

柏崎刈羽原子力発電所 1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22年1月12日

東京電力株式会社



東京電力

本日も報告する内容

1 号機屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

1 . 屋外重要土木構造物の概要

2 . 耐震安全性評価

(参考) 非常用取水路の軸方向に対する検討

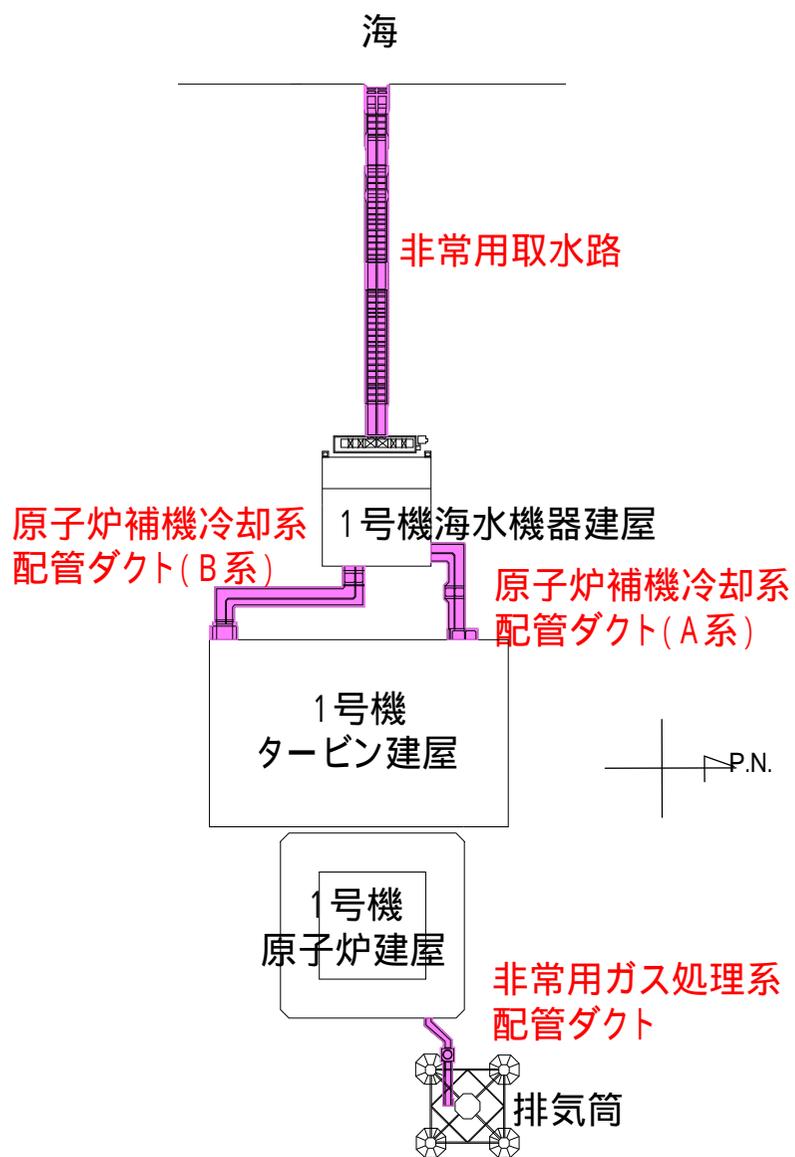
屋外重要土木構造物の耐震安全性評価結果の概要

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価では、基準地震動 S_s による地震応答解析を行い、構造物の照査用応答値が評価基準値を下回っていることを確認する。

評価対象は、非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクト、非常用ガス処理系配管ダクトとする。

照査の結果、構造物の照査用応答値が評価基準値を下回っていることを確認し、屋外重要土木構造物の要求機能（取水機能、配管支持機能）は確保されているものと評価した。

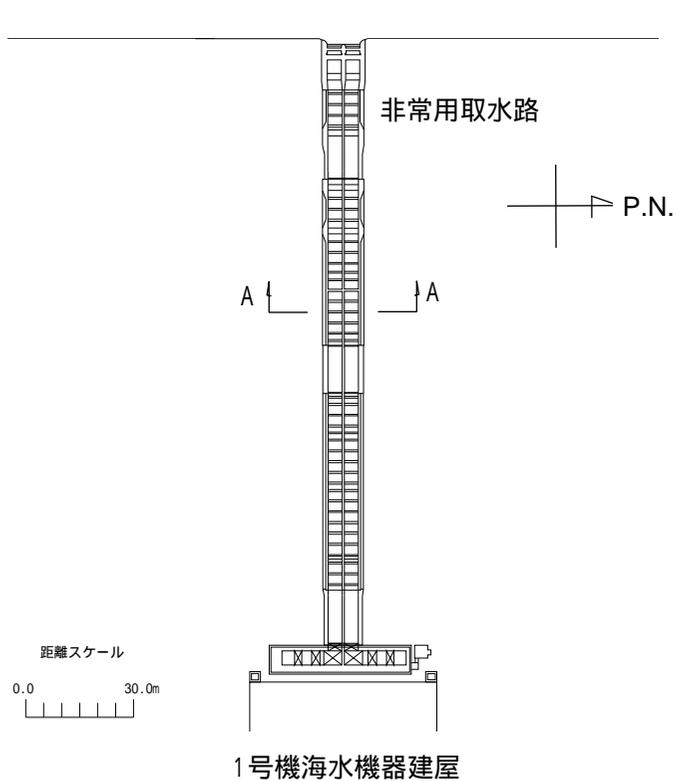
屋外重要土木構造物の概要 (1)



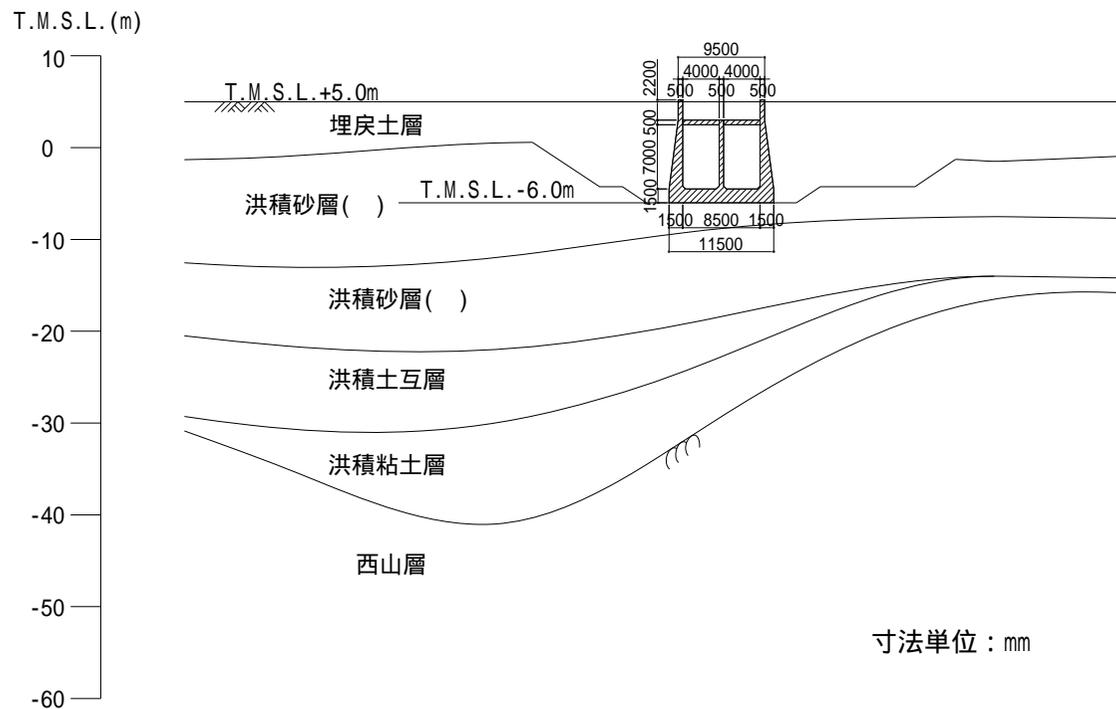
屋外重要土木構造物の概要 (2)

非常用取水路

平面図

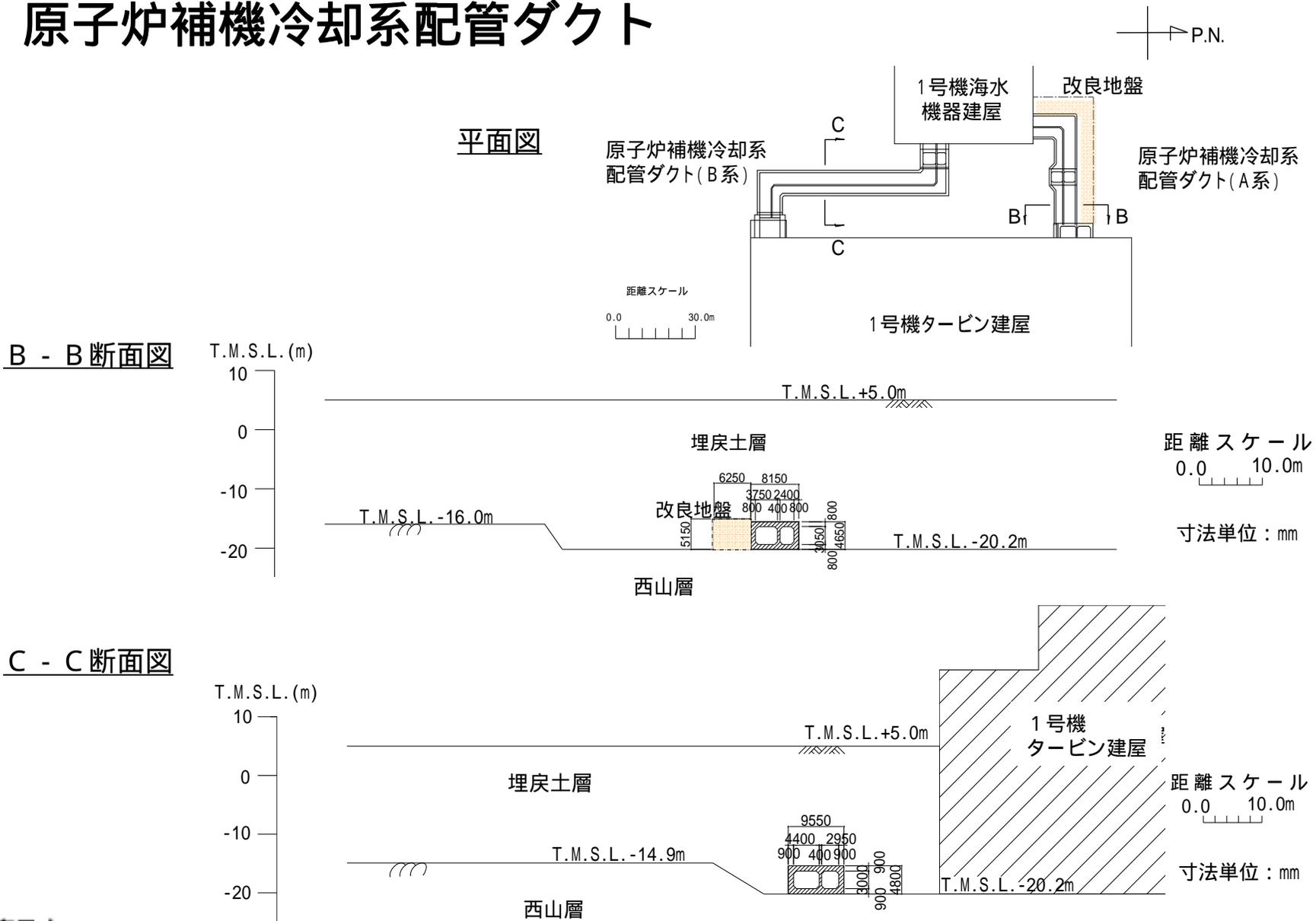


A - A 断面図



屋外重要土木構造物の概要 (3)

