
柏崎刈羽原子力発電所 6号機
屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

平成21年3月11日

東京電力株式会社

本日も説明する内容

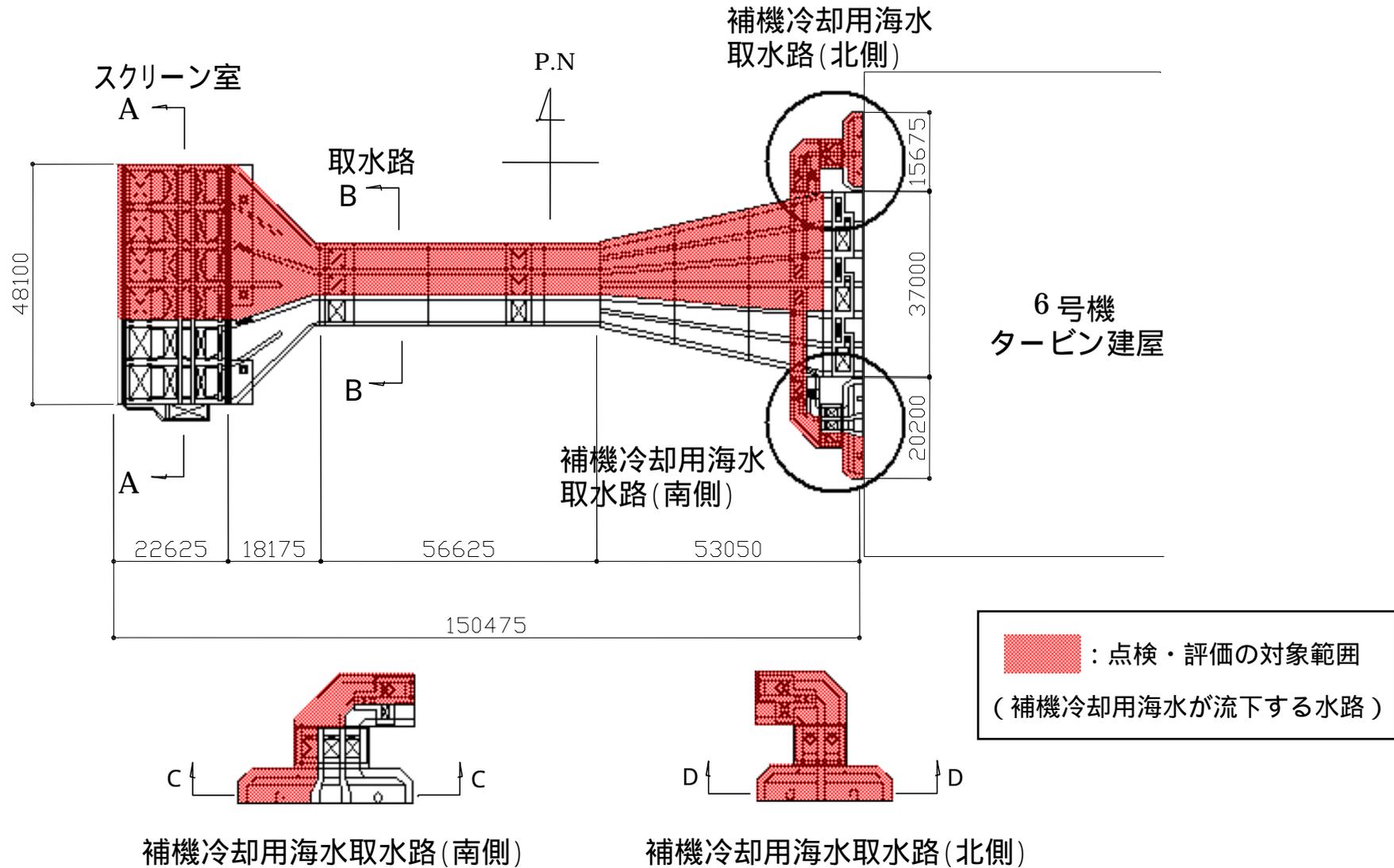
- 1．非常用取水路の概要
- 2．耐震安全性評価
- 3．軸方向に対する検討

-
- 1 . 非常用取水路の概要
 - 2 . 耐震安全性評価
 - 3 . 軸方向に対する検討

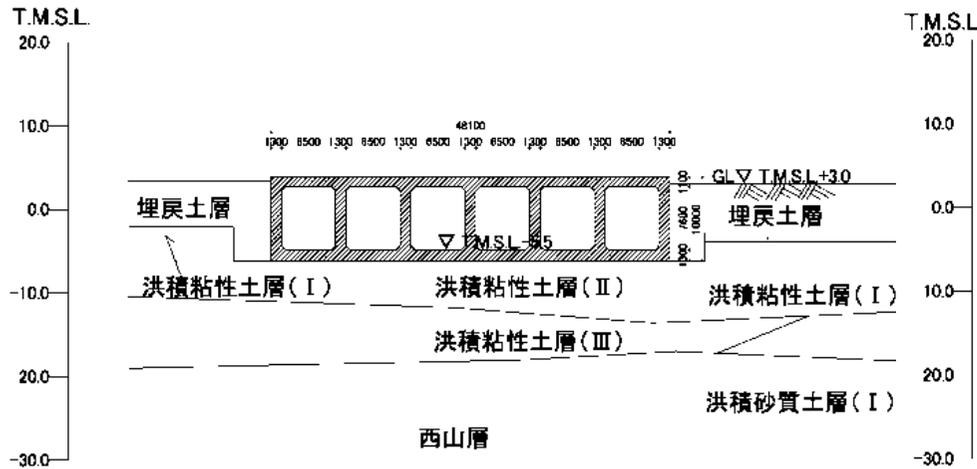
構内配置図（5～7号機側）



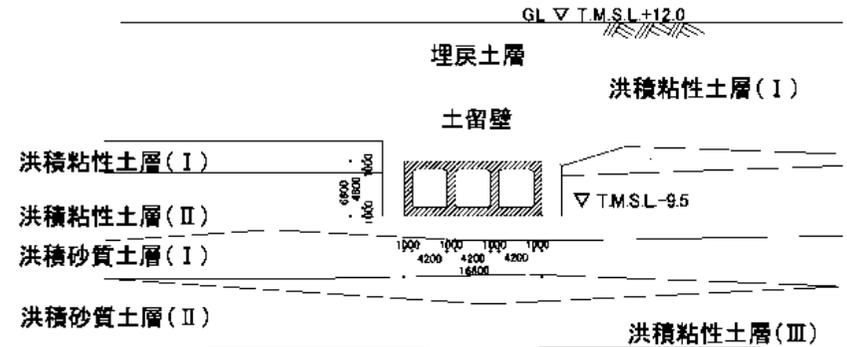
非常用取水路の概要



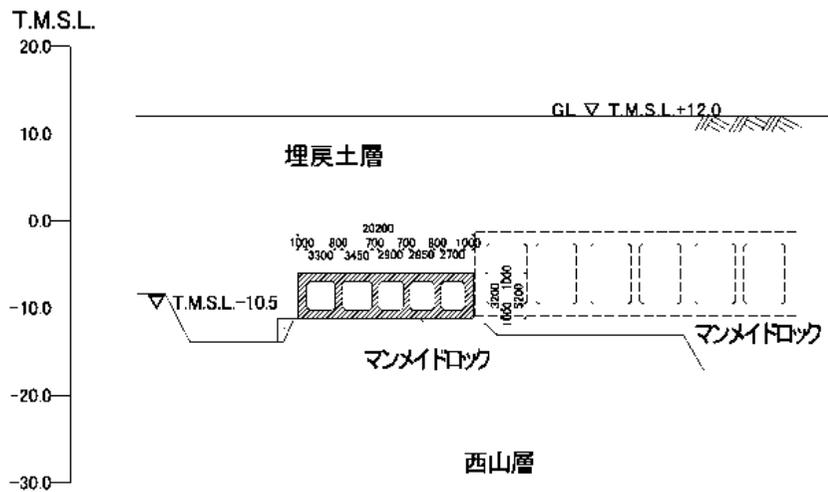
非常用取水路の概要



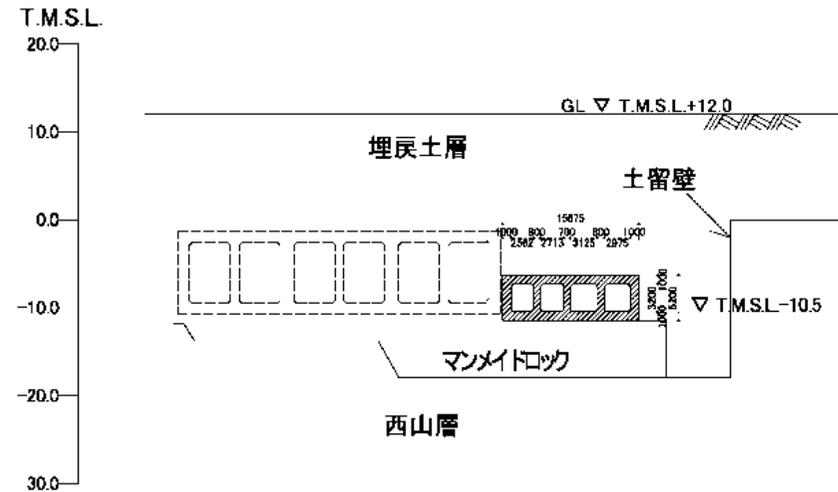
スクリーン室 (A-A)



西山層
取水路 (B-B)



