

VI-2-11-2-8 管の耐震性についての計算書
(波及的影響)

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	3
2.1 配置概要	3
2.2 鳥瞰図	20
3. 計算条件	24
3.1 計算方法	24
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	25
3.3 設計条件	27
3.4 材料及び許容応力	33
3.5 設計用地震力	34
4. 解析結果及び評価	35
4.1 固有周期及び設計震度	35
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	42
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	43

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、表1-1に示す下位クラス施設である配管系（以下「下位クラス配管」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、直下又は近傍に設置された上位クラス施設に対して、下位クラス配管の転倒及び落下による波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

表1-1 下位クラス施設と上位クラス施設の対応

下位クラス施設			直下又は近傍に設置された上位クラス施設	
設備名称	耐震クラス	解析モデル名	設備名称	施設区分*
循環水系配管	C	① CSW-T-H1	復水器エリア防水壁	DB
			タービン建物漏えい検知器	DB
タービン補機 海水系配管	C	② TSW-T-1	原子炉補機海水系配管	DB / SA
		③ TSW-T-2	原子炉補機海水系配管（放水配管）	DB / SA
		④ TSW-Y-1	復水器エリア防水壁	DB
給水系配管	B	⑤ FW-T-4	原子炉補機海水系配管	DB / SA
タービンヒータ ドレン系配管	B	⑥ THD-T-17	原子炉補機海水系配管	DB / SA
復水輸送系配管	B	⑦ CWT-T-1-2	非常用ガス処理系配管	DB / SA
		⑧ CWT-T-2		
復水系配管	B	⑨ CW-T-10	非常用ガス処理系配管	DB / SA
		⑩ FW-T-3		
消火系配管	C	⑪ FP-T-E1	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	DB / SA
液体廃棄物 処理系配管	C	⑫ RWL-T-1	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	DB / SA
床ドレン系配管	C	⑬ DR-T-E1	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	DB / SA
		⑭ DR-T-E2		

注記*：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

評価対象範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 14 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.3 に記載する。

(2) 支持構造物

評価対象範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

下位クラス配管は、図 2-1-1～図 2-2-13 に示すように、上位クラス施設である配管系（上位クラス配管）の直上又は近傍に設置されており、地震時において本配管系が転倒、落下した場合は、上位クラス配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

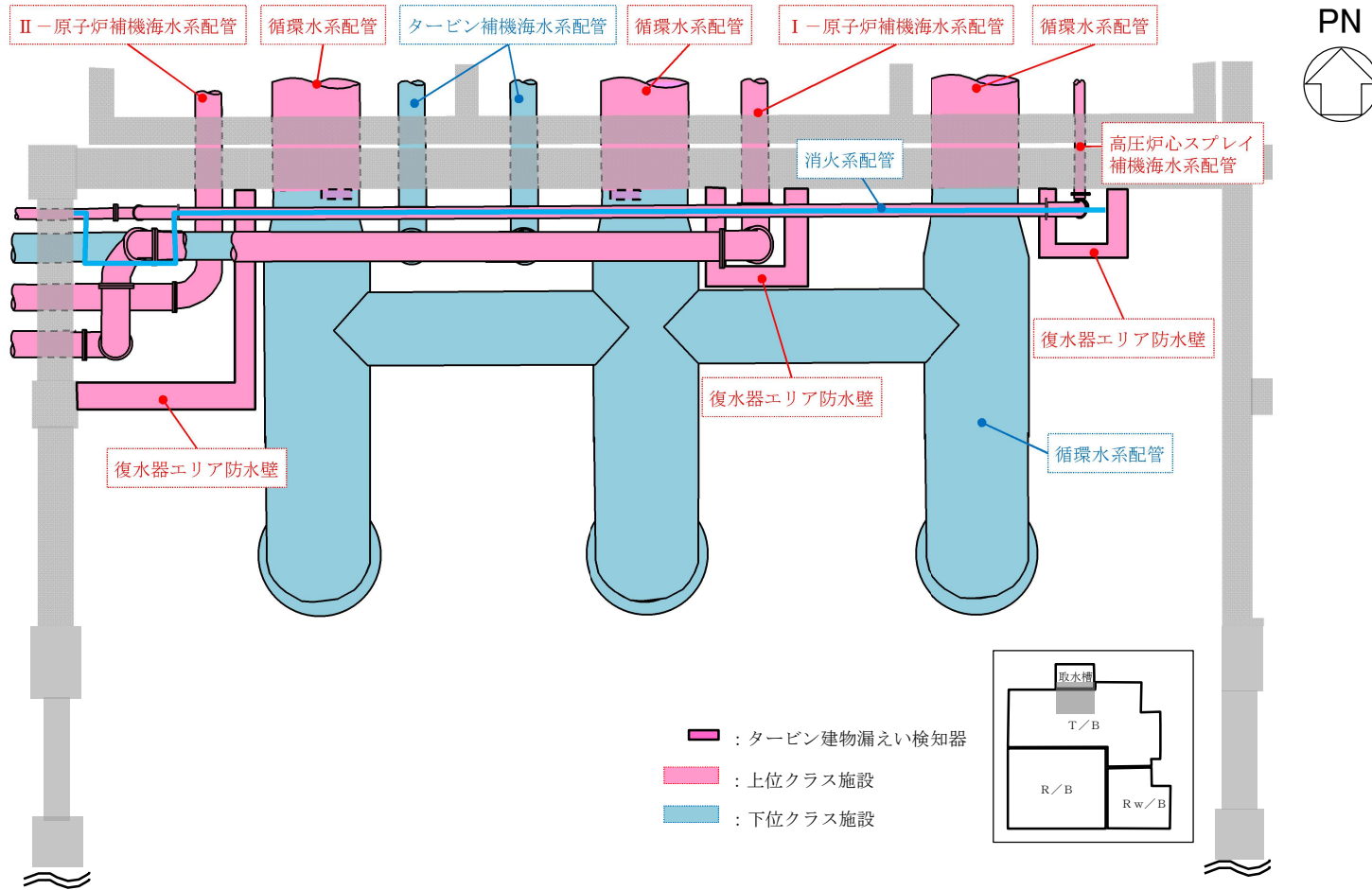


図 2-1-1 配置概要 (全体図：タービン建物 EL 2.000m, 5.500m)

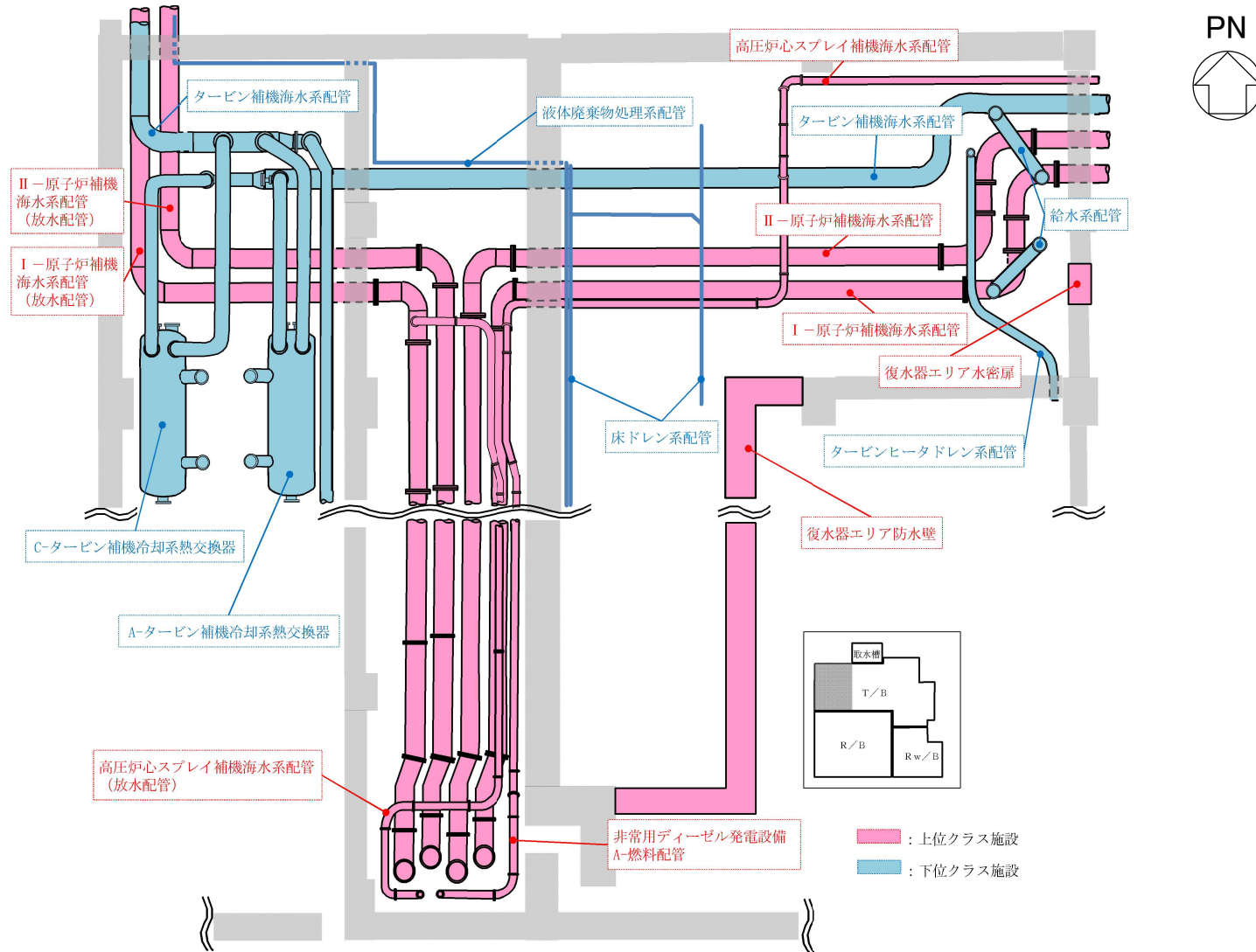


図 2-1-2 配置概要 (全体図：タービン建物 EL 2.000m)

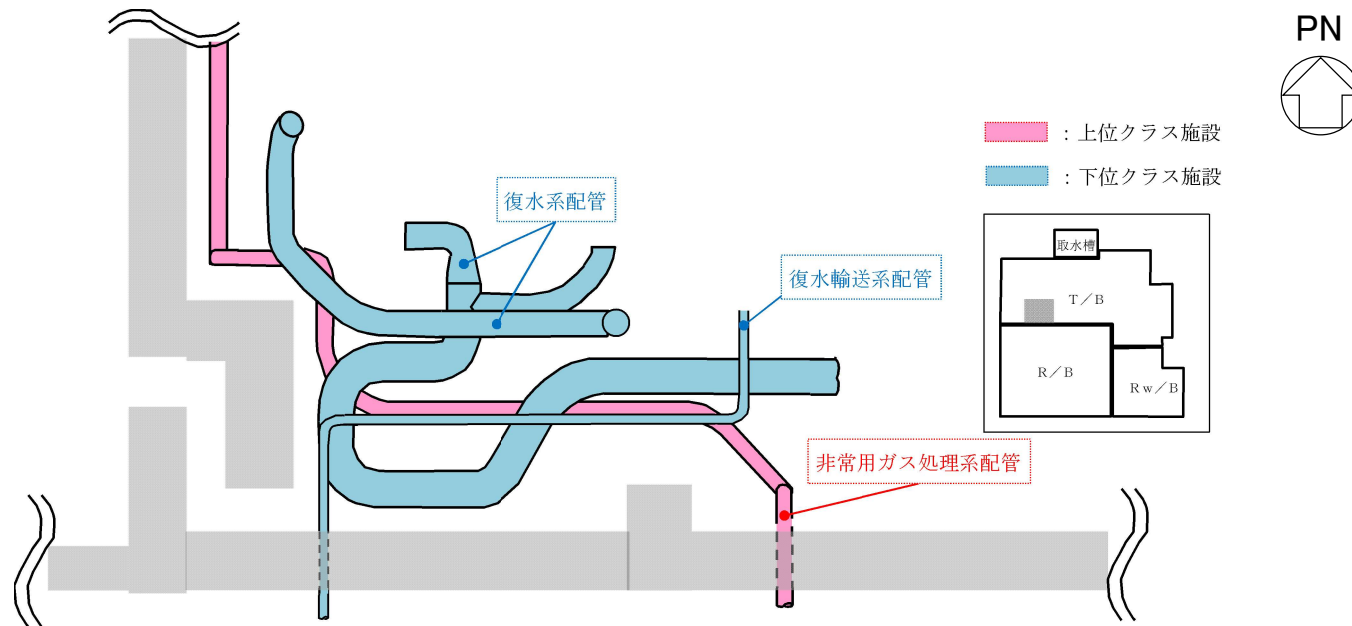


図 2-1-3 配置概要 (全体図：タービン建物 EL 5.500m)

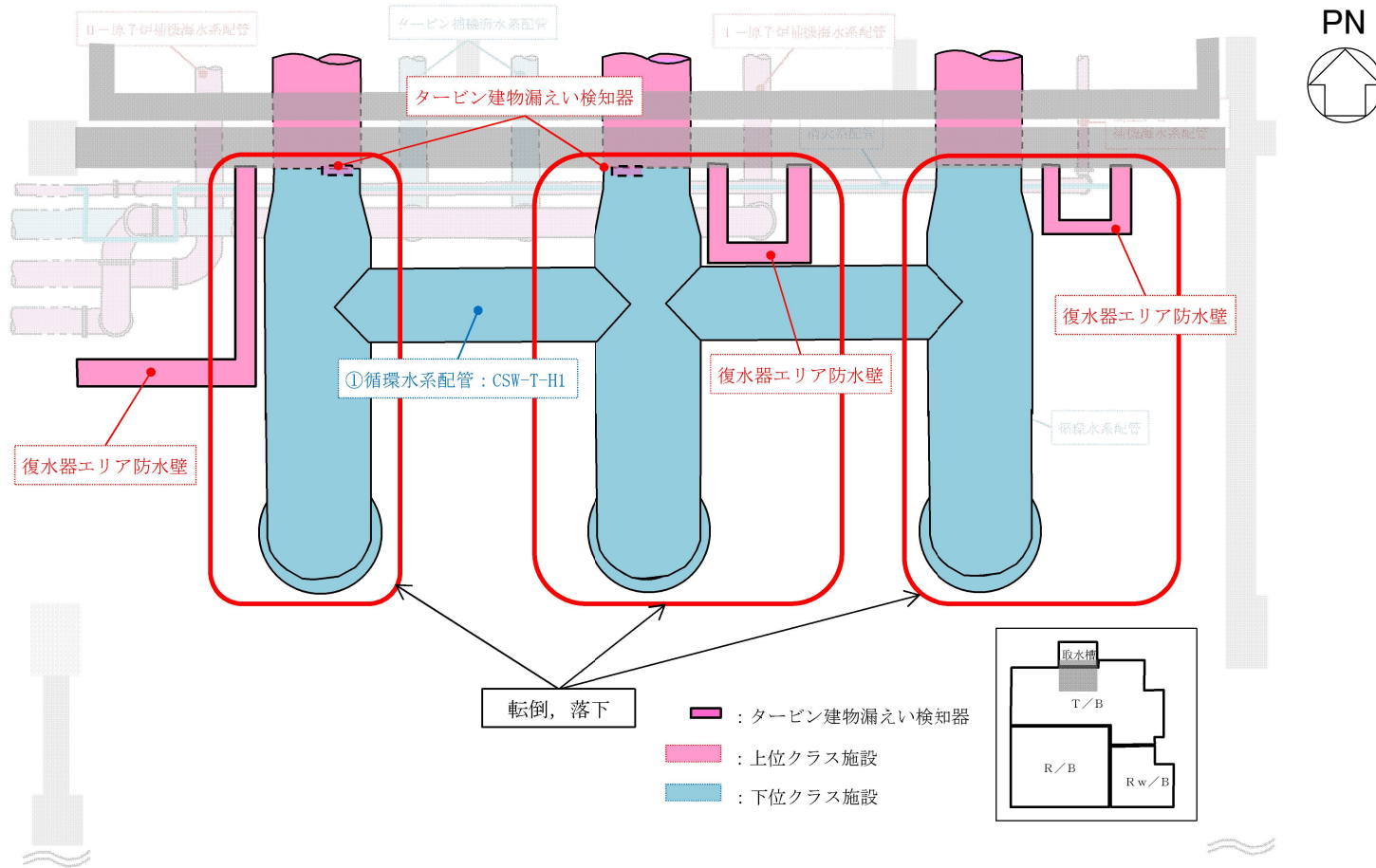


図 2-2-1 配置概要 (循環水系配管)

8

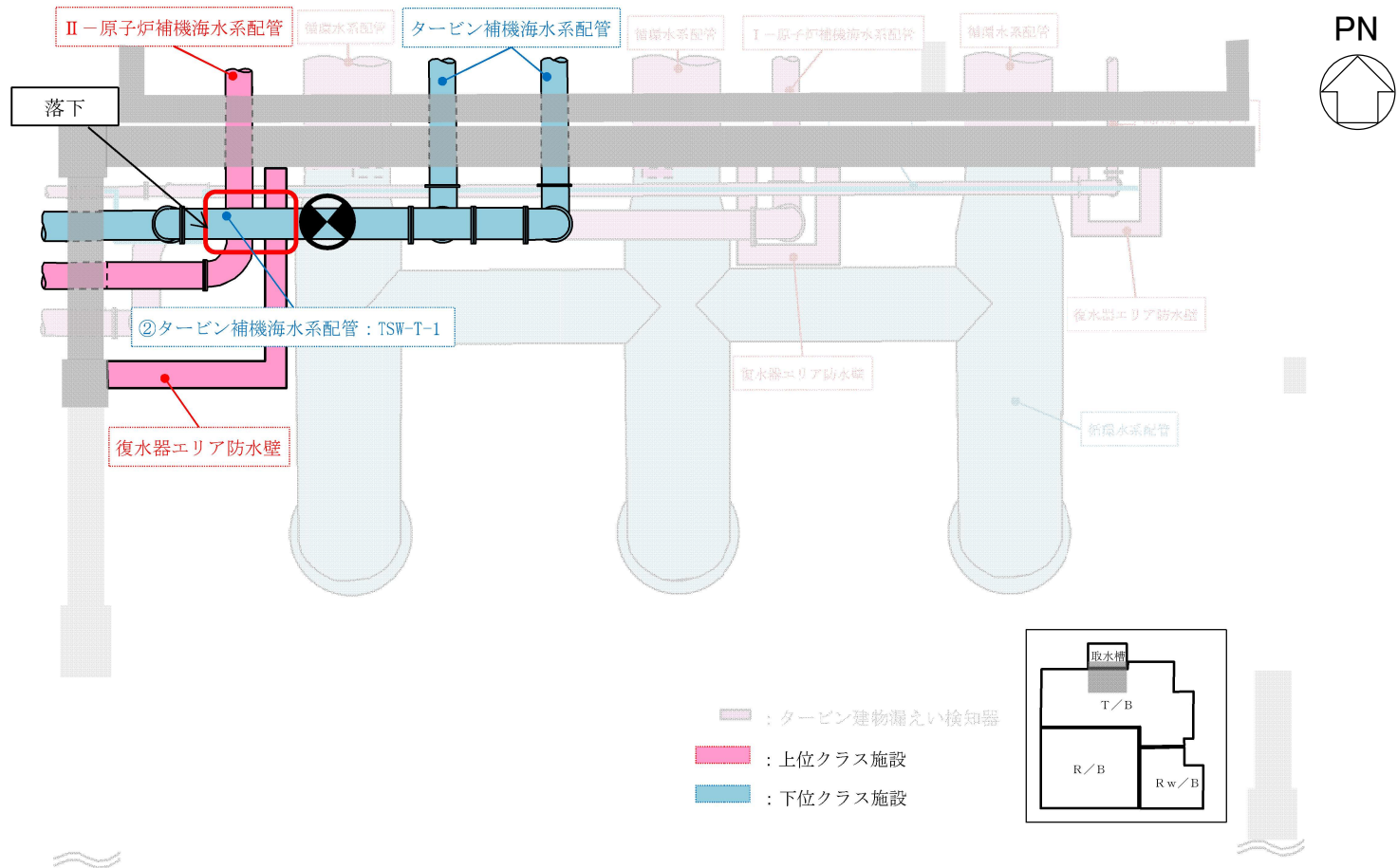


図 2-2-2 配置概要 (タービン補機海水系配管)

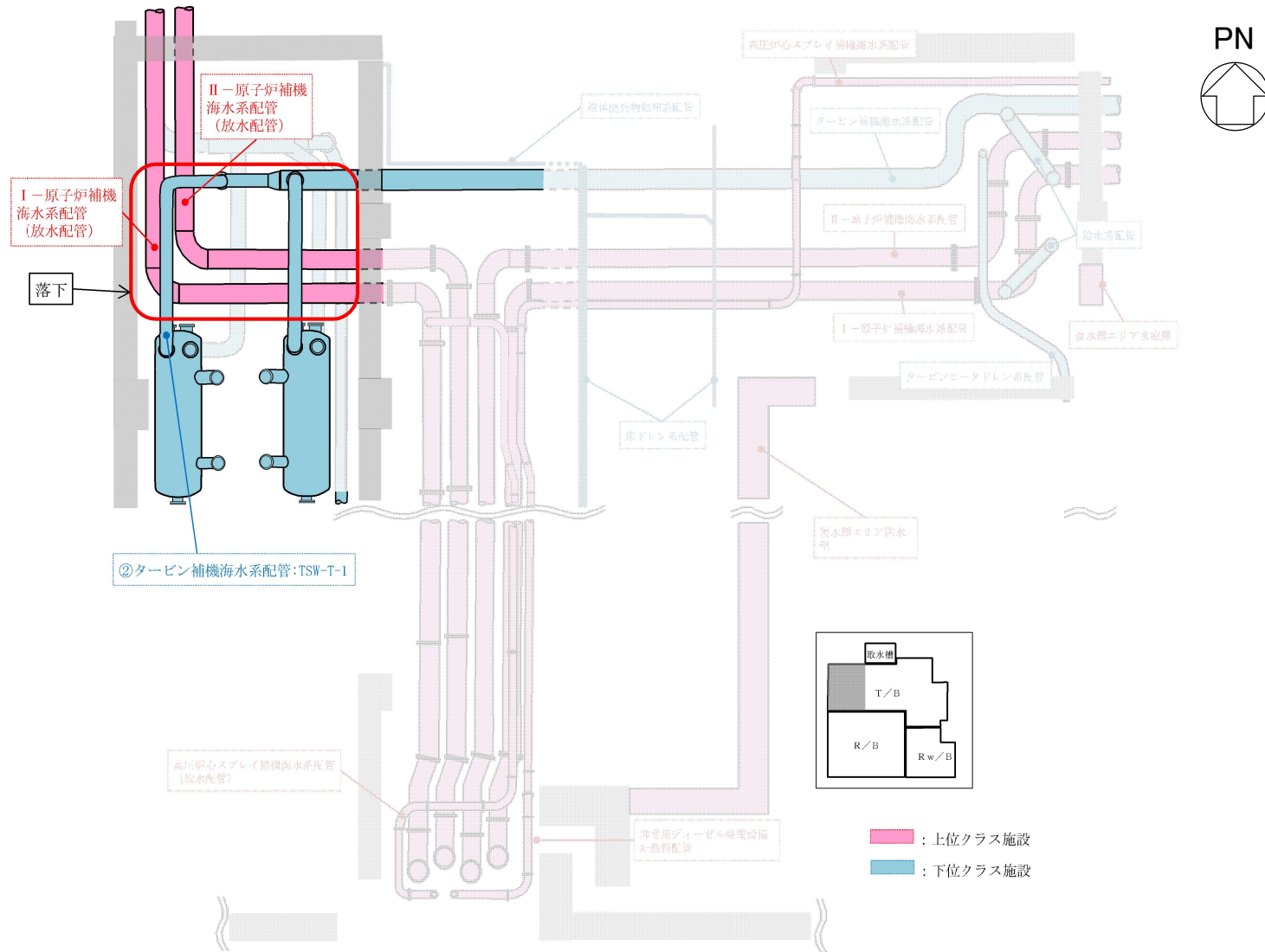


図 2-2-3 配置概要 (タービン補機海水系配管)

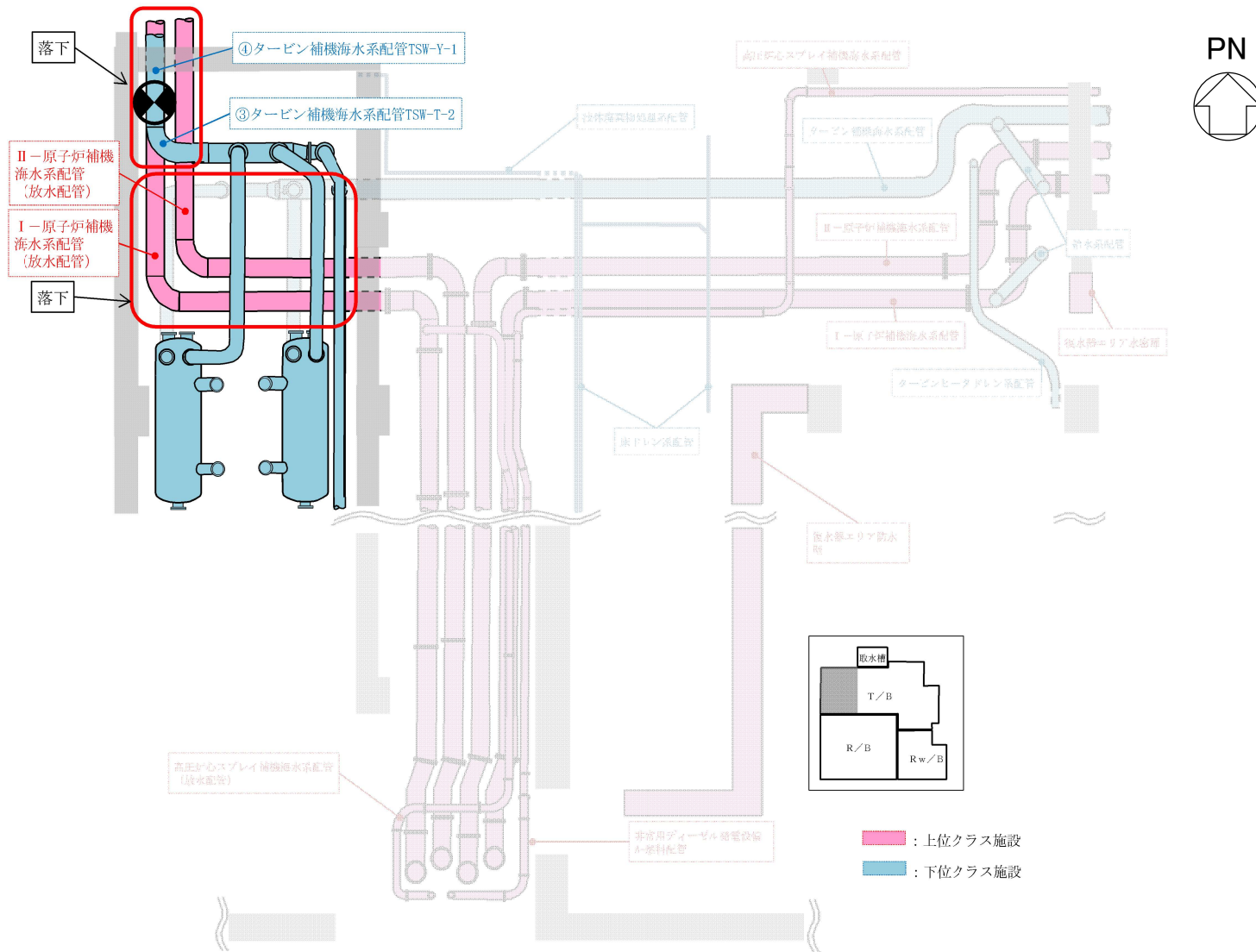


図 2-2-4 配置概要 (タービン補機海水系配管)

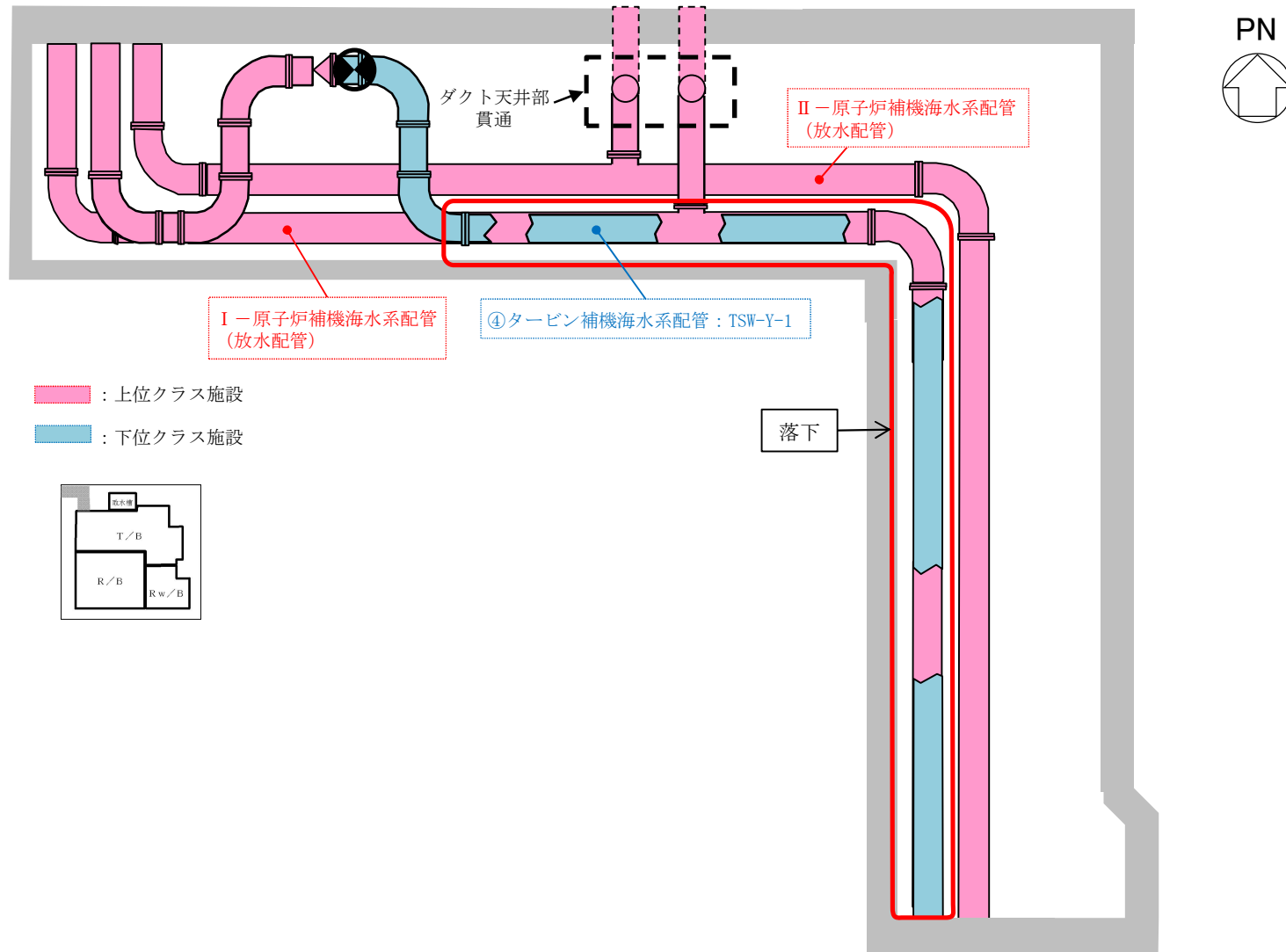


図 2-2-5 配置概要 (タービン補機海水系配管)

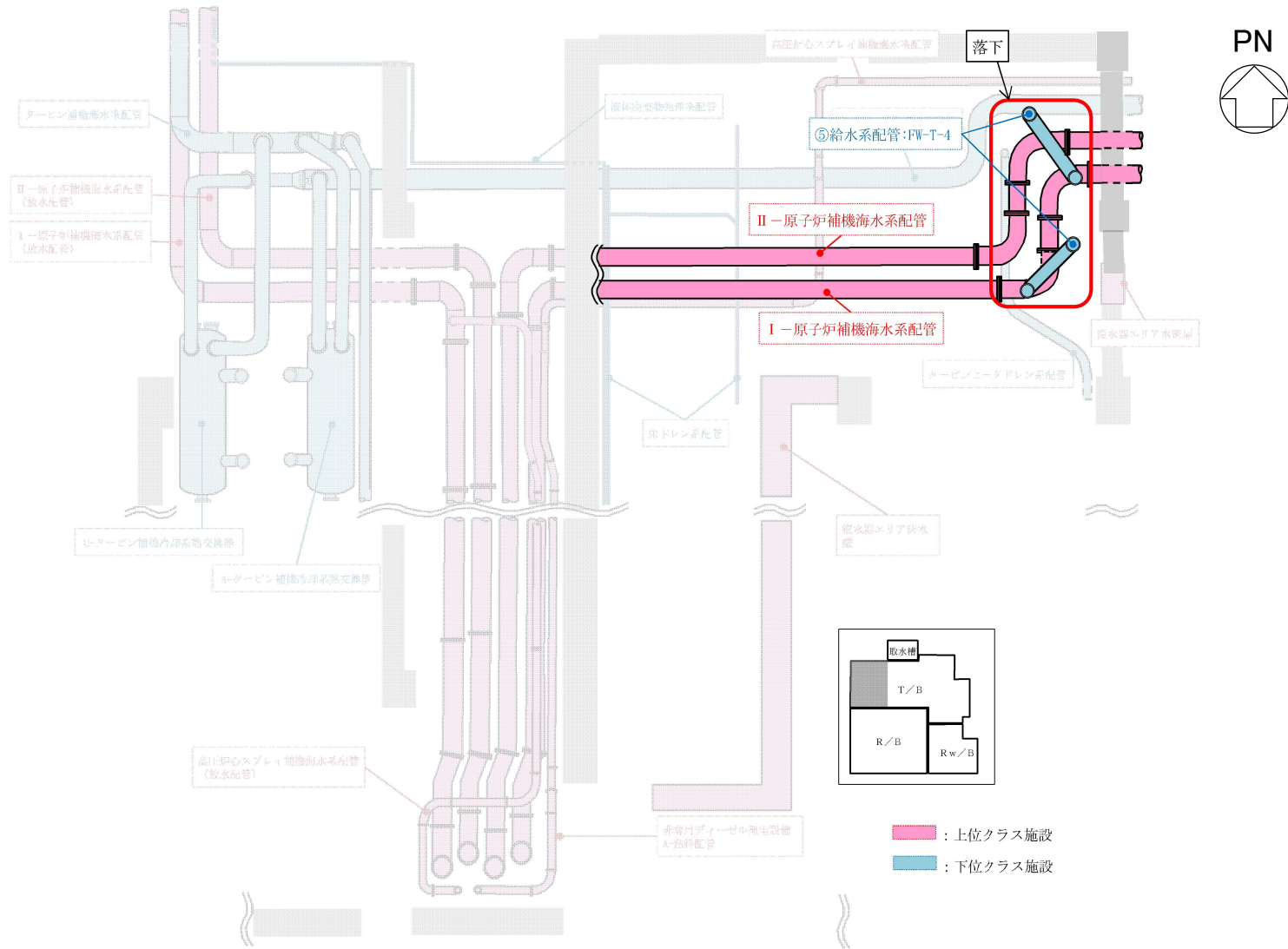


図 2-2-6 配置概要 (給水系配管)

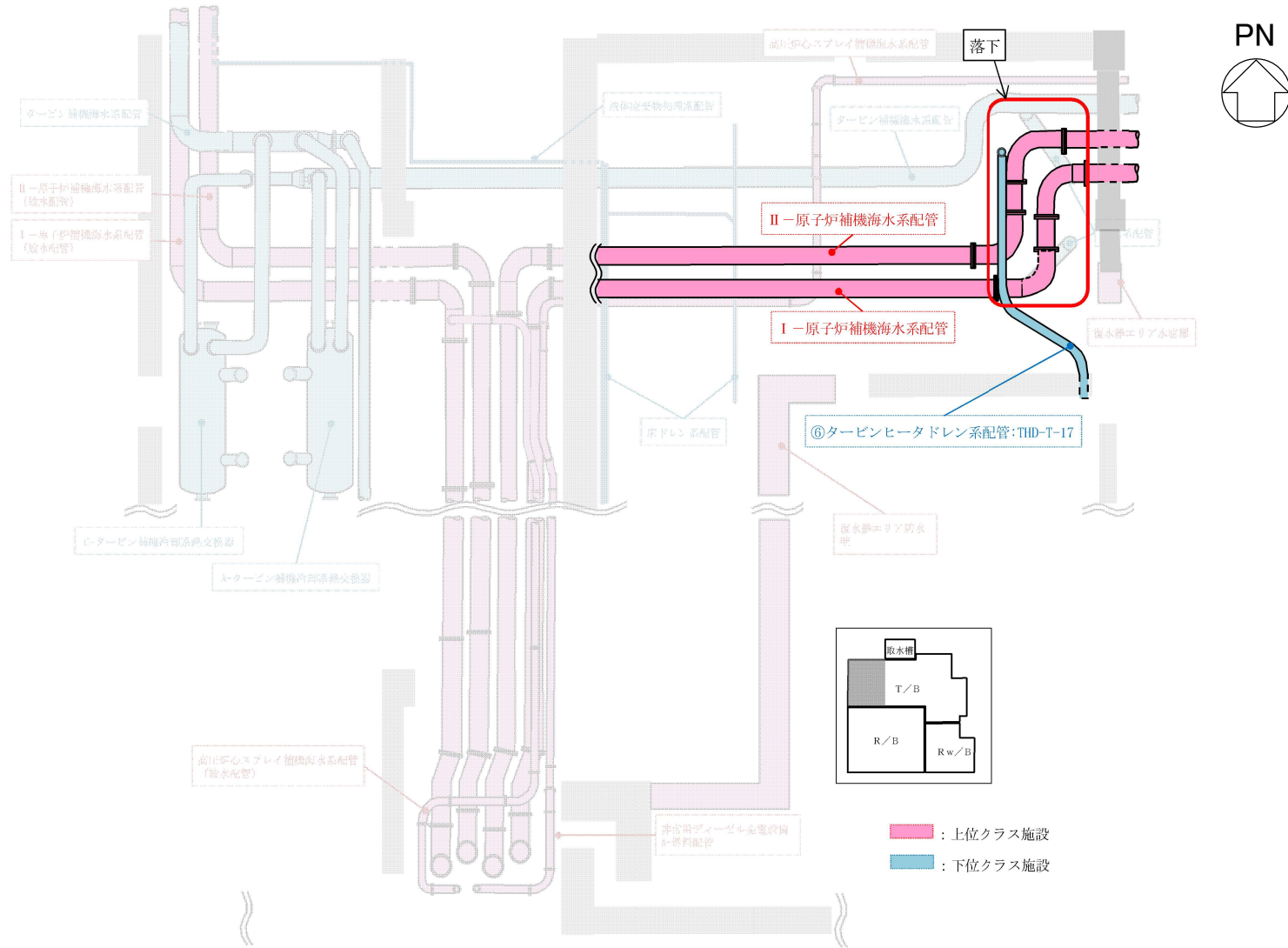


図 2-2-7 配置概要 (タービンヒータドレン系配管)

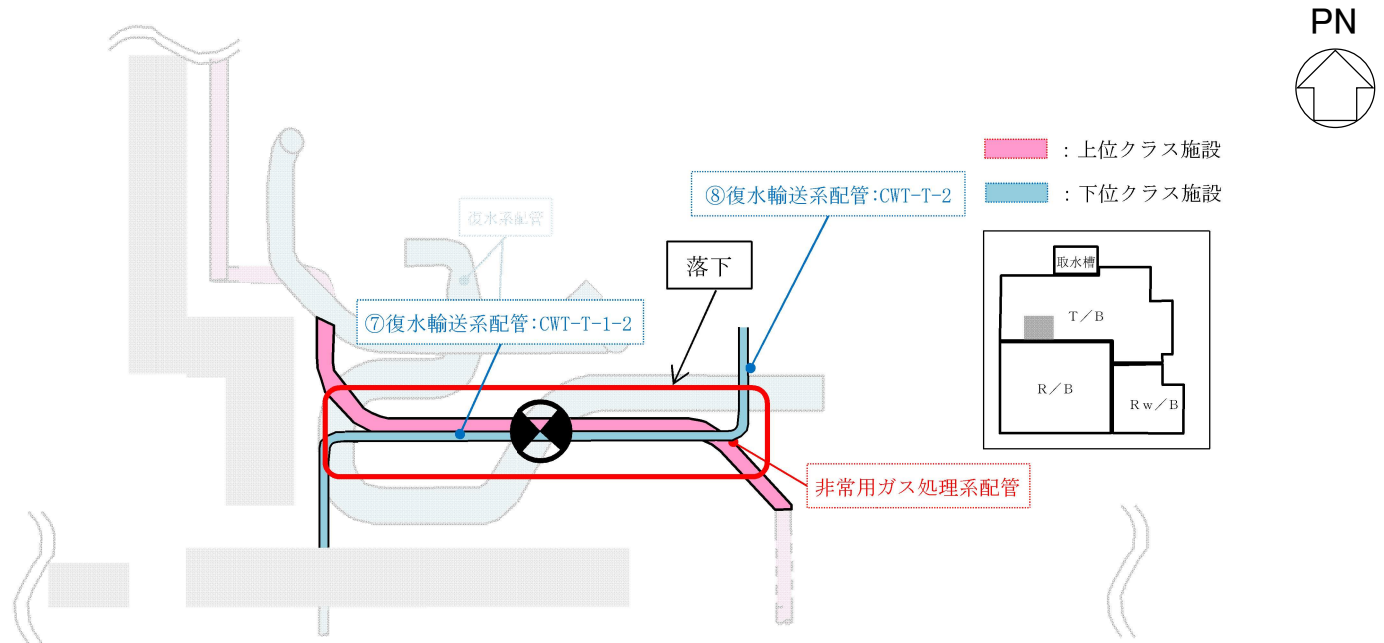


図 2-2-8 配置概要 (復水輸送系配管)

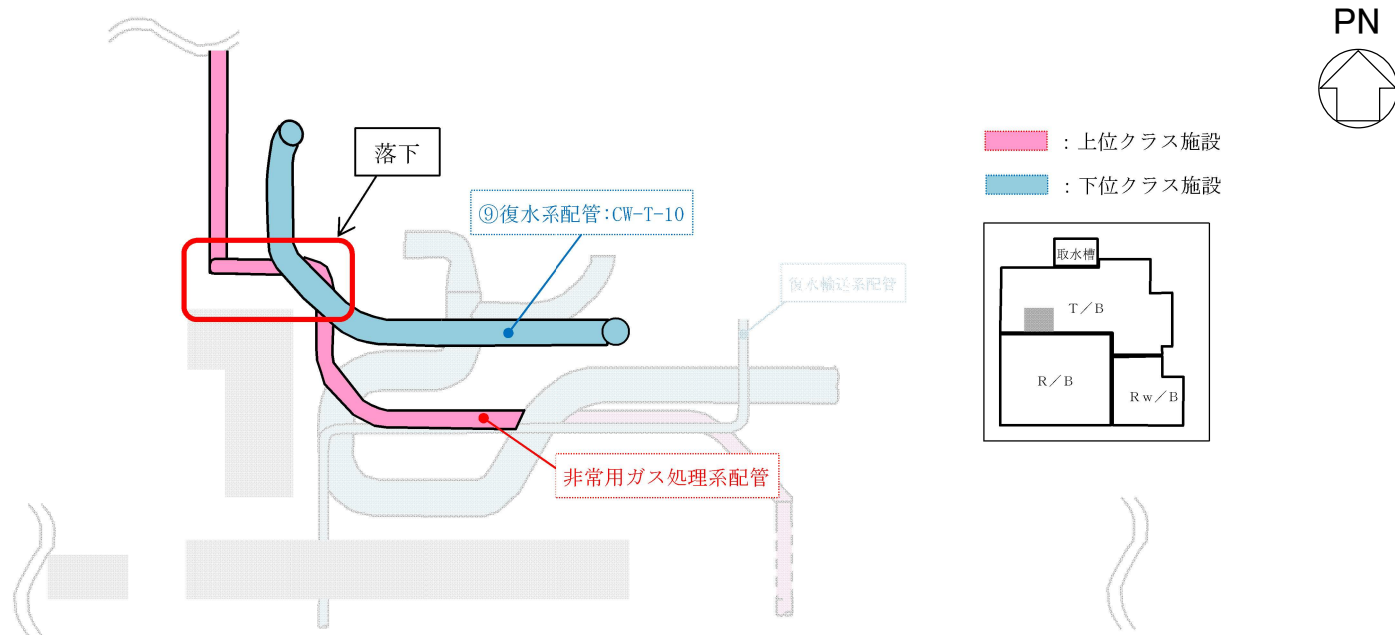


図 2-2-9 配置概要 (復水系配管)

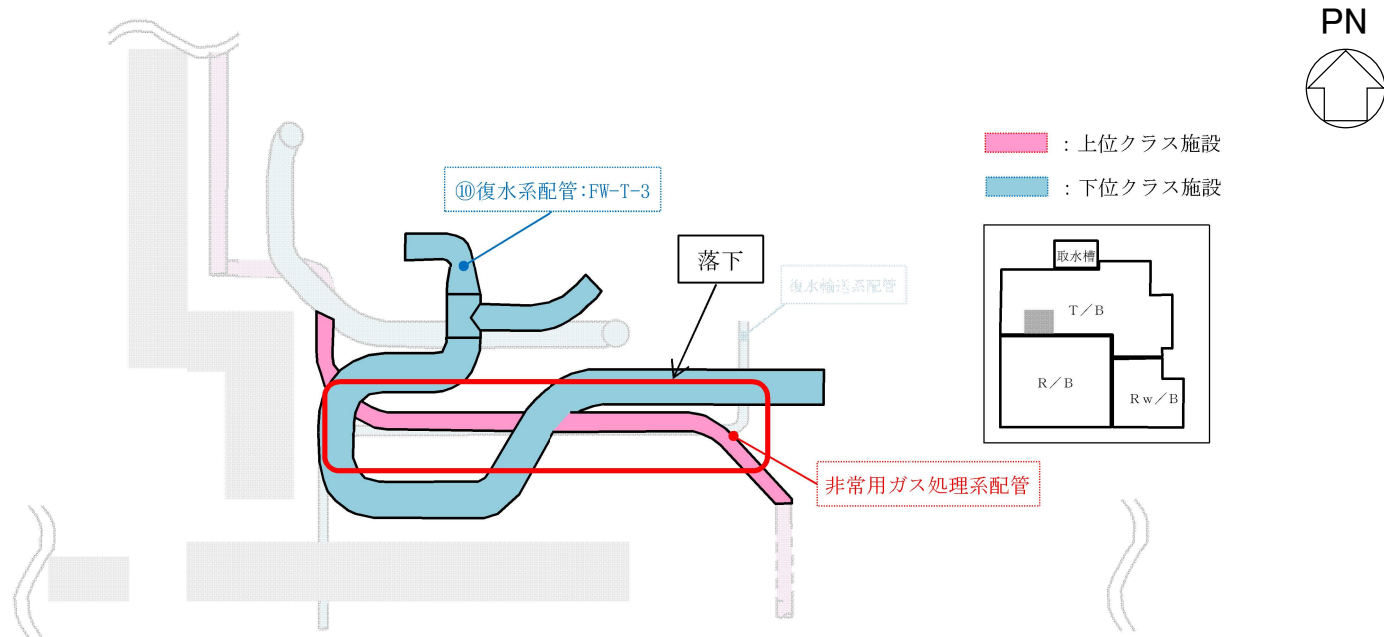


図 2-2-10 配置概要 (復水系配管)

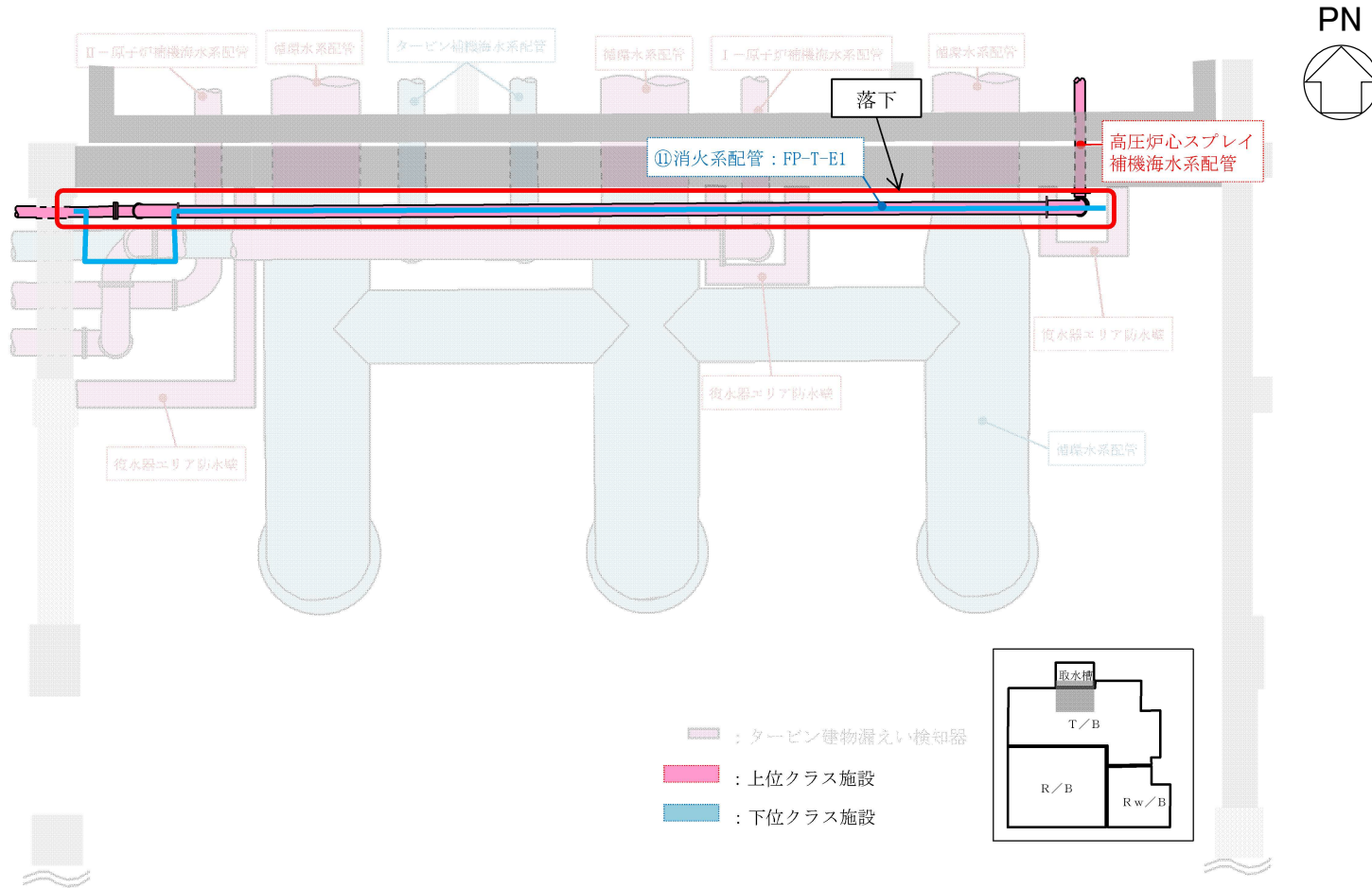


図 2-2-11 配置概要 (消火系配管)

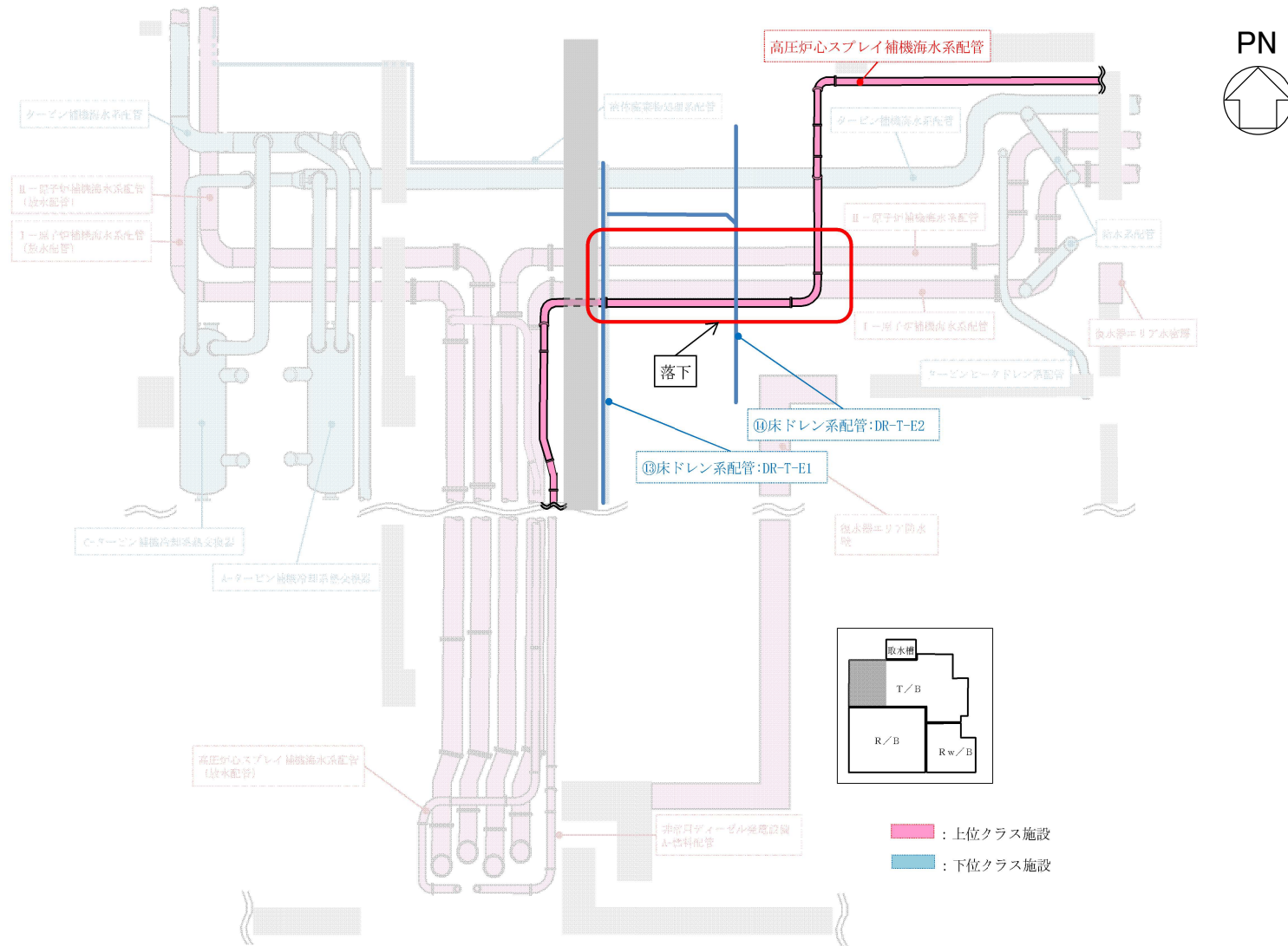

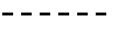


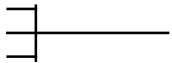
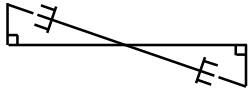
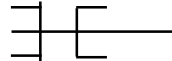
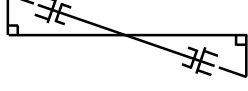

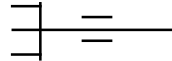
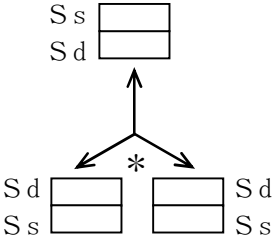


図 2-2-13 配置概要 (床ドレン系配管)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	本計算書に評価結果を記載する管
 (破線)	本計算書に評価結果を記載しない管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

S2 補 VI-2-11-2-8 R1



鳥瞰図	CWT-T-2(1/3)
-----	--------------



鳥瞰図	CWT-T-2 (2/3)
-----	---------------



鳥瞰図	CWT-T-2 (3/3)
-----	---------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

系統名称	施設分類 ^{*1}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態 ^{*3}
循環水系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
タービン補機海水系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
給水系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
タービンヒータドレン系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
復水輸送系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
復水系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
消火系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
液体廃棄物処理系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

系統名称	施設分類 ^{*1}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態 ^{*3}
床ドレン系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：荷重の種類及び荷重の組合せに用いている記号はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づく。

*3：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し、許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

*4：上位クラス施設の施設分類に応じて、許容応力状態 V_{AS} に対する評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CWT-T-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~1001, 2~3 4~20	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
2	1002~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
3	7~89A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CWT-T-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~1001, 2~3 4~20	165.2	7.1	STPG38	B	200600
2	1002~2	165.2	7.1	STPG370	B	200600
3	7~89A	89.1	5.5	STPG370	B	200600

配管の付加質量

鳥 瞰 図 CWT-T-2

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～1001, 1002～3, 4～20
<input type="checkbox"/>	7～89A

弁部の質量

鳥 瞰 図 CWT-T-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1001~1002	<input type="checkbox"/>	3, 4
	301		302
	304		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CWT-T-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
1001~1002				3~301			
301~302				302~303			
303~304				301~4			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CWT-T-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
** 303 **						
5						
16						
20						
20						
89A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPG38	66	—	189	357	—
STPG370	66	—	189	357	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
CWT-T-2	タービン建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CWT-T-2

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
29次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CWT-T-2

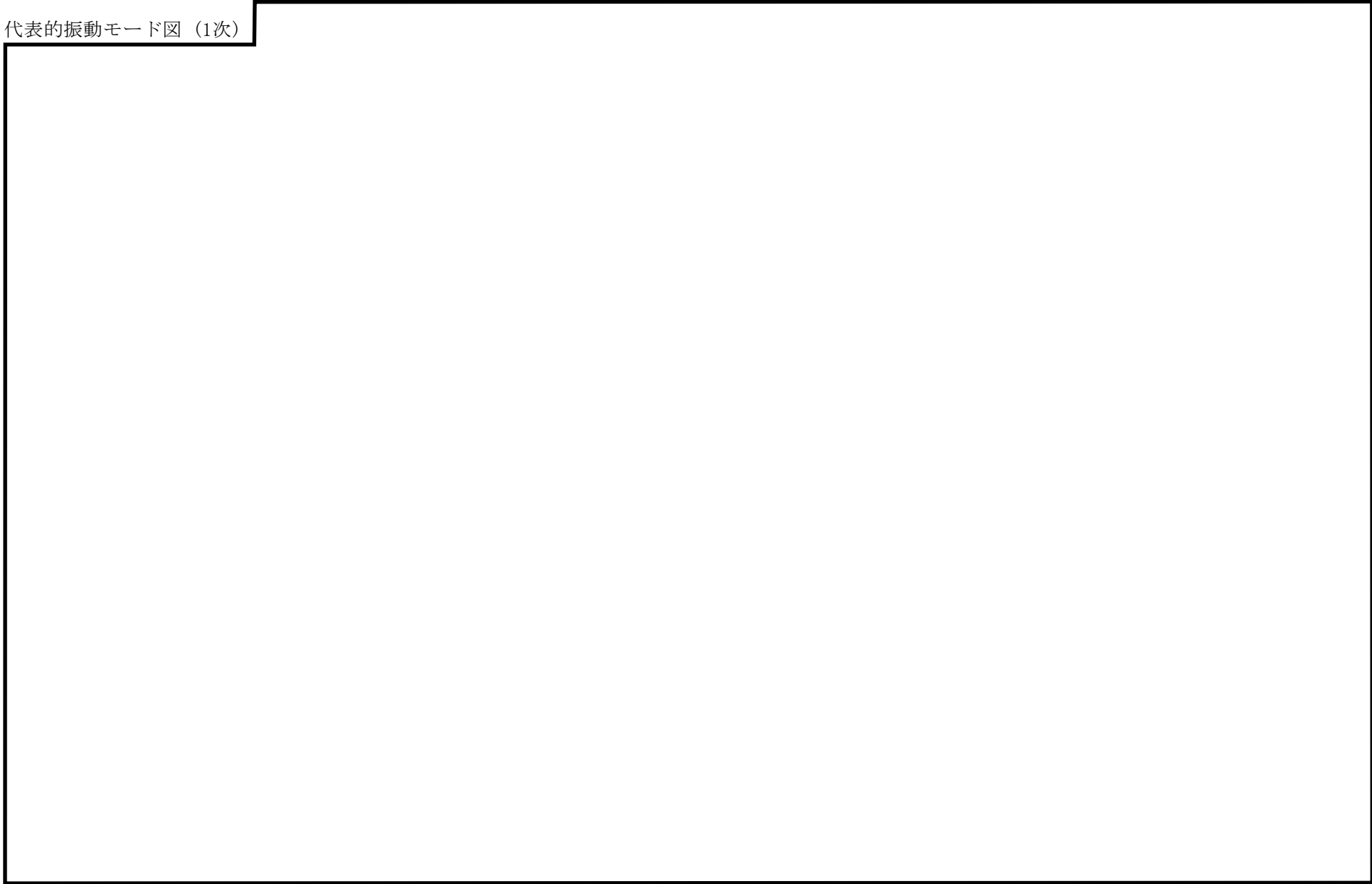
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
29次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

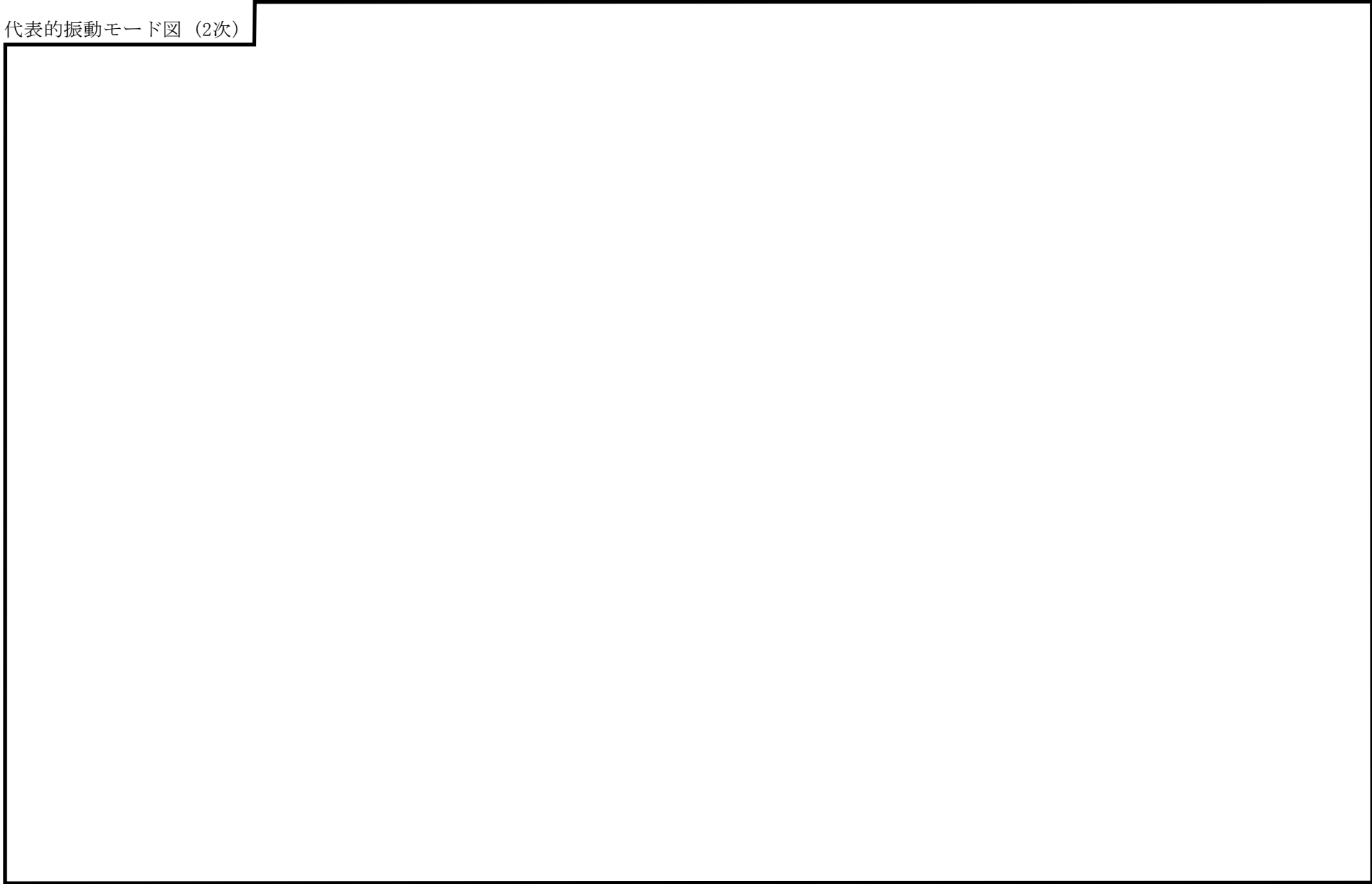
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

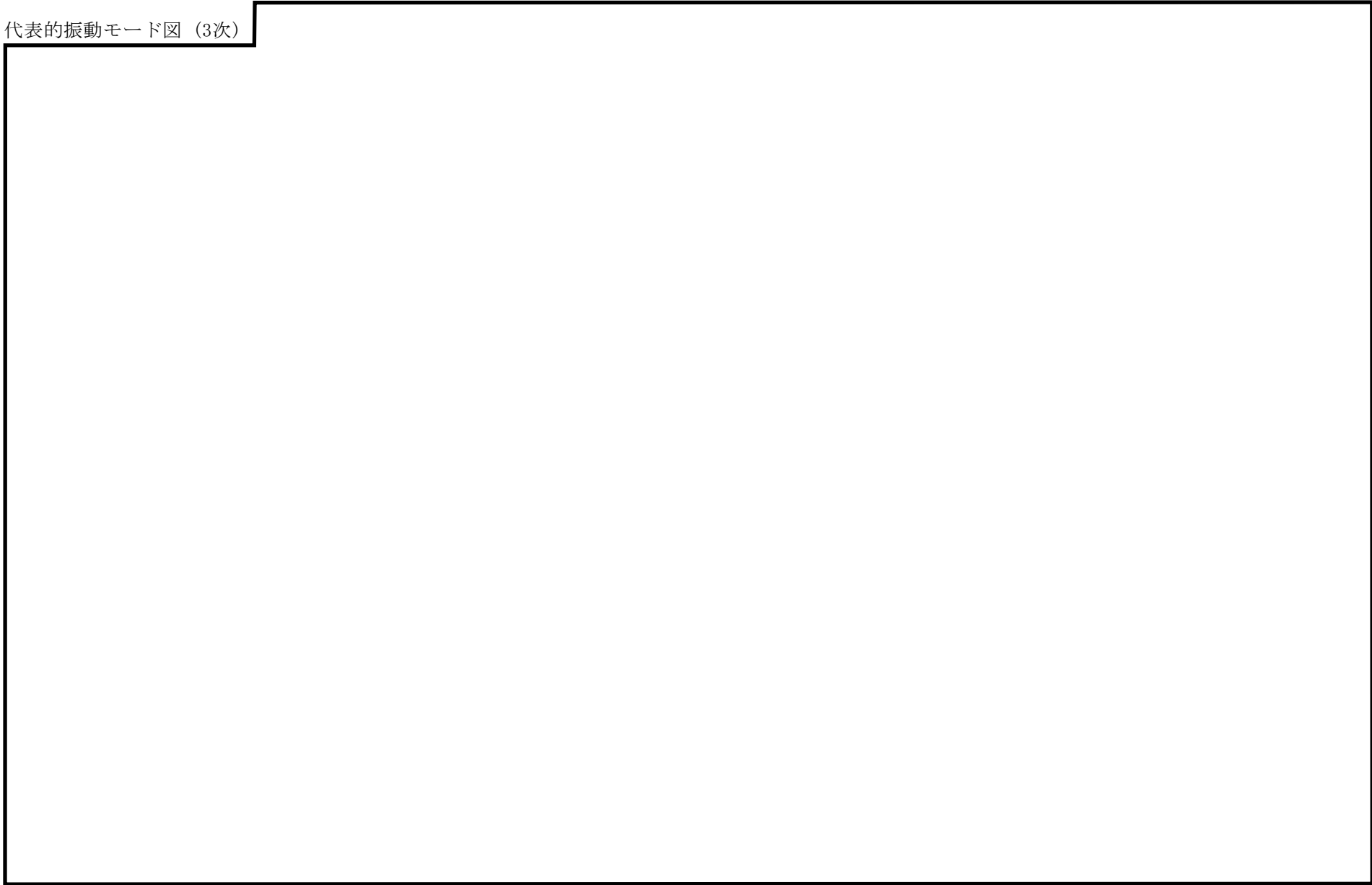


38

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



40

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	CWT-T-2	20	170	321	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	CWT-T-2	20	304	378	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	CWT-T-2	20	170	321	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	CWT-T-2	20	304	378	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SNO-CW-1200	オイルスナッパ	SN-25			354	375	—
RE-TSW-MH0005	ロッドレストレイント	RSA60			560	1080	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-TSW-MH0006	レストレイント	Uボルト	SCM435	40	—	120	490	—	—	—	せん断	241	375
AN-TSW-MH0003	アンカ	ラグ	SM400A	40	390	54	33	9.4	14	47	組合せ	84	161

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	CSW-T-H1	6	190	360	1.89	—	6	303	470	1.55	—	—
2	TSW-T-1	812	106	360	3.39	—	812	167	490	2.93	—	—
3	TSW-T-2	16	45	360	8.00	—	16	41	490	11.95	—	—
4	TSW-Y-1	609	171	360	2.10	—	609	364	490	1.34	—	—
5	FW-T-4	47N	119	382	3.21	—	47N	128	458	3.57	—	—
6	THD-T-17	12	108	363	3.36	—	12	251	410	1.63	—	—
7	CWT-T-1-2	7	118	252	2.13	—	7	172	280	1.62	—	—
8	CWT-T-2	20	170	321	1.88	○	20	304	378	1.24	—	○
9	CW-T-10	1N	171	386	2.25	—	1N	292	464	1.58	—	—
10	FW-T-3	351	184	382	2.07	—	351	242	458	1.89	—	—
11	FP-T-E1	48Z	153	321	2.09	—	48Z	297	378	1.27	—	—
12	RWL-T-1	146	183	366	2.00	—	142	308	462	1.50	—	—
13	DR-T-E1	26	143	310	2.16	—	26	278	346	1.24	—	—
14	DR-T-E2	16	153	310	2.02	—	16	266	346	1.30	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	TSW-T-1	812	106	360	3.39	—	812	167	490	2.93	—	—
2	TSW-T-2	16	45	360	8.00	—	16	41	490	11.95	—	—
3	TSW-Y-1	609	171	360	2.10	—	609	364	490	1.34	—	—
4	FW-T-4	47N	119	382	3.21	—	47N	128	458	3.57	—	—
5	THD-T-17	12	108	363	3.36	—	12	251	410	1.63	—	—
6	CWT-T-1-2	7	118	252	2.13	—	7	172	280	1.62	—	—
7	CWT-T-2	20	170	321	1.88	○	20	304	378	1.24	—	○
8	CW-T-10	1N	171	386	2.25	—	1N	292	464	1.58	—	—
9	FW-T-3	351	184	382	2.07	—	351	242	458	1.89	—	—
10	FP-T-E1	48Z	153	321	2.09	—	48Z	297	378	1.27	—	—
11	RWL-T-1	146	183	366	2.00	—	142	308	462	1.50	—	—
12	DR-T-E1	26	143	310	2.16	—	26	278	346	1.24	—	—
13	DR-T-E2	16	153	310	2.02	—	16	266	346	1.30	—	—

VI-2-11-2-9 原子炉ウェルシールドプラグの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
3. 評価部位	5
4. 耐震評価	6
4.1 評価概要	6
4.2 荷重及び荷重の組合せ	6
4.2.1 荷重	6
4.2.2 荷重の組合せ	7
4.3 評価基準値	8
4.4 使用材料及び材料の許容応力度	9
4.5 応力評価方法	10
4.6 計算条件	10
4.7 評価方法	10
5. 評価結果	11

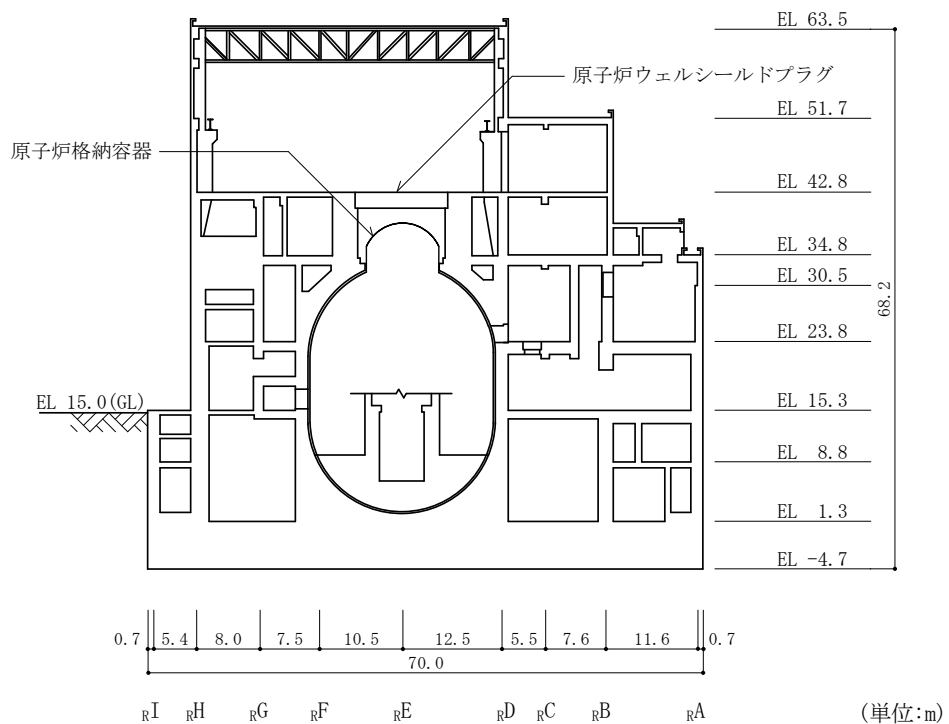
1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である原子炉ウェルシールドプラグが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉ウェルシールドプラグは、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉格納容器の上部に設置されており、落下時に原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



注：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

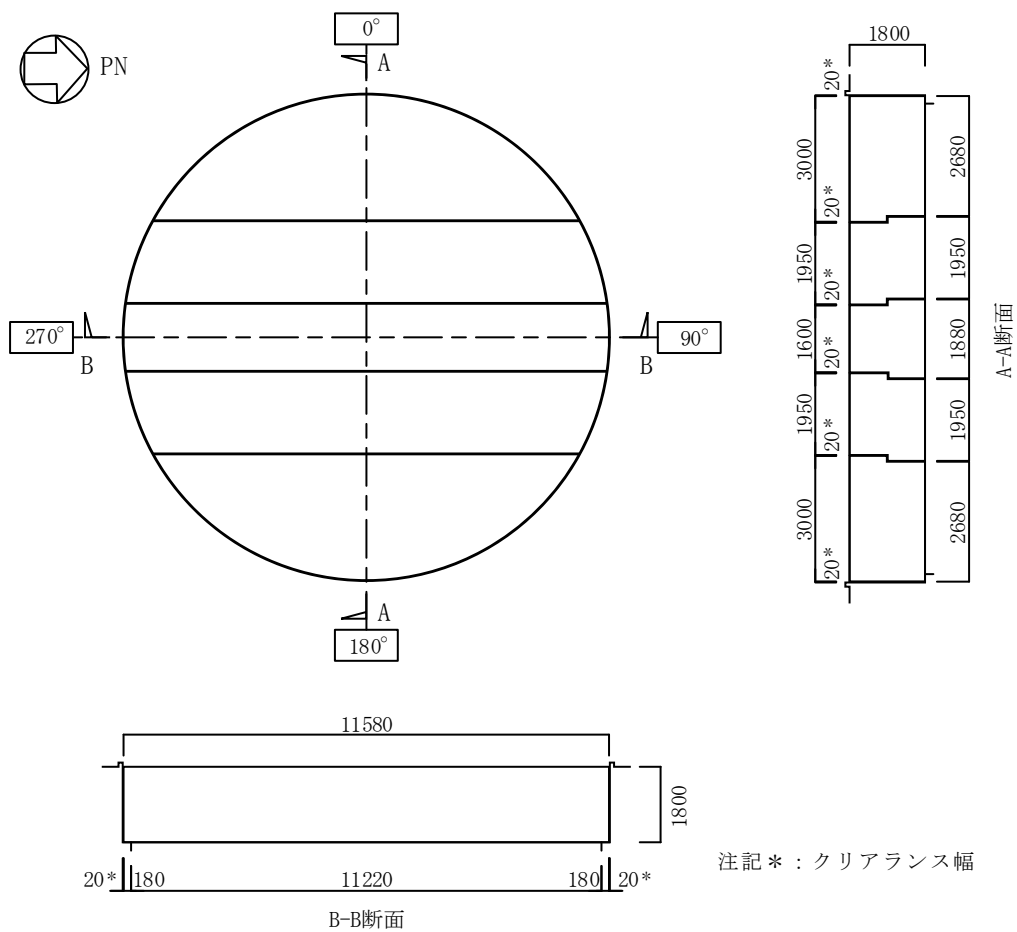
図 2-1 原子炉ウェルシールドプラグと原子炉格納容器の位置関係図

2.2 構造概要

図 2-2 に原子炉ウェルシールドプラグ概要図を示す。原子炉ウェルシールドプラグは、原子炉格納容器直上の燃料取替床 (EL 42.8m) に設置された鉄筋コンクリート造の構造物である。

その大きさは、全体で最外径 11.58m、厚さ 1.8m の円盤状となっており、クレーンでの取外しを考慮して 5 分割で構成されている。

原子炉ウェルシールドプラグは、円盤外周部が原子炉建物躯体に支持されている。



2.3 評価方針

原子炉ウェルシールドプラグの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造概要」に示す原子炉ウェルシールドプラグの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する部位において応力が評価基準値内に収まることを、「4. 耐震評価」に示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。地震荷重の設定については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いる。

原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

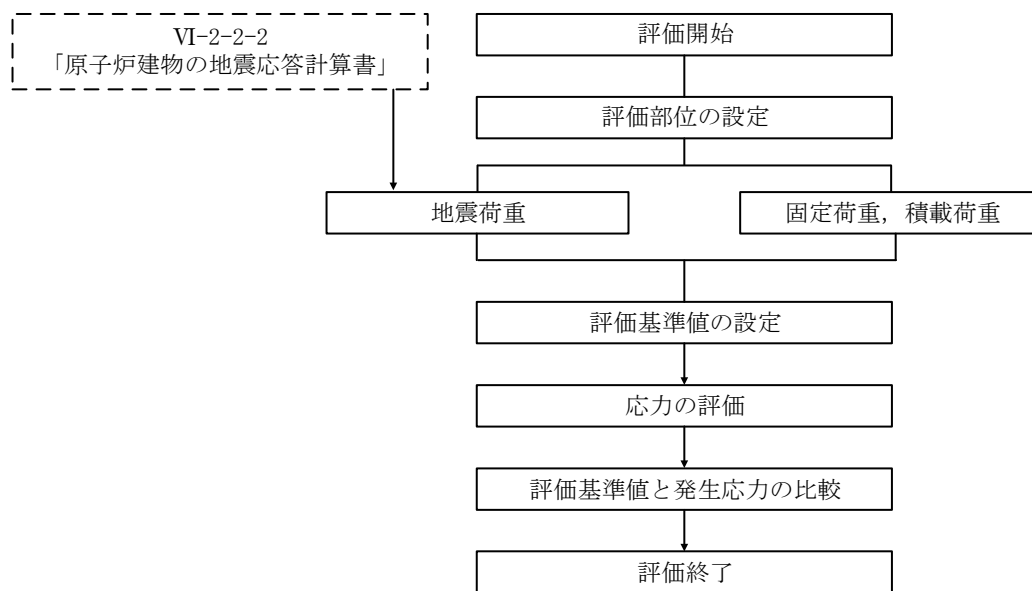


図 2-3 原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉ウェルシールドプラグの波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)

3. 評価部位

原子炉ウェルシールドプラグが落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、原子炉ウェルシールドプラグ本体（以下「シールドプラグ本体」という。）及び原子炉建物躯体の支持部（以下「支持部」という。）を評価部位として選定する。

評価部位を図 3-1 に示す。シールドプラグ本体は、原子炉建物の躯体に端部で支持されているため、耐震評価は支持スパンが最も長い中央のシールドプラグ本体及び支持部について行う。

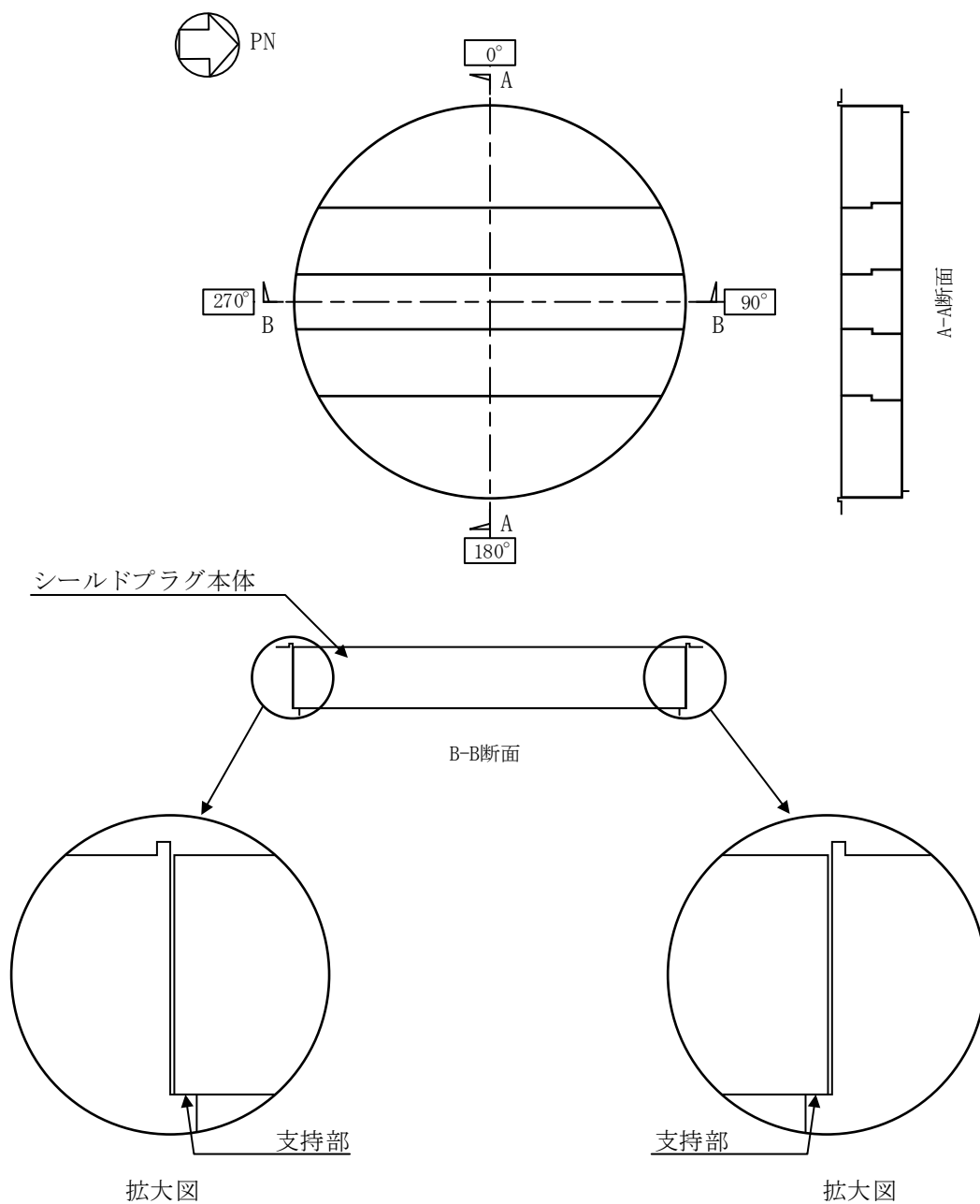


図 3-1 原子炉ウェルシールドプラグの評価部位

4. 耐震評価

4.1 評価概要

シールドプラグ本体及び支持部に対する評価方法を表 4-1 に示す。
評価用応力が評価基準値より小さいことを確認する。

表 4-1 評価方法

部位	評価用応力	評価基準値
シールドプラグ本体	曲げモーメント	許容曲げモーメント
	せん断力	許容せん断力
支持部	圧縮力	許容圧縮力

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、シールドプラグ本体の自重を考慮する。

なお、シールドプラグ本体の重量は、鉄筋コンクリート、鉄板型枠等を考慮して 25.2kN/m^3 とする。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、 0.6kN/m^2 を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。鉛直方向の慣性力によりシールドプラグ本体に作用する地震荷重が面外方向に作用するのに対し、水平方向の慣性力によりシールドプラグ本体に作用する水平荷重は剛性の高い面内方向に作用する。また、水平方向の慣性力が作用した際にシールドプラグ本体を支持する領域は、鉛直方向の慣性力が作用した際にシールドプラグ本体を支持する領域より広いことから、鉛直方向の慣性力に対して検討を行う。

