

設備小委 38-3
【設備小委 37-5-2】
【設備小委 35-6-2】
【設備小委 34-4-2】
一部追記・修正

5号機の耐震安全性評価について (屋外重要土木構造物)

平成22年5月14日



東京電力

■ 本日は報告する内容

5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

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価結果の概要

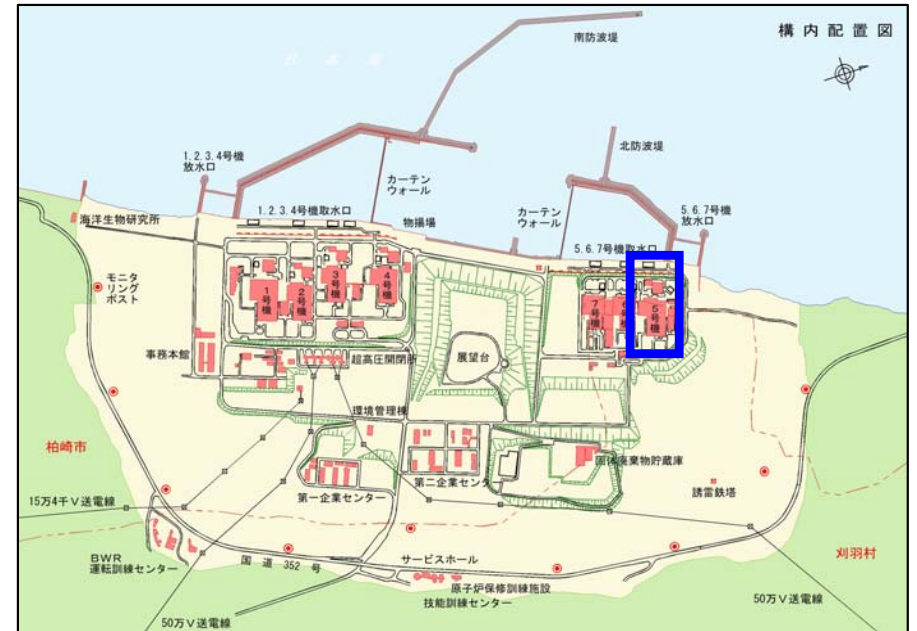
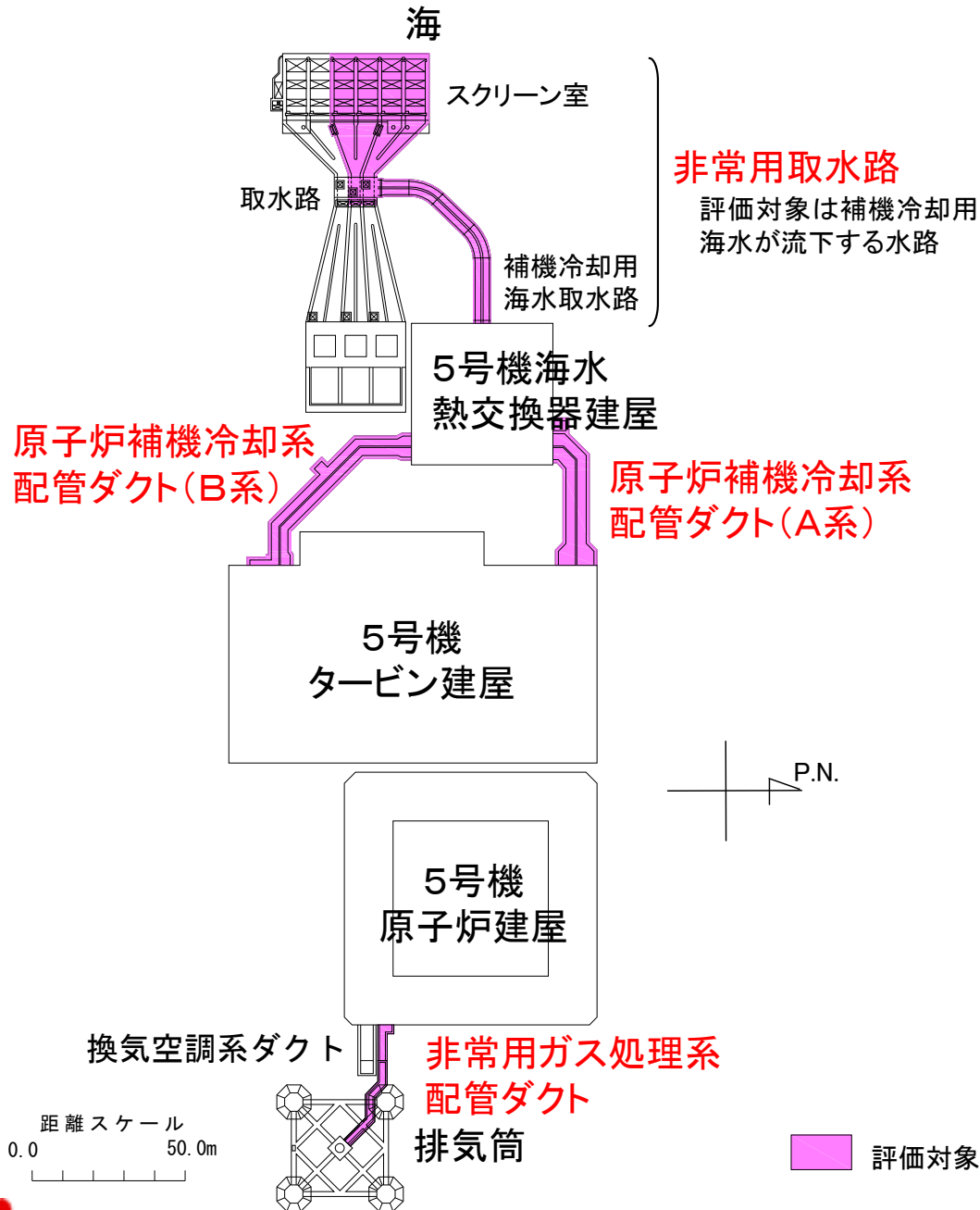
- 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価では、基準地震動 S_s による地震応答解析を行い、構造物の照査用応答値が評価基準値を下回っていることを確認する。
 - ・評価対象は、非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクト、非常用ガス処理系配管ダクトとする。
 - ・非常用ガス処理系配管ダクトについては、耐震強化工事を実施しており、耐震強化工事を反映したモデルを用いている。
- 照査の結果、構造物の照査用応答値が評価基準値を下回っていることを確認し、屋外重要土木構造物の要求機能（取水機能、配管支持機能）は確保されているものと評価した。

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価結果の概要

■先行号機（1，6，7号機）との比較

- 5号機非常用ガス処理系配管ダクトは、鋼管杭を介して西山層に支持しており、周辺の埋戻土層については、1号機と同様に、地盤改良による耐震強化工事を実施している。
- 地震応答解析では、1，6，7号機と同様に、地盤および構造物の非線形性を考慮した二次元動的有限要素法解析を実施している。
- 地震応答解析に用いる入力地震動は、6，7号機と同じ基準地震動 S_s （ $S_s-1\sim 5$ ）を用いている。
- 地震応答解析に必要な地盤および屋外重要土木構造物の諸定数は、1，6，7号機と同様に、各種調査、試験結果などをもとに設定された設計時の値を用いている。
- 曲げによる評価では、1，6，7号機と同様に、層間変形角に関する評価を基本とする。ただし、裕度が比較的小さい場合には、曲率に関する照査を行っている。

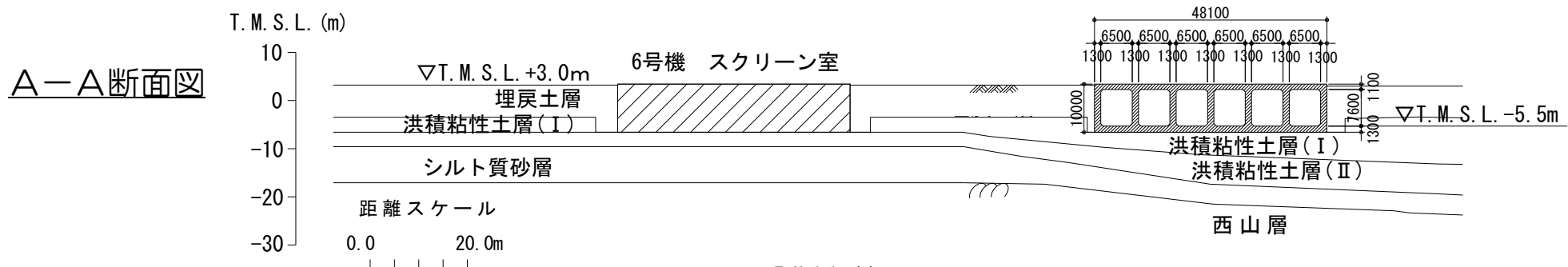
屋外重要土木構造物の概要 (1)



