

VI-2-別添 1-5 選択弁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. 固有値確認及び構造強度評価	3
3.1 固有値確認及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
3.3 解析モデル及び諸元	6
3.4 固有周期	8
3.5 設計用地震力	10
4. 機能維持評価	11
4.1 動的機能維持評価方法	11
5. 評価結果	12

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、選択弁が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

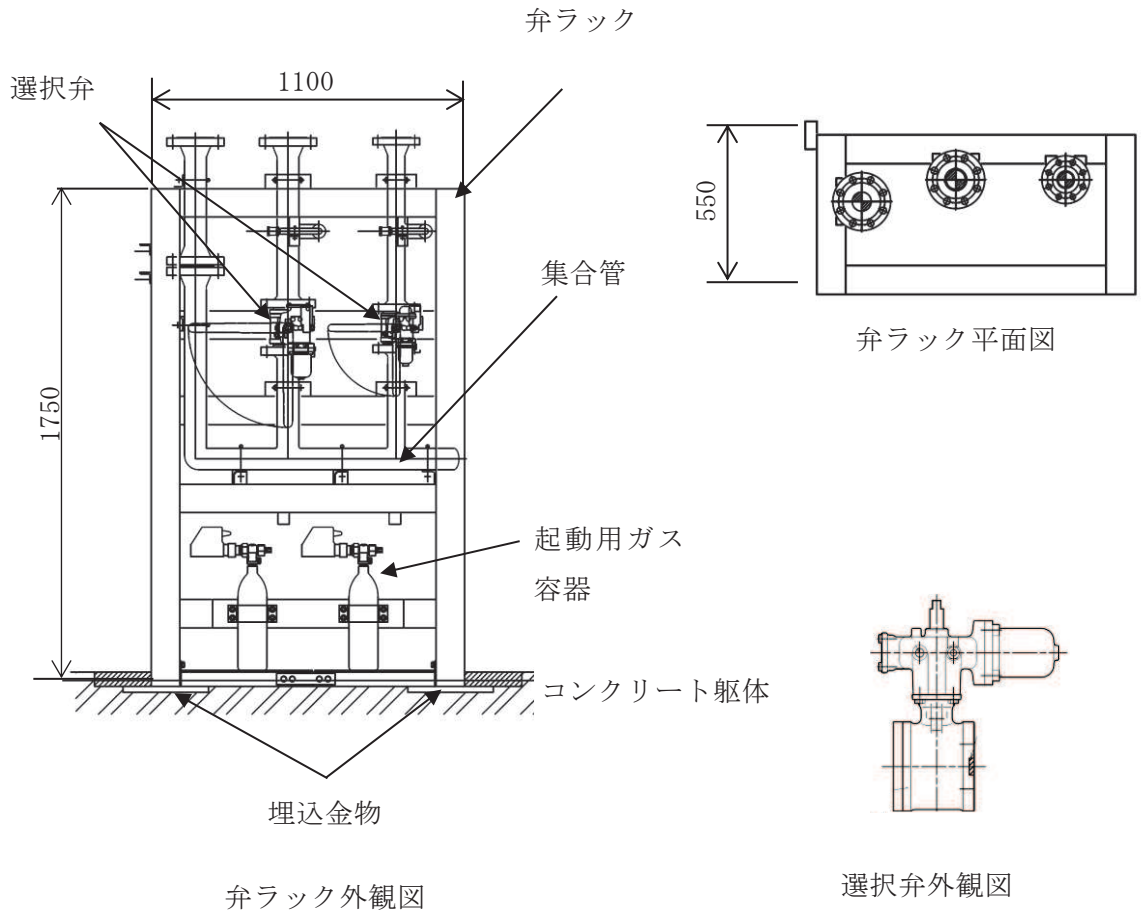
2.1 構造計画

弁ラック及び選択弁の構造計画を表2-1に示す。

また、弁ラック及び選択弁は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、爆発等の二次的影響を受けず、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表2-1 選択弁の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
選択弁は集合管に取り付けて固定する。集合管は弁ラックに固定し、埋込金物により弁ラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	選択弁 集合管 弁ラック	図 2-1



(単位 : mm)

図 2-1 選択弁 概要図

3. 固有値確認及び構造強度評価

選択弁の固有周期及び構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「4.固有周期」及び「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき、3次元FEMモデルによる解析及び正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度を評価する。

3.1 固有値確認及び構造強度評価方法

3.1.1 固有値確認方法

① 弁ラックの確認方法

対象部位である弁ラックについて、3次元FEMモデルによる解析を実施する。

② 選択弁の確認方法

選択弁は、正弦波掃引試験を実施する。

3.1.2 構造強度評価方法

弁ラックの構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、選択弁の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表3-1 に示す。

3.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

選択弁における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-2に示す。また、弁ラック及び溶接部の許容応力評価条件を表3-3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
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	選択弁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	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3-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（部材）*1, *2	許容限界（溶接部）*1, *2
	一次応力	一次応力
	組合せ	せん断
IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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3-3 許容応力評価条件（設計基準対象施設）

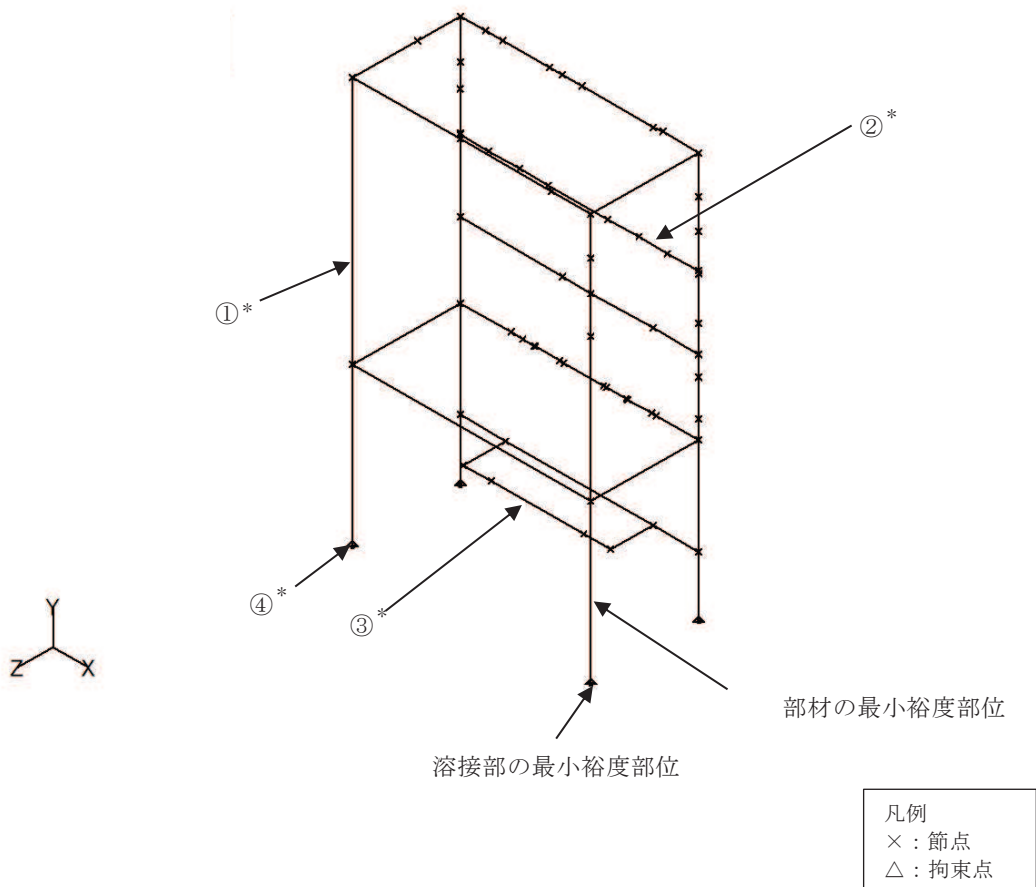
評価対象 部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
弁ラック		40 (周囲環境温度)	245	400	280
溶接部		40 (周囲環境温度)	245	400	280

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 解析モデル及び諸元

弁ラックの解析モデルを図3-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表3-4及び本計算書の【選択弁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 弁ラックを構成するフレーム部材をはり要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、ベースプレート溶接部位置において完全拘束とする。
- (3) モデルの全体質量において選択弁、集合管及び起動用ガス容器の質量はそれを支持している弁ラックの質量に加味する。
- (4) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要・NX NASTRAN」に示す。



注記* : 各部材の諸元については表 3-4 解析モデルの諸元に示す。

図 3-1 解析モデル

表 3-4 解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元 (数値)	縦弾性 係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	
						強軸	強軸
フレーム 部材	①						
	②						
	③						
溶接部	④						
温度条件 (°C)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—	430	—	—	—	—
ポアソン 比	—	—	0.3	—	—	—	—

3.4 固有周期

弁ラックの固有値確認結果を「3.4.1 弁ラック」に、選択弁の加振試験結果を「3.4.2 選択弁」に示す。

3.4.1 弁ラック

弁ラックの固有値確認結果を表3-5に、振動モード図を図3-2に示す。固有周期は0.050秒以下であり剛であることを確認した。

3.4.2 選択弁

選択弁の加振試験結果を表3-6に示す。表3-6より、選択弁は剛であることを確認した。

表3-5 弁ラックの固有周期 (単位：s)

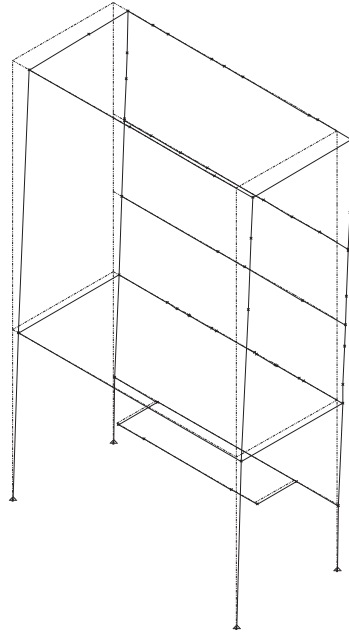
機器名称	方向	固有周期
弁ラック	水平	
	鉛直	

表3-6 選択弁の固有周期 (単位：s)

機器名称	方向	固有周期*
選択弁	水平	
	鉛直	

注記*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

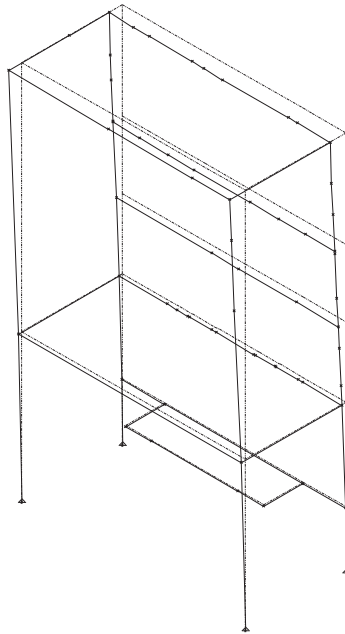
鉛直方向
短辺方向 z x 長辺方向



(a) 長辺方向モード



鉛直方向
短辺方向 z x 長辺方向



(b) 短辺方向モード



図3-2 振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 設計用地震力

弁ラックの耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

選択弁は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

5. 評価結果

弁ラック及び選択弁の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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。

【選択弁の耐震性についての計算結果】

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	設置場所及び床面 高さ(m)	固有周期(s)		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	
弁ラック	C	緊急用電気品建屋 O.P. 56.40*			$C_H=0.84$	$C_V=0.68$	40

注記* : 基準床レベルを示す

1.2 機器要目

1.2.1 弁ラック

部材	E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	A_{rea} (mm ²)	A_1 (mm ²)	A_2 (mm ²)	Z_1 (mm ³)	Z_2 (mm ³)	Z_{p1} (mm ³)	Z_{p2} (mm ³)

1.2.2 溶接部

部材	A_w (mm ²)	Z_w (mm ³)	Z_{pw} (mm ³)

1.3 計算数値

1.3.1 弁ラックに作用する部材力

部材	R ₁ (N)	R ₂ (N)	R ₃ (N)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	M ₃ (N・mm)

1.3.2 溶接部に作用する発生力

部材	R ₁ (N)	R ₂ (N)	R ₃ (N)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	M ₃ (N・mm)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位 : s)

水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位 : MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	算出応力	許容応力
選択弁	弁ラック		組合せ応力	$\sigma_a = 17$	$f_t = 280$
	溶接部		せん断応力	$\sigma_{sa} = 21$	$f_s = 161$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能維持評価結果 (単位 : $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
選択弁	緊急用 電気品建屋 O.P. 56.40	0.84	5.00	0.68	3.00

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 (1.2ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-別添 1-6 制御盤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	2
3.1 固有周期の確認方法	2
3.2 固有周期の確認結果	2
3.3 設計用地震力	2
4. 構造強度評価	2
4.1 構造強度評価方法	2
4.2 荷重の組合せ及び許容応力評価条件	2
5. 機能維持評価	4
5.1 電氣的機能維持評価方法	4
6. 評価結果	5

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、制御盤が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を維持することを確認するものである。

評価結果は、裕度（許容値／発生値）が最小となるものを代表として記載する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御盤の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 制御盤の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	制御盤 (壁掛型)	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認方法

制御盤の固有周期は、添付書類「別添1-1」の「4. 固有周期」に示す算出方法に基づき、正弦波掃引試験により算出する。

3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表3-1に示す。測定の結果、固有周期は0.050秒以下であり、剛であることを確認した。

表3-1 制御盤の固有周期（単位：s）

方向	固有周期*
水平	0.050以下
鉛直	0.050以下

注記*：正弦波掃引試験により33Hzまで共振振動数がないことを確認。

3.3 設計用地震力

制御盤の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

制御盤は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力評価条件

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、制御盤の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

制御盤の基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

また、基礎ボルト及び取付ボルトの許容応力評価条件を表4-3に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	制御盤	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

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4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_A S$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表4-3 許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象 部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280
取付ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

制御盤は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

6. 評価結果

制御盤の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、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。

【制御盤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	設置場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は設計震度		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	
制御盤	C	制御建屋 (O.P. 19.50*1)	0.050 以下	0.050 以下	—	—	C _H =2.78*2	C _V =2.00*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：制御盤は壁掛型のため、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。

9

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	ℓ _{3i} * (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fVi}	n _{fHi}
基礎ボルト (i=1)	166	318	1247	1194	550	16 (M16)	201.1	6	3	2
			1247	1194	550				3	2
取付ボルト (i=2)	110	235	1245	1190	646	12 (M12)	113.1	12	3	4
			1245	1190	646				3	4

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
基礎ボルト (i=1)	245 (径 ≤ 16mm)	400	—	280	—	側面方向
取付ボルト (i=2)	245 (径 ≤ 16mm)	400	—	280	—	側面方向

注記*：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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
基礎ボルト ($i=1$)	—	2.009×10^3	—	6.658×10^3
取付ボルト ($i=2$)	—	1.259×10^3	—	4.412×10^3

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力分類	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 ($i=1$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=10$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト ($i=2$)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=12$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

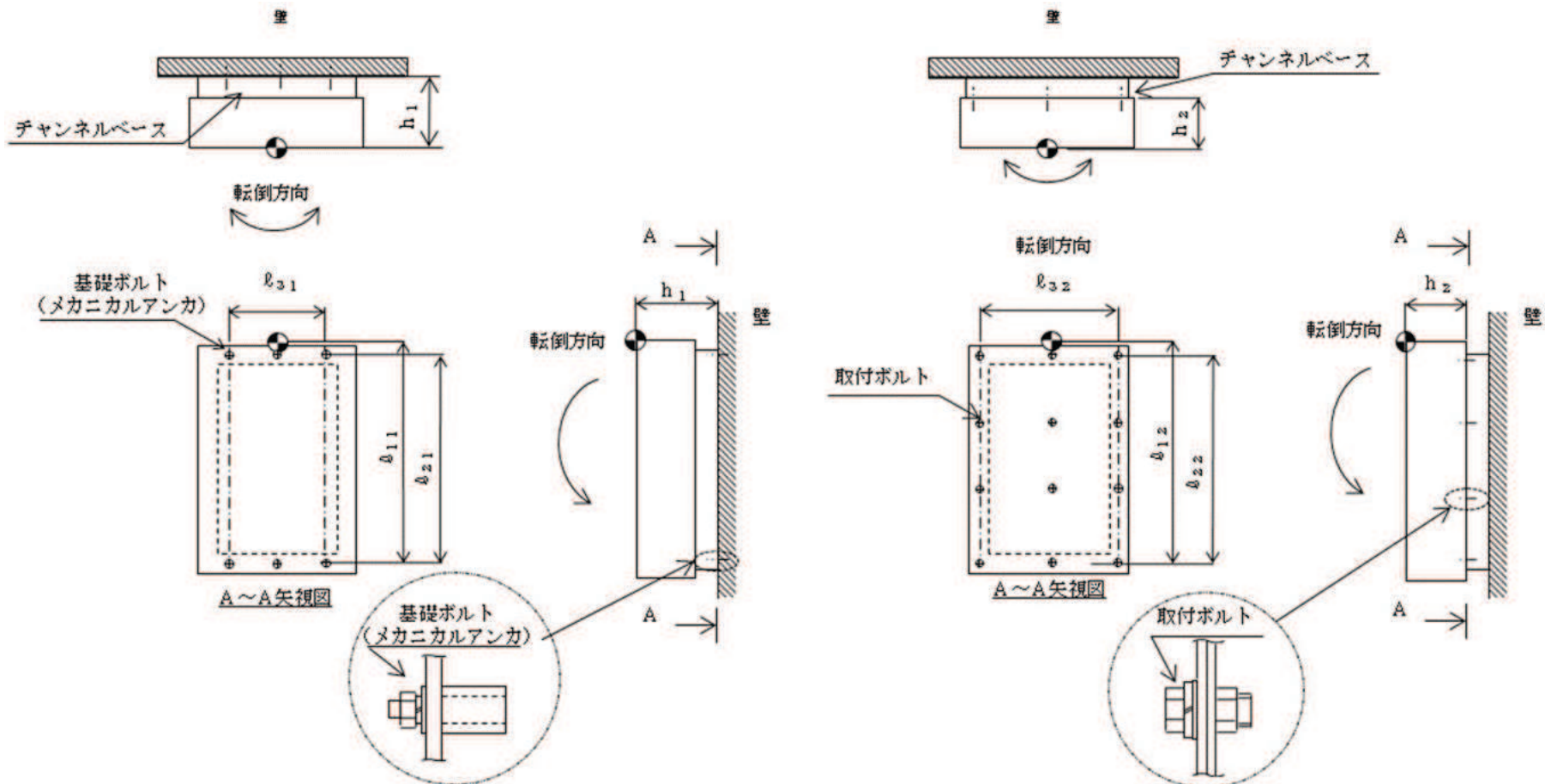
1.4.2 電気の機能維持評価結果

(単位 : $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御盤	水平方向	2.32	5.00
	鉛直方向	1.67	3.00

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。



VI-2-別添 1-7 消火配管の耐震性についての計算書

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	62
3. 計算条件	65
3.1 計算方法	65
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	66
3.3 設計条件	67
3.4 材料及び許容応力	74
3.5 設計用地震力	74
4. 解析結果及び評価	75
4.1 固有周期及び設計震度	75
4.2 評価結果	80

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」に基づき、管、支持構造物及び弁が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度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142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。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.3に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごと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) 耐震評価

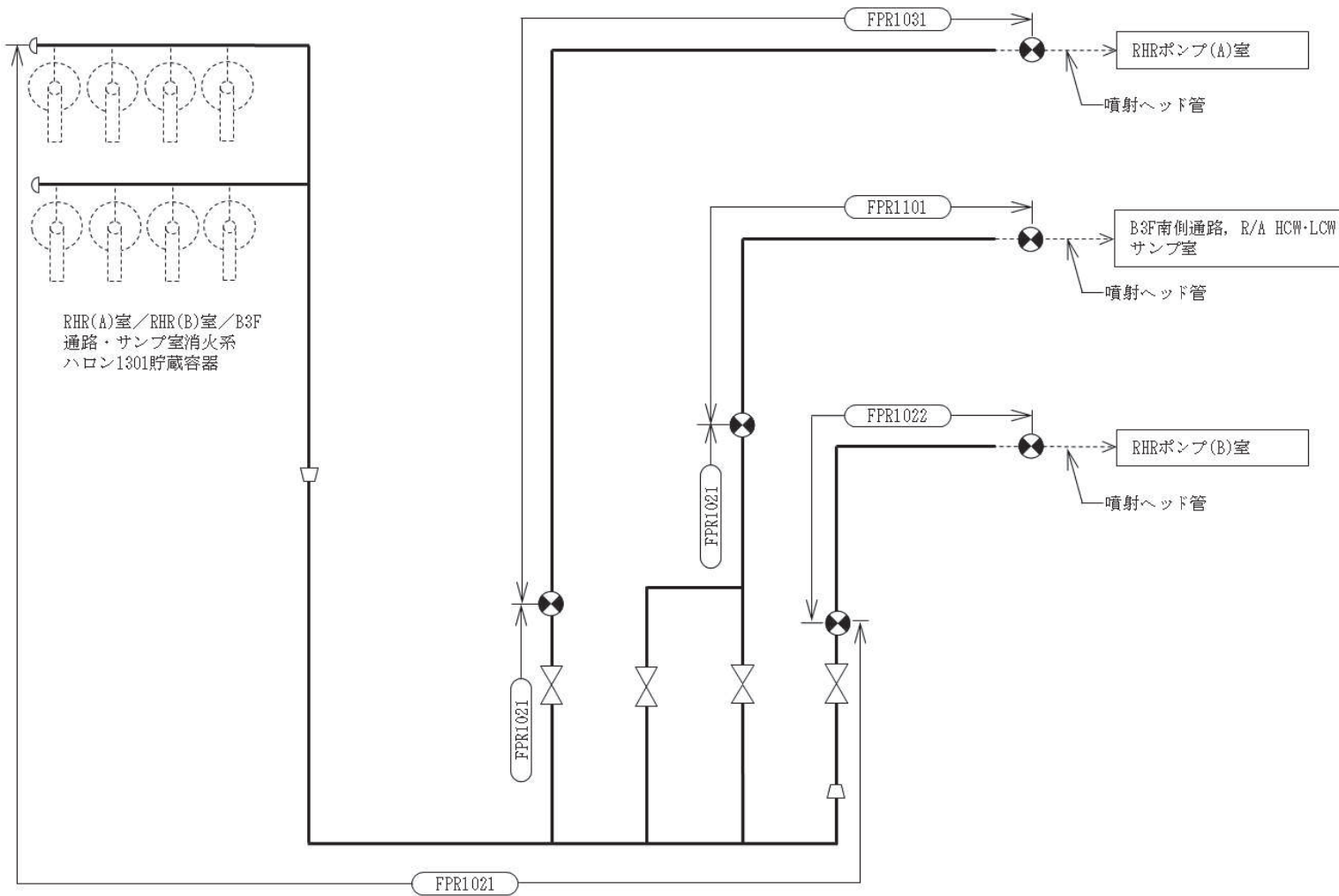
消火配管のうち、ケーブルトレイ消火設備については、基準地震動 S_s による耐震性を有していることを消火配管設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較により評価する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

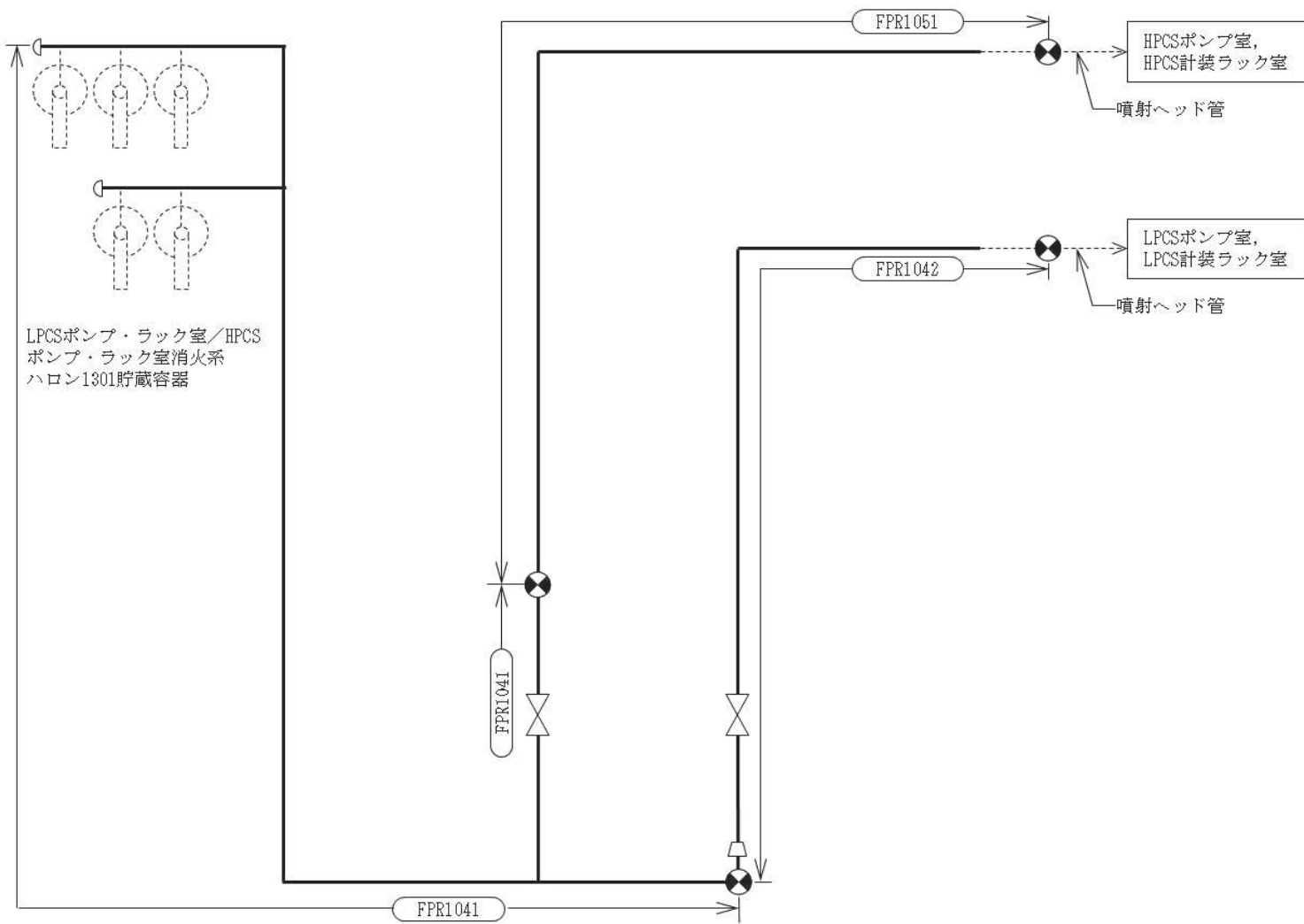
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

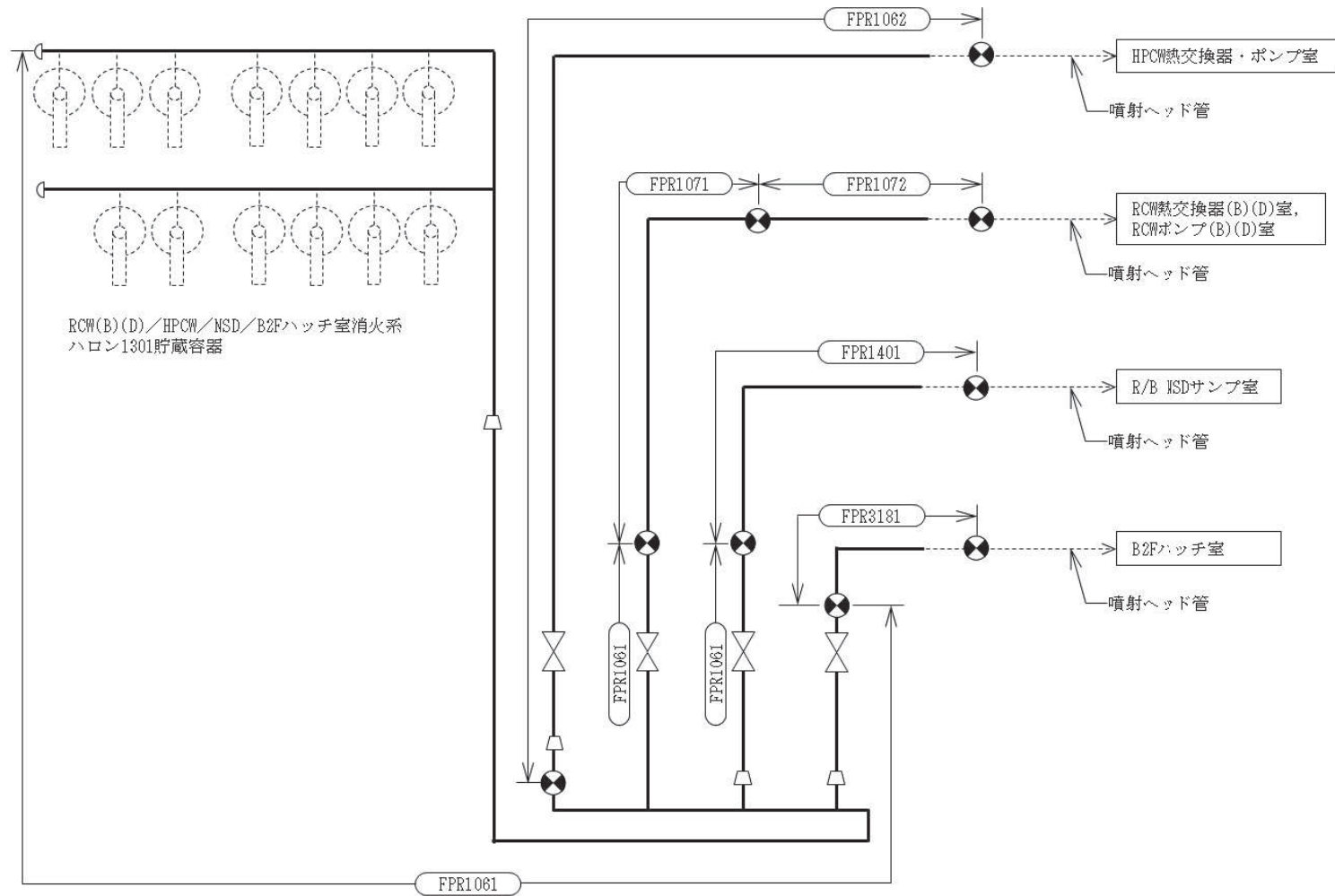
記号例	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ
	噴射ヘッド



ハロンガス消火設備概略系統図 (その1)

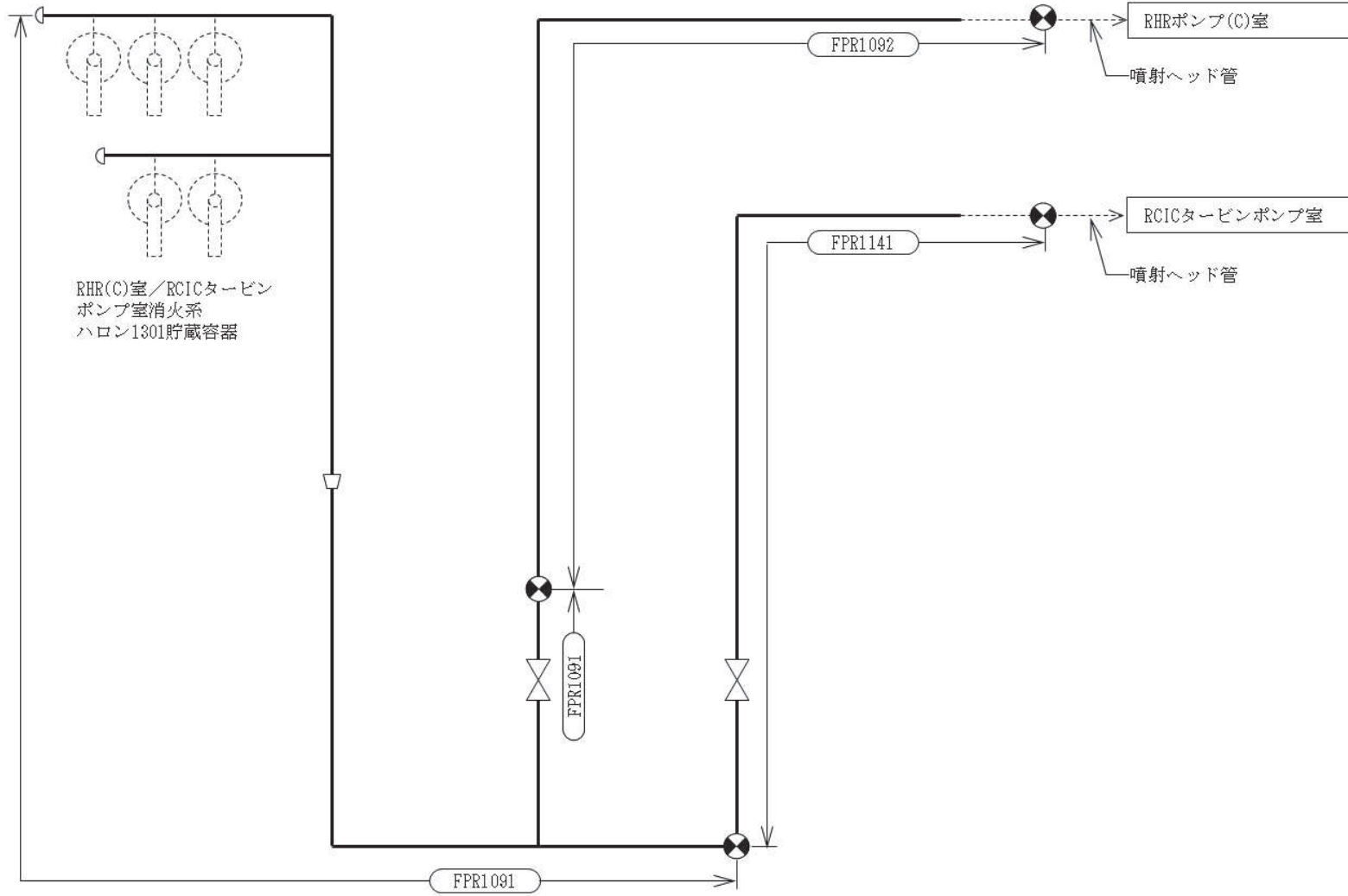


ハロンガス消火設備概略系統図 (その2)



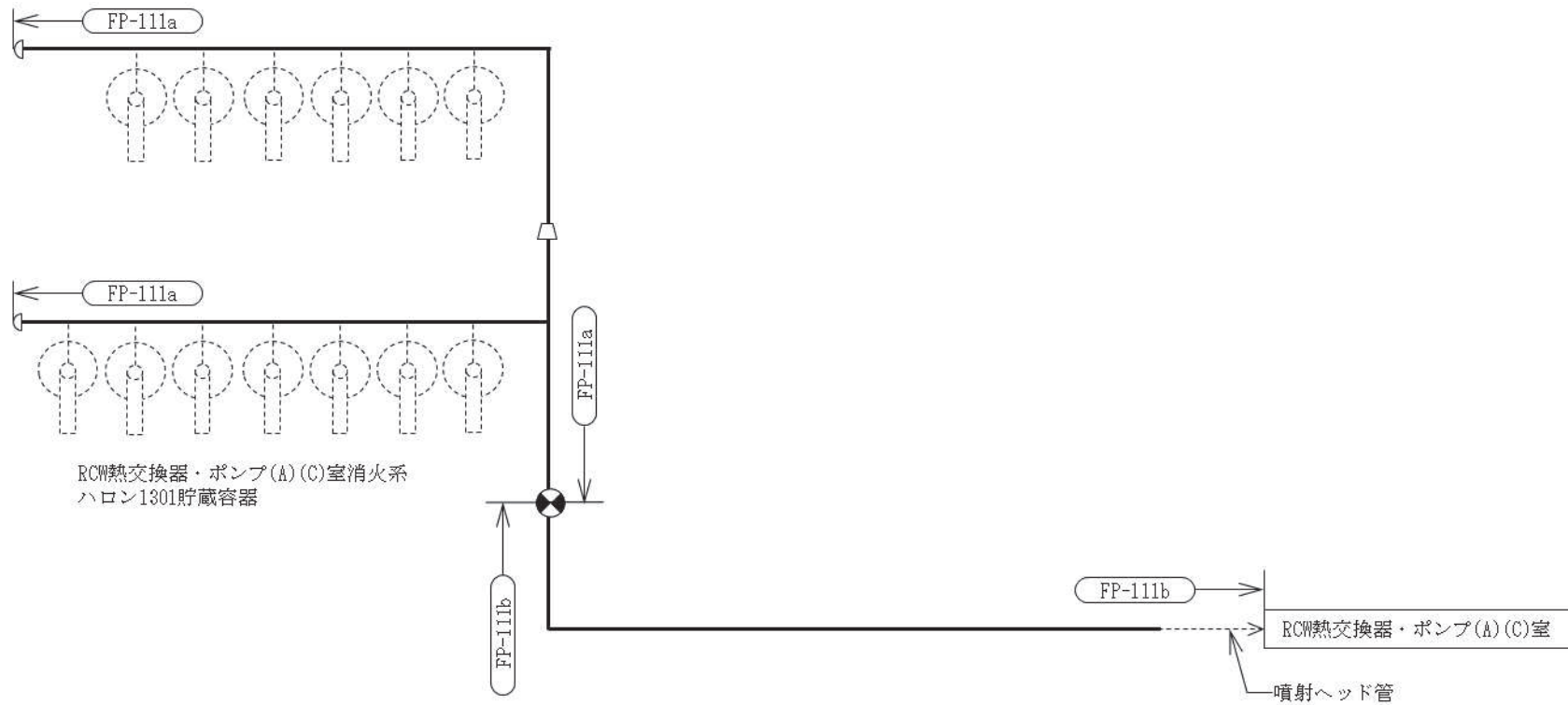
5

ハロンガス消火設備概略系統図 (その3)

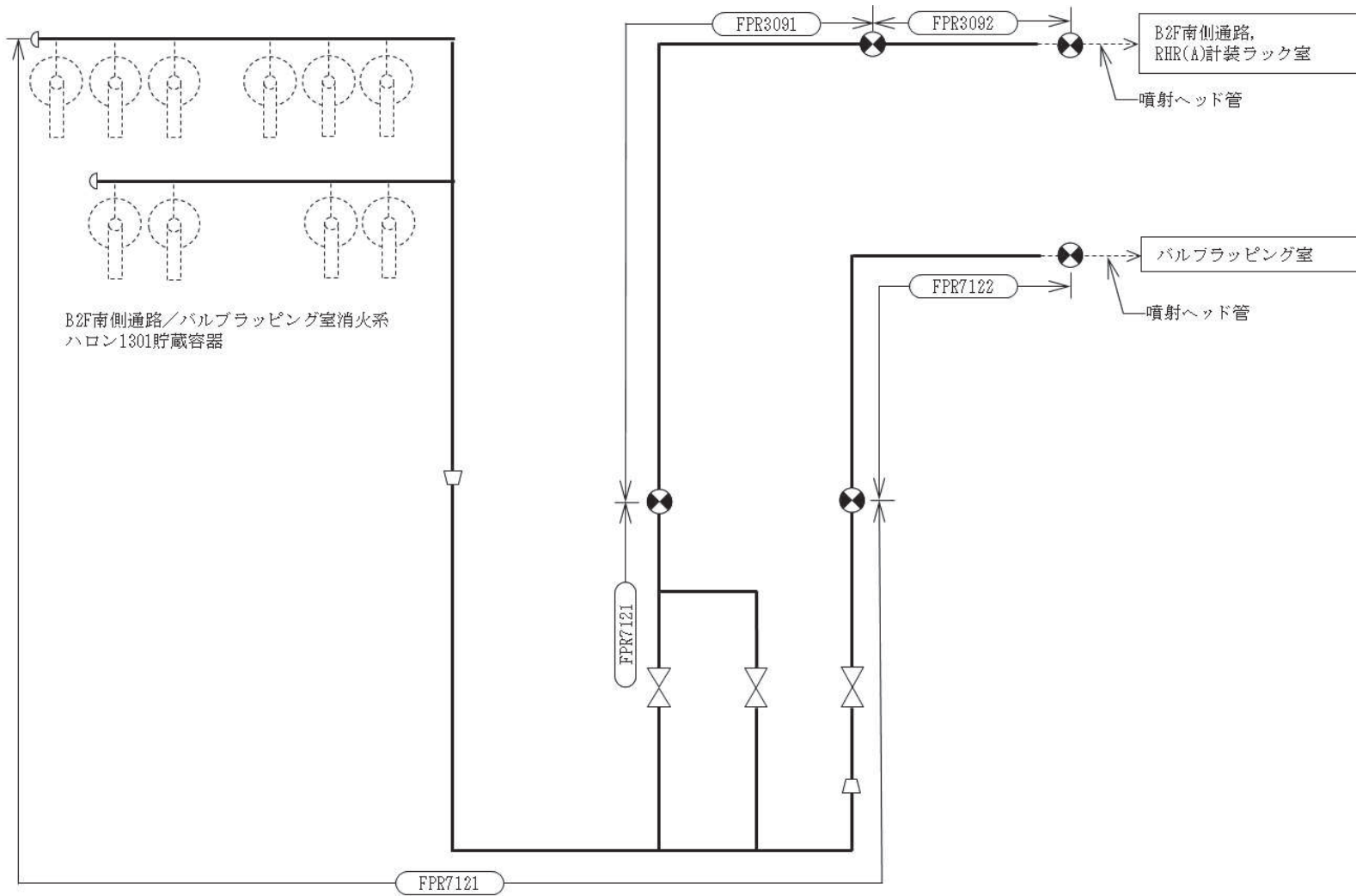


ハロンガス消火設備概略系統図 (その4)

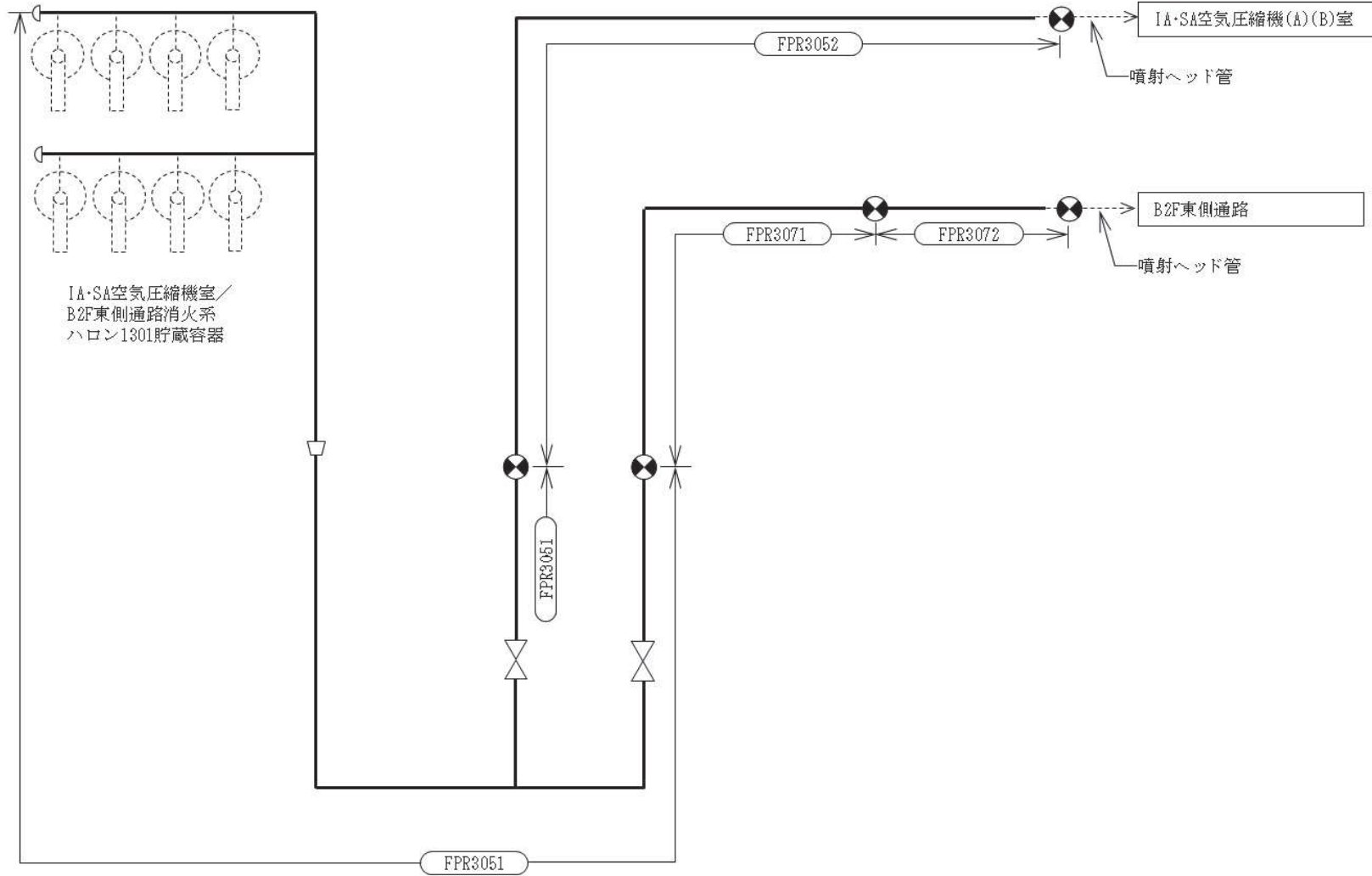
7



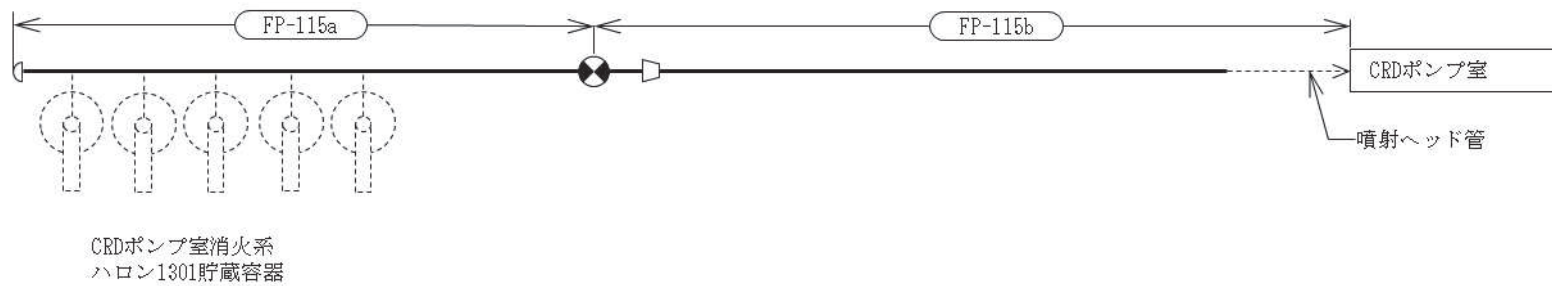
ハロンガス消火設備概略系統図（その5）

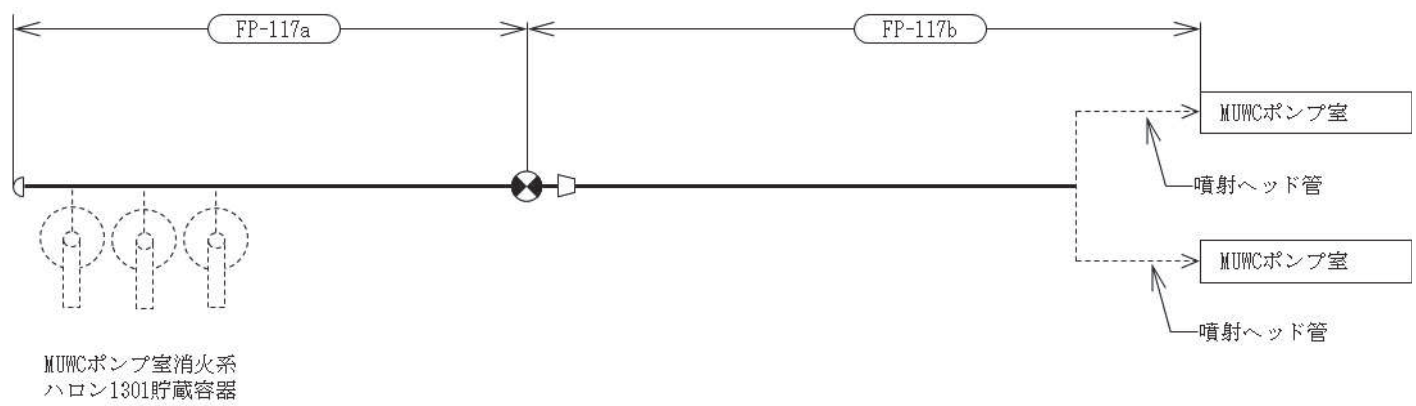


ハロンガス消火設備概略系統図 (その6)

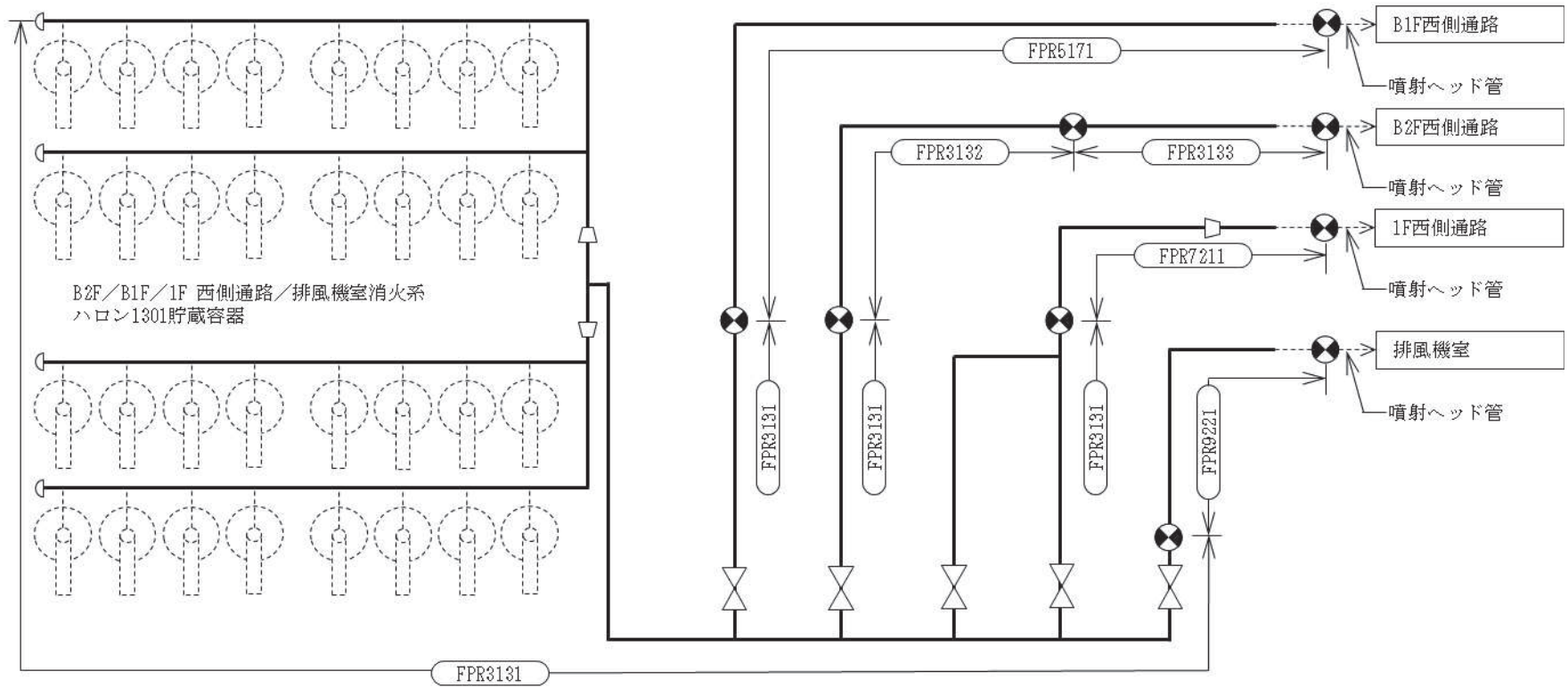


ハロンガス消火設備概略系統図 (その7)

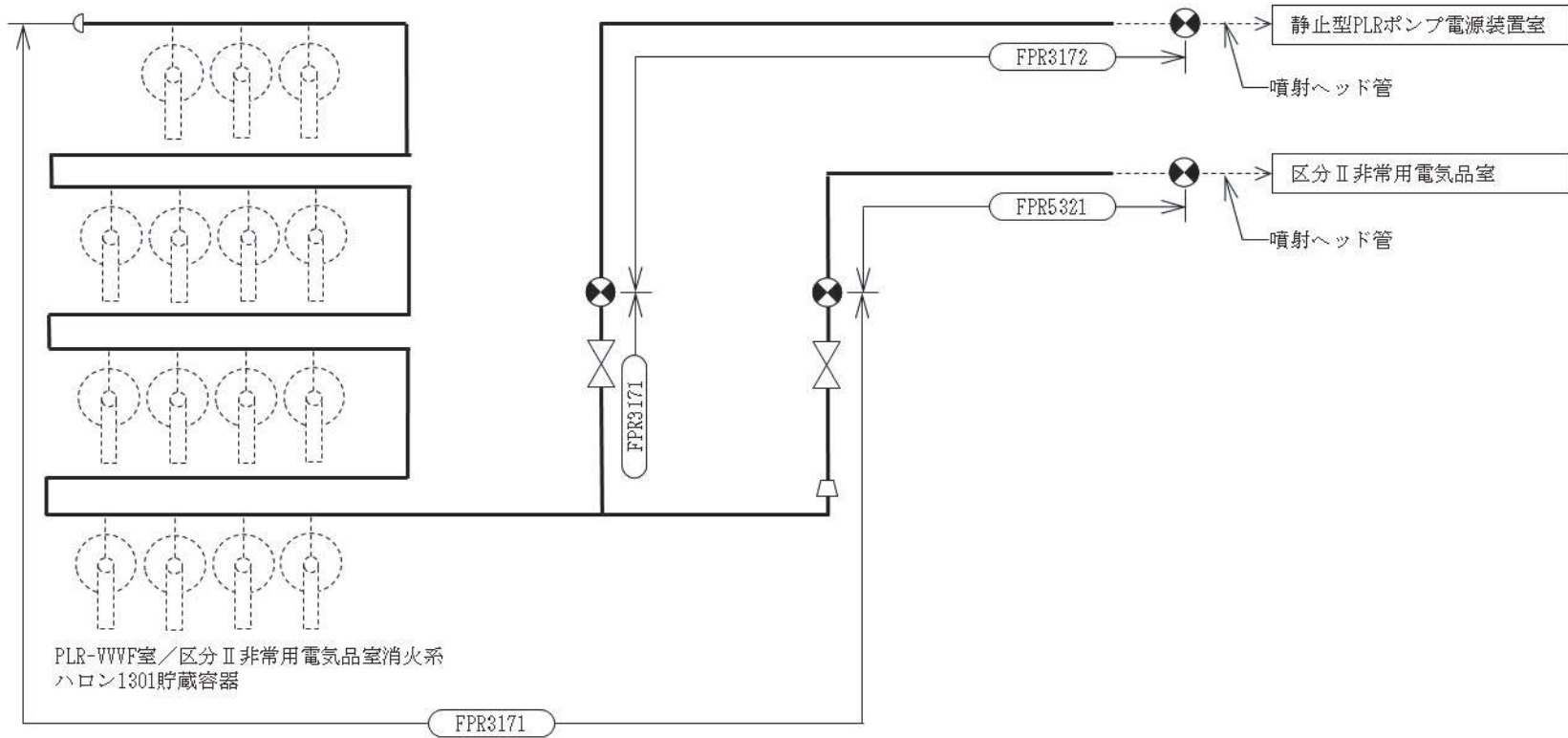




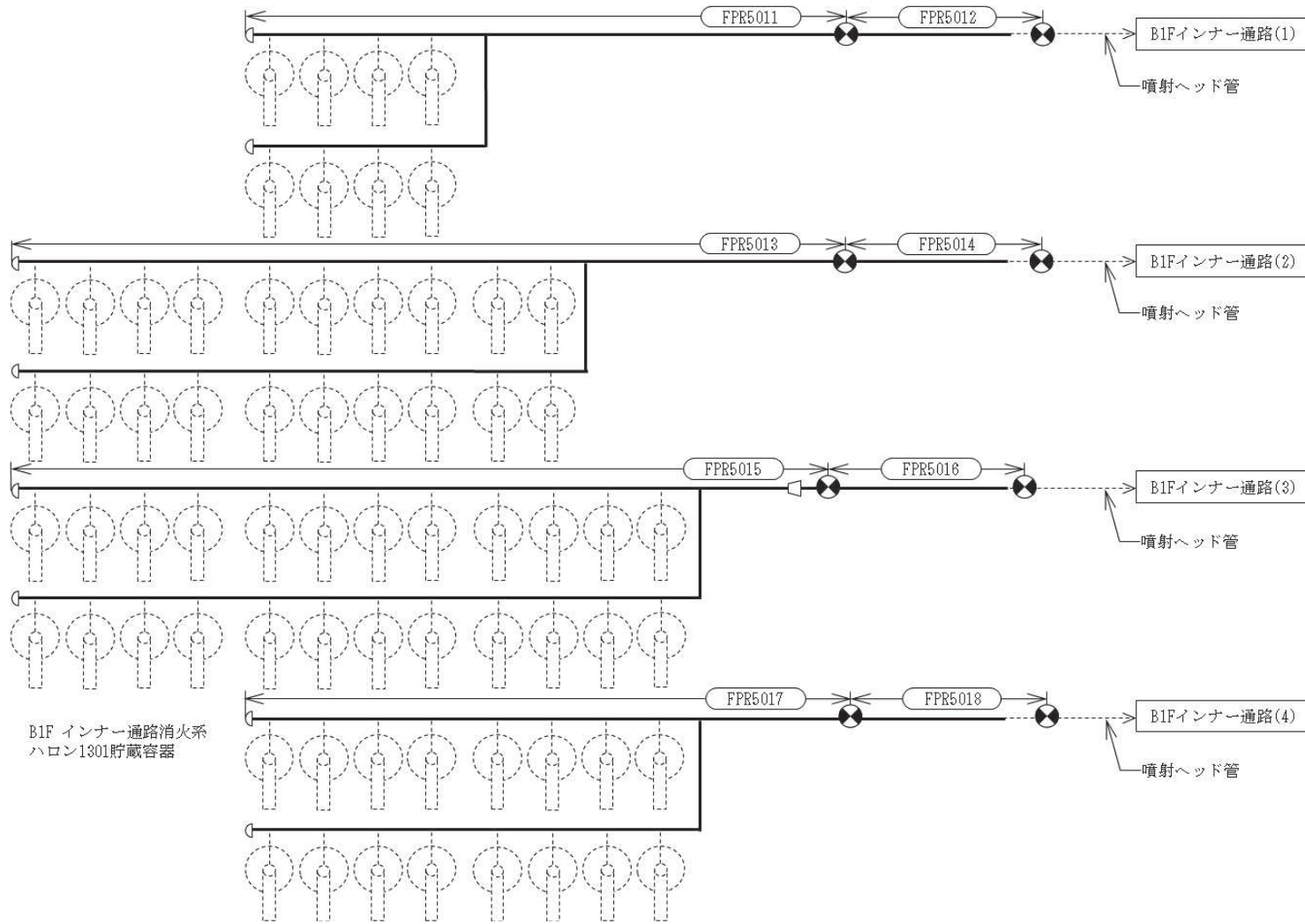
ハロンガス消火設備概略系統図（その9）



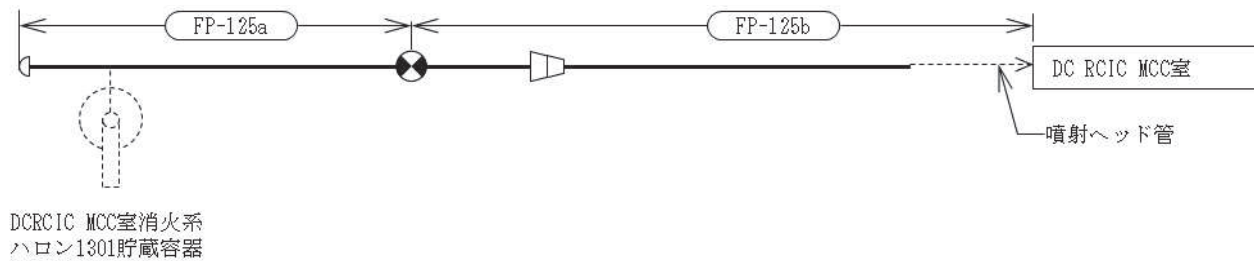
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 10)

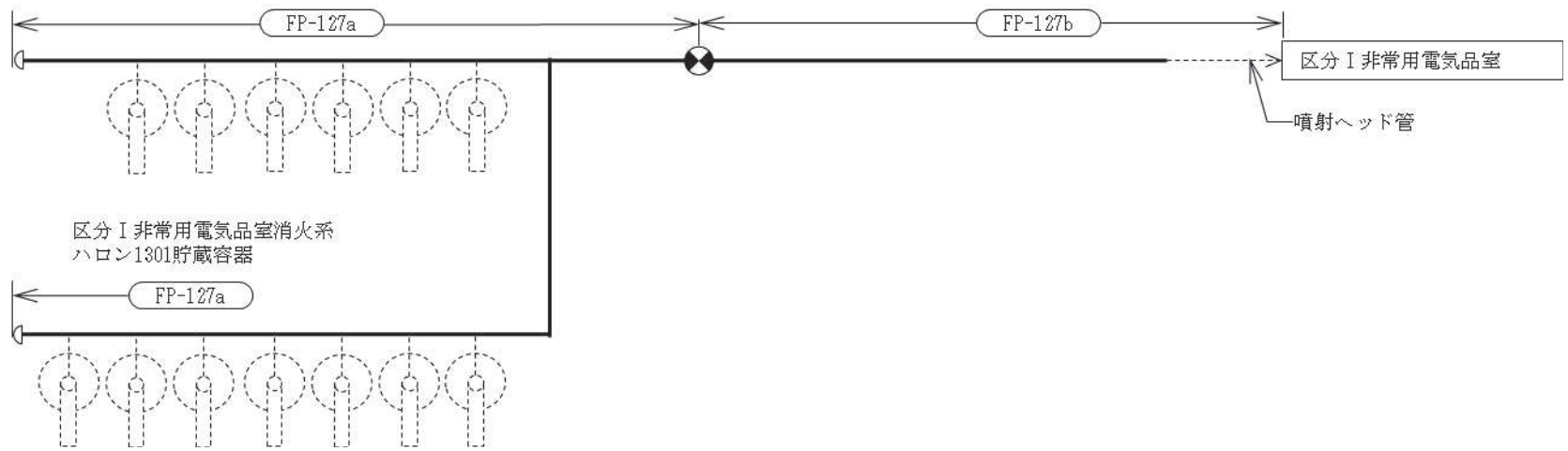


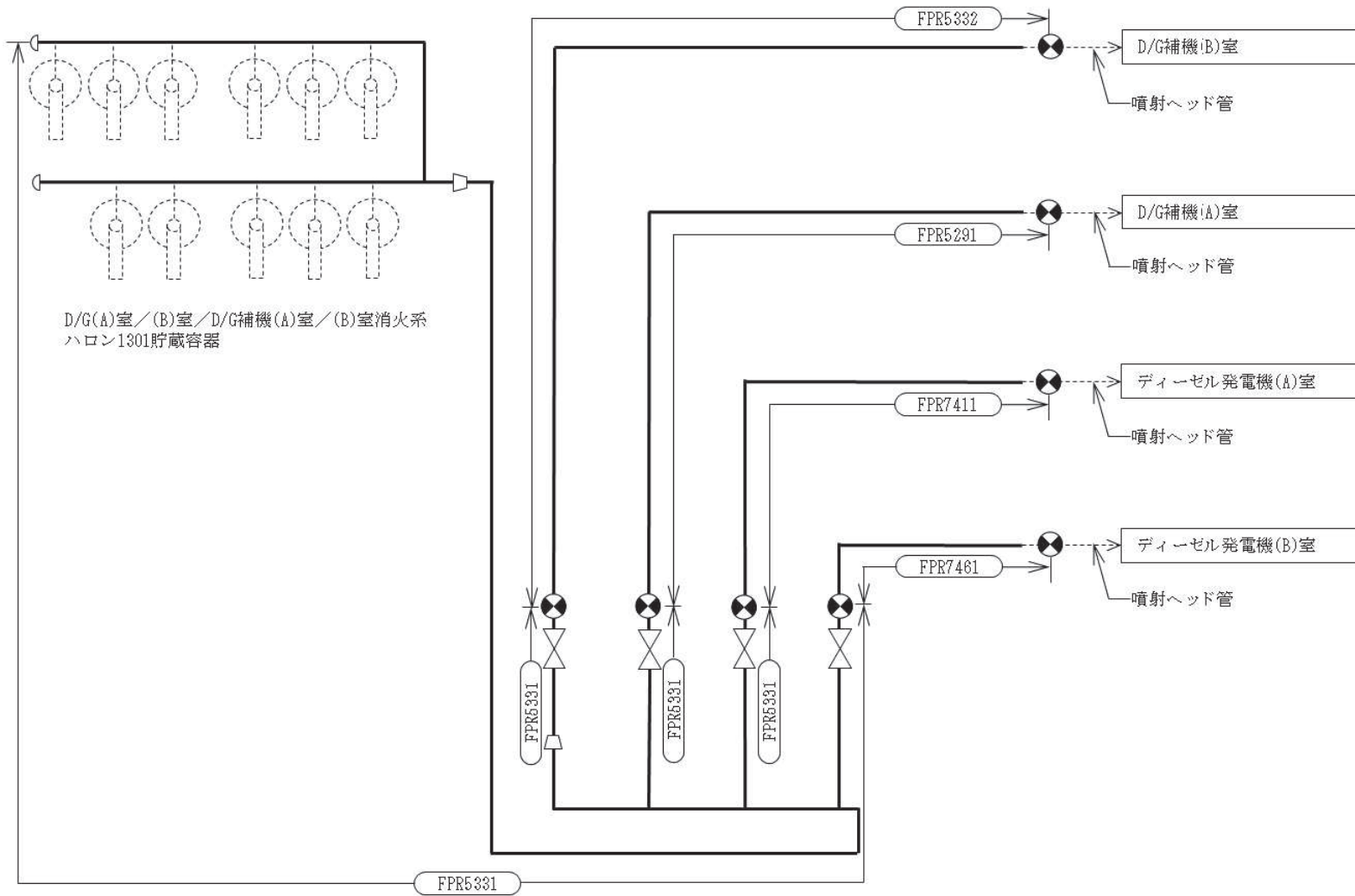
ハロンガス消火設備概略系統図（その11）



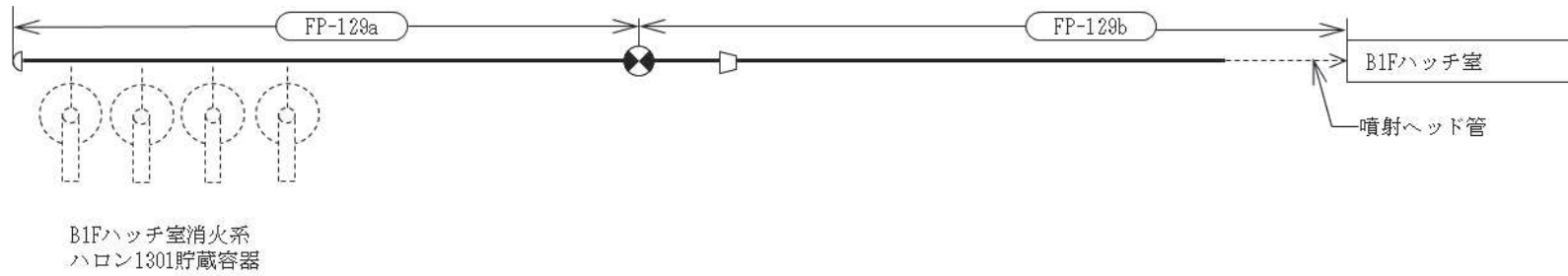
ハロンガス消火設備概略系統図 (その12)

