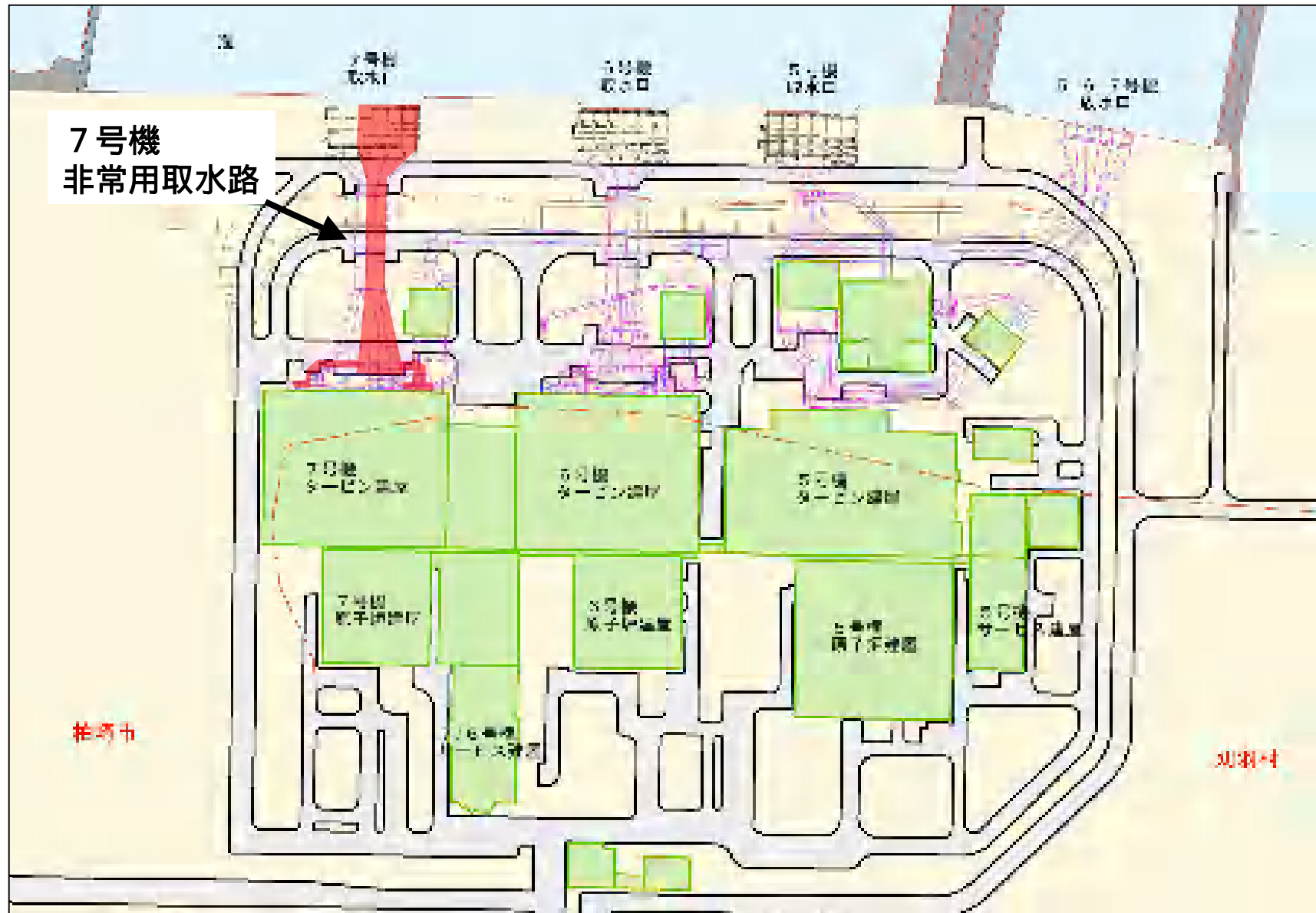

柏崎刈羽原子力発電所 7号機
屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

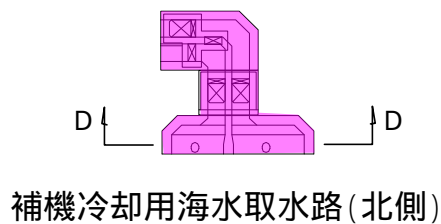
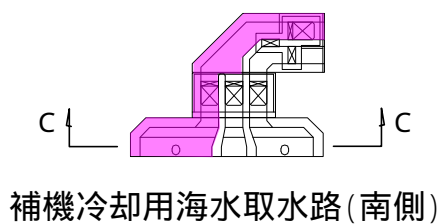
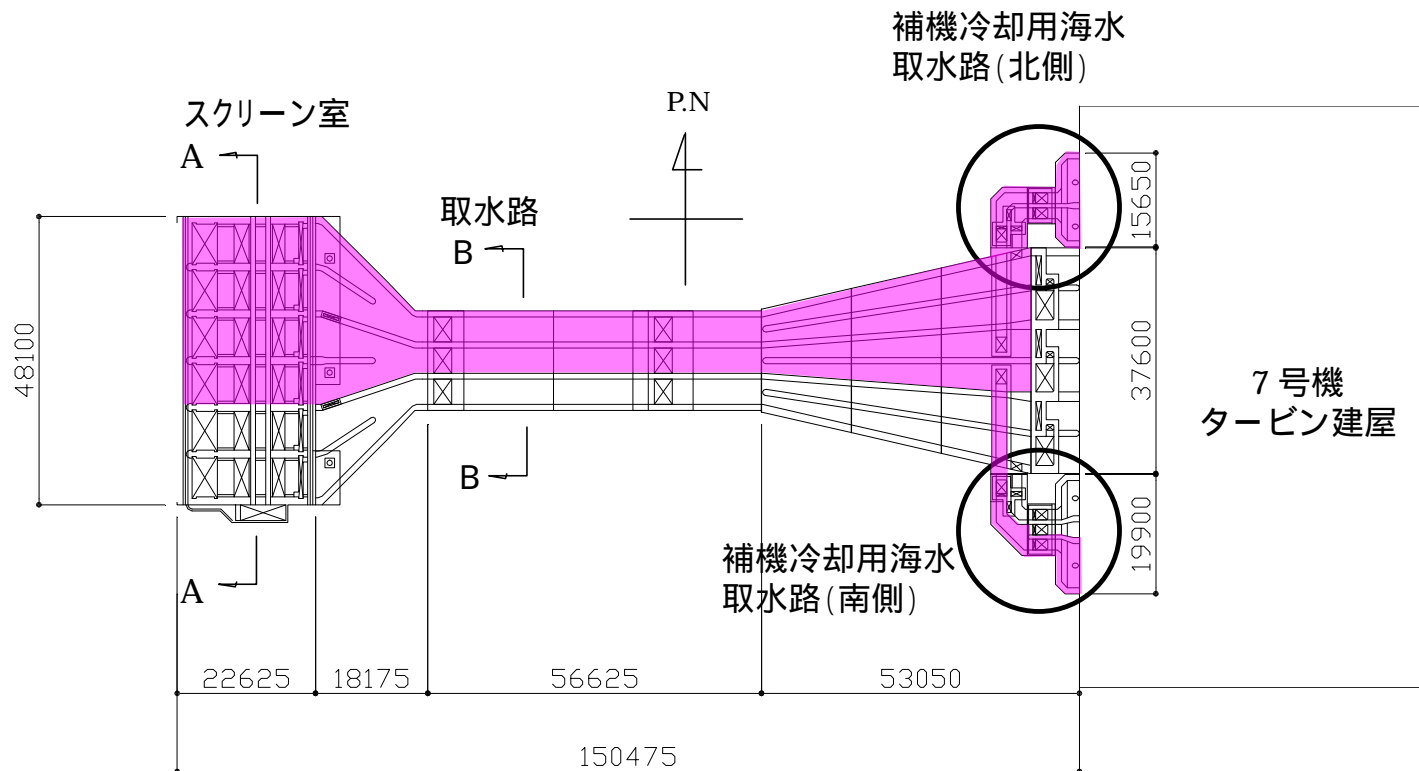
平成20年11月28日

東京電力株式会社

構内配置図(5～7号機側)