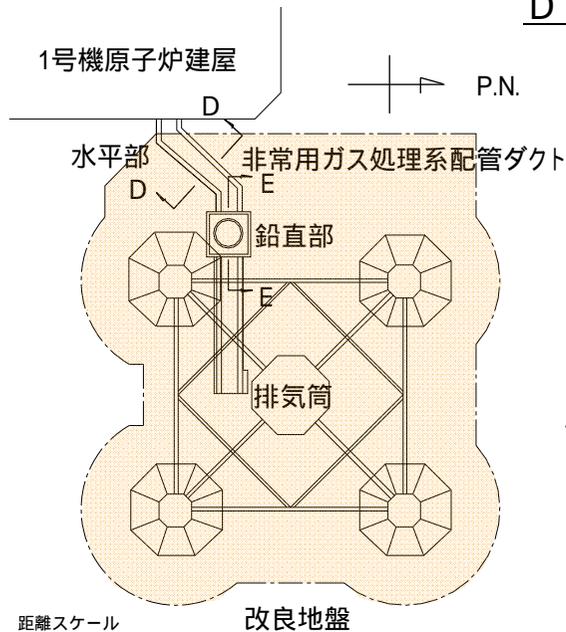
原子炉補機冷却系配管ダクト



屋外重要土木構造物の概要 (4)

非常用ガス処理系配管ダクト

平面図



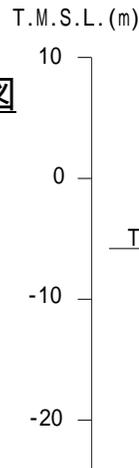
距離スケール
0.0 10.0m

E - E 断面図

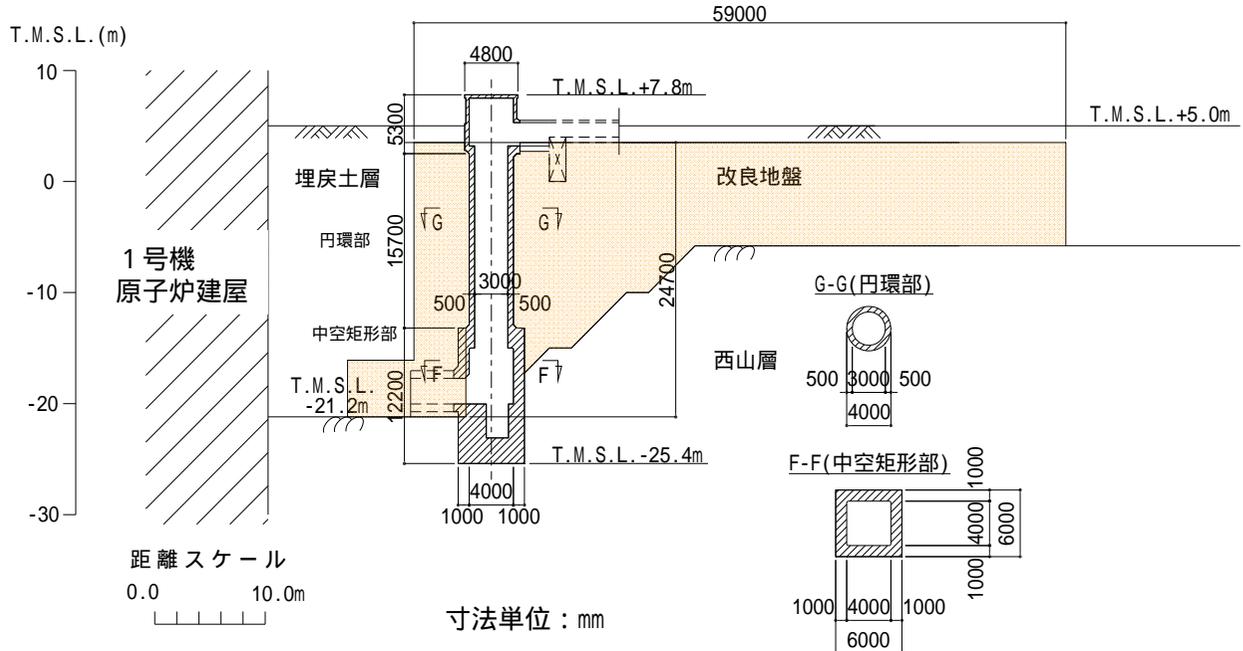
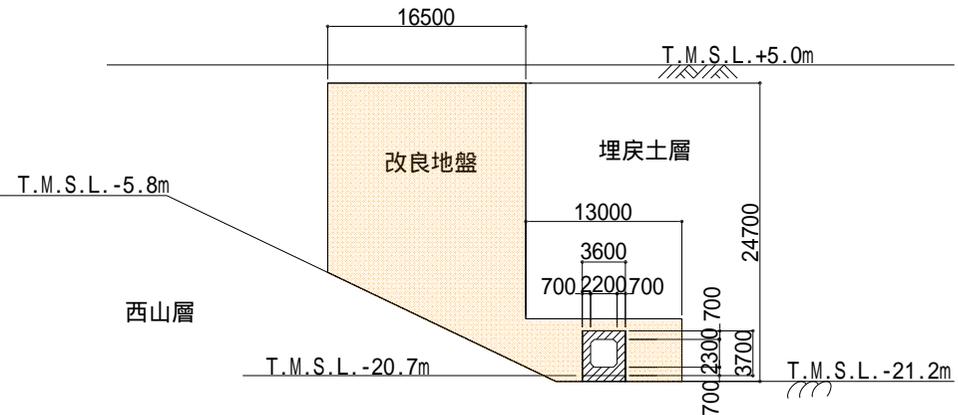


距離スケール
0.0 10.0m

D - D 断面図



距離スケール
0.0 10.0m 寸法単位：mm



寸法単位：mm

本日も報告する内容

1 号機屋外重要土木建造物の耐震安全性評価

1 . 屋外重要土木建造物の概要

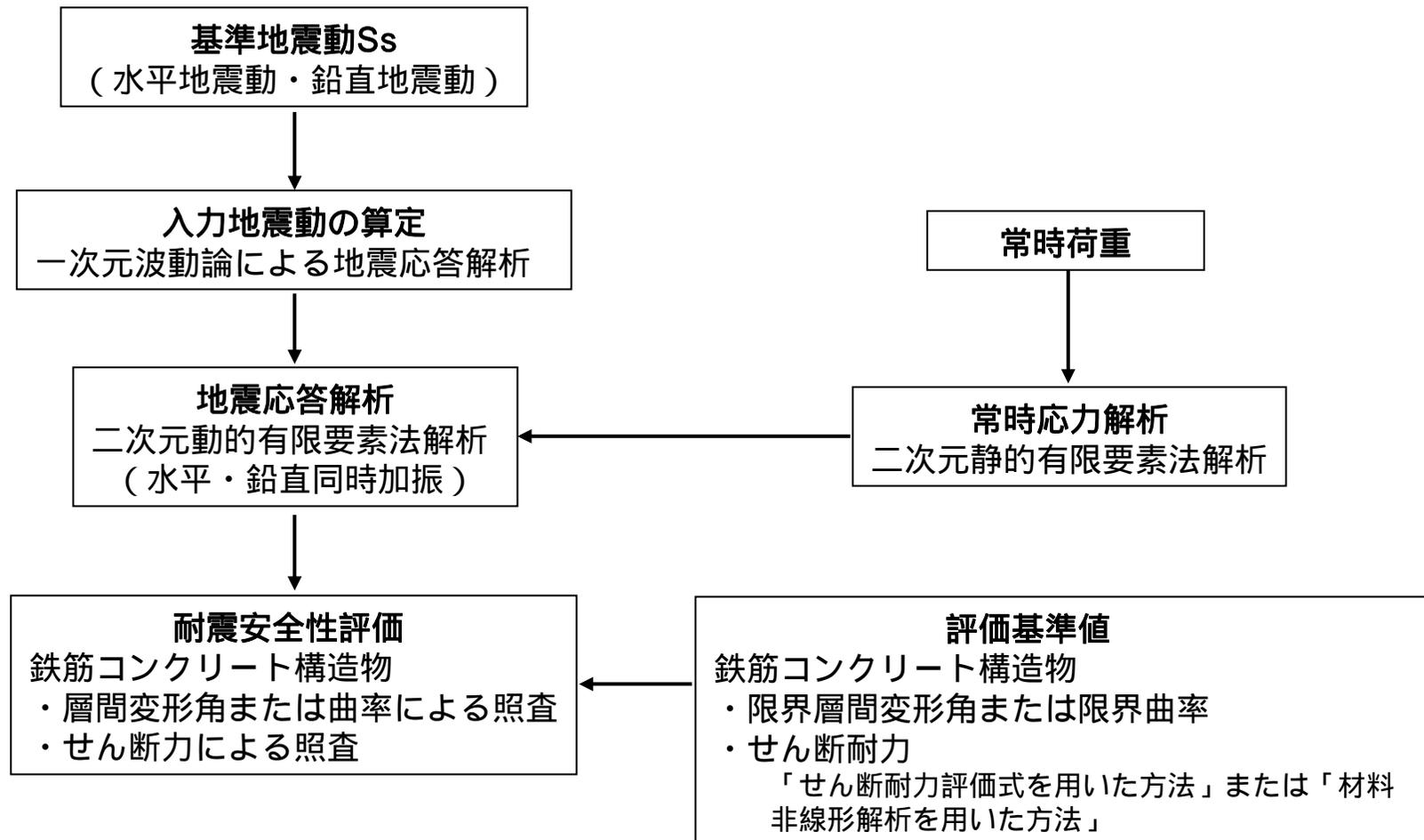
2 . 耐震安全性評価

(参考) 非常用取水路の軸方向に対する検討

解析条件の比較

	工事認可時	健全性評価時	耐震安全性評価時
解析手法	<ul style="list-style-type: none"> 震度法 応答変位法 	<ul style="list-style-type: none"> 二次元動的有限要素法解析 (水平・鉛直同時加振) 	同左
地震力	<ul style="list-style-type: none"> 設計震度 非常用取水路 $K_h=3 \times C_0=0.6$ $K_v=0.5 \times K_h=0.3$ 配管ダクト $K_h=3 \times C_0 \times 0.8=0.48$ $K_v=0.5 \times K_h=0.24$ 300galエルセントロ，タフト， ゴールデンゲート波 	<ul style="list-style-type: none"> 新潟県中越沖地震 原子炉建屋基礎版上 の観測記録 	<ul style="list-style-type: none"> 解放基盤表面で定義 される基準地震動S_s ($S_s-1 \sim S_s-5$)
地盤 モデル	<ul style="list-style-type: none"> 地盤ばね 等価線形モデル 	<ul style="list-style-type: none"> ソリッド要素 非線形モデル 	同左
構造物 モデル	<ul style="list-style-type: none"> 線形梁要素 設計強度 	<ul style="list-style-type: none"> 非線形梁要素 実強度 	<ul style="list-style-type: none"> 非線形梁要素 設計強度
照査	<ul style="list-style-type: none"> 許容応力度照査 	<ul style="list-style-type: none"> 変形性能照査 (層間変形角，曲率) せん断耐力照査 	同左