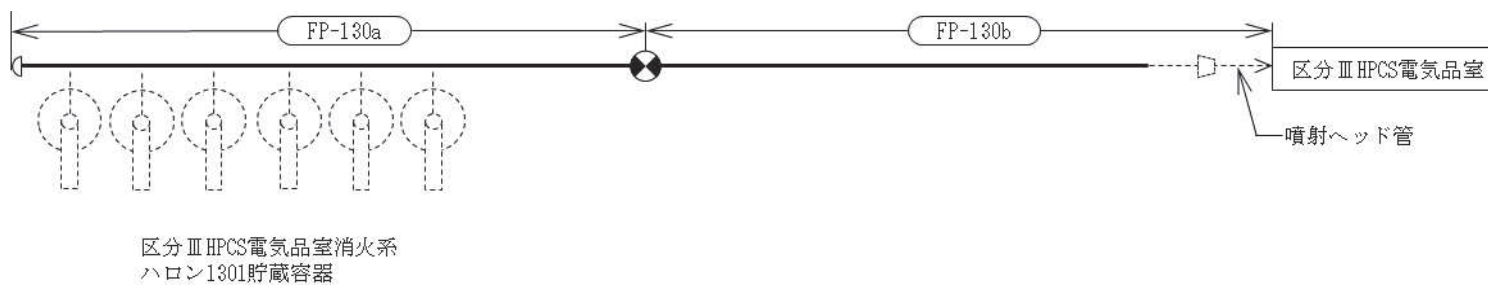


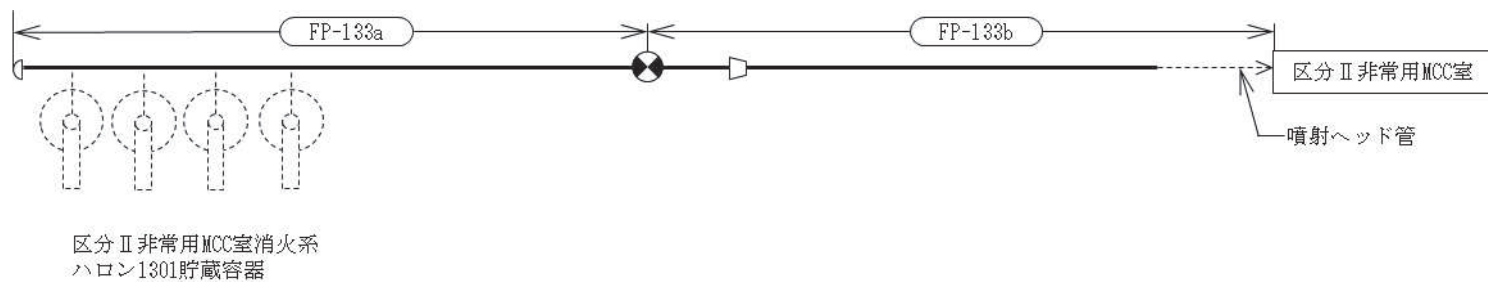




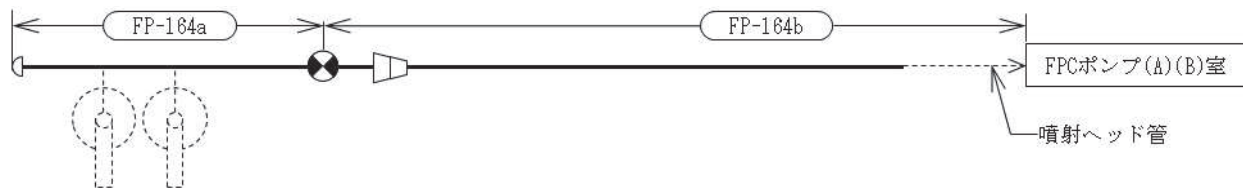
ハロンガス消火設備概略系統図 (その15)



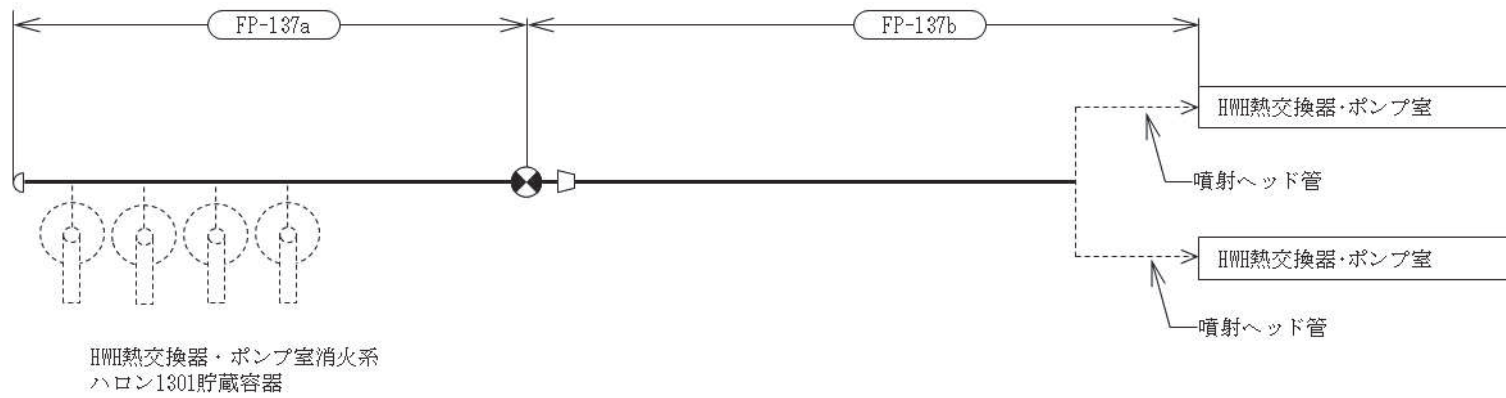




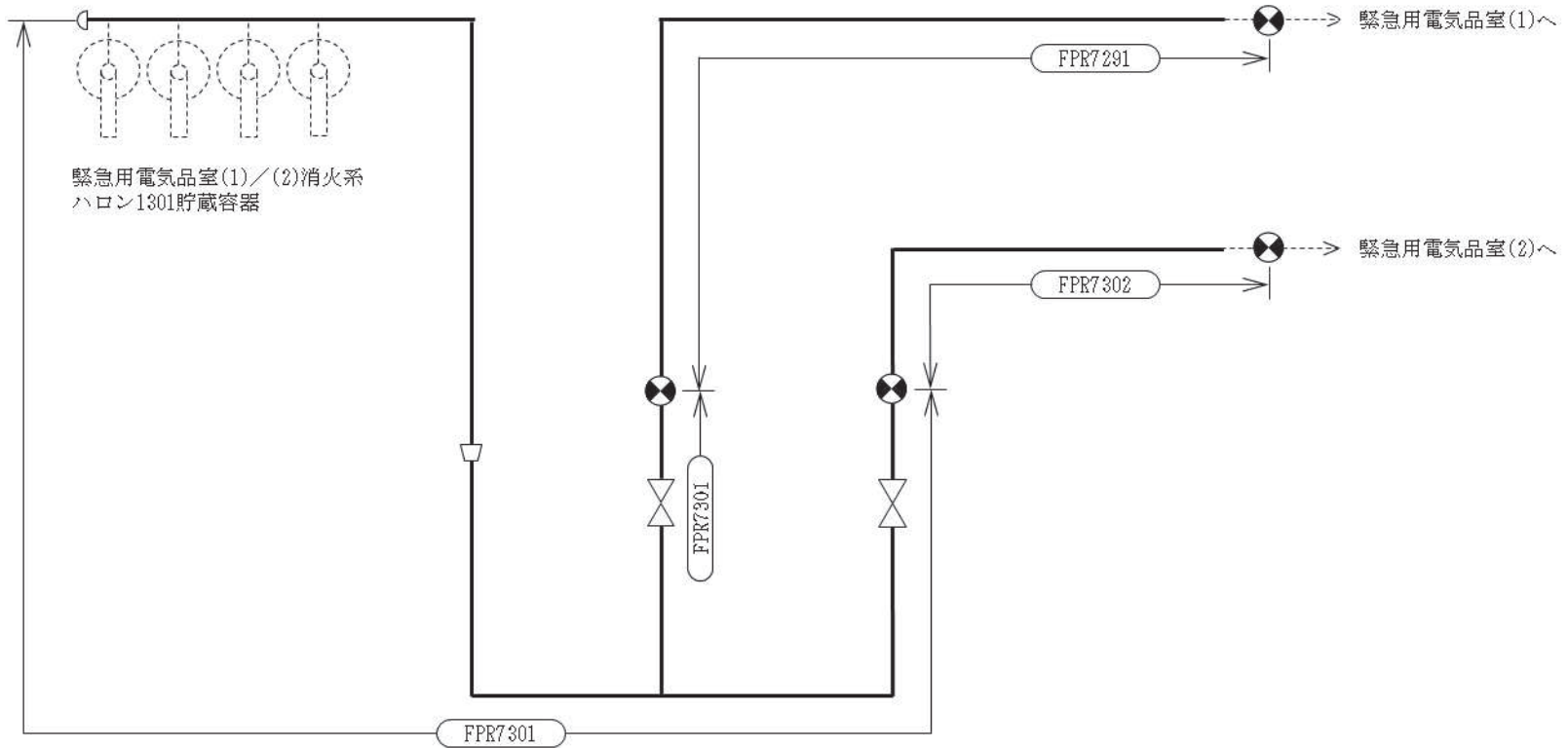




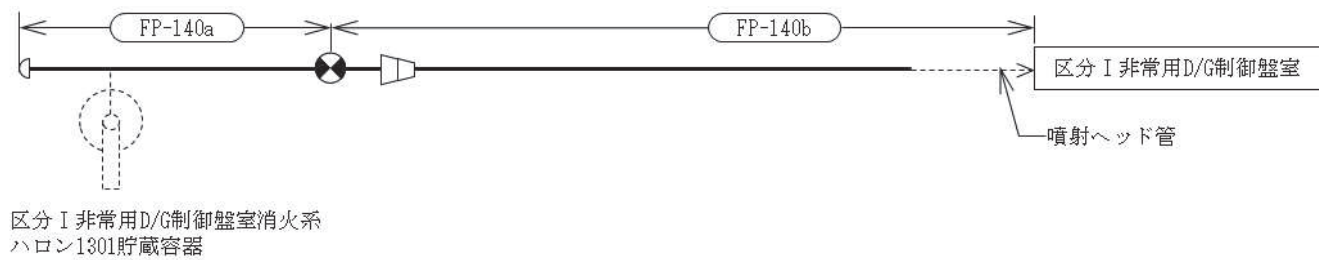
FPCポンプ(A)(B)室消火系
ハロン1301貯蔵容器

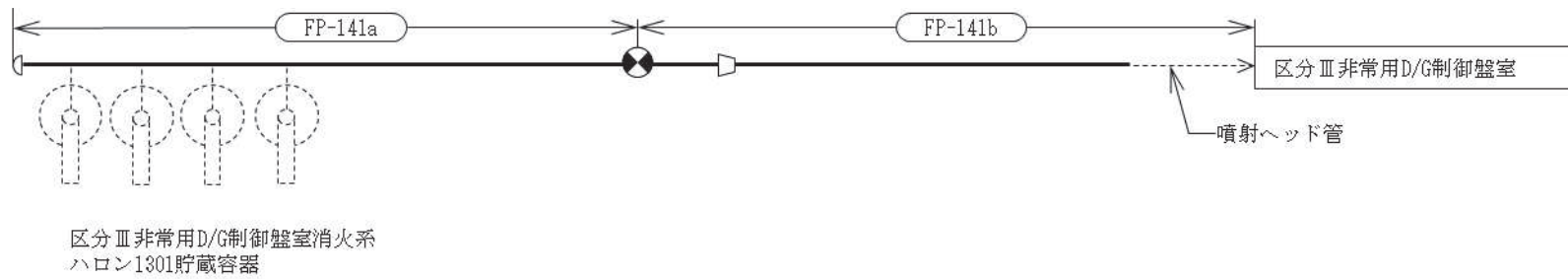


ハロンガス消火設備概略系統図（その21）

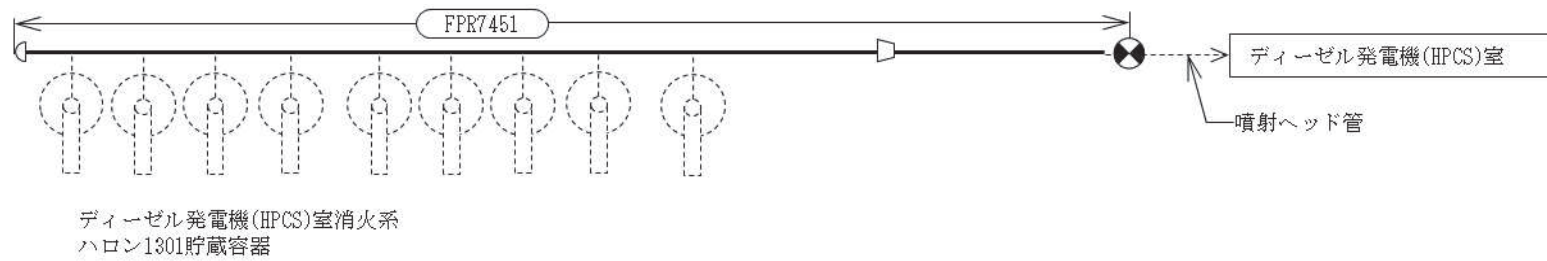


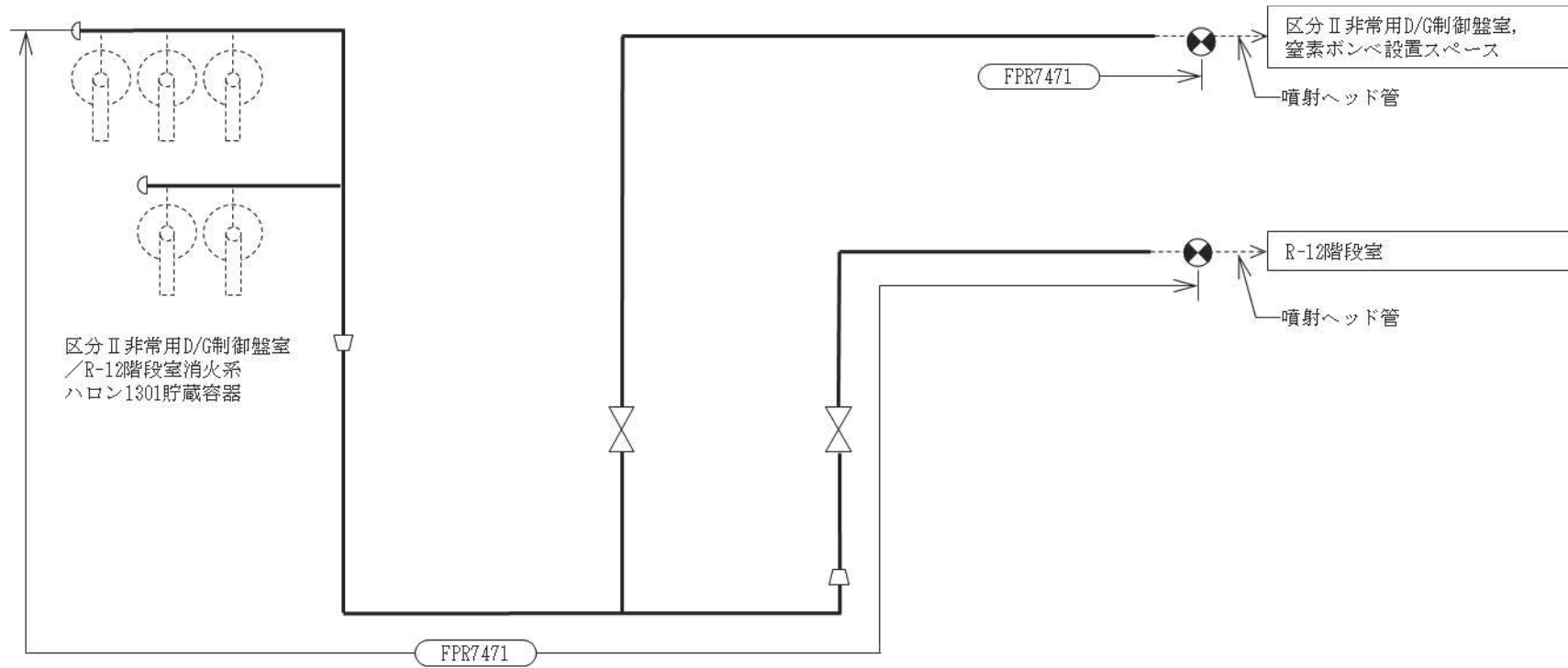
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 22)



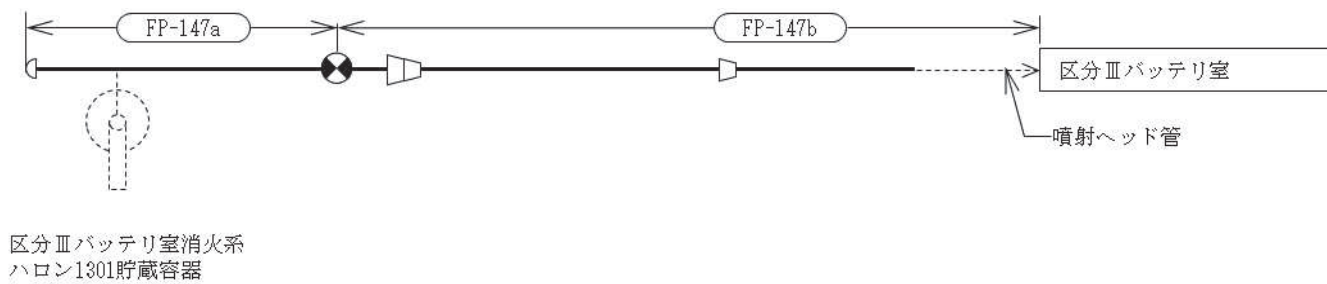


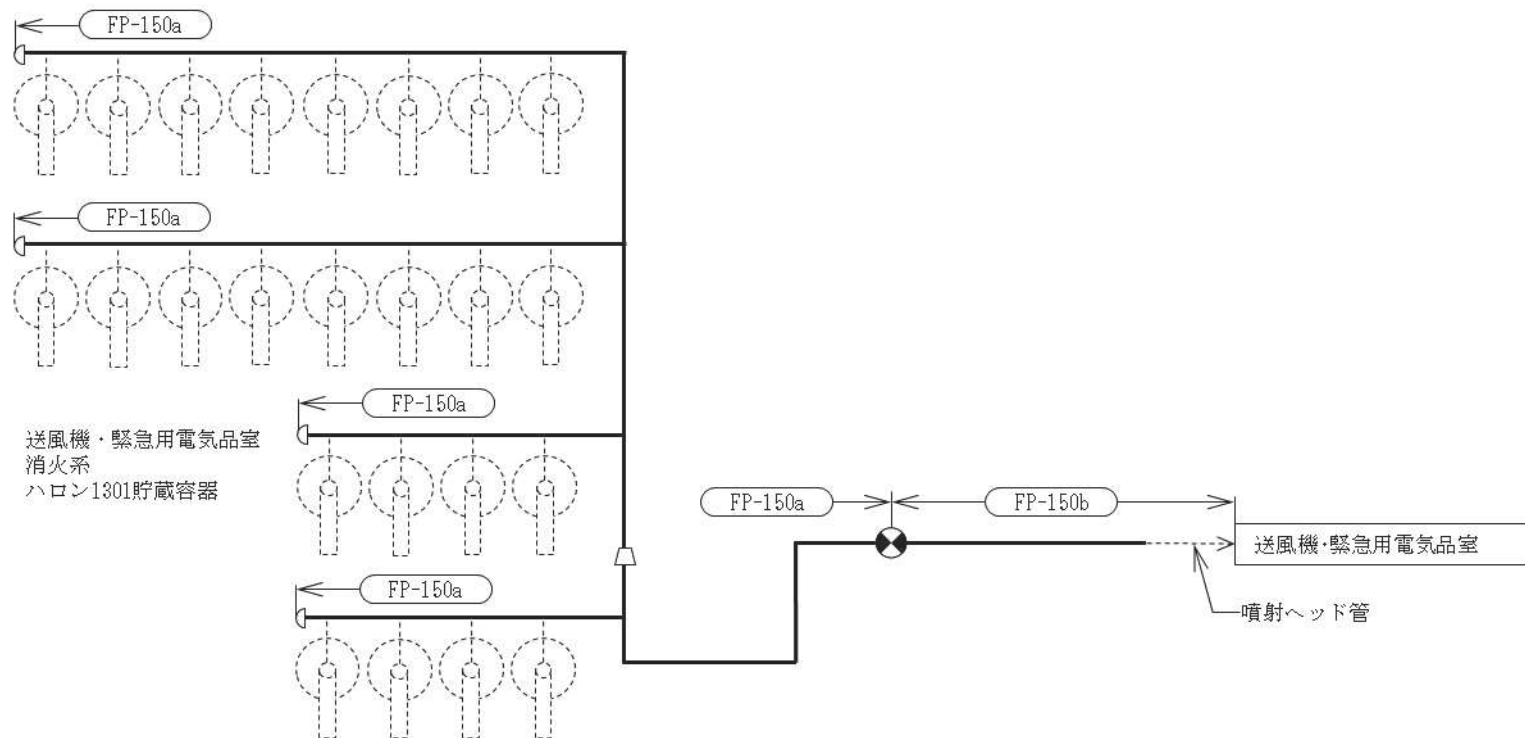
ハロンガス消火設備概略系統図（その 24）



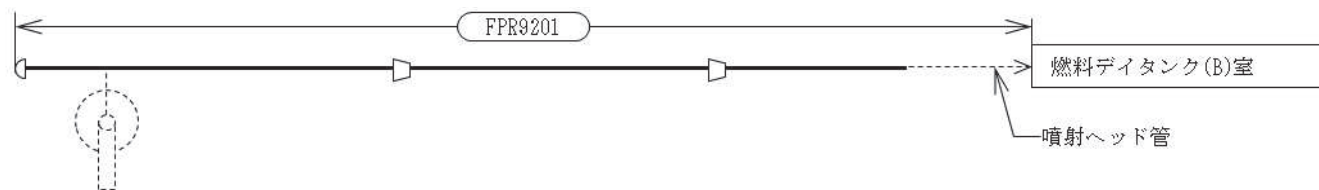


ハロンガス消火設備概略系統図（その26）

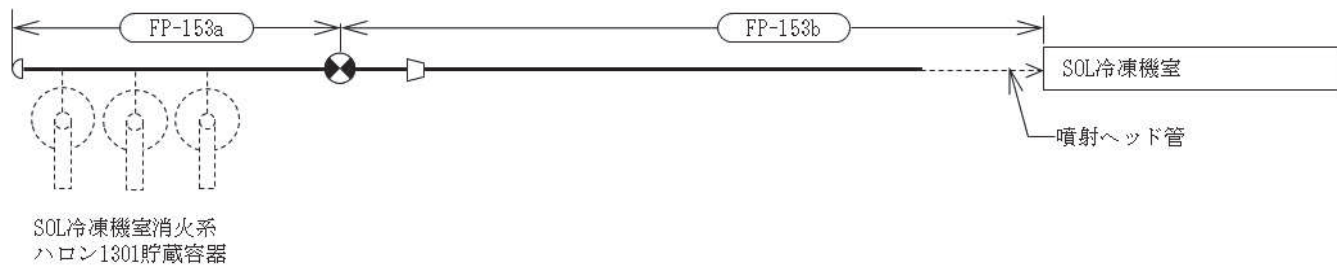


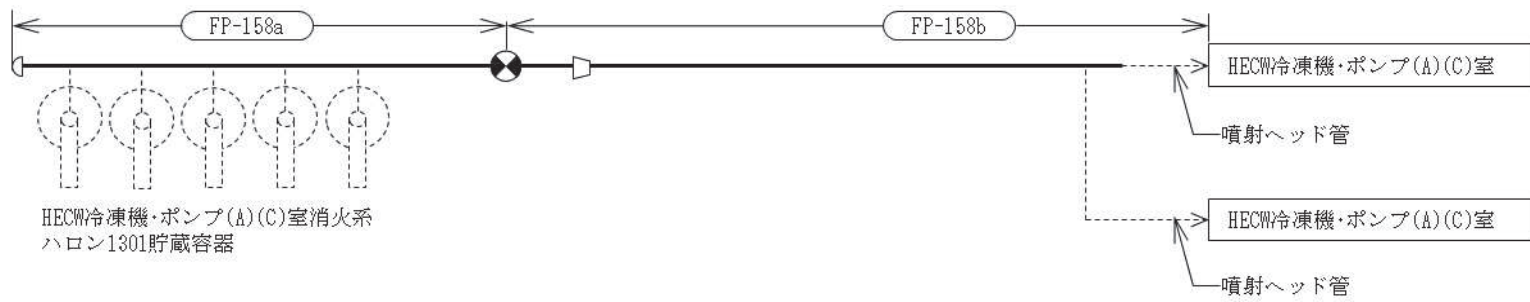


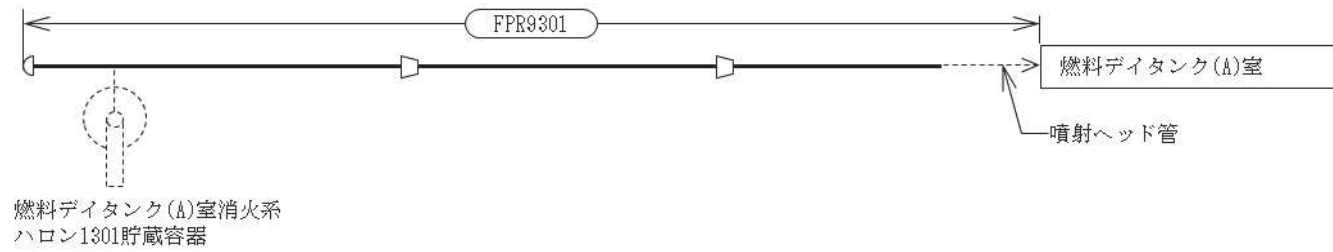
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 28)



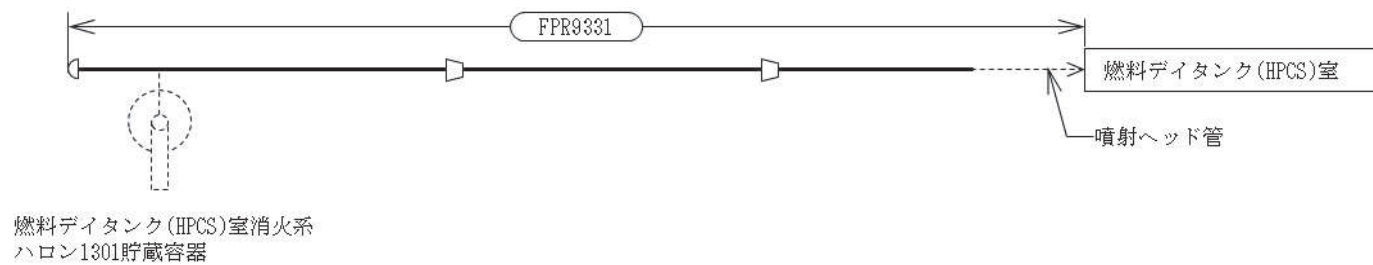
燃料デイトンク(B)室消火系
ハロン1301貯蔵容器



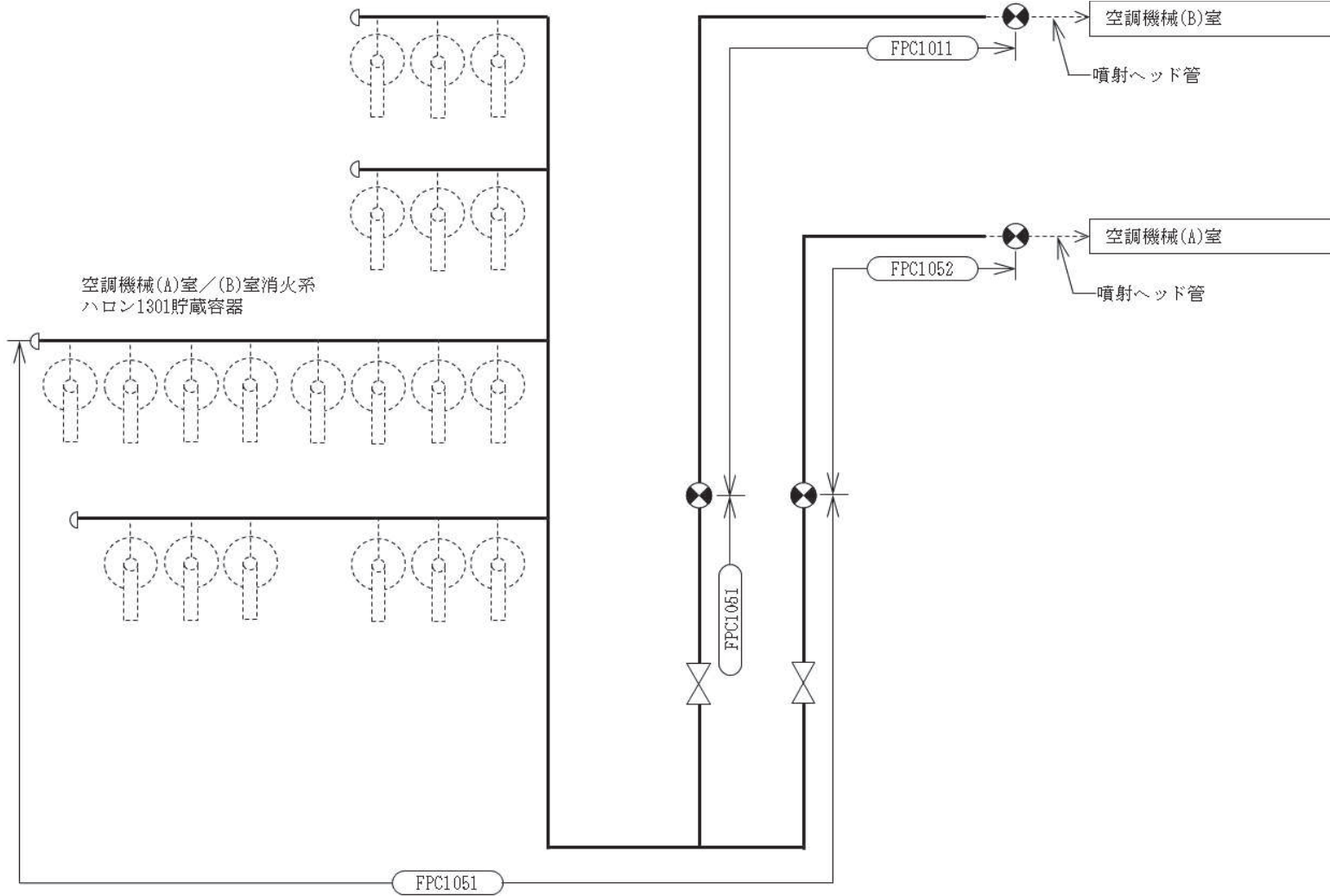




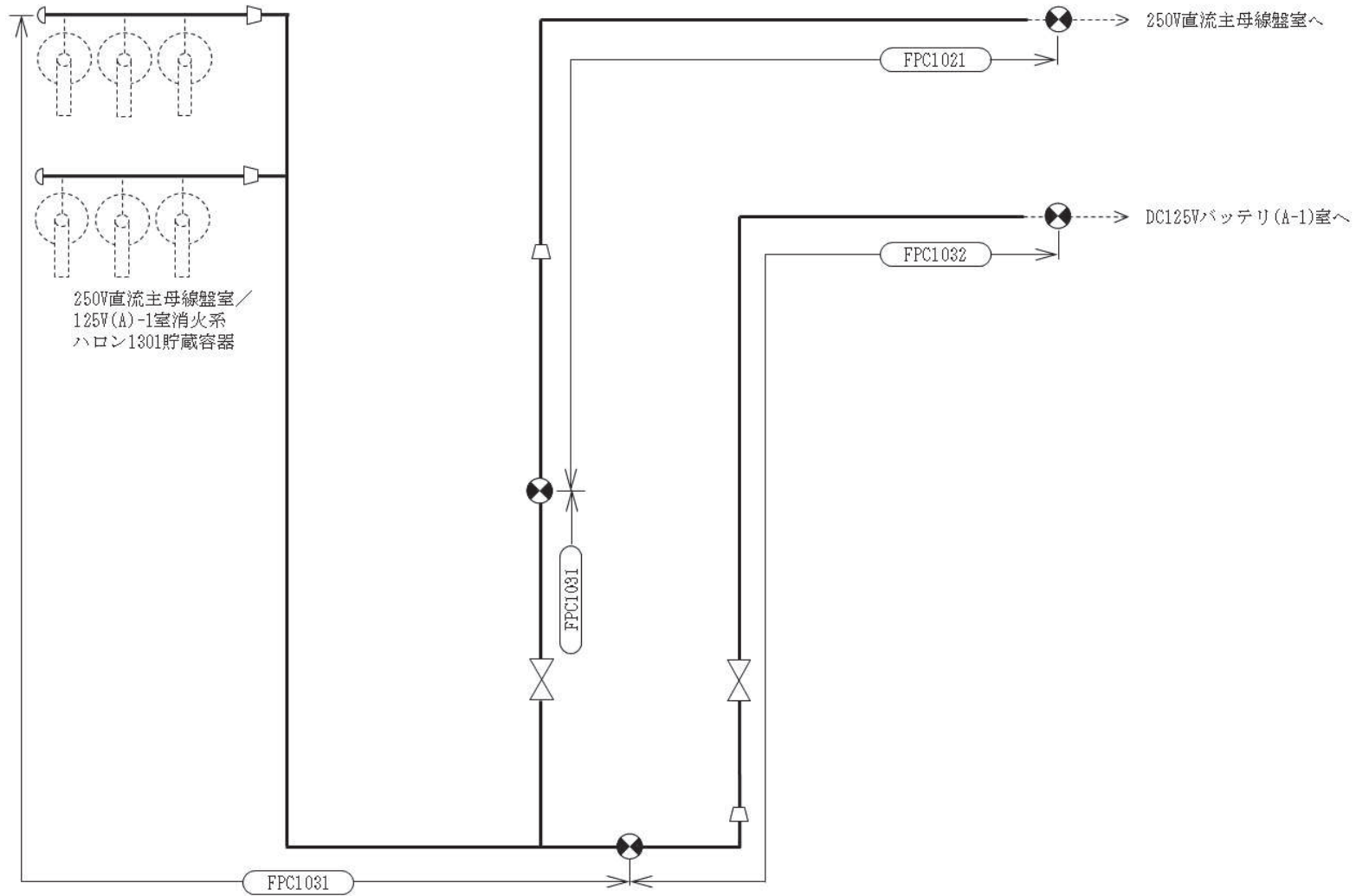
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 32)



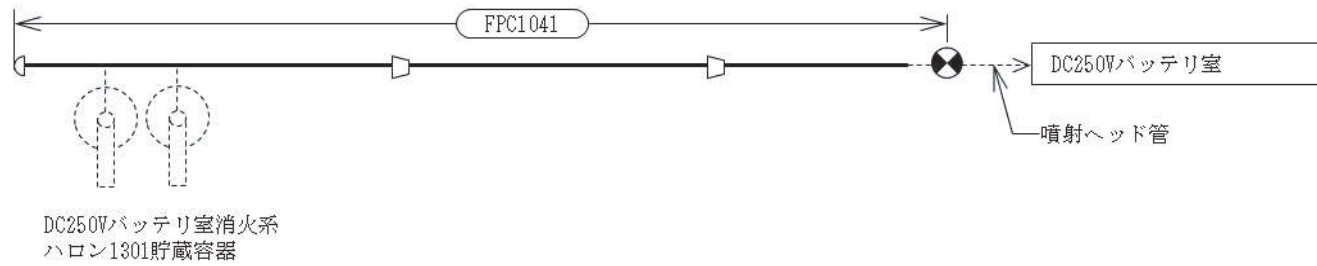
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 33)

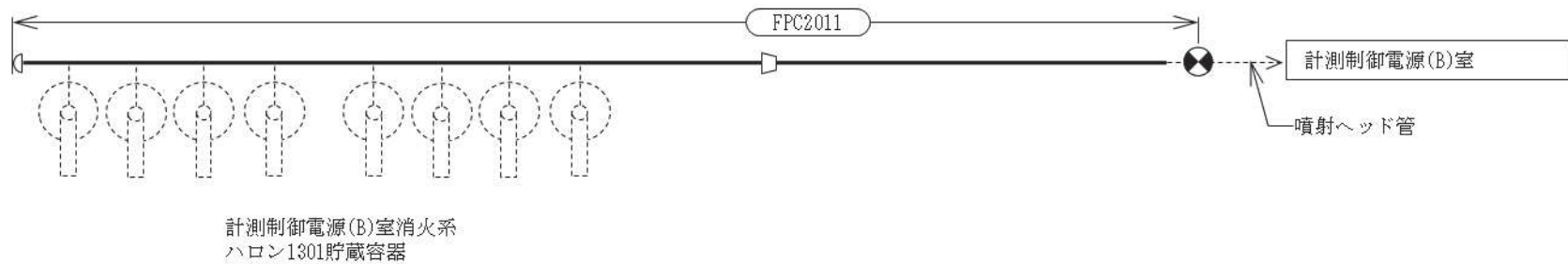


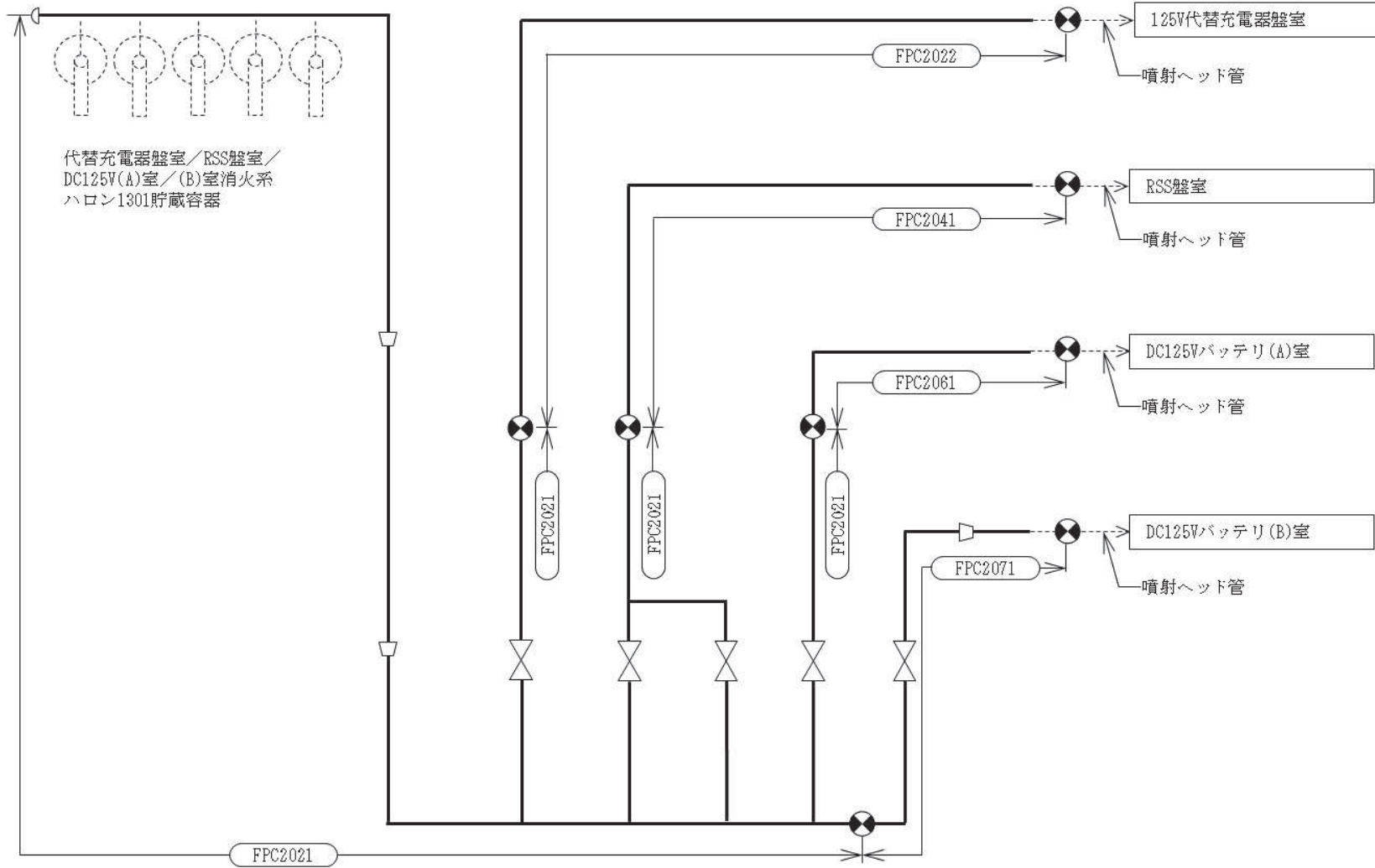
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 34)



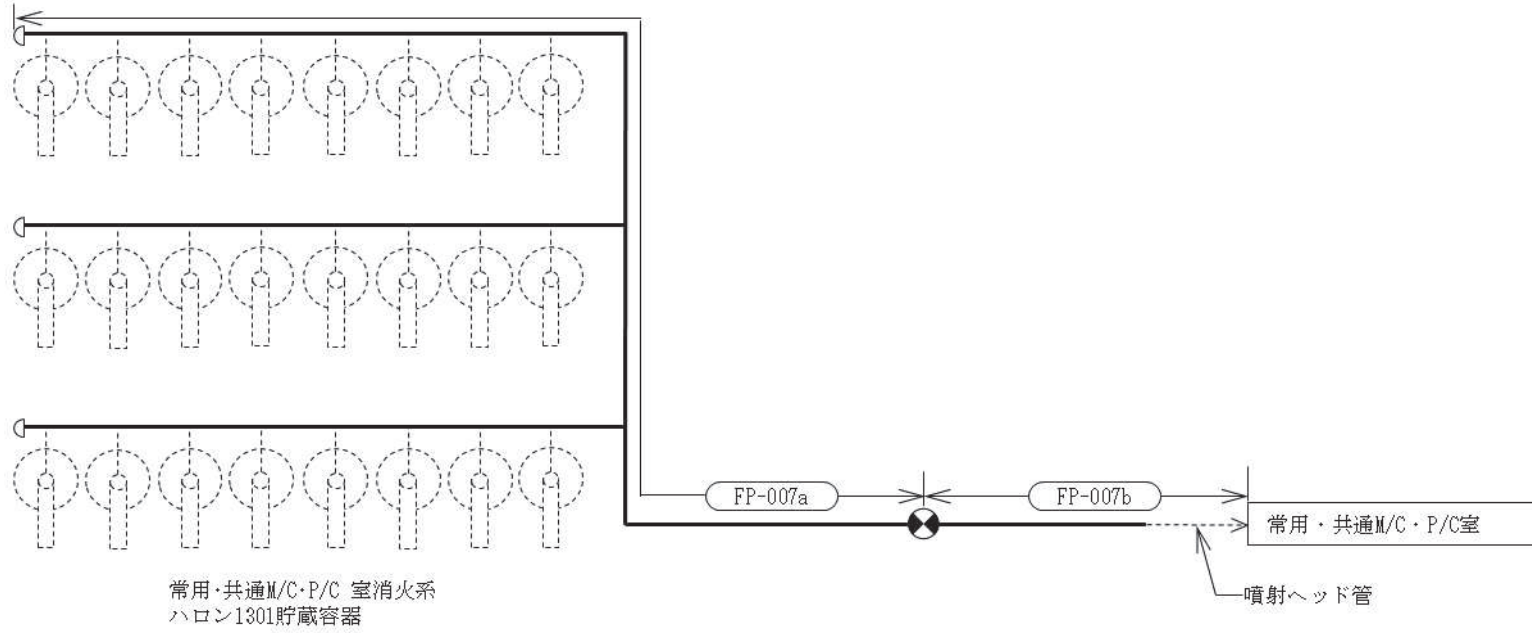
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 35)



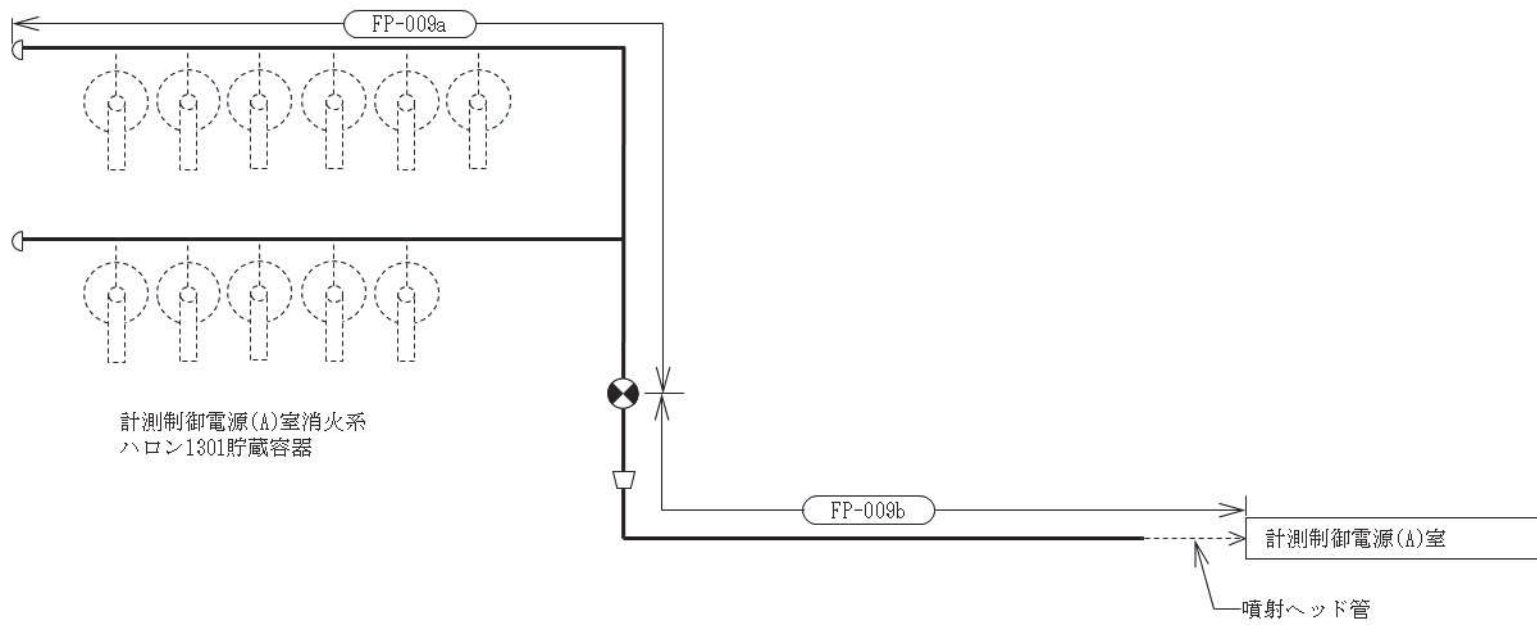




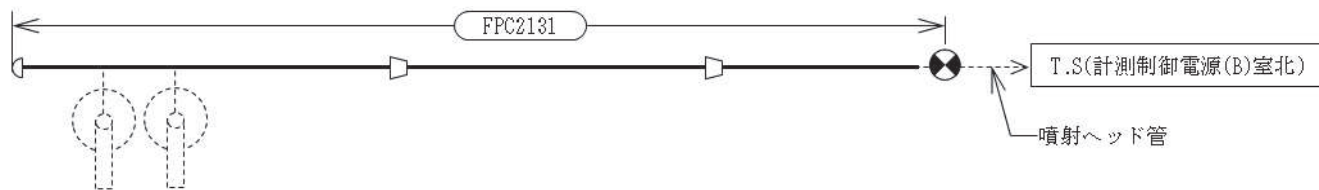
ハロンガス消火設備概略系統図 (その38)



ハロンガス消火設備概略系統図 (その 39)



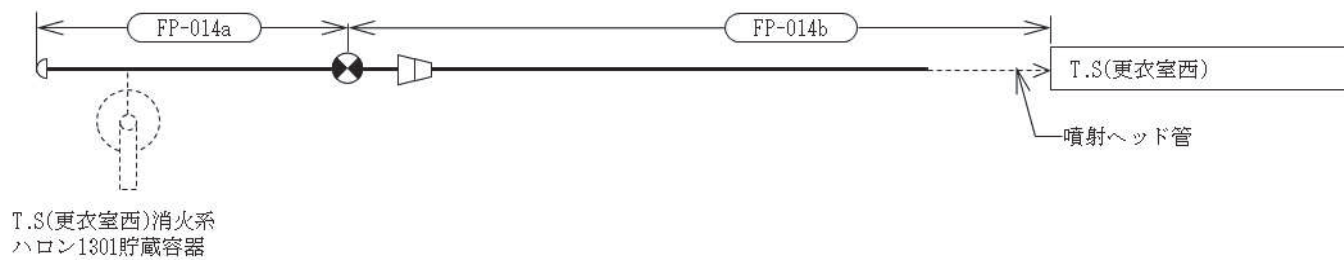
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 40)

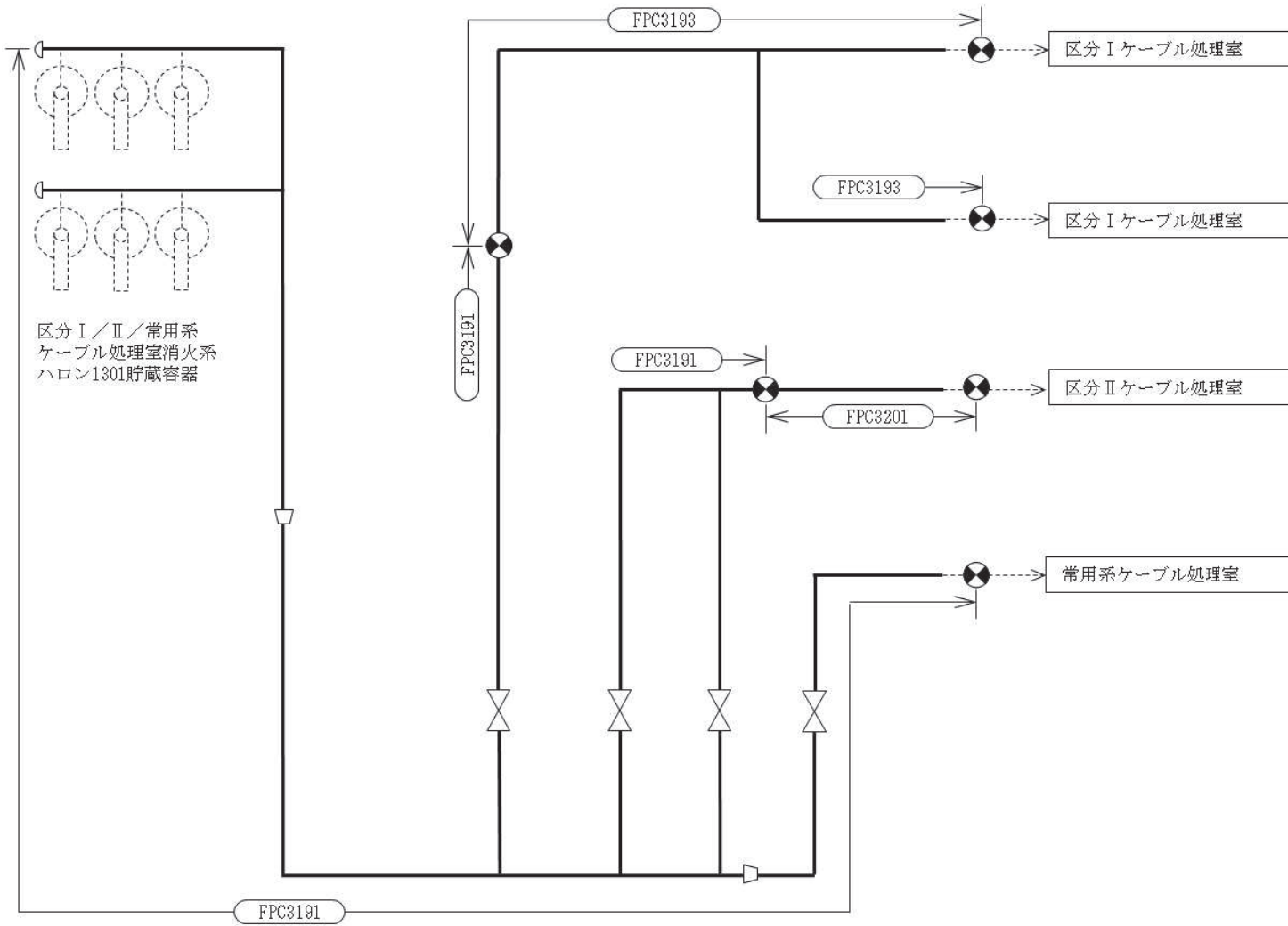


T.S. (計測制御電源(B)室北) 消火系
ハロン1301貯蔵容器

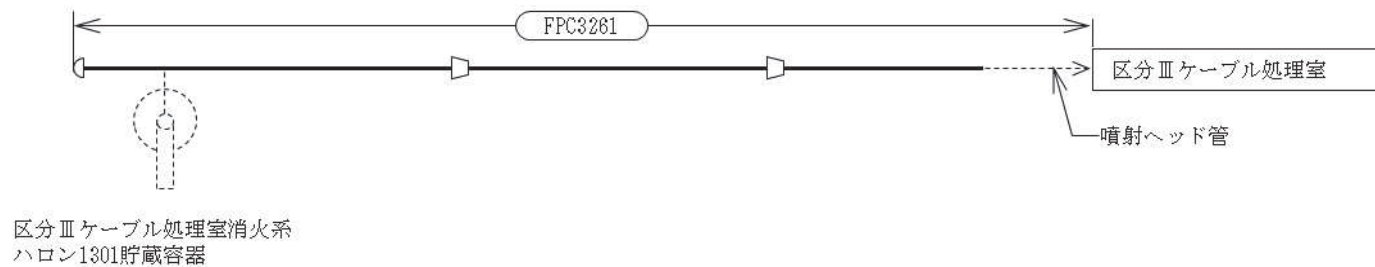


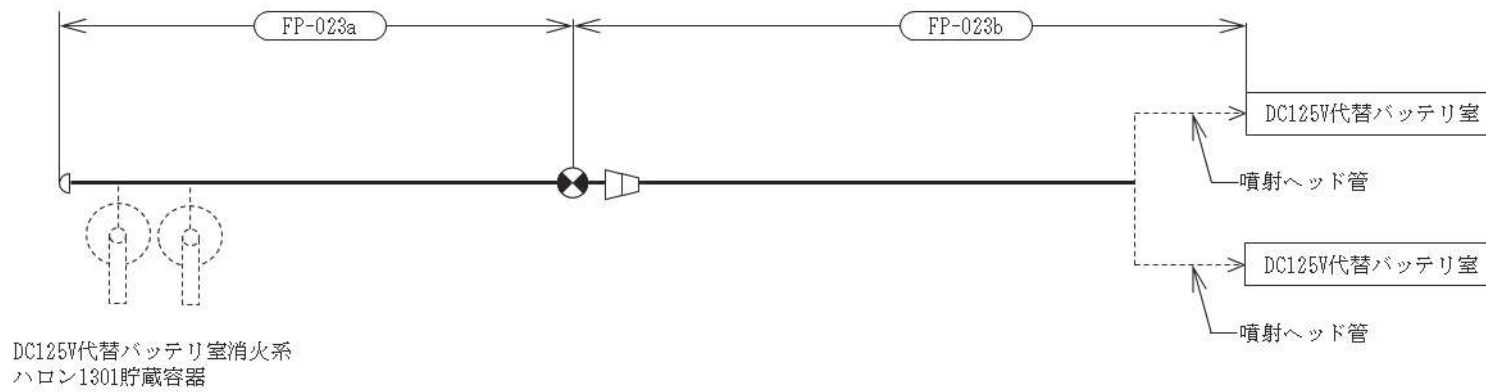
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 42)



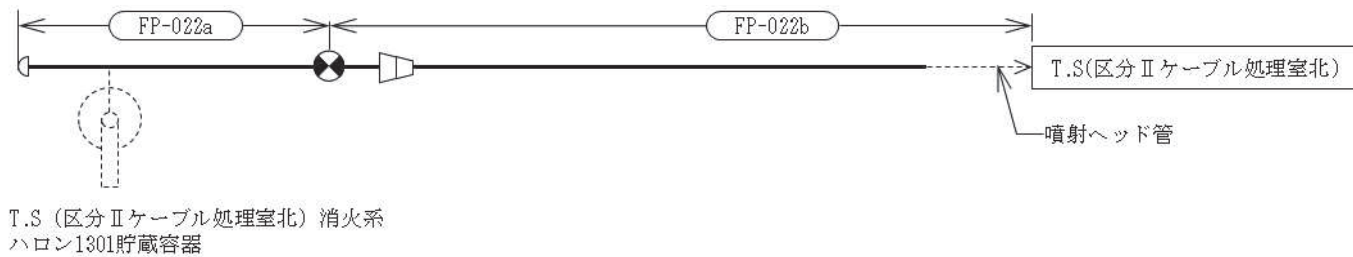


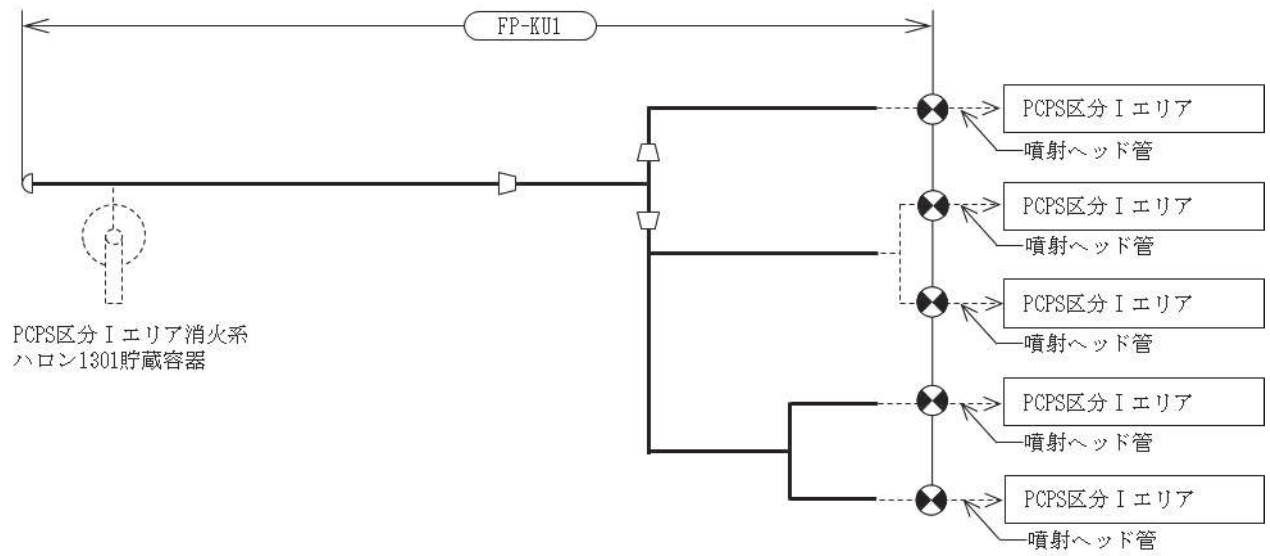
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 44)



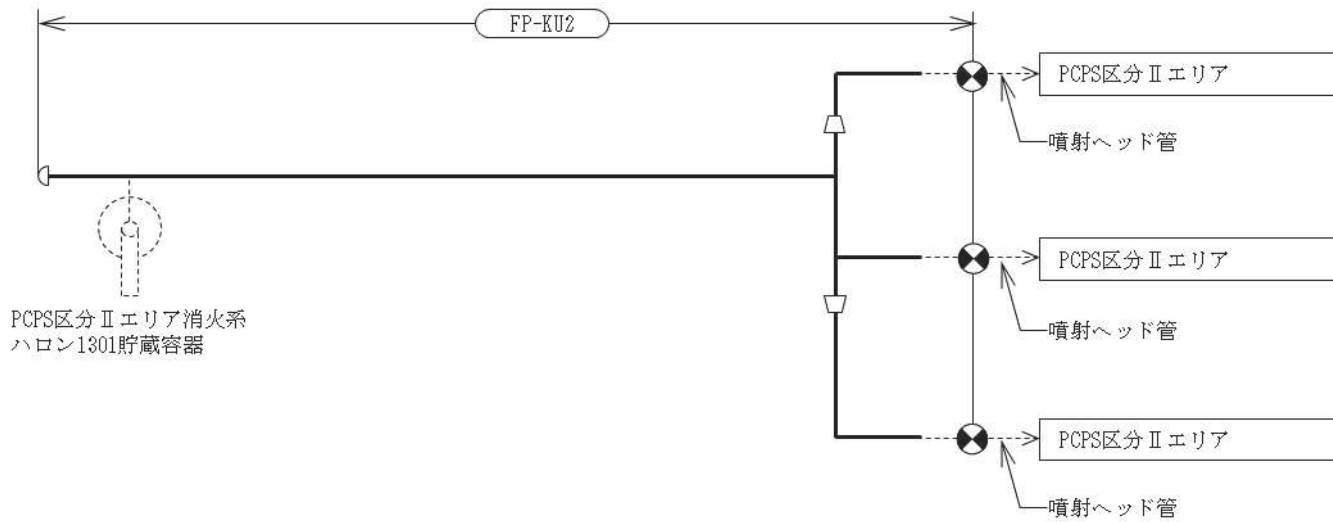


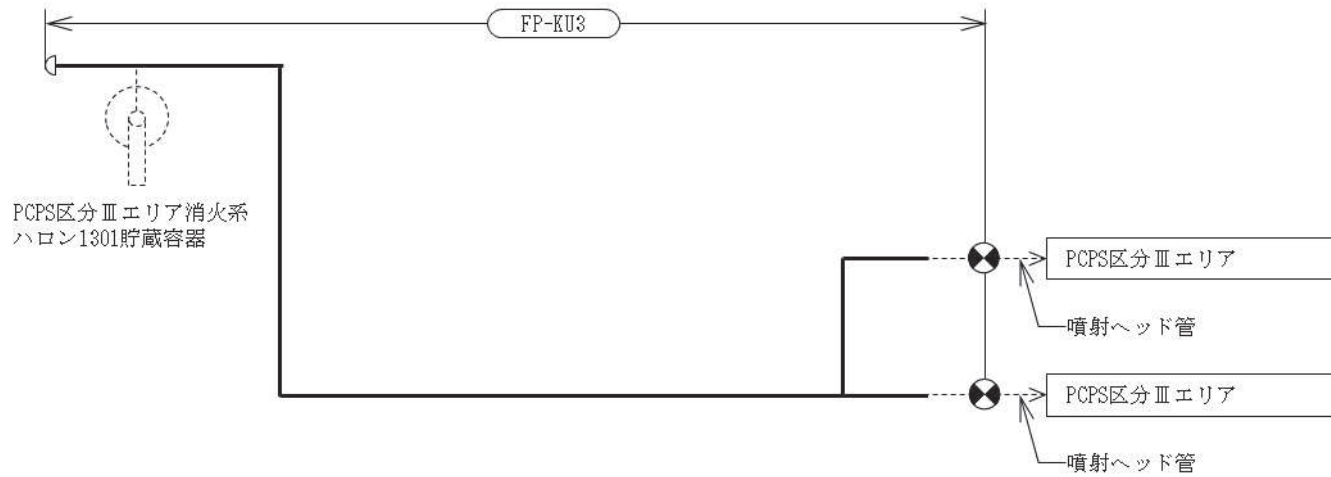
ハロンガス消火設備概略系統図（その 46）

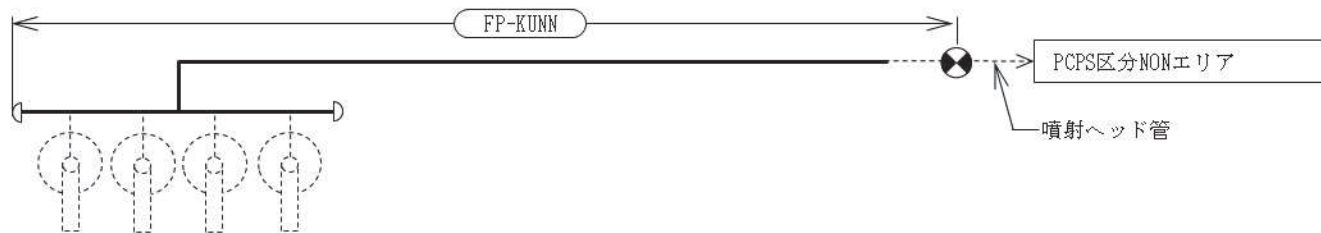
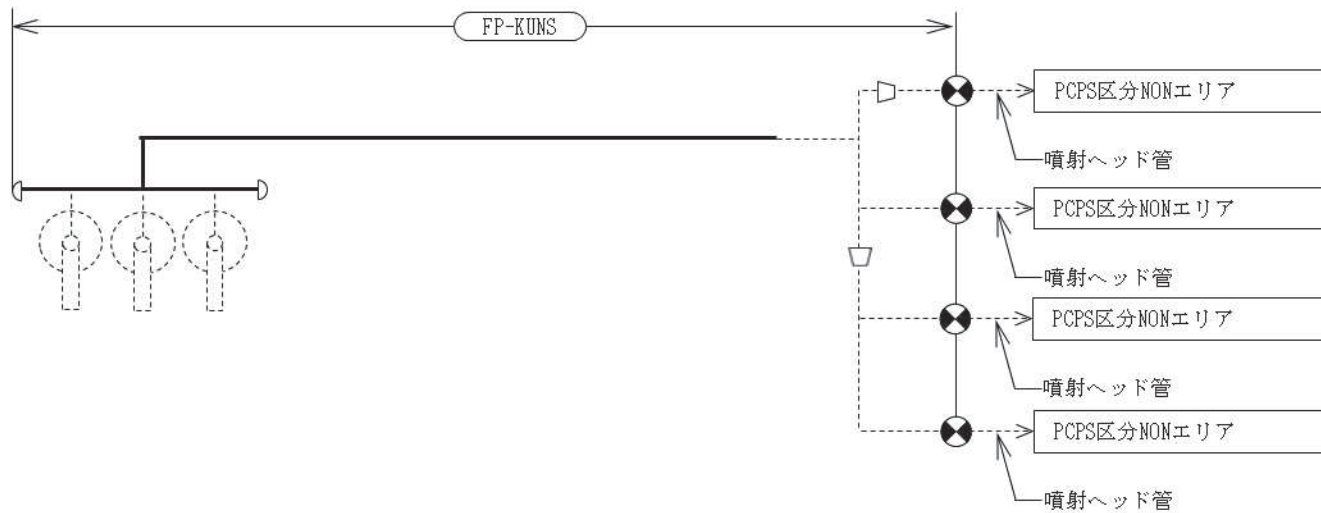




