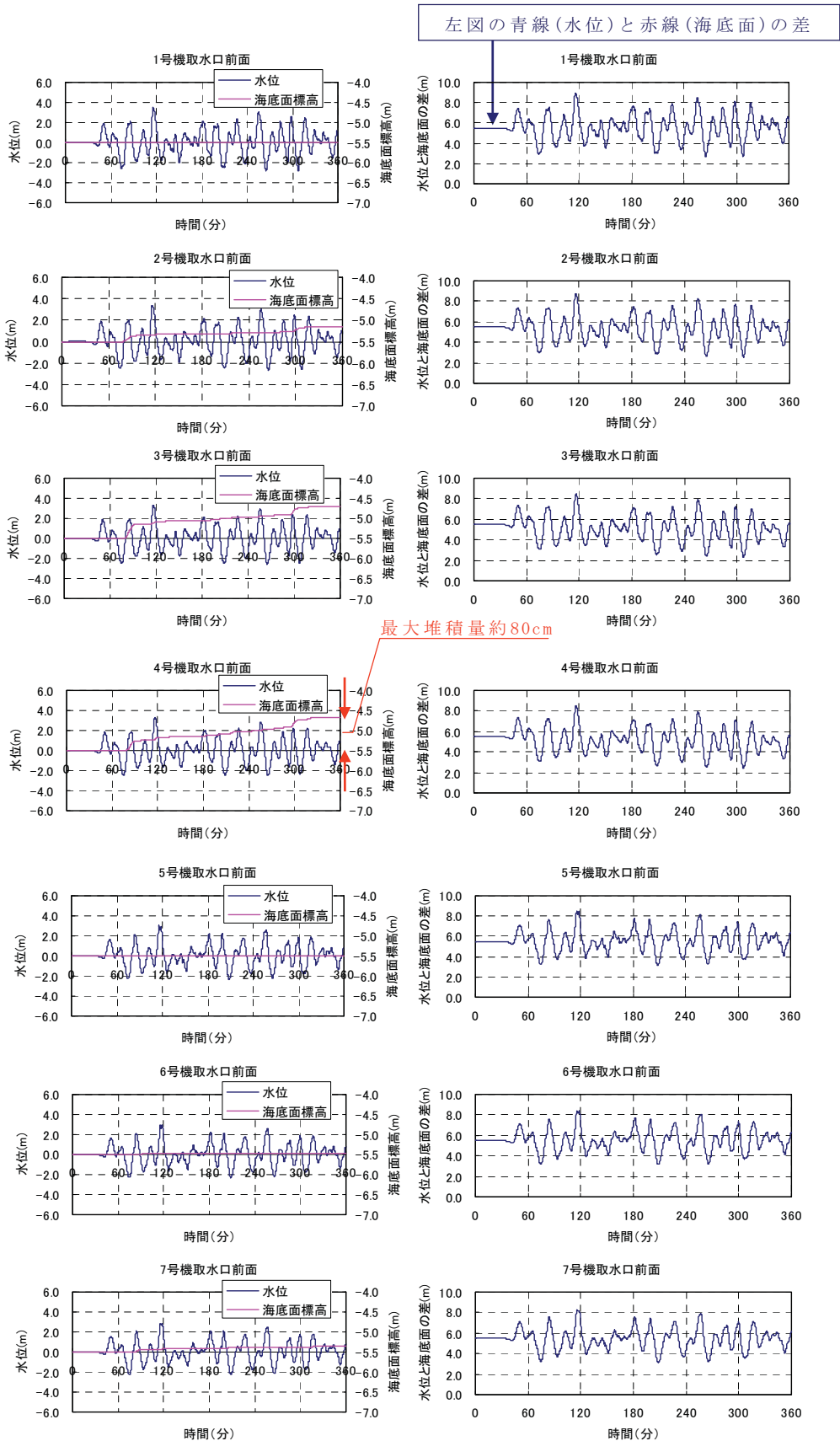




参図-11.6.1(2) 砂移動に伴う地形変化量-最低水位ケース：長岡平野西縁断層帯 ( $\delta = 35^\circ$ ) - (浮遊砂濃度上限値=5%)

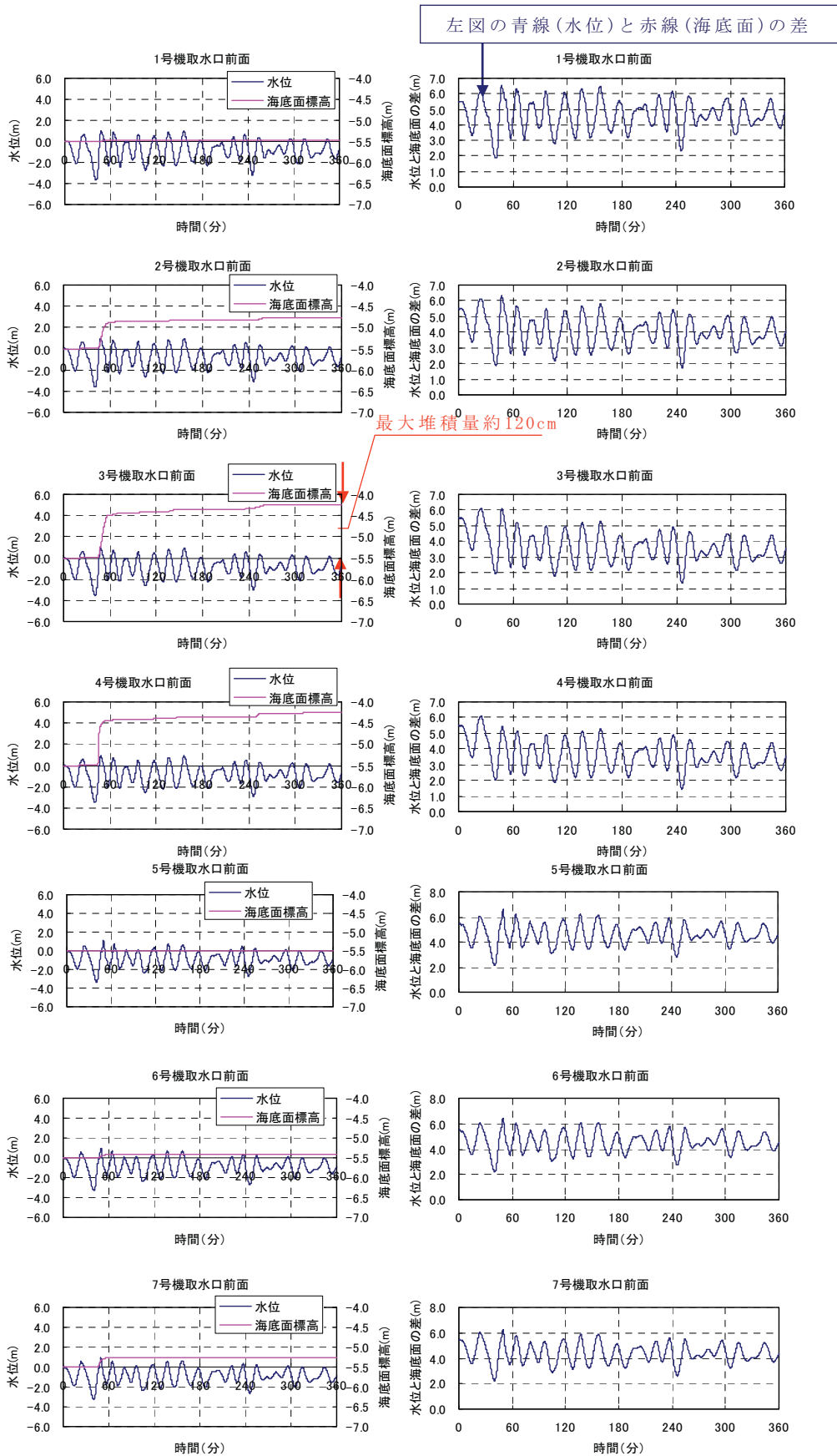


参図-11.6.6 砂移動に伴う再現解析時間中の最大堆積量  
(浮遊砂濃度上限値 = 5%)