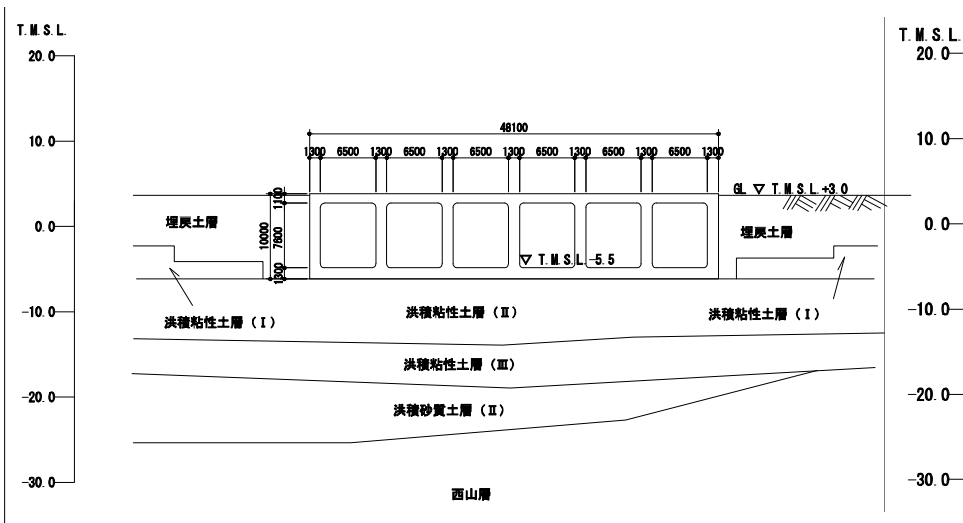


非常用取水路の概要

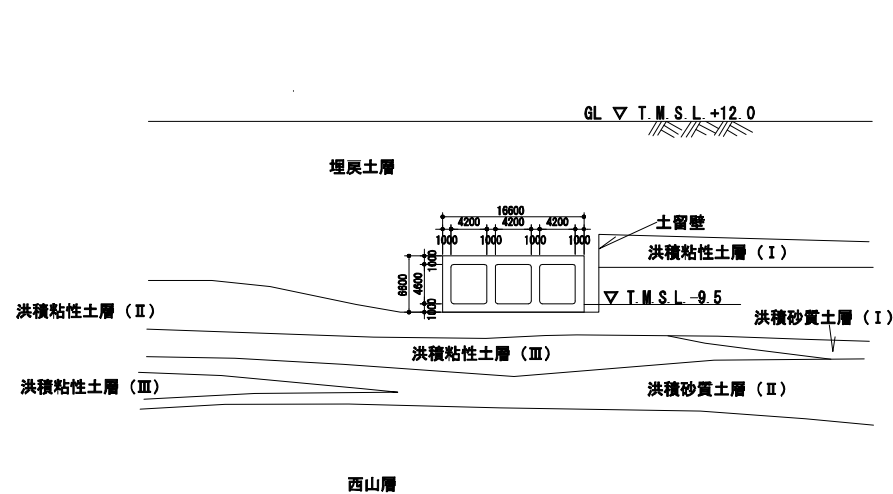


: 評価の対象範囲
 (補機冷却用海水が流下する水路)

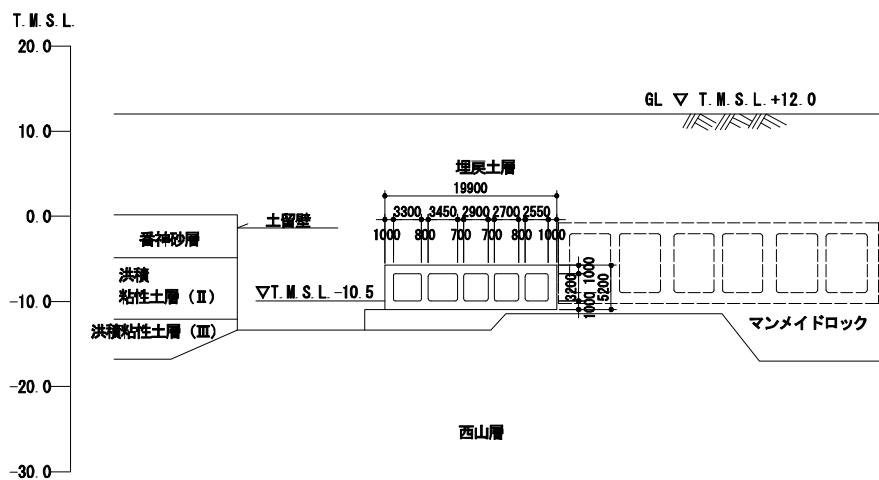
非常用取水路の概要



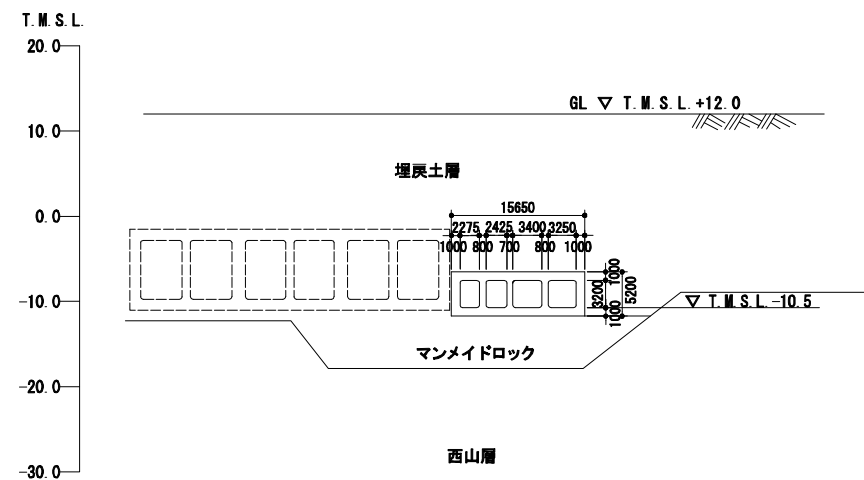
スクリーン室 (A-A)



取水路 (B-B)



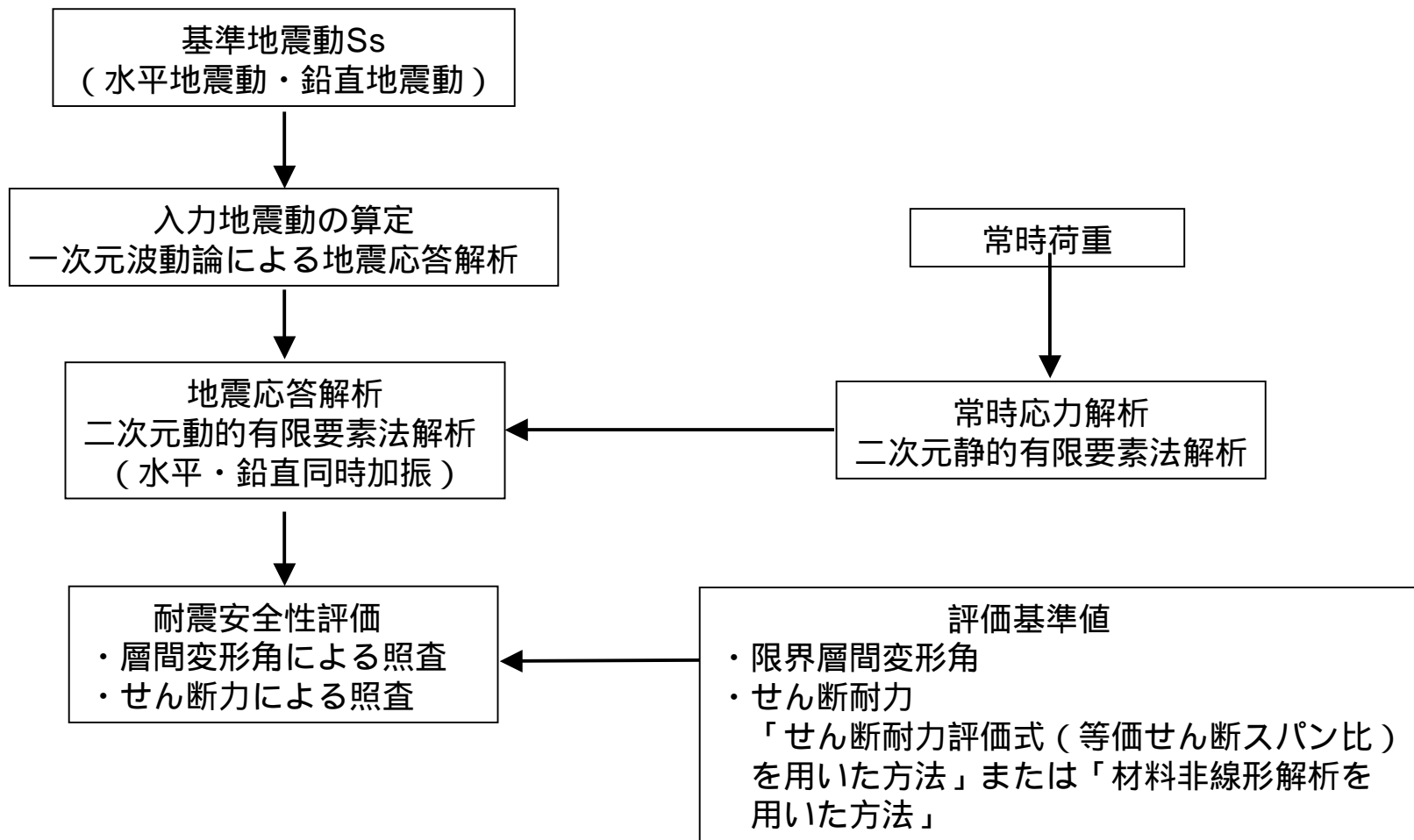
補機冷却用海水取水路 (南側) (C-C)



