

VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-5-2 原子炉冷却材再循環設備の耐震性についての計算書
- VI-2-5-3 原子炉冷却材の循環設備の耐震性についての計算書
- VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書
- VI-2-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の耐震性についての計算書
- VI-2-5-6 原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書
- VI-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書
- VI-2-5-8 原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-8 原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-8-1 原子炉冷却材浄化系の耐震性についての計算書

VI-2-5-8-1 原子炉冷却材浄化系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）

VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書
(原子炉冷却材浄化系)

設計基準対象施設

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力	12
3.5 設計用地震力	13
4. 解析結果及び評価	14
4.1 固有周期及び設計震度	14
4.2 評価結果	18
4.2.1 管の応力評価結果	18
4.2.2 支持構造物評価結果	20
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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1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4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載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。






(3) 弁

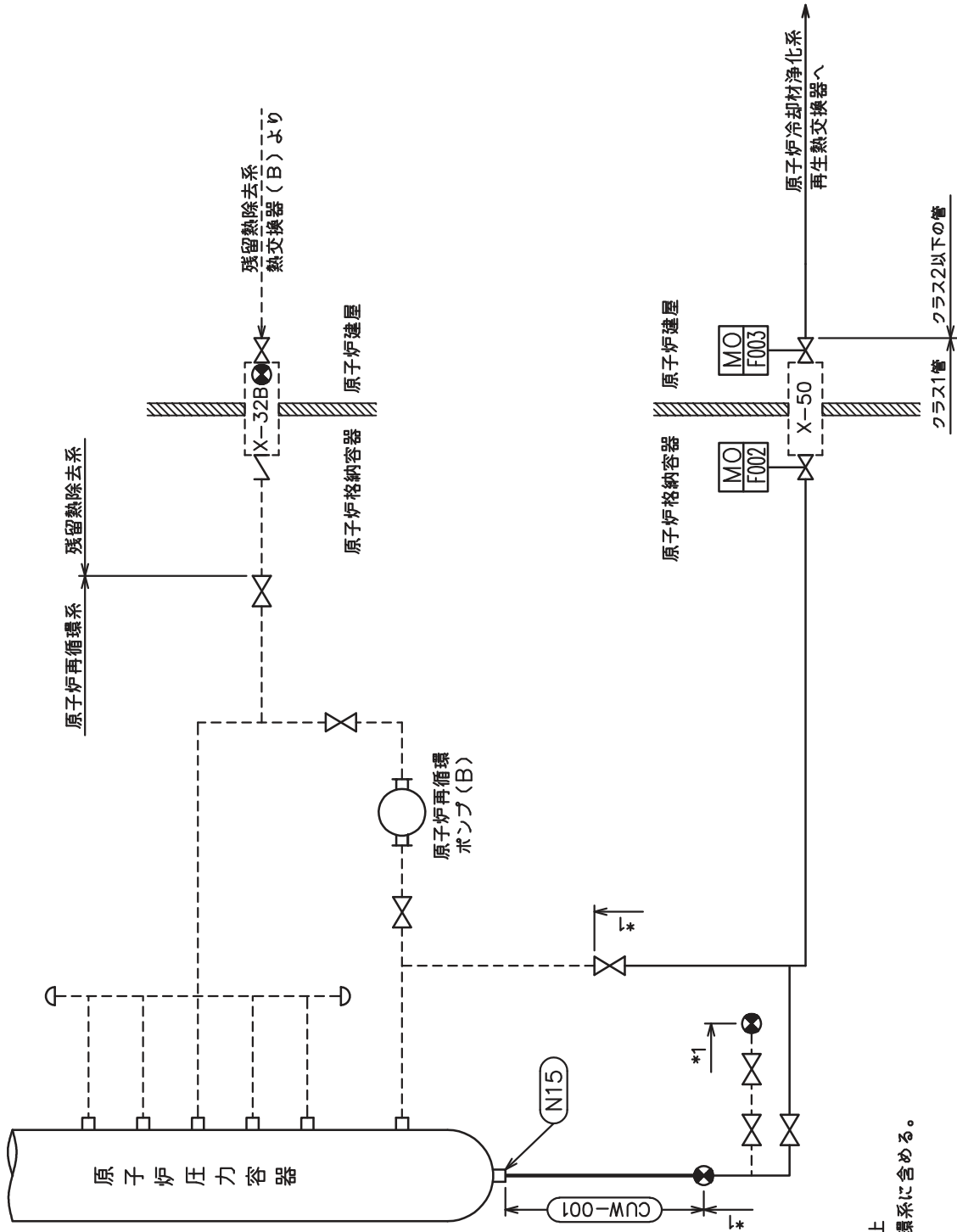
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

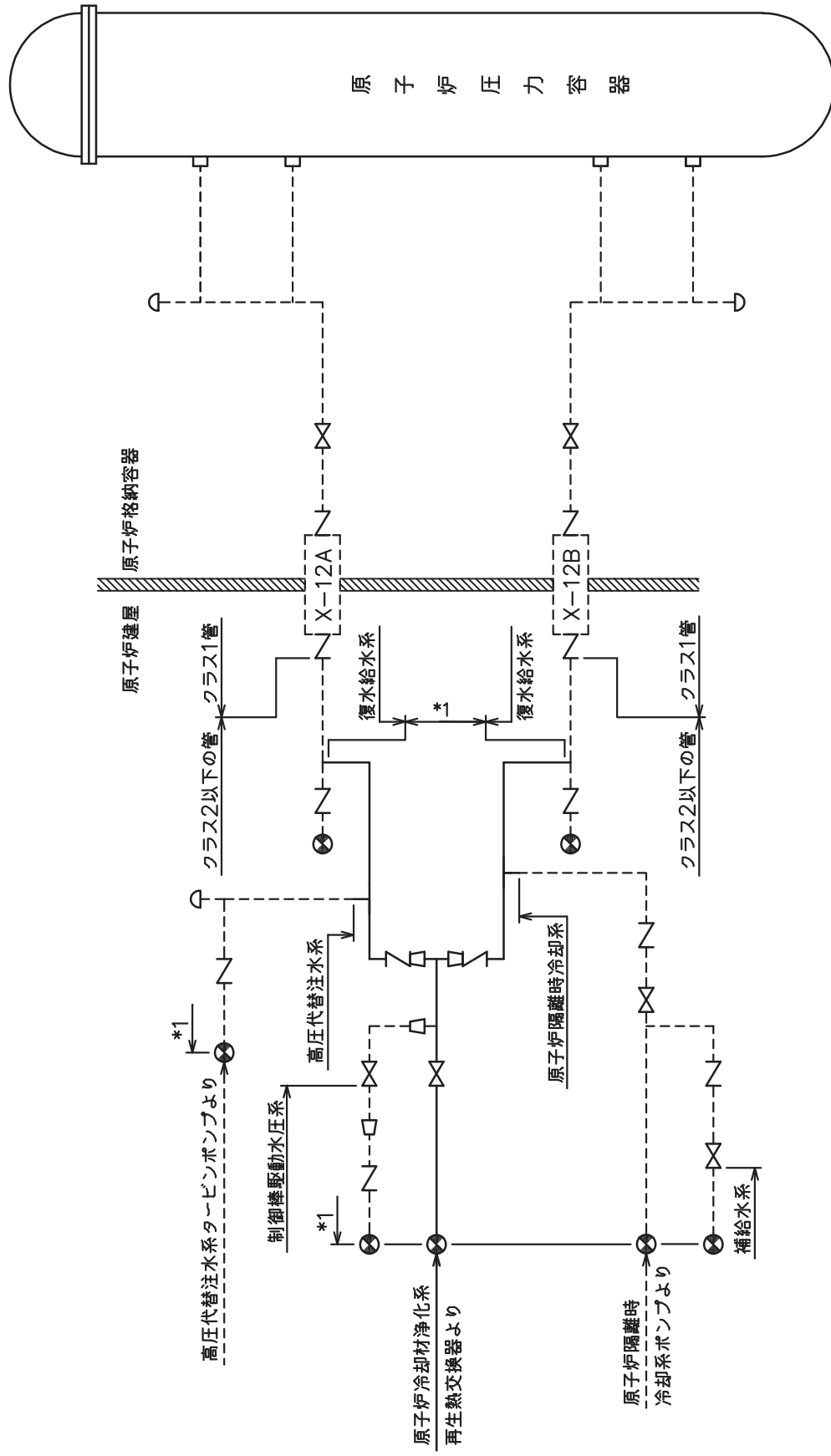
概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



注記 *1 : 解析モデル上
原子炉再循環系に含める。

原子炉冷却材浄化系概略系統図(その1)


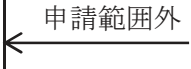




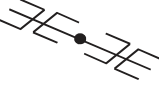

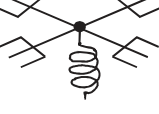
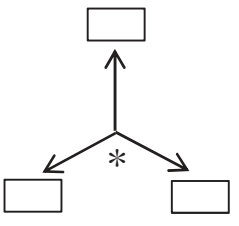



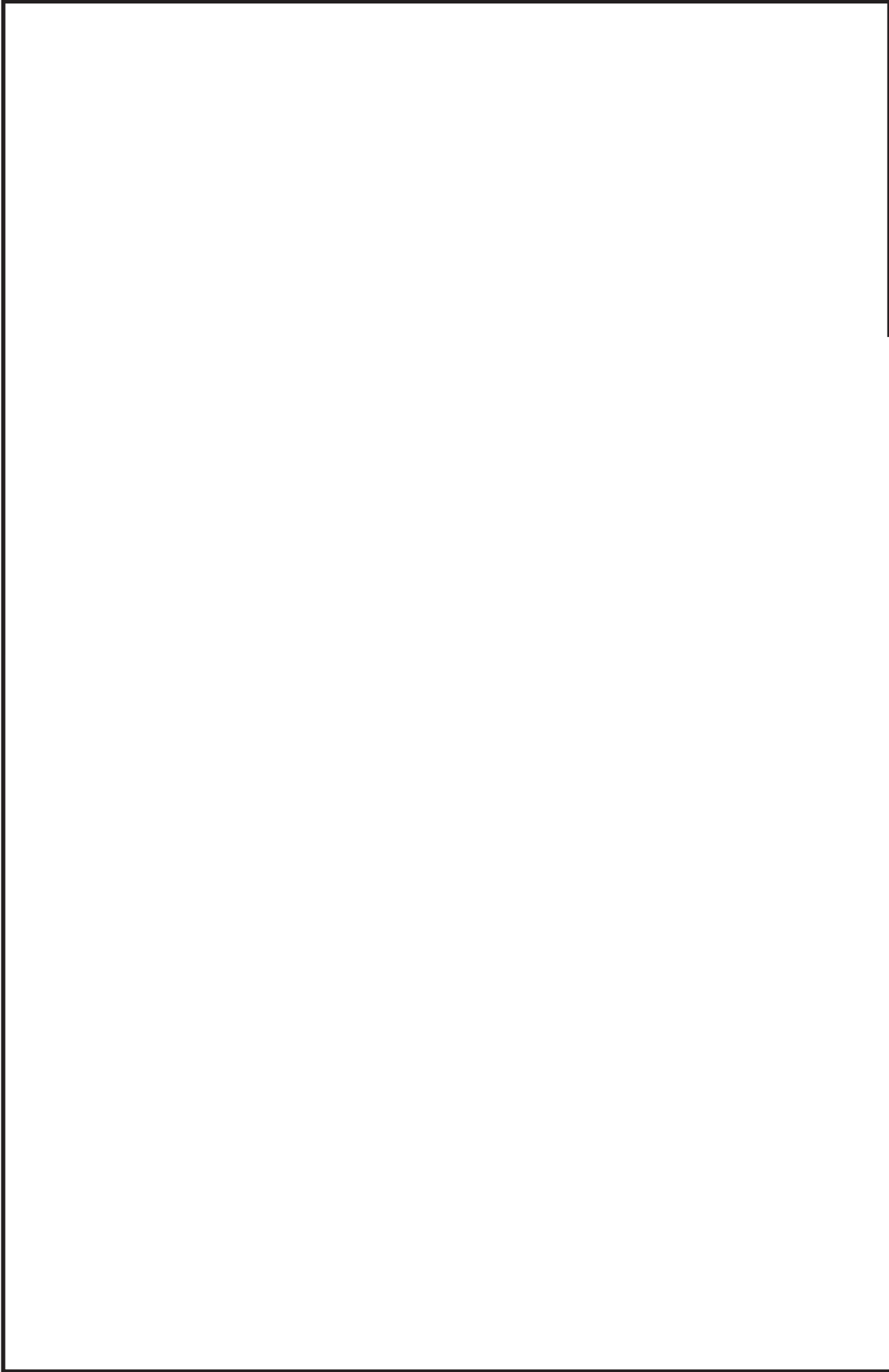
注記 *1：解析モデル上
復水給水系に含める。

原子炉冷却材浄化系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>



鳥瞰図 CUW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I 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、添付書類「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。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2, *3}	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉冷却材浄化系	DB	—	クラス1管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	
							II _L +S s	
							IV _L (L)+S d	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 C U W - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	60.5	8.7	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 C U W - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	801	901			

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		13		19		25	
2		8		14		20		801	
3		9		15		21		901	
4		10		16		22			
5		11		17		23			
6		12		18		24			

O2 ④ VI-2-5-8-1-1(設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 C U W - 0 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
18						
** 18 **						
25						
901						
** 901 **						

--

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 h
STS410	302	122	182	—	—

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
C U W - 0 0 1	原子炉圧力容器		
	原子炉本体基礎		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 CUW-001

モード	適用する地震動等	S d 及び静的震度			S s		
		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	固有周期 (s)						
2 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

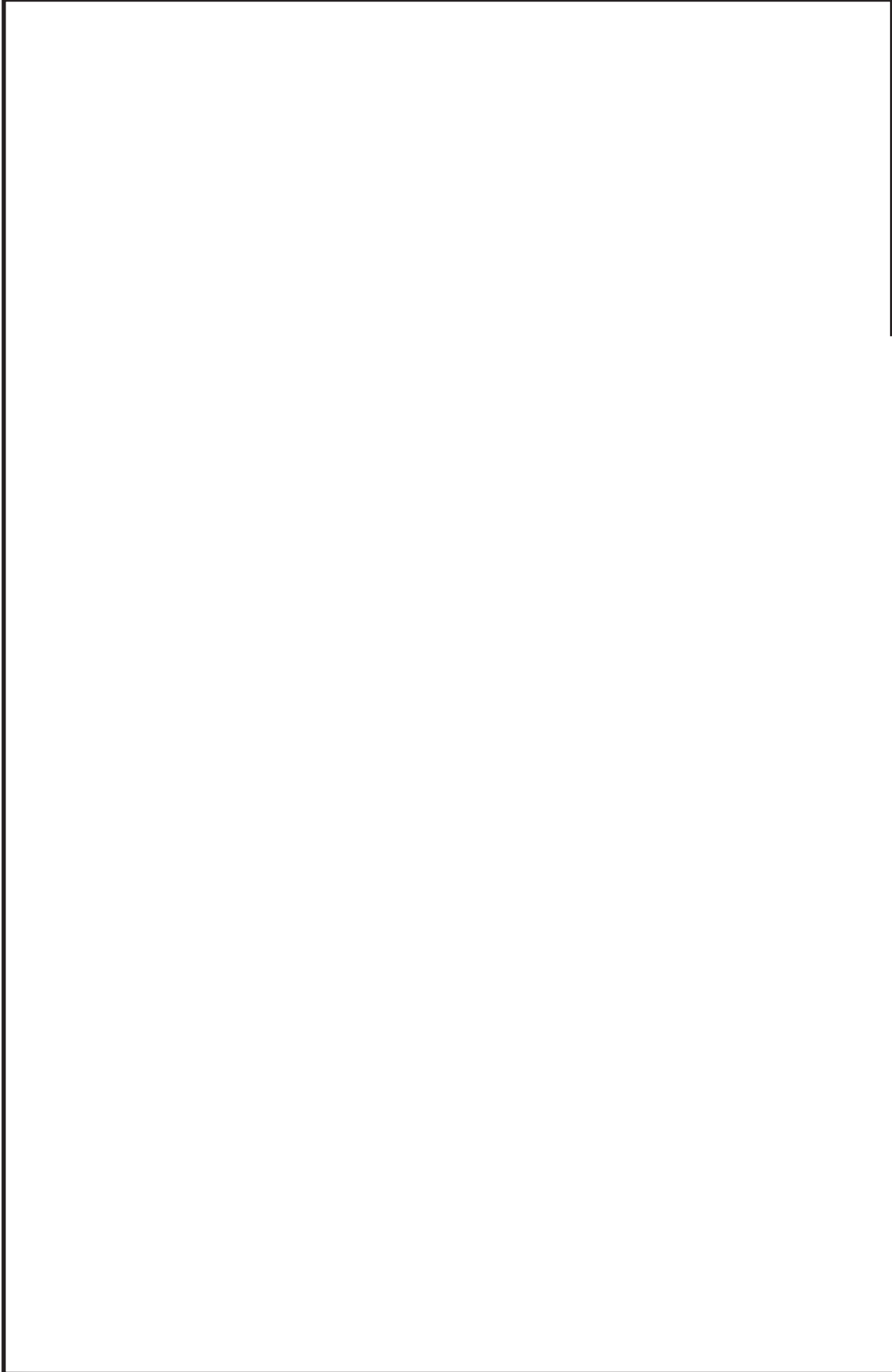
鳥瞰図 CUW-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、1次モードまでとし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図 CUW-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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1 管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)			疲労評価 係数	
					一次応力	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次+二次応力	許容応力	一次+二次応力		許容応力
					S p r m (S d) S p r m (S s)	2. 2 5・S m 3・S m	S t (S d) S t (S s)	0. 5 5・S m 0. 7 3・S m	S n (S d) S n (S s)	3・S m 3・S m	S n (S d) S n (S s)		3・S m 3・S m
CUW-001	III _A S	16	BUTT WELD	S p r m (S d)	84	274	—	—	—	—	—	—	
	III _A S	7	ELBOW	S t (S d)	—	—	47	67	—	—	—	—	
	III _A S	17	ELBOW	S n (S d)	—	—	—	—	174	366	—	—	
	III _A S	16	BUTT WELD	U+U S d	—	—	—	—	—	—	—	0. 0132	
	IV _A S	16	BUTT WELD	S p r m (S s)	132	366	—	—	—	—	—	—	
	IV _A S	7	ELBOW	S t (S s)	—	—	94 *	89	—	—	—	—	
	IV _A S	17	ELBOW	S n (S s)	—	—	—	—	355	366	—	—	
	IV _A S	16	BUTT WELD	U+U S s	—	—	—	—	—	—	—	0. 0615	

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_ASのとき $0.55 \cdot S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_ASのとき $0.73 \cdot S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥 瞰 図 C U W - 0 0 1

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 S _t (S _d) S _t (S _s)	許容応力 $0.55 \cdot S_m$ $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 S _t +S _b (S _d) S _t +S _b (S _s)	許容応力 $1.8 \cdot S_m$ $2.4 \cdot S_m$
7	47 94 *	67 89	50 98	219 292
8	47 93 *	67 89	55 106	219 292

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	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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	許容 応力 (MPa)	
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			計算 応力 (MPa)
CUW-001-005R	レストレイント	Uボルト	SS400	66	1	4	0	—	—	—	組合せ	37	202
CUW-001-025A	アンカ	ラグ	SGV410	302	2	4	3	502N・m	409N・m	617N・m	組合せ	70	199

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 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が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。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管モデル	許容応力状態 IV _A S																
		許容応力状態 III _A S				一次応力				一次+二次応力*				疲労評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	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	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	CUW-001	16	84	274	3.26	16	132	366	2.77	○	17	355	366	1.03	○	16	0.0615	○

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

VI-2-6 計測制御系統施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-6-1 計測制御系統施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-6-2 制御材の耐震性についての計算書
- VI-2-6-3 制御材駆動装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-4 ほう酸水注入設備の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5 計測装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-7 その他の計測制御設備の耐震性についての計算書

VI-2-6-3 制御材駆動装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書
- VI-2-6-3-2 制御棒駆動水圧設備の耐震性についての計算書

VI-2-6-3-2 制御棒駆動水圧設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-6-3-2-1 水圧制御ユニットの耐震性についての計算書
- VI-2-6-3-2-2 管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）

VI-2-6-3-2-2 管の耐震性についての計算書
(制御棒駆動水圧系)

設計基準対象施設

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力	11
3.5 設計用地震力	12
4. 解析結果及び評価	13
4.1 固有周期及び設計震度	13
4.2 評価結果	19
4.2.1 管の応力評価結果	19
4.2.2 支持構造物評価結果	20
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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 27 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 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載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。





(3) 弁

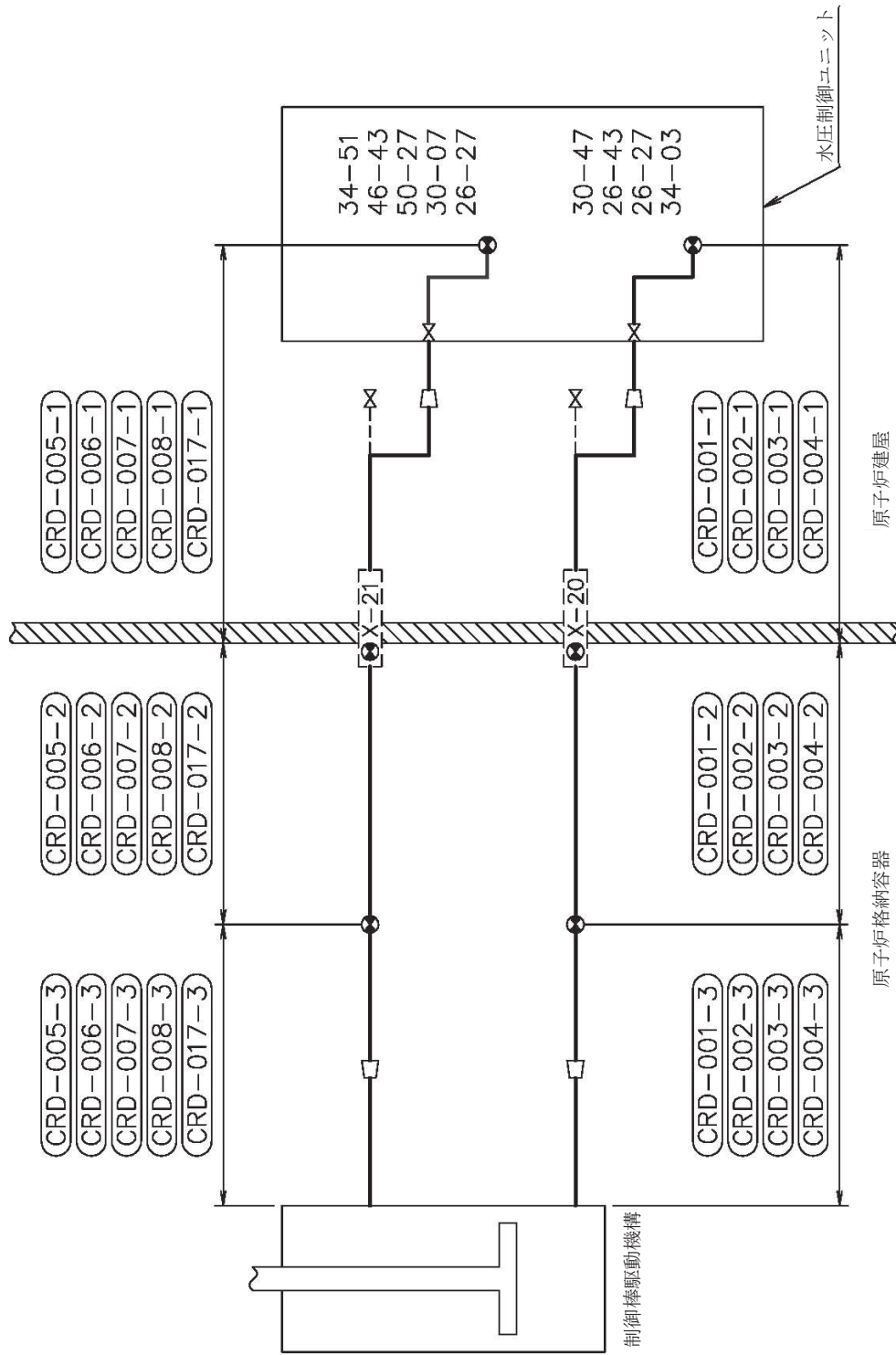
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


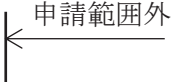


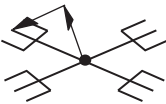
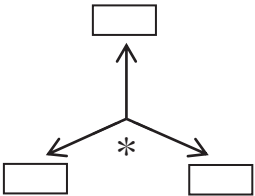
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

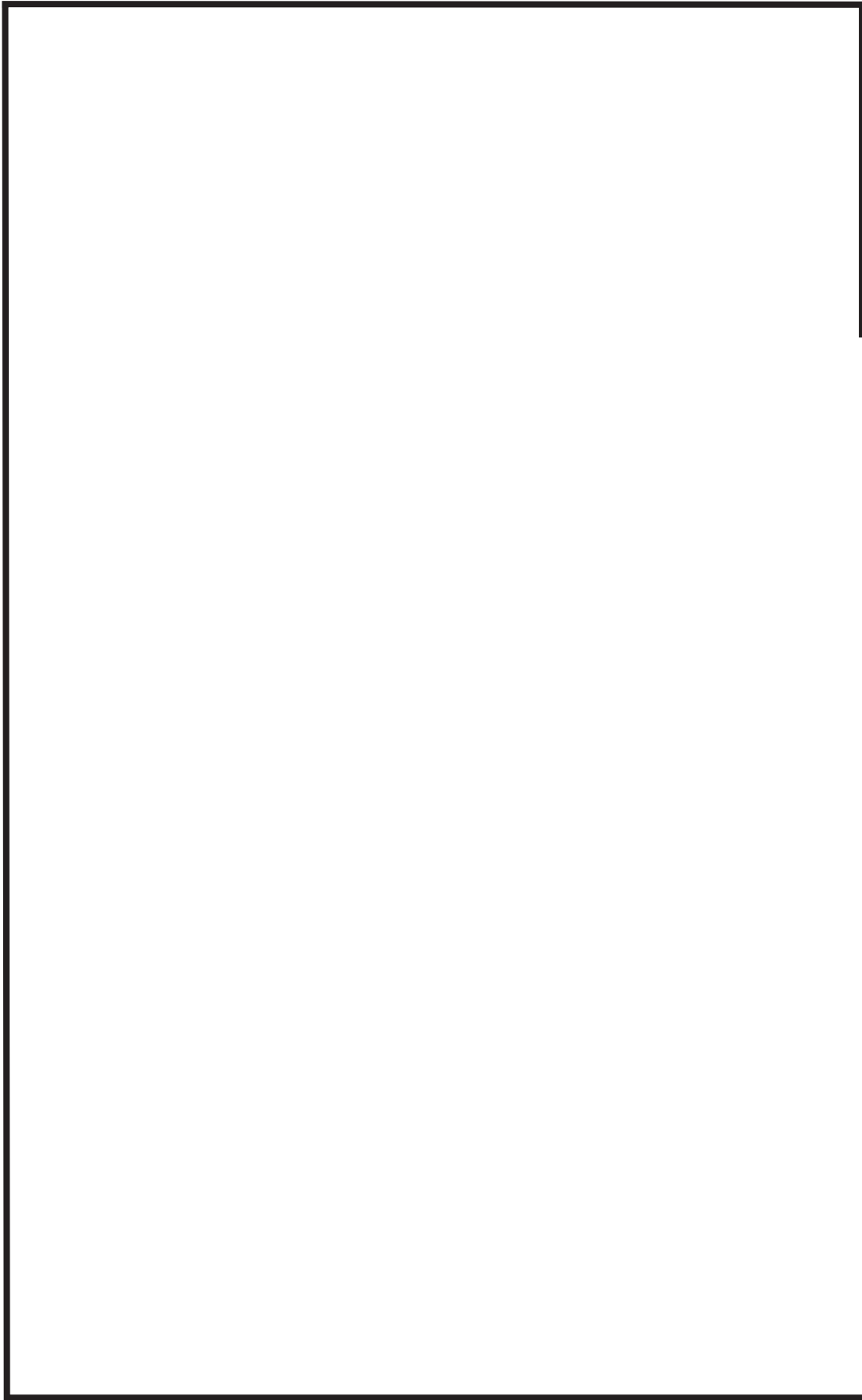


制御棒駆動水圧系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)</p>
	<p>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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>



鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」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、添付書類「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。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
計測制御 系統施設	制御棒駆動 水圧設備	制御棒駆動 水圧系	D B	—	クラス 2 管 クラス 3 管	S	I _L +S d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S d	
							I _L +S s	
							Ⅱ _L +S s	

注記*1：D Bは設計基準対象施設，S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 C R D - 0 1 7 - 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	13.83	66	34.0	4.5	SUS316LTP	S	191720
2	13.83	66	27.2	3.9	SUS316LTP	S	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 CRD-017-3

管名称	対 応 す る 評 価 点													
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	14	15	16	17	18	19	20	21	22					

配管の質量 (付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		6		11		16		21	
2		7		12		17		22	
3		8		13		18			
4		9		14		19			
5		10		15		20			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
—	—

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
—	—	—	—	—

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CRD-017-3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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	Y	Z	X	Y	Z
1						
** 5 **						
5						
13						
22						



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 h
SUS316LTP	66	—	159	459	—

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
CRD-017-3	原子炉格納容器		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 CRD-017-3

モード	適用する地震動等 固有周期 (s)	S d 及び静的震度						S s		
		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		Y 方向
		X 方向	Z 方向	Y 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向			
1次										
2次										
3次										
4次*2										
動的震度*3										
静的震度*4										

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 CRD-017-3

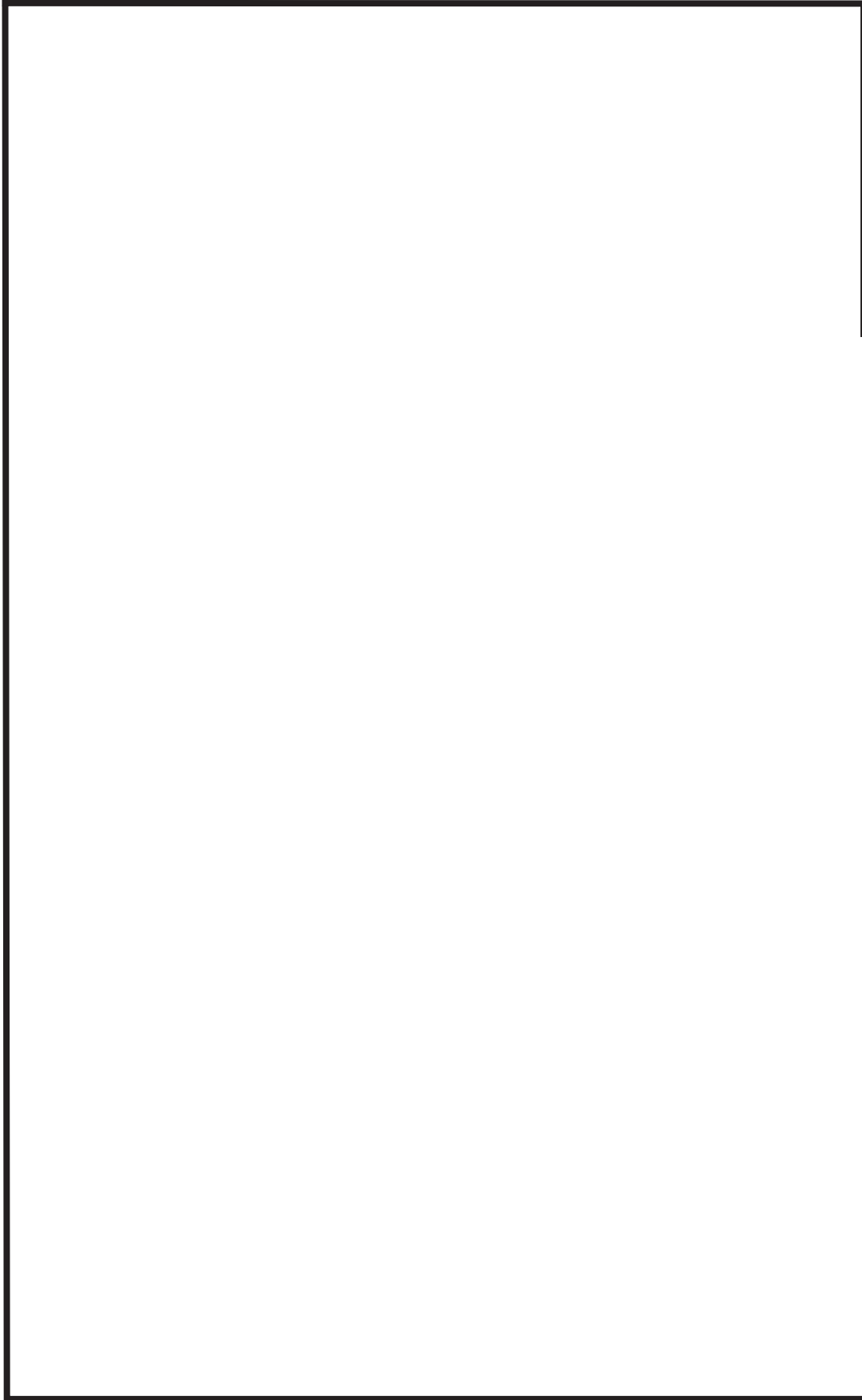
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1次				
2次				
3次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

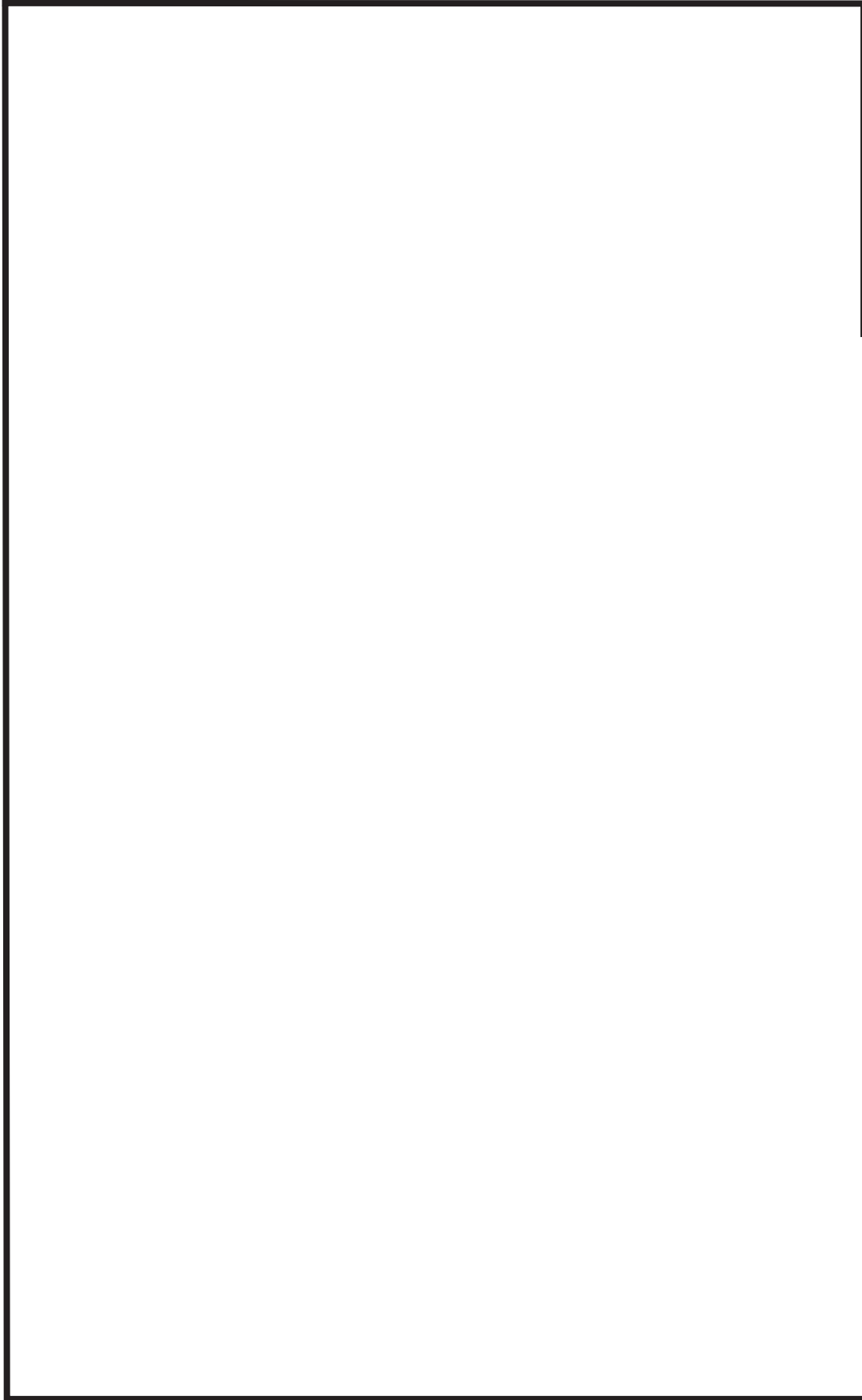
代表的振動モード図

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、次ページ以降に示す。



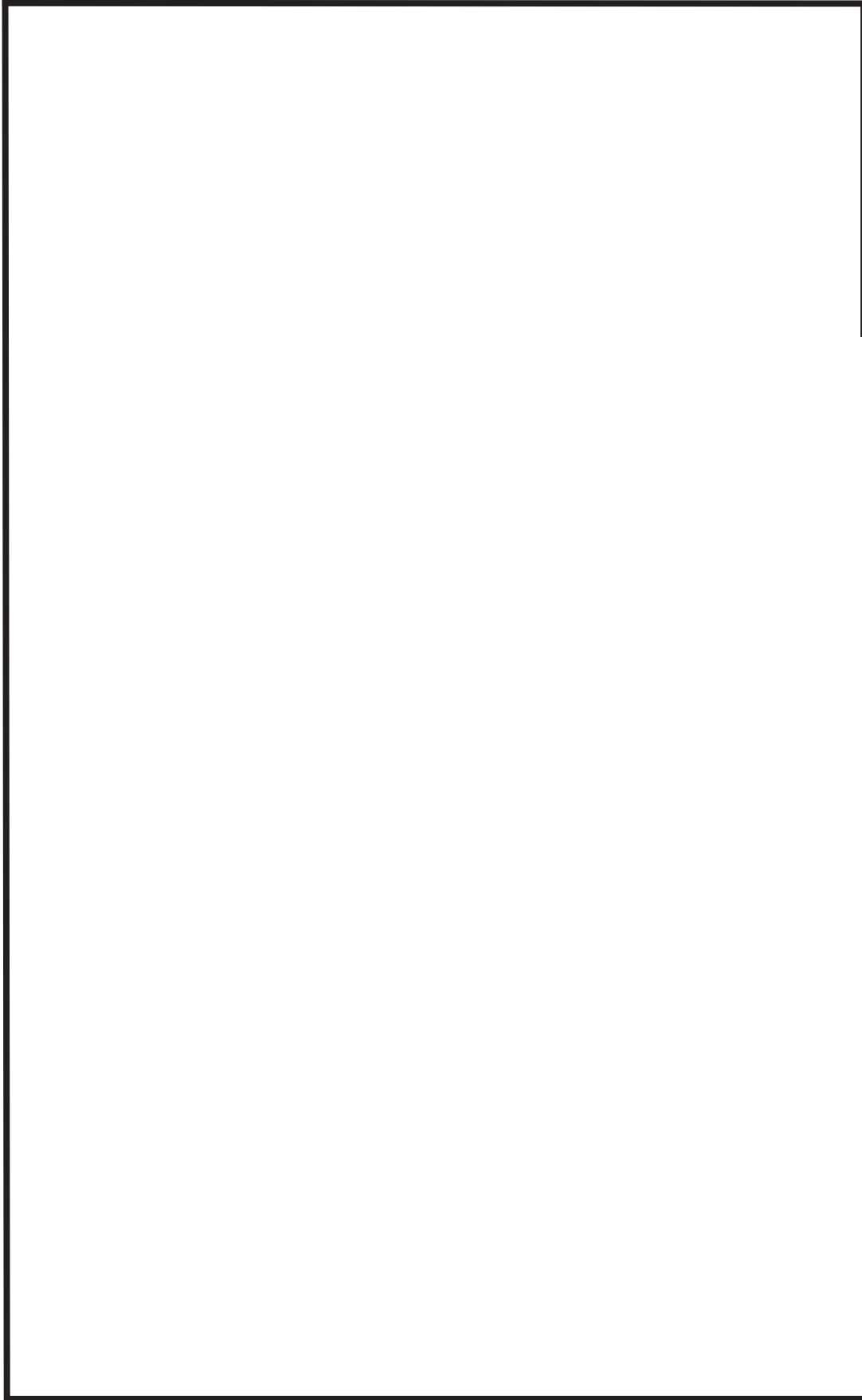
鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥 瞰 図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
CRD-017-3	III _A S	22	Spr m(Sd)	142	159	—	—	—
	III _A S	22	Sn(Sd)	—	—	242	318	—
	IV _A S	22	Spr m(Ss)	231	413	—	—	—
	IV _A S	22	Sn(Ss)	—	—	434*	318	0.8674

注記*：許容応力を超える計算応力に対して付記する。

注記*1：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、Syと1・2・Shのうち大きい方とする。

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	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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				
NW-025	レストレイント	Uボルト	SUS304	66	—	0	3	—	—	—	—	せん断	36	118
NW-038	アンカ	ラグ	SUS316L	66	2	0	1	0	1	0	0	組合せ	78	101

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 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が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。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S						許容応力状態 IV _A S									
		一次応力			一次応力			一次+二次応力*			一次+二次応力*						
		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	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	疲労評価
1	CRD-001-1	10	75	159	2.12	—	10	119	413	3.47	—	10	198	318	1.60	—	—
2	CRD-002-1	10	72	159	2.20	—	10	111	413	3.72	—	9	181	318	1.75	—	—
3	CRD-003-1	10	72	159	2.20	—	10	111	413	3.72	—	10	180	318	1.76	—	—
4	CRD-004-1	10	69	159	2.30	—	10	106	413	3.89	—	9	173	318	1.83	—	—
5	CRD-005-1	10	117	159	1.35	—	10	166	413	2.48	—	10	292	318	1.08	—	0.2729
6	CRD-006-1	10	106	159	1.50	—	10	150	413	2.75	—	10	261	318	1.21	—	—
7	CRD-007-1	10	107	159	1.48	—	10	151	413	2.73	—	10	263	318	1.20	—	—
8	CRD-008-1	10	112	159	1.41	—	10	159	413	2.59	—	10	278	318	1.14	—	—
9	CRD-017-1	10	116	159	1.37	—	10	164	413	2.51	—	10	288	318	1.10	—	—
10	CRD-001-2	21	41	159	3.87	—	21	45	413	9.17	—	19	61	318	5.21	—	—
11	CRD-002-2	7	41	159	3.87	—	21	45	413	9.17	—	19	61	318	5.21	—	—
12	CRD-003-2	6	42	159	3.78	—	6	45	413	9.17	—	18	70	318	4.54	—	—
13	CRD-004-2	36	66	159	2.40	—	36	81	413	5.09	—	19	132	318	2.40	—	—
14	CRD-005-2	36	68	159	2.33	—	36	89	413	4.64	—	36	125	318	2.54	—	—
15	CRD-006-2	36	60	159	2.65	—	36	77	413	5.36	—	19	104	318	3.05	—	—

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S						許容応力状態 IV _A S						疲労評価			
		一次応力			一次応力			一次+二次応力*			一次+二次応力*			評価点	代表		
		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	代表	評価点	計算応力 (MPa)			許容応力 (MPa)	裕度
16	CRD-007-2	35	68	159	2.33	—	35	89	413	4.64	—	18	139	318	2.28	—	—
17	CRD-008-2	21	38	159	4.18	—	21	42	413	9.83	—	19	63	318	5.04	—	—
18	CRD-017-2	6	39	159	4.07	—	6	43	413	9.60	—	18	63	318	5.04	—	—
19	CRD-001-3	1	47	159	3.38	—	1	54	413	7.64	—	22	75	318	4.24	—	—
20	CRD-002-3	1	47	159	3.38	—	1	53	413	7.79	—	22	73	318	4.35	—	—
21	CRD-003-3	9	108	159	1.47	—	22	189	413	2.18	—	22	350	318	0.90	—	0.2710
22	CRD-004-3	1	45	159	3.53	—	1	51	413	8.09	—	21	77	318	4.12	—	—
23	CRD-005-3	1	44	159	3.61	—	1	51	413	8.09	—	21	73	318	4.35	—	—
24	CRD-006-3	1	45	159	3.53	—	1	54	413	7.64	—	19	68	318	4.67	—	—
25	CRD-007-3	16	118	159	1.34	—	16	179	413	2.30	—	16	349	318	0.91	—	0.2414
26	CRD-008-3	1	45	159	3.53	—	1	53	413	7.79	—	22	78	318	4.07	—	—
27	CRD-017-3	22	142	159	1.11	○	22	231	413	1.78	○	22	434	318	0.73	○	0.8674

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

目次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	4
3.	計算条件	6
3.1	計算方法	6
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3	設計条件	8
3.4	材料及び許容応力	11
3.5	設計用地震力	12
4.	解析結果及び評価	13
4.1	固有周期及び設計震度	13
4.2	評価結果	19
4.2.1	管の応力評価結果	19
4.2.2	支持構造物評価結果	20
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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 27 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 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載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。


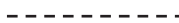


(3) 弁

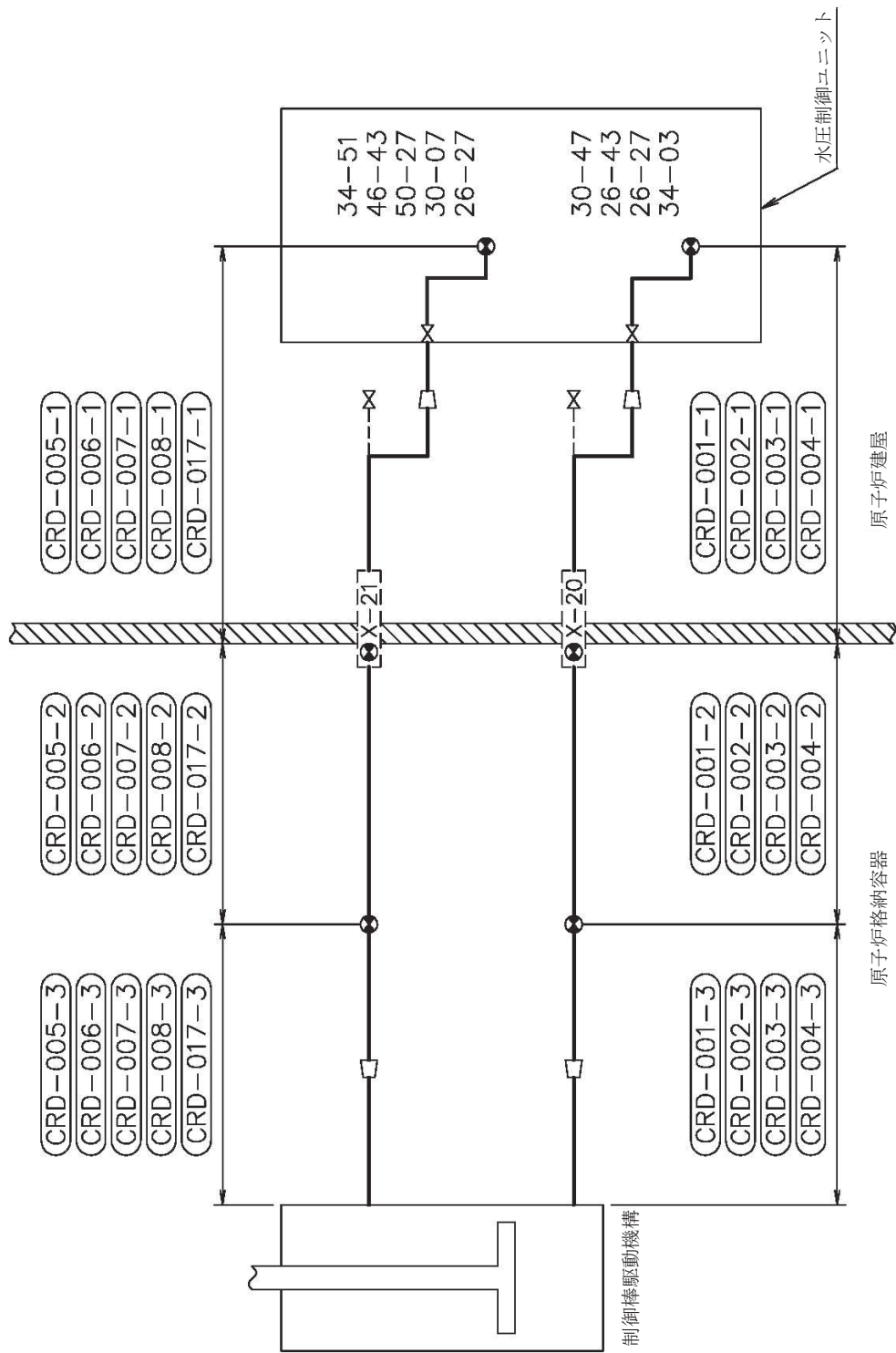
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


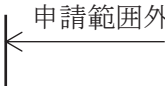


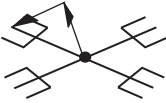
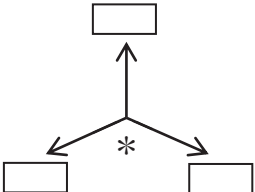
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

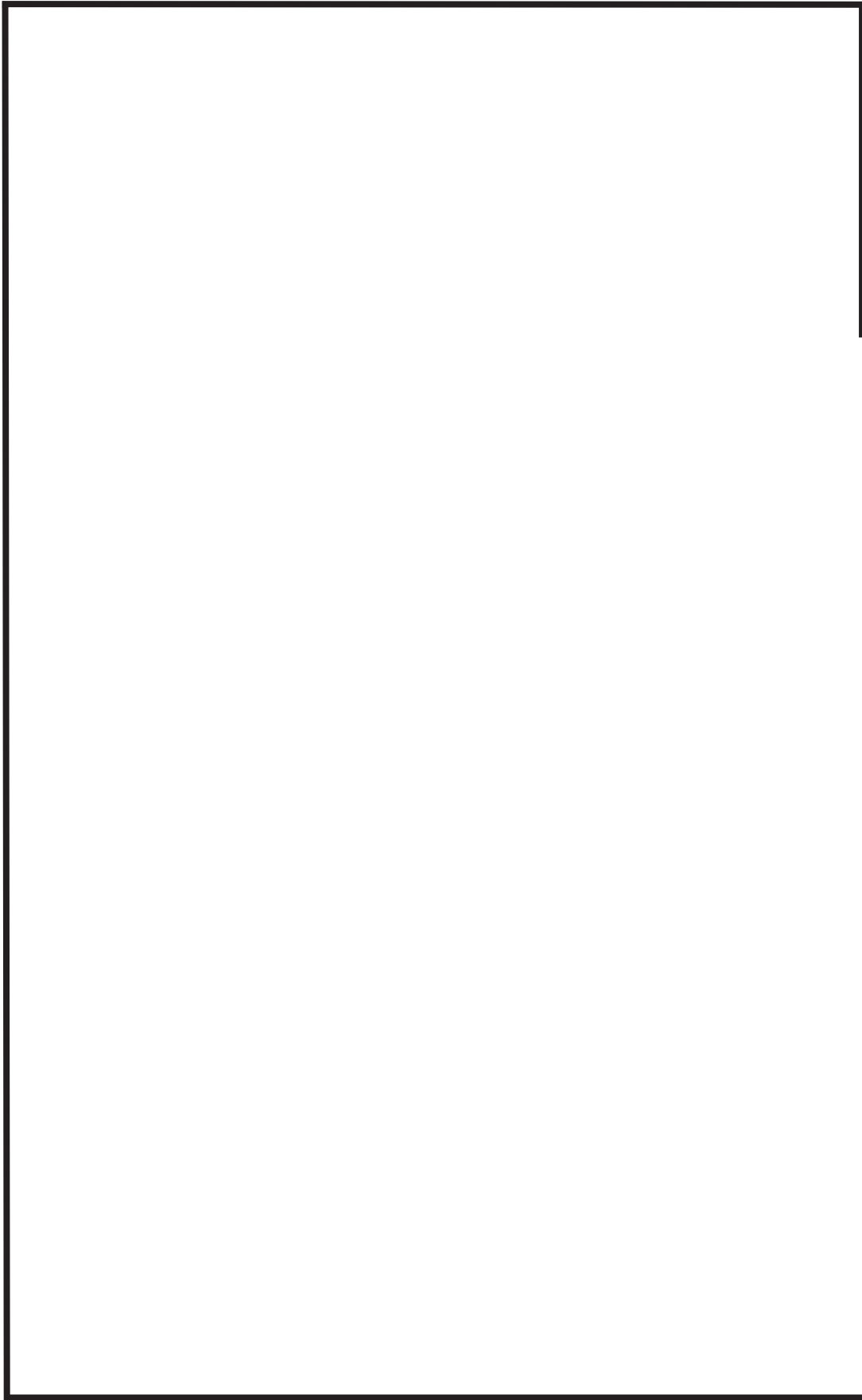


制御棒駆動水圧系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)</p>
	<p>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，<input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>



鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」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、添付書類「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。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
計測制御 系統施設	制御棒駆動 水圧設備	制御棒駆動 水圧系	SA	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2管	—	V _L +S S	V _{AS}

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：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。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 C R D - 0 1 7 - 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	13.83	66	34.0	4.5	SUS316LTP	S	191720
2	13.83	66	27.2	3.9	SUS316LTP	S	191720

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 CRD-017-3

管名称	対 応 す る 評 価 点													
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	14	15	16	17	18	19	20	21	22					

配管の質量 (付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		6		11		16		21	
2		7		12		17		22	
3		8		13		18			
4		9		14		19			
5		10		15		20			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
—	—

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
—	—	—	—	—

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CRD-017-3

支持点部のばね定数を下表に示す。

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	Y	Z	X	Y	Z
1						
** 5 **						
5						
13						
22						

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 h
SUS316LTP	66	—	159	459	—

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
CRD-017-3	原子炉格納容器		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 CRD-017-3

モード	適用する地震動等 固有周期 (s)	S d 及び静的震度						S s		
		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		Y 方向
		X 方向	Z 方向	Y 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向			
1次										
2次										
3次										
4次*2										
動的震度*3										
静的震度*4										

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

*3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 CRD-017-3

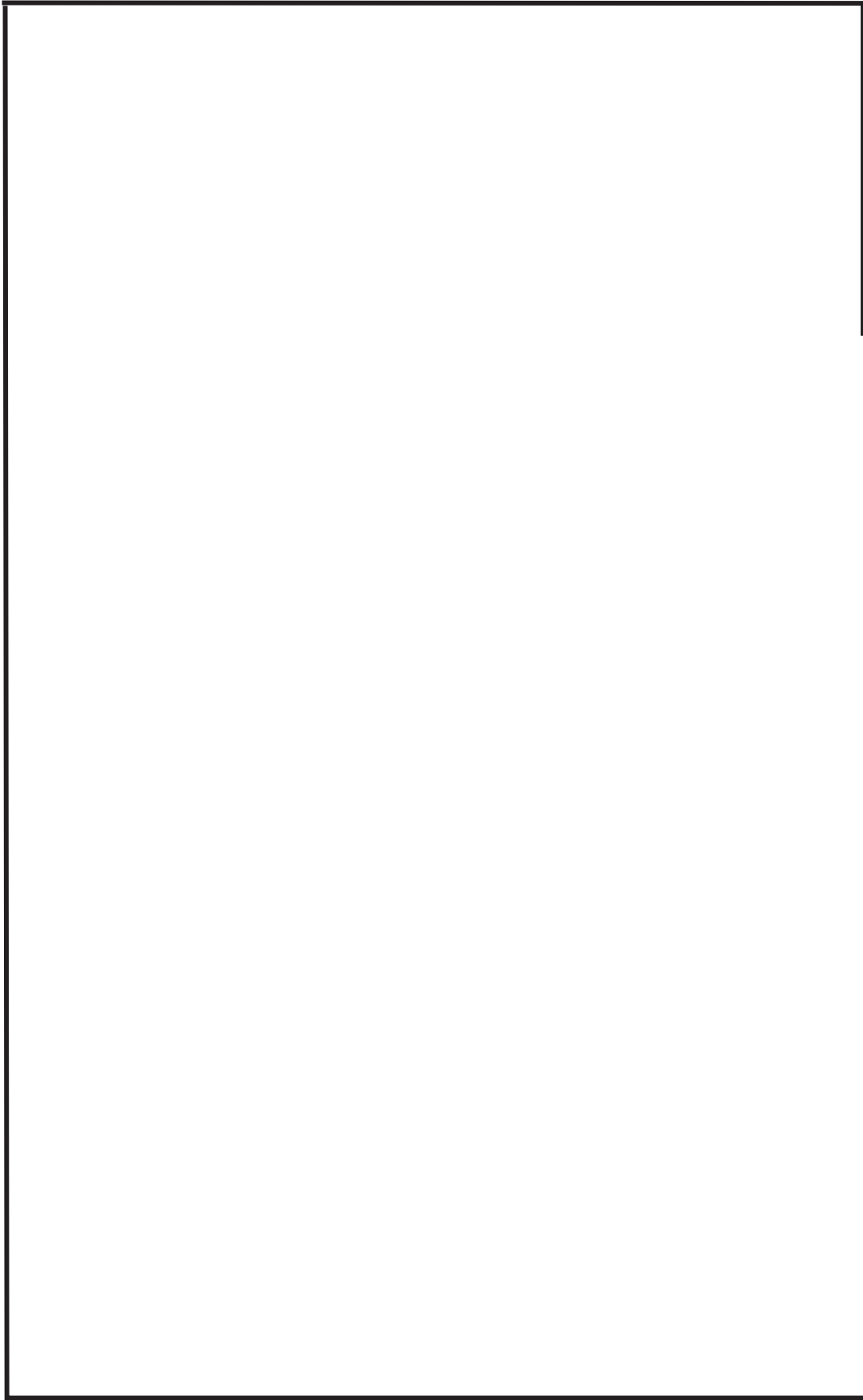
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

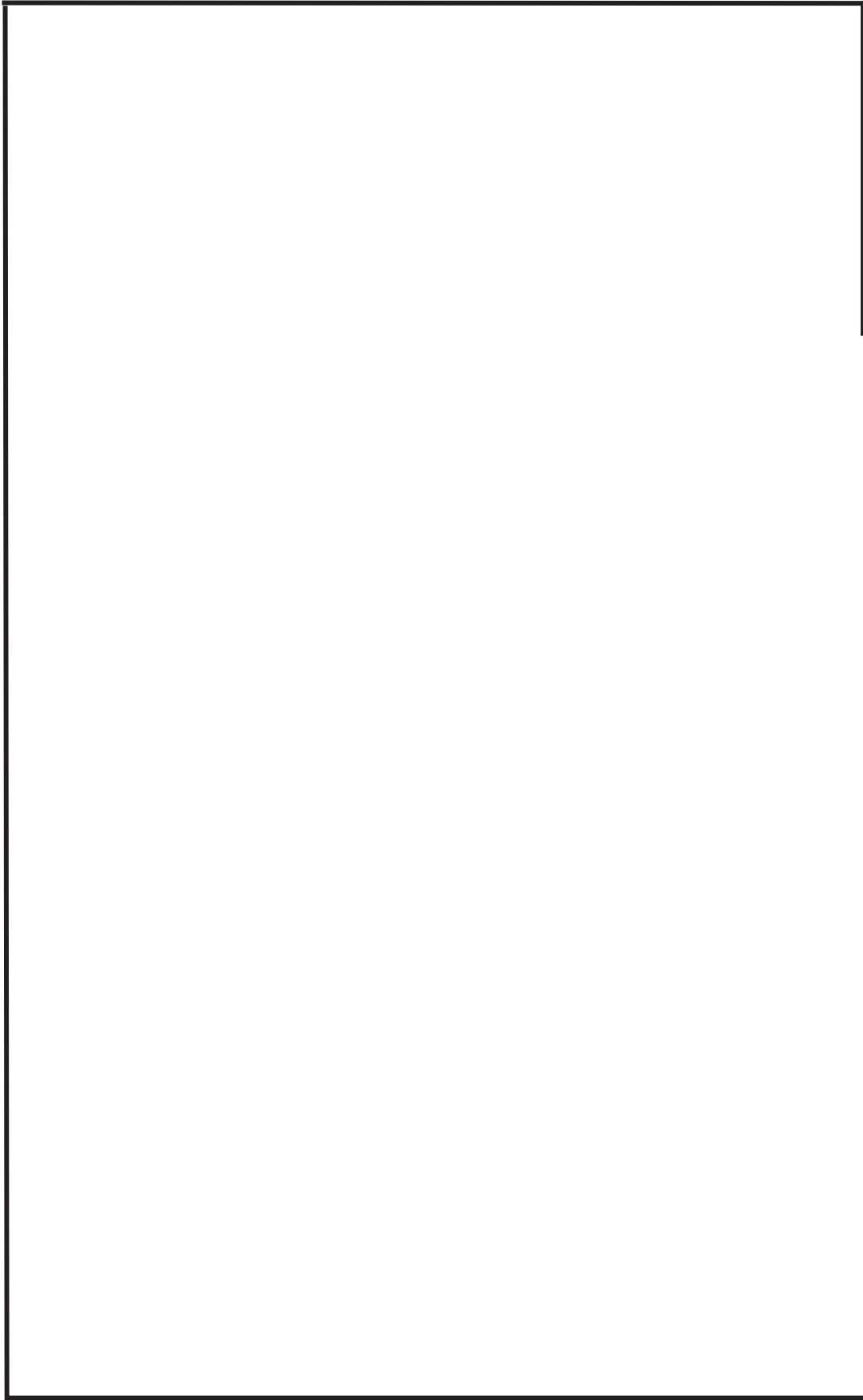
代表的振動モード図

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、次ページ以降に示す。



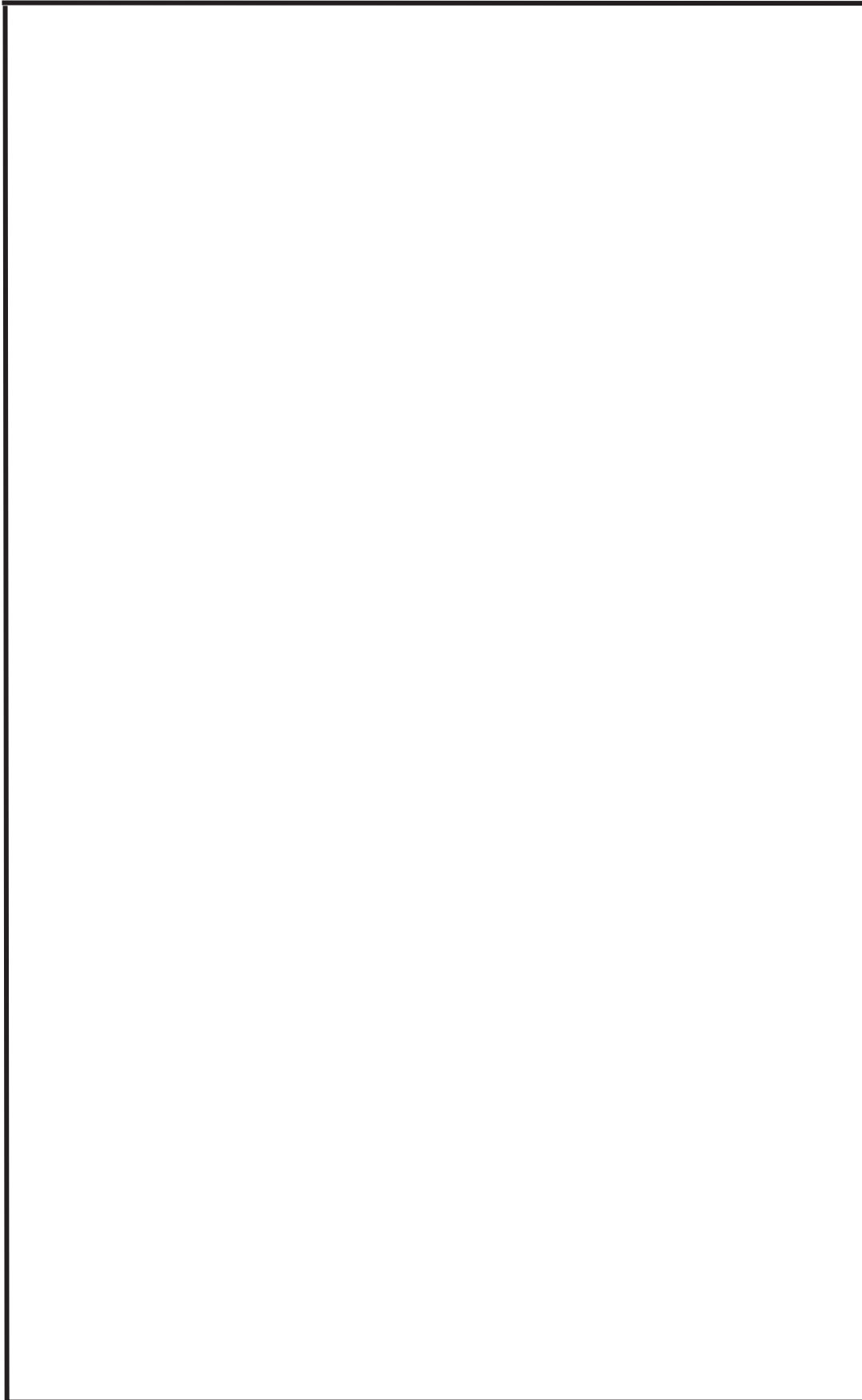
鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 CRD-017-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Ss)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
CRD-017-3	V _A S	22	Spr m(S s)	231	413	—	—	—
	V _A S	22	S n(S s)	—	—	434 *	318	0.8674

注記*：許容応力を超える計算応力に対して付記する。

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	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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				
NW-025	レストレイント	Uボルト	SUS304	66	—	0	3	—	—	—	—	せん断	36	118
NW-038	アンカ	ラグ	SUS316L	66	2	0	1	0	1	0	0	組合せ	78	101

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 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が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。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V _A S													
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価	
		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	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表	
1	CRD-001-1	10	119	413	3.47	—	10	198	318	1.60	—	—	—	—	
2	CRD-002-1	10	111	413	3.72	—	9	181	318	1.75	—	—	—	—	
3	CRD-003-1	10	111	413	3.72	—	10	180	318	1.76	—	—	—	—	
4	CRD-004-1	10	106	413	3.89	—	9	173	318	1.83	—	—	—	—	
5	CRD-005-1	10	166	413	2.48	—	10	292	318	1.08	—	10	0.2729	—	
6	CRD-006-1	10	150	413	2.75	—	10	261	318	1.21	—	—	—	—	
7	CRD-007-1	10	151	413	2.73	—	10	263	318	1.20	—	—	—	—	
8	CRD-008-1	10	159	413	2.59	—	10	278	318	1.14	—	—	—	—	
9	CRD-017-1	10	164	413	2.51	—	10	288	318	1.10	—	—	—	—	
10	CRD-001-2	21	45	413	9.17	—	19	61	318	5.21	—	—	—	—	
11	CRD-002-2	21	45	413	9.17	—	19	61	318	5.21	—	—	—	—	
12	CRD-003-2	6	45	413	9.17	—	18	70	318	4.54	—	—	—	—	
13	CRD-004-2	36	81	413	5.09	—	19	132	318	2.40	—	—	—	—	
14	CRD-005-2	36	89	413	4.64	—	36	125	318	2.54	—	—	—	—	
15	CRD-006-2	36	77	413	5.36	—	19	104	318	3.05	—	—	—	—	

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V _{AS}													
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価	
		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	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表	
16	CRD-007-2	35	89	413	4.64	—	18	139	318	2.28	—	—	—	—	
17	CRD-008-2	21	42	413	9.83	—	19	63	318	5.04	—	—	—	—	
18	CRD-017-2	6	43	413	9.60	—	18	63	318	5.04	—	—	—	—	
19	CRD-001-3	1	54	413	7.64	—	22	75	318	4.24	—	—	—	—	
20	CRD-002-3	1	53	413	7.79	—	22	73	318	4.35	—	—	—	—	
21	CRD-003-3	22	189	413	2.18	—	22	350	318	0.90	—	22	0.2710	—	
22	CRD-004-3	1	51	413	8.09	—	21	77	318	4.12	—	—	—	—	
23	CRD-005-3	1	51	413	8.09	—	21	73	318	4.35	—	—	—	—	
24	CRD-006-3	1	54	413	7.64	—	19	68	318	4.67	—	—	—	—	
25	CRD-007-3	16	179	413	2.30	—	16	349	318	0.91	—	16	0.2414	—	
26	CRD-008-3	1	53	413	7.79	—	22	78	318	4.07	—	—	—	—	
27	CRD-017-3	22	231	413	1.78	○	22	434	318	0.73	○	22	0.8674	○	

VI-2-6-5 計測装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-6-5-1 起動領域計測装置及び出力領域計測装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-2 原子炉圧力容器本体の入口又は出口の原子炉冷却材の圧力，温度又は流量を計測する装置（常設）の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-3 原子炉圧力容器本体内の圧力又は水位を計測する装置（常設）の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-4 原子炉格納容器本体内の圧力，温度，酸素ガス濃度又は水素ガス濃度を計測する装置（常設）の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備に係る容器又は貯蔵槽内の水位を計測する装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-6 原子炉冷却材再循環流量を計測する装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-7 原子炉格納容器本体への冷却材流量を計測する装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-8 原子炉格納容器本体の水位を計測する装置の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-9 原子炉建屋内の水素ガス濃度を計測する装置の耐震性についての計算書

VI-2-6-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備に係る容器又は貯蔵槽内の水位を計測する装置の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-6-5-5-1 復水貯蔵タンク水位の耐震性についての計算書

VI-2-6-5-5-1 復水貯蔵タンク水位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 構造計画	1
3. 固有周期	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
5. 機能維持評価	6
5.1 電氣的機能維持評価方法	6
6. 評価結果	7
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、復水貯蔵タンク水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

復水貯蔵タンク水位は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、復水貯蔵タンク水位が設置される計装ラックは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計装ラックであるため、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

復水貯蔵タンク水位の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器ラックに固定される。</p> <p>計器ラックは、チャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【復水貯蔵タンク水位】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

復水貯蔵タンク水位が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（打振試験）の結果確認された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

復水貯蔵タンク水位の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

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

復水貯蔵タンク水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

復水貯蔵タンク水位の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

復水貯蔵タンク水位の使用材料の許容応力評価条件のうち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。

表 4-1 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	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	復水貯蔵タンク水位 計測装置	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力 (重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
IV _{AS}	引張り	せん断
V _{AS}	1.5・f _s *	
(V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)		

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 4-3 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	S _{yi} (RT) (MPa)
		温度条件	周囲環境温度			
取付ボルト (i = 2)	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	40	40	215	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

復水貯蔵タンク水位の電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-8 計装ラック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。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
復水貯蔵タンク水位 (P13-LT005)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

復水貯蔵タンク水位の重大事故等時の状態を考慮した場合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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【復水貯蔵タンク水位 (P13-LT005) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
復水貯蔵タンク水位 (P13-LT005)	常設耐震/防止 常設/緩和	復水貯蔵タンク 連絡トレンチ O.P. 6.95 (O.P. 10.500*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.24	C _V =0.91	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} *1 (mm)	φ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
取付ボルト (i=2)		1200					10	4 1

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	215	400	—	258	—	長辺方向

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=1$	$f_{sb2}=148$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出。
 すべて許容応力以下である。

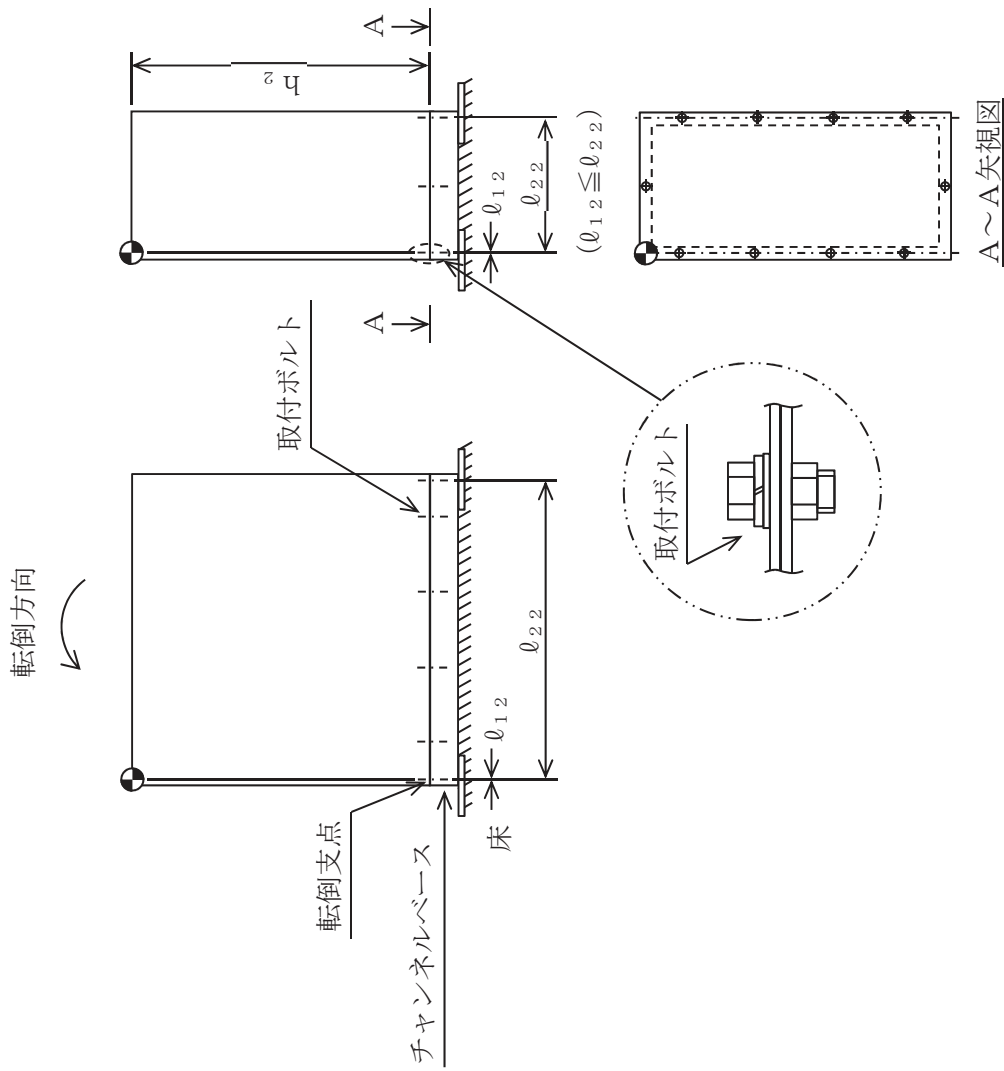
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
復水貯蔵タンク水位 (P13-LT005)	水平方向	1.04	
	鉛直方向	0.76	

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-2-7 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-7-1 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-7-2 気体廃棄物処理系の耐震性についての計算書
- VI-2-7-3 液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書

VI-2-7-3 液体廃棄物処理系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-7-3-1 放射性ドレン移送系の耐震性についての計算書

VI-2-7-3-2 サプレッションプール水貯蔵系の耐震性についての計算書

VI-2-7-3-1 放射性ドレン移送系の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-7-3-1-1 管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）

VI-2-7-3-1-1 管の耐震性についての計算書
(放射性ドレン移送系)

設計基準対象施設

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力	11
3.5 設計用地震力	12
4. 解析結果及び評価	13
4.1 固有周期及び設計震度	13
4.2 評価結果	19
4.2.1 管の応力評価結果	19
4.2.2 支持構造物評価結果	20
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	22

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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2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4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載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。



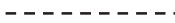


(3) 弁

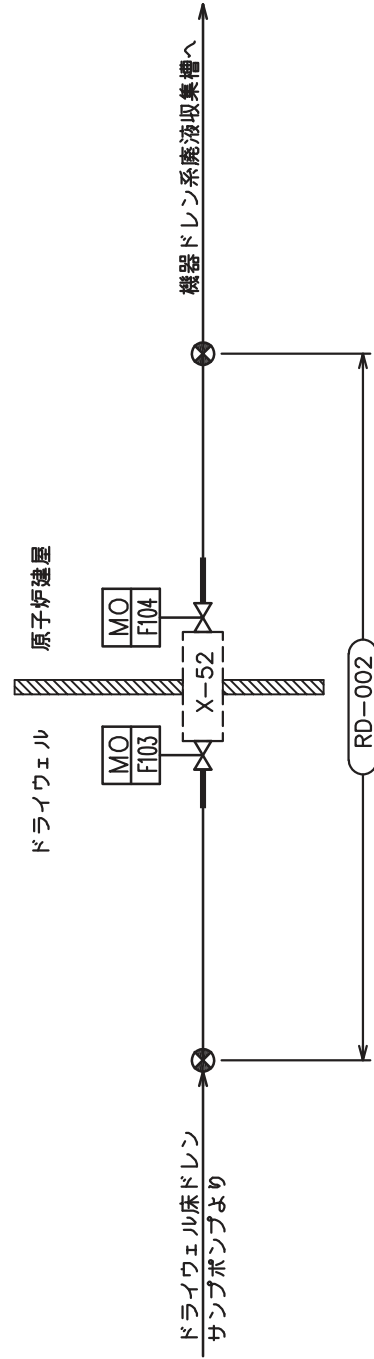
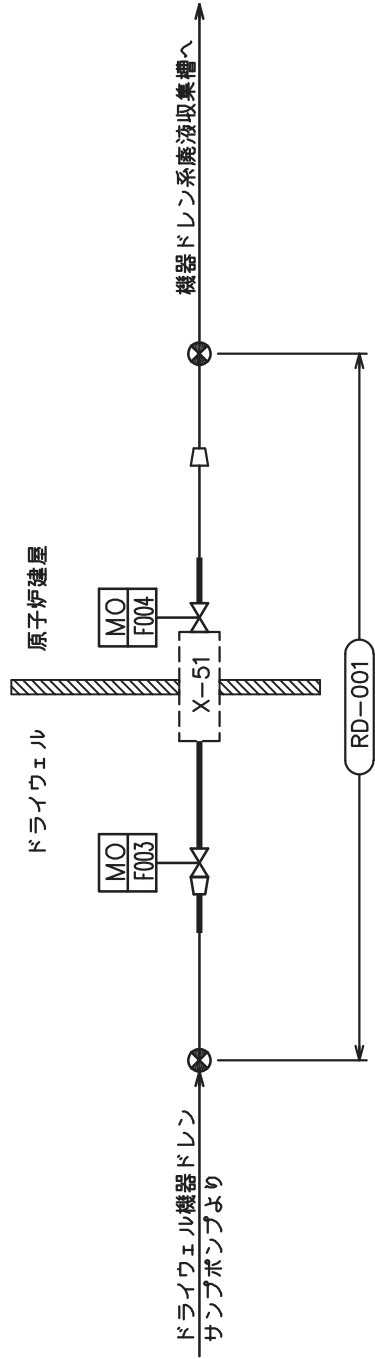
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図


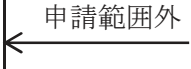




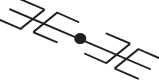

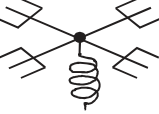
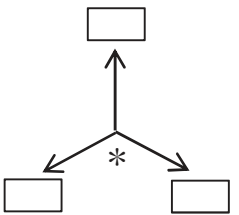
概略系統図記号凡例

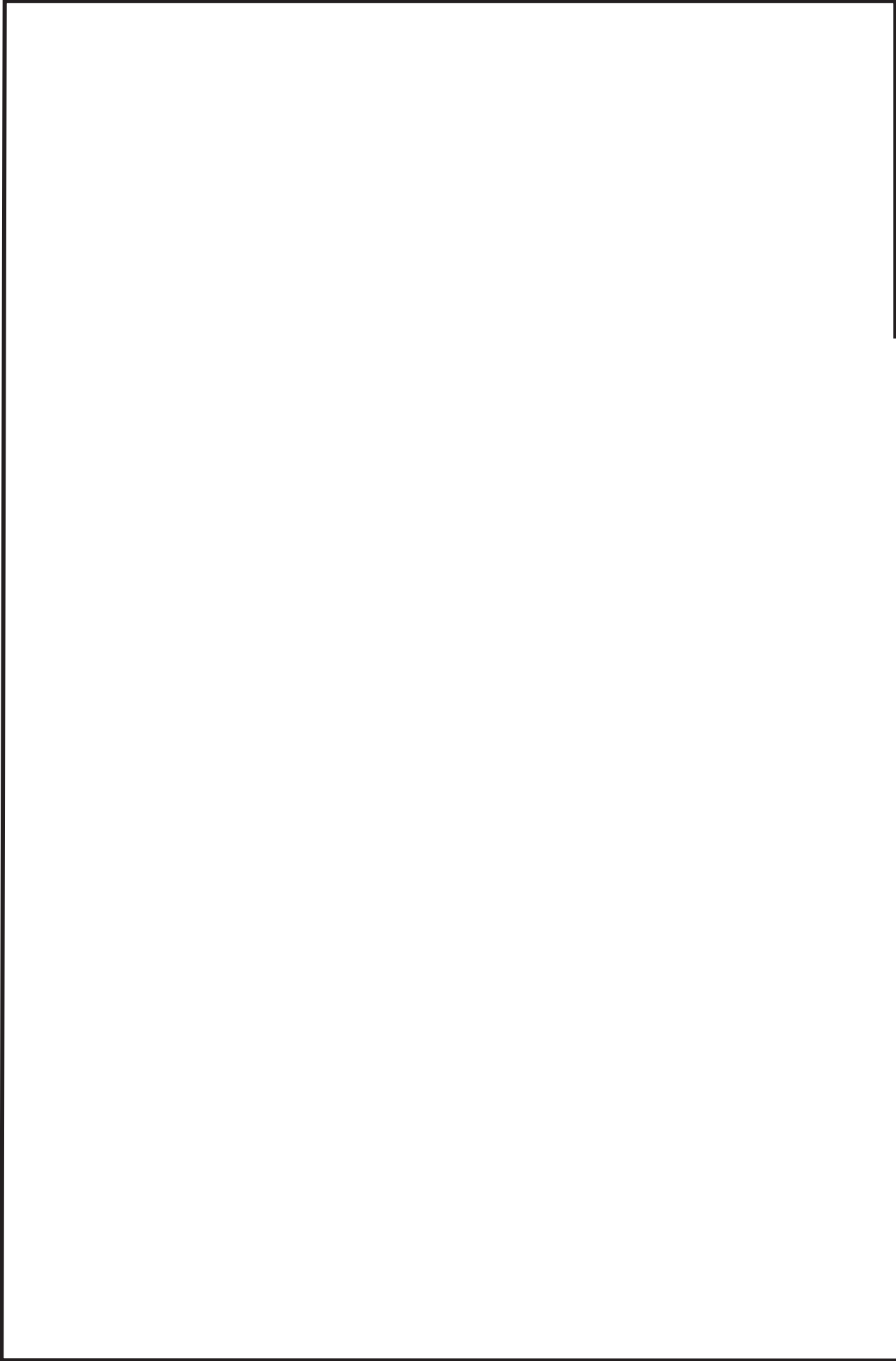
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>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。)</p>



鳥瞰図

RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I 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、添付書類「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。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体廃棄物処理設備	放射性トレン移送系	DB	-	クラス2管 クラス3管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							I _L +S s	
							II _L +S s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 RD-001

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	95	76.3	5.2	STPT370	S	198400
2	0.98	95	89.1	5.5	STPT370	S	198400
3	0.98	171	89.1	5.5	STS410	S	193320
4	0.98	66	89.1	5.5	STPT370	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RD-001

管名称	対 応 す る 評 価 点
1	10 101 902
2	10 11
3	13 14 15 16
4	21 22 801

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
10		15		22		801	
14		16		101		902	

弁部の質量を下表に示す。

弁1 弁2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
11		19	
12		20	
13		21	
35		37	
900		38	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	12			
弁2	20			

O2 ④ VI-2-7-3-1-1(設) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RD-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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	Y	Z	X	Y	Z
** 17 **						
22						
** 22 **						
** 900 **						
902						
** 902 **						

--

02 ④ VI-2-7-3-1-1 (設) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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 h
STPT370	66	—	199	360	—
	95	—	188	351	—
STS410	171	—	211	404	—

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「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。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R D - 0 0 1	原子炉本体基礎		
	原子炉格納容器		
	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RD-001

モード	適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
	固有周期 (s)	応答水平 震度*1	応答鉛直 震度*1	応答水平 震度*1		応答鉛直 震度*1	応答鉛直 震度*1	
				X 方向	Z 方向		X 方向	Z 方向
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 RD-001

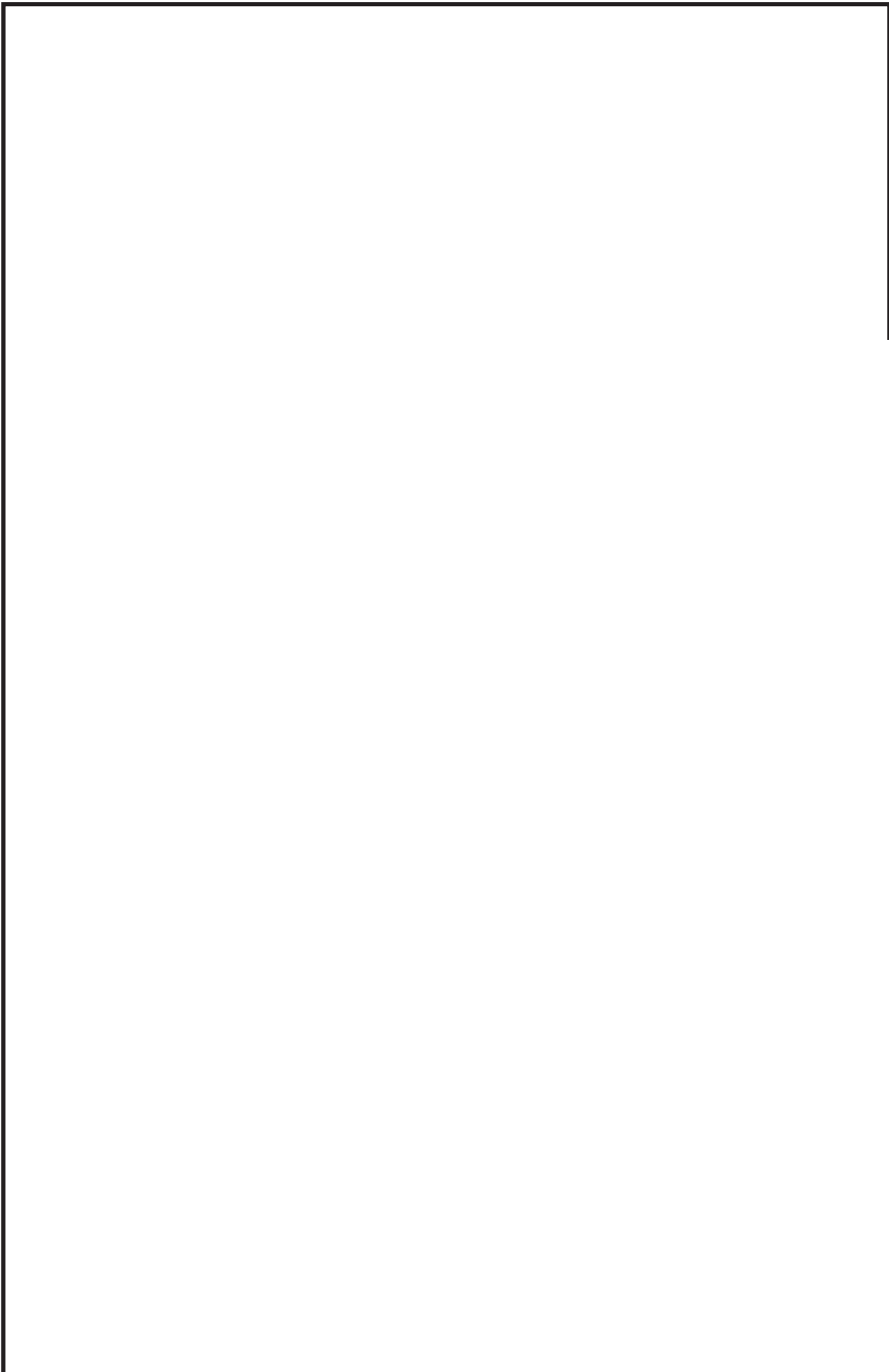
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

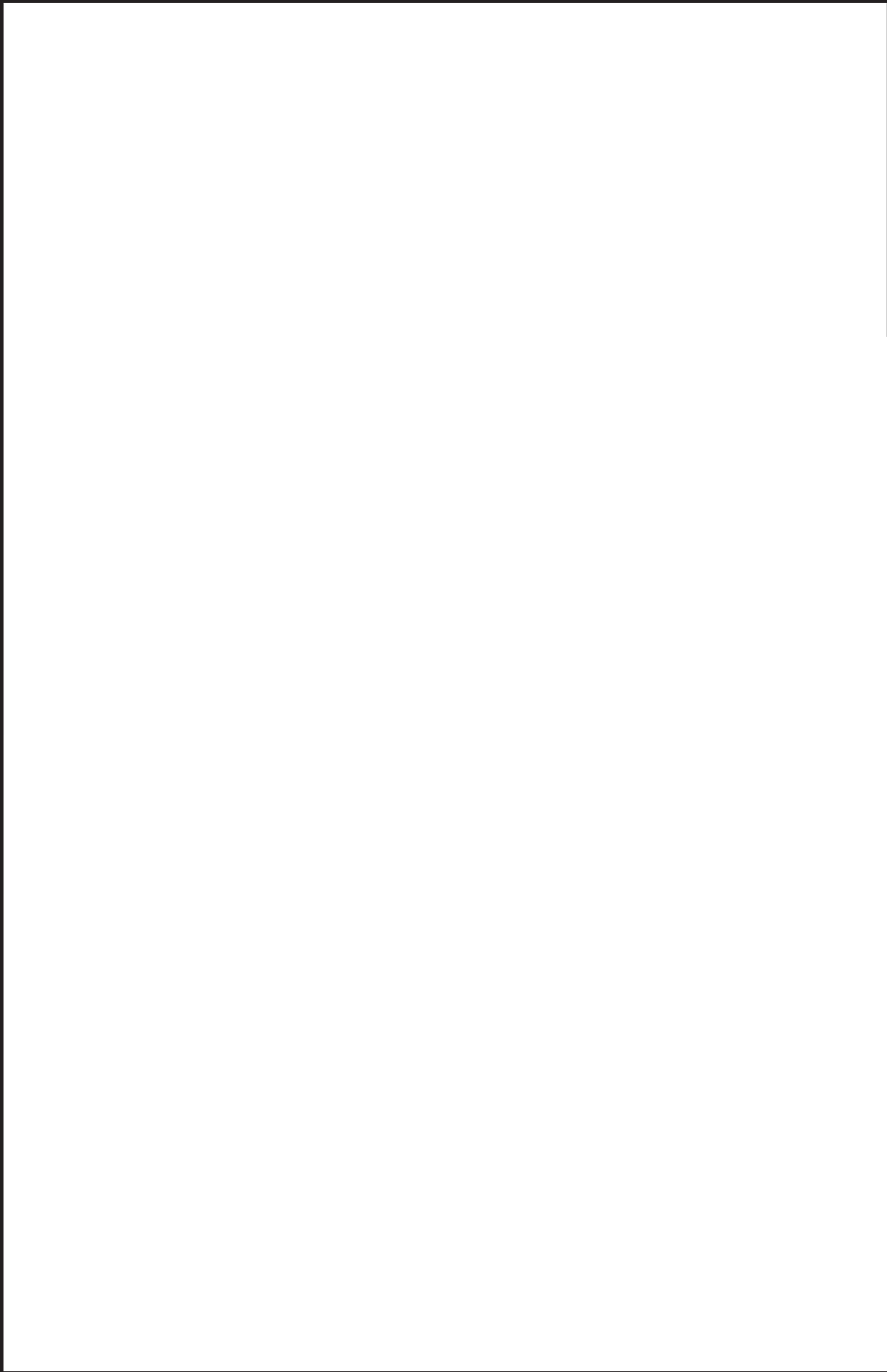
代表的振動モード図

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、次ページ以降に示す。



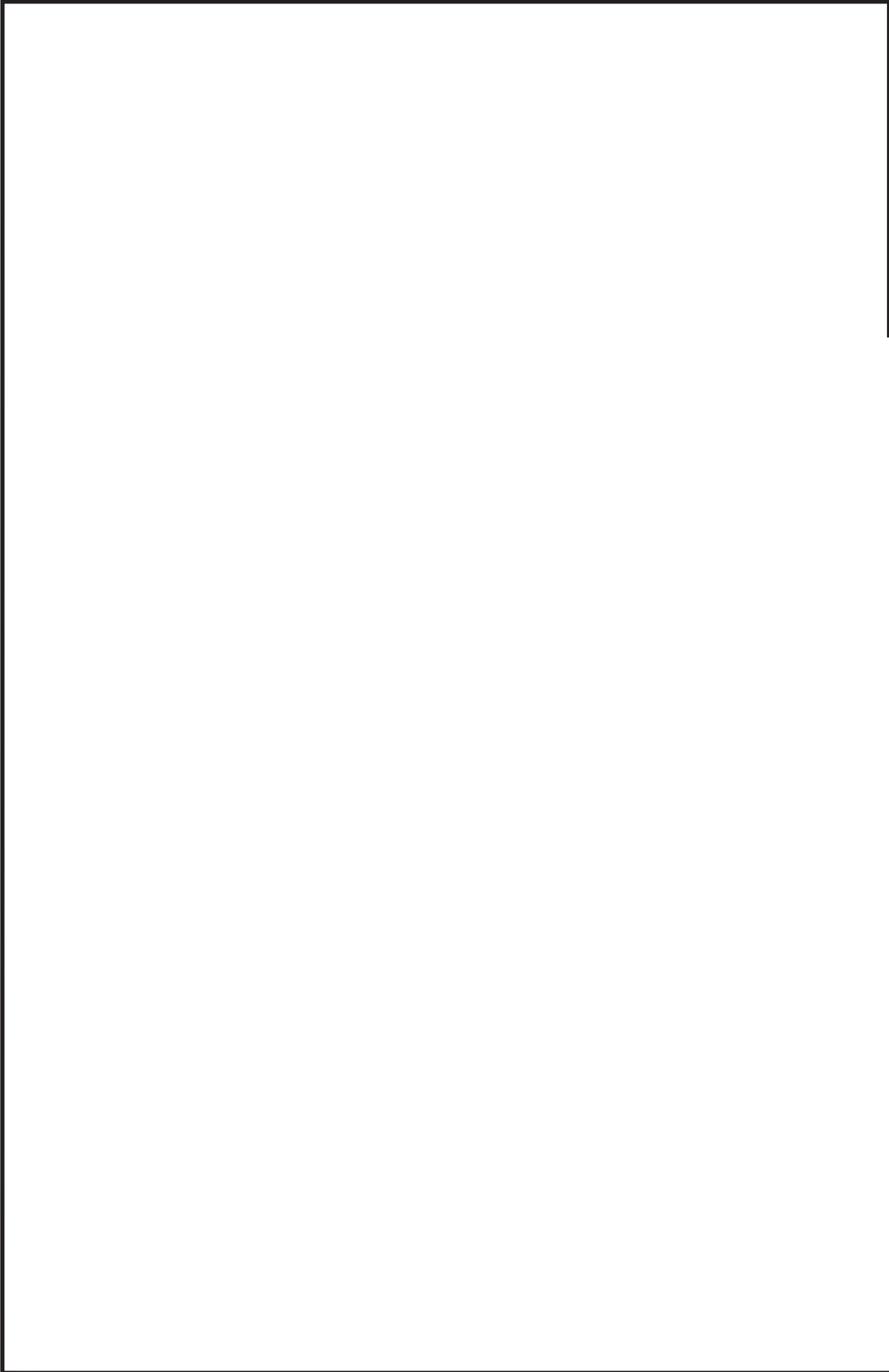
鳥瞰図 RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RD-001

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力	許容応力	
RD-001	III _A S	21	Spr m(Sd)	121	199	—	—	—
	IV _A S	21	Spr m(Ss)	186	324	—	—	—
	IV _A S	21	Sn(Ss)	—	—	331	398	USs

注記 *1: オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、Syと1.2・Shのうち大きい方とする。

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	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RD-001-900S	メカニカルスナッパ	SMS-03-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	40	3	16
RD-002-039BB	ロッドレストレイント	RSA-06			8	9

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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			
RD-001-022R	レストレイント	Uプレート	SS400	40	7	14	6	—	—	—	せん断	98	141

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
K11-F103	電動ゲート弁	β (S d)	7.1	3.6	20.0	20.0	187	234

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz とし計算した結果を示す。

4.2.4 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が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。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S						許容応力状態 IV _A S									
		一次応力			一次応力			一次+二次応力*			疲労評価						
		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	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	疲労累積係数
1	RD-001	21	121	199	1.64	○	21	186	324	1.74	○	21	331	398	1.20	○	—
2	RD-002	24	35	188	5.37	—	24	52	431	8.28	—	24	117	376	3.21	—	—

注記* : III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

VI-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性についての計算書
- VI-2-10-3 補機駆動用燃料設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-4 非常用取水設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-5 緊急時対策所の耐震性についての計算書

VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-1-1 非常用電源設備の耐震性についての計算結果
- VI-2-10-1-2 非常用電源装置の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-3 その他の電源装置の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-4 その他の非常用電源設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2 非常用電源装置の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-3 ガスタービン発電設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-4 緊急時対策所ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-1-2-1-2 非常用ディーゼル発電設備 空気だめの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-3 非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトンクの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-5 非常用ディーゼル発電設備 軽油タンクの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-1-7 非常用ディーゼル発電設備 制御盤の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備
燃料移送ポンプ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	構造計画	1
3.	構造強度評価	3
3.1	構造強度評価方法	3
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2	許容応力	3
3.2.3	使用材料の許容応力評価条件	3
3.3	計算条件	3
4.	機能維持評価	7
4.1	基本方針	7
4.2	ポンプの動的機能維持評価	8
4.2.1	評価対象部位	8
4.2.2	評価基準値	8
4.2.3	記号の説明	9
4.2.4	評価方法	11
4.3	原動機の動的機能維持評価	14
5.	評価結果	15
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	15

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電設備の燃料移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

燃料移送ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

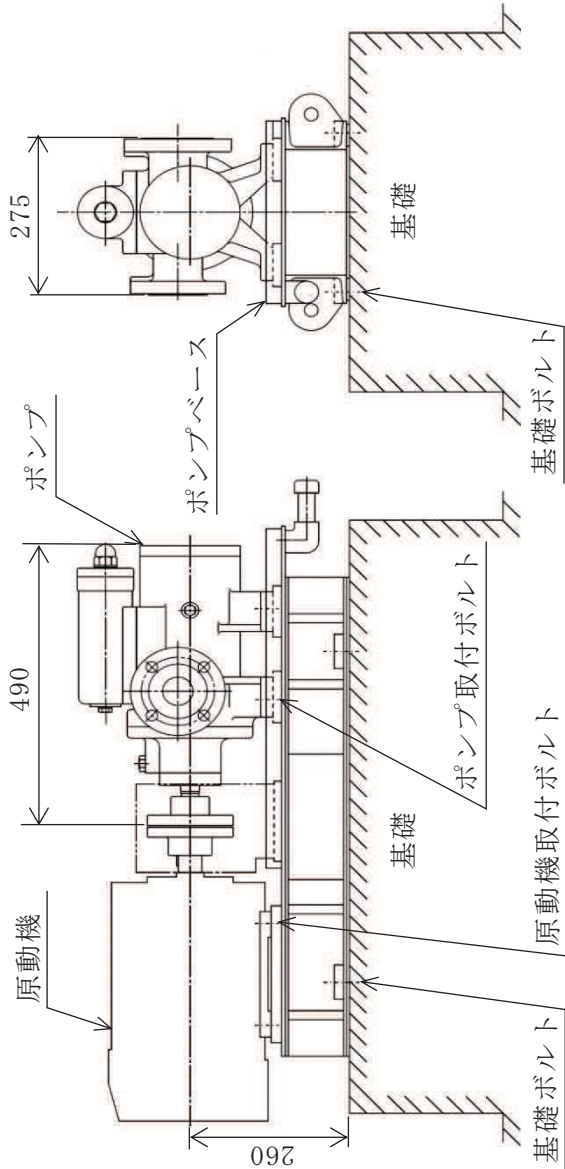
なお、燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。また、燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであるため、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）にて定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料移送ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p> <p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>スクリー形（スクリー横軸ポンプ）</p>	 <p>The diagram illustrates the structural layout of the pump system. It shows three main components from left to right: the motor (原動機), the pump base (ポンプベース), and the pump (ポンプ). The motor is secured to the foundation (基礎) with foundation bolts (基礎ボルト). The pump base is attached to the foundation using pump mounting bolts (ポンプ取付ボルト). The pump itself is mounted on the pump base with pump bolts (ポンプボルト). Dimensions are provided: 260 mm for the motor's width, 490 mm for the pump base's length, and 275 mm for the pump's width. Labels include 基礎 (Foundation), 基礎ボルト (Foundation Bolt), 原動機取付ボルト (Motor Mounting Bolt), ポンプ取付ボルト (Pump Mounting Bolt), and ポンプボルト (Pump Bolt).</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料移送ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料移送ポンプ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 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

燃料移送ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料移送ポンプ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 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料移送ポンプ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。

表 3-1 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
その他発電用 原子炉の附属施設	燃料移送ポンプ	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*1：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 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	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の附属施設	燃料移送ポンプ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^*3$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許 容限界を用 いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
III _{AS}	1.5・f _t	1.5・f _s
IV _{AS}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _{AS}		
(V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)		

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 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト		50				—
ポンプ取付ボルト			66			—
原動機取付ボルト		50				—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト		50				—
ポンプ取付ボルト			66			—
原動機取付ボルト		50				—

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであるため、J E A G 4 6 0 1 にて定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

- (1) 燃料移送ポンプは地震後においてもその機能が維持されるよう、動的機能維持の評価を行う。なお、本ポンプは添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであるため、機能維持評価は、J E A G 4 6 0 1 にて定められた評価部位の健全性を確認することで動的機能維持の確認を行う。また、原動機については横形ころがり軸受電動機であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。
- (2) 本ポンプは横置きの機器であることから、J E A G 4 6 0 1 に従い構造的に一つの剛体として取り扱う。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

4.2.1 評価対象部位

燃料移送ポンプは、容量等が J E A G 4 6 0 1 に記載されている横形遠心式ポンプを上回ることではなく、回転機能を担う構成要素も変わらない。したがって、基本的な構成要素は J E A G 4 6 0 1 に記載されている横形ポンプと同等であることから、J E A G 4 6 0 1 に記載の横形ポンプの動的機能維持評価項目に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部（主ねじ部）
- f. メカニカルシール
- g. 軸継手

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従って評価を行い、「5. 評価結果」にて十分な裕度を有していることを確認している。また、「g. 軸継手」は、軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、軸の変形等による回転機能への影響を考慮し、軸の変形を弾性範囲内に留めるよう、「その他のポンプ」の許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については、主ねじとスリーブの接触による、回転機能、移送機能への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を評価基準とする。軸受は、回転機能確保の観点より許容面圧を、メカニカルシールは、流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を、評価基準値とする。

評価基準値を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価基準値（許容値）

評価部位	評価項目	単位	評価基準値（許容値）
軸	許容応力	MPa	
軸受	許容面圧	MPa	
摺動部（主ねじ部）	スリーブ間隙間	mm	
メカニカルシール	変位可能量	mm	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.3 記号の説明

燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離 ($=\ell_2$)	mm
A_{R1}	ラジアル荷重を受ける軸受Aの投影面積	mm^2
A_{R2}	ラジアル荷重を受ける軸受Bの投影面積	mm^2
A_S	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
C_H	水平方向震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 ($=9.80665$)	m/s^2
I_1	軸最小径での断面二次モーメント	mm^4
I_2	シール面軸径での断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	軸端から支点Aまでの距離 ($=a$)	mm
M	最大曲げモーメント (M_A, M_B の大なる方)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	軸系総質量	kg
M_A	支点Aの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_B	支点Bの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N	回転数 (原動機の同期回転速度)	rpm
P	原動機出力	kW
P_{R1}	ラジアル荷重による軸受Aの面圧	MPa
P_{R2}	ラジアル荷重による軸受Bの面圧	MPa
P_S	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
T	軸に作用するねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N
W_1	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_2	軸受にかかる通常運転時のスラスト荷重	N
W_{R1}	軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重	N

記号	記号の説明	単位
W_{R2}	軸受 B にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
δ_1	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	—
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

軸の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のねじりと曲げの組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が、その許容応力値を下回ることを確認する。

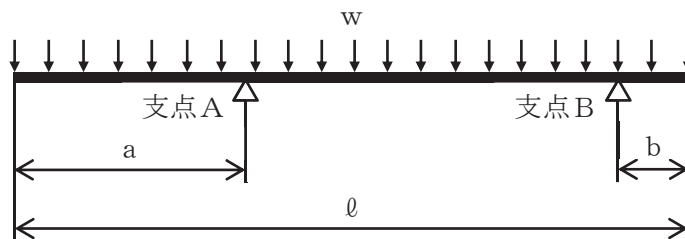


図 4-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

(1 kW = 10⁶ N・mm/s)

支点 A の曲げモーメント M_A は

$$M_A = \frac{w \cdot a^2}{2} \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

支点 B の曲げモーメント M_B は

$$M_B = \frac{w \cdot b^2}{2} \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

ここで、地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}}{l} \dots\dots\dots (4.2.4.6)$$

(2) 軸受

軸受の評価は、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受Aのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Aの面圧は次式で求める。

$$P_{R1} = \frac{W_{R1}}{A_{R1}} \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_{R1} は

$$W_{R1} = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

b. 軸受Bのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Bの面圧は次式で求める。

$$P_{R2} = \frac{W_{R2}}{A_{R2}} \dots\dots\dots (4.2.4.9)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_{R2} は

$$W_{R2} = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

c. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_S = \frac{W_S}{A_S} \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_S は

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot C_H + W_2 \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

(3) 摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

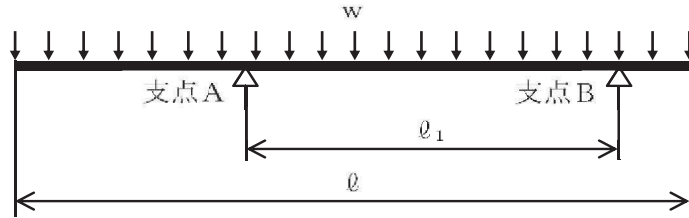


図 4-2 摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量 δ_1 は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot l_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot l_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1} \dots\dots\dots (4.2.4.13)$$

(4) メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し、発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

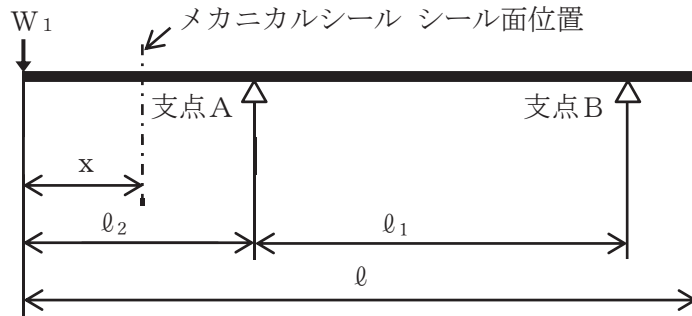


図 4-3 メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量 δ_2 は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot l_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left[\frac{x^3}{l_2^3} - \frac{3 \cdot (l_1 + l_2)}{l_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot l_1}{l_2} + 2 \right] \dots\dots\dots (4.2.4.14)$$

ここで、地震力を考慮した軸端部荷重 W_1 は

$$W_1 = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.15)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

燃料移送ポンプ用原動機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプ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。

燃料移送ポンプ用原動機は、地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料移送ポンプ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及び動的機能を有することを確認した。

(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。

なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持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

燃料移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合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及び動的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
- 1.1 構造強度評価
- 1.1.1 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
燃料移送ポンプ	S	屋外燃料移送ポンプ室 0.P.9.50*1 (0.P.10.00)	—*2	—*2	—*3	—*3	C _H =1.32	C _V =0.92		66	50

注記*1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

*3：III,Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1,1} *1 (mm)	ℓ _{2,1} *1 (mm)	d _i (mm)	Δ _{0,i} (mm)	n ₁	n _{1,i,j} *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{vi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	
回転速度 (rpm)	

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)	—*		—*	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—*		—*	
原動機取付ボルト (i=3)	—*		—*	

注記*：Ⅲ_{LS}については、基準地震動S_sで評価する。

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り				
		せん断				
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト (i=3)		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

注記*1： $f_{t,si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ により算出。

*2：基準地震動S_sによる算出値。

1.2 動的機音評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ	スクリーナ形	4	屋外燃料移送ポンプ室 0.P.9.50*1 (0.P.10.00)	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.77		66	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ 用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	屋外燃料移送ポンプ室 0.P.9.50*1 (0.P.10.00)	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.77		66	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

1.2.2 機器要目

m ₀ (kg)	ℓ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)

A _{R1} (mm ²)	A _{R2} (mm ²)	A _S (mm ²)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	N (rpm)	W ₂ (N)

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
ポンプ	水平方向	1.10	—
	鉛直方向	0.77	—
原動機	水平方向	1.10	4.7
	鉛直方向	0.77	1.0

ポンプは、本文4.2.1項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

注記*：基準地震動Sにより定める応答加速度とする。

1.2.3.2 スクリュー形ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の応力評価 (単位：MPa)			
評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：MPa)			
評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル (原動機側)		
	ラジアル (負荷側)		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価 (単位：mm)		
評価部位	たわみ量	スリープ間隙間
摺動部 (主ねじ)		

すべてスリープ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価 (単位：mm)		
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール		

すべて変位可能量以下である。

2. 重大事故等対処設備
 2.1 構造強度評価
 2.1.1 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
燃料移送ポンプ	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	屋外燃料移送ポンプ室 0. P. 9. 50*1 (0. P. 10. 00)	—*2	—*2	—	—	C _H =1. 32	C _V =0. 92		66	50

注記*1：基準レベルを示す。
 *2：固有周期が十分小さく、計算は省略する。

2.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} *1 (mm)	φ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm)	n ₁	n _{ij} *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{vi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸直角
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	
回転速度 (rpm)	

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)	-		-	
ポンプ取付ボルト (i=2)	-		-	
原動機取付ボルト (i=3)	-		-	

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	-	-		
		せん断	-	-		
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	-	-		
		せん断	-	-		
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	-	-		
		せん断	-	-		

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.2 動的機音評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ	スクリーナ形	4	屋外燃料移送ポンプ室 0. P. 9.50*1 (0. P. 10.00)	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.77		66	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ 用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	屋外燃料移送ポンプ室 0. P. 9.50*1 (0. P. 10.00)	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.77		66	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

2.2.2 機器要目

m ₀ (kg)	ℓ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)

A _{R1} (mm ²)	A _{R2} (mm ²)	A _S (mm ²)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	N (rpm)	W ₂ (N)

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
ポンプ	水平方向	1.10	—
	鉛直方向	0.77	—
原動機	水平方向	1.10	4.7
	鉛直方向	0.77	1.0

ポンプは、本文4.2.1項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

注記*：基準地震動Sにより定まる応答加速度とする。

2.2.3.2 スクリュー形ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の応力評価 (単位：MPa)			
評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：MPa)			
評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル (原動機側)		
	ラジアル (負荷側)		
	スラスト		

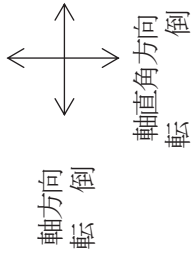
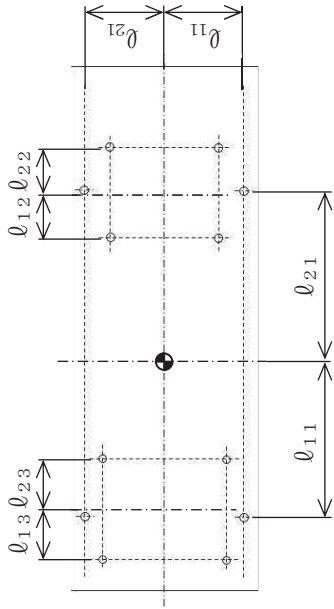
すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価 (単位：mm)		
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部 (主ねじ)		

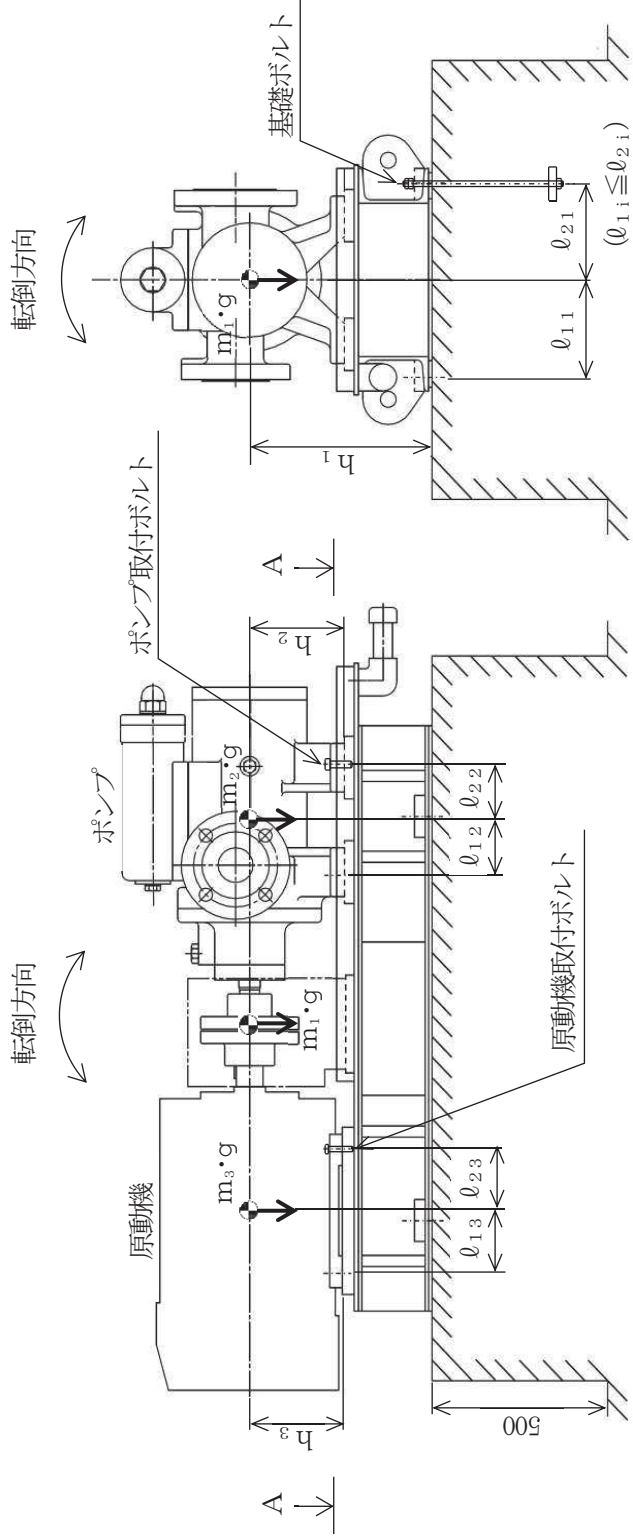
すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価 (単位：mm)		
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール		

すべて変位可能量以下である。



A~A矢視図



VI-2-10-1-2-1-5 非常用ディーゼル発電設備
軽油タンク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	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	11
3.	評価部位	12
4.	固有周期	13
4.1	固有周期の計算方法	13
4.2	固有周期の計算条件	14
4.3	固有周期の計算結果	14
5.	構造強度評価	15
5.1	構造強度評価方法	15
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	15
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
5.2.2	許容応力	15
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	15
5.3	設計用地震力	20
5.4	計算方法	21
5.4.1	応力の計算方法	21
5.5	計算条件	36
5.5.1	胴板の応力計算条件	36
5.5.2	脚の応力計算条件	36
5.5.3	基礎ボルトの応力計算条件	36
5.6	応力の評価	37
5.6.1	胴の応力評価	37
5.6.2	脚の応力評価	37
5.6.3	基礎ボルトの応力評価	38
6.	評価結果	39
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	39
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	39
7.	引用文献	39

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

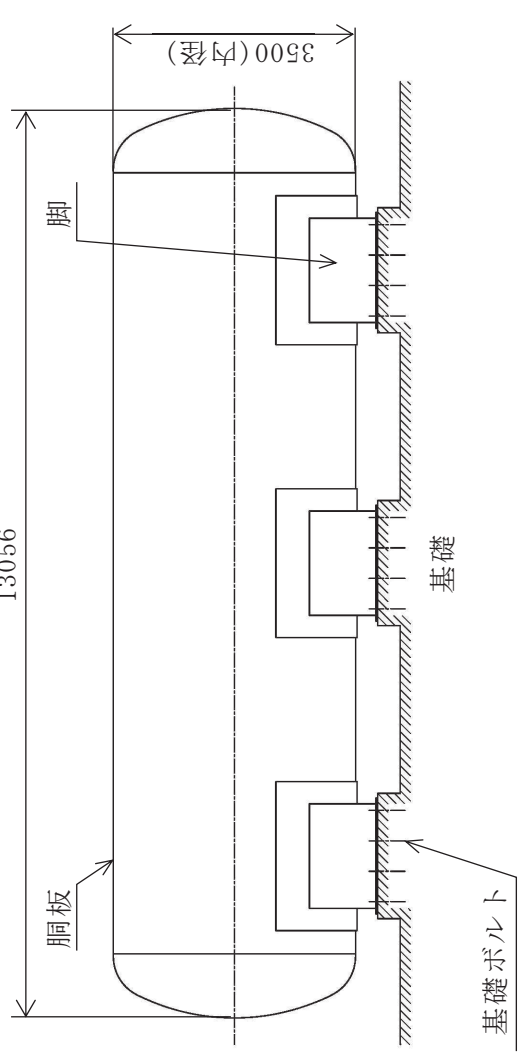
非常用ディーゼル発電設備軽油タンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p>	<p>主体構造</p>	 <p>脚</p> <p>13056</p> <p>3500 (内径)</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト</p> <p>胴板</p> <p>(単位：mm)</p>
<p>胴を脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形容器</p>	

2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」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、「2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて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に収まることを、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

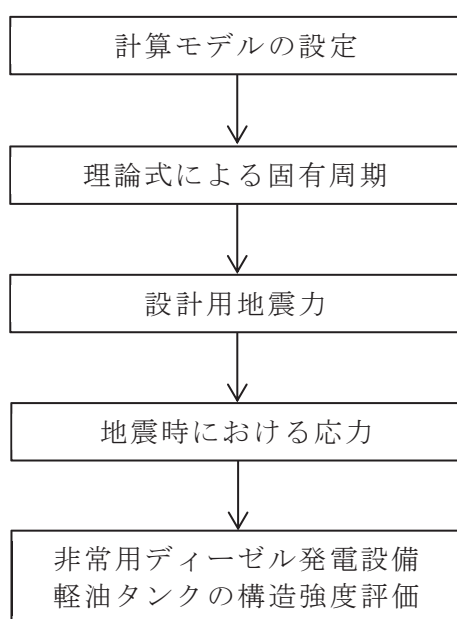


図 2-1 非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価フロー

2.3 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。

- (1) 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)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_1	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
$C_{\ell j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
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_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から脚の胴つけ根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/mm
K_ℓ	脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/mm
K_v	脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/mm
$K_{cj}, K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ_H	鏡板の端から鏡板の丸みの始まる箇所までの長さ	mm
ℓ_L	鏡板の丸みの始まる箇所間の長さ	mm
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_w	当板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M	脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_{si}	脚つけ根の部分における曲げモーメント ($i=1\sim3$)	N・mm
M_1	脚つけ根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により胴の脚つけ根部に作用するモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメント	N・mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により脚底面に働くモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
m_0	容器の有効運転質量	kg
m_s	脚 1 本当たりの質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚 1 個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—

記号	記号の説明	単位
P	運転時質量により胴の脚つけ根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の脚つけ根部に作用する反力	N
P_θ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に作用する鉛直荷重	N
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	脚に作用する荷重	N
R_{si}	各脚に作用する荷重 ($i = 1 \sim 3$)	N
r_m	脚つけ根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚つけ根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
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
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向の固有周期	s
T_2	横方向の固有周期	s
T_3	鉛直方向の固有周期	s
t	脚側胴板の厚さ	mm
t_e	脚つけ根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
θ_o	胴の脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{2\theta x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\theta \phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\theta}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}, \sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}, \sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}, \sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_ℓ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
w	胴部自重による等分布荷重	N/mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 に示すとおりである。

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
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
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
角度		rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		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の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価は「5.1 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、脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は中心軸に集中するものとする。
- b. 容器の胴は3個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴は剛とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 全脚固定とし、力は全脚で受けるものとする。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

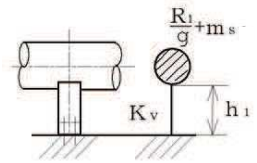
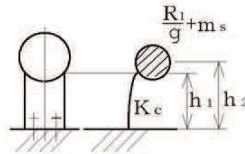
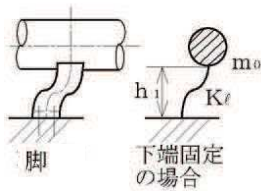


図 4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

図 4-2 横方向の固有周期
計算モデル

図 4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 長手方向の固有周期

図 4-1 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{3}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l \cdot 1000}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 横方向の固有周期

図 4-2 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots \dots \dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_s}{K_c \cdot 1000}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(4) 鉛直方向の固有周期

図 4-3 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_s}{K_v \cdot 1000}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、【非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (s)

水平方向		鉛直方向
長手	横	<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>
<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～e.のほか、次の条件で計算する。概要図は表 2-1 を参照する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向に作用するものとする。ここで、水平方向地震は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 全脚は同形状であり、受ける荷重が最大の脚についての評価を計算書に記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 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	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の附属施設	非常用電源 置 装 軽油タンク	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*1：クラス 2, 3 容器及びクラス 2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 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	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の附属施設	非常用電源 置 備 軽油タンク	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限 界を用い る。)

注記*1：「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）, 「常設/緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）, 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容限界 ^{*1, *2}			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
III _{AS}	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし, オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケ ル合金については上記値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみによる 疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば, 疲労解析は不要。
IV _{AS}		左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係 数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が 2・ S _y 以下であれば, 疲労解析は不要。
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用い る。)	0.6・S _u		

注記*1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*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 5-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1,*2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
胴板	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使 用温度	66	—	225	385	—
脚	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環 境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環 境温度	50	—	715	838	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
胴板	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使 用温度	66	—	225	385	—
脚	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環 境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環 境温度	50	—	715	838	—

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-7 及び表 5-8 に示す。

表 5-7 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
軽油タンク室 O.P. 9.50* ¹	□	□	—* ²	—* ²	C _H =1.31	C _V =0.99

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-8 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)		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
軽油タンク室 O.P. 9.50*	□	□	C _H =1.31	C _V =0.99

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

図 5-1 に荷重状態を示す。

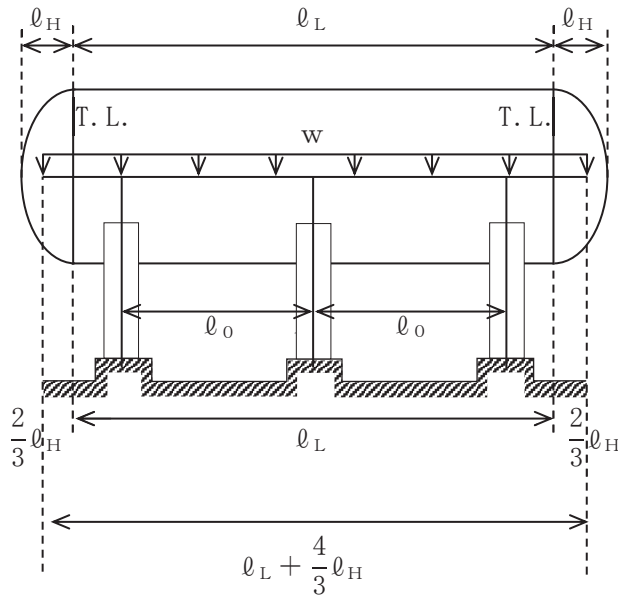


図 5-1 荷重状態

5.4.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、動的地震力を用いることとし、SRSS法を用いるものとする。

5.4.1.1 胴の計算方法

(1) 脚つけ根の部分における曲げモーメント

$$w = \frac{(m_0 - 3 \cdot m_s) \cdot g}{l_L + \frac{4}{3} \cdot l_H} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

第1脚及び第3脚に作用する曲げモーメント

$$M_{s1} = M_{s3} = \frac{1}{2} \cdot w \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot l_H + \frac{l_L - 2 \cdot l_0}{2} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

第2脚に作用する曲げモーメント

$$M_{s2} = \frac{w \cdot l_0^2}{8} - \frac{M_{s1}}{2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

応力計算に使用する M_1 は、 $M_{s1} \sim M_{s3}$ のうち最大のものとする。

(2) 静水頭による応力（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)項で求めた曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚つけ根部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\theta_0/6$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 5-2 に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_V \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

ここで,

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

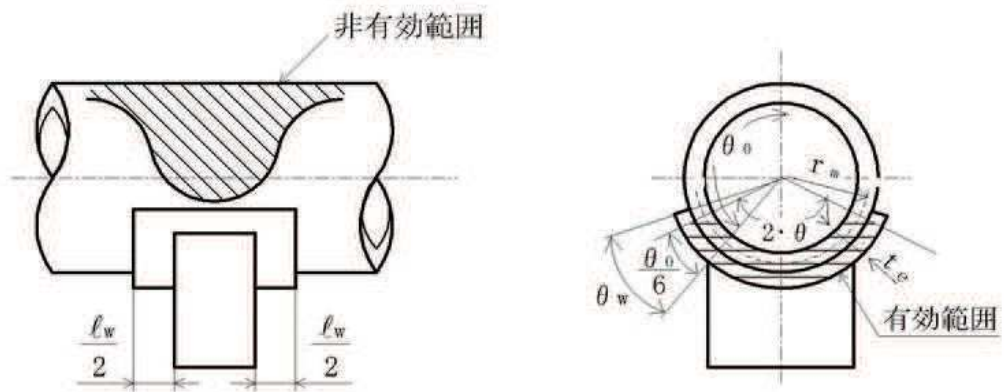


図 5-2 脚つけ根部の有効範囲

胴の脚つけ根部に取り付く当板の大きさが

周方向範囲 $\theta_w \geq \frac{\theta_0}{6} \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$

長手方向範囲 $l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$

である場合、脚つけ根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

(4) 脚に作用する荷重

第 1 脚及び第 3 脚に作用する荷重

$$R_{s1} = R_{s3} = \frac{(m_0 - 3 \cdot m_s) \cdot g - R_{s2}}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

第 2 脚に作用する荷重

$$R_{s2} = \frac{5 \cdot w \cdot \ell_0}{4} - \frac{3 \cdot M_{s1}}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

固有周期計算及び応力計算において R_1 は $R_{s1} \sim R_{s3}$ のうち最大のものとする。

(5) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚つけ根部の応力

胴の脚つけ根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の脚つけ根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_V \cdot R_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

この反力 P 及び P_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図 5-3 に示す。

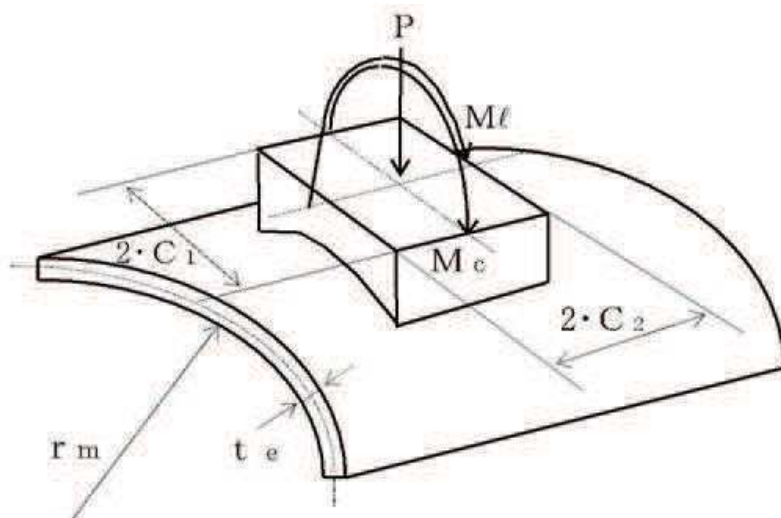


図 5-3 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のよう
に定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の
図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより応力は次式で求める。

反力 P による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

反力 P_e による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 71} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 71} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 72} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x72} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

(6) 長手方向地震による脚つけ根部の応力

全脚固定であり，脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\ell} = \frac{1}{6} \cdot (m_0 - m_s) \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.28)$$

$$P_{\ell} = (m_0 - m_s) \cdot C_H \cdot g \cdot (h_2 - h_1/2) / (2 \cdot \ell_0) \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

曲げモーメント M_{ℓ} と鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることより（5.4.1.1.31）式～（5.4.1.1.38）式で求める。

ここで，シェルパラメータ γ 及び P_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は(5)と同じであるが， M_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

ただし，二次応力を求める場合は更に $K_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ただし， $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_{ℓ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

$$\sigma_{x411} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

$$\sigma_{x 421} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_{\ell} / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 412} = \left(\frac{N_x}{P_{\ell} / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 422} = \left(\frac{M_x}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_s) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

したがって、曲げモーメント M_{ℓ} 、鉛直荷重 P_{ℓ} 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

また、長手方向地震が作用した場合、脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\theta} = \frac{(m_0 - m_s) \cdot C_H \cdot g}{12 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.44)$$

(7) 横方向地震による脚つけ根部の応力

横方向地震が作用した場合、脚のつけ根部に生じる曲げモーメント

M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.45)$$

$$r_0 = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.46)$$

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより(5.4.1.1.48)式～(5.4.1.1.51)式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(5)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に K_{c_j} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.47)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots (5.4.1.1.48)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots (5.4.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots (5.4.1.1.51)$$

また、横方向地震が作用した場合、脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.52)$$

(8) 組合せ応力

(2)～(7)によって求めた脚つけ根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max}\{\text{周方向応力}(\sigma_{0\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0\ell x})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.53)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.54)$$

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 4 1 3}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.55)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max}\{\text{周方向応力}(\sigma_{0c\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0cx})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.56)$$

ここで

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.57)$$

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.58)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.59)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x} + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.60)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 4 1}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 7 1})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.61)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 4 1}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 7 1})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.62)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx} + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.63)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.64)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x51}^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.65)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\theta}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c})\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.66)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\theta} = \sigma_{2\theta\phi} + \sigma_{2\theta x} + \sqrt{(\sigma_{2\theta\phi} - \sigma_{2\theta x})^2 + 4 \cdot \tau_{\theta}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.67)$$

ここで,

$$\sigma_{2\theta\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{2\theta x} = \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x42})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.69)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx} + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.70)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x52})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.72)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\theta}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c})\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.73)$$

とする。

5.4.1.2 脚の計算方法

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_s \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_s \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

ここで、

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{6} \cdot m_0 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{m_0 \cdot C_H \cdot g}{3 \cdot A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

(4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_s \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_s \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc})\} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

とする。

5.4.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{01} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

鉛直荷重は

$$P_s = R_1 + m_s \cdot g - \sqrt{\{C_V \cdot (R_1 + m_s \cdot g)\}^2 + P_l^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

とする。

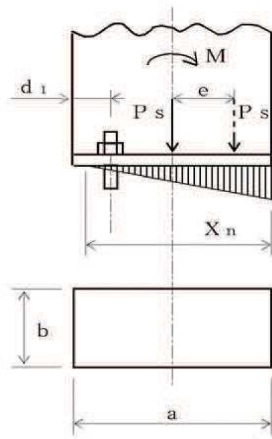


図 5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 1)

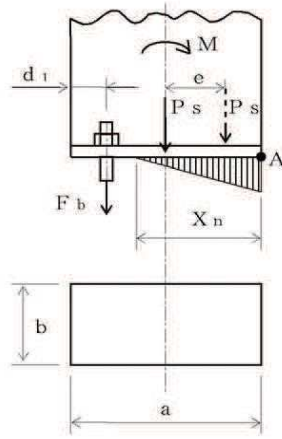


図 5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 2)

図 5-4 のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図 5-5 のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図 5-5 において，鉛直荷重の釣合い，A 点回りのモーメントの釣合い，基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{m_0 \cdot C_H \cdot g}{3 \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_s \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_V) \cdot (R_1 + m_s \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.11)$$

である。ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{c1} / P_{s1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.12)$$

とする。

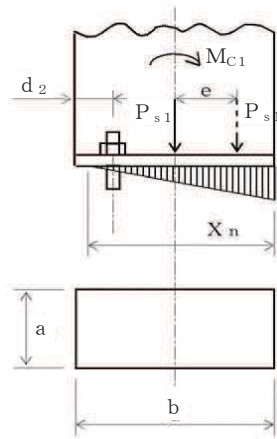


図 5-6 基礎部に作用する外荷
重より生じる荷重の関
係 (その 1)

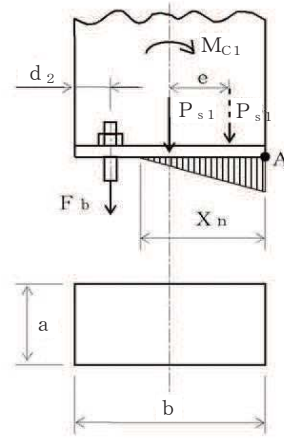


図 5-7 基礎部に作用する外荷
重より生じる荷重の関
係 (その 2)

図 5-6 のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図 5-7 のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.13)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図 5-7 において、鉛直荷重の釣合い、A 点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) \cdot (b - d_2 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.14)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.15)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.16)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.17)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_s \cdot g)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.18)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.19)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.20)$$

5.5 計算条件

5.5.1 胴板の応力計算条件

胴板の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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。

5.5.2 脚の応力計算条件

脚の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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。

5.5.3 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は 静的震度による荷重との 組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重 との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲労解析は不要とする。	

5.6.2 脚の応力評価

5.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は 静的震度による荷重との組 合せの場合	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_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式により求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ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。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	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}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備軽油タンク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。

なお，弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備軽油タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al. :Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本産業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

【非常用ディーゼル発電機軽油タンク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	面/重要度分類	据付場所及びひき面高さ (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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
非常用ディーゼル発電機軽油タンク	S	軽油タンク室 0.P.9.50*1			-*2	-*2	C _H =1.31	C _V =0.99	静水頭	66	50	0.86

注記*1： 投弾レベルを示す。

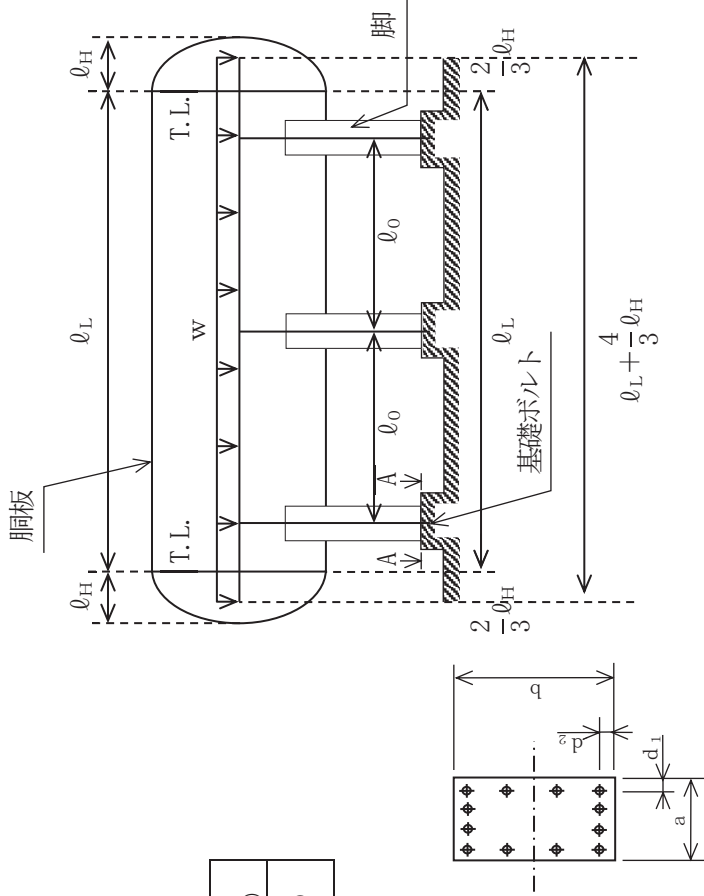
*2： III(S)については、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

\varnothing_{H1} (mm)	\varnothing_L (mm)	w (N/mm)	M ₁ (N·mm)	R ₁ (N)	H (mm)
903	11250	113.4	2.265×10^8	4.868×10^5	3500

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	\varnothing_0 (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ_w (rad)	\varnothing_w (mm)
	3500	28.0	56.0^{*1}	4228	972.2	1978	0.364	360

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1500	650	2.589×10^{11}	2.051×10^{10}	1.726×10^8	3.155×10^7	2.161	1.340



A-A 矢視図

枠組みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.265×10^5	201000	77308	1.263×10^5	8.027×10^4	9.714×10^4	6.552×10^4

K_{i1}^{*2}	K_{i2}^{*2}	K_{01}	K_{02}	K_{c1}	K_{c2}	C_{01}	C_{02}	C_{c1}	C_{c2}
0.91	1.68	—	—	1.18	1.06	0.89	0.62	1.60	1.19
1.76	1.20	—	—	—	—	—	—	—	—

s	n	n ₁	n ₂	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
15	12	4	4	2100	3400	48 (W48)	1.810×10^3	100	100

S_y (同板) (MPa)	S_u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
225^{*3} ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	385^{*3} ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	—	231^{*4} ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	394^{*4} ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	231	276	715^{*4} (径 $\leq 63\text{mm}$)	838^{*4} (径 $\leq 63\text{mm}$)	586	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般動応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	-	$\sigma_{\phi 2}=2$	-	-	-
連綿時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2}=5$	-	$\sigma_{x 2}=5$	$\sigma_{x 2}=5$	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6}=5$	-	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$
長手方向地震により脚軸面 全面に生じる引張応力	-	$\sigma_{x 413}=7$	-	-	$\sigma_{x 413}=7$	-
組合せ応力	$\sigma_{00}=13$	$\sigma_{0c}=10$	$\sigma_{00}=13$	$\sigma_{00}=13$	$\sigma_{0c}=10$	$\sigma_{0c}=10$

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	-	$\sigma_{\phi 2}=2$	-	-	-
連綿時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2}=5$	-	$\sigma_{x 2}=5$	$\sigma_{x 2}=5$	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6}=5$	-	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$
連綿時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 411}=5$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{\phi 411}=5$	$\sigma_{\phi 411}=5$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=39$ $\sigma_{x 51}=39$
	$\sigma_{\phi 412}=9$	$\sigma_{x 412}=9$	$\sigma_{\phi 412}=9$	$\sigma_{\phi 412}=9$	$\sigma_{x 412}=9$	
	$\sigma_{\phi 413}=7$	$\sigma_{x 413}=7$	$\sigma_{\phi 413}=7$	$\sigma_{\phi 413}=7$	$\sigma_{x 413}=7$	
組合せ応力	$\tau_{\theta}=9$	$\sigma_{10}=47$	$\tau_{\theta}=9$	$\tau_{\theta}=9$	$\sigma_{10}=47$	$\tau_{c}=4$ $\sigma_{1c}=60$

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
地震の方向 応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x6}=5$	—	$\sigma_{x6}=5$	—	$\sigma_{x6}=5$	—	$\sigma_{x6}=5$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x71}=13$	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x71}=13$	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x71}=13$	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x71}=13$
	$\sigma_{\phi 72}=50$	$\sigma_{x72}=29$	$\sigma_{\phi 72}=50$	$\sigma_{x72}=29$	$\sigma_{\phi 72}=50$	$\sigma_{x72}=29$	$\sigma_{\phi 72}=50$	$\sigma_{x72}=29$
	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=17$	$\sigma_{\phi 51}=14$	$\sigma_{x51}=39$	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=17$	$\sigma_{\phi 51}=14$	$\sigma_{x51}=39$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 421}=6$	$\sigma_{x421}=13$	$\sigma_{\phi 421}=6$	$\sigma_{x421}=13$	$\sigma_{\phi 421}=6$	$\sigma_{x421}=13$	$\sigma_{\phi 421}=6$	$\sigma_{x421}=13$
	$\sigma_{\phi 422}=35$	$\sigma_{x422}=20$	$\sigma_{\phi 422}=35$	$\sigma_{x422}=20$	$\sigma_{\phi 422}=35$	$\sigma_{x422}=20$	$\sigma_{\phi 422}=35$	$\sigma_{x422}=20$
	$\sigma_{\phi 42}=41$	$\sigma_{x42}=33$	$\sigma_{\phi 42}=41$	$\sigma_{x42}=33$	$\sigma_{\phi 42}=41$	$\sigma_{x42}=33$	$\sigma_{\phi 42}=41$	$\sigma_{x42}=33$
組合せ応力	$\tau_{\theta}=9$	$\tau_{c}=4$	$\tau_{\theta}=9$	$\tau_{c}=4$	$\tau_{\theta}=9$	$\tau_{c}=4$	$\tau_{\theta}=9$	$\tau_{c}=4$
	$\sigma_{20}=174$	$\sigma_{2c}=266$	$\sigma_{20}=174$	$\sigma_{2c}=266$	$\sigma_{20}=174$	$\sigma_{2c}=266$	$\sigma_{20}=174$	$\sigma_{2c}=266$

1.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
連続時質量による応力	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$
	$\sigma_{s2}=12$	$\sigma_{s3}=8$	$\sigma_{s2}=12$	$\sigma_{s3}=8$	$\sigma_{s2}=12$	$\sigma_{s3}=8$	$\sigma_{s2}=12$	$\sigma_{s3}=8$
水平方向地震による応力	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=11$	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=11$	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=11$	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=11$
	$\sigma_{s0}=19$	$\sigma_{sc}=21$	$\sigma_{s0}=19$	$\sigma_{sc}=21$	$\sigma_{s0}=19$	$\sigma_{sc}=21$	$\sigma_{s0}=19$	$\sigma_{sc}=21$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	$\sigma_{b1}=30$	$\sigma_{b2}=59$	$\sigma_{b1}=30$	$\sigma_{b2}=59$	$\sigma_{b1}=30$	$\sigma_{b2}=59$	$\sigma_{b1}=30$	$\sigma_{b2}=59$
	$\tau_{b1}=30$	$\tau_{b2}=31$	$\tau_{b1}=30$	$\tau_{b2}=31$	$\tau_{b1}=30$	$\tau_{b2}=31$	$\tau_{b1}=30$	$\tau_{b2}=31$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

固有周期 (単位: s)	
方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$
横方向	$T_2 =$
鉛直	$T_3 =$

1.4.2 応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400C	一次-般膜	$\sigma_0 = 13$	$S_a = 225$	$\sigma_0 = 13$	$S_a = 231$
		一次	$\sigma_1 = 60$	$S_a = 338$	$\sigma_1 = 60$	$S_a = 347$
		一次+二次	$\sigma_2 = 266$	$S_a = 450$	$\sigma_2 = 266$	$S_a = 450$
脚	SM400C	組合せ	$\sigma_s = 21$	$f_t = 231$	$\sigma_s = 21$	$f_t = 276$
		引張り	$\sigma_b = 59$	$f_{t,s} = 440^*$	$\sigma_b = 59$	$f_{t,s} = 440^*$
基礎ボルト	SNB7	せん断	$\tau_b = 31$	$f_{s,b} = 338$	$\tau_b = 31$	$f_{s,b} = 338$

(単位: MPa)

注記*: $f_{t,s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_0}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対策設備

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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
非常用ディーゼル発 電設備軽油タンク	常設/防止 (DB 仕様) 常設/緩和 (DB 仕様) 常設耐震/防止 常設/緩和	軽油タンク室 0. P. 9. 50*							静水頭	66	50	0. 86
								C _H =1. 31	C _v =0. 99			

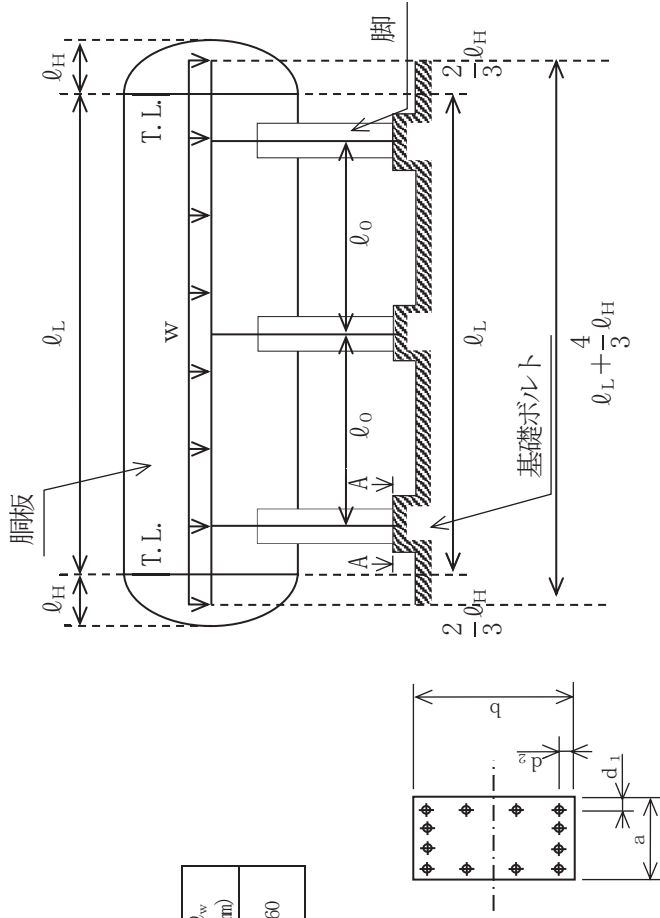
注記*: 基準床レベルを示す。

2. 2 機器要目

ℓ_H (mm)	ℓ_L (mm)	w (N/mm)	M ₁ (N·mm)	R ₁ (N)	H (mm)
903	11250	113. 4	2. 265 × 10 ⁸	4. 868 × 10 ⁵	3500

m ₀ (kg)	m _s (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ_0 (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
		3500	28. 0	56. 0*1	4228	972. 2	1978	0. 364	360

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s,x} (mm ⁴)	I _{s,y} (mm ⁴)	Z _{s,x} (mm ³)	Z _{s,y} (mm ³)	θ (rad)
1500	650	2. 589 × 10 ¹¹	2. 051 × 10 ¹⁰	1. 726 × 10 ⁸	3. 155 × 10 ⁷	1. 340



A-A 矢視図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.265×10^5	201000	77308	1.263×10^5	8.027×10^4	9.714×10^4	6.552×10^4

K_{i1}^{*2}	K_{i2}^{*2}	K_{01}	K_{02}	K_{c1}	K_{c2}	C_{01}	C_{02}	C_{c1}	C_{c2}
0.91	1.68	—	—	1.18	1.06	0.98	0.62	1.60	1.19
1.76	1.20	—	—	—	—	—	—	—	—

s	n	n ₁	n ₂	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
15	12	4	4	2100	3400	48 (W48)	1.810×10^3	100	100

S_y (同板) (MPa)	S_u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
225*3 (16mm<厚さ≤40mm)	385*3 (16mm<厚さ≤40mm)	—	231*4 (16mm<厚さ≤40mm)	394*4 (16mm<厚さ≤40mm)	—	276	715*4 (径≤63mm)	838*4 (径≤63mm)	—	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般動応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=2$	-	-
連転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 2}=5$	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$
長手方向地震による脚軸面 全面に生じる引張応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 413}=7$	-
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{00}=13$	-	$\sigma_{0c}=10$

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=2$	-	-
連転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 2}=5$	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 6}=5$	$\sigma_{x 6}=5$
連転時質量による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$	$\sigma_{x 71}=13$
水平方向地震 による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 411}=5$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{x 51}=39$
	-	-	-	$\sigma_{\phi 412}=9$	$\sigma_{x 412}=9$	
	-	-	-	$\sigma_{\phi 413}=7$	$\sigma_{x 413}=7$	
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x 41}=17$	$\tau_c=4$
	-	-	-	$\tau_{\theta}=9$	$\sigma_{1\theta}=47$	
せん断	-	-	-	-	-	$\sigma_{1c}=60$

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} = 2$	-	$\sigma_{\phi 2} = 2$	-
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x6} = 5$	-	$\sigma_{x6} = 5$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 71} = 13$ $\sigma_{\phi 72} = 50$ $\sigma_{\phi 41} = 13$	$\sigma_{x71} = 13$ $\sigma_{x72} = 29$ $\sigma_{x41} = 17$	$\sigma_{\phi 71} = 13$ $\sigma_{\phi 72} = 50$ $\sigma_{\phi 51} = 14$	$\sigma_{x71} = 13$ $\sigma_{x72} = 29$ $\sigma_{x51} = 39$
水平方向地震 による応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 421} = 6$ $\sigma_{\phi 422} = 35$ $\sigma_{\phi 42} = 41$	$\sigma_{x421} = 13$ $\sigma_{x422} = 20$ $\sigma_{x42} = 33$	$\sigma_{\phi 52} = 103$	$\sigma_{x52} = 54$
せん断	-	-	-	-	$\tau_{\theta} = 9$	$\tau_c = 4$	$\tau_c = 4$	$\tau_c = 4$
組合せ応力	-	-	-	-	$\sigma_{2\theta} = 174$	$\sigma_{2c} = 266$	$\sigma_{2c} = 266$	$\sigma_{2c} = 266$

2.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
連続質量による応力	-	-	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	-	-	$\sigma_{s4} = 3$	$\sigma_{s4} = 3$
水平方向地震による応力	-	-	$\sigma_{s2} = 12$	$\sigma_{s3} = 8$
せん断	-	-	$\tau_{s2} = 7$	$\tau_{s3} = 11$
組合せ応力	-	-	$\sigma_{s\theta} = 19$	$\sigma_{sc} = 21$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	-	-	$\sigma_{b1} = 30$	$\sigma_{b2} = 59$
水平方向地震による応力	-	-	$\tau_{b1} = 30$	$\tau_{b2} = 31$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$
横方向	$T_2 =$
鉛直	$T_3 =$

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400C	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 13$	$S_a = 231$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 60$	$S_a = 347$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 266$	$S_a = 450$
脚	SM400C	組合せ	—	$\sigma_s = 21$	$f_t = 276$	
基礎ボルト	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_b = 59$	$f_{t,s} = 440^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 31$	$f_{s,b} = 338$

すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{t,s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_0}]$

VI-2-10-1-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の耐震性について
の計算書

目 次

- VI-2-10-1-2-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 空気だめの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-2-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料デイトンクの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-2-5 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 軽油タンクの耐震性についての計算書
- VI-2-10-1-2-2-7 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 制御盤の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備
燃料移送ポンプ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	構造計画	1
3.	構造強度評価	3
3.1	構造強度評価方法	3
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2	許容応力	3
3.2.3	使用材料の許容応力評価条件	3
3.3	計算条件	3
4.	機能維持評価	7
4.1	基本方針	7
4.2	ポンプの動的機能維持評価	8
4.2.1	評価対象部位	8
4.2.2	評価基準値	8
4.2.3	記号の説明	9
4.2.4	評価方法	11
4.3	原動機の動的機能維持評価	14
5.	評価結果	15
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	15

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の燃料移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

燃料移送ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

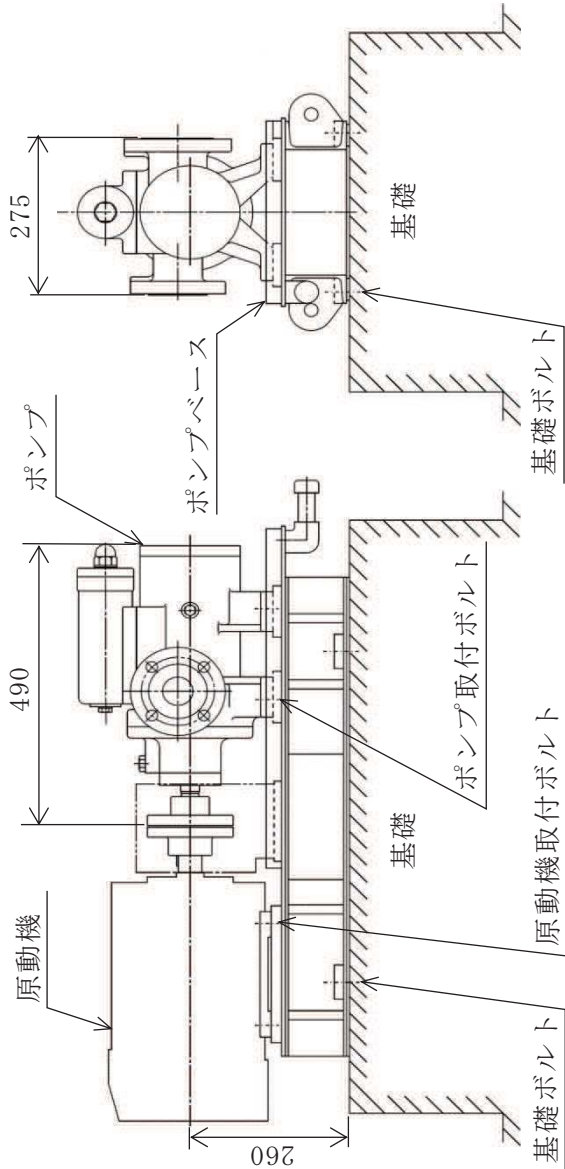
なお、燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。また、燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きスクリーン形ポンプであるため、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）にて定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料移送ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p> <p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>スクリー形（スクリー横軸ポンプ）</p>	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料移送ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料移送ポンプ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 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

燃料移送ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料移送ポンプ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 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料移送ポンプ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。

表 3-1 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
その他発電用 原子炉の附属施設	燃料移送ポンプ	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*1：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 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	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の附属施設	燃料移送ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許 容限界を用 いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	引張り	せん断
III _{AS}	1.5・f _t	1.5・f _s
IV _{AS}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)		

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 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト		50				—
ポンプ取付ボルト			66			—
原動機取付ボルト		50				—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度			
基礎ボルト		50				—
ポンプ取付ボルト			66			—
原動機取付ボルト		50				—

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

燃料移送ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであるため、J E A G 4 6 0 1 にて定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

- (1) 燃料移送ポンプは地震後においてもその機能が維持されるよう、動的機能維持の評価を行う。なお、本ポンプは添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー形ポンプであるため、機能維持評価は、J E A G 4 6 0 1 にて定められた評価部位の健全性を確認することで動的機能維持の確認を行う。また、原動機については横形ころがり軸受電動機であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。
- (2) 本ポンプは横置きの機器であることから、J E A G 4 6 0 1 に従い構造的に一つの剛体として取り扱う。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

4.2.1 評価対象部位

燃料移送ポンプは、容量等が J E A G 4 6 0 1 に記載されている横形遠心式ポンプを上回ることではなく、回転機能を担う構成要素も変わらない。したがって、基本的な構成要素は J E A G 4 6 0 1 に記載されている横形ポンプと同等であることから、J E A G 4 6 0 1 に記載の横形ポンプの動的機能維持評価項目に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部（主ねじ部）
- f. メカニカルシール
- g. 軸継手

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従って評価を行い、「5. 評価結果」にて十分な裕度を有していることを確認している。また、「g. 軸継手」は、軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、軸の変形等による回転機能への影響を考慮し、軸の変形を弾性範囲内に留めるよう、「その他のポンプ」の許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については、主ねじとスリーブの接触による、回転機能、移送機能への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を評価基準とする。軸受は、回転機能確保の観点より許容面圧を、メカニカルシールは、流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を、評価基準値とする。

評価基準値を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価基準値（許容値）

評価部位	評価項目	単位	評価基準値（許容値）
軸	許容応力	MPa	
軸受	許容面圧	MPa	
摺動部（主ねじ部）	スリーブ間隙間	mm	
メカニカルシール	変位可能量	mm	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2.3 記号の説明

燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離 (= ℓ_2)	mm
A_{R1}	ラジアル荷重を受ける軸受Aの投影面積	mm ²
A_{R2}	ラジアル荷重を受ける軸受Bの投影面積	mm ²
A_S	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm ²
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
C_H	水平方向震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I_1	軸最小径での断面二次モーメント	mm ⁴
I_2	シール面軸径での断面二次モーメント	mm ⁴
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	軸端から支点Aまでの距離 (= a)	mm
M	最大曲げモーメント (M_A , M_B の大なる方)	N・mm
m_0	軸系総質量	kg
M_A	支点Aの曲げモーメント	N・mm
M_B	支点Bの曲げモーメント	N・mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
N	回転数 (原動機の同期回転速度)	rpm
P	原動機出力	kW
P_{R1}	ラジアル荷重による軸受Aの面圧	MPa
P_{R2}	ラジアル荷重による軸受Bの面圧	MPa
P_S	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
T	軸に作用するねじりモーメント	N・mm
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N
W_1	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_2	軸受にかかる通常運転時のスラスト荷重	N
W_{R1}	軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重	N

記号	記号の説明	単位
W_{R2}	軸受 B にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
δ_1	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	—
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

軸の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のねじりと曲げの組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が、その許容応力値を下回ることを確認する。

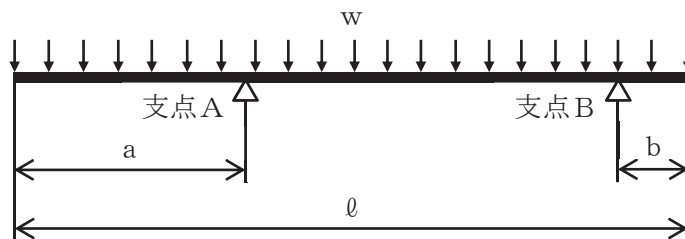


図 4-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \dots \quad (4.2.4.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \quad \dots \quad (4.2.4.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \quad (4.2.4.3)$$

(1 kW = 10⁶ N・mm/s)

支点 A の曲げモーメント M_A は

$$M_A = \frac{w \cdot a^2}{2} \quad \dots \quad (4.2.4.4)$$

支点 B の曲げモーメント M_B は

$$M_B = \frac{w \cdot b^2}{2} \quad \dots \quad (4.2.4.5)$$

ここで、地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}}{l} \quad \dots \quad (4.2.4.6)$$

(2) 軸受

軸受の評価は、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受Aのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Aの面圧は次式で求める。

$$P_{R1} = \frac{W_{R1}}{A_{R1}} \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_{R1} は

$$W_{R1} = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

b. 軸受Bのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Bの面圧は次式で求める。

$$P_{R2} = \frac{W_{R2}}{A_{R2}} \dots\dots\dots (4.2.4.9)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_{R2} は

$$W_{R2} = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

c. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_S = \frac{W_S}{A_S} \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_S は

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot C_H + W_2 \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

(3) 摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

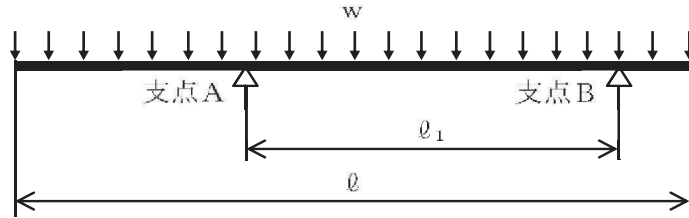


図 4-2 摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量 δ_1 は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot l_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot l_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1} \dots \dots \dots (4.2.4.13)$$

(4) メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し、発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

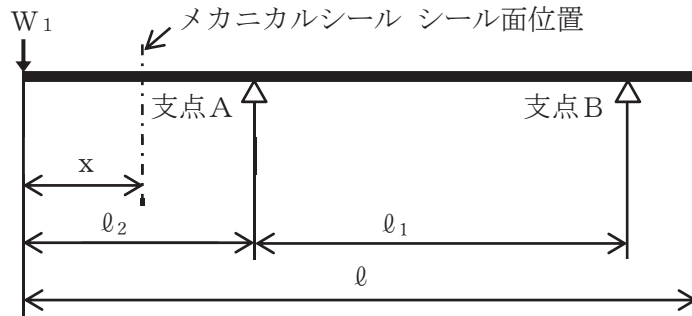


図 4-3 メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量 δ_2 は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot l_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left[\frac{x^3}{l_2^3} - \frac{3 \cdot (l_1 + l_2)}{l_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot l_1}{l_2} + 2 \right] \dots \dots \dots (4.2.4.14)$$

ここで、地震力を考慮した軸端部荷重 W_1 は

$$W_1 = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \dots \dots \dots (4.2.4.15)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

燃料移送ポンプ用原動機の動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプ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。

燃料移送ポンプ用原動機は、地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料移送ポンプ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及び動的機能を有することを確認した。

(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。

なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持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

燃料移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合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及び動的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
- 1.1 構造強度評価
- 1.1.1 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)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		ポンプ振動による震度	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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
燃料移送ポンプ	S	屋外燃料移送ポンプ室 0.P.9.50*1 (0.P.10.00)	—*2	—*2	—*3	—*3	C _H =1.32	C _V =0.92		66	50

注記*1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：III,Sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1,1} *1 (mm)	ℓ _{2,1} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm)	n ₁	n _{f,i,j} *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{v,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

予想最大回転速度 (rpm)	
回転速度 (rpm)	

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)	—*		—*	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—*		—*	
原動機取付ボルト (i=3)	—*		—*	

注記*：Ⅲ_{LS}については、基準地震動S_sで評価する。

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り				
		せん断				
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト (i=3)		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

注記*1： $f_{t,si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ により算出。

*2：基準地震動S_sによる算出値。

1.2 動的機音評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ	スクリー形	4	屋外燃料移送ポンプ室 0.P.9.50*1 (0.P.10.00)	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.77		66	50

注記*1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ 用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	屋外燃料移送ポンプ室 0.P.9.50*1 (0.P.10.00)	—*2	—*2	C _H =1.10	C _V =0.77		66	50

注記*1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

1.2.2 機器要目

m ₀ (kg)	ℓ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)

A _{R1} (mm ²)	A _{R2} (mm ²)	A _S (mm ²)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	N (rpm)	W ₂ (N)

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
ポンプ	水平方向	1.10	—
	鉛直方向	0.77	—
原動機	水平方向	1.10	4.7
	鉛直方向	0.77	1.0

ポンプは、本文4.2.1項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

注記*：基準地震動Sにより定める応答加速度とする。

- 1.2.3.2 スクリュー形ポンプの動的機能維持評価
 1.2.3.2.1 代表評価項目の評価
 基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

- 1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の応力評価 (単位：MPa)

評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：MPa)

評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル (原動機側)		
	ラジアル (負荷側)		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価 (単位：mm)

評価部位	たわみ量	スリープ間隙間
摺動部 (主ねじ)		

すべてスリープ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価 (単位：mm)

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール		

すべて変位可能量以下である。

2. 重大事故等対処設備
 2.1 構造強度評価
 2.1.1 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	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	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
燃料移送ポンプ	常設/防止 (DB 拡張)	屋外燃料移送ポンプ室 0.P. 9.50*1 (0.P. 10.00)	—*2	—*2	—	—	C _H =1.32	C _V =0.92		66	50

注記*1: 基準レベルを示す。
 *2: 固有周期は十分小さく、計算は省略する。

2.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1,i} *1 (mm)	φ _{2,i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm)	n ₁	n _{f,i,j} *1
基礎ボルト (i=1)							4	2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸	—

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 最高使用温度で算出

*3: 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (rpm)

2.1.3 計算数値
 2.1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)	-		-	
ポンプ取付ボルト (i=2)	-		-	
原動機取付ボルト (i=3)	-		-	

2.1.4 結論
 2.1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	-	-		
		せん断	-	-		
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	-	-		
		せん断	-	-		
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	-	-		
		せん断	-	-		

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機音評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ	スクリーナ形	4	屋外燃料移送ポンプ室 0. P. 9. 50*1 (0. P. 10. 00)	—*2	—*2	C _H =1. 10	C _V =0. 77		66	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	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			
燃料移送ポンプ 用原動機	横形ころがり 軸受電動機	2. 2	屋外燃料移送ポンプ室 0. P. 9. 50*1 (0. P. 10. 00)	—*2	—*2	C _H =1. 10	C _V =0. 77		66	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分小さく、計算は省略する。

2.2.2 機器要目

m ₀ (kg)	ℓ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)

A _{R1} (mm ²)	A _{R2} (mm ²)	A _S (mm ²)	E (MPa)	I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	N (rpm)	W ₂ (N)

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度 ($\times 9.8m/s^2$)
ポンプ	水平方向	1.10	—
	鉛直方向	0.77	—
原動機	水平方向	1.10	4.7
	鉛直方向	0.77	1.0

ポンプは、本文4.2.1項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

注記*：基準地震動Sにより定まる応答加速度とする。

2.2.3.2 スクリュー形ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の応力評価 (単位：MPa)			
評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：MPa)			
評価部位	荷重	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル (原動機側)		
	ラジアル (負荷側)		
	スラスト		

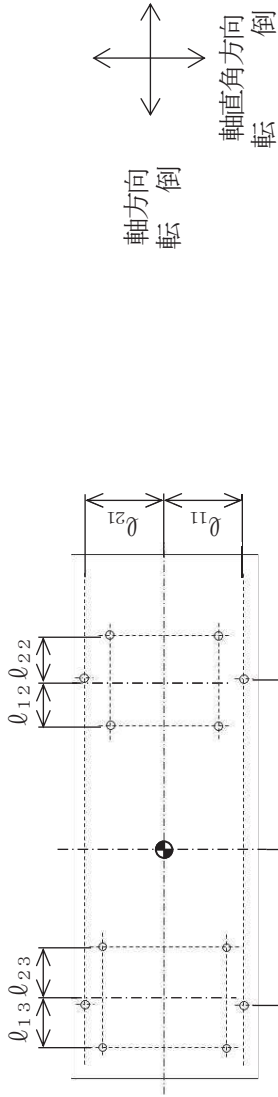
すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3 摺動部 (主ねじ) の評価 (単位：mm)		
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部 (主ねじ)		

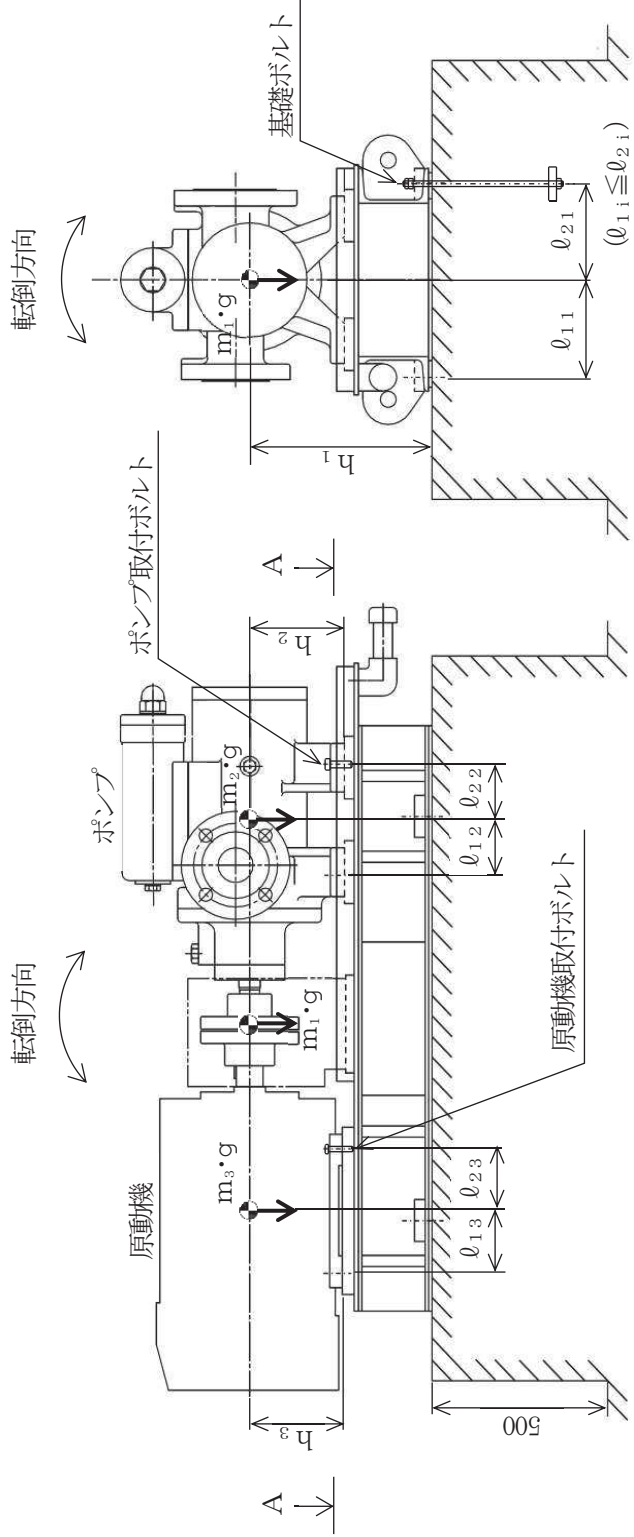
すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価 (単位：mm)		
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール		

