

8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

【目 次】

8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価.....	8-1
8.1. 評価方針	8-1
8.1.1. 対象設備	8-1
8.1.2. 設備概要	8-3
8.2. 耐震安全性評価	8-8
8.2.1. 評価方法	8-8
8.2.2. 地震応答解析	8-14
8.2.3. 評価基準	8-26
8.2.4. 評価結果	8-28
8.3. 非常用取水路の軸方向に対する検討.....	8-30
8.3.1. 検討方針	8-30
8.3.2. 応力度に関する検討.....	8-31
8.3.3. ブロック間相対変位に関する検討	8-36
8.4. 非常用取水路の設置地盤の支持性能に対する検討.....	8-39
8.4.1. 検討方針	8-39
8.4.2. 検討手法	8-39
8.4.3. 検討結果	8-39

【参考資料】

- 参考資料 8.1 曲げ系の破壊に対する照査について
- 参考資料 8.2 せん断耐力の算定方法について
- 参考資料 8.3 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）軸直交方向断面の耐震安全性評価方法
- 参考資料 8.4 非常用取水路の局所的な損傷への対応について
- 参考資料 8.5 屋外重要土木構造物の地盤改良による補強効果について

8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

8.1. 評価方針

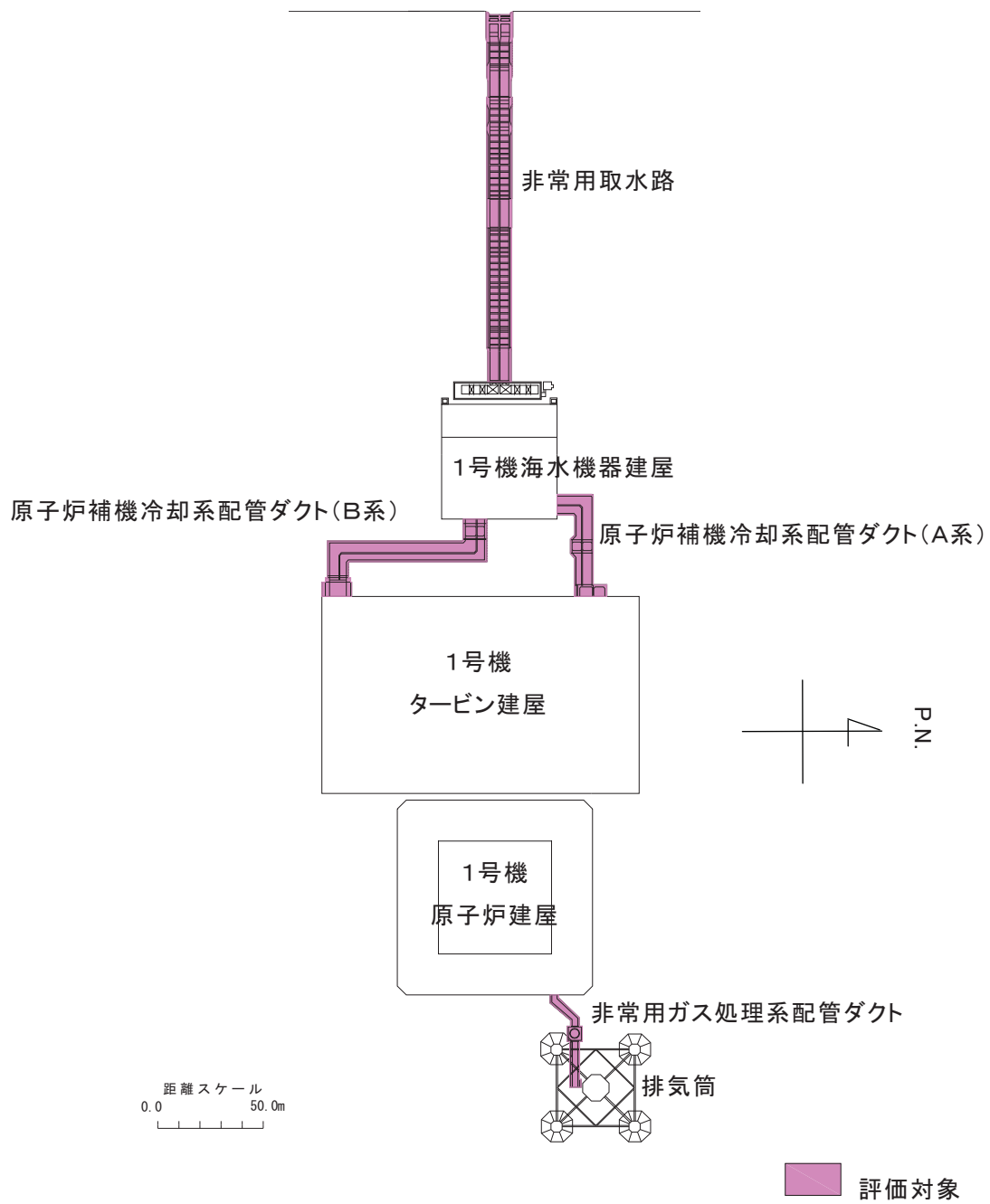
8.1.1. 対象設備

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，原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトとする。

原子炉補機冷却系配管ダクトはA系，B系からなり，非常用ガス処理系配管ダクトは水平部と鉛直部によって構成される。

屋外重要土木構造物の配置図を第 8.1.1-1 図に示す。

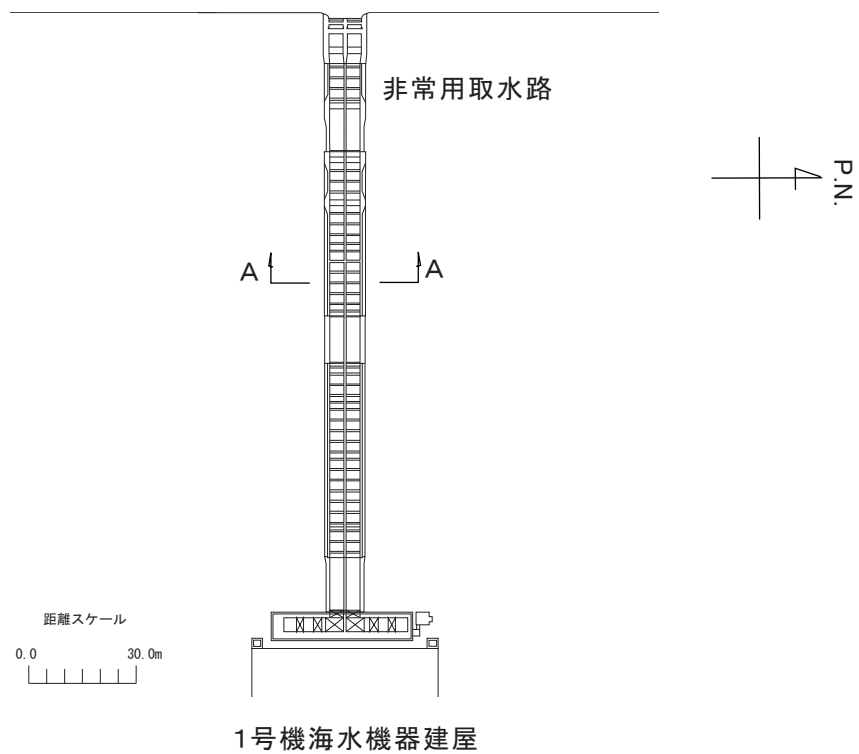


第 8.1.1-1 図 屋外重要土木構造物の配置図

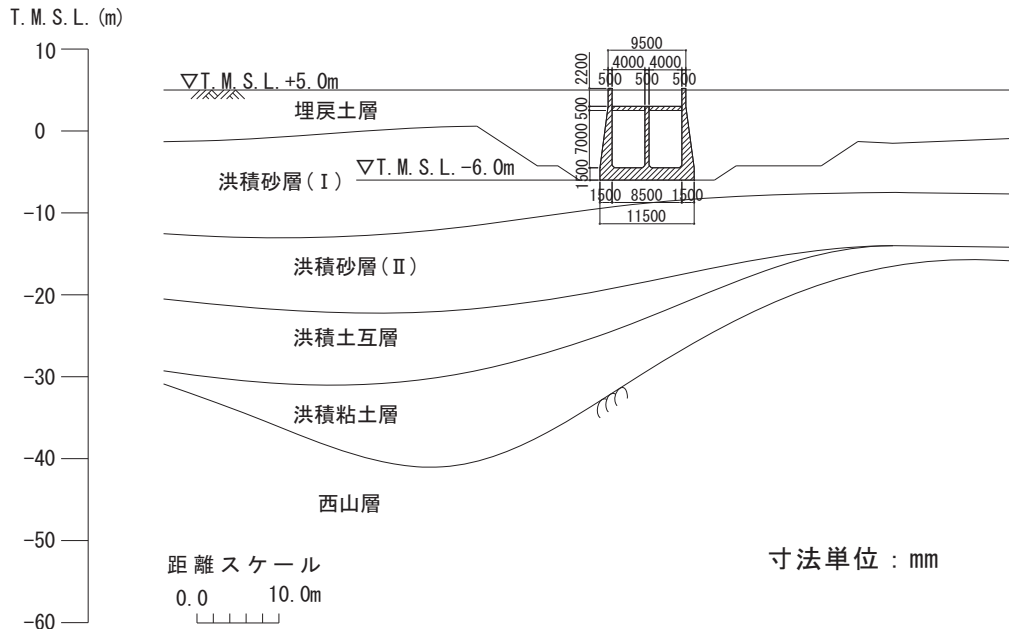
8.1.2. 設備概要

(1) 非常用取水路

非常用取水路は前面護岸から海水機器建屋までの鉄筋コンクリート造の開水路であり、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。非常用取水路の平面図を第 8.1.2-1 図に、断面図を第 8.1.2-2 図に示す。



第 8.1.2-1 図 非常用取水路平面図

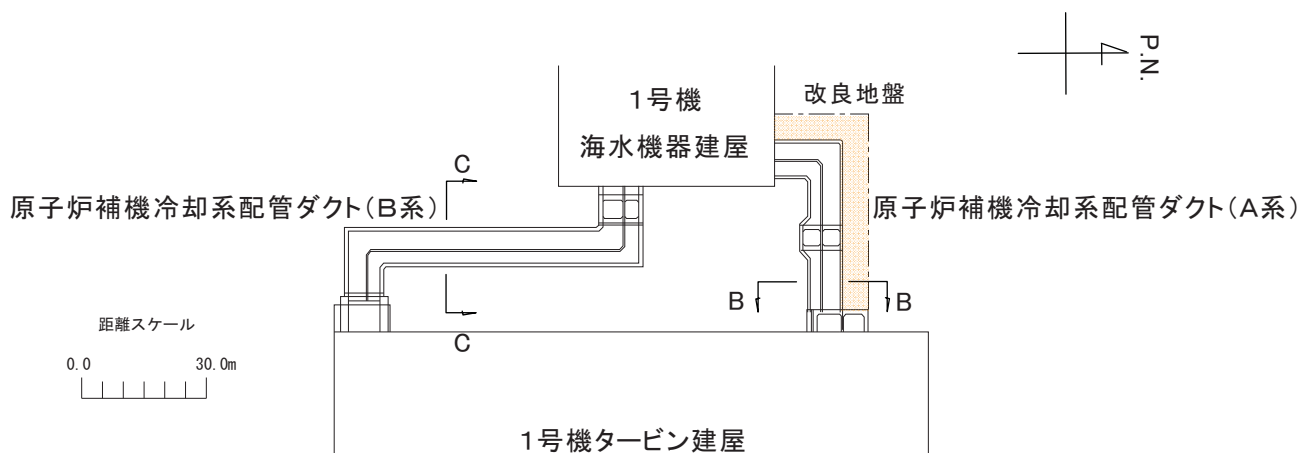


第 8.1.2-2 図 非常用取水路断面図 (A-A 断面)

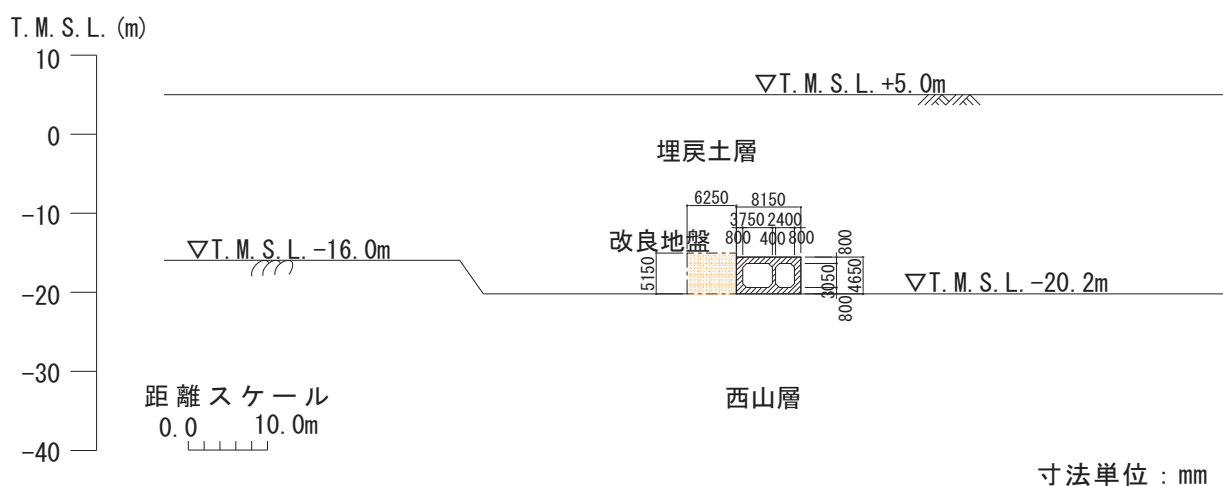
(2) 原子炉補機冷却系配管ダクト

原子炉補機冷却系配管ダクトはタービン建屋と海水機器建屋を連絡している配管等を収容する鉄筋コンクリート造の地中埋設ダクトで A 系および B 系からなり、新第三紀鮮新世の西山層に設置されている。なお、A 系ダクトの左側壁側の埋戻土層については、セメント系固化材による地盤改良を実施している。

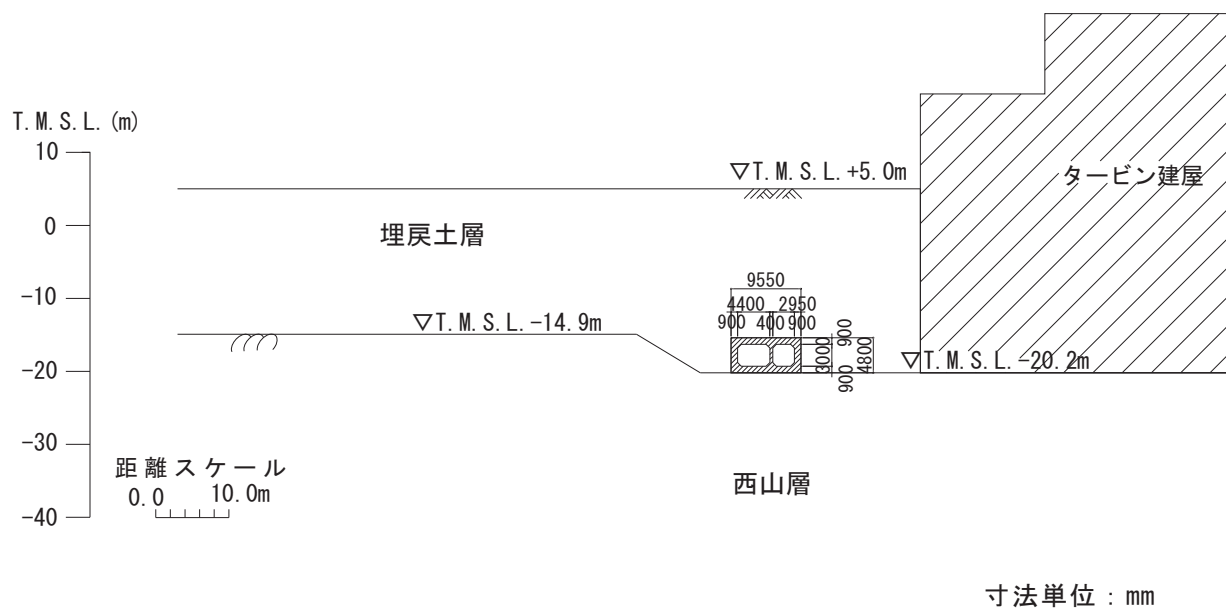
原子炉補機冷却系配管ダクトの平面図を第 8.1.2-3 図に、A 系および B 系の各断面図を第 8.1.2-4 図、第 8.1.2-5 図に示す。



第 8.1.2-3 図 原子炉補機冷却系配管ダクト平面図



第 8.1.2-4 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 断面図 (B-B断面)

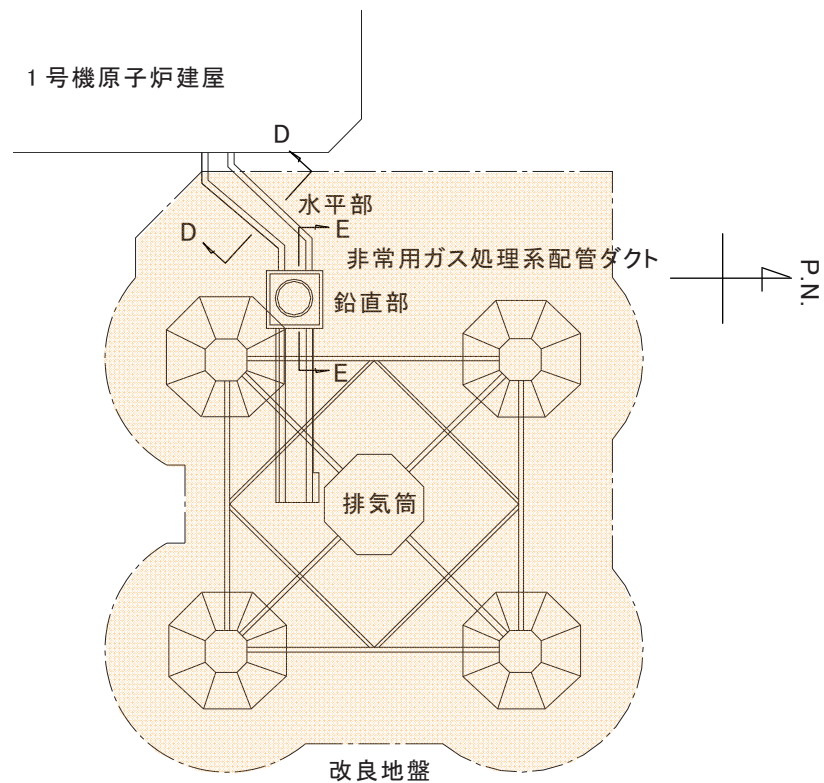


第 8.1.2-5 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 断面図 (C-C断面)

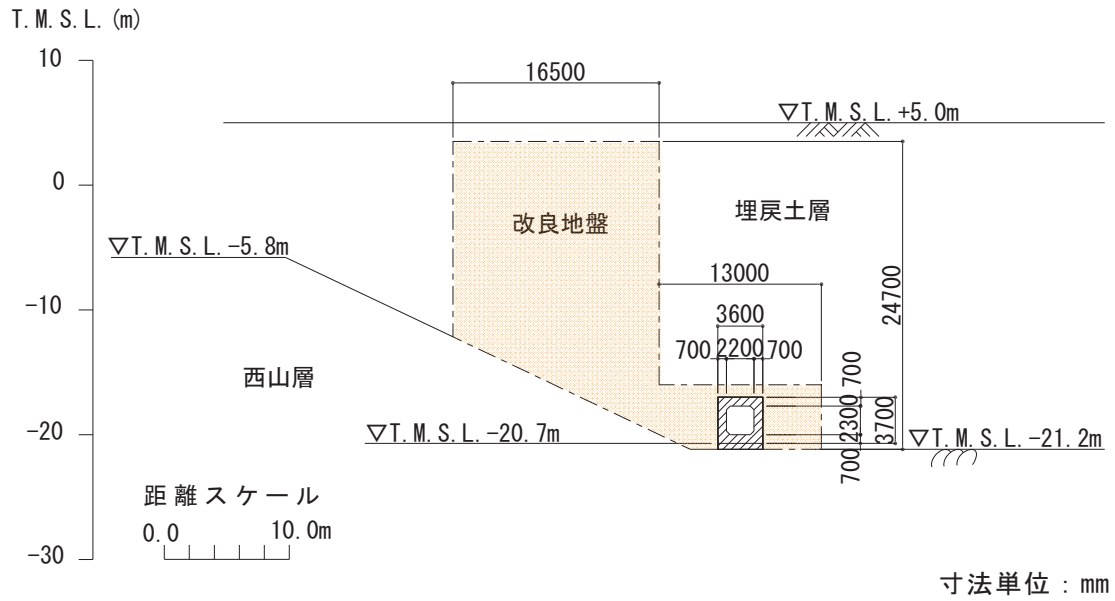
(3) 非常用ガス処理系配管ダクト

非常用ガス処理系配管ダクトは原子炉建屋と排気筒を連絡している配管等を収容する鉄筋コンクリート造の地中埋設ダクトで水平部および鉛直部から構成され、新第三紀鮮新世の西山層に設置されている。なお、ダクトの周囲の埋戻土層については、セメント系固化材による地盤改良を実施している。

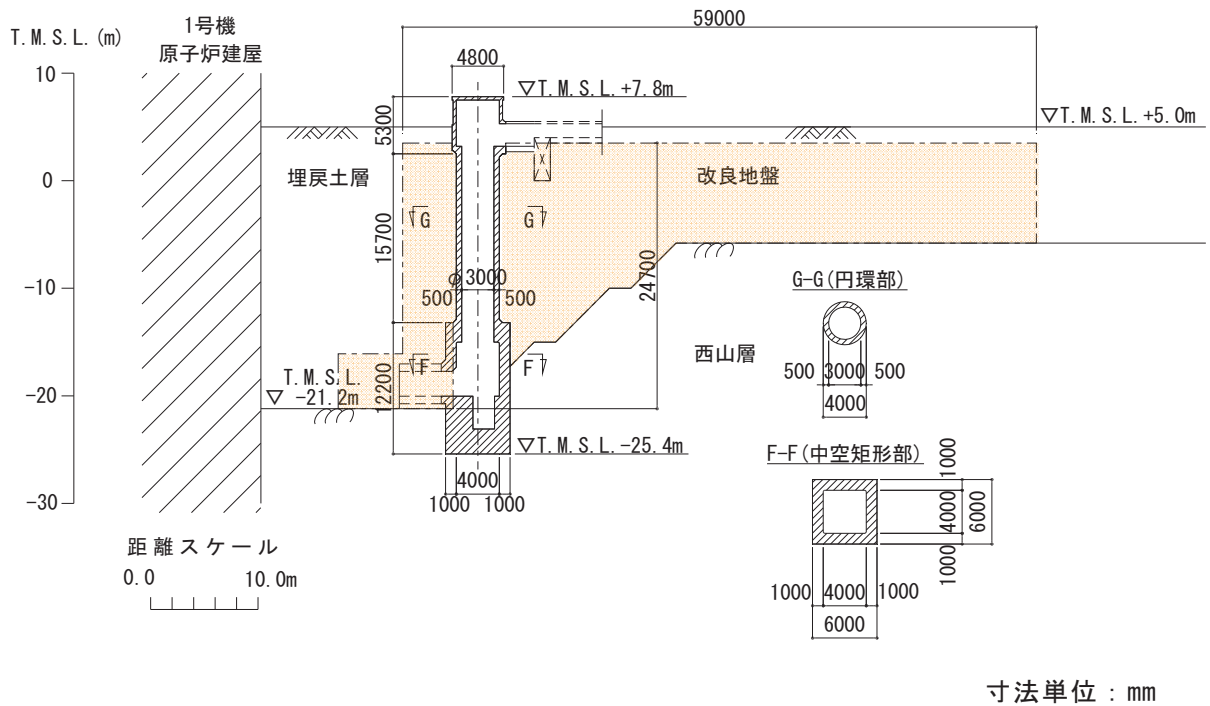
非常用ガス処理系配管ダクトの平面図を第 8.1.2-6 図に、水平部および鉛直部の断面図を第 8.1.2-7 図、第 8.1.2-8 図に示す。



第 8.1.2-6 図 非常用ガス処理系配管ダクト平面図



第 8.1.2-7 図 非常用ガス処理系配管ダクト (水平部) 断面図 (D-D 断面)



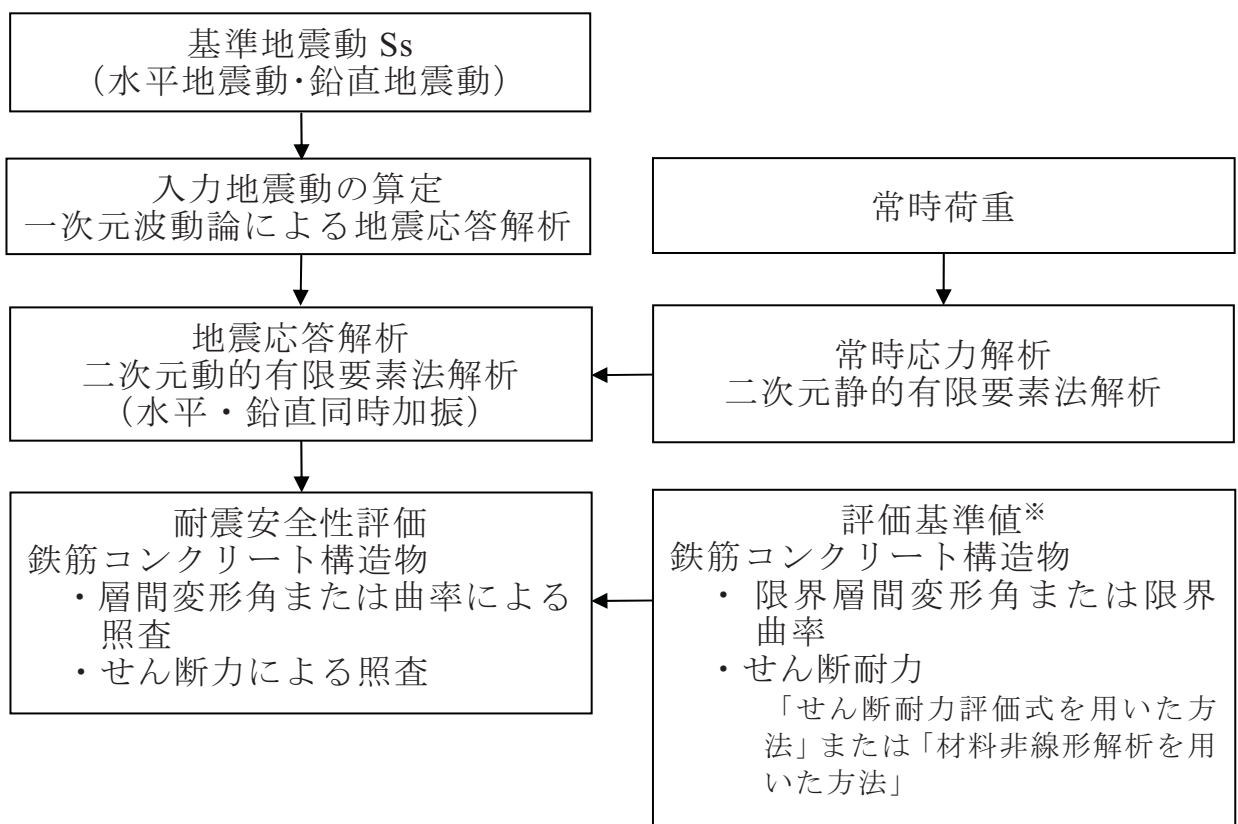
第 8.1.2-8 図 非常用ガス処理系配管ダクト(鉛直部)断面図 (E-E 断面)

8.2. 耐震安全性評価

8.2.1. 評価方法

8.2.1.1. 一般事項

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 による構造物の照査用応答値が評価基準値を下回ることを確認する。屋外重要土木構造物の評価フローを第 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 屋外重要土木構造物の評価フロー

8.2.1.2. 評価条件

地震応答解析に必要な地盤および屋外重要土木構造物の諸定数は、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

地盤の物性値を第 8.2.1-3 表に示す。

(4) 荷重

a. 常時荷重

常時荷重として、自重、内水圧、配管荷重、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 (240kgf/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(1)表 地盤物性値

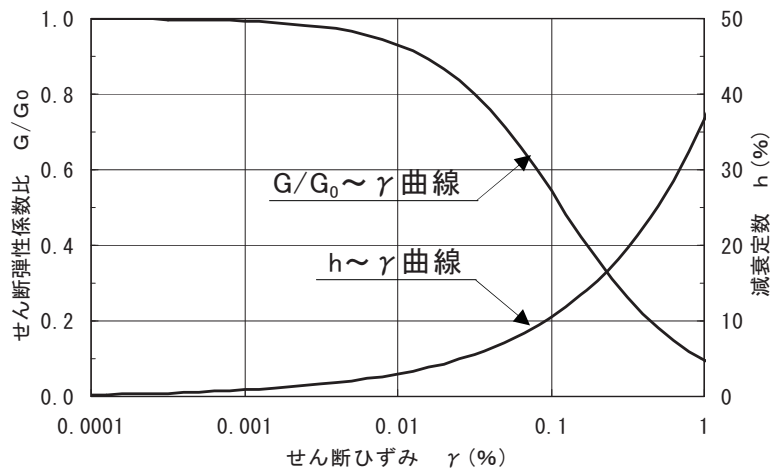
地層区分	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
埋戻土層	19.6 (18.6) ^{※1}	0.33	$1980 \times \sigma_v^{0.667 \times 2}$	第 8.2.1-2(1)図による
洪積砂層 (I)	19.1	0.47	1.53×10^5	第 8.2.1-2(1)図による
洪積砂層 (II)	18.6	0.48	1.49×10^5	第 8.2.1-2(1)図による
洪積土互層	17.7	0.48	1.13×10^5	第 8.2.1-2(2)図による
洪積粘土層	16.7	0.48	1.15×10^5	第 8.2.1-2(2)図による
西山層	西山層上限面～ T. M. S. L. -62.0m	16.9	5.02×10^5	第 8.2.1-2(2)図による
	～T. M. S. L. -77.0m	16.9	5.99×10^5	
	～T. M. S. L. -103.0m	16.9	6.62×10^5	
	～T. M. S. L. -128.0m	16.9	7.28×10^5	
	～T. M. S. L. -192.0m	16.9	7.73×10^5	
	～T. M. S. L. -284.0m	16.9	8.20×10^5	
解放基盤	16.9	0.43	9.17×10^5	—

※1 () は湿潤単位体積重量

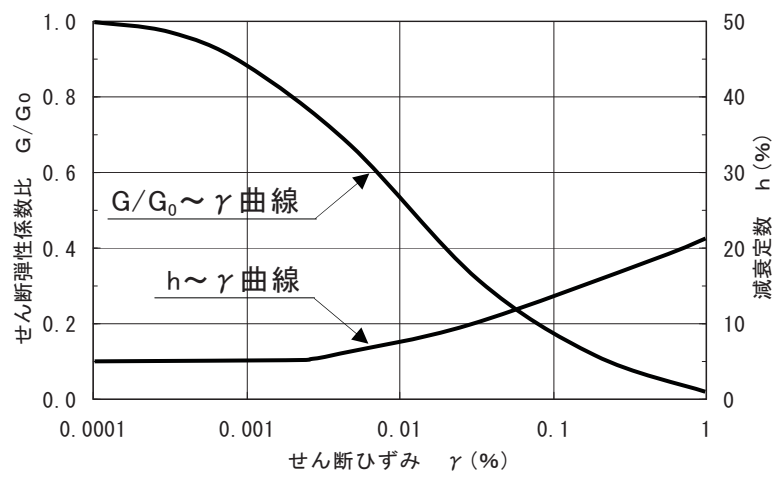
※2 σ_v : 有効上載圧 (kN/m²)

第 8.2.1-3(2)表 地盤物性値 (改良地盤)

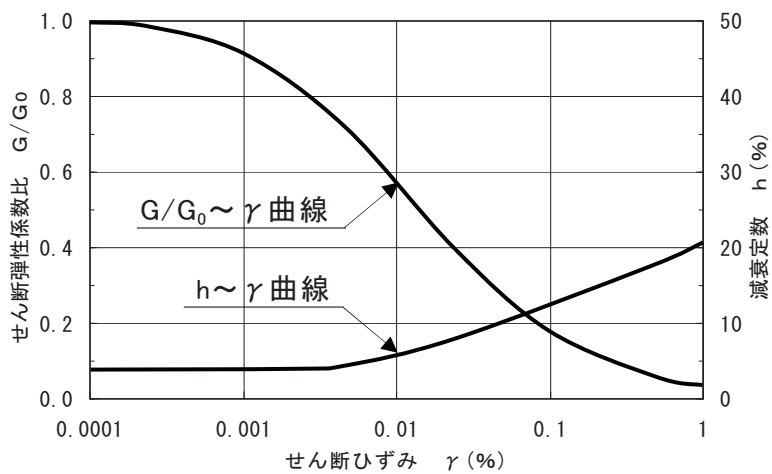
改良範囲	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数と 減衰定数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$ $h \sim \gamma$
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	18.6	0.33	6.84×10^5	第 8.2.1-2(3)図による
非常用ガス処理系 配管ダクト	18.6	0.31	1.22×10^6	第 8.2.1-2(3)図による



埋戻土層

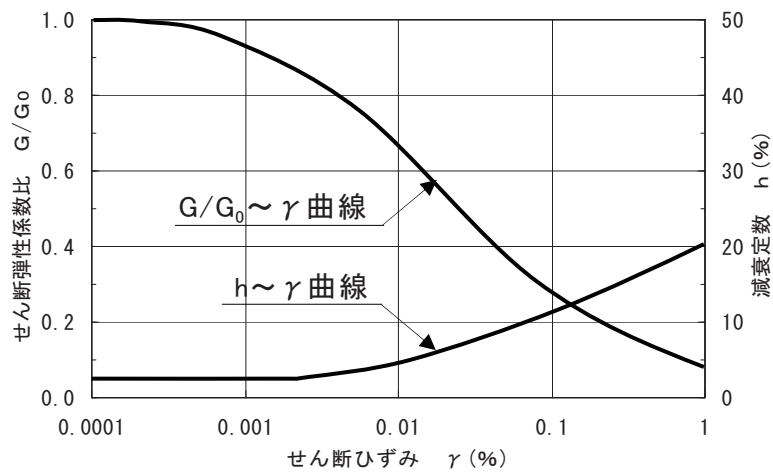


洪積砂層 (I)

