

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	8-11
8.2.3. 評価基準	8-16
8.2.4. 評価結果	8-17
8.3. 軸方向に対する検討	8-19
8.3.1. 検討方針	8-19
8.3.2. 応力度に関する検討	8-21
8.3.3. ブロック間相対変位に関する検討	8-26
8.4. 設置地盤の支持性能に対する検討	8-27
8.4.1. 検討方針	8-27
8.4.2. 検討手法	8-27
8.4.3. 検討結果	8-27

8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

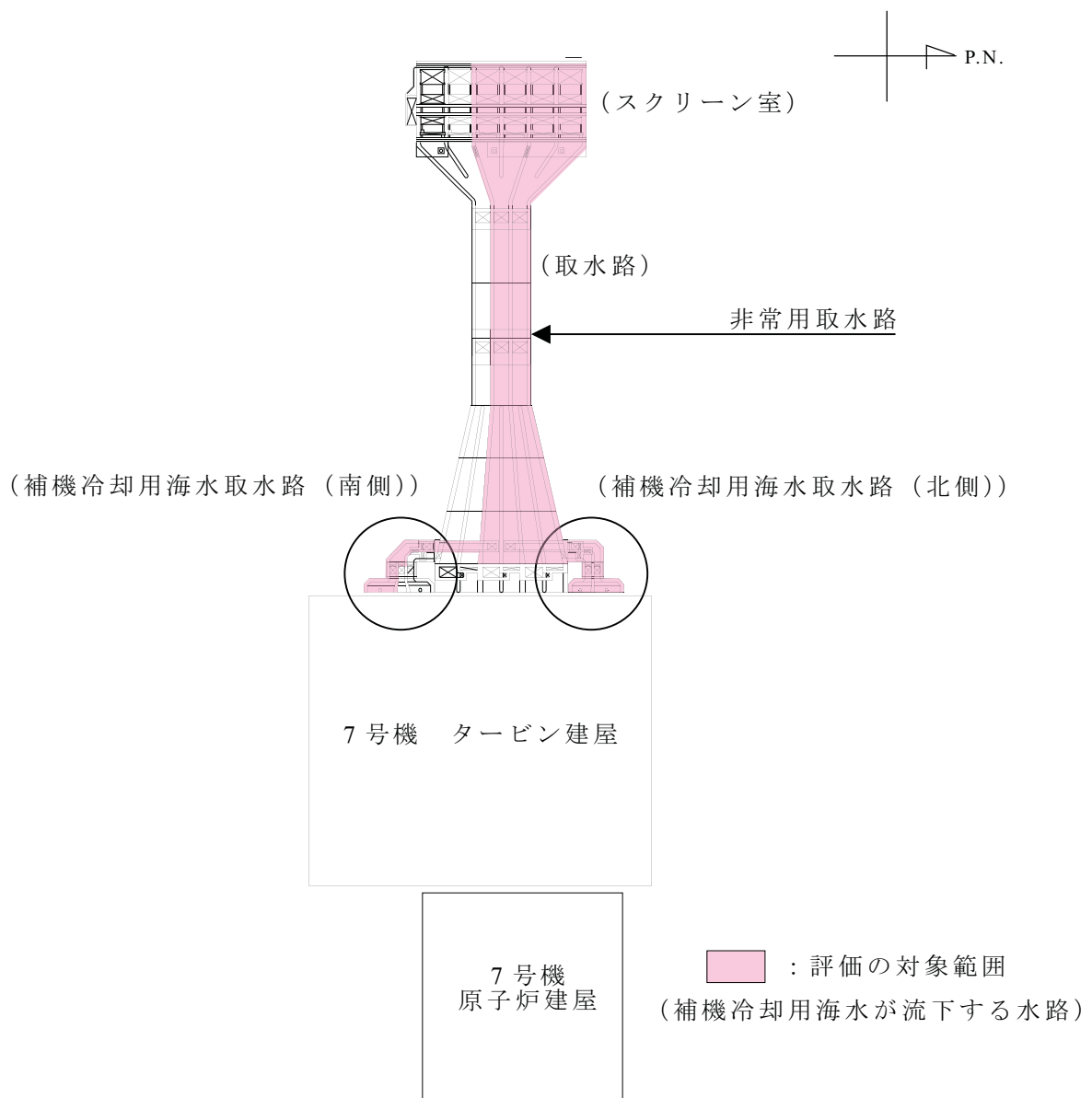
8.1. 評価方針

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。

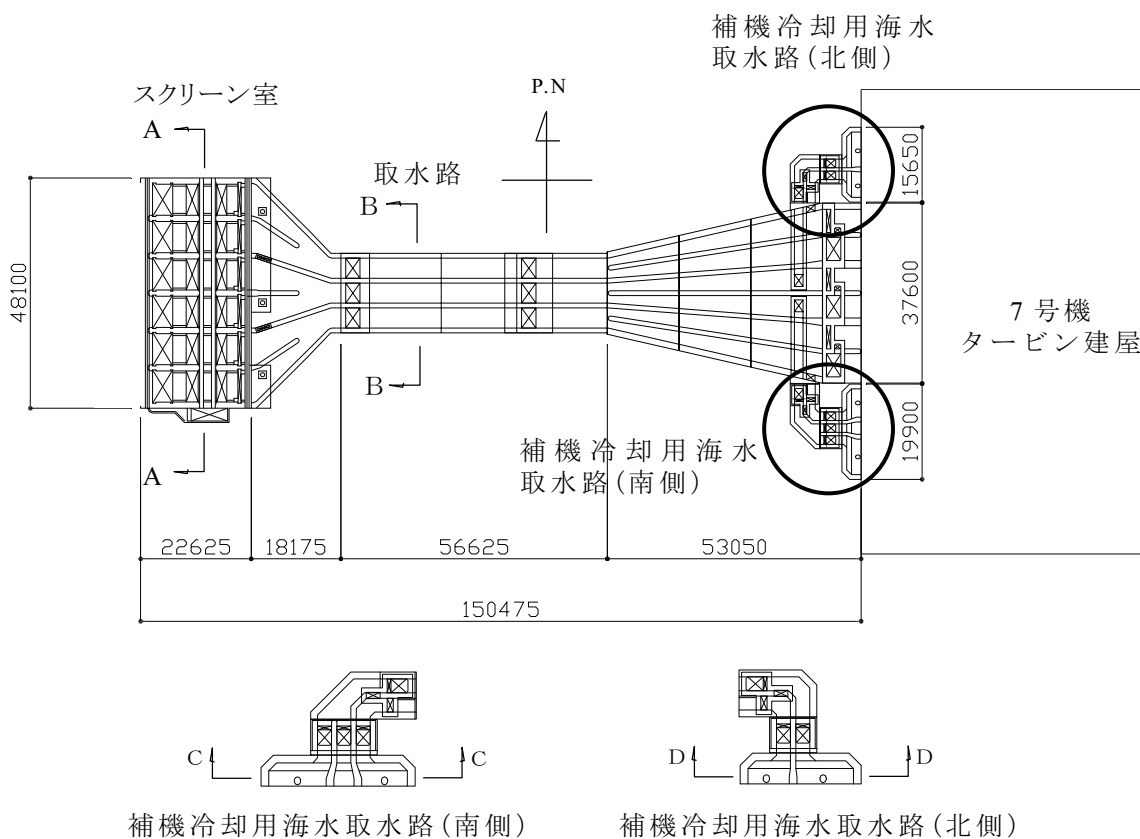


第 8.1.1-1 図 屋外重要土木構造物の配置図

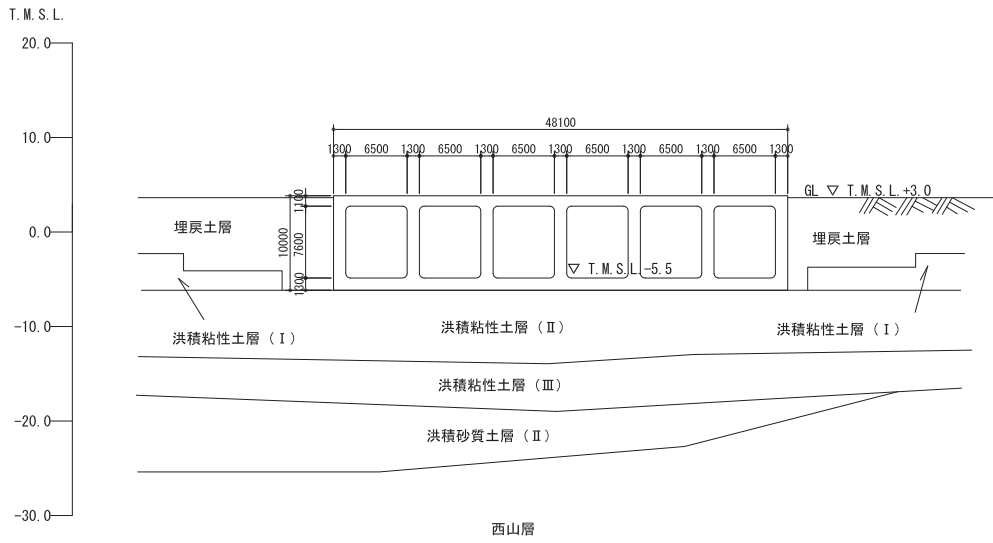
8.1.2. 設備概要

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。

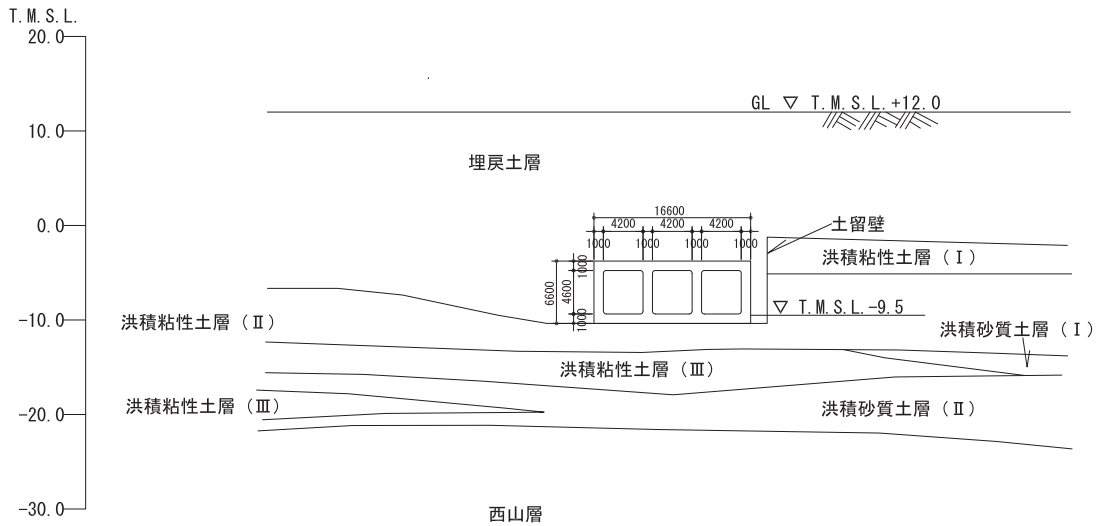
非常用取水路の平面図を第 8.1.2-1 図に、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）の各断面図を第 8.1.2-2 図～第 8.1.2-5 図に示す。



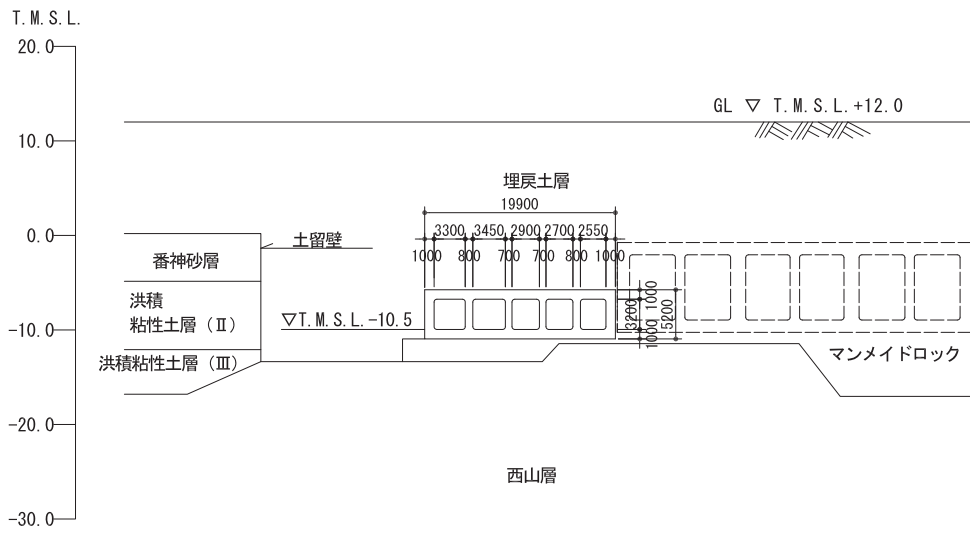
第 8.1.2-1 図 非常用取水路平面図



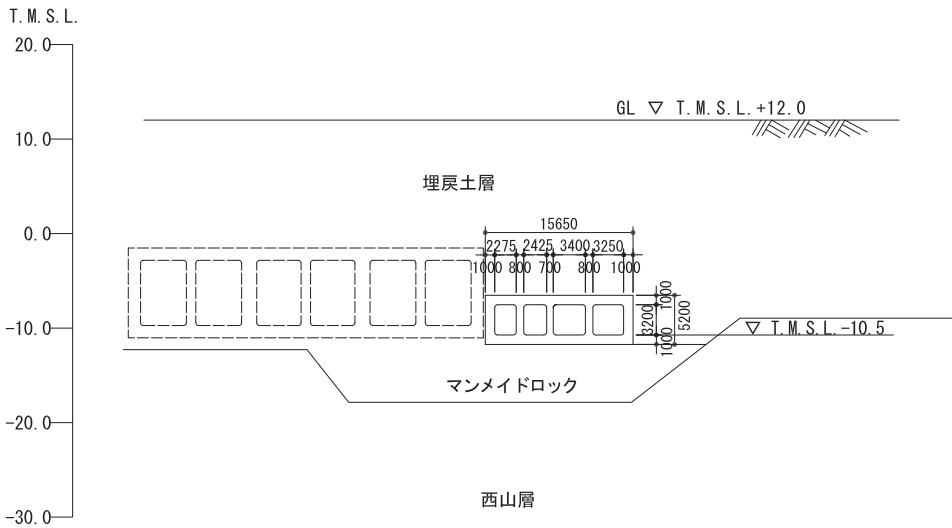
第 8.1.2-2 図 スクリーン室断面図 (A-A 断面)



第 8.1.2-3 図 取水路断面図 (B-B 断面)



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）



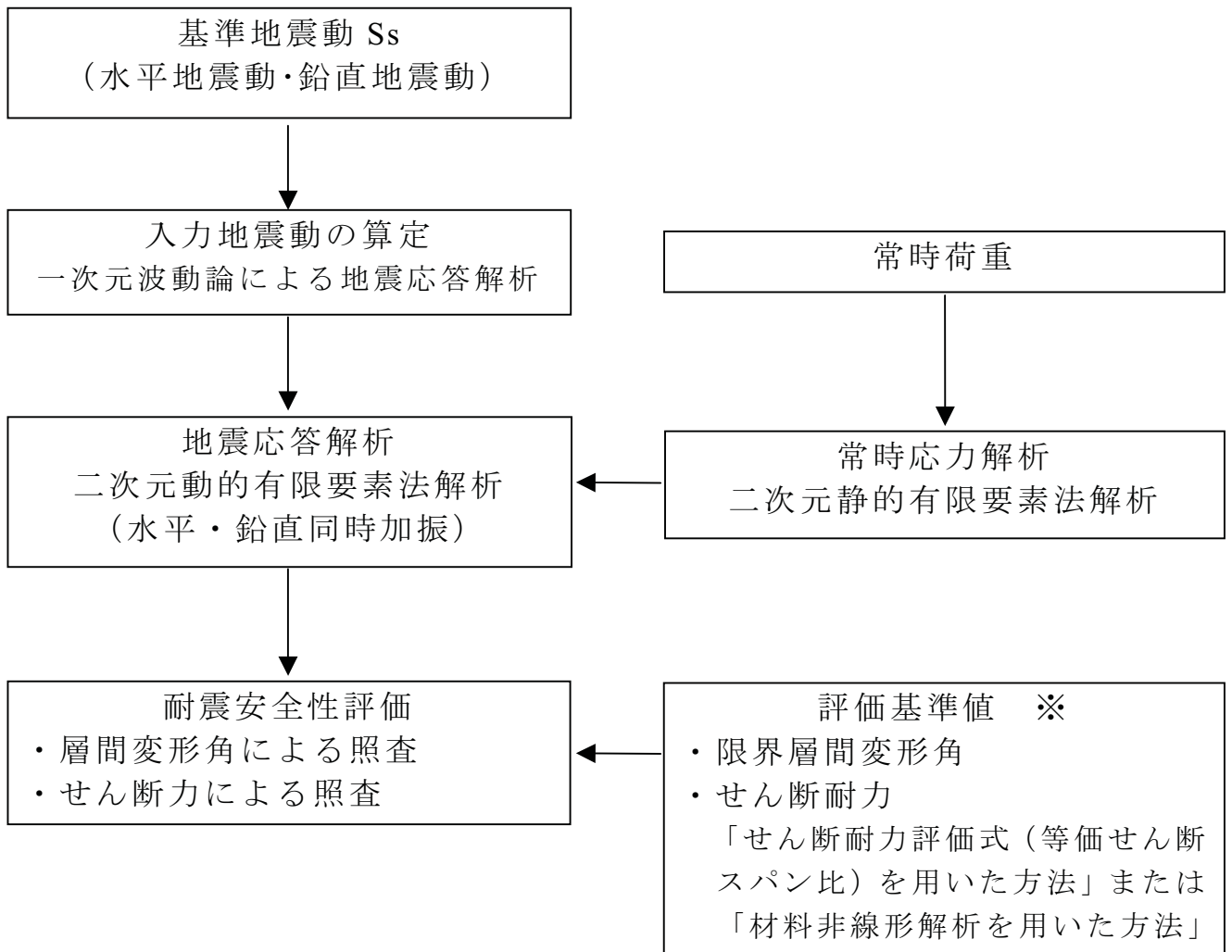
第 8.1.2-5 図 補機冷却用海水取水路（北側）断面図（D－D断面）

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 23.5N/mm^2 (240kg/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(kN/m^3)	ヤング係数(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

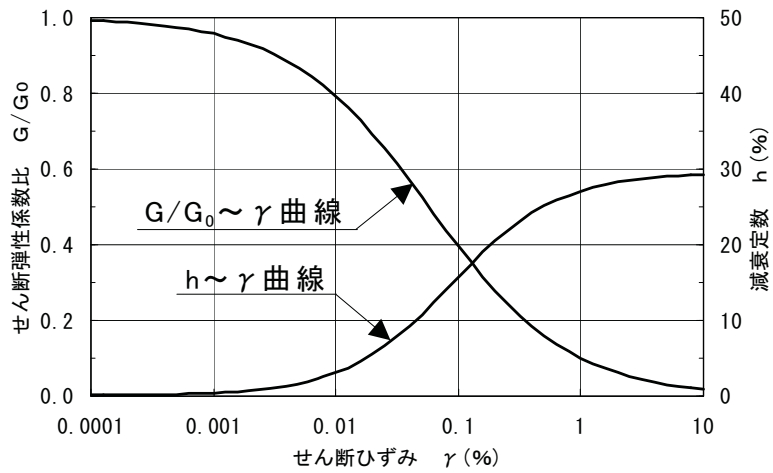
地層区分		単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 $G_0(\text{kN/m}^2)$	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
埋戻土層		19.6 (18.6) ^{*1)}	0.41	^{*2)}	第 8.2.1-2 図①による
洪積粘性土層(Ⅰ)		17.8	0.49	9.63×10^4	第 8.2.1-2 図②による
洪積粘性土層(Ⅱ)		17.7	0.49	1.13×10^5	第 8.2.1-2 図③による
洪積粘性土層(Ⅲ)		18.2	0.48	1.56×10^5	
洪積砂質土層(Ⅰ)		18.6	0.48	1.83×10^5	第 8.2.1-2 図④による
洪積砂質土層(Ⅱ)		18.6	0.48	2.07×10^5	
番神砂層		18.0	0.43	1.83×10^5	第 8.2.1-2 図⑤による
西山層	西山層上限面～ T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	4.15×10^5	第 8.2.1-2 図⑥による
	～T.M.S.L.-90.0m	16.6	0.45	4.75×10^5	
	～T.M.S.L.-136.0m	17.3	0.43	6.13×10^5	
	～T.M.S.L.-155.0m	19.3	0.42	8.32×10^5	
基盤		19.9	0.42	1.05×10^6	—

*1) () は湿潤単位体積重量

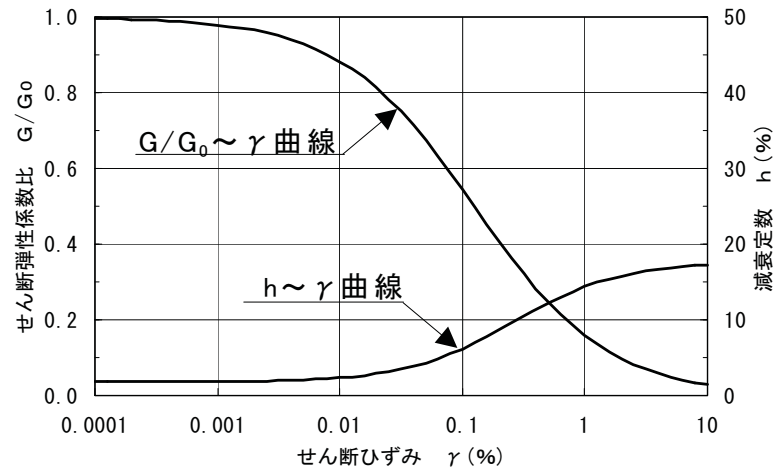
*2) $G_0 = 1980 \times \sigma_v^{0.667}$ (kN/m²) , σ_v : 有効上載圧 (kN/m²) , G_0 の下限値
 2.75×10^4 (kN/m²)

第 8.2.1-4 表 マンメイドロックの物性値

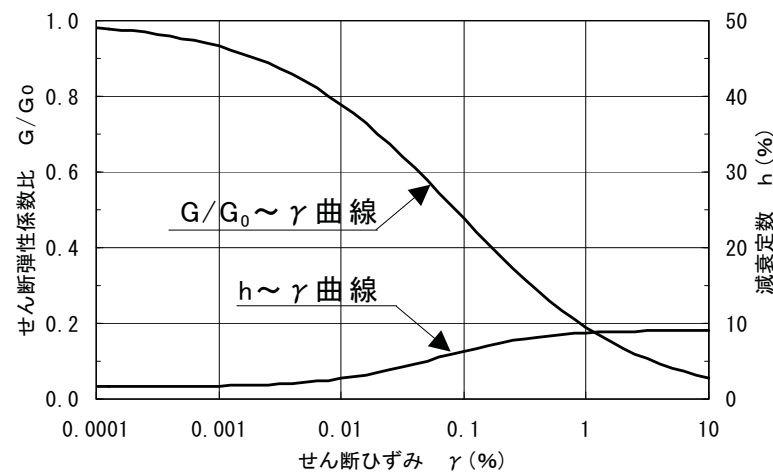
	単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 $G_0(\text{kN/m}^2)$	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
マンメイドロック	17.2	0.36	1.90×10^6	第 8.2.1-3 図による



① 埋戻土層

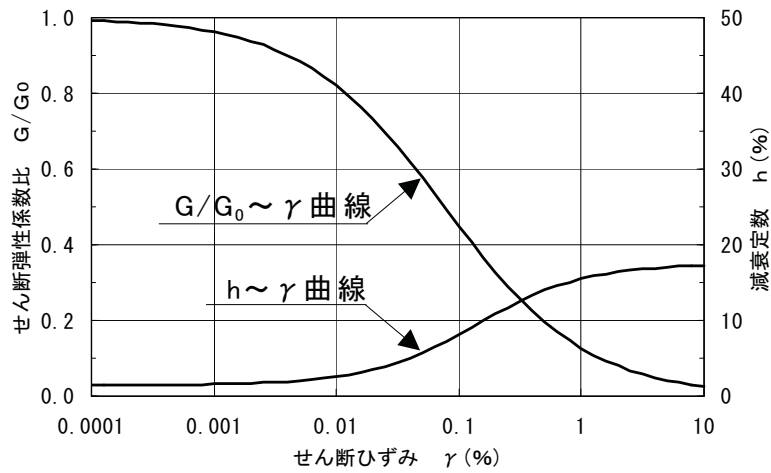


② 洪積粘性土層 (I)

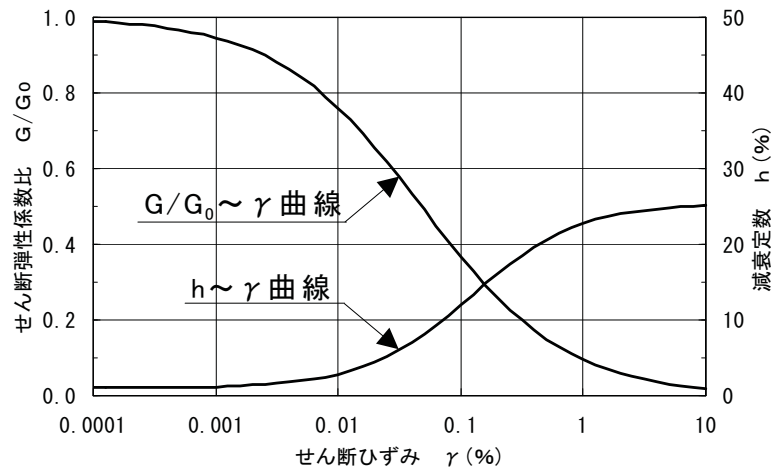


③ 洪積粘性土層 (II), (III)

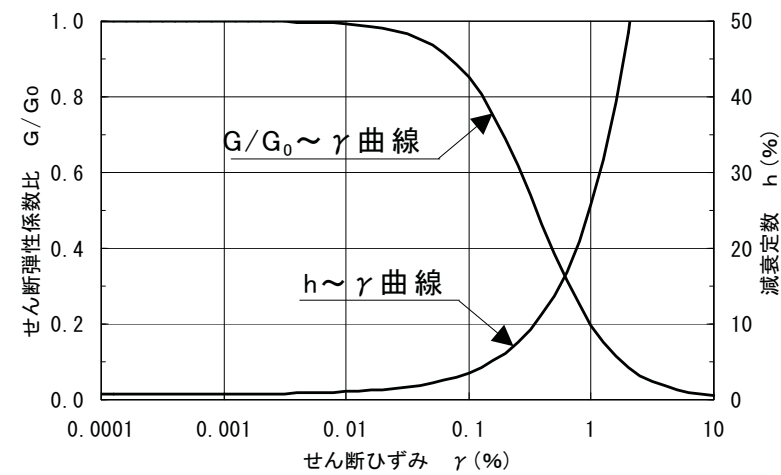
第 8.2.1-2 図(1) 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性



④ 洪積砂質土層 (I), (II)

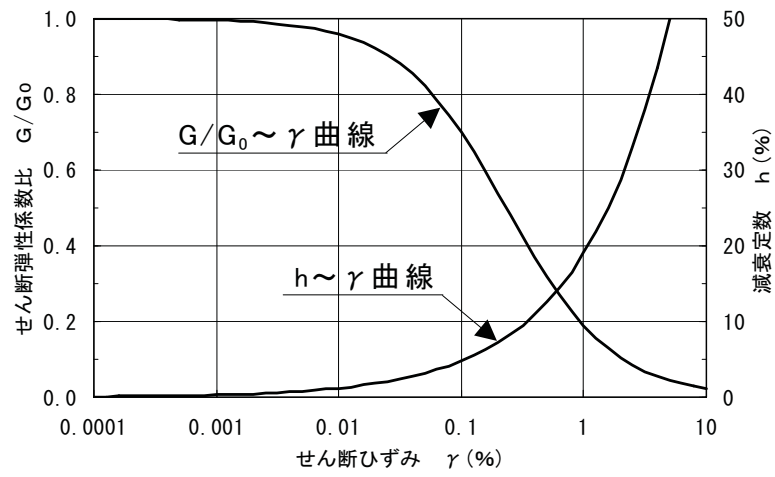


⑤ 番神砂層



⑥ 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 マンマイト[®]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

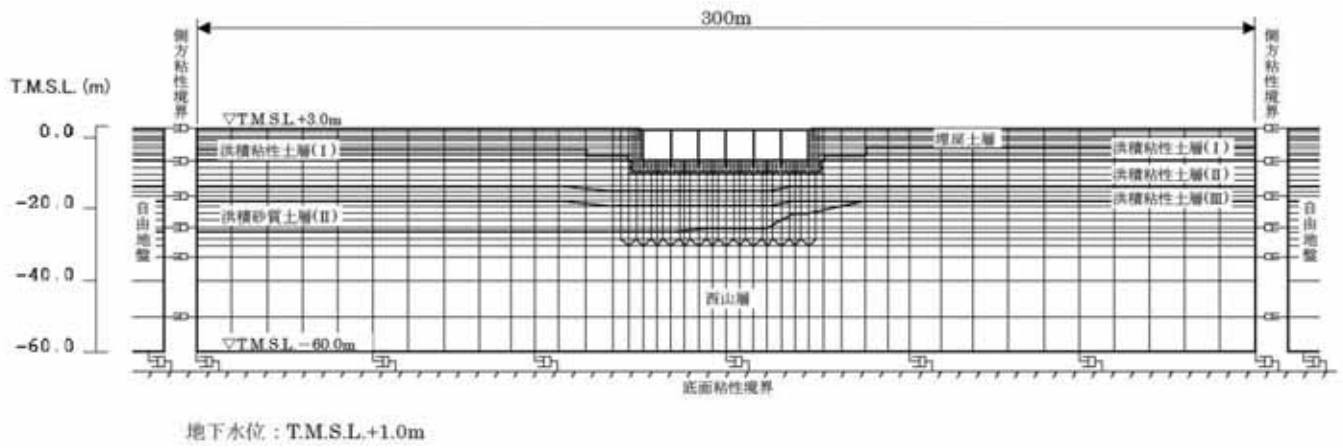
8.2.2.1. 解析手法

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。

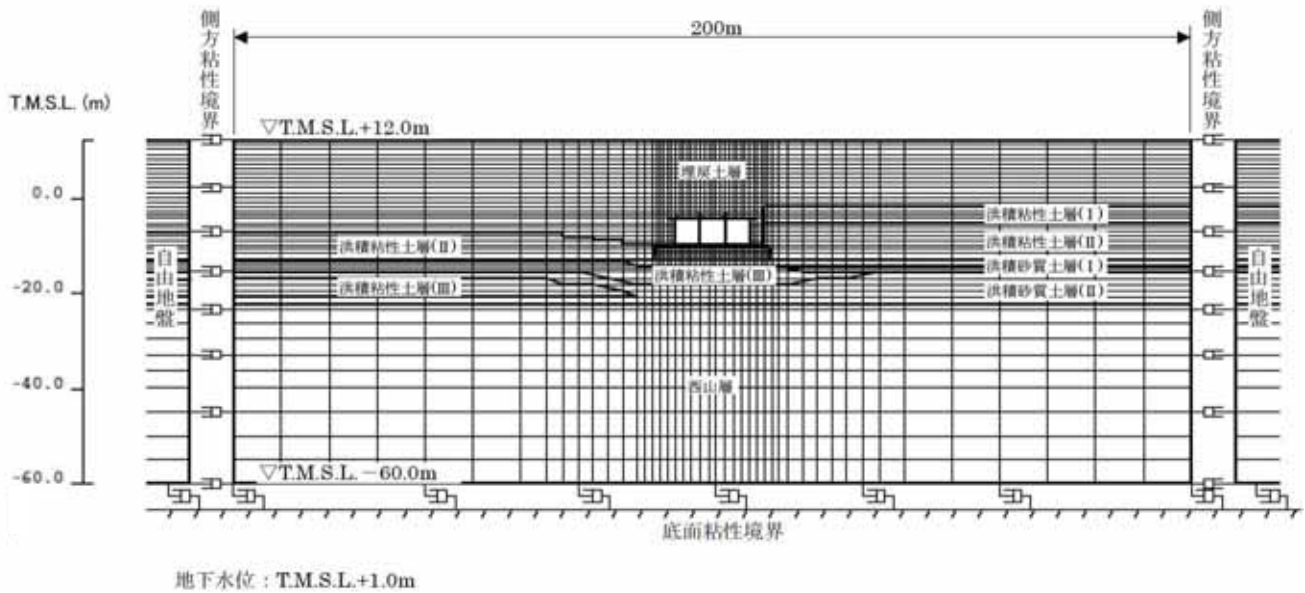
8.2.2.2. 解析モデル

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。

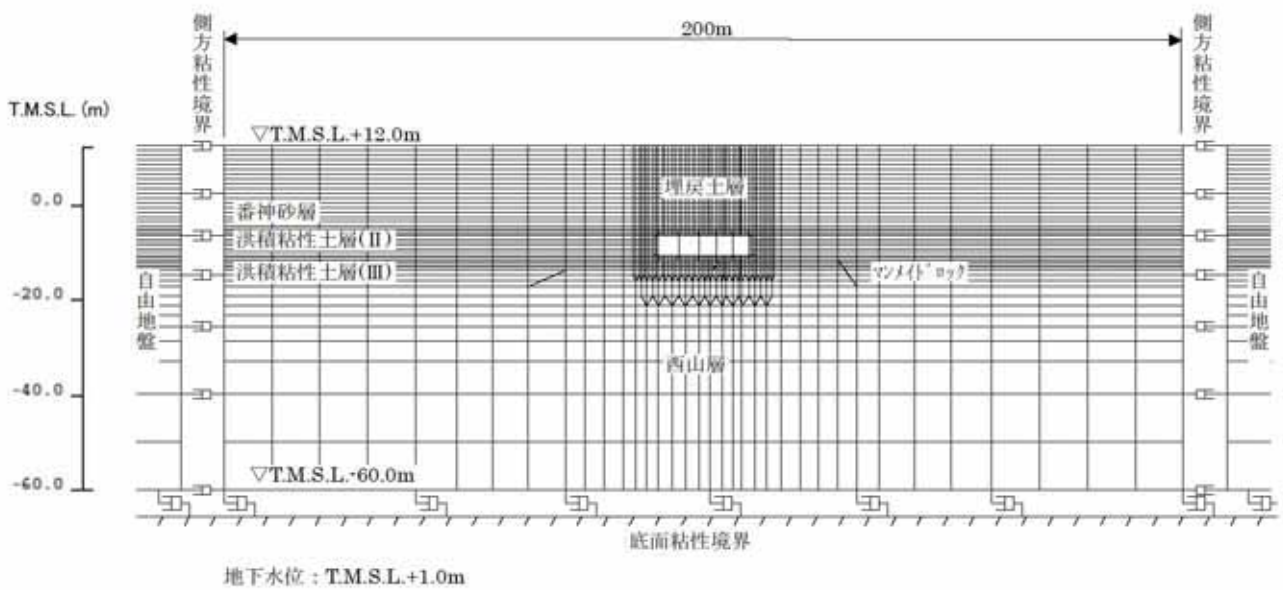
スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデルを第 8.2.2-1 図～第 8.2.2-4 図に示す。



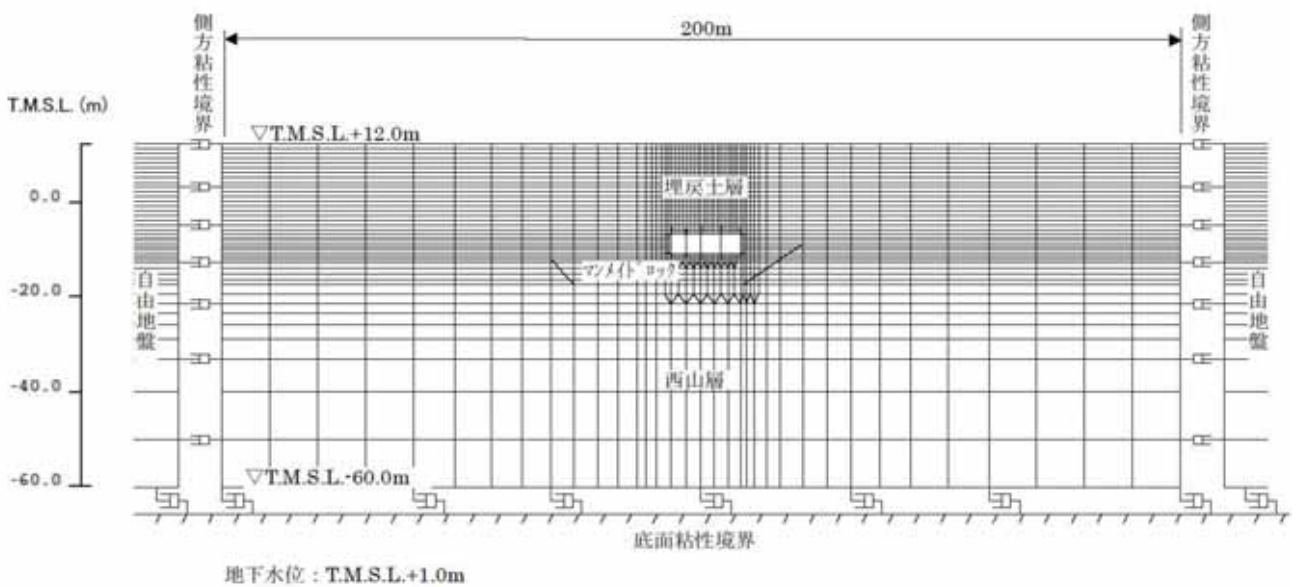
第 8.2.2-1 図 スクリーン室地震応答解析モデル



第 8.2.2-2 図 取水路地震応答解析モデル



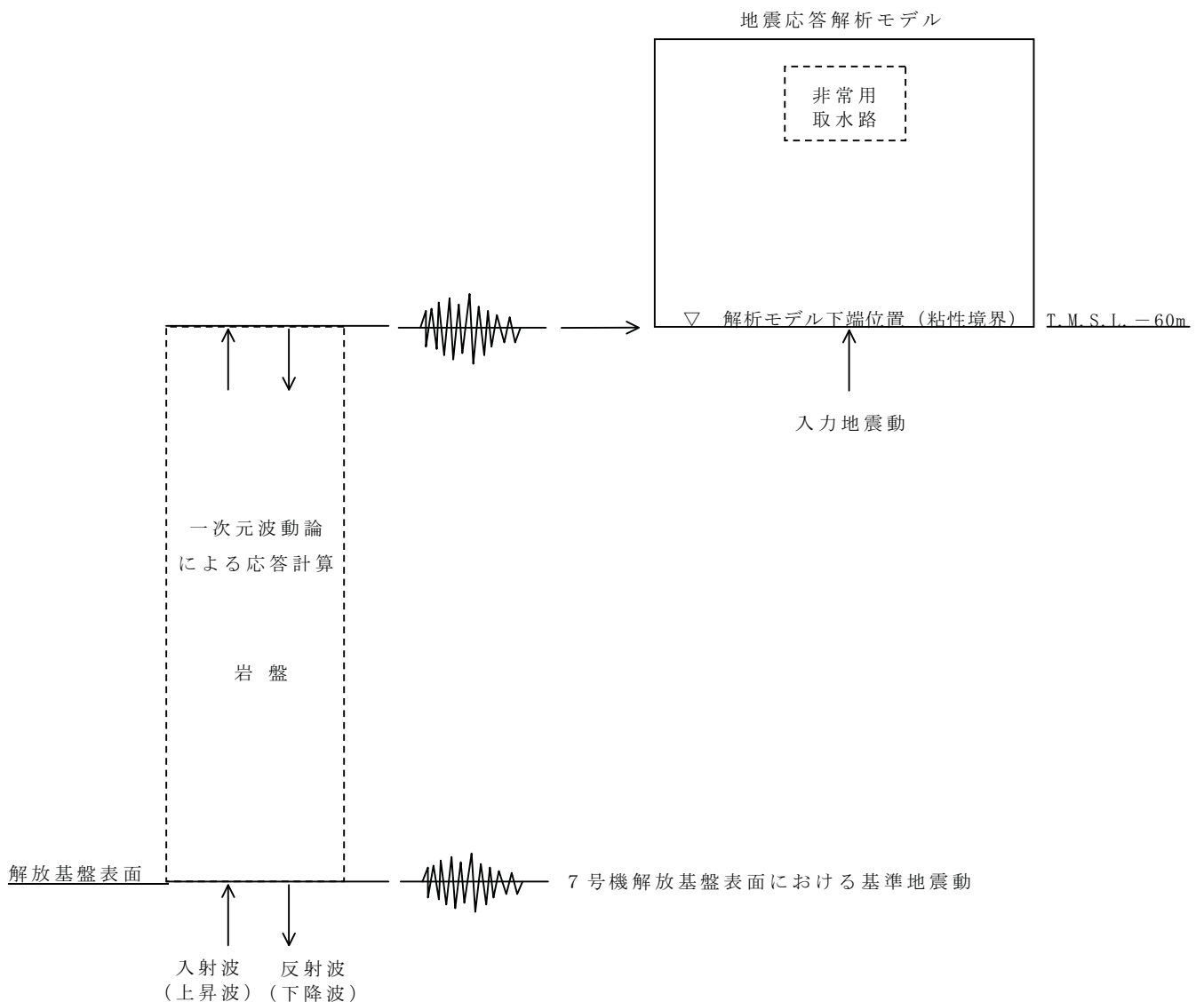
第 8.2.2-3 図 補機冷却用海水取水路（南側）地震応答解析モデル



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。

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	25.2	6.23	24.0	6.57	9.7	5.71	12.4	6.52
Ss-2	10.4	21.87	11.3	21.01	5.3	22.92	4.8	22.42
Ss-3	17.8	17.56	31.9	37.43	15.3	37.37	15.6	37.39
Ss-4	7.9	51.92	9.0	51.71	3.9	51.66	3.9	51.65
Ss-5	4.8	51.91	9.5	46.61	3.5	46.54	3.4	46.55

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。

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 を評価基準値とする。

せん断耐力は、「耐震性能照査指針」のせん断耐力評価法のうち「せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法」，または「材料非線形解析を用いた方法」により算定した値を評価基準値とする。

8.2.4. 評価結果

8.2.4.1. 層間変形角による照査結果

層間変形角による照査の結果, 評価位置において照査用層間変形角が限界層間変形角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	照査用層間 変形角 R_d	限界層間 変形角 R_u	R_d/R_u
スクリーン室	頂版 ～底版	0.344/100	1/100	0.34
取水路	頂版 ～底版	0.684/100	1/100	0.68
補機冷却用海水 取水路 (南側)	頂版 ～底版	0.437/100	1/100	0.44
補機冷却用海水 取水路 (北側)	頂版 ～底版	0.446/100	1/100	0.45

8.2.4.2. せん断力による照査結果

せん断力による照査の結果，評価位置において照査用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	照査用せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	V_d/V_{yd}
スクリーン室	頂版	330	842 ^{*2}	0.39
	底版	647	1150 ^{*1}	0.56
	側壁	898	1292 ^{*1}	0.70
	隔壁	875	2726 ^{*2}	0.32
取水路	頂版	1005	2664 ^{*1}	0.38
	底版	1009	2577 ^{*1}	0.39
	側壁	838	1231 ^{*1}	0.68
	隔壁	1057	2018 ^{*2}	0.52
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版	859	2043 ^{*1}	0.42
	底版	786	2187 ^{*1}	0.36
	側壁	908	1412 ^{*1}	0.64
	隔壁	1037	1580 ^{*2}	0.66
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版	866	1990 ^{*1}	0.44
	底版	1097	2086 ^{*1}	0.53
	側壁	848	1105 ^{*1}	0.77
	隔壁	952	1685 ^{*2}	0.57

* 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

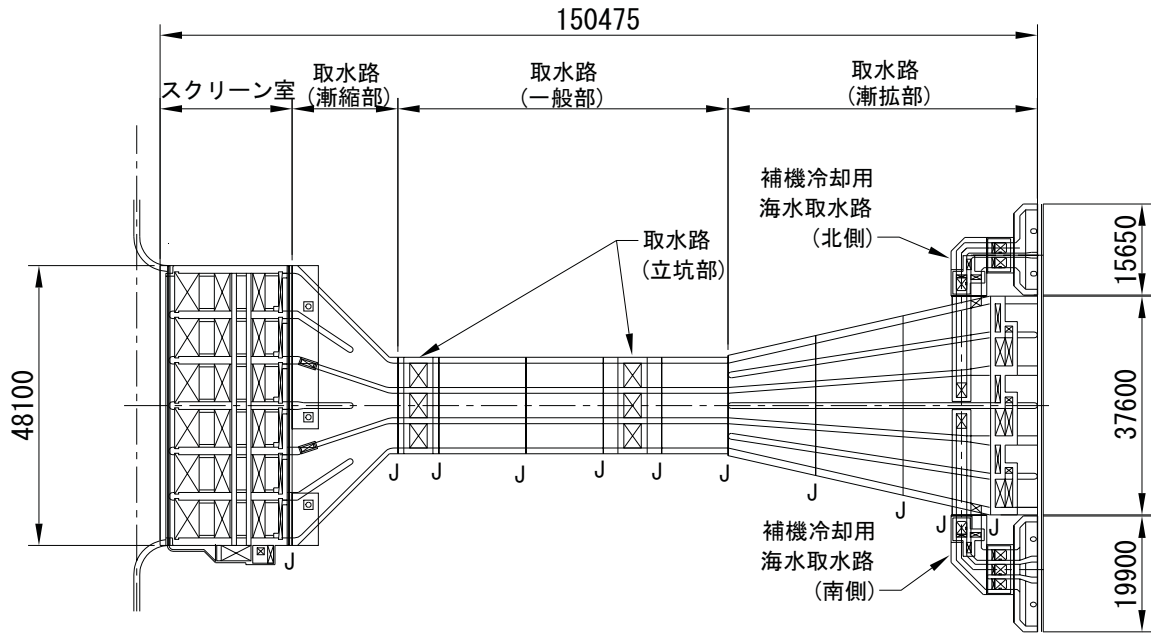
8.3. 軸方向に対する検討

8.3.1. 検討方針

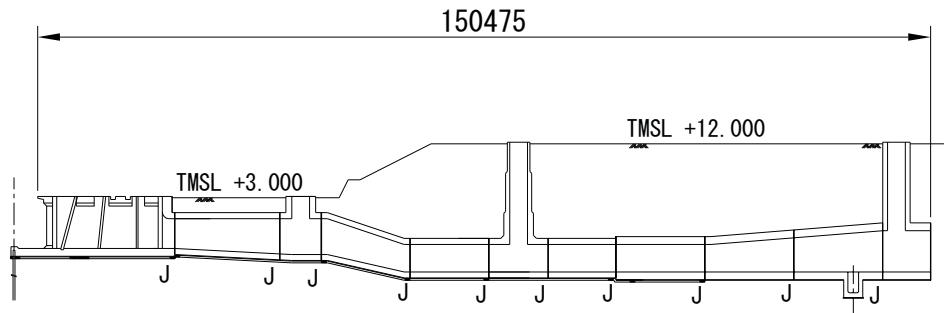
非常用取水路は、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントが設置されており(第 8.3.1-1 図)、取水路軸方向について構造的に問題となるような応力が生じないよう設計されているが、念のため、軸方向の応力度とブロック間相対変位について検討する。

検討方法は、「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書（建物・構築物編）（改訂 1）」（東京電力株式会社，平成 20 年 9 月 25 日）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。

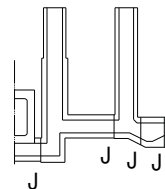
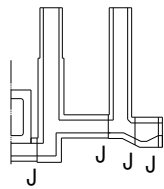


平面図



補機冷却用海水取水路 (北側)

補機冷却用海水取水路 (南側)