地震荷重はシールドプラグ本体の固定荷重と積載荷重の和に評価用鉛直震度 C_v を乗じた下式により算定する。

$$S_s = (G + P) \cdot C_v \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

評価用鉛直震度 C_v は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」による基準地震動 S_s の地震応答解析結果から算定された、シールドプラグ本体の設置レベ

ル (EL 42.8m) における最大応答鉛直加速度から設定する。最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度 C_v を表 4-2 に示す。

表 4-2 最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度

	最大応答鉛直加速度 (m/s^2)					評価用鉛直震度 C_v
	ケース 1*	ケース 2*	ケース 3*	ケース 4*	最大値	
コンクリート剛性	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度		最大値
地盤物性	標準地盤	標準地盤 + σ	標準地盤 - σ	標準地盤		
積雪荷重	非考慮	非考慮	非考慮	考慮		
算定結果	13.35	14.78	12.44	13.39	14.78	

注記* : $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$ 及び $S_s - N2$ の最大値

4.2.2 荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

荷重の組合せ
$G + P + S_s$

4.3 評価基準値

評価に用いる許容荷重を以下に示す。

シールドプラグ本体の許容曲げモーメント M_a 及び許容せん断力 Q_a は下式により算定する。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

$$Q_a = f_s \cdot B \cdot j \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

$$j = (7/8) \cdot d \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

ここで、

- a_t : 引張鉄筋量 (m²)
- f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (短期) (N/mm²)
- j : 曲げ材の応力中心距離 (m)
- f_s : コンクリートの許容せん断応力度 (短期) (N/mm²)
- B : シールドプラグ本体部材幅 (m)
- d : 曲げ材の有効せい (m)

支持部の許容圧縮力 N_a は、下式により算定する。

$$N_a = f_c \cdot A_c \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$$A_c = B \cdot \varnothing \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

ここで、

- f_c : コンクリートの許容圧縮応力度 (短期) (N/mm²)
- A_c : 支持部水平投影面積 (m²)
- \varnothing : かかり代 (m)

4.4 使用材料及び材料の許容応力度

コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 23.5N/mm^2 とする。鉄筋はSD35（SD345相当）を使用する。各使用材料の許容応力度を表4-4及び表4-5に示す。

表4-4 コンクリートの許容応力度

(単位： N/mm^2)

普通コンクリート	設計基準強度 F_c	短期	
		圧縮 f_c	せん断 f_s
	23.5	15.6	1.08

表4-5 鉄筋の許容応力度

(単位： N/mm^2)

鉄筋	材料種別	短期
		引張 f_t
	SD35 (SD345相当)	345

4.5 応力評価方法

シールドプラグ本体に生じる曲げモーメント M 及びせん断力 Q は、単純ばりとして下式により算定する。

$$M = (1/8) \cdot w \cdot L^2 \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

$$Q = (1/2) \cdot w \cdot L \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

ここで、

w : 評価用荷重 (kN/m)

L : 支持スパン (m)

支持部には、シールドプラグ本体からの反力が圧縮力として作用する。支持部に作用する圧縮力 N は、下式により算定する。

$$N = (1/2) \cdot w \cdot L \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

4.6 計算条件

評価基準値及び評価用応力の計算条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 評価基準値及び評価用応力の計算条件

a_t ($\times 10^{-2}m^2$)	d (m)	B (m)	\varnothing (m)	w (kN/m)	L (m)
1.026	1.35	1.88*	0.18	200.47	11.58

注記* : 許容せん断力 Q_a の計算では、安全側にシールドプラグ本体の上端の部材幅 1.60m を用いる。

4.7 評価方法

「4.5 応力評価方法」で求めた曲げモーメント M 、せん断力 Q 及び支持部に作用する圧縮力 N が「4.3 評価基準値」で求めた許容曲げモーメント M_a 、許容せん断力 Q_a 及び許容圧縮力 N_a より小さいことを確認する。

5. 評価結果

原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価結果を表 5-1 に示す。各部の評価用応力は評価基準値を満足しており，下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5-1 原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価結果

部位	応力	評価用応力	評価基準値
シールド プラグ本体	曲げモーメント (kN・m)	3361	4180
	せん断力 (kN)	1161	2040
支持部	圧縮力 (kN)	1161	5279

VI-2-11-2-10 耐火障壁の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	7
2.3	評価方針	9
2.4	適用規格・基準等	10
2.5	記号の説明	11
2.6	計算精度と数値の丸め方	14
3.	評価部位	15
4.	地震応答解析及び構造強度評価	15
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	15
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	15
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
4.2.2	許容応力	15
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	15
4.3	解析モデル及び諸元	19
4.3.1	耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	19
4.3.2	耐火障壁（中央制御室送風機）	19
4.4	固有周期	24
4.4.1	耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	24
4.4.2	耐火障壁（中央制御室送風機）	25
4.5	設計用地震力	26
4.5.1	耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	26
4.5.2	耐火障壁（中央制御室送風機）	27
4.6	計算方法	28
4.6.1	応力の計算方法（耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器））	28
4.6.2	応力の計算方法（耐火障壁（中央制御室送風機））	31
4.7	計算条件	34
4.8	応力の評価	34
4.8.1	フレーム部材の応力評価	34
4.8.2	基礎ボルトの応力評価	35
5.	評価結果	36
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	36
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	36

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である耐火障壁（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、上位クラス施設に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

耐火障壁は鋼製であり、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物に設置する。耐火障壁の設置位置を図2-1～図2-5に示す。

本資料では、図2-1～図2-5に示す耐火障壁のうち、構造強度の評価部位であるフレーム部材の裕度が最も厳しい耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）及び基礎ボルトの裕度が最も厳しい耐火障壁（中央制御室送風機）を代表として、耐震性について示す。なお、その他の耐火障壁の評価結果については「【耐火障壁の耐震性についての計算結果】3. 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果」にて示す。

代表とした耐火障壁のうち耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）は、図2-2に示すように、上位クラス施設である格納容器ガスサンプリング装置冷却器の近傍に設置されており、耐火障壁（中央制御室送風機）は、図2-3に示すように、上位クラス施設である中央制御室送風機のA号機及びB号機の間設置されていることから、どちらも転倒によって上位クラス施設に衝突し波及的影響を及ぼすおそれがある。

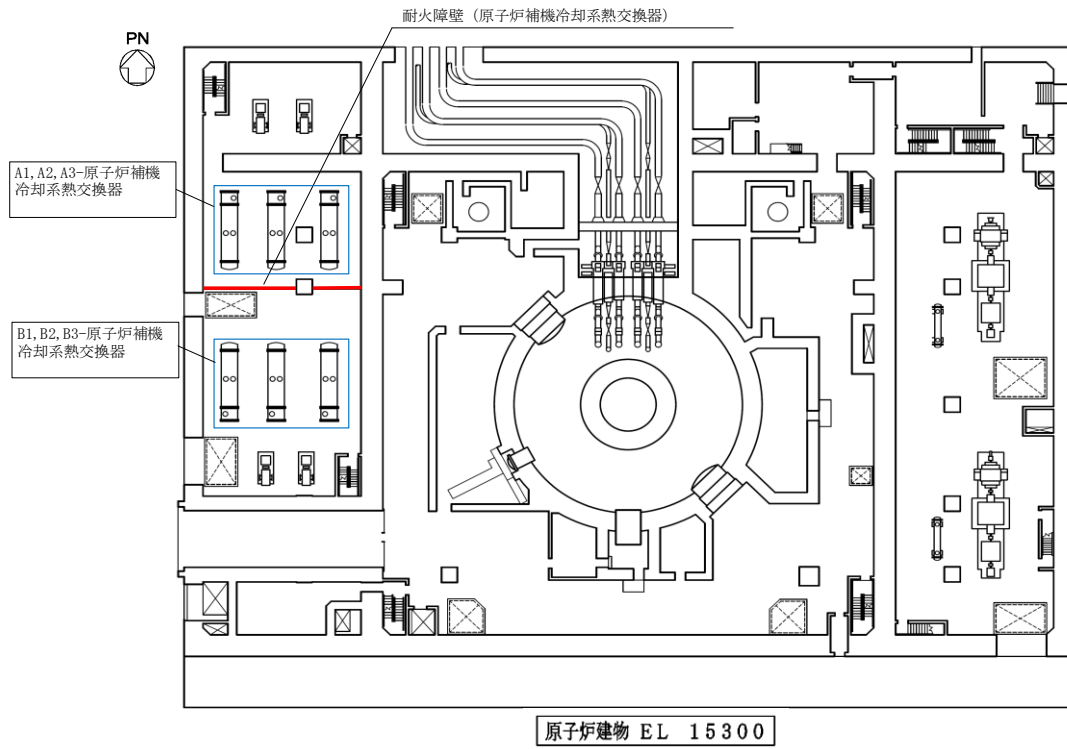


図2-1 耐火障壁 (原子炉補機冷却系熱交換器) の設置位置

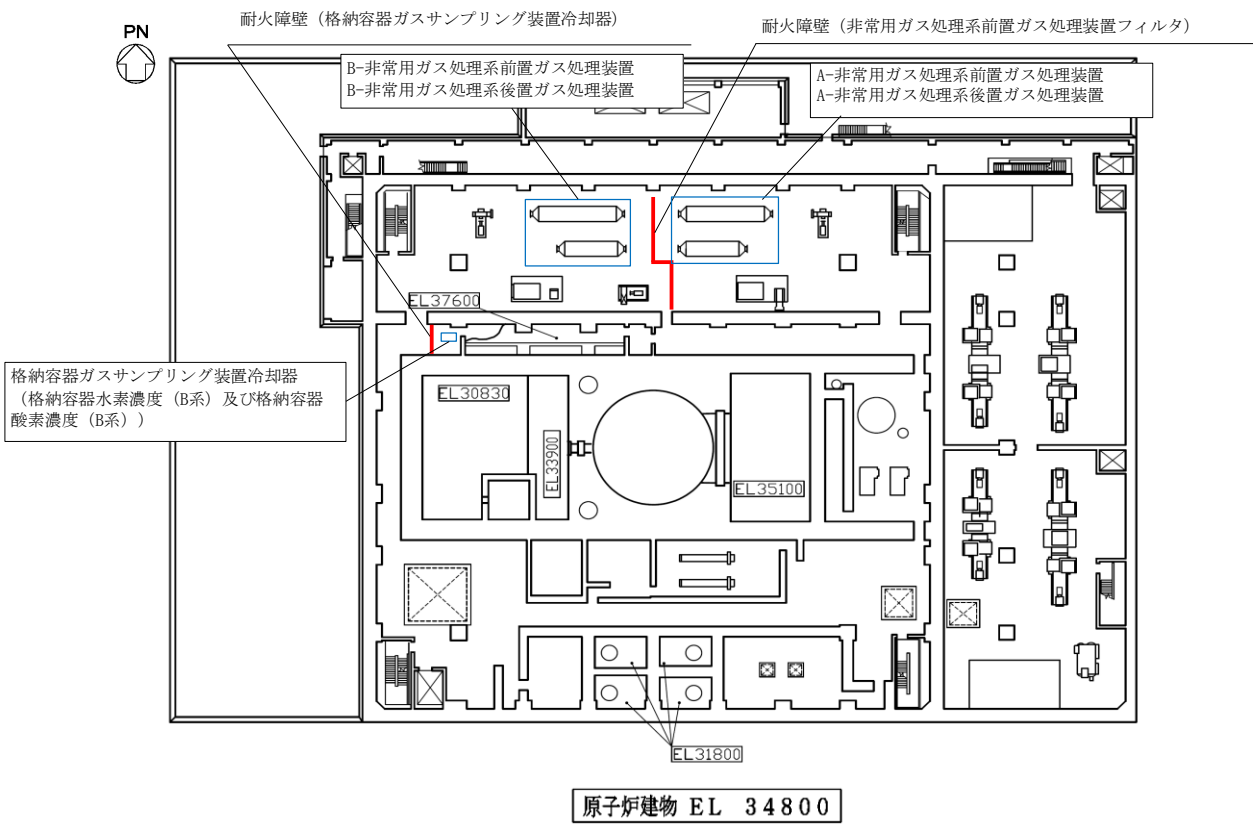


図2-2 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器，非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ）の設置位置

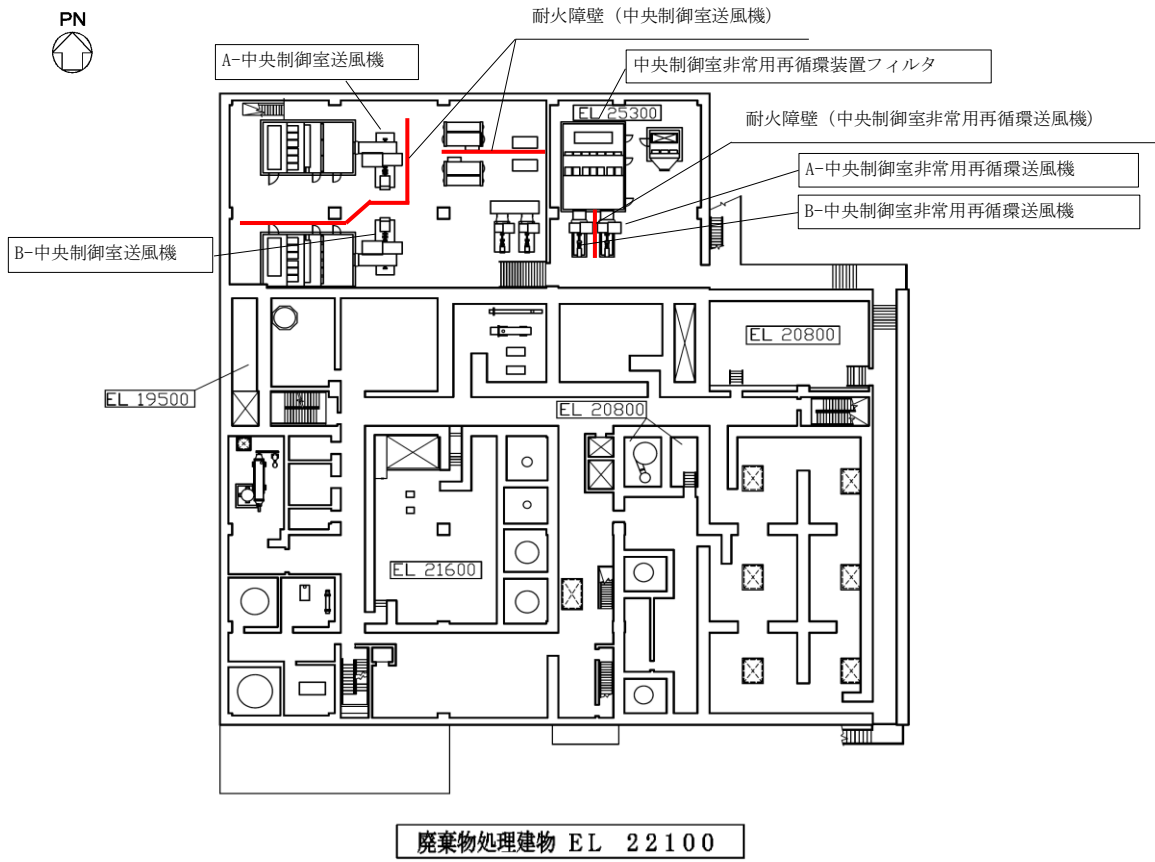
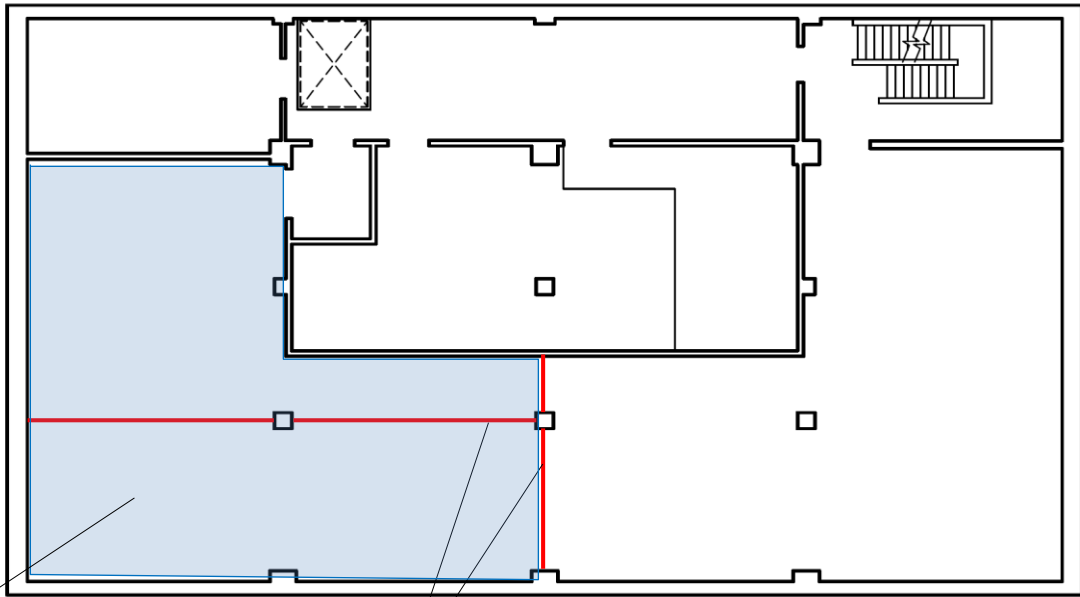


図2-3 耐火障壁（中央制御室送風機，中央制御室非常用再循環送風機）の設置位置



2号ケーブル処理室

耐火障壁 (制御室建物内電路)

制御室建物 EL 12800

図2-4 耐火障壁 (制御室建物内電路) の設置位置

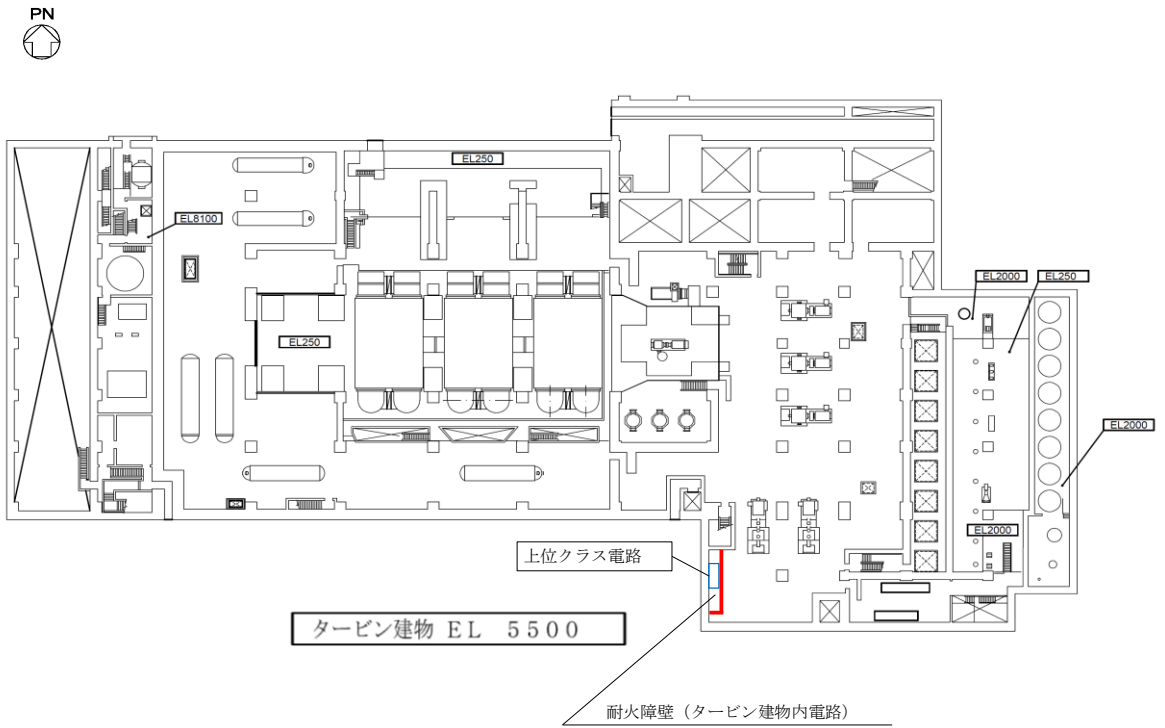


図2-5 耐火障壁（タービン建物内電路）の設置位置

2.2 構造計画

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の構造計画を表 2-1 に、耐火障壁（中央制御室送風機）の構造計画を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-1 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器） 構造計画

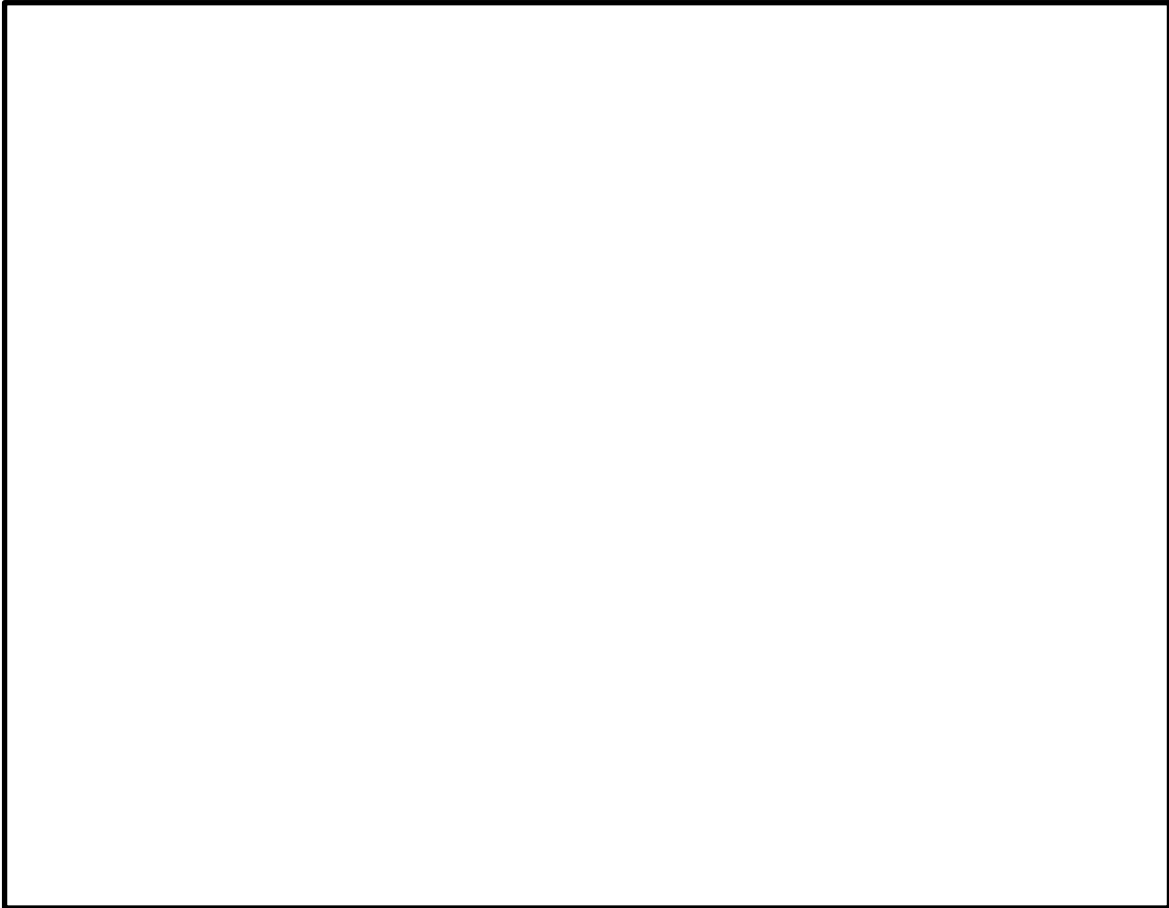
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
耐火障壁を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は、鋼製のフレーム部材により支持され、鋼製のフレーム部材は固定ボルトによりベースプレートに接続され、ベースプレートは基礎ボルトにより建物躯体である床、壁、及び天井に固定される。	鋼板（発泡性耐火被覆貼付） 防火扉	

表 2-2 耐火障壁（中央制御室送風機） 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
耐火障壁を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は、鋼製のフレーム部材により支持され、鋼製のフレーム部材は基礎ボルトにより建物躯体である床に固定される。	鋼板（発泡性耐火被覆貼付）	

2.3 評価方針

耐火障壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す耐火障壁の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

耐火障壁の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

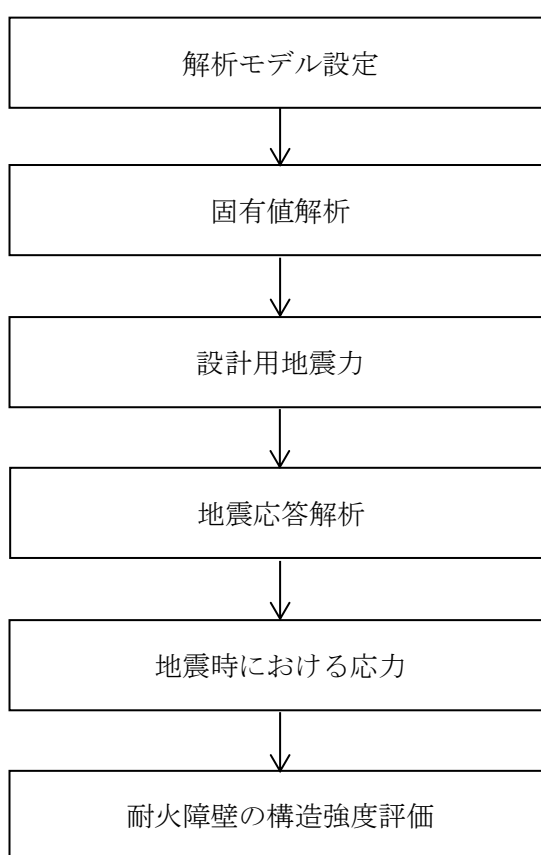


図 2-6 耐火障壁の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本産業規格（J I S）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_{tm}	フレーム部材の許容引張応力	MPa
f_{cm}	フレーム部材の許容圧縮応力	MPa
f_{sm}	フレーム部材の許容せん断応力	MPa
f_{bm}	フレーム部材の許容曲げ応力	MPa
E	縦弾性係数	MPa
A_y	フレーム部材のせん断断面積 (y 方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	mm ²
A_z	フレーム部材のせん断断面積 (z 方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	mm ²
Z_y	フレーム部材の断面係数 (y 軸) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	mm ³
Z_z	フレーム部材の断面係数 (z 軸) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	mm ³
F_x	フレーム部材の軸力 (x 方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N
F_y	フレーム部材のせん断力 (y 方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N
F_z	フレーム部材のせん断力 (z 方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N
M_y	フレーム部材の曲げモーメント (y 軸) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N・mm
M_z	フレーム部材の曲げモーメント (z 軸) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N・mm
A	フレーム部材の断面積 (中央制御室送風機)	mm ²
A_s	フレーム部材のせん断断面積 (中央制御室送風機)	mm ²
Z	フレーム部材の断面係数 (中央制御室送風機)	mm ³

記号	記号の説明	単位
F_A	フレーム部材の軸力 (中央制御室送風機)	N
F_S	フレーム部材のせん断力 (中央制御室送風機)	N
M	フレーム部材の曲げモーメント (中央制御室送風機)	N・mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
i	断面二次半径	mm
Λ	フレーム部材の限界細長比	—
λ	フレーム部材の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_t	フレーム部材に生じる引張応力	MPa
σ_c	フレーム部材に生じる圧縮応力	MPa
σ_b	フレーム部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_{b_y}	フレーム部材に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
σ_{b_z}	フレーム部材に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
τ	フレーム部材に生じるせん断応力	MPa
σ_f	フレーム部材に生じる組合せ応力	MPa
f_{t_o}	基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{s_b}	基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{t_s}	基礎ボルトが引張力とせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
A_B	基礎ボルトの呼び径断面積	mm ²
d_o	基礎ボルトの呼び径	mm
ℓ	基礎ボルト間距離	mm
n_1	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数 (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	本
n_2	評価上せん断力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数 (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	本
n_3	評価上曲げモーメントを受けるとして期待する基礎ボルトの本数 (中央制御室送風機)	本
n_4	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数 (中央制御室送風機)	本
n_5	評価上せん断力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数 (中央制御室送風機)	本

記号	記号の説明	単位
F_{Bx}	基礎ボルト部の引張力 (x方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N
F_{By}	基礎ボルト部のせん断力 (y方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N
F_{Bz}	基礎ボルト部のせん断力 (z方向) (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	N
F_{BA}	基礎ボルト部の引張力 (中央制御室送風機)	N
F_{BS}	基礎ボルト部のせん断力 (中央制御室送風機)	N
M_B	基礎ボルト部の曲げモーメント (中央制御室送風機)	N・mm
P_1	曲げモーメントに対するアンカーボルト1本あたりの偶力 (中央制御室送風機)	N
P_2	引抜に対するアンカーボルト1本あたりの引張荷重 (中央制御室送風機)	N
F_B	基礎ボルト1本あたりに作用する引張力	N
Q_B	基礎ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
σ_{tB}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ_B	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりである。

表2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*2}	四捨五入	小数点以下第1位 ^{*3}
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

耐火障壁は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価を実施する。なお、耐火障壁は、支持構造物のうち耐震評価上厳しくなるフレーム部材及び基礎ボルトが健全であれば転倒による損傷を防止できるため、フレーム部材及び基礎ボルトを評価対象とする。耐火障壁の耐震評価部位については、表 2-1～表 2-2 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 耐火障壁のフレーム部材は、十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定される。
- (2) 地震力は、耐火障壁に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用し、組み合わせる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有周期が0.05秒以下の場合は剛構造として1.2ZPAの加速度を静的に作用させた静的解析を行い、0.05秒より大きい場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

耐火障壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

耐火障壁の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

耐火障壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
その他	耐火障壁（中央制御室送風機）	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる)
その他	耐火障壁（中央制御室送風機）	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる)

注記*：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他支持構造物及び重大事故等その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境温度					
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）	フレーム部材		周囲環境温度	40	—	325	490	—
	基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	235	400	—
耐火障壁（中央制御室送風機）	フレーム部材		周囲環境温度	40	—	245	400	—
	基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	235	400	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境温度					
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）	フレーム部材		周囲環境温度	100	—	292	441	—
	基礎ボルト		周囲環境温度	100	—	212	373	—
耐火障壁（中央制御室送風機）	フレーム部材		周囲環境温度	40	—	245	400	—
	基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	235	400	—

4.3 解析モデル及び諸元

耐火障壁の解析モデルを図 4-1～図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【耐火障壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3.1 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）

- (1) 保守的に鋼板（発泡性耐火被覆貼付）と防火扉の剛性を期待しないものとし、フレーム部材をはり要素でモデル化した 3 次元 FEM モデルを用いる。
- (2) 全体質量については、はり要素にフレーム部材の密度、鋼板、発泡性耐火被覆等の単位長さ質量を付加する。各要素に付加した密度や単位長さ質量は集中質量として接続する節点に分配される。防火扉については、扉の質量を扉両側のはり要素に単位長さ質量として付加する。
- (3) 拘束条件を図 4-1 に示す。フレーム部材の固定ボルト部は X 方向に長穴の形状とされていることから、並進 2 成分拘束（全体座標 Y, Z 拘束）の拘束条件とする。その他の支点は並進 3 成分拘束（全体座標 X, Y, Z 拘束）の拘束条件とする。
- (4) 各部材の接続条件を図 4-1 に示す。各部材の接続条件はピン接合とする。部材番号①と部材番号③の接続ボルト部は Z 方向に長穴の形状とされていることから、並進 2 成分接続（全体座標 Y, X 接続）のピン接合とする。その他の接続は並進 3 成分接続（全体座標 X, Y, Z 接続）のピン接合とする。

4.3.2 耐火障壁（中央制御室送風機）

- (1) 複数配置したフレーム部材と鋼板（発泡性耐火被覆貼付）による連続した構造であるが保守的にフレーム部材間の鋼板（発泡性耐火被覆貼付）の剛性を期待しないものとしたフレーム部材 1 本の解析モデルとし、さらに、フレーム部材は辺の長さが同じ矩形断面であり断面性能が水平 2 方向で同一であることから、水平方向断面の対称性を踏まえてフレーム部材をはり要素でモデル化した 2 次元 FEM モデルを用いる。
- (2) 全体質量については、はり要素にフレーム部材の密度、鋼板、発泡性耐火被覆等の単位長さ質量を付加する。鋼板（発泡性耐火被覆貼付）については、隣接するフレーム部材間の鋼板（発泡性耐火被覆貼付）の半分を付加するものとし、フレーム部材両側の mm の範囲を考慮する。各要素に付加した密度や単位長さ質量は集中質量として接続する節点に分配される。
- (3) 拘束条件を図 4-2 に示す。支点はフレーム部材下端の周囲を基礎ボルトを用いて床に固定していることから、並進成分と回転成分ともに完全拘束の拘束条件とする。

凡例

拘束条件

△：並進 3 成分拘束（全体座標 X, Y, Z 拘束）

△：並進 2 成分拘束（全体座標 Y, Z 拘束）

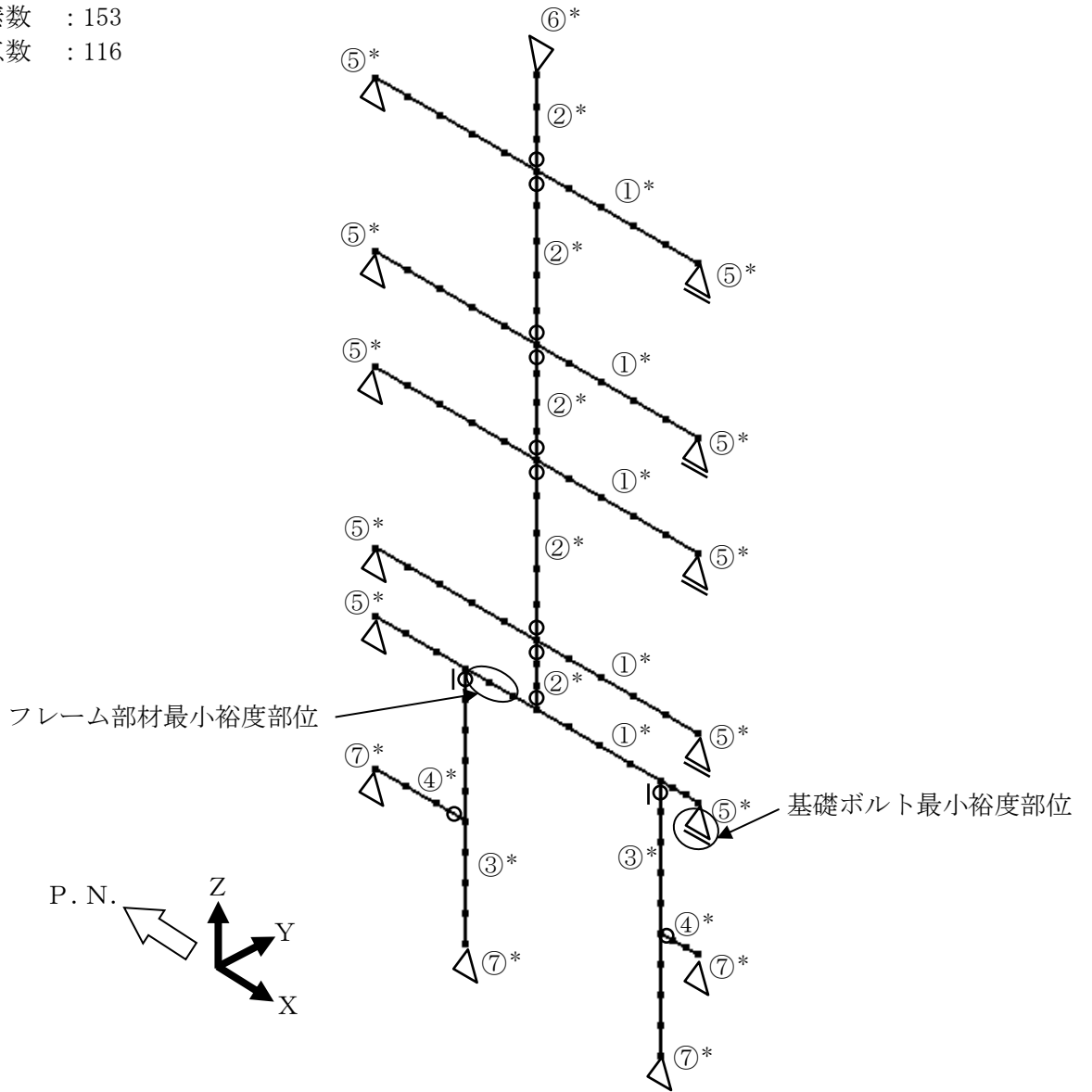
各部材の接続条件

○：ピン接合（全体座標 X, Y, Z 接続）

|○：ピン接合（全体座標 X, Y 接続）

要素数 : 153

節点数 : 116




注記*：各部材の諸元については表 4-6 解析モデルの諸元に示す。

図 4-1 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）解析モデル

表 4-6 解析モデルの諸元

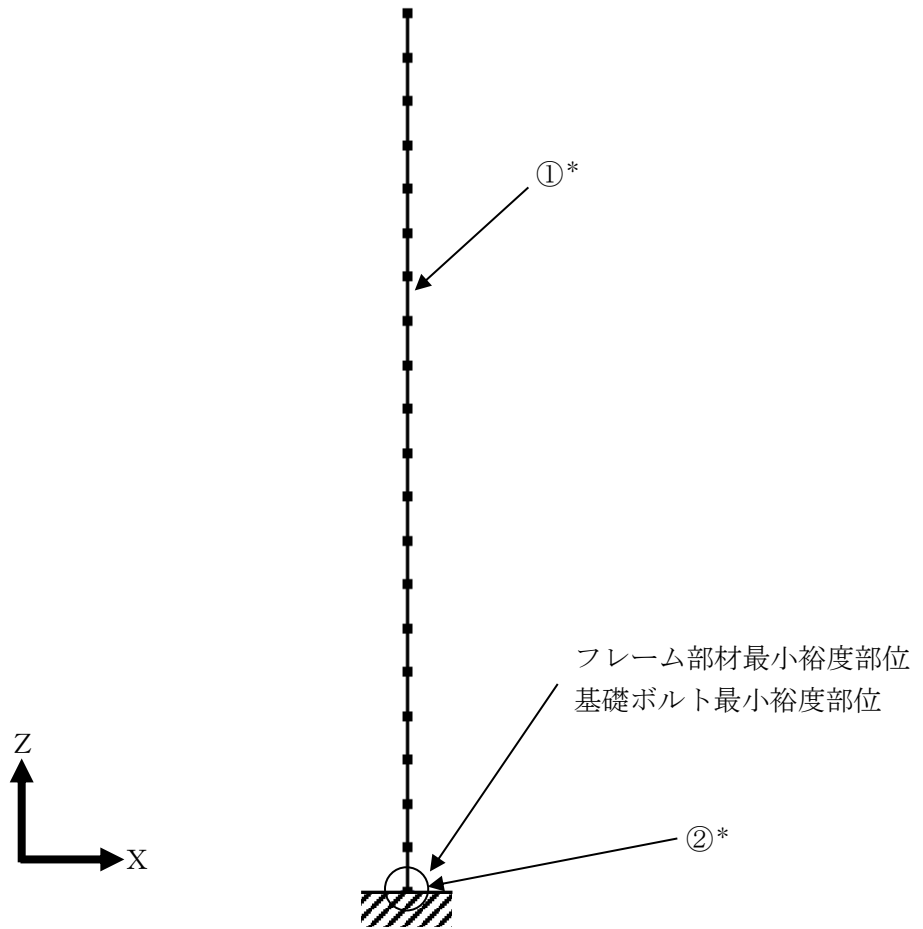
	番号	材料	諸元 (数値)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	
					強軸	弱軸
フレーム 部材	①					
	②					
	③					
	④					
基礎ボルト	⑤					
	⑥					
	⑦					
質量 (kg)	—					

凡例

 : 並進成分と回転成分ともに完全拘束

要素数 : 28

節点数 : 23



注記* : 部材の諸元については表 4-7 解析モデルの諸元に示す。

図 4-2 耐火障壁（中央制御室送風機）解析モデル

表 4-7 解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元 (数値)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	
					強軸	弱軸
フレーム 部材	①					
基礎ボルト	②					
質量 (kg)	—					

4.4 固有周期

4.4.1 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の固有値解析結果を表 4-8 に示す。
固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-8 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平				
10次	鉛直				

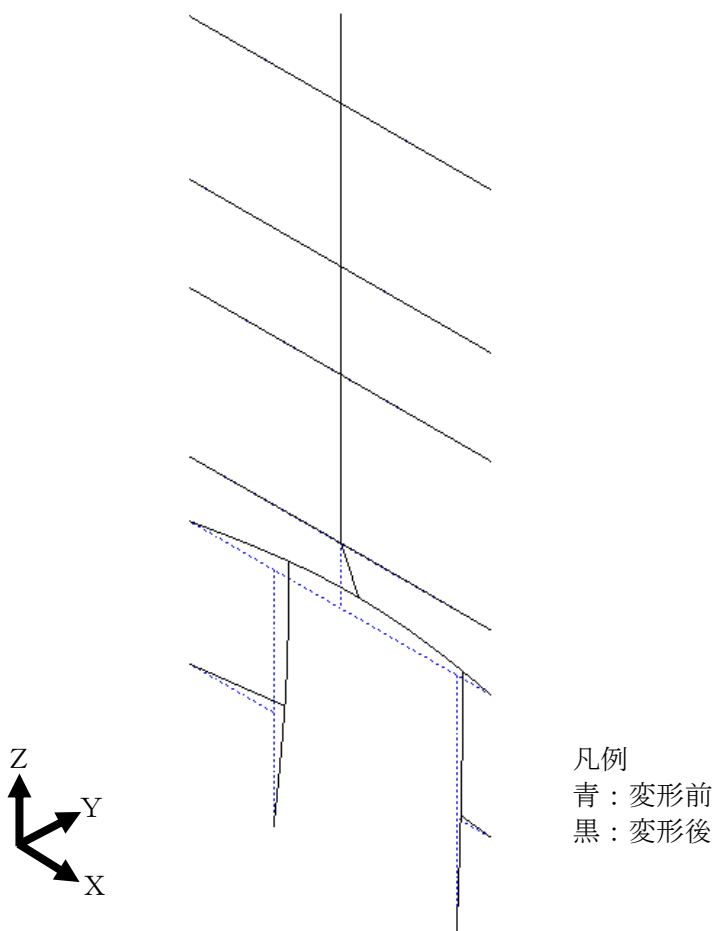


図 4-3 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）1次固有振動モード図

4.4.2 耐火障壁（中央制御室送風機）

耐火障壁（中央制御室送風機）の固有値解析結果を表 4-9 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 4-9 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向 刺激係数*	鉛直方向 刺激係数*
1 次	水平			
4 次	鉛直			

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

S2 補 VI-2-11-2-10 R1

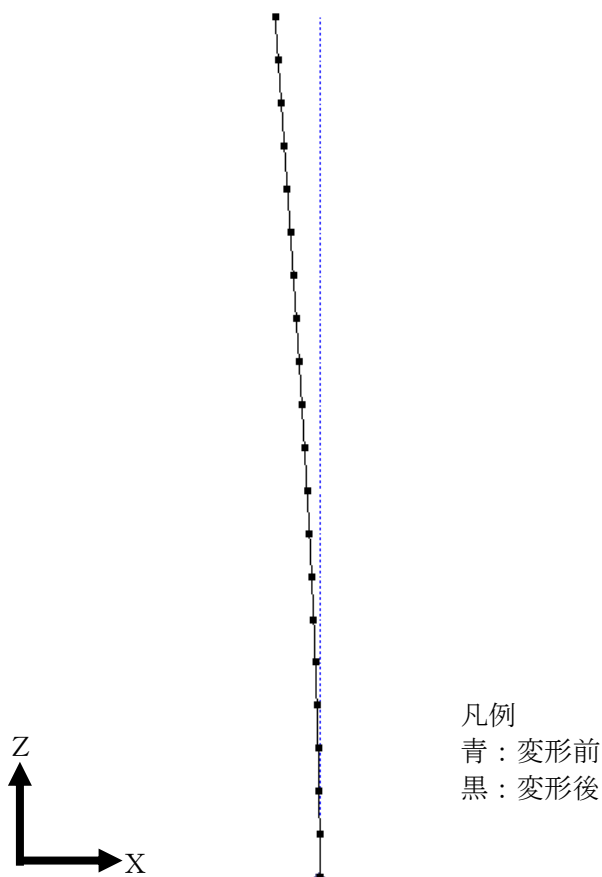


図 4-4 耐火障壁（中央制御室送風機）1 次固有振動モード図

4.5 設計用地震力

4.5.1 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.80 (EL 42.80 ^{*1})			—	—	$C_H=2.74^{*2}$	$C_V=2.46^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.80 (EL 42.80 ^{*1})			—	—	$C_H=2.74^{*2}$	$C_V=2.46^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）

4.5.2 耐火障壁（中央制御室送風機）

耐火障壁（中央制御室送風機）の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13 に示す。「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-12 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		廃棄物処理建物 EL 22.10 ^{*1}			
固有周期(s)		水平：□ ^{*2}		鉛直：□	
減衰定数(%)		水平：1.0		鉛直：1.0	
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度	応答鉛直震度	応答水平震度 ^{*4}	応答鉛直震度 ^{*4}
1次	□	—	—	8.09	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	1.31	1.10
静的震度 ^{*7}		—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

*7：3.6・C_i及び1.2・C_vより定めた震度

表 4-13 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		廃棄物処理建物 EL 22.10 ^{*1}			
固有周期(s)		水平：□ ^{*2}		鉛直：□	
減衰定数(%)		水平：1.0		鉛直：1.0	
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度	応答鉛直震度	応答水平震度 ^{*4}	応答鉛直震度 ^{*4}
1次	□	—	—	8.09	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	1.31	1.10
静的震度 ^{*7}		—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

*7：3.6・C_i及び1.2・C_vより定めた震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法（耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器））

4.6.1.1 フレームの応力

解析による計算で得られる軸力 F_x ，せん断力 F_y ， F_z 及び曲げモーメント M_y ， M_z より各応力を次のように求める。

なお，部材力は各部材種類毎の最大値を用いる。

(1) 引張応力又は圧縮応力

軸応力算出時は，保守的にせん断断面積（ z 方向）を用いる。

$$\sigma_c = \frac{|F_x|}{A_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau = M_{ax} \left\{ \left(\frac{|F_z|}{A_z} \right), \left(\frac{|F_y|}{A_y} \right) \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{by} = \frac{|M_y|}{Z_y} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

$$\sigma_{bz} = \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

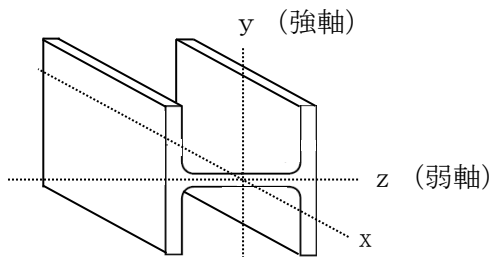


図 4—5 水平はり評価断面

(4) 組合せ応力

a. 垂直応力とせん断応力の組合せ

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_{by} + \sigma_{bz} + \sigma_c)^2 + 3\tau^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

b. 圧縮力と曲げモーメントの組合せ

圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力は、以下の計算式 (4.6.1.1.6), (4.6.1.1.7) を満足することを確認する。

$$\frac{\sigma_{by}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_c}{f_{cm}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

かつ

$$\frac{\sigma_{by} + \sigma_{bz} - \sigma_c}{f_{tm}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

式 (4.6.1.1.6) について、許容圧縮応力 f_{cm} は表 4-3 より $1.5 f_c^*$ となる。

曲げ応力については、図 4-5 に示す y 軸 (強軸) まわりと z 軸 (弱軸) まわりで発生値及び許容値が異なることから、以下のとおりとなる。

$$\frac{\sigma_{by}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bm}} = \frac{\left[\frac{|M_y|}{Z_y} \right]}{1.5 f_b^*} + \frac{\left[\frac{|M_z|}{Z_z} \right]}{1.5 f_t^*} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

したがって、式 (4.6.1.1.6) は以下のとおりとなる。

$$\frac{|M_y|}{Z_y \cdot 1.5 f_b^*} + \frac{|M_z|}{Z_z \cdot 1.5 f_t^*} + \frac{\sigma_c}{1.5 f_c^*} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

式 (4.6.1.1.7) については、許容引張応力 f_{tm} が式 (4.6.1.1.6) の許容曲げ応力 f_{bm} 以上であること、 σ_c / f_{tm} を減じていることから、式 (4.6.1.1.6) に代表される。

また、引張応力と曲げ応力の組合せ応力については、許容引張応力が許容圧縮応力よりも大きくなることから、圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力で代表される。

4.6.1.2 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる引張力 F_{Bx} 、せん断力 F_{By} 、 F_{Bz} から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の基礎ボルト部の概要を図 4-6 に示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、引張力 F_{Bx} を考え、これを図 4-6 に示す評価対象ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_B = \frac{|F_{Bx}|}{n_1} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

b. 引張応力

$$A_B = \frac{\pi}{4} \times d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

$$\sigma_{tB} = \frac{F_B}{A_B} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(2) せん断応力

a. せん断力

$$Q_B = \frac{\sqrt{F_{By}^2 + F_{Bz}^2}}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_B = \frac{Q_B}{A_B} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

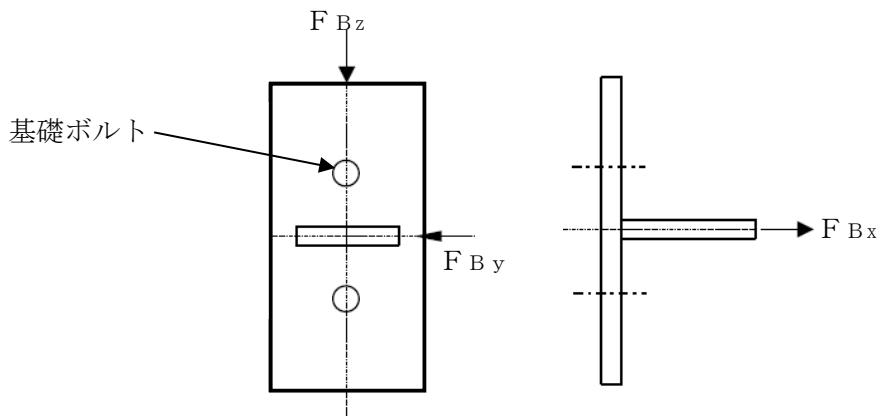


図 4-6 基礎ボルト部の概要

4.6.2 応力の計算方法（耐火障壁（中央制御室送風機））

4.6.2.1 フレームの応力

解析による計算で得られる軸力 F_A 、せん断力 F_S 及び曲げモーメント M より各応力を次のように求める。

(1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{|F_A|}{A} \dots\dots\dots (4.6.2.1.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \frac{|F_S|}{A_S} \dots\dots\dots (4.6.2.1.2)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M|}{Z} \dots\dots\dots (4.6.2.1.3)$$

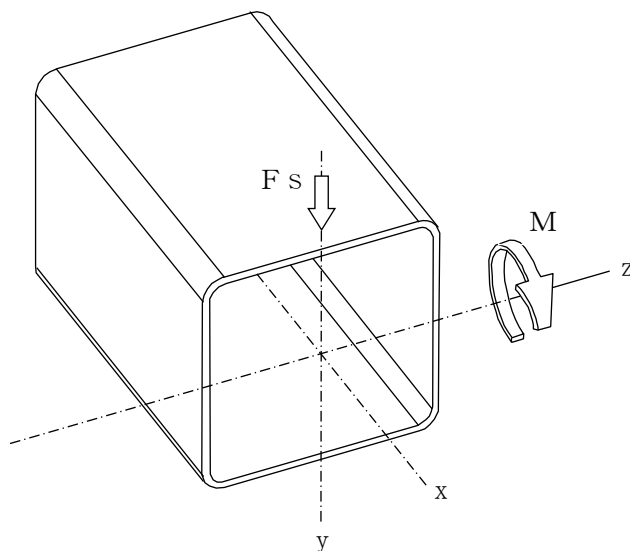


図 4-7 フレーム部材評価断面

(4) 組合せ応力

a. 垂直応力とせん断応力の組合せ

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_b + \sigma_c)^2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots (4.6.2.1.4)$$

b. 圧縮力と曲げモーメントの組合せ

圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力は、以下の計算式 (4.6.2.1.5), (4.6.2.1.6) を満足することを確認する。

$$\frac{\sigma_b}{f_{bm}} + \frac{\sigma_c}{f_{cm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.6.2.1.5)$$

かつ

$$\frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_{tm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.6.2.1.6)$$

式 (4.6.2.1.5) について、許容圧縮応力 f_{cm} は表 4-3 より $1.5 f_{c}^*$ となる。曲げ応力については、以下のとおりとなる。

$$\frac{\sigma_b}{f_{bm}} = \frac{\left[\frac{|M|}{Z} \right]}{1.5 f_b^*} \dots\dots\dots (4.6.2.1.7)$$

したがって、式 (4.6.2.1.5) は以下のとおりとなる。

$$\frac{M}{Z \times 1.5 f_b^*} + \frac{\sigma_c}{1.5 f_c^*} \leq 1 \dots\dots\dots (4.6.2.1.8)$$

式 (4.6.2.1.6) については、許容引張応力 f_{tm} が式 (4.6.2.1.5) の許容曲げ応力 f_{bm} 以上であること、 σ_c / f_{tm} を減じていることから、式 (4.6.2.1.5) に代表される。

また、引張応力と曲げ応力の組合せ応力については、許容引張応力が許容圧縮応力よりも大きくなることから、圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力で代表される。

4.6.2.2 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は，解析による計算で得られる引張力 F_{BA} ，せん断力 F_{BS} 及び曲げモーメント M_B から手計算により，地震による引張応力とせん断応力について計算する。耐火障壁（中央制御室送風機）の基礎ボルト部の概要を図 4-8 に示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は，引張力 F_{BA} 及び曲げモーメント M_B を考え，これを図 4-8 に示す評価対象ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$P_1 = \frac{|M_B|}{n_3 \times \ell} \dots\dots\dots (4.6.2.2.1)$$

$$P_2 = \frac{|F_{BA}|}{n_4} \dots\dots\dots (4.6.2.2.2)$$

$$F_B = P_1 + P_2 \dots\dots\dots (4.6.2.2.3)$$

b. 引張応力

$$A_B = \frac{\pi}{4} \times d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.2.2.4)$$

$$\sigma_{tB} = \frac{F_B}{A_B} \dots\dots\dots (4.6.2.2.5)$$

(2) せん断応力

a. せん断力

$$Q_B = \frac{F_{BS}}{n_5} \dots\dots\dots (4.6.2.2.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_B = \frac{Q_B}{A_B} \dots\dots\dots (4.6.2.2.7)$$

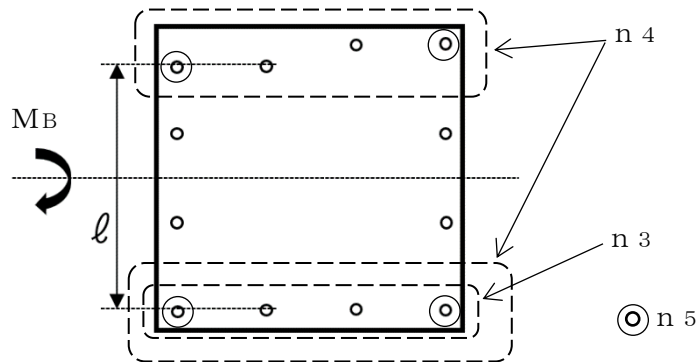


図 4-8 基礎ボルト部の概要

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【耐火障壁の耐震性について
の計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 フレーム部材の応力評価

4.6.1.1 項，4.6.2.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力（垂直応力とせん断応力）が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。また，組合せ応力（圧縮力と曲げモーメント）が式（4.6.1.1.9），式（4.6.2.1.8）を満足すること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_{cm}	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.2 項, 4.6.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tB} は, 次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし, f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_B, f_{to}]$$

せん断応力 τ_B はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし, f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器・中央制御室送風機）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器・中央制御室送風機）の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【耐火障壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
耐火障壁 (格納容器ガスサンプ リング装置冷却器)	C	原子炉建物 EL 34.80 (EL 42.80* ¹)			$C_H=2.74^{*3}$	$C_V=2.46^{*4}$	—	40
耐火障壁 (中央制御室送風機)	C	廃棄物処理建物 EL 22.10* ¹			$C_H=1.31^{*2}$ 又は* ⁵	$C_V=1.10^{*2}$	—	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s)

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*4: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	A_y (mm ²)	A_z (mm ²)	Z_y (mm ³)	Z_z (mm ³)
耐火障壁 (格納容器ガスサンプ リング装置冷却器)														

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	A_s (mm ²)	Z (mm ³)
耐火障壁 (中央制御室送風機)												

1.2.2 基礎ボルト

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	d_o (mm)	A_B (mm ²)	n_1	n_2
耐火障壁 (格納容器ガスサンプ リング装置冷却器)								

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	ℓ (mm)	d_o (mm)	A_B (mm ²)	n_3	n_4	n_5
耐火障壁 (中央制御室送風機)										

1.3 計算数値

1.3.1 フレーム部材の荷重

(単位：N)

機器名称	F_x	F_y	F_z
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）			

注：添字 x ， y ， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

(単位：N)

機器名称	F_A	F_S
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（中央制御室送風機）		

1.3.2 フレーム部材のモーメント

(単位：N・mm)

機器名称	M_y	M_z
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）		

注：添字 x ， y ， z は要素に与えられた座標軸で， x 軸は常に要素の長手方向にとる。

(単位：N・mm)

機器名称	M
	基準地震動 S_s
耐火障壁（中央制御室送風機）	

1.3.3 基礎ボルト部に発生する力

(単位：N)

機器名称	F_{By}	F_{Bx}	F_{Bz}
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）			

注：添字 x ， y ， z は全体座標系とする。

(単位：N)

機器名称	F_{BS}	F_{BA}
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（中央制御室送風機）		

1.3.4 基礎ボルト部に発生するモーメント(単位：N・mm)

機器名称	M_B
	基準地震動 S_s
耐火障壁（中央制御室送風機）	

1.3.5 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

機器名称	F_B	Q_B
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）		

(単位：N)

機器名称	F_B	Q_B
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁（中央制御室送風機）		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

機器名称	モード	卓越方向	固有周期
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）	1	水平	
	10	鉛直	
耐火障壁（中央制御室送風機）	1	水平	
	4	鉛直	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
				算出応力	許容応力	
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）	フレーム部材		引張	$\sigma_t = 21$	$f_{tm} = 342$	—
			圧縮	$\sigma_c = 21$	$f_{cm} = 282$	—
			せん断	$\tau = 42$	$f_{sm} = 198$	—
			曲げ	$\sigma_{by} = 122$	$f_{bm} = 342$	—
				$\sigma_{bz} = 27$	$f_{bm} = 342$	—
			組合せ（垂直+せん断）	$\sigma_f = 185$	$f_{tm} = 342$	—
	組合せ（圧縮+曲げ）		0.52	1	単位：なし	
	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tB} = 0$	$f_{ts} = 150^*$	—
せん断	$\tau_B = 53$	$f_{sb} = 129$	—			

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_B, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
				算出応力	許容応力	
耐火障壁（中央制御室送風機）	フレーム部材		引張	$\sigma_t = 2$	$f_{tm} = 279$	—
			圧縮	$\sigma_c = 2$	$f_{cm} = 186$	—
			せん断	$\tau = 6$	$f_{sm} = 160$	—
			曲げ	$\sigma_b = 102$	$f_{bm} = 279$	—
			組合せ（垂直+せん断）	$\sigma_f = 105$	$f_{tm} = 279$	—
			組合せ（圧縮+曲げ）	0.39	1	単位：なし
	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tB} = 118$	$f_{ts} = 168^*$	—
			せん断	$\tau_B = 21$	$f_{sb} = 129$	—

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_B, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		最高使用温 度 (°C)	周囲環境温 度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
耐火障壁 (格納容器ガスサンプ リング装置冷却器)	—	原子炉建物 EL 34.80 (EL 42.80* ¹)			$C_H=2.74^{*3}$	$C_V=2.46^{*4}$	—	100
耐火障壁 (中央制御室送風機)	—	廃棄物処理建物 EL 22.10* ¹			$C_H=1.31^{*2}$ 又は* ⁵	$C_V=1.10^{*2}$	—	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s)

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*4: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ _k (mm)	i (mm)	λ	Λ	A _y (mm ²)	A _z (mm ²)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)
耐火障壁 (格納容器ガスサンプルリング装置冷却器)														

機器名称	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ _k (mm)	i (mm)	λ	Λ	A _S (mm ²)	Z (mm ³)
耐火障壁 (中央制御室送風機)												

2.2.2 基礎ボルト

機器名称	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	d _o (mm)	A _B (mm ²)	n ₁	n ₂
耐火障壁 (格納容器ガスサンプルリング装置冷却器)								

機器名称	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	ℓ (mm)	d _o (mm)	A _B (mm ²)	n ₃	n ₄	n ₅
耐火障壁 (中央制御室送風機)										

2.3 計算数値

2.3.1 フレーム部材の荷重

(単位：N)

機器名称	F_x	F_y	F_z
	基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

(単位：N)

機器名称	F_A	F_S
	基準地震動 S s	基準地震動 S s
耐火障壁（中央制御室送風機）		

2.3.2 フレーム部材のモーメント

(単位：N・mm)

機器名称	M_y	M_z
	基準地震動 S s	基準地震動 S s
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）		

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

(単位：N・mm)

機器名称	M
	基準地震動 S s
耐火障壁（中央制御室送風機）	

2.3.3 基礎ボルト部に発生する力

(単位：N)

機器名称	F_{By}	F_{Bx}	F_{Bz}
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁 (格納容器ガスサンプ リング装置冷却器)			

注：添字 x , y , z は全体座標系とする。

(単位：N)

機器名称	F_{BS}	F_{BA}
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁 (中央制御室送風機)		

2.3.4 基礎ボルト部に発生するモーメント(単位：N・mm)

機器名称	M_B
	基準地震動 S_s
耐火障壁 (中央制御室送風機)	

2.3.5 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

機器名称	F_B	Q_B
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁 (格納容器ガスサンプ リング装置冷却器)		

(単位：N)

機器名称	F_B	Q_B
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
耐火障壁 (中央制御室送風機)		

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

機器名称	モード	卓越方向	固有周期
耐火障壁（格納容器ガスサンプルリング装置冷却器）	1	水平	
	10	鉛直	
耐火障壁（中央制御室送風機）	1	水平	
	4	鉛直	

2.4.2 応力

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
				算出応力	許容応力	
耐火障壁（格納容器ガスサンプルリング装置冷却器）	フレーム部材		引張	$\sigma_t = 21$	$f_{tm} = 307$	—
			圧縮	$\sigma_c = 21$	$f_{cm} = 258$	—
			せん断	$\tau = 42$	$f_{sm} = 177$	—
			曲げ	$\sigma_{by} = 122$	$f_{bm} = 307$	—
				$\sigma_{bz} = 27$	$f_{bm} = 307$	—
			組合せ（垂直+せん断）	$\sigma_f = 185$	$f_{tm} = 307$	—
	組合せ（圧縮+曲げ）		0.58	1	単位：なし	
	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tB} = 0$	$f_{ts} = 126^*$	—
せん断	$\tau_B = 53$	$f_{sb} = 117$	—			

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_B, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動 S _s		備考
				算出応力	許容応力	
耐火障壁（中央制御室送風機）	フレーム部材		引張	$\sigma_t = 2$	$f_{tm} = 279$	—
			圧縮	$\sigma_c = 2$	$f_{cm} = 186$	—
			せん断	$\tau = 6$	$f_{sm} = 160$	—
			曲げ	$\sigma_b = 102$	$f_{bm} = 279$	—
			組合せ（垂直+せん断）	$\sigma_f = 105$	$f_{tm} = 279$	—
			組合せ（圧縮+曲げ）	0.39	1	単位：なし
	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tB} = 118$	$f_{ts} = 168^*$	—
			せん断	$\tau_B = 21$	$f_{sb} = 129$	—

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_B, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

3. 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	評価結果 (基準地震動 S s)											
		フレーム部材						基礎ボルト					
		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	備考	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	備考
耐火障壁 (非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ)	原子炉建物 EL 34.80*	組合せ (圧縮+曲げ)	0.29	1	3.44	—	単位: なし	引張	92	168	1.82	—	—
耐火障壁 (原子炉補機冷却系熱交換器)	原子炉建物 EL 15.30*	組合せ (圧縮+曲げ)	0.10	1	10.54	—	単位: なし	引張	39	141	3.61	—	—
耐火障壁 (中央制御室非常用再循環送風機)	廃棄物処理建物 EL 25.30*	組合せ (圧縮+曲げ)	0.17	1	5.88	—	単位: なし	引張	52	168	3.23	—	—
耐火障壁 (中央制御室送風機)	廃棄物処理建物 EL 22.10*	組合せ (圧縮+曲げ)	0.39	1	2.56	—	単位: なし	引張	118	168	1.42	○	—
耐火障壁 (タービン建物内電路)	タービン建物 EL 5.50*	組合せ (圧縮+曲げ)	0.11	1	9.20	—	単位: なし	引張	40	141	3.52	—	—
耐火障壁 (制御室建物内電路)	制御室建物 EL 12.80*	組合せ (垂直+せん断)	187	342	1.82	—	—	引張	86	168	1.95	—	—
耐火障壁 (格納容器ガスサンプリング装置冷却器)	原子炉建物 EL 34.80 (EL 42.80*)	組合せ (垂直+せん断)	185	307	1.65	○	—	せん断	53	117	2.20	—	—

注記*: 基準床レベルを示す。
すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-11 ガンマ線遮蔽壁の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	7
4.	構造強度評価	8
4.1	構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力度	8
4.2.1	荷重の組合せ	8
4.2.2	許容応力度	8
4.3	設計用地震力	9
4.4	計算方法	10
4.5	計算条件	11
4.5.1	ガンマ線遮蔽壁の応力計算条件	11
4.6	応力度の評価	11
5.	評価結果	11
5.1	設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価結果	11
6.	参照図書	11

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、下位クラス設備であるガンマ線遮蔽壁（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である原子炉圧力容器に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。また、重大事故等時においても波及的影響を及ぼさないことを説明するため、重大事故等時を考慮した構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる基準地震動 S_s による地震力に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるガンマ線遮蔽壁の評価は、昭和59年2月24日付け58資庁第15180号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 配置概要

ガンマ線遮蔽壁は、原子炉圧力容器ペDESTALの上部に配置される。ガンマ線遮蔽壁は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉圧力容器の周辺に設置されており、転倒により原子炉圧力容器に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

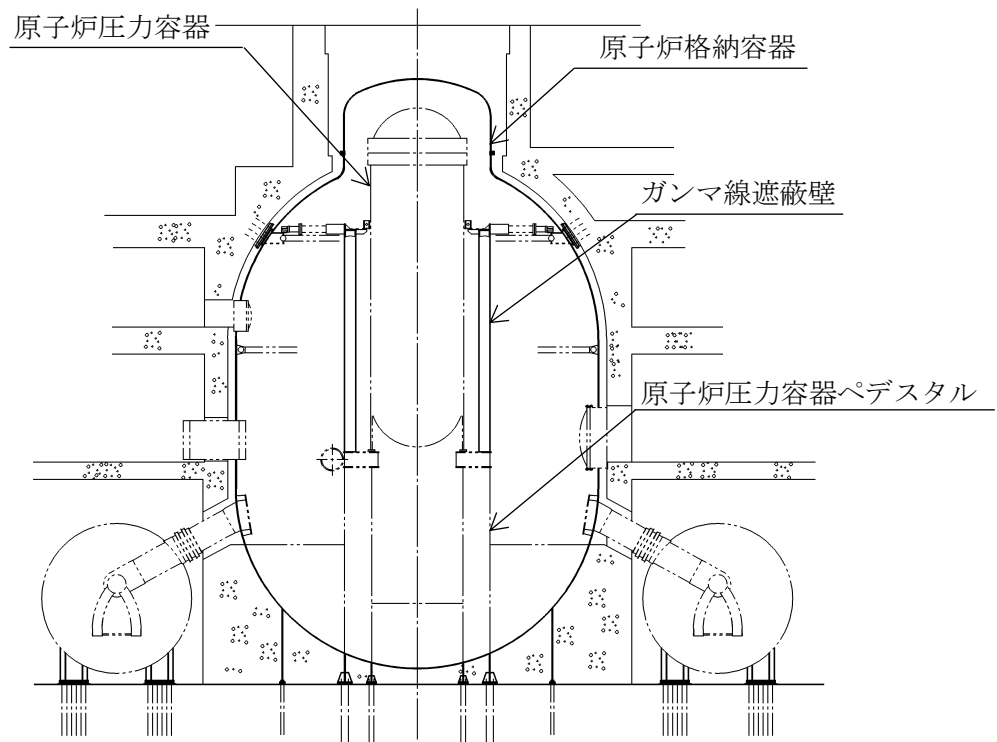


図2-1 ガンマ線遮蔽壁の位置関係図

2.2 構造計画

ガンマ線遮蔽壁の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>基礎は、溶接により EL 15944mm で原子炉圧力容器ペDESTALに固定されている。</p>	<p>ガンマ線遮蔽壁は、外径 9163mm、内径 7763mm、高さ 13993mm の原子炉を取り囲む円筒形コンクリート壁であり、内側に 32mm、外側に 45mm の鋼板がまかれ、内側と外側の鋼板はたてリブでつながれている。その内部にはモルタルが充填されている。ガンマ線遮蔽壁のモルタルは強度部材として考慮しない。</p> <p>水平力は、EL 29937mm の位置に取り付けられた原子炉格納容器スタビライザ、及び EL 15944mm の位置の基礎で原子炉建物及び原子炉圧力容器ペDESTALに伝えられる。</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

ガンマ線遮蔽壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力度が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ガンマ線遮蔽壁の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

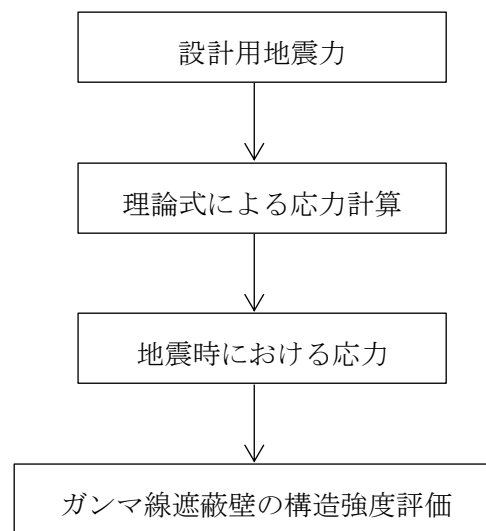


図 2-2 ガンマ線遮蔽壁の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005改定)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D	死荷重	—
D _i	直径 (i = 1, 2, 3…)	mm
f _b	許容曲げ応力度	N/mm ²
f _c	許容圧縮応力度	N/mm ²
f _s	許容せん断応力度	N/mm ²
f _t	許容引張応力度	N/mm ²
F	許容応力度の基準値	N/mm ²
M	モーメント	N・mm
M _D	機械的荷重	—
M _{SAD}	機械的荷重 (S A時)	—
P _D	圧力	—
P _{SAD}	圧力 (S A時)	—
Q	せん断力	N
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3)	mm
W	鉛直荷重	N
Z	断面係数	mm ³
σ	組合せ応力度	N/mm ²
σ _b	曲げ応力度	N/mm ²
σ _c	圧縮応力度	N/mm ²
τ	せん断応力度	N/mm ²

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	—	—	有効数字 3 桁* ²
断面係数	mm ³	—	—	有効数字 3 桁* ²
モーメント	N・mm	—	—	有効数字 3 桁* ²
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
算出応力度	N/mm ²	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力度	N/mm ²	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

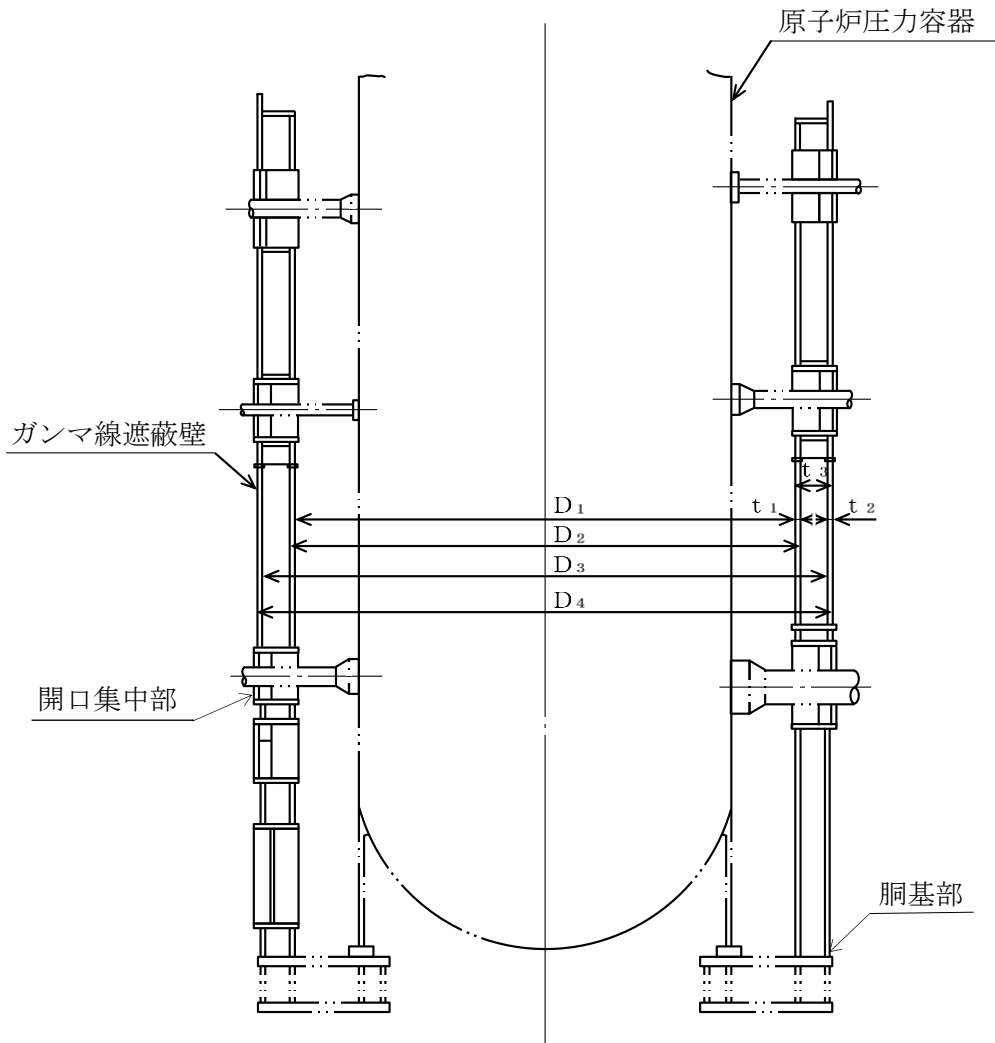
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

3. 評価部位

ガンマ線遮蔽壁の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴基部及び開口集中部について実施する。

形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部材及び使用材料を表 3-1 に示す。



$D_1 = 7763$ $D_2 = 7827$ $D_3 = 9073$ $D_4 = 9163$
 $t_1 = 32$ $t_2 = 45$ $t_3 = 700$

(単位：mm)

図 3-1 ガンマ線遮蔽壁の形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部材	使用材料	備考
外側円筒鋼板 (原子炉格納容器側)	SM41B	SM400B 相当
内側円筒鋼板 (原子炉压力容器側)		

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力は、ガンマ線遮蔽壁に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 耐震計算は、ガンマ線遮蔽壁の自重及びその他すべての付帯物の重量に加えて、地震荷重を考慮する。
- (3) 設計基準対象施設としての評価及び重大事故等時を考慮した評価において、設計用地震力及び許容応力度の値が変わらないことから、同一の条件で構造強度評価を行う。
- (4) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 概略構造図を表 2-1 に示す。
- (6) 水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力度

4.2.1 荷重の組合せ

ガンマ線遮蔽壁の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力度

ガンマ線遮蔽壁の許容応力度は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、表 4-2 のとおりとする。

表 4-1 荷重の組合せ

名称	荷重の組合せ
ガンマ線遮蔽壁	$D + P_D + M_D + S_s$ $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$

表 4-2 許容応力度

材料	基準値 F (N/mm ²)	短期許容応力度 (N/mm ²)			
		圧縮	曲げ	せん断	組合せ
SM41B*	215 (40mm<厚さ≤100mm)	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$

注記* : SM400B 相当

4.3 設計用地震力

ガンマ線遮蔽壁の設計用地震力のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

ガンマ線遮蔽壁に加わる鉛直方向地震力及び水平方向地震力は、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた基準地震動 S_s の応答値を上回る荷重を設定する。

表 4-3 設計用地震力（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

耐震設計上の重要度分類	設備区分	床面高さ (m)	評価位置	基準地震動 S_s		
				鉛直荷重 W (N)	モーメント M (N・mm)	せん断力 Q (N)
B	生体遮蔽装置	EL 15.944	胴基部		2.26×10^{11}	3.30×10^7
			開口集中部		2.26×10^{11}	3.30×10^7

4.4 計算方法

ガンマ線遮蔽壁の応力評価点は、ガンマ線遮蔽壁を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-4 及び図 4-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

表 4-4 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	胴基部
P 2	開口集中部

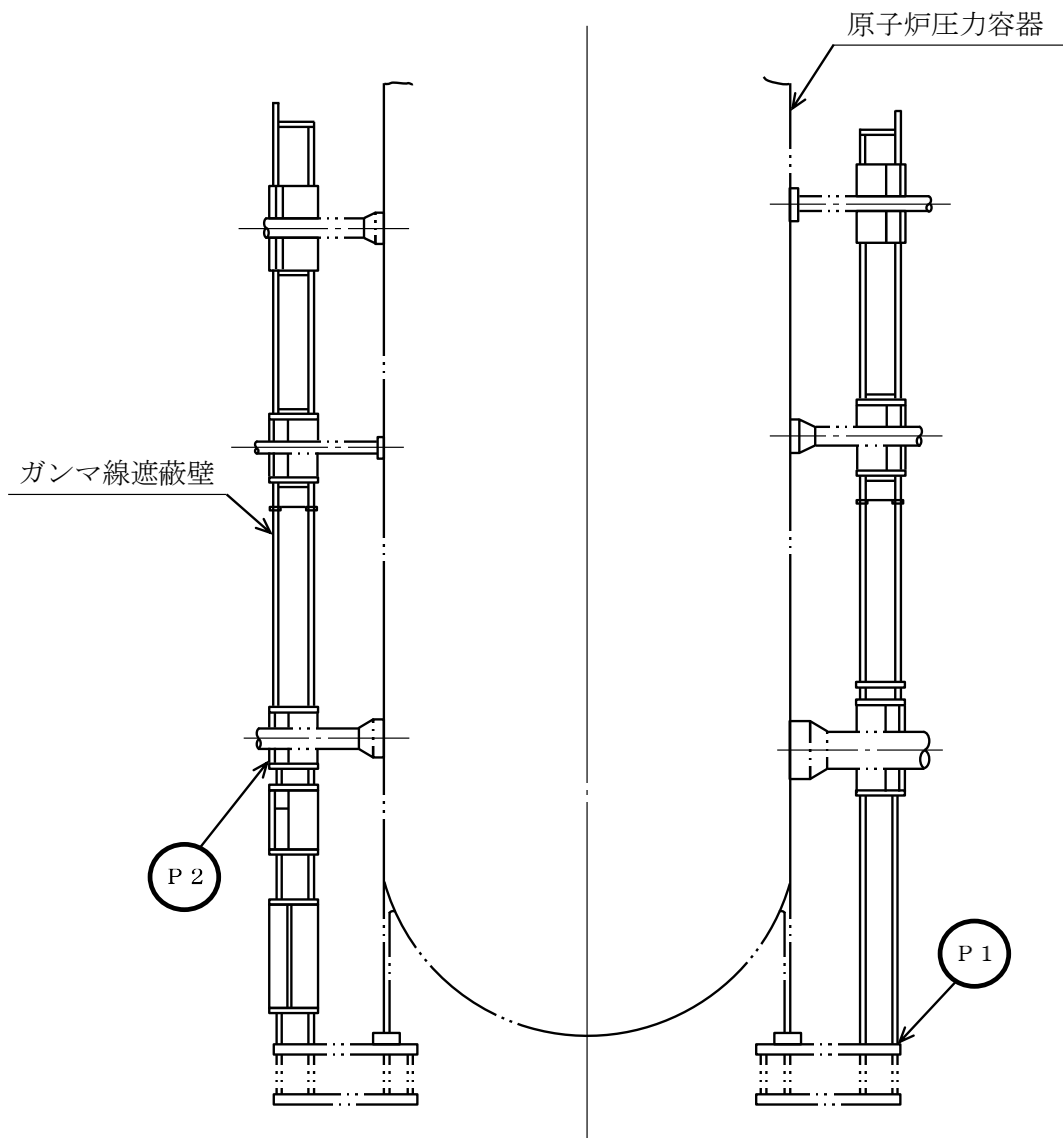


図 4-1 ガンマ線遮蔽壁の応力評価点

4.5 計算条件

4.5.1 ガンマ線遮蔽壁の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガンマ線遮蔽壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.6 応力度の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力度が許容応力度以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価結果

ガンマ線遮蔽壁各部の評価結果を【ガンマ線遮蔽壁の耐震性についての計算結果】に示す。算出応力度は許容応力度を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、波及的影響を及ぼさないことを確認した。

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第1回工事計画認可申請書
IV-2-3-1「ガンマ線しゃへい壁の耐震性についての計算書」

【ガンマ線遮蔽壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	床面高さ (m)	評価位置	基準地震動 S_s		
				鉛直荷重 W (N)	モーメント M (N・mm)	せん断力 Q (N)
ガンマ線遮蔽壁	B	EL 15.944	胴基部	□	2.26×10^{11}	3.30×10^7
			開口集中部	□	2.26×10^{11}	3.30×10^7

1.2 機器要目

1.2.1 ガンマ線遮蔽壁

部材	W (N)	D_1 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	F (N/mm ²)	A (mm ²)		Z (mm ³)	
							胴基部	開口集中部	胴基部	開口集中部
ガンマ線遮蔽壁 (SM41B*)	□	7763	32	45	700	215 (40mm < 厚さ ≤ 100mm)	2.07×10^6	7.51×10^5	4.21×10^9	1.55×10^9

注記* : SM400B 相当

1.3 結論

評価対象設備	評価部位		応力分類	算出応力度	許容応力度	判定
				N/mm ²	N/mm ²	
ガンマ線遮蔽壁	P 1	胴基部	圧縮応力度 σ_c	25	213	○
			曲げ応力度 σ_b	54	215	○
			せん断応力度 τ	16	124	○
			組合せ応力度 σ	72	215*	○
	P 2	開口集中部	圧縮応力度 σ_c	68	213	○
			曲げ応力度 σ_b	146	215	○
			せん断応力度 τ	44	124	○
			組合せ応力度 σ	194	215*	○

注記*：組合せ応力度は、鋼構造設計規準に従い短期応力に対する許容引張応力度 ($1.5 \cdot f_t$) 以下であること。

すべて許容応力度以下である。

VI-2-11-2-12 復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造及び補強の概要	4
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	11
3. 地震応答解析	12
3.1 地震時荷重算出断面	12
3.2 解析方法	14
3.2.1 構造部材	14
3.2.2 地盤物性のばらつき	14
3.2.3 減衰定数	15
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	16
3.3 荷重及び荷重の組合せ	17
3.3.1 荷重	17
3.3.2 荷重の組合せ	17
3.4 入力地震動	18
3.5 解析モデル及び諸元	31
3.5.1 解析モデル	31
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	33
3.5.3 地盤の物性値	33
3.5.4 地下水位	34
3.6 地震応答解析結果	35
4. 応力解析	52
4.1 評価対象部位	52
4.2 解析方法	52
4.3 荷重及び荷重の組合せ	52
4.3.1 荷重	52
4.3.2 荷重の組合せ	53
4.4 解析モデル及び諸元	54
5. 耐震評価	57
5.1 許容限界	57
5.1.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の健全性に対する許容限界	57

5.1.2	復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（杵材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート及びリブプレート）の健全性に対する許容限界	61
5.1.3	復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界	62
5.1.4	基礎地盤の健全性に対する許容限界	65
6.	耐震評価結果	66

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、復水貯蔵タンク遮蔽壁がB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価として、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷による影響では、復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、地震応答解析の応答値を3次元構造解析モデルに作用させて確認する。基礎地盤の支持性能評価は、地震応答解析の応答値により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