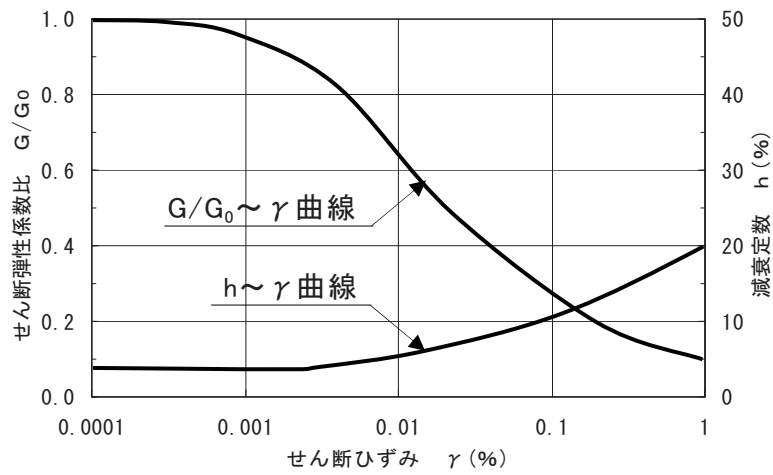


洪積砂層 (II)

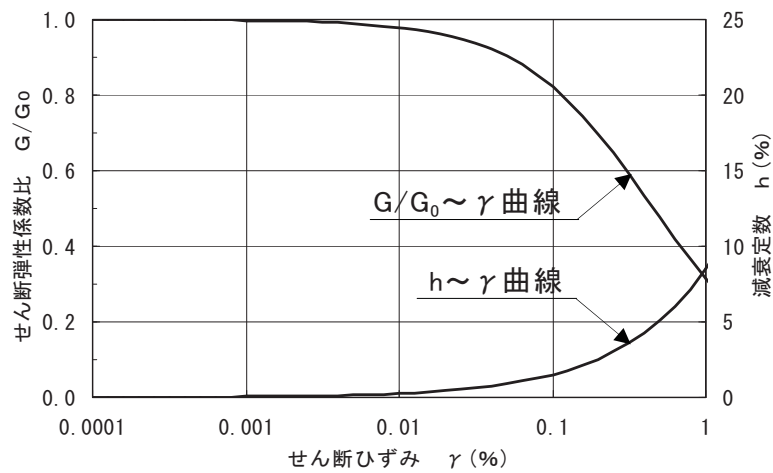
第 8.2.1-2(1)図 地盤のせん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性



洪積土互層

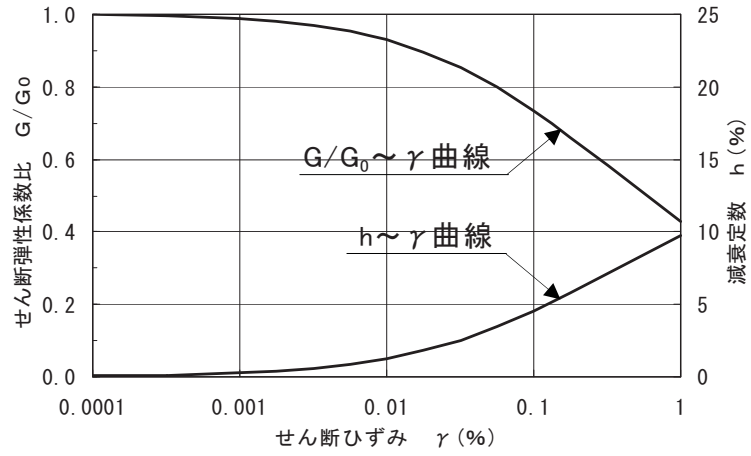


洪積粘土層

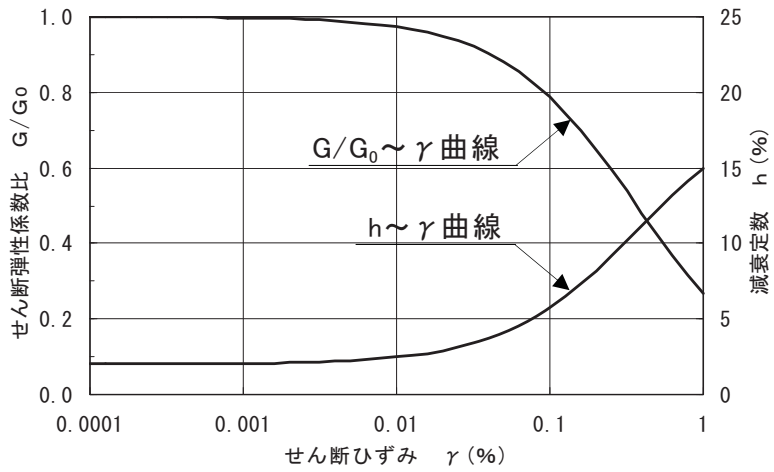


西山層

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



改良地盤（原子炉補機冷却系配管ダクト（A系））



改良地盤（非常用ガス処理系配管ダクト）

第 8.2.1-2(3)図 地盤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

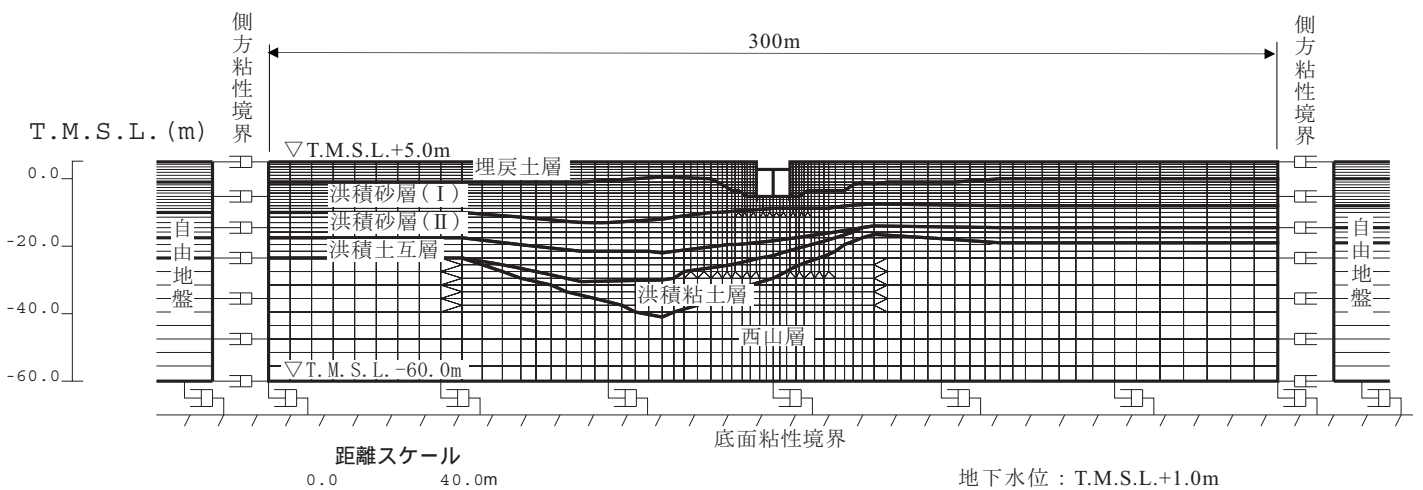
8.2.2.1. 解析手法

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。

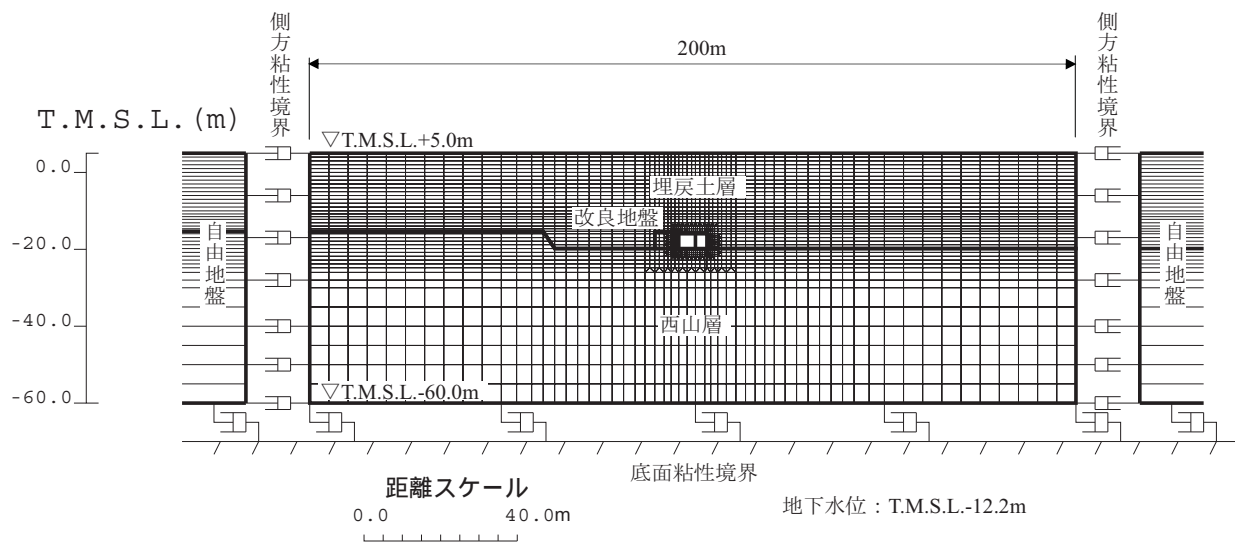
8.2.2.2. 解析モデル

非常用取水路，原子炉補機冷却系配管ダクト（A系，B系）および非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）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。この地震応答解析モデルでは，構造物を部材の非線形性を考慮した線材要素（梁要素），周辺地盤および改良地盤を平面要素でモデル化し，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。

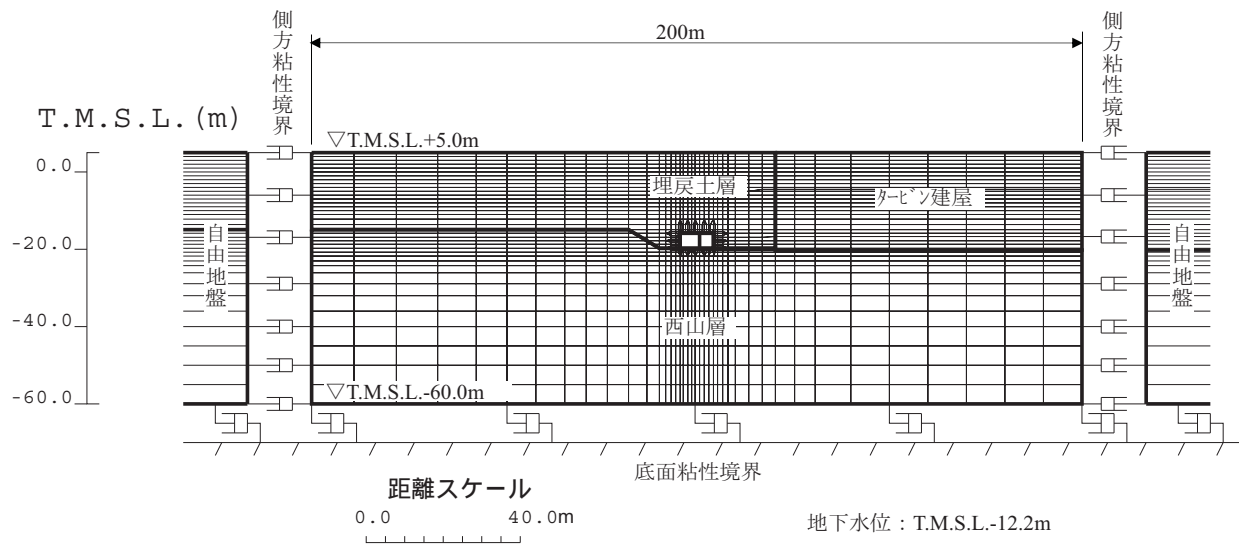
非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析モデルを第 8.2.2-5 図に示す。この地震応答解析モデルでは，鉛直部躯体を部材の非線形性を考慮した梁要素で，鉛直部底版を剛な梁要素，周辺地盤および改良地盤を平面要素でモデル化し，構造物と周辺地盤および改良地盤を剛なトラス要素で結合する。



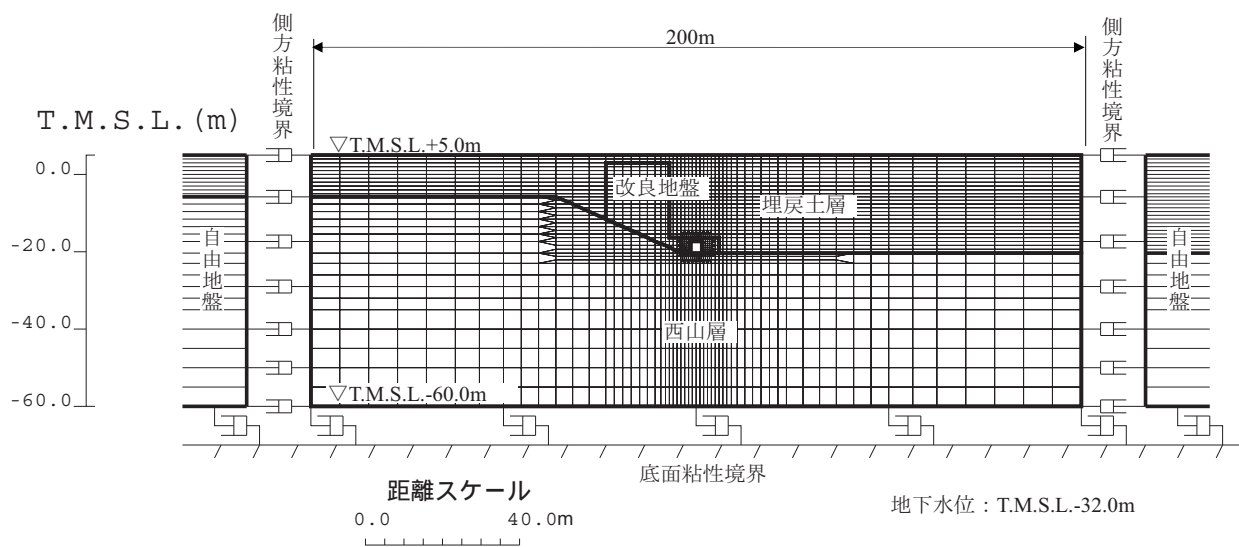
第 8.2.2-1 図 非常用取水路 地震応答解析モデル



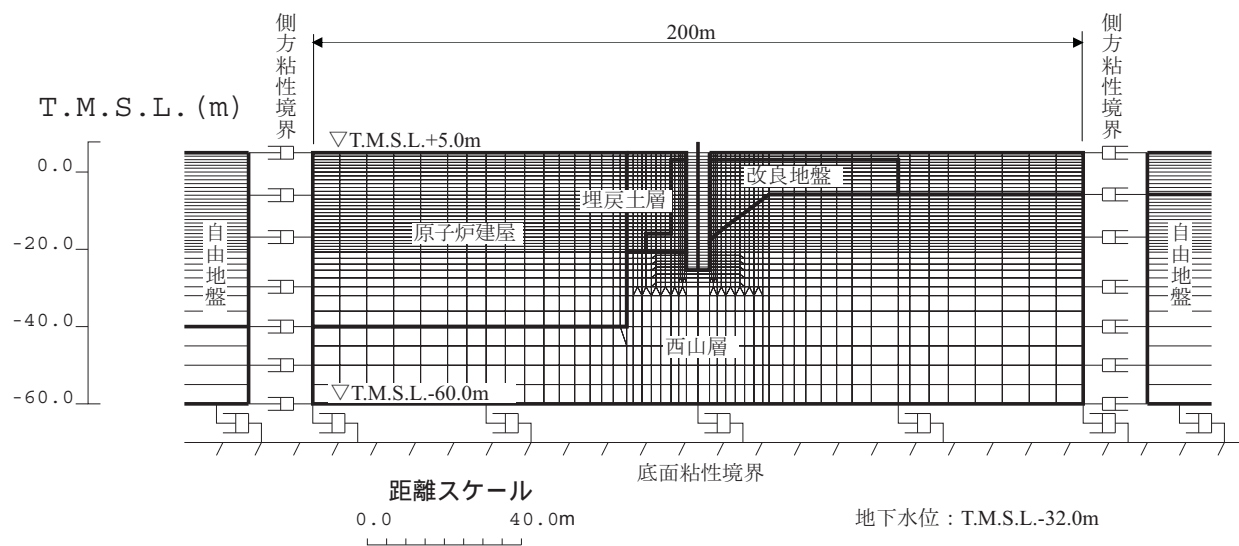
第 8.2.2-2 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 地震応答解析モデル



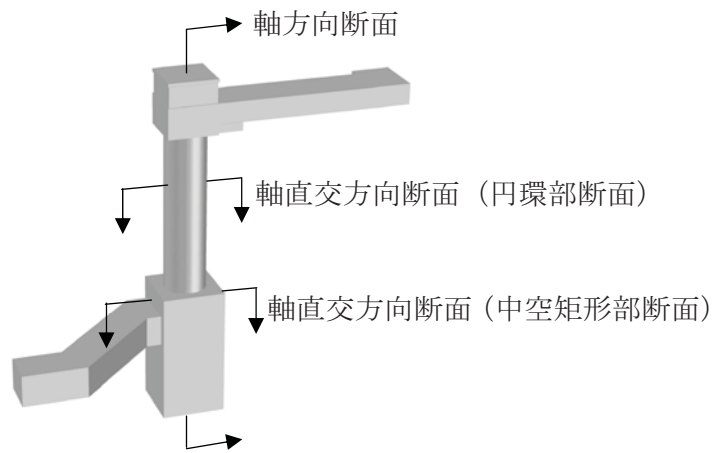
第 8.2.2-3 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 地震応答解析モデル



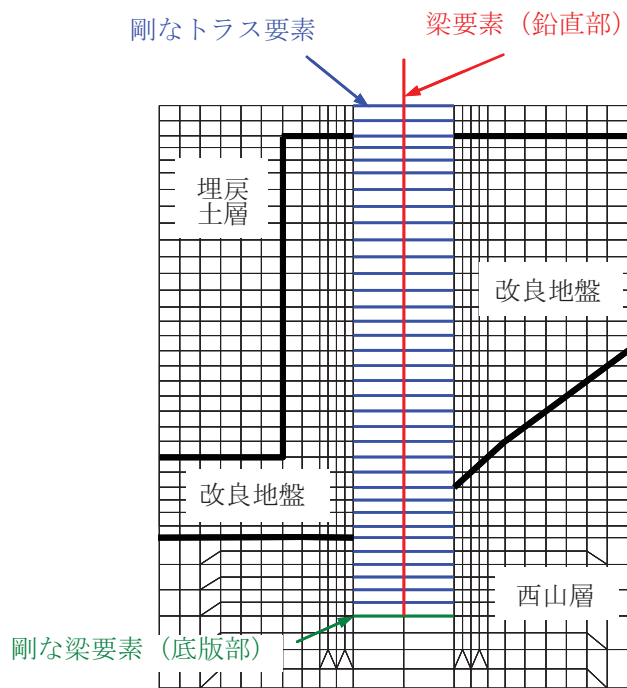
第 8.2.2-4 図 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部） 地震応答解析モデル



第 8.2.2-5(1)図 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）
地震応答解析モデル



(a) 検討断面

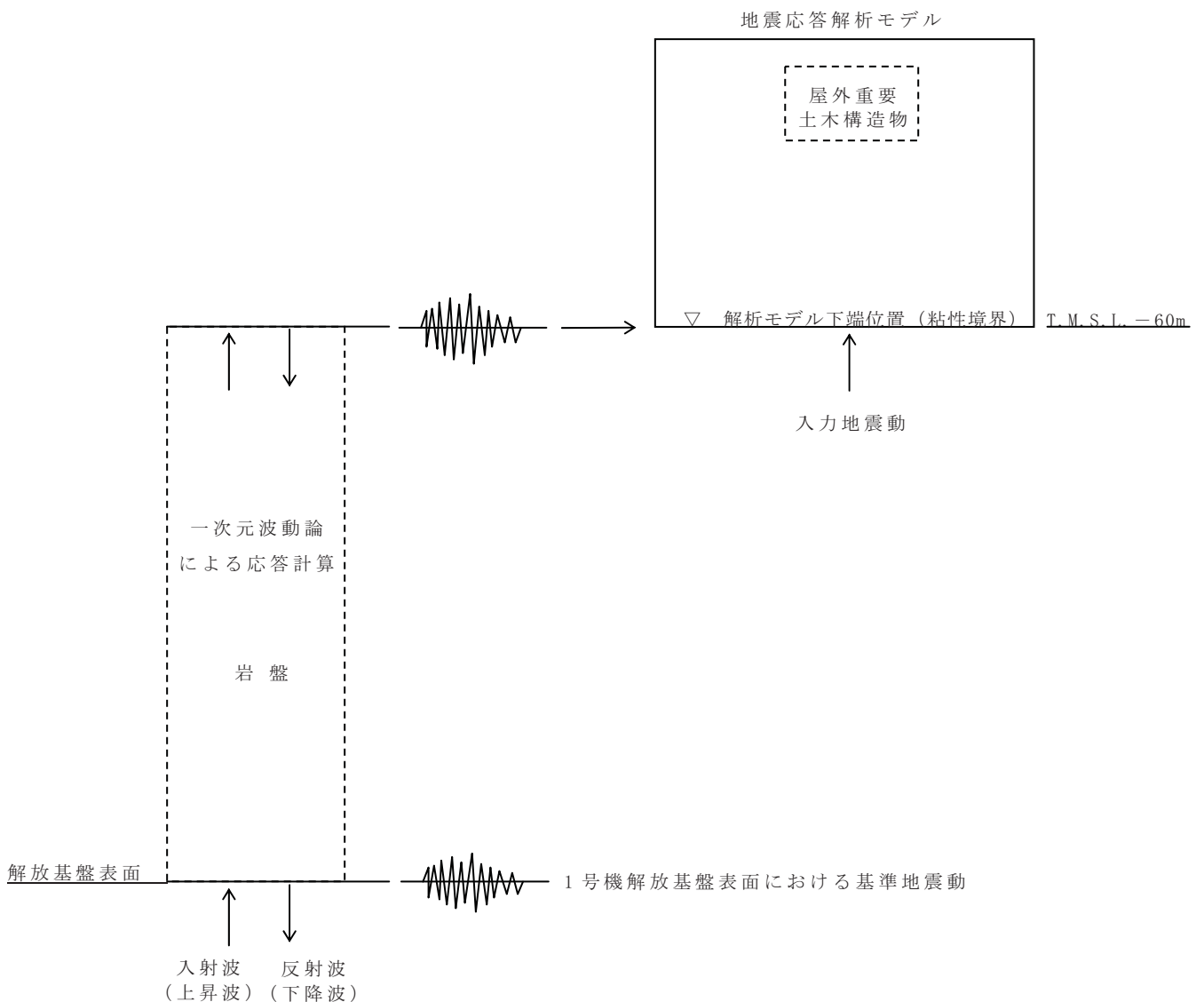


(b) 詳細図

第 8.2.2-5(2)図 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)
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。入力地震動の作成方法の概念図を第 8.2.2-6 図に示す。



第 8.2.2-6 図 入力地震動の作成方法の概念図

8.2.2.4. 解析結果

非常用取水路，原子炉補機冷却系配管ダクト（A系，B系）および非常用ガス処理系配管ダクト（水平部，鉛直部）について，地震応答解析から求めた構造物頂底版間の最大水平相対変位およびその発生時刻を第 8.2.2-1 表に，構造物頂底版間の水平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断面力図を第 8.2.2-7 図～第 8.2.2-11 図に示す。

また，非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）について，地震応答解析から求めた軸方向断面の最大地盤反力を第 8.2.2-2 表に示す。

第 8.2.2-1(1)表 頂底板間の最大水平相対変位
(非常用取水路, 原子炉補機冷却系配管ダクト)

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)	
	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	42.8	7.49	13.8	7.11	13.9	9.62
Ss-2	13.2	24.39	6.3	26.01	8.4	23.11
Ss-3	28.9	37.88	8.5	17.84	7.4	37.31
Ss-4	9.1	74.97	3.0	62.47	7.3	49.42
Ss-5	16.3	68.58	6.1	68.25	4.9	78.10

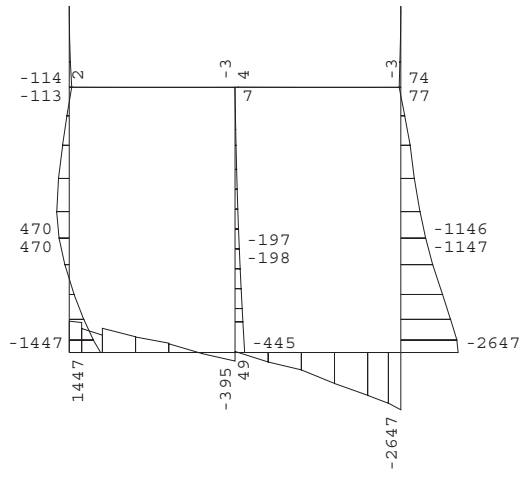
第 8.2.2-1(2)表 頂底板間の最大水平相対変位
(非常用ガス処理系配管ダクト)

地震動	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)	
	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
Ss-1	2.4	6.80	36.1	4.50
Ss-2	1.2	23.47	38.7	23.11
Ss-3	1.3	36.67	20.3	17.84
Ss-4	0.6	49.44	13.4	49.44
Ss-5	0.5	48.03	13.0	49.13

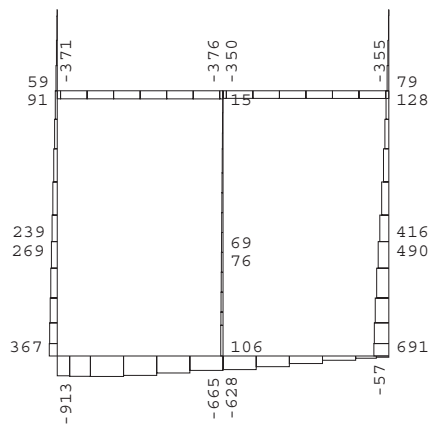
※ 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) の最大相対変位は天端－基部間

第 8.2.2-2 表 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) の最大地盤反力

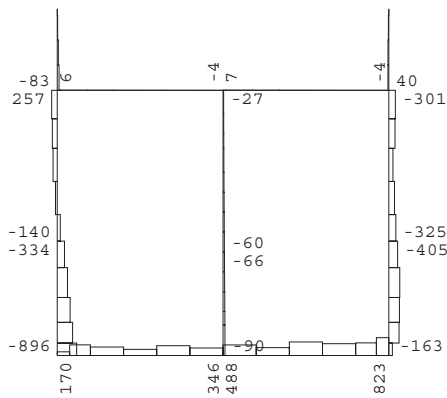
地震動	円環部	中空矩形部
	最大地盤反力 (N/mm ²)	最大地盤反力 (N/mm ²)
Ss-1	0.956	1.10
Ss-2	0.857	1.15
Ss-3	0.546	0.729
Ss-4	0.454	0.607
Ss-5	0.489	0.633



曲げモーメント (kNm)

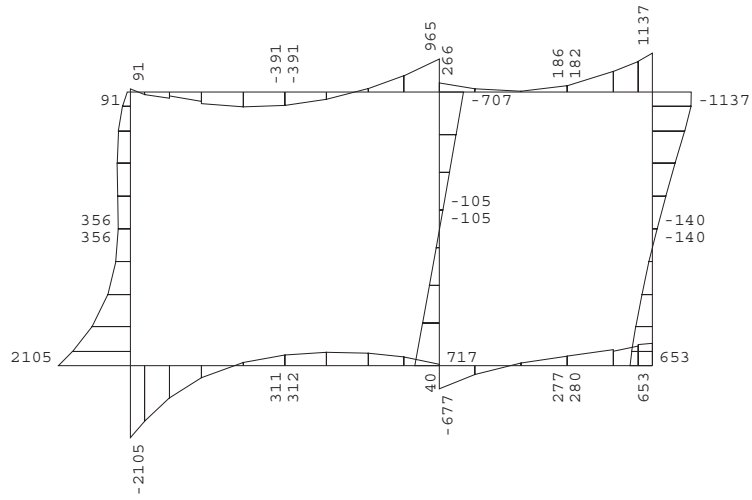


軸力 (kN)

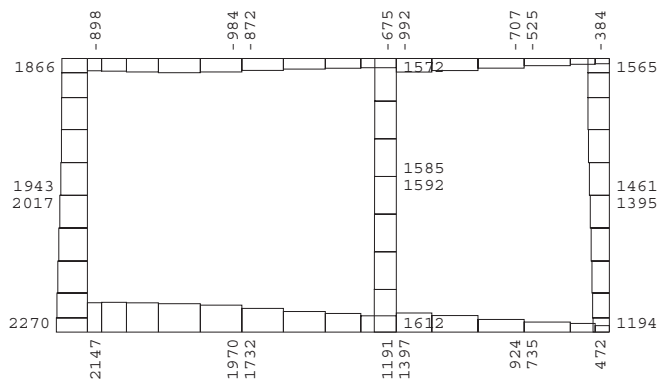


せん断力 (kN)

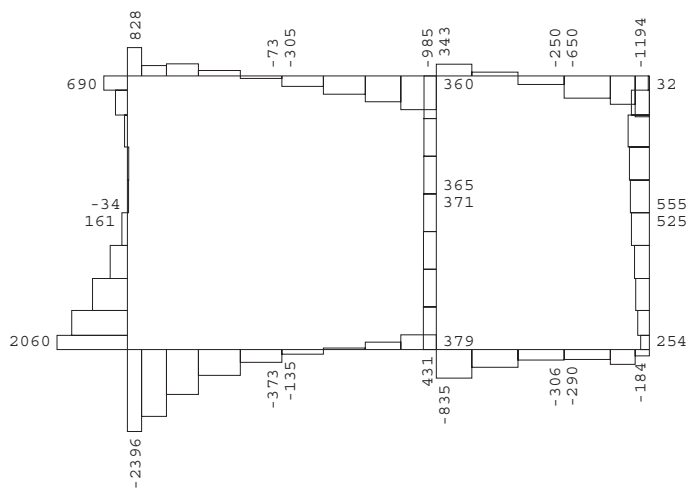
第 8.2.2-7 図 非常用取水路 断面力図 (Ss-1, T=7.49 秒)



曲げモーメント (kNm)

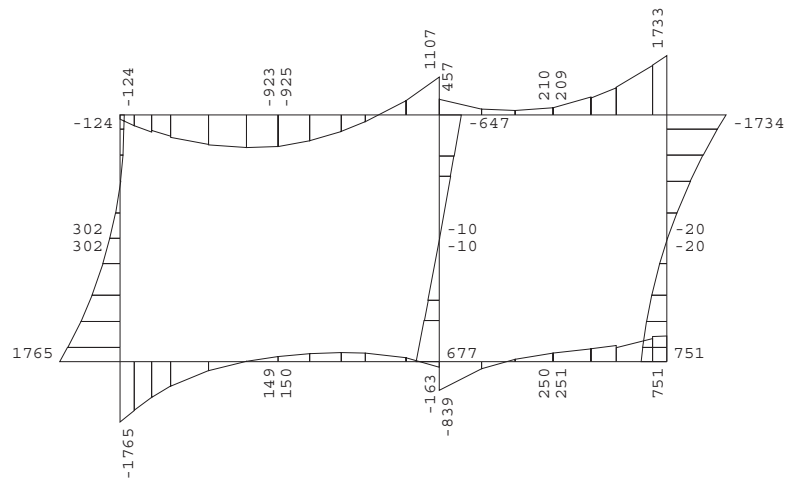


軸力 (kN)

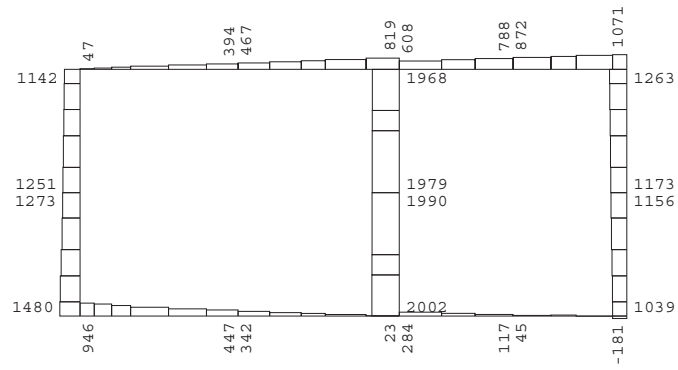


せん断力 (kN)

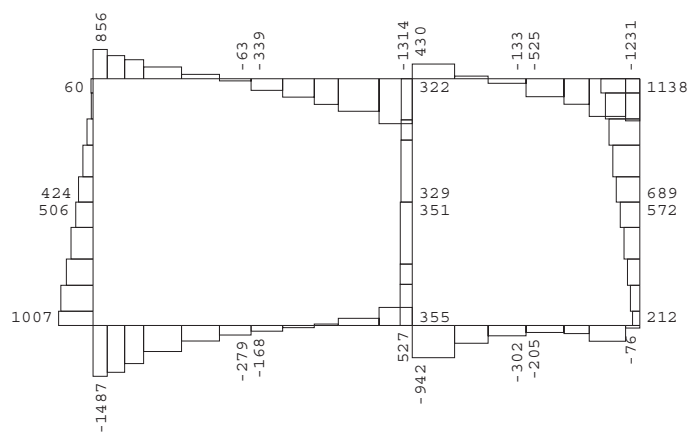
第 8.2.2-8 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 断面力図
(Ss-1, T=7.11 秒)



曲げモーメント (kNm)

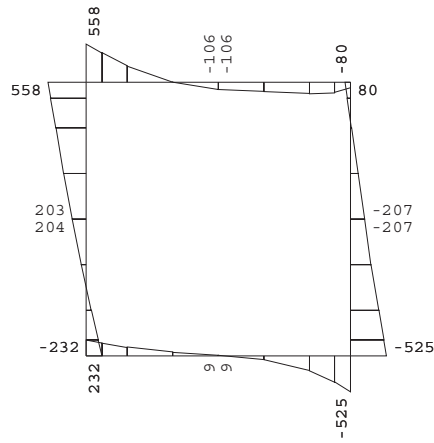


軸力 (kN)

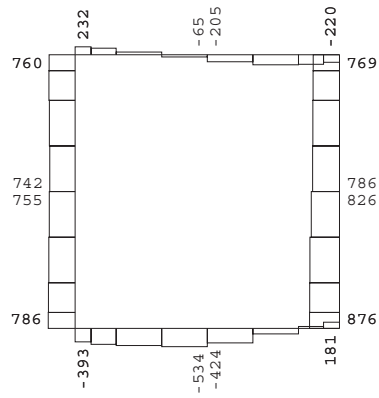


せん断力 (kN)