補機冷却用海水取水路 (北側) (D-D)

耐震安全性評価

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

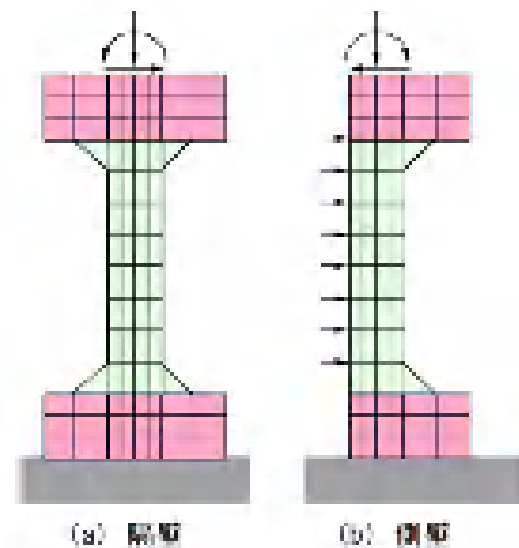
評価基準値となるせん断耐力は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会原子力土木委員会，2005年6月）」に基づき、下記の何れかの方法より算定する。

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プビーム式により部材のせん断耐力を算定する。

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、部材のせん断耐力を算定する。



材料非線形解析モデルのイメージ

解析用物性値 (使用材料)

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
番神砂層		18.0	0.43	1.83 × 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

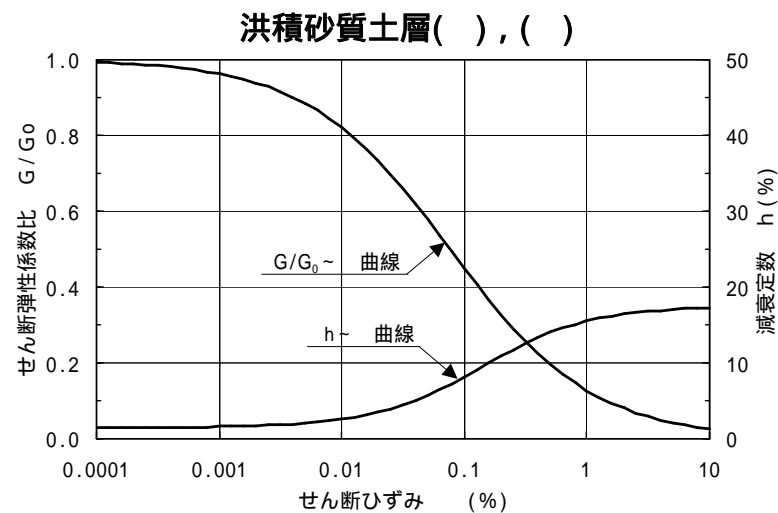
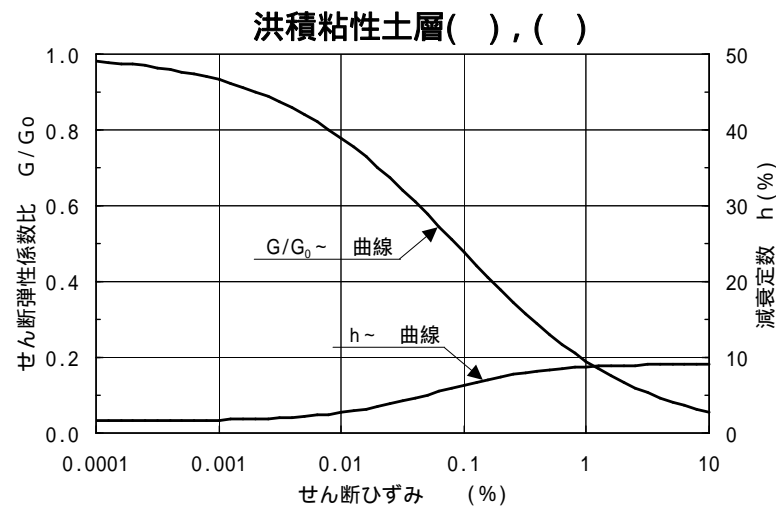
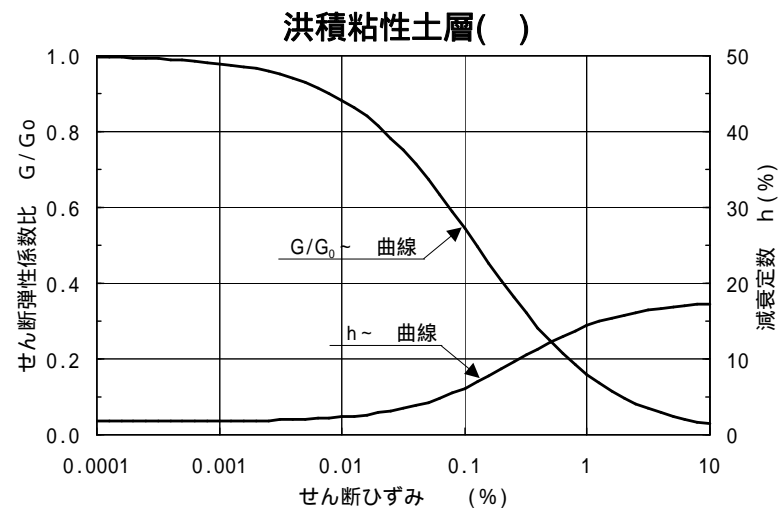
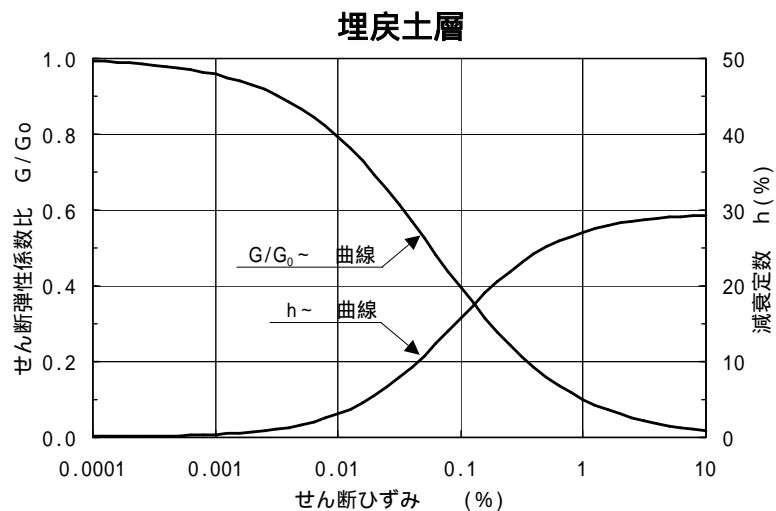
*1) () は湿潤単位体積重量