すべて変位可能量以下である。



A~A矢視図



VI-2-10-1-2-2-5 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備
軽油タンク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	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	11
3.	評価部位	12
4.	固有周期	13
4.1	固有周期の計算方法	13
4.2	固有周期の計算条件	14
4.3	固有周期の計算結果	14
5.	構造強度評価	15
5.1	構造強度評価方法	15
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	15
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
5.2.2	許容応力	15
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	15
5.3	設計用地震力	20
5.4	計算方法	21
5.4.1	応力の計算方法	21
5.5	計算条件	36
5.5.1	胴板の応力計算条件	36
5.5.2	脚の応力計算条件	36
5.5.3	基礎ボルトの応力計算条件	36
5.6	応力の評価	37
5.6.1	胴の応力評価	37
5.6.2	脚の応力評価	37
5.6.3	基礎ボルトの応力評価	38
6.	評価結果	39
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	39
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	39
7.	引用文献	39

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p>	<p>主体構造</p>		
<p>胴を脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>		<p>(単位：mm)</p>	

2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」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、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて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に収まることを、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

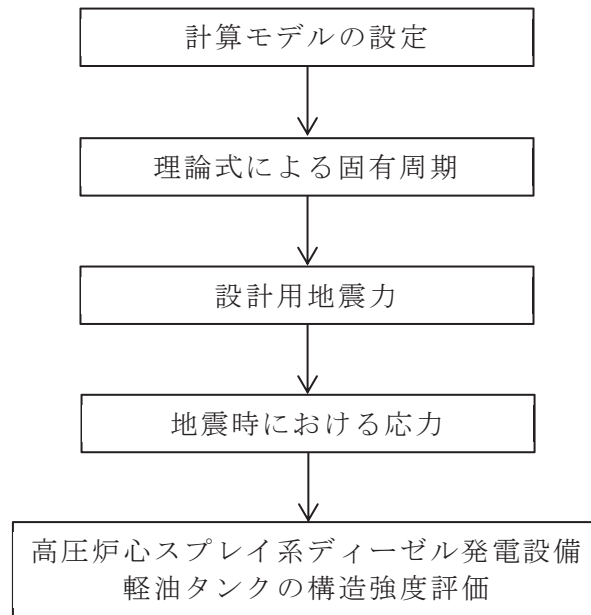


図 2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価フロー

2.3 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。

- (1) 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)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_1	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	脚の胴つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
$C_{c j}$	周方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
$C_{\ell j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
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_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から脚の胴つけ根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/mm
K_ℓ	脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/mm
K_v	脚のばね定数 (胴に鉛直力が作用する場合)	N/mm
$K_{cj}, K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ	胴の横方向から見て, 両端の脚の中心から鏡板重心までの距離	mm
ℓ_H	鏡板の端から鏡板の丸みの始まる箇所までの長さ	mm
ℓ_L	鏡板の丸みの始まる箇所間の長さ	mm
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_w	当板における脚の取り付けられない部分の長手方向長さ	mm
M	脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_{s_i}	脚に作用する荷重及び脚つけ根の部分における曲げモーメント ($i=1\sim 4$)	N・mm
M_1	脚つけ根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により胴の脚つけ根部に作用するモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメント	N・mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により脚底面に働くモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
m_0	容器の有効運転質量	kg
m_s	脚 1 本当たりの質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚 1 個当たりの基礎ボルトの本数	—

記号	記号の説明	単位
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の脚つけ根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の脚つけ根部に作用する反力	N
P_θ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に作用する鉛直荷重	N
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	脚に作用する荷重	N
R_{si}	各脚に作用する荷重 ($i = 1 \sim 4$)	N
r_m	脚つけ根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚つけ根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
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
$S_y(R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向の固有周期	s
T_2	横方向の固有周期	s
T_3	鉛直方向の固有周期	s
t	脚側胴板の厚さ	mm
t_e	脚つけ根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
θ_o	胴の脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の脚端部より当板端部までの角度	rad

記号	記号の説明	単位
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の脚つけ根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi41}, \sigma_{\phi42}$	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi411}, \sigma_{\phi421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi412}, \sigma_{\phi422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi51}, \sigma_{\phi52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi71}, \sigma_{\phi72}$	鉛直方向地震により胴の脚つけ根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_θ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
w	胴部自重による等分布荷重	N/mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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 に示すとおりである。

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
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
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
比重	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第 1 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
角度	rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価は「5.1 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、脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は中心軸に集中するものとする。
- b. 容器の胴は4個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴は剛とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 全脚固定とし、力は全脚で受けるものとする。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

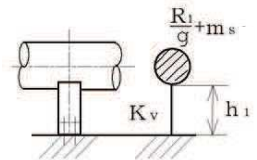
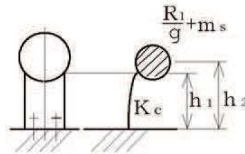
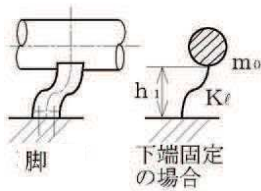


図 4-1 長手方向の固有周期
計算モデル

図 4-2 横方向の固有周期
計算モデル

図 4-3 鉛直方向の固有周期
計算モデル

(2) 長手方向の固有周期

図 4-1 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{4}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_l \cdot 1000}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 横方向の固有周期

図 4-2 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots \dots \dots (4.1.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_s}{K_c \cdot 1000}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(4) 鉛直方向の固有周期

図 4-3 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_s}{K_v \cdot 1000}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (s)

水平方向		鉛直方向
長手	横	<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>
<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>	<div style="border: 2px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～e.のほか、次の条件で計算する。概要図は表 2-1 を参照する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向に作用するものとする。ここで、水平方向地震は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 全脚は同形状であり、受ける荷重が最大の脚についての評価を計算書に記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電原子炉の附属施設	高圧炉心スプレイン ディーゼル発電設備 軽油タンク	S	-*1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*1：クラス2, 3 容器及びクラス2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 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	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電原子炉の附属施設	高圧炉心スプレイン ディーゼル発電設備 軽油タンク	常設/防止 (DB 拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	-*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2 容器及び重大事故等クラス2 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2}		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力
III _{AS}	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし, オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケ ル合金については上記値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみによる 疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば, 疲労解析は不要。
IV _{AS}			
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用い る。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積 係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば, 疲労解析は不要。

注記*1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*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 5-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一 次 応 力	
	引 張	せん断
III _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)		

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 5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
胴板	SM490C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使 用温度	66	—	300	465	—
脚	SM490C (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環 境温度	50	—	309	480	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環 境温度	50	—	715	838	—

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
胴板	SM490C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使 用温度	66	—	300	465	—
脚	SM490C (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環 境温度	50	—	309	480	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環 境温度	50	—	715	838	—

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-7 及び表 5-8 に示す。

表 5-7 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
軽油タンク室 (H) O.P. 6.40 ^{*1}	□	□	— ^{*2}	— ^{*2}	C _H =1.56	C _V =0.99

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

表 5-8 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)		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
軽油タンク室 (H) O.P. 6.40 [*]	□	□	C _H =1.56	C _V =0.99

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

図 5-1 に荷重状態を示す。

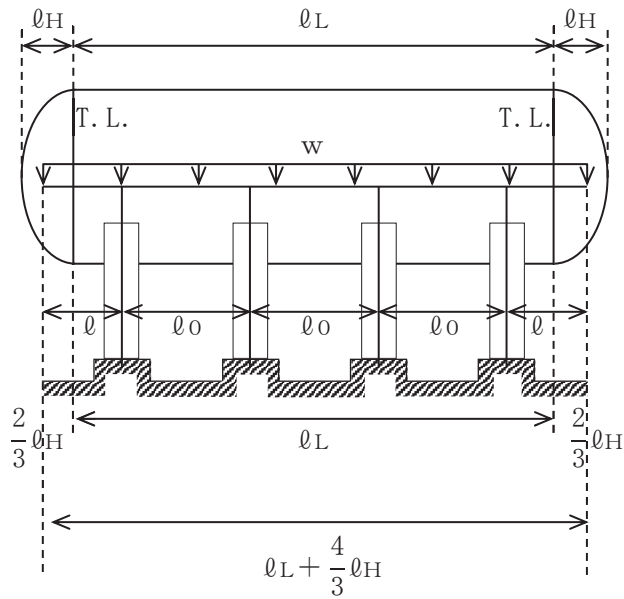


図 5-1 荷重状態

5.4.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、動的地震力を用いることとし、SRSS法を用いるものとする。

5.4.1.1 胴の計算方法

(1) 脚つけ根の部分における曲げモーメント

$$w = \frac{(m_0 - 4 \cdot m_s) \cdot g}{\ell_L + \frac{4}{3} \cdot \ell_H} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

第 1 脚及び第 4 脚に作用する曲げモーメント

$$M_{s1} = M_{s4} = \frac{1}{2} \cdot w \cdot \ell^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

第 2 脚及び第 3 脚に作用する曲げモーメント

$$M_{s2} = M_{s3} = \frac{w}{10} \cdot (\ell_0^2 - \ell^2) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

応力計算に使用する M_1 は、 $M_{s1} \sim M_{s4}$ のうち最大のものとする。

(2) 静水頭による応力（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)項で求めた曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚つけ根部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\theta_0/6$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 5-2 に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_V \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

ここで,

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

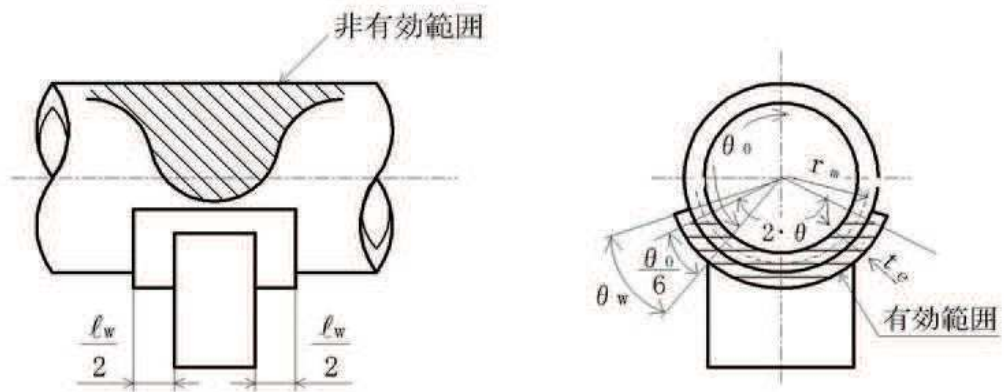


図 5-2 脚つけ根部の有効範囲

胴の脚つけ根部に取り付く当板の大きさが

周方向範囲 $\theta_w \geq \frac{\theta_0}{6} \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$

長手方向範囲 $l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$

である場合、脚つけ根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

(4) 脚に作用する荷重

第 1 脚及び第 4 脚に作用する荷重

$$R_{s1} = R_{s4} = w \cdot \ell + \frac{w}{2} \cdot \ell_0 - \frac{M_{s2} - M_{s1}}{\ell_0} \dots \dots \dots (5.4.1.1.13)$$

第 2 脚及び第 3 脚に作用する荷重

$$R_{s2} = R_{s3} = \frac{w \cdot \ell_0}{2} + \frac{w \cdot \ell_0}{2} - \frac{M_{s1} - M_{s2}}{\ell_0} - \frac{M_{s3} - M_{s2}}{\ell_0} = w \cdot \ell_0 - \frac{M_{s1} - M_{s2}}{\ell_0} \dots \dots \dots (5.4.1.1.14)$$

固有周期計算及び応力計算において R_1 は $R_{s1} \sim R_{s4}$ のうち最大のものとする。

(5) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚つけ根部の応力

胴の脚つけ根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の脚つけ根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots \dots \dots (5.4.1.1.15)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots \dots \dots (5.4.1.1.16)$$

この反力 P 及び P_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図 5-3 に示す。

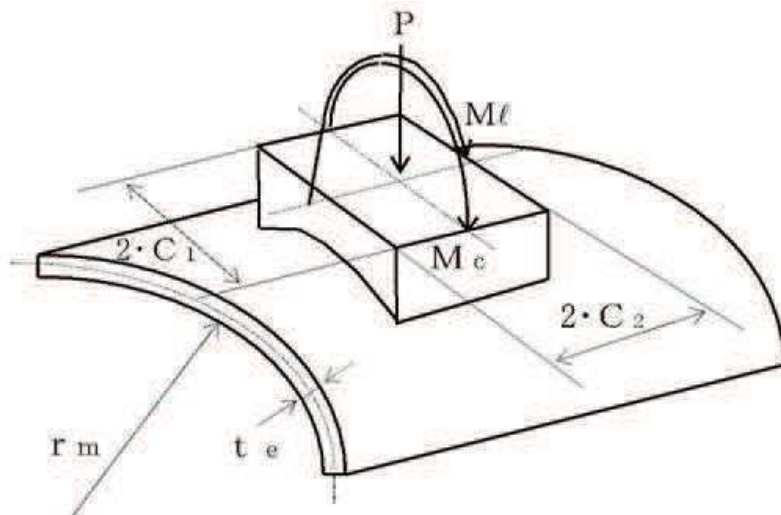


図 5-3 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のよう
に定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の
図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより応力は次式で求める。

反力 P による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

反力 P_e による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 71} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 71} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 72} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e}\right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2}\right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x72} = \left(\frac{M_x}{P_e}\right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2}\right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

(6) 長手方向地震による脚つけ根部の応力

全脚固定であり，脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_0 = \frac{1}{8} \cdot (m_0 - m_s) \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.28)$$

$$P_0 = (m_0 - m_s) \cdot C_H \cdot g \cdot (h_2 - h_1/2) / (3 \cdot \ell_0) \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

曲げモーメント M_0 と鉛直荷重 P_0 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることより（5.4.1.1.31）式～（5.4.1.1.38）式で求める。

ここで，シェルパラメータ γ 及び P_0 の場合のアタッチメントパラメータ β は(5)と同じであるが， M_0 の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。ただし，二次応力を求める場合は更に K_{0j} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ただし， $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_0 により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_0 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_0}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{01} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

$$\sigma_{x411} = \left\{ \frac{N_x}{M_0 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_0}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{02} \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

$$\sigma_{x421} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_{\ell} / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

$$\sigma_{x412} = \left(\frac{N_x}{P_{\ell} / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

$$\sigma_{x422} = \left(\frac{M_x}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_s) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

したがって、曲げモーメント M_{ℓ} 、鉛直荷重 P_{ℓ} 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{x41} = \sigma_{x411} + \sigma_{x412} + \sigma_{x413} \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x42} = \sigma_{x421} + \sigma_{x422} \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

また、長手方向地震が作用した場合、脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{(m_0 - m_s) \cdot C_H \cdot g}{16 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.44)$$

(7) 横方向地震による脚つけ根部の応力

横方向地震が作用した場合、脚のつけ根部に生じる曲げモーメント

M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.45)$$

$$r_0 = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.46)$$

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（5.4.1.1.48）式～（5.4.1.1.51）式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(5)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に K_{c_j} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.47)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots (5.4.1.1.48)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots (5.4.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots (5.4.1.1.51)$$

また、横方向地震が作用した場合、脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.52)$$

(8) 組合せ応力

(2)～(7)によって求めた脚つけ根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max}\{\text{周方向応力}(\sigma_{0\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0\ell x})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.53)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.54)$$

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 4 1 3}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.55)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max}\{\text{周方向応力}(\sigma_{0c\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0cx})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.56)$$

ここで

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.57)$$

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.58)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.59)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x} + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.60)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 4 1}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 7 1})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.61)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 4 1}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 7 1})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.62)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.63)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.64)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x51}^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.65)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c})\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.66)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.67)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x42})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.69)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.70)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x52})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.72)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c})\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.73)$$

とする。

5.4.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{01} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

鉛直荷重は

$$P_s = R_1 + m_s \cdot g - \sqrt{\{C_V \cdot (R_1 + m_s \cdot g)\}^2 + P_{\ell}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

とする。

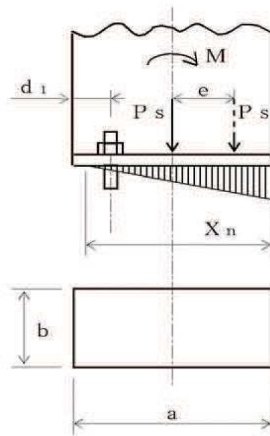


図 5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 1)

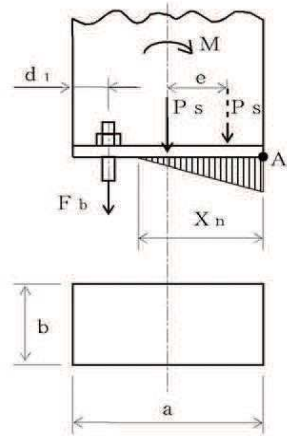


図 5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 2)

図 5-4 のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図 5-5 のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図 5-5 において，鉛直荷重の釣合い，A 点回りのモーメントの釣合い，基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{m_0 \cdot C_H \cdot g}{4 \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_s \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_V) \cdot (R_1 + m_s \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.11)$$

である。ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{c1} / P_{s1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.12)$$

とする。

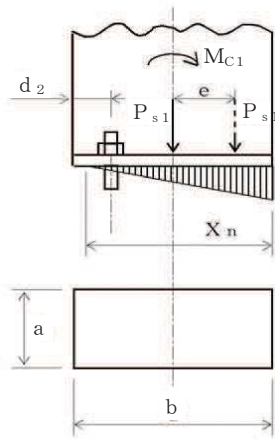


図 5-6 基礎部に作用する外荷
重より生じる荷重の関
係 (その 1)

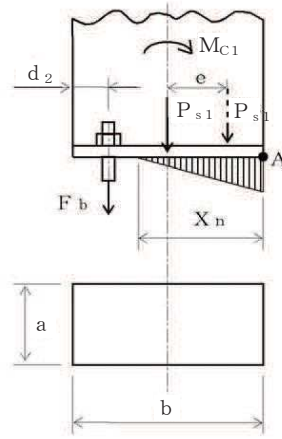


図 5-7 基礎部に作用する外荷
重より生じる荷重の関
係 (その 2)

図 5-6 のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図 5-7 のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.13)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図 5-7 において、鉛直荷重の釣合い、A 点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) \cdot (b - d_2 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.14)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.15)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.16)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.17)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_s \cdot g)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.18)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.19)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2})\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.20)$$

5.5 計算条件

5.5.1 胴板の応力計算条件

胴板の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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。

5.5.2 脚の応力計算条件

脚の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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。

5.5.3 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲労解析は不要とする。	

5.6.2 脚の応力評価

5.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	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_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式により求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ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。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	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}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク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。

なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合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。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al. :Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本産業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

【高圧炉心スプレイスライ系ディーゼル発電設備軽油タンク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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
高圧炉心スプレイスライ系 ディーゼル発電設備 軽油タンク	S	軽油タンク室 (H) 0.P.6.40*1							静水頭	66	50	0.86

注記*1：基準レベルを示す。

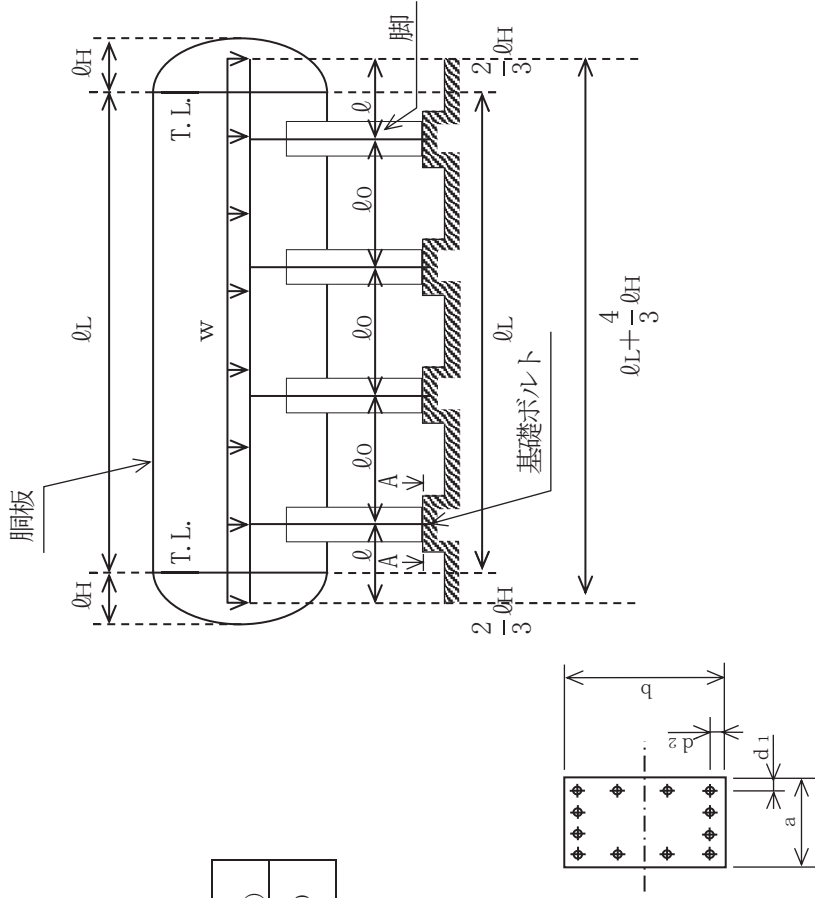
*2：ⅢSについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

ϕ (mm)	ϕ_H (mm)	ϕ_L (mm)	w (N/mm)	M_1 (N·mm)	R_1 (N)	H (mm)
2373	1028	13200	151.9	4.277×10^8	7.162×10^5	4000

m_0 (kg)	m_s (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	θ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	θ_w (mm)
		4000	28.0	56.0^{*1}	3275	1320.9	2400	0.378	750

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1750	875	4.622×10^{11}	5.003×10^{10}	2.641×10^8	5.717×10^7	2.123	1.372



A-A 矢視図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
2.909×10^5	201000	77308	1.683×10^5	9.371×10^4	1.307×10^5	7.698×10^4

K_{i1}^{*2}	K_{i2}^{*2}	K_{o1}^{*2}	K_{o2}^{*2}	K_{c1}	K_{c2}	C_{o1}	C_{o2}	C_{c1}	C_{c2}
0.91	1.68	—	1.08	1.03	0.96	0.93	0.72	1.57	1.21
1.76	1.20	—	—	—	—	—	—	—	—

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	12	4	4	1950	3700	48 (W48)	1.810×10^3	210	400

S_y (脚板) (MPa)	S_u (脚板) (MPa)	S (脚板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
300^{*3} (16mm<厚さ≤40mm)	465^{*3} (16mm<厚さ≤40mm)	—	309^{*4} (16mm<厚さ≤40mm)	480^{*4} (16mm<厚さ≤40mm)	309	336	715^{*4} (径≤63mm)	838^{*4} (径≤63mm)	586	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=3$	-	$\sigma_{\phi 2}=3$	-	-	$\sigma_{\phi 2}=3$
連転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2}=6$	-	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6}=6$	-	$\sigma_{x 6}=6$	$\sigma_{x 6}=6$	$\sigma_{x 6}=6$
長手方向地震による脚軸面 全面に生じる引張応力	-	$\sigma_{x 413}=11$	-	-	$\sigma_{x 413}=11$	-
組合せ応力	$\sigma_{00}=19$	$\sigma_{00}=19$	$\sigma_{0c}=13$	$\sigma_{00}=19$	$\sigma_{0c}=13$	$\sigma_{0c}=13$

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=3$	-	$\sigma_{\phi 2}=3$	-	-	$\sigma_{\phi 2}=3$
連転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2}=6$	-	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6}=6$	-	$\sigma_{x 6}=6$	$\sigma_{x 6}=6$	$\sigma_{x 6}=6$
連転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$	$\sigma_{\phi 3}=17$	$\sigma_{\phi 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 411}=7$	$\sigma_{x 411}=3$	$\sigma_{\phi 411}=7$	$\sigma_{x 411}=3$	$\sigma_{x 411}=3$	$\sigma_{x 51}=62$
	$\sigma_{\phi 412}=15$	$\sigma_{x 412}=15$	$\sigma_{\phi 412}=15$	$\sigma_{x 412}=15$	$\sigma_{x 412}=15$	
	$\sigma_{\phi 413}=11$	$\sigma_{x 413}=11$	$\sigma_{\phi 413}=11$	$\sigma_{x 413}=11$	$\sigma_{x 413}=11$	
組合せ応力	$\tau_{\theta}=10$	$\sigma_{10}=65$	$\tau_{\theta}=10$	$\sigma_{10}=65$	$\tau_{\theta}=10$	$\tau_{\theta}=6$
せん断	$\sigma_{1c}=91$	$\sigma_{1c}=91$	$\sigma_{1c}=91$	$\sigma_{1c}=91$	$\sigma_{1c}=91$	$\sigma_{1c}=91$

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
地震の方向 応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x6}=6$	—	$\sigma_{x6}=6$	—	$\sigma_{x6}=6$	—	$\sigma_{x6}=6$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x71}=17$	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x71}=17$	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x71}=17$	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x71}=17$
	$\sigma_{\phi 72}=74$	$\sigma_{x72}=42$	$\sigma_{\phi 72}=74$	$\sigma_{x72}=42$	$\sigma_{\phi 72}=74$	$\sigma_{x72}=42$	$\sigma_{\phi 72}=74$	$\sigma_{x72}=42$
	$\sigma_{\phi 41}=21$	$\sigma_{x41}=28$	$\sigma_{\phi 41}=20$	$\sigma_{x51}=62$	$\sigma_{\phi 41}=21$	$\sigma_{x41}=28$	$\sigma_{\phi 51}=20$	$\sigma_{x51}=62$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 421}=8$	$\sigma_{x421}=17$	$\sigma_{\phi 421}=8$	$\sigma_{x421}=17$	$\sigma_{\phi 421}=8$	$\sigma_{x421}=17$	$\sigma_{\phi 421}=8$	$\sigma_{x421}=17$
	$\sigma_{\phi 422}=67$	$\sigma_{x422}=38$	$\sigma_{\phi 422}=67$	$\sigma_{x422}=38$	$\sigma_{\phi 422}=67$	$\sigma_{x422}=38$	$\sigma_{\phi 422}=67$	$\sigma_{x422}=38$
	$\sigma_{\phi 42}=74$	$\sigma_{x42}=55$	$\sigma_{\phi 42}=74$	$\sigma_{x42}=55$	$\sigma_{\phi 42}=74$	$\sigma_{x42}=55$	$\sigma_{\phi 42}=74$	$\sigma_{x42}=55$
組合せ応力	$\tau_{\phi}=10$	$\tau_{c}=6$	$\tau_{\phi}=10$	$\tau_{c}=6$	$\tau_{\phi}=10$	$\tau_{c}=6$	$\tau_{\phi}=10$	$\tau_{c}=6$
	$\sigma_{2\phi}=271$	$\sigma_{2c}=414$	$\sigma_{2\phi}=271$	$\sigma_{2c}=414$	$\sigma_{2\phi}=271$	$\sigma_{2c}=414$	$\sigma_{2\phi}=271$	$\sigma_{2c}=414$

1. 3. 2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
連続質量による応力	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s2}=13$	$\sigma_{s3}=11$	$\sigma_{s2}=13$	$\sigma_{s3}=11$	$\sigma_{s2}=13$	$\sigma_{s3}=11$	$\sigma_{s2}=13$	$\sigma_{s3}=11$
	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=16$	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=16$	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=16$	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=16$
水平方向地震による応力	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$	$\sigma_{s0}=20$
	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$	$\sigma_{sc}=30$

1. 3. 3 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	$\sigma_{b1}=68$	$\sigma_{b2}=125$	$\sigma_{b1}=68$	$\sigma_{b2}=125$	$\sigma_{b1}=68$	$\sigma_{b2}=125$	$\sigma_{b1}=68$	$\sigma_{b2}=125$
	$\tau_{b1}=43$	$\tau_{b2}=54$	$\tau_{b1}=43$	$\tau_{b2}=54$	$\tau_{b1}=43$	$\tau_{b2}=54$	$\tau_{b1}=43$	$\tau_{b2}=54$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

方向		固有周期 (単位: s)	
長手方向	T_1		
横方向	T_2		
鉛直	T_3		

1.4.2 応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM490C	一次一般膜	$\sigma_0=19$	$S_a=279$	$\sigma_0=19$	$S_a=279$
		一次	$\sigma_1=91$	$S_a=418$	$\sigma_1=91$	$S_a=418$
		一次十二次	$\sigma_2=414$	$S_a=601$	$\sigma_2=414$	$S_a=601$
脚	SM490C	組合せ	$\sigma_s=30$	$f_t=309$	$\sigma_s=30$	$f_t=336$
		引張り	$\sigma_b=125$	$f_{t,s}=440^*$	$\sigma_b=125$	$f_{t,s}=440^*$
基礎ボルト	SNB7	せん断	$\tau_b=54$	$f_{s,b}=338$	$\tau_b=54$	$f_{s,b}=338$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{t,s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_0}]$

(単位: MPa)

2. 重大事故等対策設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び寸法高さ (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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
高圧炉心スプレイス ディージェル発電設備 軽油タンク	常設/防止 (DB 抜取装置) 常設耐震/防止 常設/緩和	軽油タンク室 (H) 0. P. 6. 40*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—	C _H =1. 56	C _V =0. 99	静水頭	66	50	0. 86

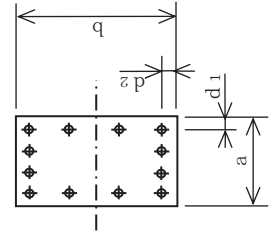
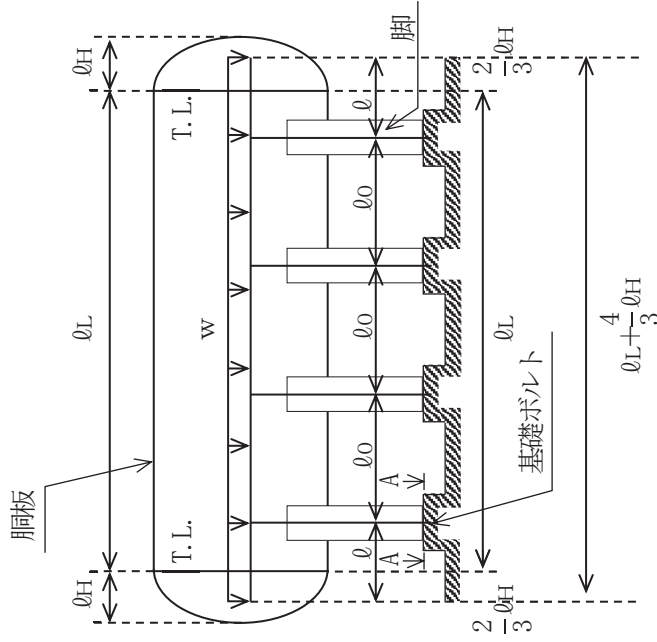
注記*：基脚レベルを示す。

2.2 機器要目

ϕ (mm)	ϕ_H (mm)	ϕ_L (mm)	w (N/mm)	M ₁ (N·mm)	R ₁ (N)	H (mm)
2373	1028	13200	151. 9	4. 277×10 ⁸	7. 162×10 ⁵	4000

m ₀ (kg)	m _s (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ϕ_0 (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ_w (rad)	ϕ_w (mm)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4000	28. 0	56. 0*1	3275	1320. 9	2400	0. 378	750

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1750	875	4. 622×10 ¹¹	5. 003×10 ¹⁰	2. 641×10 ⁸	5. 717×10 ⁷	2. 123	1. 372



A-A 矢視図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
2.909×10^5	201000	77308	1.683×10^5	9.371×10^4	1.307×10^5	7.698×10^4

K_{i1}^{*2}	K_{i2}^{*2}	K_{o1}^{*2}	K_{o2}^{*2}	K_{c1}	K_{c2}	C_{o1}	C_{o2}	C_{c1}	C_{c2}
0.91	—	—	1.08	1.15	0.96	0.93	0.72	1.57	1.21
1.76	—	—	—	—	—	—	—	—	—

s	n	n ₁	n ₂	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
15	12	4	4	1950	3700	48 (W48)	1.810×10^3	210	400

S_y (鋼板) (MPa)	S_u (鋼板) (MPa)	S (鋼板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
300^{*3} (16mm<厚さ≤40mm)	465^{*3} (16mm<厚さ≤40mm)	—	309^{*4} (16mm<厚さ≤40mm)	480^{*4} (16mm<厚さ≤40mm)	—	336	715^{*4} (径≤63mm)	838^{*4} (径≤63mm)	—	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般動応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=3$	-	$\sigma_{\phi 2}=3$
連軸時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 6}=6$	$\sigma_{x 6}=6$
長手方向地震による脚軸面 全面に生じる引張応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 413}=11$	-
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{0\phi}=19$	-	$\sigma_{0c}=13$

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2}=3$	-	$\sigma_{\phi 2}=3$
連軸時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 2}=6$	$\sigma_{x 2}=6$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{x 6}=6$	$\sigma_{x 6}=6$
連軸時質量による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$	$\sigma_{x 3}=17$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411}=7$	$\sigma_{x 411}=3$	$\sigma_{\phi 411}=7$	$\sigma_{x 411}=3$	$\sigma_{x 51}=62$
		$\sigma_{\phi 412}=15$	$\sigma_{x 412}=15$	$\sigma_{\phi 412}=15$	$\sigma_{x 412}=15$	
		$\sigma_{\phi 413}=11$	$\sigma_{x 413}=11$	$\sigma_{\phi 413}=11$	$\sigma_{x 413}=11$	
組合せ応力	せん断	$\sigma_{\phi 411}=21$	$\sigma_{x 411}=28$	$\tau_{\phi}=10$	$\tau_c=6$	$\sigma_{1c}=91$
		-	-	$\sigma_{1\phi}=65$	$\sigma_{1c}=91$	

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度					
	長手方向		横方向		基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} = 3$	-
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x6} = 6$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 71} = 17$ $\sigma_{\phi 72} = 74$	$\sigma_{x71} = 17$ $\sigma_{x72} = 42$
水平方向地震 による応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 41} = 21$	$\sigma_{x41} = 28$
	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 421} = 8$ $\sigma_{\phi 422} = 67$	$\sigma_{x421} = 17$ $\sigma_{x422} = 38$
せん断 組合せ応力	-	-	-	-	$\sigma_{\phi 42} = 74$	$\sigma_{x42} = 55$
	-	-	-	-	$\tau_{\theta} = 10$ $\sigma_{2\theta} = 271$	$\tau_c = 6$ $\sigma_{2c} = 414$

2.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
連続質量による応力	-	-	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	-	-	$\sigma_{s4} = 3$	$\sigma_{s4} = 3$
水平方向地震による応力	-	-	$\sigma_{s2} = 13$	$\sigma_{s3} = 11$
	-	-	$\tau_{s2} = 7$	$\tau_{s3} = 16$
組合せ応力	-	-	$\sigma_{s0} = 20$	$\sigma_{sc} = 30$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	-	-	$\sigma_{b1} = 68$	$\sigma_{b2} = 125$
水平方向地震による応力	-	-	$\tau_{b1} = 43$	$\tau_{b2} = 54$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	T ₁ ＝
横方向	T ₂ ＝
鉛直	T ₃ ＝

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM490C	一次-般膜	—	—	$\sigma_0=19$	$S_a=279$
		一次	—	—	$\sigma_1=91$	$S_a=418$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=414$	$S_a=601$
脚	SM490C	組合せ	—	$\sigma_s=30$	$f_t=336$	
基礎ボルト	SXB7	引張り	—	—	$\sigma_b=125$	$f_{t,s}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=54$	$f_{s,b}=338$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{t,s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$

VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-2-1 浸水防護施設の耐震性についての計算結果
- VI-2-10-2-2 防潮堤の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-3 防潮壁の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-4 取放水路流路縮小工の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-5 貯留堰の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-6 逆流防止設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8 浸水防止蓋の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-9 浸水防止壁の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-12 堰の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-13 津波監視設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-5 貯留堰の耐震性についての計算書

貯留堰の耐震性については、添付書類「VI-2-10-4-2 貯留堰の耐震性についての計算書」で説明する。

VI-2-10-2-9 浸水防止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	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	7
4.	固有値解析	8
4.1	固有振動数の計算方法	8
4.2	固有振動数の計算条件	9
4.3	固有振動数の計算結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重及び荷重の組合せ	10
5.3	許容限界	11
5.4	設計用地震力	12
5.5	評価方法	13
5.6	評価条件	17
6.	評価結果	18

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち第2号機海水ポンプ室浸水防止壁（以下「浸水防止壁」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は、浸水防止壁の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止壁は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止壁の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止壁は、第2号機海水ポンプ室（以下「海水ポンプ室」という。）躯体上部に設置する。

浸水防止壁の設置位置図を図2-1に示す。

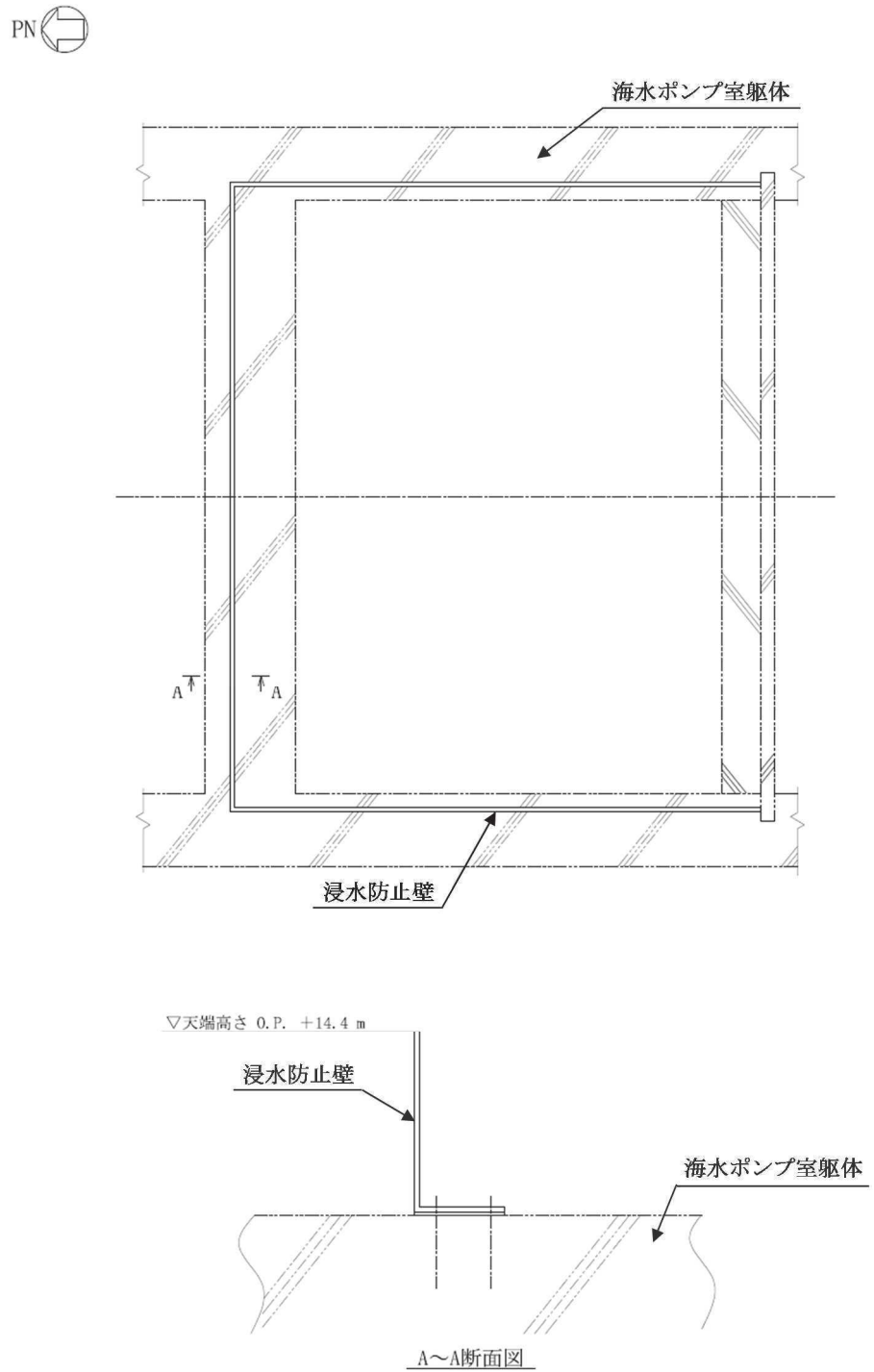


図 2-1 浸水防止壁の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体上部にL字型の浸水防止壁を設置する構造とする。浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体との間にシーリング材を挟みこみ、基礎ボルトで固定する。浸水防止壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
海水ポンプ室の躯体上部に基礎ボルトで固定する。	浸水防止壁により構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止壁の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止壁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数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、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

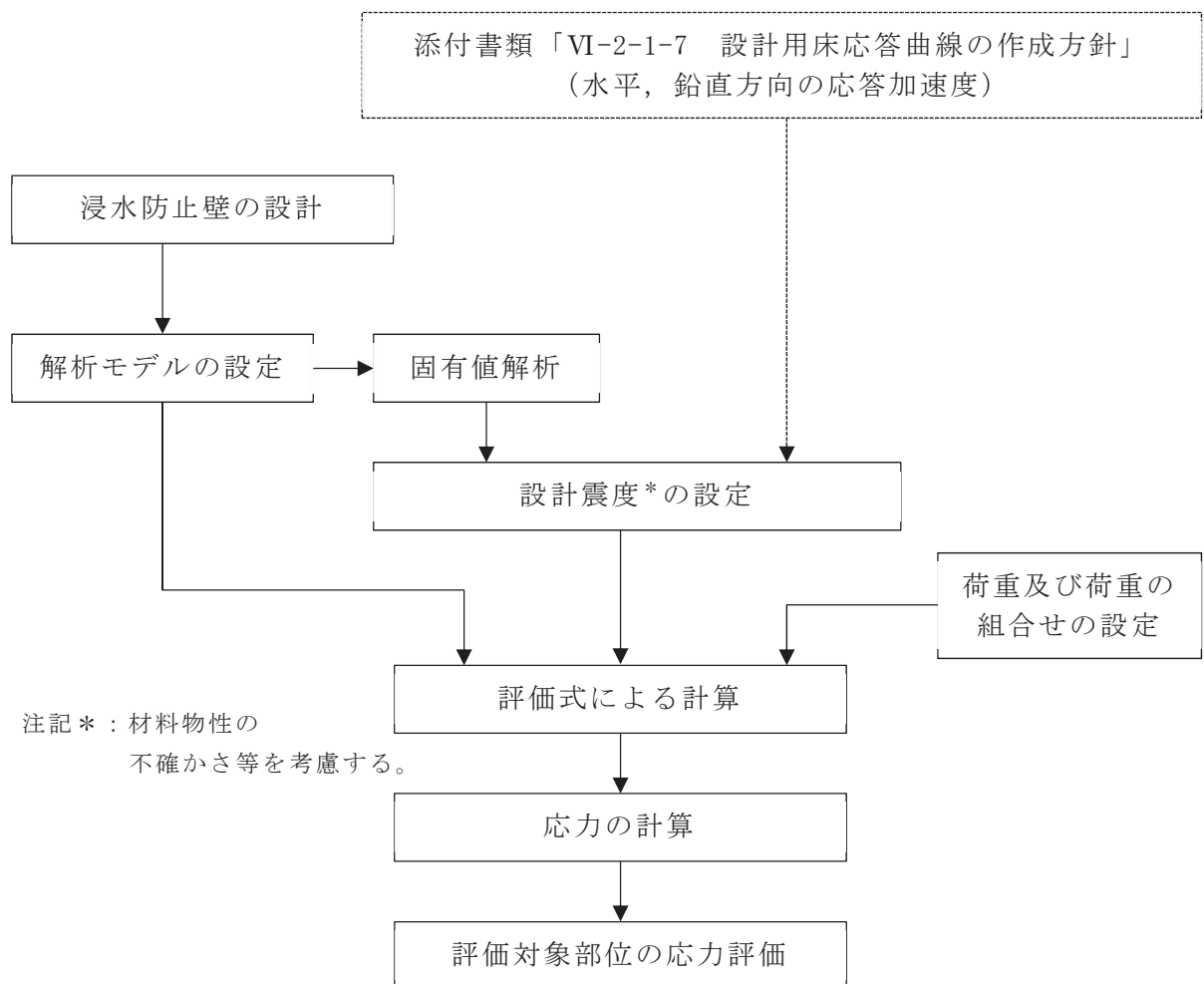


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- (2) 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- (3) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- (4) 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- (5) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (6) 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止壁の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	-	固定荷重
S_s	-	基準地震動 S_s による地震荷重
P_k	-	風荷重
w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重
W_v	N	浸水防止壁の固定荷重
$w_{S_s H}$	N/mm	地震の水平方向の等分布荷重
$P_{S_s V}$	N	地震の鉛直方向の荷重
C_H	-	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
C_V	-	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
w_{P_k}	N/mm	風の等分布荷重
q	N/mm ²	速度圧
C_f	-	風力係数
M	N・mm	浸水防止壁に作用する曲げモーメント
Q	N	浸水防止壁に作用するせん断力
H	mm	浸水防止壁の高さ
σ_b	N/mm ²	浸水防止壁の曲げ応力度
τ	N/mm ²	浸水防止壁のせん断応力度
σ	N/mm ²	浸水防止壁の組合せ応力度
A	mm ²	浸水防止壁の断面積
Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数
$T_{b o}$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$Q_{b o}$	N	基礎ボルトに作用するせん断力
b	mm	基礎ボルト間寸法
n	本	基礎ボルトの本数
P_a	N	基礎ボルトの短期許容引張力
q_a	N	基礎ボルトの短期許容せん断力

3. 評価対象部位

浸水防止壁の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止壁に対して、地震（ S_s ）及び風による荷重が作用し、これらの荷重は浸水防止壁に伝わり、浸水防止壁を固定している基礎ボルトを介して躯体に伝達されることから、浸水防止壁及び基礎ボルトを評価対象部位として設定する。評価対象部位を図 3-1 に示す。

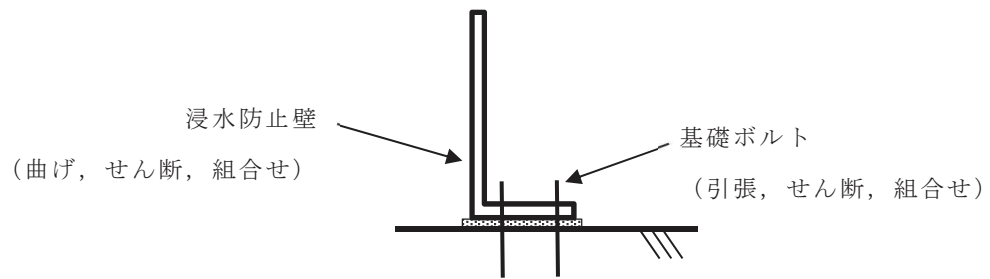


図 3-1 評価対象部位

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止壁を図 4-1 に示す片持ちばりとしてモデル化する。

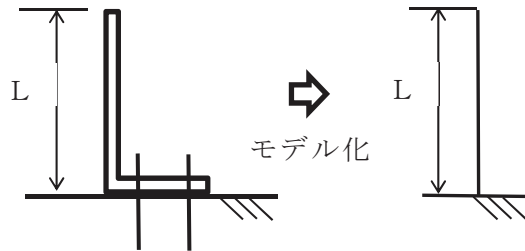


図 4-1 浸水防止壁の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止壁の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
δ_{st}	mm	質量が振動する方向にその質量の重さに等しい力が静的に作用するときのたわみ
w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重
L	mm	浸水防止壁の長さ
E	N/mm ²	浸水防止壁の縦弾性係数
I	mm ⁴	浸水防止壁の断面二次モーメント

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f は、「土木学会 構造力学公式集」より、次式を用いて算出する。

$$f = \frac{4.98}{\sqrt{\delta_{st} \cdot 10^{-1}}} \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、

$$\delta_{st} = \frac{w_s \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \dots\dots\dots (4.2)$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。なお、単位長さ(1000 mm)当たりで計算を行う。

表 4-2 固有振動数の計算条件

たわみ δ_{st} (mm)	浸水防止壁 の固定等分 布荷重 w_s (N/mm)	浸水防止壁 長さ L (mm)	縦弾性係数 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)
0.1001	9.238×10^{-1}	400	2.05×10^5	1.440×10^5

4.3 固有振動数の計算結果

表 4-3 に固有振動数の計算結果を示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 f (Hz)
49.78

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止壁の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

浸水防止壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s + P_k$$

ここで、 G : 固定荷重
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重
 P_k : 風荷重

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として鋼板の自重を考慮する。

w_s : 浸水防止壁の固定等分布荷重 (N/mm)

W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による地震荷重を以下の式より算出する。

$$w_{S_s H} = w_s \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、 $w_{S_s H}$: 地震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 C_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

$$P_{S_s V} = W_v \cdot C_V \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

ここで、 $P_{S_s V}$: 地震の鉛直方向の荷重 (N)
 C_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(3) 風荷重 (P_k)

風の等分布荷重は、「建築基準法・同施行令」に基づき次式により算出する。

$$w_{P_k} = q \cdot C_f \cdot 1000 \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、 w_{P_k} : 風の等分布荷重 (N/mm)

q : 速度圧 (N/mm²)

C_f : 風力係数

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

浸水防止壁及び基礎ボルトの使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材料	仕様
浸水防止壁	SS400	t=12(mm)
基礎ボルト	SS400	M16

5.3.2 許容限界

(1) 浸水防止壁

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき設定した浸水防止壁の短期許容応力度を表 5-2 に示す。

表 5-2 浸水防止壁の短期許容応力度

種類	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	せん断	組合せ
SS400	235	135	235

(2) 基礎ボルト

基礎ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した基礎ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、基礎ボルトは躯体に埋め込まれていることから、引張力を受ける場合においては、基礎ボルトの降伏により決まる許容荷重及び基礎ボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、せん断力を受ける場合においては、基礎ボルトのせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-3 地震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重

種類	短期許容荷重(N)	
	引張	せん断
SS400	28225	25826

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止壁の固有周波数が 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止壁の耐震評価に用いる設計震度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す海水ポンプ室躯体上部における最大応答加速度を設定する。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

設置場所	床面高さ(m)	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平方向 C_H	鉛直方向 C_V
海水ポンプ室	O.P. 13.80*	4.86	2.03

注記*：基準床レベルを示す。

5.5 評価方法

浸水防止壁の耐震評価は、地震時より生じる応力度又は荷重が「5.3 許容限界」で設定した許容限界値を超えないことを確認する。

5.5.1 浸水防止壁の評価方法

浸水防止壁に生じる応力は、地震荷重を受ける片持ちばりとして、躯体と接合部に生じる曲げモーメント及びせん断力を算定し、浸水防止壁に生じる曲げ及びせん断力に対する確認を行う。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 応力算定

地震荷重、風荷重により生じる応力は、図 5-1 及び図 5-2 に示すとおり、等分布荷重が作用するものとして算定する。

a. 曲げモーメント

曲げモーメントは次式により算定する。

$$M = \frac{1}{2} \cdot (w_{S s H} + w_{P k}) \cdot H^2 \dots\dots\dots (5.4)$$

ここで、M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)

$w_{S s H}$: 地震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)

$w_{P k}$: 風の等分布荷重 (N/mm)

H : 浸水防止壁の高さ (mm)

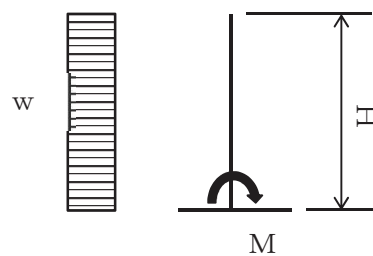


図 5-1 曲げモーメント算定モデル化

b. せん断力

せん断力は次式により算定する。

$$Q = (w_{S s H} + w_{P k}) \cdot H \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

- ここで、 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 $w_{S s H}$: 地震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 $w_{P k}$: 風の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

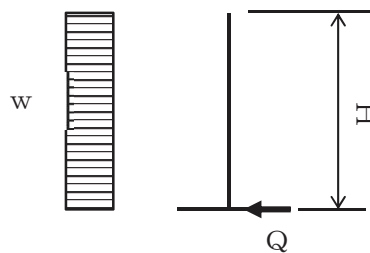


図 5-2 せん断力算定モデル化

(2) 断面検定

a. 浸水防止壁に生じる曲げ応力度

浸水防止壁に生じる曲げ応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

- ここで、 σ_b : 浸水防止壁の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 Z : 浸水防止壁の断面係数 (mm³)

b. 浸水防止壁に生じるせん断応力度

浸水防止壁に生じるせん断応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

- ここで、 τ : 浸水防止壁のせん断応力度 (N/mm²)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 A : 浸水防止壁の断面積 (mm²)

c. 浸水防止壁に生じる組合せ応力度

浸水防止壁に生じる曲げとせん断の組合せ応力度「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式より算出し、浸水防止壁の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで、 σ : 浸水防止壁の組合せ応力度 (N/mm²)

5.5.2 基礎ボルトの評価方法

基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。基礎ボルトに生じる引張力に対する確認においては、浸水防止壁の自重による鉛直方向上向きの地震荷重を組み合わせるものとする。鉛直方向下向きに生じる荷重は、海水ポンプ室躯体により支持されるため設計に考慮しない。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 評価方法

「5.5.1 浸水防止壁の評価方法」にて算出した浸水防止壁に生じる応力を基に基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。

(2) 荷重算定

a. 基礎ボルトに生じる引張力

基礎ボルトに生じる引張力は次式より算出し、基礎ボルトの短期許容引張力を下回ることを確認する。

$$T_{b.o} = \frac{M}{b \cdot \frac{n}{2}} + \frac{P_{s.s.v} - W_v}{n} \dots\dots\dots (5.9)$$

- ここで、 $T_{b.o}$: 基礎ボルトに作用する引張力 (N)
- M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
- b : 基礎ボルト間寸法 (mm)
- $P_{s.s.v}$: 地震の鉛直方向の荷重 (N)
- W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)
- n : 基礎ボルトの本数 (本)

b. 基礎ボルトに生じるせん断力

基礎ボルトに作用するせん断力が、基礎ボルトの短期許容せん断力を下回ることを確認する。

$$Q_{b.o} = \frac{Q}{n} \dots\dots\dots (5.10)$$

- ここで、 $Q_{b.o}$: 基礎ボルトに作用するせん断力 (N)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 n : 基礎ボルトの本数 (本)

c. 基礎ボルトに生じる組合せ荷重

基礎ボルトに生じる引張とせん断の組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式より算出し、1以下であることを確認する。

$$\left(\frac{T_{b.o}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{Q_{b.o}}{q_a}\right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots (5.11)$$

- ここで、 P_a : 基礎ボルトの短期許容引張力 (N)
 q_a : 基礎ボルトの短期許容せん断力 (N)

5.6 評価条件

浸水防止壁の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 に示す。

表 5-5 浸水防止壁の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
浸水 防止壁	w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重	9.238×10^{-1}
	W_v	N	浸水防止壁の固定荷重	543.2
	q	N/mm ²	速度圧	9.598×10^{-4}
	C_f	-	風力係数	1.2
	H	mm	浸水防止壁の高さ	400
	Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数	24000
	A	mm ²	浸水防止壁の断面積	12000
基礎 ボルト	b	mm	基礎ボルト間寸法	120
	n	本	基礎ボルトの本数	6

6. 評価結果

浸水防止壁の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力度又は荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 浸水防止壁の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (発生応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水 防止壁	曲げ	19	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09 < 1
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1
	組合せ	20	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09 < 1
基礎 ボルト	引張	1348	N	28225	N	0.05 < 1
	せん断	377	N	25826	N	0.02 < 1
	組合せ	-		-		0.01 < 1

VI-2-10-4 非常用取水設備の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-10-4-1 非常用取水設備の耐震性についての計算結果
- VI-2-10-4-2 貯留堰の耐震性についての計算書
- VI-2-10-4-3 取水口の耐震性についての計算書
- VI-2-10-4-4 取水路の耐震性についての計算書
- VI-2-10-4-5 海水ポンプ室の耐震性についての計算書

VI-2-10-4-1 非常用取水設備の耐震性についての計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本説明書は、非常用取水設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

非常用取水設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に許可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

非常用取水設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施工前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 設計条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
非常用 取水設備	取水設備	貯留堰	C	—*2	VI-2-10-4-2	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-4-2
		取水口	C	有*3	VI-2-10-4-3	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-4-3
		取水路	C	有*3	VI-2-10-4-4	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-4-4
		海水ポンプ室	C	有*3	VI-2-10-4-5	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-4-5

注記*1: 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外。

*3: 地震応答解析は時刻歴応答解析にて実施し, 構造解析は三次元静的材料非線形解析にて実施。

VI-2-10-4-2 貯留堰の耐震性についての計算書

貯留堰の耐震性については、添付書類「VI-2-10-4-3 取水口の耐震性についての計算書」で説明する。

VI-2-10-4-3 取水口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	7
2.4	適用基準	10
3.	地震応答解析	11
3.1	地震時荷重算出断面	11
3.2	解析方法	13
3.2.1	構造部材	13
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	13
3.2.3	減衰定数	14
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	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	33
3.5.1	解析モデル	33
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	36
3.5.3	地盤の物性値	36
3.6	地震応答解析結果	37
4.	三次元構造解析	41
4.1	評価対象部材	41
4.2	解析方法	42
4.3	解析モデルの諸元	42
4.3.1	解析モデル	42
4.3.2	使用材料及び材料の物性値	45
4.4	照査時刻及び入力荷重	46
4.4.1	照査時刻	46
4.4.2	入力荷重	47
4.5	三次元構造解析結果	48
5.	耐震評価	57
5.1	許容限界	57
5.1.1	構造部材の健全性に対する許容限界	57

5.1.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界.....	58
5.2	評価方法	59
6.	耐震評価結果	60
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果.....	60
6.2	各要求機能に対する評価結果.....	64
6.2.1	通水機能	64
6.2.2	貯水機能	66
6.3	Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果	69
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果.....	70
6.4.1	基礎地盤（狐崎部層）	70
6.4.2	MMR（既設）	71

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水口が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。また、取水口と一体構造となっている貯留堰が、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ものである。

取水口及び貯留堰に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく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行う。

なお、取水口と貯留堰は一体構造となっていることから、構造部材の健全性評価にあたっては、貯留堰は取水口を含むものとして扱う。

2. 基本方針

2.1 位置

取水口及び貯留堰の位置を図 2-1 に示す。

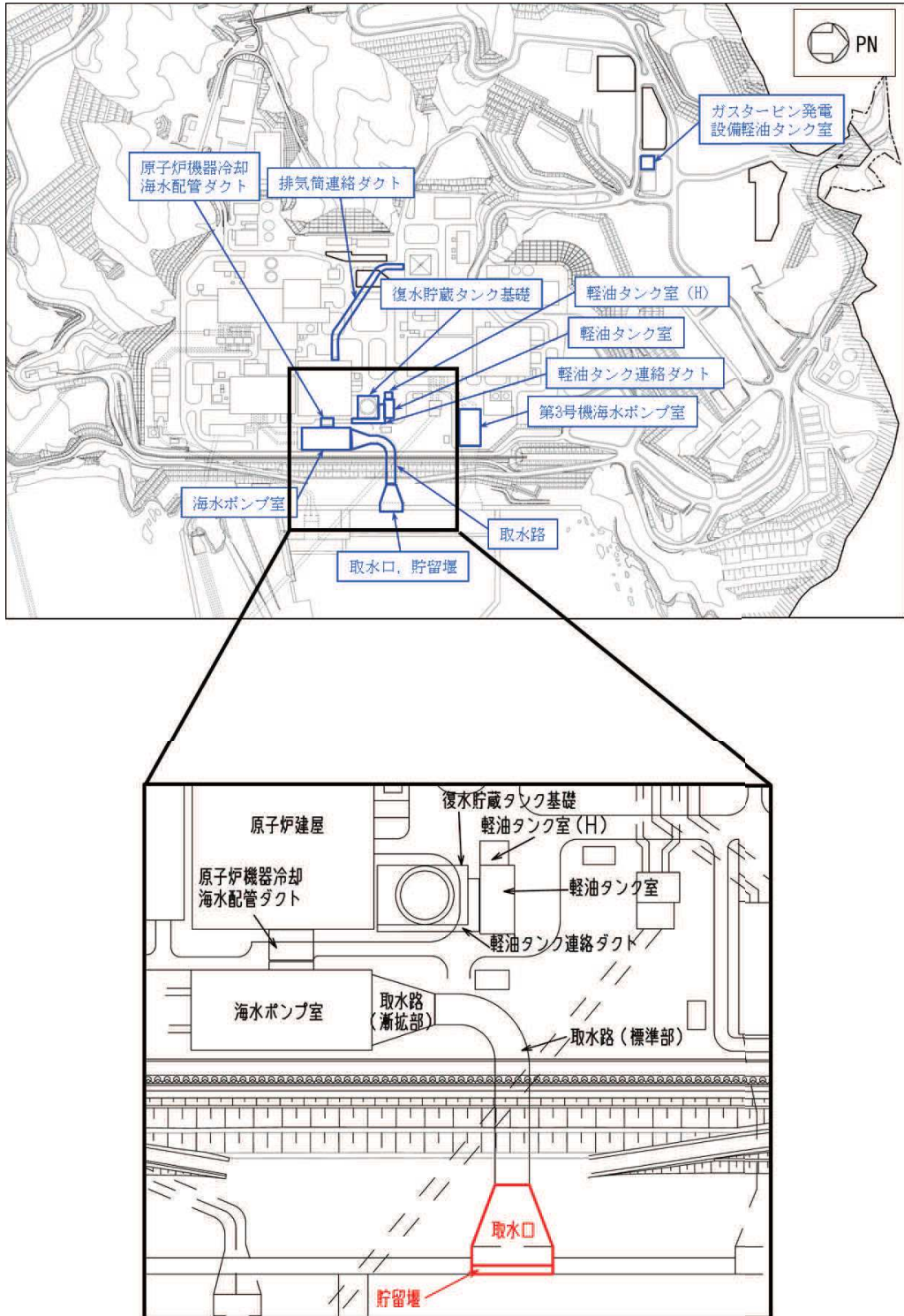


図 2-1 取水口，貯留堰の位置図

2.2 構造概要

取水口，貯留堰の平面図を図 2-2 に，断面図を図 2-3～図 2-5 に，縦断面図を図 2-6 に，概略配筋図を図 2-7～図 2-10 に示す。

取水口は，非常時における海水の通水機能及び貯水機能，貯留堰を間接支持する支持機能が要求される。また，貯留堰は取水口上流側に配置され，取水口底版と一体構造となっており，非常時における海水の通水機能及び貯水機能が要求される。

取水口は鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，延長 11.50m，内空幅 [] 内空高さ [] の六連のボックスカルバート構造の標準部と，延長 28.30m，内空幅 [] 内空高さ [] の六連のボックスカルバートから内空幅 [] 内空高さ [] の二連のボックスカルバートに断面が縮小する漸縮部より構成され，マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

取水口は，断面が延長方向で異なり，面部材として加振方向に平行に配置される妻壁や導流壁を有する箱形構造物である。

貯留堰は，取水口と一体の鉄筋コンクリート構造物であり，津波による水位低下に対して非常用海水ポンプの機能が保持でき，かつ，原子炉冷却に必要な海水を確保できるよう，取水口底版より 1.2m の堰高を有している。

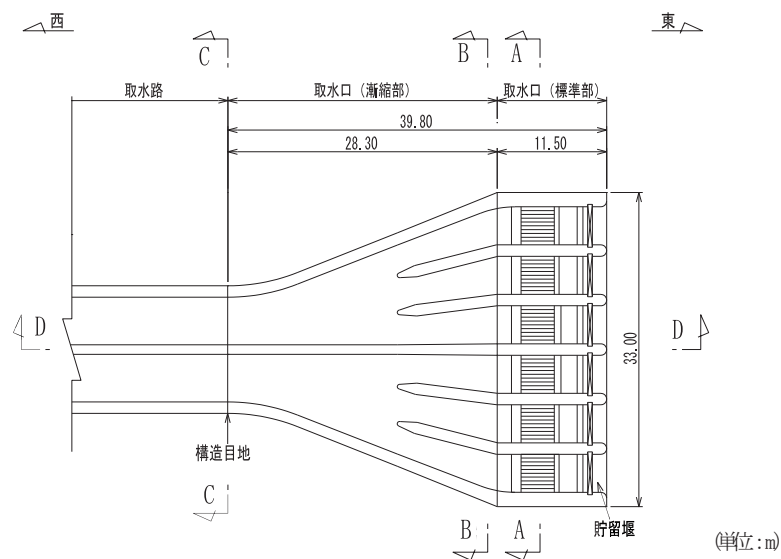


図 2-2 取水口，貯留堰平面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

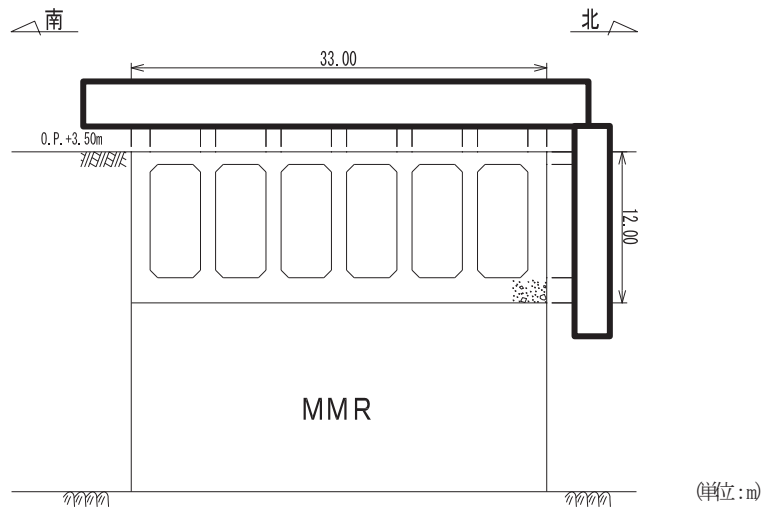


図 2-3 取水口断面図 (A-A 断面, 標準部)

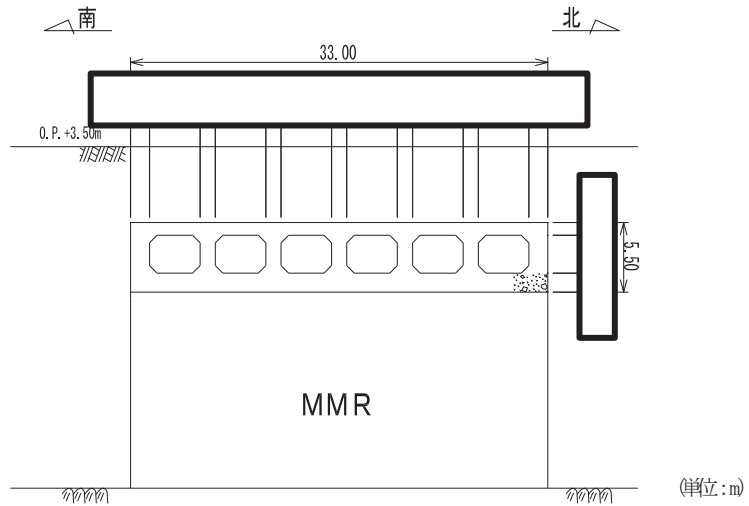


図 2-4 取水口断面図 (B-B 断面, 漸縮部)

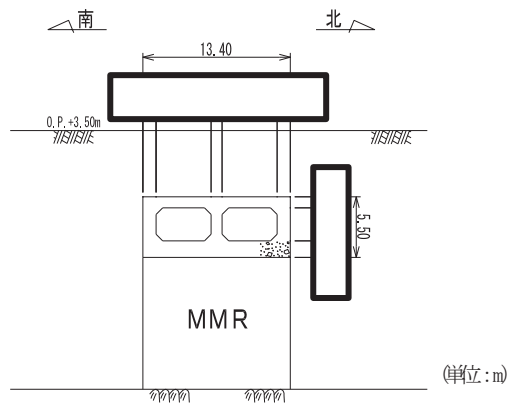


図 2-5 取水口断面図 (C-C 断面, 漸縮部)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

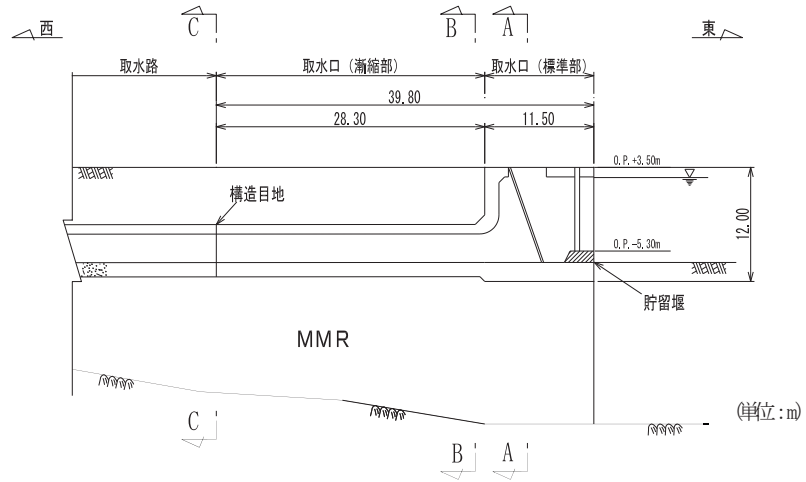


図 2-6 取水口縦断面図 (D-D 断面)

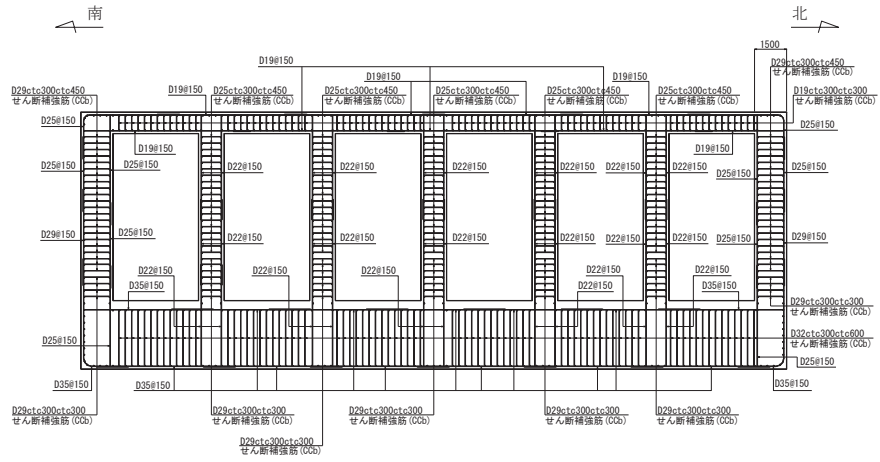


図 2-7 取水口概略配筋図 (A-A 断面, 標準部)

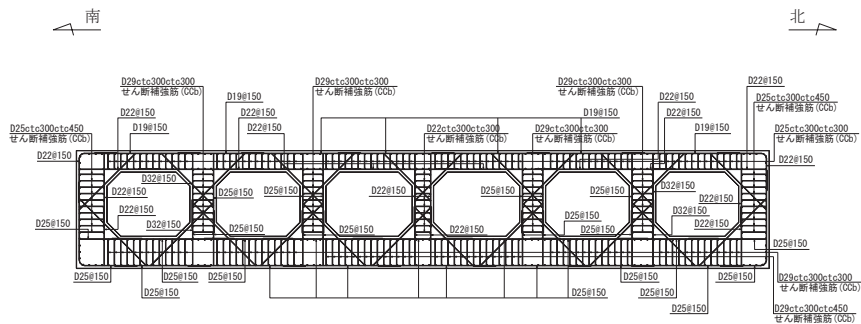


図 2-8 取水口概略配筋図 (B-B 断面, 漸縮部)

2.3 評価方針

取水口は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備及びSクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。また、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設に分類される。

また、貯留堰は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

取水口及び貯留堰の耐震評価フローを図2-11に示す。

取水口及び貯留堰の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1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及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析より得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用い、非線形ソリッド要素による三次元静的材料非線形解析（以下「三次元構造解析」という。）により応答値を算定し、添付書類「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を下回ることを、せん断破壊に対しては、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、地震応答解析より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

ここで、取水口及び貯留堰の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

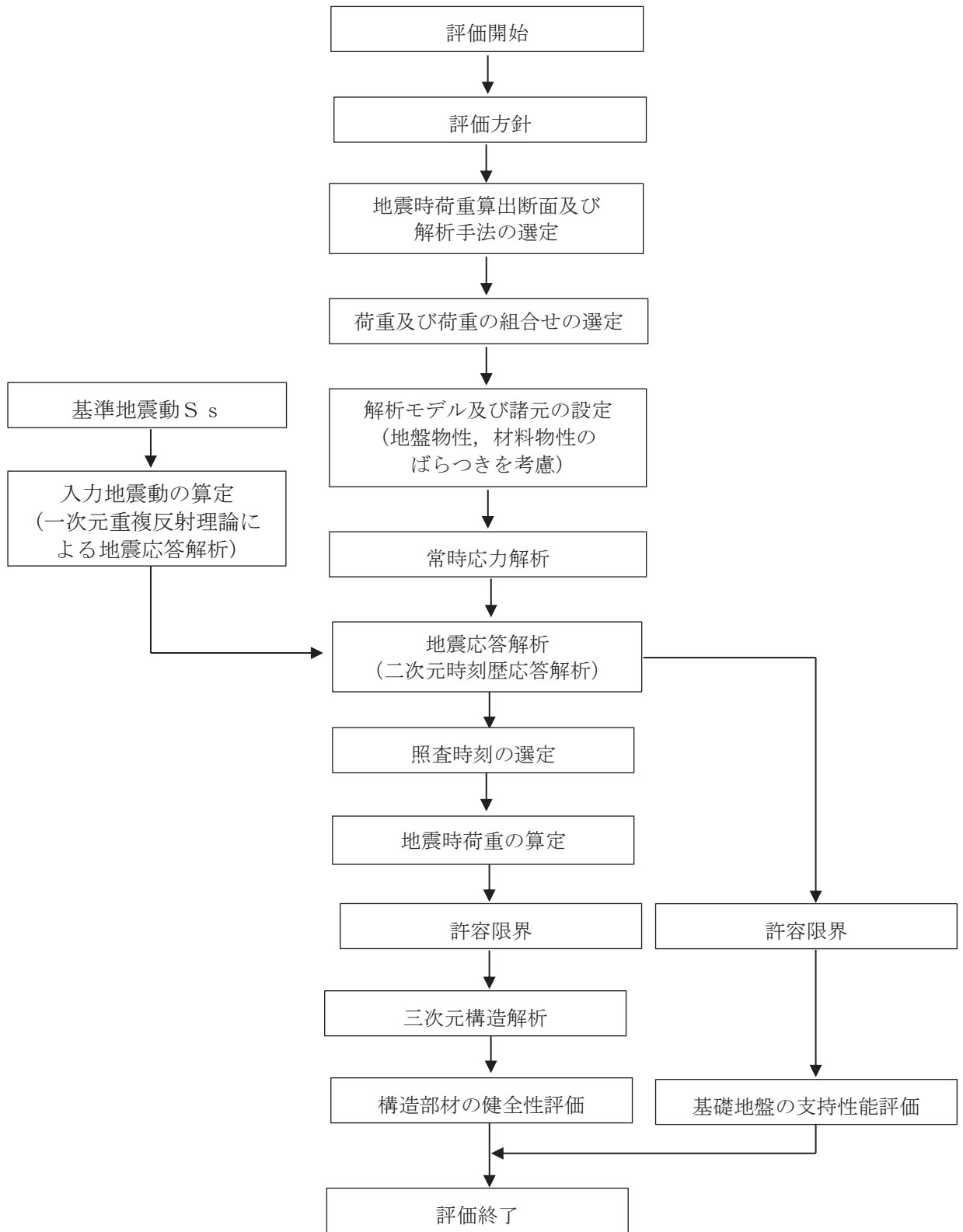


図 2-11 取水口及び貯留堰の耐震評価フロー

表 2-1 取水口及び貯留堰の評価項目

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	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ, 照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力		
				せん断力	面外	せん断耐力*2
					面内	限界せん断ひずみ*2
	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	岩盤の極限支持力*2		
MMR		MMR の支圧強度*2				
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと*1	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*2	
				せん断力	せん断耐力*2	

注記*1：取水口（標準部）には、貯留堰を間接支持する支持機能が要求される。

*2：妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- 土木学会 2012年 コンクリート標準示方書[設計編]
- 土木学会 2017年 コンクリート標準示方書[設計編]
- 土木学会 2005年 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
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編

3. 地震応答解析

3.1 地震時荷重算出断面

取水口，貯留堰の地震時荷重算出断面位置を図 3-1 に示す。地震時荷重算出断面は，構造的
特徴や周辺地質状況を踏まえ，標準部及び漸縮部を通る A-A 断面及び B-B 断面とする。

地震時荷重算出用地質断面図を図 3-2 及び図 3-3 に示す。

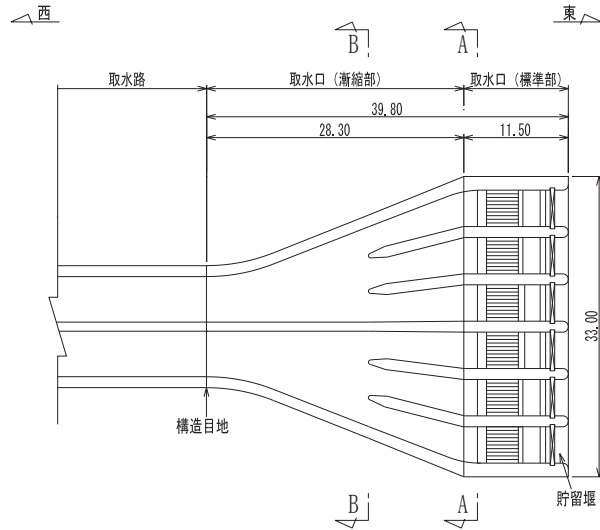


図 3-1 取水口の地震時荷重算出断面位置図

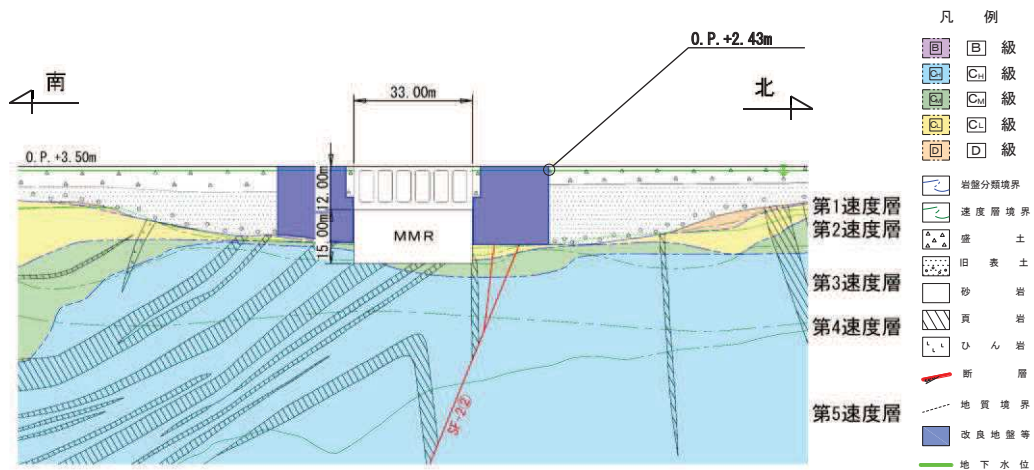


図 3-2 取水口，貯留堰 地震時荷重算出用地質断面図 (A-A 断面，標準部)

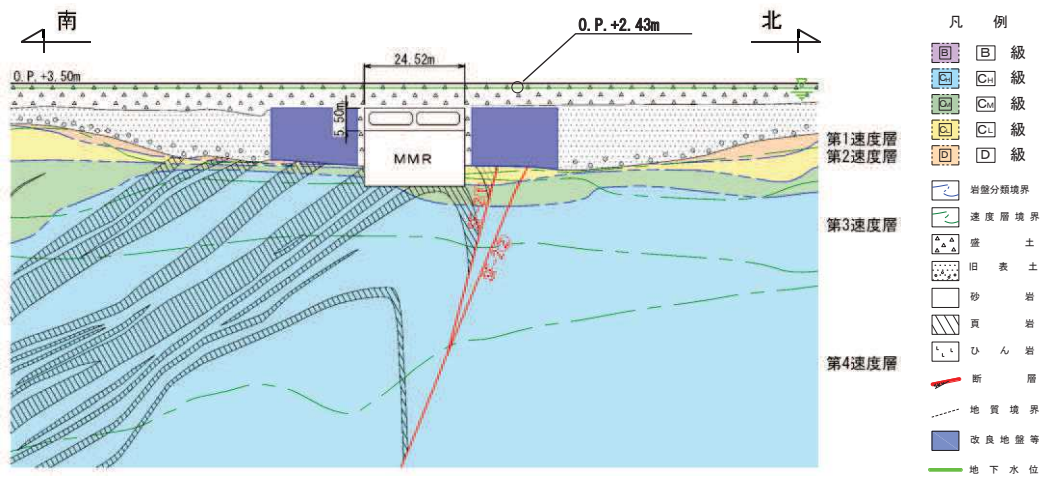


图 3-3 取水口，貯留堰 地震時荷重算出用地質断面図 (B-B 断面，漸縮部)

0 2 ④ VI-2-10-4-3 R 0

3.2 解析方法

取水口，貯留堰の地震応答解析は，添付書類「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設定する。

地震応答解析は，構造物と地盤の相互作用を考慮できる二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（全応力解析）により行う。

構造部材については，頂版，底版及び地震時荷重算出断面に垂直な壁部材は線形はり要素，断面に平行な壁部材は平面応力要素とし，構造物の奥行方向の長さ各部材の奥行方向の長さの比率や三次元構造物モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い，実構造物と等価な剛性となるようモデル化する。また，地盤については，地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については，解析コード「Soil Plus Ver.2015 Build3」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，添付書類「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，線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性及び材料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。

取水口，貯留堰は，MMR を介して岩盤上に設置され，両脇を地盤改良されており，主たる荷重は改良地盤等の土圧となることから，盛土，旧表土，D級岩盤及び改良地盤の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期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を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また，材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより，材料物性のばらつきの影響を考慮する。

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	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土 D級岩盤, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

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

地震時荷重算出断面	α	β
A-A 断面	5.97×10^{-1}	5.03×10^{-4}
B-B 断面	5.46×10^{-1}	5.50×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上とな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②～④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	ケース④
		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	材料物性（コンクリート）に実強度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	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地震動（位相）	$S_s - D 1$	++*1	○	基準地震動 S_s (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上とな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②～④を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。	
		-+*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		-+*1	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005 年 6 月）（以下「土木学会マニュアル」という。）に従い、水平方向の位相反転を考慮する。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。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

取水口、貯留堰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

取水口、貯留堰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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、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 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2 を地表面に考慮)

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、添付書類「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 を一次元重複反射理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、添付書類「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 3-4 に入力地震動算定の概念図を、図 3-5～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「Ark Quake Ver3.10」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

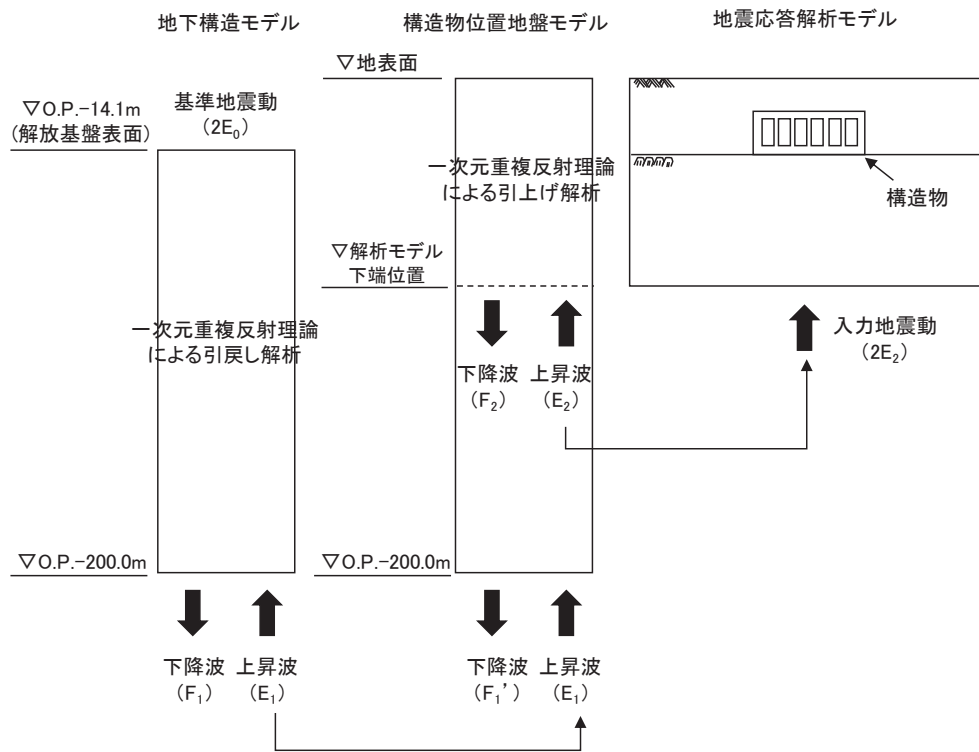
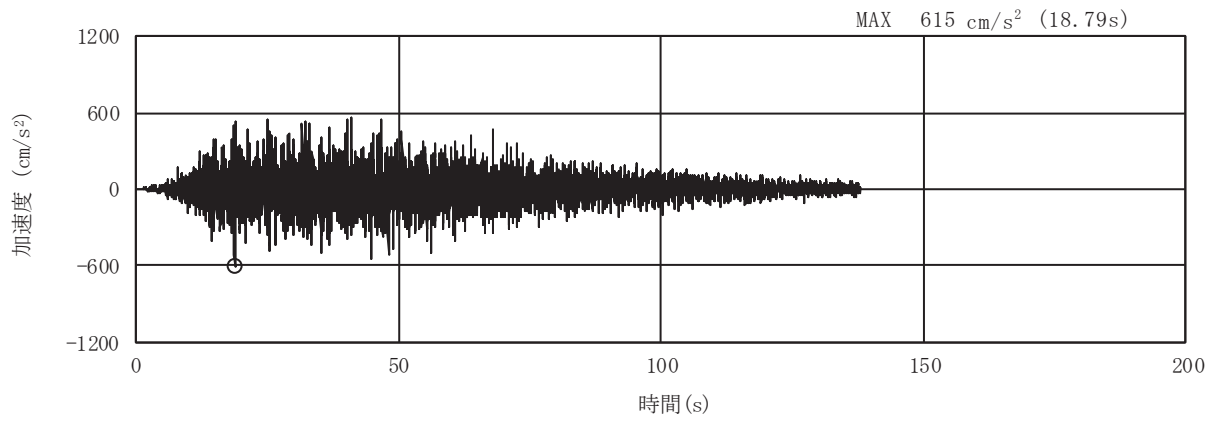
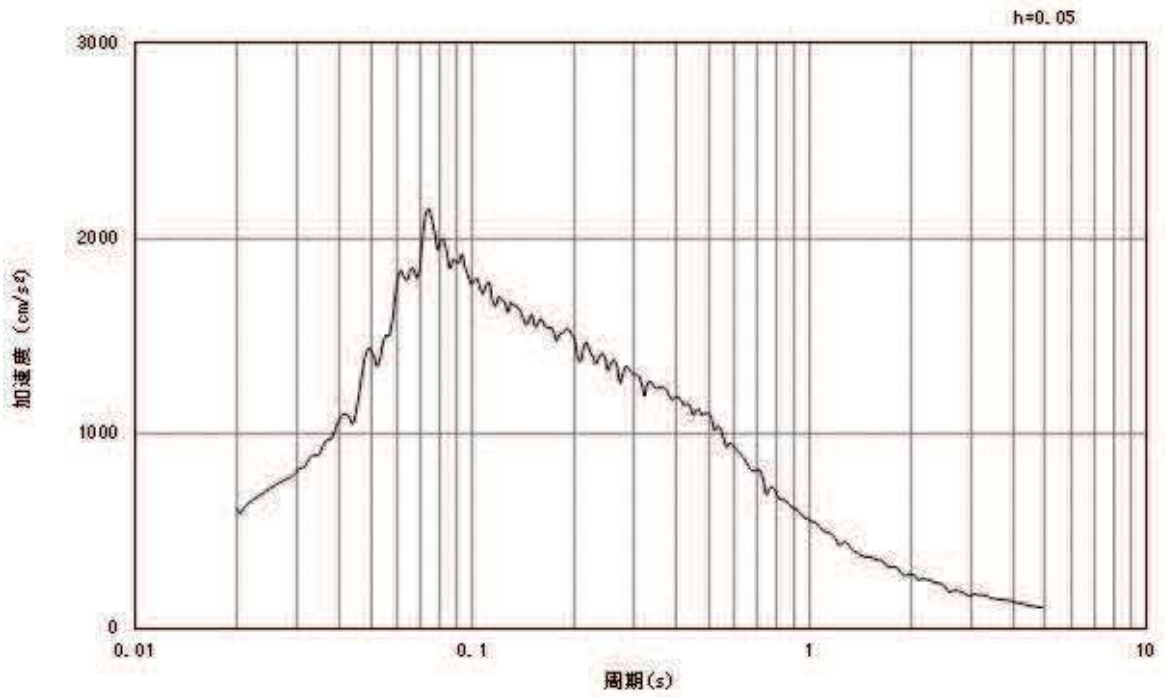


図 3-4 入力地震動算定の概念図

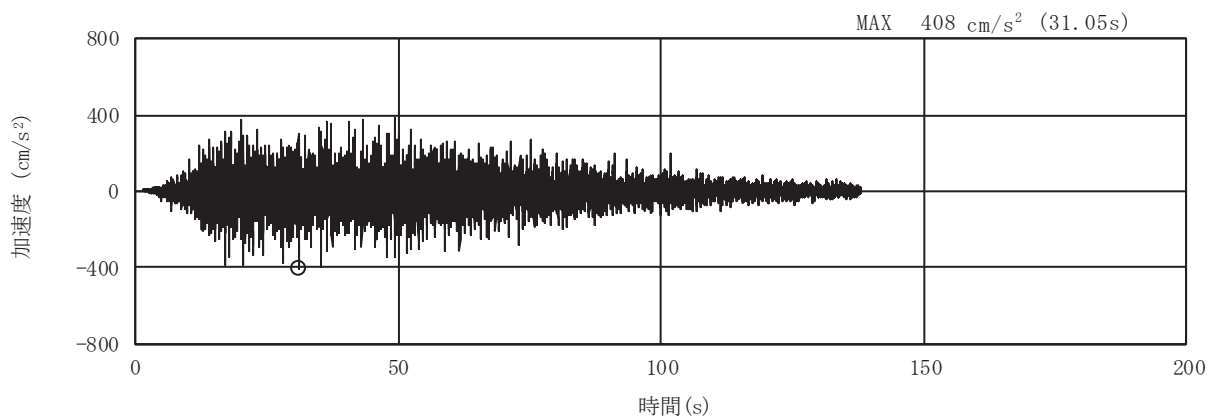


(a) 加速度時刻歴波形

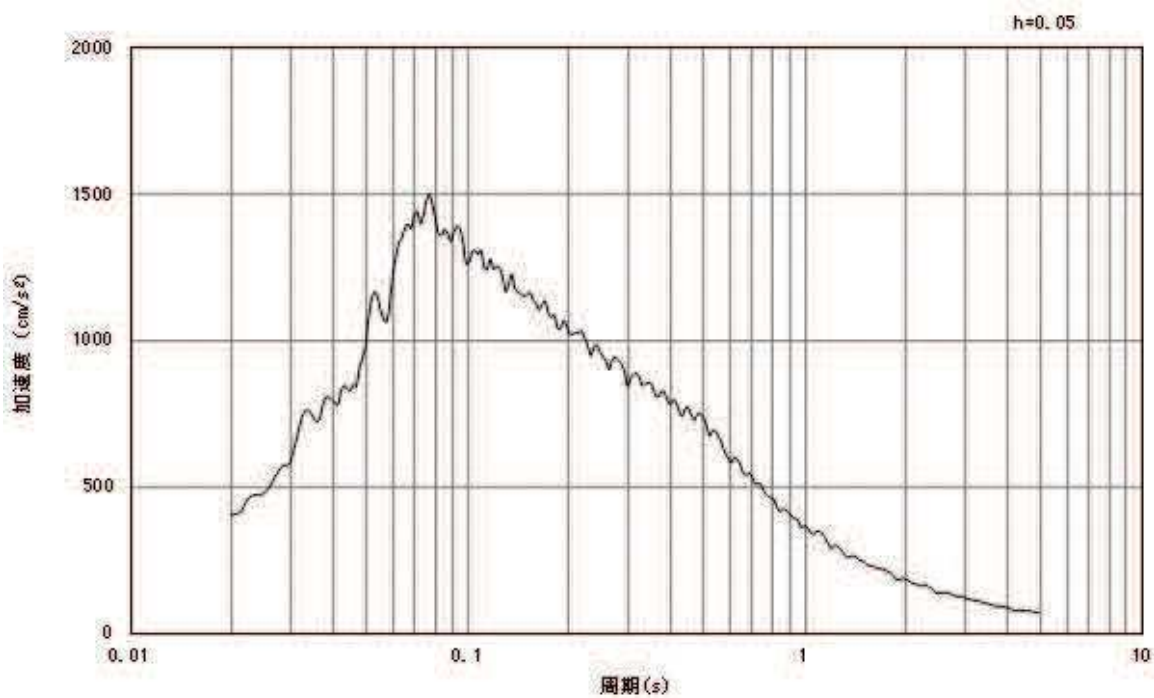


(b) 加速度応答スペクトル

図3-5 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 - D 1)

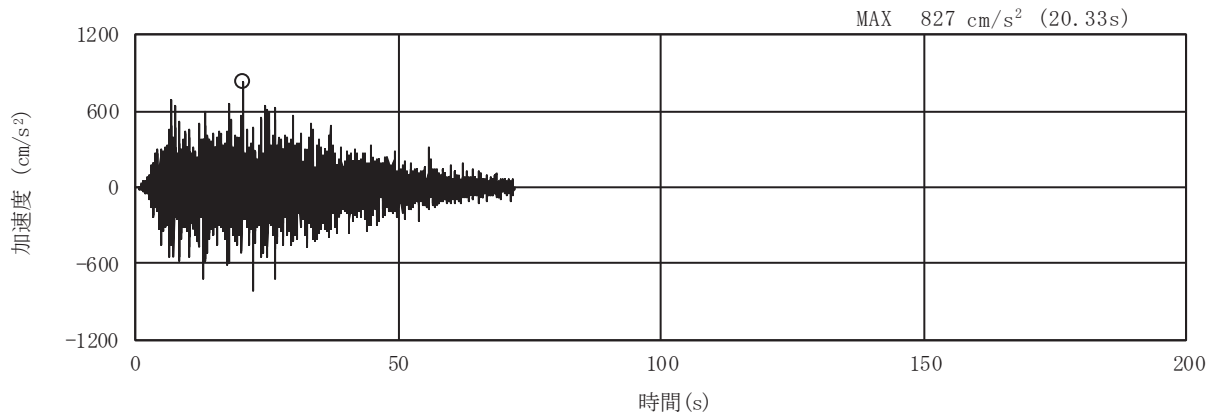


(a) 加速度時刻歴波形

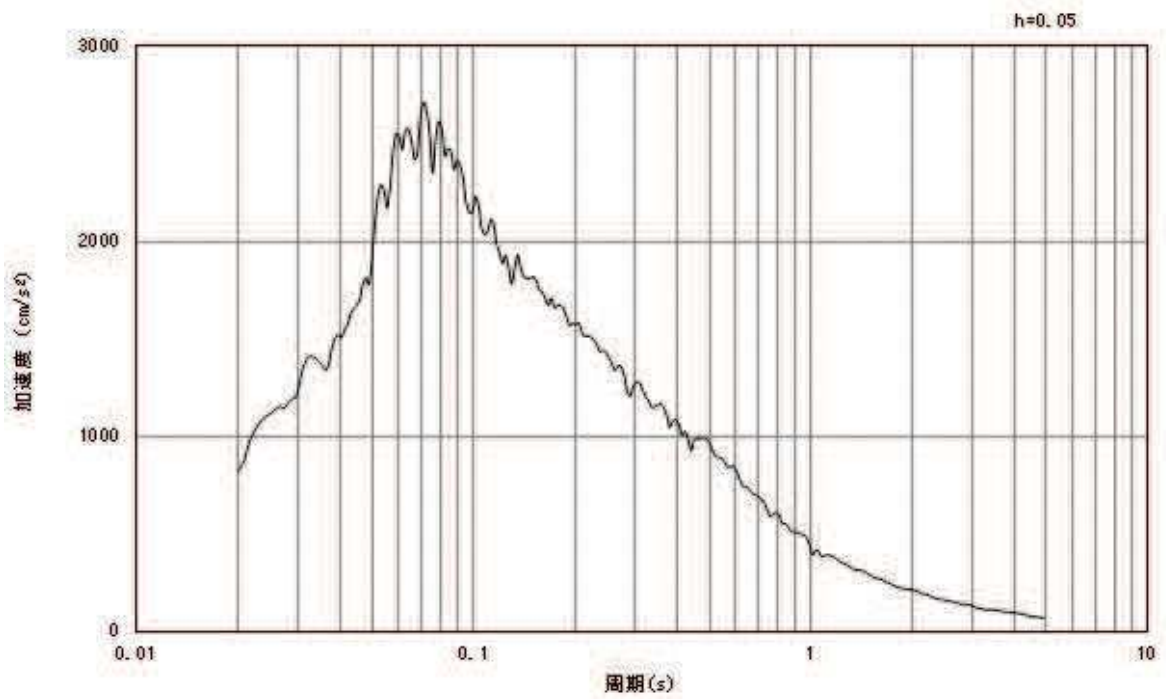


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - D 1)

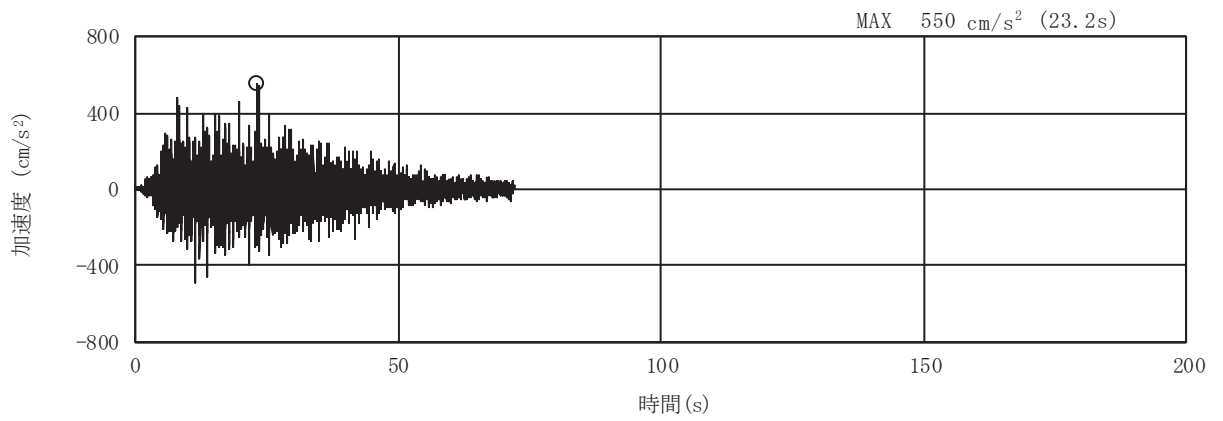


(a) 加速度時刻歴波形

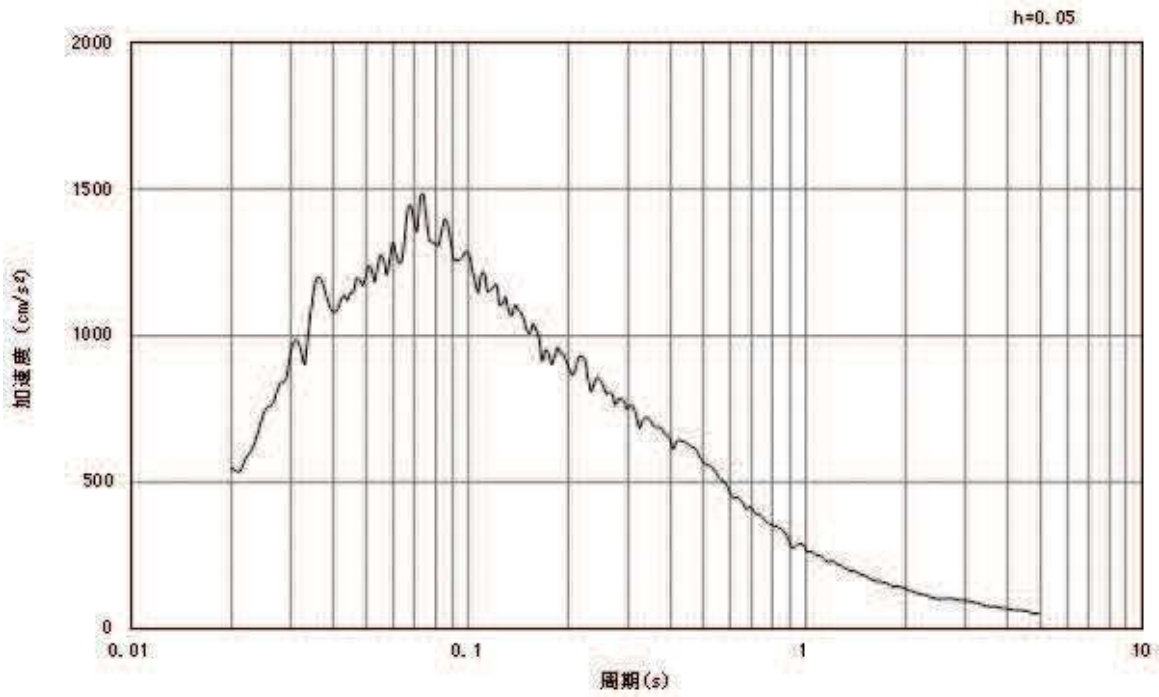


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平成分：S s - D 2)

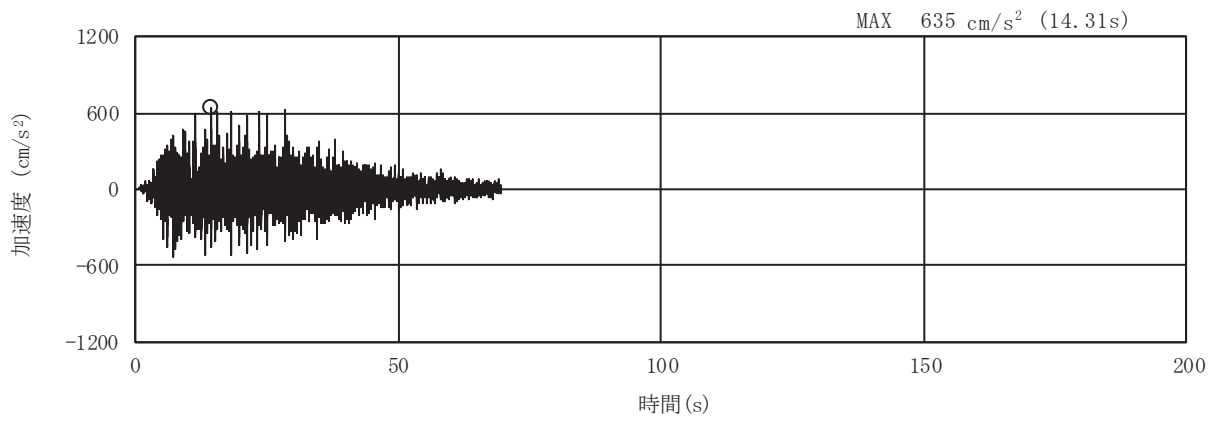


(a) 加速度時刻歴波形

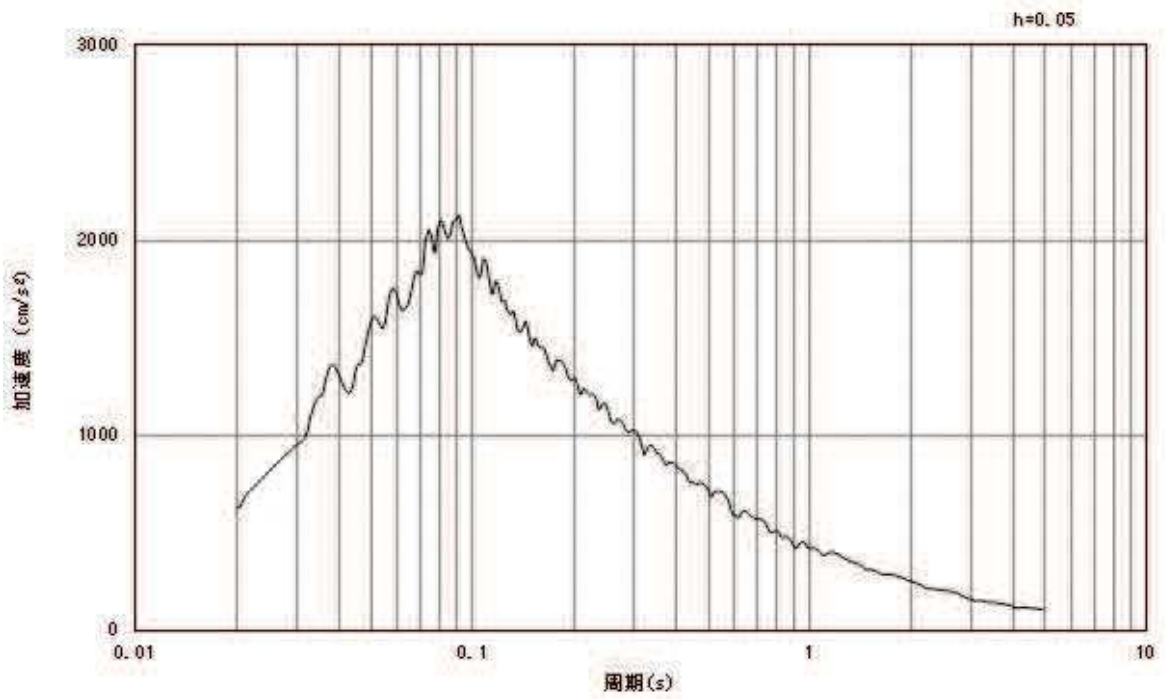


(b) 加速度応答スペクトル

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 2)

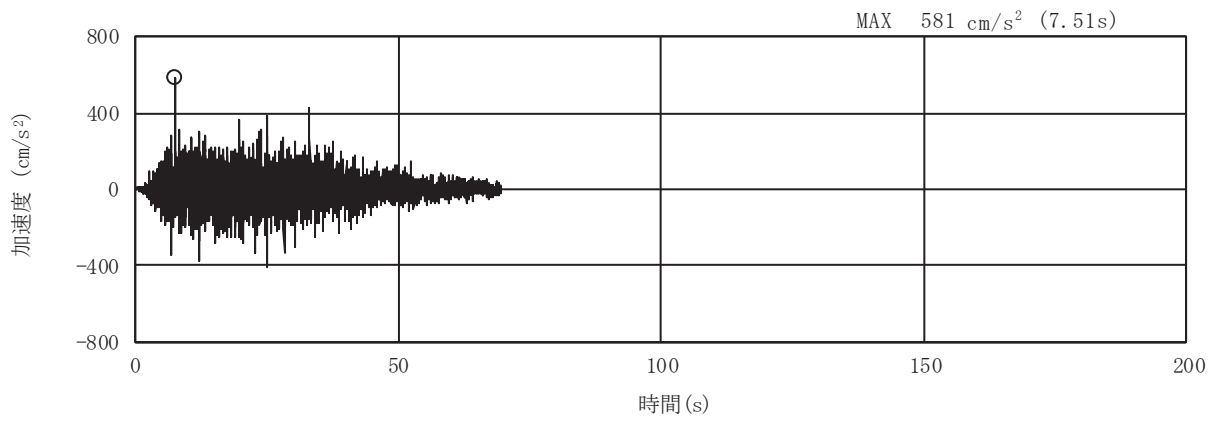


(a) 加速度時刻歴波形

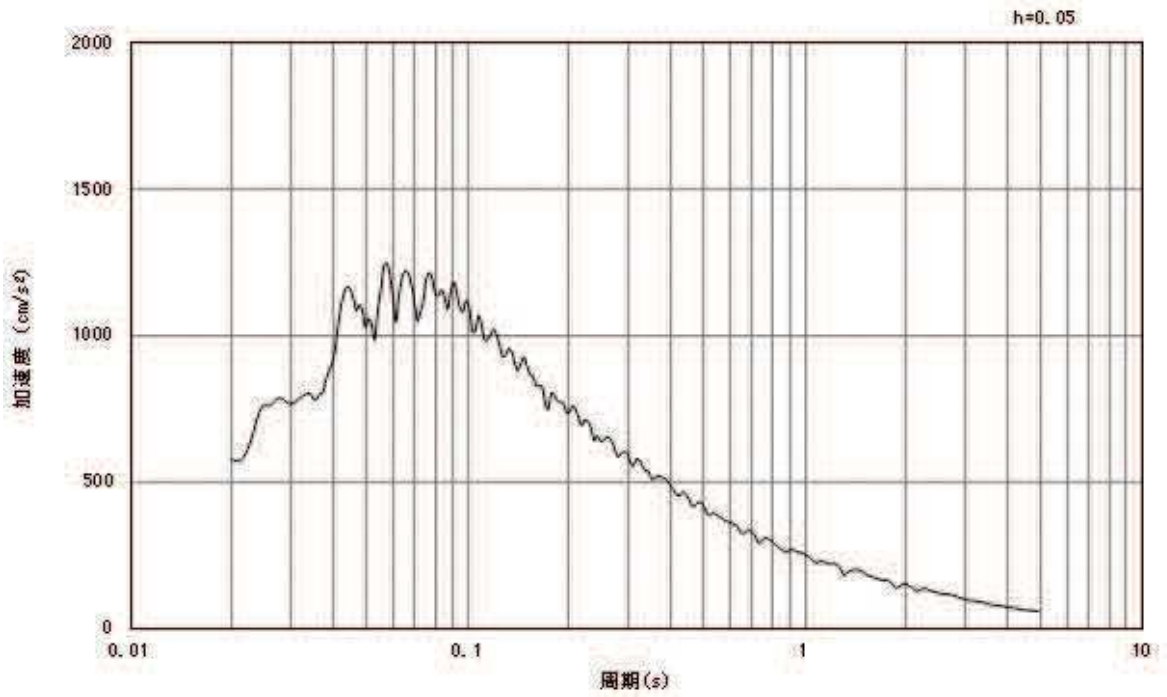


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平成分：S s - D 3)

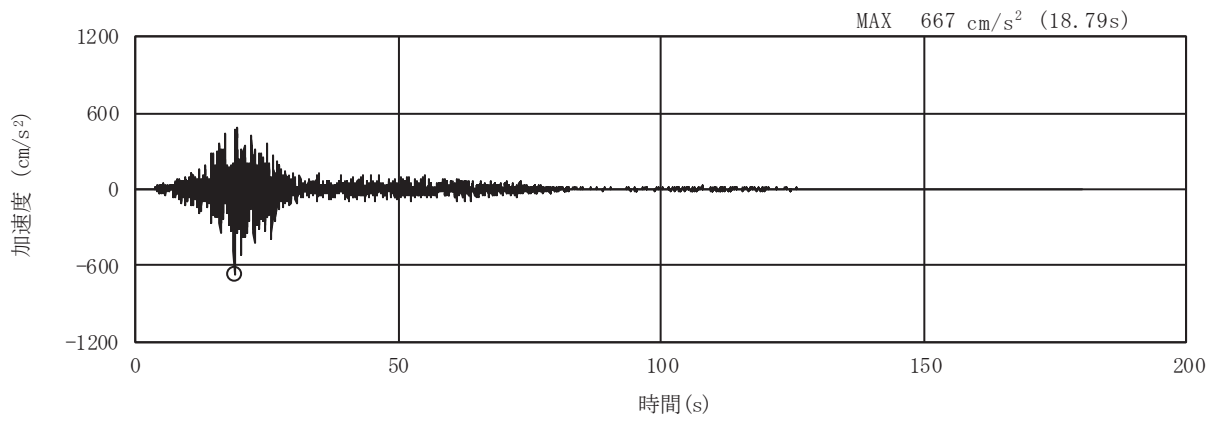


(a) 加速度時刻歴波形

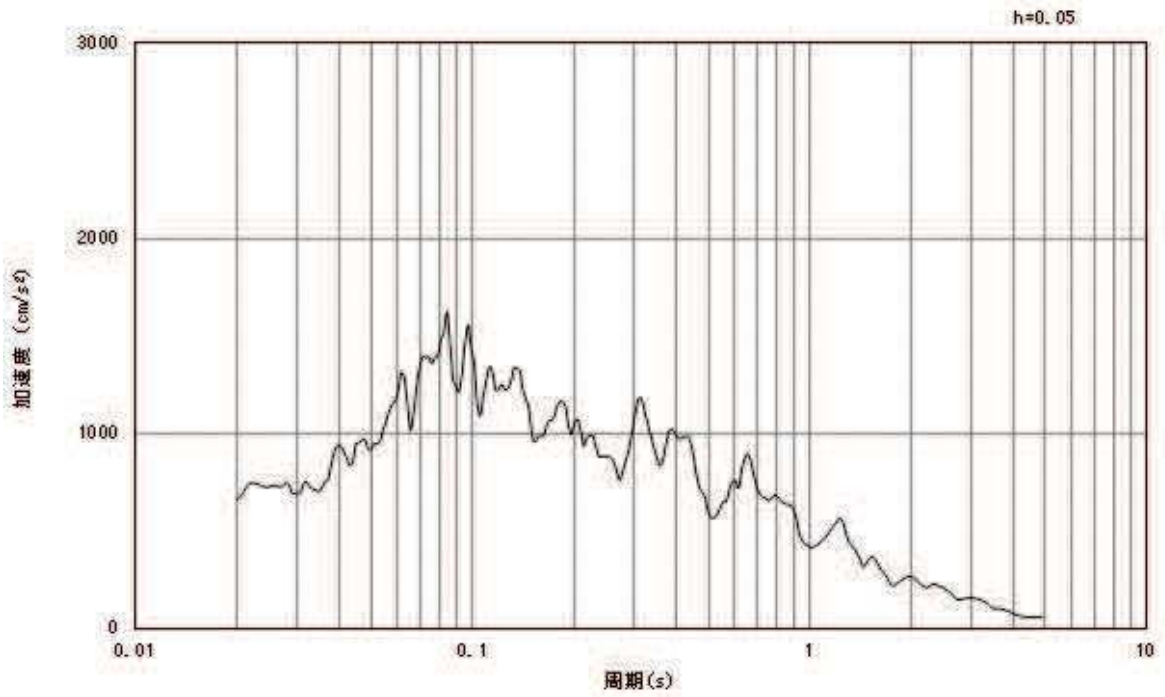


(b) 加速度応答スペクトル

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 3)

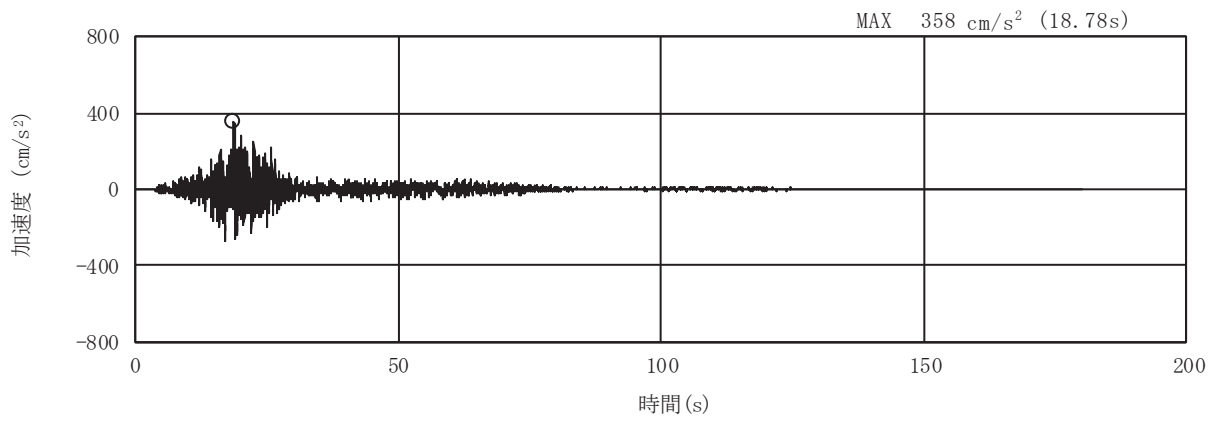


(a) 加速度時刻歴波形

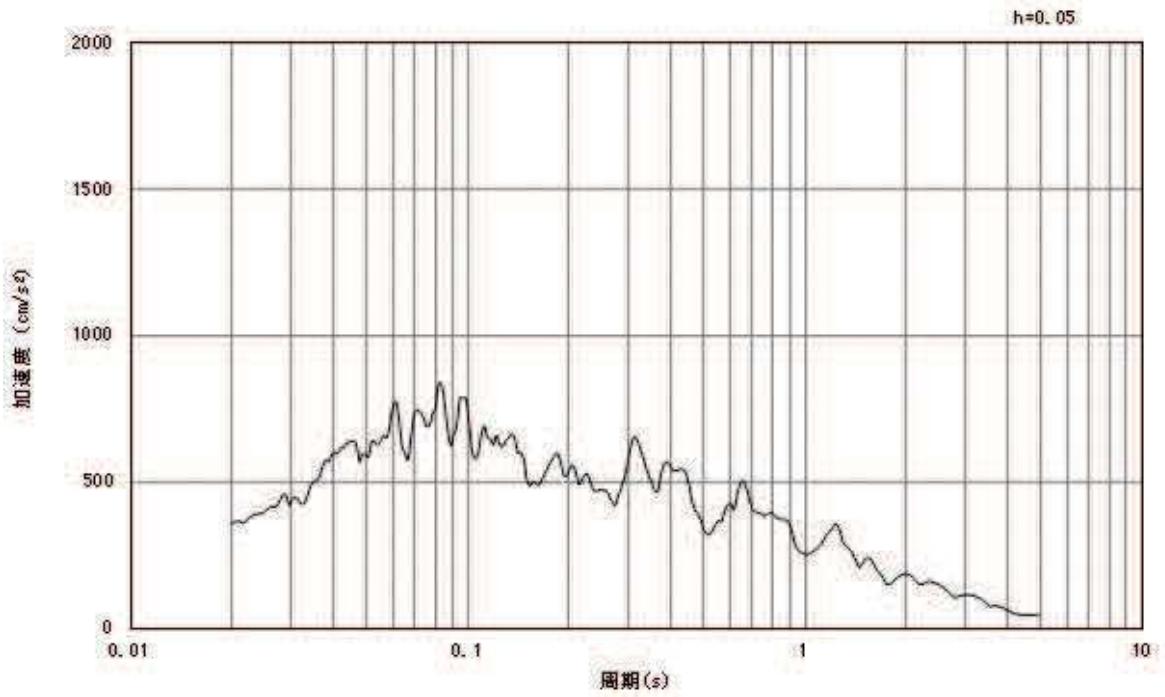


(b) 加速度応答スペクトル

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 1)

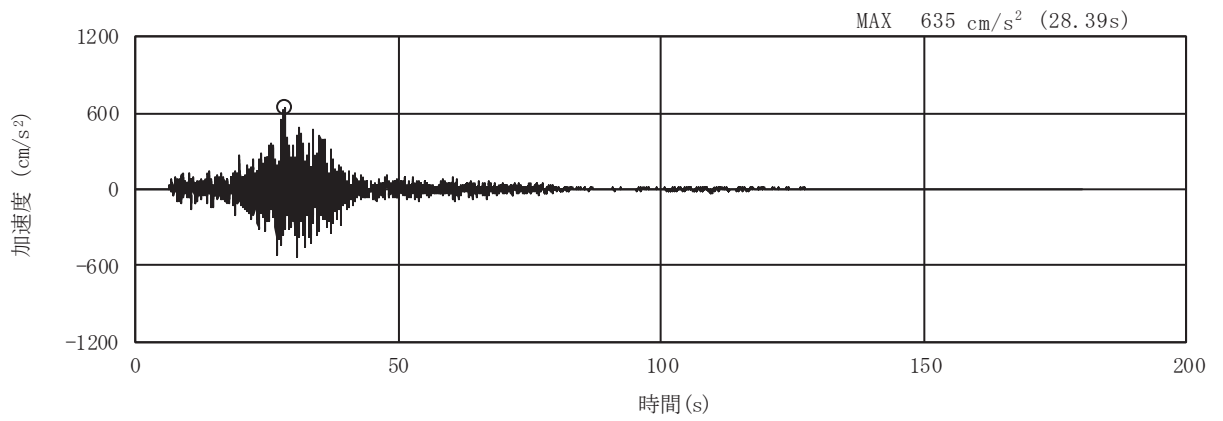


(a) 加速度時刻歴波形

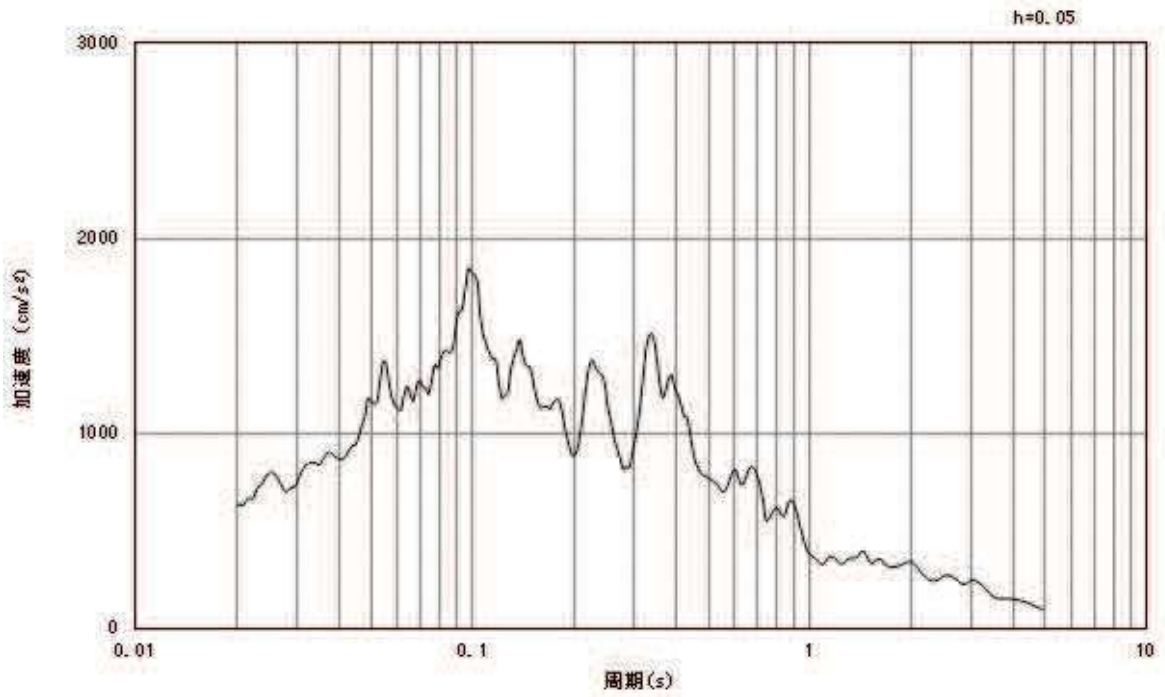


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - F 1)

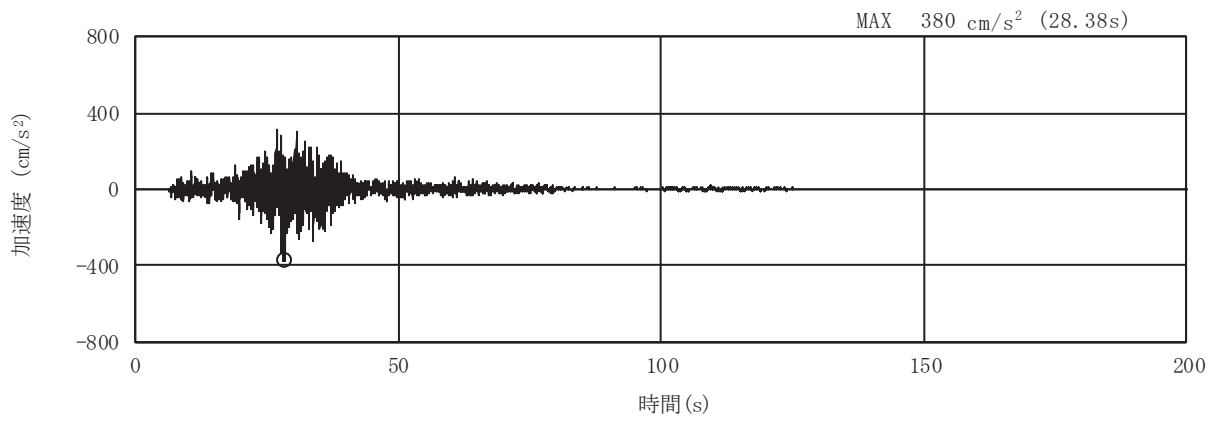


(a) 加速度時刻歴波形

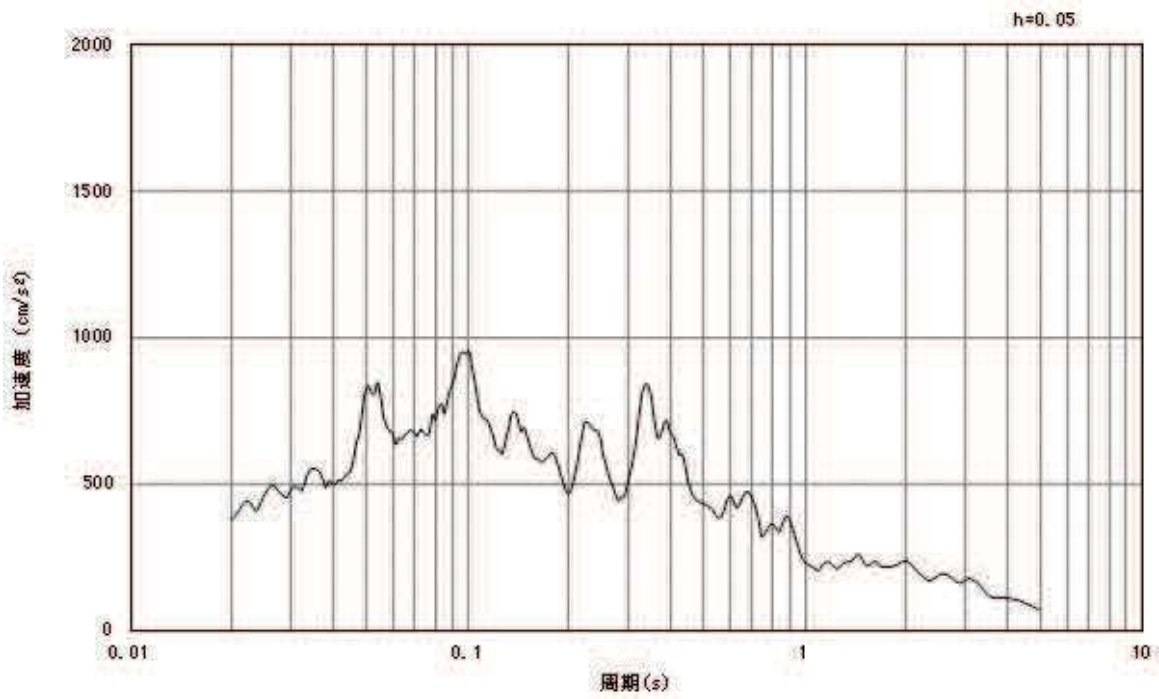


(b) 加速度応答スペクトル

図3-13 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 - F 2)

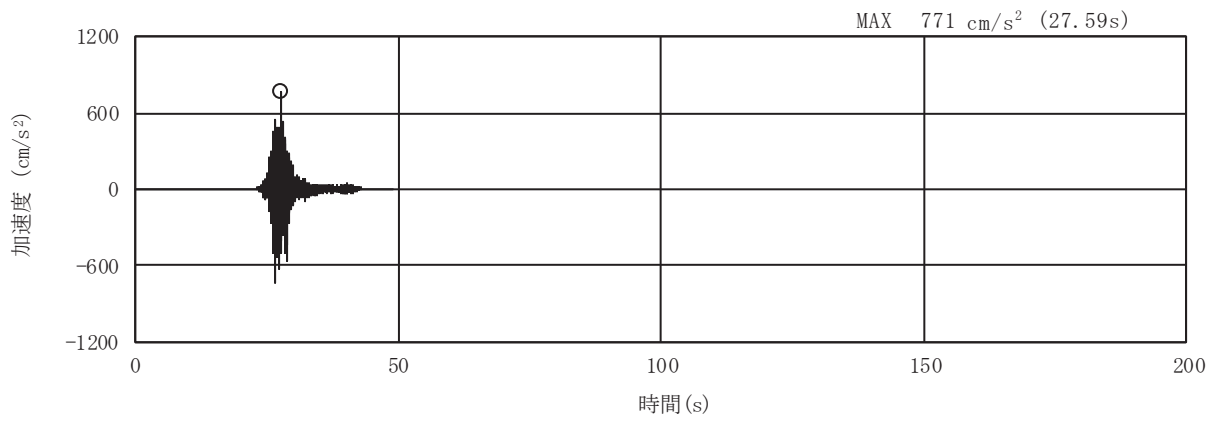


(a) 加速度時刻歴波形

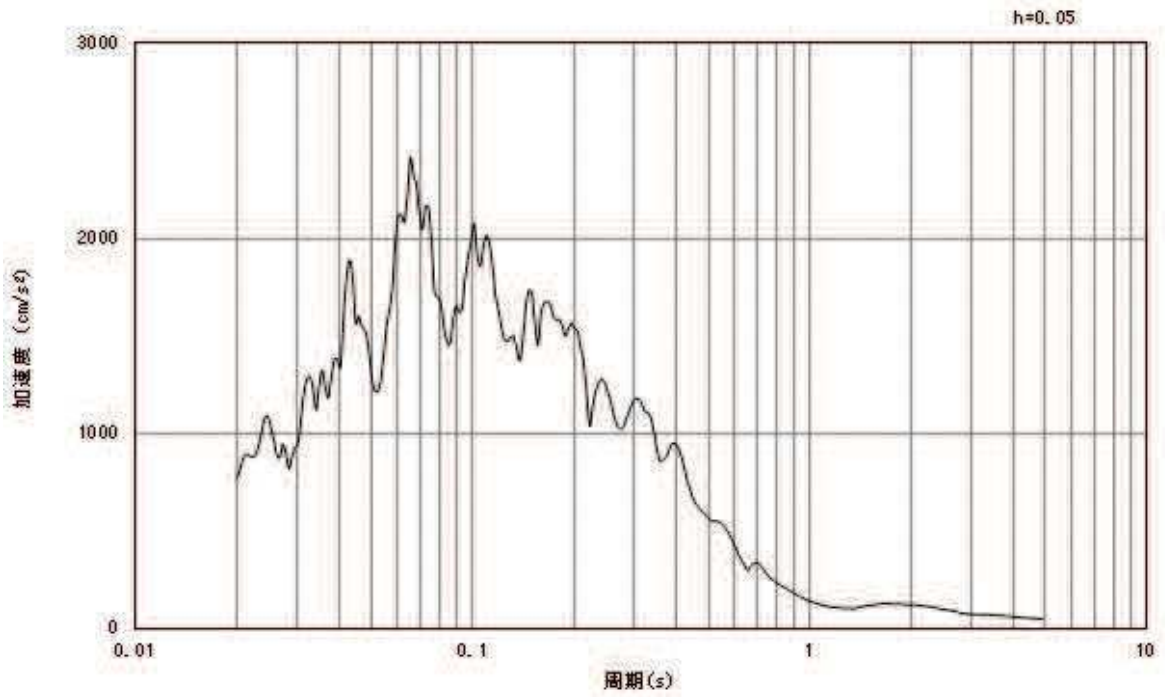


(b) 加速度応答スペクトル

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 - F 2)

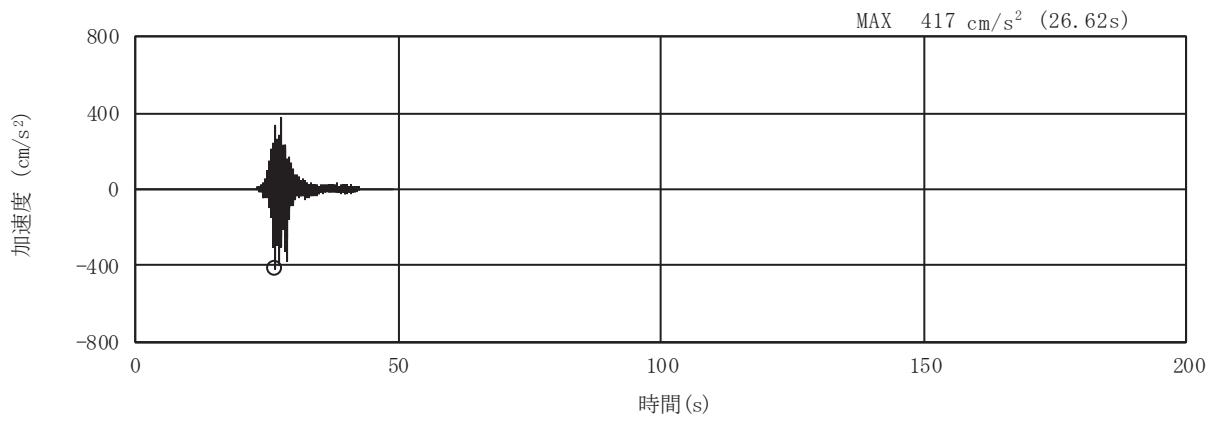


(a) 加速度時刻歴波形

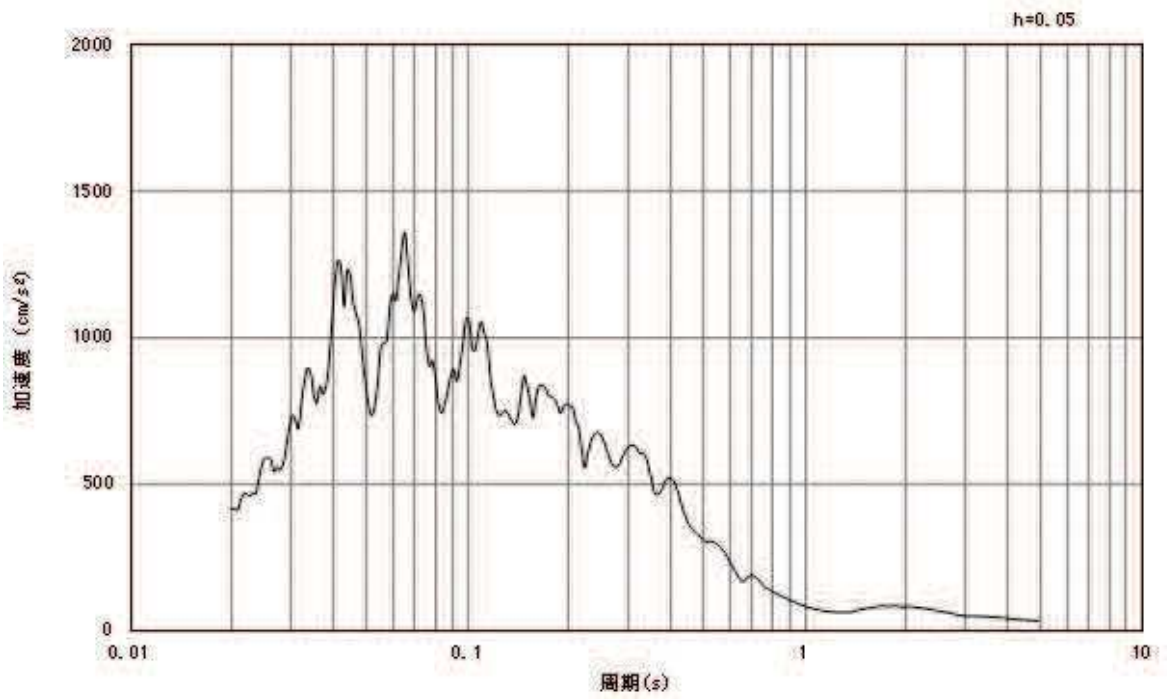


(b) 加速度応答スペクトル

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 - F 3)

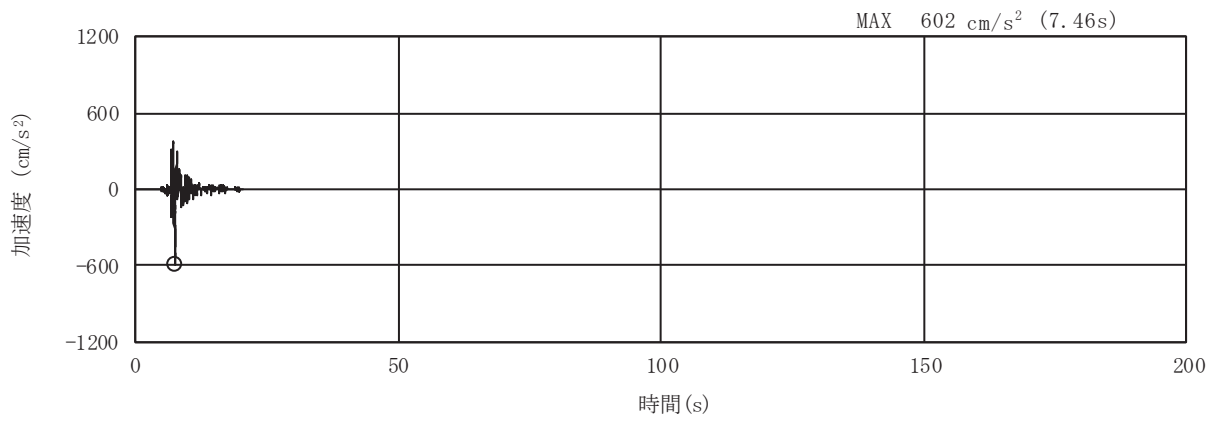


(a) 加速度時刻歴波形

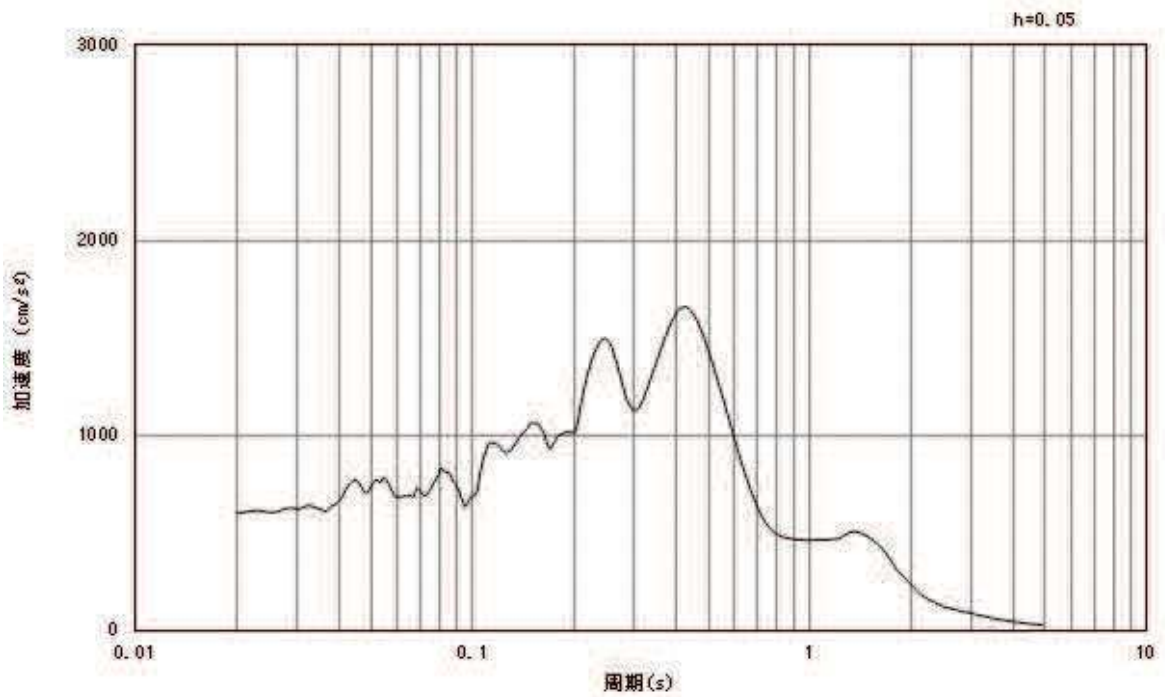


(b) 加速度応答スペクトル

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 - F 3)

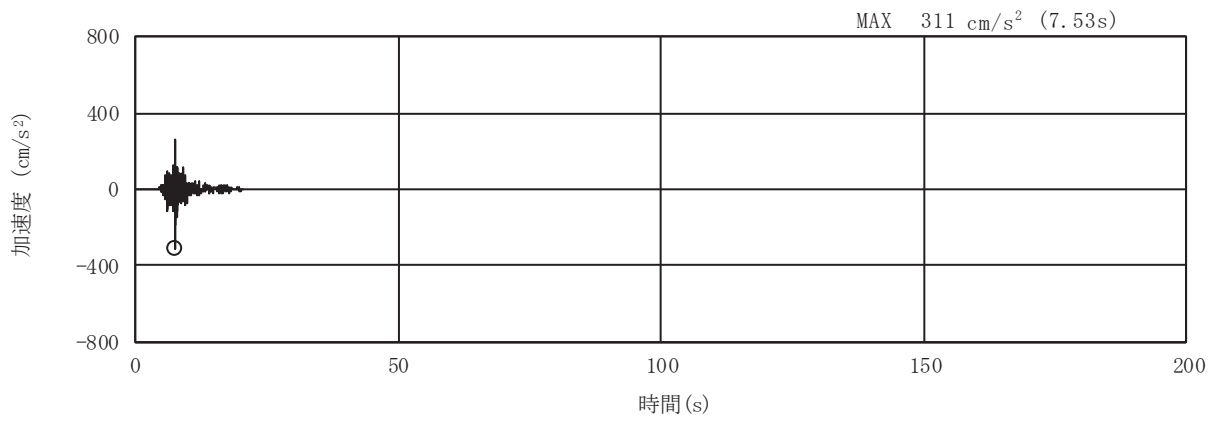


(a) 加速度時刻歴波形

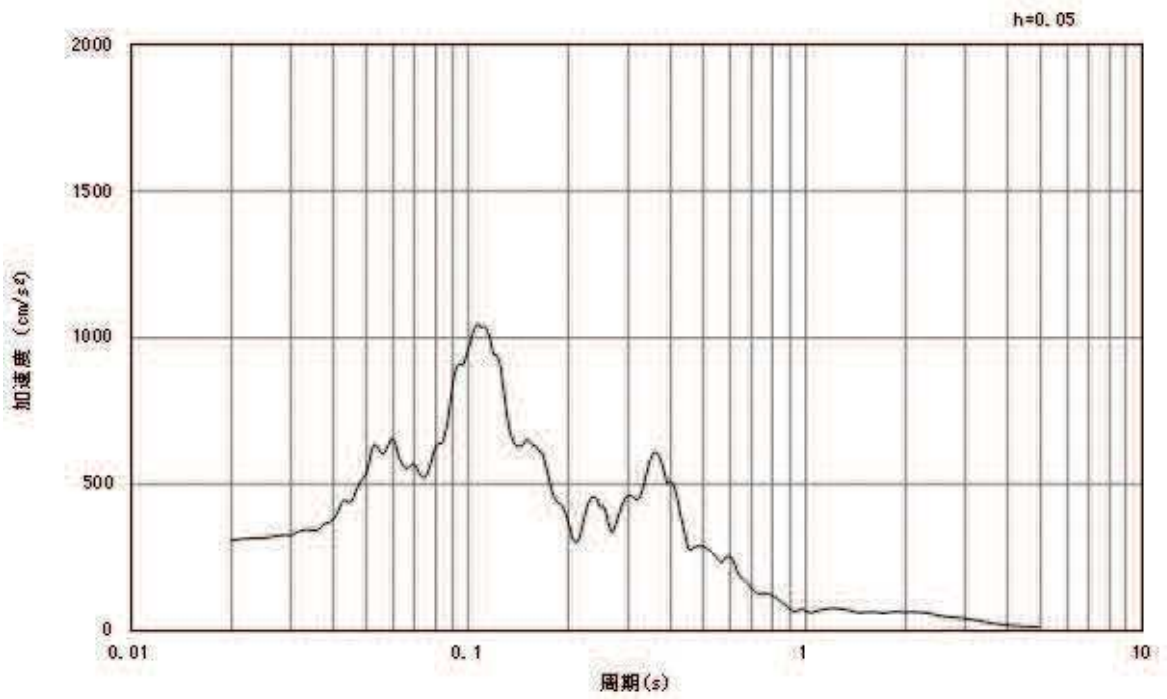


(b) 加速度応答スペクトル

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 1)



(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 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水口、貯留堰の地震応答解析モデルを図 3-19 及び図 3-20 に示す。

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

取水口の標準部と漸縮部の剛性の違いが地震時荷重に影響を及ぼすことから、地震応答解析は、それぞれのエリアで構造物と等価な剛性を有する二次元等価剛性モデルを作成して実施することとし、構造部材については、線形はり要素及び平面応力要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土・旧表土、D級岩盤及び改良地盤は、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) ジョイント要素の設定

地震時の「MMR と構造物」、「盛土及び岩盤と MMR」、「盛土及び岩盤と改良地盤」及び「盛土と構造物」との接合面における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。

(6) 水位条件

内水位は、朔望平均満潮位 (O.P. +2.43m) とする。

地下水位は、添付書類「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。設計用地下水位の一覧を表 3-5 に、設計用地下水位を図 3-21 及び図 3-22 に示す。

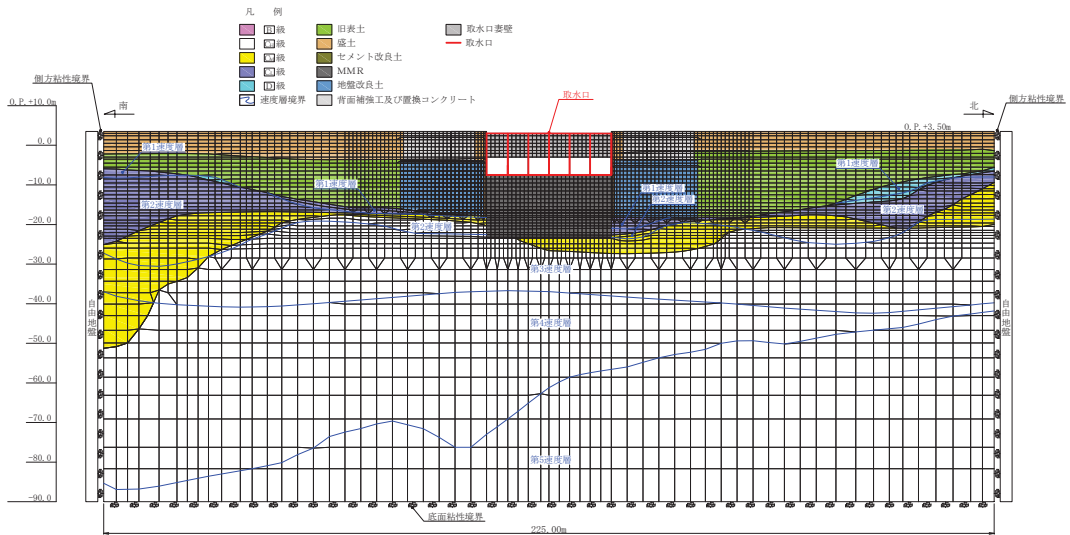


図 3-19 取水口，貯留堰の地震応答解析モデル（標準部）

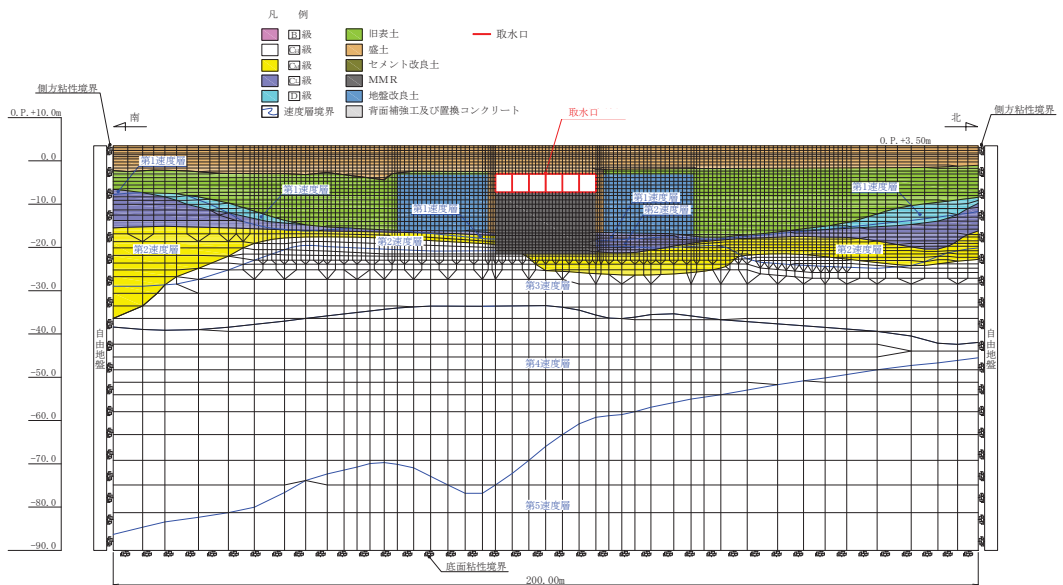


図 3-20 取水口，貯留堰の地震応答解析モデル（漸縮部）

表 3-5 設計用地下水位の一覧

施設名称	地震時荷重算出断面	設計用地下水位
取水口, 貯留堰	A-A断面 (標準部)	0. P. +2. 43m*
	B-B断面 (漸縮部)	0. P. +2. 43m*

注記* : 朔望平均満潮位

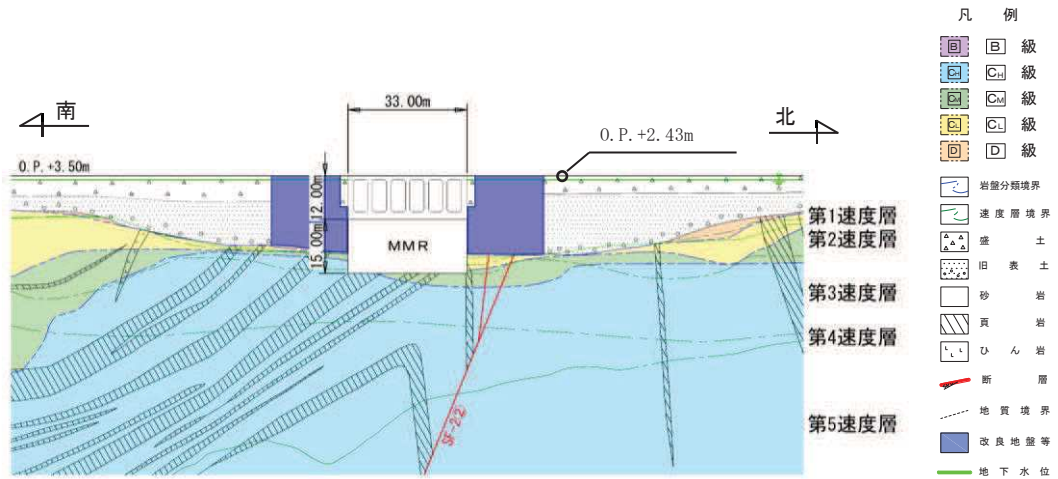


図 3-21 設計用地下水位 (A-A 断面, 標準部)

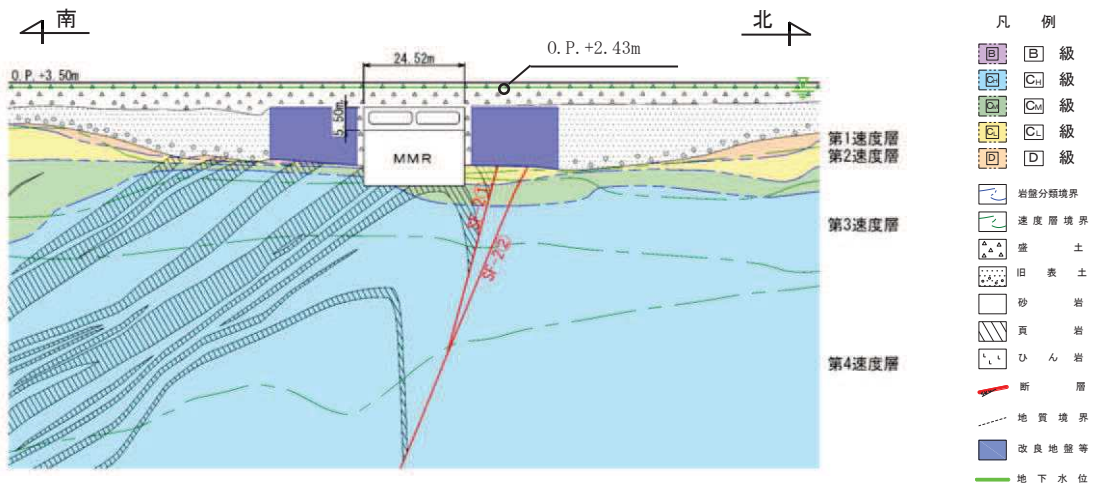


図 3-22 設計用地下水位 (B-B 断面, 漸縮部)

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 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 20.5N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-7 材料の物性値（構造部材）

材料	項目	材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度*	3.06×10 ⁴ 解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 ⁴ 解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比	0.2	

注記*：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

3.6 地震応答解析結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査のうち、照査値が最大となるせん断力照査の地震動・解析ケースにおける作用荷重分布図を図3-23～図3-26に示す。

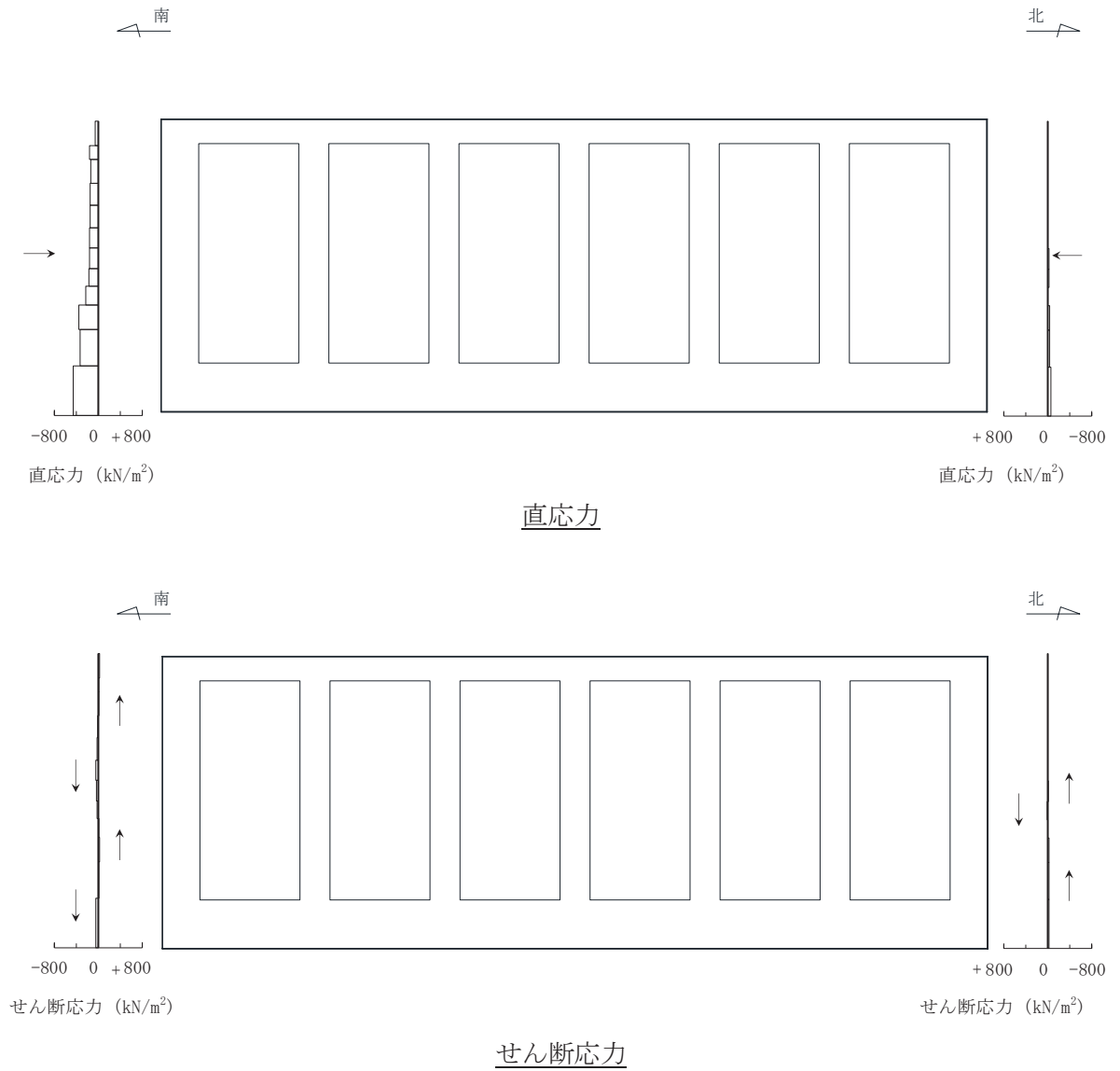


図3-23 作用荷重分布図（直応力及びせん断応力）
 (A-A断面（標準部），解析ケース①，S s - D 2（-+））

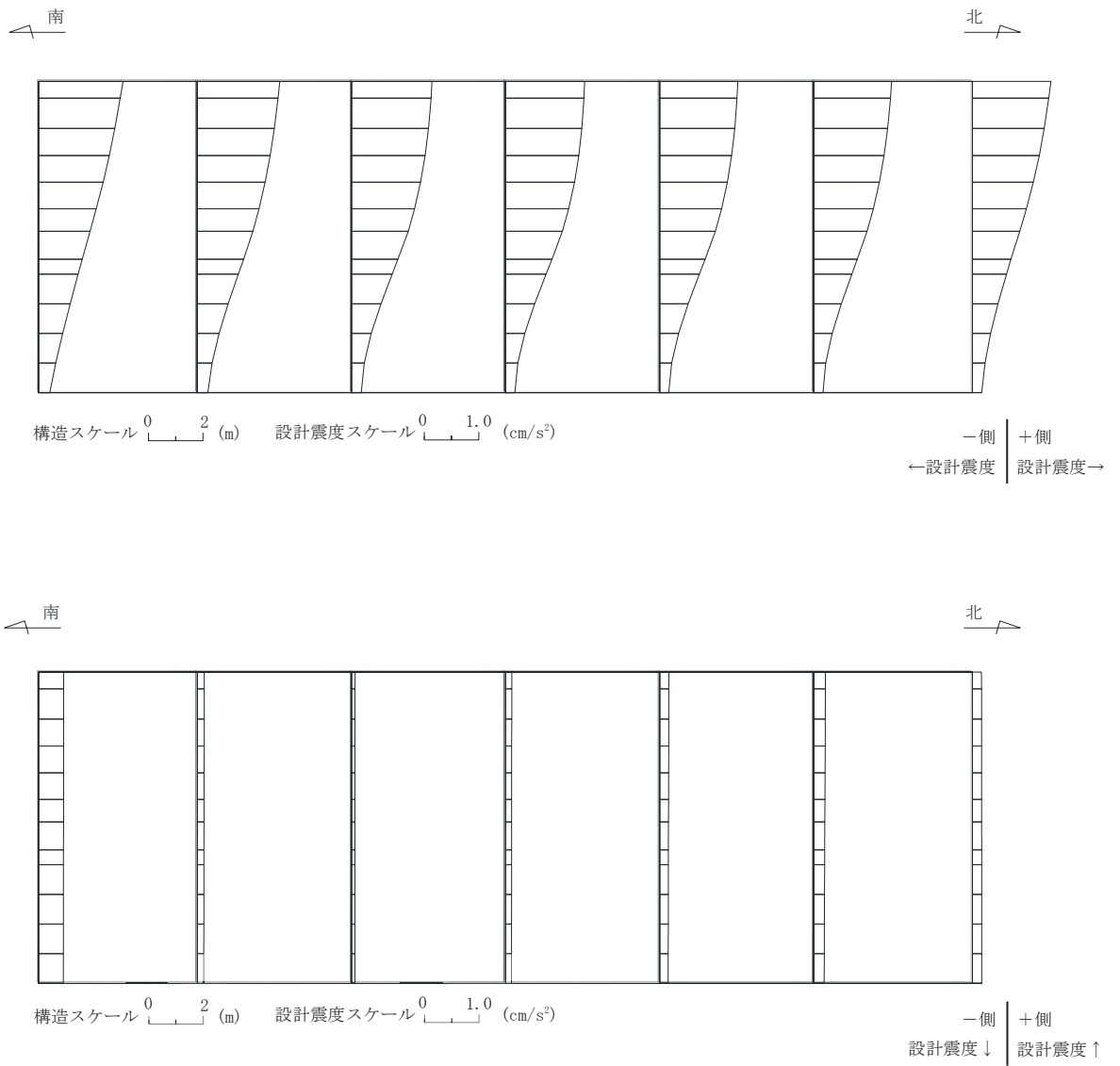


図 3-24 作用荷重分布図（設計震度分布）
 (A-A 断面（標準部），解析ケース①，S s - D 2（-+））

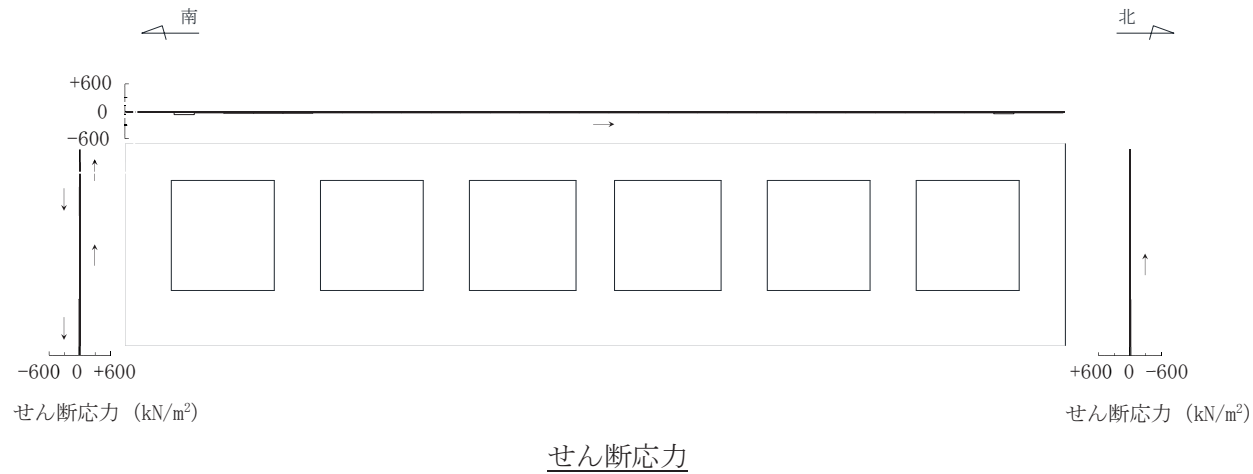
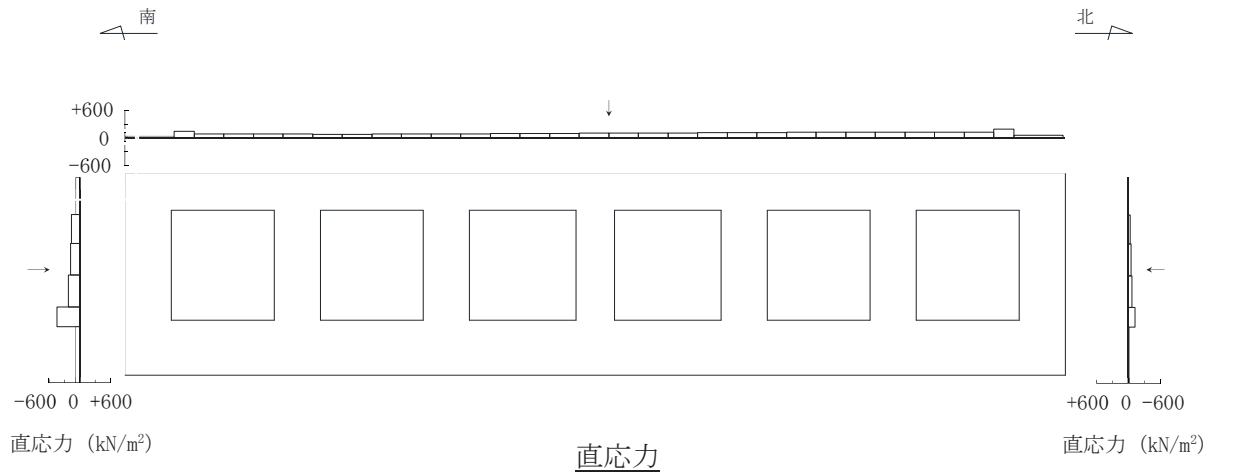


図 3-25 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (B-B 断面 (漸縮部), 解析ケース①, S s - D 2 (-+))

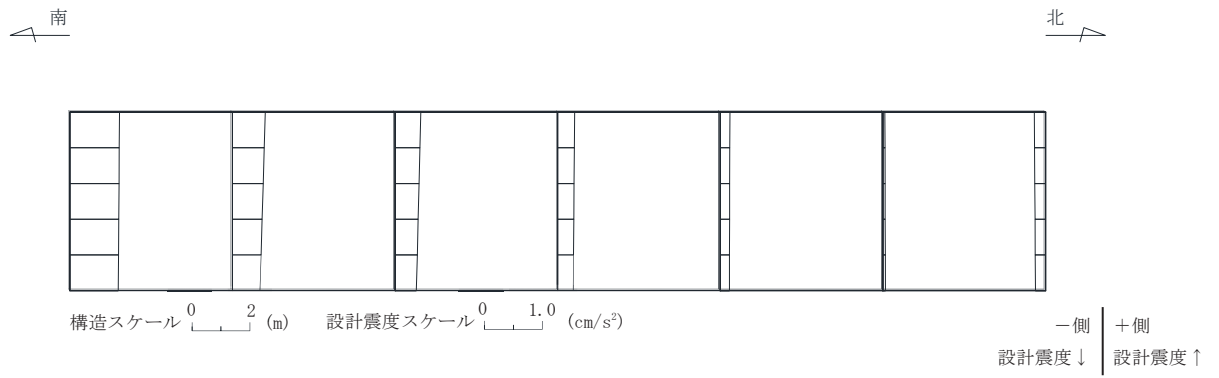
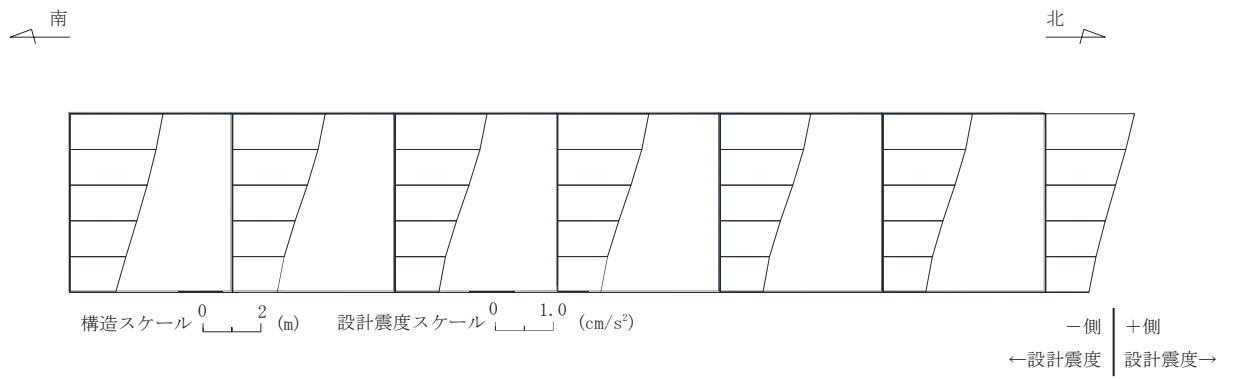