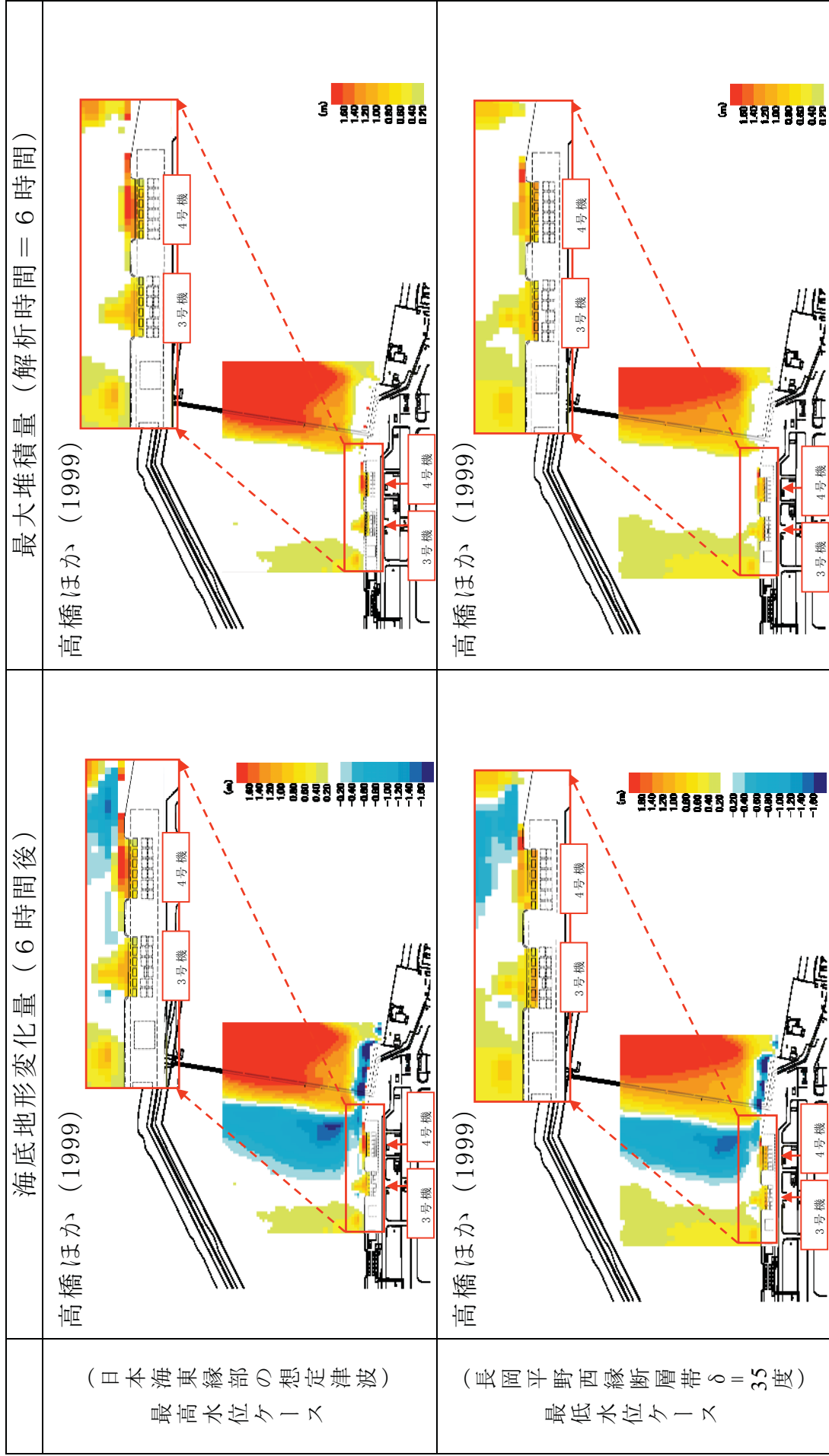


参図-11.6.7(1) 取水口前面における津波水位と海底面の変動時刻歴  
 - 最高水位ケース：日本海東縁部の想定津波 -  
 (浮遊砂濃度上限値 = 5%)





参図-11.6.7(2) 取水口前面における津波水位と海底面の変動時刻歴  
 -最低水位ケース：長岡平野西縁断層帯( $\delta = 35^\circ$ ) -  
 (浮遊砂濃度上限値 = 5%)



参図-11.6.8 砂移動に伴う3号機～4号機取水口前面の地形変化量

## 1 2 . 地震随件事象に対する考慮

(活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価)

## 【目 次】

12.1.検討目的 .....	12-1
12.2.評価方針 .....	12-1
12.3.評価方法 .....	12-2
12.3.1. くいちがいの弾性論に基づく解析値と実測値の比較 .....	12-2
12.3.2. 局所的な地盤変動量のばらつきの評価 .....	12-2
12.3.3. 地震に伴う地盤変動量と建屋傾斜の検討方法 .....	12-3
12.3.4. 検討対象モデル .....	12-3
12.4.評価結果 .....	12-3
12.5.参考文献 .....	12-4

## 12. 地震随件事象の考慮（活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価）

### 12.1. 検討目的

新潟県中越沖地震では地震に伴う地盤変動が生じ、柏崎刈羽原子力発電所敷地内においても最大 10cm 程度の隆起が認められた。

この地盤変動に伴い、機器・配管系の健全性に影響を与えるものではなかったものの、原子炉建屋等重要施設に最大 1/4,000 程度の傾きが生じた。

そこで、今後さらなる地震が生じた場合の地盤変動による建屋傾斜を評価し、施設の安全機能が損なわれることがないことを確認する。

なお、新潟県中越沖地震で生じた地盤変動および原子炉建屋等重要施設の傾斜については、「柏崎刈羽原子力発電所敷地及び敷地周辺の地質・地質構造に係わる報告書、東京電力株式会社、平成 20 年 10 月 22 日」に詳述している。

### 12.2. 評価方針

耐震設計上考慮する活断層について、くいちがいの弾性論<sup>(1)</sup>に基づく解析によって地盤の変形を算定する。その際、新潟県中越沖地震で原子炉建屋等重要施設の水準変動が測量されていることから、ここで得られた結果をくいちがいの弾性論の解析結果に反映する。

最終的に原子炉建屋の傾斜量を評価し、設備の健全性との関係を検討する。

## 12.3. 評価方法

### 12.3.1. くいちがいの弾性論に基づく解析値と実測値の比較

中越沖地震で生じた建屋位置の地盤変動について、新潟県中越沖地震国土地理院モデル<sup>(2)</sup>に基づいた解析値と水準測量による実測値を比較した。解析結果および建屋の測点位置を第 12.3.1-1 図に、また、解析値と実測値の関係を第 12.3.1-2 図に示す。

解析値と実測値の関係は概ね  $45^\circ$  線を中心にばらついており、全体的な傾斜の傾向は整合している。

一方、実測値は解析値に比べ 60mm 程度、全体的に大きい傾向がある。これは、当該モデルが広域の地殻変動データ（GPS、干渉 SAR、水準測量）をもとにした逆解析により断層面上のすべり分布を推定したものであり、敷地の地盤変動の再現を目的としたものではないこと、モデルのスケールに比べて敷地のスケールが小さいこと等の影響が考えられる（第 12.3.1-3 図）。建屋の傾斜は建屋端部の鉛直変動量の差分で評価されることから、この影響は特に問題にならないと考えられる。

### 12.3.2. 局所的な地盤変動量のばらつきの評価

局所的な地盤変動量のばらつきを評価するため、解析値と実測値の平均的な変動量の差（第 12.3.1-2 図における回帰直線の y 切片）を考慮して、これをあらかじめ実測値から差し引き、この値と解析値の差分（以下、「回帰直線からの差」という。）を整理した結果を第 12.3.2-1 図に示す。回帰直線からの差は概ね正規分布となり、標準偏差は 8.8mm 程度である。

### 12.3.3. 地震に伴う地盤変動量と建屋傾斜の検討方法

地震に伴う地盤変動量および建屋傾斜は次の方法で検討することとする。

- ① 各震源断層のモデルに応じたくいちがいの弾性論に基づく解析により建屋四隅の鉛直変動量を計算
- ② 中越沖地震のデータに基づいた地盤変動のばらつき（標準偏差  $\sigma$  : 8.8mm）を考慮し、各々の辺の最大傾斜を計算
- ③ 現状の建屋の傾斜（実測値）を各々の辺に加算