復水貯蔵タンク遮蔽壁の位置図を図2-1に示す。

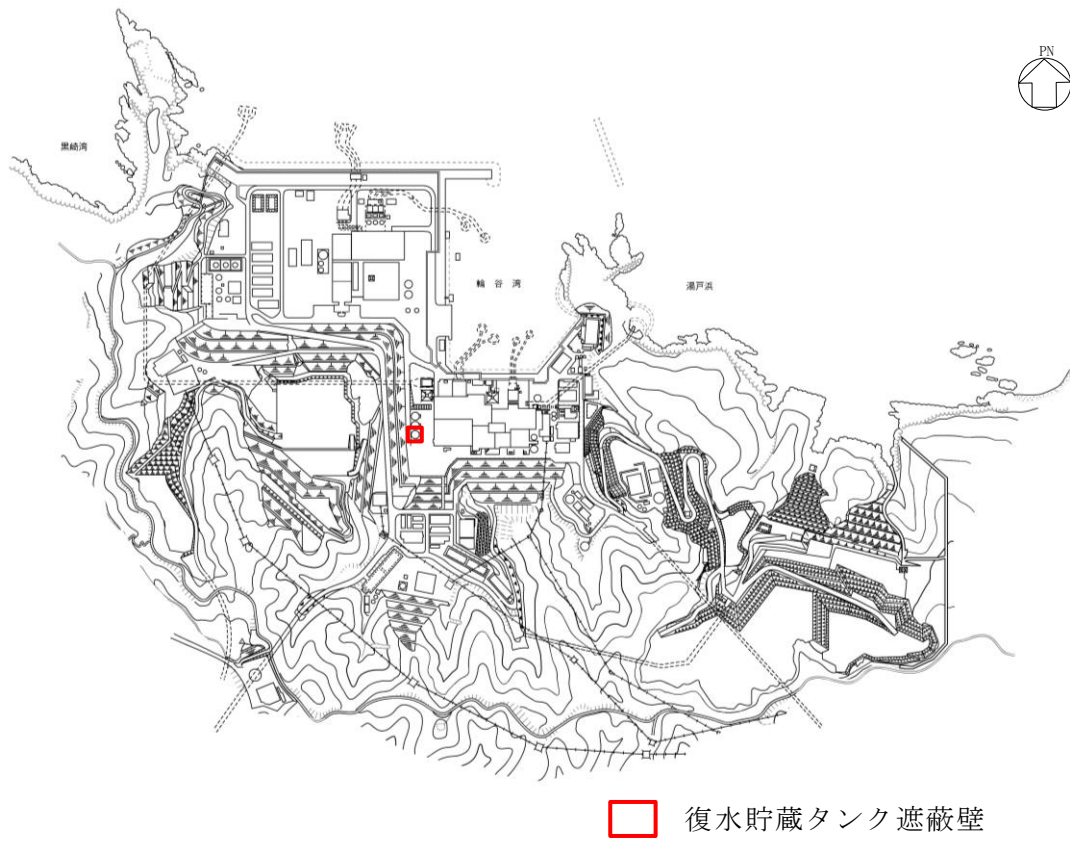


図2-1(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図

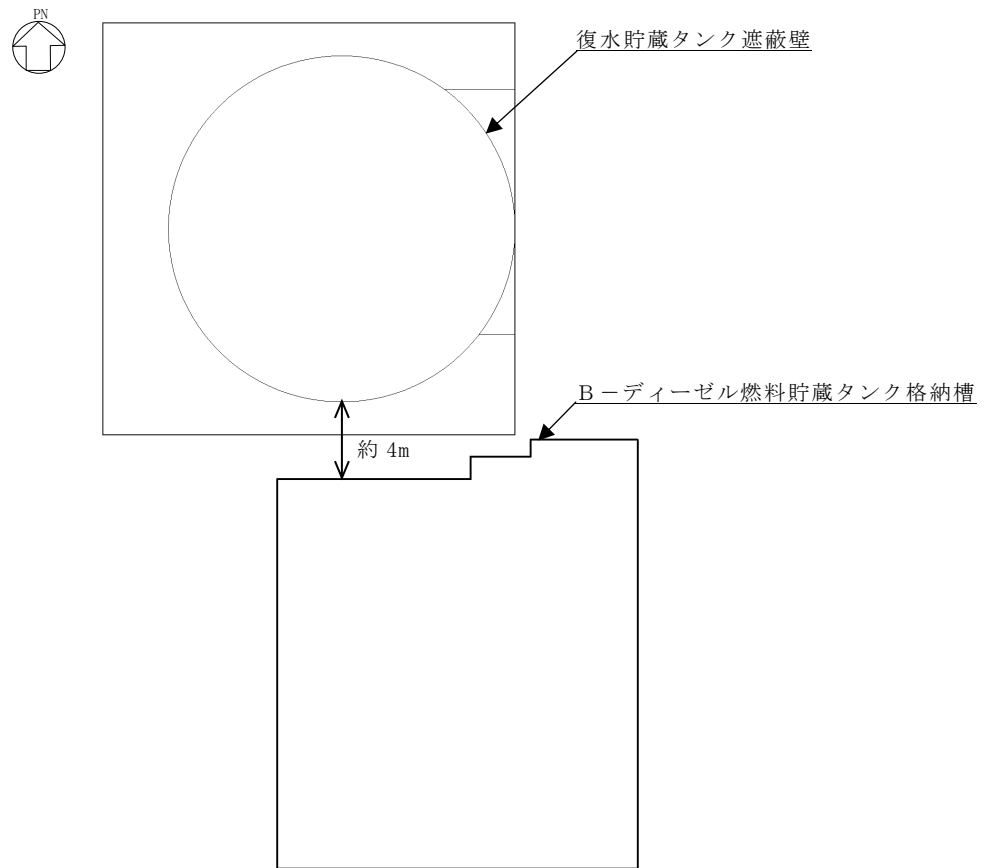


図 2-1(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図 (詳細図)

2.2 構造及び補強の概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 に、耐震補強箇所及び開口補強鋼材概念図を図 2-4 に、開口補強鋼材による耐震補強概念図を図 2-5 に、概略配筋図を図 2-6 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造であり、荷重は遮蔽壁に作用し、基礎へ伝達する構造である。基礎は、幅 22m（東西）×22m（南北）、遮蔽壁は、内径 17.5m、壁厚 0.3～0.5m、高さ 12m の円筒状の地上構造物で、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。

なお、復水貯蔵タンク遮蔽壁については、耐震性を確保するために耐震補強を実施する。

せん断破壊に対する耐震補強として、後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）（以下「PHb 工法」という。）による補強を行っている。

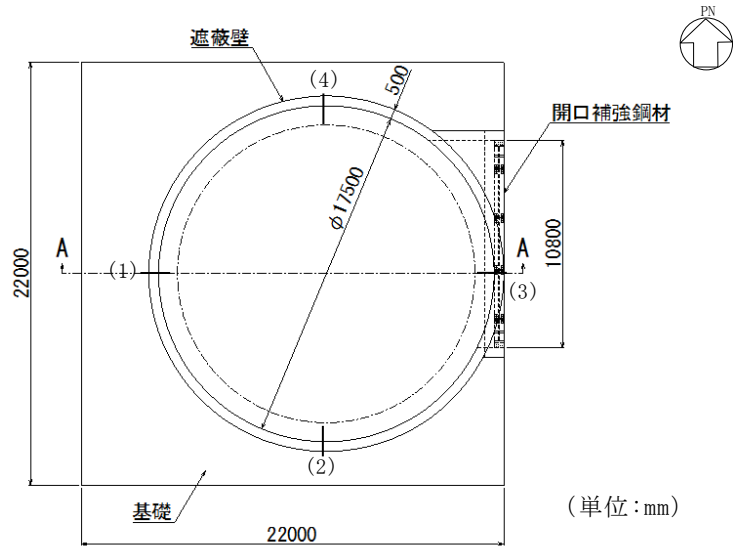


図 2-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

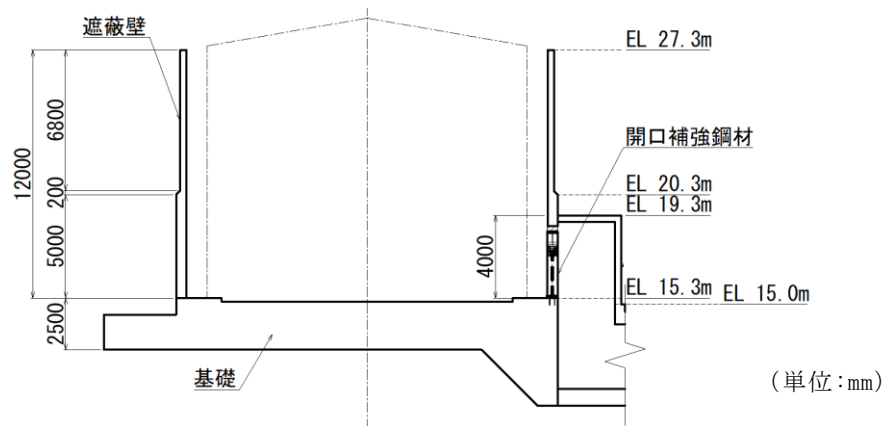
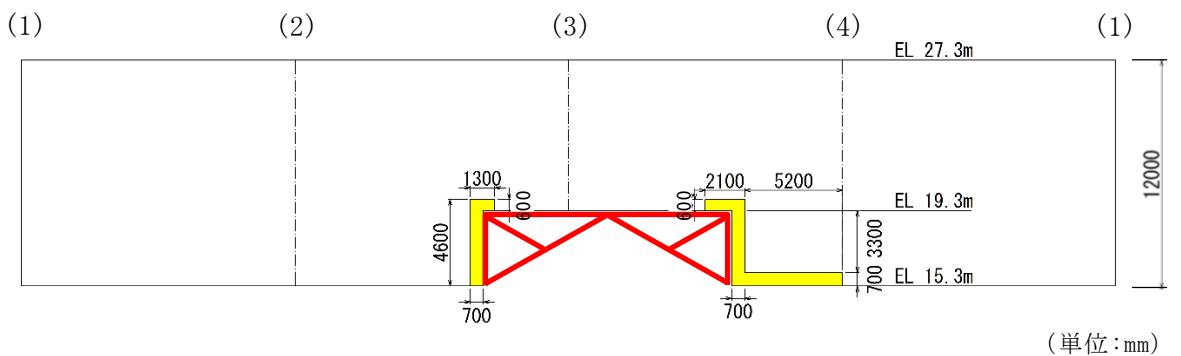


図 2-3 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)



- : 開口補強鋼材
- : PHb による補強箇所

図 2-4 復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所及び開口補強鋼材概念図 (展開図)

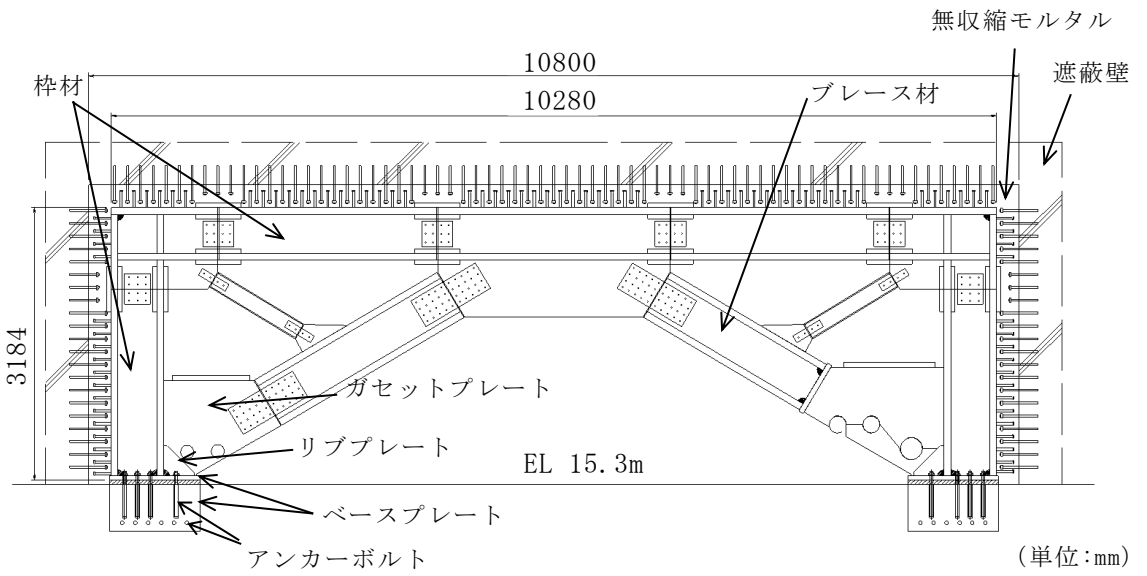


図 2-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強概念図 (正面図)

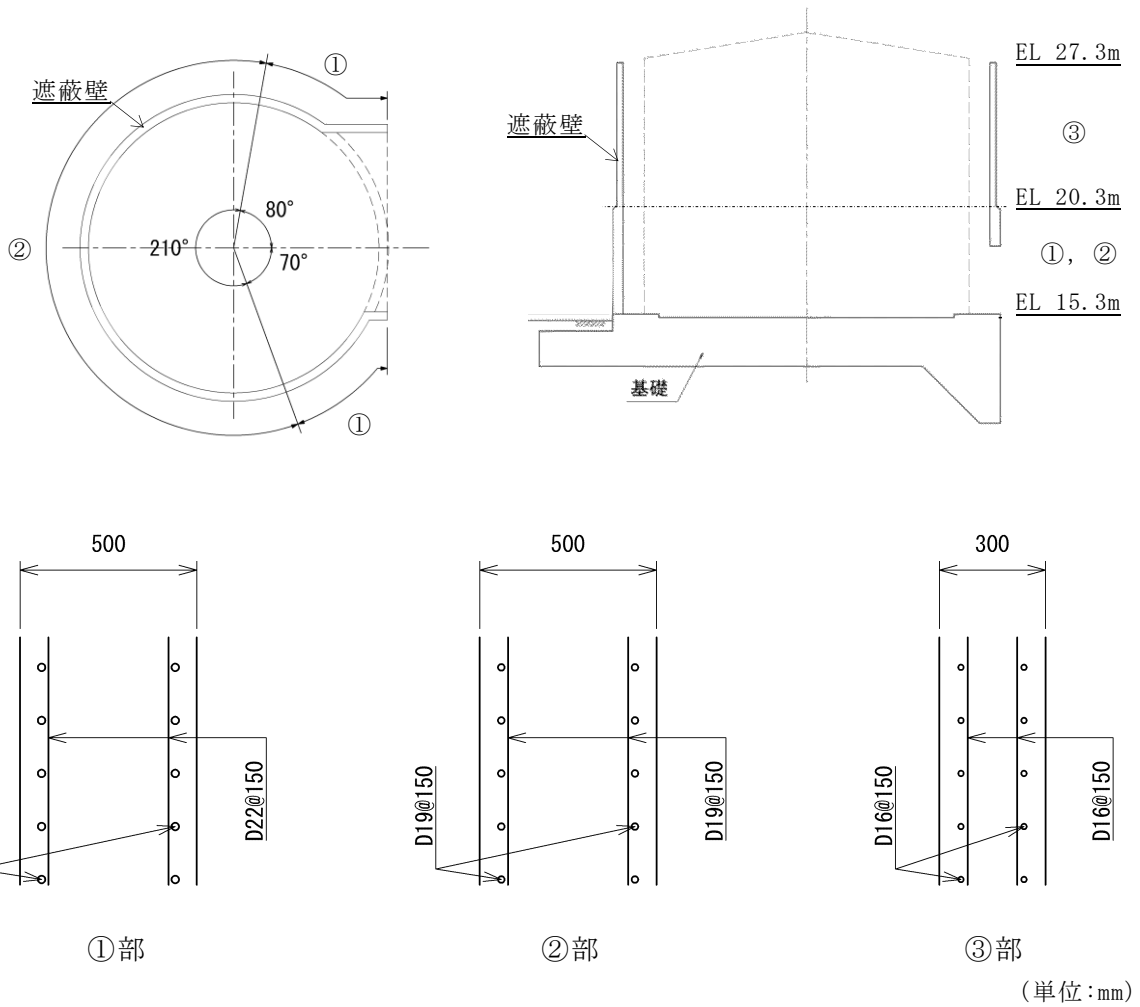
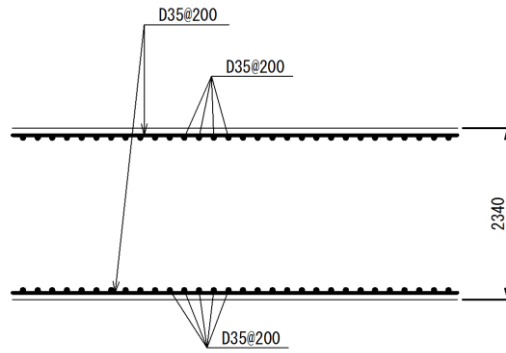
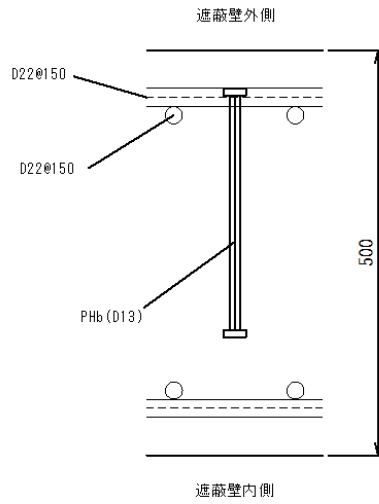


図 2-6(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (遮蔽壁)



(単位:mm)

図 2-6 (2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (基礎)



(単位:mm)

図 2-6 (3) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (PHb 工法)

2.3 評価方針

復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響の評価フローを図 2-7 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響評価は、地震応答解析及び 3 次元構造解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析により得られる水平方向及び鉛直方向の応答値を 3 次元構造解析モデルに作用させ、その際に生じる応力を算定し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。なお、せん断破壊に対する補強として PHb 工法を用いる場合には、構造部材に対して PHb 工法の適用条件を満たしていることを確認し、PHb 工法を採用する。

表 2-1(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（構造部材）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界		
構造強度を有すること	構造部材の健全性	遮蔽壁	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	終局曲げモーメント*	
				せん断力	短期許容応力度	
		基礎		曲げ・軸力	終局曲げモーメント*	
				せん断力	短期許容応力度	
		開口補強鋼材		枠材	曲げ・軸力	短期許容応力度
				ブレース材	せん断力	短期許容応力度
				ガセットプレート	曲げ・軸力	短期許容応力度
				リブプレート	せん断力	短期許容応力度
				ベースプレート	曲げ・軸力	短期許容応力度
				アンカーボルト	せん断力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容応力度	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-1(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（基礎地盤）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

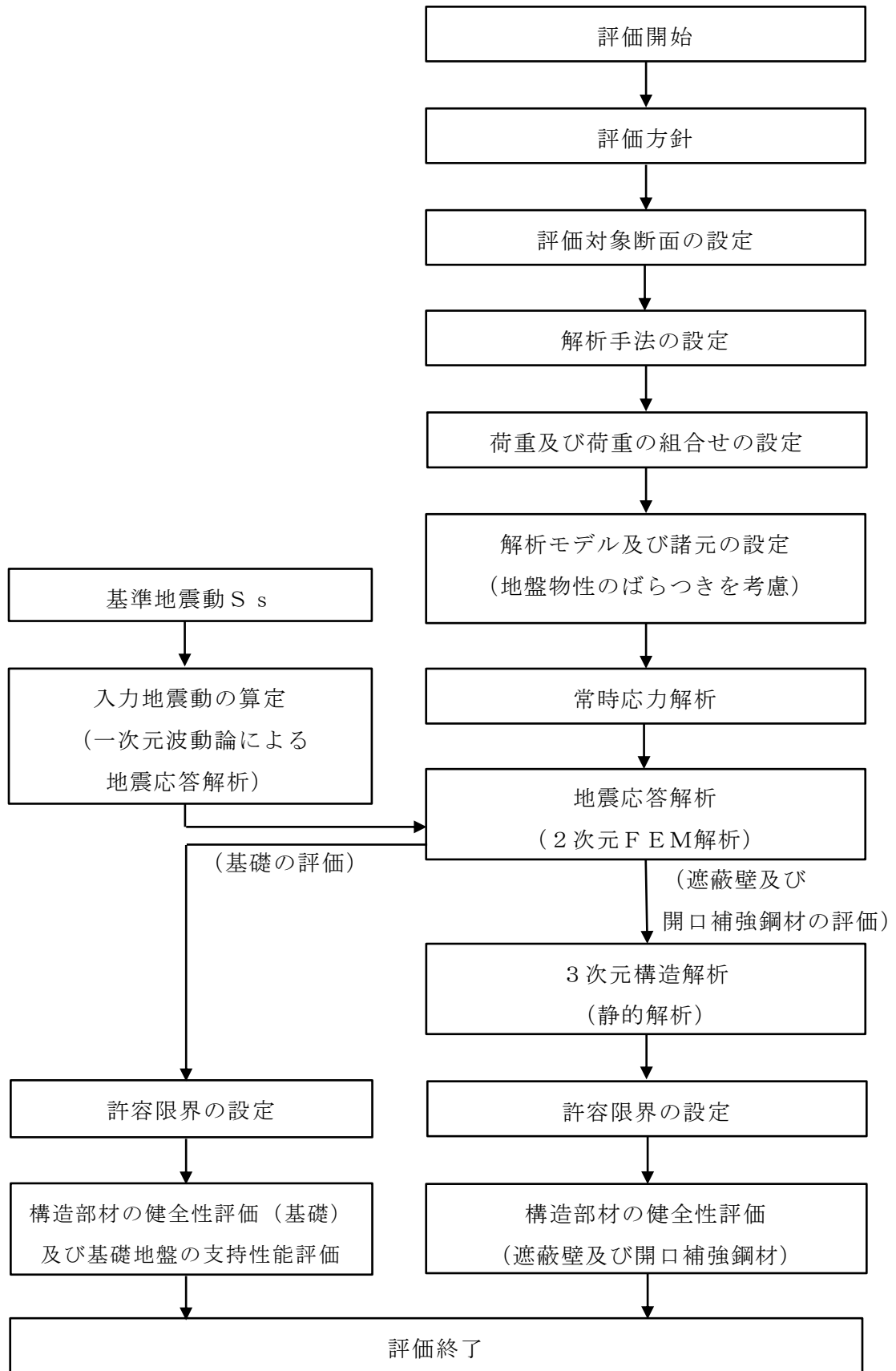


図 2-7 復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社)日本電気協会, 1987)
- ・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 ((社)土木学会・原子力土木委員会, 2005.6)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社)日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社)土木学会, 2002 年制定)
- ・鋼構造設計規準-許容応力度法- ((社)日本建築学会, 2005 年改定)

3. 地震応答解析

3.1 地震時荷重算出断面

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震時荷重算出断面位置図を図 3-1 に、評価対象断面図を図 3-2 に示す。

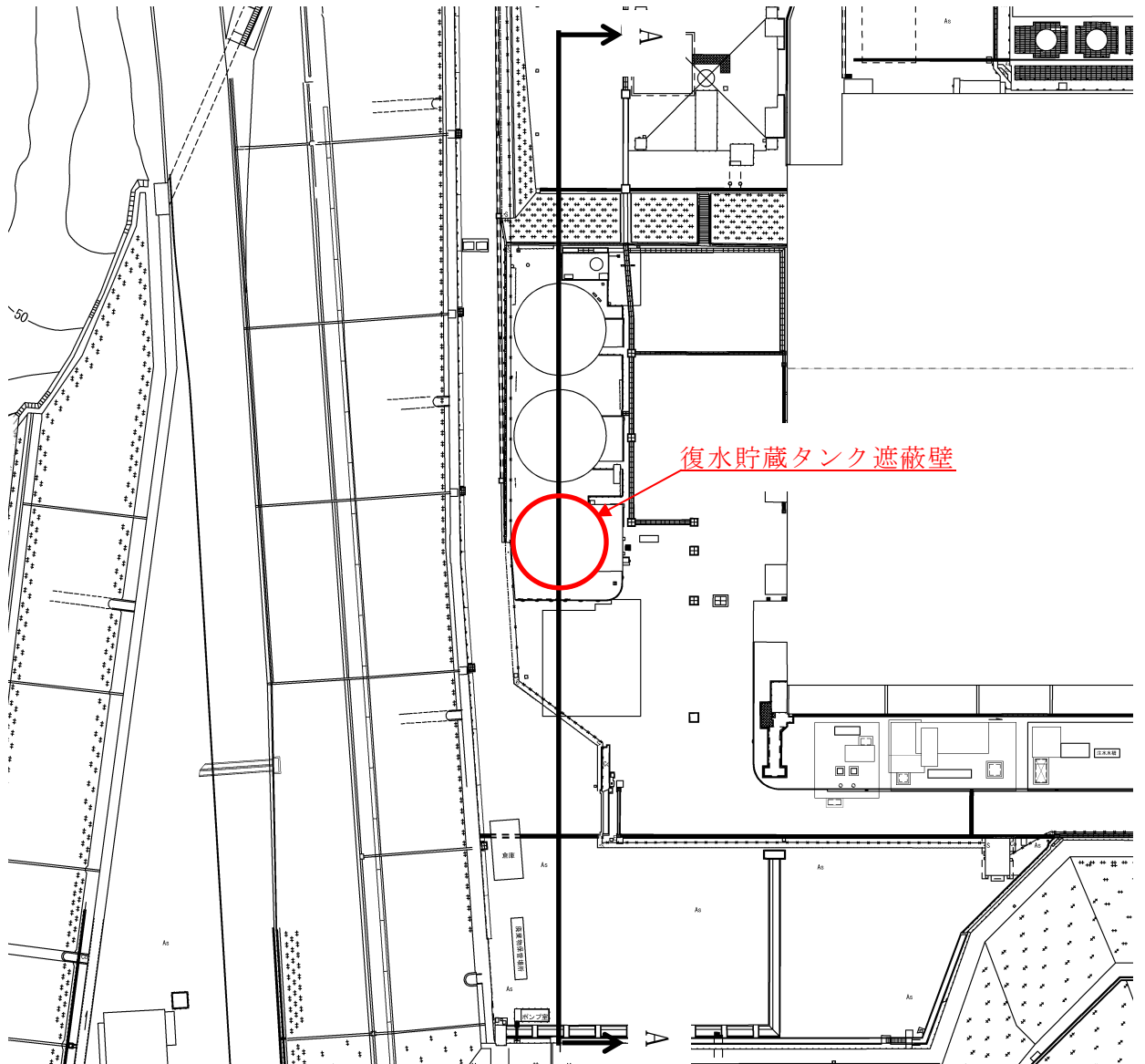
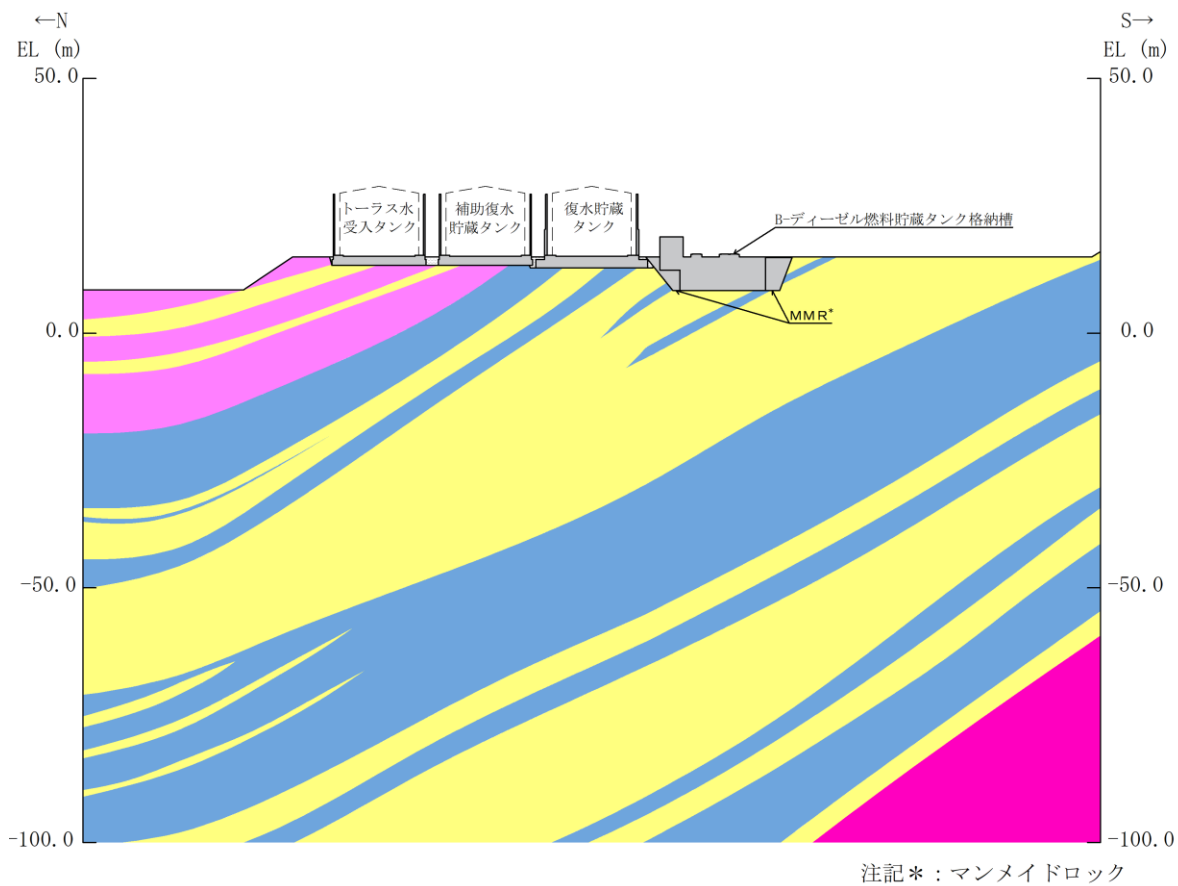


図 3-1 地震時荷重算出断面位置図



(凡例)

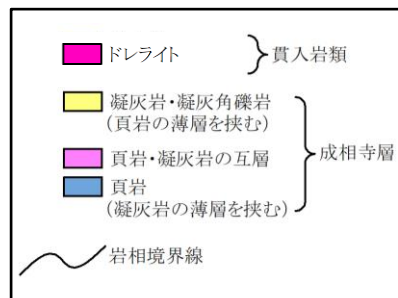


図 3-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面図 (A-A 断面)

3.2 解析方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形解析により行う。復水貯蔵タンク遮蔽壁は、施設周辺に地下水水位以深の液状化対象層が存在しないことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDAPIII」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材のうち、タンク及び遮蔽壁については、多質点系のはり質点系モデルとする。また、基礎については線形はり要素でモデル化する。

3.2.2 地盤物性のばらつき

地盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

また、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、動せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施する。地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースを表3-1に示す。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性
	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + 1σ
ケース③	平均値 - 1σ

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

解析ケース	α	β
ケース①	1.170	8.6×10^{-5}
ケース②	1.276	1.1×10^{-4}
ケース③	1.049	8.3×10^{-5}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・下部における応答加速度が最も大きくなる地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース①（基本ケース）を実施し、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・下部における応答加速度が最も大きくなる地震動において、ケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ -*	○	
		--*	○	
	$S_s - F 1$	++*	○	
	$S_s - F 2$	++*	○	
	$S_s - N 1$	++*	○	
		-+*	○	
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○	
		-+*	○	
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○		
	-+*	○		

注記*：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む。)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により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。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-3に入力地震動算定の概念図を、図3-4～図3-15に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

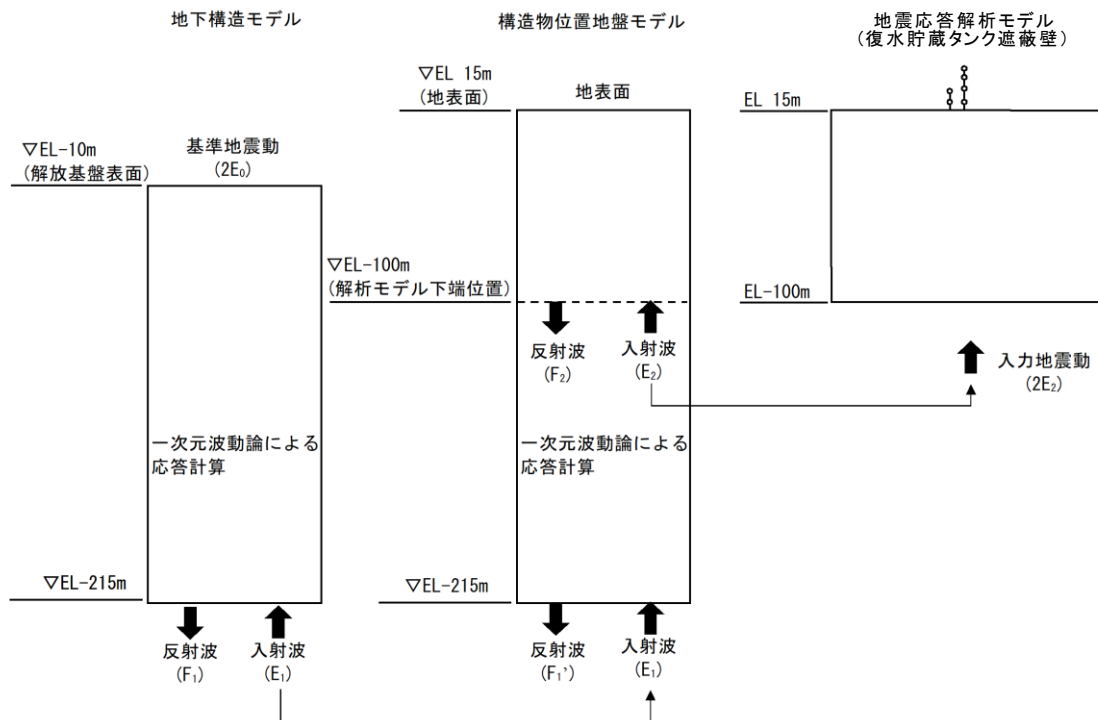
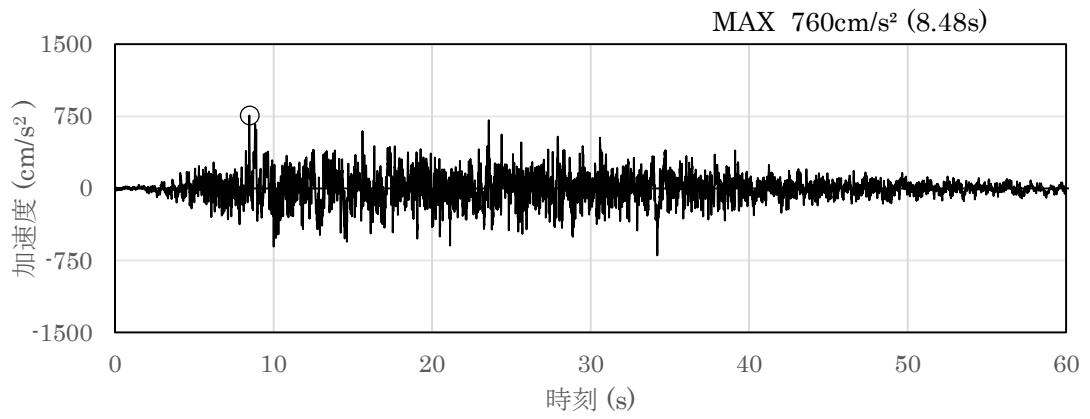
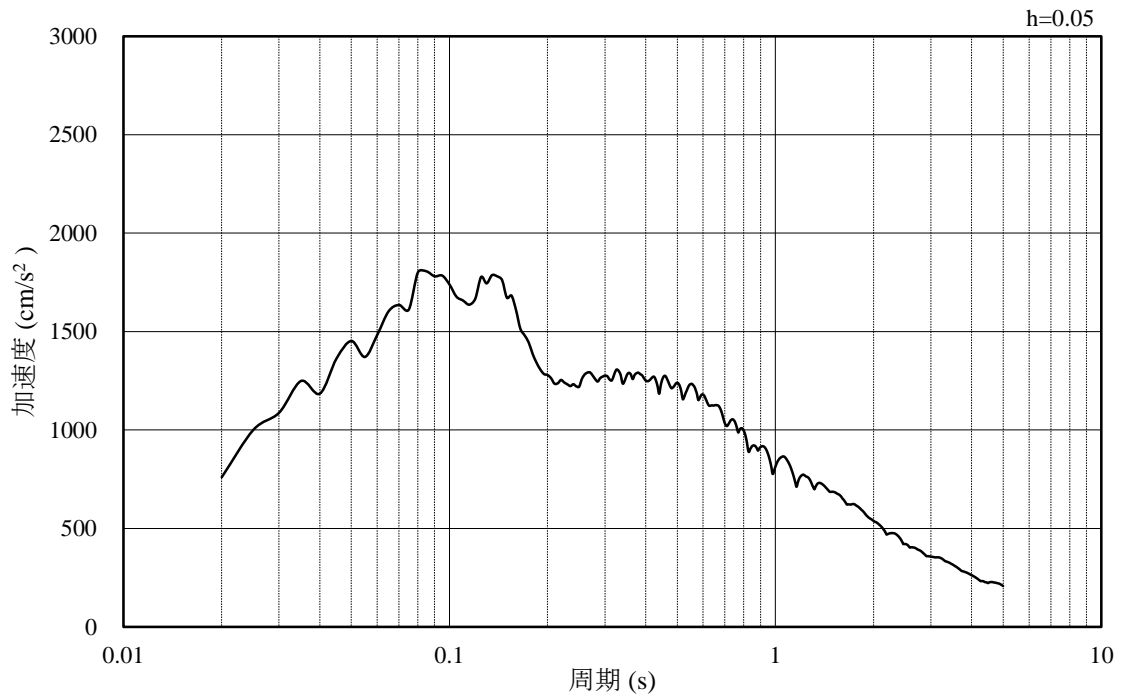


図3-3 入力地震動算定の概念図

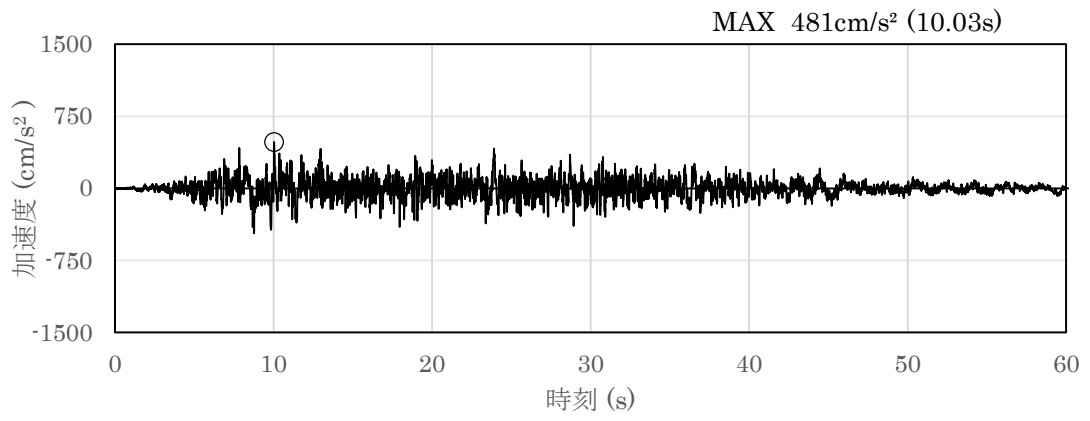


(a) 加速度時刻歴波形

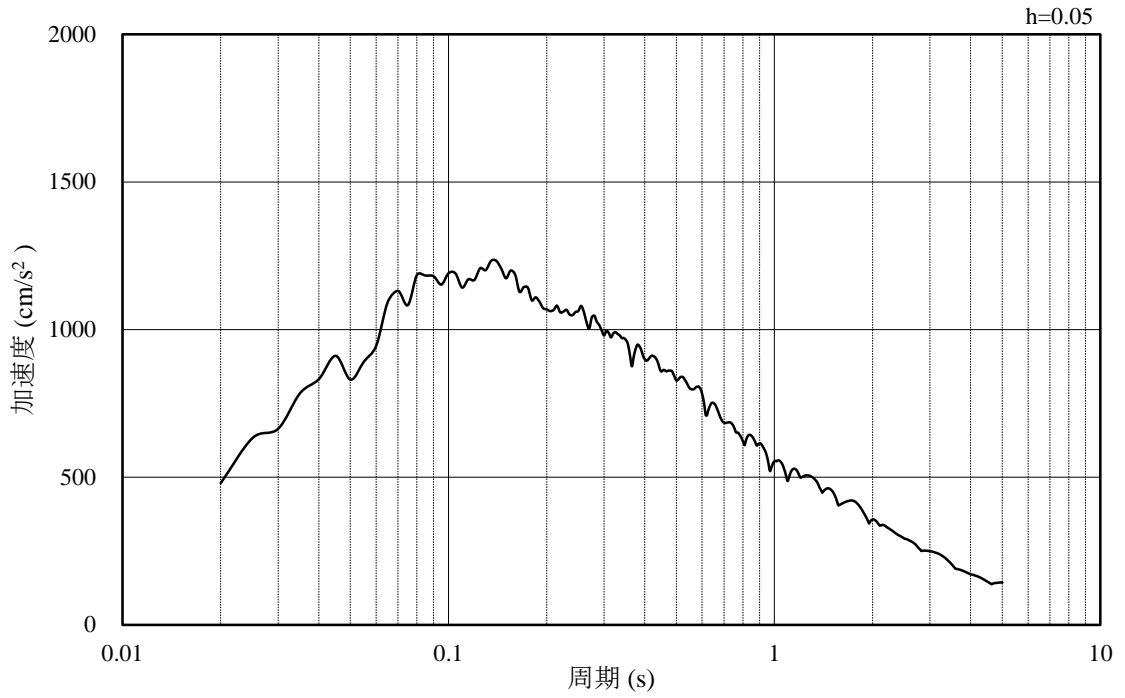


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

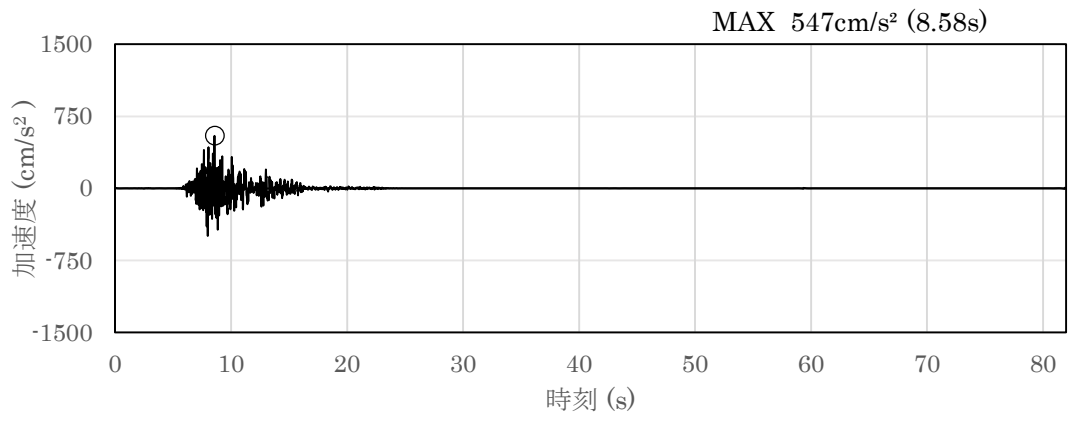


(a) 加速度時刻歴波形

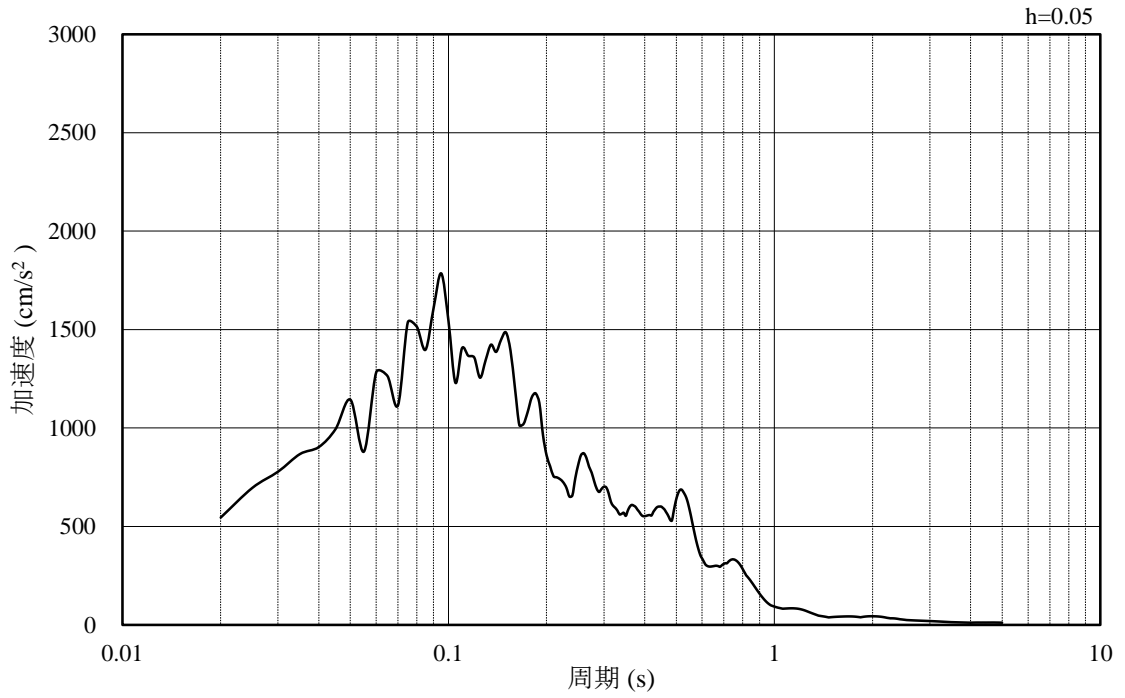


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

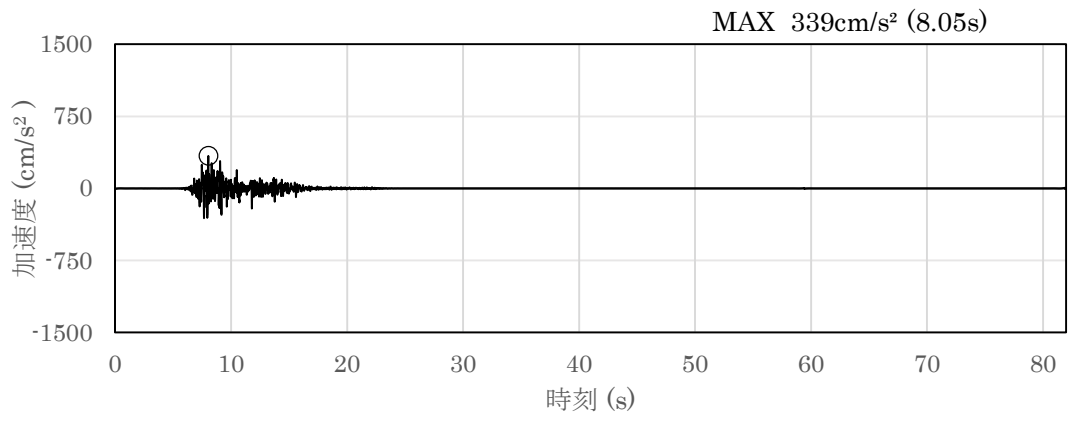


(a) 加速度時刻歴波形

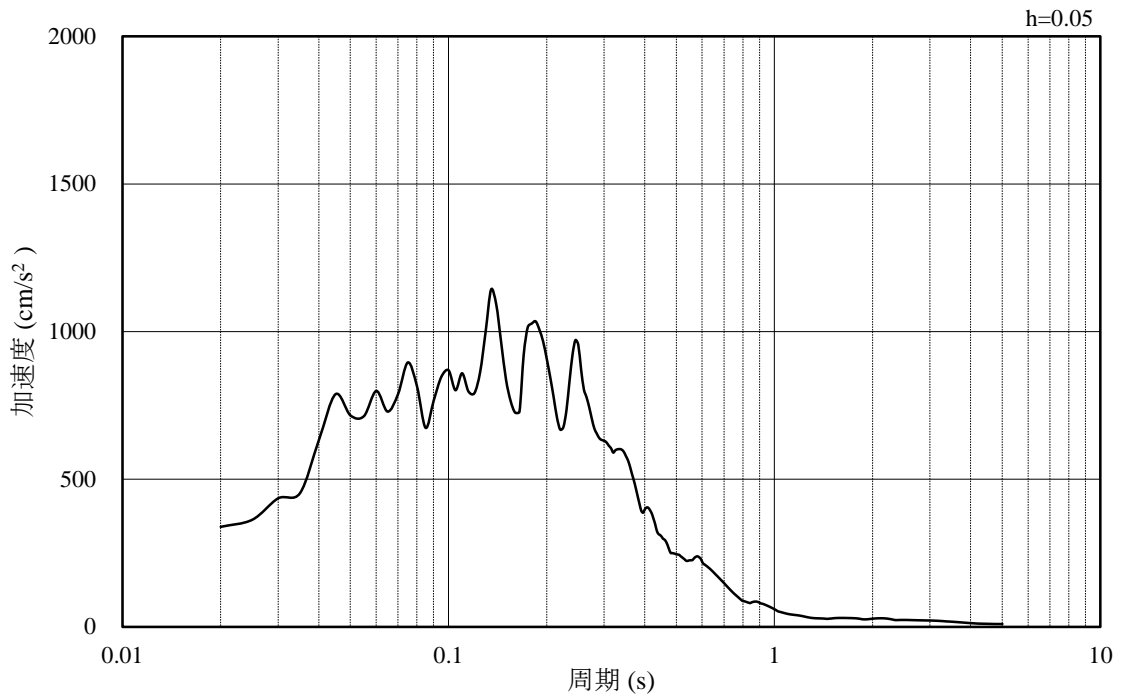


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

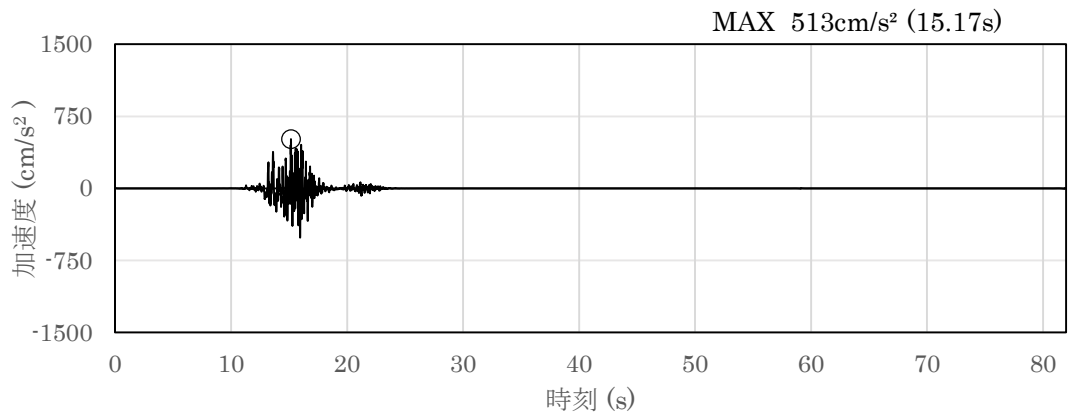


(a) 加速度時刻歴波形

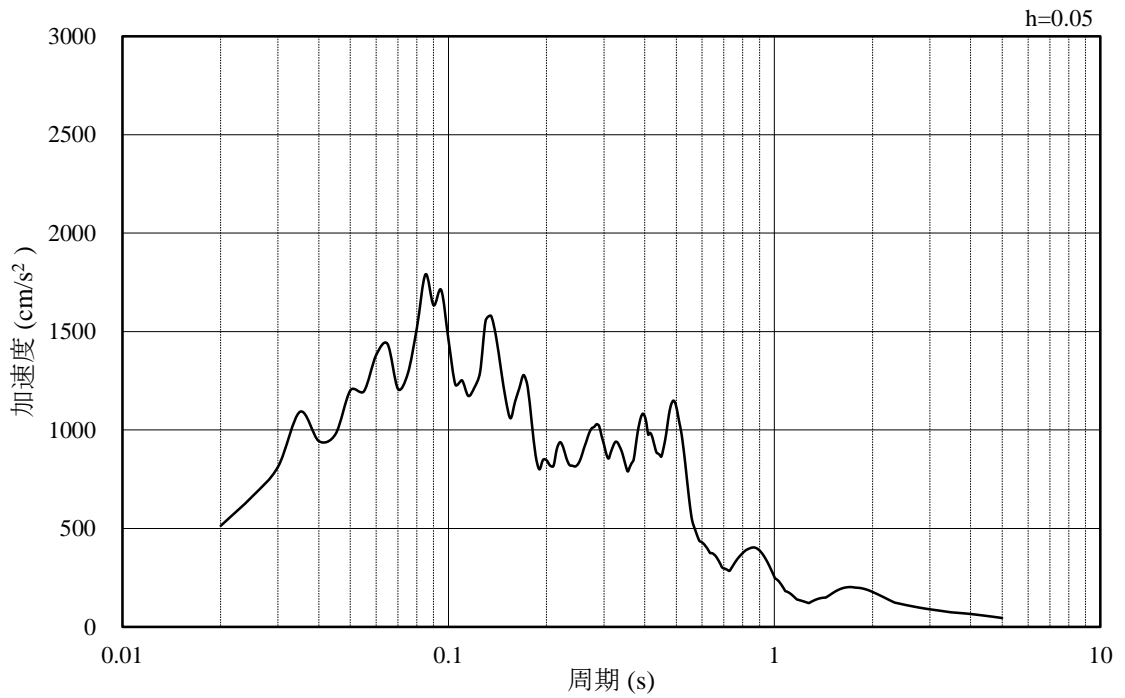


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

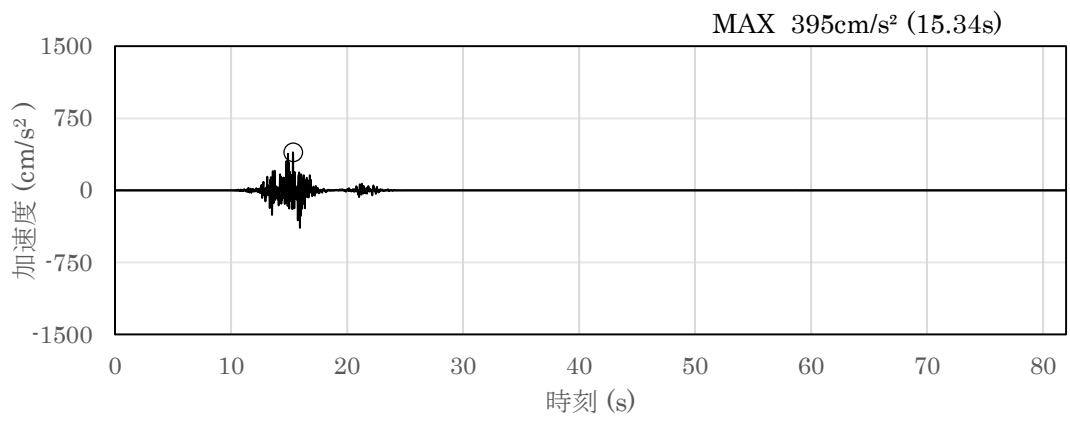


(a) 加速度時刻歴波形

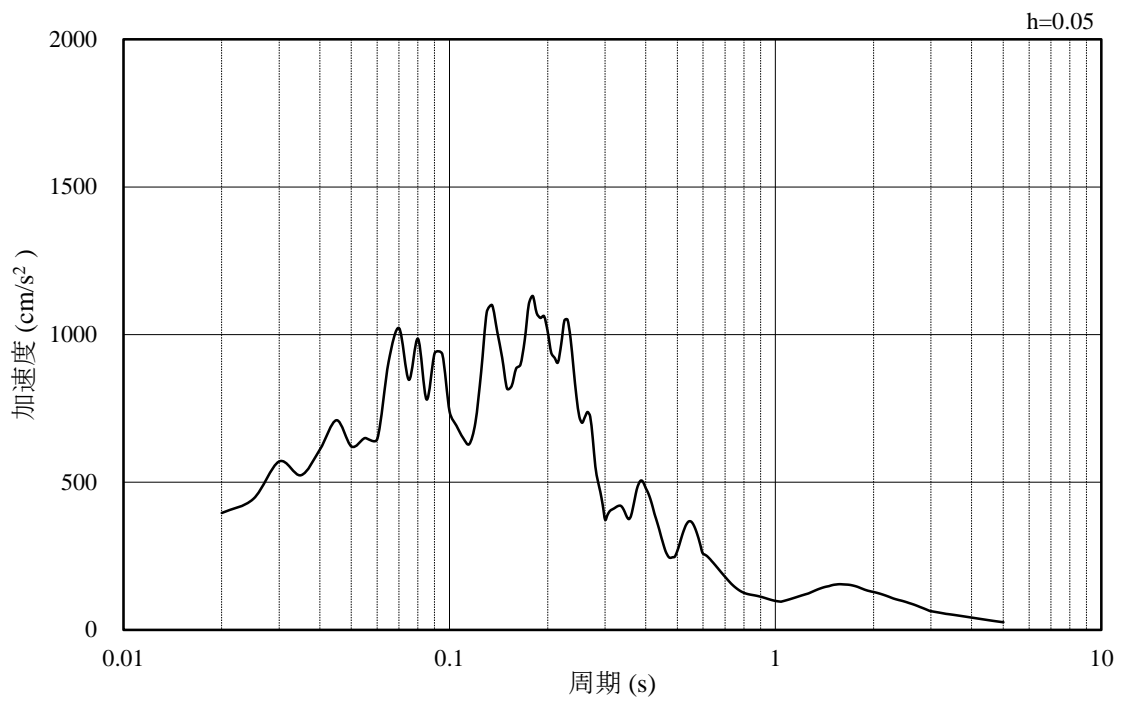


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

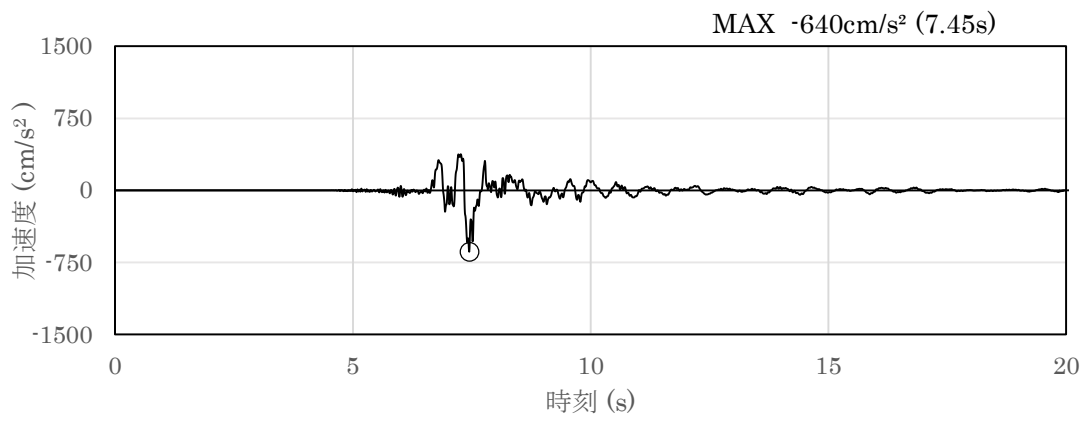


(a) 加速度時刻歴波形

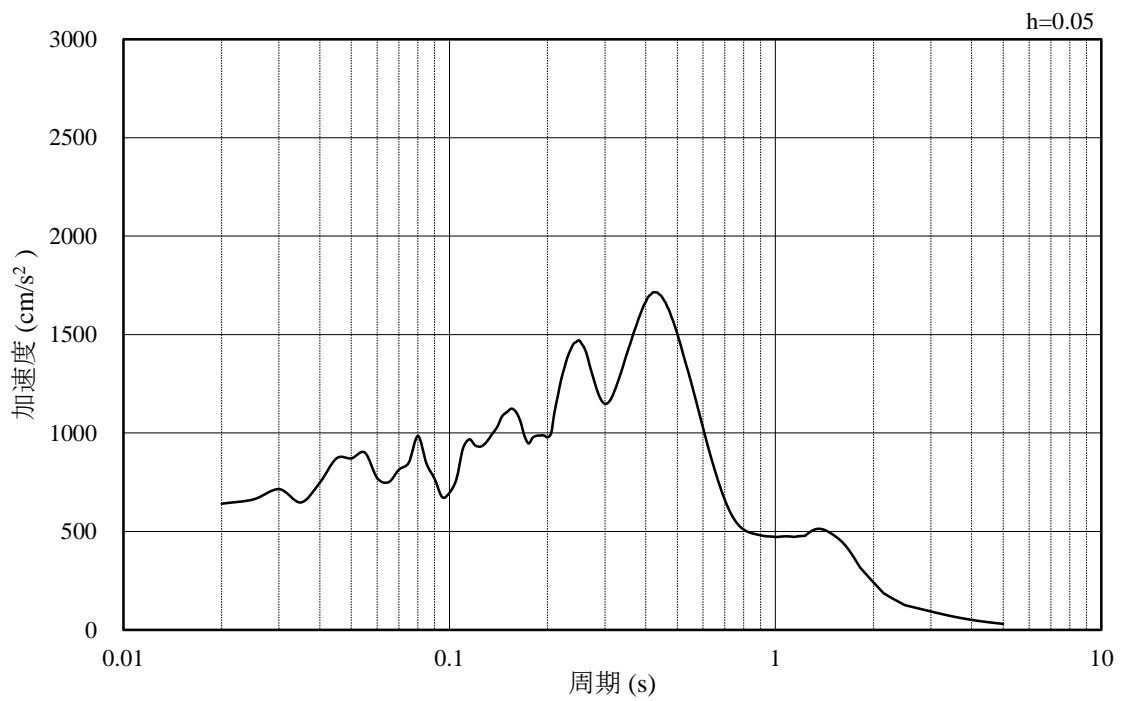


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - F 2)

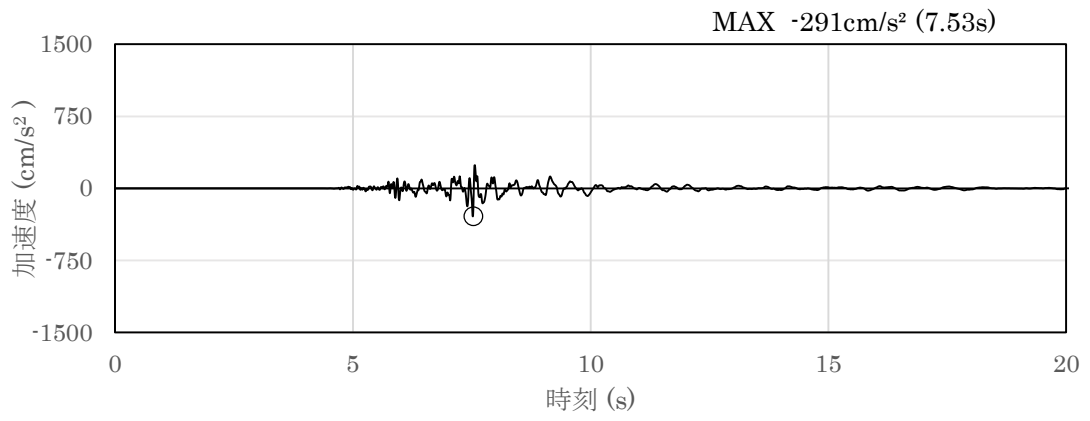


(a) 加速度時刻歴波形

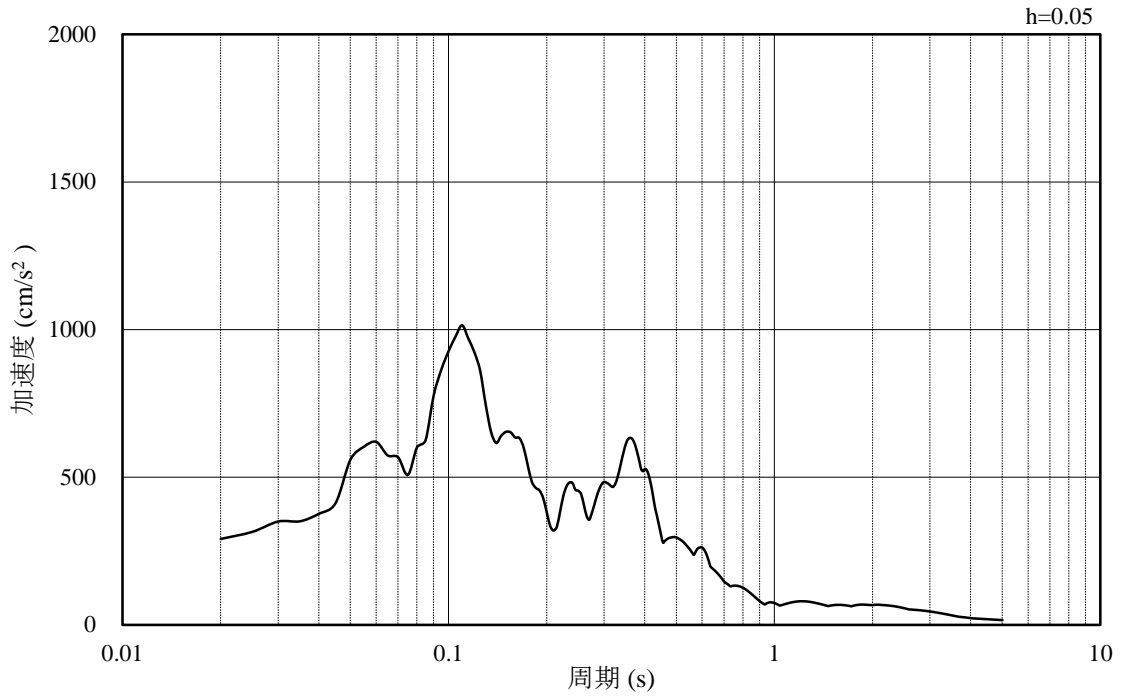


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

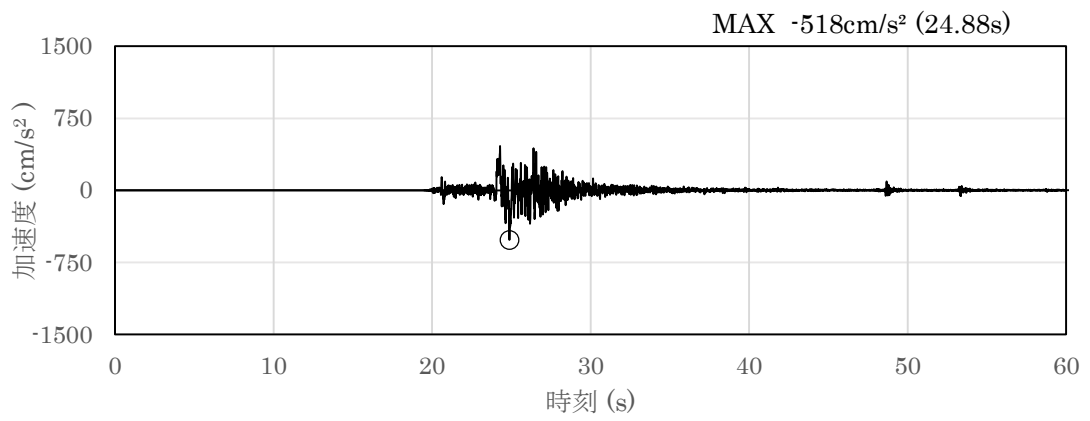


(a) 加速度時刻歴波形

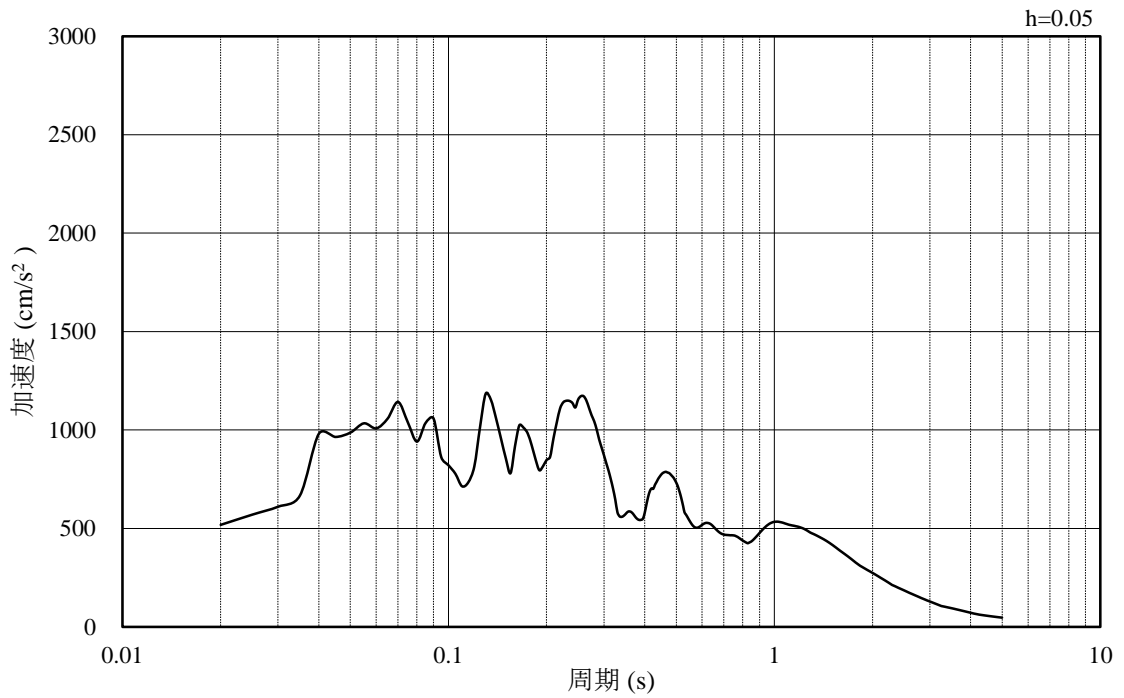


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - N 1)

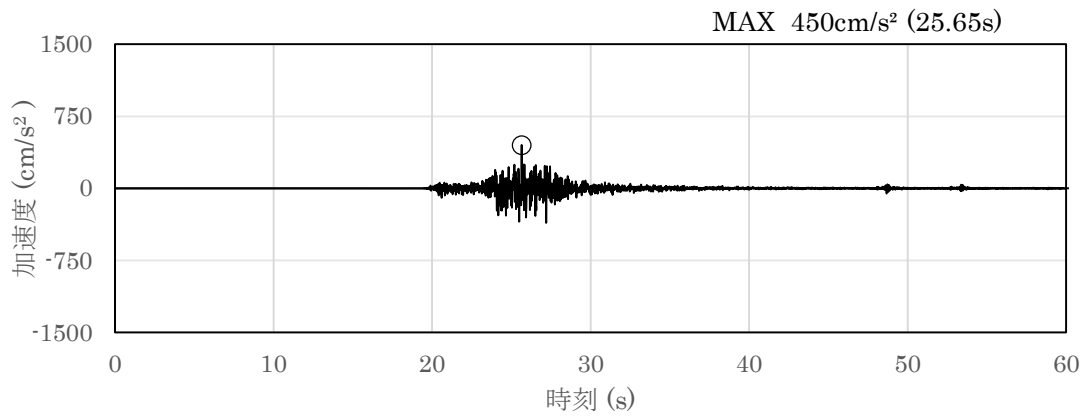


(a) 加速度時刻歴波形

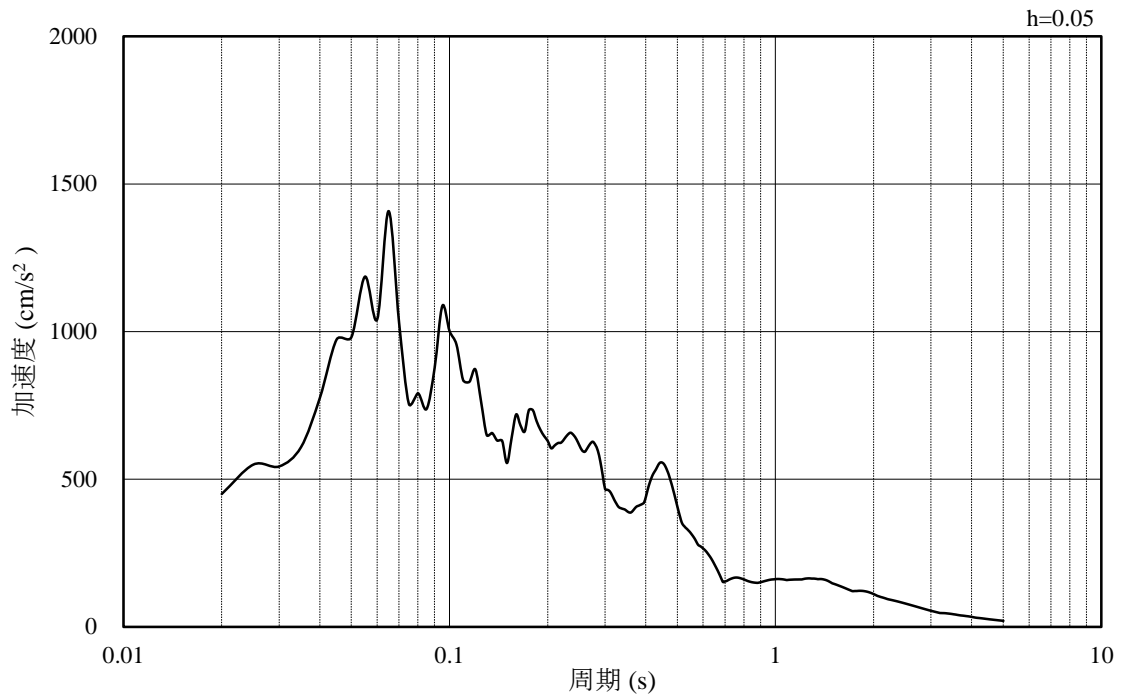


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S 方向))

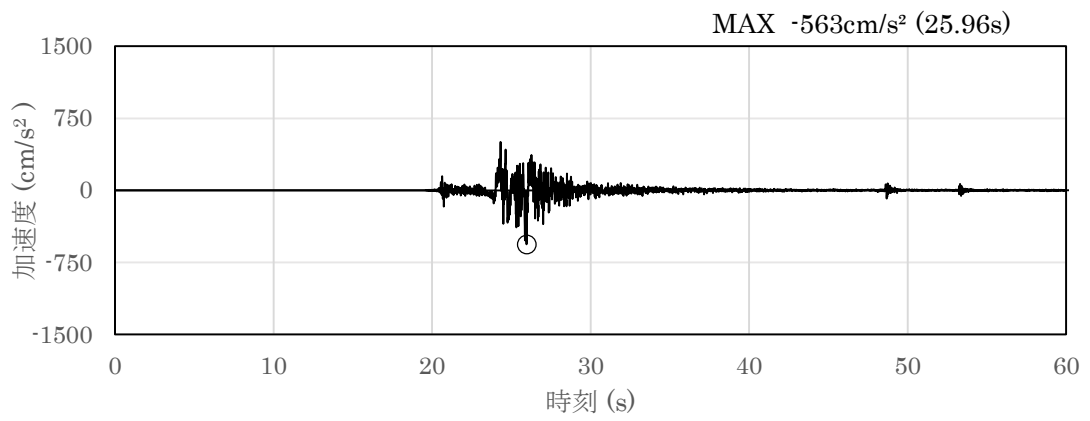


(a) 加速度時刻歴波形

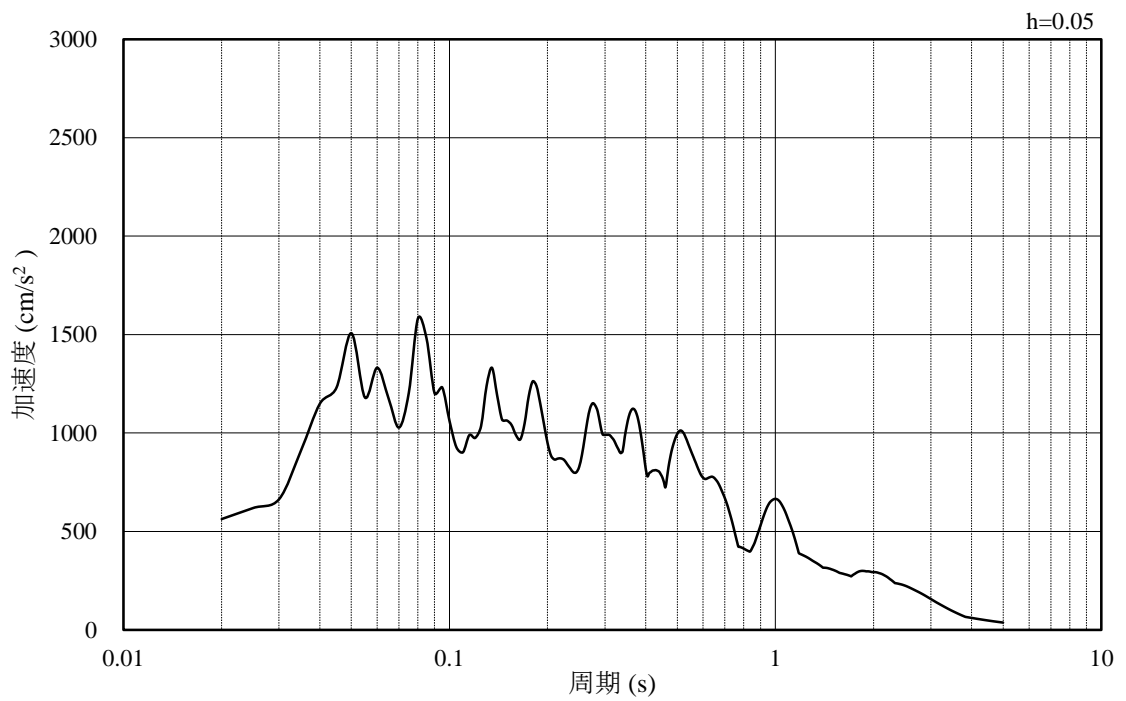


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S 方向))

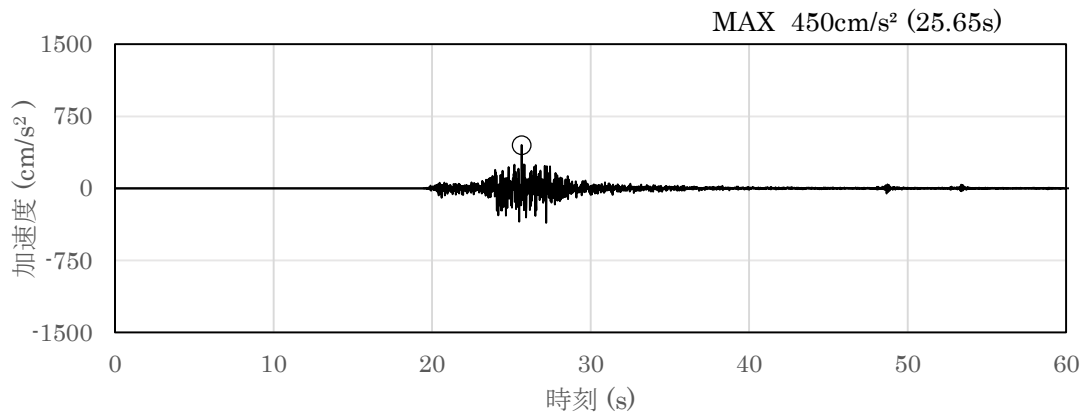


(a) 加速度時刻歴波形

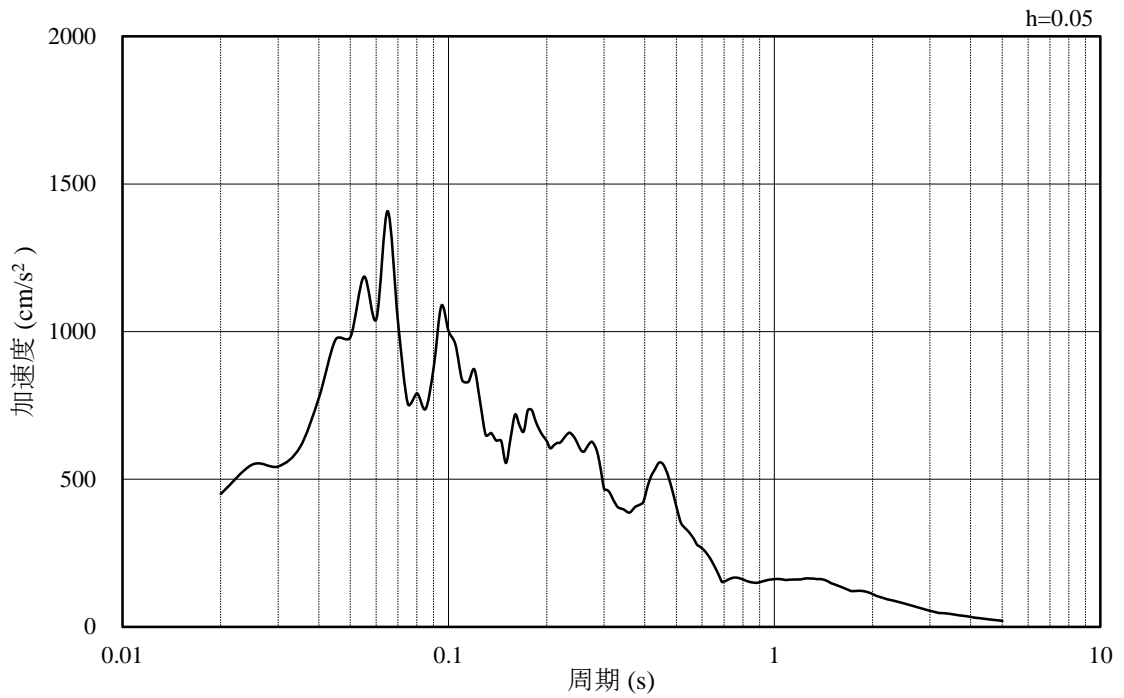


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (EW方向))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (EW方向))

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析モデルを図 3-16 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

タンク及び遮蔽壁は、多質点系のはり質点系モデルとし、基礎は、線形はり要素でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

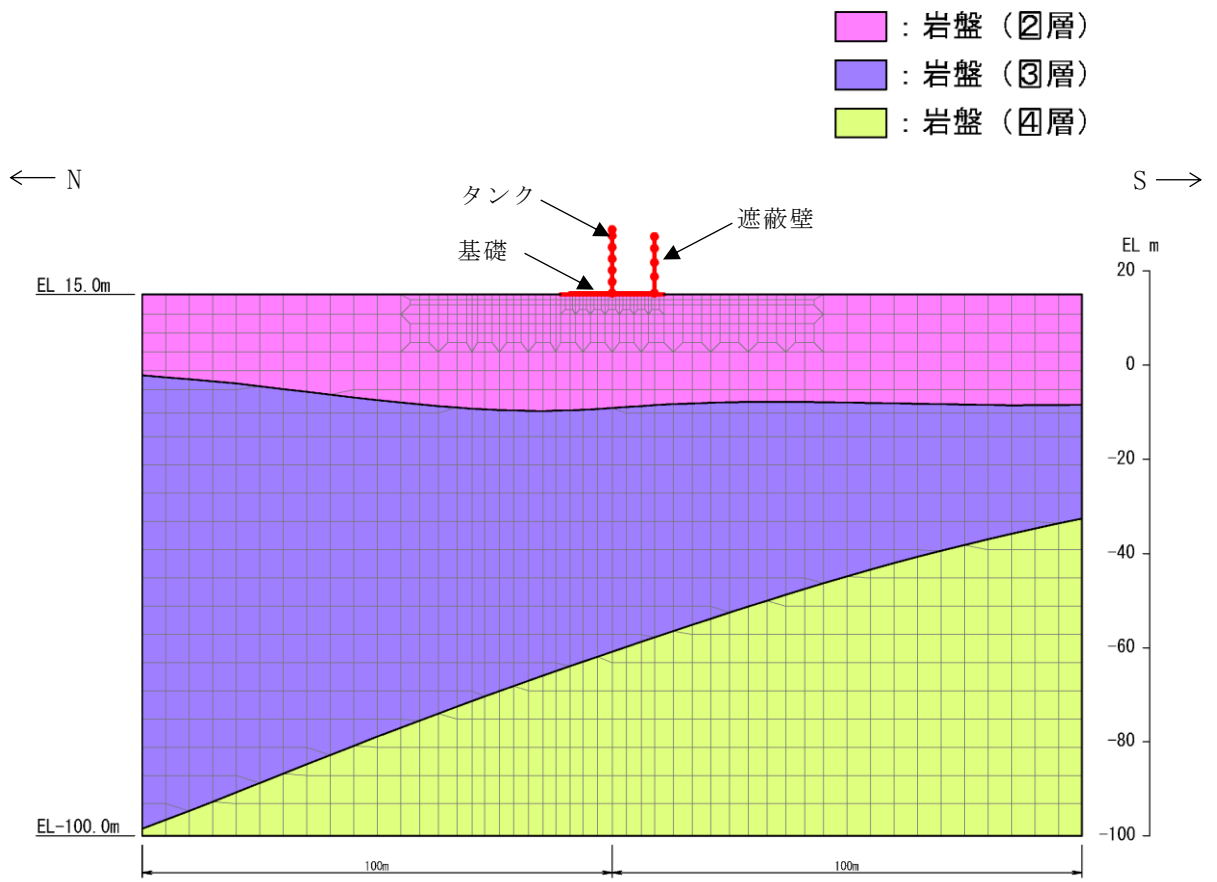


図 3-16 復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 に示す。

表 3-5 使用材料

材料		仕様	
構造物 (鉄筋コンクリート)	コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm ²	
	鉄筋	SD345	
開口補強鋼材	枠材	BH-612×510×60×80	SM400A
	ブレース材	BH-612×510×60×80	SM400A
		H-200×200×8×12	SS400
	ガセットプレート	PL-60	SM400C
	リブプレート	PL-40	SM400C
	ベースプレート	PL-50	SM400C
	アンカーボルト	D38	SD345