図 3-26 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(B-B 断面 (漸縮部), 解析ケース①, S s - D 2 (-+))

VI-2-10-4-3 R 0

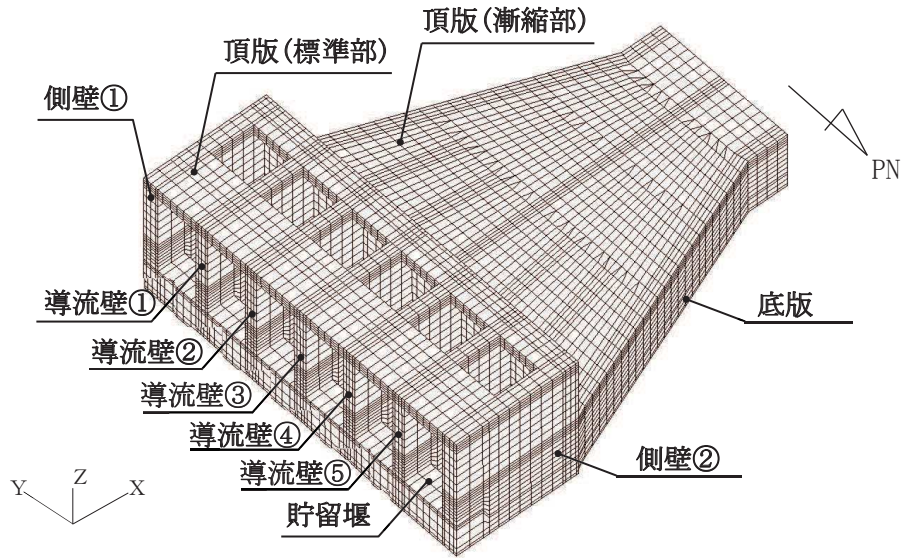
④

0 2

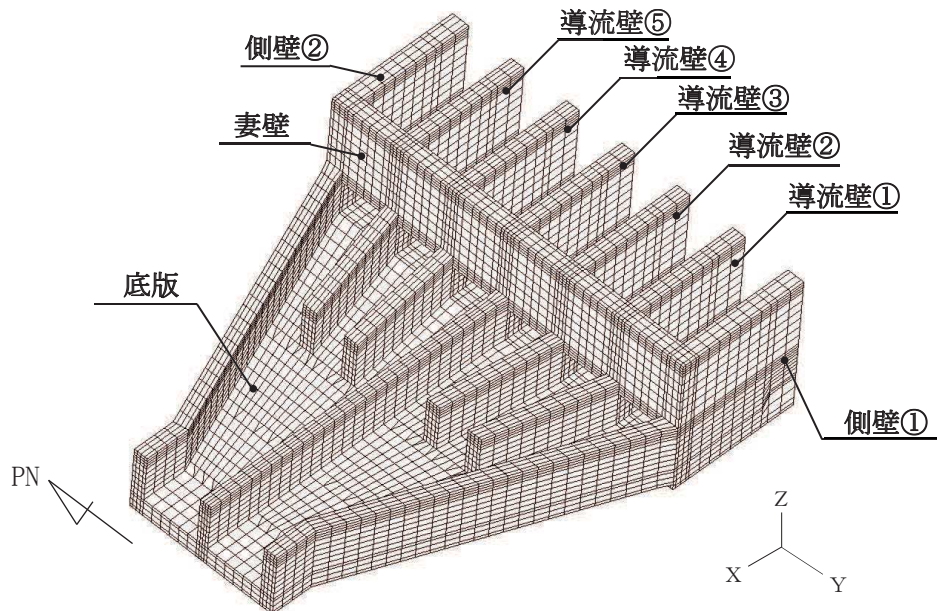
4. 三次元構造解析

4.1 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、取水口を構成する構造部材である頂版（標準部）、頂版（漸縮部）、側壁、導流壁、底版、妻壁、及び取水口と一体構造となっている貯留堰とする。評価対象部材を図4-1に示す。



(a) 鳥瞰図（東側視点）



(b) 鳥瞰図（西側視点：頂板非表示）

図4-1 三次元構造解析の評価対象部材

4.2 解析方法

取水口、貯留堰の三次元構造解析は、「3. 地震応答解析」より得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「COM3 Ver. 9.15」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3 解析モデルの諸元

4.3.1 解析モデル

三次元構造解析モデルの要素座標系を図4-2に、ソリッド要素における各要素の断面力の方向を図4-3に示す。

(1) 構造物のモデル化

構造物は、コンクリート及び鉄筋の非線形特性を考慮した非線形ソリッド要素でモデル化する。構造部材のモデル化にあたっては、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。構造部材（鉄筋コンクリート）の非線形特性を図4-4及び図4-5に示す。

(2) 境界条件

三次元構造解析モデルの底面には、地盤ばね要素を配置する。

赤字:要素座標系

黒字:全体座標系

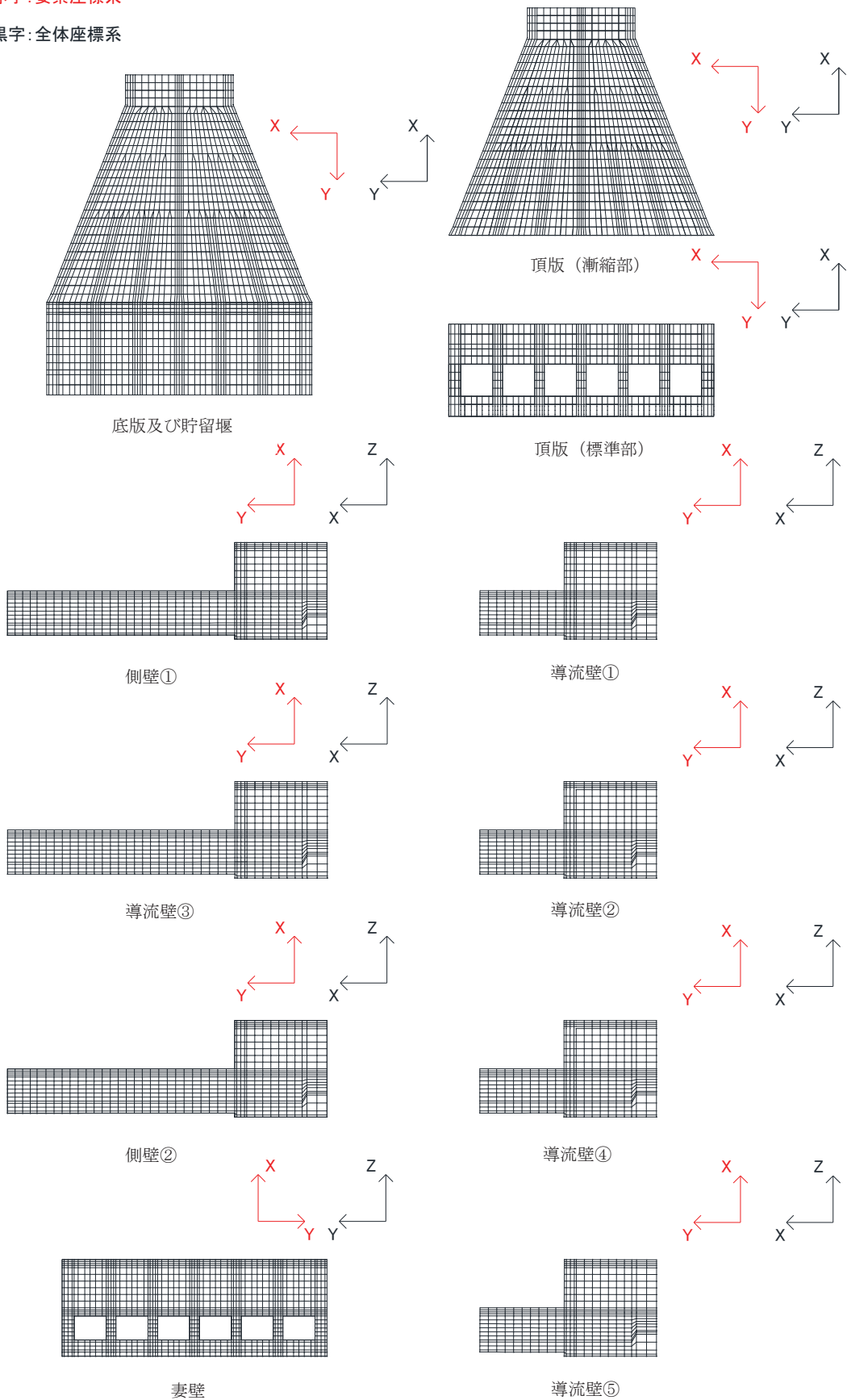
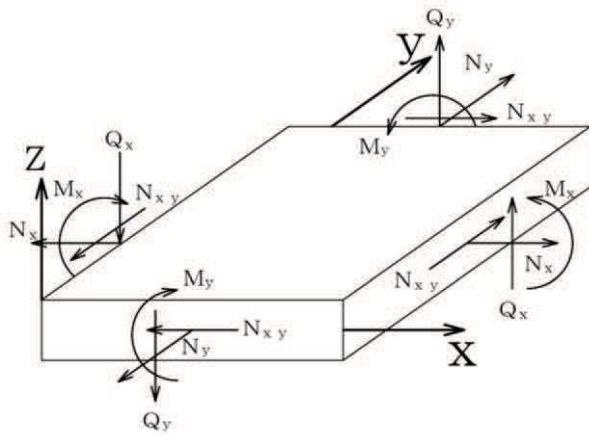


図 4-2 要素座標系



M_x, M_y : 曲げモーメント
 Q_x, Q_y : せん断力
 N_x, N_y : 軸力
 N_{xy} : 面内せん断力

図4-3 ソリッド要素における断面力の方角

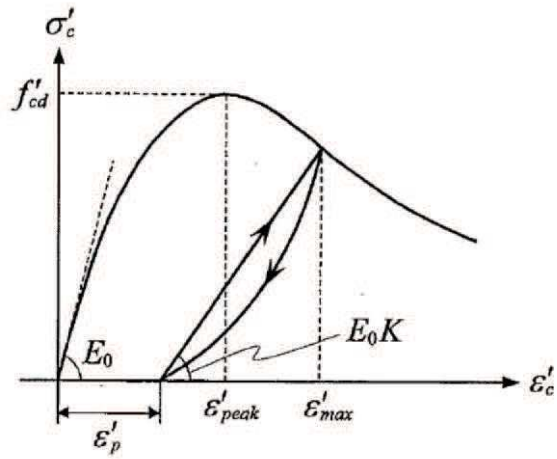


図4-4 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2017年制定）より引用）

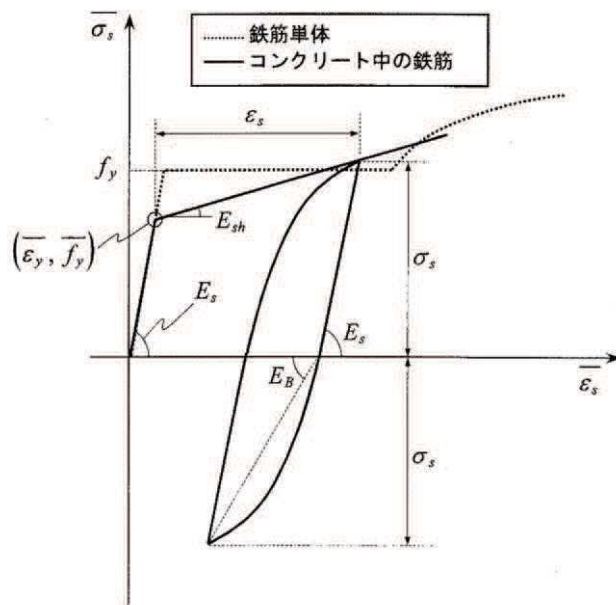


図 4-5 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012 年制定）より引用）

4.3.2 使用材料及び材料の物性値

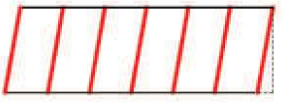
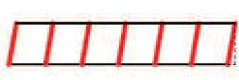
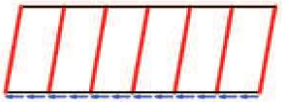

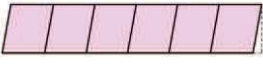
取水口，貯留堰の使用材料及び材料の物性値は，「3.5.2 使用材料及び材料の物性値」に基づき設定する。

4.4 照査時刻及び入力荷重

4.4.1 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。表4-1に照査時刻の選定の考え方を示す。

表4-1 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		標準部の構造物上端と下端の層間変位が最大となる時刻
時刻2		壁 (面外)		漸縮部の構造物上端と下端の層間変位が最大となる時刻
時刻3	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		標準部の総水平荷重が最大となる時刻
時刻4		壁 (面外)		漸縮部の総水平荷重が最大となる時刻
時刻5	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		妻壁の層間変位が最大となる時刻

4.4.2 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、地震応答解析に基づく「4.4.1 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表4-2及び表4-3に示す。

表4-2 三次元構造解析における入力荷重（標準部）

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重
	常時土圧	躯体に作用する常時土圧
	内水圧	躯体に作用する静水圧
	外水圧	躯体に作用する静水圧
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	動水圧（内水）	躯体に作用する動水圧*
	地震時土圧	躯体に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体に作用する地震時水圧

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した側壁及び導流壁の応答加速度に基づき算定する。

表4-3 三次元構造解析における入力荷重（漸縮部）

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重
	常時土圧	躯体に作用する常時土圧
	内水圧	躯体に作用する静水圧
	外水圧	躯体に作用する静水圧
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	動水圧（内水）	躯体に作用する動水圧*
	地震時土圧	躯体に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体に作用する地震時水圧

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した側壁及び導流壁の応答加速度に基づき算定する。

4.5 三次元構造解析結果

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻でのひずみ分布を図 4-6～図 4-8 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 4-9～図 4-14 に示す。

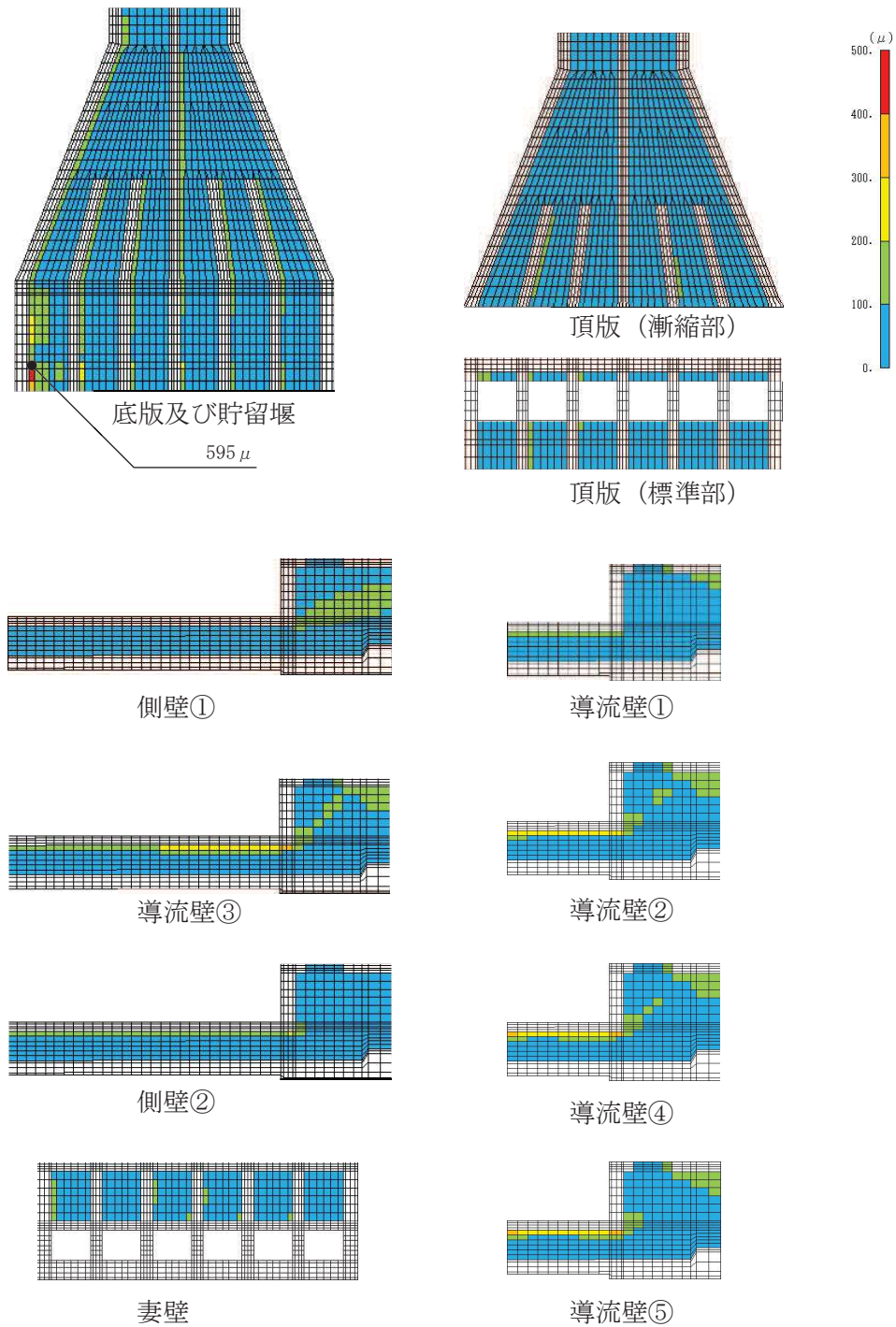


図 4-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮縁ひずみ)
 (貯留堰, 解析ケース③, S s - D 2 (-+))

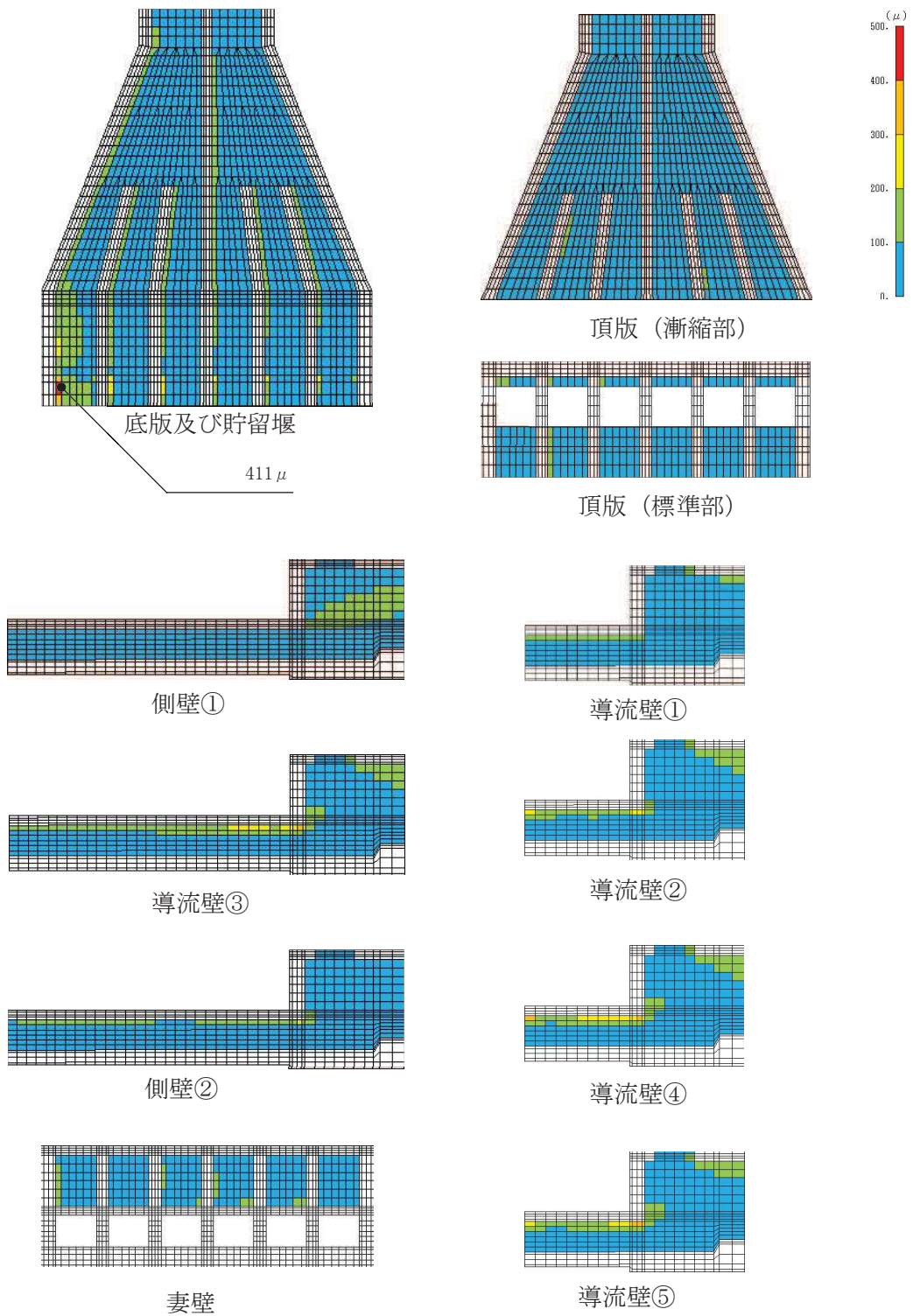


図 4-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮ひずみ)
 (貯留堰, 解析ケース③, S s - D 2 (-+))

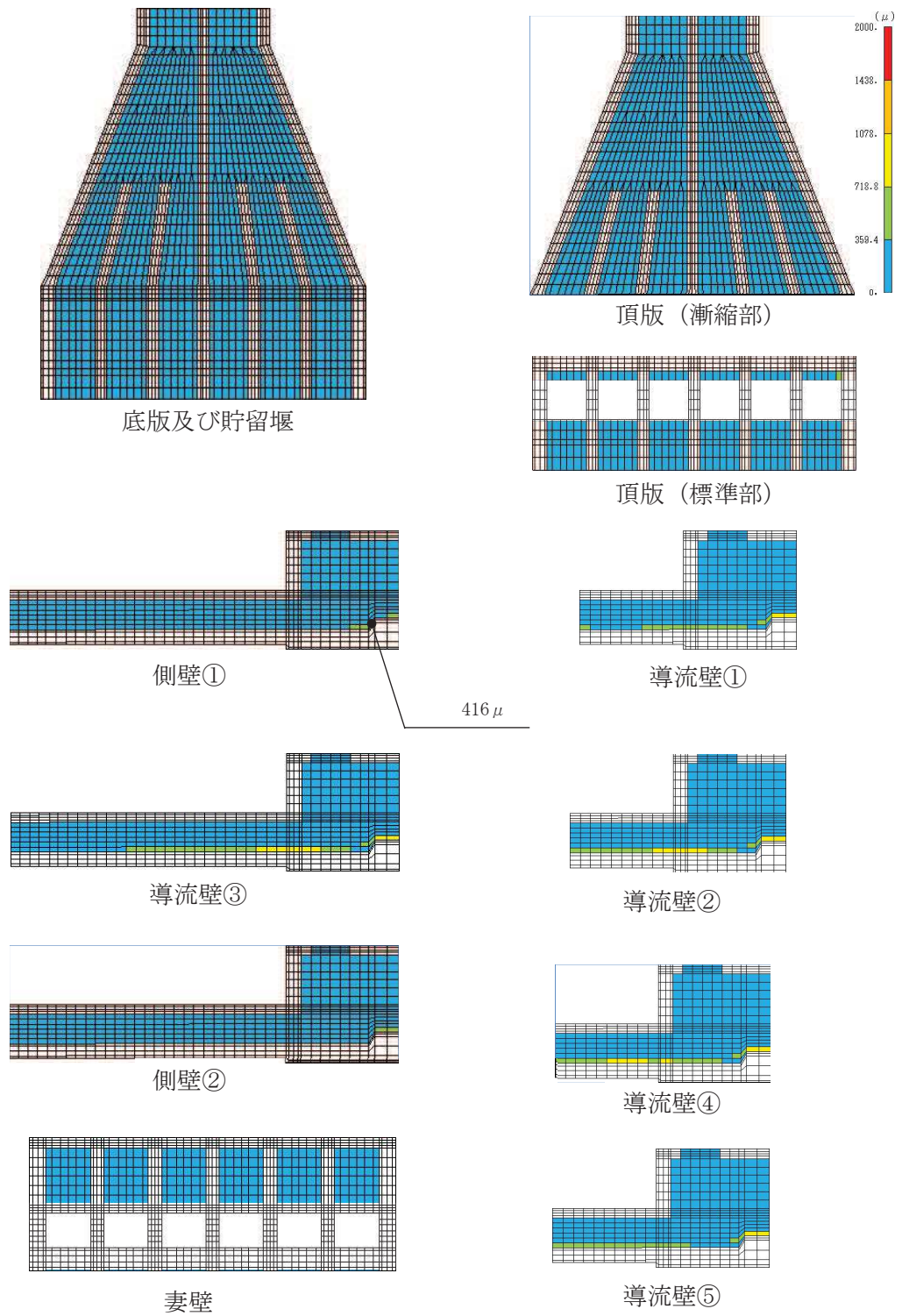


図 4-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値最大時のひずみ分布図（鉄筋）
 （側壁，解析ケース③， $S_s - D 2 (-+)$ ）

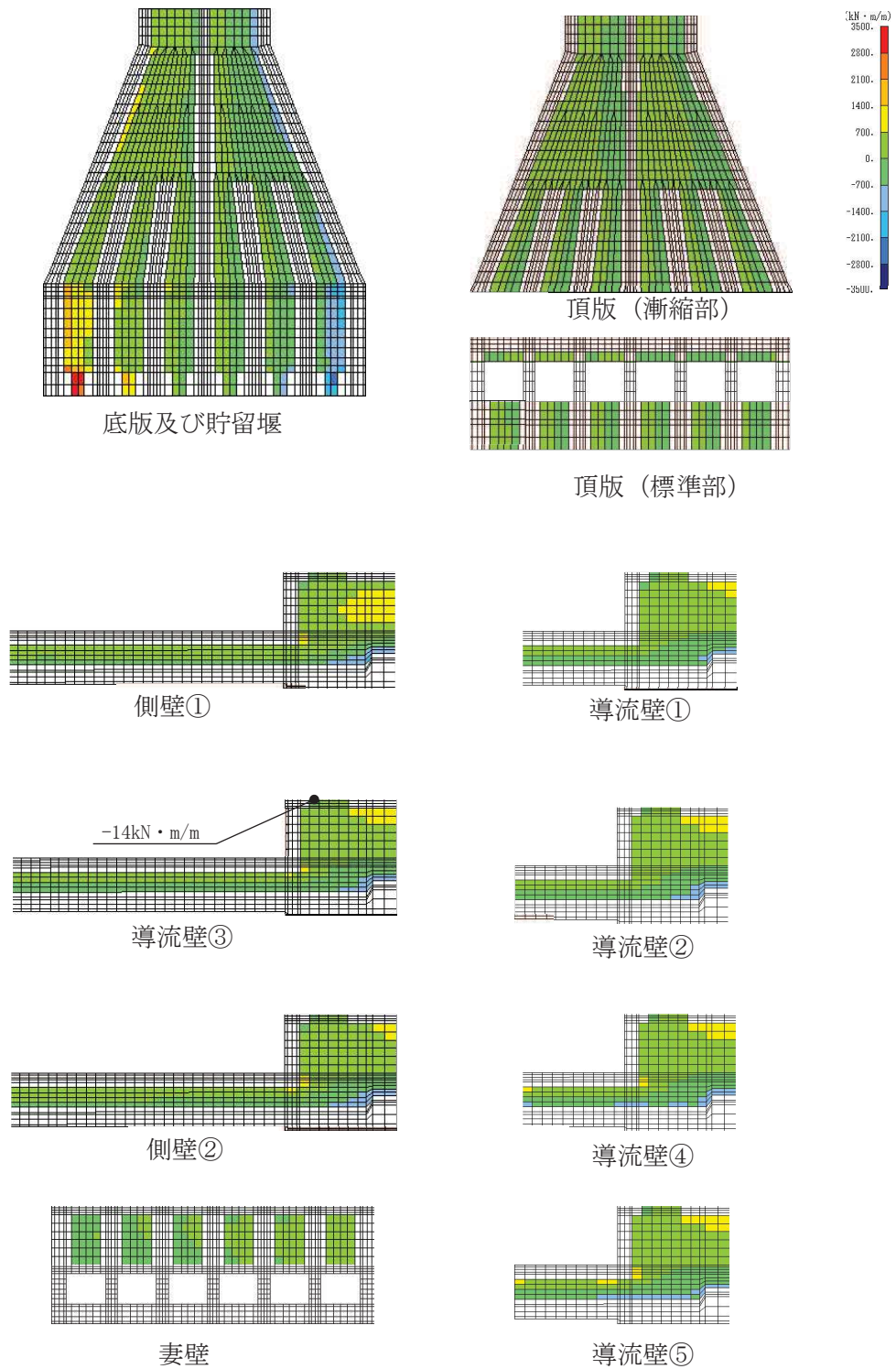


図 4-9 セン断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : Mx)
 (導流壁, 解析ケース①, S s - D 2 (-+))

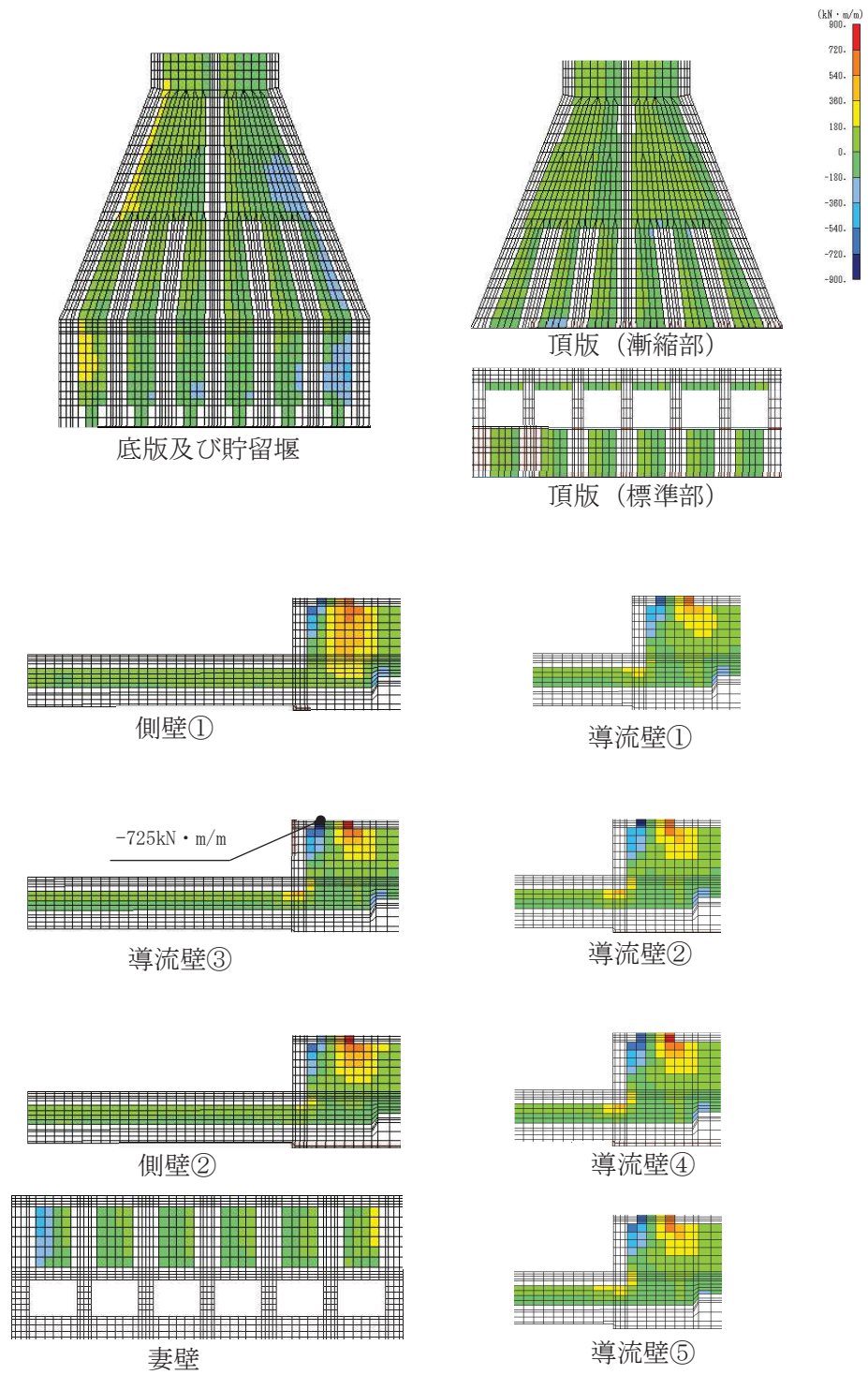


図 4-10 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : My)
 (導流壁, 解析ケース①, S s - D 2 (-+))

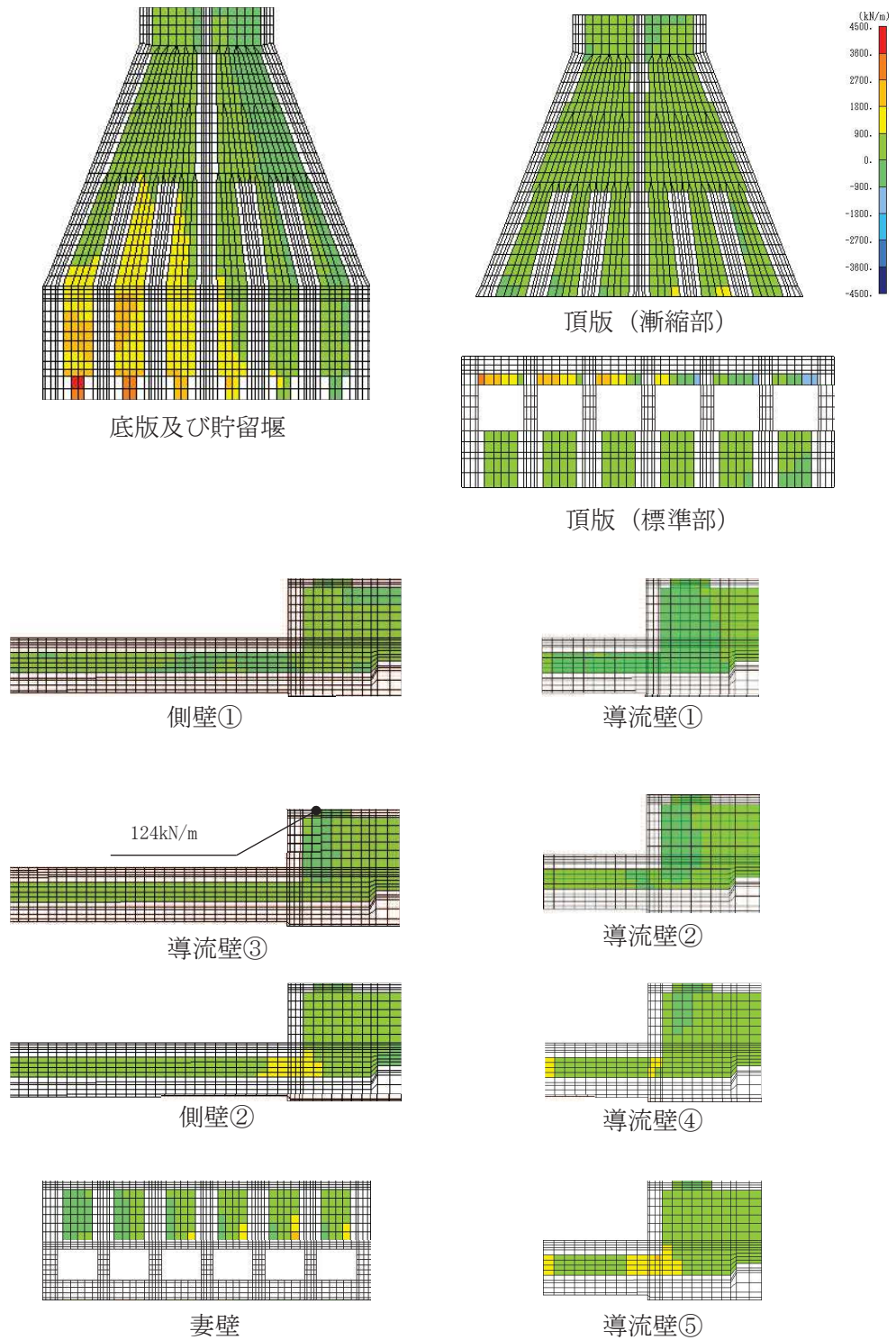


図 4-11 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (導流壁, 解析ケース①, $S_s - D_2$ (-+))

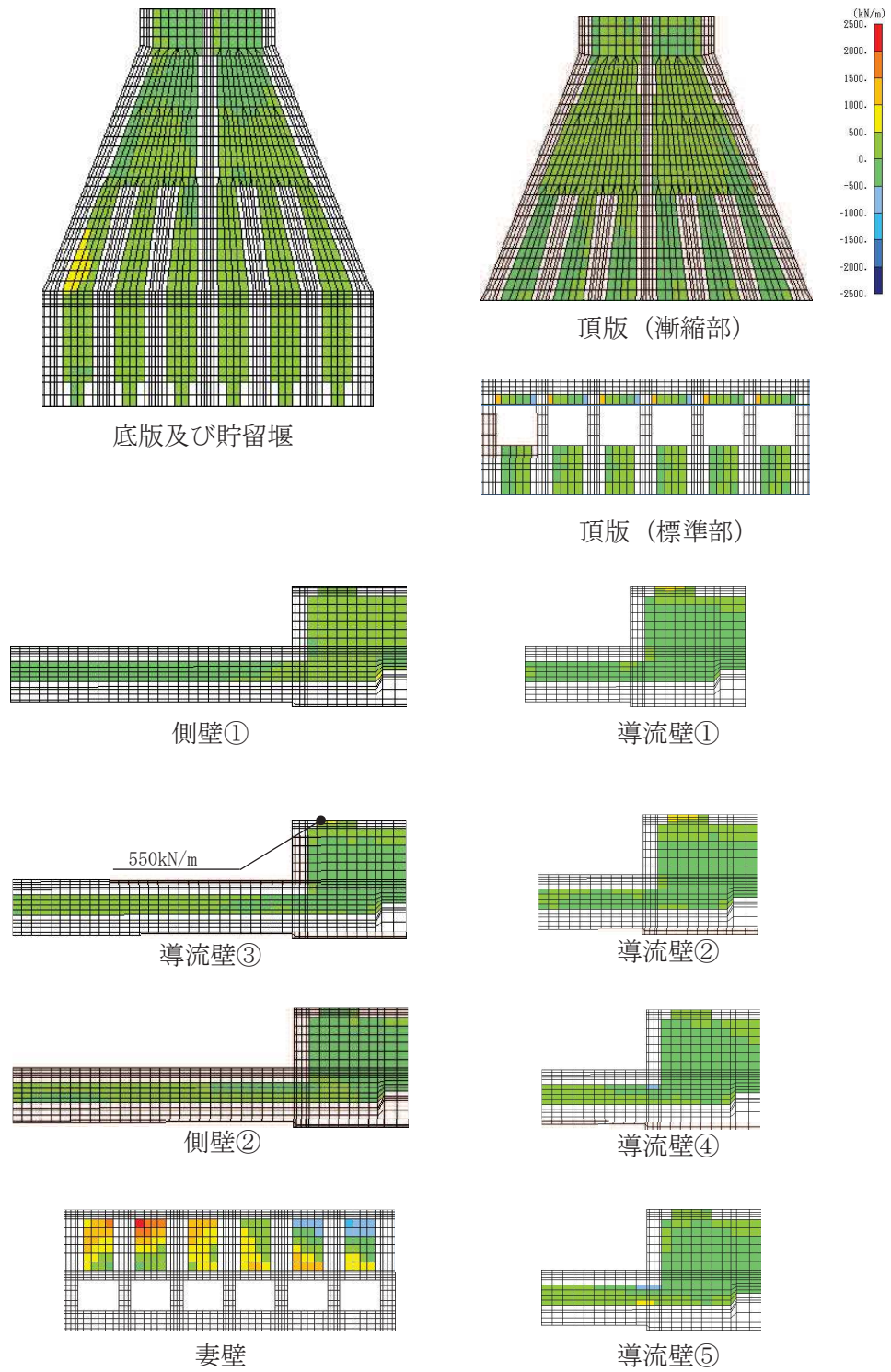


図 4-12 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 （軸力 (kN/m) : N_y ）
 （導流壁，解析ケース①， $S_s - D_2$ （-+））

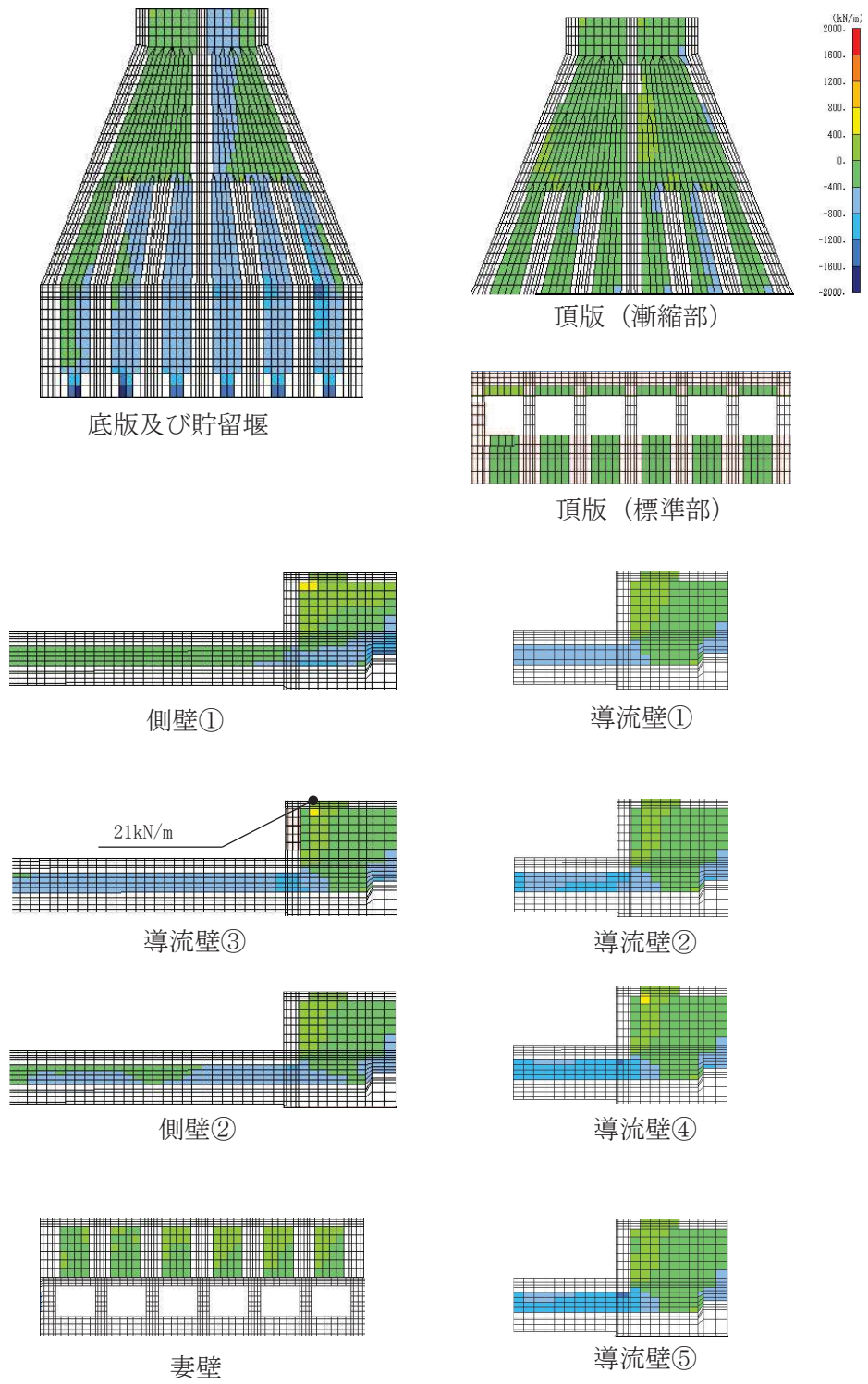


図 4-13 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (導流壁, 解析ケース①, S s - D 2 (-+))

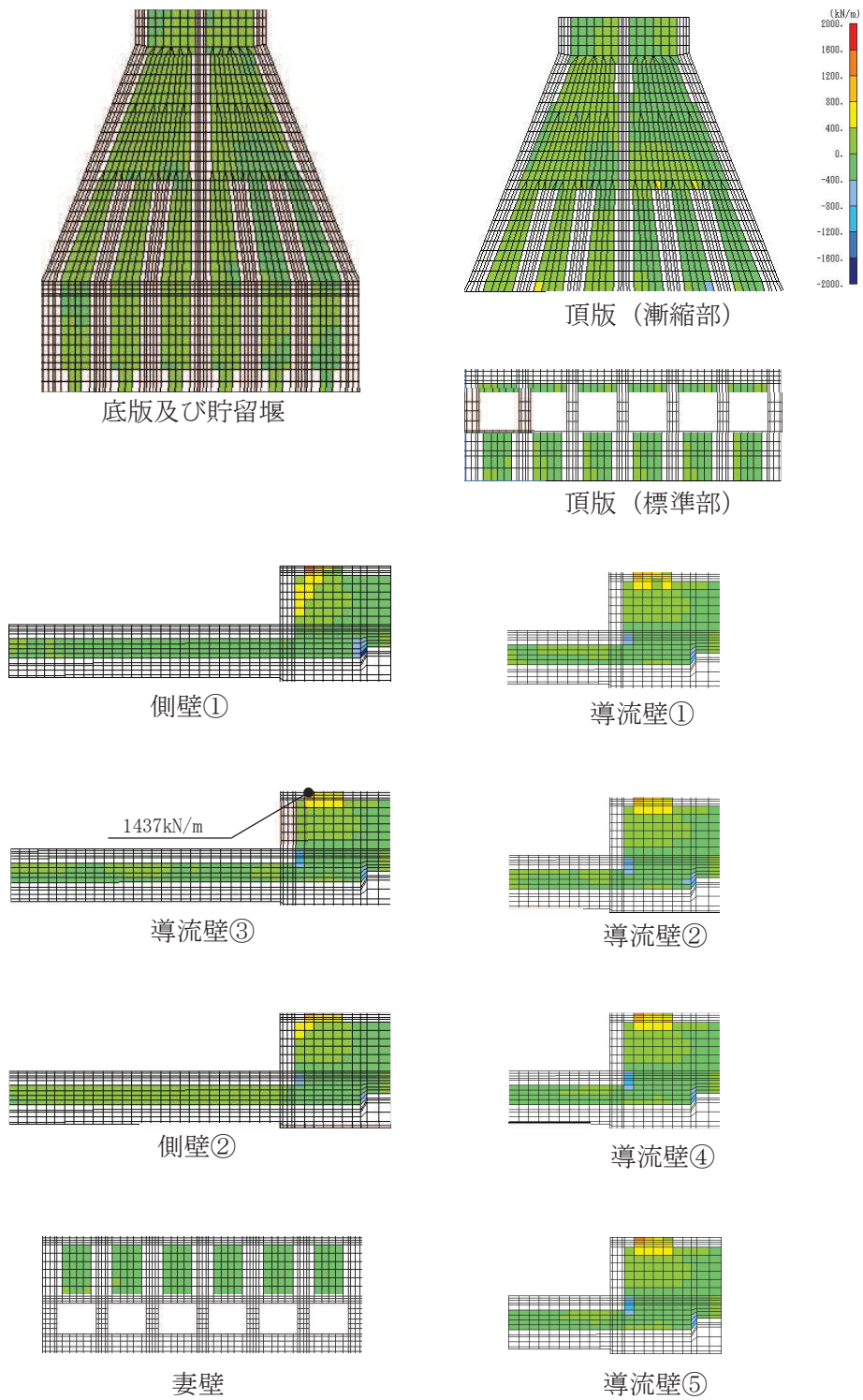


図 4-14 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (導流壁, 解析ケース①, $S_s - D_2$ (-+))

5. 耐震評価

5.1 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.1.1 構造部材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

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）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（土木学会 原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」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。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルで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等が確保できるとして設定されたものである。

各要求機能について、通水機能を有することの確認においては、部材が終局状態に至らないことを目標性能とすることから、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）を許容限界とする。貯水機能を損なわないこと及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認においては、コンクリート標準示方書に基づき、主筋ひずみ及びコンクリートの圧縮ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（主筋ひずみ 1725μ ，コンクリート圧縮ひずみ 2000μ ）とする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表5-1に示す。

表5-1 取水口の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	通水機能：圧縮縁コンクリート ひずみ：1.0% (10000μ) 貯水機能：主鉄筋(SD345)： 1725μ コンクリート ： 2000μ
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと		支持機能：主鉄筋(SD345)： 1725μ コンクリート ： 2000μ

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。

各要求機能に対する確認について、通水機能、貯水機能、支持機能のいずれも、せん断破壊に対しては、終局状態に至らないことを目標性能とすることからせん断耐力を許容限界とする。

壁部材の面内せん断に対する許容限界は、限界せん断ひずみ 2000μ (2/1000) とする。限界せん断ひずみ 2000μ (2/1000) は、J E A G 4 6 0 1 -1987 において、耐震壁の終局耐力に相当する面内せん断ひずみ 4000μ (4/1000) に余裕を見込んだ許容限界かつ耐震壁の支持機能に対する許容限界として規定されている。

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤（狐崎部層）

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

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表 5-2 に示す。

表 5-2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

(2) MMR（既設）

MMR（既設）に発生する接地圧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〕（土木学会，2002年制定）に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（既設）の許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$)	$f'_a=15.6$

5.2 評価方法

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た応答値から三次元構造モデルへ入力する荷重を算定し、三次元解析により算定した照査用ひずみ、照査用せん断力、照査用面内せん断ひずみが「5.1 許容限界」に示す許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が「5.1 許容限界」に示す許容限界を下回ることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-2 に、妻壁の面内せん断に対する最大照査値を表 6-3 に示す。

取水口、貯留堰の照査用ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが、許容限界を下回ることを確認した。

表 6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮縁ひずみ）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版 (標準部)	11	③	S s - D 2 (-+)	357 μ	10000 μ	0.04
頂版 (漸縮部)	25	①	S s - D 2 (-+)	358 μ	10000 μ	0.04
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	476 μ	10000 μ	0.05
導流壁	64	①	S s - F 2 (-+)	597 μ	10000 μ	0.06
底版	71	③	S s - D 2 (-+)	310 μ	10000 μ	0.04
妻壁	106	①	S s - F 3 (-+)	220 μ	10000 μ	0.03
貯留堰	91	③	S s - D 2 (-+)	714 μ	10000 μ	0.08

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-2 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/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版 (標準部)	14	①	S s - D 2 (-+)	358	950	0.38
頂版 (漸縮部)	27	①	S s - N 1 (++)	704	1019	0.70
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	1959	2660	0.74
導流壁	53	①	S s - D 2 (-+)	1509	2021	0.75
底版	88	①	S s - N 1 (++)	774	1155	0.68
妻壁	106	②	S s - D 2 (-+)	425	1511	0.29
貯留堰	96	①	S s - D 2 (++)	1840	4383	0.42

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

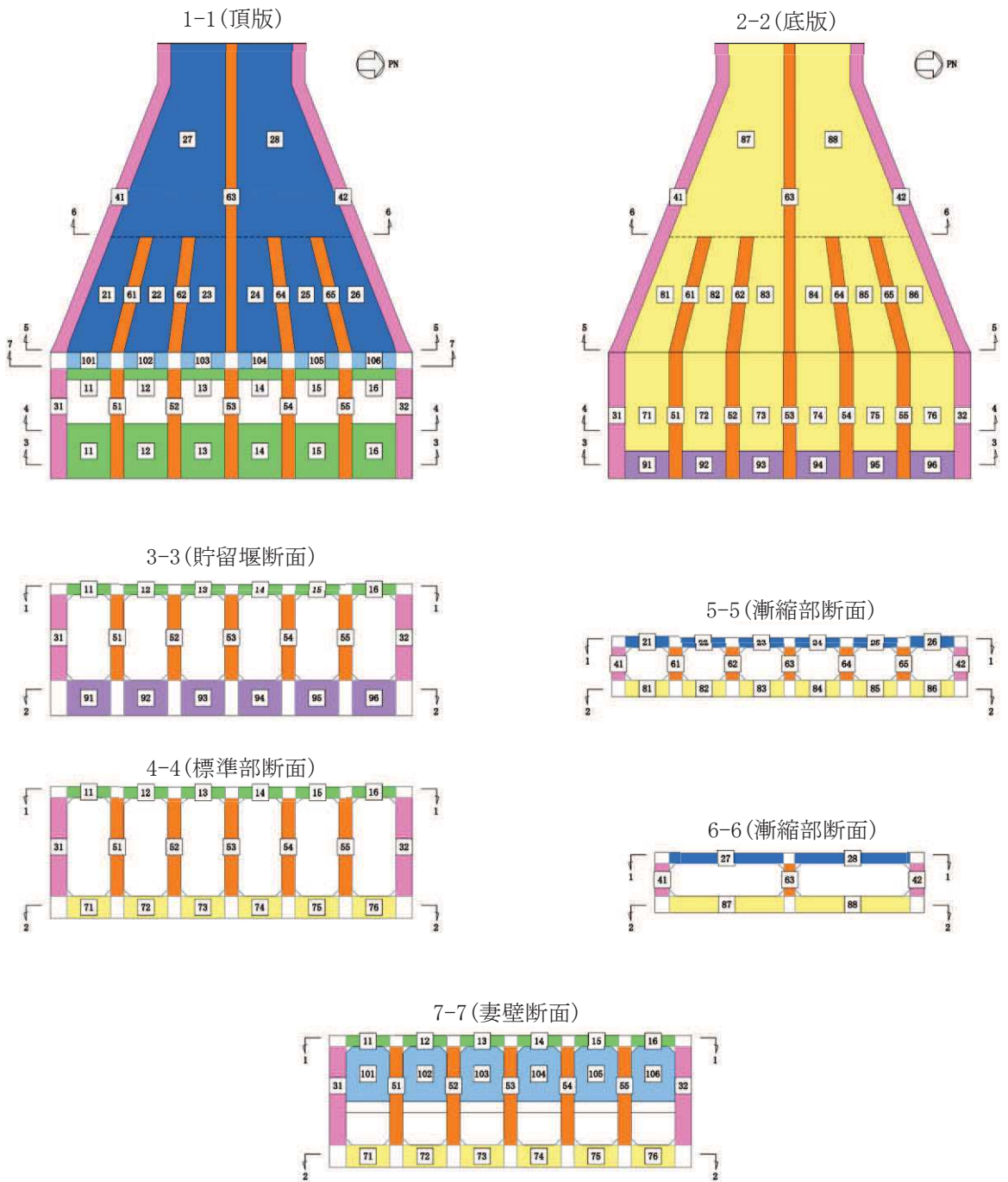


図 6-1 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表 6-3 妻壁の面内せん断に対する照査

評価位置 ^{*1}		解析 ケース	地震動	照査用 面内せん断ひずみ ^{*2} ϵ_d	限界せん断 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
妻壁	100	①	S _s -D2 (-+)	124 μ	2000 μ	0.07

注記*1：評価位置は図 6-2 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

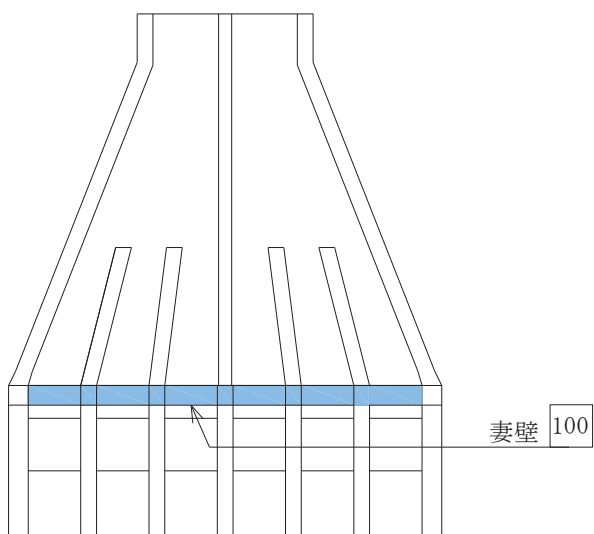


図 6-2 評価位置図（妻壁の面内せん断）

6.2 各要求機能に対する評価結果

6.2.1 通水機能

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-4 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-5 に、妻壁の面内せん断に対する最大照査値を表 6-6 に示す。

取水口、貯留堰の照査用ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが、通水機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-4 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮縁ひずみ）（再掲）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版 (標準部)	11	③	S s - D 2 (-+)	357 μ	10000 μ	0.04
頂版 (漸縮部)	25	①	S s - D 2 (-+)	358 μ	10000 μ	0.04
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	476 μ	10000 μ	0.05
導流壁	64	①	S s - F 2 (-+)	597 μ	10000 μ	0.06
底版	71	③	S s - D 2 (-+)	310 μ	10000 μ	0.04
妻壁	106	①	S s - F 3 (-+)	220 μ	10000 μ	0.03
貯留堰	91	③	S s - D 2 (-+)	714 μ	10000 μ	0.08

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：通水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-5 せん断破壊に対する最大照査値 (再掲)

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*3 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版 (標準部)	14	①	$S_s - D 2 (-+)$	358	950	0.38
頂版 (漸縮部)	27	①	$S_s - N 1 (++)$	704	1019	0.70
側壁	31	③	$S_s - D 2 (-+)$	1959	2660	0.74
導流壁	53	①	$S_s - D 2 (-+)$	1509	2021	0.75
底版	88	①	$S_s - N 1 (++)$	774	1155	0.68
妻壁	106	②	$S_s - D 2 (-+)$	425	1511	0.29
貯留堰*4	96	①	$S_s - D 2 (++)$	1840	4383	0.42

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：通水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用せん断力=発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*4：貯留堰直下の底版の評価を含む。

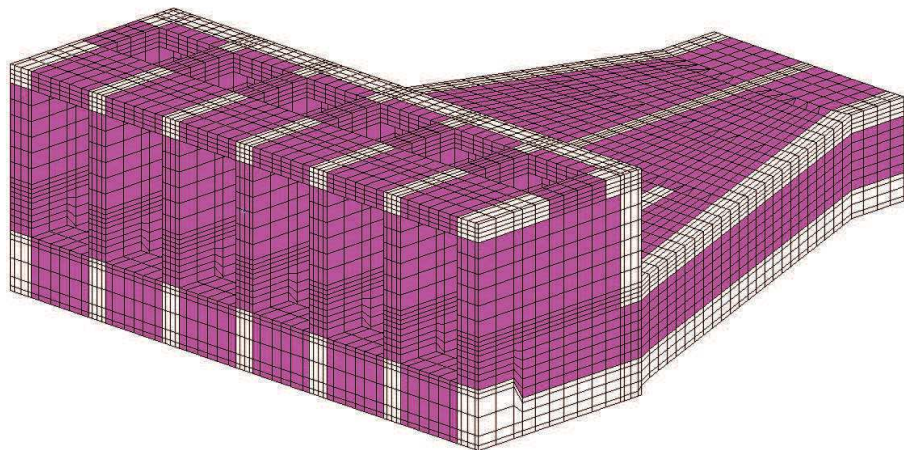


図 6-3 通水機能が要求される部材の範囲

表 6-6 妻壁の面内せん断に対する照査（再掲）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 面内せん断ひずみ*2 ϵ_d	限界せん断 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
妻壁	100	①	S s - D 2 (-+)	124 μ	2000 μ	0.07

注記*1：評価位置は図 6-2 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

6.2.2 貯水機能

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-7 及び表 6-8 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-9 に示す。

取水口、貯留堰の照査用ひずみ及び照査用せん断力が、貯水機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-7 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版 (標準部)	—	—	—	—	—	—
頂版 (漸縮部)	—	—	—	—	—	—
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	357 μ	2000 μ	0.18
導流壁	—	—	—	—	—	—
底版	71	③	S s - D 2 (-+)	248 μ	2000 μ	0.13
妻壁	—	—	—	—	—	—
貯留堰	91	③	S s - D 2 (-+)	494 μ	2000 μ	0.25

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-4 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-8 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版 (標準部)	—	—	—	—	—	—
頂版 (漸縮部)	—	—	—	—	—	—
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	500 μ	1725 μ	0.29
導流壁	—	—	—	—	—	—
底版	76	①	S s - D 2 (-+)	358 μ	1725 μ	0.21
妻壁	—	—	—	—	—	—
貯留堰	96	①	S s - D 2 (-+)	387 μ	1725 μ	0.23

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-4 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-9 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*3 V_d (kN/m)	せん断 耐力 V_{yd} (kN/m)	照査値 V_d/V_{yd}
頂版 (標準部)	—	—	—	—	—	—
頂版 (漸縮部)	—	—	—	—	—	—
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	1959	2660	0.74
導流壁	—	—	—	—	—	—
底版	88	①	S s - N 1 (++)	774	1155	0.68
妻壁	—	—	—	—	—	—
貯留堰*4	96	①	S s - D 2 (++)	1840	4384	0.42

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-4 に示す。

*3：照査用せん断力=発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*4：貯留堰直下の底版の評価を含む。

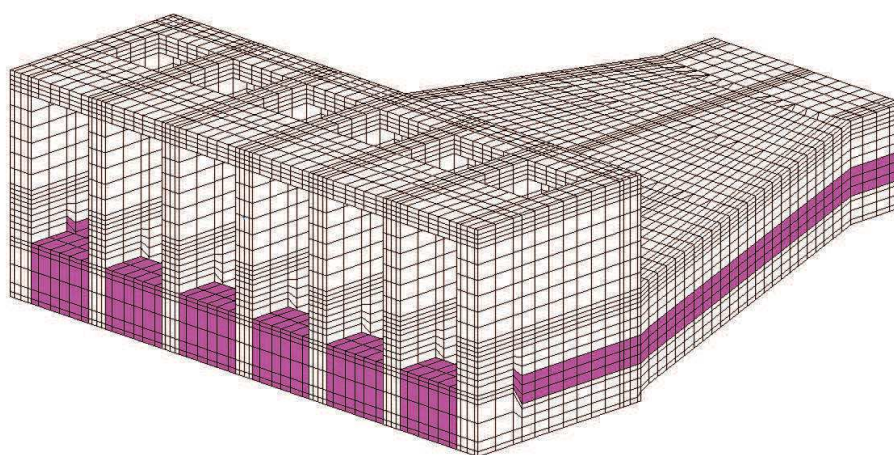


図 6-4 貯水機能が要求される部材の範囲

6.3 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果

取水口（標準部）の底版は、貯留堰を間接支持する支持機能が要求されるが、支持機能が要求される部材の範囲は、貯水機能が要求される部材の範囲に包含される。また、支持機能と貯水機能の許容限界は同じであるため、「6.2.2 貯水機能」の評価結果により、Sクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認した。

6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

6.4.1 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤の支持性能の照査結果を表 6-10 に示す。また，最大接地圧分布図を図 6-5 に示す。

取水口，貯留堰の基礎地盤に発生する最大接地圧が，極限支持力を下回ることを確認した。

表 6-10 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -D 1 (++)	3.3	13.7	0.25

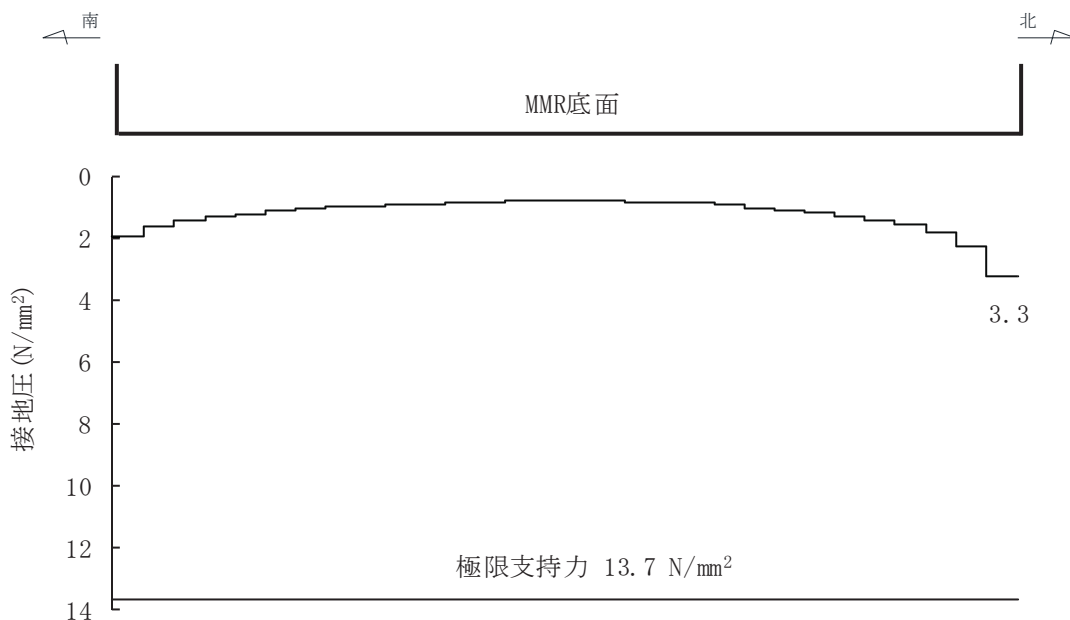


図 6-5 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S_s-D 1 (++) , 標準部)

6.4.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表 6-11 に示す。また，最大接地圧分布図を図 6-6 に示す。

取水口，貯留堰の MMR（既設）に発生する最大接地圧が，支圧強度を下回ることを確認した。

表 6-11 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
②	S _s -D 2 (-+)	1.5	15.6	0.10

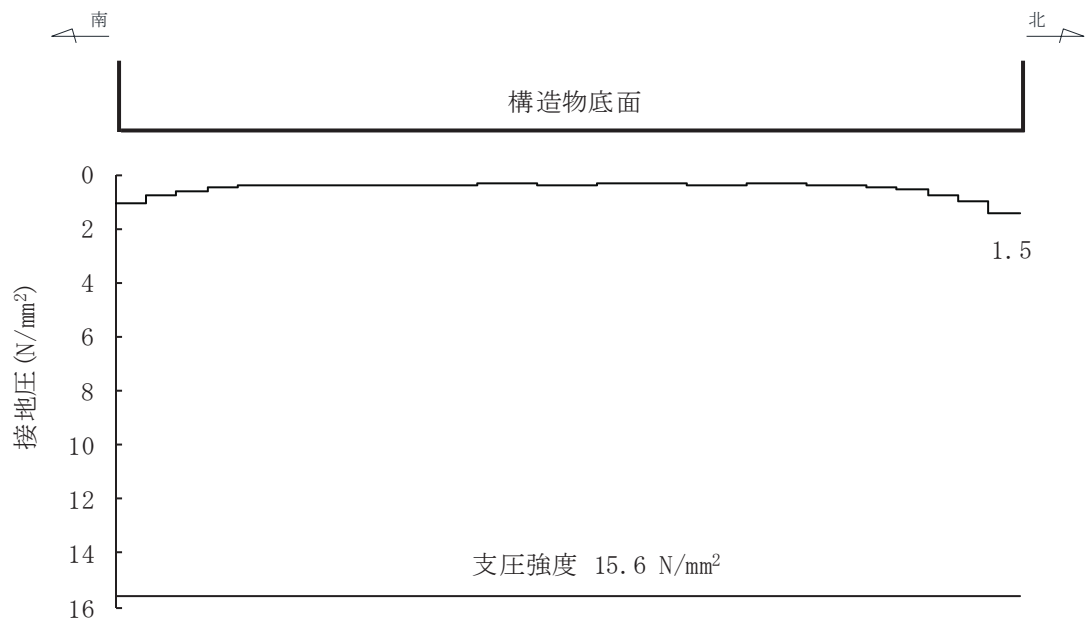


図 6-6 MMR（既設）の最大接地圧分布図
(解析ケース②, S_s-D 2 (-+), 標準部)

VI-2-10-4-4 取水路の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-4-4-1 取水路（漸拡部）の耐震性についての計算書

VI-2-10-4-4-2 取水路（標準部）の耐震性についての計算書

VI-2-10-4-4-1 取水路（漸拡部）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	適用基準	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	10
3.2.1	構造部材	10
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	12
3.2.3	減衰定数	13
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	14
3.3	荷重及び荷重の組合せ	15
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	15
3.3.2	荷重	15
3.3.3	荷重の組合せ	16
3.4	入力地震動	17
3.5	解析モデル及び諸元	32
3.5.1	解析モデル	32
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	34
3.5.3	地盤の物性値	34
3.6	許容限界	35
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	35
3.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	36
3.7	評価方法	37
3.7.1	構造部材の健全性評価	37
3.7.2	基礎地盤の支持性能評価	39
4.	耐震評価結果	40
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	40
4.2	各要求機能に対する評価結果	41
4.2.1	通水機能	41
4.2.2	貯水機能	42
4.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	44
4.3.1	基礎地盤（狐崎部層）	44
4.3.2	MMR（既設）	45

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水路（漸拡部）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ものである。

取水路（漸拡部）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく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行う。

2. 基本方針

2.1 位置

取水路（漸拡部）の位置を図 2-1 に示す。

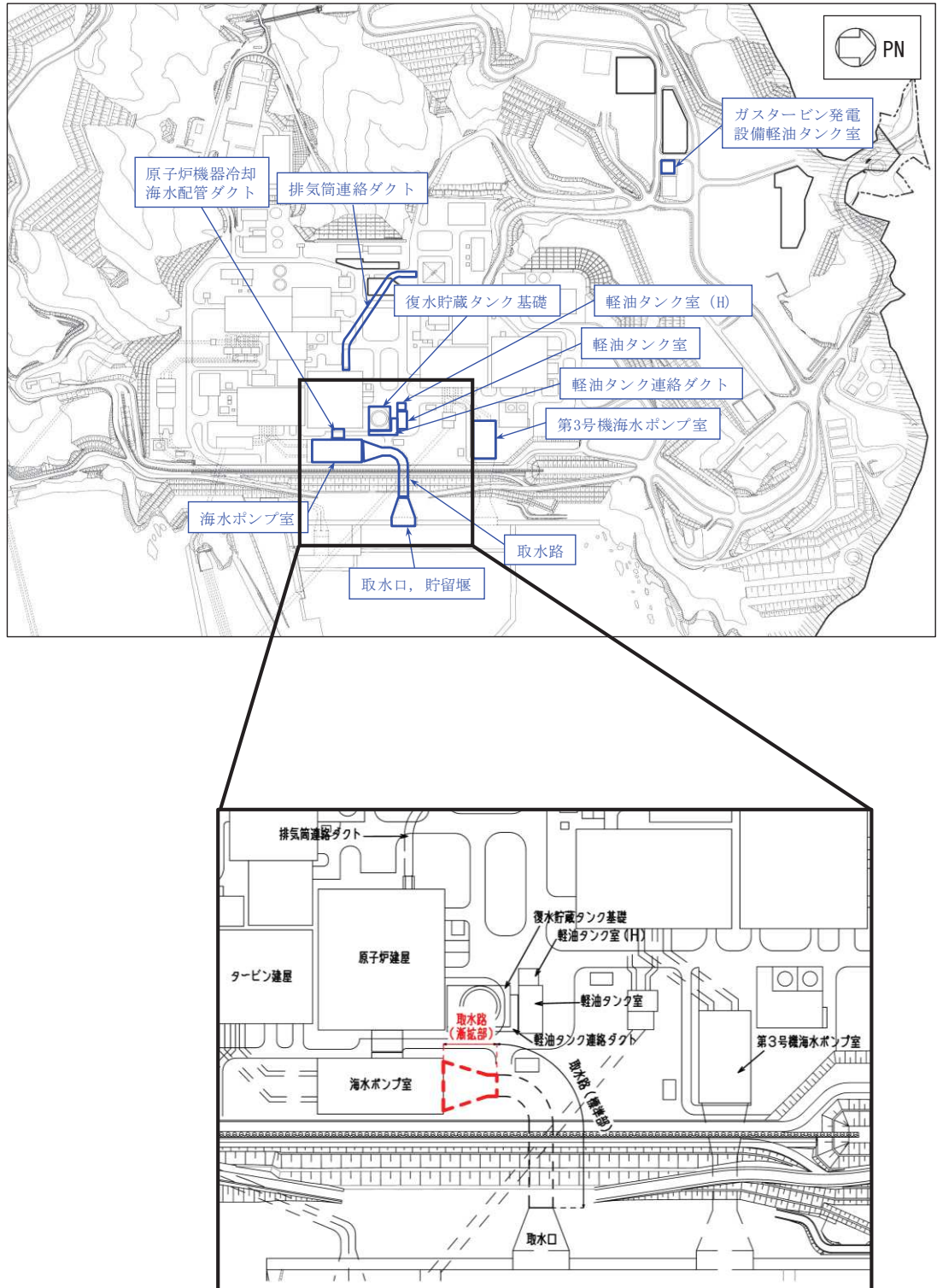


図 2-1 取水路（漸拡部）の位置図

2.2 構造概要

取水路（漸拡部）の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 に示す。

取水路（漸拡部）は、非常時における海水の通水機能及び貯水機能が要求される。

取水路（漸拡部）は、取水路（標準部）との接続部である内空幅 ，内空高さ の二連ボックスカルバート構造から、海水ポンプ室との接続部である内空幅 ，内空高さ の四連ボックスカルバート構造に変化し、縦断方向（延長方向）に断面が拡幅する地中構造物であり、直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

取水路（漸拡部）は、取水路（標準部）及び海水ポンプ室との接合部に構造目地が設置されており、断面が延長方向に異なる線状構造物である。

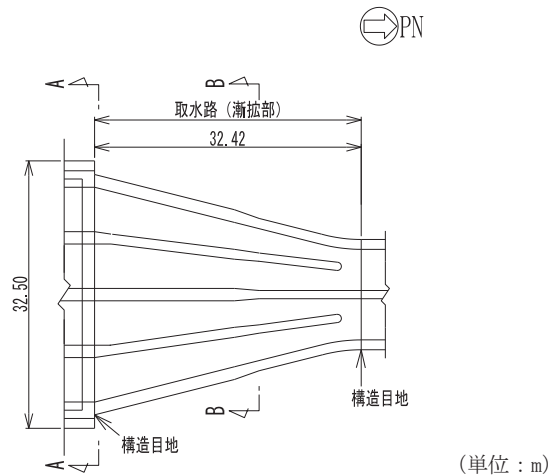


図 2-2 取水路（漸拡部）平面図

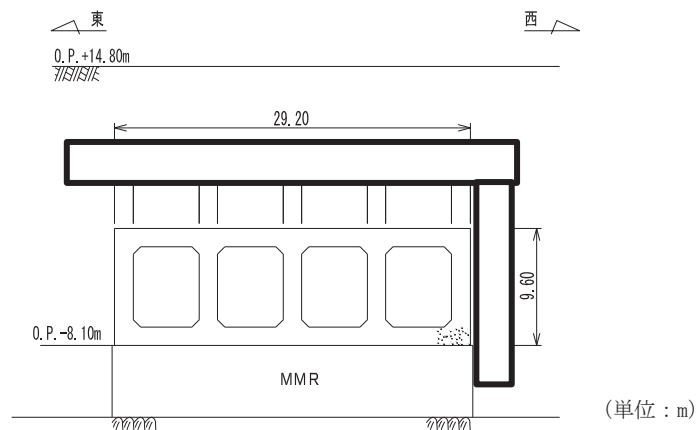


図 2-3 取水路（漸拡部）断面図（A-A 断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

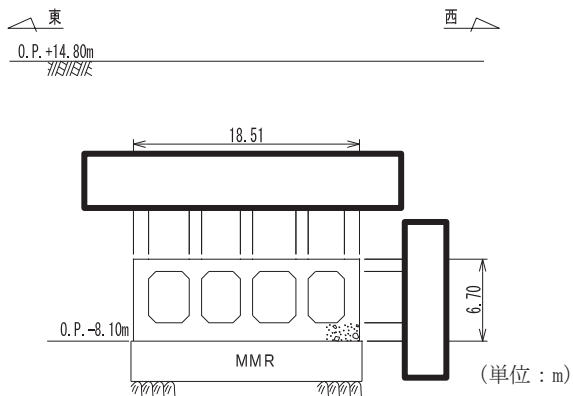


図 2-4 取水路（漸拡部）断面図（B-B 断面）

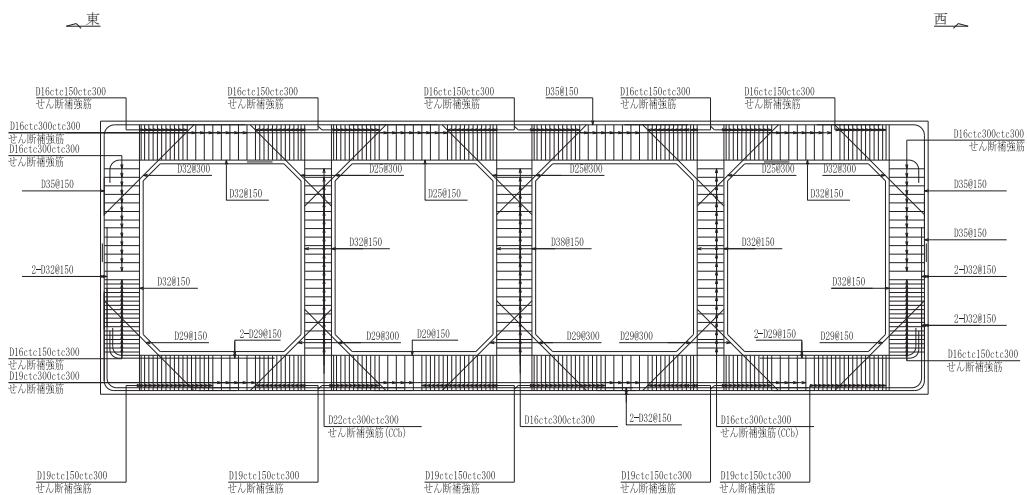


図 2-5 取水路（漸拡部）概略配筋図（A-A 断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.3 評価方針

取水路（漸拡部）は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設重大事故緩和設備及び常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。

取水路（漸拡部）の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

取水路（漸拡部）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 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及び基礎地盤の支持性能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、添付書類「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層間変形角が許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。加えて、貯水機能が要求される部材については、照査用曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

ここで、取水路（漸拡部）の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

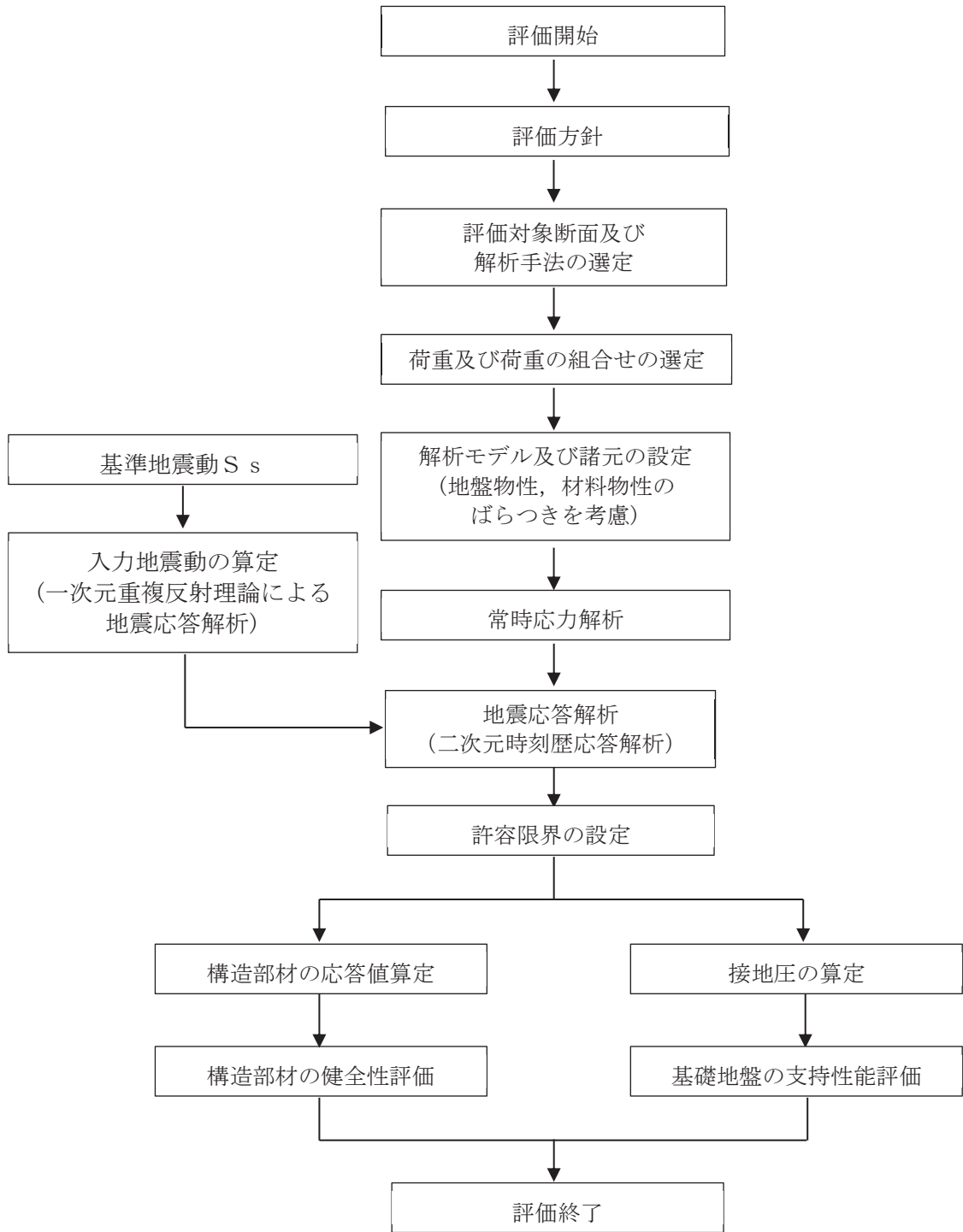


図 2-6 取水路（漸拡部）の耐震評価フロー

表 2-1 取水路（漸拡部）の評価項目

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	鉄筋コンクリート部材	照査用層間変形角，照査用曲げモーメント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	限界層間変形角* 降伏曲げモーメント
				せん断力	せん断耐力*
	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	岩盤の極限支持力*	
		MMR		MMR の支圧強度*	

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- 土木学会 2017年 コンクリート標準示方書[設計編]
- 土木学会 2005年 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
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

取水路（漸拡部）の評価対象断面位置を図 3-1 に示す。

評価対象断面は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、図 3-1 に示す A-A 断面とする。評価対象地質断面図を図 3-2 に示す。

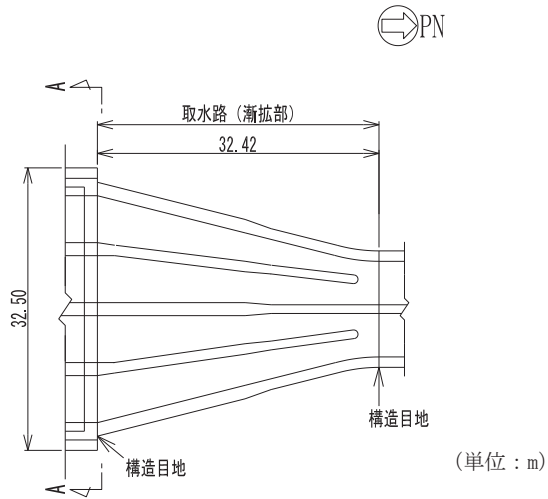


図 3-1 取水路（漸拡部）の評価対象断面位置図

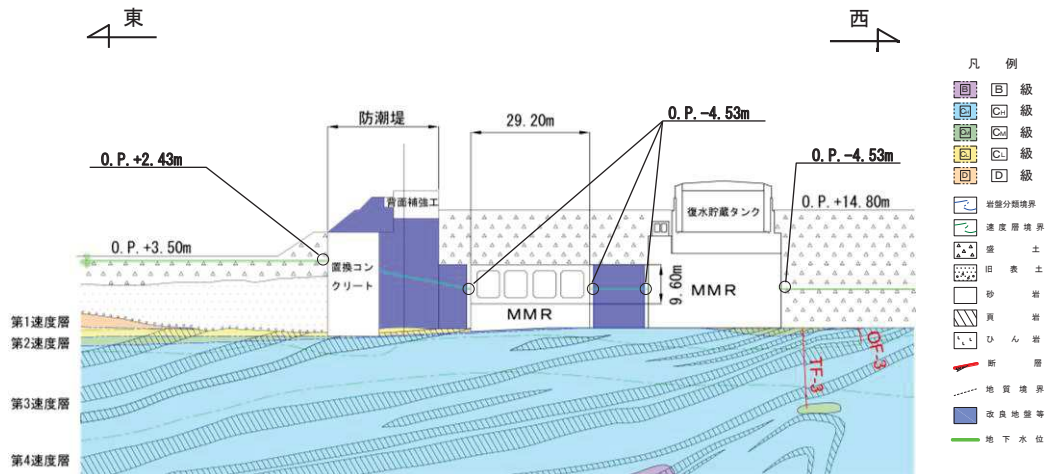


図 3-2 取水路（漸拡部）評価対象地質断面図（A-A 断面）

3.2 解析方法

取水路（漸拡部）の地震応答解析は、添付書類「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二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（全応力解析）により行う。

隣接構造物となる復水貯蔵タンク基礎下の MMR は、改良地盤を介して接しており、お互いの振動の影響を受けることから、復水貯蔵タンク基礎下の MMR をモデル化する。また、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

構造部材については、非線形はり要素を用いることとし、構造部材の非線形性については、鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。

また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Ver. 2015 Build3」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、添付書類「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、非線形はり要素でモデル化することとし、図 3-3 に示す $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルとする。また、履歴特性は、図 3-4 に示すとおり修正武田モデルを適用する。また、コンクリートの応力-ひずみ関係及び鉄筋の応力-ひずみ関係には、それぞれ図 3-5 及び図 3-6 に示す非線形特性を考慮する。

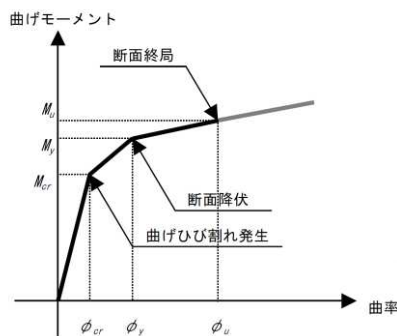


図 3-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係

（原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
 （土木学会 原子力土木委員会，2005 年 6 月）より引用）

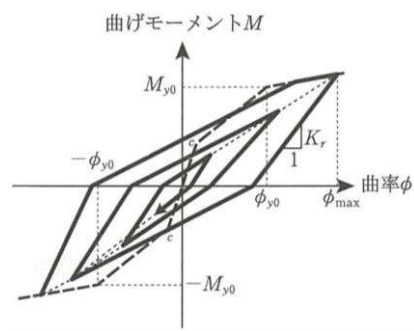


図 3-4 鉄筋コンクリート部材の履歴特性（修正武田モデル）
 （道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成 14 年 3 月）より引用）

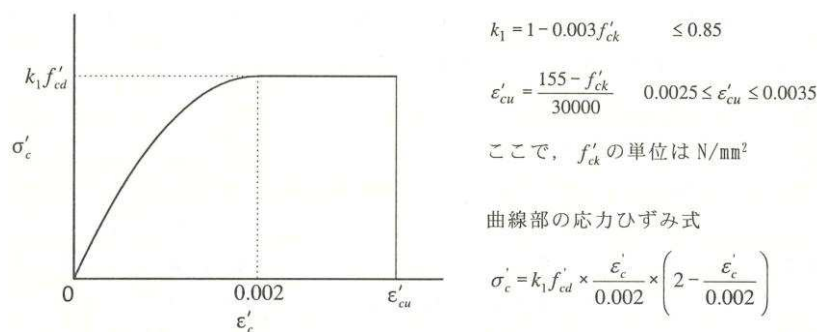


図 3-5 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）より引用）

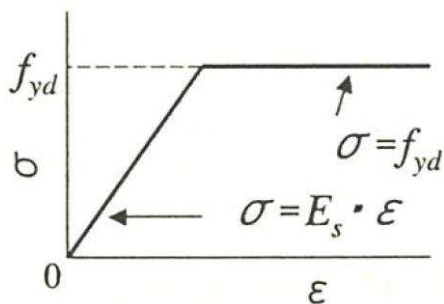


図 3-6 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）より引用）

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性及び材料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。

取水路（漸拡部）は、直接又は MMR を介して岩盤上に設置され、側面に改良地盤が分布し、主たる荷重は改良地盤等の土圧となることから、盛土、旧表土、**D**級岩盤及び改良地盤の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期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を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

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	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, D 級岩盤, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

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	5.67×10^{-1}	5.29×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上とな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②～④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	ケース④
		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	材料物性（コンクリート）に実強度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	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地震動（位相）	$S_s - D 1$	++*1	○	基準地震動 S_s (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上とな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②～④を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。	
		–+*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		–+*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		–+*1	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005 年 6 月）（以下「土木学会マニュアル」という。）に従い、水平方向の位相反転を考慮する。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。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

取水路（漸拡部）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。なお、取水路（漸拡部）の隣接構造物としてモデル化される防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、風の影響を考慮する。

(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

取水路（漸拡部）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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、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 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2 を地表面に考慮)

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、添付書類「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 を一次元重複反射理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、添付書類「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3-7に入力地震動算定の概念図を、図3-8～図3-21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「Ark Quake Ver. 3.10」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

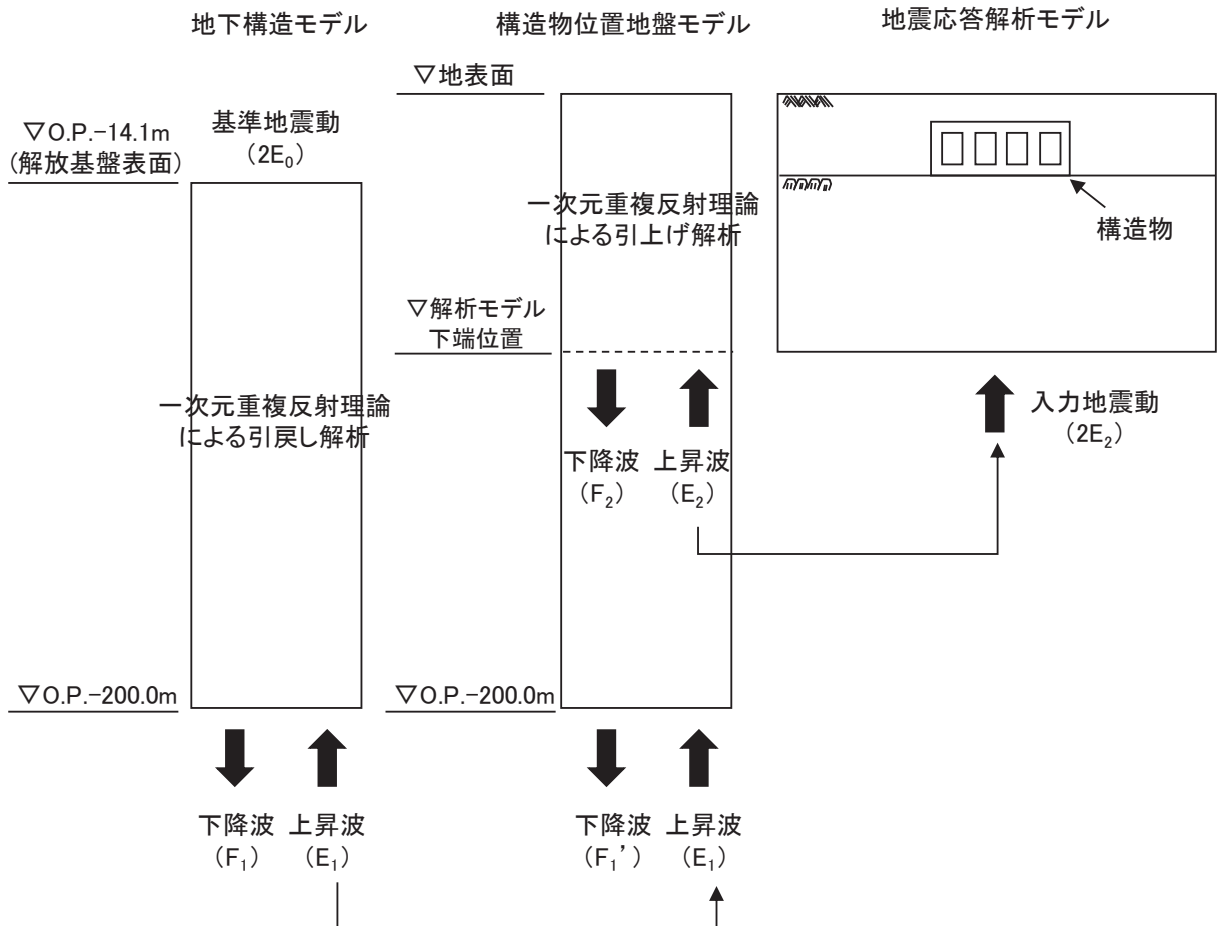
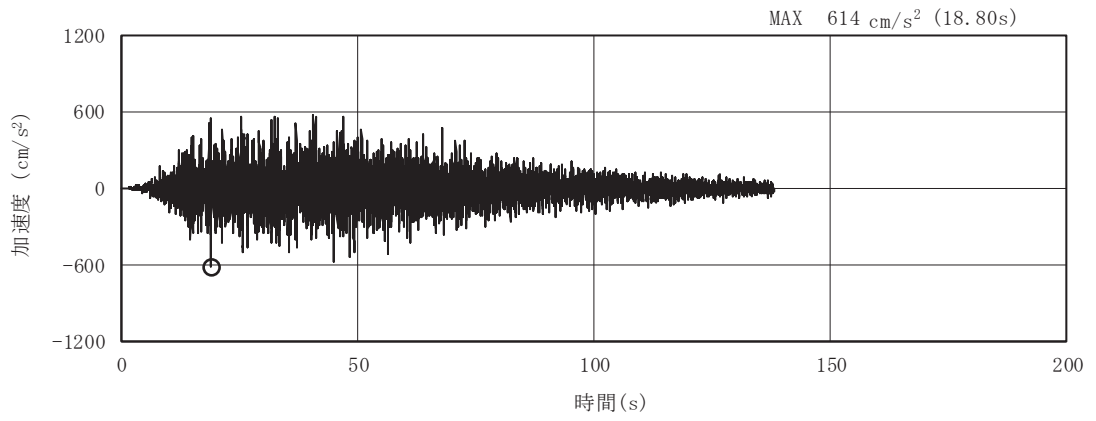
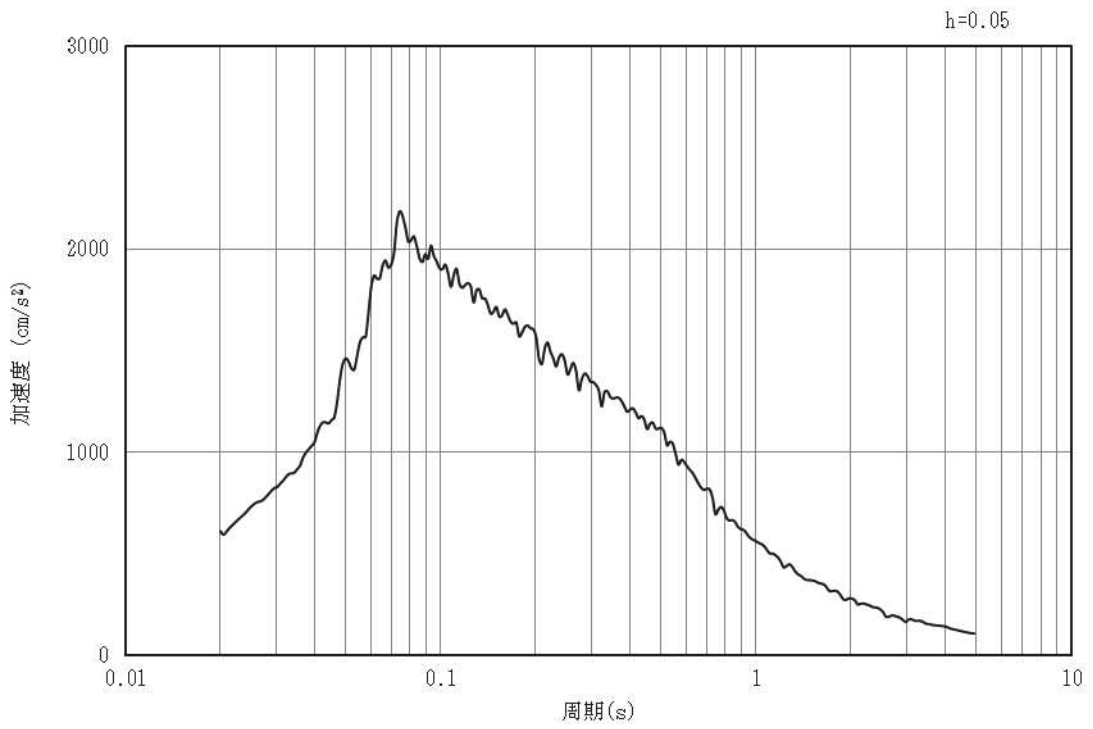


図 3-7 入力地震動算定の概念図

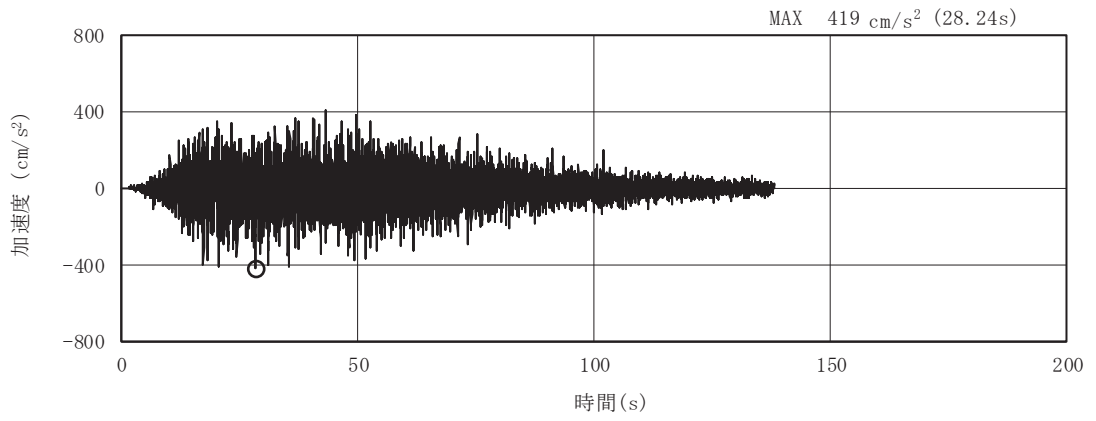


(a) 加速度時刻歴波形

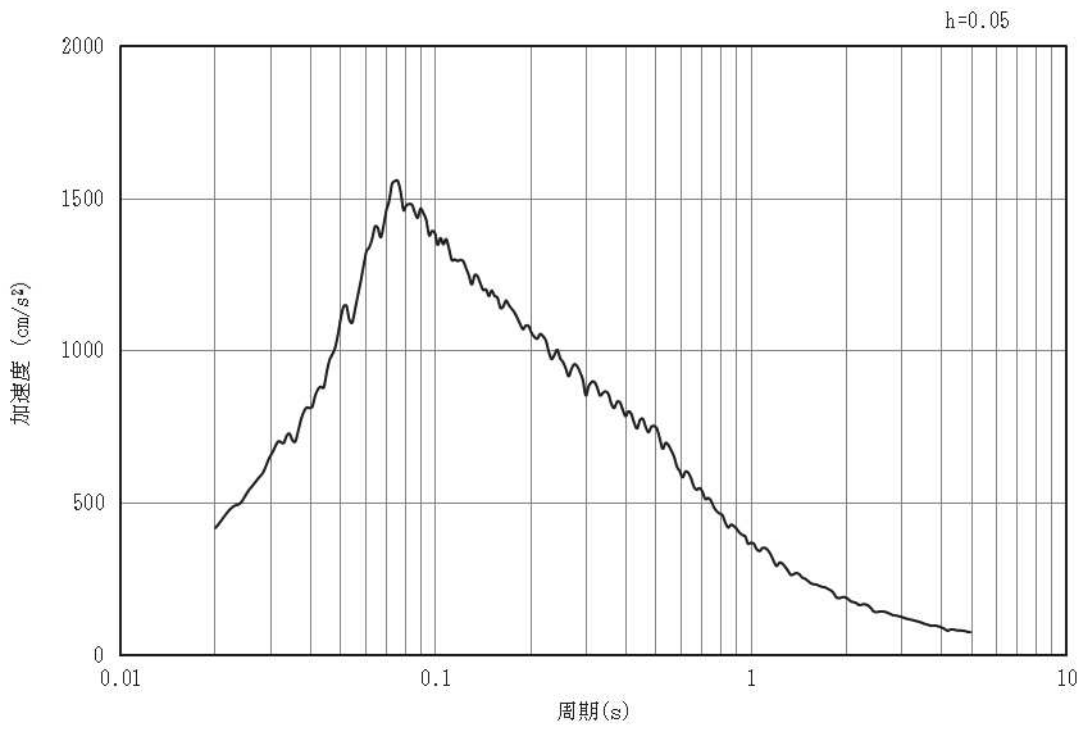


(b) 加速度応答スペクトル

図3-8 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 - D 1)

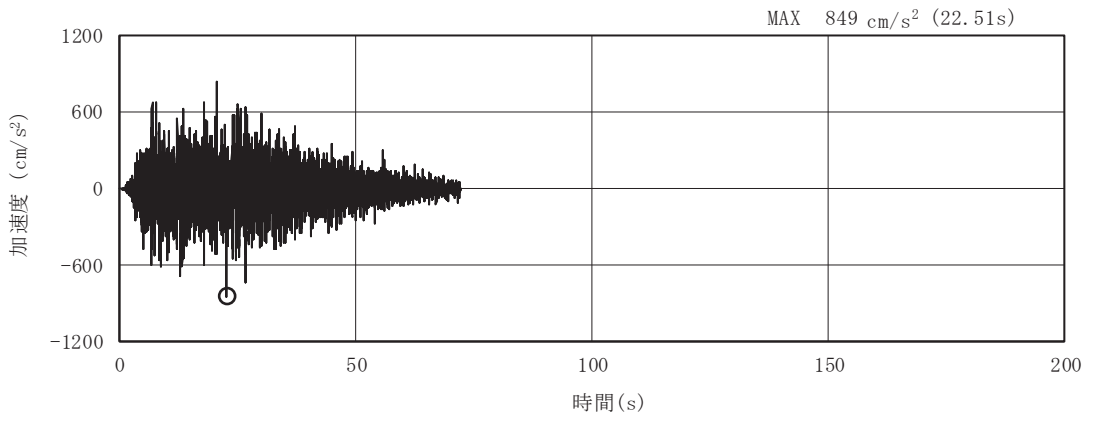


(a) 加速度時刻歴波形

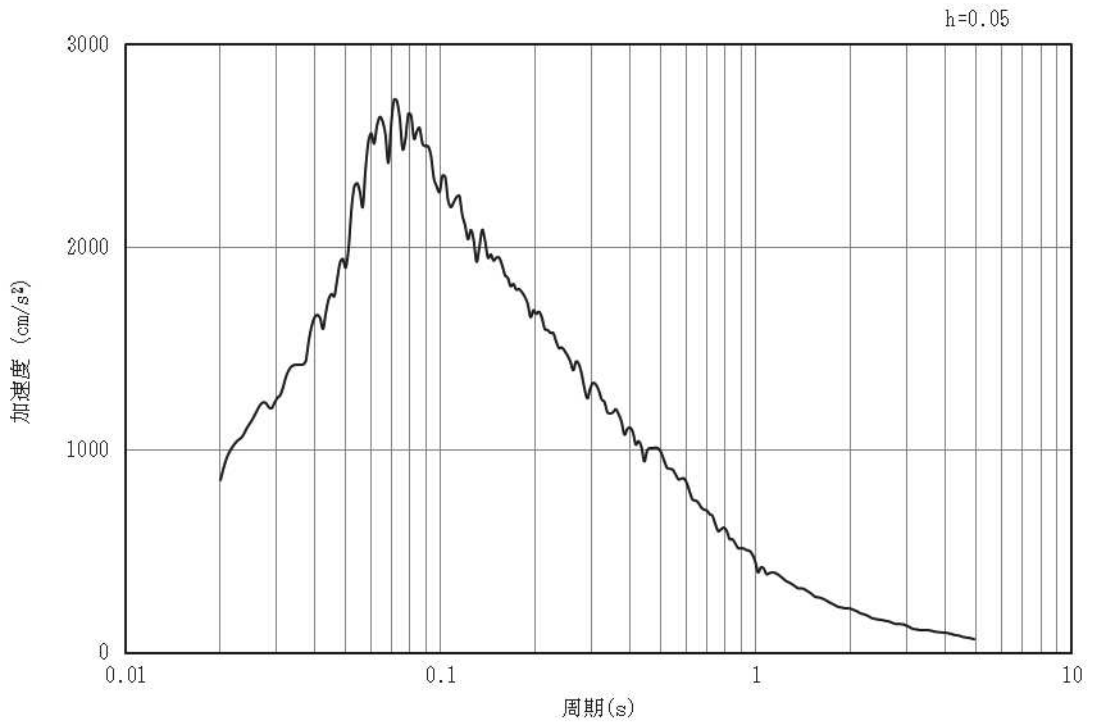


(b) 加速度応答スペクトル

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 - D 1)

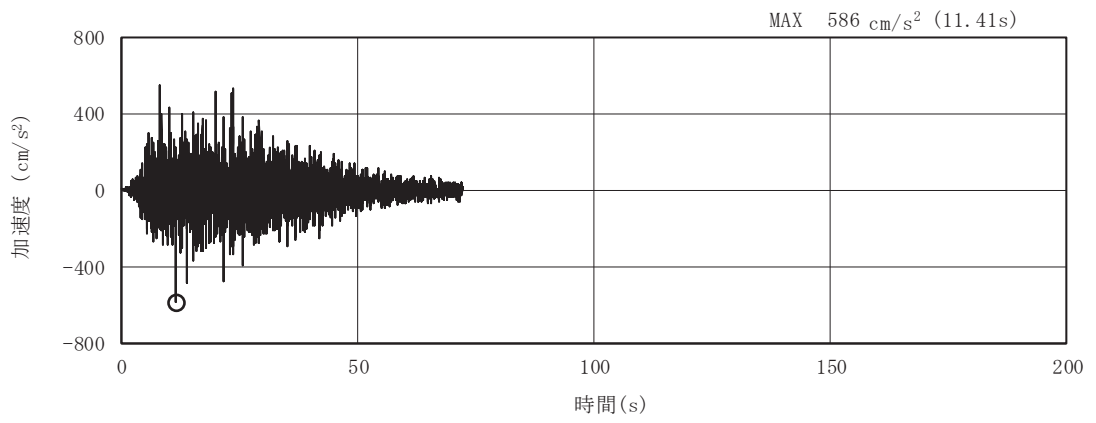


(a) 加速度時刻歴波形

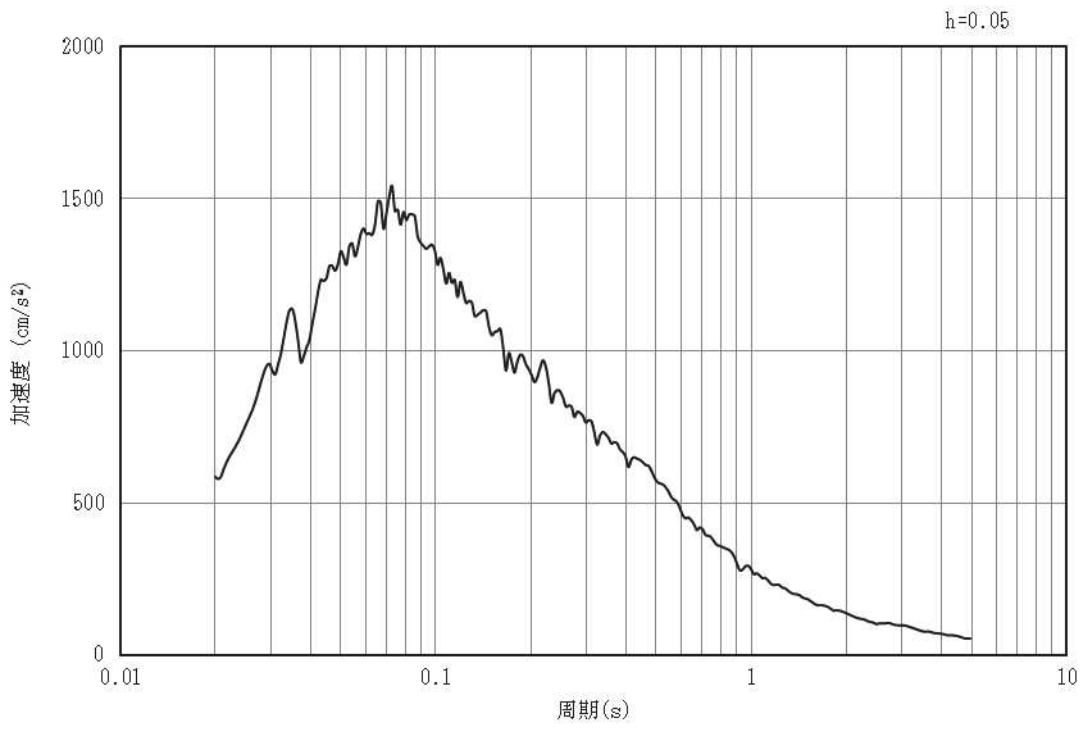


(b) 加速度応答スペクトル

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 - D 2)

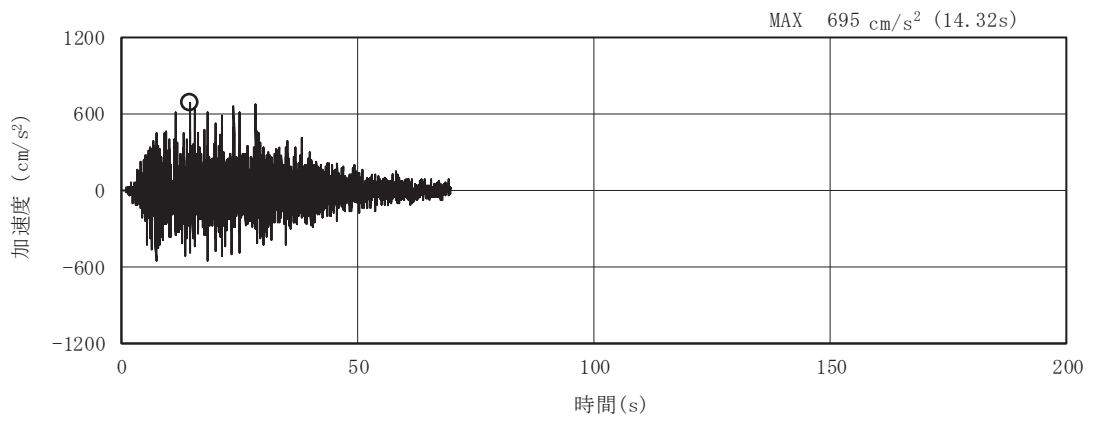


(a) 加速度時刻歴波形

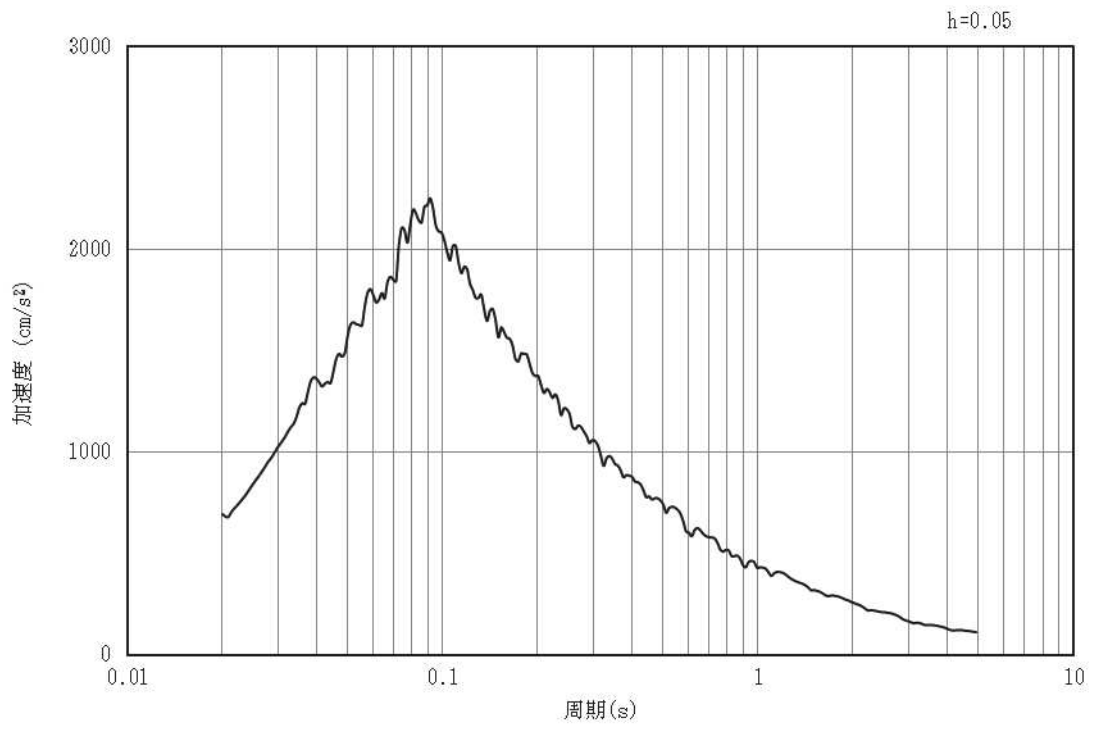


(b) 加速度応答スペクトル

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 - D 2)

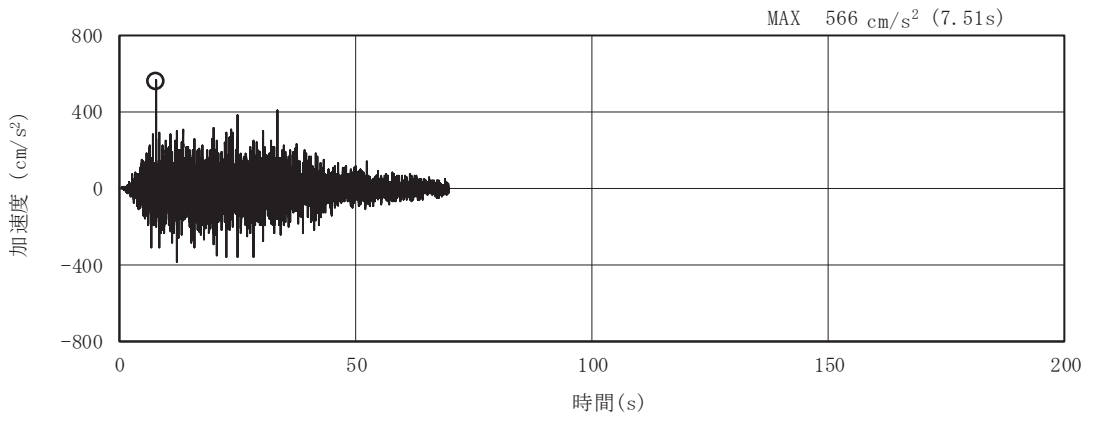


(a) 加速度時刻歴波形

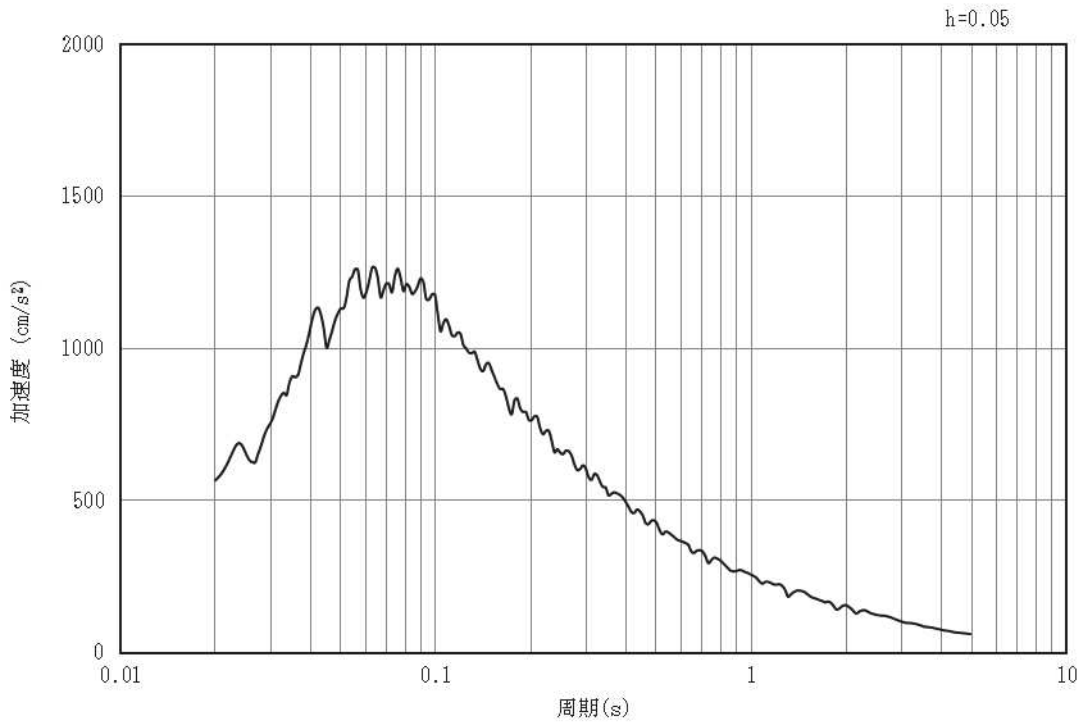


(b) 加速度応答スペクトル

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 - D 3)

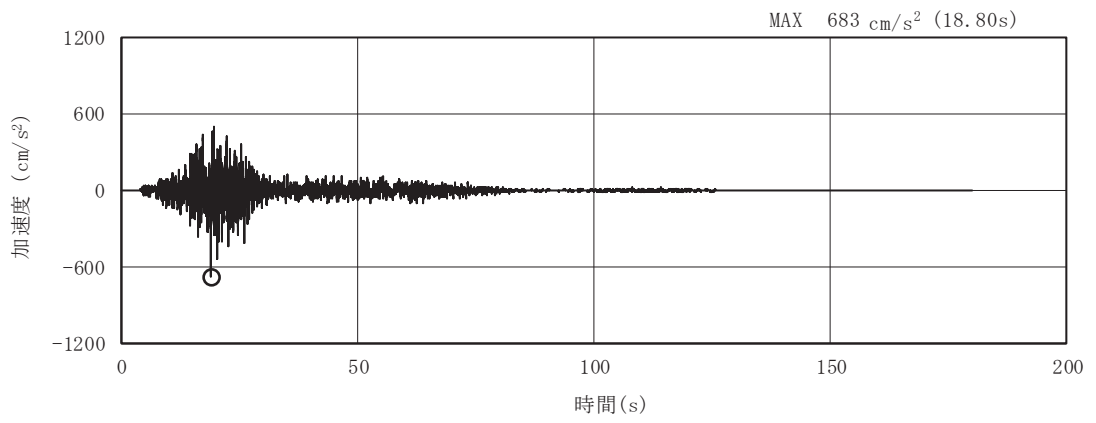


(a) 加速度時刻歴波形

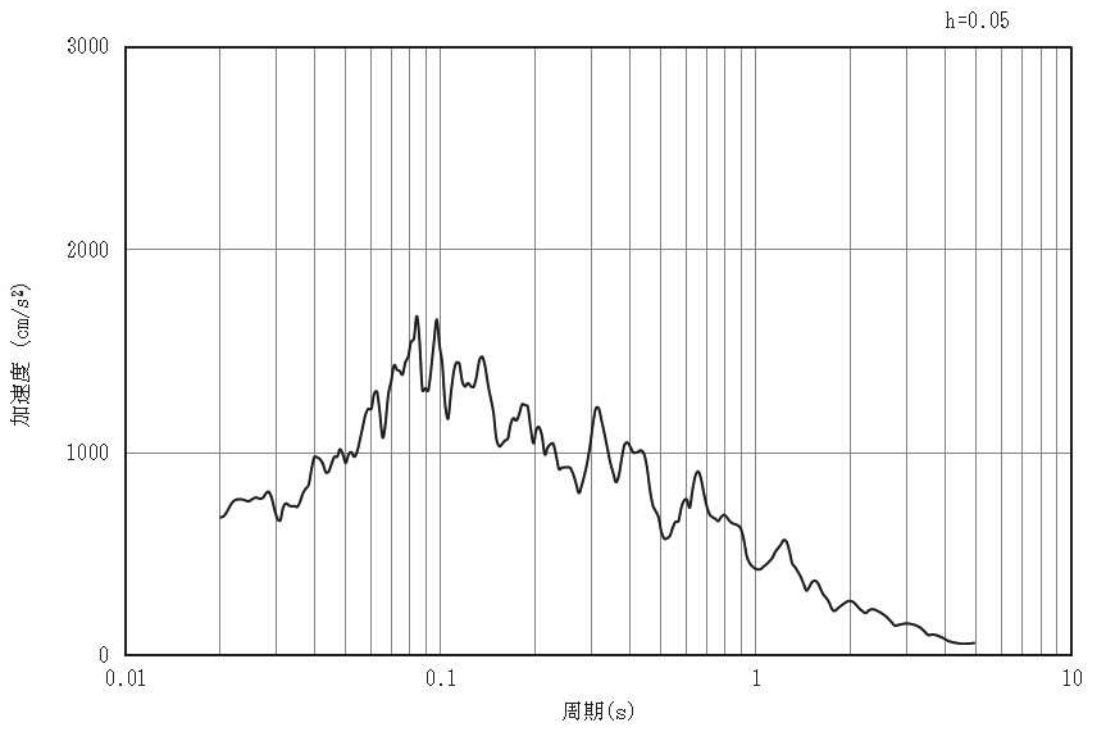


(b) 加速度応答スペクトル

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 - D 3)

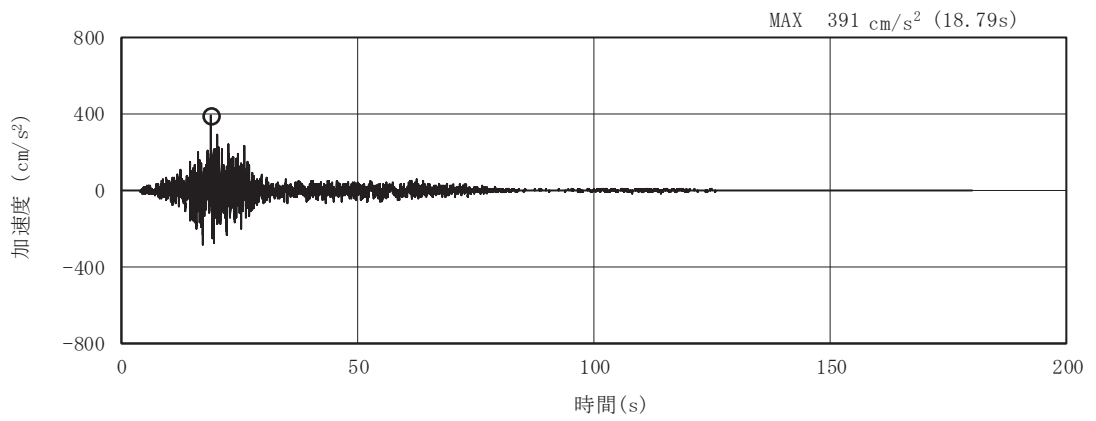


(a) 加速度時刻歴波形

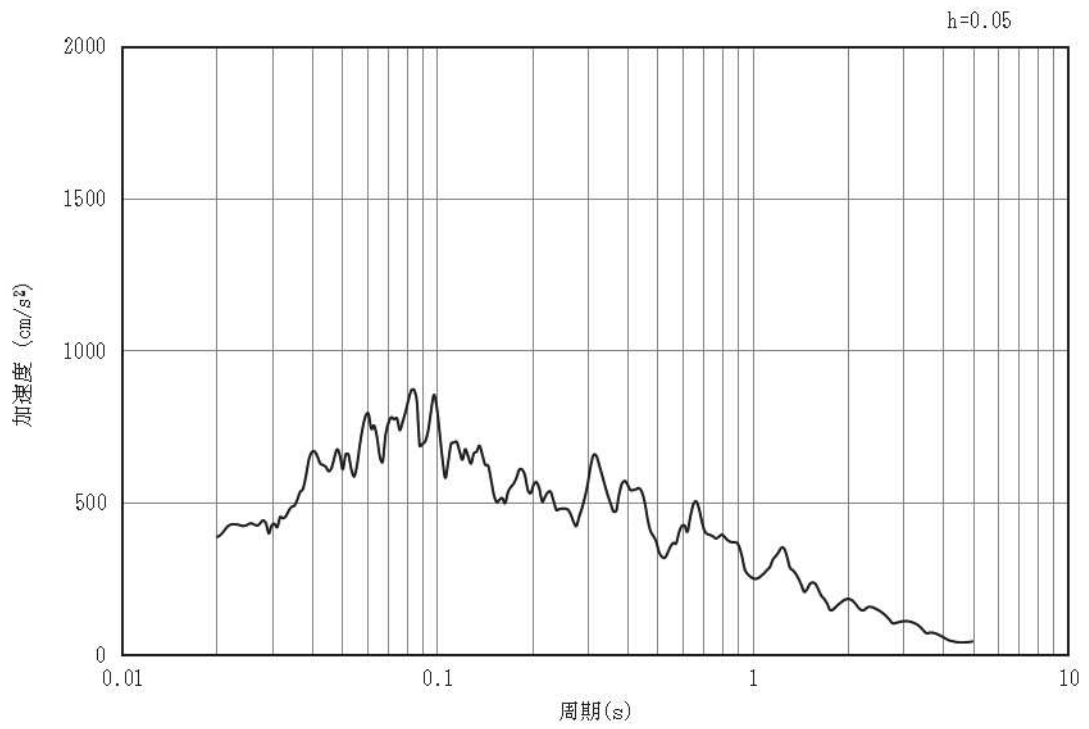


(b) 加速度応答スペクトル

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 - F 1)

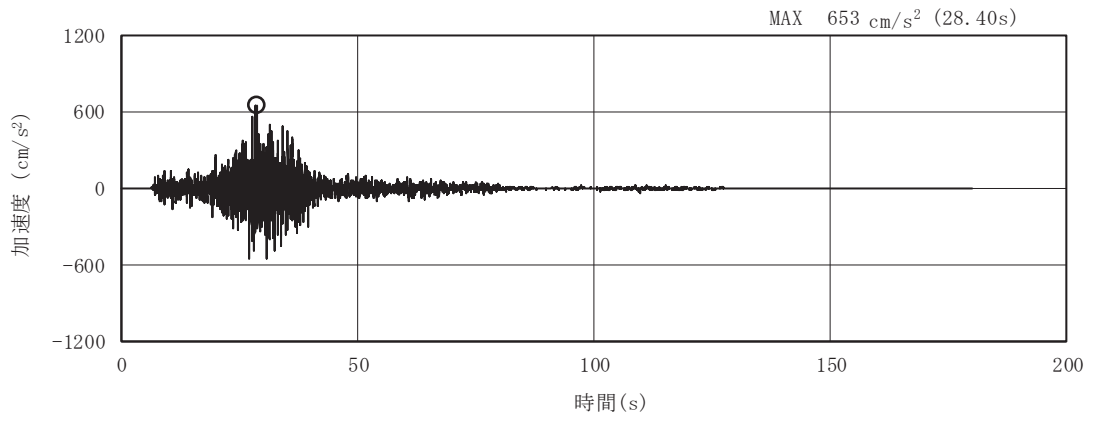


(a) 加速度時刻歴波形

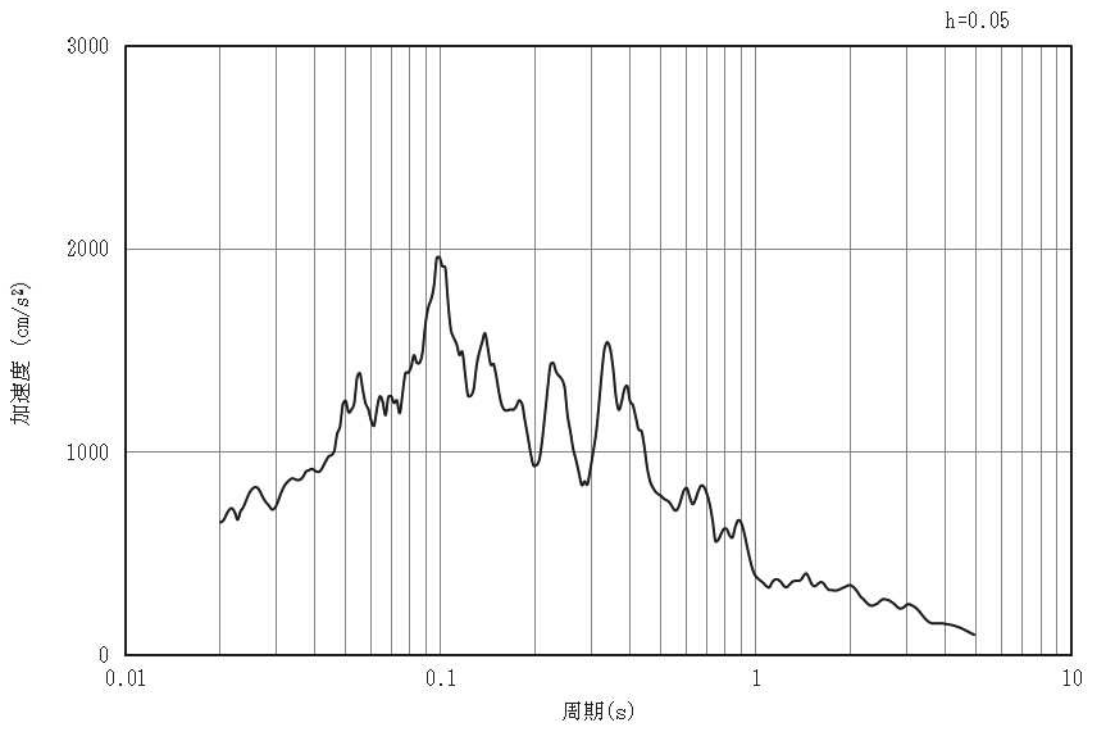


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - F 1)

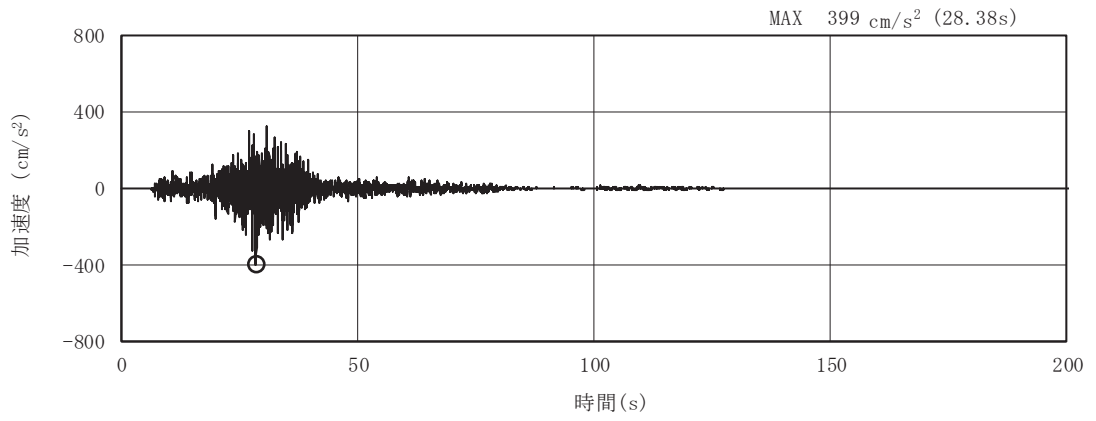


(a) 加速度時刻歴波形

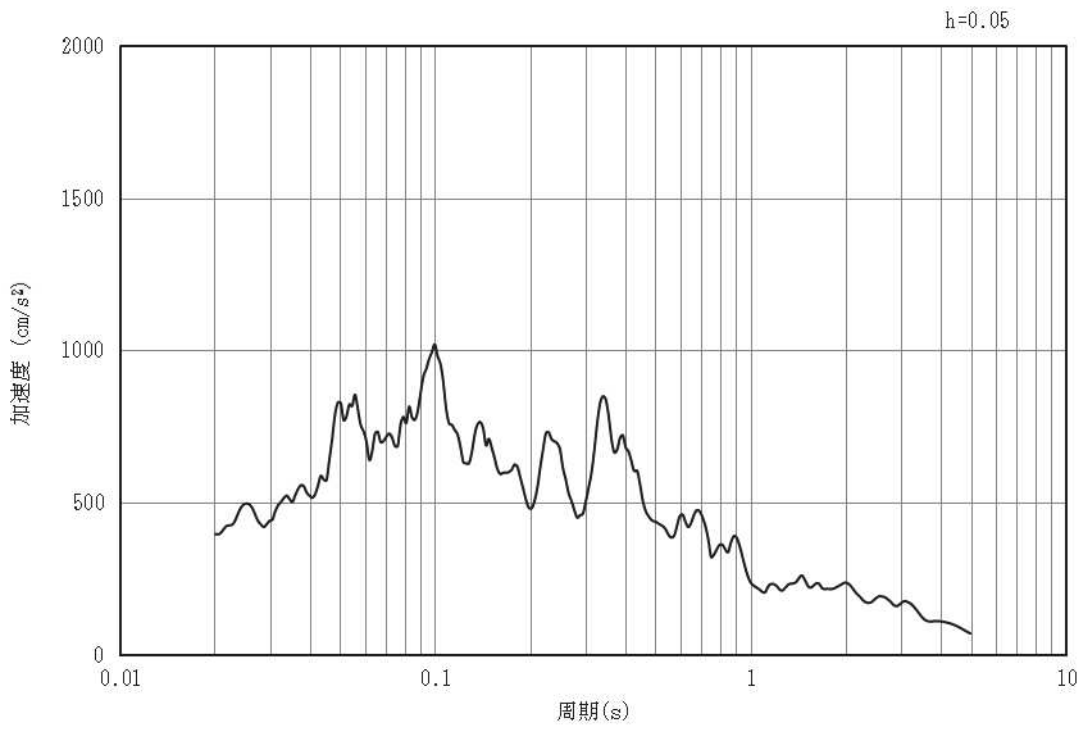


(b) 加速度応答スペクトル

図3-16 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
(水平成分：S s - F 2)

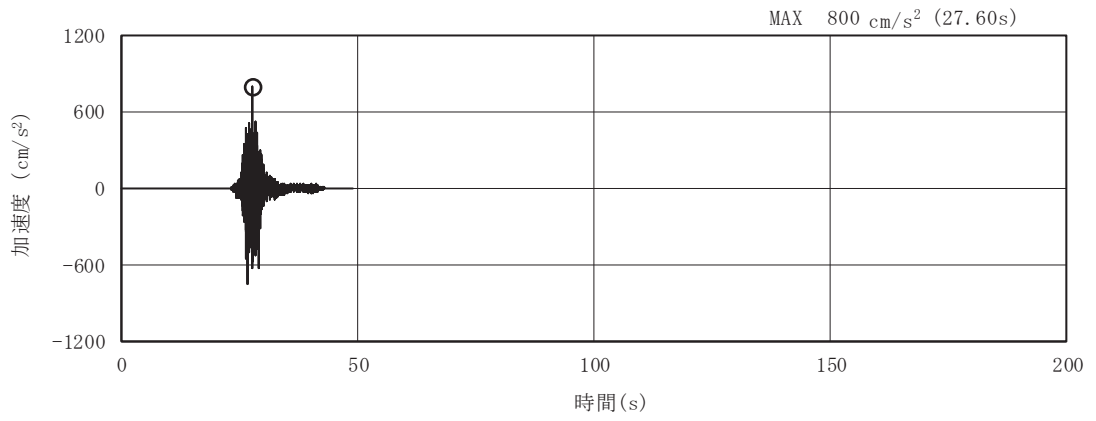


(a) 加速度時刻歴波形

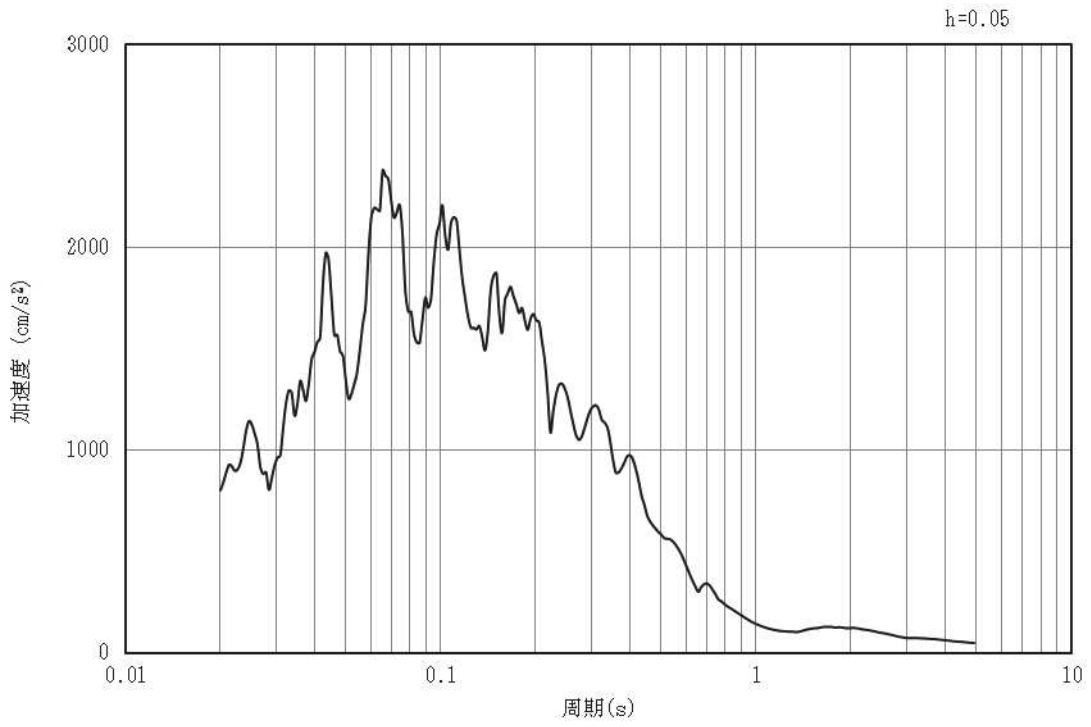


(b) 加速度応答スペクトル

図3-17 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
(鉛直成分：S s - F 2)

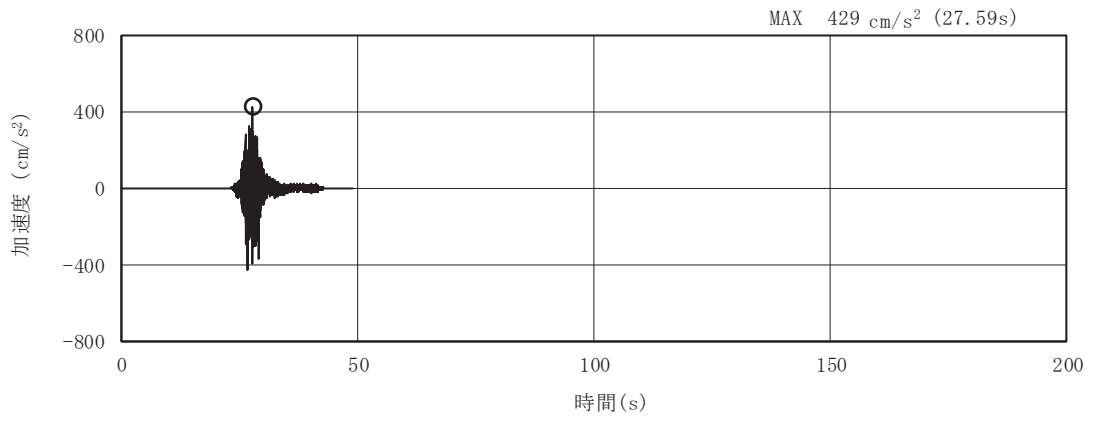


(a) 加速度時刻歴波形

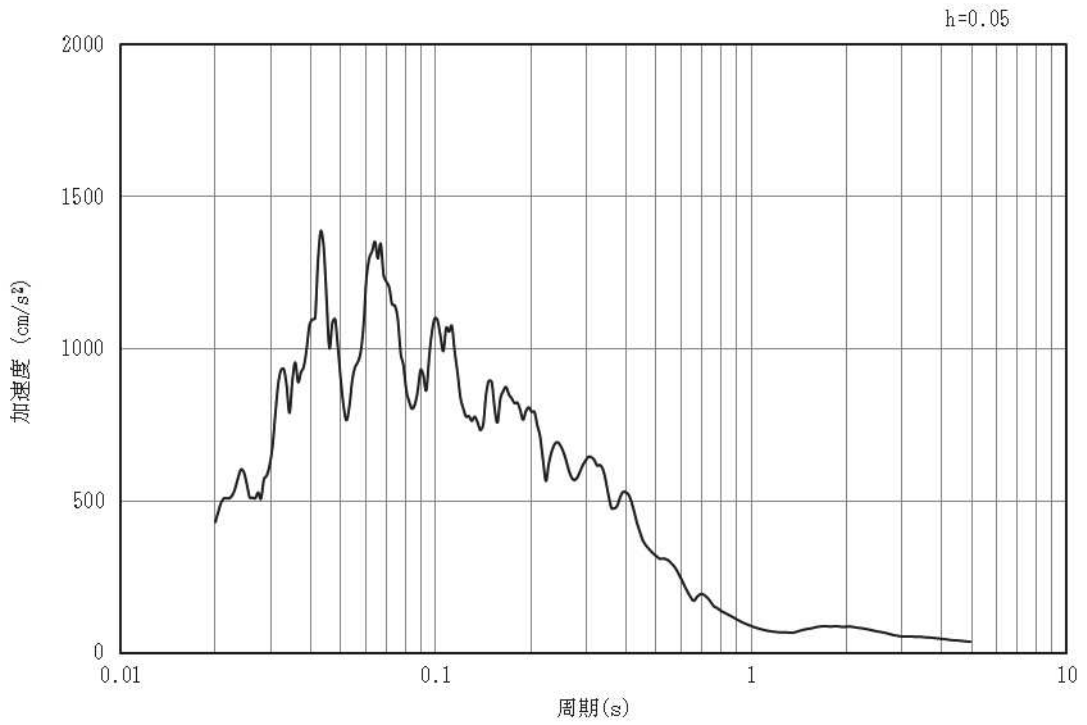


(b) 加速度応答スペクトル

図3-18 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
(水平成分：S s - F 3)

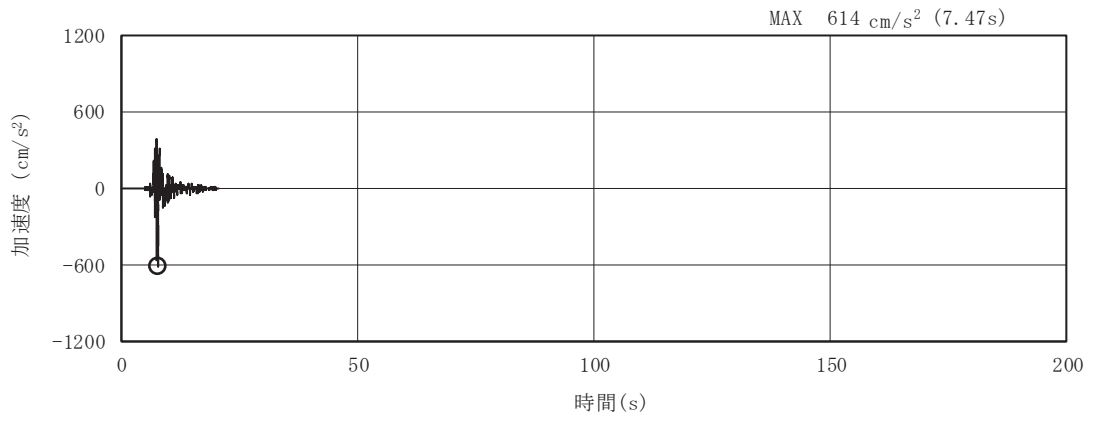


(a) 加速度時刻歴波形

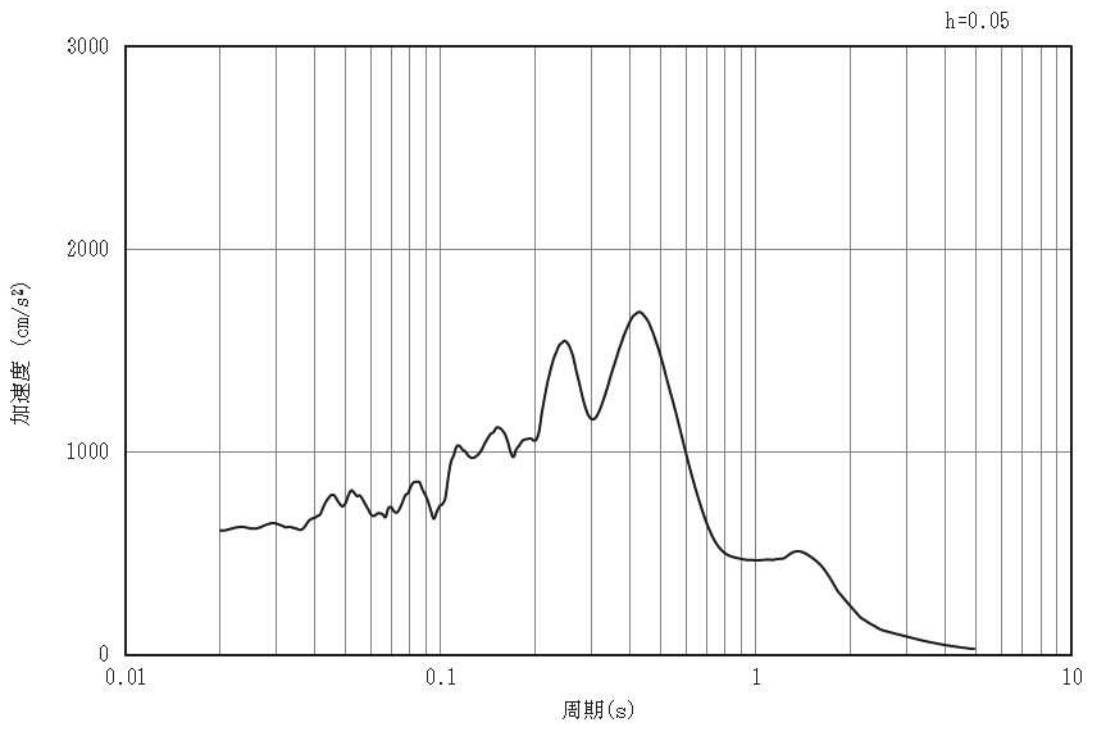


(b) 加速度応答スペクトル

図3-19 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 3)

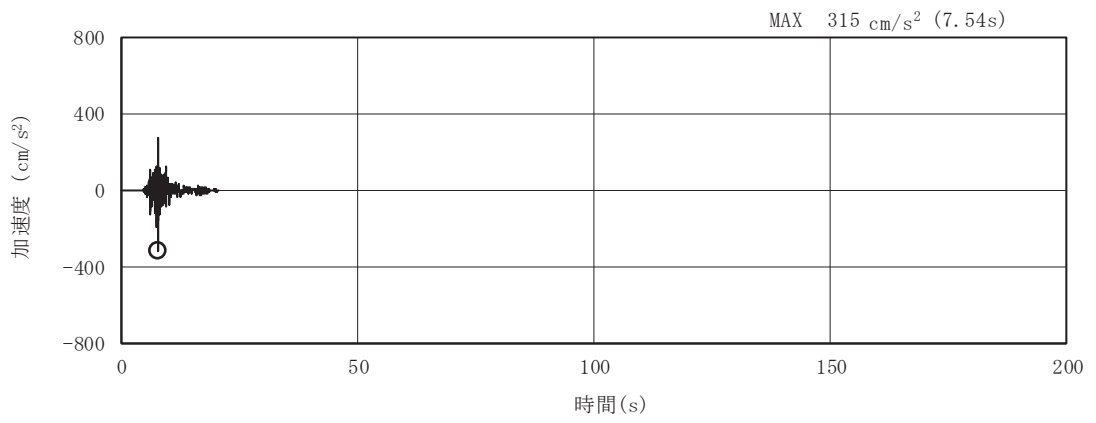


(a) 加速度時刻歴波形

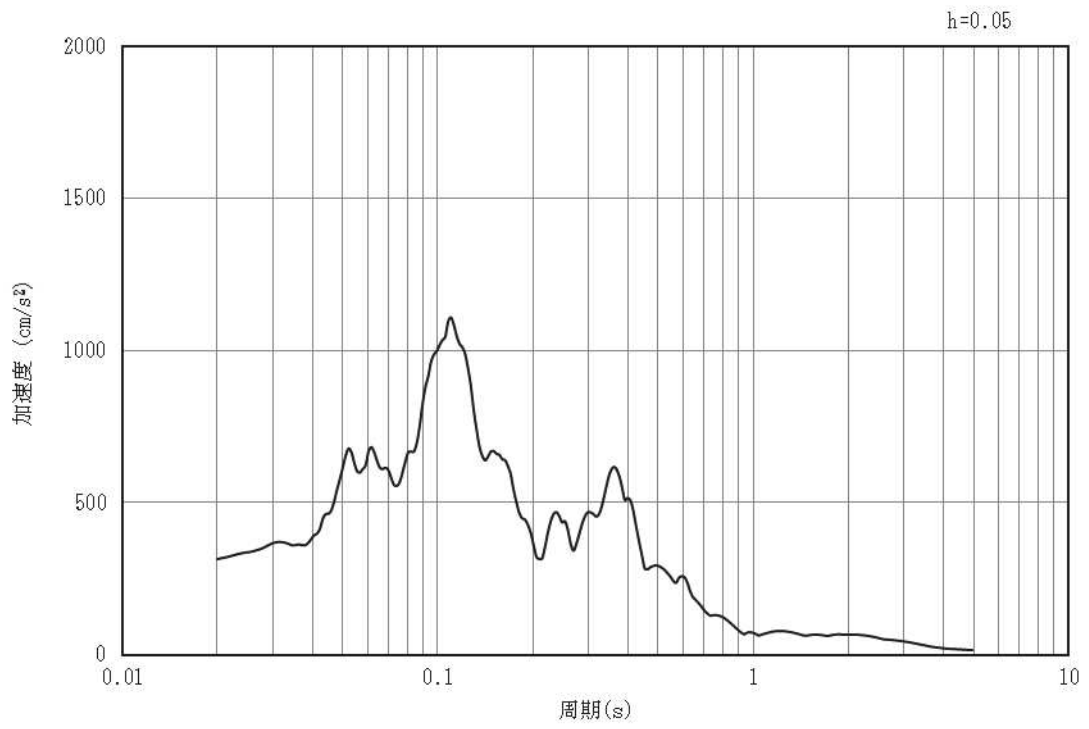


(b) 加速度応答スペクトル

図3-20 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3-21 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)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水路（漸拡部）の地震応答解析モデルを図3-22に示す。

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、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。

(4) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土、旧表土、D級岩盤及び改良地盤は、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) 隣接構造物のモデル化

隣接構造物となる復水貯蔵タンク基礎下のMMRは、改良地盤を介して接しており、お互いの振動の影響を受けることから、復水貯蔵タンク基礎下のMMRをモデル化する。また、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地震時の「MMRと構造物」、「盛土及び岩盤とMMR」、「盛土及び岩盤と改良地盤」及び「盛土と構造物」との接合面における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。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、ジョイント要素を設定する。

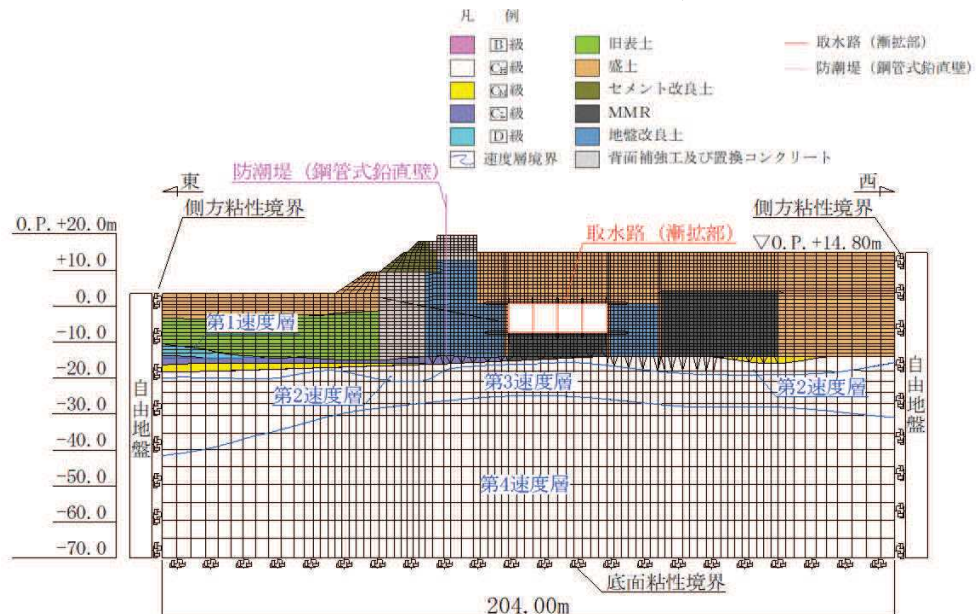


図3-22 取水路（漸拡部）の地震応答解析モデル図

(7) 水位条件

内水位は、朔望平均満潮位 (O. P. +2. 43m) とする。

地下水位は、添付書類「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。
設計用地下水位を表 3-5 及び図 3-23 に示す。

表 3-5 設計用地下水位の一覧

施設名称	設計用地下水位
取水路 (漸拡部)	O. P. -4. 53m~O. P. +2. 43m

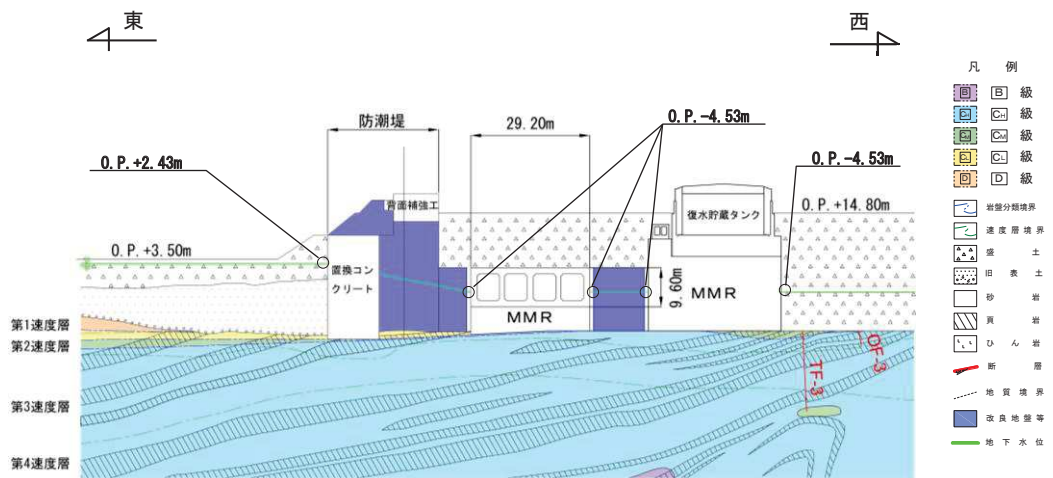


図 3-23 設計用地下水位

VI-2-10-4-4-1 R O

④

O 2

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 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 20.5N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-7 材料の物性値 (構造部材)

材料	項目	材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度*	3.18×10 ⁴ 解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 ⁴ 解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比	0.2	

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

3.6 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.6.1 構造部材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

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）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（2005年6月 土木学会 原子力土木委員会）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルで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、層間変形角 1/100 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等が確保できるとして設定されたものである。

貯水機能を損なわないことの確認における許容限界は、鉄筋の降伏を許容限界として降伏曲げモーメントとする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 取水路（漸拡部）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目		許容限界	
構造強度を有すること	通水機能を有すること	限界層間変形角	1/100
	貯水機能を損なわないこと	曲げモーメント	降伏曲げモーメント

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。

貯水機能を損なわないことの確認におけるせん断破壊に対する許容限界は、終局状態に至らないことを目標性能とすることからせん断耐力を許容限界とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤（狐崎部層）

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

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表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	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

(2) MMR（既設）

MMR（既設）に発生する接地圧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]（土木学会，2002年制定）に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（既設）の許容限界を表3-10に示す。

表3-10 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck} = 15.6 \text{ N/mm}^2$)	$f'_a = 15.6$

3.7 評価方法

取水路（漸拡部）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「3.6 許容限界」において設定した許容限界を下回ることを確認する。

3.7.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価については、鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において、地震応答解析により算定した照査用層間変形角、照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動での層間変形角の時刻歴波形を図 3-24 に、せん断破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-25 に示す。

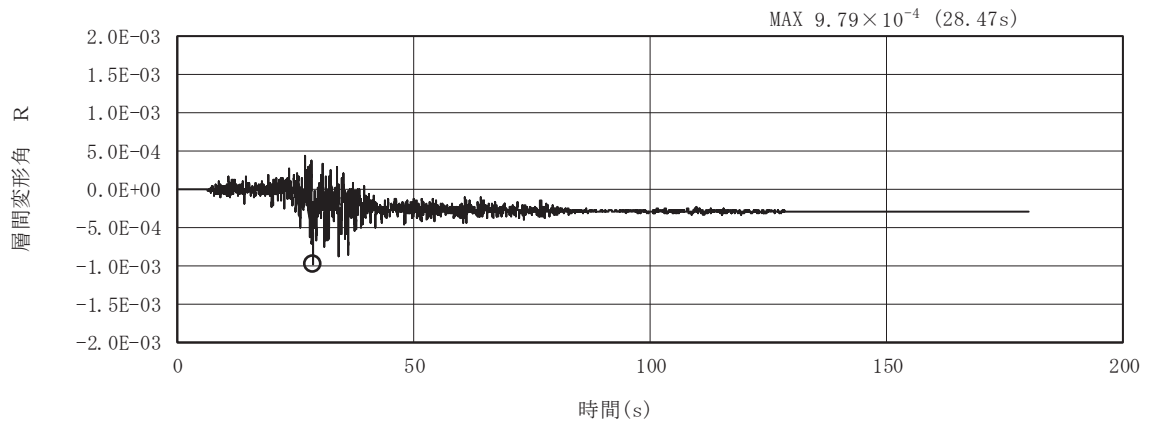
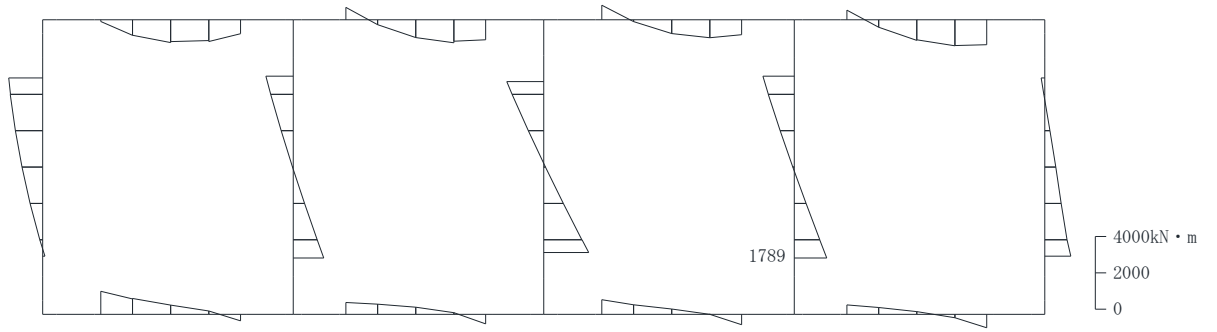
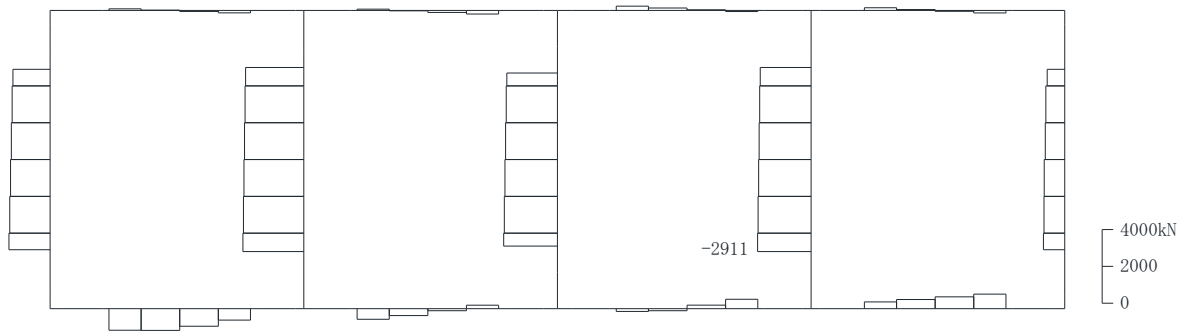


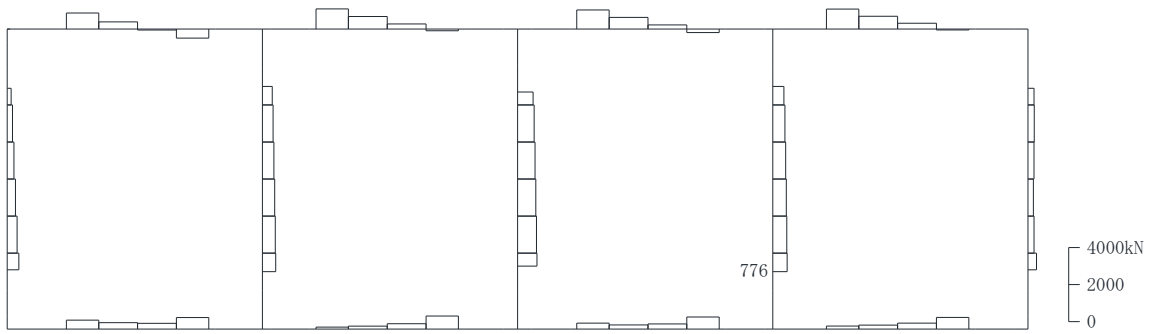
図 3-24 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における層間変形角の時刻歴波形
 (解析ケース③, S s - F 2 (-+))



曲げモーメント (kN・m)



軸力 (kN) (-圧縮, +引張)



せん断力 (kN)

図 3-25 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(隔壁, 解析ケース④, S s - F 2 (-+))

3.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、構造部材を支持する基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・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。

取水路（漸拡部）の照査用層間変形角及び照査用せん断力が、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

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	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
③	$S_s - F 2$ (-+)	-1.18×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.12

注記*：照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

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*3 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	21	①	$S_s - D 2$ (-+)	1152	1648	0.70
側壁	60	③	$S_s - F 2$ (++)	-1048	1428	0.74
隔壁	90	④	$S_s - F 2$ (-+)	815	1012	0.81
底版	11	④	$S_s - F 2$ (-+)	-964	2504	0.39

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a

*3：せん断耐力式によるせん断耐力

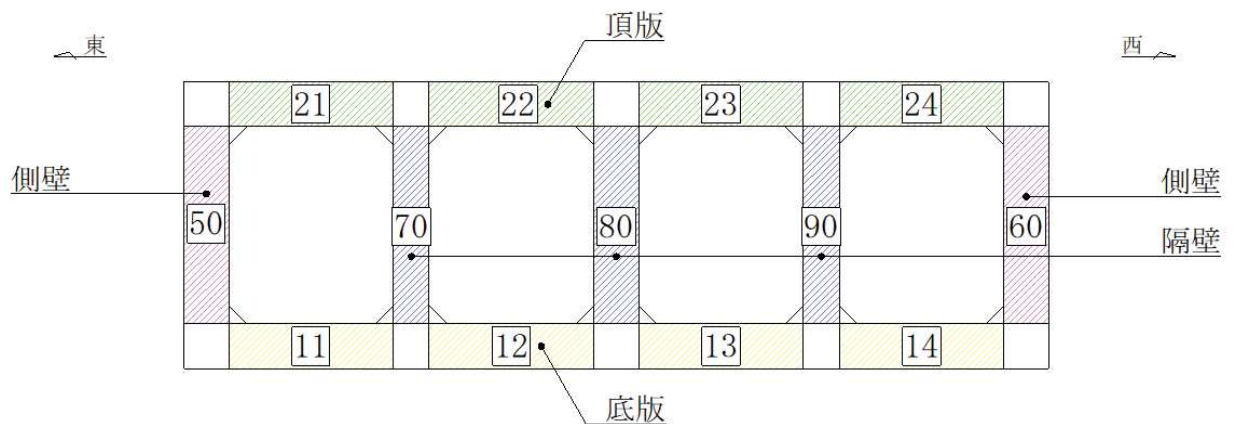


図 4-1 評価位置図

4.2 各要求機能に対する評価結果

4.2.1 通水機能

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-4 に示す。

取水路（漸拡部）の照査用層間変形角及び照査用せん断力が、通水機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 4-3 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（再掲）

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
③	$S_s - F 2$ (-+)	-1.18×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.12

注記*：照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-4 せん断破壊に対する最大照査値（再掲）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*3 V_d (kN)	せん断耐力*4 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
頂版	21	①	$S_s - D 2$ (-+)	1152	1648	0.70
側壁	60	③	$S_s - F 2$ (++)	-1048	1428	0.74
隔壁	90	④	$S_s - F 2$ (-+)	815	1012	0.81
底版	11	④	$S_s - F 2$ (-+)	-964	2504	0.39

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：通水機能が要求される部材の範囲は図 4-2 に示す。

*3：照査用せん断力 = 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

*4：せん断耐力式によるせん断耐力

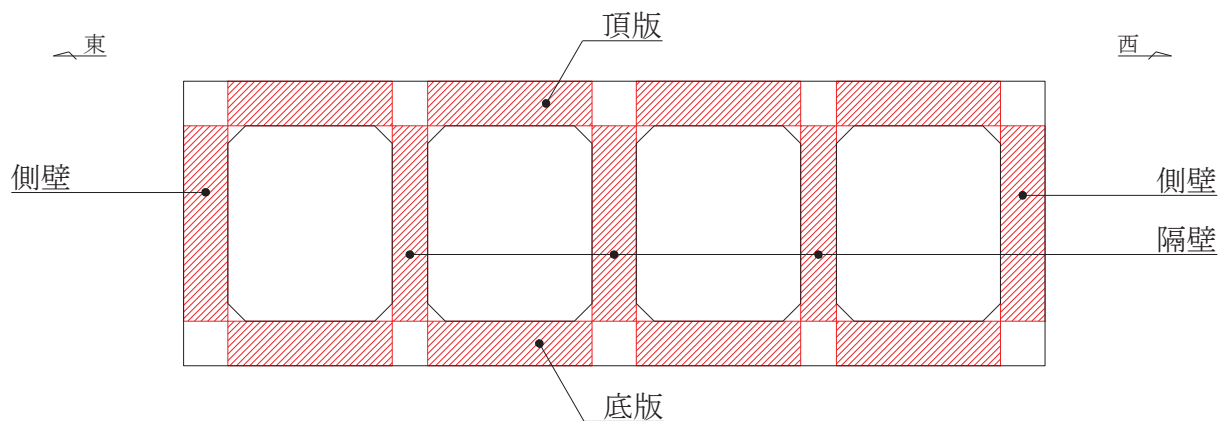


図 4-2 通水機能が要求される部材の範囲

4.2.2 貯水機能

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-5 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-6 に示す。