### 12.3.4. 検討対象モデル

本検討を行うにあたっては、基準地震動策定の際に用いた断層モデル、地質調査結果及び地盤変動を評価する点を踏まえて、断層上端を地表付近に設定した、すべり量を均一とした断層モデルを用いる。なお、新潟県中越沖地震を対象とした国土地理院モデルを拡張（断層長さ比例:36/27倍）したものについても検討した。検討条件を第 12.3.4-1 表に示す。

また、断層がすべて破壊しない場合の方が敷地の傾斜が大きくなることも考えられることから、断層の長さまたは幅を変化させた場合の影響についても検討した。

## 12.4. 評価結果

くいちがいの弾性論による解析結果を第 12.4-1 図に、断層の長さまたは幅を変化させた場合の影響を第 12.4-2 図に示す。また、中越沖地震のデータに基づいた地盤変動のばらつきを考慮した建屋傾斜を第 12.4-1 表

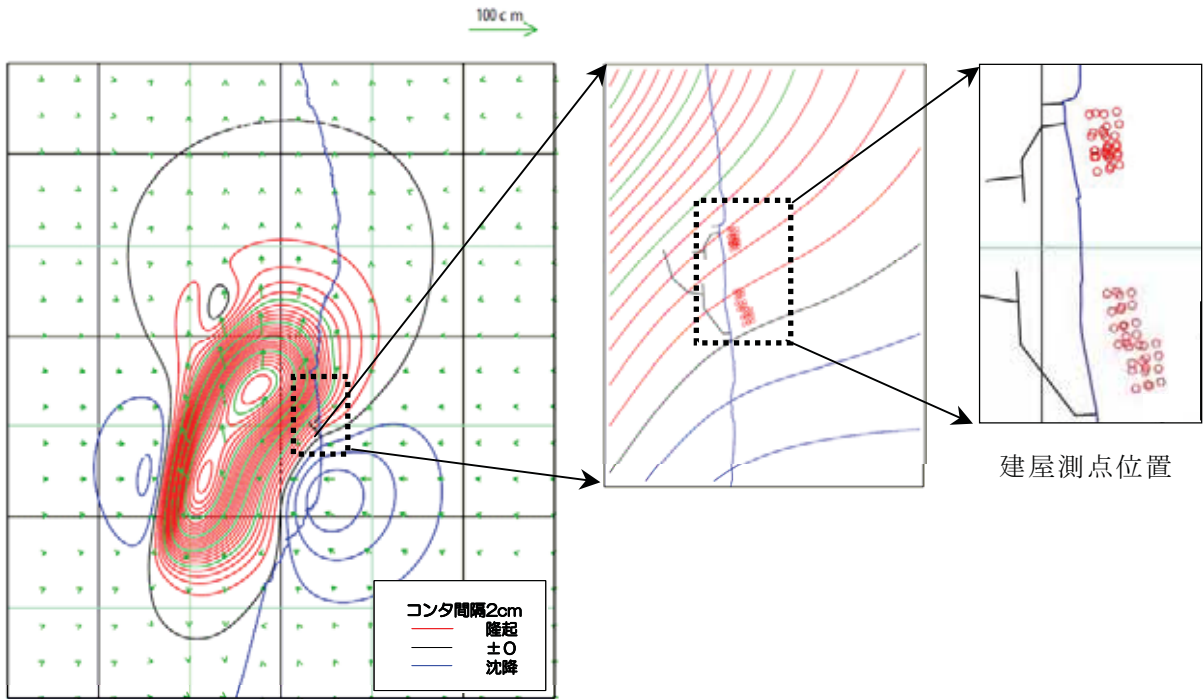
に示す。

建屋の傾斜は最大でも 1/1,400 程度と 1/1,000 以下であり建屋および機器・配管系の機能を損なうものではない（第 12.4-3 図，第 12.4-4 図）。

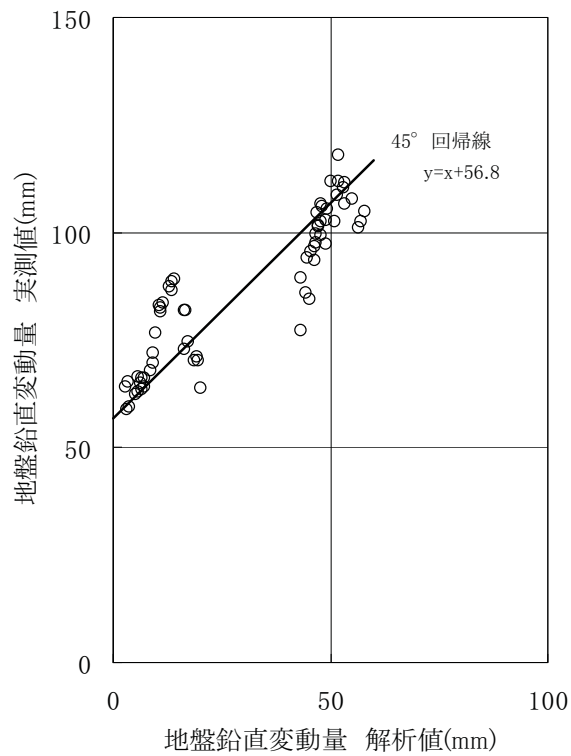
## 12.5. 参考文献

- (1) Rongjiang Wang, Francisco Lorenzo Martin, Frank Roth(2003) :  
Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust—FORTRAN programs, Computers & Geosciences 29
- (2) 国土地理院(2008) : 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新（主に断層面に関する評価）  
<http://www.gsi.go.jp/cais/topics-topic080111-index.html>