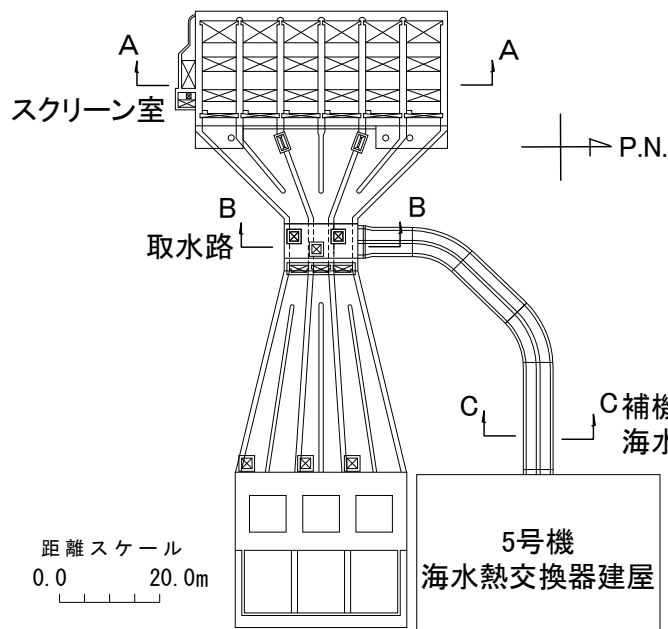
屋外重要土木構造物の概要 (2)

非常用取水路

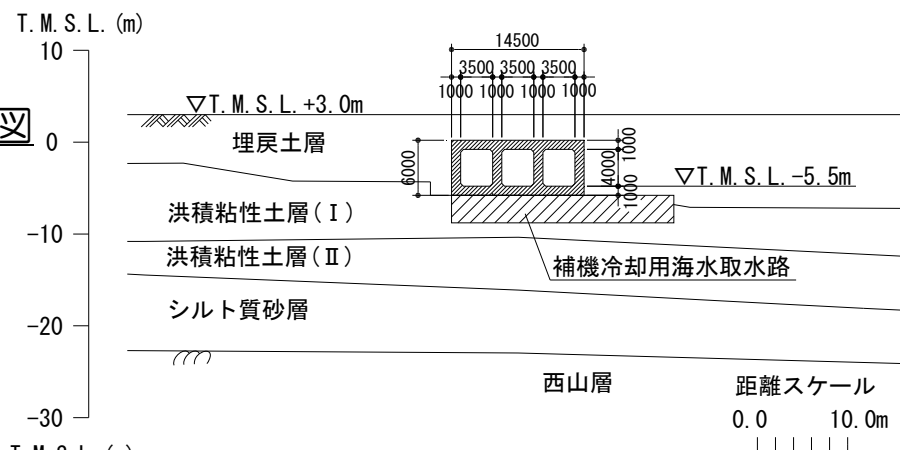
寸法単位 : mm



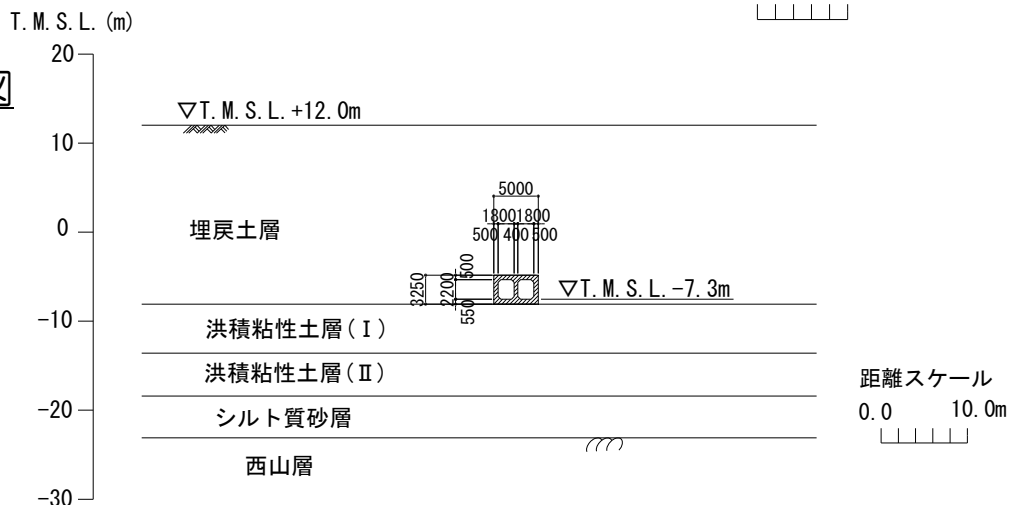
平面図



B-B断面図



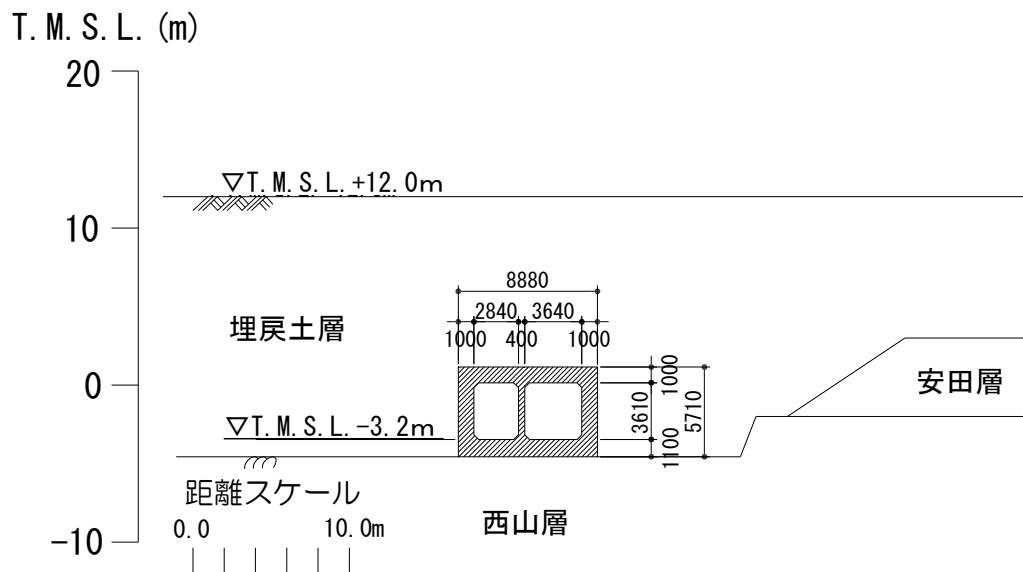
C-C断面図



屋外重要土木構造物の概要 (3)