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

マンメイドロックの物性値

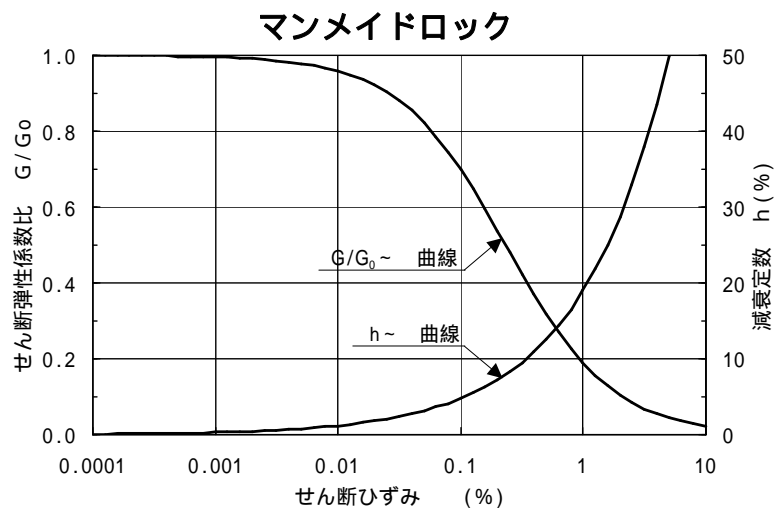
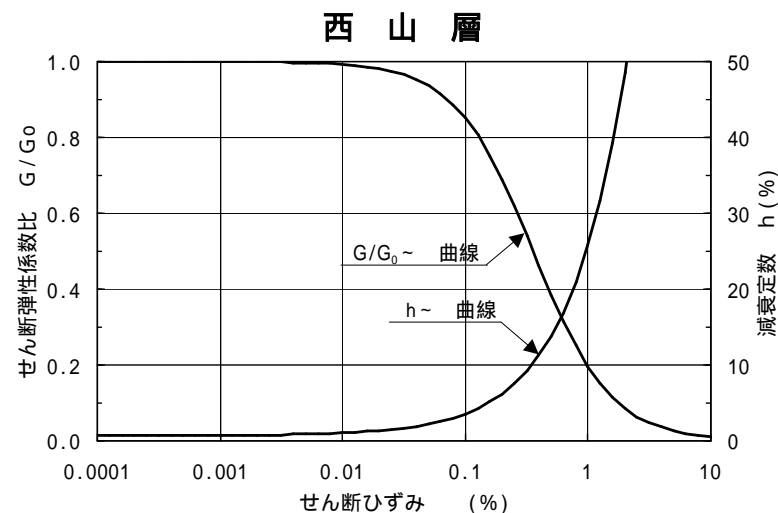
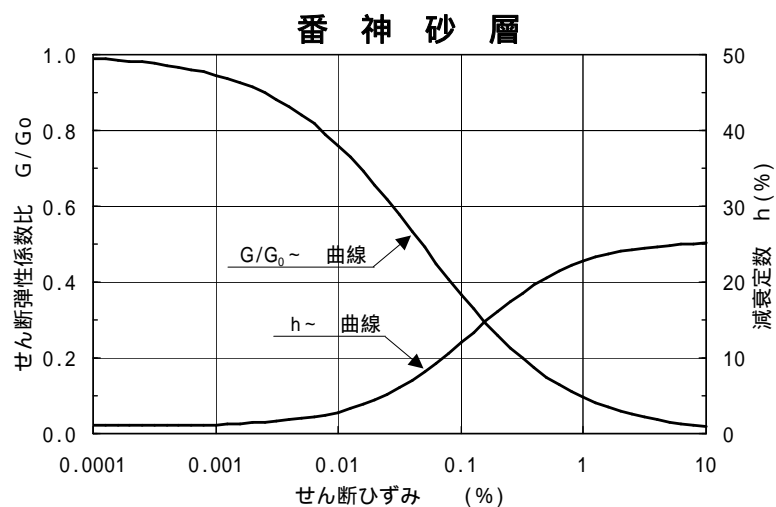
	単位体積重量 t(kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 G ₀ (kN/m ²)
マンメイドロック	17.2	0.36	1.90 × 10 ⁶