表 3-6 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.48×10 ⁴	24.0	0.2
開口補強鋼材	2.00×10 ⁵	77.0	0.3

3.5.3 地盤の物性値

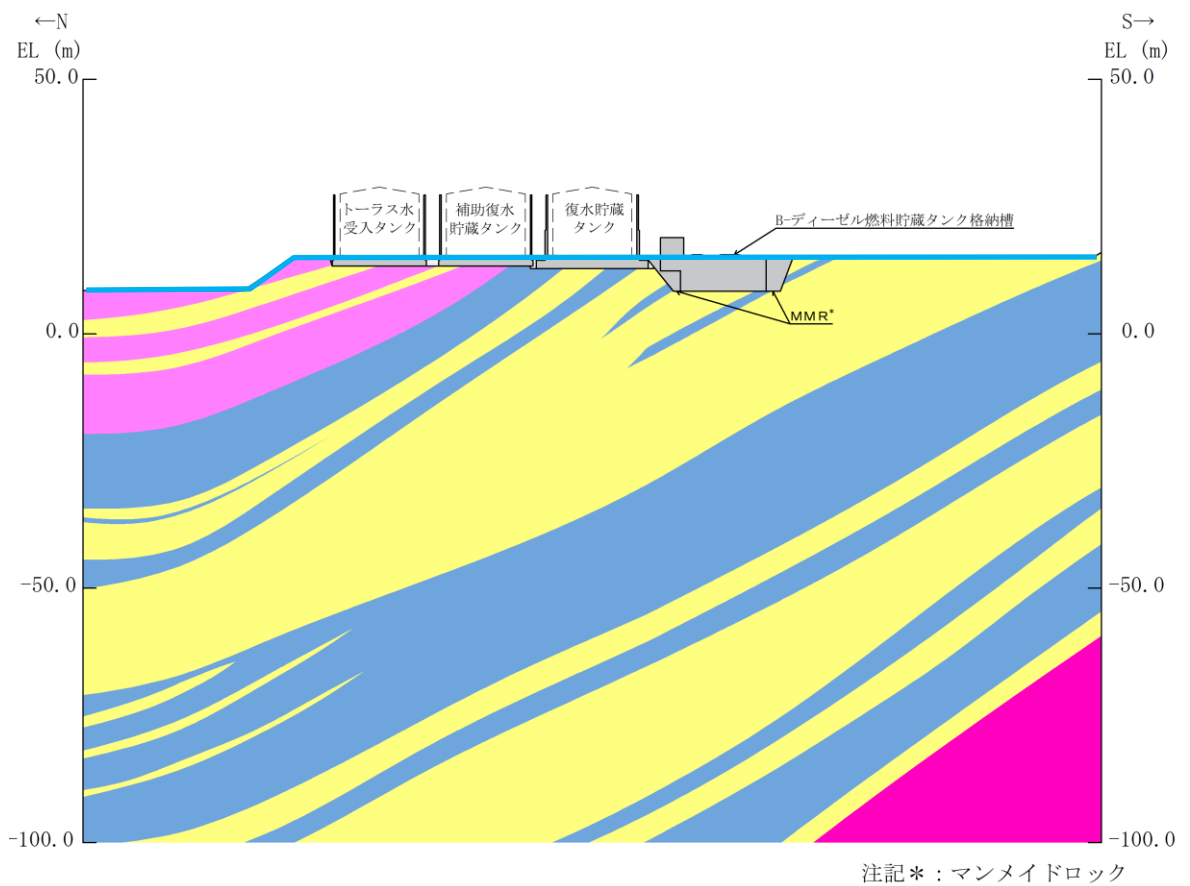
地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い，設定する。設計地下水位の一覧を表3-7に，設計地下水位を図3-17に示す。なお，施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから，地下水の影響は考慮しない。

表3-7 設計地下水位

施設名称	評価対象断面	設計地下水位(EL m)
復水貯蔵タンク遮蔽壁	A-A断面	15.0



(凡例)

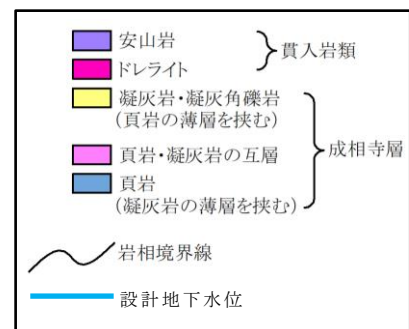
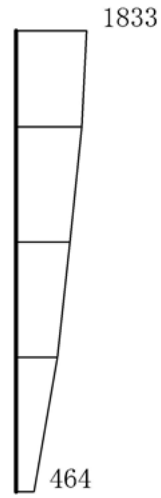


図3-17 設計地下水位 (南北方向)

3.6 地震応答解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する応答加速度分布図を図 3-18～図 3-29 に示す。また、解析ケース①の中で、遮蔽壁の頂部・下部の応答加速度が最も大きくなる地震動における解析ケース②及び解析ケース③の応答加速度分布図を図 3-30～図 3-33 に示す。



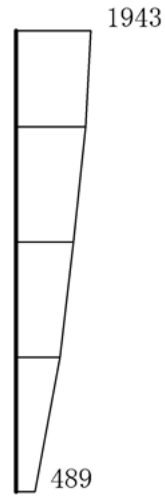
(a) $S_s - D(++)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D(++)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-18 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (1/16) (解析ケース①)



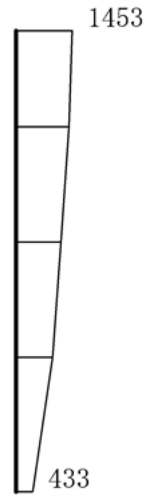
(a) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-19 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (2/16) (解析ケース①)



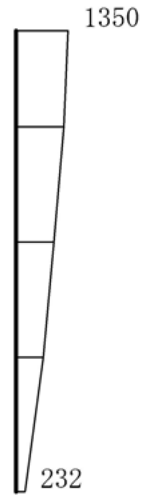
(a) $S_s - D (+ -)$, 10.10 秒, 水平



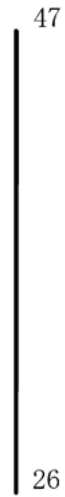
(b) $S_s - D (+ -)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-20 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (3/16) (解析ケース①)



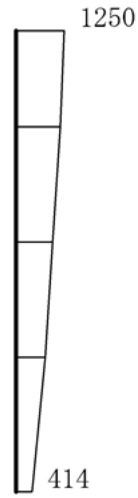
(a) $S_s - D$ (—), 20.66 秒, 水平



(b) $S_s - D$ (—), 20.66 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-21 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (4/16) (解析ケース①)



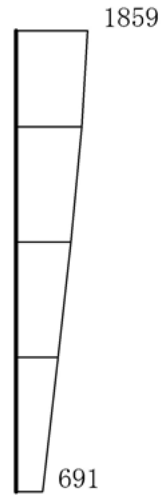
(a) $S_s - F_1$ (++) , 8.66 秒, 水平



(b) $S_s - F_1$ (++) , 8.66 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-22 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (5/16) (解析ケース①)



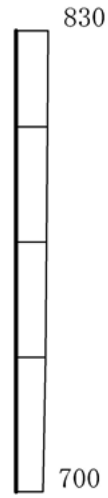
(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.06 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.06 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-23 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (6/16) (解析ケース①)



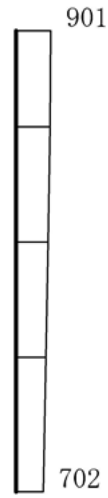
(a) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 水平



(b) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-24 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (7/16) (解析ケース①)



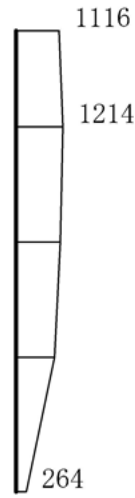
(a) S s - N 1 (- +) , 7.48 秒, 水平



(b) S s - N 1 (- +) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-25 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (8/16) (解析ケース①)



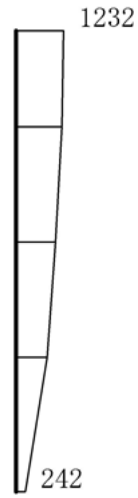
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$, 26.60 秒, 水平



(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$, 26.60 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-26 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (9/16) (解析ケース①)



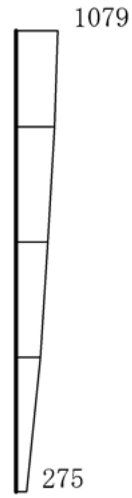
(a) S s - N 2 (N S) (- +) , 26.60 秒, 水平



(b) S s - N 2 (N S) (- +) , 26.60 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-27 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (10/16) (解析ケース①)



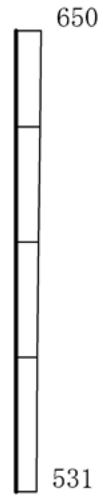
(a) S s - N 2 (E W) (+ +) , 26.51 秒 , 水平



(b) S s - N 2 (E W) (+ +) , 26.51 秒 , 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-28 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (11/16) (解析ケース①)



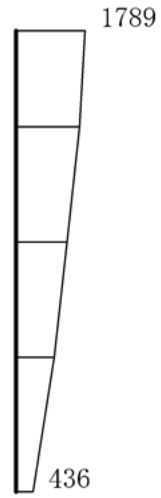
(a) S s - N 2 (E W) (- +) , 25.94 秒 , 水平



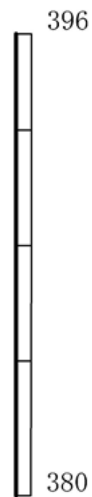
(b) S s - N 2 (E W) (- +) , 25.94 秒 , 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-29 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (12/16) (解析ケース①)



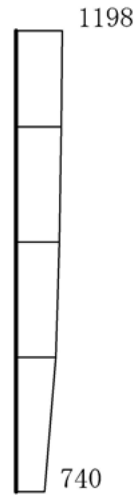
(a) $S_s - D (-+)$, 10.09 秒, 水平



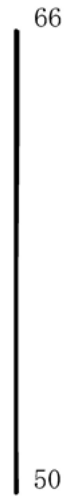
(b) $S_s - D (-+)$, 10.09 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-30 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (13/16) (解析ケース②)
 (解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



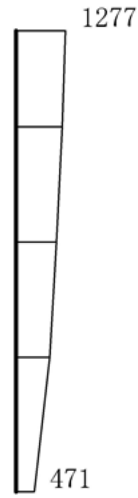
(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.05 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.05 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-31 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (14/16) (解析ケース②)
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) $S_s - D (-+)$, 19.41 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 19.41 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-32 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (15/16) (解析ケース③)
(解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.01 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.01 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-33 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (16/16) (解析ケース③)
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)

4. 応力解析

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析として、復水貯蔵タンク遮蔽壁をシェル要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析は、「3. 地震応答解析」より復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性に最も影響を及ぼす地震動を対象に実施するものとし、解析ケース①（ $S_s - D(-+)$ ）を対象とする。

4.1 評価対象部位

応力解析における評価対象部位は、遮蔽壁及び開口補強鋼材（枠材、ブレース材、ガセットプレート、リブプレート、ベースプレート及びアンカーボルト）とする。

4.2 解析方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析は、「3. 地震応答解析」により得られる応答値を考慮する。

応力解析には「NX NASTRAN」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.3.1 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

4.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

4.4 解析モデル及び諸元

復水貯蔵タンク遮蔽壁の3次元解析モデルを図4-1及び図4-2に、各部材の要素座標系を図4-3に示す。

(1) 境界条件

復水貯蔵タンク遮蔽壁の遮蔽壁と基礎の境界は、完全固定境界とする。

(2) 構造部材のモデル化

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、線形シェル要素でモデル化する。

(3) 地震荷重の作用方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の各構造部材には、「3.地震応答解析」にて得られた応答加速度を考慮する。

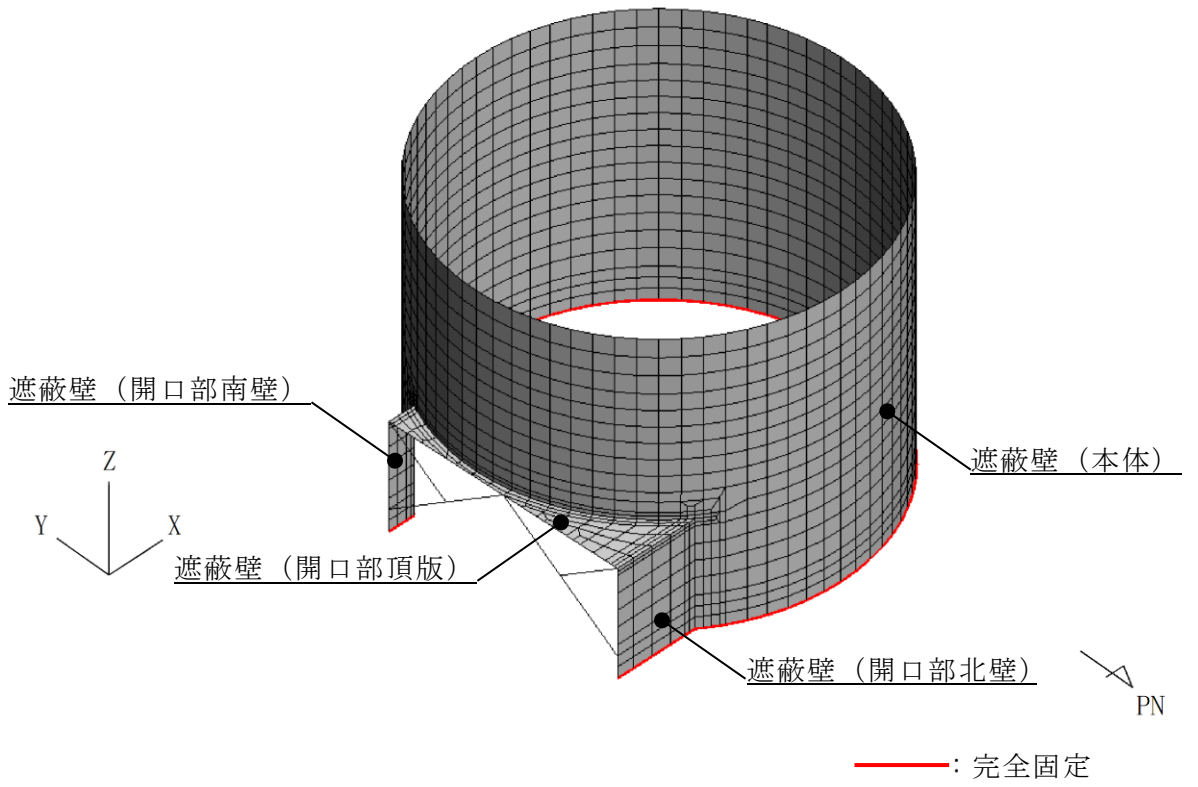


図 4-1 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

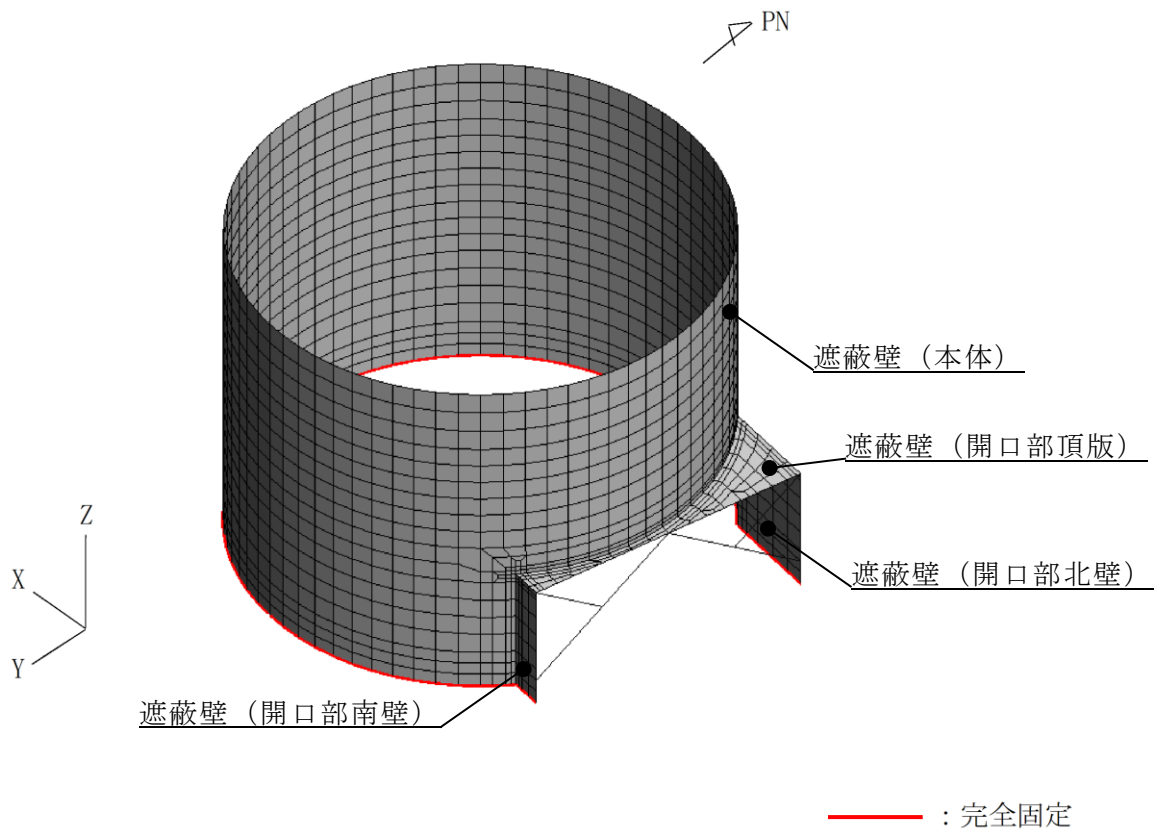
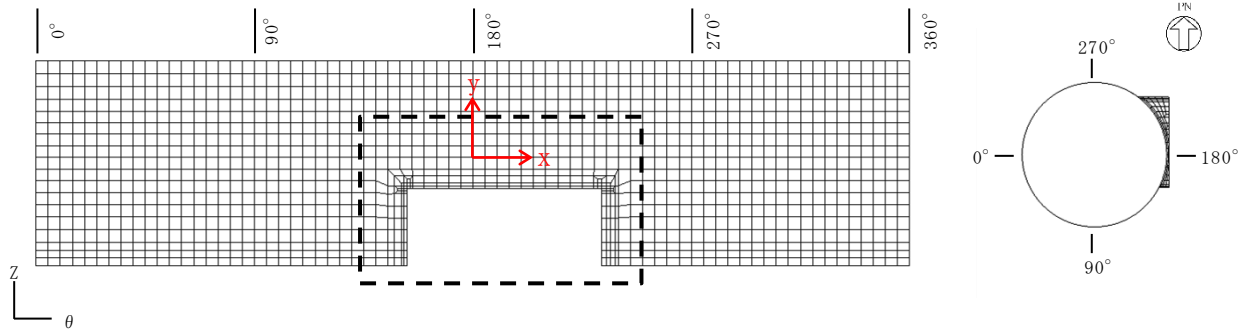
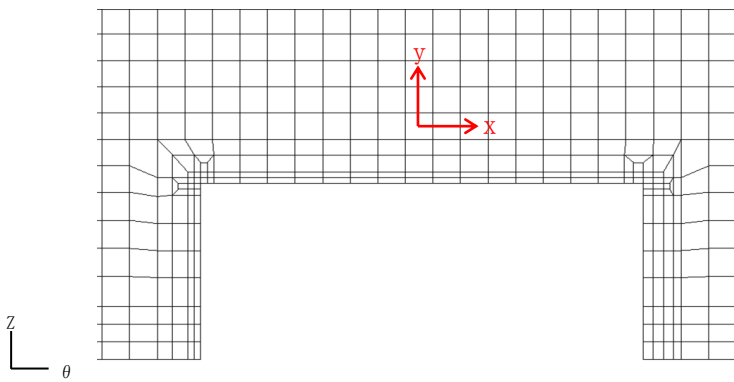


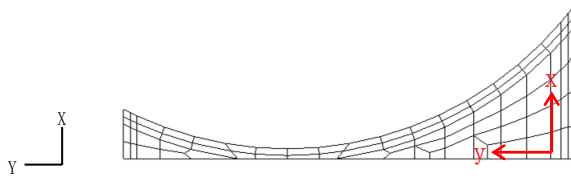
図 4-2 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 南東側から望む)



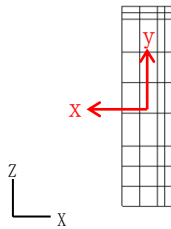
遮蔽壁（本体）



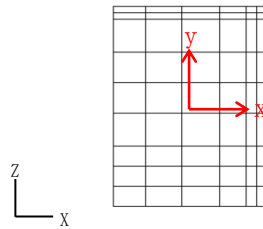
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 4-3 各部材の要素座標系

5. 耐震評価

5.1 許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

5.1.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体の安定性評価として、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（(社)土木学会，2002年制定）」に基づき、終局曲げモーメントを許容限界とする。

また、遮蔽壁のうちPHb工法を適用する部位について、PHb工法はおおむね弾性範囲となる状況下で使用することから、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（(社)土木学会，2002年制定）」に基づく短期許容応力度を下回ることを合わせて確認する。発生曲げ応力が許容限界を上回る場合、3次元構造解析において、細かい要素分割を行っている部材の一部を部材厚程度の範囲で、発生曲げ応力を平均化した評価を実施する。コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表5-1及び表5-2に示す。

表5-1 コンクリートの短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度	短期許容応力度* (N/mm ²)
f' _{ck} = 23.5(N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	13.2
	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.66

注記*：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（(社)土木学会，2002年制定）により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

表5-2 鉄筋の短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度	短期許容応力度* (N/mm ²)
SD345	許容引張応力度 σ'_{sa}	294

注記*：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（(社)土木学会，2002年制定）により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕
((社)土木学会, 2002年制定)」に基づき, 短期許容せん断力とする。また, 遮
蔽壁のうち PHb 工法を用いる部位については, PHb のせん断補強効果を見込んだ評
価を行う。許容限界を次式に示す。

$$V_d/V_a < 1$$

(コンクリートのみでせん断力を負担する場合)

$$V_a = V_{ca}$$

$$V_{ca} = \tau \cdot b_w \cdot z$$

(通常のせん断補強筋を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

$$V_{ca} = 0.5 \cdot \tau \cdot b_w \cdot z$$

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot z / s$$

(PHb を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + \beta_{aw} \cdot V_{sa}$$

$$V_{ca} = 0.5 \cdot \tau \cdot b_w \cdot z$$

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot z / s$$

$$\beta_{aw} = 1 - l_y / (d - d') - z / (d - d') \quad \text{ただし, } \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここに,

- V_d : 照査用せん断力
- V_a : 許容せん断力
- V_{ca} : コンクリートの負担する許容せん断力
- V_{sa} : 鉄筋の負担する許容せん断力
- A_w : せん断補強筋ピッチ間におけるせん断補強筋の総断面積
- β_{aw} : PHb の有効性を示す係数
- τ : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の短期許容せん断応力度
- b_w : 部材断面の腹部の幅
- σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度
- z : 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面図心までの距離
 $z = d / 1.15$
- d : 有効高さ
- s : せん断補強筋ピッチ
- l_y : PHb の埋込側に必要な定着長
- $d - d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔
 $d - d' \geq l_y$
- z : 高止まり高さ

PHb を考慮する場合の許容せん断力の算定にあたっては、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」, 一般財団法人土木研究センター」に示されているとおり, PHb の有効性を示す係数 β_{aw} を用いるものとする。本図書の抜粋を, 図 5-1 に示す。

2.7.1.3 L1 地震動/常時荷重増加等に対するせん断補強 (許容応力度法)

L1 地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合の Post-Head-bar の有効係数に、斜め引張ひび割れ等の発生を許容することを前提として、せん断に対する安全性照査において評価された Post-Head-bar の有効係数を用いてもよい。

【解説】せん断に対する安全性照査において、Post-Head-bar のせん断補強効果はトラス理論に基づいた棒部材のせん断耐力で評価されている。この場合、Post-Head-bar のせん断耐力はせん断補強鉄筋の規格降伏強度を用いて算出することになる。また、許容応力度法においても、斜め引張ひび割れの発生によってトラス機構が形成されるので、トラス理論に基づき算出されたせん断補強鉄筋の応力度を、許容応力度以下に抑えるように設計する。許容応力度は、規格降伏強度に安全率を考慮した値である。

そのため、両者はともにトラス理論に準拠しており、L2 地震動作用時のせん断耐力は規格降伏強度に有効係数を乗じて算出される。また、許容応力度は規格降伏強度に設計条件から定めた安全率と有効係数を乗じて算出される。

これらのことから、L1 地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合には、斜め引張ひび割れの発生を許容することを前提として、Ⅲ付属資料-2 2.4 で規定した有効係数を用いてよいものとした。

具体的には、Post-Head-bar に使用された鉄筋の、設計条件から定めた許容応力度に、Ⅲ付属資料-2 2.4 式(3)で算出される有効係数を乗じることにより、使用する Post-Head-bar の許容応力度を算出する。

図 5-1 PHb を考慮した許容せん断力の算定 (抜粋)

5.1.2 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（枠材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート及びリブプレート）の健全性に対する許容限界
鋼材の許容限界は，「鋼構造設計規準-許容応力度法-（（社）日本建築学会，2005年改定）」に基づき，短期許容応力度とする。鋼材の短期許容応力度を表5-3に示す。

表 5-3 鋼材の短期許容応力度

材料			仕様	短期許容応力度 (N/mm ²)			
				短期許容 圧縮応力度 f_c	短期許容 引張応力度 f_t	短期許容 曲げ応力度 f_m	短期許容 せん断応力度 f_s
開口 補強 鋼材	枠材	BH-612× 510×60× 80	SM400A	別途算出*1	215	別途算出*1	124
	ブレース 材	BH-612× 510×60× 80	SM400A	別途算出*1	215	—	—
		H-200×200 ×8×12	SS400	別途算出*1	235	—	—
	ガセット プレート	PL-60	SM400C	215*2	215	—	—
	ベース プレート	PL-50	SM400C	—	—	248	124
	リブ プレート	PL-40	SM400C	—	—	—	136

注記*1:長期応力に対する許容圧縮応力度及び許容曲げ応力度は，以下の式にて算出する。

なお，短期許容圧縮応力度及び短期許容曲げ応力度は，長期応力に対する許容応力度の50%増しとする。

*2:座屈の影響を考慮しない。

許容圧縮応力度

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu}$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

記号

f_c : 許容圧縮応力度

λ : 圧縮材の細長比

E : ヤング係数

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

Λ : 限界細長比

許容曲げ応力度 (強軸まわり)

$\lambda_b \leq_p \lambda_b$ のとき

$$f_b = \frac{F}{\nu}$$

$_p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b$ のとき

$$f_b = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \frac{\lambda_b - _p \lambda_b}{_e \lambda_b - _p \lambda_b} \right\} F}{\nu}$$

$_e \lambda_b < \lambda_b$ のとき

$$f_b = \frac{1}{\lambda_b^2} \frac{F}{2.17}$$

ここで,

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}}$$

$$_e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

- a) 補剛区間内で曲げモーメントが直線的に変化する場合

$${}_p\lambda_b = 0.6 + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)$$

$$C = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \leq 2.3$$

- b) 補剛区間内で曲げモーメントが最大となる場合

$${}_p\lambda_b = 0.3$$

$$C = 1.0$$

$$M_e = C \sqrt{\frac{\pi^4 E I_Y \cdot E I_w}{l_b^4} + \frac{\pi^2 E I_Y \cdot G J}{l_b^2}}$$

記号

f_b : 許容曲げ応力度

λ_b : 曲げ材の細長比

l_b : 圧縮フランジの支点間距離

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_b}{\lambda_{e,b}} \right)^2$$

${}_e\lambda_b$: 弾性限界細長比

${}_p\lambda_b$: 塑性限界細長比

C : 許容曲げ応力度の補正係数

M_e : 弾性横座屈モーメント

Z : 断面係数

I_Y : 弱軸まわりの断面 2 次モーメント

I_w : 曲げねじり定数

G : せん断弾性係数

J : サンプナンのねじり定数

M_y : 降伏モーメント ($M_y = F \cdot Z$)

M_1, M_2 : それぞれ座屈区間端部における大きいほう, 小さいほうの, 強軸まわりの曲げモーメント。 (M_2/M_1) は複曲率の場合正, 短曲率の場合負とする。

許容曲げ応力度 (弱軸まわり)

弱軸まわりに曲げを受ける材の圧縮側及び引張側許容曲げ応力度は, 許容引張応力度とする。

5.1.3 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界

アンカーボルトの許容限界は、メーカー評価式に基づき算定した、表 5-4 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-4 アンカーボルトの許容限界

許容耐力 (kN)
せん断
2924

5.1.4 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

6. 耐震評価結果

構造部材の健全性評価に対する最大照査値を表 6-1～表 6-16 に、断面力分布図を図 6-1～図 6-3 に、最大照査値発生箇所位置図を図 6-4 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の曲げモーメント，発生応力度，発生せん断応力度及び最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント M_u ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	軸力 N_u (kN/m)	終局曲げ モーメント M_d ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	照査値 M_u/M_d
①	S s - D (-+)	101	-1070	139	0.73

表 6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認，コンクリート)

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ'_c (N/mm^2)	短期許容曲げ 応力度 σ'_{ca} (N/mm^2)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
①	S s - D (-+)	6.4	13.2	0.49

表 6-3 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認，鉄筋)

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_s (N/mm^2)	短期許容曲げ 応力度 σ_{sa} (N/mm^2)	照査値 σ_s / σ_{sa}
①	S s - D (-+)	279	294	0.96

表 6-4 せん断破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

解析 ケース	地震動	せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
①	S s - D (-+)	91	241	0.38

表 6-5 せん断破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認)

解析 ケース	地震動	せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
①	S s - D (-+)	151	528	0.29

表 6-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント M _u (kN・m/m)	軸力 N _u (kN/m)	終局曲げ モーメント M _d (kN・m/m)	照査値 M _u /M _d
③	S s - F 2 (++)	867	217	2310	0.38

表 6-7 せん断破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
③	S s - D (-+)	620	901	0.69

表 6-8 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_{max} (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_{max}/σ_a
①	S s - D (-+)	53	215	0.25

表 6-9 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

解析 ケース	地震動	発生せん断 応力度 τ_{max} (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 f_s (N/mm ²)	照査値 τ_{max}/f_s
①	S s - D (-+)	10	124	0.09

表 6-10 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ブレース材）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_{max} (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_{max}/σ_a
①	S s - D (-+)	21	183	0.12

表 6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

（開口補強鋼材：ガセットプレート）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_{max} (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_{max}/σ_a
①	S s - D (-+)	148	215	0.69

表 6-12 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：リブプレート）

解析 ケース	地震動	発生せん断 応力度 τ_{max} (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 f_s (N/mm ²)	照査値 τ_{max} / f_s
①	S s - D (-+)	26	136	0.20

表 6-13 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

（開口補強鋼材：ベースプレート）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_{max} (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_{max} / σ_a
①	S s - D (-+)	165	248	0.67

表 6-14 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ベースプレート）

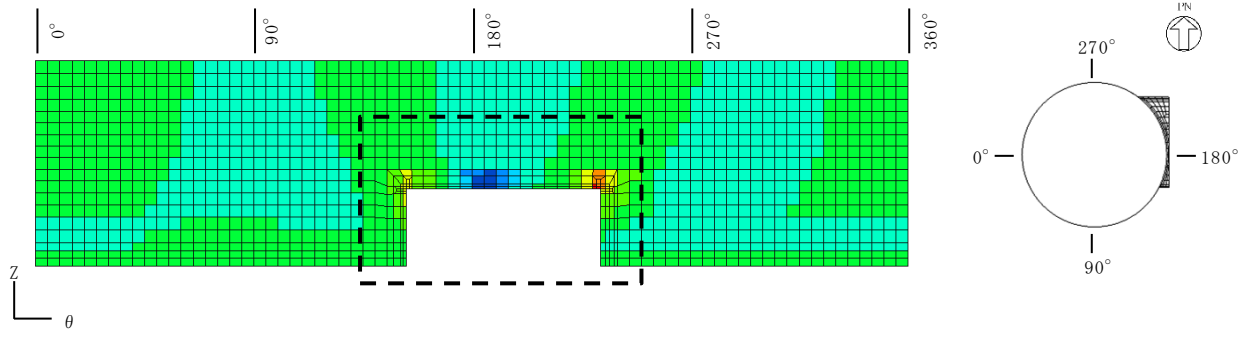
解析 ケース	地震動	発生せん断 応力度 τ_{max} (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 f_s (N/mm ²)	照査値 τ_{max} / f_s
①	S s - D (-+)	22	124	0.18

表 6-15 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：アンカーボルト）

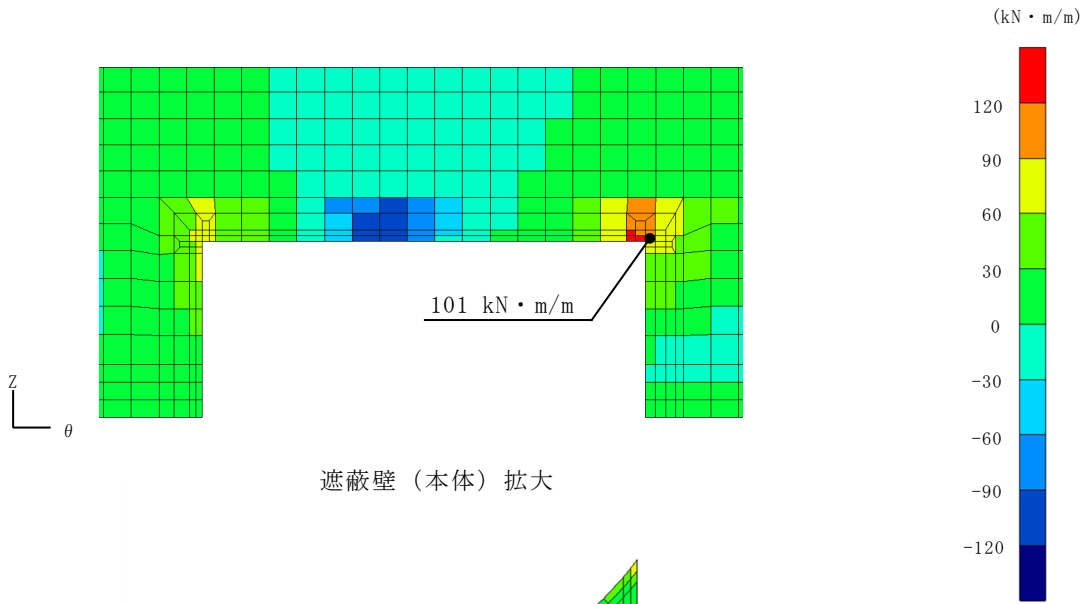
解析 ケース	地震動	発生 せん断力 Q (kN)	許容 せん断力 Q _a (kN)	照査値 Q / Q _a
①	S s - D (-+)	1792	2924	0.62

表 6-16 支持性能に対する最大照査値（基礎地盤）

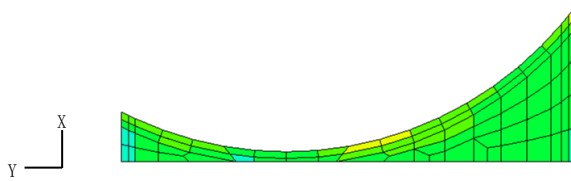
解析 ケース	地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
①	S s - N 2 (E W) (++)	0.39	9.8	0.04



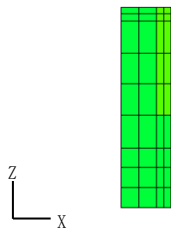
遮蔽壁（本体）



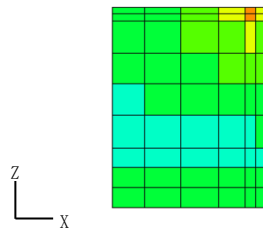
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）

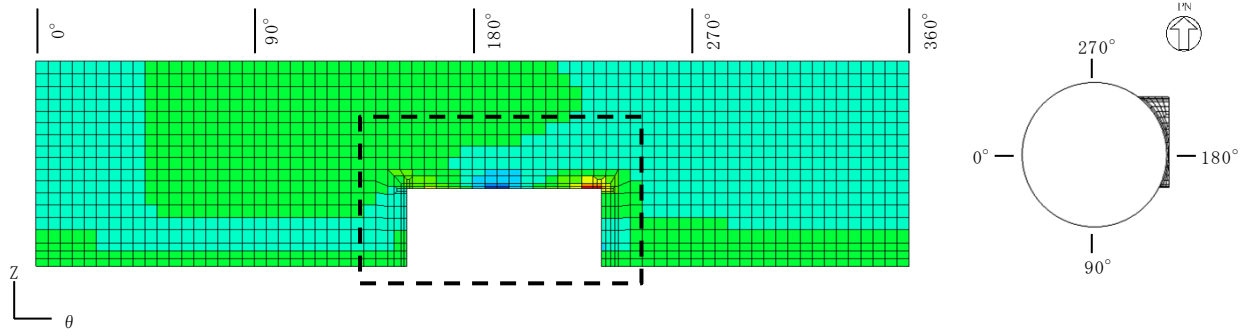


遮蔽壁（開口部南壁）

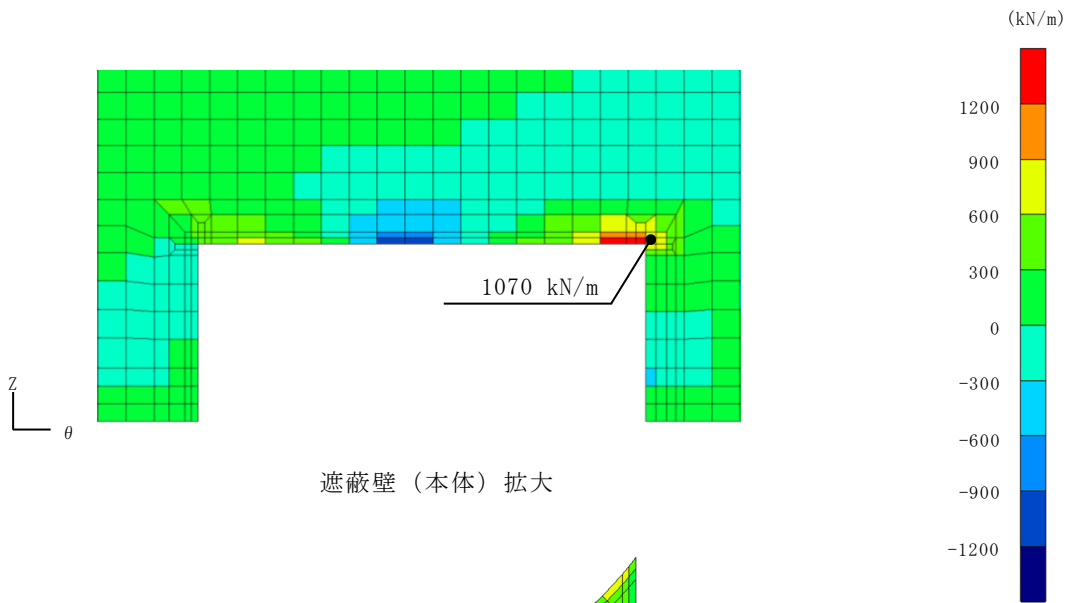


遮蔽壁（開口部北壁）

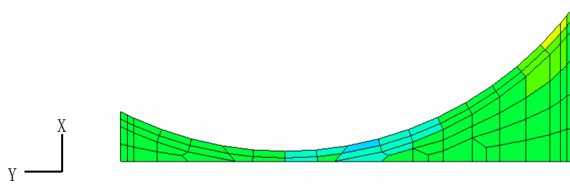
図 6-1 断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)



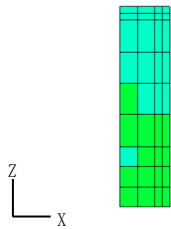
遮蔽壁（本体）



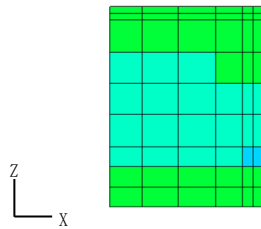
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

図 6-2 断面力分布図
 （軸力 (kN/m) : N_x)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)

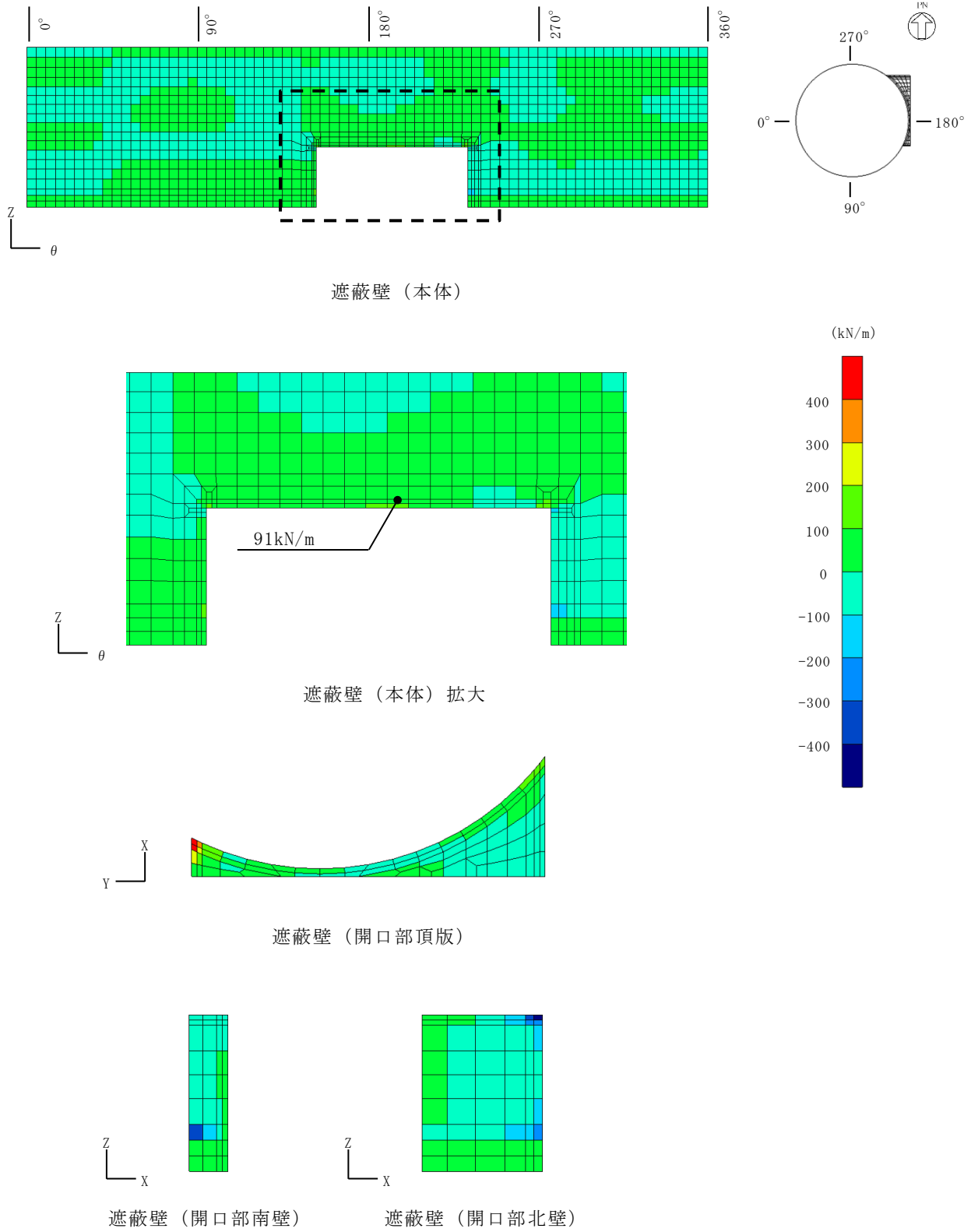


図 6-3 断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)

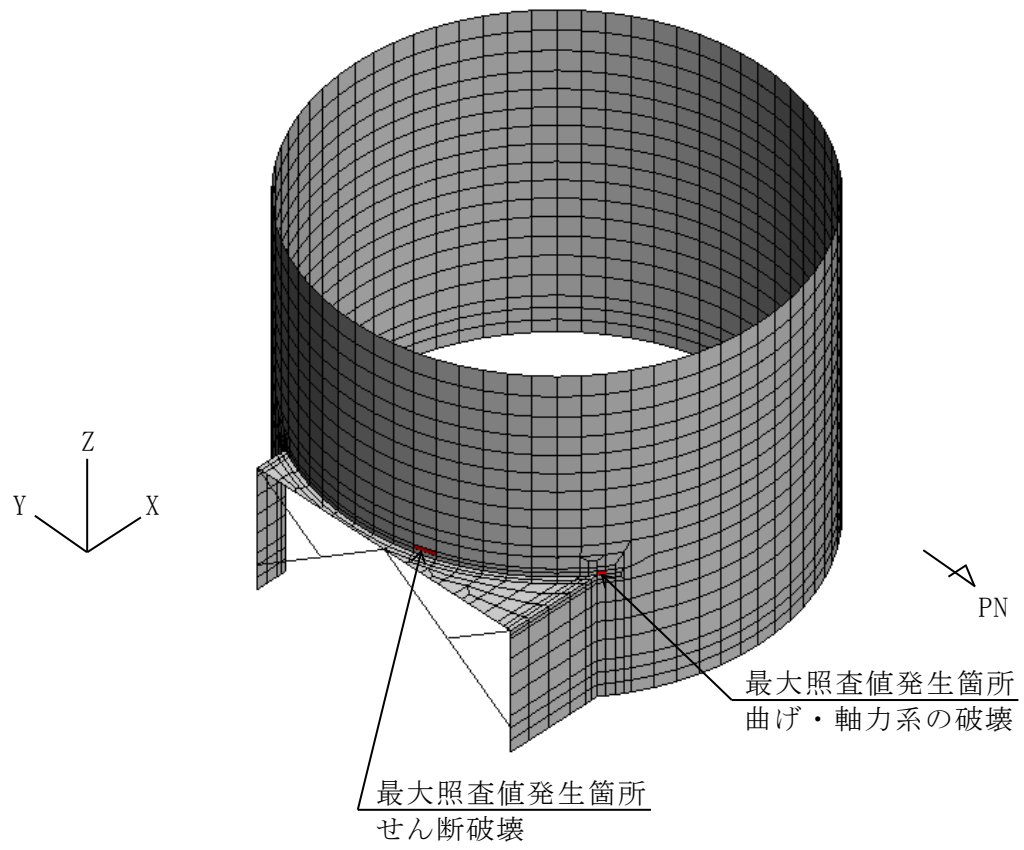


図 6-4 最大照査値発生箇所位置図（鳥瞰図，北東側から望む）

VI-2-11-2-13 仮設耐震構台の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価対象断面	10
2.4 耐震評価方針	13
2.5 適用規格・基準等	15
3. 評価方法	16
3.1 評価方針	16
3.2 評価対象部位	17
3.3 解析方法	20
3.3.1 地盤物性	20
3.3.2 減衰定数	21
3.3.3 地震応答解析の解析ケースの選定	22
3.4 荷重及び荷重の組合せ	23
3.4.1 荷重	23
3.4.2 荷重の組合せ	23
3.5 許容限界	24
3.5.1 主桁，受桁，水平材，斜材及び支持杭に対する許容限界	29
3.5.2 支承部に対する許容限界	32
3.5.3 固定ボルトに対する許容限界	33
3.5.4 溶接部に対する許容限界	34
3.5.5 橋台（東側）に対する許容限界	34
3.5.6 置換コンクリート（西側）に対する許容限界	35
3.5.7 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	36
3.5.8 構造物間の相対変位に対する許容限界	36
3.6 入力地震動	37
3.7 解析モデル及び諸元	52
3.7.1 解析モデル	52
3.7.2 使用材料及び材料の物性値	56
3.7.3 地盤の物性値	58
3.7.4 地下水位	58

4.	評価方法	59
4.1	施設の損傷及び転倒による影響評価方法	59
4.1.1	構造部材の健全性に対する評価方法	59
4.1.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	62
4.2	構造物間の相対変位による影響評価方法	62
4.2.1	相対変位による評価方法	62
5.	評価結果	63
5.1	施設の損傷及び転倒による影響評価結果	63
5.1.1	構造部材の健全性に対する評価結果	63
5.1.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	92
5.2	構造物間の相対変位による影響評価結果	96
5.2.1	相対変位による評価結果	96

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、仮設耐震構台が上位クラス施設である2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、上位クラス施設の有する機能が保持されることを確認するために、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を行い、施設の損傷及び転倒による影響では、仮設耐震構台の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を、構造物間の相対変位による影響では、2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽への衝突の有無を確認する。

また、仮設耐震構台は、安全対策工事に伴い掘削した箇所のアクセスルートを確認するために設置することから、VI-1-1-7-別添1「可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」を踏まえ、基準地震動 S_s による地震動に対して耐震評価を実施し、屋外アクセスルートに影響を及ぼさないことを確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

仮設耐震構台の設置位置を図 2-1 に示す。

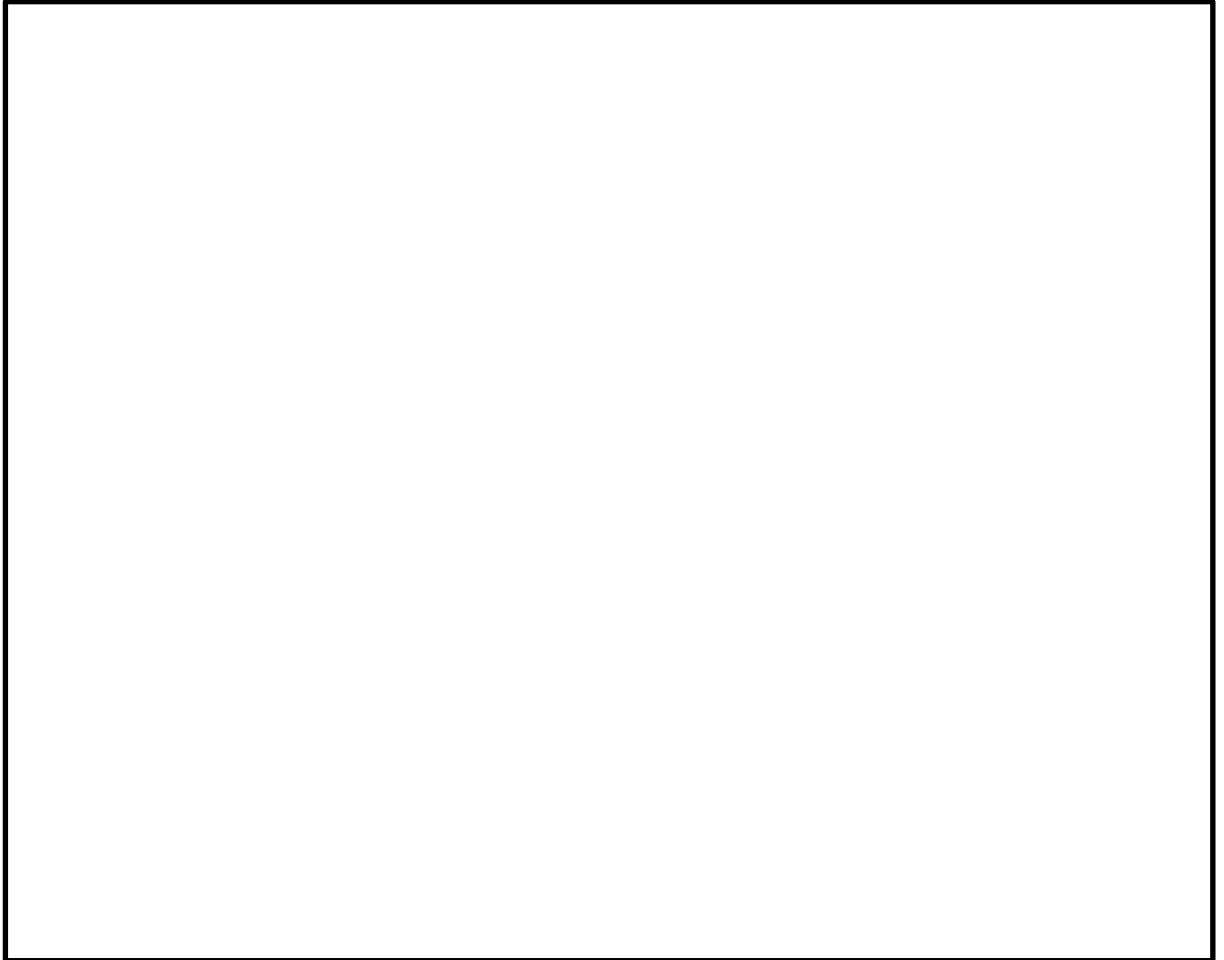
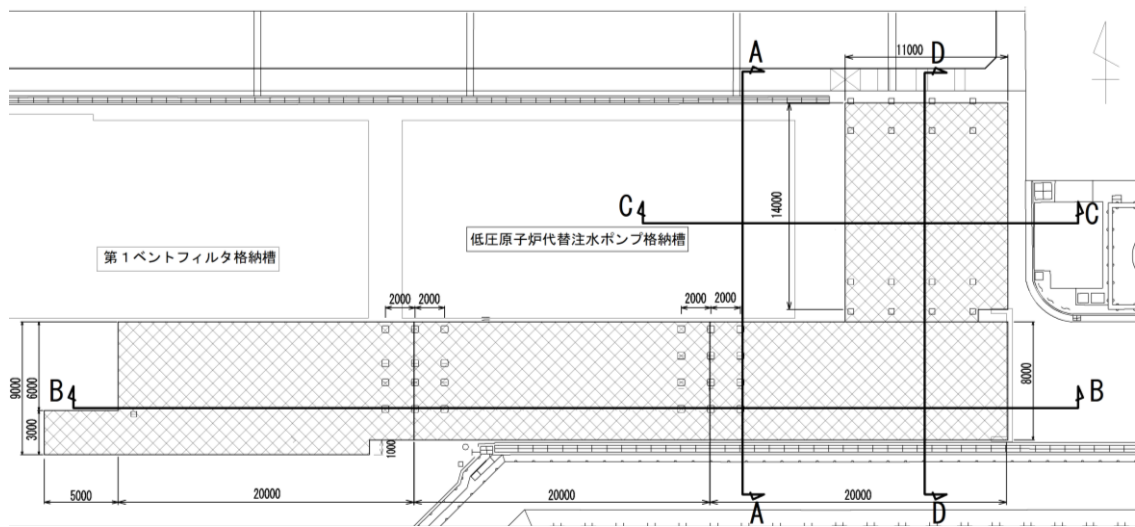


図 2-1 仮設耐震構台の設置位置

2.2 構造概要

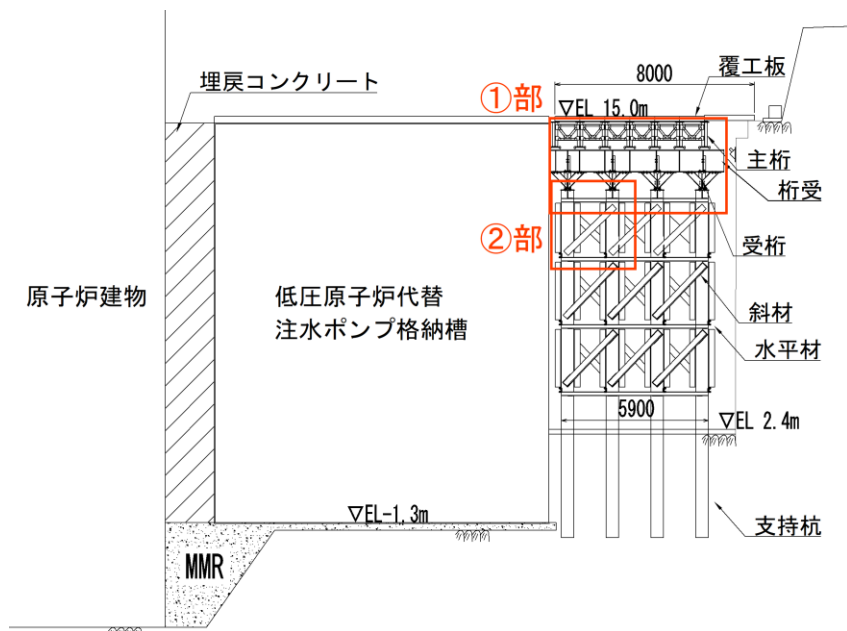
仮設耐震構台の平面規模は、南側長辺方向で約 65m、短辺方向で約 9m、北側長辺方向で約 14m、短辺方向で約 11m であり、主桁、桁受、受桁、水平材、斜材及び支持杭により構成され、主桁に締結された覆工板による床面を有する鉄骨構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤及びマンメイドロック（以下「MMR」という。）に設置されている。

仮設耐震構台の概略平面図を図 2-2 に、仮設耐震構台の概略断面図を図 2-3 に、仮設耐震構台と各上位クラス施設との離隔距離一覧を表 2-1 に示す。



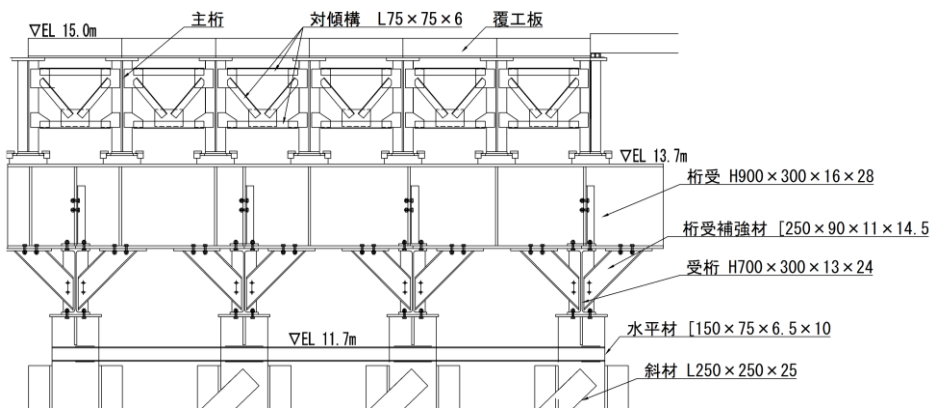
(単位：mm)

図 2-2 仮設耐震構台の概略平面図

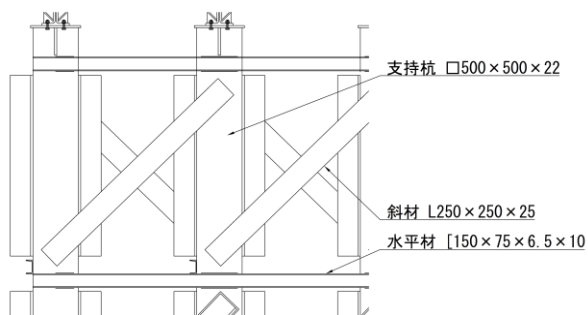


(単位 : mm)

(A-A断面 (南北方向))

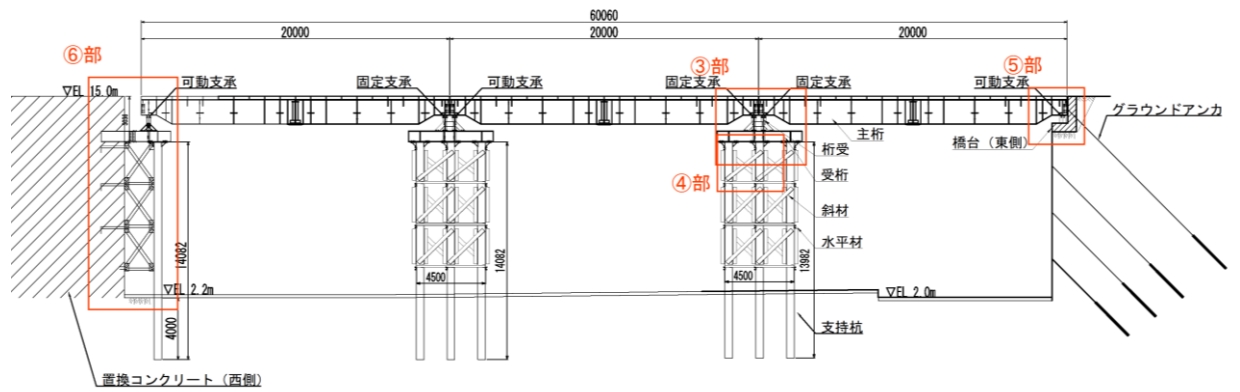


(A-A断面 ①部)



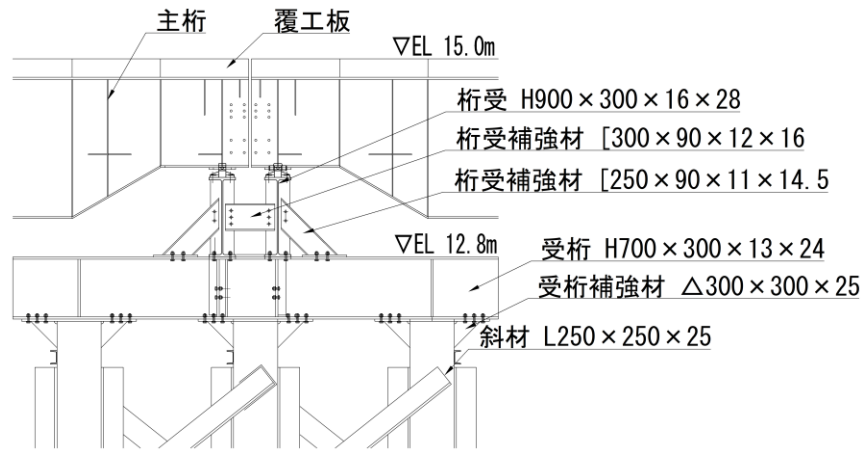
(A-A断面 ②部)

図 2-3 仮設耐震構台の概略断面図 (1/5)

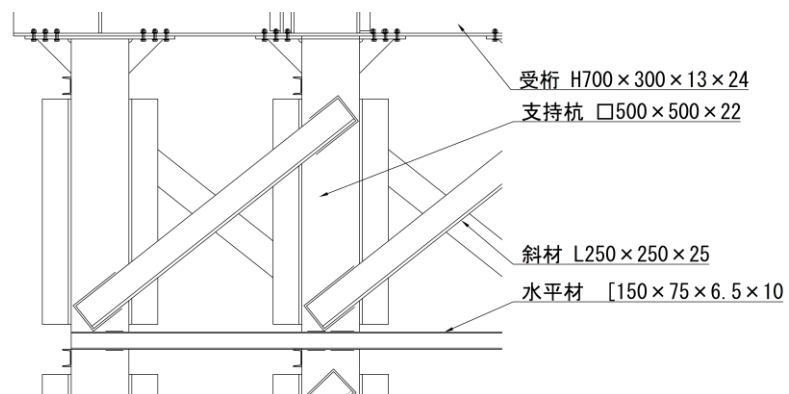


(単位 : mm)

(B-B断面 (東西方向))

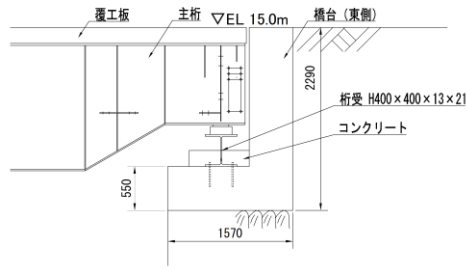


(B-B断面 ③部)



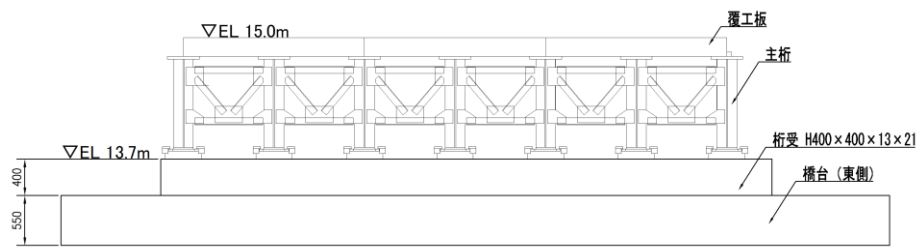
(B-B断面 ④部)

図 2-3 仮設耐震構台の概略断面図 (2/5)



(単位 : mm)

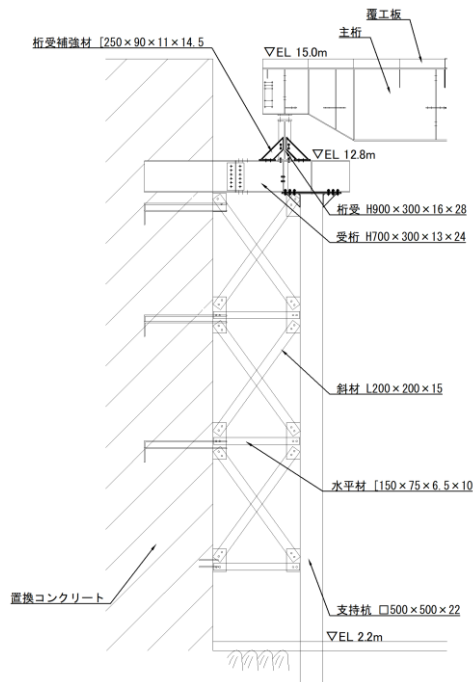
(断面図)



(単位 : mm)

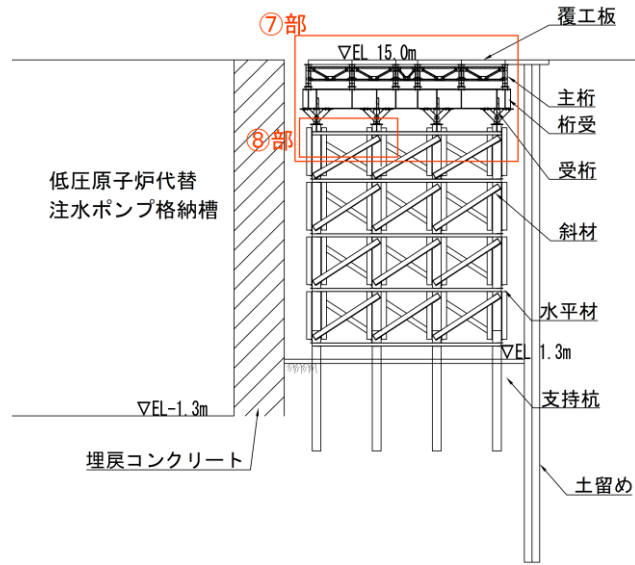
(正面図)

(B-B断面 ⑤部 (橋台 (東側)))

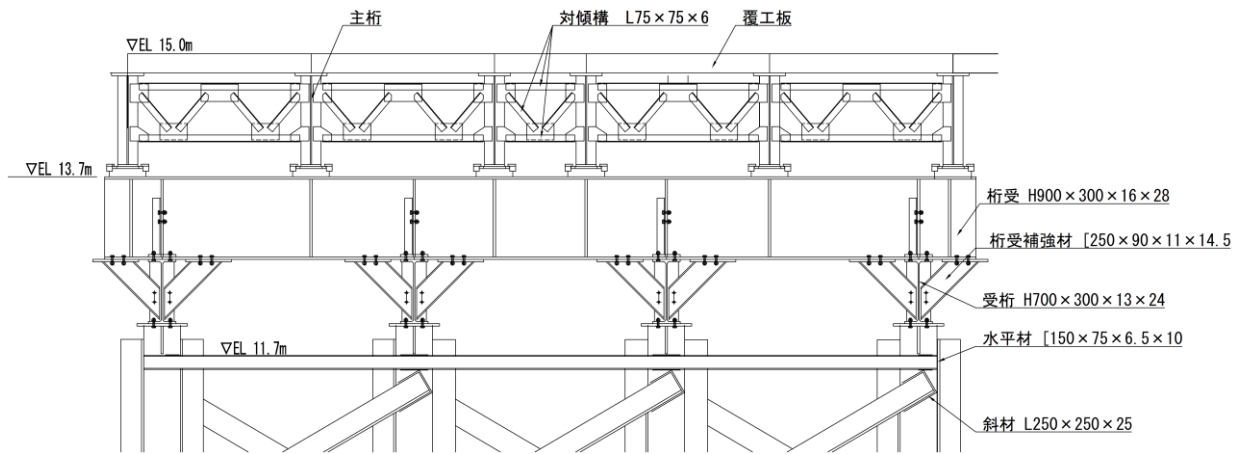


(B-B断面 ⑥部 (置換コンクリート (西側)))

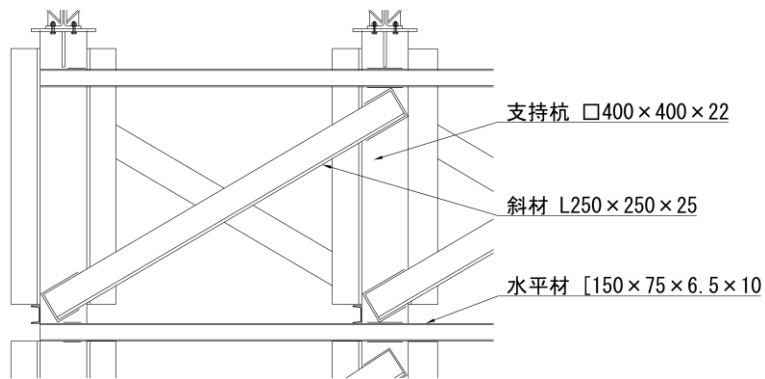
図 2-3 仮設耐震構台の概略断面図 (3/5)



(C-C断面 (東西方向))

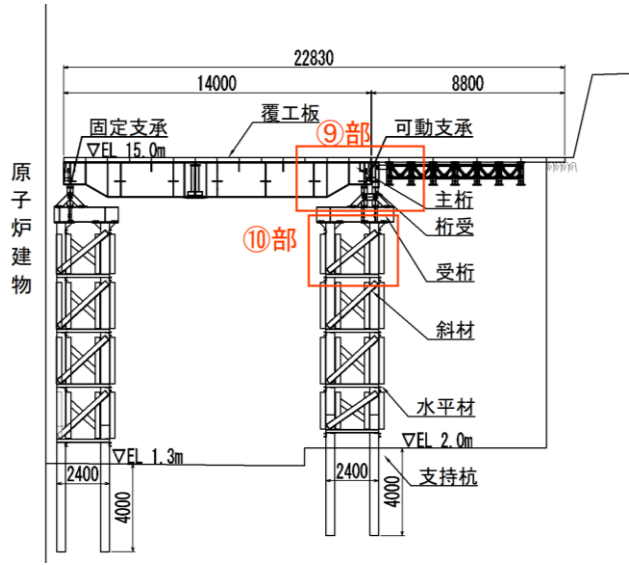


(C-C断面 ⑦部)



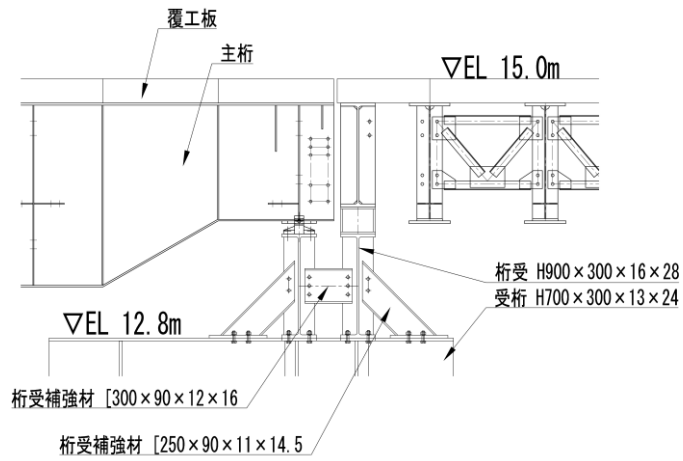
(C-C断面 ⑧部)

図 2-3 仮設耐震構台の概略断面図 (4/5)

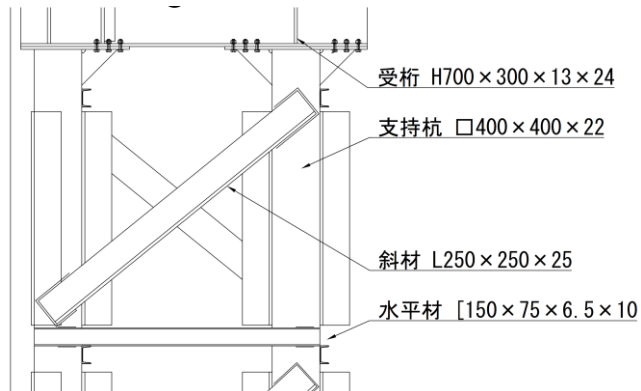


(単位 : mm)

(D-D断面 (南北方向))



(D-D断面 ⑨部)



(D-D断面 ⑩部)

図 2-3 仮設耐震構台の概略断面図 (5/5)

表 2-1 仮設耐震構台と各上位クラス施設との離隔距離一覧

上位クラス施設	離隔距離 (mm)
2号機原子炉建物	200
第1ベントフィルタ格納槽	95
第1ベントフィルタ格納槽遮蔽	95
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	50

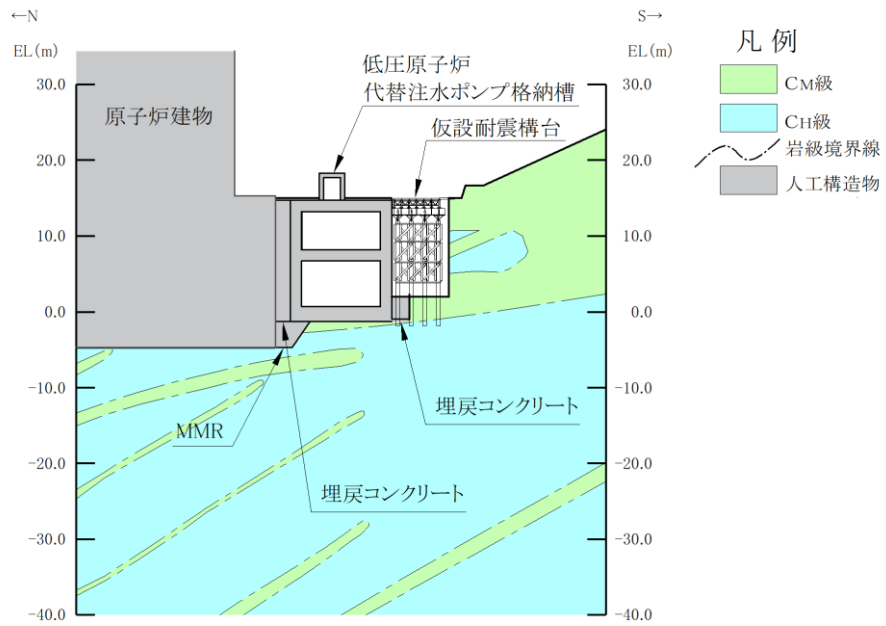
2.3 評価対象断面

評価対象断面は、施設の損傷及び転倒による影響と相対変位による影響、並びに屋外のアクセスルートへの影響を評価する観点から、橋軸直交方向及び橋軸方向からそれぞれ断面を選定する。

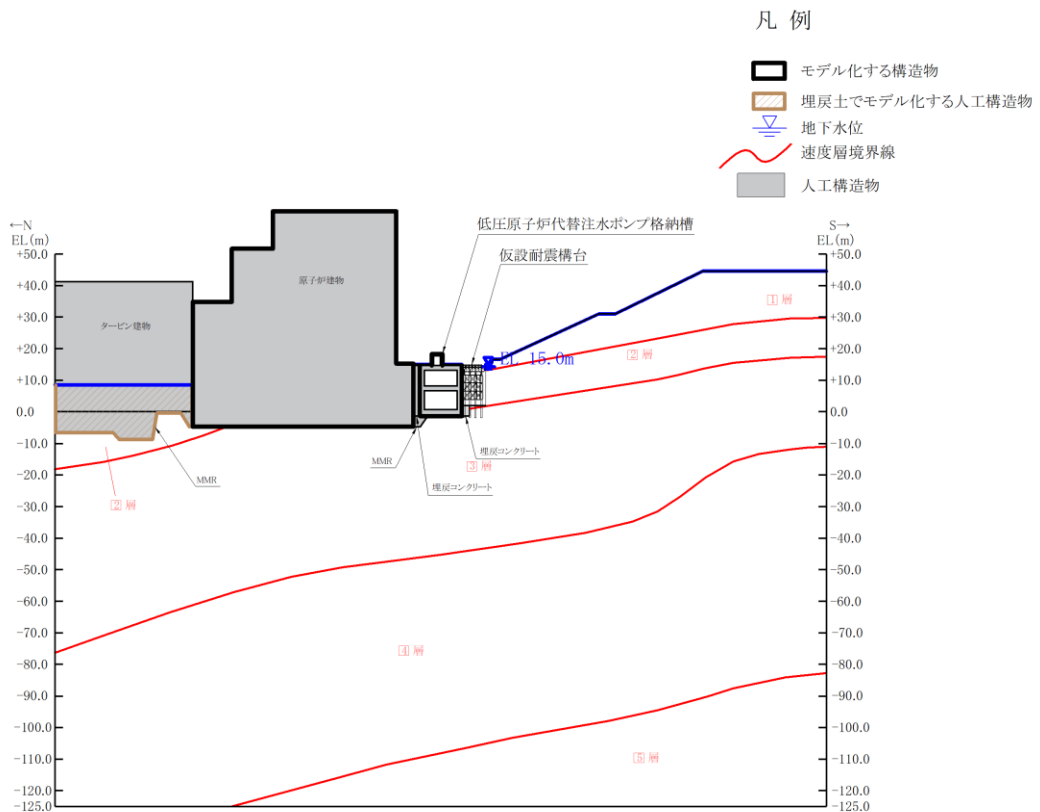
橋軸直交方向の評価にあたっては、主桁のスパン長が 20m の区間（A－A 断面）と A－A 断面側に対して主桁の縁が切れている 14m の区間（C－C 断面）のうちスパン長が長く、橋脚がより大きな荷重を分担する区間である A－A 断面を評価対象断面とする。

橋軸方向の評価にあたっては、主桁のスパン長が 20m の区間（B－B 断面）と B－B 断面側に対して主桁の縁が切れている 14m の区間（D－D 断面）のうちスパン長が長く、橋脚がより大きな荷重を分担する区間である B－B 断面を評価対象断面とする。

仮設耐震構台の評価対象断面図を図 2-4 に示す。



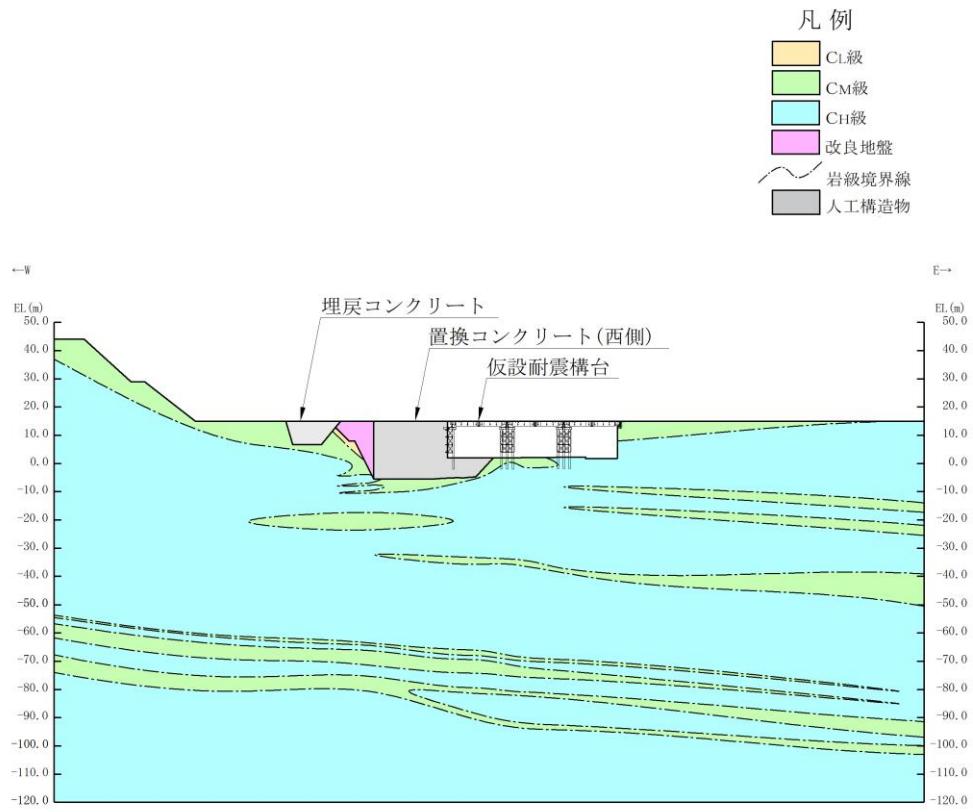
(岩級図)



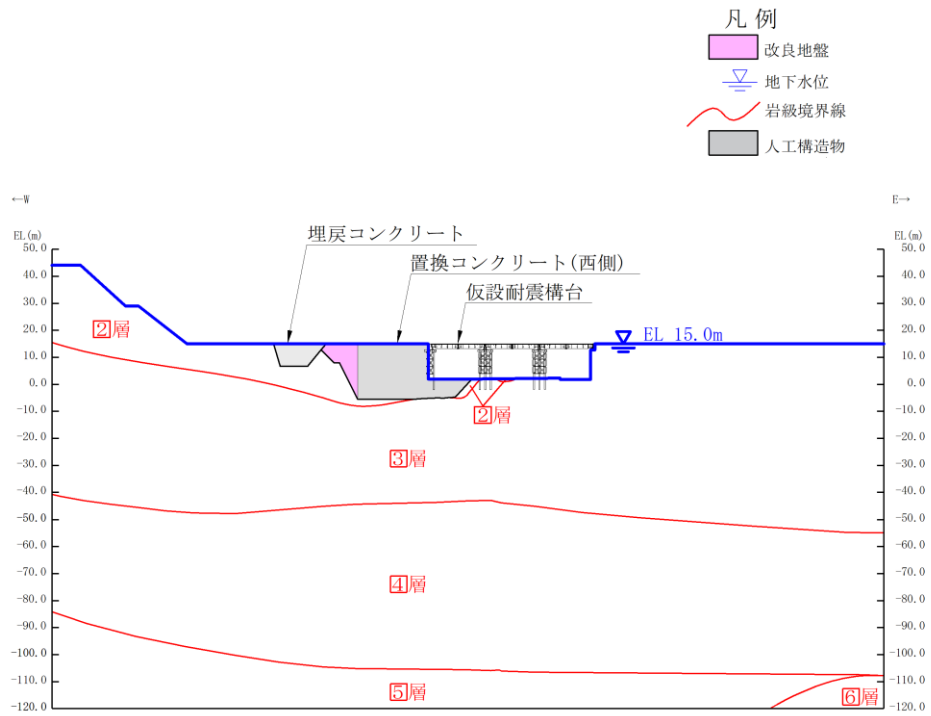
(速度層図)

注：桁受，受桁，水平材，斜材及び支持杭は投影

図 2-4 (1) 評価対象断面図 (A-A断面 (南北方向))



(岩級図)



(速度層図)

図 2-4 (2) 評価対象断面図 (B-B 断面 (東西方向))

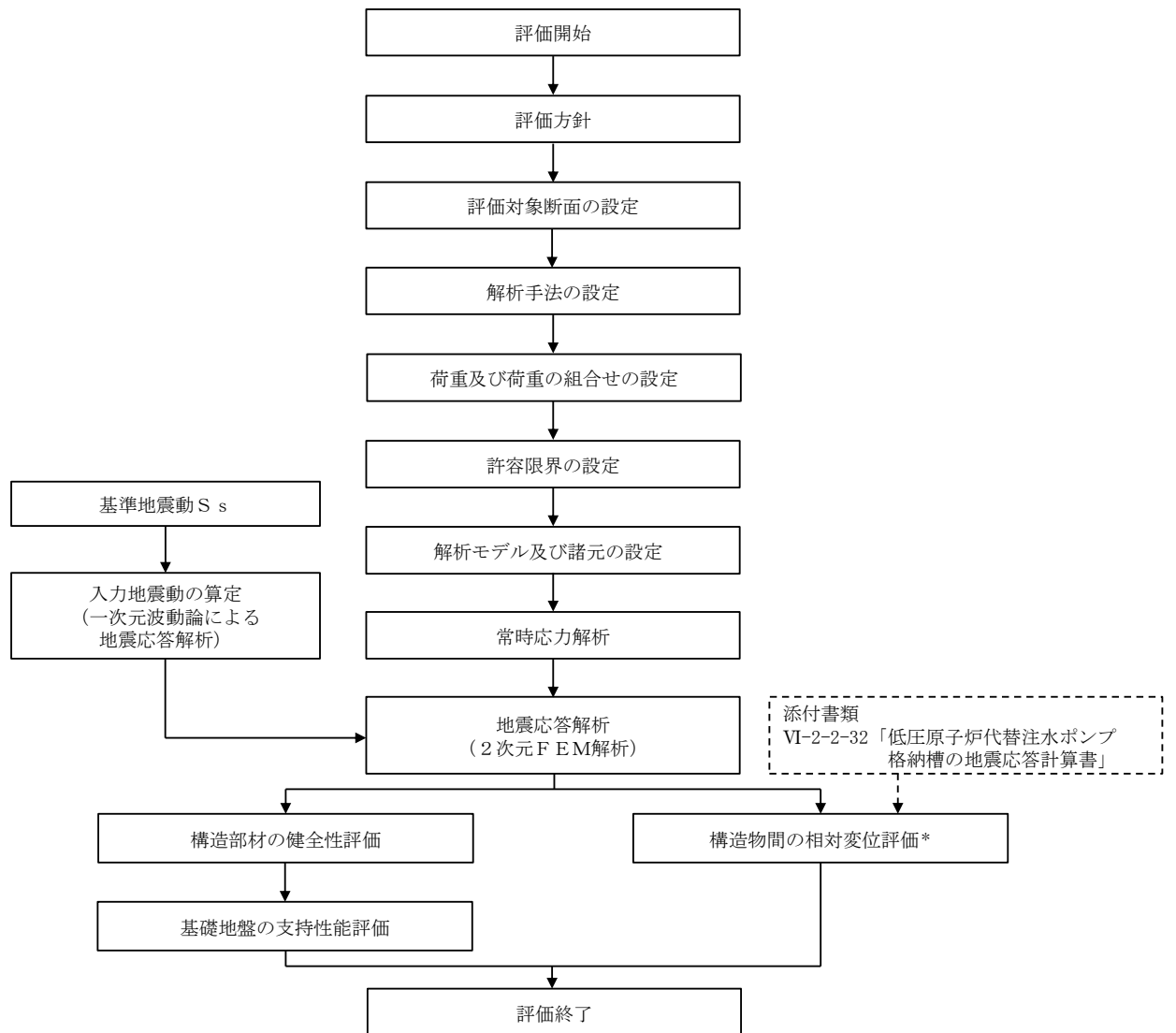
2.4 耐震評価方針

仮設耐震構台の上位クラス施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価を行う。仮設耐震構台の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷及び転倒による影響では、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造物間の相対変位による影響では、2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽のうち、仮設耐震構台との離隔距離が最小となる低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽を対象とし、相対変位による評価を行うことで、衝突の有無の確認を行う。