取水路（漸拡部）の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が、貯水機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 4-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメント M_d *3 (kN・m)	降伏曲げ モーメント M_y (kN・m)	照査値 M_d/M_y
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	50	①	S s - D 2 (-+)	-1022	-2621	0.39
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	13	④	S s - F 2 (-+)	-1031	-1759	0.59

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 4-3 に示す。

*3：照査用曲げモーメント M_d = 最大曲げモーメント M × 構造解析係数 γ_a

表 4-6 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*3 V_d (kN)	せん断 耐力*4 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	60	③	S s - F 2 (++)	-1048	1428	0.74
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	11	④	S s - F 2 (-+)	-964	2504	0.39

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 4-3 に示す。

*3：照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a

*4：せん断耐力式によるせん断耐力

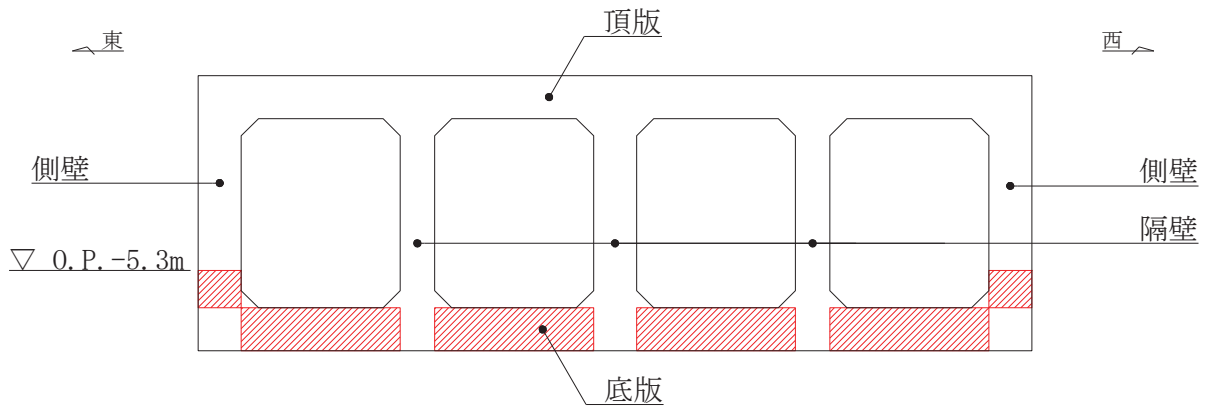


図 4-3 貯水機能が要求される部材の範囲

4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

4.3.1 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表4-7に示す。また、最大接地圧分布図を図4-4に示す。

取水路（漸拡部）の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表4-7 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
②	S s - F 2 (-+)	1.3	13.7	0.10

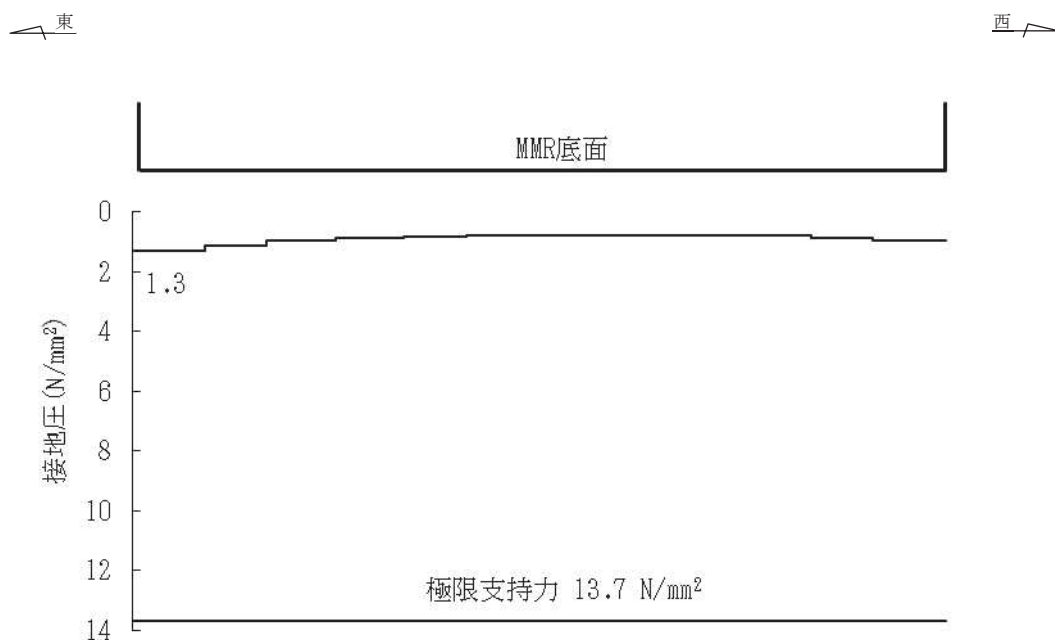


図4-4 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース②, S s - F 2 (-+))

4.3.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表4-8に示す。また、最大接地圧分布図を図4-5に示す。

取水路（漸拡部）のMMR（既設）に発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表4-8 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
③	S _s -F2 (-+)	4.6	15.6	0.30

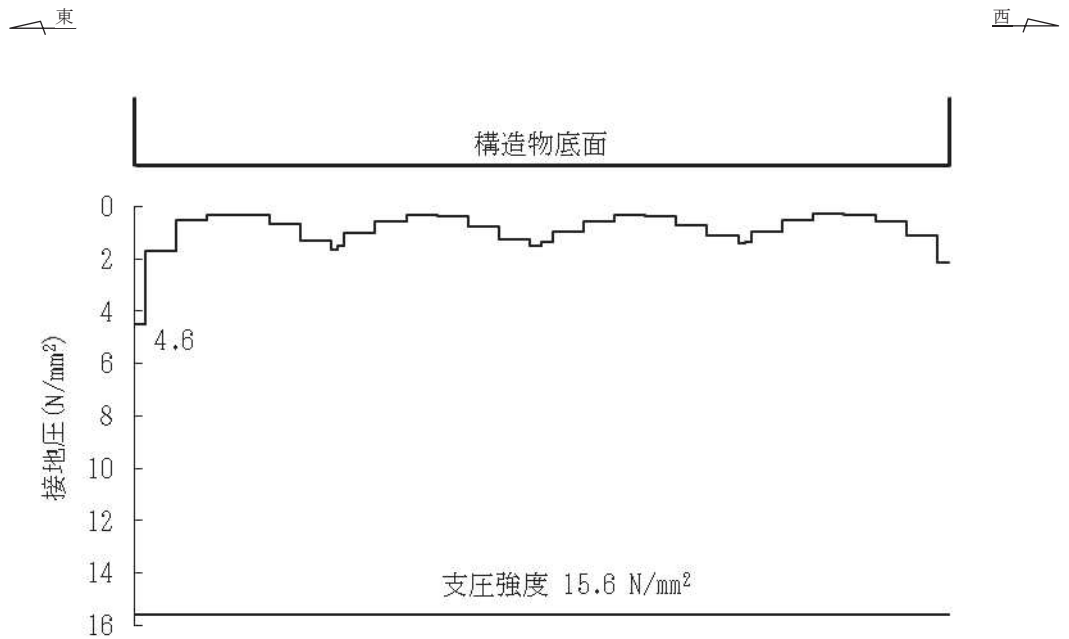


図4-5 MMR（既設）の最大接地圧分布図
(解析ケース③, S_s-F2 (-+))

VI-2-10-4-4-2 取水路（標準部）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	6
2.4	適用基準	9
3.	地震応答解析	10
3.1	地震時荷重算出断面	10
3.2	解析方法	14
3.2.1	構造部材	14
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	16
3.2.3	減衰定数	17
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	18
3.3	荷重及び荷重の組合せ	19
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	19
3.3.2	荷重	19
3.3.3	荷重の組合せ	20
3.4	入力地震動	21
3.5	解析モデル及び諸元	106
3.5.1	解析モデル	106
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	114
3.5.3	地盤の物性値	115
3.6	地震応答解析結果	116
4.	三次元構造解析	131
4.1	評価対象部材	131
4.2	解析方法	133
4.3	解析モデルの諸元	133
4.3.1	解析モデル	133
4.3.2	使用材料及び材料の物性値	137
4.4	照査時刻及び入力荷重	138
4.4.1	照査時刻	138
4.4.2	入力荷重	140
4.5	三次元構造解析結果	141
5.	耐震評価	160
5.1	許容限界	160
5.1.1	構造部材の健全性に対する許容限界	160

5.1.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界.....	161
5.2	評価方法	162
6.	耐震評価結果	163
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果.....	163
6.2	各要求機能に対する評価結果.....	166
6.2.1	通水機能	166
6.2.2	貯水機能	169
6.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果.....	173
6.3.1	基礎地盤（狐崎部層）	173
6.3.2	MMR（既設）	174

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水路（標準部）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ものである。

取水路（標準部）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく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行う。

2. 基本方針

2.1 位置

取水路（標準部）の位置を図2-1に示す。

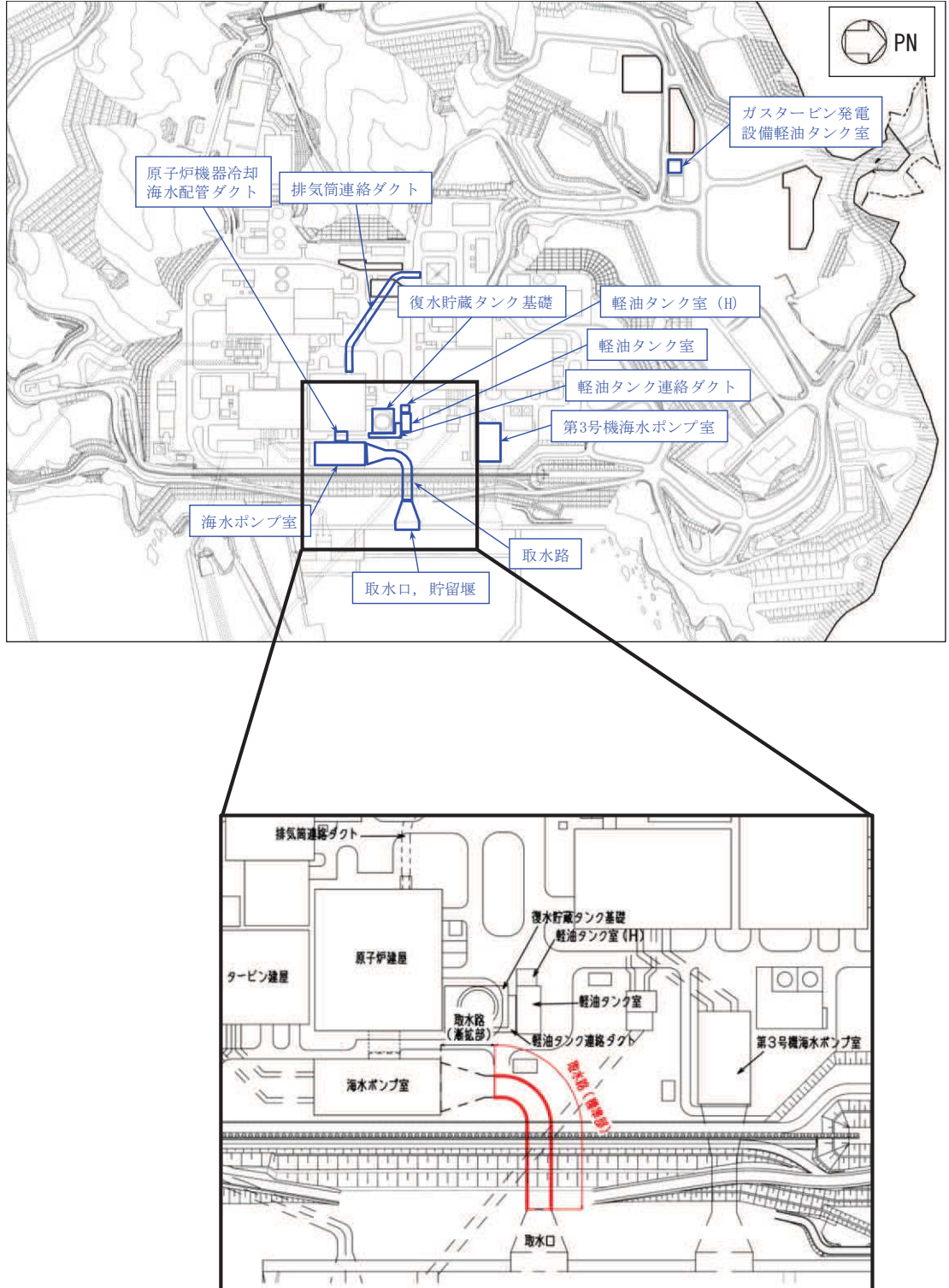


図2-1 取水路（標準部）の位置図

2.2 構造概要

取水路（標準部）の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に示す。

取水路（標準部）は、非常時における海水の通水機能及び貯水機能が要求される。

取水路（標準部）は、取水口と取水路（漸拡部）を結ぶ延長 87.48m、内空幅 内空高さ の下り勾配の二連ボックスカルバート構造で延長方向に断面が一様な地中構造物であり、直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

取水路（標準部）は、取水口から防潮堤までの直線部と、防潮堤から取水路（漸拡部）までの曲線部に大別される。

取水路（標準部）は、取水口及び取水路（漸拡部）との接合部及び直線部と曲線部の境界に構造目地が設置されている線状構造物である。

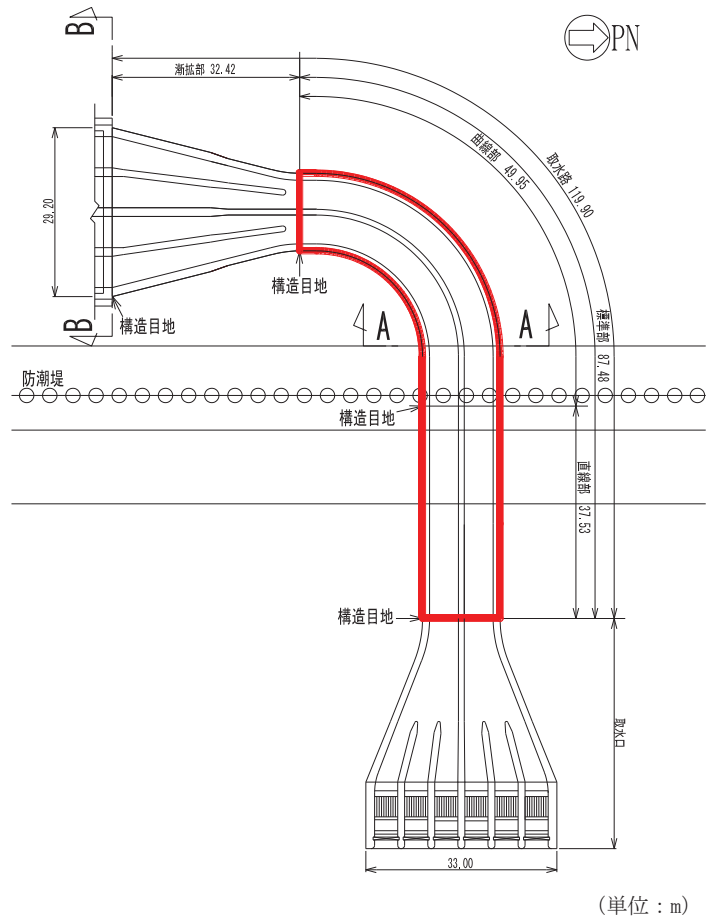
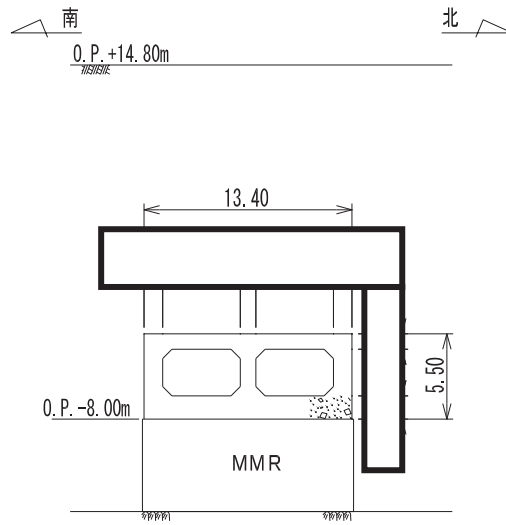


図 2-2 取水路（標準部）平面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(単位 : m)

図 2-3 取水路 (標準部) 断面図 (A-A 断面)

02 ④ VI-2-10-4-4-2 R0

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

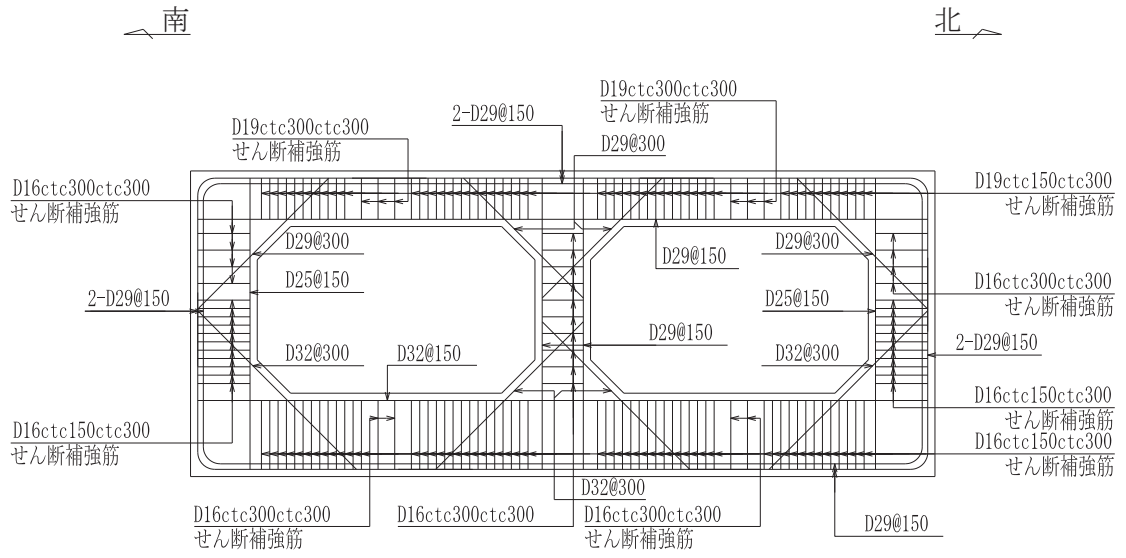


図 2-4 取水路（標準部）概略配筋図（A-A 断面）

2.3 評価方針

取水路（標準部）は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

取水路（標準部）の耐震評価フローを図2-5に示す。

取水路（標準部）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1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及び基礎地盤の支持性能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、取水路（標準部）は線状構造物であるものの、防潮堤を横断し周辺地盤の剛性が急変する箇所が存在すること、防潮堤の西側に曲線箇所を有し躯体のねじれ等の影響を評価する必要があることから、直線部、曲線部のそれぞれを三次元モデルを用いて耐震評価を行う。また、地震応答解析より得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用い、非線形ソリッド要素による三次元静的材料非線形解析（以下「三次元構造解析」という。）により応答値を算定し、添付書類「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を下回ることを、せん断破壊に対しては、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、地震応答解析より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

ここで、取水路（標準部）の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

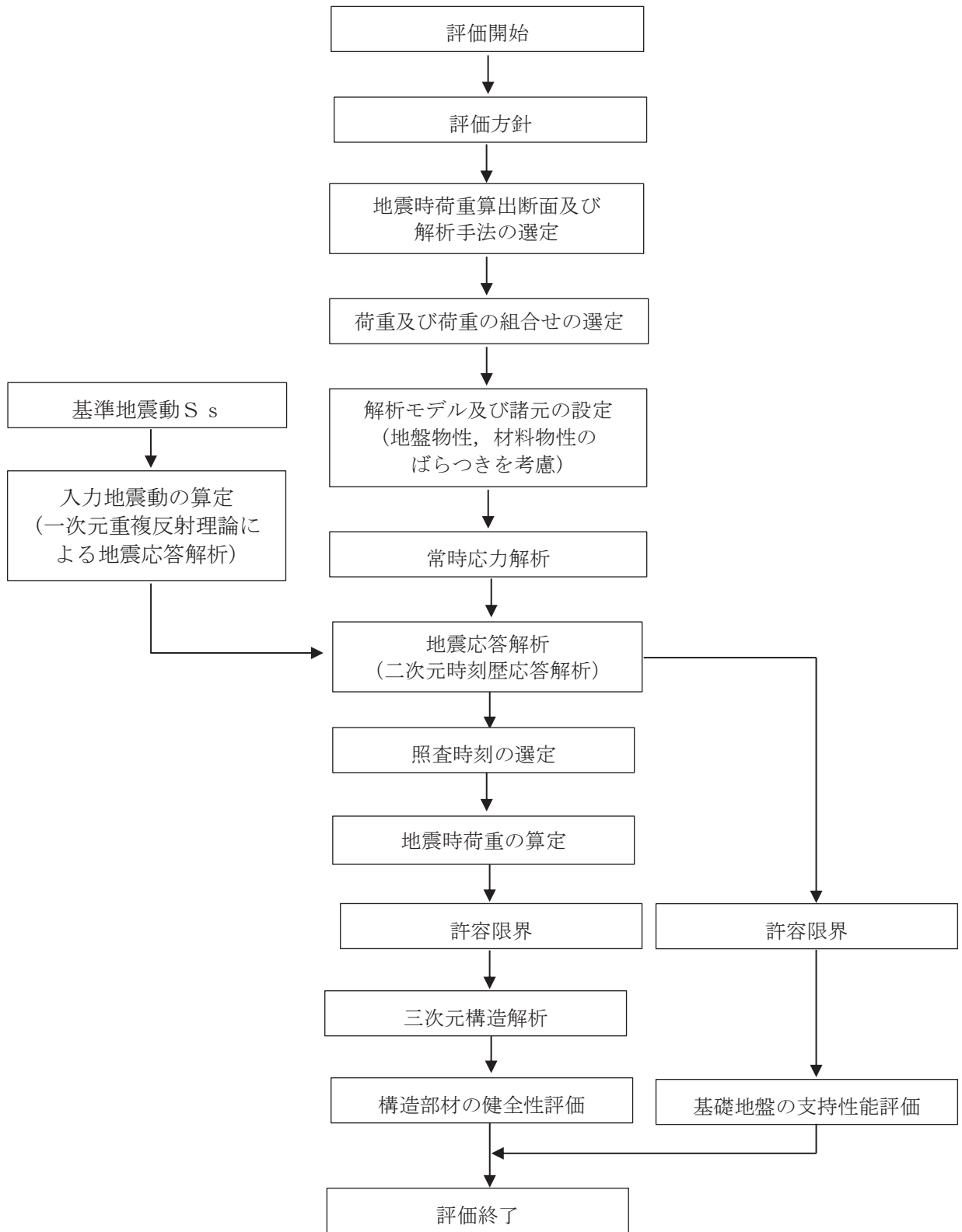


図 2-5 取水路（標準部）の耐震評価フロー

表 2-1 取水路（標準部）の評価項目

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	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*
	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	岩盤の極限支持力*	
		MMR		MMR の支圧強度*	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- 土木学会 2012年 コンクリート標準示方書[設計編]
- 土木学会 2017年 コンクリート標準示方書[設計編]
- 土木学会 2005年 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
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編

3. 地震応答解析

3.1 地震時荷重算出断面

取水路（標準部）の地震時荷重算出断面位置図を図3-1に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、断面②～断面⑦とする。地震時荷重算出用地質断面図を図3-2～図3-7に示す。

なお、取水路は線状構造物であり、横断方向（延長方向に直交する方向）が弱軸方向となることから、耐震評価に用いる応答値の抽出は、弱軸方向に対して実施する。

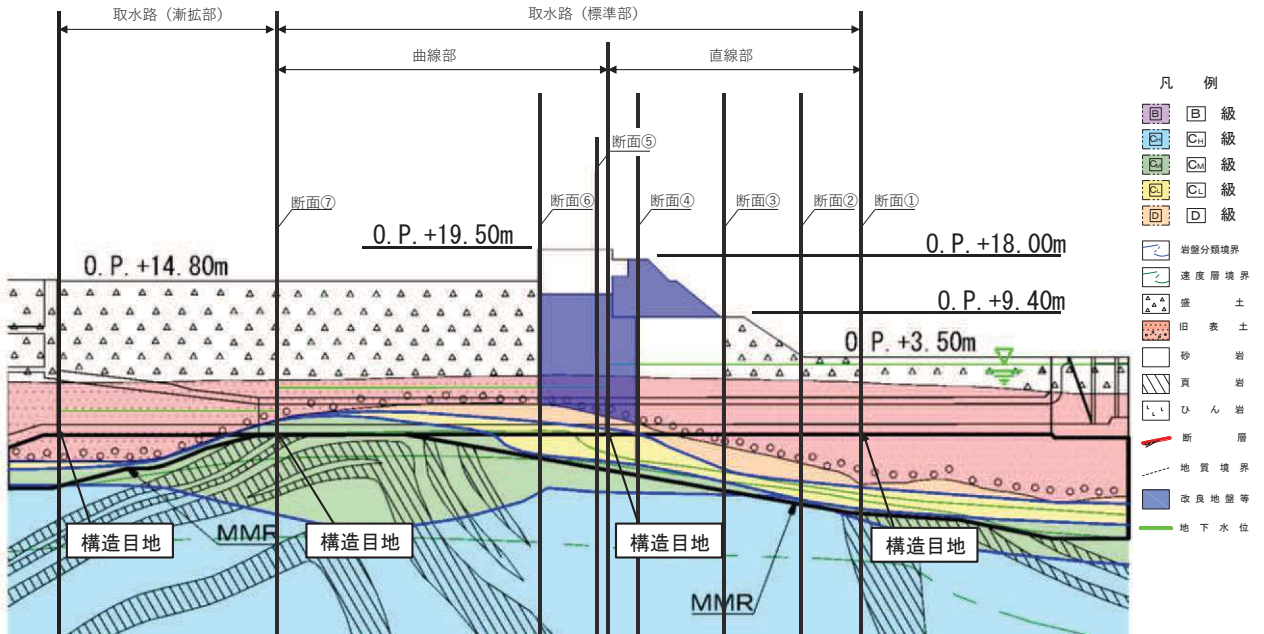


図3-1 取水路（標準部）の地震時荷重算出断面位置図

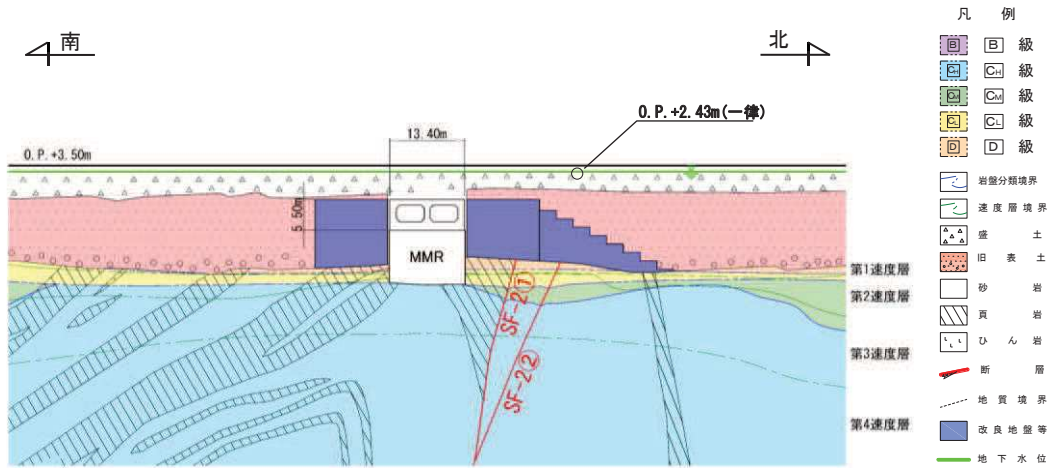


图 3-2 取水路（標準部） 地震時荷重算出用地質断面図（断面②）

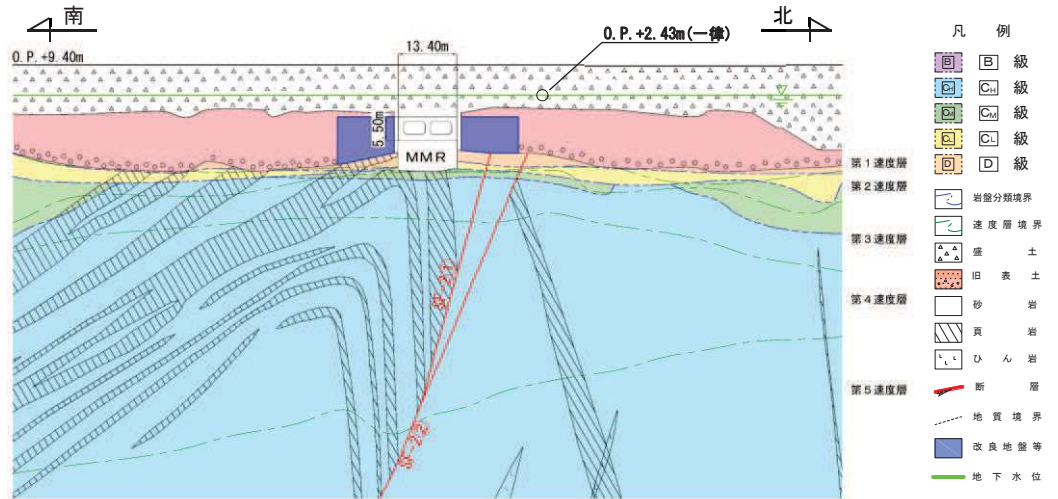


图 3-3 取水路（標準部） 地震時荷重算出用地質断面図（断面③）

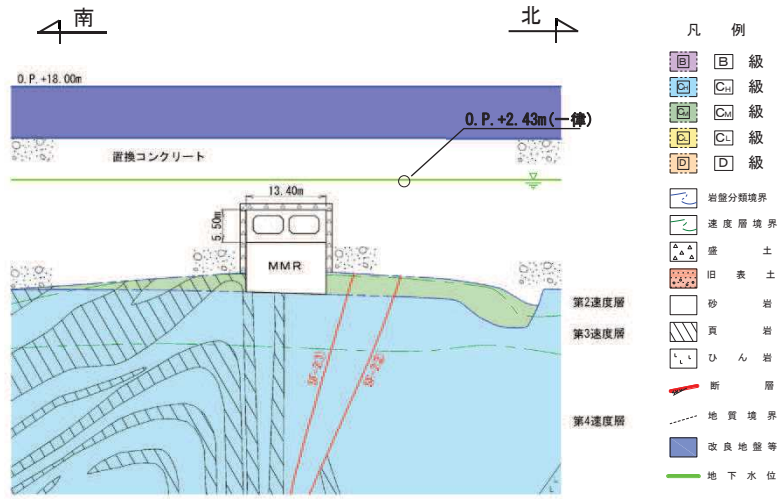


図 3-4 取水路（標準部） 地震時荷重算出用地質断面図（断面④）

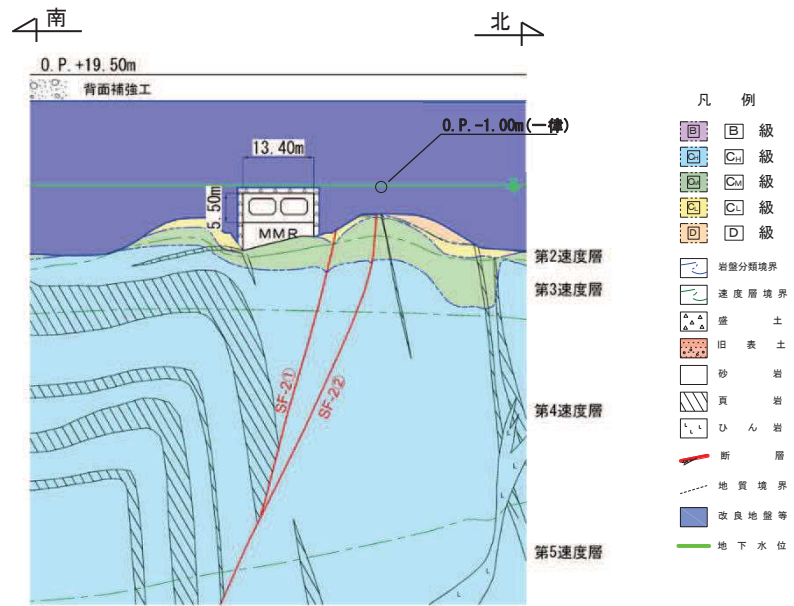


図 3-5 取水路（標準部） 地震時荷重算出用地質断面図（断面⑤）

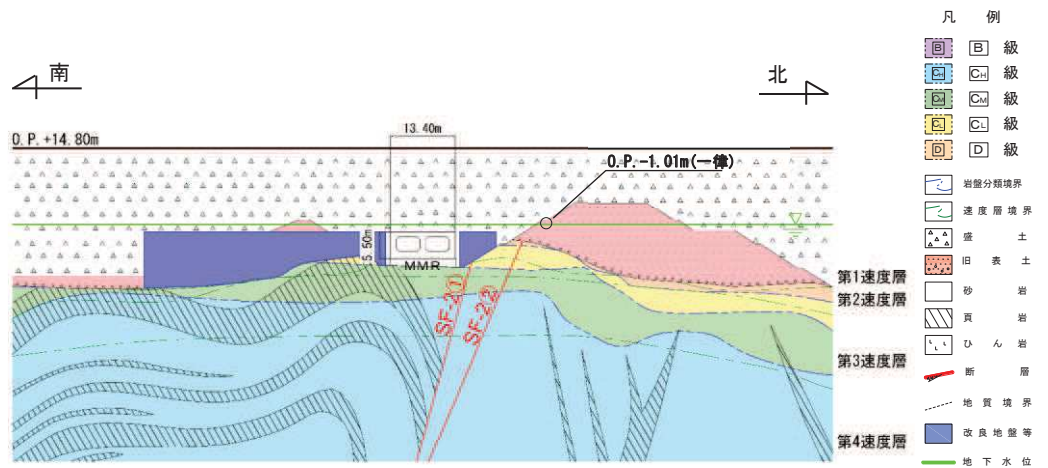


図3-6 取水路（標準部） 地震時荷重算出用地質断面図（断面⑥）

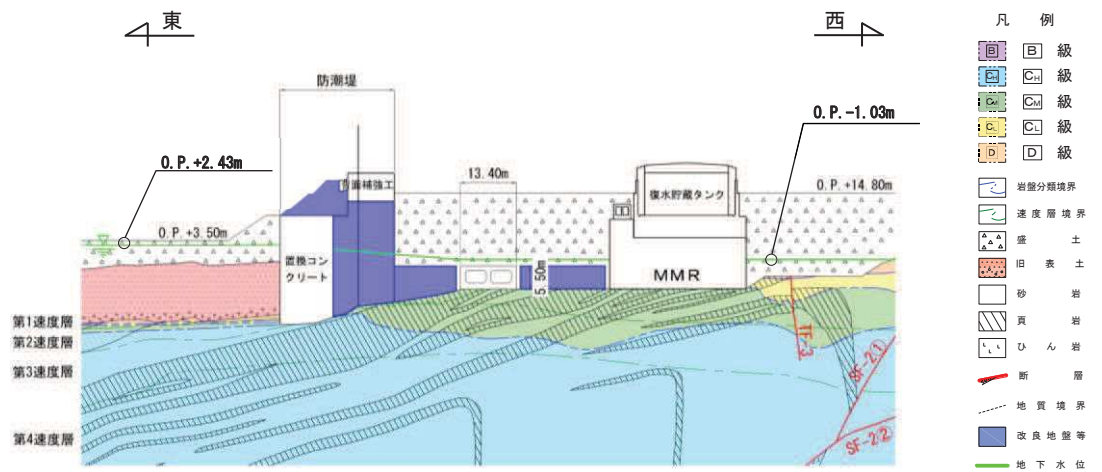


図3-7 取水路（標準部） 地震時荷重算出用地質断面図（断面⑦）

3.2 解析方法

取水路（標準部）の地震応答解析は、添付書類「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二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。解析手法については、断面②～断面⑤は全応力解析、断面⑥及び断面⑦は有効応力解析とする。

構造部材については、非線形はり要素を用いることとし、構造部材の非線形性については、鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Ver.2015 Build3」及び「FLIP Ver.7.3.0_2」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、添付書類「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、非線形はり要素でモデル化することとし、図 3-8 に示す $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルとする。また、履歴特性は、図 3-9 に示すとおり修正武田モデルを適用する。また、コンクリートの応力-ひずみ関係及び鉄筋の応力-ひずみ関係には、それぞれ図 3-10 及び図 3-11 に示す非線形特性を考慮する。

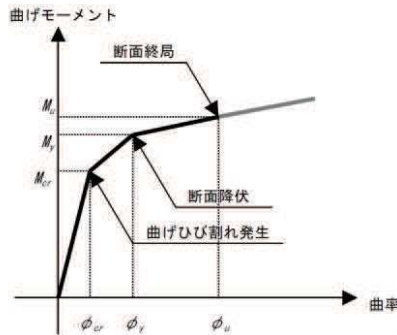


図 3-8 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係

（原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
 （土木学会 原子力土木委員会，2005 年 6 月）より引用）

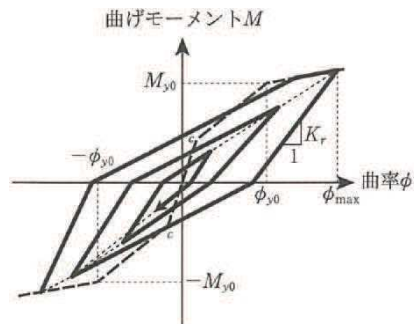


図 3-9 鉄筋コンクリート部材の履歴特性（修正武田モデル）

（道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説（平成 14 年 3 月）より引用）

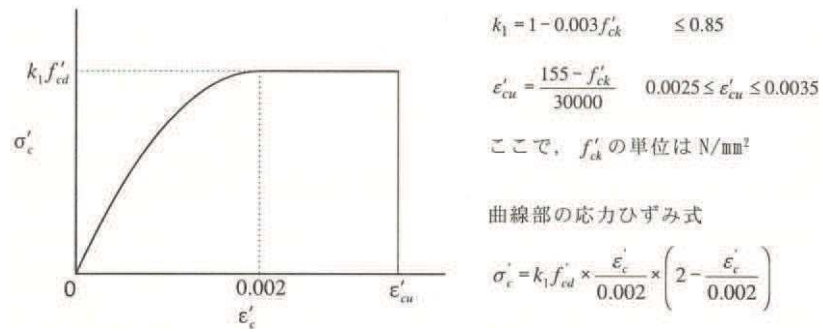


図 3-10 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）より引用）

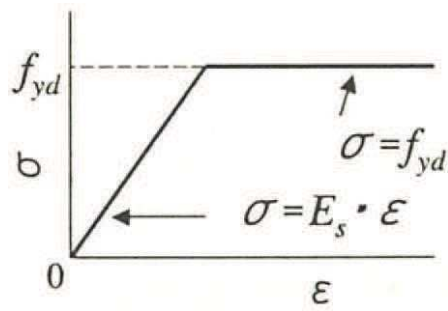


図 3-11 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）より引用）

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性及び材料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。

取水路（標準部）は、直接又は MMR を介して岩盤上に設置され、側面に改良地盤が分布し、主たる荷重は改良地盤等の土圧となることから、盛土、旧表土、D 級岩盤及び改良地盤の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期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を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

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	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, D級岩盤, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 既設建造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、断面②～断面⑤については、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

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。

また、断面⑥及び断面⑦については、Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) とする。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[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

地震時荷重算出断面	α	β
断面②	5.32×10^{-1}	5.64×10^{-4}
断面③	4.37×10^{-1}	6.87×10^{-4}
断面④	1.37	2.19×10^{-4}
断面⑤	9.76×10^{-1}	3.07×10^{-4}
断面⑥	0.00	2.00×10^{-3}
断面⑦	0.00	2.00×10^{-3}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

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、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上とな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②～④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	ケース④
		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	材料物性（コンクリート）に実強度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	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地震動（位相）	$S_s - D 1$	++*1	○	基準地震動 S_s (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上とな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②～④を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。	
		-+*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		-+*1	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005 年 6 月）（以下「土木学会マニュアル」という。）に従い、水平方向の位相反転を考慮する。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。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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

取水路（標準部）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

取水路（標準部）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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、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 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2 を地表面に考慮)

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、添付書類「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 を一次元重複反射理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、添付書類「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3-12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3-13～図3-96に示す。入力地震動の算定には、解析コード「Ark Quake Ver3.10」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

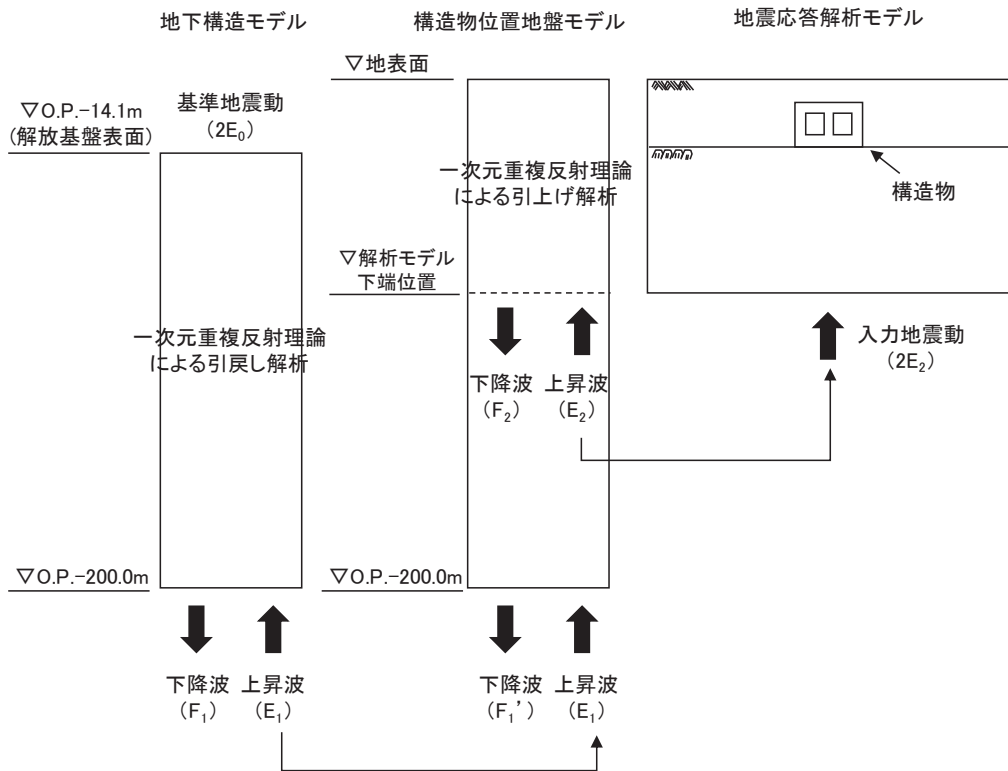
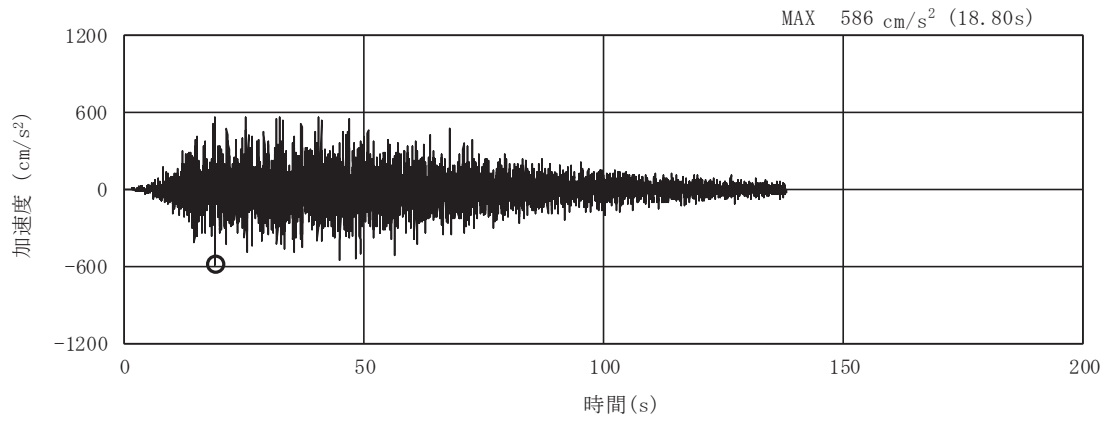
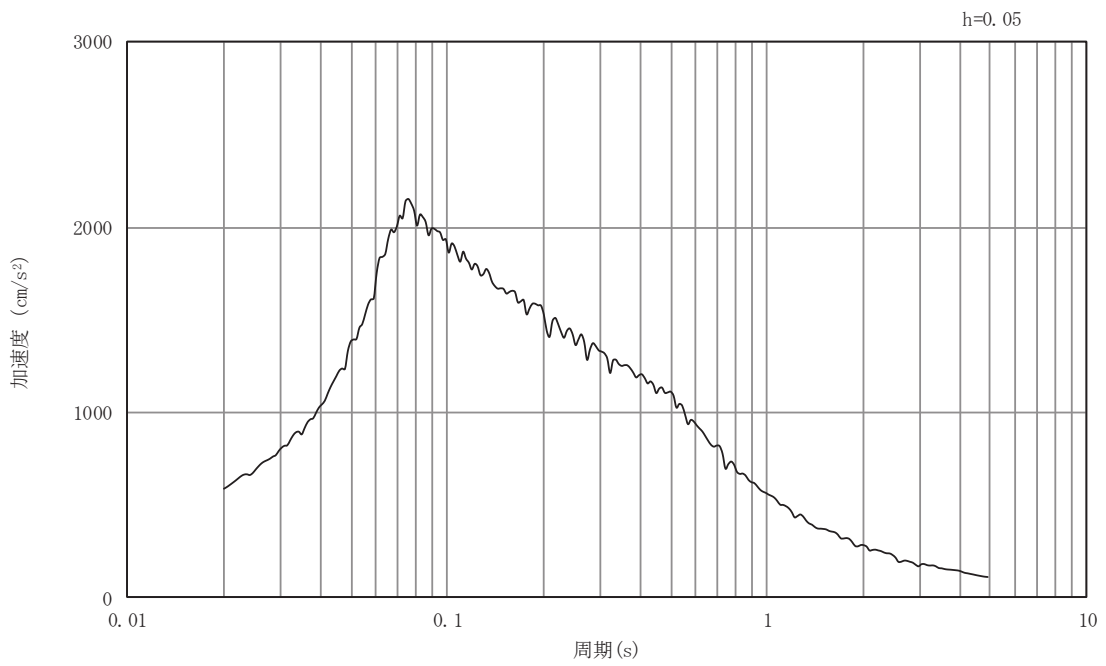


図3-12 入力地震動算定の概念図

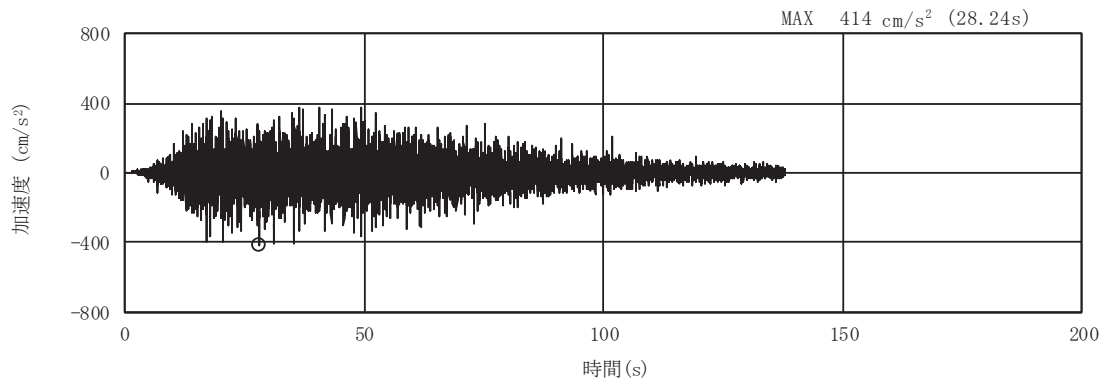


(a) 加速度時刻歴波形

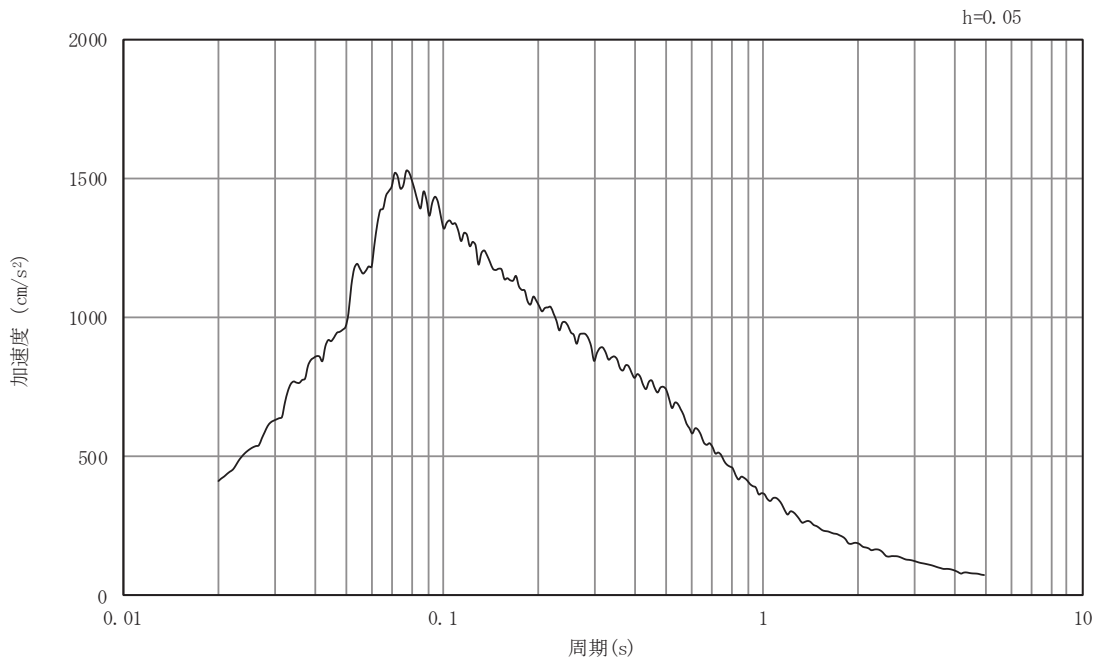


(b) 加速度応答スペクトル

図3-13 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
断面②
(水平成分：S s - D 1)

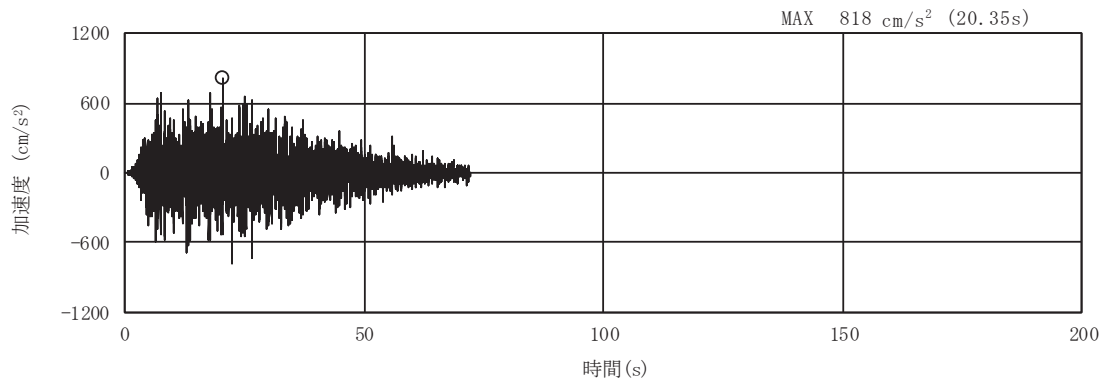


(a) 加速度時刻歴波形

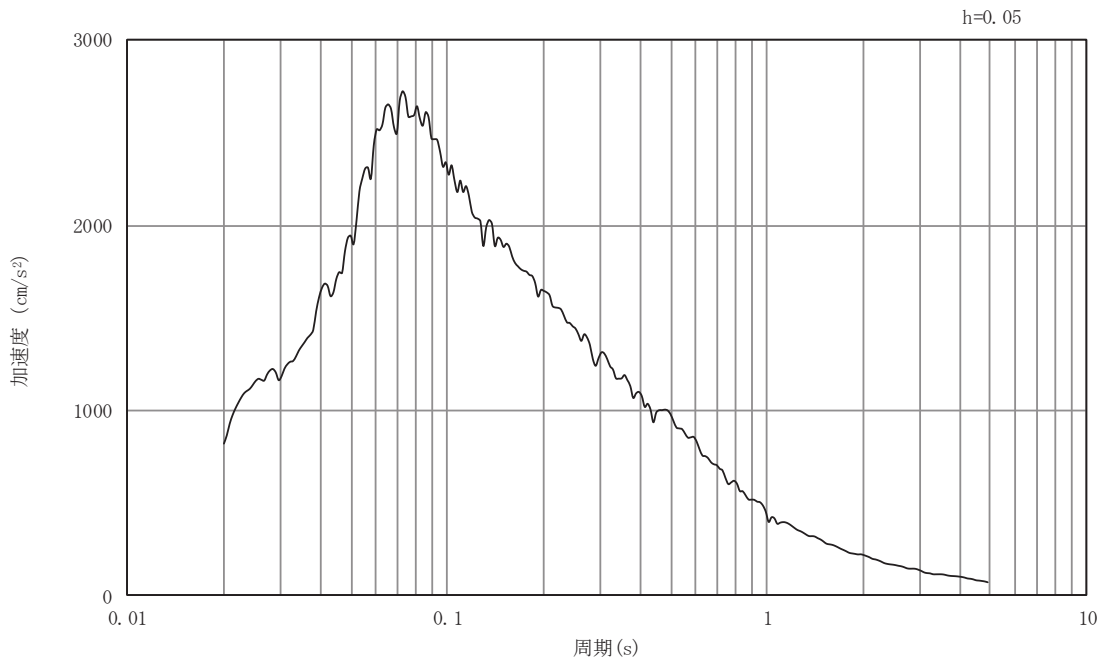


(b) 加速度応答スペクトル

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
断面②
(鉛直成分：S s - D 1)

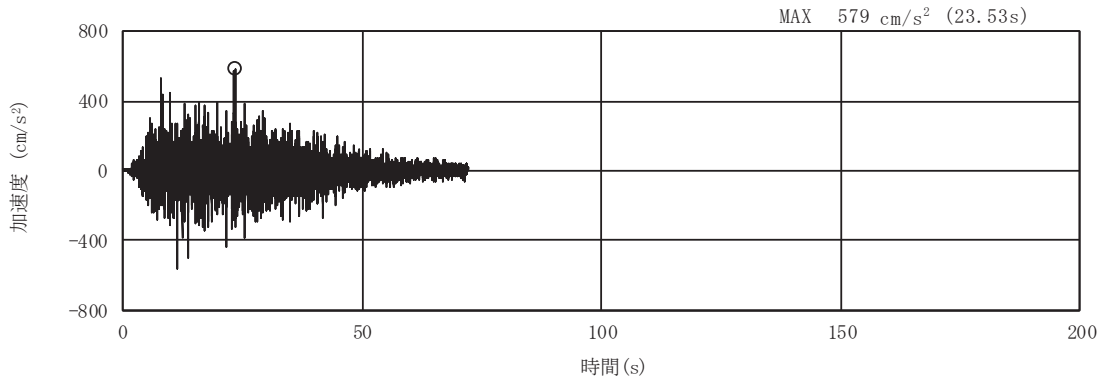


(a) 加速度時刻歴波形

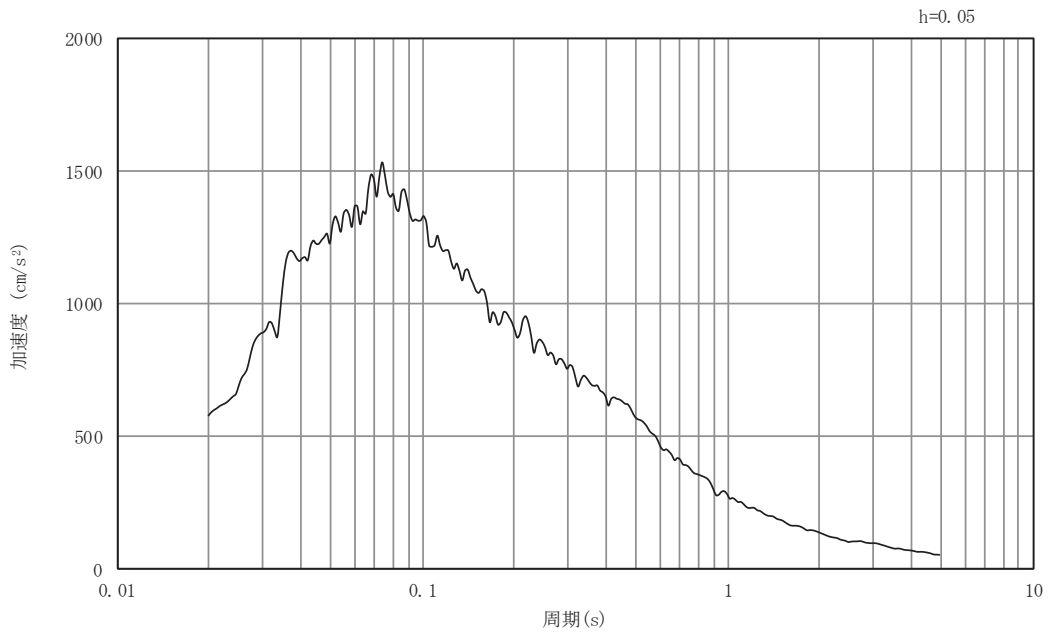


(b) 加速度応答スペクトル

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
断面②
(水平成分：S s - D 2)

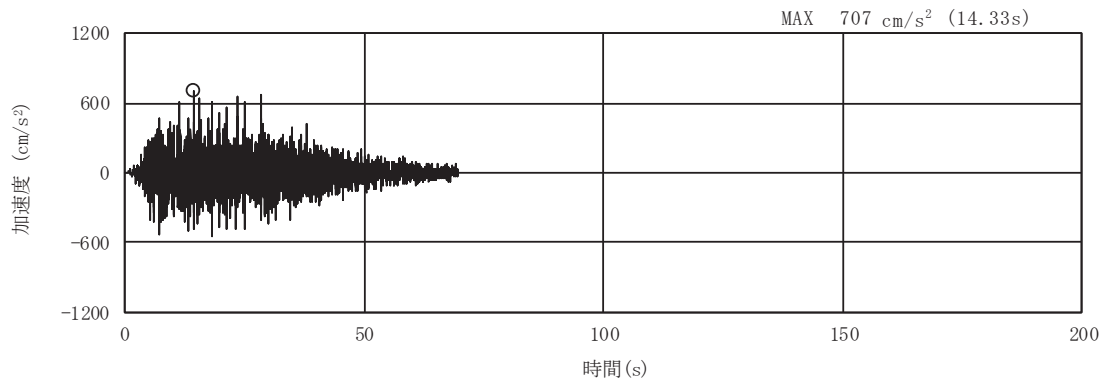


(a) 加速度時刻歴波形

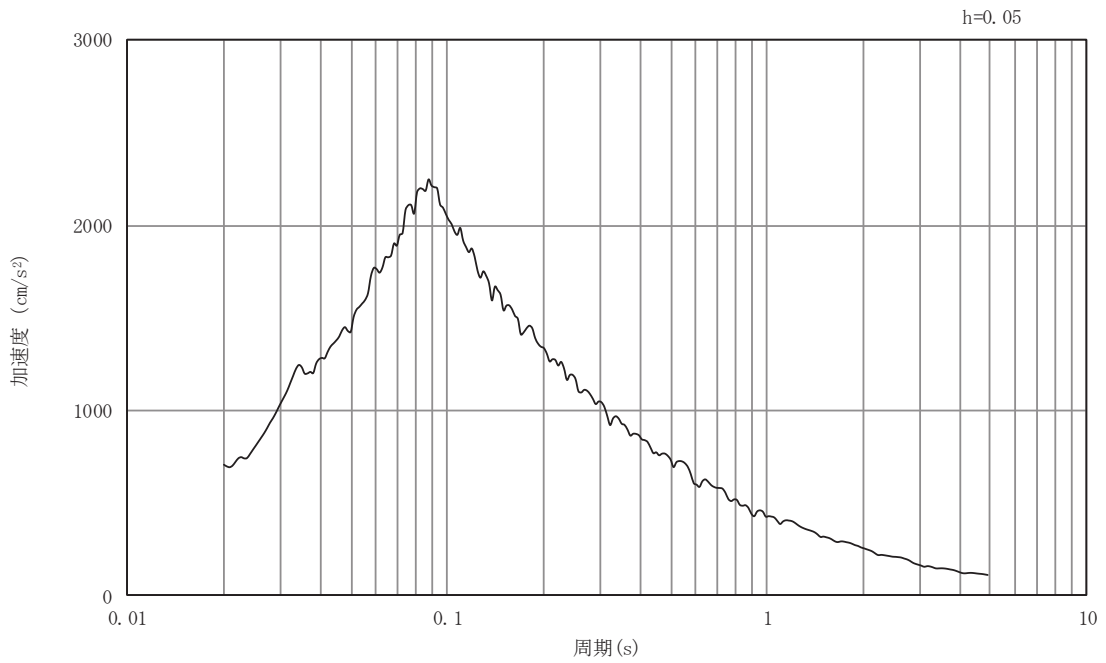


(b) 加速度応答スペクトル

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
断面②
(鉛直成分：S s - D 2)

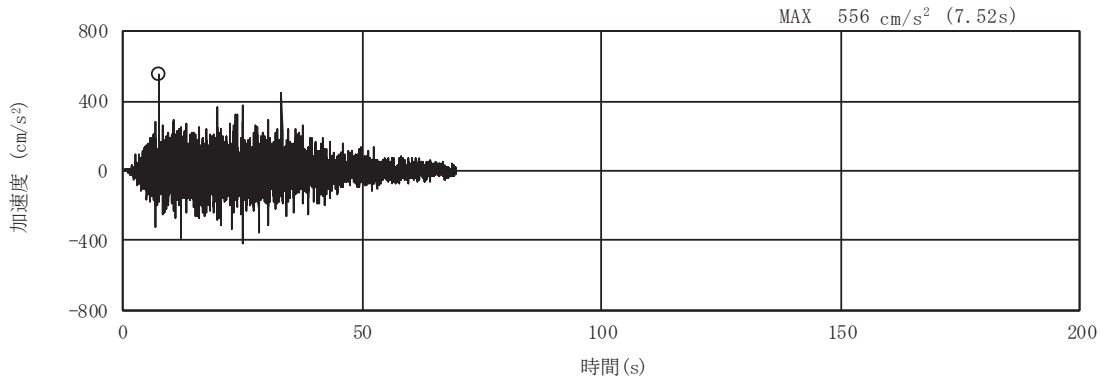


(a) 加速度時刻歴波形

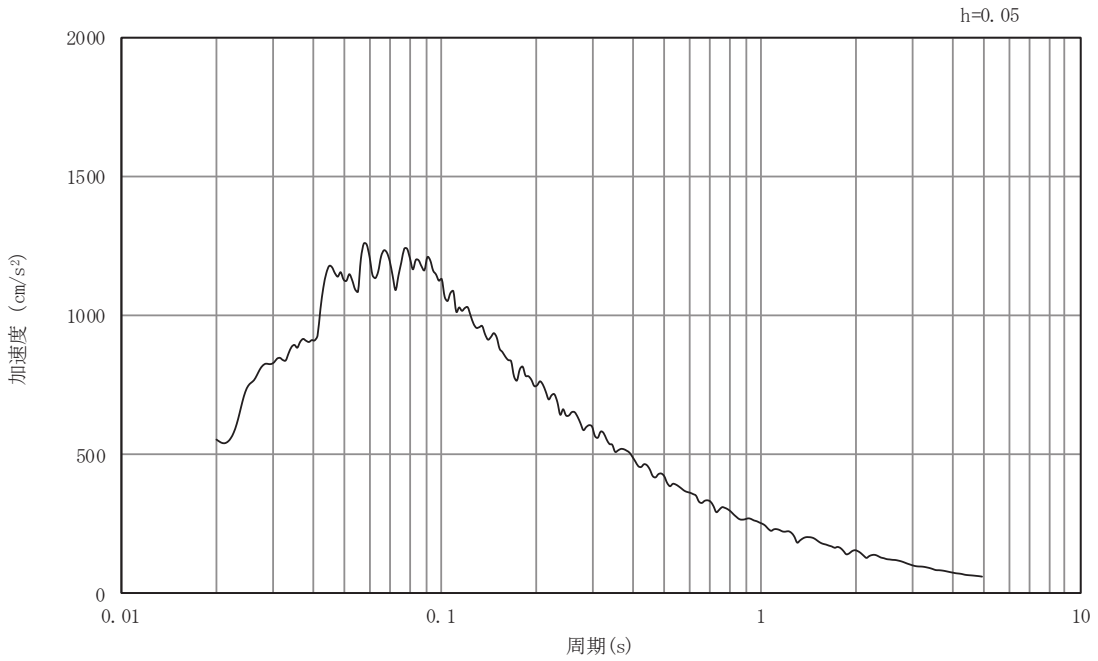


(b) 加速度応答スペクトル

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
断面②
(水平成分：S s - D 3)

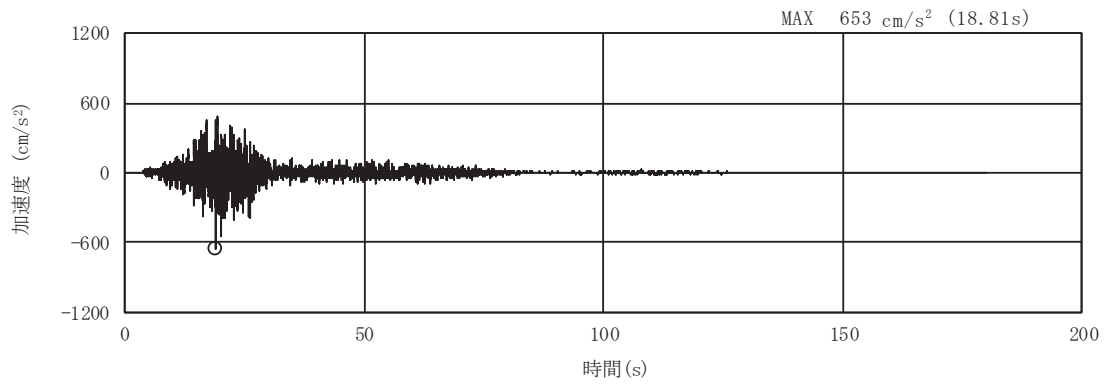


(a) 加速度時刻歴波形

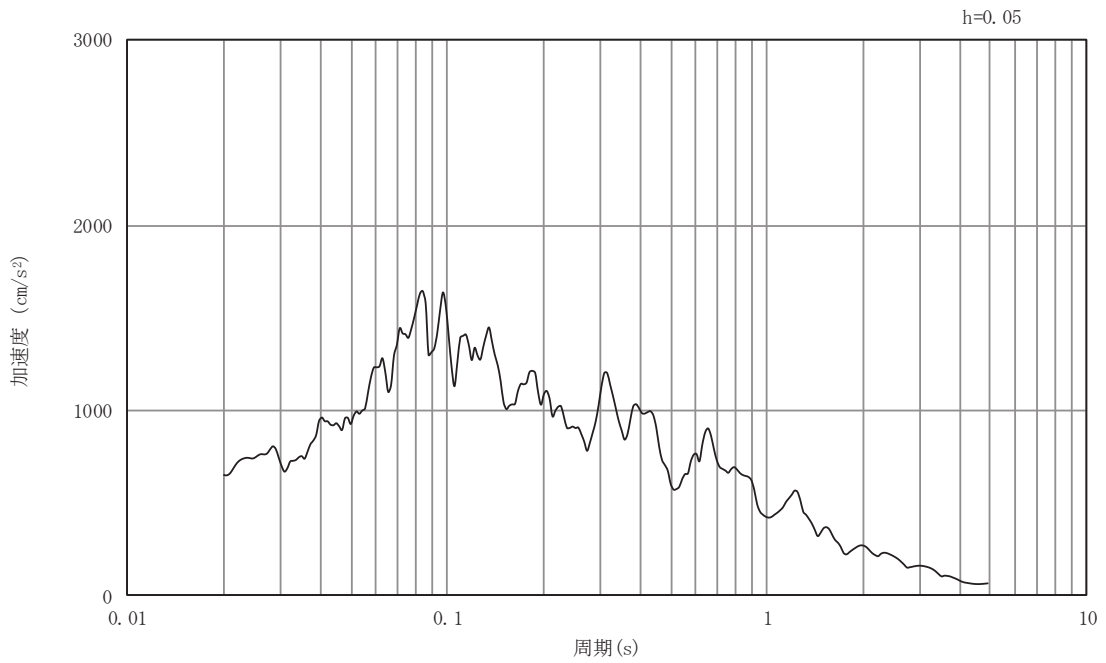


(b) 加速度応答スペクトル

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
断面②
(鉛直成分：S s - D 3)

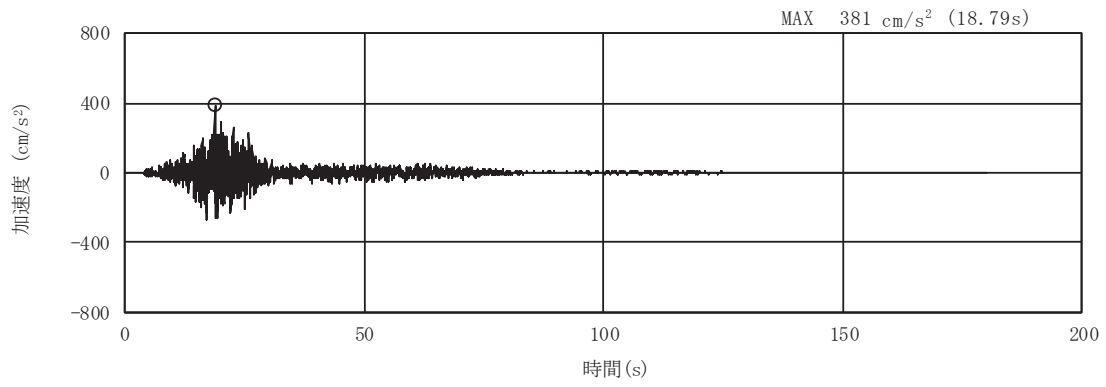


(a) 加速度時刻歴波形

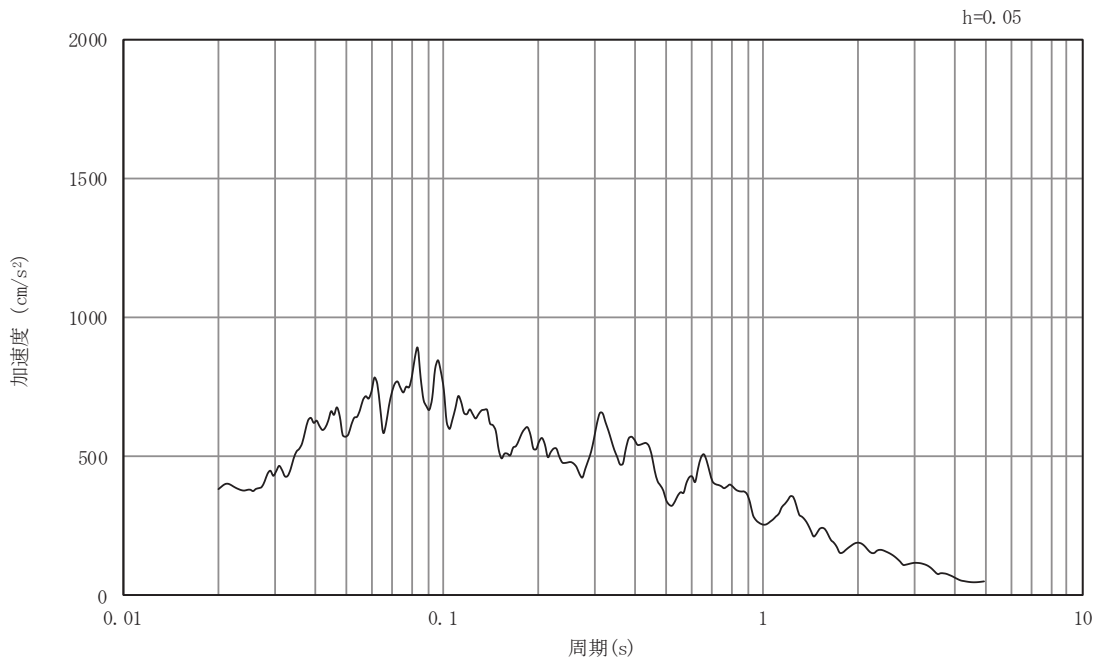


(b) 加速度応答スペクトル

図3-19 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
断面②
(水平成分：S s - F 1)

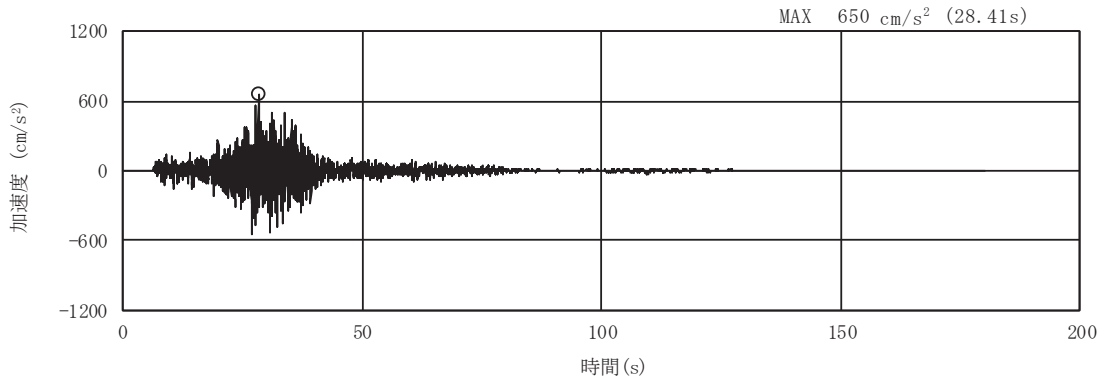


(a) 加速度時刻歴波形

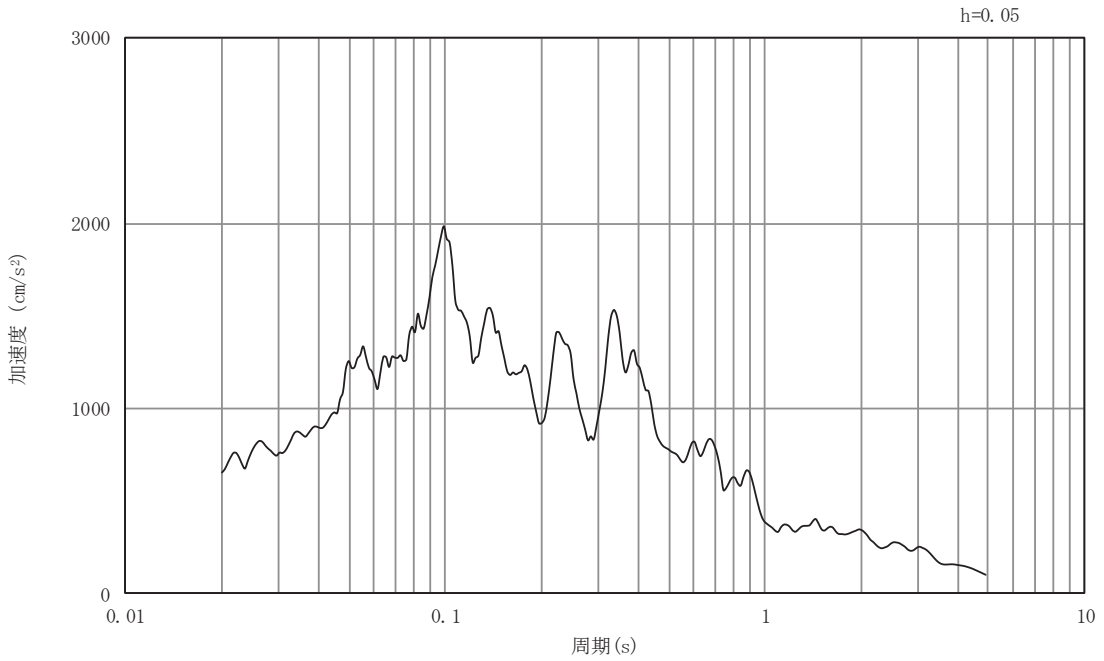


(b) 加速度応答スペクトル

図3-20 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
断面②
(鉛直成分：S s - F 1)

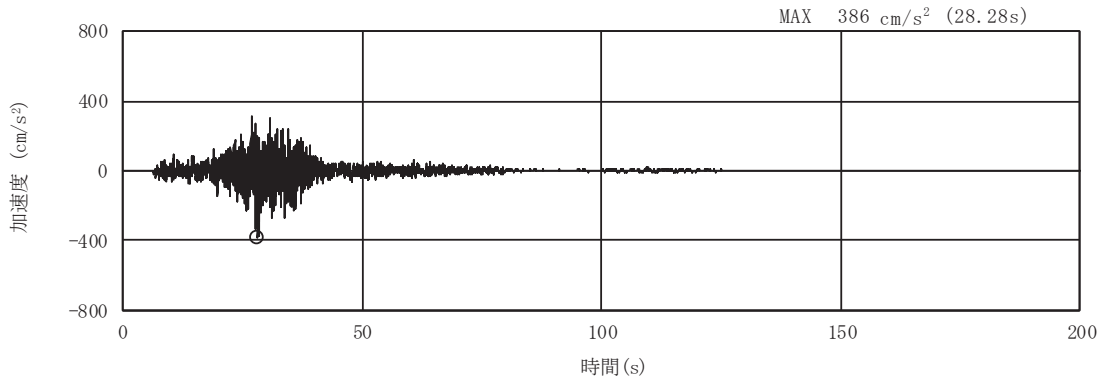


(a) 加速度時刻歴波形

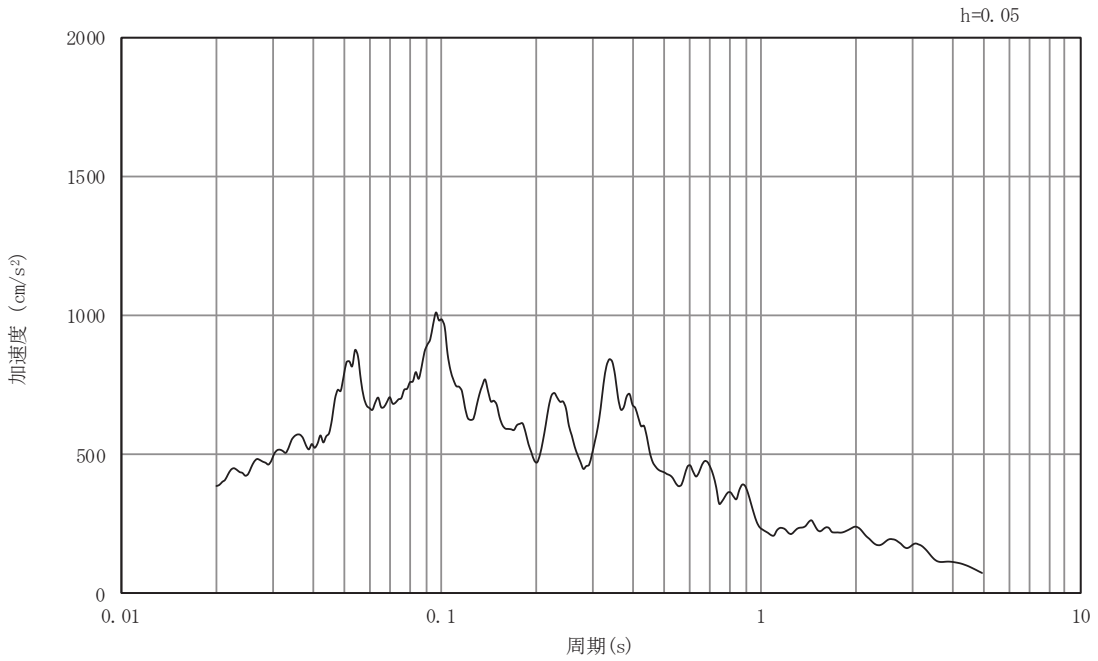


(b) 加速度応答スペクトル

図3-21 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
断面②
(水平成分：S s - F 2)

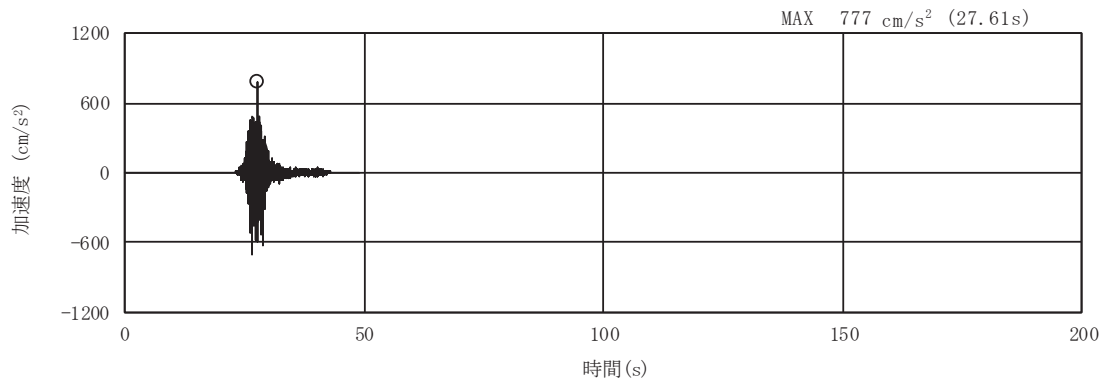


(a) 加速度時刻歴波形

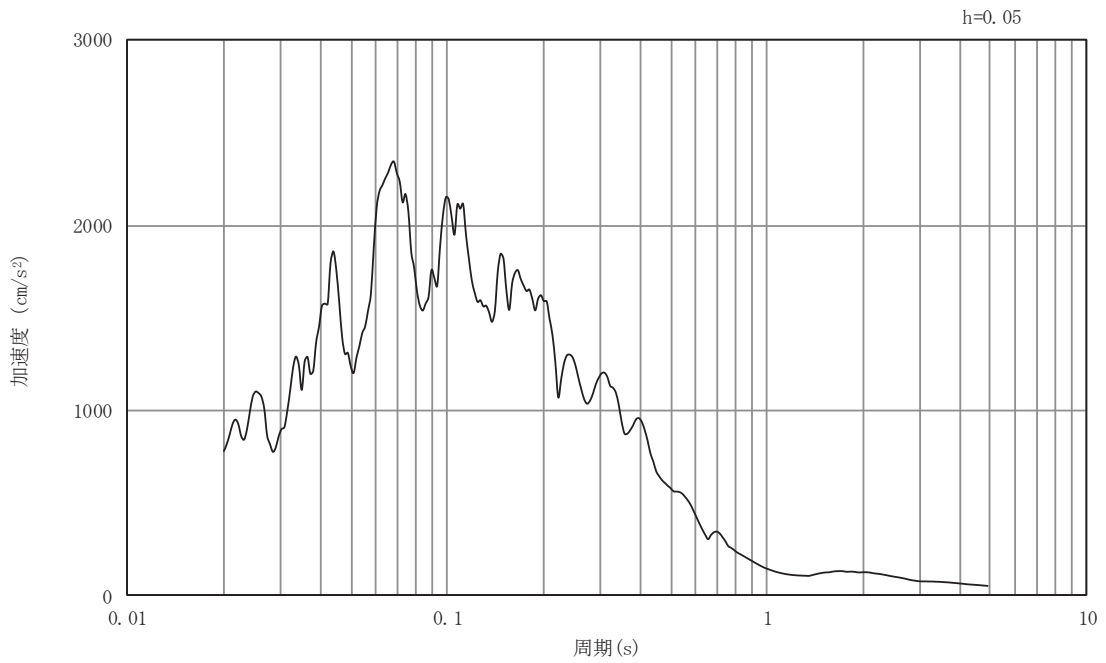


(b) 加速度応答スペクトル

図3-22 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
断面②
(鉛直成分：S s - F 2)

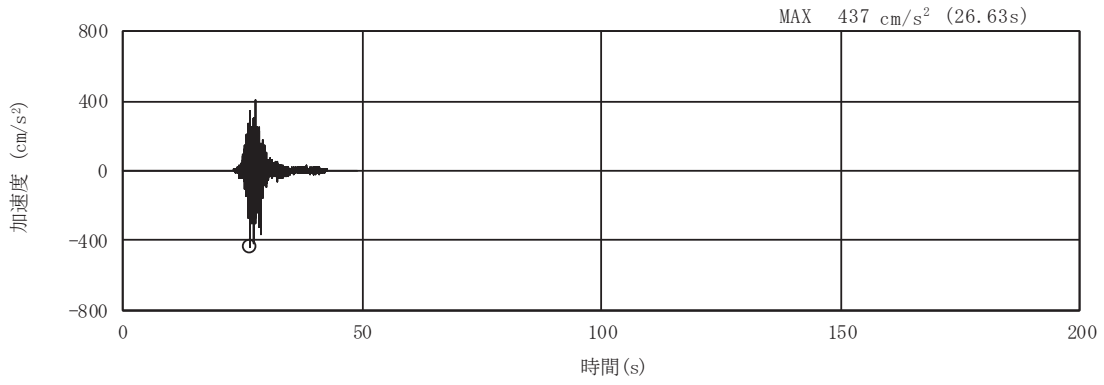


(a) 加速度時刻歴波形

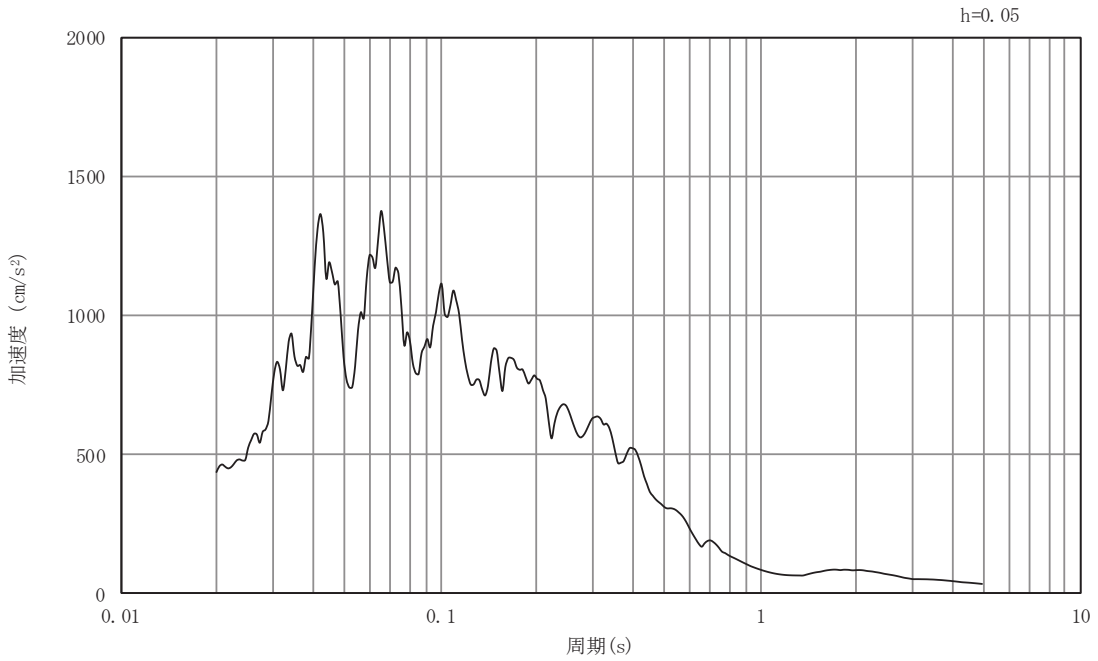


(b) 加速度応答スペクトル

図3-23 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
断面②
(水平成分：S s - F 3)

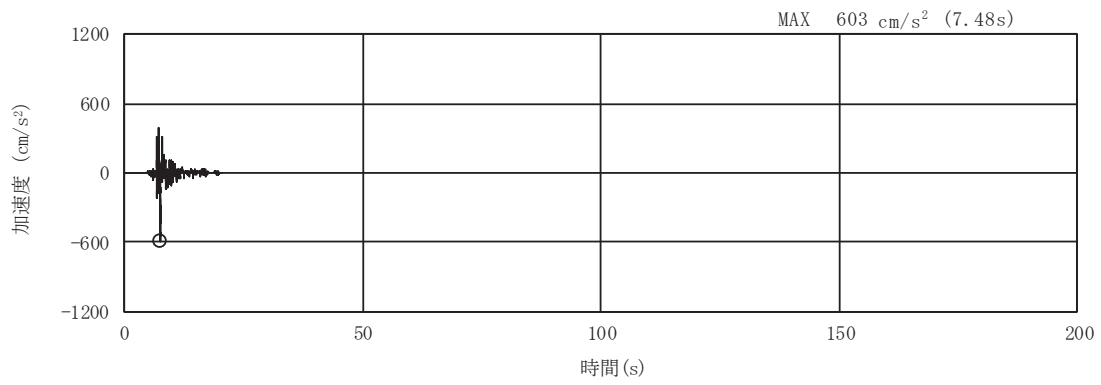


(a) 加速度時刻歴波形

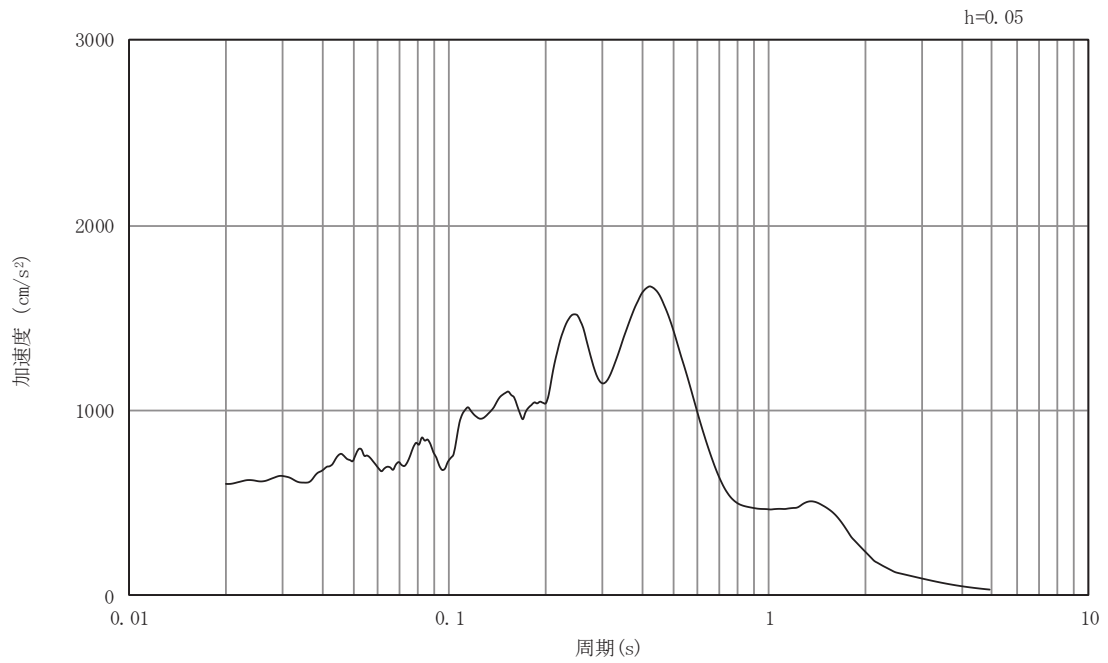


(b) 加速度応答スペクトル

図3-24 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
断面②
(鉛直成分：S s - F 3)

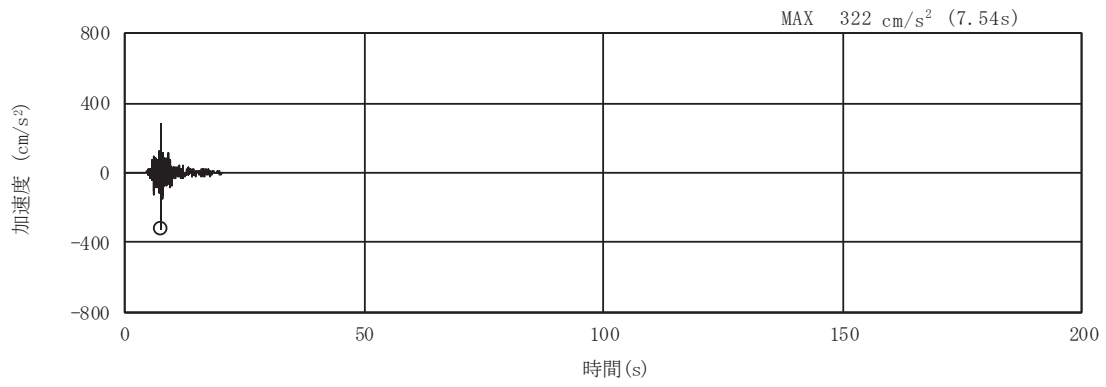


(a) 加速度時刻歴波形

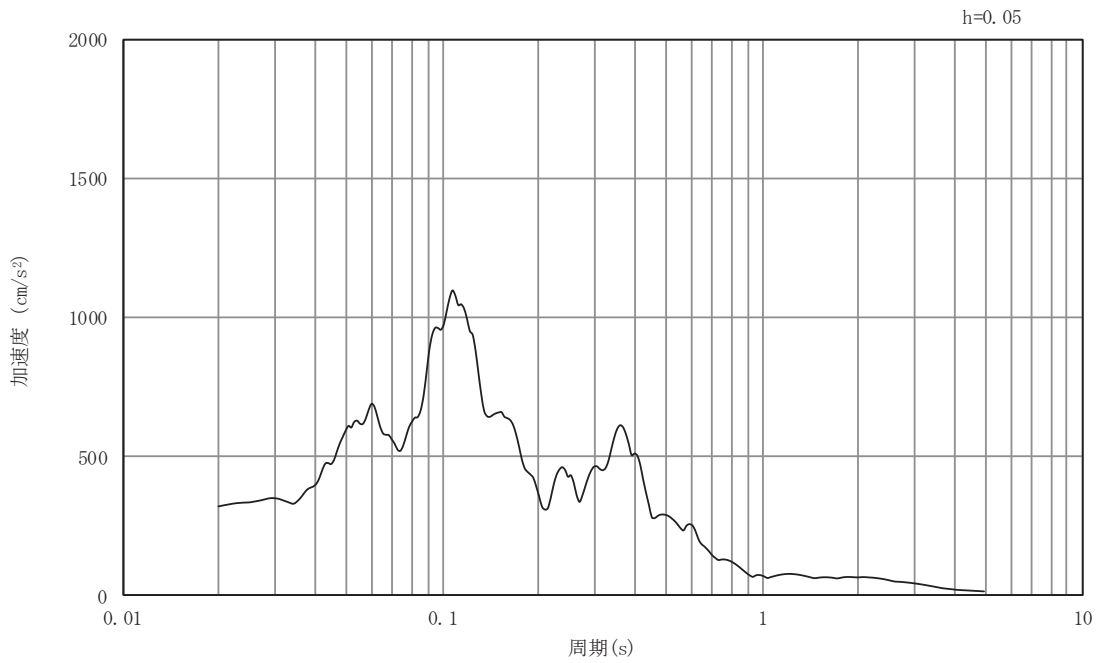


(b) 加速度応答スペクトル

図3-25 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
断面②
(水平成分：S s - N 1)

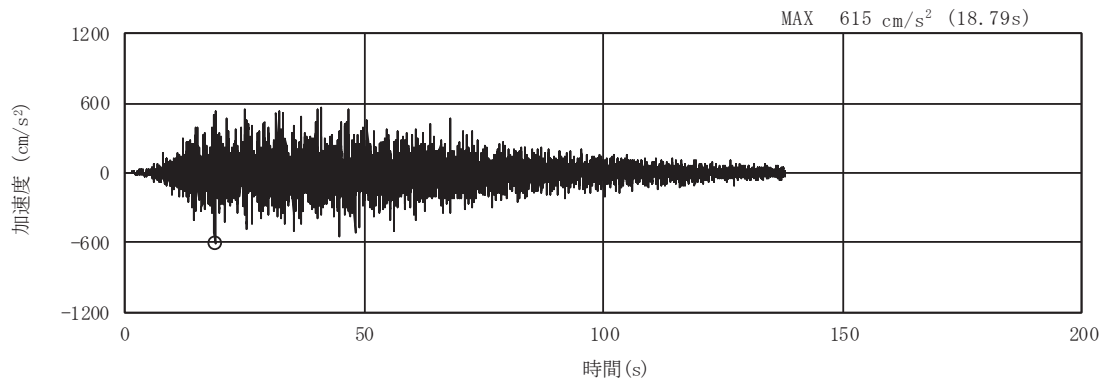


(a) 加速度時刻歴波形

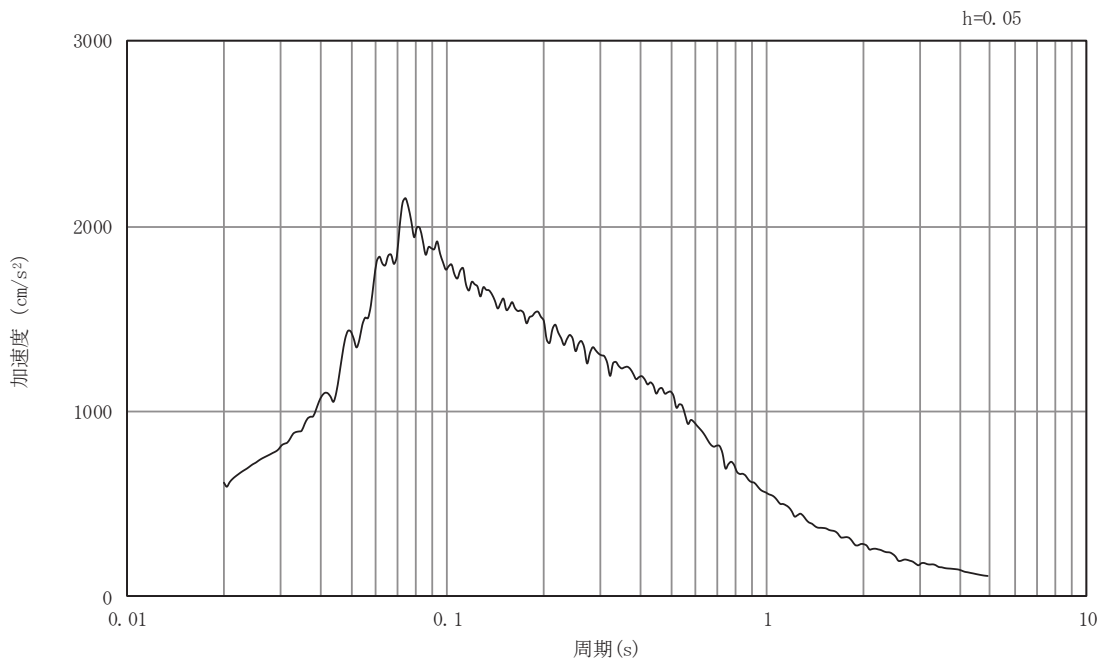


(b) 加速度応答スペクトル

図3-26 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
断面②
(鉛直成分：S s - N 1)

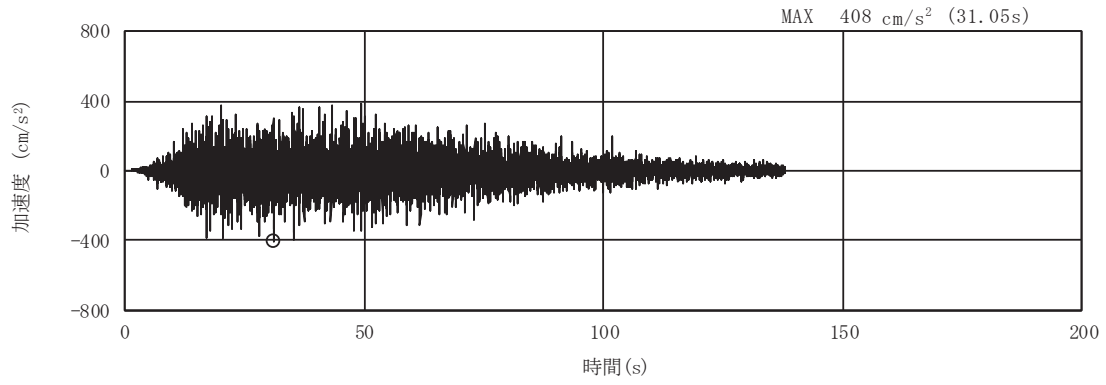


(a) 加速度時刻歴波形

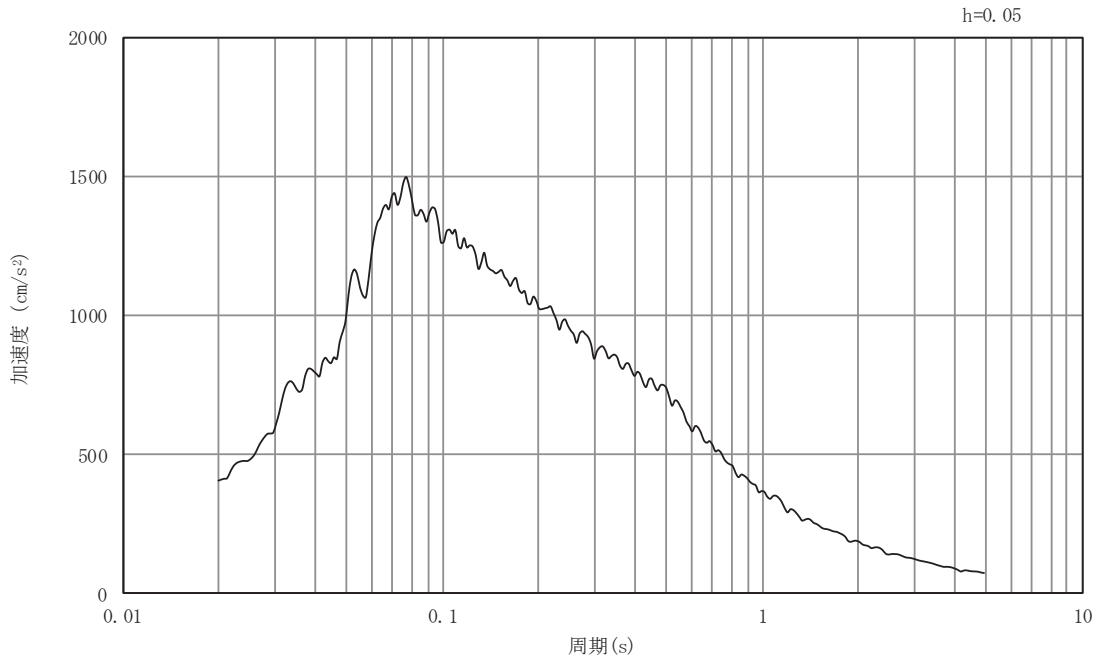


(b) 加速度応答スペクトル

図3-27 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
断面③
(水平成分：S s - D 1)

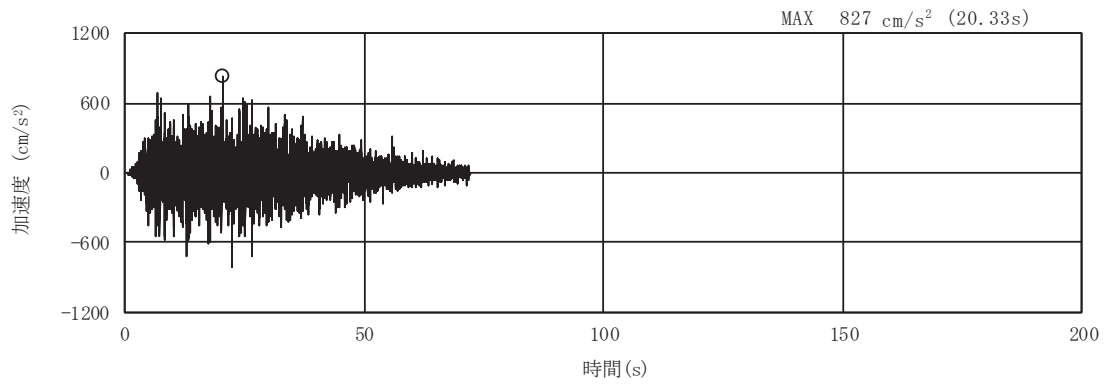


(a) 加速度時刻歴波形

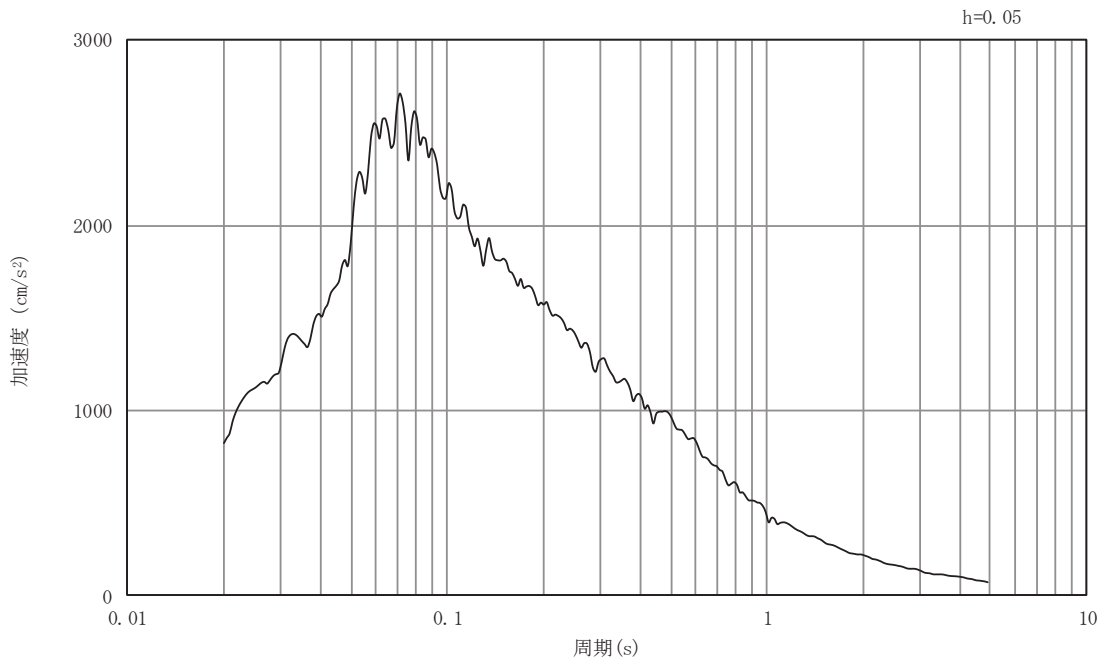


(b) 加速度応答スペクトル

図3-28 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
断面③
(鉛直成分：S s - D 1)

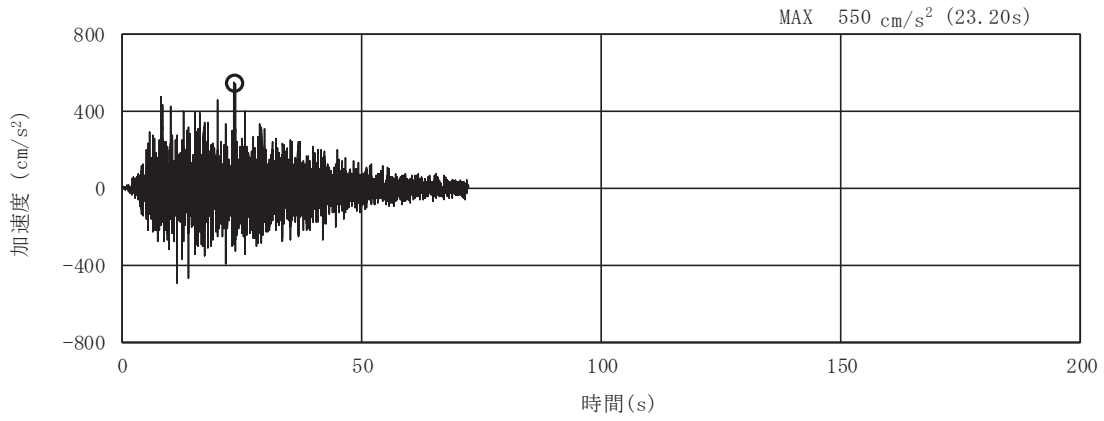


(a) 加速度時刻歴波形

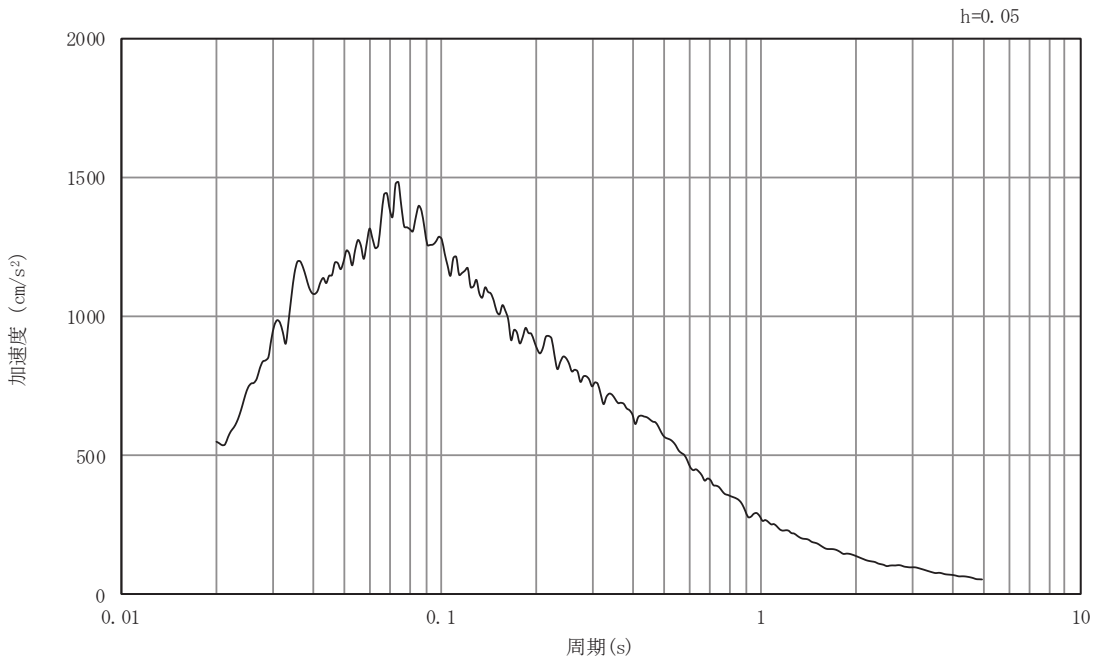


(b) 加速度応答スペクトル

図3-29 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
断面③
(水平成分：S s - D 2)

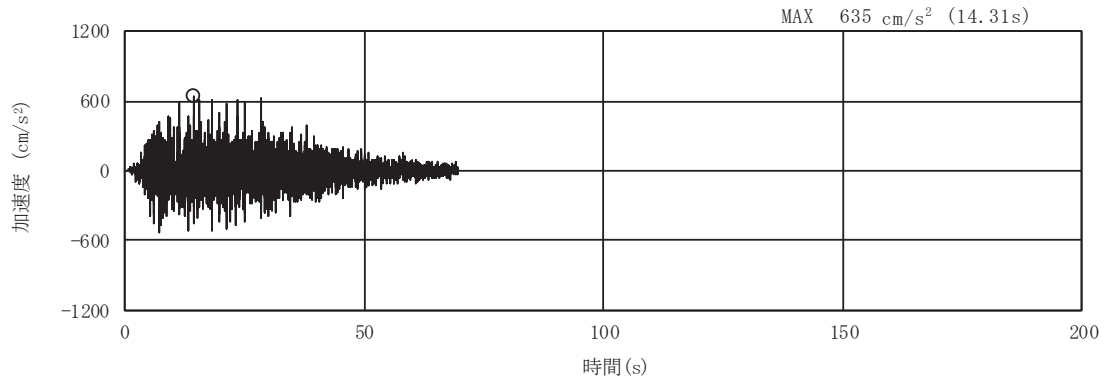


(a) 加速度時刻歴波形

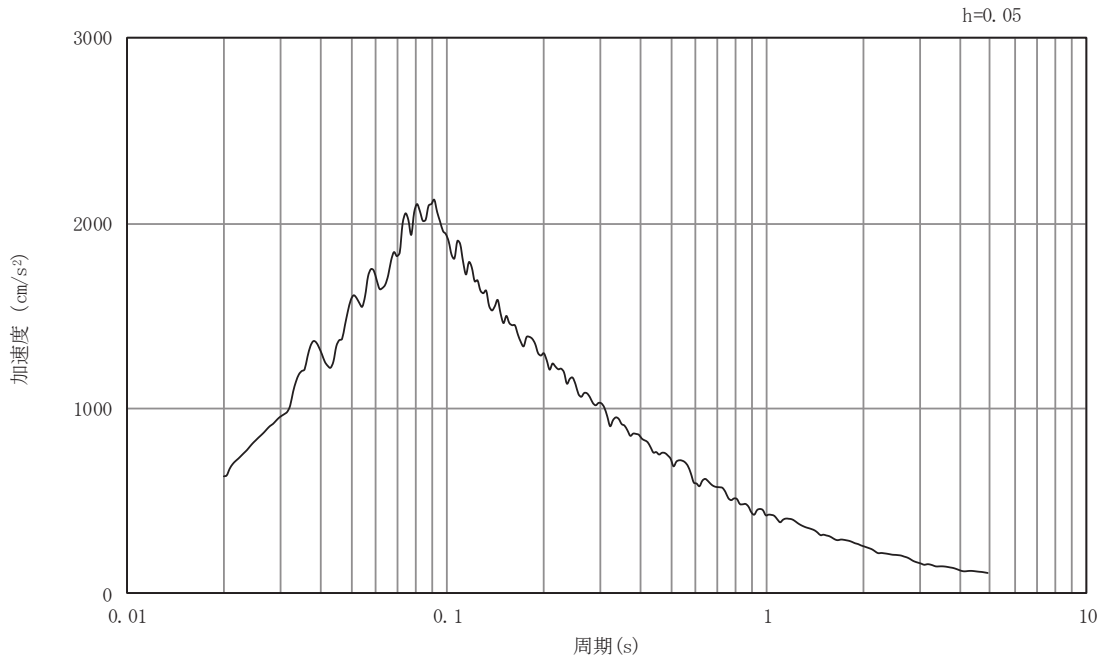


(b) 加速度応答スペクトル

図3-30 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
断面③
(鉛直成分：S s - D 2)

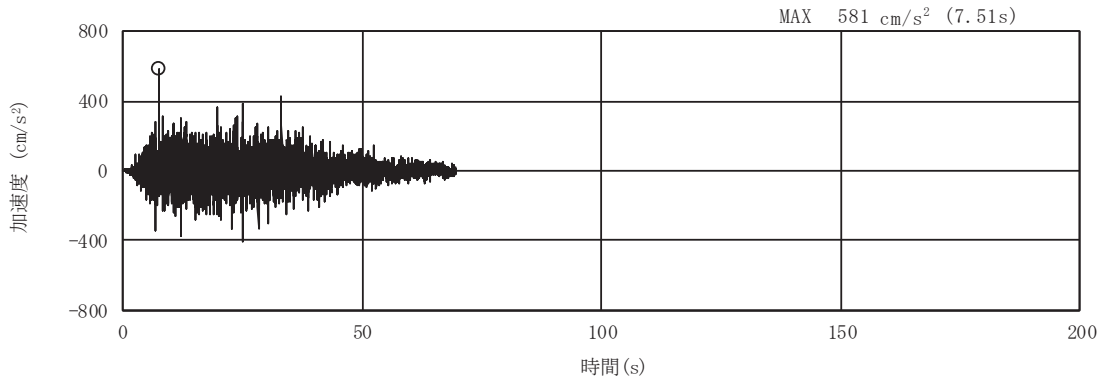


(a) 加速度時刻歴波形

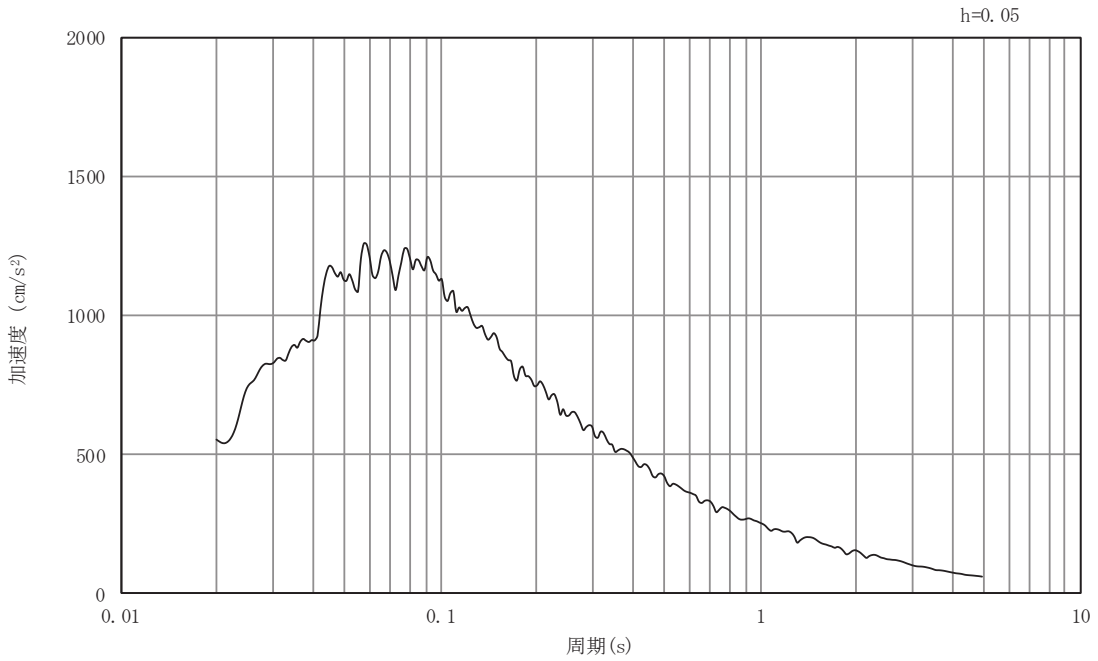


(b) 加速度応答スペクトル

図3-31 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
断面③
(水平成分：S s - D 3)

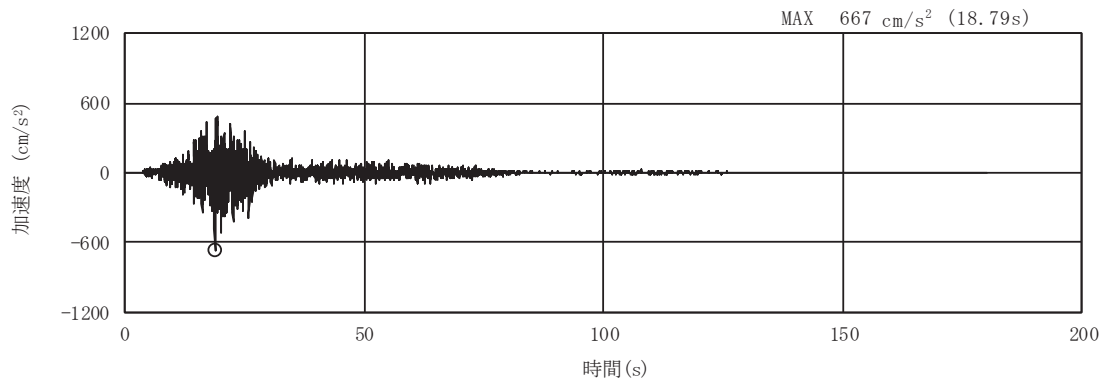


(a) 加速度時刻歴波形

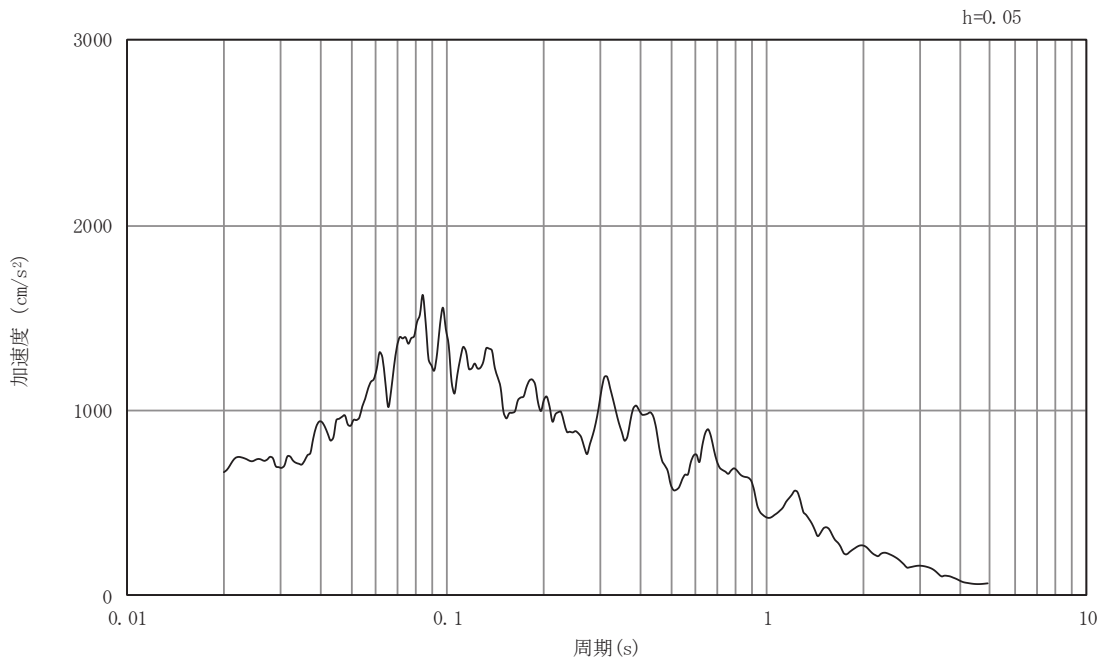


(b) 加速度応答スペクトル

図3-32 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
断面③
(鉛直成分：S s - D 3)

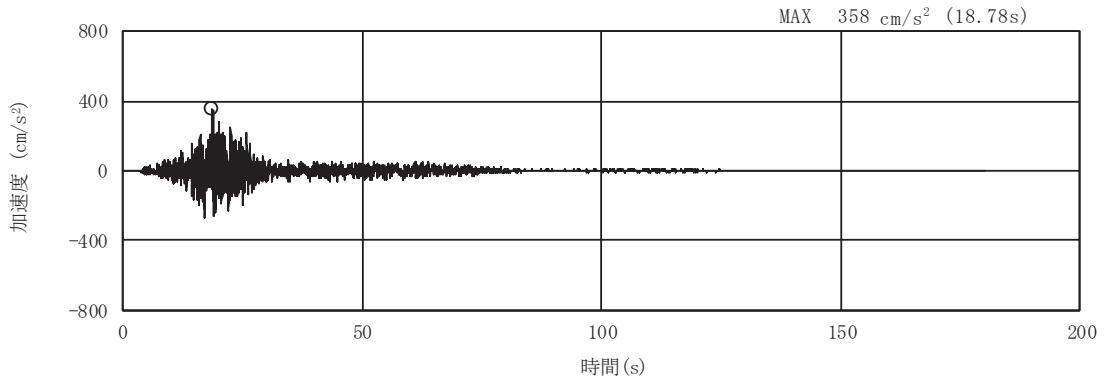


(a) 加速度時刻歴波形

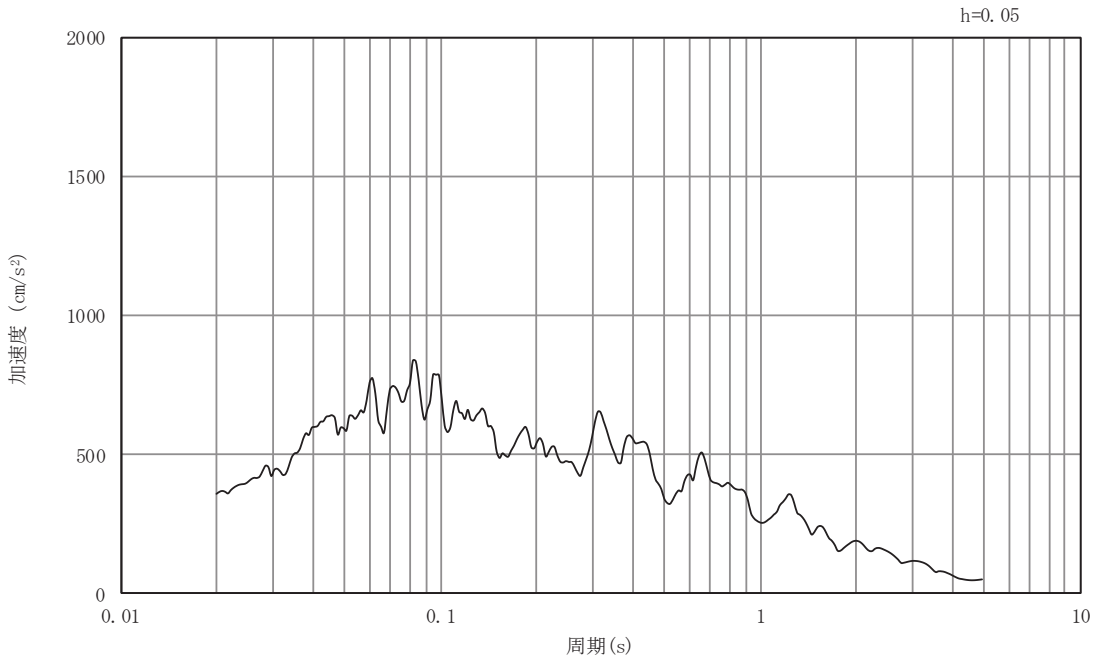


(b) 加速度応答スペクトル

図3-33 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
断面③
(水平成分：S s - F 1)



(a) 加速度時刻歴波形

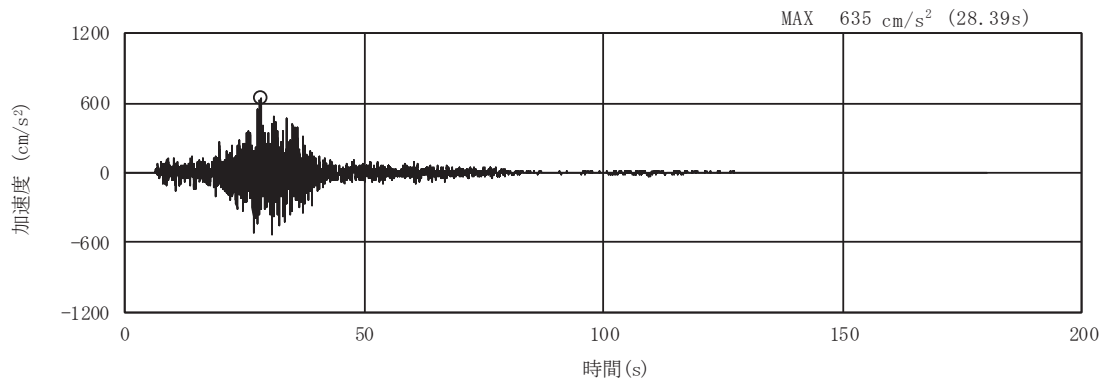


(b) 加速度応答スペクトル

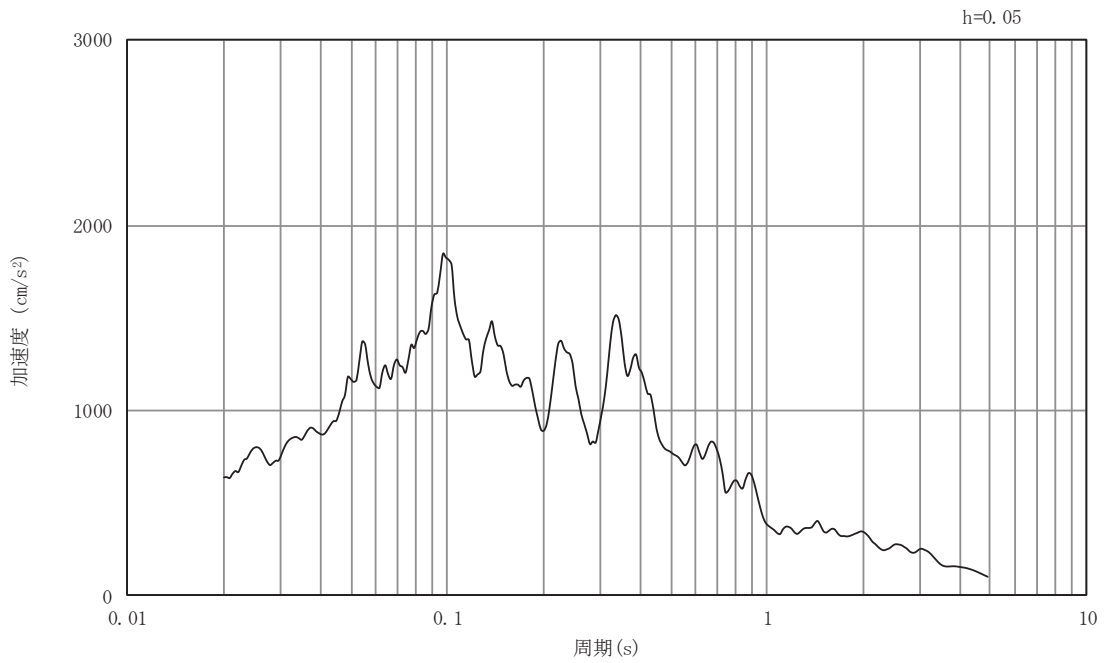
図3-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面③

(鉛直成分：S s - F 1)

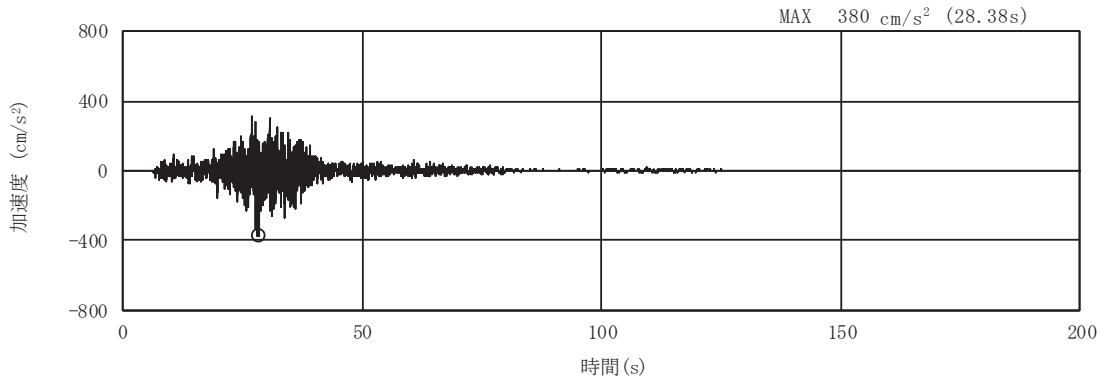


(a) 加速度時刻歴波形

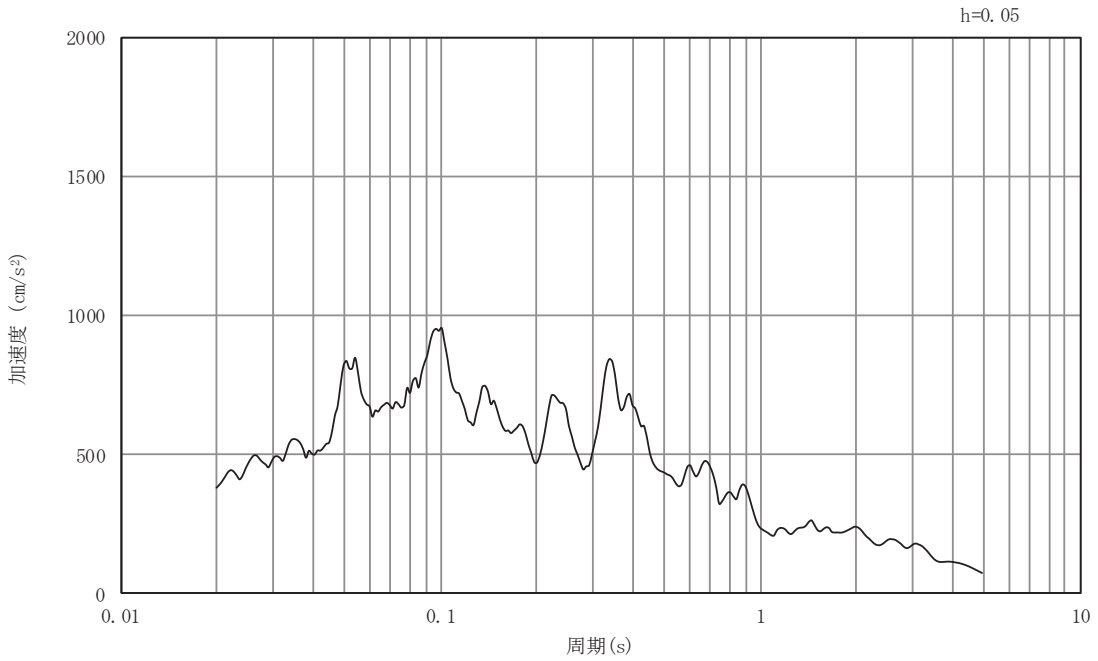


(b) 加速度応答スペクトル

図3-35 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
断面③
(水平成分：S s - F 2)

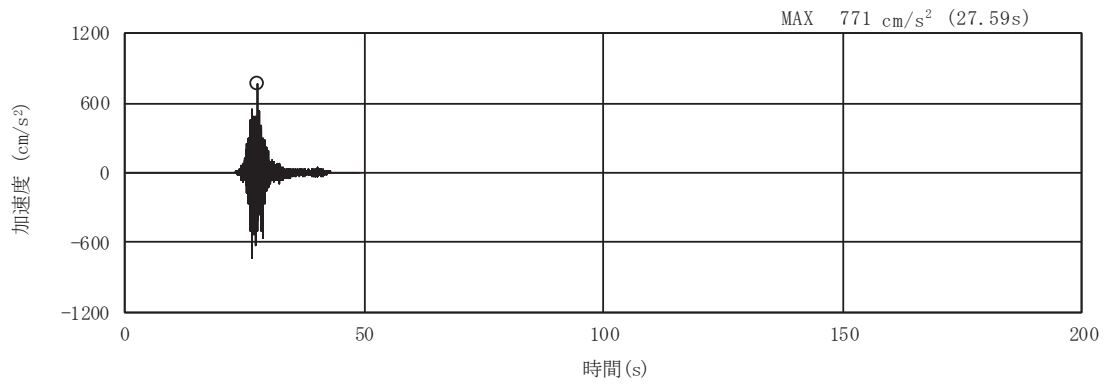


(a) 加速度時刻歴波形

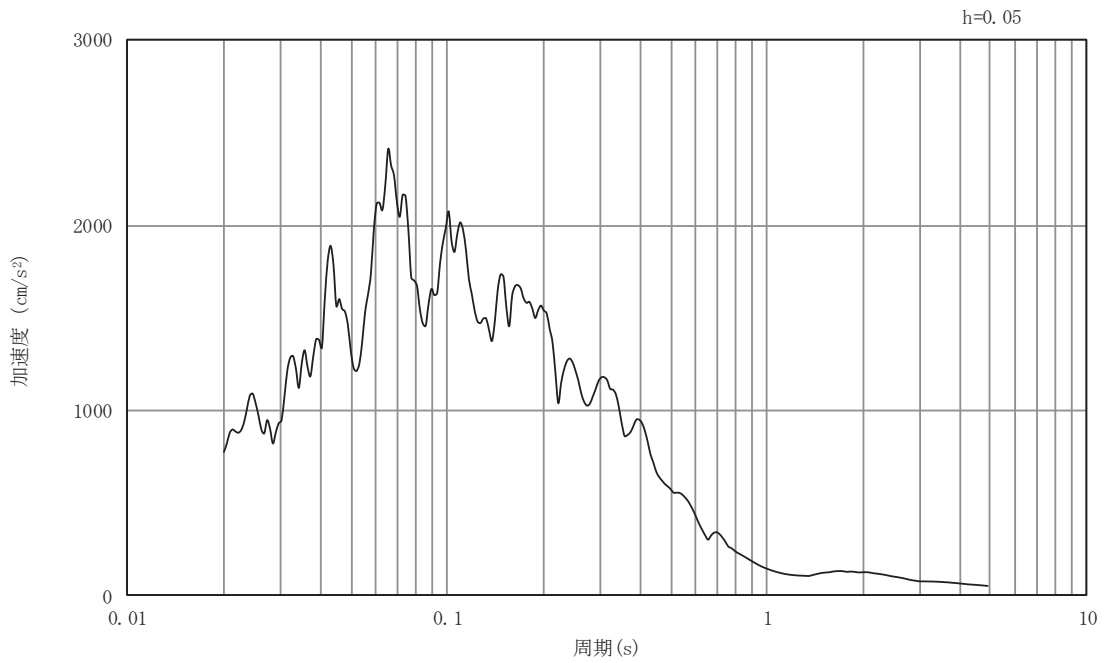


(b) 加速度応答スペクトル

図3-36 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
断面③
(鉛直成分：S s - F 2)

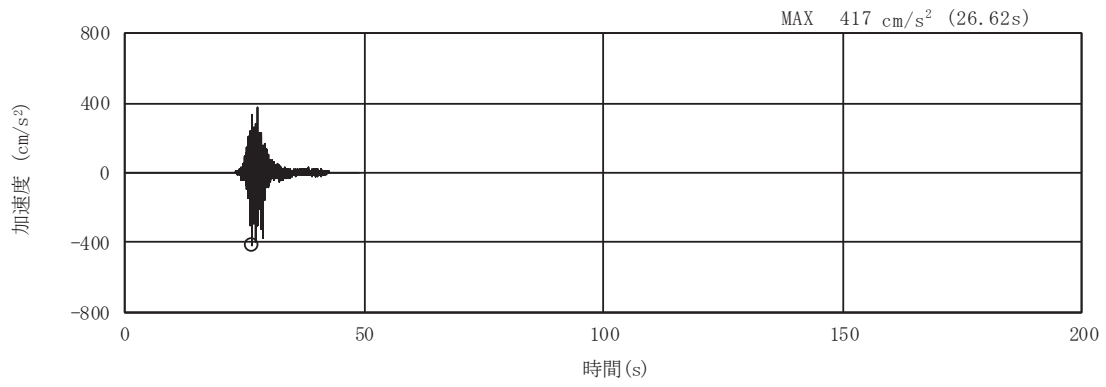


(a) 加速度時刻歴波形

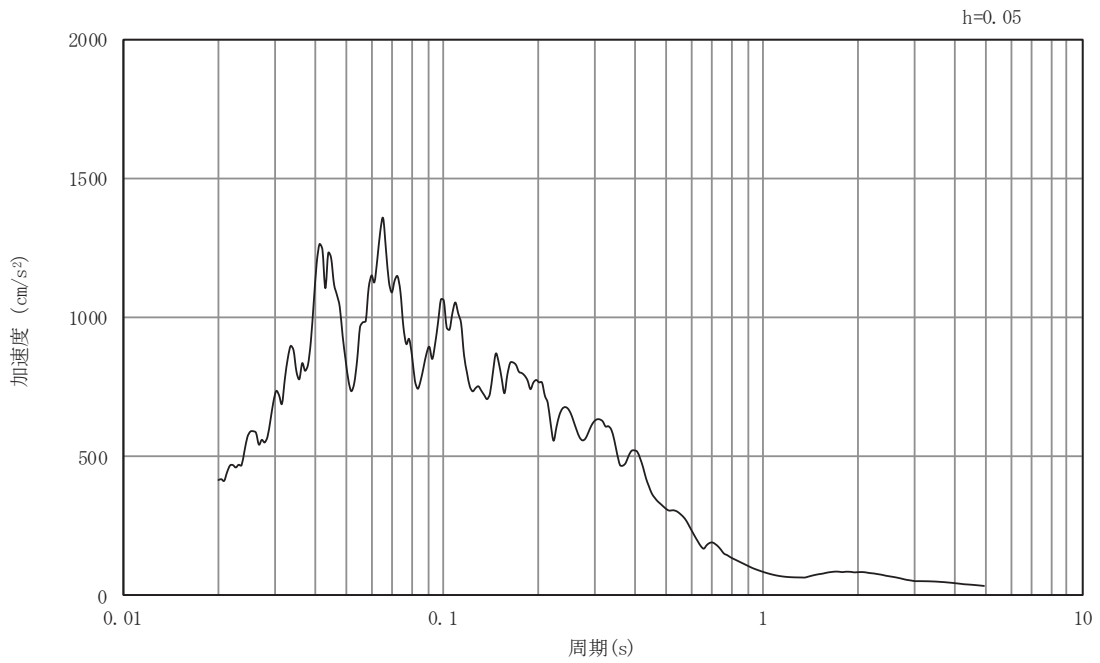


(b) 加速度応答スペクトル

図3-37 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
断面③
(水平成分：S s - F 3)



(a) 加速度時刻歴波形

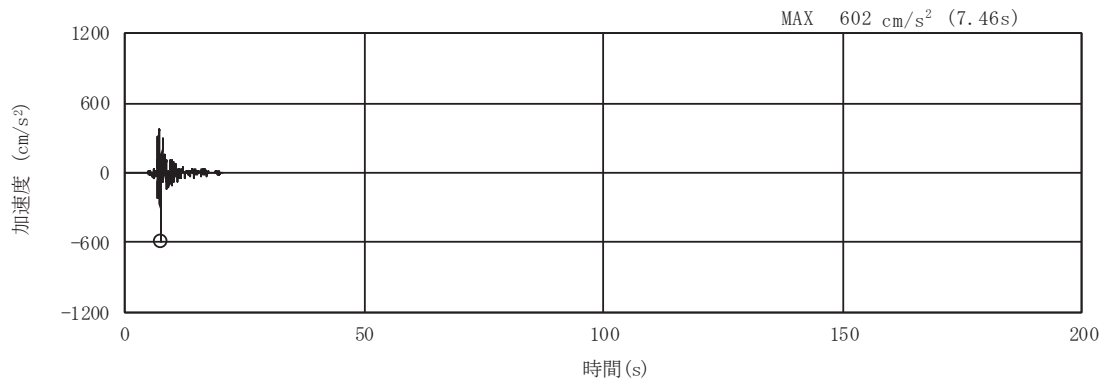


(b) 加速度応答スペクトル

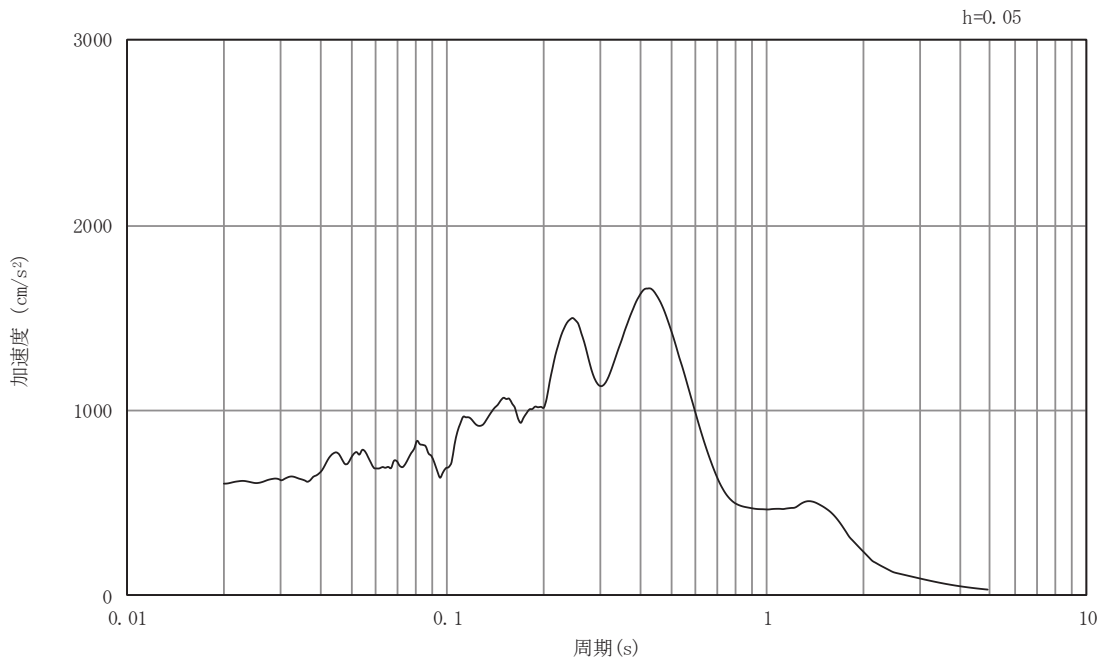
図3-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面③

(鉛直成分：S s - F 3)

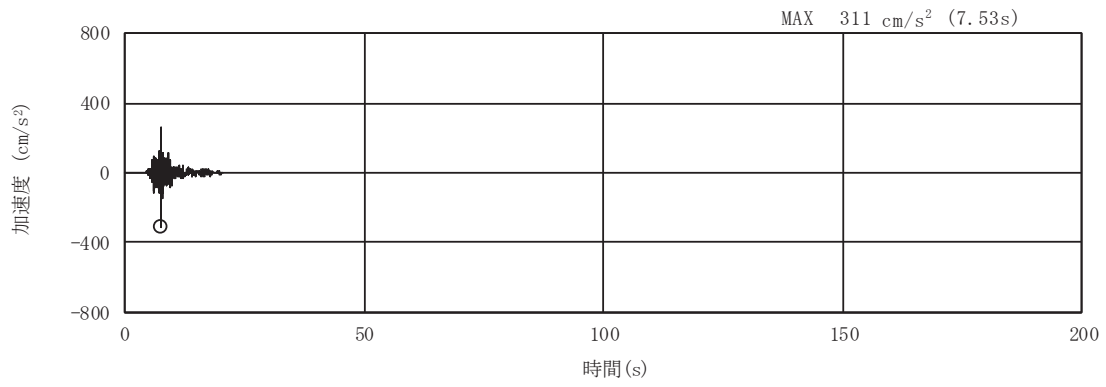


(a) 加速度時刻歴波形

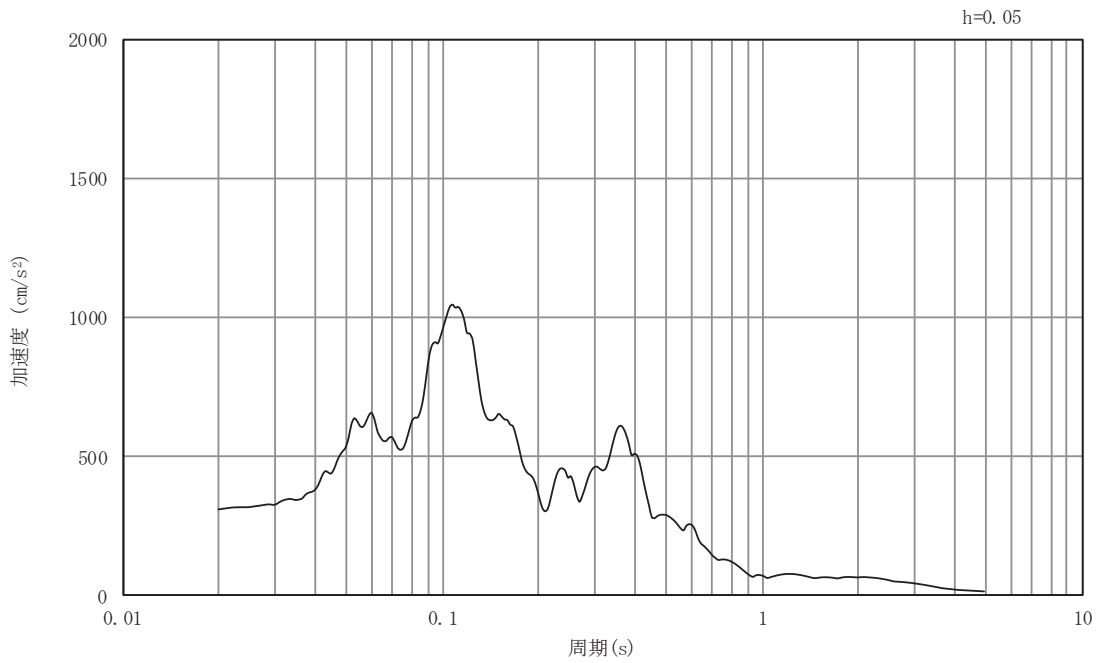


(b) 加速度応答スペクトル

図3-39 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
断面③
(水平成分：S s - N 1)

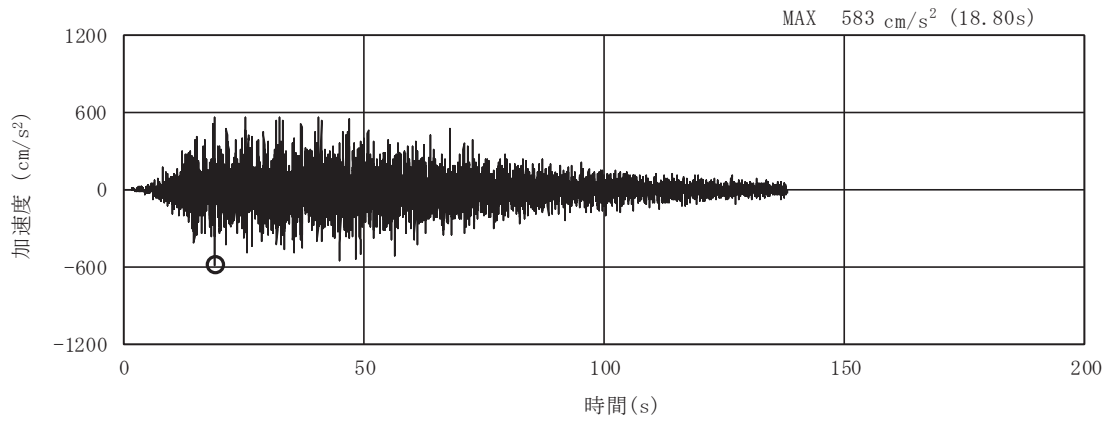


(a) 加速度時刻歴波形

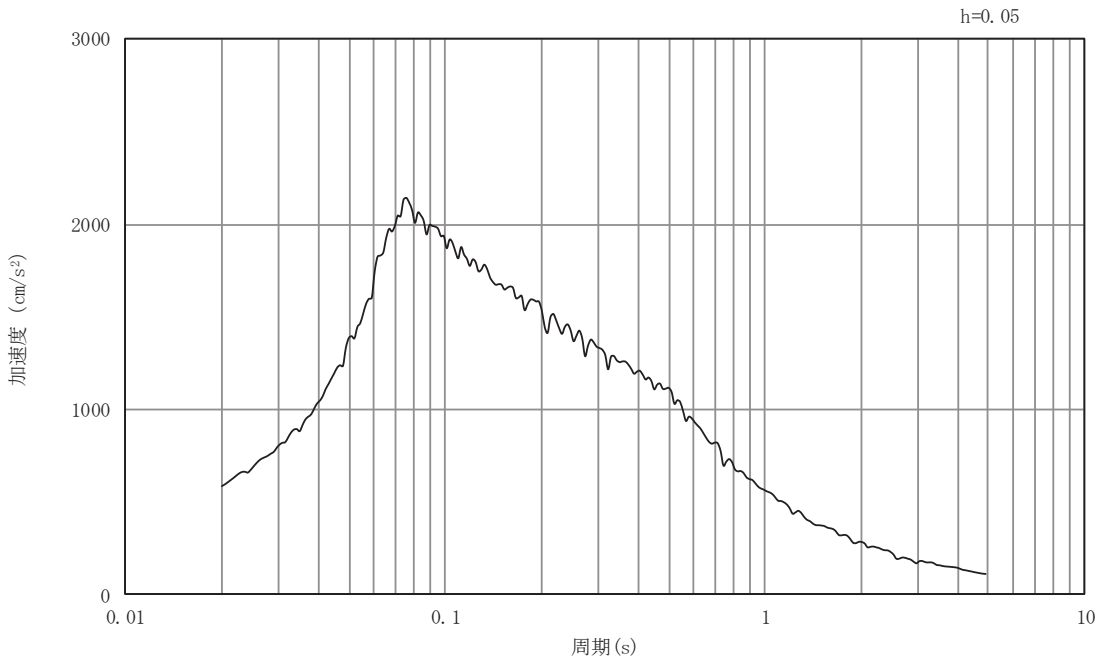


(b) 加速度応答スペクトル

図3-40 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
断面③
(鉛直成分：S s - N 1)

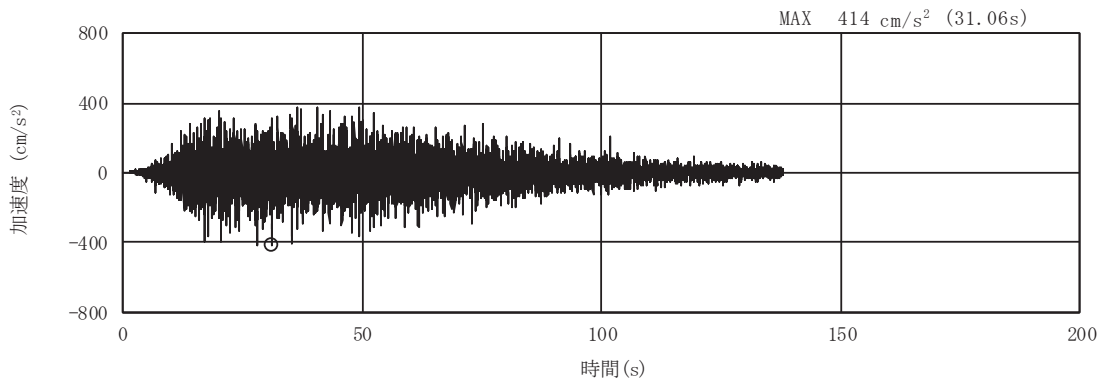


(a) 加速度時刻歴波形

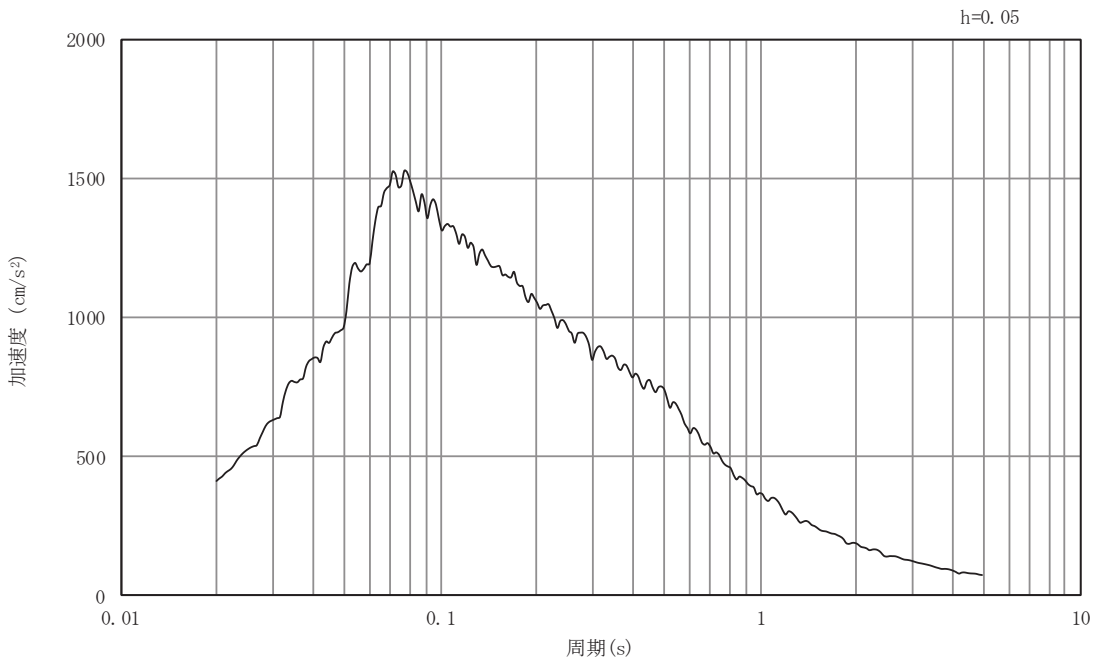


(b) 加速度応答スペクトル

図3-41 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
断面④
(水平成分：S s - D1)

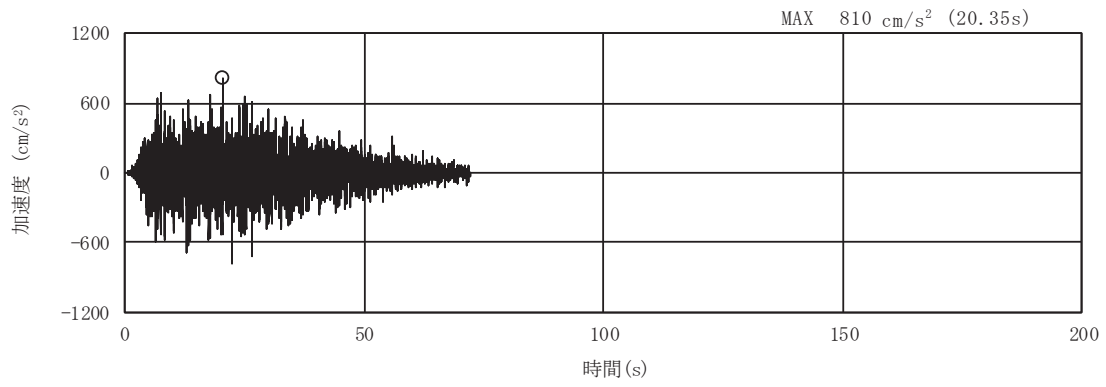


(a) 加速度時刻歴波形

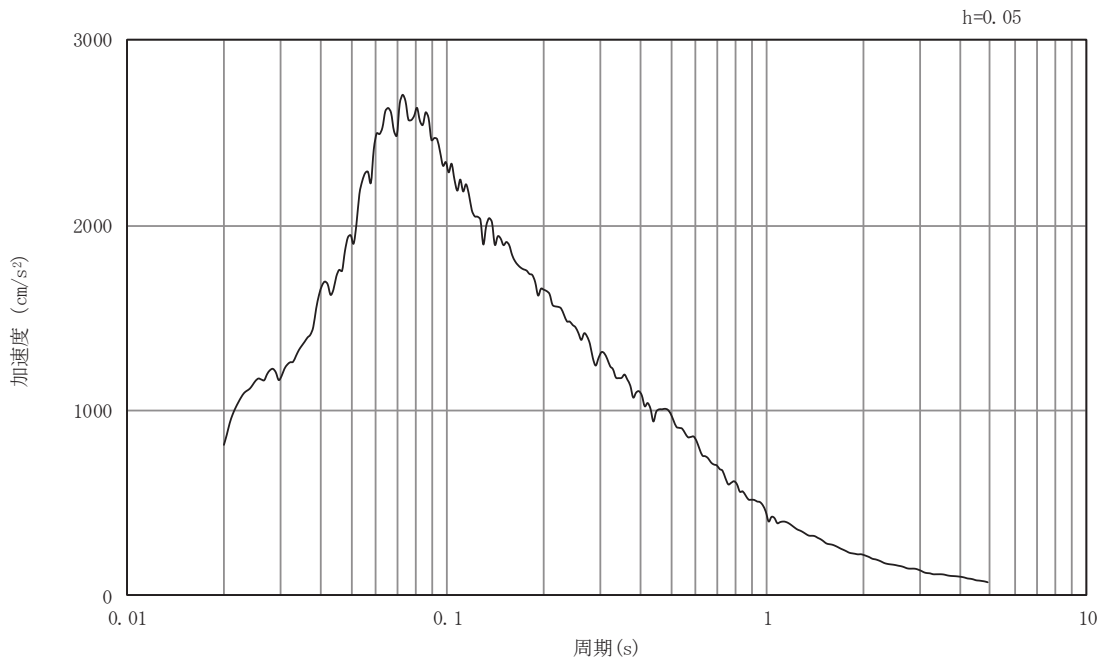


(b) 加速度応答スペクトル

図3-42 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
断面④
(鉛直成分：S s - D 1)

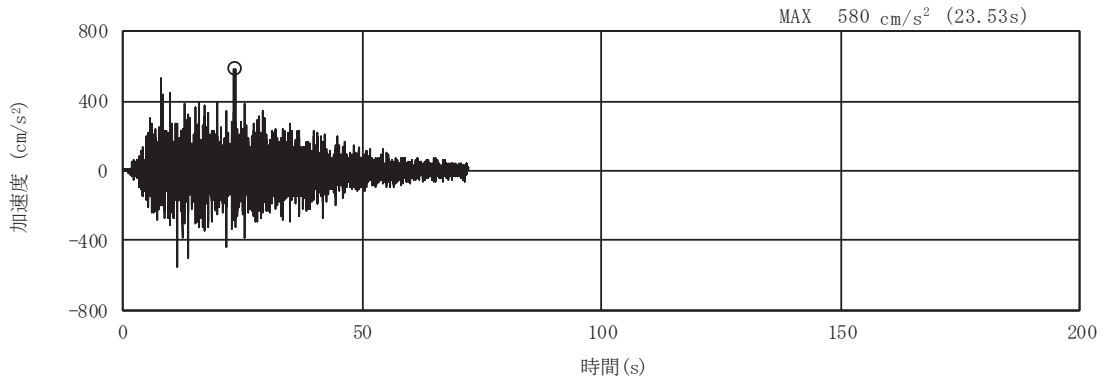


(a) 加速度時刻歴波形

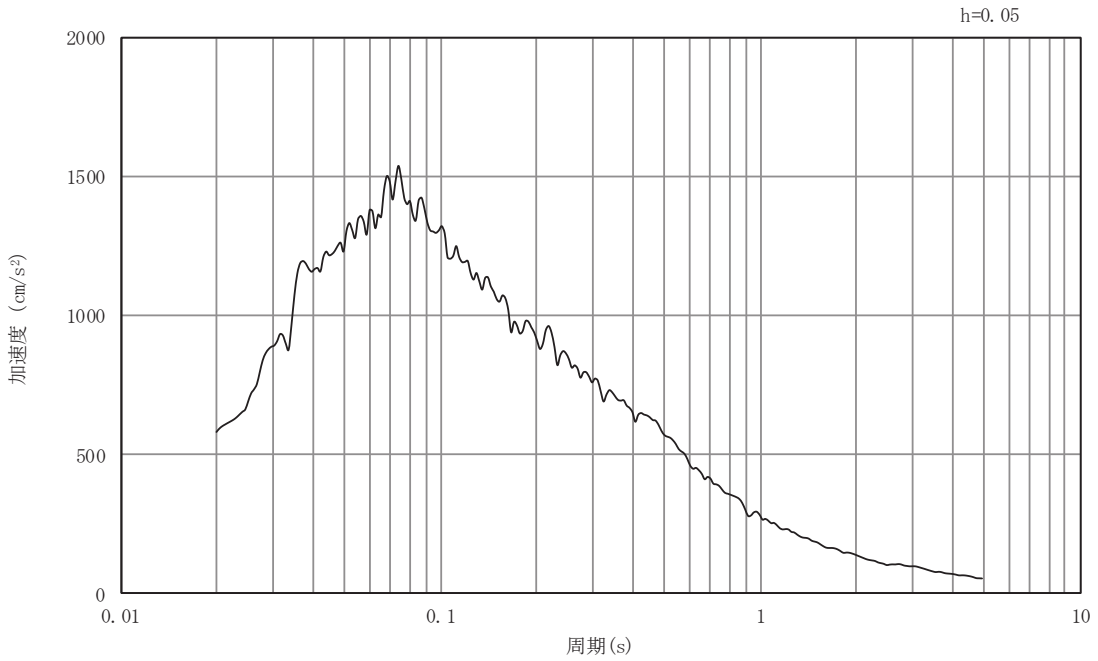


(b) 加速度応答スペクトル

図3-43 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
断面④
(水平成分：S s - D 2)

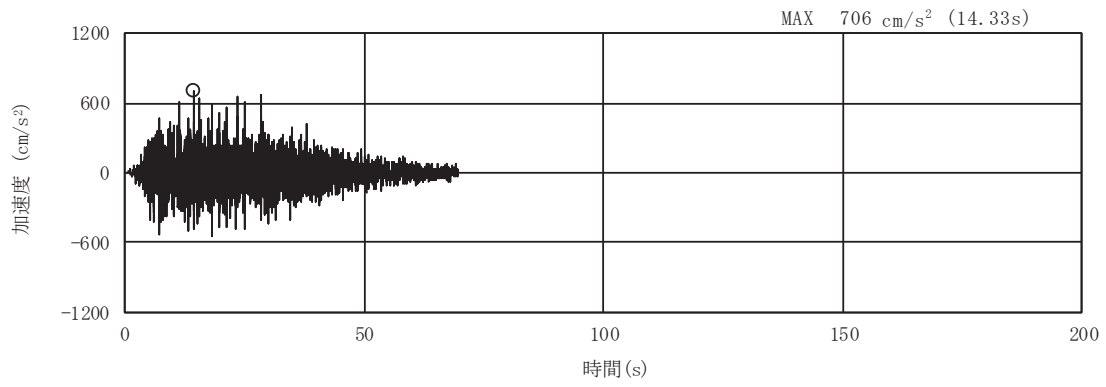


(a) 加速度時刻歴波形

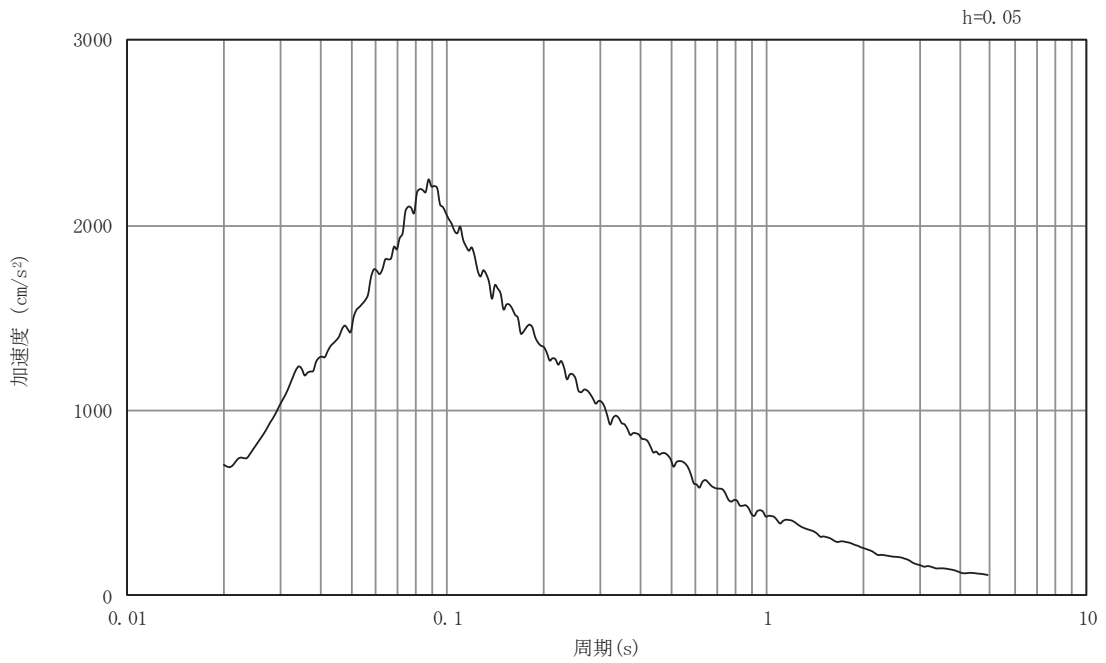


(b) 加速度応答スペクトル

図3-44 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
断面④
(鉛直成分：S s - D 2)