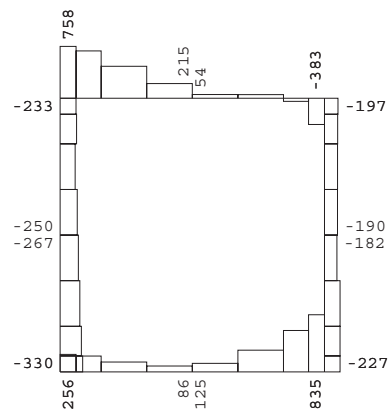
第 8.2.2-9 図 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 断面力図
(Ss-1, T=9.62 秒)



曲げモーメント (kNm)

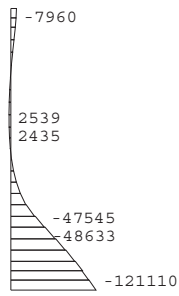


軸力 (kN)

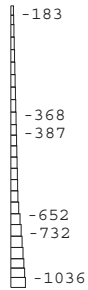


せん断力 (kN)

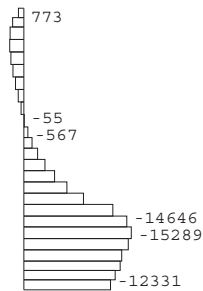
第 8.2.2-10 図 非常用ガス処理系配管ダクト (水平部) 断面力図
(Ss-1, T=6.80 秒)



曲げモーメント (kNm)



軸力 (kN)



せん断力 (kN)

第 8.2.2-11 図 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）軸方向断面
断面力図（Ss-2, T=23.11 秒）

8.2.3. 評価基準

8.2.3.1. 評価手法

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、評価位置において、応答値が評価基準値を満足することを確認する。

非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系，B系）および非常用ガス処理系配管ダクト（水平部，鉛直部）の応答値については、第 8.2.2-1 表に示す構造物頂底版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たものを用いる。また、非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）の軸直交方向の応答値については、第 8.2.2-2 表に示した各基準地震動 S_s による最大地盤反力のうち最も大きいものを用いる。

8.2.3.2. 評価基準値

耐震安全性評価では、曲げ（層間変形角または曲率）およびせん断力について評価を行う。

非常用取水路、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系，B系）および非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）の曲げによる評価は、「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，層間変形角に関する照査を基本とする。ただし，その照査の結果，裕度が比較的小さい場合には，各部材断面の曲率に関する照査を行う。層間変形角の評価基準値（限界層間変形角）は「耐震性能照査指針」に基づき部材断面の圧縮縁コンクリートひずみが 1.0%を下回ることを保証したものとみなされる 1/100 とし，曲率の評価基準値（限界曲率）は「耐震性能照査指針」に基づき算定した圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率

とする（「参考資料 8.1」参照）。

非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）の軸方向および軸直交方向の曲げによる評価は、「耐震性能照査指針」に基づき、各部材断面の曲率に関する照査を行う。曲率の評価基準値（限界曲率）は「耐震性能照査指針」に基づき算定した圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率とする（「参考資料 8.1」参照）。

鉄筋コンクリート構造物のせん断力による評価は、「耐震性能照査指針」に基づき算定した評価基準値（せん断耐力）を用いた照査を行う。せん断耐力の算定にあたっては、「せん断耐力評価式を用いた方法」を用いることを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析（以下、「材料非線形解析を用いた方法」という。）を用いる（「参考資料 8.2」参照）。

8.2.4. 評価結果

8.2.4.1. 層間変形角または曲率による照査結果

評価位置における層間変形角または曲率の照査用応答値は評価基準値(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。層間変形角または曲率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) ^{※1}	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) ^{※1}	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) ^{※1}	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 ^{※2}	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 ^{※2}	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 (照査用応答値：層間変形角 R_d ，評価基準値：限界層間変形角 R_u)

なお、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 曲率に関する照査 (照査用応答値：曲率 ϕ_d ，評価基準値：限界曲率 ϕ_u)

8.2.4.2. せん断力による照査結果

評価位置におけるせん断力の照査用応答値は評価基準値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 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	1,862 ^{※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	1,611 ^{※1}	0.51
	底版	1,167	1,855 ^{※1}	0.63
	側壁	816	2,249 ^{※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	2,063 ^{※1}	0.48
	底版	689	1805 ^{※1}	0.38
	側壁	1,019	2,107 ^{※1}	0.48
	隔壁	371	568 ^{※2}	0.65
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	1,347 ^{※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	2,007	4,458 ^{※2}	0.45
	中空矩形部	3,617	7,400 ^{※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	8,909	21,432 ^{※2}	0.42
	中空矩形部	16,051	21,900 ^{※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

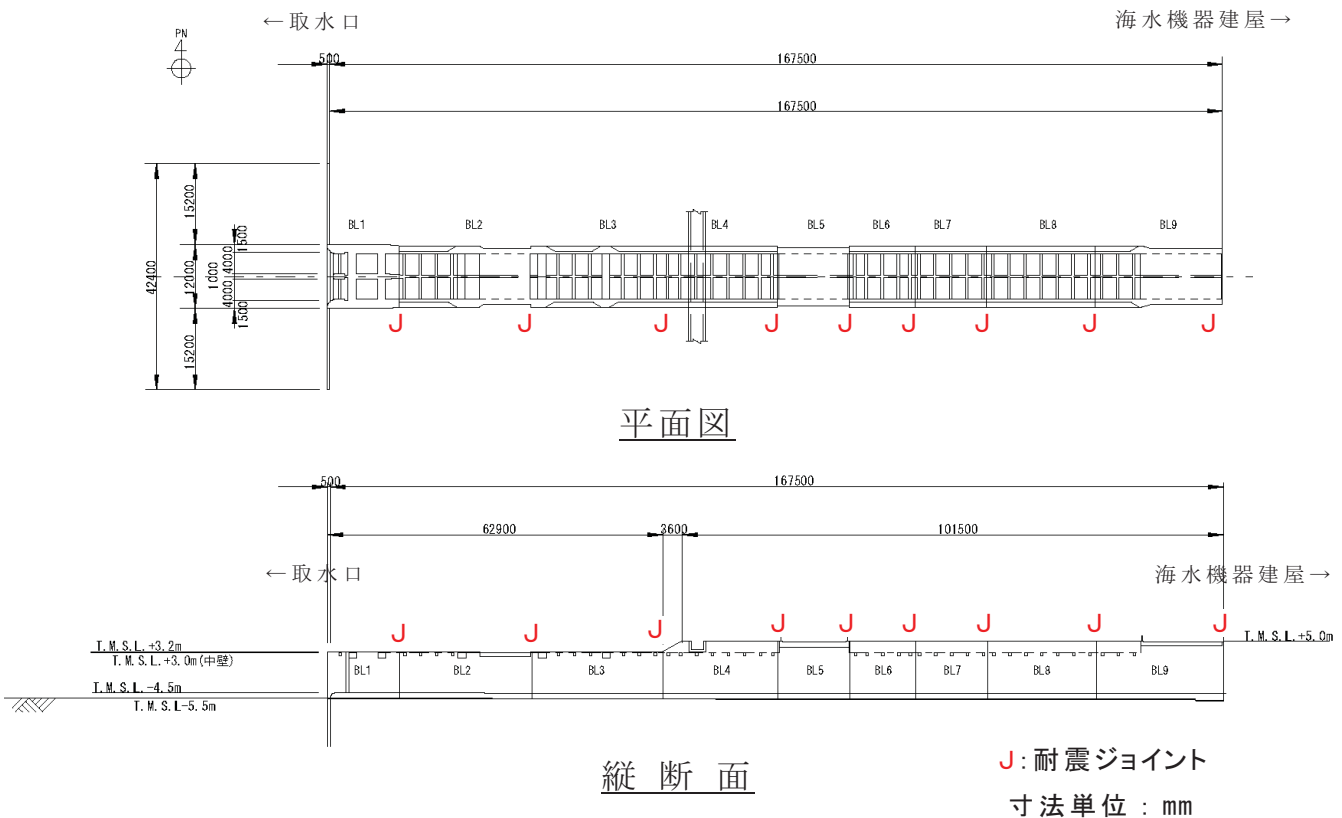
8.3. 非常用取水路の軸方向に対する検討

8.3.1. 検討方針

屋外重要土木構造物は、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を設置することによって、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、洪積層に設置される非常用取水路を対象として、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。

非常用取水路は、第 8.3.1-1 図に示すように軸方向にブロック分割されている。

なお、検討対象とする地震動は、「8.2. 耐震安全性評価」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、ならびに Ss-3 とする。



第 8.3.1-1 図 非常用取水路のブロック分割

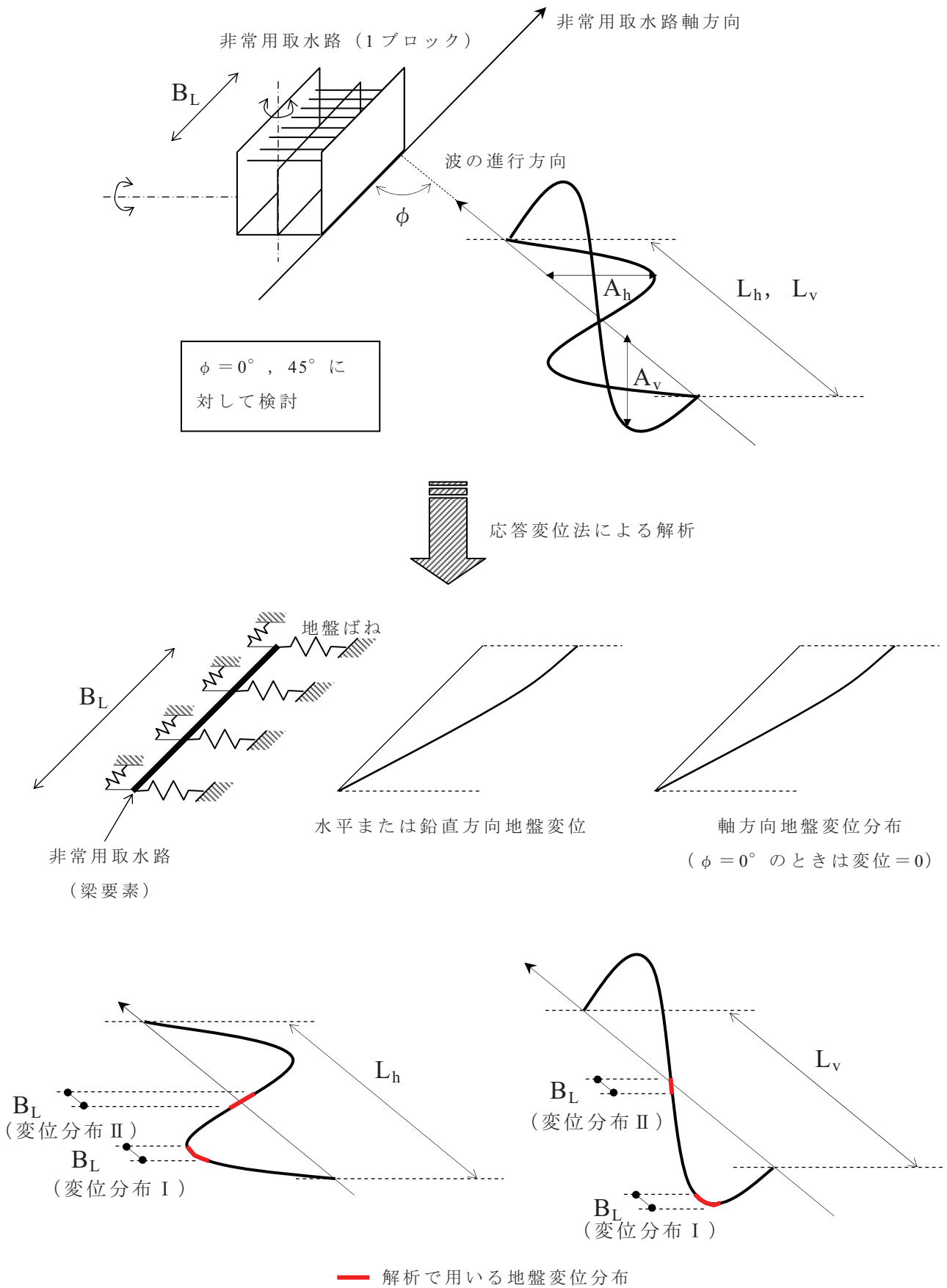
8.3.2. 応力度に関する検討

8.3.2.1. 検討手法

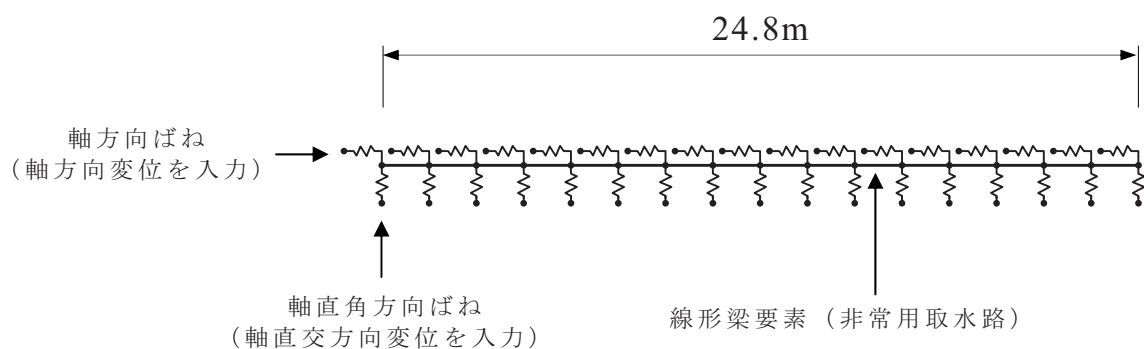
非常用取水路の応力度に関する検討では、梁要素と地盤ばねからなる解析モデル（第 8.3.2-1 図）を用いて、静的に水平方向および鉛直方向の地盤変位分布を与えて断面力を求め、曲げ・軸力およびせん断力の発生応力度を算出する。このように算出した応力度について、曲げ・軸力については、「耐震性能照査指針」に基づき算出したコンクリート引張強度を、せん断力については、「耐震性能照査指針」のせん断耐力評価式による評価値を下回ることを確認する。

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 表に示す。

地盤ばねは「道路橋示方書下部構造編」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」において実施した非常用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)
S _s -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
S _s -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

第 8.3.2-2 表 解析に用いた地盤振動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)
S _s -1	水平変位	252	55.8
	鉛直変位	252	15.7
S _s -3	水平変位	255	31.1
	鉛直変位	255	8.58

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・軸力による検討結果を第 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	0.218	1.45	0.15
		II	0.00401	1.45	0.0028
	45	I	0.0803	1.45	0.055
		II	0.608	1.45	0.42
鉛直方向変位	0	I	0.122	1.45	0.084
		II	0.00224	1.45	0.0015
	45	I	0.0442	1.45	0.030
		II	0.171	1.45	0.12

(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。せん断力による検討結果を第 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	2,700	26,600	0.10
		II	110	26,600	0.0041
	45	I	958	25,200	0.038
		II	27.7	24,200	0.0011
鉛直方向変位	0	I	641	83,100	0.0077
		II	26.3	83,100	0.00032
	45	I	227	82,300	0.0028
		II	6.56	81,900	0.000080

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

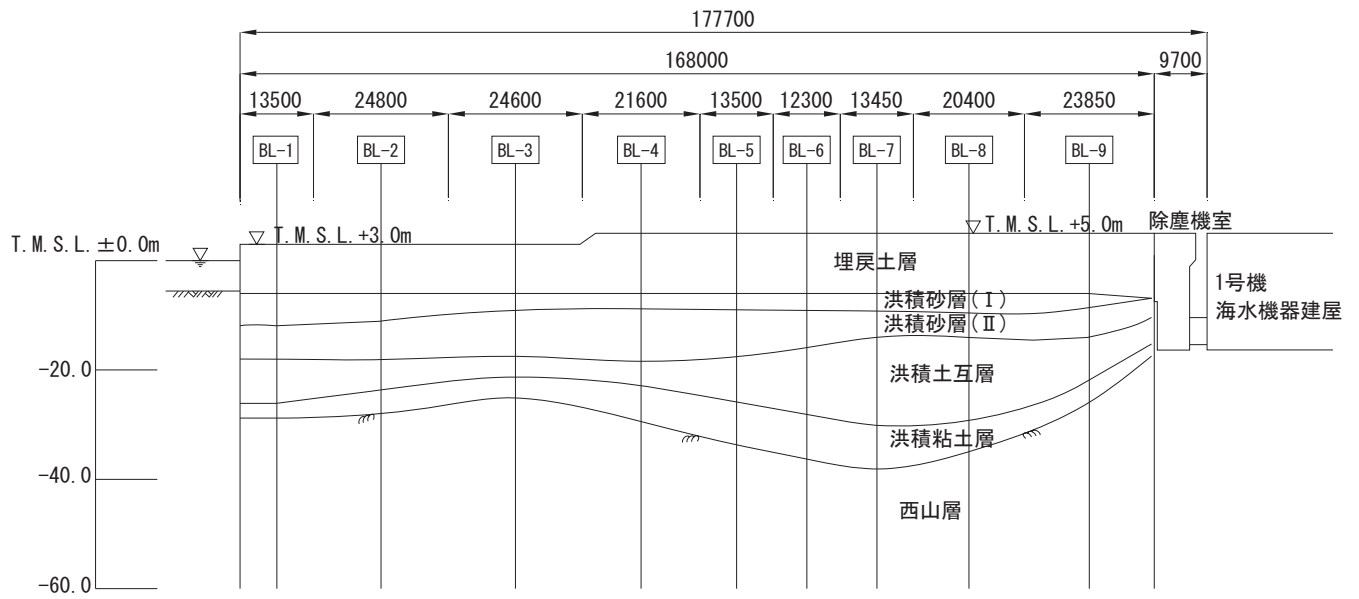
非常用取水路のブロック間相対変位について、軸直交方向は地盤の非線形性を考慮した一次元地震応答解析、軸方向は地盤の非線形性やブロック相互の干渉の影響を考慮して二次元地震応答解析によって検討する。

一次元地震応答解析に用いる解析モデルは、第 8.3.3-1 図に示す地質縦断面図に基づき、非常用取水路の各ブロック区間の中央位置で作成している。また、二次元地震応答解析に用いる解析モデルは、第 8.3.3-1 図に示す地質縦断面図に基づいて地盤をモデル化し、非常用取水路を等価な剛性の平面要素でモデル化する。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。一次元地震応答解析モデルを第 8.3.3-2 図に、二次元地震応答解析モデルを第 8.3.3-3 図に示す。

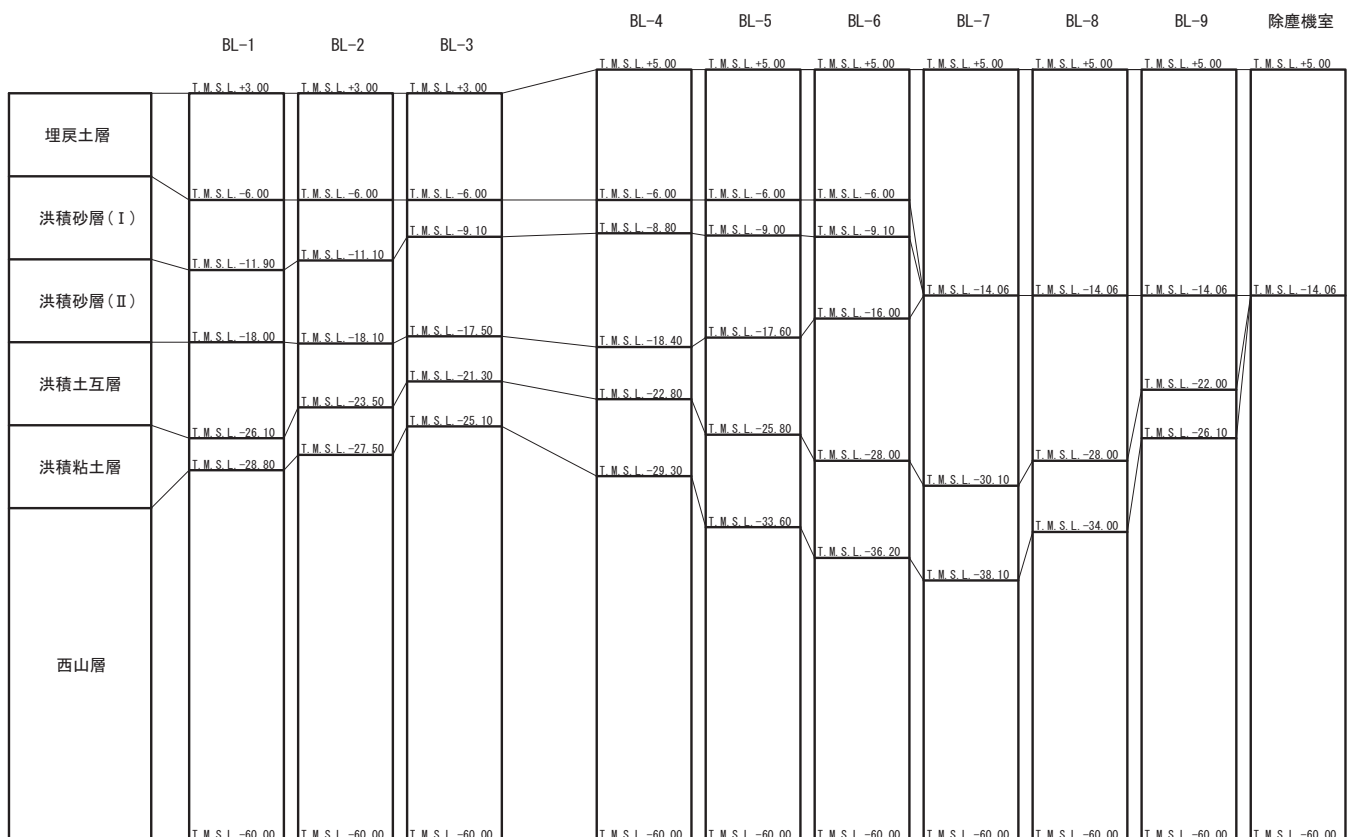
ブロック間の相対変位量は、一次元地震応答解析結果から、各ブロックの構造物設置レベルの変位時刻歴によってブロック間の軸直交方向の相対変位量を、また、二次元地震応答解析結果から、各ブロック間のジョイント要素の変位量によってブロック間の軸方向の相対変位量をそれぞれ算出し、ブロック間に発生する相対変位が取水機能に影響を及ぼさないことを確認する。

8.3.3.2. 検討結果

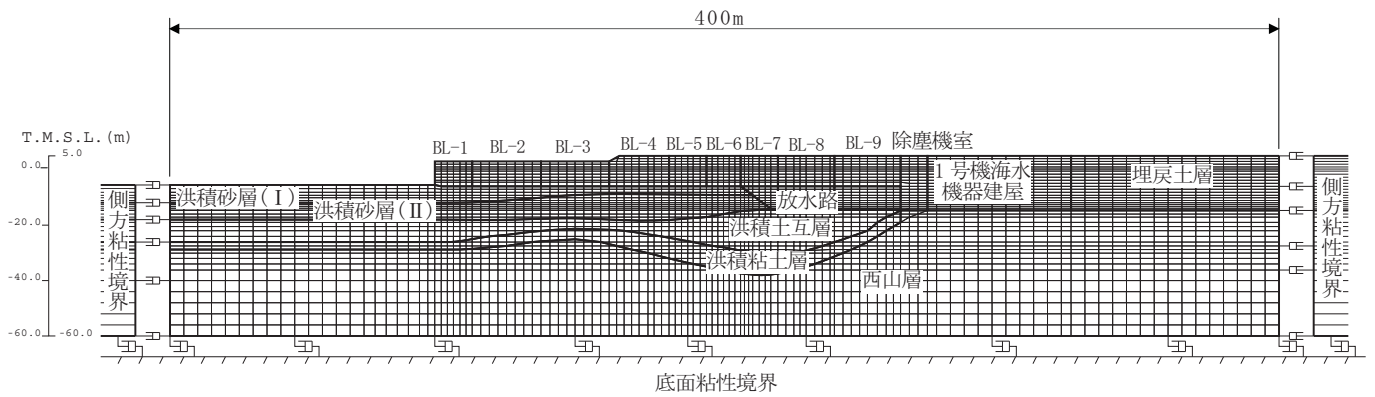
各ブロック間の最大相対変位量を第 8.3.3-1 表に示す。隣接するブロック間の最大相対変位量は、耐震ジョイントの限界性能（伸び 30cm、ずれ 40cm）を下回ることから、取水機能に影響を及ぼすものではない。



第 8.3.3-1 図 地質縦断図



第 8.3.3-2 図 一次元地震応答解析モデル



第 8.3.3-3 図 二次元地震応答解析モデル

第 8.3.3-1 表 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 最大相対変位	
		水平	鉛直
[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

8.4. 非常用取水路の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 11.6kN/m^3 であり，埋戻土層の単位体積重量 18.6kN/m^3 と比べて小さいことから，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

構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力（ V ）が最大となる時刻について，鉛直方向の合力が設置地盤の極限支持力（ Q_u ）を下回ることを確認する。設置地盤の極限支持力は「道路橋示方書下部構造編」に基づき算定する。

また，構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力および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。

8.4.3. 検討結果

構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力は極限支持力を下回ることを確認した。鉛直方向の合力と極限支持力を比較した結果を第 8.4.3-1 表に示す。

また，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～第 8.4.3-2 図に示す。

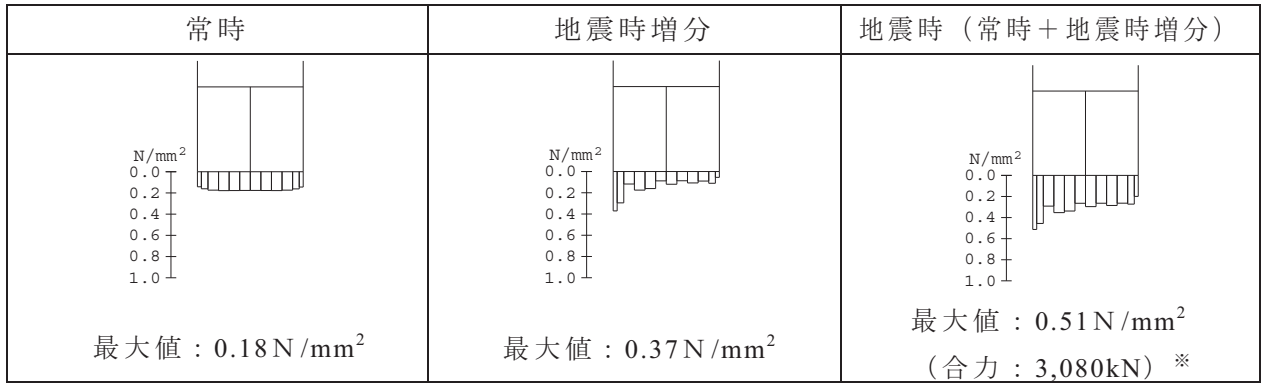
第 8.4.3-1 表 極限支持力に関する検討結果

鉛直力 ^{※1} V (kN)	極限支持力 ^{※1} Q _u (kN)	Q _u /V
3,080 (S _s -1)	16,400 ^{※2}	5.3

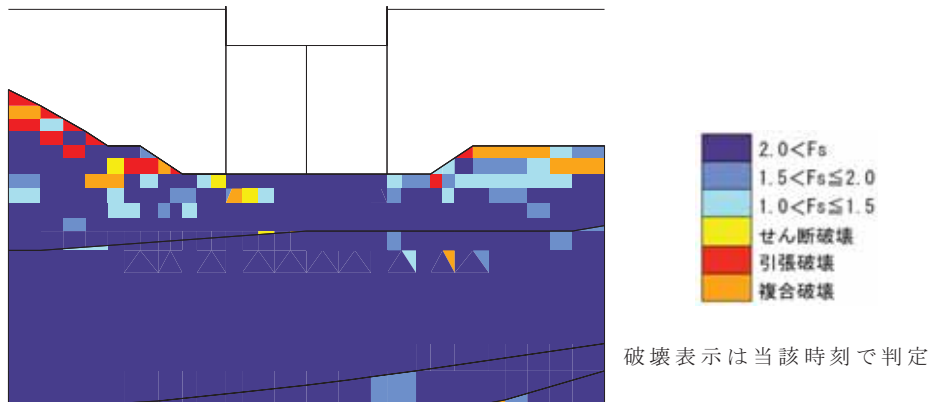
※1 奥行き 1 m 当たりの値

※2 「道路橋示方書下部構造編」に基づき算定（支持層の物性値は建設当時
に実施した試験結果（ $c = 68.6 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 30^\circ$ ）を採用）

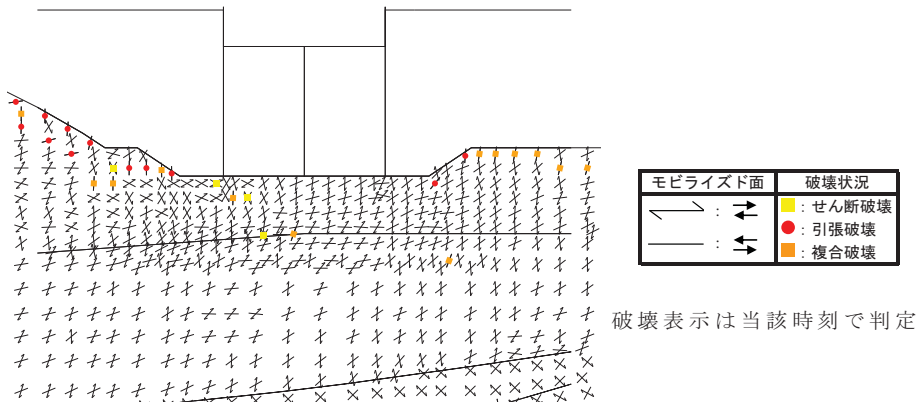
接地圧分布



※ 奥行き 1m 当たりの値



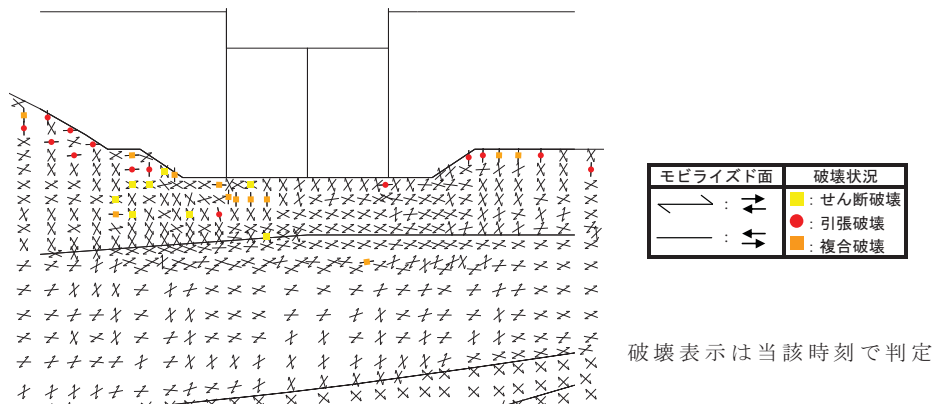
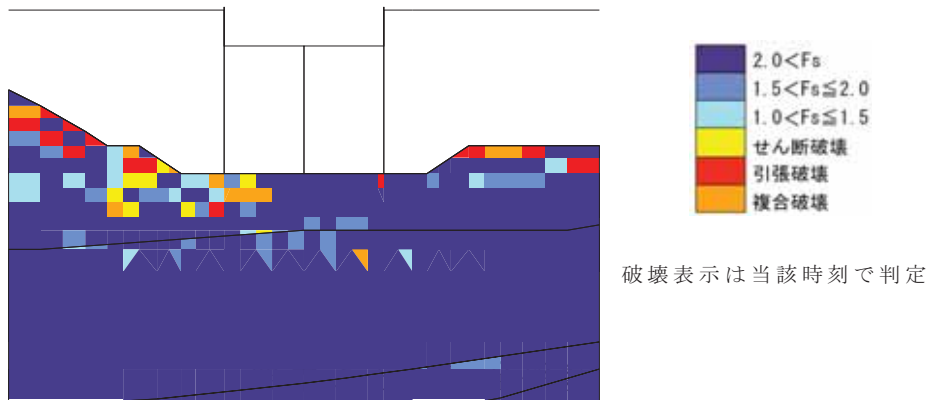
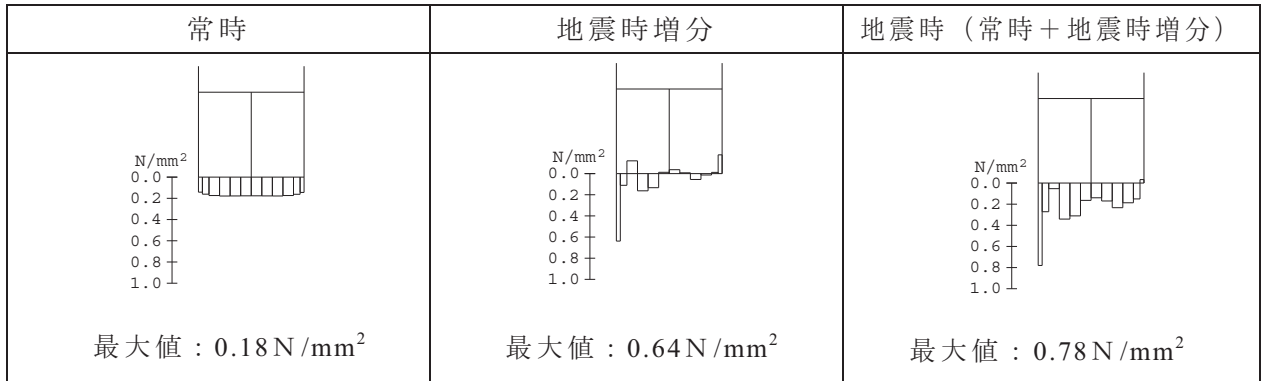
要素ごとの安全係数



モビライズド面

第 8.4.3-1 図 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面
（非常用取水路，Ss-1，鉛直合力最大時，T=17.90 秒）

接地圧分布



モビライズド面

第 8.4.3-2 図 要素ごとの安全係数分布およびモビライズド面
 （非常用取水路，Ss-1，要素鉛直応力最大時，T=28.42 秒）

参考資料 8.1 曲げ系の破壊に対する照査について

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価において、曲げ系の破壊の限界状態は、「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、「部材断面の圧縮縁コンクリートひずみが1.0%（ 10000×10^{-6} ）に至った状態」とし、これに対応する限界値として、以下に示す4通りの中から選択することができるとしている。