ハロンガス消火設備概略系統図 (その 48)

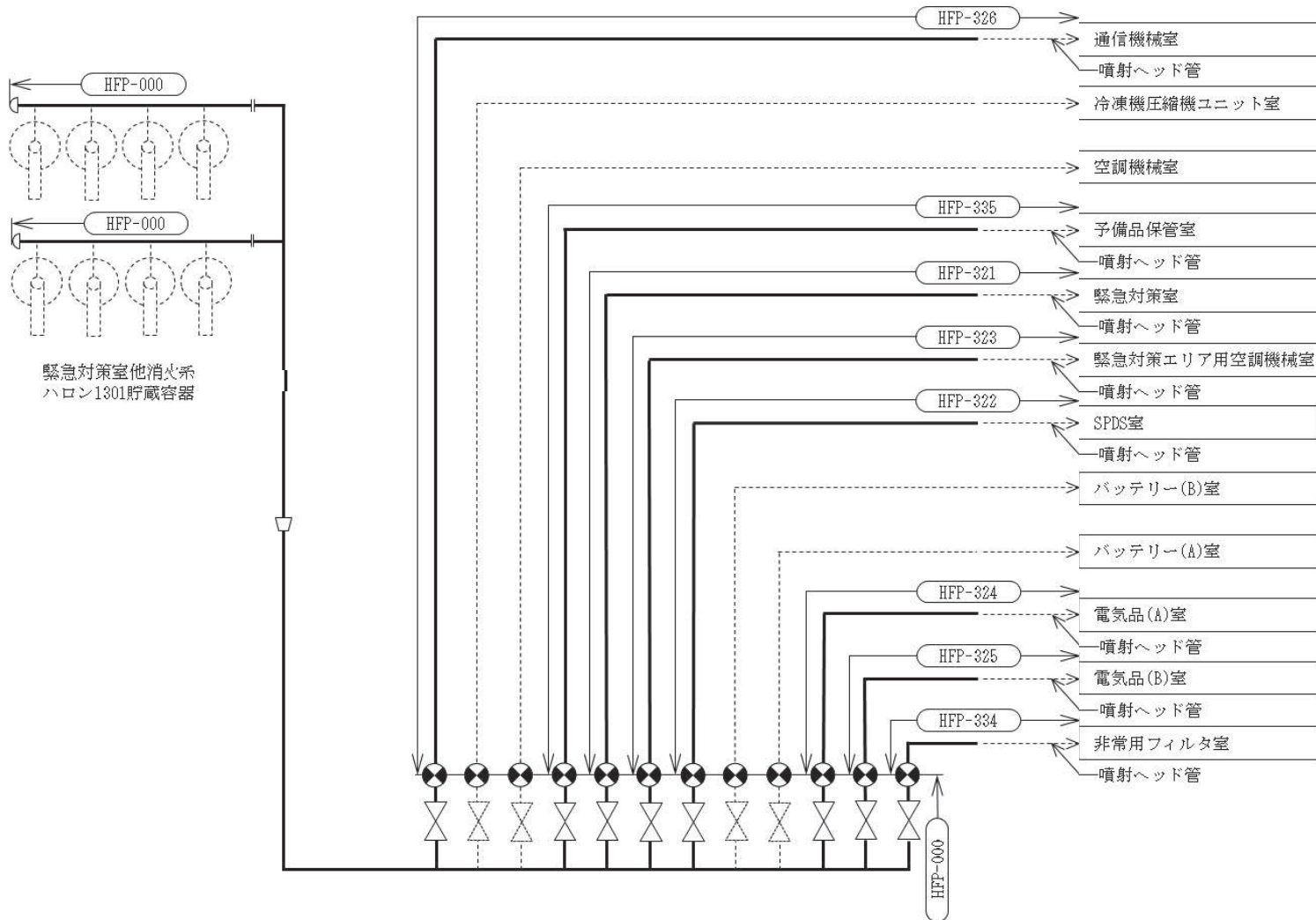




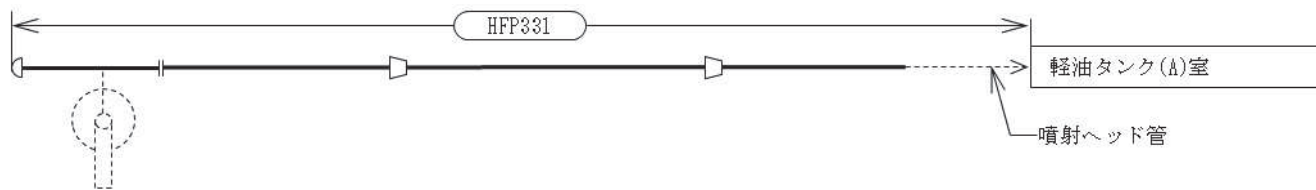


PCPS区分NONエリア消火系
ハロン1301貯蔵容器

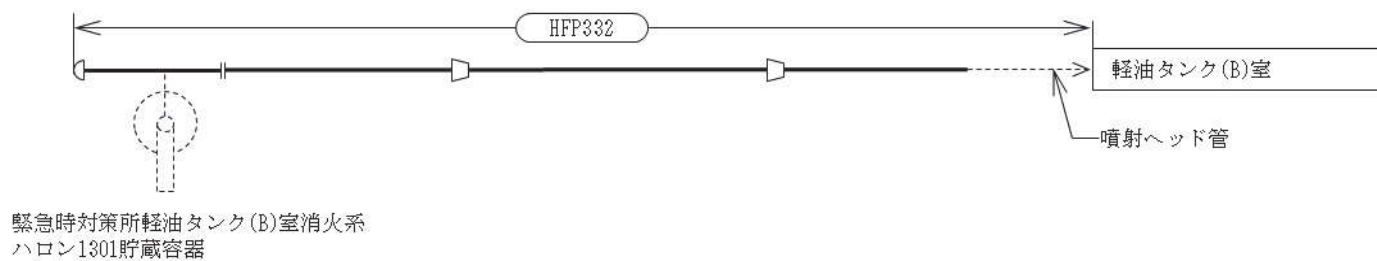
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 51)



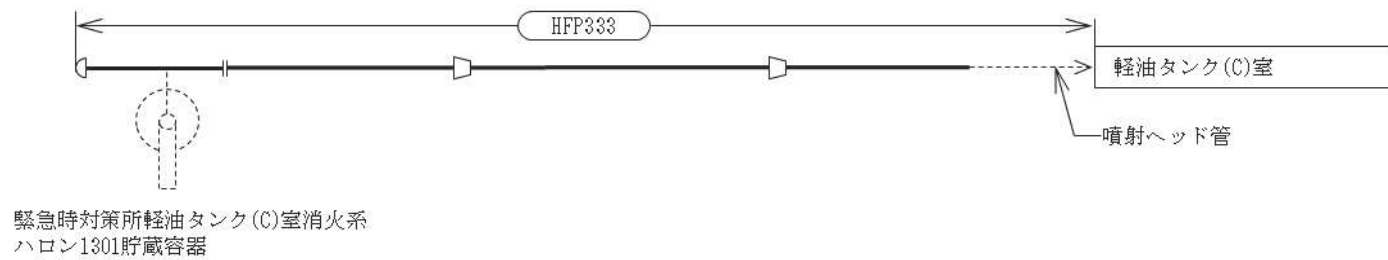
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 52)

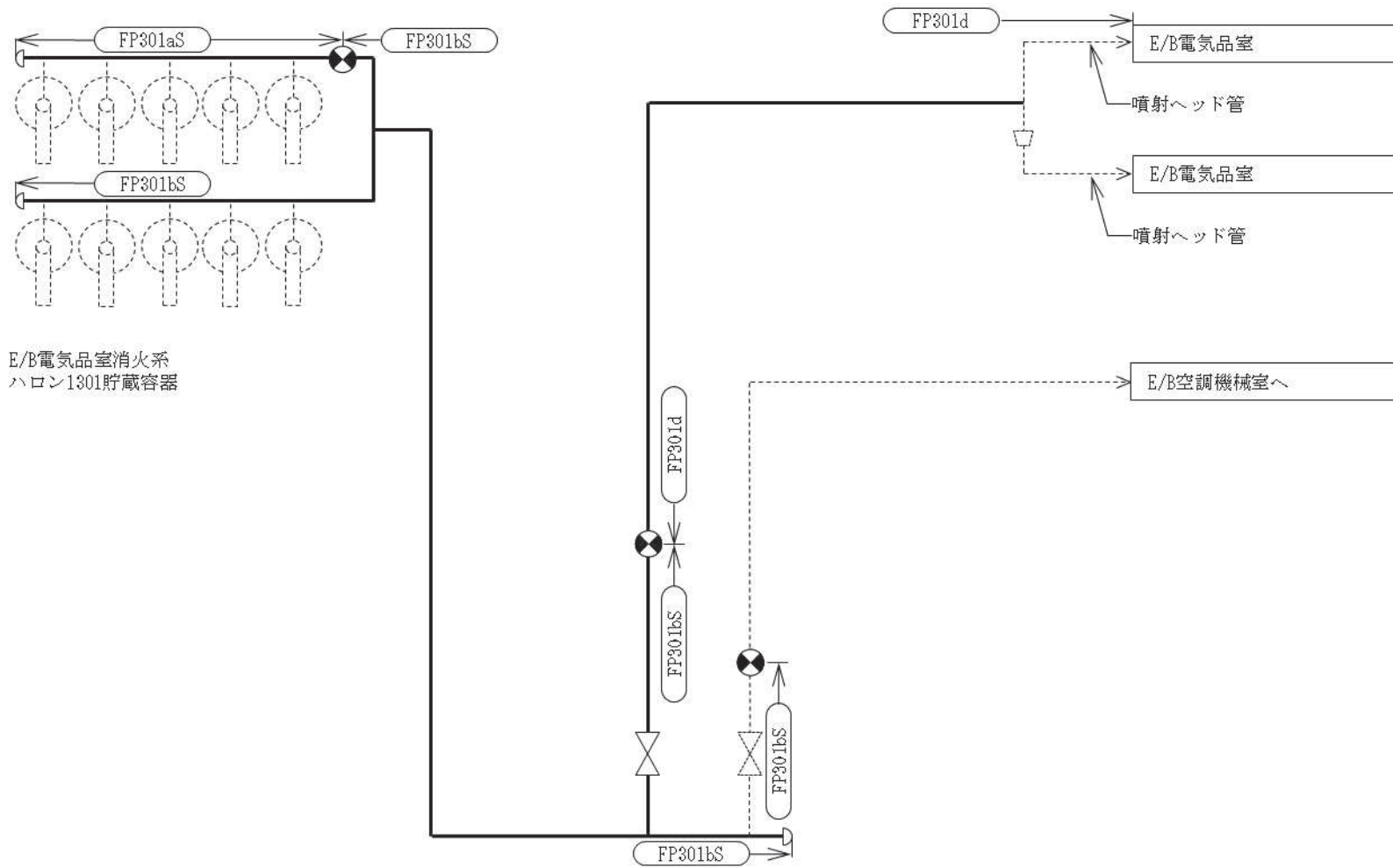


緊急時対策所軽油タンク(A)室消火系
ハロン1301貯蔵容器

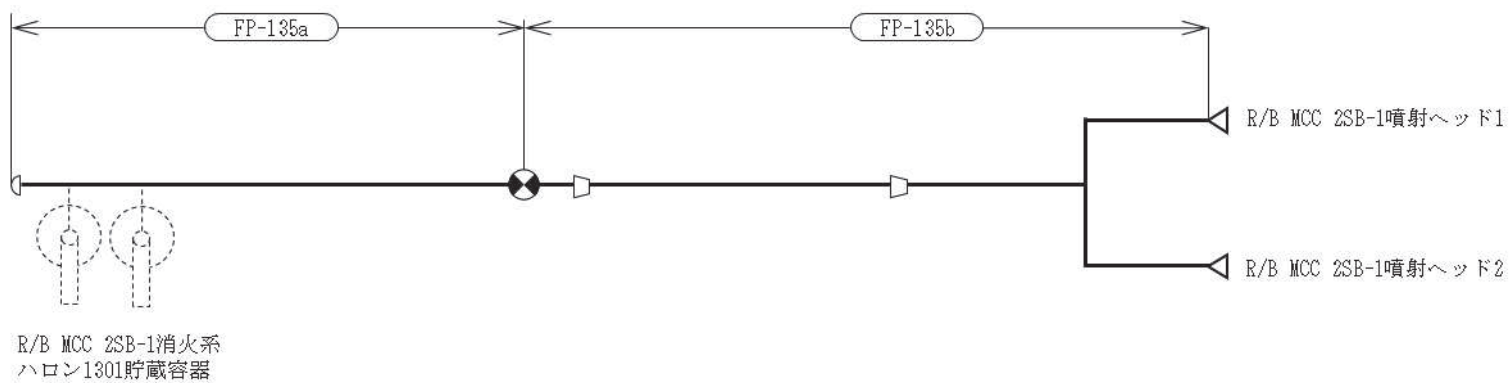


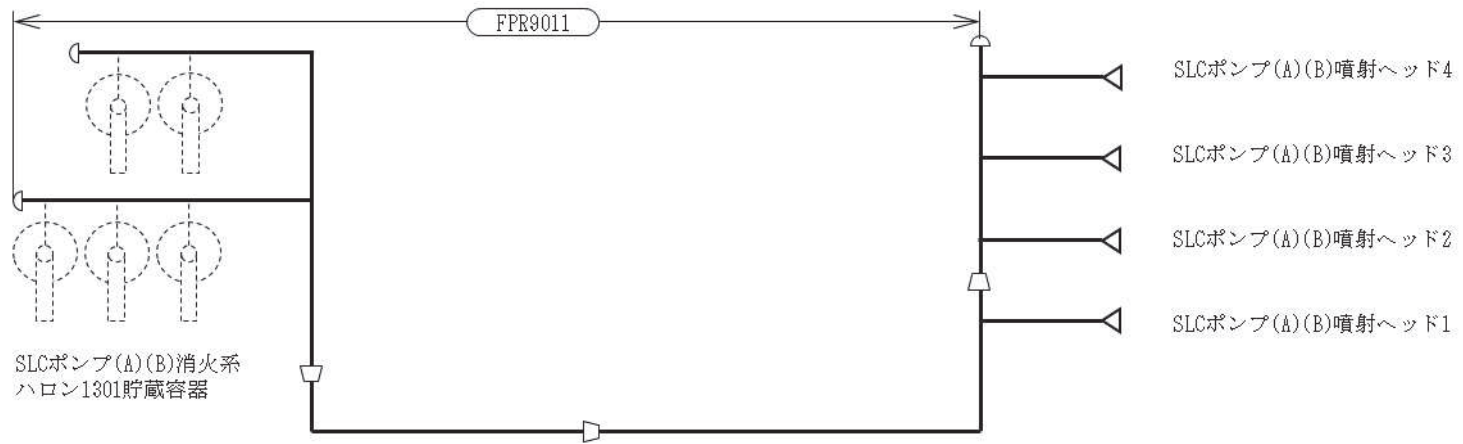
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 54)



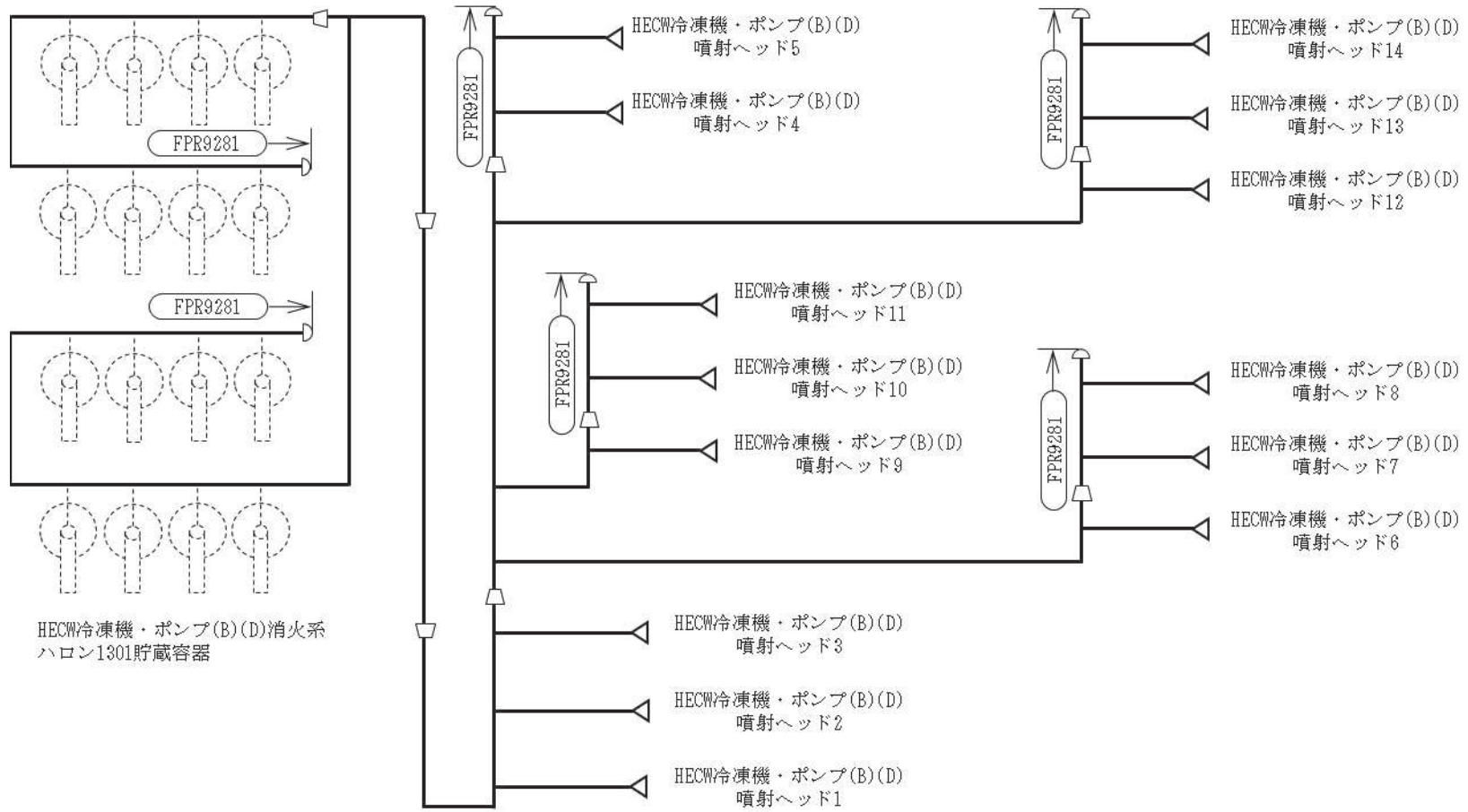


ハロンガス消火設備概略系統図 (その 56)






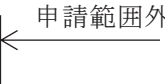
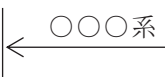


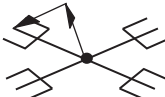
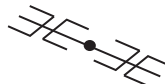
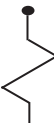
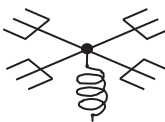
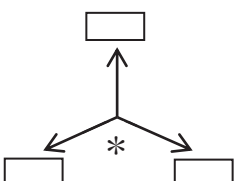
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 58)

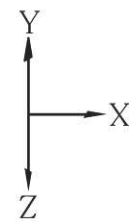
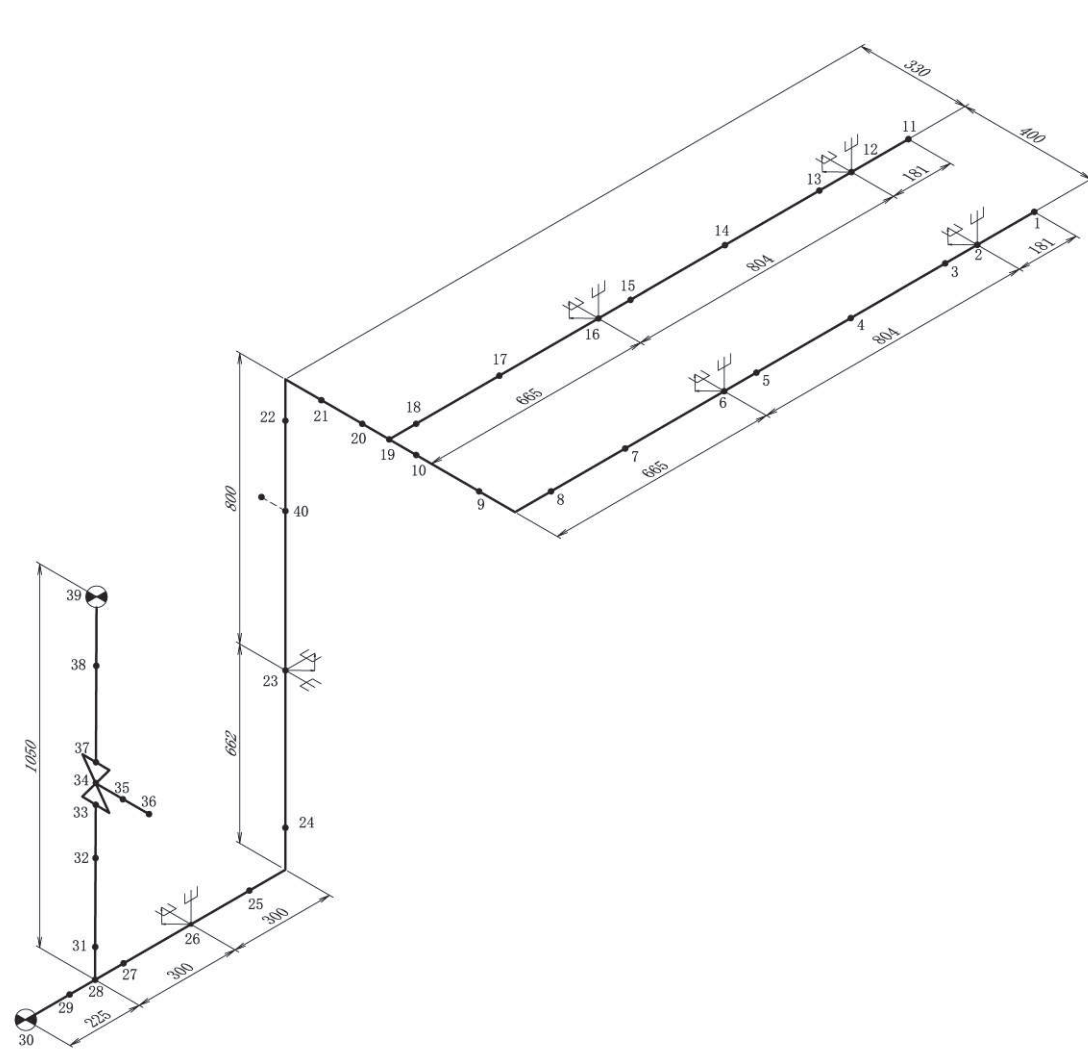


ハロンガス消火設備概略系統図 (その 59)

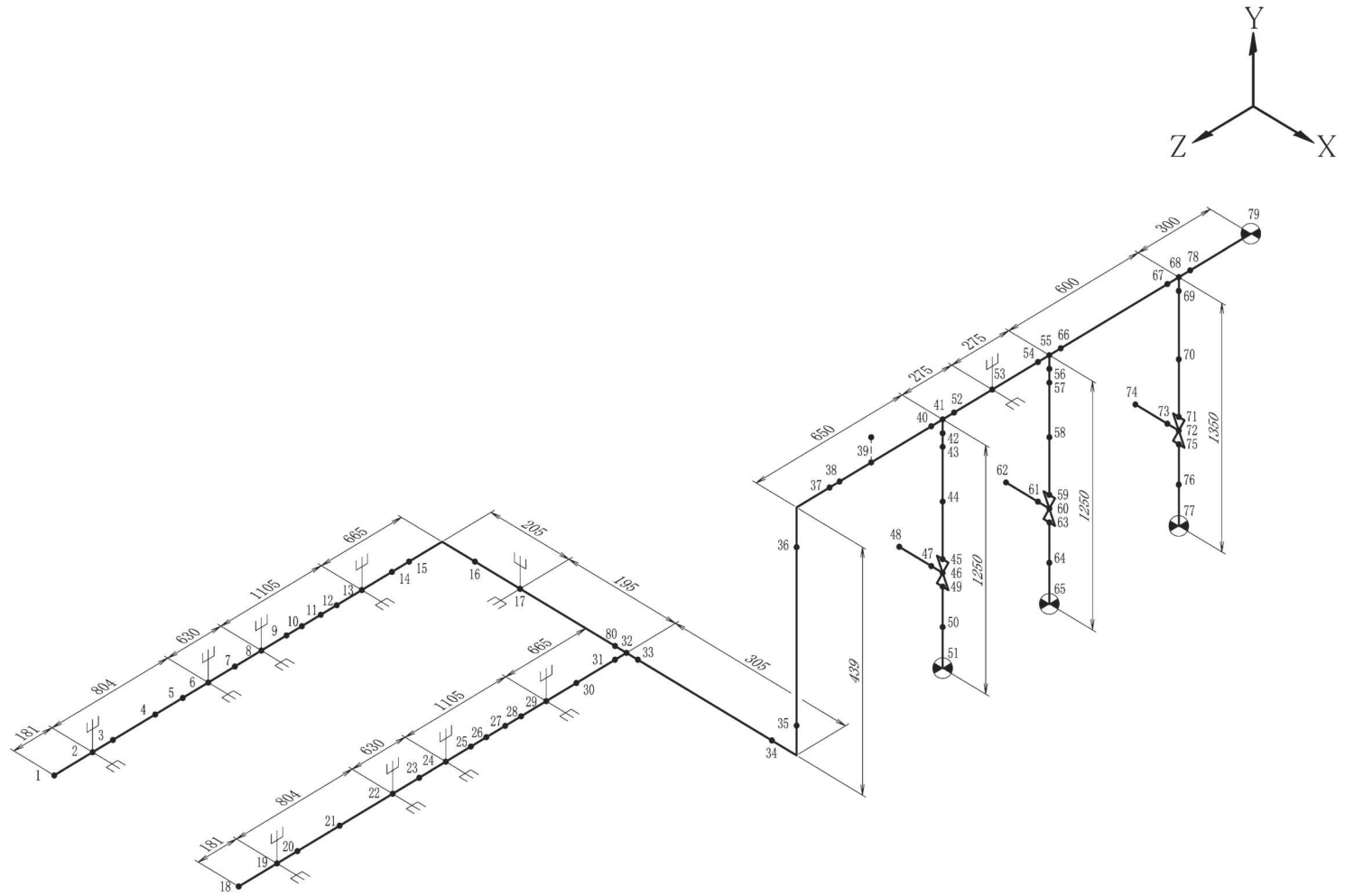
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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
	質点
	アンカ
	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。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	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。)



鳥瞰図	FPR1041
-----	---------



鳥瞰図	FPR1061
-----	---------

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、「NX NASTRAN」, 「SOLVER」, 「MSC NASTRAN」, 「NuPIAS」, 「STRUCT」及び「NAPF」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5-25 計算機プログラム（解析コードの概要）・NX NASTRAN」, 「VI-5-27 計算機プログラム（解析コードの概要）・SOLVER」, 「VI-5-40 計算機プログラム（解析コードの概要）・MSC NASTRAN」, 「VI-5-54 計算機プログラム（解析コードの概要）・NuPIAS」, 「VI-5-66 計算機プログラム（解析コードの概要）・STRUCT」及び「VI-5-67 計算機プログラム（解析コードの概要）・NAPF」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	許容応力状態
その他の発電 用原子炉の附 属施設	火災防護設備	消火系	DB	—	クラス3管	C	I_{L+S_s} II_{L+S_s}	IV_{AS}

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

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 FPR1041

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	5.20	40	89.1	5.5	SUS304TP	C	193667
2	5.20	40	76.3	5.2	SUS304TP	C	193667
3	5.20	40	76.3	7.0	STPG370	C	201667

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 FPR1041

管名称	対応する評価点
1	1～30, 11～19
2	28～32, 38～39
3	32～33, 37～38

配管の質量（付加質量含む）

鳥瞰図 FPR1041

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)
1	3	11	3	21	3	31	3
2	3	12	3	22	4	32	4
3	5	13	5	23	10	33	13
4	7	14	7	24	7	37	13
5	5	15	5	25	4	38	3
6	4	16	4	26	4	39	2
7	36	17	36	27	3	40	7
8	4	18	4	28	3	—	—
9	4	19	3	29	3	—	—
10	3	20	2	30	2	—	—

鳥瞰図 FPR1041

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
36	7
34	4
33, 37	2

鳥瞰図 FPR1041

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	33～34	76.3	14.0	56
弁 1	34～37	76.3	14.0	64
弁 1	34～35	46.1	13.1	100
弁 1	35～36	46.1	13.1	63

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 FPR1041

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
2	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
2	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.0000	1.0000	0.0000	—	—	—
6	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
6	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.0000	1.0000	0.0000	—	—	—
12	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
12	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.0000	1.0000	0.0000	—	—	—
16	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
16	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.0000	1.0000	0.0000	—	—	—
23	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	-0.7071	0.0000	-0.7071	—	—	—
23	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	-0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
26	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
26	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.0000	1.0000	0.0000	—	—	—
30	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.7071	0.0000	0.7071	—	—	—
30	1.0×10^{12}	—	—	—	—	—
	0.0000	1.0000	0.0000	—	—	—
39	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}

注：**印は斜め拘束を示しばね定数をXに示す。下段は方向余弦を示す。

鳥瞰図 FPR1061

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	5.20	40	114.3	6.0	SUS304TP	C	193667
2	5.20	40	114.3	8.6	STPG370	C	201667
3	5.20	40	101.7	5.8	SUS304TP	C	193667
4	5.20	40	89.1	5.5	SUS304TP	C	193667
5	5.20	40	60.5	3.9	SUS304TP	C	193667
6	5.20	40	42.7	3.6	SUS304TP	C	193667
7	5.20	40	42.7	4.9	STPG370	C	201667

70

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 FPR1061

管名称	対応する評価点
1	38~79, 68~70, 76~77
2	70~71, 75~76
3	37~38
4	1~37, 18~32
5	41~43, 55~57
6	43~44, 50~51, 57~58, 64~65
7	44~45, 49~50, 58~59, 63~64

配管の質量（付加質量含む）

鳥瞰図 FPR1061

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)
1	3	19	3	37	3	58	2
2	3	20	5	38	4	59	4
3	5	21	8	39	5	63	4
4	7	22	7	40	4	64	1
5	5	23	36	41	4	65	1
6	4	24	4	42	1	66	8
7	36	25	5	43	2	67	8
8	4	26	7	44	2	68	5
9	5	27	7	45	4	69	8
10	7	28	5	49	4	70	10
11	7	29	4	50	1	71	32
12	5	30	36	51	1	75	32
13	4	31	4	52	4	76	8
14	36	32	3	53	5	77	4
15	4	33	2	54	4	78	5
16	3	34	3	55	4	79	3
17	2	35	4	56	1	80	2
18	3	36	4	57	2	—	—

鳥瞰図 FPR1061

弁部の質量を下表に示す。

弁 1, 弁 2, 弁 3

評価点	質量(kg)
74	18
72	11
71, 75	5
62, 48	4
59, 60, 63	1
45, 46, 49	

鳥瞰図 FPR1061

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	59～60	42.7	9.8	37
弁 1	60～63	42.7	9.8	44
弁 1	60～61	28.5	6.3	65
弁 1	61～62	28.5	6.3	52
弁 2	45～46	42.7	9.8	37
弁 2	46～49	42.7	9.8	44
弁 2	46～47	28.5	6.3	65
弁 2	47～48	28.5	6.3	52
弁 3	71～72	114.3	17.2	78
弁 3	72～75	114.3	17.2	82
弁 3	72～73	55.2	10.8	134
弁 3	73～74	55.2	10.8	90

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 FPR1061

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
2	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
6	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
8	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
13	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
17	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
19	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
22	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
24	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
29	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
51	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
53	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
65	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
77	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
79	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}

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
SUS304TP	40	137	205	520	129
STPG370	40	—	215	370	93

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 (%)
FPR1041	原子炉建屋	O. P. -6.24	2.0
FPR1061	原子炉建屋	O. P. 9.20	2.0

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 FPR1041

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	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
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.081	—	—	—	5.69	5.69	3.18
2 次* ²	0.024	—	—	—	—	—	—
動的震度* ³		—	—	—	1.34	1.34	0.88

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_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。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 FPR1041

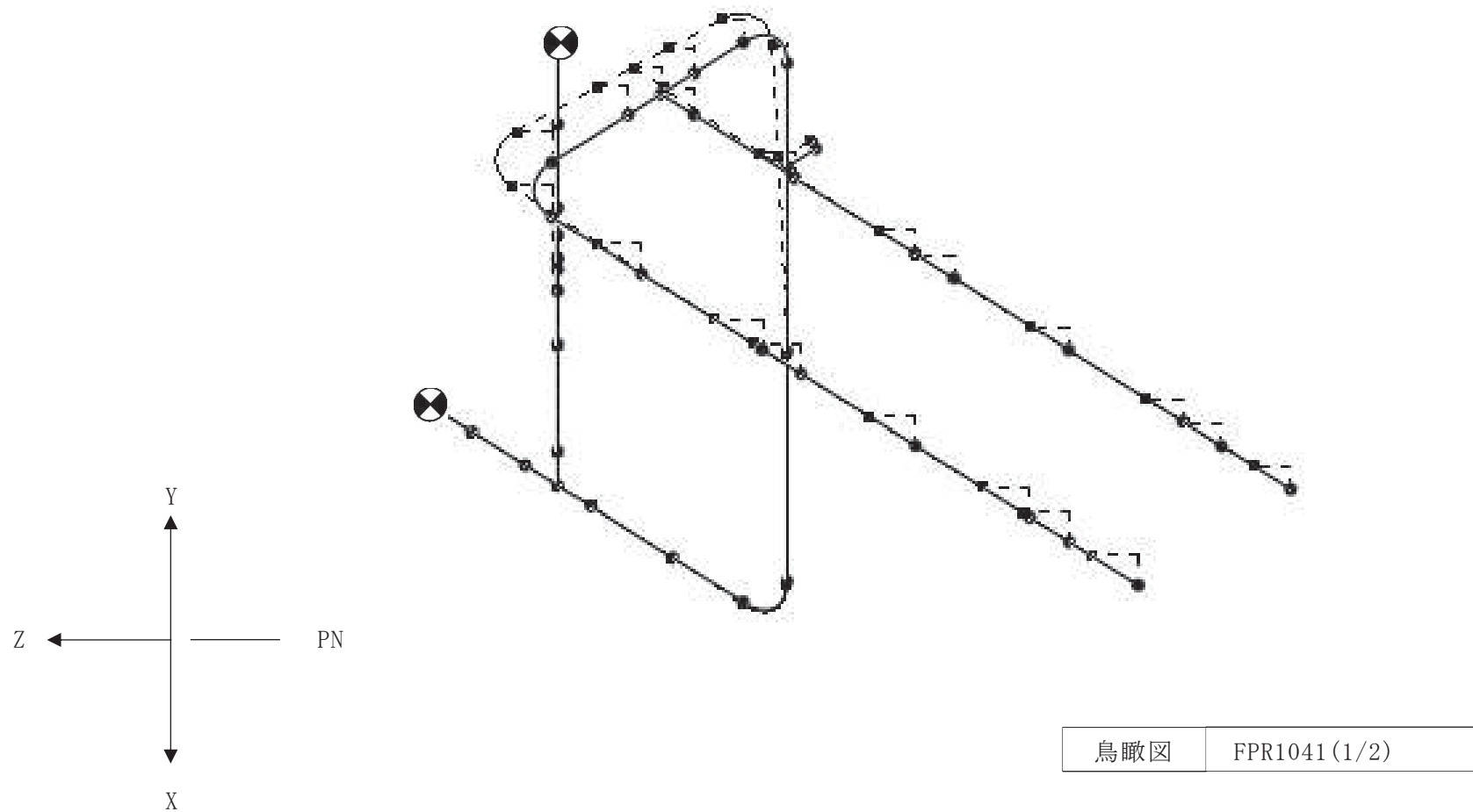
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.081	0.680	0.016	0.597

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。

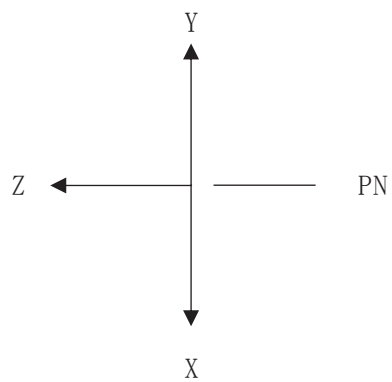
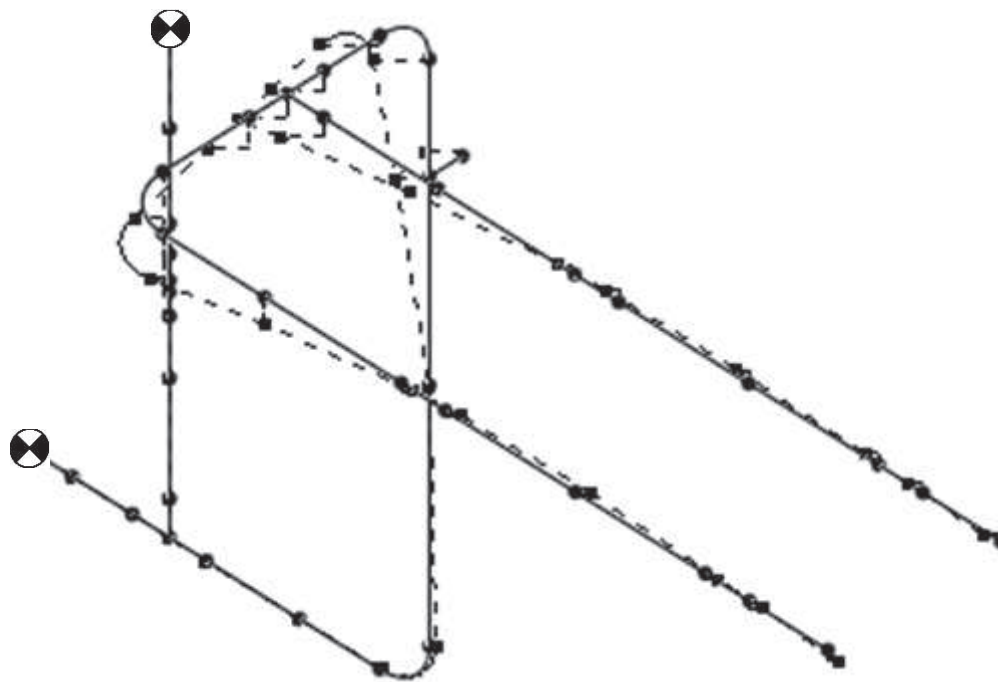
代表的振動モード図

振動モード図は，2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。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図	FPR1041(2/2)
-----	--------------

鳥瞰図 FPR1061

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	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
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次* ²	0.025	—	—	—	—	—	—
動的震度* ³		—	—	—	1.97	1.97	1.37

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_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。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 FPR1061

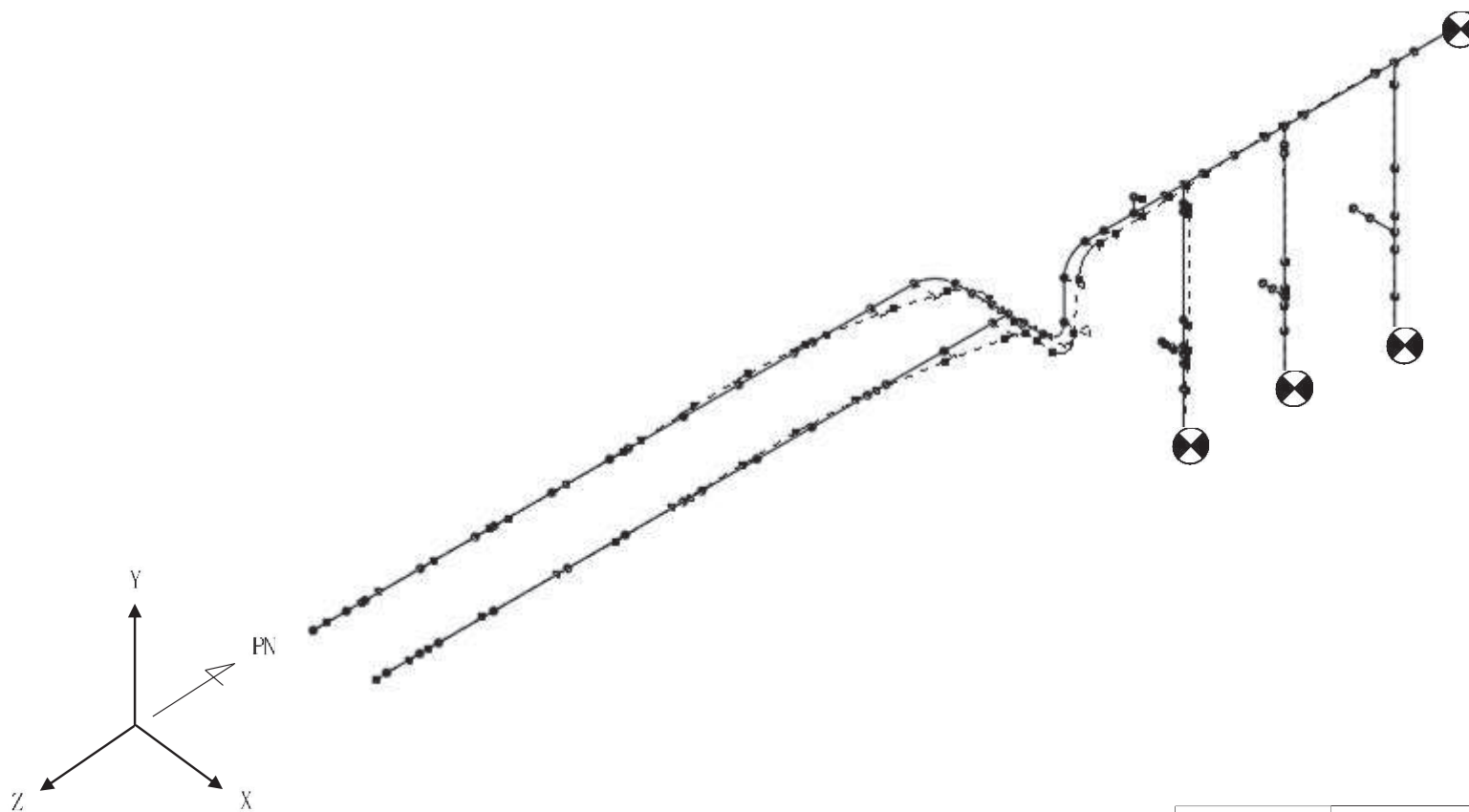
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.025	0.613	0.080	0.059

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。

代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図	FPR1061
-----	---------

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 3 管

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 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
FPR1041	IV_{AS}	23	$S_{pr m}(S_s)$	174	468	—	—	—
	IV_{AS}	23	$S_n(S_s)$	—	—	310	410	—
FPR1061	IV_{AS}	51	$S_{pr m}(S_s)$	43	468	—	—	—
	IV_{AS}	77	$S_n(S_s)$	—	—	331	410	—

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			
PS103-001 (FPR1041)	レストレイント	Uプレート	STKR400	40	5	—	16	—	—	—	組合せ	113	141
PS104-001 (FPR1041)	アンカ	ラグ	SUS304	40	3	38	5	2	1	2	組合せ	68	118
PS105-002 (FPR1061)	レストレイント	Uボルト	SS400	40	4	37	—	—	—	—	組合せ	140	245
PS106-001 (FPR1061)	アンカ	ラグ	SUS304	40	18	37	9	5	1	7	組合せ	268	410

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス3管）

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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	FPR1021	12	98	468	4.77	—	12	151	410	2.71	—	—	—	—
2	FPR1022	27	169	468	2.76	—	27	282	410	1.45	—	—	—	—
3	FPR1031	46	131	468	3.57	—	46	254	410	1.61	—	—	—	—
4	FPR1101	24	105	468	4.45	—	24	167	410	2.45	—	—	—	—
5	FPR1041	23	174	468	2.68	○	23	310	410	1.32	—	—	—	—
6	FPR1042	34	37	468	12.64	—	34	64	410	6.40	—	—	—	—
7	FPR1051	56	52	468	9.00	—	1	74	410	5.54	—	—	—	—
8	FPR1401	19	84	468	5.57	—	19	136	410	3.01	—	—	—	—
9	FPR3181	15	47	468	9.95	—	1	110	410	3.72	—	—	—	—
10	FPR1061	51	43	468	10.88	—	77	331	410	1.23	○	—	—	—
11	FPR1062	38	126	468	3.71	—	38	215	410	1.90	—	—	—	—
12	FPR1071	32	71	468	6.59	—	1	167	410	2.45	—	—	—	—
13	FPR1072	1	49	468	9.55	—	1	28	410	14.64	—	—	—	—
14	FPR1091	19	49	468	9.55	—	37	226	410	1.81	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
15	FPR1092	71	92	468	5.08	—	71	157	410	2.61	—	—	—	—
16	FPR1141	1	41	468	11.41	—	1	108	410	3.79	—	—	—	—
17	FP-111a	42	40	468	11.70	—	50	67	410	6.11	—	—	—	—
18	FP-111b	55	121	468	3.86	—	55	194	410	2.11	—	—	—	—
19	FPR7121	17	105	468	4.45	—	75	243	410	1.68	—	—	—	—
20	FPR7122	12	60	468	7.80	—	1	125	410	3.28	—	—	—	—
21	FPR3091	30	44	468	10.63	—	1	190	410	2.15	—	—	—	—
22	FPR3092	19	49	468	9.55	—	19	69	410	5.94	—	—	—	—
23	FPR3071	56	109	468	4.29	—	56	139	410	2.94	—	—	—	—
24	FPR3072	40	105	468	4.45	—	40	149	410	2.75	—	—	—	—
25	FPR3051	40	63	468	7.42	—	34	267	410	1.53	—	—	—	—
26	FPR3052	1	55	468	8.50	—	1	103	410	3.98	—	—	—	—
27	FP-115a	44	35	468	13.37	—	46	41	410	10.00	—	—	—	—
28	FP-115b	22	74	468	6.32	—	22	85	410	4.82	—	—	—	—
29	FP-117a	22	40	468	11.70	—	22	81	410	5.06	—	—	—	—
30	FP-117b	10	114	468	4.10	—	10	169	410	2.42	—	—	—	—
31	FPR9221	65	55	468	8.50	—	27	89	410	4.60	—	—	—	—
32	FPR5171	1	43	468	10.88	—	18	70	410	5.85	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
33	FPR3131	20	81	468	5.77	—	164	283	410	1.44	—	—	—	—
34	FPR3132	37	40	468	11.70	—	2	98	410	4.18	—	—	—	—
35	FPR3133	19	47	468	9.95	—	19	63	410	6.50	—	—	—	—
36	FPR7211	2	49	468	9.55	—	2	68	410	6.02	—	—	—	—
37	FPR5321	1	106	468	4.41	—	1	190	410	2.15	—	—	—	—
38	FPR3171	29	74	468	6.32	—	47	325	410	1.26	—	—	—	—
39	FPR3172	37	92	468	5.08	—	1	132	410	3.10	—	—	—	—
40	FPR5013	67	68	468	6.88	—	53	80	410	5.12	—	—	—	—
41	FPR5014	15	101	468	4.63	—	15	152	410	2.69	—	—	—	—
42	FPR5015	38	89	468	5.25	—	88	117	410	3.50	—	—	—	—
43	FPR5016	21	131	468	3.57	—	21	207	410	1.98	—	—	—	—
44	FPR5017	48	84	468	5.57	—	48	101	410	4.05	—	—	—	—
45	FPR5018	13	46	468	10.17	—	11	69	410	5.94	—	—	—	—
46	FPR5011	63	65	468	7.20	—	63	141	410	2.90	—	—	—	—
47	FPR5012	1	73	468	6.41	—	1	109	410	3.76	—	—	—	—
48	FP-125a	15	44	468	10.63	—	15	46	410	8.91	—	—	—	—
49	FP-125b	58	51	468	9.17	—	11	82	410	5.00	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
50	FP-127a	40	45	468	10.40	—	40	36	410	11.38	—	—	—	—
51	FP-127b	23	123	468	3.80	—	23	188	410	2.18	—	—	—	—
52	FPR5291	35	70	468	6.68	—	1	148	410	2.77	—	—	—	—
53	FPR5331	64	90	468	5.20	—	64	247	410	1.65	—	—	—	—
54	FPR5332	31	64	468	7.31	—	1	170	410	2.41	—	—	—	—
55	FPR7411	73	75	468	6.24	—	1	132	410	3.10	—	—	—	—
56	FPR7461	76	73	468	6.41	—	1	209	410	1.96	—	—	—	—
57	FP-129a	20	36	468	13.00	—	32	104	410	3.94	—	—	—	—
58	FP-129b	12	50	468	9.36	—	3	86	410	4.76	—	—	—	—
59	FP-130a	29	38	468	12.31	—	36	74	410	5.54	—	—	—	—
60	FP-130b	1	61	468	7.67	—	1	89	410	4.60	—	—	—	—
61	FP-133a	24	50	468	9.36	—	24	60	410	6.83	—	—	—	—
62	FP-133b	101	88	468	5.31	—	101	143	410	2.86	—	—	—	—
63	FP-134a	16	43	468	10.88	—	16	39	410	10.51	—	—	—	—
64	FP-134b	1	32	468	14.62	—	12	37	410	11.08	—	—	—	—
65	FP-164a	19	61	468	7.67	—	19	85	410	4.82	—	—	—	—
66	FP-164b	40	71	468	6.59	—	42	94	410	4.36	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
67	FP-137a	22	71	468	6.59	—	22	109	410	3.76	—	—	—	—
68	FP-137b	34	90	468	5.20	—	34	119	410	3.44	—	—	—	—
69	FPR7301	25	41	468	11.41	—	33	251	410	1.63	—	—	—	—
70	FPR7302	121	50	468	9.36	—	21	175	410	2.34	—	—	—	—
71	FPR7291	89	51	468	9.17	—	23	163	410	2.51	—	—	—	—
72	FP-140a	12	30	468	15.60	—	14	18	410	22.77	—	—	—	—
73	FP-140b	73	115	468	4.06	—	73	193	410	2.12	—	—	—	—
74	FP-141a	21	41	468	11.41	—	23	46	410	8.91	—	—	—	—
75	FP-141b	10	46	468	10.17	—	8	55	410	7.45	—	—	—	—
76	FPR7451	72	69	468	6.78	—	72	116	410	3.53	—	—	—	—
77	FPR7471	11	69	468	6.78	—	11	92	410	4.45	—	—	—	—
78	FP-147a	13	51	468	9.17	—	13	44	410	9.31	—	—	—	—
79	FP-147b	28	75	468	6.24	—	13	203	410	2.01	—	—	—	—
80	FP-150a	76	67	468	6.98	—	193	99	410	4.14	—	—	—	—
81	FP-150b	1	102	468	4.58	—	1	159	410	2.57	—	—	—	—
82	FPR9201	11	53	468	8.83	—	11	97	410	4.22	—	—	—	—
83	FP-153a	22	52	468	9.00	—	24	72	410	5.69	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
84	FP-153b	44	107	468	4.37	—	44	177	410	2.31	—	—	—	—
85	FP-158a	28	54	468	8.66	—	28	70	410	5.85	—	—	—	—
86	FP-158b	1	47	468	9.95	—	1	94	410	4.36	—	—	—	—
87	FPR9301	13	39	468	12.00	—	13	123	410	3.33	—	—	—	—
88	FPR9331	11	53	468	8.83	—	11	125	410	3.28	—	—	—	—
89	FPC1051	111	88	468	5.31	—	99	240	410	1.70	—	—	—	—
90	FPC1052	21	123	468	3.80	—	21	202	410	2.02	—	—	—	—
91	FPC1011	50	53	468	8.83	—	1	79	410	5.18	—	—	—	—
92	FPC1031	41	38	468	12.31	—	41	183	410	2.24	—	—	—	—
93	FPC1032	56	116	468	4.03	—	56	175	410	2.34	—	—	—	—
94	FPC1021	43	154	468	3.03	—	43	284	410	1.44	—	—	—	—
95	FPC1041	7	31	468	15.09	—	20	52	410	7.88	—	—	—	—
96	FPC2011	37	150	468	3.12	—	37	282	410	1.45	—	—	—	—
97	FPC2021	45	87	468	5.37	—	45	251	410	1.63	—	—	—	—
98	FPC2022	61	82	468	5.70	—	1	145	410	2.82	—	—	—	—
99	FPC2041	46	131	468	3.57	—	46	208	410	1.97	—	—	—	—
100	FPC2061	77	93	468	5.03	—	77	146	410	2.80	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
101	FPC2071	140	139	468	3.36	—	140	244	410	2.92	—	—	—	—
102	FP-007a	51	43	468	10.88	—	51	32	410	12.81	—	—	—	—
103	FP-007b	1	161	468	2.90	—	1	267	410	1.53	—	—	—	—
104	FP-009a	30	42	468	11.14	—	30	28	410	14.64	—	—	—	—
105	FP-009b	1	142	468	3.29	—	1	222	410	1.84	—	—	—	—
106	FPC2131	48	126	468	3.71	—	31	238	410	1.72	—	—	—	—
107	FP-013a	12	30	468	15.60	—	14	20	410	20.50	—	—	—	—
108	FP-013b	36	111	468	4.21	—	36	208	410	1.97	—	—	—	—
109	FP-014a	13	47	468	9.95	—	13	68	410	6.02	—	—	—	—
110	FP-014b	5	49	468	9.55	—	8	153	410	2.67	—	—	—	—
111	FPC3191	19	159	468	2.94	—	19	286	410	1.43	—	—	—	—
112	FPC3193	44	146	468	3.20	—	44	253	410	1.62	—	—	—	—
113	FPC3201	30	60	468	7.80	—	2	139	410	2.94	—	—	—	—
114	FPC3261	20	100	468	4.68	—	10	220	410	1.86	—	—	—	—
115	FP-023a	14	33	468	14.18	—	16	30	410	13.66	—	—	—	—
116	FP-023b	20	55	468	8.50	—	20	106	410	3.86	—	—	—	—
117	FP-022a	12	37	468	12.64	—	14	30	410	13.66	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
118	FP-022b	88	96	468	4.87	—	90	178	410	2.30	—	—	—	—
119	FP-KU1	33	112	468	4.17	—	33	197	410	2.08	—	—	—	—
120	FP-KU2	119	120	468	3.90	—	119	237	410	1.72	—	—	—	—
121	FP-KU3	14	51	468	9.17	—	14	92	410	4.45	—	—	—	—
122	FP-KUNS	129	155	468	3.01	—	129	264	410	1.55	—	—	—	—
123	FP-KUNN	31	46	468	10.17	—	34	105	410	3.90	—	—	—	—
124	HFP000	32	72	468	6.50	—	32	127	410	3.22	—	—	—	—
125	HFP321	70	55	468	8.50	—	70	82	410	5.00	—	—	—	—
126	HFP322	13	80	468	5.85	—	13	111	410	3.69	—	—	—	—
127	HFP323	19	45	468	10.40	—	19	55	410	7.45	—	—	—	—
128	HFP324	16	44	468	10.63	—	1	65	410	6.30	—	—	—	—
129	HFP325	63	50	468	9.36	—	63	58	410	7.06	—	—	—	—
130	HFP326	23	49	468	9.55	—	23	68	410	6.02	—	—	—	—
131	HFP334	66	51	468	9.17	—	66	60	410	6.83	—	—	—	—
132	HFP335	15	57	468	8.21	—	15	81	410	5.06	—	—	—	—
133	HFP331	8	65	468	7.20	—	8	170	410	2.41	—	—	—	—
134	HFP332	8	75	468	6.24	—	8	179	410	2.29	—	—	—	—

No	配管モデル	許容応力状態 IV _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
135	HFP333	11	75	468	6.24	—	11	137	410	2.99	—	—	—	—
136	FP301aS	30	41	468	11.41	—	30	22	410	18.63	—	—	—	—
137	FP301bS	88	53	468	8.83	—	88	51	410	8.03	—	—	—	—
138	FP301d	6	29	468	16.13	—	1	21	410	19.52	—	—	—	—
139	FP-135a	21	61	468	7.67	—	21	154	410	2.66	—	—	—	—
140	FP-135b	19	70	468	6.68	—	21	137	410	2.99	—	—	—	—
141	FPR9011	71	59	468	7.93	—	25	109	410	3.76	—	—	—	—
142	FPR9281	139	109	468	4.29	—	139	177	410	2.31	—	—	—	—

4.2.4 ケーブルトレイ消火設備耐震評価結果

設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較 (×9.8m/s²)

		設置位置での加速度* ¹	加振台の最大加速度
消火配管 (海水ポンプ室 O.P. 13.55)	水平方向	5.95* ²	
	鉛直方向	2.64* ²	

注記*1：消火配管は建屋壁に設置されるため、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。

*2：消火配管は複数個所に設置されるもののうち、設置位置の加速度が最大となるものを代表として記載する。

VI-2-別添 1-8 火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の
組合せに関する影響評価結果

目次

1. 概要	1
2. 影響評価	1
2.1 基本方針	1
2.2 評価条件及び評価方法	1
3. 評価結果	4
3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	4
3.2 建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討による機器・配管系への影響の 検討結果	4
3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	4
3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	4
3.5 まとめ	5

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下、「VI-2-別添 1-1」という。）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、火災防護設備について設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能、動的機能を有することを確認するため、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

火災防護設備に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力の組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して、設備の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図2-1に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

火災防護設備のうち、基準地震動 S_s による地震力に対してその機能が維持できることを確認する設備を評価対象とする。（図2-1①）

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平2方向の地震力が重畳する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。（図2-1②）

(3) 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力

を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討により、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図2-1③）

(4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

「(3) 発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。（図2-1④）

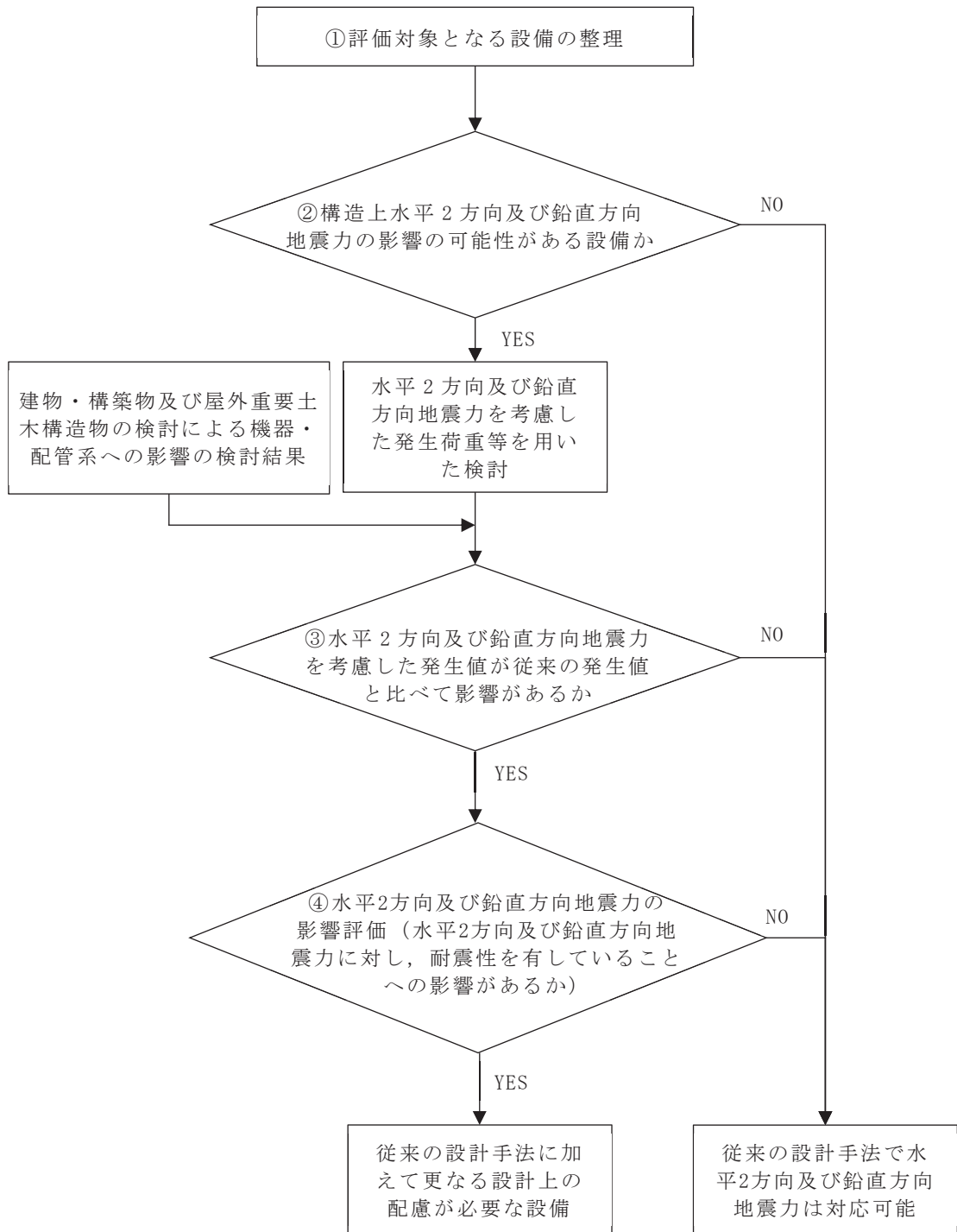


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

3. 評価結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備を表3-1に示す。添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性がある設備の抽出結果を表3-2に示す。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性がある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において、火災防護設備への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表3-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算

出した発生値に対して，設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表3-3及び表3-4に示す。

3.5 まとめ

火災防護設備について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも火災防護設備が有する耐震性への影響がないことを確認したため，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表3-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備

設備名称	評価対象部位
火災感知器	基礎ボルト 取付ボルト 溶接部
火災受信機盤	基礎ボルト
ガスボンベ設備	ボンベラック 基礎ボルト
選択弁	弁ラック 溶接部
制御盤	基礎ボルト 取付ボルト
消火配管	消火配管

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/4)

(1) 構造強度評価

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			検討結果
		3.1(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点 (以下「重畳の観点」という。) ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2) 水平方向とその直交方向が関連する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（以下「ねじれ振動等の観点」という。) ×：発生しない ○：発生する	3.1(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点（以下「増分の観点」という。) ○：影響あり －：該当なし	
火災感知器	熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器① 防爆型熱感知器 防爆型煙感知器② 防湿型煙感知器	○ (基礎ボルト) 一次応力(引張)*	×	○	影響評価結果は表3-3参照
	炎感知器	○ (取付ボルト) 一次応力(引張)*	×	○	影響評価結果は表3-3参照
	屋外仕様炎感知器	○ (溶接部) 一次応力(せん断)*	×	○	影響評価結果は表3-3参照
	熱感知カメラ	○ (取付ボルト) 一次応力(引張)*	×	○	影響評価結果は表3-3参照
	火災受信機盤	△ (基礎ボルト) 一次応力(引張)*	×	－	ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。

注記*：VI-2-別添 1-2～7 の各耐震計算書のうち、評価上厳しい応力を記載する。

表 3-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/4)

(1) 構造強度評価 (続き)

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			検討結果
		3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
ガスボンベ設備	ハロンガス消火設備	△ (ボンベラック) 一次応力 (組合せ) *	×	－	ボンベラックは、従来評価にて水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
	ケーブルトレイ消火設備	△ (基礎ボルト) 一次応力 (引張) *	×	－	ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。
	選択弁	△ (溶接部) 一次応力 (せん断) *	×	－	弁ラックは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。
	制御盤	○ (基礎ボルト) 一次応力 (引張) *	×	○	影響評価結果は表3-3参照

注記*：VI-2-別添1-2～7の各耐震計算書のうち、評価上厳しい応力を記載する。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (3/4)

(1) 構造強度評価 (続き)

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			検討結果
		3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
消火配管	ハロン消火配管	△ (配管本体) 一次+二次応力*	○	－	ハロン消火配管は、従来評価にて水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮済である。配管系は3次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードにより影響は考慮済である。
	ケーブルトレイ消火配管	○ (配管本体) *	○	○	影響評価結果は表3-3参照

注記*：VI-2-別添 1-2～7 の各耐震計算書のうち、評価上厳しい応力を記載する。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (4/4)

(2) 機能維持評価

設備名称	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	検討結果
火災感知器	○	×	○	影響評価結果は表3-4参照
火災受信機盤	△	×	－	盤内に取り付けられている電気品は、基本的に1次元的な接点のON-OFFに関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平1方向の地震力を負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。
容器弁	○	×	○	影響評価結果は表3-4参照
選択弁	○	×	○	影響評価結果は表3-4参照
制御盤	△	×	－	盤内に取り付けられている電気品は、基本的に1次元的な接点のON-OFFに関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平1方向の地震力を負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。

(1) 構造強度評価

表3-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による構造強度評価結果 (1/2)

(単位：MPa)

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				
		応力評価部位	1方向入力 発生応力* ¹	2方向想定 発生応力* ²	許容応力	判定
火 災 感 知 器	煙感知器 熱感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	基礎ボルト	29	41	154	○
	防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト	8	12	154	○
	防湿型煙感知器	基礎ボルト	25	36	154	○
	炎感知器	取付ボルト	20	29	193	○
	屋外仕様炎感知器	溶接部	12	17	161	○
	熱感知カメラ	取付ボルト	22	32	131	○
	制御盤	基礎ボルト	10	15	168	○

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記*1：基準地震動 S_s による地震力において発生する応力を記載している。

*2：「1方向入力発生応力」に対して $\sqrt{2}$ を乗じた値を記載している。

(1) 構造強度評価 (続き)

表3-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による構造強度評価結果 (2/2)

(×9.8 m/s²)

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性						
		加速度 評価部位	設置位置	水平方向加速度			影響確認済 加速度	判定
				1方向入力 発生加速度		2方向想定 発生加速度		
				NS方向	EW方向			
消 火 配 管	ケーブルトレイ 消火配管	配管本体	原子炉建屋* ¹ (O.P. 33.2m)	2.65	2.40	3.75* ²		○
			制御建屋* ¹ (O.P. 22.950m)	2.78	2.54	3.94* ²		
			海水ポンプ室* ¹ (O.P. 13.542m)	1.44	5.95	6.13* ³		

発生加速度はすべて影響確認済加速度以下である。

注記*1：機器の設置位置のうち最も設計震度が大きい階の基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。

*2：「1方向入力発生加速度」のうち大きいものに対して、√2を乗じたものを記載している。

*3：「1方向入力発生加速度」に対して、NS方向とEW方向の2乗和平方根の値を記載している。

(2) 機能維持評価

表3-4 水平2方向及び鉛直方向地震力による機能維持評価結果 (1/2)

(×9.8 m/s²)