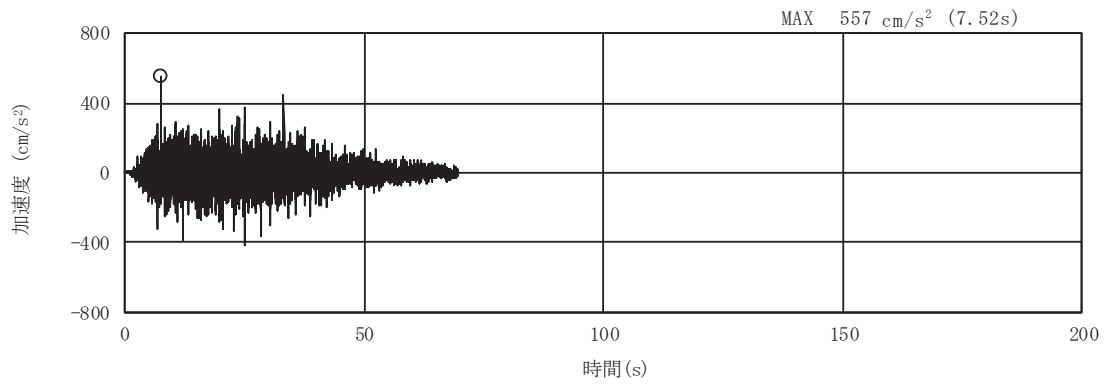


(a) 加速度時刻歴波形

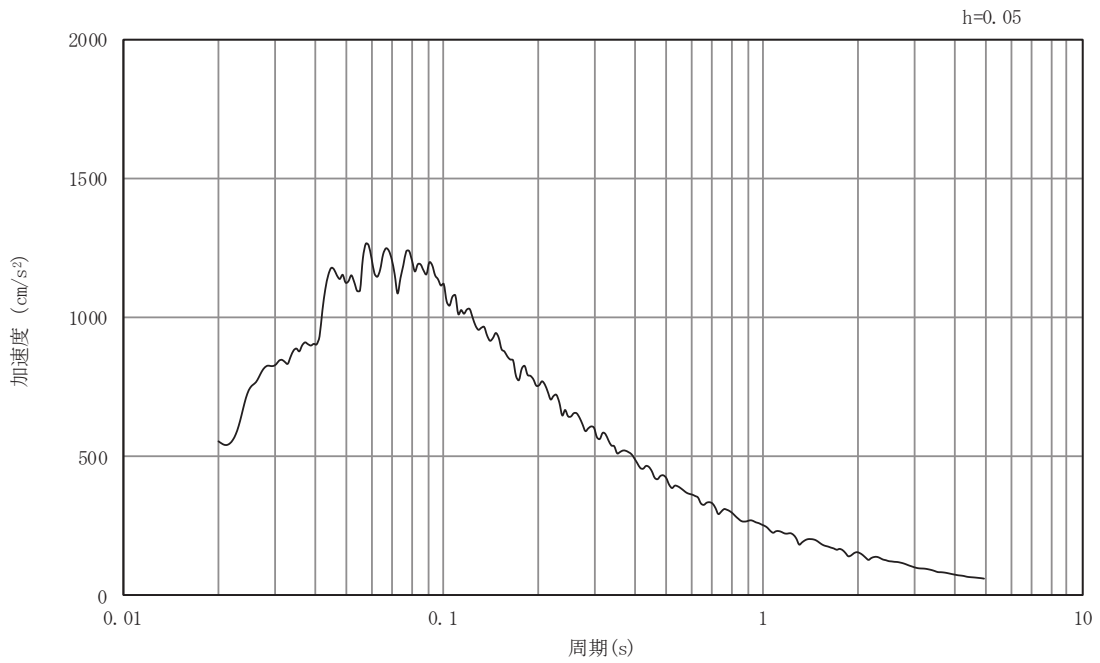


(b) 加速度応答スペクトル

図3-45 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
断面④
(水平成分：S s - D 3)

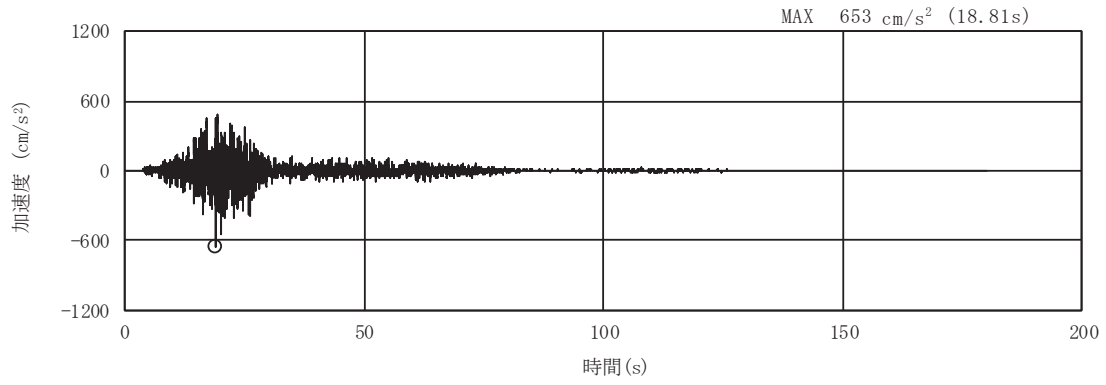


(a) 加速度時刻歴波形

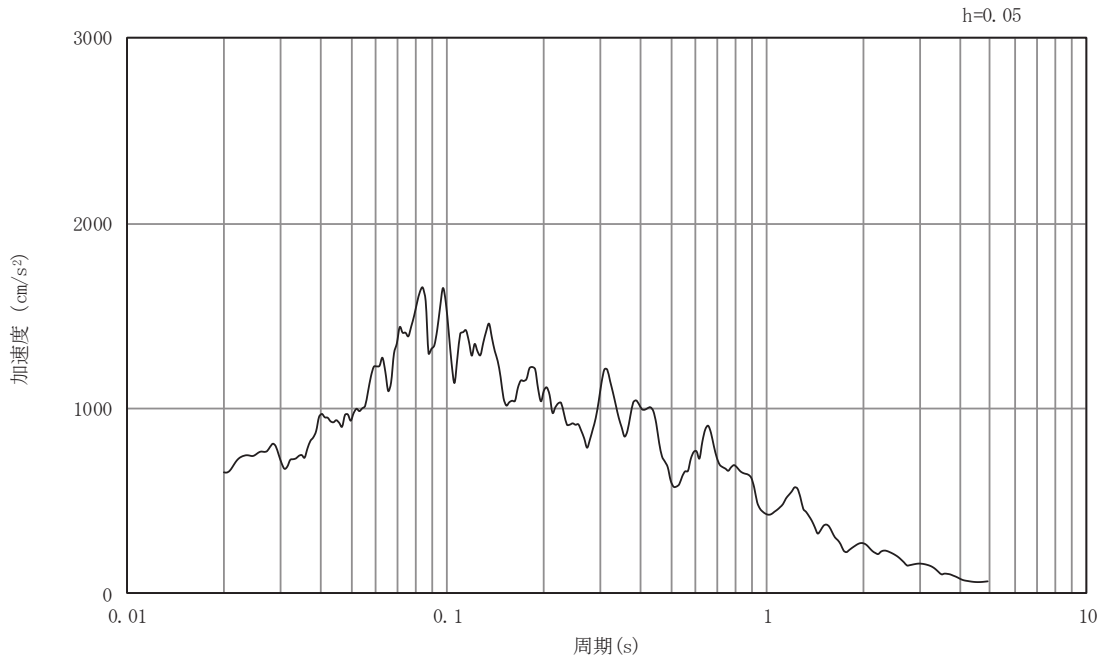


(b) 加速度応答スペクトル

図3-46 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
断面④
(鉛直成分：S s - D 3)



(a) 加速度時刻歴波形

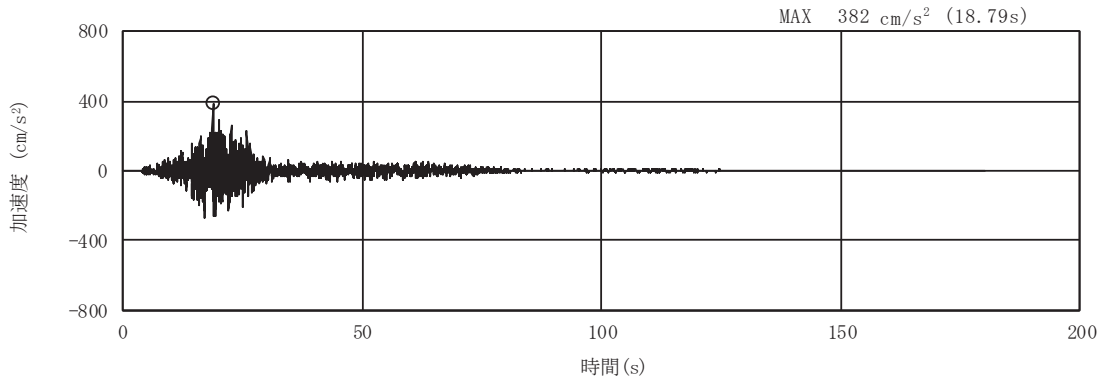


(b) 加速度応答スペクトル

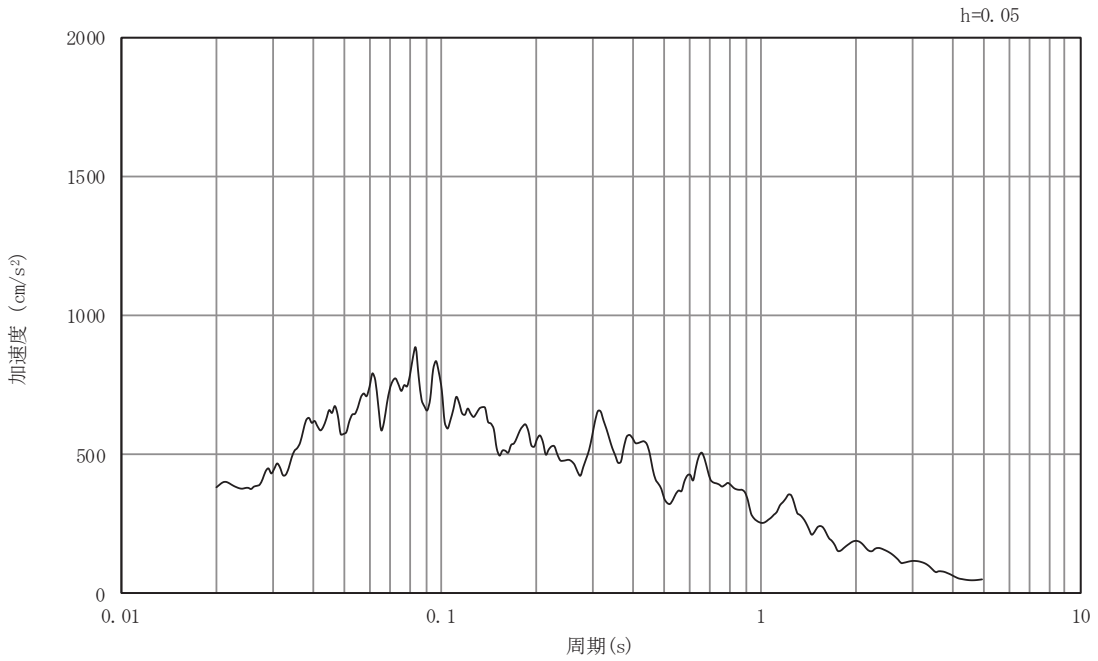
図3-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面④

(水平成分：S s - F 1)



(a) 加速度時刻歴波形

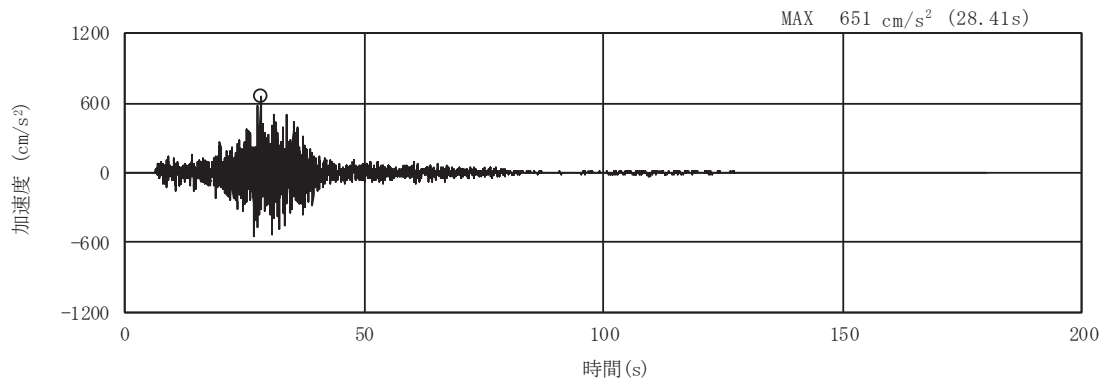


(b) 加速度応答スペクトル

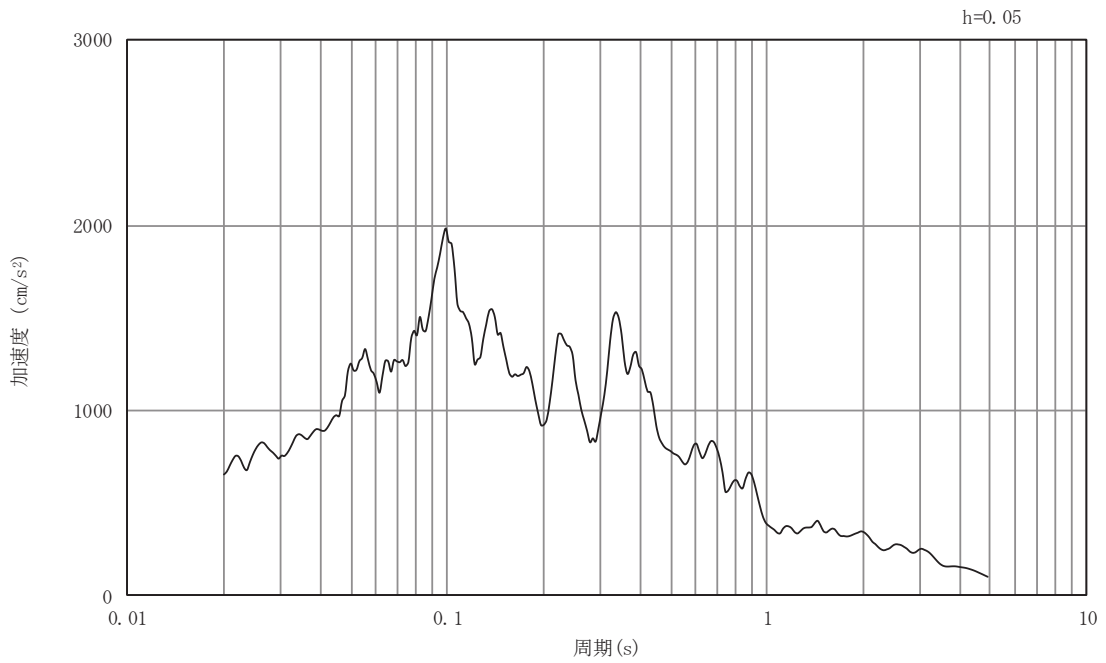
図3-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面④

(鉛直成分：S s - F 1)



(a) 加速度時刻歴波形

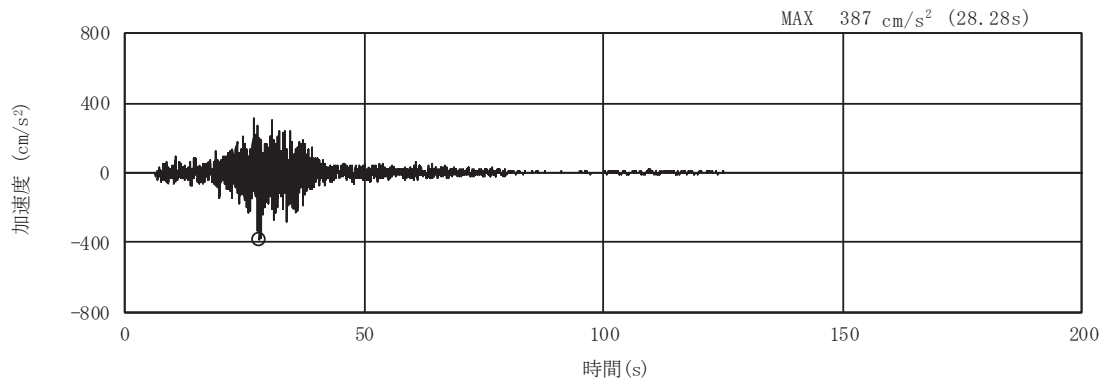


(b) 加速度応答スペクトル

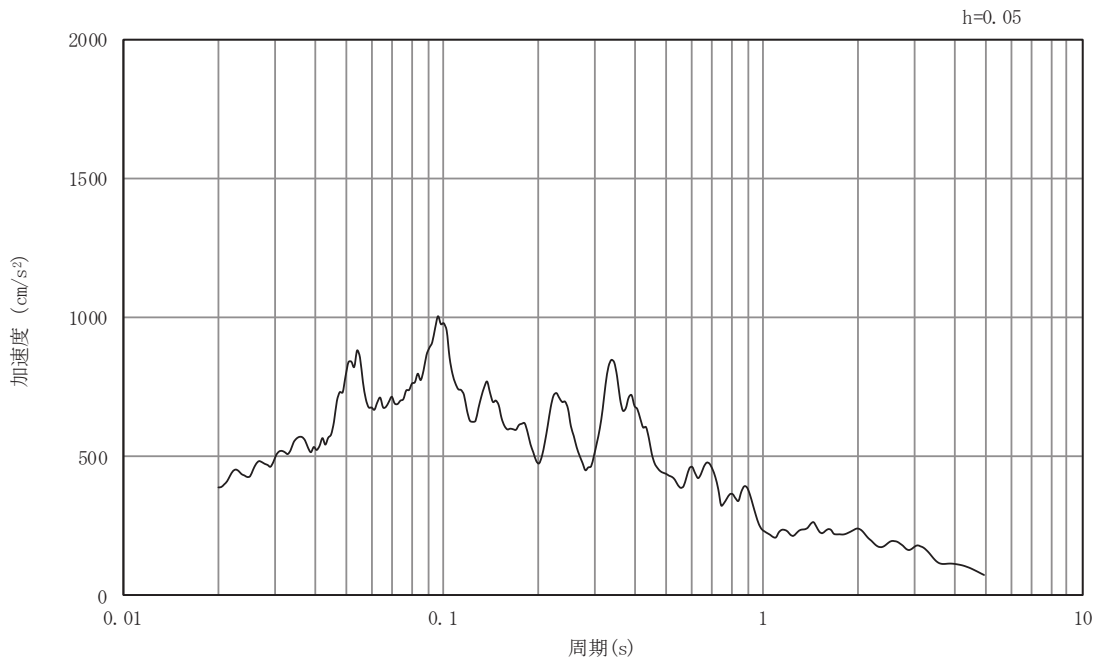
図3-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面④

(水平成分：S s - F 2)

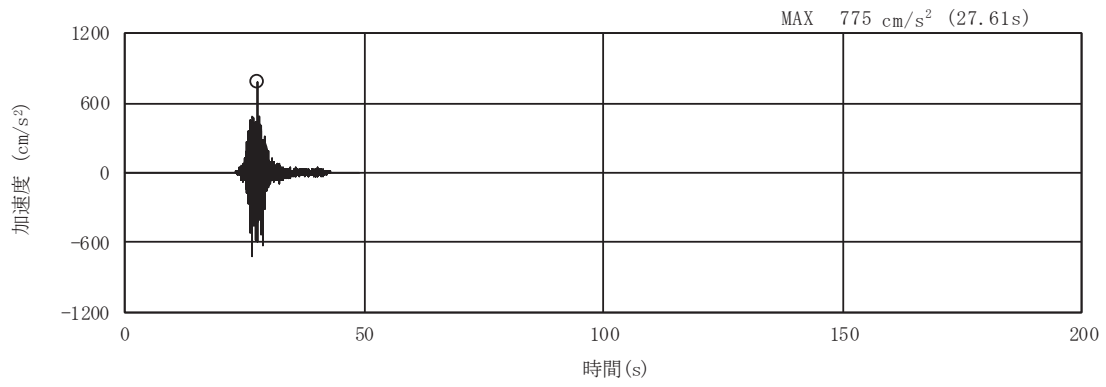


(a) 加速度時刻歴波形

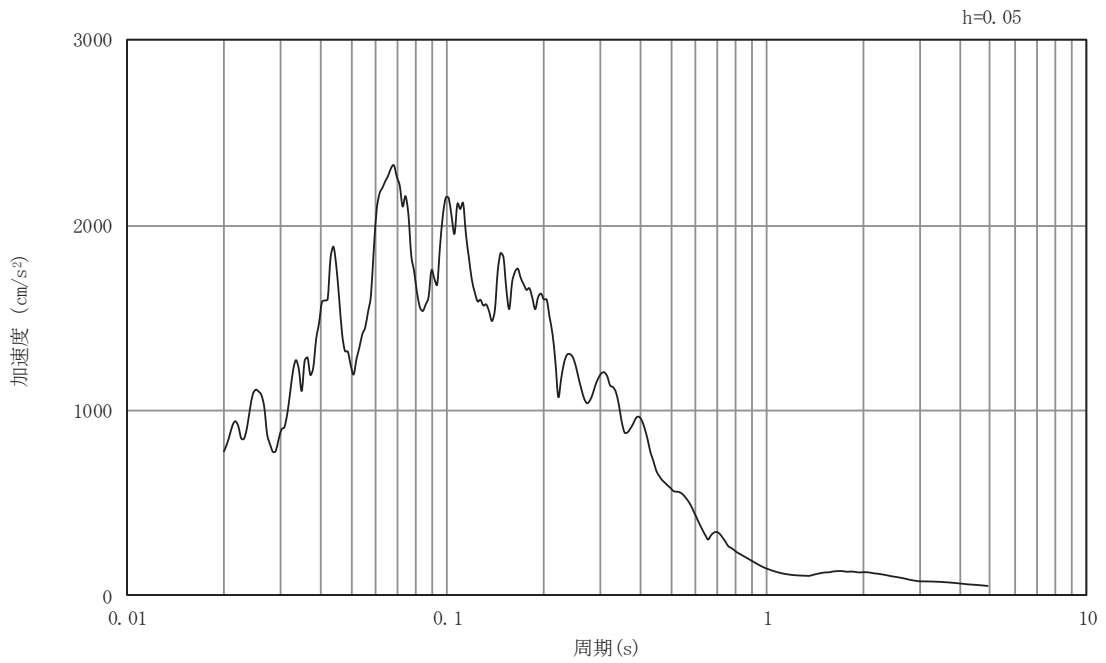


(b) 加速度応答スペクトル

図3-50 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
断面④
(鉛直成分：S s - F 2)

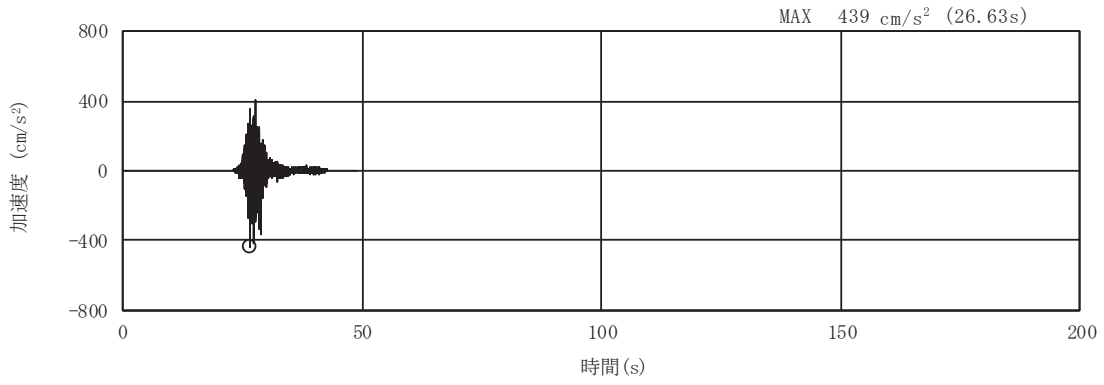


(a) 加速度時刻歴波形

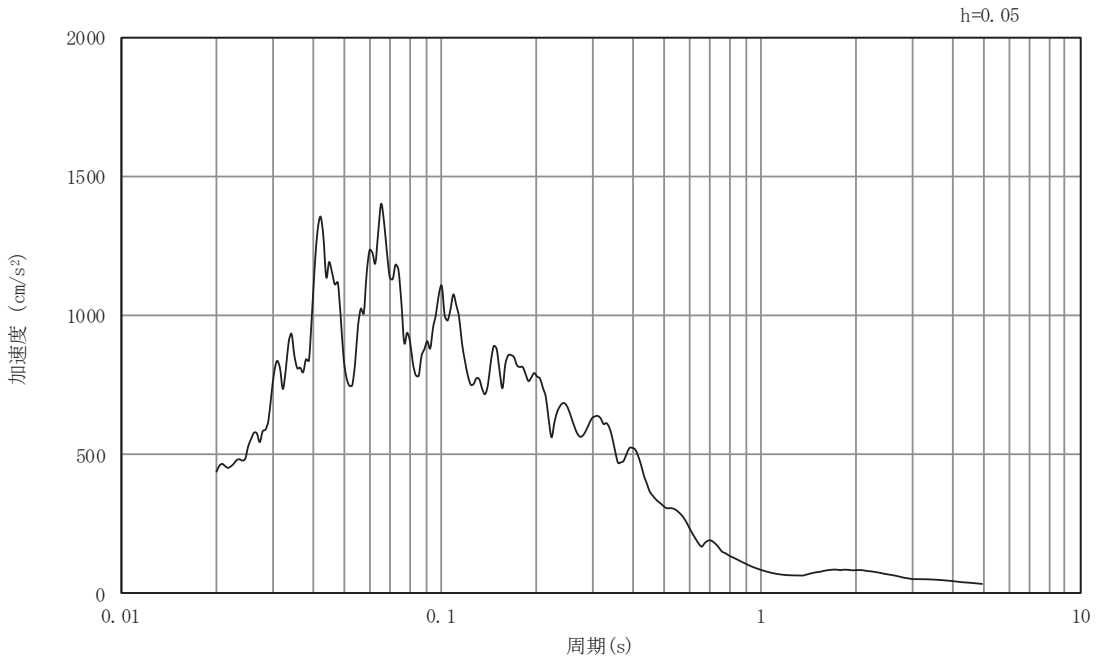


(b) 加速度応答スペクトル

図3-51 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
断面④
(鉛直成分：S s - F 3)



(a) 加速度時刻歴波形

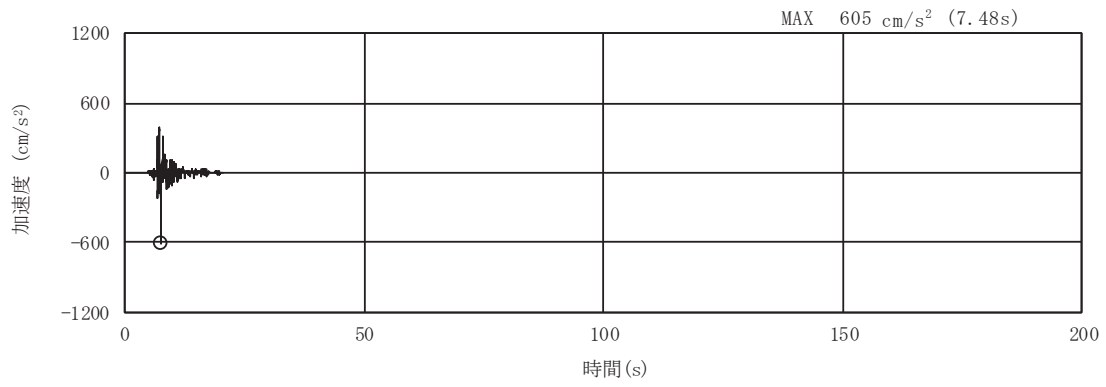


(b) 加速度応答スペクトル

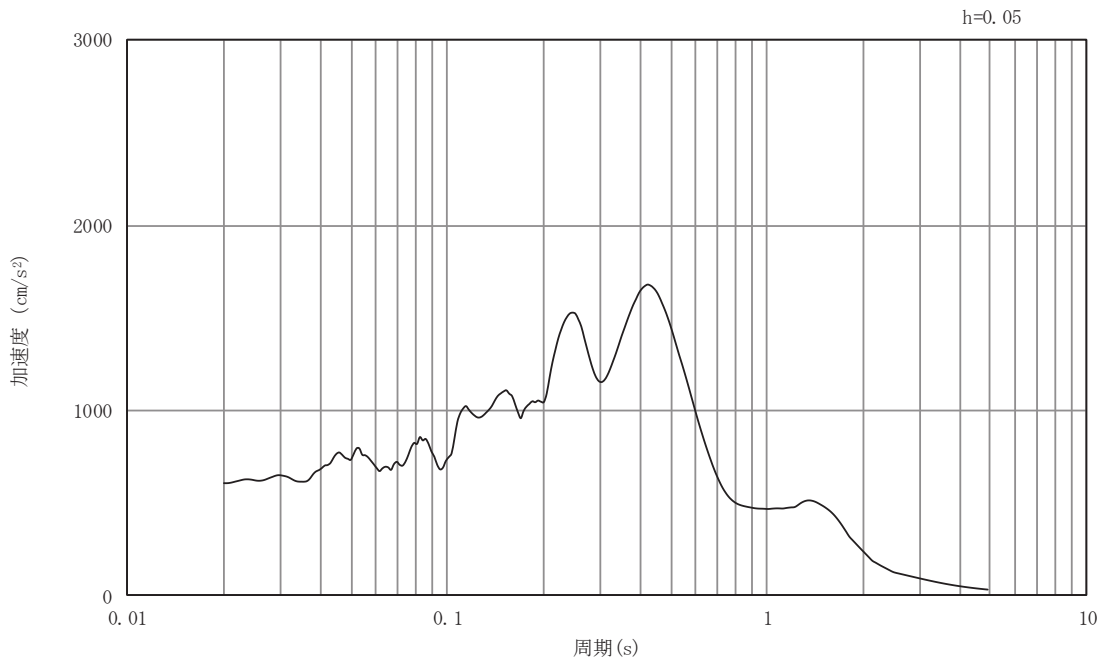
図3-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面④

(鉛直成分：S s - F 3)

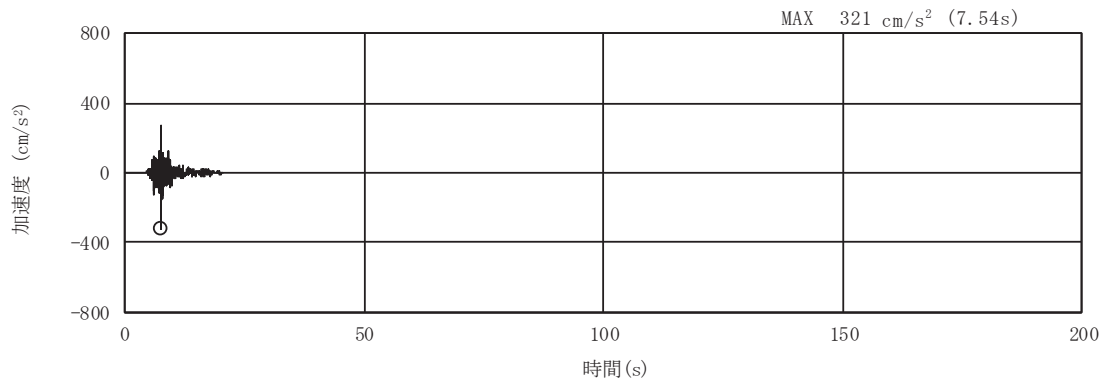


(a) 加速度時刻歴波形

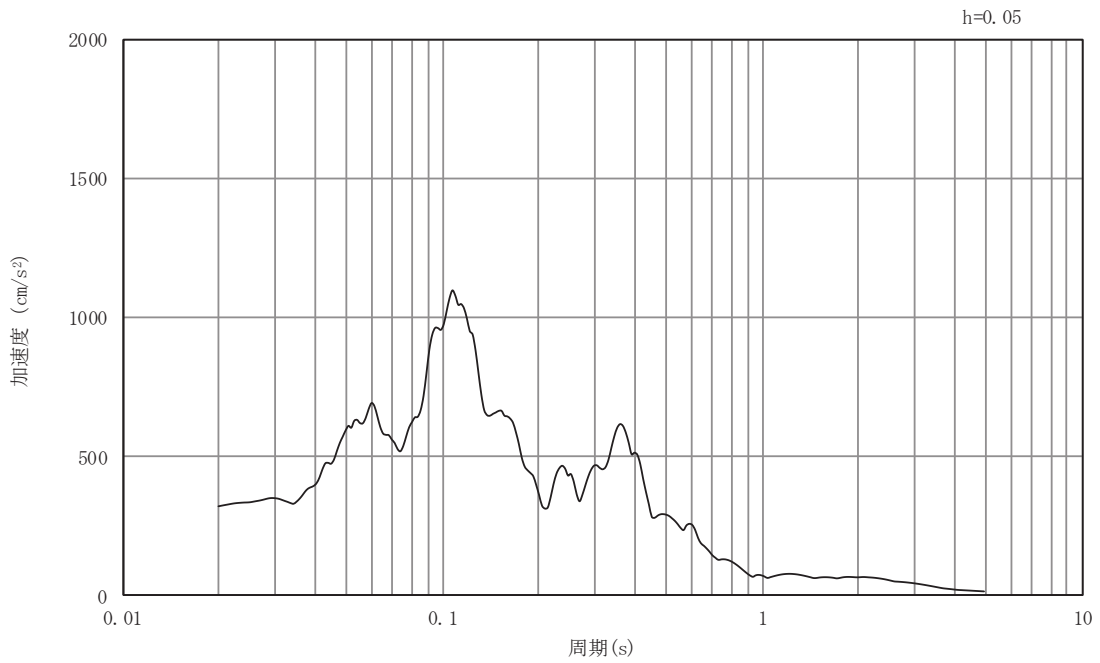


(b) 加速度応答スペクトル

図3-53 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
断面④
(水平成分：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形

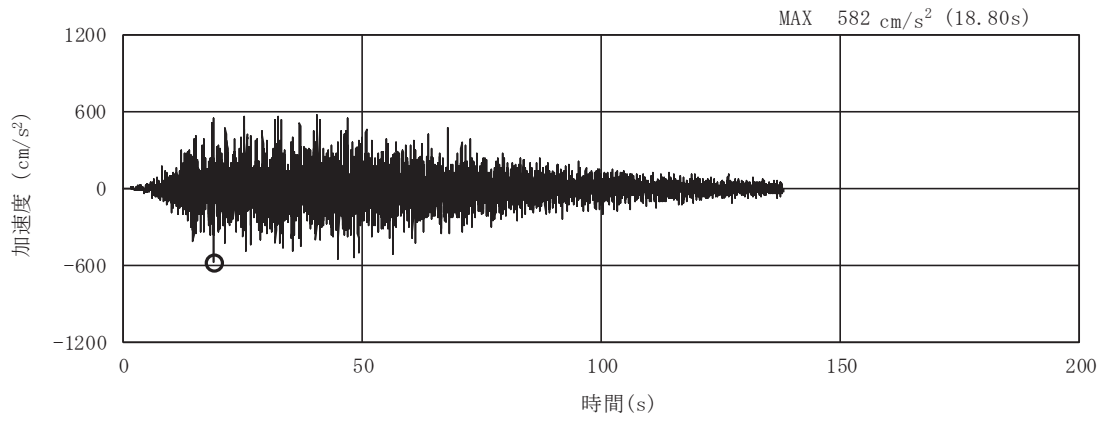


(b) 加速度応答スペクトル

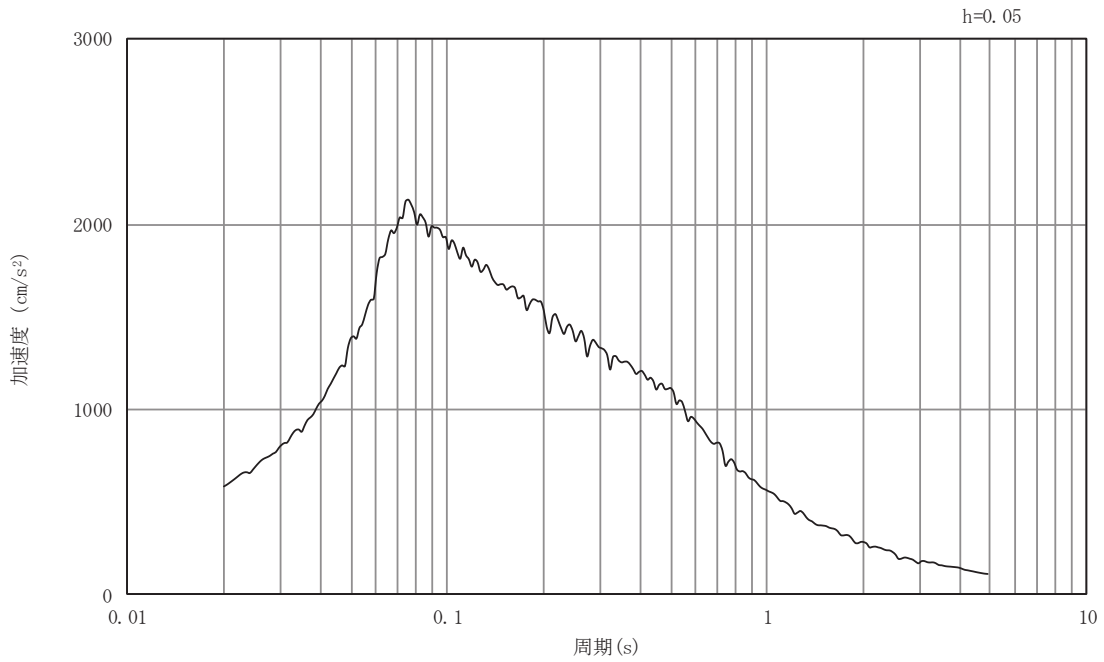
図3-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面④

(鉛直成分：S s - N 1)

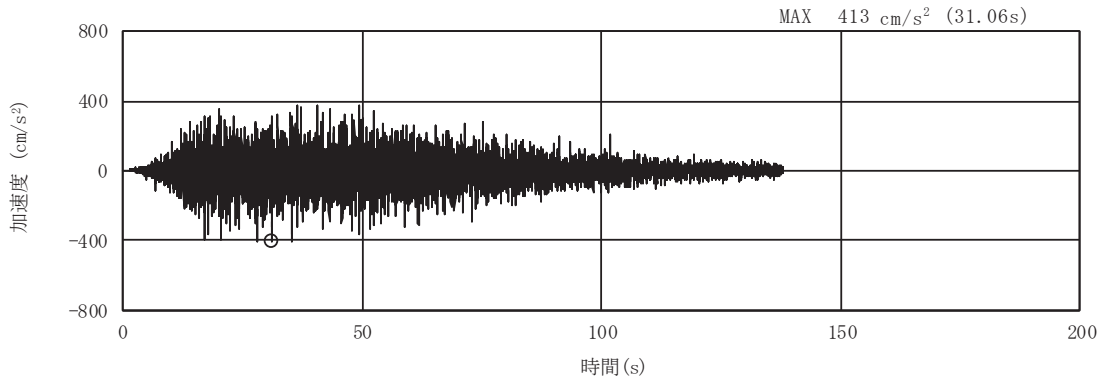


(a) 加速度時刻歴波形

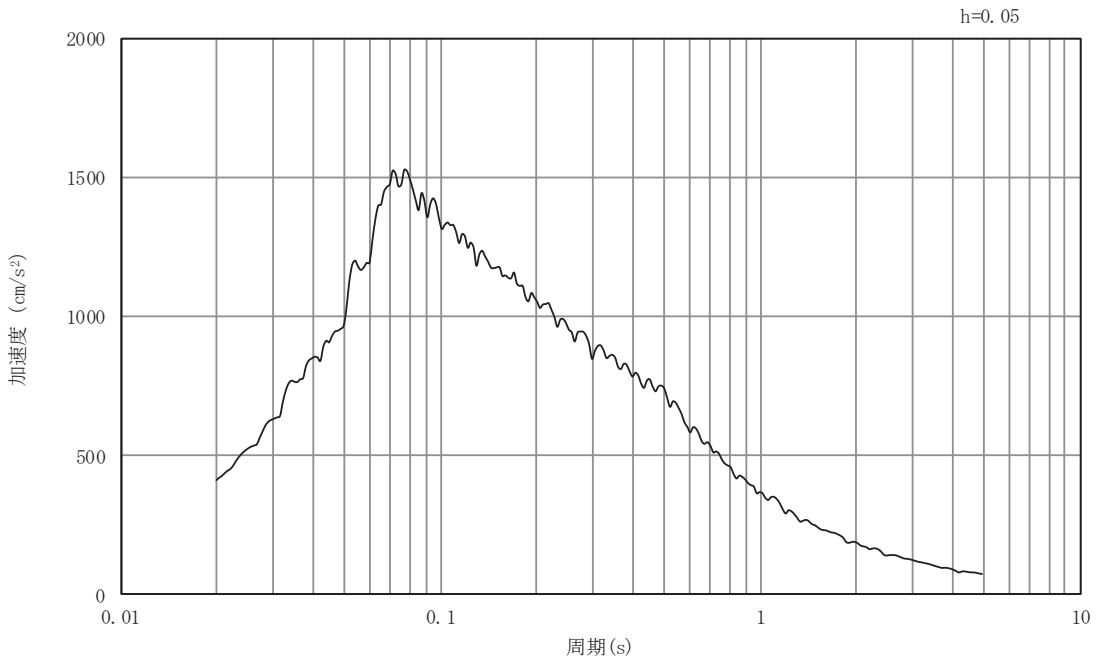


(b) 加速度応答スペクトル

図3-55 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
断面⑤
(水平成分：S s - D 1)

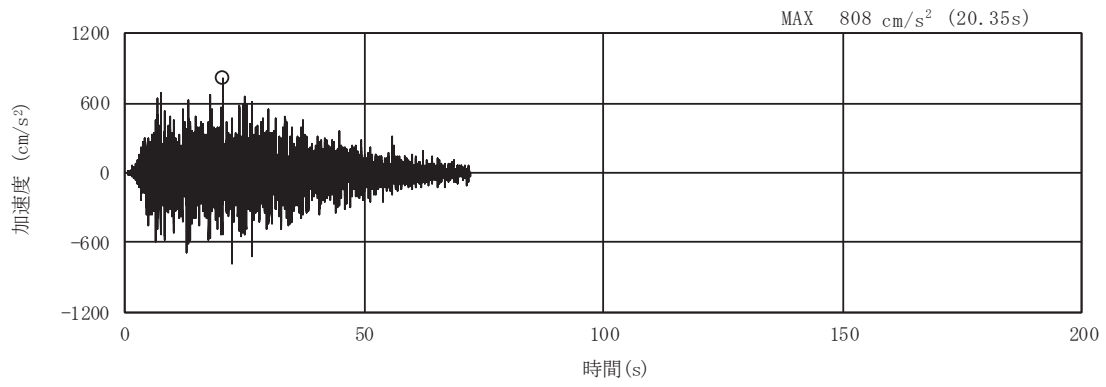


(a) 加速度時刻歴波形

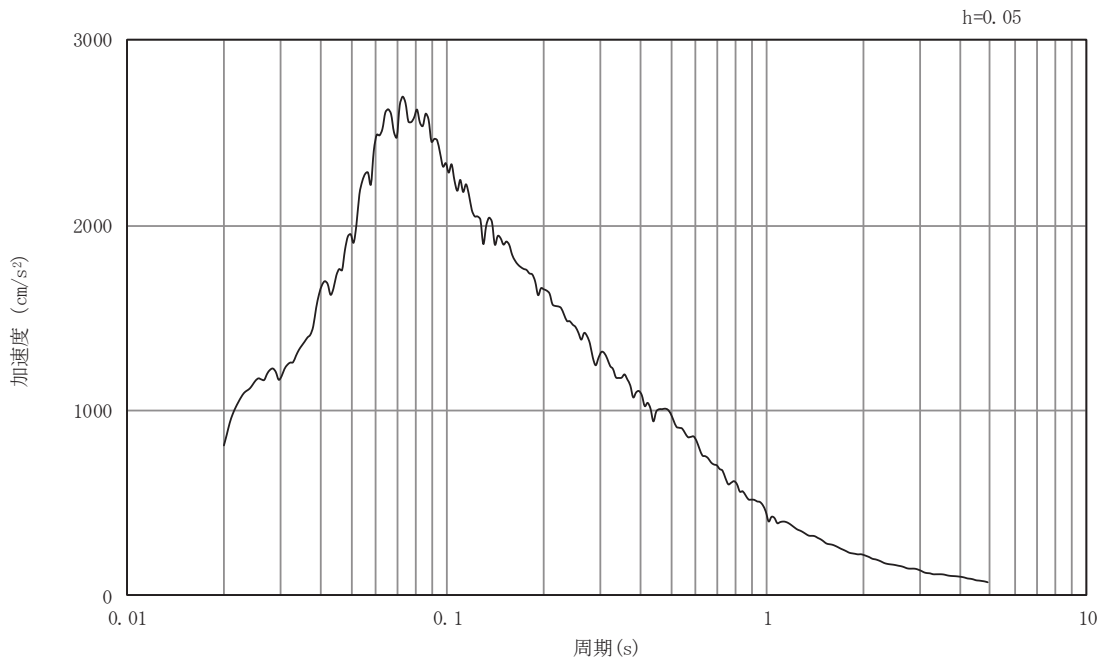


(b) 加速度応答スペクトル

図3-56 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
断面⑤
(鉛直成分：S s - D 1)

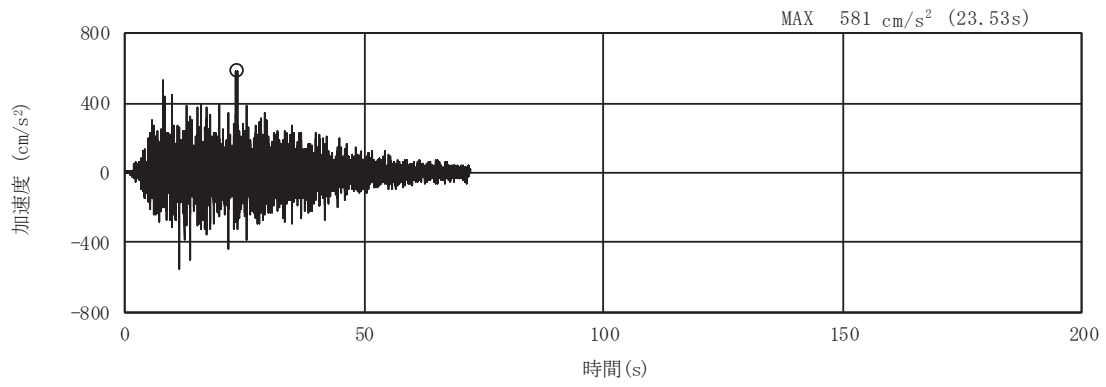


(a) 加速度時刻歴波形

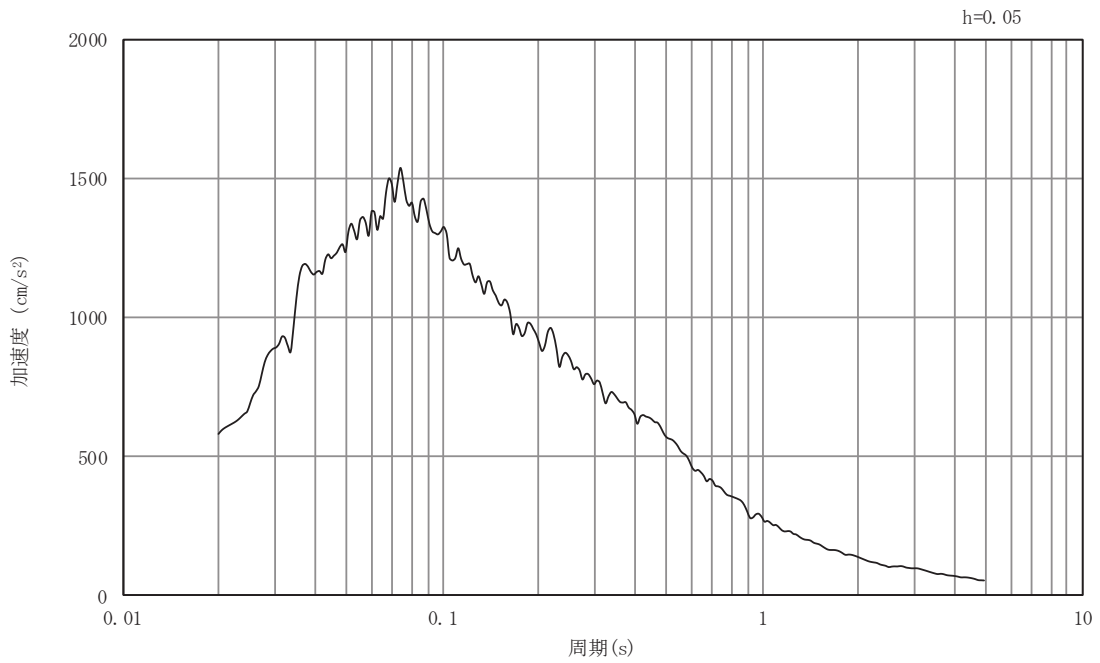


(b) 加速度応答スペクトル

図3-57 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
断面⑤
(水平成分：S s - D 2)

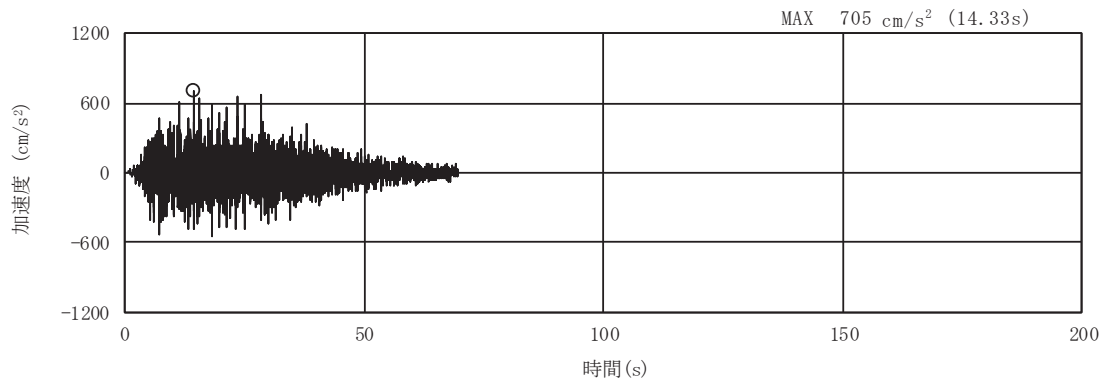


(a) 加速度時刻歴波形

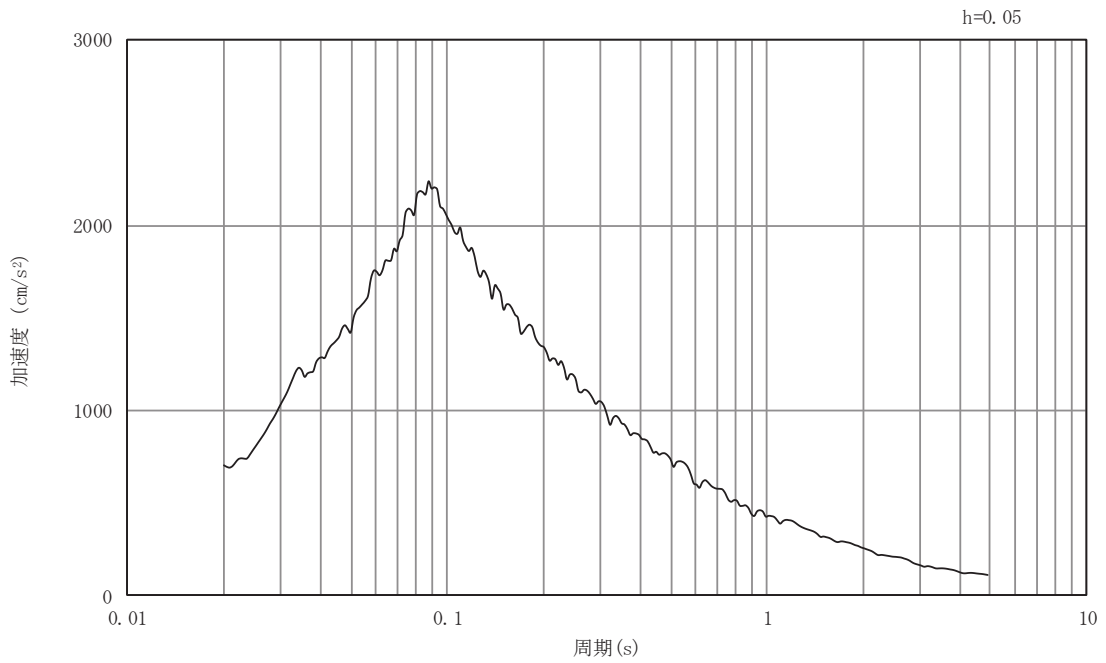


(b) 加速度応答スペクトル

図3-58 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
断面⑤
(鉛直成分：S s - D 2)

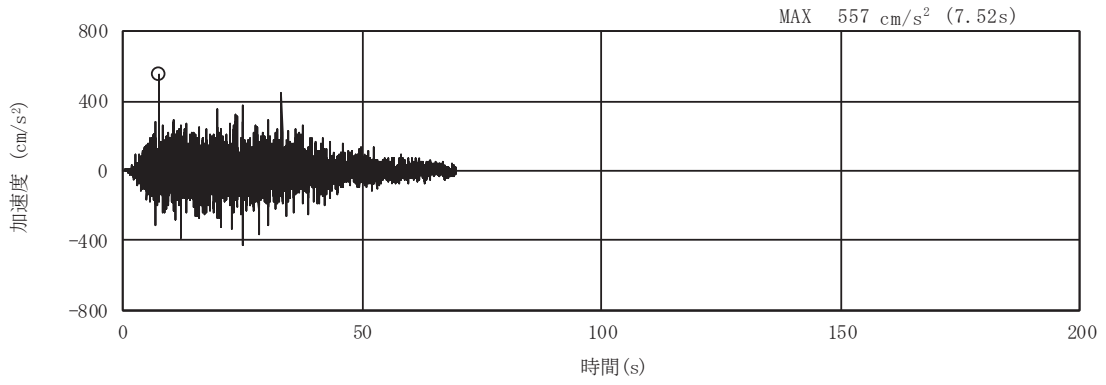


(a) 加速度時刻歴波形

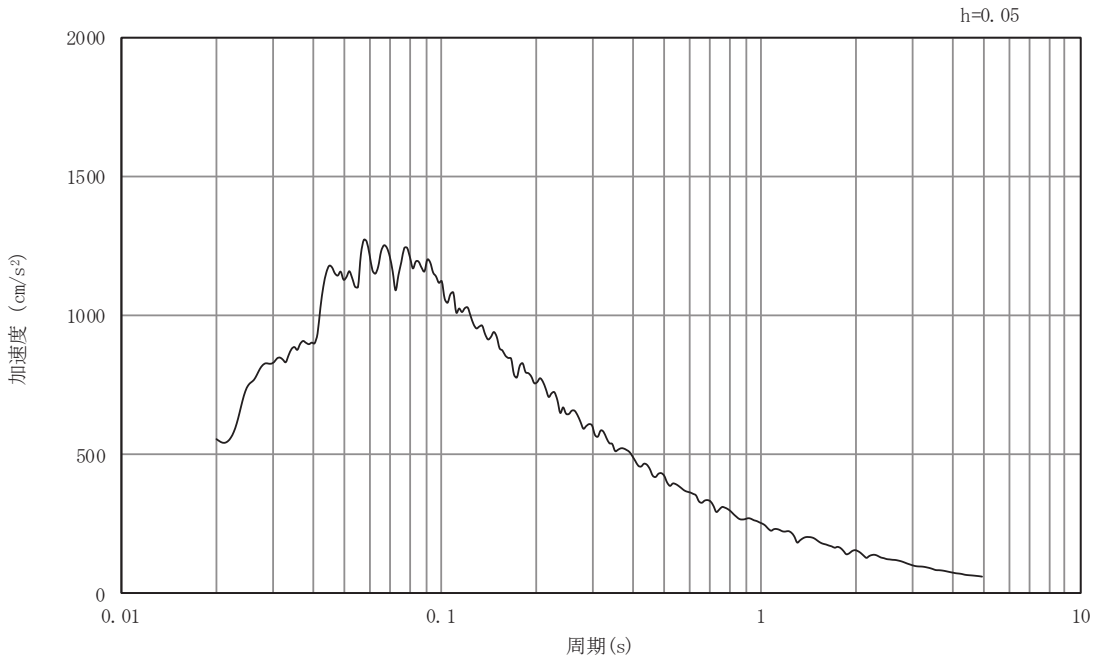


(b) 加速度応答スペクトル

図3-59 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
断面⑤
(水平成分：S s - D 3)

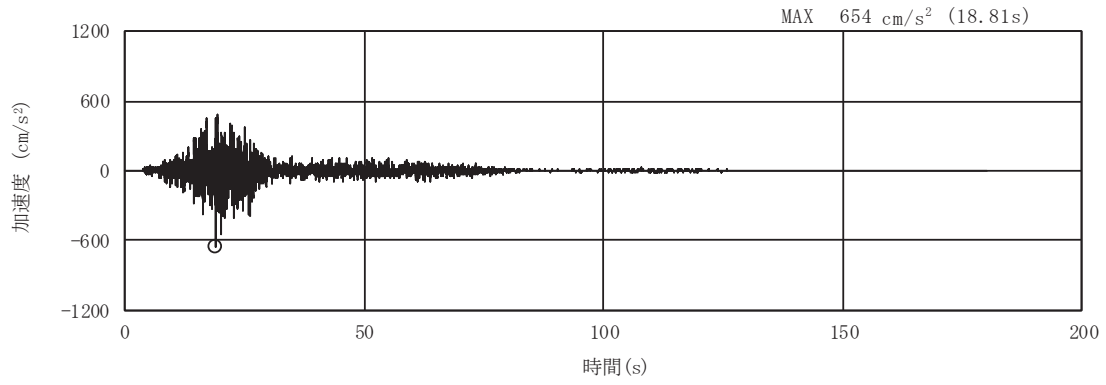


(a) 加速度時刻歴波形

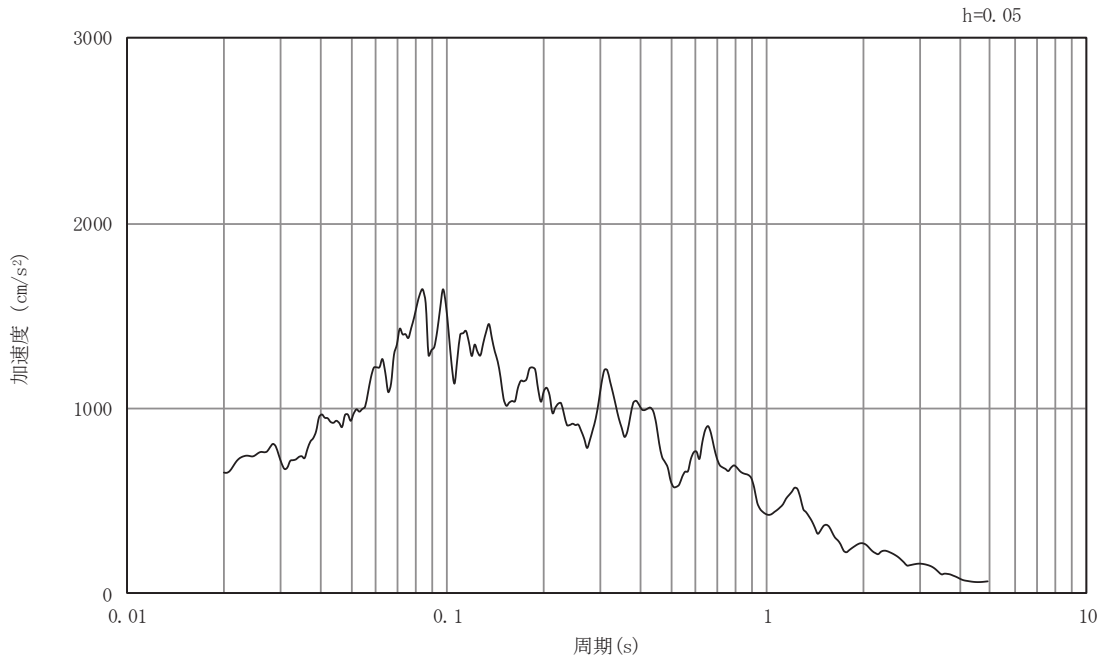


(b) 加速度応答スペクトル

図3-60 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
断面⑤
(鉛直成分：S s - D 3)

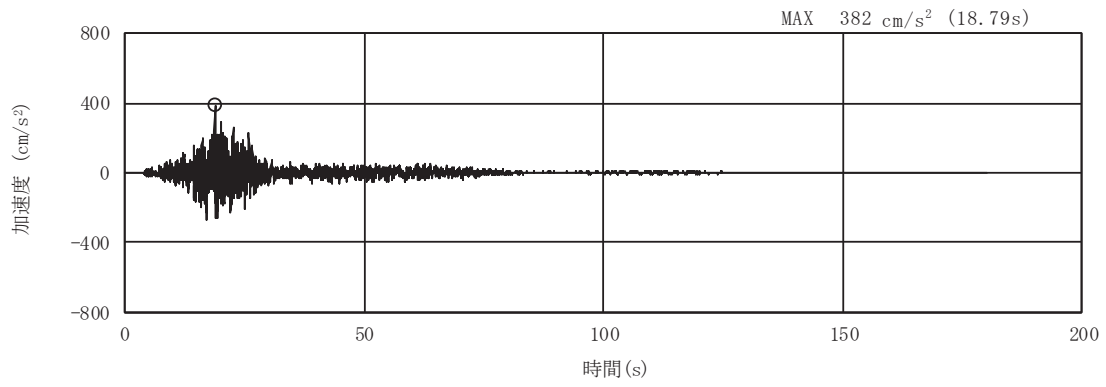


(a) 加速度時刻歴波形

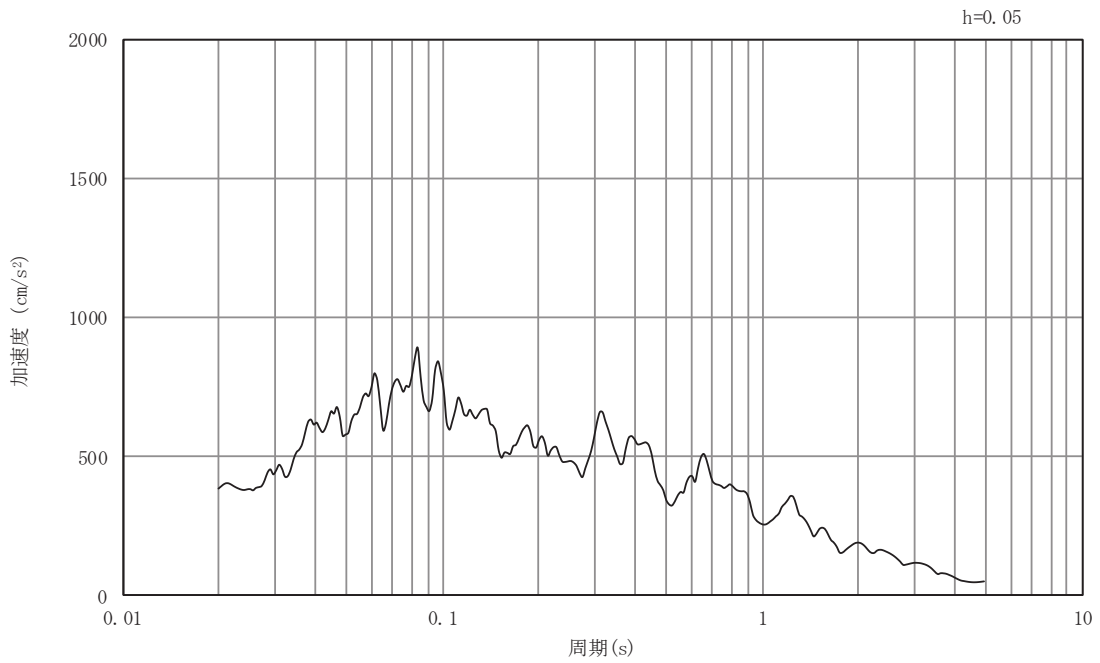


(b) 加速度応答スペクトル

図3-61 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
断面⑤
(水平成分：S s - F 1)



(a) 加速度時刻歴波形

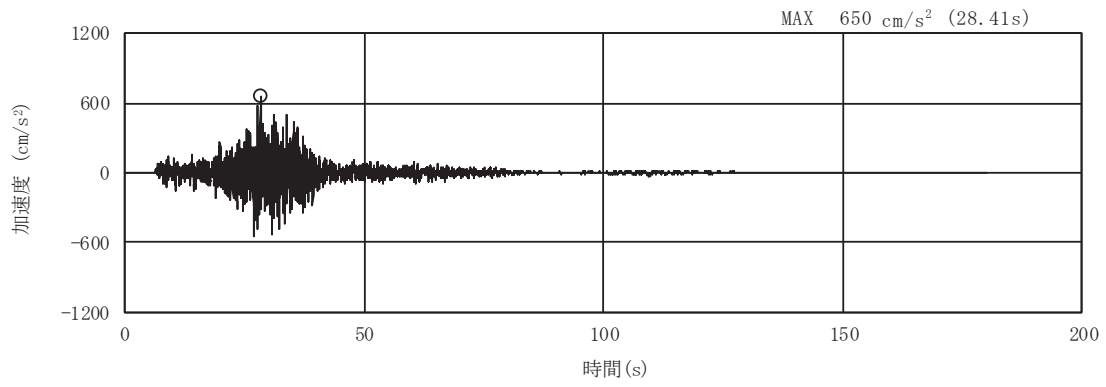


(b) 加速度応答スペクトル

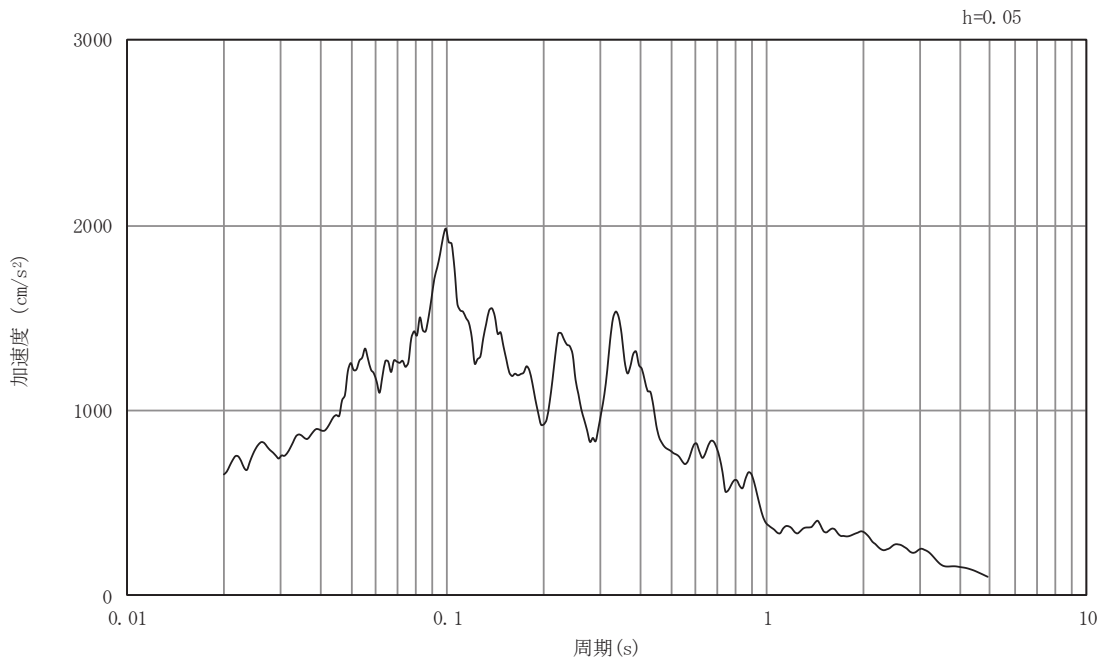
図3-62 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面⑤

(鉛直成分：S s - F 1)

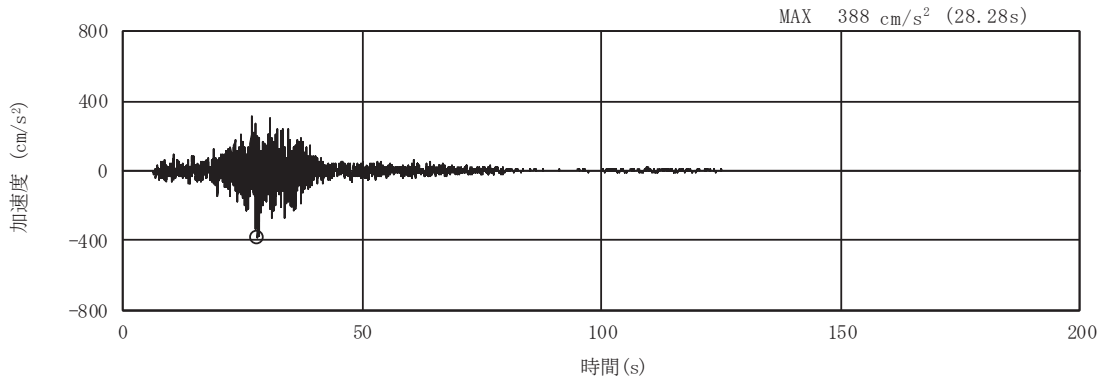


(a) 加速度時刻歴波形

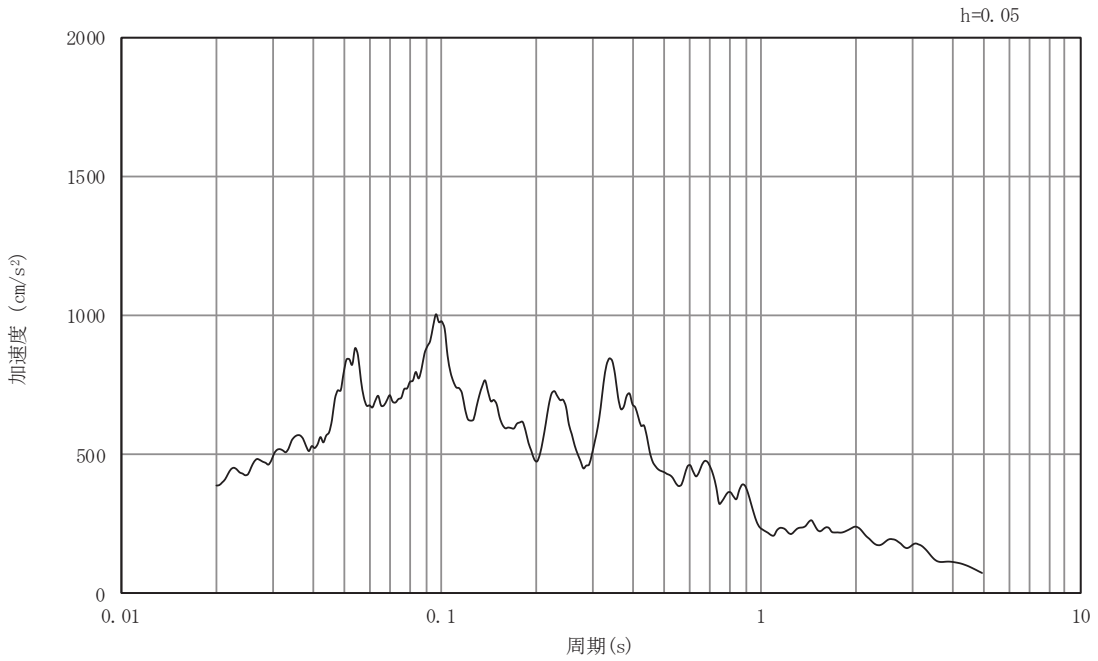


(b) 加速度応答スペクトル

図3-63 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
断面⑤
(水平成分：S s - F 2)

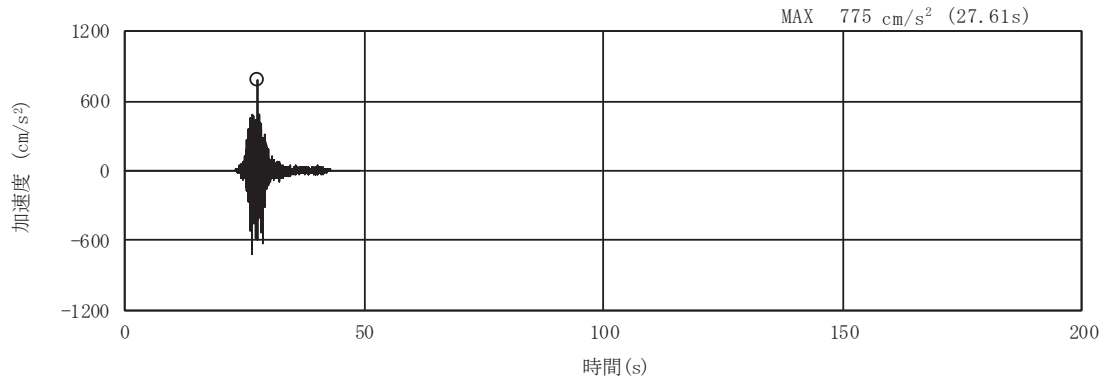


(a) 加速度時刻歴波形

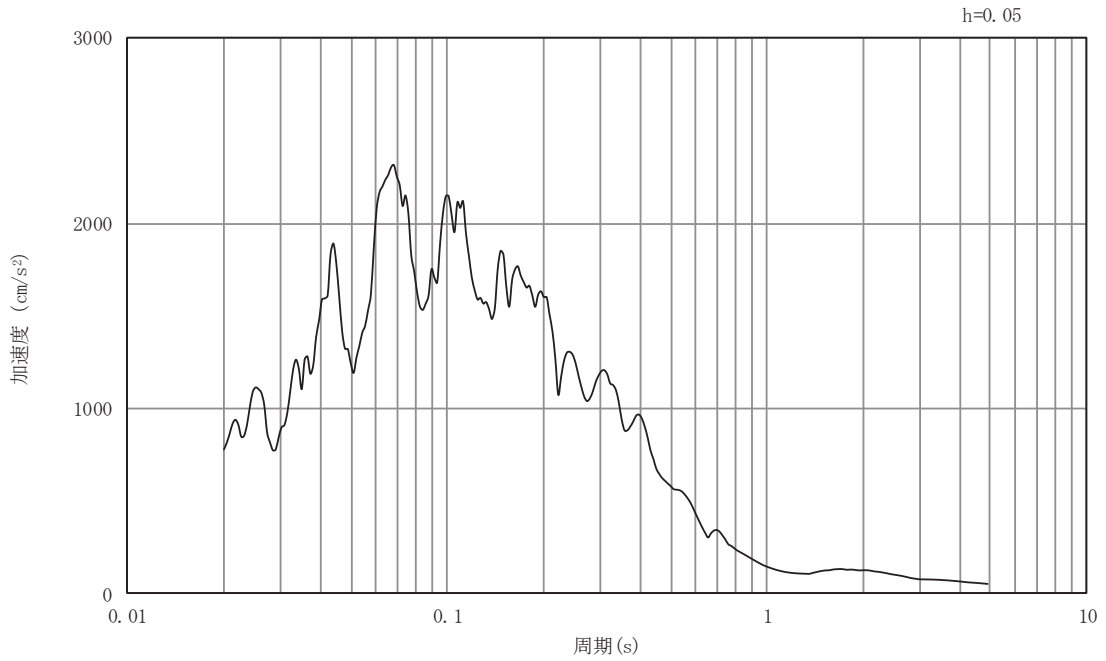


(b) 加速度応答スペクトル

図3-64 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
断面⑤
(鉛直成分：S s - F 2)

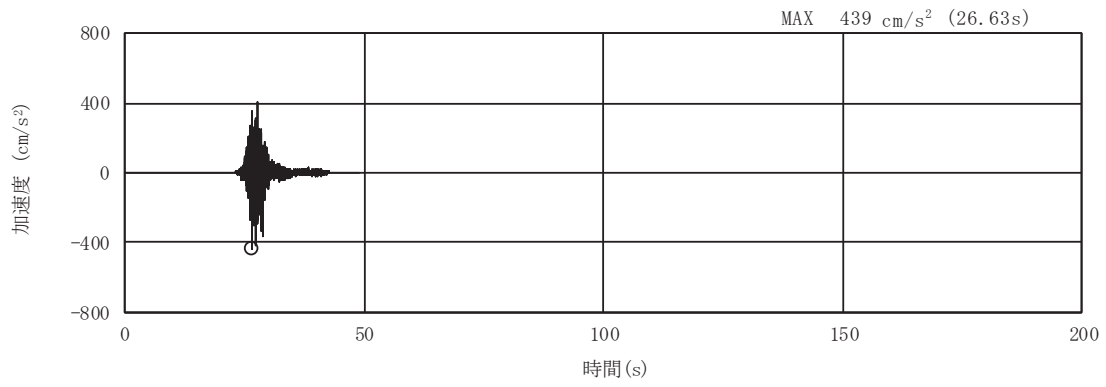


(a) 加速度時刻歴波形

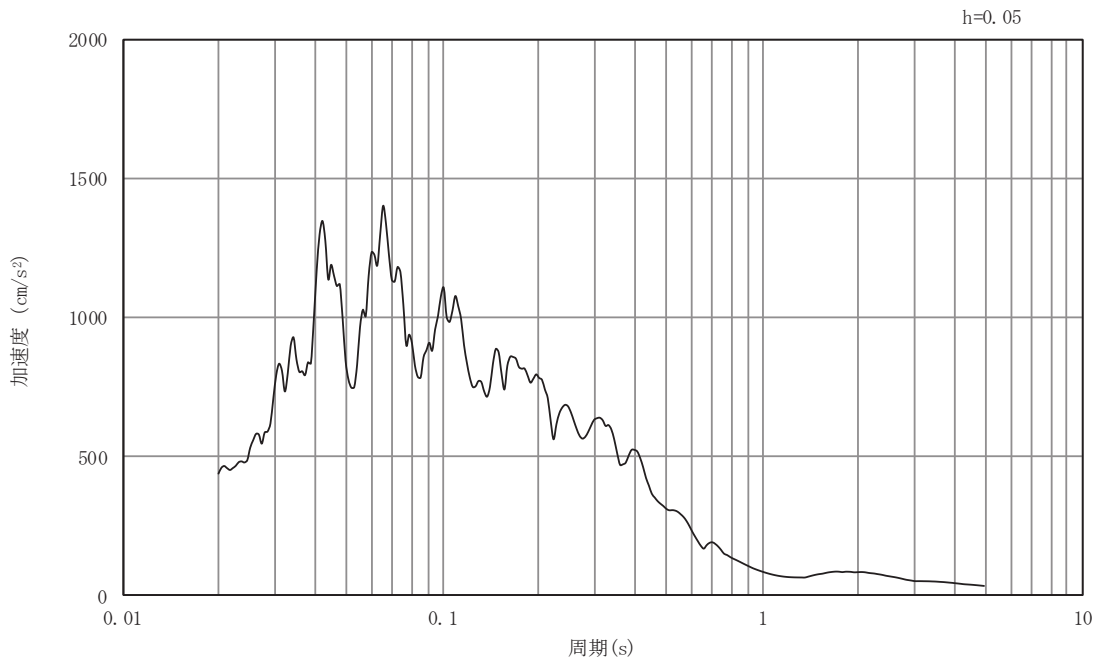


(b) 加速度応答スペクトル

図3-65 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
断面⑤
(水平成分：S s - F 3)

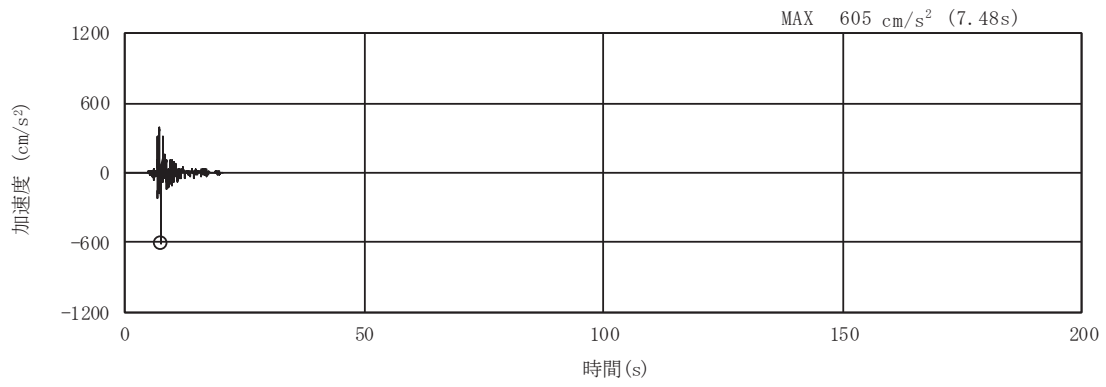


(a) 加速度時刻歴波形

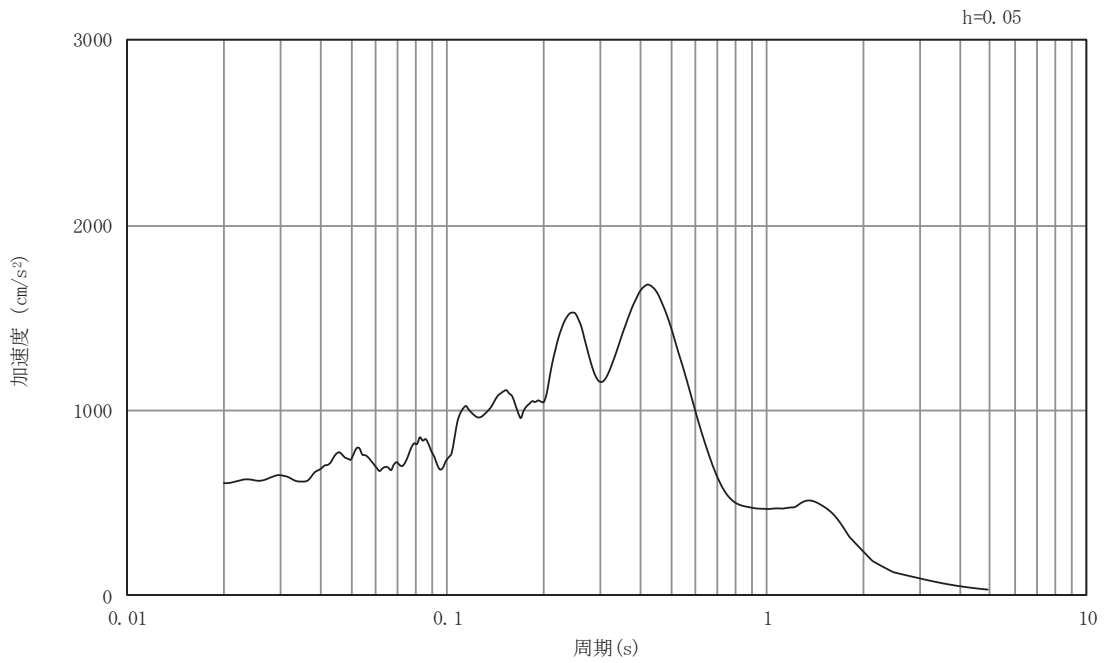


(b) 加速度応答スペクトル

図3-66 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
断面⑤
(鉛直成分：S s - F 3)

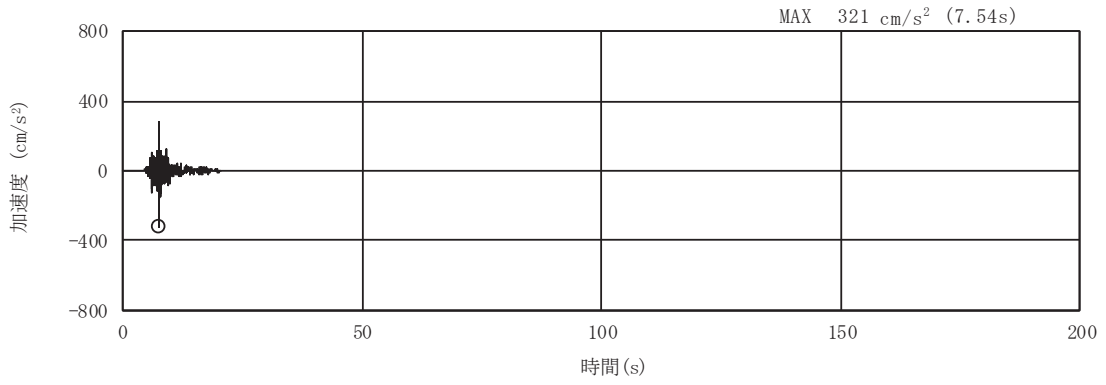


(a) 加速度時刻歴波形

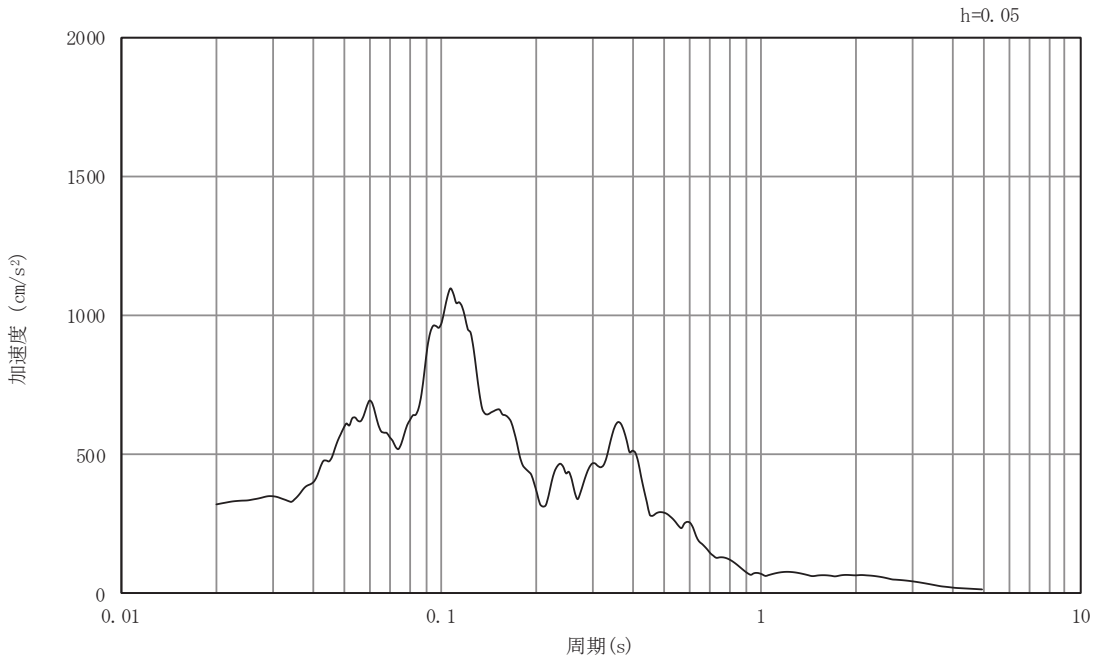


(b) 加速度応答スペクトル

図3-67 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
断面⑤
(水平成分：S s - N 1)

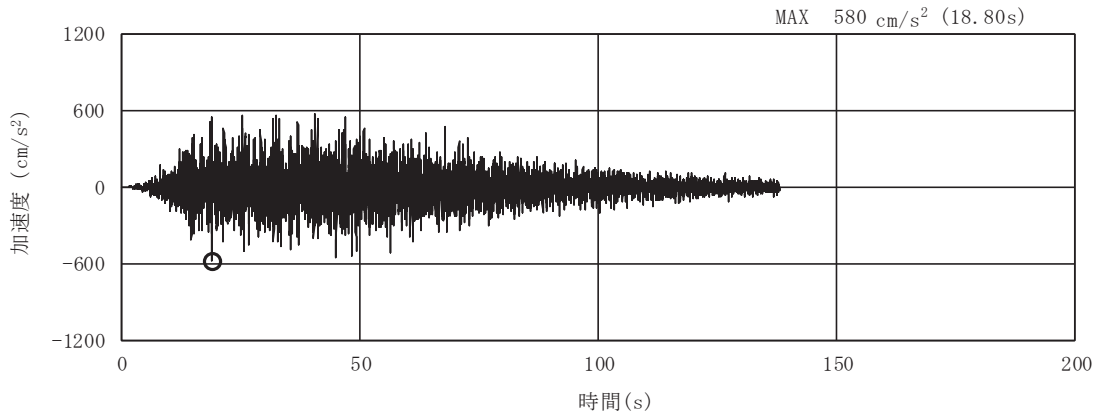


(a) 加速度時刻歴波形

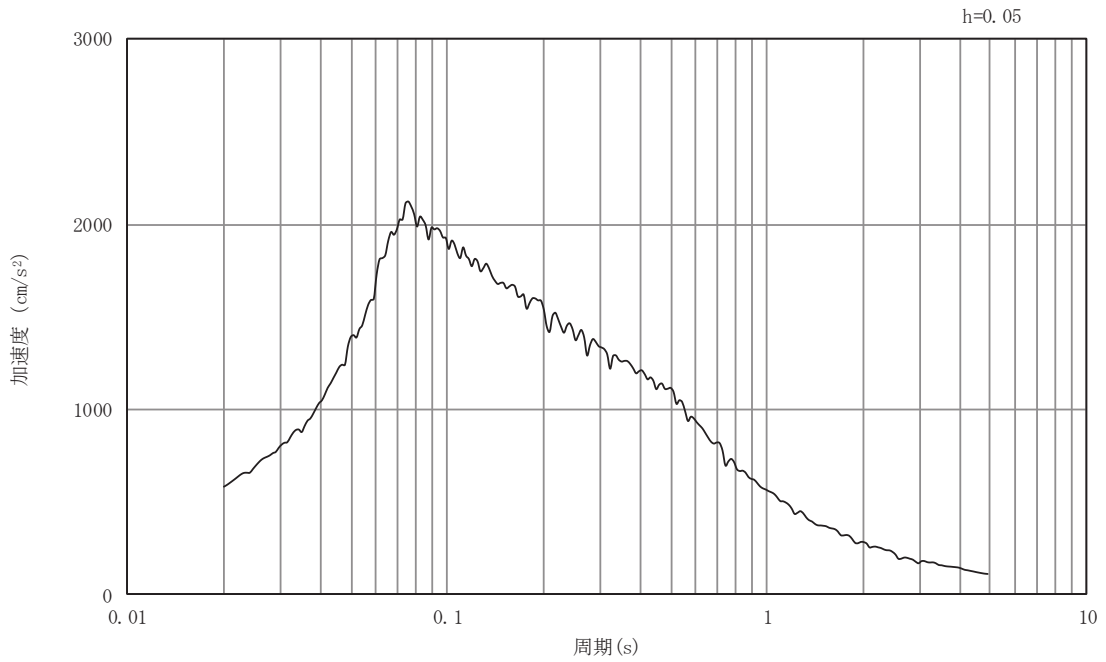


(b) 加速度応答スペクトル

図3-68 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
断面⑤
(鉛直成分：S s - N 1)

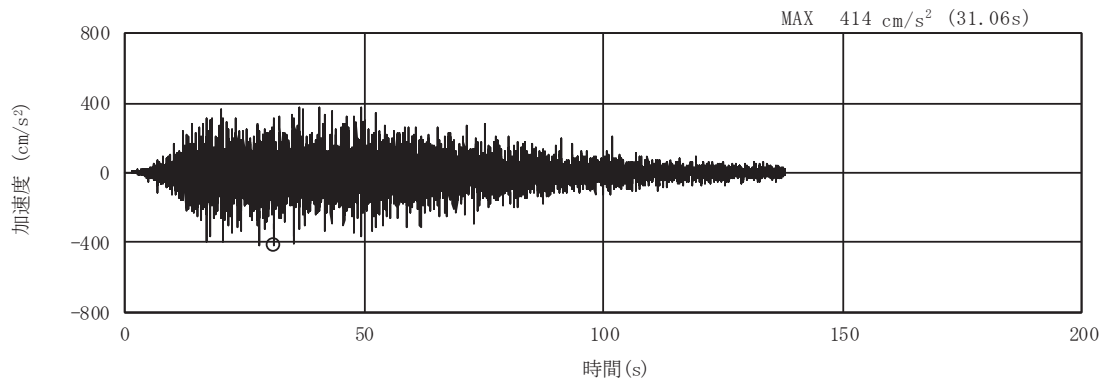


(a) 加速度時刻歴波形

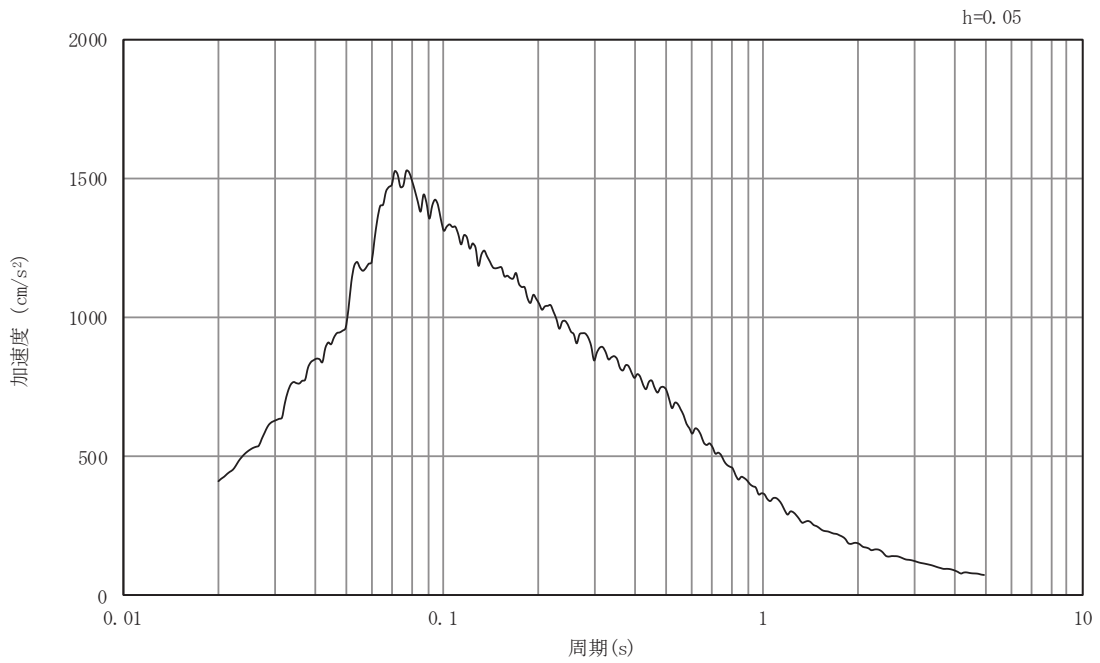


(b) 加速度応答スペクトル

図3-69 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
断面⑥
(水平成分：S s - D 1)

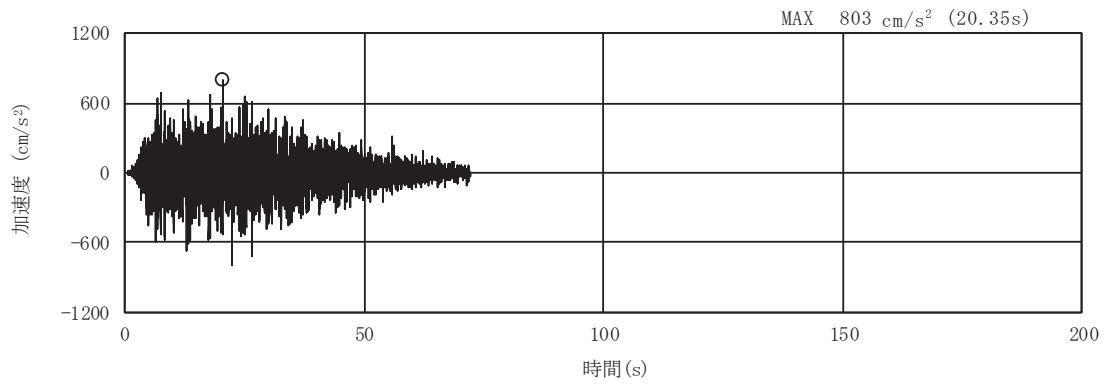


(a) 加速度時刻歴波形

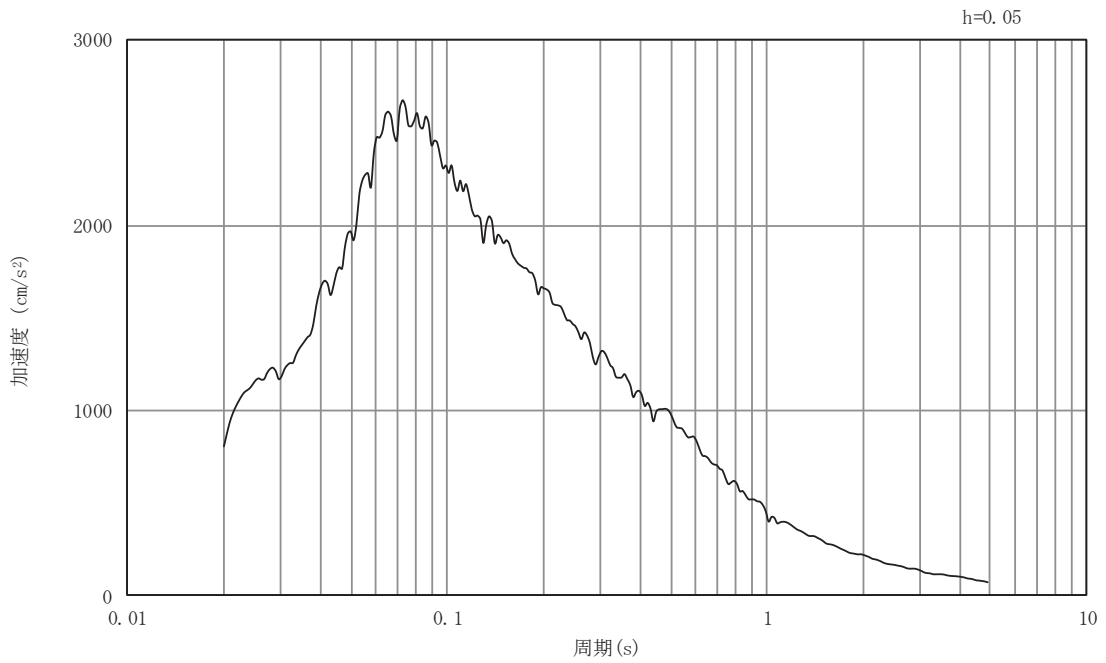


(b) 加速度応答スペクトル

図3-70 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - D 1)

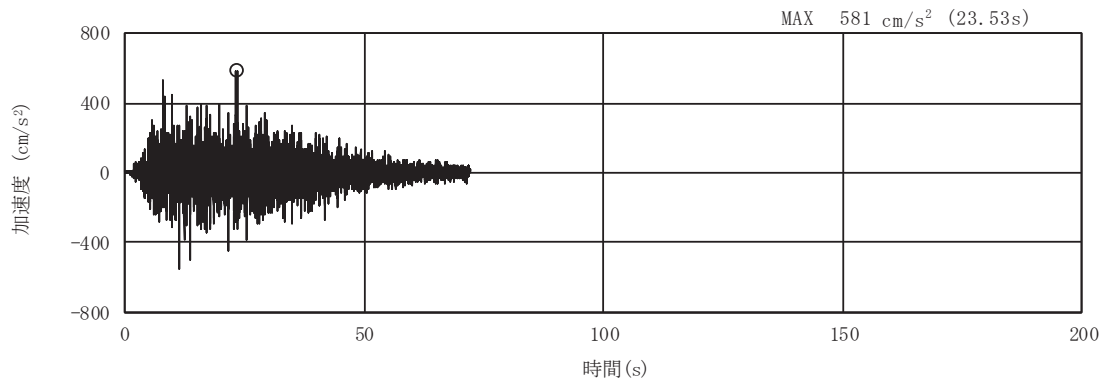


(a) 加速度時刻歴波形

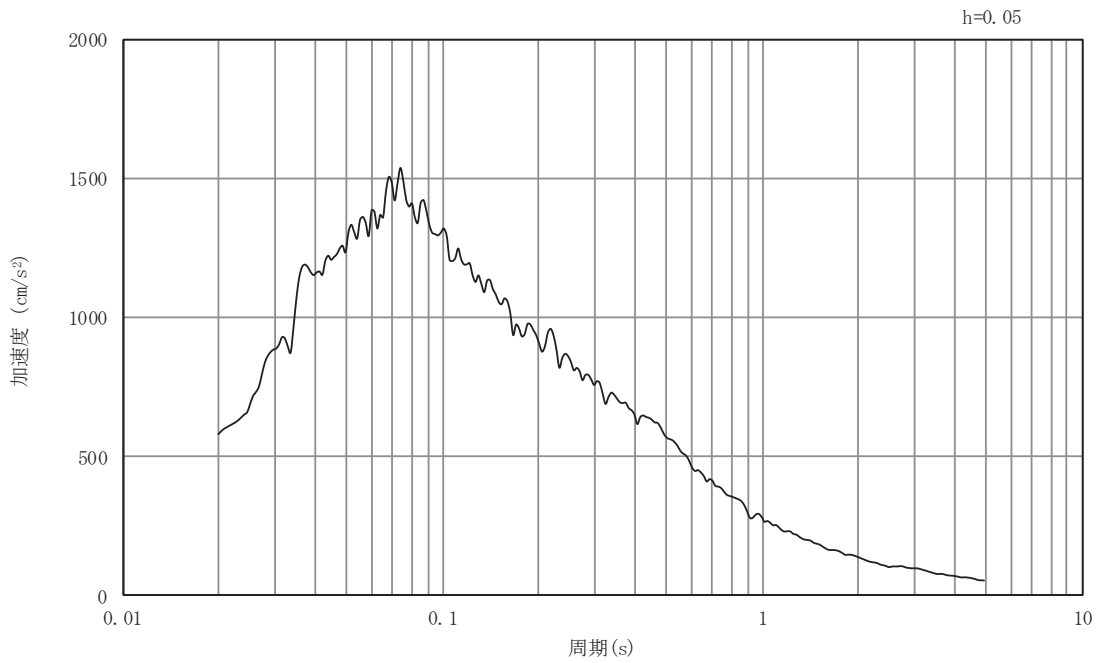


(b) 加速度応答スペクトル

図3-71 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
断面⑥
(水平成分：S s - D 2)

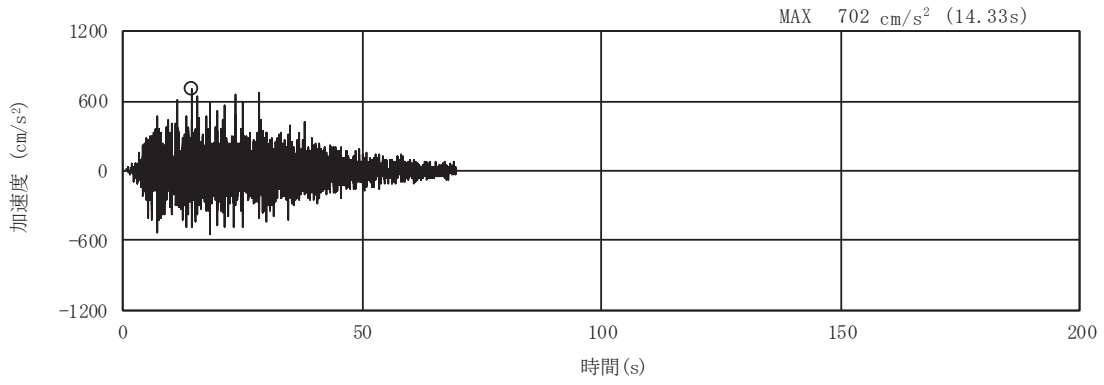


(a) 加速度時刻歴波形

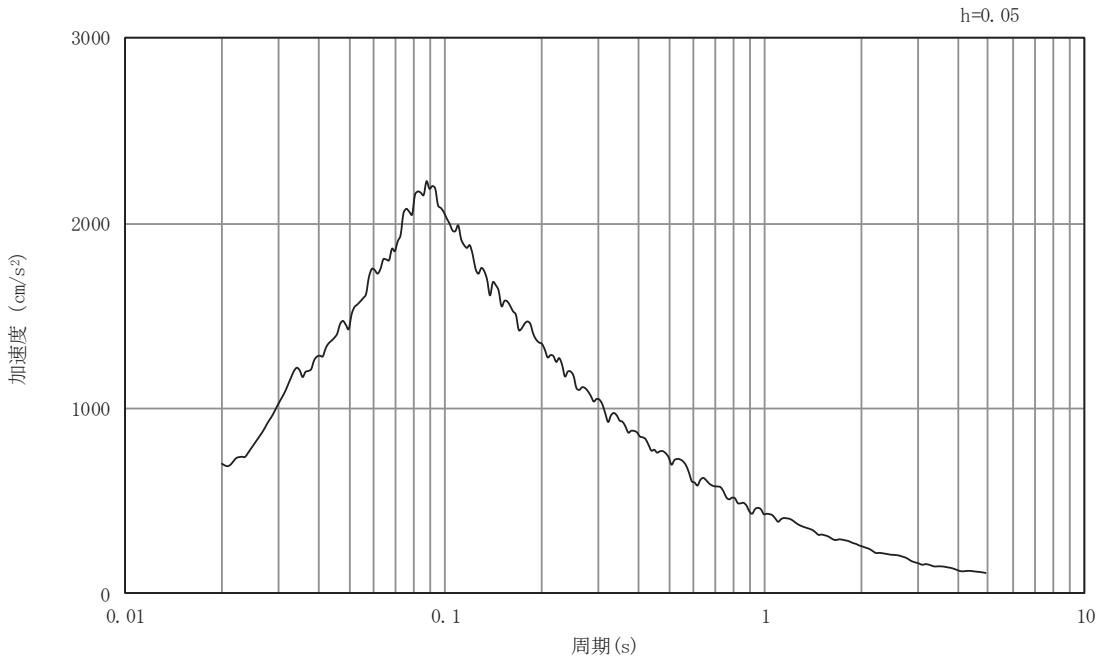


(b) 加速度応答スペクトル

図3-72 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - D 2)

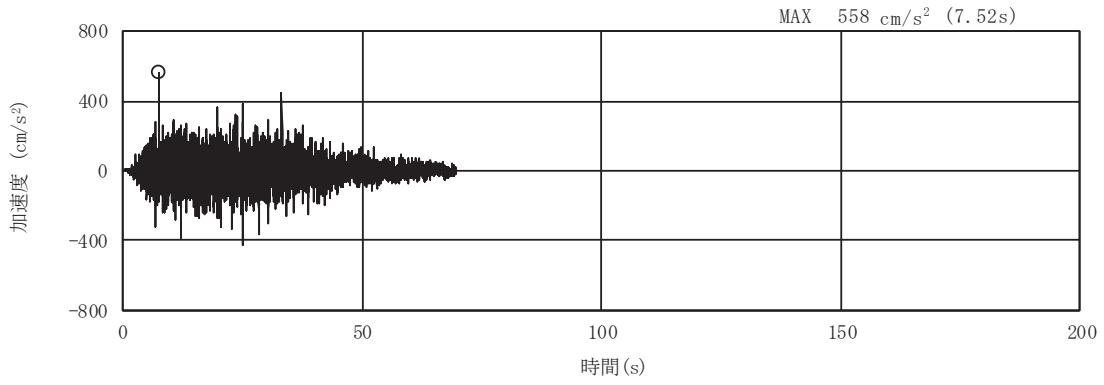


(a) 加速度時刻歴波形

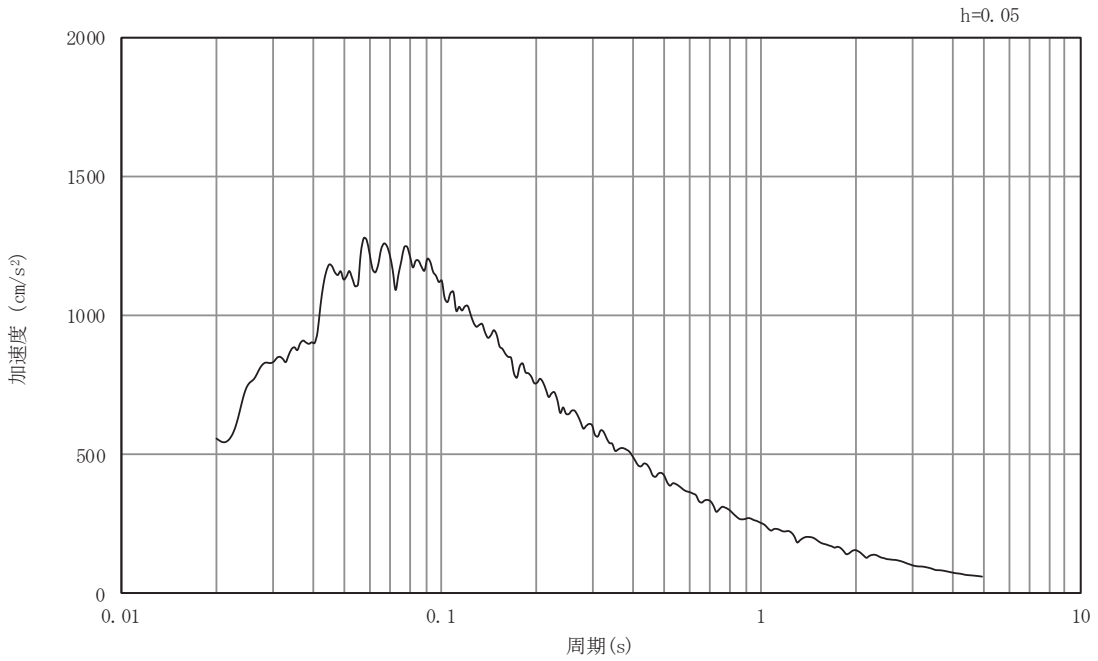


(b) 加速度応答スペクトル

図3-73 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
断面⑥
(水平成分：S s - D 3)

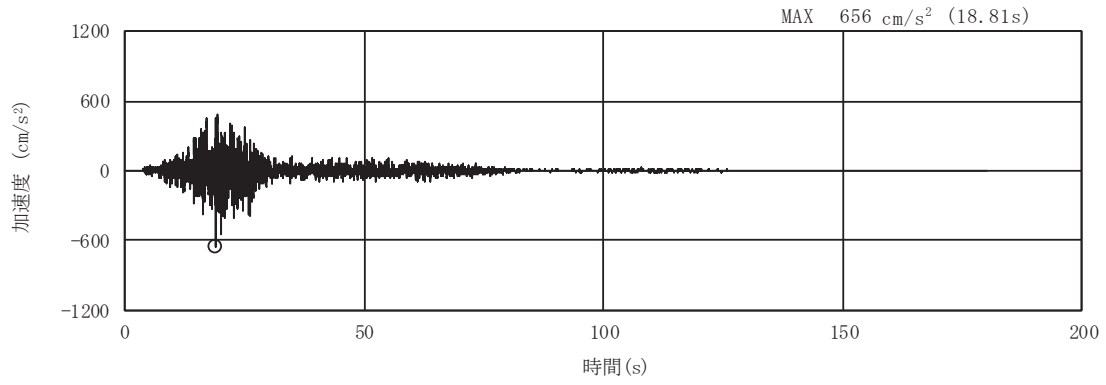


(a) 加速度時刻歴波形

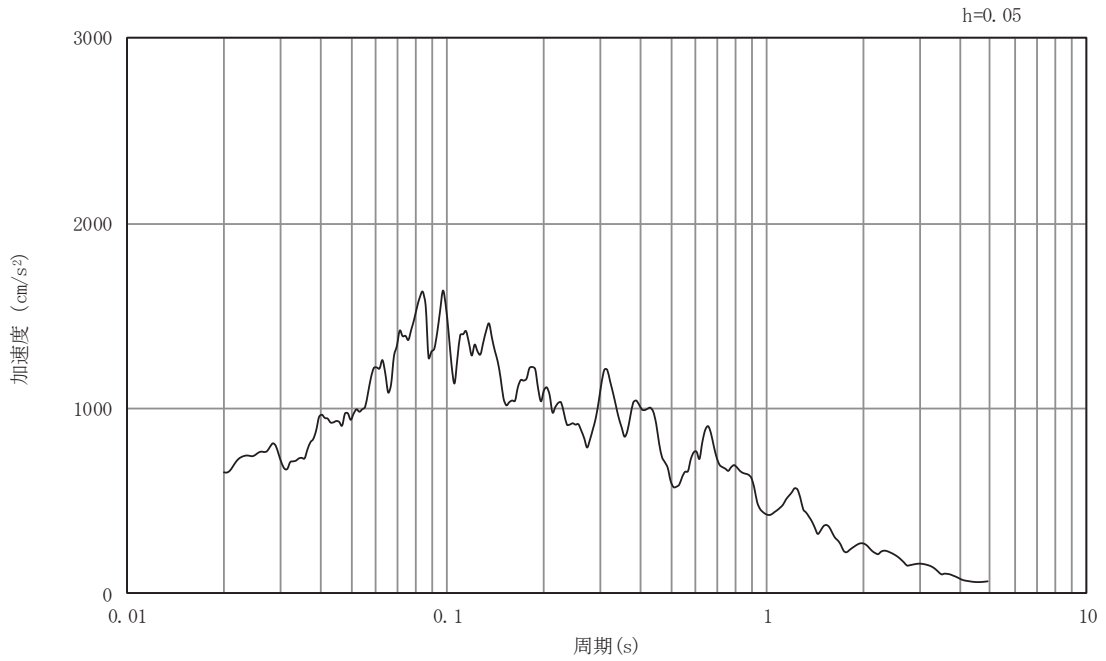


(b) 加速度応答スペクトル

図3-74 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - D 3)

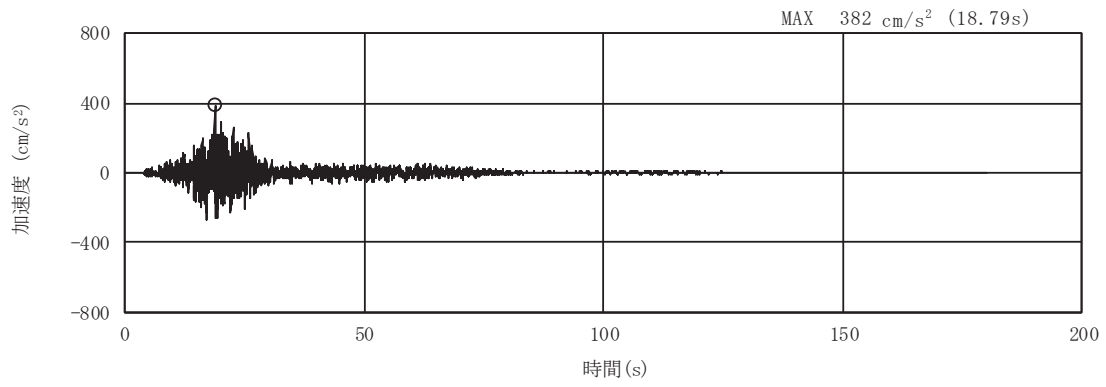


(a) 加速度時刻歴波形

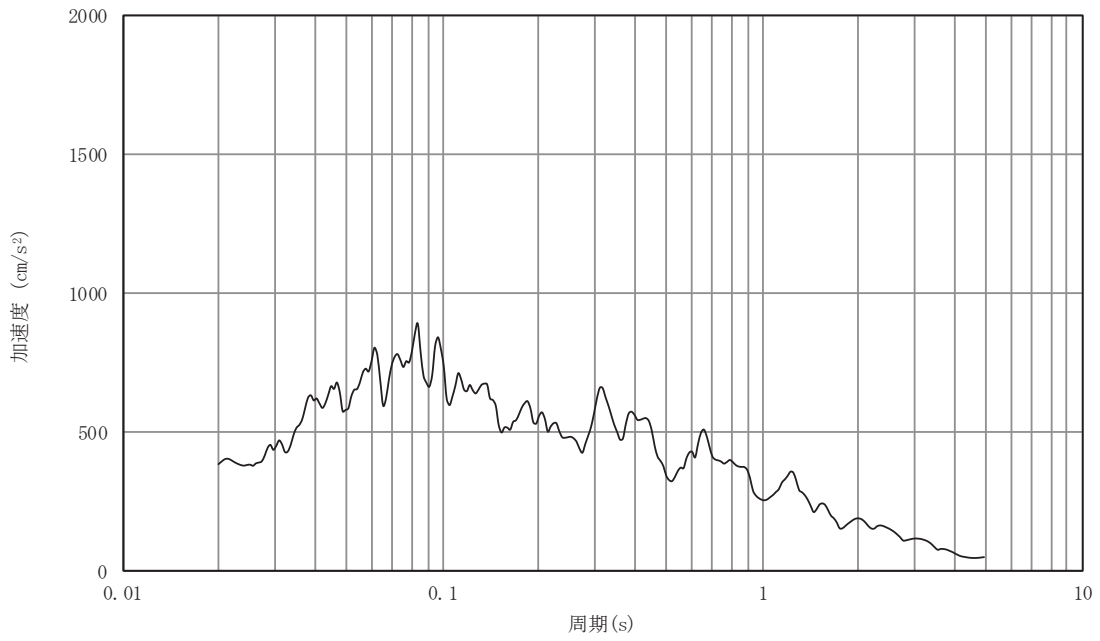


(b) 加速度応答スペクトル

図3-75 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
断面⑥
(水平成分：S s - F 1)

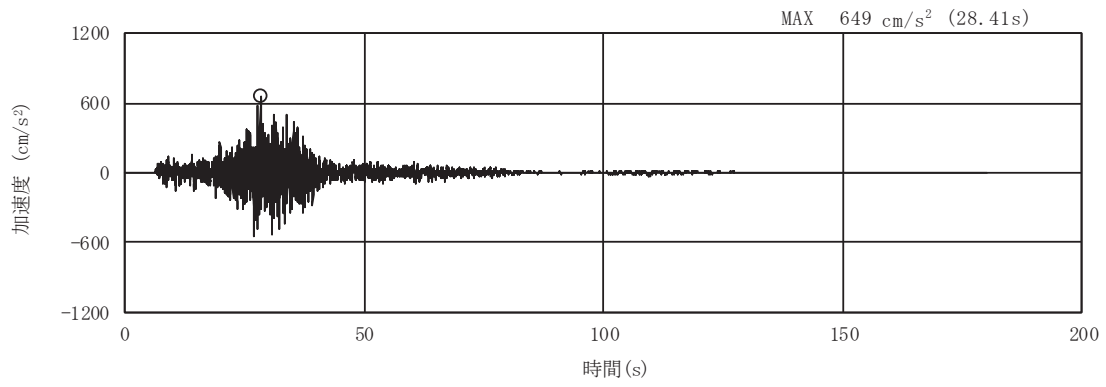


(a) 加速度時刻歴波形

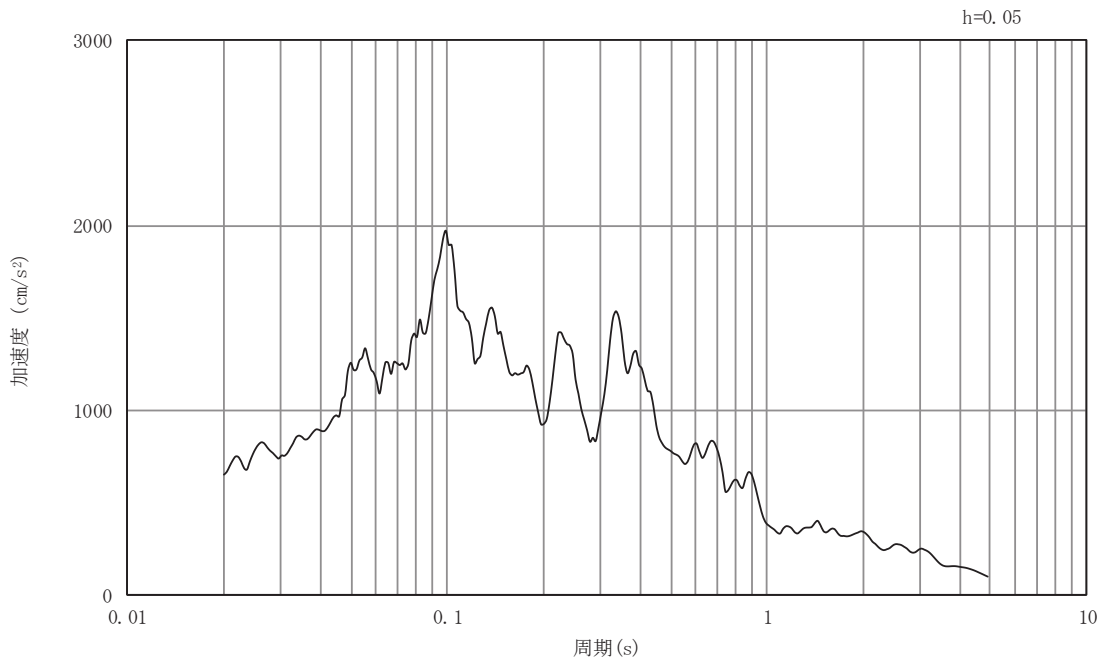


(b) 加速度応答スペクトル

図3-76 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - F 1)

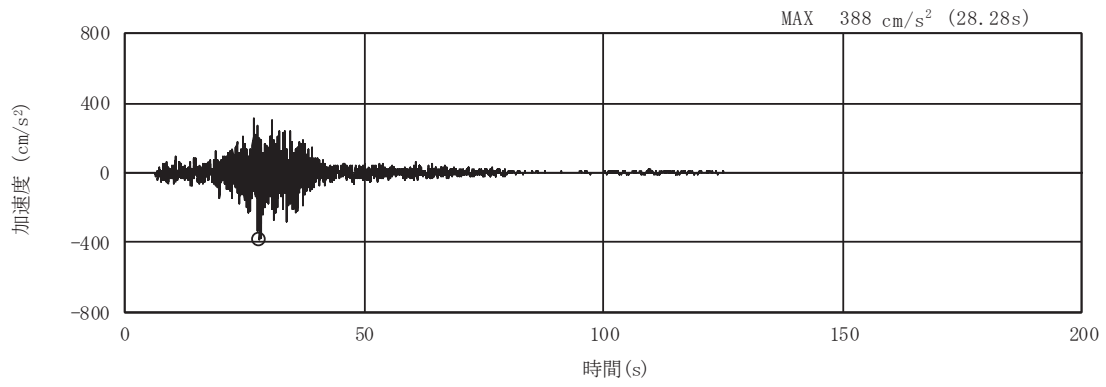


(a) 加速度時刻歴波形

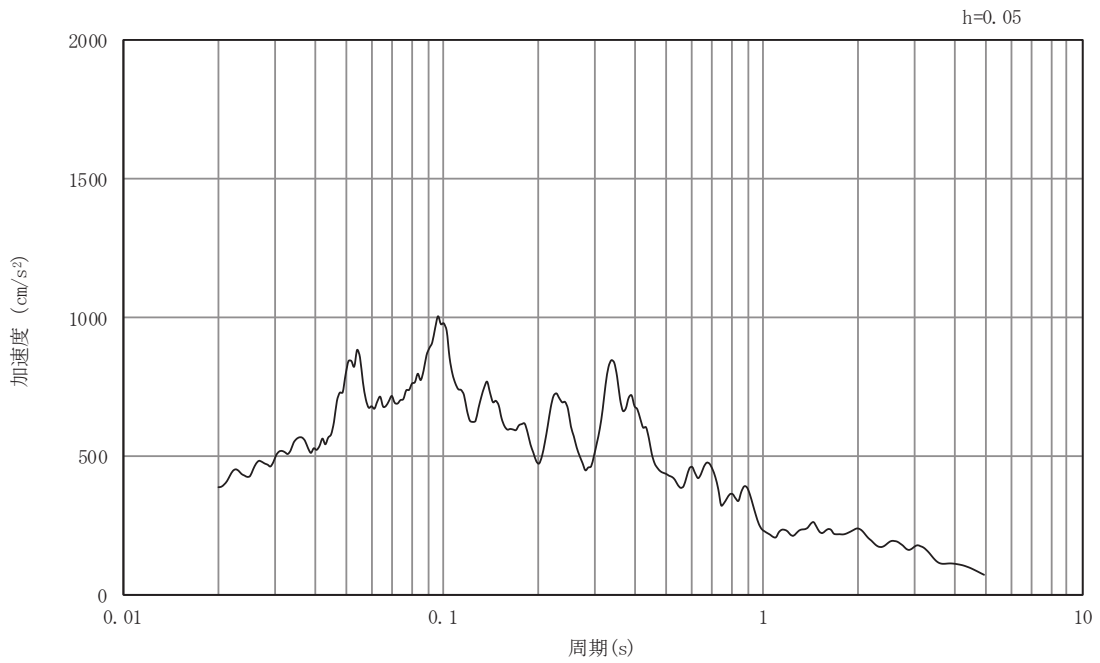


(b) 加速度応答スペクトル

図3-77 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
断面⑥
(水平成分：S s - F 2)

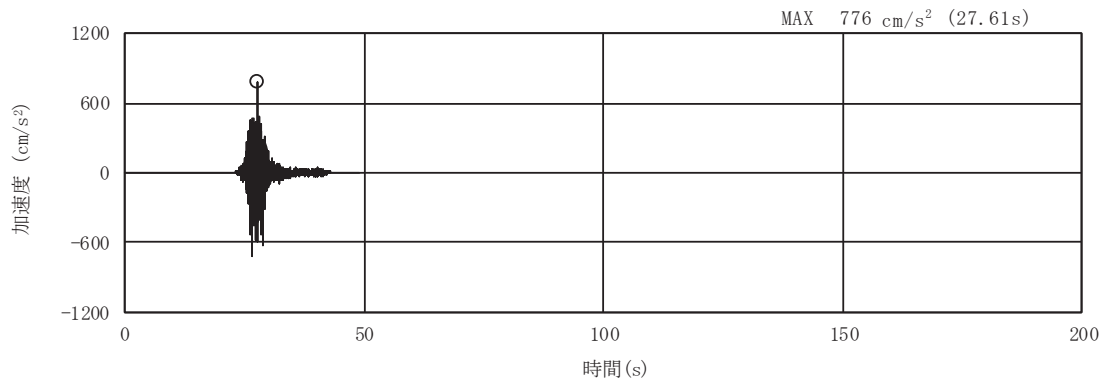


(a) 加速度時刻歴波形

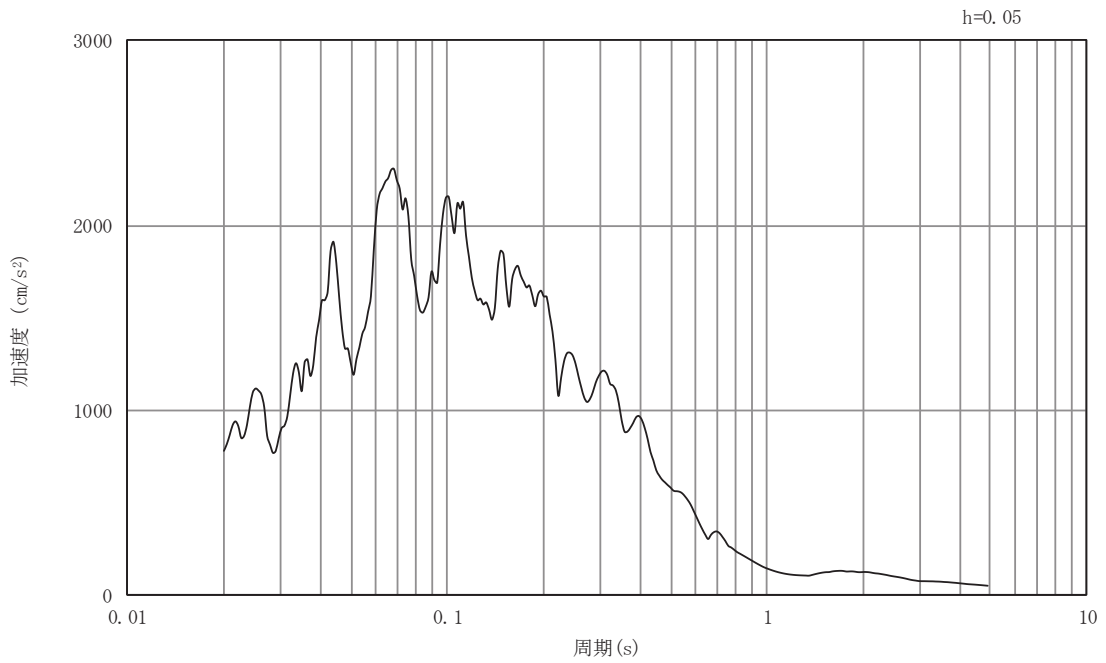


(b) 加速度応答スペクトル

図3-78 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - F 2)

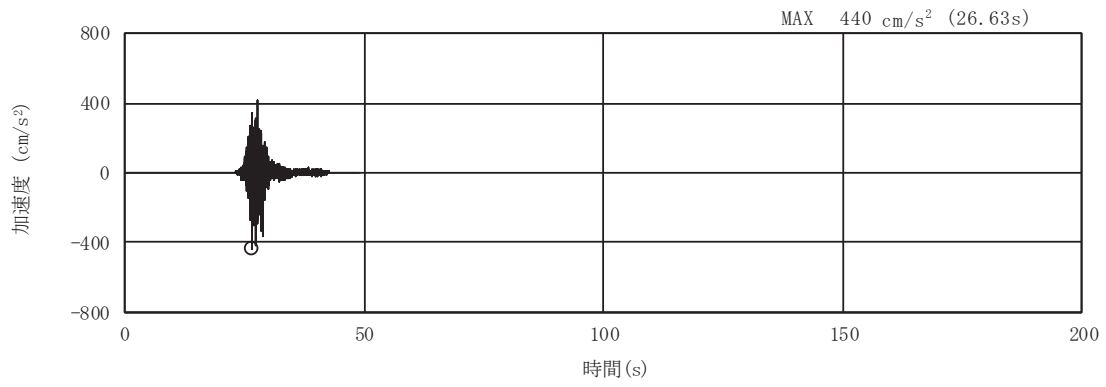


(a) 加速度時刻歴波形

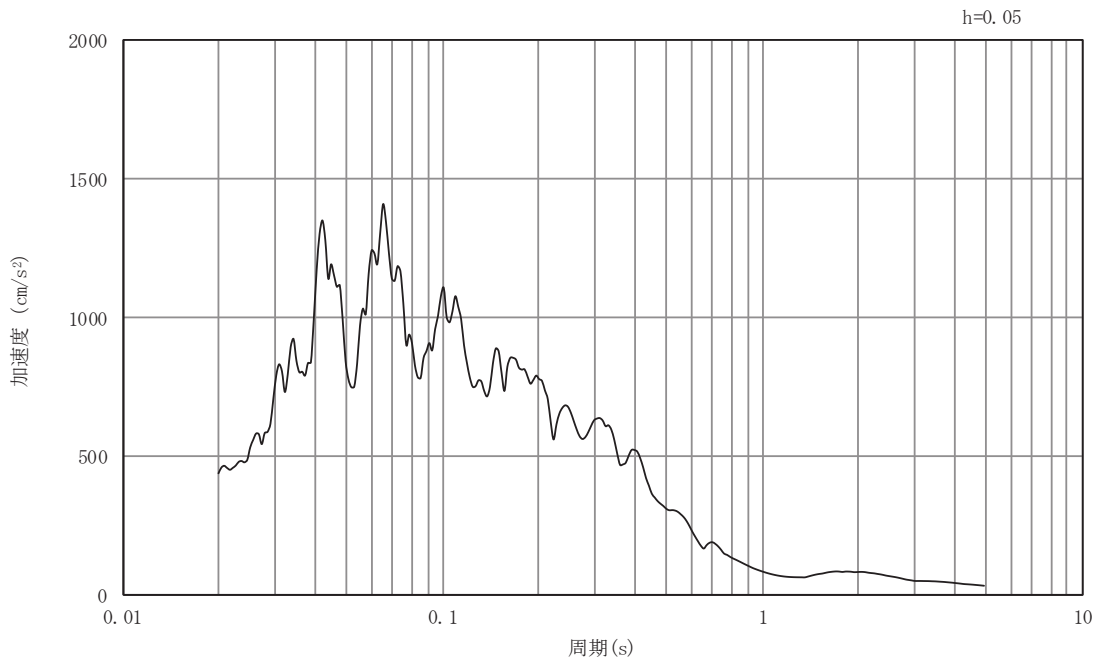


(b) 加速度応答スペクトル

図3-79 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
断面⑥
(水平成分：S s - F 3)

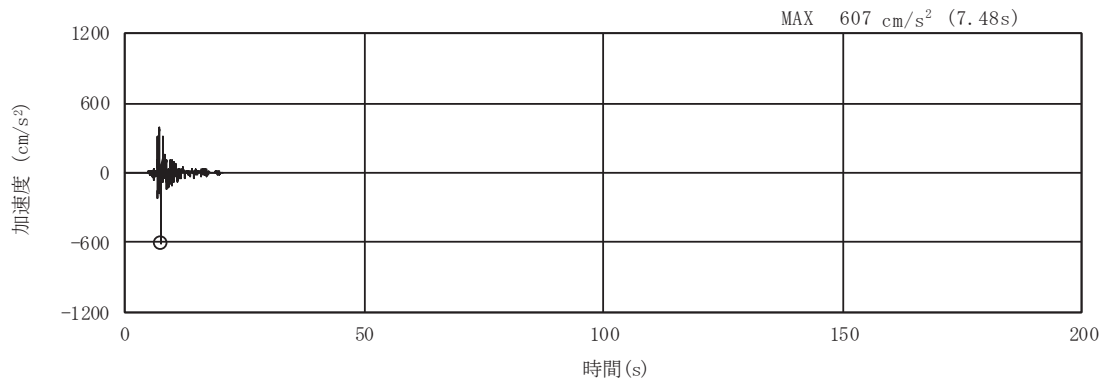


(a) 加速度時刻歴波形

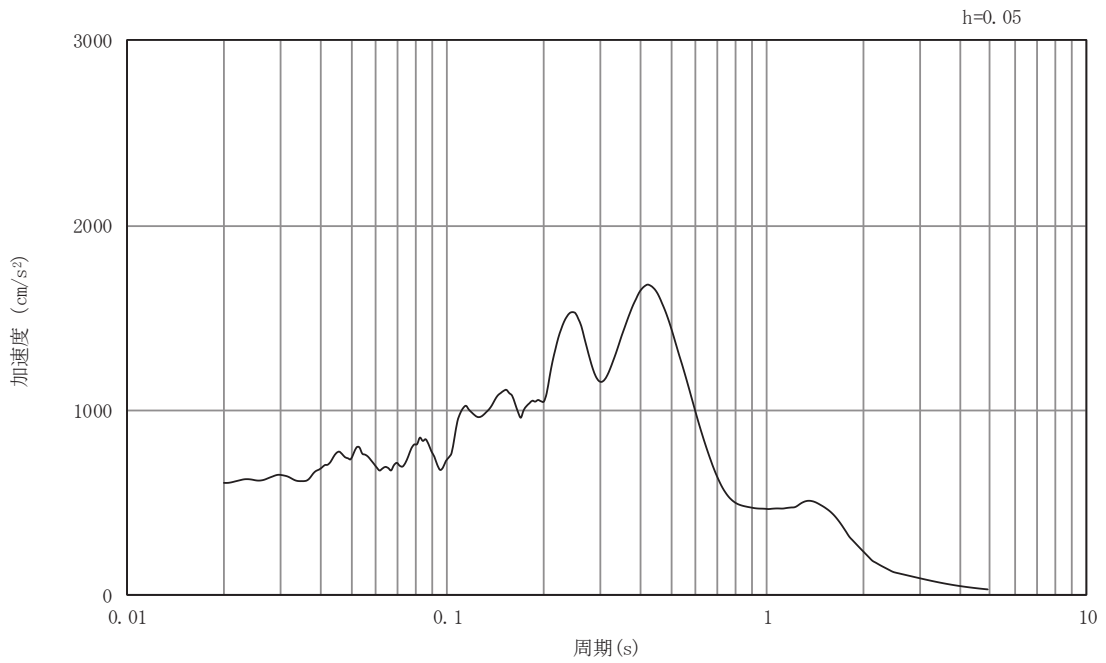


(b) 加速度応答スペクトル

図3-80 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - F 3)

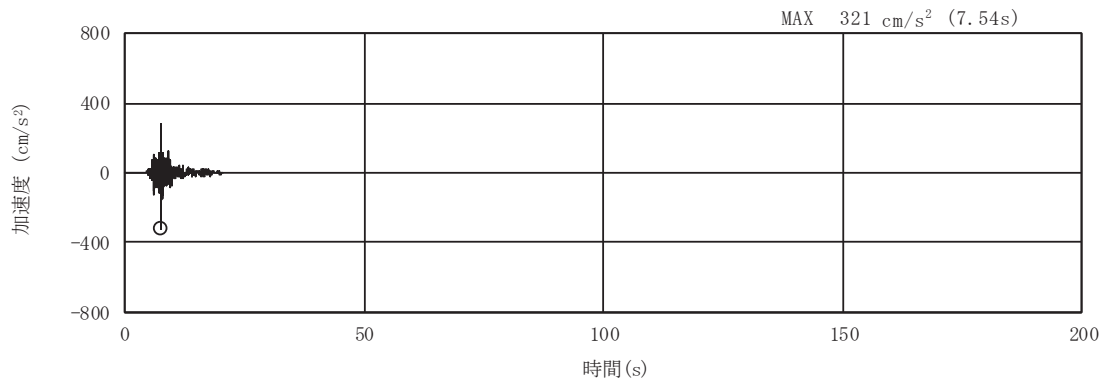


(a) 加速度時刻歴波形

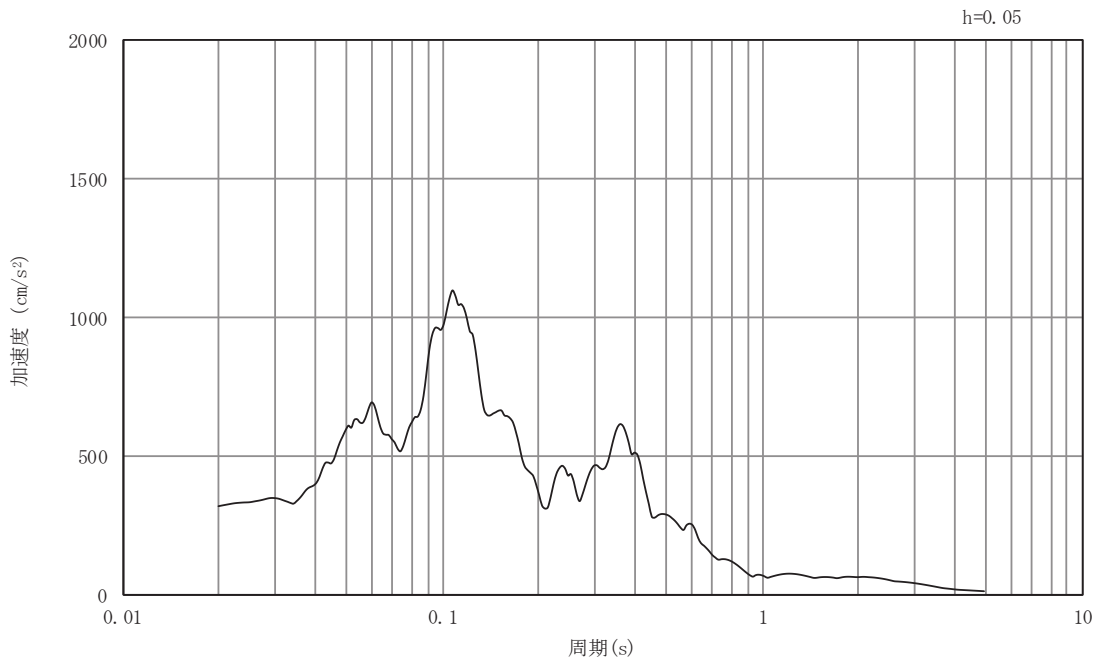


(b) 加速度応答スペクトル

図3-81 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
断面⑥
(水平成分：S s - N 1)

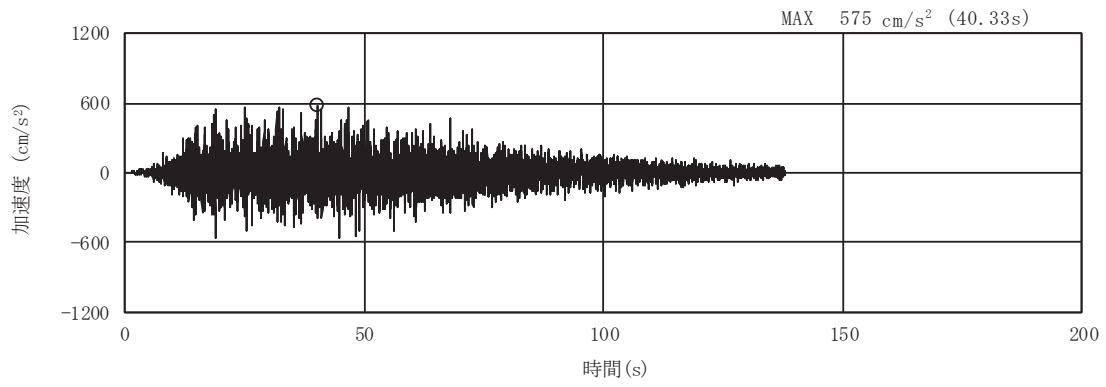


(a) 加速度時刻歴波形

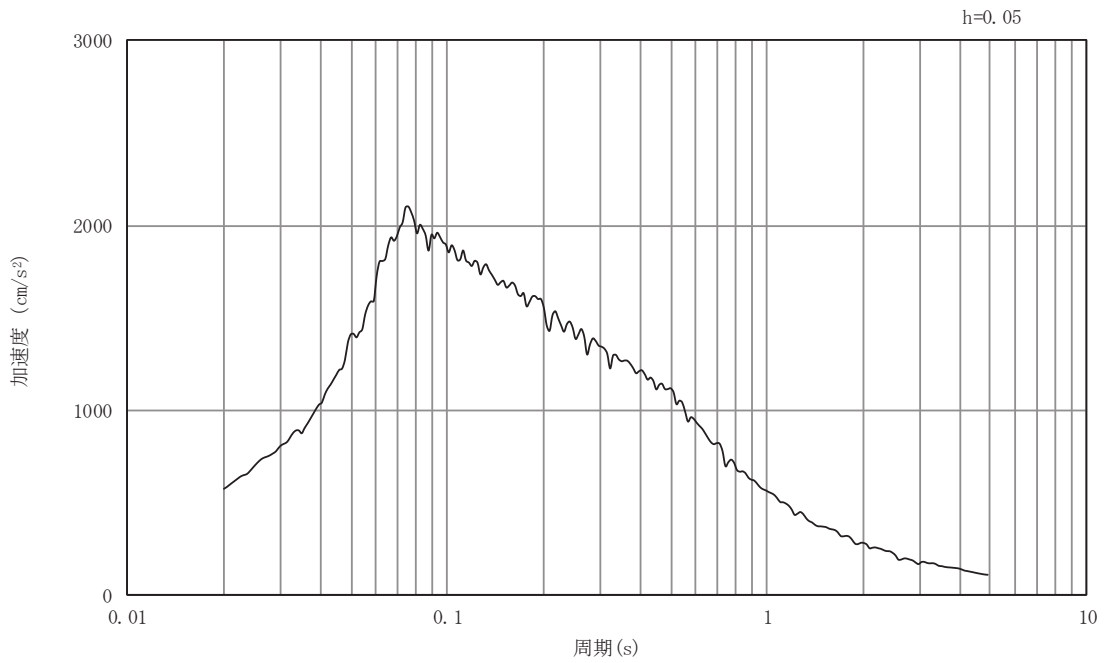


(b) 加速度応答スペクトル

図3-82 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
断面⑥
(鉛直成分：S s - N 1)

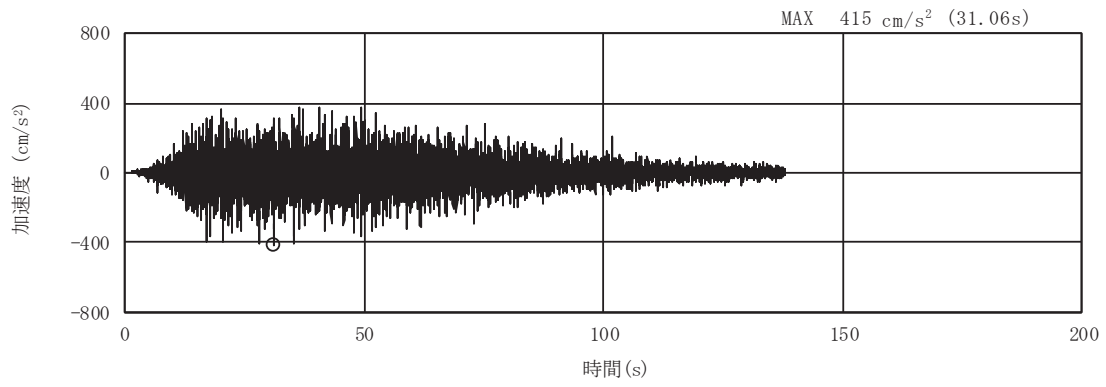


(a) 加速度時刻歴波形

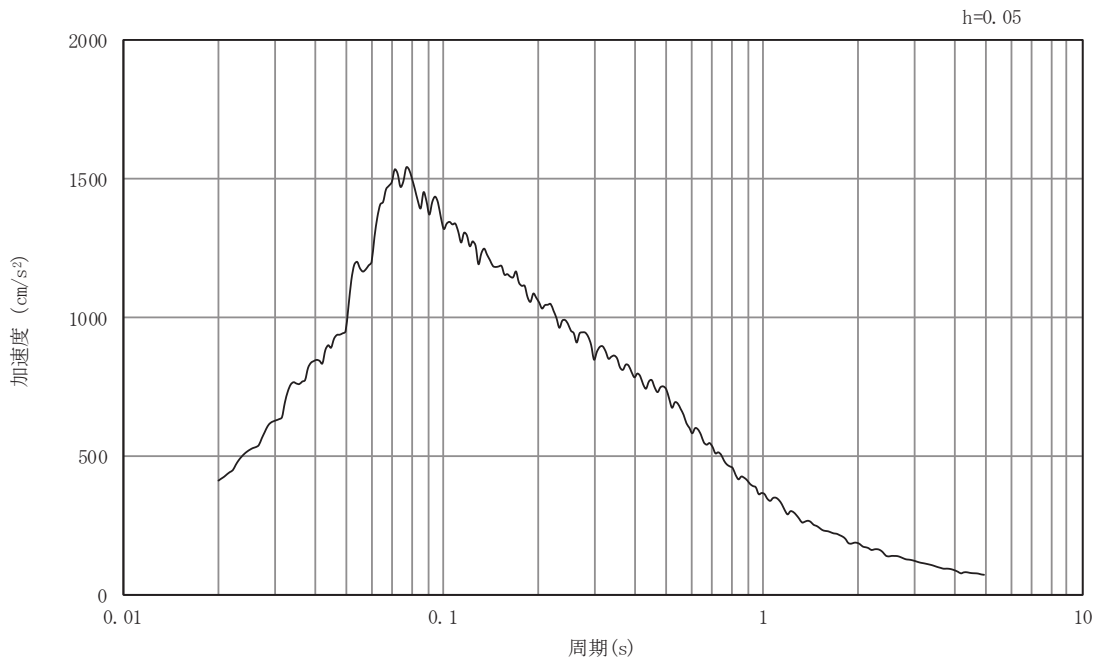


(b) 加速度応答スペクトル

図3-83 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
断面⑦
(水平成分：S s - D 1)

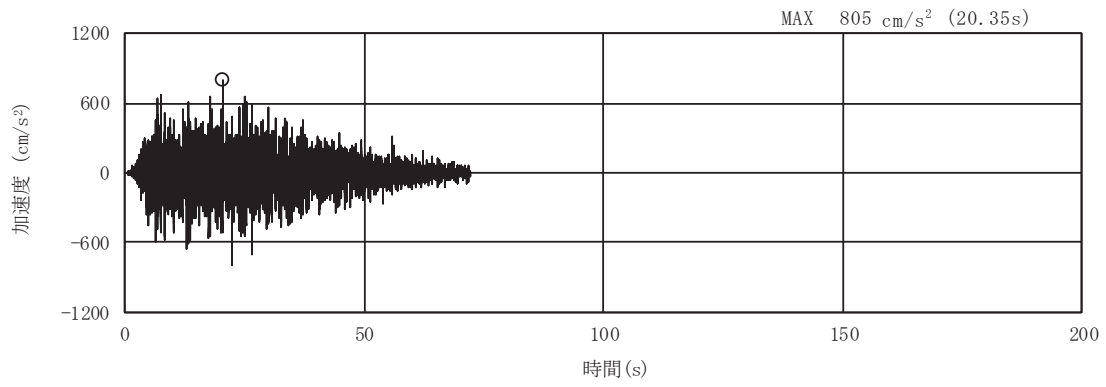


(a) 加速度時刻歴波形

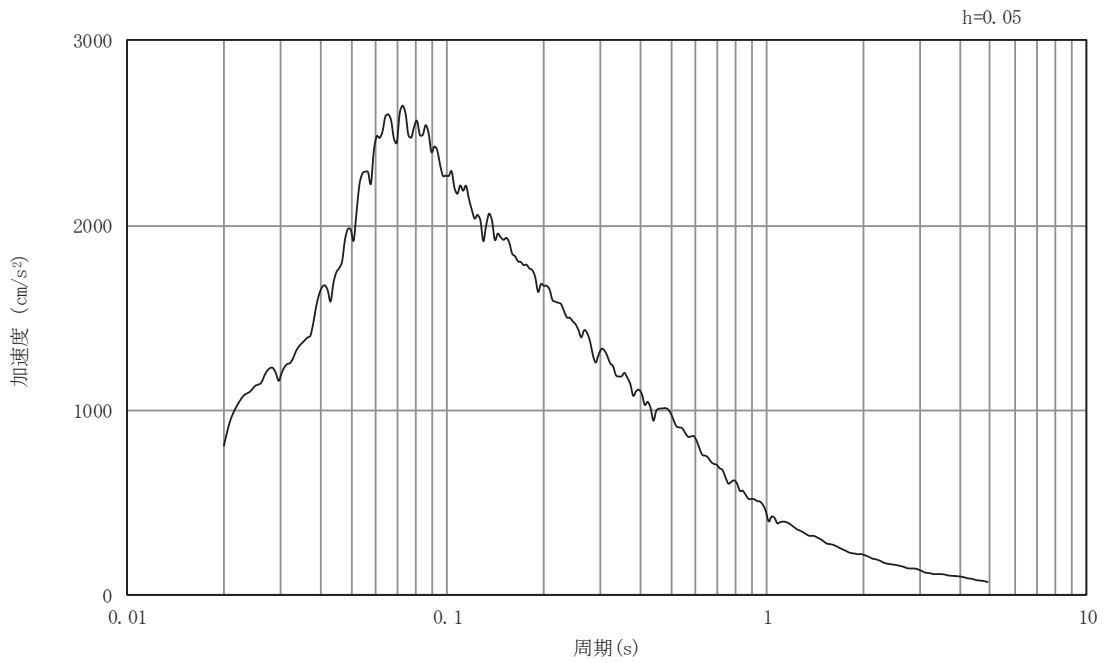


(b) 加速度応答スペクトル

図3-84 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
断面⑦
(鉛直成分：S s - D 1)

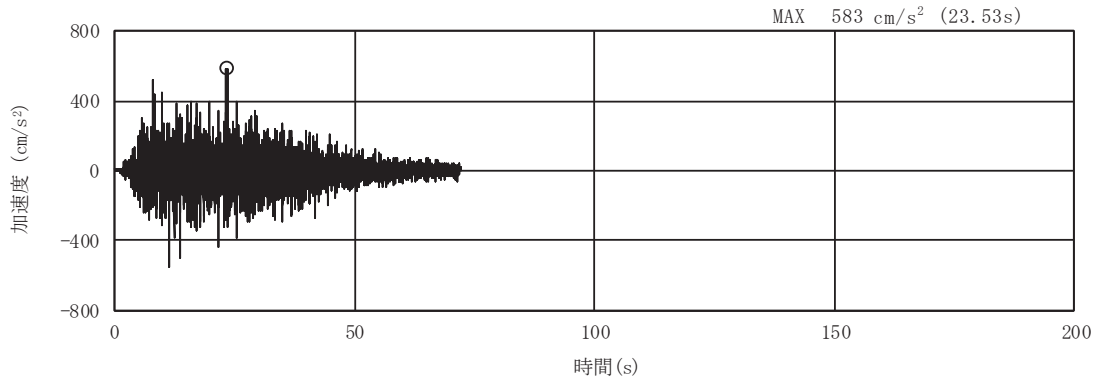


(a) 加速度時刻歴波形

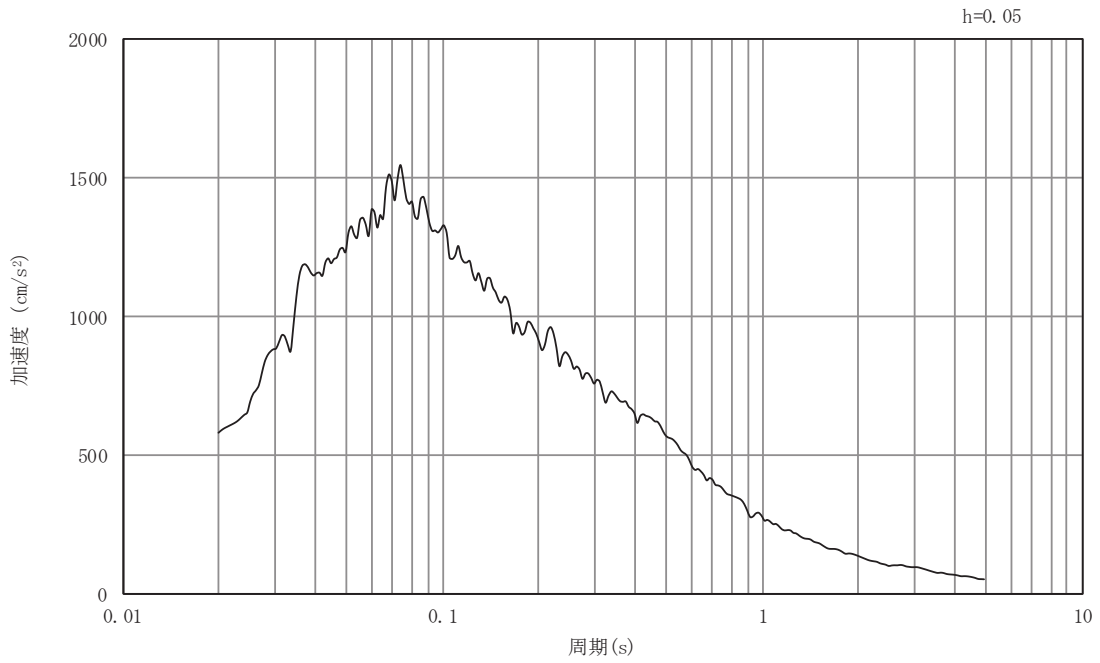


(b) 加速度応答スペクトル

図3-85 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
断面⑦
(水平成分：S s - D 2)

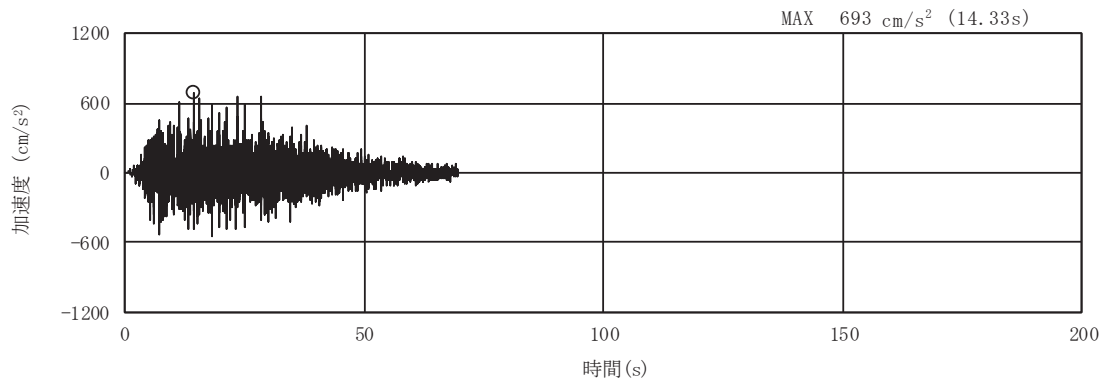


(a) 加速度時刻歴波形

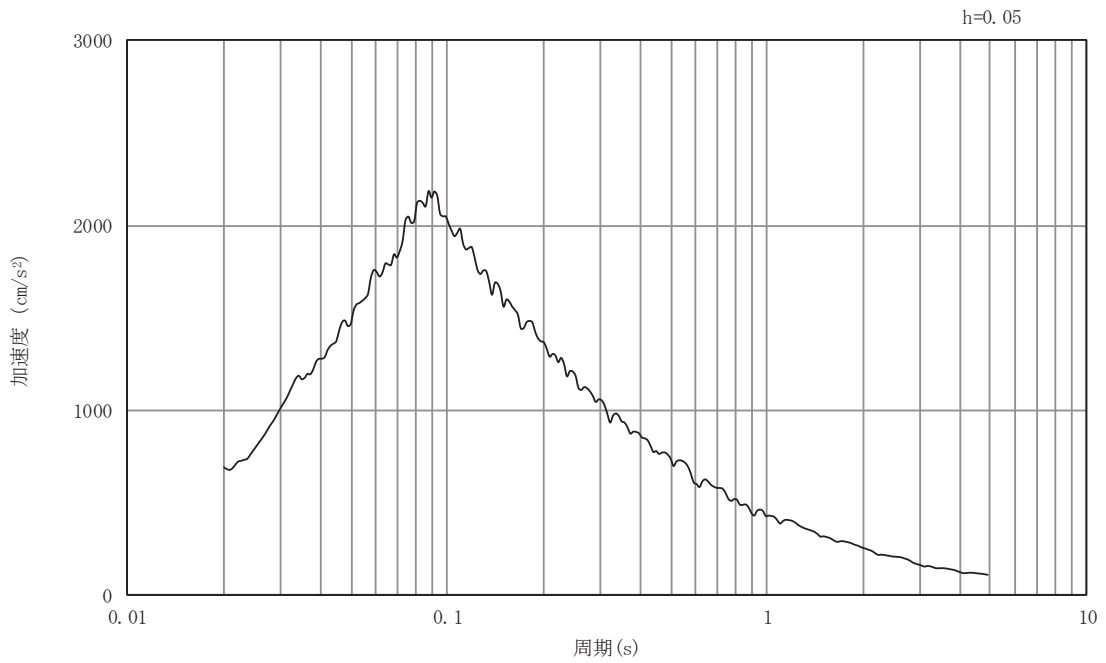


(b) 加速度応答スペクトル

図3-86 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
断面⑦
(鉛直成分：S s - D 2)

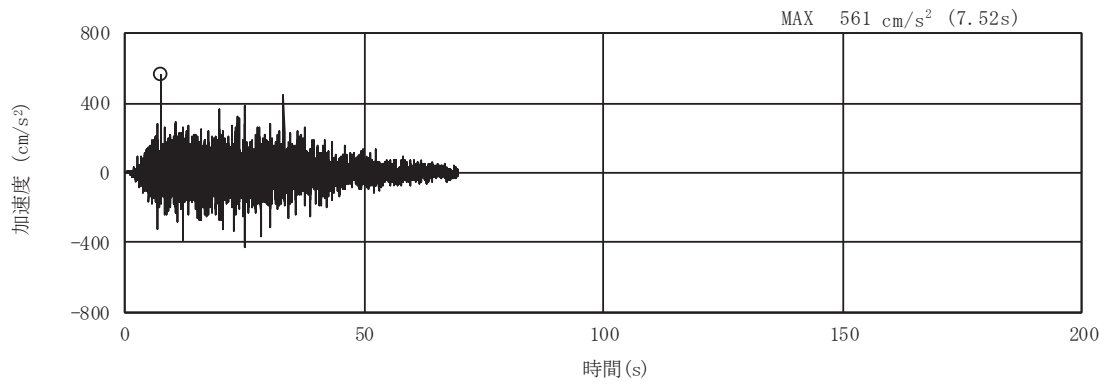


(a) 加速度時刻歴波形

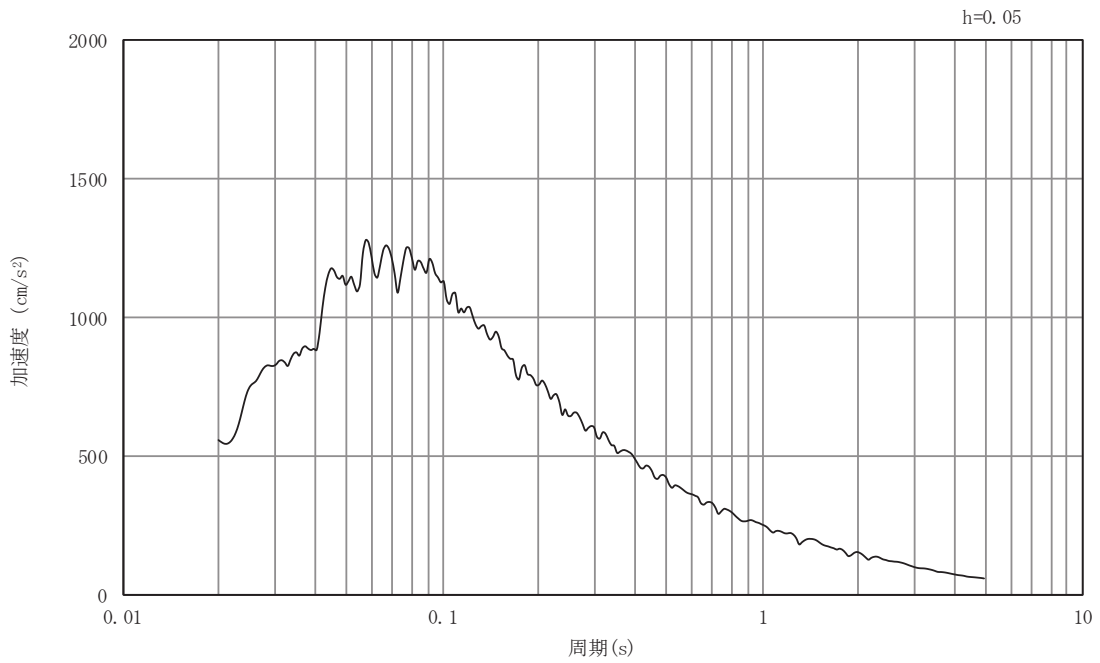


(b) 加速度応答スペクトル

図3-87 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
断面⑦
(水平成分：S s - D 3)

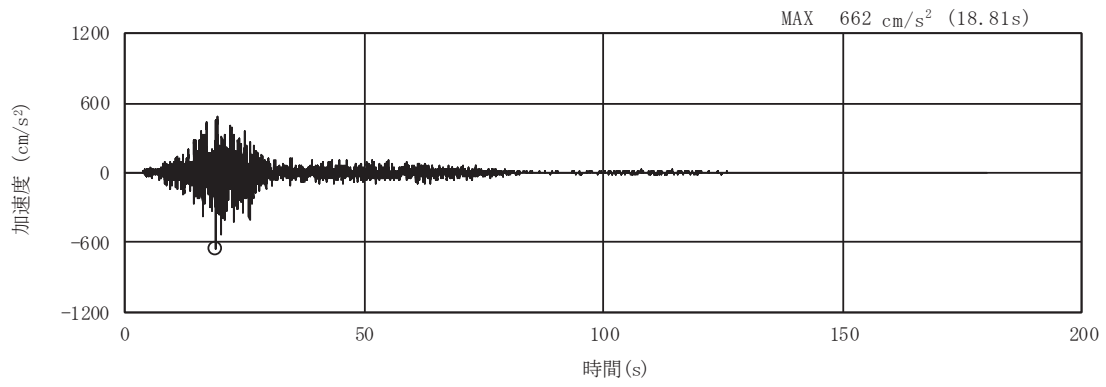


(a) 加速度時刻歴波形

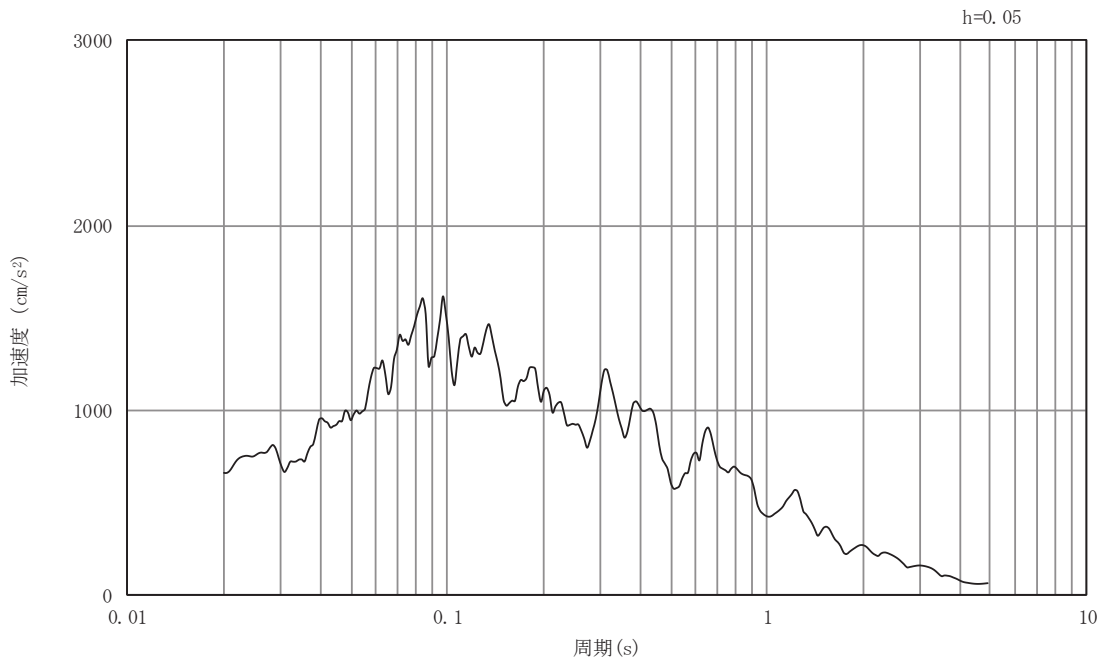


(b) 加速度応答スペクトル

図3-88 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
断面⑦
(鉛直成分：S s - D 3)



(a) 加速度時刻歴波形

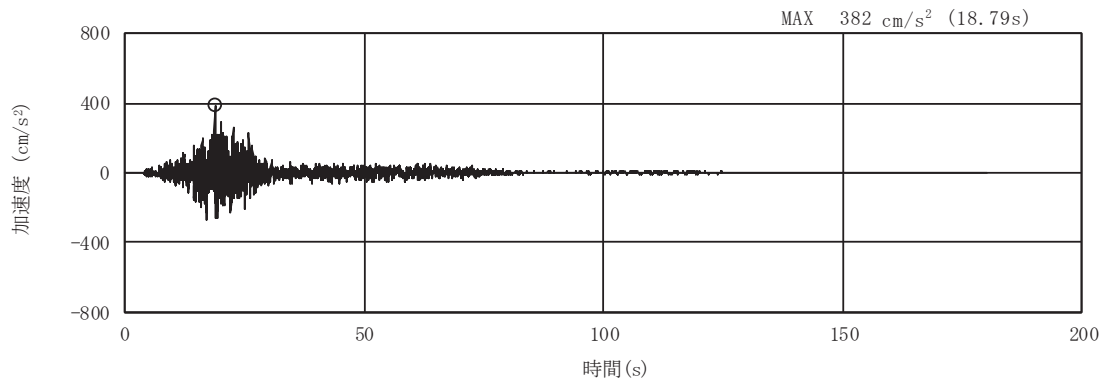


(b) 加速度応答スペクトル

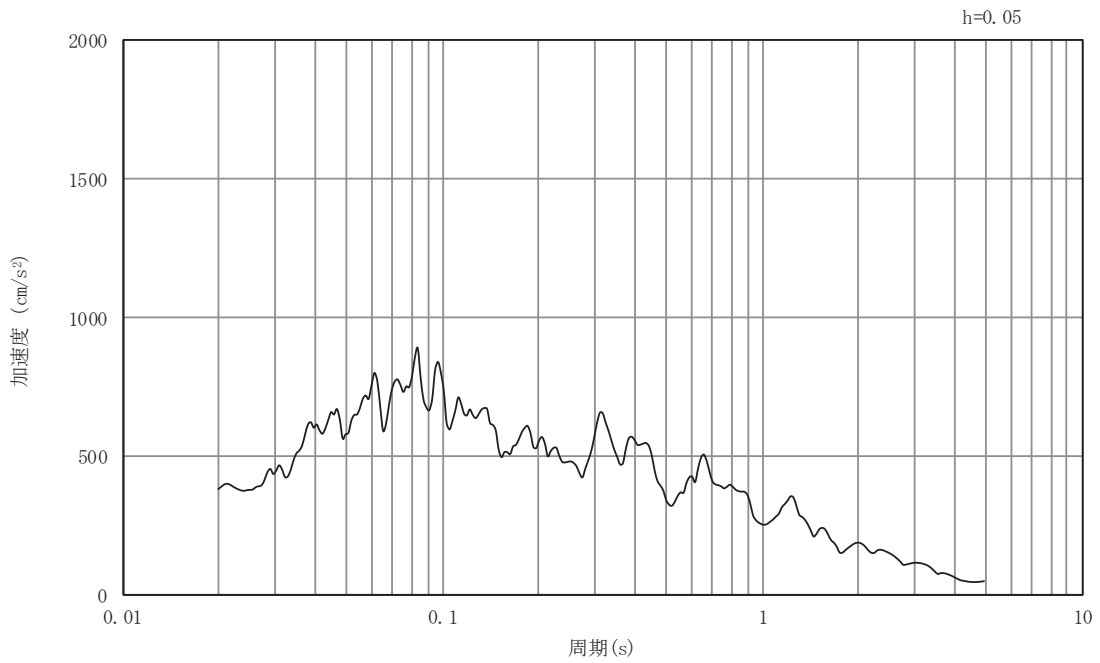
図3-89 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面⑦