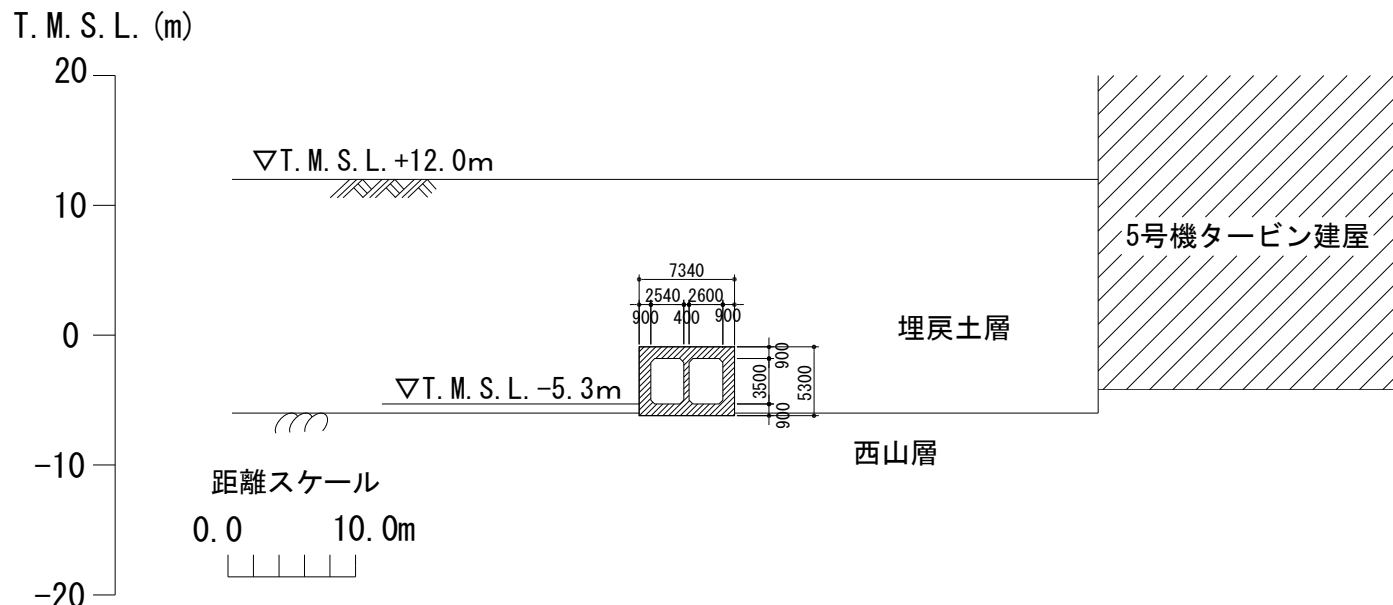
■ 原子炉補機冷却系配管ダクト

D-D断面図

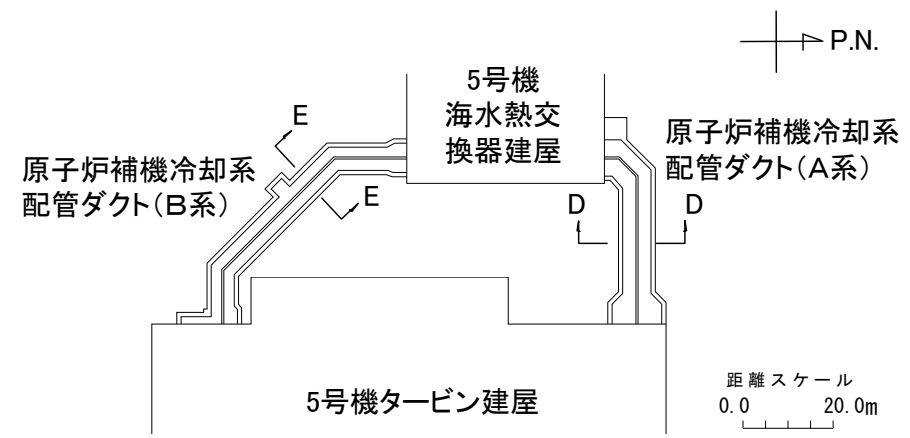


E-E断面図

寸法単位：mm



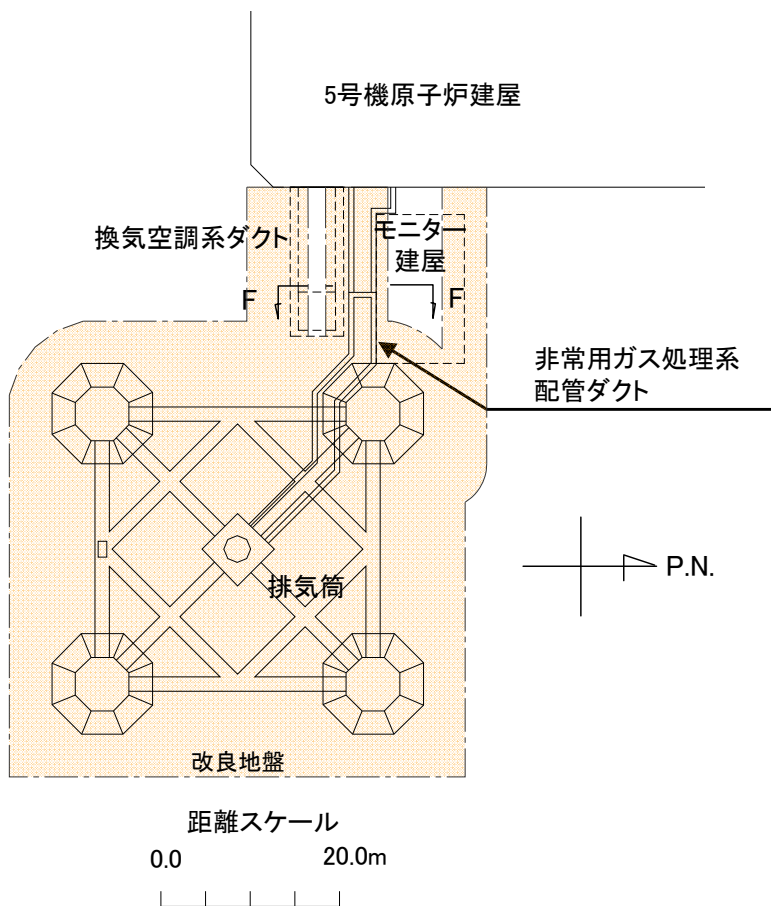
平面図



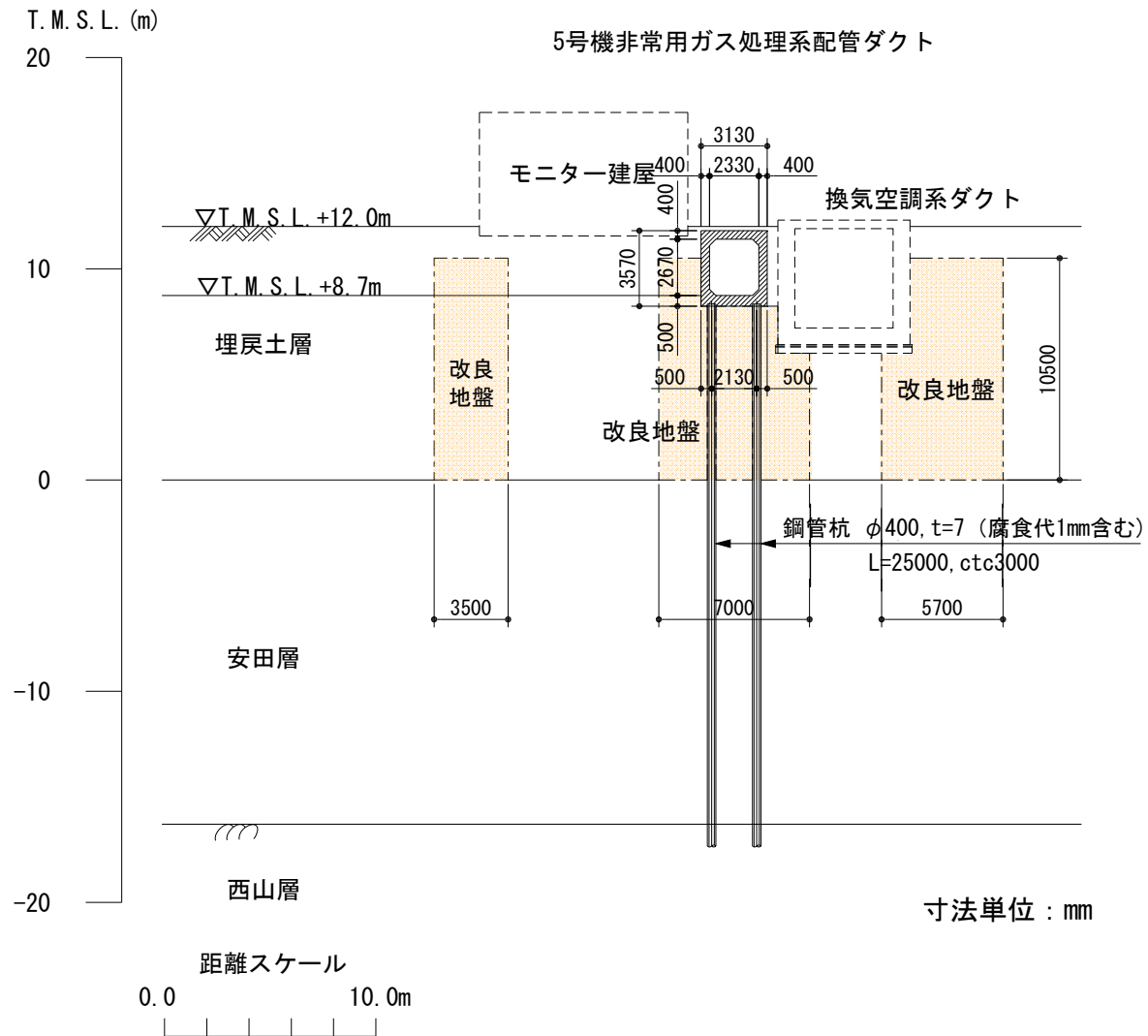
屋外重要土木構造物の概要（４）

■非常用ガス処理系配管ダクト

平面図



F-F断面図



■ 本日は報告する内容

5号機屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

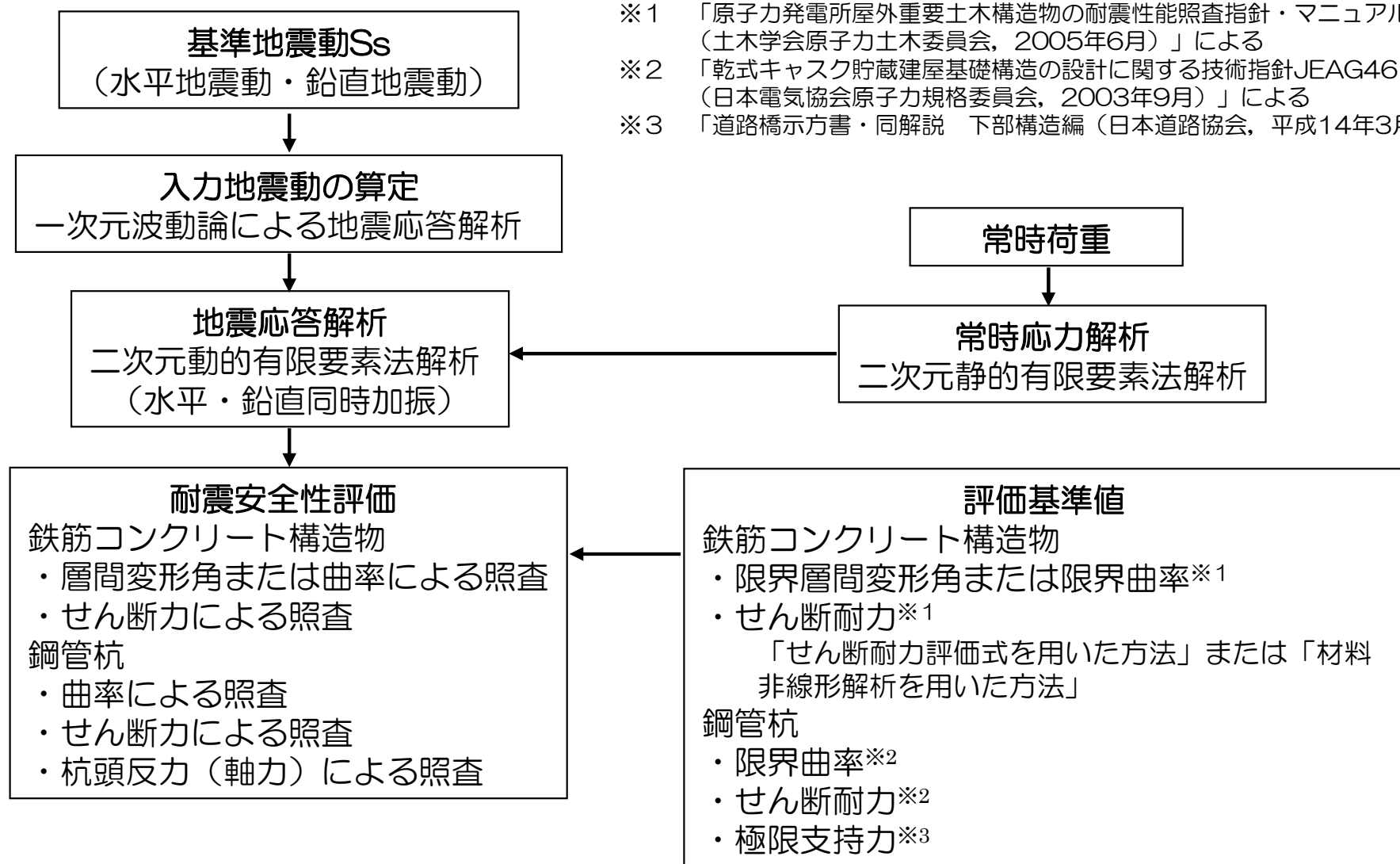
1. 屋外重要土木構造物の概要

2. 耐震安全性評価

解析条件の比較

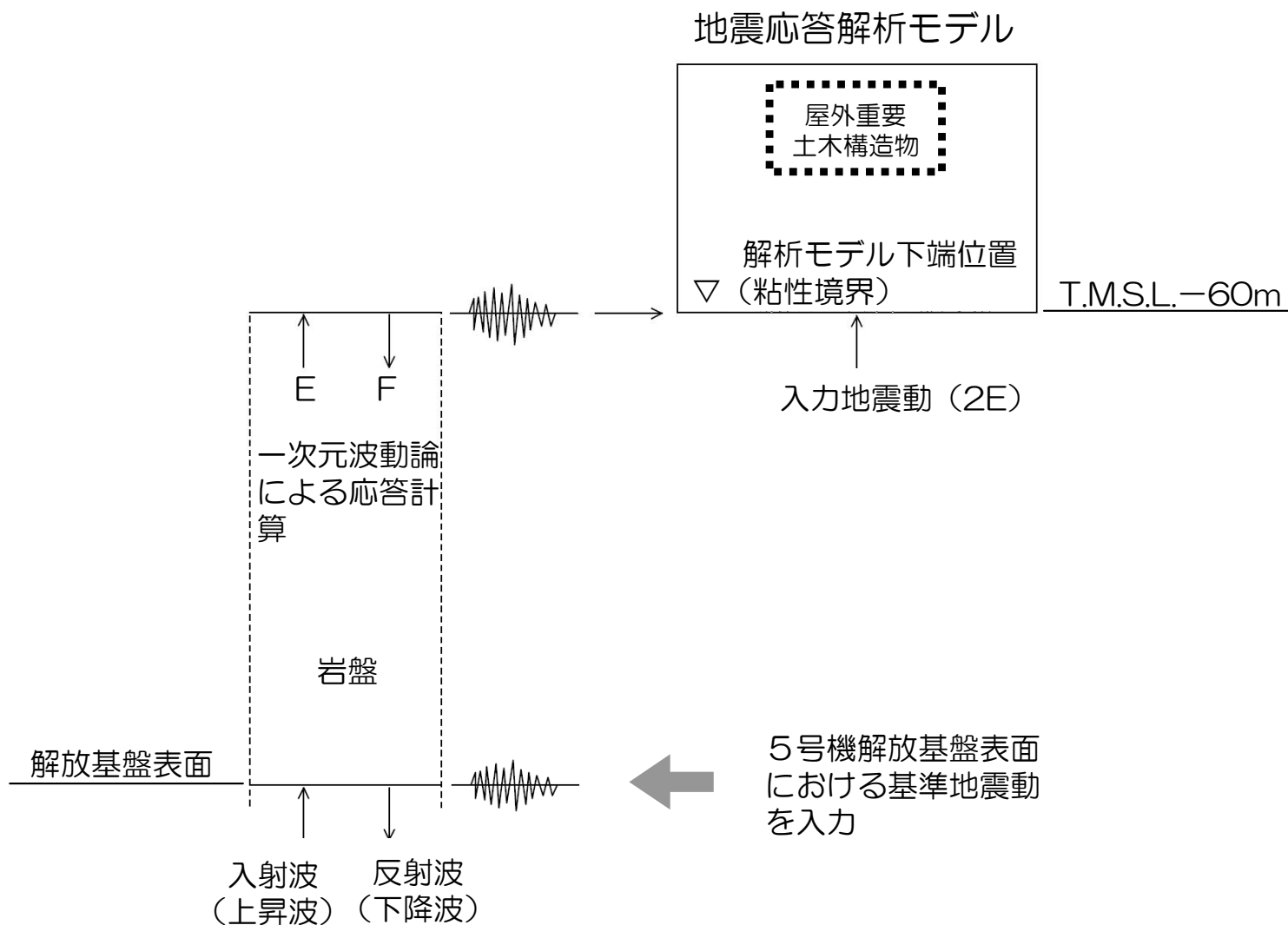
	工事認可時	健全性評価時	耐震安全性評価時
解析手法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 応答変位法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 二次元動的有限要素法解析 (水平・鉛直同時加振) 	同左
地震力	<ul style="list-style-type: none"> ・ S₁-D 300gal ・ S₂-D 450gal (GL.-146m) ・ K_v=0.16 (S₁-D用) ・ K_v=0.23 (S₂-D用) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新潟県中越沖地震 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~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