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
		加速度 評価部位	設置位置	水平方向加速度			
				1方向入力 発生加速度*1	2方向想定 発生加速度*2	機能確認済 加速度	判定
火 災 感 知 器	煙感知器 熱感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	火災感知器本体	原子炉建屋 (O.P. 50.50m) *3	6.07	8.59	10.00	○
	防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	火災感知器本体	原子炉建屋 (O.P. 50.50m) *3	6.07	8.59	10.00	○
	防湿型煙感知器	火災感知器本体	原子炉建屋 (O.P. 50.50m) *3	6.07	8.59	11.00	○
	炎感知器	火災感知器本体	原子炉建屋 (O.P. 50.50m) *3	6.07	8.59	9.00	○
	屋外仕様炎感知器	火災感知器本体	緊急用電気品建屋 (O.P. 68.90m) *4	2.77	3.92	7.74	○
	熱感知カメラ	火災感知器本体	緊急用電気品建屋 (O.P. 68.90m) *4	2.77	3.92	10.21	○

2方向想定発生加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

注記*1：基準地震動S_sによる地震力において発生する加速度を記載している。

*2：「1方向入力加速度」に対して、√2を乗じた値を記載している。

*3：最も設計震度が大きい階の基準地震動S_sにより定まる応答加速度を用いる。

*4：機器の設置位置のうち最も設計震度が大きい階の基準地震動S_sにより定まる応答加速度を用いる。

(2) 機能維持評価 (続き)

表3-4 水平2方向及び鉛直方向地震力による機能維持評価結果 (2/2)

(×9.8 m/s²)

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
		加速度 評価部位	設置位置	水平方向加速度			
				1方向入力 発生加速度*1	2方向想定 発生加速度*2	機能確認済 加速度	判定
容 器 弁	ガスボンベ設備容器弁	容器弁本体	原子炉建屋 (O.P. 22.50m) *3	1.77	2.51	10.00	○
	ケーブルトレイ消火設備容器弁	容器弁本体	原子炉建屋 (O.P. 23.60m) *3	2.21	3.13	5.19	○
選択弁		選択弁本体	緊急用電気品建屋 (O.P. 56.40m) *3	0.84	1.19	5.00	○

2方向想定発生加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

注記*1：基準地震動S_sによる地震力において発生する加速度を記載している。

*2：「1方向入力加速度」に対して、√2を乗じた値を記載している。

*3：機器の設置位置のうち最も設計震度が大きい階の基準地震動S_sにより定まる応答加速度を用いる。

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 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 2-3 溢水防護に関する施設の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果
- 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 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書

VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針

目次

1.	概要	1
2.	耐震評価の基本方針	2
2.1	評価対象施設	2
2.1.1	耐震 B,C クラス機器	2
2.1.2	溢水防護に係る施設	2
3.	荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	8
3.1	荷重及び荷重の組合せ	8
3.1.1	荷重の種類	8
3.1.2	荷重の組合せ	8
3.2	許容限界	9
3.2.1	耐震 B,C クラス機器	9
3.2.2	溢水防護に係る施設	9
4.	耐震評価方法	11
4.1	地震応答解析	11
4.1.1	入力地震動	13
4.1.2	解析方法及び解析モデル	19
4.1.3	設計用減衰定数	20
4.2	耐震評価	22
4.2.1	耐震評価方法	22
4.3	機能維持評価	23
4.3.1	動的機能の維持	23
4.3.2	電氣的機能の維持	24
4.4	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮	25
5.	適用基準	25

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）」第 12 条及び第 54 条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、添付書類「VI-1-1-8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうち添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」にて耐震性を有することから溢水水源として設定しないとした耐震 B, C クラス機器（以下「耐震 B, C クラス機器」という。）及び耐震 C クラス機器で工事計画の基本設計方針に示す浸水防護施設の主要設備リストに記載のない浸水防護施設（以下「溢水防護に係る施設」という。）が、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設への基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性の要求は、技術基準規則の第 5 条及び 50 条の対象ではない。

耐震 B, C クラス機器の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」に、溢水防護に係る施設のうち循環水系隔離システム、タービン補機冷却海水系隔離システム（以下「漏えい検出器」という。）、逆流防止装置、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁及び復水器水室出入口弁の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「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」、添付書類「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」、添付書類「VI-2-別添 2-6 逆流防止装置の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果は、添付書類「VI-2-別添 2-3 溢水防護に関する施設の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

また、基準地震動 S_s による地震力に対し、止水性の維持を期待する貫通部止水処置の耐震性については、評価対象が同一である添付書類「VI-2-10-2-11 貫通部止水処置の耐震性についての計算書」に示す。

なお、主要設備リストに記載する浸水防護に係る浸水防護施設となる水密扉、蓋及び堰の基本方針書を、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示し、その耐震性についての計算書を添付書類「VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-10-2-7-2 水密扉（溢水防護設備）の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-9-3-2 原子炉建屋大物搬入口の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-10-2-8-6 浸水防止蓋（第 2 号機軽油タンクエリア）の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-10-2-12 堰の耐震性についての計算書」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動 S_s による地震力と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重による応力又は荷重（以下「応力等」という。）が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し、「5. 適用基準」で示す適用規格を用いて確認する。

耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設は、基準地震動 S_s による地震力に対して、その機能を維持又は保持できる設計とすることを踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせて実施する。影響評価方法は「4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象施設

評価対象施設は、耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設（添付書類「VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性についての計算書」で評価する浸水防護施設を除く。以下同じ。）を対象とする。

2.1.1 耐震 B, C クラス機器

添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」にて溢水源となり得る流体を内包する機器のうち、基準地震動 S_s による地震力に対して溢水源として想定しない耐震 B, C クラス機器を評価対象施設とする。

評価対象施設のポンプ、熱交換器等、配管、弁及び支持構造物の構造は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に示す各構造を踏まえ、応答性状を適切に評価することで適用する地震力に対して構造強度を有する構造とする。

2.1.2 溢水防護に係る施設

溢水防護に関する施設の構造計画を表 2-1、表 2-2、表 2-3、表 2-4 及び表 2-5 に示す。

表 2-1 構造計画（漏えい検出器（循環水系隔離システム））

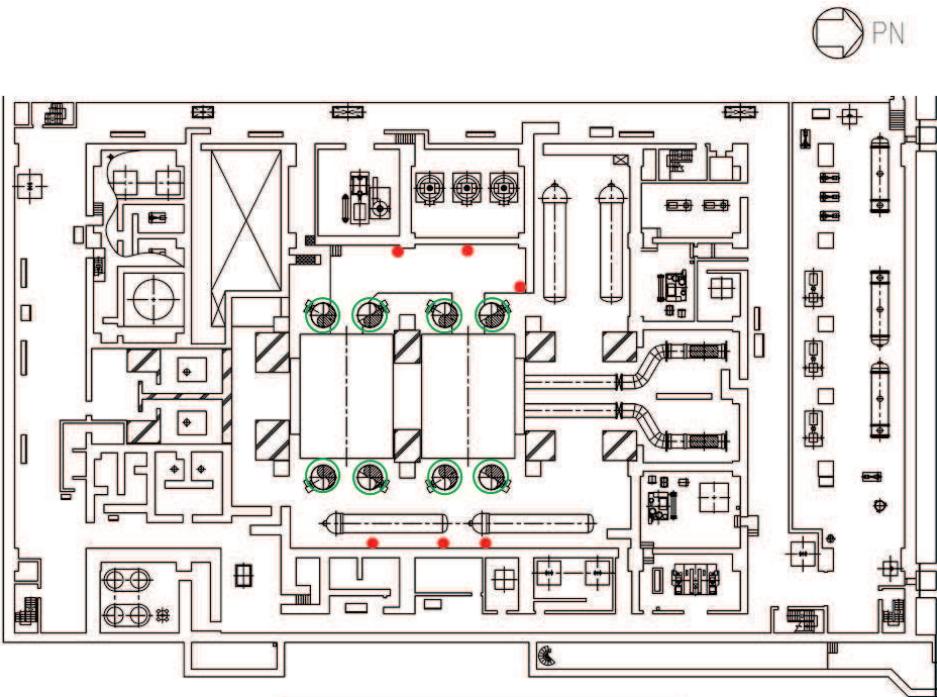
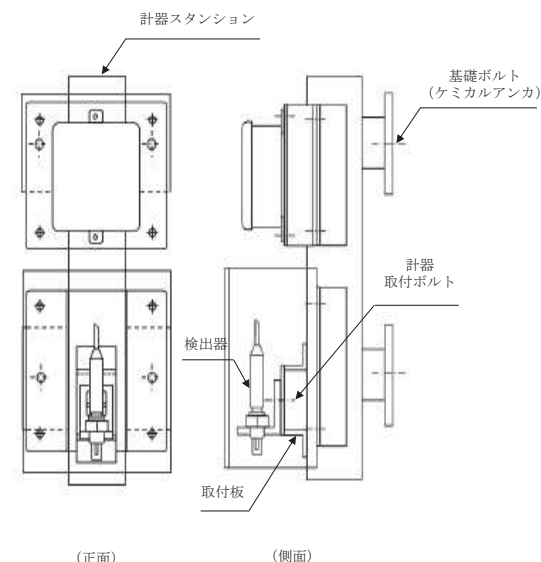
配置図	
 <p style="text-align: center;">タービン建屋 0.P. 0.80 m (復水器エリア)</p> <p>● : 漏えい検出器 ○ : 復水器水室出入口弁</p>	
計画の概要	
主体構造	支持構造
電極式水位 検出器	<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、計器ステーションに固定される。計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>
概略構造図	
 <p style="text-align: center;">(正面) (側面)</p>	

表 2-2 構造計画（漏えい検出器（タービン補機冷却海水系隔離システム））

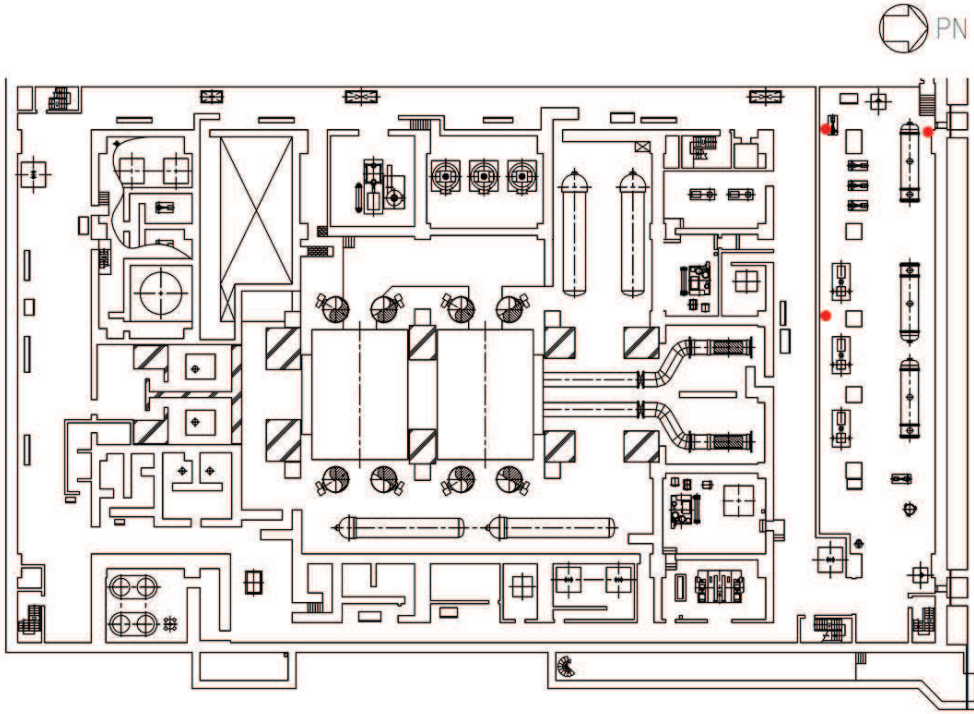
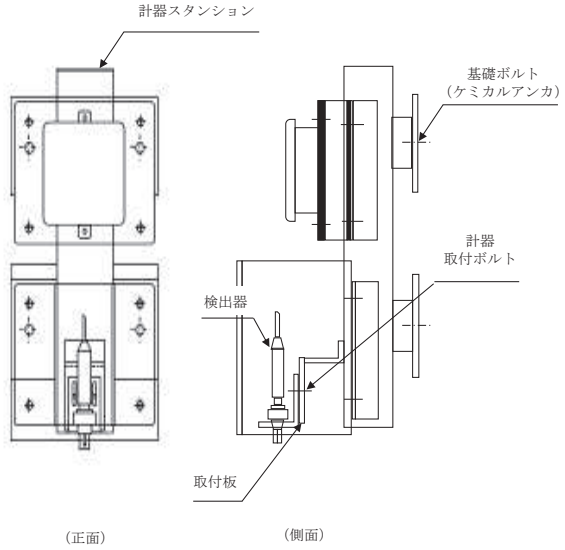
配置図	
 <p style="text-align: center;">タービン建屋 O.P. -0.20 m （タービン補機冷却系熱交換器室）</p> <p style="text-align: center;">● : 漏えい検出器</p>	
計画の概要	
主体構造	支持構造
電極式水位検出器	<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、計器ステーションに固定される。計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>
概略構造図	
 <p style="text-align: center;">(正面) (側面)</p>	

表 2-3 構造計画（復水器水室出入口弁）

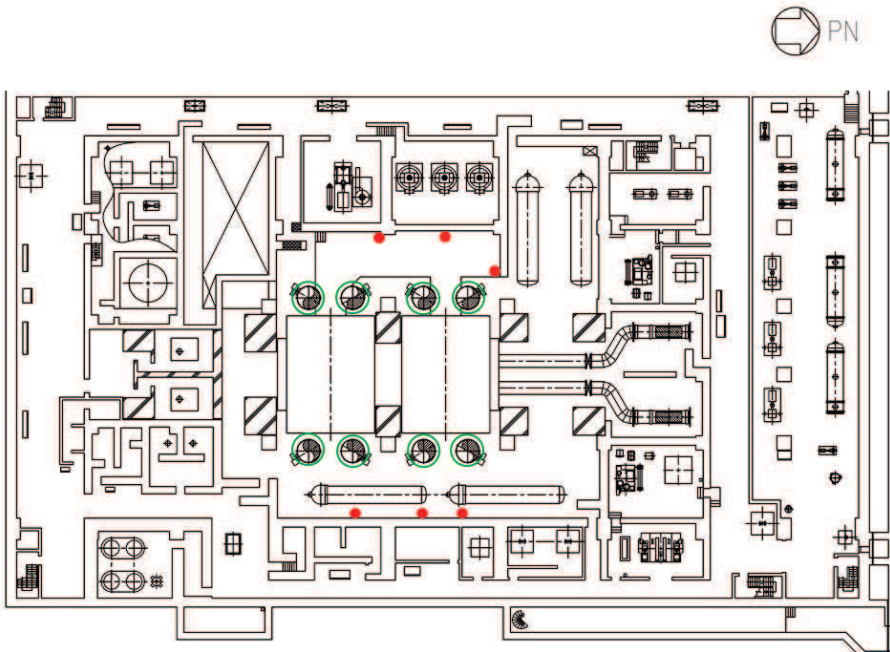
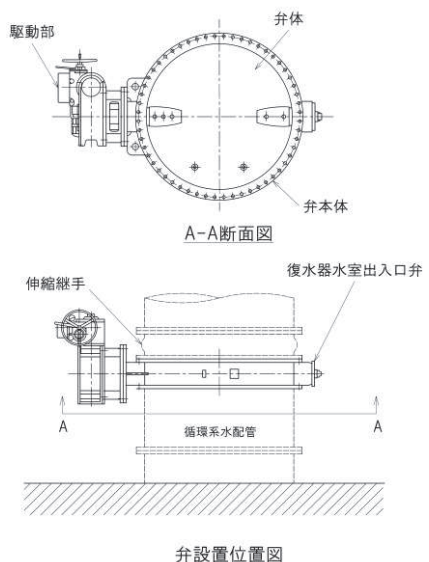
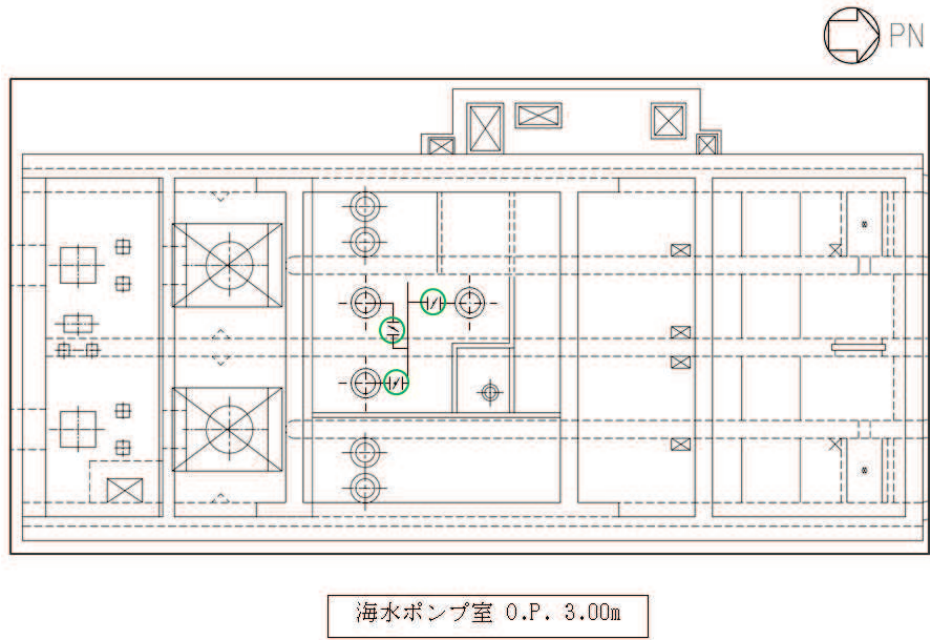
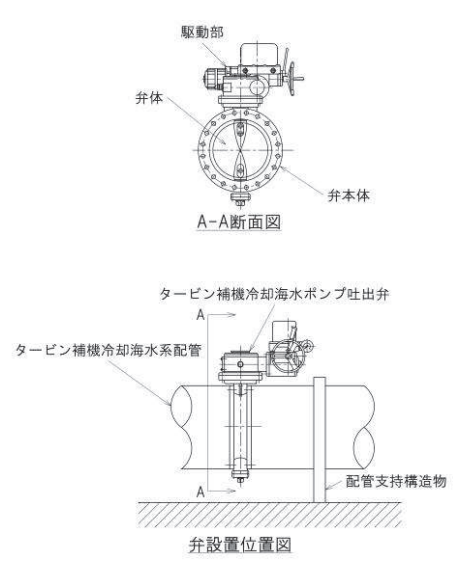
配置図		
 <p style="text-align: center;">タービン建屋 O.P. 0.80 m (復水器エリア)</p> <p style="text-align: center;">● : 漏えい検出器 ○ : 復水器水室出入口弁</p>		
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>電動バタフライ弁であり、弁体を含む弁本体、弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。</p>	<p>循環水系配管に固定される。</p>	 <p style="text-align: center;">弁設置位置図</p>

表 2-4 構造計画 (タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁)

配置図		
 <p style="text-align: center;">海水ポンプ室 O.P. 3.00m</p> <p style="text-align: center;">○ : タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁</p>		
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>電動バタフライ弁であり、弁体を含む弁本体、弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。</p>	<p>タービン補機冷却海水系配管に固定される。配管については、床面に支持構造物にて固定する。</p>	 <p style="text-align: center;">弁設置位置図</p>

O 2 ⑥ VI-2-別添 2-1 R 3

表 2-5 構造計画（逆流防止装置）（1/2）

逆流防止装置の設置位置			
機器名称	建屋	設置階	高さ (m)
逆流防止装置	原子炉建屋	地下 3 階	O. P. -8.1
	制御建屋	地下 2 階	O. P. 1.5

表 2-5 構造計画（逆流防止装置）（2/2）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。</p>	<p>配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。</p>	

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

3.1.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、溢水起因の荷重と組み合わせない*ため、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (D)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

(2) 内圧荷重 (P_D)

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(3) 機械的荷重 (M_D)

当該設備に設計上定められた機械的荷重

(4) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

3.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、溢水起因の荷重と組み合わせない*ため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す機器・配管系の荷重の組合せを踏まえて設定する。

注記 * : 地震起因により発生する溢水は、地震後に作用するため、地震荷重と組み合わせない。なお、添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」にて溢水源として設定する想定破損による溢水及び消火水の放水による溢水による荷重は、地震起因による溢水と重畳しない。

3.2 許容限界

3.2.1 耐震 B, C クラス機器

耐震 B, C クラス機器の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性を有し、機器の破損により溢水源とならない設計とするため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を準用する。

3.2.2 溢水防護に係る施設

溢水防護に係る施設の許容限界は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」にて設定している施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び設計方針を踏まえて、評価対象部位ごとに、地震時及び地震後に機能維持が可能となるように設定する。

溢水防護に係る施設ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し定める。

(1) 漏えい検出器

漏えい検出器の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震後の循環水系配管及びタービン補機冷却海水系配管の漏えいを検出する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、漏えい検出器を固定する基礎ボルトは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している「その他の支持構造物」の許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を準用する。

評価対象部位ごとの許容限界を表 3-1 に示す。

表 3-1 評価対象部位ごとの許容限界

設備名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
漏えい 検出器	$D + S_s$	基礎ボルト	引張 せん断	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とす る。

(2) 逆流防止設備

逆流防止装置の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震後の止水性の維持を考慮して逆流防止装置が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している「クラス 2, 3 配管」の許容応力状態 $III_A S$ の許容限界を準用する。

評価対象部位ごとの許容限界を表 3-2 に示す。

表 3-2 評価対象部位ごとの許容限界

設備名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力 等 の状 態	限界状態	
逆流防止装置	$D + P_D +$ $M_D + S_s$	弁本体, フロートガイド	曲げ 引張	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態 $III_A S$ の許容応力以下とする。
		フロート	圧縮	有意な漏えいに至る変形	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		取付部	引張		

(3) 復水器水室出入口弁

復水器水室出入口弁の許容限界は、基準地震動 S_s による地震動に対し、地震後の閉止する機能の維持を考慮して弁本体及び弁を支持する管が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態 $III_A S$ の許容限界を準用する。

(4) タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、地震後の閉止する機能の維持を考慮して弁本体及び弁を支持する管、支持構造物が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態 $III_A S$ の許容限界を準用する。

4. 耐震評価方法

耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は、「4.1 地震応答解析」, 「4.2 耐震評価」及び「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

4.1 地震応答解析

耐震 B, C クラス機器の地震応答解析は、「4.1.1 入力地震動」に示す入力地震動, 「4.1.2 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法及び「4.1.3 設計用減衰定数」に示す減衰定数を用いて実施する。

図 4-1 に耐震 B, C クラス機器の地震応答解析の手順を示す。

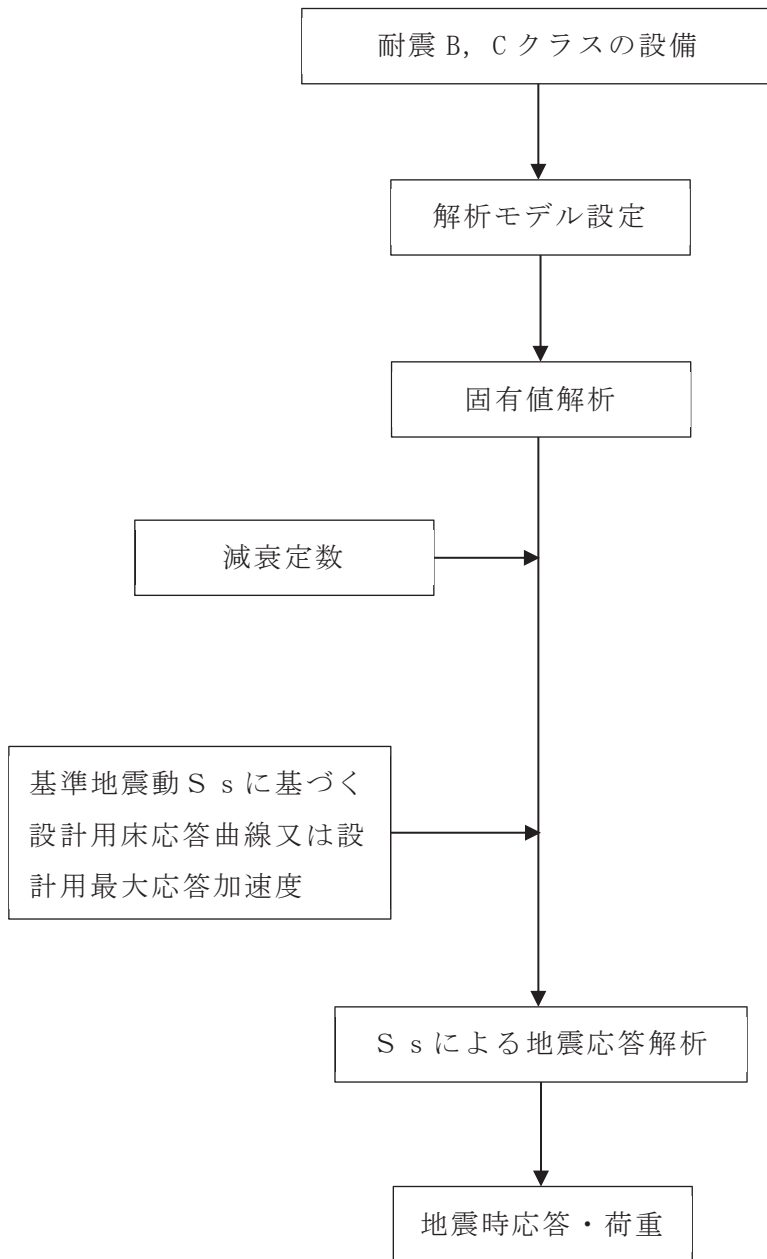


図 4-1 耐震 B, C クラス機器の地震応答解析の手順

4.1.1 入力地震動

耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設の地震応答解析に用いる設計用地震力は、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。

また、タービン建屋に設置される漏えい検出器及び復水器水室出入口弁については、以下のとおり設計用地震力を設定する。

(1) 地震応答解析モデル

タービン建屋の水平方向の地震応答解析モデルを図 4-2 及び図 4-3 に、鉛直方向の地震応答解析モデルを図 4-4 に示す。

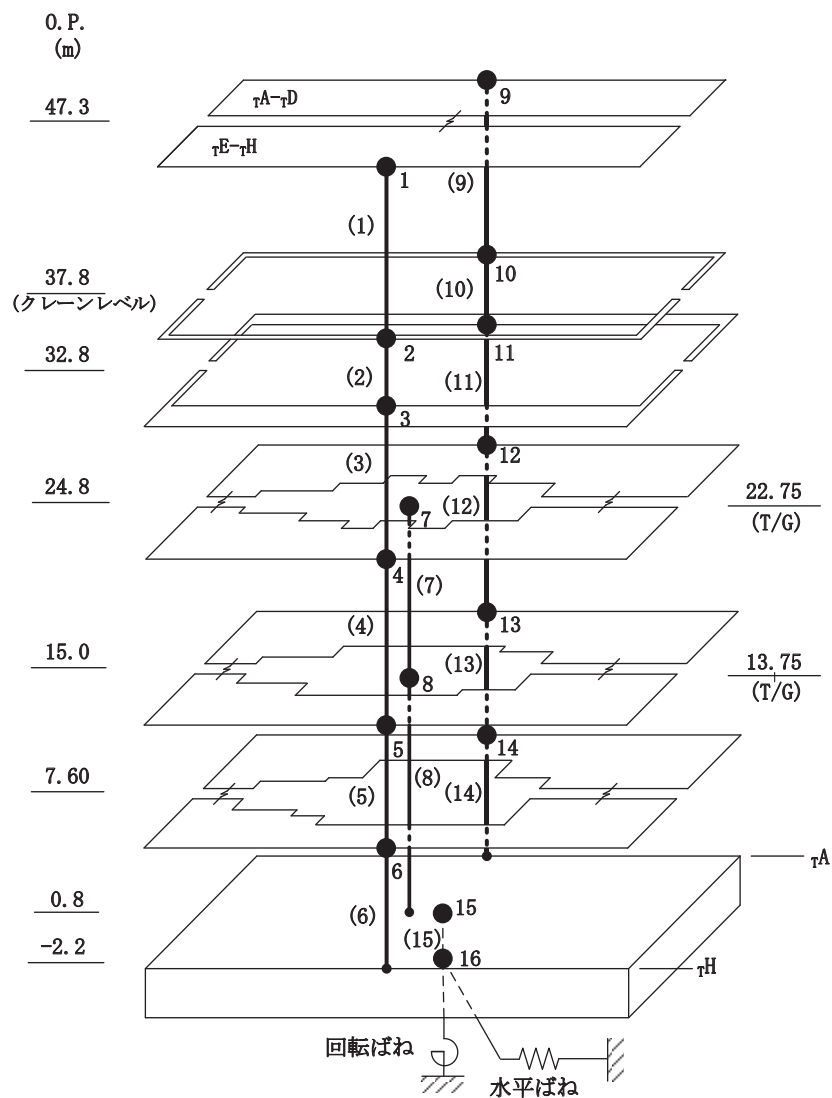


図 4-2 タービン建屋の地震応答解析モデル (NS 方向)

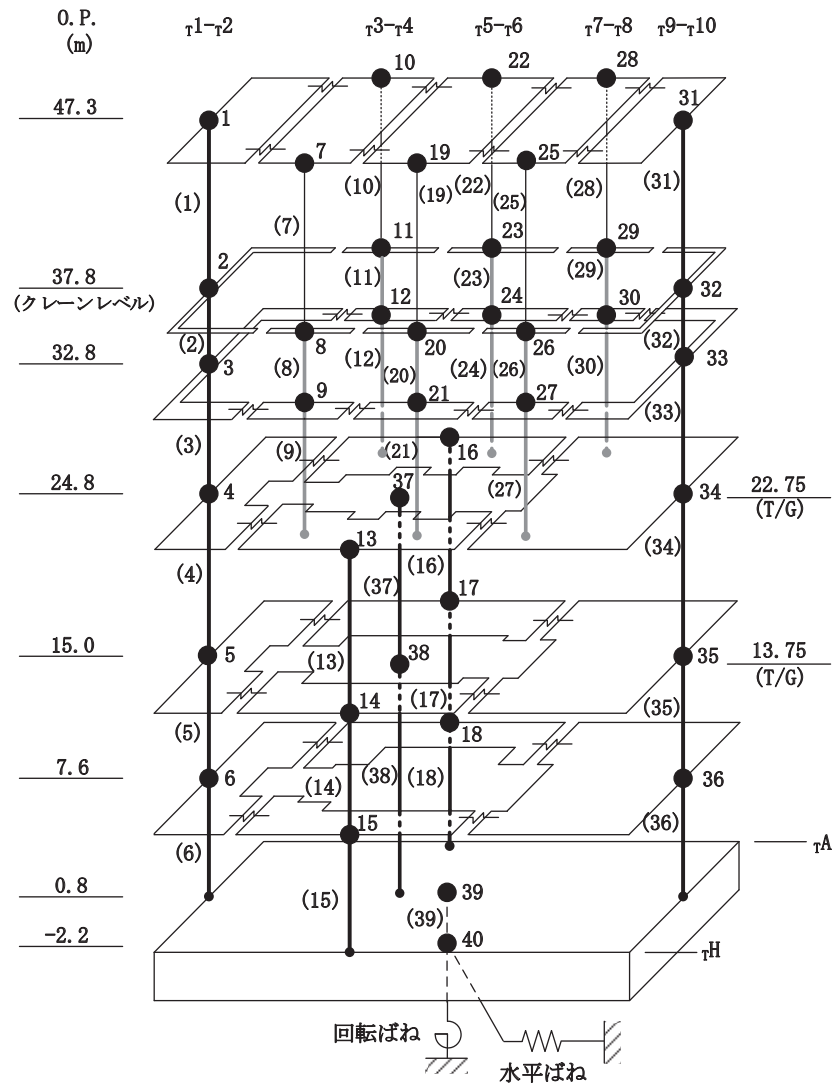


図 4-3 タービン建屋の地震応答解析モデル (EW 方向)

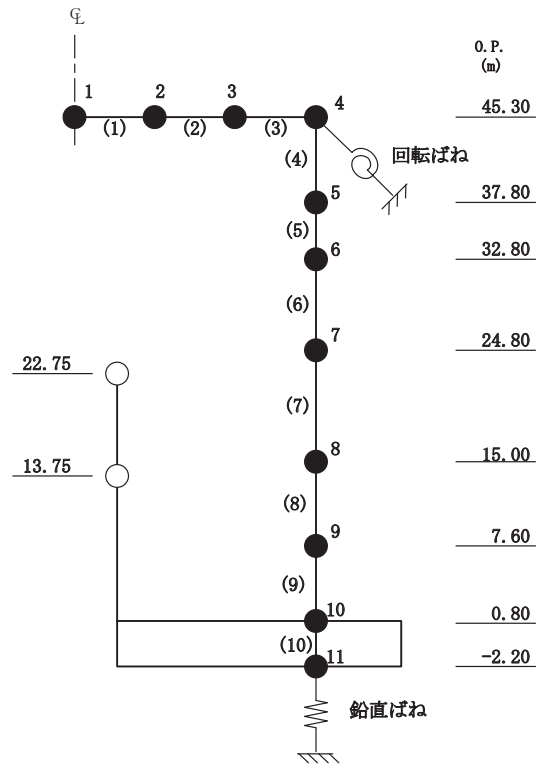


図 4-4 タービン建屋の地震応答解析モデル（鉛直方向）

(2) 設計用最大応答

加速度及び設計用床応答曲線

タービン建屋の各床面の基準地震動 S_s に対する設計用最大応答加速度を表 4-1 に、評価に用いる設計用床応答曲線を図 4-5 及び図 4-6 に示す。

表 4-1 タービン建屋の基準地震動 S_s に対する最大応答加速度

構造物名	質点番号		標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$	
	水平	鉛直		水平	鉛直	水平	鉛直
タービン 建屋	NS : 6, 14 EW : 6, 15 18, 36	9	7.600	1.39	0.75	1.67	0.89
	NS : 15 EW : 39	10	0.800	0.95	0.59	1.14	0.71

02 ⑥ VI-2-別添2-1 R 3

【02-TB-SsH-TBE2-005】

構造物名：タービン建屋

標高：0.P. 0.800m

— 水平方向

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動Ss

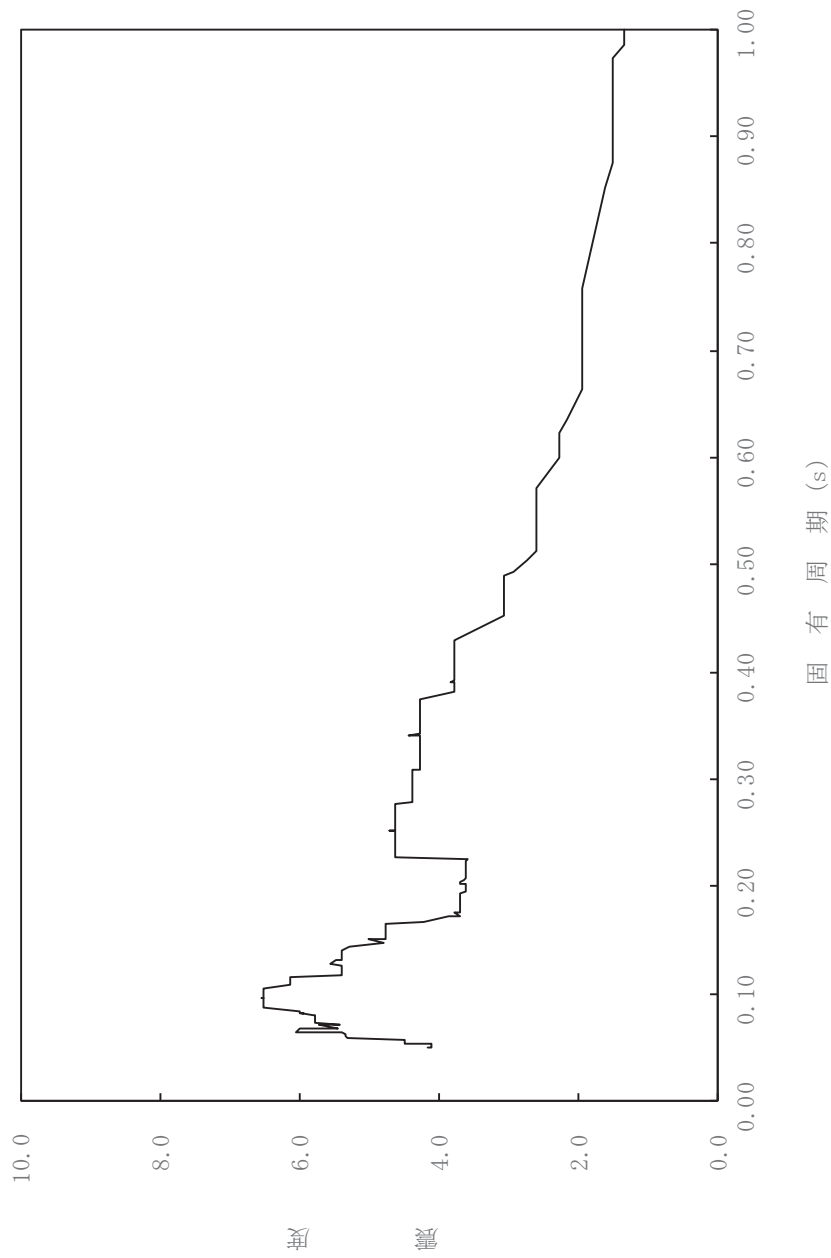


図 4-5 評価に用いる設計用床応答曲線 (水平)

【02-TB-SsV-TBB2-005】

構造物名：タービン建屋

標高：0.P. 0.800m

—— 鉛直方向

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動Ss

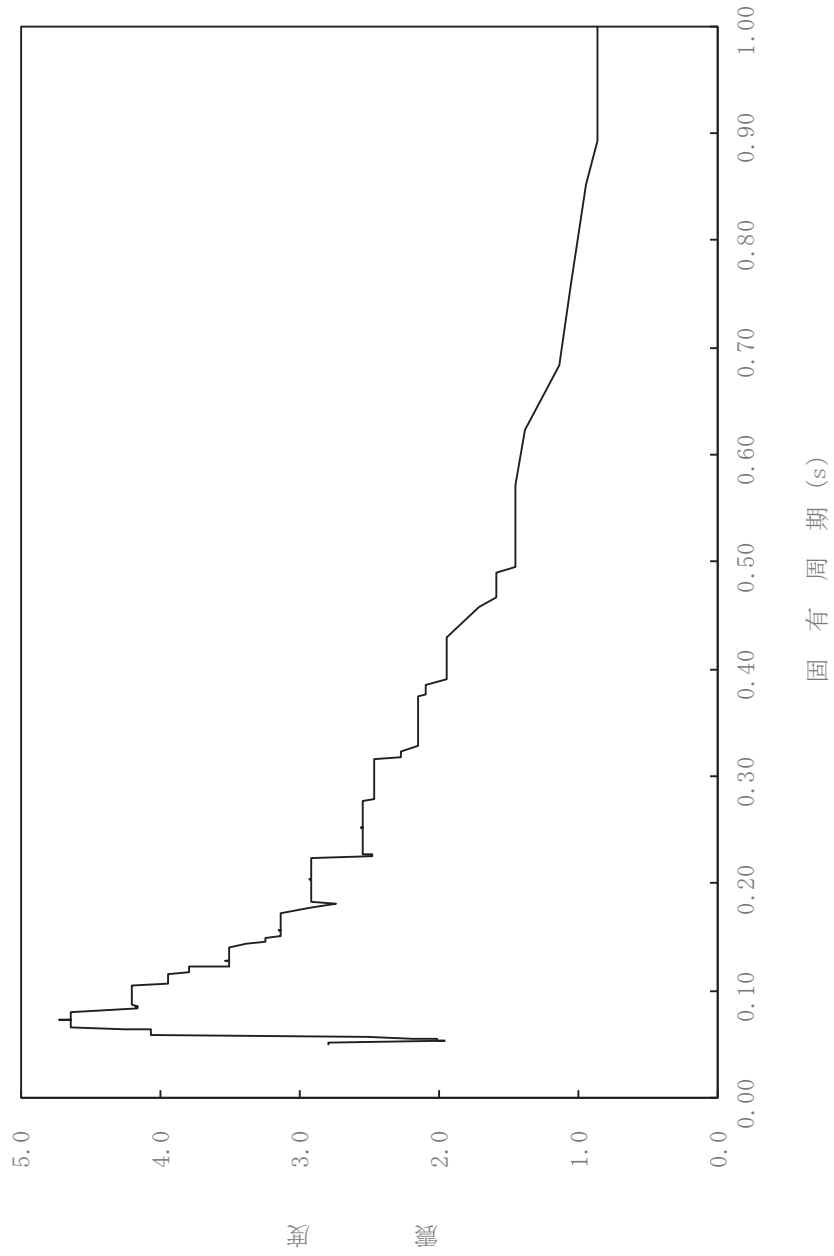


図 4-6 評価に用いる設計用床応答曲線 (鉛直)

4.1.2 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性及び適用限界を考慮の上，適切な解析法を選定するとともに，解析条件として考慮すべき減衰定数，剛性等，各種物性値は，適切な規格・基準，あるいは実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては，形状，構造特性等を考慮して，代表的な振動モードを適切に表現できるよう 1 質点系，多質点系モデル等に置換し，定式化された評価式を用いた解析法（一般機器等）又は，設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法により応答を求める。

剛性の高い機器は，その機器の設置床面の設計用最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度として作用させて地震力を算出する。

配管系については，多質点系モデルに置換し，設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法により応答を求める。

なお，動的解析に用いる地震力は材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

(1) 解析方法

- ・ 定式化された評価式を用いた解析法（一般機器等）
- ・ スペクトルモーダル解析法

(2) 解析モデル

代表的な機器・配管系の解析モデルを以下に示す。耐震評価に用いる寸法は，公称値を使用する。

a. 一般機器

ポンプ，熱交換器等の一般の機器は，機器本体及び支持構造物の剛性をそれぞれ考慮し，原則として重心位置に質量を集中させた 1 質点系にモデル化する。

b. 配管

配管は 3 次元多質点はりモデルに置換する。

4.1.3 設計用減衰定数

地震応答解析に用いる減衰係数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に設定している、「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）」に記載されている減衰定数又は試験等で妥当性が確認された値を用いる。具体的には表 4-2 に示す値を用いる。

表 4-2 減衰定数

(1) 機器・配管系

対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0 ^{*1}
ボルト及びリベット構造物	2.0	2.0 ^{*1}
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	1.0 ^{*1}
配管系	0.5~3.0 ^{*2, *3}	0.5~3.0 ^{*1, *2, *3}

注記 *1：既往の研究等において、設備の地震入力方向の依存性や減衰特性について検討され妥当性が確認された値。

*2：既往の研究等において、試験及び解析等により妥当性が確認されている値。

*3：具体的な適用条件を「(2) 配管系の設計用減衰定数」に示す。

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」

(2) 配管系の減衰定数

配管区分		減衰定数 ^{*1} (%)	
		保温材無	保温材有 ^{*2}
I	スナッパ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、支持具（スナッパ又は架構レストレイント）の数が4個以上 ^{*4} のもの	2.0	3.0 ^{*3}
II	スナッパ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、その支持具（アンカ及びUボルトを除く）数が4個以上 ^{*4} であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	2.0 ^{*3}
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上 ^{*4} のもの	2.0 ^{*3}	3.0 ^{*3}
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	1.5 ^{*3}

注記 *1：水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用。

*2：金属保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用するが、金属保温材使用割合が40%を超える場合は0.5%とする。

*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）」で規定されている配管系の設計用減衰定数に、既往の研究等において妥当性が確認された値を反映。

*4：支持具の種類及び数は、アンカからアンカまでの独立した振動系について算定する。

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」

4.2 耐震評価

耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示した地震応答解析により発生応力を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界内にあることを確認する。評価手法は、定式化された評価式を用いた解析法又はスペクトルモーダル解析法により、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」に基づき実施することを基本とする。

4.2.1 耐震評価方法

添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」、添付書類「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」、添付書類「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」、添付書類「VI-2-別添 2-6 逆流防止装置の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」の評価方法について示す。

(1) 耐震 B, C クラス機器

評価対象の耐震 B, C クラス機器については、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、添付書類「VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、添付書類「VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」、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」、添付書類「VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」、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」にて示す評価方法及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」に準拠した、評価方法により評価を行う。

なお、評価式が示されない機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」に準拠した評価方法及び機械工学便覧に示される一般式を用いた評価を行う。

(2) 逆流防止装置

評価対象の逆流防止装置については、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」に準拠した、評価方法により評価を行う。

(3) 漏えい検出器

評価対象の漏えい検出器については、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」にて示す評価方法に基づき評価する。

(4) 復水器水室出入口弁及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

評価対象の復水器水室出入口弁及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁については、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」にて示す評価方法に基づき評価する。

4.3 機能維持評価

耐震 B, C クラス機器の溢水防護設計上の構造強度に係る機能維持の方針は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」を準用する。

溢水防護に係る施設の溢水防護設計上の構造強度に係る機能維持の動的機能の維持、電氣的機能の維持及び止水性の維持に係る耐震計算の方針は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」及び「4.1 動的機器の機能維持」及び「4.2 電氣的機能維持」を準用する。

4.3.1 動的機能の維持

地震後に動的機能が要求される機器については、添付書類「VI-1-1-8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうち添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」にて設定している設備ごとの耐震設計上の性能目標を踏まえ、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した機能維持評価用加速度が、機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1) 復水器水室出入口弁

復水器水室出入口弁は、地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対して、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には、同型式の弁の加振試験において、動的機能の健全性を確認した弁の加速度を適用する。

(2) タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対して、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には、同型式の弁の加振試験において、動的機能の健全性を確認した弁の加速度を適用する。

4.3.2 電氣的機能の維持

地震後に電氣的機能が要求される機器については、添付書類「VI-1-1-8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうち添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」にて設定している設備ごとの耐震設計上の性能目標を踏まえ、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した評価用加速度が、機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1) 漏えい検出器

漏えい検出器は、地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対して、設計用最大応答加速度から求めた評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には、同型式の検出器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検出器の加速度を適用する。

4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮

耐震 B, C クラス機器及び溢水防護に係る施設については, 基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認している。

今回, 新たに水平 2 方向及び鉛直方向の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから, これら設備についても水平 2 方向及び鉛直方向の組合せによる影響を評価する。

影響評価については, 添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

5. 適用基準

適用する規格, 指針等を以下に示す。

- (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
- (5) 日本機械学会 機械工学便覧
- (6) 日本産業規格 (J I S)

VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	1
2.4 適用基準	2
3. 評価部位	2
4. 地震応答解析及び構造強度評価	2
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	2
4.1.1 地震応答解析方法	2
4.1.2 構造強度評価方法	6
4.2 荷重及び荷重の組合せ	6
4.2.1 荷重の種類	6
4.2.2 荷重の組合せ	6
4.3 許容限界	8
4.4 計算方法	16
4.5 計算条件	17
5. 評価結果	23

1. 概要

本資料は、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」の「2. 耐震評価の基本方針」に基づき、溢水源となり得る流体を内包する機器のうち溢水源として設定しない機器（以下「耐震 B, C クラス機器」という。）が、基準地震動 S_s による地震力に対して、十分な耐震性を有す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。

耐震 B, C クラス機器は設計基準対象施設においては B クラス施設又は 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を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

耐震 B, C クラス機器は、原子炉建屋、制御建屋、海水ポンプ室及び復水貯蔵タンクエリアに設置する。各機器の具体的な据付場所及び床面高さは、表 4-1 に示し、据付場所及び床面高さに応じた評価を行う。

2.2 構造計画

耐震 B, C クラス機器のうち熱交換器等（以下「容器類」という。）、ポンプ（以下「ポンプ類」という。）、配管、弁及び支持構造物の構造は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」を適用できる構造である。

2.3 評価方針

耐震 B, C クラス機器の応力評価は、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」の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.2 許容限界」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、耐震 B, C クラス機器の評価部位に作用する応力が許容限界内にあることを、本資料の「4. 地震応答解析及び構造強度評価」に示す方法により計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

耐震 B, C クラス機器の容器類、ポンプ類、配管、弁及び支持構造物については、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」にて示している構造と同様であることから、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器、許容応力状態 $IV_A S$ の荷重の組合せを踏まえて、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等の評価式及び解析方法を用いて評価する。

2.4 適用基準

適用する規格，指針等を以下に示す。

- (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
- (5) 日本機械学会 機械工学便覧
- (6) 日本産業規格（J I S）

3. 評価部位

耐震 B, C クラス機器の評価部位は，容器類及びポンプ類については，添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等により，胴板，脚，及びボルト等の評価部位とする。

配管，弁及び支持構造物については，添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書の作成の方法」により配管，弁及び支持構造物を評価部位とする。

評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

4.1.1 地震応答解析方法

基準地震動 S_s による設計用地震力は，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。

耐震 B, C クラス機器の地震応答解析は，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」の「4.1 地震応答解析」にて設定している評価方針に従い実施する。

表 4-1 に耐震 B, C クラス容器類及びポンプ類の設計震度を示す。

表 4-1 耐震 B, C クラス容器類及びポンプ類の設計震度 (1/3)

区分	評価対象設備	据付場所	床面高さ O.P. (m)	設計震度		固有周期 (s)	
				水平 方向	鉛直 方向	水平 方向	鉛直 方向
容器	PLR ポンプシールパージ系ろ過器	原子炉建屋	-0.80 ^{*1} (0.10)	1.37	0.91		
	PLR ポンプシールパージ系ろ過器 (フィルタユニット)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	CRD サクションフィルタ (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	制御棒駆動水フィルタ (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	CRD スクラム排出容器 (A) (B)	原子炉建屋	6.00	解析値	解析値		
	制御棒駆動水ポンプ用オイルクー ラー (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	ほう酸水注入系テストタンク	原子炉建屋	22.50	2.12	1.56		
	CUW 再生熱交換器	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	CUW 非再生熱交換器 (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	CUW プリコートタンク	原子炉建屋	6.00 ^{*1} (6.50)	1.60	1.11		
	CUW ろ過脱塩器 (A) (B)	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	FPC プリコートタンク	原子炉建屋	15.00 ^{*1} (15.50)	1.98	1.39		
	燃料プール冷却浄化系ろ過脱塩器 (A) (B)	原子炉建屋	22.50	2.12	1.56		
	R/A LCW サンプ冷却器	原子炉建屋	-8.10	0.99	0.69		
	HNCW サージタンク	原子炉建屋	36.30 ^{*1} (41.20)	3.43	1.89		
	R/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F)	原子炉建屋	24.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77		
	T/B 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I)	原子炉建屋	24.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77		
	送風機室空調機 (A) (B)	原子炉建屋	24.80 ^{*1} (33.20)	2.65 ^{*2}	1.77		
	RW/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C)	原子炉建屋	24.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77		
	燃料交換機制御室空調機	原子炉建屋	33.20 ^{*1} (41.20)	3.43	1.89		
	R/A MS トンネル室空調機 (A) (B)	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	CRD ポンプ室空調機	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	PLR 電源装置室空調機	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	IA・SA 圧縮機室空調機	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	常用電気品室給気冷却加熱コイル (A) (B)	制御建屋	1.50	1.35	0.79		
	入退域エリア (クリーン) 空調機	制御建屋	15.00	2.25 ^{*2}	1.39		
燃料交換床給気加熱コイル (A) (B)	原子炉建屋	27.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77			
燃料交換機制御室給気加熱コイル	原子炉建屋	27.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77			

表 4-1 耐震 B, C クラス容器類及びポンプ類の設計震度 (2/3)

区分	評価対象設備	据付場所	床面高さ O.P. (m)	設計震度		固有周期 (s)	
				水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
容器	原子炉補機 (A) (B) 室給気加熱コイル	原子炉建屋	24.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77		
	原子炉補機 (HPCS) 室給気加熱コイル (A) (B)	原子炉建屋	24.80 ^{*1} (33.20)	2.65	1.77		
	CRD 水圧制御ユニット (A) (B) エリア給気加熱コイル	原子炉建屋	6.00 ^{*1} (15.00)	1.97	1.37		
	計測制御電源 (A) (B) 室給気加熱コイル	制御建屋	1.50	1.35	0.79		
	中央制御室給気加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H)	制御建屋	1.50	1.35	0.79		
	PLR-VVVF 冷却器 (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	IA 後部冷却器 (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	解析値	解析値		
	SA 後部冷却器 (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	解析値	解析値		
	所内温水系温水熱交換器 (A) (B)	原子炉建屋	15.00	6.18 ^{*3}	1.37		
	所内温水系バックアップ熱交換器	原子炉建屋	15.00 ^{*1} (15.80)	1.99	1.39		
	所内温水系サージタンク	原子炉建屋	33.20	2.65	1.77		
	DG 燃料油ドレンユニット	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	HPCSDG 燃料油ドレンユニット	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	DG 燃料油ドレンタンク (A) (B)	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	HPCSDG 燃料油ドレンタンク	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	HPCSDG 潤滑油補給タンク	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	RW 制御室 HVAC 冷水供給設備膨張タンク	原子炉建屋	15.00 ^{*1} (22.50)	2.12	1.56		
	RW 制御室 給気加熱コイル	原子炉建屋	15.00 ^{*1} (22.50)	2.12	1.56		
RW 制御室 給気冷却コイル	原子炉建屋	15.00 ^{*1} (22.50)	2.12	1.56			
ポンプ類	制御棒駆動水ポンプ (A) (B)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	原子炉冷却材浄化系ポンプ (A) (B) (冷却器を含む)	原子炉建屋	-8.10 ^{*1} (-6.60)	1.07	0.73		
	CUW プリコートポンプ	原子炉建屋	6.00	1.57	1.09		
	原子炉冷却材浄化系保持ポンプ (A) (B)	原子炉建屋	6.00	1.57	1.09		
	燃料プール冷却浄化系プリコートポンプ	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	燃料プール冷却浄化系保持ポンプ (A) (B)	原子炉建屋	22.50	2.12	1.56		
	燃料プール補給水系ポンプ (軸受冷却器を含む)	原子炉建屋	-8.10	0.99	0.69		
	タービン補機冷却海水ポンプ (A) (B) (C)	海水ポンプ室	3.00	解析値	1.94		
	IA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		

表 4-1 耐震 B, C クラス容器類及びポンプ類の設計震度 (3/3)

区分	評価対象設備	据付場所	床面高さ O. P. (m)	設計震度		固有周期(s)	
				水平 方向	鉛直 方向	水平 方向	鉛直 方向
ポン プ 類	SA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	原子炉建屋	-0.80	1.34	0.88		
	所内温水系ポンプ (A) (B)	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	DG 燃料油ドレンポンプ (A) (B)	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	HPCSDG 潤滑油補給ポンプ	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	HPCSDG 燃料油ドレンポンプ	原子炉建屋	15.00	1.97	1.37		
	循環水ポンプ (A)	海水ポンプ室	0.20	解析値	2.02		
	循環水ポンプ (B)	海水ポンプ室	0.20	解析値	2.02		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：本設備は水平方向が柔構造であるが、スペクトルモーダル解析による動解析に加え、設置高さにおける最大応答加速度より定めた震度による静解析も実施し、静解析の方が厳しい結果であったことから、設置高さにおける最大応答加速度より定めた震度を示す。

*3：本設備は水平方向が柔構造であることから、設置高さである原子炉建屋 1F (O. P. 15.00m) の応答スペクトルを使用し、設計震度を定める。

*4：入退域エリア (クリーン) 空調機と同形状の設備であることから、設計震度の大きい入退域エリア (クリーン) 空調機を代表として耐震評価を実施する。

*5：送風機室空調機と同形状の設備であることから、設計震度の大きい送風機室空調機を代表として耐震評価を実施する。

4.1.2 構造強度評価方法

耐震 B, C クラス機器の応力評価は、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」の「4.2 耐震評価」にて設定している評価方針を踏まえ、応力評価を実施する。

耐震 B, C クラス機器の応力評価は、本資料の「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「4.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、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」の「3.1 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用いる。

4.2.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (D)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

(2) 内圧荷重 (P_D)

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(3) 機械的荷重 (M_D)

当該設備に設計上定められた機械的荷重

(4) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

4.2.2 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せは、各機器の評価部位ごとに設定する。荷重の組合せを表 4-2, 表 4-3 及び表 4-4 に示す。なお、ポンプ類の評価部位はボルトのみのため、ポンプ類の荷重の組合せは表 4-4 による。

表 4-2 容器類の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	$D + P_D + M_D + S_s$	胴板

表 4-3 配管の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	$D + P_D + M_D + S_s$	配管, 弁

表 4-4 支持構造物の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	$D + P_D + M_D + S_s$	脚, 支持構造物, ボルト等

4.3 許容限界

耐震 B, C クラスの機器の評価の許容限界は、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」の「3.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、本資料の「3. 評価部位」にて設定している評価部位ごとに、許容応力状態Ⅳ_AS の許容応力を用いる。

各機器の評価部位ごとの許容限界を表 4-5、表 4-6 及び表 4-7 に、使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表 4-8 に示す。

表 4-5 容器類の許容限界

区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界* ¹			
				一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
容器類	B, C	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	* ² S _s 地震動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。但し、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 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: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-6 配管の許容限界

区分	耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界			
				一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+ 二次応力	一次+二次+ ピーク応力
配管	B, C	$D + P_D$ $+ M_D +$ S_s	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u^{*1}$	左欄の 1.5 倍 の値	*2 S_s 地震動のみによる 疲労解析を行い、疲労累 積係数が 1.0 以下である こと。但し、地震動のみ による一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であ れば、疲労解析は不要。	

注記*1：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態 $III_A S$ の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*2: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3536(1), (2), (4) 及び(5) (ただし, S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-7 支持構造物の許容限界

耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)										許容限界 ^{*2, *4} (ボルト等)	形式試験に よる場合		
			一次応力					一次+二次応力							一次応力	
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈 ^{*5}			引張	せん断
B, C	D + P _D + M _D + S _S	IV _A S	1.5・ f _t *	1.5・ f _s *	1.5・ f _c *	1.5・ f _b *	1.5・ f _p *	1.5・ f _p *	3・f _t 3・f _s (S _s 地震動のみによる応力 振幅について評価する。)	1.5・ f _p *	1.5・ 1.5・f _b , 1.5・f _s 又 は 1.5・f _c	1.5・ f _t *	1.5・ f _s *	T _L ・0.6 $\frac{S_{y d}}{S_{y t}}$	許容荷重	

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：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。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，Ⅲ_AS の許容応力を一次引張応力に対しては f_t，一次せん断応力に対しては f_sとして，
また IV_AS → Ⅲ_AS として応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5・f_sとする。

*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_bとする。

*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表 4-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件(1/5)

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
PLR ポンプシールパージ系ろ過器	胴板	SUSF304	66	188	479
	ラグ	SUS304	66	188	479
	基礎ボルト	SUS304	50	198	504
PLR ポンプシールパージ系ろ過器 (フィルタユニット)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
CRD サクションフィルタ (A) (B)	胴板	SUS304	66	188	479
	スカート	SUS304	50	198	504
	基礎ボルト	SS400	50	211	394
制御棒駆動水フィルタ (A) (B)	胴板	SUS304TP	66	188	479
	スカート	SUS304TP	50	198	504
	基礎ボルト	SS400	50	211	394
CRD スクラム排出容器 (A) (B)	容器	STS410	138	215	404
	サポート	STKR400	50	234	394
制御棒駆動水ポンプ用オイルクーラー (A) (B)	取付ボルト	SS400	50	211	394
ほう酸水注入系テストタンク	胴板	SUS304	66	188	479
	脚	SUS304	50	198	504
	基礎ボルト	SS400	50	211	394
CUW 再生熱交換器	胴板	SGV480	302	198	419
	脚	SS400	302	169	373
	脚締付ボルト	SS400	50	231	394
	架台	STKR400	50	234	394
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
CUW 非再生熱交換器 (A) (B)	胴板	SGV410	85	205	374
	脚	SS400	50	241	394
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
CUW プリコートタンク	胴板	SM400A	66	234	385
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
CUW ろ過脱塩器 (A) (B)	胴板	SB410	66	212	400
	スカート	SS400	50	231	394
	基礎ボルト	SS400	50	231	394

表 4-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件 (2/5)

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
FPC プリコートタンク	胴板	SM400A	66	234	385
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
燃料プール冷却浄化系ろ過脱塩器 (A) (B)	胴板	SUS304	66	188	479
	スカート	SUS304	50	198	504
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
R/A LCW サンプ冷却器	胴板	STS410	70	229	407
	脚	SS400	50	241	394
	基礎ボルト	SS400	50	241	394
HNCW サージタンク	胴板	SS400	66	234	385
	脚	SS400	66	234	385
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
R/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F)	取付ボルト	SS400	85	199	377
T/B 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I)	取付ボルト	SS400	85	199	377
送風機室空調機 (A) (B)	基礎ボルト	SS400	50	231	394
RW/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C)	取付ボルト	SS400	85	199	377
燃料交換機制御室空調機	基礎ボルト	SS400	50	231	394
R/A MS トンネル室空調機 (A) (B)	基礎ボルト	SS400	50	231	394
CRD ポンプ室空調機	基礎ボルト	SS400	50	231	394
PLR 電源装置室空調機	基礎ボルト	SS400	50	231	394
IA・SA 圧縮機室空調機	基礎ボルト	SS400	50	231	394
常用電気品室給気冷却加熱コイル (A) (B)	取付ボルト	SS400	85	199	377
入退域エリア (クリーン) 空調機	基礎ボルト	SS400	50	231	394
燃料交換床給気加熱コイル (A) (B)	取付ボルト	SS400	85	199	377
燃料交換機制御室給気加熱コイル	取付ボルト	SS400	85	199	377
原子炉補機 (A) (B) 室給気加熱コイル	取付ボルト	SS400	85	199	377
原子炉補機 (HPCS) 室給気加熱コイル (A) (B)	取付ボルト	SS400	85	199	377
CRD 水圧制御ユニット (A) (B) エリア 給気加熱コイル	取付ボルト	SS400	85	199	377

表 4-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件(3/5)

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
計測制御電源(A)(B)室給気加熱コイル	取付ボルト	SS400	85	199	377
中央制御室給気加熱コイル (A)(B)(C)(D)(E)(F)(G)(H)	取付ボルト	SS400	85	199	377
PLR-VVVF 冷却器(A)(B)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
IA 後部冷却器(A)(B)	胴板	STS410	70	229	407
SA 後部冷却器(A)(B)	胴板	STS410	70	229	407
所内温水系温水熱交換器(A)(B)	フレーム	SB410	85	205	394
	基礎ボルト	SNB7	50	512	671
	ベースプレート	SS400	85	218	377
所内温水系バックアップ熱交換器	胴板	SM400B	188	196	373
	脚	SS400	50	241	394
	基礎ボルト	SS400	50	211	394
所内温水系サージタンク	胴板	SM400B	85	227	377
	基礎ボルト	SS400	50	211	394
DG 燃料油ドレンユニット	基礎ボルト	SS400	50	231	394
HPCSDG 燃料油ドレンユニット	基礎ボルト	SS400	50	231	394
DG 燃料油ドレンタンク(A)(B)	胴板	SS400	50	241	394
	取付ボルト	SNB7	50	715	838
HPCSDG 燃料油ドレンタンク	胴板	SS400	50	241	394
	取付ボルト	SNB7	50	715	838
HPCSDG 潤滑油補給タンク	胴板	SS400	50	241	394
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
RW 制御室 HVAC 冷水供給設備膨張タンク	胴板	SUS304	50	198	504
	脚	STKR400	50	234	394
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
RW 制御室 給気加熱コイル	取付ボルト	SS400	85	199	377
RW 制御室 給気冷却コイル	取付ボルト	SS400	66	206	385
制御棒駆動水ポンプ(A)(B)	基礎ボルト	SS400	50	231	394
原子炉冷却材浄化系ポンプ(A)(B) (冷却器を含む)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	66	206	385

表 4-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件 (4/5)

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
CUW プリコートポンプ	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	50	211	394
	原動機取付ボルト	SS400	50	211	394
原子炉冷却材浄化系保持ポンプ (A) (B)	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	50	211	394
燃料プール冷却浄化系プリコートポンプ	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	50	211	394
	原動機取付ボルト	SS400	50	211	394
燃料プール冷却浄化系保持ポンプ (A) (B)	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	50	211	394
燃料プール補給水系ポンプ (軸受冷却器を含む)	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	66	225	385
	原動機取付ボルト	SS400	50	231	394
タービン補機冷却海水ポンプ (A) (B) (C)	基礎ボルト	SCM435	50	764	906
	ポンプ取付ボルト	SCM435	50	764	906
	原動機台取付ボルト	SCM435	50	764	906
	原動機取付ボルト	SUS304	50	198	504
IA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	空気圧縮機 取付ボルト	SS400	50	211	394
	基礎ボルト	S45C	50	339	556
SA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	空気圧縮機 取付ボルト	SS400	50	211	394
	基礎ボルト	S45C	50	339	556
所内温水系ポンプ (A) (B)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
	ポンプ取付ボルト	SS400	85	199	377
	原動機取付ボルト	SS400	50	211	394
DG 燃料油ドレンポンプ (A) (B)	取付ボルト	SNB7	50	715	838
	ポンプ取付ボルト	SS400	50	231	394
	原動機取付ボルト	SS400	50	231	394
HPCSDG 潤滑油補給ポンプ	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト	SNB7	85	683	774
	原動機取付ボルト	SNB7	50	715	838

表 4-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件 (5/5)

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
HPCSDG 燃料油ドレンポンプ	取付ボルト	SNB7	50	715	838
	ポンプ取付ボルト	SS400	50	231	394
	原動機取付ボルト	SS400	50	231	394
循環水ポンプ (A)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
	ポンプ取付ボルト	SNCM630	50	873	1061
	吐出エルボ 取付ボルト	SNCM630	50	873	1061
	吐出配管ボルト	SS400	50	211	394
循環水ポンプ (B)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
	ポンプ取付ボルト	SNCM630	50	873	1061
	吐出エルボ 取付ボルト	SNCM630	50	873	1061
	吐出配管ボルト	SCM435	50	764	906
	ベース架台 取付ボルト	SNCM630	50	873	1061

4.4 計算方法

- (1) 溢水防護として要求する機能を踏まえ、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」の「3.2 許容限界」より、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性が確保され溢水に至らないことを確認するために、許容応力状態 $IV_A S$ で、許容限界を満足することを確認する。なお、配管については、地震起因による耐震 B, C クラス配管から溢水が発生する損傷モードを考慮し、既往の試験や研究等の知見を踏まえ、疲労に着目した評価手法及び評価基準値を適用し、配管のバウダリ機能が確保されることを確認する。また、支持装置については、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」に基づき、使用される支持装置の定格荷重以下となることを確認する。
- (2) 減衰定数については、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」の「4.1.3 設計用減衰定数」に示す値を適用する。
- (3) 評価に用いる解析コード及びその適用機器並びに使用目的を以下に記す。

耐震 B, C クラス機器の容器類及びポンプ類の固有値解析及び応力評価に用いる「SAP-IV」及び「MSC NASTRAN」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。配管、弁及び支持構造物の固有値解析等に用いる「ISAP」,「SAP-V」,「NX NASTRAN」,「SOLVER」,「AutoPIPE」,「NAPF」及び「MSAP（配管）」の検証及び妥当性の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。

応力評価は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等の評価方法により評価を行う。

4.5 計算条件

三次元はりモデル解析により応力計算を行った配管について、解析モデル図を図 4-1 に示し、配管諸元の一覧表を表 4-9 に示す。なお、図 4-1 及び表 4-9 は、表 5-2 で評価結果を示す換気空調補機常用冷却水系を代表で示す。