(水平成分 : S s - F 1)



(a) 加速度時刻歴波形

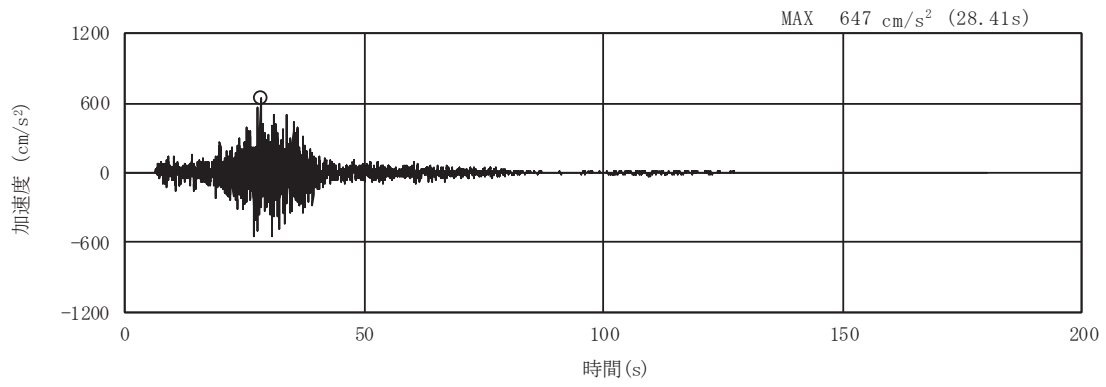


(b) 加速度応答スペクトル

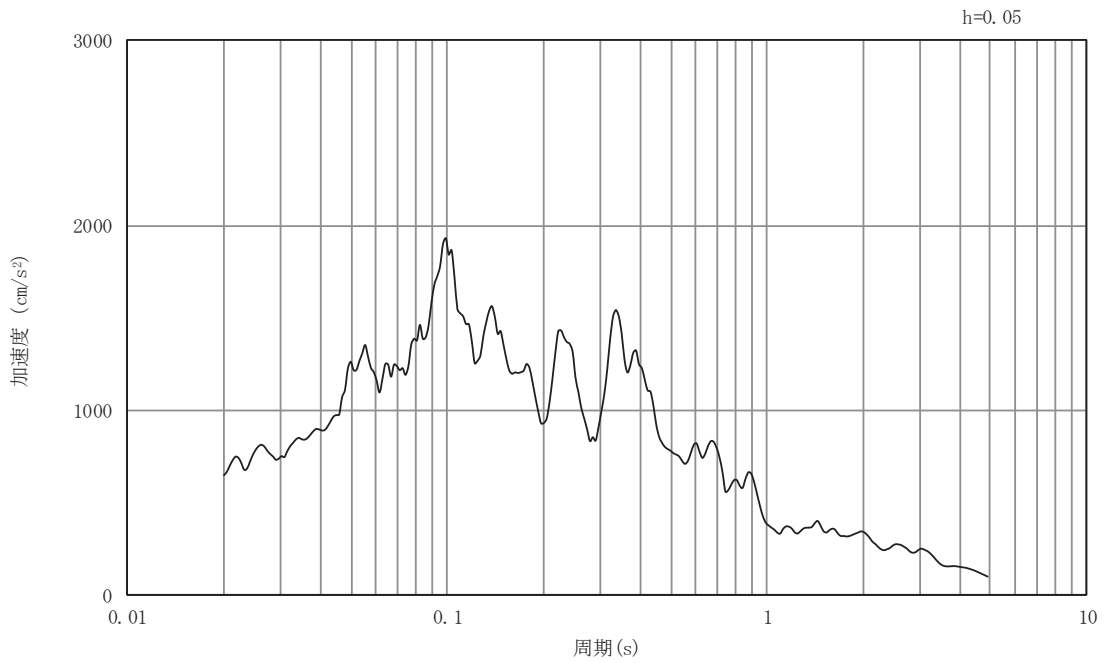
図3-90 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面⑦

(鉛直成分：S s - F 1)

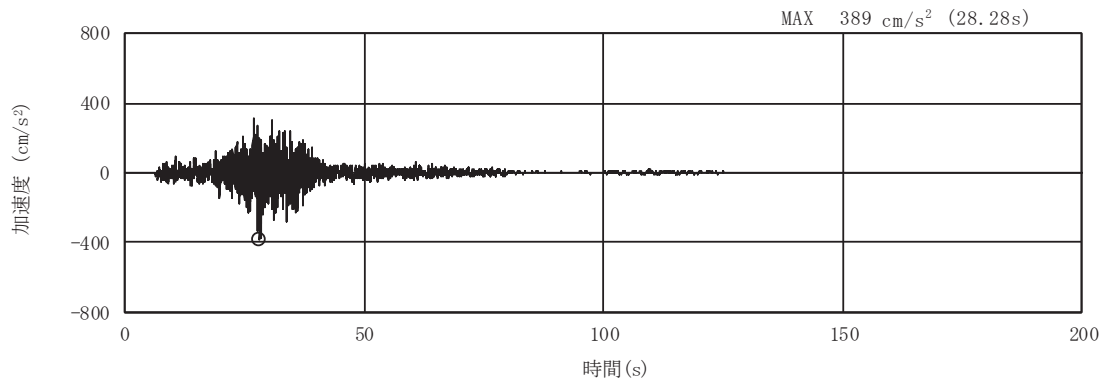


(a) 加速度時刻歴波形

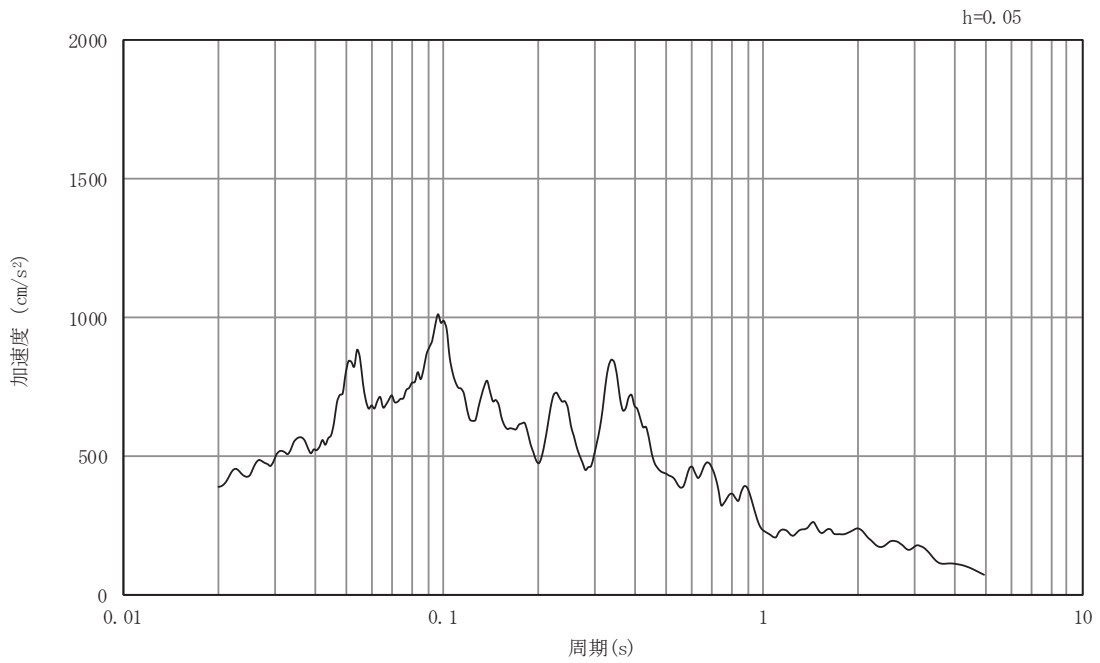


(b) 加速度応答スペクトル

図3-91 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
断面⑦
(水平成分：S s - F 2)



(a) 加速度時刻歴波形

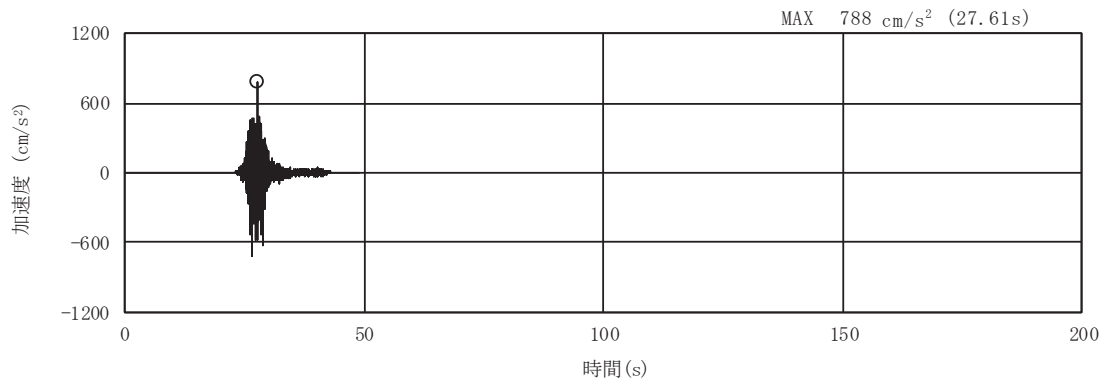


(b) 加速度応答スペクトル

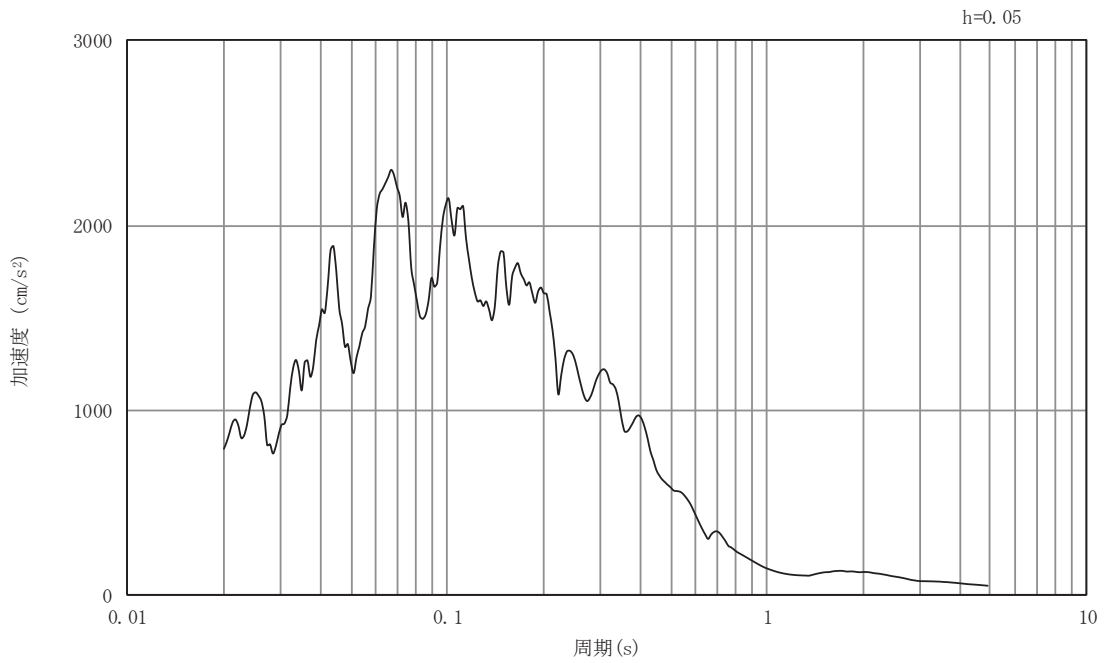
図3-92 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面⑦

(鉛直成分：S s - F 2)

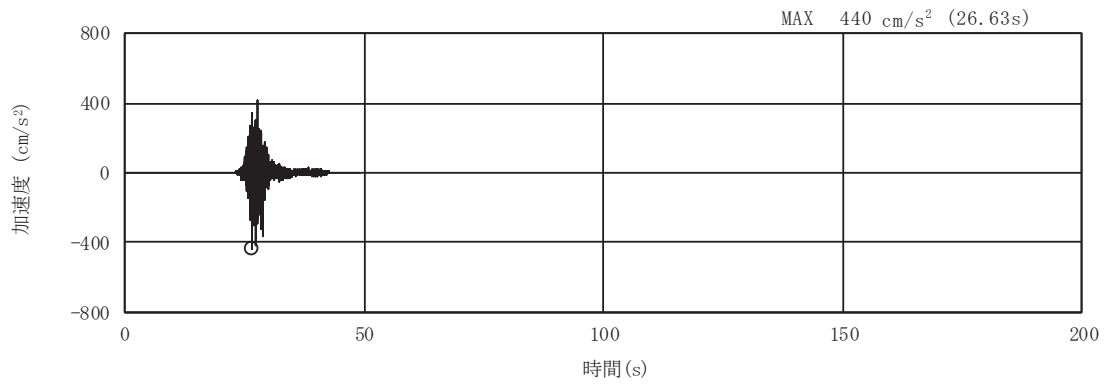


(a) 加速度時刻歴波形

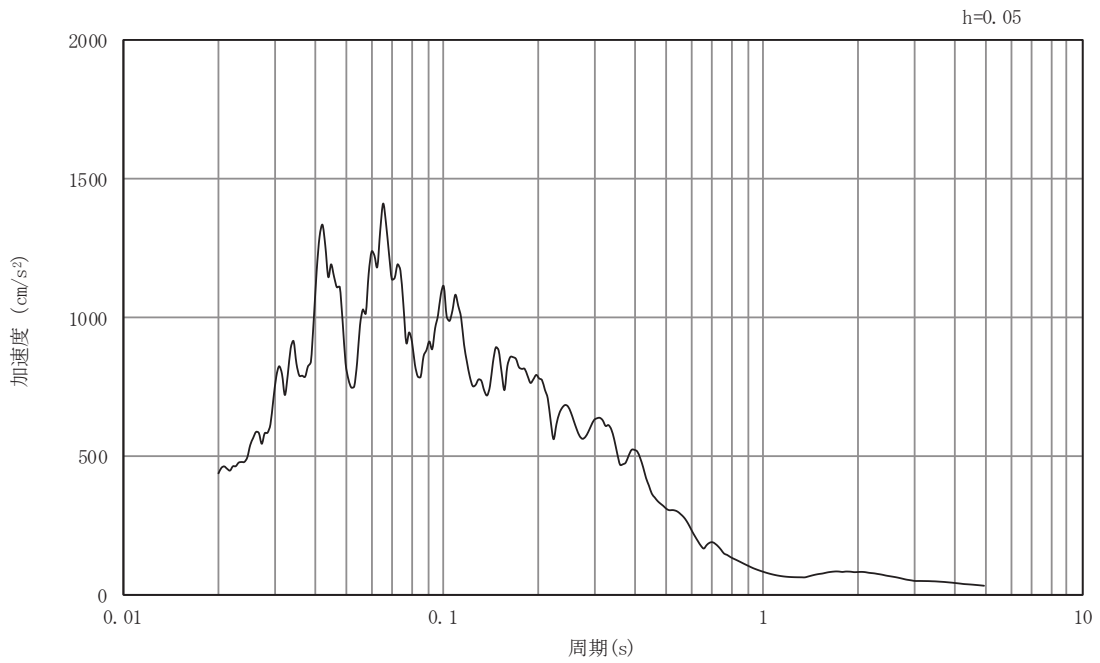


(b) 加速度応答スペクトル

図3-93 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
断面⑦
(水平成分：S s - F 3)



(a) 加速度時刻歴波形

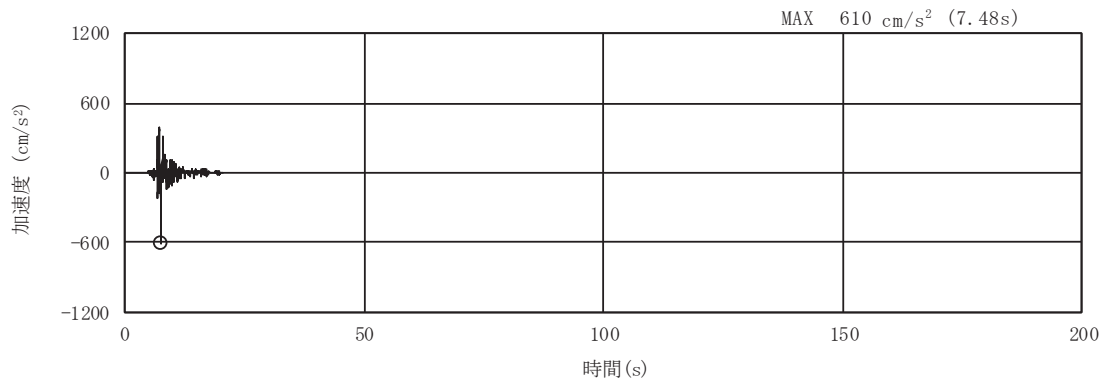


(b) 加速度応答スペクトル

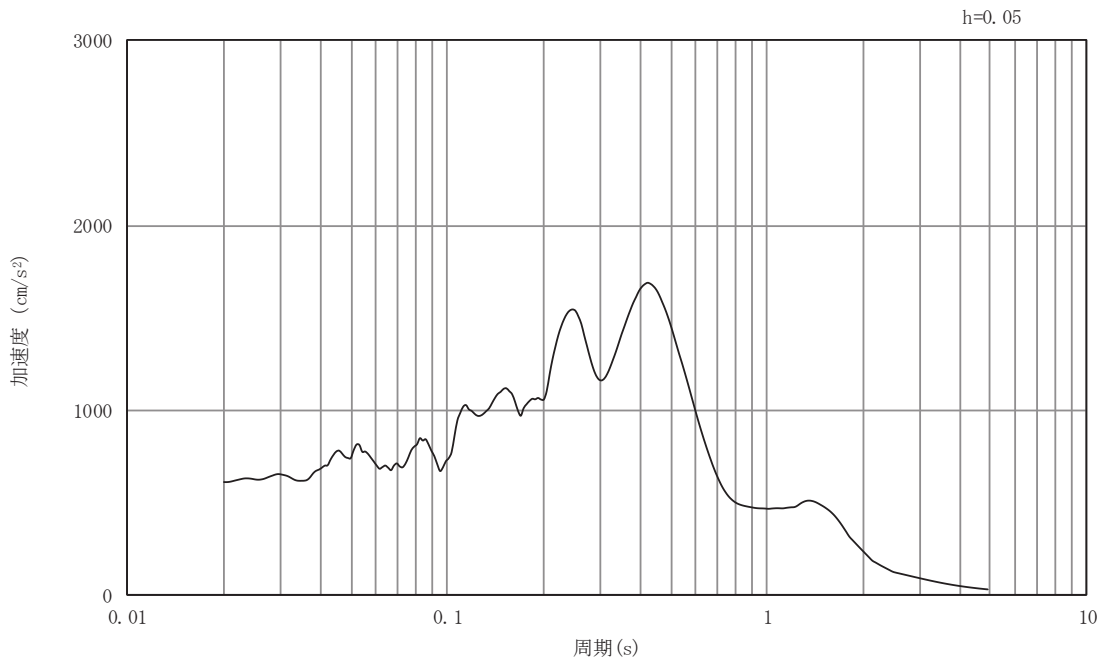
図3-94 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面⑦

(鉛直成分：S s - F 3)



(a) 加速度時刻歴波形

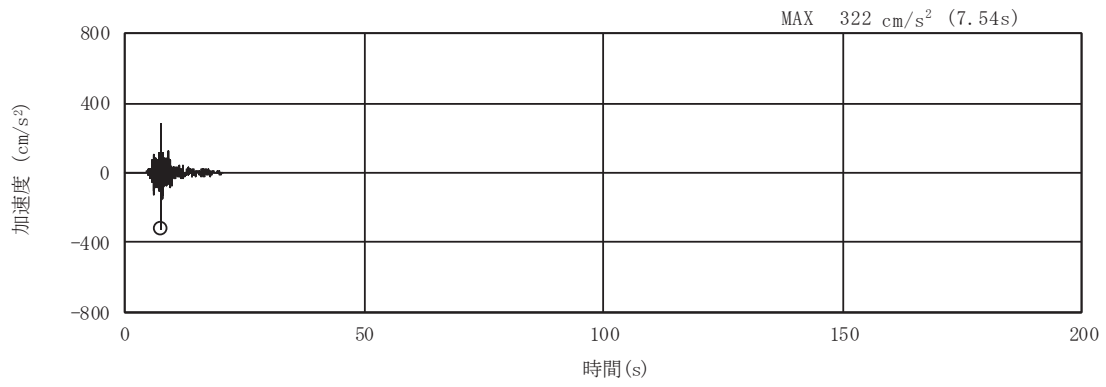


(b) 加速度応答スペクトル

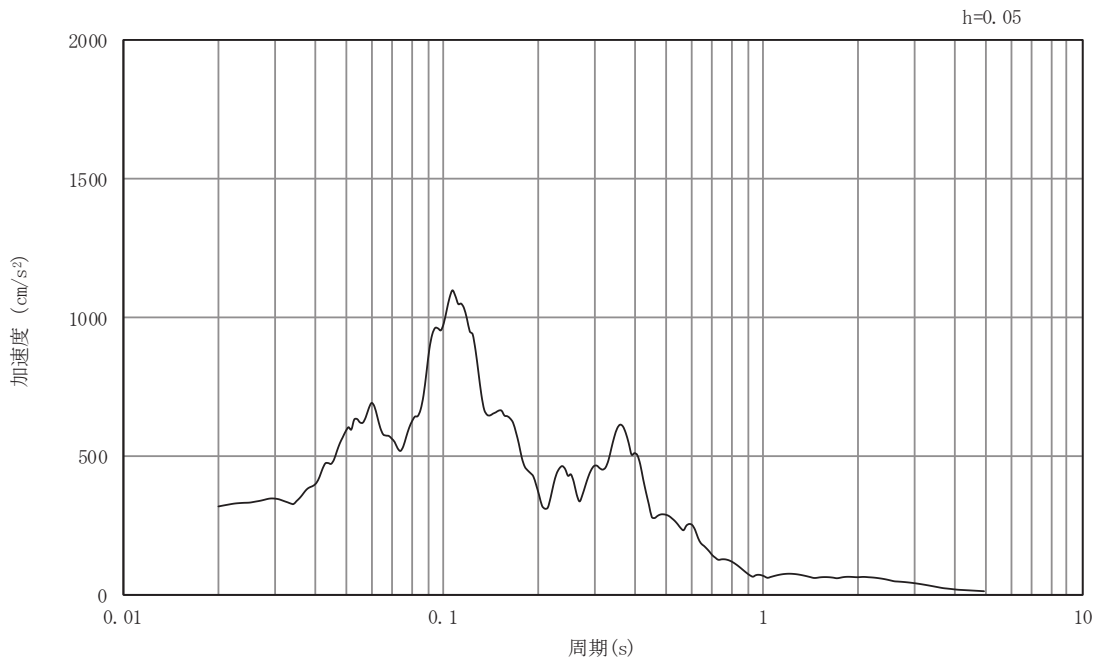
図3-95 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

断面⑦

(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3-96 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

断面⑦

(鉛直成分：S s - N 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水路（標準部）の地震応答解析モデルを図 3-97～図 3-102 に示す。

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、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。

(4) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土・旧表土、D級岩盤及び改良地盤は、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) 隣接構造物のモデル化

断面⑦において隣接構造物となる防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。復水貯蔵タンクの基礎と直下の MMR は盛土でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地震時の「MMR と構造物」、「盛土及び岩盤と MMR」、「盛土・旧表土及び岩盤と改良地盤」及び「盛土と構造物」との接合面における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。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性について」に基づき、ジョイント要素を設定する。

(7) 水位条件

内水位は、朔望平均満潮位（O.P. +2.43m）とする。

地下水位は、添付書類「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。設計用地下水位を表 3-5 及び図 3-103～図 3-108 に示す。

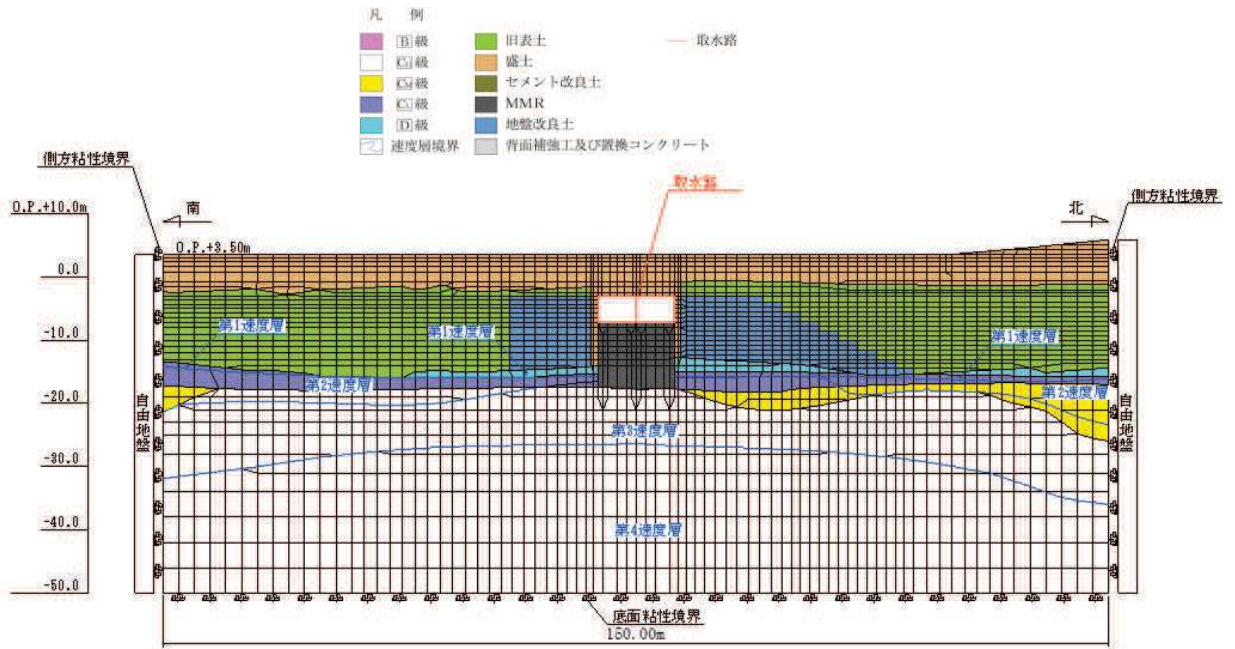


図 3-97 取水塔（標準部）の地震応答解析モデル（断面②）

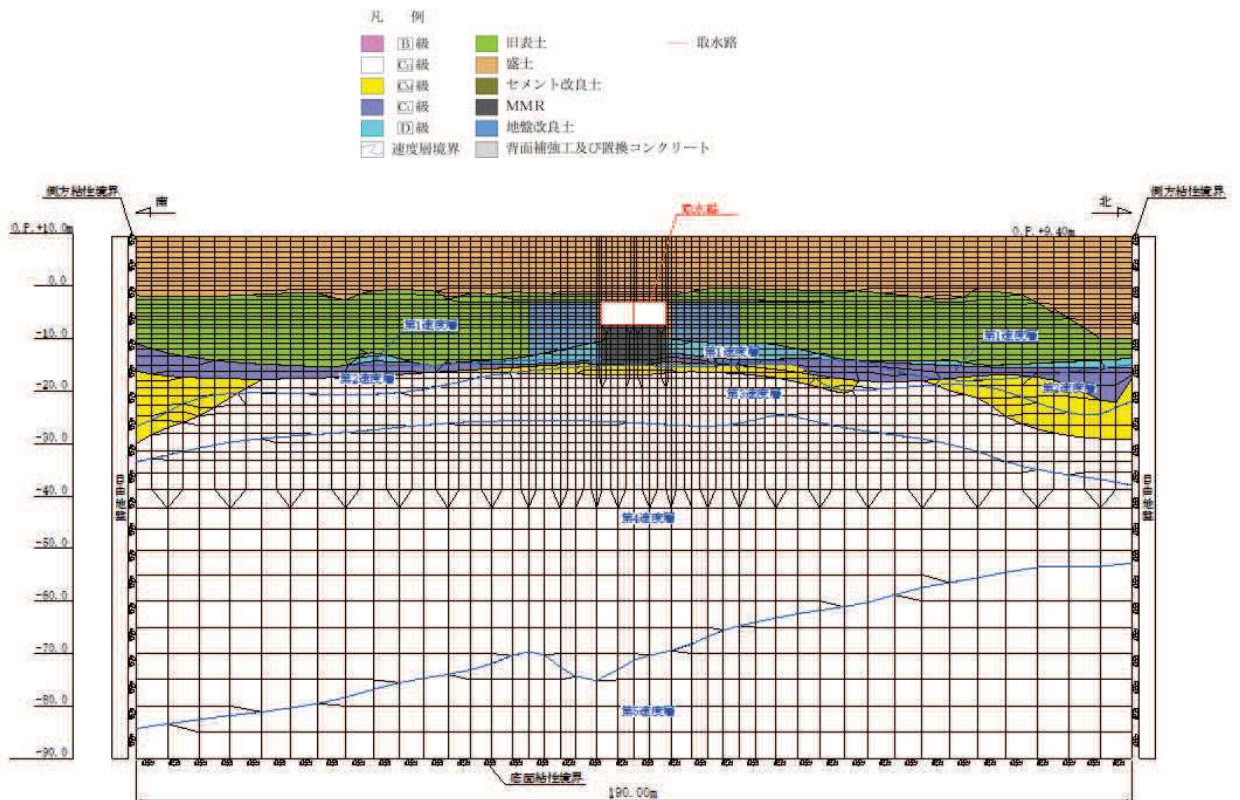


図 3-98 取水塔（標準部）の地震応答解析モデル（断面③）

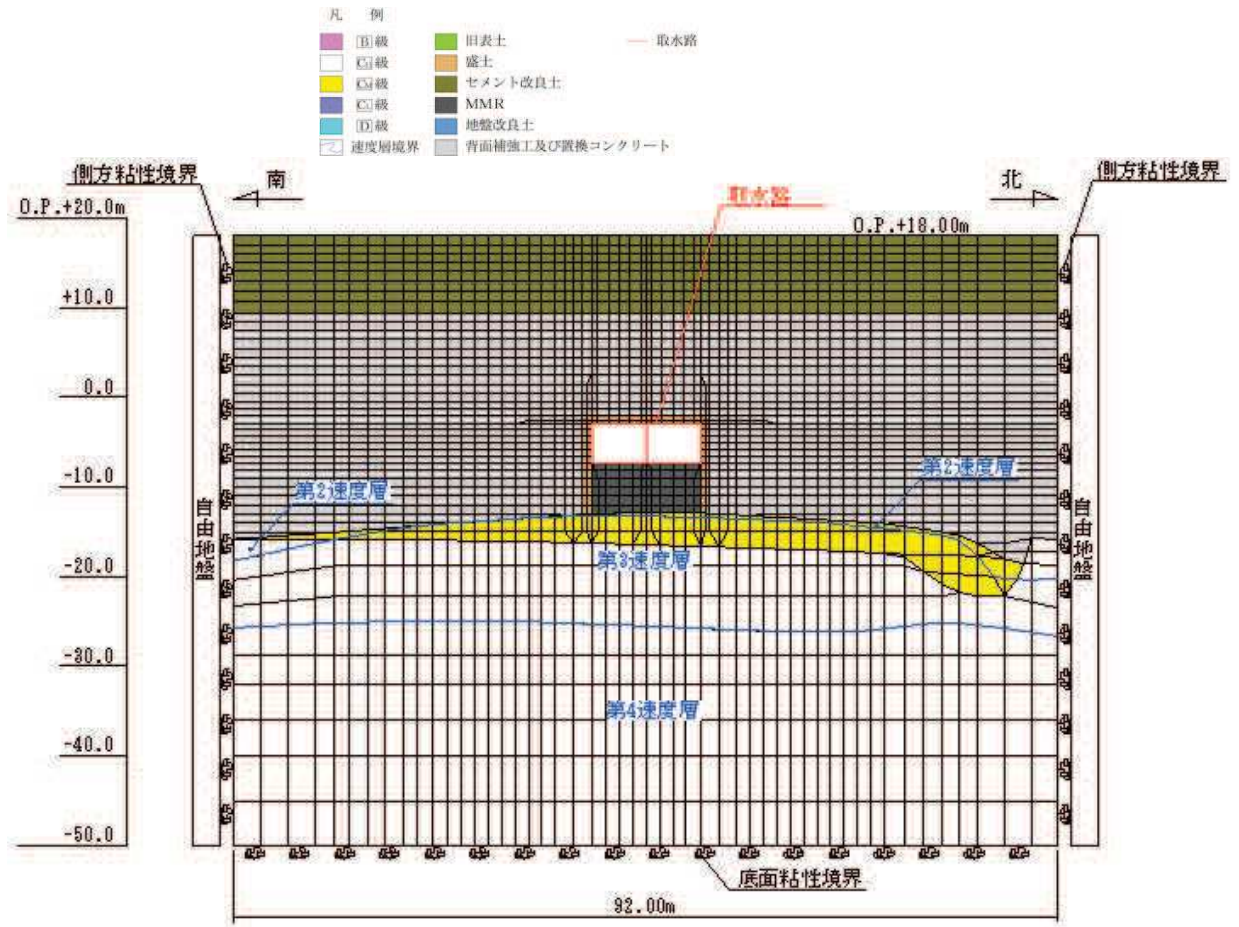


図 3-99 取水路（標準部）の地震応答解析モデル（断面④）

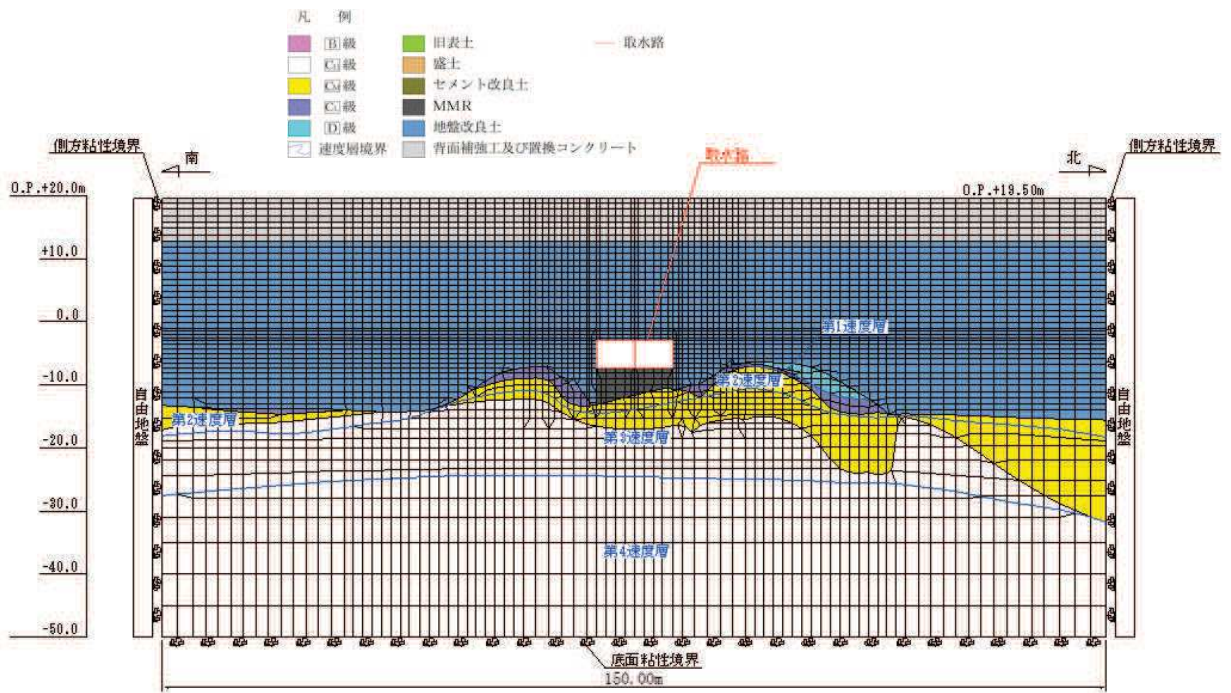


図 3-100 取水路（標準部）の地震応答解析モデル（断面⑤）

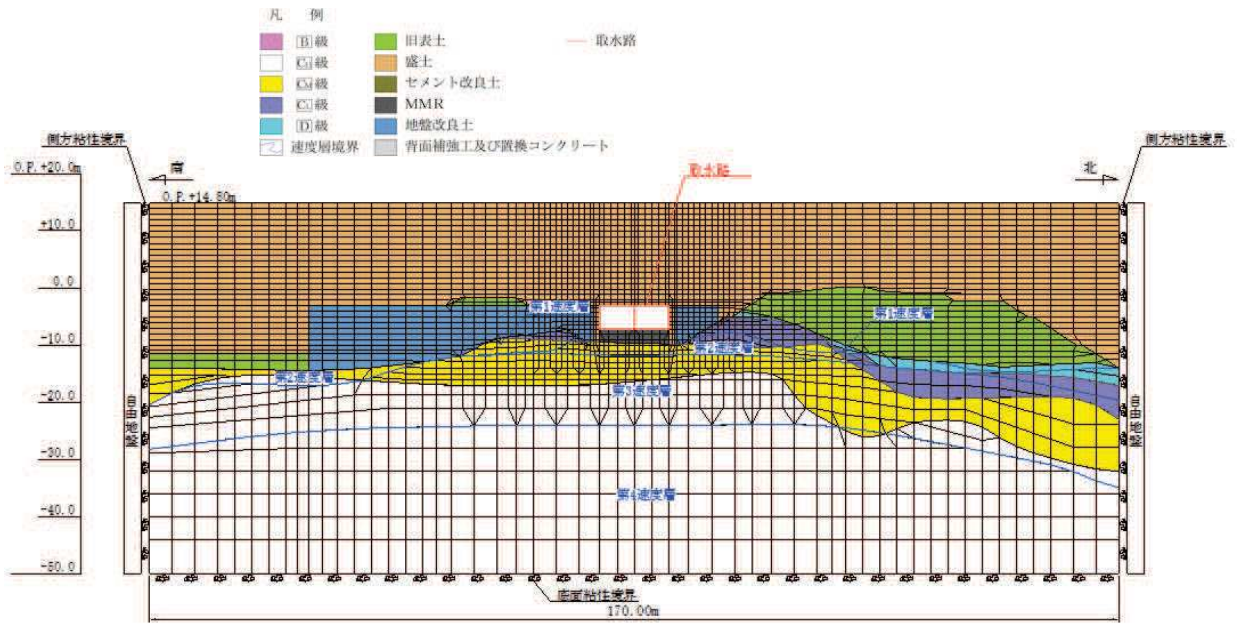


図 3-101 取水路（標準部）の地震応答解析モデル（断面⑥）

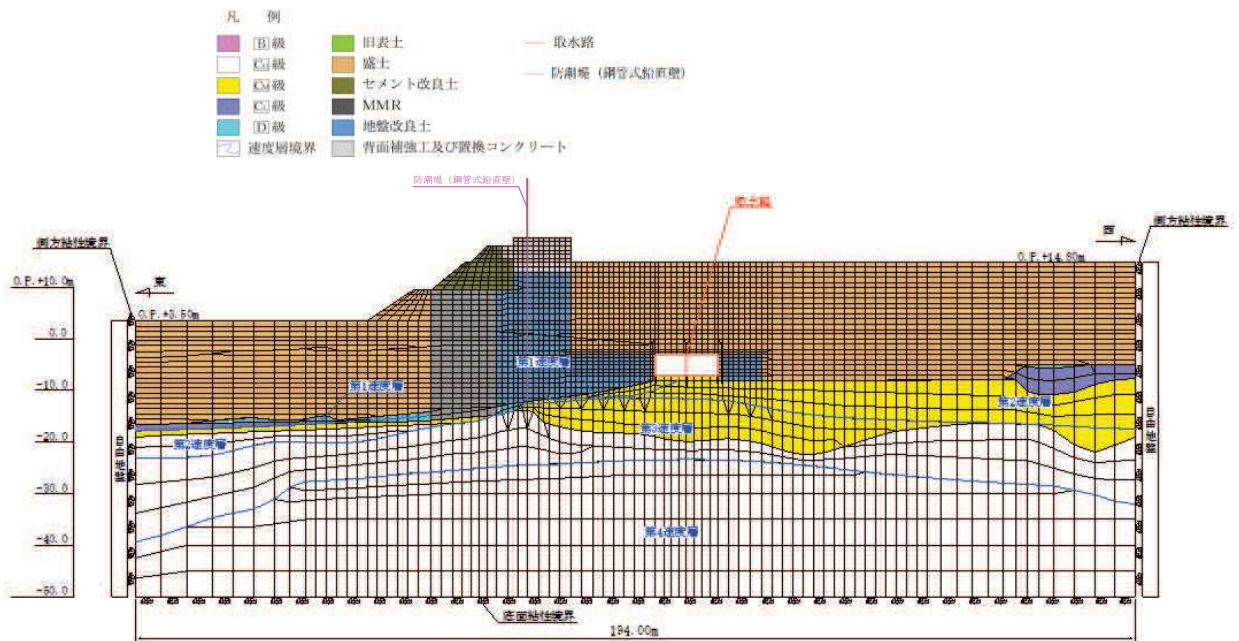


図 3-102 取水路（標準部）の地震応答解析モデル（断面⑦）

表 3-5 設計用地下水位

施設名称	対象エリア	設計用地下水位
取水路 (標準部)	断面②	0. P. +2. 43m*
	断面③	0. P. +2. 43m*
	断面④	0. P. +2. 43m*
	断面⑤	0. P. -1. 00m
	断面⑥	0. P. -1. 01m
	断面⑦	0. P. -1. 03m~0. P. +2. 43m*

注記* : 朔望平均満潮位

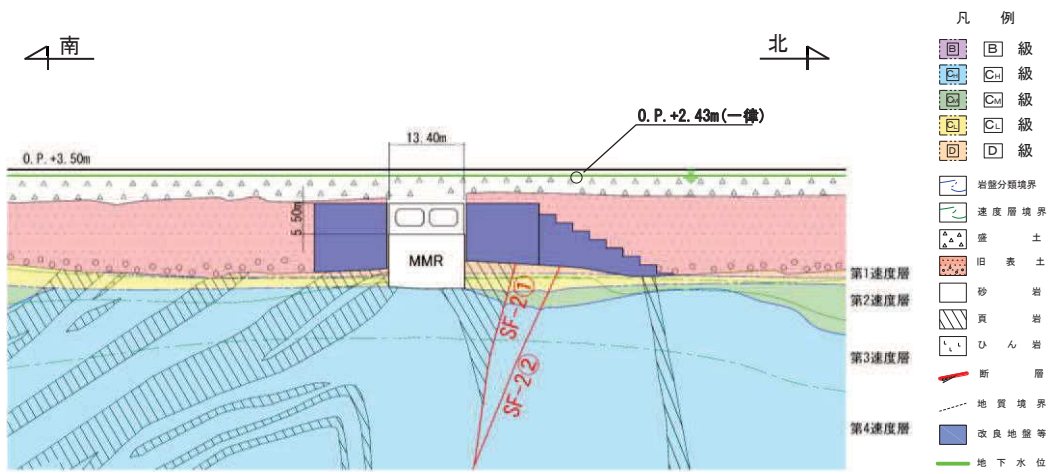


图 3-103 设计用地下水位 (断面②)

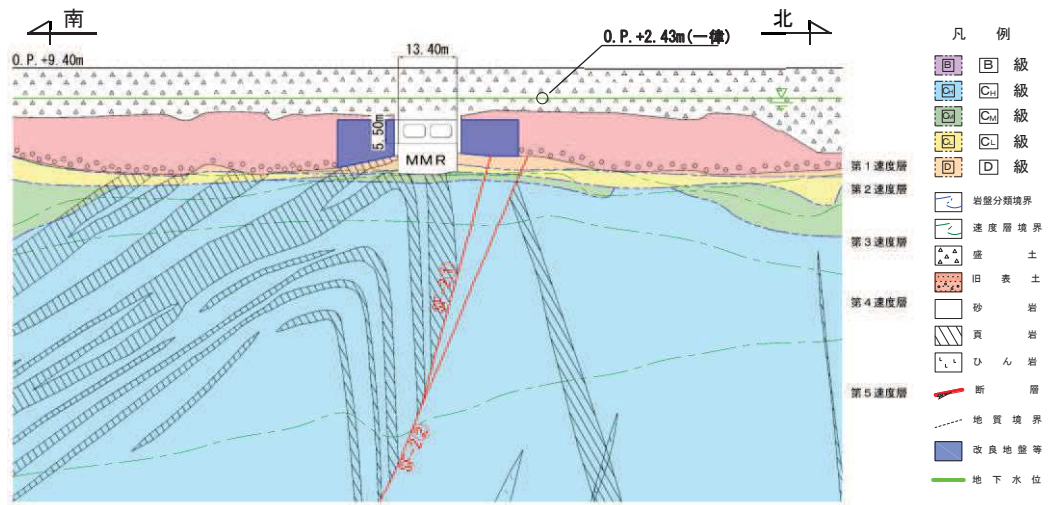


图 3-104 设计用地下水位 (断面③)

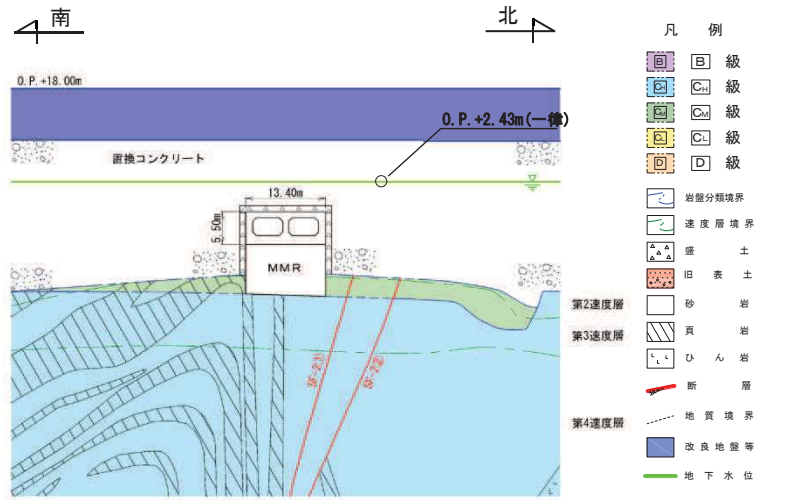


図 3-105 設計用地下水位 (断面④)

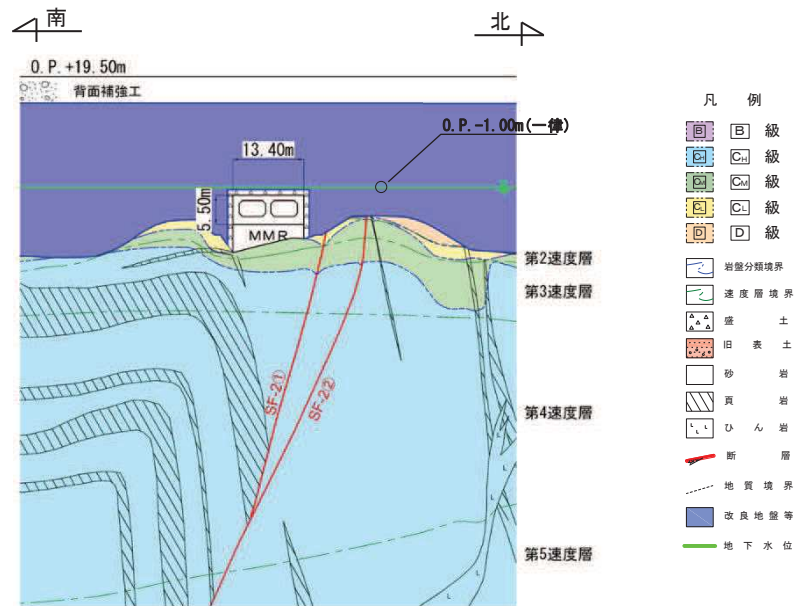


図 3-106 設計用地下水位 (断面⑤)

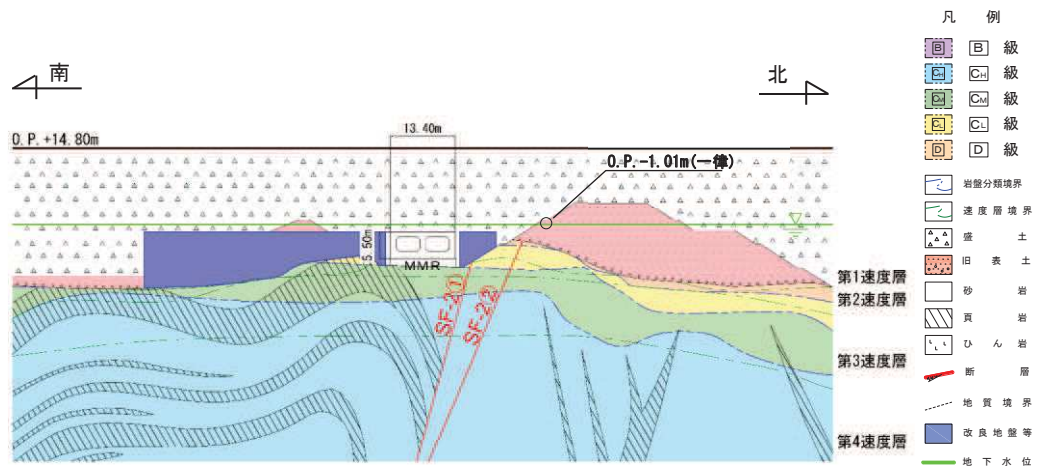


図 3-107 設計用地下水位 (断面⑥)

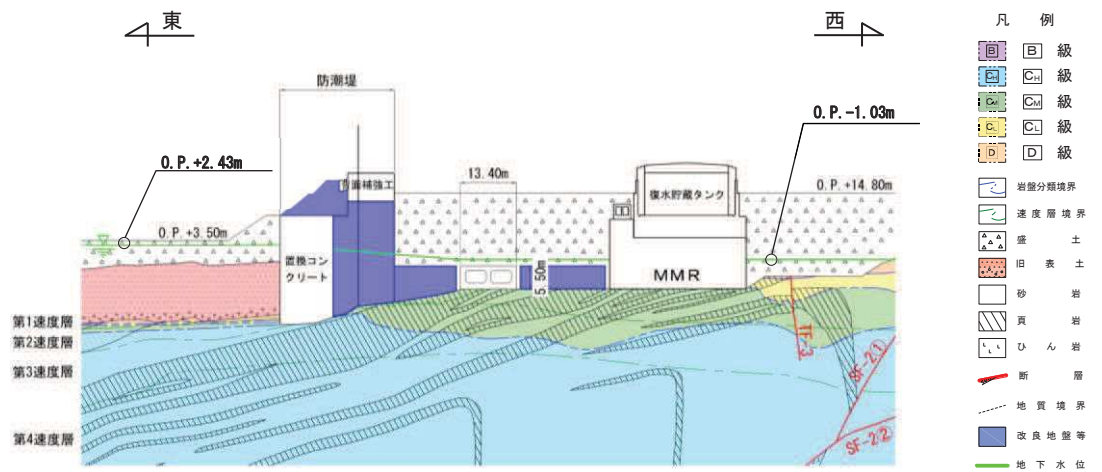


図 3-108 設計用地下水位 (断面⑦)

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 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 20.5N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-7 材料の物性値 (構造部材)

材料	項目	材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度*	3.18×10 ⁴ 解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 ⁴ 解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比	0.2	

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

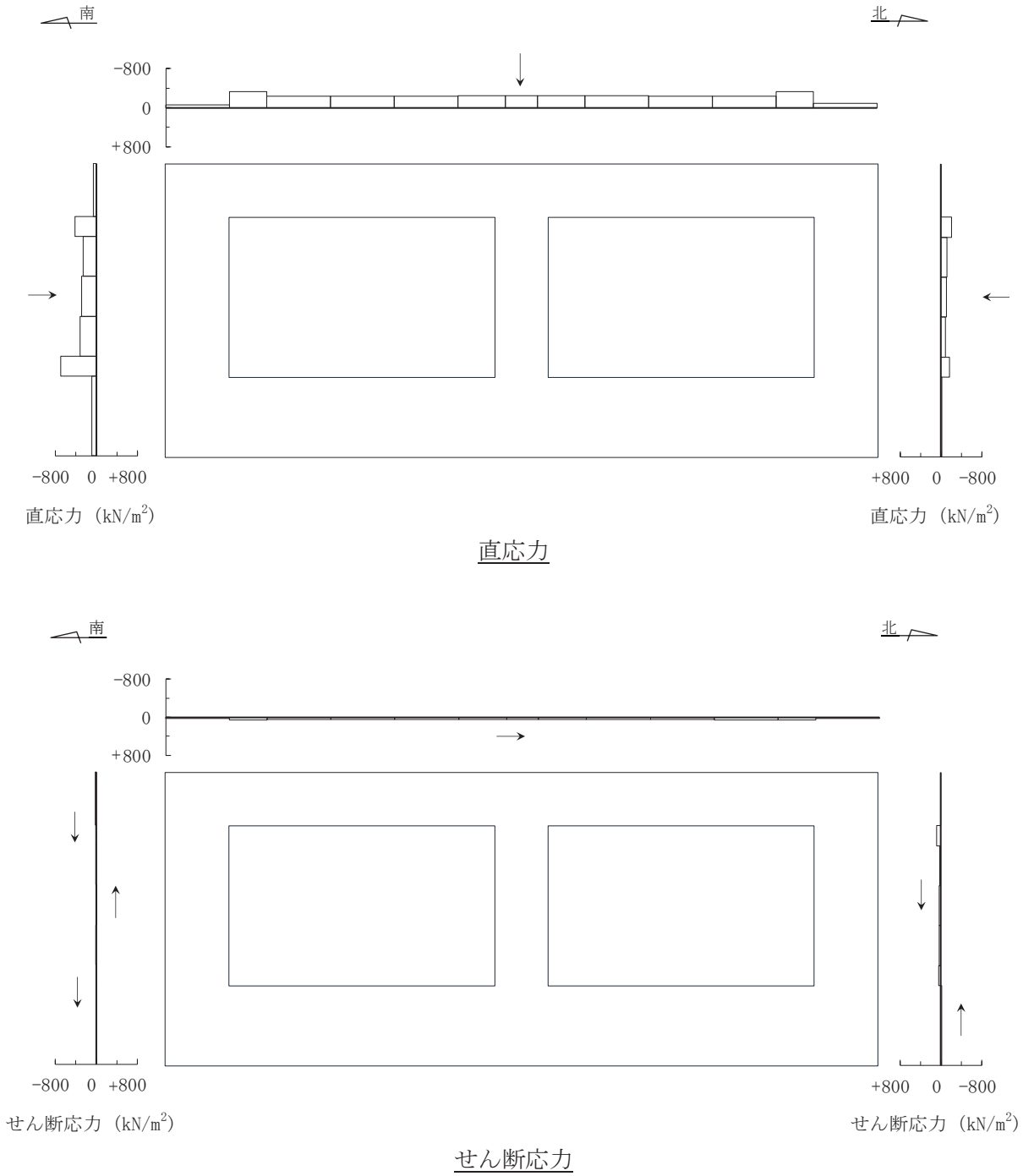
3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

3.6 地震応答解析結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査のうち，照査値が最大となるせん断力照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 3-109～図 3-122 に示す。

なお，断面⑤は曲線部に位置するが，周辺地盤の状況等を考慮し直線部の地震時荷重算出断面として選定しており，直線部と曲線部の両方の三次元モデルに作用させる荷重となる。このため，断面⑤については，それぞれのモデル（直線部・曲線部）で照査値が最大となる 2 ケースを示す。



図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-109 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (断面② : 直線部, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

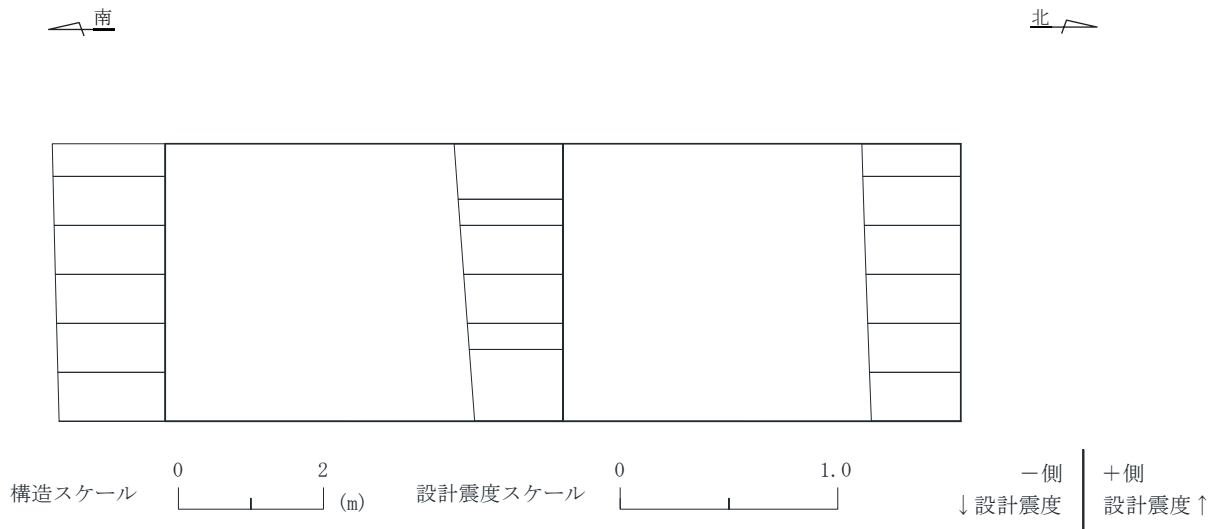
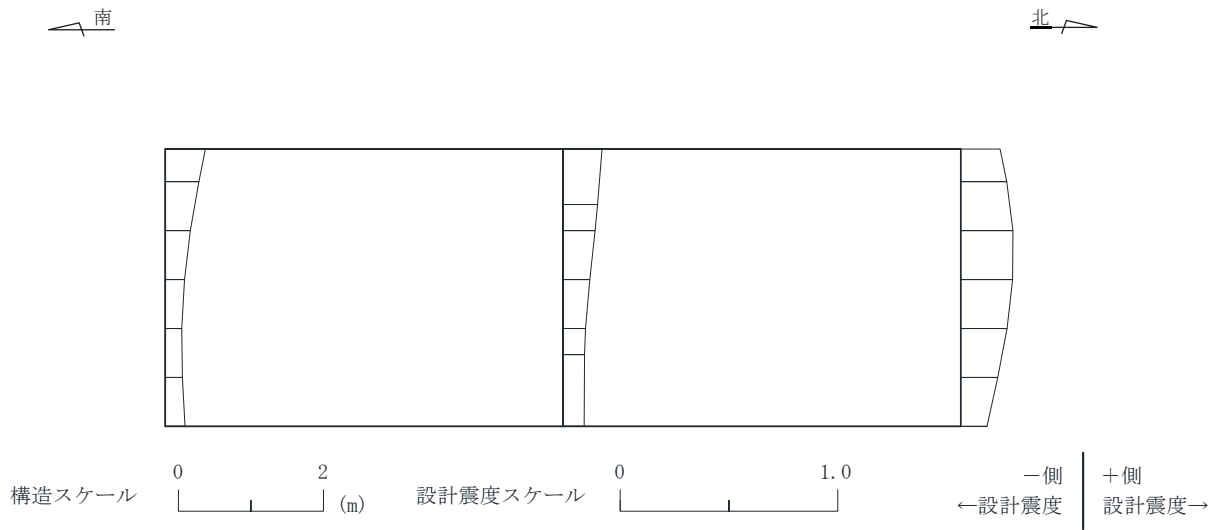
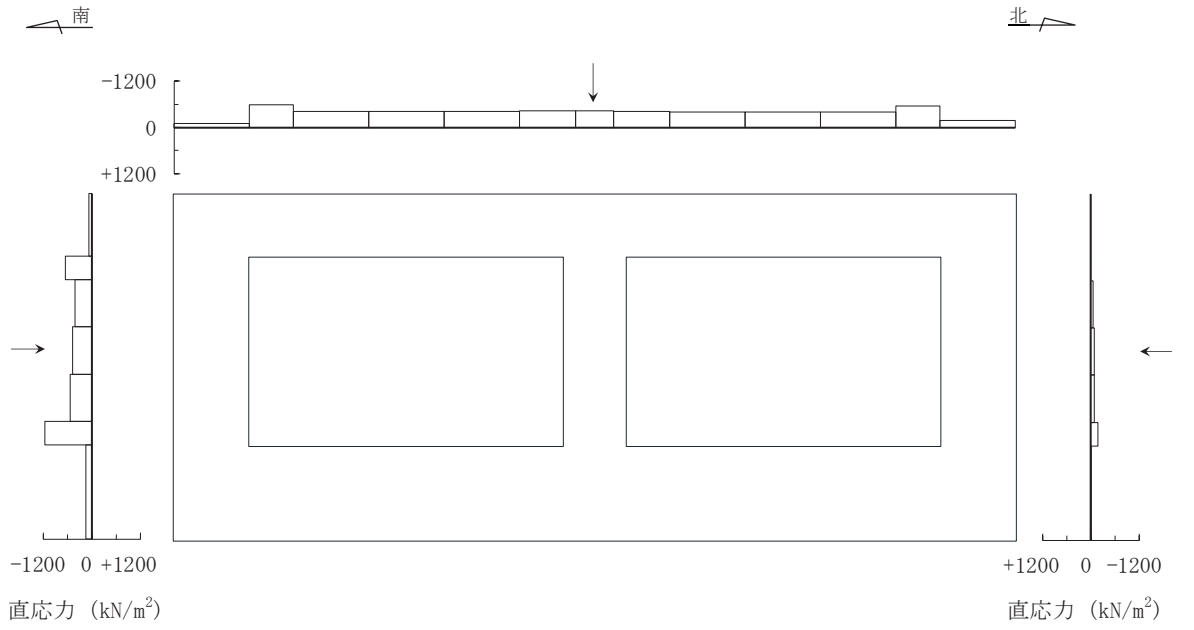
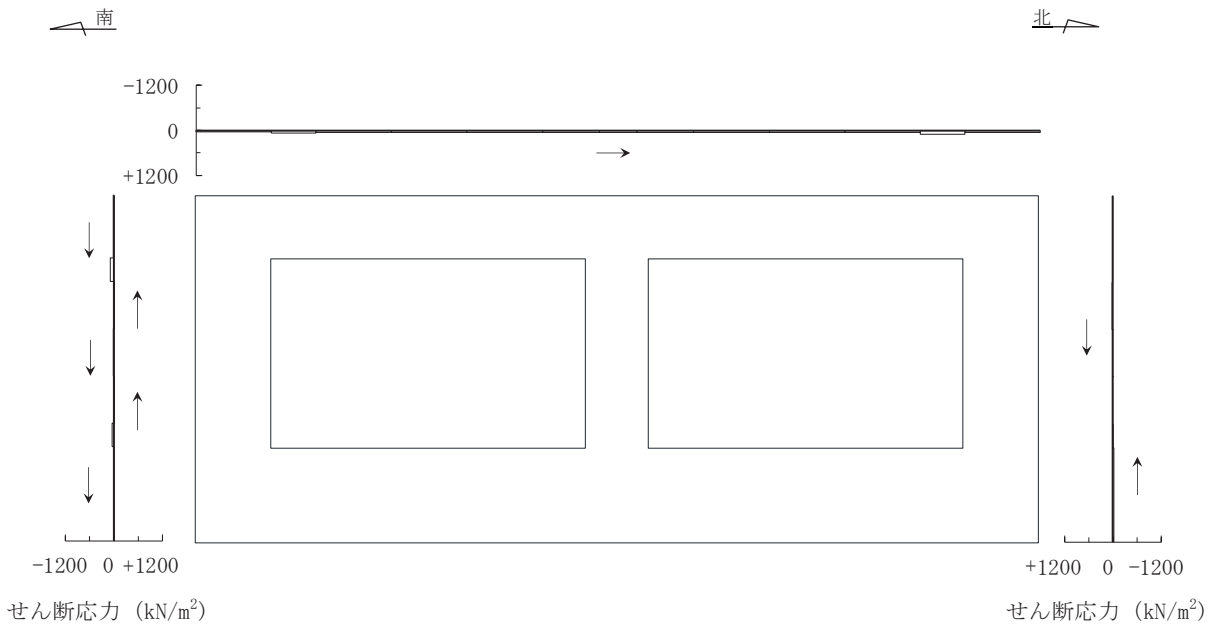


図 3-110 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面② : 直線部, 解析ケース③, S_s-N1 (++))



直応力



せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-111 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (断面③ : 直線部, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

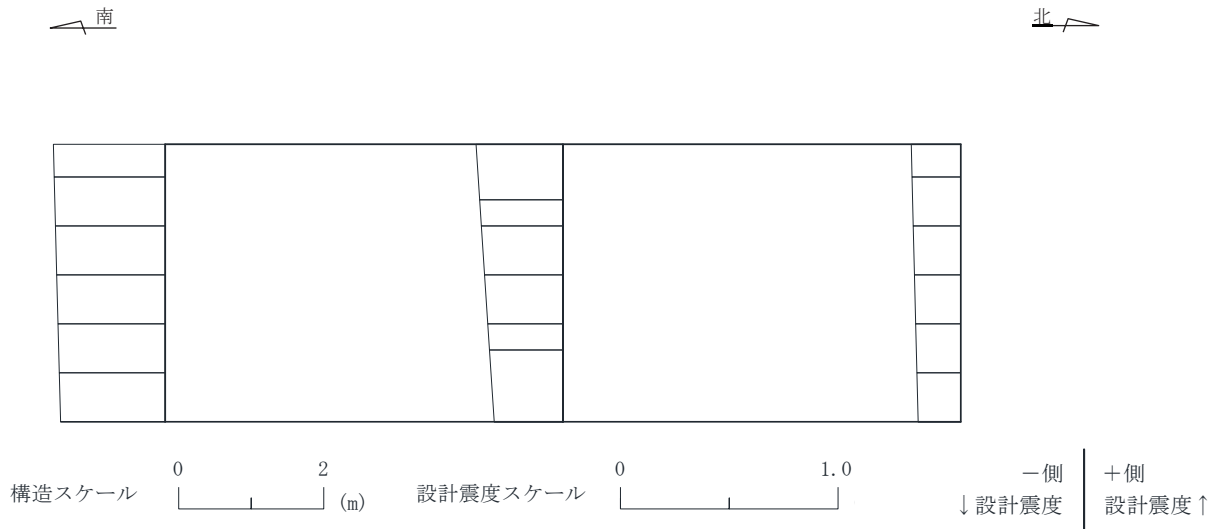
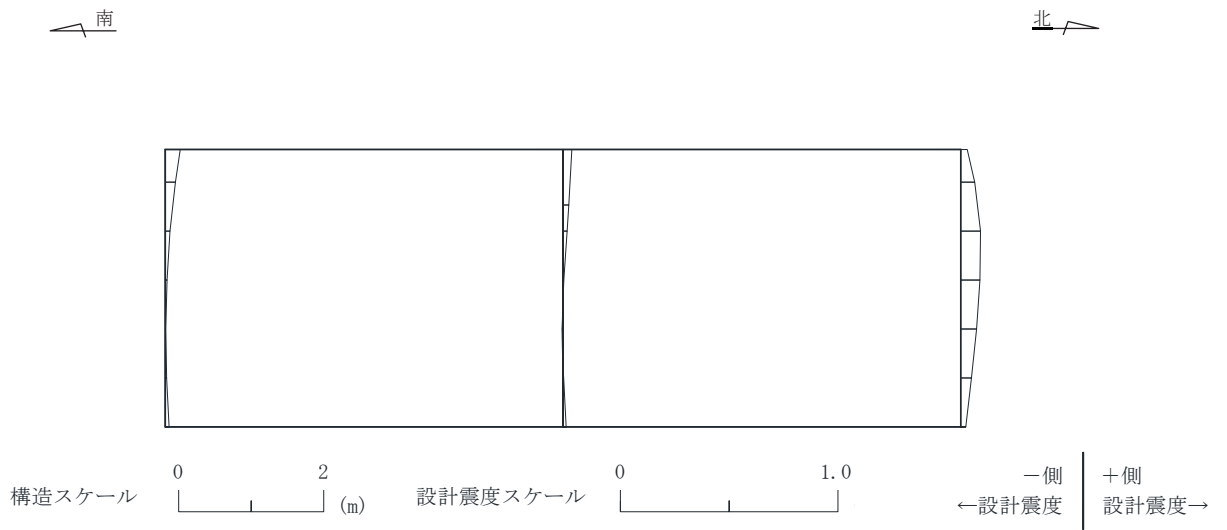
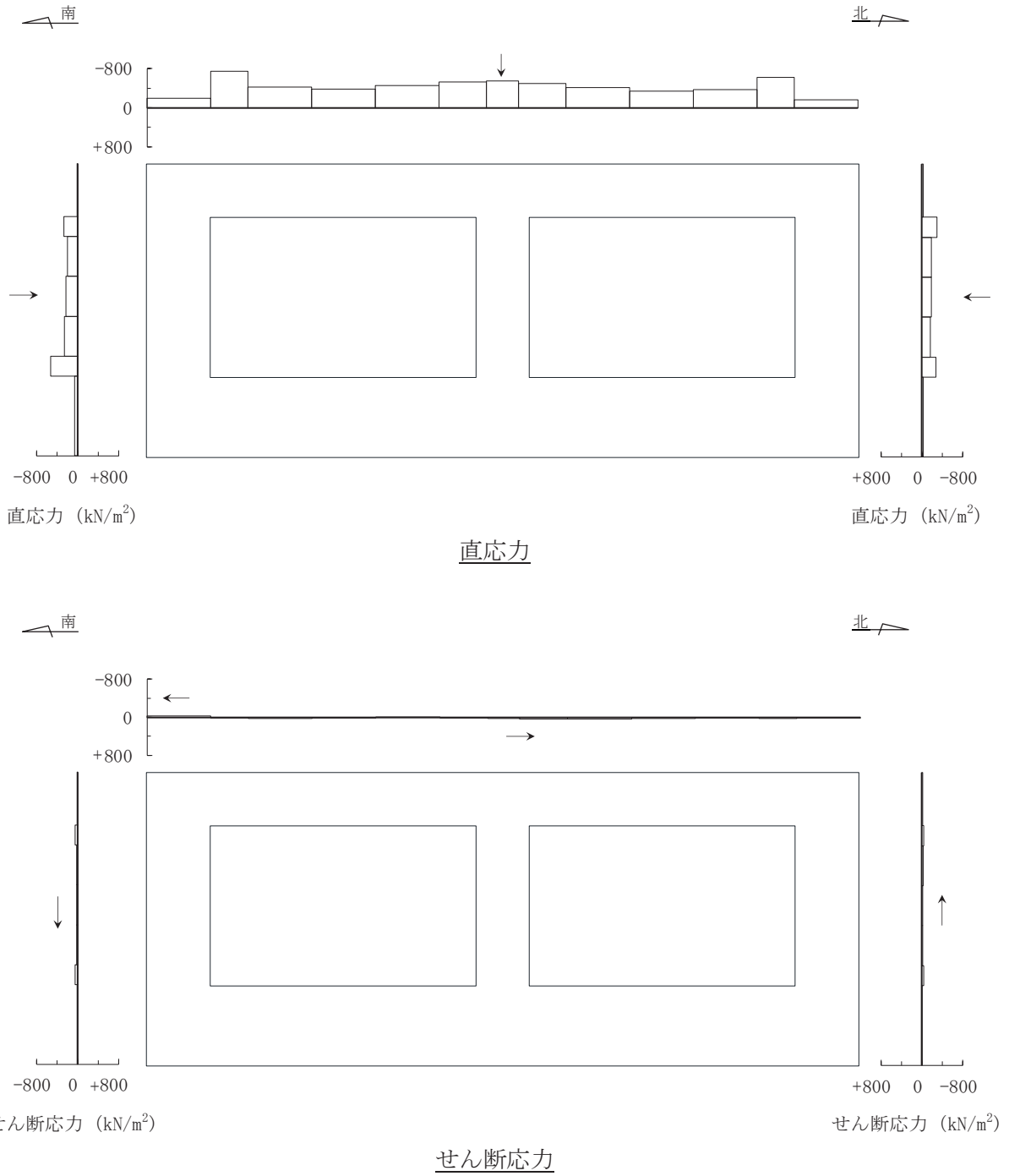


図 3-112 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面③：直線部，解析ケース③，S_s-N1 (++))



図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-113 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (断面④ : 直線部, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

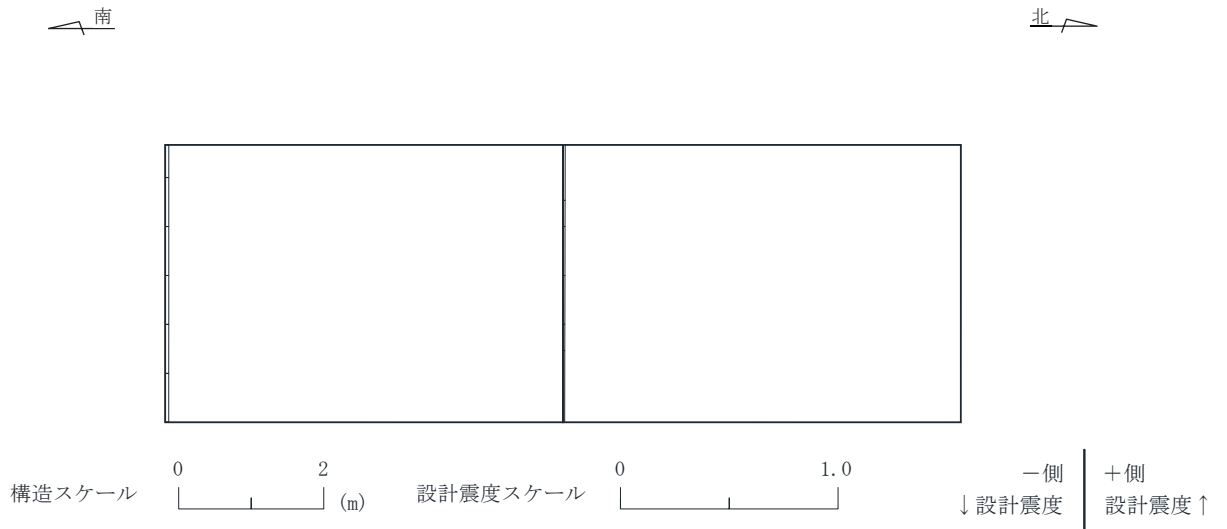
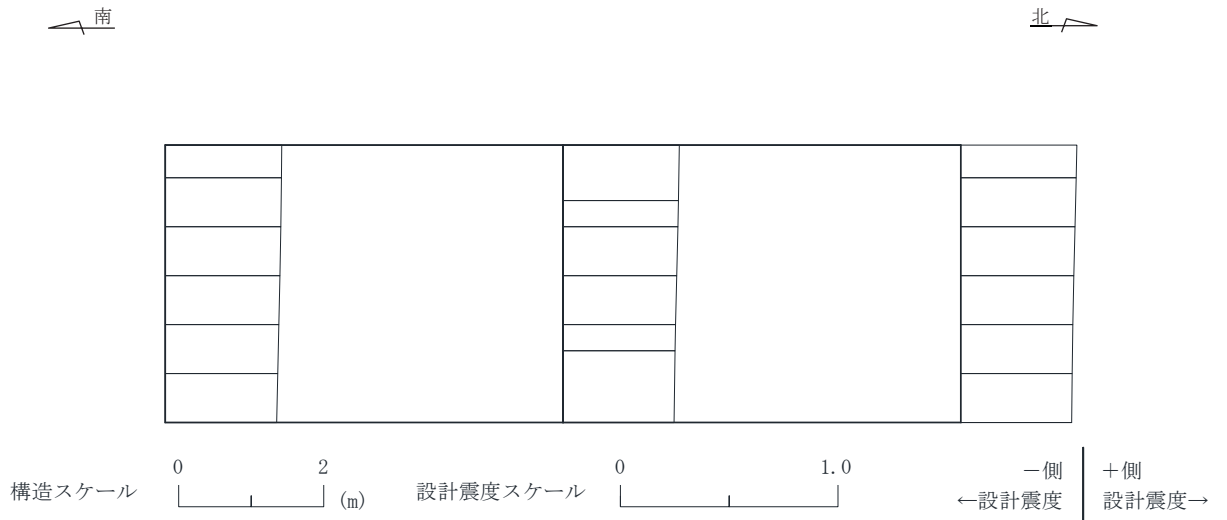
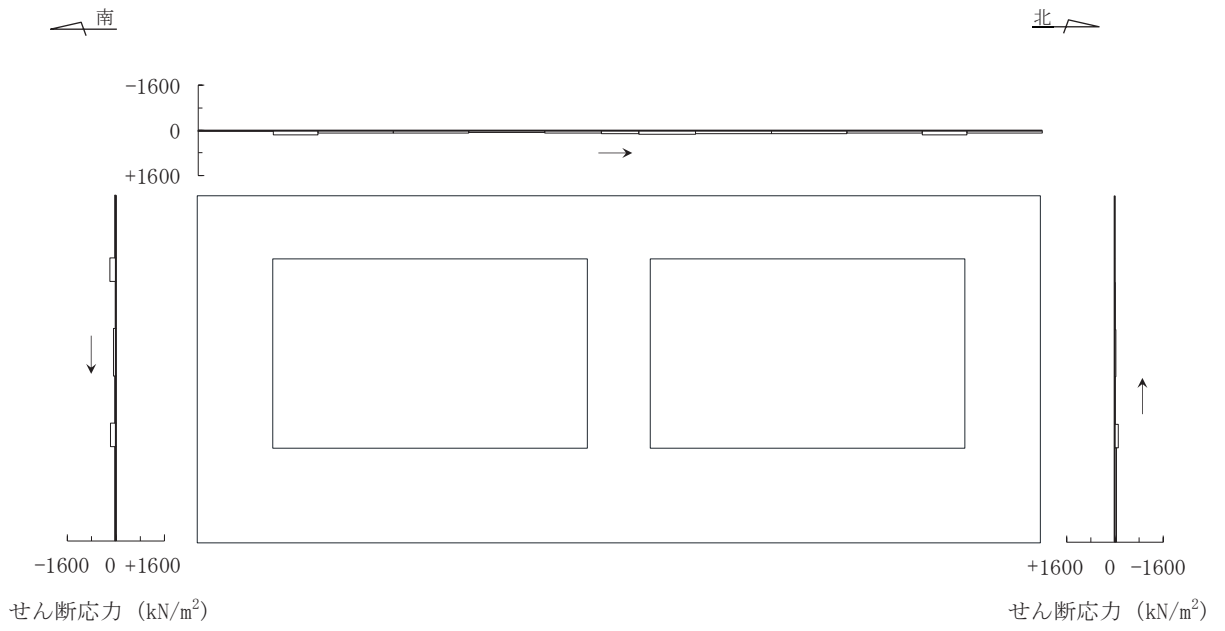
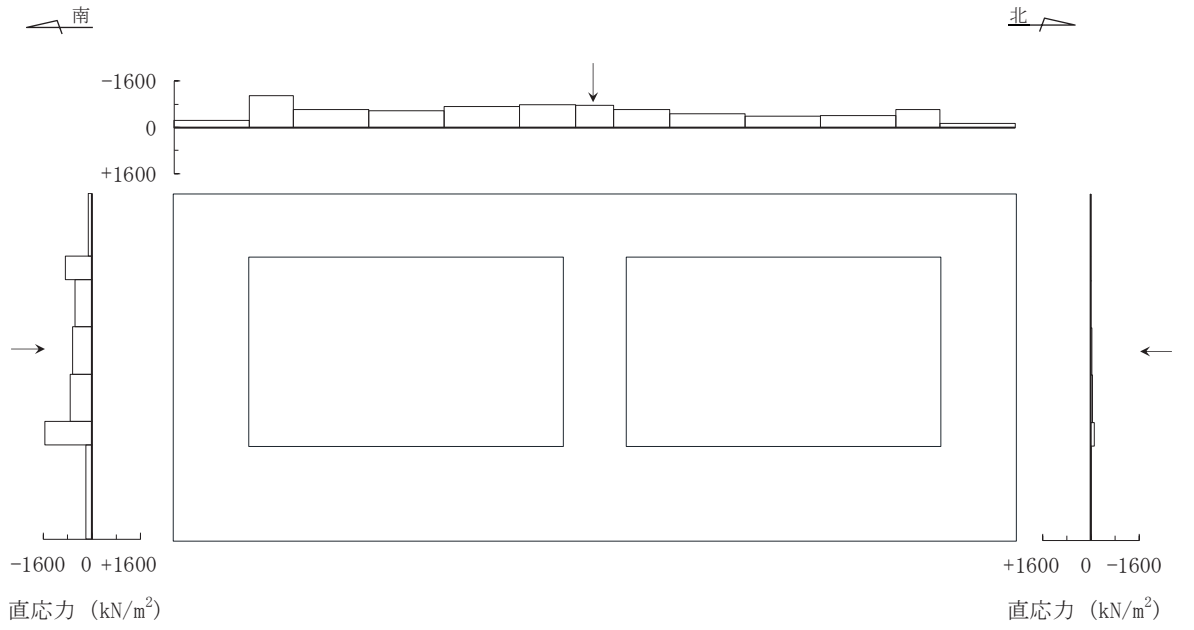


図 3-114 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面④：直線部，解析ケース③，S_s-N1 (++))



図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-115 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (断面⑤ : 直線部, 解析ケース③, S s - N 1 (++)

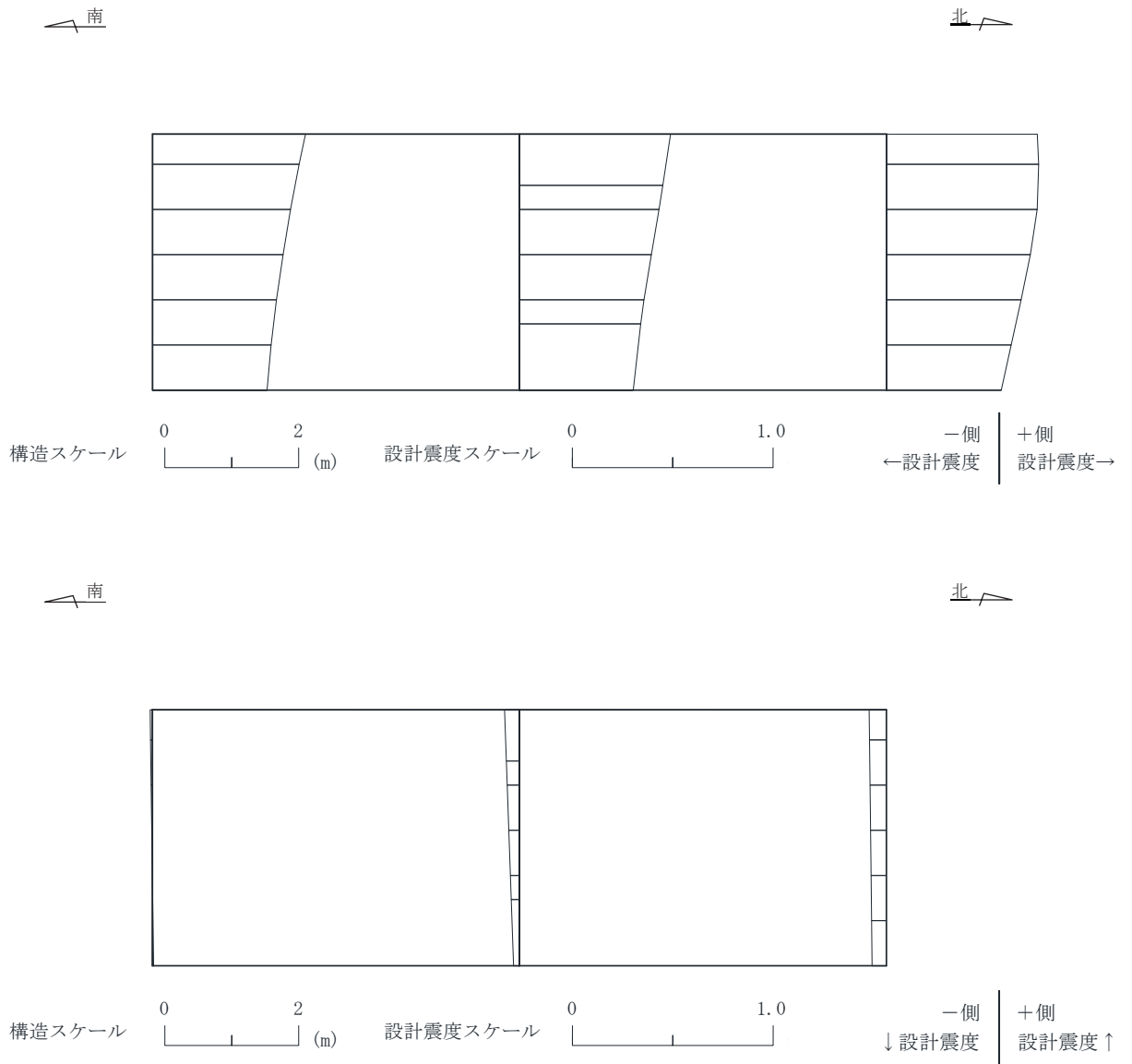
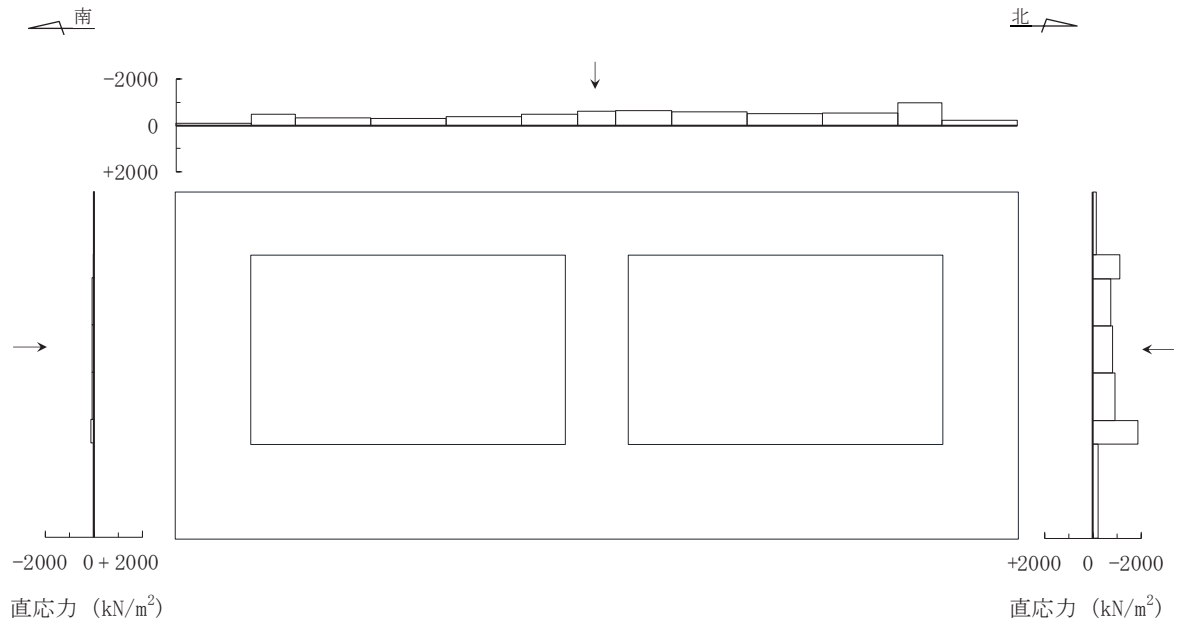
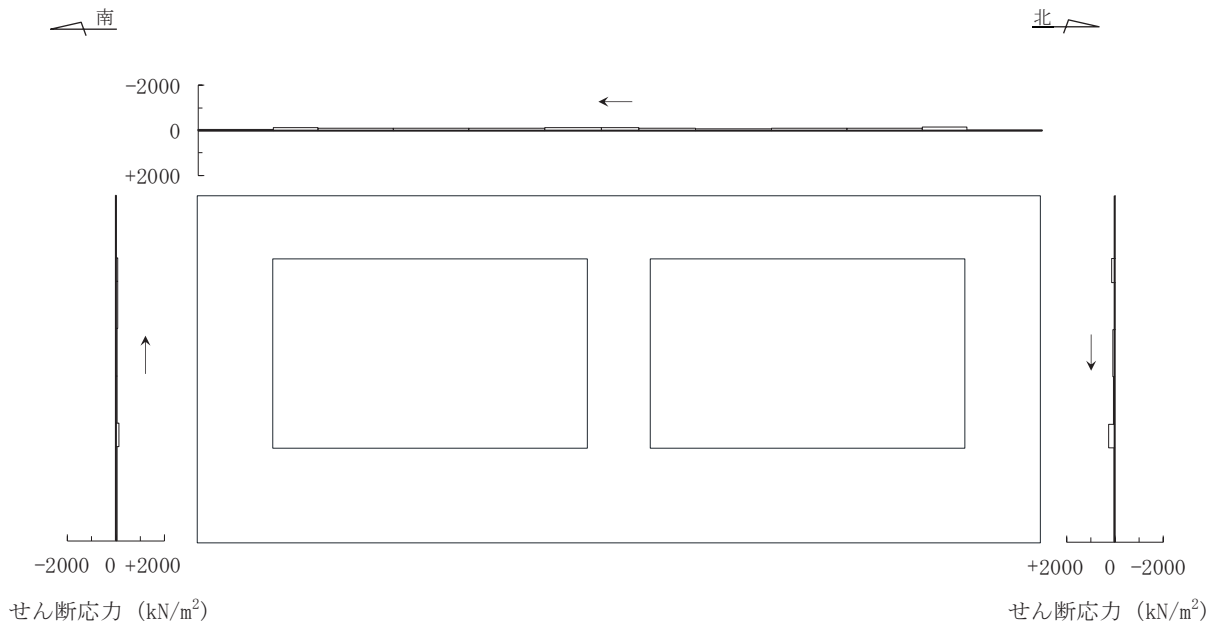


図 3-116 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面⑤: 直線部, 解析ケース③, S_s-N1 (++))



直応力



せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-117 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(断面⑤ : 曲線部, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

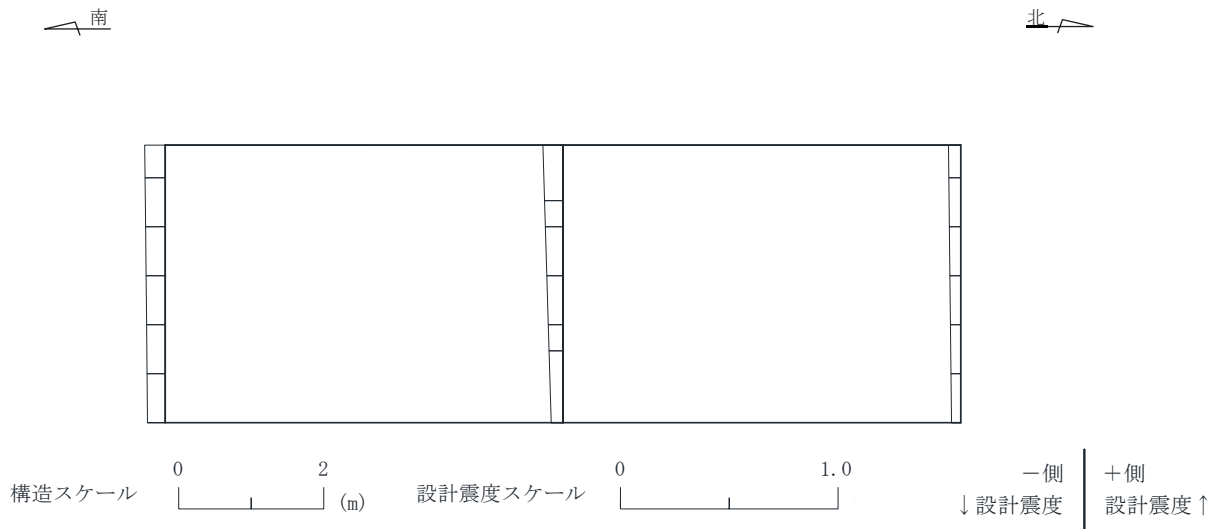
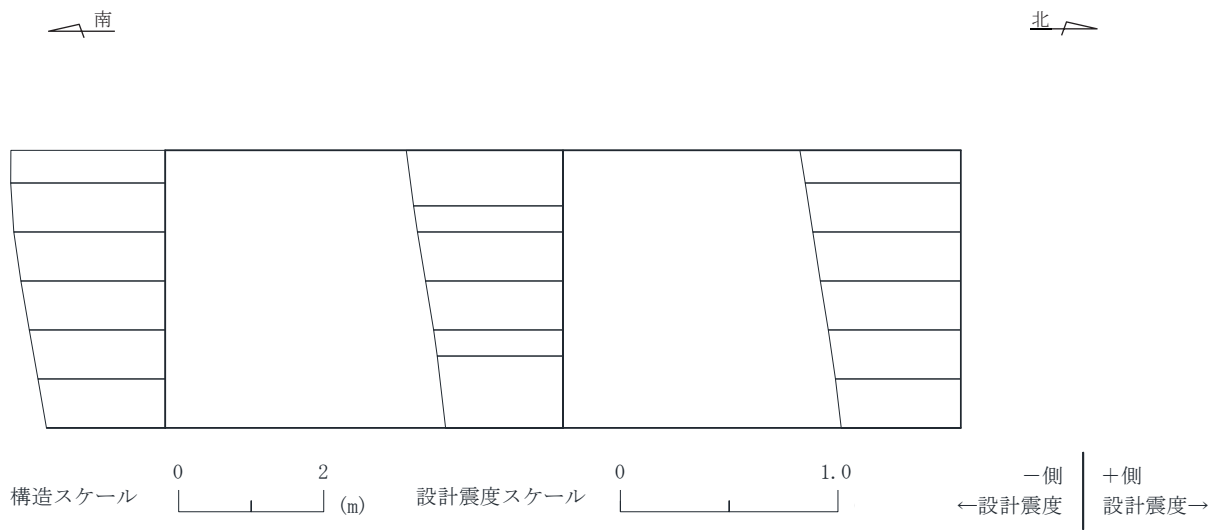
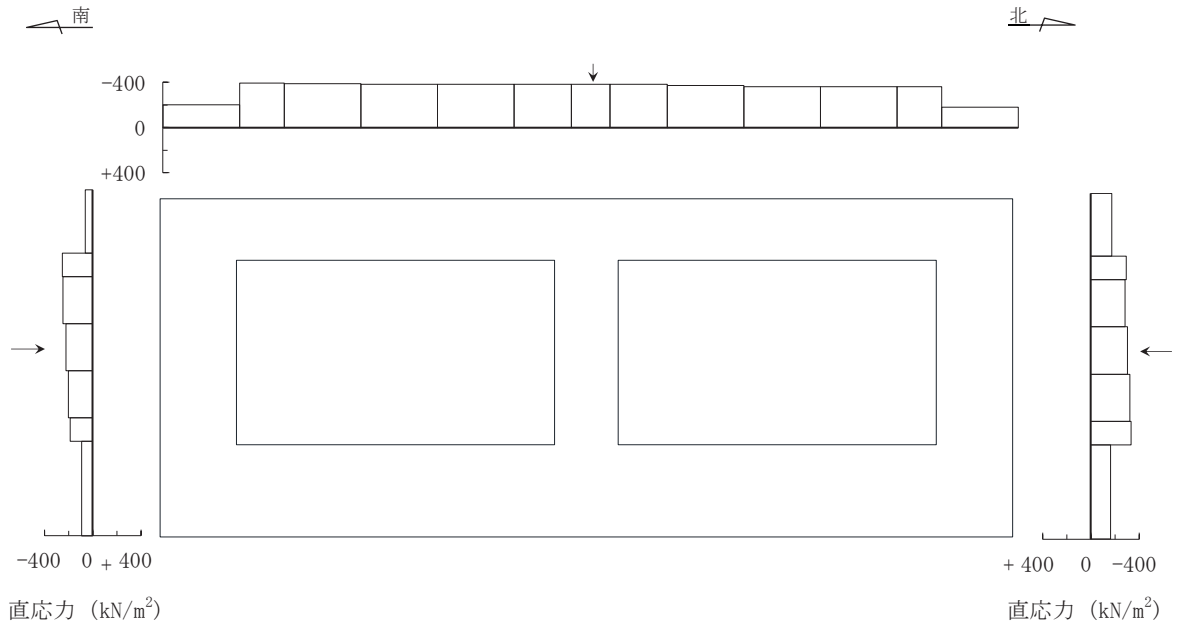
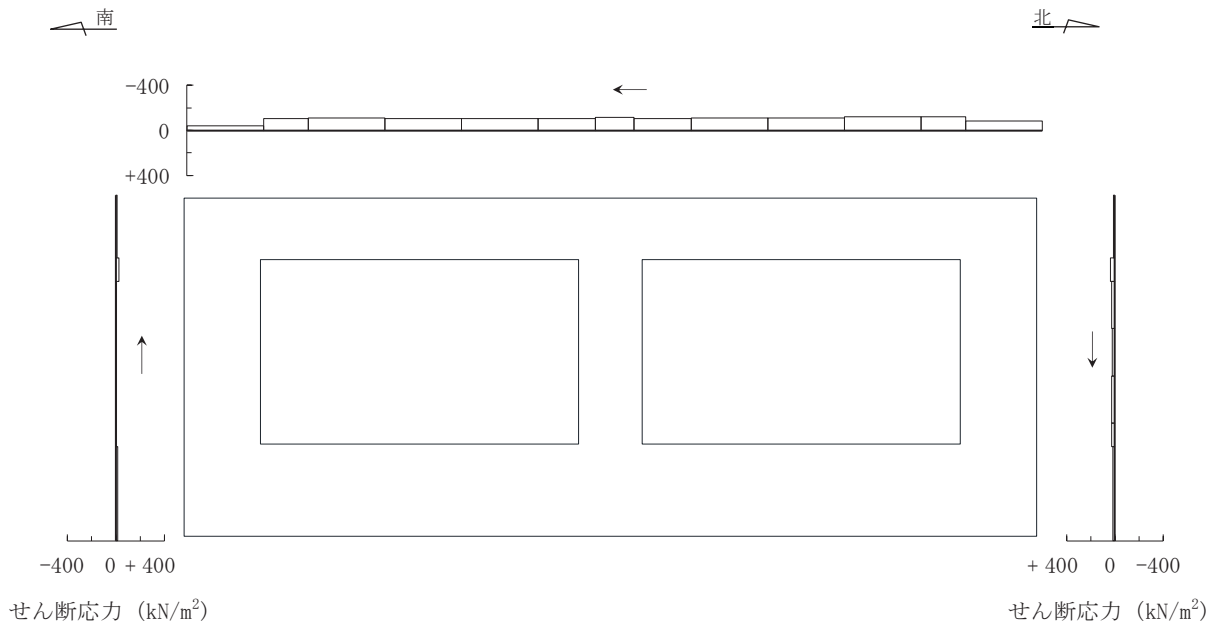


図 3-118 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面⑤ : 曲線部, 解析ケース③, S_s-N1 (-+))



直応力



せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-119 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(断面⑥ : 曲線部, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

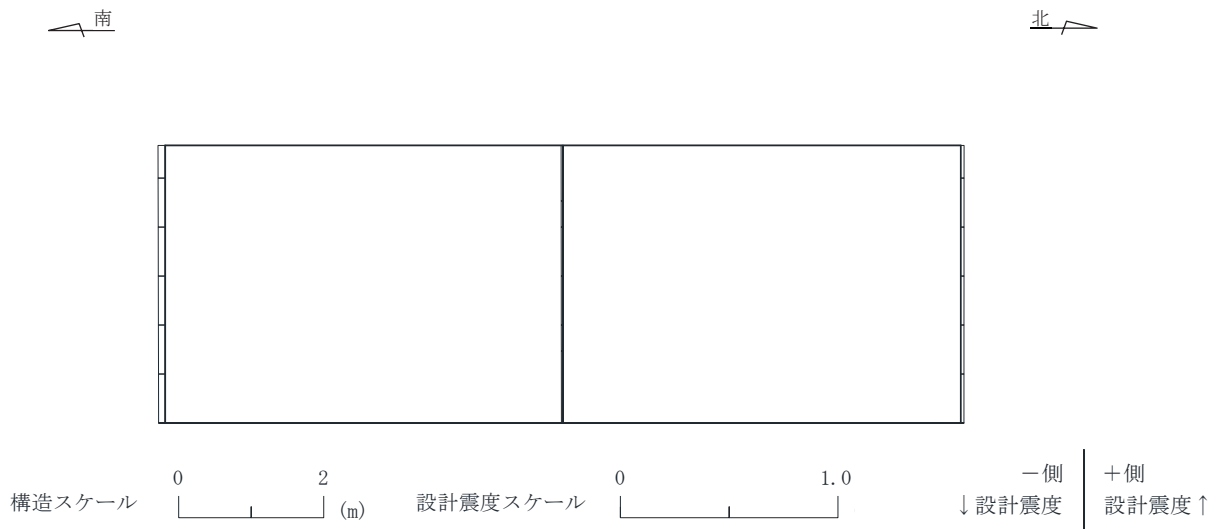
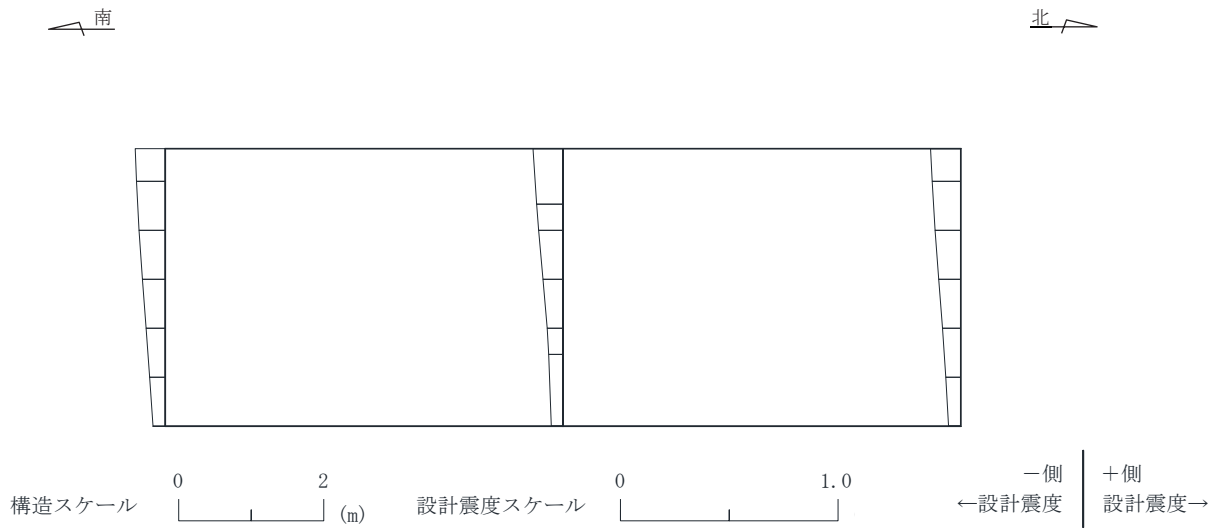


図 3-120 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面⑥ : 曲線部, 解析ケース③, S_s-N1 (-+))

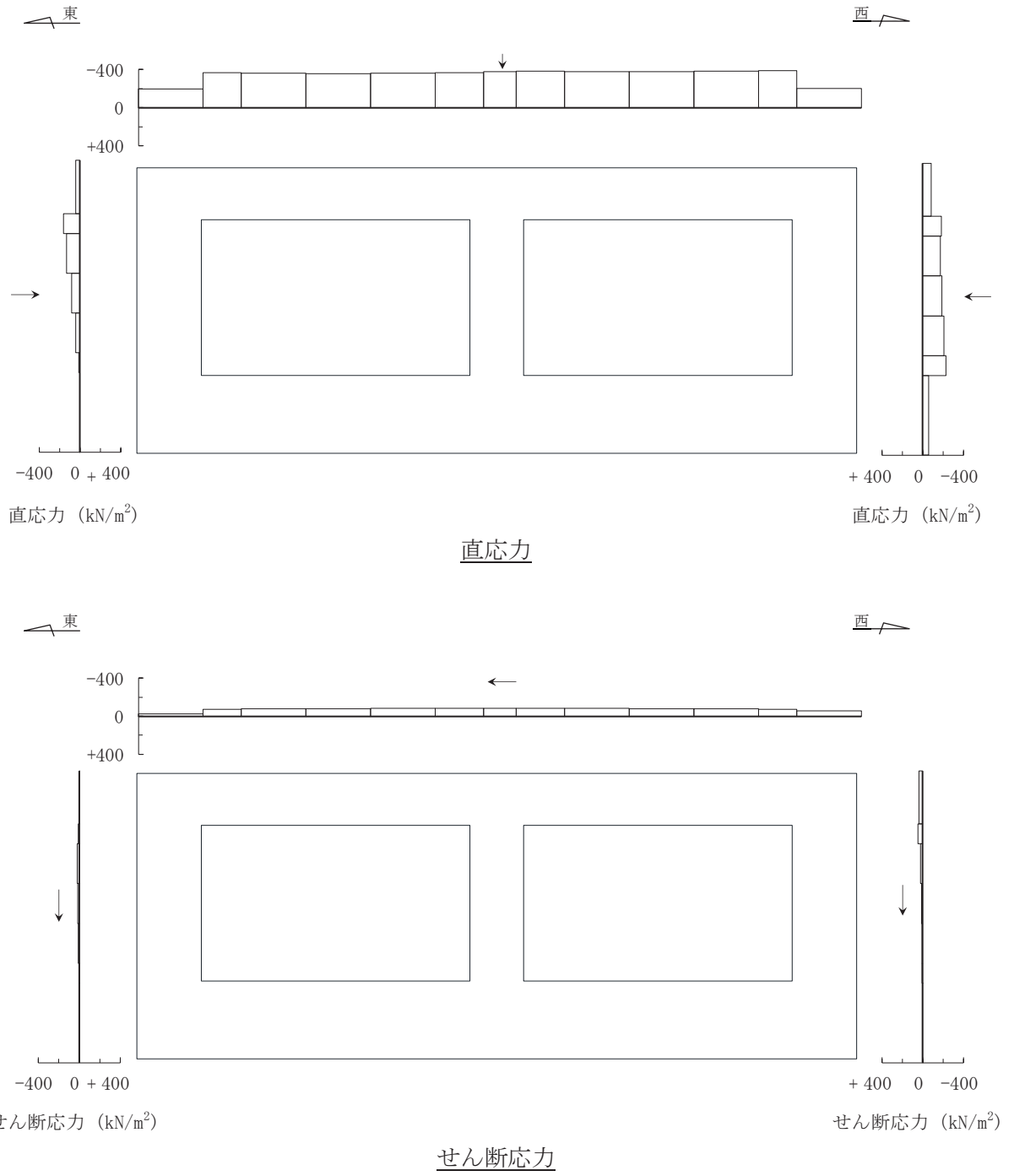


図 3-121 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (断面⑦ : 曲線部, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

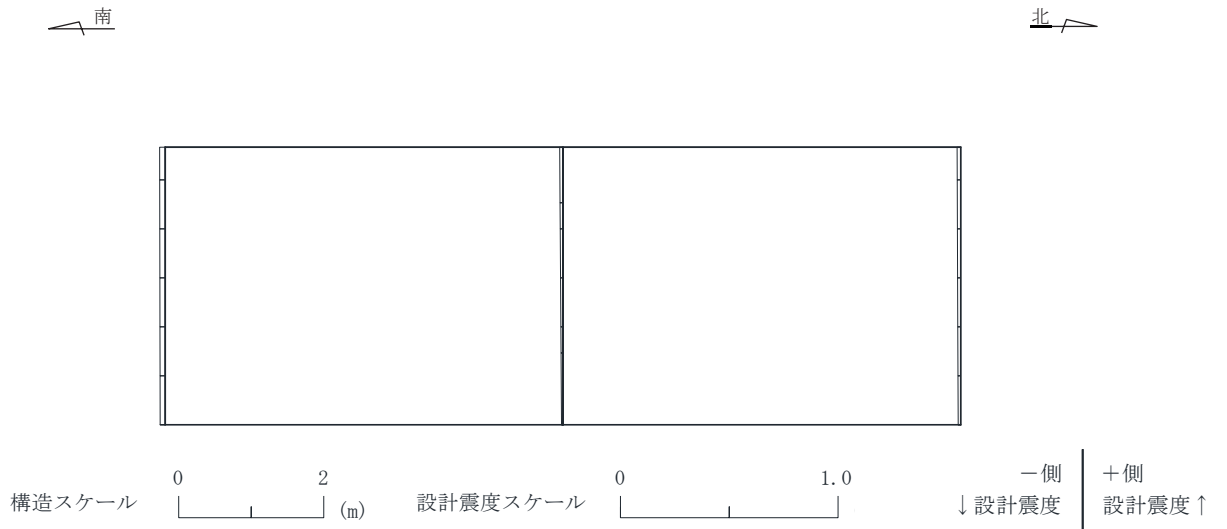
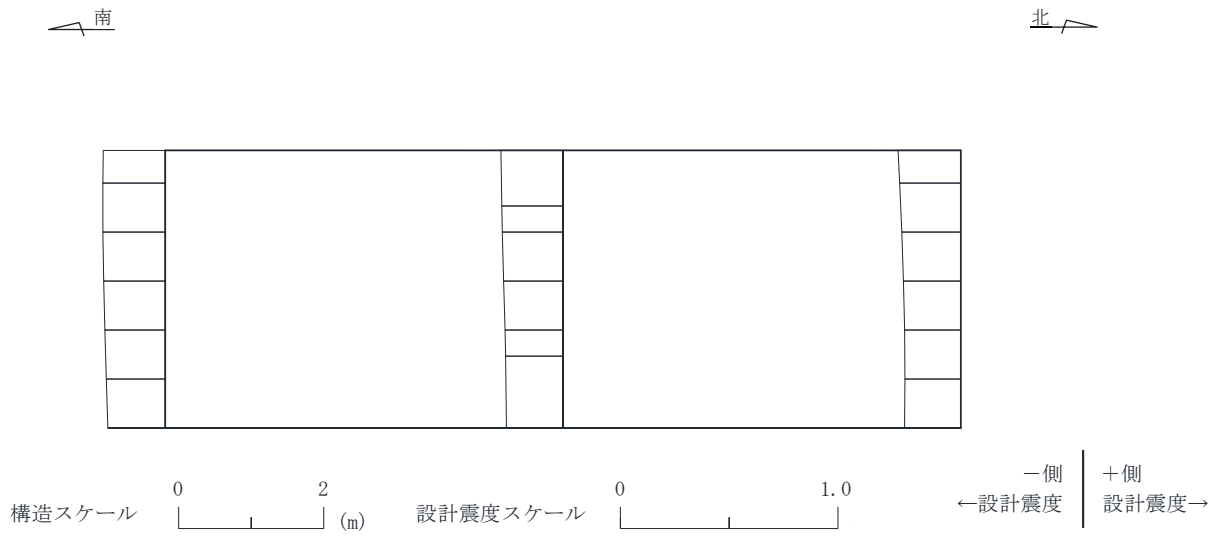


図 3-122 作用荷重分布図 (設計震度分布)
 (断面⑦ : 曲線部, 解析ケース③, S_s-N1 (-+))

4. 三次元構造解析
4.1 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、取水路（標準部）を構成する構造部材である頂版，側壁，隔壁，底版とする。直線部及び曲線部の評価対象部材を図4-1及び図4-2に示す。

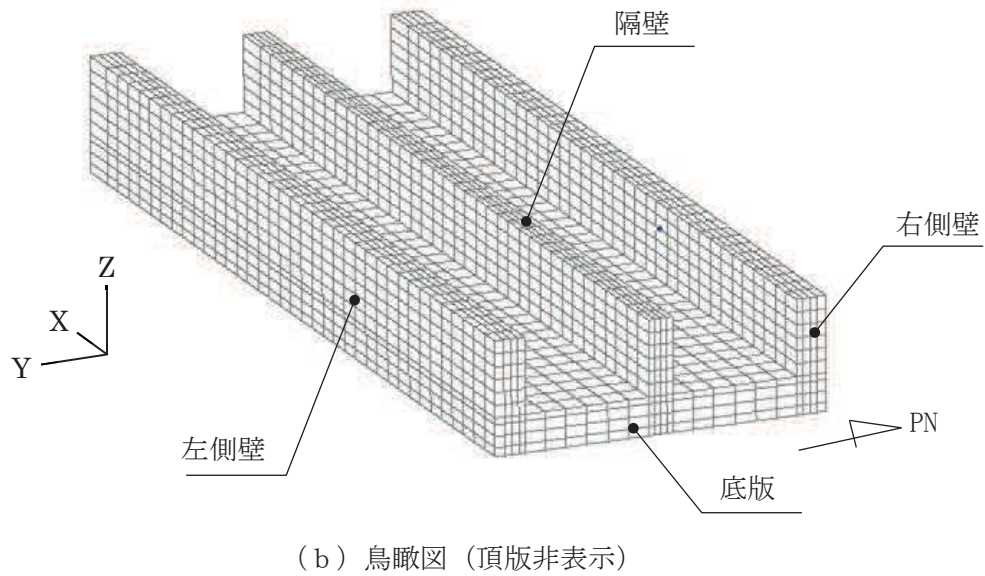
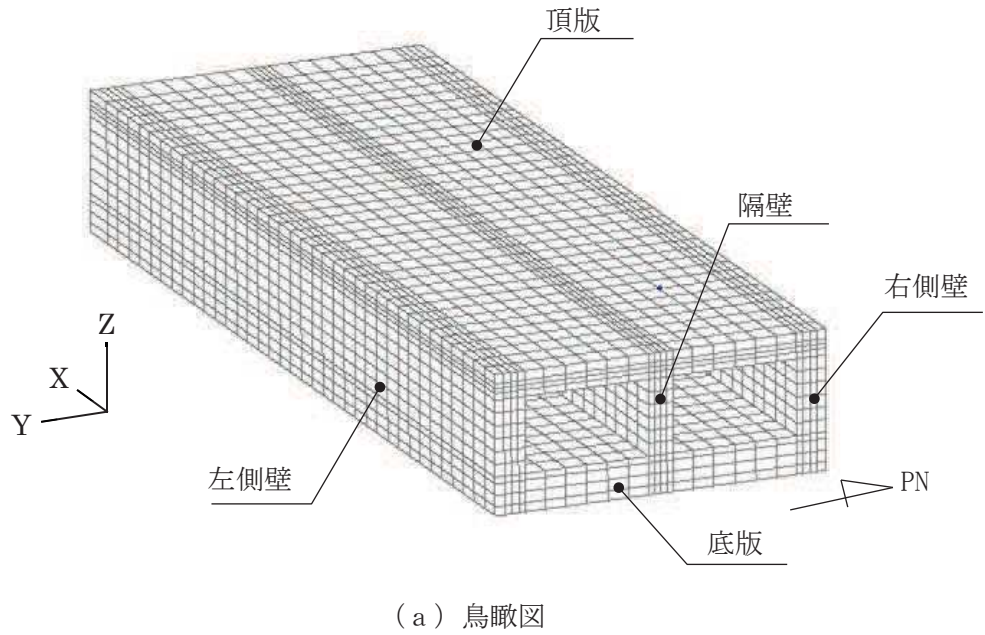
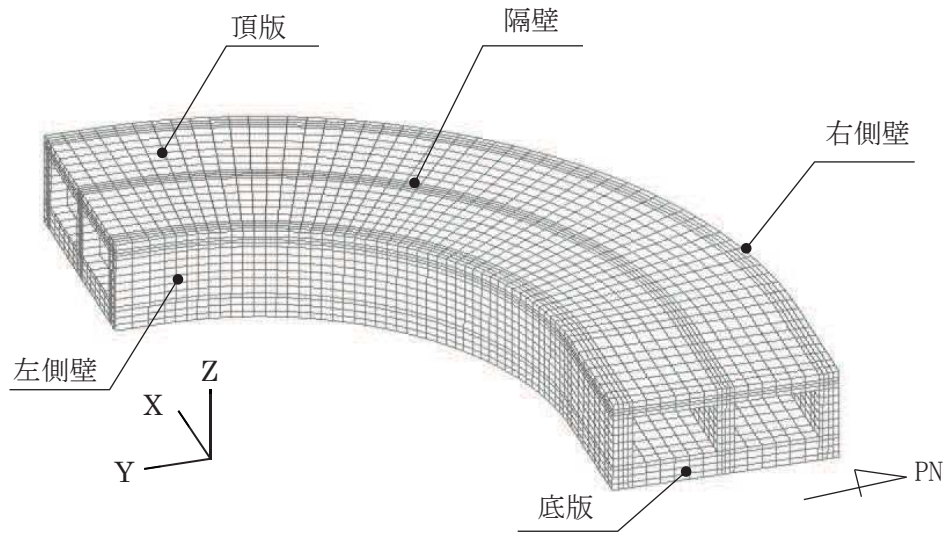
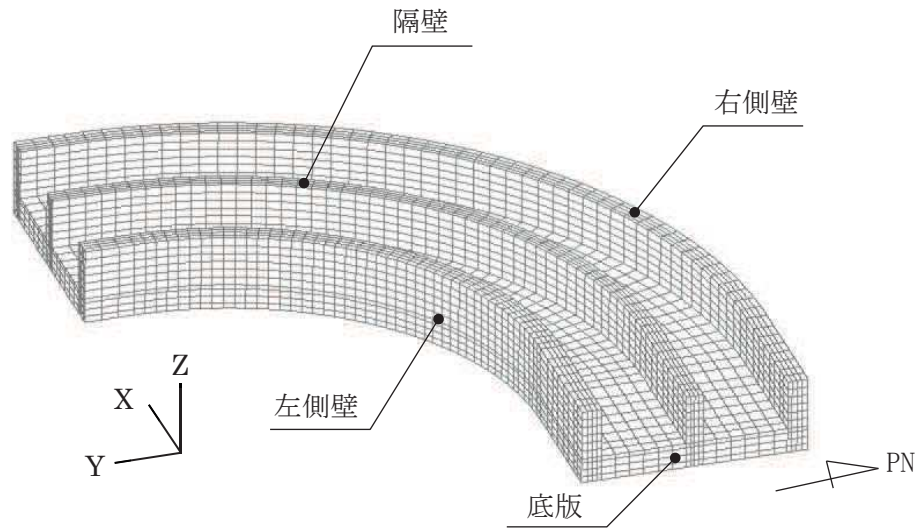


図4-1 三次元構造解析の評価対象部材（直線部）



(a) 鳥瞰図



(b) 鳥瞰図 (頂版非表示)

図4-2 三次元構造解析の評価対象部材 (曲線部)

4.2 解析方法

取水路（標準部）の三次元構造解析は、「3. 地震応答解析」より得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「COM3 Ver. 9.15」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3 解析モデルの諸元

4.3.1 解析モデル

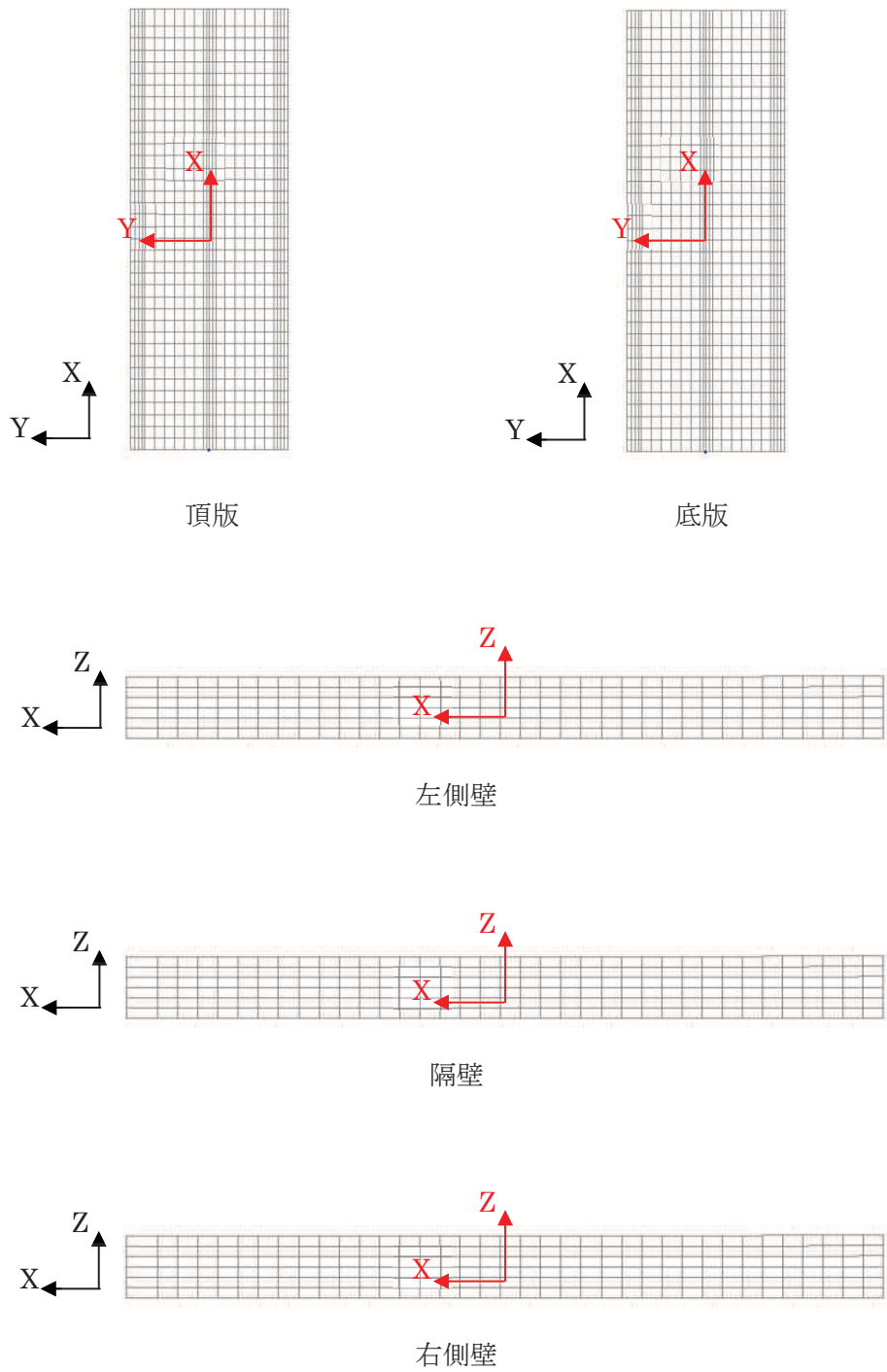
三次元構造解析モデルの要素座標系を図4-3及び図4-4に、ソリッド要素における各要素の断面力の方向を図4-5に示す。

(1) 構造物のモデル化

構造物は、コンクリート及び鉄筋の非線形特性を考慮した非線形ソリッド要素でモデル化する。構造部材のモデル化にあたっては、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。構造部材（鉄筋コンクリート）の非線形特性を図4-6及び図4-7に示す。

(2) 境界条件

三次元構造解析モデルの底面には、地盤ばね要素を配置する。



黒：全体座標系を示す
 赤：要素座標系を示す

図 4-3 要素座標系 (直線部)

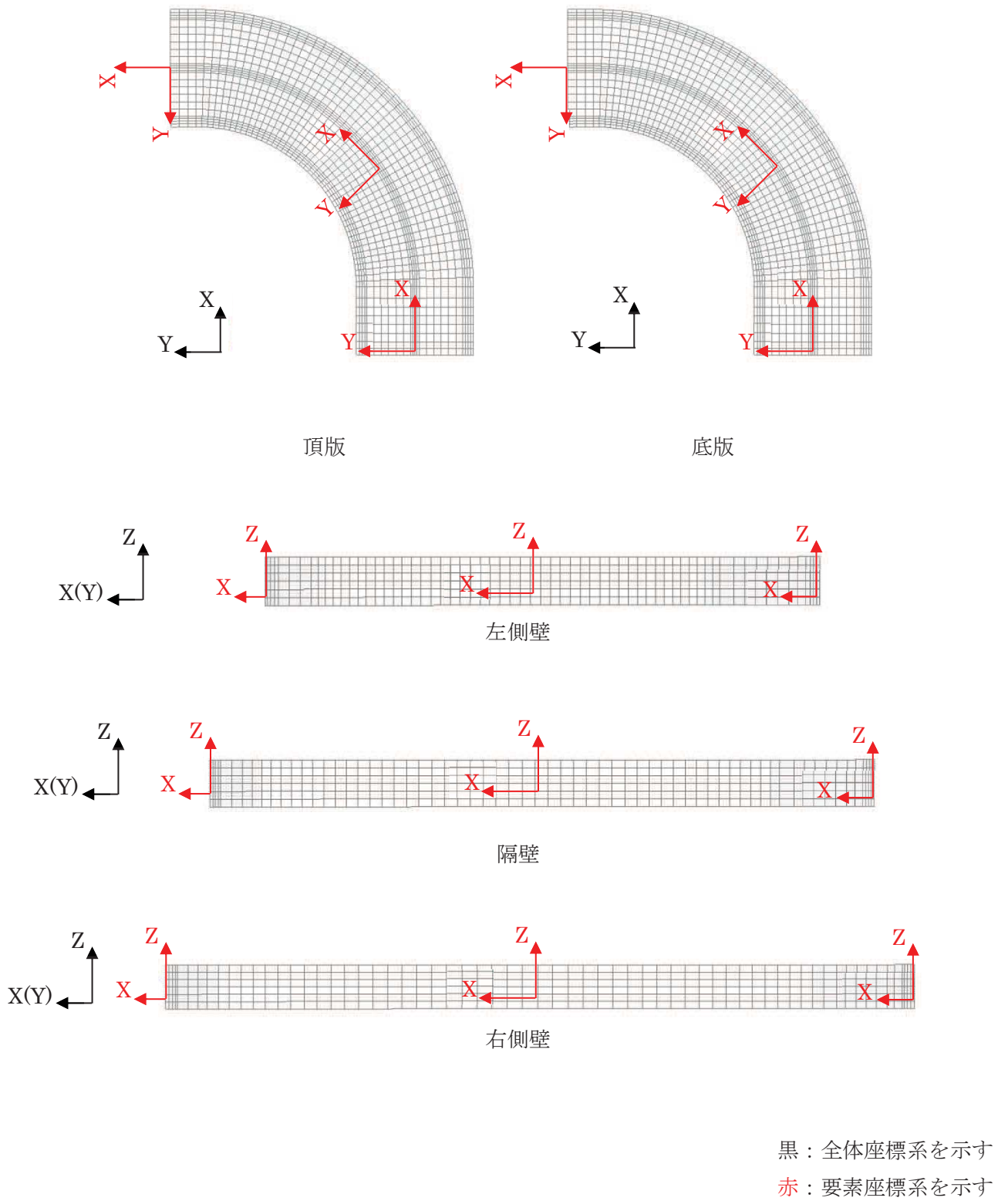


図 4-4 要素座標系 (曲線部)

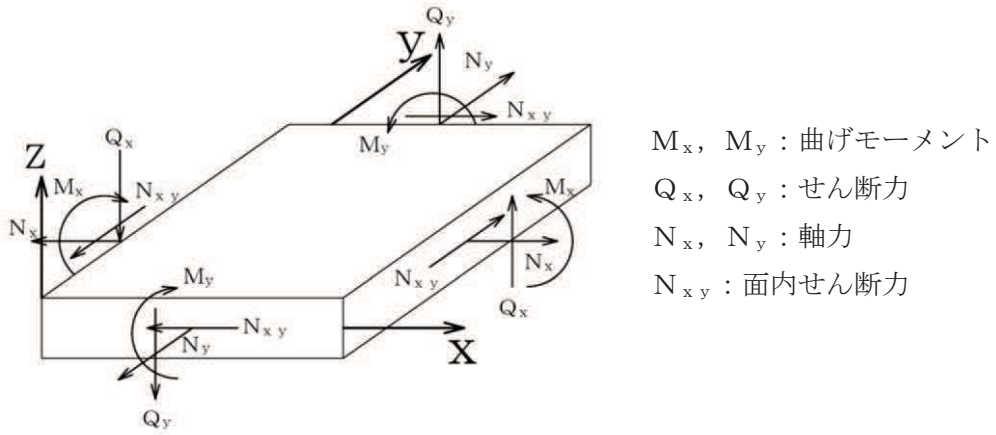


図 4-5 ソリッド要素における断面力方向

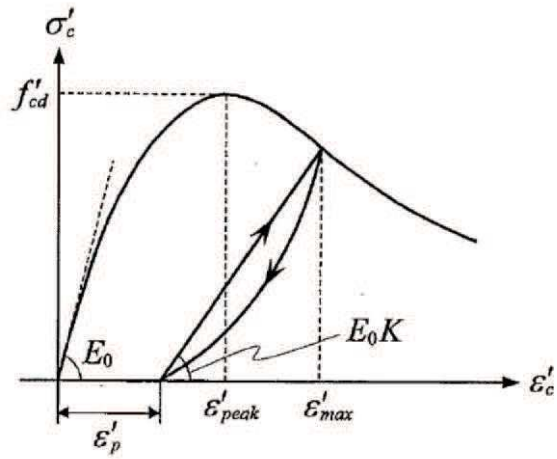


図 4-6 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2017年制定）より引用）

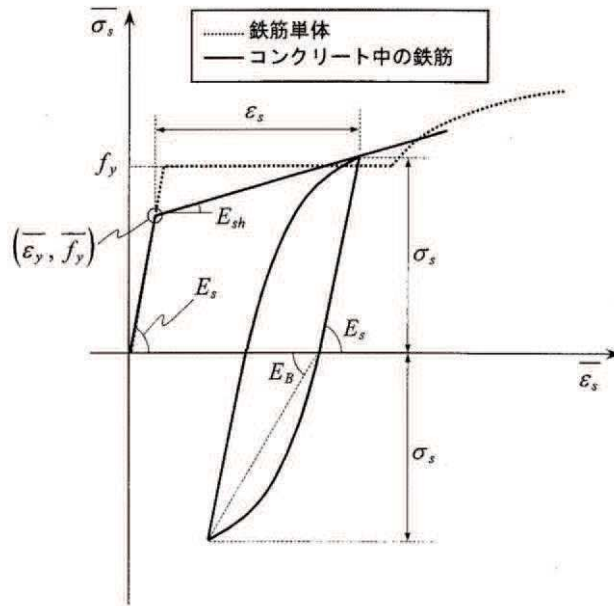


図 4-7 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012年制定）より引用）

4.3.2 使用材料及び材料の物性値

取水路（標準部）の使用材料及び材料の物性値は、「3.5.2 使用材料及び材料の物性値」に基づき設定する。

4.4 照査時刻及び入力荷重

4.4.1 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。表4-1に照査時刻の選定の考え方を示す。また、各断面において算出した地震時荷重の載荷方法は、直線部については、防潮堤横断部における剛性急変部の影響を考慮し、曲線部においては、防潮堤横断部における剛性急変部及び曲線形状による躯体のねじれの影響を考慮した荷重載荷方向を選定する。表4-2及び表4-3に地震時荷重の載荷方向の考え方を示す。

表4-1 照査時刻の考え方



照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		頂底板間の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻

表4-2 地震時荷重の載荷方向の考え方 (直線部)

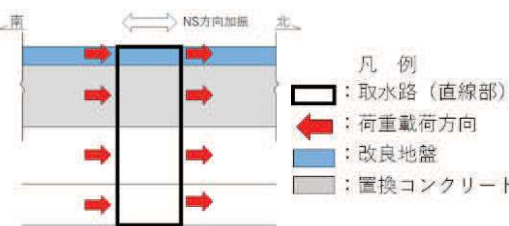
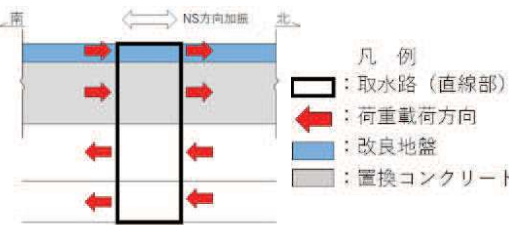
荷重ケース	損傷モード	載荷方向のイメージ図	載荷方向の考え方
ケース 1	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ・軸力系の破壊 せん断破壊 (面外) 	 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ : 取水路 (直線部) ← : 荷重載荷方向 ■ : 改良地盤 ■ : 置換コンクリート 	<ul style="list-style-type: none"> (同変形方向へ載荷) 各断面の荷重を同方向に載荷
ケース 2	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ・軸力系の破壊 	 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ : 取水路 (直線部) ← : 荷重載荷方向 ■ : 改良地盤 ■ : 置換コンクリート 	<ul style="list-style-type: none"> (剛性急変部の影響考慮) 改良地盤部及び置換コンクリート部の地震時荷重と盛土部の地震時荷重を逆向きに載荷

表4-3 地震時荷重の荷重方向の考え方（曲線部）

<p>荷重 ケース</p>	<p>損傷モード</p>	<p>荷重方向のイメージ図</p>	<p>荷重方向の考え方</p>
<p>ケース 1</p>	<p>・ 曲げ・軸力系の破壊 ・ せん断破壊（面外）</p>		<p>(同変形方向へ荷重 (曲線部が開く変形))</p> <ul style="list-style-type: none"> 断面⑤及び断面⑥の地震時荷重は北方向に、断面⑦の地震時荷重は、西方向に荷重
<p>ケース 2</p>	<p>・ 曲げ・軸力系の破壊 ・ せん断破壊（面外）</p>		<p>(同変形方向へ荷重 (曲線部が閉じる変形))</p> <ul style="list-style-type: none"> 断面⑤及び断面⑥の地震時荷重は南方向に、断面⑦の地震時荷重は、東方向に荷重
<p>ケース 3</p>	<p>・ 曲げ・軸力系の破壊</p>		<p>(逆変形方向へ荷重 (曲線部がねじれる変形))</p> <ul style="list-style-type: none"> 断面⑤及び断面⑥の地震時荷重は北(南)方向に、断面⑦の地震時荷重は、東(西)方向に荷重
<p>ケース 4</p>	<p>・ 曲げ・軸力系の破壊</p>		<p>(剛性急変部の影響考慮)</p> <ul style="list-style-type: none"> 断面⑤と断面⑥の地震時荷重は逆方向に荷重する。断面⑦の地震時荷重は、断面⑥と同変形方向に荷重

4.4.2 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、地震応答解析に基づく「4.4.1 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 4-4 に示す。

表 4-4 三次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時 荷重	固定荷重	躯体自重
	常時土圧	躯体に作用する常時土圧
地震時 荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	動水圧（内水）	躯体に作用する動水圧*
	地震時土圧	躯体に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体に作用する地震時水圧

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した側壁及び隔壁の応答加速度に基づき算定する。

4.5 三次元構造解析結果

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻でのひずみ分布を図4-8～図4-13に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図4-14～図4-25に示す。

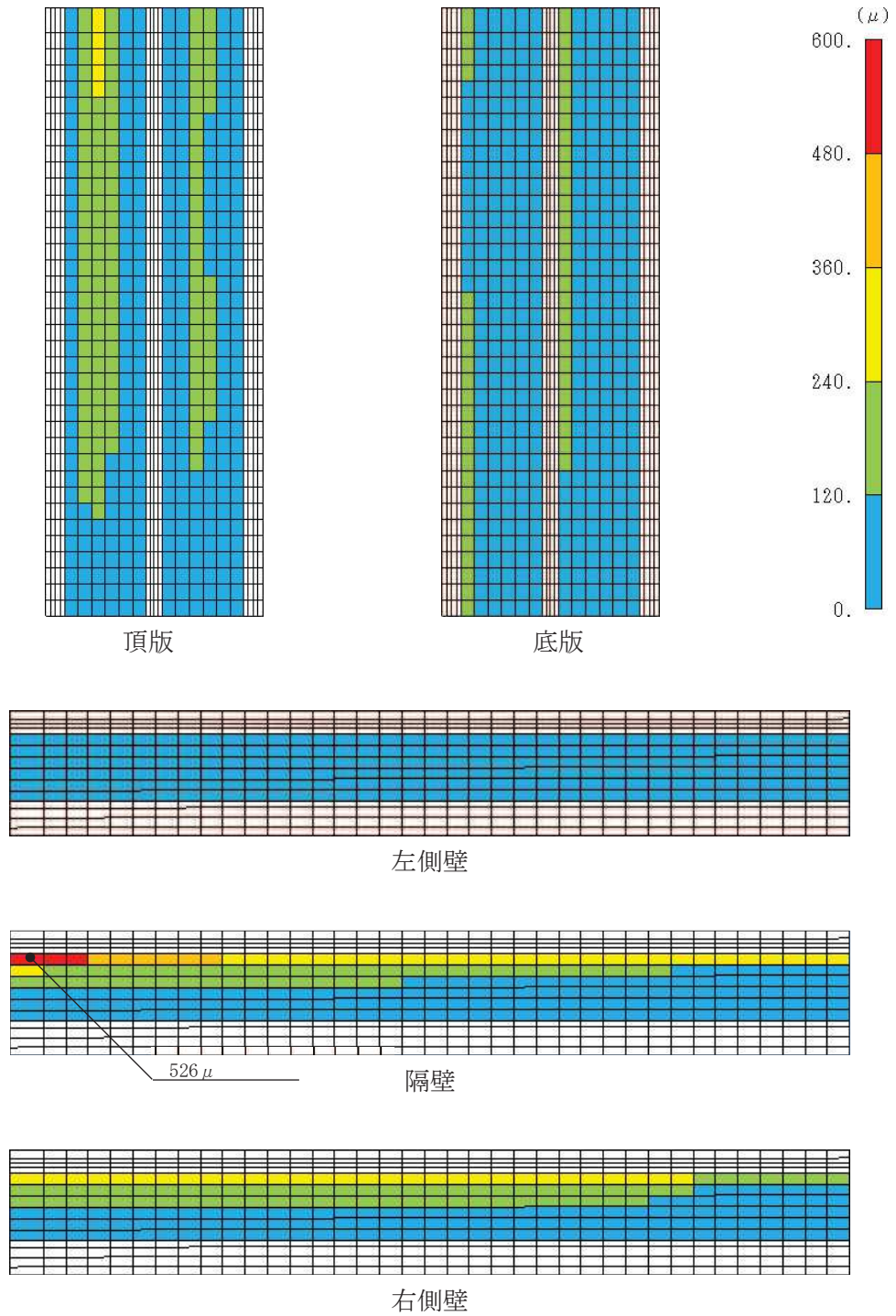


図 4-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 照査値最大時のひずみ分布図 (コンクリートの圧縮縁ひずみ)
 (直線部, 隔壁, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

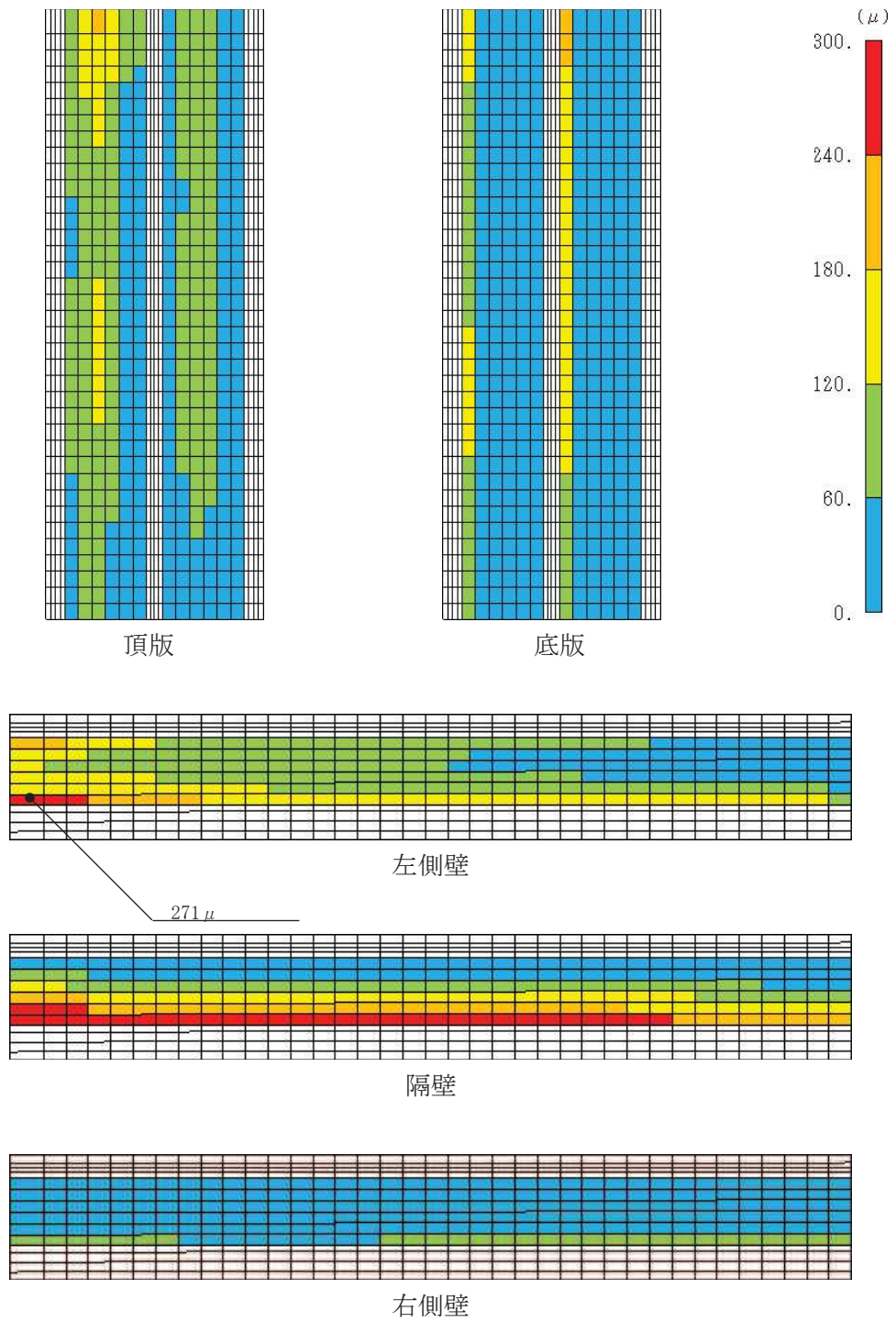


図 4-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 照査値最大時のひずみ分布図 (コンクリートの圧縮ひずみ)
 (直線部, 左側壁, 解析ケース③, S s - N 1 (++)

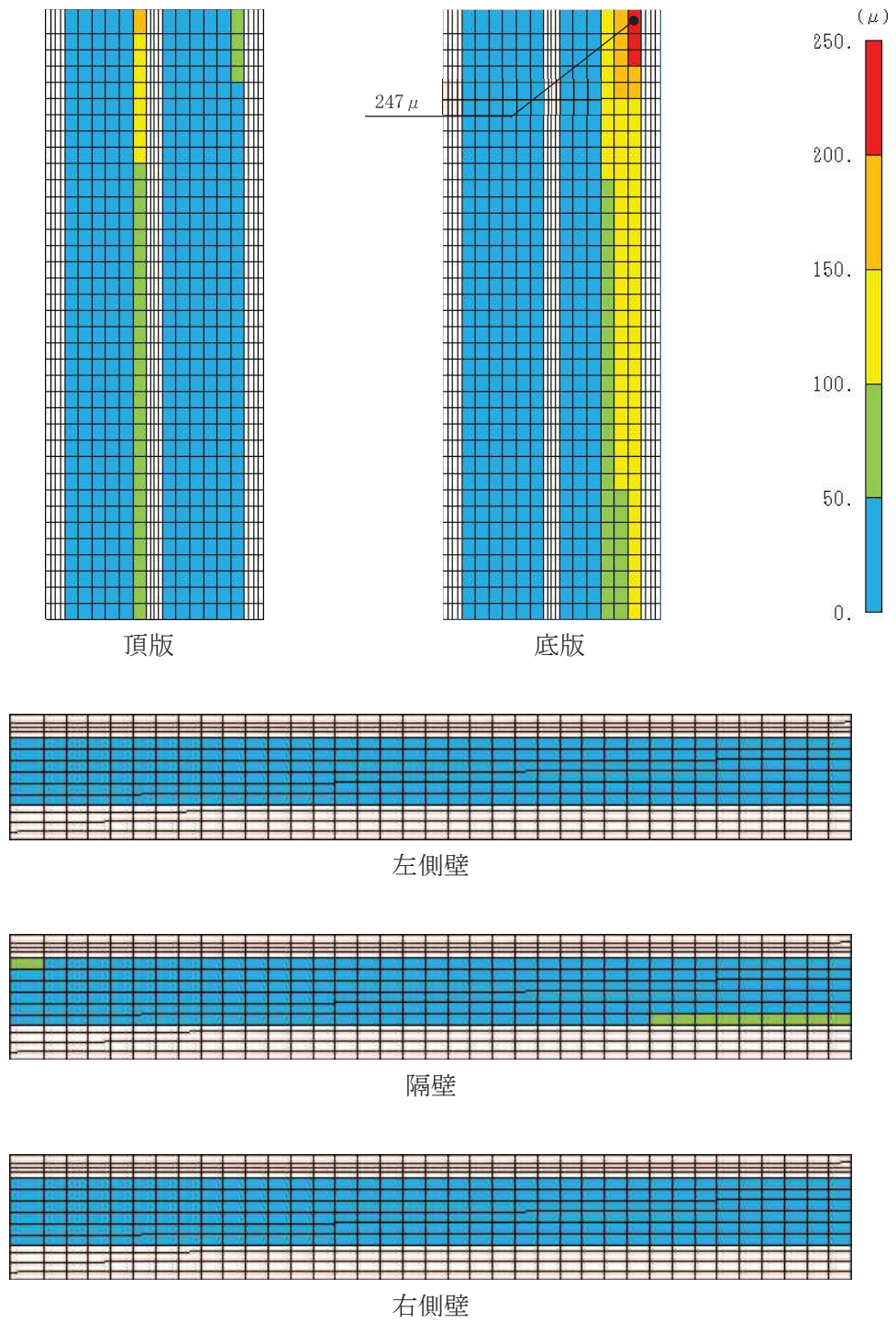


図 4-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値最大時のひずみ分布図 (鉄筋)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

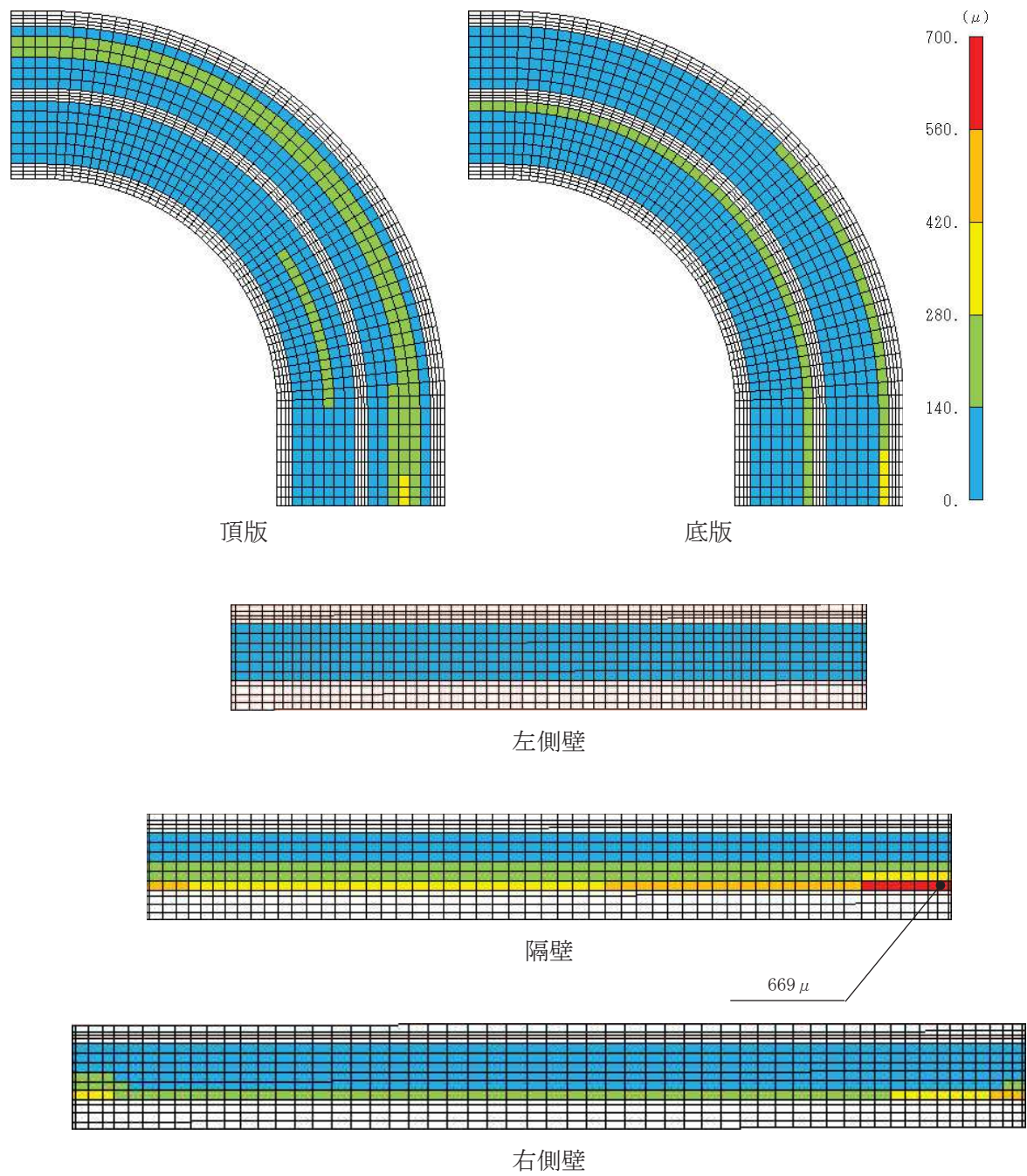


図 4-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 照査値最大時のひずみ分布図（コンクリートの圧縮縁ひずみ）
 （曲線部，隔壁，解析ケース③，S s - N 1（-+））

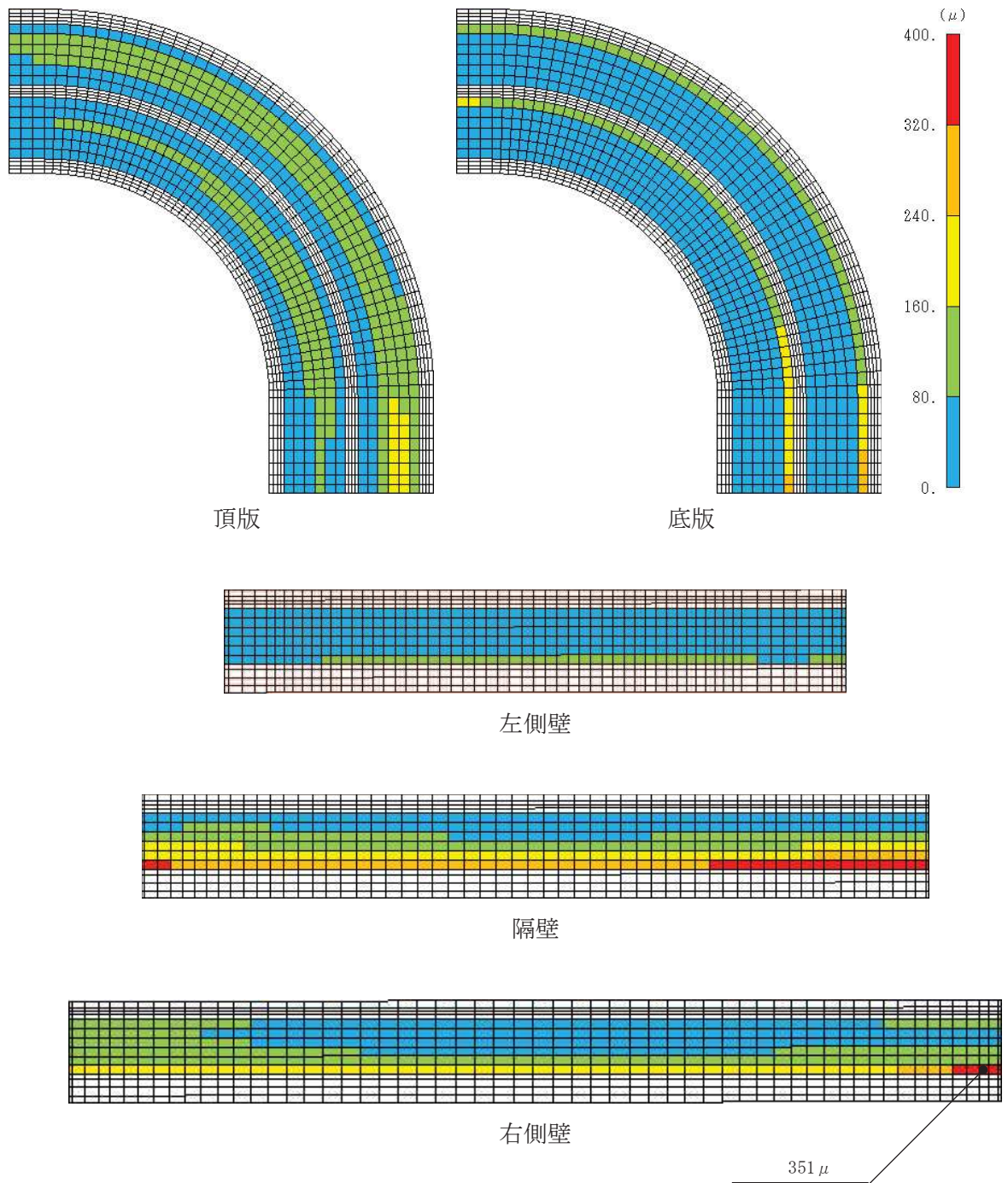


図 4-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 照査値最大時のひずみ分布図 (コンクリートの圧縮ひずみ)
 (曲線部, 右側壁, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

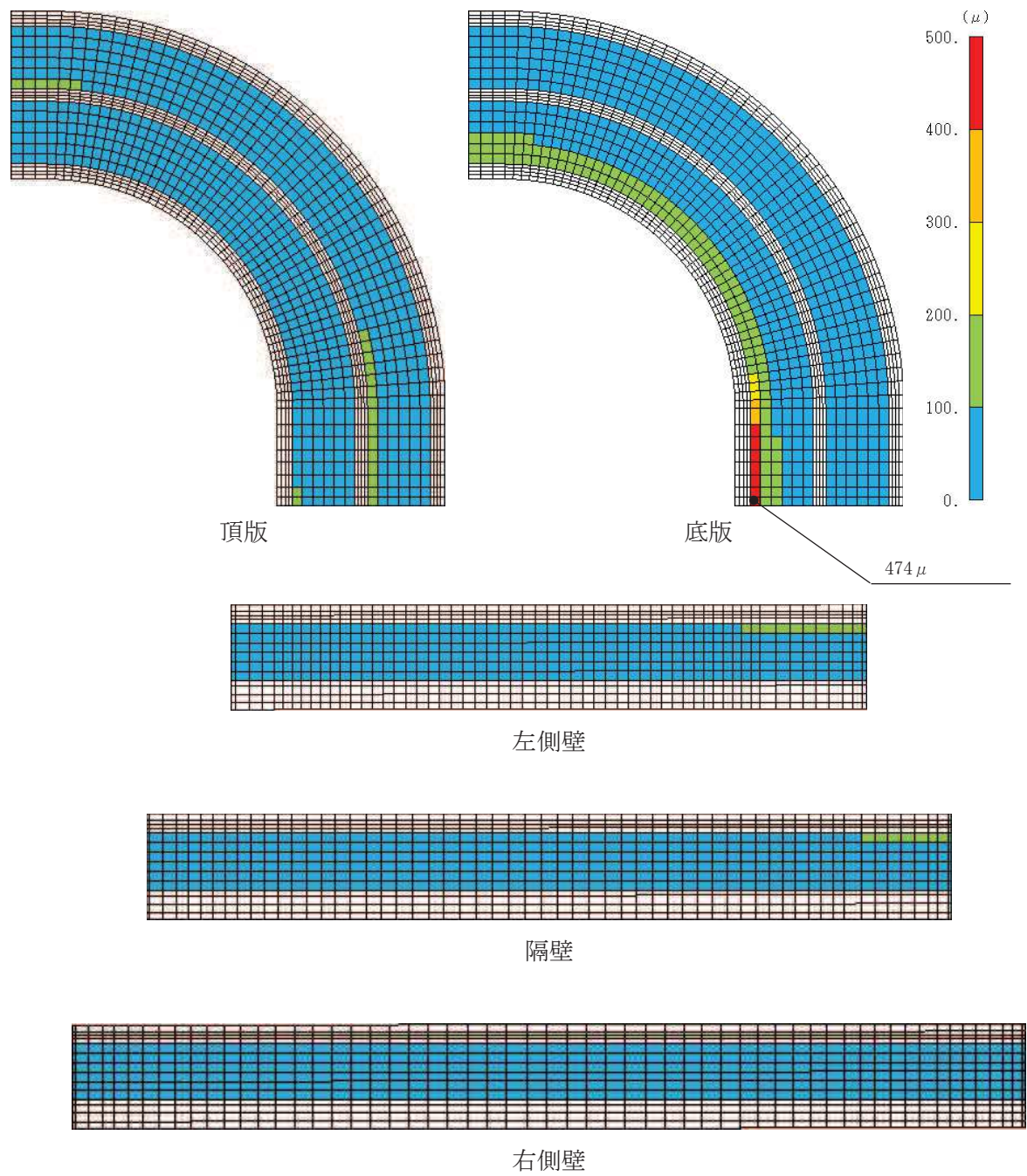


図 4-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値最大時のひずみ分布図（鉄筋）
 （曲線部，底版，解析ケース③，S s - N 1（-+））

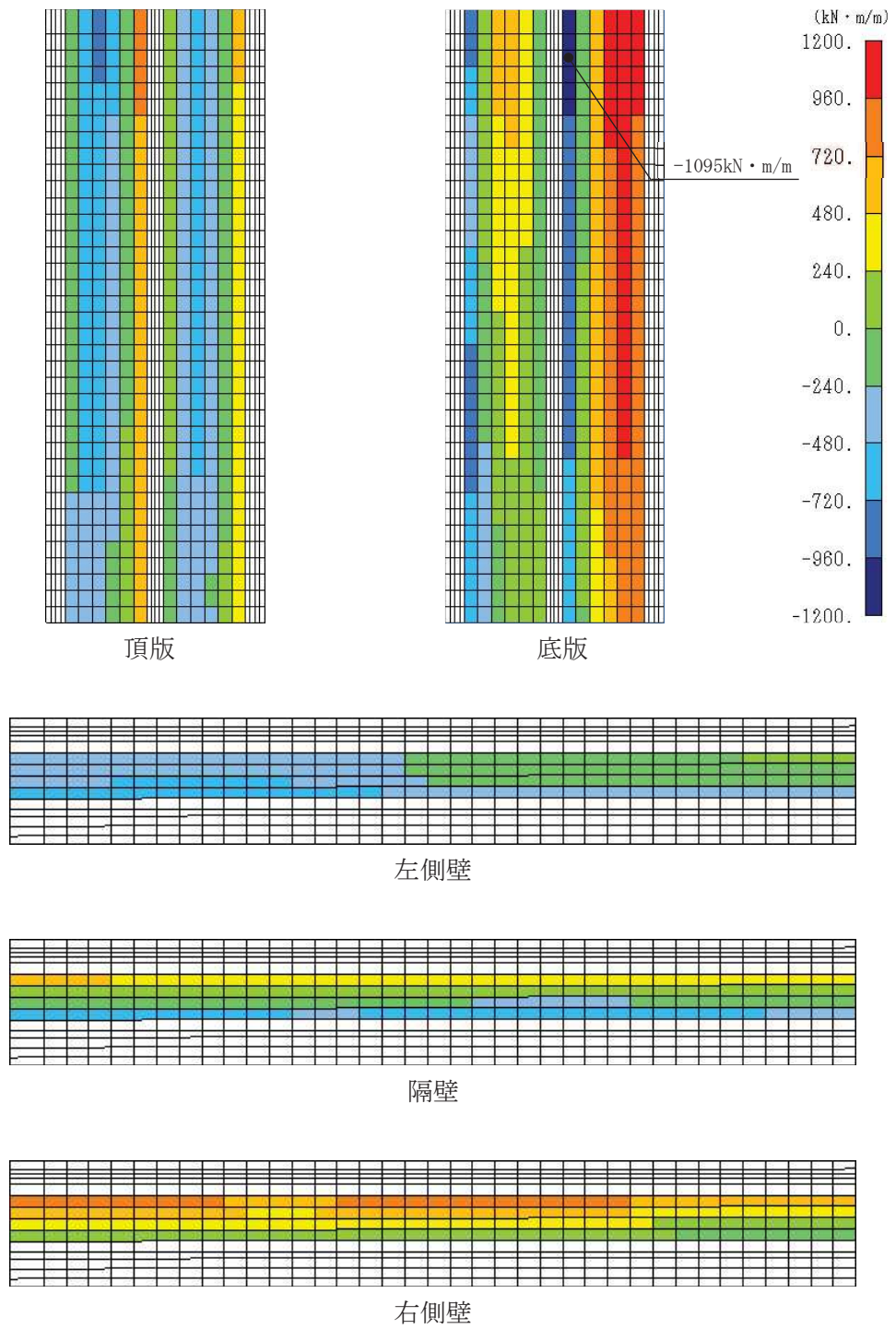


図 4-14 セン断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : Mx)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

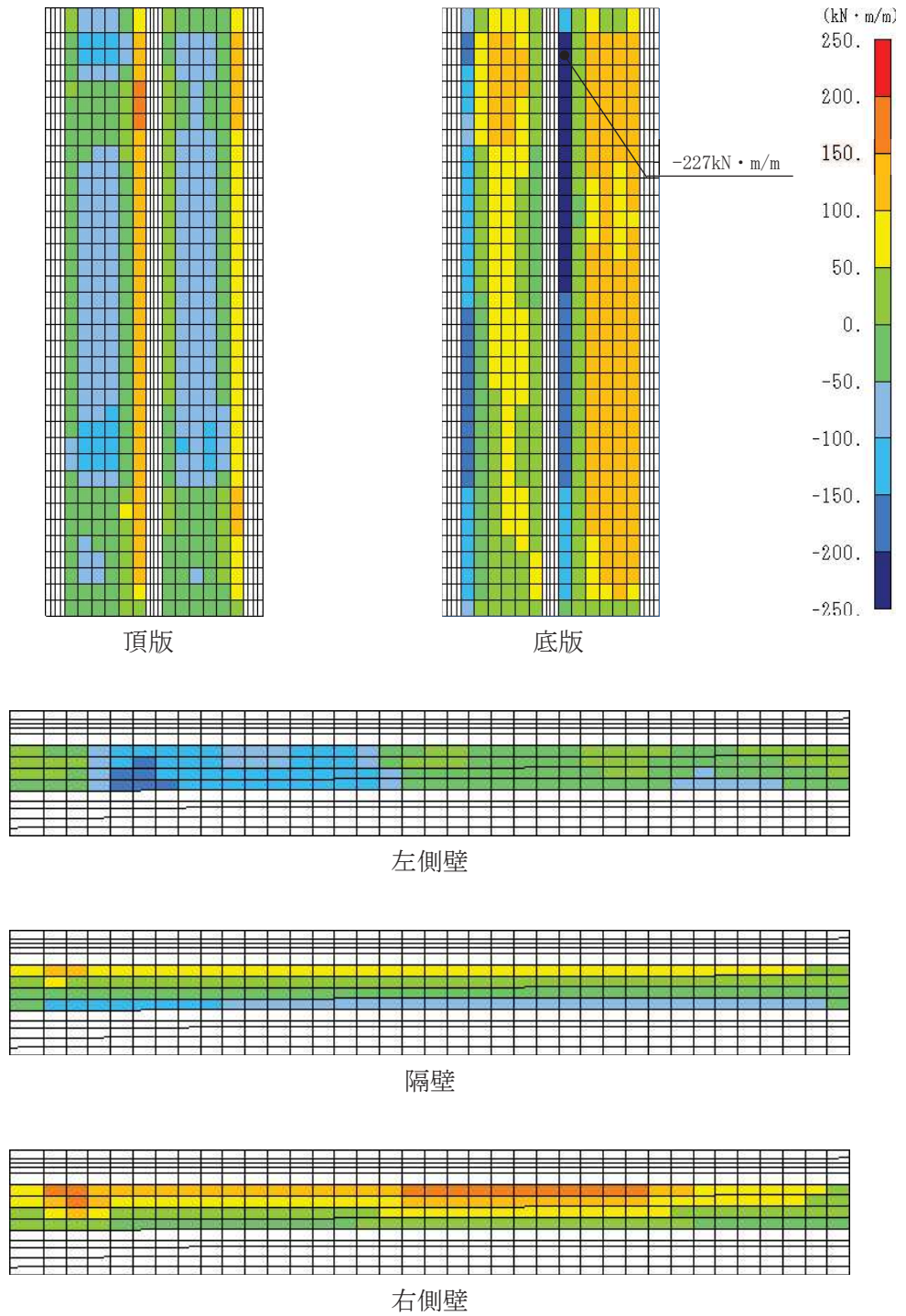


図 4-15 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント $(\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}) : \text{My}$)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

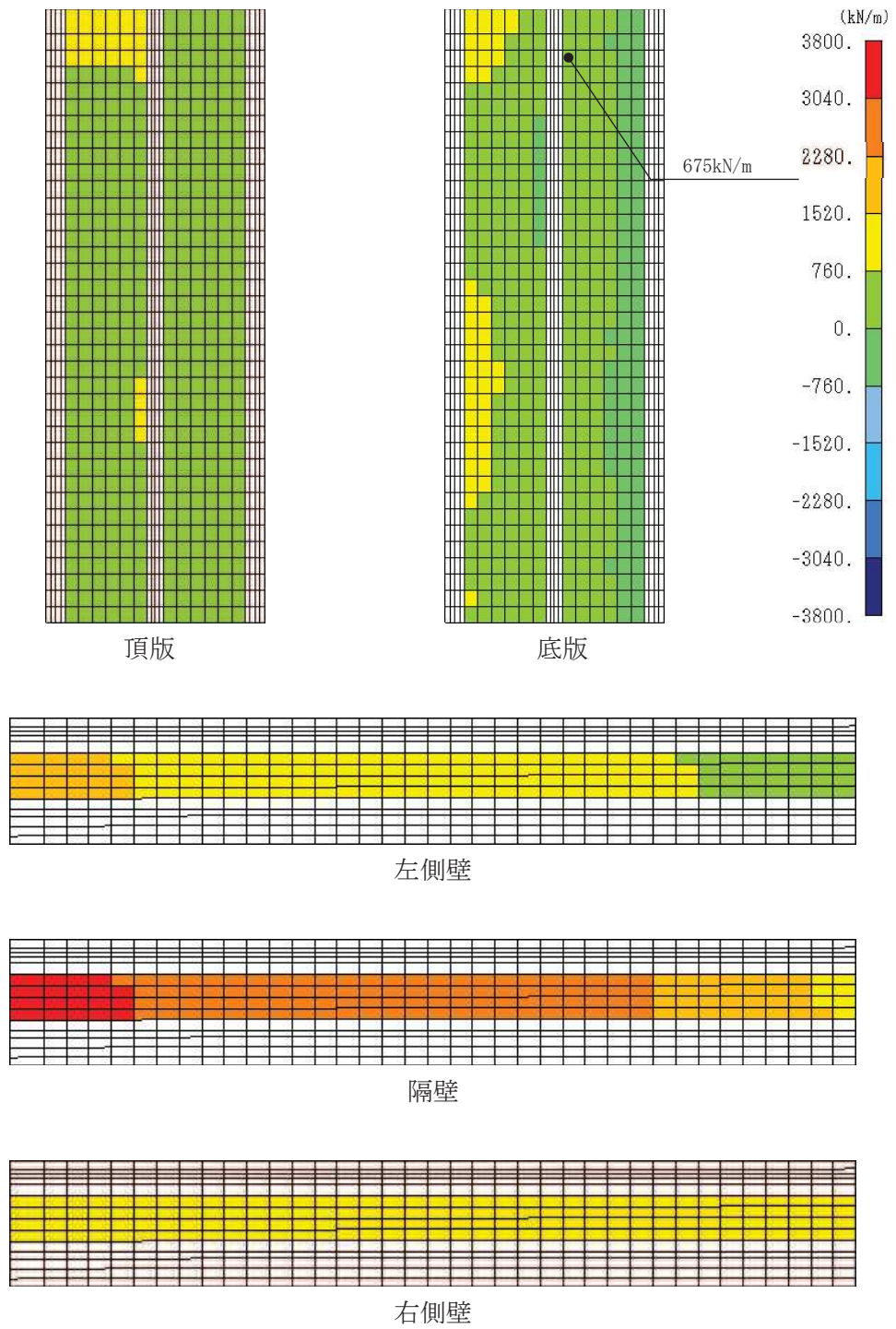


図 4-16 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : Nx)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