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

屋外重要土木構造物の評価フロー

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。

（１）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)

（２）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（地盤の物性値）

（3）地盤の物性値

1 () は湿潤単位体積重量

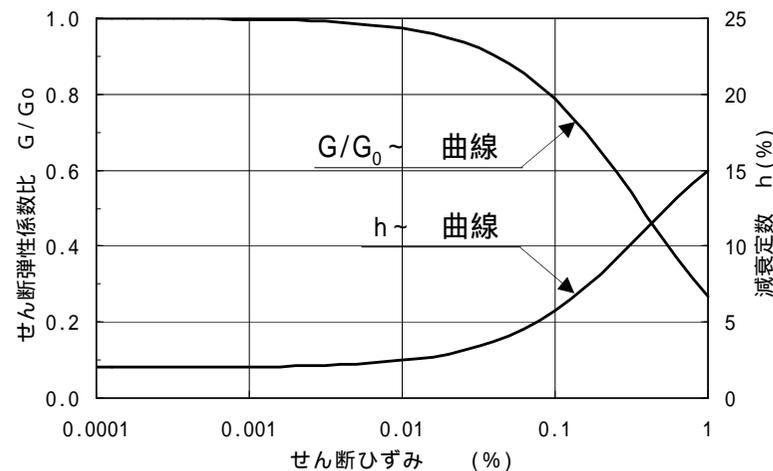
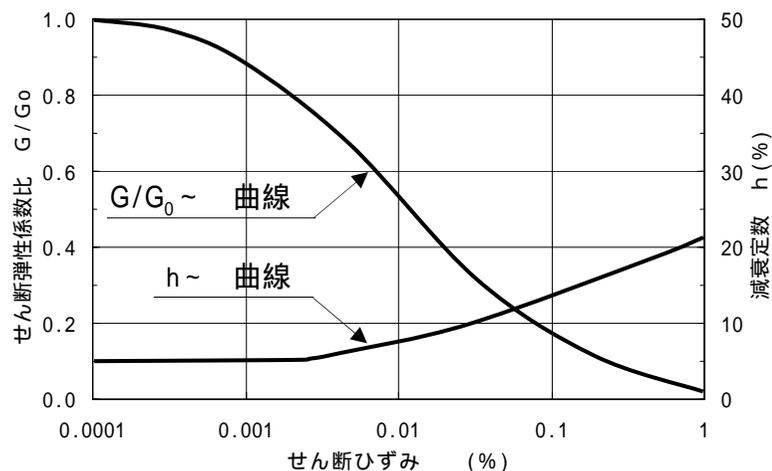
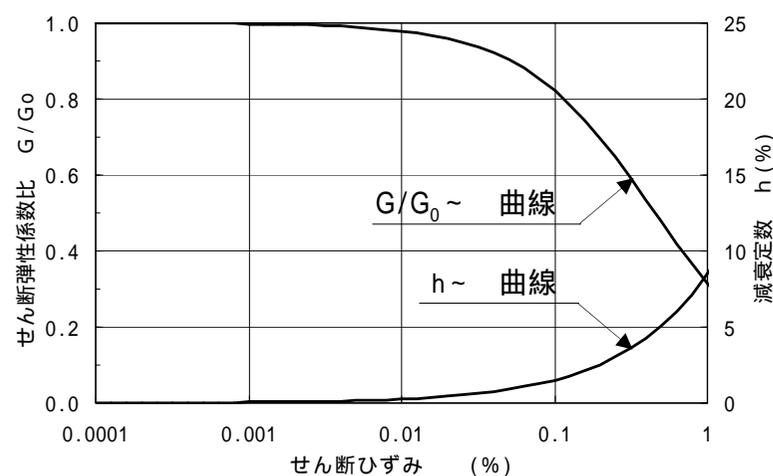
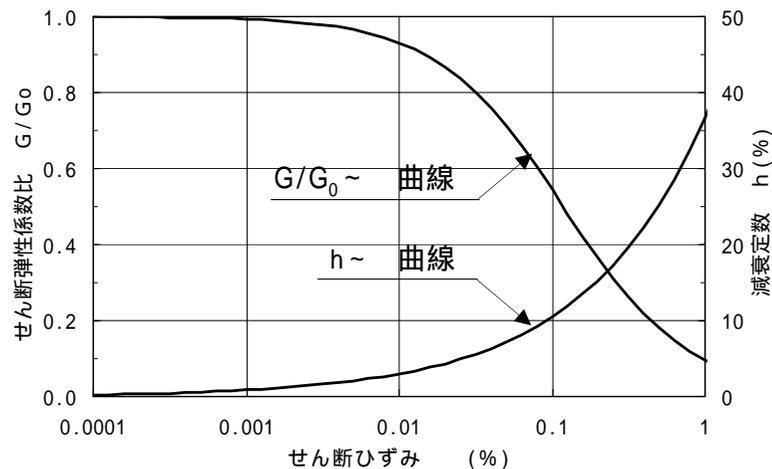
2 ν : 有効上載圧 (kN/m²)

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G、 減衰定数h
埋戻土層		19.6 (18.6) ¹	0.33	$1980 \times \nu^{0.667}$ ²	ひずみ依存性を考慮
洪積砂層()		19.1	0.47	1.53×10^5	
洪積砂層()		18.6	0.48	1.49×10^5	
洪積土互層		17.7	0.48	1.13×10^5	
洪積粘土層		16.7	0.48	1.15×10^5	
西山層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-62.0m	16.9	0.43	5.02×10^5	
	~ T.M.S.L.-77.0m	16.9	0.43	5.99×10^5	
	~ T.M.S.L.-103.0m	16.9	0.43	6.62×10^5	
	~ T.M.S.L.-128.0m	16.9	0.43	7.28×10^5	
	~ T.M.S.L.-192.0m	16.9	0.43	7.73×10^5	
解放基盤		16.9	0.43	9.17×10^5	

（4）改良地盤の物性値

改良範囲	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G、 減衰定数h
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）	18.6	0.33	6.84×10^5	ひずみ依存性を考慮
非常用ガス処理系配管ダクト	18.6	0.31	1.22×10^6	