J: 耐震ジョイント

縦断面図

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

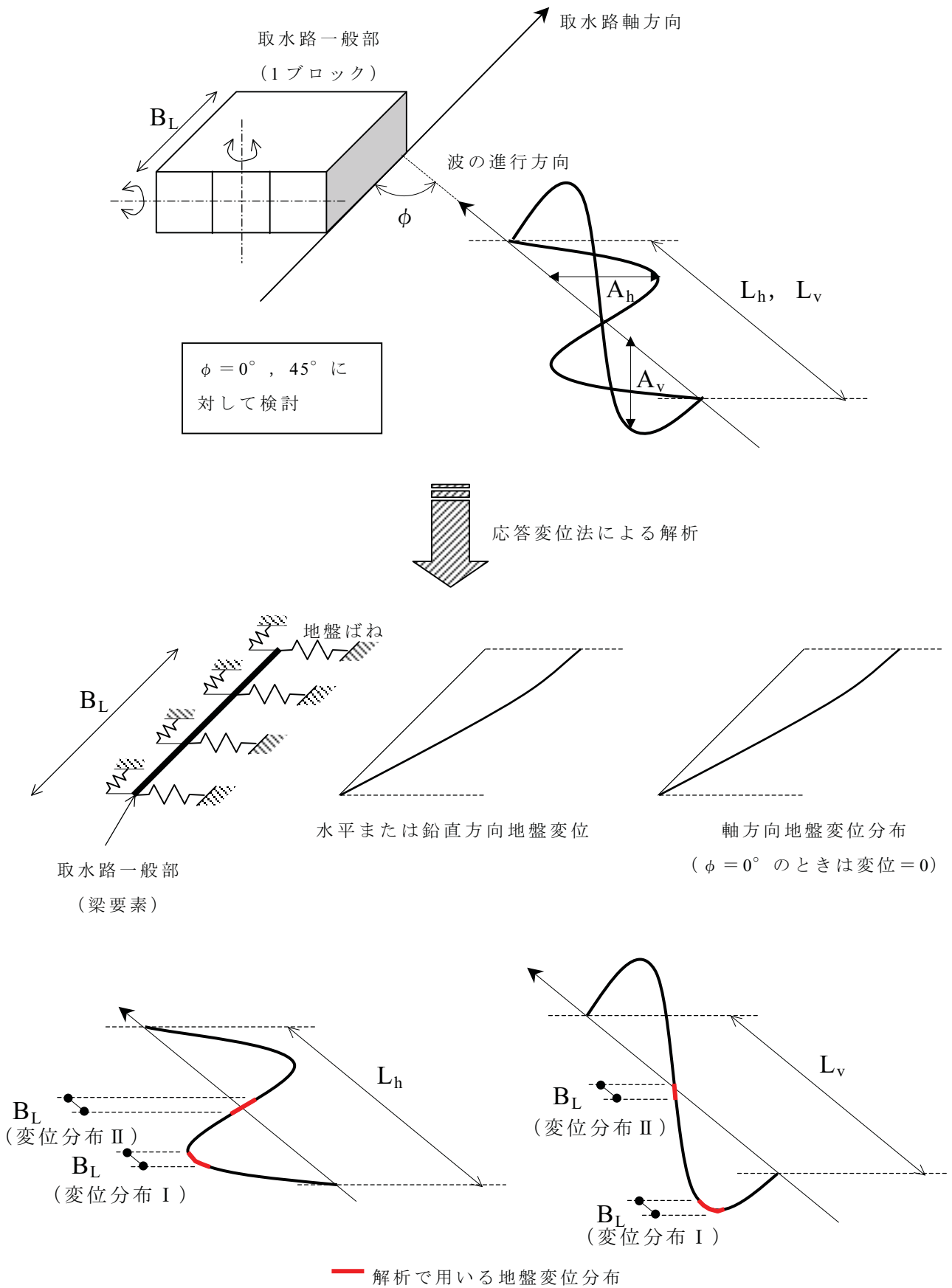
8.3.2.1. 検討手法

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。

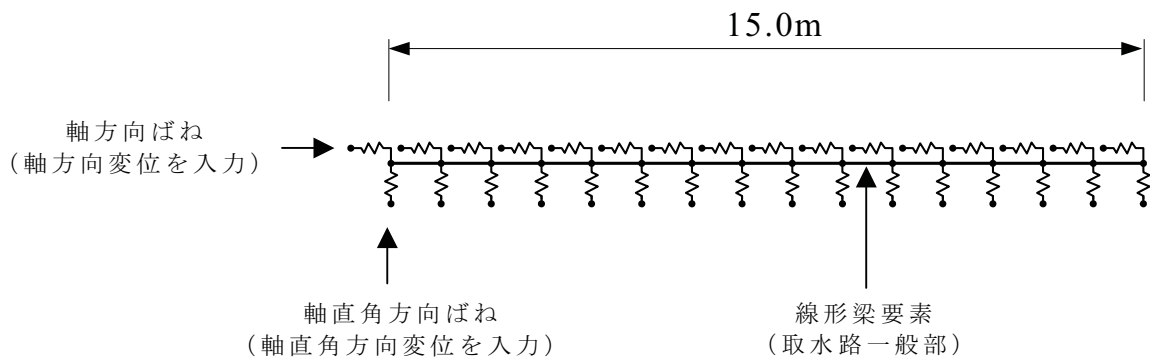
梁要素と地盤ばねからなる解析モデル(第 8.3.2-1 図)を用いて、静的に水平方向および鉛直方向の地盤変位分布を与えて断面力を求め、曲げ・軸力およびせん断力の発生応力度を算出する。このように算出した応力度について、曲げ・軸力については、「耐震性能照査指針」に基づき算出したコンクリート引張強度を、また、せん断力については、「耐震性能照査指針」のせん断耐力評価式による評価値を下回ることを確認する。

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、地盤ばねに与える地盤変位は「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	2.28×10^5	2.52×10^5
	鉛直変位 入力モデル	2.28×10^5	3.57×10^5
Ss-3	水平変位 入力モデル	1.79×10^5	1.95×10^5
	鉛直変位 入力モデル	1.79×10^5	2.81×10^5

第 8.3.2-2 表 解析に用いた地盤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	247.6	6.67
	鉛直変位	247.6	0.172
Ss-3	水平変位	263.9	8.06
	鉛直変位	263.9	0.206

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・軸力による照査結果を第 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 ϕ (°)	変位分布	発生応力度 σ_d (N/mm ²)	コンクリート引張強度 f_t (N/mm ²)	σ_d / f_t
水平方向変位	0	I	0.00876	1.45	0.0060
		II	0.0000876	1.45	0.000060
	45	I	0.00373	1.45	0.0026
		II	0.105	1.45	0.073
鉛直方向変位	0	I	0.000493	1.45	0.00034
		II	0.00000614	1.45	0.0000042
	45	I	0.000228	1.45	0.00016
		II	0.00271	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。

せん断力による照査結果を第 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 ϕ (°)	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	295	76100	0.0039
		II	7.55	76100	0.000099
	45	I	105	73700	0.0014
		II	1.98	73700	0.000027
鉛直方向変位	0	I	10.7	54900	0.00020
		II	0.290	54900	0.0000053
	45	I	3.82	52400	0.000073
		II	0.0700	51200	0.0000014

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2.5cm）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	9.08	0.672
取水路	8.47	0.209
補機冷却用海水取水路（南側）	0.837	0.0271
補機冷却用海水取水路（北側）	0.928	0.0400

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 $14.5\sim 17.7\text{kN/m}^3$ であり、埋戻土層の単位体積重量 18.6kN/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

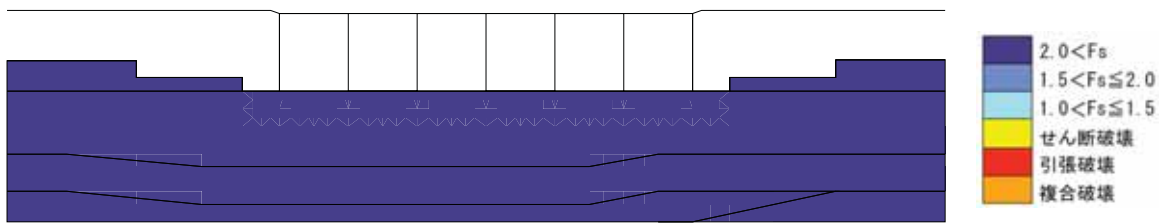
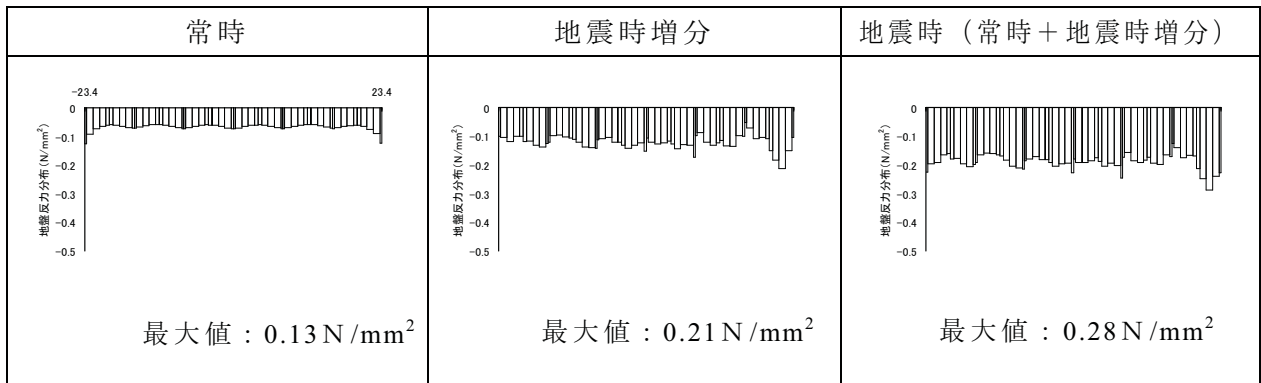
スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）を対象に、各構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力（ V ）および各構造物の底版に接する地盤要素の鉛直応力（ σ_v ）が最大となるそれぞれの時刻について、要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面から、連続したすべり線が形成されないことを確認する。

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

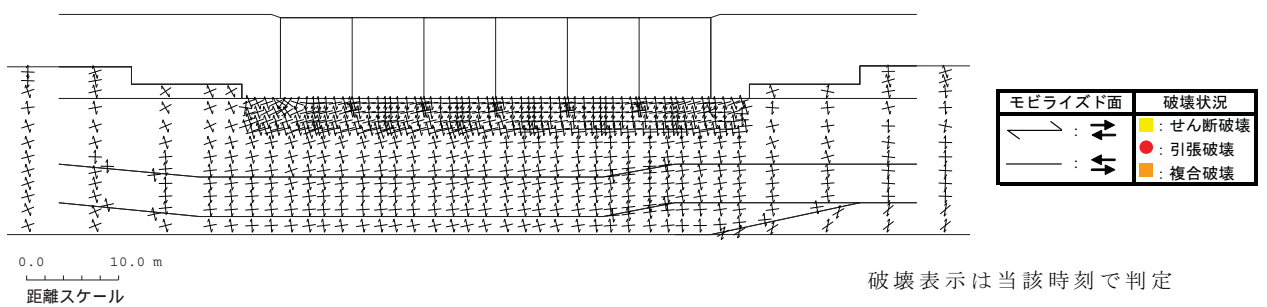
基準地震動 S_s-1 および S_s-3 について、要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面から、破壊に至る要素が連続せず、すべり線が形成されないことを確認した。代表的なケースの地盤反力分布、要素ごとの安全係数分布、モビライズド面を第 8.4.3-1 図に示す。

接地圧分布



要素ごとの安全係数

破壊表示は当該時刻で判定

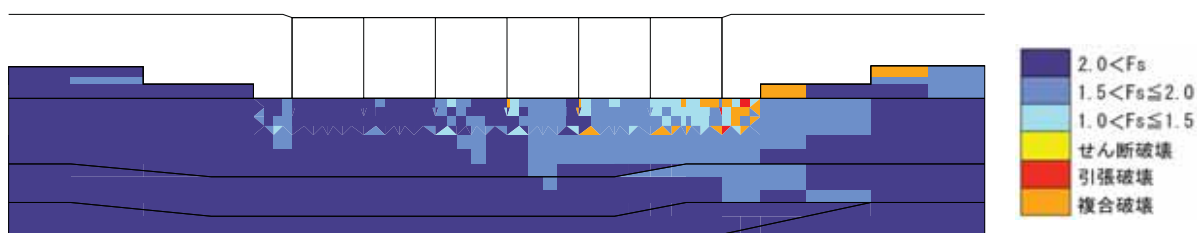
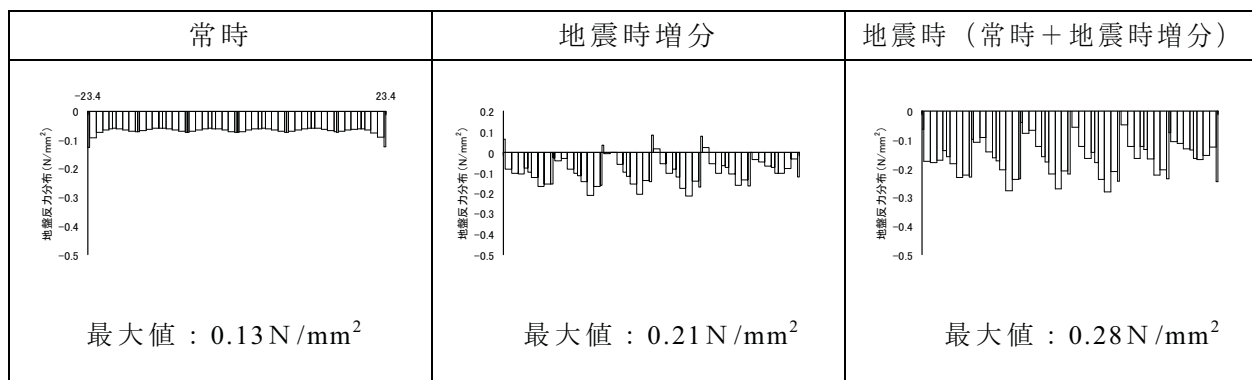


破壊表示は当該時刻で判定

モビライズド面

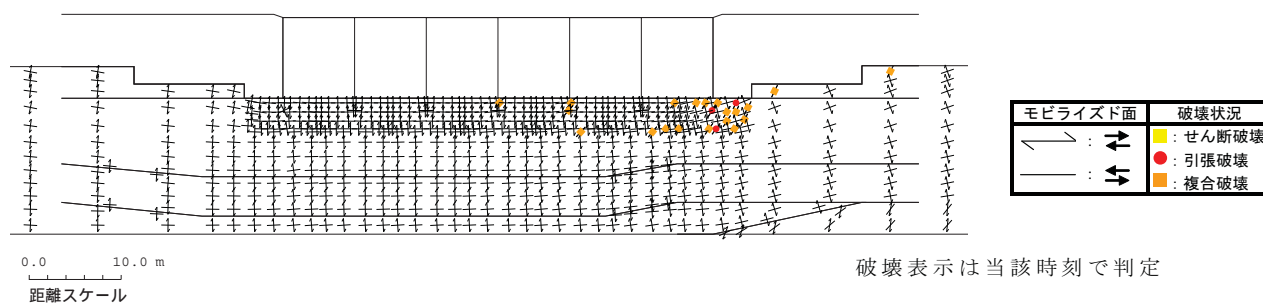
第 8.4.3-1 図(1) 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面
(スクリーン室, Ss-1, 鉛直合力最大時, T=16.21 秒)

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

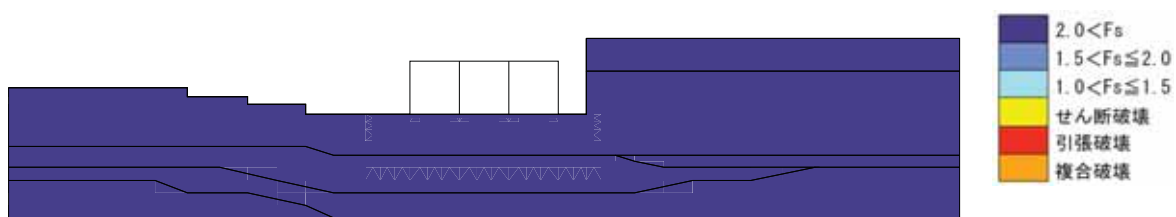
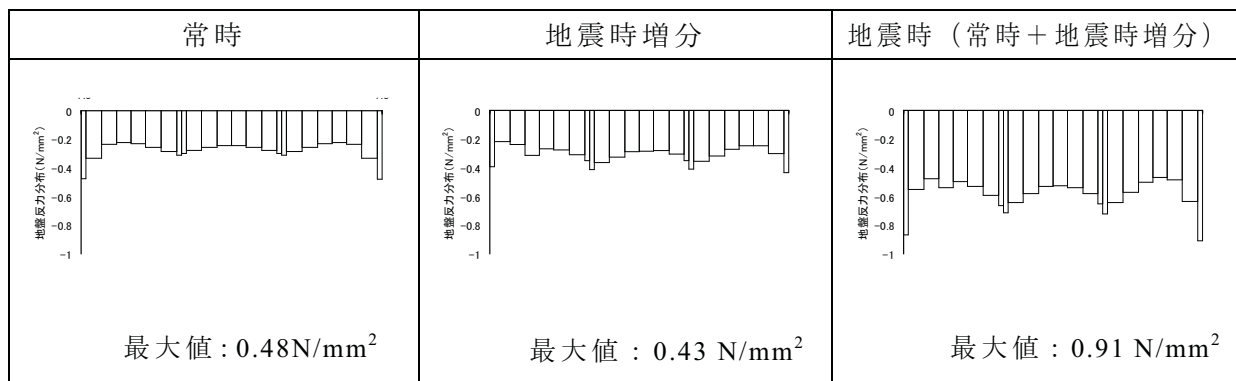


破壊表示は当該時刻で判定

モビライズド面

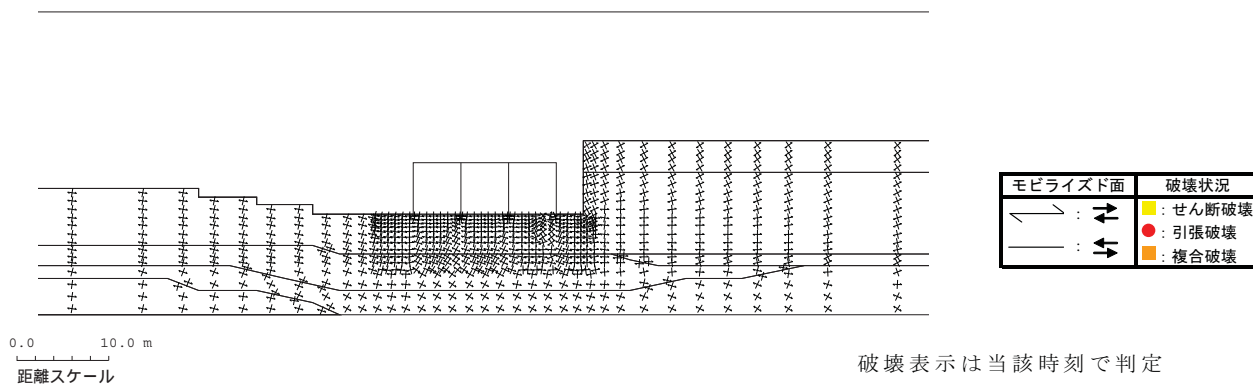
第 8.4.3-1 図(2) 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面
(スクリーン室, Ss-1, 要素鉛直応力最大時, T=5.79 秒)

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分布



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-1, 鉛直合力最大かつ要素応力最大時, T=15.96 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	9400	54200	5.8
取水路	8150	32500	4.0
補機冷却用海水取水路 (南側)	11900	33800	2.8
補機冷却用海水取水路 (北側)	9150	23900	2.6

※ 鉛直力（V）および極限支持力（ Q_u ）は奥行き 1m 当りの値である。

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。

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

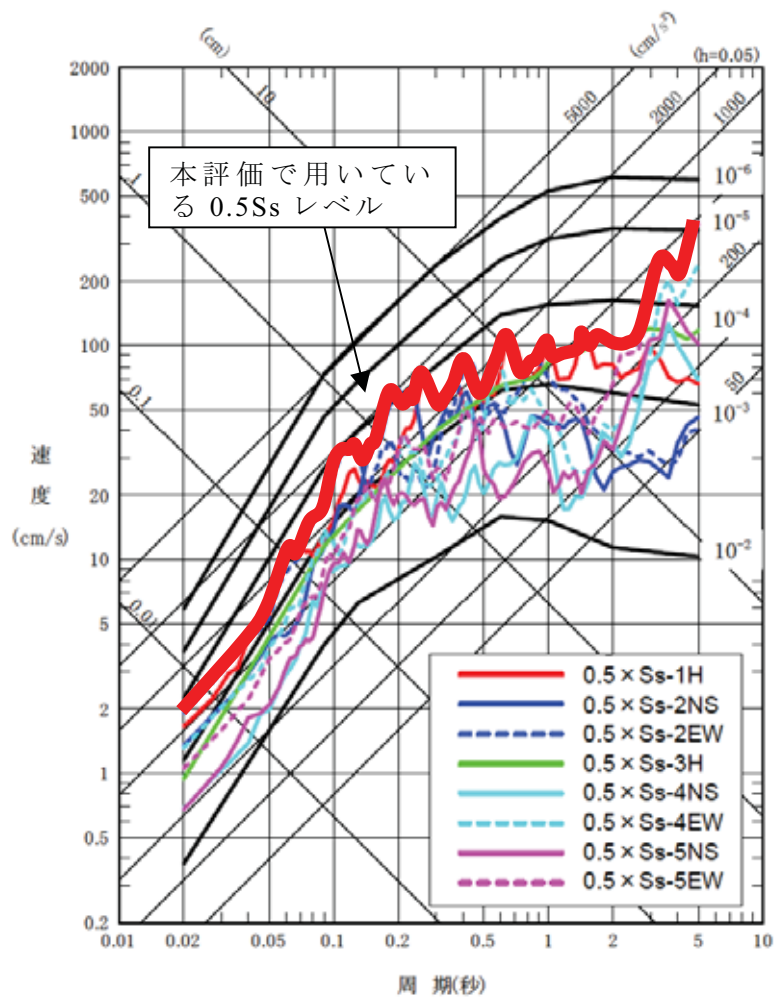
(1) 地震動との組合せを想定すべき荷重状態の考え方

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)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	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)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	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)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	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)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²)	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)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)	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 基盤	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-1H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^(*1) K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^(*2) C _C	採用振動数 ^(*3) f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.34×10 ⁶	0.67	4.69×10 ⁵	2.36
K2	7	側面・回転	1.04×10 ⁹	0.01	1.16×10 ⁸	2.36
K3	8	側面・並進	3.55×10 ⁶	0.67	1.25×10 ⁶	2.36
K4	8	側面・回転	2.76×10 ⁹	0.01	3.09×10 ⁸	2.36
K5	9	側面・並進	9.11×10 ⁶	1.21	1.80×10 ⁶	2.36
K6	9	側面・回転	7.17×10 ⁹	0.01	4.13×10 ⁸	2.36
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.86×10 ⁵	2.36
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.02×10 ⁸	2.36
K9	10	底面・並進	7.70×10 ⁷	0.00	2.90×10 ⁶	2.36
K10	10	底面・回転	7.50×10 ¹⁰	0.00	6.23×10 ⁸	2.36

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

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*3) f₁は連成系の1次固有振動数

(EW 方向, Sd-1H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^(*1) K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^(*2) C _C	採用振動数 ^(*3) f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.34×10 ⁶	0.67	4.71×10 ⁵	2.42
K2	7	側面・回転	1.04×10 ⁹	0.01	1.17×10 ⁸	2.42
K3	8	側面・並進	3.55×10 ⁶	0.67	1.25×10 ⁶	2.42
K4	8	側面・回転	2.76×10 ⁹	0.01	3.10×10 ⁸	2.42
K5	9	側面・並進	9.11×10 ⁶	1.21	1.80×10 ⁶	2.42
K6	9	側面・回転	7.17×10 ⁹	0.01	4.16×10 ⁸	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.85×10 ⁵	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.03×10 ⁸	2.42
K9	10	底面・並進	7.66×10 ⁷	0.00	2.88×10 ⁶	2.42
K10	10	底面・回転	8.08×10 ¹⁰	0.00	7.29×10 ⁸	2.42

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

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*3) f₁は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-1V)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K _C (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C _C (kN・s/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.27×10 ⁸	0.00	6.64×10 ⁶	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-2H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^(*1) K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^(*2) C _C	採用振動数 ^(*3) f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.29×10 ⁶	0.66	4.62×10 ⁵	2.37
K2	7	側面・回転	1.00×10 ⁹	0.01	1.15×10 ⁸	2.37
K3	8	側面・並進	3.42×10 ⁶	0.66	1.23×10 ⁶	2.37
K4	8	側面・回転	2.66×10 ⁹	0.01	3.04×10 ⁸	2.37
K5	9	側面・並進	9.08×10 ⁶	1.21	1.79×10 ⁶	2.37
K6	9	側面・回転	7.16×10 ⁹	0.01	4.13×10 ⁸	2.37
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.86×10 ⁵	2.37
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.02×10 ⁸	2.37
K9	10	底面・並進	7.76×10 ⁷	0.00	2.92×10 ⁶	2.37
K10	10	底面・回転	7.56×10 ¹⁰	0.00	6.26×10 ⁸	2.37

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

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*3) f₁は連成系の1次固有振動数

(EW 方向, Sd-2H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^(*1) K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^(*2) C _C	採用振動数 ^(*3) f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.29×10 ⁶	0.66	4.63×10 ⁵	2.42
K2	7	側面・回転	1.00×10 ⁹	0.01	1.15×10 ⁸	2.42
K3	8	側面・並進	3.42×10 ⁶	0.66	1.23×10 ⁶	2.42
K4	8	側面・回転	2.66×10 ⁹	0.01	3.05×10 ⁸	2.42
K5	9	側面・並進	9.08×10 ⁶	1.21	1.79×10 ⁶	2.42
K6	9	側面・回転	7.16×10 ⁹	0.01	4.16×10 ⁸	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.85×10 ⁵	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.03×10 ⁸	2.42
K9	10	底面・並進	7.72×10 ⁷	0.00	2.89×10 ⁶	2.42
K10	10	底面・回転	8.14×10 ¹⁰	0.00	7.29×10 ⁸	2.42

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

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*3) f₁は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-2V)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K _C (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C _C (kN・s/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.28×10 ⁸	0.00	6.68×10 ⁶	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-3H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^(*1) K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^(*2) C _C	採用振動数 ^(*3) f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 ⁶	0.69	4.82×10 ⁵	2.37
K2	7	側面・回転	1.10×10 ⁹	0.01	1.20×10 ⁸	2.37
K3	8	側面・並進	3.77×10 ⁶	0.69	1.28×10 ⁶	2.37
K4	8	側面・回転	2.93×10 ⁹	0.01	3.17×10 ⁸	2.37
K5	9	側面・並進	9.15×10 ⁶	1.21	1.80×10 ⁶	2.37
K6	9	側面・回転	7.20×10 ⁹	0.01	4.15×10 ⁸	2.37
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.86×10 ⁵	2.37
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.02×10 ⁸	2.37
K9	10	底面・並進	7.67×10 ⁷	0.00	2.90×10 ⁶	2.37
K10	10	底面・回転	7.47×10 ¹⁰	0.00	6.26×10 ⁸	2.37

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

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*3) f₁は連成系の1次固有振動数

(EW 方向, Sd-3H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^(*1) K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^(*2) C _C	採用振動数 ^(*3) f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 ⁶	0.69	4.83×10 ⁵	2.42
K2	7	側面・回転	1.10×10 ⁹	0.01	1.20×10 ⁸	2.42
K3	8	側面・並進	3.77×10 ⁶	0.69	1.28×10 ⁶	2.42
K4	8	側面・回転	2.93×10 ⁹	0.01	3.18×10 ⁸	2.42
K5	9	側面・並進	9.15×10 ⁶	1.21	1.80×10 ⁶	2.42
K6	9	側面・回転	7.20×10 ⁹	0.01	4.18×10 ⁸	2.42
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.85×10 ⁵	2.42
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.03×10 ⁸	2.42
K9	10	底面・並進	7.63×10 ⁷	0.00	2.87×10 ⁶	2.42
K10	10	底面・回転	8.05×10 ¹⁰	0.00	7.29×10 ⁸	2.42

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

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*3) f₁は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-3V)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K _C (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C _C (kN・s/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.26×10 ⁸	0.00	6.62×10 ⁶	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-4H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^{(*)1} K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^{(*)2} C _C	採用振動数 ^{(*)3} f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 ⁶	0.69	4.82×10 ⁵	2.38
K2	7	側面・回転	1.10×10 ⁹	0.01	1.20×10 ⁸	2.38
K3	8	側面・並進	3.77×10 ⁶	0.69	1.28×10 ⁶	2.38
K4	8	側面・回転	2.93×10 ⁹	0.01	3.17×10 ⁸	2.38
K5	9	側面・並進	9.22×10 ⁶	1.21	1.81×10 ⁶	2.38
K6	9	側面・回転	7.26×10 ⁹	0.01	4.17×10 ⁸	2.38
K7	10	側面・並進	4.82×10 ⁶	1.31	8.89×10 ⁵	2.38
K8	10	側面・回転	3.77×10 ⁹	0.01	2.03×10 ⁸	2.38
K9	10	底面・並進	7.82×10 ⁷	0.00	2.93×10 ⁶	2.38
K10	10	底面・回転	7.62×10 ¹⁰	0.00	6.28×10 ⁸	2.38

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

(*)2 K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*)3 f₁は連成系の1次固有振動数

(EW 方向, Sd-4H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^{(*)1} K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^{(*)2} C _C	採用振動数 ^{(*)3} f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 ⁶	0.69	4.84×10 ⁵	2.44
K2	7	側面・回転	1.10×10 ⁹	0.01	1.20×10 ⁸	2.44
K3	8	側面・並進	3.77×10 ⁶	0.69	1.28×10 ⁶	2.44
K4	8	側面・回転	2.93×10 ⁹	0.01	3.19×10 ⁸	2.44
K5	9	側面・並進	9.22×10 ⁶	1.21	1.81×10 ⁶	2.44
K6	9	側面・回転	7.26×10 ⁹	0.01	4.20×10 ⁸	2.44
K7	10	側面・並進	4.82×10 ⁶	1.31	8.89×10 ⁵	2.44
K8	10	側面・回転	3.77×10 ⁹	0.01	2.05×10 ⁸	2.44
K9	10	底面・並進	7.78×10 ⁷	0.00	2.90×10 ⁶	2.44
K10	10	底面・回転	8.21×10 ¹⁰	0.00	7.35×10 ⁸	2.44

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

(*)2 K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*)3 f₁は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-4V)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K _C (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C _C (kN・s/m)	採用振動数 ^{(*)1} f ₁ (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.29×10 ⁸	0.00	6.70×10 ⁶	4.00

(*)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-5H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^{(*)1} K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^{(*)2} C _C	採用振動数 ^{(*)3} f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 ⁶	0.69	4.82×10 ⁵	2.37
K2	7	側面・回転	1.10×10 ⁹	0.01	1.20×10 ⁸	2.37
K3	8	側面・並進	3.77×10 ⁶	0.69	1.28×10 ⁶	2.37
K4	8	側面・回転	2.93×10 ⁹	0.01	3.17×10 ⁸	2.37
K5	9	側面・並進	9.15×10 ⁶	1.21	1.80×10 ⁶	2.37
K6	9	側面・回転	7.20×10 ⁹	0.01	4.15×10 ⁸	2.37
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.86×10 ⁵	2.37
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.02×10 ⁸	2.37
K9	10	底面・並進	7.73×10 ⁷	0.00	2.91×10 ⁶	2.37
K10	10	底面・回転	7.56×10 ¹⁰	0.00	6.26×10 ⁸	2.37

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

(*)2 K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*)3 f₁は連成系の1次固有振動数

(EW 方向, Sd-5H)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 ^{(*)1} K _C	採用振動数 (Hz)	減衰係数 ^{(*)2} C _C	採用振動数 ^{(*)3} f ₁ (Hz)
K1	7	側面・並進	1.42×10 ⁶	0.69	4.83×10 ⁵	2.43
K2	7	側面・回転	1.10×10 ⁹	0.01	1.20×10 ⁸	2.43
K3	8	側面・並進	3.77×10 ⁶	0.69	1.28×10 ⁶	2.43
K4	8	側面・回転	2.93×10 ⁹	0.01	3.18×10 ⁸	2.43
K5	9	側面・並進	9.15×10 ⁶	1.21	1.80×10 ⁶	2.43
K6	9	側面・回転	7.20×10 ⁹	0.01	4.18×10 ⁸	2.43
K7	10	側面・並進	4.78×10 ⁶	1.30	8.85×10 ⁵	2.43
K8	10	側面・回転	3.74×10 ⁹	0.01	2.04×10 ⁸	2.43
K9	10	底面・並進	7.69×10 ⁷	0.00	2.88×10 ⁶	2.43
K10	10	底面・回転	8.14×10 ¹⁰	0.00	7.32×10 ⁸	2.43

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

(*)2 K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・s・m/rad

(*)3 f₁は連成系の1次固有振動数

(鉛直方向, Sd-5V)

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね		減衰	
			ばね定数 K _C (kN/m)	採用振動数 (Hz)	減衰係数 C _C (kN・s/m)	採用振動数 ^{(*)1} f ₁ (Hz)
K1	10	底面・鉛直	1.28×10 ⁸	0.00	6.67×10 ⁶	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-1H)

次数	固有周期 (秒)	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	-0.692	
3	0.087	11.52	0.066	
4	0.074	13.46	0.062	
5	0.074	13.54	0.039	

(NS 方向， Sd-2H)

次数	固有周期 (秒)	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	-0.693	
3	0.087	11.52	0.066	
4	0.074	13.46	0.062	
5	0.074	13.54	0.041	

(NS 方向， Sd-3H)

次数	固有周期 (秒)	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	5.37	-0.692	
3	0.087	11.52	0.066	
4	0.074	13.45	0.062	
5	0.074	13.54	0.037	

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-4H)

次数	固有周期 (秒)	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	5.41	-0.695	
3	0.087	11.52	0.067	
4	0.074	13.46	0.063	
5	0.074	13.56	0.041	

(NS 方向， Sd-5H)

次数	固有周期 (秒)	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	0.186	5.39	-0.693	
3	0.087	11.52	0.066	
4	0.074	13.46	0.062	
5	0.074	13.55	0.038	

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-1H)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.413	2.42	1.546	地盤建屋連成一次
2	0.185	5.41	-0.614	
3	0.079	12.69	-0.028	
4	0.074	13.53	0.135	
5	0.068	14.65	-0.045	

(EW 方向, Sd-2H)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.413	2.42	1.546	地盤建屋連成一次
2	0.184	5.42	-0.614	
3	0.079	12.70	-0.028	
4	0.074	13.53	0.136	
5	0.068	14.65	-0.045	

(EW 方向, Sd-3H)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.413	2.42	1.546	地盤建屋連成一次
2	0.185	5.41	-0.614	
3	0.079	12.70	-0.027	
4	0.074	13.52	0.135	
5	0.068	14.64	-0.045	

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-4H)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.410	2.44	1.547	地盤建屋連成一次
2	0.184	5.45	-0.616	
3	0.079	12.70	-0.028	
4	0.074	13.53	0.137	
5	0.068	14.66	-0.045	

(EW 方向, Sd-5H)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.412	2.43	1.546	地盤建屋連成一次
2	0.184	5.43	-0.615	
3	0.079	12.70	-0.028	
4	0.074	13.53	0.135	
5	0.068	14.65	-0.045	

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-1V)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.275	3.63	8.361	屋根トラス一次
2	0.252	3.97	-7.424	地盤建屋連成一次
3	0.077	12.97	0.091	
4	0.051	19.47	-0.085	
5	0.045	22.19	-0.088	

(Sd-2V)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.275	3.63	8.158	屋根トラス一次
2	0.251	3.98	-7.221	地盤建屋連成一次
3	0.077	12.97	0.092	
4	0.051	19.47	-0.085	
5	0.045	22.19	-0.088	

(Sd-3V)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.276	3.63	8.570	屋根トラス一次
2	0.253	3.96	-7.632	地盤建屋連成一次
3	0.077	12.97	0.090	
4	0.051	19.47	-0.084	
5	0.045	22.18	-0.087	

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)

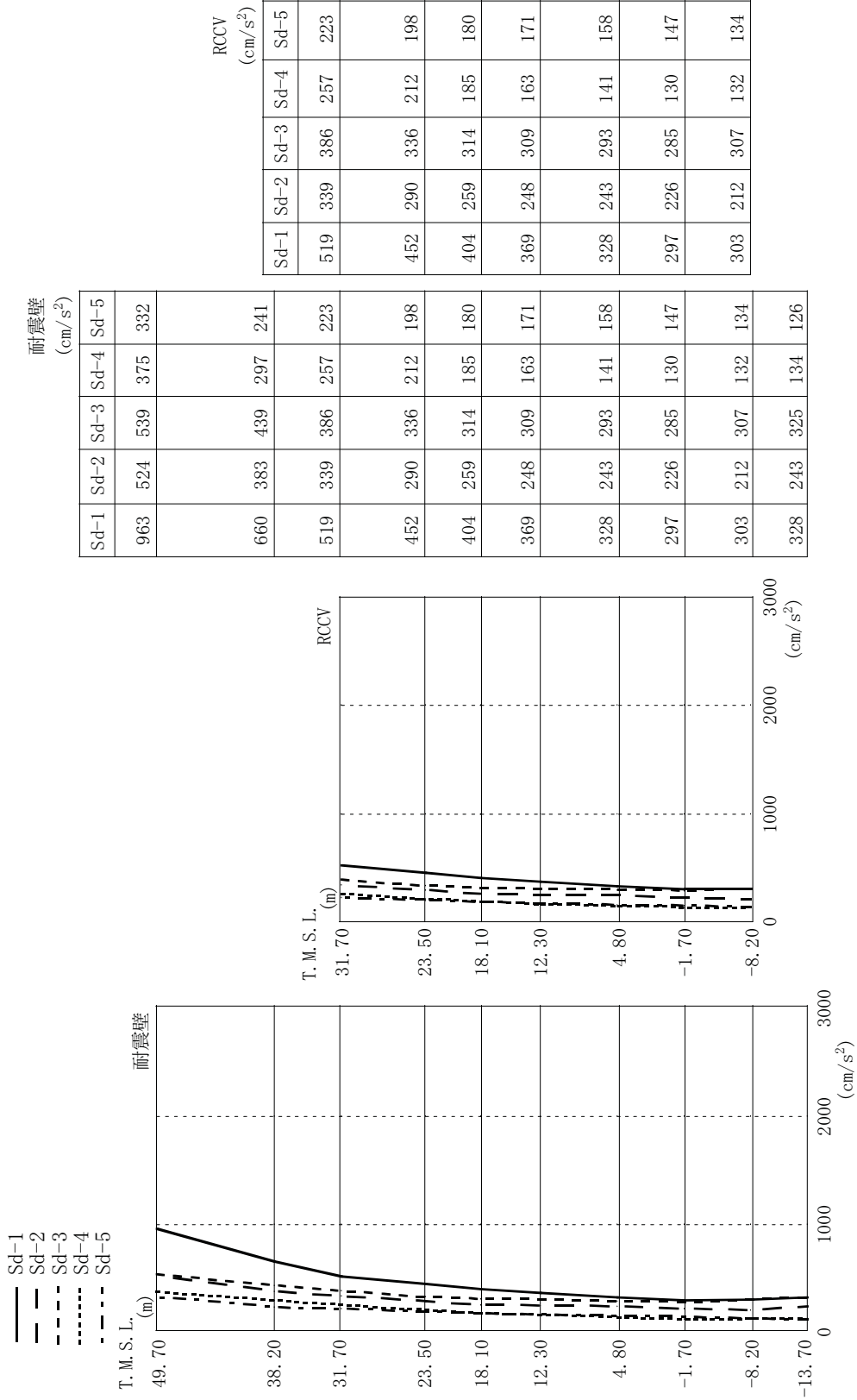
(Sd-4V)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.275	3.64	7.960	屋根トラス一次
2	0.250	4.00	-7.024	地盤建屋連成一次
3	0.077	12.97	0.093	
4	0.051	19.47	-0.086	
5	0.045	22.19	-0.089	

(Sd-5V)

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.275	3.63	8.158	屋根トラス一次
2	0.251	3.98	-7.221	地盤建屋連成一次
3	0.077	12.97	0.092	
4	0.051	19.47	-0.085	
5	0.045	22.19	-0.088	

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。

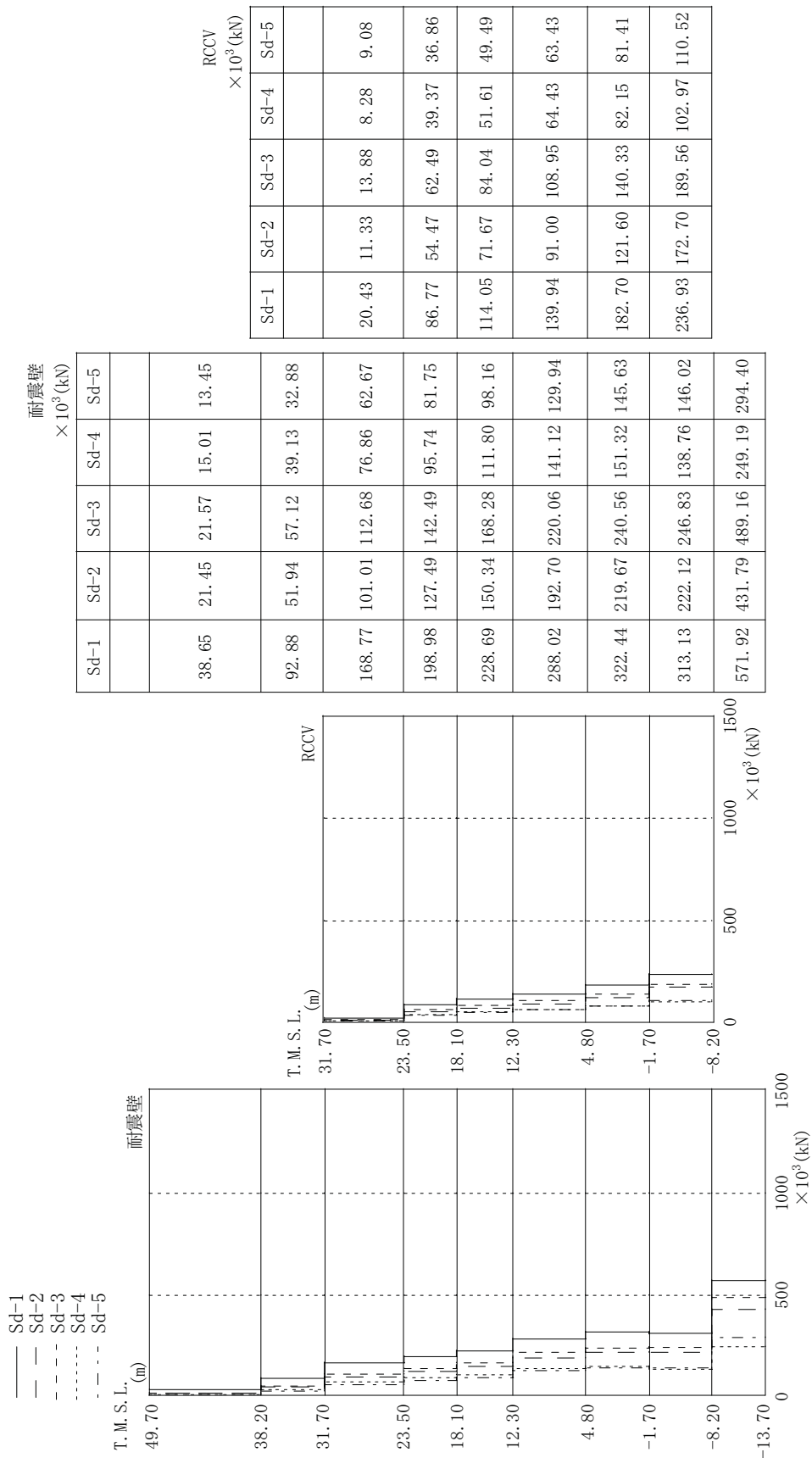


耐震壁
(cm/s^2)

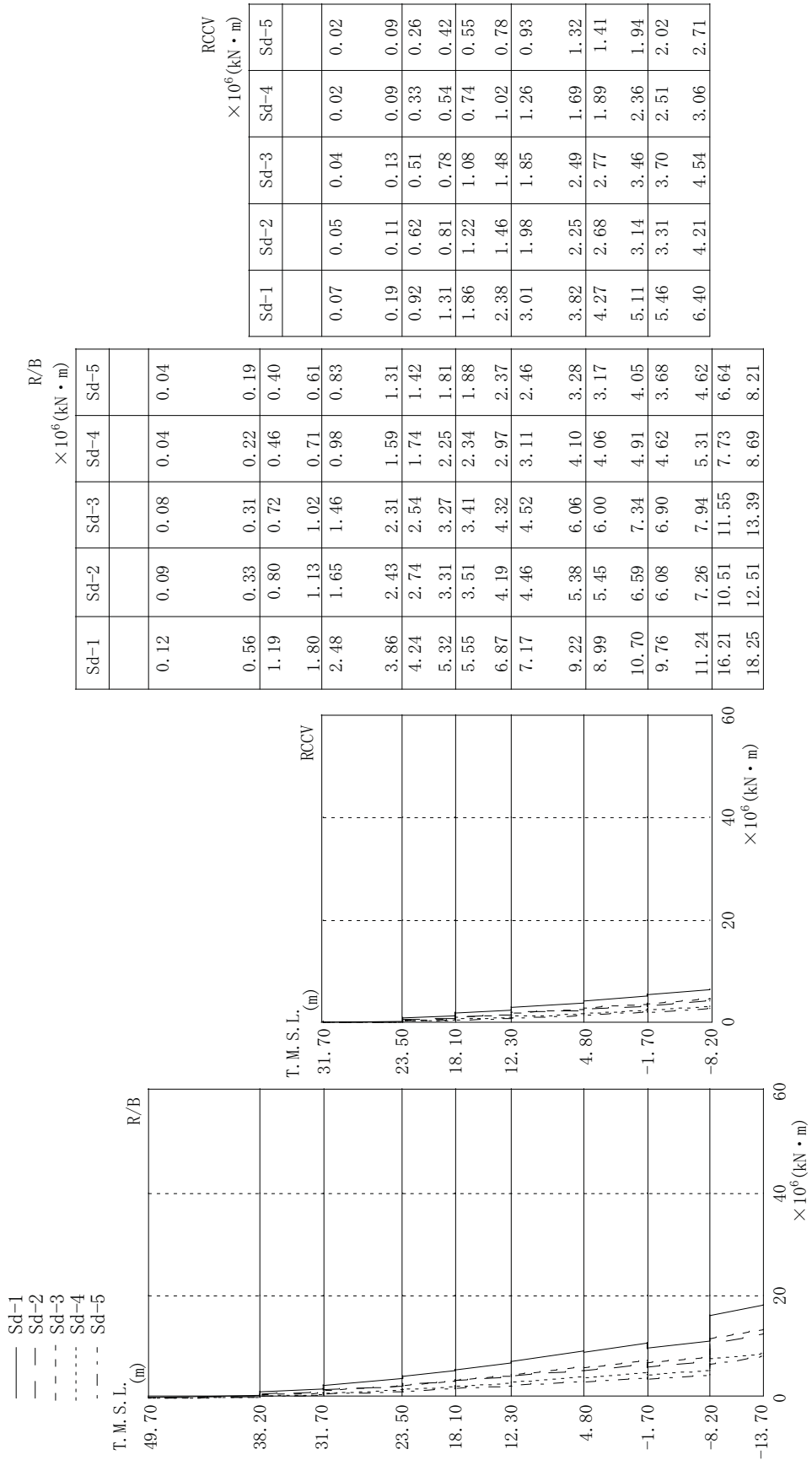
Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
963	524	539	375	332
660	383	439	297	241
519	339	386	257	223
452	290	336	212	198
404	259	314	185	180
369	248	309	163	171
328	243	293	141	158
297	226	285	130	147
303	212	307	132	134
328	243	325	134	126

RCCV (cm/s^2)				
Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
519	339	386	257	223
452	290	336	212	198
404	259	314	185	180
369	248	309	163	171
328	243	293	141	158
297	226	285	130	147
303	212	307	132	134

第 9.3.1-1 图 最大芯筒加速度 (NS 方向)

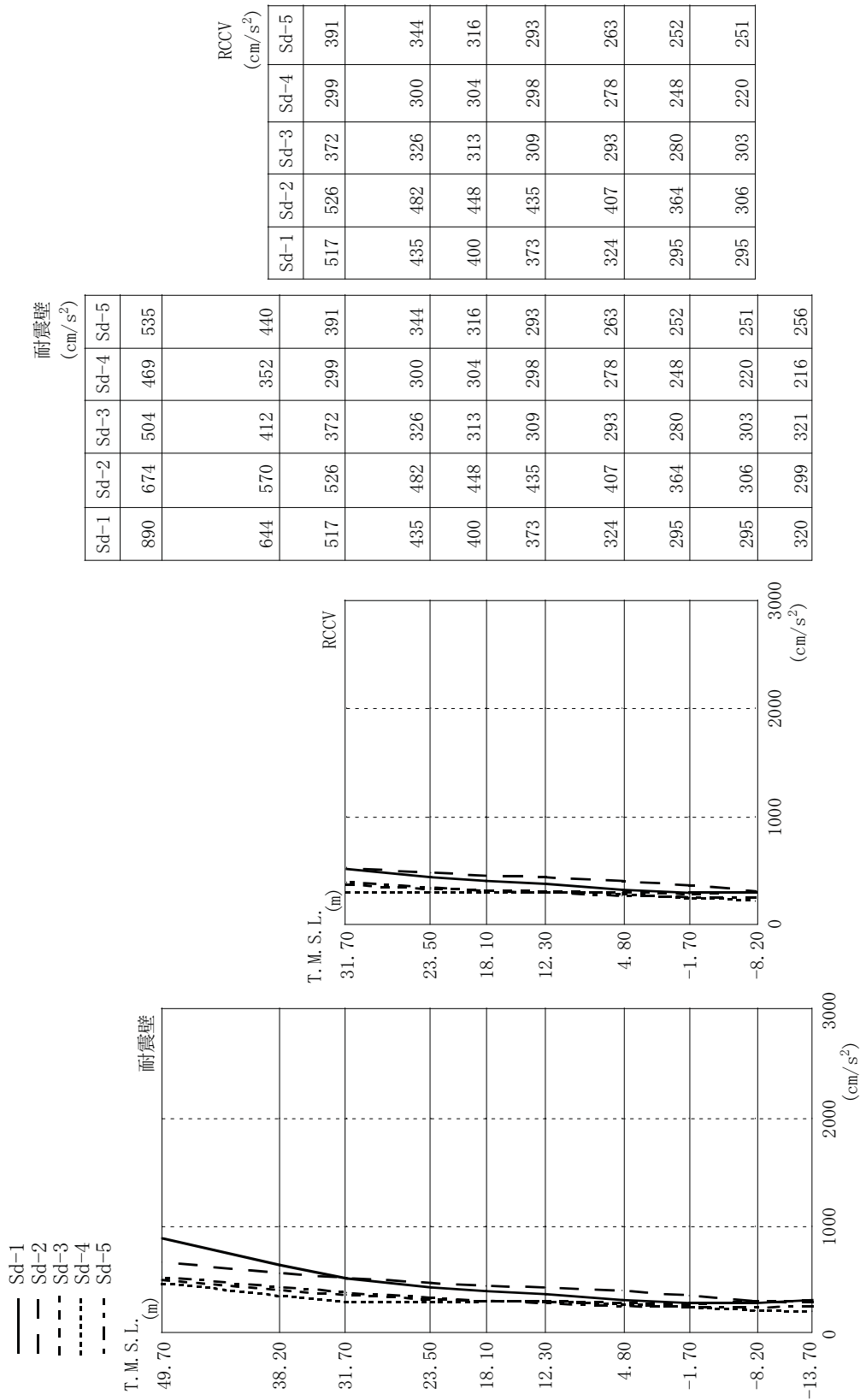


第 9.3.1-2 図 最大応答せん断力 (NS 方向)