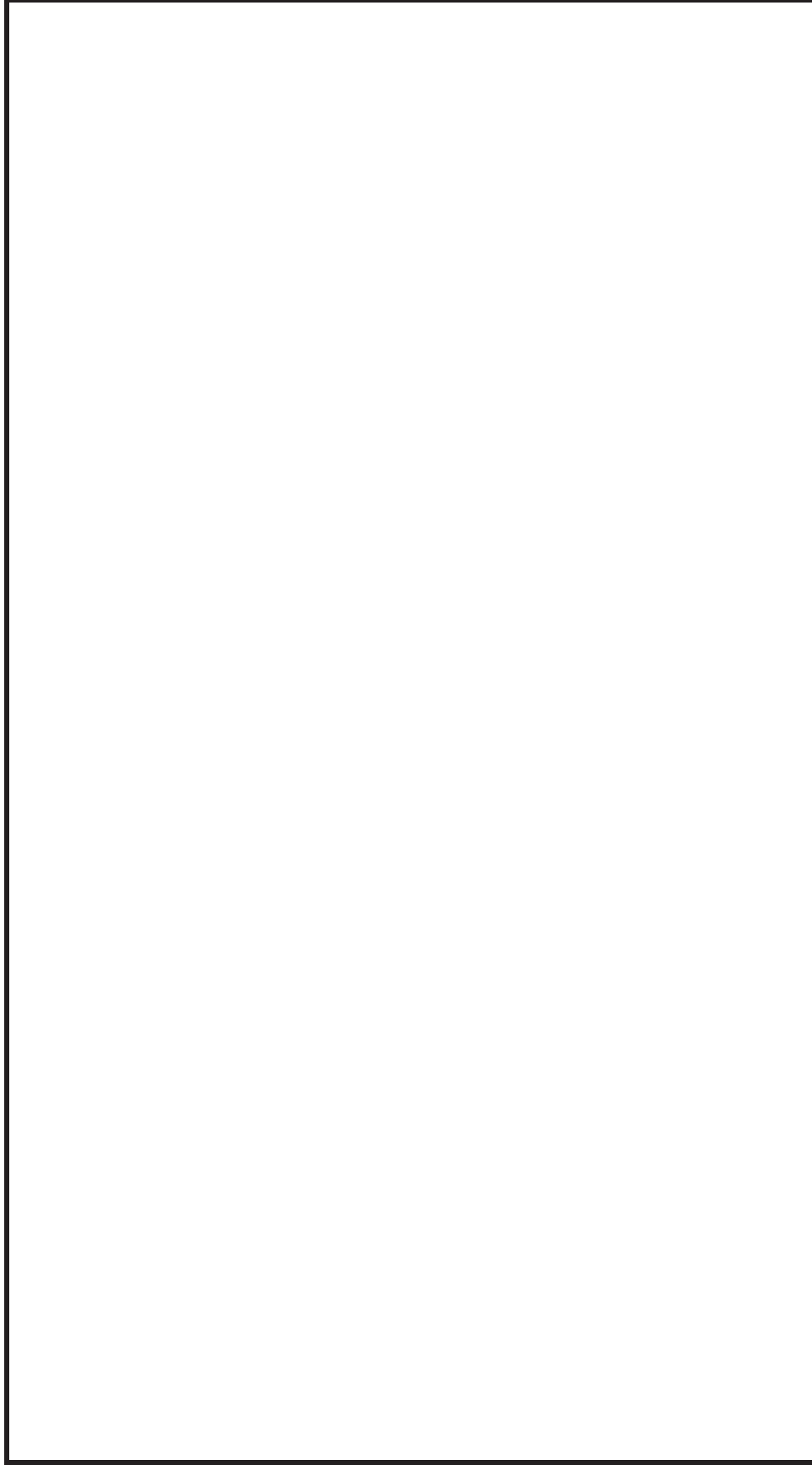


図 4-1 解析モデル図 (1/5)

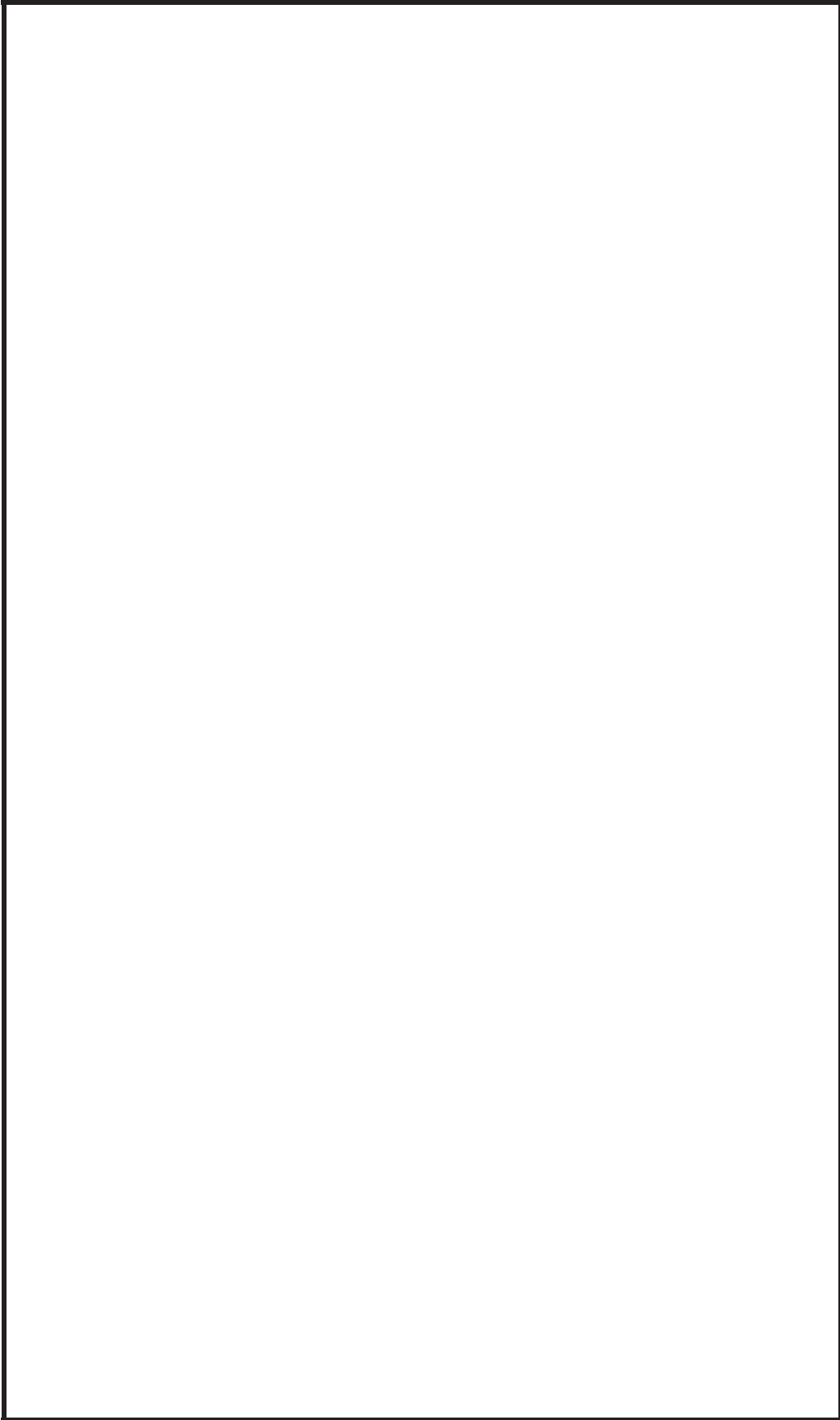


図 4-1 解析モデル図 (2/5)

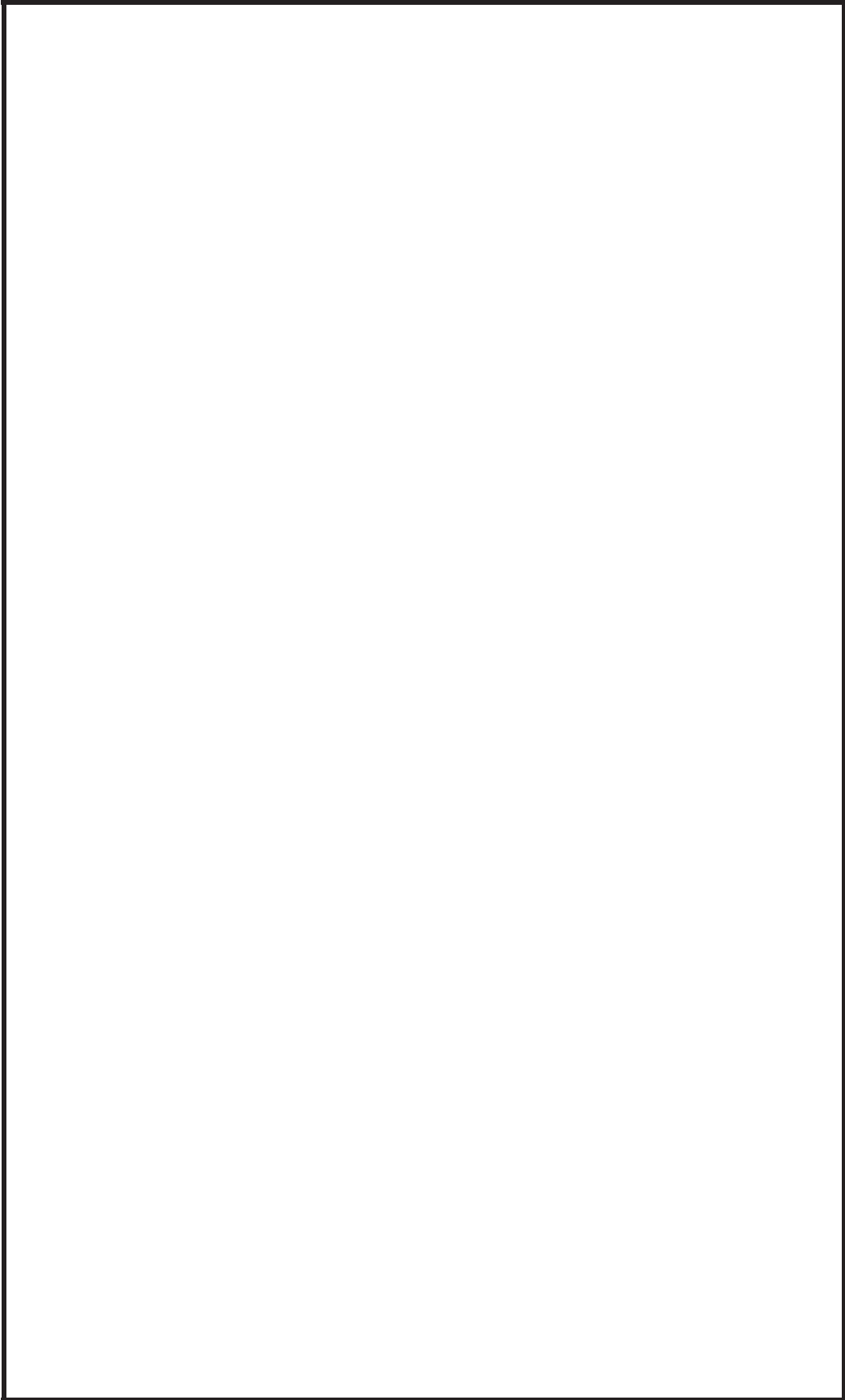


図 4-1 解析モデル図 (3/5)

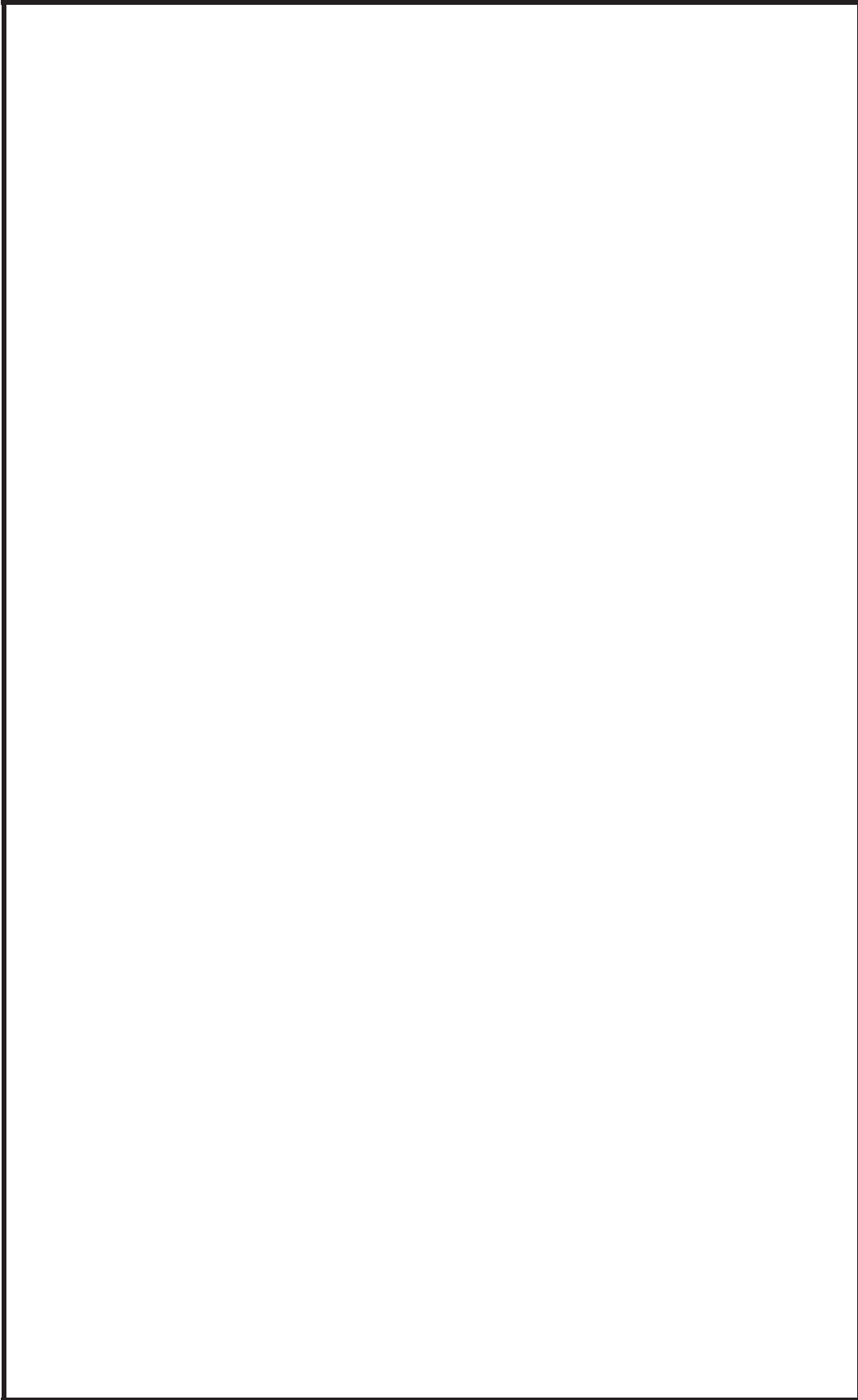


図 4-1 解析モデル図 (4/5)

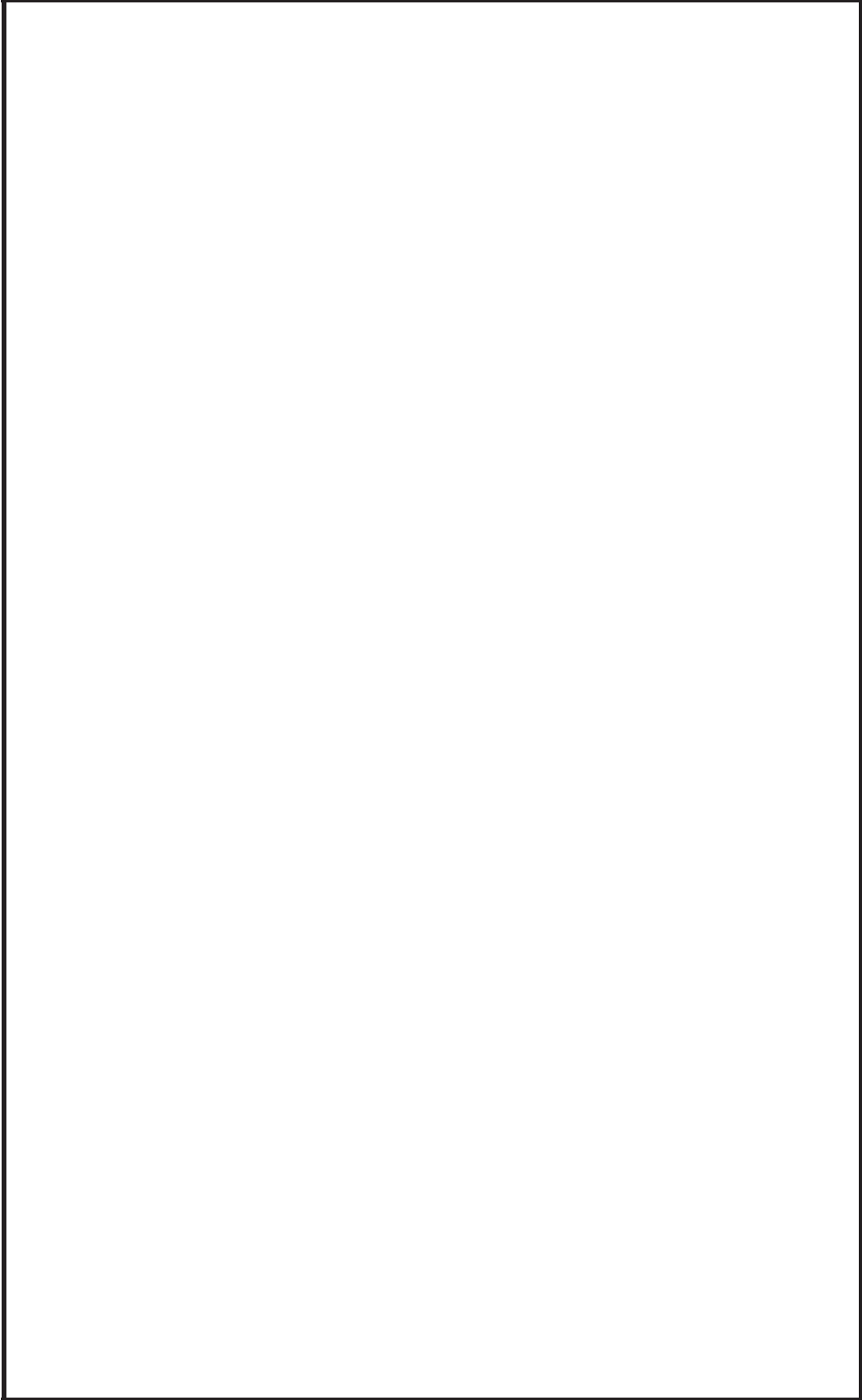


図 4-1 解析モデル図 (5/5)

表 4-9 配管諸元

鳥瞰図 HNCW-20018

管名称	対応する評価点	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	1~18	1.27	85	165.2	7.1	STPG370	C	199200
2	18~32	1.27	85	114.3	6.0	STPG370	C	199200
3	32~52 30, 103~115 16, 166~178	1.27	85	89.1	5.5	STPG370	C	199200
4	52~58, 70~72 85~87, 100~102 115~121, 133~135 148~150, 163~165 178~184, 196~198 210~213, 226~228	1.27	85	76.3	5.2	STPG370	C	199200
5	58~65, 67~70 56, 73~78, 80~85 50, 88~93, 95~100 121~128, 130~133 119, 136~141 143~148 113, 151~156 158~163, 184~191 193~196 182, 199~204 206~210 176, 214~219 221~226	1.27	85	60.5	5.5	STPG370	C	199200

5. 評価結果

表 5-1 及び表 5-2 に示すとおり、耐震 B、C クラス機器が基準地震動 S_s による地震力に対し、耐震性を有することを確認した。なお、表 5-1 及び表 5-2 においては、算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

表 5-1 基準地震動 S_s に対する容器類及びポンプ類の応力評価結果 (1/6)

区分	評価対象設備	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類	PLR ポンプシールパージ系ろ過器	B	原子炉建屋	-0.80* (0.10)	胴板	一次一般膜	95	287
	PLR ポンプシールパージ系ろ過器 (フィルタユニット)	B	原子炉建屋	-0.80	基礎ボルト	引張	39	190
	CRD サクシヨンプイルタ (A) (B)	B	原子炉建屋	-0.80	基礎ボルト	引張	55	190
	制御棒駆動水フィルタ (A) (B)	B	原子炉建屋	-0.80	胴板	一次一般膜	94	287
	CRD スクラム排出容器 (A) (B)	B	原子炉建屋	6.00	容器	一次+二次	363	430
	制御棒駆動水ポンプ用オイルクーラー (A) (B)	C	原子炉建屋	-0.80	取付ボルト	せん断	2	146
	ほう酸水注入系ステータタンク	C	原子炉建屋	22.50	脚	組合せ	90	205
	CUW 再生熱交換器	B	原子炉建屋	-0.80	胴板	一次+二次	252	396
	CUW 非再生熱交換器 (A) (B)	B	原子炉建屋	-0.80	胴板	一次+二次	338	410
	CUW プリコートタンク	B	原子炉建屋	6.00* (6.50)	基礎ボルト	引張	41	207
	CUW ろ過脱塩器 (A) (B)	B	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	せん断	92	159
	FPC プリコートタンク	B	原子炉建屋	15.00* (15.50)	基礎ボルト	引張	54	207

注記*：基準床レベルを示す。

表 5-1 基準地震動 S s に対する容器類及びポンプ類の応力評価結果 (2/6)

区分	評価対象設備	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類	燃料プール冷却浄化系ろ過脱塩器 (A) (B)	B	原子炉建屋	22.50	スカート	組合せ	66	205
	R/A LCW サンプ冷却器	B	原子炉建屋	-8.10	胴板	一次 + 二次	88	459
	HNCW サージタンク	C	原子炉建屋	36.30* ¹ (41.20)	基礎ボルト	引張	127	207
	R/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F)	C	原子炉建屋	24.80* ¹ (33.20)	取付ボルト	引張	18	179
	T/B 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I)	C	原子炉建屋	24.80* ¹ (33.20)	取付ボルト	せん断	11	138
	送風機室空調機 (A) (B)	C	原子炉建屋	24.80* ¹ (33.20)	基礎ボルト	引張	73	207
	RW/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) * ²	C	原子炉建屋	24.80* ¹ (33.20)	-	-	-	-
	燃料交換機制御室空調機	C	原子炉建屋	33.20* ¹ (41.20)	基礎ボルト	引張	139	207
	R/A MS トンネル室空調機 (A) (B) * ³	C	原子炉建屋	15.00	-	-	-	-
	CRD ポンプ室空調機 * ⁴	C	原子炉建屋	-0.80	-	-	-	-

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：T/B 給気冷却加熱コイルと同形状の設備であることから，機器重量が大きい T/B 給気冷却加熱コイルを代表として耐震評価を実施する。

*3：入退域エリア（クリーン）空調機と同形状の設備であることから，設計震度の大きい入退域エリア（クリーン）空調機を代表として耐震評価を実施する。

*4：送風機室空調機と同形状の設備であることから，設計震度の大きい送風機室空調機を代表として耐震評価を実施する。

表 5-1 基準地震動 S s に対する容器類及びポンプ類の応力評価結果(3/6)

区分	評価対象設備	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類	PLR 電源装置室空調機*2	C	原子炉建屋	-0.80	-	-	-	-
	IA・SA 圧縮機室空調機*3	C	原子炉建屋	-0.80	-	-	-	-
	常用電気品室給気冷却加熱コイル(A)(B)*4	C	制御建屋	1.50	-	-	-	-
	入退域エリア(クリーン)空調機	C	制御建屋	15.00	基礎ボルト	引張	101	202
	燃料交換床給気加熱コイル(A)(B)	C	原子炉建屋	27.80*1 (33.20)	取付ボルト	せん断	7	138
	燃料交換機制御室給気加熱コイル	C	原子炉建屋	27.80*1 (33.20)	取付ボルト	引張	5	179
	原子炉補機(A)(B)室給気加熱コイル	C	原子炉建屋	24.80*1 (33.20)	取付ボルト	引張	7	179
	原子炉補機(HPCS)室給気加熱コイル(A)(B)	C	原子炉建屋	24.80*1 (33.20)	取付ボルト	引張	11	179
	CRD水圧制御ユニット(A)(B)エリア給気加熱コイル	C	原子炉建屋	6.00*1 (15.00)	取付ボルト	引張	5	179
	計測制御電源(A)(B)室給気加熱コイル	C	制御建屋	1.50	取付ボルト	引張	4	179
	中央制御室給気加熱コイル(A)(B)(C)(D)(E)(F)(G)(H)*4	C	制御建屋	1.50	-	-	-	-

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：入退域エリア(クリーン)空調機と同形状の設備であることから、設計震度の大きい入退域エリア(クリーン)空調機を代表として耐震評価を実施する。

*3：送風機室空調機と同形状の設備であることから、設計震度の大きい送風機室空調機を代表として耐震評価を実施する。

*4：計測制御電源(A)(B)室給気加熱コイルと同形状の設備であることから、機器重量が大きい計測制御電源(A)(B)室給気加熱コイルを代表として耐震評価を実施する。

表 5-1 基準地震動 S s に対する容器類及びポンプ類の応力評価結果 (4/6)

区分	評価対象設備	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類	PLR-VVVF 冷却器 (A) (B)	C	原子炉建屋	-0.80	基礎ボルト	引張	79	164
	IA 後部冷却器 (A) (B)	C	原子炉建屋	-0.80	胴板	一次＋二次	355	459
	SA 後部冷却器 (A) (B)	C	原子炉建屋	-0.80	胴板	一次＋二次	385	459
	所内温水系温水熱交換器 (A) (B)	C	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	引張	266	323
	所内温水系バックアップ熱交換器	C	原子炉建屋	15.00* ¹ (15.80)	胴板	一次＋二次	284	392
	所内温水系サージタンク	C	原子炉建屋	33.20	基礎ボルト	引張	65	190
	DG 燃料油ドレンユニット	C	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	引張	17	207
	HPCSDG 燃料油ドレンユニット	C	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	引張	17	207
	DG 燃料油ドレンタンク (A) (B)	C	原子炉建屋	15.00	取付ボルト	引張	26	440
	HPCSDG 燃料油ドレンタンク	C	原子炉建屋	15.00	取付ボルト	引張	26	440
	HPCSDG 潤滑油補給タンク	C	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	引張	37	207
	RW 制御室 HVAC 冷水供給設備 膨張タンク	C	原子炉建屋	15.00* ¹ (22.50)	胴板	曲げ	160	192
	RW 制御室 給気加熱コイル* ²	C	原子炉建屋	15.00* ¹ (22.50)	-	-	-	-
	RW 制御室 給気冷却コイル	C	原子炉建屋	15.00* ¹ (22.50)	取付ボルト	引張	12	185

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：RW 制御室給気冷却コイルと同形状の設備であることから、機器重量の大きい RW 制御室給気冷却コイルを代表として耐震評価を実施する。

表 5-1 基準地震動 S s に対する容器類及びポンプ類の応力評価結果 (5/6)

区分	評価対象設備	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ポンプ類	制御棒駆動水ポンプ(A)(B)	B	原子炉建屋	-0.80	基礎ボルト	引張	101	207
	原子炉冷却材浄化系ポンプ (A)(B) (冷却器を含む)	B	原子炉建屋	-8.10* (-6.60)	基礎ボルト	引張	14	190
	CUW プリコトポンプ	B	原子炉建屋	6.00	基礎ボルト	引張	14	207
	原子炉冷却材浄化系保持ポン プ(A)(B)	B	原子炉建屋	6.00	ポンプ取付 ボルト	引張	28	190
	燃料プール冷却浄化系プリコ トポンプ	B	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	引張	18	207
	燃料プール冷却浄化系保持ポ ンプ(A)(B)	B	原子炉建屋	22.50	ポンプ取付 ボルト	引張	23	190
	燃料プール補給水系ポンプ(軸 受冷却器を含む)	B	原子炉建屋	-8.10	原動機 取付ボルト	引張	8	207
	タービン補機冷却海水ポンプ (A)(B)(C)	C	海水ポンプ室	3.00	原動機 取付ボルト	引張	98	145
	IA 空気圧縮機(A)(B)(中間冷却 器含む)	C	原子炉建屋	-0.80	空気圧縮機 取付ボルト	引張	58	190
	SA 空気圧縮機(A)(B)(中間冷却 器含む)	C	原子炉建屋	-0.80	空気圧縮機 取付ボルト	引張	63	190
	所内温水系ポンプ(A)(B)	C	原子炉建屋	15.00	原動機 取付ボルト	引張	20	190
	DG 燃料油ドレンポンプ(A)(B)	C	原子炉建屋	15.00	原動機 取付ボルト	引張	4	207
	HPCSDG 潤滑油補給ポンプ	C	原子炉建屋	15.00	基礎ボルト	引張	7	207

注記*：基準床レベルを示す。

表 5-1 基準地震動 S s に対する容器類及びポンプ類の応力評価結果 (6/6)

区分	評価対象設備	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
ポンプ類	HPCSDG 燃料油ドレンポンプ	C	原子炉建屋	15.00	原動機 取付ボルト	引張	4	207
	循環水ポンプ (A)	C	海水ポンプ室	0.20	吐出配管 ボルト	引張	126	174
	循環水ポンプ (B)	C	海水ポンプ室	0.20	吐出エルボ 取付ボルト	引張	305	557

表 5-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果(1/5)

区分	評価対象系統	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管・弁及び支持構造物	給水系	B, C	原子炉建屋	6.00 ~ 22.50	配管本体	一次+二次	389	438
					支持構造物	一次+二次	466	548
	原子炉再循環系	B, C	原子炉建屋	-0.80 ~ 6.00	配管本体	一次+二次 (疲労)	422 (0.8205)	318 (1.0)
					支持構造物	一次	42	118
	制御棒駆動水圧系	C	原子炉建屋	6.00 ~ 15.00	配管本体	一次+二次 (疲労)	553 (0.9524)	318 (1.0)
					支持構造物	一次+二次	15	137
	残留熱除去系	B, C	原子炉建屋	15.00 ~ 22.50	配管本体	一次+二次	205	416
					支持構造物	一次+二次	35	490
	高圧炉心スプレイ系	B, C	原子炉建屋	-8.10 ~ 6.00	配管本体	一次+二次	82	376
					支持構造物	一次+二次	14	490
	原子炉隔離時冷却系	B	原子炉建屋	-0.80 ~ 6.00	配管本体	一次+二次 (疲労)	388 (0.0444)	326 (1.0)
					支持構造物	荷重*1	16*1 (kN)	27*1 (kN)
	原子炉冷却材浄化系	B	原子炉建屋	-0.80 ~ 6.00	配管本体	一次+二次 (疲労)	385 (0.8260*2)	364 (1.0)
					支持構造物	一次+二次	41	482
	燃料プール冷却浄化系	B	原子炉建屋	6.00 ~ 22.50	配管本体	一次+二次	325	376
					支持構造物	一次	152	205

注記*1：支持構造物はメカニカルスナッパであり、評価にあたっては荷重評価を実施しており、許容荷重≧発生荷重を満たしていることを確認しているため、応力の種類は荷重とする。

*2：本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数 283 回 (S s) を適用し評価を実施している。

表 5-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果 (2/5)

区分	評価対象系統	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管・弁及び支持構造物	放射性ドレン移送系	B, C	原子炉建屋	-8.10 ~ -0.80	配管本体	一次＋二次 (疲労)	472 (0.9895)	376 (1.0)
					支持構造物	一次＋二次	61	118
	機器ドレン系	B	原子炉建屋	-8.10 ~ 6.00	配管本体	一次＋二次	187	376
					支持構造物	一次＋二次	86	118
	床ドレン・化学廃液系	B	原子炉建屋	-8.10 ~ 6.00	配管本体	一次＋二次	340	376
					支持構造物	一次	123	280
	廃スラッジ系	B	原子炉建屋	6.00 ~ 15.00	配管本体	一次＋二次 (疲労)	427 (0.0288)	398 (1.0)
					支持構造物	一次	75	254
	純水補給水系	C	原子炉建屋	15.00 ~ 22.50	配管本体	一次＋二次 (疲労)	485 (0.6068*)	376 (1.0)
					支持構造物	一次＋二次	153	490
	復水補給水系	B	原子炉建屋	-0.80 ~ 6.00	配管本体	一次＋二次 (疲労)	458 (0.8288)	376 (1.0)
					支持構造物	一次	72	280
	ろ過水系	C	原子炉建屋	-8.10 ~ -0.800	配管本体	一次＋二次	365	378
					支持構造物	一次＋二次	32	159

注記*：本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数 174 回 (S s) を適用し評価を実施している。

表 5-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果 (3/5)

区分	評価対象系統	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管・弁及び支持構造物	燃料プール補給水系	B	原子炉建屋	-0.80 ~ 22.50	配管本体	一次+二次	306	462
					支持構造物	一次+二次	352	490
	消火用水系	C	原子炉建屋	6.00 ~ 15.00	配管本体	一次+二次	366	378
					支持構造物	一次+二次	110	159
	換気空調補機常用冷却水系	C	原子炉建屋	22.50 ~ 33.20	配管本体	一次+二次	344	354
					支持構造物	一次+二次	102	142
	原子炉補機冷却水系	C	原子炉建屋	-0.80 ~ 6.00	配管本体	一次+二次	393	394
					支持構造物	一次+二次	349	454
	加熱蒸気及び復水戻り系	C	原子炉建屋	-8.10 ~ 22.50	配管本体	一次+二次	348	358
					支持構造物	一次+二次	168	552
	所内温水系	C	原子炉建屋	22.50 ~ 33.20	配管本体	一次+二次	346	354
					支持構造物	一次	92	246
	非常用ディーゼル発電設備	C	原子炉建屋	15.00 ~ 33.20	配管本体	一次+二次	454	484
					支持構造物	一次+二次	54	159
	高圧炉心スプレイスプレーヤー ル発電設備	C	原子炉建屋	15.00 ~ 33.20	配管本体	一次+二次	362	484
					支持構造物	一次	73	276
	衛生設備排水系	C	原子炉建屋	15.00 ~ 22.50	配管本体	一次+二次	323	398
					支持構造物	一次+二次	37	552
建屋内排水系	C	原子炉建屋	6.00 ~ 15.00	配管本体	一次+二次	365	390	
				支持構造物	一次+二次	157	159	

表 5-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果(4/5)

区分	評価対象系統	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管・弁及び支持構造物	非放射線ドレン移送系	C	原子炉建屋	-8.10 ~ -0.80	配管本体	一次+二次	333	378
					支持構造物	一次	42	246
	循環水系	C	タービン建屋	0.80	配管本体	一次+二次	200	490
					支持構造物	一次+二次	301	376
	純水補給水系	C	制御建屋	15.00 ~ 19.50	配管本体	一次+二次	197	552
					支持構造物	一次+二次	347	378
	消火用水系	C	制御建屋	15.00 ~ 19.50	配管本体	一次+二次	110	159
					支持構造物	一次+二次	365	378
	換気空調補機常用冷却水系	C	制御建屋	15.00 ~ 19.50	配管本体	一次+二次	97	552
					支持構造物	一次+二次	320	376
	加熱蒸気及び復水戻り系	C	制御建屋	15.00 ~ 19.50	配管本体	一次+二次	34	552
					支持構造物	一次+二次	344	354
	所内温水系	C	制御建屋	1.50 ~ 8.00	配管本体	一次+二次	154	159
					支持構造物	一次+二次	232	280
	衛生設備排水系	C	制御建屋	15.00 ~ 19.50	配管本体	一次+二次	26	552
					支持構造物	一次+二次	320	390
	建屋内排水系	C	制御建屋	15.00 ~ 19.50	配管本体	一次+二次	548	552
					支持構造物	一次+二次	358	378
	非放射線ドレン移送系	C	制御建屋	1.50 ~ 8.00	配管本体	一次+二次	230	276
					支持構造物	一次		

表 5-2 基準地震動 S s に対する配管，弁及び支持構造物の応力評価結果 (5/5)

区分	評価対象系統	耐震 重要度 分類	据付場所	床面高さ O.P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管・弁及び支持構造物	高圧炉心スプレイス	B	復水貯蔵 タンク エリア	11.225	配管本体	一次＋二次	25	376
					支持構造物	一次	100	280
	機器ドレン系	B, C	復水貯蔵 タンク エリア	11.225	配管本体	一次＋二次	357	376
					支持構造物	一次＋二次	63	490
	純水補給水系	C	復水貯蔵 タンク エリア	11.225	配管本体	一次＋二次	36	376
					支持構造物	一次＋二次	42	141
	復水補給水系	B	復水貯蔵 タンク エリア	10.50	配管本体	一次＋二次 (疲労)	423 (0.2037)	376 (1.0)
					支持構造物	一次＋二次	89	236
	循環水系	C	海水ポンプ室	2.25～ 7.25	配管本体	一次＋二次	440	489
					支持構造物	一次＋二次	93	135
	タービン補機冷却海水系	C	海水ポンプ室	-7.025～7.25	配管本体	一次＋二次	448	548
					支持構造物	一次＋二次	156	228
	タービン補機冷却水系	C	海水ポンプ室	7.25～11.65	配管本体	一次＋二次	335	398
					支持構造物	組合せ	47	202
	ろ過水系	C	海水ポンプ室	-0.55～7.25	配管本体	一次＋二次	66	73
					支持構造物	せん断	36	155

VI-2-別添 2-3 溢水防護に関する施設の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

目次

1. 概要	1
2. 影響評価	1
2.1 基本方針	1
2.2 評価条件及び評価方法	1
2.3 評価結果	4
2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	4
2.3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果	4
2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	5
2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	5
2.3.5 まとめ	5

1. 概要

本資料は、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」の「2. 耐震評価の基本方針」に基づき、溢水防護に関する施設及び耐震 B, C クラス機器について、基準地震動 S_s による地震力に対して、溢水伝播を防止する機能を維持するために、耐震性を有することを確認しているため、動的地震動の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

溢水防護に関する施設及び耐震 B, C クラス機器に関する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性への影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して、設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図 2-1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

溢水防護に関する設備及び耐震 B, C クラス機器のうち、基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度又は機能維持及び波及的影響を確認する設備を評価対象とする。（図 2-1①）

(2) 構造上の特徴による抽出

機種ごとに構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重複する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。（図 2-1②）

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方

向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図 2-1③）

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

(3)の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を確認する。（図 2-1④）

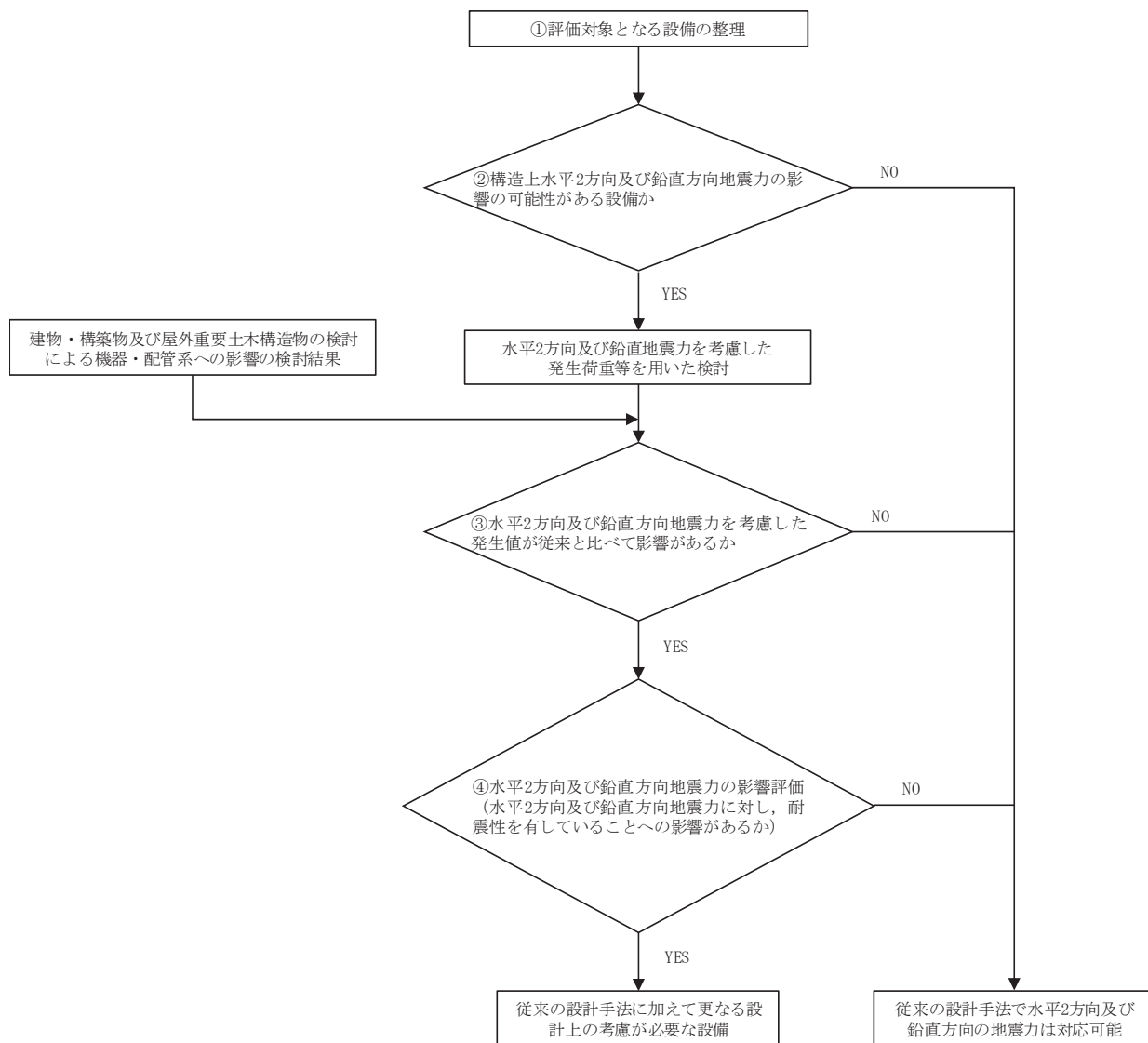


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

2.3 評価結果

2.3.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

溢水防護に関する施設及び耐震 B, C クラス機器の評価対象設備を表 2-1 に示す。添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位及び応力分類に対し構造上の特徴から、水平 2 方向の地震力に影響を以下の項目により検討し影響の可能性がある設備を抽出した。

(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点

評価対象設備は、水平 1 方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。抽出結果を表 2-2 に示す。なお、ここで影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が 1 割程度以下となる設備を分類しているが、水平 1 方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が 1.1 未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出する。抽出結果を表 2-2 に示す。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)において影響の可能性がある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。抽出結果を表 2-2 に示す。

2.3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において、溢水防護に関する施設及び耐震 B, C クラス機器への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

2.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表 2-2 にて抽出された設備について，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を，添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

2.3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「2.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して，設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表 2-3 に示す。

2.3.5 まとめ

溢水防護に関する施設及び耐震 B, C クラス機器について，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも耐震性への影響がないことを確認したため，従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (1/5)

(1) 構造強度評価対象設備

設備名称	評価対象部位
PLR ポンプシールパージ系ろ過器	胴板
PLR ポンプシールパージ系ろ過器 (フィルタユニット)	基礎ボルト
CRD サクションフィルタ (A) (B)	基礎ボルト
制御棒駆動水フィルタ (A) (B)	胴板
CRD スクラム排出容器 (A) (B)	容器
制御棒駆動水ポンプ用オイルクーラー (A) (B)	取付ボルト
ほう酸水注入系テストタンク	脚
CUW 再生熱交換器	胴板
CUW 非再生熱交換器 (A) (B)	胴板
CUW プリコートタンク	基礎ボルト
CUW ろ過脱塩器 (A) (B)	基礎ボルト
FPC プリコートタンク	基礎ボルト
燃料プール冷却浄化系ろ過脱塩器 (A) (B)	スカート
R/A LCW サンプ冷却器	胴板
HNCW サージタンク	基礎ボルト
R/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F)	取付ボルト
T/B 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I)	取付ボルト
送風機室空調機 (A) (B)	基礎ボルト
RW/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C)	取付ボルト
燃料交換機制御室空調機	基礎ボルト
R/A MS トンネル室空調機 (A) (B)	基礎ボルト
CRD ポンプ室空調機	基礎ボルト
PLR 電源装置室空調機	基礎ボルト
IA・SA 圧縮機室空調機	基礎ボルト
常用電気品室給気冷却加熱コイル (A) (B)	取付ボルト
入退域エリア (クリーン) 空調機	基礎ボルト
燃料交換床給気加熱コイル (A) (B)	取付ボルト
燃料交換機制御室給気加熱コイル	取付ボルト
原子炉補機 (A) (B) 室給気加熱コイル	取付ボルト

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (2/5)

(1) 構造強度評価対象設備

設備名称	評価対象部位
原子炉補機 (HPCS) 室給気加熱コイル (A) (B)	取付ボルト
CRD 水圧制御ユニット (A) (B) エリア給気加熱コイル	取付ボルト
計測制御電源 (A) (B) 室給気加熱コイル	取付ボルト
中央制御室給気加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H)	取付ボルト
PLR-VVVF 冷却器 (A) (B)	基礎ボルト
IA 後部冷却器 (A) (B)	胴板
SA 後部冷却器 (A) (B)	胴板
所内温水系温水熱交換器 (A) (B)	基礎ボルト
所内温水系バックアップ熱交換器	胴板
所内温水系サージタンク	基礎ボルト
DG 燃料油ドレンユニット	基礎ボルト
HPCSDG 燃料油ドレンユニット	基礎ボルト
DG 燃料油ドレンタンク (A) (B)	取付ボルト
HPCSDG 燃料油ドレンタンク	取付ボルト
HPCSDG 潤滑油補給タンク	基礎ボルト
RW 制御室 HVAC 冷水供給設備膨張タンク	基礎ボルト
RW 制御室 給気加熱コイル	取付ボルト
RW 制御室 給気冷却コイル	取付ボルト
制御棒駆動水ポンプ (A) (B)	基礎ボルト
原子炉冷却材浄化系ポンプ (A) (B) (冷却器を含む)	基礎ボルト
CUW プリコートポンプ	基礎ボルト
原子炉冷却材浄化系保持ポンプ (A) (B)	ポンプ取付ボルト
燃料プール冷却浄化系プリコートポンプ	基礎ボルト
燃料プール冷却浄化系保持ポンプ (A) (B)	ポンプ取付ボルト
燃料プール補給水系ポンプ (軸受冷却器を含む)	原動機取付ボルト
タービン補機冷却海水ポンプ (A) (B) (C)	原動機取付ボルト
IA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	空気圧縮機取付ボルト
SA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	空気圧縮機取付ボルト
所内温水系ポンプ (A) (B)	原動機取付ボルト
DG 燃料油ドレンポンプ (A) (B)	原動機取付ボルト
HPCSDG 潤滑油補給ポンプ	基礎ボルト

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (3/5)

(1) 構造強度評価対象設備

設備名称	評価対象部位
HPCSDG 燃料油 ドレンポンプ	原動機取付ボルト
循環水ポンプ (A)	吐出配管ボルト
循環水ポンプ (B)	吐出エルボ取付ボルト
配管 (給水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉再循環系)	配管本体, 支持構造物
配管 (制御棒駆動水压系)	配管本体, 支持構造物
配管 (残留熱除去系)	配管本体, 支持構造物
配管 (高圧炉心スプレイ系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉隔離時冷却系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉冷却材浄化系)	配管本体, 支持構造物
配管 (燃料プール冷却浄化系)	配管本体, 支持構造物
配管 (放射性ドレン移送系)	配管本体, 支持構造物
配管 (機器ドレン系)	配管本体, 支持構造物
配管 (床ドレン・化学廃液系)	配管本体, 支持構造物
配管 (廃スラッジ系)	配管本体, 支持構造物
配管 (純水補給水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (復水補給水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (ろ過水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (燃料プール補給水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (消火用水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (換気空調補機常用冷却水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉補機冷却水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (加熱蒸気及び復水戻り系)	配管本体, 支持構造物
配管 (所内温水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (非常用ディーゼル発電設備)	配管本体, 支持構造物
配管 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備)	配管本体, 支持構造物
配管 (衛生設備排水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (建屋内排水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (非放射性ドレン移送系)	配管本体, 支持構造物
配管 (循環水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (タービン補機冷却海水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (タービン補機冷却水系)	配管本体, 支持構造物

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (4/5)

(1) 構造強度評価対象設備

設備名称	評価対象部位
逆流防止装置	弁本体, フロートガイド
循環水系隔離システム	基礎ボルト
タービン補機冷却海水系隔離システム	基礎ボルト

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/5)

(2)機能維持評価対象設備

設備名称	評価対象部位
循環水系隔離システム	漏えい検出器
タービン補機冷却海水系隔離システム	漏えい検出器
復水器水室入口弁	弁
復水器水室出口弁	弁
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	弁

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
PLR ポンプシールパージ系ろ過器	△ 胴板 一次一般膜応力	×	-		評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が多くなる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせる場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。
PLR ポンプシールパージ系ろ過器 (ファイタユニット)	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応力の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
CRD サクシヨンフィルタ (A) (B)	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が多くなる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
制御棒駆動水フィルタ (A) (B)	△ 胴板 一次一般膜応力	×	-		評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が多くなる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせる場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1-4 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
CRD スクラム排出容器 (A) (B)	△ 容器 一次+二次応力	○	-		本機器は、3次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
制御棒駆動水ポンプ用オイルクーラー (A) (B)	△ 取付ボルト 一次応力 (せん断*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
ほう酸水注入系 テストタンク	○ 脚 一次応力 (組合せ)	×	○		評価結果は表 2-3 参照。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (3/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
CUW 再生熱交換器	△ 胴板 一次+二次	×	-		水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
CUW 非再生熱交換器 (A) (B)	△ 胴板 一次+二次	×	-		水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
CUW プリコータタンク	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
CUW ろ過脱塩器 (A) (B)	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断*)	×	-		ボルトは円周状に配置され、水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及

び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (4/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
FPC プリコトタンク	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
燃料プール冷却浄化系 ろ過脱塩器 (A) (B)	△ スカート 一次応力 (組合せ)	×	-		評価部位は円形の方向ごとに最大応力点から、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
R/A LCW サンプ冷却器	△ 胴板 一次+二次応力	×	-		水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(5/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
HNCW サージタンク	○ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
R/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F)	○ 取付ボルト 一次応力(引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
T/B 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I)	△ 取付ボルト 一次応力(せん断*)	×	－	ボルトは壁掛けであり、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響は無い。
送風機室空調機 (A) (B)	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	－	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (6/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
RW/A 給気冷却加熱コイル (A) (B) (C)	△ 取付ボルト 一次応力 (せん断*)	×	-		ボルトは壁掛けであり，壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため，水平 2 方向入力の影響は無い。
燃料交換機制御室空調機	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり，水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，影響は軽微である。
R/A MS トンネル室空調機 (A) (B)	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり，水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，影響は軽微である。

注記*：ボルトについては，添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及

び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (7/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
CRD ポンプ室空調機	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
PLR 電源装置室空調機	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (8/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
IA・SA 圧縮機室空調機	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
常用電気品室給気冷却加熱コイル (A) (B)	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○		評価結果は表 2-3 参照。
入退域エリア (クーリーン) 空調機	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
燃料交換床 給気加熱コイル (A) (B)	△ 取付ボルト 一次応力 (せん断*)	×	-		ボルトは壁掛けであり、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響は無い。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及

び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (9/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
燃料交換機制御室 給気加熱コイル	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
原子炉補機 (A) (B) 室 給気加熱コイル	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
原子炉補機 (HPCS) 室 給気加熱コイル (A) (B)	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
CRD 水圧制御ユニット (A) (B) エリア給気加熱コイル	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
計測制御電源 (A) (B) 室 給気加熱コイル	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (10/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
中央制御室給気加熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H)	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○		評価結果は表 2-3 参照。
PLR-VVVF 冷却器 (A) (B)	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
IA 後部冷却器 (A) (B)	△ 胴板 一次+二次応力	○	-		本機器は、3次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
SA 後部冷却器 (A) (B)	△ 胴板 一次+二次応力	○	-		本機器は、3次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(11/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし		
所内温水系温水熱交換器(A)(B)	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	－		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
所内温水系バックアップ熱交換器	△ 胴板 一次＋二次応力	×	－		水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
所内温水系サージタンク	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	－		ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
DG 燃料油ドレンユニット	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	－		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (12/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観測点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観測点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観測点 ○：影響あり -：該当なし		
HPCSDG 燃料油ドレンユニット	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり, 水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果, 水平 2 方向地震力の最大応力の非同時性を考慮することにより, 影響は軽微である。
DG 燃料油ドレンタンク (A) (B)	△ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは円周状に配置され, 水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点異なる。したがって, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。
HPCSDG 燃料油ドレンタンク	△ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは円周状に配置され, 水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点異なる。したがって, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。

注記*：ボルトについては, 添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ, 評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (13/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
HPCSDG 潤滑油補給タンク	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
RW 制御室 HVAC 冷水供給設備膨張タンク	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応力の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
RW 制御室 給気加熱コイル	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
RW 制御室 給気冷却コイル	○ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(14/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
制御棒駆動水ポンプ (A) (B)	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
原子炉冷却材浄化系ポンプ (A) (B) (冷却器を含む)	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
CUW プリコートポンプ	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (15/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
原子炉冷却材浄化系保持ポンプ(A)(B)	△ ポンプ取付ボルト一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
燃料プール冷却浄化系保リコートポンプ	△ 基礎ボルト一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
燃料プール冷却浄化系保持ポンプ(A)(B)	△ ポンプ取付ボルト一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (16/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
燃料プール補給水系ポンプ (軸受冷却器を含む)	△ 原動機取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
タービン補機冷却海水ポンプ (A) (B) (C)	△ 原動機取付ボルト 一次応力 (引張*)	○	-	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (17/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
IA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	△ 空気圧縮機取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
SA 空気圧縮機 (A) (B) (中間冷却器を含む)	△ 空気圧縮機取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
所内温水系ポンプ (A) (B)	△ 原動機取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(18/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
DG 燃料油ドレンポンプ(A)(B)	△ 原動機取付ボルト 一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
HPCSDG 潤滑油補給ポンプ	△ 基礎ボルト 一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
HPCSDG 燃料油ドレンポンプ	△ 原動機取付ボルト 一次応力(引張*)	×	-		ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び

表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (19/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
循環水ポンプ (A)	△ 吐出配管ボルト 一次応力 (引張*)	○	－	評価対象のボルトに発生する引張応力はポンプ吐出方向の地震力のみにより発生するため、水平 2 方向の影響は無い。
循環水ポンプ (B)	△ 吐出エルボ取付ボルト 一次応力 (引張*)	○	－	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 5-1 及び表 5-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (20/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
配管 (給水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (原子炉再循環系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (制御棒駆動水圧系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (21/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
配管 (残留熱除去系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (高圧炉心スプレイ系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (原子炉隔離時冷却系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (22/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
配管 (原子炉冷却材浄化系)	△ 配管本体 一次+二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次+二次応力	○	-	
配管 (燃料プール冷却浄化系)	△ 配管本体 一次+二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次+二次応力	○	-	
配管 (放射性ドレン移送系)	△ 配管本体 一次+二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次+二次応力	○	-	

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (23/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
配管 (機器ドレン系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力	○	－	
配管 (床ドレン・化学廃液系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力	○	－	
配管 (廃スラッジ系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力	○	－	

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (24/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
配管 (純水補給水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその他の直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (復水補給水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその他の直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (ろ過水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその他の直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (25/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
配管 (燃料プール補給水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力	○	－	
配管 (消火用水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力	○	－	
配管 (換気空調補機常用冷却水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力	○	－	

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (26/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
配管 (原子炉補機冷却水系)	△ 配管本体 一次+二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次+二次応力			
配管 (加熱蒸気及び復水戻り系)	△ 配管本体 一次+二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次+二次応力			
配管 (所内温水系)	△ 配管本体 一次+二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次+二次応力			

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (27/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
配管 (非常用ディーゼル発電設備)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (高圧炉心スプレイスディーゼル発電設備)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (衛生設備排水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (28/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
配管 (建屋内排水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向と鉛直方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (非放射性ドレン移送系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向と鉛直方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
配管 (循環水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。解析により、配管系は 3 次元モデルを用いた考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向と鉛直方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (29/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし		
配管 (タービン補機冷却水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (タービン補機冷却水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	-	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (30/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
逆流防止装置	○ 弁本体 一次応力 (組合せ)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
	○ フロートガイド 一次応力 (組合せ)	×	○	
循環水系 隔離システム (壁掛け)	○ 基礎ボルト 一次応力 (引張)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。 ボルトは壁掛けであり, 壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため, 水平 2 方向入力の影響は無い。
	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断)	×	－	

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (31/32)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	
循環水系隔離システム (自立)	○ 基礎ボルト 一次応力 (引張)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
	○ 基礎ボルト 一次応力 (せん断)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
タービン補機冷却海水系 隔離システム	○ 基礎ボルト 一次応力 (引張)	×	○	評価結果は表 2-3 参照。
	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断)	×	－	ボルトは壁掛けであり，壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため，水平 2 方向入力の影響は無い。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (32/32)

(2) 機能維持評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重複する観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向と直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 ○：影響あり -：該当なし	
循環水系隔離システム	△	×	-	各水平方向で共振点はなく出力変動を生じないため、水平 2 方向でも共振することなく出力変動が生じない。
タービン補機冷却海水系隔離システム	△	×	-	各水平方向で共振点はなく出力変動を生じないため、水平 2 方向でも共振することなく出力変動が生じない。
復水器水室入口弁	△	×	-	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認評価を満足すること及び構造強度評価を満足することを確認している。
復水器水室出口弁	△	×	-	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認評価を満足すること及び構造強度評価を満足することを確認している。
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	△	×	-	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認評価を満足すること及び構造強度評価を満足することを確認している。

表 2-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果 (1/2)

(1) 構造強度評価

(単位 : MPa)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	評価部位	応力分類	1 方向入力 発生値*1	2 方向想定 発生値*2	許容値	判定
ほう酸水注入系テ ストタンク	脚	組合せ	90	128	205	○
HNCW サージタンク	基礎ボルト	引張	127	180	207	○
R/A 給気冷却加熱 コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F)	取付ボルト	引張	18	26	179	○
常用電気品室給気 冷却加熱コイル (A) (B)*3	取付ボルト	引張	—	—	—	—
燃料交換機制御室 給気加熱コイル	取付ボルト	引張	5	7	179	○
原子炉補機 (A) (B) 室給気加熱コイル	取付ボルト	引張	7	10	179	○
原子炉補機 (HPCS) 室給気加熱コイル (A) (B)	取付ボルト	引張	11	16	179	○
CRD 水圧制御ユニ ット (A) (B) エリア 給気加熱コイル	取付ボルト	引張	5	7	179	○
計測制御電源 (A) (B) 室給気加熱 コイル	取付ボルト	引張	4	6	179	○
中央制御室給気加 熱コイル (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H)*3	取付ボルト	引張	—	—	—	—

注記*1 : 基準地震動 S_s による地震力において発生する応力値を記載している。

*2 : 「1 方向入力発生値」に対して、 $\sqrt{2}$ を乗じた値を記載している。

*3 : 計測制御電源 (A) (B) 室給気加熱コイルと同形状の設備であることから、設計震度の大きい計測制御電源 (A) (B) 室給気加熱コイルを代表として影響評価を実施する。

表 2-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果 (2/2)

(1) 構造強度評価

(単位 : MPa)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	評価部位	応力分類	1 方向入力 発生値*1	2 方向想定 発生値*2	許容値	判定
RW 制御室 給気加熱コイル*3	取付ボルト	引張	—	—	—	—
RW 制御室 給気冷却コイル	取付ボルト	引張	12	17	197	○
逆流防止装置	弁本体	組合せ	2	3	152	○
	フロートガイド	組合せ	4	6	152	○
循環水系 隔離システム (壁掛け)	基礎ボルト	引張	7	10	152	○
循環水系 隔離システム (自立)	基礎ボルト	引張	4	6	152	○
	基礎ボルト	せん断	1	2	117	○
タービン補機 冷却海水系 隔離システム	基礎ボルト	引張	6	9	154	○

注記*1 : 基準地震動 S_s による地震力において発生する応力値を記載している。

*2 : 「1 方向入力発生値」に対して、 $\sqrt{2}$ を乗じた値を記載している。

*3 : RW 制御室給気冷却コイルと同形状の設備であることから、機器重量の大きい RW 制御室給気冷却コイルを代表として影響評価を実施する。

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
1.4.3 計算条件	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
2.4.3 計算条件	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) が基準地震動 S_s 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と類似の構造であるため、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
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テーションに固定される。</p> <p>計器ステーションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電極式水位検出器 (壁面に設置された計器ステーションに検出器を取付板取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【循環水系隔離システム (N71-LE041A)】</p> <p>The diagram illustrates the installation of the N71-LE041A system. It includes three views: a top view, a front view, and a side view. The top view shows the detector mounted on a station with a width of 250 mm. The front view shows the station's height of 550 mm. The side view shows the station's depth of 290 mm and its attachment to a wall (基礎(壁面)) using chemical anchors (基礎ボルト(ケミカルアンカ)) and mounting bolts (取付板取付ボルト). The detector (検出器) is mounted on a plate (取付板).</p> <p>（単位：mm）</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（打振試験）の測定結果から固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表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行う。

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。

1.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【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】の設計条件及び機器要目に示す。

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	浸水防護 施設	循環水系隔離システム (N71-LE041A)	C	—*	D + S _s	IV _A S

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	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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	50	211

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について、以下に示す。

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評価する。

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器具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)	水平方向	
	鉛直方向	

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，基準地震動 S_s 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 _{fV}	n _{fH}	
基礎ボルト		260							4	2	2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*1	
					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

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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	—		—	

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
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 7$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 117$

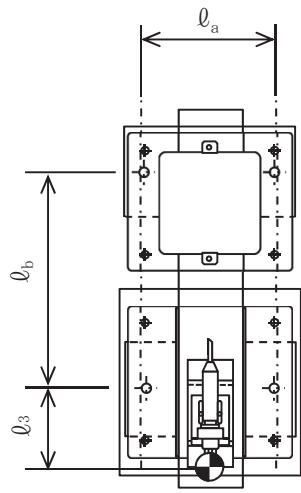
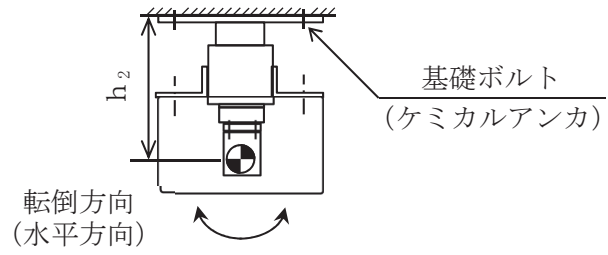
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出。
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

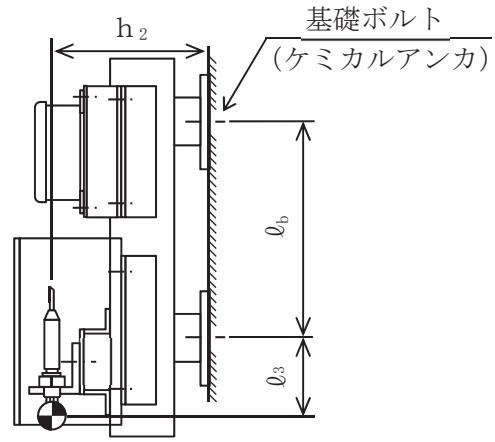
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		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-LE041A)	水平方向	1.39	
	鉛直方向	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。



正面



側面

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) が基準地震動 S_s 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と類似の構造であるため、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ーションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電極式水位検出器 (床に設置された計器スターションに検出器を取付板取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【循環水系隔離システム (N71-LE043A)】</p> <p>上面</p> <p>正面</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>250</p> <p>609</p> <p>基礎 (床面)</p> <p>側面</p> <p>260</p> <p>検出器</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>計器 スターション</p> <p>取付板</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（打振試験）の測定結果から固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表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行う。

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。

2.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【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】の設計条件及び機器要目に示す。

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	浸水防護 施設	循環水系隔離システム (N71-LE043A)	C	—*	D + S _s	IV _A S

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	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

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について、以下に示す。

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評価する。

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器具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)	水平方向	
	鉛直方向	

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，基準地震動 S_s 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)	ℓ ₁ * ¹ (mm)	ℓ 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* ²	
					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。

*2：前後、左右方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

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	—		—	

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
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 117$

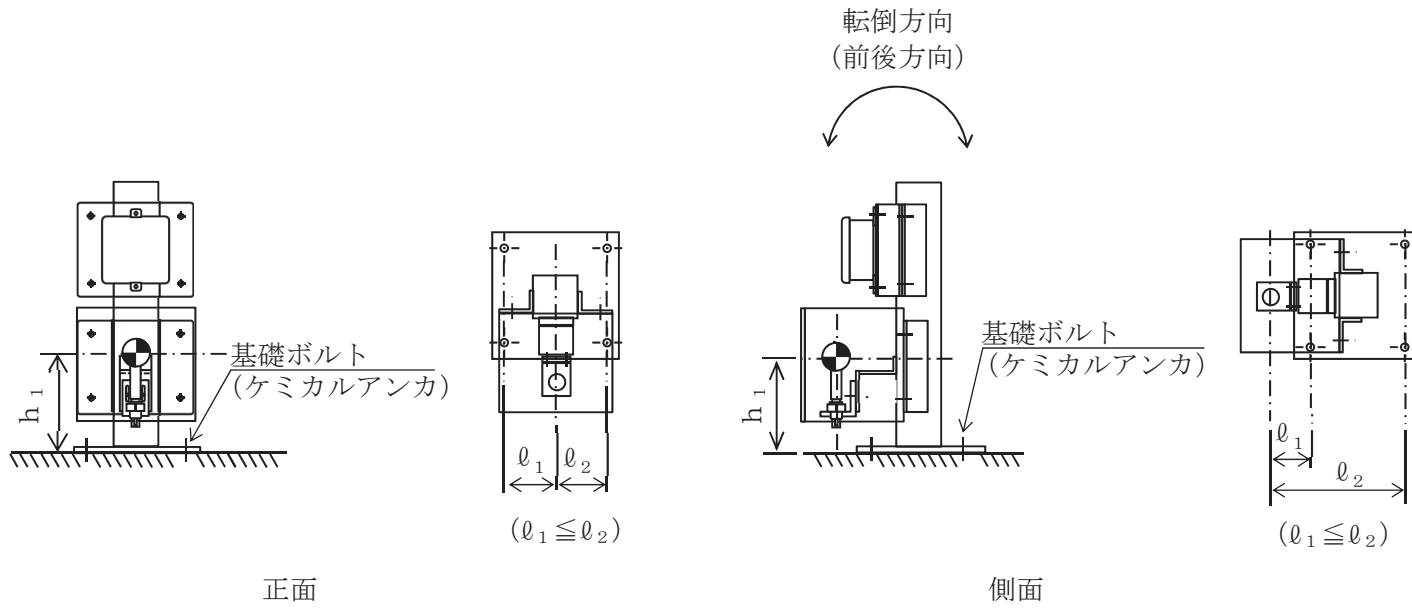
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出。
 すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		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。



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
1.4.3 計算条件	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 地震応答解析及び構造強度評価	18
2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	18
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	18
2.4.3 解析モデル及び諸元	21
2.4.4 固有周期	22
2.4.5 設計用地震力	24
2.4.6 計算方法	25
2.4.7 計算条件	29
2.4.8 応力の評価	29
2.5 機能維持評価	30
2.5.1 電氣的機能維持評価方法	30
2.6 評価結果	31

2.6.1 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) が基準地震動 S_s 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と類似の構造であるため、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
P46-LE021A (代表) P46-LE021B P46-LE021C	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