屋外重要土木構造物の評価フロー

入力地震動の作成

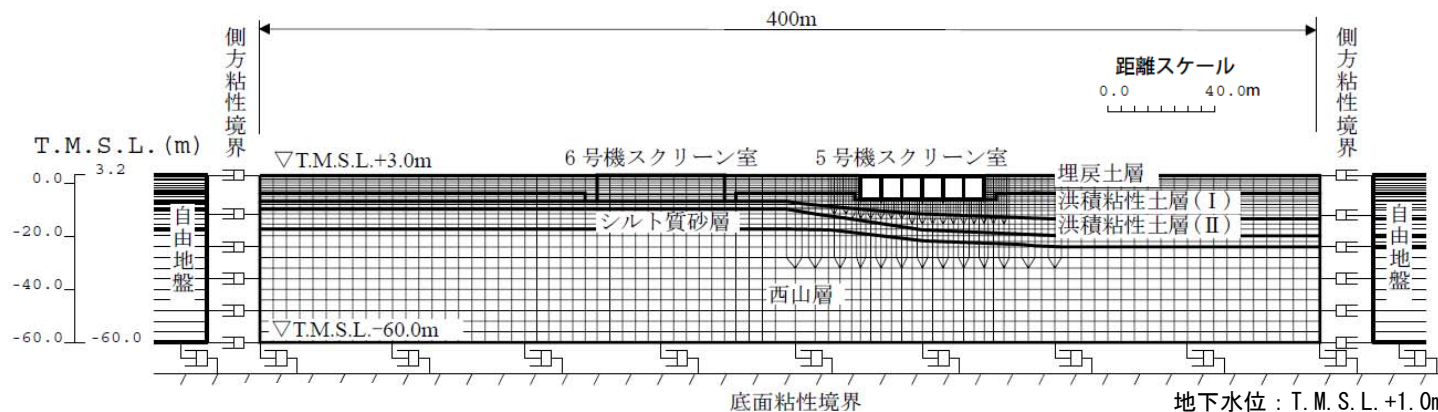


入力地震動の作成方法の概念図

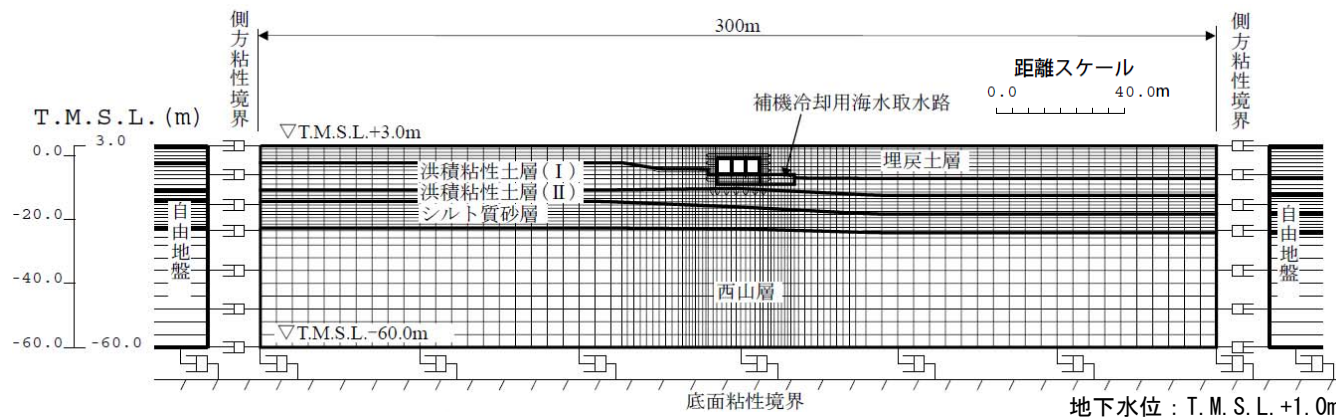
解析モデル (1)

非常用取水路

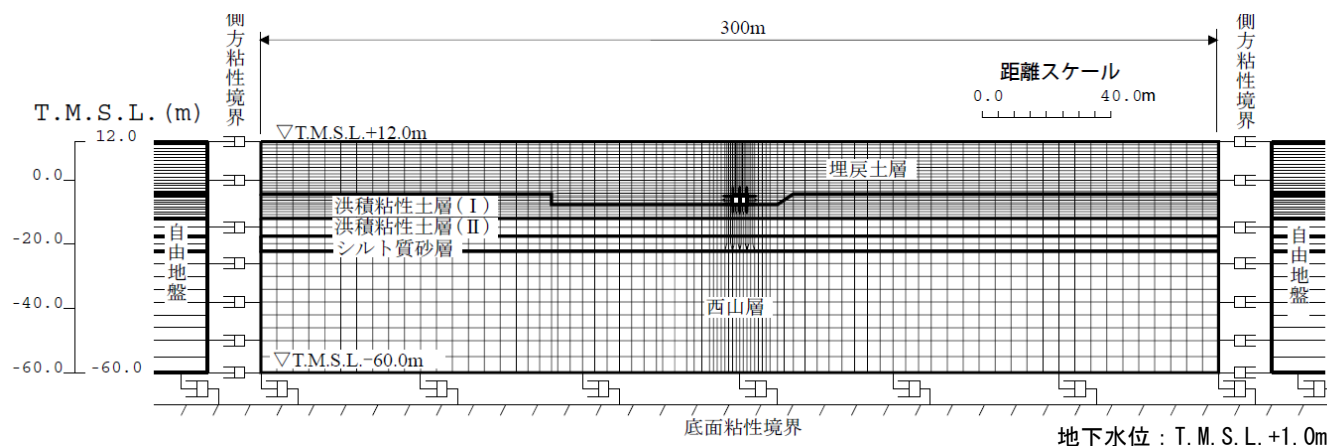
スクリーン室
地震応答解析モデル



取水路
地震応答解析モデル



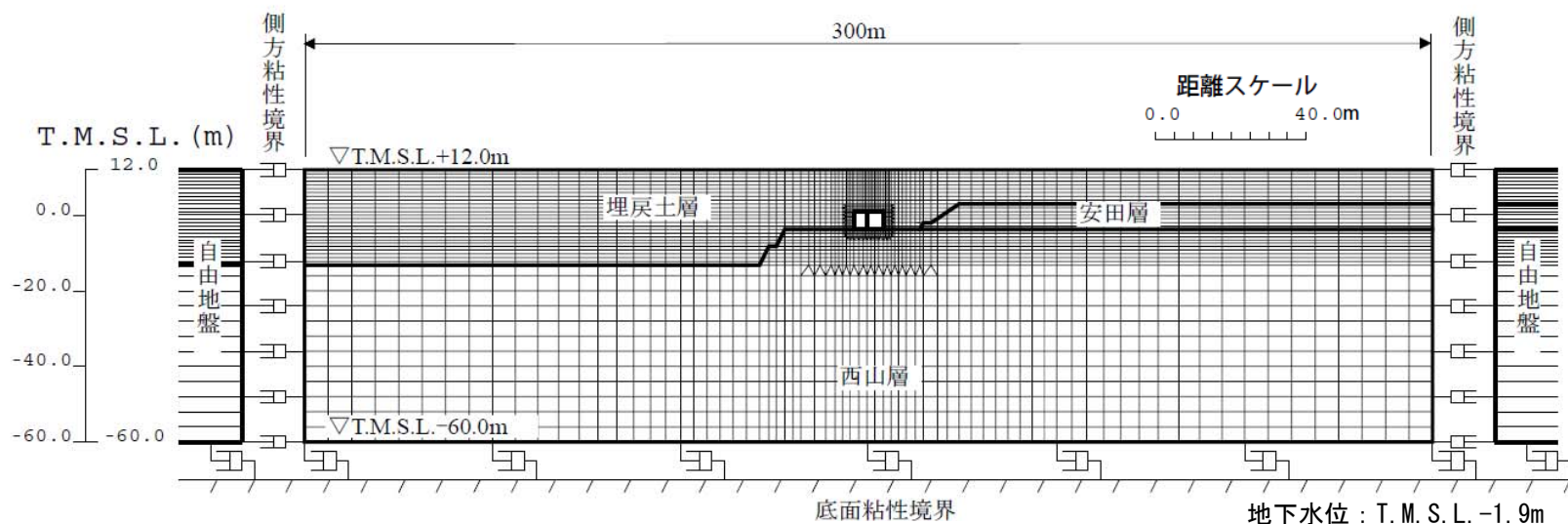
補機冷却用海水取水路
地震応答解析モデル



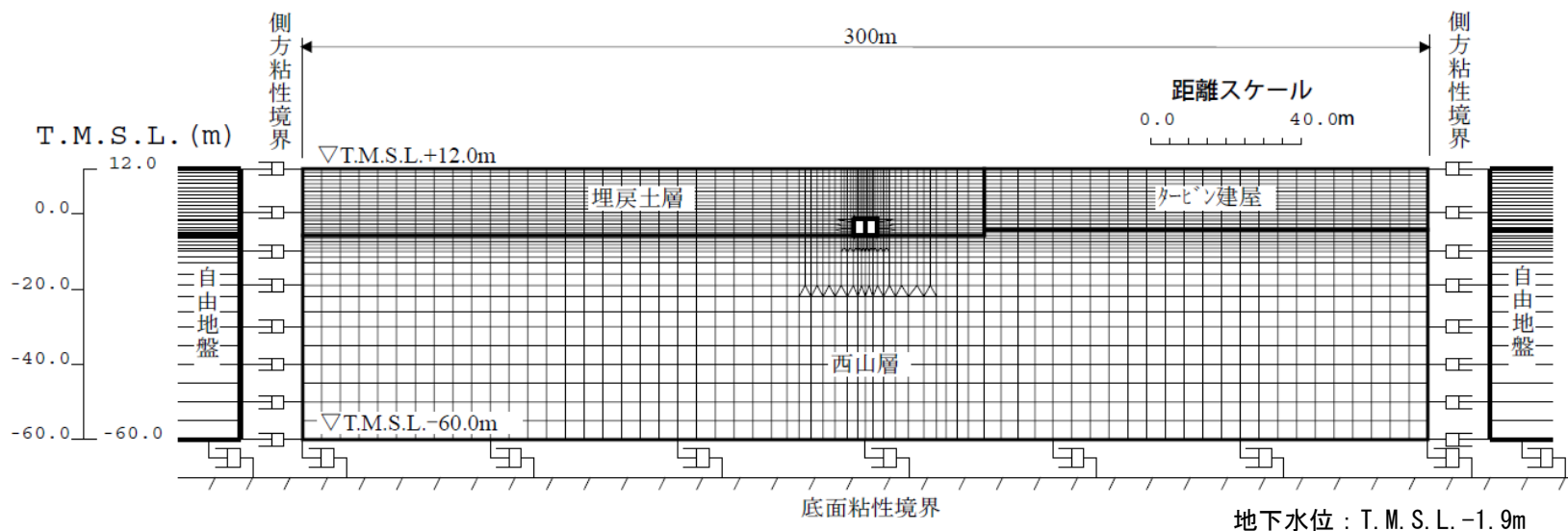
解析モデル (2)