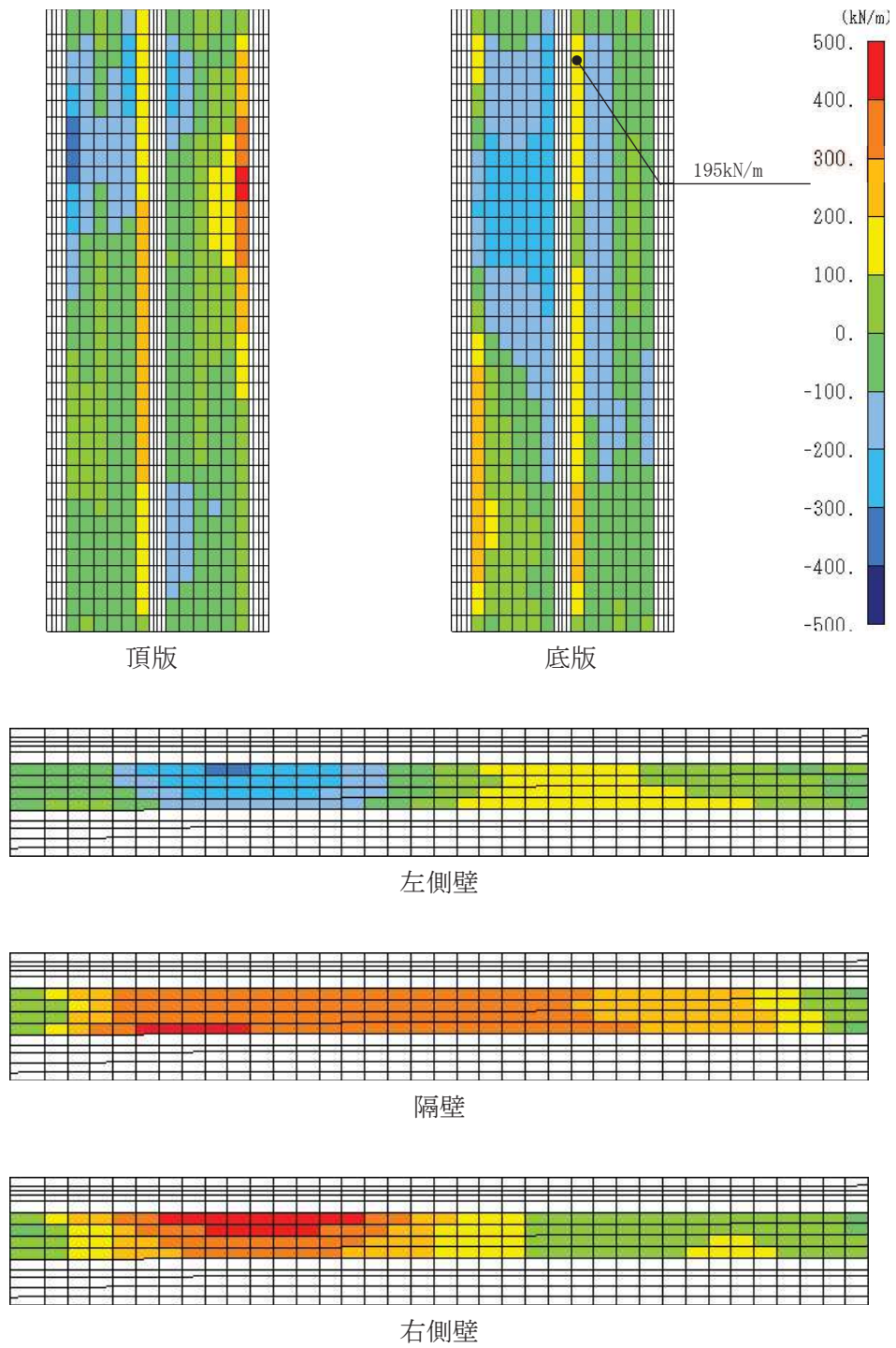


図 4-17 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : Ny)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

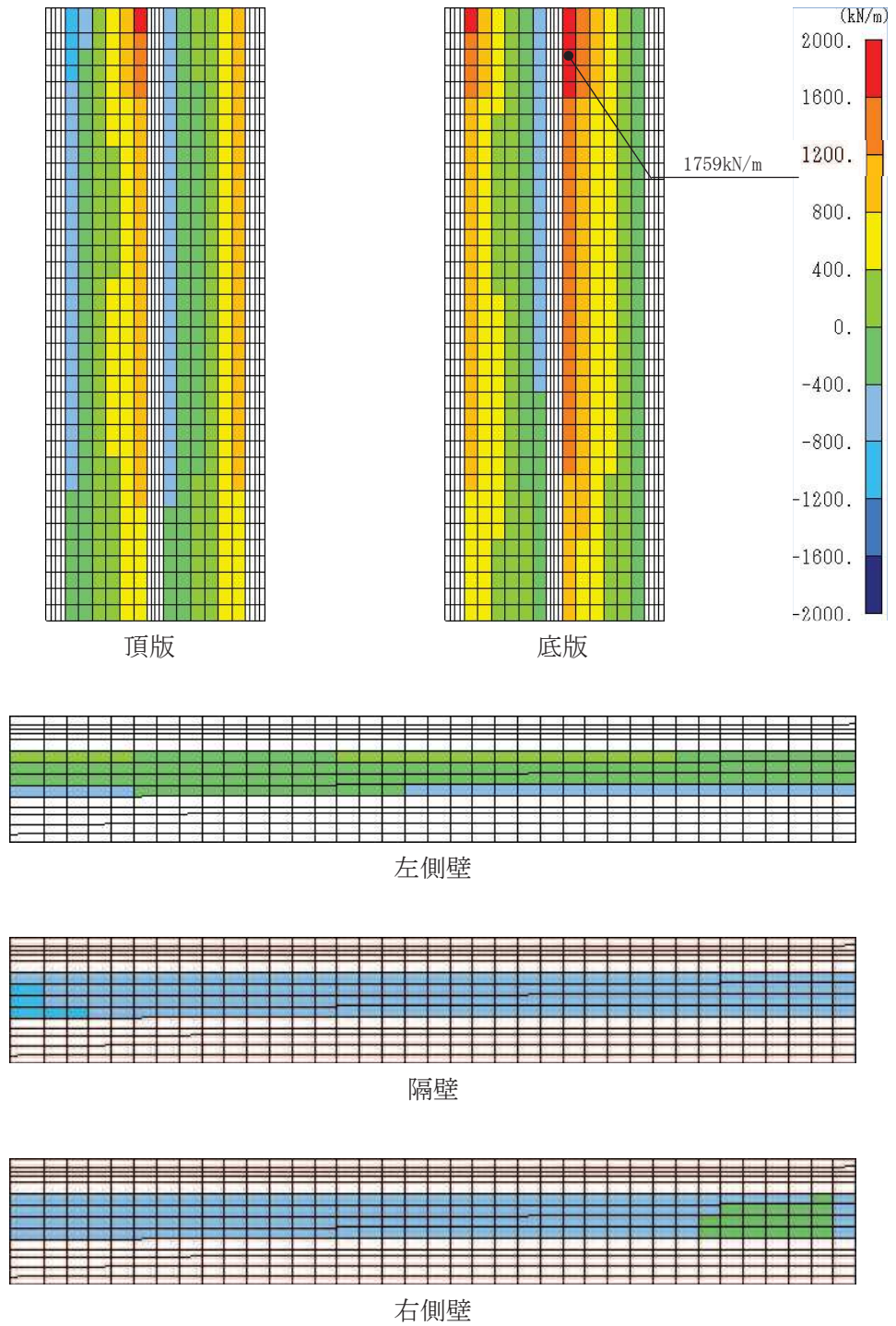


図 4-18 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, $S_s - N 1$ (++))

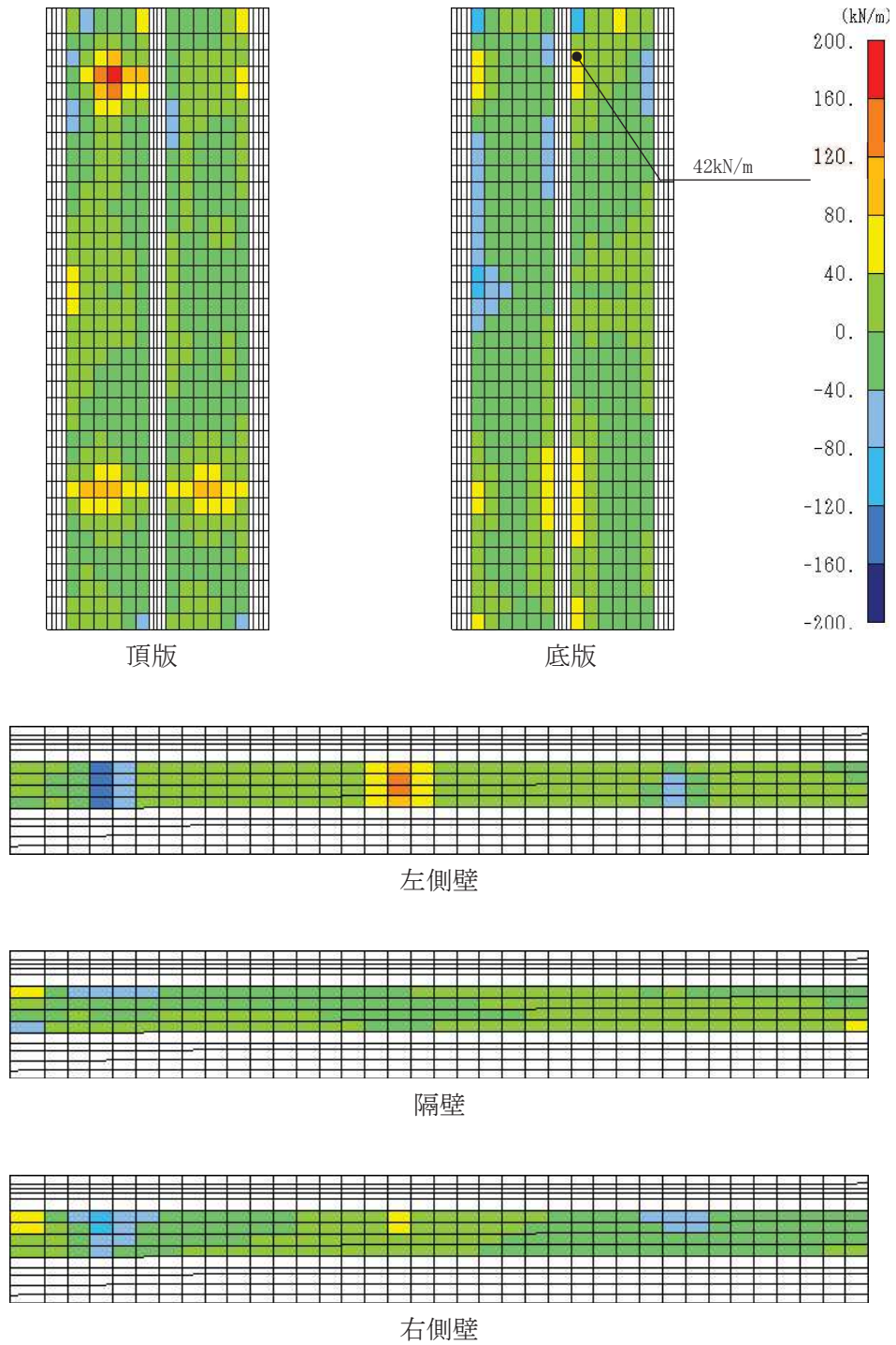


図 4-19 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Qy)
 (直線部, 底板, 解析ケース③, S s - N 1 (++))

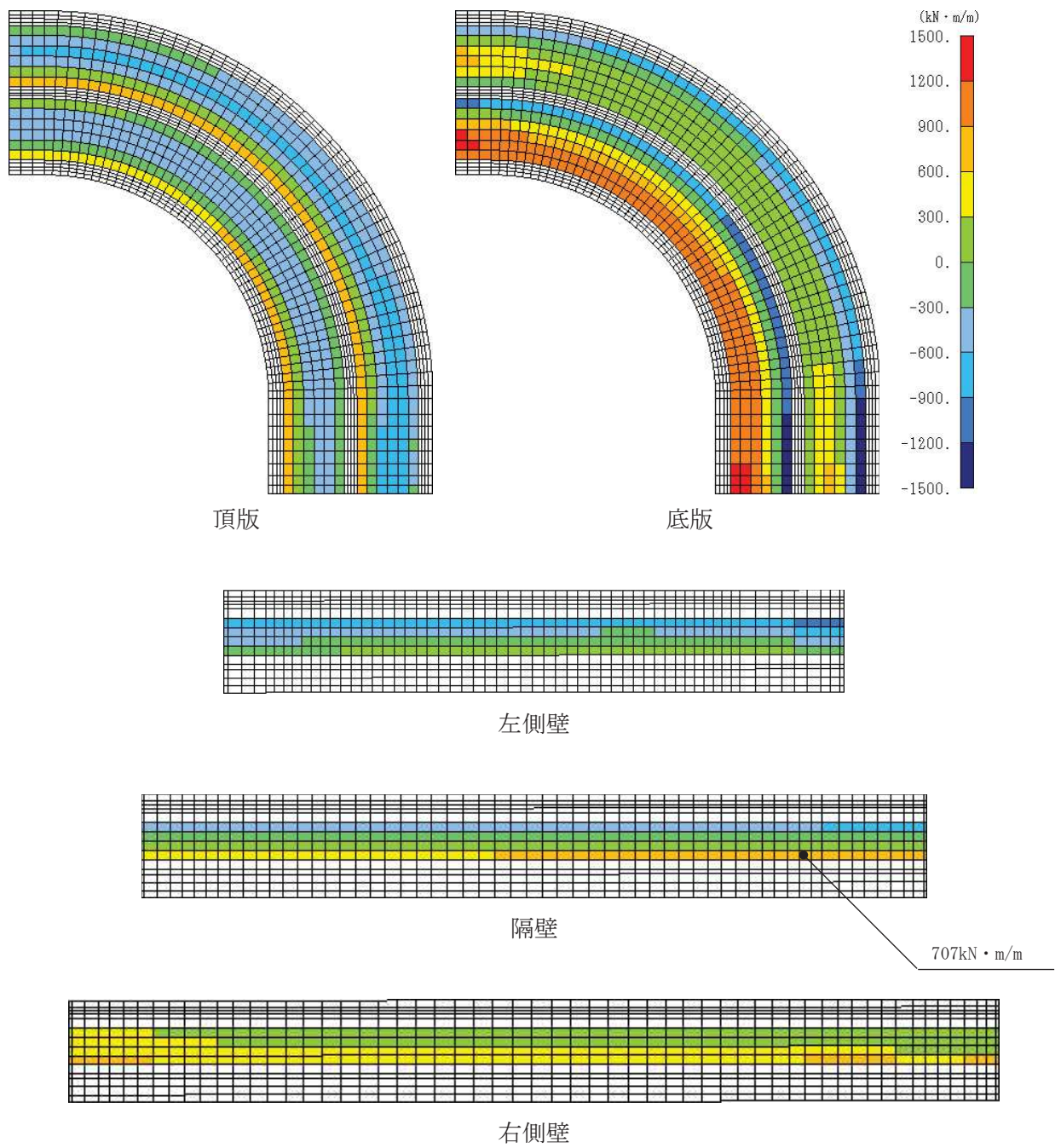


図 4-20 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : Mx)
 (曲線部, 隔壁, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

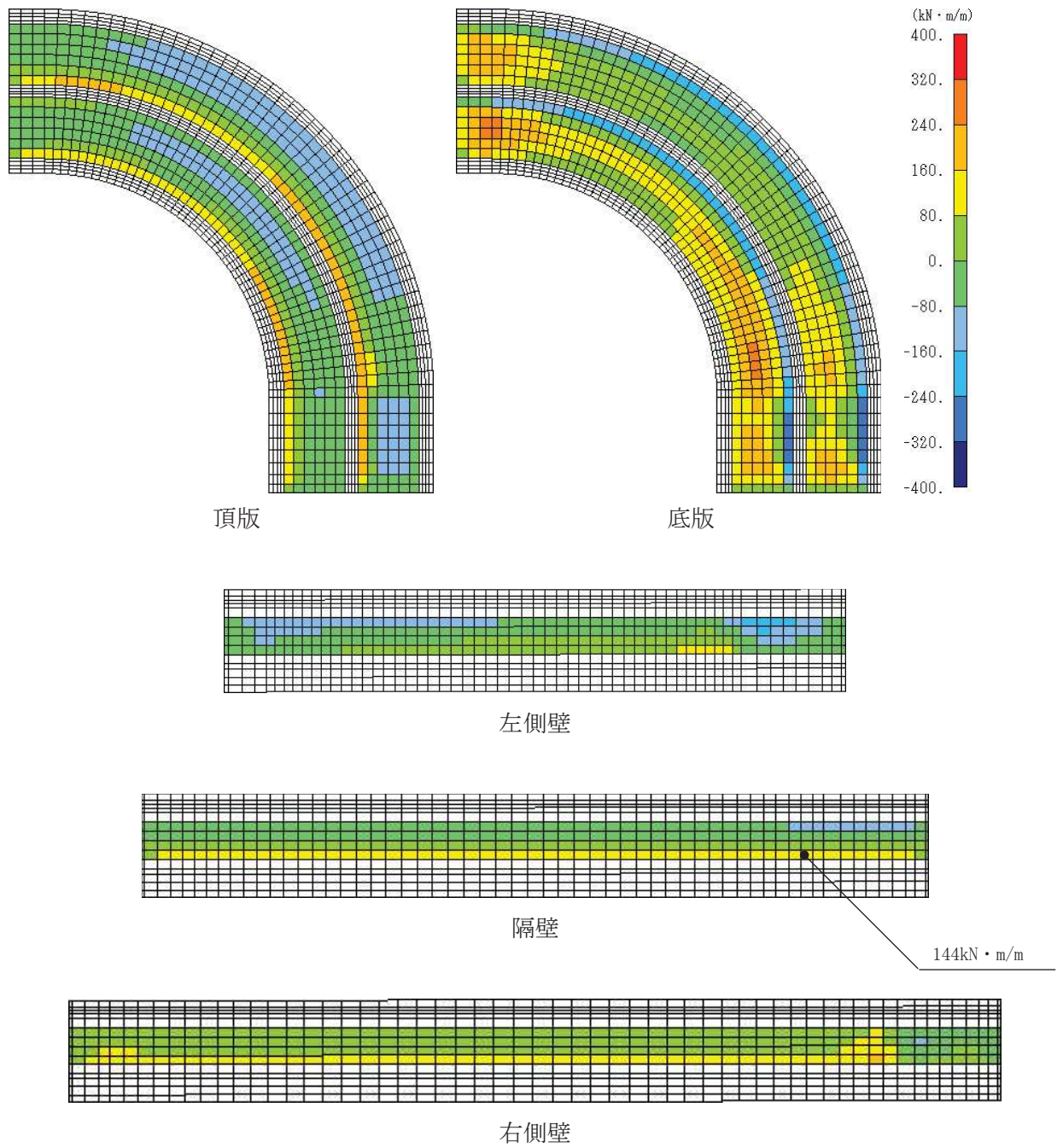


図 4-21 セン断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : My)
 (曲線部, 隔壁, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

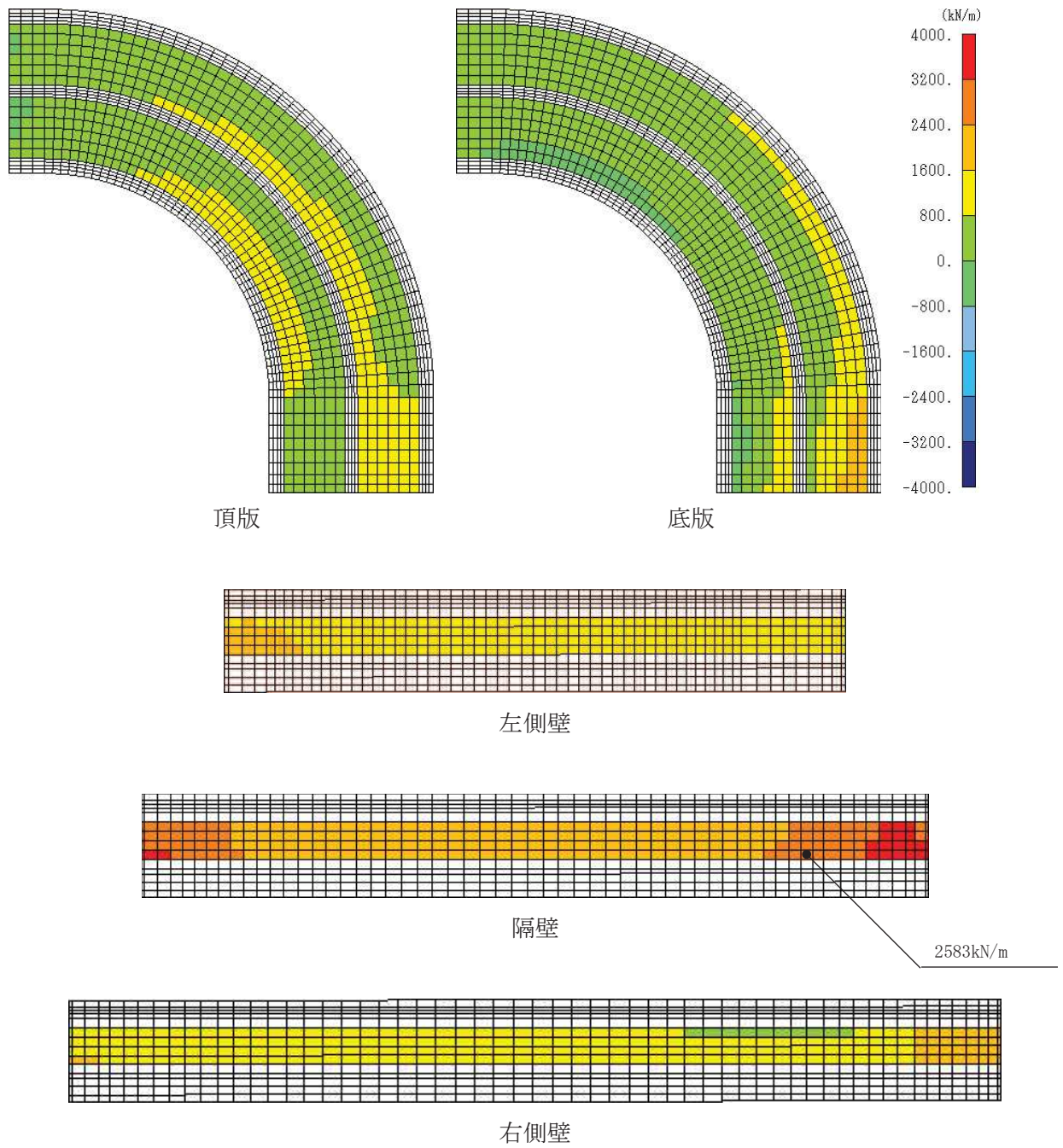


図 4-22 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (曲線部, 隔壁, 解析ケース③, $S_s - N_1$ (-+))

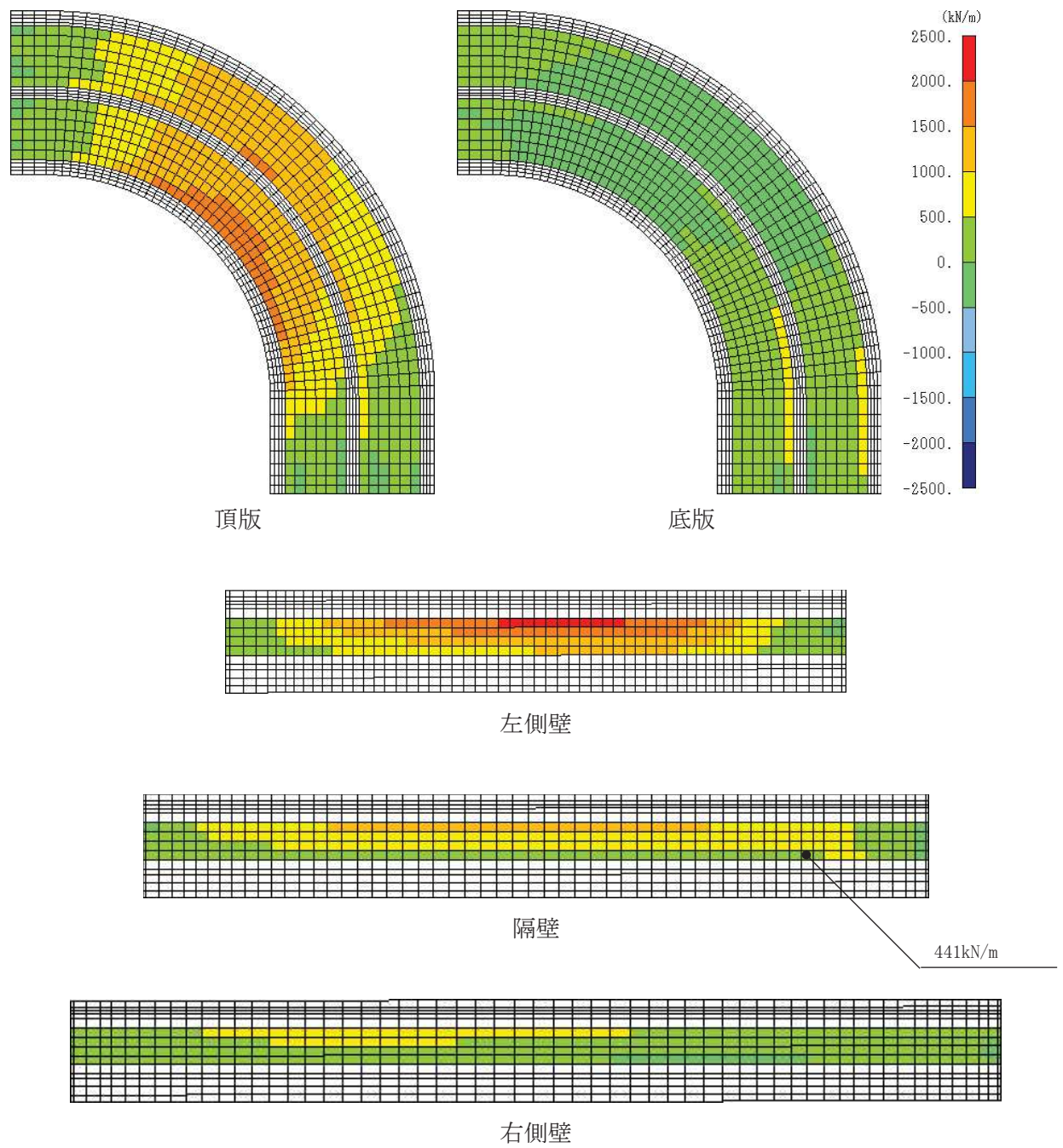


図 4-23 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (曲線部, 隔壁, 解析ケース③, $S_s - N_1$ (-+))

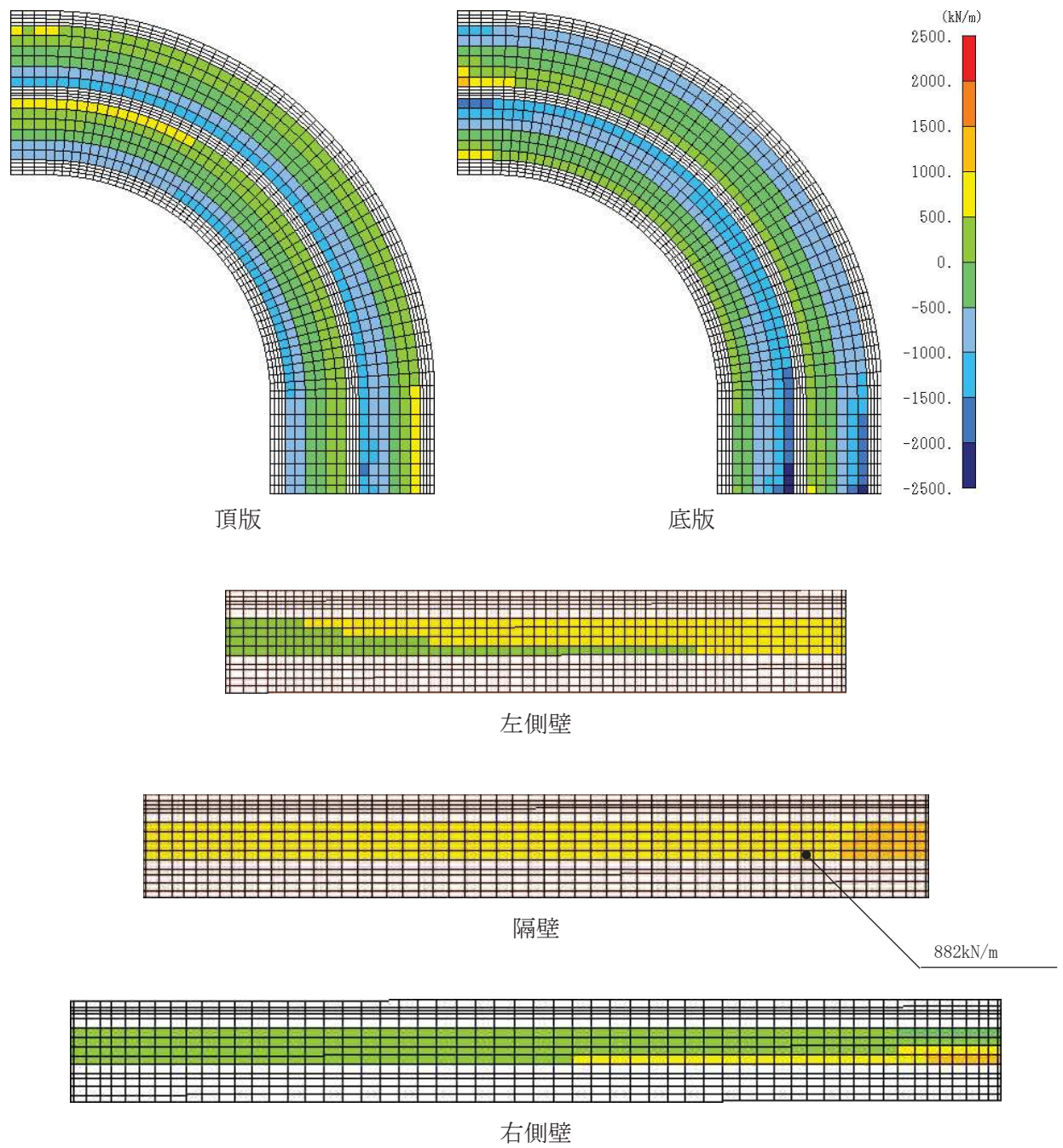


図 4-24 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (曲線部, 隔壁, 解析ケース③, $S_s - N1 (-+)$)

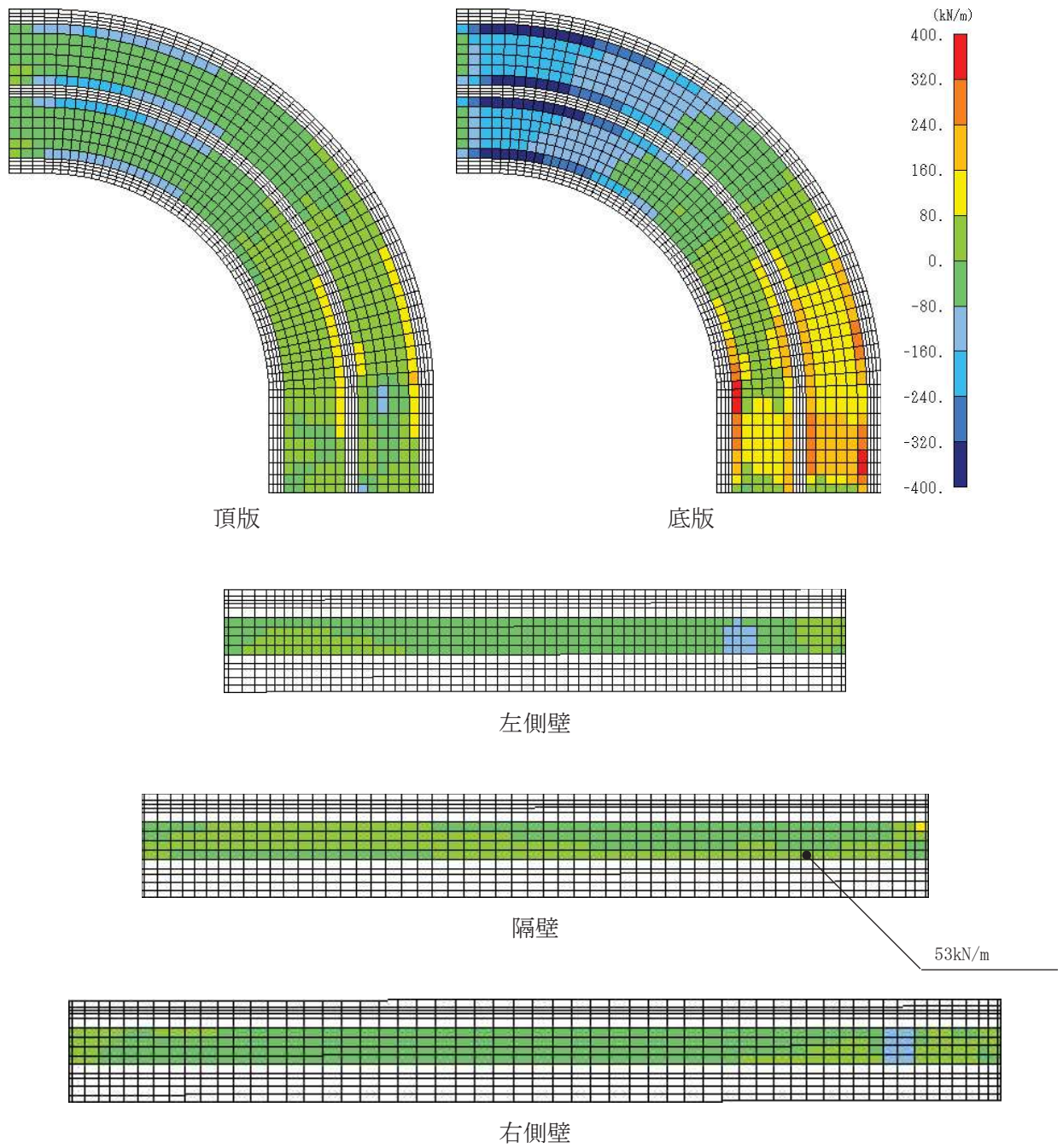


図 4-25 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (曲線部, 隔壁, 解析ケース③, $S_s - N1$ (-+))

5. 耐震評価

5.1 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.1.1 構造部材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

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）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建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」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。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルで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、屋外重要土木建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等が確保できるとして設定されたものである。

各要求機能について、通水機能を有することの確認においては、部材が終局状態に至らないことを目標性能とすることから、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）を許容限界とする。貯水機能を損なわないことの確認においては、コンクリート標準示方書に基づき、主筋ひずみ及びコンクリートの圧縮ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（主筋ひずみ 1725μ ，コンクリート圧縮ひずみ 2000μ ）とする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表5-1に示す。

表5-1 取水路（標準部）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	通水機能：圧縮縁コンクリート ひずみ：1.0% (10000μ) 貯水機能：主鉄筋(SD345)： 1725μ コンクリート ： 2000μ

5.2 評価方法

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た応答値から三次元構造モデルへ入力する荷重を算定し、三次元解析により算定した照査用ひずみ、照査用せん断力、照査用面内せん断ひずみが「5.1 許容限界」に示す許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が「5.1 許容限界」に示す許容限界を下回ることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-1 及び表 6-2 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-3 及び表 6-4 に示す。

取水路（標準部）の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した。

表 6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮縁ひずみ）（直線部）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版	21	③	S s - N 1 (++)	411 μ	10000 μ	0.05
側壁	71	③	S s - N 1 (++)	430 μ	10000 μ	0.05
隔壁	81	③	S s - N 1 (++)	632 μ	10000 μ	0.07
底版	12	③	S s - N 1 (++)	254 μ	10000 μ	0.03

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮縁ひずみ）（曲線部）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版	22	③	S s - N 1 (-+)	448 μ	10000 μ	0.05
側壁	71	③	S s - N 1 (-+)	527 μ	10000 μ	0.06
隔壁	81	③	S s - N 1 (-+)	803 μ	10000 μ	0.09
底版	12	③	S s - N 1 (-+)	363 μ	10000 μ	0.04

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-3 せん断破壊に対する最大照査値 (直線部)

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	21	③	S s - N 1 (++)	1634	1823	0.90
側壁	71	③	S s - N 1 (++)	637	1129	0.57
隔壁	81	③	S s - N 1 (++)	918	1054	0.88
底版	12	③	S s - N 1 (++)	1847	2060	0.90

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

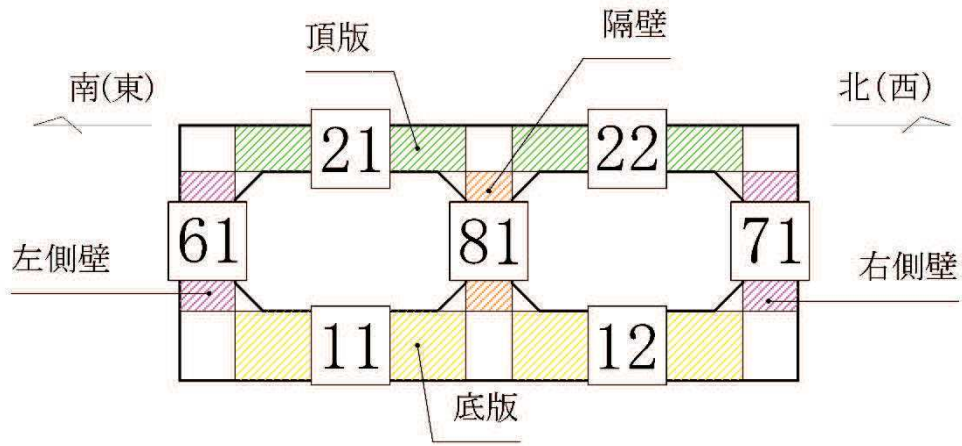
*2：照査用せん断力=発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 6-4 せん断破壊に対する最大照査値 (曲線部)

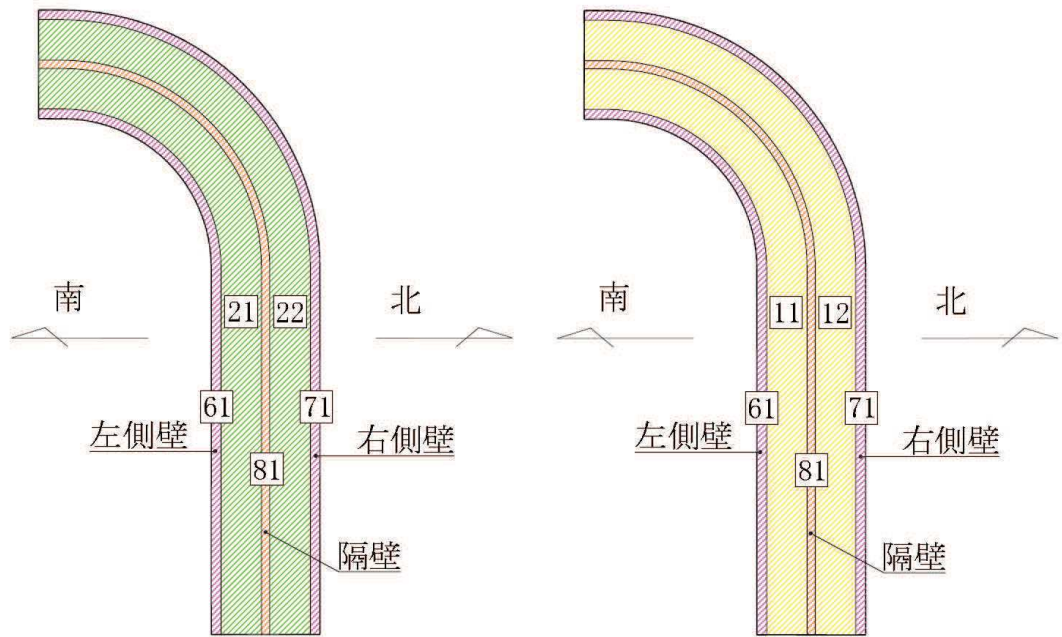
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	22	③	S s - N 1 (-+)	1574	1823	0.87
側壁	61	③	S s - N 1 (-+)	897	1145	0.79
隔壁	81	③	S s - N 1 (-+)	927	964	0.97
底版	12	③	S s - N 1 (-+)	2048	2152	0.96

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用せん断力=発生せん断力×構造解析係数 γ_a



断面図



側壁、隔壁及び頂版

側壁、隔壁及び底版

図 6-1 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表 6-7 せん断破壊に対する最大照査値（直線部）（再掲）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*3 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	21	③	S s - N 1 (++)	1634	1823	0.90
側壁	71	③	S s - N 1 (++)	637	1129	0.57
隔壁	81	③	S s - N 1 (++)	918	1054	0.88
底版	12	③	S s - N 1 (++)	1847	2060	0.90

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：通水機能が要求される部材の範囲は図 6-2 に示す。

*3：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 6-8 せん断破壊に対する最大照査値（曲線部）（再掲）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*3 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	22	③	S s - N 1 (-+)	1574	1823	0.87
側壁	61	③	S s - N 1 (-+)	897	1145	0.79
隔壁	81	③	S s - N 1 (-+)	927	964	0.97
底版	12	③	S s - N 1 (-+)	2048	2152	0.96

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：通水機能が要求される部材の範囲は図 6-2 に示す。

*3：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

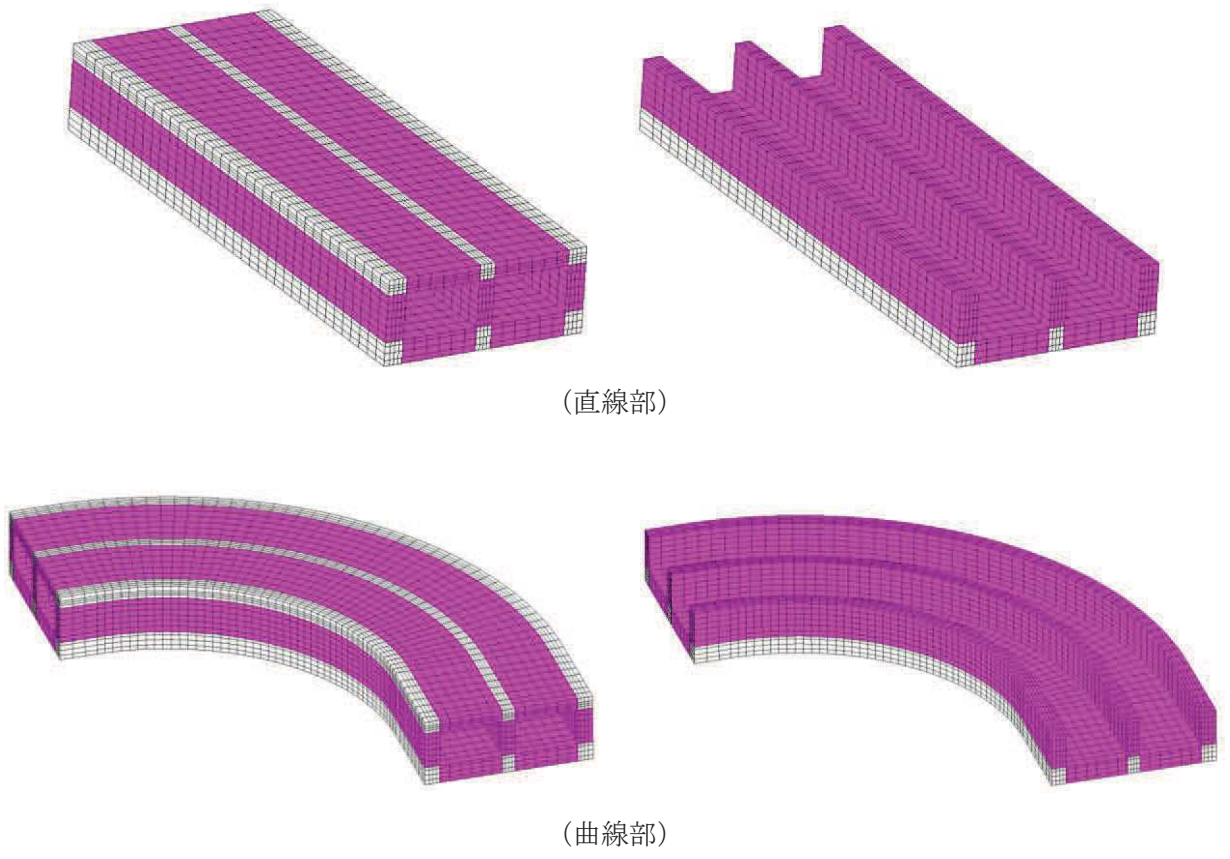


図 6-2 通水機能が要求される部材の範囲

6.2.2 貯水機能

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-9～表 6-12 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-13 及び表 6-14 に示す。

取水路（標準部）の照査用ひずみ及び照査用せん断力が、貯水機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）（直線部）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	61	③	S s - N 1 (++)	326 μ	2000 μ	0.17
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	12	③	S s - N 1 (++)	237 μ	2000 μ	0.12

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-10 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）（直線部）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	61	①	S s - F 2 (++)	69 μ	1725 μ	0.04
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	12	③	S s - N 1 (++)	297 μ	1725 μ	0.18

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）（曲線部）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	71	③	S s - N 1 (- +)	422 μ	2000 μ	0.22
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	12	③	S s - N 1 (- +)	308 μ	2000 μ	0.16

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-12 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）（曲線部）

評価位置*1, 2		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*3 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	71	③	S s - N 1 (- +)	111 μ	1725 μ	0.07
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	11	③	S s - N 1 (- +)	569 μ	1725 μ	0.33

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-13 せん断破壊に対する最大照査値（直線部）

評価位置 ^{*1, 2}		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力 ^{*3} V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	71	③	S s - N 1 (++)	692	1839	0.38
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	12	③	S s - N 1 (++)	1847	2060	0.90

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

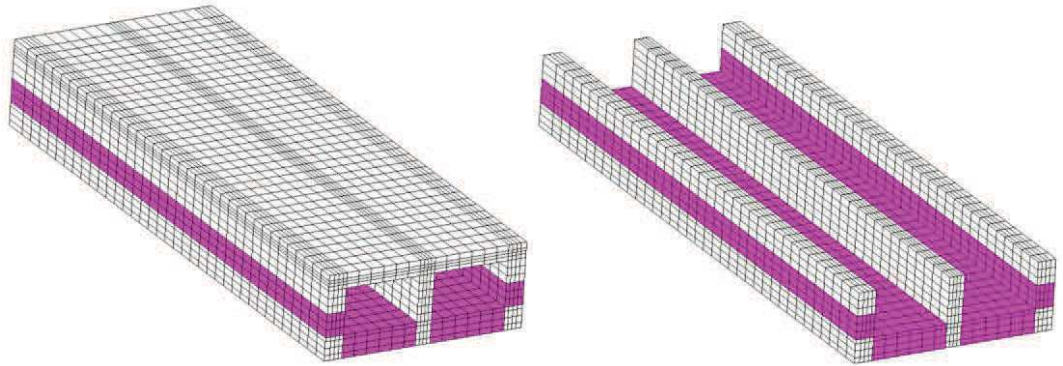
表 6-14 せん断破壊に対する最大照査値（曲線部）

評価位置 ^{*1, 2}		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力 ^{*3} V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	—	—	—	—	—	—
側壁	71	③	S s - N 1 (-+)	1149	1823	0.64
隔壁	—	—	—	—	—	—
底版	12	③	S s - N 1 (-+)	2048	2152	0.96

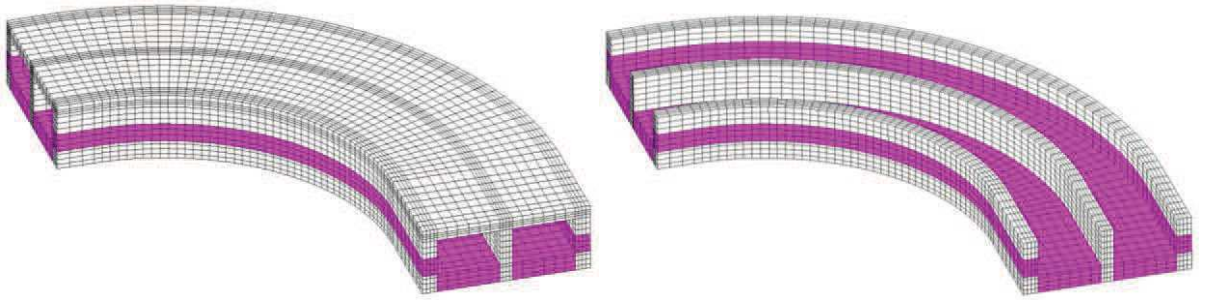
注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：貯水機能が要求される部材の範囲は図 6-3 に示す。

*3：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a



(直線部)



(曲線部)

図 6-3 貯水機能が要求される部材の範囲

6.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

6.3.1 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤の支持性能の照査結果を表 6-15 に示す。また，最大接地圧分布図を図 6-4 に示す。

取水路（標準部）の基礎地盤に発生する最大接地圧が，極限支持力を下回ることを確認した。

表 6-15 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm^2)	極限支持力 R_u (N/mm^2)	照査値 R_d/R_u
①	$S_s - F 1$ (-+)	3.3	13.7	0.25

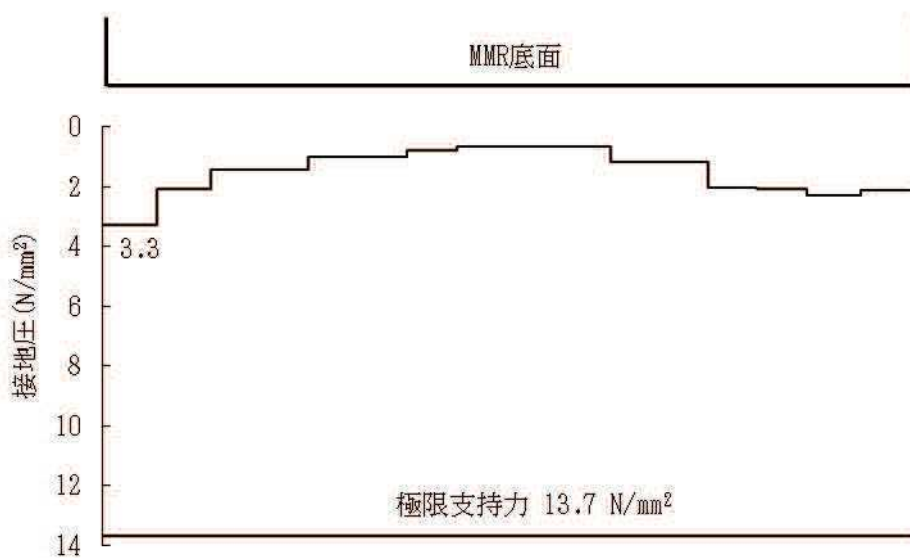


図 6-4 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, $S_s - F 1$ (-+), 断面③)

6.3.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表6-16に示す。また、最大接地圧分布図を図6-5に示す。

取水路（標準部）のMMR（既設）に発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表6-16 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
③	S _s -N1 (++)	3.3	15.6	0.22

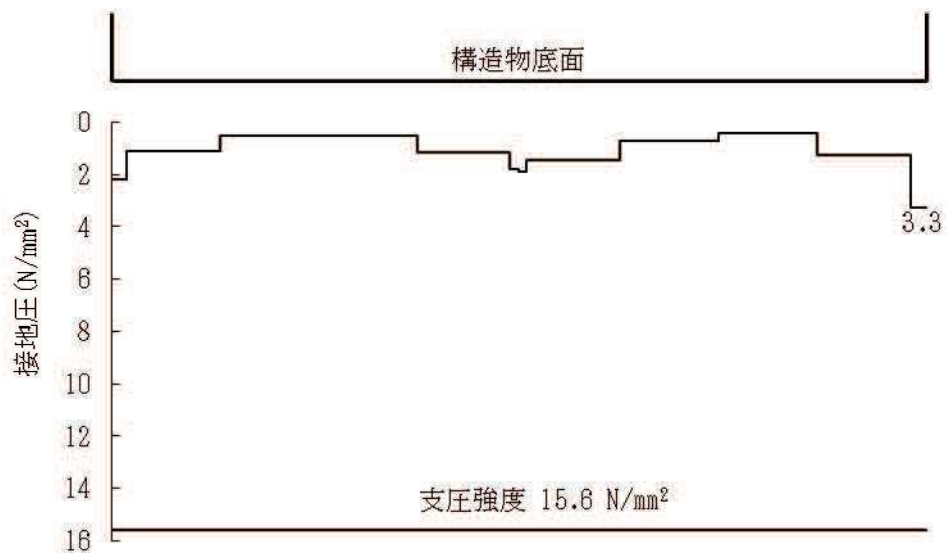


図6-5 MMR（既設）の最大接地圧分布図
(解析ケース③, S_s-N1 (++) , 断面⑤)

VI-2-10-4-5 海水ポンプ室の耐震性についての計算書

海水ポンプ室の耐震性については、添付書類「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」で説明する。

○ 2 ④ VI-2-10-4-5 R O E

VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

目 次

- 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
- VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

目 次

- VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-4 補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-5 第1号機制御建屋の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-6 ほう酸水注入系テストタンクの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-7 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-8 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-10 原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-11 原子炉ウェルカバーの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-12 耐火隔壁の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-14 制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-16 前面護岸の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-17 第1号機取水路の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-18 第3号機取水路の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書
- VI-2-11-2-20 アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-15 第 1 号機排気筒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	8
2.4	適用規格・基準等	9
3.	評価方法	10
3.1	評価対象部位及び評価方針	10
3.2	評価に用いる地震波	12
3.3	荷重及び荷重の組合せ	20
3.3.1	荷重	20
3.3.2	荷重の組合せ	24
3.4	許容限界	25
3.5	使用材料及び材料の許容応力度	26
3.6	断面の評価方法	27
3.6.1	筒身	27
3.6.2	鉄塔部	27
3.7	地震応答解析	28
3.7.1	地震応答解析モデル	28
3.7.2	解析方法	46
3.7.3	地盤物性及び材料物性の不確かさ	46
3.8	解析結果	48
3.8.1	地震応答解析結果	48
4.	評価結果	53
4.1	耐震性能の評価結果	53
5.	脚部の断面評価	62
5.1	評価方法	62
5.1.1	概要	62
5.2	アンカーボルトに対する検討	64
5.2.1	アンカーボルトの引張応力度に対する検討	64
5.2.2	アンカーボルトのせん断応力度に対する検討	65
5.2.3	引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討	65
5.2.4	コンクリートのコーン状破壊に対する検討	66
5.3	ベースプレートに対する検討	67

5.3.1	コンクリートの圧縮応力度に対する検討.....	67
5.3.2	ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討（鉄塔脚部）	67
5.3.3	ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討（筒身脚部）	68
5.3.4	ベースプレートのアンカーボルト引張力による面外曲げに対する検討(筒身脚部)	69
5.4	フランジプレートに対する検討（鉄塔脚部）.....	70
5.4.1	フランジプレートの面外曲げに対する検討.....	70
5.5	リブプレートに対する検討.....	71
5.5.1	リブプレートの圧縮応力度に対する検討.....	71
5.5.2	リブプレートのせん断応力度に対する検討.....	72
5.6	評価結果.....	73

1. 概要

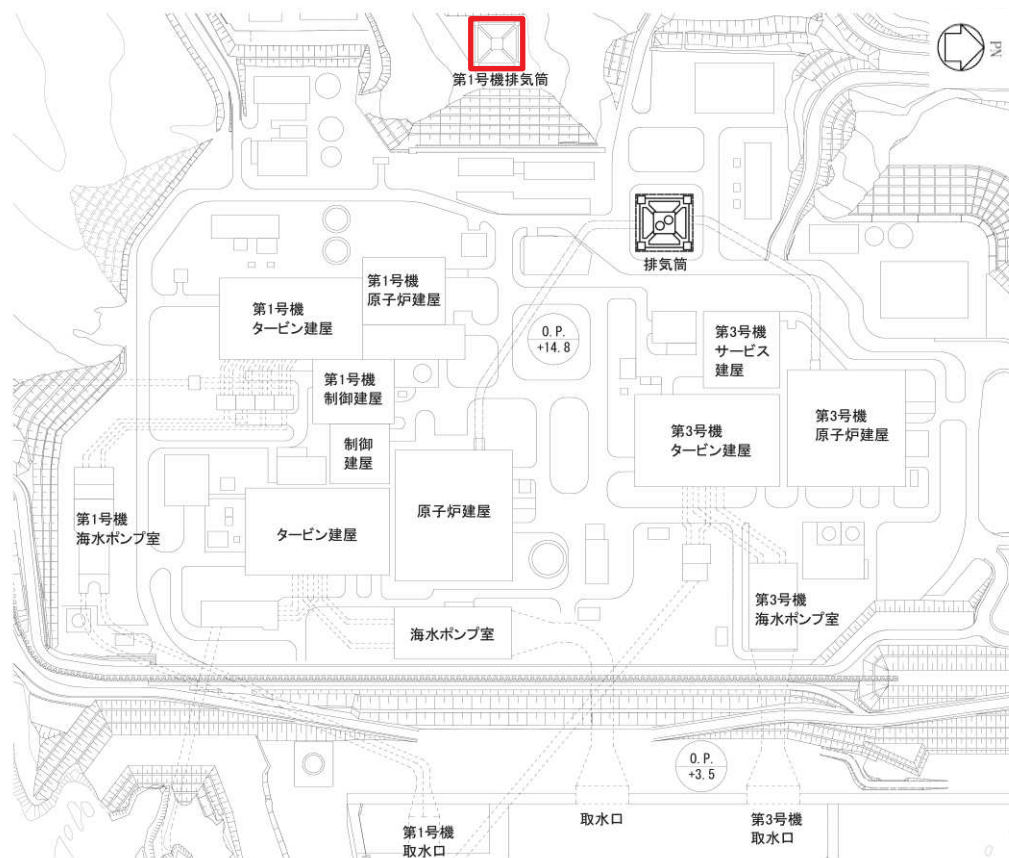
本資料は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、第1号機排気筒が排気筒に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、排気筒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、第1号機排気筒の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

第1号機排気筒の設置位置を図2-1に示す。




 第1号機排気筒

図2-1 第1号機排気筒の設置位置

2.2 構造概要

第1号機排気筒は、地上からの高さ125.0m、基部内径5.226m、頂部内径3.2mの鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた四角鉄塔支持形鋼管構造である。筒身及び鉄塔部はO.P.*65.1m, O.P.86.4m, O.P.103.6m, O.P.118.6m, O.P.144.4m, O.P.164.8mの6つの高さで接続されている。

第1号機排気筒の基礎は、地表面より7m掘り下げた岩盤を基礎面とするマットスラブ形式の直接基礎である。基礎構造は32.0m×32.0mの正方形で厚さ2.5mのスラブ、その上に鉄塔受台4基(外寸法3.0m×3.0m×高さ5.0m)、筒身受台1基(外寸法7.8m×7.8m×高さ5.0m)が付き、それぞれの受台をつなぐ地中梁(幅1.5m×高さ4.2m)から構成される。

以下に構造概要を示す。

構造概要

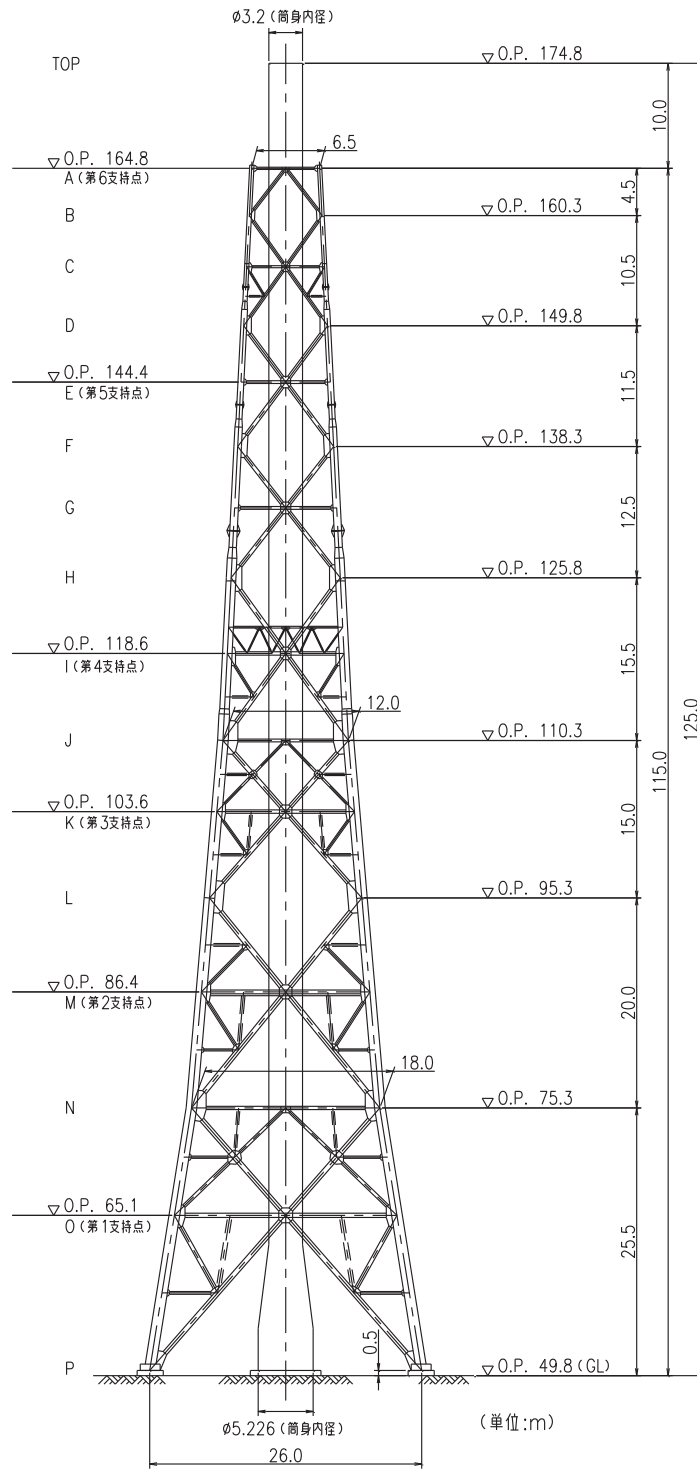
- ・構造形式 四角鉄塔支持形鋼管構造 (支持点: 6カ所, 1筒身)
- ・排気筒高さ 125.0m (O.P.174.8m)
- ・鉄塔高さ 115.0m (O.P.164.8m)
- ・筒身内径

頂部	3.2m
基部	5.226m
- ・鉄塔幅

頂部	6.5m
根開き	26.0m
- ・支持点位置 O.P.65.1m, O.P.86.4m, O.P.103.6m,
O.P.118.6m, O.P.144.4m, O.P.164.8m
- ・基礎 マットスラブ形式の直接基礎

注記*: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)
-0.74mである。

第1号機排気筒の概要図、概略平面図を図2-2及び図2-3に、第1号機排気筒の基礎平面図、基礎断面図を図2-4及び図2-5に示す。また、第1号機排気筒と排気筒の位置関係を図2-6に示す。



主柱材		1016φ×18.0 ※1		1016φ×12.7 ※1	914.4φ×12.7	711.2φ×12.7	558.8φ×9.5	406.4φ×7.9
鉄塔	斜材	457.2φ×9.5		406.4φ×7.9		355.6φ×6.4		267.4φ×6.6
	水平材	318.5φ×6.9		318.5φ×6.9	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	190.7φ×5.3
筒身		406.4φ×6.4		318.5φ×6.9		267.4φ×6.6		190.7φ×5.3
		t=12						t=9
部材リスト(単位:mm)								

図 2-2 第 1 号機排気筒の概要図

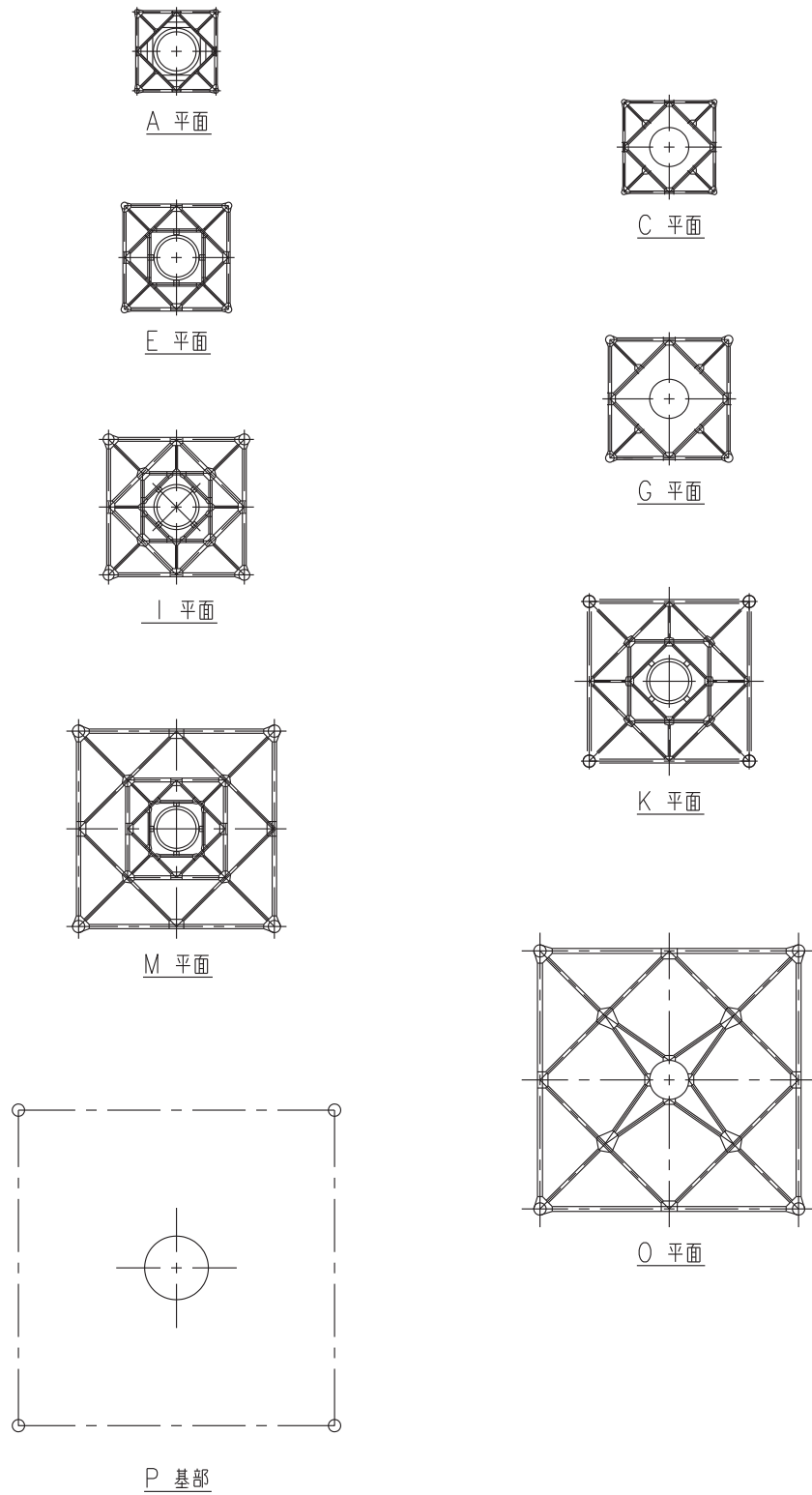


図 2-3 第 1 号機排気筒の概略平面図

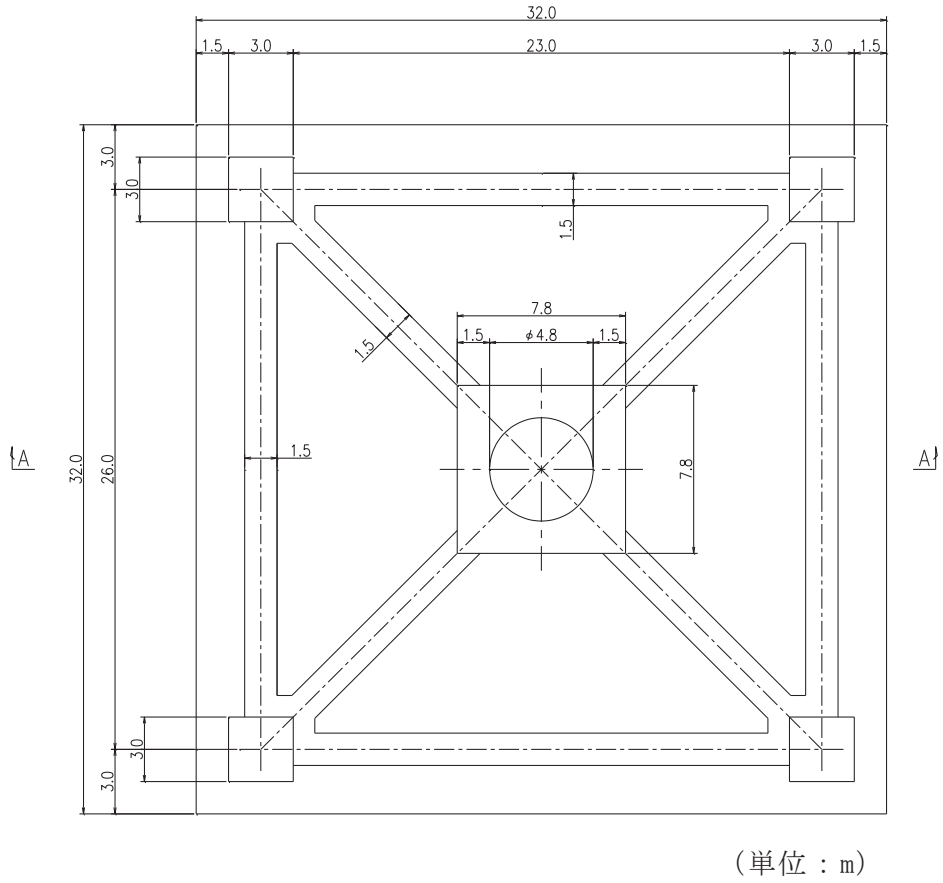


図 2-4 第 1 号機排気筒の基礎平面図

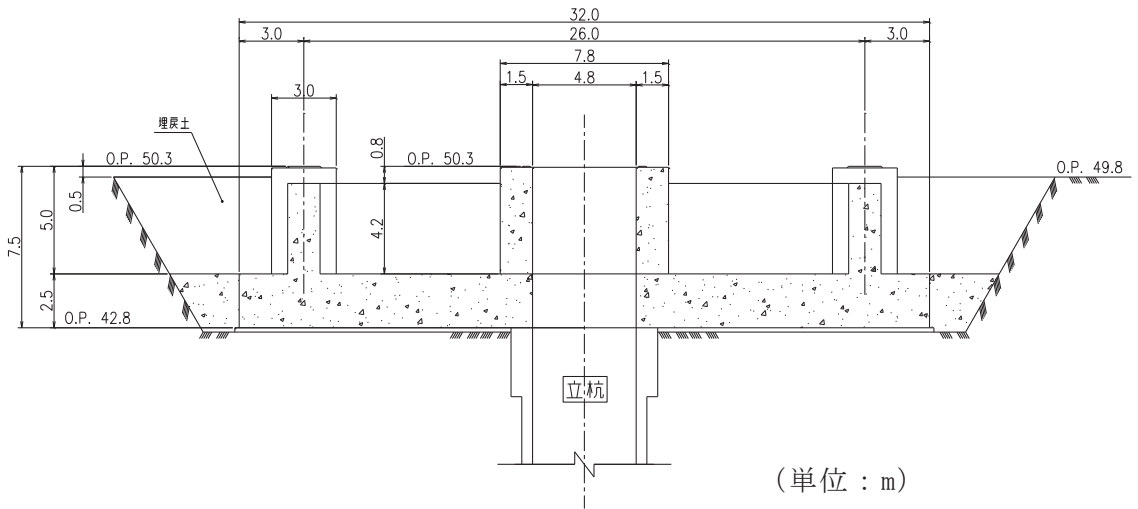


図 2-5 第 1 号機排気筒の基礎断面図 (A-A 断面)

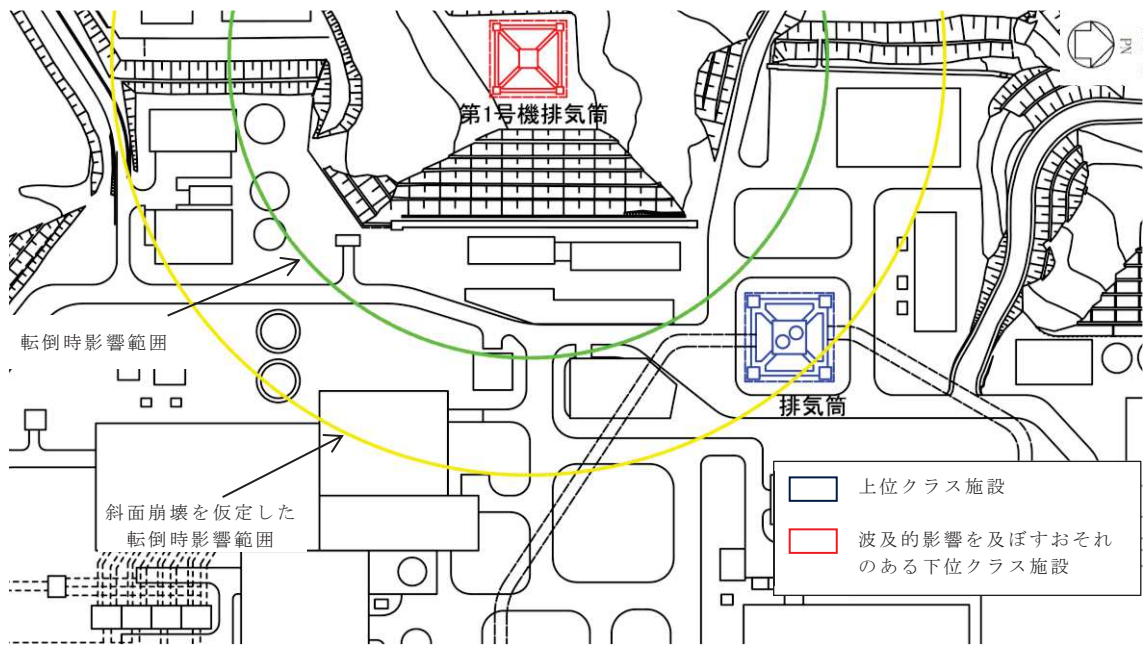


図 2-6 第 1 号機排気筒と排気筒の位置関係

2.3 評価方針

第1号機排気筒の設計基準対象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 による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する波及的影響評価」という。）を行うこととする。

第1号機排気筒の波及的影響の評価は、添付書類「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、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を行う。評価方法は、地震応答解析による第1号機排気筒の主要な構造部材の耐震評価を行うことで、排気筒への衝突の有無の確認を行う。評価にあたっては、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮する。

また、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、 S_s 地震時に対する評価を行う。

第1号機排気筒の波及的影響の評価フローを図2-7に示す。

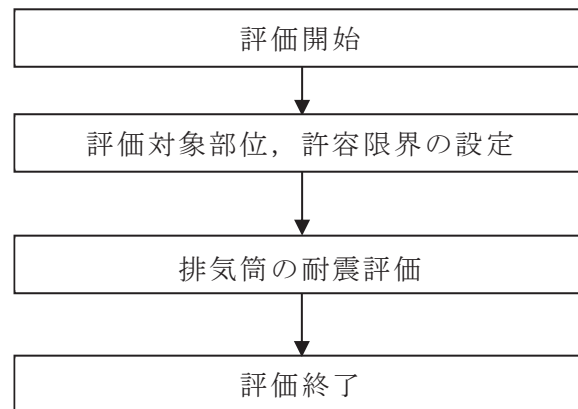


図2-7 第1号機排気筒の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

第1号機排気筒の波及的影響の評価に適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）
- ・ 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（以下「鋼構造設計規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2010年 容器構造設計指針・同解説（以下「容器構造設計指針」という。）
- ・ 日本建築学会 2007年 煙突構造設計指針
- ・ 日本建築センター 1982年 煙突構造設計施工指針
- ・ 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-（以下「RC規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2005年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

3. 評価方法

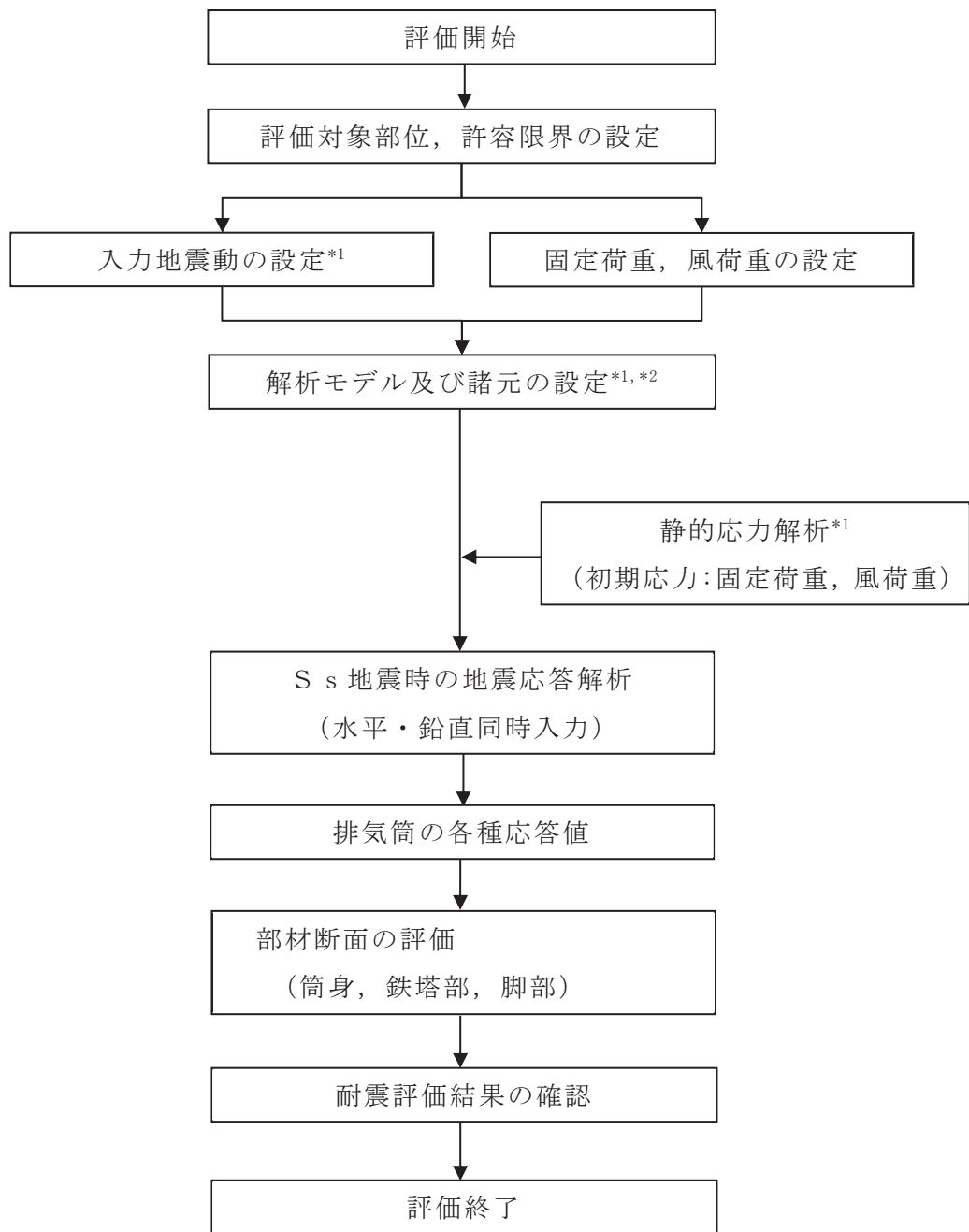
3.1 評価対象部位及び評価方針

第1号機排気筒の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

排気筒の主要な構造部材の構造健全性の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果による部材応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認する。

また、排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、筒身、鉄塔部及び脚部を評価対象部位とする。

第1号機排気筒の耐震評価フローを図3-1に示す。



注記 *1：地盤物性の不確かさを考慮する。

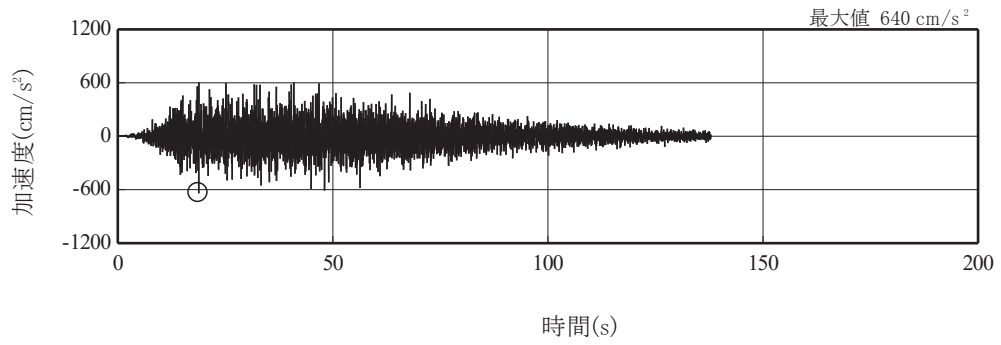
*2：地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 第 1 号機排気筒の耐震評価フロー

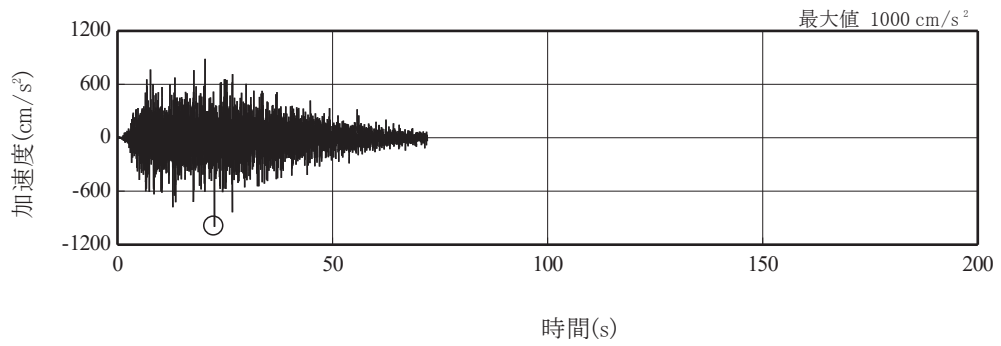
3.2 評価に用いる地震波

第1号機排気筒の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設における構造物の評価に適用した添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面に想定する地震波のうち、基準地震動 S_s とする。

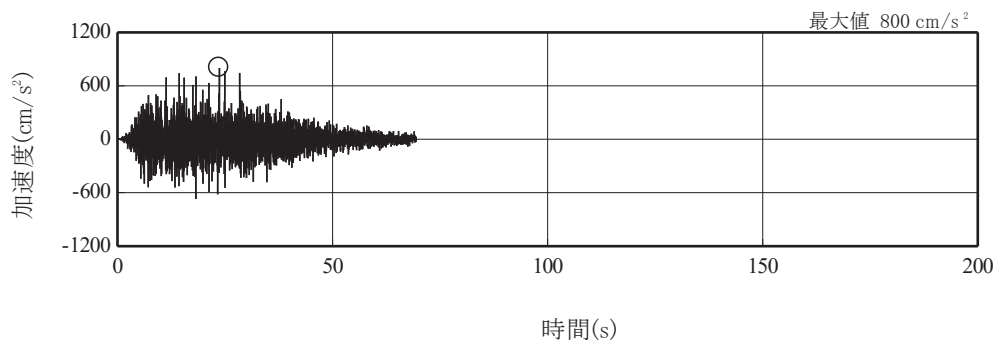
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-2 及び図 3-3 に示す。



(a) S s - D 1

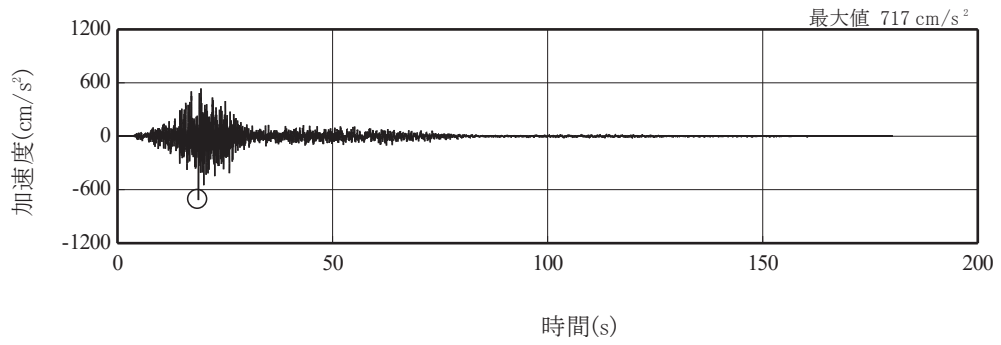


(b) S s - D 2

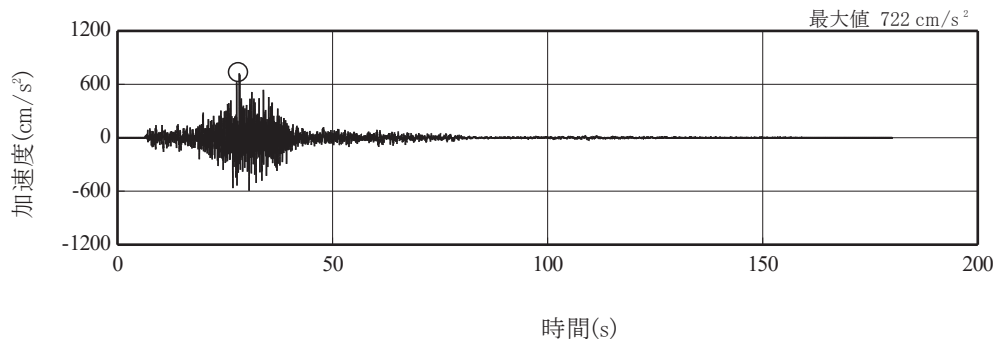


(c) S s - D 3

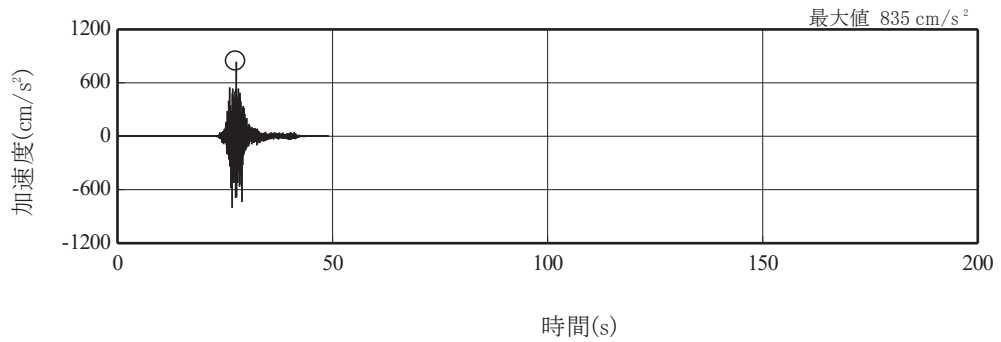
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

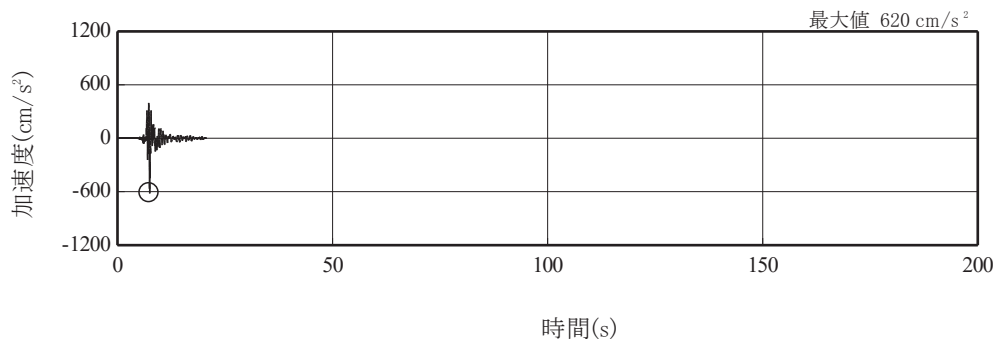


(e) S s - F 2



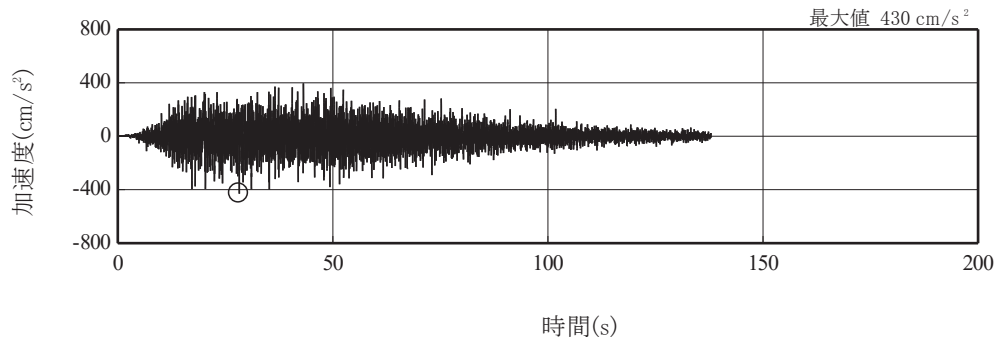
(f) S s - F 3

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (2/3)

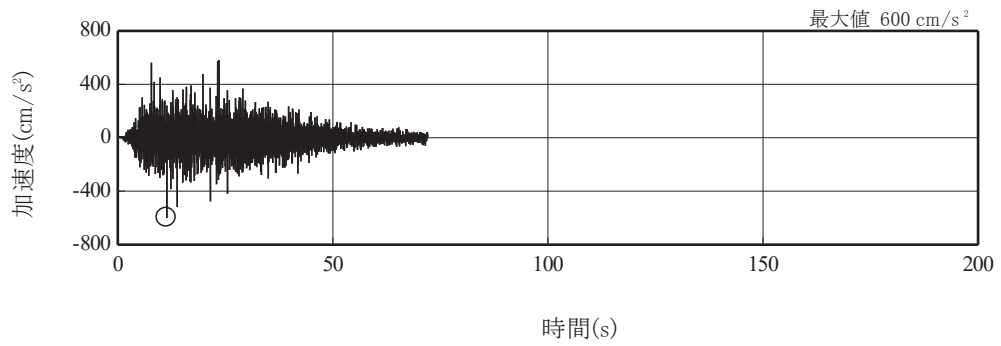


(g) S s - N 1

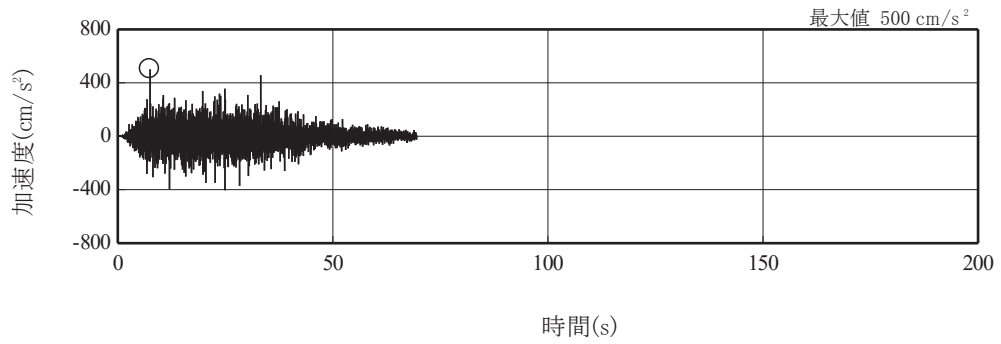
图 3-2(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (3/3)



(a) S s - D 1

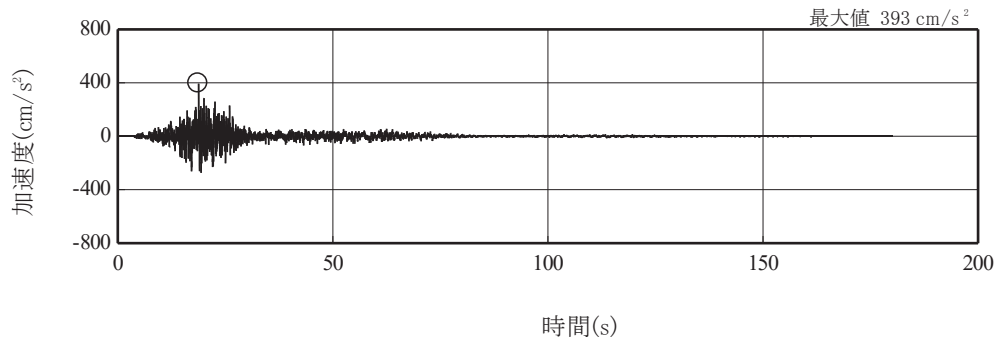


(b) S s - D 2

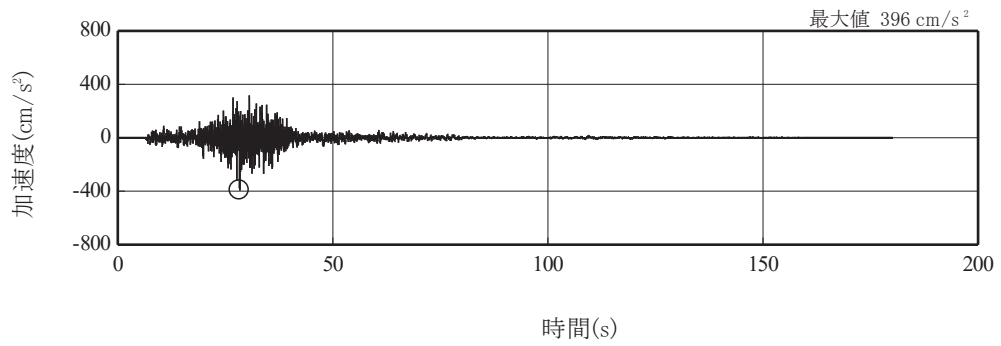


(c) S s - D 3

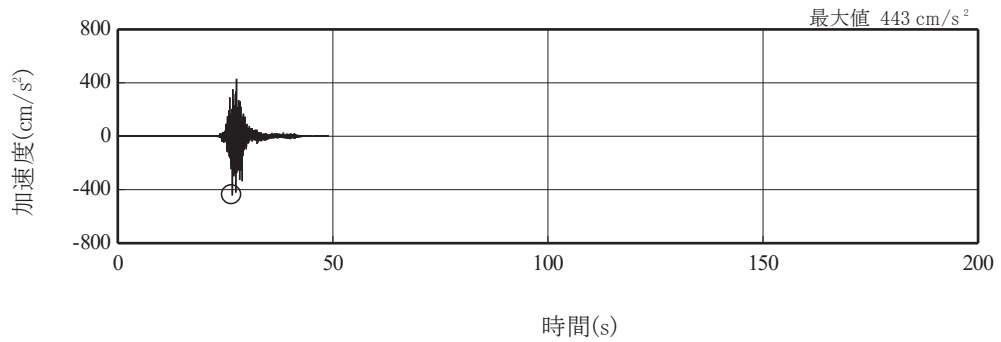
図 3-2(4) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (1/3)



(d) S s - F 1

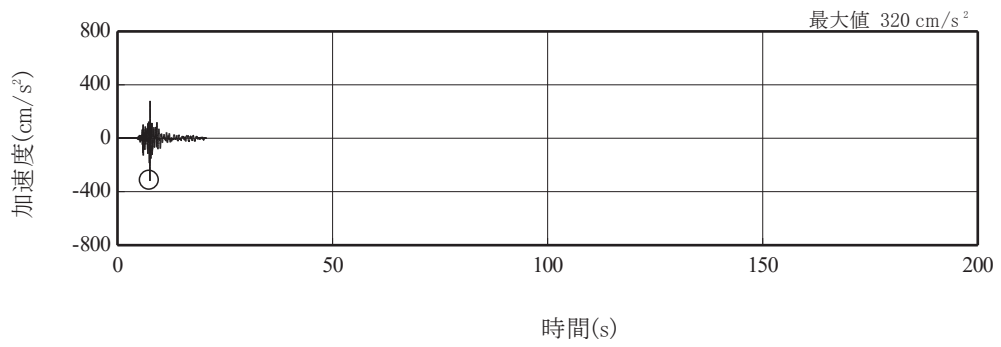


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-2(5) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (2/3)



(g) S s - N 1

图 3-2(6) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (3/3)

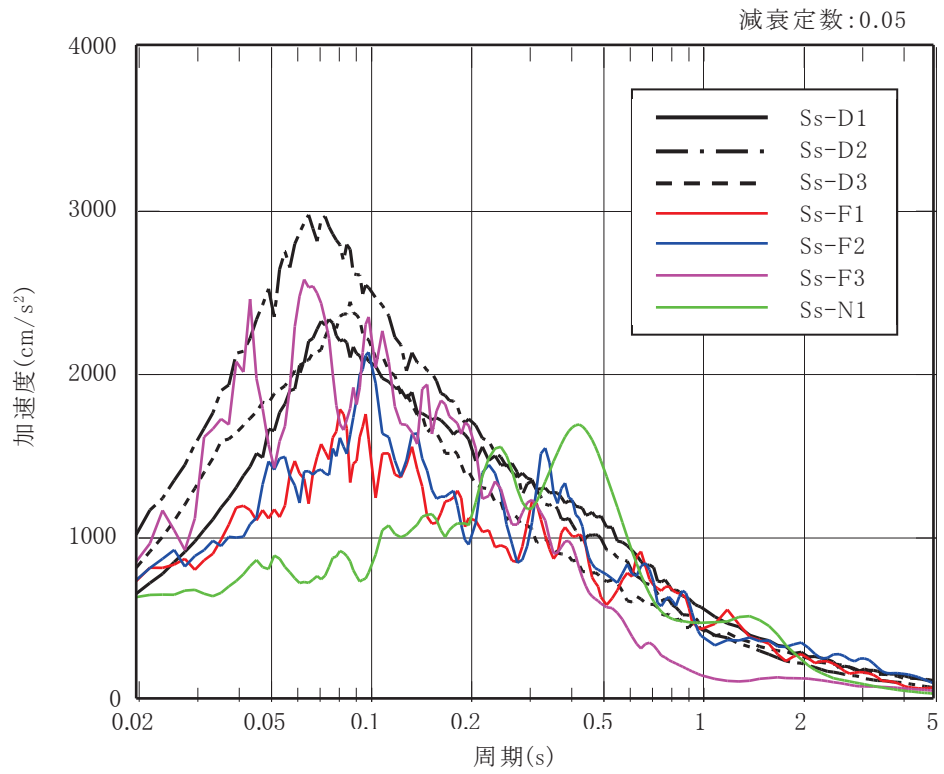


図 3-3(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向)

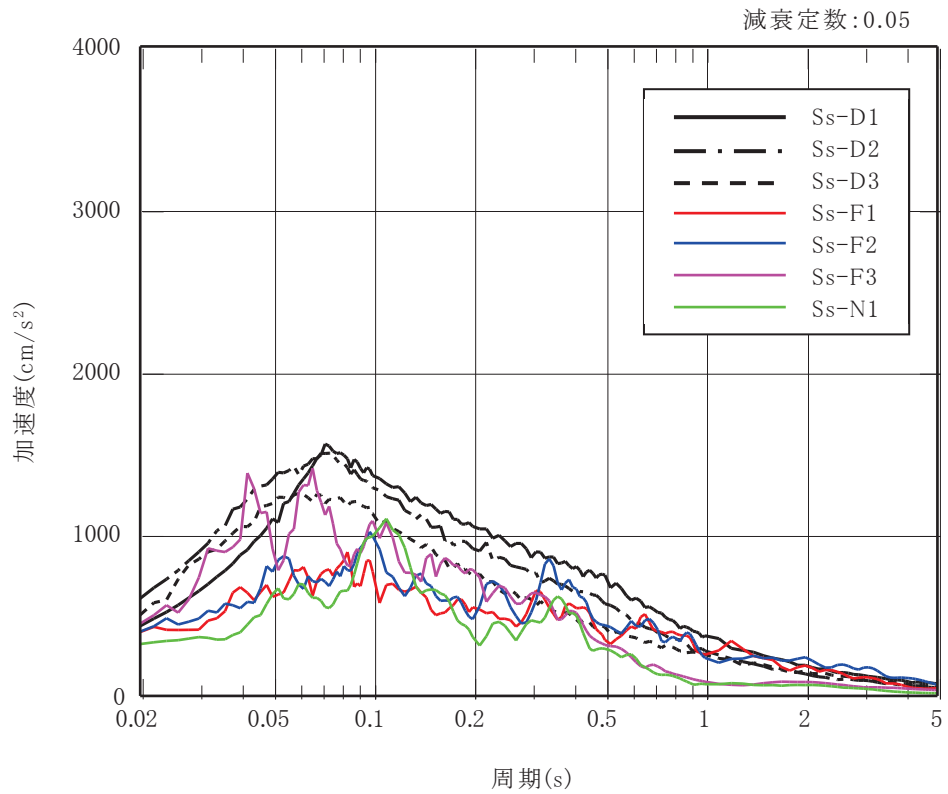


図 3-3(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」に基づき設定する。

3.3.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、筒身及び鉄塔の荷重の他に、歩廊等の付属設備の荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載物はないため、積載荷重は考慮しない。

(3) 積雪荷重 (P_s)

歩廊の床材はグレーチングのため雪が積もらない構造となっている。よって、積雪荷重は考慮しない。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重を考慮する。風荷重は、「建築基準法施行令」に定められた速度圧に風力係数と受風面積を乗じて得られる風荷重を考慮する。

$$P_k = q \cdot C_f \cdot A$$

ここで

P_k : 風荷重 (N)

q : 速度圧 (N/m^2) $= 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$

V_0 : 当該地の基準風速 ($V_0 = 30\text{m/s}$)

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値
($= E_r^2 \cdot G_f$)

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数
 $E_r = 1.7(H/Z_G)^\alpha$ ($H > Z_b$)

H : 地盤面からの高さ (m) ($H = 125.0\text{m}$)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて定められる数値
(当該地の地表面粗度区分Ⅱ : $Z_b = 5\text{m}$, $Z_G = 350\text{m}$,
 $\alpha = 0.15$)

G_f : ガスト影響係数 ($G_f = 1.0$)

- C_f : 「煙突構造設計施工指針」による風力係数
 筒身 0.7 (I方向, II方向)
 鉄塔 1.9 (I方向), 2.4 (II方向)
- A : 「煙突構造設計施工指針」による受風面積 (m²)

風荷重の作用方向の説明図を図3-4に示す。風荷重の算定結果を表3-1及び表3-2に示す。

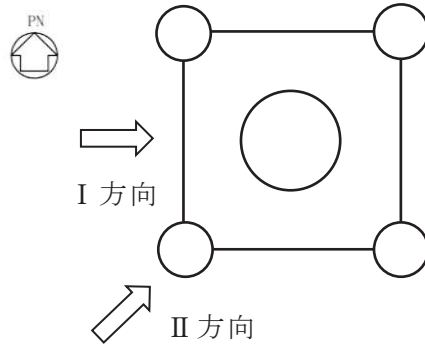


図3-4 風荷重作用方向の説明

表 3-1 風荷重の算定結果 (筒身)

標高 O.P. (m)	位置*	風荷重 P_k (kN)	
		I 方向 (0 度方向)	II 方向 (45 度方向)
174.8	TOP	13.0	13.0
164.8	A	18.8	18.8
160.3	B	12.3	12.3
155.4	C	13.7	13.7
149.8	D	14.2	14.2
144.4	E	14.9	14.9
138.3	F	15.6	15.6
132.4	G	16.2	16.2
125.8	H	18.0	18.0
118.6	I	20.1	20.1
110.3	J	19.5	19.5
103.6	K	19.5	19.5
95.3	L	22.3	22.3
86.4	M	26.0	26.0
75.3	N	27.6	27.6
65.1	O	34.6	34.6
50.3	P	30.1	30.1

注記* : 位置は, 第 1 号機排気筒の概要図 (図 2-2) に示す。

表 3-2 風荷重の算定結果（鉄塔部）

標高 O.P. (m)	位置*	風荷重 P_k (kN)	
		I 方向 (0 度方向)	II 方向 (45 度方向)
174.8	TOP	—	—
164.8	A	10.4	13.2
160.3	B	15.3	19.3
155.4	C	20.0	25.3
149.8	D	20.8	26.2
144.4	E	30.3	38.2
138.3	F	28.4	35.9
132.4	G	37.5	47.4
125.8	H	39.3	49.7
118.6	I	59.3	74.9
110.3	J	58.9	74.4
103.6	K	67.6	85.4
95.3	L	59.7	75.4
86.4	M	96.5	121.9
75.3	N	100.9	127.5
65.1	O	131.8	166.4
50.3	P	55.1	69.6

注記*：位置は，第 1 号機排気筒の概要図（図 2-2）に示す。

(5) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

基準地震動 S_s の加振方向は、図 3-4 に示す風荷重作用方向と同様となる。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

第 1 号機排気筒の地震応答解析では、初期応力として固定荷重と風荷重を考慮する。なお、基準地震動 S_s は、水平 1 方向及び鉛直方向を同時入力する。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	ケース名	荷重の組合せ
S _s 地震力	I 方向	G + P _k (I) + S _s (I)
	II 方向	G + P _k (II) + S _s (II)

注記：記号の説明

G : 固定荷重

P_k (I) : I 方向からの風荷重

P_k (II) : II 方向からの風荷重

S_s (I) : 基準地震動 S_s の I 方向加振により定まる地震力

S_s (II) : 基準地震動 S_s の II 方向加振により定まる地震力

3.4 許容限界

第1号機排気筒の排気筒に対する波及的影響の評価における許容限界は、添付書類「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」の記載に基づき、表3-4及び表3-5のとおり設定する。

表3-4 波及的影響の評価における許容限界（設計基準対象施設に対する評価）

設計上の性能目標	地震力	部位	耐震評価の考え方	許容限界（評価基準値）
排気筒に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	筒身 鉄塔部 脚部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界*

注記*：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。

鋼材の基準強度Fを「技術基準解説書」に準拠して1.1Fと読み替え、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度、鉄塔部の許容限界は「平13国交告第1024号」による材料強度とする。

表3-5 波及的影響の評価における許容限界（重大事故等対処施設に対する評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
排気筒に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	筒身 鉄塔部 脚部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界*

注記*：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。

鋼材の基準強度Fを「技術基準解説書」に準拠して1.1Fと読み替え、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度、鉄塔部の許容限界は「平13国交告第1024号」による材料強度とする。

3.5 使用材料及び材料の許容応力度

筒身の鋼材については、J I S G 3 1 1 4「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」に規定される SMA400AP を使用する。鉄塔部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 4 4 4「一般構造用炭素鋼鋼管」に規定される STK400 を使用する。

筒身脚部及び鉄塔脚部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 1 0 6「溶接構造用圧延鋼材」に規定される SM400A のいずれかを使用する。なお、鉄塔脚部のアンカーボルトは、直径が 40mm を超える鋼材を使用する。

基礎で使用するコンクリートの設計基準強度 F_c は 20.5 N/mm^2 とする。使用材料の材料定数及びコンクリートの許容応力度を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料の材料定数

板厚	材料	基準強度 F (N/mm^2)	備考
$t \leq 40\text{mm}$	SS400, STK400, SM400A, SMA400AP	235	筒身, 鉄塔部, 脚部
$40\text{mm} < t$	SS400	215	アンカーボルト*

注記* : アンカーボルトは、公称軸径を板厚と読み替える。

表 3-7 コンクリートの許容応力度

(単位 : N/mm^2)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 20.5$	
	長期	短期
	圧縮	圧縮
S_s 地震時	6.8	13.6

3.6 断面の評価方法

「3.3 荷重及び荷重の組合せ」により組合せた荷重を用いて算出した設計用部材応力に対して、筒身と鉄塔部の各部材の断面検定を次のとおり行う。

3.6.1 筒身

筒身部材について、板厚 2mm(外側 1mm, 内側 1mm)の腐食代を考慮し、次式の応力度比によって断面検定を行う。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}} \leq 1$$

ここに

σ_c : 圧縮応力度 $\sigma_c = N / A$ (N/mm²)

N : 軸力 (N)

A : 筒身の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 $\sigma_b = M / Z$ (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 筒身の断面係数 (mm³)

$c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

$b f_{c r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

$c f_{c r}$ 及び $b f_{c r}$ は「容器構造設計指針」による材料強度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

3.6.2 鉄塔部

鉄塔部材(支柱材, 斜材, 水平材)について、板厚 1mm(外側のみ)の腐食代を考慮し、次式の応力度比によって断面検定を行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここに

σ_c : 圧縮応力度 $\sigma_c = N / A$ (N/mm²)

N : 軸力 (N)

A : 鉄塔部材の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 $\sigma_b = M / Z$ (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 鉄塔部材の断面係数 (mm³)

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

f_c 及び f_b は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

3.7 地震応答解析

3.7.1 地震応答解析モデル

(1) 解析モデルの概要

第1号機排気筒の地震応答解析モデルは、基礎下端レベル（O.P. 42.8m）より上部を対象とした質点モデルとし、筒身及び鉄塔部材は梁要素でモデル化する。基礎部は筒身受台、鉄塔受台、地中梁及びスラブの剛性を、構造物中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する梁要素と等価な質量を有する質点でモデル化する。また、地盤と構造物の相互作用を基礎底面の地盤ばねで評価する。

以上の排気筒－地盤連成モデルを用いた水平1方向・鉛直同時入力による地震応答解析を実施する第1号機排気筒の地震応答解析モデルを図3-5に示す。なお、固定荷重及び風荷重による初期応力を算定する際の静的応力解析においても、同じ解析モデルを用いるものとする。

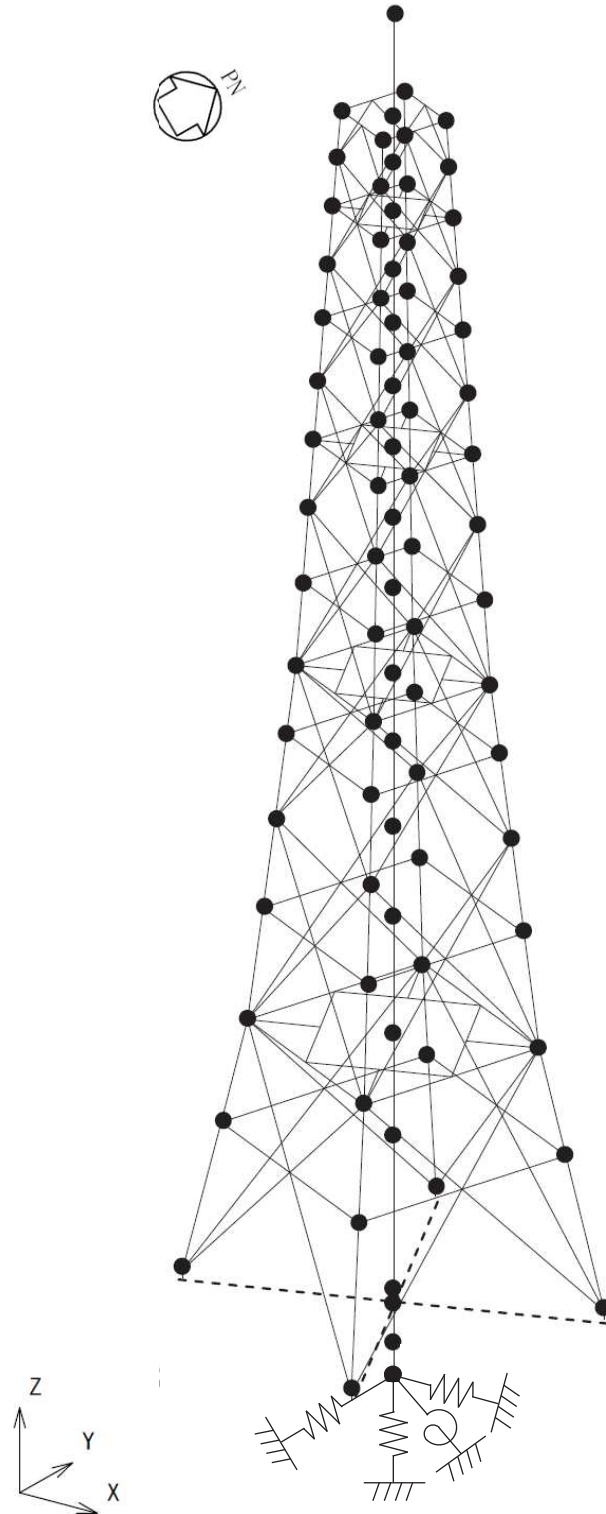
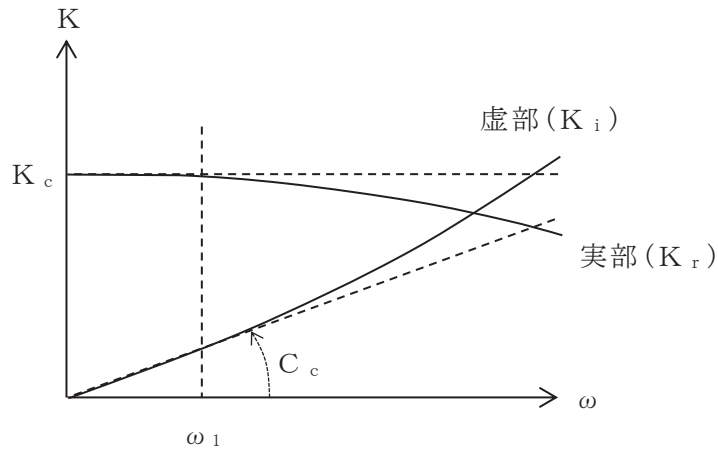


図 3-5 第 1 号機排気筒の地震応答解析モデル

(2) 地盤ばね

基礎底面下の地盤は、地震応答解析モデルにおいて、水平ばね、回転ばね及び鉛直ばねで置換している。この地盤ばねは「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」により、基礎底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なし、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれの地盤ばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値 (K_c) を、また、減衰係数 (C_c) として、排気筒-地盤連成系の一次固有円振動数 (ω_1) に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

解析コードは「ADMIT 導入時 Ver.」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：排気筒-地盤連成系の一次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

(3) 解析モデルの接合条件

部材間の接合条件は以下とする。

- 主柱材－主柱材 : 剛接合
- 主柱材－斜材 : ピン接合
- 主柱材－水平材 : ピン接合
- 筒身－鉄塔の支持点* : 水平方向固定，鉛直方向フリー

注記*：筒身－鉄塔の支持点については，水平構面部材を等価な水平ばねでモデル化する。

(4) 解析モデルの諸元

使用材料の材料定数を表 3-8 に，第 1 号機排気筒上部工の重量を表 3-9 に，基礎の重量を表 3-10 に示す。上部工の重量は，筒身と鉄塔部主柱材の質点に振り分け，筒身及び鉄塔部の自重の他に，付属設備の重量を考慮する。

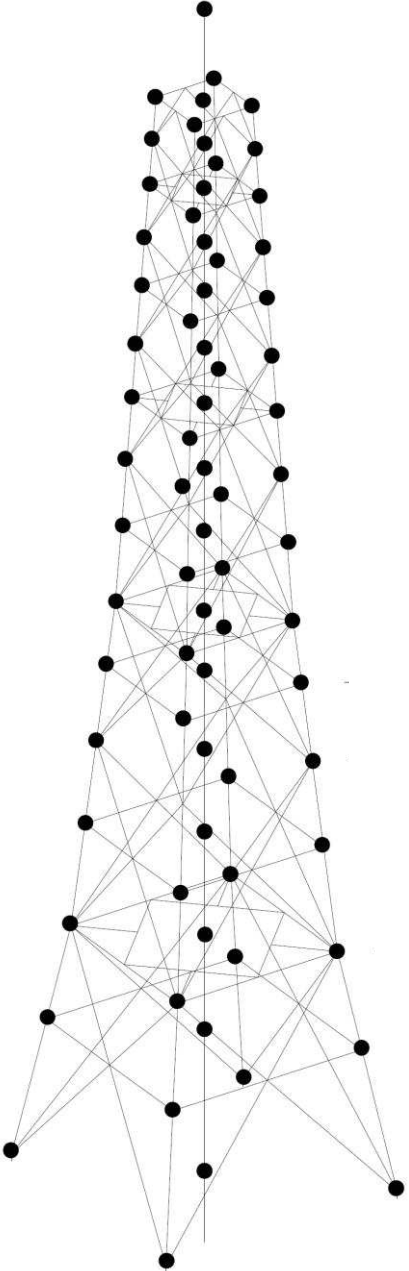
筒身，鉄塔部（主柱材，斜材，水平材）及び基礎の部材諸元一覧を表 3-11～表 3-15 に示す。解析入力値には，腐食代を考慮しない断面性能を用いる。また，地盤ばね（水平，鉛直，回転）の値を表 3-16 に，筒身支持点における水平ばねの値を表 3-17 に示す。

表 3-8 使用材料の材料定数

使用材料	ヤング係数 E * (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)	備考
鋼材：SMA400AP	2.05×10 ⁵	0.3	1	筒身
鋼材：SS400 STK400	2.05×10 ⁵	0.3	2	鉄塔部
鉄筋コンクリート コンクリート： F _c =20.5N/mm ² 鉄筋：SD345	2.15×10 ⁴ (2.87×10 ⁴)	0.2	5	基礎

注記*：括弧内は，既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果に基づくヤング係数

表 3-9 第 1 号機排気筒上部工の重量

モデル図	質点位置	重量 (kN)	
	O.P. (m)	筒身部	鉄塔部 (主柱材 1 本分)
	174.8	47.3	—
	164.8	34.3	12.2
	160.3	71.7	10.6
	155.4	64.0	17.3
	149.8	52.1	14.5
	144.4	54.8	29.1
	138.3	57.2	24.2
	132.4	56.9	34.9
	125.8	60.6	38.7
	118.6	67.7	98.8*
	110.3	70.3	51.6
	103.6	76.1	104.6*
	95.3	82.5	76.3
	86.4	90.9	128.6
	75.3	96.2	138.1
	65.1	124.4	204.0
	50.3	69.8	91.2
小 計	1,176.8	1,074.8	
合 計	上部架構の総重量 : 5,476.0 kN		
備 考			

注記* : パラボラアンテナ重量を含む

表 3-10 第 1 号機排気筒基礎の重量

モデル図	質点位置	基礎部	
	O. P. (m)	重量 (kN)	回転慣性重量 (kN・m ²)
<p>【凡例】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● : 質点 (重量、回転慣性) ○ : 仮想節点 (無質量) — : 曲げせん断棒要素 (細) — : 剛域 (太) — : MPC (自由度従属) 	49.5	44,483.0 +17.1*	0.400 × 10 ⁷
	45.3	69,334.7 +19.7*	0.623 × 10 ⁷
	42.8	29,591.6 +7.4*	0.266 × 10 ⁷
	合 計	143,409.3 +44.2*	1.289 × 10 ⁷
	備 考	O. P. 49.5m は基礎梁上端レベル O. P. 45.3m は基礎版上端レベル O. P. 42.8m は基礎版下端レベル	

注記* : 配管重量

表 3-11 筒身の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	筒身		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
174.8-65.1	3218	9	907.3	453.7	11680000	内径 3200mm
65.1-54.3	3224	12	1211	605.4	15620000	内径 3200mm
54.3-50.3	5250	12	1975	987.3	67720000	基部内径 5226mm

表 3-12 主柱材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
164.8-149.8	406.4	7.9	98.90	49.45	19640	
149.8-138.3	558.8	9.5	163.9	81.97	61850	
138.3-125.8	711.2	12.7	278.7	139.3	170000	
125.8-110.3	914.4	12.7	359.8	179.9	365700	
110.3- 95.3	1016	12.7	400.3	200.1	503800	
95.3- 75.3	1016	16	502.7	251.3	628500	
75.3- 50.3	1016	18	564.4	282.2	702900	

表 3-13 斜材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
164.8-149.8	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
149.8-125.8	355.6	6.4	70.21	35.11	10710	
125.8- 95.3	406.4	7.9	98.90	49.45	19640	
95.3- 50.3	457.2	9.5	133.6	66.81	33490	

表 3-14 水平材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
164.8	216.3	5.8	38.36	19.18	2126	
155.4	190.7	5.3	30.87	15.43	1327	
144.4	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
132.4	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
118.6	318.5	6.9	67.55	33.77	8202	
110.3	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
103.6	318.5	6.9	67.55	33.77	8202	
86.4	355.6	6.4	70.21	35.11	10710	
75.3	318.5	6.9	67.55	33.77	8202	
65.1	406.4	6.4	80.42	40.21	16090	

表 3-15 基礎の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	断面積 (m ²)	せん断 断面積 (m ²)	断面二次 モーメント (m ⁴)	備考
49.5-45.3	281.2	234.4	25270	
45.3-42.8	1006	838.3	87360	

表 3-16 地盤ばねの値

地盤ばね	標高 O.P. (m)	ばね剛性 ($\times 10^8 \text{kN/m}$) ($\times 10^{10} \text{kN}\cdot\text{m/rad}$) *	減衰係数 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{s/m}$) ($\times 10^8 \text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{s/rad}$) *	備考
水平	42.8	1.877	2.105	
鉛直	42.8	4.960	6.108	
回転	42.8	6.069	2.478	

注記*：回転ばねの単位を示す。

表 3-17 筒身支持点における水平ばねの値

標高 O.P. (m)	ばね剛性 ($\times 10^4 \text{kN/m}$)	位置*	備考
164.8	17.41	A	第 6 支持点
144.4	12.52	E	第 5 支持点
118.6	9.885	I	第 4 支持点
103.6	6.049	K	第 3 支持点
86.4	6.023	M	第 2 支持点
65.1	5.605	O	第 1 支持点

注記*：位置は、第 1 号機排気筒の概要図（図 2-2）に示す。

(5) 入力地震動

入力地震動は，添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.1 建物・構築物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

第1号機排気筒の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地震波を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定方法を図3-7に，入力地震動の地盤モデルを表3-18に示す。

基準地震動 S_s を用いて作成した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3-8及び図3-9に示す。

解析コードは「SHAKE 導入時 Ver.」を用いる。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，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

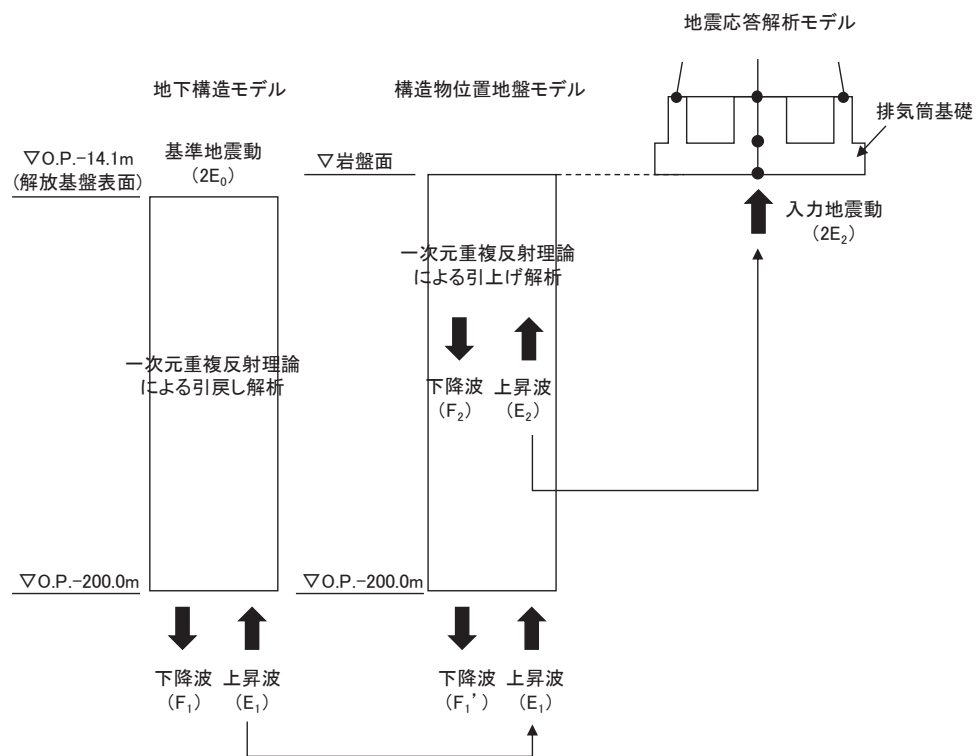
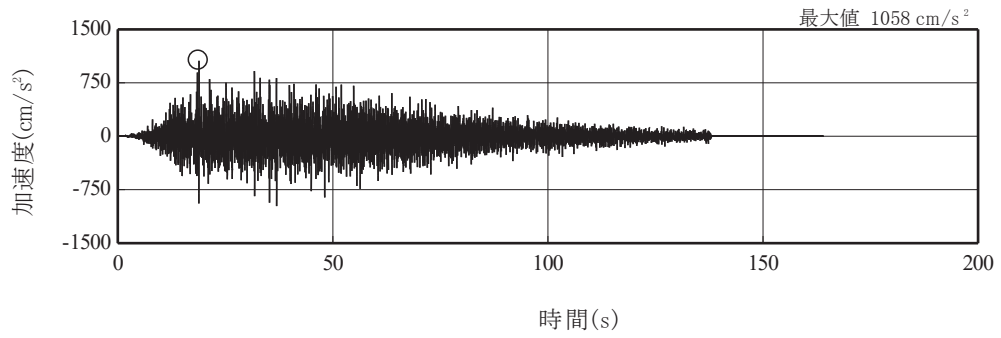


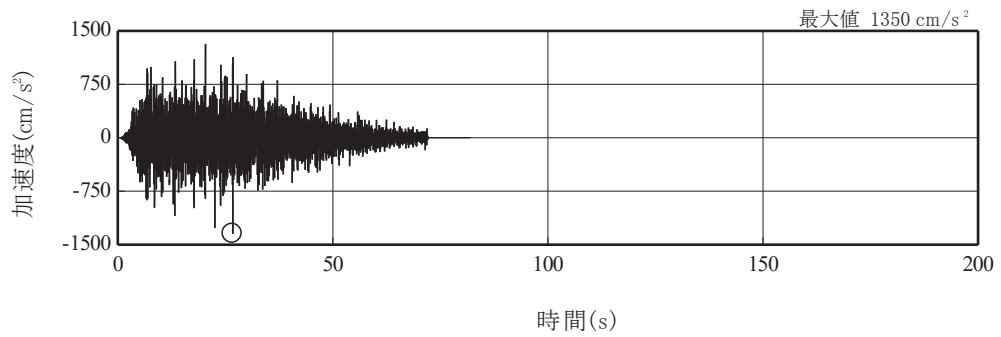
図3-7 入力地震動の算定方法

表 3-18 入力地震動の地盤モデル

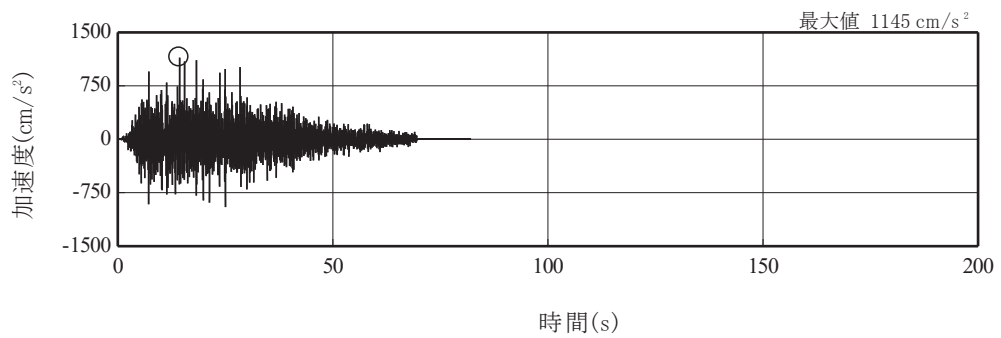
解放基盤モデル (引戻し解析)						構造物位置地盤モデル (引上げ解析)					
標高 O. P. (m)		単位体積 重 量 γ_t (t/m ³)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h (%)	標高 O. P. (m)	地質名	単位体積 重 量 γ_t (kN/m ³)	せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	P 波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h (%)
						42.8	▼排気筒基礎底面				
						40.6	C _L 級砂岩	24.1	1.40×10^6	2,310	3
						29.0	C _M 級砂岩	25.2	1.50×10^6	2,330	3
						24.4	C _M 級砂岩	25.2	5.70×10^6	3,650	3
						11.9	C _H 級砂岩	26.2	5.90×10^6	3,640	3
						-2.4	C _H 級砂岩	26.2	1.32×10^7	4,750	3
-14.1	▼解放基盤表面										
-25.0		2.43	1,300	3,420	3						
-80.0		2.51	2,150	4,700	3						
							C _H 級砂岩	26.2	1.65×10^7	5,170	3
-200.0		2.55	2,440	5,130	3						
-200.0						-200.0					
∞	(半無限岩盤)	2.55	2,440	5,130	3	∞	(半無限岩盤)	26.2	1.65×10^7	5,170	3



(a) S s - D 1

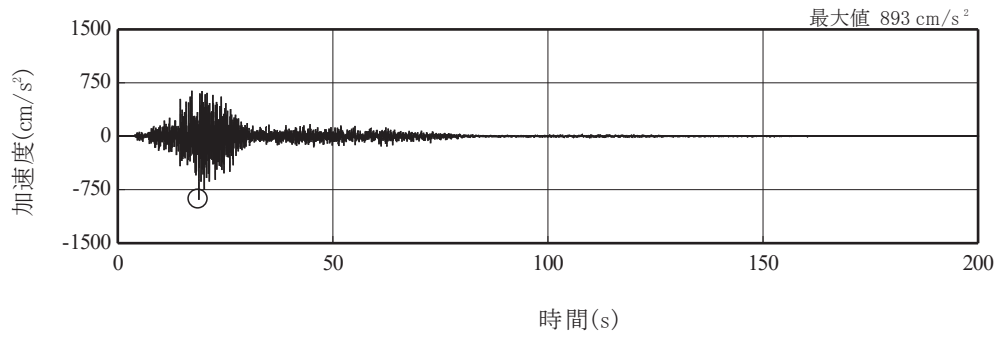


(b) S s - D 2

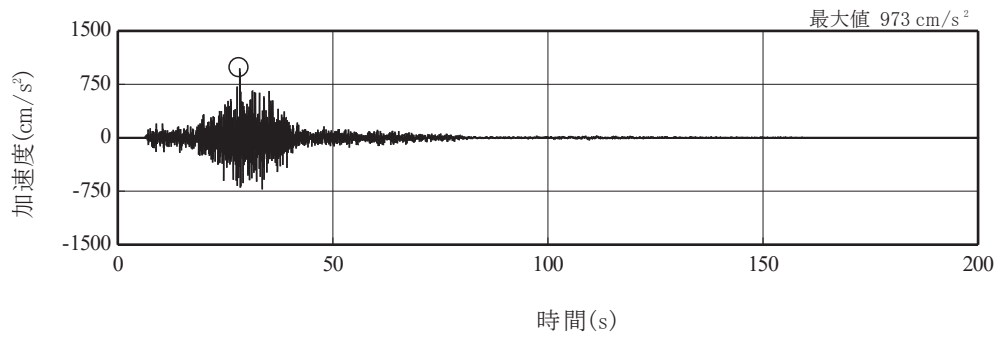


(c) S s - D 3

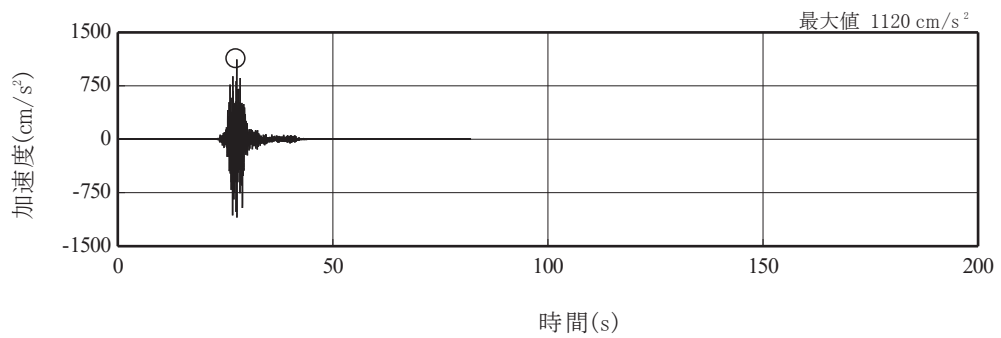
図 3-8(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (1/3)



(d) S s - F 1

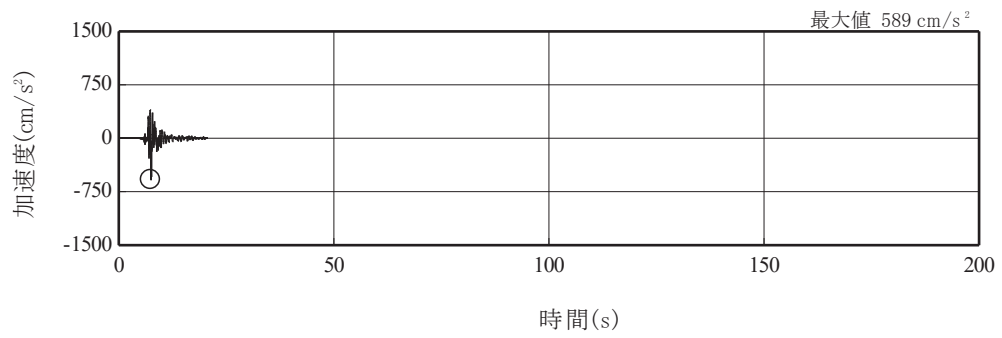


(e) S s - F 2



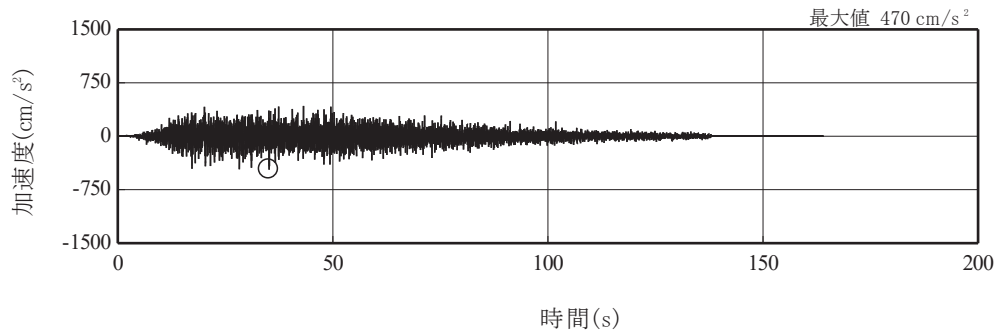
(f) S s - F 3

図 3-8(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (2/3)

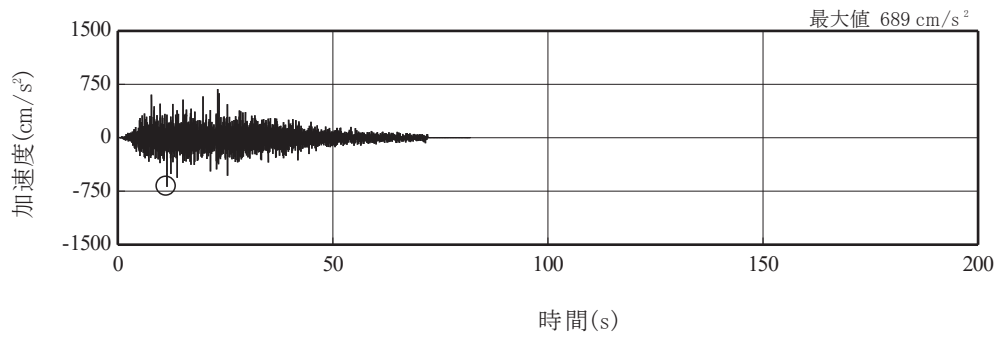


(g) S s - N 1

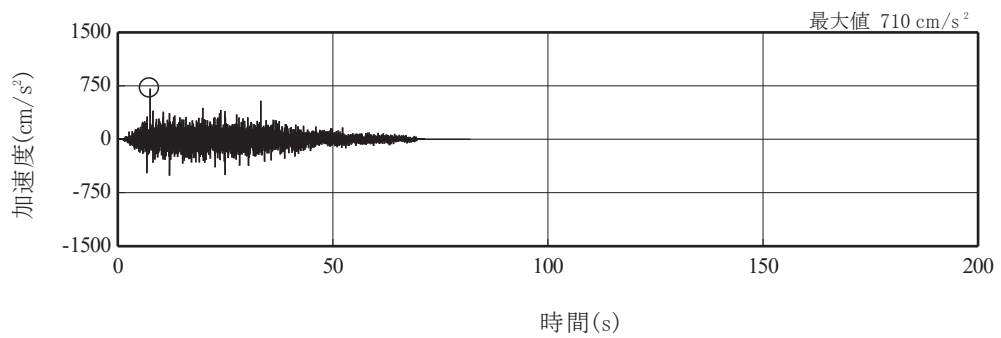
図 3-8(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

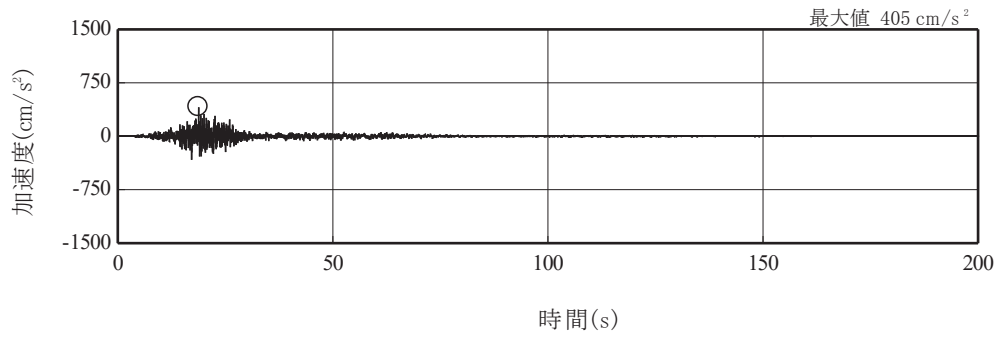


(b) S s - D 2

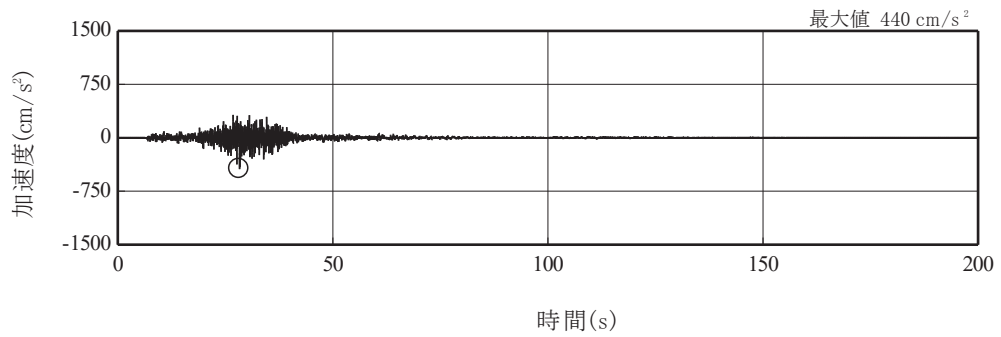


(c) S s - D 3

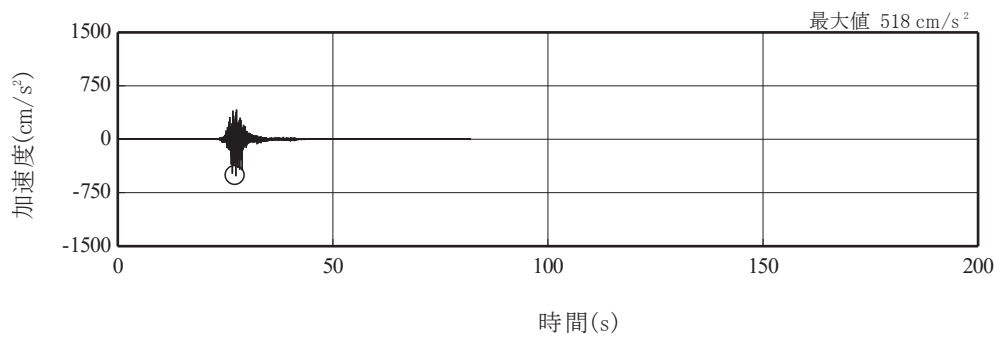
図 3-8(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

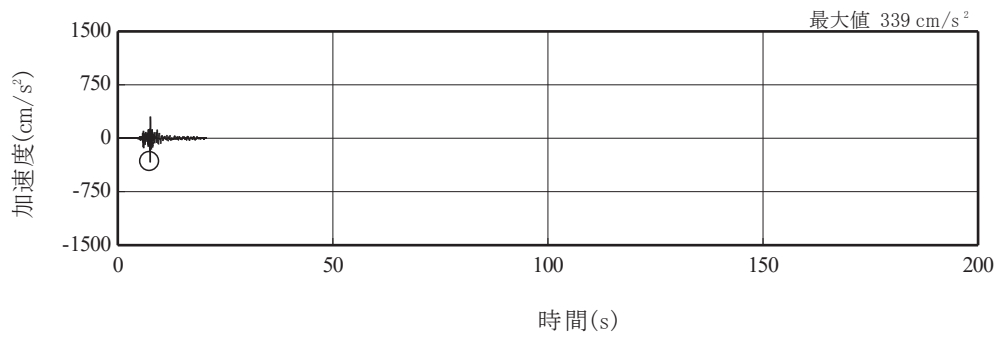


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-8(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 3-8(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

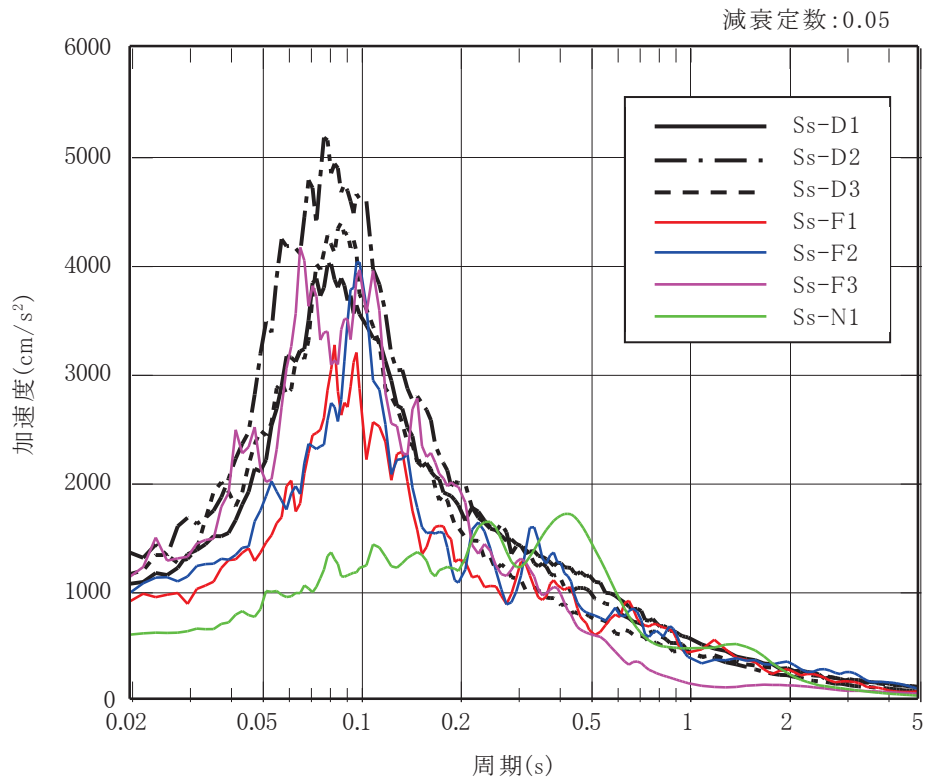


図 3-9(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 水平成分)

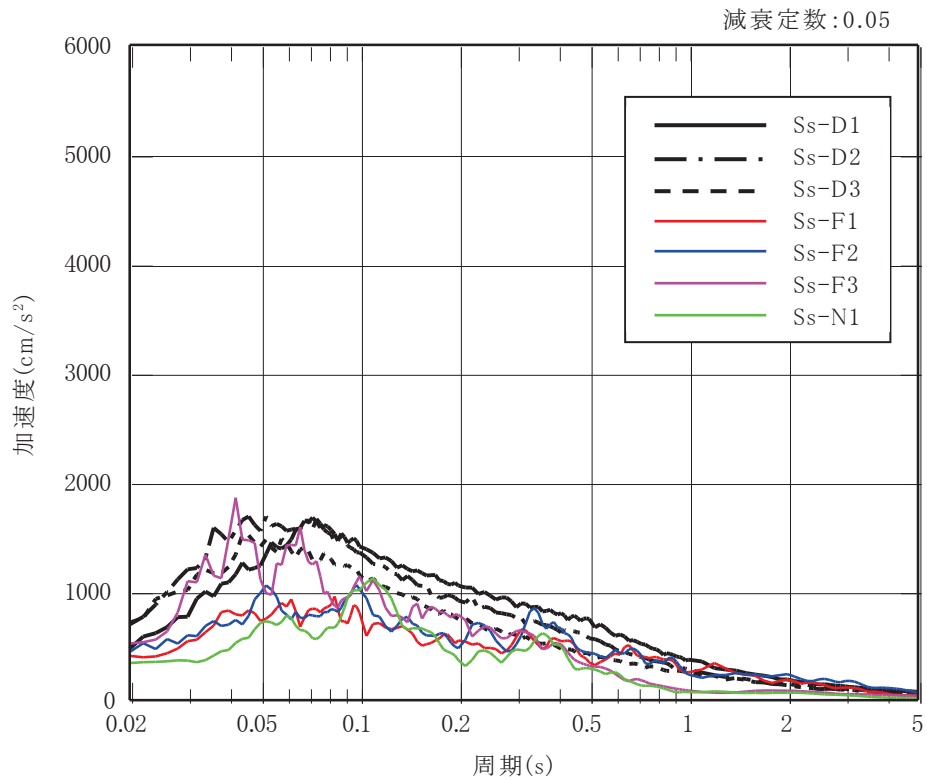


図 3-9(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 鉛直成分)

3.7.2 解析方法

第1号機排気筒の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、基準地震動 S_s を用いた入力地震動に対する地震応答解析により、各種応答値を算出する。

地震応答解析は、時刻歴直接積分法による線形解析を実施し、ひずみエネルギー比例型減衰で評価する。

解析コードは「DYNA2E Ver. 7.2.63」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.7.3 地盤物性及び材料物性の不確かさ

地盤物性及び材料物性の不確かさの影響を考慮するため、表3-19に示す解析ケースを設定する。第1号機排気筒は、岩盤上に直接基礎が構築され、周囲が盛土で埋戻されており、盛土等の土圧が主たる荷重となる他、第1号機排気筒及び基礎の質量が大きく、作用する慣性力も主たる荷重となることから、盛土・旧表土に加え、岩盤についても地盤のせん断弾性係数のばらつきを考慮する。

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を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして基礎の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

第1号機排気筒の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、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果に対して、最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②、③及び④を実施する。

表 3-19 第 1 号機排気筒の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	ケース④
	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	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性* ¹	平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性* ²	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度* ³
地震動	S s - D 1	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - D 2	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - D 3	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - F 1	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - F 2	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - F 3	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - N 1	○	△* ⁴	△* ⁴

注記*1: 地盤物性は、盛土、旧表土、 C_L 級岩盤、 C_M 級岩盤及び C_H 級岩盤(G:せん断弾性係数)を示す。

*2: 材料物性は、コンクリート(E:ヤング係数)を示す。

*3: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

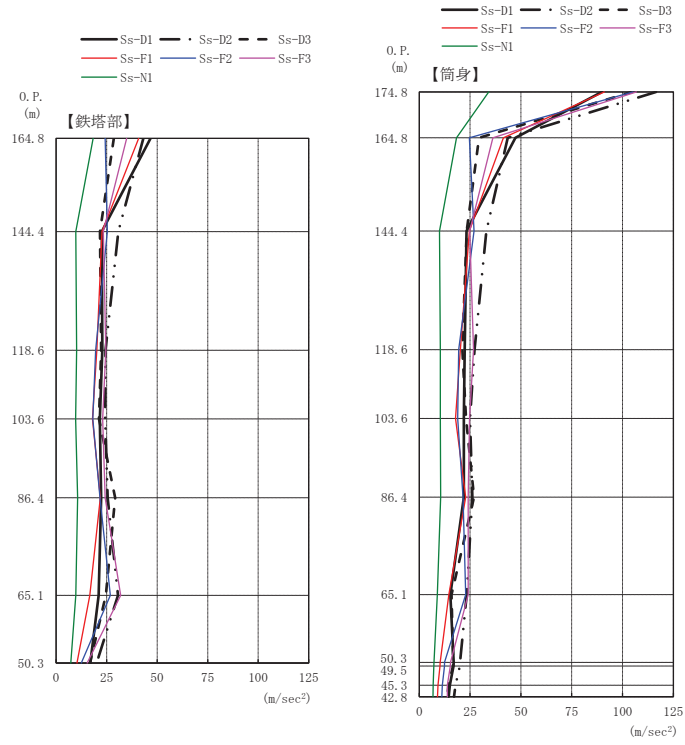
*4: △については、解析ケース①において、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果が最も厳しい地震動を用いる。

3.8 解析結果

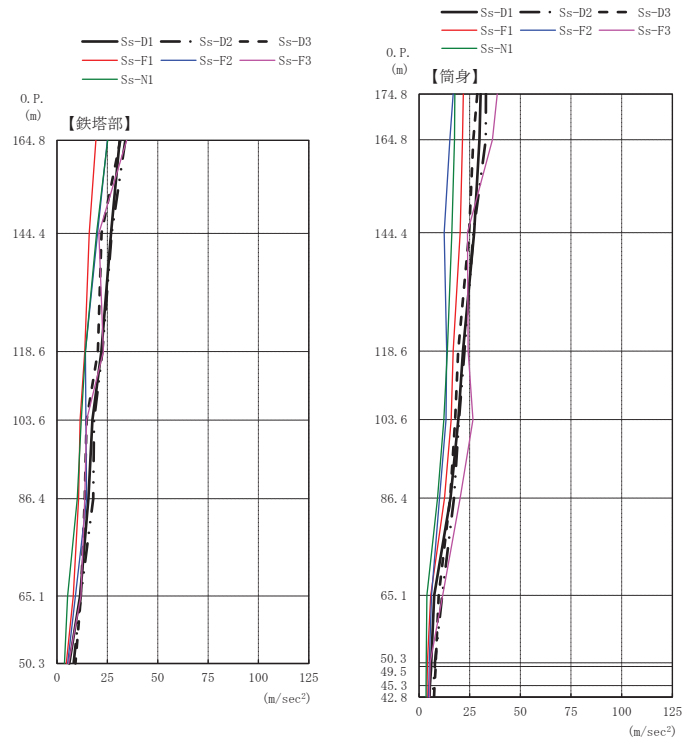
3.8.1 地震応答解析結果

基準地震動 S_s に対する各質点位置での加速度，軸力，曲げモーメントの高さ方向における最大応答分布を図 3-10～図 3-12 に示す。

また，基準地震動 S_s に対する応答について，排気筒の加振方向は，Ⅰ方向（0 度方向）及びⅡ方向（45 度方向）の解析結果（解析ケース①：基本ケース）を示す。

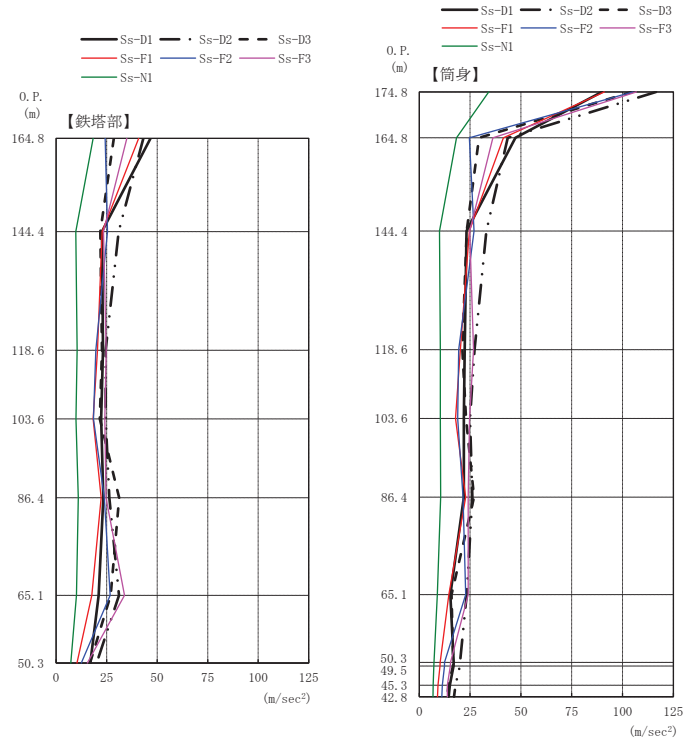


水平方向 (I 方向)

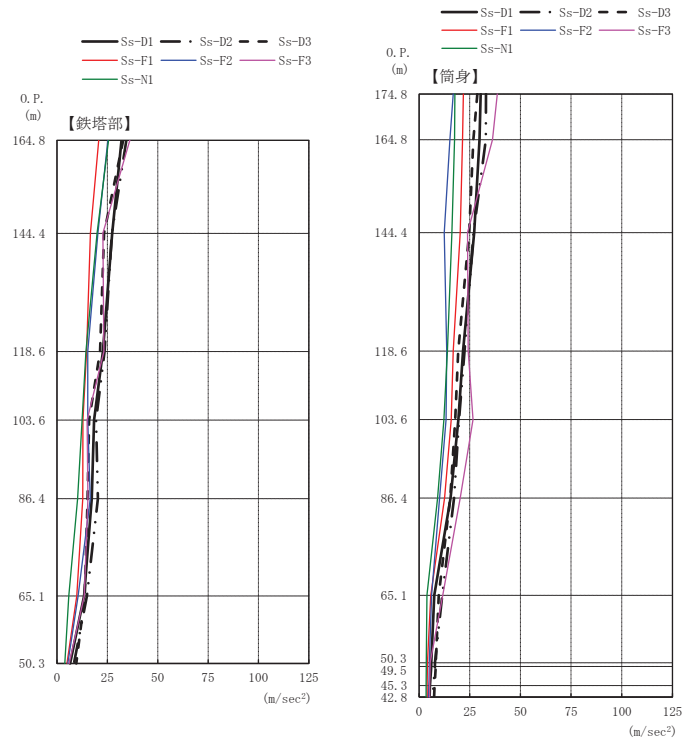


鉛直方向 (I 方向)

図 3-10(1) S s 地震時における最大応答加速度 (基本ケース) (1/2)

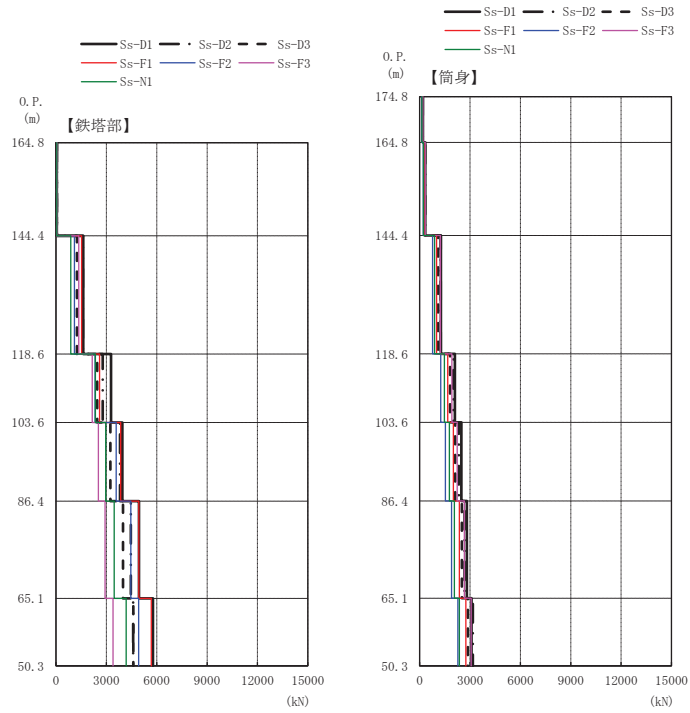


水平方向 (Ⅱ方向)

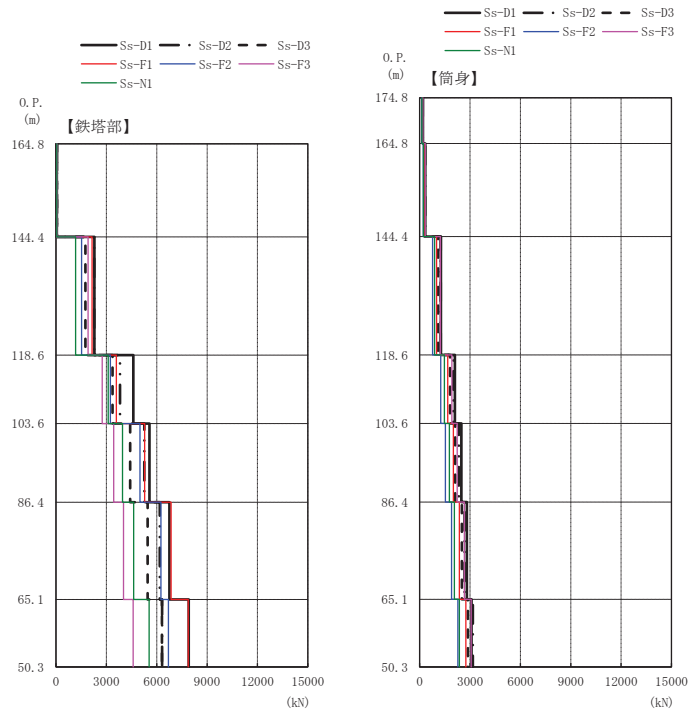


鉛直方向 (Ⅱ方向)

図 3-10(2) S s 地震時における最大応答加速度 (基本ケース) (2/2)

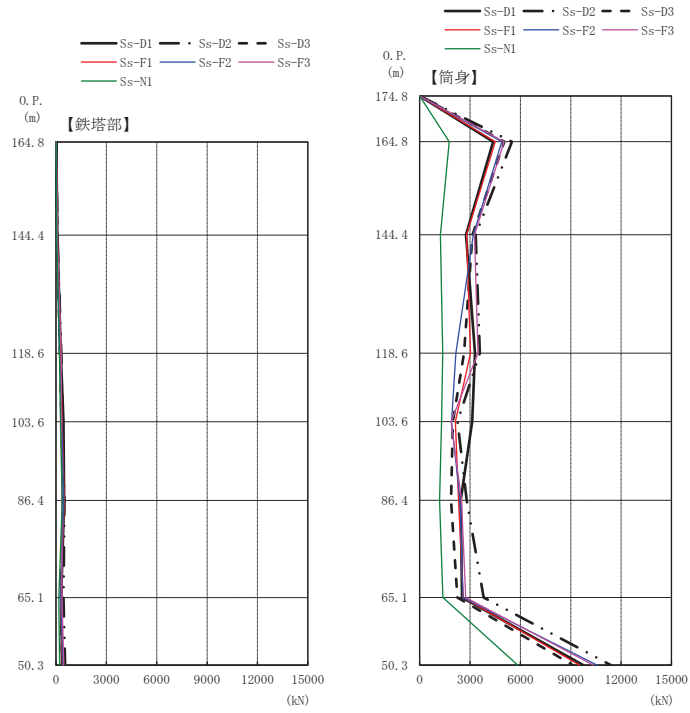


水平方向（Ⅰ方向）

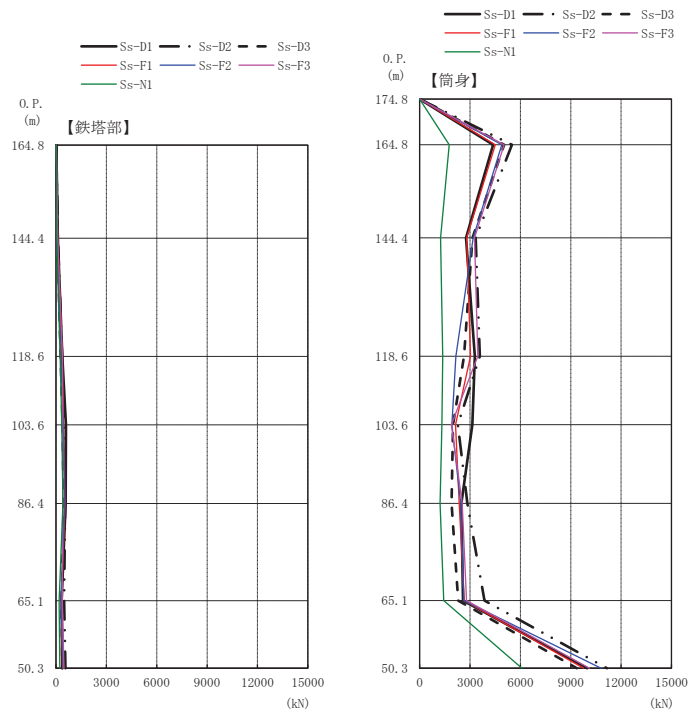


水平方向（Ⅱ方向）

図 3-11 S s 地震時における最大応答軸力（基本ケース）



水平方向（Ⅰ方向）



水平方向（Ⅱ方向）

図 3-12 S s 地震時における最大応答曲げモーメント（基本ケース）

4. 評価結果

4.1 耐震性能の評価結果

「3.6 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。断面の評価結果を記載する解析ケースは、軸力及び曲げモーメントによる基本ケース及びばらつきケースの断面検定において、応力度比が最大となる解析ケースとする。

基準地震動 S_s に対する断面算定結果を表 4-1～表 4-4 に示す。

基準地震動 S_s において、軸力及び曲げモーメントによる発生応力度の評価値が各許容値を超えないことを確認した。

表 4-1(1) S s 地震時における筒身の断面算定表 (SMA400AP) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			f_{cr} (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c / f_{cr} + $\sigma_b / b f_{cr}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)					
164.8	A	189.8	5703.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	2.7	101.1	0.52
160.3	B	324.0	5703.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	4.6	101.1	0.53
155.4	C	599.9	5422.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	8.5	96.1	0.52
149.8	D	838.8	5089.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	11.9	90.2	0.51
144.4	E	1031.6	3471.6	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	14.6	61.6	0.39
138.3	F	1235.7	3591.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	17.5	63.7	0.41
132.4	G	1436.4	4356.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	20.4	77.2	0.49
125.8	H	1617.8	4356.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	22.9	77.2	0.51
118.6	I	1784.3	3722.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	25.3	66.0	0.46
110.3	J	2082.6	3212.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	29.5	57.0	0.44
103.6	K	2282.6	3212.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	32.4	57.0	0.46
95.3	L	2347.7	2934.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	33.3	52.0	0.44
86.4	M	2506.1	2934.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	35.5	52.0	0.45
75.3	N	2661.6	3952.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	37.7	70.1	0.55
65.1	O	2857.0	3952.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	40.5	70.1	0.57
50.3	P	3124.3	11946.4	Ss-D2(ケース③)	$\phi 5226 \times 12$	1645.0	215000	175.3	193.1	19.0	55.6	0.40

表 4-1(2) S s 地震時における筒身の断面算定表 (SMA400AP) (II 方向) (2/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			f_{cr} (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c / f_{cr} + $\sigma_b / b f_{cr}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)					
164.8	A	189.8	5703.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	2.7	101.1	0.52
160.3	B	324.0	5703.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	4.6	101.1	0.53
155.4	C	599.9	5421.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	8.5	96.1	0.52
149.8	D	838.8	5086.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	11.9	90.2	0.51
144.4	E	1031.6	3472.3	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	14.6	61.6	0.39
138.3	F	1235.7	3596.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	17.5	63.8	0.41
132.4	G	1436.4	4351.7	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	20.4	77.2	0.49
125.8	H	1617.8	4351.7	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	22.9	77.2	0.51
118.6	I	1784.3	3717.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	25.3	65.9	0.46
110.3	J	2082.6	3226.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	29.5	57.2	0.44
103.6	K	2282.6	3226.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	32.4	57.2	0.46
95.3	L	2347.7	2968.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	33.3	52.6	0.44
86.4	M	2506.1	2968.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	35.5	52.6	0.45
75.3	N	2661.6	4004.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	37.7	71.0	0.56
65.1	O	2857.0	4004.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	40.5	71.0	0.57
50.3	P	3124.3	11707.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 5226 \times 12$	1645.0	215000	175.3	193.1	19.0	54.5	0.40

表 4-2(1) S s 地震時における主柱材の断面算定表 (STK400, SS400) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	54.1	21.5	Ss-D2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4511	32.3	250.2	258.5	6.3	25.6	0.13
160.3-155.4	B-C	804.7	28.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4936	35.3	248.6	258.5	93.4	34.0	0.51
155.4-149.8	C-D	832.1	57.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	5591	40.0	245.8	258.5	96.6	67.9	0.66
149.8-144.4	D-E	1635.2	90.6	Ss-D2(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	5376	27.9	252.3	258.5	111.7	46.0	0.63
144.4-138.3	E-F	1655.8	90.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	6154	31.9	250.4	258.5	113.1	45.7	0.63
138.3-132.4	F-G	2264.5	167.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	5888	24.0	253.9	258.5	88.4	38.0	0.50
132.4-125.8	G-H	2354.8	280.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	6643	27.1	252.6	258.5	91.9	63.9	0.62
125.8-118.6	H-I	3197.2	291.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	7268	22.9	254.3	258.5	96.6	39.6	0.54
118.6-110.3	I-J	3309.3	290.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	8271	26.1	253.1	258.5	100.0	39.5	0.55
110.3-103.6	J-K	3914.0	456.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	6800	19.3	255.5	258.5	106.2	50.0	0.61
103.6-95.3	K-L	3996.3	492.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	8310	23.5	254.1	258.5	108.5	54.0	0.64
95.3-86.4	L-M	4805.9	492.7	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	9013	25.6	253.3	258.5	102.1	42.8	0.57
86.4-75.3	M-N	4932.7	397.8	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	5567	15.8	256.5	258.5	104.8	34.6	0.55
75.3-65.1	N-O	5524.7	314.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	5243	14.9	256.7	258.5	103.8	24.2	0.50
65.1-50.3	O-P	5761.4	375.4	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	7573	21.6	254.8	258.5	108.2	28.9	0.54