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ーションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電極式水位検出器 (壁面に設置された計器スターションに検出器を取付板取付ボルトにより固定する構造)</p>	<p>【タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE021A)】</p> <p>上面</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（打振試験）の測定結果から固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表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行う。

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。

1.4.3 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-LE021A）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 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	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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		215	400	—
		40				

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について、以下に示す。

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評価する。

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器具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)	水平方向	
	鉛直方向	

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，基準地震動 S_s 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 O.P. -0.20 (O.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 _v (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*1	
					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

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

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	—	—	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 119$

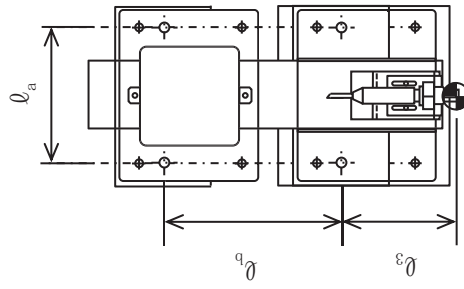
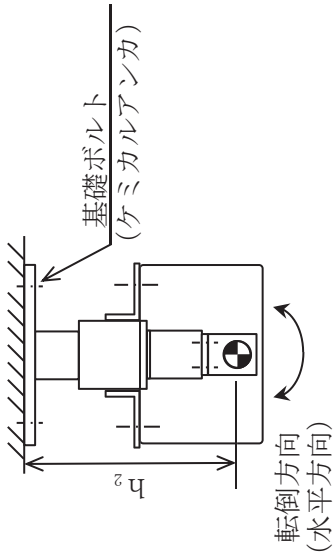
(単位：MPa)

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。

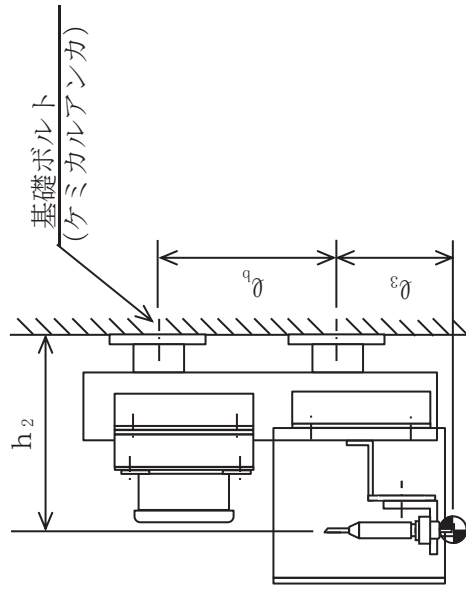
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

		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。



正面



側面

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) が基準地震動 S_s 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（壁面に設置された計器スタンションに検出器を取付板取付ボルトにより固定する構造）</p>	<p>(単位：mm)</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、「2.4.3 解析モデル及び諸元」及び「2.4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく基準地震動 S_s による応力等が許容限界内に収まることを、「2.4 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

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、「2.5 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「2.6 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。

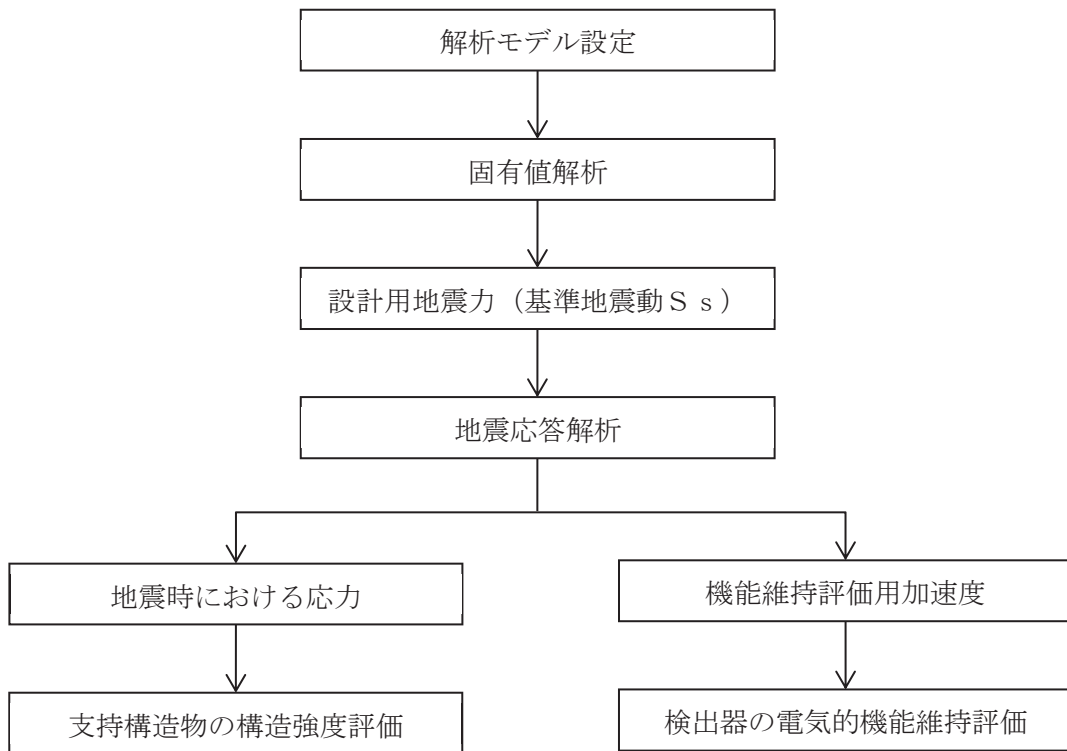


図 2-1 タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) の耐震評価フロー

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

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2-3に示すとおりである。

表2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
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	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位* ³

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：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、「2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価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 地震応答解析及び構造強度評価

2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 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ており、固定端とする。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を用いる。

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

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 2-4 に示す。

2.4.2.2 許容応力

タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-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 2-5 に示す。

2.4.2.3 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-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 2-6 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	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 2-5 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	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		(°C)	周囲環境温度			
基礎ボルト		40		205	520	—

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 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】の機器要目に示す。

- (1) タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) は、三次元はりモデルを用いる。
- (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) 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。
- (4) 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。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、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。

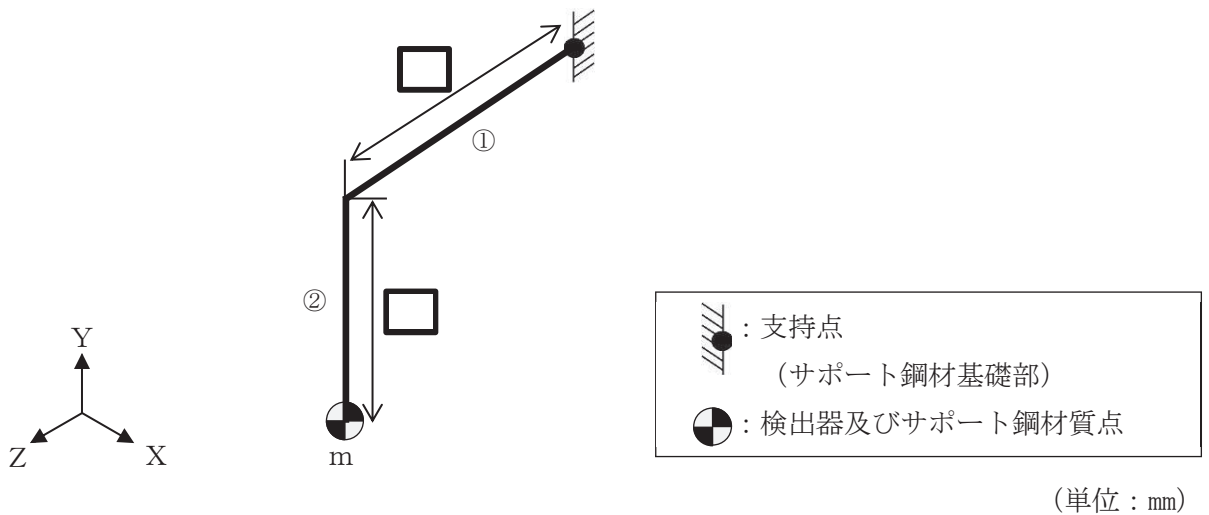


図 2-2 タービン補機冷却海水系隔離システム (P46-LE031C) 解析モデル

2.4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2-7 に、振動モード図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平方向	□	—	—	—
3次	鉛直方向		—	—	—

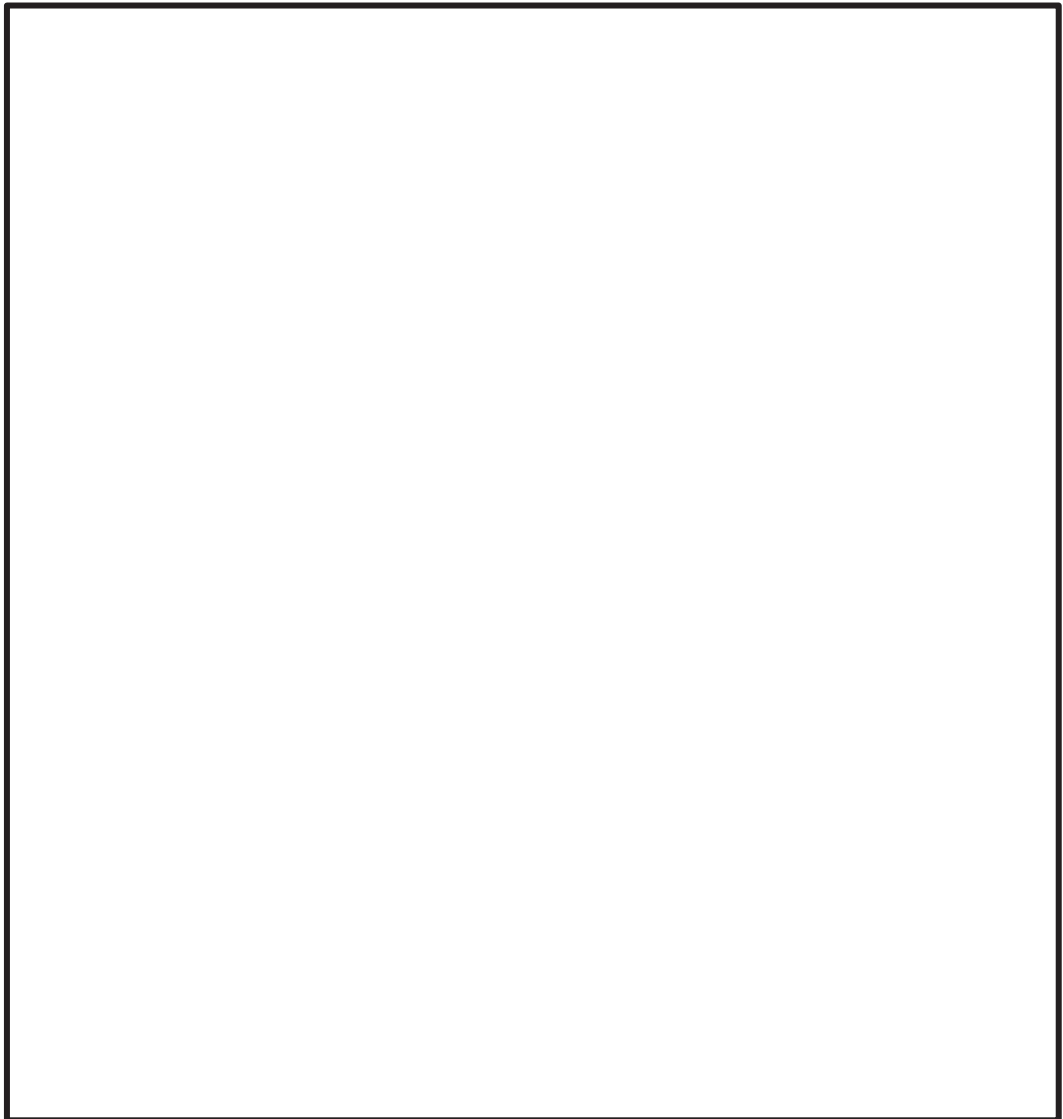


図 2-3 振動モード図 (1次モード 水平方向 □ s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

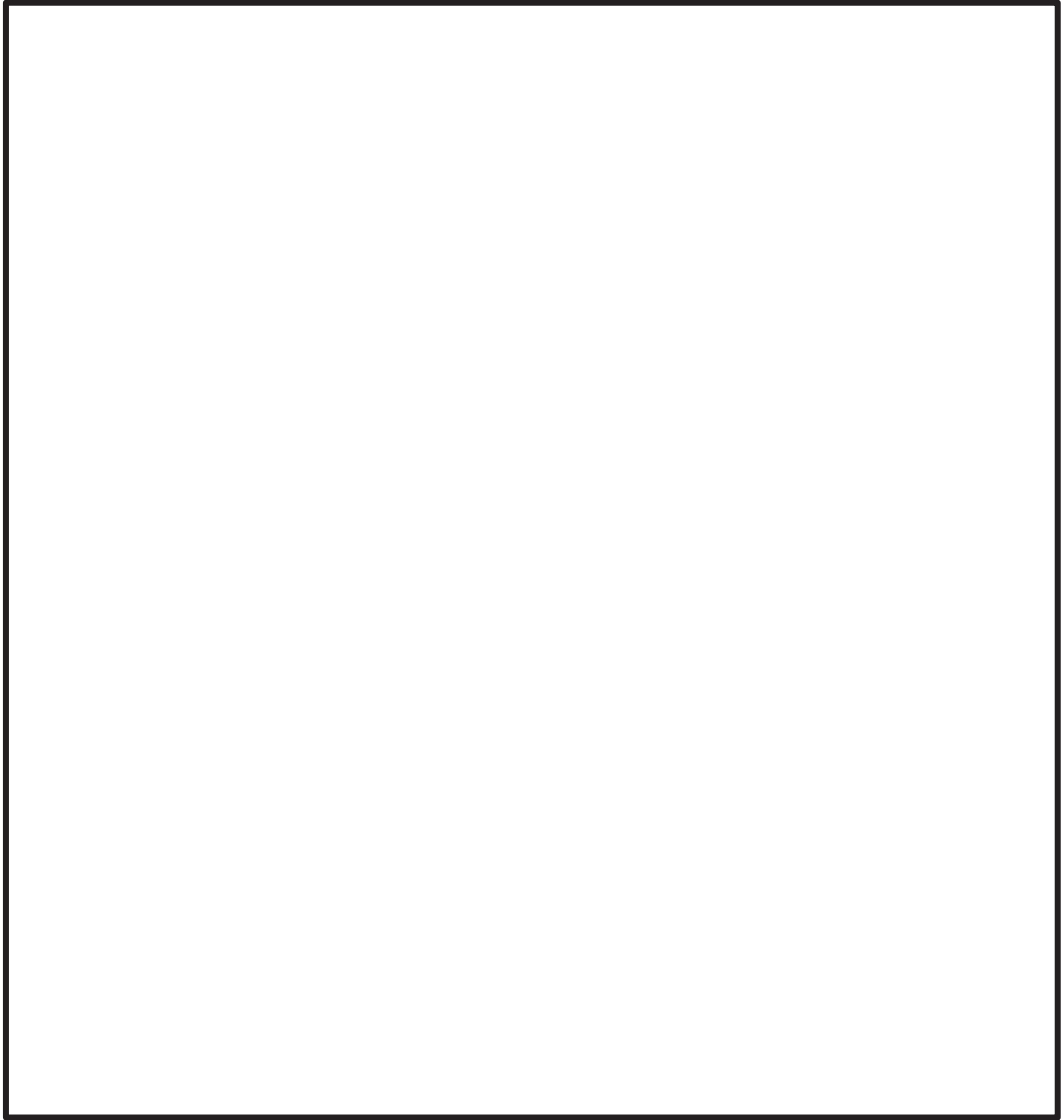


図 2-4 振動モード図 (3 次モード 鉛直方向 s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-8 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 2-8 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)			—	—	$C_H=1.36$	$C_V=1.08$

注記*1：基準床レベルを示す。

2.4.6 計算方法

2.4.6.1 応力の計算方法

2.4.6.1.1 基礎ボルトの応力

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。

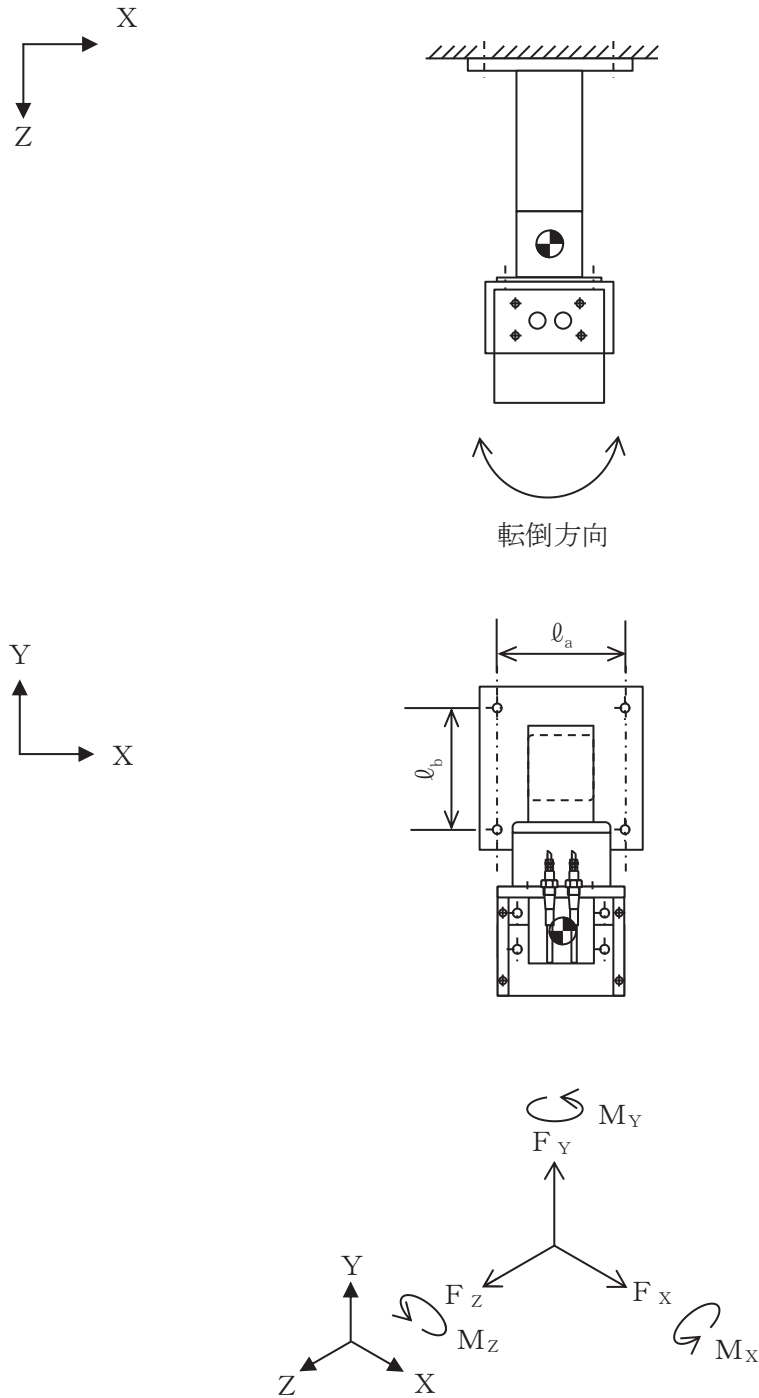


図 2-5 計算モデル (水平方向転倒)

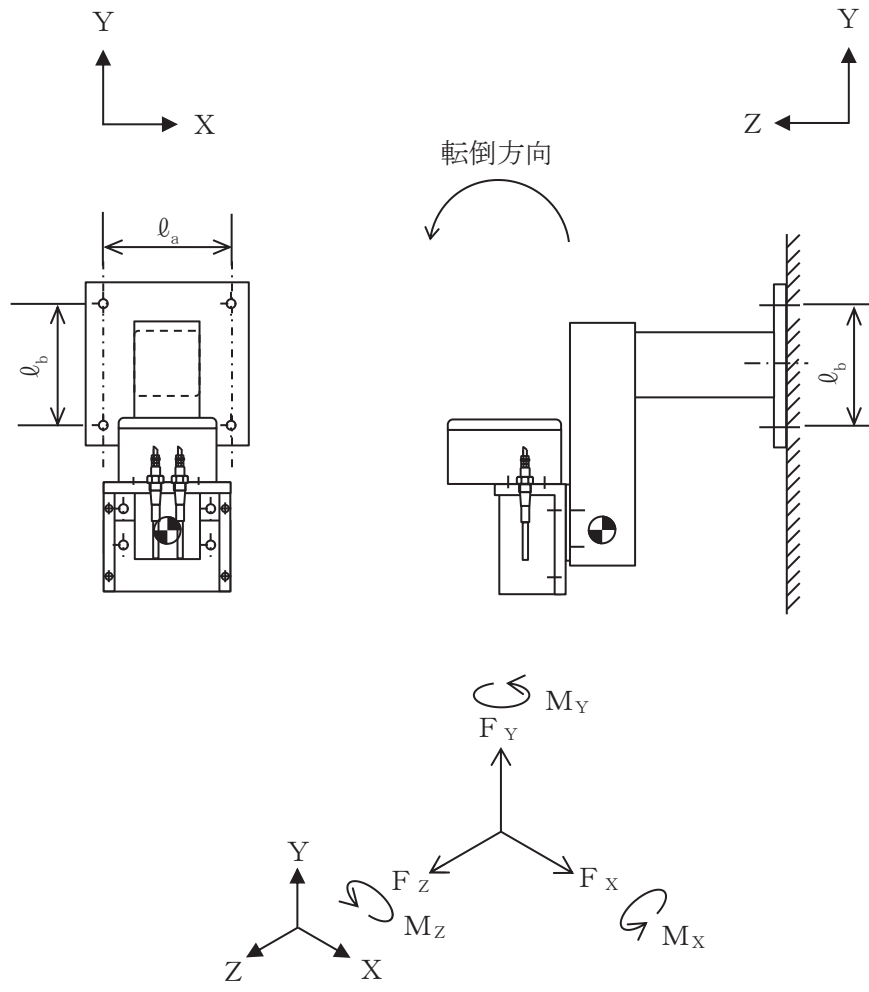


図 2-6 計算モデル (鉛直方向転倒)

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 2-9 に示す。

表 2-9 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

$$F_b = \frac{F_z}{n} + \frac{M_y}{\ell_a \cdot n_y} + \frac{M_x}{\ell_b \cdot n_x} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本あたり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{n} + \frac{M_z}{\ell_3 \cdot n} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.4)$$

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。

$$\ell_3 = \text{Min}(\ell_a, \ell_b) \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.4.6.1.1.6)$$

2.4.7 計算条件

2.4.7.1 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。

2.4.8 応力の評価

2.4.8.1 基礎ボルトの応力評価

2.4.6.1.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.4.8.1.1)$$

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}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5 機能維持評価

2.5.1 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-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器具の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-10 に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

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)	水平方向	
	鉛直方向	

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

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，基準地震動 S_s 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)			—	—	C _H =1.36	C _V =1.08	40

注記*1：基準床レベルを示す。

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*1	
					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	—	205	—	水平方向

注記*1：水平、鉛直方向のうち、評価の厳しい方向を示す。

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	—	—	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 123^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 94$

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 海系隔離システム (P46-LE031C)	水平方向	1.13	
	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。

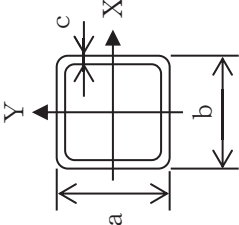
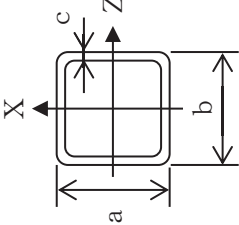
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

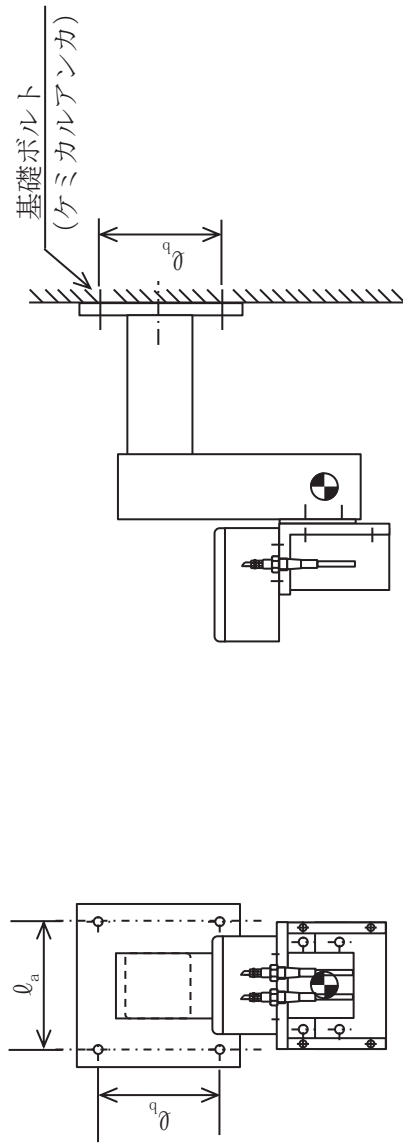
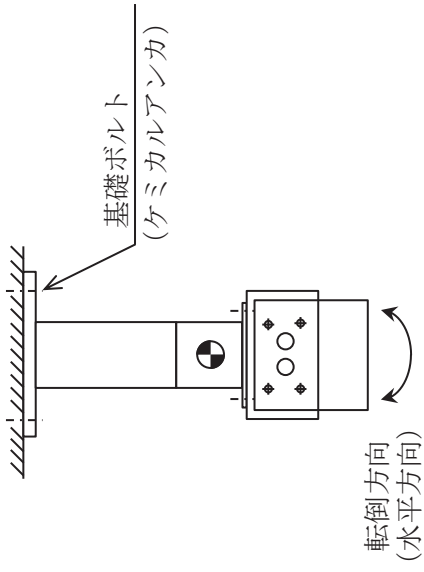
1.5 その他の機器要目

(1) 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	

(2) 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)		
	(a × b × c)	(a × b × c)



正面

側面

VI-2-別添 2-6 逆流防止装置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	3
2.4 適用規格	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	11
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 荷重及び荷重の組合せ	13
5.3 許容限界	14
5.4 設計用地震力	16
5.5 計算方法	17
5.6 計算条件	19
6. 機能維持評価	20
6.1 機能維持評価方法	20
7. 評価結果	21

1. 概要

本資料は、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」に従い、逆流防止装置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。評価は、逆流防止装置の固有値解析、応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価により行う。

逆流防止装置は、浸水防護施設としてCクラス施設に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

逆流防止装置の設置位置を表 2-1 に示す。

表 2-1 逆流防止装置の設置位置

機器名称	建屋	設置階	高さ (mm)
逆流防止装置	原子炉建屋	地下 3 階	O.P. -8100
	制御建屋	地下 2 階	O.P. 1500

2.2 構造計画

逆流防止装置は、フロート式の逆止弁であり、配管内で逆流が発生するとフロートが押し上げられ、弁座に密着することで止水する。逆流防止装置の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
外ねじ 取付型	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	

2.3 評価方針

逆流防止装置の耐震評価は、添付書類「VI-2-別添 2-1 浸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 構造計画」に示す逆流防止装置の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、「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ことで実施する。また、逆流防止装置の機能維持評価は、逆流防止装置の固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「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。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価部位については、逆流防止装置の機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認することで実施する。応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

なお、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

耐震評価フローを図 2-1 に示す。

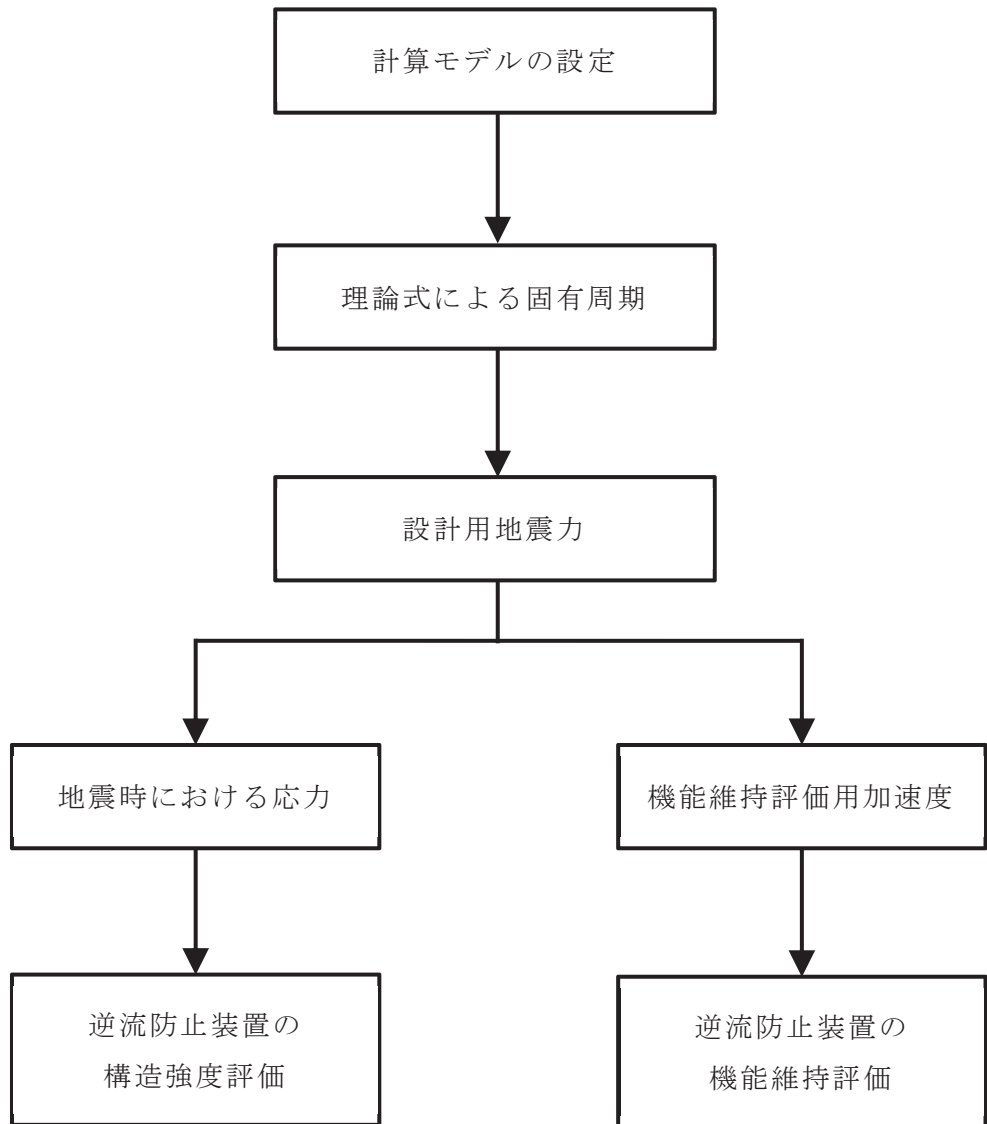


図 2-1 耐震評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 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) 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 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・
補-1984)
- (4) 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)
- (5) 日本機械学会 機械工学便覧
- (6) 日本産業規格 (J I S)

2.5 記号の説明

逆流防止装置の固有周期の計算に用いる記号を表2-3に, 応力評価に用いる記号を表2-4にそれぞれ示す。

表 2-3 逆流防止装置の固有周期の計算に用いる記号

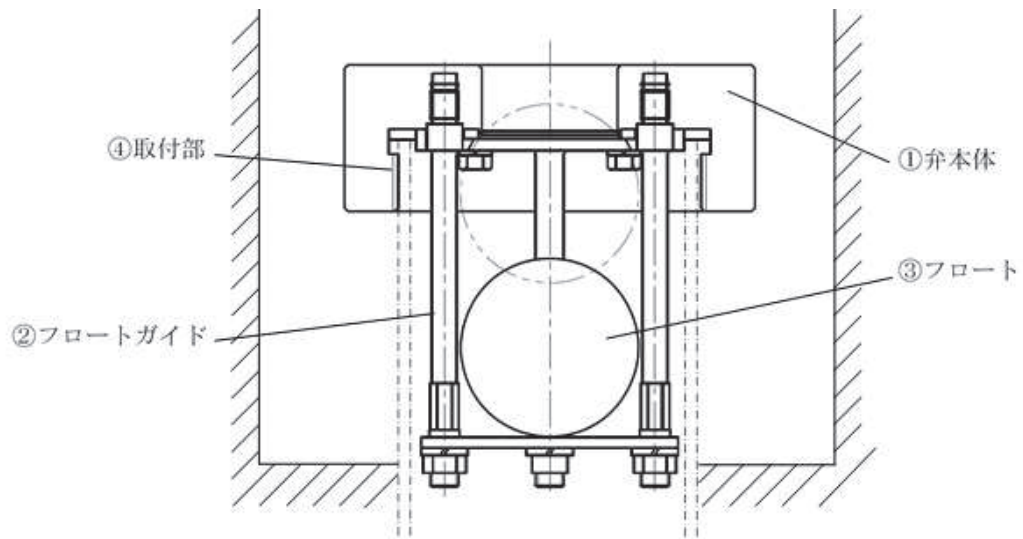
記号	記号の説明	単位
A	モデル化に用いるフロートガイドの有効断面積	mm ²
d _m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D _{f m}	モデル化に用いるフロートガイドの直径	mm
D _m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数	MPa
f	逆流防止装置の固有振動数	Hz
T	逆流防止装置の固有周期	s
I _a	モデル化に用いるフロートガイド1本の断面二次モーメント	mm ⁴
I _m	モデルの等価断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m1}	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m2}	モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント	mm ⁴
k	モデルのばね定数	N/m
ℓ ₁	モデル化に用いる弁本体の長さ	mm
ℓ ₂	モデル化に用いるフロートガイドの長さ	mm
m	モデル化に用いる弁の全質量	kg
yg	フロートガイドの図心GとX軸の距離	mm

表 2-4 逆流防止装置の応力評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
C_H	基準地震動 S_s による水平方向の設計震度	—
C_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	フロートガイドの最小断面積	mm^2
d_1	弁本体の内径	mm
D_1	弁本体の外径	mm
D_2	フロートガイドの最小直径	mm
F_{H1}	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{H2}	フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{V1}	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{V2}	フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料(ボルト材を除く)の各温度における許容引張応力	MPa
I_1	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
I_2	フロートガイドの断面二次モーメント	mm^4
L_1	弁全体の長さ	mm
L_2	フロートガイドの長さ	mm
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイド 1 本当たりの質量	kg
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	フロートガイドに発生する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
W_{d1}	弁全体の常時荷重	N
W_{d2}	フロートガイド 1 本当たりに作用する常時荷重	N
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力	MPa

3. 評価部位

逆流防止装置は、弁本体、フロート、フロートガイド等で構成されている。耐震評価においては、応力評価による評価部位として、弁本体及びフロートガイドを選定し、構造健全性評価による評価部位としてフロート及び取付部を選定する。また、機能維持評価による評価部位として、逆流防止装置を選定する。逆流防止装置の評価部位について図3-1に示す。



図中の①及び②は応力評価による評価部位を、③及び④は構造健全性評価による評価部位を、それぞれ示す。

図 3-1 逆流防止装置の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

逆流防止装置の構造に応じて、保守的に固有周期が大きく算出されるよう、より柔くなるようにモデル化し、固有周期を算出する。また、その場合においても固有周期が0.05s以下であることを確認する。

(1) 解析モデル

質量の不均一性を考慮し、一方の端を固定端、他方の端を自由端の1質点系モデルとして、自由端に弁の全質量 m が集中したモデルを組む。モデル化は、円筒状の弁本体及び円柱状の4本のフロートガイドの異なる2つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図4-1に示す。

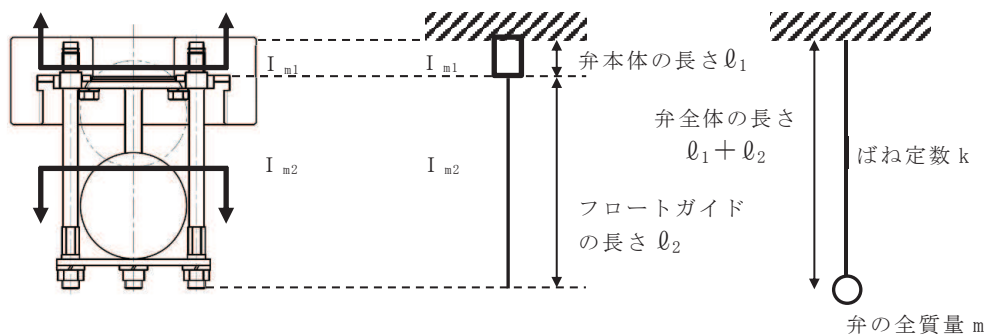


図 4-1 モデル化の概略

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

固有周期 T を以下の式より算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(\ell_1 + \ell_2)^3} \cdot 10^3$$

モデルの等価断面二次モーメント I_m の算出過程を以下に示す。

a. モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント I_{m1} は、以下の式より算出する。

$$I_{m1} = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

b. モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント

平行軸の定理から、フロートガイドの図心GとX軸の距離 y_g を用いて、モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント I_{m2} は、以下の式より算出する。フロートガイド4本の断面を図4-2に示す。

$$I_a = D_{fm}^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_{m2} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot \left(I_a + (y_g)^2 \cdot A \right)$$

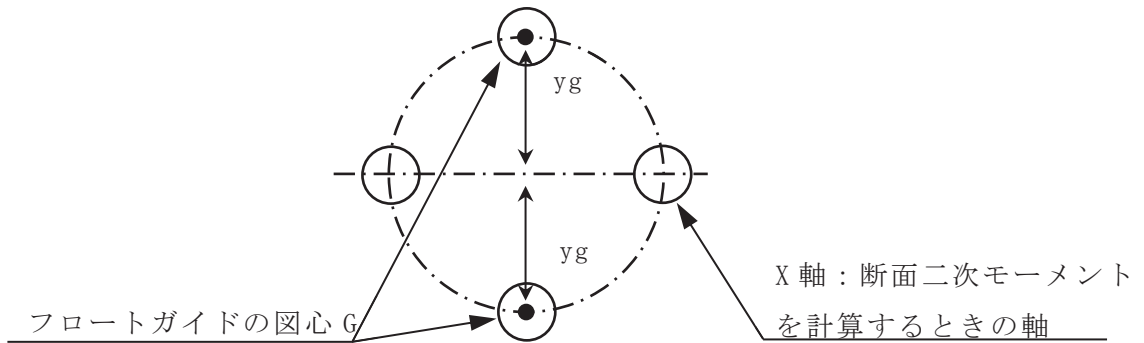


図4-2 フロートガイド4本の断面

c. モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメント I_m は、以下の式より算出する。

$$I_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2^3 + I_{m2} \cdot (\ell_1^3 + 3 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2^2 + 3 \cdot \ell_1^2 \cdot \ell_2)}$$

4.2 固有周期の計算条件

表 4-1 に固有周期の計算条件を示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D _{f m} (mm)
SUS304	2.90	75	38	6.6

フロートガイドの図心GとX軸の距離 y _g (mm)	モデル化に用いる弁本体の長さ l ₁ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ l ₂ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数* E (MPa)
30	41	102	1.922×10 ⁵

注記 * : 「5.3 許容限界」における温度条件での縦断性係数Eを用いる。

4.3 固有周期の計算結果

表 4-2 に固有周期の計算結果を示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-2 固有周期の計算結果

固有周期 (s)
0.002

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

逆流防止装置の耐震評価は、添付書類「VI-2-別添 2-1 浸水防護に係る施設の耐震計算の方針」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. 評価部位」にて設定する評価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 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁全体の自重 W_{d1} 及びフロートガイドの自重 W_{d2} を考慮し、以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

(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 F_{H1} , F_{V1} , F_{H2} , F_{V2} を考慮し、以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_V \cdot g$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_V \cdot g$$

5.2.2 荷重の組合せ

逆流防止装置の耐震計算にて考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*1*2}	許容応力状態
浸水防護施設	逆流防止装置	C	$D + P_D +$ $M_D + S_s$	Ⅲ _A S

注記

*1: Dは固定荷重, P_D は最高使用圧力による荷重, M_D は機械的荷重及び S_s は基準地震動 S_s による地震荷重を示す。

*2: P_D 及び M_D は荷重がかからないため考慮しない。D及び S_s の組合せが荷重を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

逆流防止装置の弁本体，フロートガイドの許容限界を表 5-2 に，弁本体，フロートガイドの許容応力評価条件を表 5-3 にそれぞれに示す。また，弁本体，フロートガイドの許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。

表 5-2 弁本体，フロートガイドの許容限界

許容応力状態	許容限界 ^{*1}		
	一次応力		
	引 張	曲 げ	組合せ ^{*2}
Ⅲ _A S ^{*3}	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記 *1：引張及び曲げ応力は，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）を準用し，「管」の許容限界のうちクラス 2，3 配管に対する許容限界に準じて設定する。

*2：引張と曲げ応力の組合せである。

*3：地震後，当該構造物全体の変形に対して止水性を有するよう，設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 弁本体，フロートガイドの許容応力評価条件

評価部位	材 料	温度条件 (°C)	S ^{*1} (MPa)
弁本体	SUS303	60	127
フロートガイド	SUS304		127

注記 *1：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力を示す。

表 5-4 弁本体，フロートガイドの許容応力算出結果

許容応力状態	評価部位	許容限界		
		一次応力		
		引 張 1.2・S (MPa)	曲 げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
Ⅲ _A S	弁本体	152	152	152
	フロートガイド	152	152	152

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり逆流防止装置の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため、逆流防止装置の耐震計算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」に示す逆流防止装置における設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。逆流防止装置の耐震計算に用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計用地震力

地震動	据付場所及び床面高さ* ¹ (mm)	地震による設計震度* ² * ³	
		基準地震動 S _s	制御建屋地下 2 階 O.P. 1500
鉛直方向 C _V	0.79		

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有周期」より、逆流防止装置の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため、設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

*3：耐震計算に用いる設計震度は、逆流防止装置が設置されている各基準床レベルのうち、鉛直方向及び水平方向の最大設計震度を設定した。

5.5 計算方法

(1) 弁本体

弁本体の発生応力を算出する。弁本体の応力評価に用いる断面積 A_1 は、図 5-1 に示すとおり、弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。

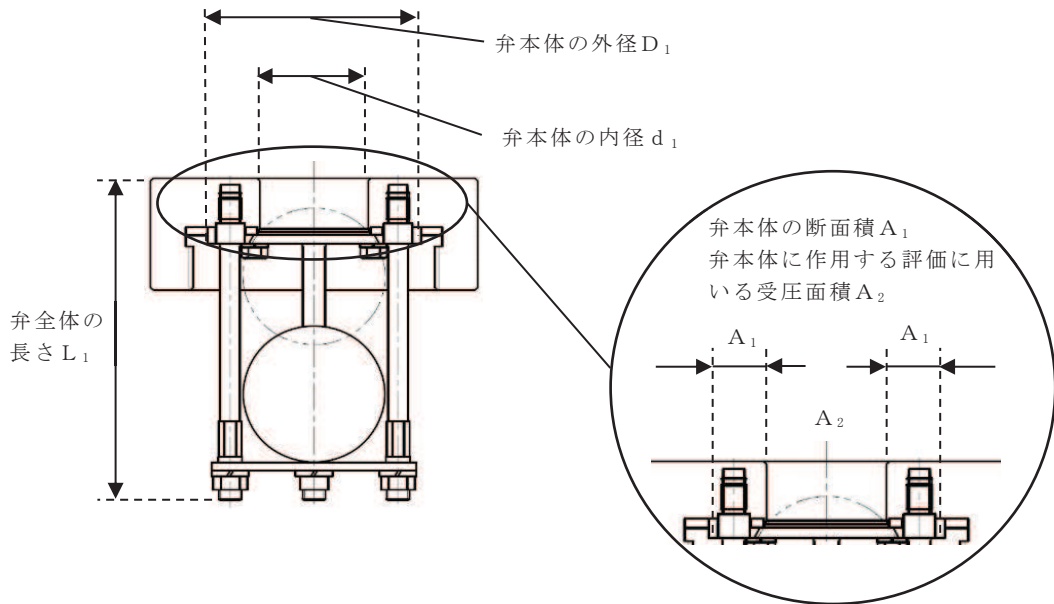


図 5-1 逆流防止装置本体の構造図

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、弁本体に加わる引張応力 σ_{V1} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V1} = \frac{W_{d1} + F_{V1}}{A_1}$$

b. 水平応答加速度負荷時

弁体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、弁本体に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

(2) フロートガイド

フロートガイドの応力評価に用いるフロートガイドの最小断面積 A_2 は、以下の図 5-2 に示すフロートガイドの最小直径 D_2 から求める。フロートガイドの最小断面積 A_2 はフロートガイドのうち最も小さい径の断面を適用する。

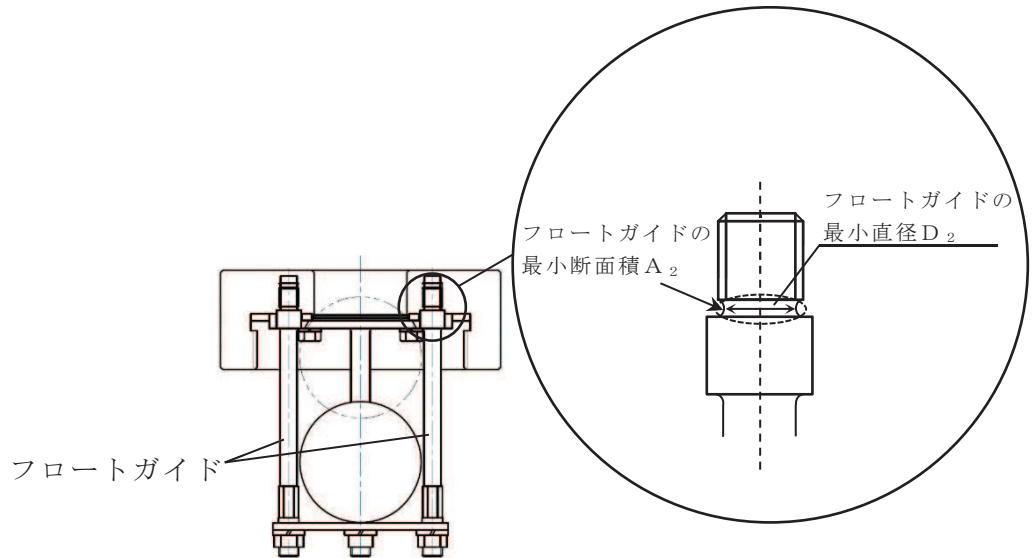


図 5-2 フロートガイドの応力評価に用いる断面積

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_2}$$

b. 水平応答加速度負荷時

フロートガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力 σ_{H2} を以下の式より算出する。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2$$

$$I_2 = D_2^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)}{I_2}$$

5.6 計算条件

逆流防止装置の応力評価に用いる計算条件を表 5-6 に示す。

表 5-6 逆流防止装置の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁本体の断面積 A ₁ (mm ²)	弁の全質量 m ₁ (kg)	弁全体の長さ L ₁ (mm)
SUS303	3284	2.90	120

弁本体の外径 D ₁ (mm)	弁本体の内径 d ₁ (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小断面積 A ₂ (mm ²)
75	38	SUS304	34.21

フロートガイドの 1本当たりの質量 m ₂ (kg)	フロートガイドの 長さ L ₂ (mm)	フロートガイドの 最小直径 D ₂ (mm)	重力加速度 g (m/s ²)
0.05	102	6.6	9.80665

6. 機能維持評価

「3. 評価部位」にて評価部位として設定した逆流防止装置の地震時及び地震後の機能維持を確認するため、「6.1 機能維持評価方法」に示すとおり、逆流防止装置の加振試験後に漏えい試験を実施することにより機能維持評価を実施した。

6.1 機能維持評価方法

逆流防止装置の固有周期を考慮して、地震時における逆流防止装置の機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

具体的な機能維持確認として、逆流防止装置に対して、正弦波により水平方向及び鉛直方向の加振試験を実施後、内部溢水水位を上回る圧力として 0.3MPa の水圧にて漏えい試験を実施し、漏えい量が許容漏えい量以下であることを確認した。本漏えい試験の結果により、逆流防止装置の地震時及び地震後の機能維持を確認した。

なお、固有値解析結果より、逆流防止装置の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため、機能維持評価用加速度には設置床の最大応答加速度を使用する。

表 6-1 逆流防止装置の機能確認済加速度

評価部位	機能確認済加速度 (×9.8m/s ²)	
	水平方向	鉛直方向
逆流防止装置	6.0	6.0

7. 評価結果

逆流防止装置の耐震評価結果を以下に示す。(1), (2) 及び (3) に示す評価結果から, 逆流防止装置が耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価

基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価結果を表 7-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 7-1 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価結果

評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
弁本体	引張	1	152
	曲げ	1	152
	組合せ*	2	152
フロートガイド	引張	1	152
	曲げ	3	152
	組合せ*	4	152

注記 * : 引張 (σ_v) + 曲げ (σ_H) は, $\sigma_v + \sigma_H \leq 1.2 S$ で評価

(2) 基準地震動 S_s に対する逆流防止装置の機能維持評価

逆流防止装置の機能維持評価結果を表 7-2 に示す。表 7-2 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であることから逆流防止装置の機能維持を確認した。

表 7-2 逆流防止装置の機能維持評価結果

評価部位	設置階 O. P. (mm)	据付場所	機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
			機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
逆流防止装置	1500	制御建屋 (地下 2 階)	1.13	6.0	0.66	6.0

注記 * : 「4. 固有周期」より, 逆流防止装置の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため, 機能維持評価用加速度には逆流防止装置が設置されている各基準床レベルのうち最大応答加速度を使用した。

(3) 基準地震動 S_s に対するフロート及び取付部の構造健全性評価

「(2) 基準地震動 S_s に対する逆流防止装置の機能維持評価」に示したとおり逆流防止装置の機能維持を確認したことにより，評価部位であるフロート及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

VI-2-別添 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書

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
2.3 構造計画	8
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	16
3.5 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	18
4.1 固有周期及び設計震度	18
4.2 評価結果	24
4.2.1 管の応力評価結果	24
4.2.2 支持構造物評価結果	25
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、添付資料「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に従い、溢水量低減を目的として、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が基準地震動 S_s に対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、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動的機能維持評価を示す。

なお、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、タービン補機冷却海水系配管に設置される弁であり、配管と合わせて耐震評価を実施することから、添付資料「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。）に基づき評価を実施する。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

概略系統図に示す配管の評価対象部位のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を記載する。また、全 3 弁をひとつの配管系として解析モデルを作成し、各応力区分における許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる部位を代表として計算条件及び評価結果を記載する。

(2) 支持構造物

対象配管の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持構造物の評価結果を代表として記載する。



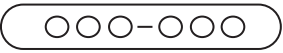

(3) 弁

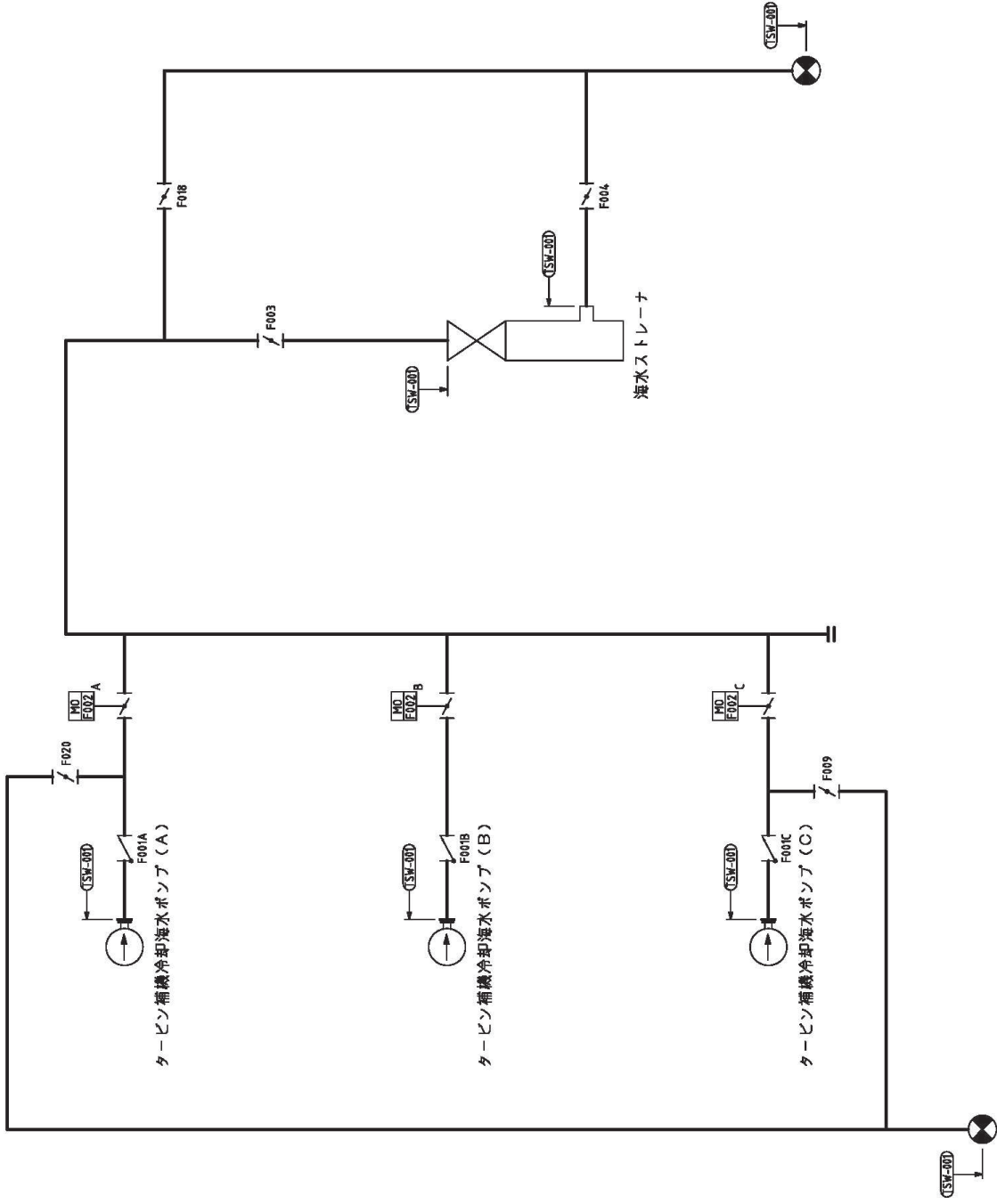
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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




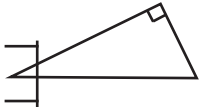

記号	内容
 (太線)	本計算書に評価結果を添付する配管（基準地震動 S_s による地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
 (破線)	本計算書に評価結果を添付しない配管で計算モデルの概略を示すために表記する配管
	鳥瞰図番号
	アンカ

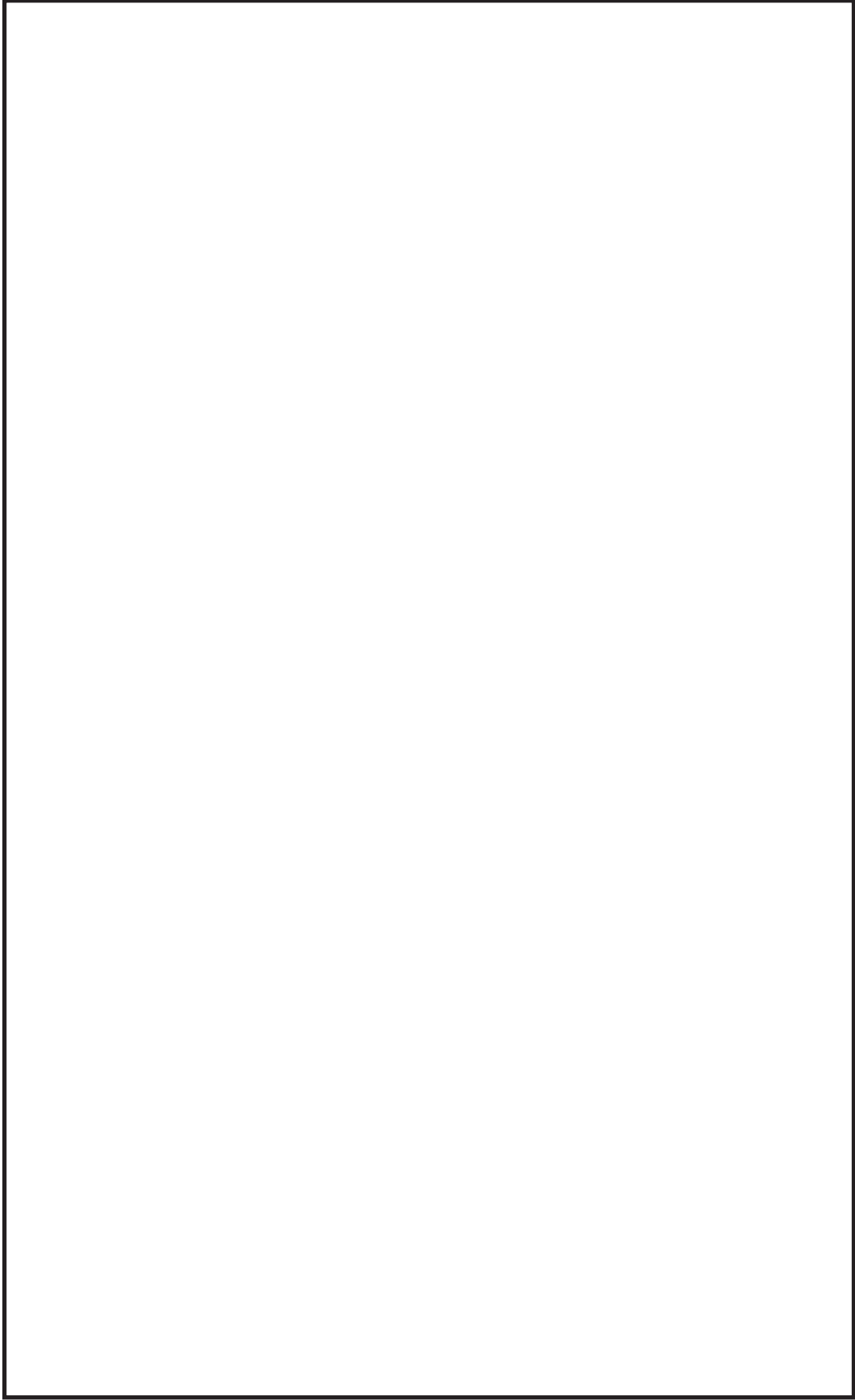


タービン補機冷却海水系概略系統図

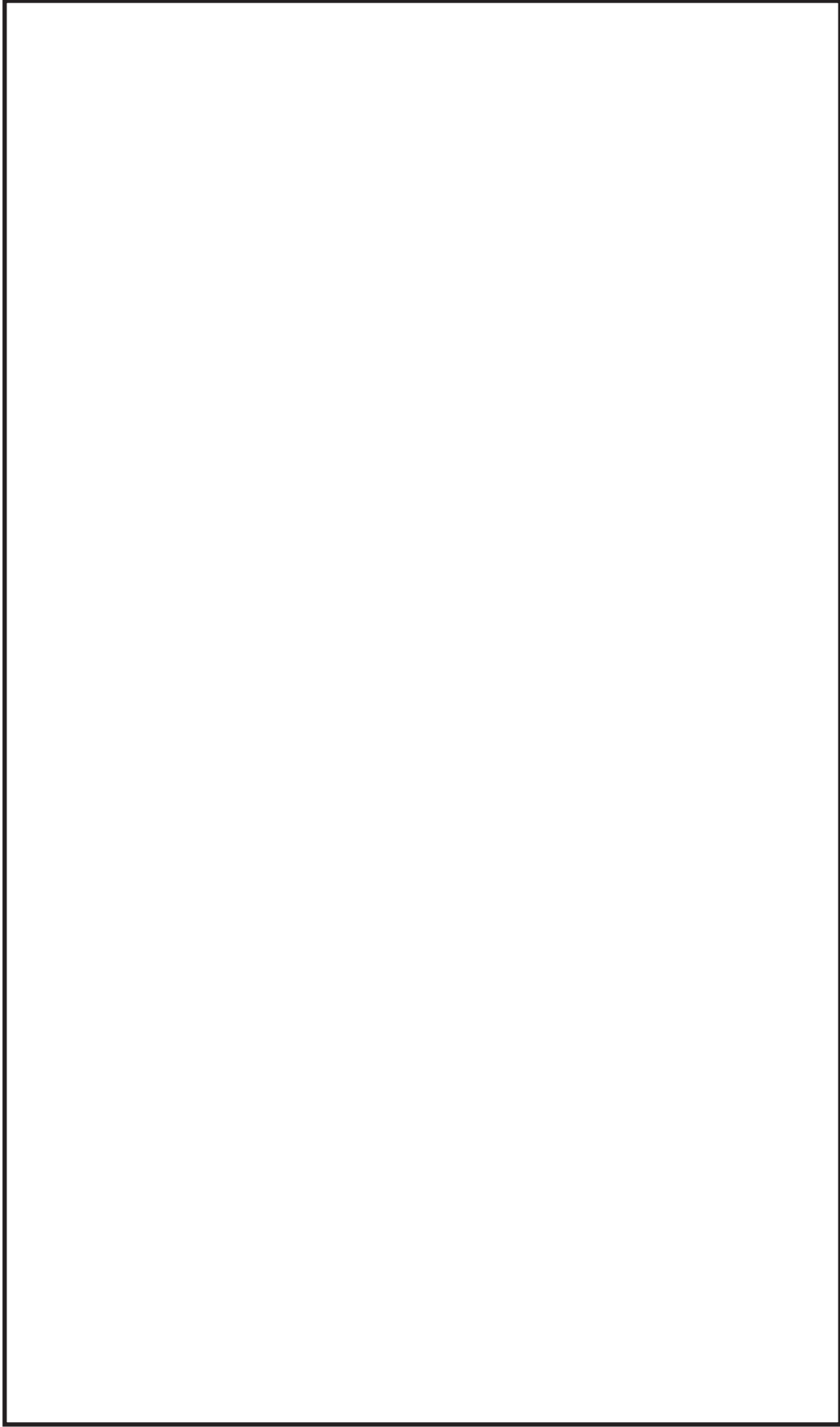
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

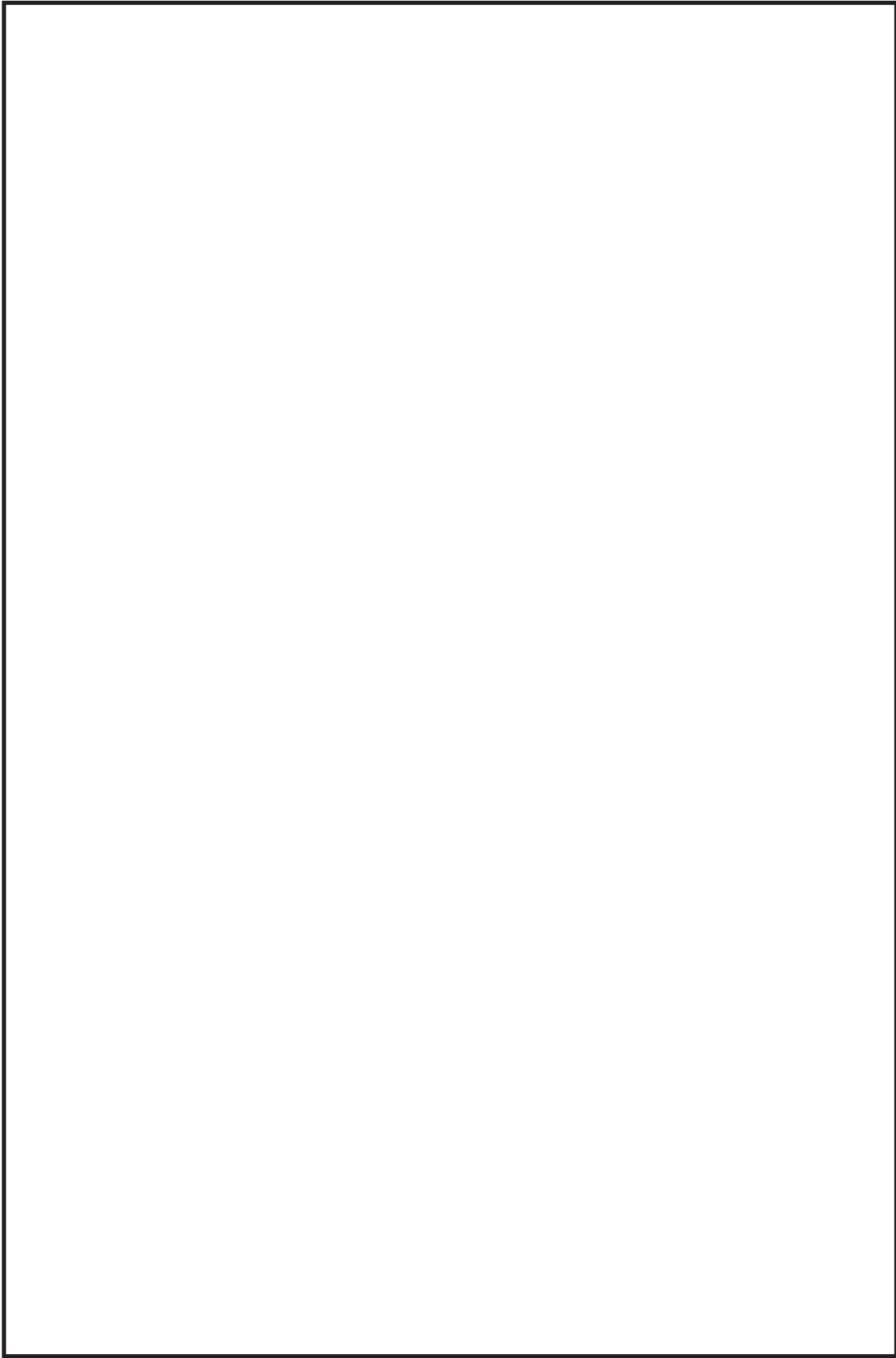
記号	内容
 (太線)	概略系統図記載の管のうち、本計算書に評価結果を添付する配管
 (破線)	概略系統図記載の管のうち基準地震動 S_s に対し機能維持を期待しない範囲の管であって解析モデルの概略を示すために表記する配管
	質点
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)
	アンカ



鳥瞰図	TSW-001 (1/3)
-----	---------------



鳥瞰図	TSW-001 (2/3)
-----	---------------



2.3 構造計画

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を下表に示す。

構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	タービン補機冷却海水系配管に設置され，配管にて支持される。配管については，支持構造物にて支持される。	

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、「AutoPIPE」,「NAPF」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
—	—	タービン補機 冷却海水系	DB	—	—	C	I _L +S S II _L +S S	III _A 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 TSW-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	0.69	41	762.0	9.5	SM400B	C	201600
2	0.69	41	762.0	12.7	SM400B	C	201600
3	0.69	41	558.8	9.5	SM400B	C	201600
4	0.69	41	558.8	12.7	SM400B	C	201600
5	0.69	41	406.4	9.5	SM400B	C	201600
6	0.69	41	406.4	12.7	STPT370	C	201600
7	0.69	41	406.4	12.7	STPT480	C	201600

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 TSW-001

管名称	対応する評価点
1	D01～D07, D09～D17, D19～D21, D16～E01, E03～E07, E09～E47, E08～H01, H03～H04
2	C01～D01, D07～D09, E07～E09
3	A00～A01, A08～C00, D04～F05, F07～F09, F11～F12, D08～G01, G07～G08
4	A03～A06, G03～G05
5	A05～B11, B14～B56
6	B55～B14, i01～i05, i07～G09
7	B11～B55, B54～i01