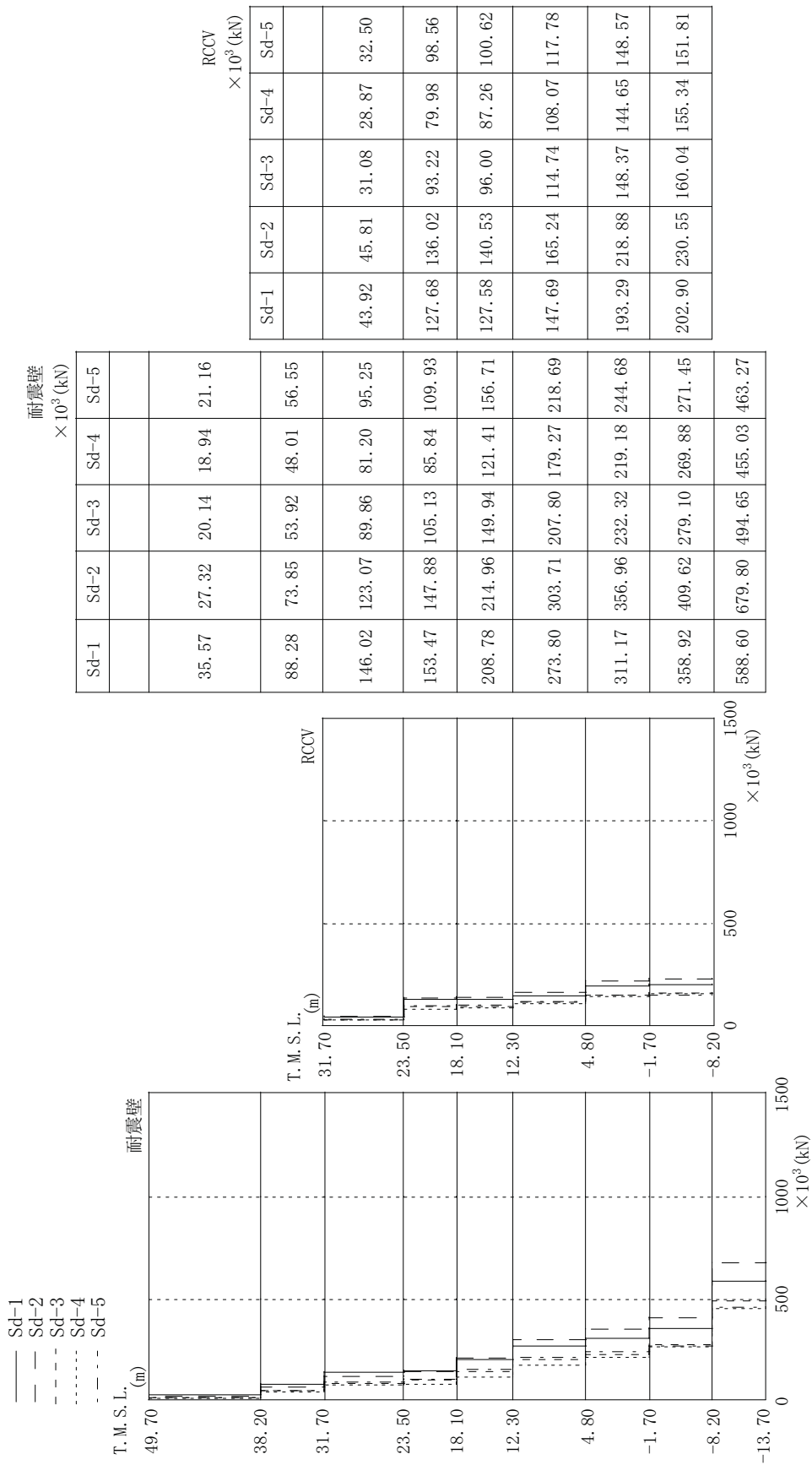


		R/B					RCCV				
		$\times 10^6 (kN \cdot m)$					$\times 10^6 (kN \cdot m)$				
	T. M. S. L. (m)	Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
	49.70										
	38.20	0.12	0.09	0.08	0.04	0.04					
	31.70	0.56	0.33	0.31	0.22	0.19	0.07	0.05	0.04	0.02	0.02
	23.50	1.19	0.80	0.72	0.46	0.40	0.19	0.11	0.13	0.09	0.09
	18.10	1.80	1.13	1.02	0.71	0.61	0.92	0.62	0.51	0.33	0.26
	12.30	2.48	1.65	1.46	0.98	0.83	1.31	0.81	0.78	0.54	0.42
	4.80	3.86	2.43	2.31	1.59	1.31	1.86	1.22	1.08	0.74	0.55
	-1.70	4.24	2.74	2.54	1.74	1.42	2.38	1.46	1.48	1.02	0.78
	-8.20	5.32	3.31	3.27	2.25	1.81	3.01	1.98	1.85	1.26	0.93
		5.55	3.51	3.41	2.34	1.88	3.82	2.25	2.49	1.69	1.32
		6.87	4.19	4.32	2.97	2.37	4.27	2.68	2.77	1.89	1.41
		7.17	4.46	4.52	3.11	2.46	5.11	3.14	3.46	2.36	1.94
		9.22	5.38	6.06	4.10	3.28	5.46	3.31	3.70	2.51	2.02
		8.99	5.45	6.00	4.06	3.17	6.40	4.21	4.54	3.06	2.71
		10.70	6.59	7.34	4.91	4.05					
		9.76	6.08	6.90	4.62	3.68					
		11.24	7.26	7.94	5.31	4.62					
		16.21	10.51	11.55	7.73	6.64					
		18.25	12.51	13.39	8.69	8.21					

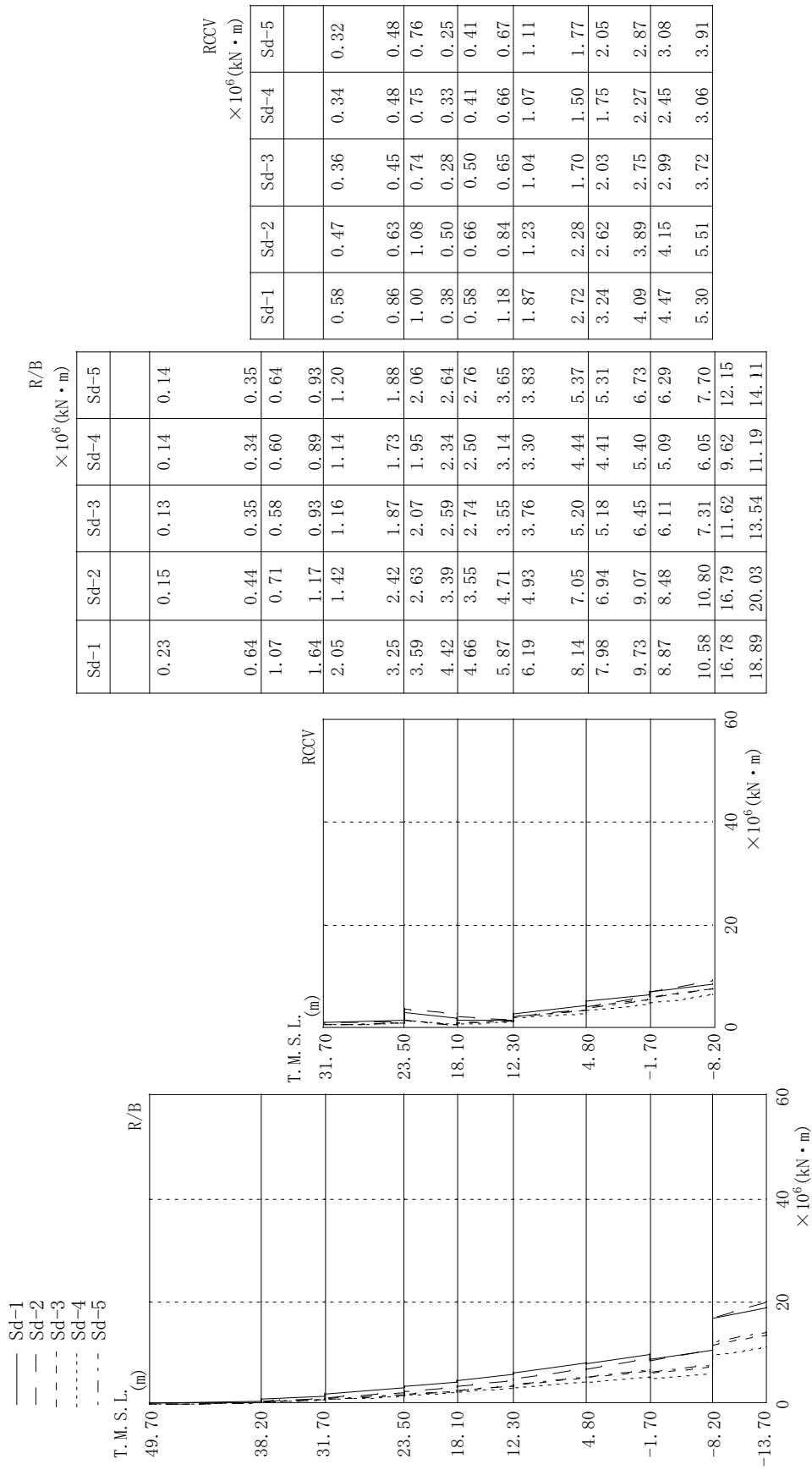
第 9.3.1-3 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)



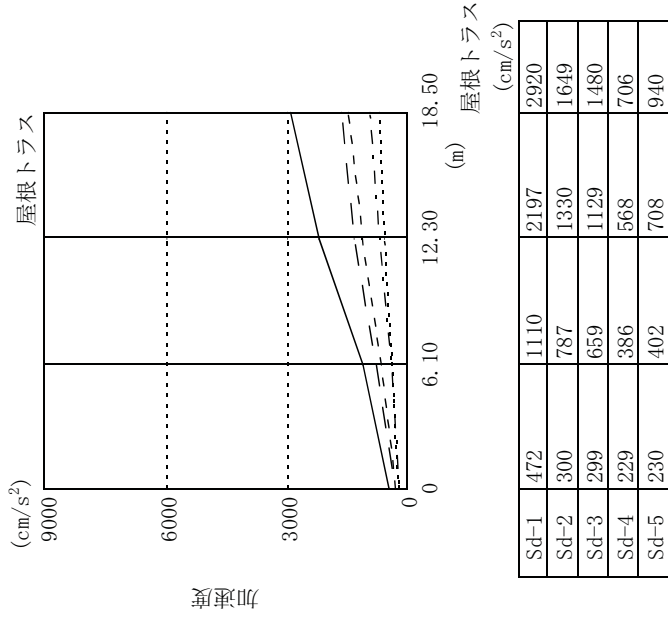
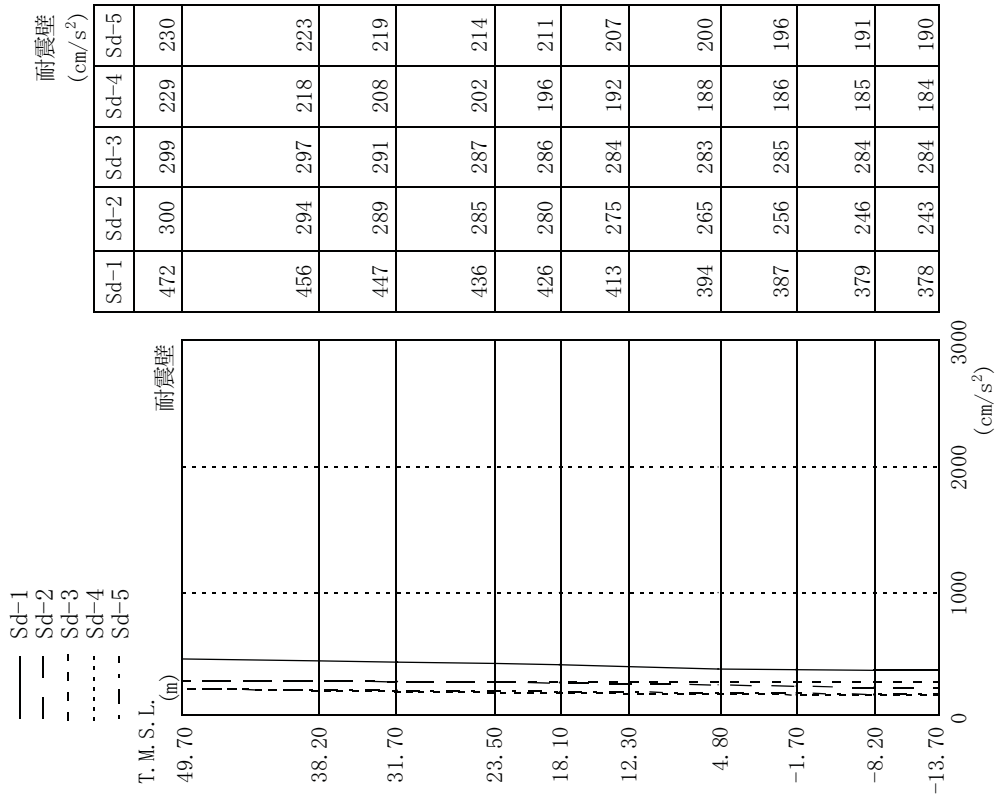
第 9.3.1-4 図 最大応答加速度 (EW 方向)



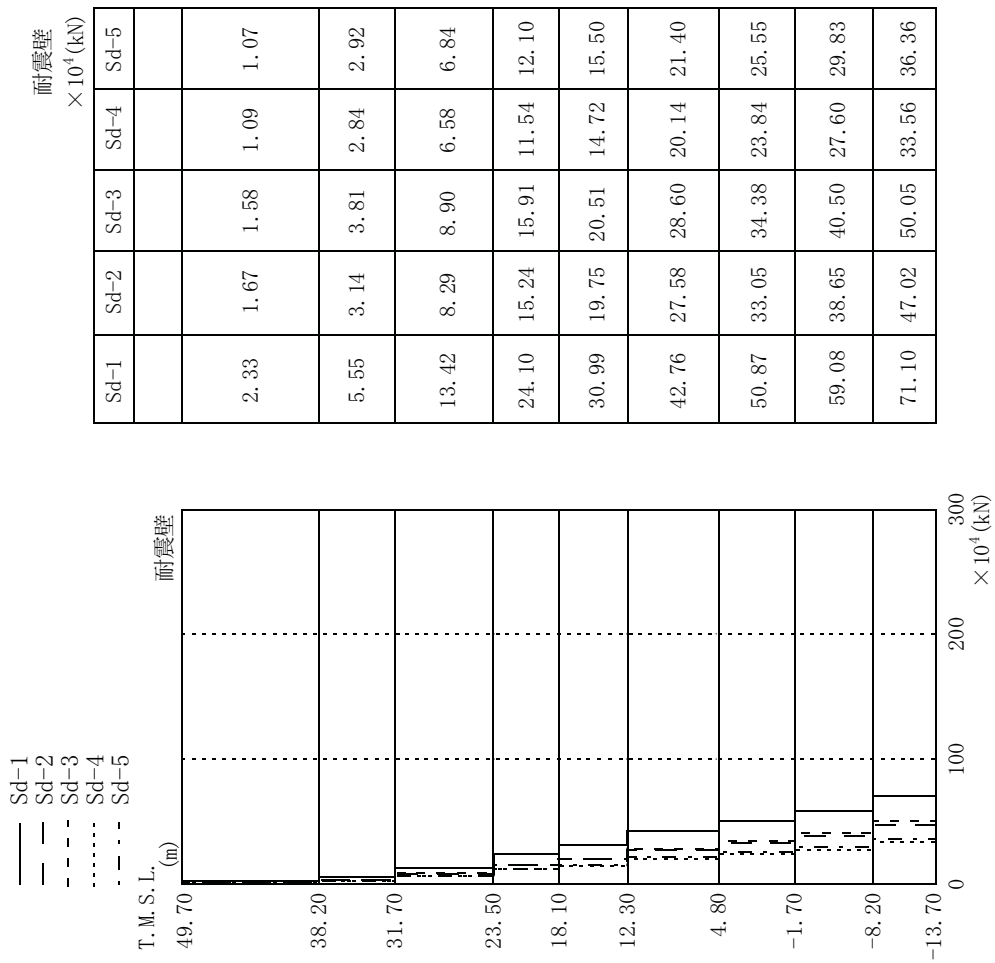
第 9.3.1-5 図 最大応答せん断力 (EW 方向)



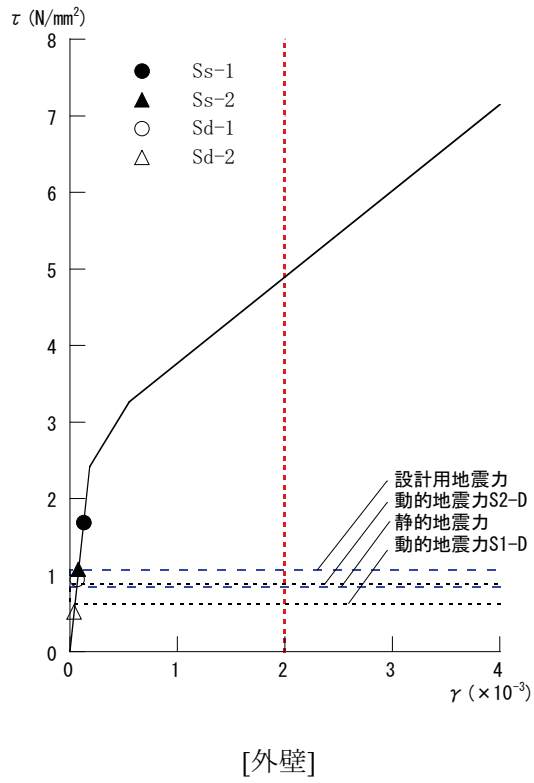
第 9.3.1-6 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向)



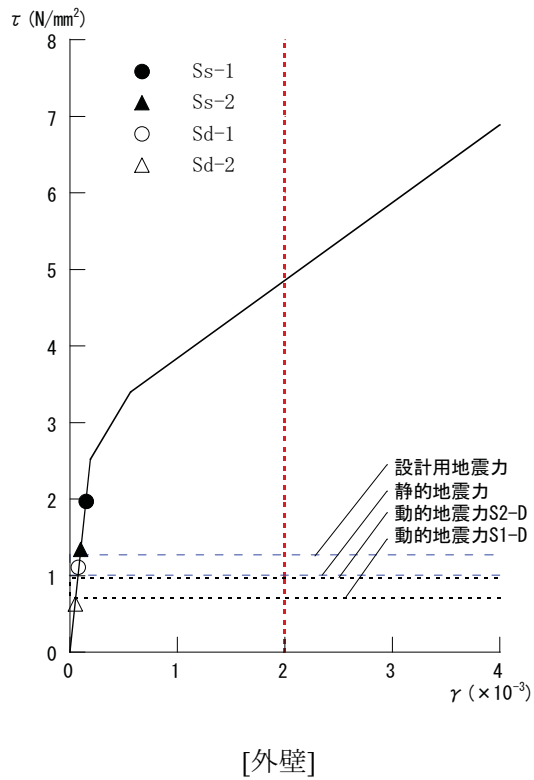
第 9.3.1-7 図 最大応答加速度 (鉛直方向)



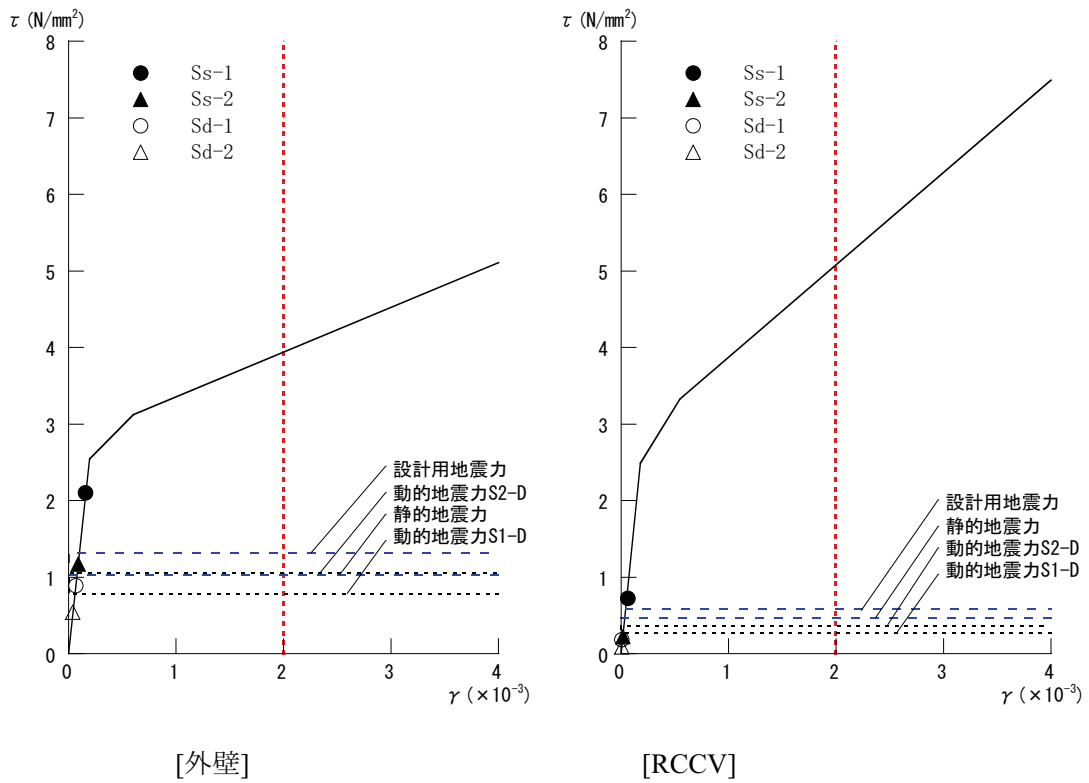
第 9.3.1-8 図 最大応答軸力 (鉛直方向)



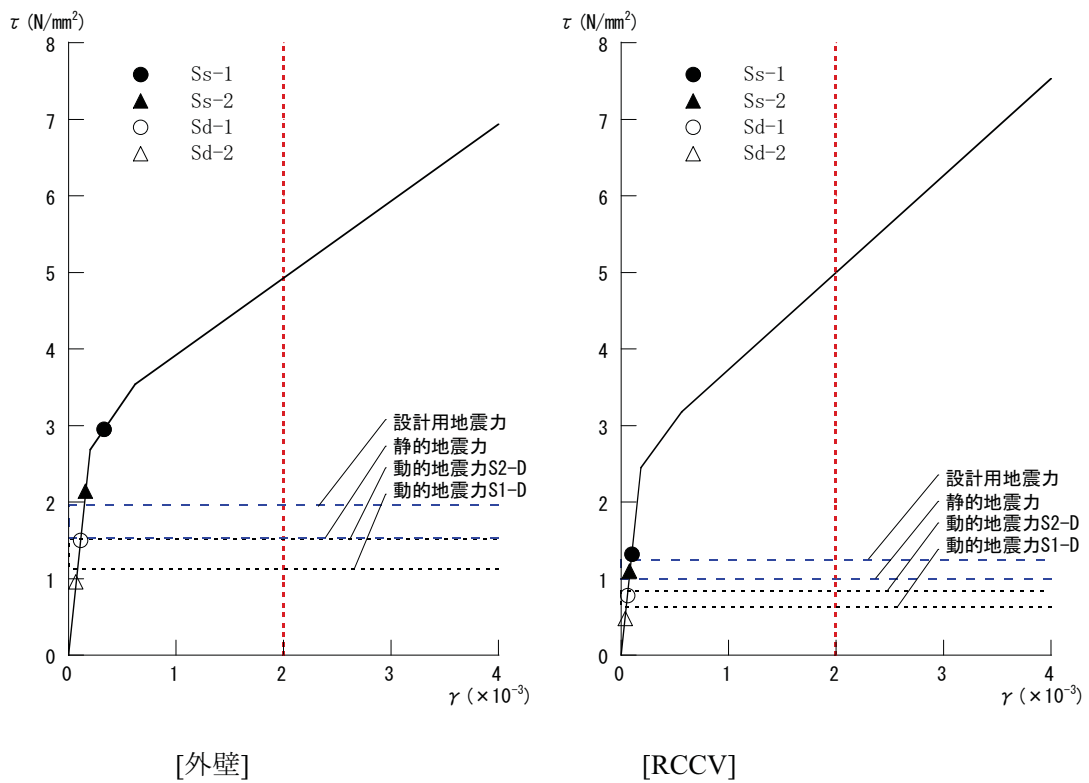
第 9.3.1-9 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,CRF)



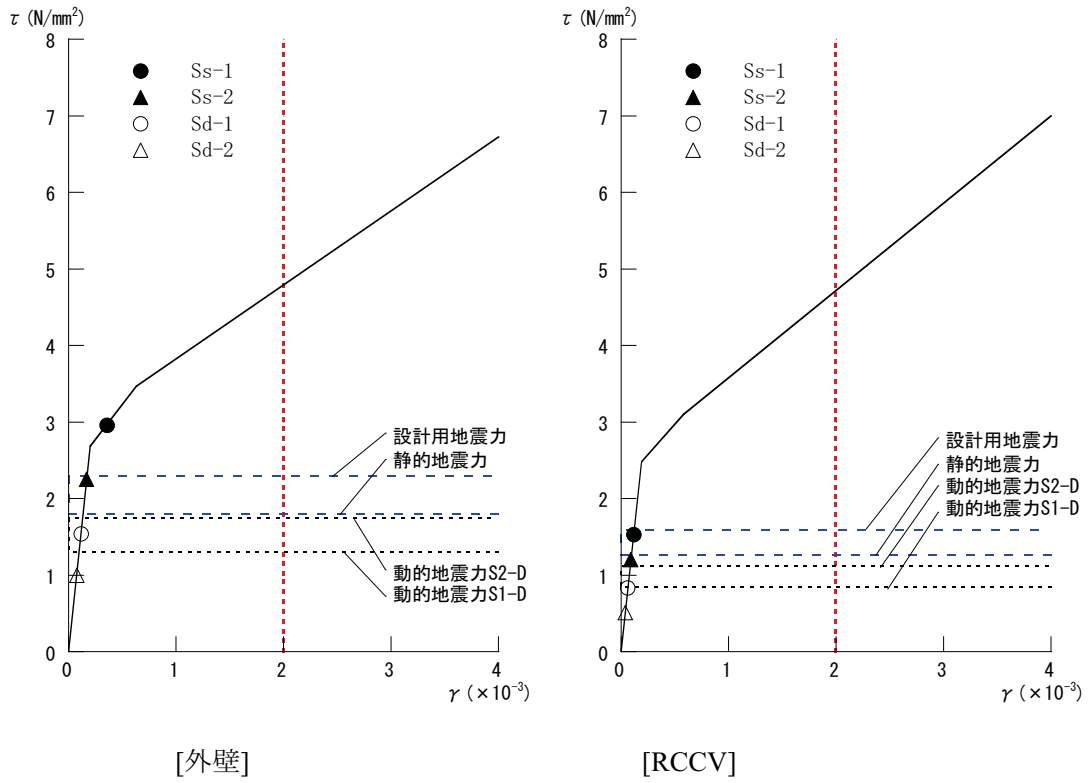
第 9.3.1-9 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,4F)



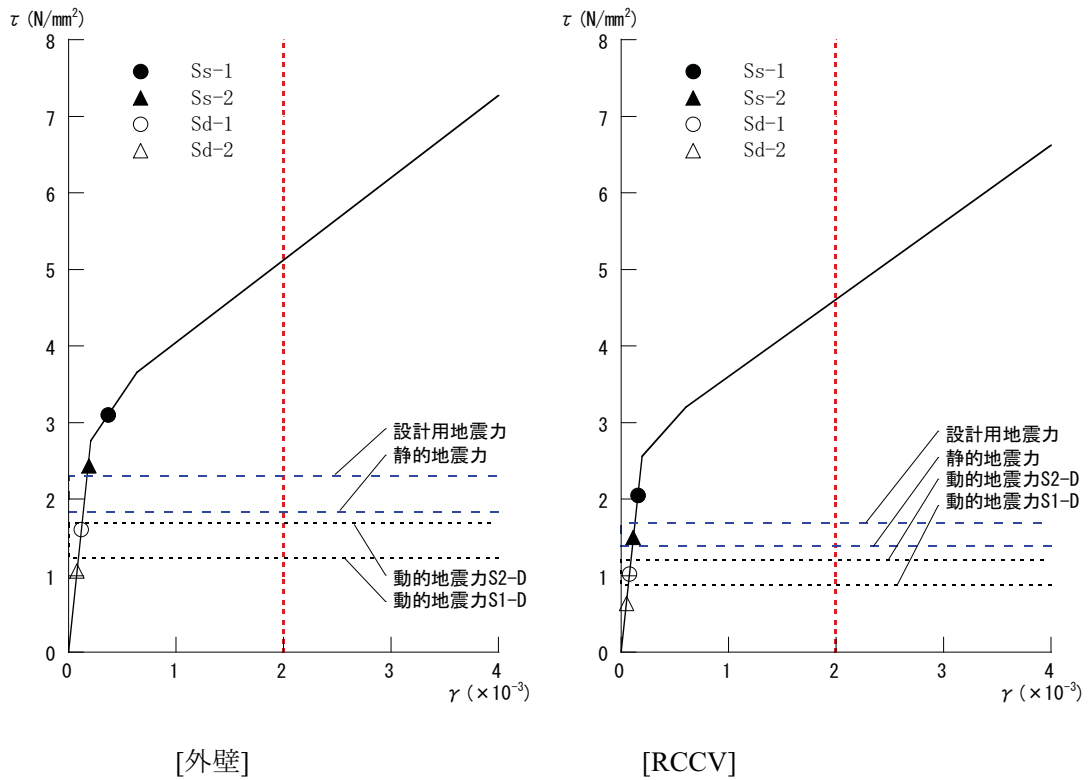
第 9.3.1-9 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,3F)



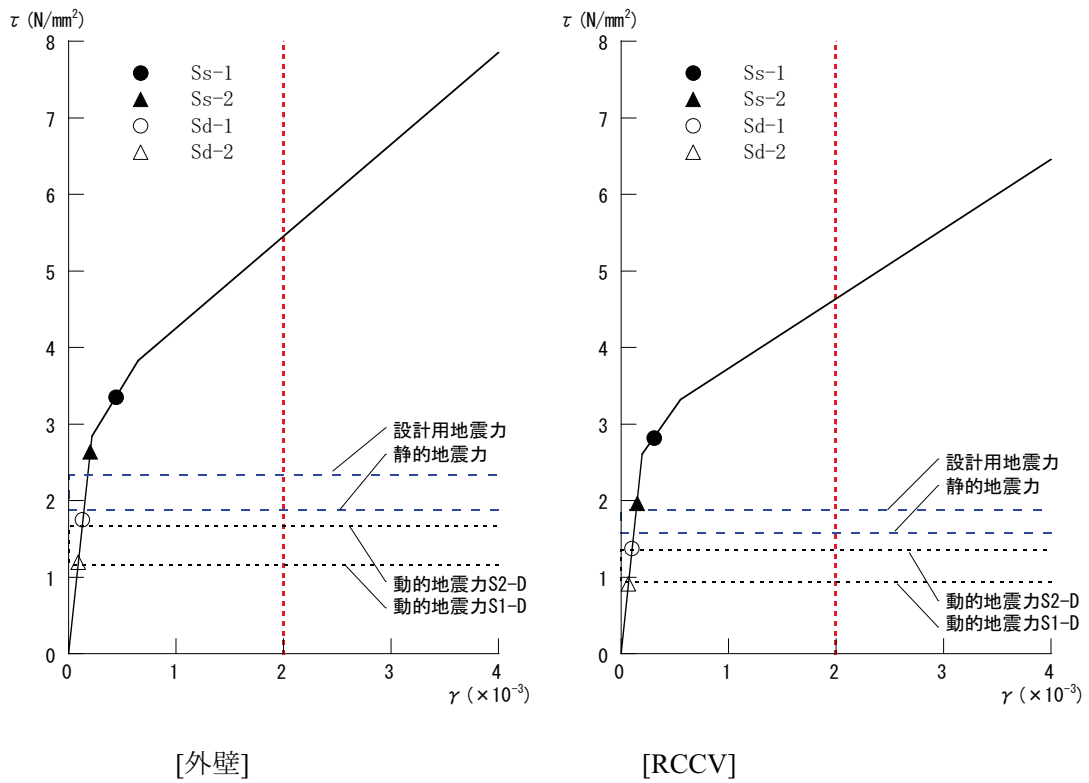
第 9.3.1-9 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,2F)



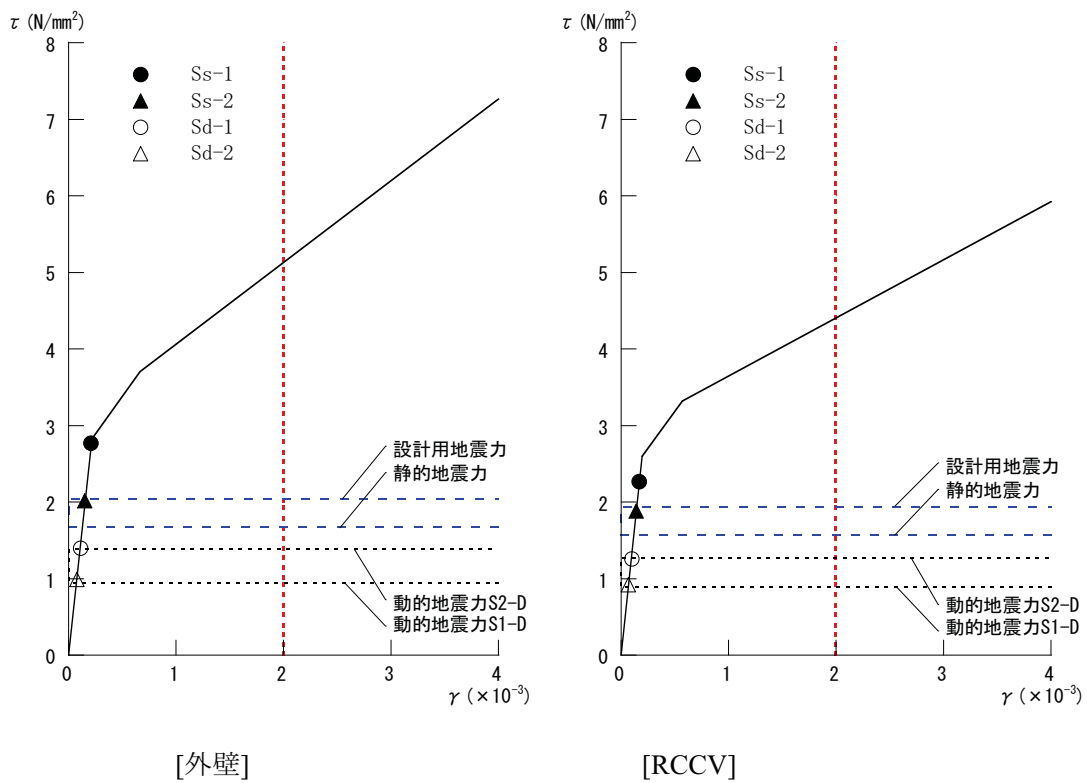
第 9.3.1-9 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,1F)



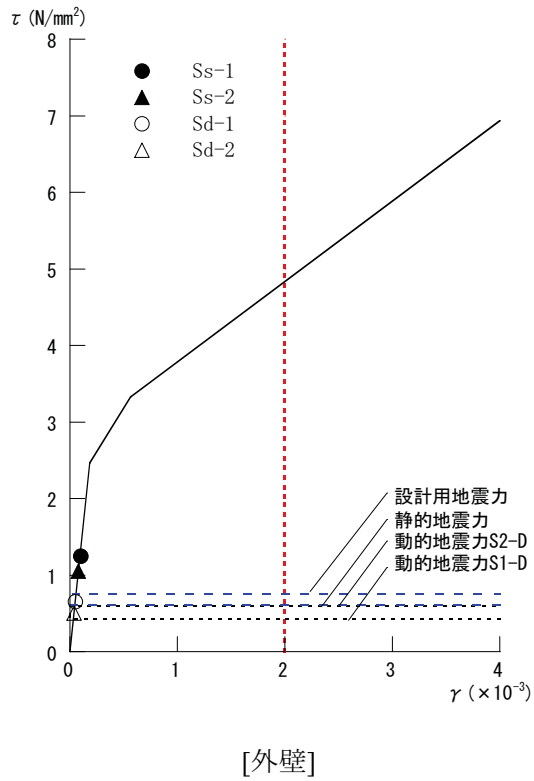
第 9.3.1-9 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B1F)



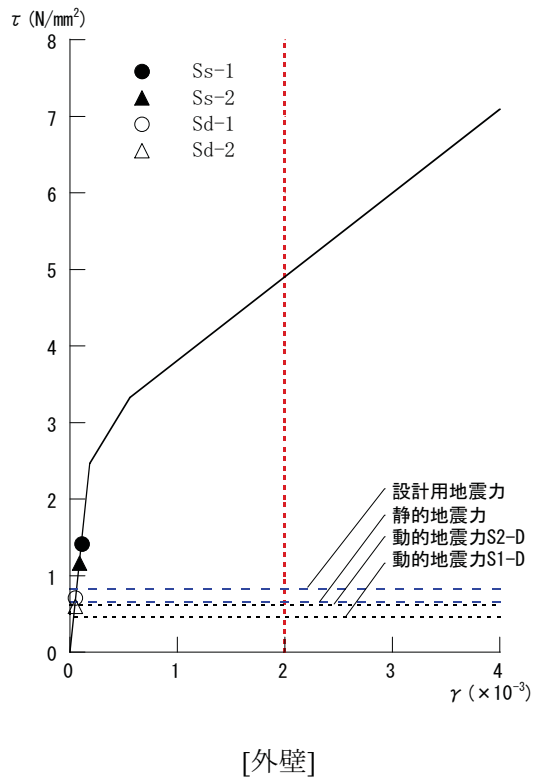
第 9.3.1-9 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B2F)



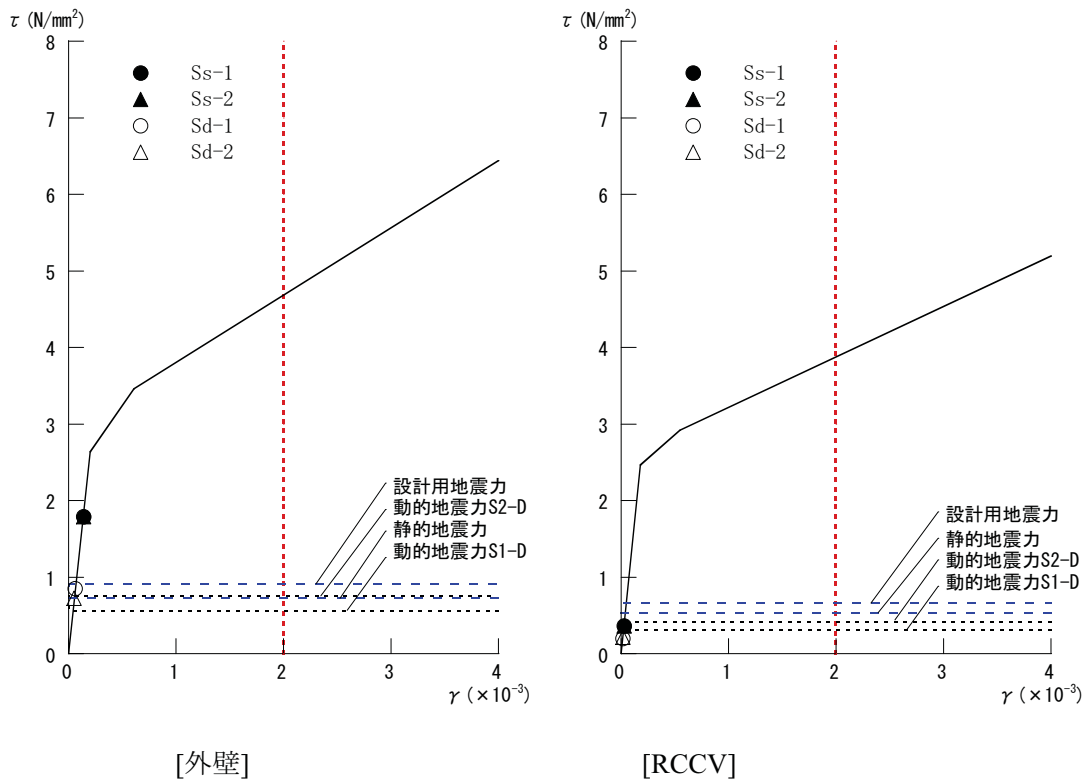
第 9.3.1-9 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B3F)



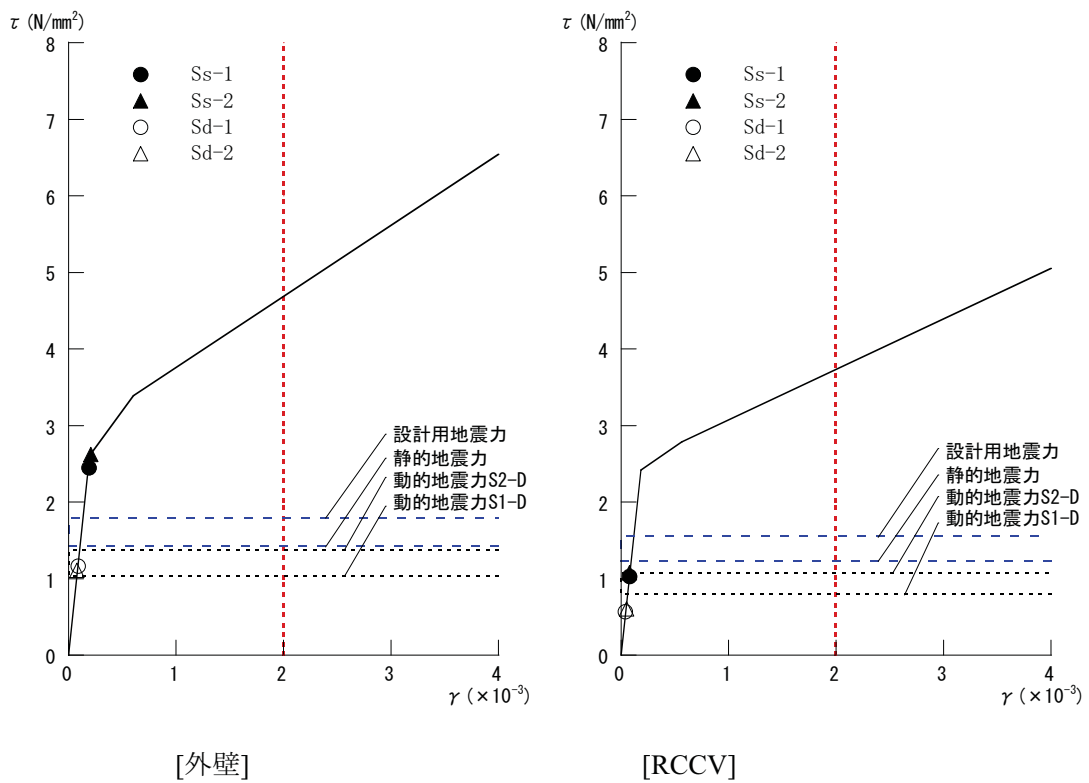
第 9.3.1-10 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,CRF)



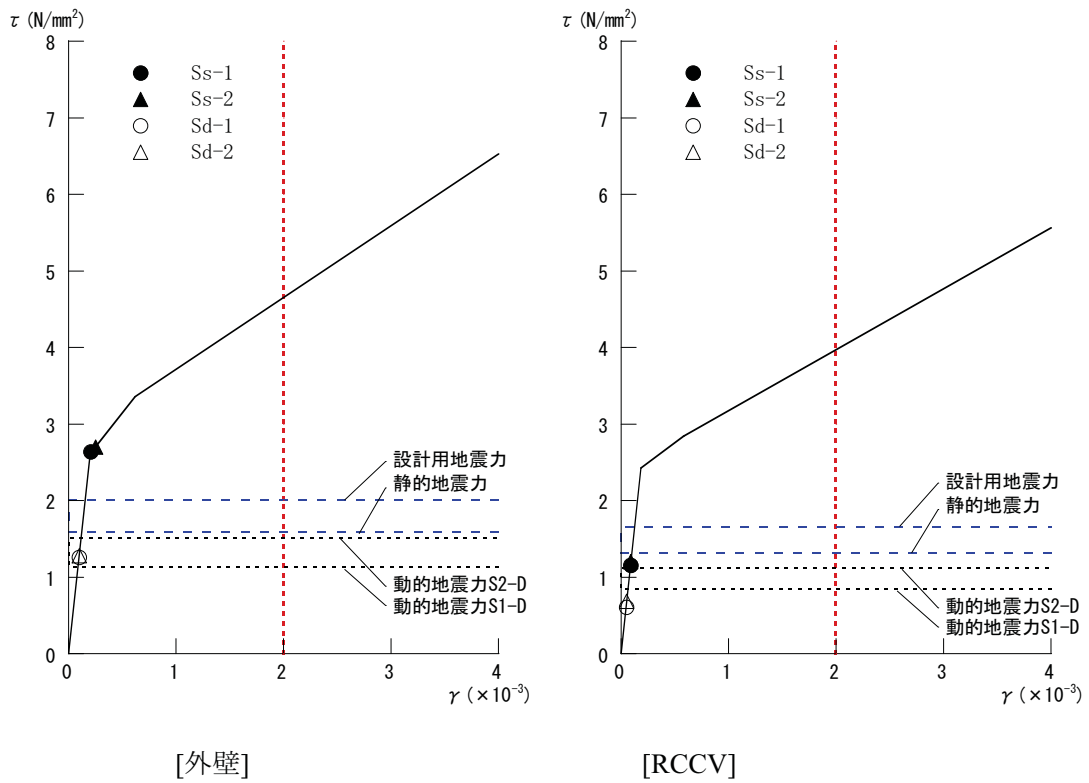
第 9.3.1-10 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,4F)



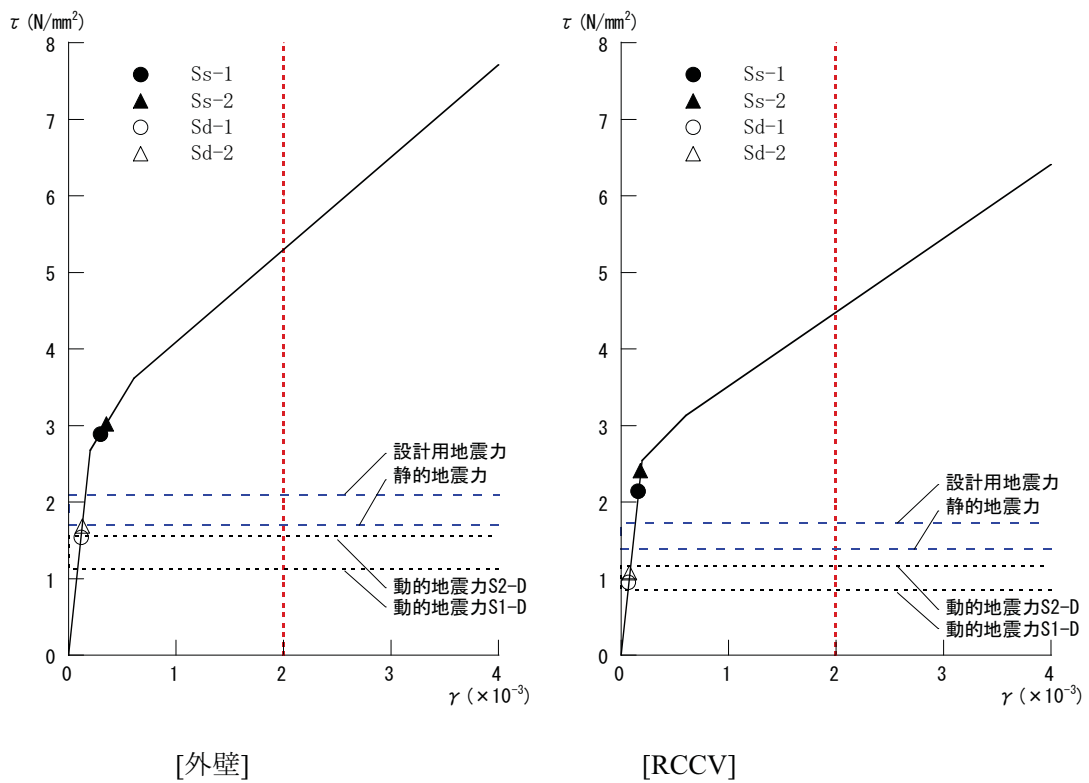
第 9.3.1-10 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,3F)