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

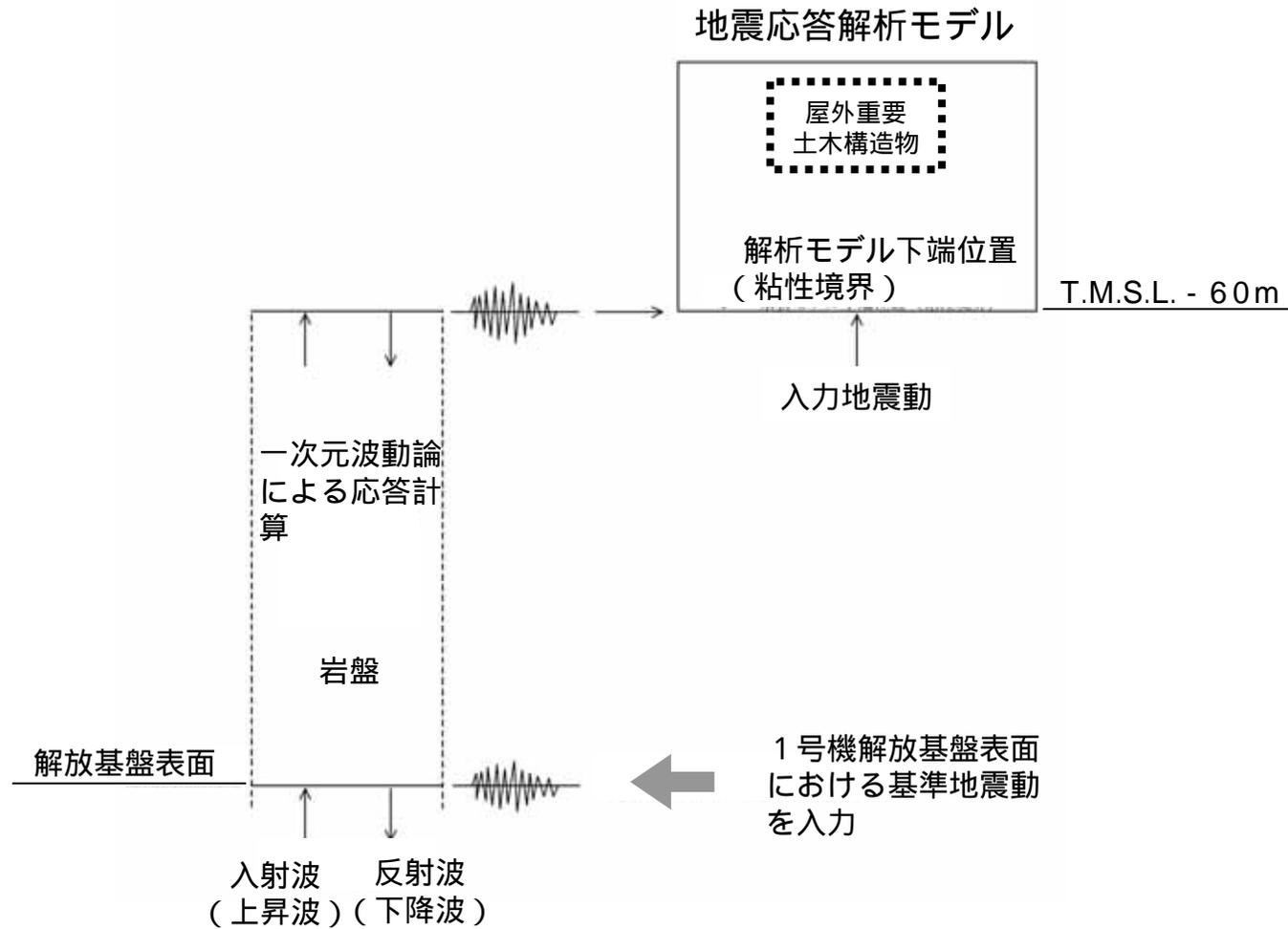
基準地震動（概要）

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

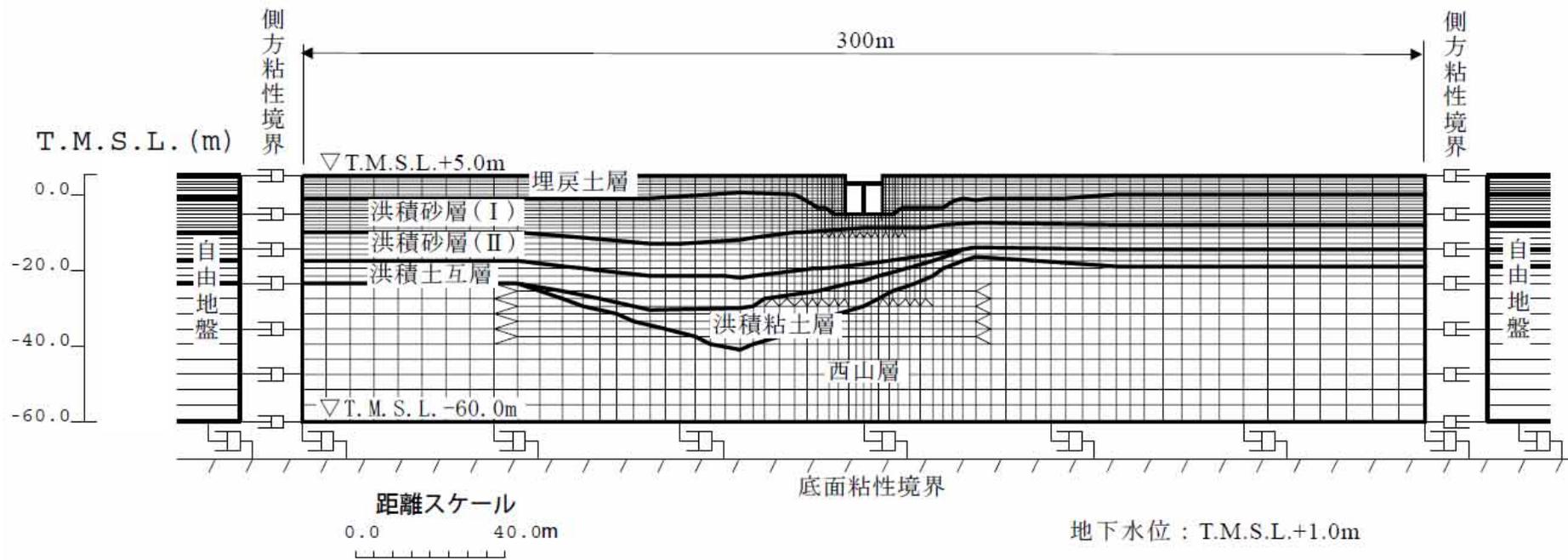
入力地震動の作成



入力地震動の作成方法の概念図

解析モデル (1)

非常用取水路

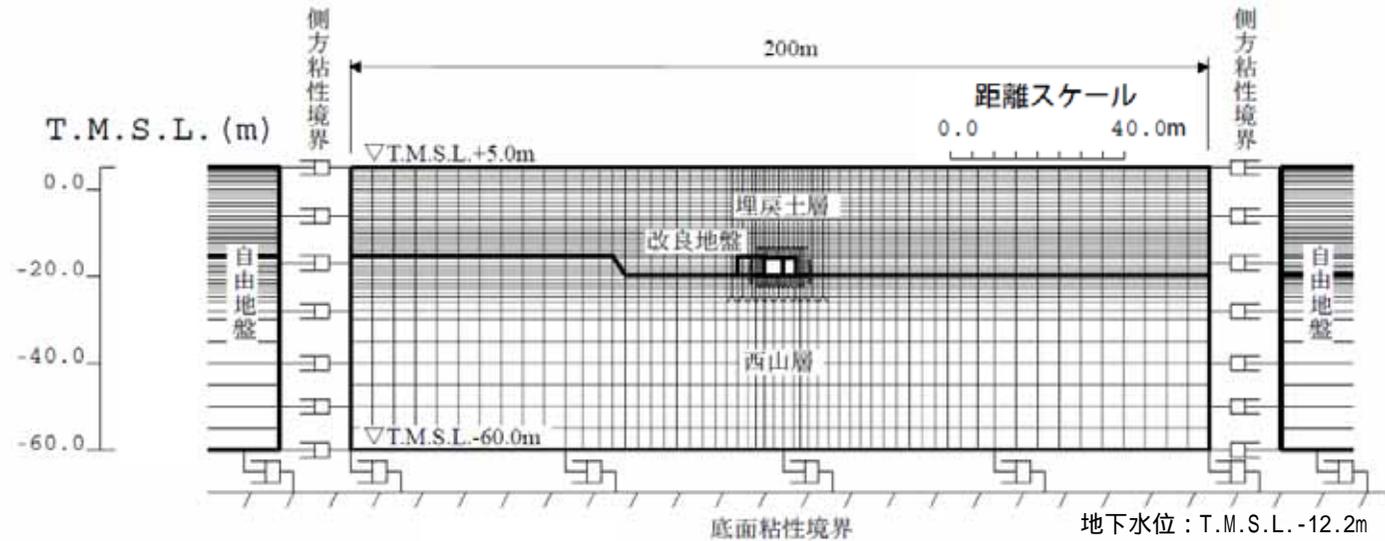


非常用取水路 地震応答解析モデル

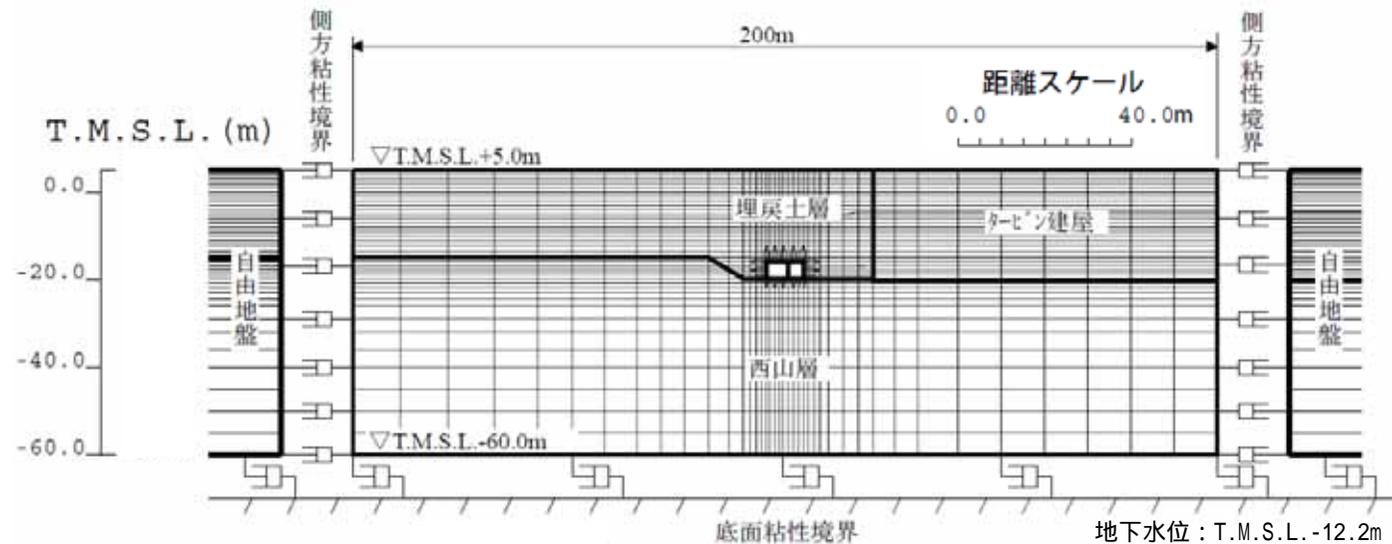
解析モデル (2)

原子炉補機冷却系配管ダクト

A系
地震応答解析モデル



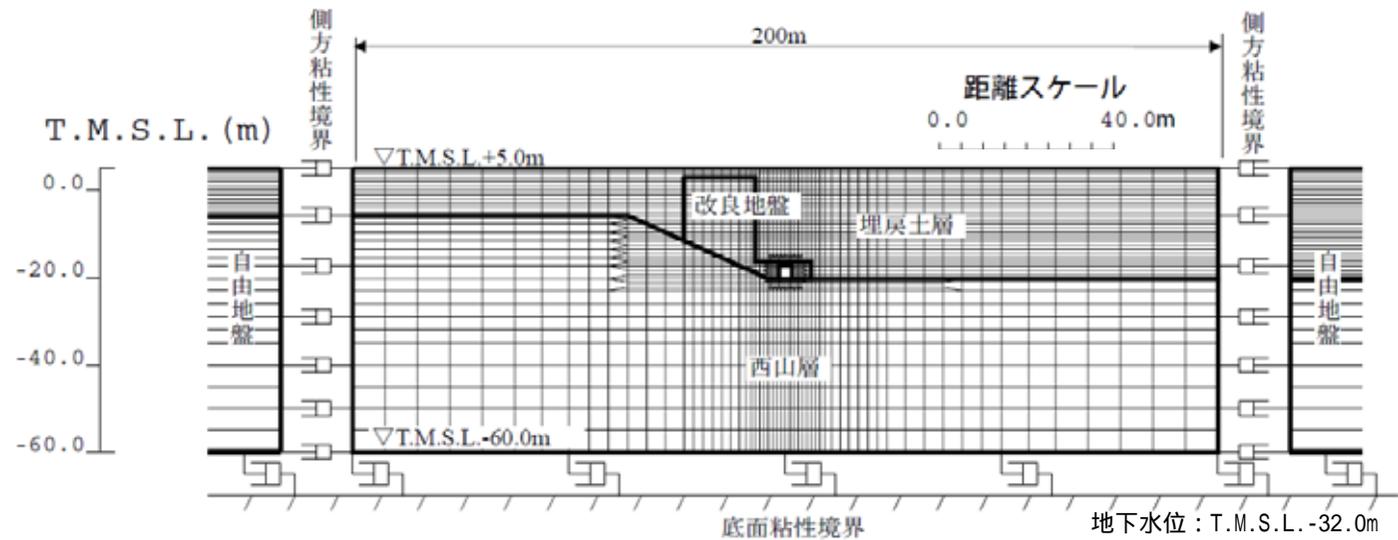
B系
地震応答解析モデル



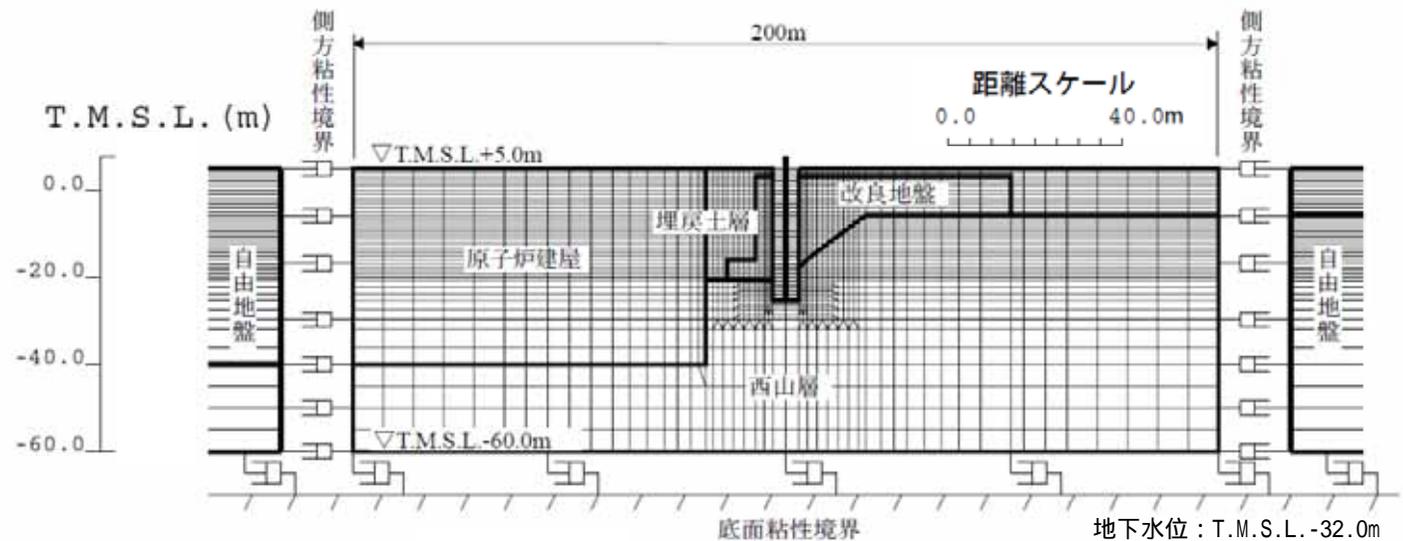
解析モデル (3)