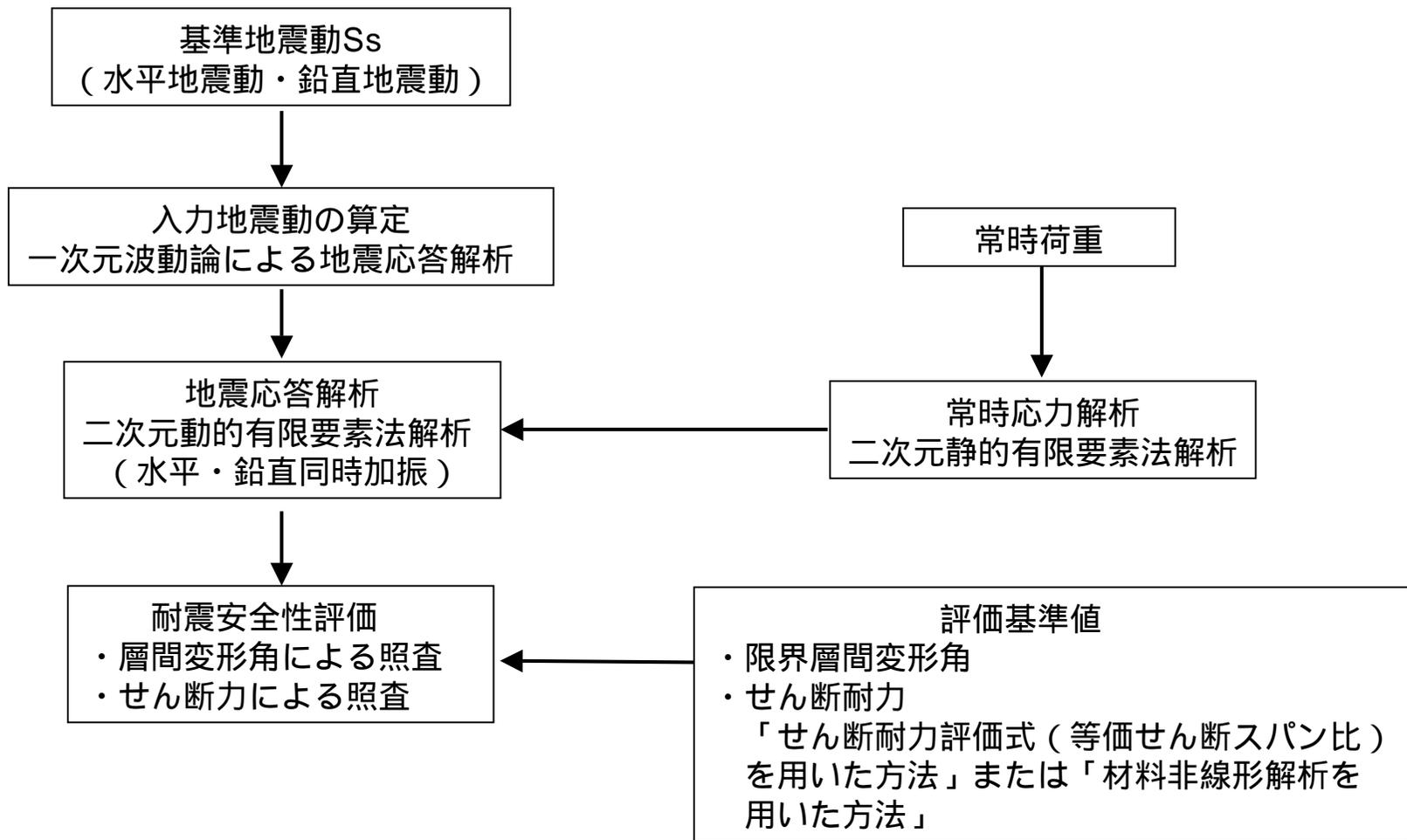
補機冷却用海水取水路 (南側) (C-C)



補機冷却用海水取水路 (北側) (D-D)

-
- 1 . 非常用取水路の概要
 - 2 . **耐震安全性評価**
 - 3 . 軸方向に対する検討

耐震安全性評価の手順



「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

非常用取水路の評価フロー

せん断耐力の算定方法

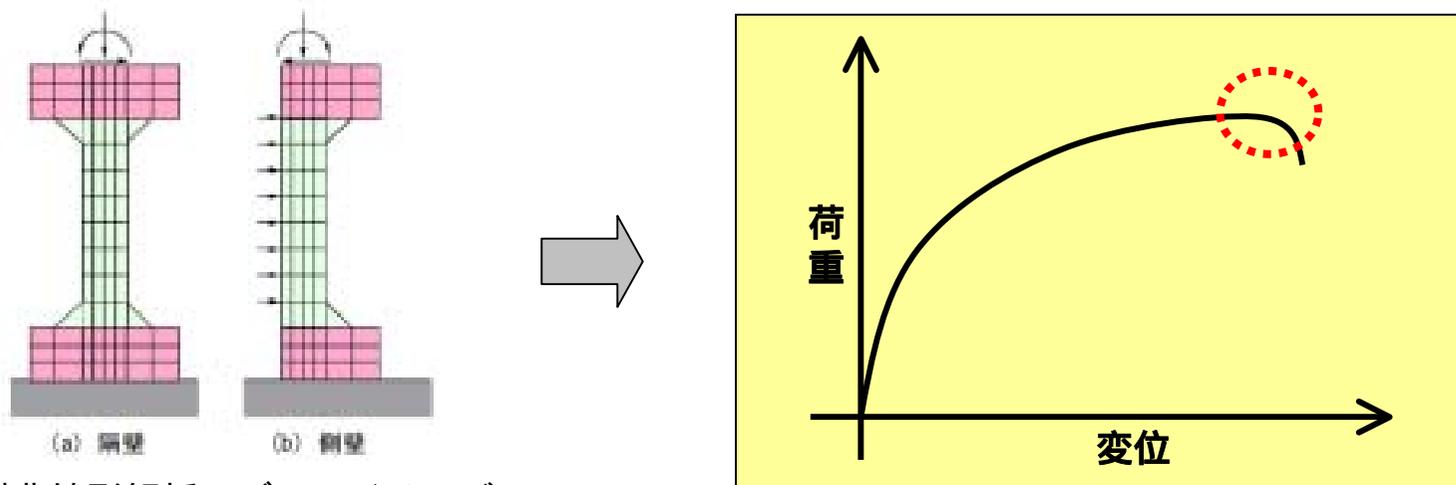
評価基準値となるせん断耐力は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会原子力土木委員会，2005年6月）」に基づき、下記の何れかの方法より算定する。

STEP1 せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法

棒部材式あるいはディーブーム式により部材のせん断耐力を算定する。

STEP2 材料非線形解析を用いた方法

それぞれの部材毎に材料非線形解析を行い、得られる荷重 - 変位関係から荷重のピーク値（部材のせん断耐力）を算定する。



解析用物性値（使用材料の物性値）

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た。

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)

使用材料の物性値

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

解析用物性値（地盤・マンメイドロックの物性値）

地盤の物性値

地質区分		単位体積重量 t(kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 G ₀ (kN/m ²)
埋戻土層		19.6 (18.6) ^{*1)}	0.41	^{*2)}
洪積粘性土層()		17.8	0.49	9.63 × 10 ⁴
洪積粘性土層()		17.7	0.49	1.13 × 10 ⁵
洪積粘性土層()		18.2	0.48	1.56 × 10 ⁵
洪積砂質土層()		18.6	0.48	1.83 × 10 ⁵
洪積砂質土層()		18.6	0.48	2.07 × 10 ⁵
西山層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	4.15 × 10 ⁵
	~ 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

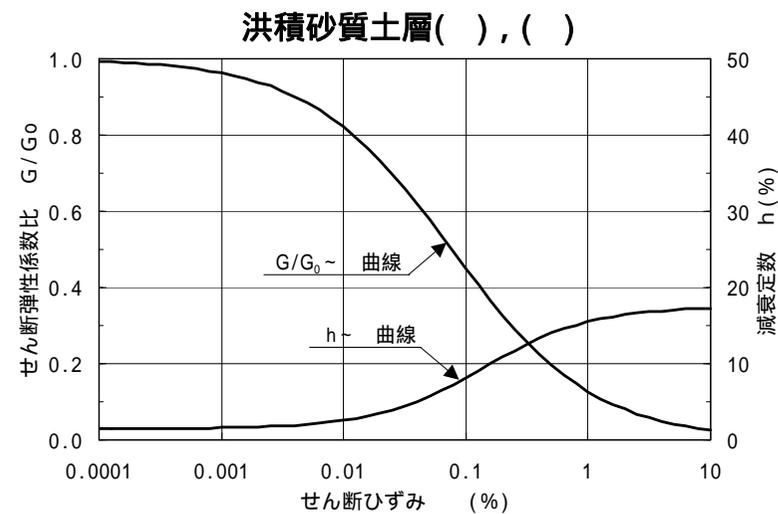
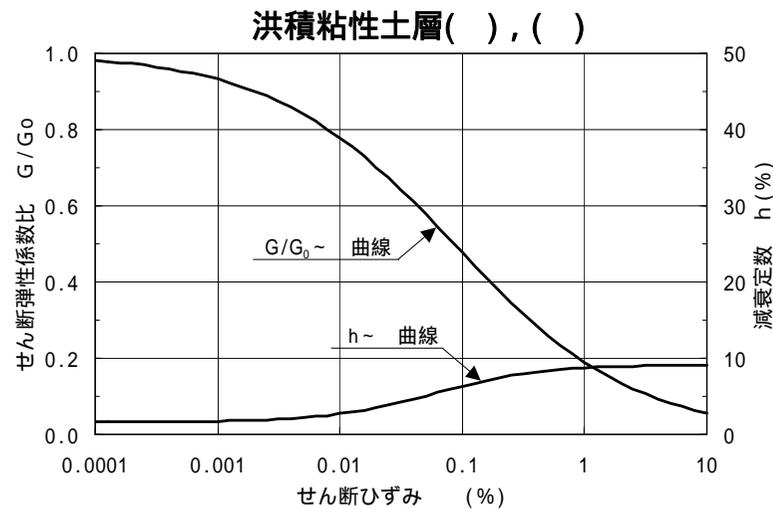
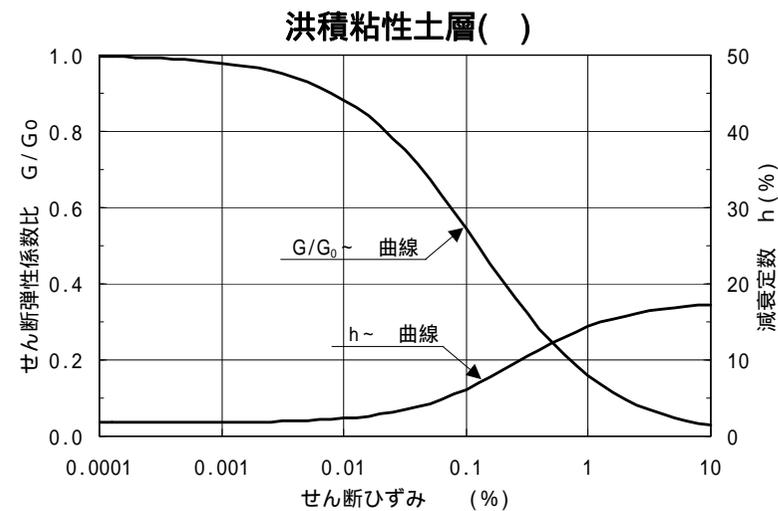
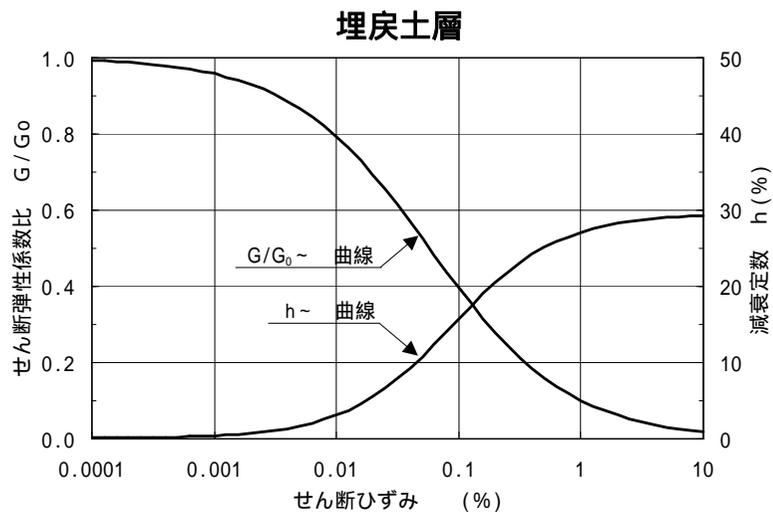
*1) () は湿潤単位体積重量