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

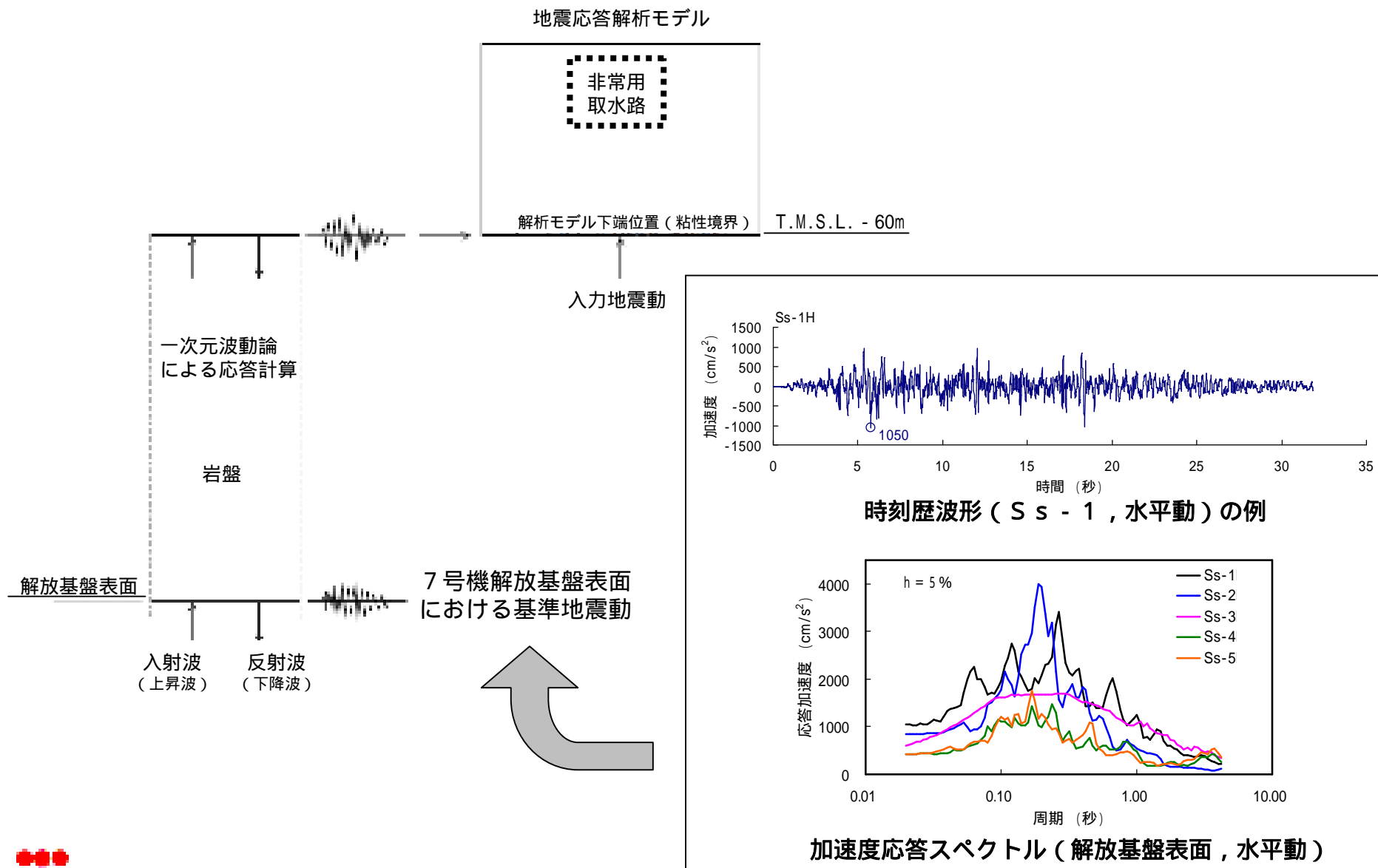
基準地震動

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	

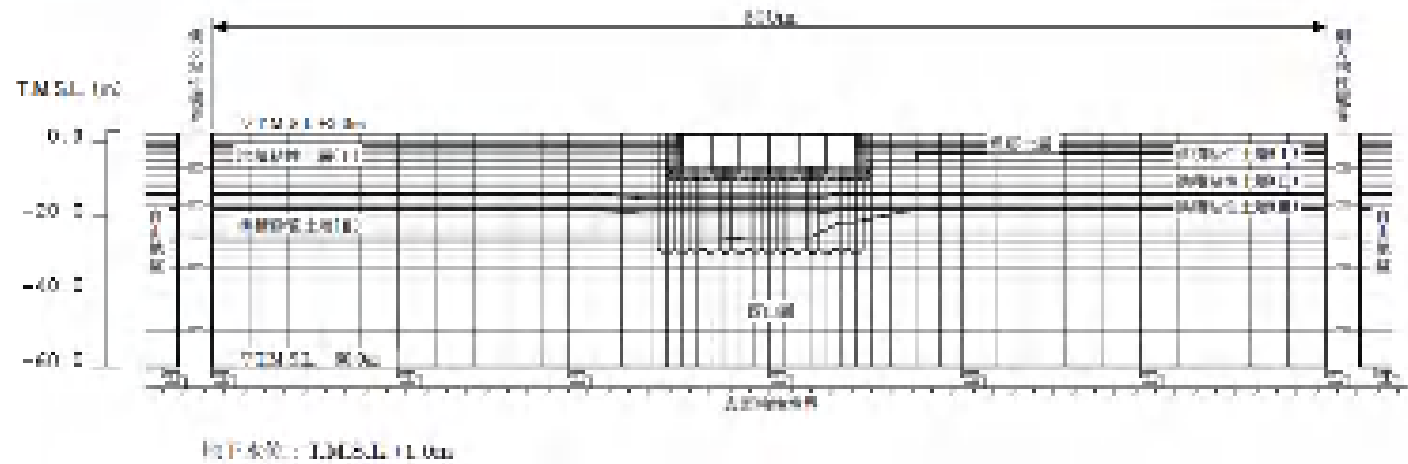
地震調査研究推進本部 (2008) による強震動レシピに基づく値に対する倍率

入力地震動の作成

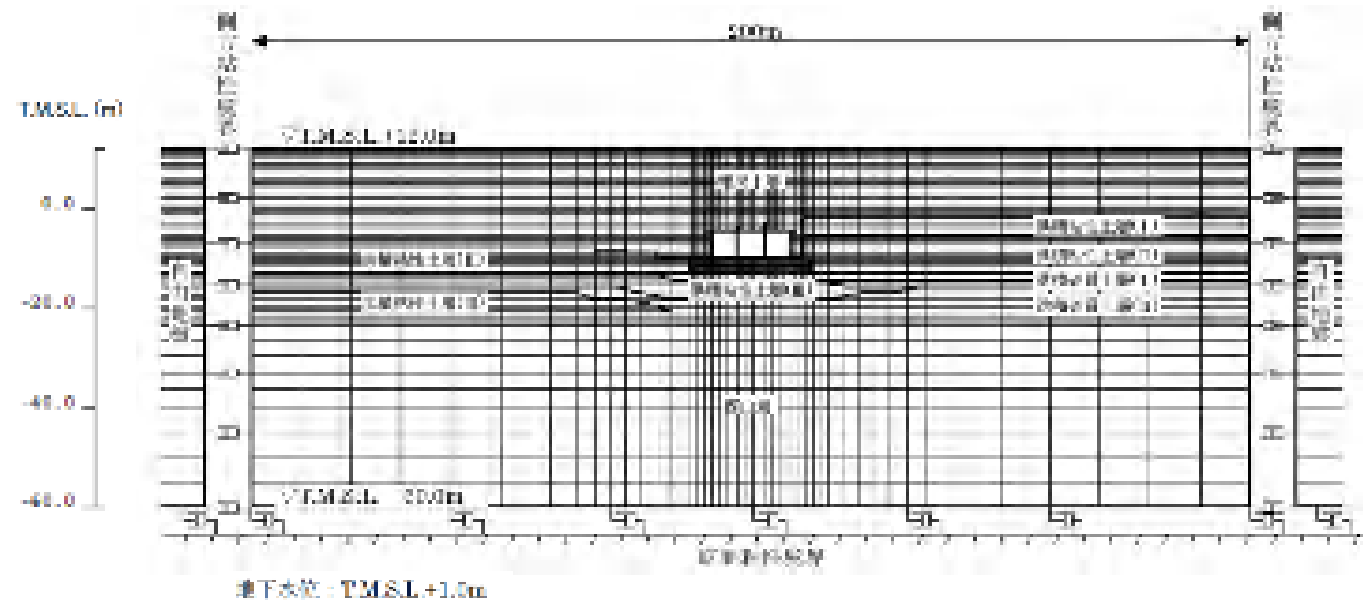


解析モデル

スクリーン室



取水路



解析結果(最大相対変位)

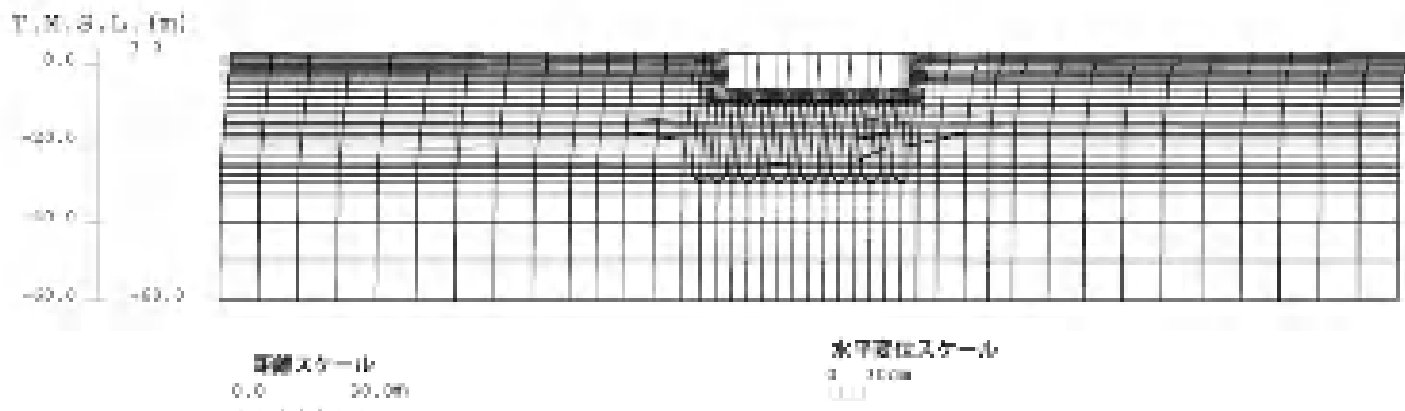
頂底板間の最大相対変位

(単位: mm)

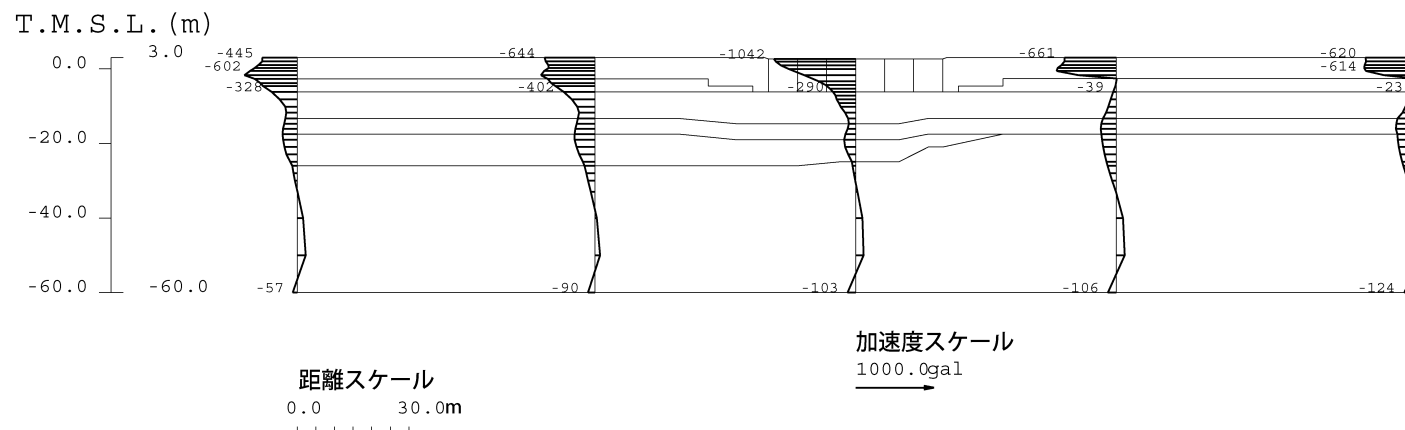
基準地震動	スクリーン室	取水路	補機冷却用海水 取水路(南側)	補機冷却用海水 取水路(北側)
S s - 1	25.2 (6.23秒)	24.0 (6.57秒)	9.7 (5.71秒)	12.4 (6.52秒)
S s - 2	10.4 (21.87秒)	11.3 (21.01秒)	5.3 (22.92秒)	4.8 (22.42秒)
S s - 3	17.8 (17.56秒)	31.9 (37.43秒)	15.3 (37.37秒)	15.6 (37.39秒)
S s - 4	7.9 (51.92秒)	9.0 (51.71秒)	3.9 (51.66秒)	3.9 (51.65秒)
S s - 5	4.8 (51.91秒)	9.5 (46.61秒)	3.5 (46.54秒)	3.4 (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