1. 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%

材料非線形解析（ファイバーモデルを含む）によって応答を求める場合、ひずみを直接出力することが可能なので、上記を直接限界値とすることができる。

2. 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率

部材非線形解析によって応答を求める場合、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率を断面計算等によって算定し、それを限界値とすることができる。

3. 圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する層間変形角

部材非線形解析によって応答を求める場合、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する層間変形角の算定式によって算定し、それを限界値とすることができる。

4. 層間変形角 1/100

部材非線形，材料非線形を問わず、応答層間変形角が 1/100 以下であれば上記の基準を保証したものとみなすことができる。

参考資料 8.2 セン断耐力の算定方法について

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価において、部材のせん断耐力は、「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」（以下、「耐震性能照査指針」という。）に基づき、「せん断耐力評価式を用いた方法」により算定することを基本とし、裕度が比較的小さい場合には、部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析（以下、「材料非線形解析を用いた方法」という。）により算定している。

せん断耐力の算定方法について、以下に示す。

1. セン断耐力評価式を用いた方法

「せん断耐力評価式を用いた方法」では、耐震性能照査指針に基づき、棒部材式あるいはディープビーム式によりせん断耐力を算定する。棒部材式およびディープビーム式を以下に示す。

①. 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに、 V_{cd} ：コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} ：せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd}^* = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$V_{sd}^* = \{ A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \} z / \gamma_{bs}$$

※詳細は「耐震性能照査指針」を参照

②. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここに、 V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd}^* = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$V_{sdd}^* = \phi \cdot V_{sd}$$

※詳細は「耐震性能照査指針」を参照

2. 材料非線形解析を用いた方法

「材料非線形解析を用いた方法」では、耐震性能照査指針に基づき材料非線形解析を行い、部材のせん断耐力を算定している。

材料非線形解析を用いたせん断耐力については、以下の解析により得られた結果を用いて、荷重ステップ毎の変位増分の拡大状況などを参照して判断している。

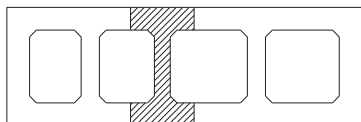
①. 解析手順

材料非線形解析は検討対象部材を有限要素でモデル化し（参図-8.2.1）、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、同荷重比率を維持しながら漸増载荷する（参図-8.2.2）。

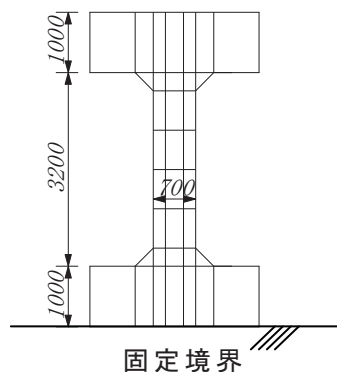
②. 材料特性

コンクリートの圧縮応力下の応力-ひずみ関係は、最大応力点を越えた軟化域まで表す曲線とし、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を表すものを用いる。また、引張応力下の応力-ひずみ関係には、鉄筋コンクリートにおけるコンクリートと鉄筋の付着効果等による相互作用を包含している（「別紙」を参照）。

補機冷却用海水取水路(北側)



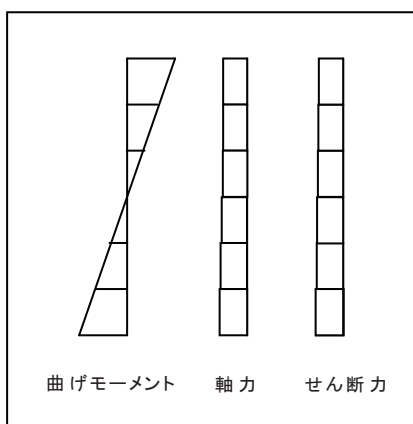
照査対象部
材をモデル化



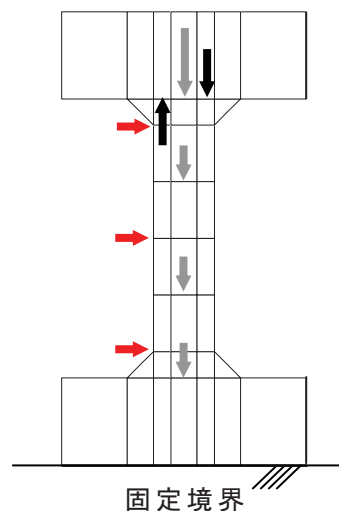
(単位:mm)

参図-8.2.1 材料非線形解析モデル
(例:6号機非常用取水路 補機冷却用海水取水路(北側)隔壁部)

(部材非線形解析で得られた
照査時刻の断面力分布)



部材非線形解析
で得られた照査時
刻の断面力分布
を再現できる荷重
分布を算出

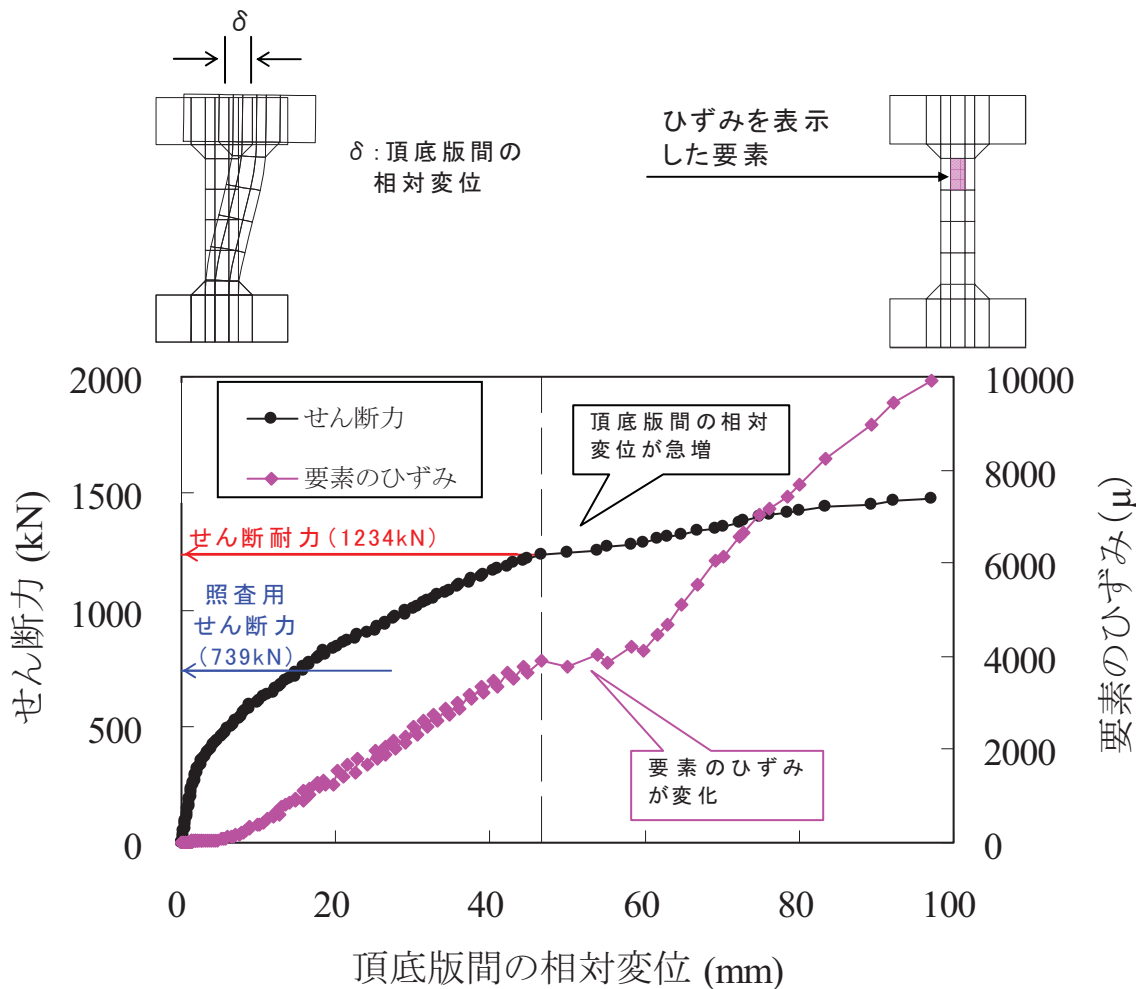


参図-8.2.2 材料非線形解析手法における载荷方法の概念図

③. 部材のせん断耐力の算定例

6号機非常用取水路うち補機冷却用海水取水路の隔壁部の耐震安全性評価を例に，材料非線形解析手法を用いた部材のせん断耐力の算定結果を示す。

参図-8.2.3 に，材料非線形解析から得られたせん断力～頂底板間の相対変位関係，および下図に示す要素のひずみ～頂底板間の相対変位関係を示す。解析の結果から，せん断力～頂底板間の相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位の増分が急増しており，これ以降，要素のひずみの増分も変化している点を部材のせん断耐力と判断している。



参図-8.2.3 材料非線形解析結果
(例：6号機非常用取水路 補機冷却用海水取水路（北側）隔壁部)

材料非線形解析の非線形特性について

部材のせん断耐力の算定に用いた材料非線形解析の非線形特性について、以下に示す。

1. 材料の非線形特性

①. コンクリート

コンクリートの非線形特性を図-1に示す。

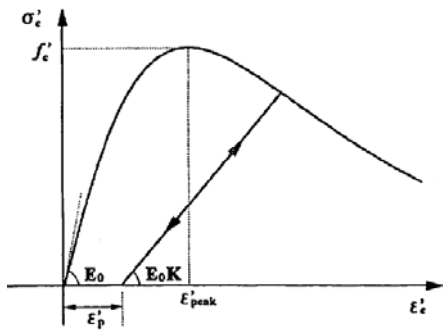
圧縮領域の応力-ひずみの骨格曲線は最大応力点を越えた軟化領域も表し、応力履歴については残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、引張領域に適用する軸方向の平均応力-平均ひずみの骨格曲線は鉄筋との付着作用を包含し、ひび割れ発生以降もひび割れ間のコンクリートが引張応力を分担することを考慮している。

②. 鉄筋

鉄筋の非線形特性を図-2に示す。

鉄筋の応力-ひずみ骨格曲線は鉄筋降伏以後の部材の変形を算定するため、ひずみ硬化を考慮している。



$$\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_c}{\epsilon_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon_{peak}} \left[1 - \exp \left(-1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon_{peak}} \right) \right] \right\}$$

$$\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \cdot \epsilon'_{peak} (1 - \exp(-0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon_{peak}}))$$

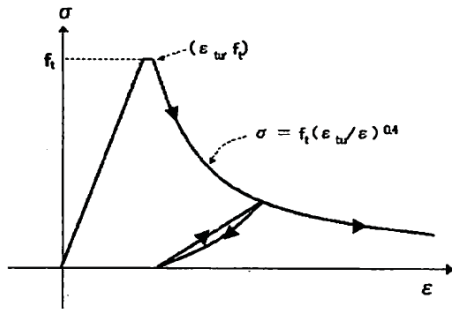
ここに、 ϵ'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ

ϵ'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

ϵ'_p : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

(圧縮応力下の履歴モデル)



ここに、

σ_t : 引張応力

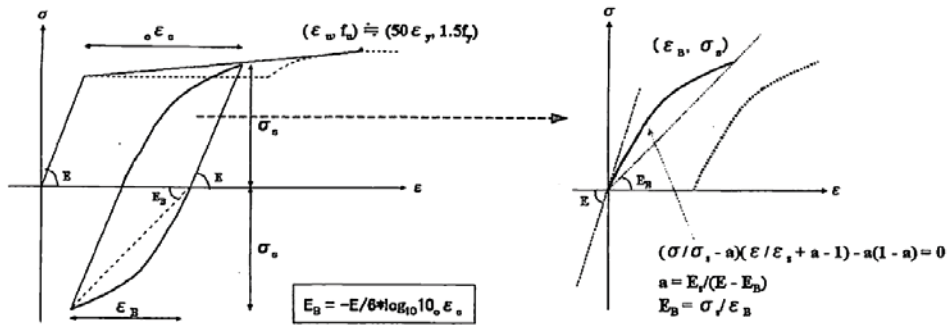
ϵ_t : 引張ひずみ

f_t : 引張強度

ϵ_{tu} : ひび割れ発生限界ひずみ

(引張応力下の履歴モデル)

図-1 コンクリートの履歴モデル (1)



$$(\sigma / \sigma_s - a)(\epsilon / \epsilon_s + a - 1) - a(1 - a) = 0$$

$$a = E_s / (E - E_B)$$

$$E_B = \sigma_s / \epsilon_B$$

$$E_B = -(E/6) \cdot \log_{10} 10 \cdot \epsilon_s$$

ここに、 ϵ_0 : 骨格曲線部の経験ひずみの総和
 なお、引張から圧縮に向かう逆側のループは、対称

図-2 鉄筋の履歴モデル (1)

2. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

鉄筋とコンクリートの界面の付着特性をテンションステイフィニング効果（引張特性が硬化する現象）として，鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより，鉄筋コンクリートの構成則を直接与えるモデルとする。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は，次式⁽²⁾で表せる。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに， $\bar{\sigma}_s$ ， $\bar{\sigma}_c$ ：それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

A_s ， A_c ：それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積， $A_{RC} = A_s + A_c$

3. 参考文献

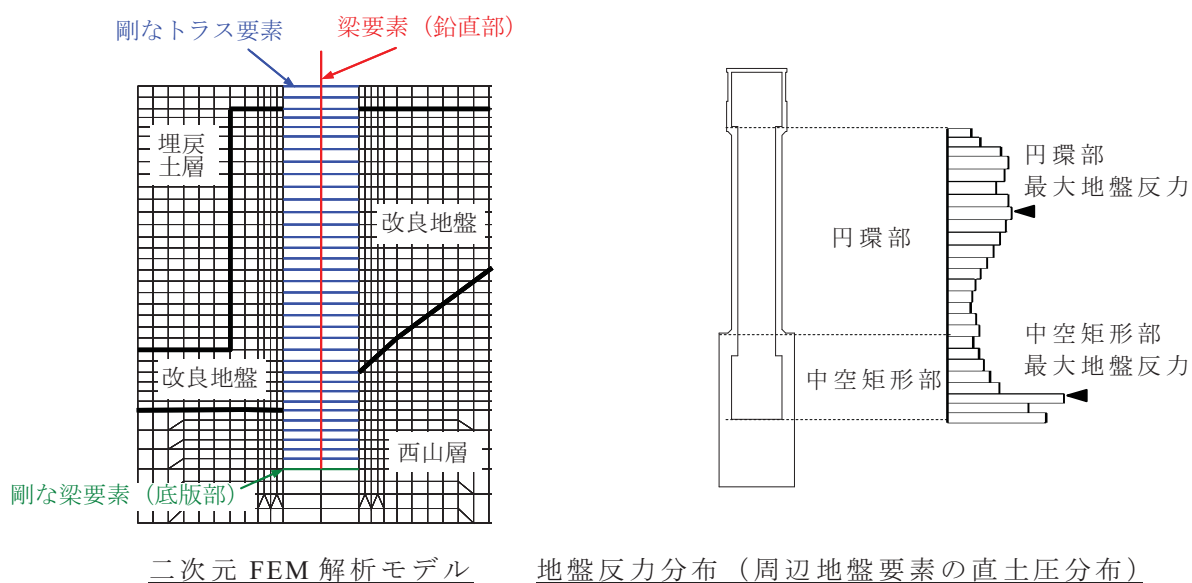
- (1) 「2007年制定 コンクリート標準示方書（設計編）」
土木学会，2007
- (2) 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」
土木学会原子力土木委員会，2005

参考資料 8.3 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）軸直交方向断面の耐震安全性評価方法

1. 評価方法の概要

非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）の軸直交方向断面の耐震安全性評価は、「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）」のケーソン基礎の設計方法，ならびに「原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法報告書，第 6 編 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価，土木学会原子力土木委員会，昭和 60 年 8 月」の取水立坑の耐震安全性評価方法に準じるものとする。評価に用いる応答値の算出は，部材非線形を考慮した梁要素，または材料非線形を考慮した平面要素によってモデル化した軸直交方向断面の周囲を地盤ばねで支持し，これに軸方向断面の解析で得られる最大地盤反力を作用させた断面計算によって行う。地盤反力の算定方法を参図-8.3.1 に，断面計算モデルの概要を参図-8.3.2 に示す。

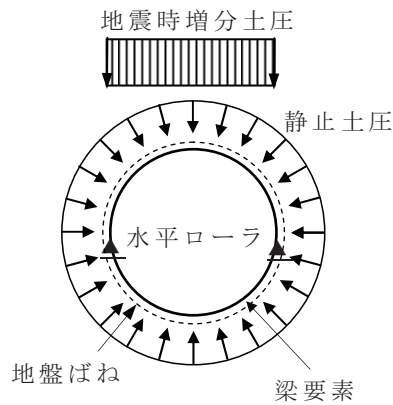
評価は，曲げとせん断について行うものとし，評価位置において，応答値が評価基準値を満足することを確認する。



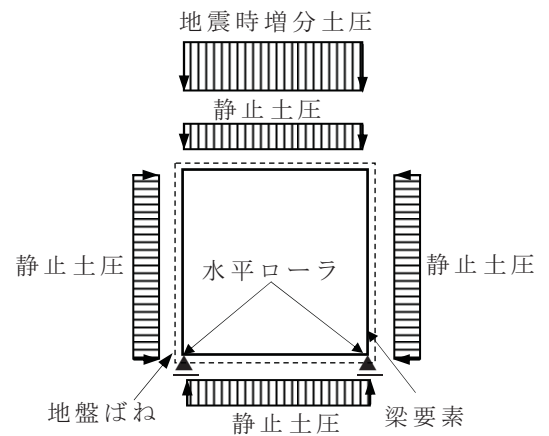
参図-8.3.1 軸方向断面の二次元動的有限要素法解析による地盤反力の算定

部材非線形解析

※ 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。



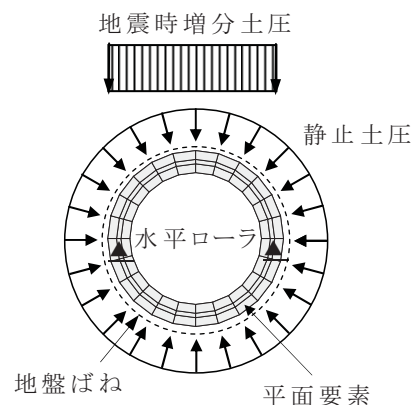
円環部断面



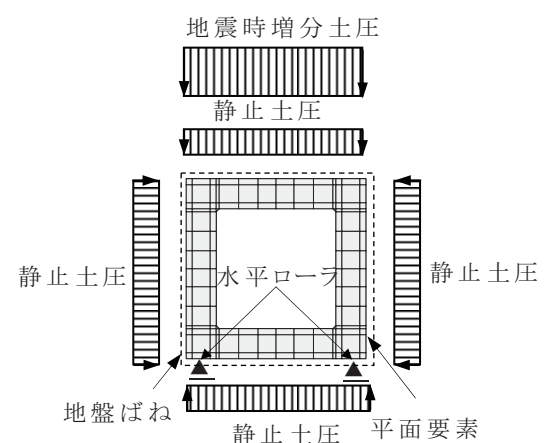
中空矩形部断面

材料非線形解析

※ 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。



円環部断面



中空矩形部断面

参図-8.3.2 軸直交方向断面の断面計算モデル

2. 評価基準

曲げによる評価は、「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，曲率に関する照査を行う。曲率の評価基準値（限界曲率）は「耐震性能照査指針」に基づき，圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% に対応する曲率とする。

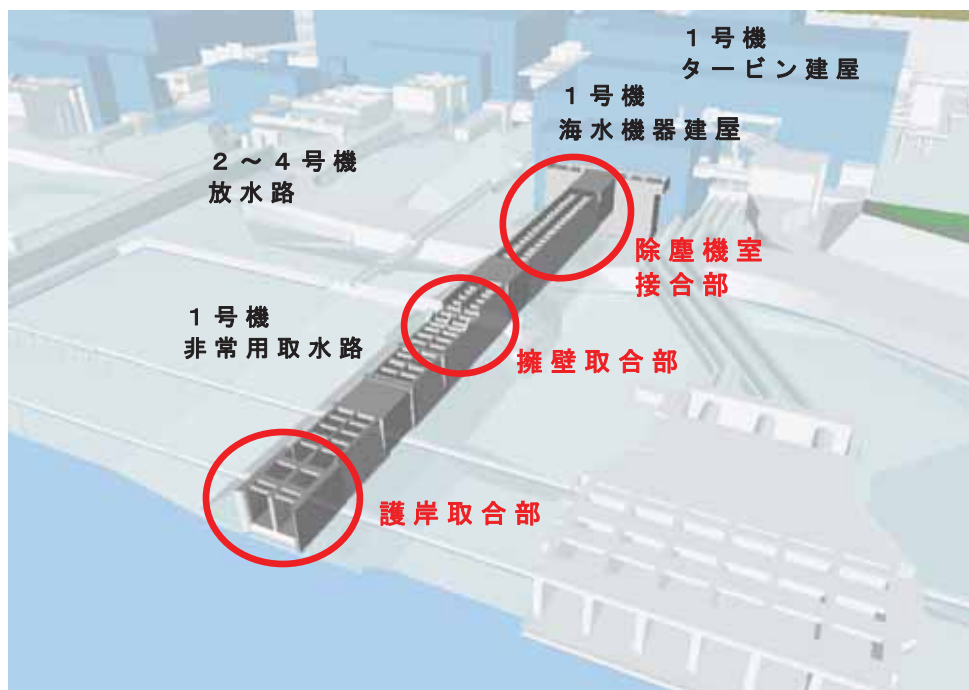
せん断力による評価は「耐震性能照査指針」に基づいて算定した評価基準値（せん断耐力）を用いた照査を行う。せん断耐力の算定にあたっては，せん断耐力評価式を用いた方法を用いることを基本とし，裕度が比較的小さい場合には，部材のせん断耐力を高い精度で評価できる材料非線形解析を用いる。

参考資料 8.4 非常用取水路の局所的な損傷への対応について

(1) はじめに

非常用取水路については、「柏崎刈羽原子力発電所 1 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）」（原管発官 21 第 381 号 平成 21 年 12 月 22 日付け）（以下、「1 号機健全性報告書」という。）のとおり、取水機能に影響を及ぼすものではないものの、鉄筋コンクリート躯体にひび割れ、剥離・剥落および沈下などの局所的な損傷（参図-8.4.1）が確認されたことから、これらを補修するとともに、補剛材設置や地盤改良などの対策を実施した。

なお、非常用取水路の耐震安全性については、「8.2. 耐震安全性評価」に示すとおり、基準地震動 S_s による地震応答解析を実施し、層間変形角およびせん断力とともに照査用応答値が評価基準値を下回ることを確認している。

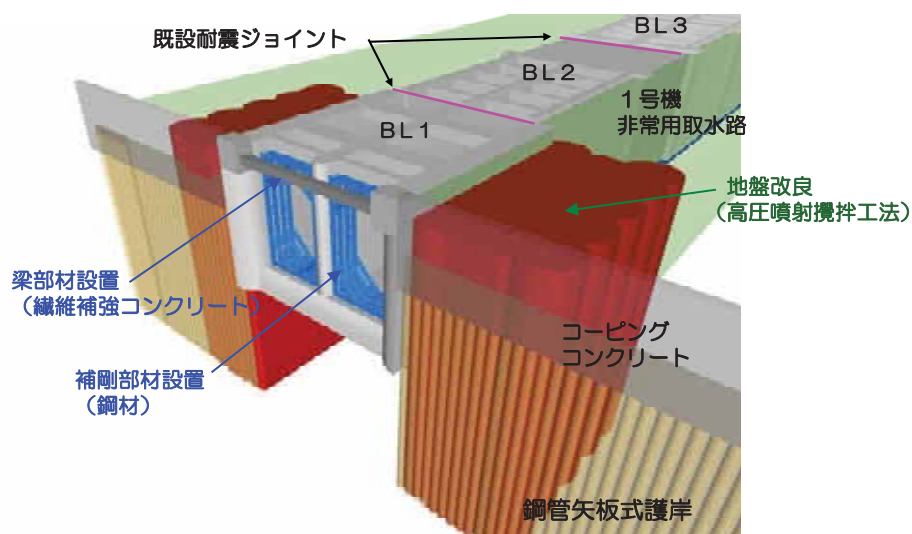


参図-8.4.1 非常用取水路の局所的な損傷の発生位置

(2) 護岸取合部の局所的な損傷への対応

護岸取合部については、「1号機健全性報告書」に示すとおり、側壁にひび割れやストラット端部に剥離が確認されており、これは取水路躯体と護岸の変位差によって取水路側壁と護岸のコーピングコンクリートが接触し、側壁が内側に支圧されたために生じたものと推定された。

このため、ひび割れ周辺のコンクリートをひび割れ補修材の注入などにより断面修復し、護岸取合部の断面剛性を高めるために取水路の海側端部に梁部材および補剛部材を設置した。さらに、取水路に影響を及ぼす側方地盤の地震時変形を低減するために護岸取合部周辺の地盤改良を実施した（参図-8.4.2）。

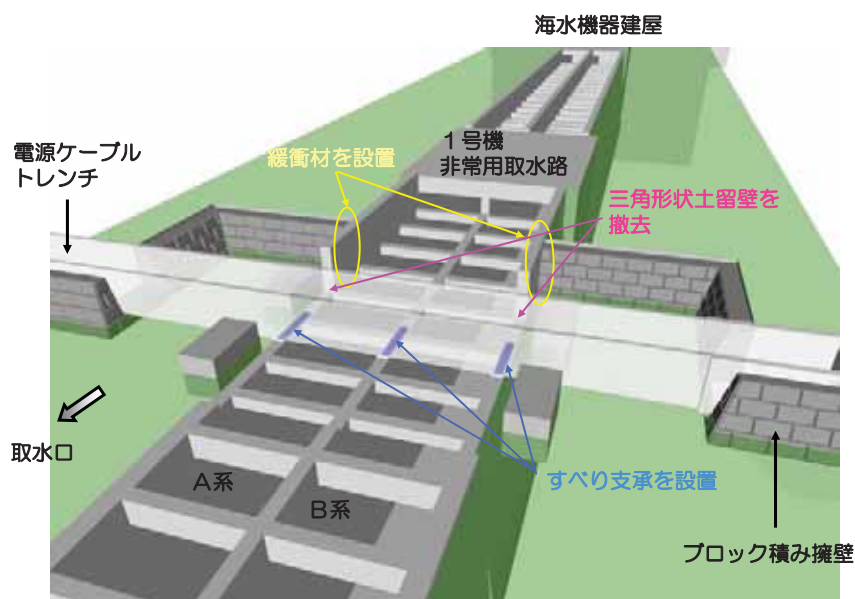


参図-8.4.2 護岸取合部の局所的な損傷への対応の概要

(3) 擁壁取合部の局所的な損傷への対応

擁壁取合部については、「1号機健全性報告書」に示すとおり、電源ケーブルトレンチ（耐震Cクラス構造物）と交差している三角形状土留壁の側壁でひび割れおよび剥離・剥落が確認されており、これは電源ケーブルトレンチおよびブロック積み擁壁からの荷重によるものと推定された。

このため、三角形状土留壁を撤去するとともに、ブロック積み擁壁を移動させ、ブロック積み擁壁と非常用取水路との接触位置には緩衝材を配置した。また、電源ケーブルトレンチと非常用取水路の間にすべり支承を設置した（参図-8.4.3）。

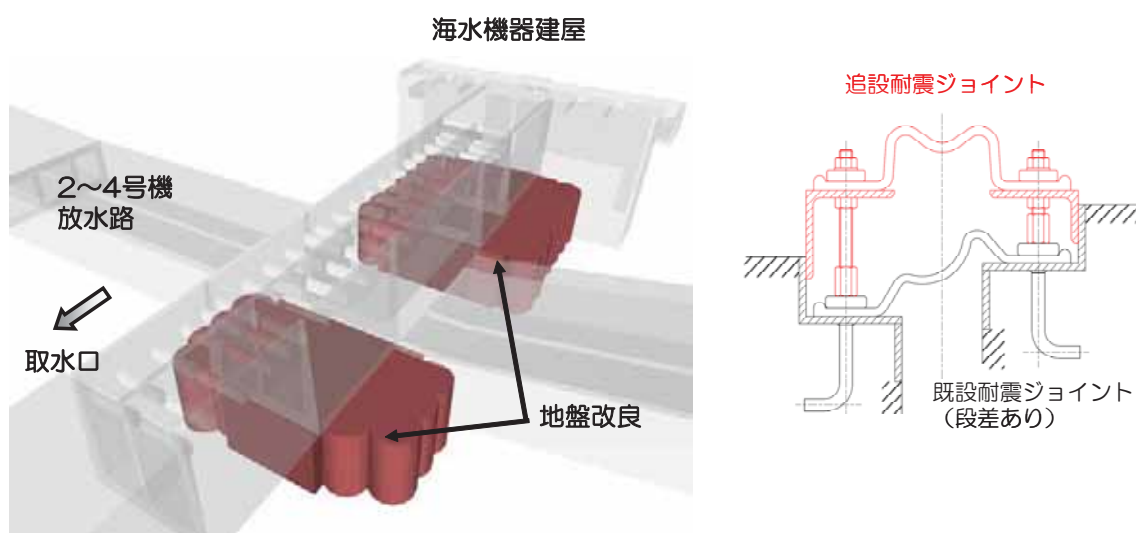


参図-8.4.3 擁壁取合部の局所的な損傷への対応の概要

(4) 除塵機室接合部の局所的な損傷への対応

除塵機室接合部については、「1号機健全性報告書」に示すとおり、非常用取水路側の相対的な沈下が確認されており、これは取水路下方を交差する2～4号機放水路の構築のために洪積層を掘削して埋め戻したことにより生じたものと推定された。

このため、耐震ジョイントの変位に対する余裕を回復するために耐震ジョイントを追設（二重化）し、沈下を防ぐために地盤改良を実施した（参図-8.4.4）。



参図-8.4.4 除塵機室接合部の局所的な損傷への対応の概要

参考資料 8.5 屋外重要土木構造物の地盤改良による補強効果について

1. 補強の基本的な考え方

原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）および非常用ガス処理系配管ダクトについては、余裕が少ないことが確認されたため、周辺の埋戻土層についてセメント系固化材による地盤改良を実施した。この補強を行うことにより、周辺地盤の変形が抑制され、屋外重要土木構造物の安全余裕が向上する。

2. 補強の効果

地盤改良による補強効果を参表-8.5.1に示す。

参表-8.5.1 地盤改良による補強効果

設備名		照査用応答値／評価基準値	
		層間変形角	せん断力
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）	補強前	2.57	0.71 ^{※2}
	補強後	0.43	0.61 ^{※2}
非常用ガス処理系 配管ダクト	補強前	0.46	1.39 ^{※1}
	補強後	0.096	0.78 ^{※1}

※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

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	9-38
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	9-38
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	9-43
9.5.	まとめ	9-45

9. 弾性設計用地震動 S_d に対する検討

9.1. 検討方針

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。

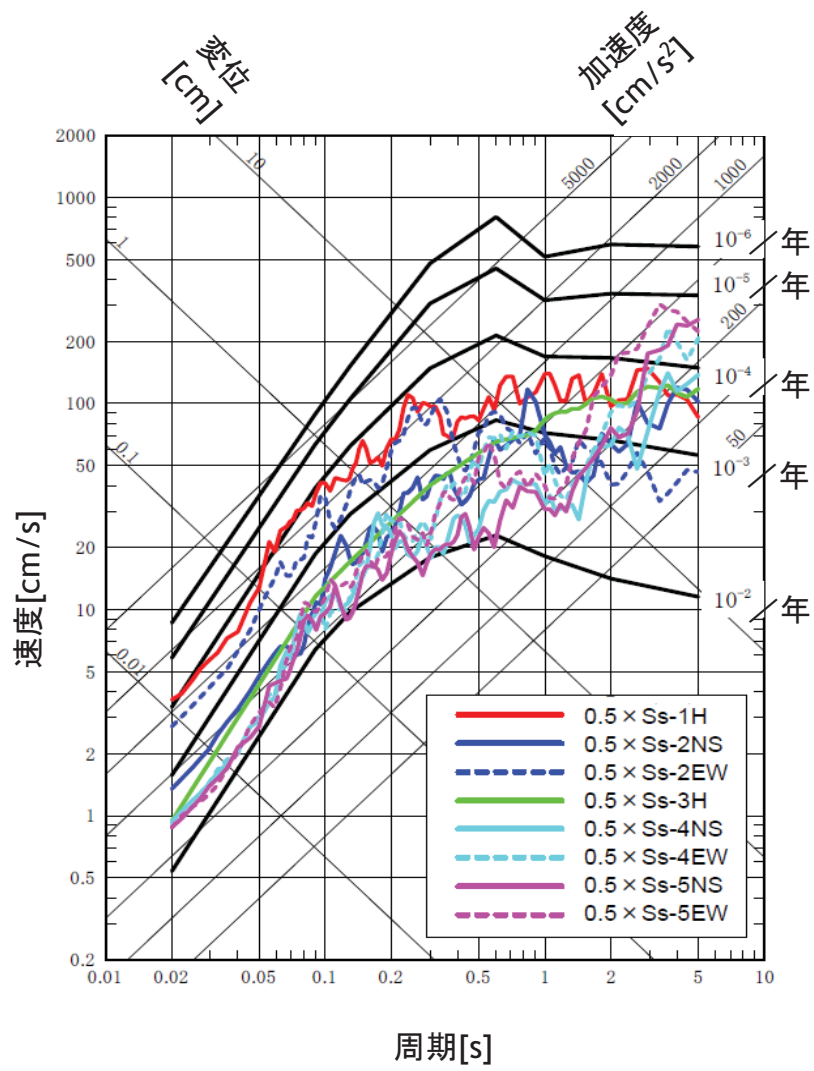
9.2.2 耐震安全性評価における弾性設計用地震動 Sd

(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 Sd の設定

Sd/Ss 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、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、Sd/Ss 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、Sd/Ss の比率を 0.5 とした。



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の包絡値，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の包絡値，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)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+5.0	〔砂層〕	107	18.6	0.33	11.5	21.7	0.53	30.6	12	3.8
+1.2		154	18.6	0.33	17.5	45.0	0.39	46.6	14	3.9
-2.7		182	18.6	0.33	22.6	62.8	0.36	60.1	15	3.5
-6.2		201	18.6	0.33	22.2	76.6	0.29	59.1	18	3.5
-9.7		217	18.6	0.33	19.6	89.3	0.22	52.1	22	3.2
-12.9		230	18.6	0.33	17.0	100	0.17	45.2	26	3.2
-16.1		246	18.6	0.33	18.4	115	0.16	48.9	27	5.1
-21.2	西山層	540	16.9	0.43	462	503	0.92	1321	3	40.8
-62.0		590	16.9	0.43	546	600	0.91	1562	3	15.0
-77.0		620	16.9	0.43	602	662	0.91	1722	3	26.0
-103.0		650	16.9	0.43	655	728	0.90	1873	3	25.0
-128.0		670	16.9	0.43	688	774	0.89	1968	3	64.0
-192.0		690	16.9	0.43	729	820	0.89	2085	3	92.0
-284.0	〔解放 基盤〕	730	16.9	0.43	918	918	-	2625	-	-