*2) $G_0 = 1980 \times \nu^{0.667}$ (kN/m²)、 ν : 有効上載圧 (kN/m²)、G₀の下限値2.75 × 10⁴ (kN/m²)

マンメイドロックの物性値

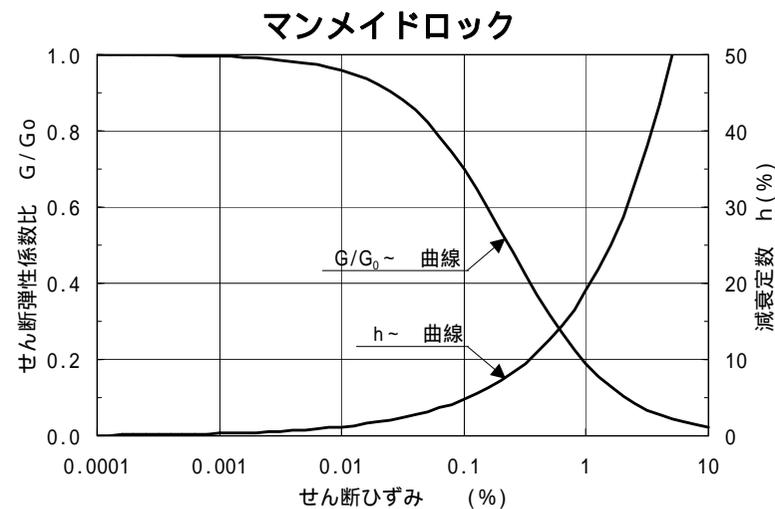
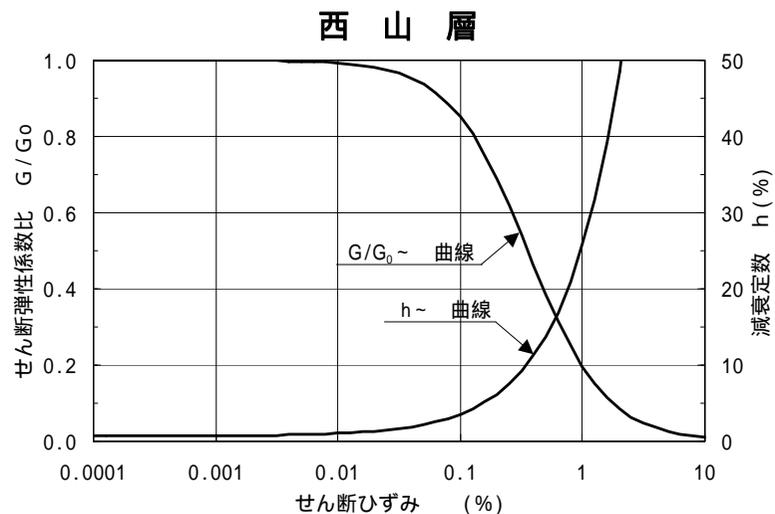
	単位体積重量 t(kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 G ₀ (kN/m ²)
マンメイドロック	17.2	0.36	1.90 × 10 ⁶

解析用物性値 (せん断弾性係数・減衰定数のひずみ依存性)



せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

解析用物性値 (せん断弾性係数・減衰定数のひずみ依存性)



せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性

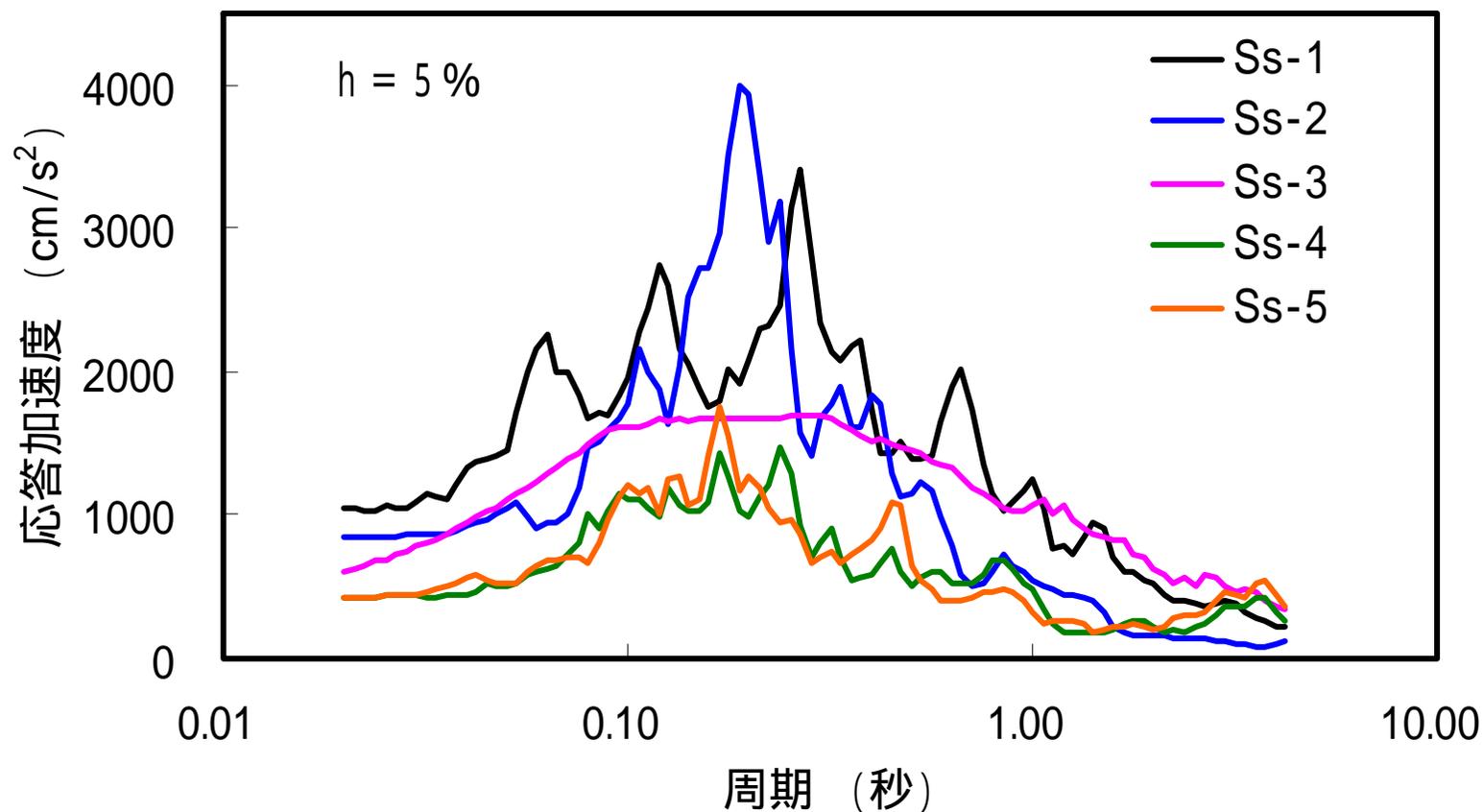
基準地震動（概要）

基準地震動Ss-1～Ss-5に対して、耐震安全性評価を実施する。

基準地震動	検討用地震		地震動評価手法
Ss - 1	F - B断層による地震 (M7.0)		応答スペクトル 〔Noda et al. (2002)〕
Ss - 2			断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss - 3	長岡平野 西縁断層帯 による地震 (M8.1)	下記の2つの ケースを包絡	応答スペクトル 〔Noda et al. (2002)〕
Ss - 4		断層傾斜角50° 応力降下量1.5倍	断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss - 5		断層傾斜角35° 応力降下量1.0倍	