フランジ部の質量

鳥瞰図 TSW-001

質量	対応する評価点
49kg	A00, A01, A03, A06, A08, F01, F03, F05, F07, F09, F11, F12, G01, G03, G05, G07, G08
26kg	B01, B03, B06, B08, B09, B11, B14, B16, B20, B24, B28, B30, B32, B34, B55, i01, i03, i05, i07
248kg	C01
87kg	C01, D01, D03, D05, D07, D09, D11, D13, D15, D17, D19, D21, E01, E03, E05, E07, E09, E12, E14
87kg	E17, E19, E23, H01, H03, H04

弁部の寸法

鳥瞰図 TSW-001

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
D17～D19, H01～H03, E01～E03	762.0	190.5	280	L01～L02, K01～K02, J01～J02	140.0	28.5	348
G01～G03, F05～F07, A06～A08	606.0	20.0	230	G05～G07, F09～F11, A01～A03	558.8	139.7	1067
G02～L01, F06～K01, A07～J01	606.0	20.0	303	B01～B03, i05～i07	406.4	101.6	180

弁部の質量

鳥瞰図 TSW-001

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
1320kg	D18, H02, E02	260kg	L02, K02, J02
461kg	G02, F06, A07	1500kg	G06, F10, A02
24kg	L01, K01, J01	325kg	B02, i06

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 TSW-001

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・m/deg)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B04	-	3.77×10^4	-	-	-	-
B12	5.68×10^5	2.96×10^5	-	-	-	-
B40	-	-	8.05×10^5	-	-	-
B18	-	2.96×10^5	5.68×10^5	-	-	-
B27	9.94×10^5	6.13×10^5	6.05×10^5	-	-	-
B33	7.14×10^5	-	8.66×10^5	-	-	-
D02	-	2.67×10^5	-	-	-	-
D06	7.94×10^4	4.71×10^5	1.91×10^5	-	-	-
D12	1.54×10^5	3.30×10^5	-	-	-	-
D20	-	1.79×10^5	1.04×10^5	-	-	-
E10	-	1.80×10^5	1.19×10^5	-	-	-
E13	-	1.19×10^5	-	-	-	-
E21	3.40×10^5	-	4.69×10^5	-	-	-
E47	8.83×10^5	2.11×10^6	4.54×10^6	2.44×10^{11}	1.55×10^{12}	7.06×10^{11}
B56	9.19×10^5	1.03×10^6	1.71×10^6	6.83×10^{10}	2.00×10^{11}	1.38×10^{11}

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評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_h (MPa)
SM400B	41	-	244	399	-
STPT370	41	-	214	369	-
STPT480	41	-	274	479	-

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	建屋・構築物	標高(O.P.(m))	減衰定数(%)
TSW-001	海水ポンプ室	7.250	2.0
		2.250	
		-0.550	
		-7.025	

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 TSW-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	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
		X方向	Z方向		X方向	Z方向	
1次	0.191	-	-	-	7.170	7.170	3.056
2次	0.172	-	-	-	5.793	5.793	3.022
3次	0.100	-	-	-	6.382	6.382	11.597
4次	0.085	-	-	-	6.191	6.191	11.770
5次	0.073	-	-	-	6.302	6.302	12.551
6次	0.070	-	-	-	6.953	6.953	10.147
7次	0.058	-	-	-	6.953	6.953	9.956
8次	0.056	-	-	-	6.408	6.408	7.909
10次	0.050	-	-	-	6.471	6.471	6.738
11次*2	0.047	-	-	-	6.988	6.988	7.266
動的震度*3		-	-	-	2.760	2.760	2.260
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応答加速度より定められた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定められた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

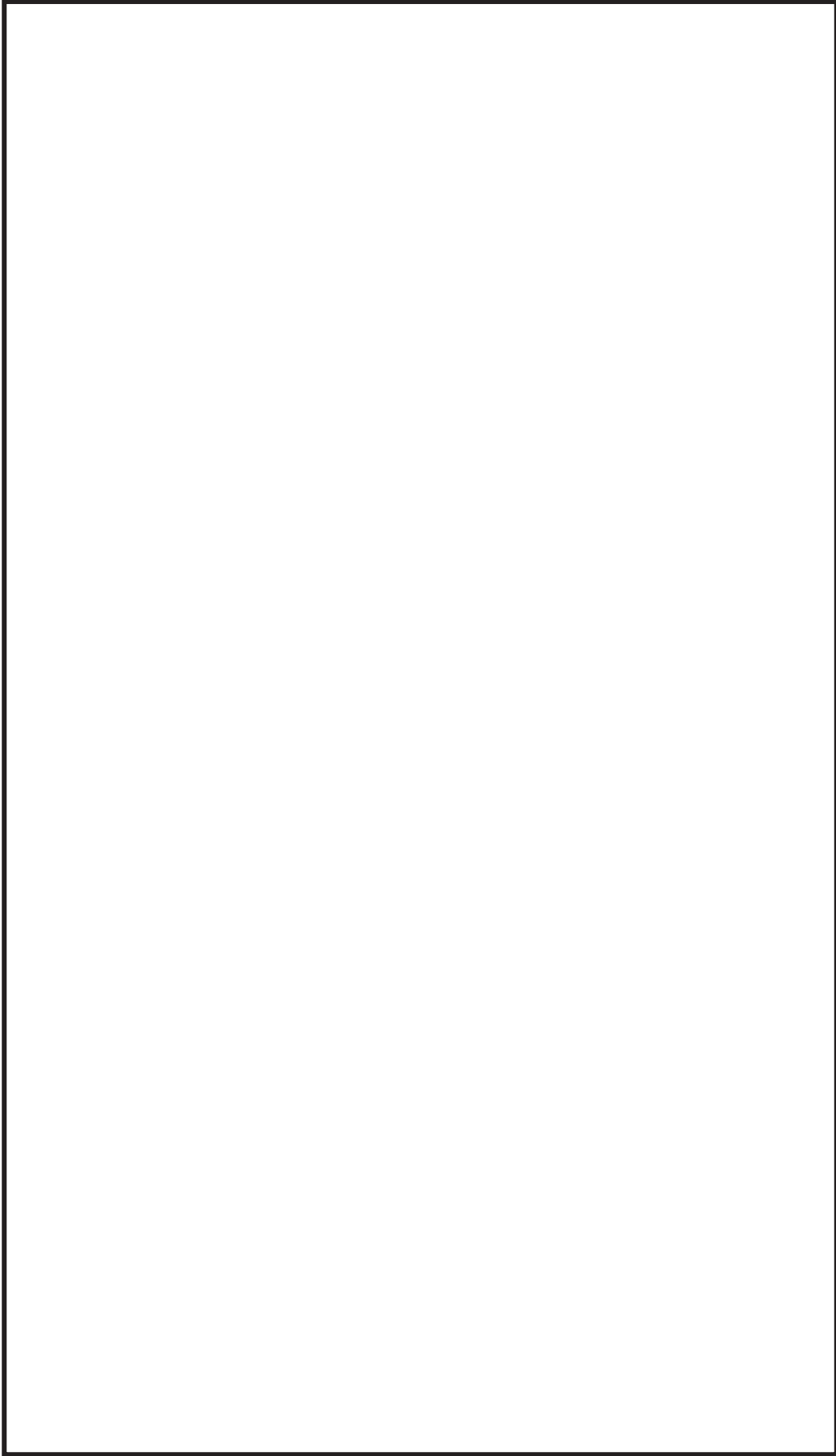
鳥瞰図 TSW-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.191	0.003	0.040	0.008
2次	0.172	0.005	0.011	0.037
3次	0.100	0.028	0.001	0.020
4次	0.085	0.036	0.003	0.057
5次	0.073	0.045	0.007	0.005
6次	0.070	0.062	0.019	0.003
7次	0.058	0.122	0.008	0.009
8次	0.056	0.003	0.001	0.016
10次	0.050	0.000	0.011	0.001

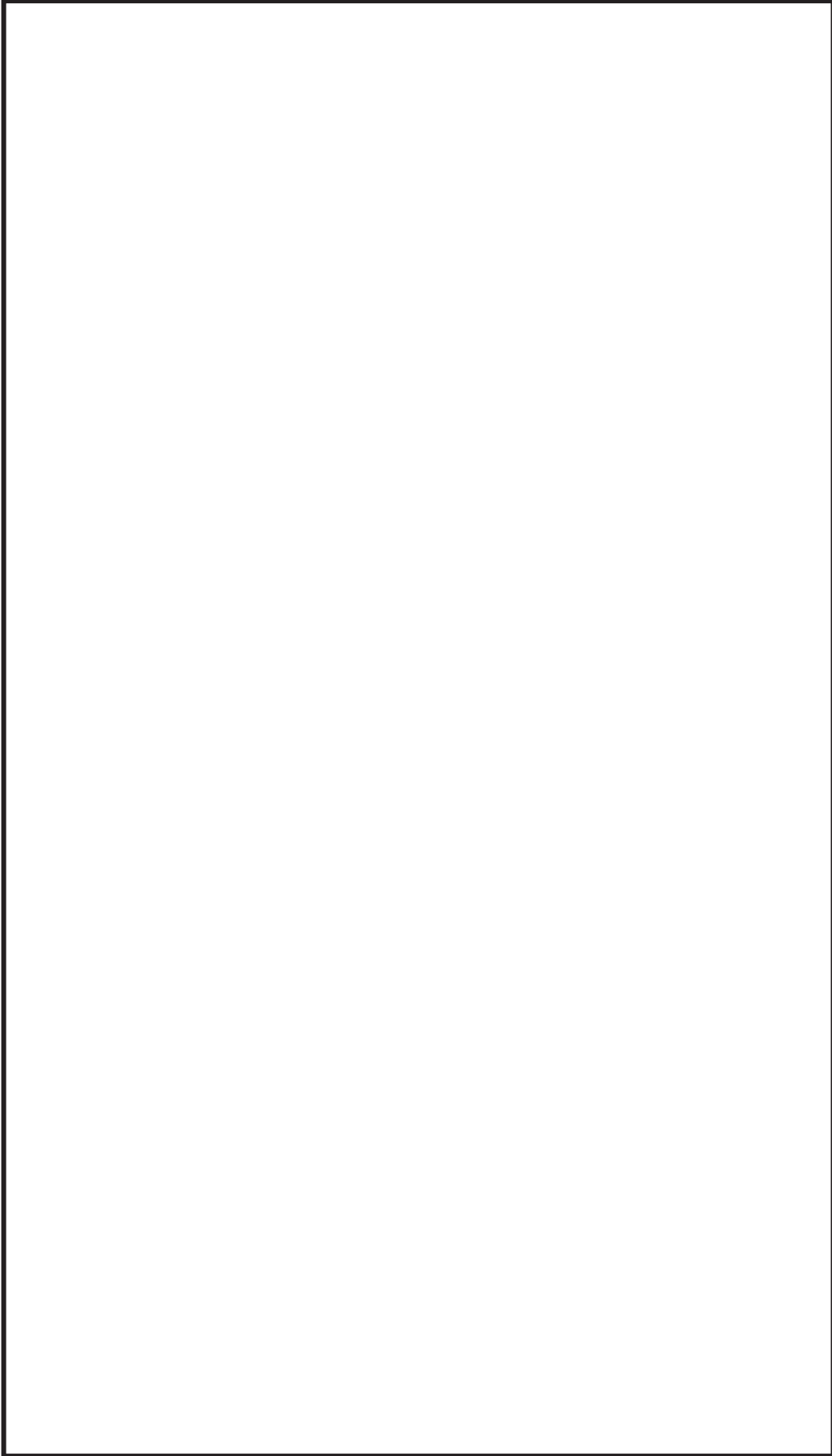
注記*: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

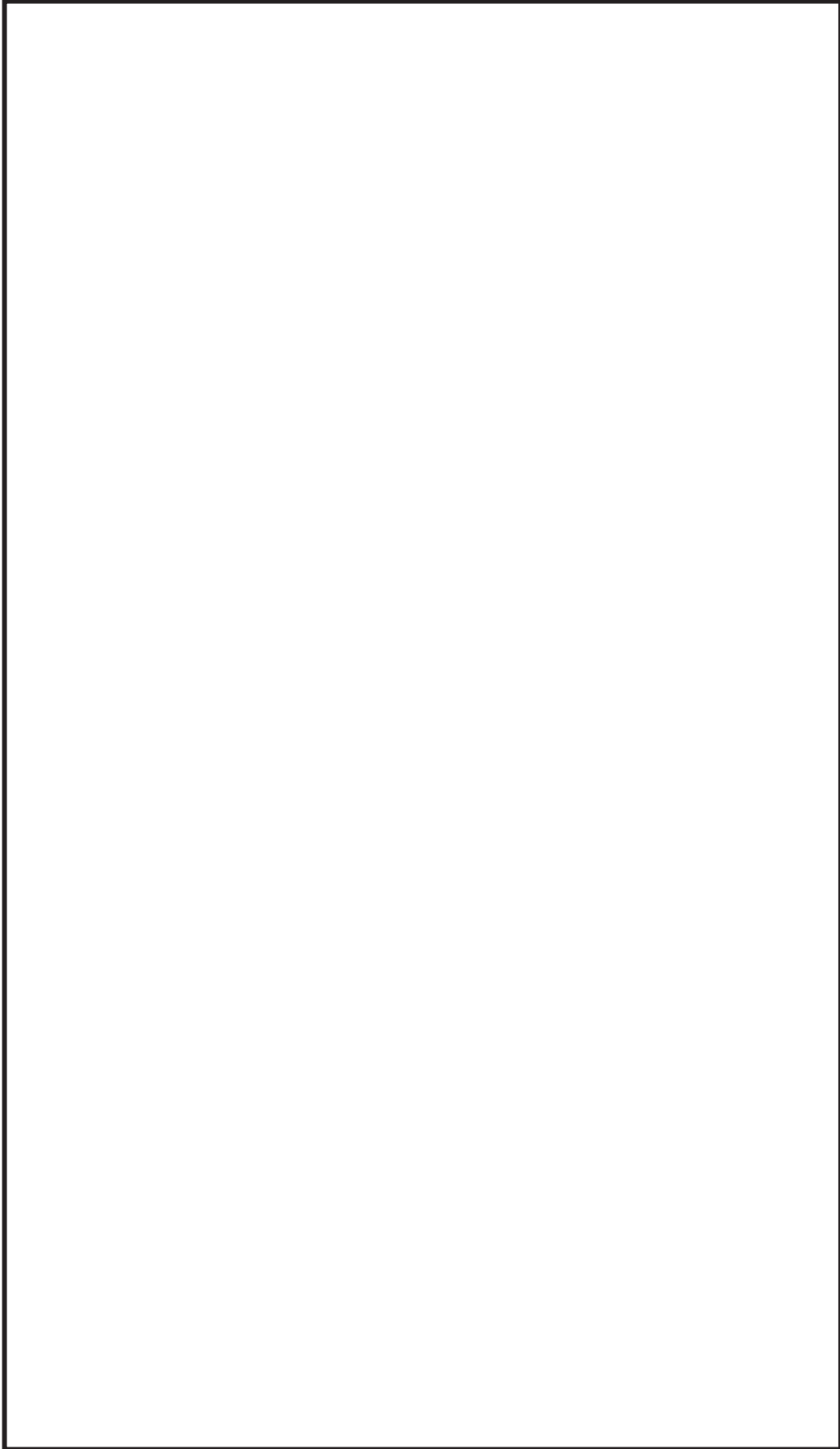
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図	TSW-001
-----	---------



鳥瞰図	TSW-001
-----	---------



鳥瞰図	TSW-001
-----	---------

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 疲労累積係数 U S s
				計算応力 $S_{p,m}(S s)$	許容応力 S_y^{*1}	計算応力 $S_n(S s)$	許容応力 $2S_y$	
TSW-001	III _A S	B54	$S_{p,m}(S s)$	244	274	—	—	—
		B54	$S_n(S s)$	—	—	448	548	—

注記*1：S s 地震動に対し許容応力状態III_ASの評価を行う。

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）

支持点番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
B40	ロッドレス トレイント	RST-5	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		63	273

支持構造物評価結果（応力評価）

支持点番号	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			
D06	レスト レイント	架構	STKR400	55	440	169	115	-	-	-	-	156	228
E47	アンカ	架構	STKR400	55	99	188	117	193	49	127	組合せ	281	456

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を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能 β (S s)	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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
P46-F002B	電動バタフライ弁	β (S s)	14.0*	8.81*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認 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	評価部位*1	応力分類	計算応力	許容応力
P46-F002B	電動バタフライ弁	β (S s)	14.0	8.81	20.0	20.0	弁箱 上部	曲げ	88.7	280*2

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：弁の材料 FCD450-10 の S_y 値として、JIS G 5502「球状黒鉛鋳鉄品」による 0.2%耐力を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果
 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 3 管相当)

No.	配管モデル	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	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	TSW-001	B54	244	274	1.12	○	B54	448	548	1.22	○	—	—	—

VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書

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
2.3 構造計画	6
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	13
3.5 設計用地震力	14
4. 解析結果及び評価	15
4.1 固有周期及び設計震度	15
4.2 評価結果	20
4.2.1 管の応力評価結果	20
4.2.2 弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	23

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」に従い、溢水量低減を目的として、復水器水室入口弁及び出口弁（以下「復水器水室出入口弁」という。）が基準地震動 S_s に対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

復水器水室出入口弁は、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動的機能維持評価を示す。

なお、復水器水室出入口弁は、循環水系配管に設置される弁であり、配管と合わせて耐震評価を実施することから、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。）に基づき評価を実施する。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

概略系統図に示す配管の評価対象部位のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を記載する。また、全 8 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.3 に記載する。





(2) 弁

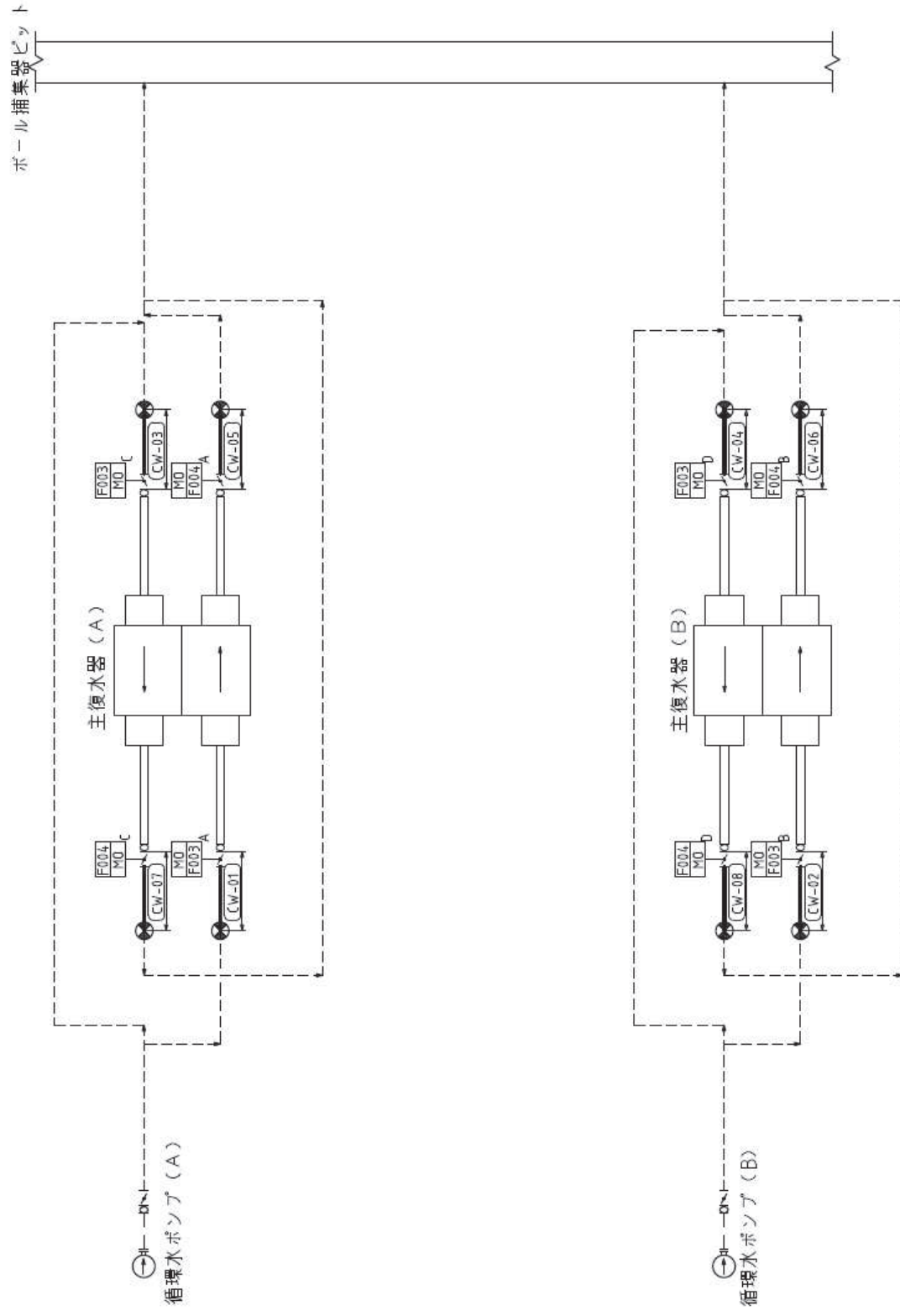
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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)	本計算書に評価結果を添付する配管（基準地震動 S_s による地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
 (破線)	本計算書に評価結果を添付しない配管で計算モデルの概略を示すために表記する配管
	鳥瞰図番号
	アンカ

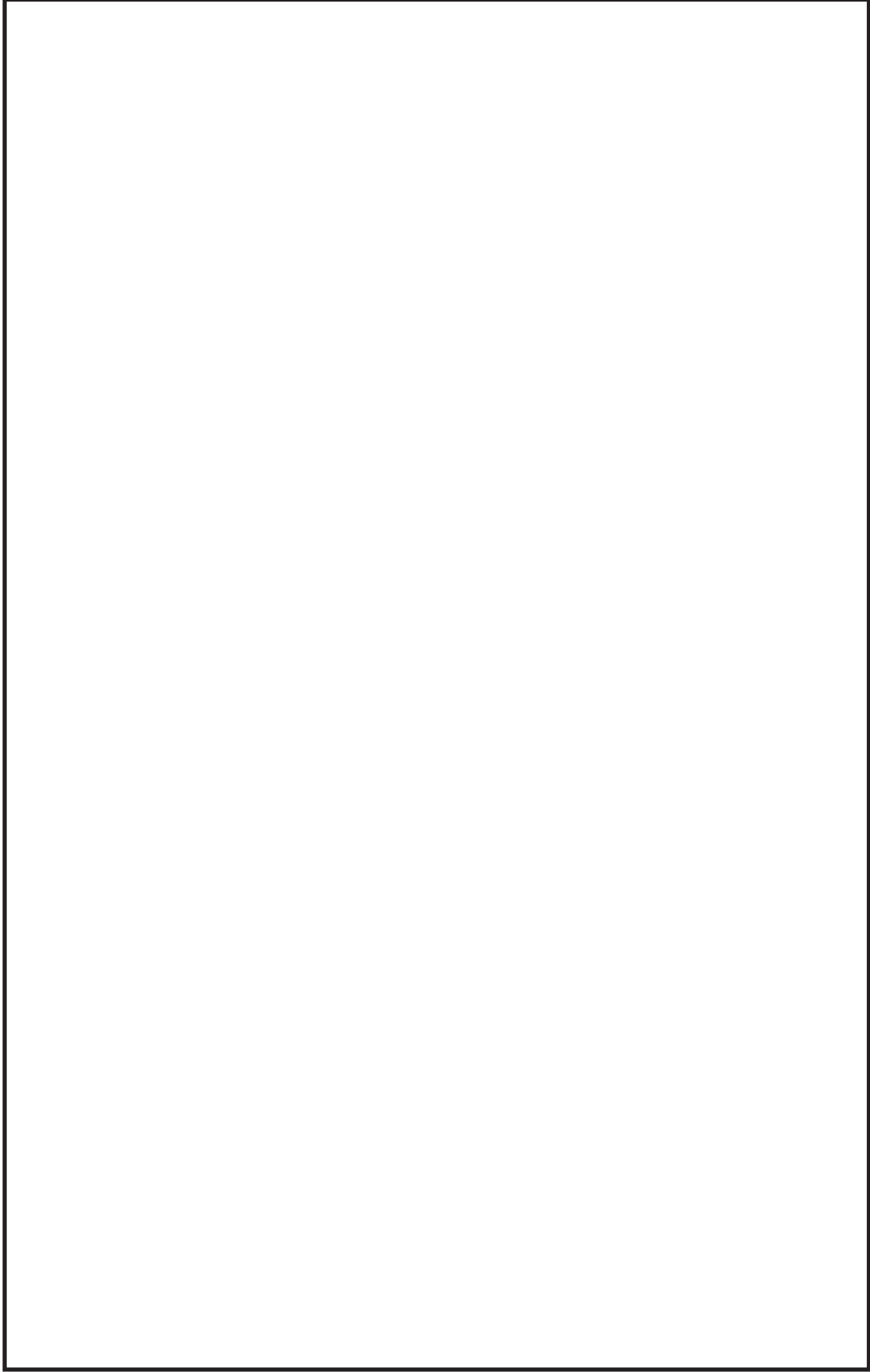


循環水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	概略系統図記載の管のうち，本計算書に評価結果を添付する配管及び弁の質量分布をモデル化するために設定している梁要素
	質点
	アンカ



鳥瞰図

CW-01

2.3 構造計画

復水器水室出入口弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を下表に示す。

構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
復水器水室出入口弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	循環水配管に設置され，配管に支持される。	

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、「AutoPIPE」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		
—	—	循環水系	DB	—	—	C	<table border="1"> <tr> <td>I_L+S_s</td> </tr> <tr> <td>II_L+S_s</td> </tr> </table>	I _L +S _s	II _L +S _s	III _A S
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 CW-01

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	0.48	41	2526.0	13.0	SS400	C	201600

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 CW-01

管名称	対応する評価点
1	1 2 3

フランジ部の質量

鳥瞰図 CW-01～CW-08

質量	対応する評価点
1770kg	2
885kg	3

弁部の寸法

鳥瞰図 CW-01～CW-08

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
3～5	2582.0	28.0	520	4～6	2582.0	28.0	1427.5
6～7	523.0	112	391	7～8	675.0	25.0	430
8～9	330.0	109.4	275				

弁部の質量

鳥瞰図 CW-01～CW-08

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
885kg	3	8018kg	4
1992kg	5	520kg	6
490kg	7	2713kg	9

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
SS400 (厚さ ≤ 16mm)	41	—	244	399	—

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資料「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付資料「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
CW-01	タービン建屋	0.800	0.5

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 CW-01

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
モード	固有周期 (s)	X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.098	—	—	—	6.51	6.51	4.21
2次	0.095	—	—	—	6.51	6.51	4.21
3次*2	0.050	—	—	—	—	—	—
動的震度*3		—	—	—	1.14	1.14	0.71
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られた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定められた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

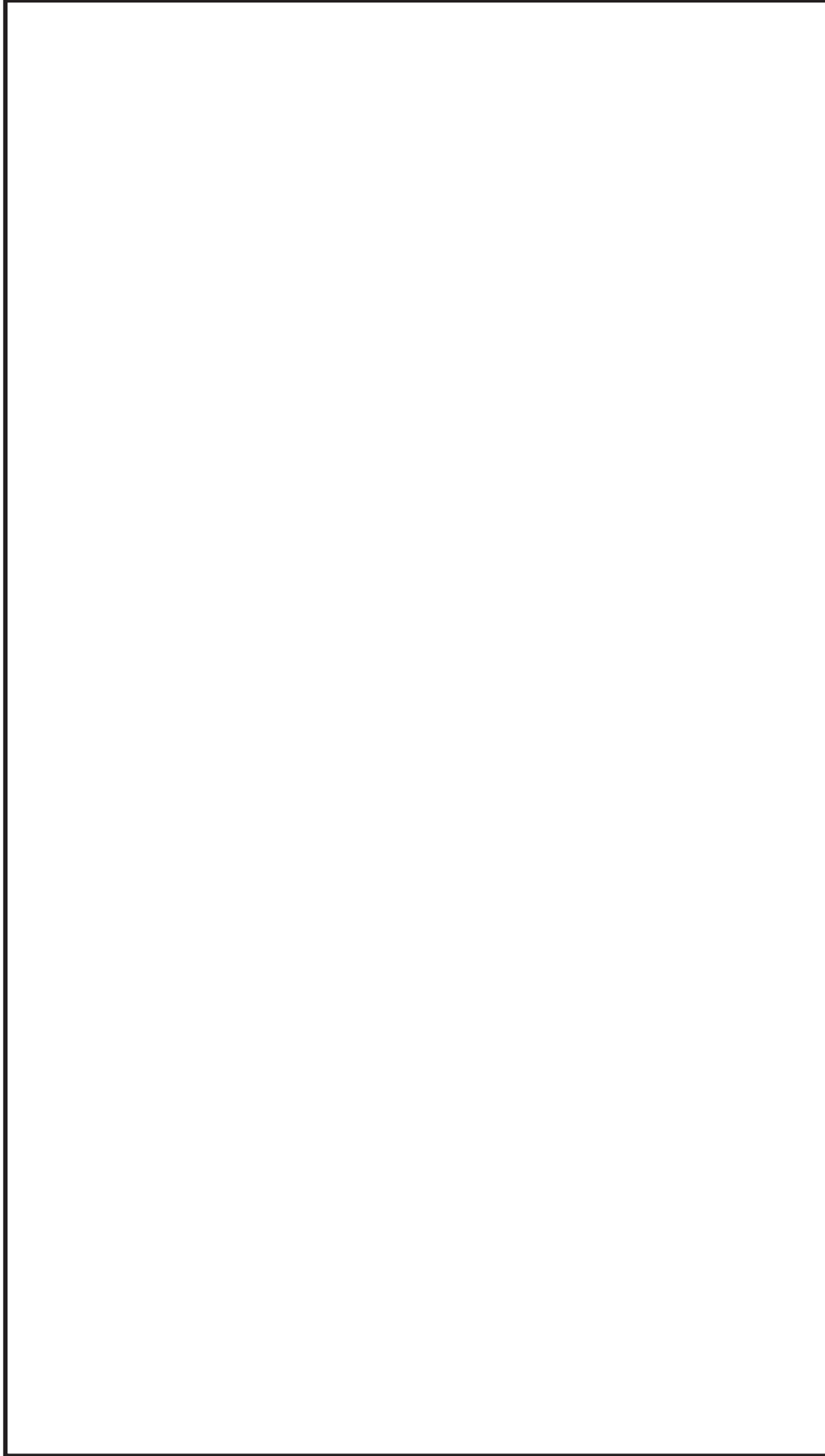
鳥瞰図 CW-01

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	0.148	0.017	0.044
2次	0.095	0.045	0.000	0.154

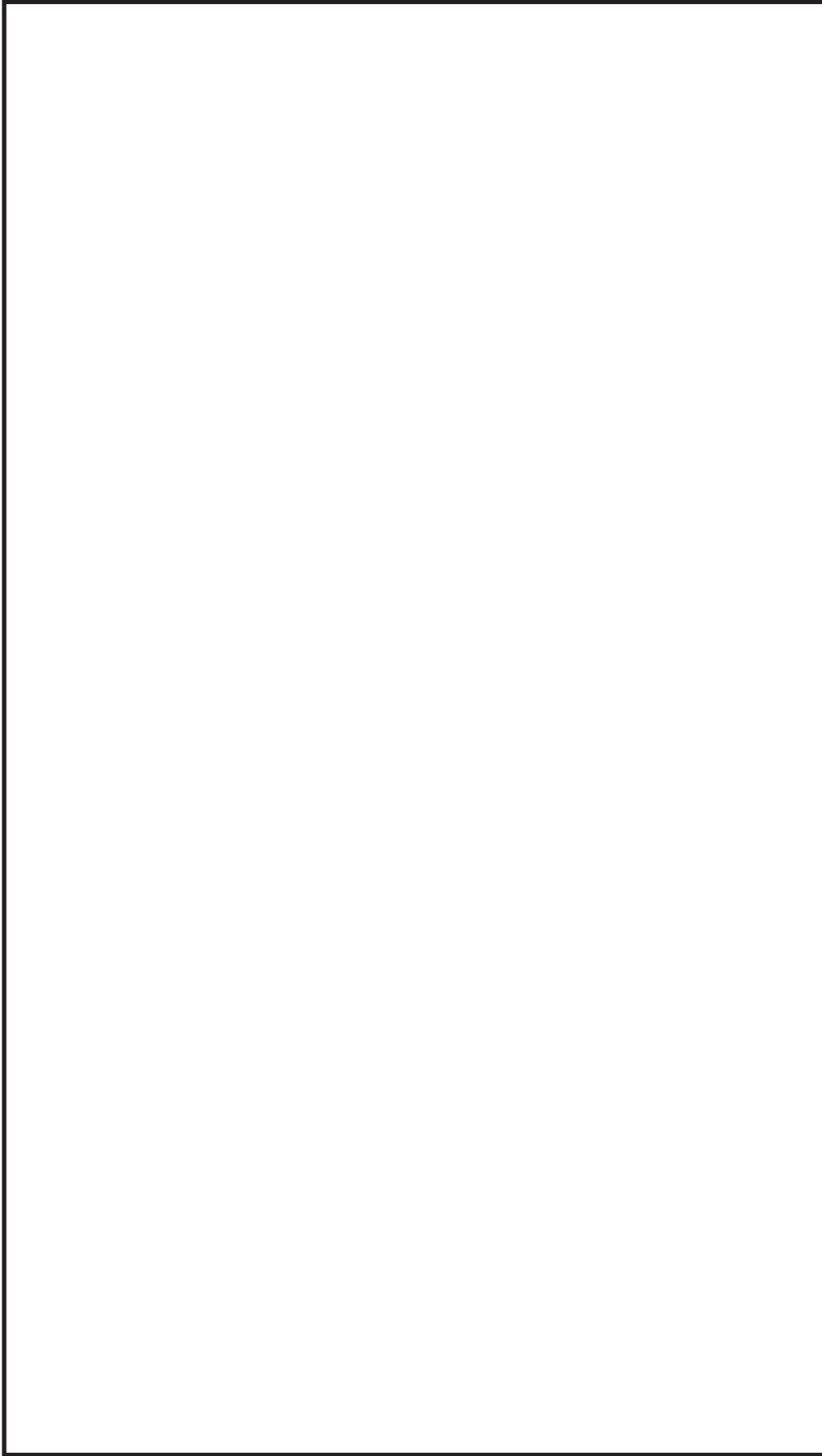
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、2 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	CW-01
-----	-------



鳥瞰図

CW-01

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 $S_{prim}(S_s)$	許容応力 $S_y^{*1,*2}$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	
CW-01	Ⅲ _A S	2 2	$S_{prim}(S_s)$ $S_n(S_s)$	41 —	244 —	— 200	— 489	— —

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、 S_y と $1.2S_h$ のうち大きい方の値とする。

*2： S_s 地震動に対し許容応力状態Ⅲ_ASの評価を行う。

4.2.2 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を超える弁については、詳細評価を実施する。

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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
N71-F004(D)	電動バタフライ弁	β (S s)	11.1*	4.9	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果と最大加速度を

1.2倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下及び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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		駆動部の動作機能確認 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	評価部位*1	応力分類	計算応力	許容応力
N71- F004 (D)	電動バタフライ弁	β (S s)	11.1	4.9	20.0	鉛直	ヨーク 下部	曲げ	27.7	214*2

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：弁の材料 SS400 (40mm < t) の最高使用温度 41°C における Sy 値を示す。

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計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 3 管相当)

No.	配管モデル	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	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	CW-01	2	41	244	5.95	○	2	200	489	2.44	○	-	-		
2	CW-02	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		
3	CW-03	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		
4	CW-04	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		
5	CW-05*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		
6	CW-06*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		
7	CW-07*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		
8	CW-08*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-		

注記*：復水器出口配管の最高使用圧力は 0.38MPa であるが、評価としては、復水器入口配管の最高使用圧力 0.48MPa を

用いて応力計算を行った。

VI-2-別添3 可搬型重大事故等対処設備等の耐震性に関する説明書

目次

- VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針
- VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動
- VI-2-別添 3-3 可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震計算書
- VI-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備の耐震計算書
- VI-2-別添 3-5 可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書
- VI-2-別添 3-6 可搬型重大事故等対処設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針

目次

1. 概要	1
2. 耐震評価の基本方針	1
2.1 評価対象設備	2
2.2 評価方針	2
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	22
3.1 荷重及び荷重の組合せ	22
3.2 許容限界	22
4. 耐震評価方法	32
4.1 車両型設備	32
4.2 ボンベ設備	47
4.3 その他設備	59
4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮	66
5. 適用規格・基準等	66

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第 54 条及び第 76 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合する設計とするため、添付書類「VI-1-1-6 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」（以下「添付書類VI-1-1-6」という。）の別添 2「可搬型重大事故等対処設備の設計方針」（以下「添付書類VI-1-1-6-別添 2」という。）にて設定する耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の設備の分類に該当しない設備である可搬型重大事故等対処設備が、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

なお、可搬型重大事故等対処設備への基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性の要求は、技術基準規則の第 5 条及び第 50 条の対象ではない。

可搬型重大事故等対処設備の加振試験又は地震応答解析等に使用する保管場所の入力地震動は、添付書類「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に、車両型設備の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-2-別添 3-3 可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震計算書」に、ポンベ設備の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備の耐震計算書」に、その他設備の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-2-別添 3-5 可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書」に示すとともに、動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果については、添付書類「VI-2-別添 3-6 可搬型重大事故等対処設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価は、「2.1 評価対象設備」に示す評価対象設備を対象として、構造強度評価、転倒評価及び機能維持評価を設備設計を考慮したうえで実施し、地震後において重大事故等に対処するための機能を損なわないこと、及び車両型設備の支持機能及び移動機能が損なわれないことを確認する。

また、波及的影響の評価を実施し、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して、波及的影響を及ぼさないことを確認する。

可搬型重大事故等対処設備は、基準地震動 S_s による地震力に対してその機能を維持できる設計とすることを踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせに関する影響評価が必要な設備は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせで評価を実施する。影響評価方法は「4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象設備

評価対象設備は、添付書類VI-1-1-6-別添 2 の「3. 設備分類」に設定している車両型設備、ポンベ設備及びその他設備を対象とし、表 2-1 に示す。また、評価を要しない可搬型重大事故等対処設備についてもあわせて示す。

添付書類VI-1-1-6-別添 2 にて設定している対象設備の構造計画を表 2-2 に示す。

2.2 評価方針

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価は、添付書類VI-1-1-6-別添 2 の「3. 設備分類」に設定している車両型設備、ポンベ設備及びその他設備の分類ごとに定める構造強度評価、転倒評価、機能維持評価、波及的影響評価及び水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮に従って実施する。

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価の評価部位は、添付書類VI-1-1-6-別添 2 の「4.2 性能目標」で設定している設備ごとの構造強度設計上の性能目標を踏まえて、表 2-3 に示すとおり設定する。

(1) 車両型設備

a. 構造強度評価

車両型設備の構造強度評価については、添付書類VI-1-1-6-別添 2 の「6.3.1(2)a. 構造強度」にて設定している評価方針に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対し、車両に積載しているポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルト及びコンテナ取付ボルトが、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを、計算により確認する。ここで、車両型設備に求められる主たる機能を担うポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルトを直接支持構造物、この直接支持構造物を支持するコンテナの取付ボルトを間接支持構造物とする。

その評価方法は、「4.1(2) 構造強度評価」に示すとおり、加振試験にて得られる応答加速度を用いて、車両に積載しているポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルト及びコンテナ取付ボルトの評価を行う。評価に当たっては、加振試験で計測された評価対象部位頂部の水平方向加速度及び鉛直方向加速度を用いるとともに、最大応答加速度に対し実機における車両型設備の応答の不確実さを考慮した余裕を見込む。

b. 転倒評価

車両型設備の転倒評価については、添付書類VI-1-1-6-別添 2 の「6.3.1(2)b. 転倒」にて設定している評価方針に基づき、ポンプ、発電機、内燃機関等の機器を積載している車両型設備全体が、基準地震動 S_s による地震力に対し転倒しないことを、保管場所の地表面の最大応答加速度が、加振試験により転倒しないことを確認した

加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

その評価方法は、「4.1(3) 転倒評価」に示すとおり加振試験により転倒しないことを確認する。

c. 機能維持評価

車両型設備の動的及び電氣的機能，支持機能及び移動機能の機能維持評価については，添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.1(2)c. 機能維持」にて設定している評価方針に基づき，車両に積載しているポンプ，発電機，内燃機関等は，基準地震動 S_s による地震力に対し，ポンプの送水機能，発電機の発電機能及び内燃機関の駆動機能等の動的及び電氣的機能を維持できることを，保管場所の地表面の最大応答加速度が，地震力に伴う浮上りを考慮しても，加振試験により動的及び電氣的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

また，車両部は，基準地震動 S_s による地震力に対し，積載物から受ける荷重を支持する支持機能及び車両としての自走，牽引等による移動機能を維持できることを，保管場所の地表面の最大応答加速度が，地震力に伴う浮上りを考慮しても，加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

これらの評価方法は「4.1(4) 機能維持評価」に示すとおり，加振試験により機能が維持できることを確認する。

d. 波及的影響評価

車両型設備の波及的影響の評価については，添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.1 車両型設備」にて設定している評価方針に基づき，車両型設備はサスペンションのようなバネ構造を有するため，設備に生じる地震荷重により，車両のすべり及び傾きが生じることから，車両全体は，基準地震動 S_s による地震力に対し，当該設備のすべり及び傾きによる波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを，加振試験により確認したすべり及び傾きにより算出した変位量が，添付書類「VI-2 別添3-3 可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震計算書」にて設定する，波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して必要な離隔距離未満であることにより確認する。

その評価方法は，「4.1(5) 波及的影響評価」に示すとおり，すべり量に，傾きによる変位量を加算した値を最大変位量と定義し，最大変位量が波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して必要な離隔距離未満であることにより確認する。

(2) ボンベ設備

a. 構造強度評価

ボンベ設備の構造強度評価については，添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.2(2) 評価方針」にて設定している評価方針に基づき，基準地震動 S_s による地震力に対し，ボンベを収納するボンベラック等及びこれらを床面又は壁面に固定する溶接部又は

取付ボルトが、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを、計算により確認する。

その評価方法は、「4.2(2) 構造強度評価」に示すとおり、固有値解析により算出する固有周期及び地震による荷重を用いて、ポンペを収納するボンベラック等及びこれらを床面又は壁面に固定する溶接部又は取付ボルトの評価を行う。

b. 波及的影響評価

ポンペ設備の波及的影響の評価については、添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.2(2)c. 波及的影響」にて設定している評価方針に基づき実施する。基準地震動 S_s による地震力に対し、ポンペを収納するボンベラック等及びこれらを床面又は壁面に固定する溶接部又は取付ボルトが、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認することで設備全体が、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する。

その評価方法は、「4.2(3) 波及的影響評価」に示すとおり、固有値解析により算出する固有周期及び地震による荷重を用いて、ポンペを収納するボンベラック等及びこれらを床面又は壁面に固定する溶接部又は取付ボルトの評価を行う。

(3) その他設備

a. 構造強度評価

その他設備のうち機器を保管する架台については、添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.3(2) 評価方針」にて設定している評価方針に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対し、架台及びこれを床に固定する基礎ボルトが、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを、計算により確認する。

その評価方法は、「4.3(2) 構造強度評価」に示すとおり、固有値解析により算出する固有周期及び地震による荷重を用いて、架台を床に固定する基礎ボルトの評価を行う。

b. 転倒評価

その他設備の転倒評価については、添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.3(2)b. 転倒」にて設定している評価方針に基づき、その他設備の機器全体は、基準地震動 S_s による地震力に対し、転倒しないことを、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験により転倒を防止するためスリング等の健全性を確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

その評価方法は、「4.3(3) 転倒評価」に示すとおり、加振試験によりスリング等が健全であることを確認する。

c. 機能維持評価

その他設備の機能維持評価については、添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.3(2)c. 機能維持」にて設定している評価方針に基づき、その他設備は、基準地震動 S_s による地震力に対し、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験により計測機能、給電機能等の動的及び電氣的機能並びにスリング等の健全性を確認した加振台の最大加速度以下であることを確認する。

その評価方法は、「4.3(4) 機能維持評価」に示すとおり、加振試験により機能が維持できることを確認する。

d. 波及的影響評価

その他設備の波及的影響の評価については、添付書類VI-1-1-6-別添2の「6.3.3(2)d. 波及的影響」にて設定している評価方針に基づき、その他設備は、基準地震動 S_s による地震力に対し、波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験によりスリング等が健全であり転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

その他設備に使用しているスリング等は、基準地震動 S_s による地震力に対し、対象設備の重心高さを考慮して設置位置を設定するとともに、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度によりスリング等が受ける荷重に対して十分な裕度を持たせて選定を行う。

その評価方法は、「4.3(5) 波及的影響評価」に示すとおり、スリング等の支持機能については、保管状態を模擬した加振試験により確認する。

以上を踏まえ、以降では、可搬型重大事故等対処設備の耐震計算に用いる荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界について、「3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」に示し、車両型設備、ポンベ設備及びその他設備の分類ごとの耐震評価方法を評価項目ごとに「4. 耐震評価方法」に示す。

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備 (1/5)

VI-1-1-6-別添2 での分類	設備名称	添付書類VI-2-別添3での記載箇所又は 評価を要しない理由
車両型設備	ブルドーザ	重心が低く、地震により転倒せず、機能喪失しない。
	バックホウ	重心が低く、地震により転倒せず、機能喪失しない。
	大容量送水ポンプ (タイプI)	別添 3-3
	大容量送水ポンプ (タイプII)	別添 3-3
	電源車	別添 3-3
	電源車 (緊急時対策所用)	別添 3-3
	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	別添 3-3
	可搬型窒素ガス供給装置	別添 3-3
	ホース延長回収車	別添 3-3
	タンクローリ	別添 3-3

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備 (2/5)

VI-1-1-6-別添 2 での分類	設備名称	添付書類VI-2-別添 3 での記載箇所又は 評価を要しない理由
ポンプ設備	高圧窒素ガスポンプ	別添 3-4
	中央制御室待避所加圧設備 (空気ポンプ)	別添 3-4
	緊急対策所加圧設備 (空気ポンプ)	別添 3-4

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備 (3/5)

VI-1-1-6-別添 2 での分類	設備名称	添付書類VI-2-別添 3 での記載箇所又は 評価を要しない理由
その他設備	取水用ホース (250A : 5m, 10m, 20m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	送水用ホース (300A : 2m, 5m, 10m, 20m, 50m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	注水用ヘッド	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	送水用ホース (150A : 1m, 2m, 5m, 10m, 20m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	スプレイ用ホース (65A : 1m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	スプレイノズル	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	可搬型ストレーナ	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	耐熱ホース (300A : 2m, 5m, 10m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	除熱用ヘッド	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	耐熱ホース (201A : 5m, 10m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	連結管	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	P54-F1005A, B (代替高圧窒素ガス供給系窒素ガスボンベ安 全弁 (A), (B))	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	連結管〜フレキシブルホース/恒設配管取合点	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	代替高圧窒素ガス供給用フレキシブルホース (φ 32.9 : 6m, 8m)	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
恒設配管取合点接続管	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。	
無線連絡設備 (携帯型)	別添 3-5	

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備 (4/5)

VI-1-1-6-別添 2 での分類	設備名称	添付書類VI-2-別添 3 での記載箇所又は 評価を要しない理由
その他設備	衛星電話設備 (携帯型)	別添 3-5
	携行型通話装置	別添 3-5
	可搬型計測器	別添 3-5
	可搬型照明 (SA)	別添 3-5
	酸素濃度計 (中央制御室用)	別添 3-5
	酸素濃度計 (緊急時対策所用)	別添 3-5
	二酸化炭素濃度計 (中央制御室用)	別添 3-5
	二酸化炭素濃度計 (緊急時対策所用)	別添 3-5
	緊急時対策所可搬型エアモニタ	別添 3-5
	可搬型モニタリングポスト	別添 3-5
	γ線サーベイメータ	別添 3-5
	β線サーベイメータ	別添 3-5
	α線サーベイメータ	別添 3-5
	電離箱サーベイメータ	別添 3-5
	中央制御室待避所加圧設備 (空気ポンプ)〜フレキシブル 配管 / 恒設配管取合点	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	緊急時対策所加圧設備 (空気ポンプ)〜フレキシブル配管 / 恒設配管取合点	地震による転倒に対し, 機能喪失しない。
	可搬型ダスト・よう素サンプリャ	別添 3-5

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備 (5/5)

VI-1-1-6-別添2 での分類	設備名称	添付書類VI-2-別添3での記載箇所又は 評価を要しない理由
その他設備	小型船舶	別添 3-5
	代替気象観測設備	別添 3-5
	放水砲	重心が低く、地震により転倒せず、機能喪失しない。
	窒素供給用ホース (50A : 5m)	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	窒素供給用ヘッダ	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	可搬型窒素ガス供給装置接続管	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	送水用ホース (65A : 20m)	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	シルトフェンス	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	泡消火薬剤混合装置	重心が低く、地震により転倒せず、機能喪失しない。
	給油用ホース (20A : 7m)	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	別添 3-5
	軽油払出用ホース (外径 63mm : 2m)	地震による転倒に対し、機能喪失しない。
	給油用ホース (φ 25 : 50m)	地震による転倒に対し、機能喪失しない。

表 2-2 可搬型重大事故等対処設備の構造計画(1/2)

設備分類	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>屋内の可搬型重大事故等対処設備は、添付書類VI-1-1-6の要求を満たす耐震性を有する保管場所として、原子炉建屋、制御建屋及び緊急時対策建屋に保管する設計としている。</p> <p>屋外の可搬型重大事故等対処設備は、添付書類VI-1-1-6の要求を満たす地盤安定性を有する保管場所として、第1保管エリア、第2保管エリア、第3保管エリア及び第4保管エリア及び緊急時対策所北側に保管する設計としている。</p>			
車両型設備	サスペンションを有し、地震に対する影響を軽減できる構造であるとともに、早期の重大事故等への対処を考慮し、自走、牽引等にて移動できる構造とし、車両、ポンプ、発電機、内燃機関等により構成する。	ポンプ、発電機、内燃機関等は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。ポンプ、発電機、内燃機関等を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトラックに積載し、取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-1
ボンベ設備	ボンベ設備は、ボンベ(窒素ガスボンベ又は空気ボンベ)及びボンベラック等により構成する。	ボンベは容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラック等に固定し、ボンベラック等を溶接又は取付ボルトにより床又は壁に据え付ける。	図 2-2 図 2-3 図 2-4

表 2-2 可搬型重大事故等対処設備の構造計画 (2/2)

設備分類	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
その他設備	(収納箱固縛：可搬型計測器の例)		図 2-5
	可搬型計測器及びこれを収納する収納箱で構成する。	緩衝材を内装した収納箱に可搬型計測器を収納し、スリングを用いて固縛する。スリングは床に基礎ボルトで固定する。	
	(収納箱架台固縛：代替気象観測設備の例)		図 2-6
	代替気象観測設備(雨量, 日射量, 放射収支, 風向風速発信器) を収納する収納箱で構成する。	緩衝材を内装した収納箱に代替気象観測設備を収納し、収納箱を架台にスリングで固縛する。架台は床に基礎ボルトで固定する。	
	(本体固縛：主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池の例)		図 2-7
	主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池で構成する。	主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池を取付金具で固縛し床に基礎ボルトで固定する。	

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価対象部位 (1/5)

設備名称	設備	評価部位		選定理由
		直接支持構造物	間接支持構造物	
大容量送水ポンプ (タイプ I)	車両型設備	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	ポンプ及び内燃機関は、J E A G 4 6 0 1 -1991 において剛構造のポンプ及び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプ及び内燃機関は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっており、剛構造であることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1 -1991 に記載されているポンプ及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象はポンプ及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコンテナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。
大容量送水ポンプ (タイプ II)	車両型設備	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	ポンプ及び内燃機関は、J E A G 4 6 0 1 -1991 において剛構造のポンプ及び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプ及び内燃機関は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっており、剛構造であることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1 -1991 に記載されているポンプ及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象はポンプ及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコンテナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。
電源車	車両型設備	発電機／内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	発電機及び内燃機関は、J E A G 4 6 0 1 -1991 において剛構造の発電機及び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。発電機は、重量の大きな固定子、回転子を支持するケーシングからなる剛構造であり、内燃機関は、シリンドラブロックが内圧に耐える肉厚構造の設計であり剛構造であることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1 -1991 に記載されている発電機及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象は発電機及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコンテナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価対象部位 (2/5)

設備名称	設備	評価部位		選定理由
		直接支持構造物	間接支持構造物	
電源車 (緊急時対策用)	車両型設備	発電機／内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	<p>発電機及び内燃機関は、J E A G 4 6 0 1-1991 において剛構造の発電機及び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。発電機は、重量の大きな固定子、回転子を支持するケーシングからなる剛構造であり、内燃機関は、シリンダブロックが内圧に耐える肉厚構造の設計であり剛構造であることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1-1991 に記載されている発電機及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象は発電機及び内燃機関取付ボルトとする。</p> <p>車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコンテナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。</p>
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	車両型設備	熱交換器取付ボルト ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	—	<p>ポンプ及び内燃機関は、J E A G 4 6 0 1-1991 において剛構造のポンプ及び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプ及び内燃機関は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっており、剛構造であることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1-1991 に記載されているポンプ及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象はポンプ及び内燃機関取付ボルトとする。</p> <p>熱交換器については、地震時、荷重が集中して作用する熱交換器取付ボルトを評価対象とする。</p>
可搬型窒素ガス供給装置	車両型設備	窒素ガス分離装置取付ボルト 空圧縮機取付ボルト 発電機取付ボルト	コンテナ取付ボルト	<p>発電機は、J E A G 4 6 0 1-1991 において剛構造の発電機は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。発電機は、重量の大きな固定子、回転子を支持するケーシングからなる剛構造であることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1-1991 に記載されている発電機と同等の構造とみなすことができるため、評価対象は発電機取付ボルトとする。</p> <p>窒素ガス発生装置及び空圧縮機は、地震時、荷重が集中して作用する窒素ガス発生装置及び空圧縮機取付ボルトを評価対象とする。</p> <p>車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコンテナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。</p>

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価対象部位 (3/5)

設備名称	設備	評価部位		選定理由
		直接支持構造物	間接支持構造物	
ホース延長回収車	車両型設備	マルチリフト取付ボルト (上部/下部)	—	ホース延長回収車は、マルチリフトによりホースコンテナの積み下ろしが可能な設計であり、保管状態においてホースコンテナを積載しない運用とする。地震時に考慮すべき荷重は、マルチリフトのモーメントであり、当該モーメントはマルチリフト取付ボルトにかかることから、マルチリフト取付ボルトを評価対象とする。
タンクローリ	車両型設備	タンク取付ボルト ポンプ取付ボルト	—	タンクローリは、燃料を内包し輸送できる圧力容器であり、十分な強度を有した設計である。保管状態は、タンクが空の状態であり、地震時に考慮すべき荷重は、タンク自重によるモーメントであり、当該モーメントはタンク取付ボルトにかかることからタンク取付ボルトを評価対象とする。また、J E A G 4 6 0 1-1991 において剛構造のポンプは、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプは、内圧に耐える肉厚構造の設計となっていることから、当該設備は J E A G 4 6 0 1-1991 に記載されているポンプと同等の構造とみなすことができるため、評価対象はポンプの取付ボルトとする。

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価対象部位 (4/5)

設備名称	設備	ボンベラック支 持構造	評価部位		選定理由
			直接支持構造物	間接支持構造物	
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベ	ボンベ 設備	溶接	フレーム	—	ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計 がなされており、添付書類「VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機 器の強度評価の基本方針」に基づき、重大事故等クラス 3 機 器としての強度評価を実施しており、十分な強度を有してい ることから、ボンベを躯体床及び壁に固定している支持構造 物であるボンベラック及びボンベラックを据え付ける埋込金 物の溶接部を評価対象とする。
			フレーム取付溶接部		
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック	ボンベ 設備	溶接 取付ボルト	フレーム	—	ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計 がなされており、添付書類「VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機 器の強度評価の基本方針」に基づき、重大事故等クラス 3 機 器としての強度評価を実施しており、十分な強度を有してい ることから、ボンベを躯体床及び壁に固定している支持構造 物であるボンベラック及びボンベラックを据え付けるアンカ ープレートとの溶接部及びアンカープレートを躯体床及び壁に 据え付ける取付ボルトを評価対象とする。
			フレーム取付溶接部		
			取付ボルト		
中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ)	ボンベ 設備	溶接 接続ボルト 取付ボルト	フレーム	—	ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計 がなされており、添付書類「VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機 器の強度評価の基本方針」に基づき、重大事故等クラス 3 機 器としての強度評価を実施しており、十分な強度を有してい ることから、ボンベを躯体床に固定している支持構造物であ るボンベラック及びボンベラックを据え付ける取付ボルトを 評価対象とする。
			フレーム取付溶接部		
			フレーム接続ボルト		
			取付ボルト		
緊急対策所加圧設備 (空気ボンベ)	ボンベ 設備	溶接 取付ボルト	フレーム	—	ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計 がなされており、添付書類「VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機 器の強度評価の基本方針」に基づき、重大事故等クラス 3 機 器としての強度評価を実施しており、十分な強度を有してい ることから、ボンベを躯体床に固定している支持構造物であ るボンベカードルフレーム及びボンベカードルフレームを据 え付ける取付ボルトを評価対象とする。
			固定端溶接部		
			取付ボルト		

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価対象部位 (5/5)

機器名称	設備	評価部位		選定理由
		直接支持構造物	間接支持構造物	
可搬型モニタリングポスト	その他設備	基礎ボルト	—	架台は床に基礎ボルトで固定するため、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。
代替気象観測設備	その他設備	基礎ボルト	—	架台は床に基礎ボルトで固定するため、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

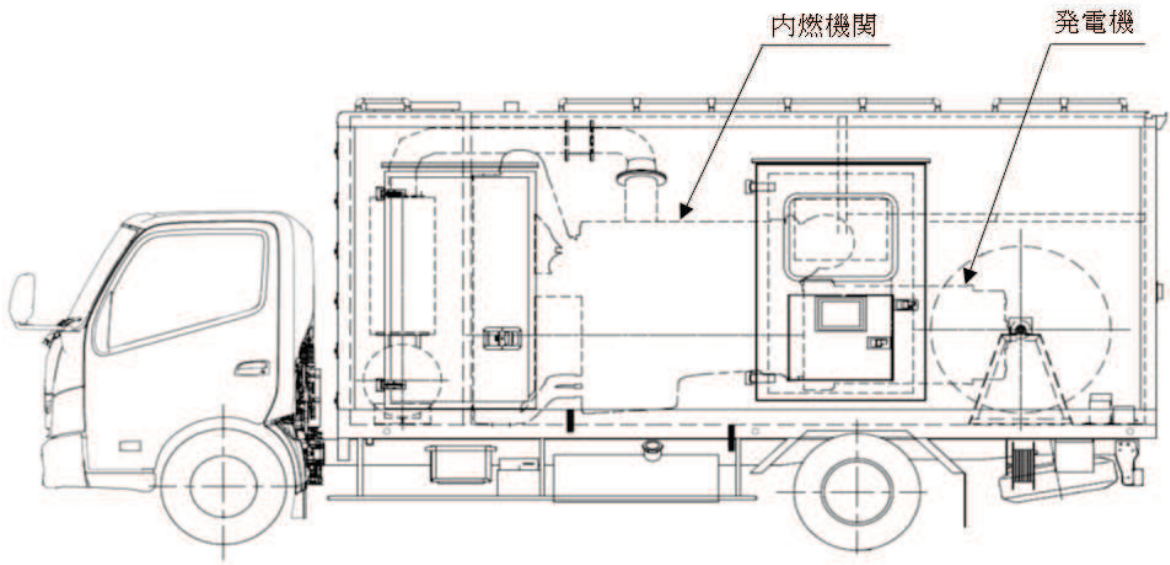


図 2-1 車両型設備

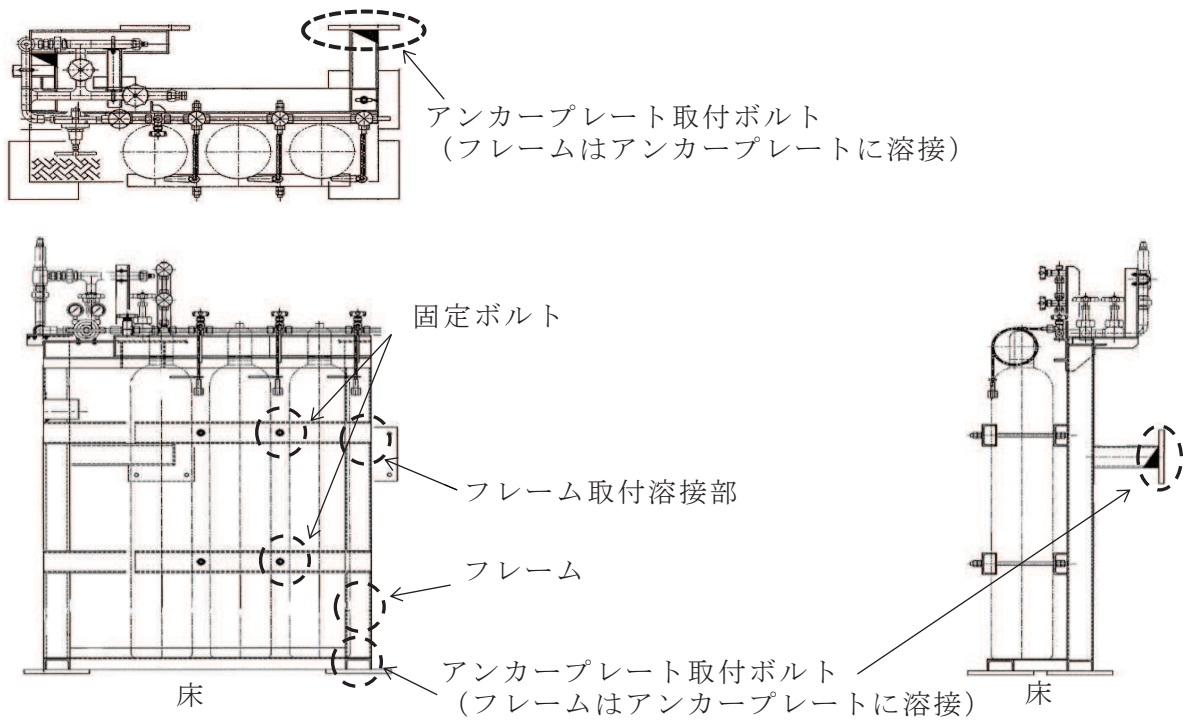


図 2-2 ポンベ設備（ラック型（壁床固定型））

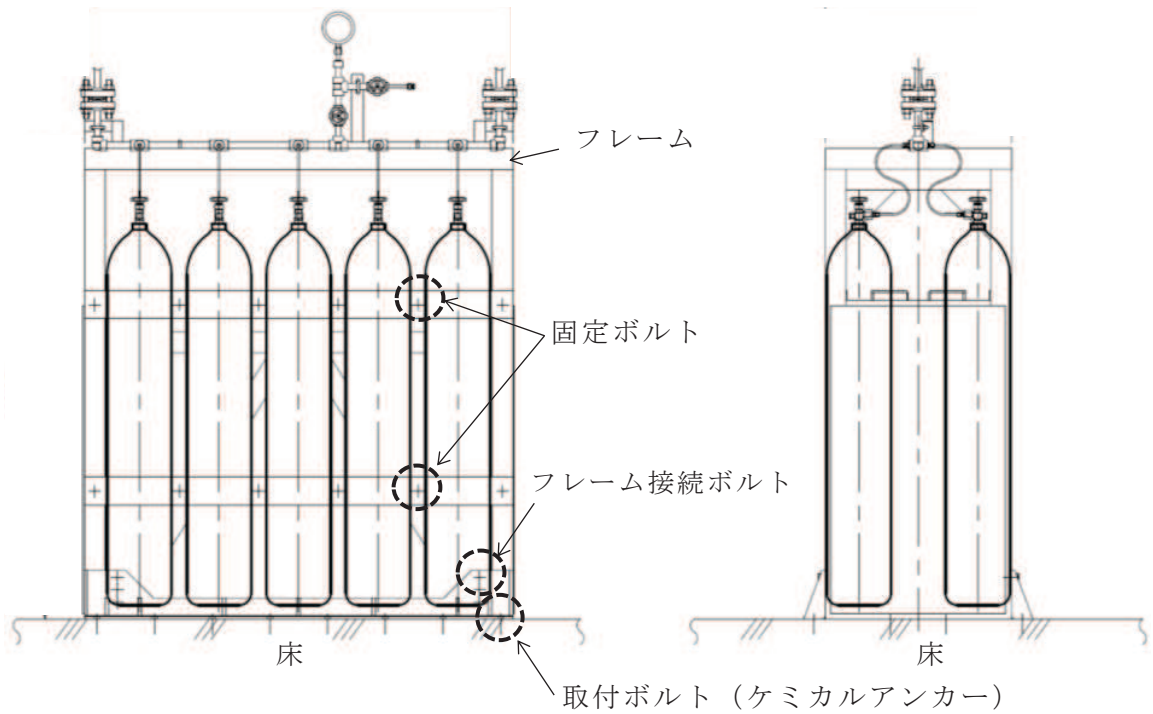


図 2-3 ポンベ設備（ラック型（床固定型））

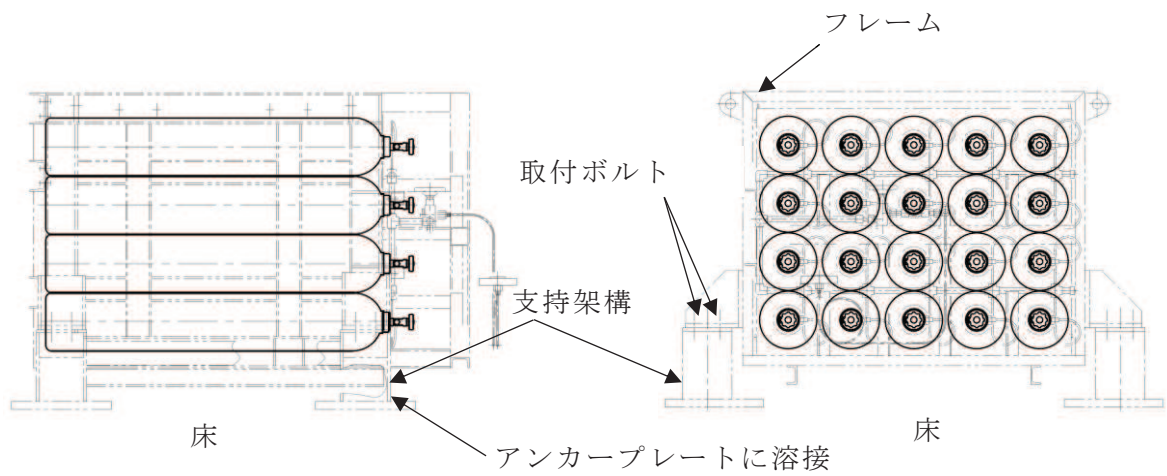


図 2-4 ポンベ設備 (カードル型)