この相対変位による評価では、仮設耐震構台の最大応答変位に加えて、VI-2-2-32「低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルにより算出される最大応答変位を用いる。

仮設耐震構台の波及的影響の評価フローを図2-5に示す。



注記*：波及的影響の評価においてのみ実施する。

図 2-5 仮設耐震構台の波及的影響の評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）
- ・道路土工 仮設構造物指針（（社）日本道路協会，平成11年3月）
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書 [設計編]（（社）土木学会，2017年制定）
- ・コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編]（（社）土木学会，2013年制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・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（（社）土木学会，2005年）

3. 評価方法

3.1 評価方針

仮設耐震構台の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造部材の健全性評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる評価対象部位の曲げ軸力及びせん断力が、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（社）日本道路協会，平成24年3月）」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

基礎地盤の支持性能評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる接地圧が、仮設耐震構台の設置地盤における許容限界を超えないことを確認する。基礎地盤に発生する接地圧の算定にあたっては、支持杭の根固めコンクリートの接地面積を考慮することから、支持杭の鉛直下向き荷重により支持杭と根固めコンクリートの間に発生する周面摩擦力が許容限界を超えないことを確認する。また、支持杭の引抜きについては、プレボーリング面と岩盤の間に発生する周面摩擦力が許容限界を超えないことを確認する。

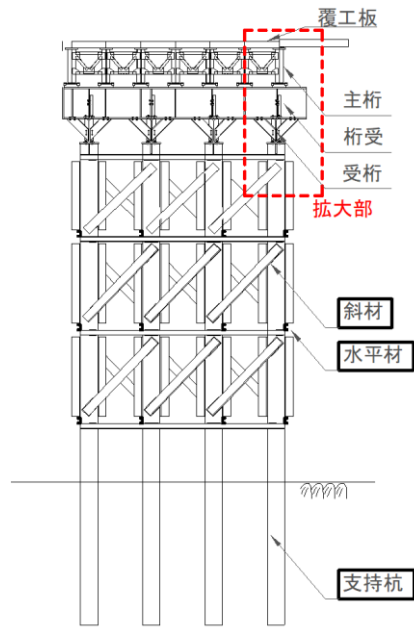
2号機原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽との相対変位による評価では，仮設耐震構台との離隔距離が最小となる低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽を対象とし，構造物の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と構造物間の離隔距離の大小関係により，衝突の有無を確認する。

3.2 評価対象部位

A-A断面（南北方向（橋軸直交方向））における主要な構造部材の評価対象部位は、水平材、斜材及び支持杭とし、連結・結合部の評価対象部位は、支承部（沓座）、固定ボルト（支承部－桁受）、固定ボルト（受桁－支持杭）、溶接部（水平材－支持杭）、及び溶接部（斜材－支持杭）とする。なお、主要な構造部材のうち主桁、桁受及び受桁は、主桁間がスパン長の短い横構及び対傾構によりトラス構造となっていること、及び桁受と受桁間がスパン長の短い補強材によりトラス構造となっていることから、評価対象部位と比較し、十分に剛な構造とみなすことができるため、剛はり要素としてモデル化する。

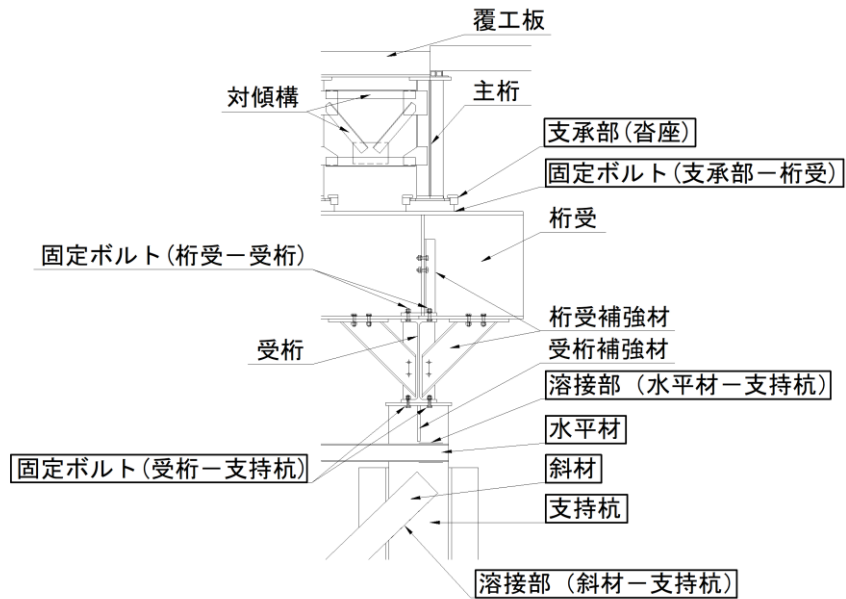
B-B断面（東西方向（橋軸方向））における主要な構造部材の評価対象部位は、主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭とし、連結・結合部の評価対象部位は、支承部（ソールプレート）、固定ボルト（支承部－桁受）、固定ボルト（桁受－受桁）、固定ボルト（受桁－支持杭）、溶接部（水平材－支持杭）、及び溶接部（斜材－支持杭）とする。また、仮設耐震構台東側の橋台及び西側の置換コンクリートについても評価対象とする。なお、主要な構造部材のうち桁受は、橋軸直交方向を長手方向として設置しており、橋軸方向断面の変形に対して十分に剛な構造とみなすことができるため、剛はり要素としてモデル化する。

仮設耐震構台の評価対象部位を図3-1に示す。



: 評価対象部位

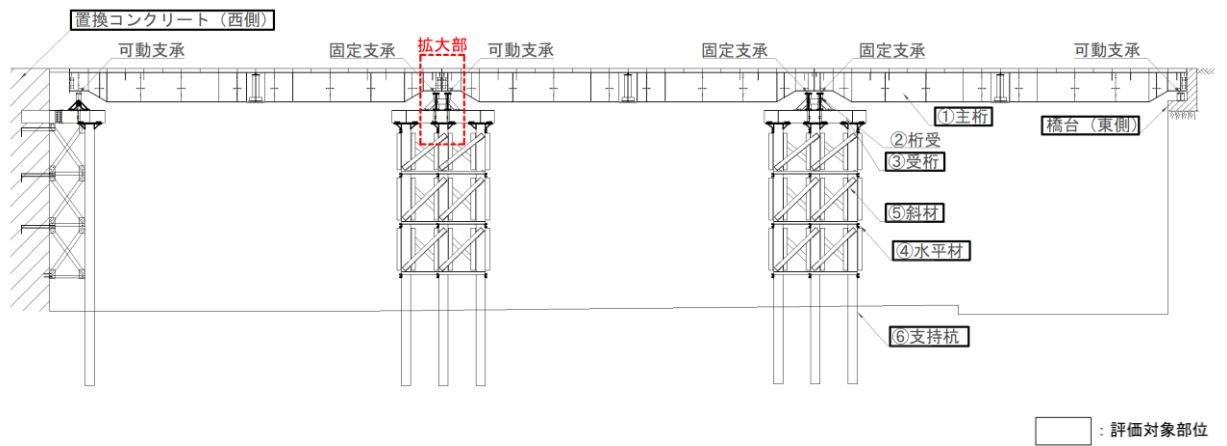
(A-A断面 (南北方向 (橋軸直交方向)))



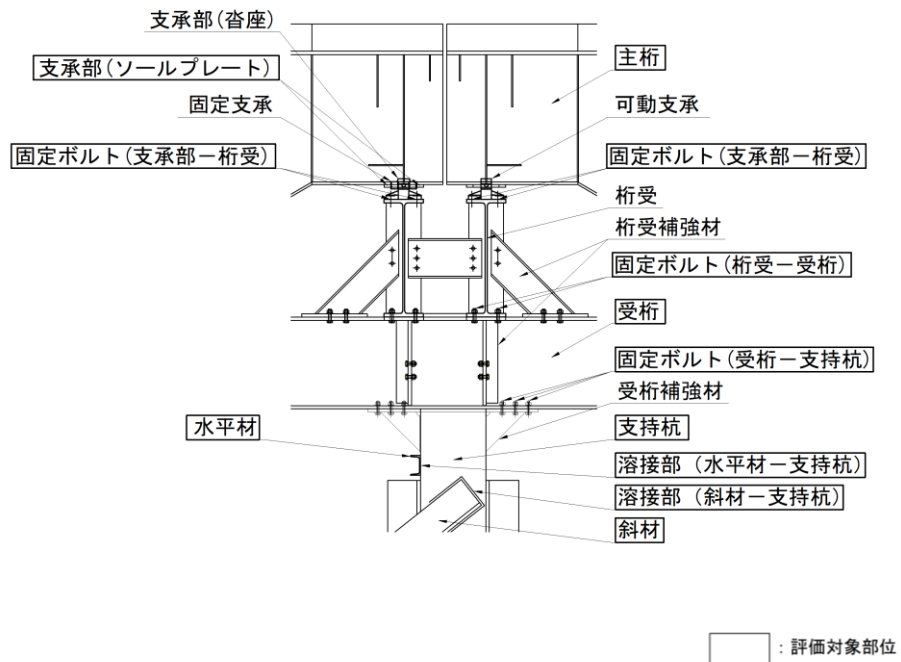
: 評価対象部位

(A-A断面 (拡大部))

図 3-1 仮設耐震構台の評価対象部位 (1/2)



(B - B 断面 (東西方向 (橋軸方向)))



(B - B 断面 (拡大部))

図 3-1 仮設耐震構台の評価対象部位 (2/2)

3.3 解析方法

地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。仮設耐震構台周辺の設計地下水位は仮設耐震構台の支持杭下端より高いが仮設耐震構台周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析には、解析コード「TDAP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 地盤物性

地震応答解析に用いる埋戻土及び岩盤の物性値は、平均値を用いる。解析ケースを表3-1に示す。

表3-1 解析ケース

解析ケース	埋戻土	岩盤
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値

3.3.2 減衰定数

固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

評価対象断面	α	β
A-A 断面 (南北方向)	6.5071×10^{-1}	1.1093×10^{-3}
B-B 断面 (東西方向)	6.9780×10^{-1}	1.1489×10^{-3}

3.3.3 地震応答解析の解析ケースの選定

仮設耐震構台は地上構造物であり、水平方向の慣性力による影響が支配的であるため、鉛直動の位相反転の影響は軽微である。

また、A-A断面（南北方向）及びB-B断面（東西方向）の橋台等を除いた範囲において、おおむね左右対称の構造物であることから、水平動の位相反転の影響も軽微である。

以上を踏まえ、耐震評価における解析ケースは、表3-3のとおり、基準地震動S_s全波（6波）とする。

表3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	S _s -D	++*	○
	S _s -F1	++*	○
	S _s -F2	++*	○
	S _s -N1	++*	○
	S _s -N2 (NS)	++*	○
	S _s -N2 (EW)	++*	○

注記*：地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

3.4 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.4.1 荷重

仮設耐震構台の地震応答解析において，考慮する荷重を以下に示す。なお，仮設耐震構台は，近傍に2号機原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽が設置されており，地表面より下に設置されていることから，風荷重を考慮しない。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として，躯体自重を考慮する。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として，発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については，「松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日，松江市規則第234号）」により，積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P _s + S _s

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動S_s)

3.5 許容限界

仮設耐震構台の2号機原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に対する評価における許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界を表3-5に示す。

表 3-5 仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界 (1/4)

機能設計上の性能目標	地震力	断面	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさないこと並びに屋外のアクセスルートを確認すること	基準地震動 S s	A-A断面 (南北方向)	水平材，斜材及び支持杭	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度 別途算出*1
					短期許容せん断応力度*2 120N/mm ²
			支承部（沓座）	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度*2 255N/mm ²
					短期許容せん断応力度*2 150N/mm ²
			固定ボルト（支承部一桁受）	発生する応力（せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*2 135N/mm ²
			固定ボルト（受桁一支持杭）	発生する応力（せん断力，引張力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*2 285N/mm ²
短期許容引張力*2 277kN					
溶接部（水平材一支持杭）（斜材一支持杭）	発生する応力（せん断力，曲げ軸力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*2 96N/mm ²			

注記*1：「3.5.1 主桁，受桁，水平材斜材及び支持杭に対する許容限界」に示す。

*2：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

表 3-5 仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界 (2/4)

機能設計上の性能目標	地震力	断面	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさないこと並びに屋外のアクセスルートを確認すること	基準地震動 S s	A-A断面 (南北方向)	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を超えないことを確認	極限支持力度*1 9.8N/mm ²
				鉛直下向きに発生する周面摩擦力が許容限界を超えないことを確認	短期許容付着応力度*2 1.05N/mm ²
				発生する引抜き周面摩擦力が許容限界を超えないことを確認	極限周面摩擦力度*1 0.92N/mm ²
			仮設耐震構台及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	構造物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	離隔距離*3 50mm

注記*1：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」

*2：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）

*3：原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽のうち，仮設耐震構台との離隔距離が最小となる，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽との離隔距離を許容限界とする。

表 3-5 仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界 (3/4)

機能設計上の性能目標	地震力	断面	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建物， 第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさないこと並びに屋外のアクセスルートを確認すること	基準地震動 S s	B-B断面 (東西方向)	主桁	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度*1 276N/mm ²
					短期許容曲げ引張応力度*1 315N/mm ²
					短期許容せん断応力度*1 180N/mm ²
			受桁，水平材，斜材及び支持杭	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度 別途算出*2
					短期許容せん断応力度*1 120N/mm ²
			支承部 (ソールプレート)	発生する応力（せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*1 120N/mm ²
			固定ボルト (支承部-桁受)	発生する応力（せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*1 135N/mm ²
			固定ボルト (桁受-受桁) (受桁-支持杭)	発生する応力（せん断力，引張力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*1 285N/mm ²
					短期許容引張力*1 277kN
			溶接部 (水平材-支持杭) (斜材-支持杭)	発生する応力（せん断力，曲げ軸力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容せん断応力度*1 96N/mm ²

注記*1：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

*2：「3.5.1 主桁，受桁，水平材斜材及び支持杭に対する許容限界」に示す。

表 3-5 仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界 (4/4)

機能設計上の性能目標	地震力	断面	部位		機能維持のための考え方	許容限界	
原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさないこと並びに屋外のアクセスルートを確保すること	基準地震動 S s	B-B断面 (東西方向)	橋台 (東側)	コンクリート (側壁，底版)	発生する応力 (曲げ軸力，せん断力) が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度*1 13.5N/mm ²	
						短期許容せん断応力度*1 0.675N/mm ²	
				鉄筋 (側壁，底版)		短期許容曲げ引張応力度*1 294N/mm ²	
					置換コンクリート (西側)	発生する応力 (せん断力，引張力) が許容限界を超えないことを確認	せん断強度*2 3.6N/mm ²
				引張強度*2 1.57N/mm ²			
					基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を超えないことを確認	極限支持力度*3 9.8N/mm ²
				鉛直下向きに発生する周面摩擦力が許容限界を超えないことを確認			短期許容付着応力度*1 1.05N/mm ²
				発生する引抜き周面摩擦力が許容限界を超えないことを確認			極限周面摩擦力度*3 0.92N/mm ²

注記*1：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会，2002年制定)

*2：コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] ((社) 土木学会，2013年制定)

*3：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」

3.5.1 主桁，受桁，水平材，斜材及び支持杭に対する許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

a. 主桁

主桁の曲げ軸力に対する許容限界は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

主桁の曲げ軸力に対する許容限界を表3-6に示す。

表3-6 評価対象部位（主桁）の曲げ軸力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容曲げ圧縮応力度	276
短期許容曲げ引張応力度	315

b. 受桁，水平材，斜材及び支持杭

受桁，水平材，斜材及び支持杭の曲げ軸力に対する許容限界は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）」に基づき，以下の式にて算出する。

(a) 軸方向力が引張の場合

$$\sigma_t + \sigma_{bty} + \sigma_{btz} \leq \sigma_{ta}$$

$$-\frac{\sigma_t}{\sigma_{ta}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}} \leq 1$$

$$-\sigma_t + \sigma_{bcy} + \sigma_{bcz} \leq \sigma_{cal}$$

(b) 軸方向力が圧縮の場合

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}\alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}\alpha_z} \leq 1$$

$$\sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{\alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\alpha_z} \leq \sigma_{cal}$$

- σ_t, σ_c : それぞれ照査する断面に作用する軸方向力による引張及び圧縮応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{bty}, \sigma_{btz}$: それぞれ強軸及び弱軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ引張応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{bcy}, \sigma_{bcz}$: それぞれ強軸及び弱軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{ta} : 許容軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{caz} : 弱軸まわりの許容軸方向圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{bagy} : 局部座屈を考慮しない強軸まわりの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{bao} : 局部座屈を考慮しない許容曲げ圧縮応力度の上限値 (N/mm²)
- σ_{cal} : 局部座屈に対する許容応力度 (N/mm²)
- α_y, α_z : それぞれ強軸及び弱軸まわりの付加曲げモーメントの影響を考慮するための係数。ただし、有限変位理論によって断面力を算出する場合には 1 とする。
- $$\alpha_y = 1 - \frac{\sigma_c}{0.8\sigma_{ey}}$$
- $$\alpha_z = 1 - \frac{\sigma_c}{0.8\sigma_{ez}}$$
- σ_{ey}, σ_{ez} : それぞれ強軸及び弱軸まわりのオイラー座屈応力度 (N/mm²)
- $$\sigma_{ey} = \pi^2 E / (l/\gamma_y)^2$$
- $$\sigma_{ez} = \pi^2 E / (l/\gamma_z)^2$$
- l : 有効座屈長 (mm)
- γ_y, γ_z : それぞれ強軸及び弱軸まわりの断面二次半径 (mm)
- E : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

(2) せん断力に対する許容限界

a. 主桁

主桁のせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

主桁のせん断力に対する許容限界を表3-7に示す。

表3-7 評価対象部位（主桁）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	180

b. 受桁，水平材，斜材及び支持杭

受桁，水平材，斜材及び支持杭のせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

受桁，水平材，斜材及び支持杭のせん断力に対する許容限界を表3-8に示す。

表3-8 評価対象部位（受桁，水平材，斜材及び支持杭）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	120

3.5.2 支承部に対する許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

a. 沓座

沓座の曲げ軸力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

沓座の曲げ軸力に対する許容限界を表3-9に示す。

表3-9 評価対象部位（沓座）の曲げ軸力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容曲げ応力度	255

(2) せん断力に対する許容限界

a. 沓座

沓座のせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

沓座のせん断力に対する許容限界を表3-10に示す。

表3-10 評価対象部位（沓座）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	150

b. ソールプレート

ソールプレートのせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

ソールプレートのせん断力に対する許容限界を表3-11に示す。

表3-11 評価対象部位（ソールプレート）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	120

3.5.3 固定ボルトに対する許容限界

(1) せん断力に対する許容限界

固定ボルトのせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

固定ボルトのせん断力に対する許容限界を表3-12に示す。

表3-12 評価対象部位（固定ボルト）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度 (普通ボルト (4.8))	135
短期許容せん断応力度 (高力ボルト (10T))	285

(2) 引張力に対する許容限界

固定ボルトの引張力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき設定する。

固定ボルトの引張力に対する許容限界を表3-13に示す。

表3-13 評価対象部位（固定ボルト）の引張力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (kN)
短期許容引張力	277

3.5.4 溶接部に対する許容限界

溶接部は、すみ肉溶接のため、溶接部に発生する応力はすべてせん断応力とみなす。また、現地溶接による仮設構造物であるため、「道路土工 仮設構造物指針（（社）日本道路協会，平成 11 年 3 月）」に基づき、許容応力度を母材の 80% とする。

溶接部のせん断力に対する許容限界を表 3-14 に示す。

表 3-14 評価対象部位（溶接部）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	96

3.5.5 橋台（東側）に対する許容限界

橋台（東側）の許容限界については、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき、表 3-15 のとおり設定する。短期許容せん断力は、表 3-15 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定する。

$$V_a = V_c + V_s$$

ここで、

V_a : 短期許容せん断力

V_c : コンクリートが分担するせん断力

V_s : せん断補強鉄筋が分担するせん断力

$$V_c = \frac{1}{2} \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$$

ここで、

τ_{a1} : コンクリートの短期許容せん断応力度

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_c = \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$

$$V_s = \{A_w \sigma'_{sa} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z$$

ここで、

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

σ'_{sa} : 鉄筋の短期許容引張応力度

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_s=0$

表 3-15 橋台（東側）に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
コンクリート $f'_{ck}=24$ (N/mm ²)	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	13.5
	短期許容せん断応力度 τ_{al}	0.675
鉄筋 SD345	短期許容引張応力度 σ_{sa}	294

3.5.6 置換コンクリート（西側）に対する許容限界

置換コンクリート（西側）の許容限界については、「コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編]」（（社）土木学会，2013年制定）」及び「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表 3-16 のとおり設定する。

表 3-16 置換コンクリート（西側）に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
置換コンクリート $f'_{ck}=18$ (N/mm ²)	せん断強度* ¹	3.6
	引張強度* ²	1.57

注記*1：コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編]（（社）土木学会，2013年制定）

*2：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

3.5.7 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤に発生する接地圧の算定にあたっては、支持杭の根固めコンクリートの接地面積を考慮することから、支持杭と根固めコンクリートが一体化していることを確認する。支持杭の鉛直下向き荷重により支持杭と根固めコンクリートの間に発生する周面摩擦力に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に示されるコンクリートと丸鋼の許容付着応力度に基づき設定する。

また、支持杭の引抜きについては、根固めコンクリートと岩盤の間に発生する周面摩擦力に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき極限周面摩擦力度を設定する。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表3-17に示す。

表3-17 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8
短期許容付着応力度	支持杭－根固め コンクリート	1.05
極限周面摩擦力度	C _M 級岩盤（頁岩）	0.92

3.5.8 構造物間の相対変位に対する許容限界

構造物間の相対変位に対する許容限界は、仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の離隔距離とする。

構造物間の相対変位に対する許容限界を表3-18に示す。

表3-18 構造物間の相対変位に対する許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
構造物間の離隔距離 (仮設耐震構台と低圧原子炉 代替注水ポンプ格納槽)	50

3.6 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により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。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動算定の概念図を図3-2に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図3-3～図3-16に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」を使用する。

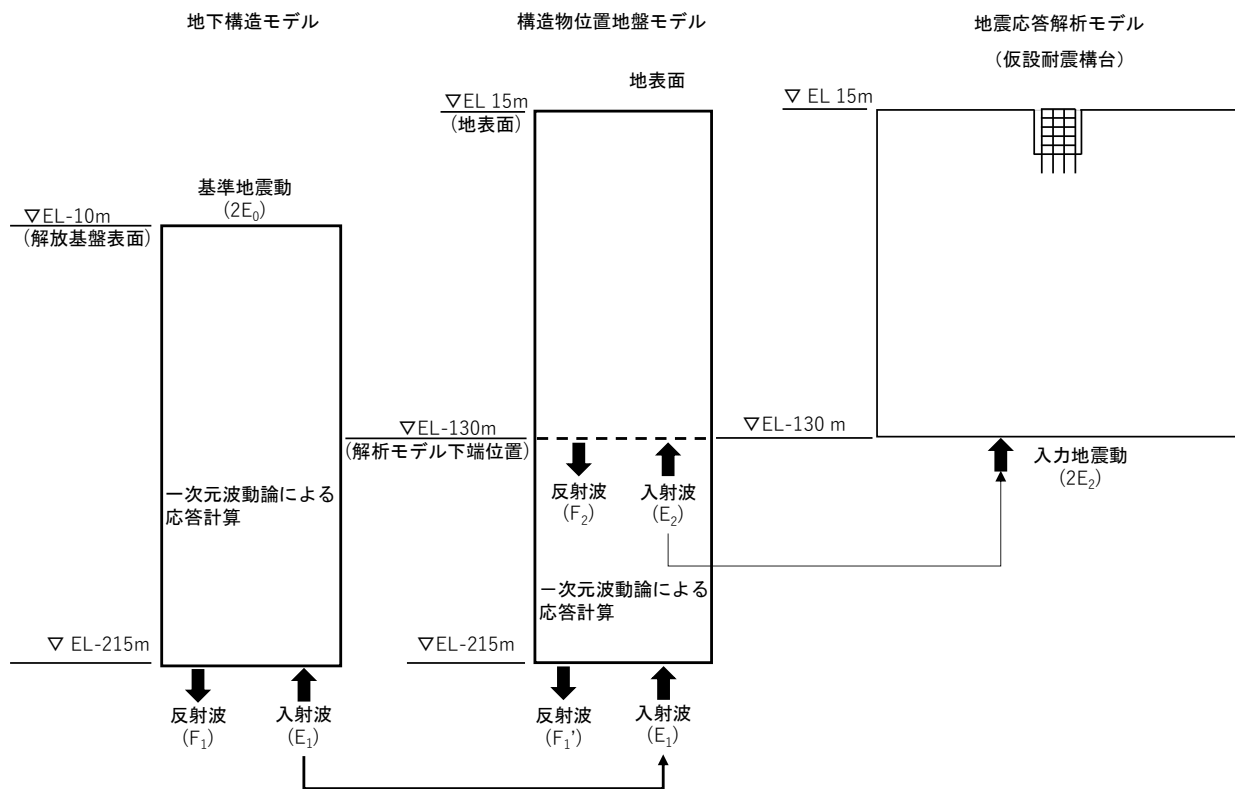
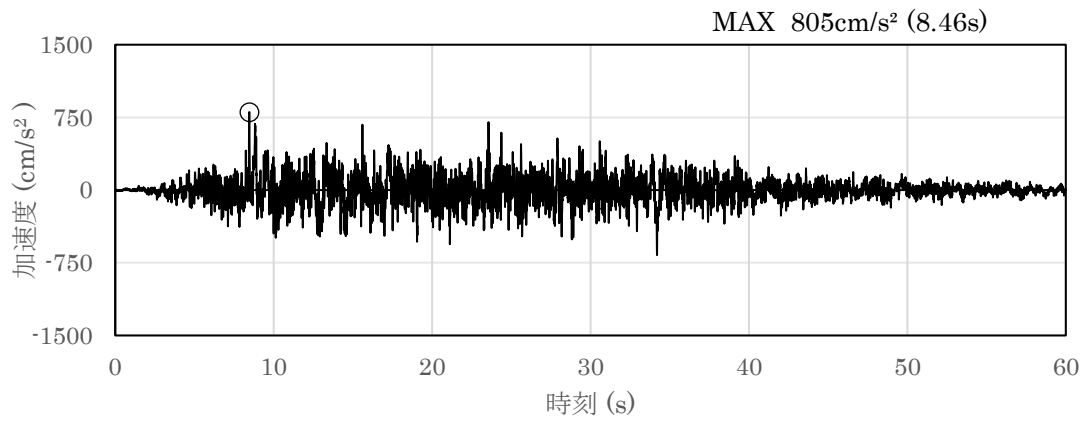
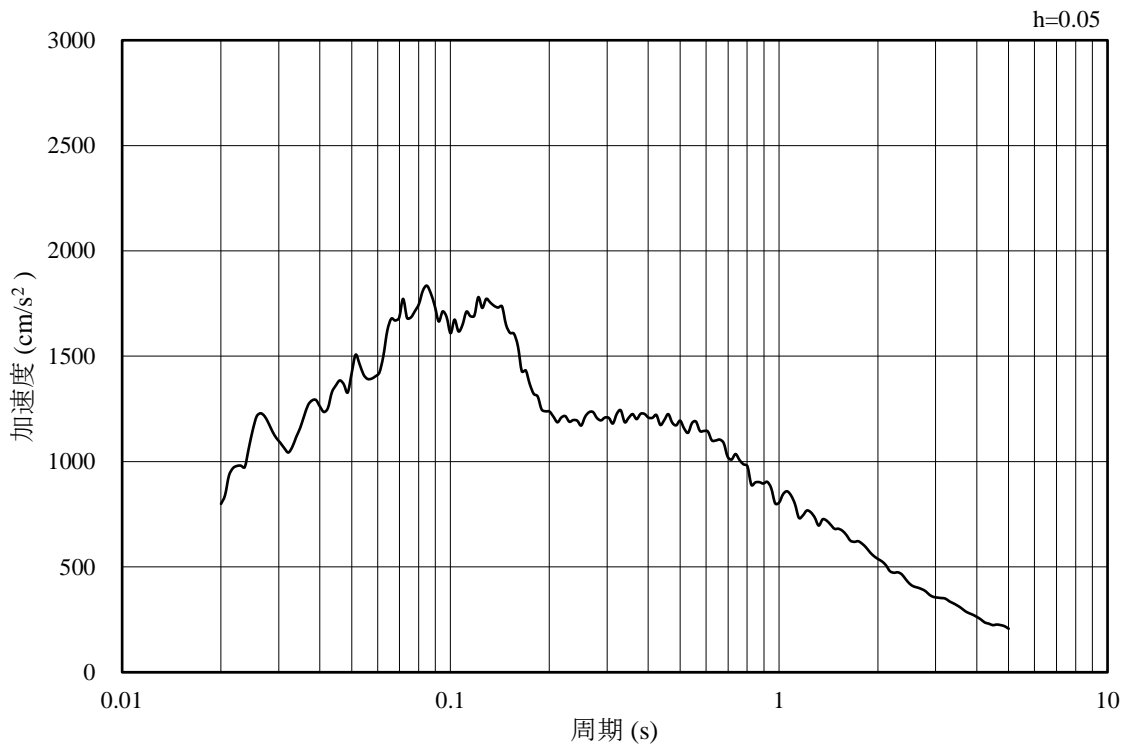


図3-2 入力地震動算定の概念図

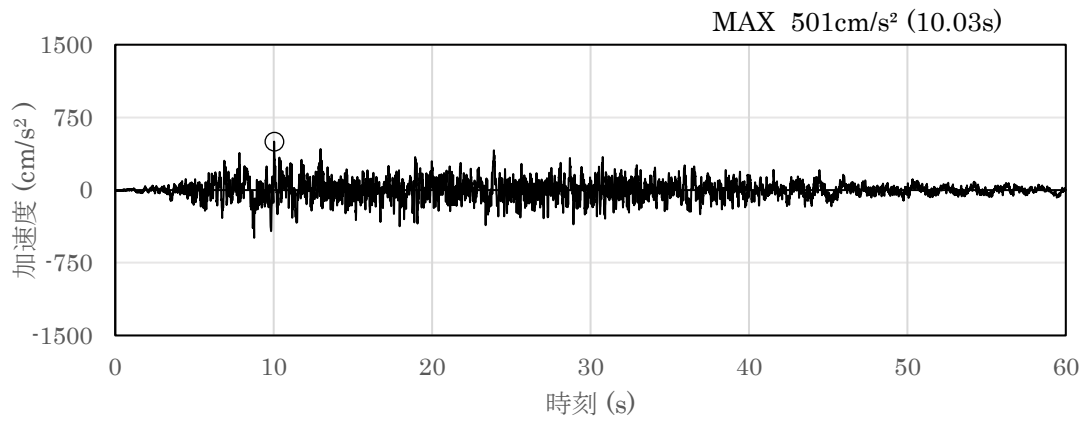


(a) 加速度時刻歴波形

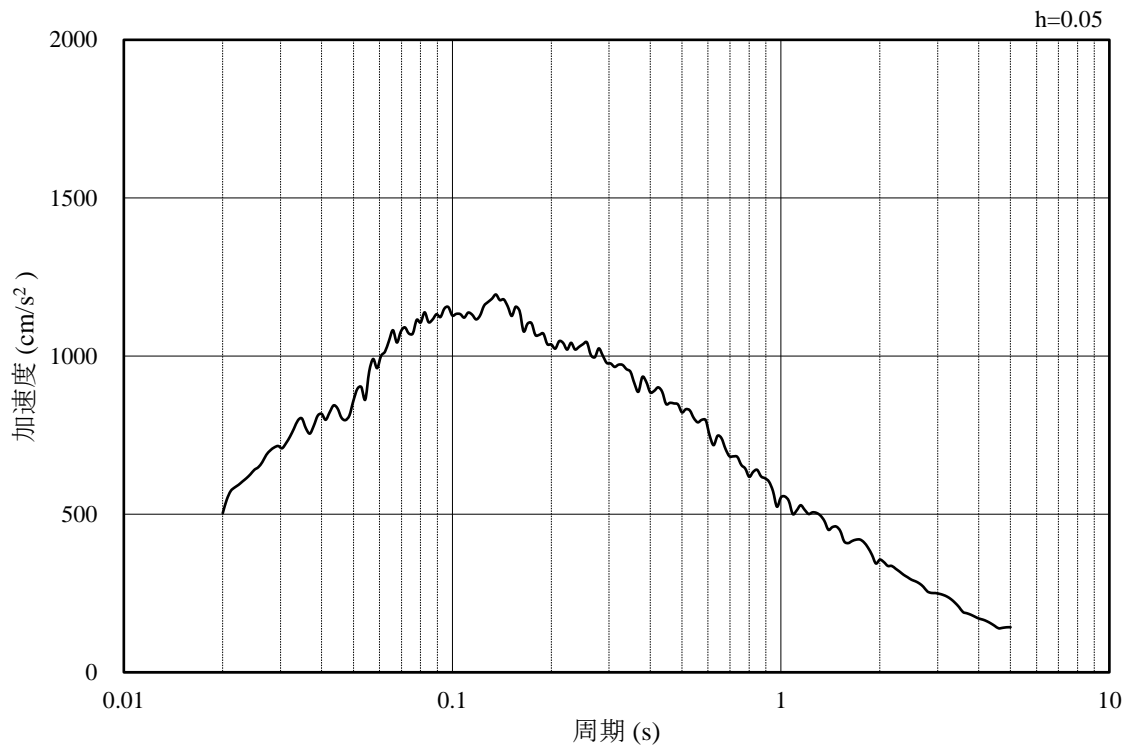


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-3 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D, EL-130m)

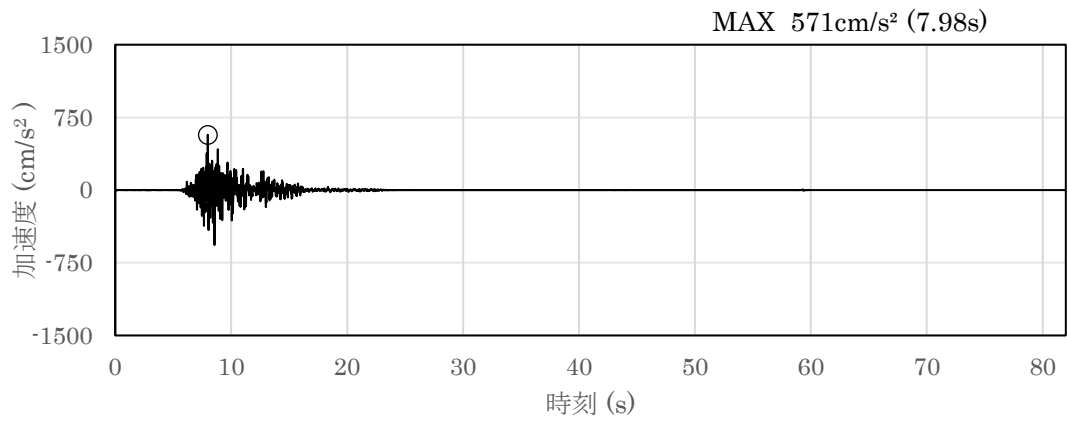


(a) 加速度時刻歴波形

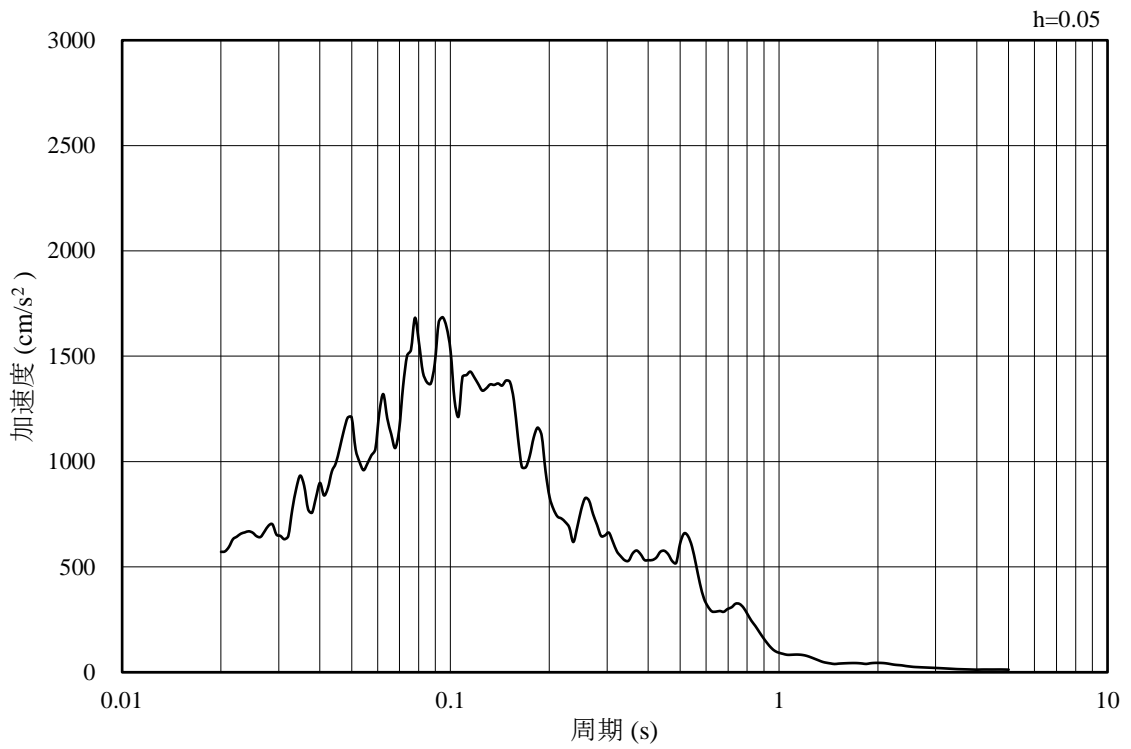


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D, EL-130m)

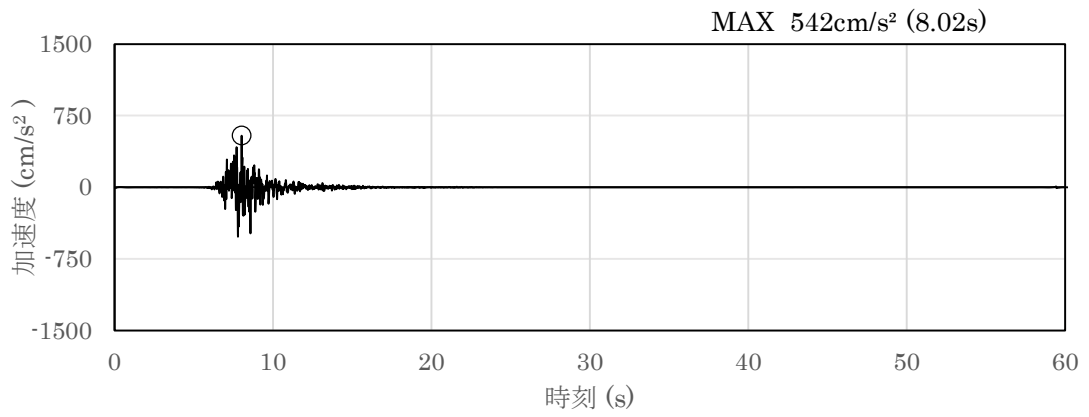


(a) 加速度時刻歴波形

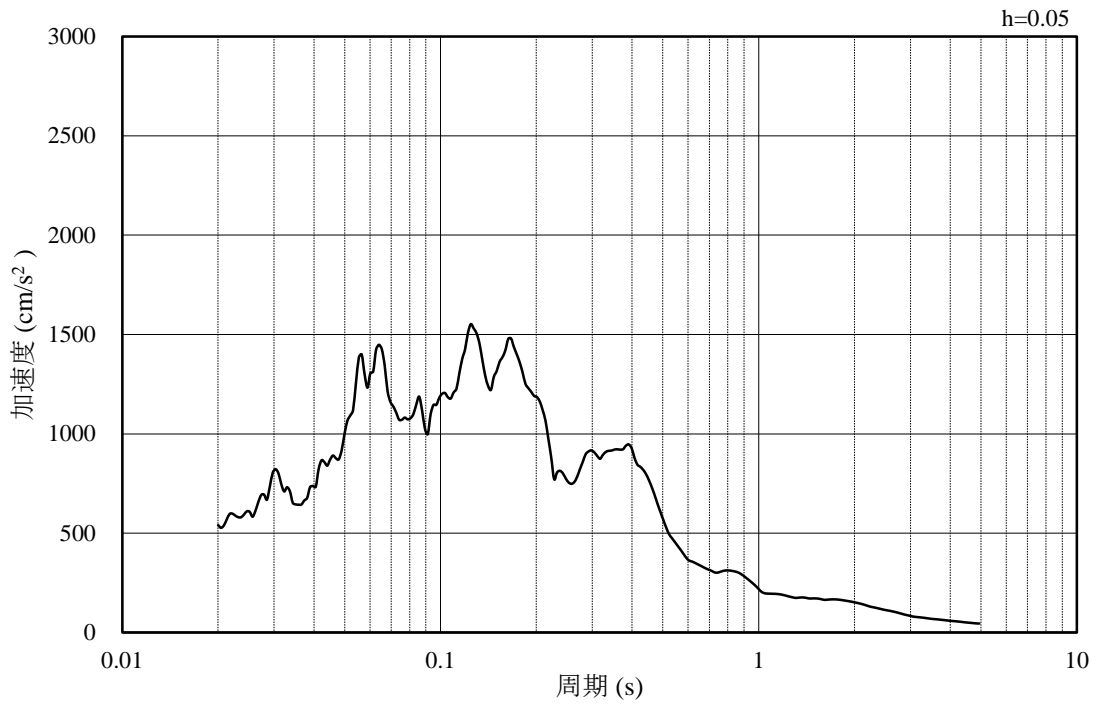


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1 (南北方向), EL-130m)

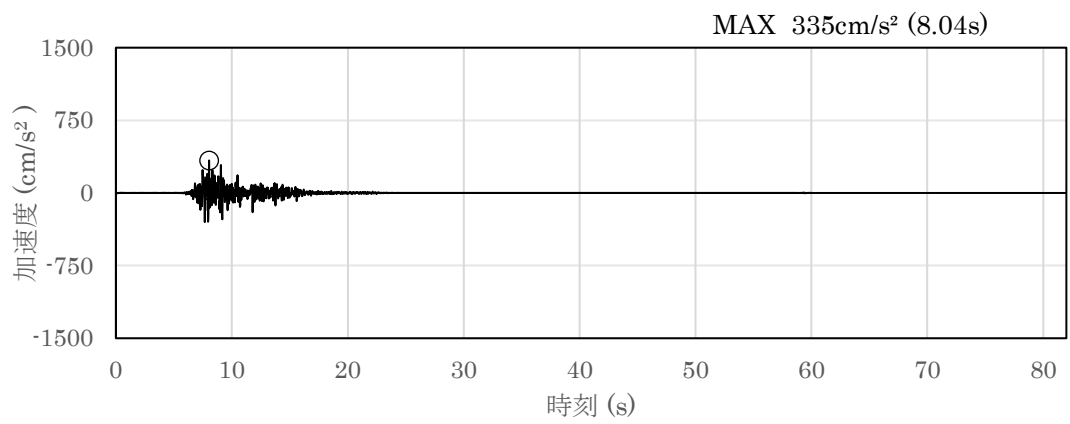


(a) 加速度時刻歴波形

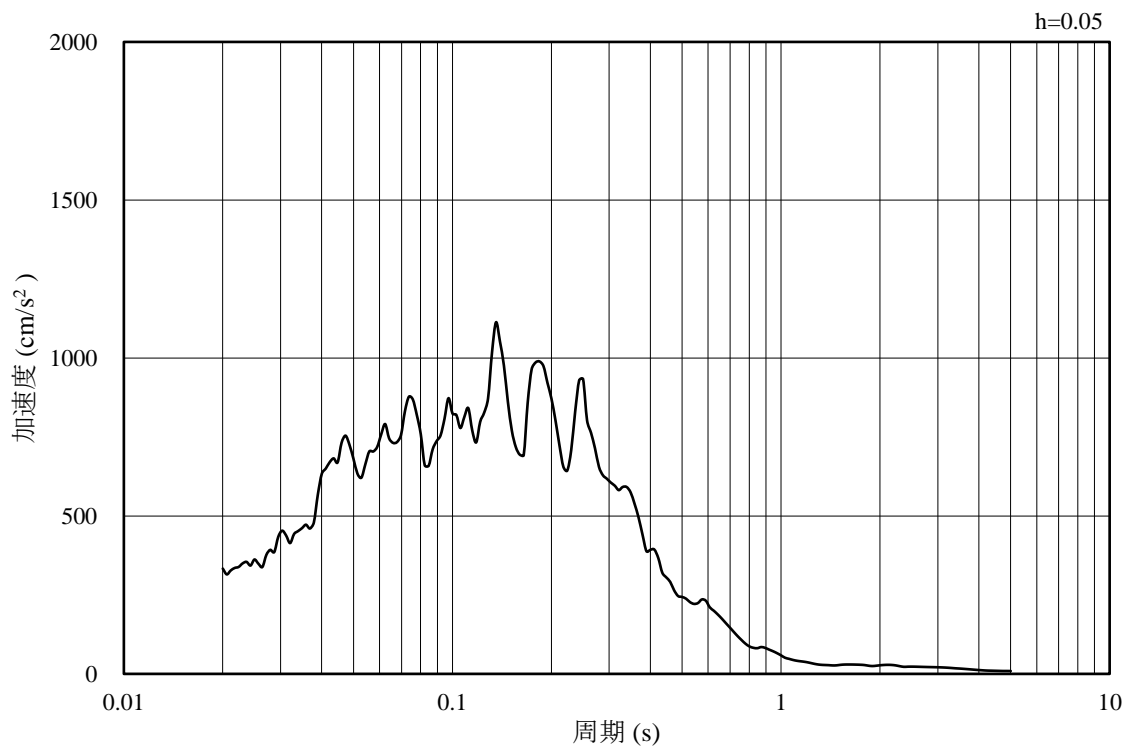


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1 (東西方向), EL-130m)

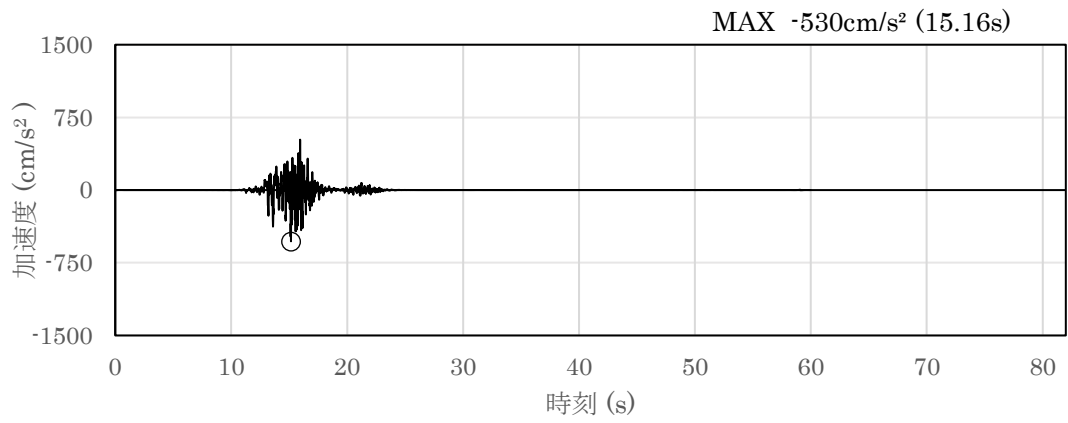


(a) 加速度時刻歴波形

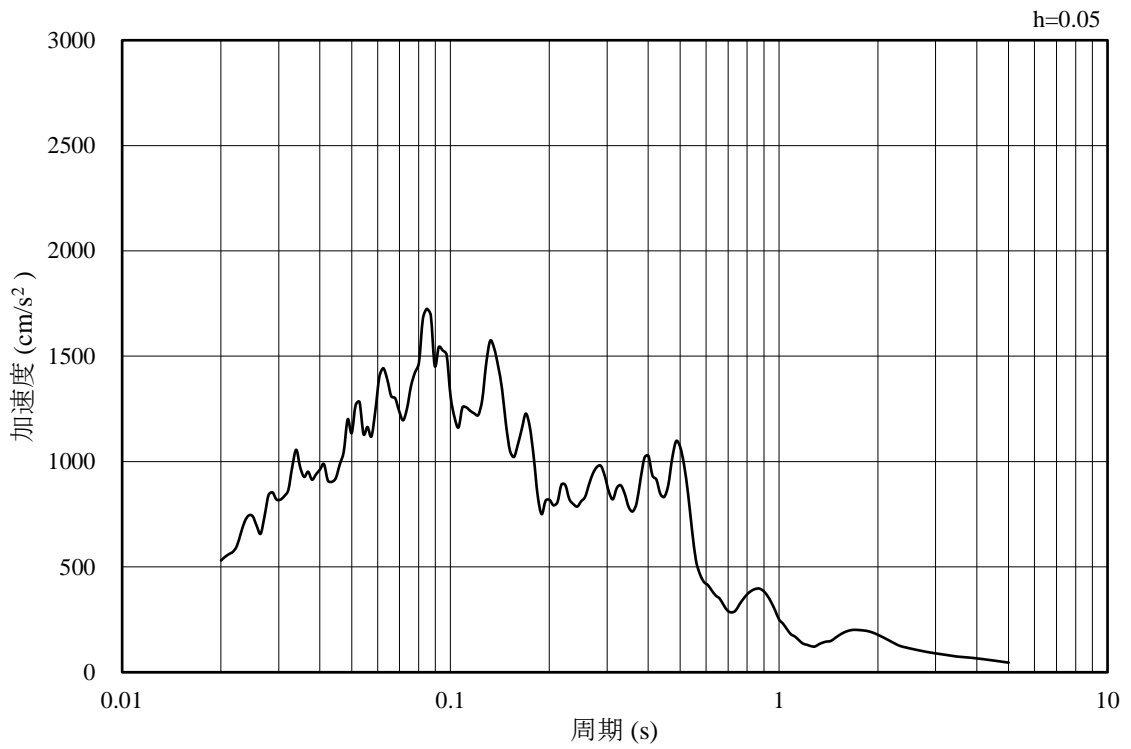


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1, EL-130m)

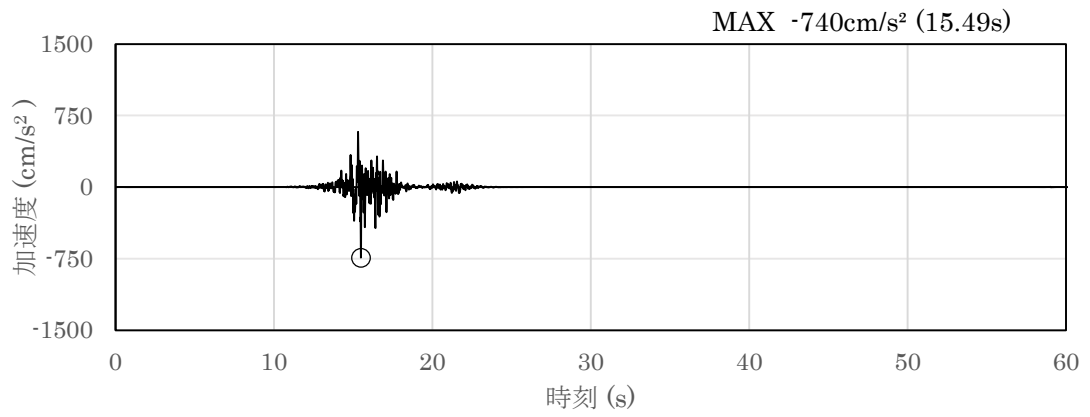


(a) 加速度時刻歴波形

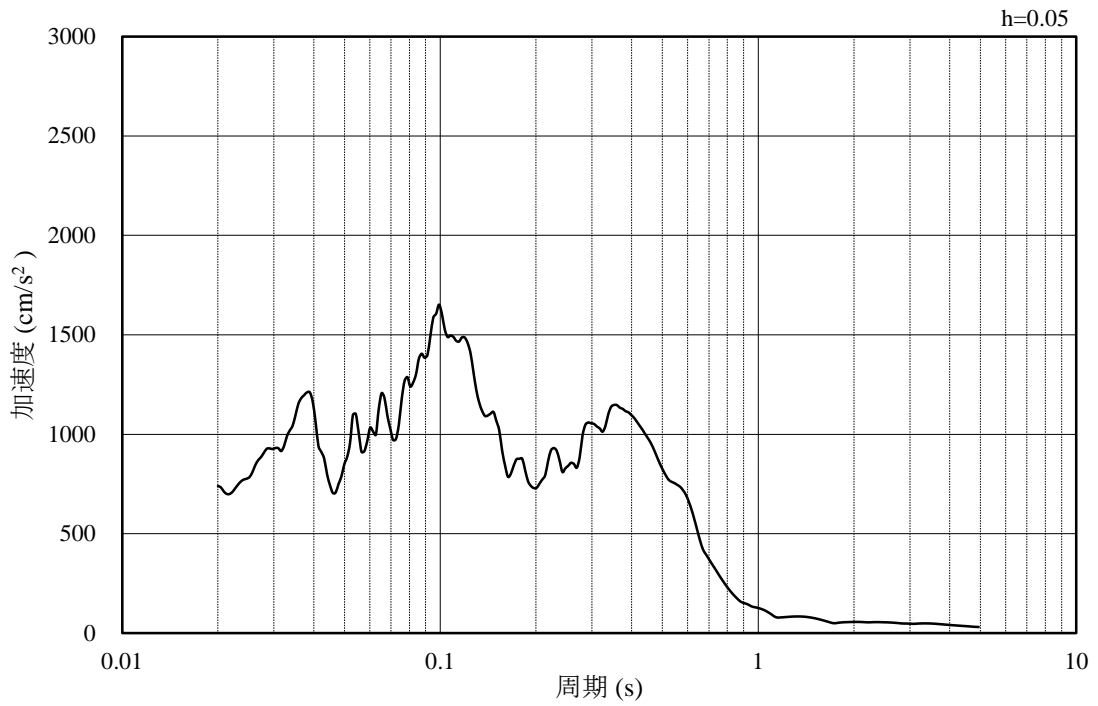


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2 (南北方向), EL-130m)

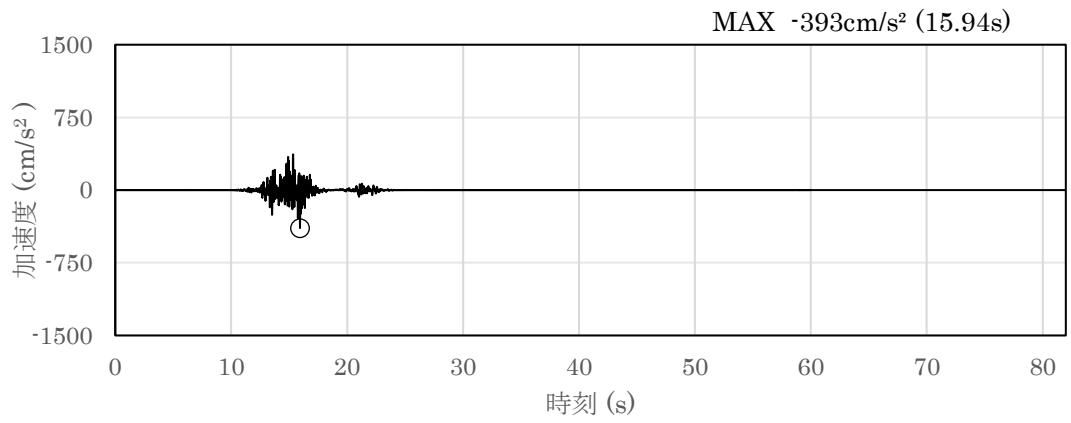


(a) 加速度時刻歴波形

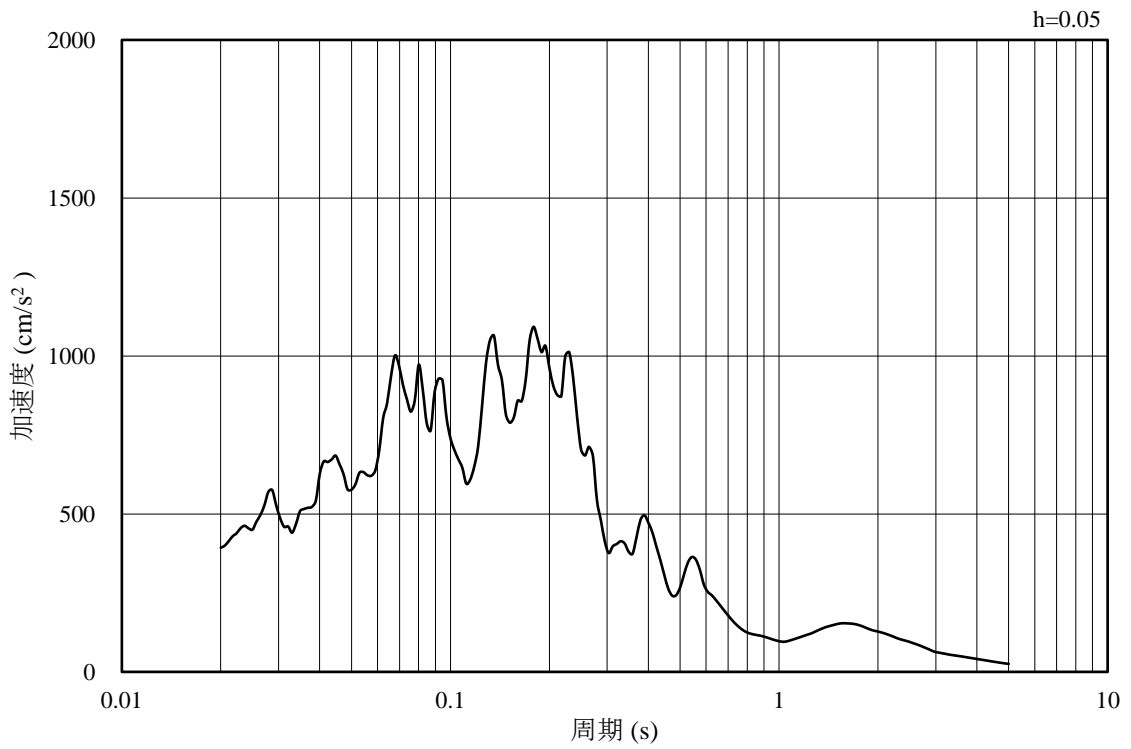


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2 (東西方向), EL-130m)

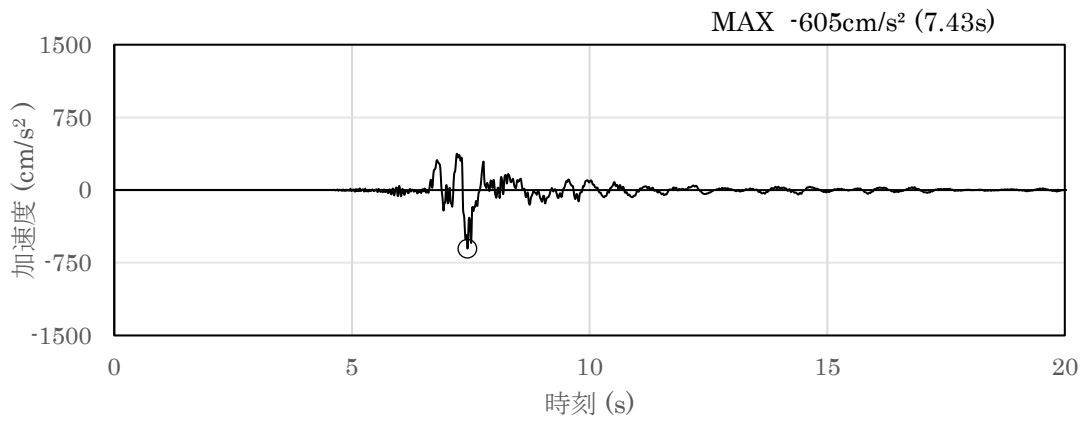


(a) 加速度時刻歴波形

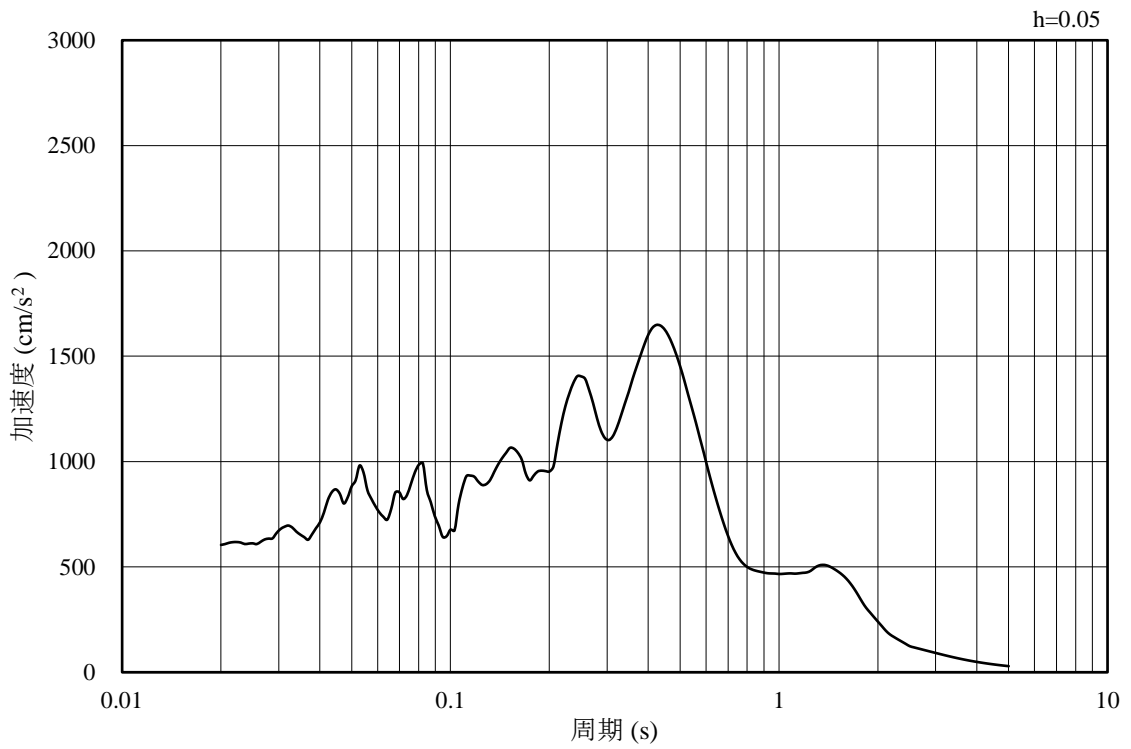


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2, EL-130m)

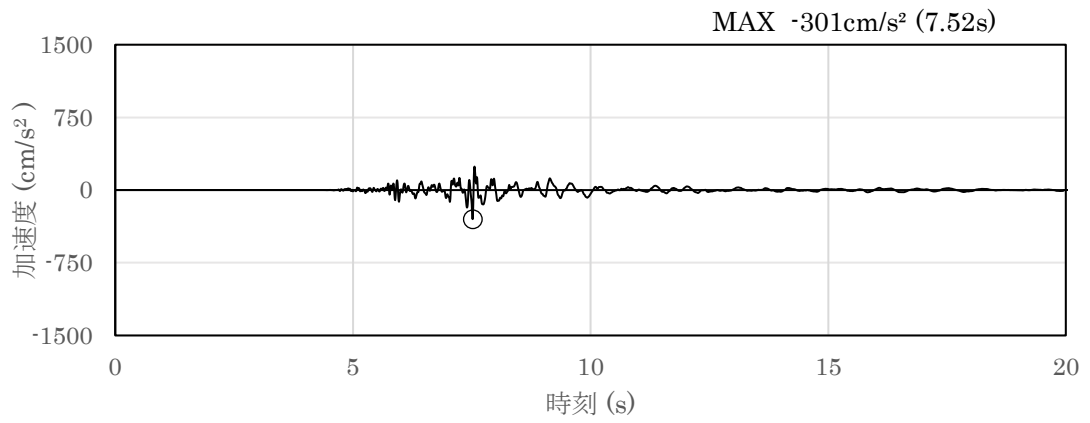


(a) 加速度時刻歴波形

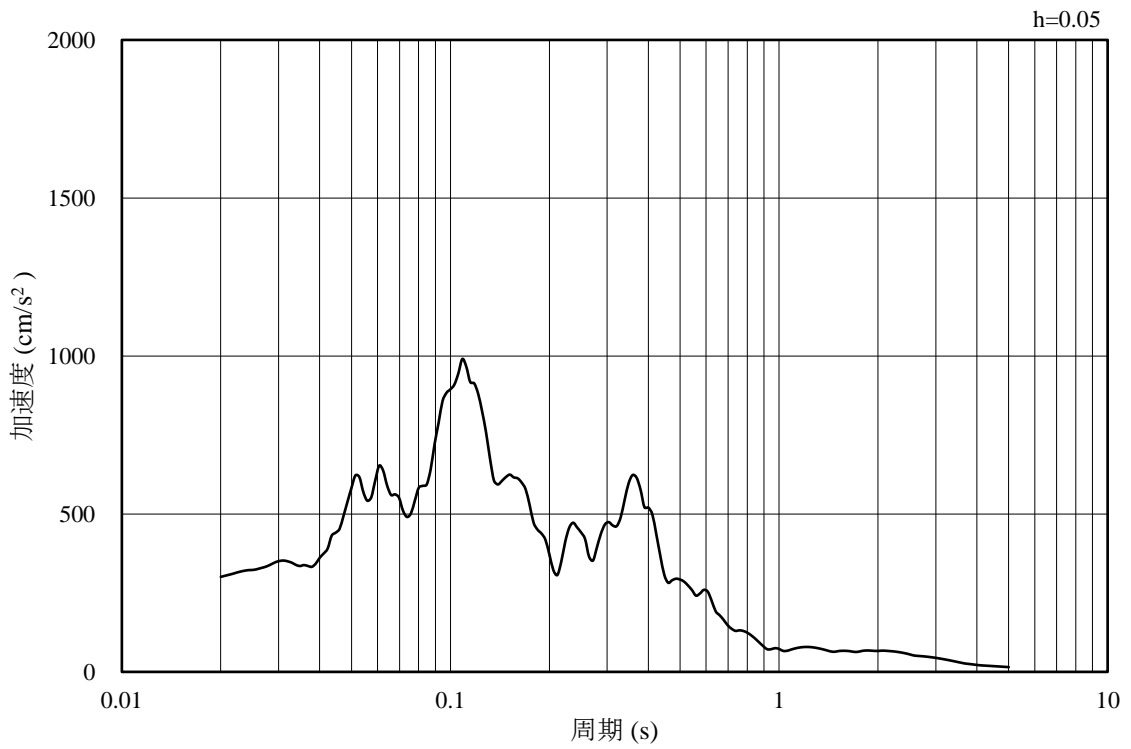


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1, EL-130m)

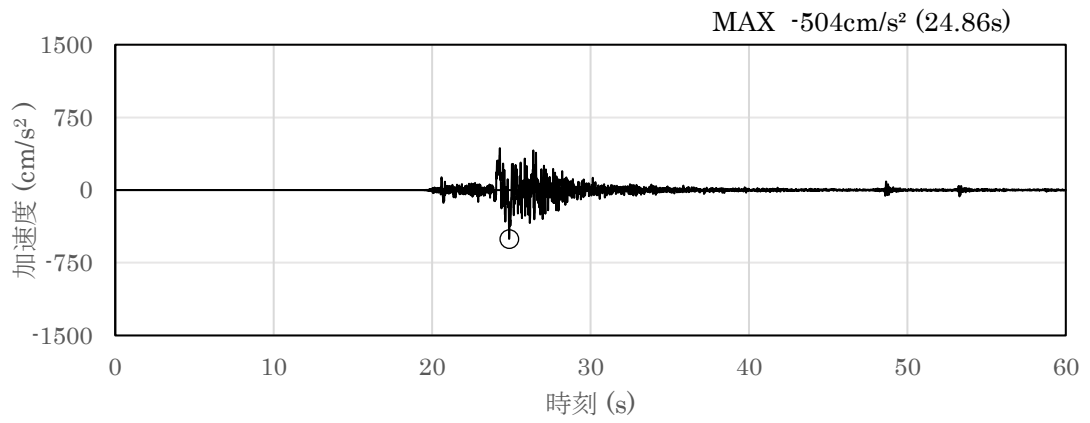


(a) 加速度時刻歴波形

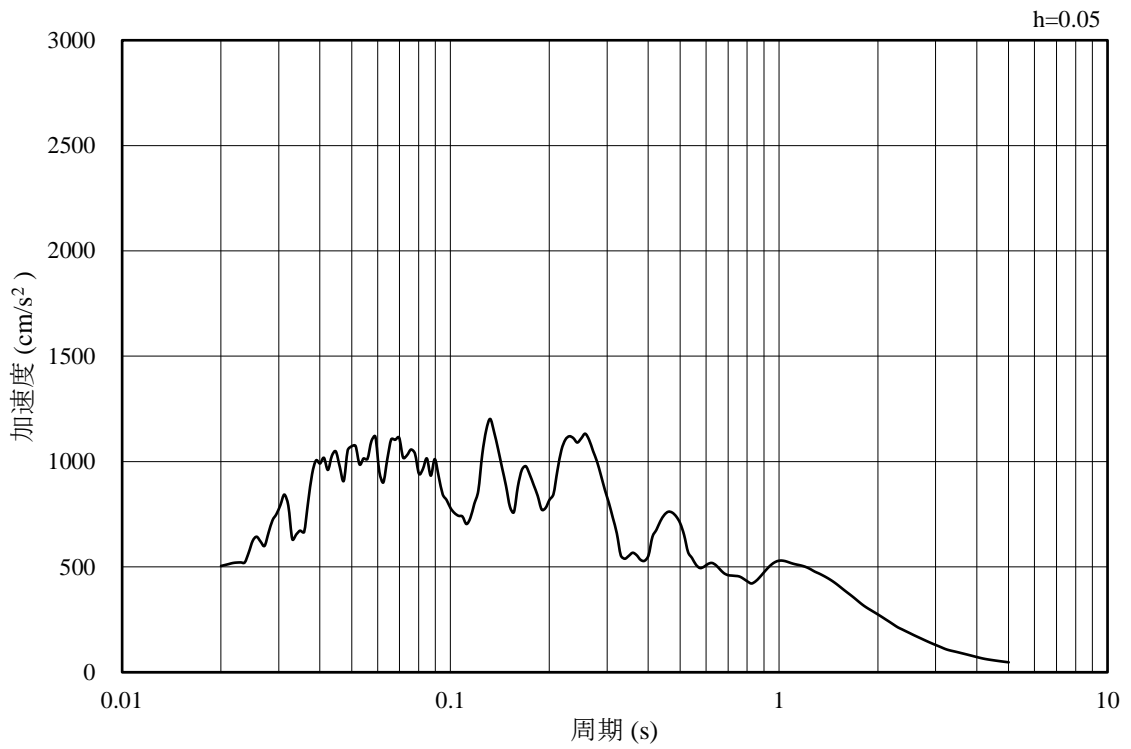


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1, EL-130m)

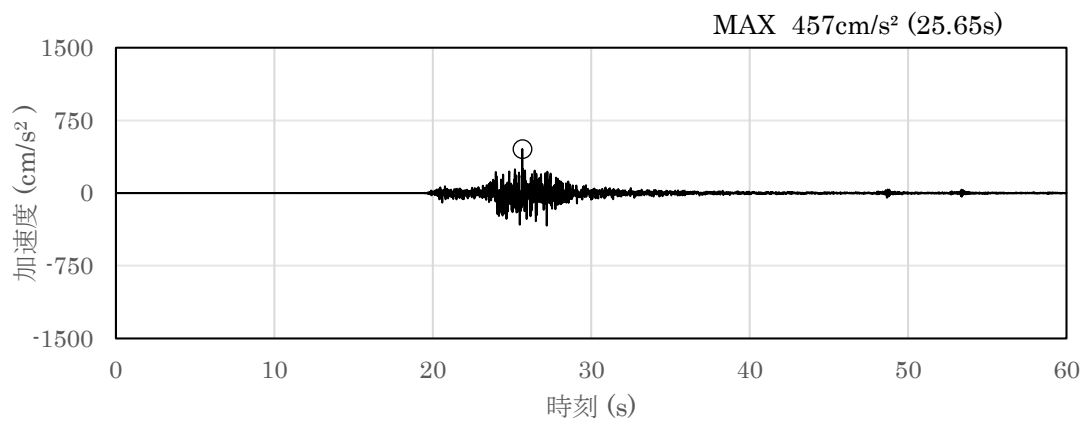


(a) 加速度時刻歴波形

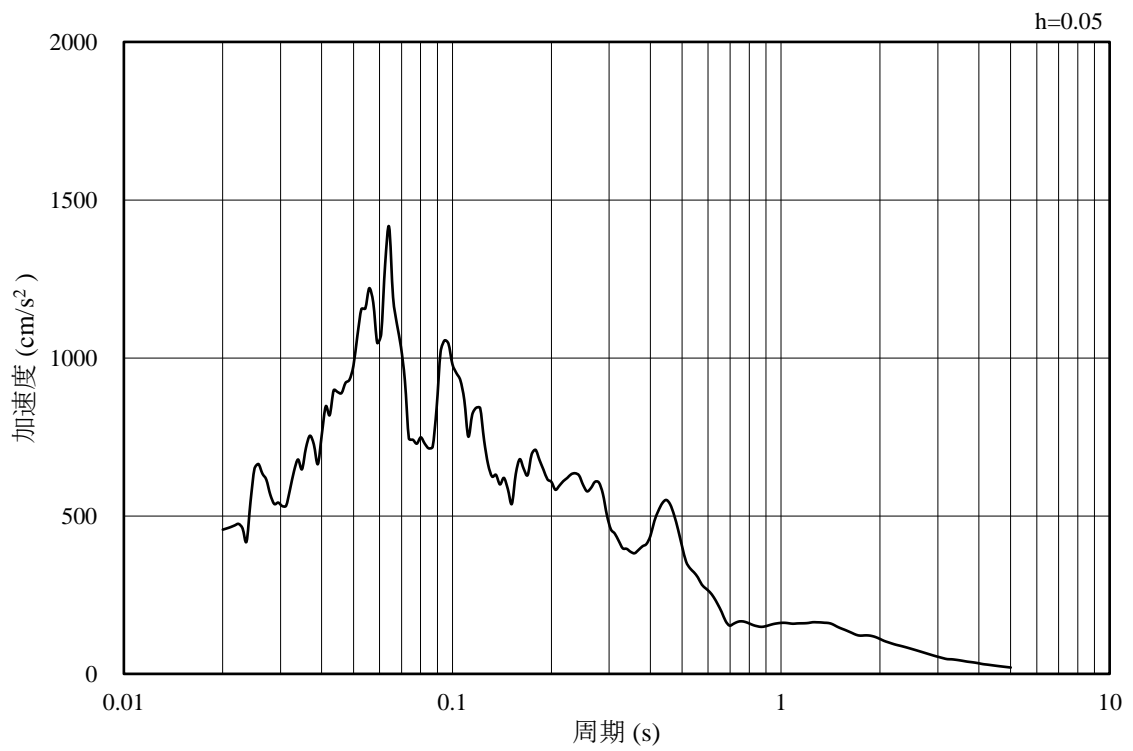


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 2 (N S), EL-130m)

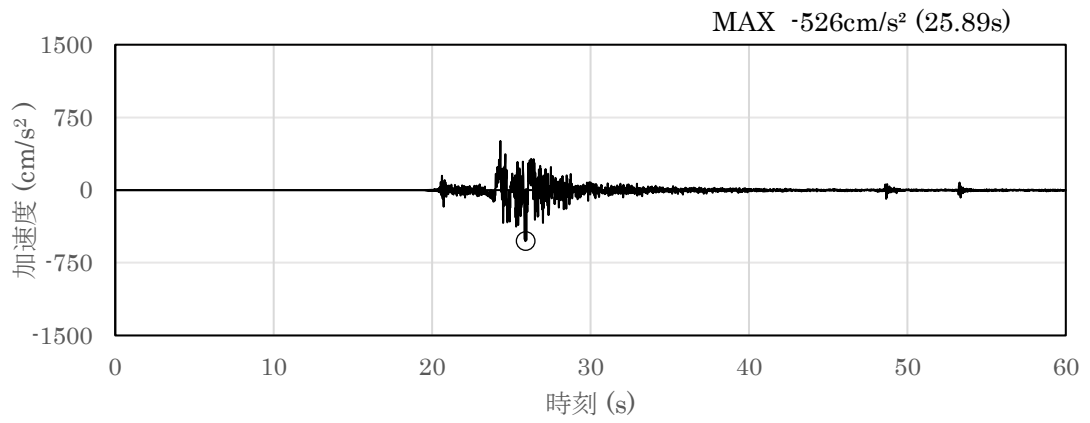


(a) 加速度時刻歴波形

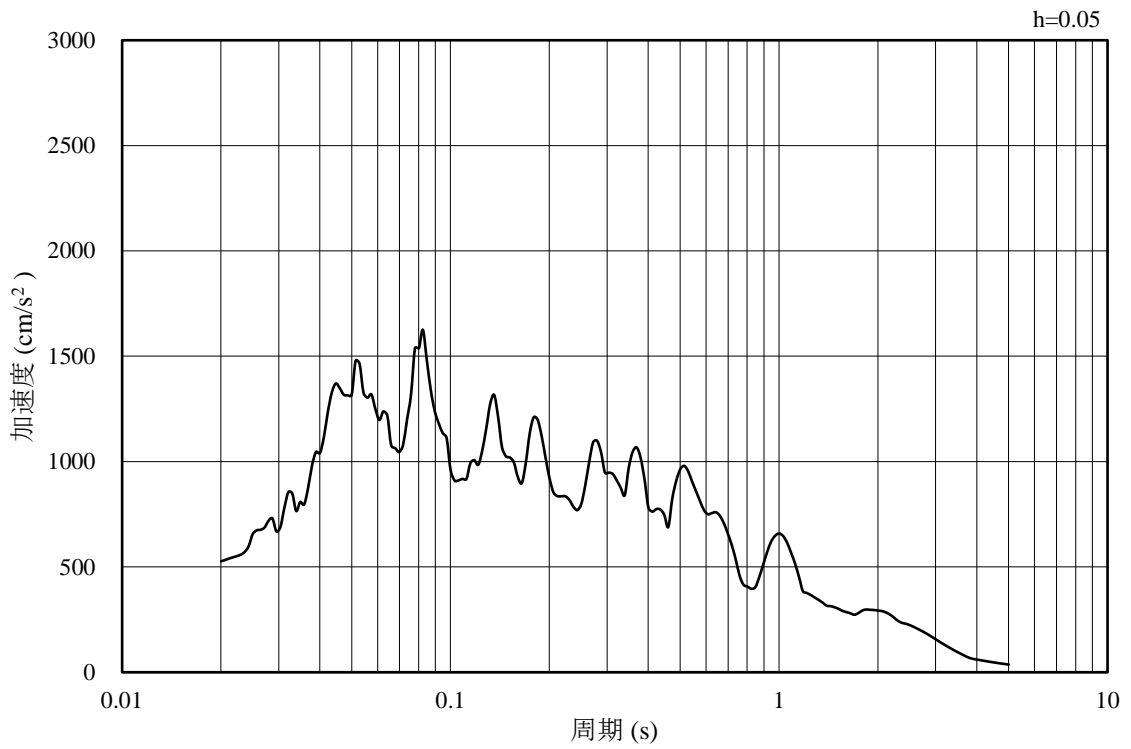


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - N 2 (N S), EL-130m)

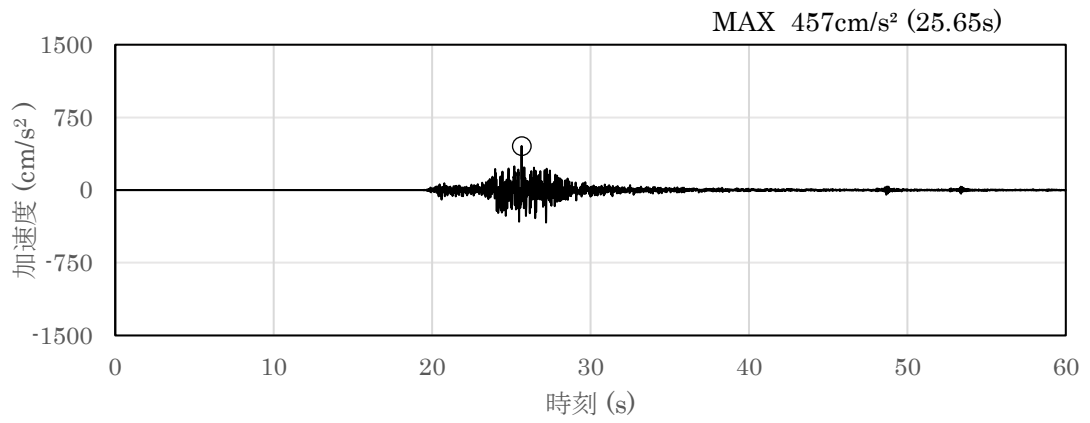


(a) 加速度時刻歴波形

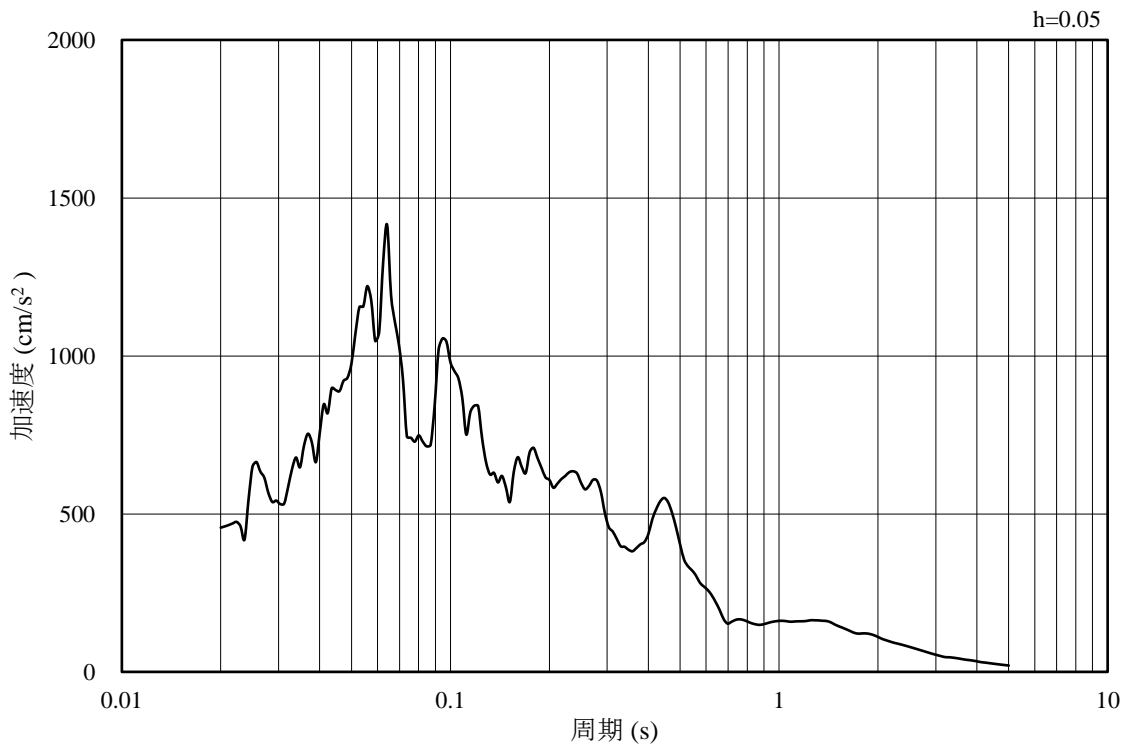


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 2 (E W), EL-130m)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - N 2 (E W), EL-130m)