■ 原子炉補機冷却系配管ダクト

A系
地震応答解析モデル



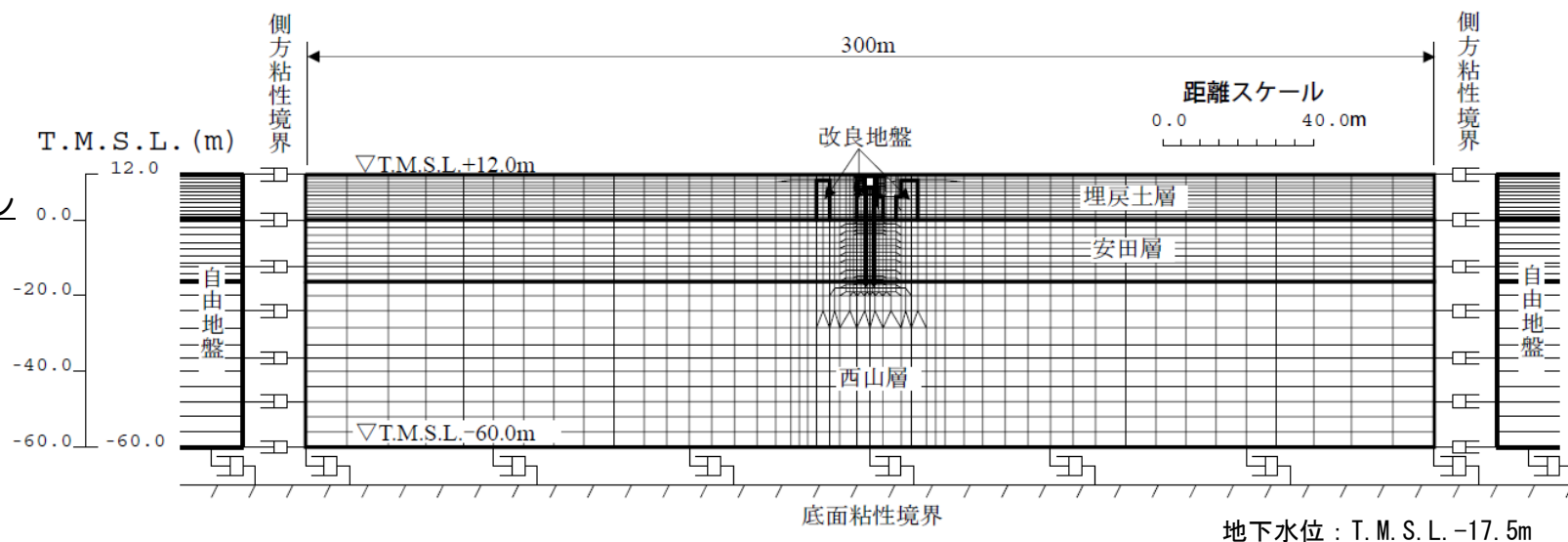
B系
地震応答解析モデル



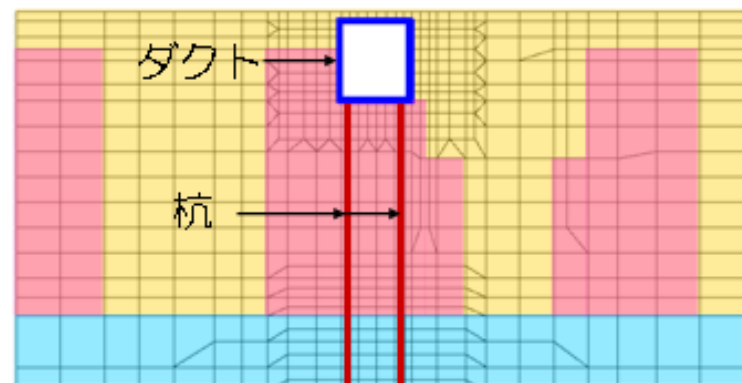
解析モデル (3)

■ 非常用ガス処理系配管ダクト

非常用ガス処理系
配管ダクト
地震応答解析モデル



(拡大図)



埋戻土層 安田層 改良地盤

解析結果（構造物頂底版間の最大相対変位）

■鉄筋コンクリート構造物

単位：mm

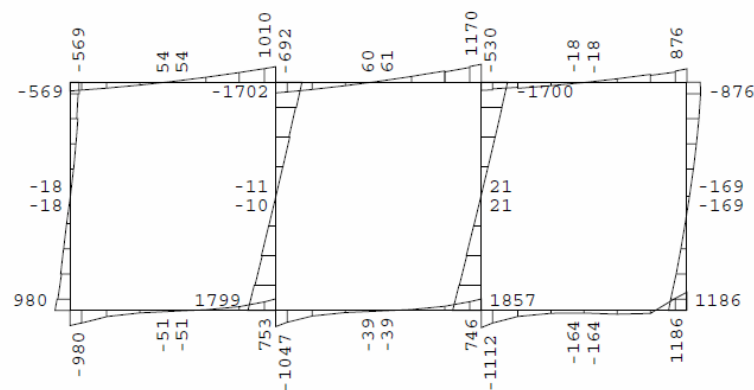
基準地震動	非常用取水路			原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）	原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）	非常用ガス処理系配管ダクト
	スクリーン室	取水路	補機冷却用海水取水路			
S _s -1	29.7	18.3	28.6	17.8	22.2	11.9
S _s -2	9.1	6.5	7.8	9.4	12.8	6.7
S _s -3	27.8	26.2	38.1	19.6	24.7	8.2
S _s -4	7.0	5.8	5.5	5.5	14.0	4.3
S _s -5	5.2	5.5	6.1	7.9	23.0	3.0

解析結果（断面力図）

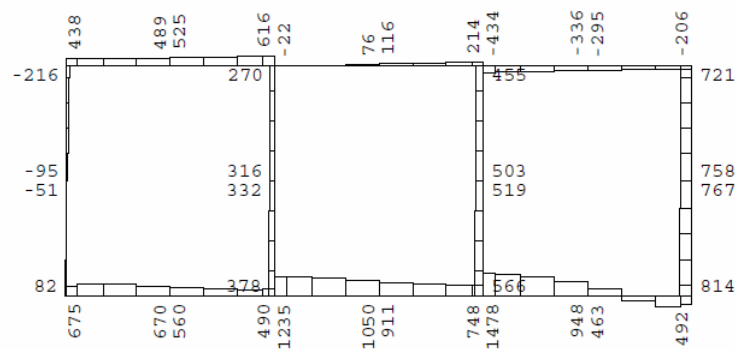
■鉄筋コンクリート構造物

- ・非常用取水路（取水路）

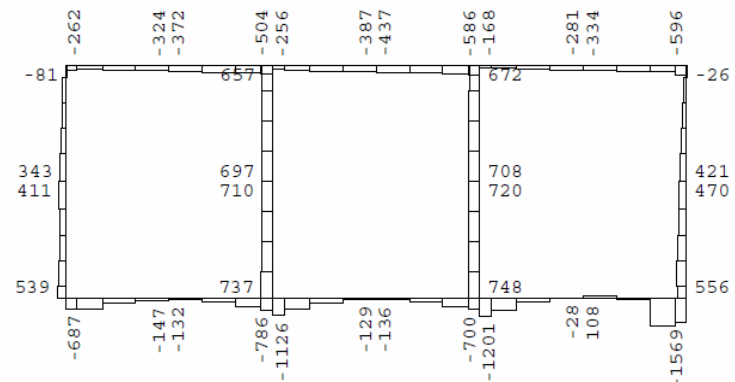
曲げモーメント
(kNm)



軸力
(kN)



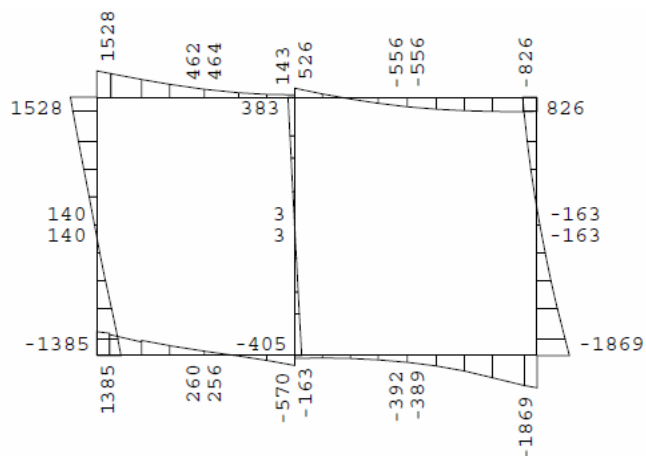
せん断力
(kN)