表 4-2(2) S s 地震時における主柱材の断面算定表 (STK400, SS400) (Ⅱ方向) (2/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	52.4	21.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4511	32.3	250.2	258.5	6.1	25.0	0.13
160.3-155.4	B-C	1133.5	36.4	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4936	35.3	248.6	258.5	131.6	43.3	0.70
155.4-149.8	C-D	1133.4	63.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	5591	40.0	245.8	258.5	131.5	75.8	0.83
149.8-144.4	D-E	2342.6	115.2	Ss-D1(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	5376	27.9	252.3	258.5	160.0	58.5	0.87
144.4-138.3	E-F	2379.4	114.4	Ss-D1(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	6154	31.9	250.4	258.5	162.5	58.1	0.88
138.3-132.4	F-G	3189.9	222.3	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	5888	24.0	253.9	258.5	124.5	50.6	0.69
132.4-125.8	G-H	3214.3	299.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	6643	27.1	252.6	258.5	125.4	68.3	0.77
125.8-118.6	H-I	4536.0	381.2	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	7268	22.9	254.3	258.5	137.0	51.8	0.74
118.6-110.3	I-J	4658.1	380.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	8271	26.1	253.1	258.5	140.7	51.6	0.76
110.3-103.6	J-K	5554.7	611.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	6800	19.3	255.5	258.5	150.8	67.0	0.85
103.6-95.3	K-L	5637.4	612.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	8310	23.5	254.1	258.5	153.0	67.1	0.87
95.3-86.4	L-M	6720.5	542.3	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	9013	25.6	253.3	258.5	142.8	47.2	0.75
86.4-75.3	M-N	6857.3	541.2	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	5567	15.8	256.5	258.5	145.7	47.1	0.76
75.3-65.1	N-O	7673.3	351.8	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	5243	14.9	256.7	258.5	144.1	27.1	0.67
65.1-50.3	O-P	7870.9	396.5	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	7573	21.6	254.8	258.5	147.8	30.5	0.70

表 4-3(1) S s 地震時における斜材の断面算定表 (STK400) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	480.9	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	5691	62.0	228.0	258.5	105.2	0.0	0.47
160.3-155.4	B-C	502.2	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6032	65.8	224.1	258.5	109.9	0.0	0.50
155.4-149.8	C-D	554.9	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6872	74.9	214.0	258.5	121.4	0.0	0.57
149.8-144.4	D-E	478.8	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	6698	54.5	234.9	258.5	81.1	0.0	0.35
144.4-138.3	E-F	712.5	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7669	62.4	227.6	258.5	120.6	0.0	0.53
138.3-132.4	F-G	666.7	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7458	60.7	229.2	258.5	112.9	0.0	0.50
132.4-125.8	G-H	732.0	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	8440	68.7	221.0	258.5	123.9	0.0	0.57
125.8-118.6	H-I	641.4	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	8939	63.9	226.1	258.5	74.4	0.0	0.33
118.6-110.3	I-J	1014.96	0.0	Ss-F2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5105	36.5	247.9	258.5	117.8	0.0	0.48
110.3-103.6	J-K	821.6	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	4525	32.4	250.1	258.5	95.4	0.0	0.39
103.6-95.3	K-L	1100.5	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5515	39.4	246.1	258.5	127.7	0.0	0.52
95.3-86.4	L-M	1146.4	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	5783	36.9	247.7	258.5	96.2	0.0	0.39
86.4-75.3	M-N	1527.25	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	7143	45.5	242.0	258.5	128.1	0.0	0.53
75.3-65.1	N-O	1297.7	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	6861	43.7	243.3	258.5	108.9	0.0	0.45
65.1-50.3	O-P	1489.9	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	9910	63.2	226.8	258.5	125.0	0.0	0.56

表 4-3(2) S s 地震時における斜材の断面算定表 (STK400) (II 方向) (2/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k	λ	f_c	f_b	σ_c	σ_b	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	340.8	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	5691	62.0	228.0	258.5	74.6	0.0	0.33
160.3-155.4	B-C	371.1	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6032	65.8	224.1	258.5	81.2	0.0	0.37
155.4-149.8	C-D	409.8	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6872	74.9	214.0	258.5	89.7	0.0	0.42
149.8-144.4	D-E	369.3	0.0	Ss-D1(ケース①)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	6698	54.5	234.9	258.5	62.5	0.0	0.27
144.4-138.3	E-F	534.1	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7669	62.4	227.6	258.5	90.4	0.0	0.40
138.3-132.4	F-G	506.2	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7458	60.7	229.2	258.5	85.7	0.0	0.38
132.4-125.8	G-H	553.1	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	8440	68.7	221.0	258.5	93.6	0.0	0.43
125.8-118.6	H-I	565.0	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	8939	63.9	226.1	258.5	65.6	0.0	0.30
118.6-110.3	I-J	816.8	0.0	Ss-F2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5105	36.5	247.9	258.5	94.8	0.0	0.39
110.3-103.6	J-K	642.4	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	4525	32.4	250.1	258.5	74.6	0.0	0.30
103.6-95.3	K-L	812.4	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5515	39.4	246.1	258.5	94.3	0.0	0.39
95.3-86.4	L-M	961.9	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	5783	36.9	247.7	258.5	80.7	0.0	0.33
86.4-75.3	M-N	1207.9	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	7143	45.5	242.0	258.5	101.3	0.0	0.42
75.3-65.1	N-O	1260.7	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	6861	43.7	243.3	258.5	105.8	0.0	0.44
65.1-50.3	O-P	1418.1	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	9910	63.2	226.8	258.5	119.0	0.0	0.53

表 4-4(1) S s 地震時における水平材の断面算定表 (STK400) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k	λ	f_c	f_b	σ_c	σ_b	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)							
164.8	A	293.9	2.7	Ss-D2(ケース③)	$\phi 216.3 \times 5.8$	31.59	161	74	3250	44.0	243.1	258.5	93.0	16.8	0.45
155.4	C	52.4	1.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 190.7 \times 5.3$	24.91	112	65	3723	57.2	232.5	258.5	21.0	14.7	0.15
144.4	E	255.6	4.6	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	290	92	4277	46.6	241.2	258.5	55.9	15.8	0.30
132.4	G	88.7	3.3	Ss-D1(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	290	92	4882	53.2	236.0	258.5	19.4	11.4	0.13
118.6	I	347.6	4.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 318.5 \times 6.9$	57.57	438	109	5582	51.3	237.6	258.5	60.4	10.4	0.30
110.3	J	104.0	0.5	Ss-D2(ケース①)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	290	92	6000	65.4	224.5	258.5	22.8	1.8	0.11
103.6	K	290.9	3.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 318.5 \times 6.9$	57.57	438	109	6581	60.4	229.5	258.5	50.5	7.9	0.26
86.4	M	411.1	3.1	Ss-D3(ケース①)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	8053	65.5	224.4	258.5	69.6	6.2	0.34
75.3	N	204.7	0.4	Ss-D1(ケース②)	$\phi 318.5 \times 6.9$	57.57	438	109	9000	82.6	204.4	258.5	35.6	0.9	0.18
65.1	O	428.1	0.7	Ss-F2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 6.4$	67.68	666	141	10636	75.5	213.3	258.5	63.2	1.1	0.31

表 4-4(2) S s 地震時における水平材の断面算定表 (STK400) (II 方向) (2/2)

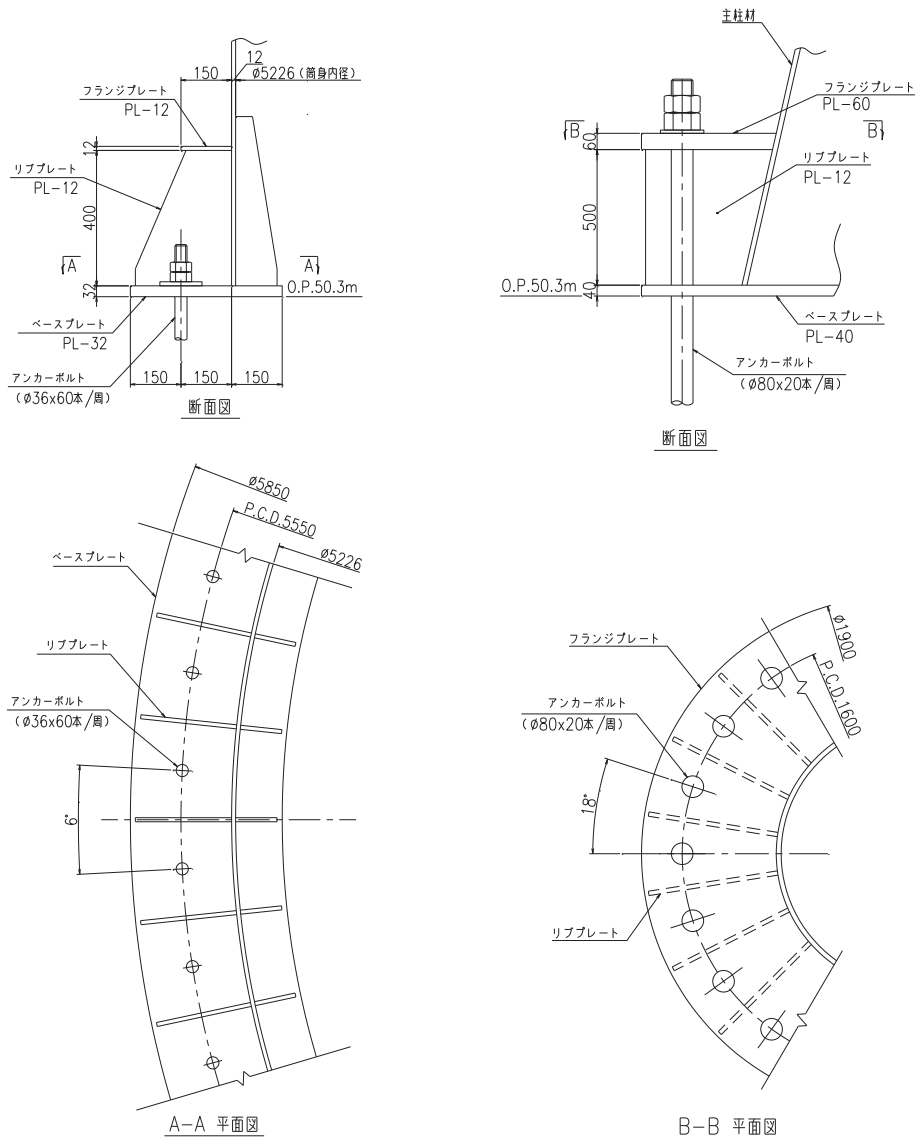
高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8	A	208.7	2.4	Ss-D2(ケース③)	ϕ 216.3 \times 5.8	31.59	161	74	3250	44.0	243.1	258.5	66.1	15.2	0.34
155.4	C	45.8	1.4	Ss-D1(ケース③)	ϕ 190.7 \times 5.3	24.91	112	65	3723	57.2	232.5	258.5	18.4	12.9	0.13
144.4	E	188.2	3.9	Ss-D2(ケース③)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	4277	46.6	241.2	258.5	41.2	13.4	0.23
132.4	G	98.1	2.9	Ss-D1(ケース③)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	4882	53.2	236.0	258.5	21.5	9.9	0.13
118.6	I	274.0	3.8	Ss-D2(ケース③)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	5582	51.3	237.6	258.5	47.6	8.6	0.24
110.3	J	100.0	0.4	Ss-D2(ケース①)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	6000	65.4	224.5	258.5	21.9	1.5	0.11
103.6	K	245.6	2.7	Ss-D2(ケース③)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	6581	60.4	229.5	258.5	42.7	6.2	0.21
86.4	M	310.5	2.8	Ss-D3(ケース①)	ϕ 355.6 \times 6.4	59.07	506	123	8053	65.5	224.4	258.5	52.6	5.5	0.26
75.3	N	160.4	0.4	Ss-D1(ケース②)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	9000	82.6	204.4	258.5	27.9	0.8	0.14
65.1	O	324.5	0.6	Ss-F2(ケース①)	ϕ 406.4 \times 6.4	67.68	666	141	10636	75.5	213.3	258.5	47.9	1.0	0.23

5. 脚部の断面評価

5.1 評価方法

5.1.1 概要

脚部の概要図を図 5-1 に示す。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。コンクリートの許容応力度は、「RC 規準」に規定される短期許容応力度とする。アンカーボルト以外の各プレートには、2mm の腐食代（両面 1mm ずつ）を考慮する。筒身脚部及び鉄塔脚部の脚部評価用反力を表 5-1 及び表 5-2 に示す。



(a) 筒身脚部

(b) 鉄塔脚部

注：板厚は腐食代 2mm を含む使用板厚を示す。

図 5-1 脚部の概要図（単位：mm）

表 5-1 筒身脚部の評価用反力 (S_s-D 2, ケース③)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)
3207	89	980	11946

表 5-2 鉄塔脚部の評価用反力 (S_s-F 1, ケース①)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)
9111	7128	3130	397

5.2 アンカーボルトに対する検討

5.2.1 アンカーボルトの引張応力度に対する検討

アンカーボルトに作用する引張力は脚部に作用する軸力と曲げモーメントの荷重状態に応じて算出する。

すべてのアンカーボルトが引張状態となる場合、アンカーボルトの全数で引張力に抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力は次式のとおり算定する。

$$P = N / n_0 + M / Z_b$$

ここに

- P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)
 N : 軸力 (N)
 n_0 : アンカーボルト本数 (本) (n_0 = 筒身:60本, 鉄塔:20本)
 M : 曲げモーメント (N・mm)
 Z_b : アンカーボルト群の中心線周りの断面係数 (mm)
 (Z_b = 筒身:83364mm, 鉄塔:7995mm)

中立軸が断面内にあり一部のアンカーボルトが引張状態となる場合、断面内の圧縮荷重に対しては圧縮側にあるベースプレート下面のコンクリートで、引張力に対しては引張側にあるアンカーボルトで抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力はベースプレートの平面形状を円環の鉄筋コンクリート断面とした応力算定式より求める。

アンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_t$$

ここに

- σ_t : アンカーボルトねじ部の引張応力度 $\sigma_t = P / A_e$ (N/mm²)
 P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)
 A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)
 (A_e = 筒身:816.7mm², 鉄塔:4110mm²)
 f_t : アンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容引張応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

5.2.2 アンカーボルトのせん断応力度に対する検討

アンカーボルトのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau \leq f_s$$

ここに

τ : アンカーボルトねじ部のせん断応力度 $\tau = Q / A_e$ (N/mm²)

Q : 1本当たりのアンカーボルトに作用するせん断力 (N)

A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)

f_s : アンカーボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

5.2.3 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討

引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_{ts}$$

ここに

σ_t : 5.2.1 に規定するアンカーボルトねじ部の引張応力度 σ_t (N/mm²)

f_{ts} : 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²), $f_{ts} = 1.4 f_t - 1.6 \tau$ かつ, $f_{ts} \leq f_t$

f_t : 5.2.1 に規定するアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

τ : 5.2.2 に規定するアンカーボルトねじ部のせん断応力度 (N/mm²)

5.2.4 コンクリートのコーン状破壊に対する検討

コンクリートのコーン状破壊に対する許容引張力は、アンカーボルトの引張力が以下に示すコンクリート部の引張力に対する許容値以下であることを確認する。

$$P \leq p_a = \text{Min} (p_{a1}, p_{a2})$$

ここに、

$$p_{a1} = \alpha \cdot 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$$

ここに

- P : 5.2.1に規定するボルト1本当たりの引張荷重 (N)
- p_a : アンカーボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)
- p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)
- p_{a2} : アンカーボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)
- α : 有効投影断面積の範囲内にせん断補強筋を配する場合で、鉄筋比が0.4%以上ある場合は1.5、それ以外は1.0とする。
(ここでは筒身脚部は $\alpha = 1.0$ 、鉄塔脚部は $\alpha = 1.5$)
- K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 ($K_1 = 2/3$)
- K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 ($K_2 = 1$)
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
- A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)
- α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数、 $\alpha_c = \sqrt{A_c / A_0}$ で6を超える場合は6
- A_0 : 支圧面積 (mm²)

5.3 ベースプレートに対する検討

5.3.1 コンクリートの圧縮応力度に対する検討

ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_c \leq f_c$$

ここに

σ_c : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

(「RC規準」の短期許容圧縮応力度)

5.3.2 ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討 (鉄塔脚部)

ベースプレートの下面にはコンクリートの圧縮応力度 (σ_c) が等分布荷重として作用する (図 5-2)。リブプレート及び鉄塔の部材位置を固定とする 3 辺固定 1 辺自由板としてベースプレートの面外曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度 (N/mm²)

(等分布荷重を受ける 3 辺固定 1 辺自由板の応力図より算定)

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

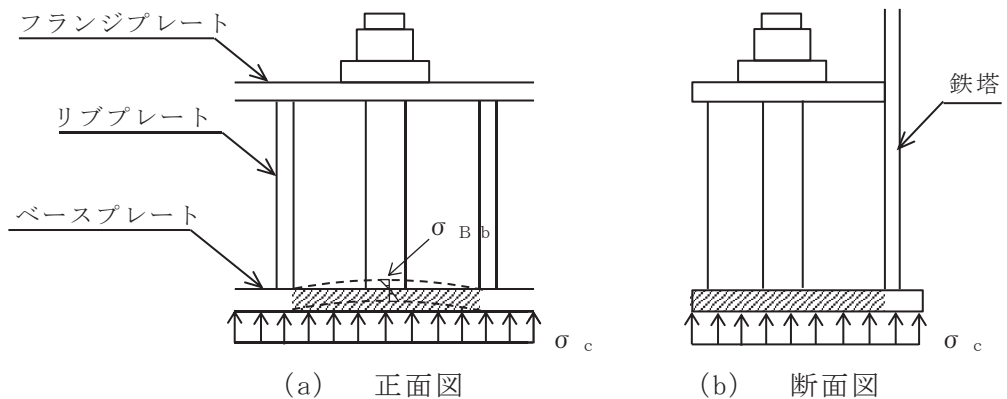


図 5-2 ベースプレート応力算定説明図

5.3.3 ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討（筒身脚部）
 ベースプレートの下面にはコンクリートの圧縮応力度（ σ_c ）が等分布荷重として作用する（図 5-3）。リブプレート及び筒身の部材位置を固定とする 3 辺固定 1 辺自由板としてベースプレートの面外曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度 (N/mm²)
 (等分布荷重を受ける 3 辺固定 1 辺自由板の応力図より算定)

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度 (N/mm²)
 (「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ
 応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1
 を適用して算定)

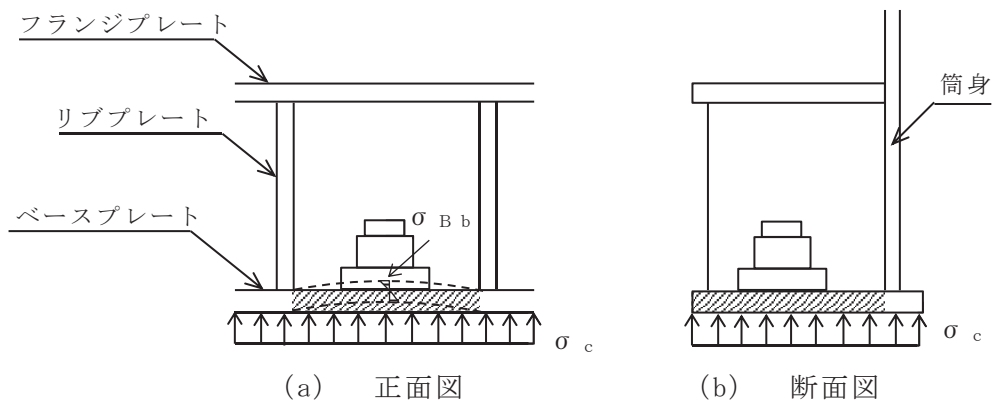


図 5-3 ベースプレート応力算定説明図

5.3.4 ベースプレートのアンカーボルト引張力による面外曲げに対する検討（筒身脚部）

ベースプレートにはアンカーボルトの引張力（P）が集中荷重として作用する（図5-4）。リブプレート位置を固定とする2辺固定板（両端固定梁）としてベースプレートの面外の曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度（N/mm²）
 （リブプレート間を梁スパンとする両端固定梁として算定）

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度（N/mm²）
 （「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定）

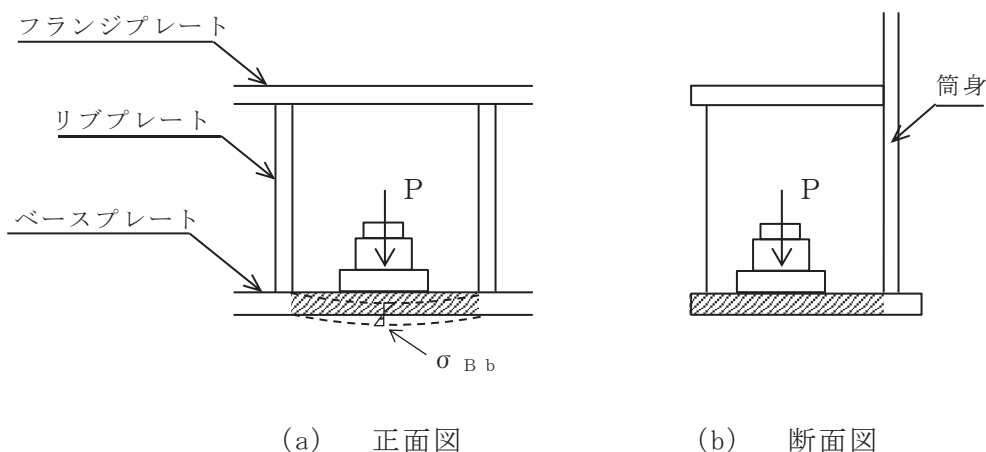


図5-4 ベースプレート応力算定説明図

5.4 フランジプレートに対する検討（鉄塔脚部）

5.4.1 フランジプレートの面外曲げに対する検討

フランジプレートにはアンカーボルトの引張力（P）が集中荷重として作用する（図 5-5）。リブプレート位置を固定とする 2 辺固定板（両端固定梁）としてフランジプレートの面外の曲げ応力度を算定する。フランジプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Fb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Fb} : フランジプレートの面外曲げ応力度（N/mm²）
 （リブプレート間を梁スパンとする両端固定梁として算定）

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度（N/mm²）
 （「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ
 応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1
 を適用して算定）

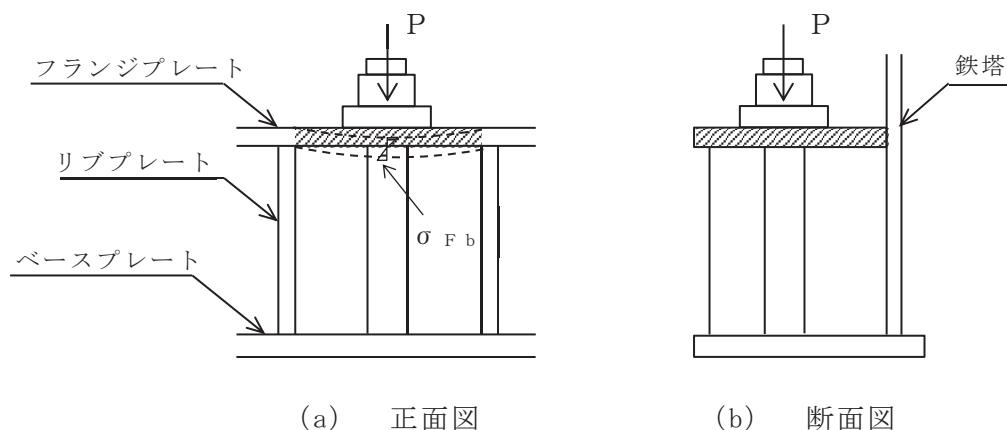


図 5-5 フランジプレート応力算定説明図

5.5 リブプレートに対する検討

5.5.1 リブプレートの圧縮応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力（ P ）又はベースプレート下面からの圧縮力（ σ_c ）によってリブプレートに圧縮応力度が作用する（図 5-6）。リブプレートの圧縮応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

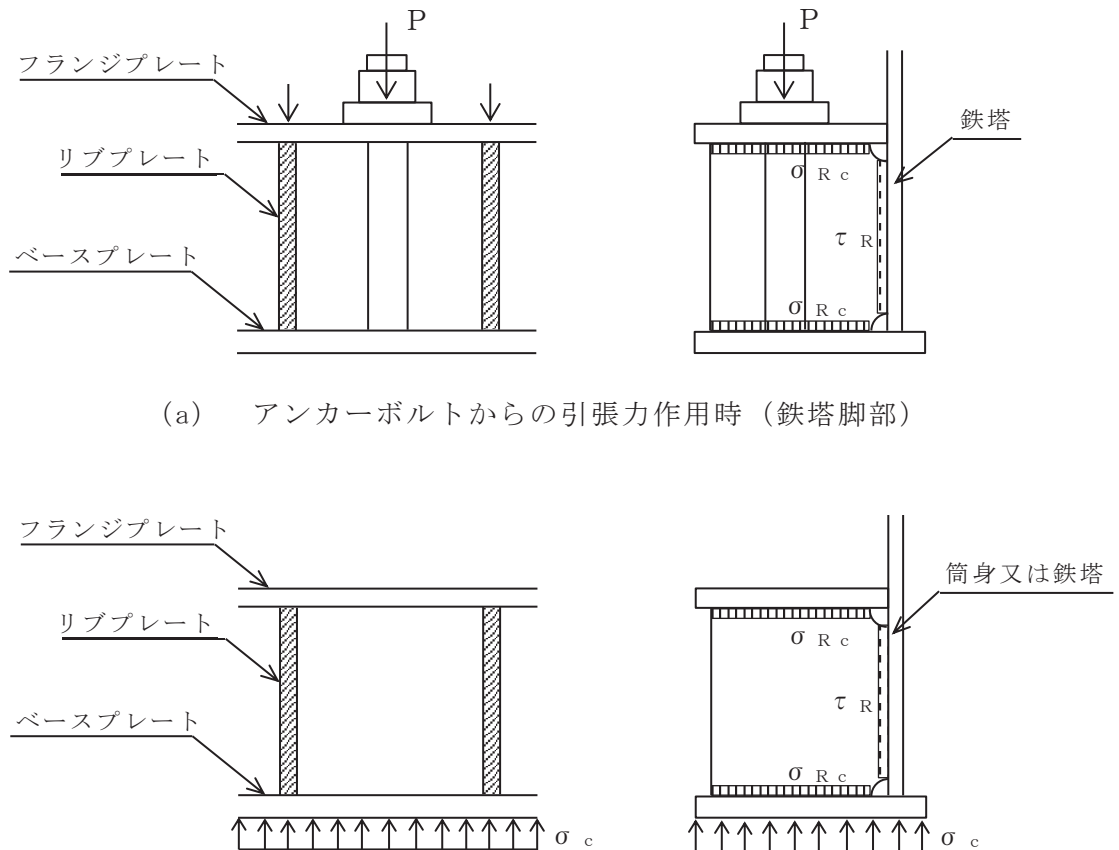
$$\sigma_{Rc} \leq f_c$$

ここに

σ_{Rc} : リブプレートの圧縮応力度（ N/mm^2 ）

f_c : リブプレートの許容圧縮応力度（ N/mm^2 ）

（リブプレートは「鋼構造設計規準」の幅厚比制限を満足するものとし、 f_c は「技術基準解説書」に基づき F 値 $\times 1.1$ の値）



(b) ベースプレート下面からの圧縮力作用時

図 5-6 リブプレート応力算定説明図

5.5.2 リブプレートのせん断応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力(P)又はベースプレート下面からの圧縮力(σ_c)によってリブプレートにせん断応力度が作用する(図5-6)。リブプレートのせん断応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau_R \leq f_s$$

ここに

τ_R : リブプレートのせん断応力度 (N/mm²)

f_s : リブプレートの許容せん断応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づきF値×1.1を適用して算定)

5.6 評価結果

筒身脚部及び鉄塔脚部の各部位の評価結果を表 5-3 及び表 5-4 に、発生応力/許容値の一覧表を表 5-5 及び表 5-6 に示す。なお、本節における応力計算結果は、各地震動、検討ケースに対して、I 方向及びII 方向の軸力・曲げモーメントの最大値同士を組合せて用いたものである。

表 5-5 及び表 5-6 により、筒身脚部及び鉄塔脚部における各部位の発生応力は、各許容値以下であることを確認した。

表 5-3(1) 筒身脚部の評価結果 (S s - D 2, ケース③) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルトの検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	235
	アンカーボルトの引張力 (1 本当たり)	P	kN	131
	アンカーボルトのせん断力 (1 本当たり)	Q	kN	16.4
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A _e	mm ²	817
	アンカーボルトの引張応力度	σ_t	N/mm ²	160.0
	アンカーボルトの許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	20.1
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	アンカーボルトの許容引張応力度 (せん断力との組合せ)	f _{t s}	N/mm ²	258.5
コンクリートのコーン状破壊に対する検討	コンクリートの基準強度	F _c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本当たり)	A _c	mm ²	712407
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本当たり)	p _a	kN	660
コンクリートの圧縮応力度に対する検討	ベースプレートの幅	B _b	mm	450
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	2.3
	コンクリートの許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	17.4

表 5-3(2) 筒身脚部の評価結果 (S s - D 2, ケース③) (2/2)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SS400
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	32
	コンクリート圧縮による面外曲げモーメント (単位幅当たり)	M _b	N・mm/mm	14600
	コンクリート圧縮による面外曲げモーメントに対する断面係数(単位幅当たり)	Z _b [*]	mm ³ /mm	160
	コンクリート圧縮による面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	91.2
	アンカーボルト引張力による面外曲げモーメント	M _b	N・mm/mm	8975485
	アンカーボルト引張力による面外曲げモーメントに対する断面係数(有効幅当たり)	Z _b [*]	mm ³ /mm	44030
	アンカーボルト引張力による面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	203.9
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{bl}	N/mm ²	258.5
リブプレート の検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	12
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	293
	リブプレートの断面積	A _r [*]	mm ²	2850
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	102.8
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	72.7
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-4(1) 鉄塔脚部の評価結果 (S s - F 1, ケース①) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルトの検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	215
	アンカーボルトの引張力 (1本あたり)	P	kN	406
	アンカーボルトのせん断力 (1本あたり)	Q	kN	156.5
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A _e	mm ²	4110
	アンカーボルトの引張応力度	σ_t	N/mm ²	98.8
	アンカーボルトの許容引張応力度	f _t	N/mm ²	236.5
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	38.1
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	136.5
	アンカーボルトの許容引張応力度 (せん断力との組合せ)	f _{t s}	N/mm ²	236.5
コンクリートのコーン状破壊に対する検討	コンクリートの基準強度	F _c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1本あたり)	A _c	mm ²	450000
	コンクリート部の許容引張荷重 (1本あたり)	p _a	kN	625
コンクリートの圧縮応力度に対する検討	ベースプレートの幅	B _b	mm	950
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	3.6
	コンクリートの許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	17.4
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SM400A
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	40
	コンクリート圧縮による面外曲げモーメント (単位幅あたり)	M _b	N・mm/mm	26945
	面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅あたり)	Z _b *	mm ³ /mm	254
	ベースプレートの面外曲げ応力度	$\sigma_{B b}$	N/mm ²	106.3
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b 1}	N/mm ²	258.5

表 5-4(2) 鉄塔脚部の評価結果 (S s - F 1, ケース①) (2/2)

項目		記号	単位	数値
フランジプレート の面外曲 げに対する検 討	フランジプレートの材質	-	-	SM400A
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm ²	215
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t _f	mm	60
	アンカーボルトの引張力による面外 曲げモーメント	M _f	kN・mm	30297750
	面外曲げモーメントに対する断面係 数	Z _f [*]	mm ³	167359
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ _{Fb}	N/mm ²	181.1
	フランジプレートの許容面外曲げ応 力度	f _{b1}	N/mm ²	236.5
リブプレート の検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	16
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	510
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A _r [*]	mm ²	6048
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	84.4
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	72.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-5 筒身脚部の評価結果 (S_s-D2, ケース③)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	160.0	258.5	0.62
	せん断	N/mm ²	20.1	149.2	0.14
	組合せ	N/mm ²	160.0	258.5	0.62
コンクリート (コーン状破壊)	引張* ¹	kN	131	660	0.20
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	2.3	17.4	0.14
ベースプレート* ²	面外曲げ	N/mm ²	203.9	258.5	0.79
リブプレート	圧縮	N/mm ²	102.8	258.5	0.40
	せん断	N/mm ²	72.7	149.2	0.49

注記*1: アンカーボルト 1 本当たりの引張力

*2: コンクリート圧縮力による面外曲げと, アンカーボルト引張力による面外曲げの発生応力が大きい方を記載

表 5-6 鉄塔脚部の評価結果 (S_s-F1, ケース①)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	98.8	236.5	0.42
	せん断	N/mm ²	38.1	136.5	0.28
	組合せ	N/mm ²	98.8	236.5	0.42
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	406	625	0.65
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	3.6	17.4	0.21
ベースプレート	面外曲げ	N/mm ²	106.3	258.5	0.42
フランジプレート	面外曲げ	N/mm ²	181.1	236.5	0.77
リブプレート	圧縮	N/mm ²	84.4	258.5	0.33
	せん断	N/mm ²	72.5	149.2	0.49

注記*: アンカーボルト 1 本当たりの引張力

VI-2-別添 2 溢水防護に係る施設の耐震性に関する説明書

目 次

- VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針
- VI-2-別添 2-4 循環水系隔離システムの耐震性についての計算書
- VI-2-別添 2-5 タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震性についての計算書
- VI-2-別添 2-6 逆流防止装置の耐震性についての計算書

VI-2-別添 2-4 循環水系隔離システムの耐震性についての計算書

目次

1.	循環水系隔離システム (N71-LE041A, B, C)	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.3	固有周期	3
1.4	構造強度評価	3
1.4.1	構造強度評価方法	3
1.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
1.5	機能維持評価	6
1.5.1	電氣的機能維持評価方法	6
1.6	評価結果	7
1.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	7
2.	循環水系隔離システム (N71-LE043A, B, C)	11
2.1	概要	11
2.2	一般事項	11
2.2.1	構造計画	11
2.3	固有周期	13
2.4	構造強度評価	13
2.4.1	構造強度評価方法	13
2.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	13
2.5	機能維持評価	16
2.5.1	電氣的機能維持評価方法	16
2.6	評価結果	17
2.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	17

1. 循環水系隔離システム (N71-LE041A, B, C)

1.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、循環水系隔離システム (N71-LE041A, B, C) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

循環水系隔離システム (N71-LE041A, B, C) は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、循環水系隔離システム (N71-LE041A, B, C) が設置される計器スタンションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計器スタンションであるため、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計器スタンションの基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スタンションが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

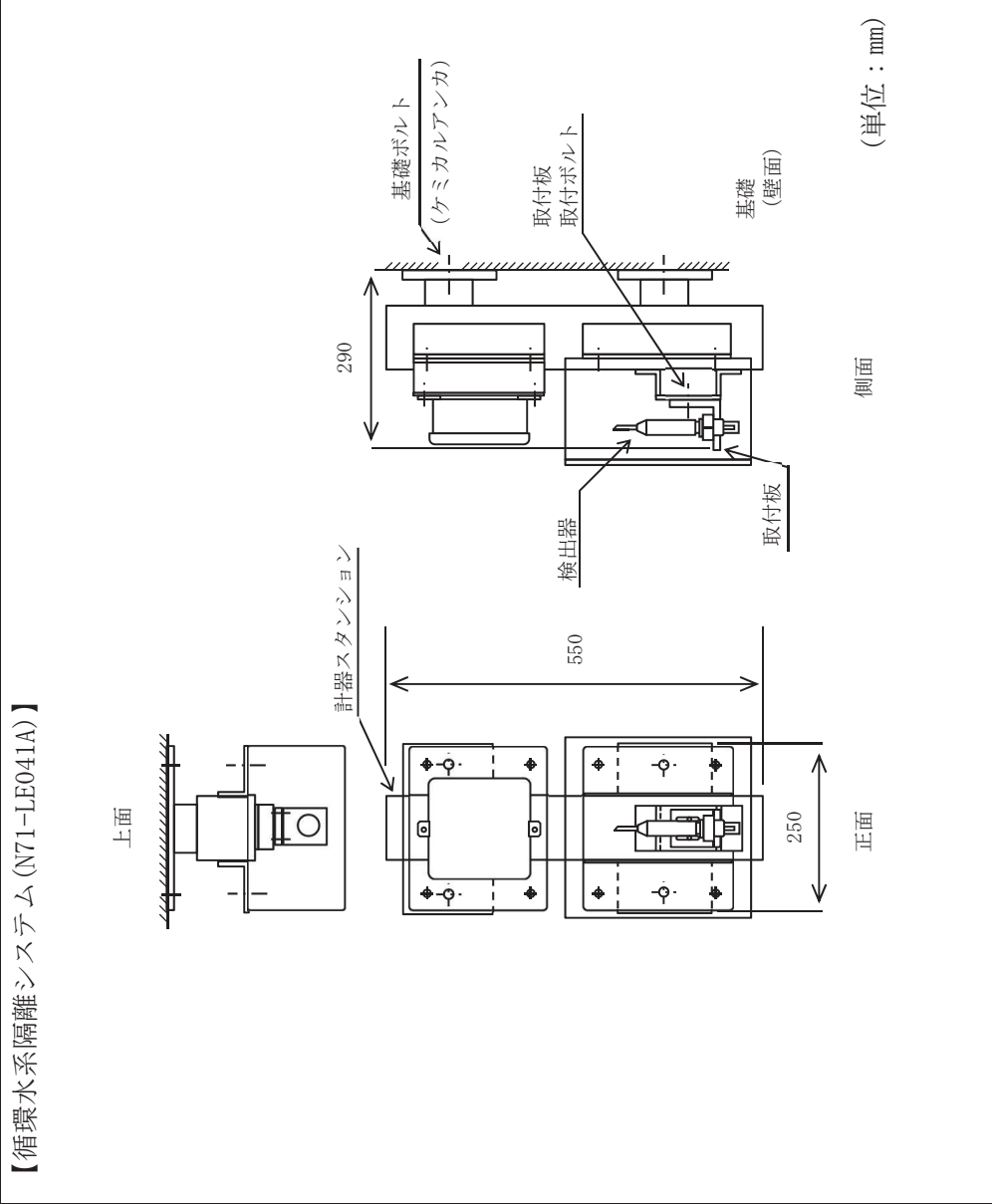
評価部位	評価方法	構造計画
N71-LE041A (代表) N71-LE041B N71-LE041C	VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 1-2 構造計画

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

循環水系隔離システム (N71-LE041A) の構造計画を表 1-2 に示す。

表 1-2 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p>	<p>電極式水位検出器</p>	<p>【循環水系隔離システム (N71-LE041A)】</p> 	
<p>検出器は、取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>			

1.3 固有周期

循環水系隔離システム（N71-LE041A）が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の結果確認された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 1-3 に示す。

表 1-3 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

循環水系隔離システム（N71-LE041A）の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環水系隔離システム（N71-LE041A）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 1-4 に示す。

1.4.2.2 許容応力

循環水系隔離システム（N71-LE041A）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水系隔離システム（N71-LE041A）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 1-6 に示す。

表 1-4 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
その他発電 用原子炉の 附属施設	循環水系隔離システム (N71-LE041A)	C	—*	D + S s	IV _{AS}

注記* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 1-5 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
IV _A S	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 1-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度		211	394	—
		50				

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

循環水系隔離システム (N71-LE041A) の電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンション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。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
循環水系隔離システム (N71-LE041A)	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水系隔離システム（N71-LE041A）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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水系隔離システム (N71-LE041A) 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
循環水系隔離システム (N71-LE041A)	C	タービン建屋 0.P.0.80 (0.P. 7.60*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C _H =1.67	C _V =0.89	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A ^b (mm ²)	n	n _{rV}	n _{rH}
基礎ボルト		260						4	2	2

部材	S _v (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又 は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	211	394	—	253	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

部材	F _b		Q _b		(単位：N)
	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト	—		—		

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

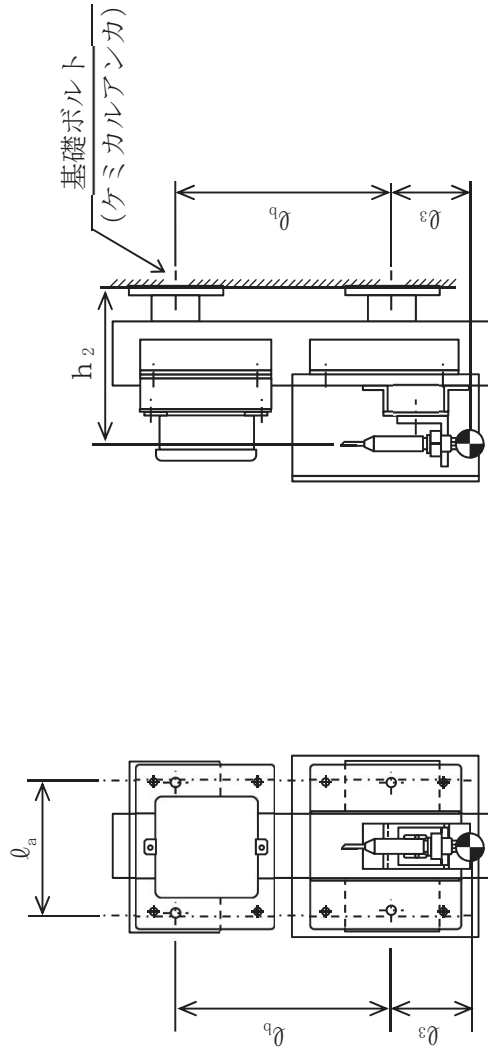
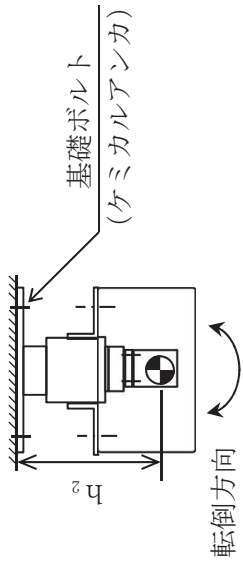
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		(単位：MPa)
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 7$	$f_{ts} = 190^*$	
		せん断	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 146$	

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

1.4.2 電氣的機能の評価結果

循環水系隔離システム (N71-LE041A)	機能維持評価用加速度*		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
	水平方向	鉛直方向	
	1.39		
	0.75		

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



2. 循環水系隔離システム (N71-LE043A, B, C)

2.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、循環水系隔離システム (N71-LE043A, B, C) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

循環水系隔離システム (N71-LE043A, B, C) は設計基準対象施設においてはCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、循環水系隔離システム (N71-LE043A, B, C) が設置される計器スタンションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計器スタンションであるため、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計器スタンションの基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スタンションが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。

評価対象を表 2-1 に示す。

表 2-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
N71-LE043A (代表) N71-LE043B N71-LE043C	VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 2-2 構造計画

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

循環水系隔離システム (N71-LE043A) の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 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>検出器は、取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電極式水位検出器</p>	<p>【循環水系隔離システム (N71-LE043A)】</p> <p>(単位: mm)</p>

2.3 固有周期

循環水系隔離システム（N71-LE043A）が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の結果確認された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

2.4 構造強度評価

2.4.1 構造強度評価方法

循環水系隔離システム（N71-LE043A）の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環水系隔離システム（N71-LE043A）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 2-4 に示す。

2.4.2.2 許容応力

循環水系隔離システム（N71-LE043A）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水系隔離システム（N71-LE043A）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 2-6 に示す。

表 2-4 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
その他発電 用原子炉の 附属施設	循環水系隔離システム (N71-LE043A)	C	—*	D + S s	IV _{AS}

注記* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 2-5 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
IV _A S	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 2-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度		211	394	—
		50				

2.5 機能維持評価

2.5.1 電氣的機能維持評価方法

循環水系隔離システム (N71-LE043A) の電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンション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。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-7 に示す。

表 2-7 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
循環水系隔離システム (N71-LE043A)	水平	
	鉛直	

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水系隔離システム（N71-LE043A）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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水系隔離システム (N71-LE043A) 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
循環水系隔離システム (N71-LE043A)	C	タービン建屋 0.P.0.80*	0.05以下	0.05以下	—	—	C _H =1.14	C _V =0.71	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	φ ₁ *1 (mm)	φ ₂ *1 (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *1
基礎ボルト		225					4	2 2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	211	394	—	253	—	前後方向

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—		—	

(単位：N)

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

部 材	材 料	材 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り せん断	—	—	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 190^*$
			—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 146$

(単位：MPa)

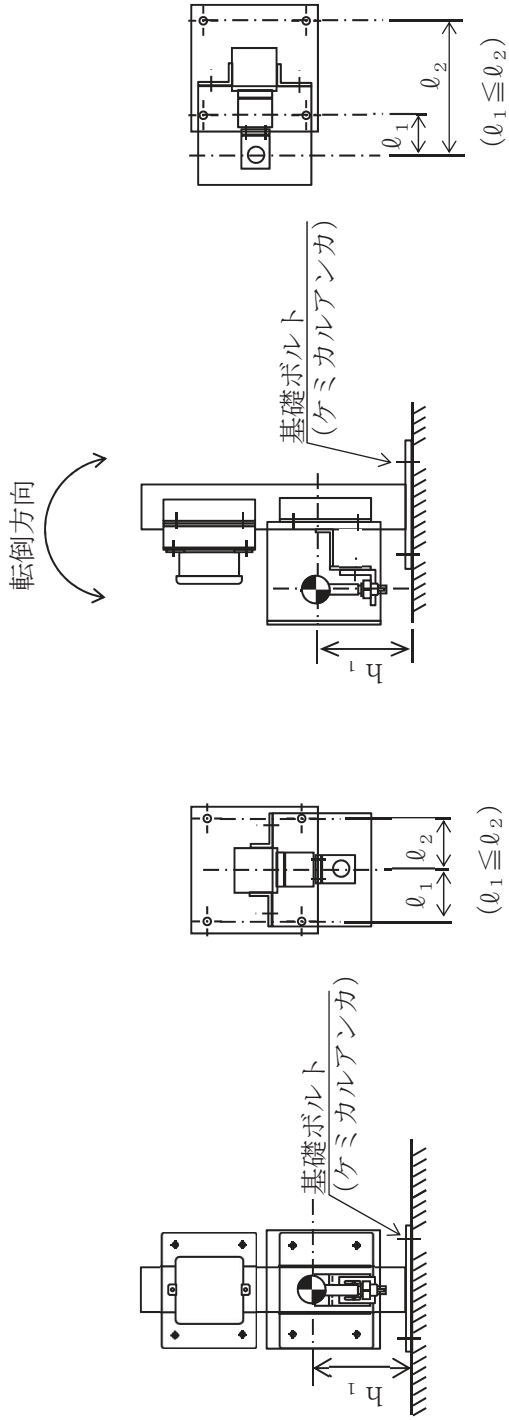
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出。
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

		機能維持評価用加速度* ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
循環水系隔離システム (N71-LE043A)	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.59	

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



側面 (前後方向)

正面 (左右方向)

VI-2-別添 2-5 タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震性について
の計算書

目次

1. タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A, B, C)	
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.3 固有周期	3
1.4 構造強度評価	3
1.4.1 構造強度評価方法	3
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
1.5 機能維持評価	6
1.5.1 電氣的機能維持評価方法	6
1.6 評価結果	7
1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	7
2. タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031A, B, C)	
2.1 概要	11
2.2 一般事項	11
2.2.1 構造計画	11
2.2.2 評価方針	13
2.2.3 適用規格・基準等	14
2.2.4 記号の説明	15
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	16
2.3 評価部位	17
2.4 固有周期	18
2.4.1 固有値解析方法	18
2.4.2 解析モデル及び諸元	18
2.4.3 固有値解析結果	20
2.5 構造強度評価	21
2.5.1 構造強度評価方法	21
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	21
2.5.3 設計用地震力	24
2.5.4 計算方法	25
2.5.5 計算条件	29
2.5.6 応力の評価	29
2.6 機能維持評価	30
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	30

2.7 評価結果	31
2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	31

1. タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A, B, C)

1.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A, B, C) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A, B, C) は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A, B, C) が設置される計器スターションは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形計器スターションであるため、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スターションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

構造強度評価については、計器スターションの基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じで計器スターションが剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
P46-LE021A (代表) P46-LE021B P46-LE021C	VI-2-1-13-9 計器スターションの耐震性についての計算書作成の基本方針	表 1-2 構造計画

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A) の構造計画を表 1-2 に示す。

表 1-2 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>検出器は、取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。</p> <p>計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電極式水位検出器</p>	<p>【タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A)】</p> <p>上図は、検出器の上面図を示しています。検出器は取付板に固定され、取付板は取付ボルトにより計器スタンションに固定されています。計器スタンションは基礎に基礎ボルトで設置されています。側面図は、検出器の高さを340mmと示しています。正面図は、検出器の幅を250mmと示しています。検出器の長さも545mmと示されています。検出器は検出器と取付板で構成されています。取付板は取付ボルトで基礎に固定されています。基礎は基礎(壁面)です。基礎ボルト(ケミカルアンカ)も示されています。</p> <p>計器スタンション</p> <p>検出器</p> <p>取付板</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>側面</p> <p>正面</p> <p>(単位：mm)</p>

1.3 固有周期

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）が設置される計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（打振試験）の結果確認された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 1-3 に示す。

表 1-3 固有周期 (単位：s)

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）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 1-4 に示す。

1.4.2.2 許容応力

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）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 1-6 に示す。

表 1-4 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
その他発電 用原子炉の 附属施設	タービン補機冷却海水系 隔離システム (P46-LE021A)	C	—*	D + S s	IV _{AS}

注記* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 1-5 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
IV _A S	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 1-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）の電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-9 計器スタンション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。

計器スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A)	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE021A）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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A) 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
タービン補機冷却 海水系隔離システム (P46-LE021A)	C	タービン建屋 0. P. -0.20 (0. P. 0.80*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C _H =1.14	C _V =0.71	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A ^b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト		310						4	2	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	215	400	—	258	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—		—	

(単位：N)

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 193^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 148$

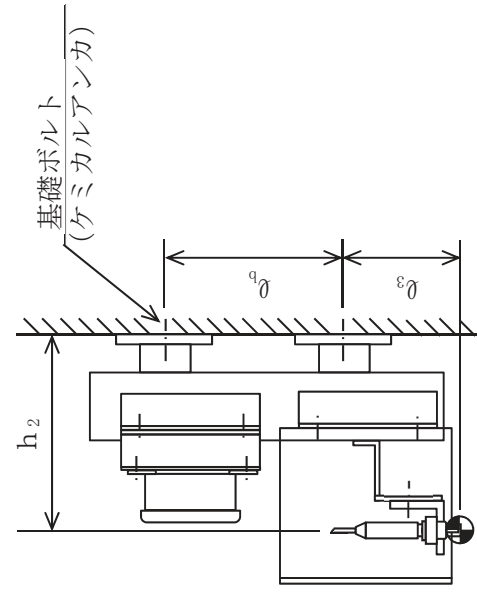
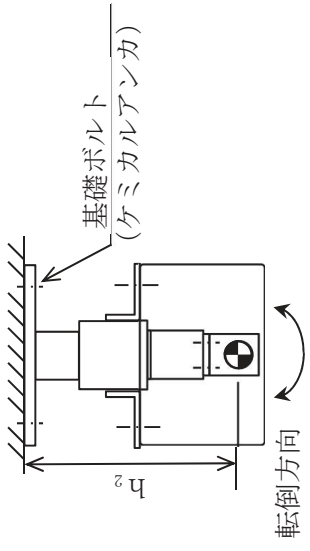
(単位：MPa)

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

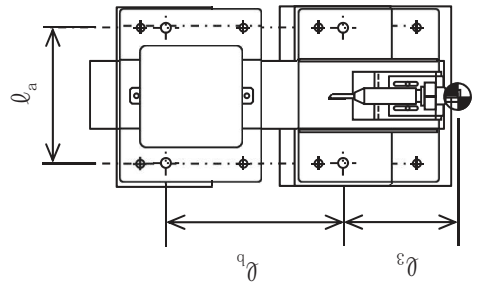
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

		機能維持評価用加速度* ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
タービン補機冷却 海水系隔離システム (P46-LE021A)	水平方向	0.95	
	鉛直方向	0.59	

注記*：基準地震動 S_sにより走まり定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



側面 (鉛直方向)



正面 (水平方向)

2. タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031A, B, C)

2.1 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031A, B, C) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031A, B, C) は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、構造強度評価については、サポート鋼材の基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電気的機能維持評価に用いる機能維持評価用加速度は、設置床高さが同じでサポート鋼材が剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。

評価対象を表 2-1 に示す。

表 2-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
P46-LE031A P46-LE031B P46-LE031C (代表)	2.5 構造強度評価	表 2-2 構造計画

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 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>検出器は、取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトによりサポート鋼材に固定される。サポート鋼材は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電極式水位検出器</p>	

2.2.2 評価方針

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の応力評価は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」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、「2.2.1 構造計画」にて示すタービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 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、「2.5 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。また、タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の機能維持評価は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

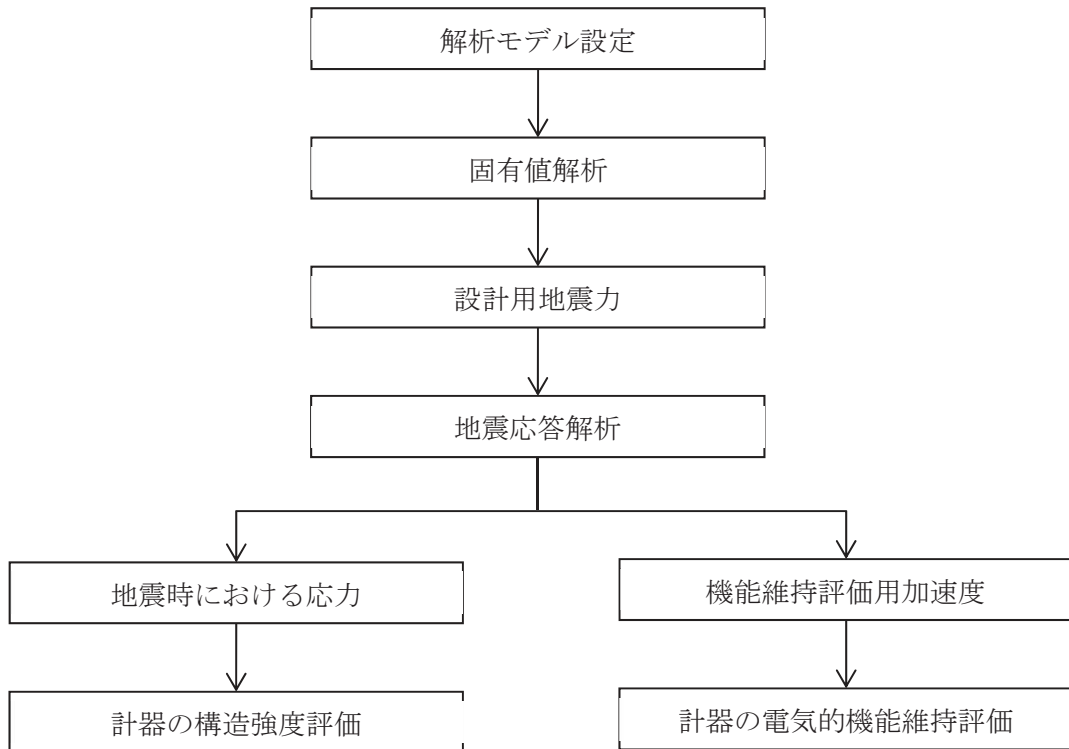


図 2-1 タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の耐震評価フロー

2.2.3 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (以下「設計・建設規格」という。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_X	サポート鋼材基礎部に作用する力（X方向）	N
F_Y	サポート鋼材基礎部に作用する力（Y方向）	N
F_Z	サポート鋼材基礎部に作用する力（Z方向）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
l_a	ボルトの応力計算に用いる距離（水平方向）	mm
l_b	ボルトの応力計算に用いる距離（鉛直方向）	mm
l_3	ボルトの応力計算に用いる距離（水平方向と鉛直方向の小さい方）	mm
M_X	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント（X軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_Y	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント（Y軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_Z	サポート鋼材基礎部に作用するモーメント（Z軸周り）	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m	検出器及びサポート鋼材の質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_X	M_X の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_Y	M_Y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
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
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-3に示すとおりとする。

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
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：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。

2.3 評価部位

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）の耐震評価は、「2.5.1 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基礎ボルトについて実施する。タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）の耐震評価部位については、表 2-2 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

2.4.2 解析モデル及び諸元

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の解析モデルを図 2-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 2-4、部材の機器要目を表 2-5 に示す。

- (1) 検出器は、取付金具及びサポート鋼材で原子炉機器冷却海水配管ダクトの壁面に固定されることから、①及び②の部材で組まれた支持構造物とみなし、支持点 (サポート鋼材基礎部) 1 点で固定されるものとする。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器の質量は質点に集中するものとし、質点は検出器の取付位置に設置する。
- (3) 拘束条件として、支持点 (サポート鋼材基礎部) の X Y Z 方向及び回転方向を固定する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NASTRAN」を使用し、固有値を求める。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

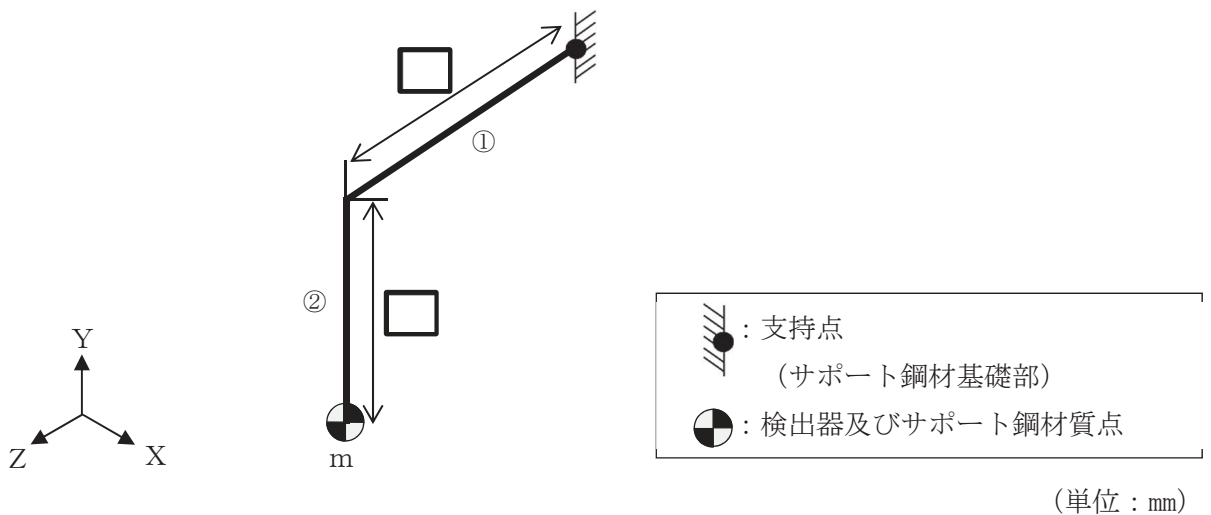
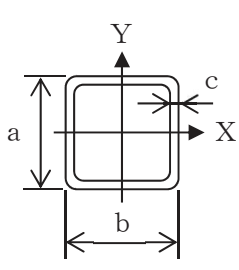
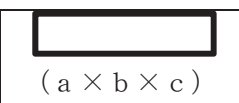
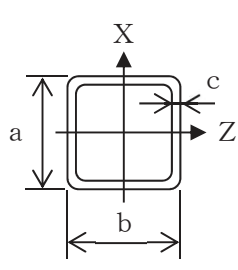
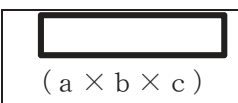


図 2-2 タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) 解析モデル

表 2-4 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

表 2-5 部材の機器要目

材料		
対象要素	①	②
A (mm ²)		
I _X (mm ⁴)		
I _Y (mm ⁴)		
I _Z (mm ⁴)		
I _P (mm ⁴)		
断面形状 (mm)	  <p>(a × b × c)</p>	  <p>(a × b × c)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-6 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-6 固有値解析結果

(単位：s)

モード	固有周期	卓越方向	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次		水平	—	—	—

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2 項の(1)から(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）は、基礎ボルトにより壁面に固定されるものとする。
- (3) タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）の質量は検出器及びサポート鋼材を考慮する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）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 2-7 に示す。

2.5.2.2 許容応力

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）の許容応力は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき表 2-8 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）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 2-9 に示す。

表 2-7 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
その他発電 用原子炉の 附属施設	タービン補機冷却海水系 隔離システム (P46-LE031C)	C	—*	D + S s	IV _{AS}

注記* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 2-8 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
IV _A S	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 2-9 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		温度条件	周囲環境温度			
基礎ボルト			40	205	520	205

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-10 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 2-10 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
原子炉補機冷却 海水配管ダクト O.P. -8.10 (O.P. -4.75 ^{*1})		0.05 以下 ^{*2}	—	—	$C_H=1.20$	$C_V=1.08$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

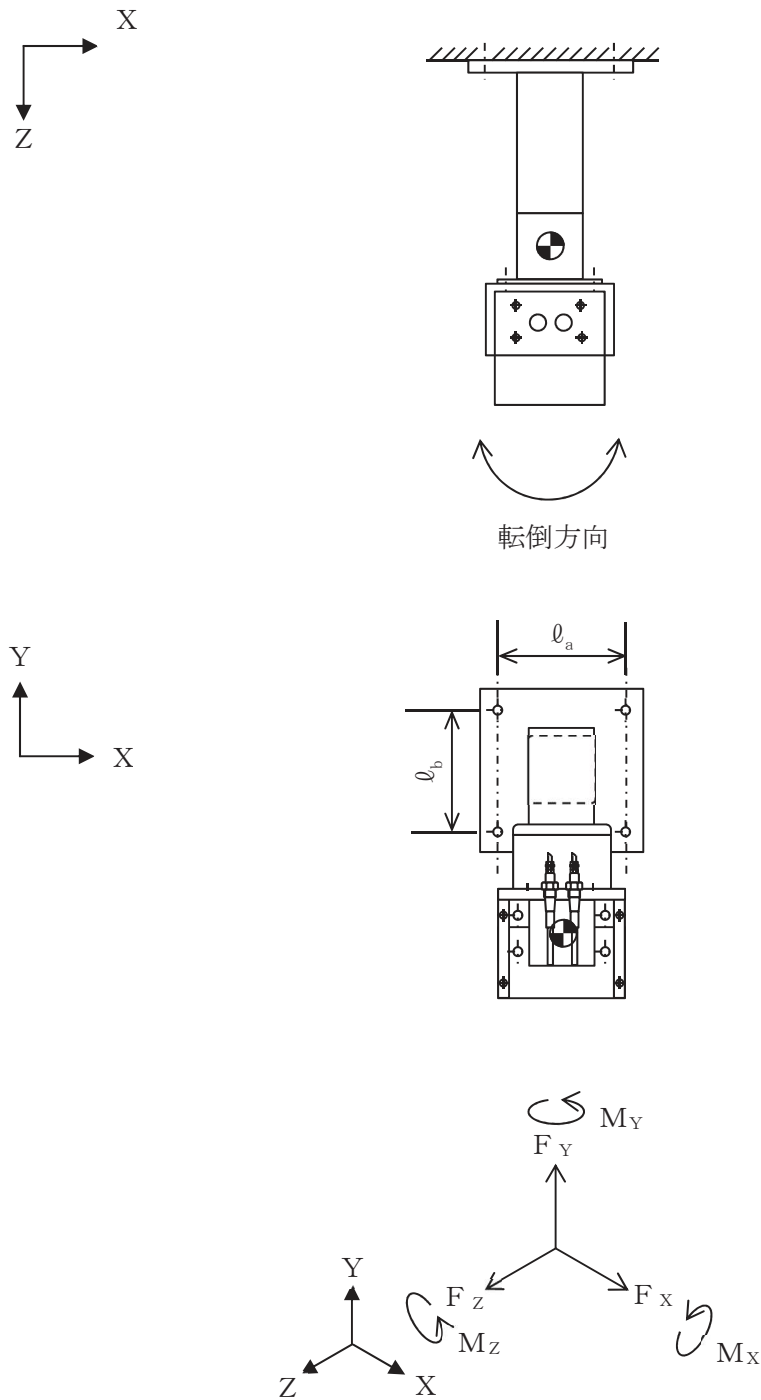


図 2-3 計算モデル (水平方向転倒)

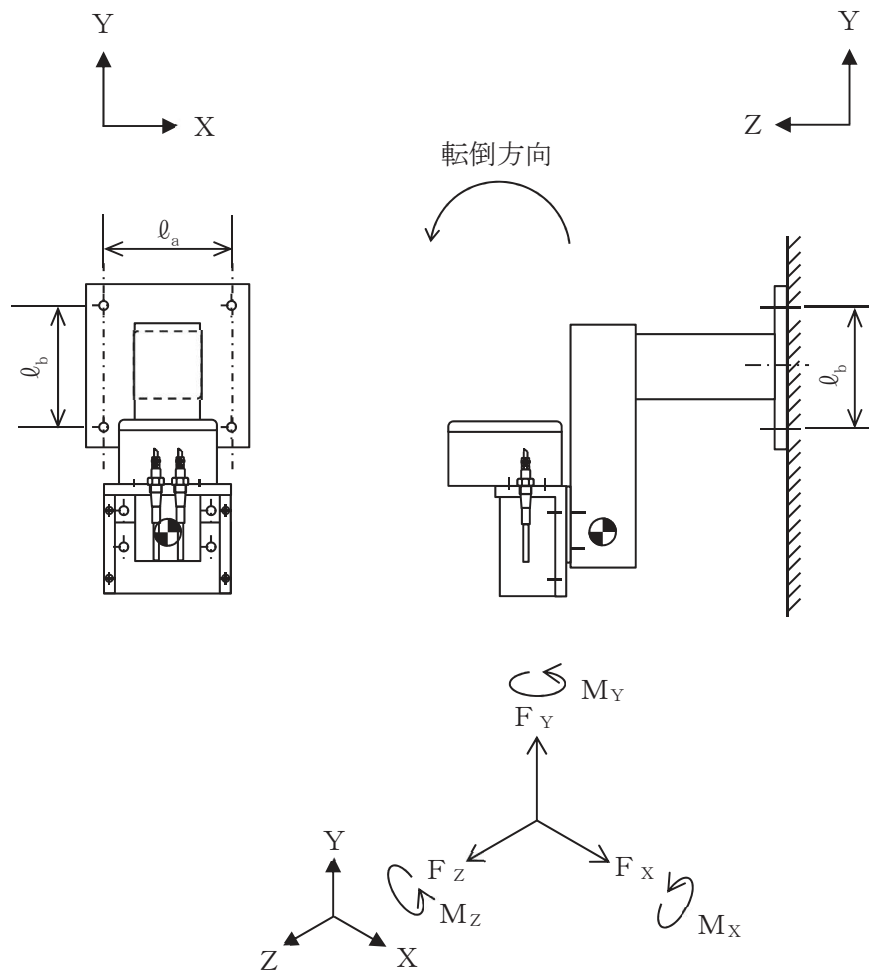


図 2-4 計算モデル (鉛直方向転倒)

地震応答解析によって得られたサポート鋼材基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表 2-11 に示す。

表 2-11 サポート鋼材発生反力，モーメント

対象計器	反力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z
P46-LE031C						

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_z}{n} + \frac{M_y}{\ell_a \cdot n_y} + \frac{M_x}{\ell_b \cdot n_x} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{n} + \frac{M_z}{\ell_3 \cdot n} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

ここで、ボルトの応力計算に用いる距離 ℓ_3 は次式により求める。

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_a, \ell_b) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.6)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) 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。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

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}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-12 に示す。

表 2-12 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C)	水平	
	鉛直	

2.7 評価結果

2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機冷却海水系隔離システム（P46-LE031C）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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) 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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
タービン補機冷却 海水系隔離システム (P46-LE031C)	C	原子炉機器冷却海水 配管ダクト O.P. -8.10 (O.P. -4.75*1)		0.05 以下*2	—	—	C _H =1.20	C _V =1.08	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析により 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2 機器要目

部材	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _x	n _y
基礎ボルト					4	2	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又 は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	205	520	—	246	—	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 サポーター鋼材基礎部に作用する力

部 材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
サポーター鋼材基礎部	—		—		—	

(単位：N)

1.3.2 サポーター鋼材基礎部に作用するモーメント

部 材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
サポーター鋼材基礎部	—		—		—	

(単位：N・mm)

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト	—		—	

(単位：N)

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 118$

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

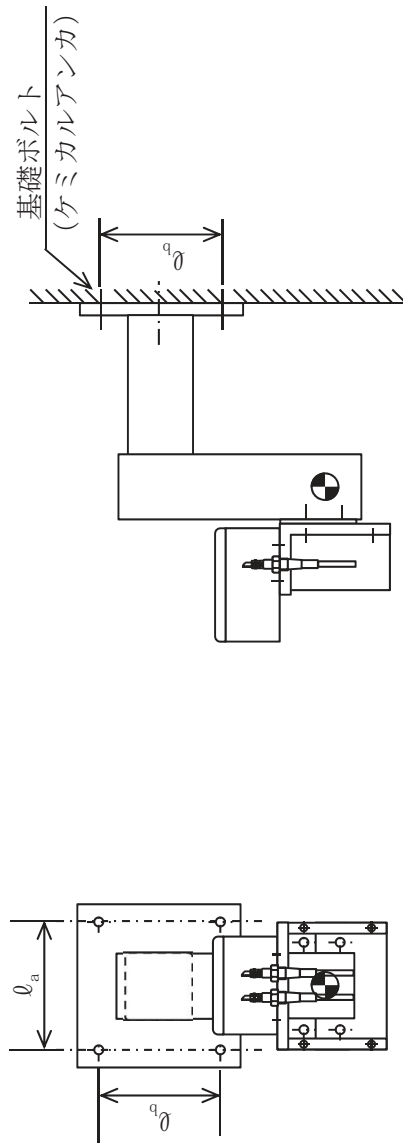
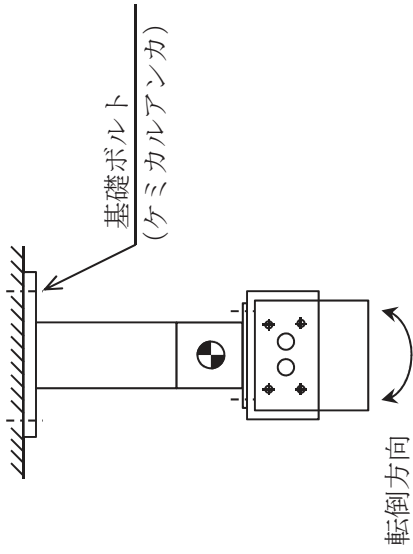
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
タービン補機冷却 海水系隔離システム (P46-LE031C)	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.90	

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。
 機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



側面 (鉛直方向)

正面 (水平方向)

VI-3 強度に関する説明書

目 次

- VI-3-1 強度計算の基本方針
- VI-3-2 強度計算方法
- VI-3-3 強度計算書

VI-3-3 強度計算書

目 次

- VI-3-3-1 原子炉本体の強度に関する説明書
- VI-3-3-2 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-5 放射線管理施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書

VI-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書

目 次

- VI-3-3-3-1 原子炉冷却材再循環設備の強度計算書
- VI-3-3-3-2 原子炉冷却材の循環設備の強度計算書
- VI-3-3-3-3 残留熱除去設備の強度計算書
- VI-3-3-3-4 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書
- VI-3-3-3-5 原子炉冷却材補給設備の強度計算書
- VI-3-3-3-6 原子炉補機冷却設備の強度計算書
- VI-3-3-3-7 原子炉冷却材浄化設備の強度計算書

VI-3-3-3-7 原子炉冷却材浄化設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-7-1 原子炉冷却材浄化系の強度計算書

VI-3-3-3-7-1 原子炉冷却材浄化系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-7-1-1 管の強度計算書（原子炉冷却材浄化系）

VI-3-3-3-7-1-1 管の強度計算書（原子炉冷却材浄化系）

目 次

VI-3-3-3-7-1-1-1 管の基本板厚計算書（原子炉冷却材浄化系）

VI-3-3-3-7-1-1-2 管の応力計算書（原子炉冷却材浄化系）

VI-3-3-3-7-1-1-2 管の応力計算書
(原子炉冷却材浄化系)

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「VI-3-2-4 クラス 2 管の強度計算方法」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果は下記に示す計算書に記載する。

「VI-3-3-3-2-2-1-2 管の応力計算書（復水給水系）」

設計基準対象施設

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2
3. 評価結果	4

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-4 クラス 2 管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。






評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

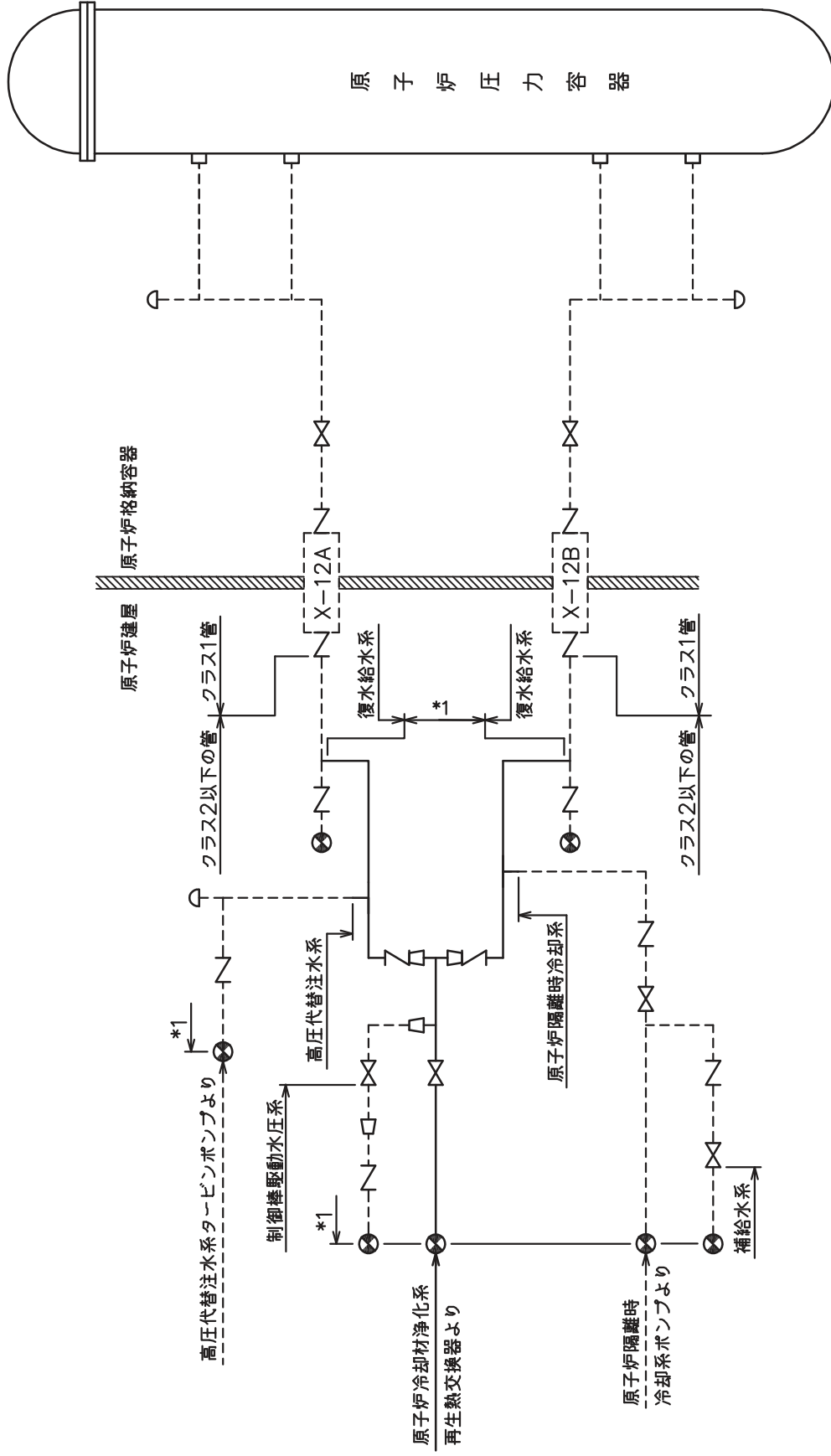
(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



注記 *1：解析モデル上
復水給水系に含める。

原子炉冷却材浄化系概略系統図

3. 評価結果

以下の計算書の設計基準対象施設に含まれている。

「VI-3-3-3-2-2-1-2 管の応力計算書（復水給水系）」

重大事故等対処設備

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図	2
3. 評価結果	4

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。



評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

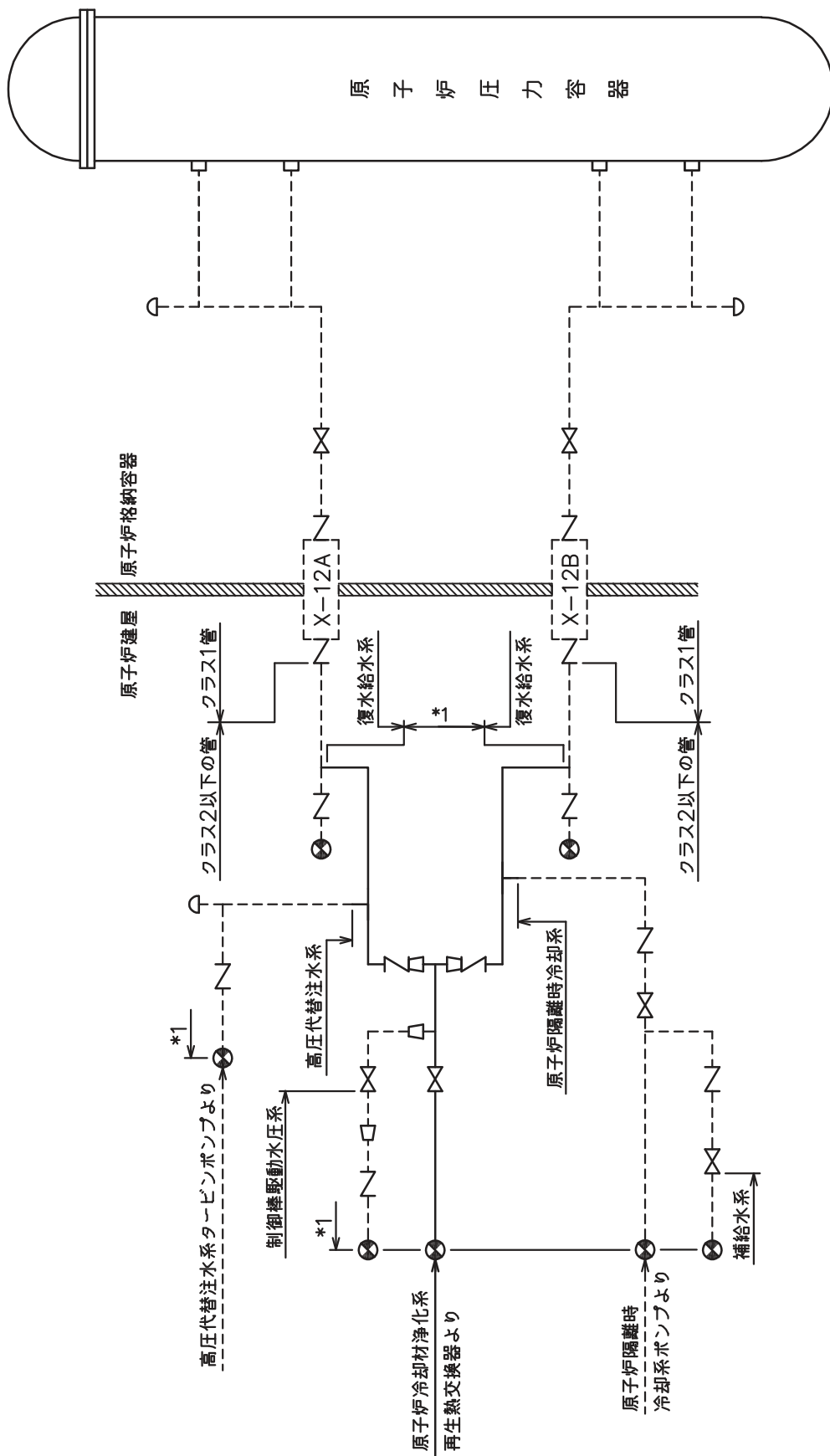
(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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元に記載する。

2. 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



注記 *1：解析モデル上
復水給水系に含める。

原子炉冷却材净化系概略系統図

3. 評価結果

以下の計算書の重大事故等対処設備に含まれている。

「VI-3-3-3-2-2-1-2 管の応力計算書（復水給水系）」

VI-3-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書

目 次

- VI-3-3-4-1 制御材駆動装置の強度計算書
- VI-3-3-4-2 ほう酸水注入設備の強度計算書
- VI-3-3-4-3 制御用空気設備の強度計算書

VI-3-3-4-1 制御材駆動装置の強度計算書

目 次

- VI-3-3-4-1-1 制御棒駆動機構の強度計算書
- VI-3-3-4-1-2 制御棒駆動水圧設備の強度計算書

VI-3-3-4-1-2 制御棒駆動水圧設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-4-1-2-1 制御棒駆動水圧系の強度計算書

VI-3-3-4-1-2-1 制御棒駆動水圧系の強度計算書

目 次

- VI-3-3-4-1-2-1-1 水圧制御ユニット（アキュムレータ）の強度計算書
- VI-3-3-4-1-2-1-2 水圧制御ユニット（窒素容器）の強度計算書
- VI-3-3-4-1-2-1-3 弁の強度計算書（制御棒駆動水圧系）
- VI-3-3-4-1-2-1-4 管の強度計算書（制御棒駆動水圧系）

VI-3-3-4-1-2-1-4 管の強度計算書（制御棒駆動水圧系）

目 次

- VI-3-3-4-1-2-1-4-1 管の基本板厚計算書（制御棒駆動水圧系）
- VI-3-3-4-1-2-1-4-2 管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）

VI-3-3-4-1-2-1-4-2 管の応力計算書
(制御棒駆動水圧系)

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

応力計算 モデル No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 における 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同 等 性 評 価 区 分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件 圧力 (MPa)	DB 条件 温度 (°C)	SA 条件 圧力 (MPa)						SA 条件 温度 (°C)
CRD-005-2 CRD-005-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-006-2 CRD-006-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-007-2 CRD-007-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-008-2 CRD-008-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-017-2 CRD-017-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-017-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示 設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-005-1 CRD-006-1 CRD-007-1 CRD-008-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	
CRD-001-1 CRD-001-2 CRD-001-3 CRD-002-1 CRD-002-2 CRD-002-3 CRD-003-1 CRD-003-2 CRD-003-3 CRD-004-1 CRD-004-2 CRD-004-3	既設	有	有	DB-2	DB-2	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示 既工認	— —	SA-2 SA-2	
		有	無	DB-2	DB-2	SA-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2	

重大事故等対処設備

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	6
3.1 設計条件	6
3.2 材料及び許容応力	9
4. 評価結果	11
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。





(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、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で記載する。また、全 15 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 5. に記載する。

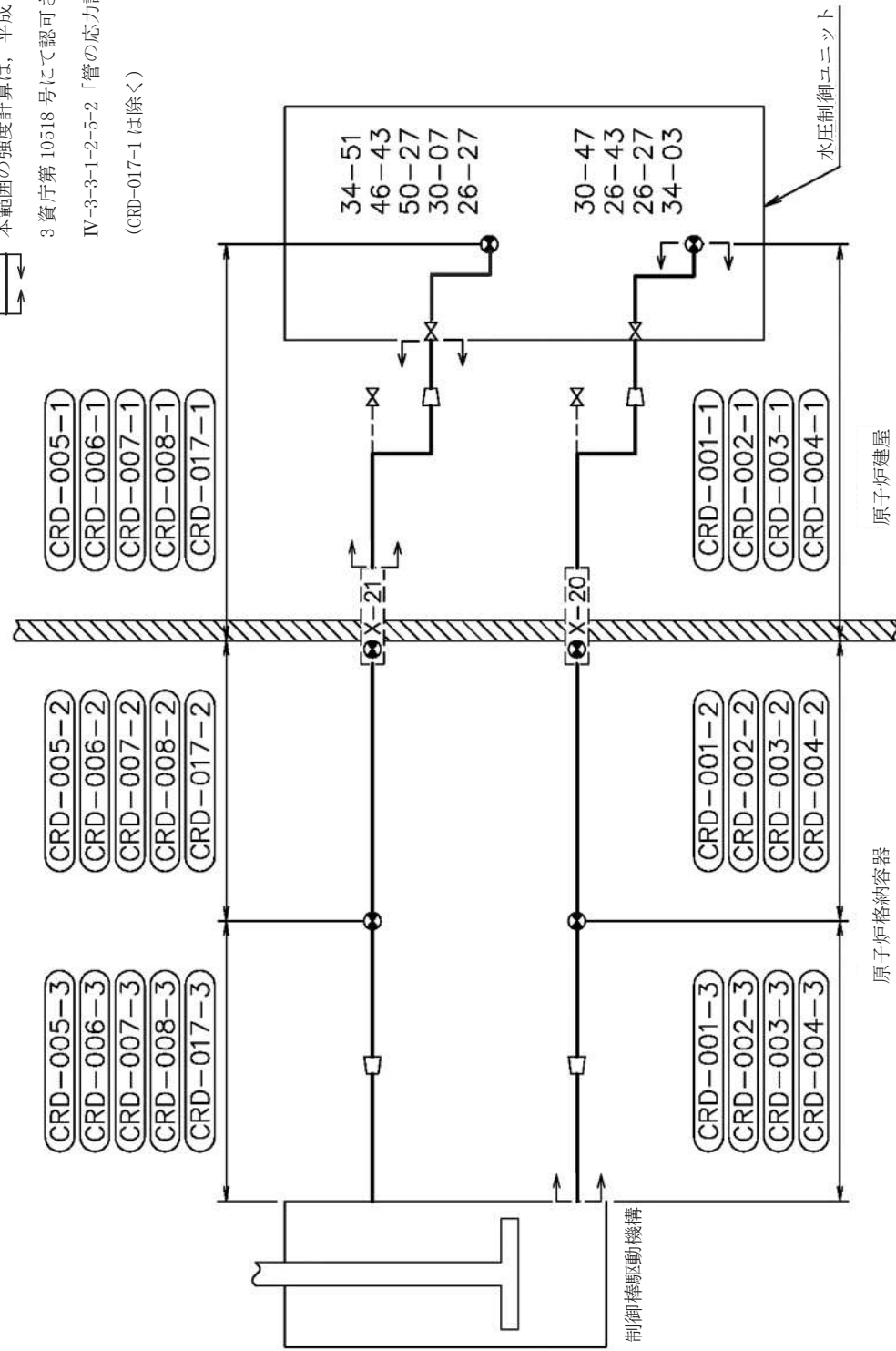
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ


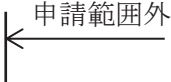



本範囲の強度計算は、平成4年1月13日付け
3 資庁第10518号にて認可された工事計画の
IV-3-3-1-2-5-2「管の応力計算書」による。
(CRD-017-1は除く)

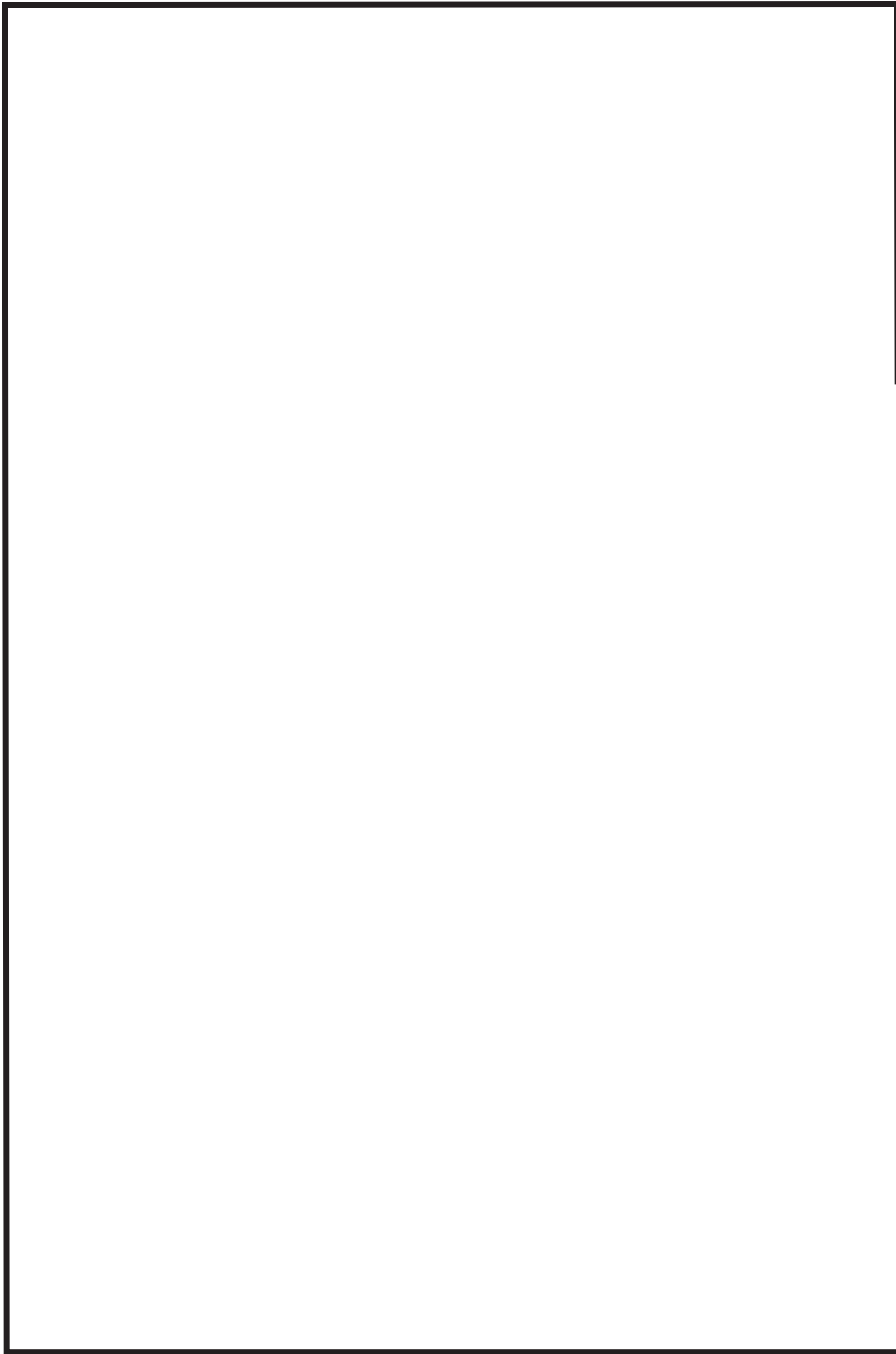


制御棒駆動水圧系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)</p>



鳥瞰図 CRD-017-1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 C R D - 0 1 7 - 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	13.83	66	27.2	3.9	SUS316LTP
2	13.83	66	34.0	4.5	SUS316LTP

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 CRD-017-1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	5	6	7	9	10							
2	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	44	45	46	47	
	48	49	50	51	52											

配管の質量 (付加質量含む)

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		12		20		28		45	
2		13		21		29		46	
3		14		22		30		47	
4		15		23		31		48	
5		16		24		32		49	
6		17		25		33		50	
10		18		26		34		51	
11		19		27		35		52	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
7		42	
8		43	
9		44	

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	8			
弁 2	43			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CRD-017-1

支持点部のばね定数を下表に示す。

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	Y	Z	X	Y	Z
1						
6						
13						
20						
** 25 **						
25						
30						
34						
41						
45						
49						

3.2 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。

告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)
		S _h
SUS316LTP	66	110

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。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)
		S _h
SUS316LTP	66	108

4. 評価結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管
告示第501号第56条による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分*	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力	許容応力
CRD-017-1	1	S p r m (1)	41	110
	1	S p r m (2)	43	132

注記 * : S p r m (1) , S p r m (2) はそれぞれ, 告示第501号第56条第1号(イ), (ロ)に基づき計算した一次応力を示す。

評価結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管
設計・建設規格 PPC-3500 による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分*	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力	許容応力
CRD-017-1	1	S p r m (1)	S p r m (1)	1. 5・S h
	1	S p r m (2)	S p r m (2)	1. 8・S h
			53	162
			56	194

注記 * : S p r m (1), S p r m (2) はそれぞれ, 設計・建設規格 PPC-3520(1), (2)に基づき計算した一次応力を示す。

5. 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が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。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No.	配管モデル	運転状態 (V) *1				運転状態 (V) *2					
		一次応力				一次応力					
		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	代表
1	CRD-005-1	1	39	110	2.82	—	1	41	132	3.21	—
2	CRD-006-1	1	40	110	2.75	—	1	42	132	3.14	—
3	CRD-007-1	1	40	110	2.75	—	1	42	132	3.14	—
4	CRD-008-1	1	39	110	2.82	—	1	41	132	3.21	—
5	CRD-017-1	1	41	110	2.68	○	1	43	132	3.06	○
6	CRD-005-2	7	31	110	3.54	—	7	33	132	4.00	—
7	CRD-006-2	7	31	110	3.54	—	7	33	132	4.00	—
8	CRD-007-2	6	31	110	3.54	—	6	33	132	4.00	—
9	CRD-008-2	7	30	110	3.66	—	7	32	132	4.12	—
10	CRD-017-2	6	31	110	3.54	—	6	33	132	4.00	—
11	CRD-005-3	1	34	110	3.23	—	1	36	132	3.66	—
12	CRD-006-3	1	34	110	3.23	—	1	36	132	3.66	—
13	CRD-007-3	1	32	110	3.43	—	1	34	132	3.88	—
14	CRD-008-3	1	34	110	3.23	—	1	36	132	3.66	—
15	CRD-017-3	5	33	110	3.33	—	5	35	132	3.77	—

注記*1：告示第501号第56条第1号（イ）に基づき計算した一次応力を示す。

*2：告示第501号第56条第1号（ロ）に基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No.	配管モデル	運転状態 (E) *1				運転状態 (E) *2					
		一次応力				一次応力					
		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	代表
1	CRD-005-1	1	51	162	3.17	—	1	54	194	3.59	—
2	CRD-006-1	1	51	162	3.17	—	1	54	194	3.59	—
3	CRD-007-1	1	51	162	3.17	—	1	54	194	3.59	—
4	CRD-008-1	1	50	162	3.24	—	1	53	194	3.66	—
5	CRD-017-1	1	53	162	3.05	○	1	56	194	3.46	○
6	CRD-005-2	3	42	162	3.85	—	3	46	194	4.21	—
7	CRD-006-2	3	41	162	3.95	—	3	45	194	4.31	—
8	CRD-007-2	15	42	162	3.85	—	15	46	194	4.21	—
9	CRD-008-2	3	42	162	3.85	—	3	46	194	4.21	—
10	CRD-017-2	14	42	162	3.85	—	14	46	194	4.21	—
11	CRD-005-3	11	43	162	3.76	—	11	47	194	4.12	—
12	CRD-006-3	11	42	162	3.85	—	11	46	194	4.21	—
13	CRD-007-3	8	41	162	3.95	—	8	45	194	4.31	—
14	CRD-008-3	11	41	162	3.95	—	11	45	194	4.31	—
15	CRD-017-3	9	44	162	3.68	—	9	48	194	4.04	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

VI-3-別添3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目 次

- VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針
- VI-3-別添 3-2 津波への配慮が必要な施設の強度計算書
- VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針
- VI-3-別添 3-4 溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-3-別添 3-2 津波への配慮が必要な施設の強度計算書

目 次

- VI-3-別添 3-2-1 防潮堤の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-2 防潮壁の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-3 取放水路流路縮小工の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-4 貯留堰の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-5 逆流防止設備の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7 浸水防止蓋の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-8 浸水防止壁の強度計算書

VI-3-別添 3-2-4 貯留堰の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	5
2.4	適用基準	7
3.	強度評価方法	8
3.1	記号の定義	8
3.2	評価対象	9
3.3	荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1	荷重	11
3.3.2	荷重の組合せ	12
3.4	許容限界	14
3.5	評価方法	15
3.5.1	解析方法	15
3.5.2	設計水平震度の算定	15
3.5.3	評価方法	19
3.5.4	使用材料及び材料の物性値	20
4.	評価条件	21
4.1	津波時	21
4.2	重畳時 1	22
4.3	重畳時 2	23
4.4	解析ケースによる荷重モデル図	24
5.	強度評価結果	25
5.1	曲げ圧縮応力度に対する照査	25
5.2	引張応力度に対する照査	26
5.3	せん断応力度に対する照査	26

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、貯留堰 (No. 1), (No. 2), (No. 3), (No. 4), (No. 5), (No. 6) が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重, 余震荷重及び漂流物の衝突荷重に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

なお、貯留堰 (No. 1), (No. 2), (No. 3), (No. 4), (No. 5), (No. 6) の強度評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 基本方針

2.1 位置

貯留堰の位置図を図 2-1 に示す。

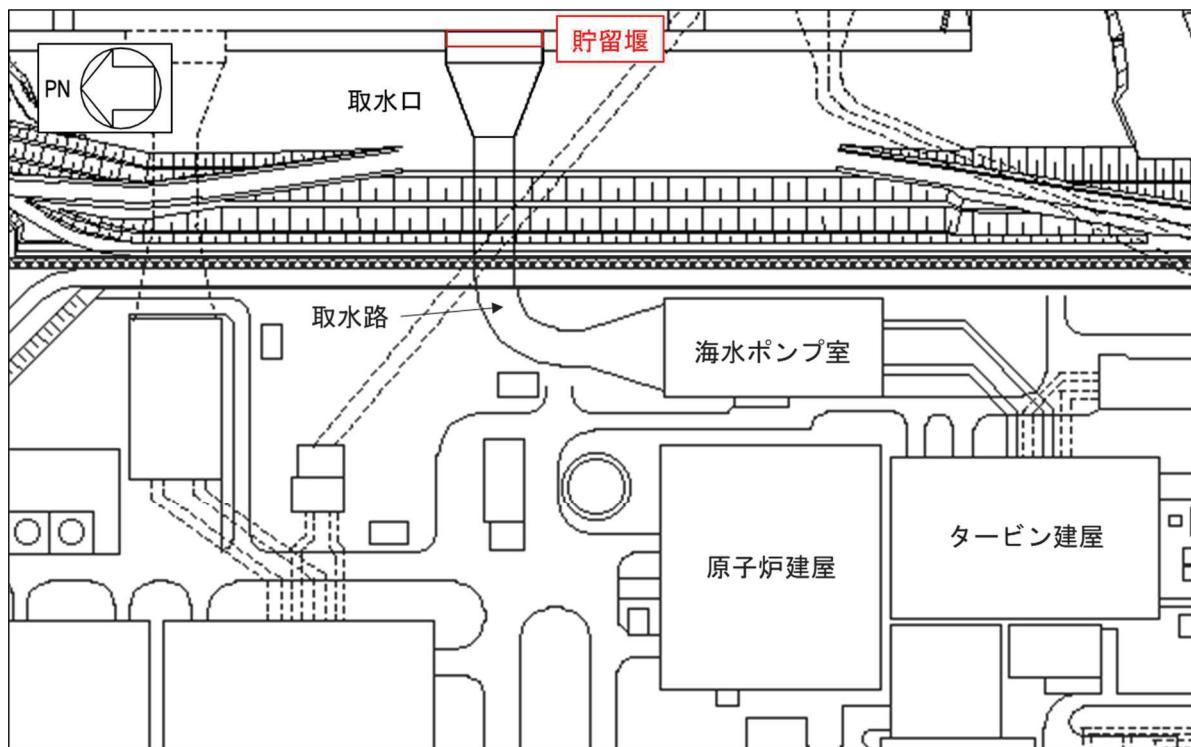


図 2-1 貯留堰位置図

2.2 構造概要

貯留堰の平面図，縦断図，正面図を図 2-2～図 2-4 に示す。

図 2-2～図 2-4 のとおり，貯留堰は岩盤上にマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して設置された取水口と一体構造の非常用取水設備・津波防護施設であり，通水機能及び貯水機能が要求される。

貯留堰は鉄筋コンクリート構造物であり、津波による水位低下に対して非常用海水ポンプの機能が保持でき、かつ、原子炉冷却に必要な海水を確保できるよう、取水口底版より 1.2m の高さを有している。貯留堰の配筋図を図 2-5 に示す。

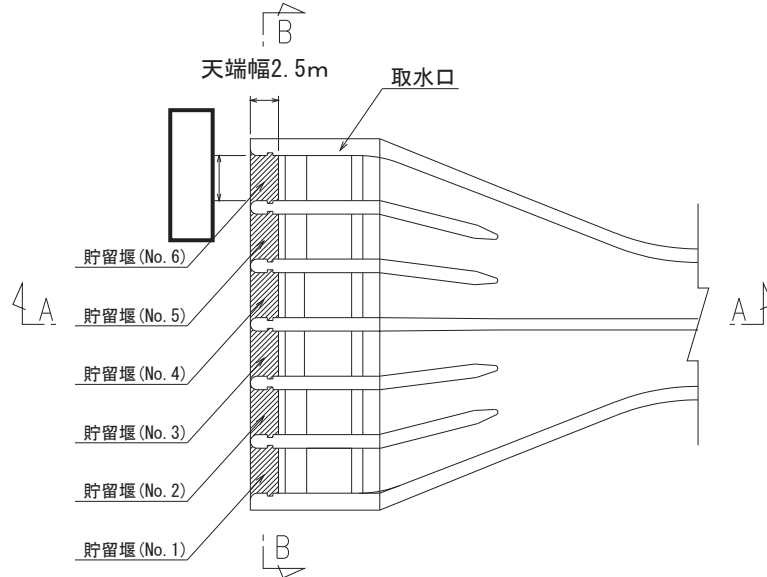


図 2-2 貯留堰平面図

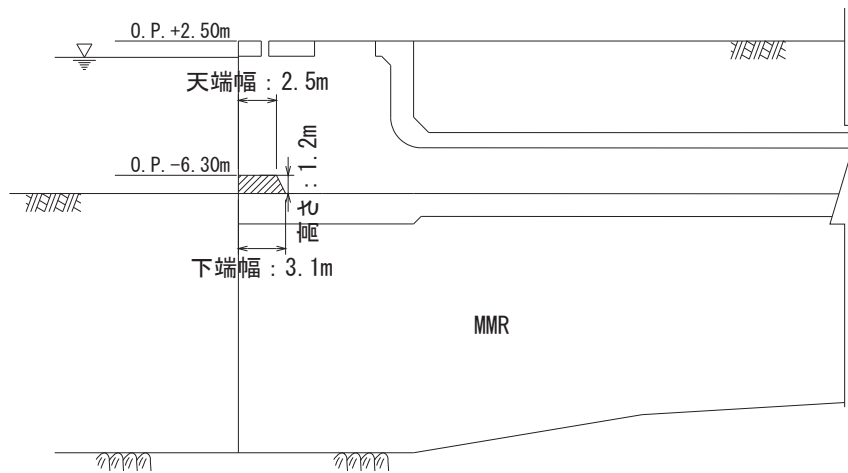


図 2-3 貯留堰縦断図 (A-A)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

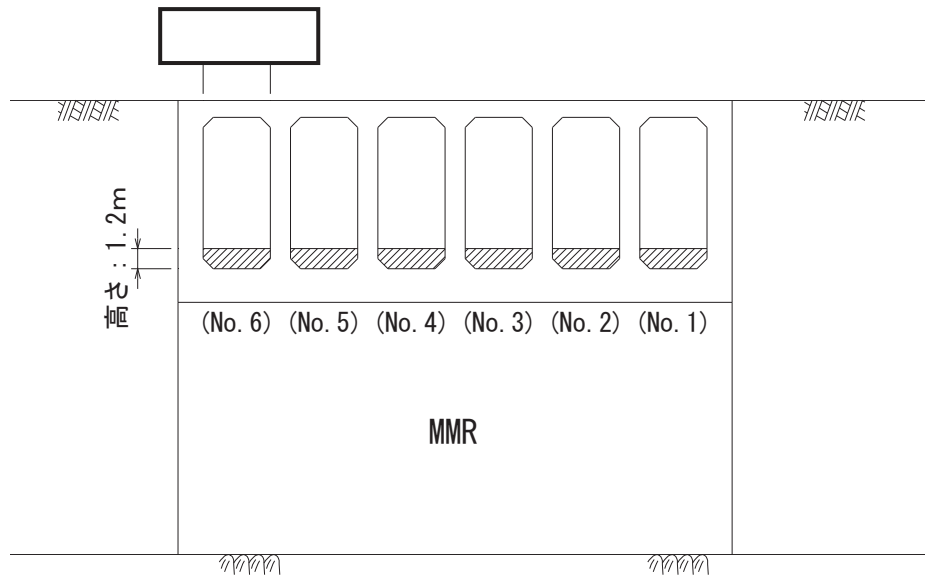


図 2-4 貯留堰正面図 (B-B)

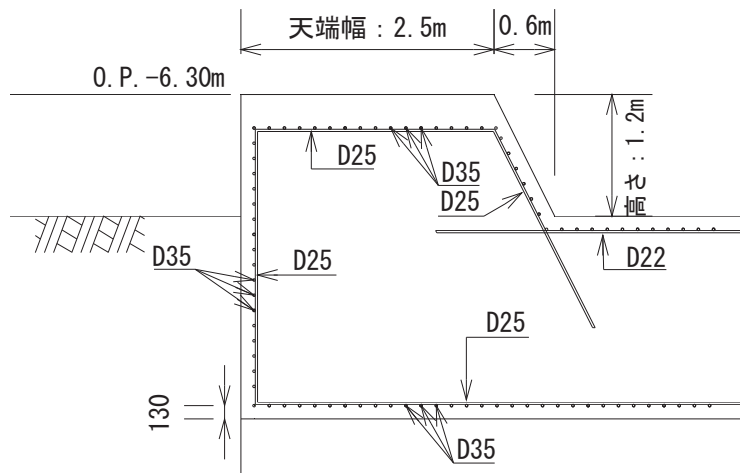


図 2-5 貯留堰配筋図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.3 評価方針

貯留堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえて実施する。強度評価においては、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」より、発生応力が許容限界を満足することを確認する。

貯留堰の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）、津波に伴う荷重及びS d - D 2による余震荷重作用時（以下「重畳時」という。）を対象とする。

貯留堰の評価項目及び評価フローを表 2-1、図 2-6 に示す。

表 2-1 貯留堰の評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の健全性	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度（曲げ・軸力，せん断力）*
止水性を損なわないこと			

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

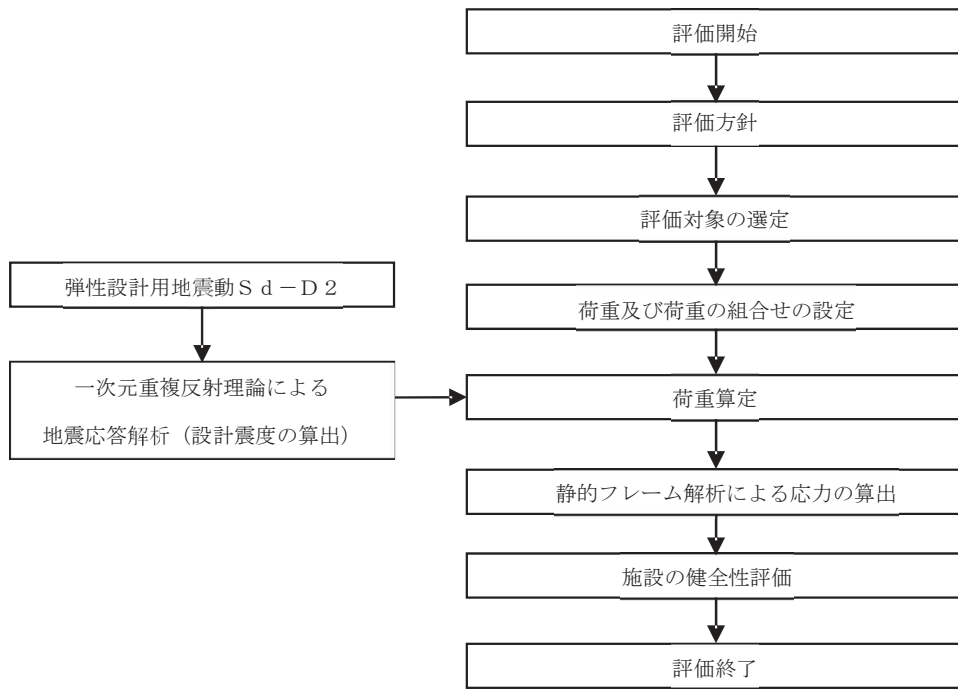


図 2-6 貯留堰の強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
g	m/s^2	重力加速度
kh	—	設計水平震度
$w1$	kN/m	躯体自重(貯留堰天端における軸方向荷重)
$w2$	kN/m	躯体自重(貯留堰下端における軸方向荷重)
$h1$	m	貯留堰の天端における水深
$h2$	m	貯留堰の下端における水深
$p1$	kN/m	貯留堰の天端における津波波圧
$p2$	kN/m	貯留堰の下端における津波波圧
Pc	kN	衝突荷重
$pd1$	kN/m	貯留堰の天端における動水圧
pdn	kN/m	貯留堰にかかる動水圧(分割してn番目の動水圧)
$ps1$	kN/m	貯留堰の天端における静水圧
$ps2$	kN/m	貯留堰の下端における静水圧
γw	kN/m^3	海水の単位体積重量
$psd1$	kN/m	貯留堰の天端における躯体慣性力
$psd2$	kN/m	貯留堰の下端における躯体慣性力
σ	N/mm	曲げモーメント及び軸力による応力
$f'ck$	N/mm^2	コンクリートの設計基準強度
$\sigma'ca$	N/mm^2	短期許容曲げ圧縮応力度
σsa	N/mm^2	短期許容引張応力度
M	$kN \cdot m$	曲げモーメント
N	kN	軸力
τ	N/mm^2	せん断応力度
τa	N/mm^2	短期許容せん断応力度
V	kN	せん断力

3.2 評価対象

貯留堰は取水口に6基設置されているが、各貯留堰は近接していることから、各貯留堰位置での地質構造には有意な差がない。したがって、6基の貯留堰の中央位置で作成した地質断面を用いて、評価を実施する。

図2-2に示すA-A及びB-B断面の地質図を図3-1、評価対象位置での地質構成図を図3-2に示す。図3-1に示す通り、貯留堰はC_MもしくはC_H岩盤上にMMRを介して構築された取水口底版に設置されている。

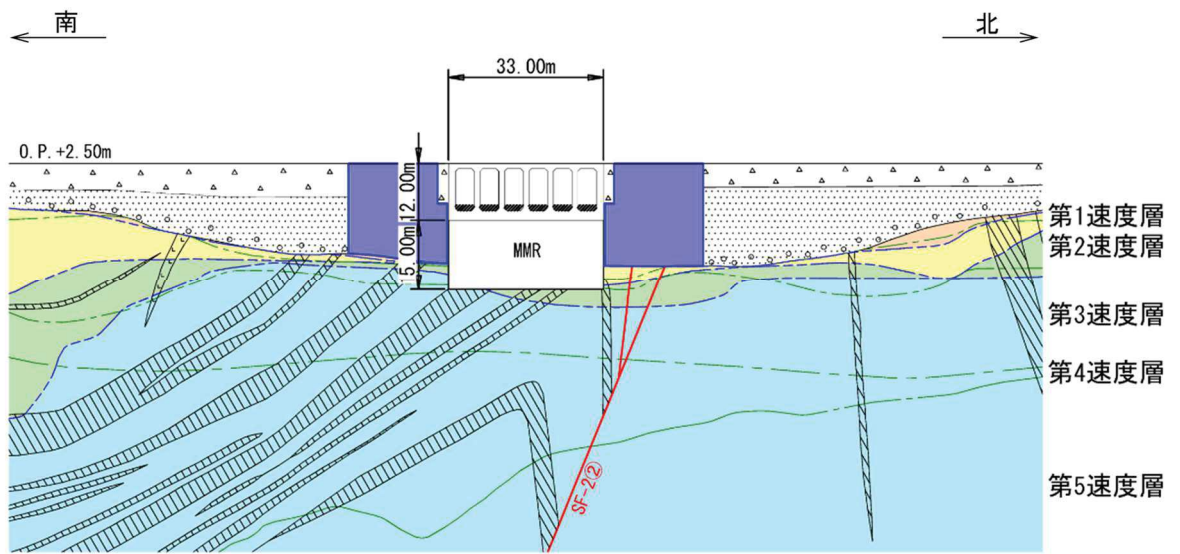


図3-1(1) 貯留堰地質断面図 (A-A)

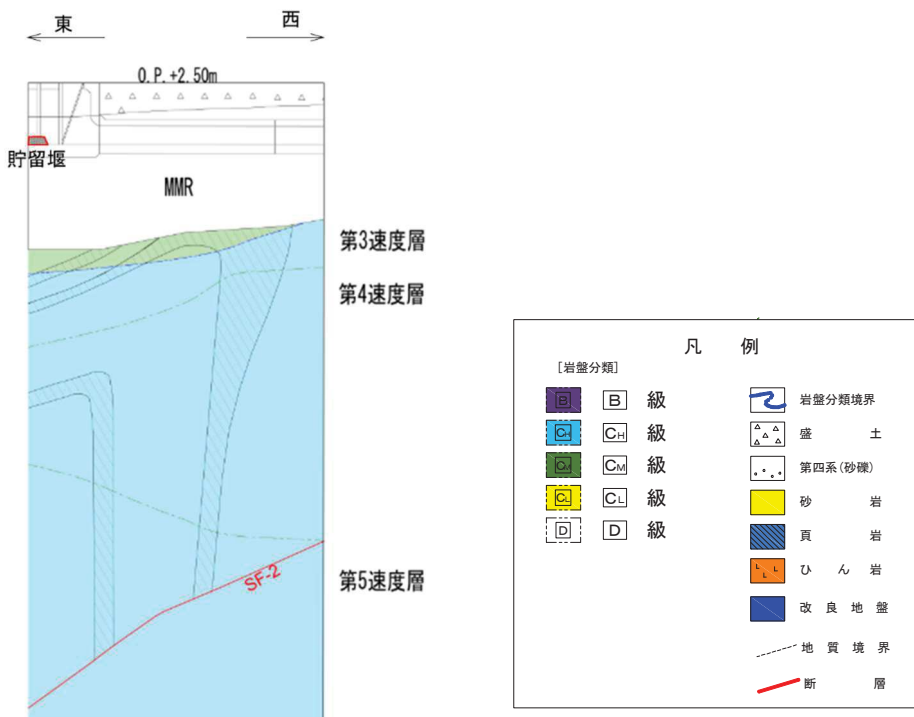


図3-1(2) 貯留堰地質断面図 (B-B)

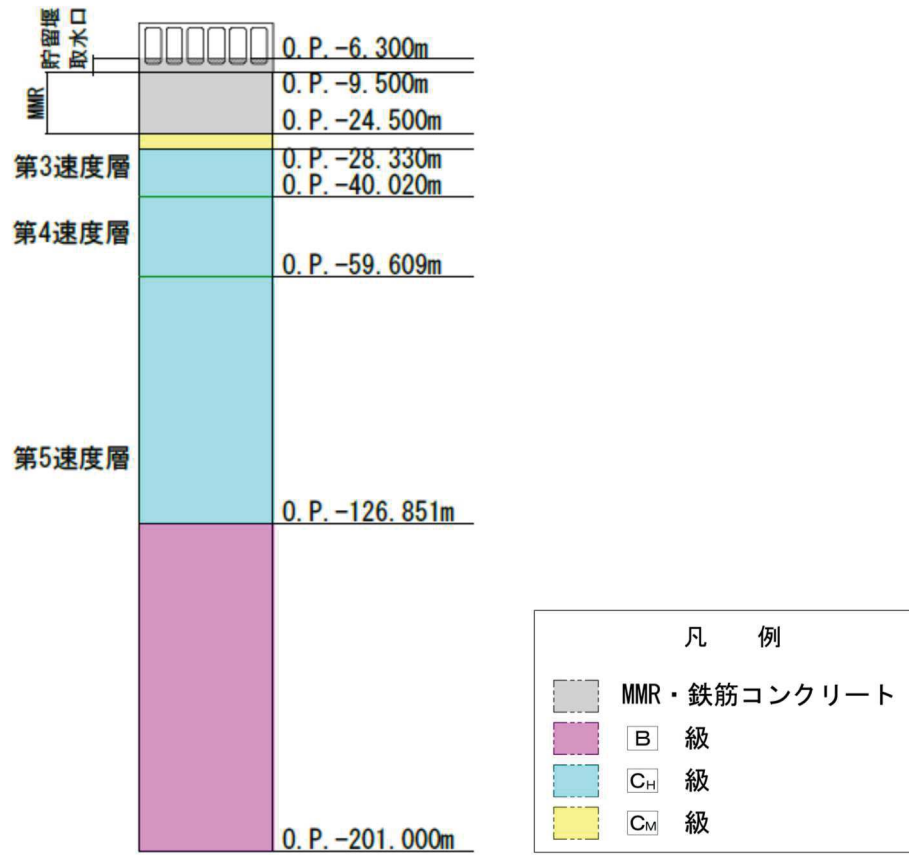


図 3-2 地質構成図

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重として、海底面高さ (0.P.-11.5m) と貯留堰の各高さにおける標高 (0.P.-6.3m) との差の 1/2 を設計用浸水深として、朝倉式により算定した波力を考慮する。

(3) 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d-D₂ による慣性力及び動水圧を考慮する。

(4) 津波荷重 (静水圧) (P_{h y})

基準津波による貯留堰内外の水位差が最大となる津波高さ (0.P.-5.3m) の時の静水圧を考慮する。

(5) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *1」による漂流物荷重に十分な余裕を考慮して設定する。衝突荷重を表 3-2 に示す。

注記 *1 : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 3-2 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13.0	2000

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは表 3-3 に示すとおり、強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時 1、重畳時 2 の 3 ケースを考慮する。各ケースにおける荷重の作用図を図 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t + P_c$
重畳時 1	$G + P_t + K S_d$
重畳時 2	$G + P_{hy} + K S_d + P_c$

G : 固定荷重

P_t : 遡上津波荷重

P_c : 衝突荷重

$K S_d$: 余震荷重

P_{hy} : 津波荷重 (静水圧)

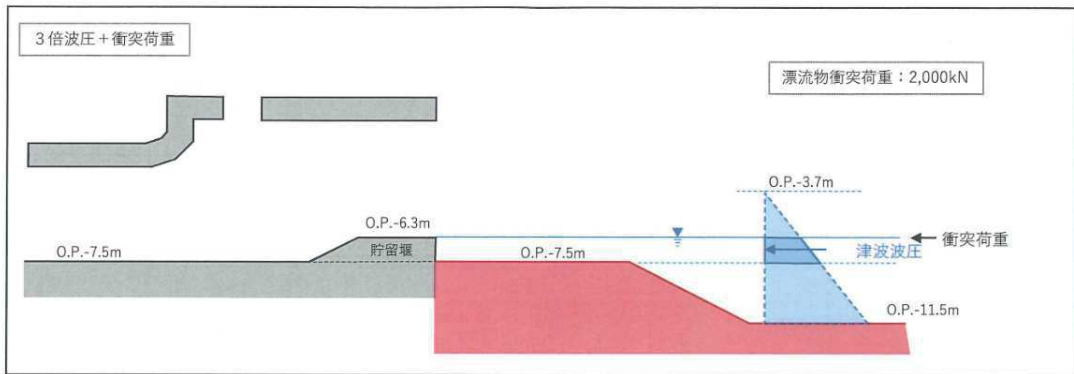


図 3-3(1) 荷重作用図 (津波時)

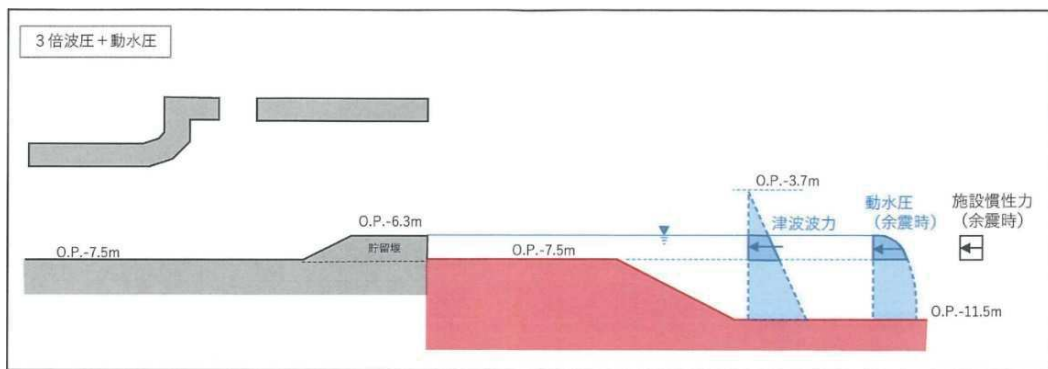


図 3-3(2) 荷重作用図 (重畳時 1)

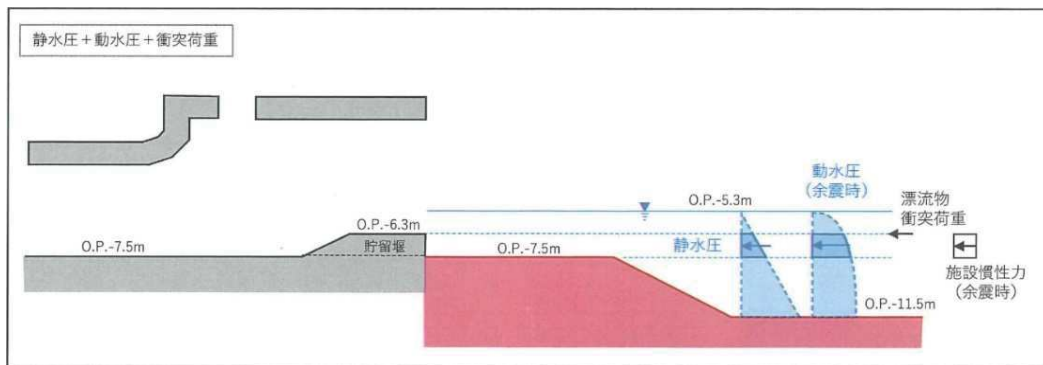


図 3-3(3) 荷重作用図 (重畳時 2)

3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象」にて設定した評価対象の応力や形状を考慮し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

貯留堰の許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)」に基づく許容応力とする。貯留堰の許容限界を表3-4に示す。

表3-4 貯留堰の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck} = 20.5 \text{ N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	7.8	11.7
	許容せん断応力度 τ_a	0.42	0.63
鉄筋 (SD345)	許容引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記 * : 短期許容応力度は, 許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

3.5 評価方法

貯留堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき実施する。

3.5.1 解析方法

貯留堰は、取水口底版に設置される構造物であることを踏まえ、取水口底版を固定端とし、高さ方向に線形はり要素で模擬した静的フレーム解析により評価を実施する。

静的フレーム解析には、解析プログラム「FRAME (面内) Ver. 5.0.4」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

静的フレーム解析においては、貯留堰の下端から天端までの高さ (はり長) 1.2m、長さ (奥行き幅) 4m を対象にモデル化する。なお、貯留堰の両側部は取水口の隔壁と一体構造となっているが、解析においては側部の拘束は保守的に考慮せず、取水口底版を固定端とした片持ち梁として照査を実施する。静的フレーム解析モデルの概念図を図 3-4 に示す。

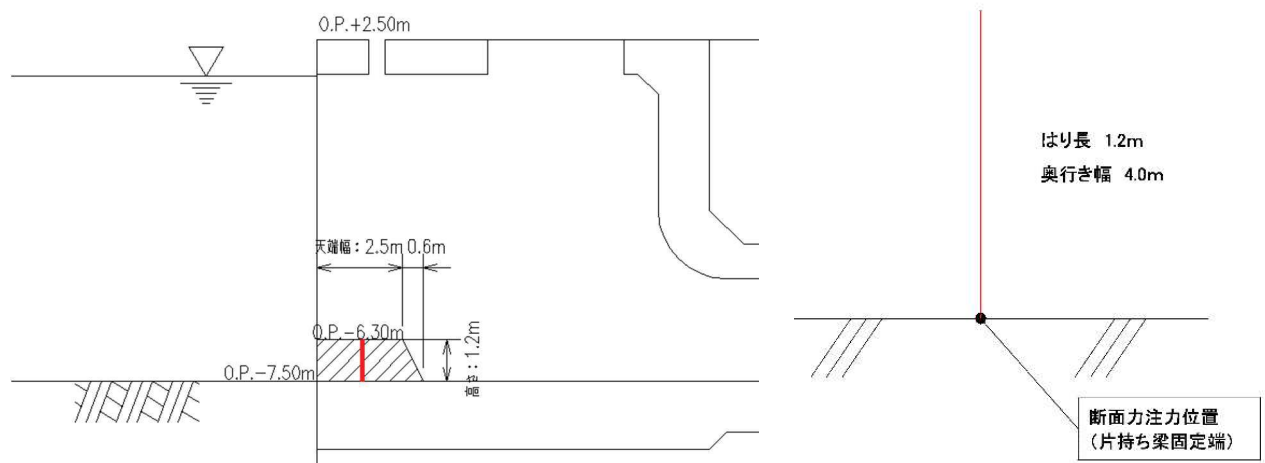


図 3-4 静的フレーム解析モデル概念図

3.5.2 設計水平震度の算定

(1) 地盤物性及び材料物性のばらつき

地震応答解析には、添付書類「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使用する。

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-5 に示す解析ケースを設定する。

表 3-5 強度評価における解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性
		C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1σ

(2) 一次元地震応答解析

設計水平震度は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を一次元重複反射理論による引戻し・引上げ解析を行って求められる貯留堰位置での応答結果を用いて設定する。なお、引戻し解析に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」とする。

一次元地震応答解析の概念図を図 3-5 に、設計水平震度の設定に用いる貯留堰位置の弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-6 に示す。

一次元地震応答解析には、解析コード「ArkQuake Ver. 3.10.01」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

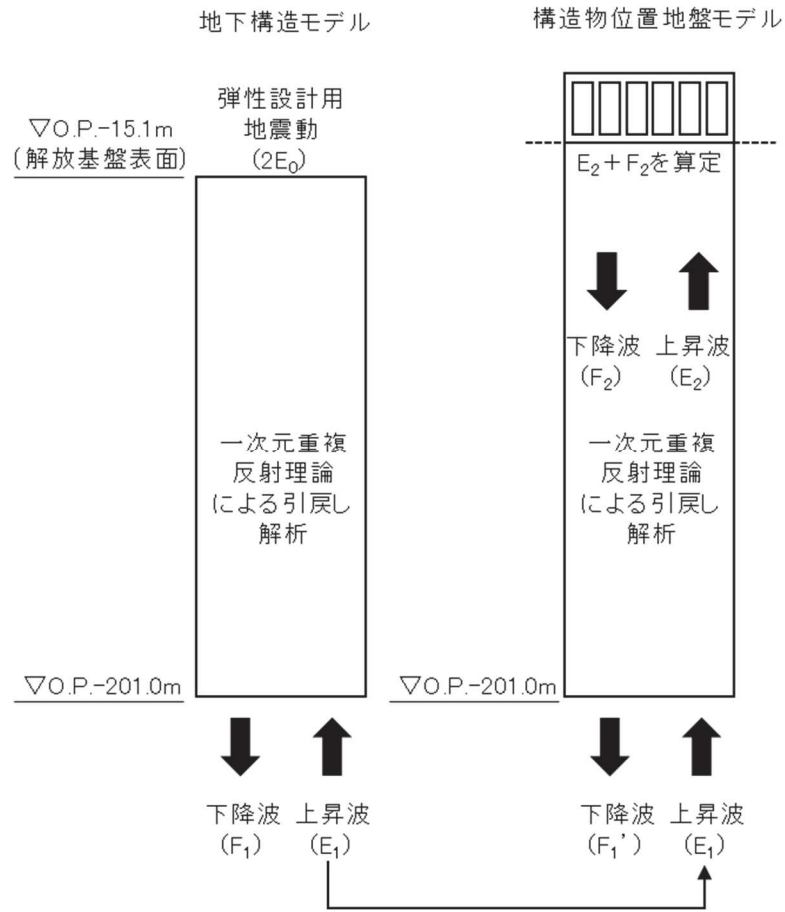
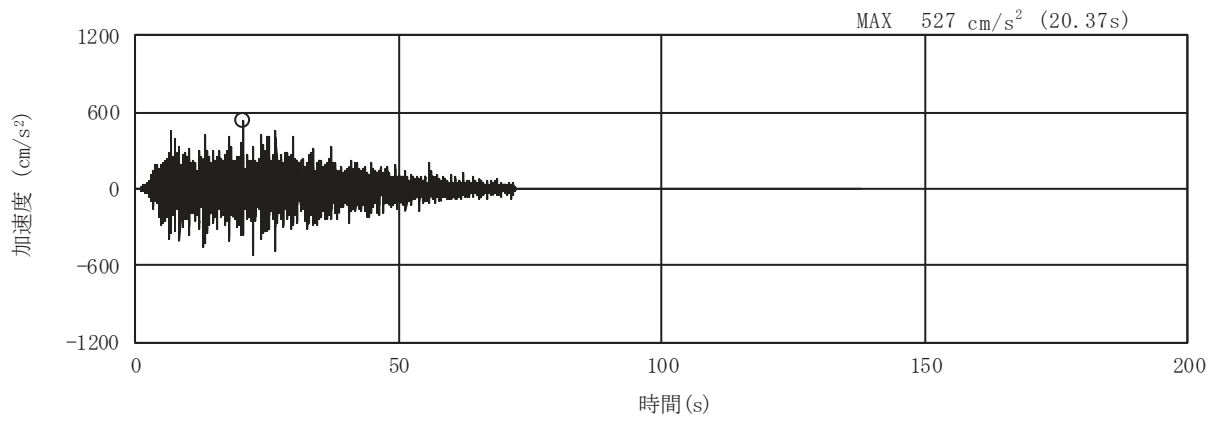
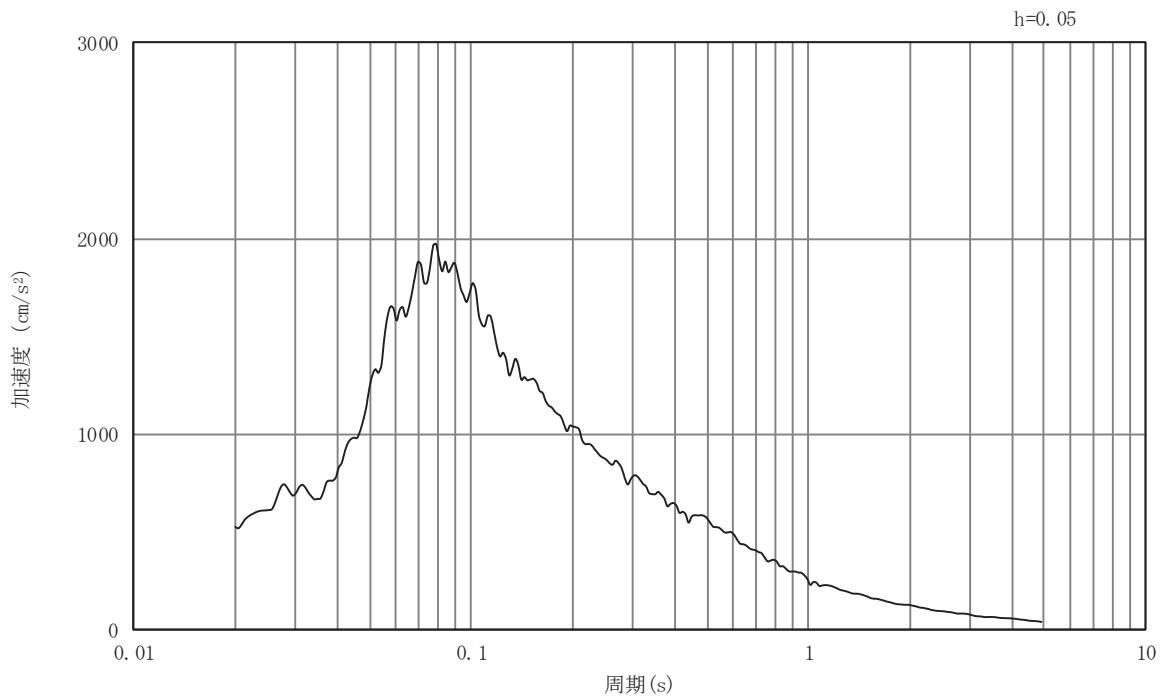


図 3-5 一次元地震応答解析の概念図



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 貯留堰位置における弾性設計用地震動 S d - D 2 による
加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

(3) 設計水平震度の算定

貯留堰位置における最大加速度を表 3-6 に示す。

ケース②の加速度が最も大きいため、この加速度を重力加速度で除して、保守的に設計水平震度を 0.60 とする。

$$\text{設計水平震度 (k h)} = 579(\text{cm/s}^2) / 980.665(\text{cm/s}^2) \approx 0.60$$

表 3-6 一次元地震応答解析結果 (下線部：設計水平震度採用ケース)

解析ケース	①	②	③
	基本ケース	地盤剛性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤剛性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
最大加速度 (cm/s ²)	527	<u>579</u>	511

3.5.3 評価方法

貯留堰の強度評価においては、静的フレーム解析により得られた曲げモーメント及び軸力より算定した曲げ圧縮応力及び引張応力、せん断力より算定したせん断応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(1) 曲げ圧縮と引張に対する照査

曲げ圧縮及び引張の断面照査においては、発生断面力が許容限界以下であることを確認する。解析プログラムは「RC 断面計算 Ver8.0.6」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

(2) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断力が許容限界以下であることを証明する。

$$\tau = \frac{V}{b w \cdot j \cdot d} = \frac{V}{b w \cdot z}$$

ここで、

V : せん断力

b w : 部材断面の腹部の幅

z = j · d : 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面の図心までの距離

d : 有効高さ, j = 1/1.15

3.5.4 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値を表3-7に示す。

表3-7 使用材料及び物性値

評価対象	材料	仕様	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (kN/mm ²)
貯留堰 (鉄筋コンクリート造)	コンクリート	$f'_{ck} = 20.5 \text{N/mm}^2$	24.0	23.3
	鉄筋	SD345		

4. 評価条件

4.1 津波時

津波時において、強度評価に用いる評価条件を表 4-1 に示す。

表4-1 強度評価に用いる条件（津波時）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
w 1	躯体自重（貯留堰天端における軸方向荷重）	240.3	kN/m
w 2	躯体自重（貯留堰下端における軸方向荷重）	298.0	kN/m
h 1	貯留堰の天端における水深	0.0	m
h 2	貯留堰の下端における水深	1.2	m
p 1	貯留堰の天端における津波波圧	105.0	kN/m
p 2	貯留堰の下端における津波波圧	153.5	kN/m
P c	衝突荷重	2000	kN
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
σ'_{ca}	短期許容曲げ圧縮応力度	11.7	N/mm ²
σ_{sa}	短期許容引張応力度	294	N/mm ²
τ_a	短期許容せん断応力度	0.63	N/mm ²

4.2 重畳時 1

重畳時 1 において、強度評価に用いる評価条件を表 4-2 に示す。

表4-2 強度評価に用いる条件（重畳時 1）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
k h	設計水平震度	0.60	—
w 1	躯体自重（貯留堰天端における軸方向荷重）	240.3	kN/m
w 2	躯体自重（貯留堰下端における軸方向荷重）	298.0	kN/m
h 1	貯留堰の天端における水深	0.0	m
h 2	貯留堰の下端における水深	1.2	m
p 1	貯留堰の天端における津波波圧	105.0	kN/m
p 2	貯留堰の下端における津波波圧	153.5	kN/m
p d 1	貯留堰の天端における動水圧	0.0	kN/m
p d 2	貯留堰の天端から下に 0.1m における動水圧	15.3	kN/m
p d 3	貯留堰の天端から下に 0.2m における動水圧	21.6	kN/m
p d 4	貯留堰の天端から下に 0.3m における動水圧	26.5	kN/m
p d 5	貯留堰の天端から下に 0.4m における動水圧	30.6	kN/m
p d 6	貯留堰の天端から下に 0.5m における動水圧	34.2	kN/m
p d 7	貯留堰の天端から下に 0.6m における動水圧	37.5	kN/m
p d 8	貯留堰の天端から下に 0.7m における動水圧	40.5	kN/m
p d 9	貯留堰の天端から下に 0.8m における動水圧	43.3	kN/m
p d 1 0	貯留堰の天端から下に 0.9m における動水圧	45.9	kN/m
p d 1 1	貯留堰の天端から下に 1.0m における動水圧	48.4	kN/m
p d 1 2	貯留堰の天端から下に 1.1m における動水圧	50.7	kN/m
p d 1 3	貯留堰の下端における動水圧	53.0	kN/m
p s d 1	貯留堰の天端における躯体慣性力	144.2	kN/m
p s d 2	貯留堰の下端における躯体慣性力	178.8	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
$\sigma'_{c a}$	許容曲げ圧縮応力度	11.7	N/mm ²
$\sigma_{s a}$	許容引張応力度	294	N/mm ²
τ_a	許容せん断応力度	0.63	N/mm ²

4.3 重畳時2

重畳時2において、強度評価に用いる評価条件を表4-3に示す。

表4-3 強度評価に用いる条件（重畳時2）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
k h	設計水平震度	0.60	—
w 1	躯体自重（貯留堰天端における軸方向荷重）	240.3	kN/m
w 2	躯体自重（貯留堰下端における軸方向荷重）	298.0	kN/m
h 1	貯留堰の天端における水深	1.0	m
h 2	貯留堰の下端における水深	2.2	m
p s 1	貯留堰の天端における静水圧	40.4	kN/m
p s 2	貯留堰の下端における静水圧	88.9	kN/m
P c	衝突荷重	2000	kN
p d 1	貯留堰の天端における動水圧	52.8	kN/m
p d 2	貯留堰の天端から下に0.1mにおける動水圧	55.4	kN/m
p d 3	貯留堰の天端から下に0.2mにおける動水圧	57.9	kN/m
p d 4	貯留堰の天端から下に0.3mにおける動水圧	60.2	kN/m
p d 5	貯留堰の天端から下に0.4mにおける動水圧	62.5	kN/m
p d 6	貯留堰の天端から下に0.5mにおける動水圧	64.7	kN/m
p d 7	貯留堰の天端から下に0.6mにおける動水圧	66.8	kN/m
p d 8	貯留堰の天端から下に0.7mにおける動水圧	68.9	kN/m
p d 9	貯留堰の天端から下に0.8mにおける動水圧	70.9	kN/m
p d 10	貯留堰の天端から下に0.9mにおける動水圧	72.8	kN/m
p d 11	貯留堰の天端から下に1.0mにおける動水圧	74.7	kN/m
p d 12	貯留堰の天端から下に1.1mにおける動水圧	76.5	kN/m
p d 13	貯留堰の下端における動水圧	78.3	kN/m
p s d 1	貯留堰の天端における躯体慣性力	144.2	kN/m
p s d 2	貯留堰の下端における躯体慣性力	178.8	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
σ'_{ca}	許容曲げ圧縮応力度	11.7	N/mm ²
σ_{sa}	許容引張応力度	294	N/mm ²
T a	許容せん断応力度	0.63	N/mm ²

4.4 解析ケースによる荷重モデル図

評価条件で使用される記号を用いた荷重モデル図を図4-1～図4-3に示す。

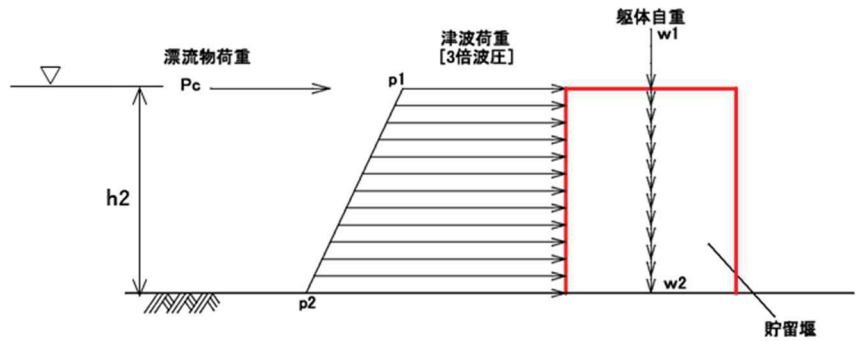


図4-1 荷重モデル図（津波時）

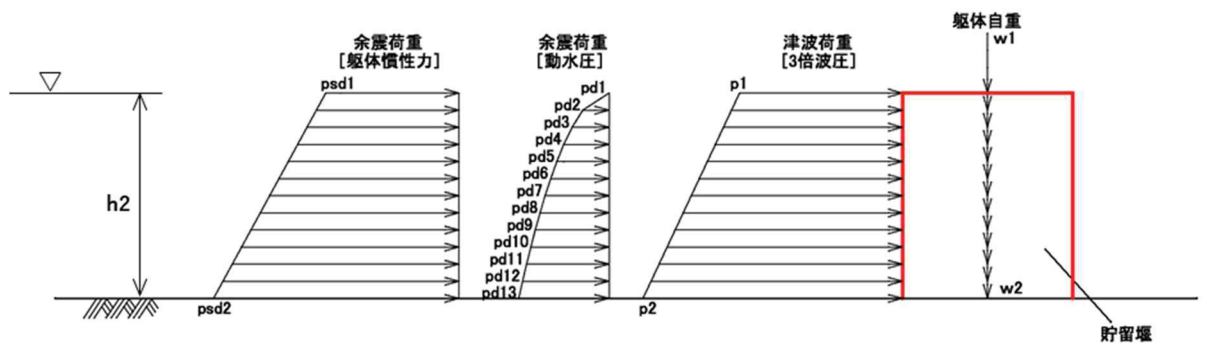


図4-2 荷重モデル図（重畳時1）

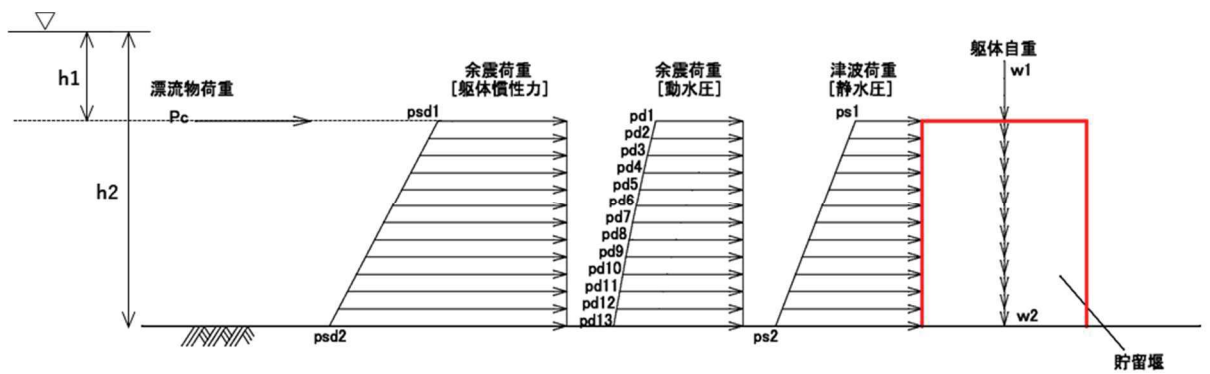


図4-3 荷重モデル図（重畳時2）

5. 強度評価結果

5.1 曲げ圧縮応力度に対する照査

曲げ圧縮応力度の評価結果を表 5-1 に示す。曲げ圧縮応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。照査値が最大となる重畳時 2 における断面力図を図 5-1 に示す。

表 5-1 曲げ圧縮応力度の評価

事象	曲げモーメント M	軸力 N	圧縮応力度 σ	短期許容 圧縮応力度 σ'_{ca}	照査値
	kN・m		N/mm ²	N/mm ²	
津波時	2488	323	1.8	11.7	0.16
重畳時 1	220	323	0.1	11.7	0.01
重畳時 2	2598	323	1.8	11.7	0.16

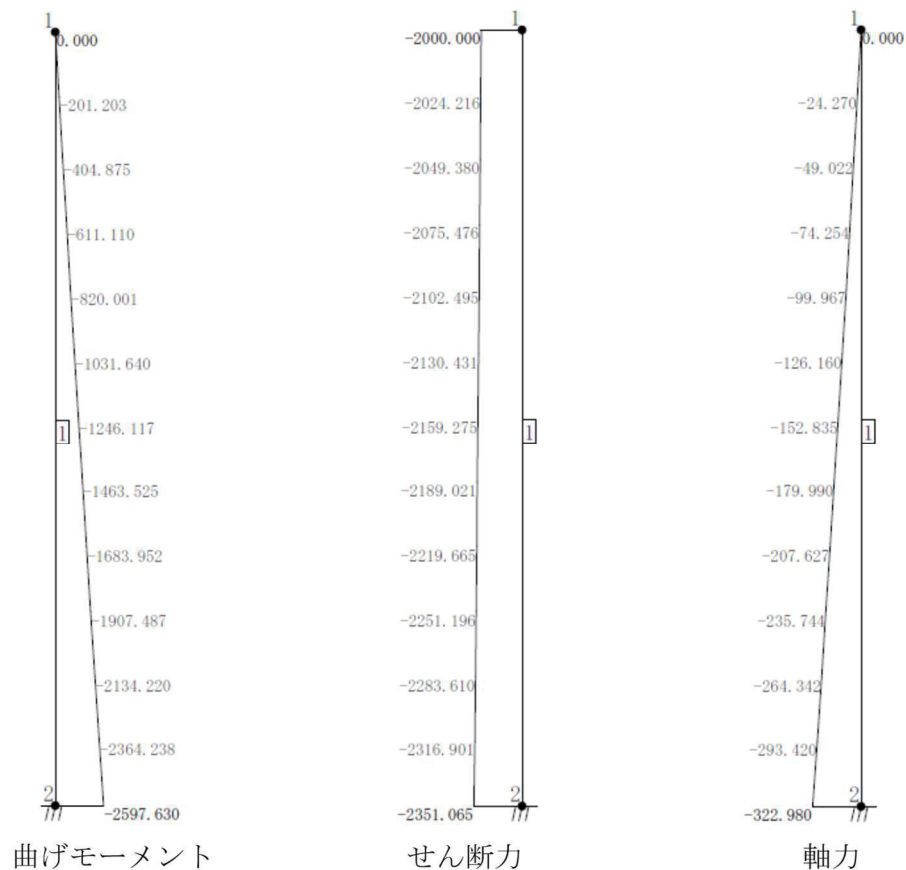


図 5-1 断面力図 (重畳時 2)

5.2 引張応力度に対する照査

引張応力度の評価結果を表 5-2 に示す。引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 5-2 引張応力度の評価

事象	曲げモーメント M	軸力 N	引張応力度 σ	短期許容 引張応力度 σ_{sa}	照査値
	kN・m	kN	N/mm ²	N/mm ²	
津波時	2488	323	140	294	0.48
重畳時 1	220	323	1	294	0.01
重畳時 2	2598	323	148	294	0.51

5.3 せん断応力度に対する照査

せん断応力度の評価結果を表 5-3 に示す。せん断応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 5-3 せん断応力度の評価

事象	せん断力 V	せん断応力度 τ	短期許容 せん断応力度 τ_a	照査値
	kN	N/mm ²	N/mm ²	
津波時	2156	0.27	0.63	0.43
重畳時 1	392	0.05	0.63	0.08
重畳時 2	2352	0.29	0.63	0.47

VI-3-別添 3-2-8 浸水防止壁の強度計算書

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	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価対象部位	8
4.	構造強度評価	9
4.1	構造強度評価方法	9
4.2	荷重及び荷重の組合せ	9
4.3	許容限界	11
4.4	評価方法	13
4.5	評価条件	18
5.	評価結果	19

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち第2号機海水ポンプ室浸水防止壁（以下「浸水防止壁」という。）が津波による溢水を考慮した浸水に伴う津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、浸水防止壁の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止壁は、第 2 号機海水ポンプ室（以下「海水ポンプ室」という。）躯体上部に設置する。

浸水防止壁の設置位置図を図 2-1 に示す。

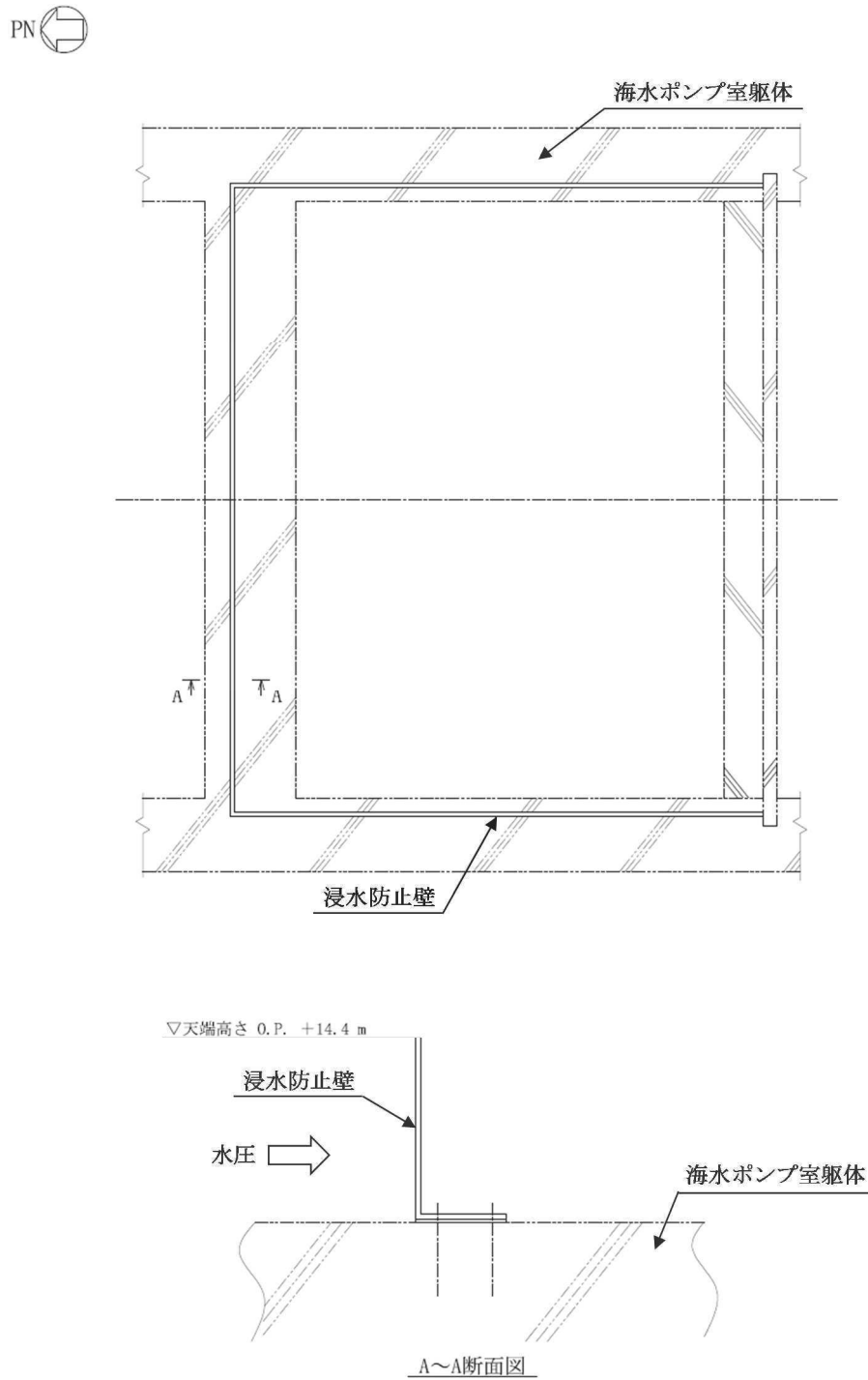


図 2-1 浸水防止壁の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体上部にL字型の浸水防止壁を設置する構造とする。浸水防止壁は、海水ポンプ室躯体との間にシーล材を挟みこみ、基礎ボルトで固定する。浸水防止壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
海水ポンプ室の躯体上部に基礎ボルトで固定する。	浸水防止壁により構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止壁の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、「2.2 構造計画」に示す浸水防止壁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-2 に示す。

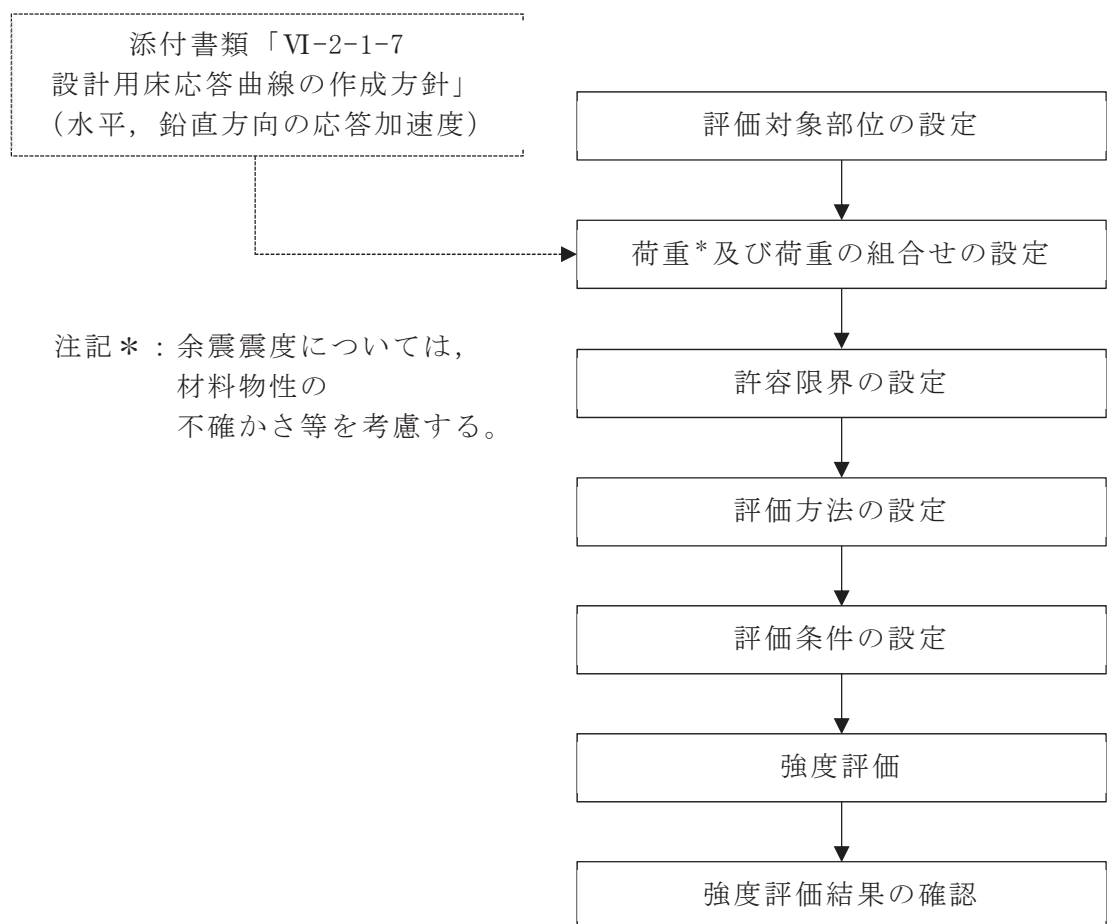


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- (2) 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- (3) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- (4) 日本建築学会 1999 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-
- (5) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (6) 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止壁の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
G	-	固定荷重
P_h	-	浸水津波荷重
K_{sd}	-	余震荷重（動水圧含む。）
P_k	-	風荷重
w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重
W_v	N	浸水防止壁の固定荷重
w_{ph}	N/mm	津波の等分布荷重
γ_w	N/mm ³	海水の単位体積重量
h	mm	津波による溢水を考慮した浸水に伴う津波荷重水位
w_{sdH}	N/mm	余震の水平方向の等分布荷重
P_{sdV}	N	余震の鉛直方向の荷重
w_{phd}	N/mm	余震時の動水圧等分布荷重
C_H	-	水平方向の余震震度
C_V	-	鉛直方向の余震震度
w_{Pk}	N/mm	風の等分布荷重
q	N/mm ²	速度圧
C_f	-	風力係数
H	mm	浸水防止壁の高さ
M	N・mm	浸水防止壁に作用する曲げモーメント
M_1	N・mm	余震荷重，風荷重による曲げモーメント
M_2	N・mm	津波荷重による曲げモーメント
Q	N	浸水防止壁に作用するせん断力
Q_1	N	余震荷重，風荷重によるせん断力
Q_2	N	津波荷重によるせん断力
σ_b	N/mm ²	浸水防止壁の曲げ応力度
τ	N/mm ²	浸水防止壁のせん断応力度
σ	N/mm ²	浸水防止壁の組合せ応力度
Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数
A	mm ²	浸水防止壁の断面積

表 2-2 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$T_{b o}$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$Q_{b o}$	N	基礎ボルトに作用するせん断力
b	mm	基礎ボルト間寸法
n	本	基礎ボルトの本数
P_a	N	基礎ボルトの短期許容引張力
q_a	N	基礎ボルトの短期許容せん断力

3. 評価対象部位

浸水防止壁の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、津波荷重、余震荷重及び風荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止壁に作用する各荷重は、浸水防止壁に伝わり、浸水防止壁を固定している基礎ボルトを介して躯体に伝達されることから、浸水防止壁及び基礎ボルトを評価対象部位として設定する。評価対象部位を図 3-1 に示す。

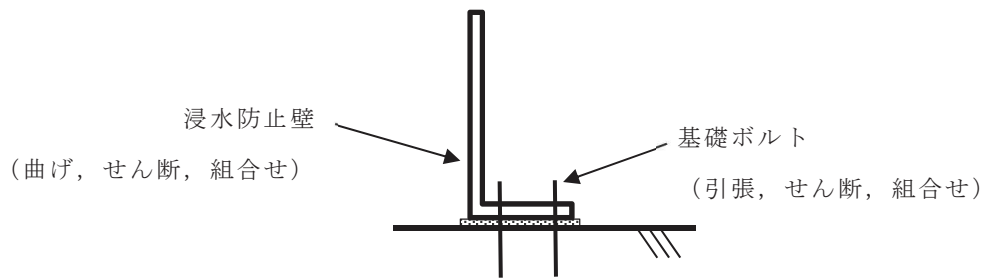


図 3-1 評価対象部位

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

浸水防止壁の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

浸水防止壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_h + K_{S_d} + P_k$$

- ここで、
- G : 固定荷重
 - P_h : 浸水津波荷重
 - K_{S_d} : 余震荷重（動水圧含む。）
 - P_k : 風荷重

4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として浸水防止壁の自重を考慮する。

- w_s : 浸水防止壁の固定等分布荷重 (N/mm)
- W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)

(2) 浸水津波荷重(P_h)

浸水津波荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、津波による溢水を考慮した浸水に伴う津波荷重水位を考慮し、以下の式により算出する。

$$w_{P_h} = \gamma_w \cdot h \cdot 1000 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

- ここで、
- w_{P_h} : 津波の等分布荷重 (N/mm)
 - γ_w : 海水の単位体積重量 (N/mm³)
 - h : 津波による溢水を考慮した浸水に伴う津波荷重水位 (mm)

(3) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ に伴う地震力を考慮する。

なお、浸水防止壁の強度評価に用いる余震震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」の地震応答解析結果を用いる。ここで、地震力は、浸水防止壁設置位置における最大応答加速度から設定する震度を用いて評価するものとし、次式により算出する。

$$w_{SdH} = w_s \cdot C_H + w_{Phd} \dots\dots\dots (4.2)$$

- ここで、 w_{SdH} : 余震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
- w_s : 浸水防止壁の固定等分布荷重 (N/mm)
- C_H : 水平方向の余震震度
- w_{Phd} : 余震時の動水圧等分布荷重 (N/mm)

余震時の動水圧等分布荷重は、「水道施設耐震工法指針・解説」より次式を用いて算定する。

$$w_{Phd} = \frac{7}{8} \cdot \gamma_w \cdot C_H \cdot \sqrt{h \cdot H \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3)$$

- ここで、 γ_w : 海水の単位体積重量 (N/mm³)
- h : 津波による溢水を考慮した浸水に伴う
津波荷重水位 (mm)
- H : 浸水防止壁の高さ (mm)

$$P_{SdV} = W_v \cdot C_V \dots\dots\dots (4.4)$$

- ここで、 P_{SdV} : 余震の鉛直方向の荷重 (N)
- W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)
- C_V : 鉛直方向の余震震度

余震震度 C_H 及び C_V を表 4-1 に示す。

表 4-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度	
		水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
海水ポンプ室	O.P. 13.80*	2.31	0.98

注記* : 基準床レベルを示す。

(4) 風荷重 (P_k)

風の等分布荷重は、「建築基準法・同施行令」に基づき次式により算出する。

$$w_{P_k} = q \cdot C_f \cdot 1000 \dots\dots\dots (4.5)$$

ここで, w_{P_k} : 風の等分布荷重 (N/mm)

q : 速度圧 (N/mm²)

C_f : 風力係数

4.3 許容限界

浸水防止壁の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

浸水防止壁及び基礎ボルトの使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

評価対象部位	材料	仕様
浸水防止壁	SS400	t=12 (mm)
基礎ボルト	SS400	M16

4.3.2 許容限界

(1) 浸水防止壁

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき設定した浸水防止壁の短期許容応力度を表 4-3 に示す。

表 4-3 浸水防止壁の短期許容応力度

種類	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	せん断	組合せ
SS400	235	135	235

(2) 基礎ボルト

基礎ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した基礎ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重を表 4-4 に示す。

なお、基礎ボルトは躯体に埋め込まれていることから、引張力を受ける場合においては、基礎ボルトの降伏により決まる許容荷重及び基礎ボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、せん断力を受ける場合においては、基礎ボルトのせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の基礎ボルトの短期許容荷重

種類	短期許容荷重 (N)	
	引張	せん断
SS400	28225	25826

4.4 評価方法

浸水防止壁の強度評価は、津波、余震、風により生じる応力度又は荷重が「4.3 許容限界」で設定した許容限界値を超えないことを確認する。

4.4.1 浸水防止壁の評価方法

浸水防止壁に生じる応力は、各荷重を受ける片持ちばりとして、躯体と接合部に生じる曲げモーメント及びせん断力を算定し、浸水防止壁に生じる曲げ及びせん断力に対する確認を行う。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 応力算定

余震荷重、風荷重により生じる応力は図 4-1 及び図 4-3 に、津波荷重による応力は図 4-2 及び図 4-4 に示すとおり、等分布荷重が作用するものとして算定する。

a. 曲げモーメント

曲げモーメントは次式により算定する。

$$M = M_1 + M_2 \dots\dots\dots (4.6)$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot (w_{S d H} + w_{P k}) \cdot H^2 \dots\dots\dots (4.7)$$

- ここで、 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 M_1 : 余震荷重、風荷重による曲げモーメント (N・mm)
 $w_{S d H}$: 余震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 $w_{P k}$: 風の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

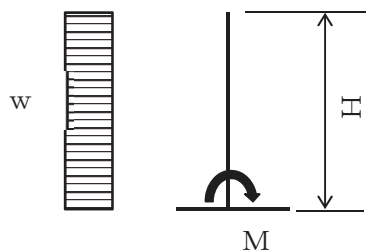


図 4-1 曲げモーメント算定モデル化(1)

$$M_2 = \frac{1}{6} \cdot w_{ph} \cdot H^2 \dots\dots\dots (4.8)$$

ここで、 M_2 : 津波荷重による曲げモーメント (N・mm)
 w_{ph} : 津波の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

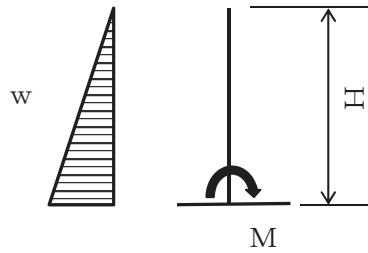


図 4-2 曲げモーメント算定モデル化(2)

b. せん断力

せん断力は次式により算定する。

$$Q = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots (4.9)$$

$$Q_1 = (w_{sdH} + w_{pk}) \cdot H \dots\dots\dots (4.10)$$

ここで、 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 Q_1 : 余震荷重，風荷重によるせん断力 (N)
 w_{sdH} : 余震の水平方向の等分布荷重 (N/mm)
 w_{pk} : 風の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

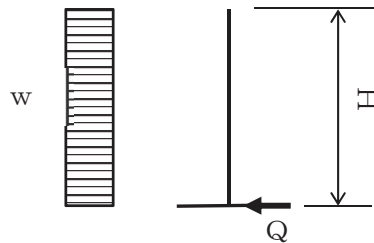


図 4-3 せん断力算定モデル化(1)

$$Q_2 = \frac{1}{2} \cdot w_{ph} \cdot H \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

- ここで、 Q_2 : 津波荷重によるせん断力 (N)
 w_{ph} : 津波の等分布荷重 (N/mm)
 H : 浸水防止壁の高さ (mm)

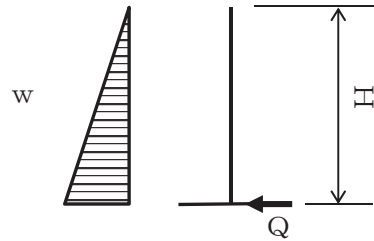


図 4-4 せん断力算定モデル化(2)

(2) 断面検定

a. 浸水防止壁に生じる曲げ応力度

浸水防止壁に生じる曲げ応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

- ここで、 σ_b : 浸水防止壁の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 Z : 浸水防止壁の断面係数 (mm³)

b. 浸水防止壁に生じるせん断応力度

浸水防止壁に生じるせん断応力度は次式より算出し、浸水防止壁の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

- ここで、 τ : 浸水防止壁のせん断応力度 (N/mm²)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 A : 浸水防止壁の断面積 (mm²)

c. 浸水防止壁に生じる組合せ応力度

浸水防止壁に生じる曲げとせん断の組合せ応力度「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式より算出し、浸水防止壁の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.14)$$

ここで、 σ : 浸水防止壁の組合せ応力度 (N/mm²)

4.4.2 基礎ボルトの評価方法

基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。基礎ボルトに生じる引張力に対する確認においては、浸水防止壁の自重による鉛直方向上向きの地震荷重を組み合わせるものとする。鉛直方向下向きに生じる荷重は、既存躯体により支持されるため設計に考慮しない。

なお、単位長さ(1000 mm)当たりで評価を行う。

(1) 評価方法

「4.4.1 浸水防止壁の評価方法」にて算出した浸水防止壁に生じる応力を基に基礎ボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行う。

(2) 荷重算定

a. 基礎ボルトに生じる引張力

基礎ボルトに生じる引張力は次式より算出し、基礎ボルトの短期許容引張力を下回ることを確認する。

$$T_{b.o} = \frac{M}{b \cdot \frac{n}{2}} + \frac{P_{sdv} - W_v}{n} \dots\dots\dots (4.15)$$

ここで、 $T_{b.o}$: 基礎ボルトに作用する引張力 (N)
 M : 浸水防止壁に作用する曲げモーメント (N・mm)
 b : 基礎ボルト間寸法 (mm)
 P_{sdv} : 余震の鉛直方向の荷重 (N)
 W_v : 浸水防止壁の固定荷重 (N)
 n : 基礎ボルトの本数 (本)

b. 基礎ボルトに生じるせん断力

基礎ボルトに作用するせん断力が、基礎ボルトの短期許容せん断力を下回ることを確認する。

$$Q_{b.o} = \frac{Q}{n} \dots\dots\dots (4.16)$$

- ここで、 $Q_{b.o}$: 基礎ボルトに作用するせん断力 (N)
 Q : 浸水防止壁に作用するせん断力 (N)
 n : 基礎ボルトの本数 (本)

c. 基礎ボルトに生じる組合せ荷重

基礎ボルトに生じる引張とせん断の組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式より算出し、1以下であることを確認する。

$$\left(\frac{T_{b.o}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{Q_{b.o}}{q_a}\right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots (4.17)$$

- ここで、 P_a : 基礎ボルトの短期許容引張力 (N)
 q_a : 基礎ボルトの短期許容せん断力 (N)

4.5 評価条件

浸水防止壁の強度評価に用いる入力値を表 4-5 に示す。

表 4-5 浸水防止壁の強度評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
浸水 防止壁	W_v	N	浸水防止壁の固定荷重	543.2
	w_s	N/mm	浸水防止壁の固定等分布荷重	9.238×10^{-1}
	γ_w	N/mm ³	海水の単位体積重量	1.01×10^{-5}
	h	mm	津波による溢水を考慮した浸水に伴う 津波荷重水位	400*
	C_f	-	風力係数	1.2
	q	N/mm ²	速度圧	9.598×10^{-4}
	H	mm	浸水防止壁の高さ	400
	Z	mm ³	浸水防止壁の断面係数	24000
	A	mm ²	浸水防止壁の断面積	12000
基礎 ボルト	b	mm	基礎ボルト間寸法	120
	n	本	基礎ボルトの本数	6

注記*：屋外タンク等の損傷による溢水による浸水水位は 0.18m であるが，保守的に浸水防止壁の高さ（H）まで津波荷重水位が加わるものとして設定する。

5. 評価結果

浸水防止壁の強度評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力度又は荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 浸水防止壁の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (発生応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水 防止壁	曲げ	43	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19 < 1
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1
	組合せ	44	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19 < 1
基礎 ボルト	引張	2843	N	28225	N	0.11 < 1
	せん断	899	N	25826	N	0.04 < 1
	組合せ	-		-		0.02 < 1