3.7 解析モデル及び諸元

3.7.1 解析モデル

仮設耐震構台の地震応答解析モデルを図 3-17 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

A-A断面（南北方向）については、評価対象部位（水平材、斜材及び支持杭）を線形はり要素によりモデル化する。主桁、桁受及び受桁は、主桁間がスパン長の短い横構及び対傾構によりトラス構造となっていること、及び桁受と受桁間がスパン長の短い補強材によりトラス構造となっていることから、評価対象部位と比較し、十分に剛な構造とみなすことができるため、剛はり要素によりモデル化する。

B-B断面（東西方向）については、評価対象部位（主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭）を線形はり要素によりモデル化する。桁受は、橋軸直交方向を長手方向として設置しており、橋軸方向断面の変形に対して十分に剛な構造とみなすことができるため、剛はり要素によりモデル化し、重量については、主桁の節点に付加重量として与えることで考慮する。覆工板の重量については、主桁の線形はり要素に考慮する。また、橋台（東側）は、線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 隣接構造物のモデル化

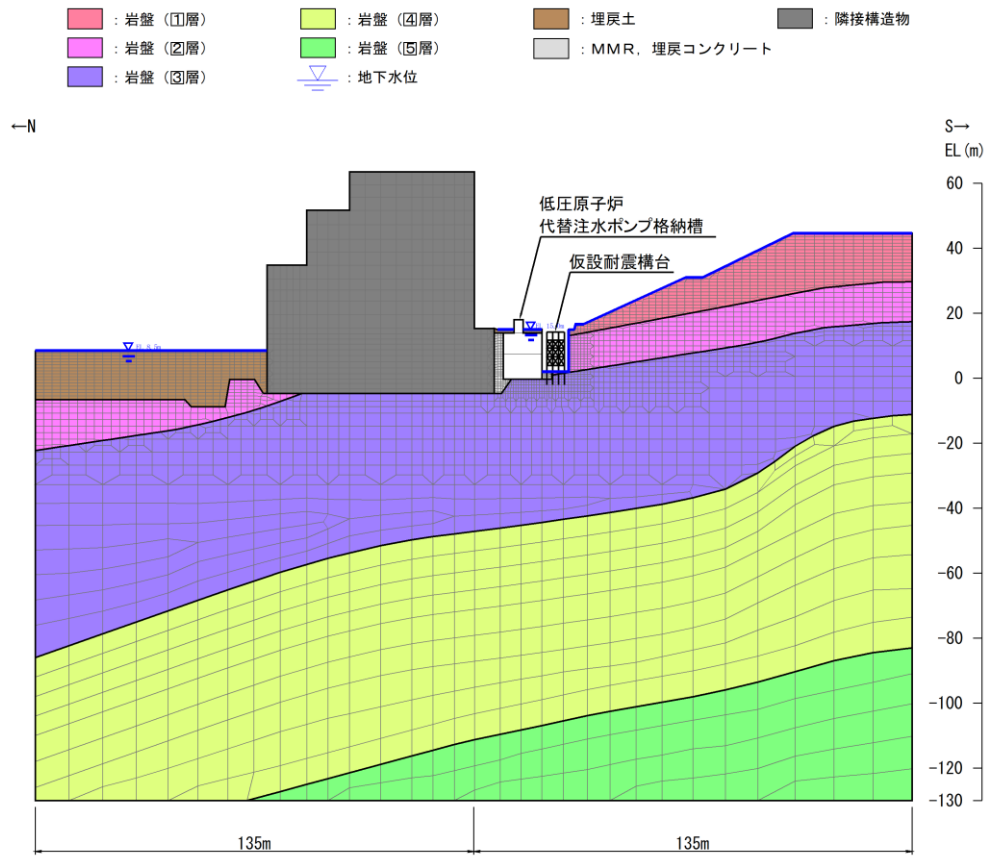
A-A断面（南北方向）における低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽及び原子炉建物については，VI-2-2-32「低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書」に示すモデルとする。

(6) 置換コンクリート，埋戻コンクリート及びMMRのモデル化

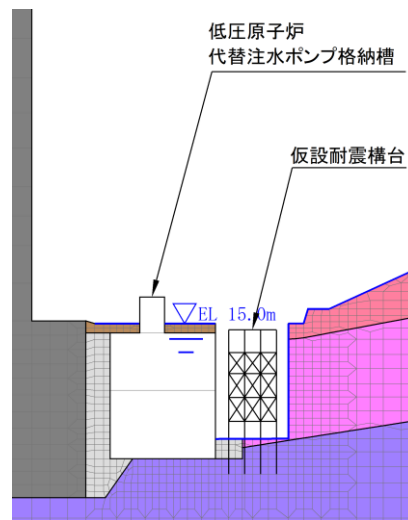
置換コンクリート，埋戻コンクリート及びMMRは無筋コンクリートとして線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」，「構造物と埋戻コンクリート」，「MMRと埋戻コンクリート」及び「地盤とMMR」の接合面における接触，剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

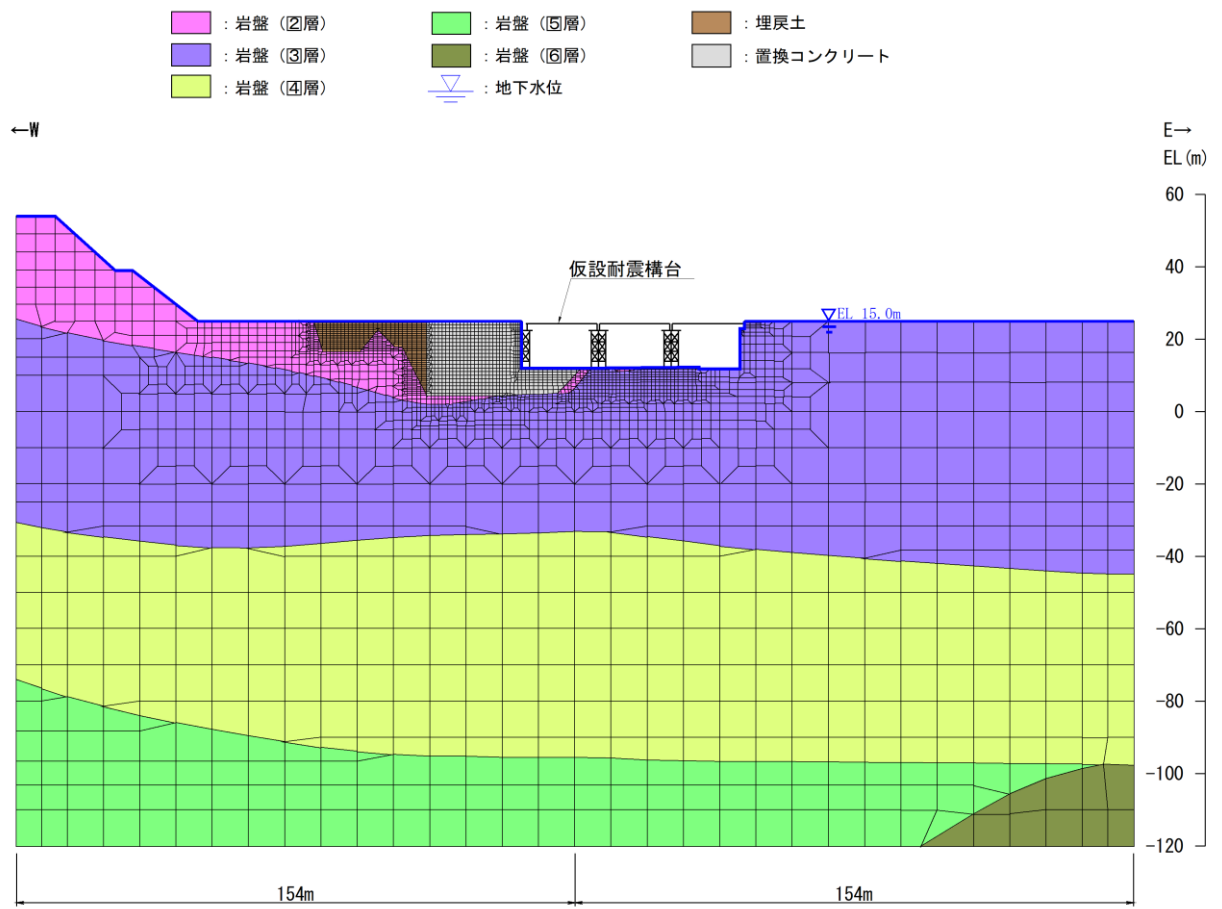


(全体図)

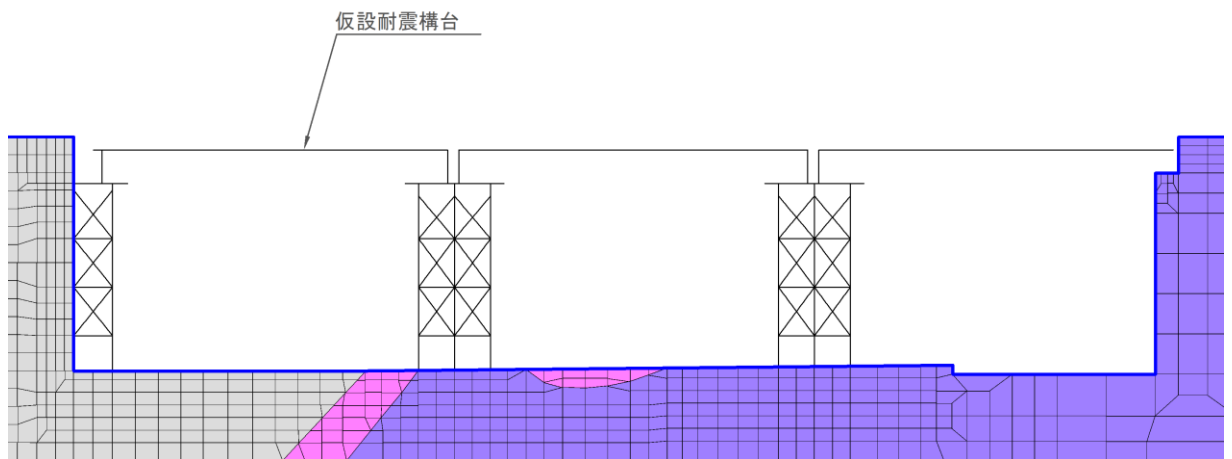


(拡大図)

図 3-17 (1) 仮設耐震構台の地震応答解析モデル (A-A 断面 (南北方向))



(全体図)



(拡大図)

図 3-17 (2) 仮設耐震構台の地震応答解析モデル (B-B 断面 (東西方向))

3.7.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-19 に、材料の物性値を表 3-20 に示す。

表 3-19 構造物の使用材料

材料		仕様	
仮設 耐震 構台	主桁	支点部 H=1018, t=13 上部 B=350, t=26 下部 B=220, t=19 一般部 H=1595, t=13 上部 B=350, t=26 下部 B=350, t=19	SM490Y
	横構	L130×130×9 H125×125×6.5×9	SS400
	対傾構	L75×75×6 L100×100×10 L130×130×9 H125×125×6.5×9	SS400
	桁受	H900×300×16×28	SS400
	桁受補強材	[250×90×11×14.5 [300×90×12×16	SS400
	受桁	H700×300×13×24	SS400
	受桁補強材	△300×300×25	SS400
	水平材	[150×75×6.5×10	SS400
	斜材	L250×250×25 L200×200×15	SS400
	支持杭	□500×500×22	BCR295
	覆工板	1000×2000×208	SM490
	支承部(沓座)	—	SCW480
	支承部 (ソールプレート)	—	SM400
	固定ボルト (支承部-桁受)	M30	普通ボルト (4.8)
	固定ボルト (桁受-受桁)	M24	高力ボルト (10T)
	固定ボルト (受桁-支持杭)	M24	高力ボルト (10T)
	溶接部 (水平材-支持杭)	すみ肉溶接	SS400
溶接部 (斜材-支持杭)	すみ肉溶接	SS400	
橋台 (東側)	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²	
	鉄筋	SD345	
	置換コンクリート (西側)	設計基準強度 18.0N/mm ²	

表 3-20 材料の物性値 (評価対象部位)

材料		ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
仮設耐震構台	主桁, 横構, 対傾構, 桁受, 桁受補強材, 受桁, 受桁補強材, 水 平材, 斜材, 支持杭	2.00×10 ⁵	77.0	0.3
	覆工板	2.00×10 ⁵	77.0	0.3
橋台 (東側)		2.50×10 ⁴	24.0 ^{*1}	0.2
置換コンクリート (西側)		2.20×10 ⁴	22.6 ^{*2}	0.2

注記*1: 鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2: 無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.7.3 地盤の物性値

地盤については，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.7.4 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表3-21に示す。

表3-21 設計地下水位

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
仮設耐震構台	A-A断面 (南北方向)	15.0
	B-B断面 (東西方向)	

4. 評価方法

仮設耐震構台の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.5 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

4.1 施設の損傷及び転倒による影響評価方法

4.1.1 構造部材の健全性に対する評価方法

(1) 主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭に対する評価方法

主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭に対する評価においては、部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査を行う。曲げ軸力照査については、「3.5.1 主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭に対する許容限界」の「(1) 曲げ軸力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。せん断力照査については、「3.5.1 主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭に対する許容限界」の「(2) せん断力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

(2) 支承部に対する評価方法

支承部に対する評価においては、2次元FEM解析から最大応答加速度を抽出し、主桁の慣性力による支承部の曲げ軸力照査及びせん断力照査を行う。照査については、「3.5.2 支承部に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

(3) 固定ボルトに対する評価方法

固定ボルトに対する評価においては、2次元FEM解析から部材位置の最大断面力を抽出し、固定ボルトのせん断力照査、引張力照査を行う。照査については、以下の式にて算出するせん断力及び引張力が、「3.5.3 固定ボルトに対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

a. せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、以下の式にて算出する。

$$\frac{S}{n} / V_s \leq 1.0$$

S : 接合部に生じるせん断力 (kN)

n : 接合部のボルト本数 (本)

V_s : ボルトの許容せん断力 (kN)

b. 引張力に対する許容限界

引張力に対する許容限界は、以下の式にて算出する。

$$\left(\frac{M}{\sum n_i L_i^2} L + \frac{N}{n} \right) / V_p \leq 1.0$$

M : 接合部に生じる曲げモーメント (kN・m)

n_i : 中心から i 列目のボルトの本数

L_i : 接合部中心から i 列目のボルトまでの長さ (m)

L : 接合部中心から最外ボルトまでの長さ (m)

N : 軸力 (kN)

n : 接合部のボルト本数 (本)

V_p : ボルトの許容引張力 (kN)

(4) 溶接部に対する評価方法

溶接部に対する評価においては、2次元FEM解析から溶接位置の最大断面力を抽出し、溶接部のせん断力照査を行う。照査については、「道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」に基づく以下の式にて算出するせん断応力が、「3.5.4 溶接部に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

a. せん断力が作用する場合

$$\tau = \frac{P}{\sum al}$$

τ : 溶接部に生じるせん断応力度 (N/mm²)

P : 継手に作用するせん断力 (N)

a : 溶接の有効厚 (mm)

l : 溶接の有効長 (mm)

b. 曲げ軸力が作用する場合

$$\tau = \frac{M}{I} \cdot y$$

τ : 溶接部に生じるせん断応力度 (N/mm²)

M : 継手に作用する曲げモーメント (N・mm)

I : のど厚を接合面に展開した断面のその中立軸のまわりの断面二次モーメント (mm⁴)

y : 展開図形の中立軸から応力度を算出する位置までの距離 (mm)

c. せん断力と曲げ軸力の合成力が作用する場合

$$\left(\frac{\tau_b}{\tau_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.0$$

τ_b : 軸方向若しくは曲げモーメントによるせん断応力度又は両者の和 (N/mm²)

τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm²)

τ_s : せん断力によるせん断応力度 (N/mm²)

(5) 橋台（東側）に対する評価方法

橋台（東側）に対する評価においては、2次元FEM解析により仮設耐震構台の東側の橋台に発生する応力度が「3.5.5 橋台（東側）に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

(6) 置換コンクリート（西側）に対する評価方法

置換コンクリート（西側）に対する評価においては、2次元FEM解析により仮設耐震構台の西側の置換コンクリートに発生する応力度が「3.5.6 置換コンクリート（西側）に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であること、支持杭の鉛直下向き荷重による周面摩擦力が許容限界以下であること及び支持杭の引抜きにより引抜き周面摩擦力度が許容限界以下であることを確認する。

4.2 構造物間の相対変位による影響評価方法

4.2.1 相対変位による評価方法

相対変位による評価においては、仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の最大相対変位が許容限界以下であることを確認する。

5. 評価結果

5.1 施設の損傷及び転倒による影響評価結果

5.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果

(1) A-A断面（南北方向）の評価結果

A-A断面（南北方向）の主要な構造部材の曲げ軸力に対する照査値を表 5-1 に、せん断力に対する照査値を表 5-2 に示す。曲げ軸力の最も厳しい照査値となった支持杭の断面力を図 5-1 に、せん断力の最も厳しい照査値となった支持杭の断面力を図 5-2 に示す。また、連結・結合部の照査値を表 5-3 に示す。

A-A断面（南北方向）の仮設耐震構台の評価対象部位に発生する曲げ軸力、せん断力及び引張力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 (1) 曲げ軸力に対する照査値 (水平材)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S _s -D	++*	水平材	5	-9	0.32
	S _s -F1	++*		4	-11	0.26
	S _s -F2	++*		4	-11	0.28
	S _s -N1	++*		3	-4	0.18
	S _s -N2 (NS)	++*		3	-6	0.21
	S _s -N2 (EW)	++*		4	-3	0.24

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-1 (2) 曲げ軸力に対する照査値 (斜材)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S _s -D	++*	斜材	11	-508	0.41
	S _s -F1	++*		9	-398	0.32
	S _s -F2	++*		9	-417	0.33
	S _s -N1	++*		6	-283	0.23
	S _s -N2 (NS)	++*		7	-334	0.27
	S _s -N2 (EW)	++*		9	-387	0.31

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-1 (3) 曲げ軸力に対する照査値 (支持杭)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S s - D	++*	支持杭	333	-1814	0.49
	S s - F 1	++*		283	-1422	0.40
	S s - F 2	++*		287	-1468	0.41
	S s - N 1	++*		185	-1025	0.28
	S s - N 2 (NS)	++*		228	-1196	0.33
	S s - N 2 (EW)	++*		274	-1279	0.38

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-2 (1) せん断力に対する照査値 (水平材)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	水平材	6	120	0.05
	S _s -F 1	++*		5		0.05
	S _s -F 2	++*		5		0.05
	S _s -N 1	++*		4		0.04
	S _s -N 2 (NS)	++*		4		0.04
	S _s -N 2 (EW)	++*		5		0.05

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-2 (2) せん断力に対する照査値 (斜材)

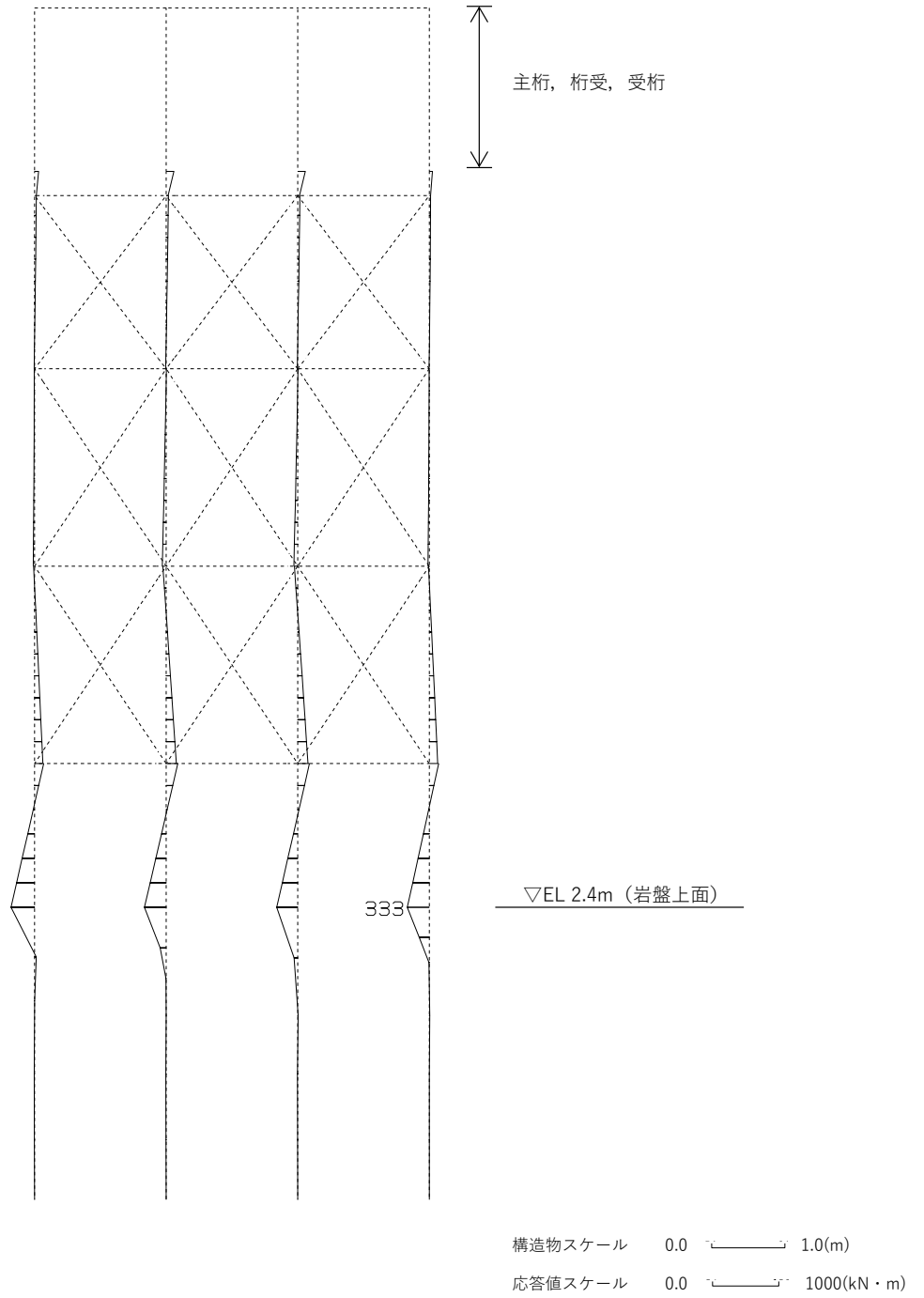
解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	斜材	1	120	0.01
	S _s -F 1	++*		1		0.01
	S _s -F 2	++*		1		0.01
	S _s -N 1	++*		1		0.01
	S _s -N 2 (NS)	++*		1		0.01
	S _s -N 2 (EW)	++*		1		0.01

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

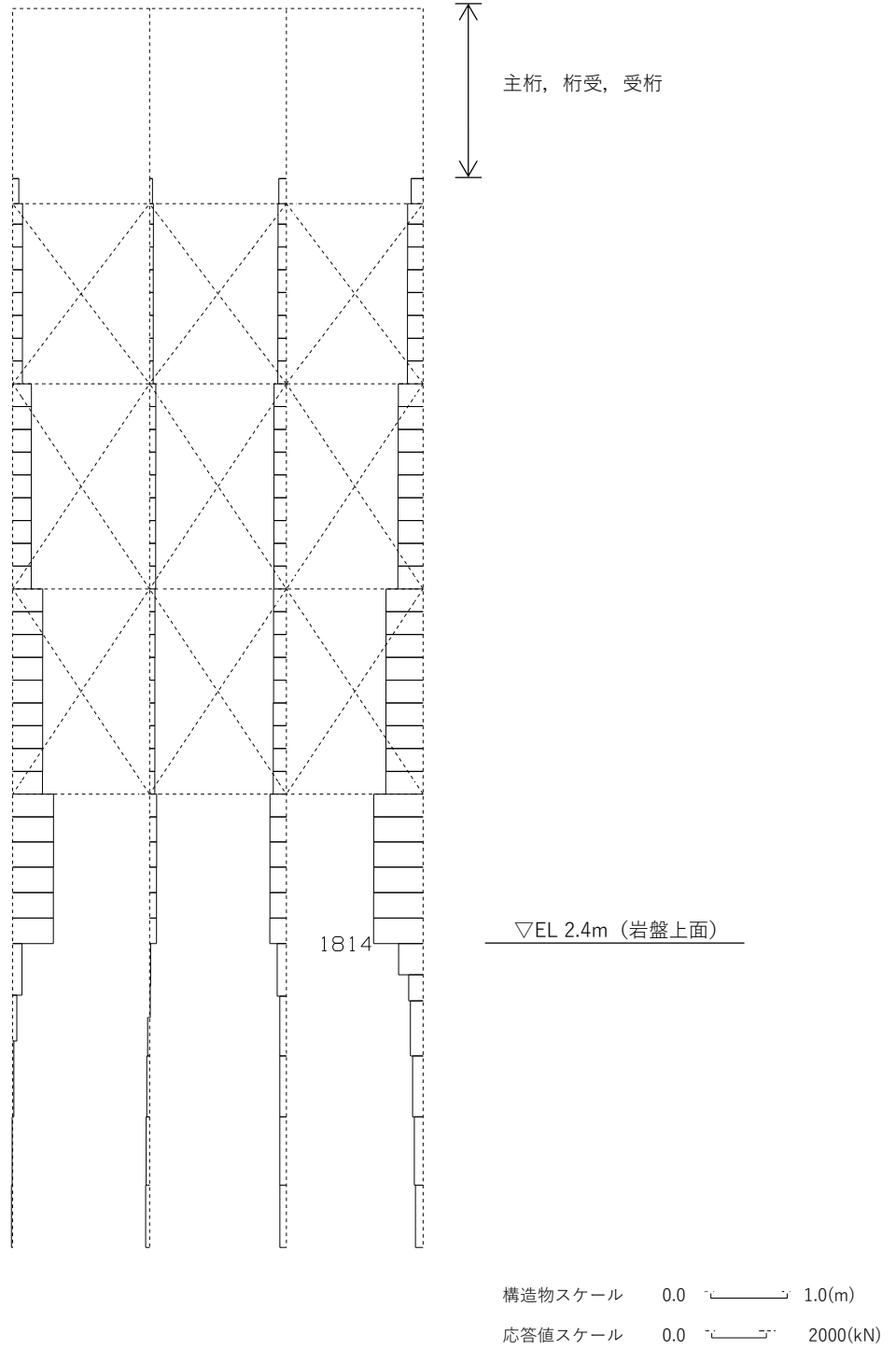
表 5-2 (3) せん断力に対する照査値 (支持杭)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++*	支持杭	28	120	0.24
	S s - F 1	++*		22		0.19
	S s - F 2	++*		23		0.20
	S s - N 1	++*		15		0.13
	S s - N 2 (NS)	++*		18		0.15
	S s - N 2 (EW)	++*		22		0.19

注記* : 地震動の位相について, 左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「++」は反転なしケースを示す。

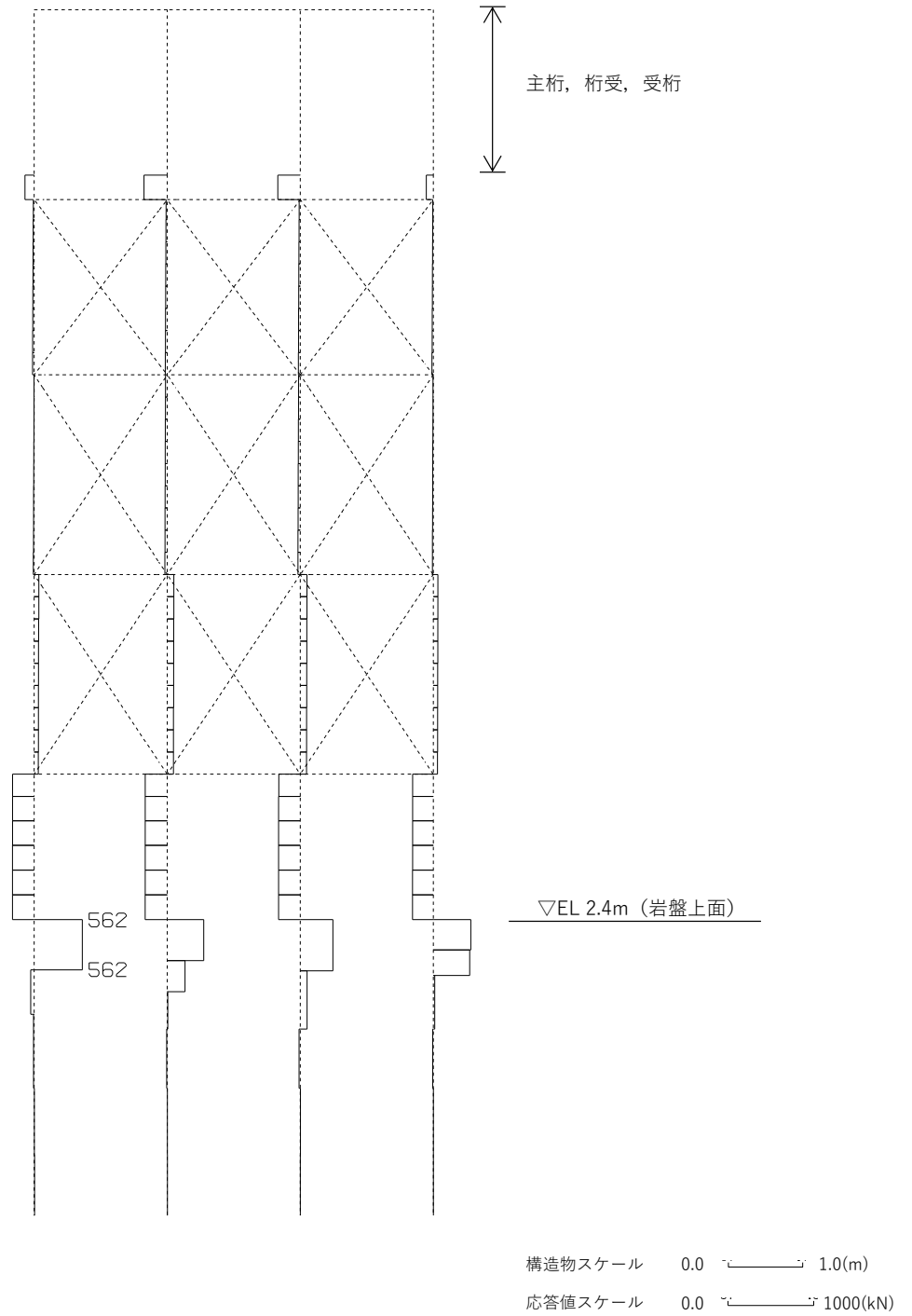


(支持杭 曲げモーメント $S_s - D (+ +)$, $t = 25.79s$)
 図 5-1 曲げ軸力の照査値が最も厳しいケースの断面力 (1/2)



(支持杭 軸力 $S_s - D$ (++) , $t = 25.79s$)

図 5-1 曲げ軸力の照査値が最も厳しいケースの断面力 (2/2)



(支持杭 せん断力 $S_s - D$ (++) , $t = 25.79s$)

図 5-2 せん断力の照査値が最も厳しいケースの断面力

表 5-3 (1) 連結・結合部の照査値 (支承部 (沓座) : 曲げ軸力)

解析 ケース	地震動		部位	曲げ応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ応力度 (N/mm ²)	照査値
	S s - D	++ *				
①	S s - D	++ *	支承部 (沓座)	75	255	0.30

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (2) 連結・結合部の照査値 (支承部 (沓座) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	せん断 応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断 応力度 (N/mm ²)	照査値
	S s - D	++ *				
①	S s - D	++ *	支承部 (沓座)	43	150	0.29

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (3) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (支承部-桁受) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
	S s - D	++ *				
①	S s - D	++ *	固定ボルト (支承部-桁受)	131	302	0.44

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (4) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (受桁-支持杭) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN/本)	短期許容 せん断力 (kN/本)	照査値
	S s - D	++ *				
①	S s - D	++ *	固定ボルト (受桁-支持杭)	22	128	0.18

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (5) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (受桁-支持杭) : 引張力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 引張力 (kN/本)	短期許容 引張力 (kN/本)	照査値
①	S s - D	++*	固定ボルト (受桁-支持杭)	118	277	0.43

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (6) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (水平材-支持杭) : せん断力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (水平材-支持杭)	83	163	0.51

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (7) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (水平材-支持杭) : 曲げ軸力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大曲げ モーメント (kN・m)	短期許容 曲げ モーメント (kN・m)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (水平材-支持杭)	5	13	0.39

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (8) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (水平材-支持杭) : せん断力と曲げ軸力の合成力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (水平材-支持杭)	0.41

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (9) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (斜材-支持杭) : せん断力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (斜材-支持杭)	508	950	0.54

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (10) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (斜材-支持杭) : 曲げ軸力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大曲げ モーメント (kN・m)	短期許容 曲げ モーメント (kN・m)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (斜材-支持杭)	11	96	0.12

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-3 (11) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (斜材-支持杭) : せん断力と曲げ軸力の合成力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (斜材-支持杭)	0.30

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

(2) B－B断面（東西方向）の評価結果

B－B断面（東西方向）の仮設耐震構台の構造部材に関する曲げ軸力に対する照査値を表 5－4 に，せん断力に対する照査値を表 5－5 に示す。曲げ軸力の最も厳しい照査値となった支持杭の断面力を図 5－3 に，せん断力の最も厳しい照査値となった受桁の断面力を図 5－4 に示す。また，連結・結合部の照査値を表 5－6 に示す。

橋台（東側）に関する曲げ軸力に対する照査値を表 5－7 に，せん断力に対する照査値を表 5－8 に示す。置換コンクリート（西側）のせん断破壊に対する局所安全係数を表 5－9 に，引張破壊に対する局所安全係数を表 5－10 に示す。

B－B断面（東西方向）の仮設耐震構台の評価対象部位に発生する曲げ軸力，せん断力及び引張力が許容限界以下であることを確認した。また，置換コンクリート（西側）のせん断破壊及び引張破壊に対する局所安全係数が 1.0 を上回ることを確認した。

表 5-4 (1) 曲げ軸力に対する照査値 (主桁：曲げ圧縮)

解析 ケース	地震動		部位	曲げ圧縮 応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ圧縮 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++ *	主桁	53	276	0.20
	S s - F 1	++ *		43		0.16
	S s - F 2	++ *		45		0.17
	S s - N 1	++ *		45		0.17
	S s - N 2 (NS)	++ *		42		0.16
	S s - N 2 (EW)	++ *		44		0.16

注記*：地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-4 (2) 曲げ軸力に対する照査値 (主桁：曲げ引張)

解析 ケース	地震動		部位	曲げ引張 応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ引張 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++ *	主桁	54	315	0.18
	S s - F 1	++ *		43		0.14
	S s - F 2	++ *		45		0.15
	S s - N 1	++ *		44		0.14
	S s - N 2 (NS)	++ *		42		0.14
	S s - N 2 (EW)	++ *		44		0.14

注記*：地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-4 (3) 曲げ軸力に対する照査値 (受桁)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S _s -D	++*	受桁	597	-260	0.58
	S _s -F 1	++*		592	-258	0.58
	S _s -F 2	++*		403	-167	0.39
	S _s -N 1	++*		470	-194	0.46
	S _s -N 2 (NS)	++*		401	-165	0.39
	S _s -N 2 (EW)	++*		468	-204	0.46

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-4 (4) 曲げ軸力に対する照査値 (水平材)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S _s -D	++*	水平材	5	-1	0.32
	S _s -F 1	++*		4	1	0.29
	S _s -F 2	++*		3	5	0.18
	S _s -N 1	++*		3	5	0.22
	S _s -N 2 (NS)	++*		3	6	0.18
	S _s -N 2 (EW)	++*		4	1	0.24

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-4 (5) 曲げ軸力に対する照査値 (斜材)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S s - D	++*	斜材	12	-605	0.46
	S s - F 1	++*		11	-573	0.44
	S s - F 2	++*		8	-371	0.29
	S s - N 1	++*		9	-443	0.34
	S s - N 2 (NS)	++*		7	-365	0.29
	S s - N 2 (EW)	++*		9	-462	0.36

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-4 (6) 曲げ軸力に対する照査値 (支持杭)

解析 ケース	地震動		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S s - D	++*	支持杭	417	-2448	0.63
	S s - F 1	++*		389	-2378	0.60
	S s - F 2	++*		250	-1587	0.39
	S s - N 1	++*		302	-1855	0.47
	S s - N 2 (NS)	++*		252	-1520	0.39
	S s - N 2 (EW)	++*		317	-1889	0.48

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-5 (1) せん断力に対する照査値 (主桁)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++*	主桁	7	180	0.04
	S s - F 1	++*		6		0.04
	S s - F 2	++*		6		0.04
	S s - N 1	++*		6		0.04
	S s - N 2 (NS)	++*		6		0.04
	S s - N 2 (EW)	++*		6		0.04

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-5 (2) せん断力に対する照査値 (受桁)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++*	受桁	70	120	0.59
	S s - F 1	++*		74		0.62
	S s - F 2	++*		47		0.40
	S s - N 1	++*		52		0.44
	S s - N 2 (NS)	++*		48		0.40
	S s - N 2 (EW)	++*		56		0.47

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-5 (3) せん断力に対する照査値 (水平材)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	水平材	6	120	0.05
	S _s -F 1	++*		5		0.05
	S _s -F 2	++*		3		0.03
	S _s -N 1	++*		4		0.04
	S _s -N 2 (NS)	++*		3		0.03
	S _s -N 2 (EW)	++*		4		0.04

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-5 (4) せん断力に対する照査値 (斜材)

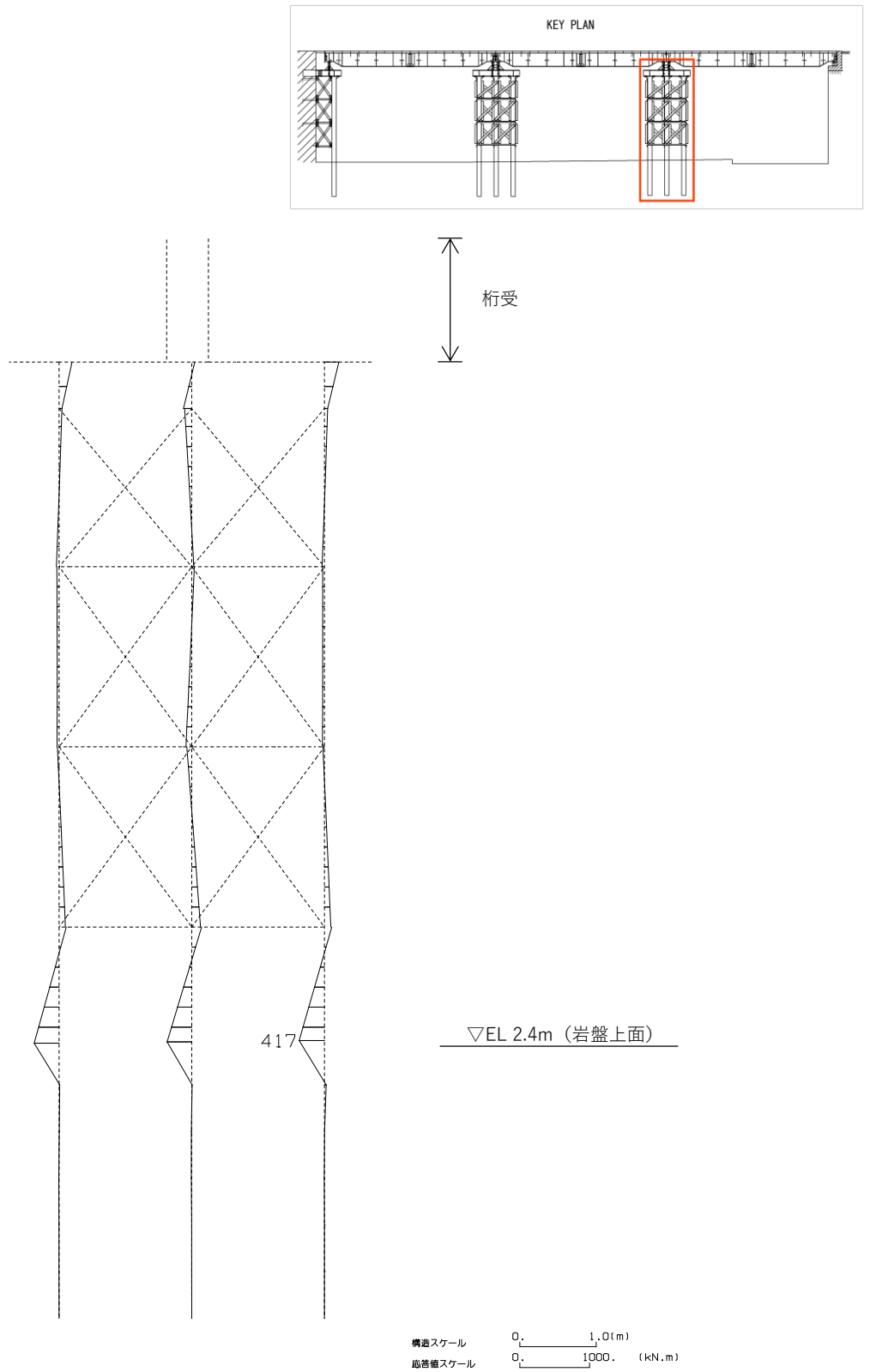
解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	斜材	1	120	0.01
	S _s -F 1	++*		1		0.01
	S _s -F 2	++*		1		0.01
	S _s -N 1	++*		1		0.01
	S _s -N 2 (NS)	++*		1		0.01
	S _s -N 2 (EW)	++*		1		0.01

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-5 (5) せん断力に対する照査値 (支持杭)

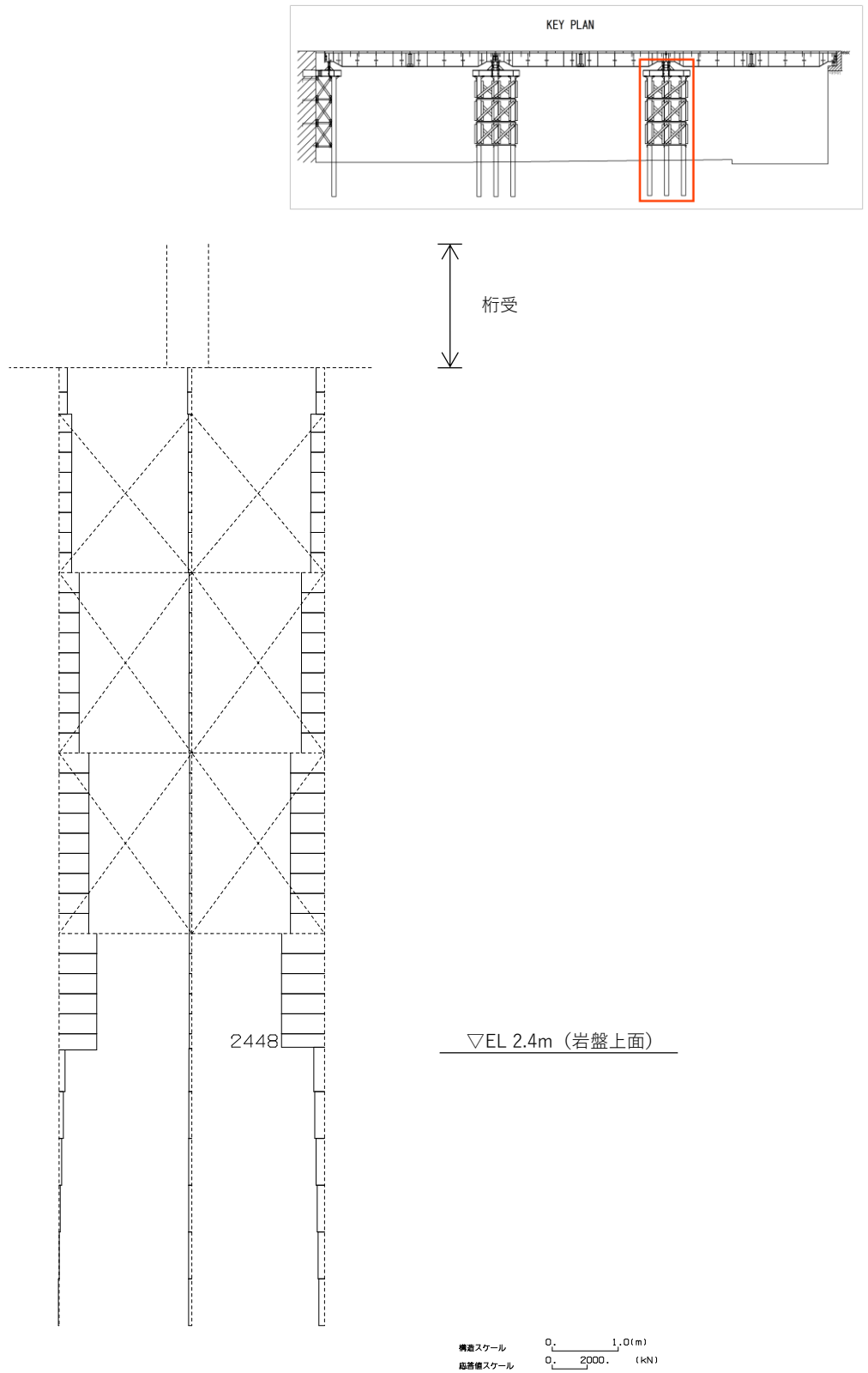
解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	支持杭	34	120	0.29
	S _s -F 1	++*		31		0.26
	S _s -F 2	++*		21		0.18
	S _s -N 1	++*		25		0.21
	S _s -N 2 (NS)	++*		20		0.17
	S _s -N 2 (EW)	++*		26		0.22

注記* : 地震動の位相について, 左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「++」は反転なしケースを示す。



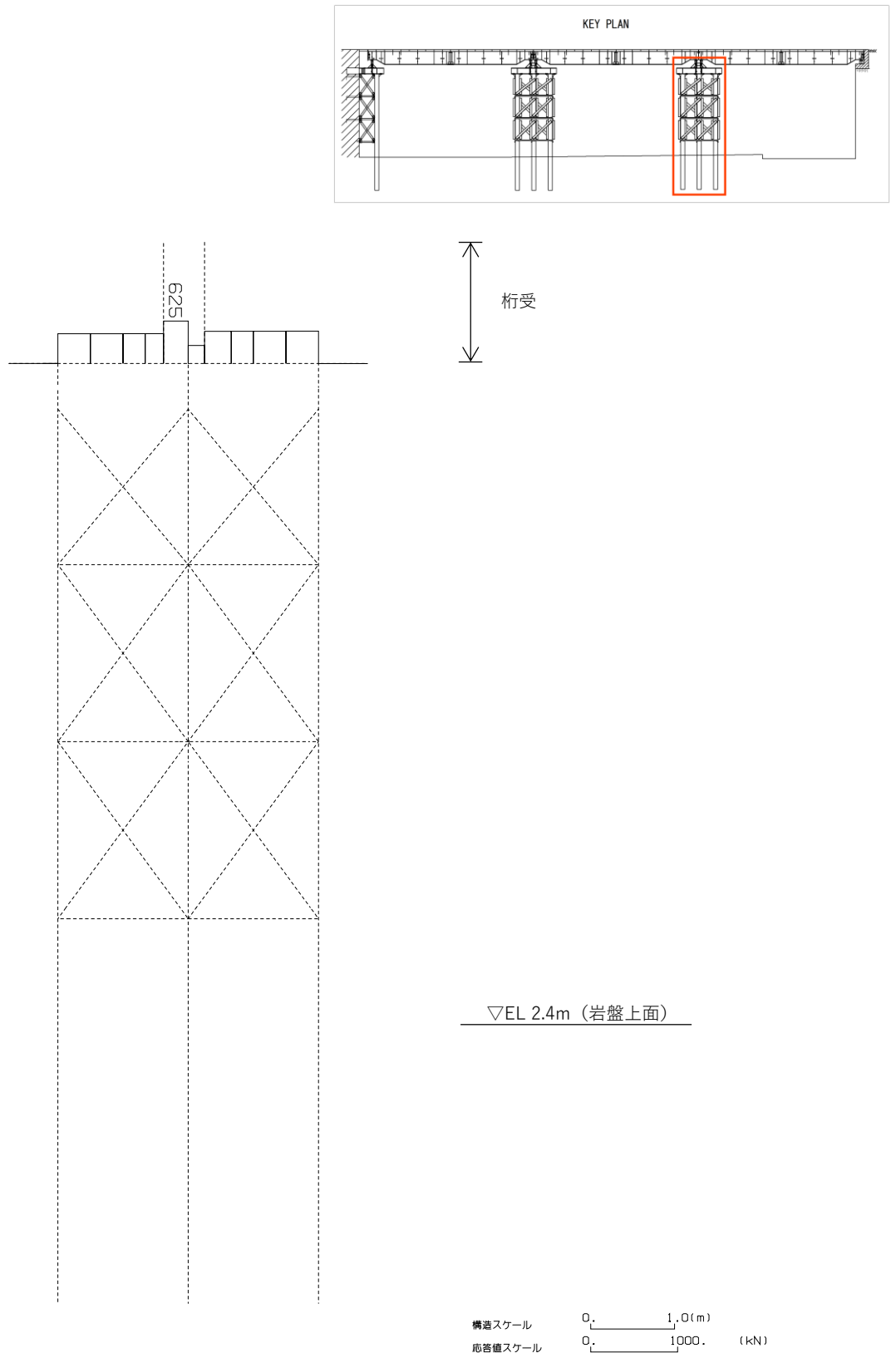
(支持杭 (橋脚 (東側)) 曲げモーメント S s - D (++) , t = 14.55s)

図 5-3 曲げ軸力の照査値が最も厳しいケースの断面力 (1/2)



(支持杭 (橋脚 (東側)) 軸力 S s - D (++) , t = 14.55s)

図 5-3 曲げ軸力の照査値が最も厳しいケースの断面力 (2/2)



(支持杭 (橋脚 (東側)) せん断力 $S_s - F1 (+)$, $t = 7.94s$)

図 5-4 せん断力の照査値が最も厳しいケースの断面力

表 5-6 (1) 連結・結合部の照査値 (支承部 (ソールプレート) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	せん断 応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断 応力度 (N/mm ²)	照査値
	S s - D	++*				
①	S s - D	++*	支承部 (ソールプレート)	39	120	0.33

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (2) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (支承部-桁受) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
	S s - D	++*				
①	S s - D	++*	固定ボルト (支承部-桁受)	268	302	0.89

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (3) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (桁受-受桁) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN/本)	短期許容 せん断力 (kN/本)	照査値
	S s - D	++*				
①	S s - D	++*	固定ボルト (桁受-受桁)	24	128	0.19

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (4) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (桁受-受桁) : 引張力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 引張力 (kN/本)	短期許容 引張力 (kN/本)	照査値
	S s - D	++*				
①	S s - D	++*	固定ボルト (桁受-受桁)	100	277	0.37

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (5) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (受桁-支持杭) : せん断力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN/本)	短期許容 せん断力 (kN/本)	照査値
	S s - D	++*				
①	S s - D	++*	固定ボルト (受桁-支持杭)	22	128	0.18

注記* : 地震動の位相について, 左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (6) 連結・結合部の照査値 (固定ボルト (受桁-支持杭) : 引張力)

解析 ケース	地震動		部位	最大 引張力 (kN/本)	短期許容 引張力 (N/mm ²)	照査値
	S s - D	++*				
①	S s - D	++*	固定ボルト (受桁-支持杭)	84	277	0.31

注記* : 地震動の位相について, 左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (7) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (水平材-支持杭) : せん断力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
①	S s - F 1	++*	溶接部 (水平材-支持杭)	84	163	0.52

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (8) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (水平材-支持杭) : 曲げ軸力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大曲げ モーメント (kN・m)	短期許容 曲げ モーメント (kN・m)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (水平材-支持杭)	5	13	0.39

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (9) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (水平材-支持杭) : せん断力と曲げ軸力の合成力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (水平材-支持杭)	0.41

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (10) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (斜材-支持杭) : せん断力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大 せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (斜材-支持杭)	606	950	0.64

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (11) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (斜材-支持杭) : 曲げ軸力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	最大曲げ モーメント (kN・m)	短期許容 曲げ モーメント (kN・m)	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (斜材-支持杭)	12	96	0.13

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-6 (12) 連結・結合部の照査値

(溶接部 (斜材-支持杭) : せん断力と曲げ軸力の合成力によるせん断照査)

解析 ケース	地震動		部位	照査値
①	S s - D	++*	溶接部 (斜材-支持杭)	0.43

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-7 (1) 曲げ軸力に対する照査値 (橋台 (東側) 側壁 (コンクリート) : 曲げ圧縮)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ圧縮 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	橋台 (東側) 側壁	1.0	13.5	0.08
	S _s -F 1	++*		0.9		0.07
	S _s -F 2	++*		1.0		0.08
	S _s -N 1	++*		0.9		0.07
	S _s -N 2 (NS)	++*		1.0		0.08
	S _s -N 2 (EW)	++*		0.9		0.07

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-7 (2) 曲げ軸力に対する照査値 (橋台 (東側) 側壁 (鉄筋) : 曲げ引張)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ引張 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S _s -D	++*	橋台 (東側) 側壁	30	294	0.11
	S _s -F 1	++*		25		0.09
	S _s -F 2	++*		27		0.10
	S _s -N 1	++*		26		0.09
	S _s -N 2 (NS)	++*		28		0.10
	S _s -N 2 (EW)	++*		23		0.08

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-7 (3) 曲げ軸力に対する照査値 (橋台 (東側) 底版 (コンクリート) : 曲げ圧縮)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ圧縮 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++*	橋台 (東側) 底版	1.8	13.5	0.14
	S s - F 1	++*		1.5		0.12
	S s - F 2	++*		1.6		0.12
	S s - N 1	++*		1.5		0.12
	S s - N 2 (NS)	++*		1.4		0.11
	S s - N 2 (EW)	++*		1.4		0.11

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-7 (4) 曲げ軸力に対する照査値 (橋台 (東側) 底版 (鉄筋) : 曲げ引張)

解析 ケース	地震動		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 曲げ引張 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++*	橋台 (東側) 底版	55	294	0.19
	S s - F 1	++*		46		0.16
	S s - F 2	++*		49		0.17
	S s - N 1	++*		45		0.16
	S s - N 2 (NS)	++*		44		0.15
	S s - N 2 (EW)	++*		43		0.15

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-8 (1) せん断力に対する照査値 (橋台 (東側) 側壁)

解析 ケース	地震動		部位	発生せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
①	S s - D	++*	橋台 (東側) 側壁	28	343	0.09
	S s - F 1	++*		23		0.07
	S s - F 2	++*		28		0.09
	S s - N 1	++*		25		0.08
	S s - N 2 (NS)	++*		30		0.09
	S s - N 2 (EW)	++*		24		0.07

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-8 (2) せん断力に対する照査値 (橋台 (東側) 底版)

解析 ケース	地震動		部位	発生せん断力 (kN)	短期許容 せん断力 (kN)	照査値
①	S s - D	++*	橋台 (東側) 底版	93	343	0.28
	S s - F 1	++*		77		0.23
	S s - F 2	++*		83		0.25
	S s - N 1	++*		77		0.23
	S s - N 2 (NS)	++*		75		0.22
	S s - N 2 (EW)	++*		73		0.22

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-9 置換コンクリート（西側）のせん断破壊に対する局所安全係数

解析 ケース	地震動		部位	せん断応力 S (N/mm ²)	せん断強度 R (N/mm ²)	局所安全係数 f _s
①	S _s -D	++*	置換 コンク リート (西側)	1.07	3.6	3.37
	S _s -F 1	++*		0.74		4.87
	S _s -F 2	++*		0.89		4.05
	S _s -N 1	++*		0.98		3.68
	S _s -N 2 (NS)	++*		0.79		4.56
	S _s -N 2 (EW)	++*		0.74		4.87

注記*：地震動の位相について、左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

表 5-10 置換コンクリート（西側）の引張破壊に対する局所安全係数

解析 ケース	地震動		部位	引張応力 S (N/mm ²)	引張強度 R (N/mm ²)	局所安全係数 f _s
①	S _s -D	++*	置換 コンク リート (西側)	1.51	1.57	1.04
	S _s -F 1	++*		1.12		1.41
	S _s -F 2	++*		0.90		1.75
	S _s -N 1	++*		0.73		2.16
	S _s -N 2 (NS)	++*		0.68		2.31
	S _s -N 2 (EW)	++*		0.94		1.68

注記*：地震動の位相について、左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

(1) A-A断面（南北方向）の評価結果

A-A断面（南北方向）の基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表5-11、表5-12及び表5-13に示す。

A-A断面（南北方向）の仮設耐震構台の基礎地盤に生じる最大接地圧，鉛直下向き荷重による周面摩擦力度及び引抜き周面摩擦力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-11 基礎地盤の支持性能（接地圧）評価結果（A-A断面（南北方向））

解析 ケース	地震動		軸力 Nmax(kN)	最大接地圧 R _d (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R _d /R _u
①	S _s -D	++*	1814	3.2	9.8	0.33
	S _s -F1	++*	1474	2.6		0.27
	S _s -F2	++*	1468	2.6		0.27
	S _s -N1	++*	1025	1.8		0.19
	S _s -N2 (NS)	++*	1196	2.1		0.22
	S _s -N2 (EW)	++*	1446	2.5		0.26

注記*：地震動の位相について，左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

表 5-12 支持杭と根固めコンクリートの一体性評価結果 (A-A断面 (南北方向))

解析 ケース	地震動		軸力 Nmax (kN)	鉛直下向き 荷重による 周面摩擦力度 P _d (N/mm ²)	短期許容 付着応力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P _d /P _u
①	S _s -D	++*	1814	0.23	1.05	0.22
	S _s -F 1	++*	1474	0.18		0.18
	S _s -F 2	++*	1468	0.18		0.18
	S _s -N 1	++*	1025	0.13		0.13
	S _s -N 2 (NS)	++*	1196	0.15		0.15
	S _s -N 2 (EW)	++*	1446	0.18		0.18

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-13 基礎地盤の支持性能 (引抜き) 評価結果 (A-A断面 (南北方向))

解析 ケース	地震動		軸力 Nmin (kN) *2	引抜き周面 摩擦力度 P _d (N/mm ²)	極限周面 摩擦力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P _d /P _u
①	S _s -D	++* ¹	1486	0.14	0.92	0.16
	S _s -F 1	++* ¹	1126	0.11		0.12
	S _s -F 2	++* ¹	1149	0.11		0.12
	S _s -N 1	++* ¹	652	0.06		0.07
	S _s -N 2 (NS)	++* ¹	832	0.08		0.09
	S _s -N 2 (EW)	++* ¹	1021	0.10		0.11

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

(2) B-B断面（東西方向）の評価結果

B-B断面（東西方向）の基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表5-14、表5-15及び表5-16に示す。

B-B断面（東西方向）の仮設耐震構台の基礎地盤に生じる最大接地圧、鉛直下向き荷重による周面摩擦力度及び引抜き周面摩擦力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-14 基礎地盤の支持性能（接地圧）評価結果（B-B断面（東西方向））

解析 ケース	地震動		軸力 Nmax (kN)	最大接地圧 R _d (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R _d /R _u
①	S _s -D	++*	2448	4.3	9.8	0.44
	S _s -F1	++*	2378	4.2		0.43
	S _s -F2	++*	1587	2.8		0.29
	S _s -N1	++*	1855	3.3		0.34
	S _s -N2 (NS)	++*	1889	2.8		0.29
	S _s -N2 (EW)	++*	1563	3.3		0.34

注記*：地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-15 支持杭と根固めコンクリートの一体性評価結果 (B-B断面 (東西方向))

解析 ケース	地震動		軸力 Nmax (kN)	鉛直下向き 荷重による 周面摩擦力度 P _d (N/mm ²)	短期許容 付着応力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P _d /P _u
①	S _s -D	++*	2448	0.31	1.05	0.30
	S _s -F1	++*	2378	0.30		0.29
	S _s -F2	++*	1587	0.20		0.20
	S _s -N1	++*	1855	0.23		0.22
	S _s -N2 (NS)	++*	1563	0.20		0.20
	S _s -N2 (EW)	++*	1889	0.24		0.23

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

表 5-16 基礎地盤の支持性能 (引抜き) 評価結果 (B-B断面 (東西方向))

解析 ケース	地震動		軸力 Nmin (kN)	引抜き周面 摩擦力度 P _d (N/mm ²)	極限周面 摩擦力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P _d /P _u
①	S _s -D	++*	2142	0.20	0.92	0.22
	S _s -F1	++*	1956	0.18		0.20
	S _s -F2	++*	1311	0.12		0.14
	S _s -N1	++*	1547	0.14		0.16
	S _s -N2 (NS)	++*	1264	0.12		0.14
	S _s -N2 (EW)	++*	1594	0.15		0.17

注記* : 地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

5.2 構造物間の相対変位による影響評価結果

5.2.1 相対変位による評価結果

基準地震動 S_s に対する仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の南北方向の最大相対変位を表 5-17 に、各構造物の変位抽出位置を図 5-5 に示す。

最大相対変位は、16mm であり、許容限界（50mm）を超えないことを確認した。

表 5-17 仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の
最大相対変位 (A-A断面 (南北方向))

解析 ケース	地震動		仮設耐震構台 最大変位 (mm) *2	低圧原子炉代替注 水ポンプ格納槽 最大変位 (mm) *3	最大相対 変位 *4 (mm)	離隔距離 (mm)
	S s - D	++ *1				
①	S s - D	++ *1	7	9	16	50
	S s - F 1	++ *1	7	4	11	
	S s - F 2	++ *1	7	6	13	
	S s - N 1	++ *1	3	10	13	
	S s - N 2 (NS)	++ *1	6	8	14	
	S s - N 2 (EW)	++ *1	6	7	13	

注記*1：地震動の位相について，左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

*2：北側（低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽側）への最大変位

*3：南側（仮設耐震構台側）への最大変位

*4：時刻性を考慮していない最大変位の足し合わせによる最大相対変位

S2 補 VI-2-11-2-13 RIE

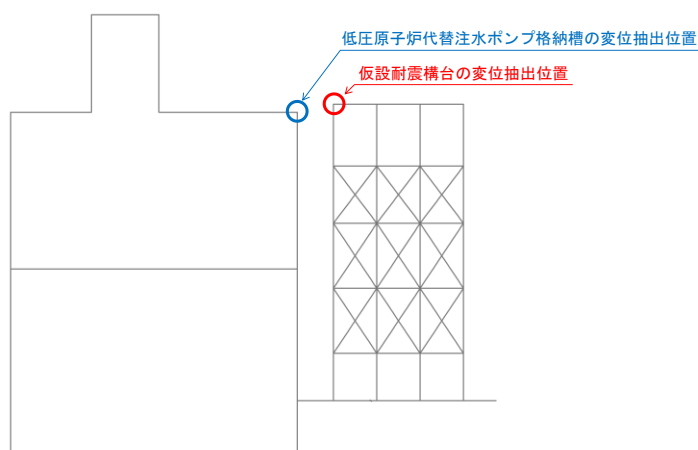


図 5-5 各構造物の変位抽出位置

VI-2-11-2-14 土留め工（親杭）の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	13
2.4	適用規格・基準等	15
3.	評価方法	16
3.1	評価対象部位及び評価方針	16
3.2	評価対象断面	18
3.3	解析方法	24
3.3.1	地盤物性	24
3.3.2	減衰定数	25
3.3.3	地震応答解析の解析ケースの選定	26
3.4	荷重及び荷重の組合せ	27
3.4.1	荷重	27
3.4.2	荷重の組合せ	27
3.5	許容限界	28
3.5.1	親杭に対する許容限界	29
3.5.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	29
3.5.3	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界	30
3.6	入力地震動	31
3.7	解析モデル	36
3.7.1	解析モデル	36
3.7.2	使用材料及び材料の物性値	39
3.7.3	地盤の物性値	39
3.7.4	地下水位	39
4.	評価方法	40
4.1	施設の損傷、転倒による影響評価方法	40
4.1.1	構造部材の健全性に対する評価方法	40
4.1.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	40
4.1.3	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価方法	40

5. 耐震評価結果	41
5.1 施設の損傷，転倒による影響評価結果	41
5.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果	41
5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	42
5.1.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価結果	42

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、土留め工（親杭）が上位クラス施設である2号機原子炉建物、2号機廃棄物処理建物、第1ベントフィルタ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価では、上位クラス施設の有する機能が保持されることを確認するため、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を行い、土留め工（親杭）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により、施設が損傷及び転倒しないことを確認する。また、常時応力解析におけるグラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

土留め工の設置位置図を図 2-1 に示す。

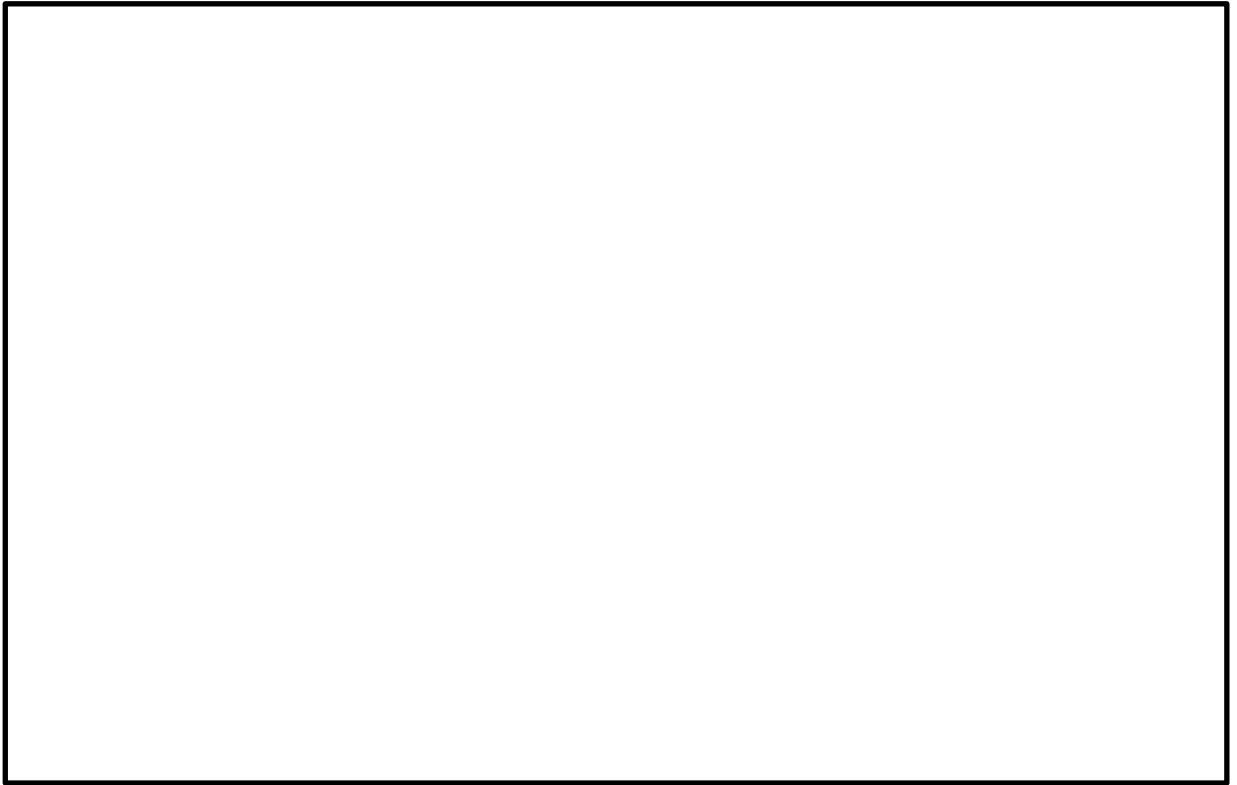


図 2-1 土留め工（親杭）の設置位置図

2.2 構造概要

土留め工（親杭）は、全長 11.0m～31.98m の H 形鋼及びグラウンドアンカで構成される構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

土留め工（親杭）の断面位置図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3～図 2-8 に、土留め工（親杭）を構成する部材の破壊モードを図 2-9 に、土留め工（親杭）が損傷・転倒した場合に影響を及ぼす範囲を図 2-10 に、検討対象断面位置図を図 2-11 に、検討対象断面付近の正面図を図 2-12～図 2-14 に示す。

図 2-9 のとおり、土留め工（親杭）のうち、親杭以外の土留めを構成する部材は、損傷、落下を想定しても、上位クラス施設への離隔が十分確保できていることから、波及的影響評価の対象外とする。親杭については、図 2-10 に示す範囲において、上位クラス施設までの離隔距離が確保できないことから、図 2-11 に示す③-③' 断面、④-④' 断面及び⑥-⑥' 断面を検討対象断面とした。

グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.8 耐震評価フロー」で後述するとおり、追加対策工（改良地盤、埋戻コンクリート）の施工時において撤去する。

なお、土留め⑥の鋼管矢板についても親杭と同様に転倒のおそれがあるが、図 2-10 に示すとおり、鋼管矢板 A と施設の間は薬液注入工法を施工しているため、鋼管矢板 A は、上位クラス施設の方向に転倒しないことから、波及的影響評価の対象外とする。

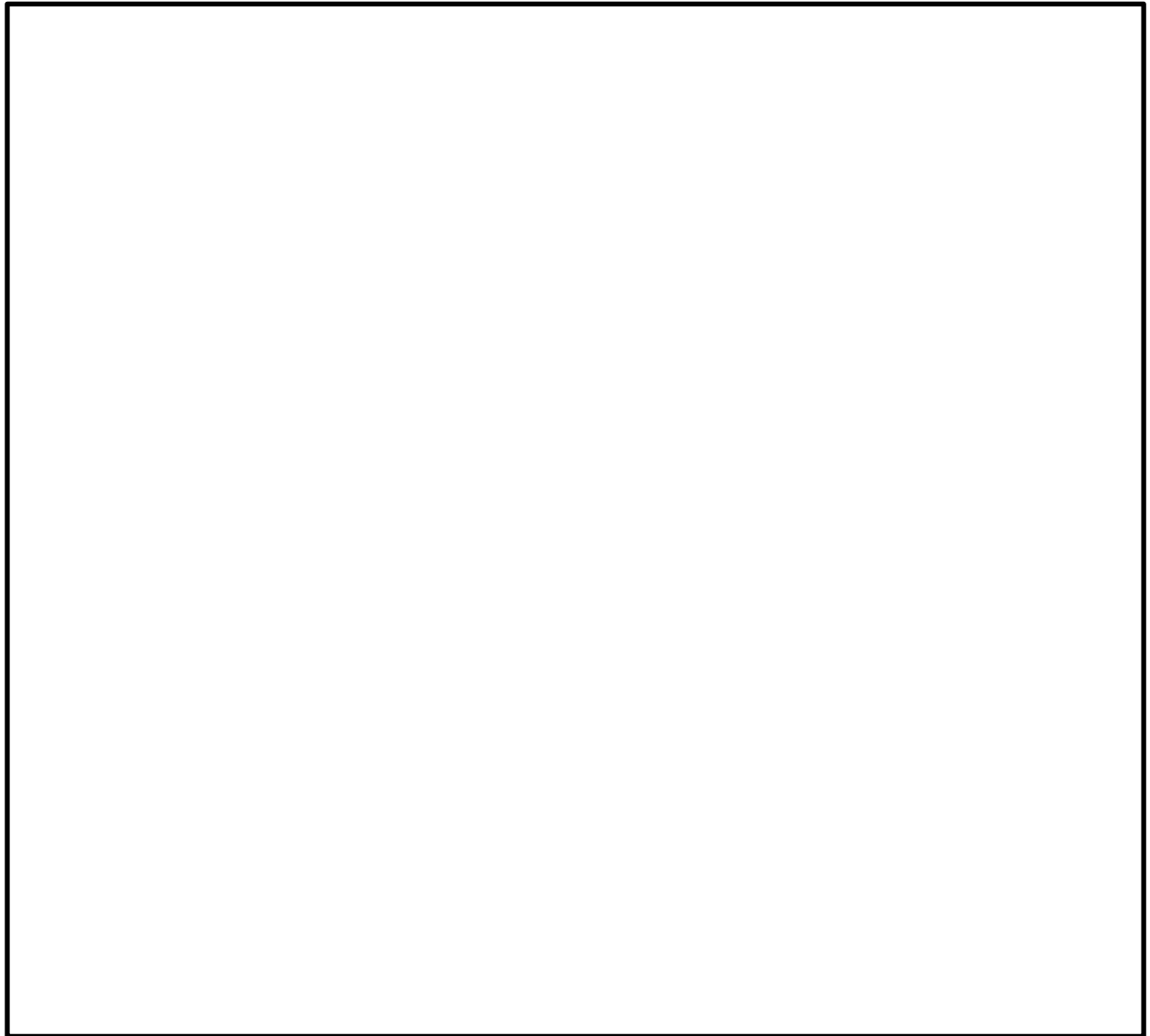
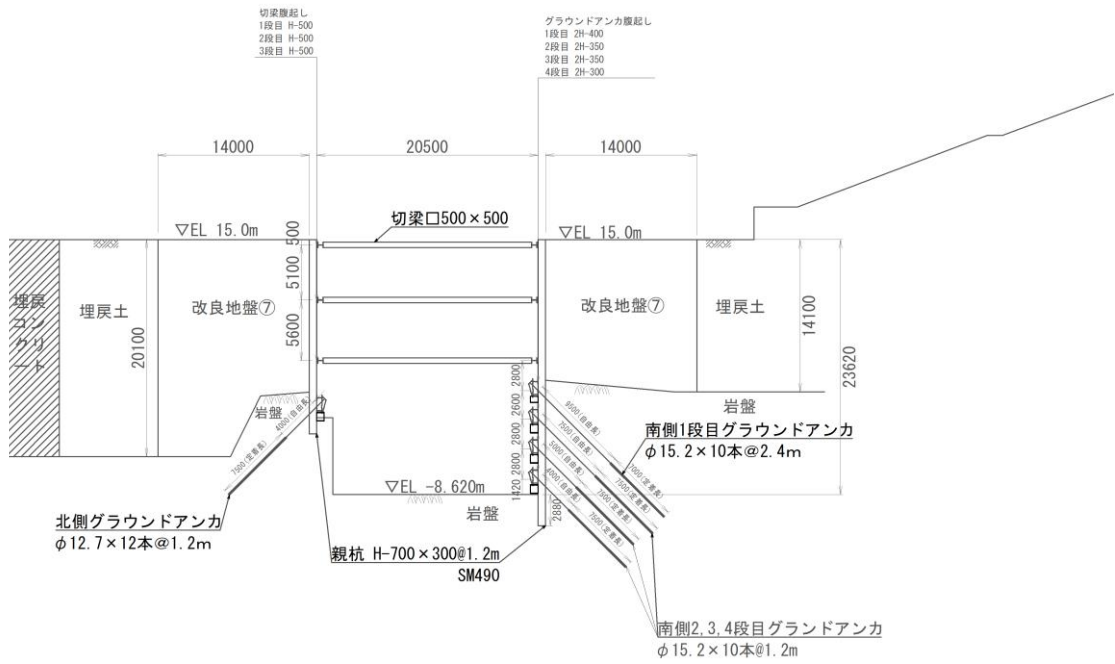
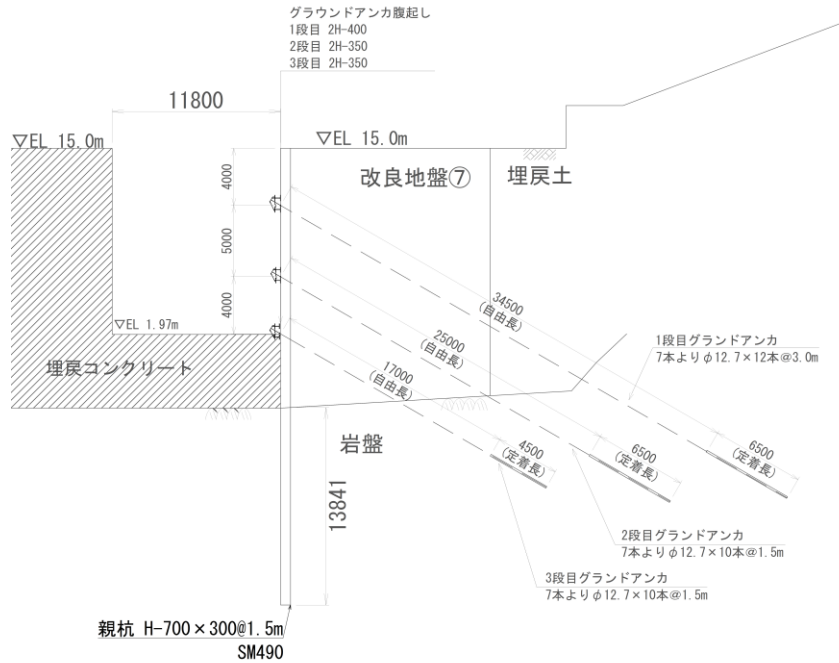


図 2-2 土留め工（親杭）断面位置図



(単位：mm)

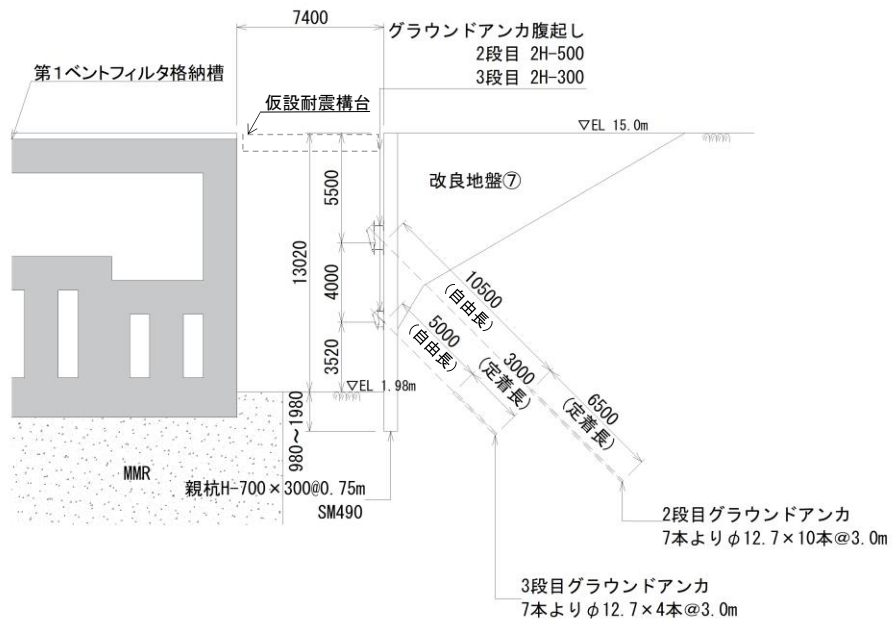
図 2-3 土留め工（親杭） 概略断面図（①-①' 断面）



注：グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.8 耐震評価フロー」で後述する
とおり、追加対策工（改良地盤）の施工時において撤去するため破線で記載

(単位：mm)

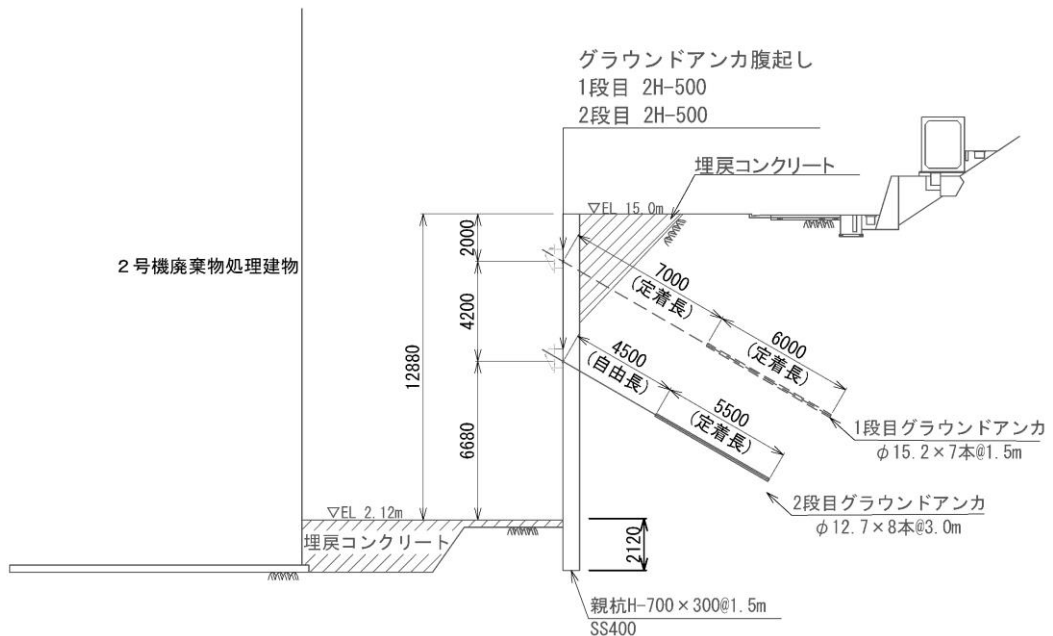
図 2-4 土留め工（親杭） 概略断面図（②-②' 断面）



注：グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.8 耐震評価フロー」で後述する
とおり、追加対策工（改良地盤）の施工時において撤去するため破線で記載

（単位：mm）

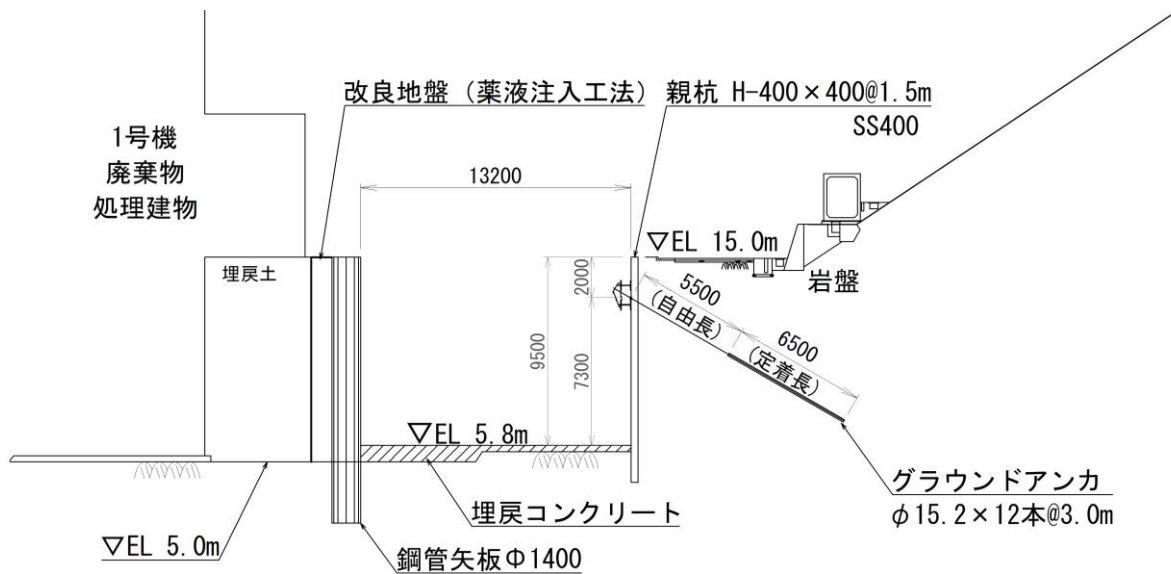
図 2-5 土留め工（親杭） 概略断面図（③-③' 断面）



注：グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.8 耐震評価フロー」で後述する
とおり、追加対策工（埋戻コンクリート）の施工時において撤去するため破線で記載

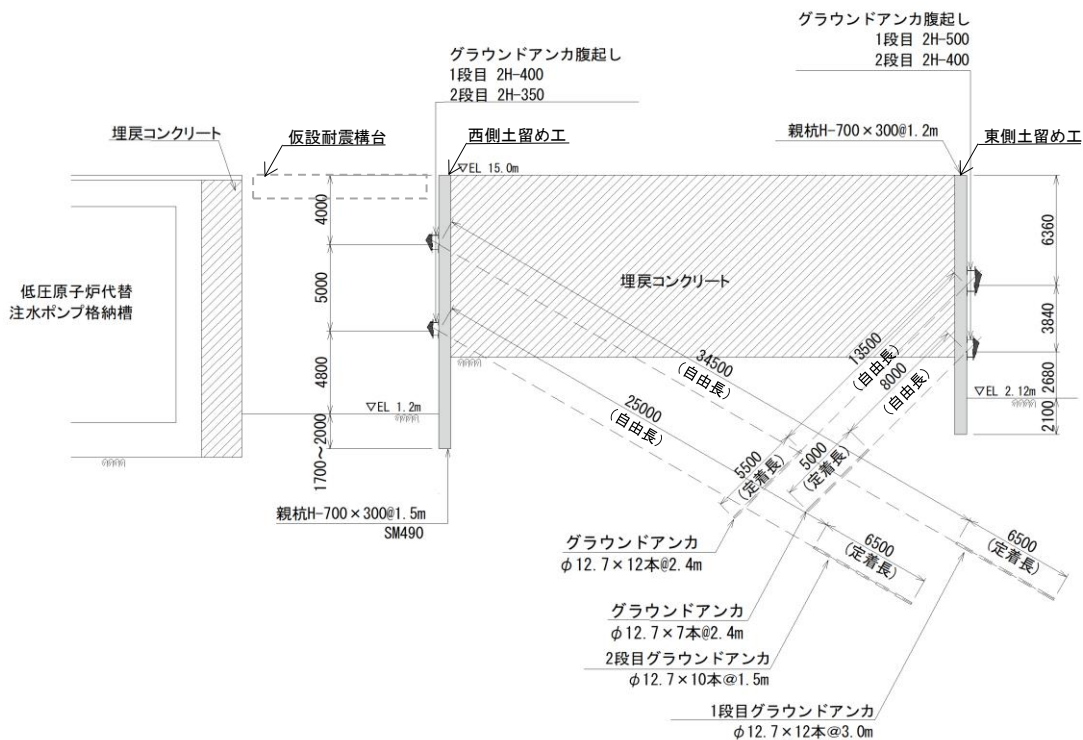
（単位：mm）

図 2-6 土留め工（親杭） 概略断面図（④-④' 断面）



(単位：mm)