第 9.3.1-1 表(2) 地盤定数

(Sd-2)

標高 T. M. S. L (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+5.0	〔砂層〕	107	18.6	0.33	9.76	21.7	0.45	26.0	10	3.8
+1.2		154	18.6	0.33	19.3	45.0	0.43	51.3	13	3.9
-2.7		182	18.6	0.33	23.2	62.8	0.37	61.7	14	3.5
-6.2		201	18.6	0.33	27.5	76.6	0.36	73.2	15	3.5
-9.7		217	18.6	0.33	32.1	89.3	0.36	85.4	13	3.2
-12.9		230	18.6	0.33	36.0	100	0.36	95.8	12	3.2
-16.1		246	18.6	0.33	44.8	115	0.39	119	11	5.1
-21.2	西山層	540	16.9	0.43	472	503	0.94	1350	3	40.8
-62.0		590	16.9	0.43	564	600	0.94	1613	3	15.0
-77.0		620	16.9	0.43	628	662	0.95	1796	3	26.0
-103.0		650	16.9	0.43	684	728	0.94	1956	3	25.0
-128.0		670	16.9	0.43	727	774	0.94	2079	3	64.0
-192.0		690	16.9	0.43	770	820	0.94	2202	3	92.0
-284.0	〔解放 基盤〕	730	16.9	0.43	918	918	-	2625	-	-

第 9.3.1-1 表(3) 地盤定数

(Sd-3)

標高 T. M. S. L (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+5.0	〔砂層〕	107	18.6	0.33	13.6	21.7	0.63	36.2	9	3.8
+1.2		154	18.6	0.33	22.0	45.0	0.49	58.5	11	3.9
-2.7		182	18.6	0.33	27.6	62.8	0.44	73.4	13	3.5
-6.2		201	18.6	0.33	31.4	76.6	0.41	83.5	13	3.5
-9.7		217	18.6	0.33	35.7	89.3	0.40	95.0	14	3.2
-12.9		230	18.6	0.33	37.0	100	0.37	98.4	15	3.2
-16.1		246	18.6	0.33	40.2	115	0.35	107	15	5.1
-21.2	西山層	540	16.9	0.43	467	503	0.93	1336	3	40.8
-62.0		590	16.9	0.43	564	600	0.94	1613	3	15.0
-77.0		620	16.9	0.43	615	662	0.93	1759	3	26.0
-103.0		650	16.9	0.43	669	728	0.92	1913	3	25.0
-128.0		670	16.9	0.43	712	774	0.92	2036	3	64.0
-192.0		690	16.9	0.43	754	820	0.92	2156	3	92.0
-284.0	〔解放 基盤〕	730	16.9	0.43	918	918	-	2625	-	-

第 9.3.1-1 表(4) 地盤定数

(Sd-4)

標高 T. M. S. L (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+5.0	〔砂層〕	107	18.6	0.33	13.9	21.7	0.64	36.9	6	3.8
+1.2		154	18.6	0.33	22.5	45.0	0.50	59.9	7	3.9
-2.7		182	18.6	0.33	28.2	62.8	0.45	75.0	7	3.5
-6.2		201	18.6	0.33	32.9	76.6	0.43	87.5	7	3.5
-9.7		217	18.6	0.33	41.0	89.3	0.46	109	7	3.2
-12.9		230	18.6	0.33	49.0	100	0.49	130	7	3.2
-16.1		246	18.6	0.33	58.6	115	0.51	156	7	5.1
-21.2	西山層	540	16.9	0.43	482	503	0.96	1379	3	40.8
-62.0		590	16.9	0.43	570	600	0.95	1630	3	15.0
-77.0		620	16.9	0.43	628	662	0.95	1796	3	26.0
-103.0		650	16.9	0.43	691	728	0.95	1976	3	25.0
-128.0		670	16.9	0.43	727	774	0.94	2079	3	64.0
-192.0		690	16.9	0.43	762	820	0.93	2179	3	92.0
-284.0	〔解放 基盤〕	730	16.9	0.43	918	918	-	2625	-	-

第 9.3.1-1 表(5) 地盤定数

(Sd-5)

標高 T. M. S. L (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+5.0	〔砂層〕	107	18.6	0.33	14.1	21.7	0.65	37.5	5	3.8
+1.2		154	18.6	0.33	25.6	45.0	0.57	68.1	7	3.9
-2.7		182	18.6	0.33	35.1	62.8	0.56	93.4	8	3.5
-6.2		201	18.6	0.33	43.6	76.6	0.57	116	9	3.5
-9.7		217	18.6	0.33	50.9	89.3	0.57	135	9	3.2
-12.9		230	18.6	0.33	55.0	100	0.55	146	9	3.2
-16.1		246	18.6	0.33	62.1	115	0.54	165	9	5.1
-21.2	西山層	540	16.9	0.43	477	503	0.95	1364	3	40.8
-62.0		590	16.9	0.43	564	600	0.94	1613	3	15.0
-77.0		620	16.9	0.43	615	662	0.93	1759	3	26.0
-103.0		650	16.9	0.43	677	728	0.93	1936	3	25.0
-128.0		670	16.9	0.43	704	774	0.91	2013	3	64.0
-192.0		690	16.9	0.43	729	820	0.89	2085	3	92.0
-284.0	〔解放 基盤〕	730	16.9	0.43	918	918	-	2625	-	-

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-1)

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	9	側面・並進	1.49×10 ⁷	1.03	3.77×10 ⁶	2.36
K2	9	側面・回転	2.71×10 ¹⁰	0.01	2.27×10 ⁹	2.36
K3	10	側面・並進	1.46×10 ⁷	1.03	3.70×10 ⁶	2.36
K4	10	側面・回転	2.66×10 ¹⁰	0.01	2.23×10 ⁹	2.36
K5	11	側面・並進	7.35×10 ⁶	1.03	1.86×10 ⁶	2.36
K6	11	側面・回転	1.34×10 ¹⁰	0.01	1.12×10 ⁹	2.36
K7	11	底面・並進	1.40×10 ⁸	0.00	7.38×10 ⁶	2.36
K8	11	底面・回転	3.32×10 ¹¹	0.00	5.16×10 ⁹	2.36

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

(*)2 K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*)3 f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-1)

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	9	側面・並進	1.49×10 ⁷	1.03	3.77×10 ⁶	2.35
K2	9	側面・回転	2.71×10 ¹⁰	0.01	2.27×10 ⁹	2.35
K3	10	側面・並進	1.46×10 ⁷	1.03	3.70×10 ⁶	2.35
K4	10	側面・回転	2.66×10 ¹⁰	0.01	2.22×10 ⁹	2.35
K5	11	側面・並進	7.35×10 ⁶	1.03	1.86×10 ⁶	2.35
K6	11	側面・回転	1.34×10 ¹⁰	0.01	1.12×10 ⁹	2.35
K7	11	底面・並進	1.40×10 ⁸	0.00	7.38×10 ⁶	2.35
K8	11	底面・回転	3.32×10 ¹¹	0.00	5.14×10 ⁹	2.35

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

(*)2 K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*)3 f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-1)

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 (kNs/m)	採用振動数 ^{(*)1} f ₁ (Hz)
K1	11	底面・鉛直	2.27×10 ⁸	0.00	1.65×10 ⁷	3.23

(*)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-2)

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	9	側面・並進	1.53×10 ⁷	1.04	3.82×10 ⁶	2.39
K2	9	側面・回転	2.77×10 ¹⁰	0.01	2.30×10 ⁹	2.39
K3	10	側面・並進	1.49×10 ⁷	1.04	3.74×10 ⁶	2.39
K4	10	側面・回転	2.72×10 ¹⁰	0.01	2.25×10 ⁹	2.39
K5	11	側面・並進	7.52×10 ⁶	1.04	1.88×10 ⁶	2.39
K6	11	側面・回転	1.37×10 ¹⁰	0.01	1.13×10 ⁹	2.39
K7	11	底面・並進	1.44×10 ⁸	0.00	7.51×10 ⁶	2.39
K8	11	底面・回転	3.44×10 ¹¹	0.00	5.24×10 ⁹	2.39

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-2)

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	9	側面・並進	1.53×10 ⁷	1.04	3.82×10 ⁶	2.38
K2	9	側面・回転	2.77×10 ¹⁰	0.01	2.30×10 ⁹	2.38
K3	10	側面・並進	1.49×10 ⁷	1.04	3.74×10 ⁶	2.38
K4	10	側面・回転	2.72×10 ¹⁰	0.01	2.25×10 ⁹	2.38
K5	11	側面・並進	7.52×10 ⁶	1.04	1.88×10 ⁶	2.38
K6	11	側面・回転	1.37×10 ¹⁰	0.01	1.13×10 ⁹	2.38
K7	11	底面・並進	1.44×10 ⁸	0.00	7.51×10 ⁶	2.38
K8	11	底面・回転	3.44×10 ¹¹	0.00	5.22×10 ⁹	2.38

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-2)

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 (kNs/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	11	底面・鉛直	2.35×10 ⁸	0.00	1.69×10 ⁷	3.28

(*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-3)

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	9	側面・並進	1.51×10 ⁷	1.04	3.79×10 ⁶	2.37
K2	9	側面・回転	2.74×10 ¹⁰	0.01	2.28×10 ⁹	2.37
K3	10	側面・並進	1.48×10 ⁷	1.04	3.72×10 ⁶	2.37
K4	10	側面・回転	2.69×10 ¹⁰	0.01	2.24×10 ⁹	2.37
K5	11	側面・並進	7.44×10 ⁶	1.04	1.87×10 ⁶	2.37
K6	11	側面・回転	1.35×10 ¹⁰	0.01	1.13×10 ⁹	2.37
K7	11	底面・並進	1.42×10 ⁸	0.00	7.45×10 ⁶	2.37
K8	11	底面・回転	3.39×10 ¹¹	0.00	5.19×10 ⁹	2.37

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-3)

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	9	側面・並進	1.51×10 ⁷	1.04	3.79×10 ⁶	2.37
K2	9	側面・回転	2.74×10 ¹⁰	0.01	2.28×10 ⁹	2.37
K3	10	側面・並進	1.48×10 ⁷	1.04	3.72×10 ⁶	2.37
K4	10	側面・回転	2.69×10 ¹⁰	0.01	2.24×10 ⁹	2.37
K5	11	側面・並進	7.44×10 ⁶	1.04	1.87×10 ⁶	2.37
K6	11	側面・回転	1.35×10 ¹⁰	0.01	1.13×10 ⁹	2.37
K7	11	底面・並進	1.42×10 ⁸	0.00	7.45×10 ⁶	2.37
K8	11	底面・回転	3.39×10 ¹¹	0.00	5.19×10 ⁹	2.37

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-3)

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 (kNs/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	11	底面・鉛直	2.32×10 ⁸	0.00	1.67×10 ⁷	3.26

(*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-4)

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	9	側面・並進	1.55×10 ⁷	1.05	3.85×10 ⁶	2.40
K2	9	側面・回転	2.83×10 ¹⁰	0.01	2.32×10 ⁹	2.40
K3	10	側面・並進	1.52×10 ⁷	1.05	3.78×10 ⁶	2.40
K4	10	側面・回転	2.77×10 ¹⁰	0.01	2.27×10 ⁹	2.40
K5	11	側面・並進	7.67×10 ⁶	1.05	1.90×10 ⁶	2.40
K6	11	側面・回転	1.40×10 ¹⁰	0.01	1.14×10 ⁹	2.40
K7	11	底面・並進	1.46×10 ⁸	0.00	7.55×10 ⁶	2.40
K8	11	底面・回転	3.47×10 ¹¹	0.00	5.27×10 ⁹	2.40

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-4)

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	9	側面・並進	1.55×10 ⁷	1.05	3.85×10 ⁶	2.40
K2	9	側面・回転	2.83×10 ¹⁰	0.01	2.32×10 ⁹	2.40
K3	10	側面・並進	1.52×10 ⁷	1.05	3.78×10 ⁶	2.40
K4	10	側面・回転	2.77×10 ¹⁰	0.01	2.27×10 ⁹	2.40
K5	11	側面・並進	7.67×10 ⁶	1.05	1.90×10 ⁶	2.40
K6	11	側面・回転	1.40×10 ¹⁰	0.01	1.14×10 ⁹	2.40
K7	11	底面・並進	1.46×10 ⁸	0.00	7.55×10 ⁶	2.40
K8	11	底面・回転	3.47×10 ¹¹	0.00	5.27×10 ⁹	2.40

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-4)

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 (kNs/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	11	底面・鉛直	2.36×10 ⁸	0.00	1.69×10 ⁷	3.49

(*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-5)

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	9	側面・並進	1.54×10 ⁷	1.05	3.84×10 ⁶	2.39
K2	9	側面・回転	2.81×10 ¹⁰	0.01	2.31×10 ⁹	2.39
K3	10	側面・並進	1.51×10 ⁷	1.05	3.76×10 ⁶	2.39
K4	10	側面・回転	2.75×10 ¹⁰	0.01	2.26×10 ⁹	2.39
K5	11	側面・並進	7.61×10 ⁶	1.05	1.89×10 ⁶	2.39
K6	11	側面・回転	1.38×10 ¹⁰	0.01	1.14×10 ⁹	2.39
K7	11	底面・並進	1.44×10 ⁸	0.00	7.50×10 ⁶	2.39
K8	11	底面・回転	3.42×10 ¹¹	0.00	5.25×10 ⁹	2.39

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(EW 方向, Sd-5)

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	9	側面・並進	1.54×10 ⁷	1.05	3.84×10 ⁶	2.38
K2	9	側面・回転	2.81×10 ¹⁰	0.01	2.31×10 ⁹	2.38
K3	10	側面・並進	1.51×10 ⁷	1.05	3.76×10 ⁶	2.38
K4	10	側面・回転	2.75×10 ¹⁰	0.01	2.26×10 ⁹	2.38
K5	11	側面・並進	7.61×10 ⁶	1.05	1.89×10 ⁶	2.38
K6	11	側面・回転	1.38×10 ¹⁰	0.01	1.14×10 ⁹	2.38
K7	11	底面・並進	1.44×10 ⁸	0.00	7.50×10 ⁶	2.38
K8	11	底面・回転	3.42×10 ¹¹	0.00	5.23×10 ⁹	2.38

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

(*2) K1, K3, K5, K7 は kNs/m K2, K4, K6, K8 は kNsm/rad

(*3) f1 は連成系の 1 次固有振動数

(鉛直方向, Sd-5)

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 (kNs/m)	採用振動数 ^(*1) f ₁ (Hz)
K1	11	底面・鉛直	2.32×10 ⁸	0.00	1.67×10 ⁷	3.26

(*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-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.424	2.36	1.584	地盤建屋連成一次
2	0.209	4.77	-0.627	
3	0.097	10.28	-0.078	
4	0.076	13.24	0.220	
5	0.059	16.84	-0.113	

(NS 方向, Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.419	2.39	1.588	地盤建屋連成一次
2	0.207	4.84	-0.634	
3	0.097	10.31	-0.079	
4	0.075	13.25	0.227	
5	0.059	16.84	-0.117	

(NS 方向, Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.424	2.37	1.586	地盤建屋連成一次
2	0.208	4.81	-0.631	
3	0.097	10.30	-0.078	
4	0.075	13.25	0.224	
5	0.059	16.85	-0.115	

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-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.417	2.40	1.590	地盤建屋連成一次
2	0.206	4.86	-0.637	
3	0.097	10.32	-0.079	
4	0.075	13.25	0.230	
5	0.059	16.85	-0.119	

(NS 方向, Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.419	2.39	1.588	地盤建屋連成一次
2	0.207	4.83	-0.634	
3	0.097	10.31	-0.079	
4	0.075	13.25	0.227	
5	0.059	16.85	-0.117	

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-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.425	2.35	1.583	地盤建屋連成一次
2	0.210	4.77	-0.628	
3	0.098	10.24	-0.075	
4	0.077	13.02	0.197	
5	0.057	17.49	-0.098	

(EW 方向, Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.420	2.38	1.587	地盤建屋連成一次
2	0.207	4.83	-0.634	
3	0.097	10.26	-0.076	
4	0.077	13.02	0.203	
5	0.057	17.50	-0.101	

(EW 方向, Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.422	2.37	1.585	地盤建屋連成一次
2	0.208	4.80	-0.631	
3	0.098	10.25	-0.076	
4	0.077	13.02	0.200	
5	0.057	17.49	-0.100	

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-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.417	2.40	1.589	地盤建屋連成一次
2	0.206	4.86	-0.637	
3	0.097	10.27	-0.077	
4	0.077	13.03	0.206	
5	0.057	17.50	-0.103	

(EW 方向, Sd-5)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.420	2.38	1.587	地盤建屋連成一次
2	0.207	4.83	-0.634	
3	0.097	10.26	-0.076	
4	0.077	13.02	0.204	
5	0.057	17.50	-0.102	

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-1)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.310	3.23	7.409	地盤建屋連成一次
2	0.280	3.57	-6.466	屋根トラス一次
3	0.082	12.19	0.108	
4	0.059	16.83	0.386	
5	0.058	17.21	0.396	

(Sd-2)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.305	3.28	8.633	地盤建屋連成一次
2	0.280	3.57	-7.691	屋根トラス一次
3	0.082	12.19	0.112	
4	0.059	16.83	0.394	
5	0.058	17.22	0.405	

(Sd-3)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.307	3.26	8.140	地盤建屋連成一次
2	0.280	3.57	-7.197	屋根トラス一次
3	0.082	12.19	0.110	
4	0.059	16.83	0.391	
5	0.058	17.22	0.402	

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)

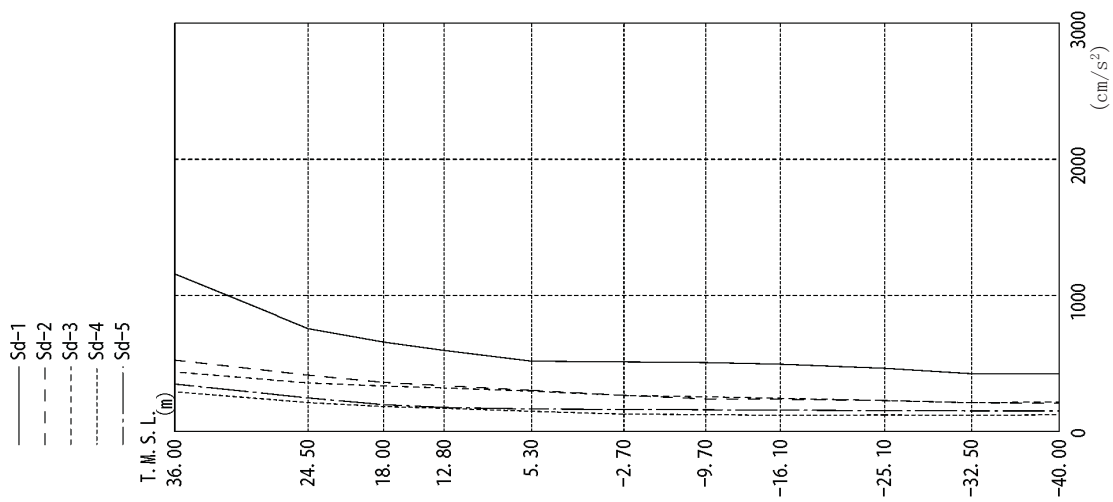
(Sd-4)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.304	3.29	8.807	地盤建屋連成一次
2	0.280	3.57	-7.866	屋根トラス一次
3	0.082	12.19	0.112	
4	0.059	16.83	0.395	
5	0.058	17.22	0.406	

(Sd-5)

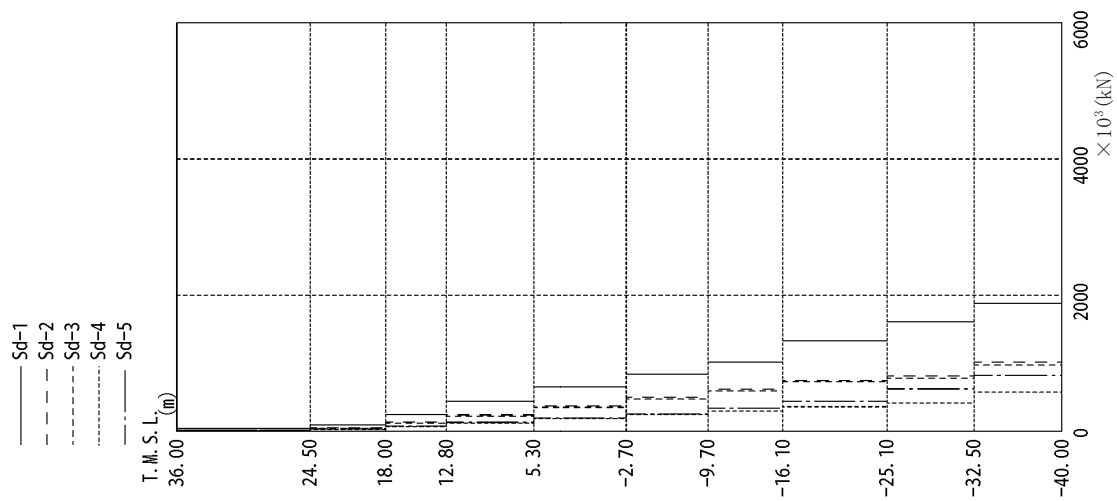
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.307	3.26	8.140	地盤建屋連成一次
2	0.280	3.57	-7.197	屋根トラス一次
3	0.082	12.19	0.110	
4	0.059	16.83	0.391	
5	0.058	17.22	0.402	

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。



Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
1158	524	437	292	348
755	413	356	212	246
656	360	334	183	197
595	336	319	170	176
516	301	296	148	165
511	265	265	127	162
506	239	255	124	159
494	236	243	118	156
464	227	227	121	153
424	211	211	118	151
423	208	217	122	150

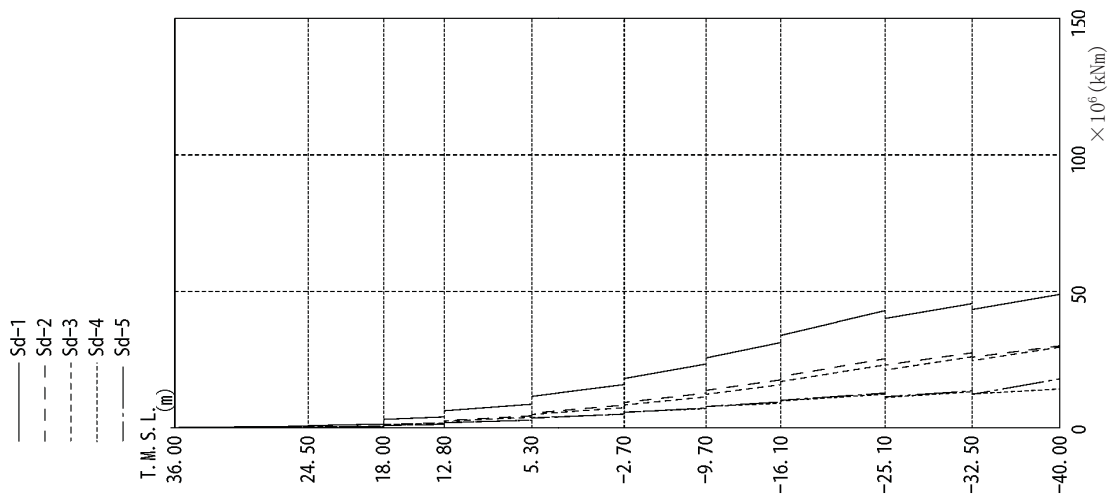
第 9.3.1-1 图 最大応答加速度 (NS 方向)



$\times 10^3$ (kN)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
45	20	17	11	14
96	50	42	26	32
248	135	120	68	78
439	242	222	121	132
653	376	352	186	192
841	497	472	243	258
1019	615	592	299	339
1330	746	731	361	442
1608	814	780	414	623
1883	1017	972	574	823

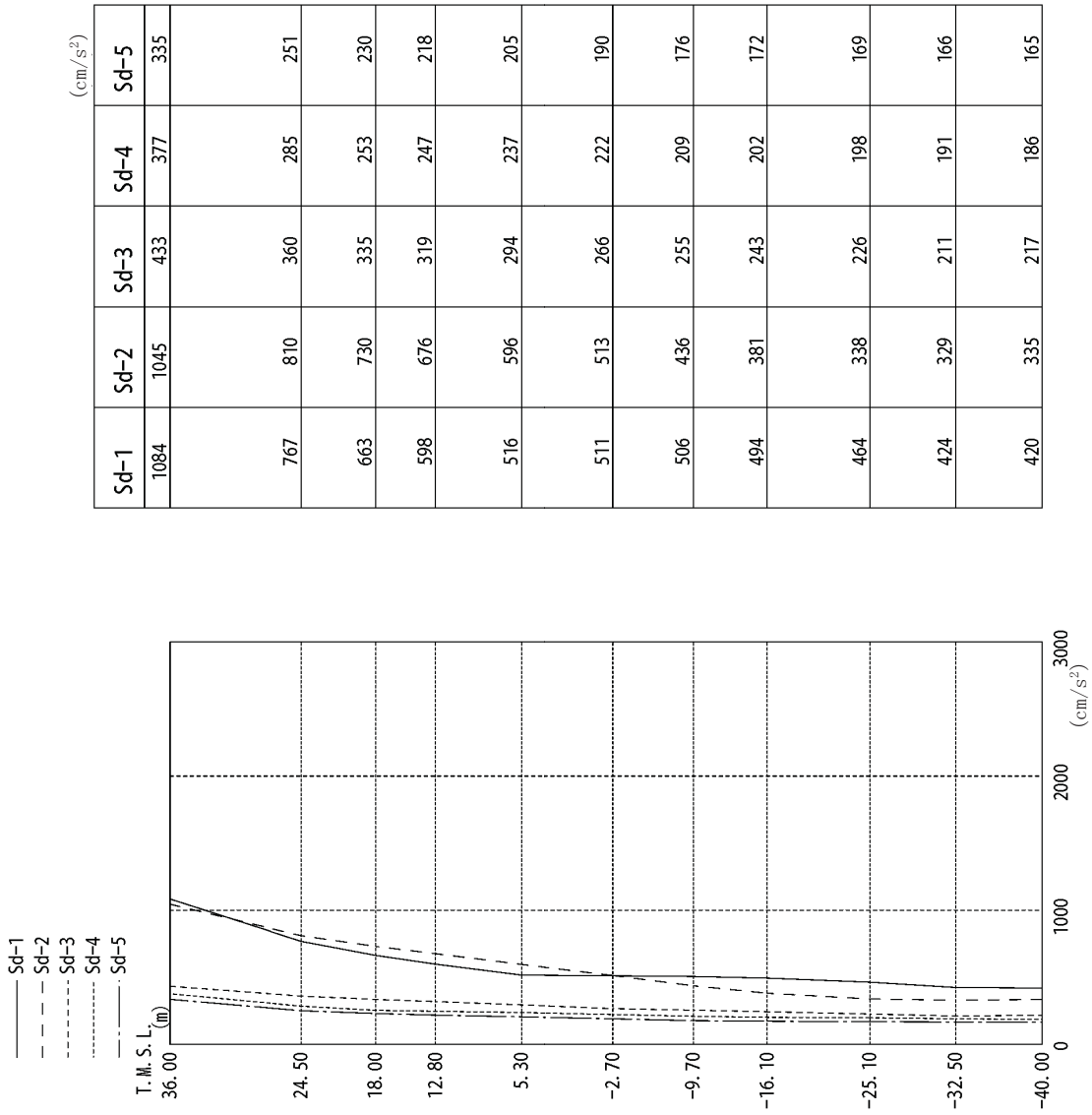
第 9.3.1-2 図 最大芯せん断力 (NS 方向)



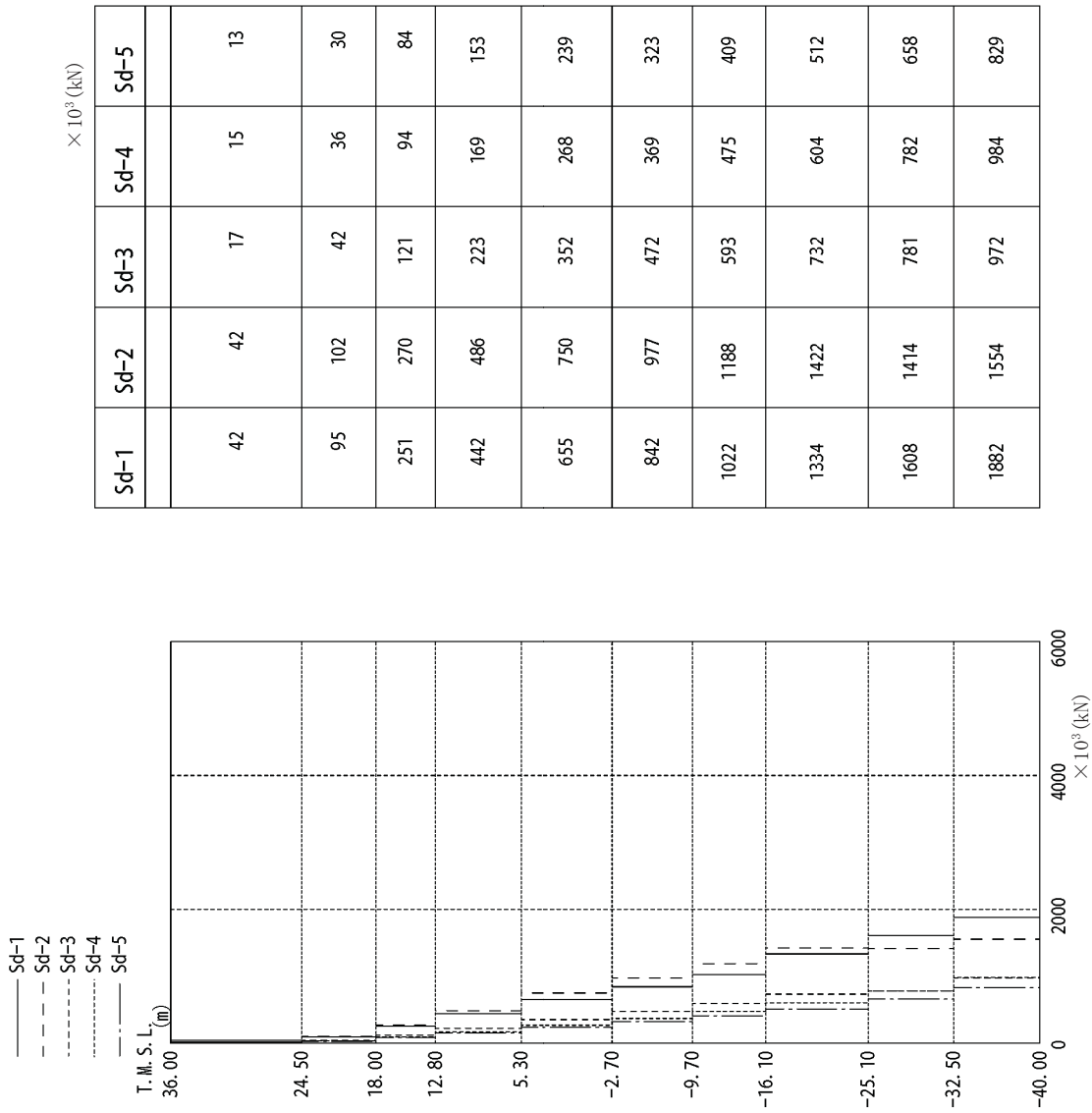
× 10⁶ (kNm)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
0.087	0.024	0.031	0.023	0.022
0.601	0.259	0.221	0.145	0.178
0.797	0.318	0.290	0.200	0.226
1.369	0.642	0.547	0.371	0.431
3.087	1.176	1.156	0.892	0.868
3.998	1.876	1.628	1.246	1.270
6.247	2.587	2.436	1.934	1.836
8.644	4.394	3.866	2.802	2.828
11.505	5.353	4.902	3.683	3.531
15.851	8.337	7.376	4.955	5.038
18.060	9.290	8.356	5.750	5.647
23.375	12.720	11.339	7.016	7.244
25.611	13.729	12.283	7.780	7.806
31.251	17.573	15.799	9.005	9.474
33.868	18.810	16.969	9.860	10.073
42.961	25.307	23.055	12.299	12.724
40.085	23.022	21.167	11.101	11.381
45.500	27.478	26.026	13.189	13.519
43.350	25.848	24.599	12.427	12.248
48.905	30.028	29.557	14.226	17.938

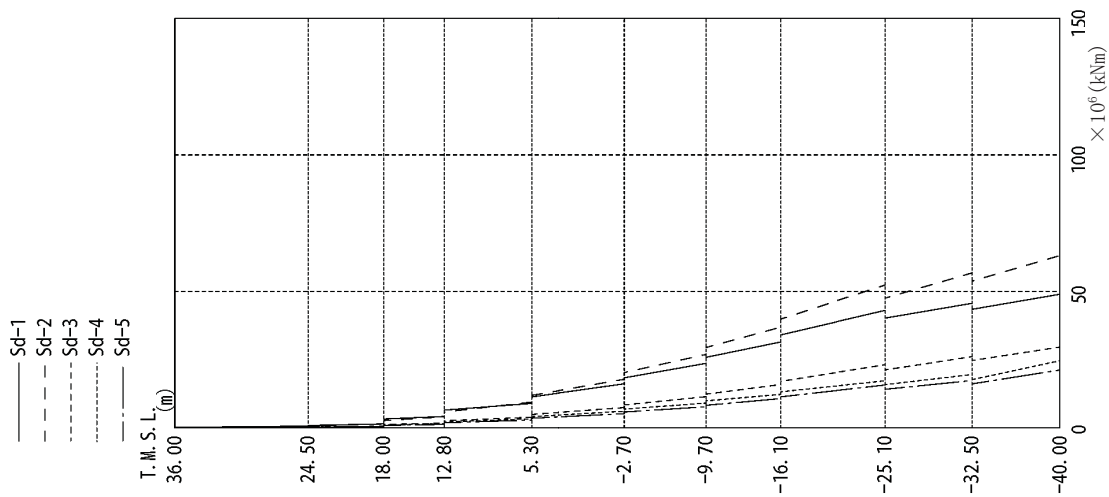
第 9.3.1-3 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)