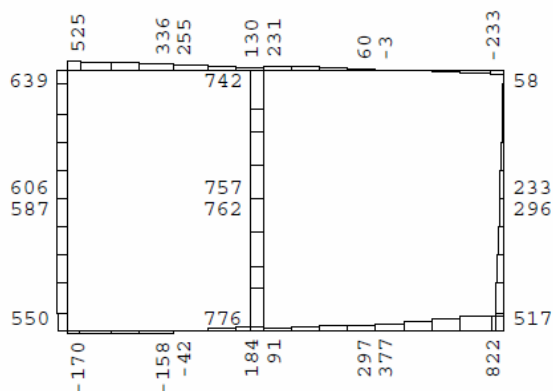
（Ss-3, 頂底版間最大相対変位発生時刻）

解析結果（断面力図）

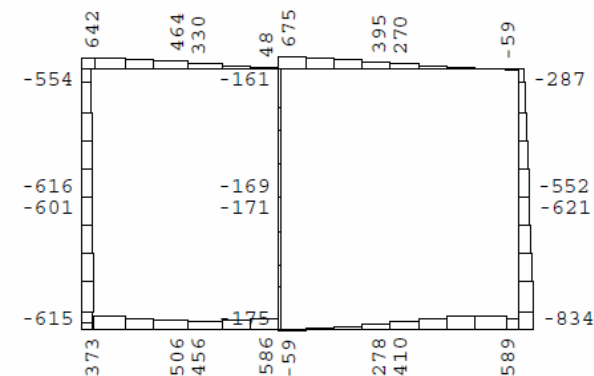
■ 鉄筋コンクリート構造物 ・ 原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）



曲げモーメント
(kNm)



軸力
(kN)

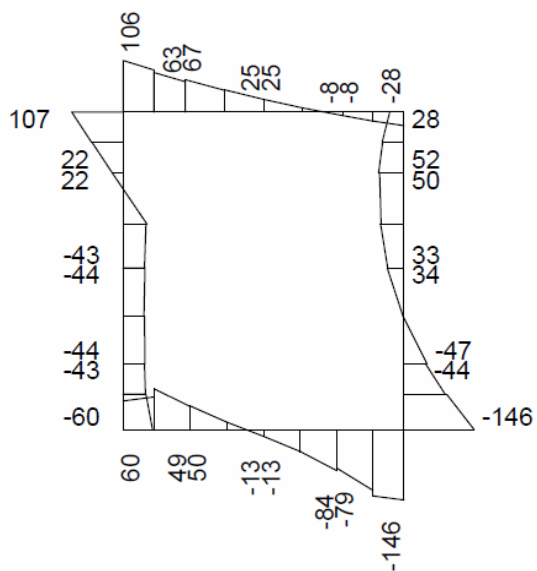


せん断力
(kN)

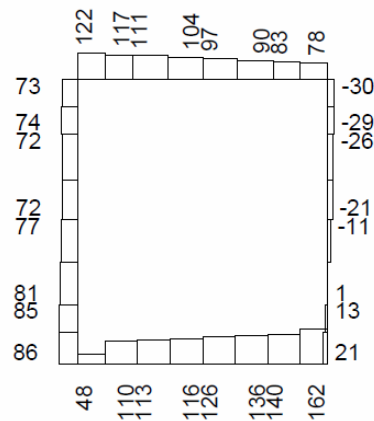
（Ss-3, 頂底版間最大相対変位発生時刻）

解析結果（断面力図）

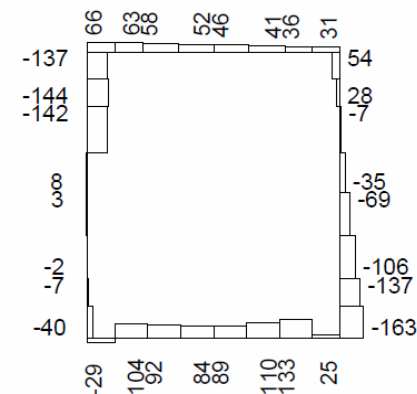
- 鉄筋コンクリート構造物
 - ・ 非常用ガス処理系配管ダクト



曲げモーメント
(kNm)



軸力
(kN)



せん断力
(kN)

(Ss-1, 頂底板間最大相対変位発生時刻)

解析結果（最大断面力）

■ 鋼管杭

- ・ 非常用ガス処理系配管ダクト

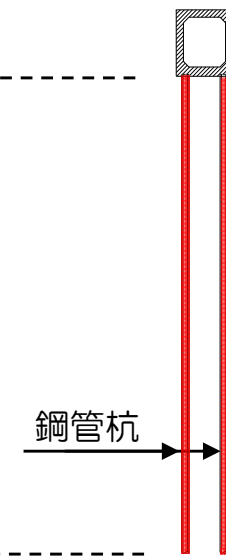
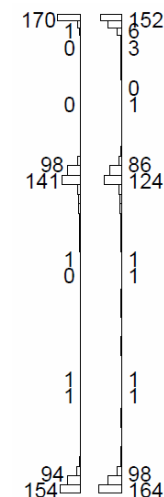
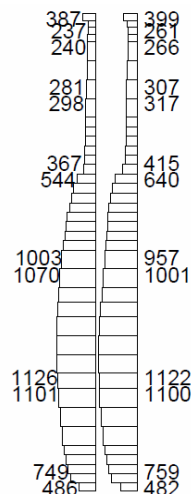
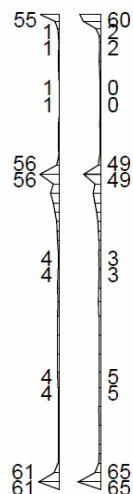
基準地震動	最大曲げモーメント		最大せん断力		最大軸力
	杭頭部 (kNm)	地中部 (kNm)	杭頭部 (kN)	地中部 (kN)	杭頭部 (kN)
S s - 1	60	65	170	164	399
S s - 2	21	41	90	104	400
S s - 3	43	61	164	152	372
S s - 4	24	30	88	76	322
S s - 5	17	28	67	71	336

解析結果（最大断面力図）

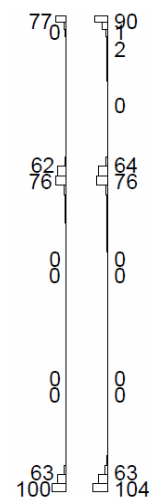
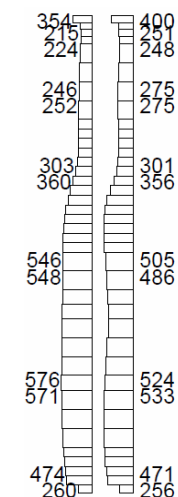
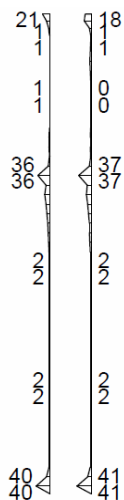
■ 鋼管杭

- ・ 非常用ガス処理系配管ダクト

(Ss-1, 最大断面力)



(Ss-2, 最大断面力)



曲げモーメント (kNm)

軸力 (kN)

せん断力 (kN)

照査結果（１）

■ 層間変形角または曲率による照査結果 （鉄筋コンクリート構造物）

		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	スクリーン室※1	頂版～底版	0.405/100	1/100	0.41
	取水路※1	頂版～底版	0.629/100	1/100	0.63
	補機冷却用 海水取水路※2	頂版	0.0314	0.0990	0.32
		底版	0.0250	0.100	0.25
		側壁	0.0379	0.100	0.38
		隔壁	0.0693	0.118	0.59
	原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）※1		頂版～底版	0.505/100	1/100
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）※1		頂版～底版	0.674/100	1/100	0.67
非常用ガス処理系 配管ダクト※1		頂版～底版	0.458/100	1/100	0.46

※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）

※2：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（鉄筋コンクリート構造物）

		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	スクリーン室	頂版	240	420※ ¹	0.57
		底版	405	1055※ ¹	0.38
		側壁	561	1203※ ¹	0.47
		隔壁	686	1071※ ¹	0.64
	取水路	頂版	490	901※ ¹	0.54
		底版	464	838※ ¹	0.55
		側壁	557	938※ ¹	0.59
		隔壁	780	2074※ ²	0.38
	補機冷却用 海水取水路	頂版	635	1035※ ²	0.61
		底版	351	493※ ¹	0.71
		側壁	573	1067※ ²	0.54
		隔壁	315	590※ ²	0.53

※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（鉄筋コンクリート構造物）

	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
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）	底版	642	995※ ¹	0.65
	側壁	580	1047※ ¹	0.55
	側壁	1220	2666※ ²	0.46
	隔壁	207	401※ ¹	0.52
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）	頂版	976	2178※ ²	0.45
	底版	938	1957※ ²	0.48
	側壁	1265	2413※ ²	0.52
	隔壁	181	395※ ¹	0.46
非常用ガス処理系 配管ダクト	頂版	71	323※ ¹	0.22
	底版	140	400※ ¹	0.35
	側壁	128	361※ ¹	0.35