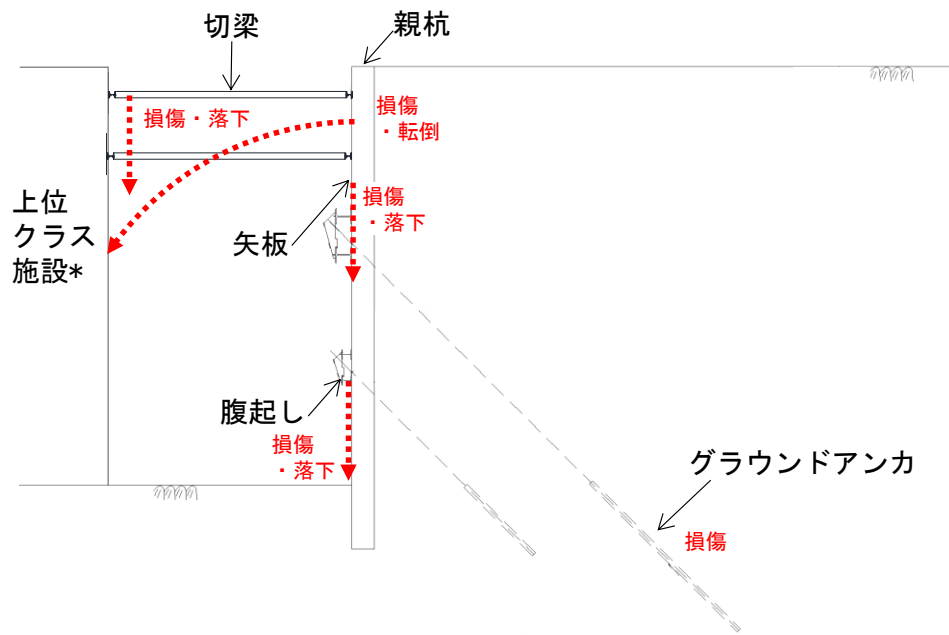
図2-7 土留め工（親杭） 概略断面図（⑤-⑤'断面）



注：グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.8 耐震評価フロー」で後述する
とおり、追加対策工（埋戻コンクリート）の施工時において撤去するため破線で記載

(単位：mm)

図2-8 土留め工（親杭） 概略断面図（⑥-⑥'断面）



注記*：切梁が設置される範囲は、上位クラス施設ではなく改良地盤⑦若しくは埋戻土コンクリートとなる。（図 2-10 参照）

	想定破壊モード	上位クラス施設への波及的影響の有無	
親杭	損傷, 転倒	あり	親杭の全長が掘削幅よりも長い箇所があるため、損傷・転倒した場合に上位クラス施設へ衝突し、波及的影響を及ぼすおそれがある。
グラウンドアンカ	損傷	なし	グラウンドアンカが損傷した場合でも、損傷したグラウンドアンカは岩盤内に留まるため、上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれはない。
腹起し 矢板	損傷, 落下	なし	損傷・落下した場合でも、上位クラス施設へ衝突しないことから、上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれはない。
切梁	損傷, 落下	なし	切梁が設置される範囲は、周辺に上位クラス施設は位置せず、上位クラス施設への離隔距離が確保されていることから、上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれはない。（図 2-5 参照）

図 2-9 土留め工（親杭）を構成する部材の破壊モード

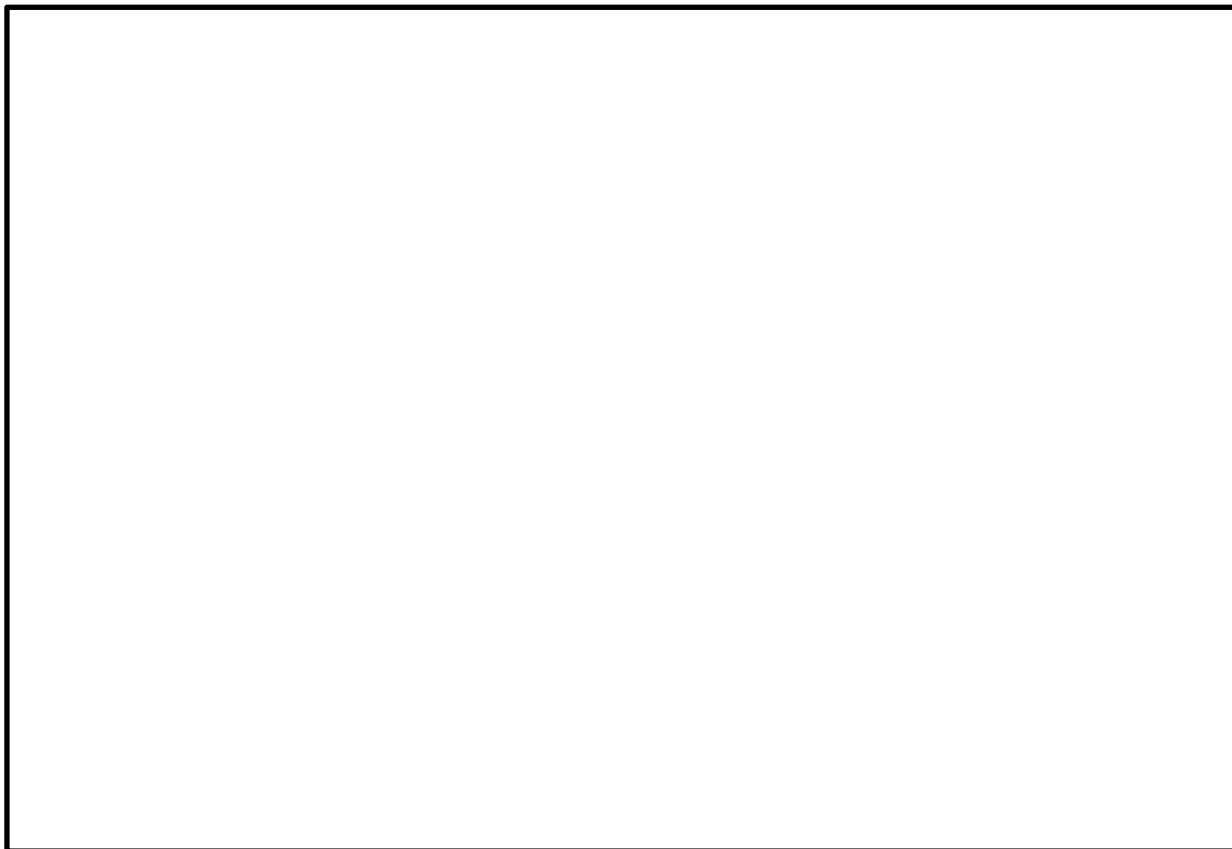


図 2-10 土留め工が損傷・転倒した場合に影響を及ぼす範囲

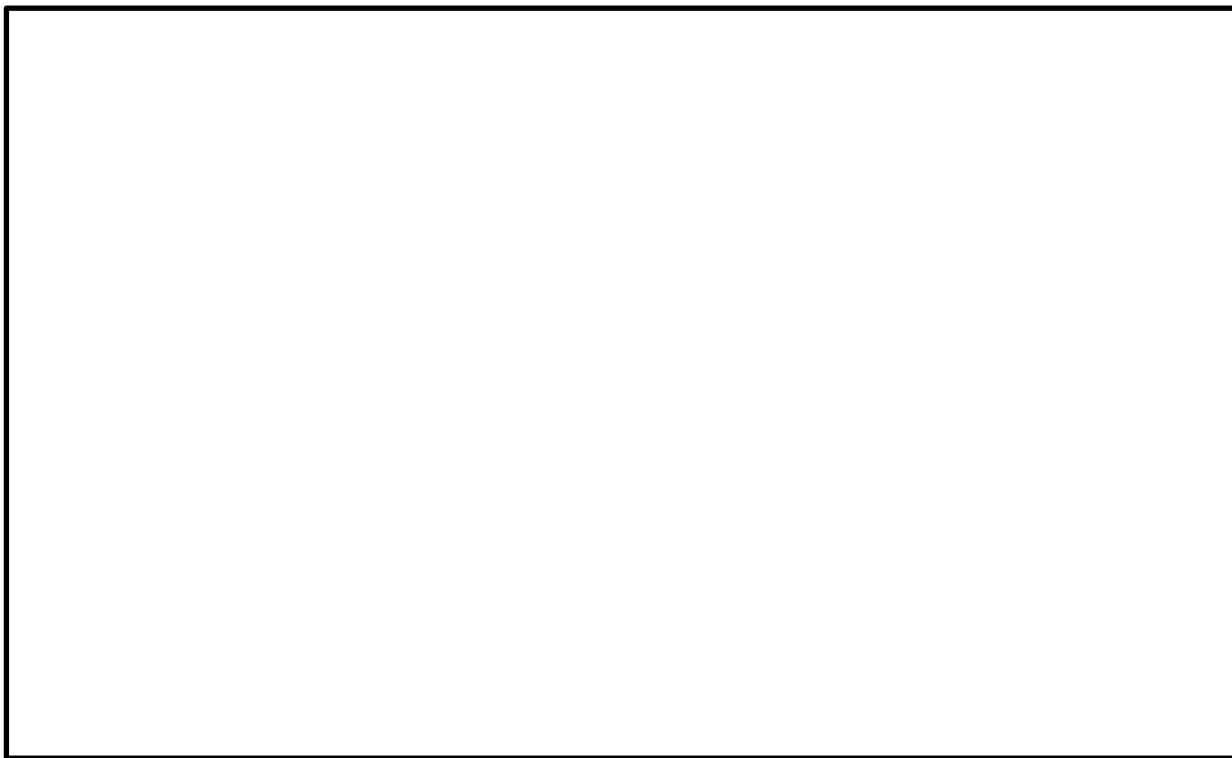
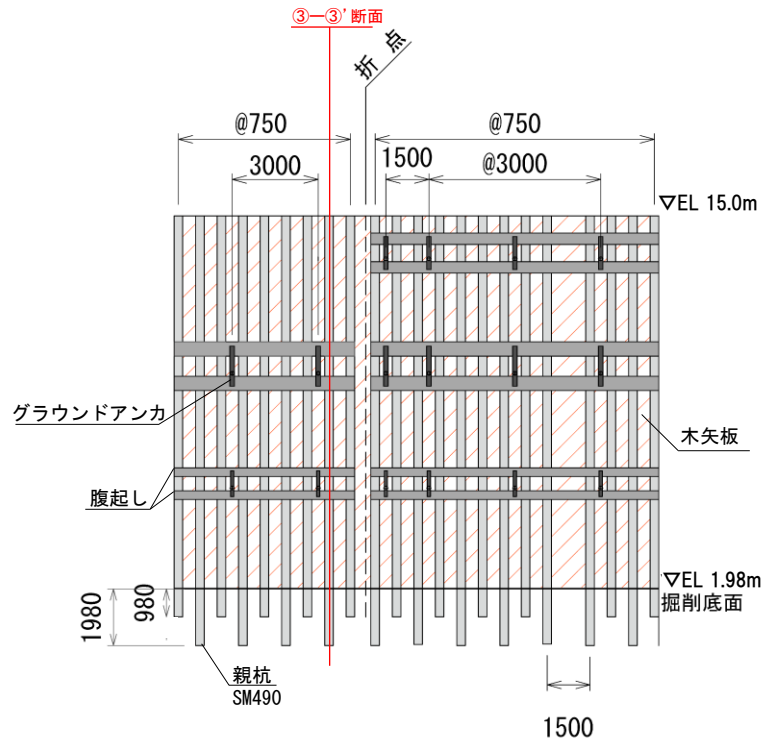


図 2-11 土留め工（親杭） 検討対象断面位置図



(単位：mm)

図 2-12 土留め工（親杭） 正面図（③-③' 断面）

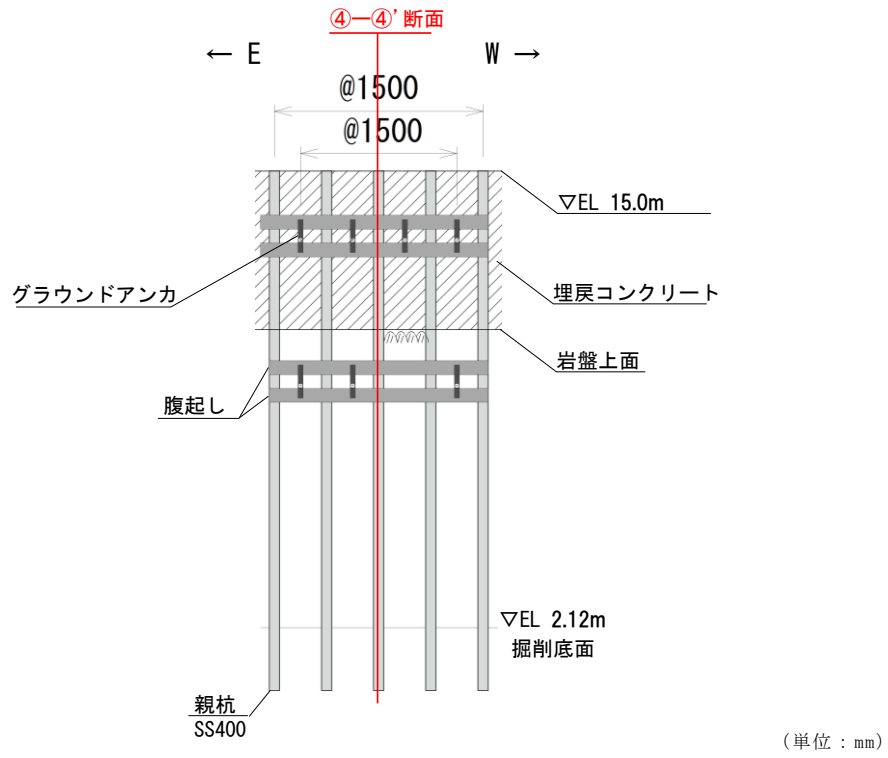
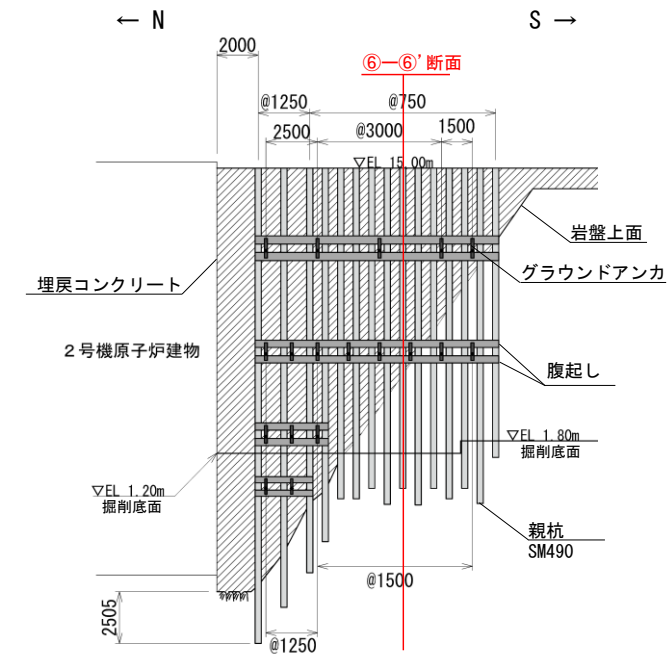
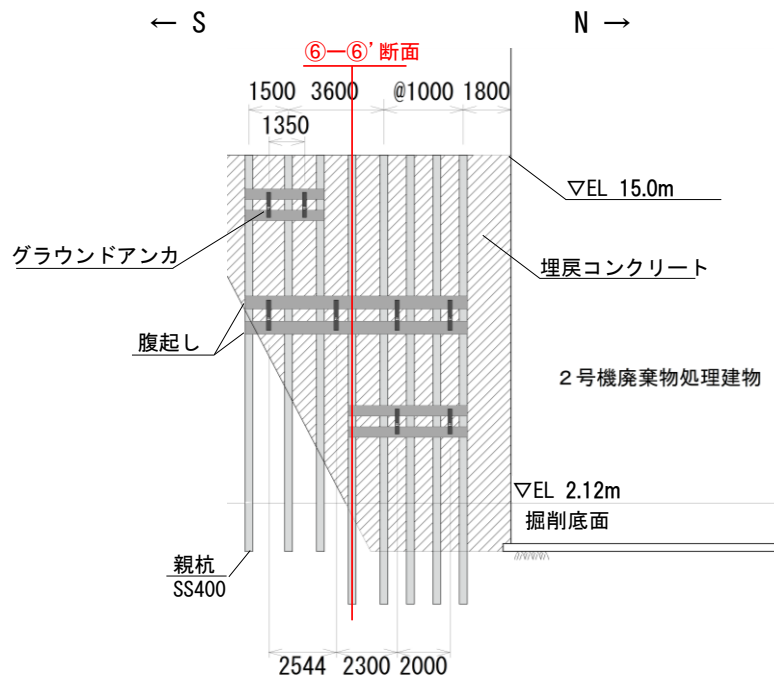


図 2-13 土留め工 (親杭) 正面図 (④-④'断面)



(西側土留め工)



(東側土留め工)

(単位 : mm)

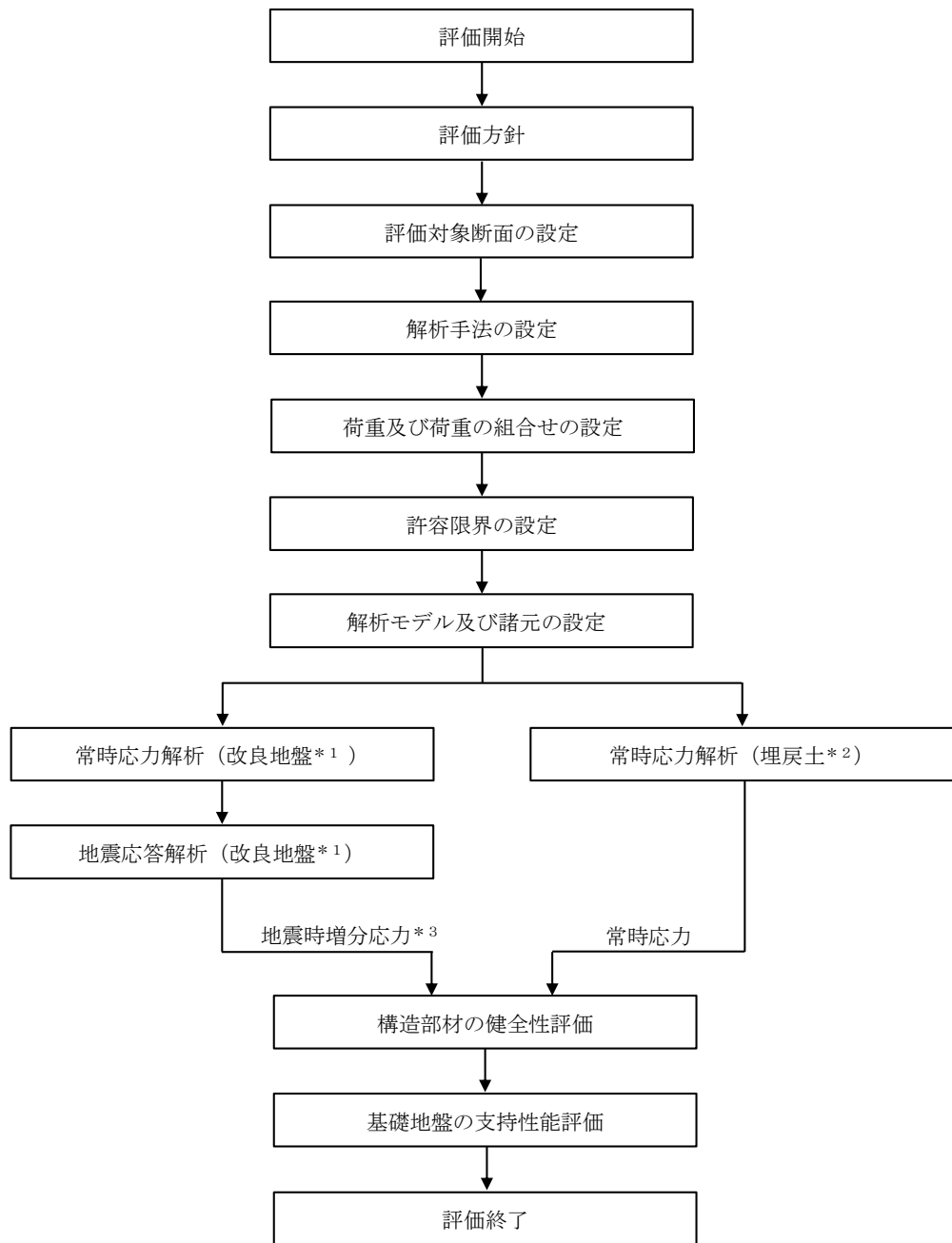
図 2-14 土留め工 (親杭) 正面図 (⑥-⑥' 断面)

2.3 評価方針

土留め工（親杭）の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価を行う。土留め工（親杭）の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価を行う。施設の損傷及び転倒による影響では、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価を行う。

また、グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、追加対策工（改良地盤）の施工時に撤去するため、常時応力解析時にのみ引張力を考慮することとし、常時応力解析におけるグラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価を行う。

波及的影響の評価フロー図を図 2-15 に示す。



注記*1：土留め工（親杭）背面が改良地盤の状態

*2：土留め工（親杭）背面が埋戻土の状態

*3：地震時増分応力は、地震応答解析（改良地盤）の応力から、常時応力解析（改良地盤）の応力を差し引いた応力

図 2-15 土留め工（親杭）の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012 年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

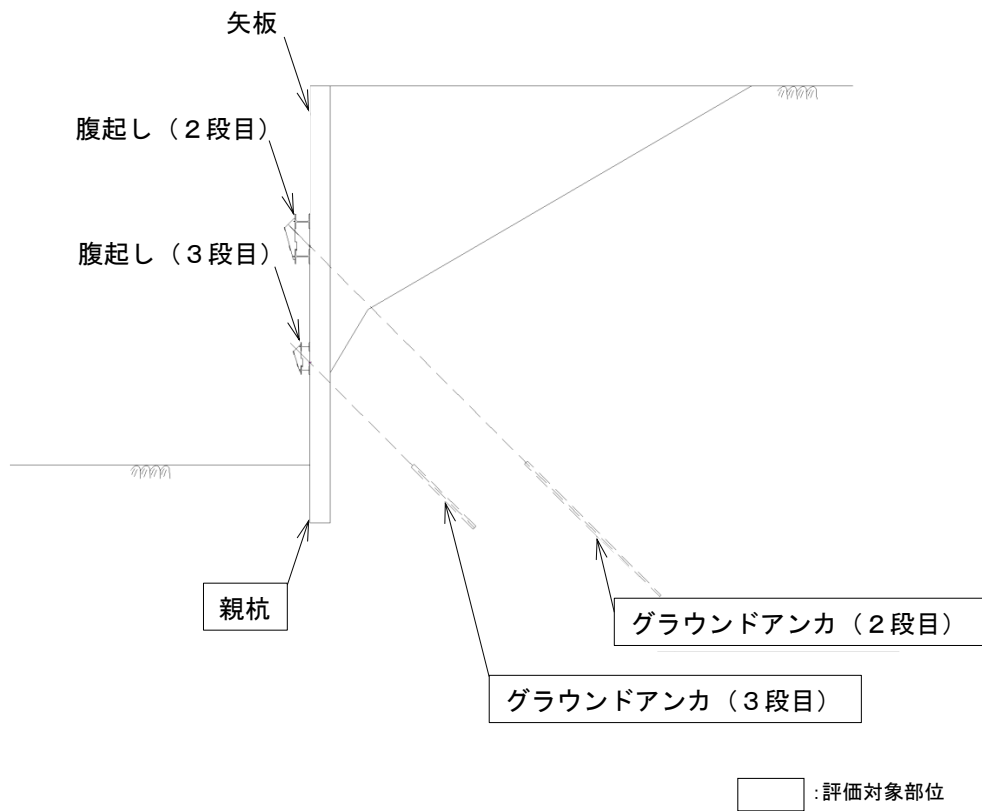
土留め工（親杭）の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

評価対象部位は、親杭及びグラウンドアンカとする。土留め工（親杭）の構造部材を図 3-1 に示す。

構造部材の健全性評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる 2 次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる評価対象部位の曲げ軸力及びせん断力が、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

基礎地盤の支持性能評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる 2 次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる発生する応力（接地圧）が、土留め工（親杭）の設置地盤における許容限界を超えないことを確認する。

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価については、常時応力解析における発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。



注：グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.3 評価方針」に記載のとおり、追加対策工（改良地盤）の施工時において撤去する。（グラウンドアンカは破線で記載）

図 3-1 土留め工（親杭）の構造部材

3.2 評価対象断面

土留め工のうち，波及的影響を及ぼすおそれのある範囲から，評価対象断面を選定する。土留め工（親杭）の検討対象断面位置図を図3-2に示す。

③-③'断面，④-④'断面及び⑥-⑥'断面について，構造的特徴，周辺地盤状況等の影響要因を比較し，耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として選定する。

検討対象断面図を図3-3～図3-5に示す。

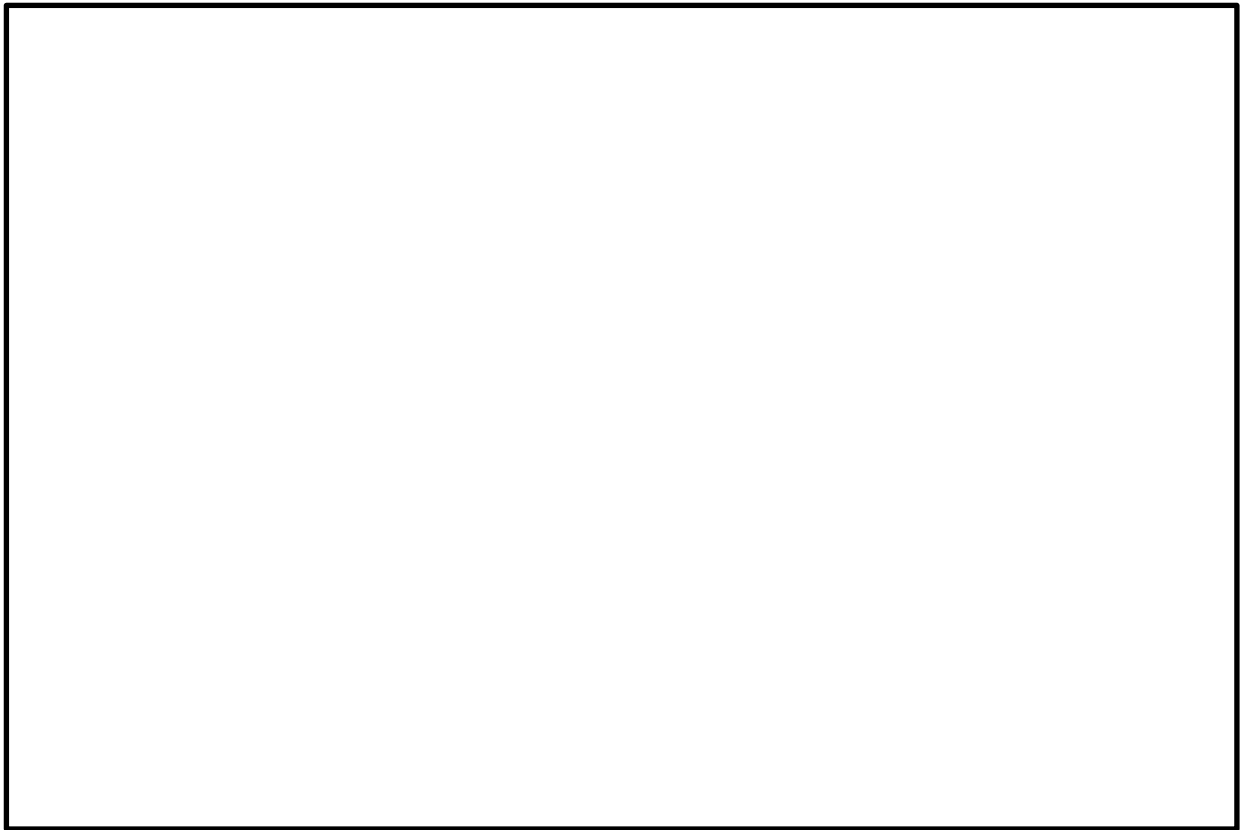
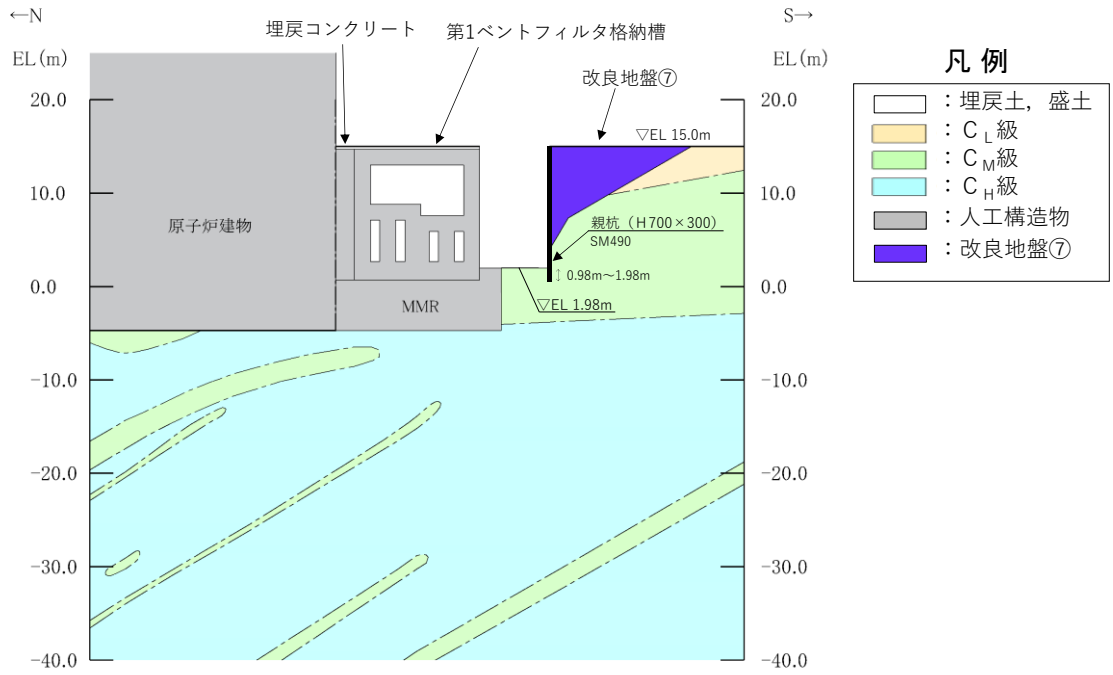
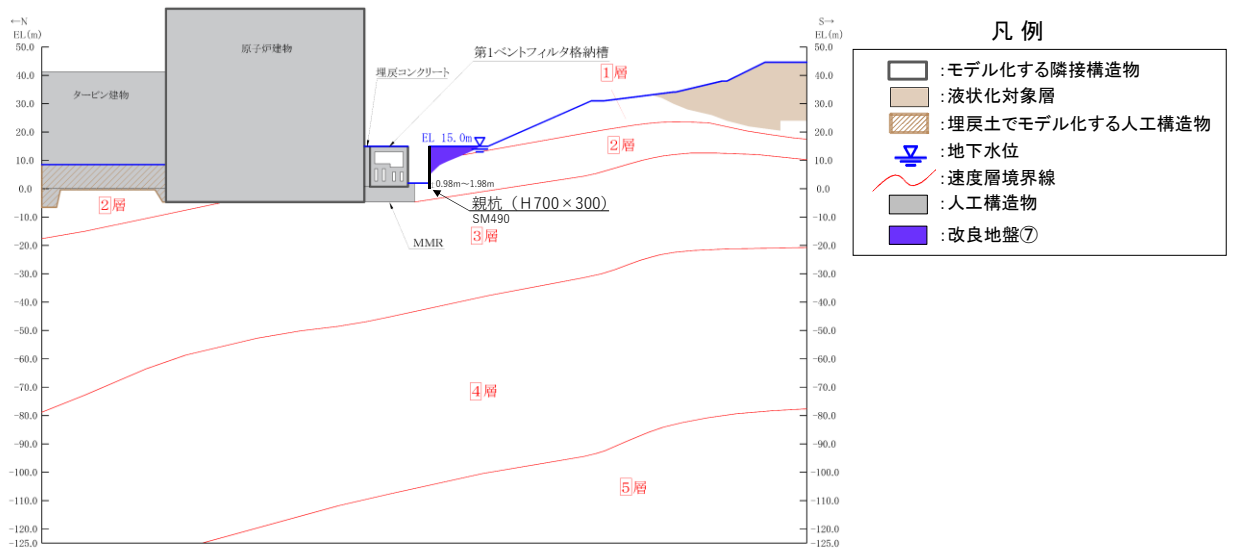


図3-2 土留め工（親杭）の検討対象断面位置図

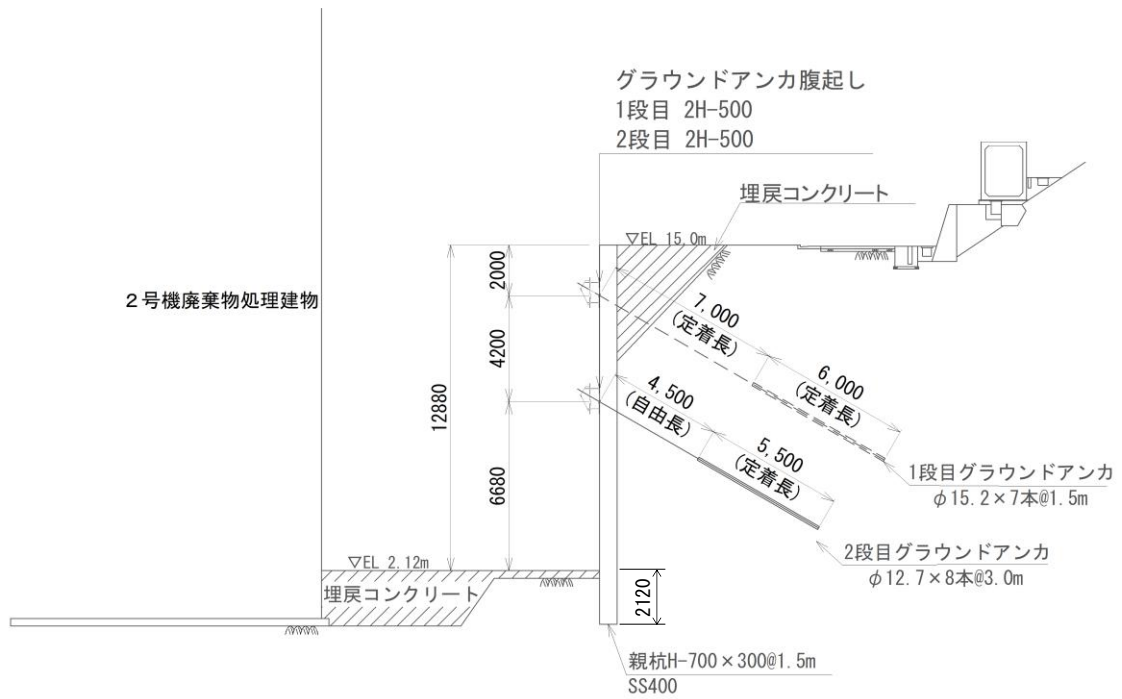


(岩級図)



(速度層図)

図 3-3 土留め工 (親杭) 検討対象断面図 (③-③' 断面)



注：グラウンドアンカのうち、頭部が埋戻土部に位置しているものについては、「2.8 耐震評価フロー」で後述する
とおり、追加対策工（埋戻コンクリート）の施工時において撤去するため破線で記載

(単位：mm)

(概略断面図)

図 3-4 土留め工（親杭） 検討対象断面図（④-④' 断面）

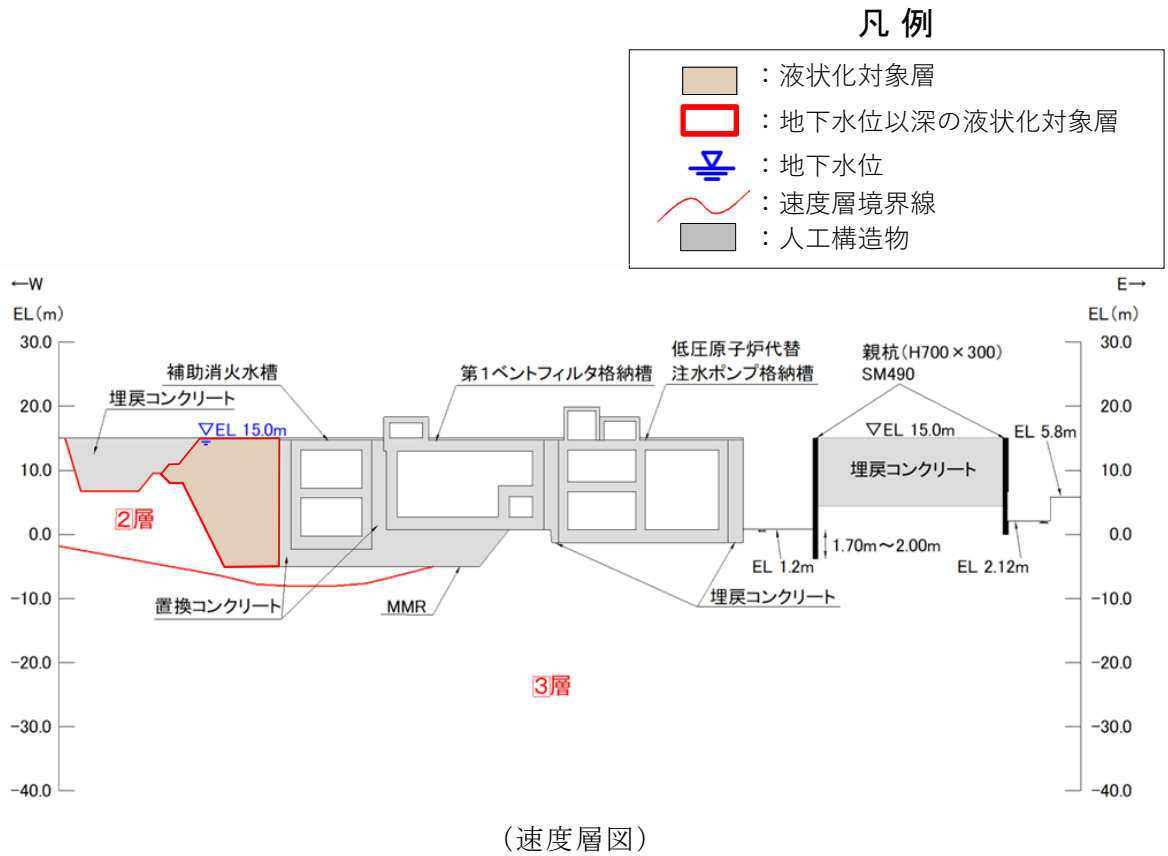
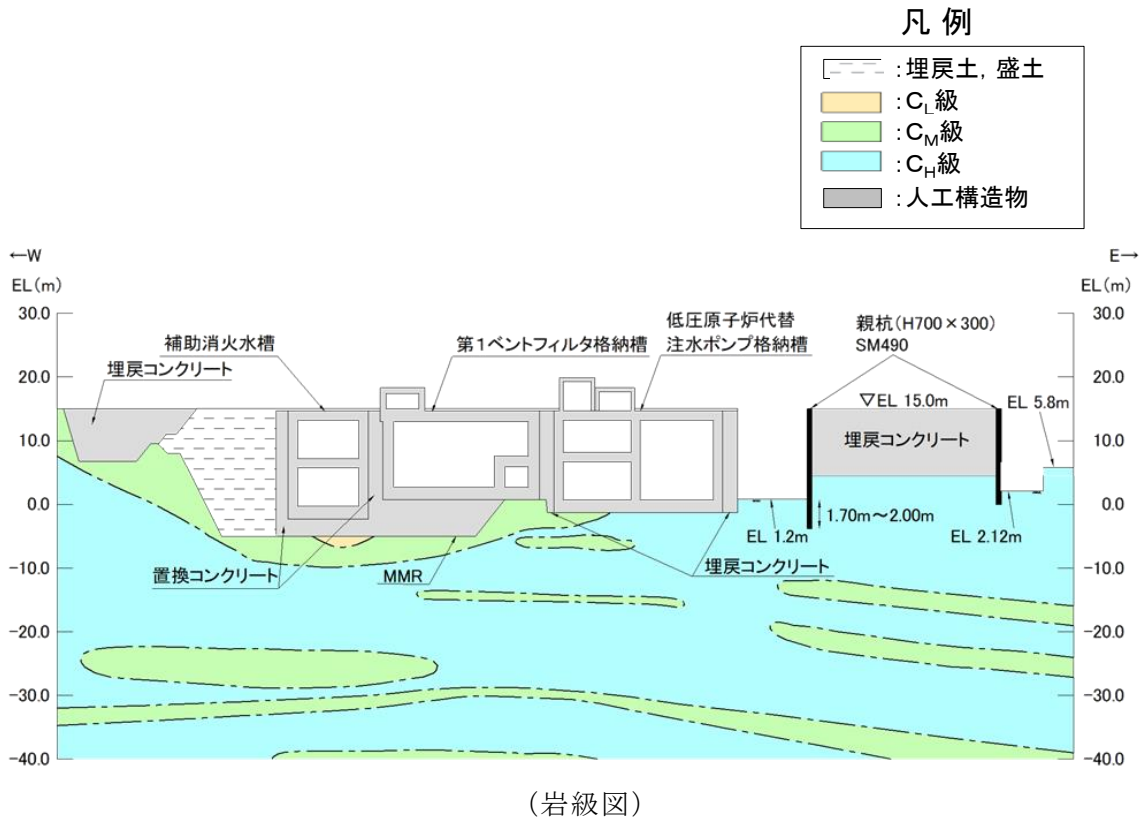


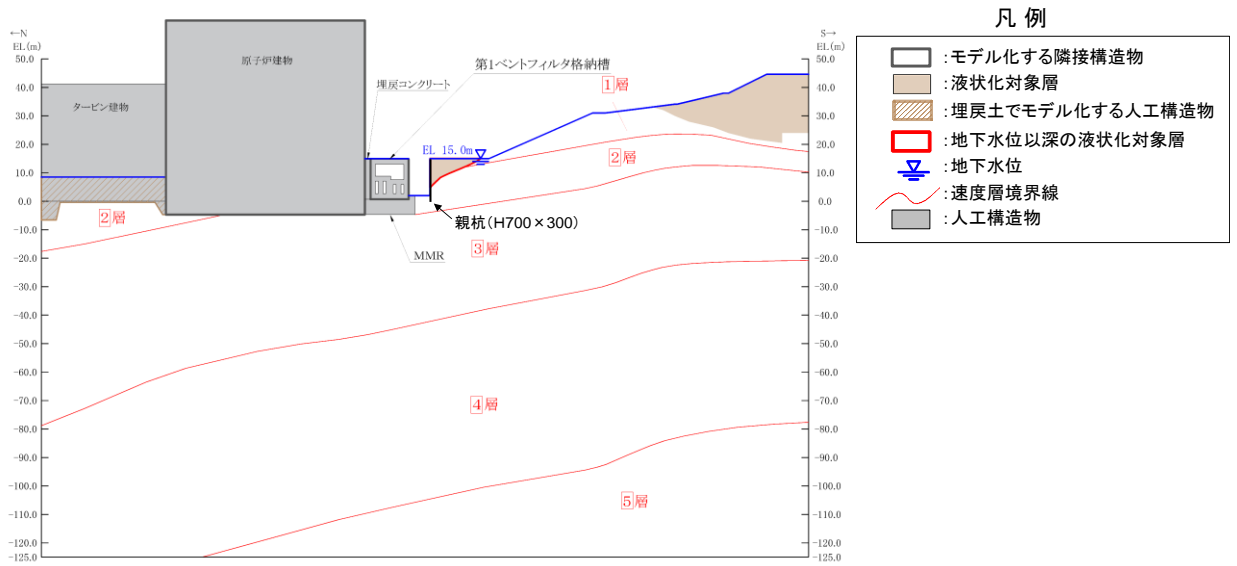
図 3-5 土留め工 (親杭) 検討対象断面図 (⑥-⑥' 断面)

表 3-1 のとおり、③-③' 断面は、根入れが浅く、背面の地盤改良及び岩盤斜面による土圧が想定されることから、評価対象断面に選定する。

土留め工（親杭）の評価対象断面図を図 3-6 及び図 3-7 に示す。

表 3-1 評価対象断面の選定結果

評価対象断面	影響するおそれのある上位クラス施設	影響要因					該当する影響要因	選定理由
		(1) 構造・寸法	(2) 掘削深さ	(3) 根入れ	(4) 転倒等に対する配慮	(5) 背面土圧		
③-③' 断面	第1ペントフィルタ格納槽 第1ペントフィルタ格納槽遮蔽 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	SM490 H700×300×13×24	13.02m	0.98m ～ 1.98m	—	背面の地盤改良及び岩盤斜面による土圧	(3) (4) (5)	根入れが浅く、背面の地盤改良及び岩盤斜面による土圧が想定されることから、評価対象断面に選定する。
④-④' 断面	2号機廃棄物処理建物	SS400 H700×300×13×24	12.88m	2.12m	親杭を巻き込んで埋戻コンクリートを打設する	背面は埋戻コンクリート及び岩盤であり、土圧は作用しない	(1)	A-A'断面に比べ、使用材料のせん断強度等が小さいが、掘削深さが浅く、根入れが深いこと、親杭を巻き込んで埋戻コンクリートが打設されており、転倒等に対する配慮がなされていること、及び背面の土圧が作用しないと考えられることから、A-A'断面の評価に代表させる。
⑥-⑥' 断面	2号機原子炉建物 2号機廃棄物処理建物	SM490 H700×300×13×24	13.80m	1.70m ～ 2.00m	親杭を巻き込んで埋戻コンクリートを打設する	背面は埋戻コンクリート及び岩盤であり、土圧は作用しない	(2)	A-A'断面に比べ、掘削深さが深い、根入れが深いこと、親杭を巻き込んで埋戻コンクリートが打設されており、転倒等に対する配慮がなされていること、及び背面の土圧が作用しないと考えられることから、A-A'断面の評価に代表させる。



注：グラウンドアンカは省略している。

図 3-6 土留め工（親杭） 評価対象断面図（③-③' 断面）
（地盤改良前）

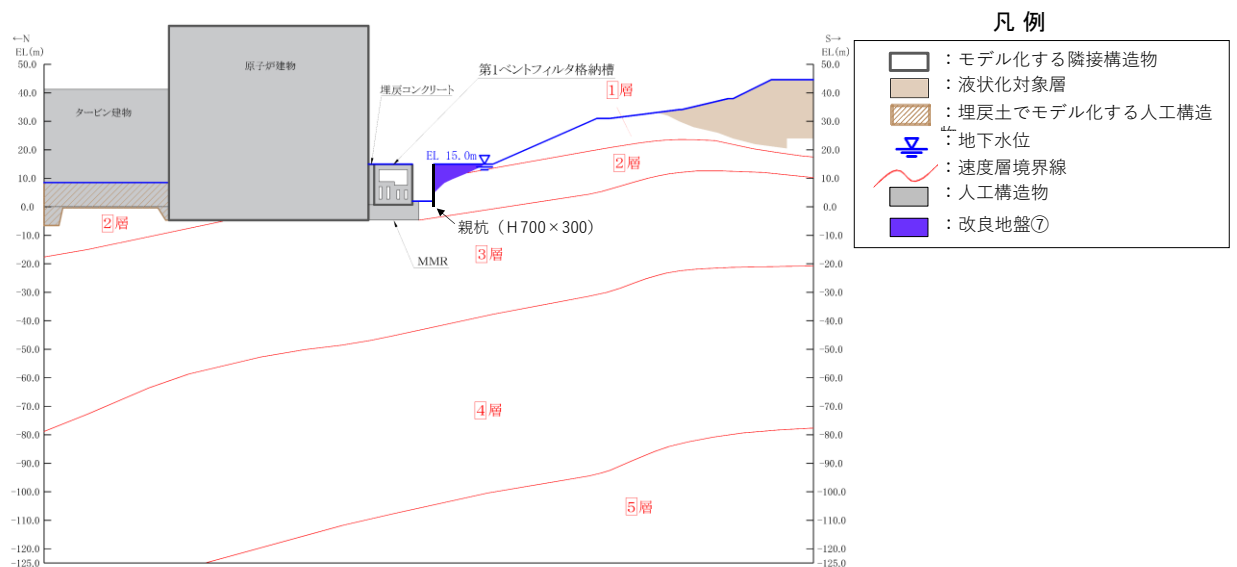


図 3-7 土留め工（親杭） 評価対象断面図（③-③' 断面）
（地盤改良後）

3.3 解析方法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる２次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。

土留め工（親杭）周辺の地下水位は親杭下端より高いが土留め工（親杭）周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため全応力解析を選定する。

地震応答解析については、解析コード「T D A P III」を使用する。

なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 地盤物性

地震応答解析に用いる解析ケースを表 3-2 に示す。

土留め工（親杭）の耐震評価において支配的な改良地盤⑦については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のとおり、解析用物性値の設定において耐震評価上保守的になるように設定されていること、及び実施工において設計値を上回るように施工されることから、改良地盤のばらつきを踏まえても保守的な設定になっていると判断し、地盤のばらつきは考慮しないこととする。

表 3-2 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	改良地盤⑦	岩盤
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値

3.3.2 減衰定数

減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-3 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-3 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

評価対象断面	α	β
③-③' 断面	3.744×10^{-1}	8.753×10^{-4}

3.3.3 地震応答解析の解析ケースの選定

土留め工（親杭）の耐震評価における解析ケースは、掘削箇所に設置した地上構造物であり、水平方向の慣性力による影響が支配的であるため、基準地震動 S_s のうち、水平動が卓越した $S_s - D$ 及び $S_s - N1$ とする。

$S_s - N1$ については地震動の指向性を考慮し、親杭の転倒に対し最も厳しいと考えられる $S_s - N1$ (--) のみとする。

耐震評価における解析ケースは、表 3-4 に示す。

表 3-4 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①
			基本ケース
地盤物性			平均値
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
	$S_s - D$	+ - *	○
	$S_s - D$	- + *	○
	$S_s - D$	--*	○
	$S_s - N1$	--*	○

注記*：地震動の位相について、左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

3.4 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.4.1 荷重

土留め工（親杭）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、鋼材自重を考慮する。

(2) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、「松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日、松江市規則第234号）」により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重（P_k）

土留め工（親杭）は、近傍に2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽が設置されており、地表面より下に設置されていることから、風荷重を考慮しない。

(4) 地震荷重（S_s）

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-5に示す。

表3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（S _s ）	G + P _s + S _s

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

S_s : 地震荷重（基準地震動S_s）

3.5 許容限界

土留め工（親杭）の耐震評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

土留め工（親杭）の耐震評価における許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6 土留め工（親杭）の耐震評価における許容限界

機能設計上の性能目標	地震力	断面	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建物， 廃棄物処理建物，第1ベントフィルタ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさないこと	基準地震動 S _s	③-③' 断面	親杭	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度* ¹ 277.5N/mm ²
					短期許容せん断応力度* ¹ 157.5N/mm ²
			基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を超えないことを確認	極限支持力度* ² 9.8N/mm ²
	—* ⁴		グラウンドアンカ	グラウンドアンカの発生アンカー力が許容アンカー力を超えないことを確認	許容アンカー力別途算出* ³

注記*1：「3.5.1 親杭に対する許容限界」に示す。

*2：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す妥当な安全余裕を考慮する。

*3：「3.5.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界」に示す。

*4：「3. 評価方法」のとおり，常時応力解析による照査を行う。

3.5.1 親杭に対する許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

親杭の曲げ軸力に対する許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき表 3-7 のとおり設定する。

表 3-7 評価対象部位（親杭）の曲げ軸力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容曲げ圧縮応力度	277.5

(2) せん断力に対する許容限界

親杭のせん断に対する許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，表 3-8 のとおり設定する。

表 3-8 評価対象部位（親杭）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	157.5

3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

3.5.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界

グラウンドアンカの許容アンカー力は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」に基づき，テンドンの許容引張力，テンドンの許容拘束力，アンカーの許容引抜き力のうち，最も小さい値を設定する。

表 3-10 許容アンカー力及び設計アンカー力の設定(単位奥行あたり)

	2 段目	3 段目
テンドンの許容引張力 (kN)	396.5	158.6
テンドンの許容拘束力 (kN)	433.9	108.8
アンカーの許容引抜き力 (kN)	612.6	282.7
許容アンカー力 (kN)	396.5	108.8
設計アンカー力 (kN)	150.0	30.0

3.6 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により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。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動算定の概念図を図3-8に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図3-9～図3-12に③-③'断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

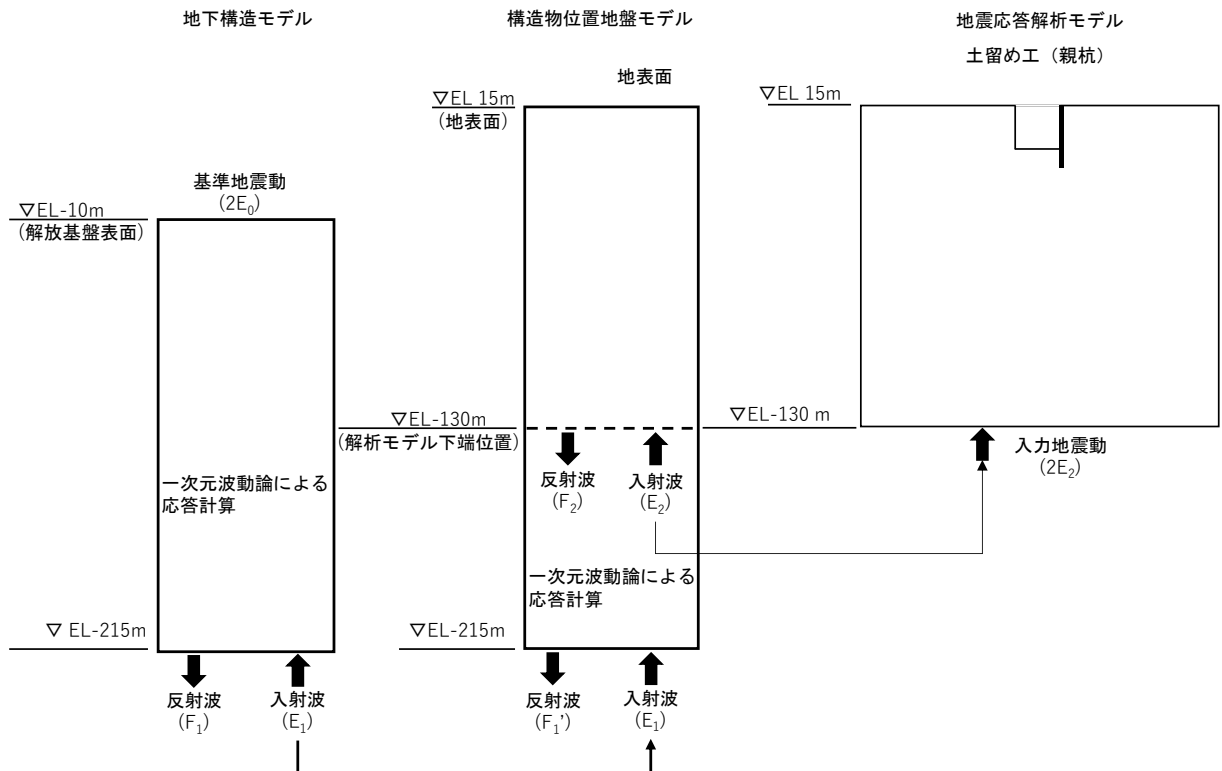
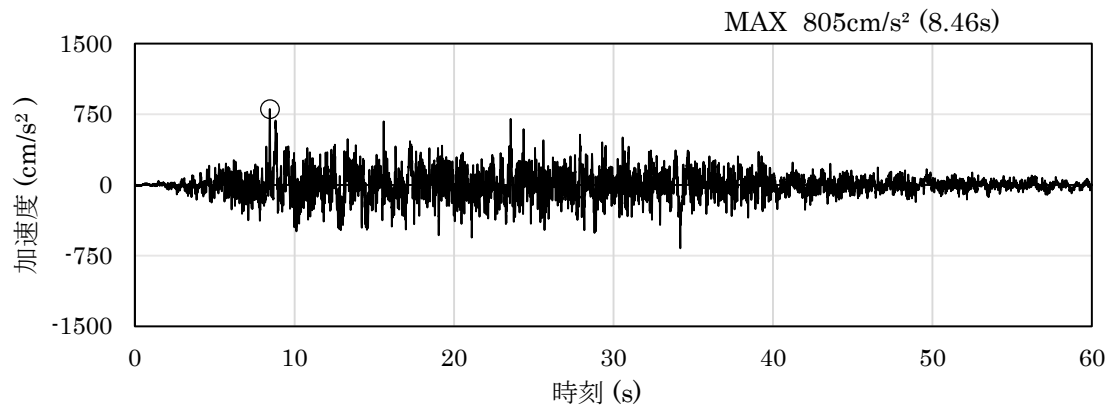
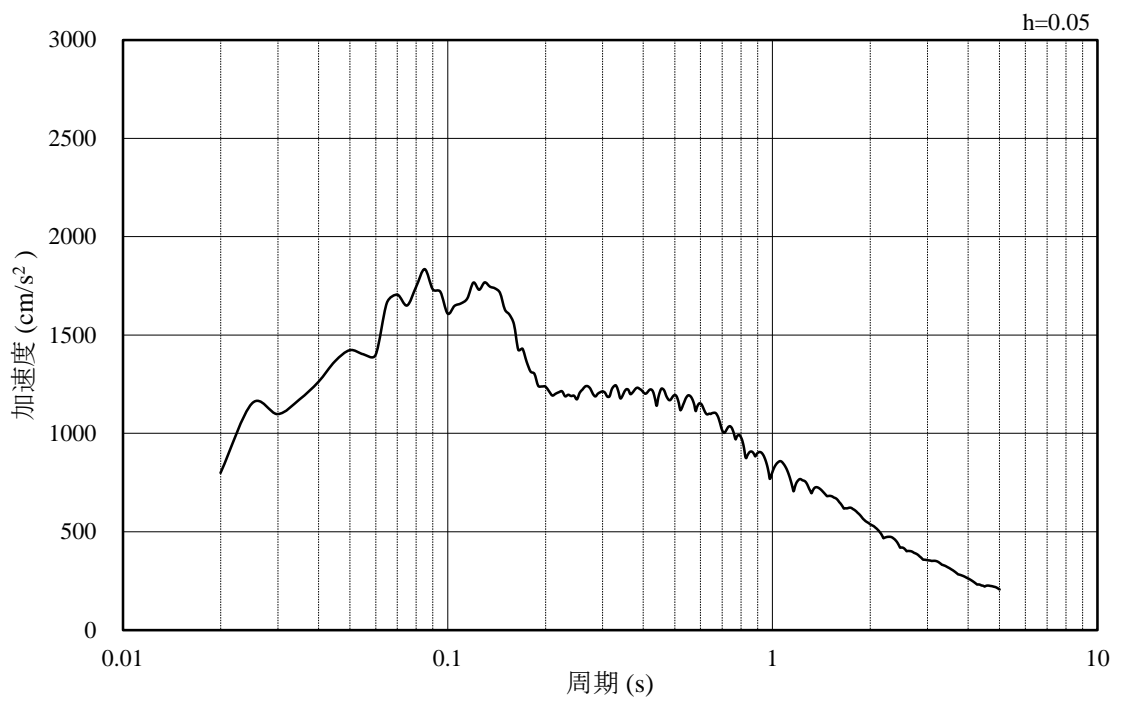


図3-8 入力地震動算定の概念図

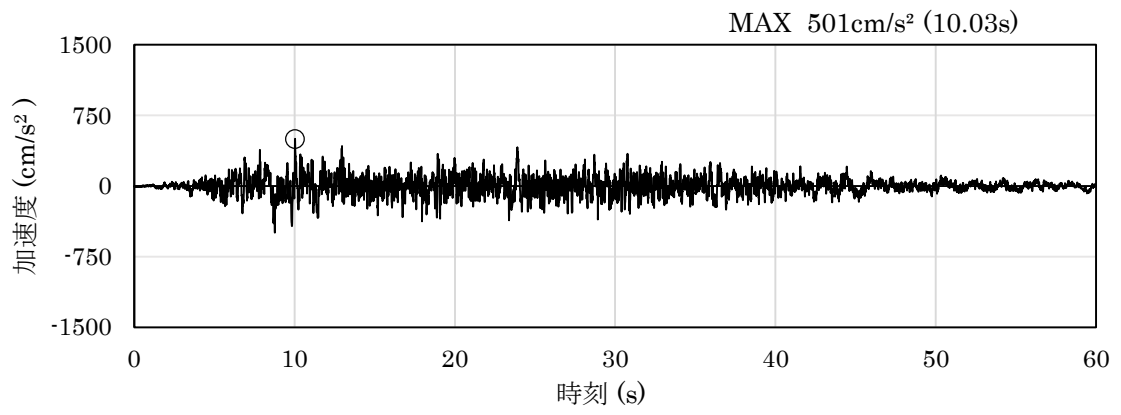


(a) 加速度時刻歴波形

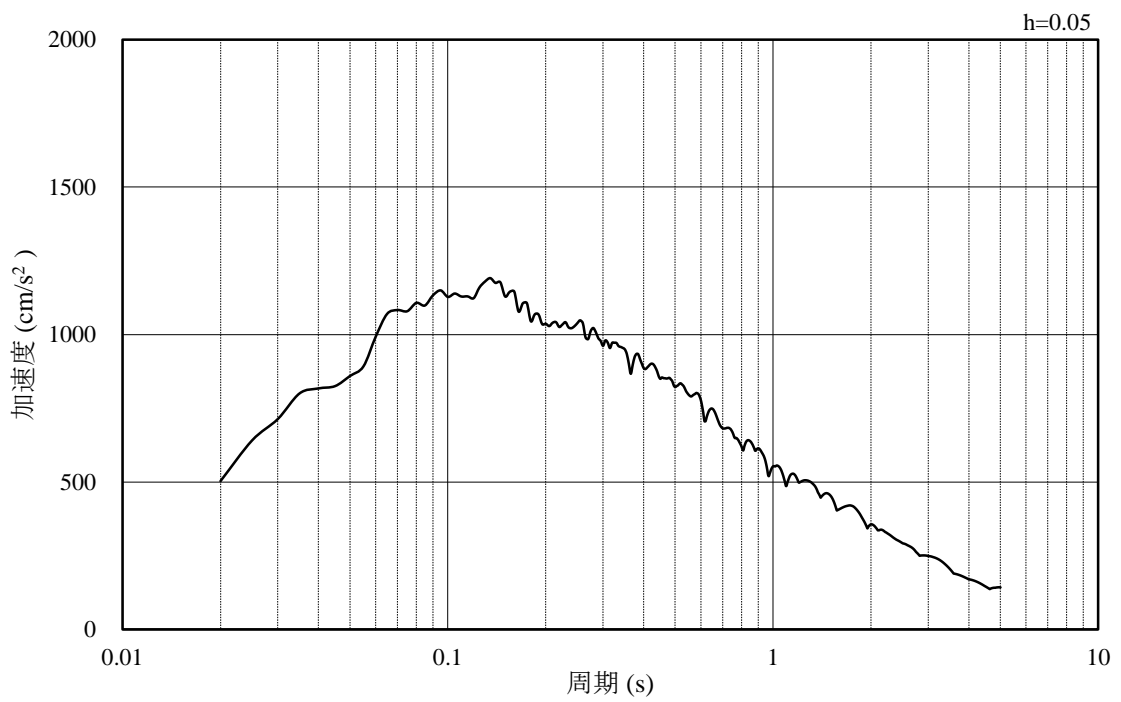


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D, EL-130m)

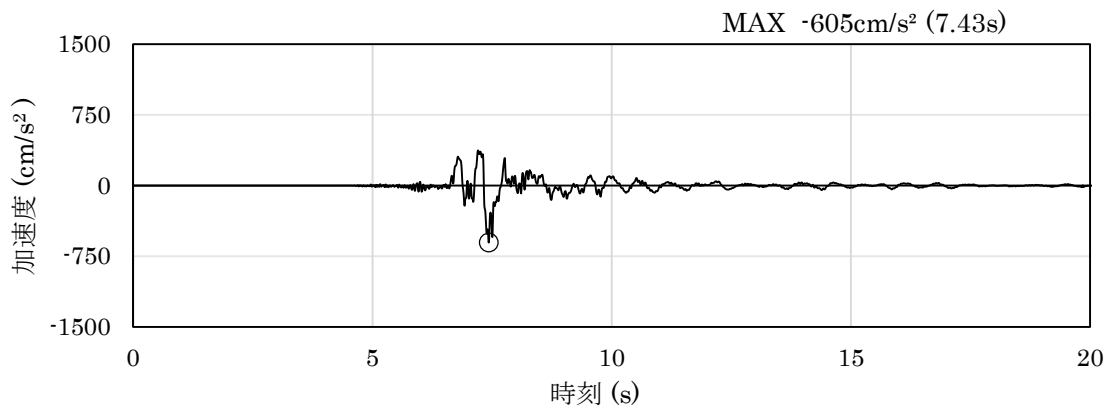


(a) 加速度時刻歴波形

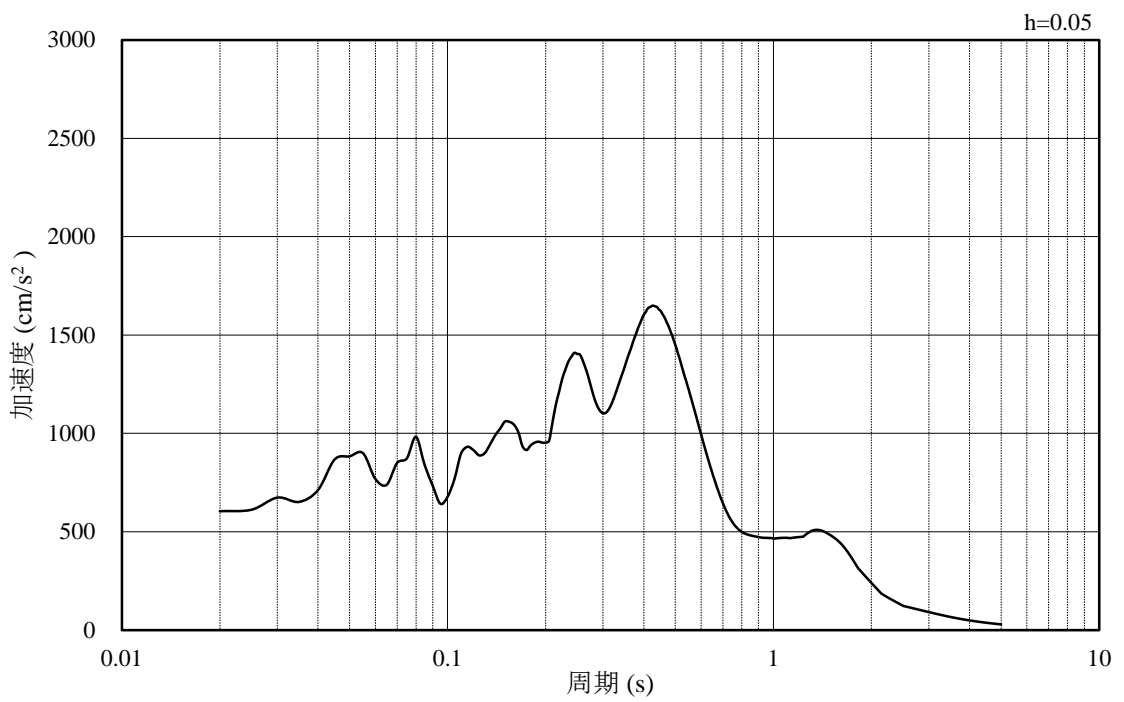


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D, EL-130m)

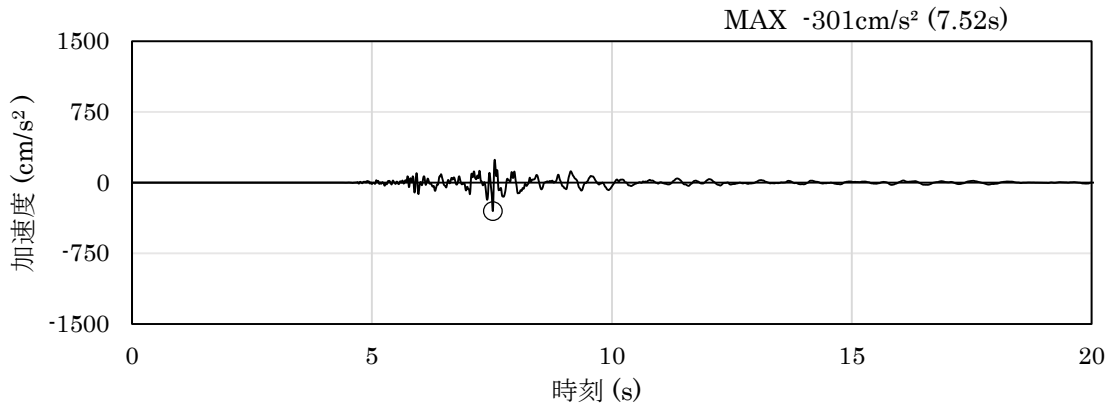


(a) 加速度時刻歴波形

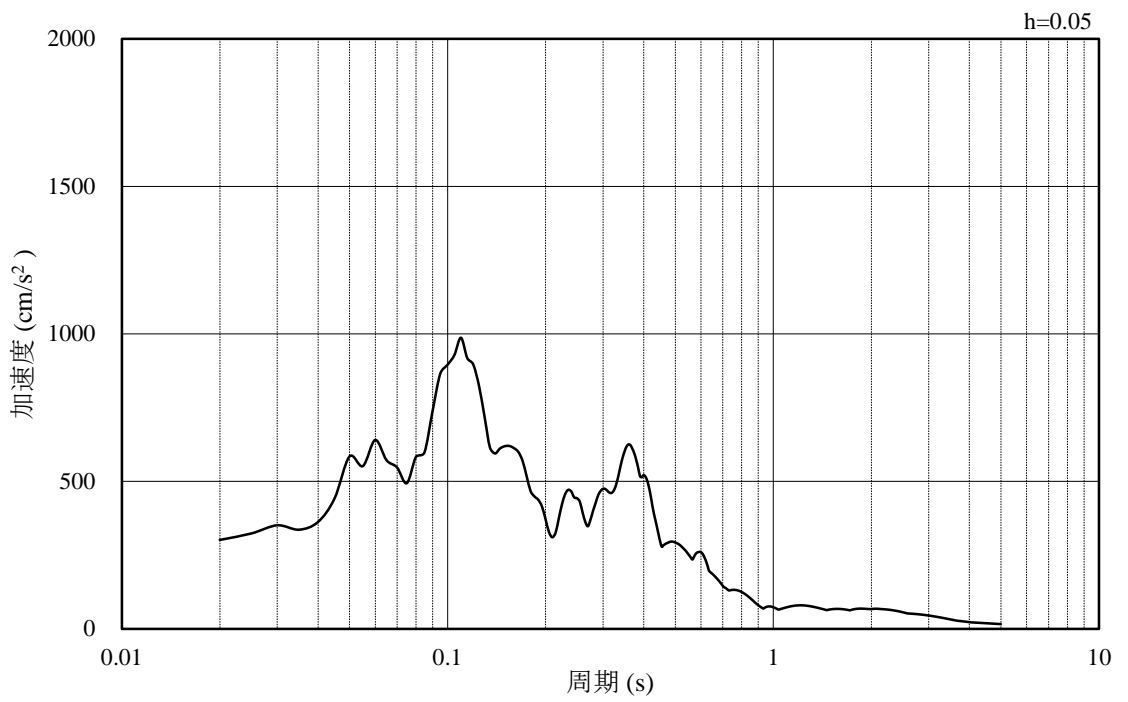


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1, EL-130m)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1, EL-130m)

3.7 解析モデル

3.7.1 解析モデル

土留め工（親杭）の地震応答解析モデルを図 3-13 及び図 3-14 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は，側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう，構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には，エネルギーの逸散効果を考慮するため，粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

評価対象部位（親杭）は，線形はり要素によりモデル化する。

評価対象部位（グラウンドアンカ）は，埋戻土時点での常時応力解析でのみモデル化し，頭部を節点共有，自由長部を非線形ばね，拘束長部を MPC によりモデル化する。

なお，矢板及び腹起しの重量については，線形はり要素の節点に付加質量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また，埋戻土及び改良地盤は，地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) MMR 及び埋戻コンクリートのモデル化

MMR 及び埋戻コンクリートは無筋コンクリートとして線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」，「構造物と埋戻コンクリート」，「MMR と埋戻コンクリート」及び「地盤と MMR」の接合面における接触，剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

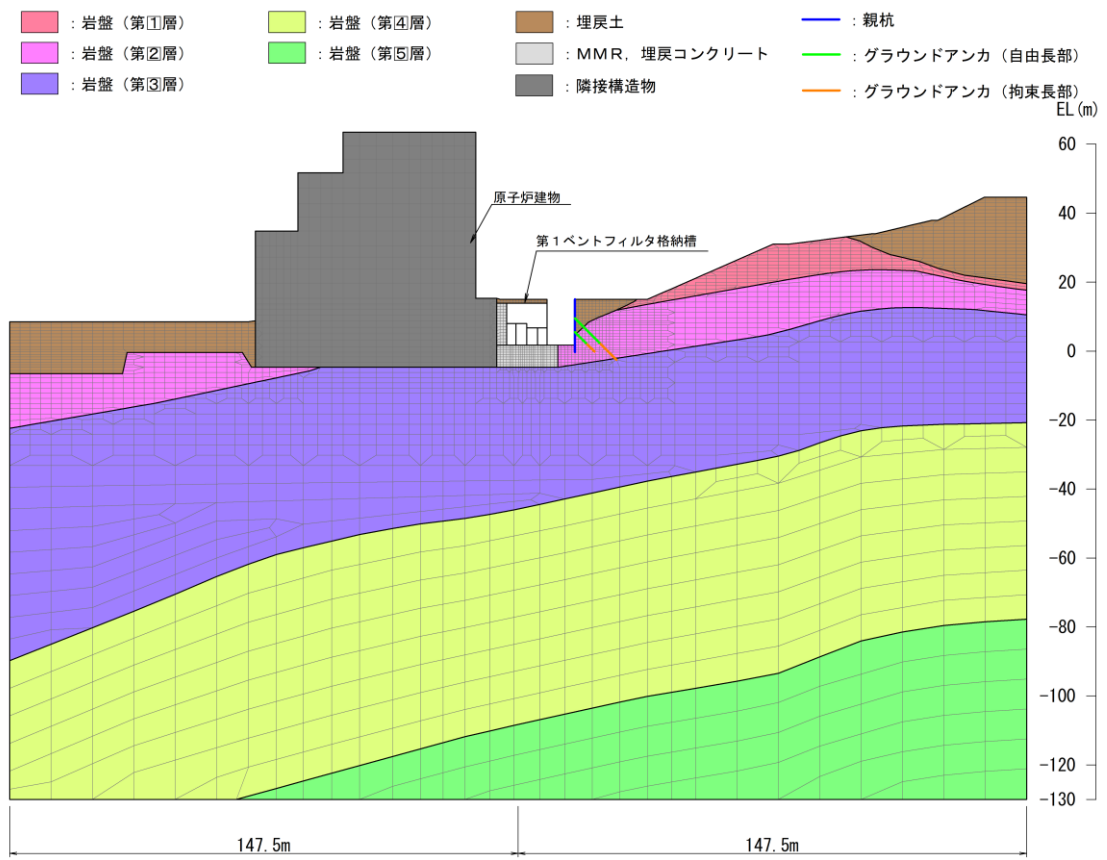


図 3-13 常時応力解析モデル図
(③-③' 断面, 地盤改良前)

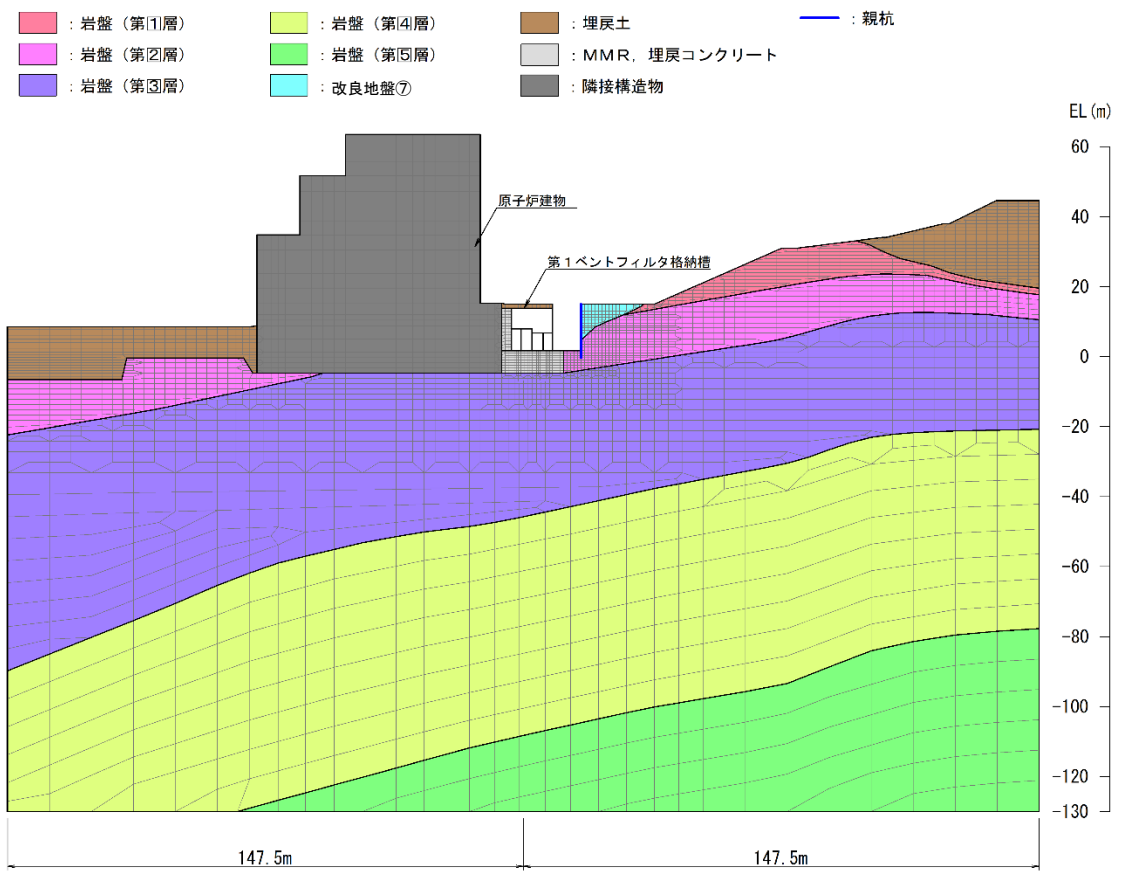


図 3-14 地震応答解析モデル図
 (③-③' 断面, 地盤改良後)

3.7.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-11 に、材料の物性値を表 3-12 に示す。

表 3-11 使用材料

材料		仕様
親杭	H700×300×13×24	SM490
グラウンドアンカ(2段目)	アンカー体長 6.5(m)	SWPR7B
グラウンドアンカ(3段目)	アンカー体長 3.0(m)	SWPR7B

表 3-12(1) 材料の物性値 (評価対象部位)

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
親杭	77.0	2.0×10^5	0.3

表 3-12(2) 材料の物性値 (評価対象部位)

材料	引張剛性 k (kN/m)	テンドン 降伏引張力* ² (kN)	設計 アンカー力* ² (kN)
グラウンドアンカ* ¹ (2段目)	5687	520	150
グラウンドアンカ* ¹ (3段目)	4634	208	30

注記*1: グラウンドアンカについては常時応力解析のみモデル化する。

*2: テンドン降伏引張力及び設計アンカー力は単位奥行当たりの値とする。

3.7.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.7.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表 3-13 に示す。

表 3-13 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
土留め工 (親杭)	③-③' 断面	15.0

4. 評価方法

土留め工（親杭）の耐震評価は、常時応力解析及び地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.5 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

4.1 施設の損傷，転倒による影響評価方法

4.1.1 構造部材の健全性に対する評価方法

親杭に対する評価においては、地震応答解析に基づく発生断面力に対する部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査を行う。曲げ軸力照査については、「3.5.1 親杭に対する許容限界」の「(1)曲げ軸力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。せん断力照査については、「3.5.1 親杭に対する許容限界」の「(2)せん断力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能評価においては、地震応答解析により基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

4.1.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価方法

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価については、常時応力解析における発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

5. 耐震評価結果

5.1 施設の損傷，転倒による影響評価結果

5.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③' 断面の土留め工（親杭）の曲げ軸力に対する照査値を表 5-1 に，せん断力に対する照査値を表 5-2 に示す。

③-③' 断面の土留め工（親杭）の評価対象部位に発生する曲げ軸力及びせん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ軸力に対する照査値（親杭）

解析 ケース	地震動		発生断面力		照査値
			曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S s - D	+ - *	1324	781.4	0.73

注記*：地震動の位相について，左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

表 5-2 せん断力に対する照査値（親杭）

解析 ケース	地震動		発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	+ - *	147.3	157.5	0.94

注記*：地震動の位相について，左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「++」は反転なしケースを示す。

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

③-③' 断面の基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-3 に示す。

③-③' 断面の土留め工（親杭）の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3 基礎地盤の支持性能評価結果（③-③' 断面）

解析 ケース	地震動		軸力 Nmax (kN)	軸応力度 R _d (N/mm ²)	極限	照査値 R _d /R _u
					支持力度 R _u (N/mm ²)	
①	S _s -D	++*	622	0.41	9.8	0.05

注記*：地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

5.1.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価結果

③-③' 断面の常時応力解析におけるグラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査結果を表 5-4 に示す。

③-③' 断面のグラウンドアンカの発生アンカー力が許容アンカー力以下であることを確認した。

表 5-4 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価結果（③-③' 断面）

解析 ケース	配置	発生 アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
①	2 段目	286.4	396.5	0.73
	3 段目	87.6	108.8	0.81

VI-2-11-2-15 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての
計算書

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	地盤	13
3.2.3	減衰定数	14
3.2.4	耐震評価における解析ケースの選定	15
3.3	荷重及び荷重の組合せ	16
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	16
3.3.2	荷重	16
3.3.3	荷重の組合せ	17
3.4	入力地震動	18
3.5	解析モデル及び諸元	31
3.5.1	解析モデル	31
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	33
3.5.3	地盤の物性値	33
3.5.4	地下水位	34
3.6	許容限界	35
3.6.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	35
3.6.2	せん断破壊に対する許容限界	35
3.7	評価方法	36
4.	耐震評価結果	38

別紙 せん断破壊に対する照査への線形被害則適用について

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、ディーゼル燃料貯蔵タンク室が、表1-1に示す上位クラス施設に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

波及的影響を及ぼさないことの確認は、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価により実施する。

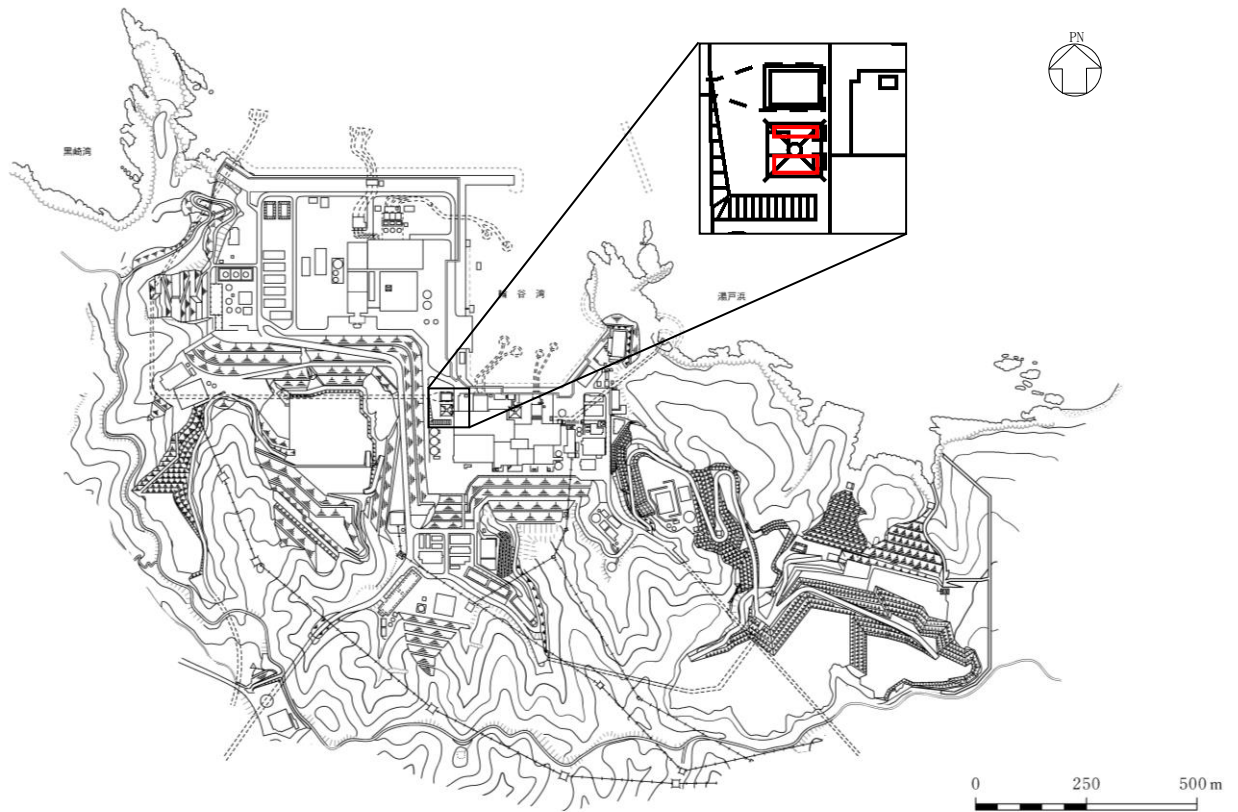
表1-1 上位クラス施設一覧

波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	ディーゼル燃料貯蔵タンク室
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料貯蔵タンク	
非常用ディーゼル発電設備 A-燃料配管	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管	
屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	
屋外配管ダクト（排気筒）	