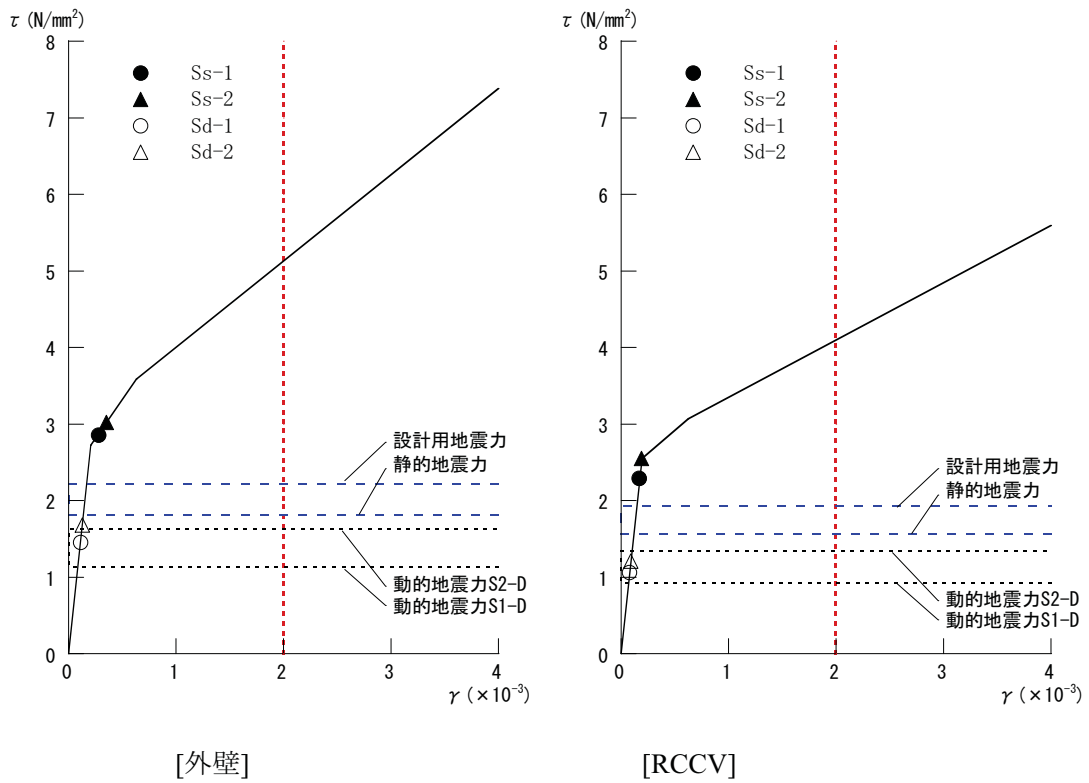
第 9.3.1-10 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,2F)



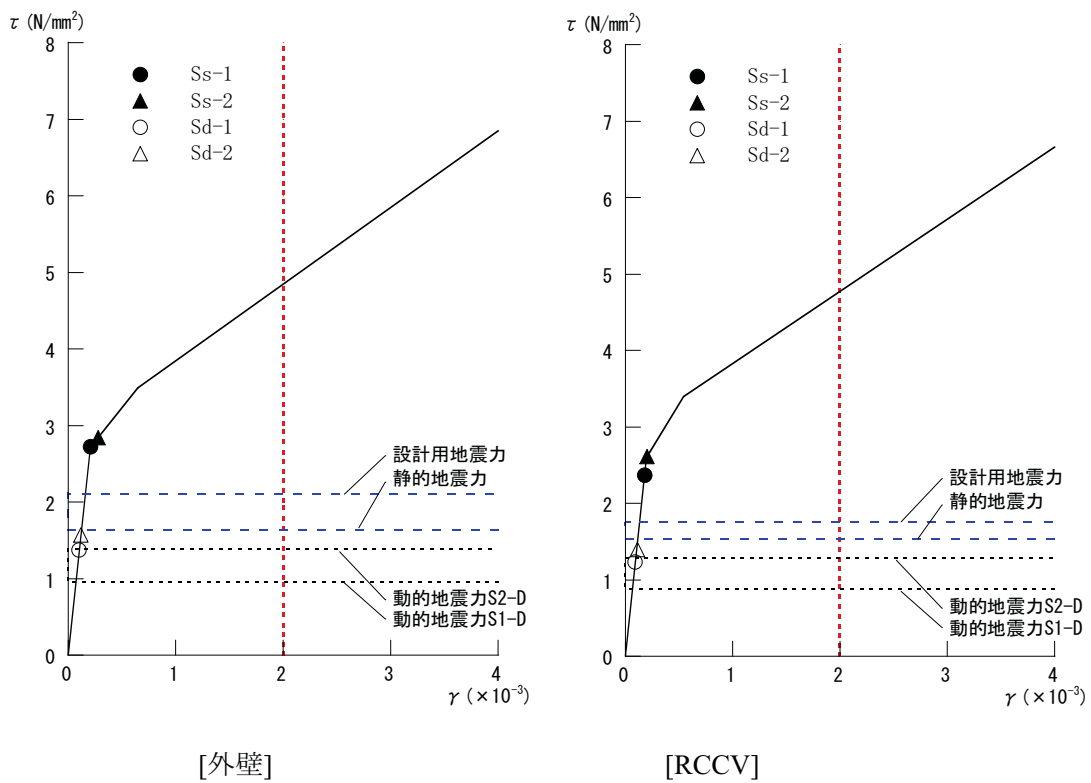
第 9.3.1-10 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,1F)



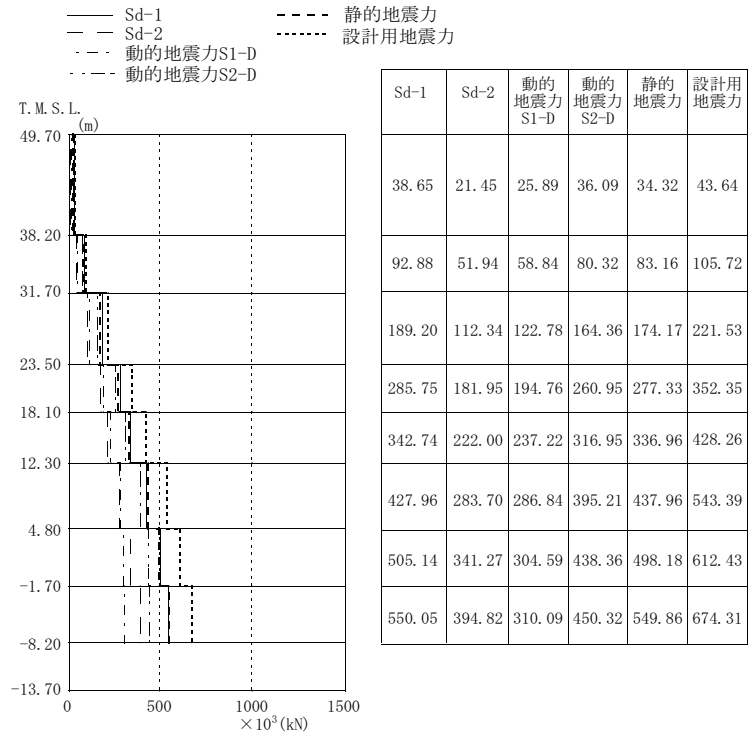
第 9.3.1-10 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B1F)



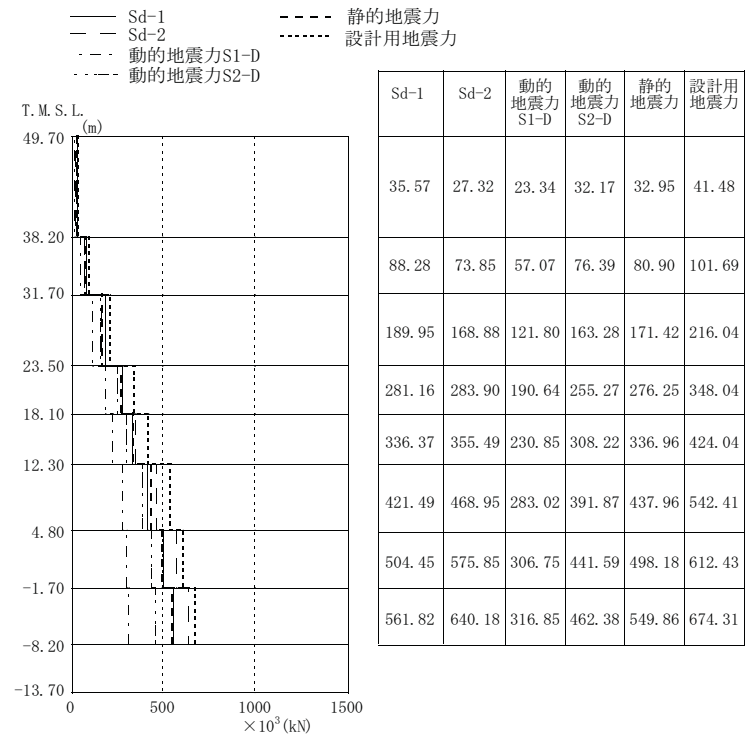
第 9.3.1-10 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B2F)



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)	50,112	44,130	52,800	98,800
	せん断力 (kN)	9,248	7,188	10,100	19,200
遮へい壁	モーメント (kN・m)	27,262	27,753	36,000	67,800
	せん断力 (kN)	5,580	5,502	7,160	13,500
原子炉本体基礎	モーメント (kN・m)	583,496	518,772	463,000	1,070,000
	せん断力 (kN)	30,106	26,380	25,600	57,300

<p><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</p>

(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。S_s の 0.5 倍で設定した S_d による評価用震度は、設計時の S₁* 又は S₂ とほぼ同等の大きさとなっている。

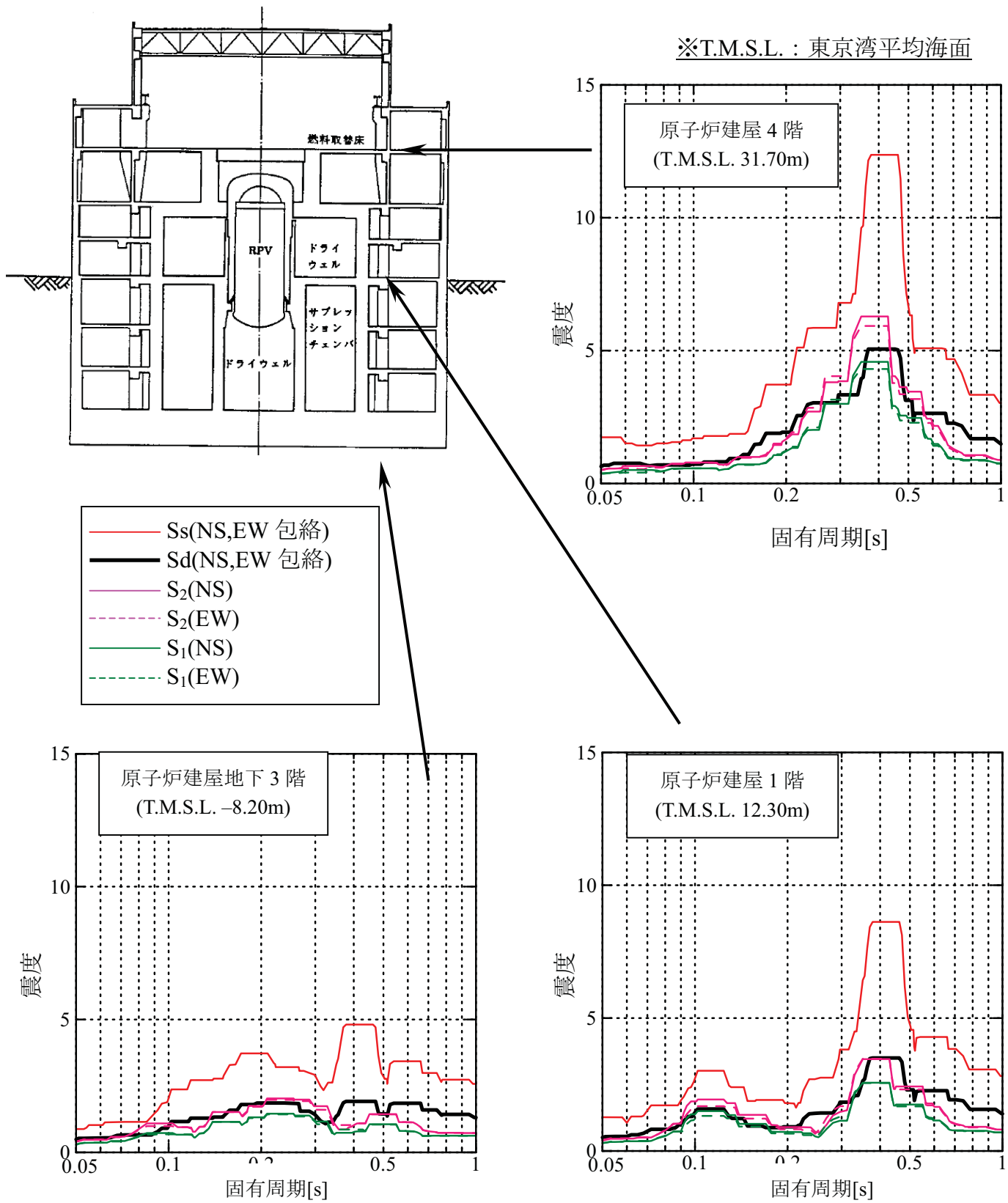
第 9.4.1-2 表 原子炉建屋設置機器の評価用震度

標高 T.M.S.L. (m)	震 度			
	S ₁ *	S ₂	S _d	S _s
49.7	0.91	0.97	1.18	2.10
38.2	0.78	0.67	0.81	1.56
31.7	0.69	0.58	0.65	1.31
23.5	0.62	0.51	0.59	1.16
18.1	0.58	0.47	0.55	1.11
12.3	0.44	0.42	0.54	1.07
4.8	0.36	0.34	0.50	0.97
-1.7	0.29	0.33	0.45	1.00
-8.2	0.25	0.33	0.38	0.91

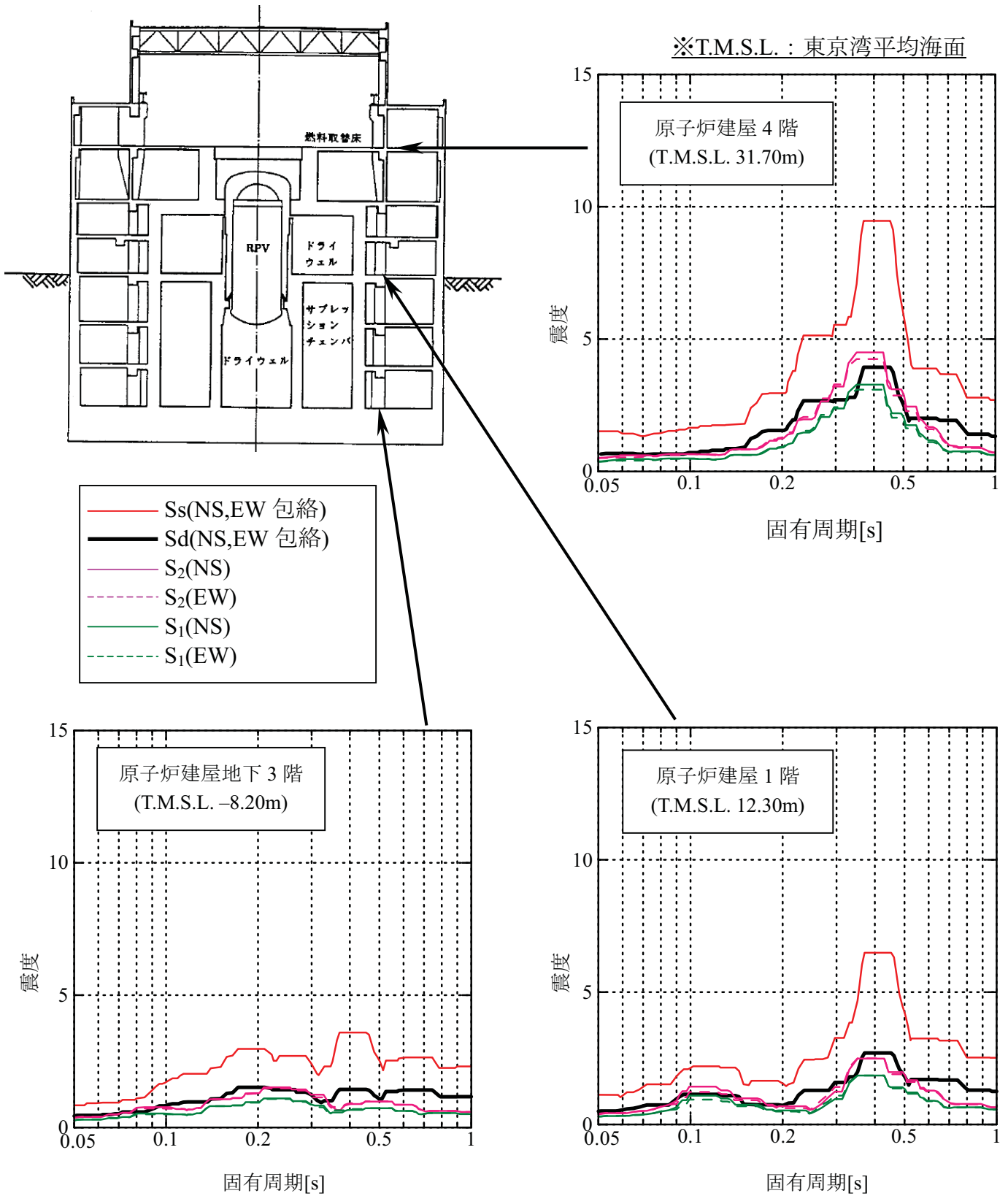
(3) 床応答スペクトル（水平方向）の比較

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。

S_s の 0.5 倍で設定した S_d による評価用床応答スペクトルは、設計時の S₁ 又は S₂ 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 S_d に対する重要な機器・配管系の耐震性評価結果

7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 S_d 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 S_d 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ⅢAS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 S_d に対して、発生値がⅢAS 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 S_d 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 S_d 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 (S_d)	評価基準値 (IIIAS)	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	50	246	荷重	B
冷やす	残留熱除去ポンプ	基礎ボルト	せん断	10	350	震度	A2
	残留熱除去系配管	配管	一次	135	274	FRS	B
閉じ込める	原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張	140	499	荷重	B
	主蒸気系配管	配管	一次	158	281	FRS	B
	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ出入口	せん断	14	137	震度	B

※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 S_s 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 S_s 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

B：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 S_d 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】

10.1. 評価方針	10-1
10.2. 7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」⁽¹⁾ 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。

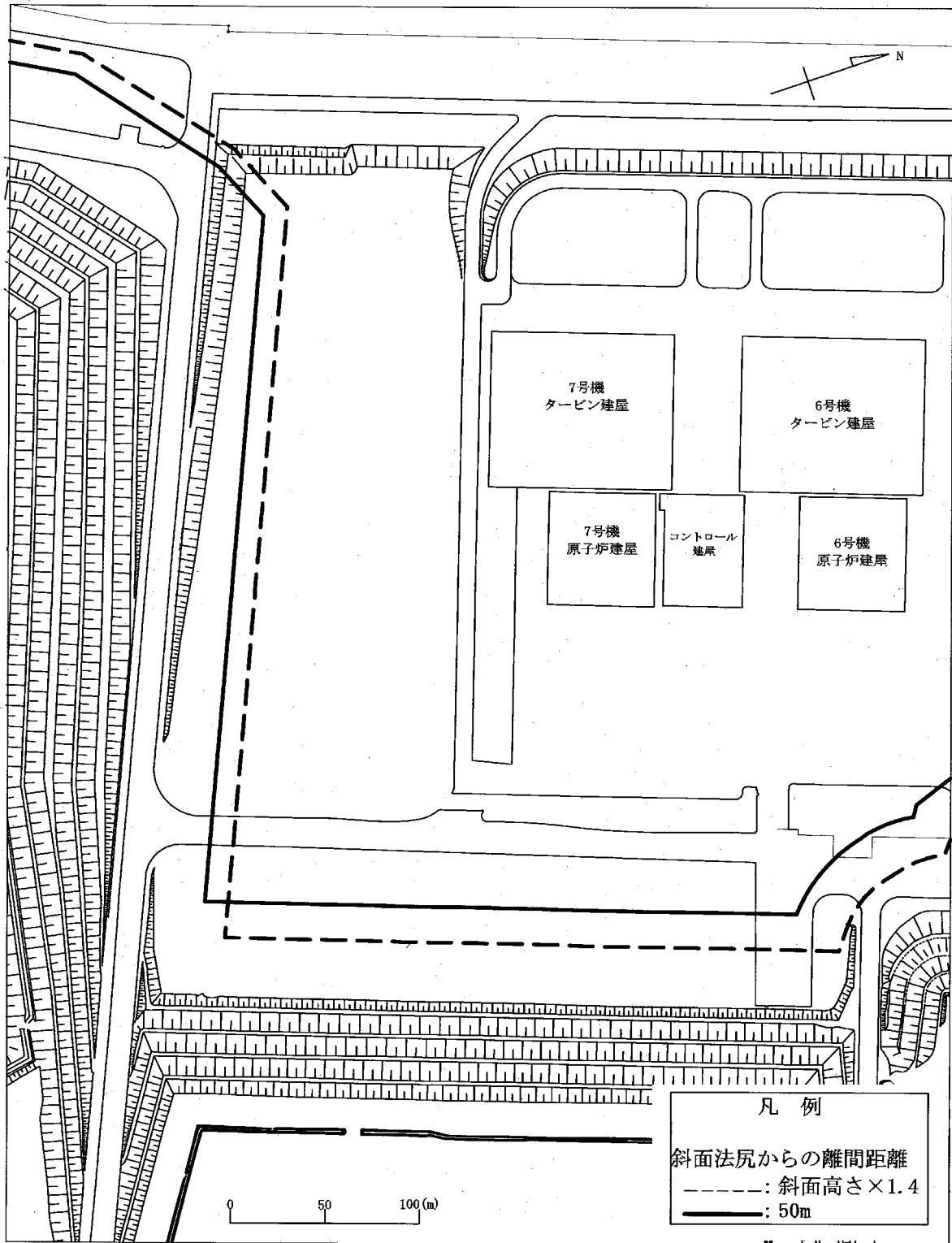
10.2. 7号機周辺の状況

第 10.2-1 図に 7 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 7 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無いことを確認した。

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 7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】

11.1. 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
11.3.1 既往津波の検討	11-2
11.3.2 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討	11-5
11.3.3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討	11-6
11.4. 津波に対する安全性の評価	11-7
11.4.1 津波水位の評価	11-8
11.4.2 津波に対する安全性の評価	11-8
11.5. 二次的な影響に対する評価	11-10
11.5.1 砂移動に対する評価	11-10
11.5.2 漂流物に対する評価	11-11
11.6. 評価結果	11-12
11.7. 参考文献	11-12

【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ことの妥当性について
- 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

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

施設の共用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性がある津波を想定し、想定津波による水位変化の原子炉施設への影響を評価して、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認する。

また、津波による二次的な影響についても評価して、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認する。

11.2. 評価方法

既往の津波の発生状況等を考慮して津波を想定し、既往津波の痕跡高の再現性の検討を踏まえて想定津波の断層モデルを設定する。設定した想定津波の断層モデルに係る不確かさを考慮した数値シミュレーションにより評価用の津波水位を求め、津波水位に対する原子炉施設への影響を評価する。評価に当たっては、取水設備の水理特性による水位変動への影響も考慮するが、本報告書においては、取水設備の水理特性による水位変動への影響は7号機についてのみ検討を行う。

また、津波に伴う砂移動等の水位変動以外の事象に対しても評価する。

ここでの評価フローを第 11.2-1 図に示す。

11.3. 津波の想定及び数値シミュレーション

津波の想定に当たっては、敷地周辺の既往津波の被害状況、日本海東縁部における津波の発生状況、及び海域の活断層を考慮する。数値シミュレーションに当たっては、土木学会(2002)⁽¹⁾を参考に、既往津波の数値シミュレーションを踏まえて想定した設定津波の断層モデルに係る不確かさを合理的な範囲で考慮したパラメータスタ

ディを実施する。

11.3.1 既往津波の検討

11.3.1.1. 文献調査

文献調査^{(2)~(17)}を基に敷地周辺の既往津波の被害状況について、以下のとおり検討した。

日本海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる津波規模 m が2以上の津波を第11.3.1-1表に示す。同表より、敷地周辺に影響を及ぼしたと考えられる津波としては、1833年(山形県沖)津波、1964年新潟地震津波、1983年日本海中部地震津波、及び1993年北海道南西沖地震津波の4つが挙げられる。これら津波の波源域を図11.3.1-1図に示す。また新潟県本州沿岸における既往津波高を第11.3.1-2表に、既往津波高の比較を第11.3.1-2図に示す。

1833年(山形県沖)津波では、出雲崎で2~3m(第11.3.1-2表には中間値の2.5mと記載)を記録している。1964年新潟地震津波では、出雲崎で約1.3m、柏崎で約1.5m、直江津で約1.1m(直江津と直江津港の観測値の平均値)を記録している。1983年日本海中部地震津波では、寺泊で約0.5m、出雲崎で約0.6m、敷地前面で約0.6mを記録している。また、1993年北海道南西沖地震津波では、寺泊で約1.7m、米山海岸で約1.9m、敷地前面で約0.9mを記録している。

このように柏崎周辺の沿岸で観測されている津波は最大でも3m程度である。なお、2007年新潟県中越沖地震津波では、敷地前面(専用港湾外海象計)で最大上昇量0.27m、最大下降量0.44mであった。

11.3.1.2. 既往津波の数値シミュレーション

既往津波の数値シミュレーションについては、痕跡高の再現性を検討し、数値シミュレーションに用いたモデルおよび計算手法の妥当性を確認した。

(1) 津波の数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションにおける主な計算条件を第 11.3.1-3 表に示す。

地形のモデル化に当たっては、日本水路協会や米国地球物理センター等による最新の地形図^{(18)~(21)}と、平成 20 年 4 月に実施した深淺測量による敷地周辺及び専用港湾内の詳細な地形図を用いた。数値シミュレーションに用いた計算領域とその水深、および計算格子分割を第 11.3.1-3 図に示す。計算格子については、水深と津波の周期から推定される津波の波長をもとに、長谷川・首藤ほか(1987)⁽²²⁾の方法を参考にして設定した。第 11.3.1-4 図に長谷川・首藤ほか(1987)⁽²²⁾の方法と、敷地周辺における必要計算格子サイズと設定計算格子サイズを比較した図を示す。

(2) 再現性の評価方法

数値シミュレーションによる津波の再現性の評価は、敷地周辺および沿岸における痕跡高と数値シミュレーションにより計算された津波高を比較した。

再現性の評価の指標としては、相田(1977)⁽²³⁾による痕跡高と数値シミュレーションにより計算された津波高との比から求める幾何平均 K およびバラツキを表す指標 κ を用いた。

以下に、幾何平均 K およびバラツキを表す指標 κ の算定式を表す。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$

$$\log \kappa = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right\}^{1/2}$$

$$K_i = \frac{R_i}{H_i}$$

ここに、 R_i は i 番目の地点の観測値（痕跡高）であり、 H_i は数値シミュレーションにより計算された津波高である。

なお、幾何平均 K およびバラツキを表す指標 κ については、土木学会（2002）⁽¹⁾ により「 $0.95 < K < 1.05$ ， $\kappa < 1.45$ 」が再現性の目安とされている。

(3) 再現性の検討

数値シミュレーションにより津波の再現性について、以下のとおり検討した。

a. 1964 年新潟地震津波

第 11.3.1-5 図に示す東京電力オリジナルの断層モデルを波源として設定し、津波の再現計算を実施した。

相田ほか(1964)⁽¹¹⁾、土木学会(1964)⁽¹²⁾に示される津波痕跡高と数値シミュレーション結果による計算津波高との比較を第 11.3.1-6 図に示す。秋田県から新潟県に至る日本海沿岸域において、 $K = 1.008$ ， $\kappa = 1.364$ との結果が得られ、各指標が再現性の目安とされる基準を満足していることを確認した。この結果より、1964 年新潟地震に対する数値シミュレーションについては良好な再現性を確認できたといえる。

b. 1983年日本海中部地震津波

第 11.3.1-7 図に示す相田(1984)⁽²⁴⁾の Model-10 を波源として設定し、津波の再現計算を実施した。

首藤ほか(1984)⁽¹³⁾、気象庁(1984)⁽¹⁴⁾、土木学会(1986)⁽¹⁵⁾に示される津波痕跡高と数値シミュレーション結果による計算津波高との比較を第 11.3.1-8 図に示す。青森県から石川県に至る日本海沿岸域において、 $K=1.049$ 、 $\kappa=1.422$ の結果が得られ、各指標が再現性の目安とされる基準を満足していることを確認した。この結果より、1983年日本海中部地震に対する数値シミュレーションについては良好な再現性を確認できたといえる。

11.3.2 海域活断層に想定される地震に伴う津波の検討

海域活断層に想定される地震に伴う津波に対しては、2007年7月16日の新潟県中越沖地震発生後に実施した敷地前面海域において海上音波探査や海底地形調査の結果などから敷地前面海域において再評価した海域活断層をもとに検討を行った。再評価した海域活断層分布図を第 11.3.2-1 図に示す。

これらの海域活断層を基に地震動評価において考慮すべき断層モデルを対象として数値シミュレーションを行った。断層モデルの諸元は第 11.3.2-1 表に示す。

各海域活断層による取水口前面における最大水位上昇量と最大水位下降量は第 11.3.2-2 表に示すとおりである。取水口前面における最大水位上昇量は、1～4号機では佐渡島棚東縁断層による地震に伴う津波の+1.57m～+1.44m、5～7号機では、F-D断層+高田沖断層による地震に伴う津波の+1.42m～+1.35m である。また、取水口前面における最大水位下降量は全号機とも長岡平野西縁断層帯（傾斜角 $\delta = 35^\circ$ ）による地震に伴う津波の-3.48m～-3.21m

である。

敷地前面における最大水位上昇量分布図，最大水位下降量分布図，及び水位の時系列変化を第 11.3.2-2 図～11.3.2-4 図に示す。

11.3.3 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討

土木学会（2002）⁽¹⁾を参考に，日本海東縁部で想定される地震規模に応じた波源の基準断層モデルを設定し，この断層モデルの諸条件を，位置を含め合理的と考えられる範囲内で変化させた数値シミュレーションを多数実施するパラメータスタディを行った。ただし，地震調査研究推進本部（2003）⁽²⁵⁾に示される日本海東縁部の地震活動域のうち，土木学会（2002）⁽¹⁾に示される範囲を超える部分についてもパラメータスタディの対象範囲とした。

なお，概略パラメータスタディと詳細パラメータスタディには，第 11.3.3-1 図に示す概略検討用の計算格子モデル（最小計算格子間隔＝40m）を用いて数値シミュレーションを行うものとし，パラメータスタディにより抽出した最大水位上昇量，及び最大水位下降量を示す断層モデルに対してのみ第 11.3.1-3 図に示す計算格子モデル（最小計算格子間隔＝10m）により数値シミュレーションを実施して津波水位を評価する。

11.3.3.1. 基準断層モデルの設定

敷地周辺では，日本海東縁部の地震活動領域で発生した地震のうち，同領域の北方で発生した 1983 年日本海中部地震や 1993 年北海道南西沖地震による津波水位が比較的小さいことを考慮して，第 11.3.3-2 図に示す日本海東縁部の地震活動領域のうち，敷地により近い新潟～山形沖の領域を断層設定範囲とした。基準断層モデルは，1993 年北海道南西沖地震の津波を再現するモデルのモー

メントマグニチュード Mw7.84 を下回らないように、Mw=7.85 に設定した。

11.3.3.2. 概略パラメータスタディ

基準断層モデルを用いて、第 11.3.3-3 図に示すように、位置、走向、傾斜角、及び傾斜方向を組み合わせた多数の数値シミュレーションを実施した。

11.3.3.3. 詳細パラメータスタディ

概略パラメータスタディのうち、取水口前面において最大水位上昇量及び最大水位下降量を示すケースについて、第 11.3.3-4 図に示すように波源位置を補間的に移動させた場合の数値シミュレーションを実施するとともに、さらに、このうちの最大水位上昇量及び最大水位下降量を示すケースに対して、断層上縁深さ及び傾斜角を変化させた場合の数値シミュレーションを実施した。

これらの結果より、敷地に最も大きな影響を及ぼす津波は、第 11.3.3-5 図に示すとおり比較的沿岸に近い断層によるものであり、取水口前面における最大水位上昇量は、1号機で最高値を示し、その値は+2.76mである。取水口前面における最大水位下降量は、1号機で最低値を示し、その値は-3.05mである。

取水口前面における最大水位上昇量及び最大水位下降量を第 11.3.3-1 表に、また、敷地前面における最大水位上昇量分布、最大水位下降量分布、及び取水口前面における水位時系列を第 11.3.3-6 図～第 11.3.3-8 図に示す。

11.4. 津波に対する安全性の評価

評価用の津波水位による水位上昇及び水位低下に対しては、原子

炉施設の安全性に問題とならないことを確認する。確認にあたっては、取水施設の水利特性による水位変動の影響も考慮する。

なお、基準面は東京湾平均海面（T.M.S.L.）を用いた。

11.4.1 津波水位の評価

数値シミュレーションによる津波高の検討結果から、取水口前面における最高水位を与える津波は、日本海東縁部の津波で、最大水位上昇量は1号機で+2.76mであり、評価用の最高水位は、朔望平均満潮位（T.M.S.L.+0.48m）を考慮するとT.M.S.L.+3.3m程度である。全号機の取水口前面の最高水位を第11.4.1-1表に示す。

また、取水口における最低水位を与える津波は、長岡平野西縁断層帯（ $\delta=35^\circ$ ）による津波で、最大水位下降量は1号機で-3.48mであり、評価用の最低水位は、朔望平均干潮位（T.M.S.L.-0.02m）を考慮すると、T.M.S.L.-3.5m程度である。全号機の取水口前面の最低水位を第11.4.1-1表に示す。

11.4.2 津波に対する安全性の評価

評価用の津波水位に対する原子炉施設の安全性について、数値シミュレーションの結果を考慮して、以下のとおり検討した。

11.4.2.1 津波による水位上昇に対する安全性

原子炉建屋等の重要施設の設置レベルは、第11.4.1-1表に示すとおり、1～4号機がT.M.S.L.+5.0m、5～7号機がT.M.S.L.+12.0mであることから、原子炉施設が津波による被害を受けるおそれはない。

11.4.2.2. 津波による水位低下に対する安全性

第 11.4.1-1 表に示すとおり，原子炉補機冷却海水ポンプの吸い込み可能レベル^{*)}は評価用の最低水位より十分深いことから，津波により，水位が低下した場合でも原子炉補機冷却系の海水を取水することは可能である。

^{*)} 吸込み可能レベル：これ以上水位が低下すると水面に渦が形成されて空気を吸い込む可能性がある水位のこと

11.4.2.3. 取水施設の水利特性による水位変動への影響（7号機）

想定津波による7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，7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

7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7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。

取水設備の水利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

津波の水位変動以外の事象に対する評価として、津波に伴う砂移動および漂流物の影響について確認する。

11.5.1 砂移動に対する評価

想定津波により砂が移動した場合の影響について数値シミュレーションにより検討し、原子炉補機冷却系の取水に支障が生じることはなく、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認した。

11.5.1.1. 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションは、藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾ および高橋ほか(1999)⁽²⁷⁾ の手法に基づき、津波の挙動とそれに伴う砂移動を同時に計算し、その結果より変化した地形を用いて次のステップの流れと水位を計算した。

数値のシミュレーションのフローを第 11.5.1-1 図に、砂移動の数値シミュレーションの手法および条件を第 11.5.1-1 表に示す。

11.5.1.2. 対象津波

取水口前面において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($\delta = 35^\circ$)による津波を対象とした。

11.5.1.3. 評価結果

想定津波を対象とした砂移動の数値シミュレーションを実施した結果、取水口前面における砂の堆積はいずれの手法においても最大で約 30cm であり、砂移動により原子炉補機冷却系の取水に支

障が生じることはない。

砂移動に伴う地形変化量の分布を第 11.5.1-2 図に示す。

11.5.2 漂流物に対する評価

津波による漂流物として、船舶、流木およびゴミの影響について検討し、原子炉補機冷却系の取水に支障が生じることはなく、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認した。

11.5.2.1. 船舶に対する評価

専用港湾に入港する船舶のうち、大型船舶は使用済燃料輸送船等であり、喫水は 5m 程度、長さは 100m 程度である。津波による最高水位が T. M. S. L. +3.3m 程度であることを考慮すると、原子炉建屋等の重要施設の設置レベル（1～4号機：T. M. S. L. +5.0m, 5～7号機：T. M. S. L. +12.0m）に打ち上げられる可能性はない。また、1～4号機側と5～7号機側にはそれぞれ 200m 以上のカーテンウォール（天端レベル：T. M. S. L. +3.0m）があり、船舶の長さを考慮すると完全に閉塞する可能性はないことから、原子炉冷却系の取水に支障が生じることはない。

11.5.2.2. 流木に対する評価

敷地周辺には貯木場はなく、津波発生時に木材の流出、散乱のおそれがないことから、流木により原子炉補機冷却系の取水の支障が生じることはない。

11.5.2.3. ゴミに対する評価

取水口にはスクリーン等を設置し、ゴミの流入を防止する構造となっていることから、津波発生時にゴミにより原子炉補機冷却

系の取水に支障が生じることはない。

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。

11.7. 参考文献

- (1) 「原子力発電所の津波評価技術」
土木学会原子力土木委員会津波評価部会，2002
- (2) 「最新版 日本被害地震総覧 [416] -2001」
宇佐美龍夫，東京大学出版会，2003
- (3) 「津波の事典[第2版]」
宇津徳治・嶋悦三・吉井敏尅・山科健一郎編，朝倉書店，
pp. 569-642，2001
- (4) 「日本海の歴史津波」
羽鳥徳太郎，月刊海洋科学，Vol. 16, No9, pp. 538-545. 1984
- (5) 「理科年表 平成20年」
国立天文台編，丸善，2007
- (6) 「日本被害津波総覧 [第2版]」
渡辺偉夫，東京大学出版会，1998
- (7) 「日本被害津波総覧」
渡辺偉夫，東京大学出版会，1985
- (8) 「日本海沿岸における歴史津波の挙動とその波源域」
羽鳥徳太郎・片山通子，東京大学地震研究所彙報，
Vol. 52, pp. 49-70, 1977
- (9) 「続古地震一実像と虚像」
萩原尊禮・大長昭雄・相田勇，東京大学出版会，

pp. 165-214, 1989

- (10) 「天保 4 年 (1833) 山形沖地震とその津波の規模」
羽鳥徳太郎, 地震第 2 輯, 第 43 卷, pp. 227-232, 1990
- (11) 「1964 年 6 月 16 日新潟地震にともなう津波の調査」
相田勇・梶浦欣二郎・羽鳥徳太郎・桃井高夫,
東京大学地震研究所彙報, 第 42 冊第 4 号, pp741-780, 1964
- (12) 「昭和 39 年新潟地震震害調査報告」
土木学会新潟震災調査委員会, 1966
- (13) 「1983 年日本海中部地震津波の痕跡高」
首藤伸夫・卯花政孝,
東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 第 1 号, 1984
- (14) 「昭和 58 年 (1983 年) 日本海中部地震調査報告－災害時自然現象報告書－」
気象庁, 気象庁技術報告第 106 号, 1984
- (15) 「1983 年日本海中部地震震害調査報告書」
土木学会日本海中部地震震害調査委員会編,
土木学会, pp. 903, 1986
- (16) 「4. 津波, 1993 年北海道南西沖地震震害調査報告」
首藤伸夫・明田定満・都司嘉宣・松富英夫,
土木学会, pp. 76-106, 1997
- (17) 「北海道南西沖地震に伴う津波－小樽から礼文島まで－」
後藤章夫・高橋浩晃・宇津木 充・小野 忍・西田泰典・
大島弘光・笠原 稔・竹中博士・斉田智治,
月刊海洋, 号外 No. 7, pp. 153-158, 1994
- (18) 「日本近海 30 秒グリッド水深データ (JTOP030) , M1307,
M1407, M1408, M1508」
(財)日本水路協会, 2003

- (19) 「2-Minute Gridded Global Relief Data (ETOPO2v2)」
World Data Center for Geophysics & Marine Geology, 2006
- (20) 「海底地形デジタルデータ (M7000 シリーズ), M7006 (津軽海峡東部), M7009 (北海道西部), M7010 (秋田沖), M7011 (佐渡), M7012 (若狭湾)」
(財)日本水路協会, 2004
- (21) 「数値地図 50m メッシュ (標高)」
国土地理院, 2002
- (22) 「津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究」
長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫,
土木学会論文集, No. 381/II-7, pp. 111-120, 1987
- (23) 「三陸沖の古い津波のシミュレーション」
相田勇, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 52, pp71-101, 1977
- (24) 「1983年日本海中部地震の波源数値モデル」
相田勇, 東京大学地震研究所彙報, Vol. 59, pp93-104, 1984
- (25) 「日本海東縁部の地震活動の長期評価」
地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 2003
- (26) 「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
- (27) 「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

- (28) 「Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法」
後藤智明・小川由信，
東北大学工学部土木工学科資料， 1982
- (29) 「GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法」
小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫，
海岸工学論文集， 第 45 卷， pp. 356-360， 1998
- (30) 「低溢流堰堤の流量係数」
本間仁， 土木学会誌， 第 26 卷， 第 6 号， pp. 635-645，
第 9 号， pp. 849-862， 1940
- (31) 「The displacement field of inclined faults」
Mansinha, L. and D. E. Smylie，
Bulletin of the Seismological Society of America，
Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440, 1971
- (32) 「火力・原子力発電所土木構造物の設計－補強改正版－」
電力土木技術協会， 1995
- (33) 「発電水力演習」
千秋信一， 学献社， 1967
- (34) 「水理公式集 [平成 11 年版]」
土木学会， 1999
- (35) 「歴史津波－危険度の地域性」
羽鳥徳太郎， 地震工学振興会ニュース， No. 135, pp. 5-9, 1994

第 11.3.1-1 表 日本海沿岸に影響を及ぼした津波の一覧

発生年月日 元号	震央位置 (緯度・経度)	地震規模 M	津波規模 m	地震・津波の概要
701.5.12 大宝 1	若狭湾	—	—, — [2]	丹波 地震うこと 3 日。若狭湾内の丹海郷が海に没したという「冠島伝説」があるが疑わしい。
850.11.27 嘉祥 3	山形県沿岸 39.0° N 139.7° E	≒ 7.0	2, — [2]	出羽 地裂け, 山崩れ, 国府の城柵は傾倒し, 山裂け圧死者多数。最上川の岸崩る。海水は国府から 6 里(3km)のところまで迫った。
863.7.10 貞観 5	新潟県沖	—	—, — [2?]	越中・越後 山崩れ谷埋まり, 水湧き, 民家破壊し, 圧死者多数。直江津付近にあった数個の小島, この地震のために壊滅したという。
887.8.2 仁和 3	新潟県南部沖	—	—, — [2]	越後で津波を伴い, 溺死者数千という。京都有感。越後に関する史料の信憑性不十分。
1092.9.13 寛治 6	新潟県沖	—	—, — [2?]	越後 柏崎～岩船間の沿岸, 海府浦・親不知大津波におそわる。「地震」とある古記あるも, 地震の状況を記した古記録未発見。疑わしい。
1341.10.31 興国 2	青森県西部沖	—	—, — [3?]	青森県西方沖 『東日流(つがる)外三郡誌』によれば, 朝地震とともに三丈余(9m)の津波が津軽半島の十三湊を襲い 26,000 人が溺死したとある。最近発見された古文書であるが, 疑問視する人もいる。
1614.11.26 慶長 19	新潟県南部沖	—	2, — [2]	従来, 越後高田沖の地震とされていたもの。大地震の割に史料が少なく, 震源については検討すべきことが多い。京都で家屋・社寺などが倒壊し, 死 2, 傷 370 という。京都付近の地震とする説がある。
1741.8.28 寛保 1	北海道南西沖 41.6° N 139.4° E	6.9	3, — [3.5]	渡島西岸・津軽・佐渡 渡島大島この月の下旬より活動, 13 日に噴火した。19 日早朝に津波, 北海道で死 1467, 流出家屋 729, 船 1521 破壊。津軽で田畑の損も多く, 流失潰家約 100, 死 20 余。佐渡・能登・若狭にも津波。
1792.6.13 寛政 4	北海道西方沖 43 ³ / ₄ ° N 140.0° E	≒ 7.1	2, — [1]	後志 小樽から積丹岬辺で有感, 津波あり。忍路で港頭の岸壁崩れ, 海岸に引き揚げていた夷船漂流。出漁中の夷人 5 人溺死。美国でも溺死若干。
1833.12.7 天保 4	山形県沖 38.9° N 139.25° E	7 ¹ / ₂ ± 1/4	2, — [2.5]	羽前・羽後・越後・佐渡 地震被害は山形庄内地方で最も多い。湯野浜～鼠ヶ関間で最も激しい津波, 局地的に 7～8m に達した。波源から遠い輪島中心部に津波遡上。
1940.8.2 昭和 15	北海道西方沖 44.15° N 139.28° E	7.5	2, 2 [2]	神威岬沖 震害ほとんどなく, 津波による被害が大きかった。波高は, 羽幌・天塩 2m, 利尻 3m, 金沢・宮津 1m。天塩河口で溺死 10。
1964.6.16 昭和 39	新潟県沖 38° 22' N 139° 12.9' E	7.5	2, 2 [2]	新潟県沖 [新潟地震]新潟・秋田・山形の各県を中心に被害があり, 死 26, 家屋全壊 1960, 半壊 6640, 浸水 15298, その他船舶・道路の被害も多かった。津波が日本海沿岸一帯を襲い, 波高は新潟県沿岸で 4m 以上に達した。粟島が約 1m 隆起した。
1983.5.26 昭和 58	秋田・青森県沖 40° 21.4' N 139° 4.6' E	7.7	2.5, 3 [3]	秋田県沖 [昭和 58 年日本海中部地震]被害は秋田県で最も多く, 青森・北海道がこれに次ぐ。日本全体で死 104(うち津波によるもの 100)。傷 163(同 104), 建物全壊 934, 半壊 2115, 流失 52, 一部破損 3258。船沈没 255, 流失 451, 破損 1187。津波は早い所では津波警報発令以前に沿岸に達した。石川・京都・島根など遠方の府県にも津波による被害が発生した。
1993.7.12 平成 5	北海道南西沖 42° 46.8' N 139° 11.0' E	7.8	—, 3 [3]	北海道南西沖 [平成 5 年北海道南西沖地震]地震に加えて津波による被害が大きく, 死 202, 不明 28, 傷 323。特に地震後間もなく津波に襲われた奥尻島の被害は甚大で, 島南端の青苗地区は火災もあって壊滅状態, 夜 10 時すぎの闇のなかで多くの人命, 家屋等が失われた。津波の高さは青苗の市街地で 10m を越えたところがある。

注 1) 震央位置(緯度, 経度)及び地震規模 M は, 以下より参照している

1884 以前の地震: 宇佐美(2003)⁽²⁾

1885～1922 年の地震: 宇津ほか編(2001)⁽³⁾

1923 年以降の地震: 気象庁の発表による

注 2) 地震規模 m は, 宇佐美(2003)⁽²⁾ によるが, 下線付き数字は羽鳥による値(宇佐美(2003)⁽²⁾ より)であり, []内の値は羽鳥(1984)⁽⁴⁾ による値を参照している

注 3) 地震・津波の概要は, 宇佐美(2003)⁽²⁾, 理科年表(2007)⁽⁵⁾, 渡辺(1998)⁽⁶⁾, 及び渡辺(1985)⁽⁷⁾ を参照している

第 11.3.1-2 表(1) 新潟県本州沿岸における既往津波の痕跡高一覧
(単位：m)

市町	地名	1833 年 (山形県沖)	1964 年 新潟	1983 年 日本海中部	1993 年 北海道南西沖
村上市	岩崎海岸		3.95		
	間ノ内		4.55		
	勝木		4.15		
	寝屋		3.95	0.64	1.55
	寒川		2.65		2.10
	脇川		2.45		2.48
	今川		2.24		2.30
	笹川		3.25	0.77	2.59
	桑川		3.85	1.00	
	馬下			0.91	
	早川		2.85		
	吉浦海岸				1.73
	柏尾		2.95	0.91	2.02
	野潟			1.79	
	岩ヶ崎海岸				1.98
	三面川海岸				1.54
	瀬波		4.20	1.16	
	岩船	4.50	3.20	1.43	1.35
塩谷		4.15			
荒川河口	4.50				
胎内市	桃崎浜			1.29	
	胎内川				1.44
	村松浜		1.80	1.19	
新発田市	藤塚浜				1.44
北蒲原郡	次第浜			1.52	
聖籠町	綱代海岸				1.44
	新潟東港			1.26	
新潟市	太郎代				1.43
	島見浜			1.22	
	新井郷川			1.62	
	岩崎海岸		3.95		
引用文献	羽鳥(1977) ⁽⁸⁾ 萩原ほか(1989) ⁽⁹⁾ 羽鳥(1990) ⁽¹⁰⁾	相田ほか(1964) ⁽¹¹⁾ 土木学会(1964) ⁽¹²⁾	首藤ほか(1984) ⁽¹³⁾ 気象庁(1984) ⁽¹⁴⁾ 土木学会(1986) ⁽¹⁵⁾	首藤ほか(1993) ⁽¹⁶⁾ 後藤ほか(1994) ⁽¹⁷⁾ 渡辺(1998) ⁽⁷⁾	

第 11.3.1-2 表 (2) 新潟県本州沿岸における既往津波の痕跡高一覧
(単位：m)

市町	地名	1833 年 (山形県沖)	1964 年 新潟	1983 年 日本海中部	1993 年 北海道南西沖
新潟市	松浜			1.82	
	阿賀野川			1.22	
	新潟	5.00	2.47	0.69	
	関屋			0.96	
	小針海岸				0.90
	新川			1.58	0.80
	越前浜				0.97
	角田浜	5.00			0.70
	間瀬		1.25		0.66
長岡市	寺泊		1.4	0.45	1.70
三島郡	井鼻				1.13
出雲崎町	出雲崎	2.50	1.25	0.64	
柏崎市	柏崎		1.45		
	米山海岸				1.89
上越市	直江津		1.14		
	谷浜海水浴場				1.36
糸魚川市	浜徳合				1.31
	能生川				2.16
	梶屋敷海岸				2.06
	姫川港				1.56
	田海川				2.05
	親不知ヒアパーク				2.10
引用文献		羽鳥(1977) ⁽⁸⁾ 萩原ほか(1989) ⁽⁹⁾ 羽鳥(1990) ⁽¹⁰⁾	相田ほか(1964) ⁽¹¹⁾ 土木学会(1964) ⁽¹²⁾	首藤ほか(1984) ⁽¹³⁾ 気象庁(1984) ⁽¹⁴⁾ 土木学会(1986) ⁽¹⁵⁾	首藤ほか(1993) ⁽¹⁶⁾ 後藤ほか(1994) ⁽¹⁷⁾ 渡辺(1998) ⁽⁷⁾

第 11.3.1-3 表 計算条件一覧

項目	計算条件
計算時間間隔	C.F.L 条件を満たすように以下のとおりに設定 格子間隔 1,440m～240m の領域：0.5 秒 格子間隔 80m～10m の領域：0.25 秒
基礎方程式及び 数値計算スキーム	非線形長波理論（浅水理論）に基づく後藤・小川(1982) ⁽²⁸⁾ の方法
沖側境界条件	後藤・小川(1982) ⁽²⁸⁾ の自由透過の条件
陸側境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 敷地周辺：（計算格子間隔 80m～10m）の領域は小谷ら(1998)⁽²⁹⁾ の陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件
越流境界条件	越流を本間公式(1940) ⁽³⁰⁾ や相田公式(1977) ⁽²³⁾ で考慮
初期条件	Mansinha and Smylie(1971) ⁽³¹⁾ の方法により海底面の鉛直変位分布を求めて初期水位として与えている
海底摩擦係数	マンニングの粗度係数（ $n=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ ）
水平渦動粘性係数	考慮していない
再現時間	港内での重複波の影響も考慮し、断層変位後 4 時間の計算を実施

基礎方程式：非線形長波（浅水理論）の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

ここに、 t ：時間 x, y ：平面座標、
 η ：静水面から鉛直上方にとった水位変動量
 M ： x 方向の線流量 N ： y 方向の線流量、 h ：静水深
 D ：全水深（ $D = h + \eta$ ） g ：重力加速度
 K_h ：水平渦動粘性係数（ $= 0$ ）
 γ_b^2 ：摩擦係数（ $= gn^2 / D^{1/3}$ 、 $n=0.03$ ：マンニングの粗度係数）

第 11.3.2-1 表 海域活断層の断層モデル諸元

断層名	断層長さ L(km)	断層幅 W(km)	すべり量 D(m)	断層上縁深さ d(km)	走向 θ ($^{\circ}$)	傾斜角 δ ($^{\circ}$)	すべり角 λ ($^{\circ}$)
佐渡島棚東縁断層	37	18.31	2.52	0.0	209	55	90
F-B 断層	36	24.00	1.72	0.0	39	35	90
佐渡島南方断層	29	19.33	1.70	0.0	0	45	62
F-D 断層 + 高田沖 ^{*1)}	55	26.15	2.62	0.0	55	35	96
長岡平野西縁断層帯 ^{*2)} ($\delta = 35^{\circ}$)	91	26.15	4.34	0.0	187	35	72
長岡平野西縁断層帯 ^{*2)} ($\delta = 50^{\circ}$)	91	19.58	5.80	0.0	187	50	72

*1) F-D 断層と高田沖断層について安全評価上，同時活動を考慮したもの

*2) 角田・弥彦断層，気比ノ宮断層，および片貝断層の3つの断層について，安全評価上，同時活動を考慮したもの

第 11.3.2-2 表 海域活断層による津波水位（取水口前面）

（太字：各号機の最大水位上昇量，最大水位下降量）

（単位：m）

プラント	佐渡島棚東縁断層		F-B 断層		佐渡島南方断層	
	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量
1号機	+1.57	-1.39	+1.33	-2.35	+1.17	-1.05
2号機	+1.47	-1.34	+1.24	-2.26	+1.07	-1.03
3号機	+1.44	-1.31	+1.18	-2.15	+0.99	-0.97
4号機	+1.45	-1.28	+1.15	-2.09	+0.94	-0.98
5号機	+1.11	-1.15	+1.08	-2.10	+0.82	-0.88
6号機	+1.06	-1.15	+1.05	-2.10	+0.79	-0.88
7号機	+1.07	-1.09	+1.01	-2.05	+0.74	-0.84

プラント	F-D断層・高田沖断層連動		長岡平野西縁断層帯 ($\delta = 35^\circ$)		長岡平野西縁断層帯 ($\delta = 50^\circ$)	
	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量	最大水位 上昇量	最大水位 下降量
1号機	+1.41	-1.69	+0.60	-3.48	+1.28	-3.32
2号機	+1.36	-1.63	+0.57	-3.45	+1.25	-3.23
3号機	+1.32	-1.51	+0.55	-3.42	+1.19	-3.15
4号機	+1.29	-1.44	+0.53	-3.39	+1.15	-3.11
5号機	+1.42	-1.11	+0.47	-3.31	+1.04	-3.07
6号機	+1.39	-1.12	+0.47	-3.27	+1.04	-3.05
7号機	+1.35	-1.10	+0.45	-3.21	+1.03	-3.01

第 11.3.3-1 表 日本海東縁部の想定津波による水位（取水口前面）
（単位：m）

プラント	最大水位上昇量	最大水位下降量
1号機	+2.76	-3.05
2号機	+2.73	-2.95
3号機	+2.70	-2.85
4号機	+2.68	-2.81
5号機	+2.57	-2.60
6号機	+2.54	-2.60
7号機	+2.46	-2.54

第 11.4.1-1 表 想定津波による水位の評価結果（取水口前面）
（単位：T.M.S.L. (m)*)

プラント	最高水位	原子炉建屋等の 重要施設設置レベル	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
1号機	+3.3	+5.0	-3.5	-4.22
2号機	+3.3		-3.5	-4.59
3号機	+3.2		-3.5	-4.59
4号機	+3.2		-3.5	-4.93
5号機	+3.1	+12.0	-3.4	-4.43
6号機	+3.1		-3.3	-5.24
7号機	+3.0		-3.3	-4.92

*) 東京湾平均海面 (T.M.S.L.)