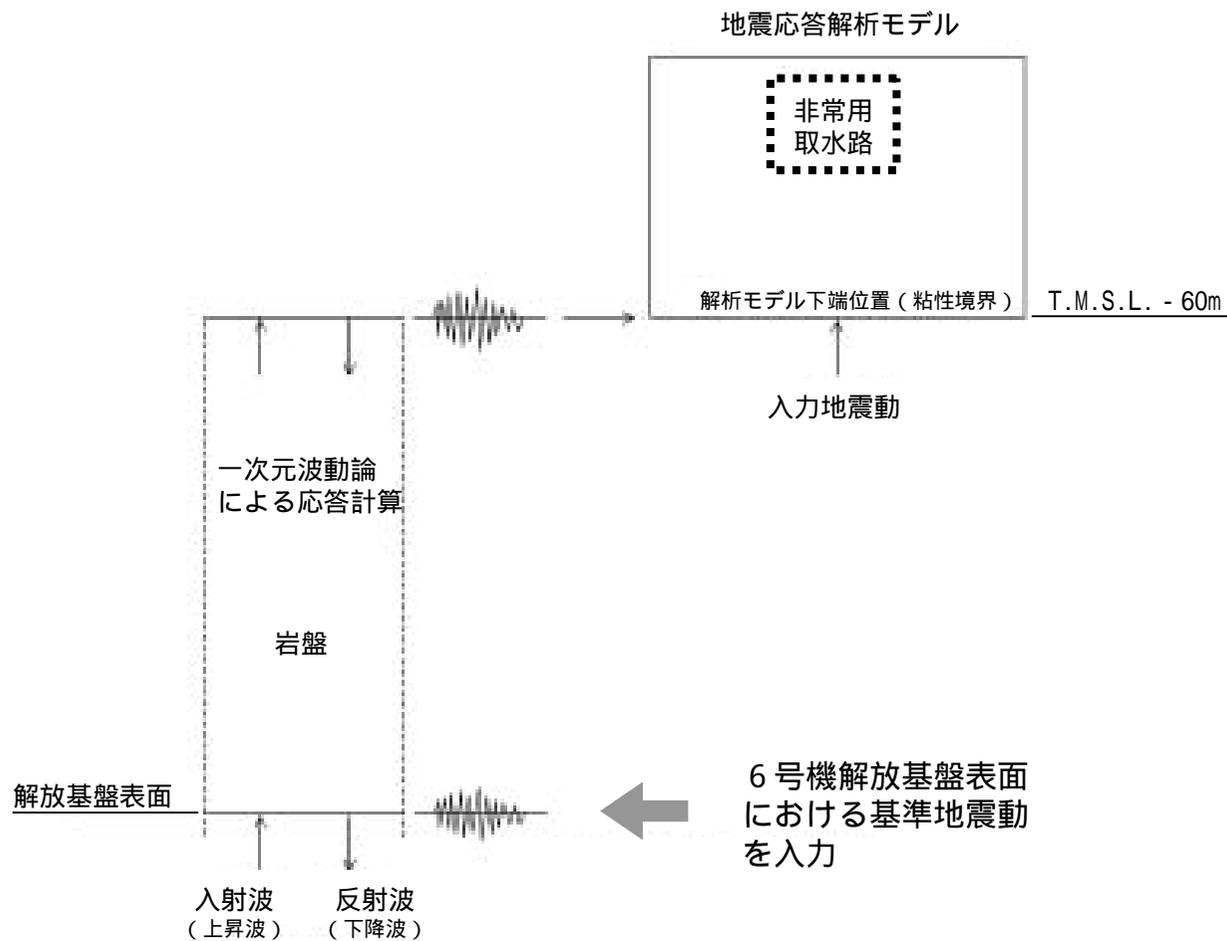
地震調査研究推進本部（2008）による強震動レシピに基づく値に対する倍率

基準地震動（スペクトル）



基準地震動スペクトル（解放基盤表面，水平）

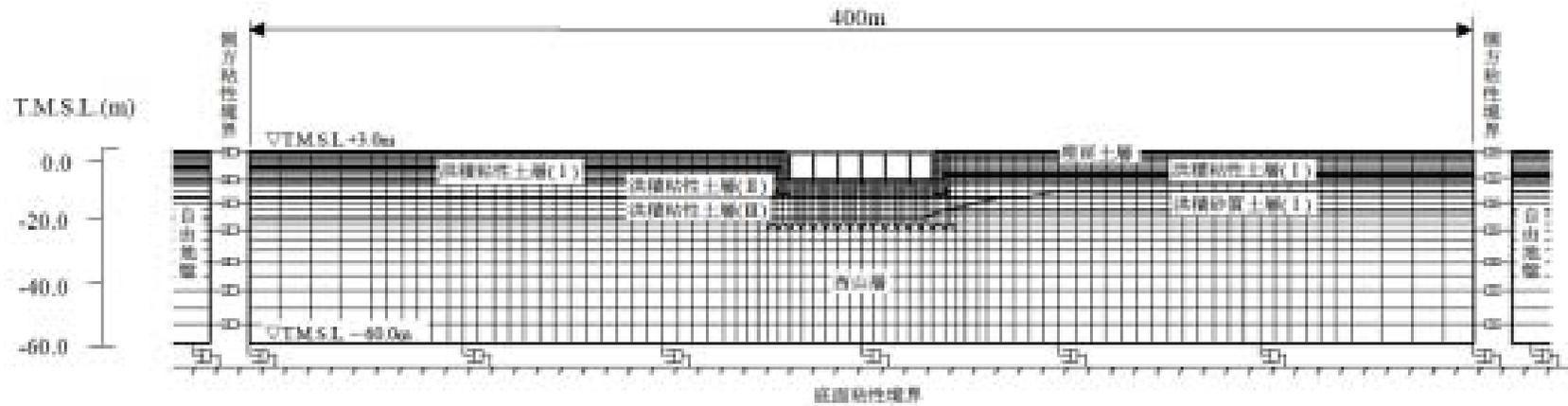
入力地震動の作成



入力地震動の作成モデル

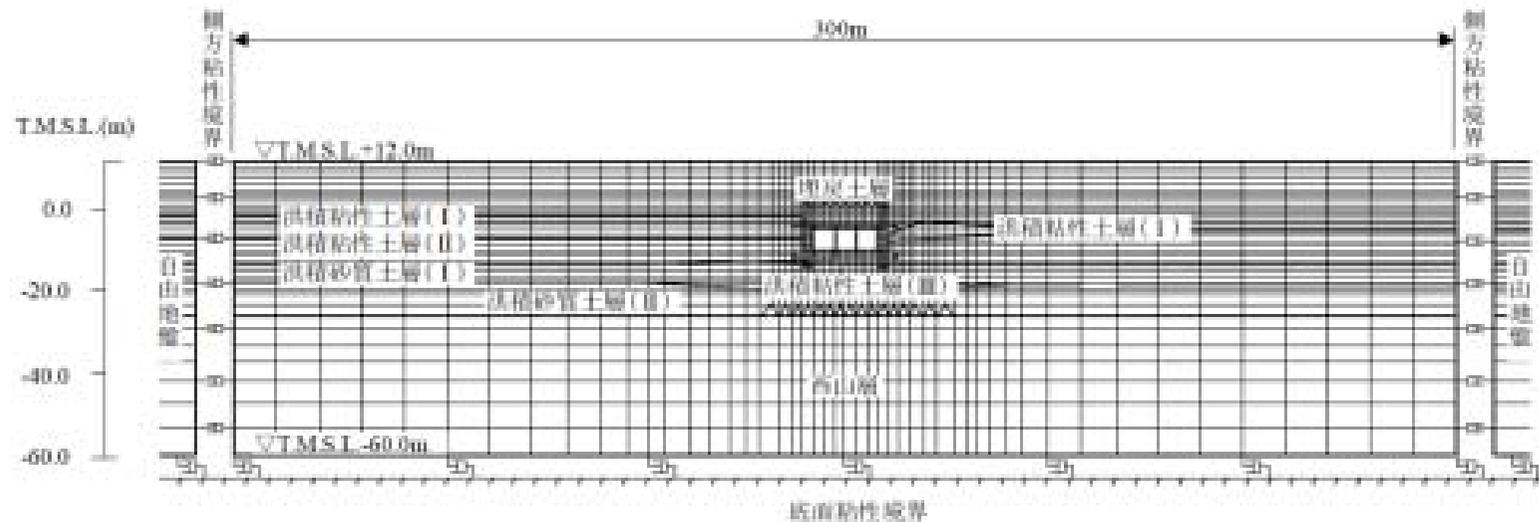
解析モデル

スクリーン室



地下水位：T.M.S.L.+1.0m

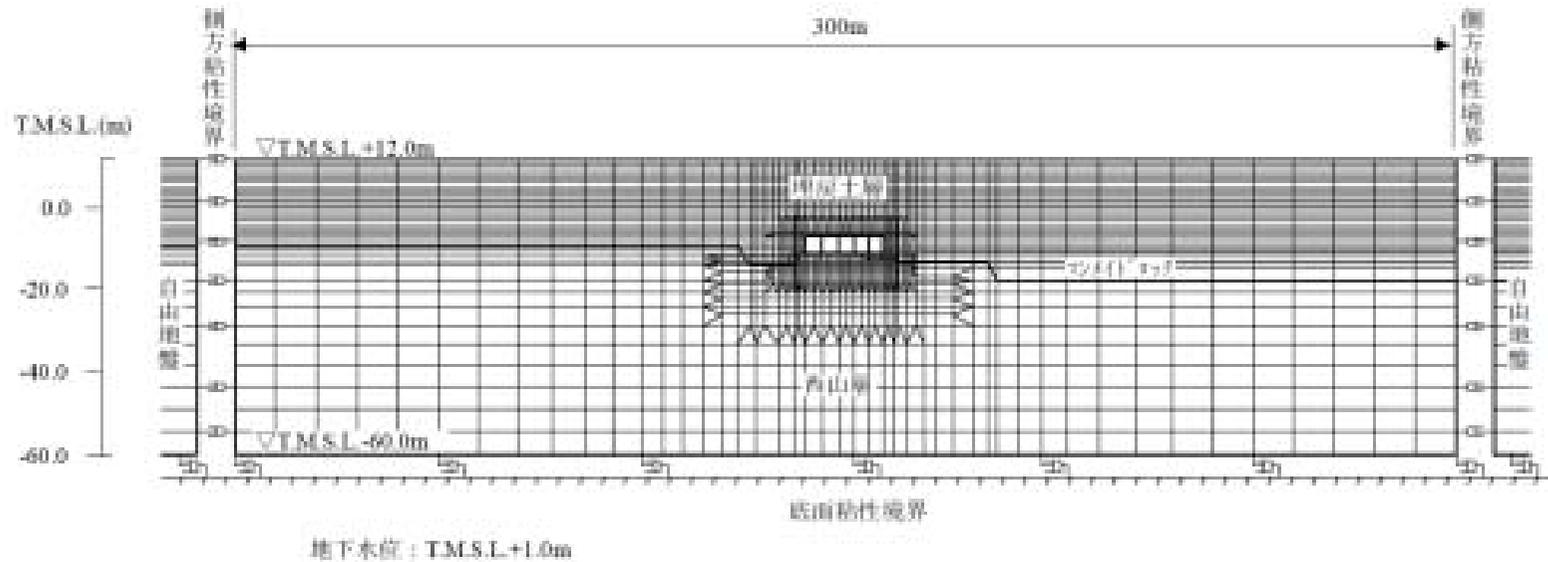
取水路



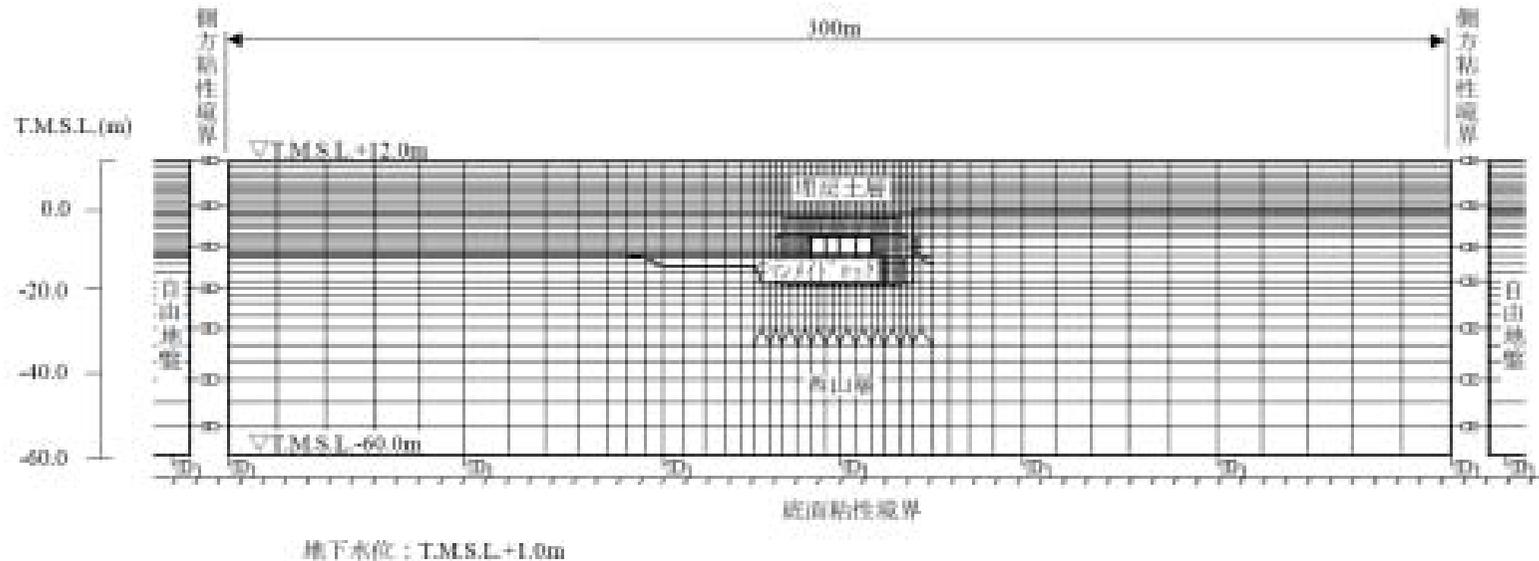
地下水位：T.M.S.L.+1.0m

解析モデル

補機冷却用
海水取水路
(南側)