第 9.3.1-4 图 最大応答加速度 (EW 方向)



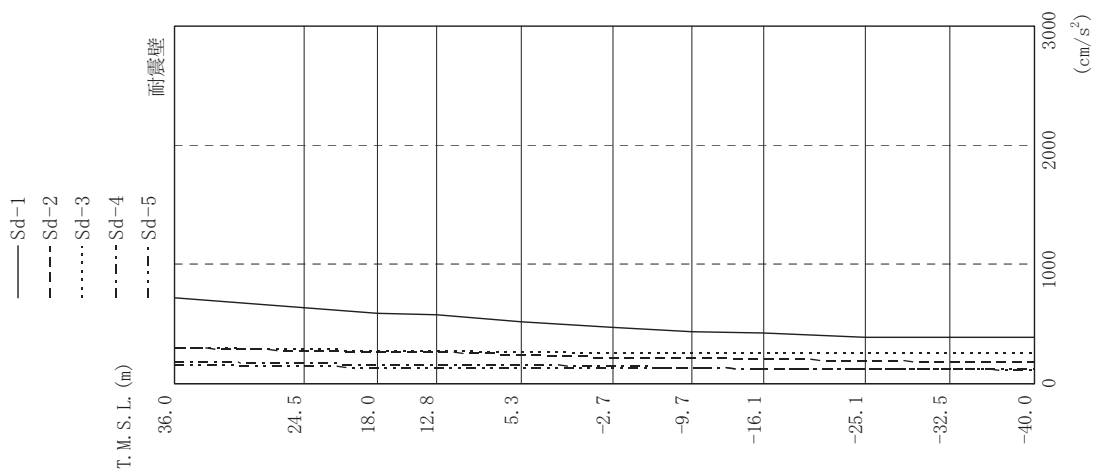
第 9.3.1-5 図 最大応答せん断力 (EW 方向)



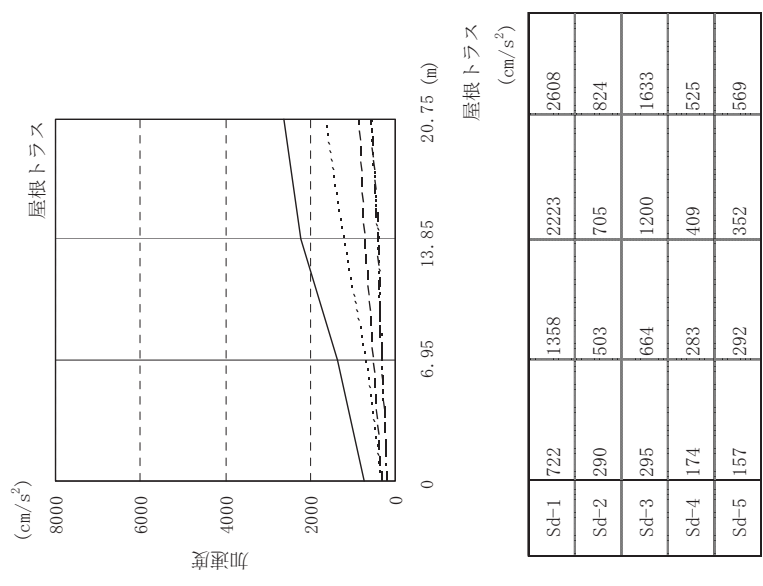
× 10⁶ (kNm)

Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5
0.145	0.112	0.052	0.037	0.039
0.626	0.575	0.237	0.211	0.189
0.862	0.729	0.323	0.275	0.247
1.427	1.392	0.574	0.508	0.441
3.243	2.648	1.246	1.015	0.878
4.164	4.037	1.672	1.485	1.262
6.491	5.783	2.579	2.139	1.857
8.935	9.417	3.882	3.301	2.853
11.321	11.887	4.904	4.093	3.510
16.127	17.779	7.406	6.071	5.184
18.315	20.251	8.392	6.863	5.784
23.626	26.901	11.405	9.057	7.714
25.832	29.434	12.335	9.866	8.245
31.469	36.894	15.872	12.244	10.713
34.050	39.855	17.036	13.196	11.354
43.056	52.335	23.114	17.234	15.696
40.212	47.534	21.233	15.824	14.120
45.626	56.754	26.077	19.538	17.325
43.426	53.752	24.653	17.653	16.096
48.951	63.119	29.595	24.582	21.185

第 9.3.1-6 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向)

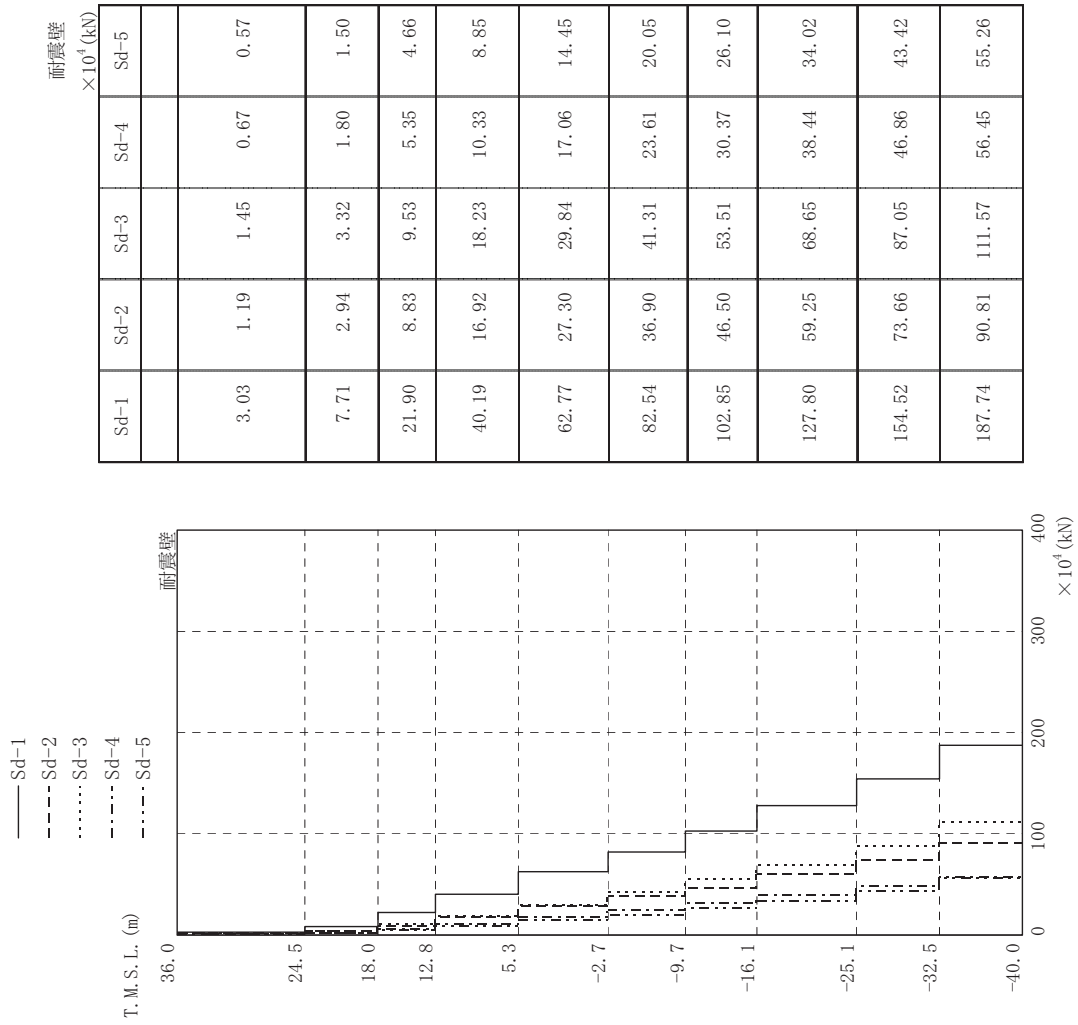


耐震壁 (cm/s ²)		耐震壁 (cm/s ²)				
	Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	
	722	290	295	174	157	
	637	276	282	161	136	
	596	263	276	159	133	
	577	256	272	156	131	
	517	236	262	152	127	
	468	218	250	142	125	
	439	210	249	132	124	
	423	201	250	123	123	
	395	186	252	116	121	
	389	175	251	113	118	
	386	171	251	112	118	

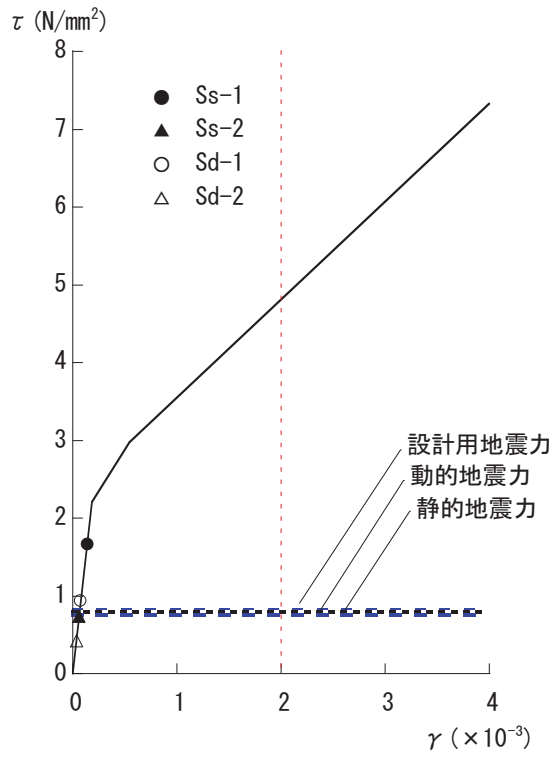


屋根トラス (cm/s ²)		屋根トラス (cm/s ²)				
	Sd-1	Sd-2	Sd-3	Sd-4	Sd-5	
	722	290	295	174	157	
	637	276	282	161	136	
	596	263	276	159	133	
	577	256	272	156	131	
	517	236	262	152	127	
	468	218	250	142	125	
	439	210	249	132	124	
	423	201	250	123	123	
	395	186	252	116	121	
	389	175	251	113	118	
	386	171	251	112	118	

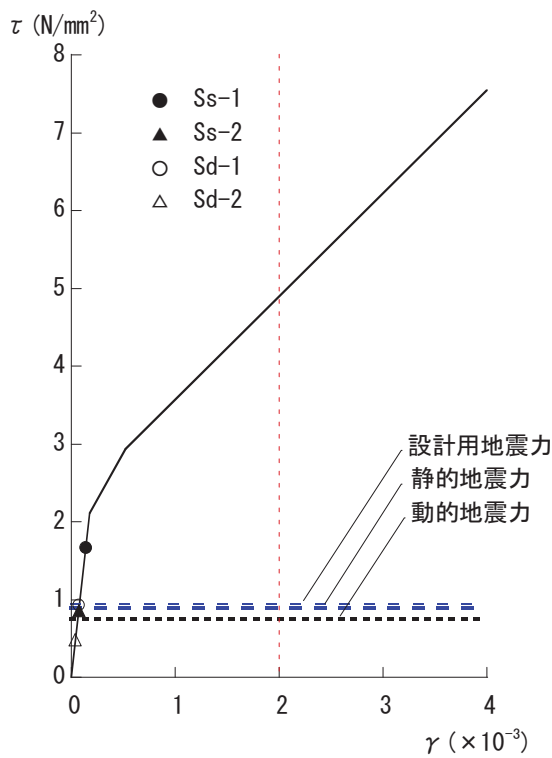
第 9.3.1-7 図 最大心答加速度 (鉛直方向)



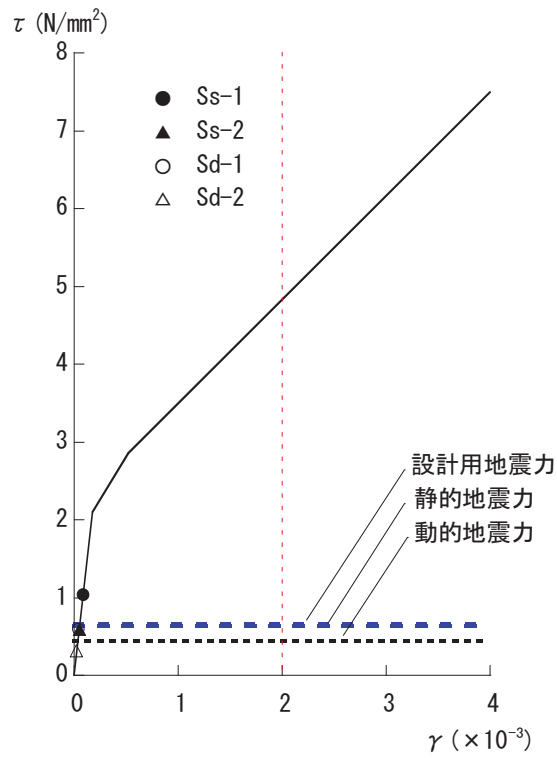
第 9.3.1-8 図 最大応答軸力 (鉛直方向)



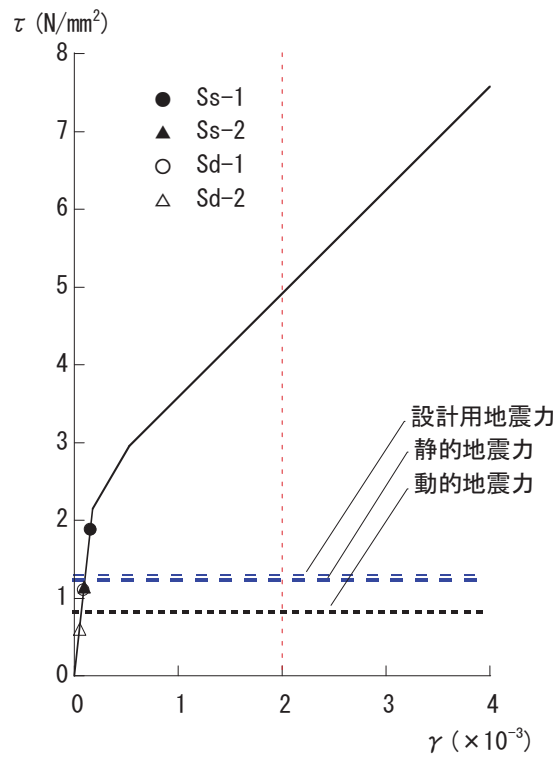
第 9.3.1-9 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,CRF)



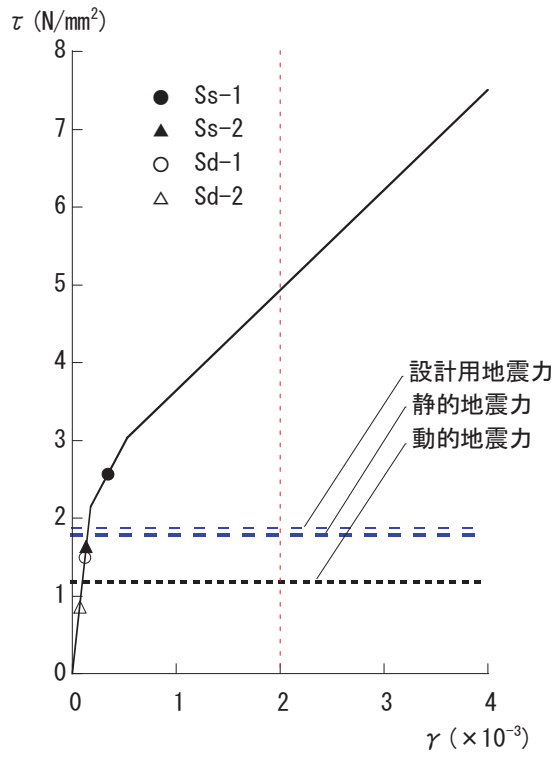
第 9.3.1-9 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,3F)



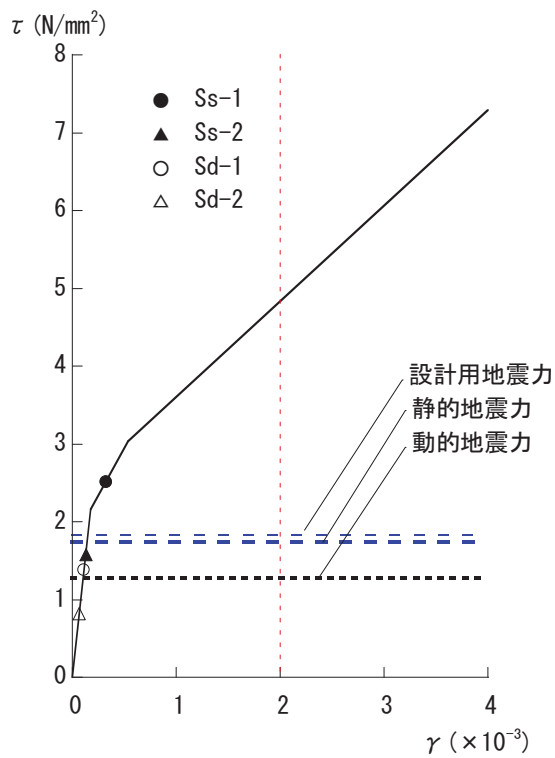
第 9.3.1-9 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,2F)



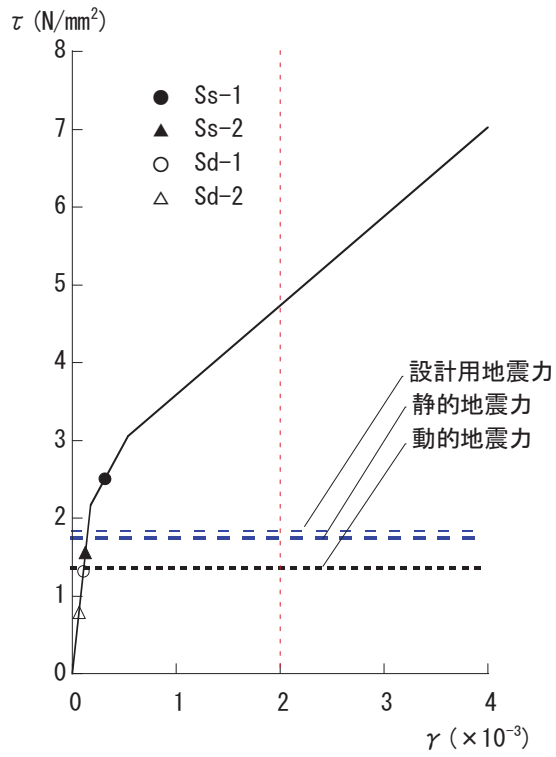
第 9.3.1-9 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,1F)



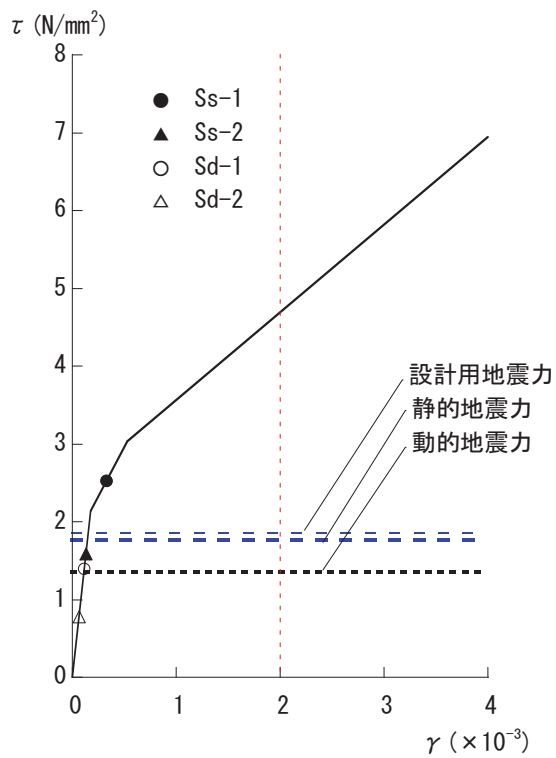
第 9.3.1-9 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B1F)



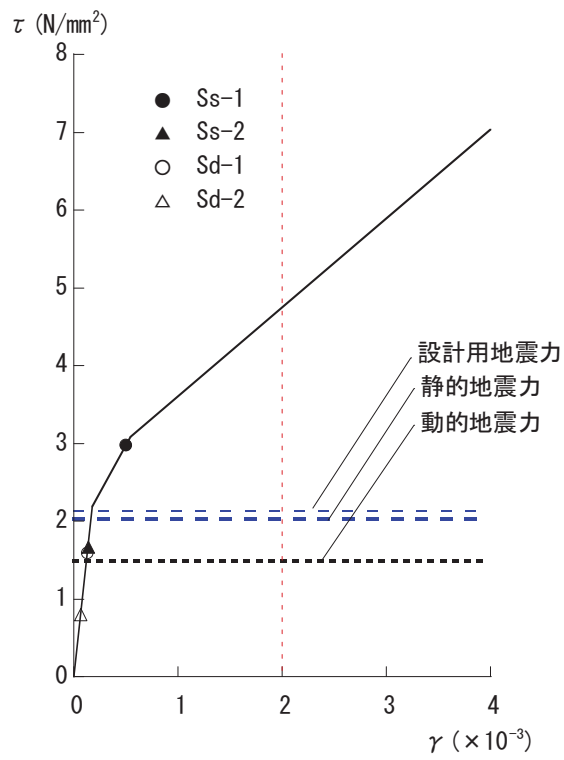
第 9.3.1-9 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B2F)



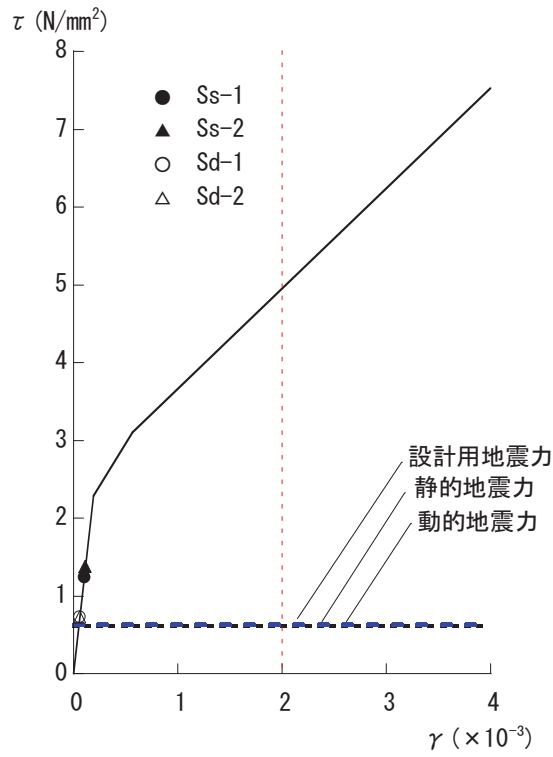
第 9.3.1-9 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B3F)



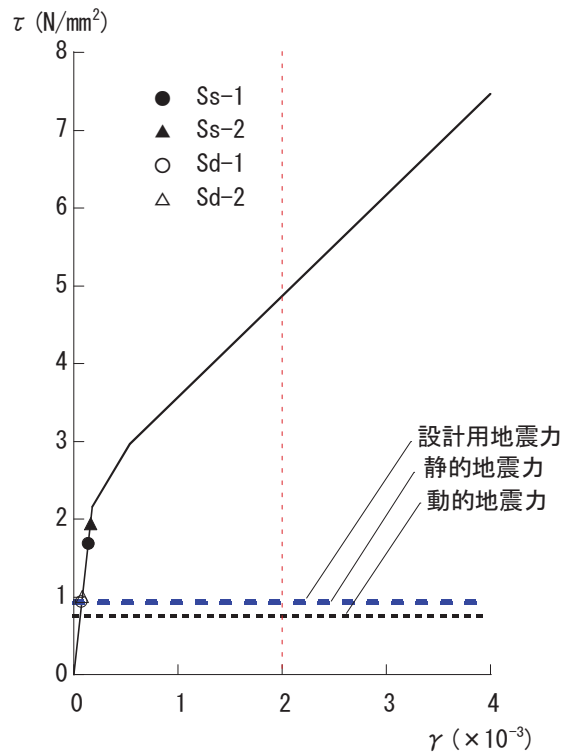
第 9.3.1-9 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B4F)



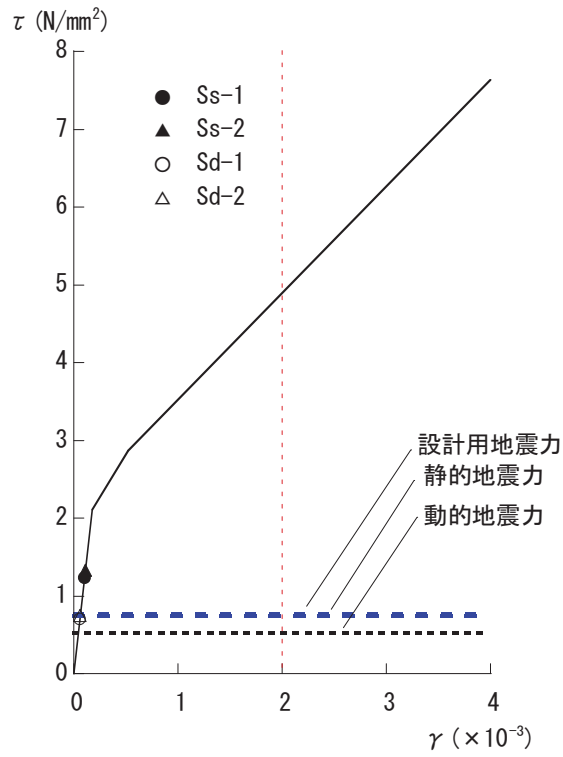
第 9.3.1-9 図(i) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(NS 方向,B5F)



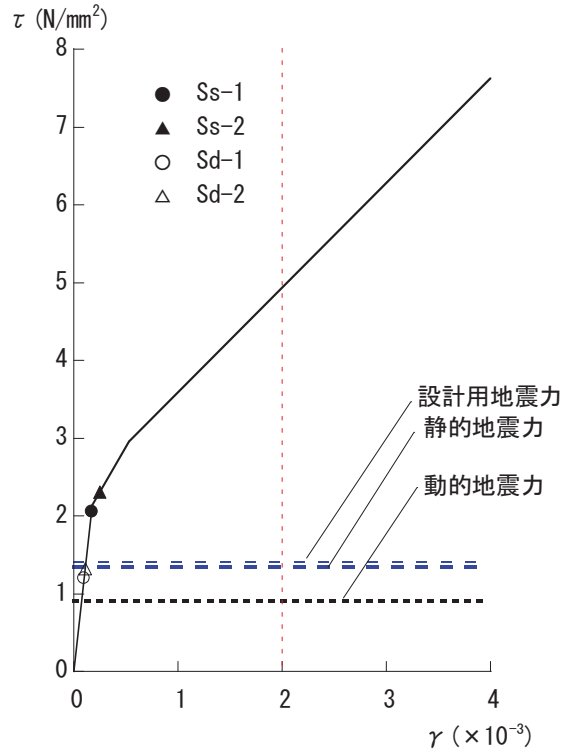
第 9.3.1-10 図(a) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,CRF)



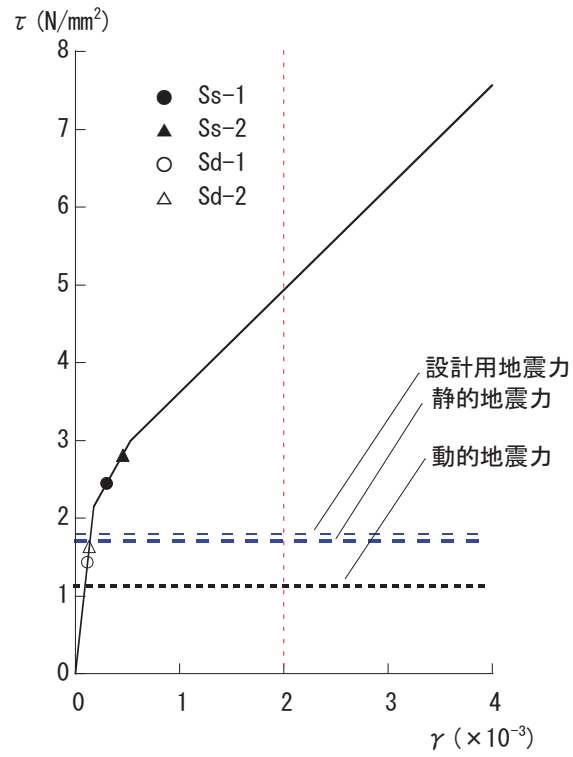
第 9.3.1-10 図(b) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,3F)



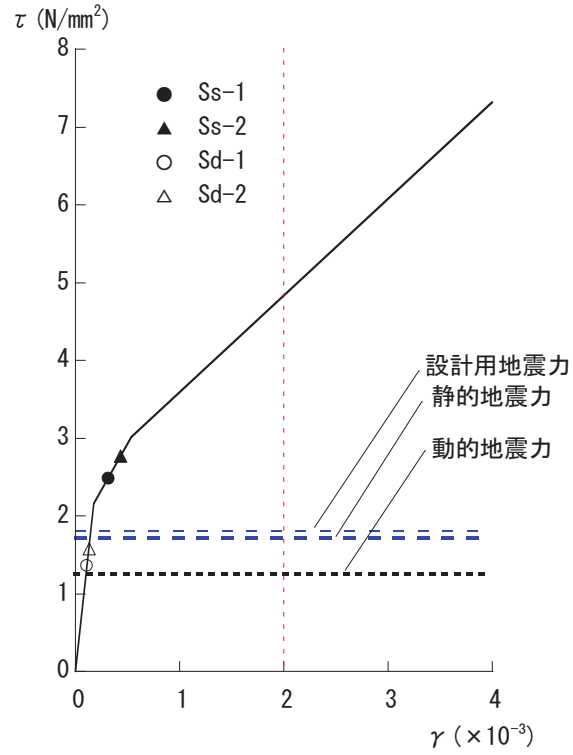
第 9.3.1-10 図(c) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,2F)



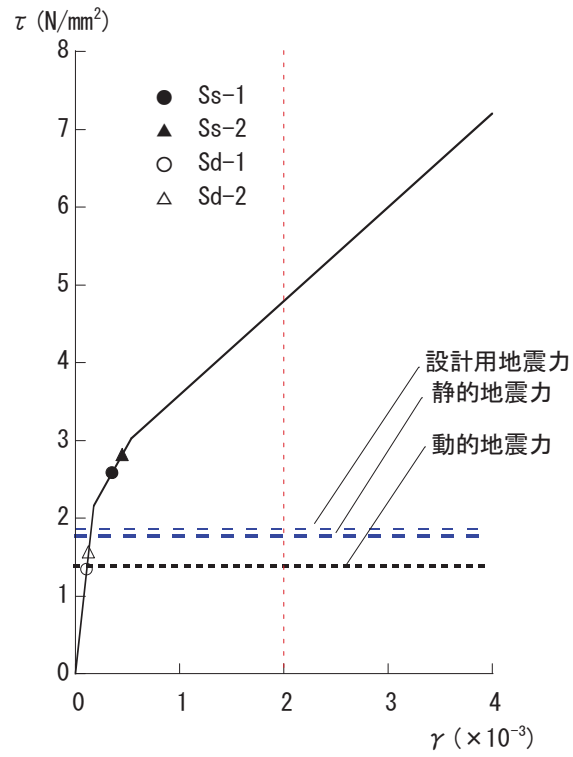
第 9.3.1-10 図(d) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,1F)



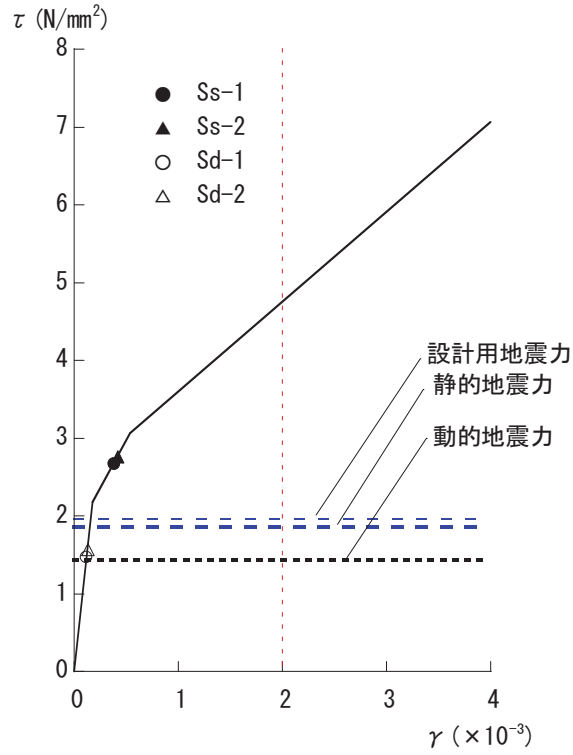
第 9.3.1-10 図(e) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B1F)



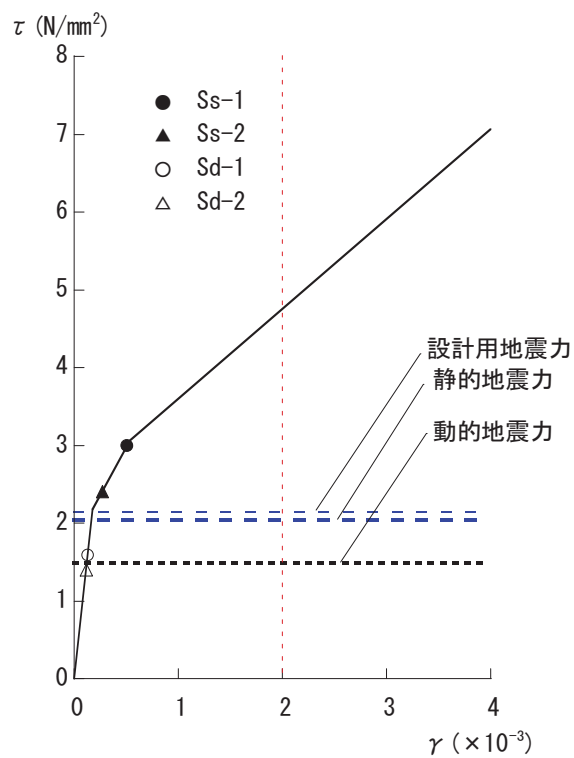
第 9.3.1-10 図(f) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B2F)