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"> ・ 循環水ポンプ(CWP)：停止 ・ 原子炉補機冷却海水ポンプ(RSW)：1,800(m³/h/台)×6 台 ・ タービン補機冷却海水ポンプ(TSW)：2,800(m³/h/台)×3 台
摩擦損失係数	マンニングの粗度係数 (n=0.02m ^{-1/3} 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) ⁽³²⁾ ，千秋(1967) ⁽³³⁾ ，及び土木学会(1999) ⁽³⁴⁾ 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
地盤変動量	考慮する

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， Δx ：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

第 11.5.1-1 表 砂移動の数値シミュレーションの手法及び条件

	藤井ほか(1998) ⁽²⁶⁾ の手法	高橋ほか(1999) ⁽²⁷⁾ の手法
地盤高の連続式	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \alpha \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{E-S}{\sigma(1-\lambda)} = 0$	$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{E-S}{\sigma} \right) = 0$
浮遊砂濃度連続式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \left(\frac{\partial UC}{\partial x} \right) - \frac{E-S}{D} = 0$	$\frac{\partial(C_s D)}{\partial t} + \frac{\partial(MC_s)}{\partial x} - \frac{E-S}{\sigma} = 0$
流砂量式	$Q = \alpha 80 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$	高橋ほか(1999) ⁽²⁷⁾ の実験式 $Q = 21 \tau_*^{1.5} \sqrt{sgd^3}$
巻き上げ量の算定式	$E = \frac{(1-\alpha)Qw^2\sigma(1-\lambda)}{Uk_z \left[1 - \exp\left\{ \frac{-wD}{k_z} \right\} \right]}$	$E = 0.012 \tau_*^{2.0} \sqrt{sgd} \cdot \sigma$
沈降量の算定式	$S = wC_b$	$S = wC_s \cdot \sigma$
摩擦速度の計算式	log-wake 則を鉛直方向に積分した式より算出	マニング則より算出 $u_* = \sqrt{gn^2 U U / D^{1/3}}$

Z : 水深変化量 (m)

t : 時間 (s)

x : 平面座標 (m)

Q : 単位幅, 単位時間当たりの掃流砂量 (m³/s/m)

τ_* : シールズ数

σ : 砂の密度 (=2.69g/cm³, 東京電力の調査結果より)

s : $\sigma / \rho - 1$

d : 砂の粒径 (=0.27mm (中央粒径), 東京電力の調査結果より)

g : 重力加速度 (m/s²)

ρ : 海水の密度 (g/cm³)

U : 流速 (m/s)

D : 全水深 (m)

M : $U \times D$ (m²/s) λ : 空隙率 (=0.4, 高橋ほか(1999)⁽²⁷⁾ 他より)

n : Manning の粗度係数 (=0.03m^{-1/3}s, 土木学会(2002)⁽¹⁾ より)

α : 局所的な外力のみに移動を支配される成分が全流砂量に占める比率 (=0.1, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾ より)

w : 土粒子の沈降速度 (Rubey 式より算出) (m/s)

Z_0 : 粗度高さ (=k_s/30) (m)

k_z : 鉛直拡散係数 (=0.2 $\kappa u_* h$, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾ より) (m²/s)

k_s : 相当粗度 (= (7.66ng^{1/2})⁶) (m)

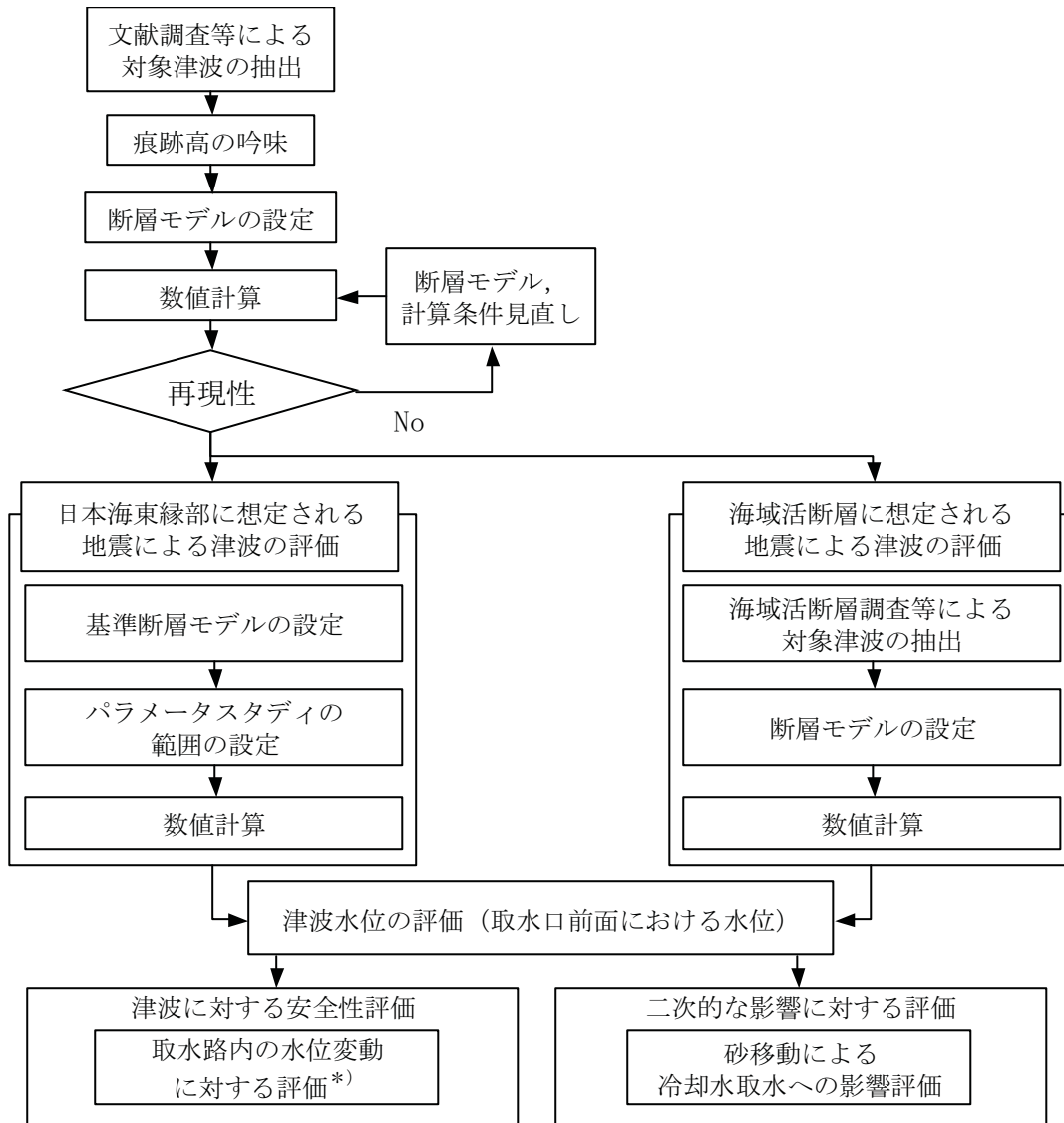
κ : カルマン定数 (=0.4, 藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾ より)

h : 水深 (m)

C, C_b : 浮遊砂濃度, 底面浮遊砂濃度 (浮遊砂濃度連続式より算出, 浮遊砂体積濃度 1%相当を上限とする) (kg/m³)

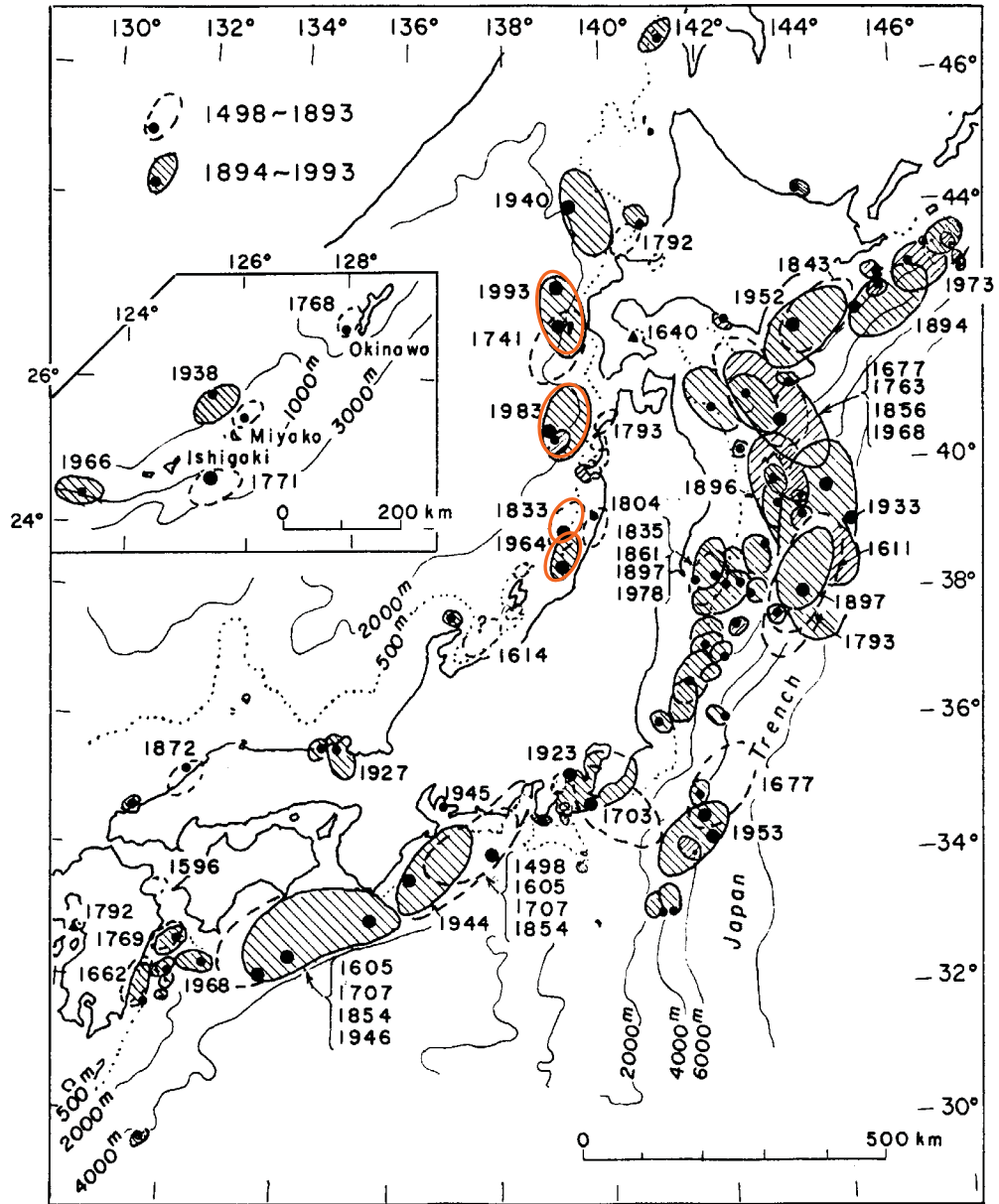
C_s : 浮遊砂体積濃度 (浮遊砂濃度連続式より算出, 1%相当を上限とする)

log-wake 則 : 対数則 $u_*/U = \kappa / \{ \ln(h/Z_0) - 1 \}$ に wake 関数 (藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾ より) を付加した式



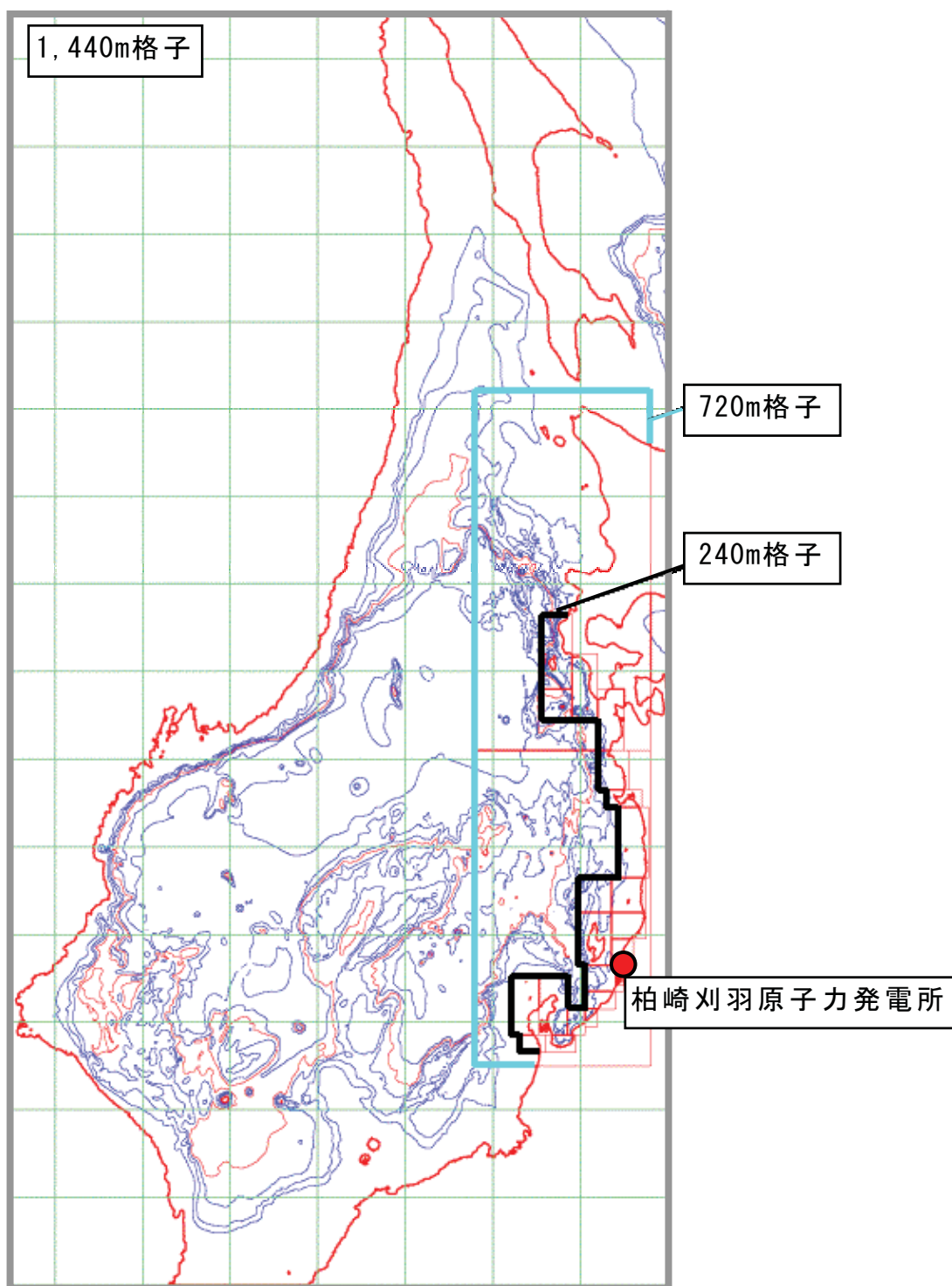
*)本報告書では7号機のみを評価

第 11.2-1 図 評価フロー

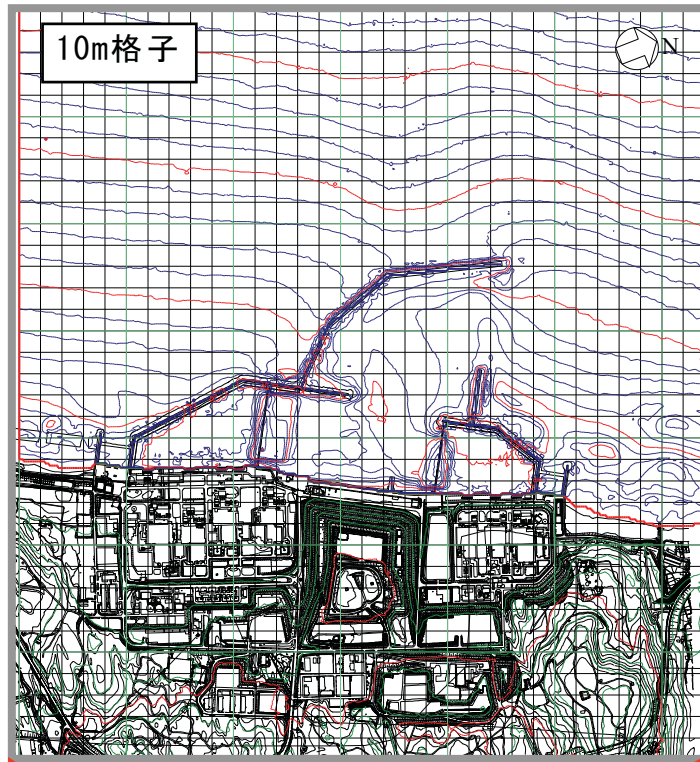


(羽鳥(1994) ⁽³⁵⁾)

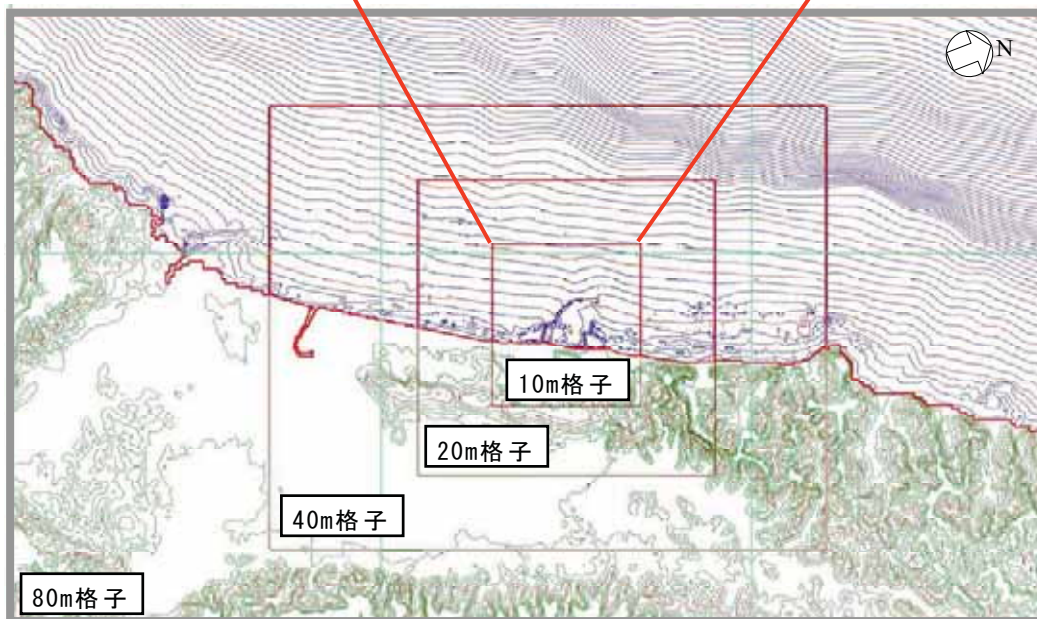
第 11.3.1-1 図 日本海で発生した地震と津波波源域



第 11.3.1-3 図(1) 計算格子分割と水深（全域）
（水深コンター間隔：500m）



発電所近傍（水深コンター間隔：1m）



発電所周辺（水深コンター間隔：2m）

第 11.3.1-3 図(2) 計算格子分割と水深（発電所周辺及び近傍）

長谷川・首藤ほか(1987)⁽²²⁾ 提案の方法

計算格子間隔は津波の空間波形の1波長Lの1/20以下に設定すればよい

$$\Delta x \leq \frac{L}{20}$$

ここに、 Δx : 計算格子間隔

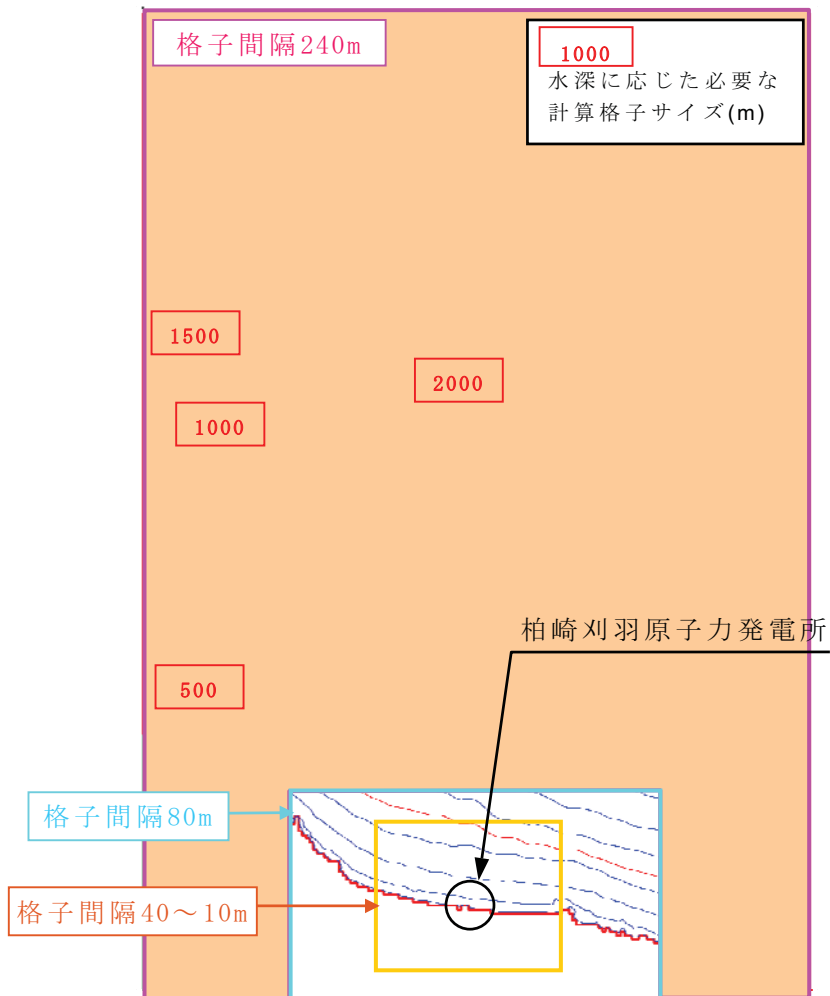
L : 1波長

$$L = \sqrt{gh} \times T$$

g : 重力加速度

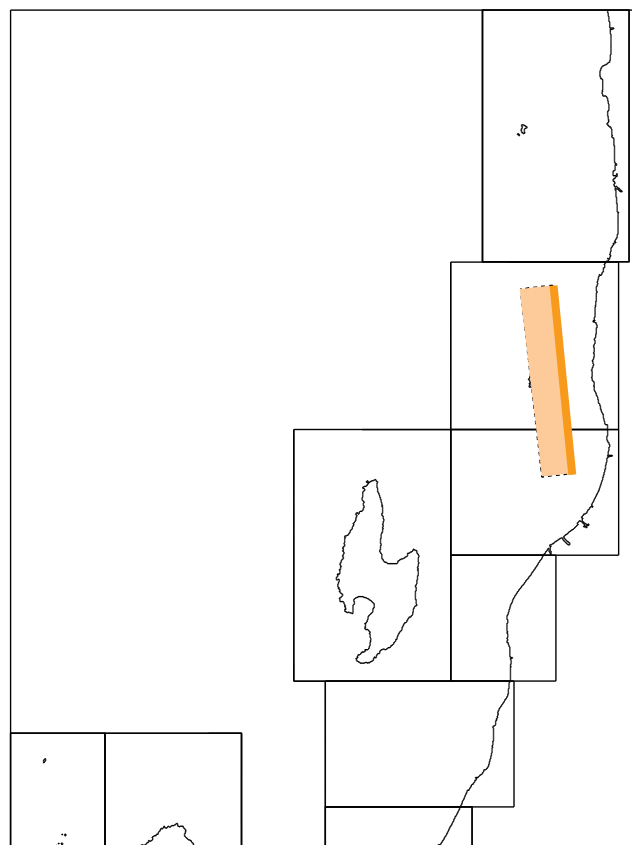
h : 水深

T : 周期



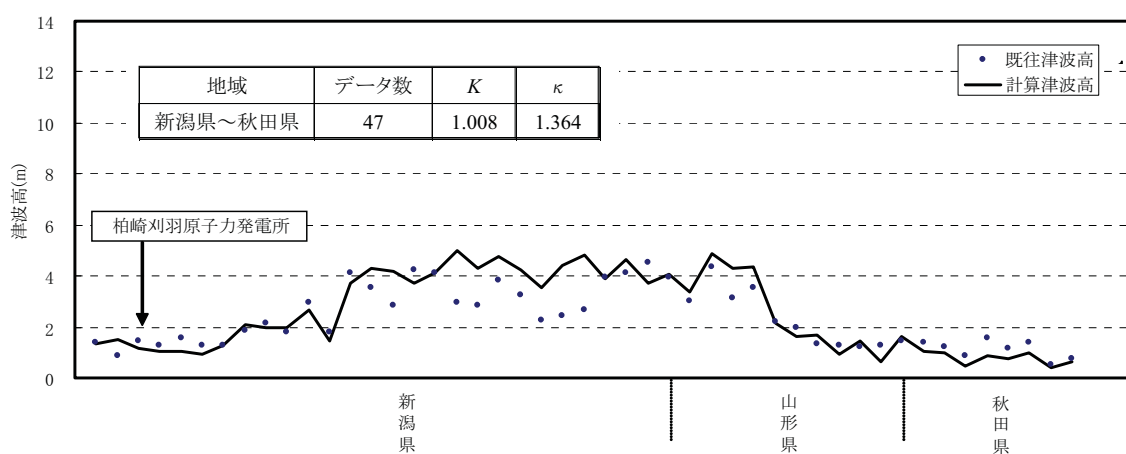
第 11.3.1-4 図 必要計算格子サイズのコンター*
(コンター間隔 : 100m)

*) 波の周期は 7sec とした



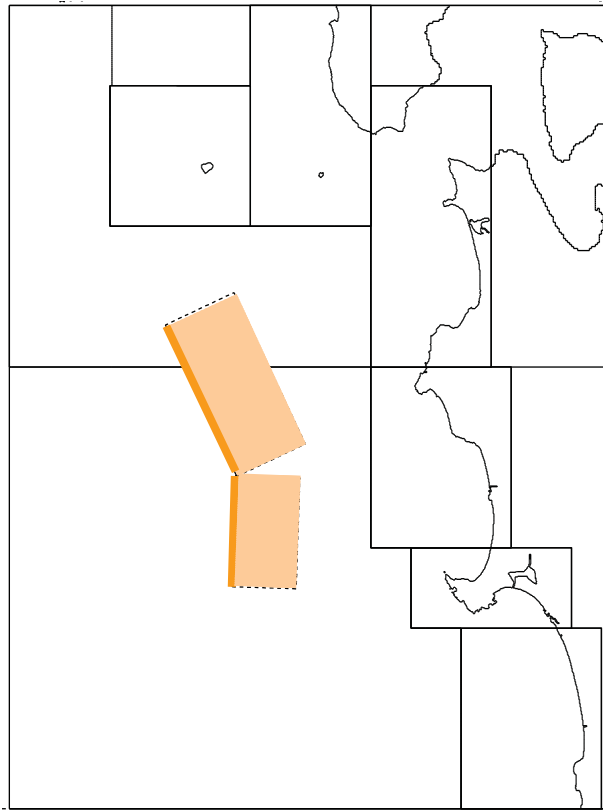
	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	断層上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
モデル諸元	7.43	65	20	3.85	0.0	194	56	90

第 11.3.1-5 図 1964 年新潟地震津波の断層モデル



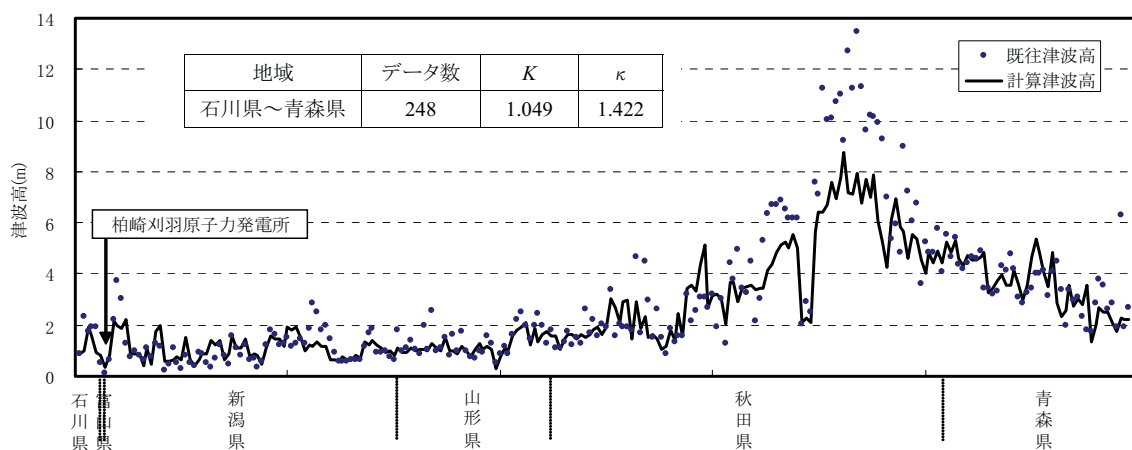
既往痕跡高は、相田ほか(1964)⁽¹¹⁾、土木学会(1966)⁽¹²⁾による

第 11.3.1-6 図 既往津波高と計算津波高との比較
(1964 年新潟地震津波)



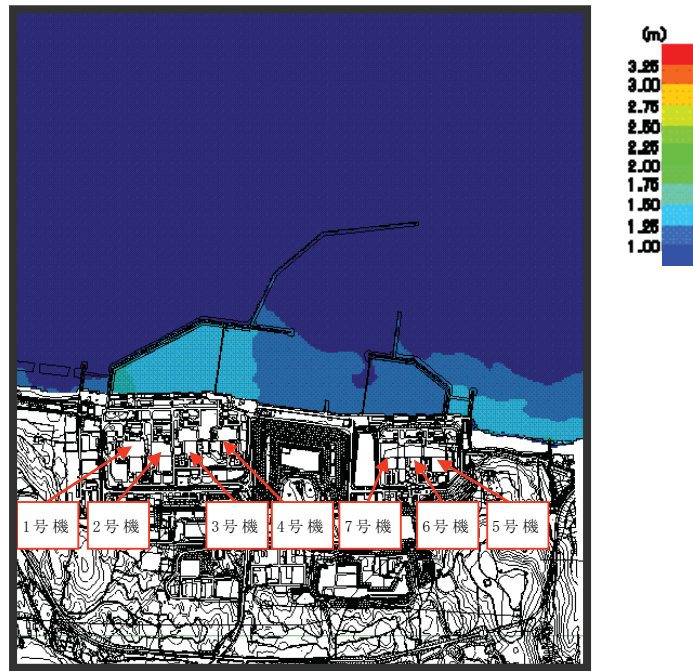
	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	断層上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
モデル諸元	7.74	40	30	7.60	2.0	22	40	90
		60	30	3.05	3.0	355	25	80

第 11.3.1-7 図 1983 年日本海中部地震津波の断層モデル

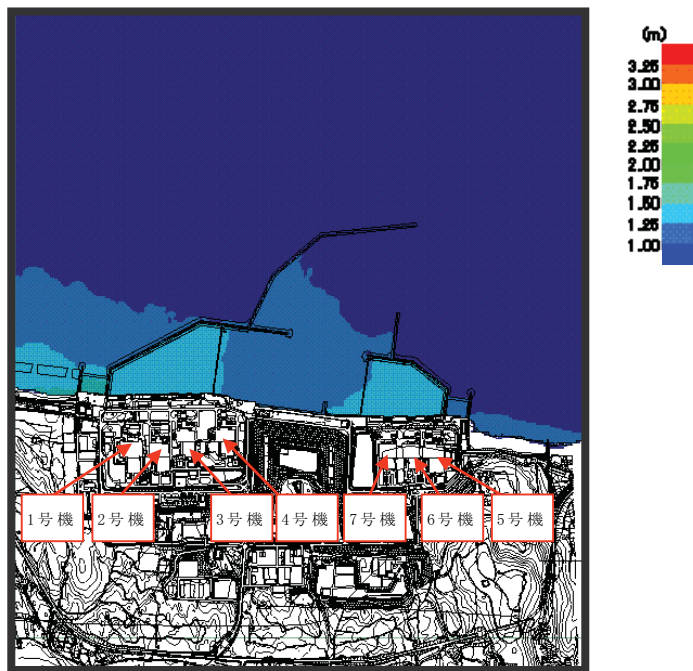


既往痕跡高は、首藤ほか(1984)⁽¹³⁾、気象庁(1984)⁽¹⁴⁾、土木学会(1986)⁽¹⁵⁾による

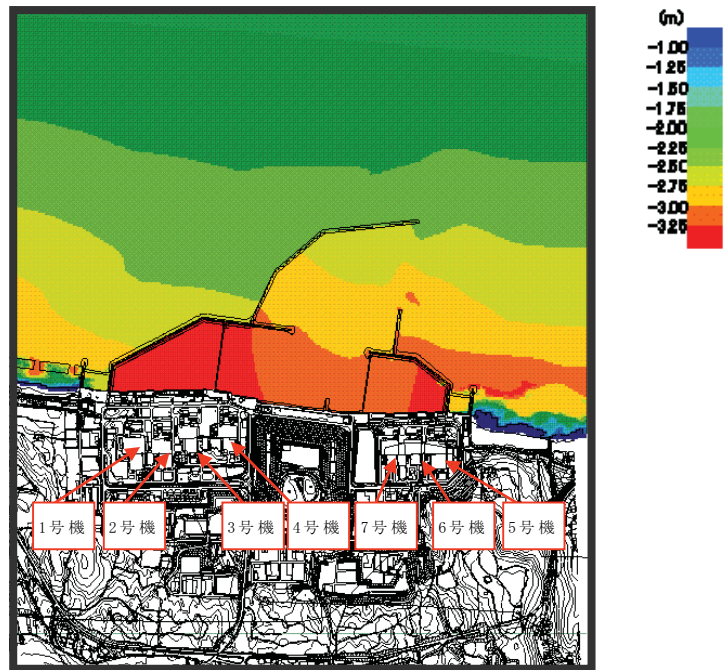
第 11.3.1-8 図 既往津波高と計算津波高との比較
(1983 年日本海中部地震津波)



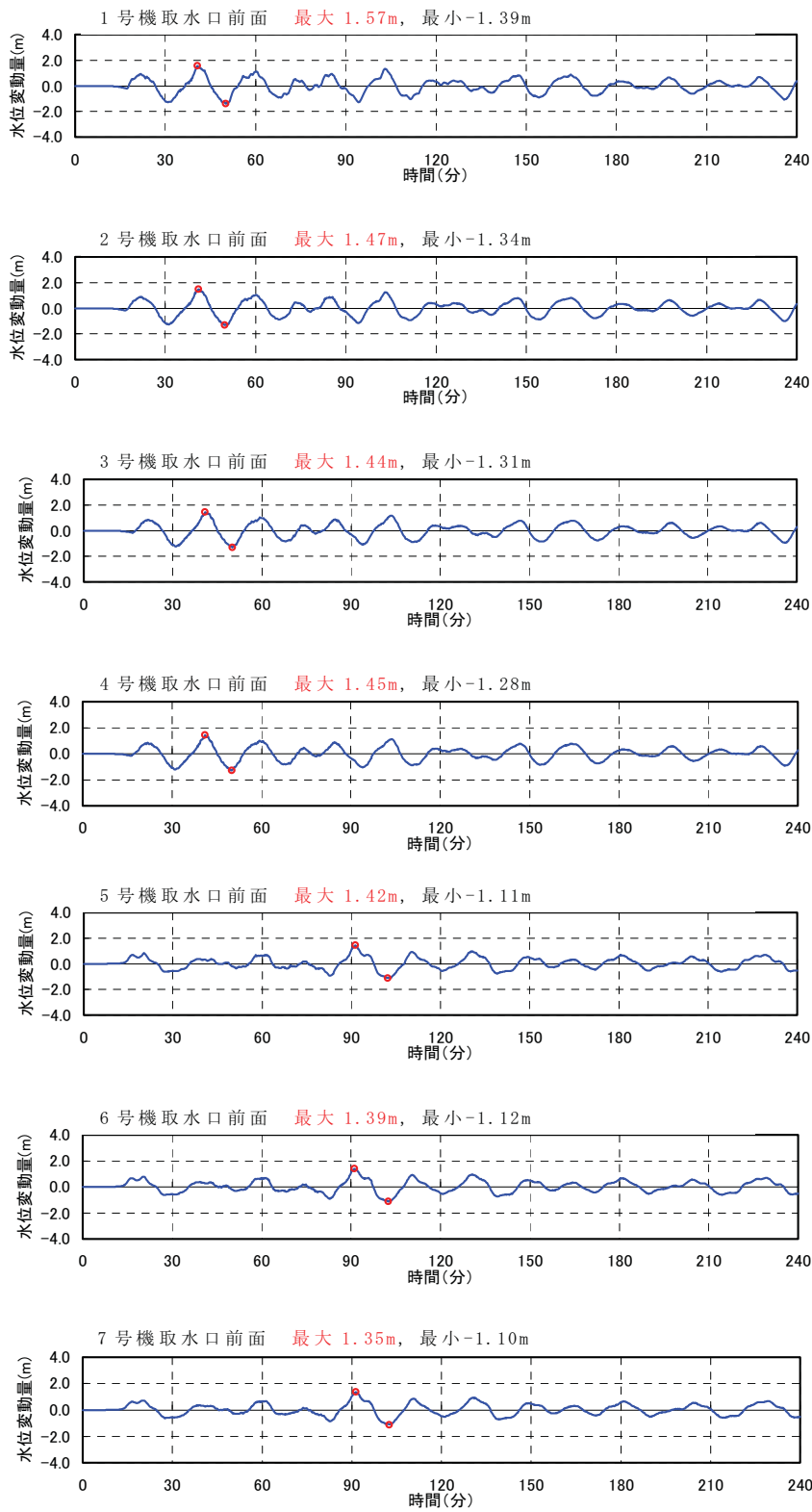
第 11.3.2-2 図(1) 海域活断層による津波の最大水位上昇量分布図
 (1～4号機：佐渡島棚東縁断層)



第 11.3.2-2 図(2) 海域活断層による津波の最大水位上昇量分布図
 (5～7号機：F-D断層＋高田沖断層)

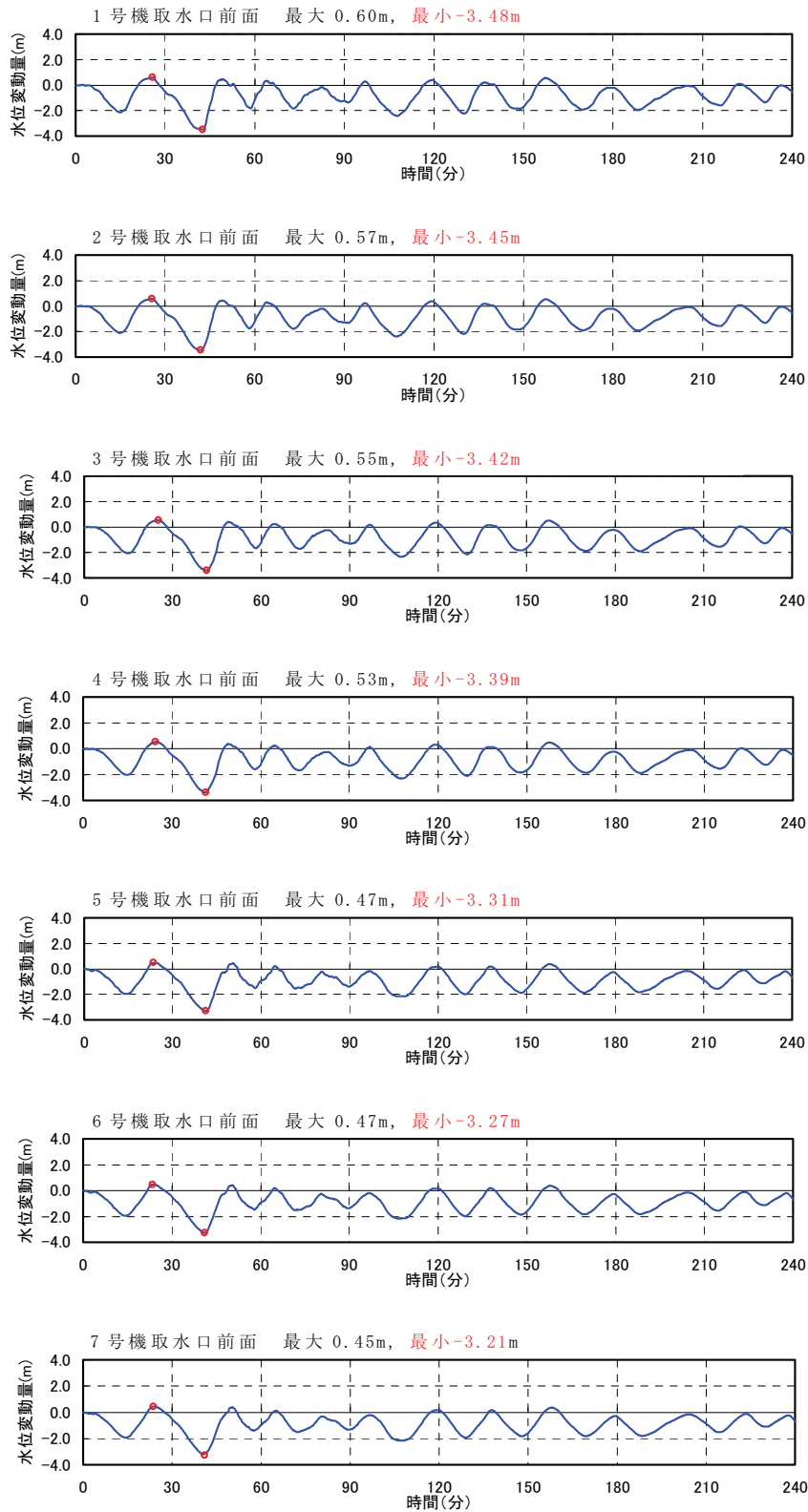


第 11.3.2-3 図 海域活断層による津波の最大水位下降量分布図
 (長岡平野西縁断層帯 ($\delta = 35^\circ$))