※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（４）

■ 曲率による照査結果（鋼管杭）

解析対象断面	評価位置	照査用応答値 (1/m)	評価基準値 (限界曲率) (1/m)	照査用応答値 /評価基準値
非常用ガス処理系 配管ダクト	杭頭部	0.00228	0.0573	0.040
	地中部	0.00170	0.0286	0.059

■ せん断力による照査結果（鋼管杭）

解析対象断面	評価位置	照査用応答値 (kN)	評価基準値 (せん断耐力) (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	杭頭部	170	502	0.34
	地中部	164	502	0.33

■ 支持力による照査結果（鋼管杭）

解析対象断面	評価位置	照査用応答値 (kN)	評価基準値 (極限支持力) (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	杭頭部	400	3135	0.13

耐震安全性評価のまとめ

■鉄筋コンクリート構造物

- ・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。

■鋼管杭

- ・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。
- ・支持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（極限支持力）を下回ることを確認した。

以上より、鉄筋コンクリート構造物、鋼管杭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。

参考資料

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屋外重要土木構造物の諸定数は、各種調査、試験結果など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)
鋼管杭	SKK400相当 (SKK41)

（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
鋼管杭	77	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（非常用取水路）

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	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 (※1)	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667}$ (※2)	ひずみ依存性を考慮
洪積粘性土層（Ⅰ）		17.7	0.49	9.90×10^4	
洪積粘性土層（Ⅱ）		17.7	0.48	1.41×10^5	
シルト質砂層		18.1	0.48	1.95×10^5	
西山層	西山層上限面 ～ T.M.S.L.-60.0m	16.7	0.45	4.09×10^5	
	～T.M.S.L.-100.0m	17.2	0.44	5.49×10^5	
	～T.M.S.L.-134.0m	18.0	0.43	6.85×10^5	
解放基盤		19.9	0.43	1.02×10^6	—

(※1) 地下水位以浅は18.6kN/m³ (湿潤単位体積重量)

(※2) σ_v : 有効上載圧 (kN/m²)

解析用物性値（地盤の物性値）

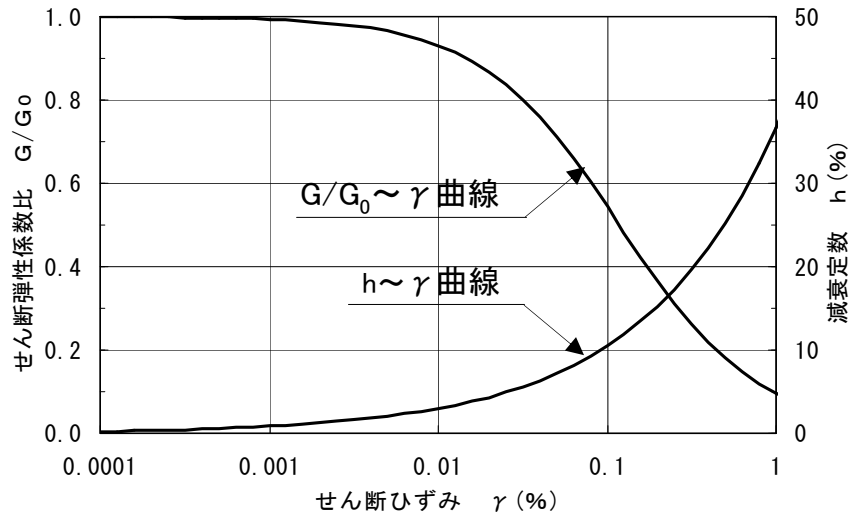
（3）地盤の物性値（原子炉補機冷却系配管ダクト，非常用ガス処理系配管ダクト）

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	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 (※1)	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667}$ (※2)	ひずみ依存性を考慮
安田層		17.5	0.48	1.72×10^5	
西山層	西山層上限面 ～ T.M.S.L.-60.0m	16.7	0.45	4.09×10^5	
	～T.M.S.L.-100.0m	17.2	0.44	5.49×10^5	
	～T.M.S.L.-134.0m	18.0	0.43	6.85×10^5	
解放基盤		19.9	0.43	1.02×10^6	
改良地盤		18.6	0.31	1.22×10^6	ひずみ依存性を考慮

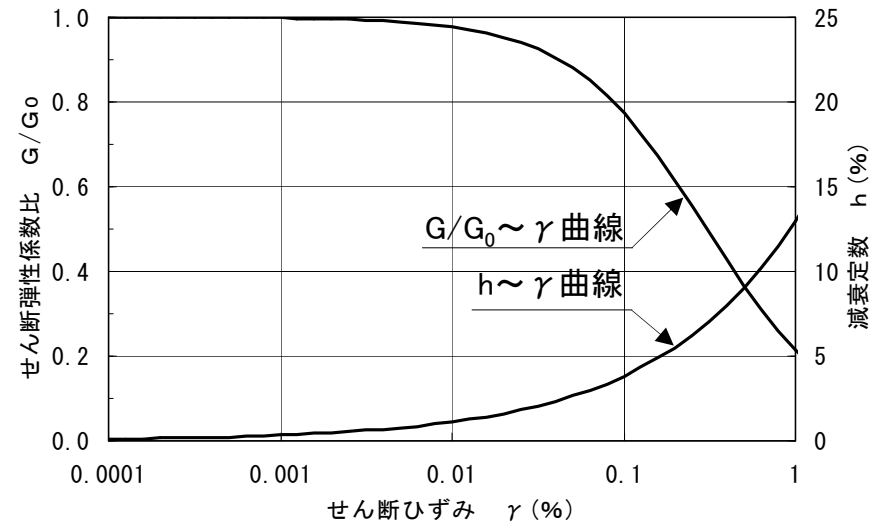
(※1) 地下水位以浅は18.6kN/m³ (湿潤単位体積重量)

(※2) σ_v : 有効上載圧 (kN/m²)

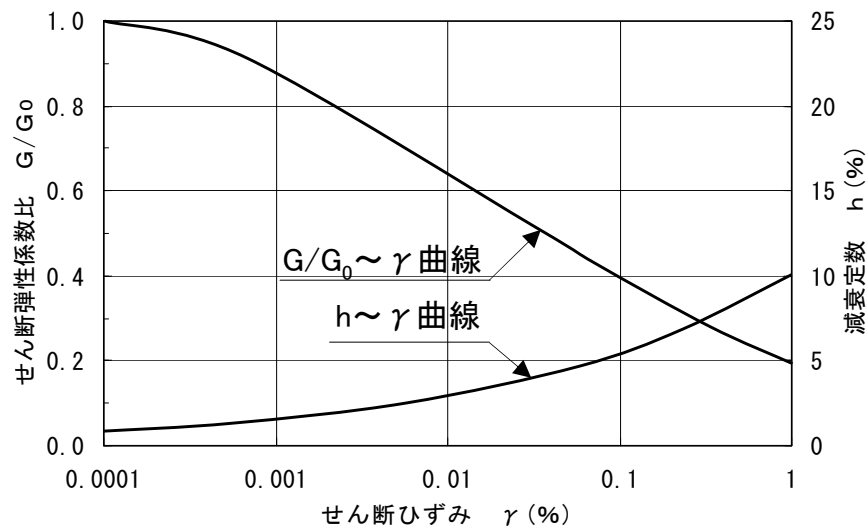
解析用物性値 (せん断弾性係数・減衰定数のひずみ依存性)



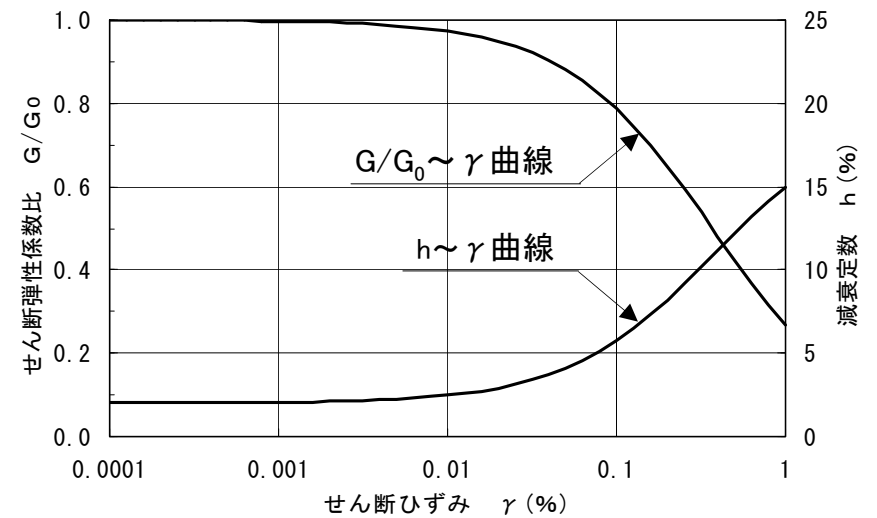
埋戻土層



西山層



洪積粘性土層 (I)



改良地盤

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