補機冷却用
海水取水路
(北側)



解析結果（最大相対変位）

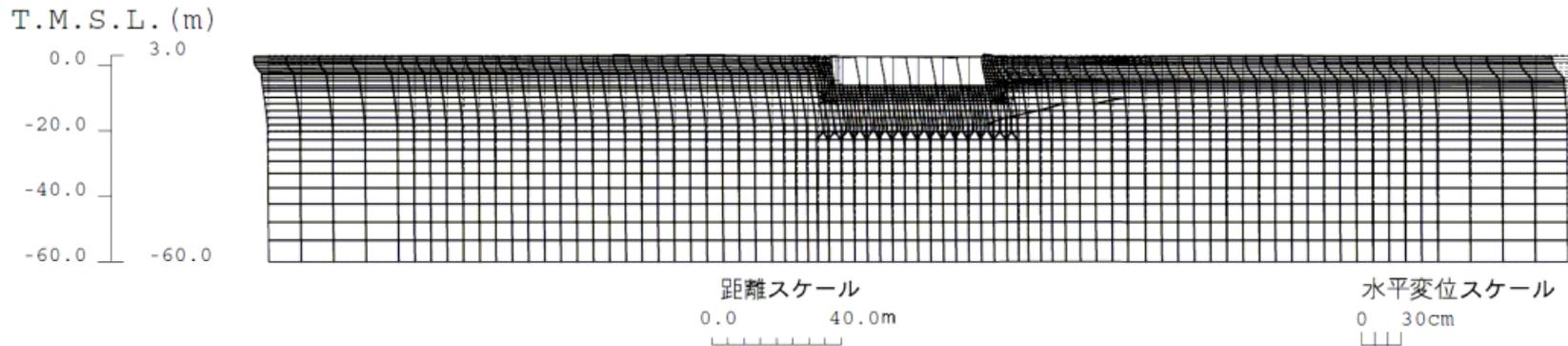
頂底板間の最大相対変位

（単位：mm）

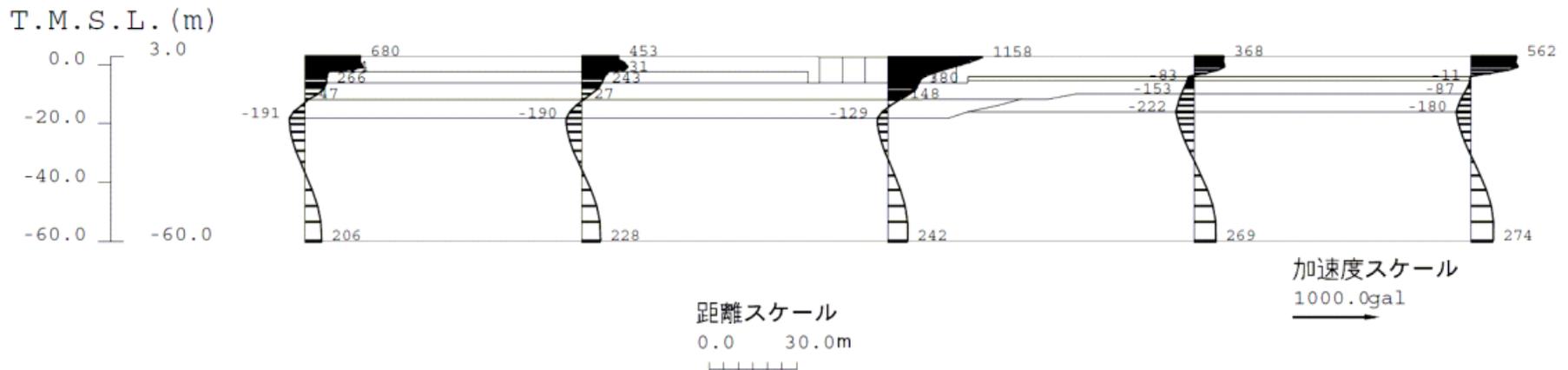
基準地震動	スクリーン室	取水路	補機冷却用海水 取水路（南側）	補機冷却用海水 取水路（北側）
S s - 1	33.6 (5.78秒)	18.9 (6.59秒)	11.3 (5.72秒)	10.5 (6.49秒)
S s - 2	13.9 (21.85秒)	10.0 (21.02秒)	4.5 (22.42秒)	4.9 (22.92秒)
S s - 3	20.6 (35.70秒)	23.9 (17.75秒)	13.3 (37.38秒)	15.5 (37.35秒)
S s - 4	9.1 (51.89秒)	7.8 (51.72秒)	3.8 (51.66秒)	3.6 (51.65秒)
S s -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

解析結果 (スクリーン室：変形図・加速度分布図)

変形図

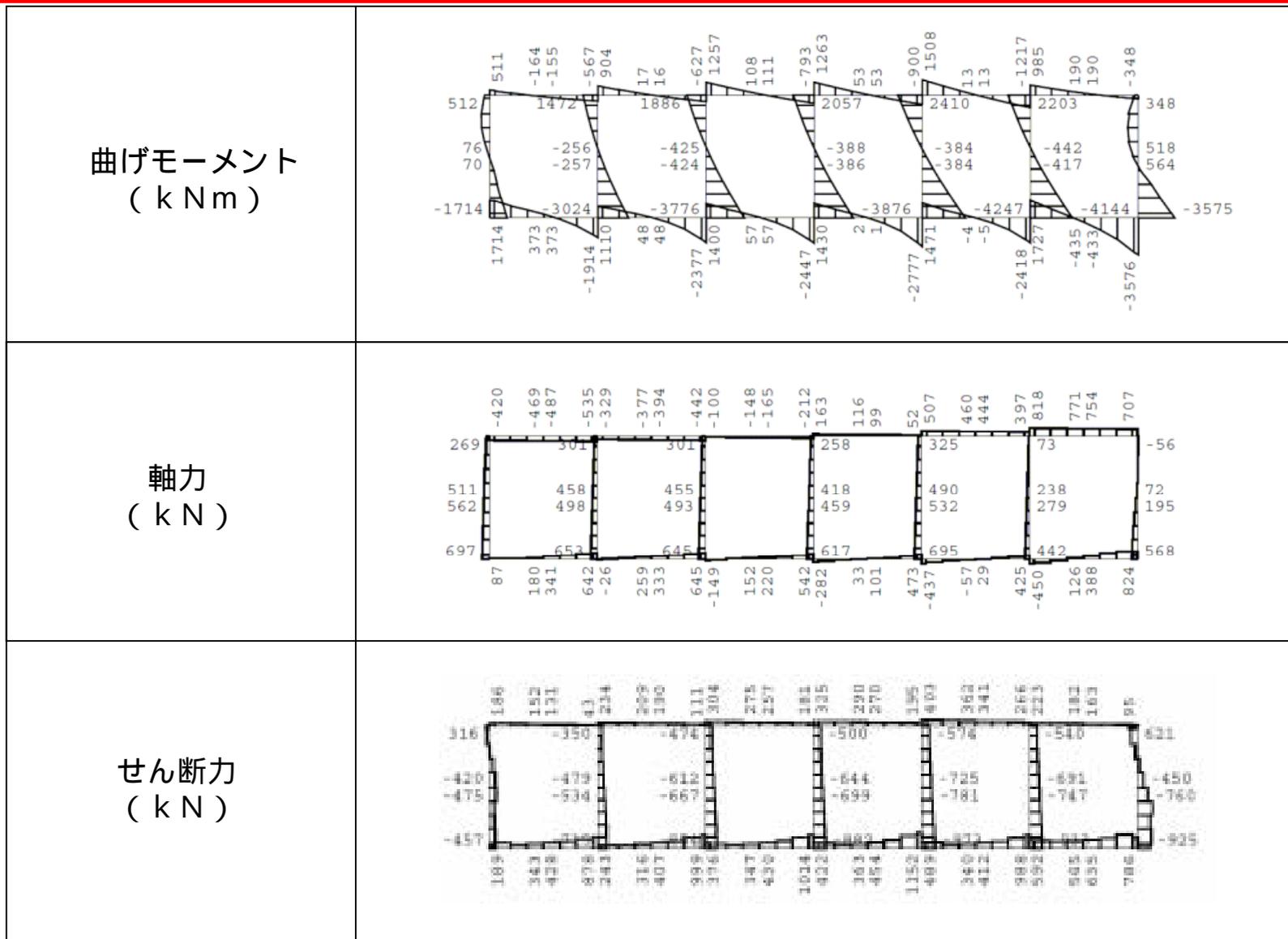


加速度分布図



スクリーン室 変形図・加速度分布図 (Ss-1, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

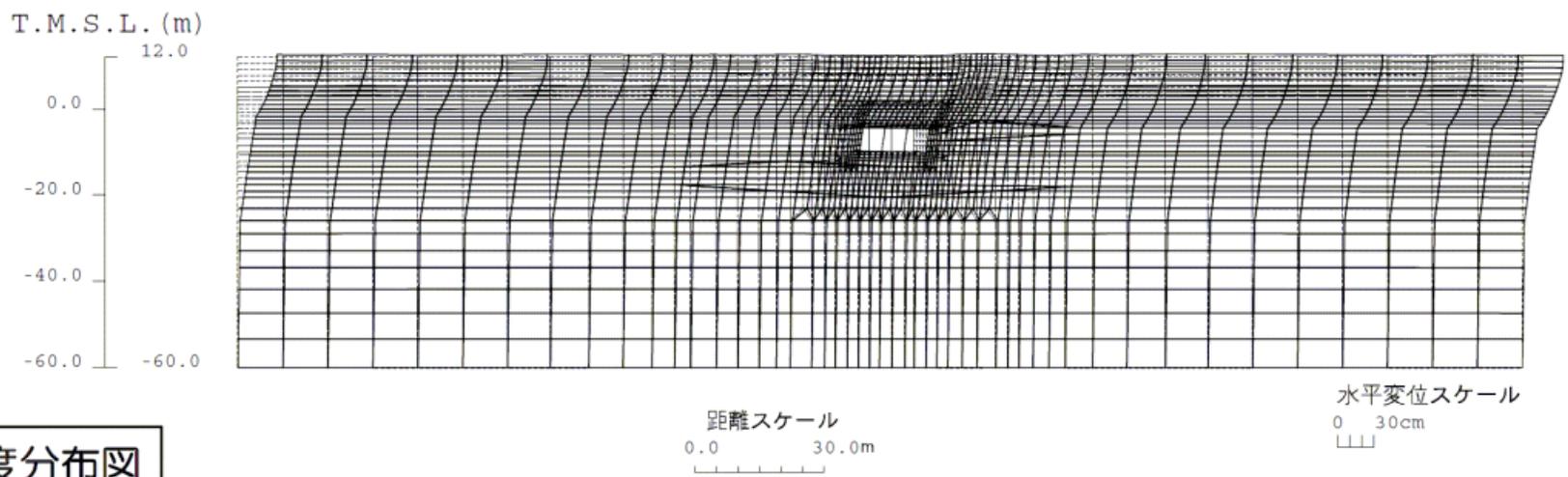
解析結果 (スクリーン室：断面力図)