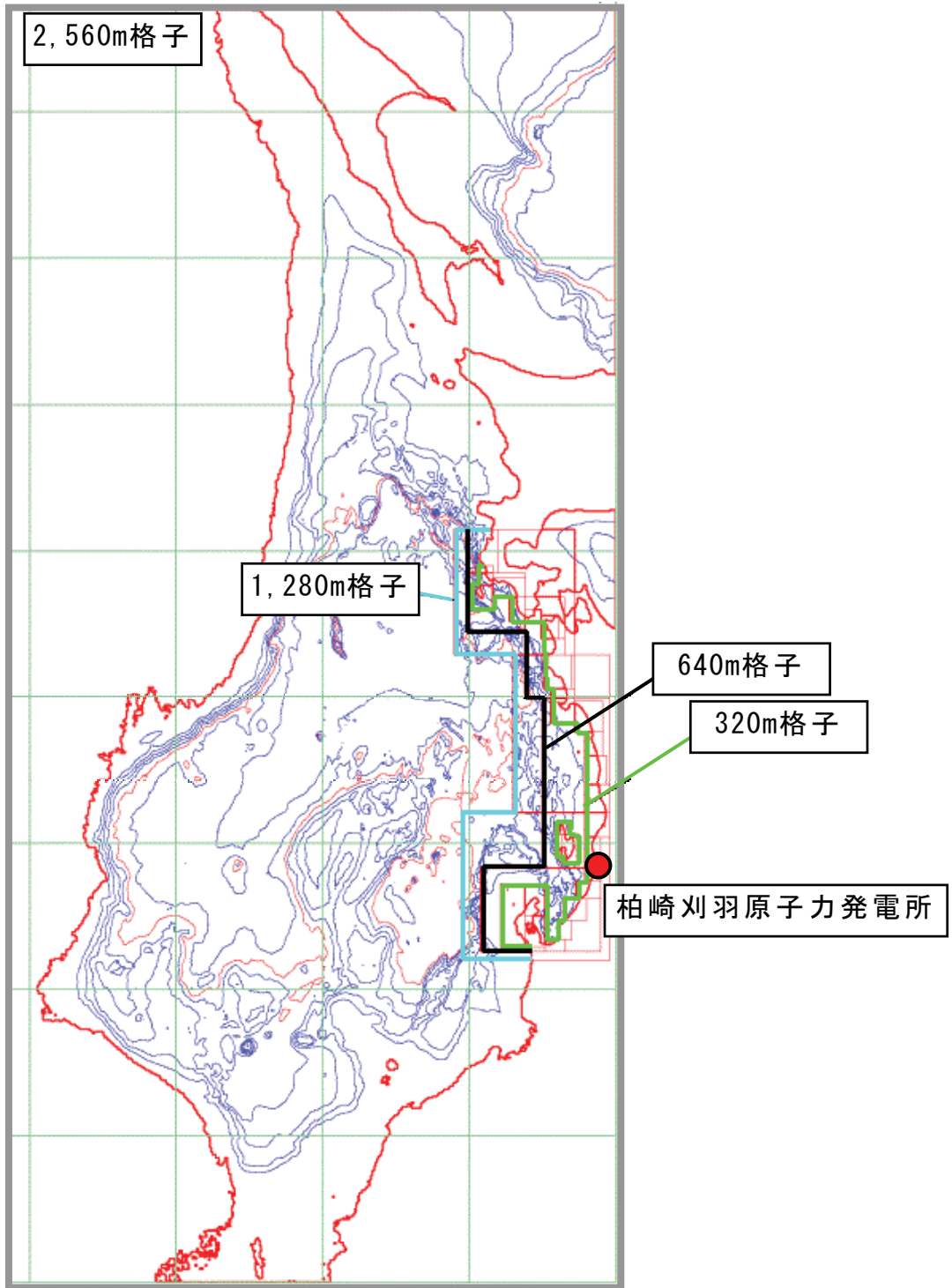


第 11.3.2-4 図(1) 海域活断層による津波の取水口前面における
水位時刻歴（最大水位上昇量ケース）

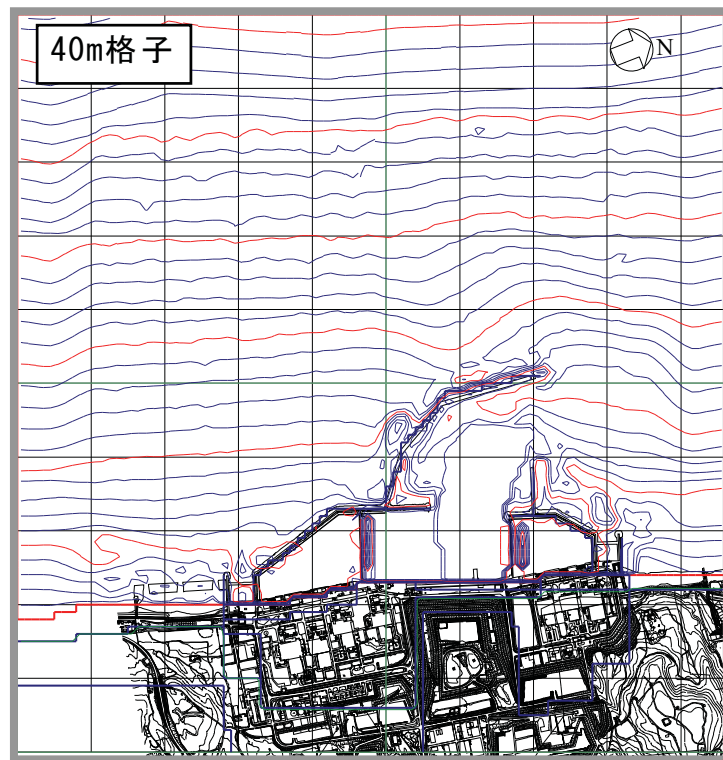
（1～4号機：佐渡島棚東縁断層，5～7号機：F-D断層＋高田沖断層）



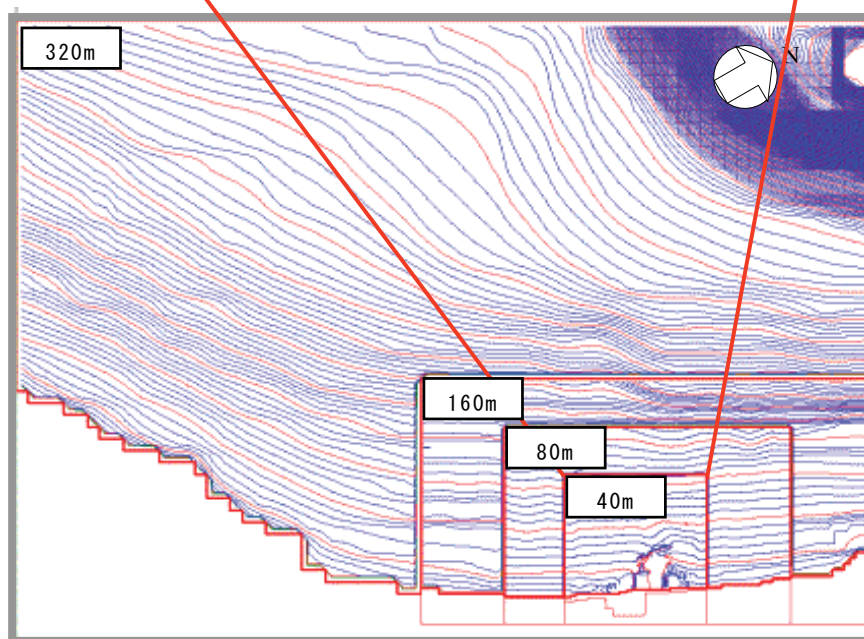
第 11.3.2-4 図(2) 海域活断層による津波の取水口前面における
 水位時刻歴 (最大水位下降量ケース)
 (長岡平野西縁断層帯 ($\delta = 35^\circ$))



第 11.3.3-1 図(1) 概略検討用モデルの計算格子分割と水深（全域）
（水深コンター間隔：500m）

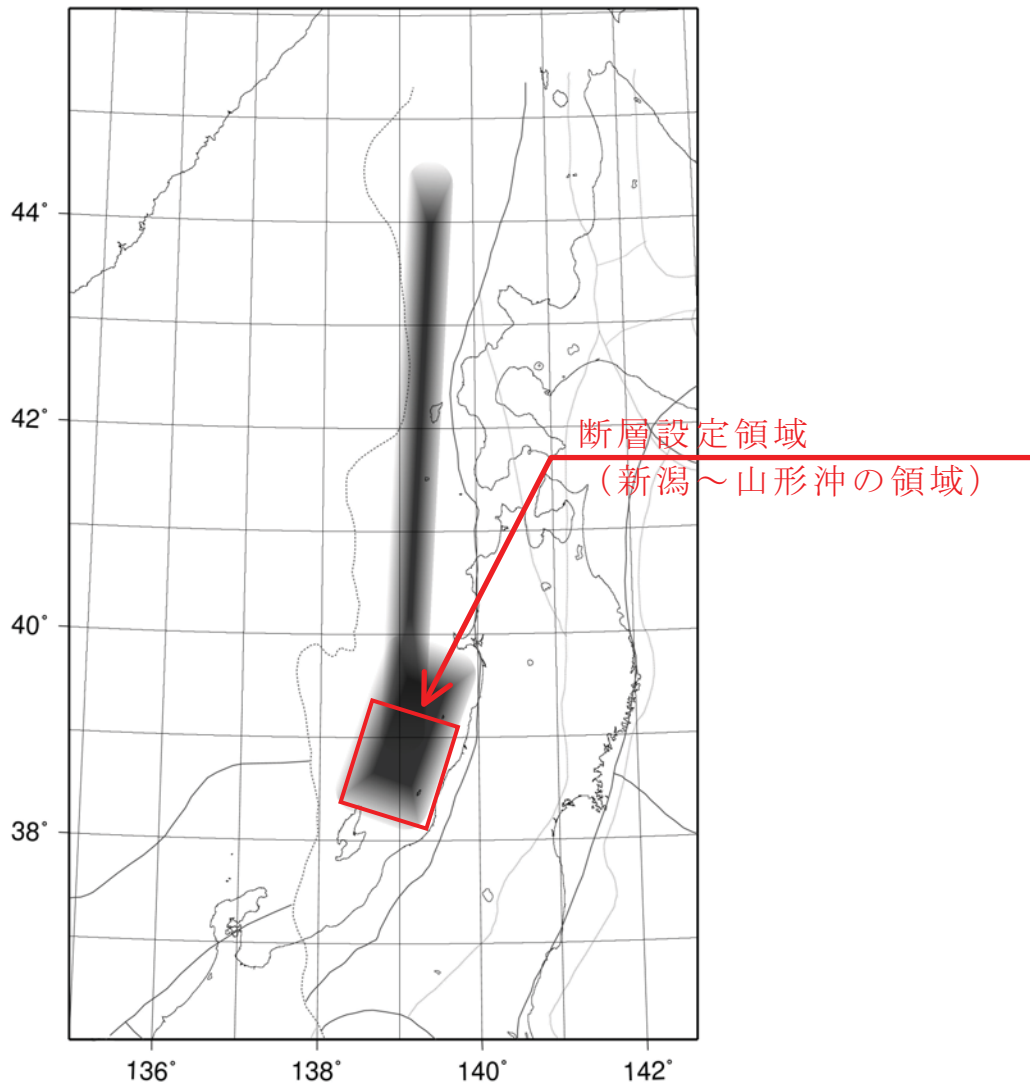


発電所近傍 (水深コンター間隔 : 1m)



発電所周辺 (水深コンター間隔 : 2m)

第 11.3.3-1 図(2) 概略検討用モデルの計算格子分割と水深
(発電所周辺及び近傍)



日本海東縁部の地震活動域（土木学会(2002) ⁽¹⁾)

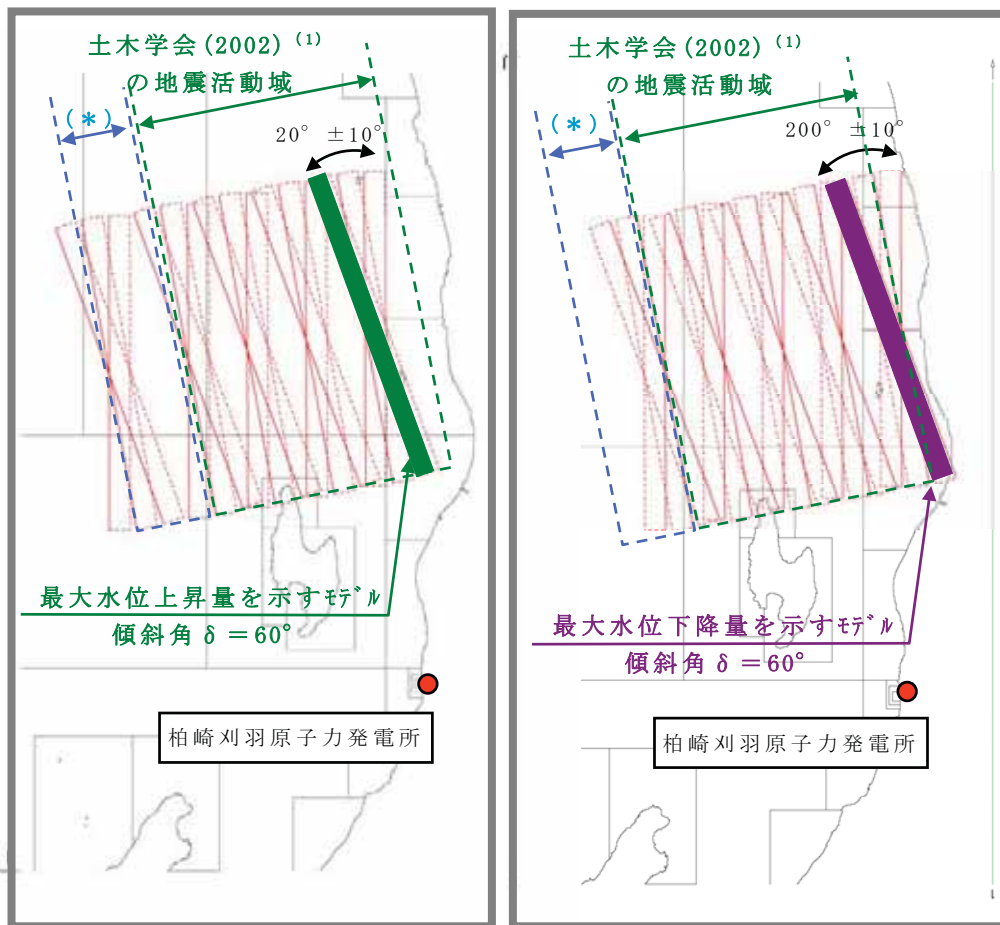
基準断層モデルの諸元

断層名	Mw	断層長さ L(km)	断層幅 W(km)	すべり量 D(m)	断層上縁深さ d(km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
高角モデル	7.85	131.1	17.3	9.44	0.0	20・200	60	90
低角モデル	7.85	131.1	30.0	5.45	0.0	20・200	60	90

第 11.3.3-2 図 日本海東縁部の地震活動域と基準断層モデル

概略パラメータスタディの検討内容

諸元	パラメータの設定範囲	ケース数
位置	新潟～山形沖の活動域に東西方向約25km 間隔を基本に設定	5
走向 θ	基準, 基準 $\pm 10^\circ$	3
傾斜角 δ	高角 (60°), 低角 (30°)	2
傾斜方向	東傾斜, 西傾斜	2
組合せ計		60



東傾斜モデルのパラメータスタディ

西傾斜モデルのパラメータスタディ

(*) 地震調査研究推進本部 (2003) ⁽²⁵⁾ による日本海東縁部の長期評価に示される地震活動域で, 土木学会 (2002) ⁽¹⁾ に示される範囲を超える部分

第 11.3.3-3 図 日本海東縁部に想定される津波の概略パラメータスタディ

詳細パラメータスタディの検討内容

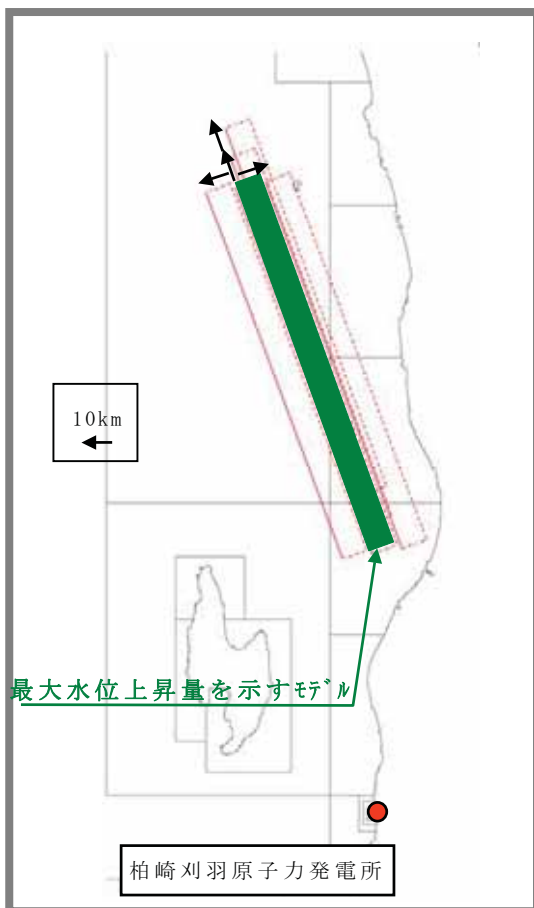
諸元	パラメータの設定範囲	ケース数
位置	最大水位上昇量（下降量）モデルを基準に 10km 単位で移動	5

↓

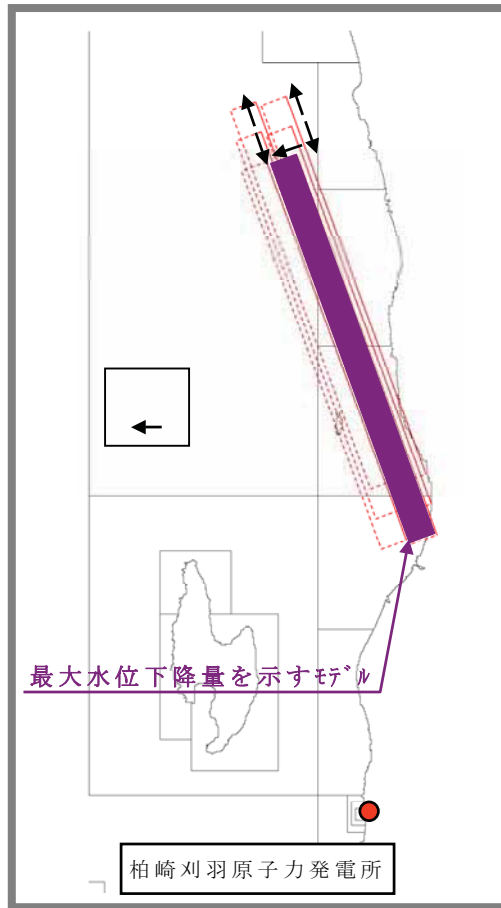
最大水位上昇量（下降量）を示す各モデルに対して
以下のパラメータスタディ

↓

断層 上縁深さ d	0, 2.5km, 5.0km	3
傾斜角 δ	60° , 52.5° , 45°	3
組合せ計		14

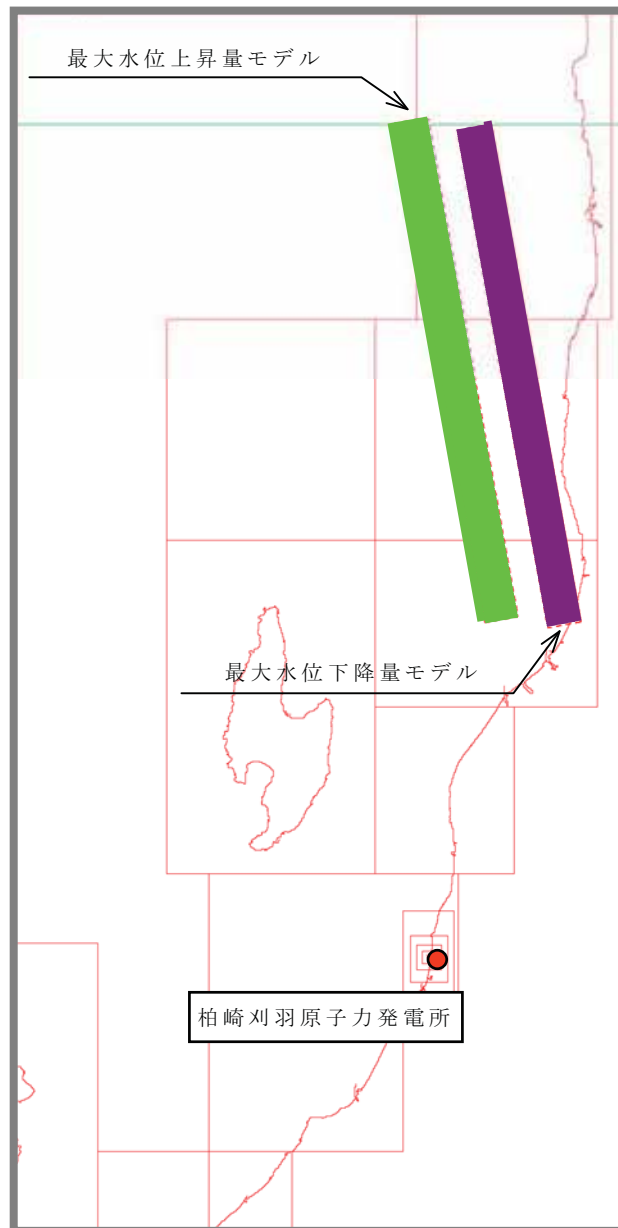


最大水位上昇量モデルのパラメータスタディ

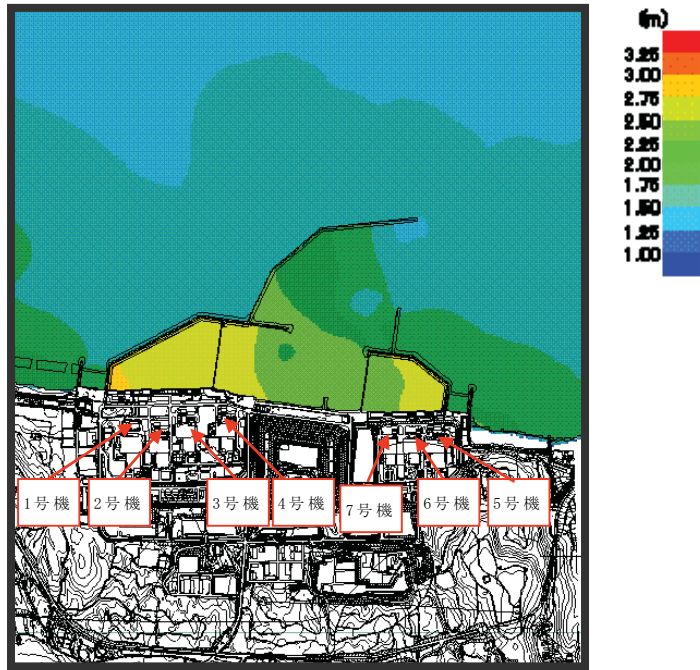


最大水位下降量モデルのパラメータスタディ

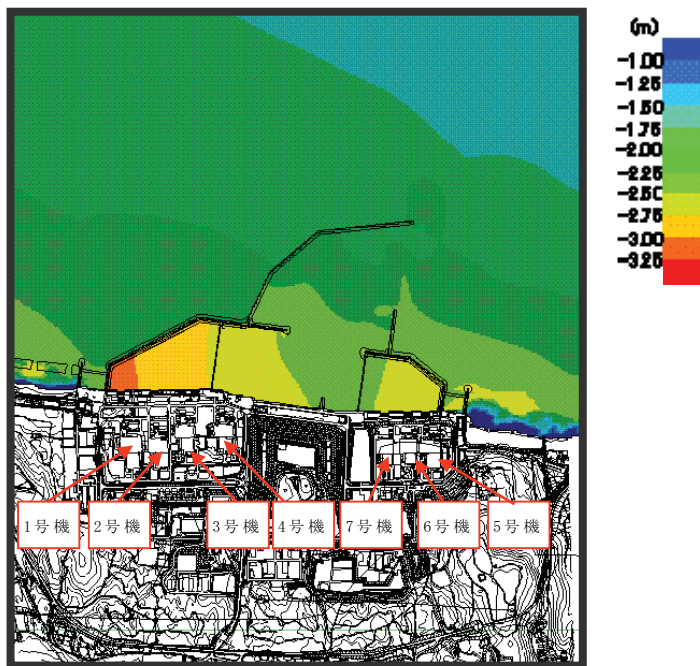
第 11.3.3-4 図 日本海東縁部に想定される津波の詳細パラメータスタディ



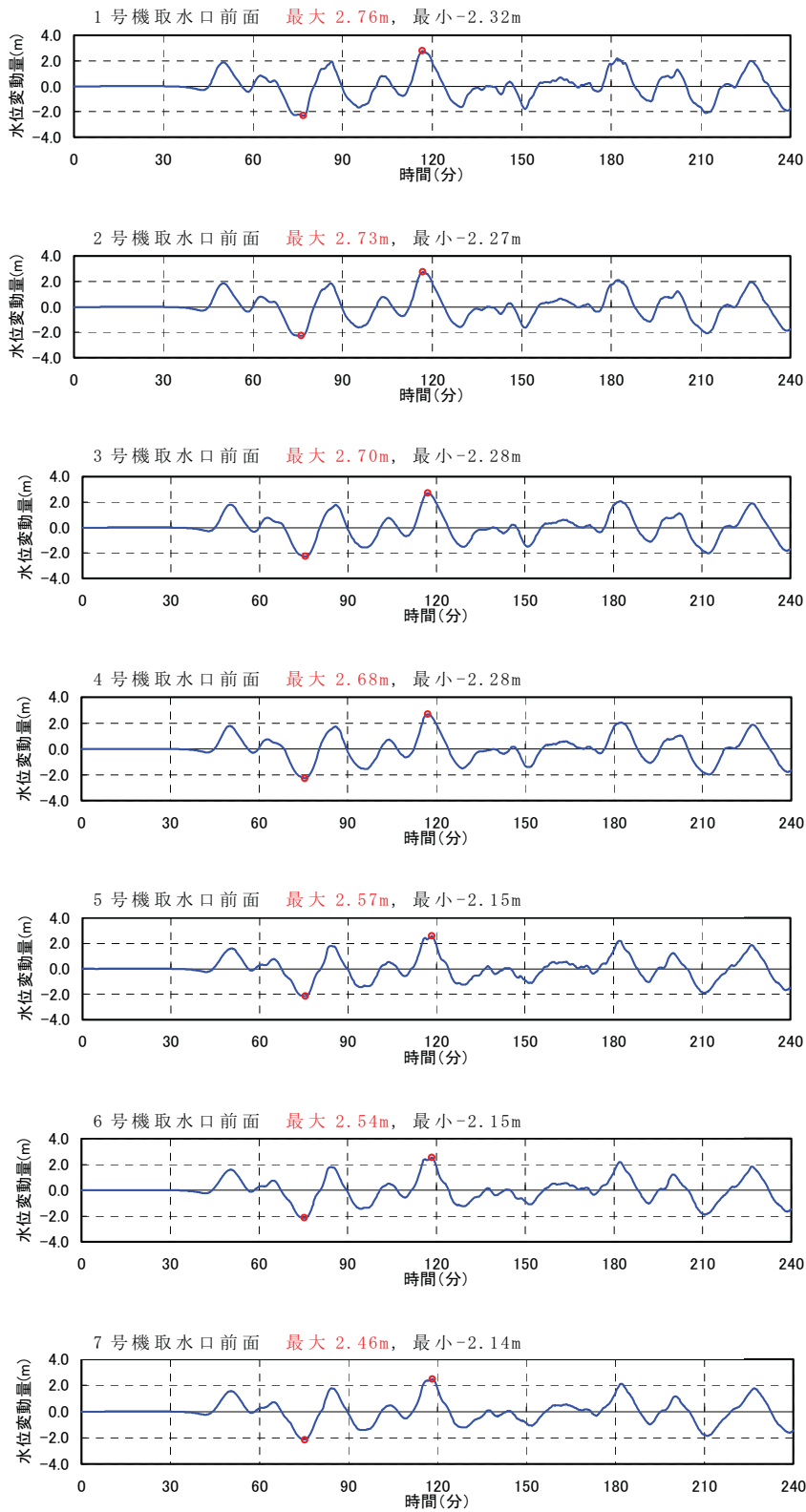
第 11. 3. 3-5 図 日本海東縁部に想定される津波の
最大水位上昇量・下降量モデル



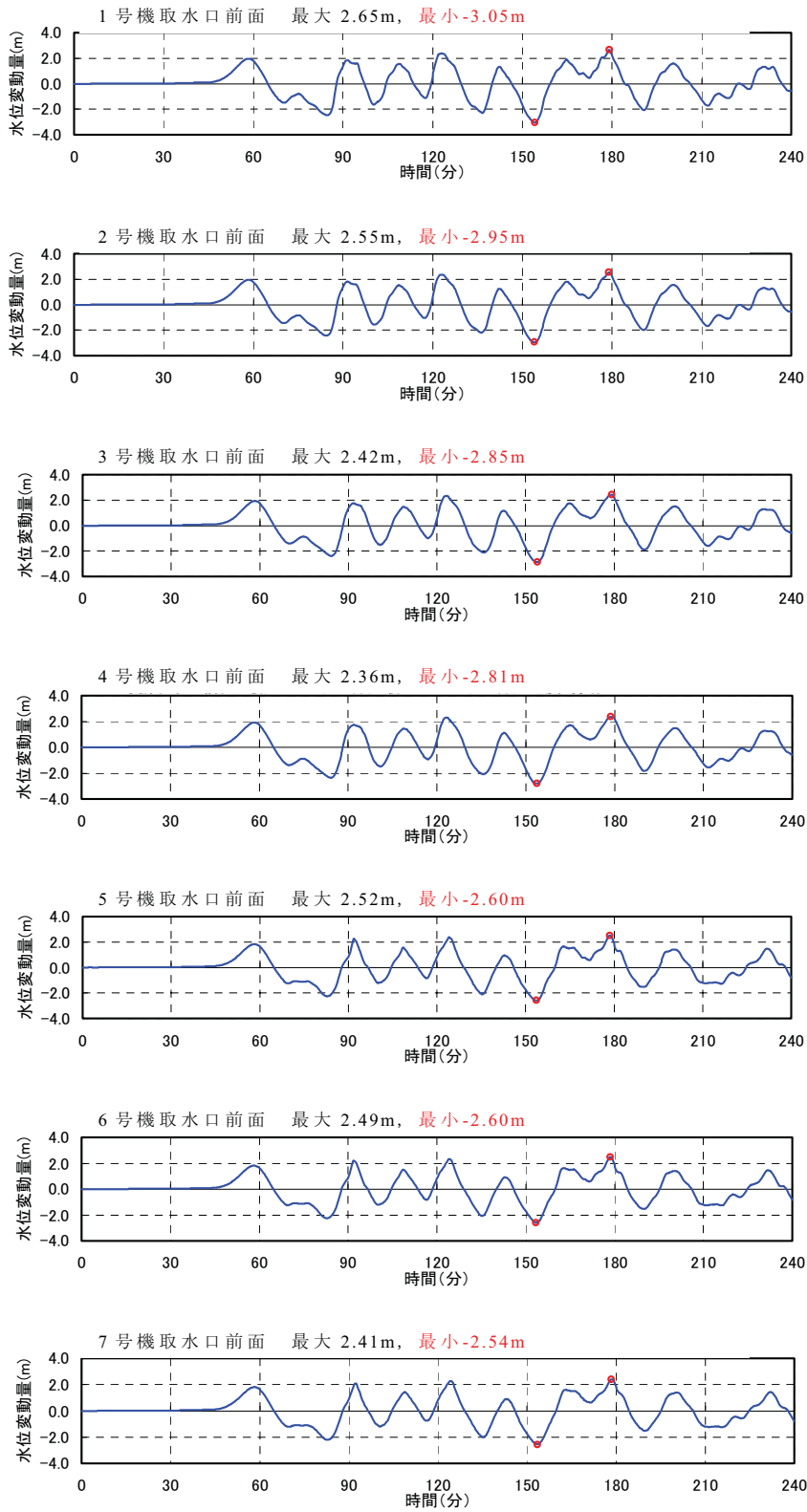
第 11. 3. 3-6 図 日本海東縁部の想定津波による
最大水位上昇量分布図



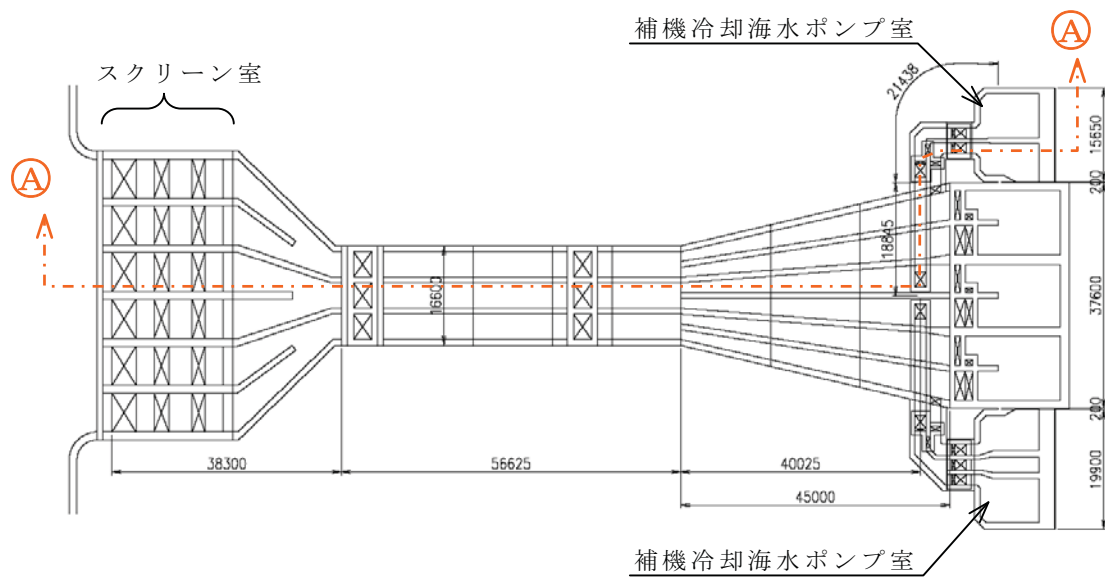
第 11. 3. 3-7 図 日本海東縁部の想定津波による
最大水位下降量分布図



第 11.3.3-8 図(1) 日本海東縁部の想定津波による取水口前面の
水位時刻歴（最大水位上昇量ケース）

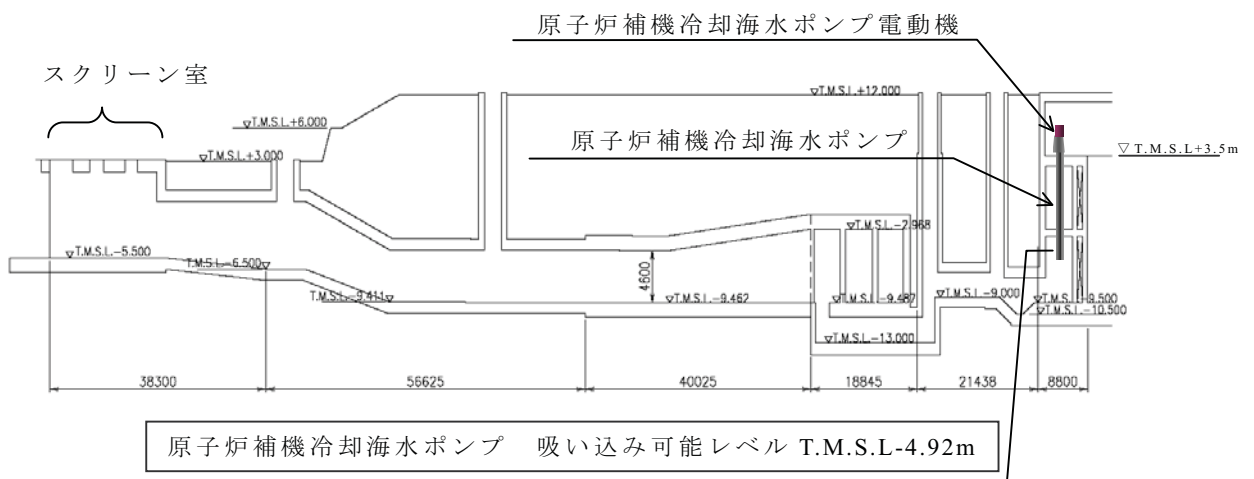


第 11.3.3-8 図(2) 日本海東縁部の想定津波による取水口前面の
水位時刻歴 (最大水位下降量ケース)



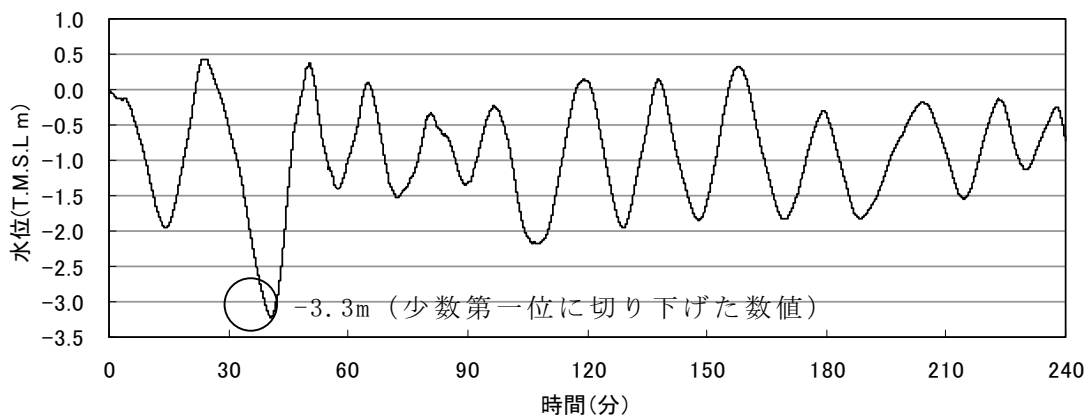
取水施設平面図

A - A 断面

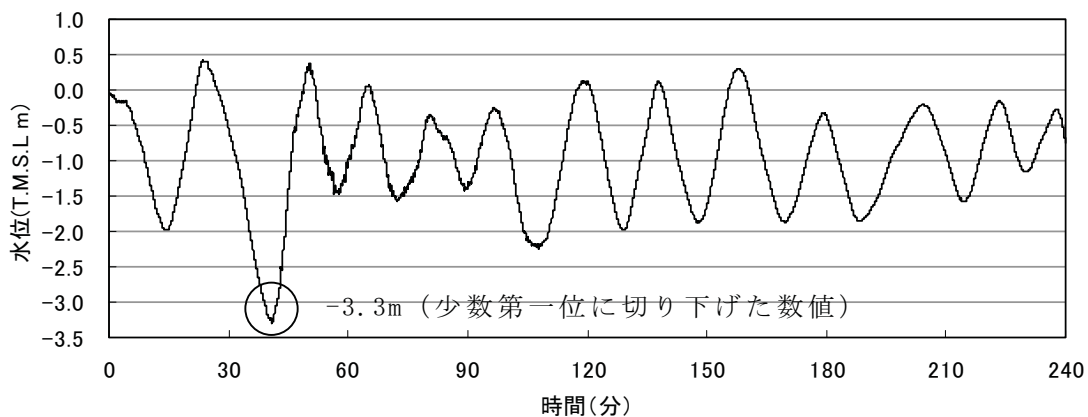


補機冷却海水取水施設断面図

第 11.4.2-1 図 7号機取水施設概要図



取水口前面の津波水位変動



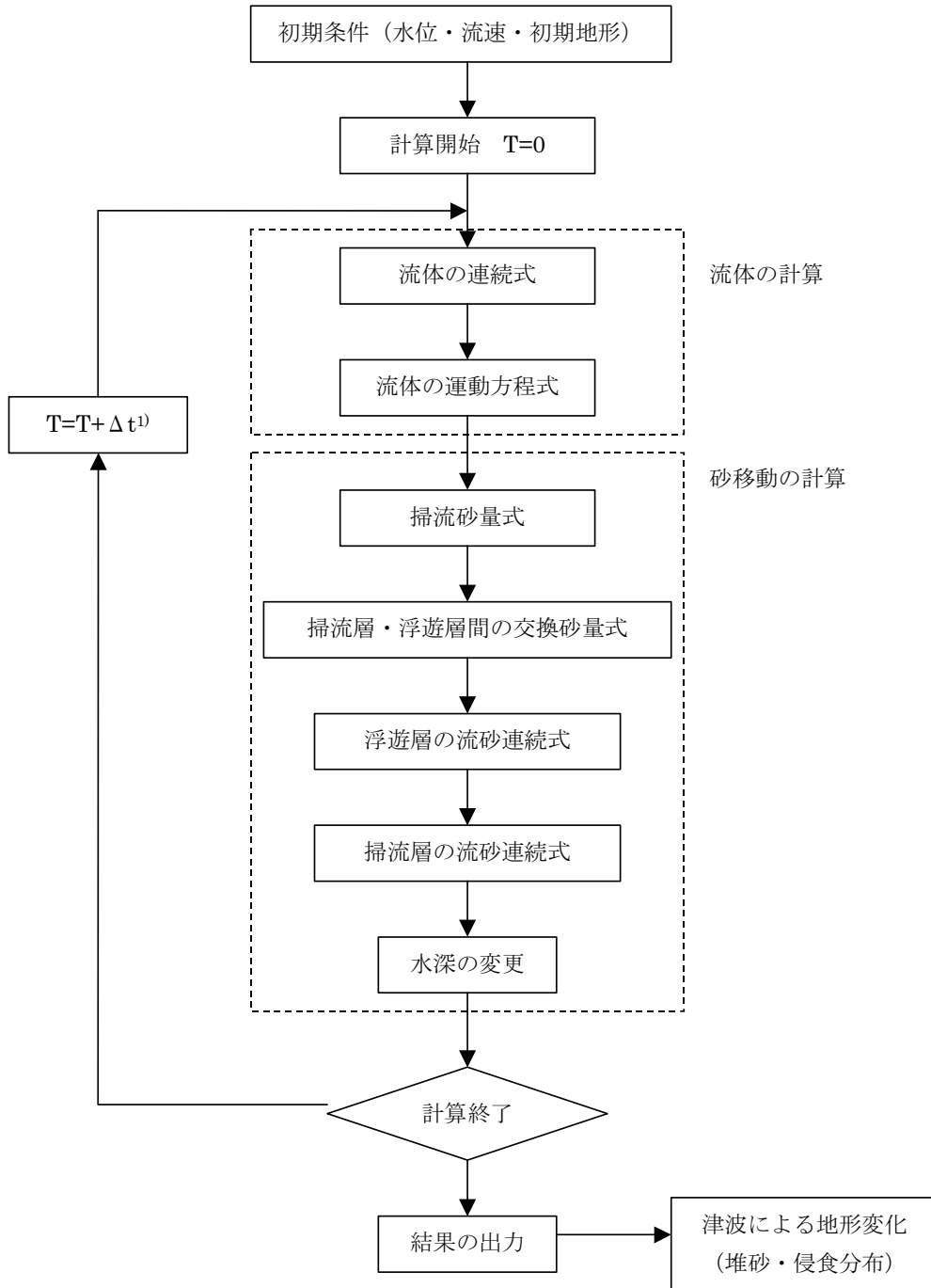
補機冷却海水ポンプ室の津波水位変動

(単位：T. M. S. L. (m))

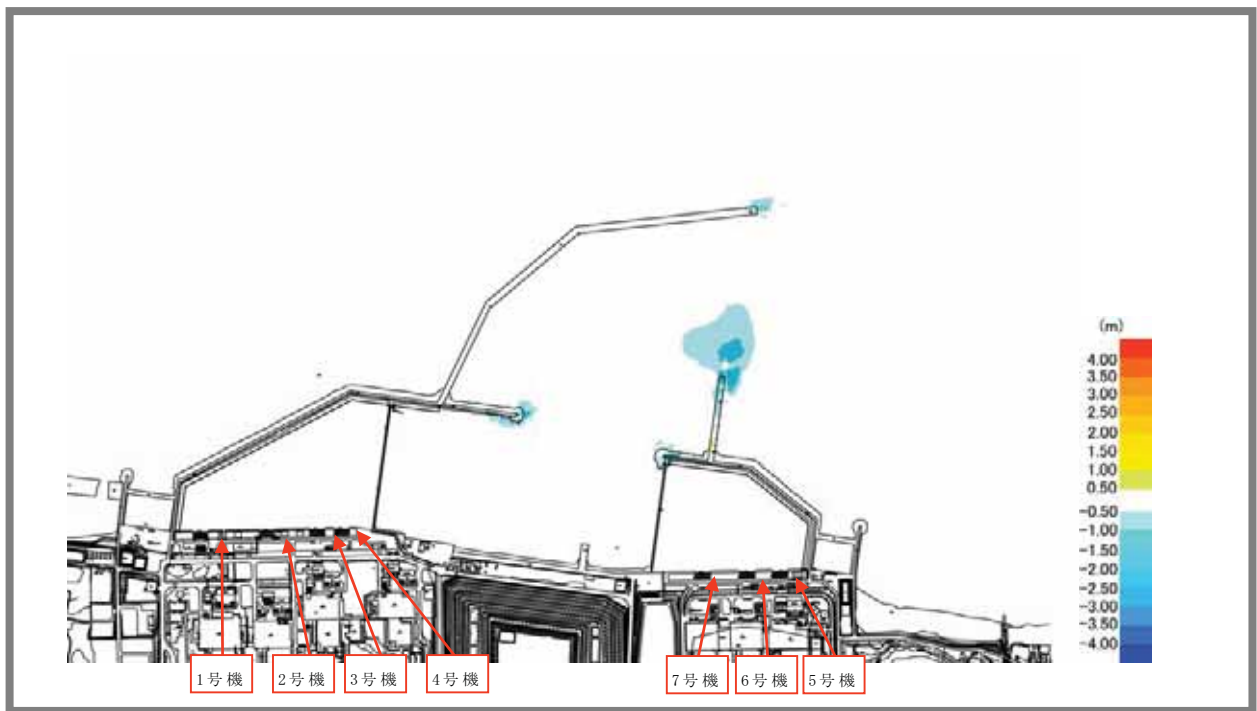
プラント	最低水位	原子炉補機冷却海水ポンプ 吸い込み可能レベル*)
7号機	-3.3	-4.92