非常用ガス処理系配管ダクト

水平部
地震応答解析モデル

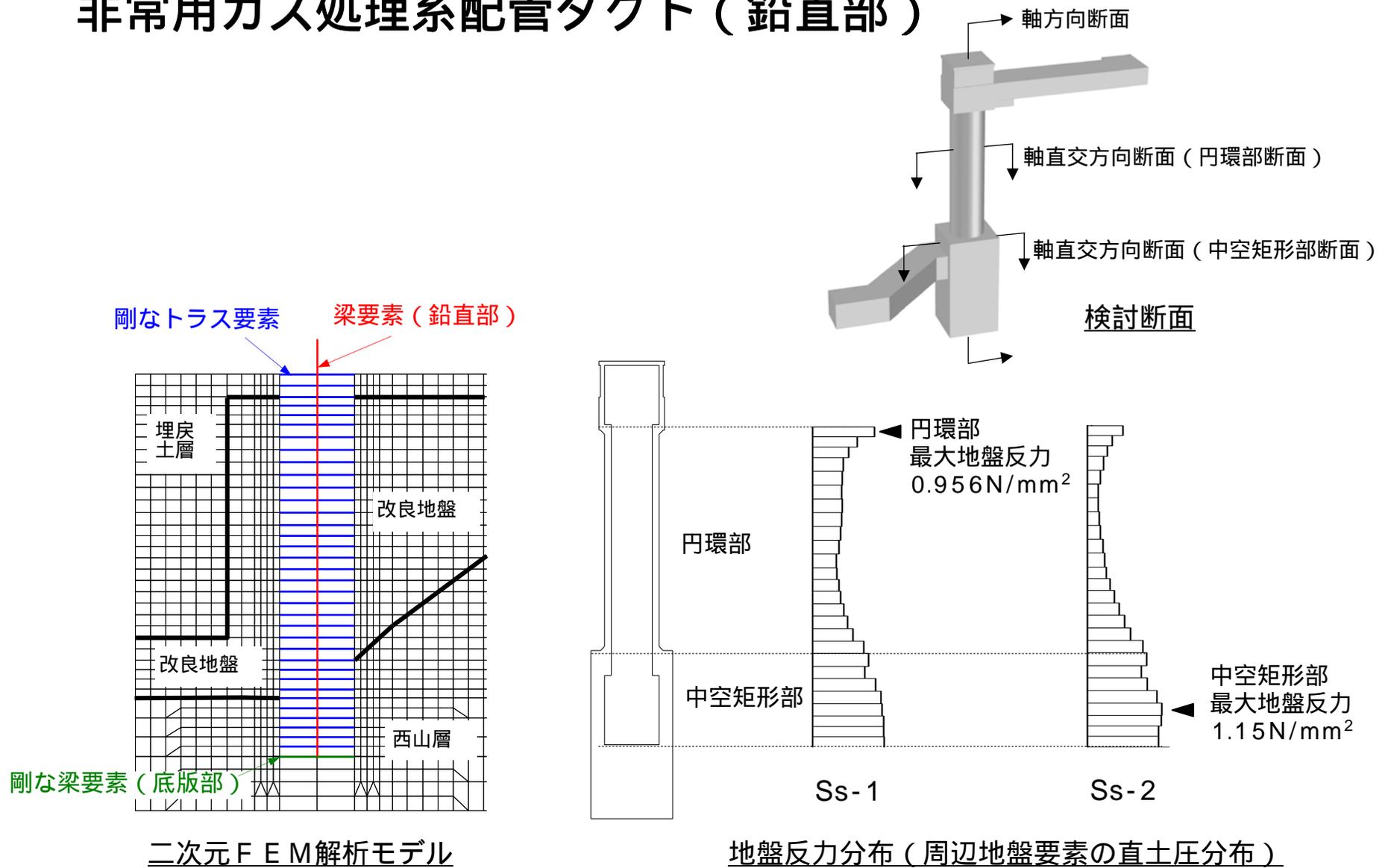


鉛直部
地震応答解析モデル



解析モデル (4)

非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)



解析モデル (5)

非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)

軸直交方向断面の
断面計算モデル

	円環部断面	中空矩形部断面
部材非線形	<p>地震時増分土圧 静止土圧 水平ローラ 地盤ばね 梁要素</p>	<p>地震時増分土圧 静止土圧 水平ローラ 静止土圧 地盤ばね 梁要素</p>
材料非線形	<p>地震時増分土圧 静止土圧 水平ローラ 地盤ばね 平面要素</p>	<p>地震時増分土圧 静止土圧 水平ローラ 静止土圧 地盤ばね 平面要素</p>

構造物周面を地盤ばね
で支持し、荷重を構造
物の節点に直接作用さ
せる。

解析結果（構造物頂底板間の最大相対変位）

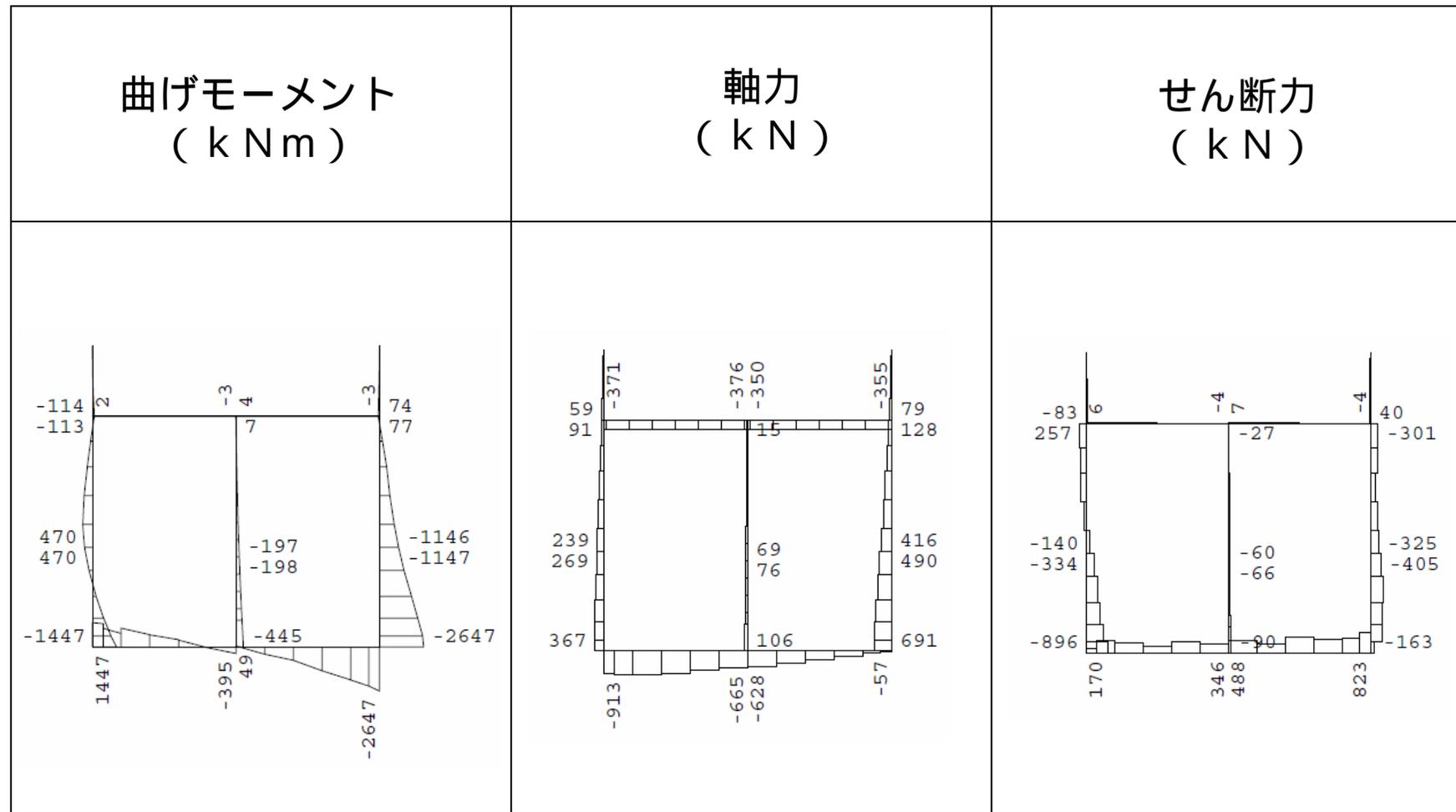
単位：mm

基準地震動	非常用取水路	原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部)
S s - 1	42.8	13.8	13.9	2.4	36.1
S s - 2	13.2	6.3	8.4	1.2	38.7
S s - 3	28.9	8.5	7.4	1.3	20.3
S s - 4	9.1	3.0	7.3	0.6	13.4
S s - 5	16.3	6.1	4.9	0.5	13.0