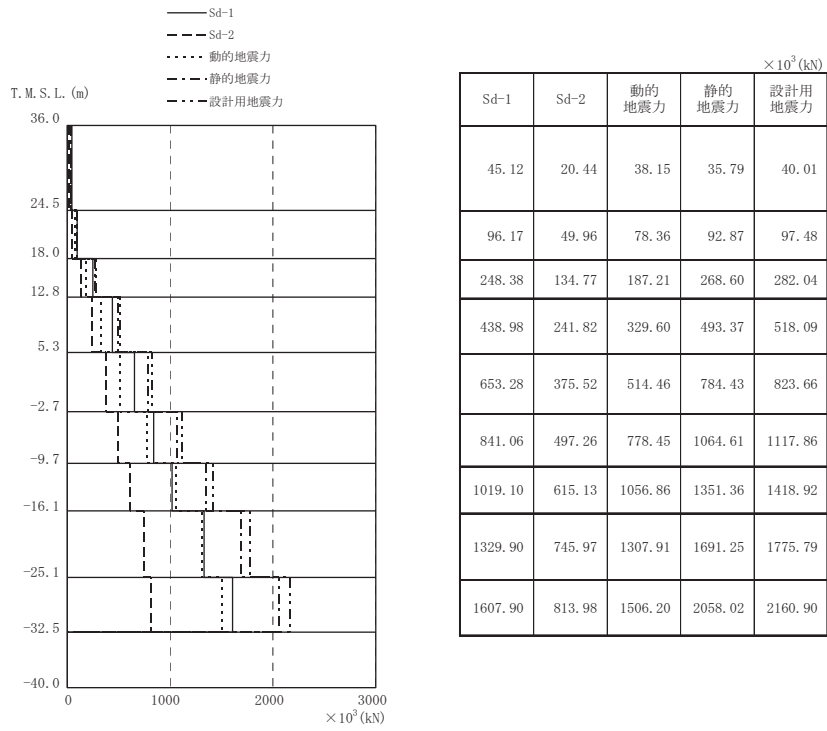
第 9.3.1-10 図(g) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B3F)



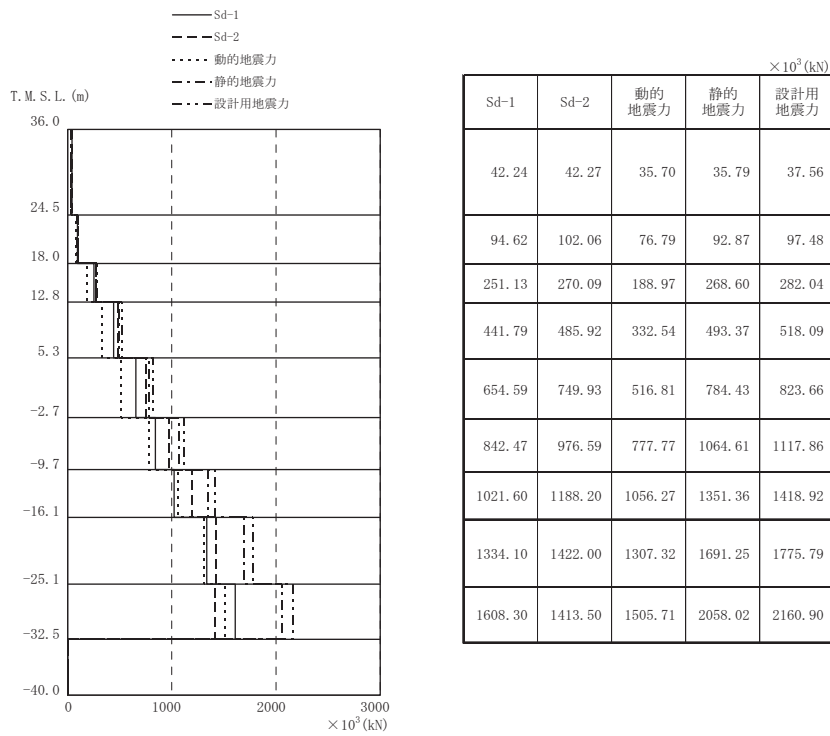
第 9.3.1-10 図(h) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B4F)



第 9.3.1-10 図(i) せん断スケルトン曲線上の最大応答値(EW 方向,B5F)



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 Sd による評価

9.2 で設定された弾性設計用地震動 Sd と、9.3 で検討された弾性設計用地震動 Sd 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 Sd 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 Sd 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 Sd 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およびエルセントロ・タフト・ゴールドデンゲート波による耐震性評価条件と、弾性設計用地震動 Sd 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、設計時荷重と概ね同程度の荷重を与えるものとなっている。

- ・ エルセントロ・タフト・ゴールドデンゲート波又は静的震度による荷重の最大値（以下、設計時という）
- ・ 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		設計時	S_d	S_s
原子炉压力容器 スカート	モーメント (kN・m)	10,100	22,300	45,000
	せん断力 (kN)	4,680	4,510	8,790
遮へい壁	モーメント (kN・m)	22,600	25,900	68,200
	せん断力 (kN)	2,080	2,680	5,820
原子炉本体基礎	モーメント (kN・m)	425,000	296,000	575,000
	せん断力 (kN)	26,800	20,400	41,300

＜参考＞設計時における A クラス施設に対する静的地震力
 建物・構築物： $3.0C_H$ により算定
 機器・配管系： $3.6C_H$ により算定

(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。Ss の 0.5 倍で設定した Sd による評価用震度は、設計時と概ね同程度の大きさとなっている。

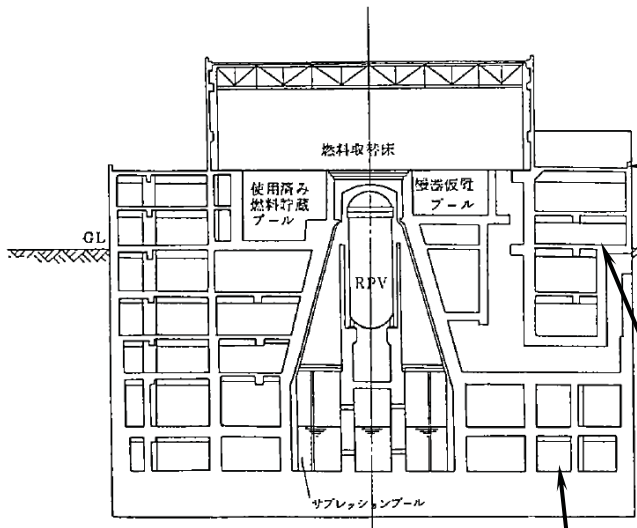
第 9.4.1-2 表 原子炉建屋設置機器の評価用震度

標高 T.P. (m)	震 度		
	設計時	Sd	Ss
36.0	1.07	1.42	2.50
24.5	0.96	1.00	1.96
18.0	0.90	0.90	1.58
12.8	0.87	0.83	1.46
5.3	0.81	0.73	1.36
-2.7	0.75	0.63	1.35
-9.7	0.70	0.62	1.19
-16.1	0.64	0.61	1.18
-25.1	0.58	0.57	1.12
-32.5	0.58	0.52	1.07

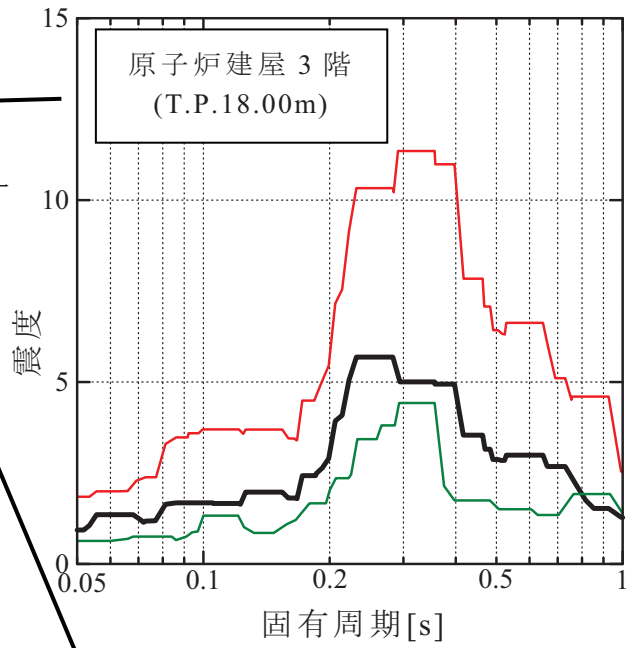
(3) 床応答スペクトル（水平方向）の比較

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）とした。

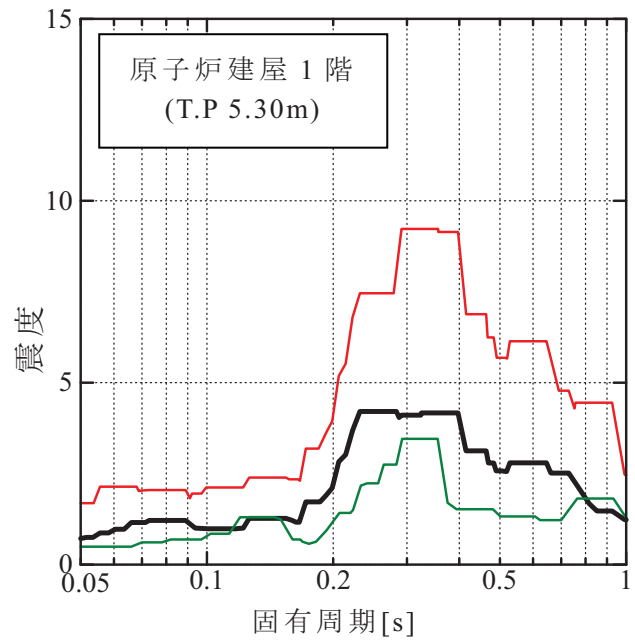
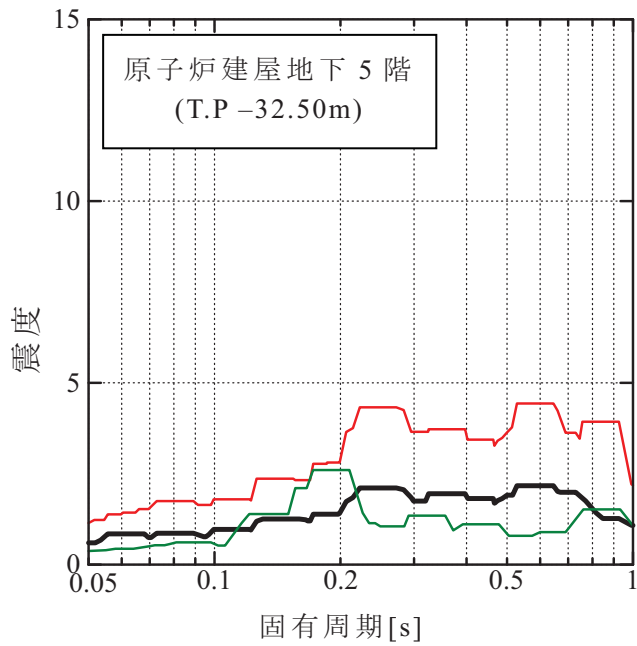
Ss の 0.5 倍で設定した Sd による評価用床応答スペクトルは、設計時と概ね同程度の大きさとなっている。



※T.P : 東京湾平均海面



- Ss(NS,EW 包絡)
- Sd(NS,EW 包絡)
- 設計時(NS,EW 包絡)



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)

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

1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Ⅲ_AS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Ⅲ_AS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 Sd 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 (Sd)	評価基準値 (Ⅲ _{AS})	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	軸圧縮	79	216	荷重	B2
冷やす	残留熱除去ポンプ	モータペDESTAL取付ボルト	引張	20	444	震度	B2
	残留熱除去系配管	配管	一次	89	274	FRS	B2
閉じ込める	原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張	20	499	荷重	B2
	主蒸気系配管	配管	一次	167	281	FRS	B2
	原子炉格納容器	下部円すい胴部	一次一般膜	52	229	荷重	A1

※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

B1：詳細評価（既往評価の地震荷重と地震以外の荷重を区別し、地震荷重による応力のみに応答比を乗じ、地震以外の荷重による応力を組み合わせて、発生値を求める手法）

B2：詳細評価（スペクトルモーダル解析法等による評価）

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設計時と同程度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. 地震随伴事象の考慮（周辺斜面の安定性）	10-1
10.1. 評価方針	10-1
10.2. 1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。

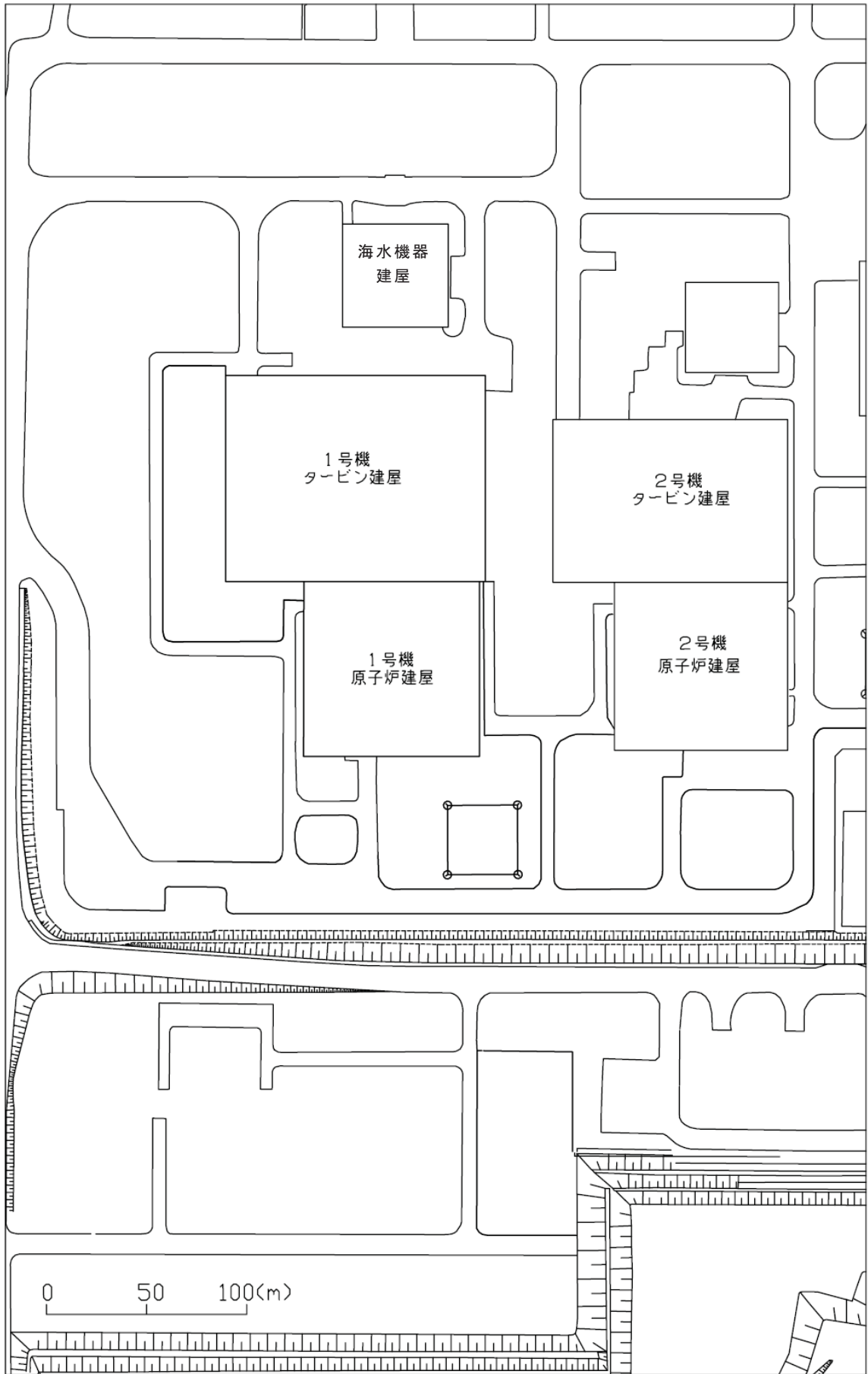
対象施設と周辺斜面の離間距離に基づき、地震時における安定性評価の対象とすべき斜面の有無を確認する。安定性評価の対象とすべき斜面は、「原子力発電耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」⁽¹⁾ に従い、斜面法尻と対象施設の離間距離が約 50m 以内あるいは斜面高さの約 1.4 倍以内の斜面とする。安定性評価の対象とすべき斜面がある場合は、当該斜面が施設の安全機能に重大な影響を与えるおそれがないことを確認する。

10.2. 1号機周辺の状況

第 10.2-1 図に 1 号機敷地周辺平面図を示す。対象施設の周辺には安全機能に重大な影響を与えるおそれのある斜面はない。

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 1 号機敷地周辺平面
10-2

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. 地震随件事象に対する考慮（津波に対する安全性）	11-1
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
11.4. 津波に対する安全性の評価	11-1
11.4.1 津波水位の評価	11-2
11.4.2 津波に対する安全性の評価	11-2
11.5. 二次的な影響に対する評価	11-4
11.6. 評価結果	11-4
11.7. 参考文献	11-4

【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ものの妥当性について
- 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
- 参考資料 11.6 砂移動評価における解析時間に関する検討

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

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

11.2. 評価方法

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

11.3. 津波の想定及び数値シミュレーション

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 2 0 第 4 4 1 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 2 1 第 4 0 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

11.4. 津波に対する安全性の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震

設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

11.4.1 津波水位の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

11.4.2 津波に対する安全性の評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号
機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱
いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

11.4.2.1. 津波による水位上昇に対する安全性

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震
設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）
（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21
第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号

機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

11.4.2.2. 津波による水位低下に対する安全性

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂 1) (原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

11.4.2.3. 取水施設の水利特性による水位変動への影響 (1 号機)

想定津波による 1 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, 補機取水路取水口から補機取水路, スクリーン室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, 1 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

1 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 1 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、非常用補機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。

取水設備の水理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

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

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 1 号機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。なお、同じ日本海沖で発生した 1993 年北海道南西沖地震のように V 字型の谷地形や岬のような地形において津波が増幅して高くなることがあるが、敷地周辺の沿岸にはそのような地形はない。

11.7. 参考文献

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱

いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

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	補機取水路取水口～補機取水路～スクリーン室～補機冷却海水ポンプ室
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"> ・ 補機冷却海水ポンプ (SW) : 3000 (m³/h/台)×4 台 ・ 残留熱除去海水ポンプ (RHSW) : 2300 (m³/h/台)×4 台 ・ 高圧炉心スプレイトーセル補機冷却海水ポンプ (HPSW) : 500 (m³/h/台)×1 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

開水路の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

管路の連続式及び運動方程式

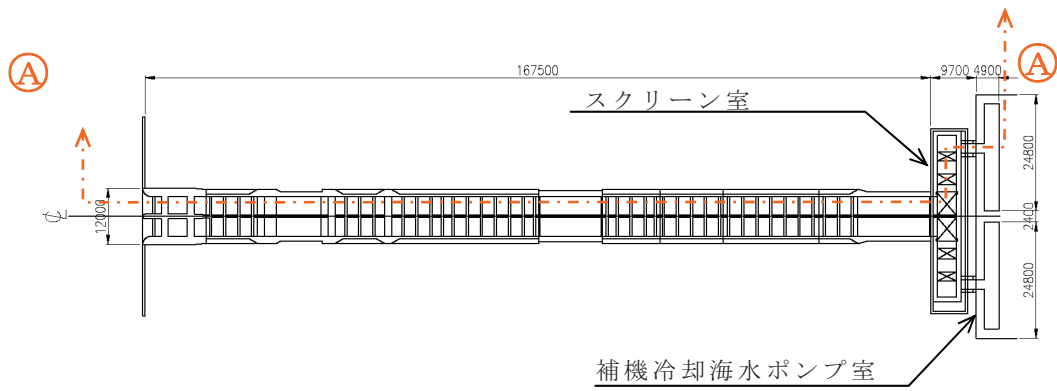
$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

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

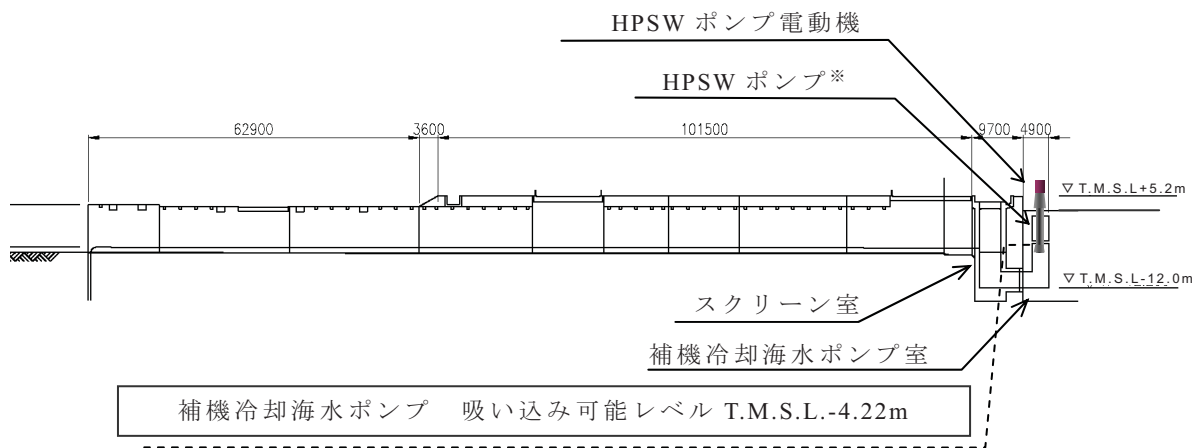
$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$

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



取水施設平面図

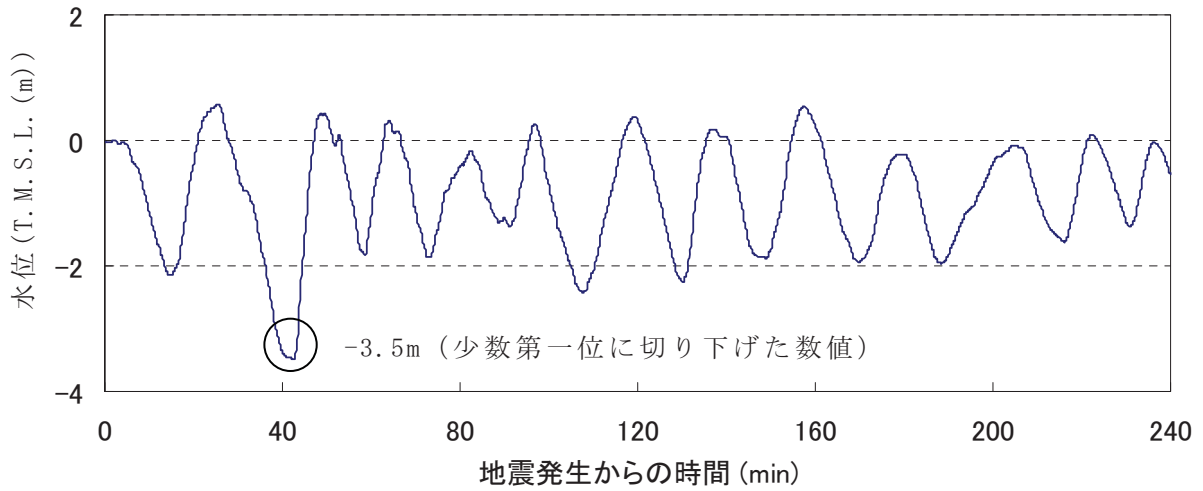
① - ① 断面



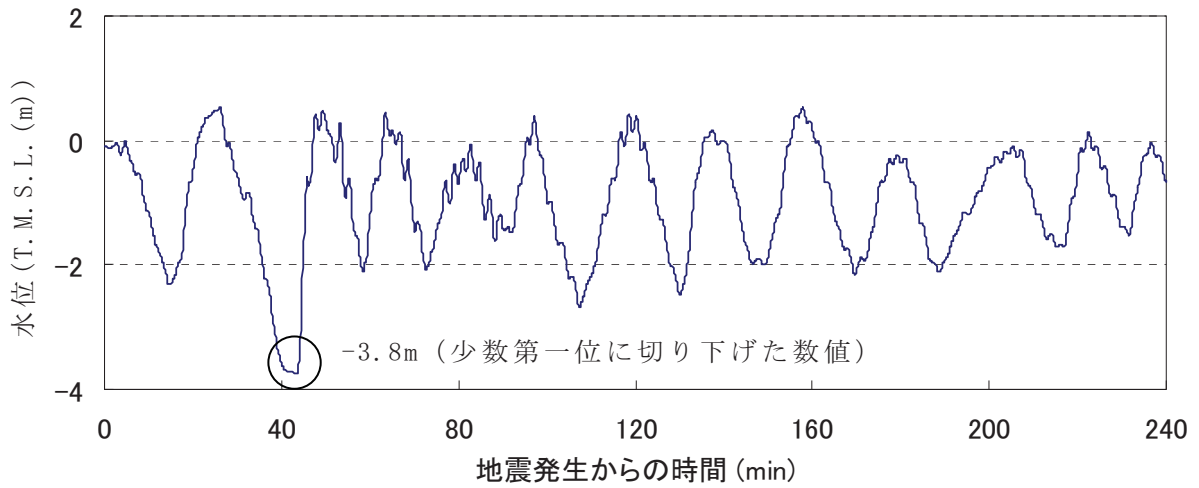
※補機冷却海水ポンプのうち，吸い込み可能レベルの最も厳しい HPSW を代表とした

補機冷却海水取水施設断面図

第 11.4.2-1 図 1 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	非常用補機海水ポンプ 吸い込み可能レベル*)
1号機	-3.8	-4.22

*) 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

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

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

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

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映）に示すとおり。

参考資料 11.3 浮遊砂濃度の上限値 5%による砂移動解析

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書（改訂 1）（原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号

機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

参考資料 11.4 強震動モデルによる津波水位評価

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂 1) (原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

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

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂 1) (原管発官 20 第 441 号 平成 21 年 1 月 9 日付け, 原管発官 21 第 40 号 平成 21 年 4 月 24 日付けで「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 タービン建屋の地震応答解析における耐震壁及び補助壁の取扱いの不適合」に伴う再評価結果等を反映) に示すとおり。

参考資料 11.6 砂移動評価における解析時間に関する検討

柏崎刈羽原子力発電所 6 号機 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書(改訂版) (原管発官 21 第 105 号 平成 21 年 6 月 16 日付け) に示すとおり

り。

1 2 . 地震随伴事象に対する考慮
(活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価)

【目 次】

12. 地震随伴事象に対する考慮（活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形評価）	12-1
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

【参考資料】

参考資料12.1 活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形による建屋傾斜と地震動による建屋傾斜の重ね合わせについて

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、地質調査結果及び地盤変動を評価する点を踏まえて、断層上端を地表付近に設定した、すべり量を均一とした断層モデルを用いる。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

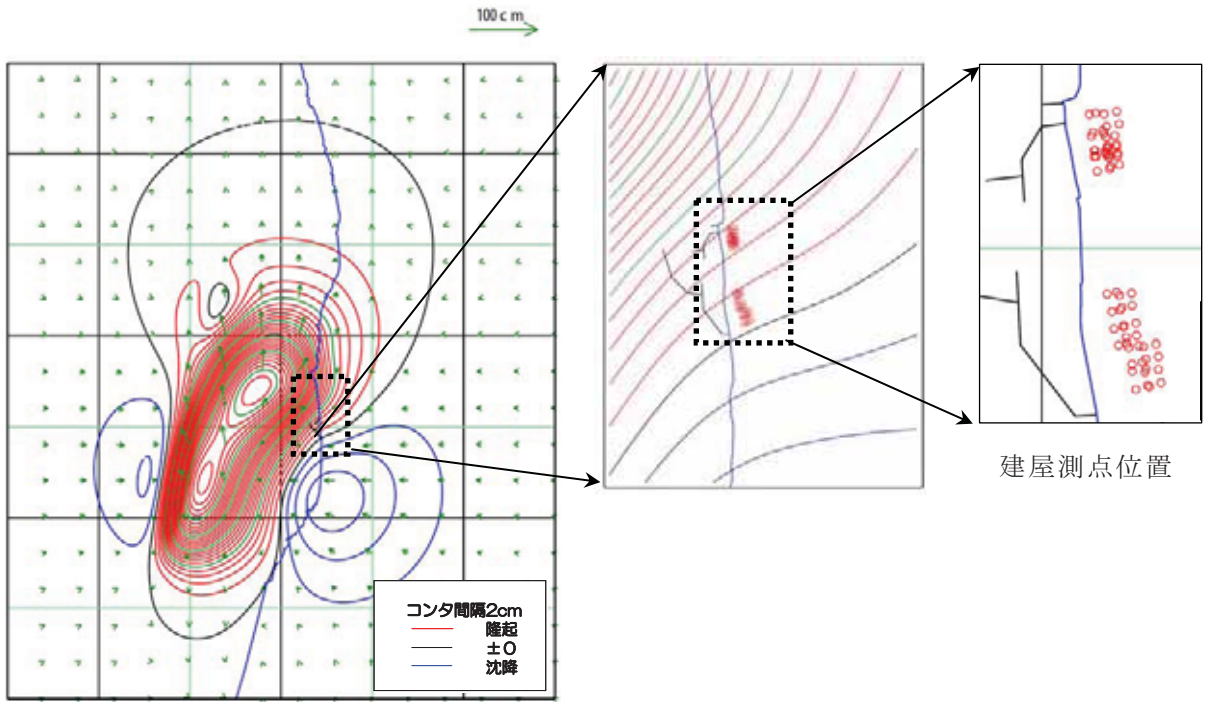
くいちがいの弾性論による解析結果を第 12.4-1 図に、断層の長さまたは幅を変化させた場合の影響を第 12.4-2 図に示す。また、中越沖地震のデータに基づいた地盤変動のばらつきを考慮した建屋傾斜（方向性を考

慮して最大となるもの) を第 12.4-1 表に示す。

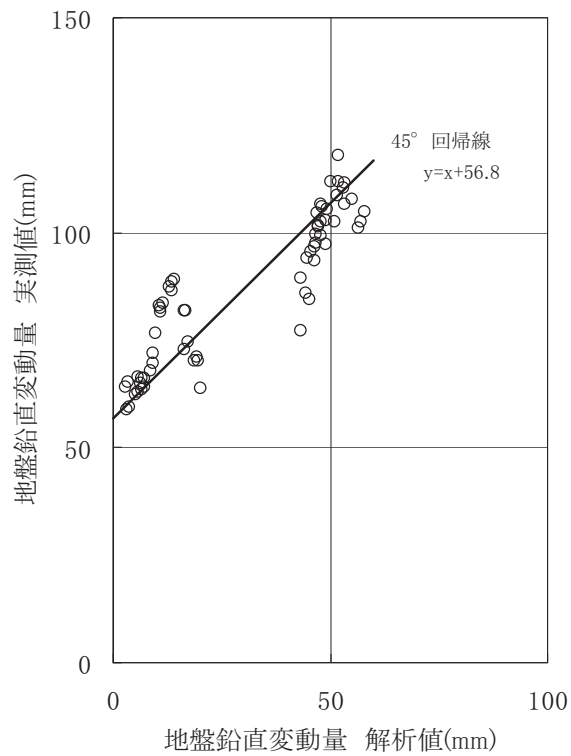
建屋の傾斜は最大でも 1/2,100 程度と 1/1,000 以下であり建屋および機器・配管系の機能を損なうものではない(運営管理・設備健全性評価WG 設備健全性評価SWG (第6回), H20.3.7)。

12.5. 参考文献

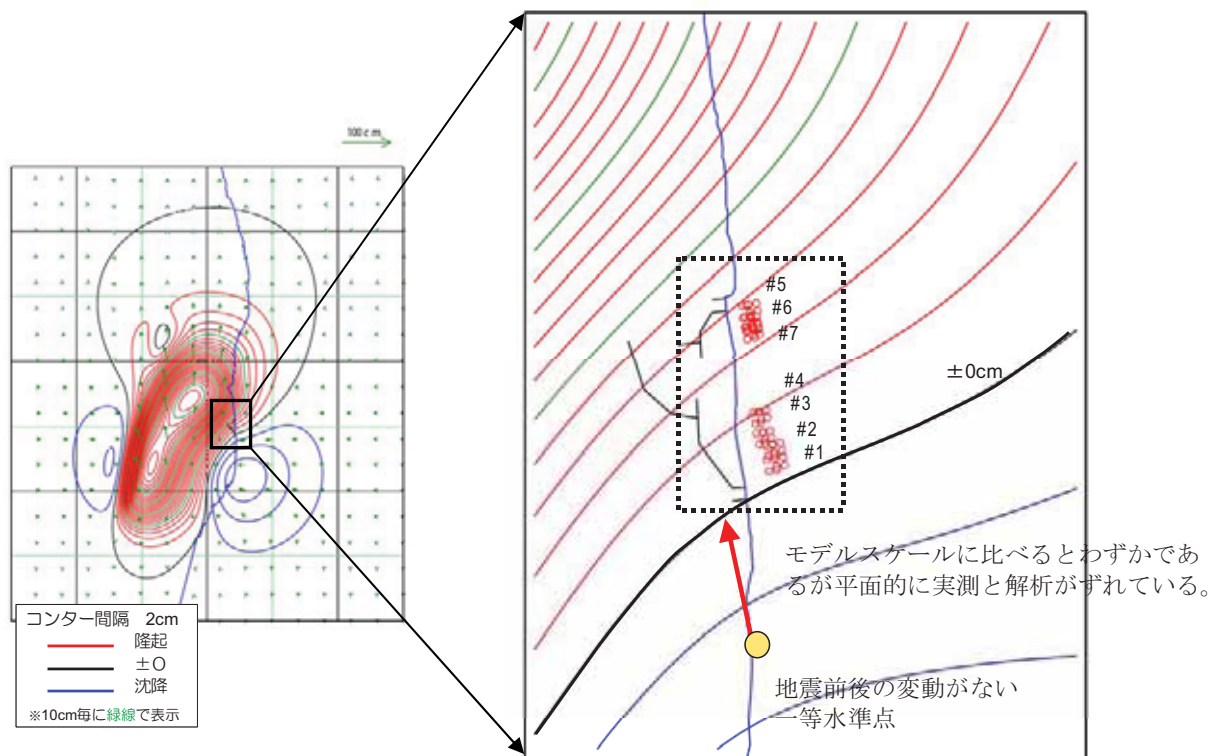
- (1) Rongjiang Wang, Francisco Lorenzo Martin, Frank Roth(2003) :
Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust—FORTRAN programs, Computers & Geosciences 29
- (2)国土地理院(2008) : 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新(主に断層面に関する評価)
<http://www.gsi.go.jp/cais/topics-topic080111-index.html>