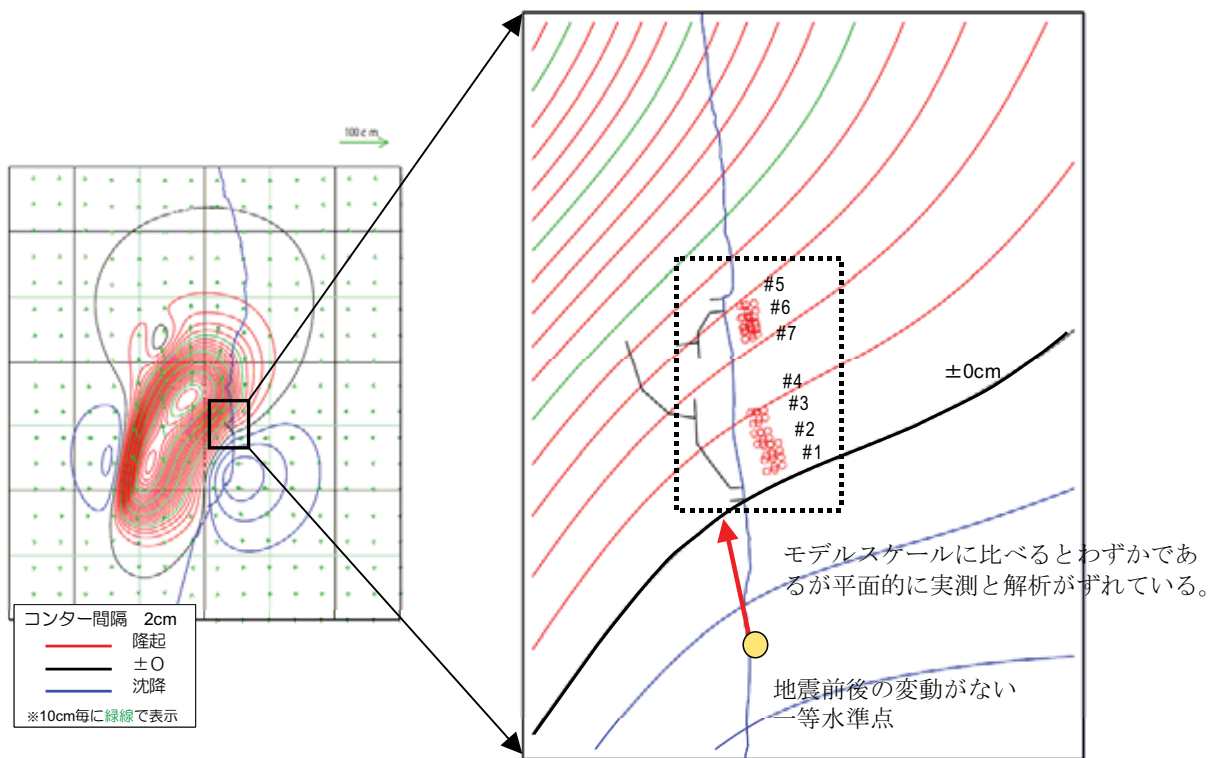




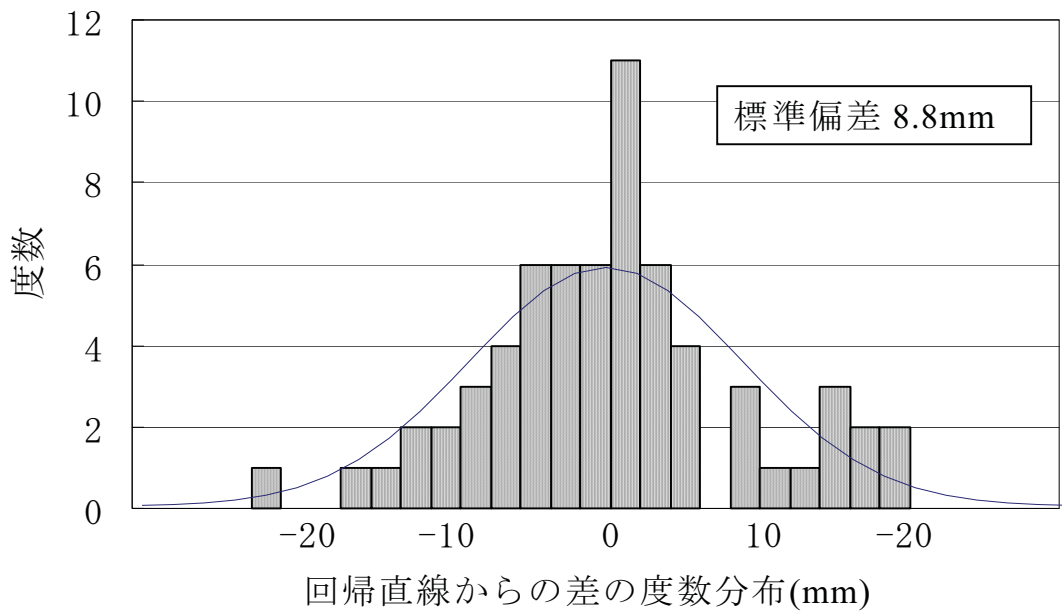
第 12.3.1-1 図 くいちがいの弾性論（新潟県中越沖地震国土地理院モデル）に基づく解析結果と水準測量による建屋測点位置