2. 基本方針

2.1 位置

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の位置図を図 2-1 に示す。



: ディーゼル燃料貯蔵タンク室

図 2-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 位置図

2.2 構造概要

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の平面図を図 2-2、断面図を図 2-3、概略配筋図を図 2-4 に示す。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室は、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料貯蔵タンク（北側）を内包するタンク室（以下「タンク室①」という。）及び2連構造で非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料貯蔵タンク（南側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料貯蔵タンク（以下「タンク室②」という。）から構成される鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、底版はSクラス施設の間接支持構造物である排気筒の基礎である。また、タンク室②の一部は、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外配管ダクト（排気筒）の側壁と部材を共有している。



図 2-2 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 平面図

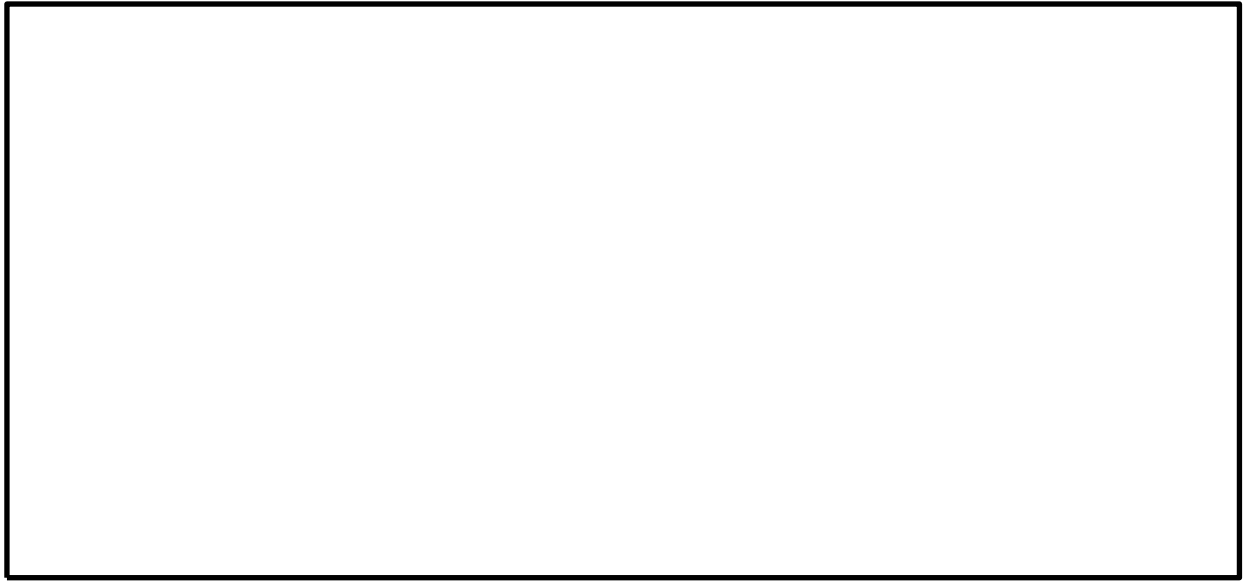


図 2-3 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 断面図 (A-A断面)



図 2-4 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 概略配筋図 (A-A断面)

2.3 評価方針

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の波及的影響の評価フローを図 2-5 に示す。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 のディーゼル燃料貯蔵タンク室の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の照査用ひずみが許容限界以下であることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

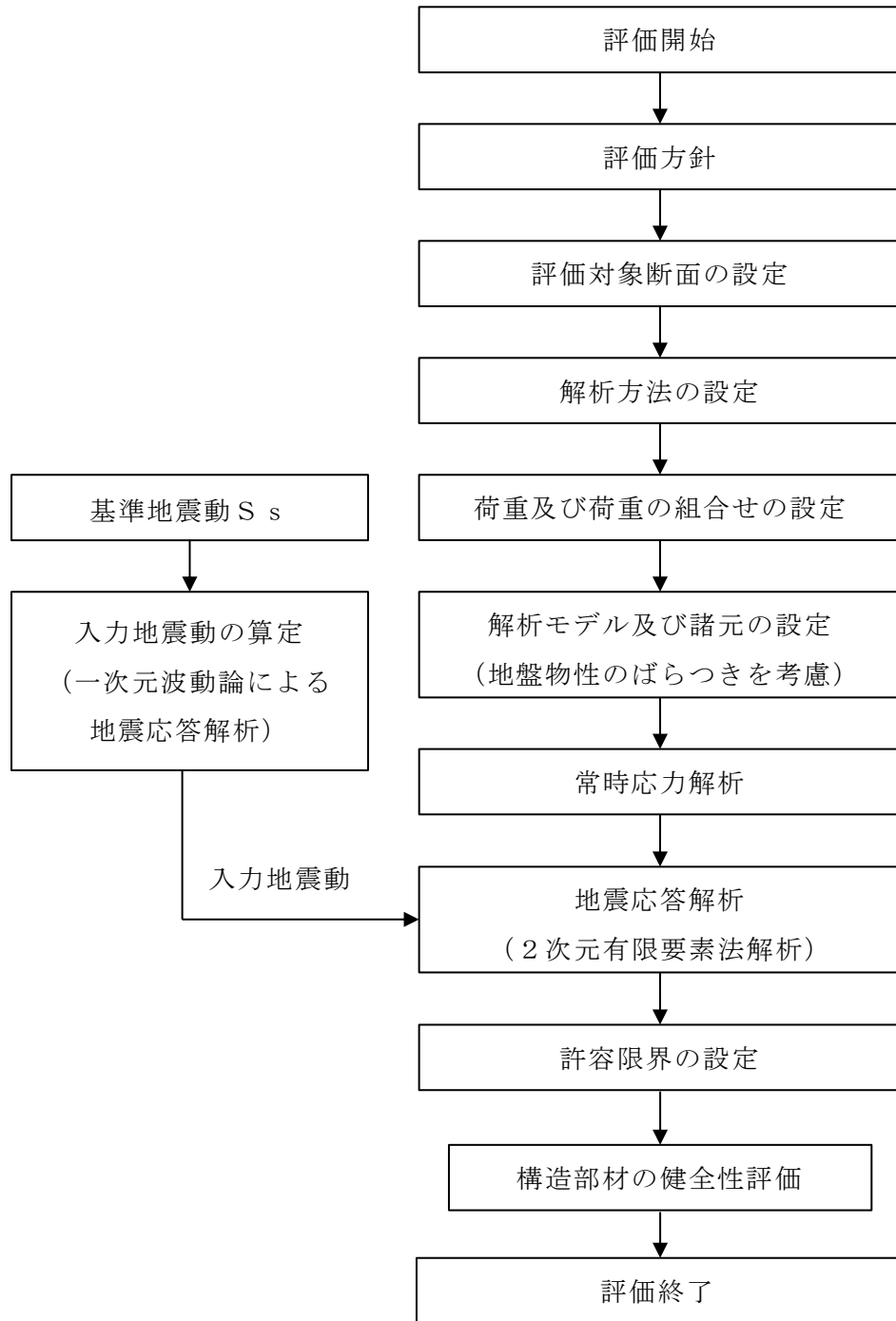


図 2-5 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 波及的影響の評価フロー

表 2-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の評価項目

評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界ひずみ*
			せん断力	せん断耐力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2017年制定）
- ・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（（社）土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の評価対象断面位置を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図 3-1 の A-A 断面とする。耐震設計における評価対象断面図を図 3-2 に示す。

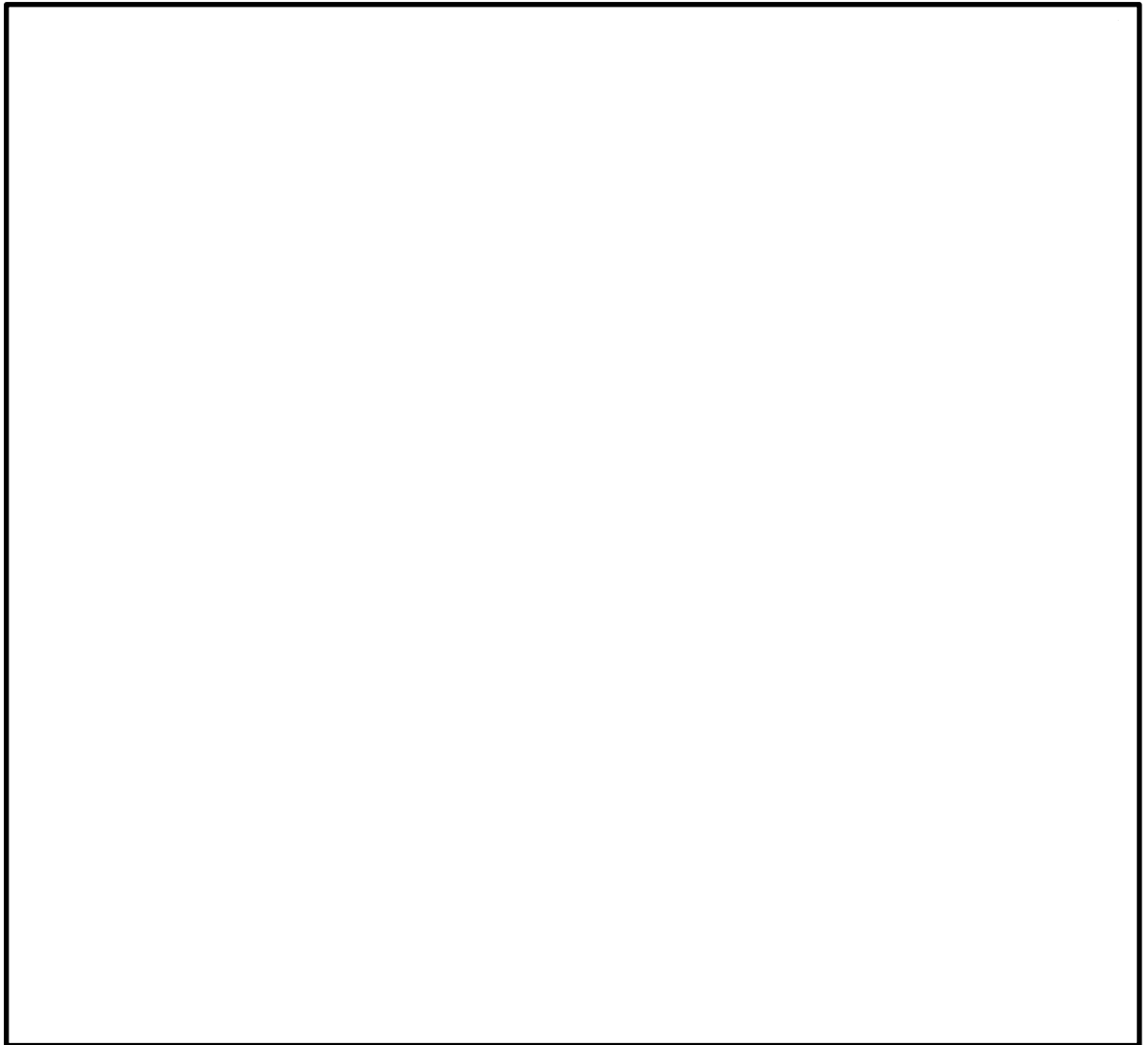


図 3-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 評価対象断面位置図

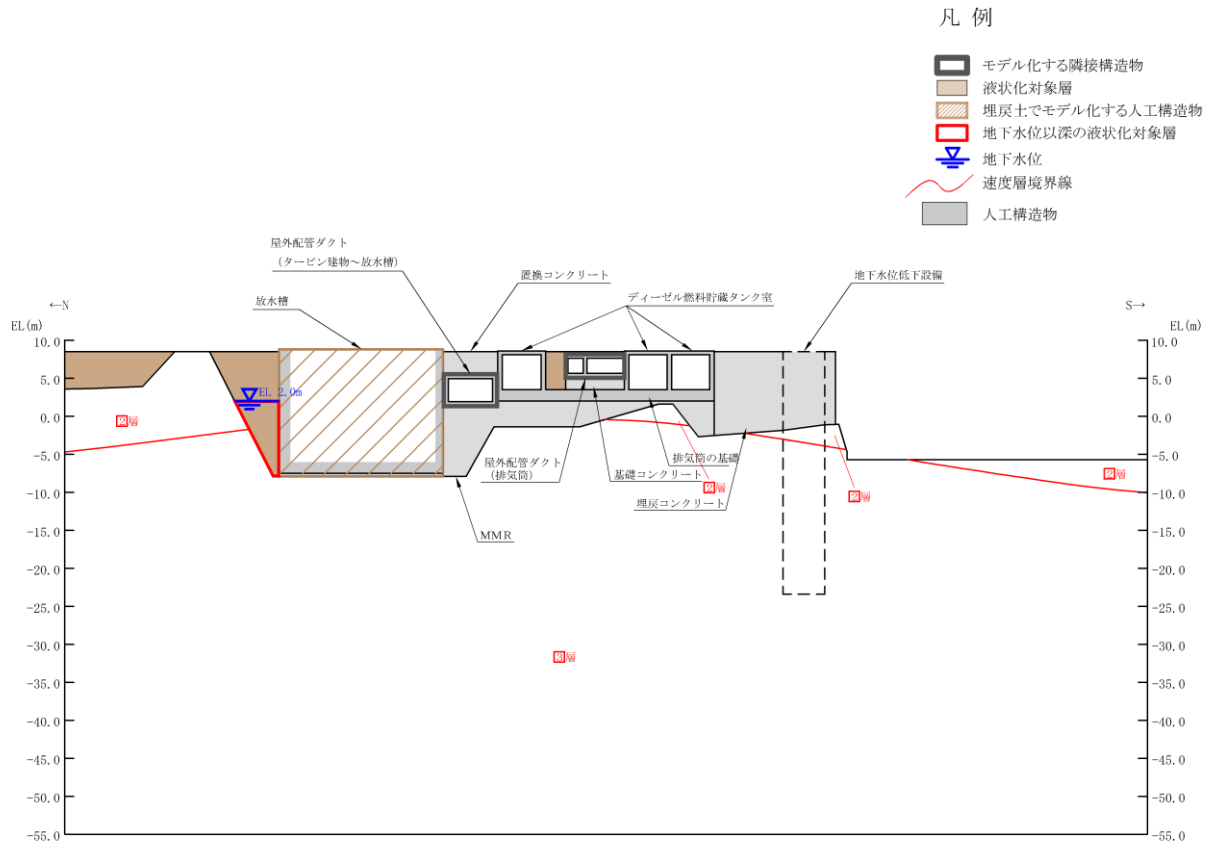


図 3-2 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 評価対象地質断面図 (A-A 断面位置)

3.2 解析方法

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルに準じて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による直接積分法の時刻歴応答解析により行う。ディーゼル燃料貯蔵タンク室周辺の地下水位がディーゼル燃料貯蔵タンク室下端より低いことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは図3-3に示すとおり、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり、図3-4に示すコンクリートの応力-ひずみ関係及び図3-5に示す鉄筋の応力-ひずみ関係を考慮する。

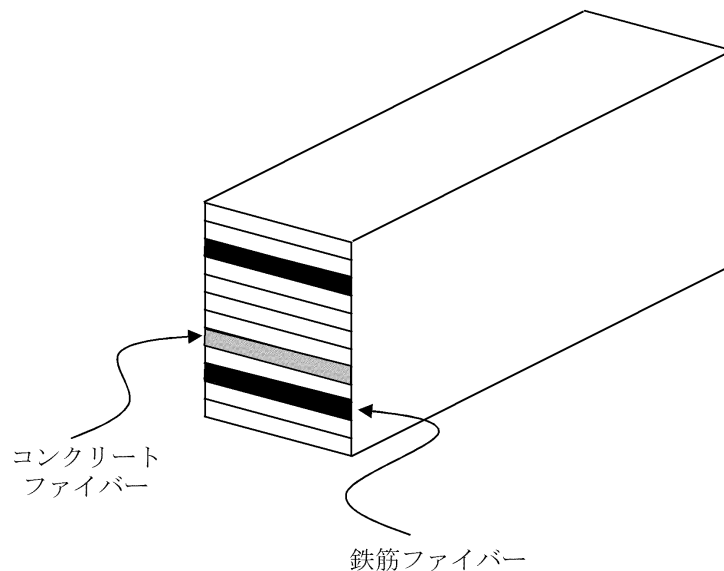
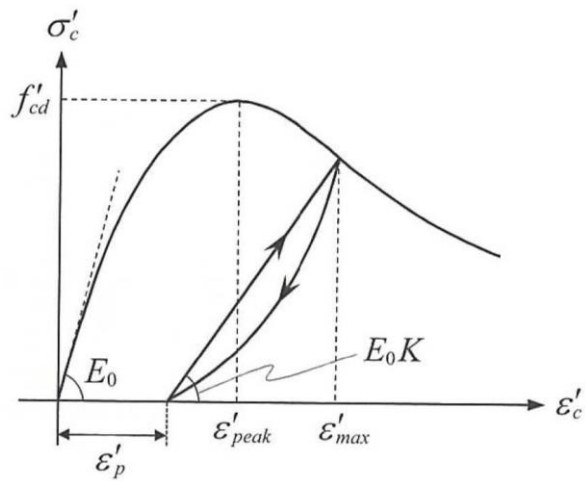
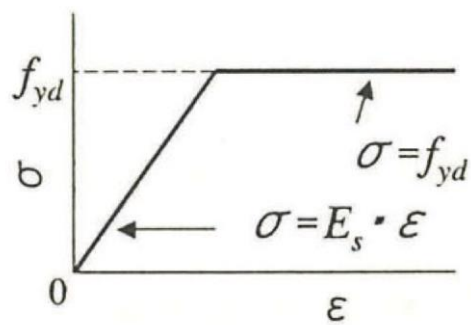


図 3-3 ファイバーモデルの概念図



(「コンクリート標準示方書[設計編] ((社) 土木学会, 2017 年制定) 」より引用)
 図 3-4 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) 」より引用)
 図 3-5 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.2.2 地盤

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室は、周辺状況及び構造物的特徴を踏まえると、タンク室②と比較してタンク室①の評価が厳しくなることが想定される。タンク室①の南側には埋戻土が分布し、主たる荷重が埋戻土からの土圧となることから、埋戻土の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 耐震評価における解析ケースの選定」に示す。

表 3-1 解析ケース (A-A 断面)

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	全応力解析	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	全応力解析	平均値 - 1 σ	平均値

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

評価対象断面	α	β
A-A断面	1.595	2.241×10^{-4}

3.2.4 耐震評価における解析ケースの選定

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（解析ケース①）を実施する。基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表3-1に示す解析ケース②及び③を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-3に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 S_s （6波）に位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、ケース①（基本ケース）を実施し、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の各照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②及び③を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	
		-+*	○		
		+ - *	○		
		--*	○		
	$S_s - F 1$	++*	○		
	$S_s - F 2$	++*	○		
	$S_s - N 1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○		
		-+*	○		
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○			
	-+*	○			

注記*：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため、風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体重量及び機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、水圧、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、「松江市建築基準法施行細則(平成17年3月31日、松江市規則第234号)」により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針に準じて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により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。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-6に入力地震動算定の概念図を、図3-7～図3-18に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

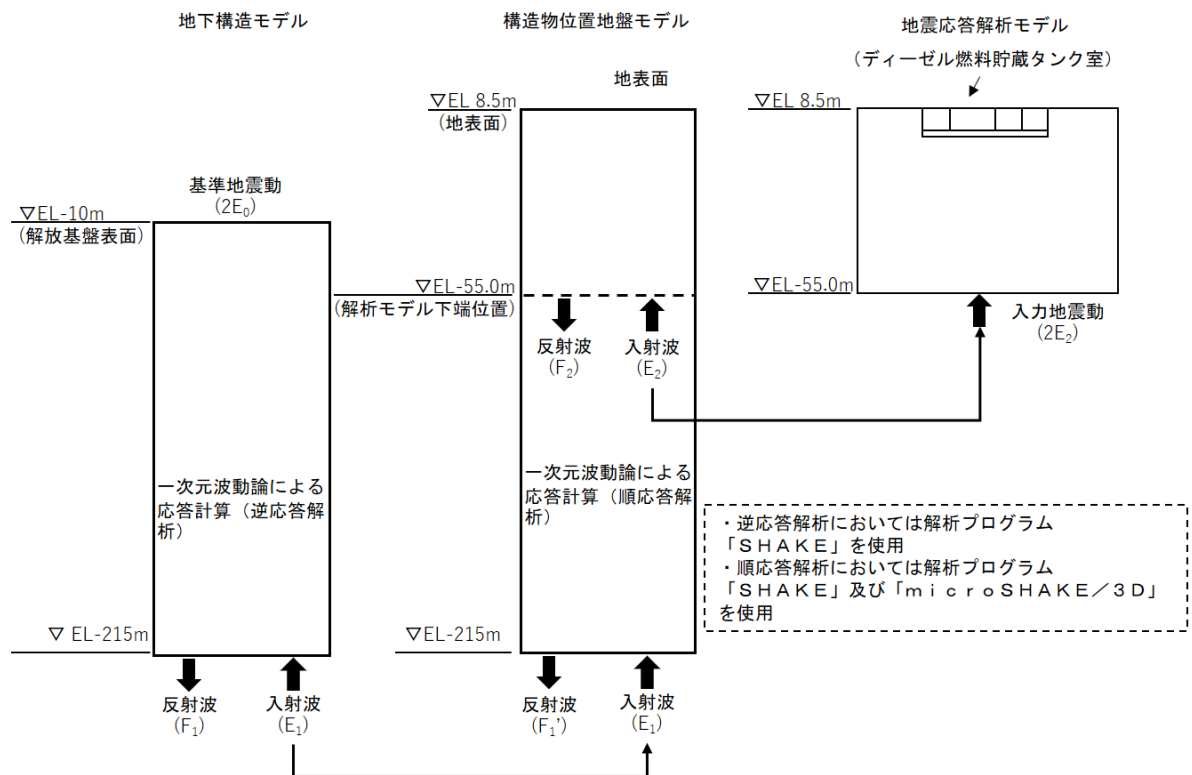
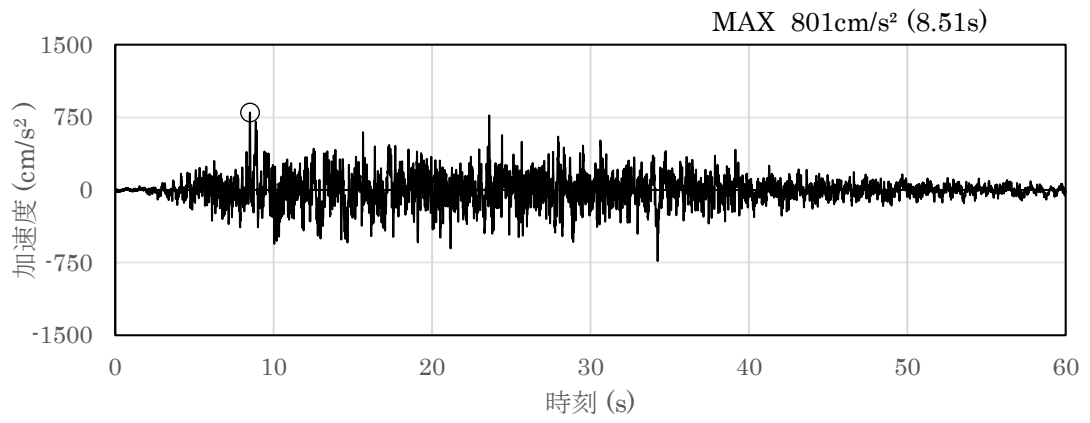
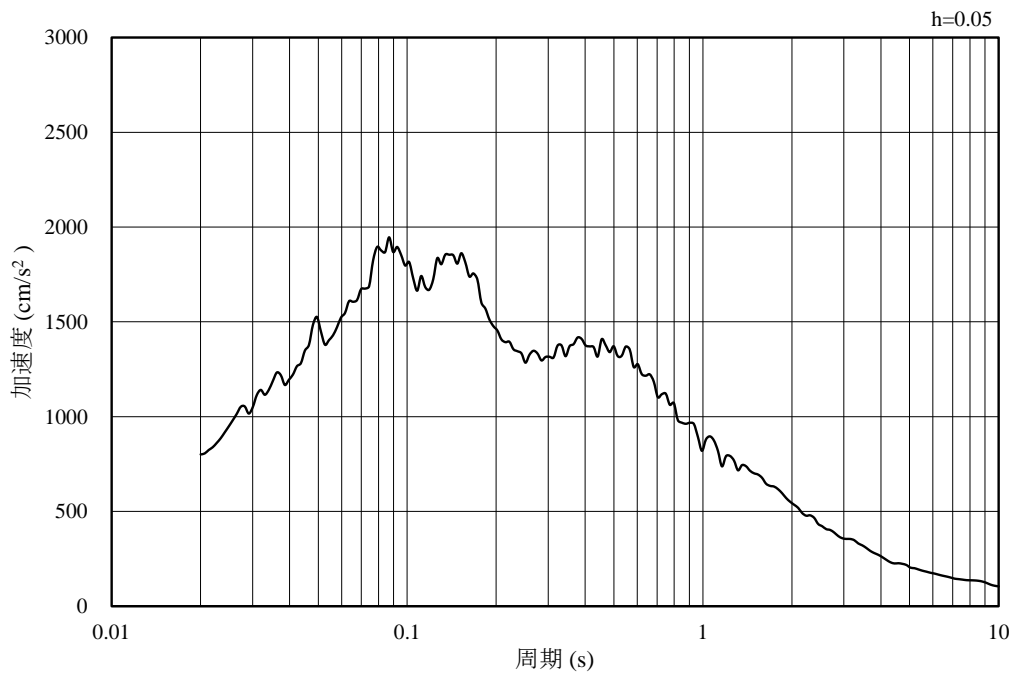


図3-6 入力地震動算定の概念図

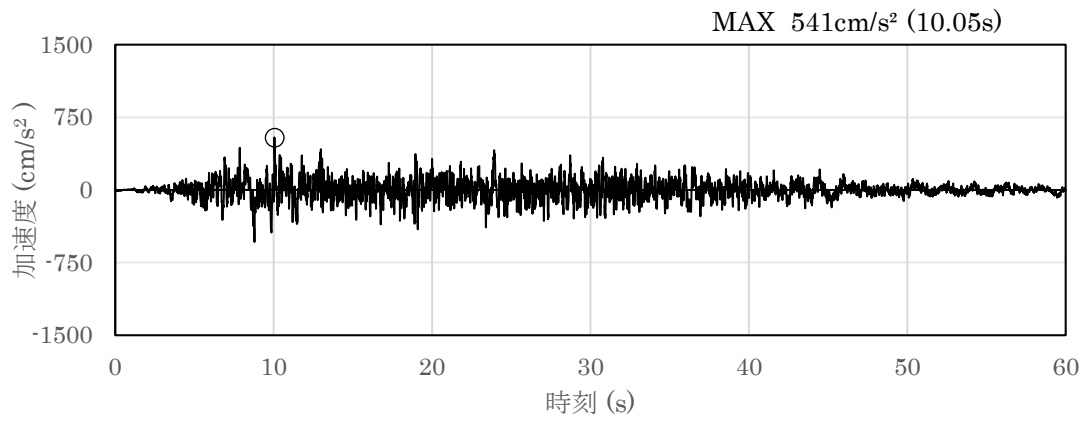


(a) 加速度時刻歴波形

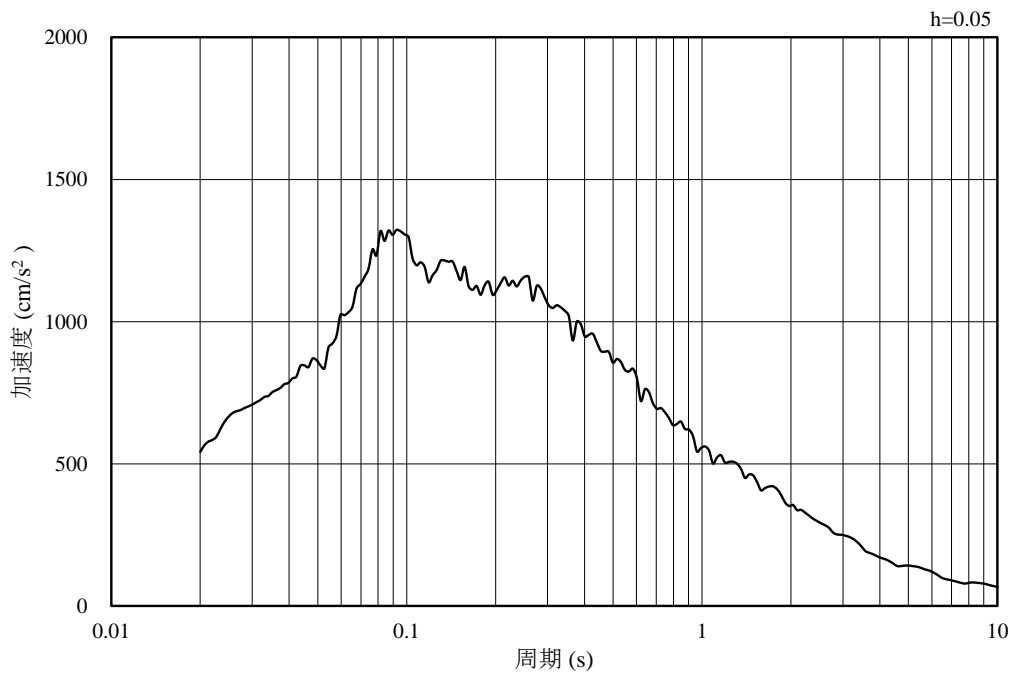


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

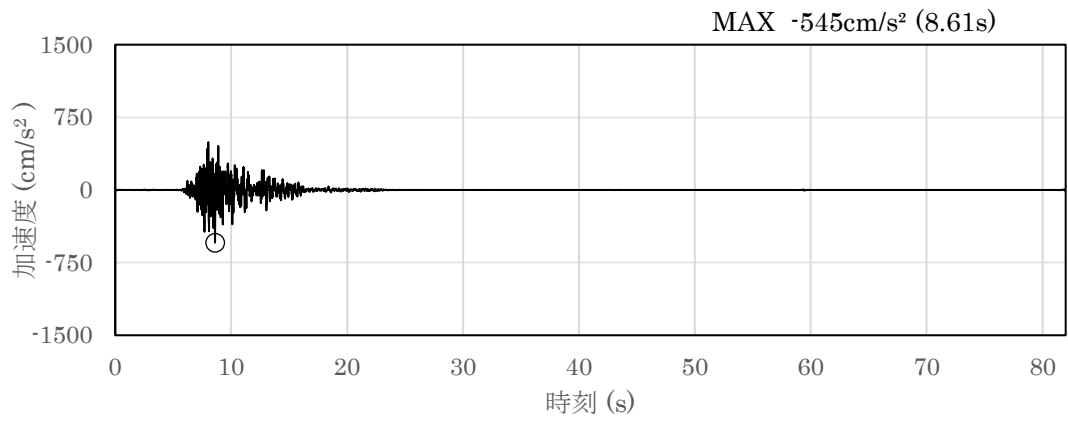


(a) 加速度時刻歴波形

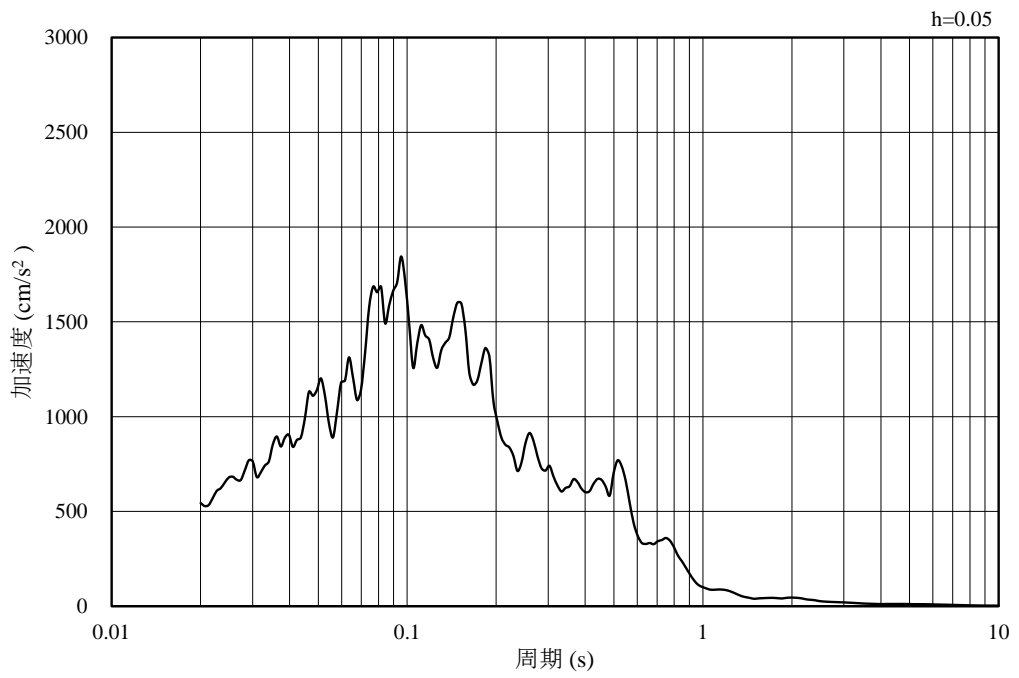


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

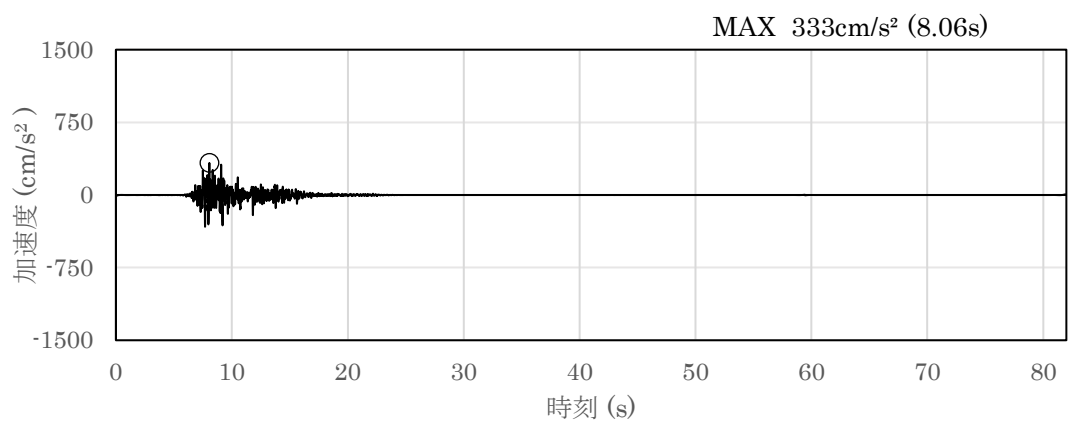


(a) 加速度時刻歴波形

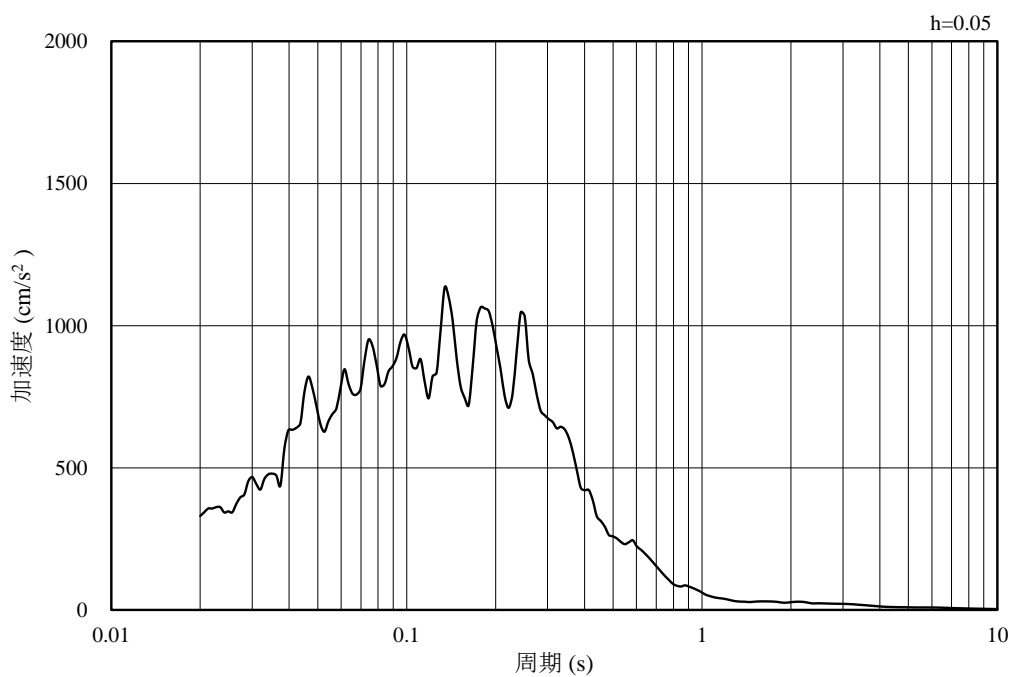


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1 (N S))

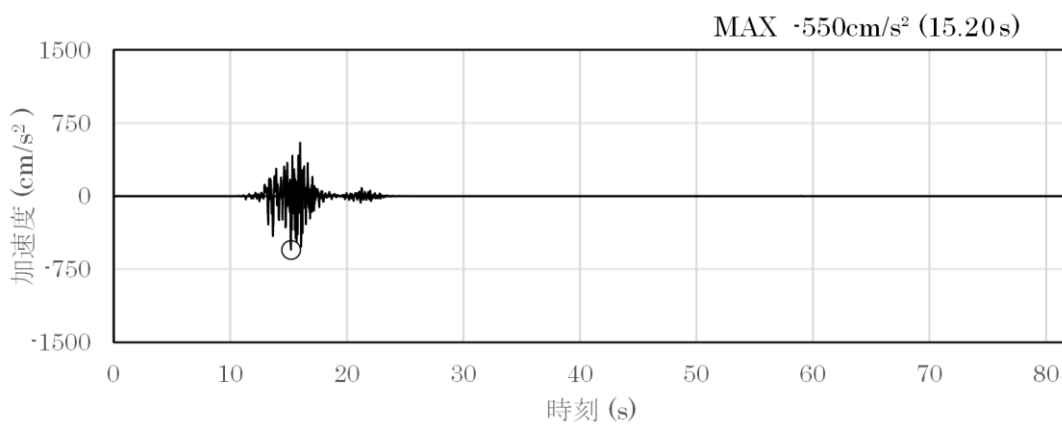


(a) 加速度時刻歴波形

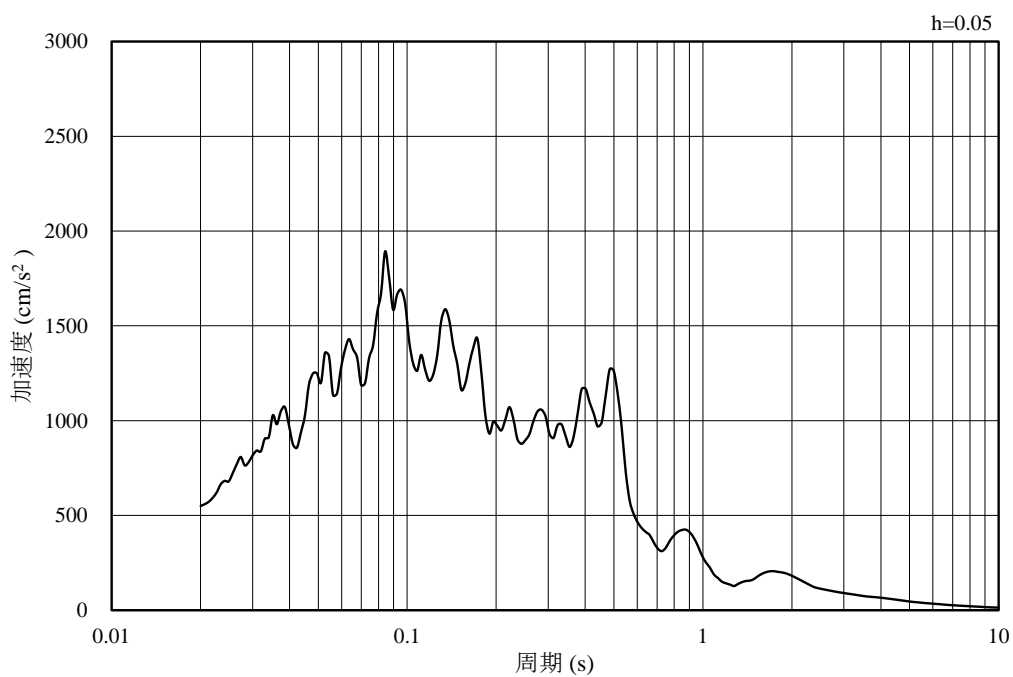


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1 (NS))

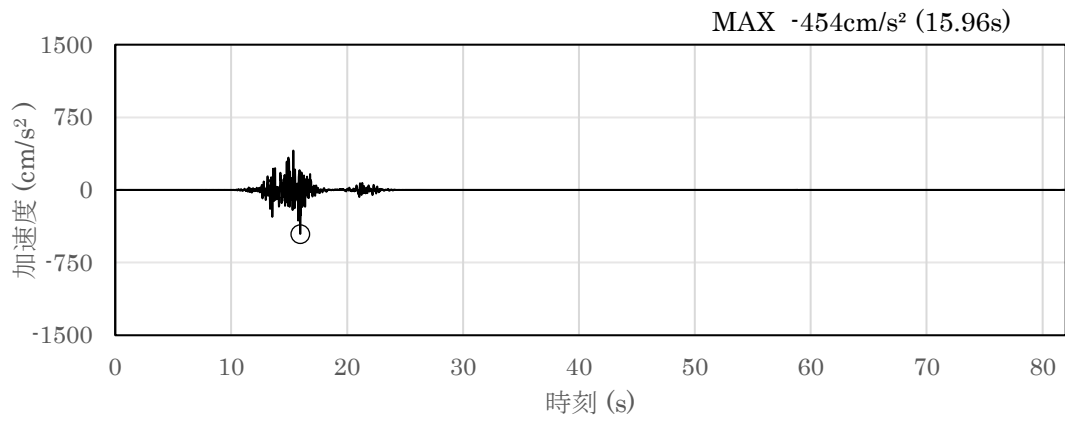


(a) 加速度時刻歴波形

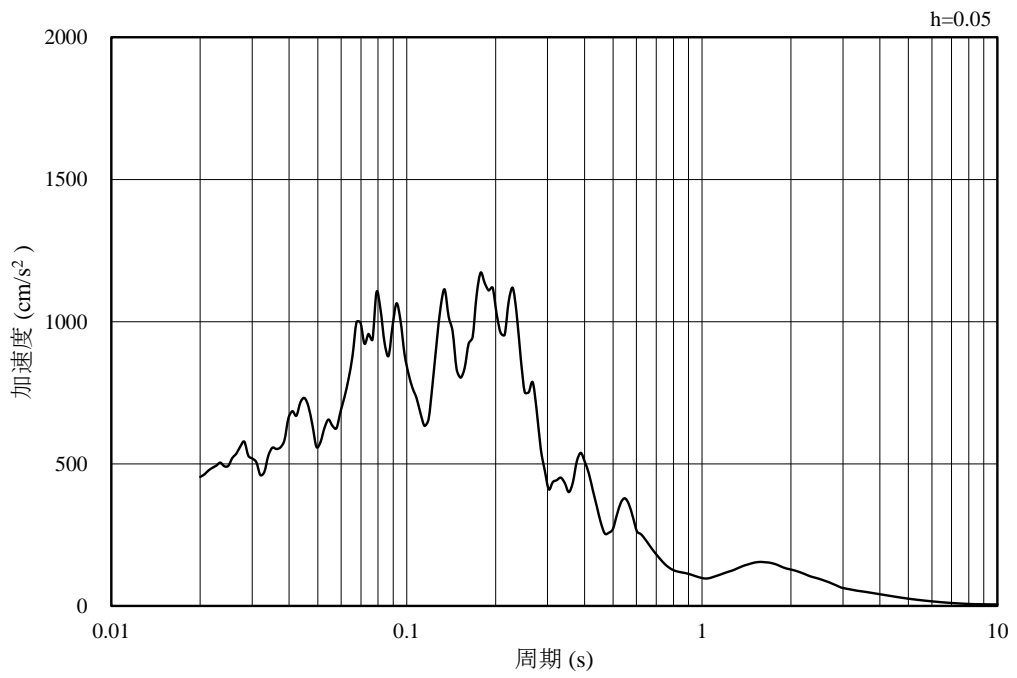


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2 (N S))

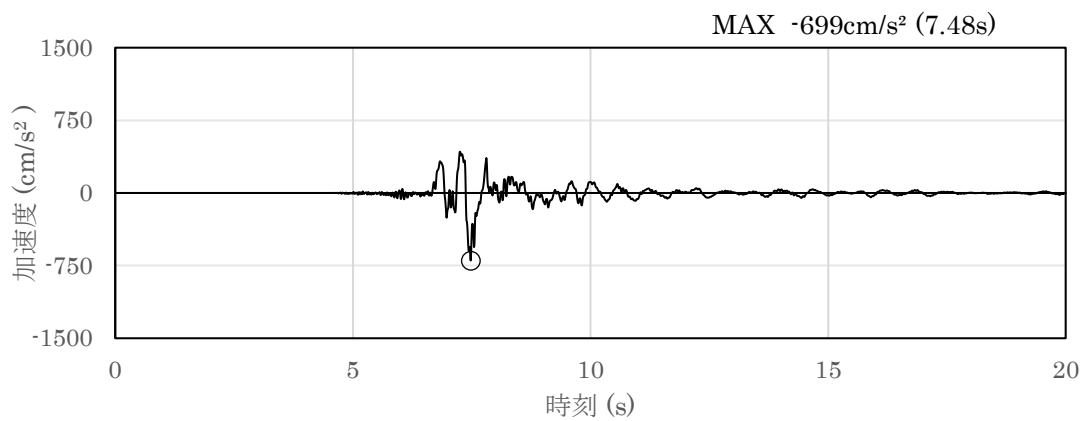


(a) 加速度時刻歴波形

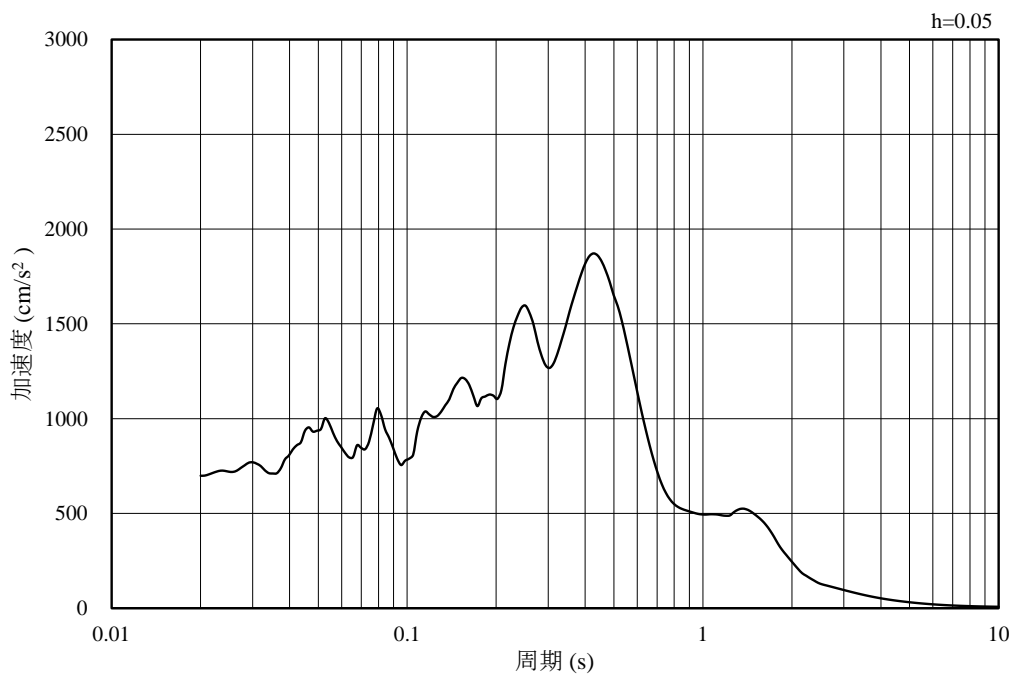


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2 (NS))

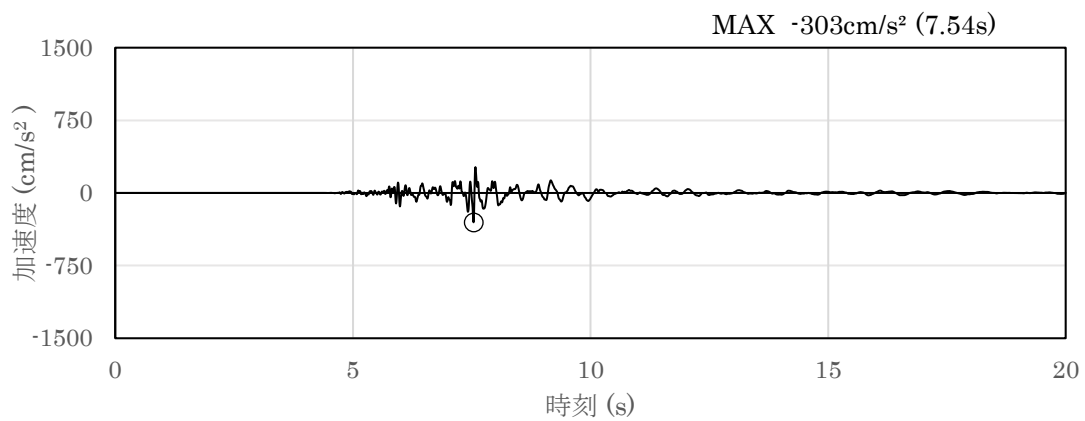


(a) 加速度時刻歴波形

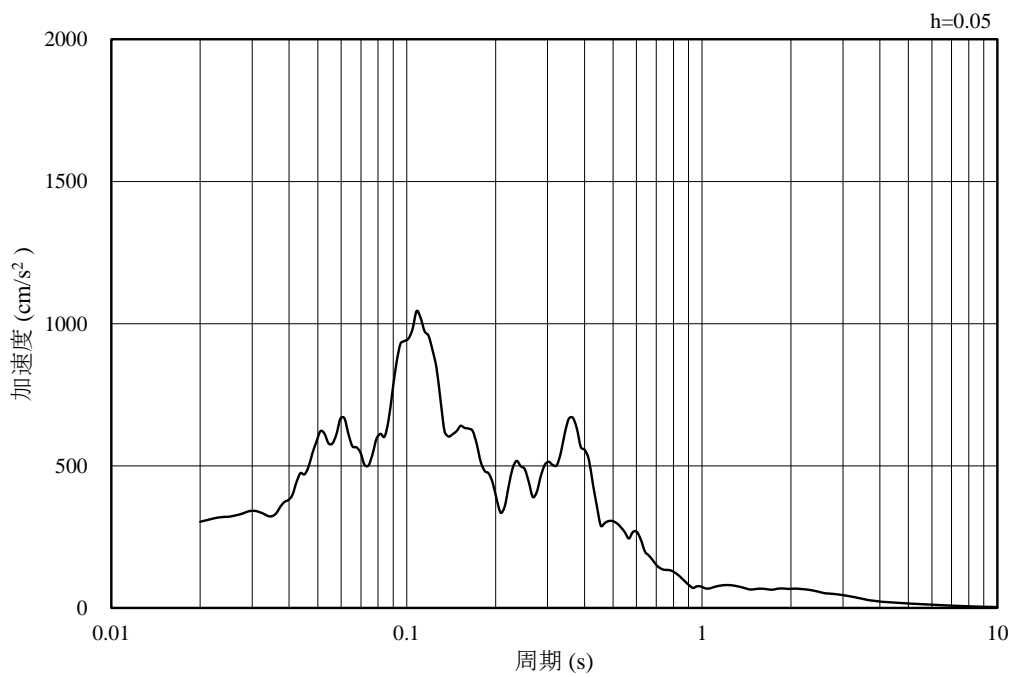


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

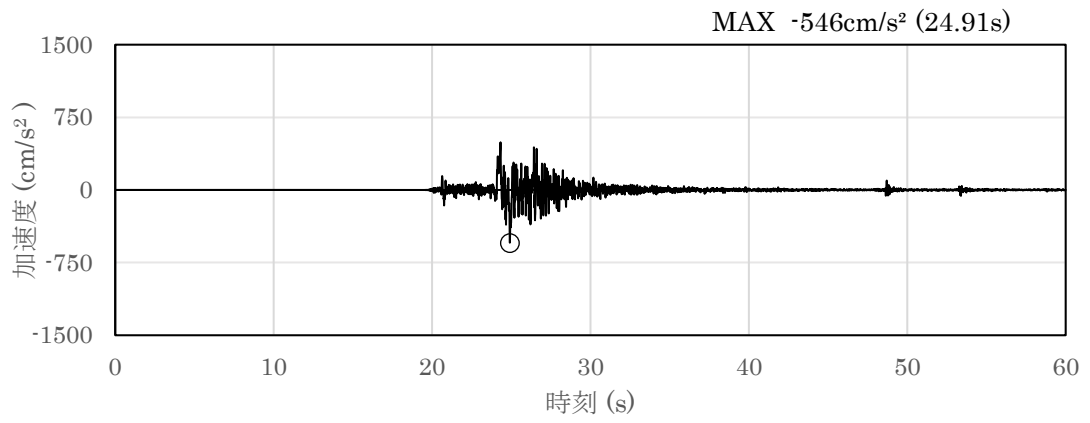


(a) 加速度時刻歴波形

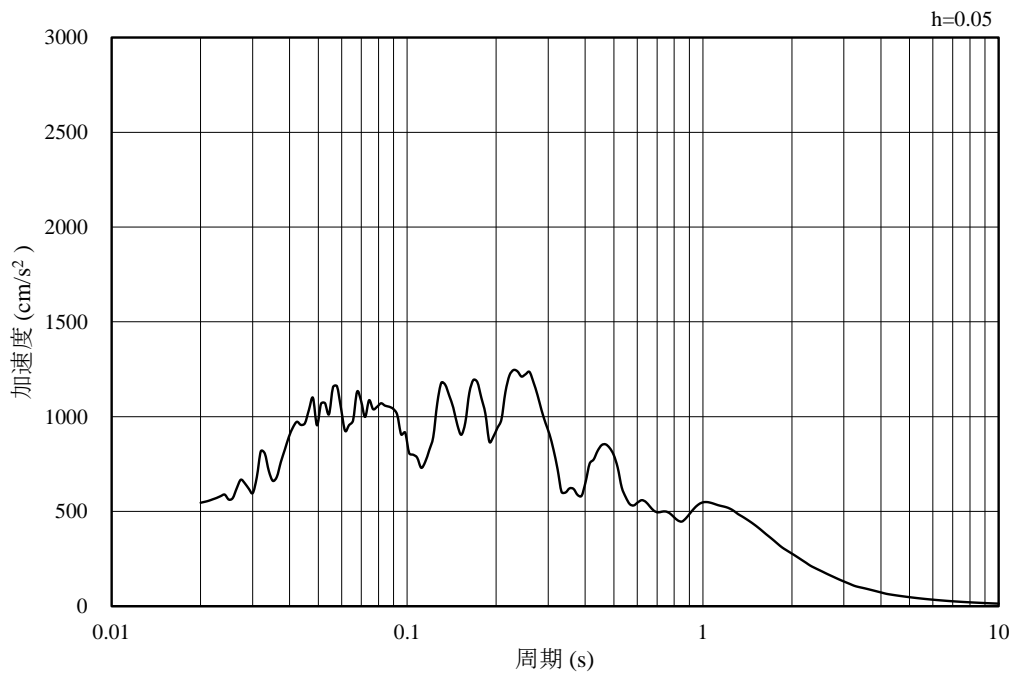


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

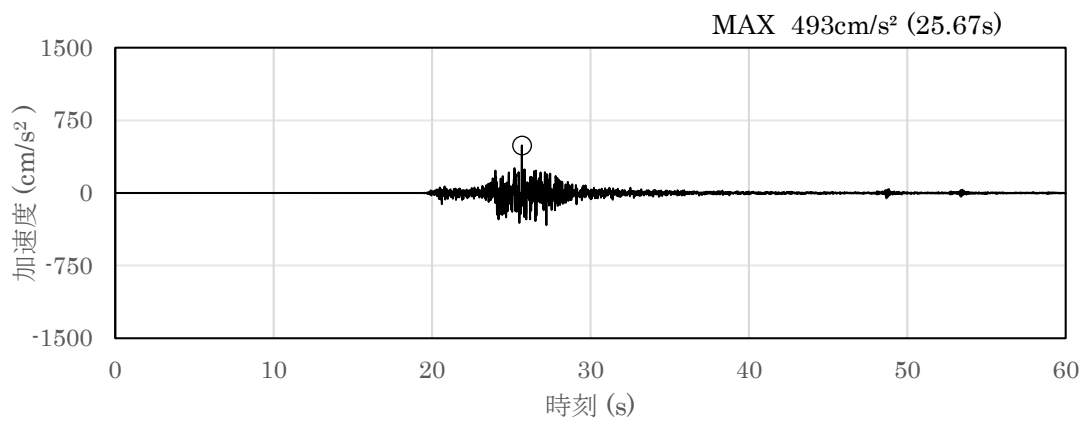


(a) 加速度時刻歴波形

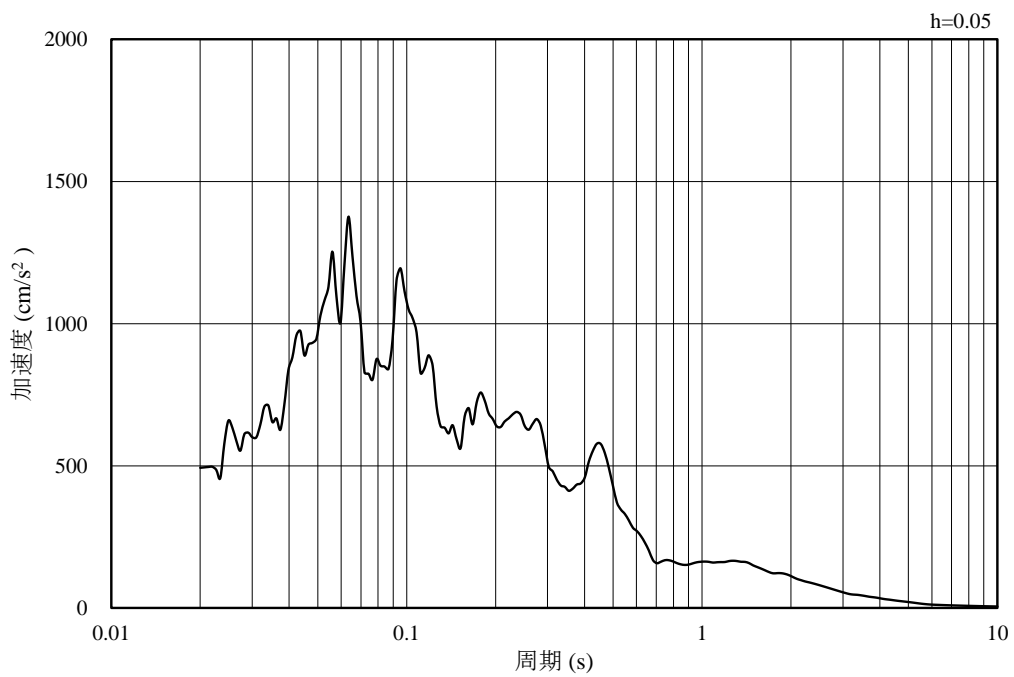


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 2 (N S))

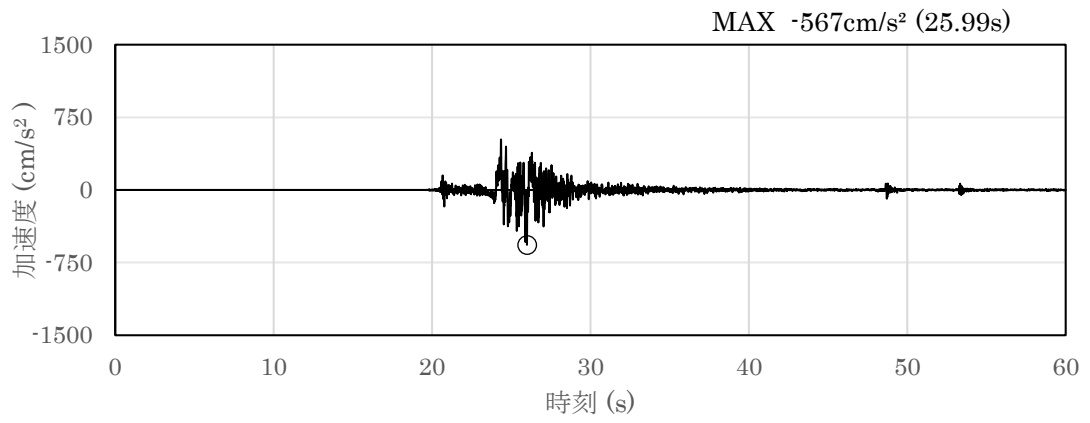


(a) 加速度時刻歴波形

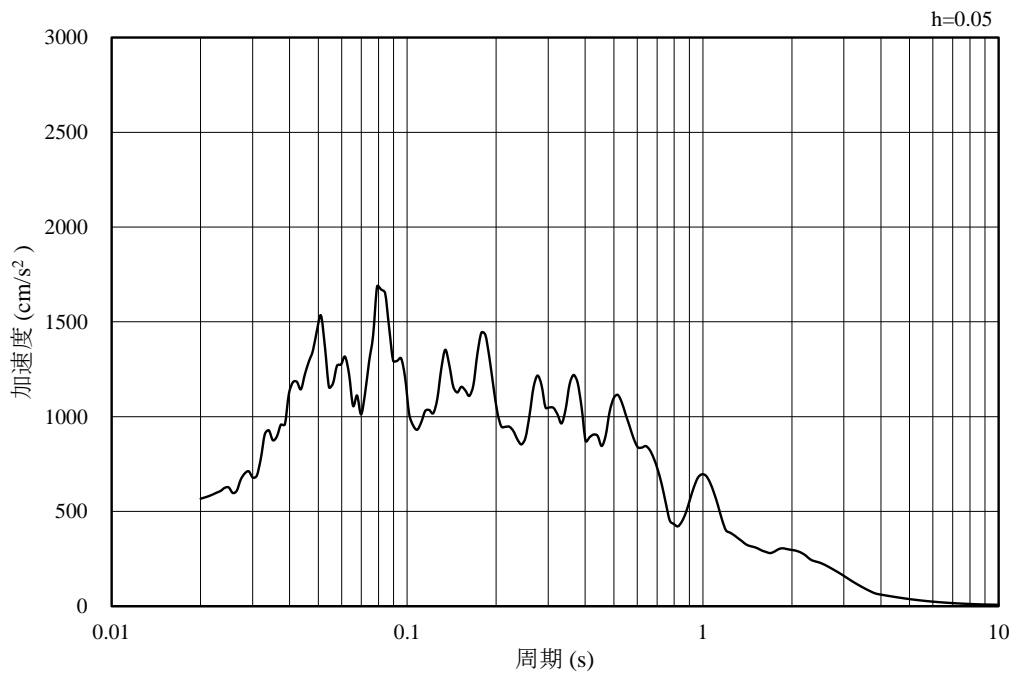


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

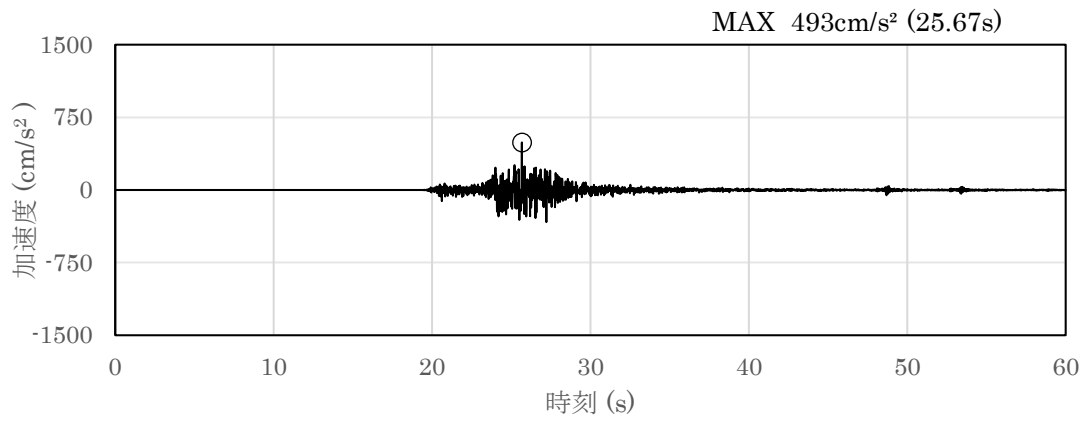


(a) 加速度時刻歴波形

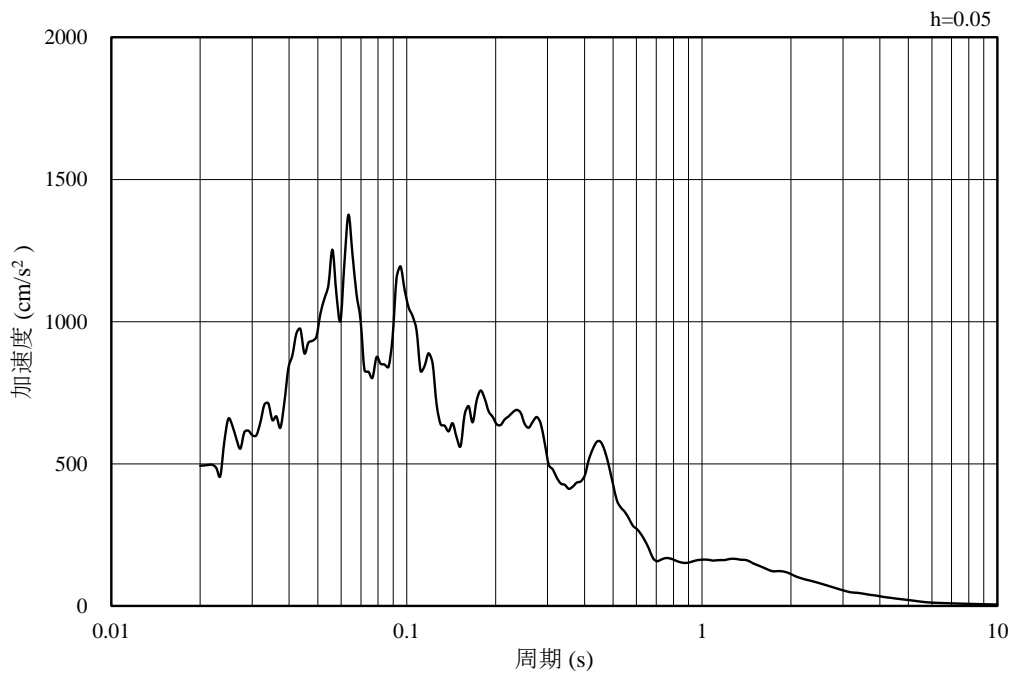


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の地震応答解析モデルを図 3-19 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

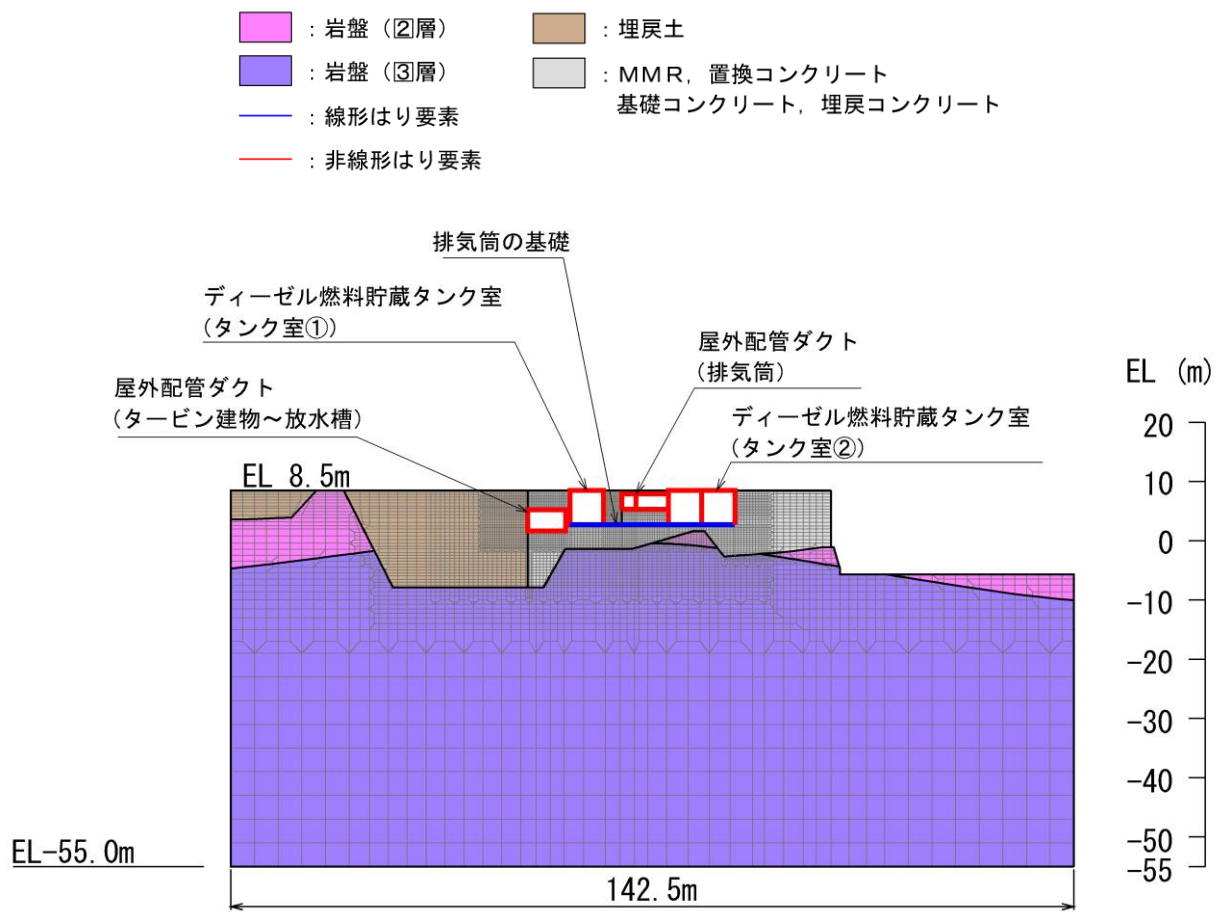
鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素によりモデル化する。なお、排気筒の基礎については線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤及び無筋コンクリートのモデル化

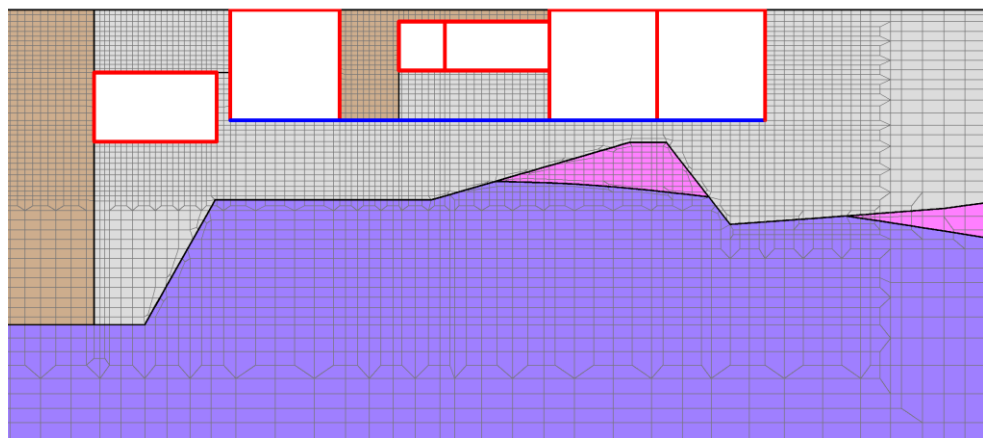
岩盤及び無筋コンクリート（MMR、置換コンクリート、基礎コンクリート及び埋戻コンクリートの総称）は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「構造物と無筋コンクリート」、「構造物と埋戻土」、「無筋コンクリートと埋戻土」及び「無筋コンクリートと無筋コンクリート」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。



(全体図)



(拡大図)

図 3-19 地震応答解析モデル図 (A-A 断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 に示す。

表 3-5 使用材料

材料		仕様
構造物 (鉄筋コンクリート)	構造部材	設計基準強度 20.6N/mm ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 15.6N/mm ²
基礎コンクリート		
埋戻コンクリート		
置換コンクリート		
		設計基準強度 18.0N/mm ²
		設計基準強度 24.0N/mm ²

表 3-6 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.33×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
MMR	2.08×10 ⁴	22.6* ²	
基礎コンクリート			
埋戻コンクリート			
置換コンクリート			

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位はディーゼル燃料貯蔵タンク室が設置される排気筒の基礎の設計地下水位とし、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に準じて設定する。設計地下水位を表3-7に示す。

表3-7 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 設計地下水位

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
ディーゼル燃料貯蔵タンク室 (排気筒の基礎の設計地下水位を使用)	A-A断面	2.0

3.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.6.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、「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（（社）土木学会，2005年）」（以下「土木学会マニュアル2005」という。）に基づき限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアル2005では、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみ1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

3.6.2 せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアル2005に基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

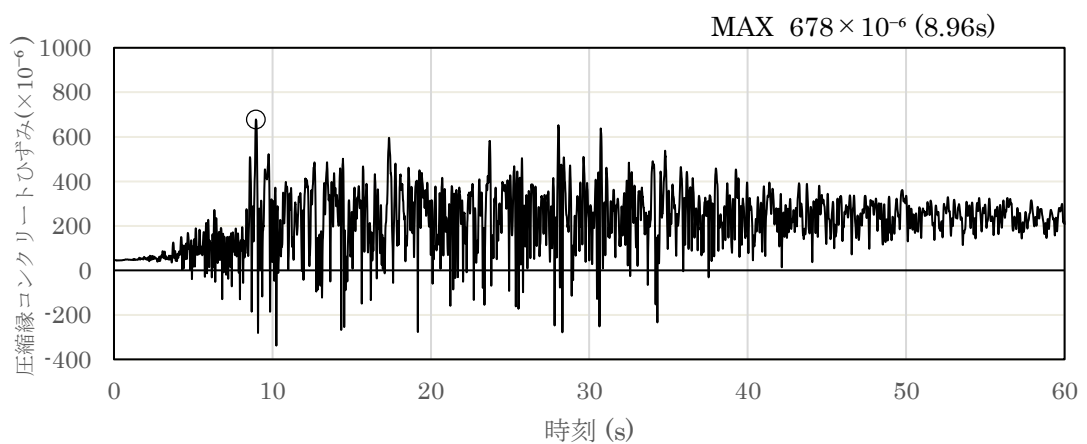
また、せん断耐力式による照査において照査用せん断力が上記のせん断耐力を上回る場合、線形被害則による照査を実施する。

3.7 評価方法

地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.6 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査に対して、地震応答解析により算定した照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となる地震動及び解析ケースでのひずみの時刻歴波形及び発生位置を図 3-20 に、せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図 3-21 に示す。



(圧縮を正で示す。)

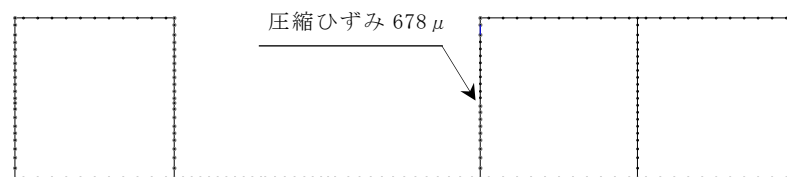
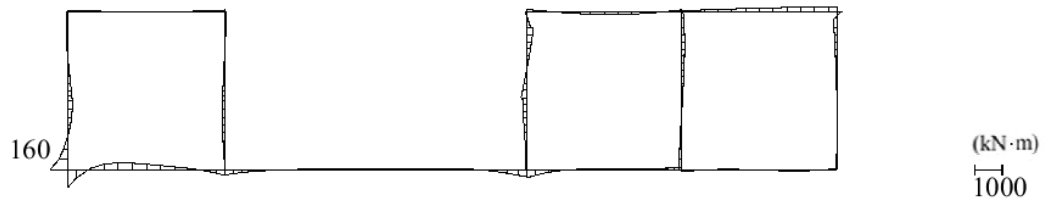
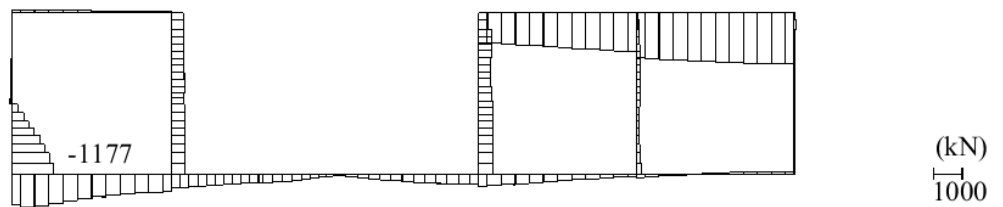


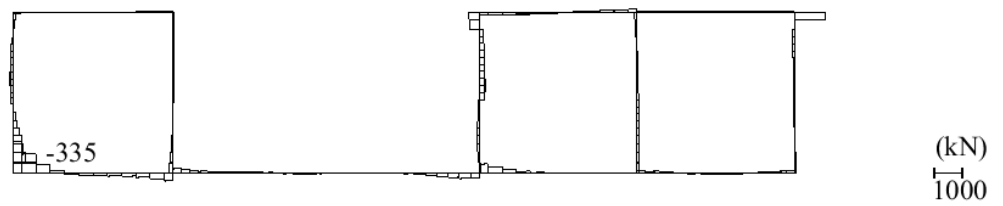
図 3-20 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみの時刻歴波形
(解析ケース②, S s - D (++))



数値：評価位置における断面力
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数値：評価位置における断面力
(c) せん断力 (kN)

図 3-21 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(解析ケース①, S_s-D (---))

4. 耐震評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
②	S s - D (++)	814 μ	10000 μ	0.09

注記*：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.2)$

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*1	解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版 2	②	S s - D (++)	178	183	0.98
側壁 4	①	S s - D (--)	[-]*3	[-]*3	0.80*3
隔壁 8	②	S s - D (++)	154	193	0.81

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.05)$

*3：線形被害則による照査結果であり，詳細については別紙に示す。

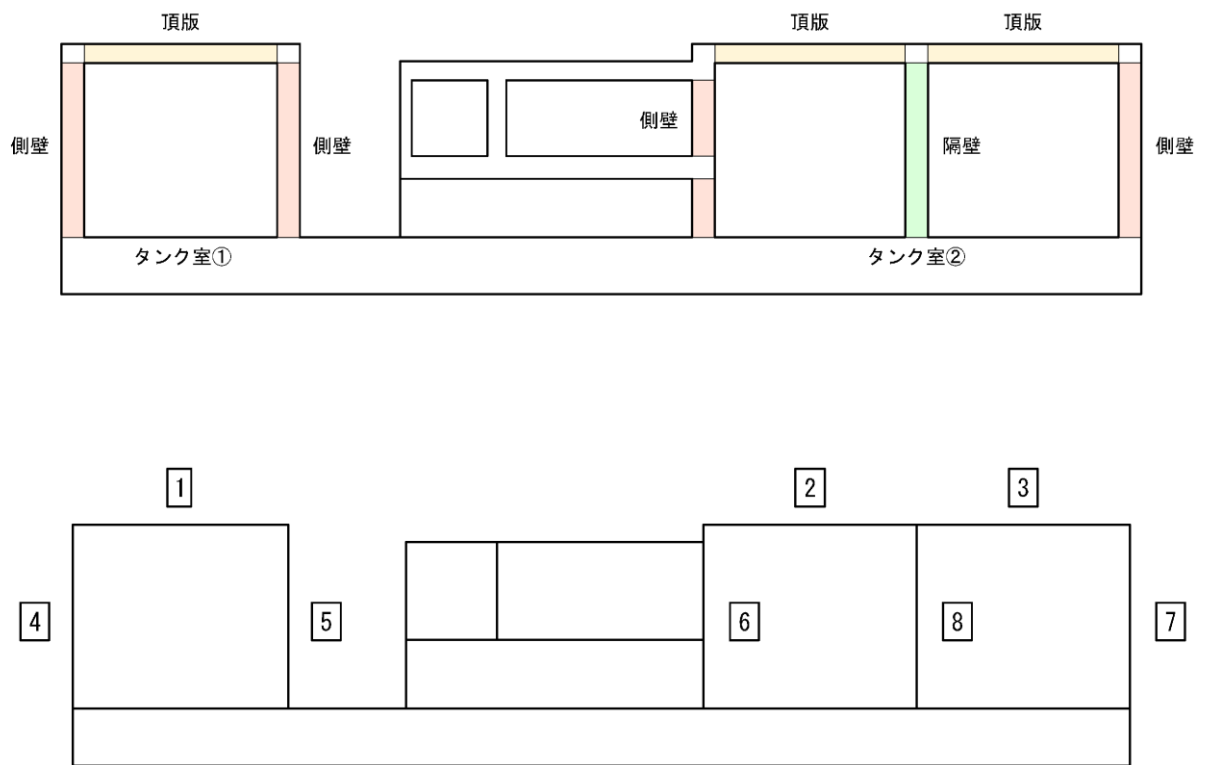


図 4-1 評価位置

別紙 せん断破壊に対する照査への線形被害則適用について

1. はじめに

ディーゼル燃料貯蔵タンク室のせん断破壊に対する照査については、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認することとしている。せん断照査の結果、照査用せん断力がせん断耐力を超える部材については、線形被害則を適用し、再照査を実施したことから、線形被害則適用による照査結果について示す。

2. 線形被害則による照査結果

図 2-1 に、対象部材におけるせん断力分布図を示し、表 2-1 にせん断力分布及び照査結果を示す。

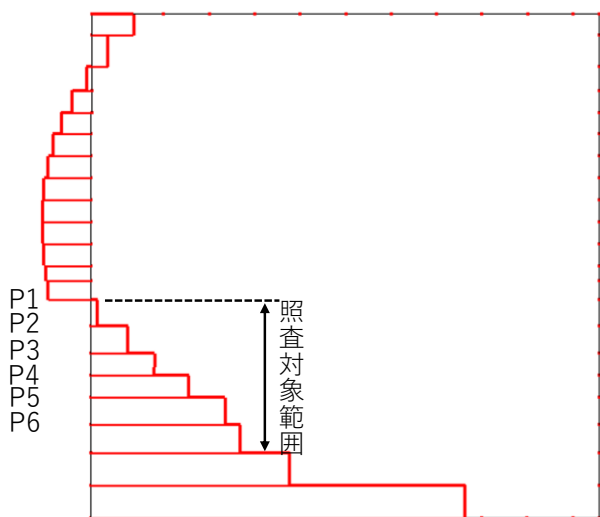


図 2-1 せん断力分布図（ディーゼル燃料貯蔵タンク室，側壁）

表 2-1 せん断力分布及び照査荷重（ディーゼル燃料貯蔵タンク室，側壁）

荷重番号	荷重 P (kN)	せん断 スパン比 a / d	照査荷重 P _d (kN)	設計用 せん断耐力 V _{y d} (kN)	照査値 P _d / V _{y d}
P 1	13.40	3.35	14.07	344	0.05
P 2	69.09	2.77	72.54	370	0.20
P 3	59.66	2.16	62.64	412	0.16
P 4	76.83	1.68	80.67	368	0.22
P 5	81.70	1.20	85.79	577	0.15
P 6	34.42	0.60	36.14	1035	0.04
				合計	0.80