非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）の最大相対変位は天端 - 基部間

解析結果（断面力図）

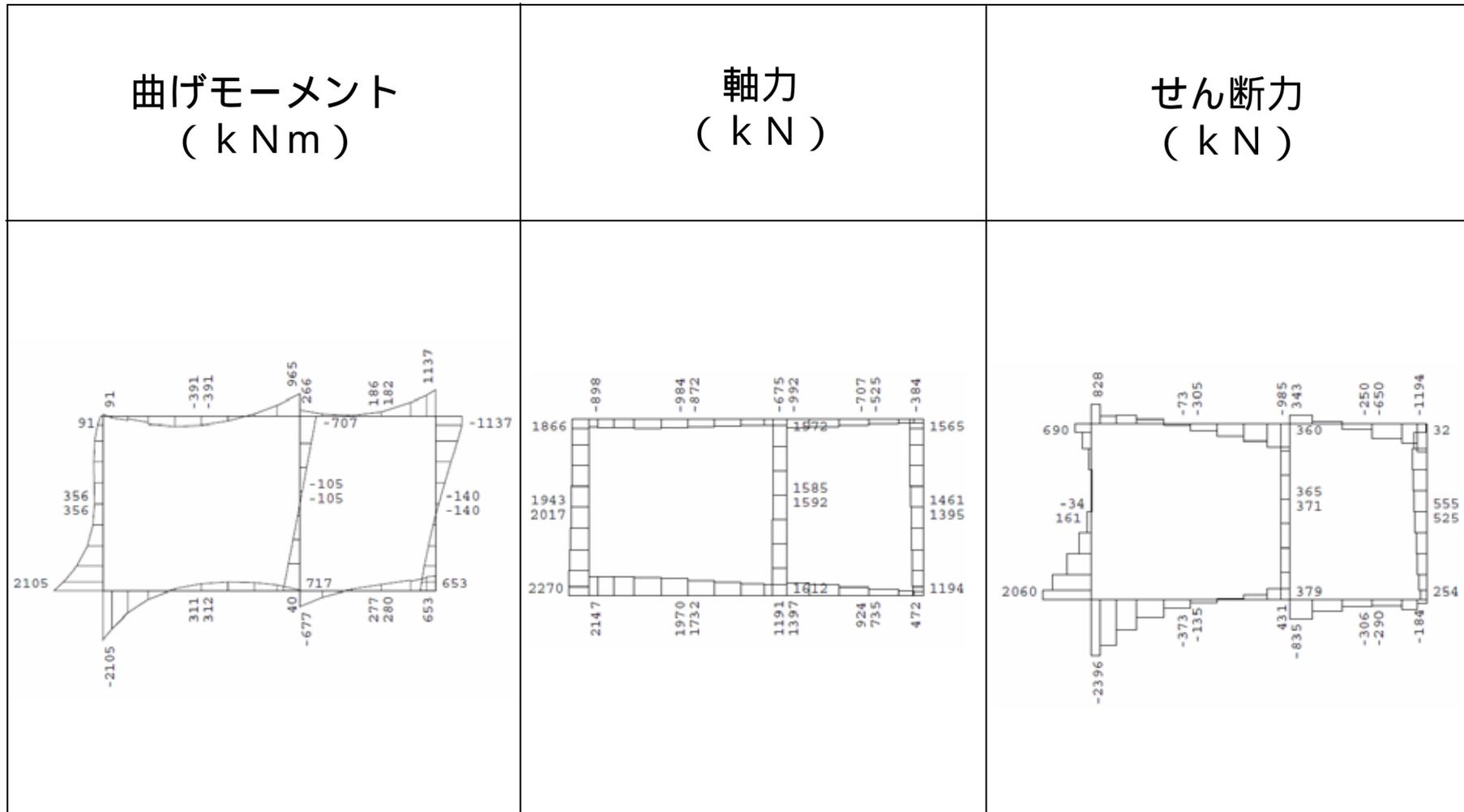
非常用取水路



断面力図（Ss-1，頂底板間最大相対変位発生時刻）

解析結果（断面力図）

原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）



断面力図（Ss-1，頂底板間最大相対変位発生時刻）

解析結果（断面力図）

非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）

曲げモーメント (kNm)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
<p> -7960 2539 2435 -47545 -48633 -121110 </p>	<p> -183 -368 -387 -652 -732 -1036 </p>	<p> 773 -55 -567 -14646 -15289 -12331 </p>

断面力図（Ss-2，頂底板間最大相対変位発生時刻）

照査結果（１）

層間変形角または曲率による照査結果

	評価位置	照査用応答値	評価基準値	照査用応答値 /評価基準値
非常用取水路 1	頂版～底版	0.642/100	1/100	0.64
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系） 2	頂版～底版	0.430/100	1/100	0.43
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系） 2	頂版～底版	0.428/100	1/100	0.43
非常用ガス処理系 配管ダクト（水平部） 2	頂版～底版	0.0964/100	1/100	0.096
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸直交方向断面 3	円環部	0.00421	0.0991	0.042
	中空矩形部	0.00235	0.0299	0.079
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸方向断面 3	円環部	0.000102	0.00872	0.012
	中空矩形部	0.000153	0.0150	0.010

1：層間変形角に関する照査（評価基準値：限界層間変形角1/100）

非常用取水路のストラットについては、1本当りの最大軸方向圧縮力に対して耐震安全性を確認

（照査用応答値2748kN/評価基準値4255kN=0.65）

2：層間変形角に関する照査（評価基準値：限界層間変形角1/100）

3：曲率に関する照査（評価基準値：圧縮縁コンクリートひずみ1.0%に対応する曲率(1/m)）

照査結果（２）

せん断力による照査結果

	評価位置	照査用応答値 (kN)	評価基準値 (kN)	照査用応答値 /評価基準値
非常用取水路	底版	343	454 ²	0.76
	側壁	937	1862 ²	0.50
	隔壁	89	330 ¹	0.27
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）	頂版	817	1611 ¹	0.51
	底版	1167	1855 ¹	0.63
	側壁	816	2249 ¹	0.36
	隔壁	397	648 ²	0.61
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）	頂版	991	2063 ¹	0.48
	底版	689	1805 ¹	0.38
	側壁	1019	2107 ¹	0.48
	隔壁	371	568 ²	0.65

- 1 せん断耐力評価式を用いた方法
- 2 材料非線形解析を用いた方法

照査結果（3）

せん断力による照査結果

	評価位置	照査用応答値 (kN)	評価基準値 (kN)	照査用応答値 /評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト（水平部）	頂版	243	425 ¹	0.57
	底版	505	1347 ¹	0.37
	側壁	263	339 ¹	0.78
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸直交方向断面	円環部	2007	4458 ²	0.45
	中空矩形部	3617	7400 ²	0.49
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸方向断面	円環部	8909	21432 ²	0.42
	中空矩形部	16051	21900 ¹	0.73

- 1 せん断耐力評価式を用いた方法
- 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

層間変形角または曲率による照査の結果、評価位置において照査用応答値が評価基準値（限界層間変形角または限界曲率）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応答値が評価基準値（せん断耐力）を下回ることを確認した。

以上より、層間変形角または曲率、せん断とも評価基準値を満足することから、屋外重要土木構造物の要求機能（取水機能、配管支持機能）は確保されているものと評価した。

本日も報告する内容

1 号機屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

- 1 . 屋外重要土木構造物の概要
- 2 . 耐震安全性評価

(参考) 非常用取水路の軸方向に対する検討

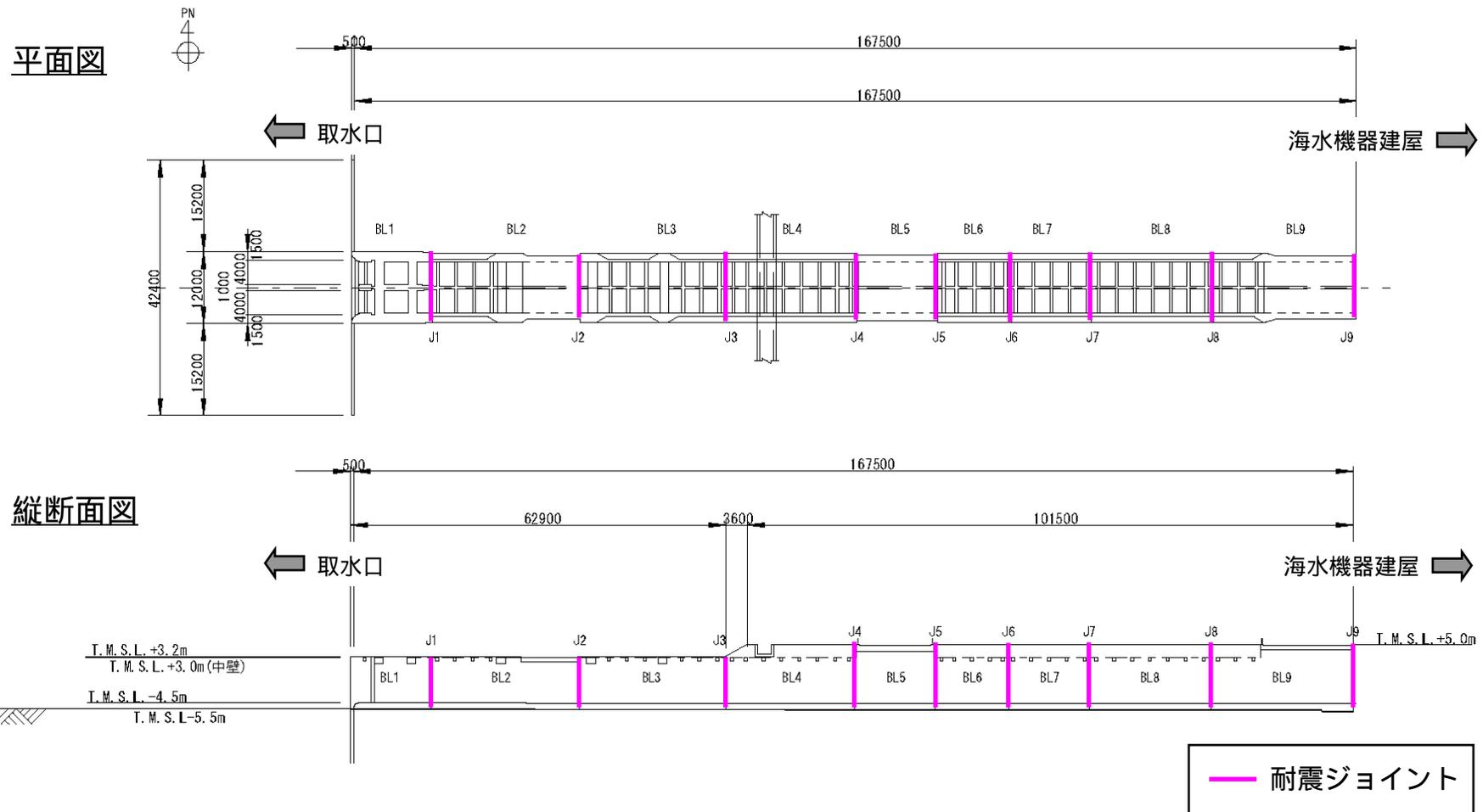
検討方針

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。

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。

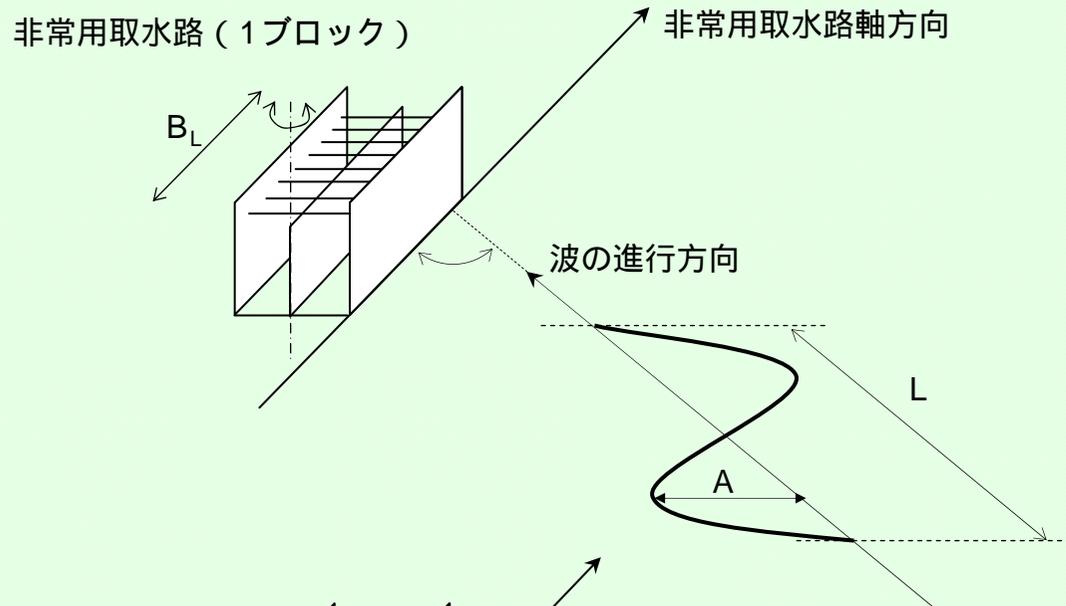
ブロック分割

非常用取水路は、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、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（最大ブロック長：約25m）、その間に耐震ジョイントを設置している。