第 12.3.1-2 図 くいちがいの弾性論による解析値と水準測量による実測値の関係



第 12.3.1-3 図 くいちがいの弾性論による解析値と水準測量による実測値の平面的なずれ

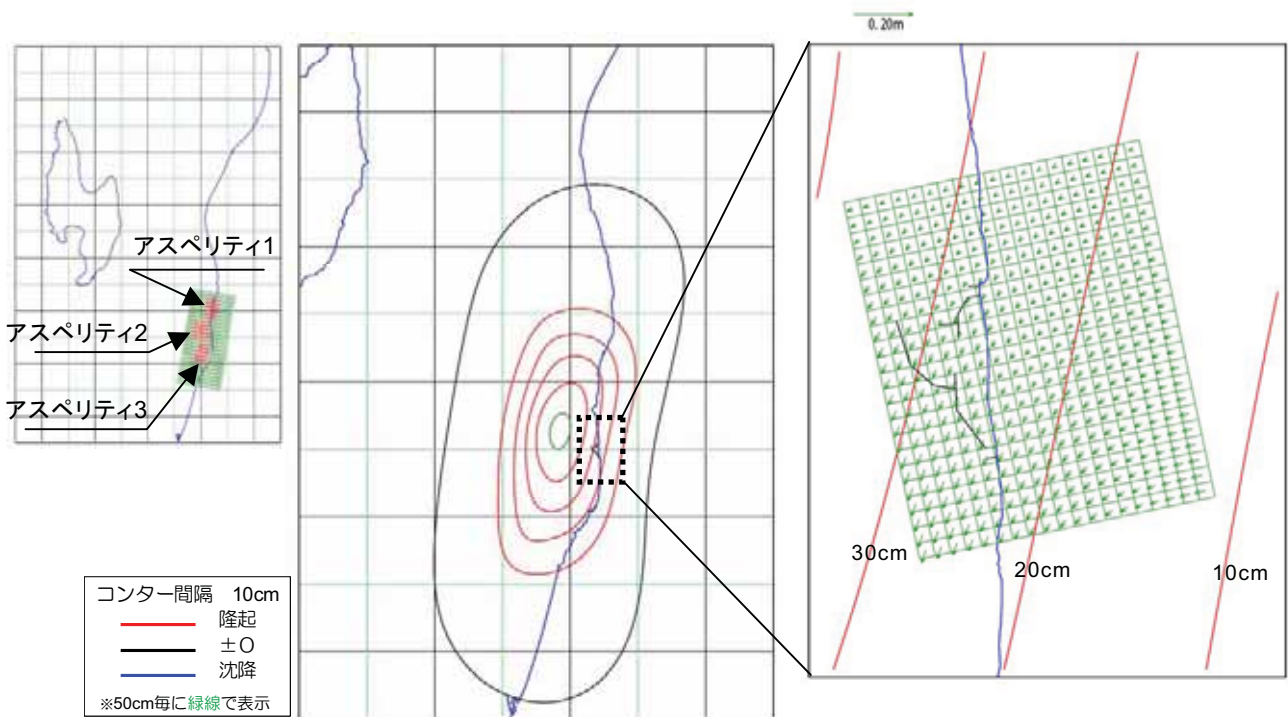


第 12.3.2-1 図 回帰直線からの差の度数分布

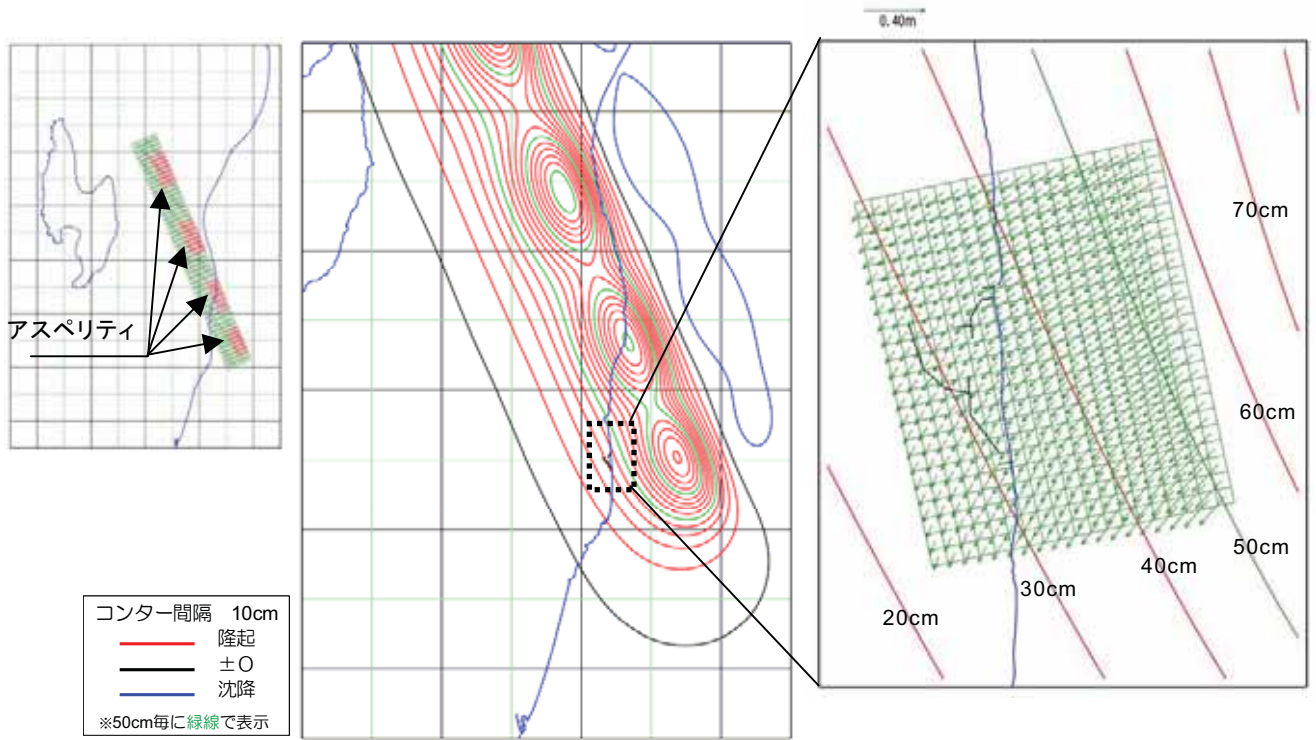
第 12.3.4-1 表 くいちがいの弾性論に基づく解析の検討条件

断層モデル		解析条件						地殻変動評価のための補正 <sup>*2</sup>	
		長さ (km)	傾斜角 (°)	上端深さ (km)	下端深さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	地震モーメント (N・m)	すべり量 (m)
基準地震動策定に用いた断層モデル	F-B断層	36	35	6	17	20.0	アスペリティ1: 2.49 アスペリティ2: 2.30 アスペリティ3: 1.95 背景領域: 0.38	-	-
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	91	50	6	17	15.0	アスペリティ: 4.87 背景領域: 1.52	-	-
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	91	35	6	17	20.0	アスペリティ: 6.49 背景領域: 2.17	-	-
断層上端を地表付近に設定した断層モデル <sup>*1</sup>	F-B断層	36	35	0.1	17	29.5	1.0	$1.7 \times 10^{19}$	0.51
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	91	50	0.1	17	22.1	1.0	$1.0 \times 10^{20}$	1.6
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	91	35	0.1	17	29.5	1.0	$1.8 \times 10^{20}$	2.2
新潟県中越沖地震 国土地理院拡張モデル		国土地理院モデルの1.33倍	国土地理院モデルと同様	国土地理院モデルの1.33倍				-	-

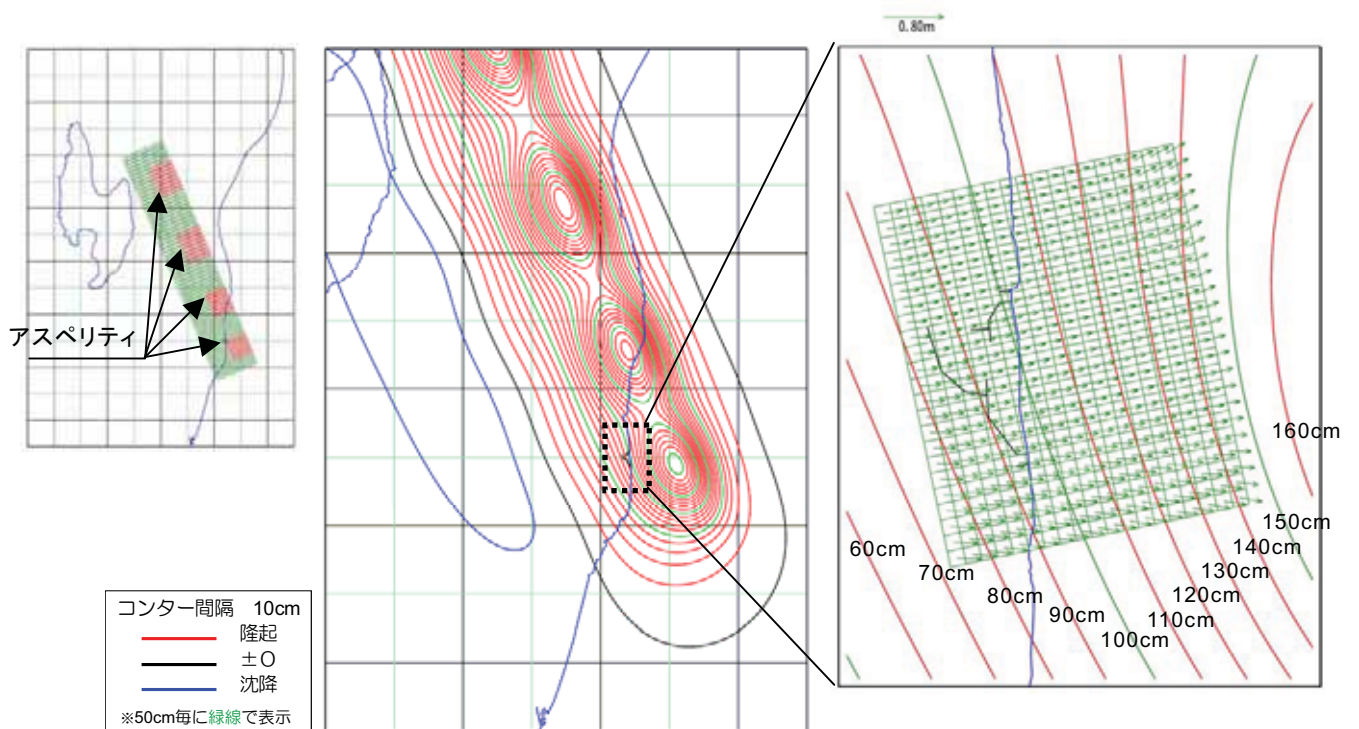
\*1: 基準地震動策定に用いた断層モデルを対象とし、地質調査結果等を踏まえて、上端深さ及びすべり量を設定したモデル。  
 \*2: 「断層上端を地表付近に設定したモデル」による地盤変動量の評価においては、「基準地震動策定に用いた断層モデル」の地震モーメント(Mo)と同じになるように算定したすべり量を用いた結果を使用。



第 12.4-1 図(1) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (F-B 断層, 基準地震動策定に用いた断層モデル)

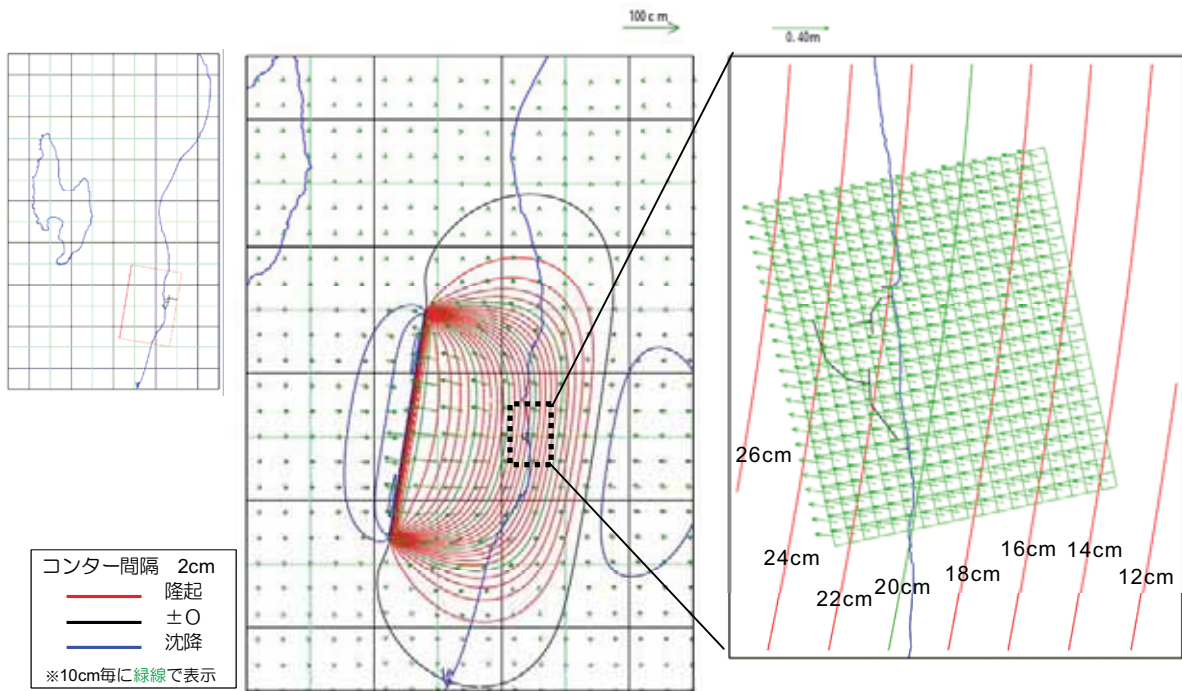


第 12.4-1 図(2) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量  
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 50 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)