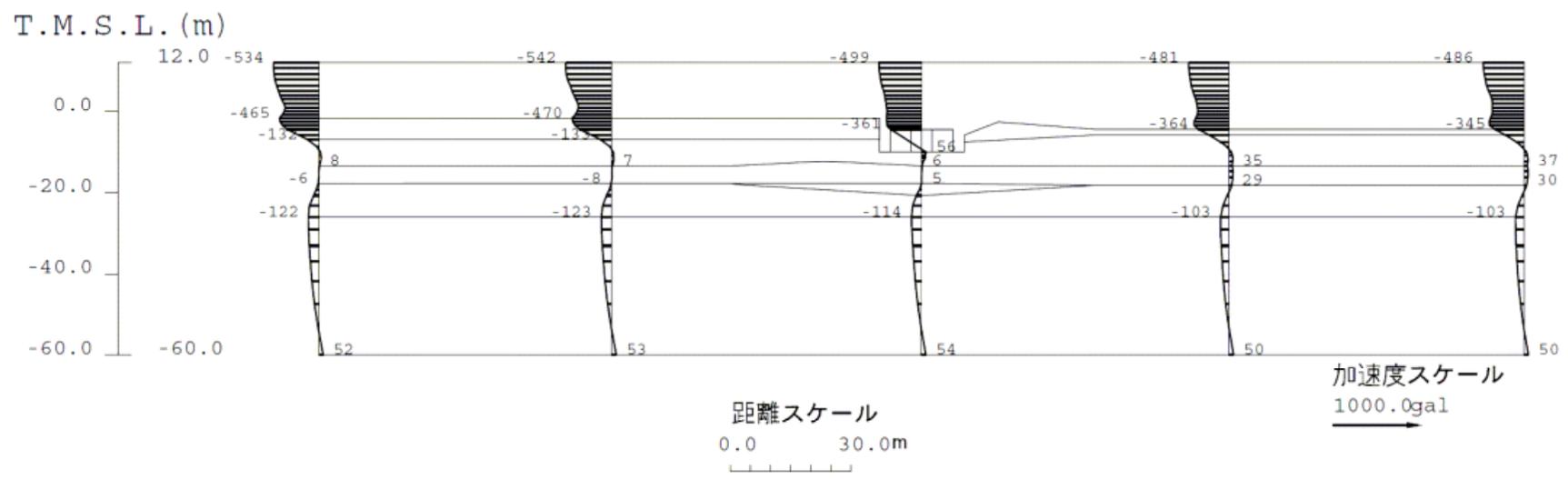
スクリーン室 断面力図 (Ss-1, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