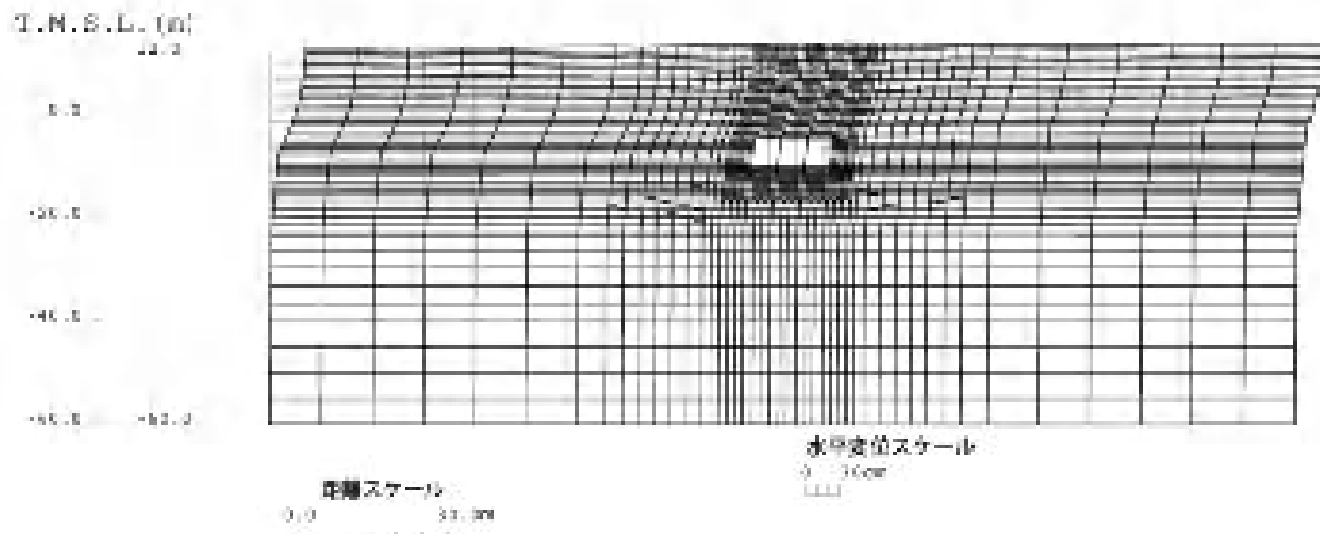
加速度分布図



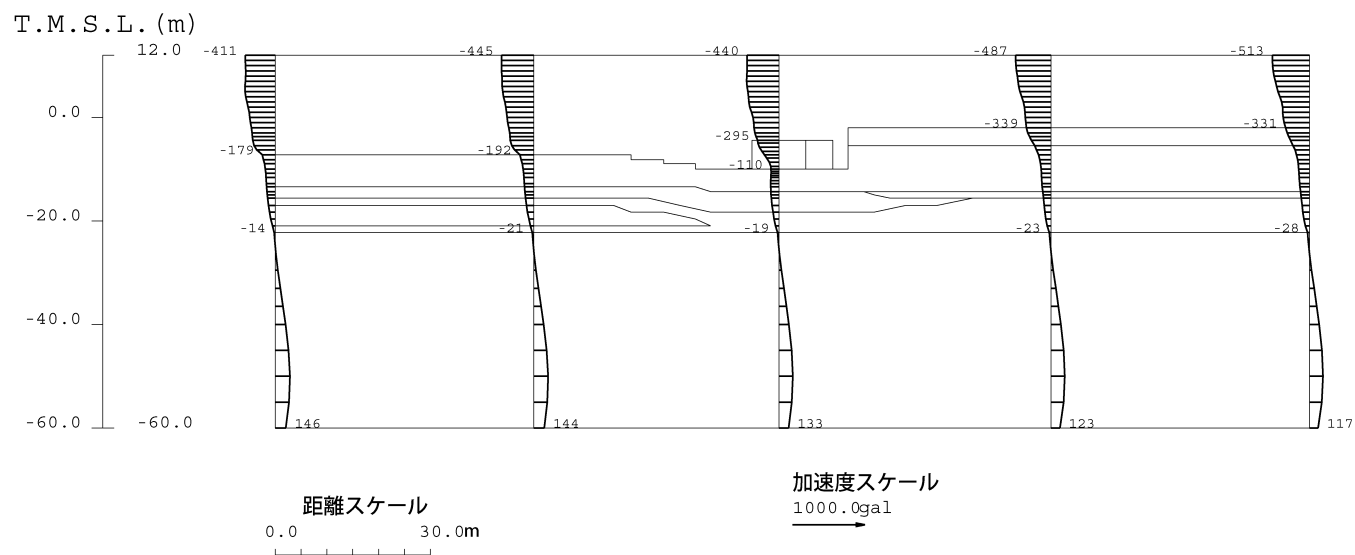
スクリーン室 変形図・加速度分布図 (Ss-1, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

解析結果 (取水路: 変形図・加速度分布図)

変形図



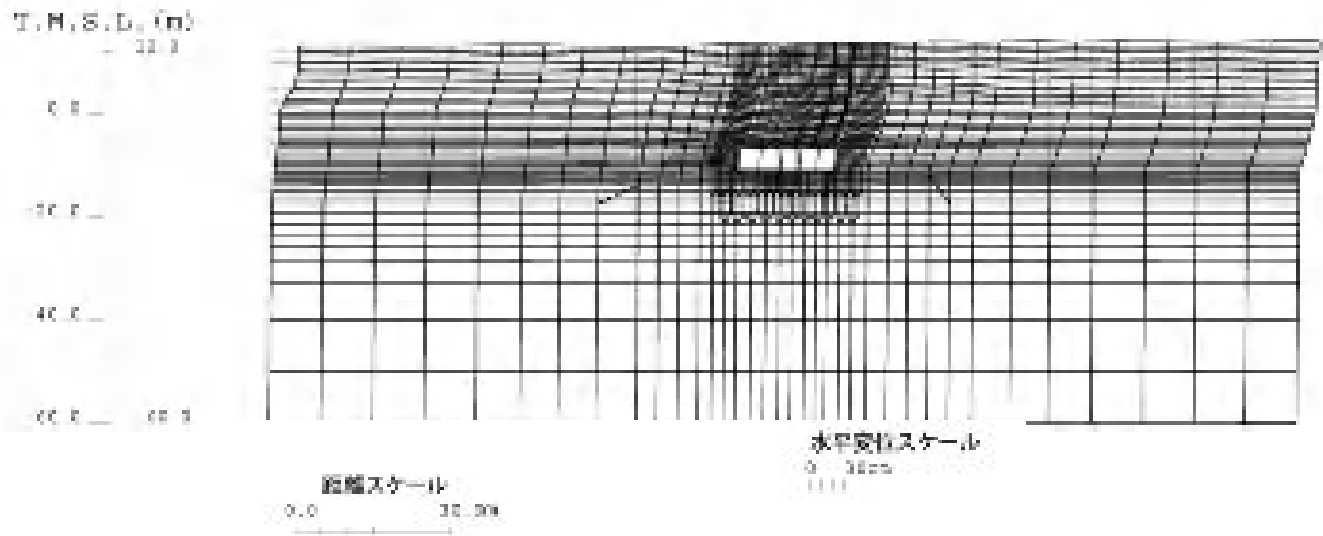
加速度分布図



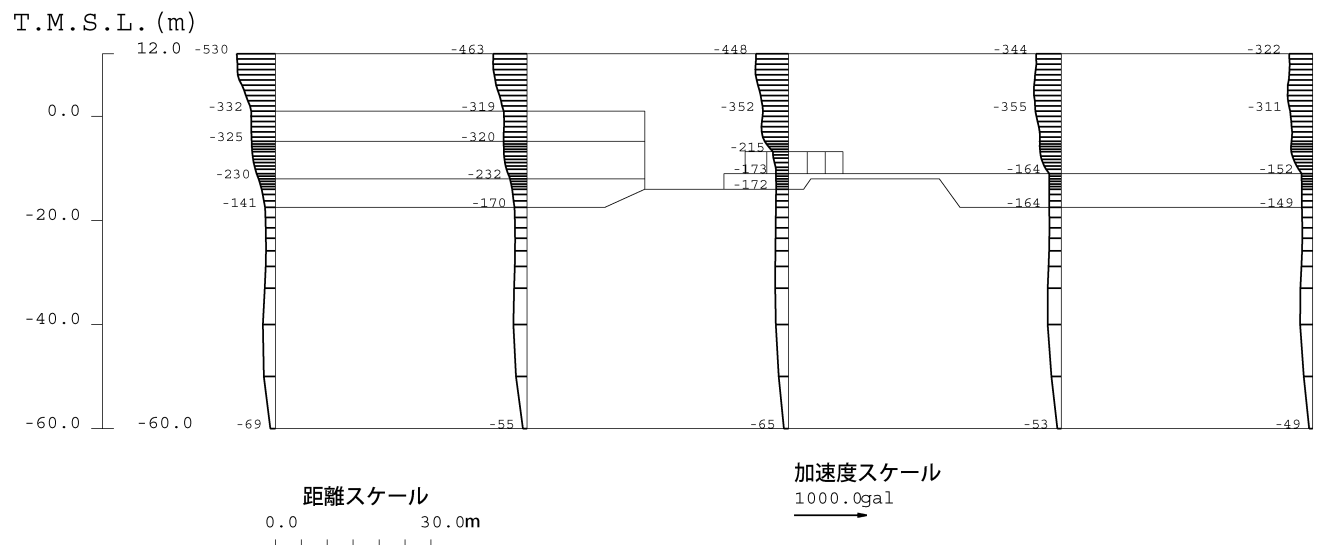
取水路 変形図・加速度分布図 (Ss-3, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