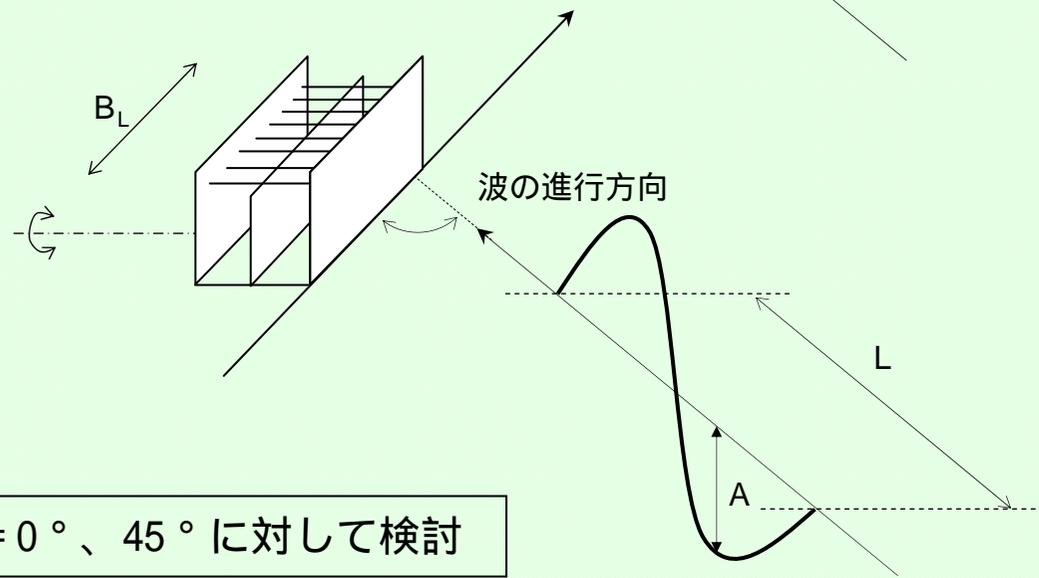


応力度評価方法 (1)

水平方向変位に関する検討

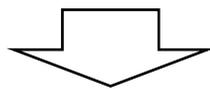
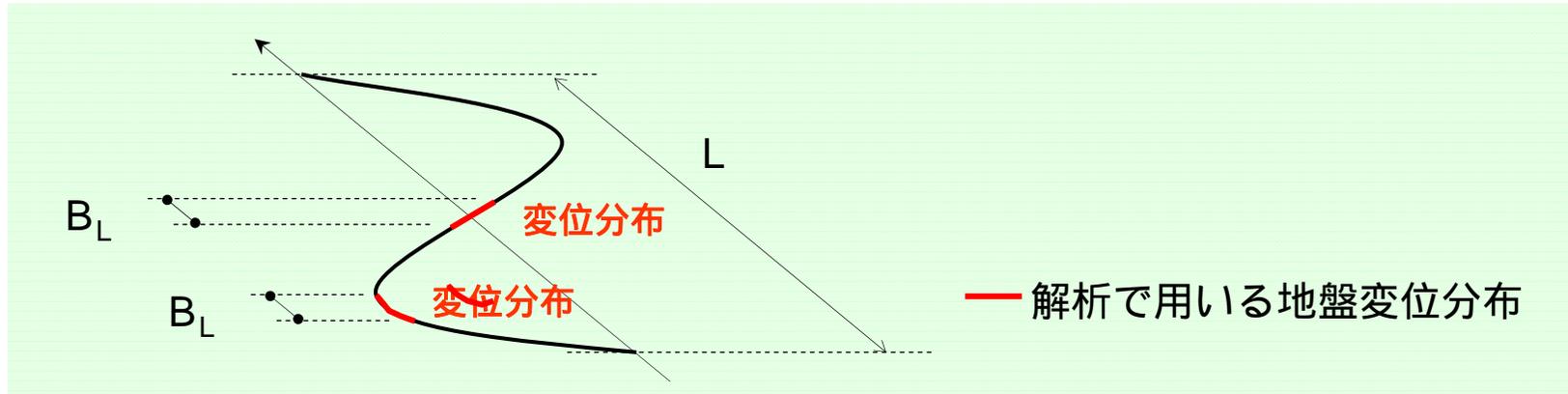


鉛直方向変位に関する検討

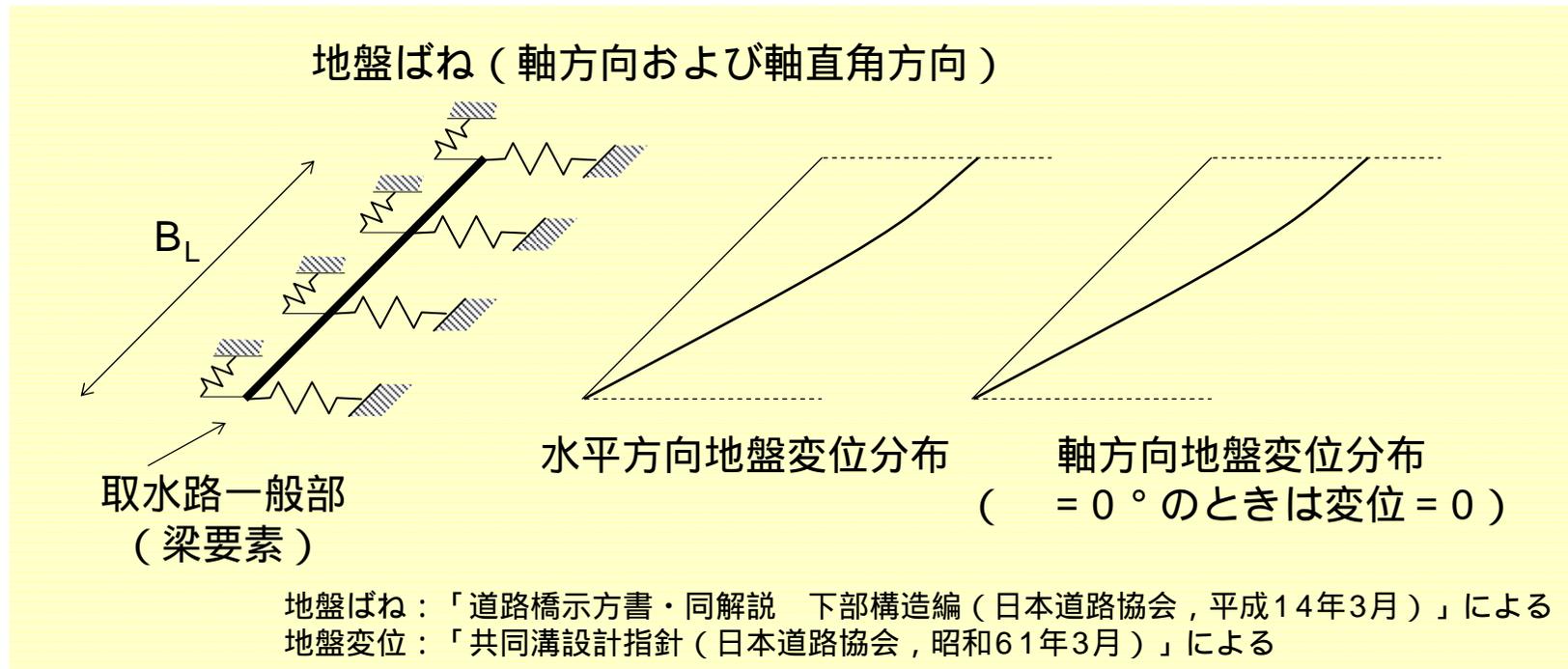


= 0°、45° に対して検討

応力度評価方法 (2)

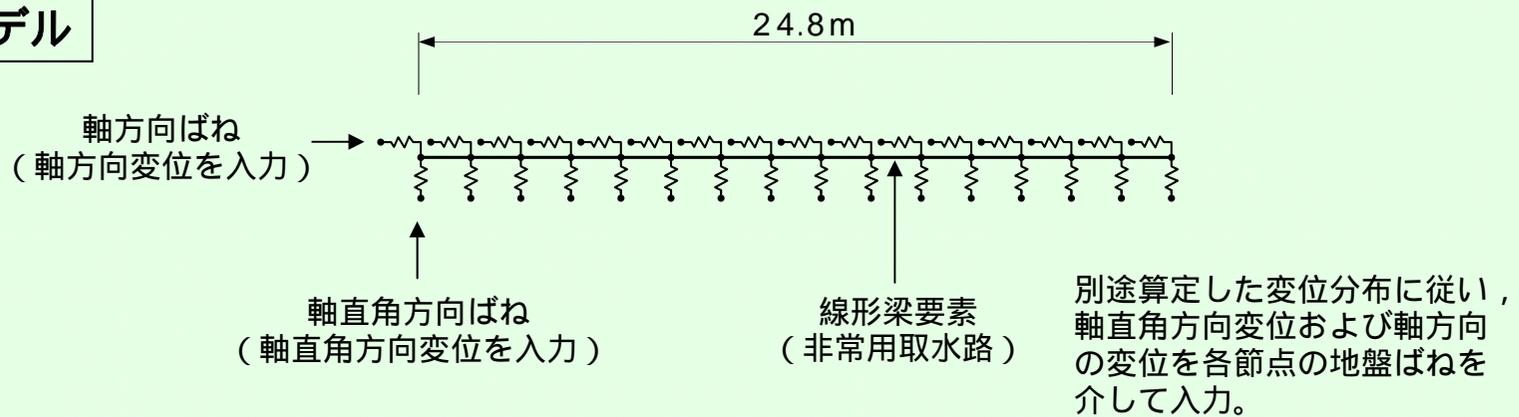


梁要素と地盤ばねからなる取水路 1ブロックの解析モデルに、静的に地盤変位分布を与えて断面力を算出し、応力度を照査



応力度評価方法 (3)

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	4.37×10^4	6.32×10^4
	鉛直変位 入力モデル	4.37×10^4	5.34×10^4
Ss-3	水平変位 入力モデル	6.40×10^4	9.44×10^4
	鉛直変位 入力モデル	6.40×10^4	7.64×10^4

応力度評価結果

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		0.15	0.10
			0.0028	0.0041
	45		0.055	0.038
			0.42	0.0011
鉛直方向 変位	0		0.084	0.0077
			0.0015	0.00032
	45		0.030	0.0028
			0.12	0.000080

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)