解析結果（取水路：変形図・加速度分布図）

変形図



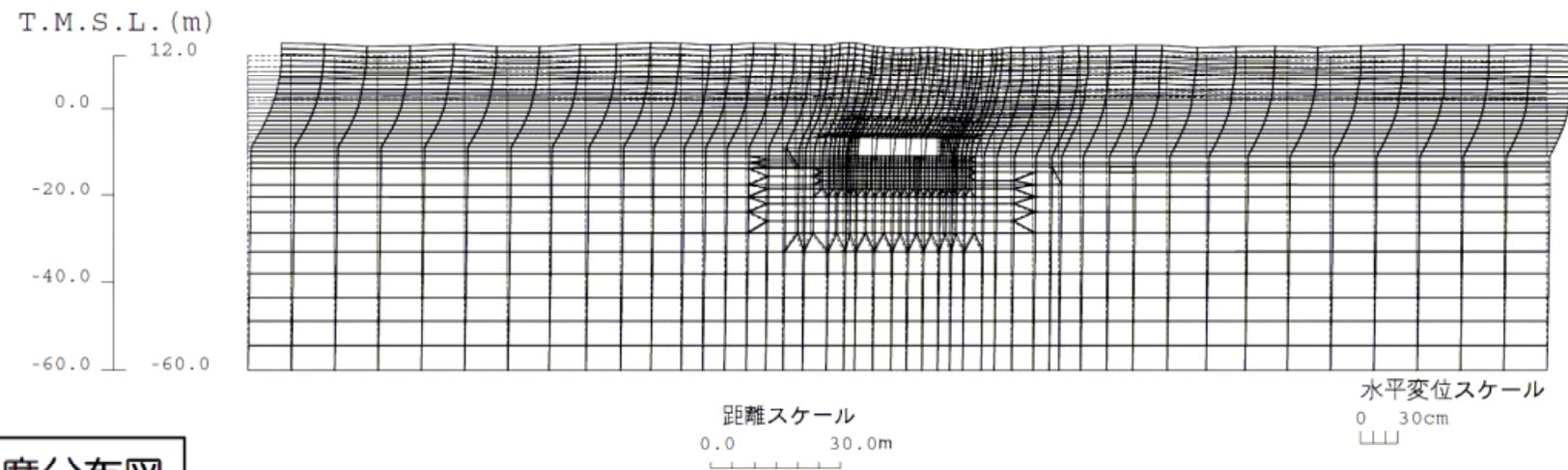
加速度分布図



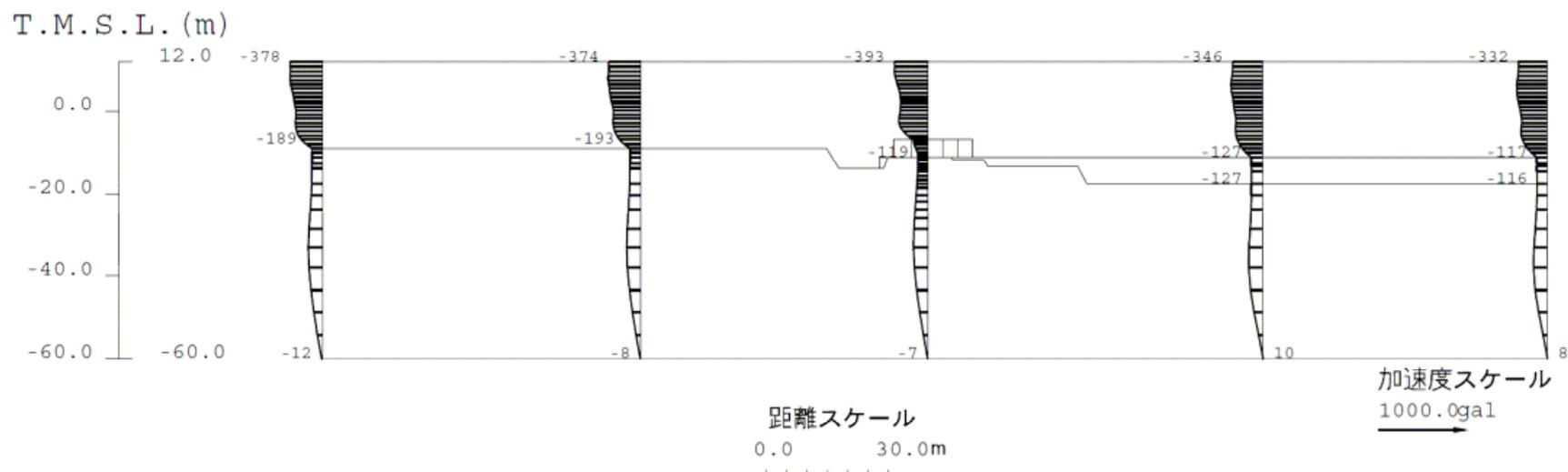
取水路 変形図・加速度分布図（Ss-3，頂底板間最大相対変位発生時刻）

解析結果（補機南側：変形図・加速度分布図）

変形図



加速度分布図



補機冷却用海水取水路（南側） 変形図・加速度分布図（Ss- 3，頂底板間最大相対変位発生時刻）

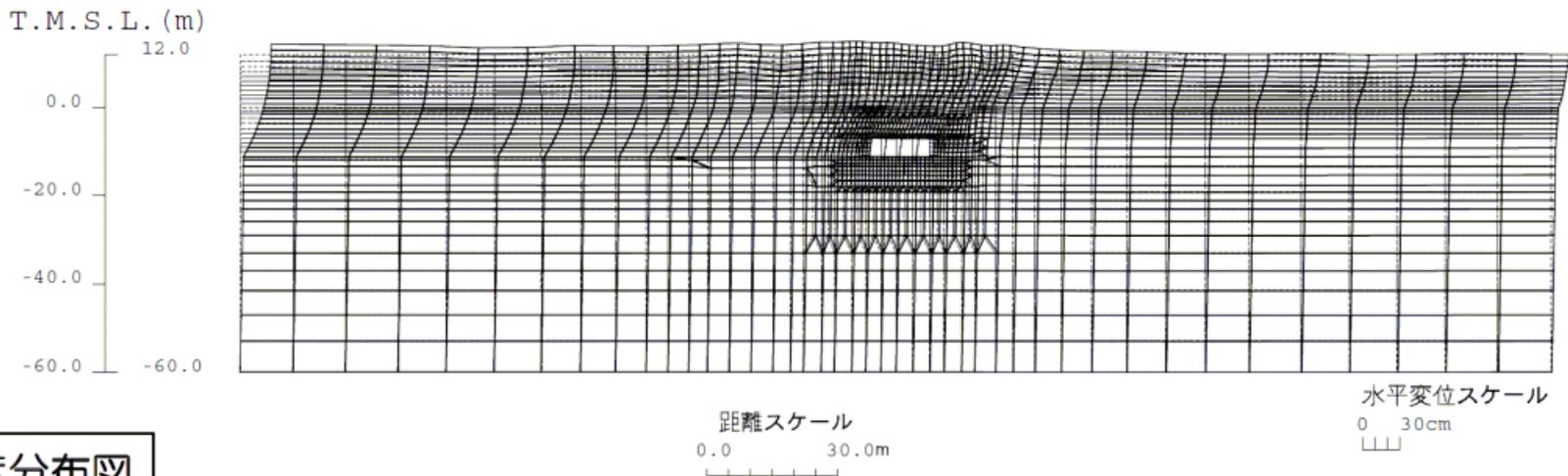
解析結果（補機南側：断面力図）

<p>曲げモーメント (kNm)</p>	
<p>軸力 (kN)</p>	
<p>せん断力 (kN)</p>	

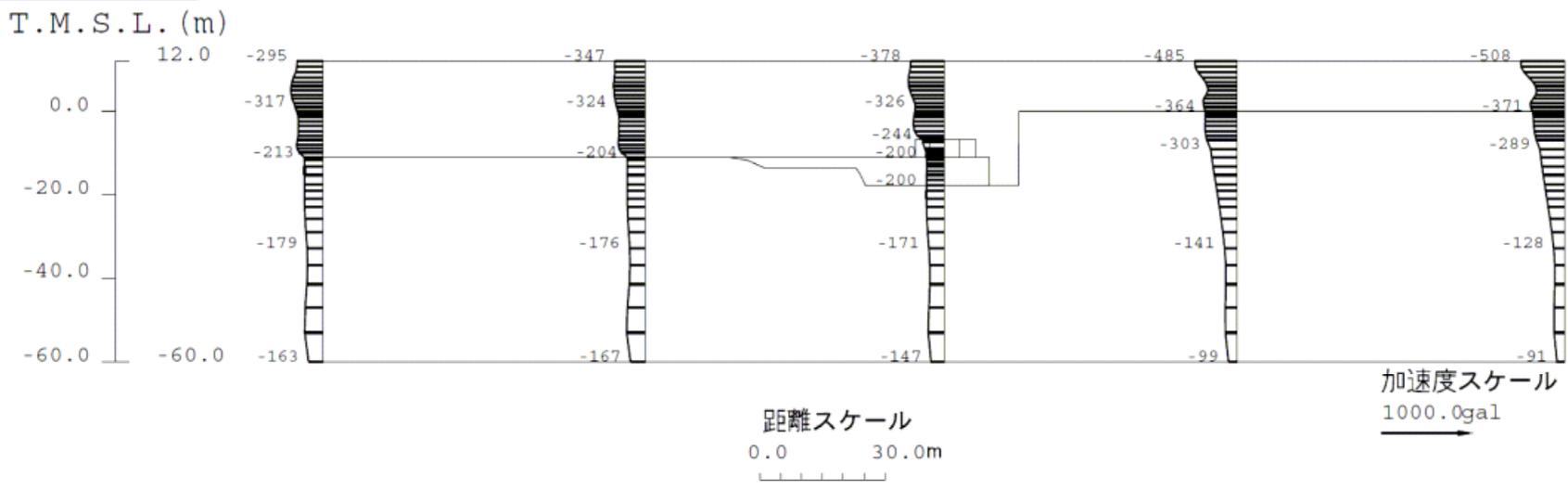
補機冷却用海水取水路（南側） 断面力図（Ss-3，頂底板間最大相対変位発生時刻）

解析結果（補機北側：変形図・加速度分布図）

変形図



加速度分布図



補機冷却用海水取水路（北側） 変形図・加速度分布図（Ss- 3，頂底板間最大相対変位発生時刻）

解析結果 (補機北側：断面力図)

<p>曲げモーメント (kNm)</p>	
<p>軸力 (kN)</p>	
<p>せん断力 (kN)</p>	

補機冷却用海水取水路 (北側) 断面力図 (Ss-3, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

照査結果（層間変形角による照査）

層間変形角による照査結果

	評価位置	照査用層間変形角 Rd	限界層間変形角 Ru	Rd / Ru
スクリーン室 (Ss-1)	頂版～ 底版	0.458/100	1/100	0.46
取水路 (Ss-3)	頂版～ 底版	0.512/100	1/100	0.51
補機冷却用海水 取水路（南側） (Ss-3)	頂版～ 底版	0.380/100	1/100	0.38
補機冷却用海水 取水路（北側） (Ss-3)	頂版～ 底版	0.443/100	1/100	0.44

照査結果（せん断力による照査）

せん断力による照査結果

	評価位置	照査用せん断力 Vd(kN)	せん断耐力 Vy _d (kN)	Vd/Vy _d
スクリーン室 (Ss-1)	頂版	416	952 ²	0.44
	底版	660	1174 ¹	0.56
	側壁	917	1238 ¹	0.74
	隔壁	967	3213 ²	0.30
取水路 (Ss-3)	頂版	1128	2590 ¹	0.44
	底版	1160	2598 ¹	0.45
	側壁	766	1266 ¹	0.61
	隔壁	1088	2240 ²	0.49
補機冷却用海水 取水路（南側） (Ss-3)	頂版	830	2004 ¹	0.41
	底版	891	2141 ¹	0.42
	側壁	725	993 ¹	0.73
	隔壁	953	1862 ²	0.51
補機冷却用海水 取水路（北側） (Ss-3)	頂版	944	2017 ¹	0.47
	底版	711	1847 ¹	0.38
	側壁	1244	2505 ²	0.50
	隔壁	739	1234 ²	0.60

- 1 せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法
- 2 材料非線形解析を用いた方法

耐震安全性評価のまとめ

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。

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。

以上より、層間変形角、せん断とも評価基準を満足することから、取水機能は確保されているものと評価した。

-
- 1 . 非常用取水路の概要
 - 2 . 耐震安全性評価
 - 3 . 軸方向に対する検討

検討方針

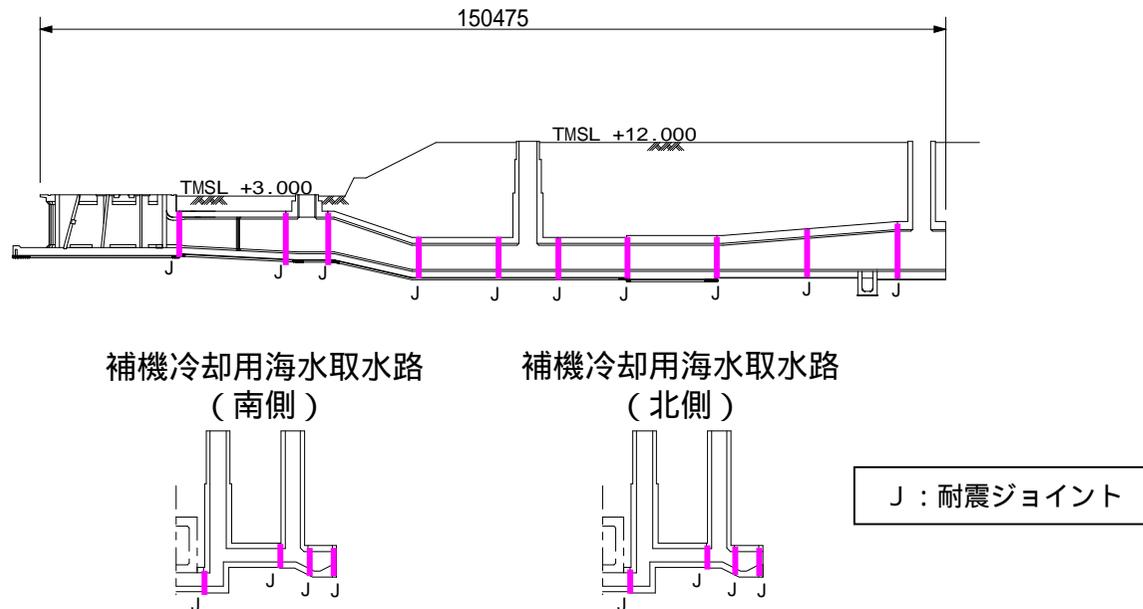
検討方針

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、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に設計されているが、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 6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12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。

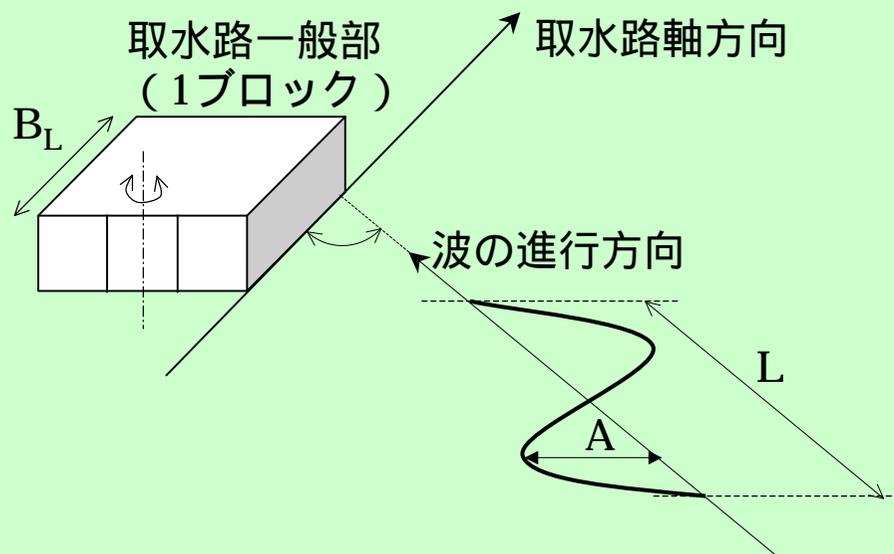
非常用取水路縦断面図



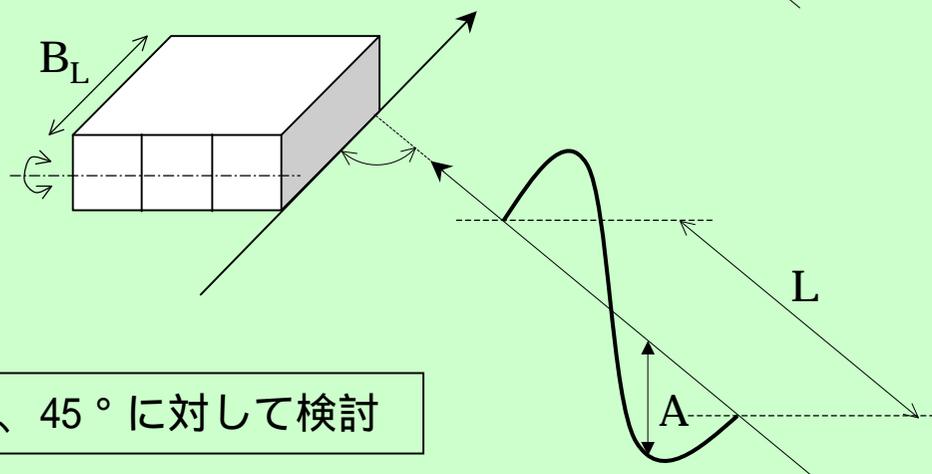
応力度に関する検討手法

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。

水平方向変位に関する検討

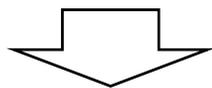
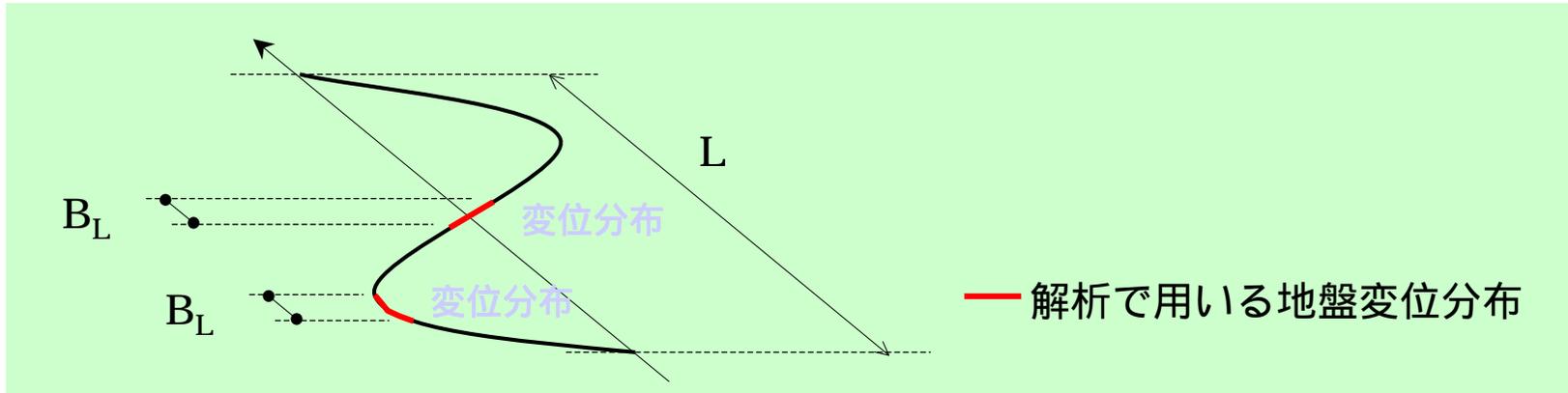