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

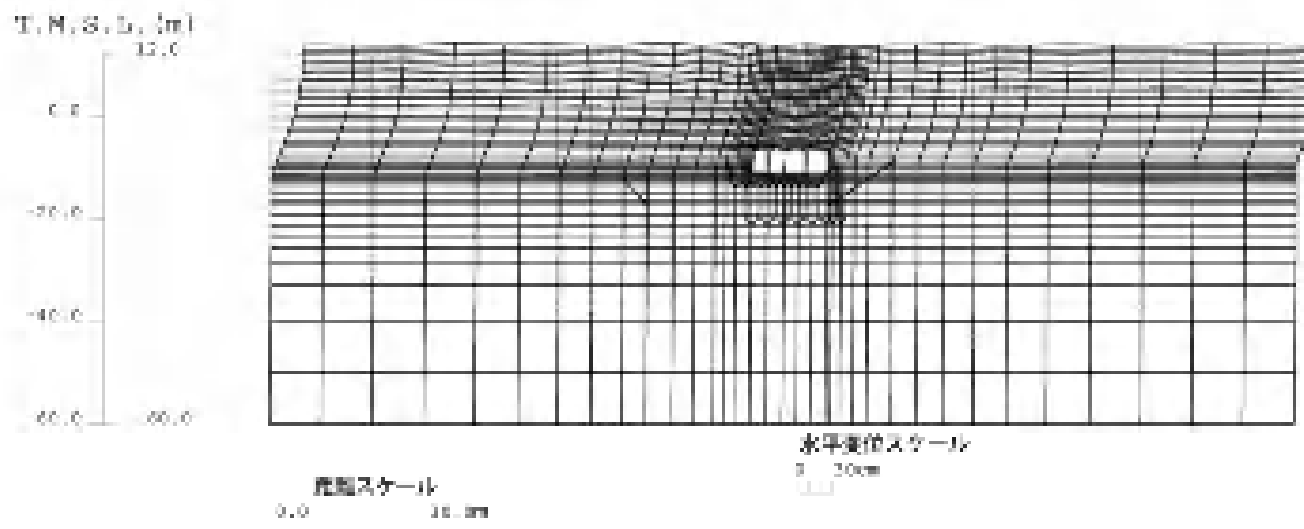


補機冷却用海水取水路 (南側) 変形図・加速度分布図 (Ss-3, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

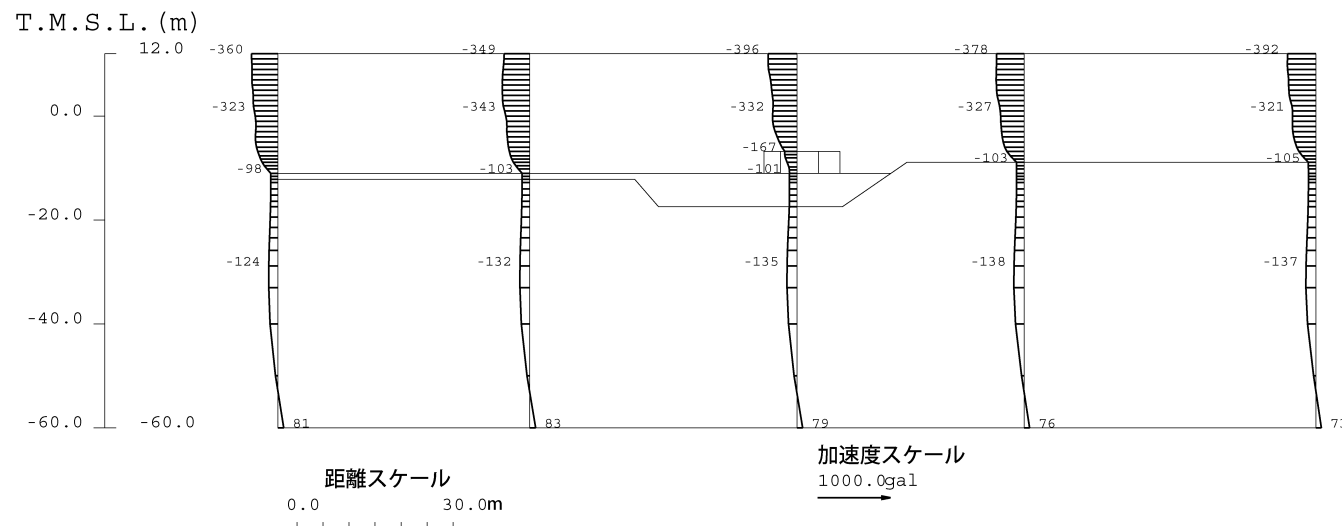


解析結果 (補機北側: 変形図・加速度分布図)

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)

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	0.344 / 100	1 / 100	0.34
取水路 (Ss-3)	頂版～ 底版	0.684 / 100	1 / 100	0.68
補機冷却用海水 取水路(南側) (Ss-3)	頂版～ 底版	0.437 / 100	1 / 100	0.44
補機冷却用海水 取水路(北側) (Ss-3)	頂版～ 底版	0.446 / 100	1 / 100	0.45

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	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 (Ss-3)	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) (Ss-3)	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) (Ss-3)	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

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。

軸方向に対する検討

検討方針

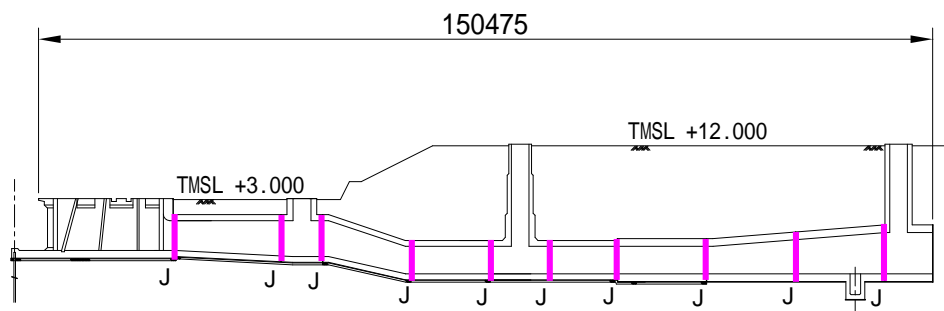
検討方針

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。

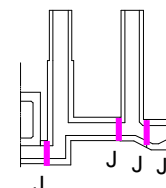
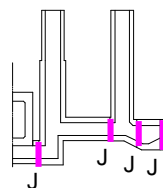
なお、検討対象とする地震動は、耐震安全性評価結果において、構造物の変位が比較的大きかった基準地震動Ss-1、Ss-3とする。