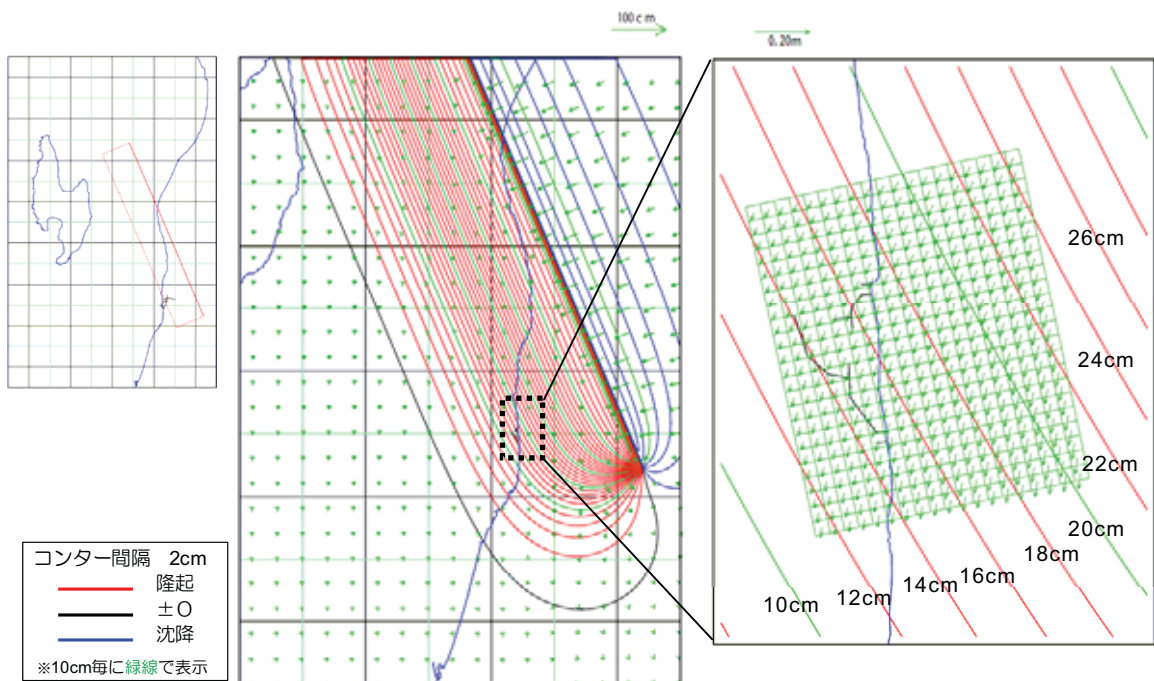
第 12.4-1 図(3) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量  
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)





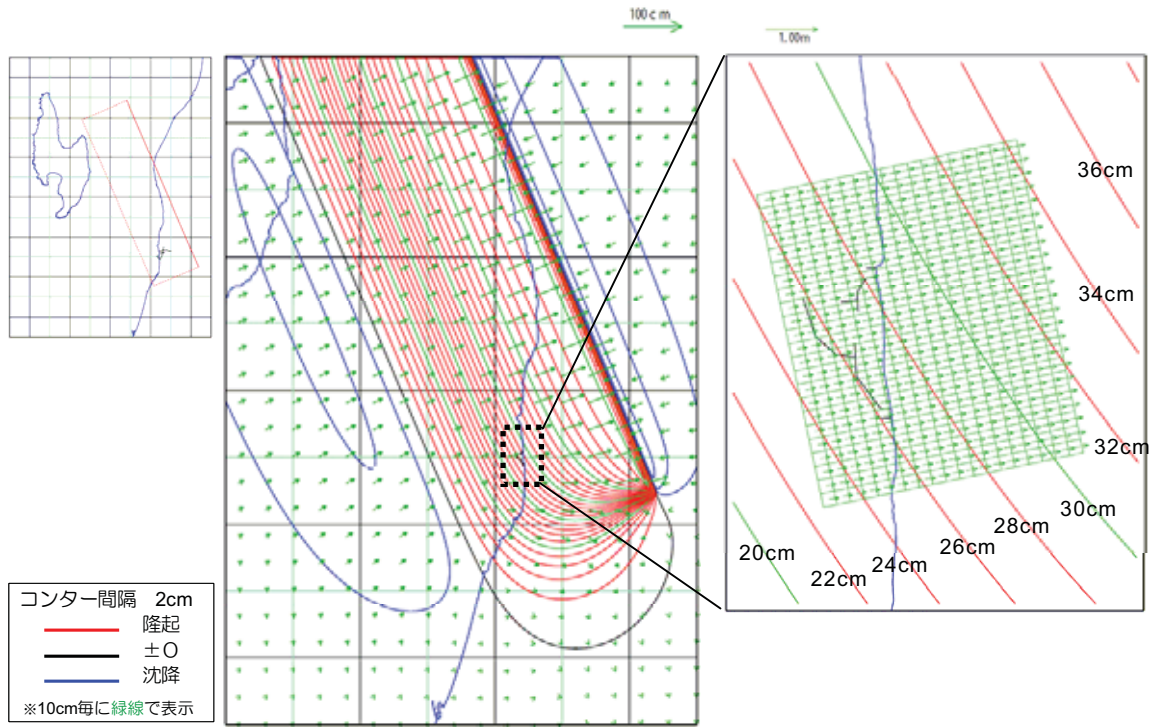
注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント( $M_0$ )と同じになるようすべり量を 0.51 倍している。

第 12.4-1 図(4) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (F-B 断層, 断層上端を地表付近に設定した断層モデル)



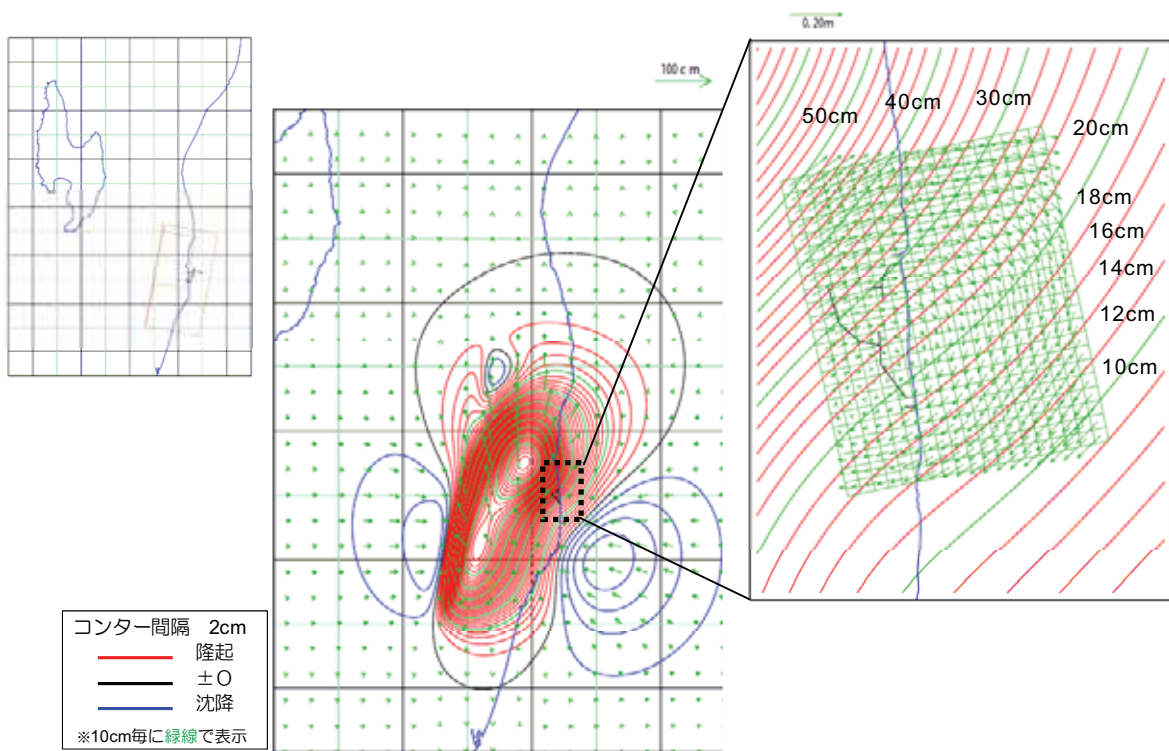
注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント( $M_0$ )と同じになるようすべり量を 1.6 倍している。