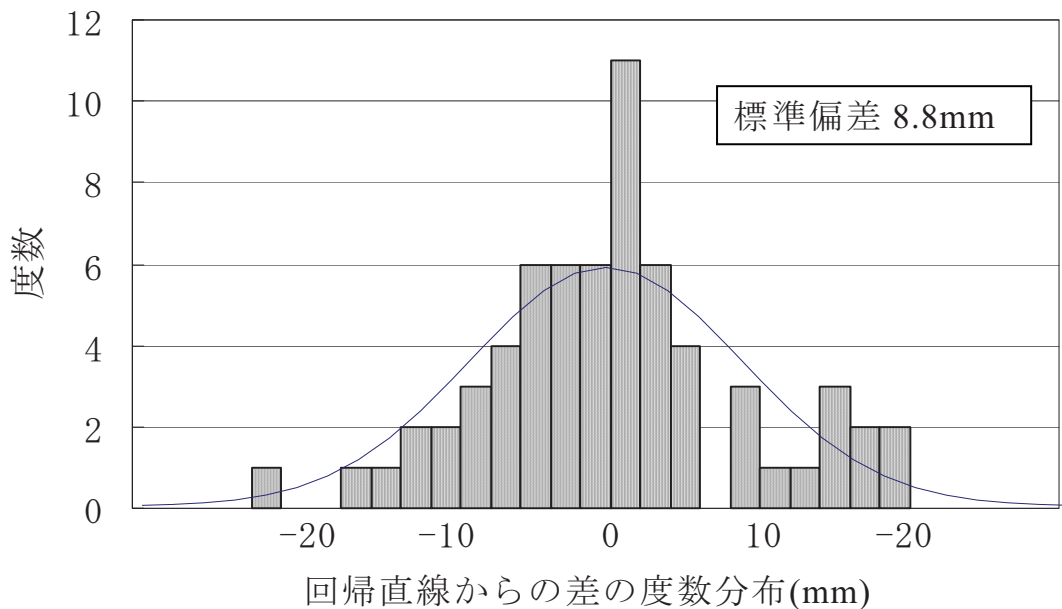
第 12.3.1-1 図 くいちがいの弾性論（新潟県中越沖地震国土地理院モデル）に基づく解析結果と水準測量による建屋測点位置



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

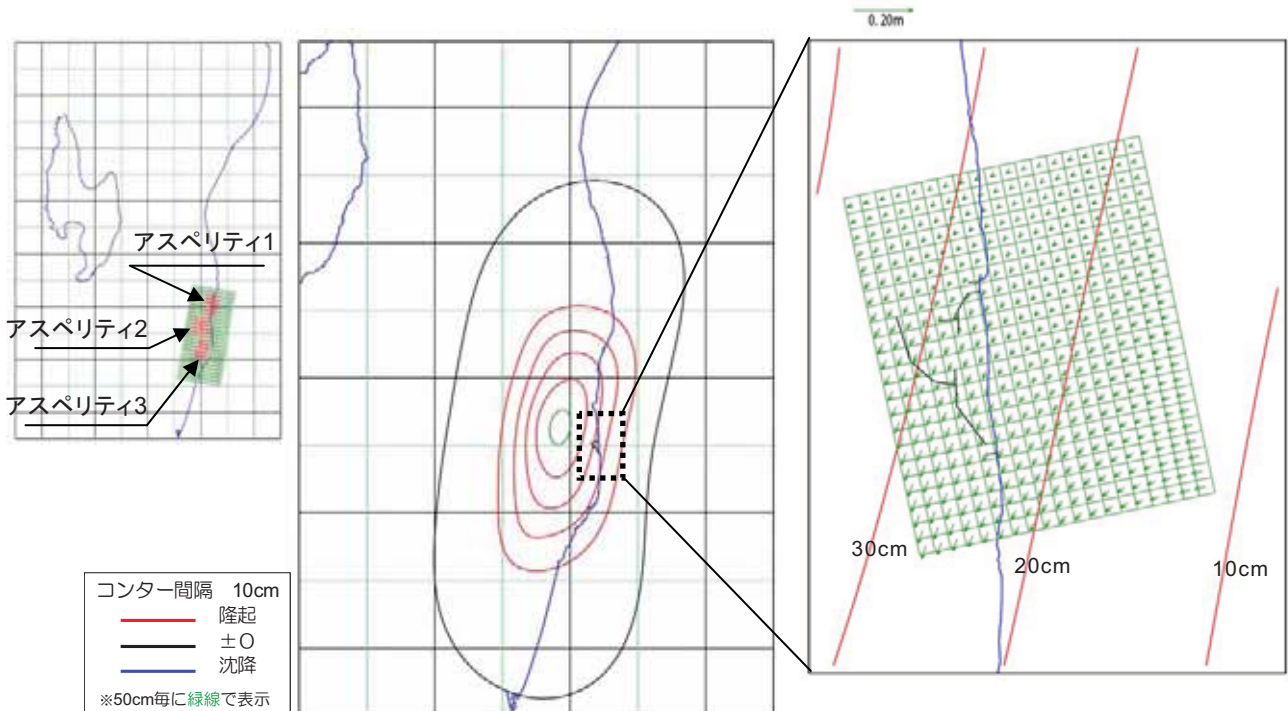


第 12.3.2-1 図 回帰直線からの差の度数分布

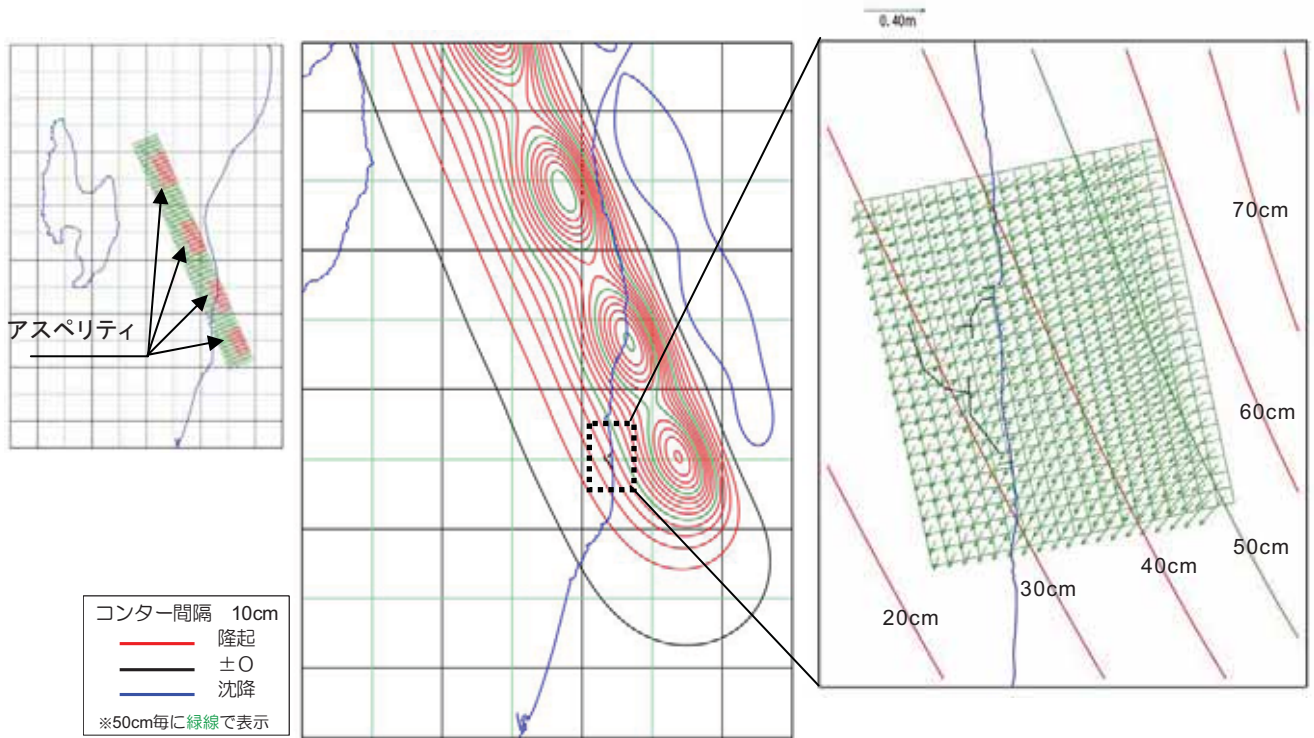
第 12.3.4-1 表 くいちがいの弾性論に基づく解析の検討条件

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	-	-

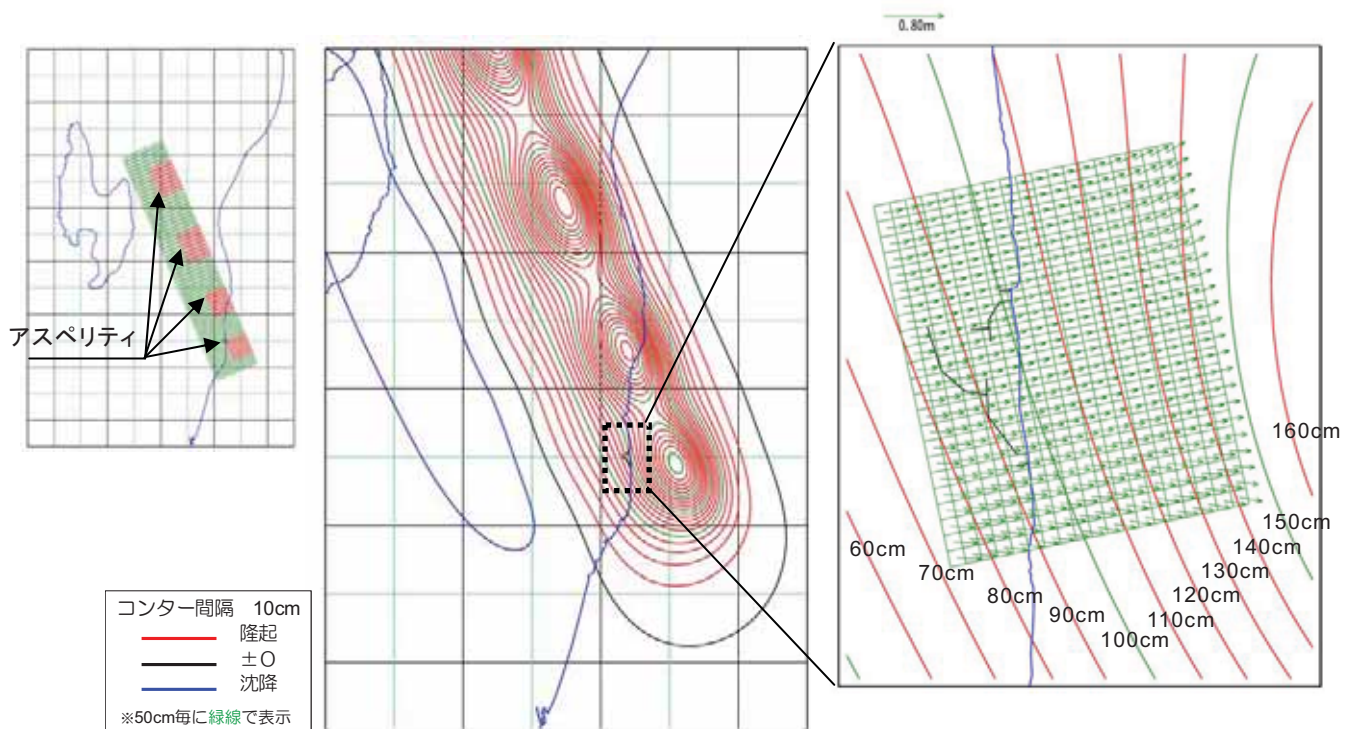
*1: 基準地震動策定に用いた断層モデルを対象とし、地質調査結果等を踏まえて、上端深さ及びすべり量を設定したモデル。
 *2: 「断層上端を地表付近に設定したモデル」による地殻変動量の評価においては、「基準地震動策定に用いた断層モデル」の地震モーメント(Mo)と同じになるように算定したすべり量を用いた結果を使用。



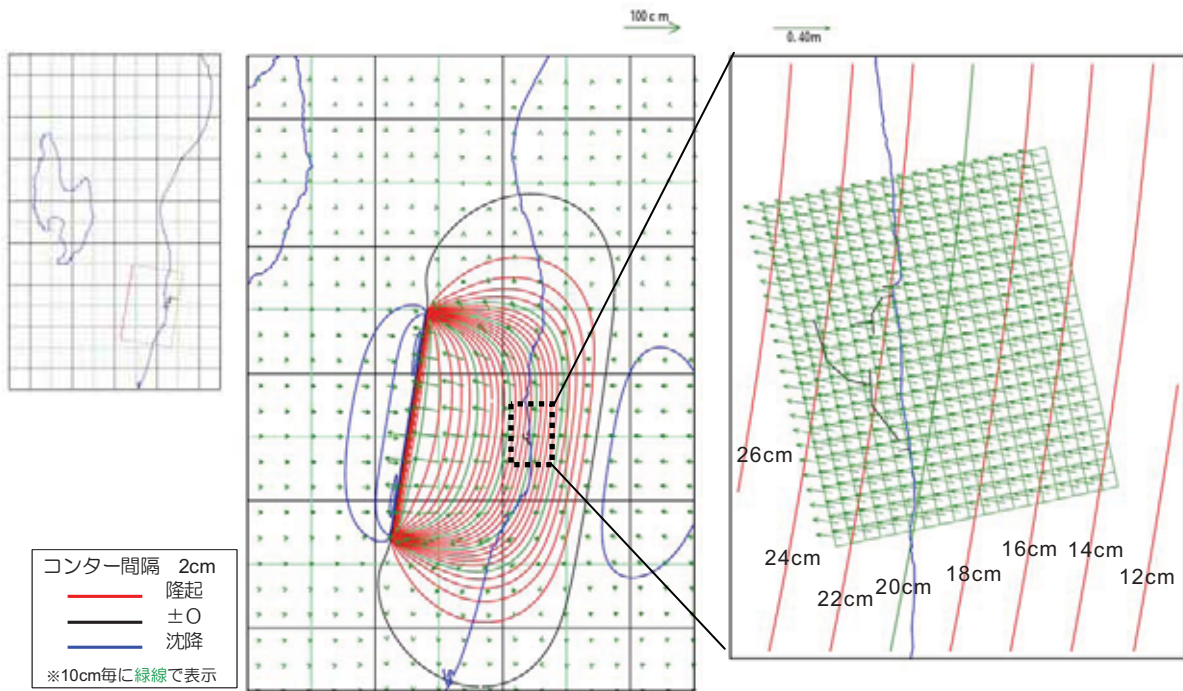
第 12.4-1 図(1) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (F-B 断層, 基準地震動策定に用いた断層モデル)



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)

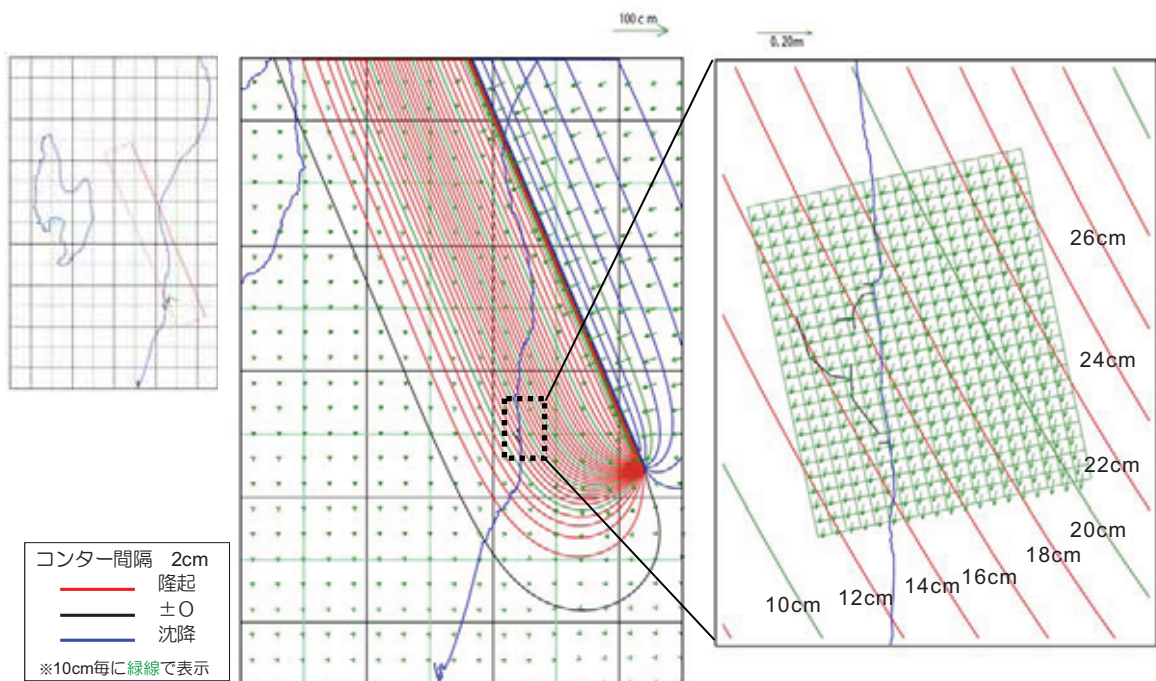


第 12.4-1 図(3) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量
 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，基準地震動策定に用いた断層モデル)



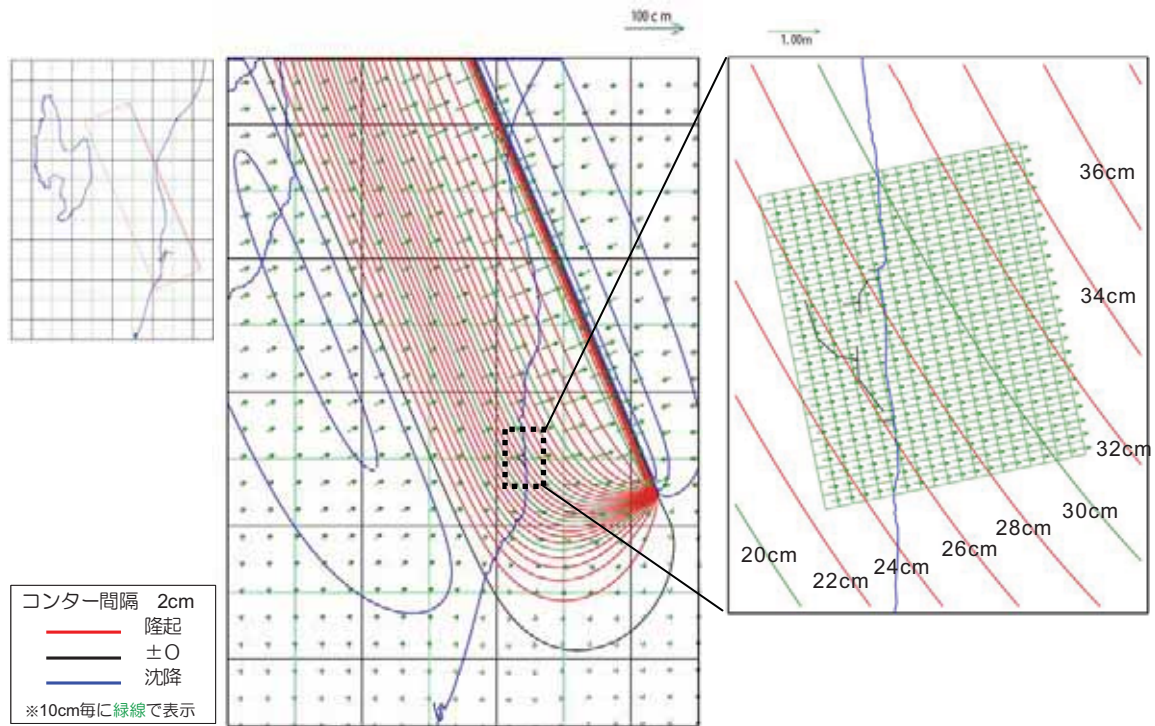
注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント(M_0)と同じになるようすべり量を 0.51 倍している。

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 (F-B 断層, 断層上端を地表付近に設定した断層モデル)



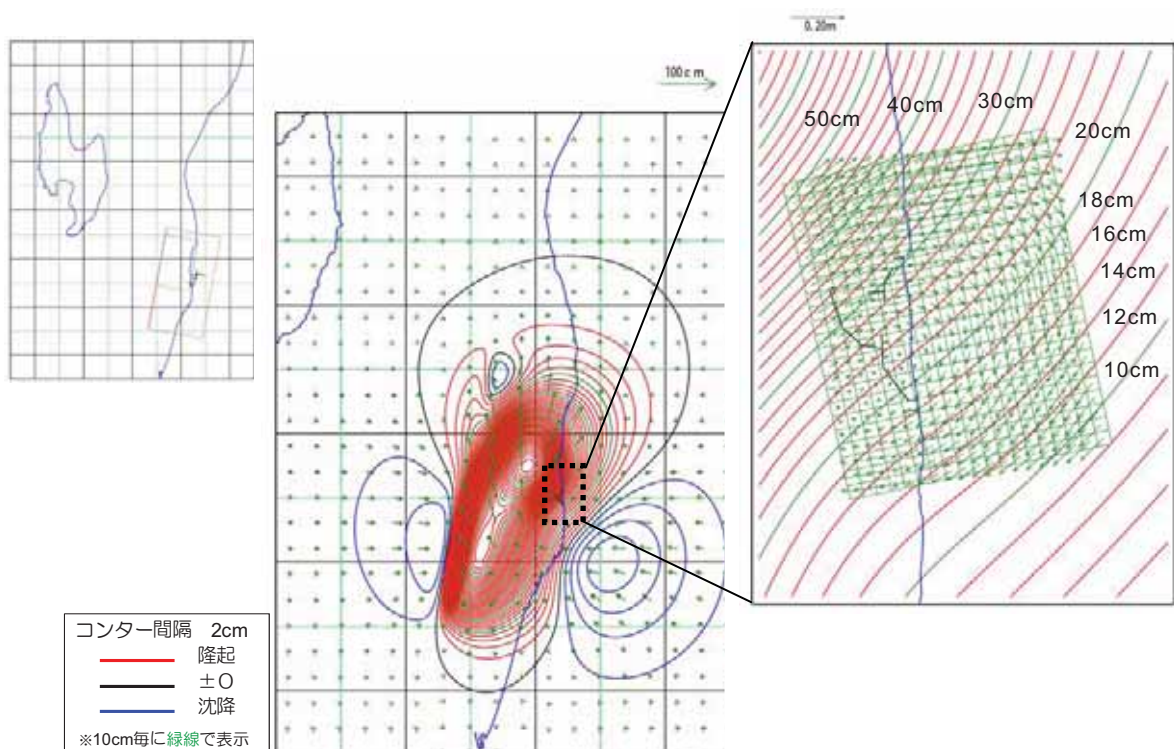
注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント(M_0)と同じになるようすべり量を 1.6 倍している。

第 12.4-1 図(5) 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, 断層上端を地表付近に設定した断層モデル)

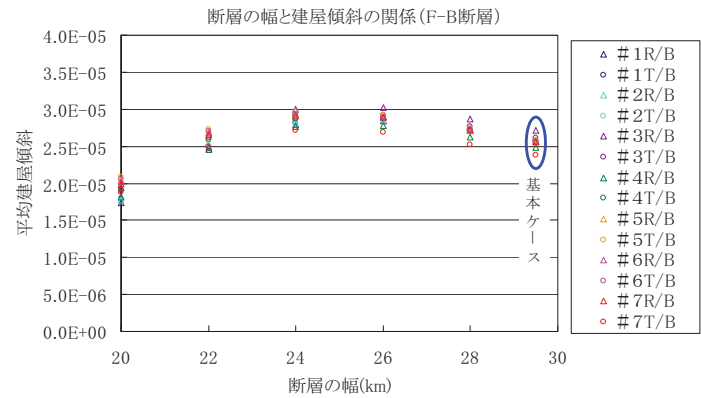
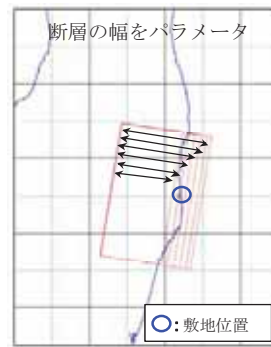
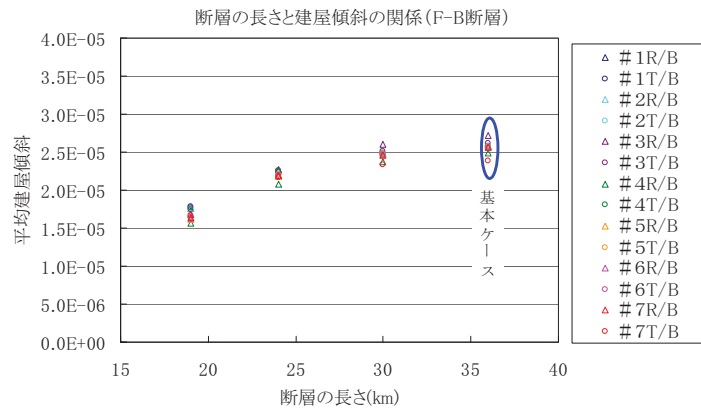


注)建屋傾斜算定に用いる地盤変動量の評価においては、強震動モデルの地震モーメント (M_0)と同じになるようすべり量を 2.2 倍している。

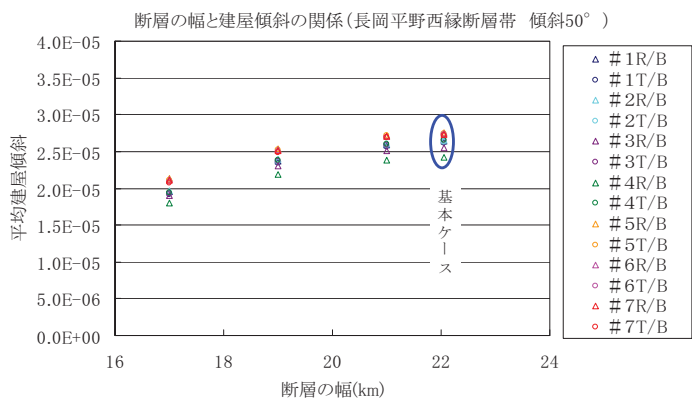
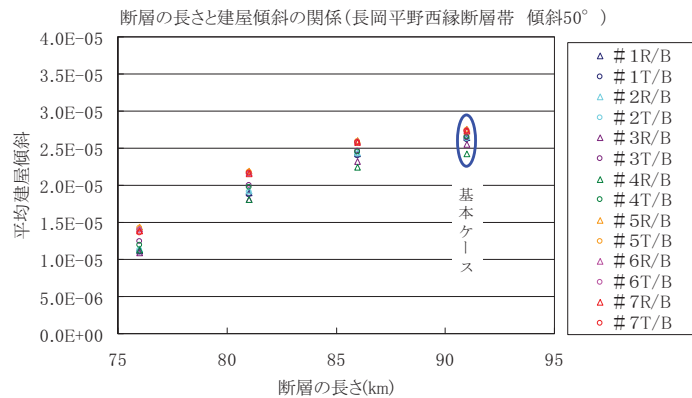
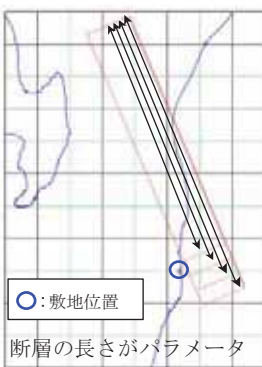
第 12.4-1 図(6) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (長岡平野西縁断層帯：傾斜 35 度，断層上端を地表付近に設定した断層モデル)



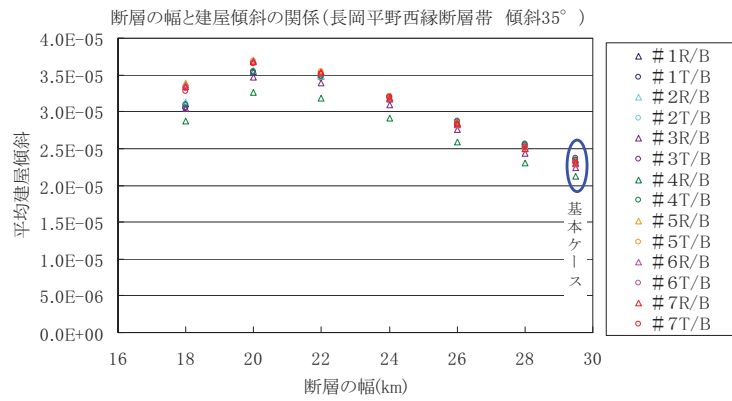
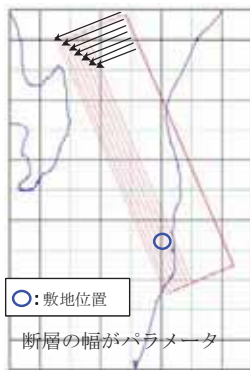
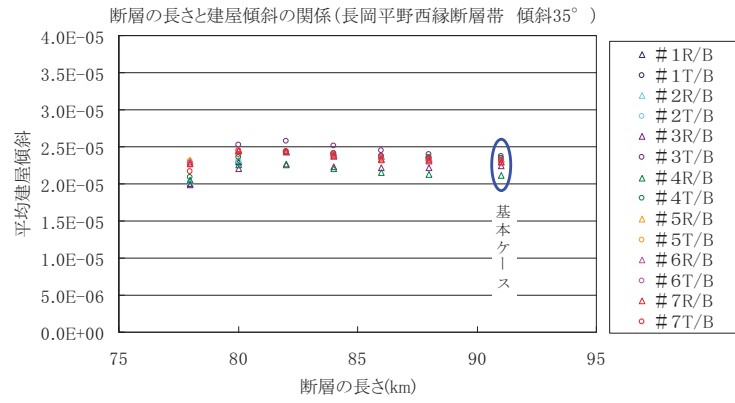
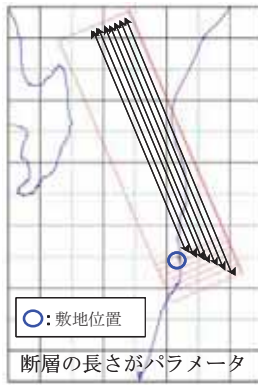
第 12.4-1 図(7) くいちがいの弾性論による敷地周辺の地殻変動量 (新潟県中越沖地震国土地理院拡張モデル)



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

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	長岡(傾斜35度)	
1号機	原子炉建屋	1/3600	1/3400	1/2500	1/3700	1/3600	1/3800	1/3400	1/3200
	タービン建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/3000	1/2900	1/3200	1/2700	1/3100
2号機	原子炉建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/3000	1/2900	1/3300	1/2700	1/2900
	タービン建屋	1/2800	1/2600	1/2100	1/2800	1/2800	1/3100	1/2600	1/2900
3号機	原子炉建屋	1/2900	1/2700	1/2100	1/2900	1/2900	1/3200	1/2700	1/3000
	タービン建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2700	1/2600	1/2900	1/2400	1/2700
4号機	原子炉建屋	1/3000	1/2900	1/2300	1/3100	1/3100	1/3300	1/2800	1/3200
	タービン建屋	1/2500	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2800	1/2400	1/2700
5号機	原子炉建屋	1/2600	1/2400	1/2000	1/2600	1/2600	1/2900	1/2400	1/2600
	タービン建屋	1/2000	1/1900	1/1600	1/2000	1/2000	1/2200	1/1900	1/2000
6号機	原子炉建屋	1/1900	1/1800	1/1500	1/1900	1/1900	1/2000	1/1800	1/1900
	タービン建屋	1/3100	1/2900	1/2300	1/3200	1/3100	1/3500	1/2800	1/3100
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	原子炉建屋	1/2000	1/1900	1/1600	1/2000	1/2000	1/2100	1/1900	1/2000
	タービン建屋	1/2600	1/2400	1/2000	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長さ及び幅を変更した断層モデル

参考資料 12.1 活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形による建屋傾斜と地震動による建屋基礎地盤の傾斜の重ね合わせについて

(1) 検討目的

活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形による建屋傾斜と、基礎地盤安定性評価の動的解析から求まる地震動による建屋基礎地盤の傾斜について、念のため、それぞれの最大値を重ね合わせた傾斜を検討する。

(2) 検討条件

活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形による建屋傾斜は、傾斜が最大となる「基準地震動策定に用いた断層モデル」における建屋傾斜を用いることとする。

また、地震動による建屋基礎地盤の傾斜については、5章で検討した基礎地盤安定性評価における動的解析から求まる建屋基礎地盤の傾斜を用いることとする。

傾斜の重ね合わせは、原子炉建屋、タービン建屋を対象とし、それぞれNS、EWの方向性を考慮した。F-B断層を対象とした「基準地震動策定に用いた断層モデル」に対してはSs-1、Ss-2の動的解析から求まる建屋基礎地盤の傾斜を、長岡平野西縁断層帯を対象とした「基準地震動策定に用いた断層モデル」に対してはSs-3、Ss-4、Ss-5の基礎地盤安定解析から求まる建屋基礎地盤の傾斜を重ね合わせた。

(3) 検討結果

重ね合わせた結果を参表-12.1.1に示す。重ね合わせた建屋の傾斜は最大で1/1,400程度である。

参表-12.1.1 活断層の変位に伴う建屋基礎地盤の変形による建屋傾斜と
地震動による建屋基礎地盤の傾斜の重ね合わせ結果

原子炉建屋

地震動	方向	活断層の変位に伴う傾斜 (F-B断層)	動的解析による傾斜	重ね合わせ
Ss-1	EW	1/3700	1/2700	1/1600
	NS	1/3600	1/2100	1/1400
Ss-2	EW	1/3700	1/4400	1/2000
	NS	1/3600	1/4200	1/1900
地震動		活断層の変位に伴う傾斜 (長岡平野西縁断層帯35°)	動的解析による傾斜	重ね合わせ
Ss-3	EW	1/2500	1/5400	1/1700
	NS	1/3500	1/4100	1/1900
Ss-4	EW	1/2500	1/5500	1/1700
	NS	1/3500	1/8200	1/2400
Ss-5	EW	1/2500	1/7800	1/1900
	NS	1/3500	1/6700	1/2300

タービン建屋

地震動	方向	活断層の変位に伴う傾斜 (F-B断層)	動的解析による傾斜	重ね合わせ
Ss-1	EW	1/2900	1/7700	1/2100
	NS	1/3800	1/5000	1/2200
Ss-2	EW	1/2900	1/5800	1/2000
	NS	1/3800	1/9300	1/2700
地震動		活断層の変位に伴う傾斜 (長岡平野西縁断層帯35°)	動的解析による傾斜	重ね合わせ
Ss-3	EW	1/2100	1/9700	1/1700
	NS	1/3800	1/6800	1/2400
Ss-4	EW	1/2100	1/9100	1/1700
	NS	1/3800	1/15000	1/3000
Ss-5	EW	1/2100	1/12200	1/1800
	NS	1/3800	1/21400	1/3200

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1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、および原子炉建屋等主要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、地震随件事象についても、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