非常用取水路縦断面図



補機冷却用海水取水路（北側）

補機冷却用海水取水路（南側）

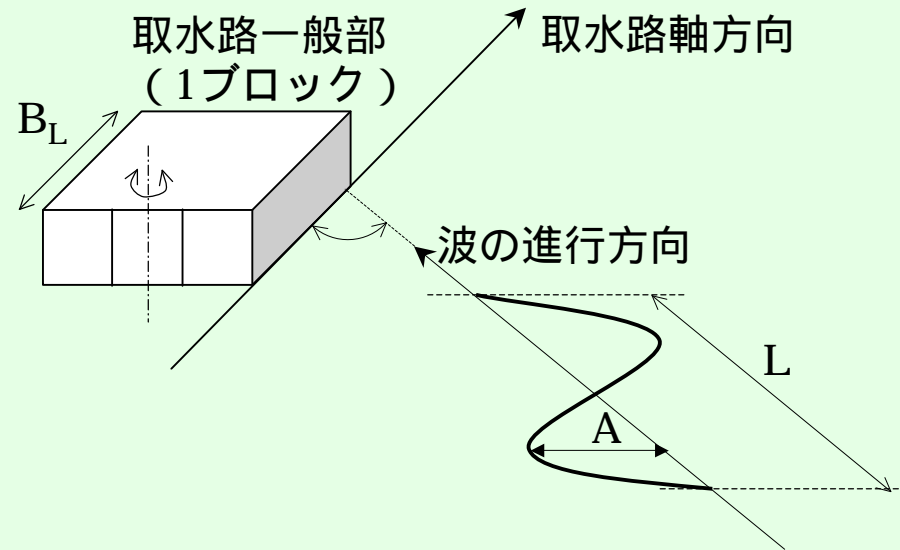


J：耐震ジョイント

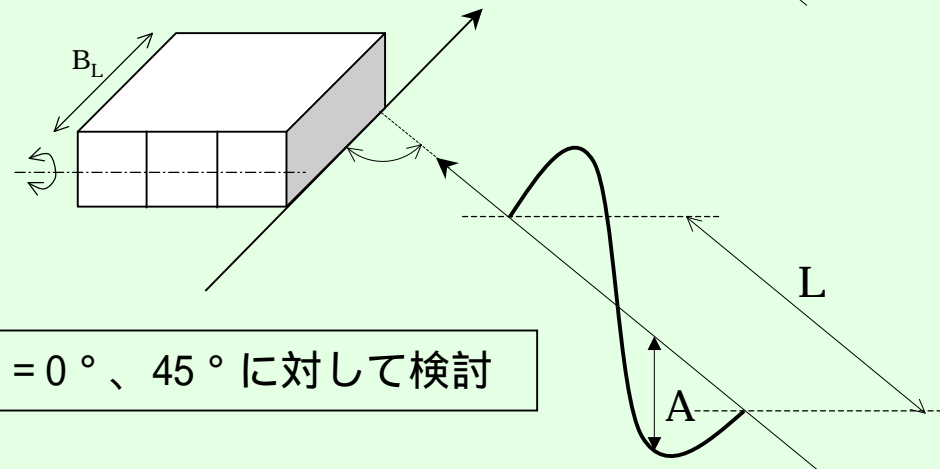
応力度に関する検討手法

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

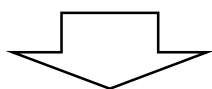
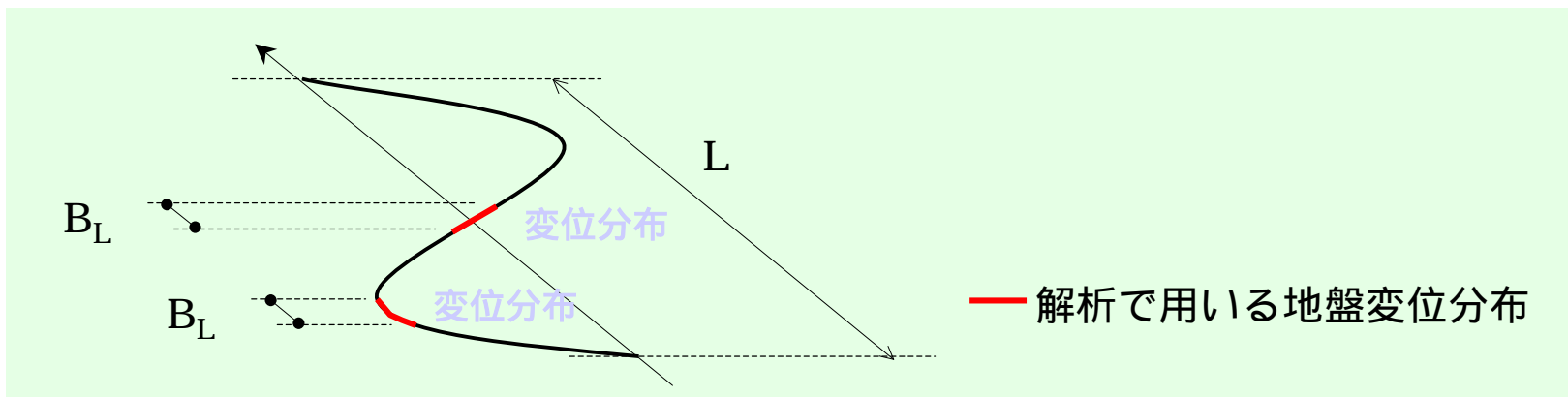


鉛直方向変位に関する検討

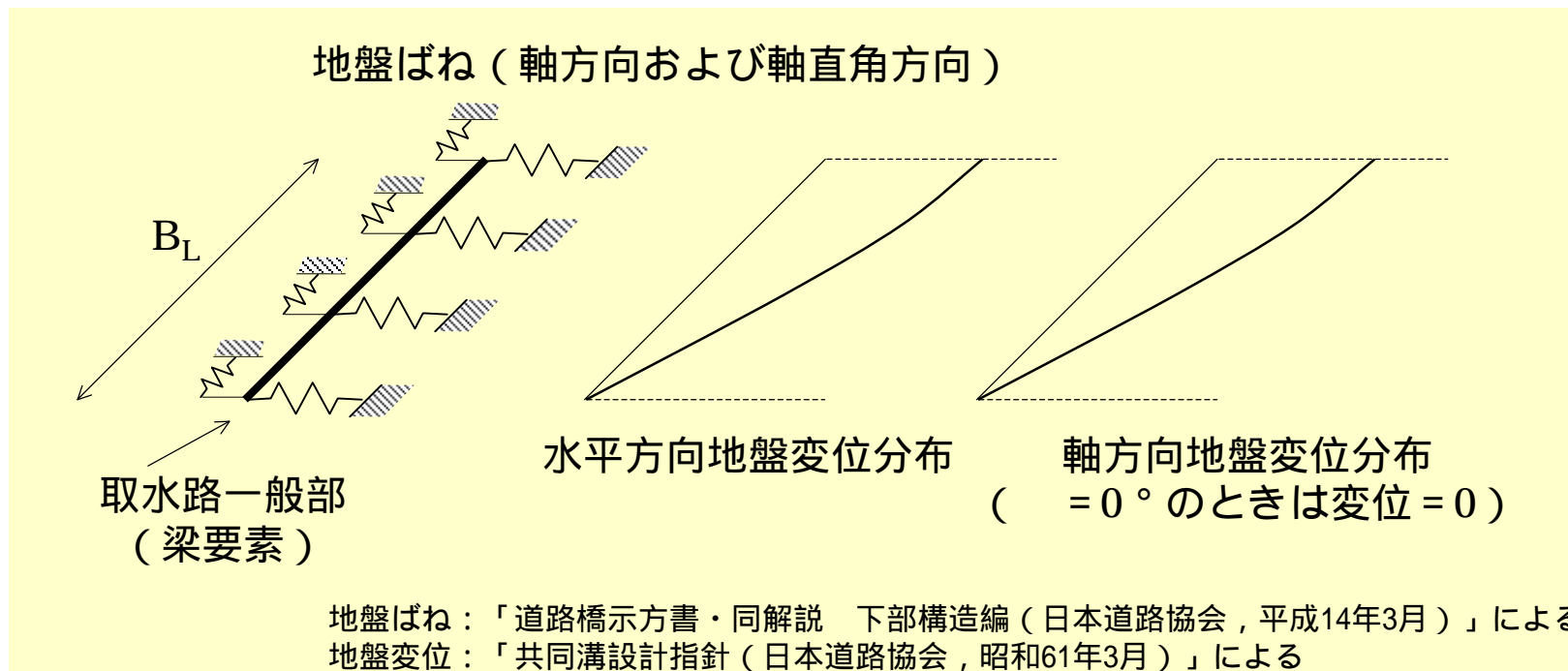


= 0°、45° に対して検討

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



地盤ばね：「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）」による
 地盤変位：「共同溝設計指針（日本道路協会，昭和61年3月）」による

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	せん断力による照査結果
			σ_d / f_t 1	V_d / V_{yd} 2
水平方向 変位	0		0.0060	0.0039
			0.000060	0.000099
	45		0.0026	0.0014
			0.073	0.000027
鉛直方向 変位	0		0.00034	0.00020
			0.0000042	0.0000053
	45		0.00016	0.000073
			0.0019	0.0000014

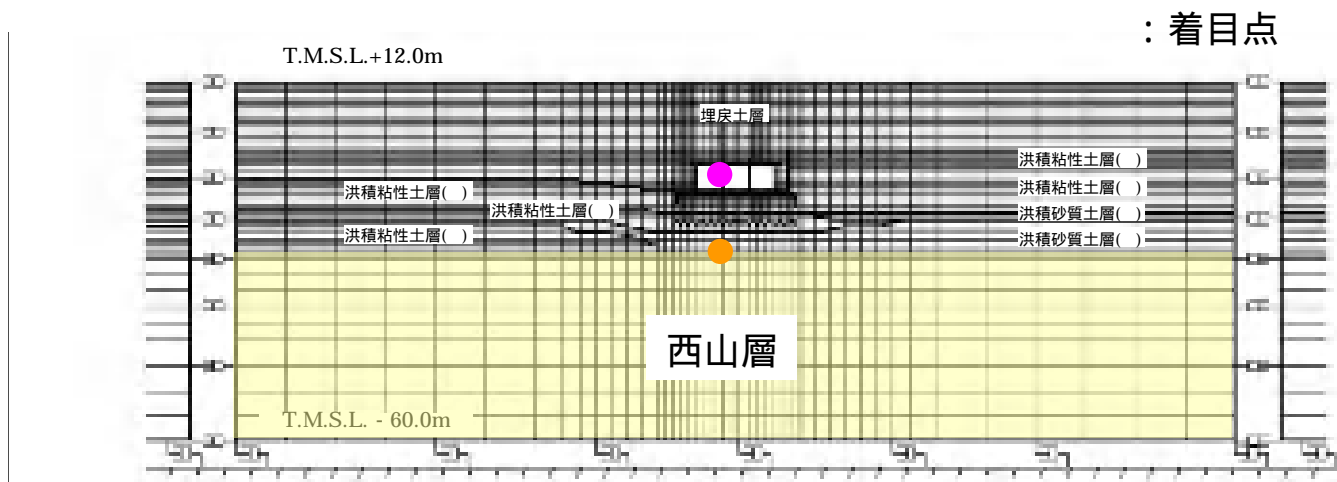
1 σ_d : 発生応力度 (N/mm²) , f_t : コンクリート引張強度 (N/mm²)

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、補機冷却用取水路（南側）および補機冷却用取水路（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。



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	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

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2.5cm）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。