鉛直方向変位に関する検討

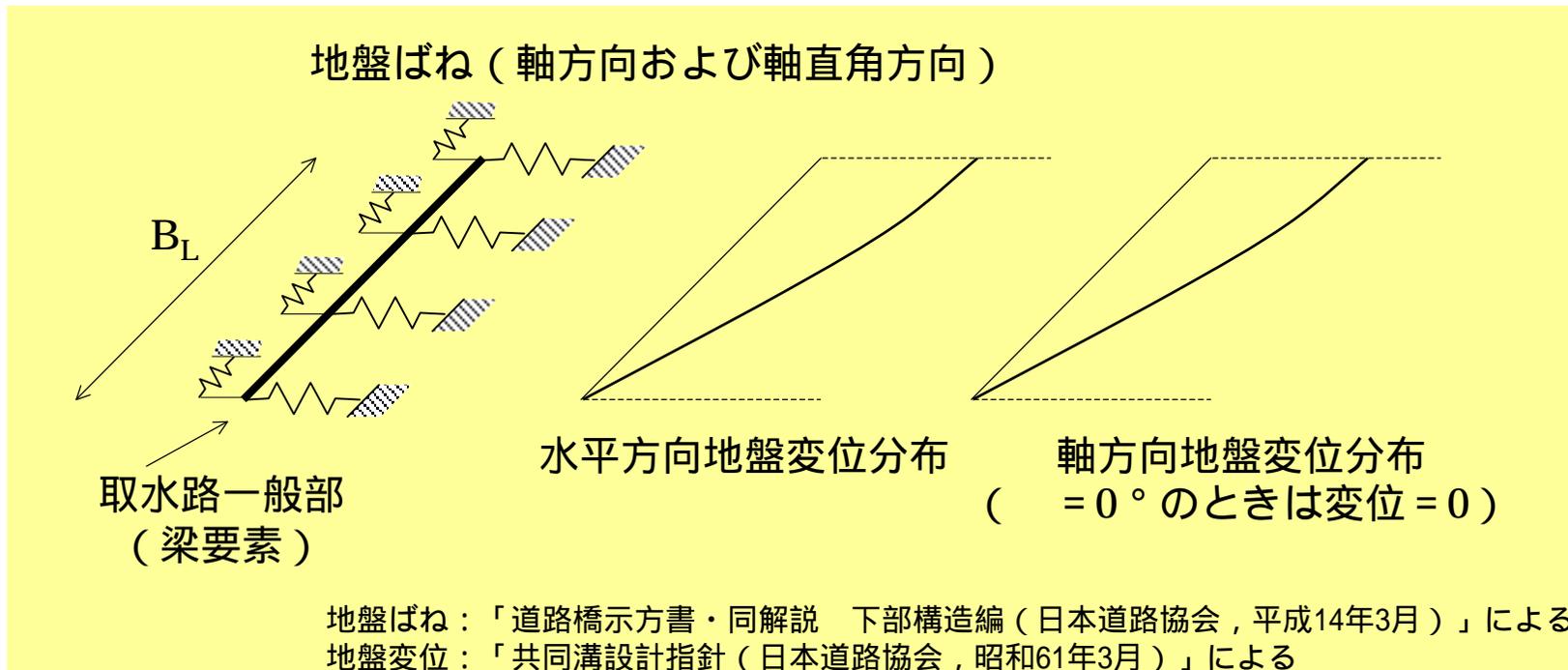


= 0°、45° に対して検討

応力度に関する検討手法

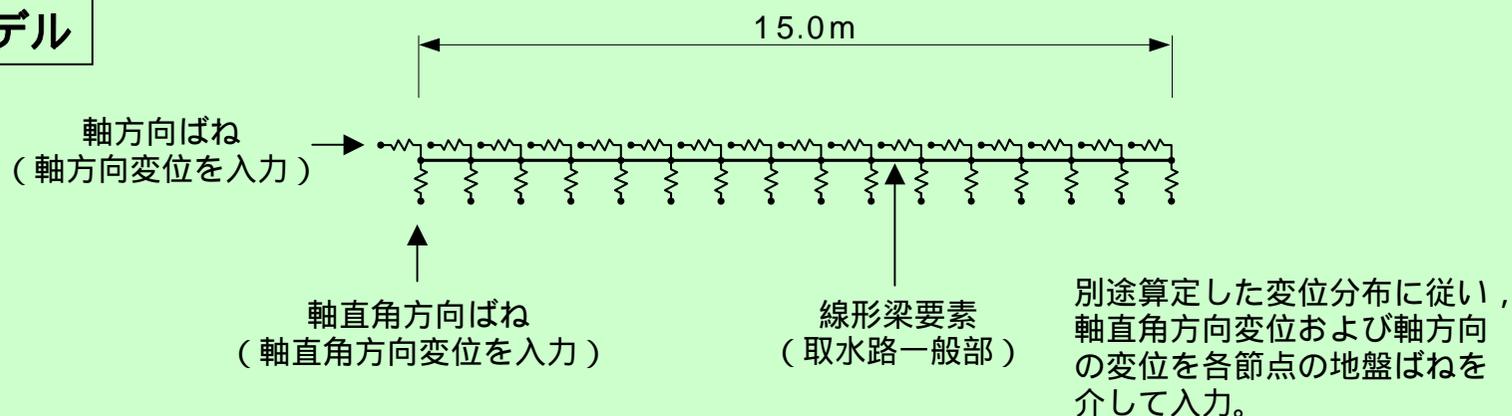


梁要素と地盤ばねからなる取水路 1ブロックの解析モデルに、静的に地盤変位分布を与えて断面力を算出し、応力度を照査



応力度に関する検討手法

解析モデル

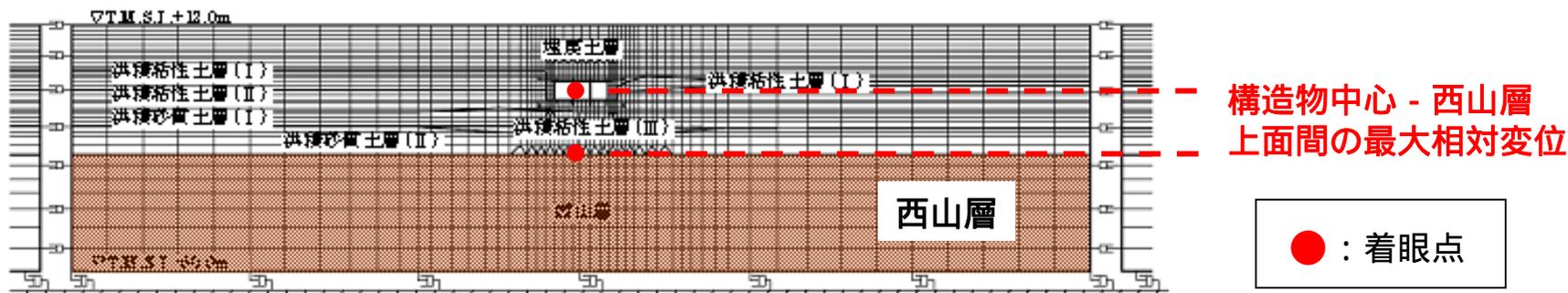


地盤ばねは「道路橋示方書・同解説 下部構造編（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき算定

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

応力度に関する検討手法

地盤ばねを介して与える地盤変位は「共同溝設計指針（日本道路協会，昭和61年3月）」の考え方に従い，地盤振動の波長と最大変位振幅を用いて算定。
 最大変位振幅は「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 - 西山層上面間の最大相対変位（水平方向および鉛直方向）。



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

応力度に関する検討結果

曲げ・軸力およびせん断力による検討結果

	角度 (°)	変位分布	曲げ・軸力による照査結果 d/f_t 1	せん断力による照査結果 V_d/V_{yd} 2
水平方向 変位	0		0.0061	0.0039
			0.000053	0.000086
	45		0.0026	0.0014
			0.088	0.000024
鉛直方向 変位	0		0.00052	0.00025
			0.0000047	0.0000058
	45		0.00020	0.000093
			0.0019	0.00000059

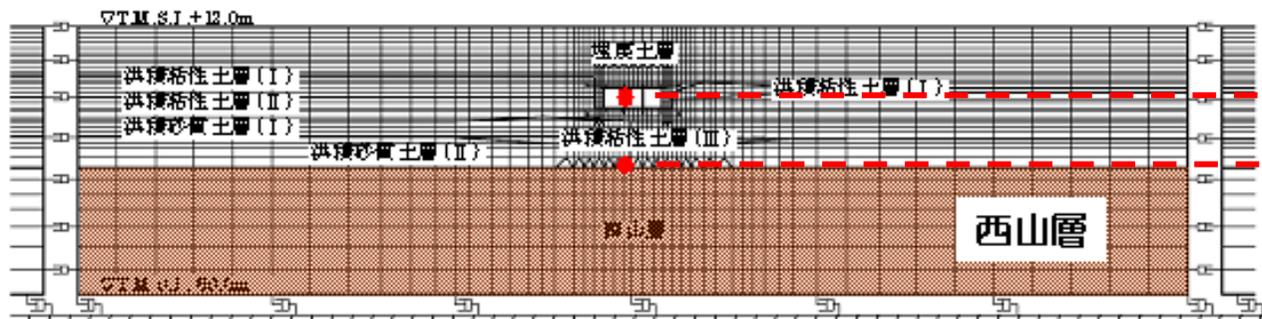
1 d : 発生応力度 (N/mm²) , f_t : コンクリート引張強度 (N/mm²)

2 V_d : 照査用せん断力 (kN) , V_{yd} : せん断耐力 (kN)

ブロック間相対変位に関する検討手法

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。

「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。



— 構造物中心 - 西山層
— 上面間の最大相対変位

● : 着地点

ブロック間相対変位に関する検討結果

各断面における最大相対変位量

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

軸方向に対する検討のまとめ

応力度に関する検討結果

- ・ 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。
- ・ 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。

ブロック間相対変位量に関する検討結果

- ・ 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、中越地震後に確認された耐震ジョイントの変位量（最大2.0cm）に加えても、耐震ジョイントの限界性能（伸び30cm，ずれ40cm）を下回っており、取水機能に影響を及ぼすものではない。

以上より、応力度、ブロック間相対変位量の検討の結果、取水機能は確保されているものと評価した。