第 12.4-1 図(5) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (長岡平野西縁断層帯: 傾斜 50 度, 断層上端を地表付近に設定した断層モデル)

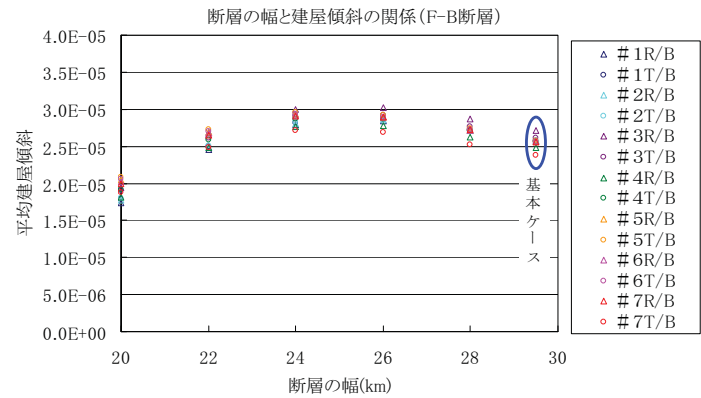
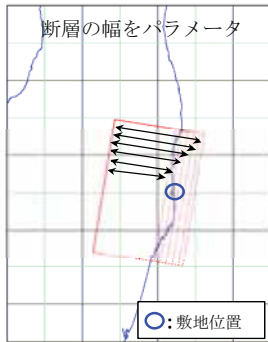
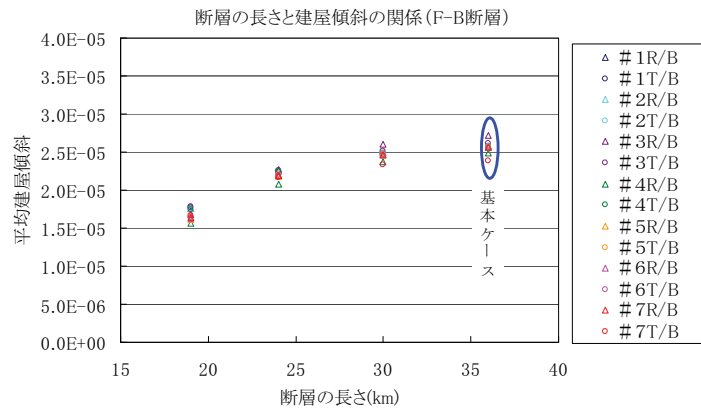
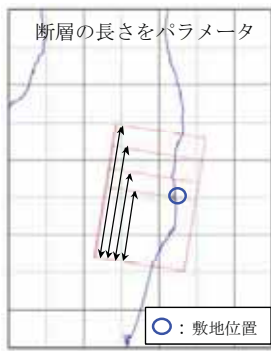


注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント ( $M_0$ )と同じになるようすべり量を 2.2 倍している。

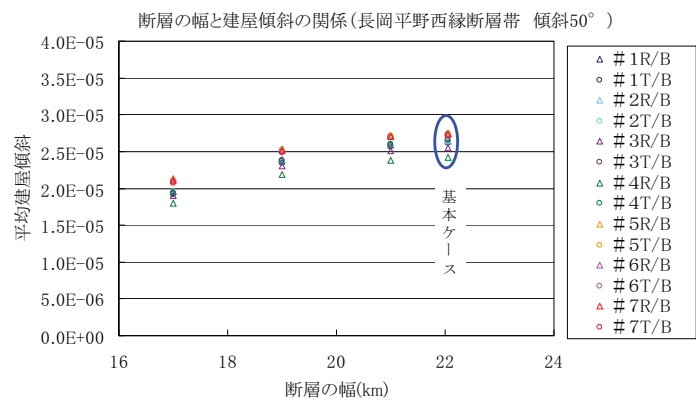
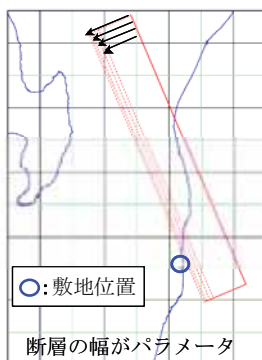
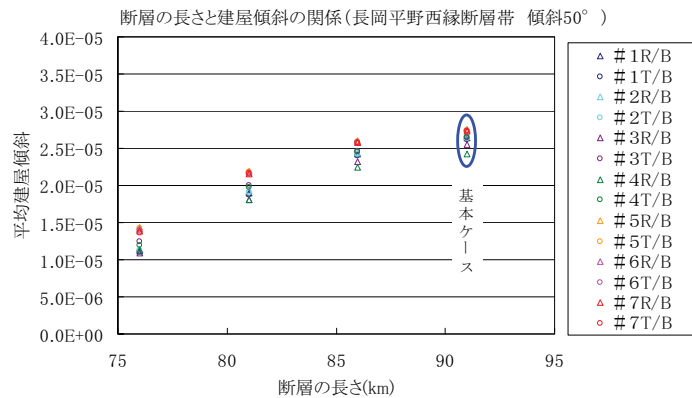
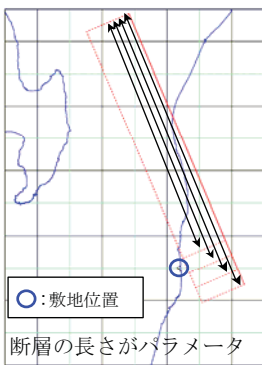
第 12.4-1 図(6) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，断層上端を地表付近に設定した断層モデル)



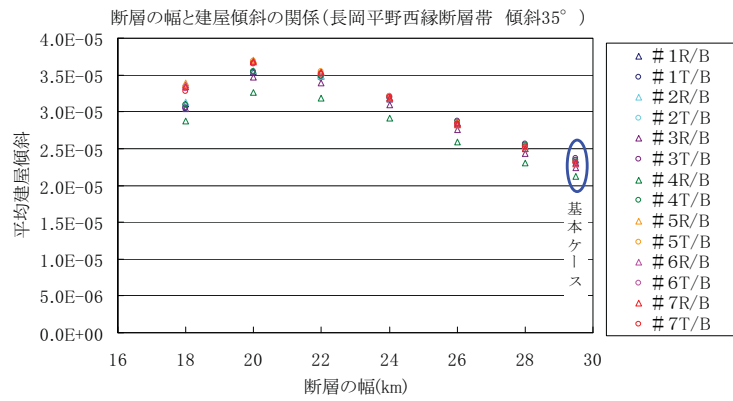
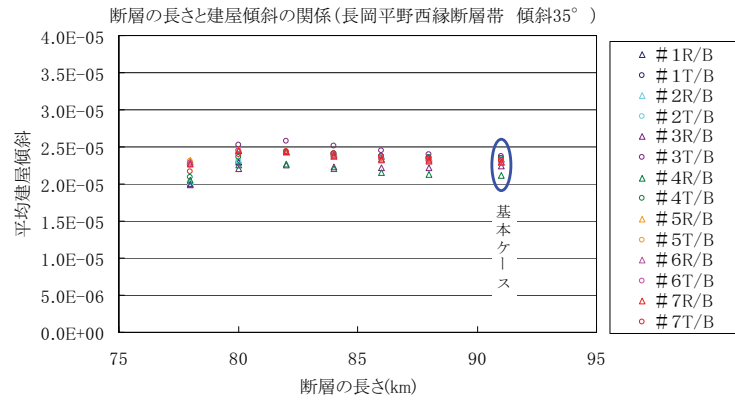
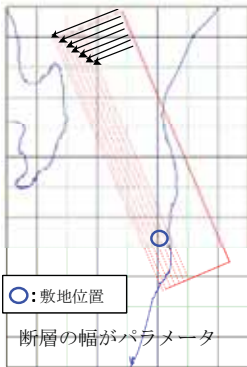
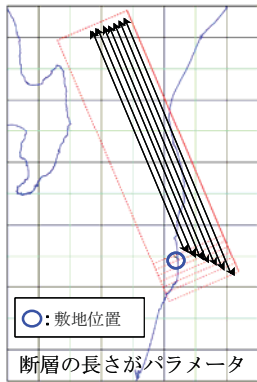
第 12.4-1 図(7) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル)