軸方向に発生する応力はコンクリート引張強度を下回っており、発生せん断力もせん断耐力を下回っていることを確認。

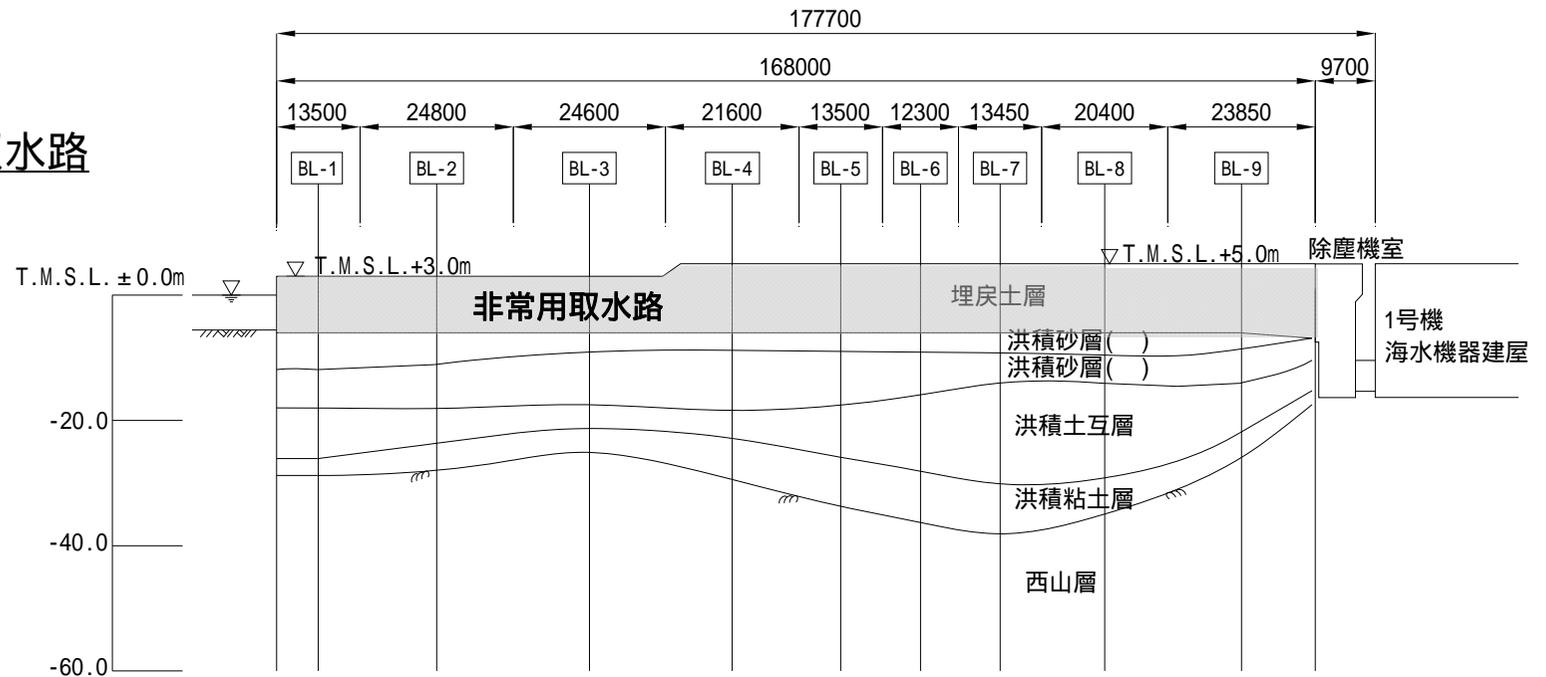
ブロック間相対変位量評価方法（1）

検討方針

非常用取水路のブロック間相対変位について，軸直交方向は地盤の非線形性を考慮した一次元地震応答解析，軸方向は地盤の非線形性やブロック相互の干渉の影響を考慮して二次元地震応答解析によって検討する。

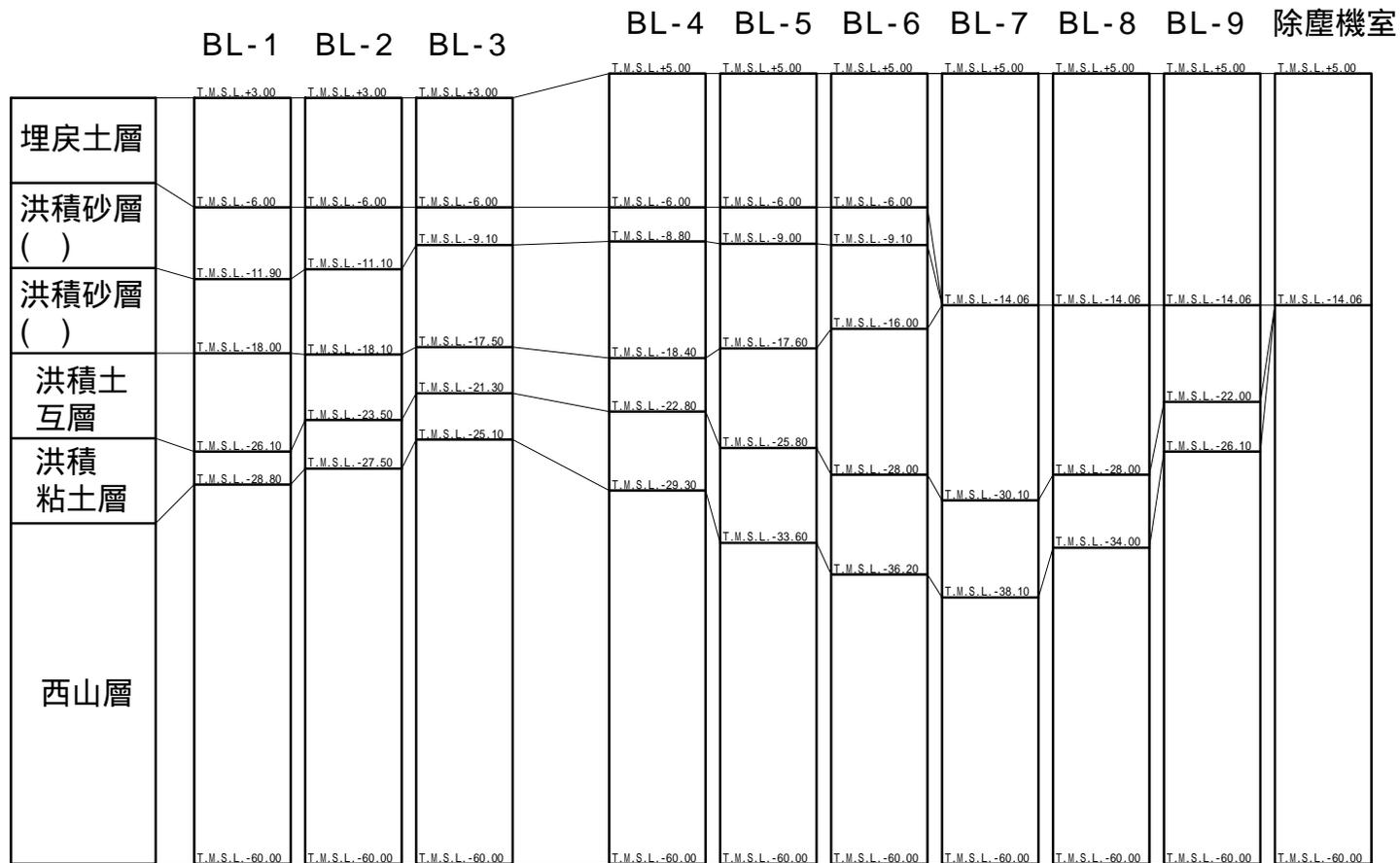
ブロック間の相対変位量は，一次元地震応答解析結果から，各ブロックの構造物設置レベル（T.M.S.L.-6.0m）の変位時刻歴によってブロック間の軸直交方向の相対変位量を，また，二次元地震応答解析結果から，各ブロック間のジョイント要素の変位量によってブロック間の軸方向の相対変位量をそれぞれ算出し，ブロック間に発生する相対変位が取水機能に影響を及ぼさないことを確認する。

1号機非常用取水路
地質縦断面図



ブロック間相対変位量評価方法（２）

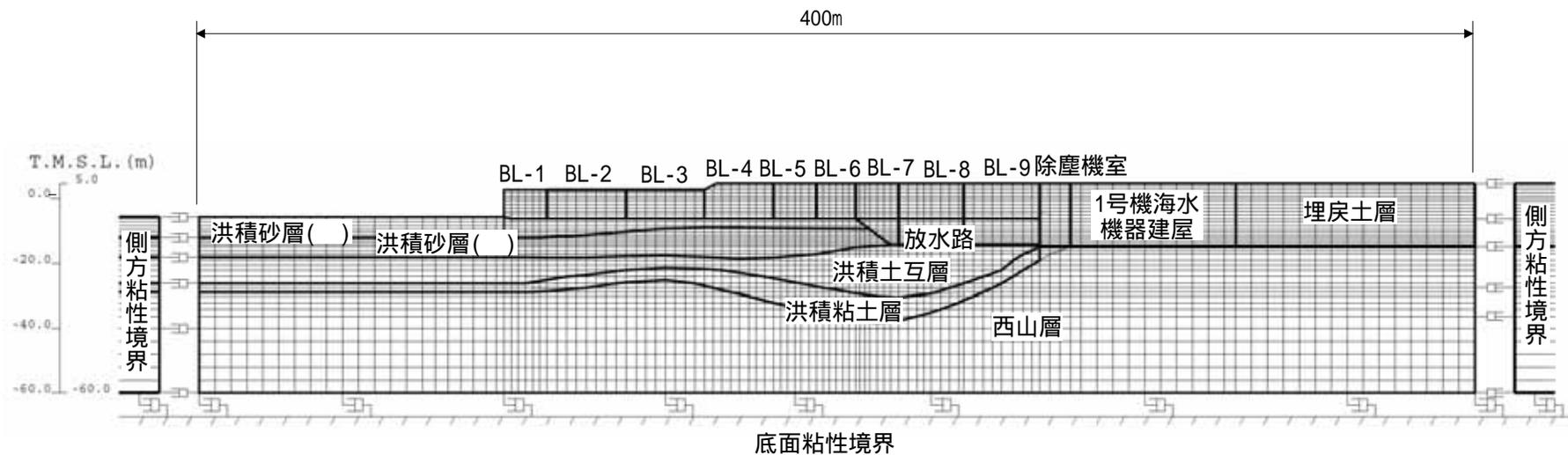
軸直交方向の検討（一次元地震応答解析）



一次元地震応答解析では、非常用取水路の各ブロック区間の中央位置において、地盤をモデル化する。

ブロック間相対変位量評価方法（3）

軸方向の検討（二次元地震応答解析）



二次元地震応答解析では、非常用取水路を等価な剛性の平面要素でモデル化し、構造物と地盤との境界、および隣接するブロックとの境界に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や各ブロック間の相対変位を考慮する。

ブロック間相対変位量評価結果

ブロック間最大相対変位量

単位 (mm)

区間	軸方向 最大水平 相対変位	軸直交方向の最大相対変位	
		水平方向	鉛直方向
[BL-1]-[BL-2]	0.7	52.0	0.2
[BL-2]-[BL-3]	27.6	84.0	0.3
[BL-3]-[BL-4]	27.8	200	1.0
[BL-4]-[BL-5]	57.5	129	0.8
[BL-5]-[BL-6]	88.2	70.0	0.5
[BL-6]-[BL-7]	105	77.7	0.3
[BL-7]-[BL-8]	93.1	150	0.6
[BL-8]-[BL-9]	98.4	252	0.8
[BL-9]-[除塵機室]	144	229	1.2

いずれのブロック間の最大相対変位量も、耐震ジョイントの限界性能（伸び300mm、ずれ400mm）を上回らないことを確認。