*) 地盤の隆起を考慮

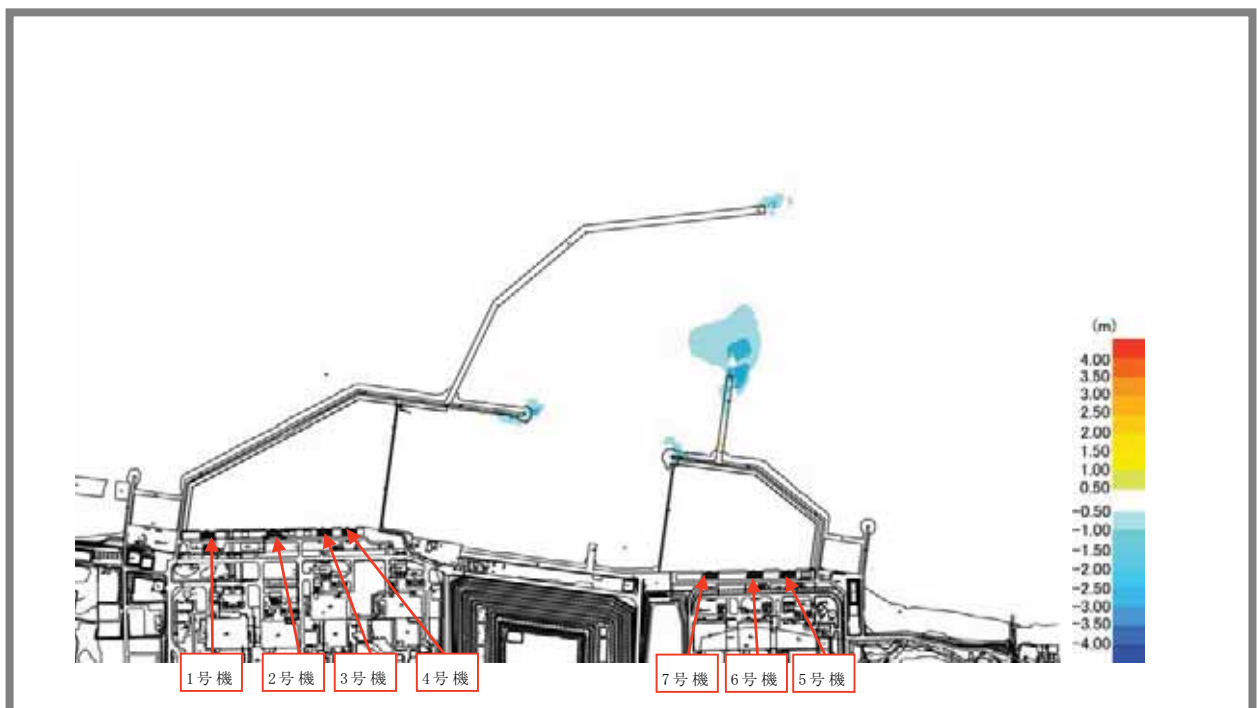
第 11.4.2-2 図 取水施設の水利特性による検討結果



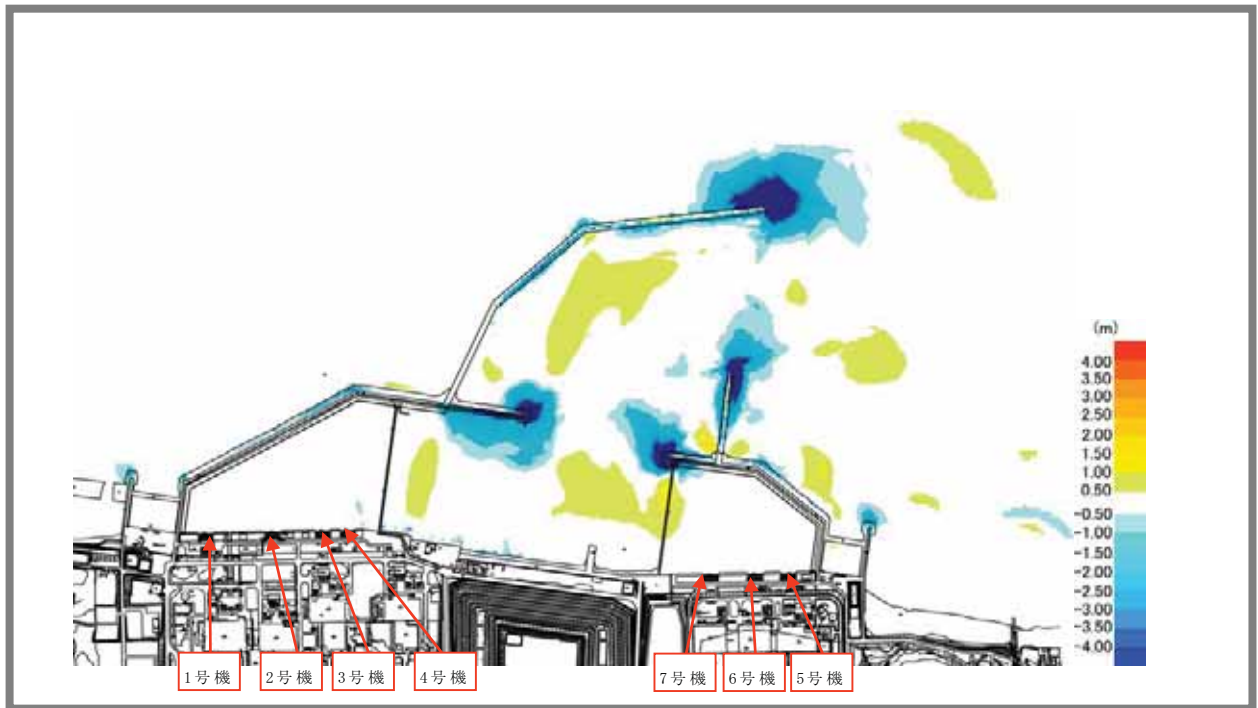
第 11.5.1-1 図 砂移動の数値シミュレーションのフロー



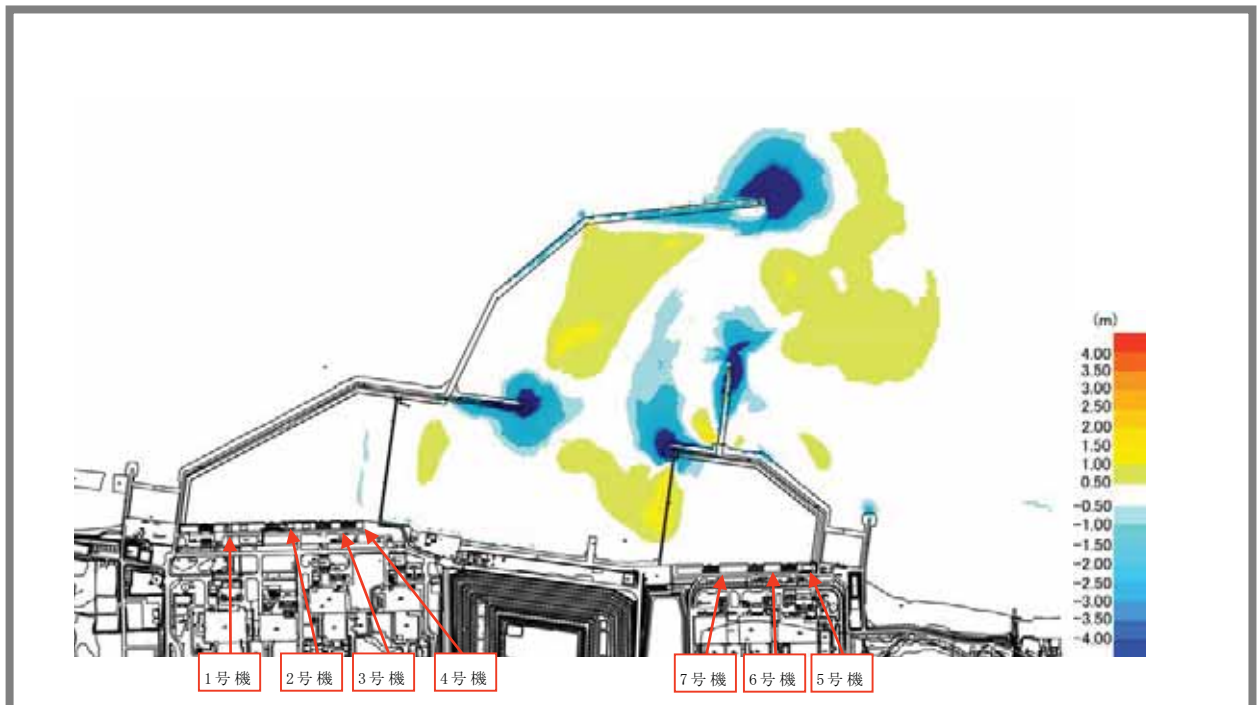
第 11.5.1-2 図(1) 砂移動に伴う地形変化量－最高水位ケース
 (藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾, 地震発生後 4 時間)



第 11.5.1-2 図(2) 砂移動に伴う地形変化量－最低水位ケース
 (藤井ほか(1998)⁽²⁶⁾, 地震発生後 4 時間)



第 11.5.1-2 図(3) 砂移動に伴う地形変化量－最高水位ケース
 (高橋ほか(1999)⁽²⁷⁾, 地震発生後 4 時間)



第 11.5.1-2 図(4) 砂移動に伴う地形変化量－最低水位ケース
 (高橋ほか(1999)⁽²⁷⁾, 地震発生後 4 時間)

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

本報告書では、日本海東縁部に想定される津波の検討においては、日本海東縁部の地震活動領域の北方で発生した既往地震津波による水位が比較的小さいことを考慮して、敷地により近い新潟～山形沖の領域のみを対象として詳細パラメータスタディを実施しているが、新潟～山形沖の領域のみを対象とすることの妥当性について以下のとおり検討した。

(1) 検討の方針

土木学会(2002)⁽¹⁾に示される日本海東縁部の地震活動領域全域において、日本海東縁部で想定される地震規模に応じた波源の基準断層モデルを設定して、位置を変えた概略パラメータスタディを実施し、地震活動領域内における津波水位の傾向を分析することとした。パラメータスタディにおいて設定した断層の位置を参図-11.1.1に示す。ただし、地震調査研究推進本部(2003)⁽²⁾に示される日本海東縁部の地震活動領域のうち、土木学会(2002)⁽¹⁾に示される範囲を超える部分についてもパラメータスタディの対象範囲とした。

(2) 基準断層モデル

基準断層モデルには、日本海東縁部の地震活動領域のうち、敷地により近い新潟～山形沖の領域において実施した詳細パラメータスタディ(11.3.3参照)において最大水位上昇量、及び最大水位下降量を示す高角度モデル(傾斜角 60°)を用いた。参表-11.1.1に

基準断層モデルの諸元を示す。

(3) 数値シミュレーション結果

a. 最大水位上昇量

数値シミュレーション結果より得られた各断層による最大水位上昇量を参図-11.1.2のグラフに示す。なお，グラフは耐震安全性評価対象の7号機と1～6号機に区別している。いずれのグラフも横軸に波源位置を示しており，右に向かって敷地から遠くなることを表している。

同グラフによれば，大局的には敷地により近い領域の「新潟～山形沖」にある波源（①'～④'）で水位が最も大きくなり，波源が敷地から遠くなるほど水位が小さくなっていることがわかる。ただし，1号機及び2号機のみ，「新潟～山形沖」の領域にある波源（①'～④'）に比べて「山形～秋田沖」の領域にある波源（①～④）による水位が若干大きくなるものの，他号機は全て「新潟～山形沖」の領域の方が大きい。

b. 最大水位下降量

数値シミュレーション結果より得られた各断層による最大水位下降量を参図-11.1.3のグラフに示す。

最大水位上昇量と同様に，敷地により近い領域の「新潟～山形沖」にある波源（①'～④'）で最大値を示しており，波源が敷地から遠くなるほど下降量が小さくなっていることがわかる。

(4) まとめ

概略パラメータスタディの結果から，最大水位上昇量においては1号機及び2号機のみ，「新潟～山形沖」の領域より若干大きい波源

があるものの、その量は小さいこと、また今回耐震安全性評価の対象としている7号機を含むそれ以外の号機は全て「新潟～山形沖」による影響が最も大きいことが確認された。したがって、「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は妥当と考えられる。

(5) 参考文献

(1) 「原子力発電所の津波評価技術」

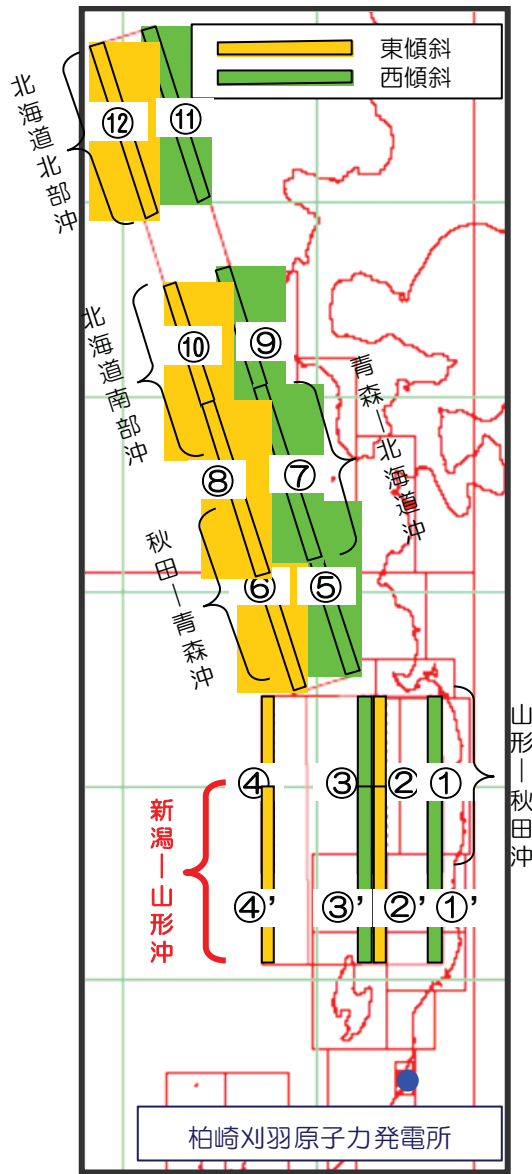
土木学会原子力土木委員会津波評価部会，321p，2002

(2) 「日本海東縁部の地震活動の長期評価」

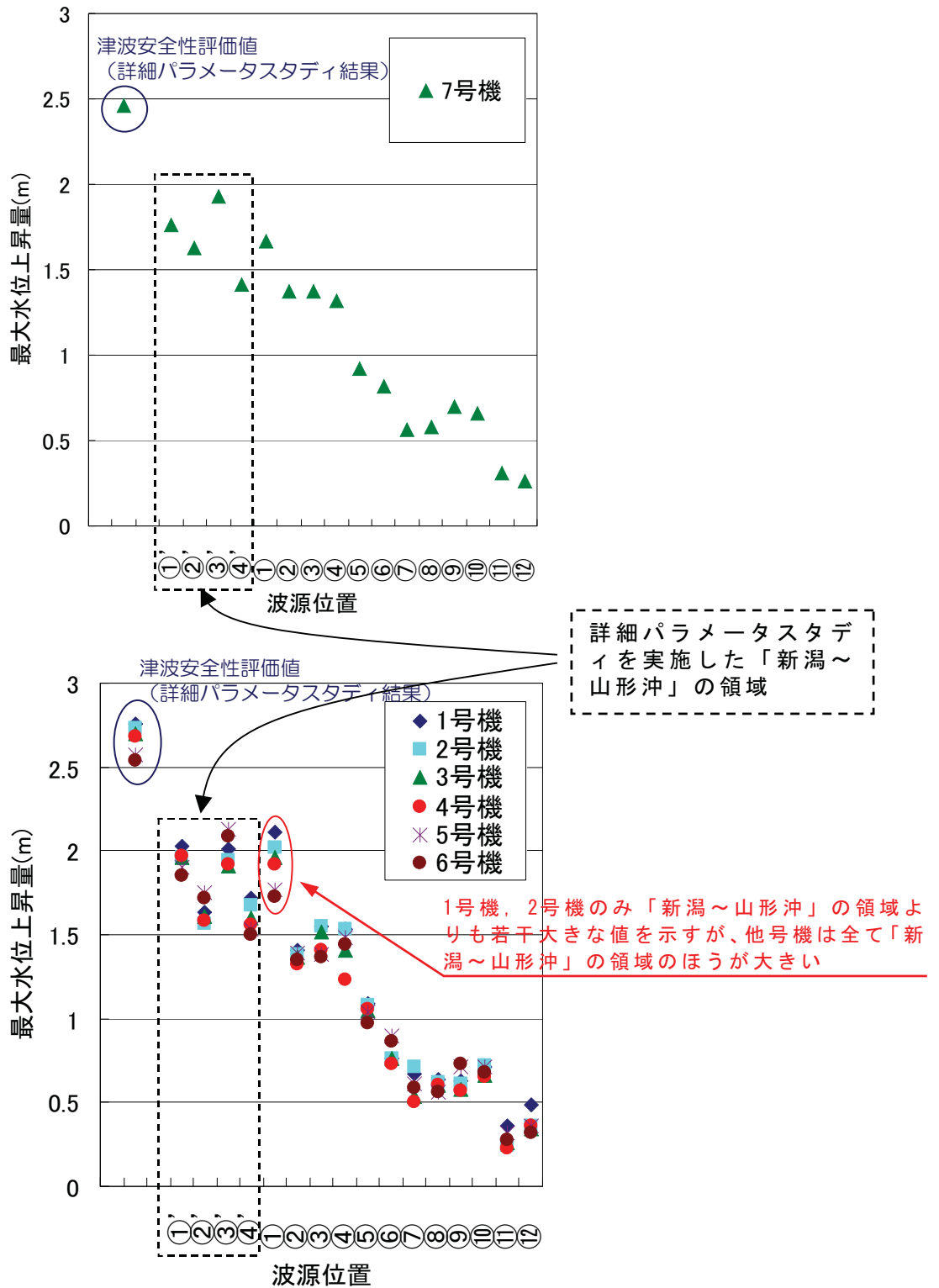
地震調査研究推進本部 地震調査委員会，2003

参表-11.1.1 基準断層モデルの諸元

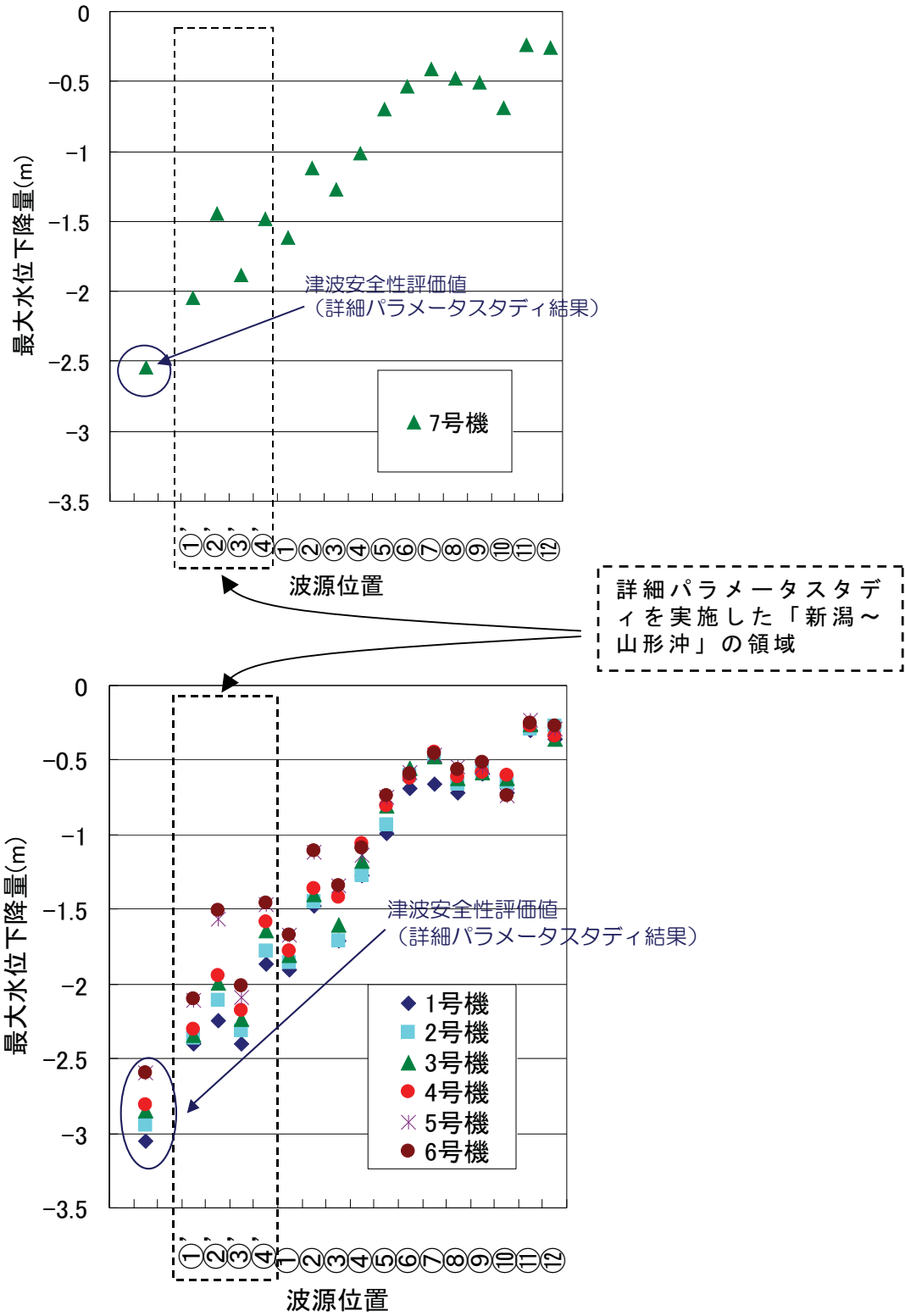
断層名	Mw	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	すべり量 D (m)	断層上縁深さ d (km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)
高角モデル	7.85	131.1	17.3	9.44	0.0	20・200	60	90



参図-11.1.1 日本海東縁部の地震活動領域における概略パラメータスタディ



参図-11.1.2 概略パラメータスタディ結果
(最大水位上昇量)



参図-11.1.3 概略パラメータスタディ結果
(最大水位下降量)

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

日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波源設定については、土木学会(2002)⁽¹⁾に従い、痕跡高が多く存在する津波を再現できるモデルのうち、既往最大のモーメントマグニチュード(M_w)を示す1993年北海道南西沖地震の $M_w = 7.84$ を下回らないように、 $M_w = 7.85$ となる基準断層モデルを用いている。また、基準断層モデルの断層パラメータの設定にあたっては、同じく土木学会(2002)⁽¹⁾に従い、武村(1998)⁽²⁾のスケーリング則を適用した。日本海東縁部において既往津波の痕跡高を説明できる断層モデル一覧を参表-11.2.1に、その断層モデルの位置図を参図-11.2.1に示す。

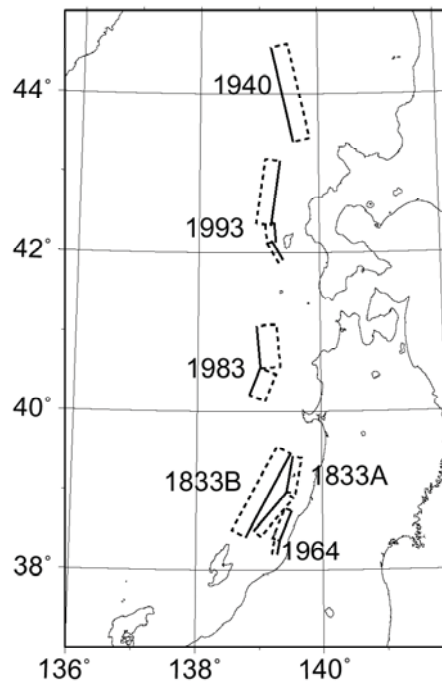
参考文献

- (1) 「原子力発電所の津波評価技術」
土木学会原子力土木委員会津波評価部会， 2002
- (2) 「日本列島における地殻内地震のスケーリング則－地震断層の影響および地震被害との関連－」
武村雅之，地震第2輯，第51巻，pp.211-228，1998

参表-11.2.1 既往津波の痕跡高を説明できる断層モデル
(日本海東縁部)

対象津波	モデル M_w	面積 (km^2)	L (km)	W (km)	D (m)	d (km)	θ ($^\circ$)	δ ($^\circ$)	λ ($^\circ$)	データ 数	K	κ	備考
1833年天保山形沖(A)	7.82	1250	50	25	6.4	0	10	60	90	27	1.04	1.42	本体系化原案 (相田(1989)を修正;陸岸近く)
		1750	70	25	6.4	0	40	60	120				
1833年天保山形沖(B)	7.76	3960	132	30	4.0	0	208	45	90	27	1.17	1.28	本体系化原案(沖合)
1940年積丹沖	7.70	4050	135	30	3.2	0	347	40	90	20	1.02	1.42	本体系化原案 (Satake(1986)を修正)
1964年新潟	7.35	900	45	20	3.3	1	202	60	90	検潮	-	-	Noguera and Ku.Abe(1992)
		300	20	15	3.0	1	189	60	90				
同上	7.51	813	32.5	25	5.3	0	200	60	52	検潮	-	-	加藤・安藤(1995)
		813	32.5	25	2.9	0	200	60	90				
1983年日本海中部	7.74	1200	40	30	7.6	2	22	40	90	218	1.12	1.46	相田(1984) Model-10
		1800	60	30	3.05	3	355	25	80				
1993年北海道南西沖	7.84	2250	90	25	5.71	10	188	35	80	249	0.96	1.51	高橋武之ら(1995) DCRC-26モデル
		650	26	25	4.00	5	175	60	105				
		458	30.5	15	12	5	150	60	105				

(土木学会(2002)⁽¹⁾より)



参図-11.2.1 日本海東縁部の既往断層モデル位置
(土木学会(2002)⁽¹⁾より)

参考資料 11.3 浮遊砂濃度の上限値 5%による砂移動解析

本報告書では、藤井ほか(1998)⁽¹⁾ および高橋ほか(1999)⁽²⁾ の手法に基づき、浮遊砂濃度の上限値 1%の条件で、津波に伴う砂移動による影響検討を実施している。

ここでは、念のため浮遊砂濃度の上限値 5%の条件で、侵食・堆積量のより大きいケースとして高橋ほか(1999)⁽²⁾ の手法を用いて砂移動による影響検討を行った。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。参図-11.3.1 には計算時間 4 時間後の、砂移動による地形変化量を、参図-11.3.2 には取水口前面における津波水位と海底面の変動時刻歴を示す。最低水位ケースにおいては、3号機の取水口前面で最大堆積量約 120cm を示すものの、いずれのケース、いずれの号機においても取水口前面では常に水深が 2m 程度確保されており、取水への影響はないと考えられる。

なお、浮遊砂濃度の上限値 5%は、例えば芦田・道上(1970)⁽³⁾ の水理実験などによる河床付近の実測値の最大値に相当するが、高橋ほか(1999)⁽²⁾ の手法における浮遊砂濃度の上限値は全水深の平均値として与えられることから、上限値 5%の設定は過大な評価であると考えられる。

参考文献

(1) 「津波による海底地形変化に関する研究」

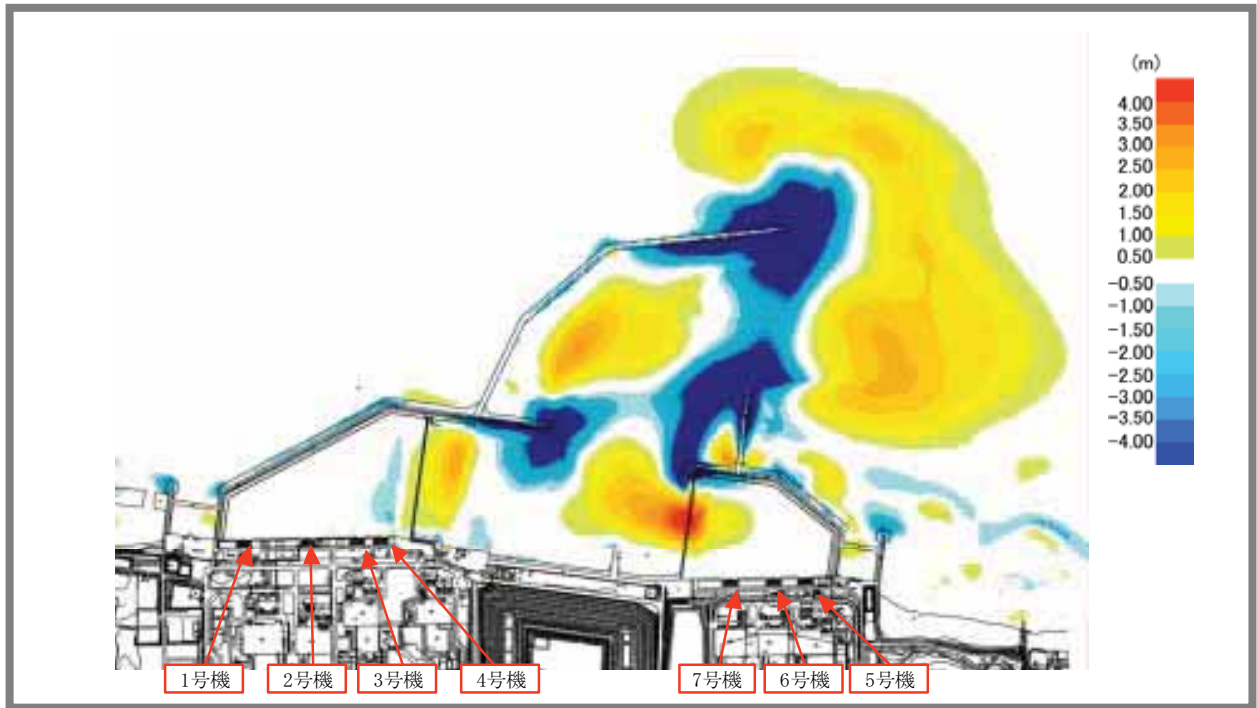
藤井直樹・大森政則・高尾 誠・金山 進・大谷英夫，
海岸工学論文集第 45 巻，pp. 376－380，1998

(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」

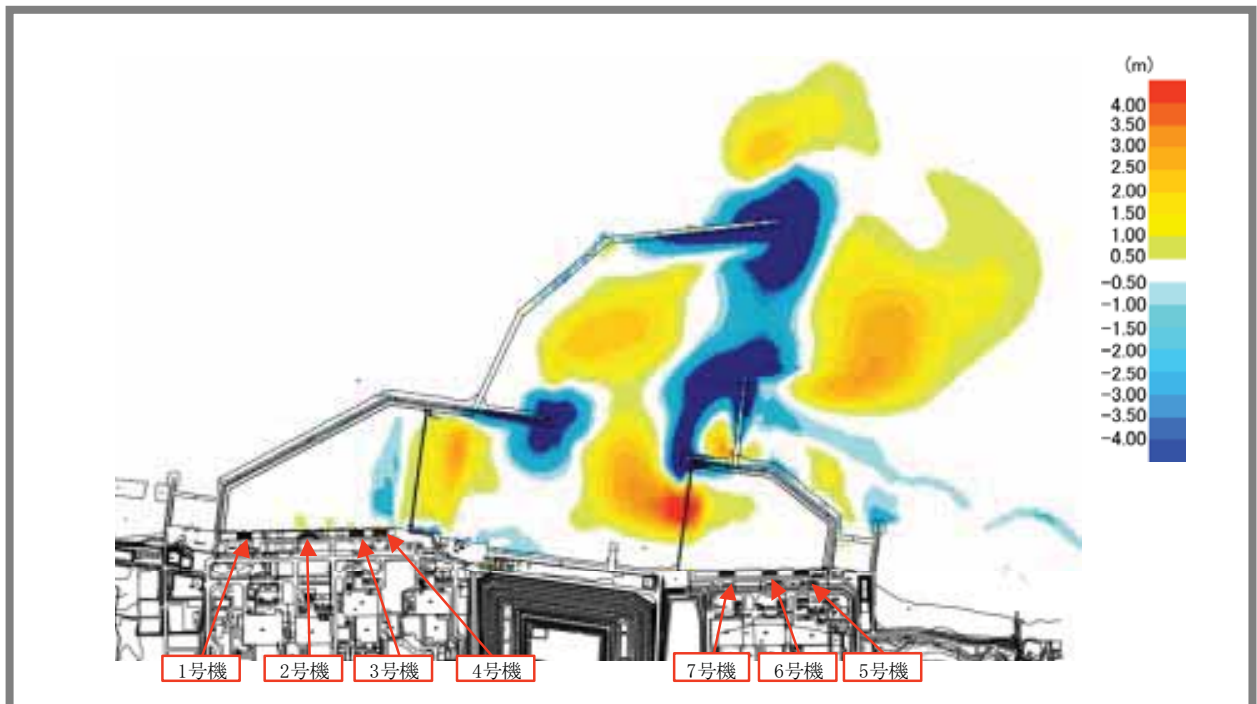
高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔，
海岸工学論文集，第 46 卷，pp. 606－610，1999

(3) 「浮遊砂に関する研究(1)－河床付近の濃度－」

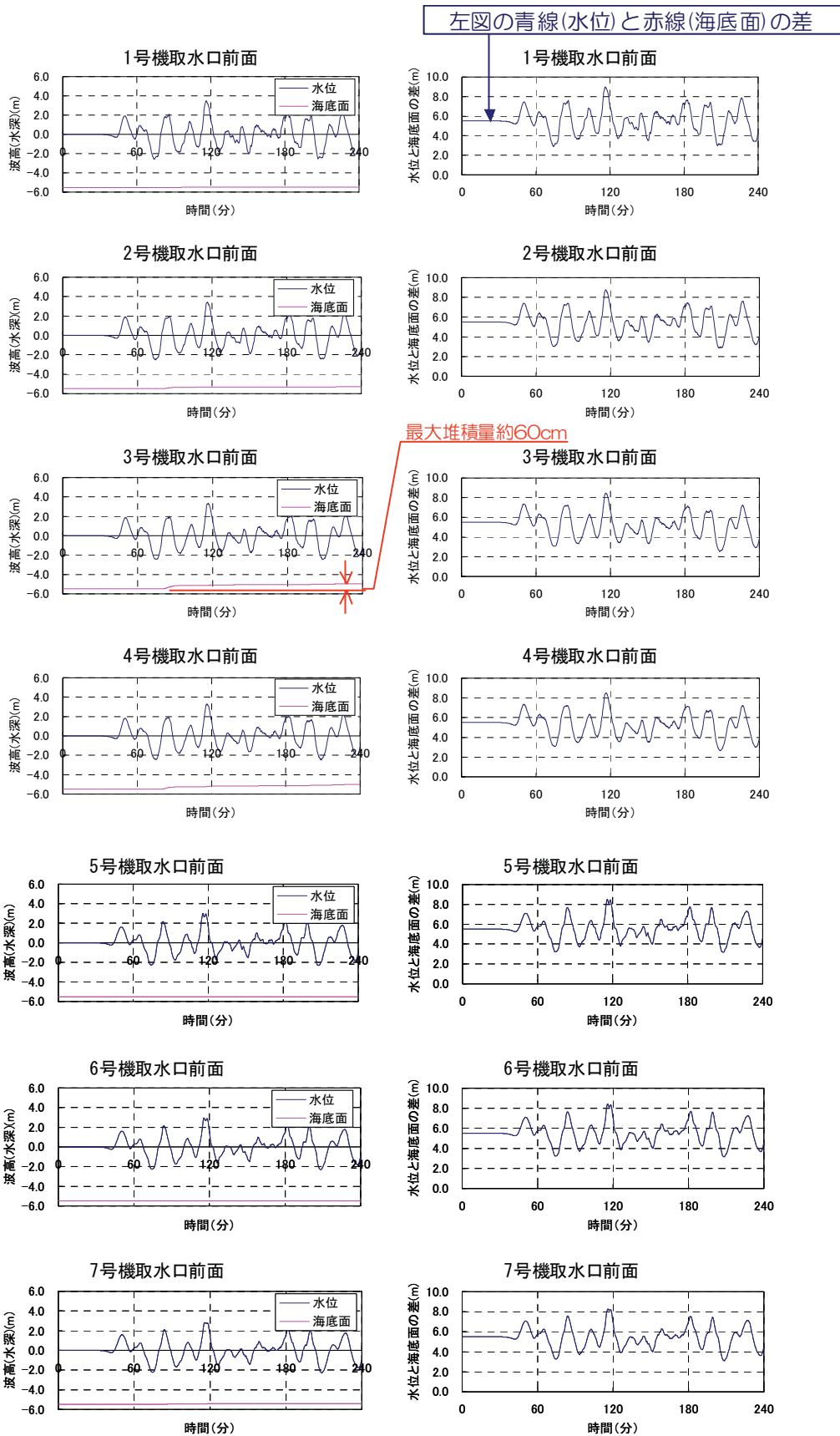
芦田和男・道上正規，
京大防災研究所年報第 16 号 B，pp. 1－10，1970



参図-11.3.1(1) 砂移動に伴う地形変化量－最高水位ケース－
 (高橋ほか(1999)⁽²⁾のモデル, 地震発生後4時間, 浮遊砂濃度上限値=5%)



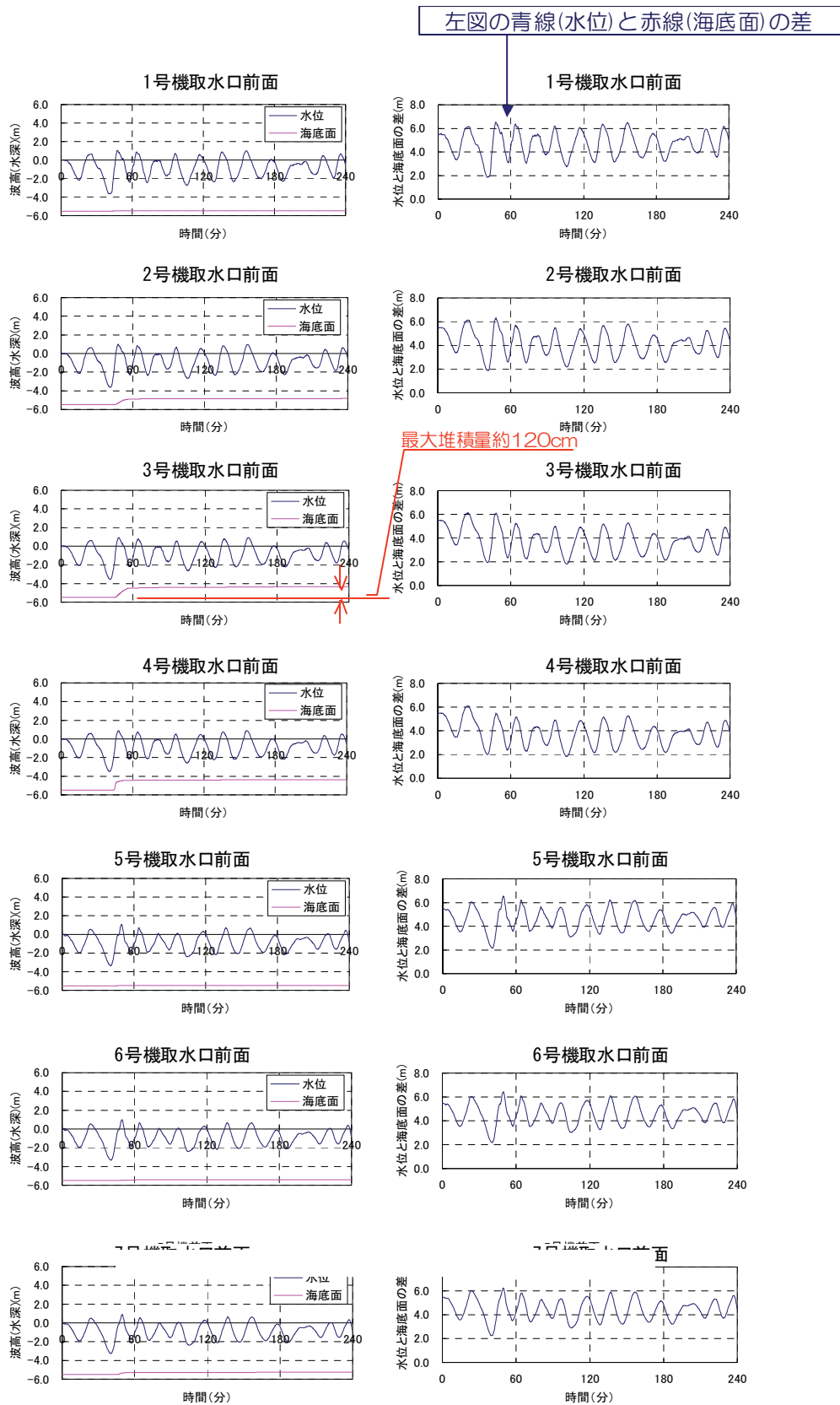
参図-11.3.1(2) 砂移動に伴う地形変化量－最低水位ケース－
 (高橋ほか(1999)⁽²⁾のモデル, 地震発生後4時間, 浮遊砂濃度上限値=5%)



参図-11.3.2 取水口前面における津波水位と海底面の変動時刻歴

— 最高水位ケース —

(高橋ほか(1999)⁽²⁾のモデル, 浮遊砂濃度上限値=5%)



参図-11.3.2 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 —

(高橋ほか(1999)⁽²⁾ のモデル, 浮遊砂濃度上限値=5%)

参考資料 11.4 強震動モデルによる津波水位評価

本報告書では、土木学会(2002)⁽¹⁾を参考に設定した一様すべりの断層モデル(以下、「一様断層モデル」と称す)を用いた数値シミュレーションにより津波水位の評価を行っているが、ここでは基準地震動 S_s の評価に用いているF-B断層、F-D断層+高田沖断層、長岡平野西縁断層帯($\delta = 35^\circ$)、および長岡平野西縁断層帯($\delta = 50^\circ$)の強震動モデルを用いた津波の数値シミュレーションを実施し、一様断層モデルによる津波水位との比較を行った。

(1) 初期水位分布

強震動モデルによる初期水位分布を参図-11.4.1に示す。

(2) 数値シミュレーション結果

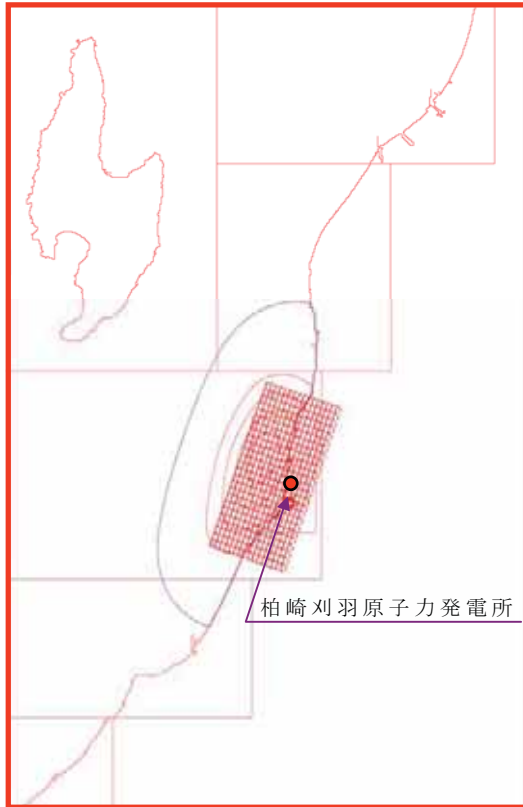
強震動モデル及び一様断層モデルによる数値シミュレーション結果(取水口前面における最大水位上昇量及び下降量)を参表-11.4.1に示す。

いずれの断層も、一様断層モデルによる津波水位が強震動モデルによる津波水位を上回る結果となった。

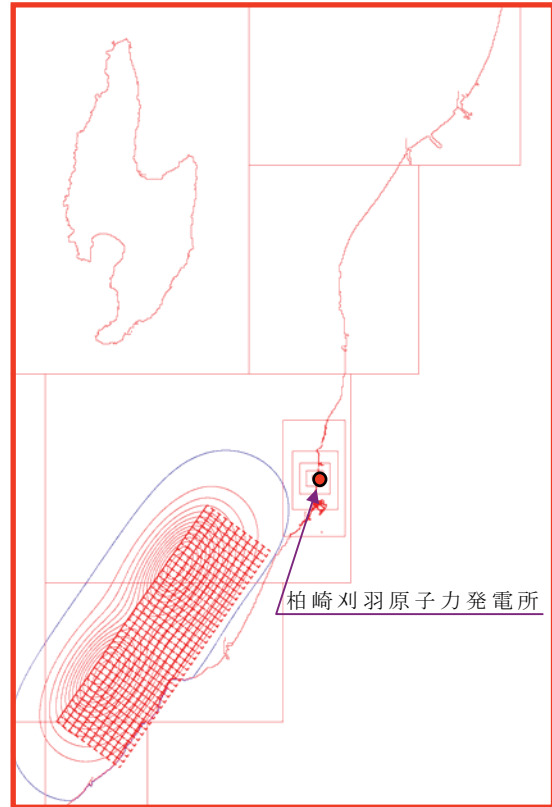
参考文献

(1) 「原子力発電所の津波評価技術」

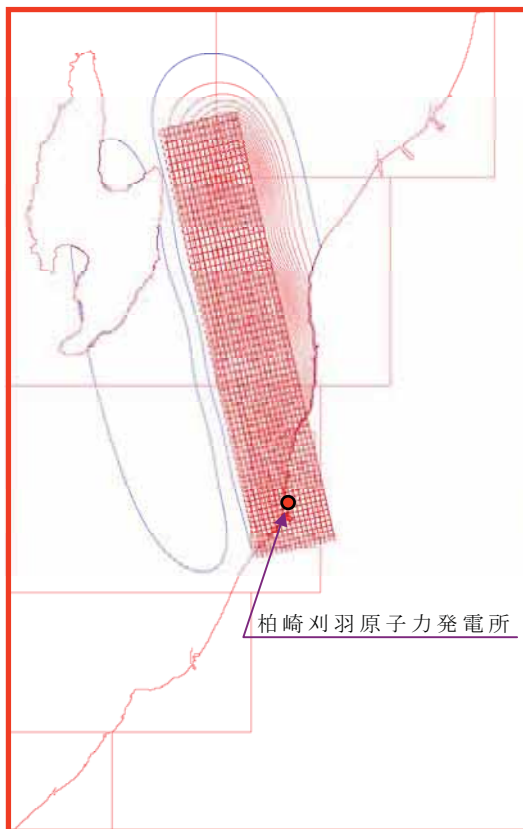
土木学会原子力土木委員会津波評価部会, 2002



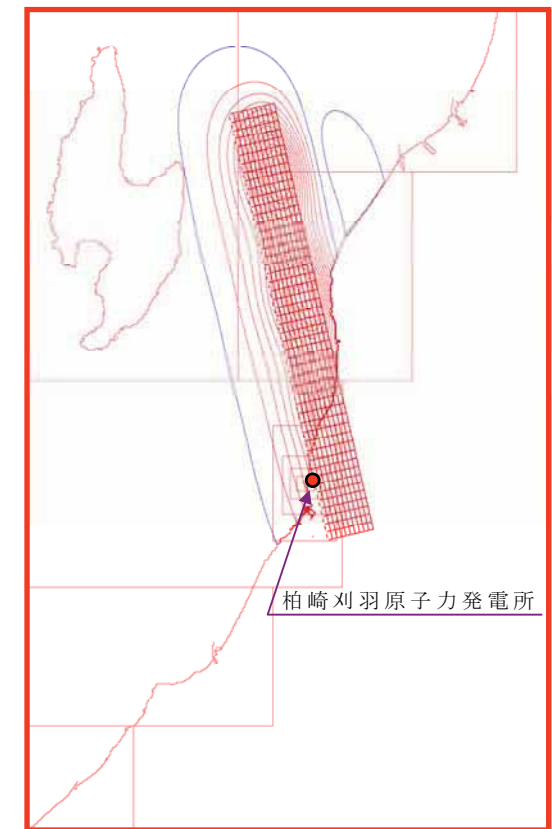
[F-B断層]



[F-D断層 + 高田沖断層]



[長岡平野断層帯 ($\delta = 35^\circ$)]



[長岡平野断層帯 ($\delta = 50^\circ$)]

参図-11.4.1 強震動モデルによる初期水位分布

(コンター間隔は 0.1m)

参表-11.4.1 津波数值シミュレーション結果

(取水口前面における最大水位上昇量・下降量)

プラント	F - B 断層		F - D 断層 + 高田沖断層		長岡平野西縁断 層帯 ($\delta = 35^\circ$)		長岡平野西縁断 層帯 ($\delta = 50^\circ$)	
	上昇量	下降量	上昇量	下降量	上昇量	下降量	上昇量	下降量
1号機	+0.37	-1.35	+1.18	-1.47	+0.56	-3.42	+0.85	-1.55
	+1.33	-2.35	+1.41	-1.69	+0.60	-3.48	+1.28	-3.32
2号機	+0.35	-1.33	+1.16	-1.45	+0.48	-3.36	+0.82	-1.53
	+1.24	-2.26	+1.36	-1.63	+0.57	-3.45	+1.25	-3.23
3号機	+0.33	-1.32	+1.13	-1.39	+0.38	-3.29	+0.80	-1.51
	+1.18	-2.15	+1.32	-1.51	+0.55	-3.42	+1.19	-3.15
4号機	+0.32	-1.30	+1.11	-1.35	+0.31	-3.25	+0.78	-1.50
	+1.15	-2.09	+1.29	-1.44	+0.53	-3.39	+1.15	-3.11
5号機	+0.26	-1.29	+1.06	-1.06	+0.45	-3.30	+0.63	-1.42
	+1.08	-2.10	+1.42	-1.11	+0.47	-3.31	+1.04	-3.07
6号機	+0.25	-1.28	+1.04	-1.04	+0.39	-3.25	+0.63	-1.41
	+1.05	-2.10	+1.39	-1.12	+0.47	-3.27	+1.04	-3.05
7号機	+0.25	-1.25	+1.01	-1.02	+0.26	-3.15	+0.63	-1.39
	+1.01	-2.05	+1.35	-1.10	+0.45	-3.21	+1.03	-3.01

上段：強震動モデル 下段：一様断層モデル

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

新潟県中越沖地震で観測された津波水位波形と、本報告書の数値シミュレーションに用いた解析コード及び解析モデルによる新潟県中越沖地震津波の再現計算により得られた津波水位波形とを比較することにより、解析コード及び解析モデルの妥当性を検証した。

(1) 数値シミュレーションに用いた新潟県中越沖地震断層モデル

再現計算に用いる断層モデルには、今井ほか(2008)⁽¹⁾を参考に、国土地理院の2つのモデル⁽²⁾(以下、「GSI-1モデル」、「GSI-2モデル」と称す)、気象庁のモデル⁽³⁾(以下、「JMAモデル」と称す)、及び防災科学技術研究所のモデル⁽⁴⁾(以下、「NIEDモデル」と称す)の4つの新潟県中越沖地震断層モデルを用いた。各断層モデルの諸元を参表-11.5.1に、各断層モデルによる初期水位分布を参図-11.5.1に示す。

(2) 観測水位波形

新潟県中越沖地震津波の観測水位波形には、NOWPHAS*による沖合いで観測されたデータのうち、「直江津」、「酒田」、および「秋田」の3地点の波形と、発電所港外で観測された波形を用いた。

(3) 観測水位波形と解析水位波形の比較

観測水位波形と、解析で得られた水位波形を参図-11.5.2に示す。

JMAモデル、及びNIEDモデルによる解析水位は、観測水位よりも

* NOWPHAS : 全国港湾海洋波浪情報網 (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS)

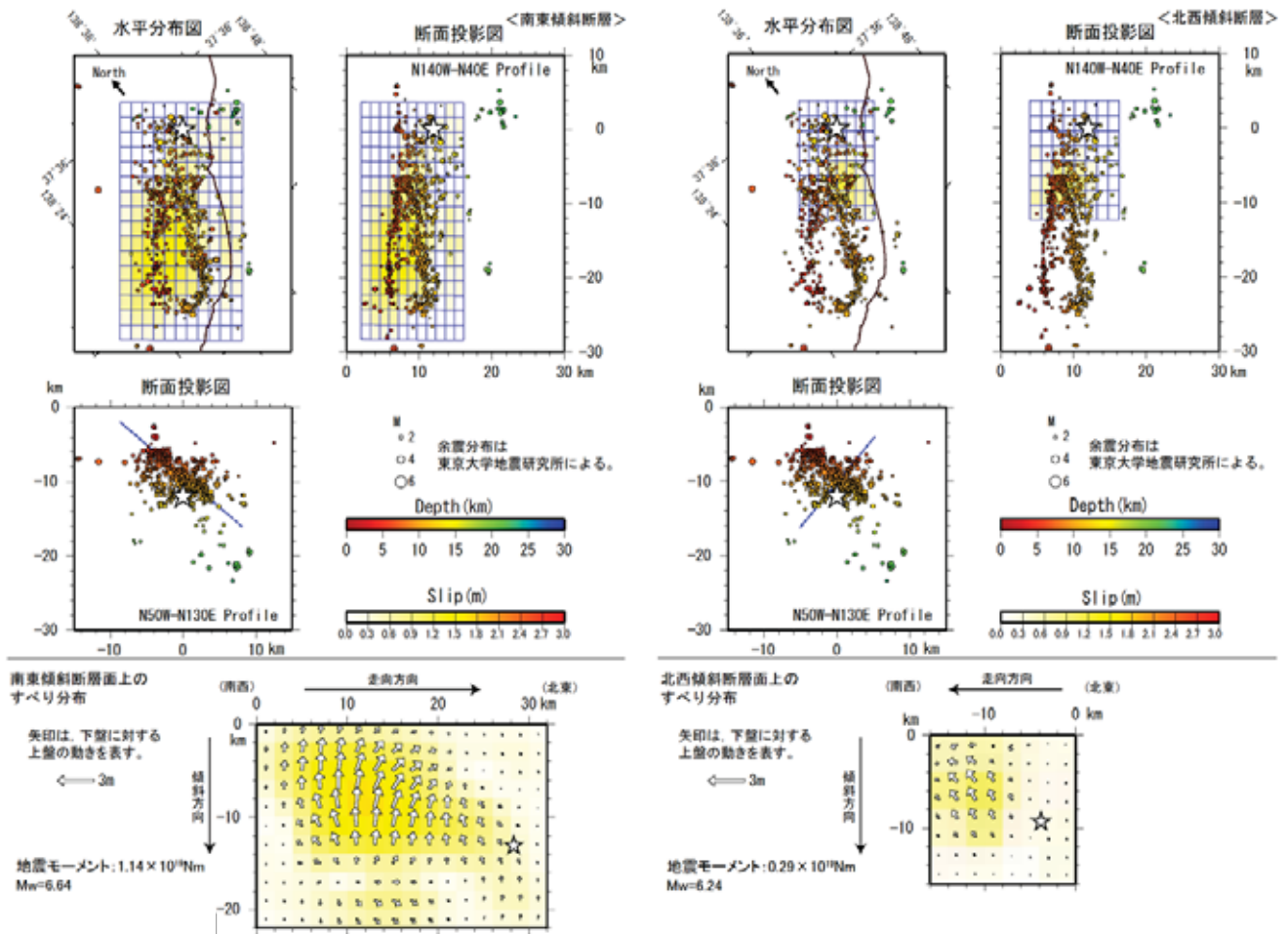
やや小さめの評価となっているものの、いずれの断層モデルによる解析水位波形は、観測水位波形とは振幅や位相が良い対応を示していることから、本報告書の数値シミュレーションに用いた解析コード及び解析モデルは妥当なものと判断できる。