第 12.4-2 図(1) 断層長さまたは幅の敷地内傾斜への影響 (F-B断層)



第 12.4-2 図(2) 断層長さまたは幅の敷地内傾斜への影響  
(長岡平野西縁断層帯 傾斜 50°)



第 12.4-2 図(3) 断層長さまたは幅の敷地内傾斜への影響  
(長岡平野西縁断層帯 傾斜 35°)



第 12.4-1 表 建屋傾斜検討結果

対象建屋	基準地震動策定に用いた断層モデル			断層上端を地表付近に設定した断層モデル			断層長さ及び幅の影響を考慮した断層モデル*		新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル
	F-B断層	長岡(傾斜50度)	長岡(傾斜35度)	F-B断層	長岡(傾斜50度)	長岡(傾斜35度)	F-B断層	長岡(傾斜35度)	
1号機	原子炉建屋	1/3600	1/3400	1/2500	1/3700	1/3600	1/3800	1/3400	1/3200
	タービン建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/3000	1/2900	1/3200	1/2700	1/3100
2号機	原子炉建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/3000	1/2900	1/3300	1/2700	1/2900
	タービン建屋	1/2800	1/2600	1/2100	1/2800	1/2800	1/3100	1/2600	1/2900
3号機	原子炉建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/2900	1/2900	1/3200	1/2700	1/3000
	タービン建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2700	1/2600	1/2900	1/2400	1/2700
4号機	原子炉建屋	1/3000	1/2900	1/2300	1/3100	1/3100	1/3300	1/2800	1/3200
	タービン建屋	1/2500	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2800	1/2400	1/2700
5号機	原子炉建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2900	1/2400	1/2600
	タービン建屋	1/2000	1/1900	1/1600	1/2000	1/2000	1/2200	1/1900	1/2000
6号機	原子炉建屋	1/1900	1/1800	1/1500	1/1900	1/1900	1/2000	1/1800	1/1900
	タービン建屋	1/3100	1/2900	1/2300	1/3200	1/3100	1/3500	1/2800	1/3100
6, 7号機コントロール建屋	1/1400	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1500	1/1400
7号機	原子炉建屋	1/2000	1/1900	1/1600	1/2000	1/2000	1/2100	1/1900	1/2000
	タービン建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2900	1/2400	1/2700

：各建屋における最大傾斜

\*) 「断層上端を地表付近に設定した断層モデル」を対象に、敷地内傾斜が最大となる断層長さ及び幅を変更した断層モデル

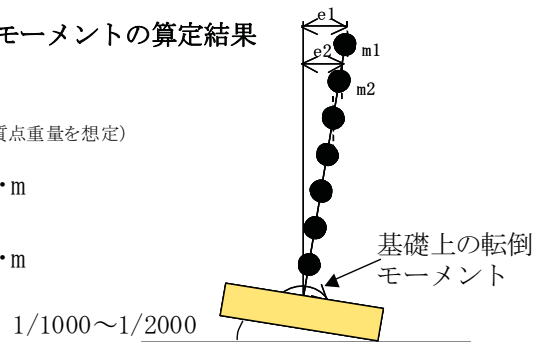
1. 傾斜によって生じる基礎上 (T.M.S.L. -8.2m) の転倒モーメントの算定結果

基礎上の転倒モーメント =  $\sum m_i \times e_i$

( $m_i$ は、中越沖地震時の建屋質点重量を想定)

①基礎傾斜1/1,000の場合 :  $3.54 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}$

②基礎傾斜1/2,000の場合 :  $1.77 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}$



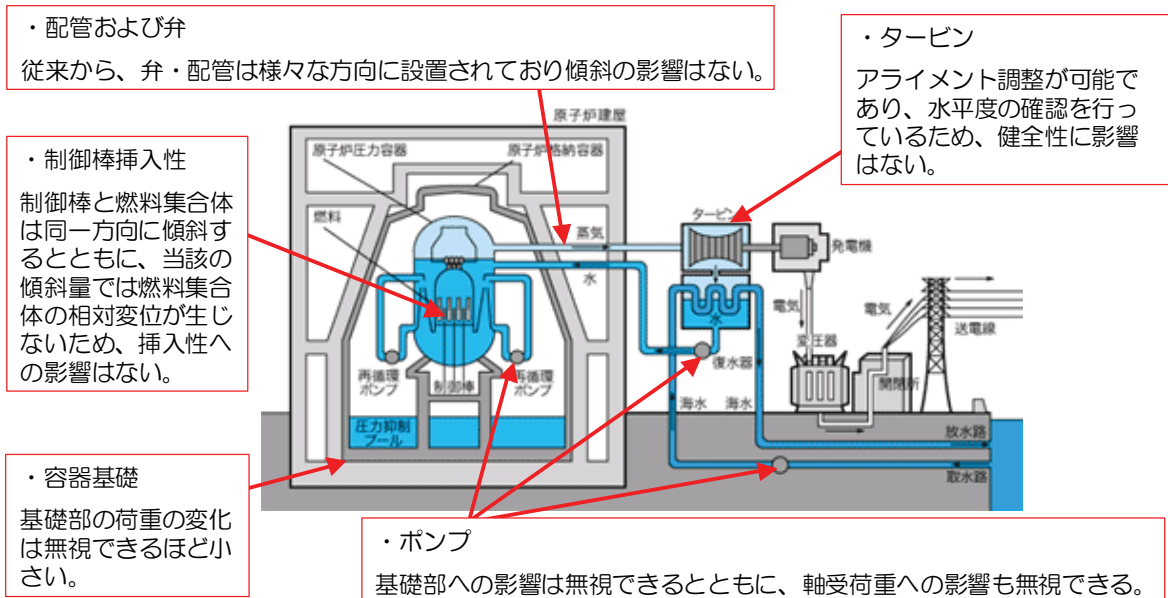
2. 設計時に想定した基礎上 (T.M.S.L. -8.2m) における曲げモーメント (EW方向) \*

(\* 工認図書記載の数値を S I 単位系に変換)

・静的地震力 (3Ci) :  $1.47 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 → (基礎傾斜1/1,000の場合の割合は約0.24%)

・設計用地震力 :  $1.82 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 → (基礎傾斜1/1,000の場合の割合は約0.20%)

第 12.4-3 図 7号機原子炉建屋の傾斜による建屋影響検討



建屋傾斜の目安値 (1/1000 ~ 1/2000 : 建築基礎構造設計指針) の範囲では、荷重の変化等は0.1%程度あり、当該目安値で管理することにより機器・配管系の健全性は確保できる

(運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ設備健全性評価 SWG (第6回) 資料, H20.3.7)

第 12.4-4 図 建屋傾斜による機器への影響について

### 13. まとめ

### 13. まとめ

各種調査・評価結果を踏まえ、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」および「震源を特定せず策定する地震動」を考慮して、基準地震動  $S_s$  を策定した。

この基準地震動  $S_s$  を用いて評価した結果、これまでに評価が完了した柏崎刈羽原子力発電所 6 号機の耐震 S クラス施設の耐震安全性が確保されていること、および原子炉建屋等主要建屋基礎地盤が十分な支持性能を持つことを確認した。

また、地震随伴事象についても、原子炉施設の安全性に問題としないことを確認した。

以 上