参考文献

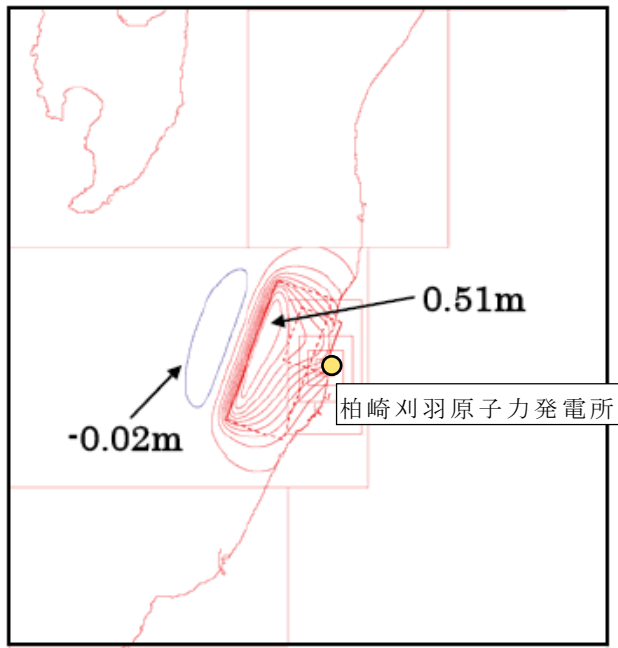
- (1) 「2007年新潟県中越沖地震津波の伝播特性」
今井健太郎・高橋智幸・小沼知宏，海岸工学論文集，
第55巻，pp.361-365，2008
- (2) 「平成19年（2007年）新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新」
<<http://www.gsi.go.jp/cais/topics-topic080111-index.html>>，国土地理院（2009/4/15アクセス）
- (3) 「気象庁|津波|CMT解（詳細）／2007年07月16日10時13分 新潟県上中越沖 M6.8」
<<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/cmt/fig/cmt20070716101322.html>>，気象庁（2009/4/15アクセス）
- (4) 「新潟県中越沖地震／近地強震動記録による2007年新潟県中越沖地震の震源インバージョン（暫定版）」
<<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/chuetsuoki20070716/inversion/>>，防災技術科学研究所（2009/4/15アクセス）

参表-11.5.1 新潟県中越沖地震の断層モデル諸元

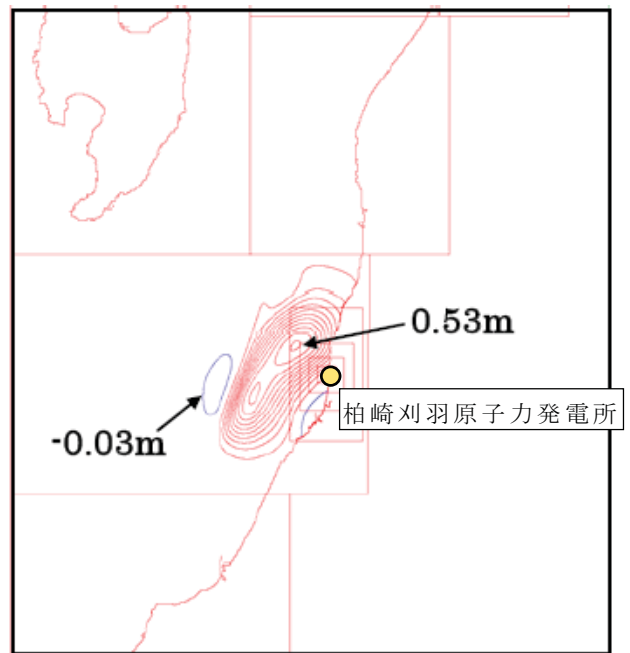
断層モデル	断層長さ L(km)	断層幅 W(km)	すべり量 D(m)	断層上縁深さ d(km)	走向 θ (°)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)	地盤変動モデル
GSI-1	27.0	14.0	0.91	2.0	40	40	90	Mansinha and Smylie(1970)
	10.0	12.0	0.73	4.0	220	50	90	
GSI-2	(下図に示すすべり分布を推定)							Wang et al.(2003)
JMA	25.4	12.7	1.23	10.0	30	44	75	Mansinha and Smylie(1970)
NIED	30.0	24.0	0.68	8.0	49	42	101	Mansinha and Smylie(1970)



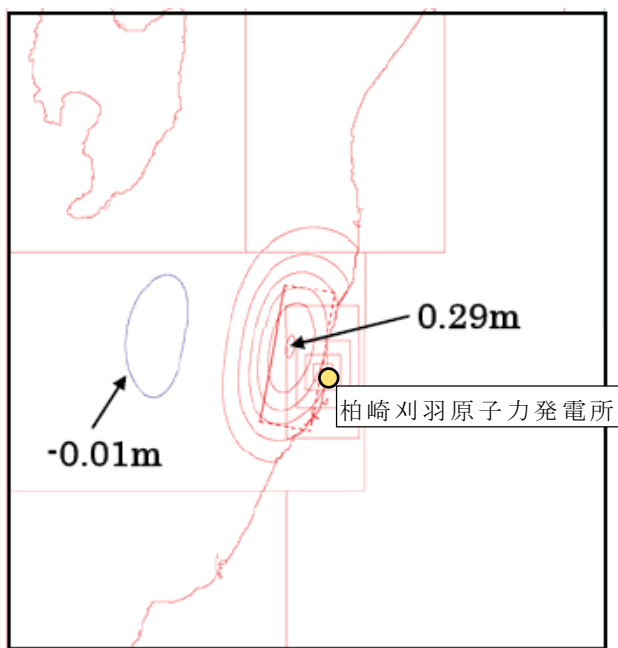
[平成19年新潟県中越沖地震 南東+北西傾斜震源断層モデル (成層媒質) と地震分布の位置関係 (国土地理院HP⁽²⁾より)]



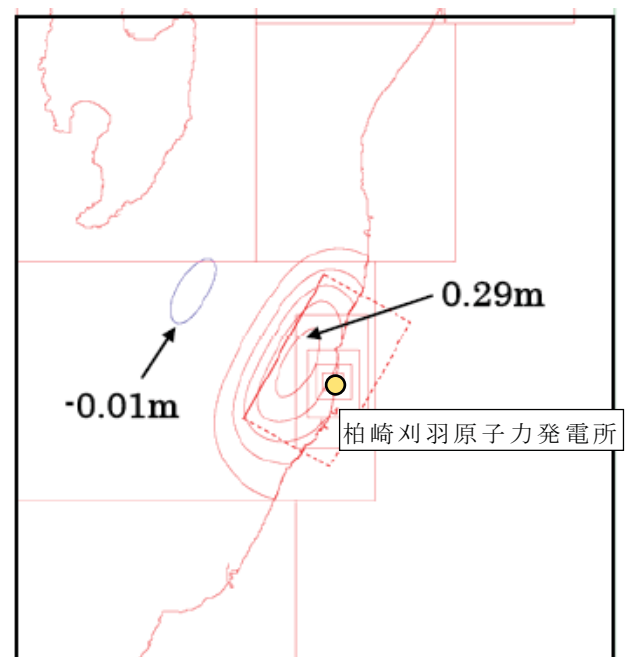
[GSI-1モデル]



[GSI-2モデル]

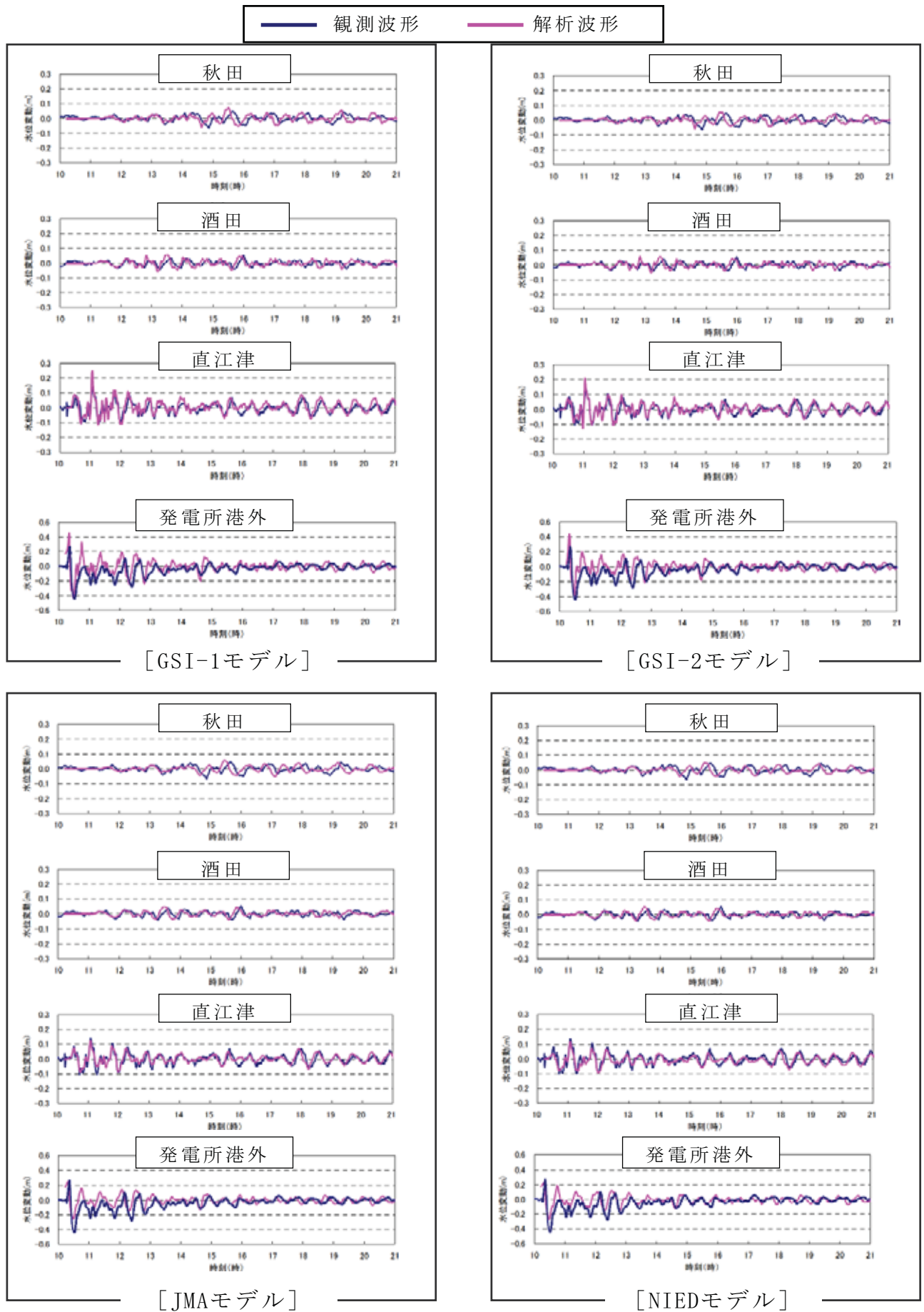


[JMAモデル]



[NIEDモデル]

参図-11.5.1 新潟県中越沖地震断層モデルによる初期水位分布
(コンター間隔は0.1m)



参図-11.5.2 観測水位波形と解析水位波形との比較

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⁽¹⁾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⁽²⁾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° 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 σ : 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を対象とし、地質調査結果及び地盤変動を評価する点を踏まえて、上端深さ及びすべり量を設定したモデルを用いる。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。

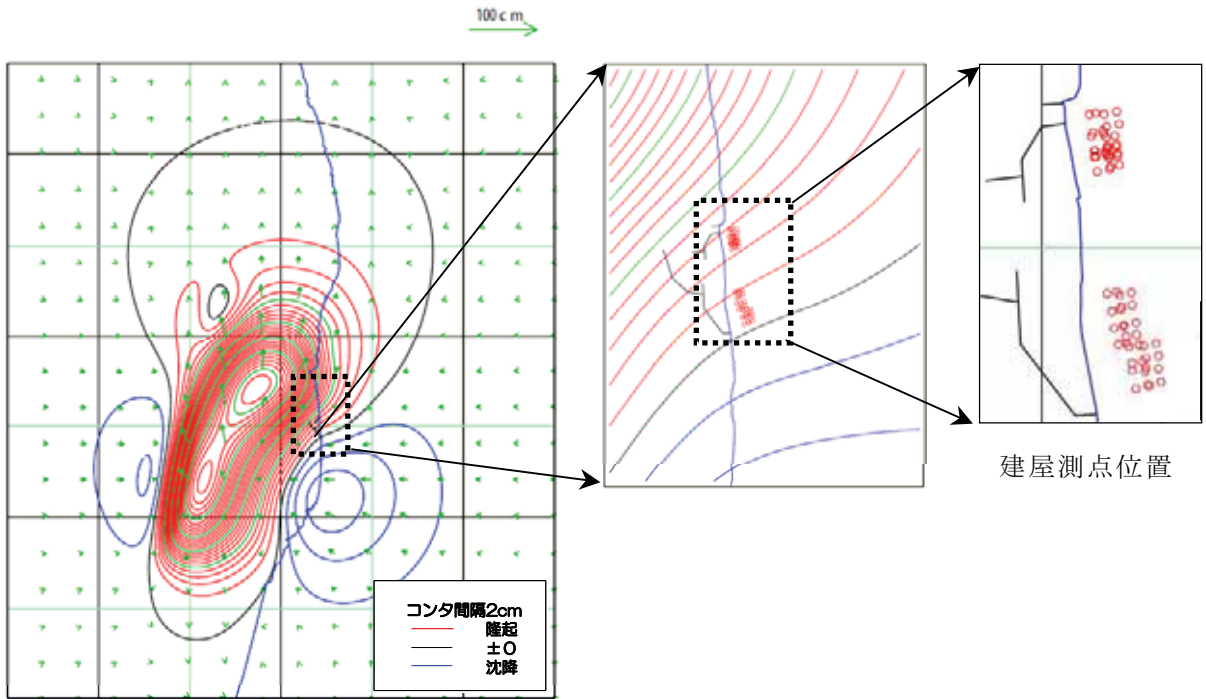
12.4. 評価結果

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。

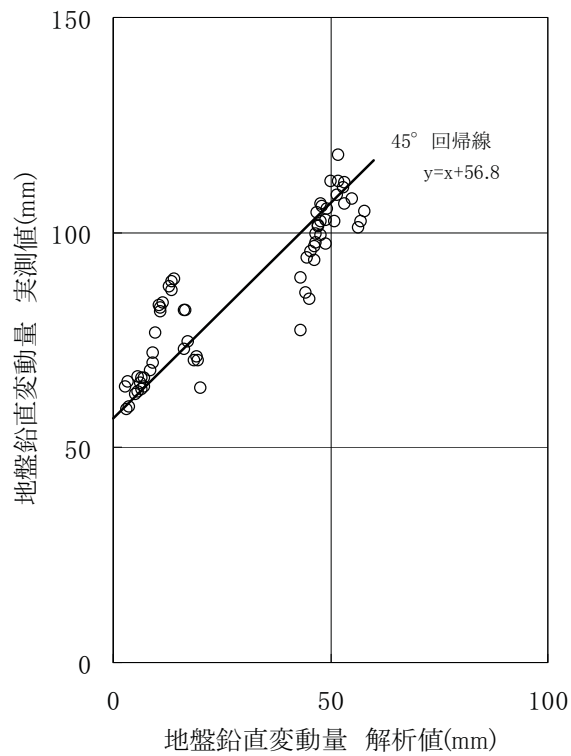
建屋の傾斜は最大でも 1/1,400 程度と 1/1,000 以下であり建屋および機器・配管系の機能を損なうものではない（第 12.4-3 図，第 12.4-4 図）。

12.5. 参考文献

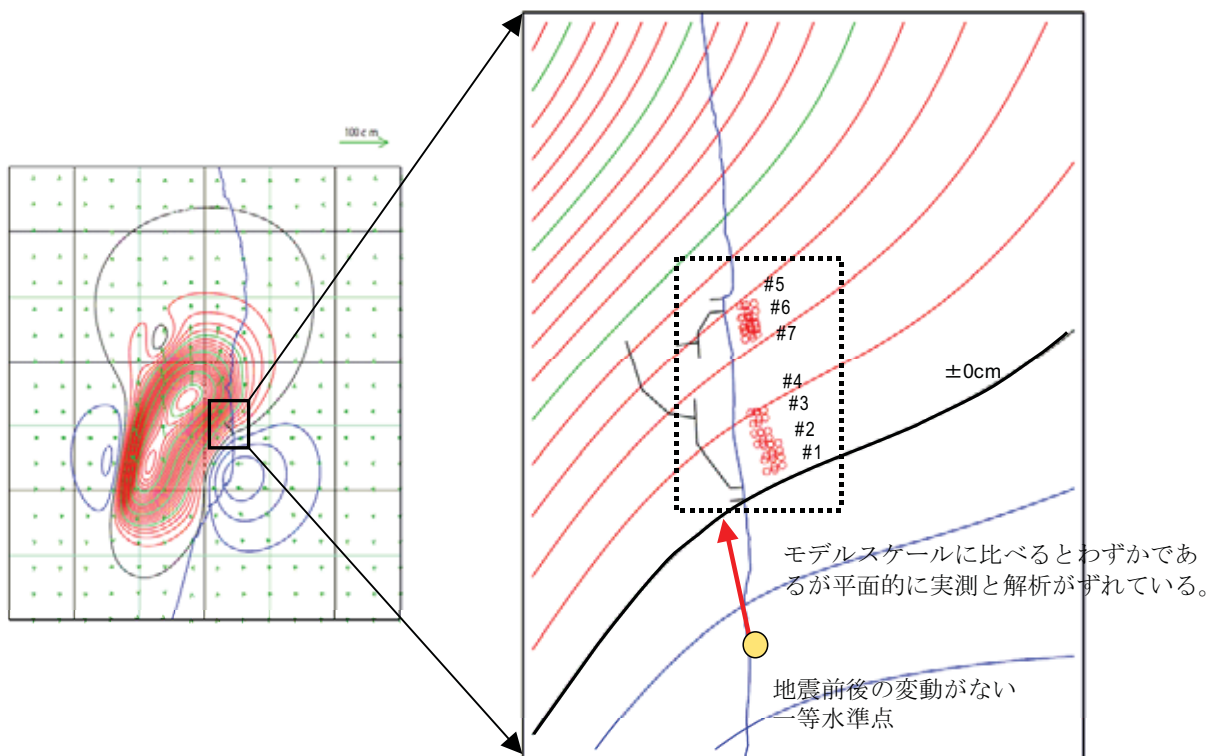
- (1) Rongjiang Wang, Francisco Lorenzo Martin, Frank Roth(2003) :
Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust—FORTRAN programs, Computers & Geosciences 29
- (2)国土地理院(2008) : 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新（主に断層面に関する評価）
<http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/index.html>



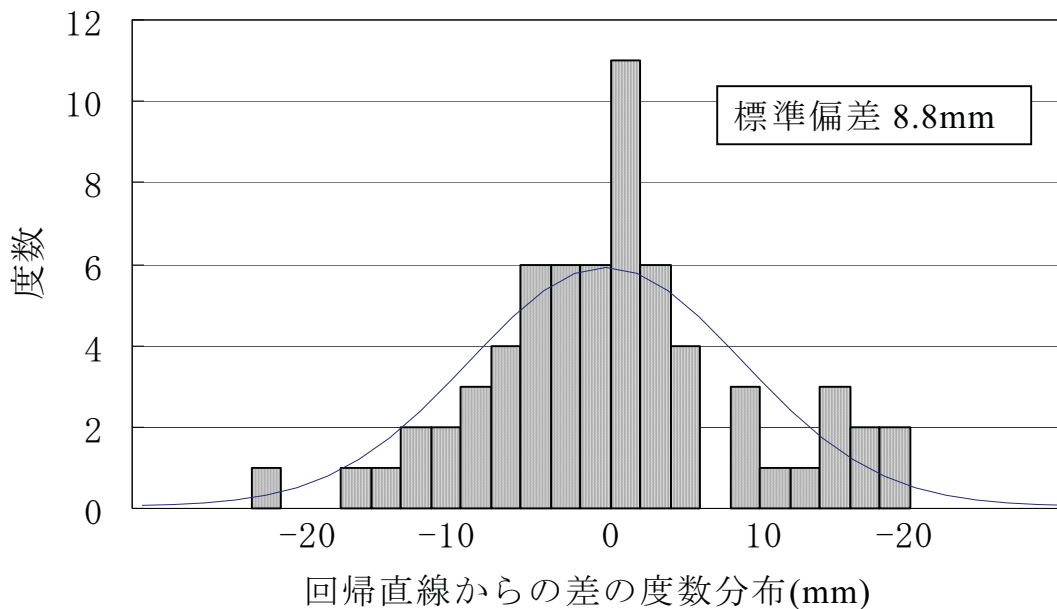
第 12.3.1-1 図 くいちがいの弾性論 (新潟県中越沖地震国土地理院モデル) に基づく解析結果と水準測量による建屋測点位置



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



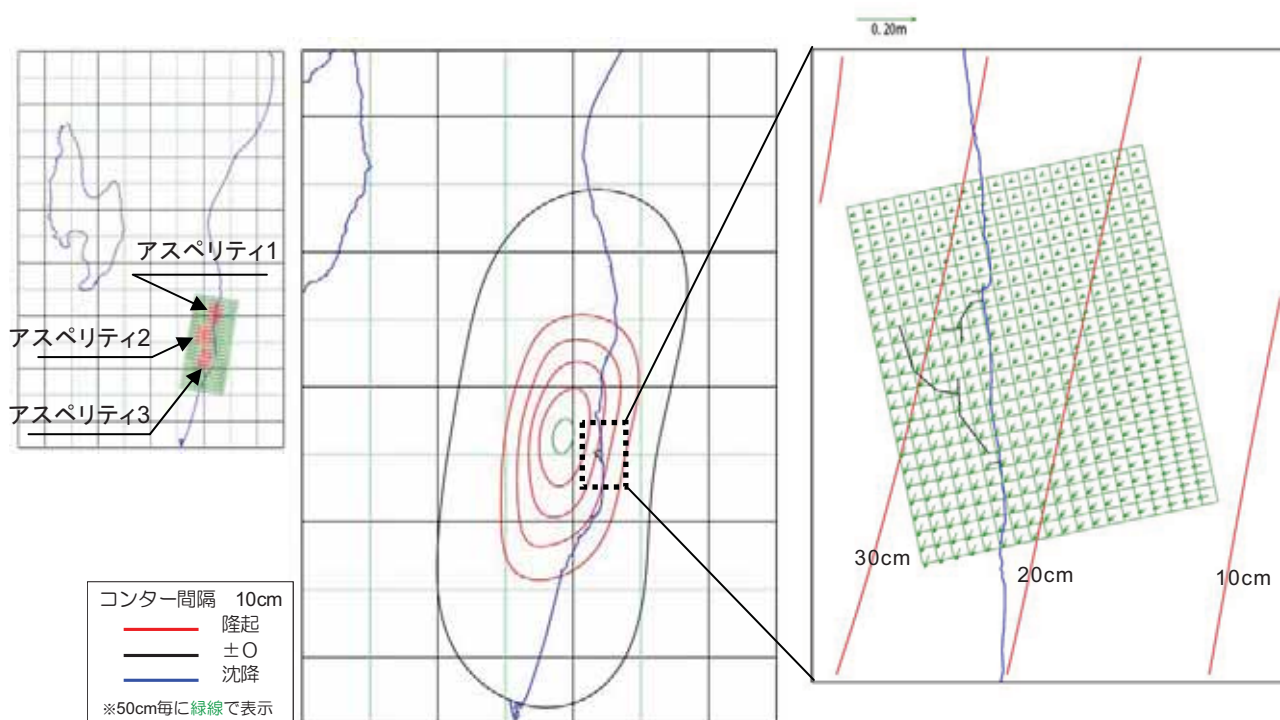
第 12.3.2-1 図 回帰直線からの差の度数分布

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

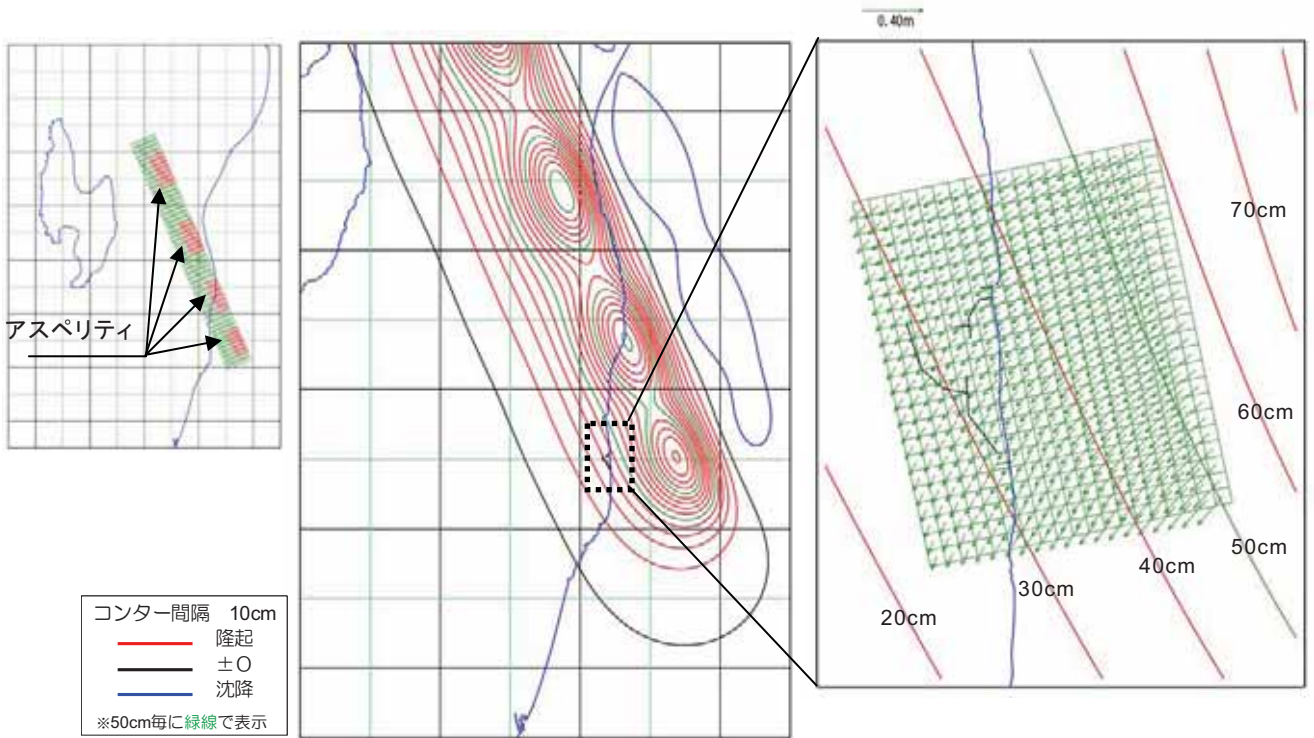
断層モデル		解析条件						地殻変動評価のための補正 ^{*2}	
		長さ (km)	傾斜角 (°)	上端深さ (km)	下端深さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	地震モーメント (N・m)	すべり量 (m)
基準地震動策定に用いた断層モデル	F-B断層	36	35	6	17	20.0	アスペリティ1: 2.49 アスペリティ2: 2.30 アスペリティ3: 1.95 背景領域: 0.38	-	-
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度)	91	50	6	17	15.0	アスペリティ: 4.87 背景領域: 1.52	-	-
	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度)	91	35	6	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 ^{*1}	F-B断層	36	35	0.1	17	29.5	1.0	1.7×10^{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	1.0×10^{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	1.8×10^{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。

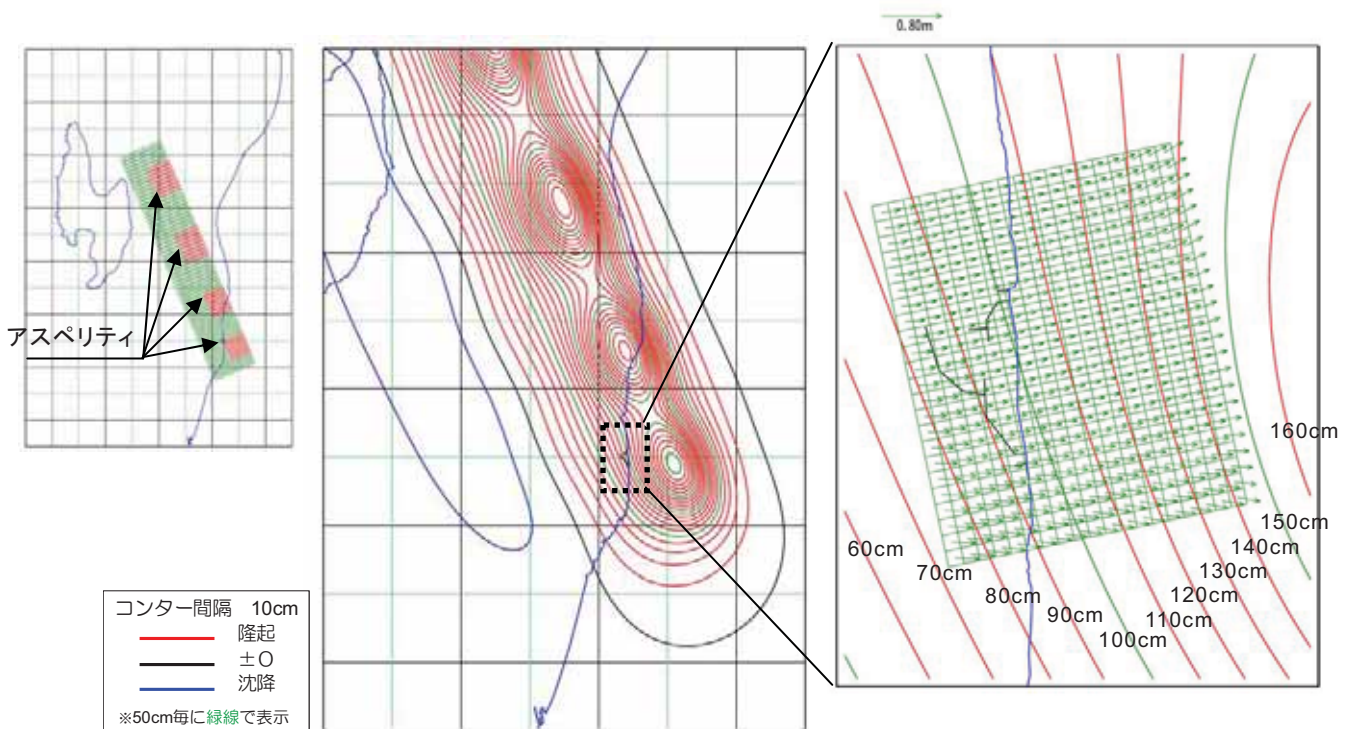
*2: 「断層上端を地表付近に設定したモデル」による地殻変動量の評価においては、「基準地震動策定に用いた断層モデル」の地震モーメント(Mo)と同じになるように算定したすべり量を用いた結果を使用。



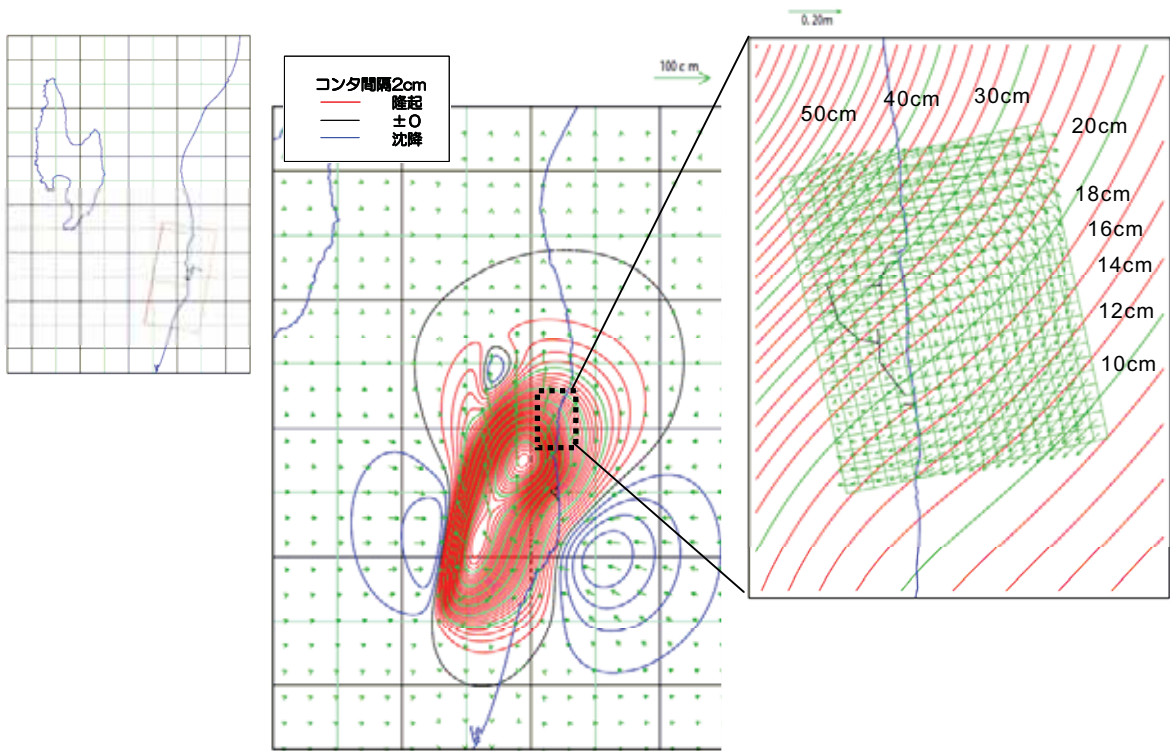
第 12.4-1 図(1) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (F-B 断層, 基準地震動策定に用いた断層モデル)



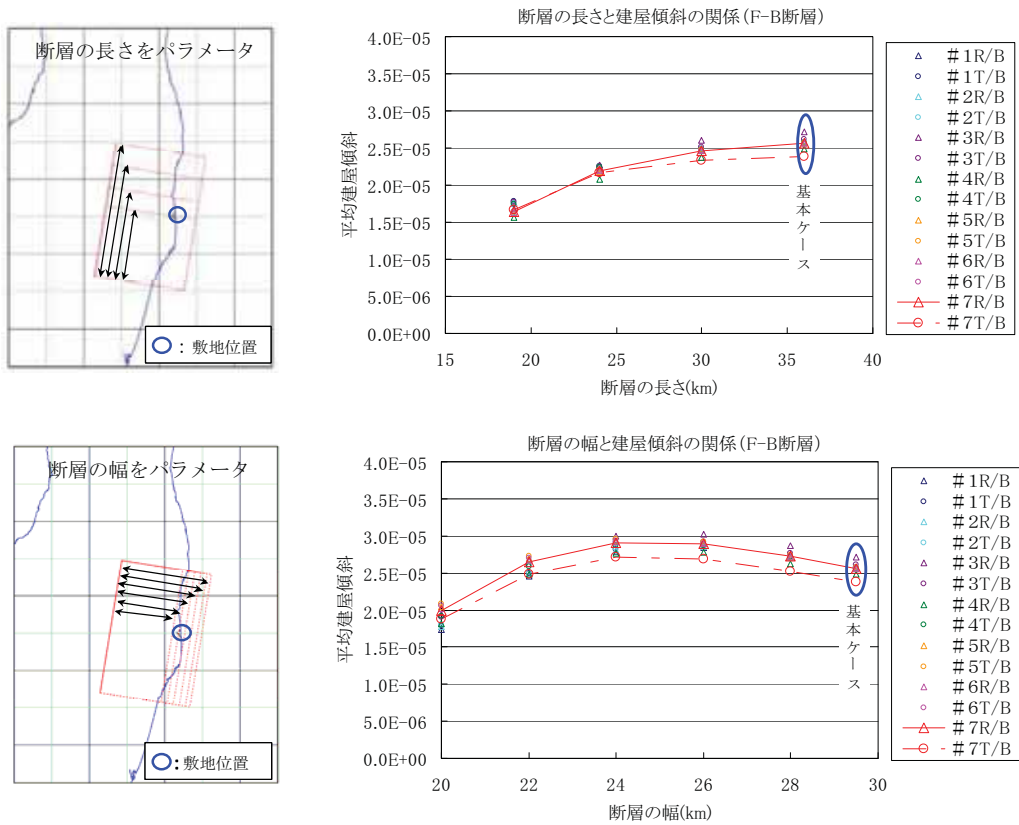
第 12.4-1 図(2) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 50 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)



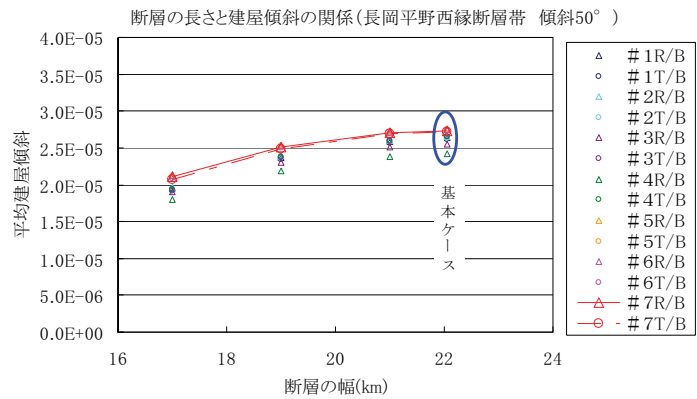
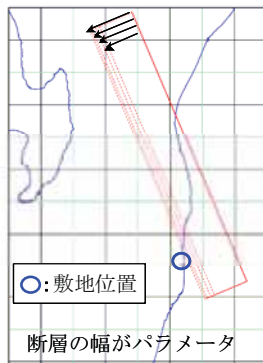
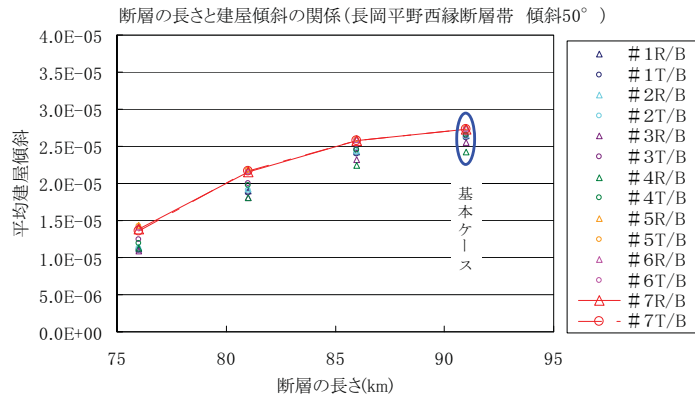
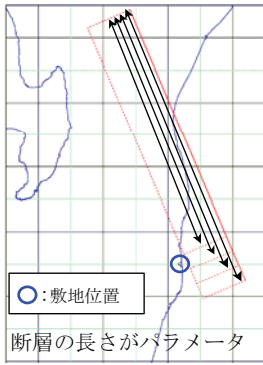
第 12.4-1 図(3) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)



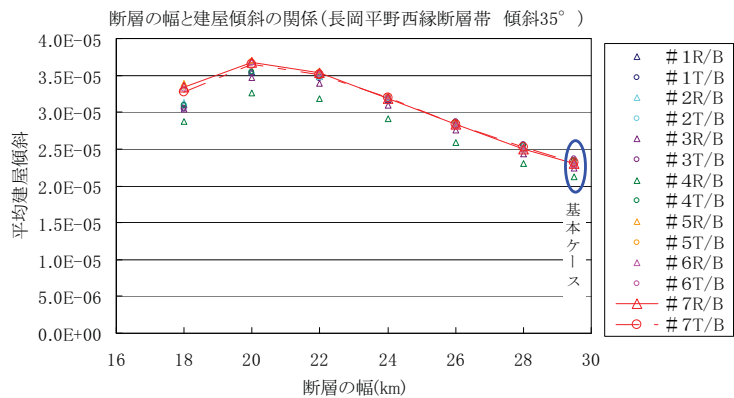
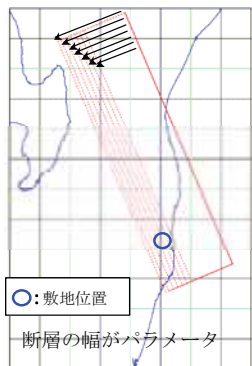
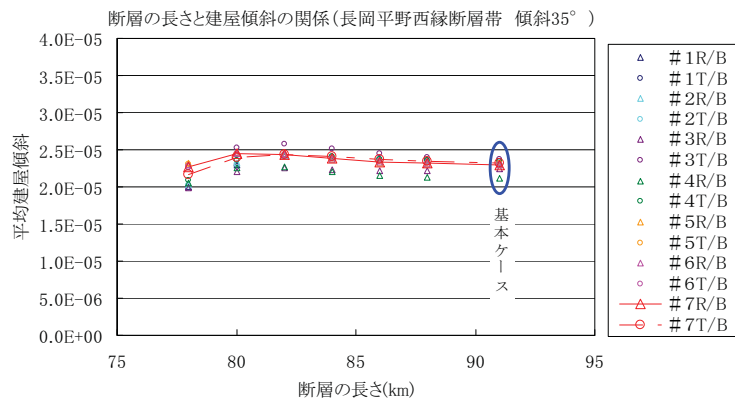
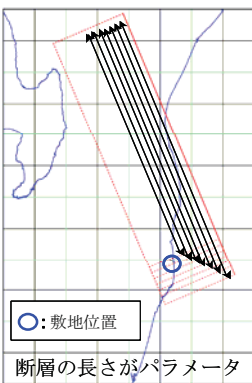
第 12.4-1 図(4) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル)



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

F-B 断層モデル

評価位置	#7R/B	#7T/B	C/B
1~2	1/2400	1/5200	1/1500
2~3	1/2100	1/3700	1/2600
3~4	1/2700	1/3900	1/1600
4~1	1/2300	1/2900	1/2400
1~3	1/3700	1/6100	1/2200
2~4	1/2600	1/4300	1/3100

F-B 断層モデル (断層幅 24km)

評価位置	#7R/B	#7T/B	C/B
1~2	1/2400	1/5100	1/1500
2~3	1/2100	1/3700	1/2600
3~4	1/2700	1/3800	1/1600
4~1	1/2300	1/2900	1/2400
1~3	1/3700	1/6100	1/2200
2~4	1/2600	1/4200	1/3100

長岡平野西縁断層帯モデル(傾斜 50°)

評価位置	#7R/B	#7T/B	C/B
1~2	1/2400	1/4900	1/1500
2~3	1/2000	1/3300	1/2400
3~4	1/2700	1/3700	1/1600
4~1	1/2200	1/2600	1/2300
1~3	1/3300	1/5100	1/2000
2~4	1/2600	1/4100	1/3000

長岡平野西縁断層帯モデル(傾斜 35°)

評価位置	#7R/B	#7T/B	C/B
1~2	1/2400	1/4800	1/1500
2~3	1/2000	1/3300	1/2400
3~4	1/2600	1/3700	1/1600
4~1	1/2200	1/2600	1/2300
1~3	1/3300	1/4900	1/2000
2~4	1/2600	1/4100	1/2900

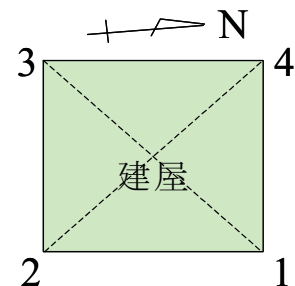
長岡平野西縁断層帯モデル(傾斜 35°)

(断層幅 20 km)

評価位置	#7R/B	#7T/B	C/B
1~2	1/2400	1/4800	1/1500
2~3	1/1900	1/3000	1/2200
3~4	1/2600	1/3600	1/1600
4~1	1/2000	1/2400	1/2100
1~3	1/3000	1/4500	1/1900
2~4	1/2400	1/3800	1/2700

新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル

評価位置	#7R/B	#7T/B	C/B
1~2	1/2100	1/3900	1/1400
2~3	1/2000	1/3400	1/2400
3~4	1/2400	1/3200	1/1500
4~1	1/2200	1/2700	1/2300
1~3	1/3600	1/5500	1/2200
2~4	1/2300	1/3400	1/2600



評価位置

注) 建屋傾斜の算定の際は強振動モデルの地震モーメント (M_0) と同じになるようにすべり量を調整

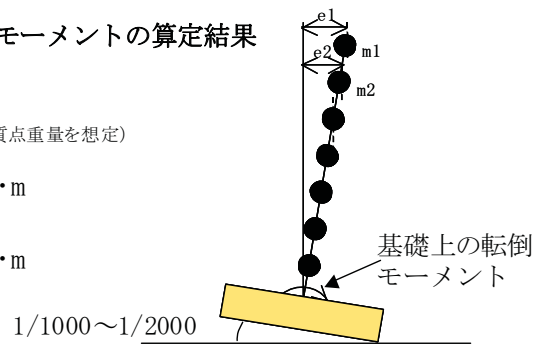
1. 傾斜によって生じる基礎上 (T. M. S. L. -8.2m) の転倒モーメントの算定結果

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 : $1.77 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}$

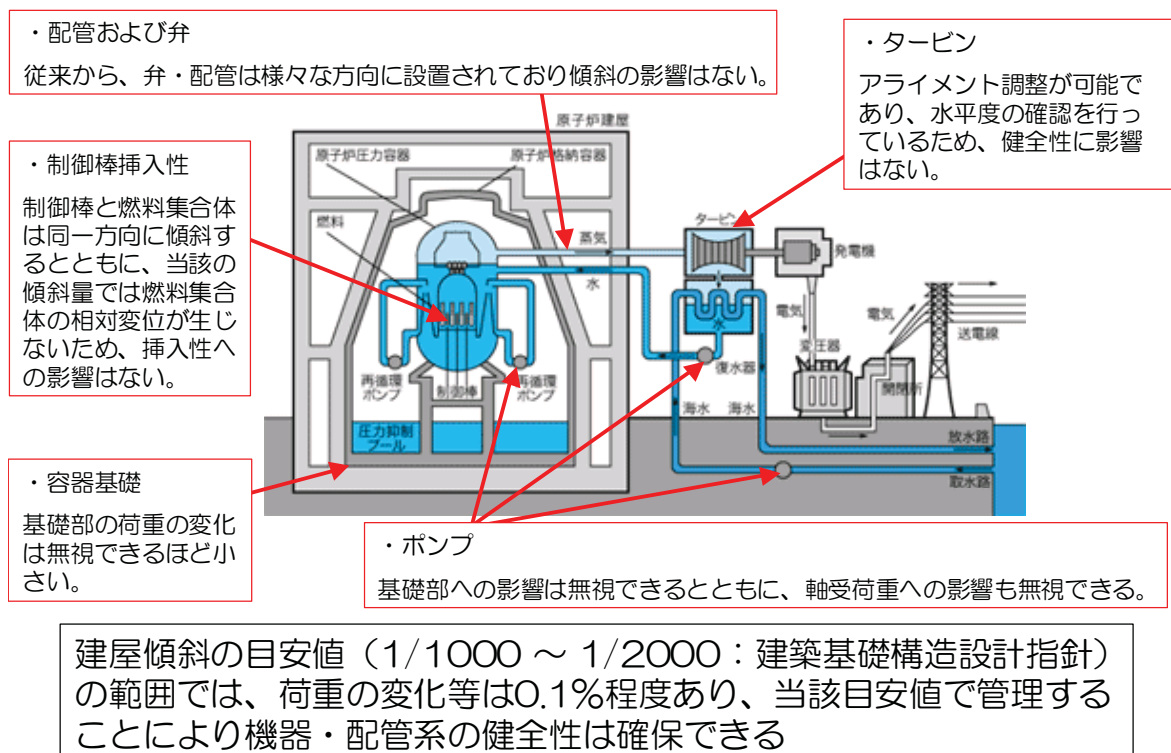


2. 設計時に想定した基礎上 (T. M. S. L. -8.2m) における曲げモーメント (EW方向) *

(* 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



(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

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 断層幅24km	長岡 (傾斜35度) 断層幅20km		
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	1/2000	1/1900	1/1600	1/2100	1/2000	1/2000	1/2100	1/1900	1/2000	
	1/2600	1/2400	1/2000	1/2900	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の幅を変更した断層モデル

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 7 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