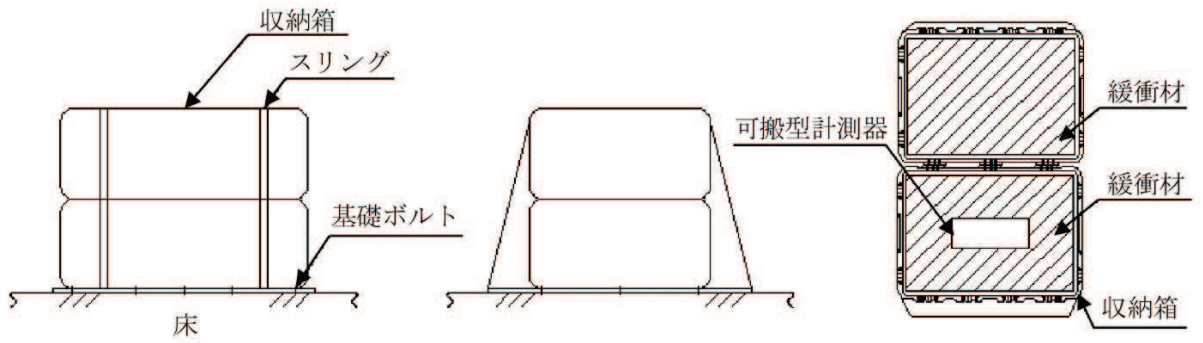


図 2-5 その他設備（収納箱固縛）

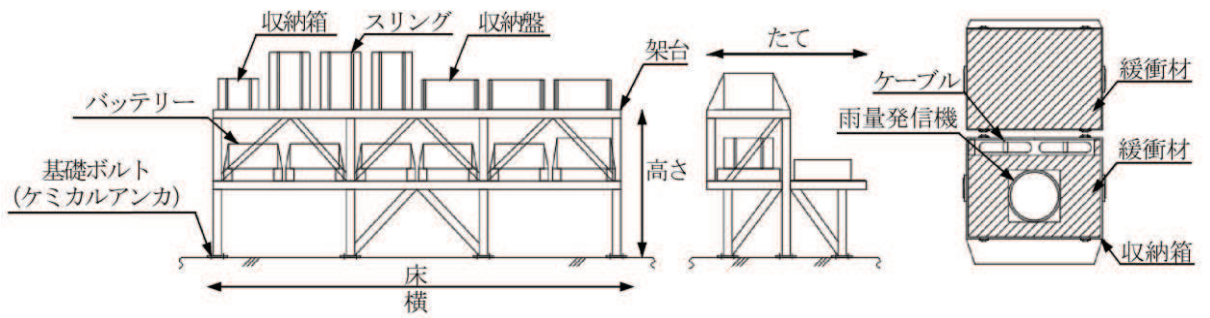


図 2-6 その他設備（収納箱架台固縛）

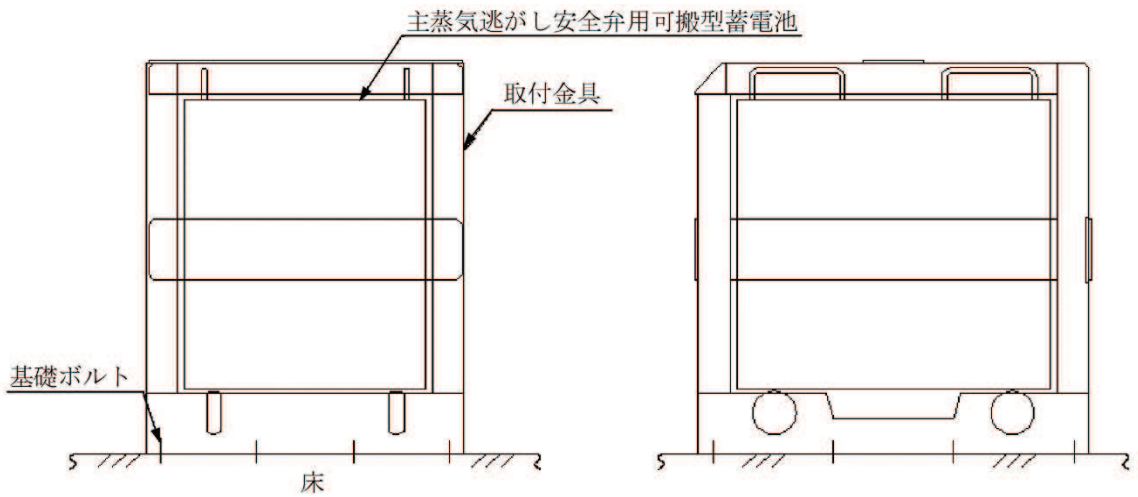


図 2-7 その他設備（本体固縛）

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

可搬型重大事故等対処設備の耐震計算に用いる荷重及び荷重の組合せを、以下の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

可搬型重大事故等対処設備のうち、屋外に保管している設備の自然現象の考慮については、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に設定する荷重及び荷重の組合せを用いる。

荷重及び荷重の組合せは、重大事故等起因の荷重は発生しないため、VI-1-1-6-別添 2 の「6.2 荷重及び荷重の組合せ」に従い、保管状態における荷重を考慮し設定する。

地震と組み合わせるべき荷重としては、風荷重及び積雪荷重が挙げられる。地震と組み合わせる荷重の設定に当たっては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の図 3-1 耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フローに基づき設定する。

積雪については除雪にて対応することで無視できる。風荷重について、車両型設備は、風を一面に受ける構造と違い、風は隙間を吹き抜けやすい構造となっており、また、車両型設備には内燃機関や発電機等の重量物が積載され重量が大きいこと及び車両型設備以外の可搬型重大事故等対処設備についても、建物・構築物、屋外設置の機器に比べ、風による受圧面積が相対的に小さいことから、風荷重については無視できる。

3.2 許容限界

許容限界は、添付書類 VI-1-1-6-別添 2 の「4.2 性能目標」で設定している設備ごとの構造強度上の性能目標のとおり、評価部位ごとに設定する。

「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、設備ごとの許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-1 から表 3-6 のとおりとする。

各設備の許容限界の詳細は、評価対象部位の損傷モードを考慮し、各計算書にて評価項目ごとに定める。

直接支持構造物の評価については、J E A G 4 6 0 1・補-1984 に規定されているその他の支持構造物の評価に従った評価を実施する。また、車両型設備の間接支持構造物としてのボルトの評価については、直接支持構造物の評価に準じた評価を行う。

(1) 車両型設備

a. 構造強度評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、炉心等へ冷却水を送水する機能を有するポンプ、必要な負荷へ給電するために発電する機能を有する発電機、これらの駆動源となる内燃機関等の機器を車両に取付ボルトで固定し、主要な構造部材が送水機能、発電機能、駆動機能等を維持可能な構造強度を有する設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)a. 構造強度評価」に設定している評価方針を踏まえ、J E A G 4 6 0 1・補-1984 を適用し、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に設定している許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

b. 転倒評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 S_s による地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、炉心等へ冷却水を送水する機能を有するポンプ、必要な負荷へ給電するために発電する機能を有する発電機、これらの駆動源となる内燃機関等を車両に取付ボルトで固定し、車両型設備全体が安定性を有し、転倒しない設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)b. 転倒評価」に設定している評価方針を踏まえ、加振試験にて転倒しないことを許容限界として設定する。

c. 機能維持評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、車両に積載しているポンプ等の炉心等へ冷却水を送水する機能、必要な負荷へ給電するための発電機能、これらの駆動源となる内燃機関等の動的及び電氣的機能を維持できる設計とする。

また、車両型設備は、地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、車両積載物から受ける荷重を支持する機能及び車両型設備としての自走、牽引等による移動機能を維持できる設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)c. 機能維持評価」に設定している評価方針を踏まえ、加振試験により動的及び電氣的機能、支持機能及び移動機能が維持できることを許容限界として設定する。

d. 波及的影響評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、基準地震動 S_s による地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管し、車両型設備全体が安定性を有し、当該設備のすべり及び傾きにより、当該設備による波及的影響を

防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないよう離隔距離を確保し保管する設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)d. 波及的影響評価」に設定している評価方針を踏まえ、車両型設備の加振試験にて確認したすべり及び傾きにより算出した変位量が、他の設備との接触、衝突等の相互干渉による破損等を引き起こし、機能喪失する等の波及的影響を及ぼさないよう、加振試験にて確認した最大変位量を踏まえ設定した離隔距離を許容限界として設定する。

また、離隔距離に関しては、実際の設備配置の運用上の管理値として必要であるため、保安規定に離隔距離を基に必要な設備間隔を定め、管理を行う。

(2) ボンベ設備

a. 構造強度評価

ボンベ設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、窒素又は空気を供給する機能を有するボンベをボンベラック等に収納し、ラック等を耐震性を有する建屋内の保管場所に溶接又は取付ボルトで固定して保管し、主要な構造部材が窒素又は空気供給機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

そのため、ボンベ設備は、「2.2(2)a. 構造強度評価」に設定している評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1・補-1984 を適用し、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に設定している許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

b. 波及的影響評価

ボンベ設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 S_s による地震力に対し、窒素又は空気を供給する機能を有するボンベをボンベラック等に収納し、ラック等を耐震性を有する建屋内の保管場所に溶接又は取付ボルトで固定し保管することから、主要な構造部材が、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないよう、構造強度を有する設計とする。

そのため、ボンベ設備は、「2.2(2)b. 波及的影響評価」に設定している評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1・補-1984 を適用し、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に設定している許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(3) その他設備

a. 構造強度評価

その他設備を設置する架台は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 S_s による地震力に対し、耐震性を有する建屋内の保管場所又は地盤安定性を有する屋外の保管場所の床に基礎ボルトで固定し、支持機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

そのため、その他設備を設置する架台は、「2.2.(3)a. 構造強度評価」に設定している評価方針を踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に設定している、J E A G 4 6 0 1・補-1984を適用し、許容応力状態 IV_{AS} の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

b. 転倒評価

その他設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 S_s による地震力に対し、耐震性を有する建屋内の保管場所又は地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、スリングで固縛する等により、設備全体が安定性を有し、転倒しない設計とする。

そのため、その他設備は、「2.2(3)b. 転倒評価」に設定している評価方針を踏まえ、加振試験にて転倒しないことを許容限界として設定する。

c. 機能維持評価

その他設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、耐震性を有する建屋内の保管場所又は地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、スリングで固縛する等により計測機能、給電機能等の動的及び電氣的機能並びに支持機能を維持できる設計とする。

そのため、その他設備は、「2.2(3)c. 機能維持評価」に設定している評価方針を踏まえ、加振試験にて動的及び電氣的機能並びに支持機能が維持できることを許容限界として設定する。

d. 波及的影響評価

その他設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 S_s による地震力に対し、耐震性を有する建屋内の保管場所又は地盤安定性を有する屋外の保管場所にスリングで固縛する等により保管することから、機器本体が安定性を有し、主要な構造部材が水位、圧力等を計測する機能、必要な負荷へ給電するための給電機能等の機能を維持可能な構造強度を有することで、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさない設計とする。

そのため、その他設備は、「2.2(3)d. 波及的影響評価」に設定している評価方針を踏まえ、加振試験にてスリング等の支持機能が維持できることを許容限界として設定する。

表 3-1 設備ごとの荷重の組合せ及び許容限界

評価対象設備	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
車両型設備	D + S s	支持部の 取付ボルト (表 3-2)	引張り, せん断	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1・補一 1984 を適用し, 許容応力状 態IV _A S の許容応力以下とす る。
ポンベ設備	D + S s	フレーム (表 3-3)	せん断	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1・補一 1984 を適用し, 許容応力状 態IV _A S の許容応力以下とす る。
その他設備 (架台)	D + S s	フレーム接続ボルト 取付ボルト (表 3-5)	引張り, せん断	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1・補一 1984 を適用し, 許容応力状 態IV _A S の許容応力以下とす る。

表 3-2 支持部の取付ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*1, *2}	
			一次応力	
			引張り ^{*3}	せん断 ^{*3}
取付ボルト	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]

- 注記 *1: f_t^{*}, f_s^{*}は、発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。)) J S M E S N C 1-2005/2007（日本機械学会）（以下、VI-2-別添3においては「設計・建設規格」という。）SSB-3121.1(1)a本文中S_y及びS_y（R T）を1.2・S_y及び1.2・S_y（R T）と読み替えて算出した値（設計・建設規格 SSB-3133）。ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。
- *2: J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。
- *3: ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{t s}は、設計・建設規格 SSB-3133に基づき、 $f_{t s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}]$ とする。ここで、f_{t o}は1.5・f_t^{*}とする。

表 3-3 フレームの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*1, *2}
			一次応力
			組合せ
フレーム	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t [*]

注記 *1:f_t^{*}は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a 本文中 S_y 及び S_y (R T) を 1.2・S_y 及び 1.2・S_y (R T) と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3121.3)。

ただし、S_y 及び 0.7・S_u のいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 3-4 フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*1, *2}
			一次応力
			せん断
フレーム取付溶接部	D + S _s	IV _A S	1.5・f _s [*]
固定端溶接部	D + S _s	IV _A S	1.5・f _s [*]

注記 *1:f_s^{*}は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中 S_y及び S_y(RT)を 1.2・S_y及び 1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3121.3)。
ただし、S_y及び 0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 3-5 フレーム接続ボルト及び取付ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*1, *2}	
			一次応力	
			引張り ^{*3}	せん断 ^{*3}
フレーム 接続ボルト	D + S _s	IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
取付ボルト	D + S _s	IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

- 注記 *1: f_t^* , f_s^* は, 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a 本文中 S_y 及び S_y (RT) を $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y$ (RT) と読み替えて算出した値 (設計・建設規格 SSB-3133)。ただし, S_y 及び $0.7 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値とする。
- *2: J E A G 4 6 0 1・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。
- *3: ボルトにせん断力が作用する場合, 組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は, 設計・建設規格 SSB-3133 に基づき, $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ とする。ここで, f_{to} は $1.5 \cdot f_t^*$ とする。

表 3-6 基礎ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*1, *2}	
			一次応力	
			引張り ^{*3}	せん断 ^{*3}
基礎ボルト	D + S _s	IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1: f_t^* , f_s^* は, 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a 本文中 S_y 及び S_y (RT) を $1.2 \cdot S_y$ 及び $1.2 \cdot S_y$ (RT) と読み替えて算出した値 (設計・建設規格 SSB-3133)。ただし, S_y 及び $0.7 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

3: ボルトにせん断力が作用する場合, 組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は, 設計・建設規格 SSB-3133 に基づき, $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ とする。ここで, f_{to} は $1.5 \cdot f_t^$ とする。

4. 耐震評価方法

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価は、車両型設備、ポンベ設備及びその他設備の分類ごとに評価方法が異なることから、以下の「4.1 車両型設備」、「4.2 ポンベ設備」及び「4.3 その他設備」のそれぞれに示す「加振試験」、「固有値解析」、「構造強度評価」、「転倒評価」、「機能維持評価」及び「波及的影響評価」に従って実施する。

4.1 車両型設備

車両型設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、構造強度評価、転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価を実施する。

車両型設備の耐震評価フローを図 4-1 に示す。

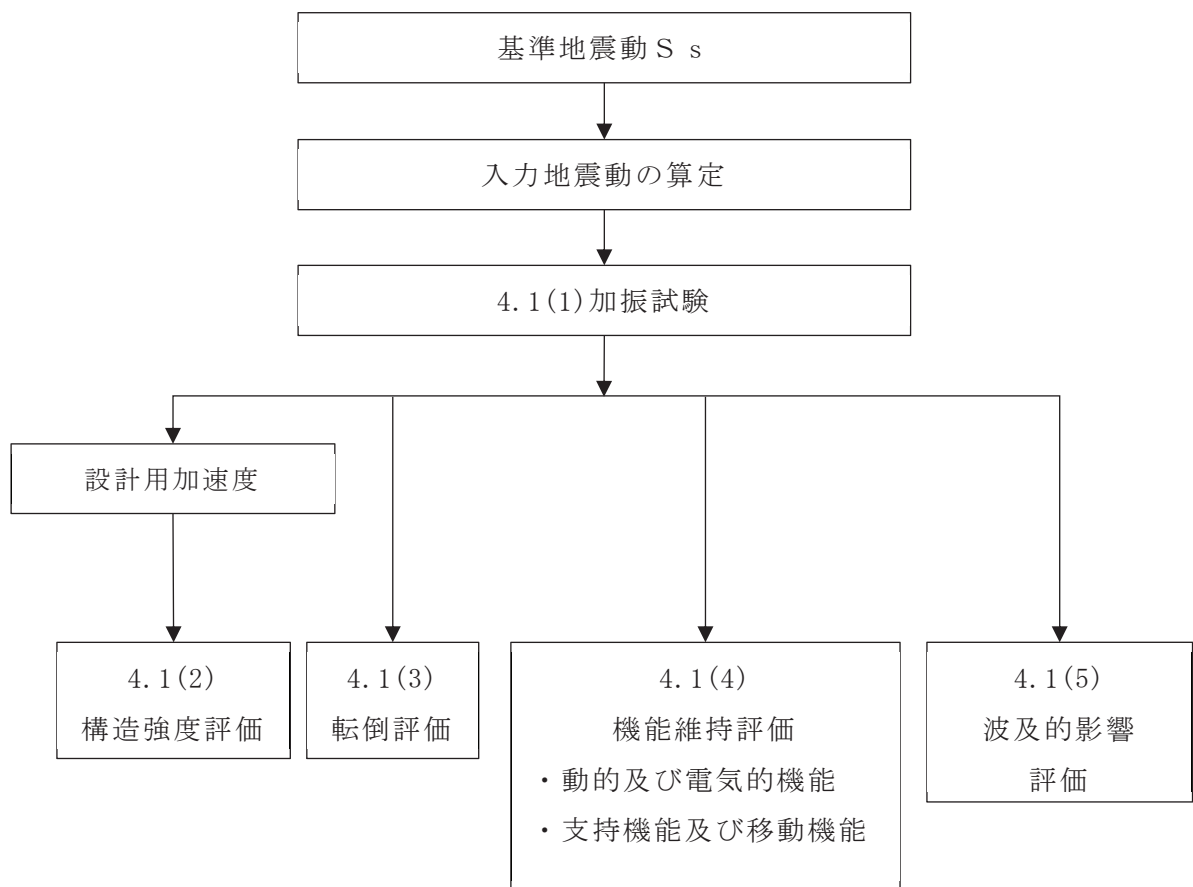


図 4-1 車両型設備の耐震評価フロー

(1) 加振試験

a. 基本方針

車両型設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、車両全体として安定性を有し、転倒しないこと、主要な構造部材が必要な構造強度を有すること、動的機能、電氣的機能、支持機能及び移動機能が維持できること並びに当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを加振試験の結果を踏まえて評価することから、以下の「b. 入力地震動」に示す入力地震動を用いて、「(3) 転倒評価」、「(4) 機能維持評価」及び「(5) 波及的影響評価」に示す方法により加振試験を行う。

b. 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に示す、各対象設備の保管場所ごとに算定した入力地震動を用いる。

(2) 構造強度評価

車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物の構造強度評価は、「2.2(1)a. 構造強度評価」に従って、評価部位について J E A G 4 6 0 1 -1987 に規定されているポンプ等の取付ボルトの評価方法を用いて発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。

評価については、実機における車両型設備応答の不確かさを考慮し、加振試験で測定された評価部位頂部の水平方向加速度及び鉛直方向加速度を設計用加速度とし、発生応力を算出し、構造強度評価を行う。

構造強度評価に使用する記号を表 4-1 に、計算モデル例を図 4-2～図 4-9 に示す。

なお、取付ボルト①については、タンクローリのポンプ及びホース延長回収車以外の評価部位について、取付ボルト②については、タンクローリのポンプについて、取付ボルト③については、コンテナについて、取付ボルト④については、ホース延長回収車のマルチリフト（上部／下部）に適用する。

また、転倒方向は、図 4-2～図 4-5 における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

表 4-1 構造強度評価に使用する記号

記号	単位	記号の説明
A_b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
a_H	m/s^2	設計用水平加速度
a_P	m/s^2	回転体振動による加速度
a_V	m/s^2	設計用鉛直加速度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	据付面から重心位置までの高さ
L	mm	車両重心位置と取付ボルト間の水平方向距離
ℓ_i	mm	支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離 (i は距離の長い順に番号取りをする。)
m	kg	機器の保管時質量
M_p	$\text{N}\cdot\text{mm}$	回転体の回転により働くモーメント
N_i	—	引張力又ははせん断力の作用する取付ボルトの本数 (i は転倒支点から距離の遠い順に番号取りをする。)
n	—	取付ボルトの総本数
σ_b	MPa	取付ボルトの最大引張応力
τ_b	MPa	取付ボルトの最大せん断応力

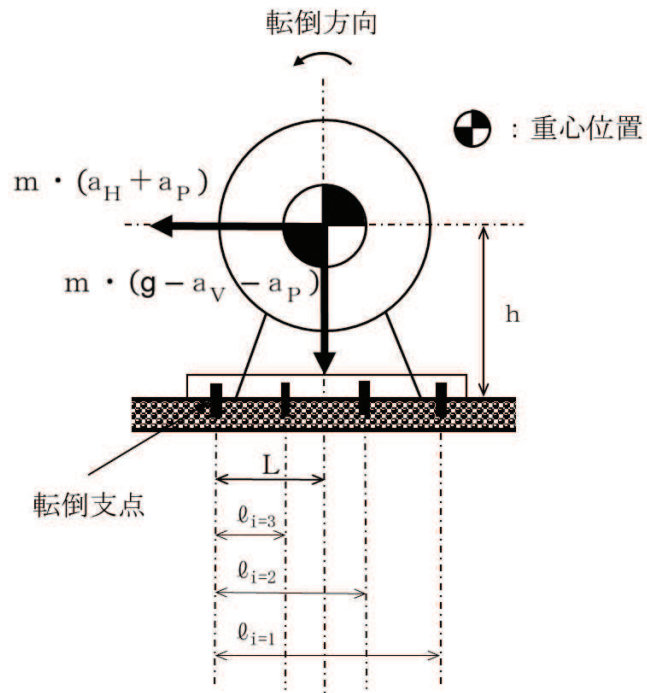


図 4-2 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト① 軸直角方向転倒-1 ($g - a_V - a_P \geq 0$ の場合))

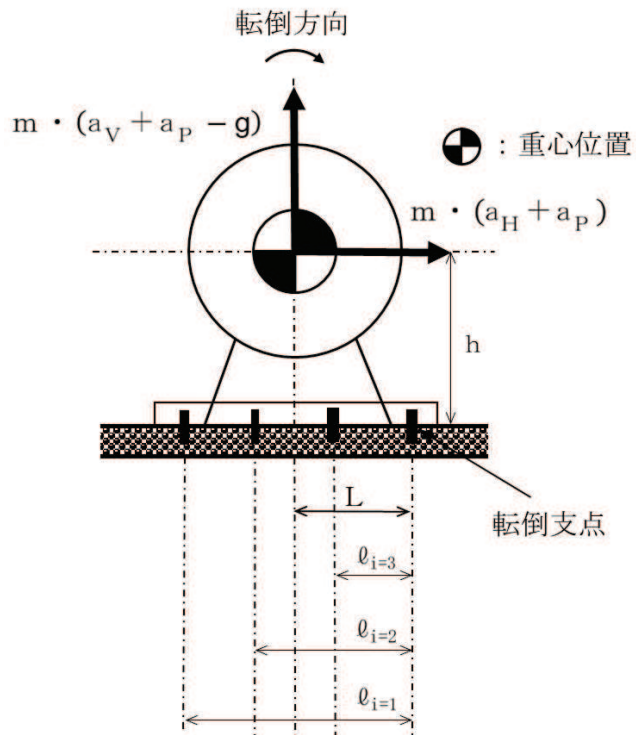


図 4-2 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト① 軸直角方向転倒-2 ($g - a_V - a_P < 0$ の場合))

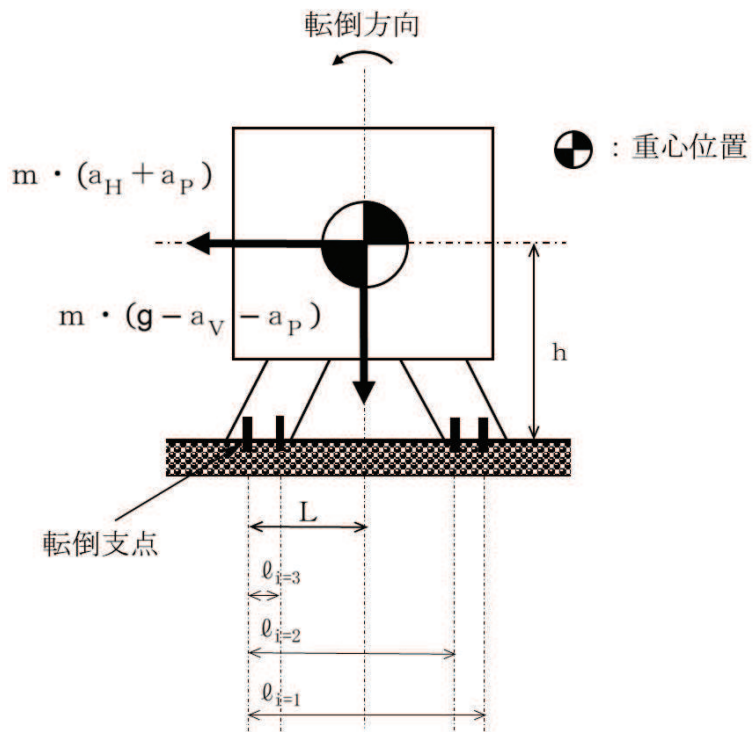


図 4-3 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト① 軸方向転倒-1 ($g - a_V - a_P \geq 0$ の場合))

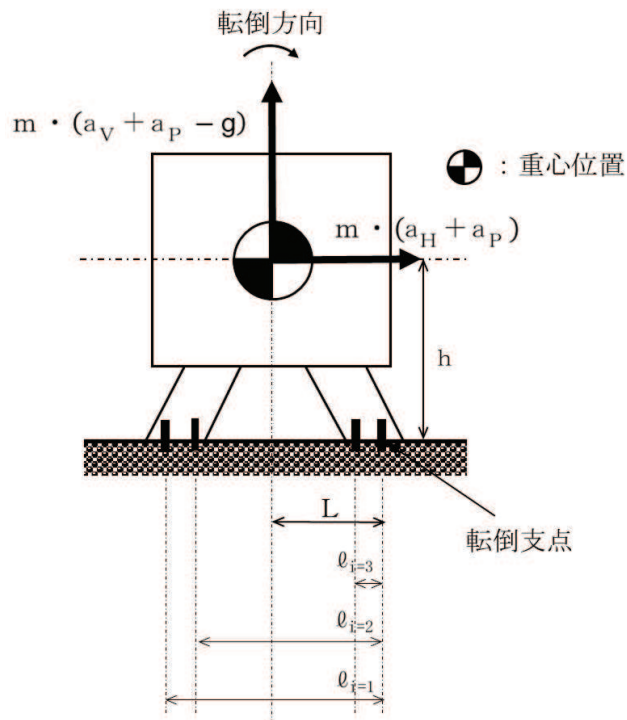
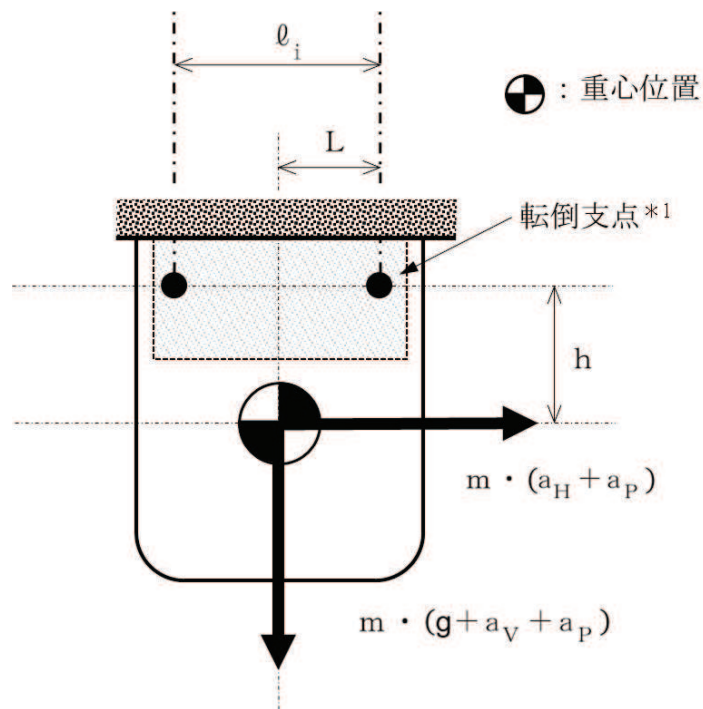
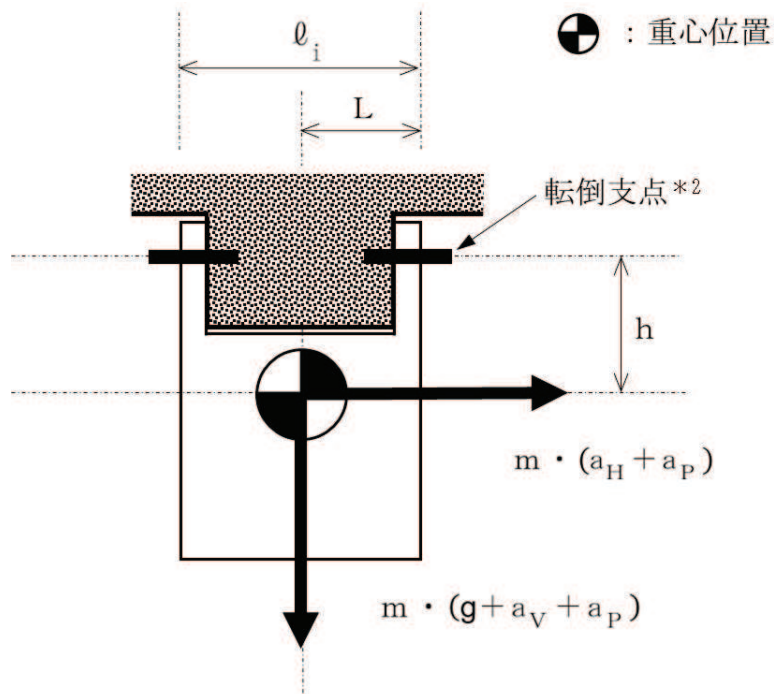


図 4-3 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト① 軸方向転倒-2 ($g - a_V - a_P < 0$ の場合))



注記 1： 取付ボルト向きは軸方向と平行。

図 4-4 直接支持構造物の計算モデル例（車両正面（軸方向）図）
（取付ボルト② 軸直角方向転倒）



注記 2： 取付ボルト向きは軸方向と平行。

図 4-5 直接支持構造物の計算モデル例（車両側面（軸直角方向）図）
（取付ボルト② 軸方向転倒）

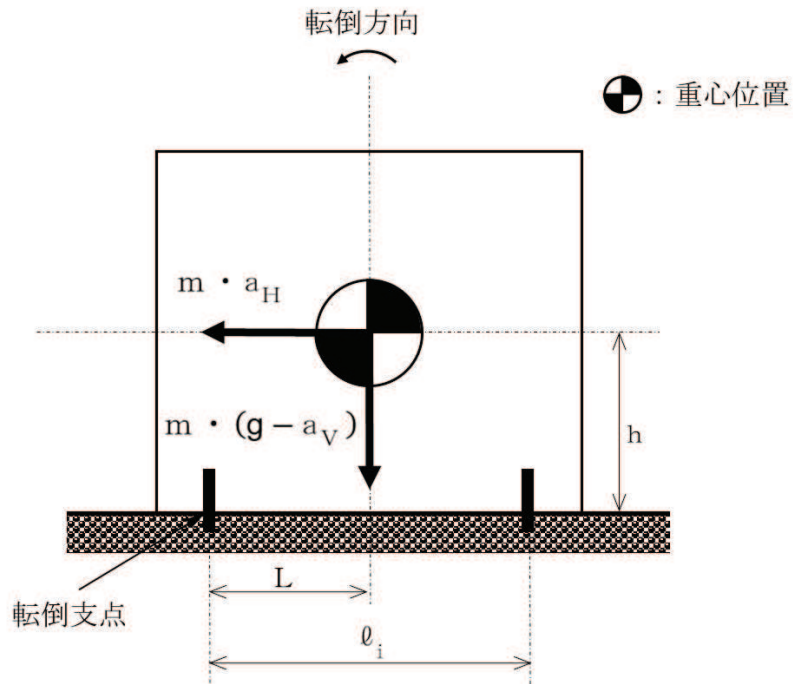


図 4-6 間接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト③ 軸直角方向転倒-1 ($g - a_V \geq 0$ の場合))

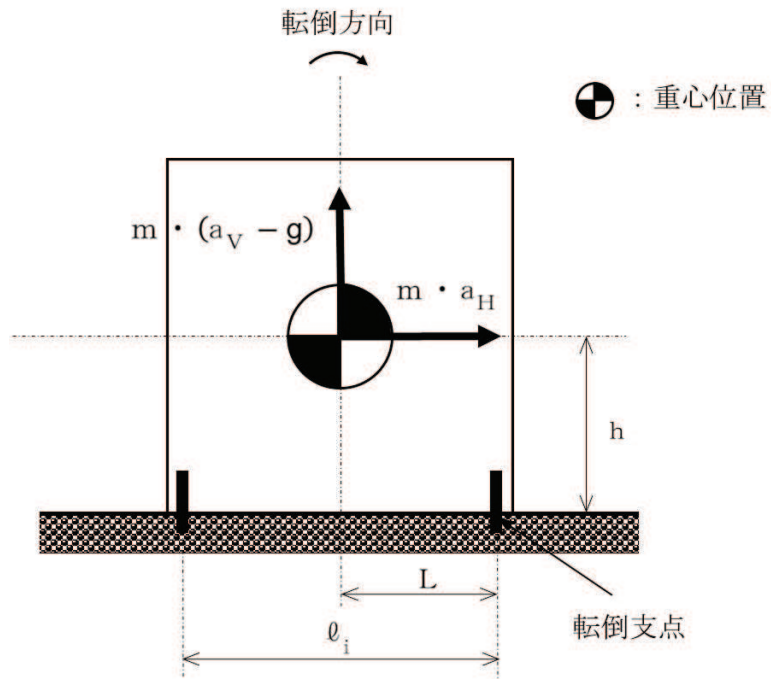


図 4-6 間接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト③ 軸直角方向転倒-2 ($g - a_V < 0$ の場合))

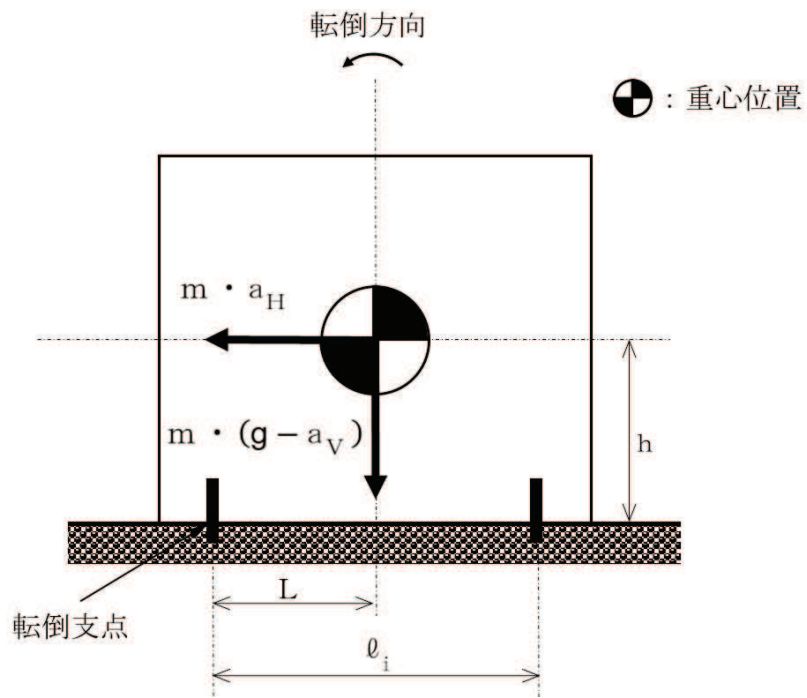


図 4-7 間接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト③ 軸方向転倒-1 ($g - a_V \geq 0$ の場合))

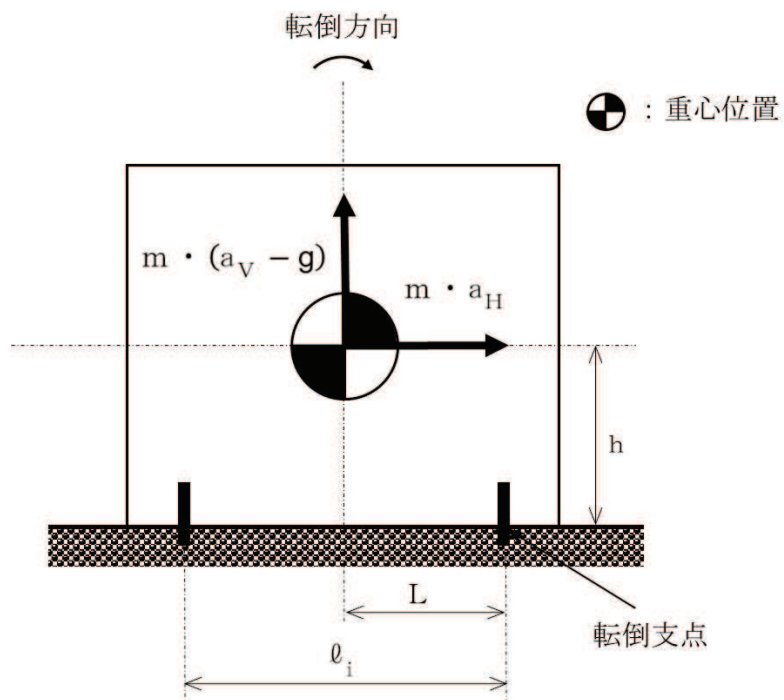


図 4-7 間接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト③ 軸方向転倒-2 ($g - a_V < 0$ の場合))

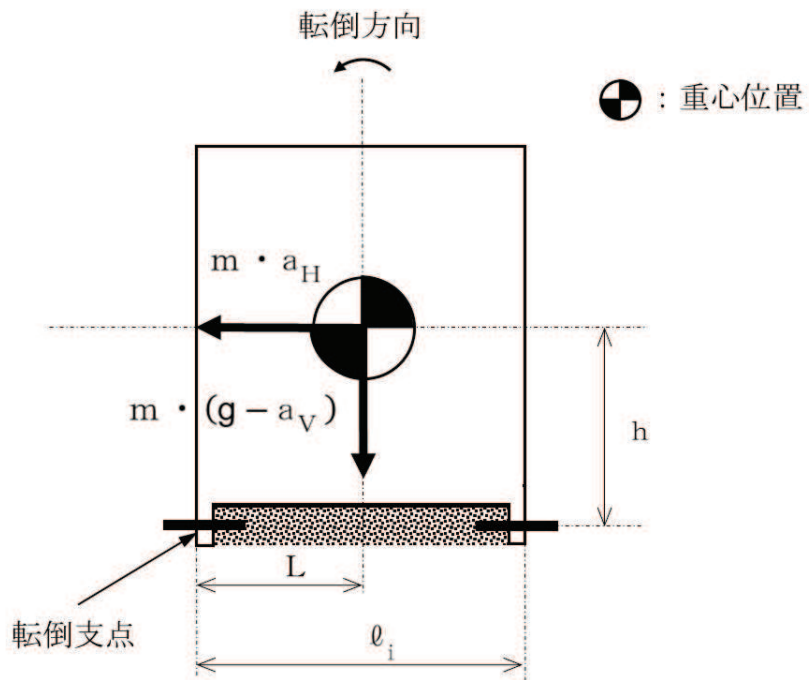


図 4-8 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト④ 軸直角方向転倒-1 ($g - a_v \geq 0$ の場合))

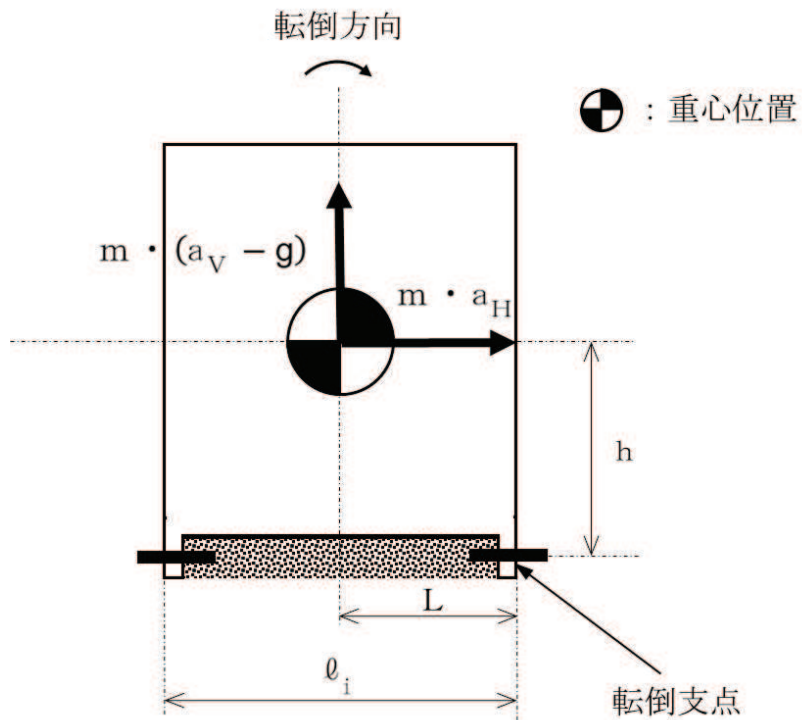


図 4-8 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト④ 軸直角方向転倒-2 ($g - a_v < 0$ の場合))

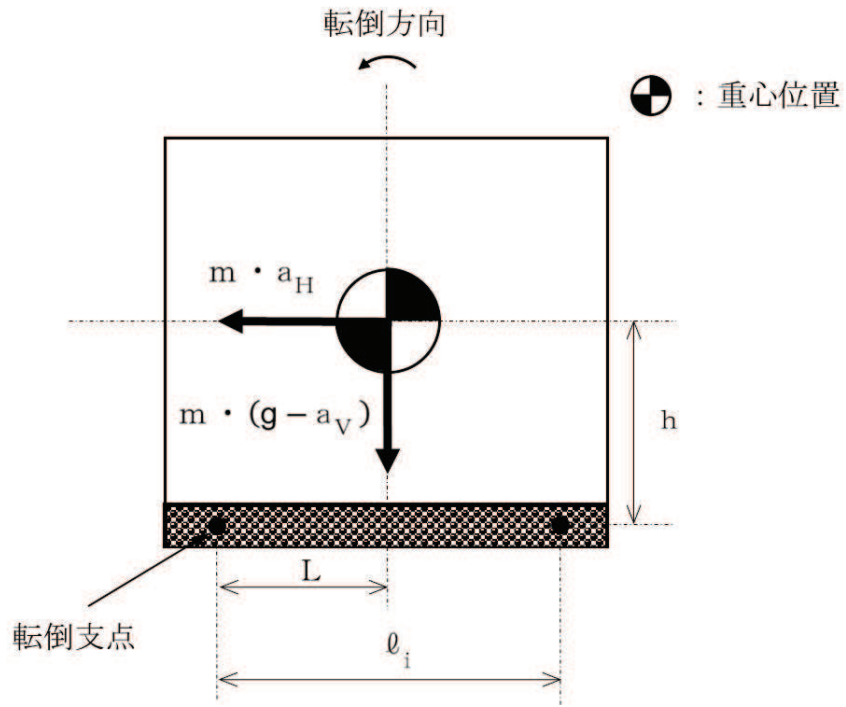


図 4-9 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト④ 軸方向転倒-1 ($g - a_v \geq 0$ の場合))

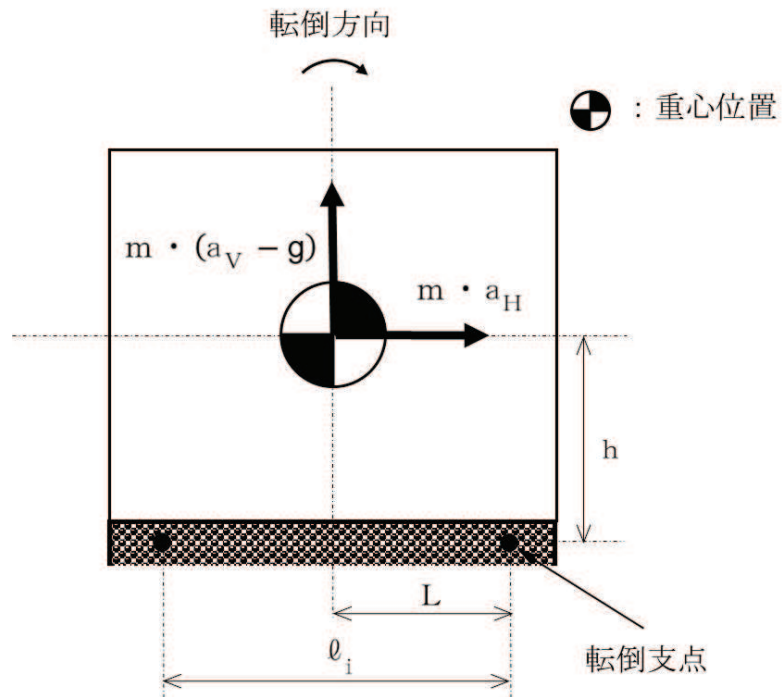


図 4-9 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト④ 軸方向転倒-2 ($g - a_v < 0$ の場合))

a. 直接支持構造物の計算式

(a) 図 4-2 及び図 4-3 の場合の引張応力

なお、図 4-3 の場合のボルトについては、回転体の回転により働くモーメントは作用しない。

$$\sigma_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P) \cdot h + M_P - m \cdot (g - a_V - a_P) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2}$$

(b) 図 4-2 及び図 4-3 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P)}{n \cdot A_b}$$

(c) 図 4-4 の場合のせん断応力

i. 荷重によるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot \sqrt{(a_H + a_P)^2 + (g + a_V + a_P)^2}}{n \cdot A_b}$$

ii. モーメントによるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P) \cdot h + M_P + m \cdot (g + a_V + a_P) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2}$$

(d) 図 4-5 の場合の引張応力

$$\sigma_b = \frac{m \cdot \sqrt{(a_H + a_P)^2 + (g + a_V + a_P)^2}}{\sum_{i=1} N_i \cdot A_b}$$

(e) 図 4-5 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P) \cdot h + M_P + m \cdot (g + a_V + a_P) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2}$$

(f) 図 4-8 の場合の引張応力

$$\sigma_b = \frac{m \cdot \sqrt{a_H^2 + (g - a_V)^2}}{\sum_{i=1} N_i \cdot A_b}$$

(g) 図 4-8 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H \cdot h - m \cdot (g - a_V) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2}$$

(h) 図 4-9 の場合のせん断応力

i. 荷重によるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot \sqrt{a_H^2 + (g - a_V)^2}}{n \cdot A_b}$$

ii. モーメントによるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H \cdot h - m \cdot (g - a_V) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2}$$

b. 間接支持構造物の計算式

(a) 図 4-6 及び図 4-7 の場合の引張応力

$$\sigma_b = \frac{m \cdot a_H \cdot h - m \cdot (g - a_V) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2}$$

(b) 図 4-6 及び図 4-7 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H}{n \cdot A_b}$$

(3) 転倒評価

車両型設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.1(1)b. 入力地震動」を基に作成したランダム波による加振試験を行い、試験後に転倒していないことを確認する。

転倒評価は、当該設備保管場所の地表面での最大応答加速度が、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

(4) 機能維持評価

車両型設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.1(1)b. 入力地震動」を基に作成したランダム波による加振試験を行い、試験後に動的及び電氣的機能並びに支持機能及び移動機能が維持されることを確認する。加振試験については、J E A G 4 6 0 1 - 1991 に基づき実施する。

基準地震動 S_s による地震力に対し、当該設備保管場所の地表面での最大応答加速度が、加振試験によりポンプの送水機能、ポンプの燃料移送機能、発電機の発電機能、内燃機関の駆動機能等の動的及び電氣的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

また、基準地震動 S_s による地震力に対し、当該設備保管場所の地表面での最大応答加速度が、加振試験により車両部の支持機能及び車両としての自走、牽引等による移動機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

(5) 波及的影響評価

車両型設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.1(1)b. 入力地震動」を基に作成したランダム波による加振試験を行い、当該設備のすべり及び傾きによる波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、加振試験により確認したすべり量と加振試験により確認した傾き角を基に算出した傾きによる変位量を加算した車両の最大変位量が、当該設備の波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して必要な離隔距離未満であることにより確認する。

地震時における各設備のすべり量の算出については「a. すべり量」に、地震時における各設備の傾きによる変位量の算出については「b. 傾きによる変位量」に、最大変位量の算出については「c. 最大変位量」に示す。

a. すべり量

すべり量については、加振試験の結果を基に設定する。

加振試験によるすべり量については、各設備の加振試験により確認したすべり量のうち、最も大きいすべり量を使用する。

b. 傾きによる変位量

傾きによる変位量については、各設備の加振試験により確認した傾き角のうち、最も大きい値を用いて算出する。

また、傾きに伴う、波及的影響として評価すべき傾きによる変位量を表した図を図4-10に示し、使用する記号を表4-2に示す。

傾きによる変位量については、以下の関係式により示される。

$$X=h \cdot \sin \theta$$

c. 最大変位量

「a. すべり量」にて設定したすべり量と、「b. 傾きによる変位量」により算出される傾きによる変位量を加算した値を最大変位量と定義し、最大変位量が「3.2 許容限界」にて設定した離隔距離未満であることを波及的影響評価として確認する。

表 4-2 波及的影響評価に使用する記号

記号	単位	記号の説明
X	mm	傾きによる変位量
h	mm	設備高さ
θ	°	傾き角

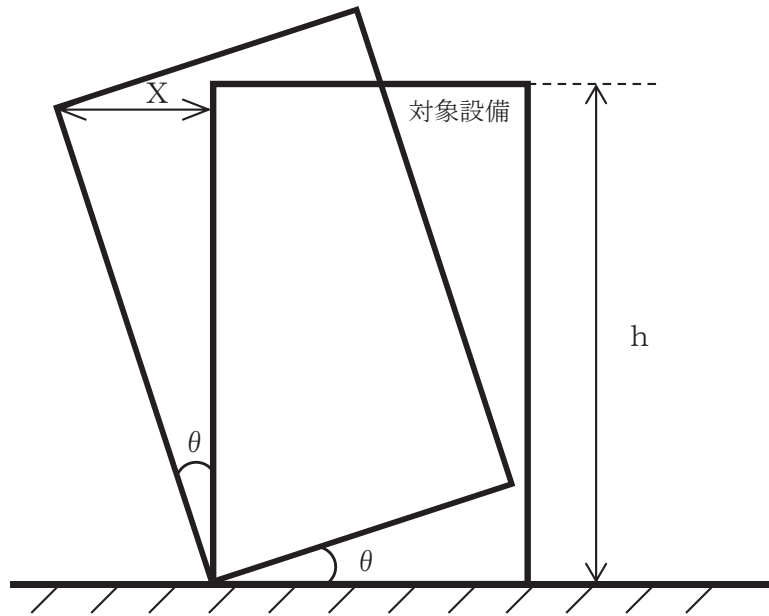


図 4-10 傾きによる変位量の算出図

4.2 ボンベ設備

ボンベ設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、構造強度評価及び波及的影響評価を実施する。

ボンベ設備の耐震評価フローを図 4-11 に示す。

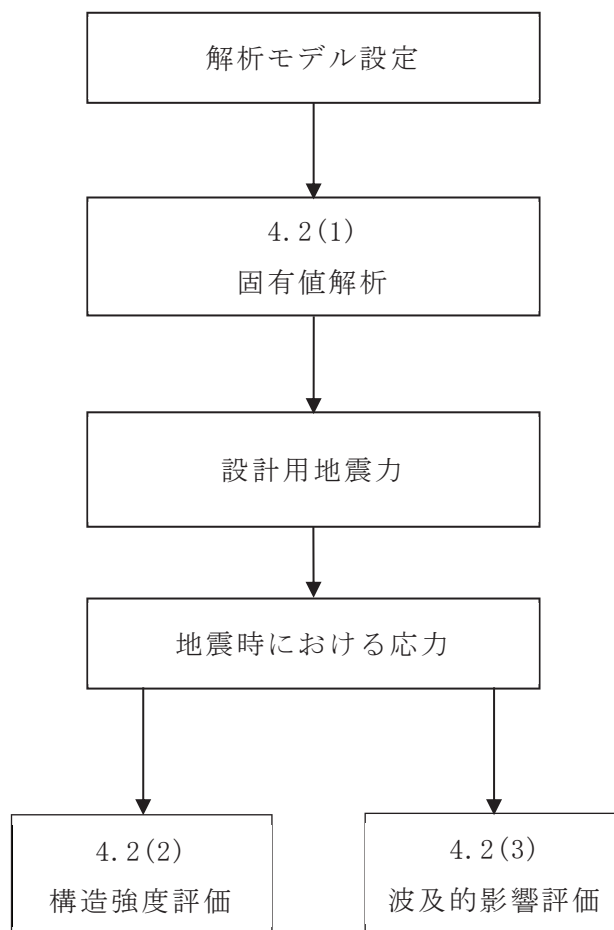


図 4-11 ボンベ設備の耐震評価フロー

(1) 固有値解析

a. 基本方針

ポンベ設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、主要な構造部材が必要な構造強度を有すること及び当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、固有値解析の結果を踏まえて評価することから、以下の「b. 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法及び解析モデルを用いて、固有値解析を行う。

b. 解析方法及び解析モデル

- (a) ポンベラックを構成する各部材を、はり要素としてモデル化した多質点モデル及びシェル要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルにより固有値解析を実施する。
- (b) 拘束条件として、建屋躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (c) ポンベラックの構造強度評価及び波及的影響評価を目的としているため、ポンベラックに収納・固定されるポンベ及び配管・弁等の機器重量は、各々組込む位置に相当する各質点に付加する。
- (d) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (e) 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ、代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ及び緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）の評価に用いる解析コードは、「NX NASTRAN」とし、中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）の評価に用いる解析コードは、「MSC NASTRAN」とする。なお、評価に用いる解析コード「NX NASTRAN」及び「MSC NASTRAN」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。

(2) 構造強度評価

ポンベ設備は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せに対して、「4.2(1) 固有値解析」で示した解析方法により求める固有周期及び地震による荷重を用いて算出した発生応力が、「3.2 許容限界」にて設定している許容応力内に収まることを確認する。

a. 設計用地震力

構造強度評価にて荷重を算出する際に用いる設計用地震力は、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。

b. ポンベ設備の計算式

構造強度評価に使用する記号を表 4-3 に示す。計算モデル例を図 4-12～図 4-16 に示す。

表 4-3 構造強度評価に使用する記号(1/2)

記号	単位	定義
A_{rea}	mm ²	R ₁ 軸方向の力を受けるフレームの断面積
A_1	mm ²	R ₂ 軸方向の力を受けるフレームの断面積
A_2	mm ²	R ₃ 軸方向の力を受けるフレームの断面積
A_w	mm ²	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の断面積
A_b	mm ²	フレーム接続ボルト及び取付ボルトの軸断面積
σ_a	MPa	フレームに生じる組合せ応力
σ_b	MPa	フレームに生じる曲げ応力
τ_s	MPa	フレームに生じるせん断応力
σ_t	MPa	フレームに生じる引張応力
σ	MPa	フレーム（シェル）に生じる組合せ応力
σ_x	MPa	フレーム（シェル）に生じるX方向の垂直応力
σ_y	MPa	フレーム（シェル）に生じるY方向の垂直応力
τ_{xy}	MPa	σ_x , σ_y の作用するフレーム（シェル）面内のせん断応力
F_x	N/mm	フレーム（シェル）のX方向の面内力
F_y	N/mm	フレーム（シェル）のY方向の面内力
F_{xy}	N/mm	フレーム（シェル）のXY方向の面内せん断力
M_x	N・mm/mm	フレーム（シェル）のX方向の曲げモーメント
M_y	N・mm/mm	フレーム（シェル）のY方向の曲げモーメント
M_{xy}	N・mm/mm	フレーム（シェル）のXY方向のねじりモーメント
t	mm	フレーム（シェル）の板厚
σ_{sa}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる組合せ応力
σ_{sb}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる曲げ応力
τ_{ss}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じるせん断応力
σ_{st}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる引張応力
σ_{wt}	MPa	フレーム取付溶接部に生じる軸応力
τ_{ws}	MPa	フレーム取付溶接部に生じるせん断応力
σ_{wb}	MPa	フレーム取付溶接部に生じる曲げ応力
σ_{wa}	MPa	フレーム取付溶接部に生じる組合せ応力
F_{b1}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)
F_{b2}	N	取付ボルトに作用するせん断力
F_{bb}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じる軸力

表 4-3 構造強度評価に使用する記号(2/2)

記号	単位	定義
S_{b1}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じるせん断力
S_{b2}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じるせん断力
τ_{bs}	MPa	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じるせん断応力
σ_{bt}	MPa	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じる引張応力
ℓ	mm	取付ボルト間の距離
ℓ_1	mm	取付ボルト間の距離
ℓ_2	mm	取付ボルト間の距離
M_1	N・mm	R_1 軸廻りのモーメント
M_2	N・mm	R_2 軸廻りのモーメント
M_3	N・mm	R_3 軸廻りのモーメント
n	-	固定端 1 箇所当たりのフレーム接続ボルト及び取付ボルトの本数
n_f	-	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数
R_1	N	R_1 軸方向の力
R_2	N	R_2 軸方向の力
R_3	N	R_3 軸方向の力
S	N	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる組合せせん断力
Z_1	mm ³	R_3 軸廻りのモーメント M_3 を受けるフレームの断面係数
Z_2	mm ³	R_2 軸廻りのモーメント M_2 を受けるフレームの断面係数
Z_{p1}	mm ³	R_2 軸方向の応力を組合せる時のモーメント M_1 を受けるねじり断面係数
Z_{p2}	mm ³	R_3 軸方向の応力を組合せる時のモーメント M_1 を受けるねじり断面係数
Z_{pw}	mm ³	フレーム取付溶接部のねじり断面係数
Z_{xw}	mm ³	R_1 軸廻りのモーメント M_3 を受ける溶接部の断面係数
Z_{yw}	mm ³	R_3 軸廻りのモーメント M_2 を受ける溶接部の断面係数
L_k	mm	溶接部の脚長
L_w	mm	溶接部長さ (1 箇所当たり)

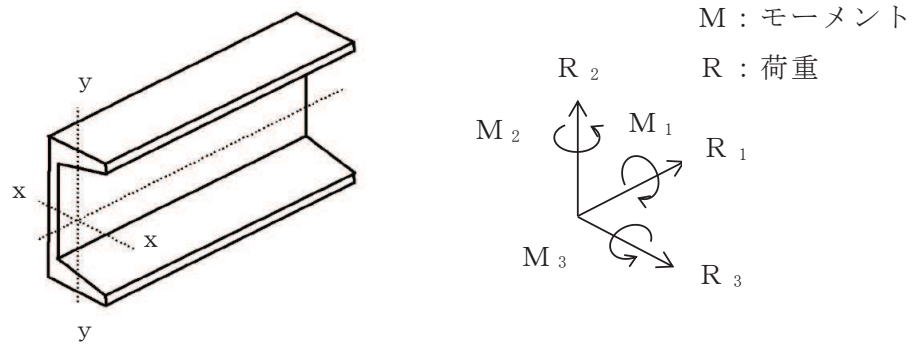


図 4-12 フレーム（はり）の計算モデル例

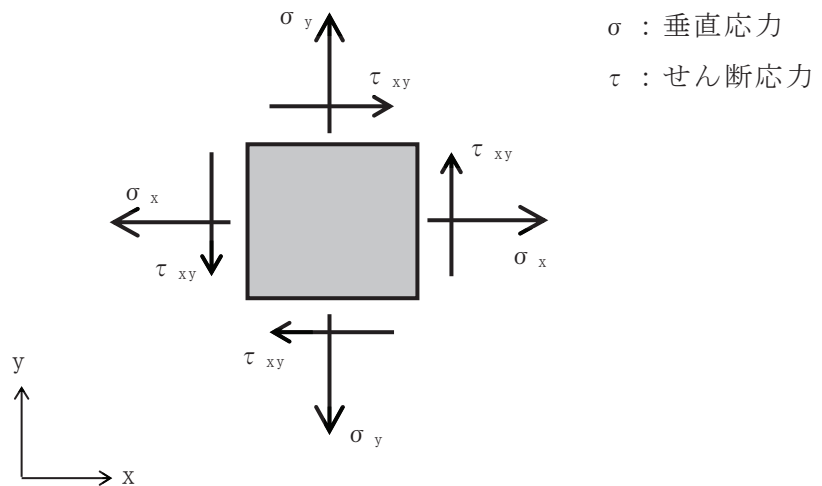
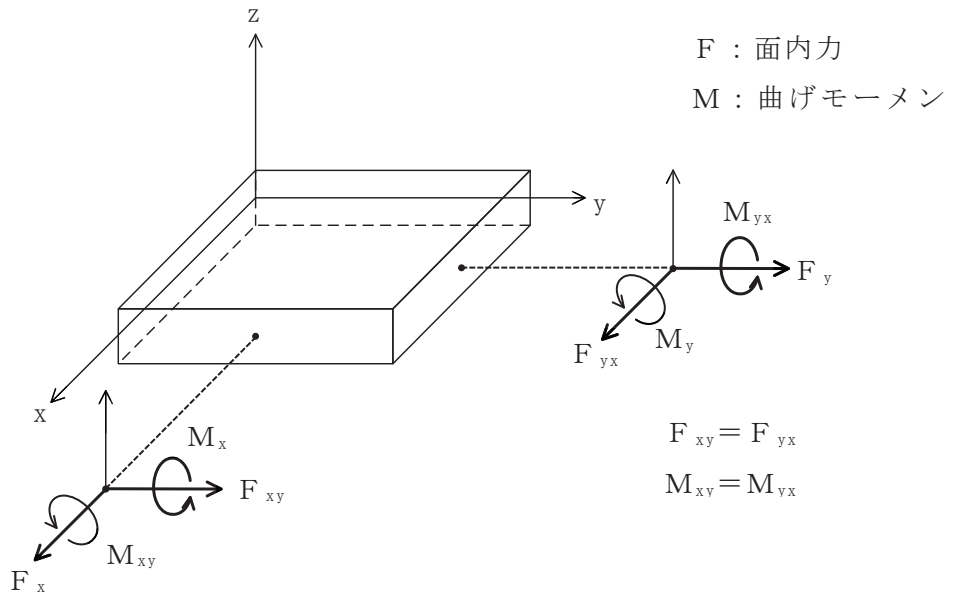


図 4-13 フレーム（シェル）の計算モデル例

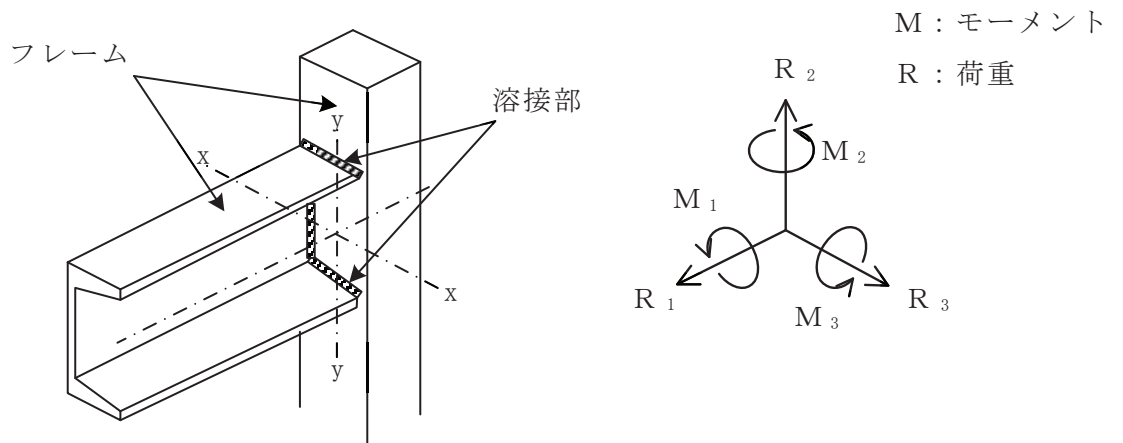
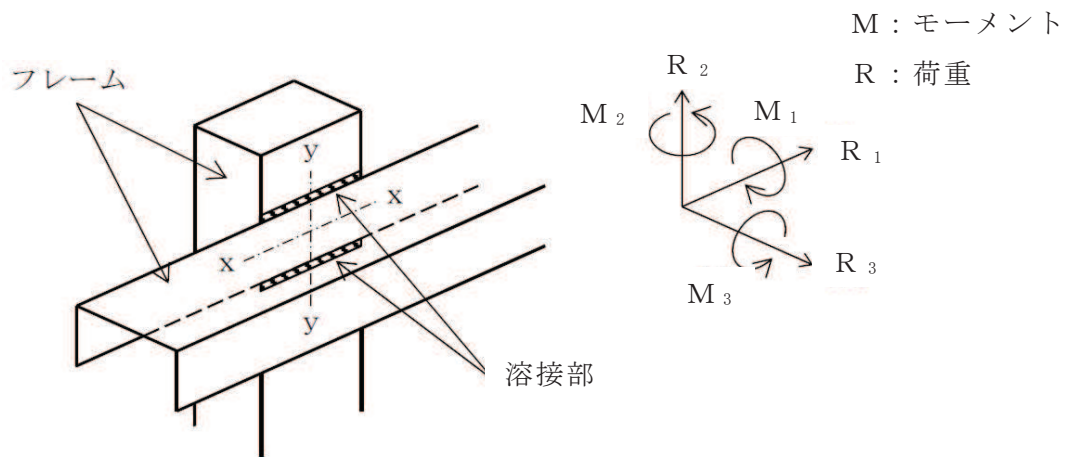


図 4-14 フレーム取付溶接部の計算モデル例

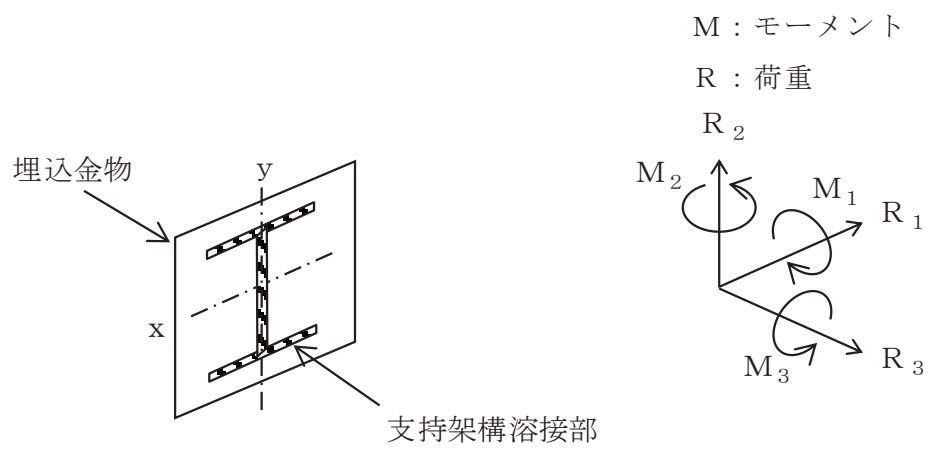


図 4-15 固定端溶接部の計算モデル例

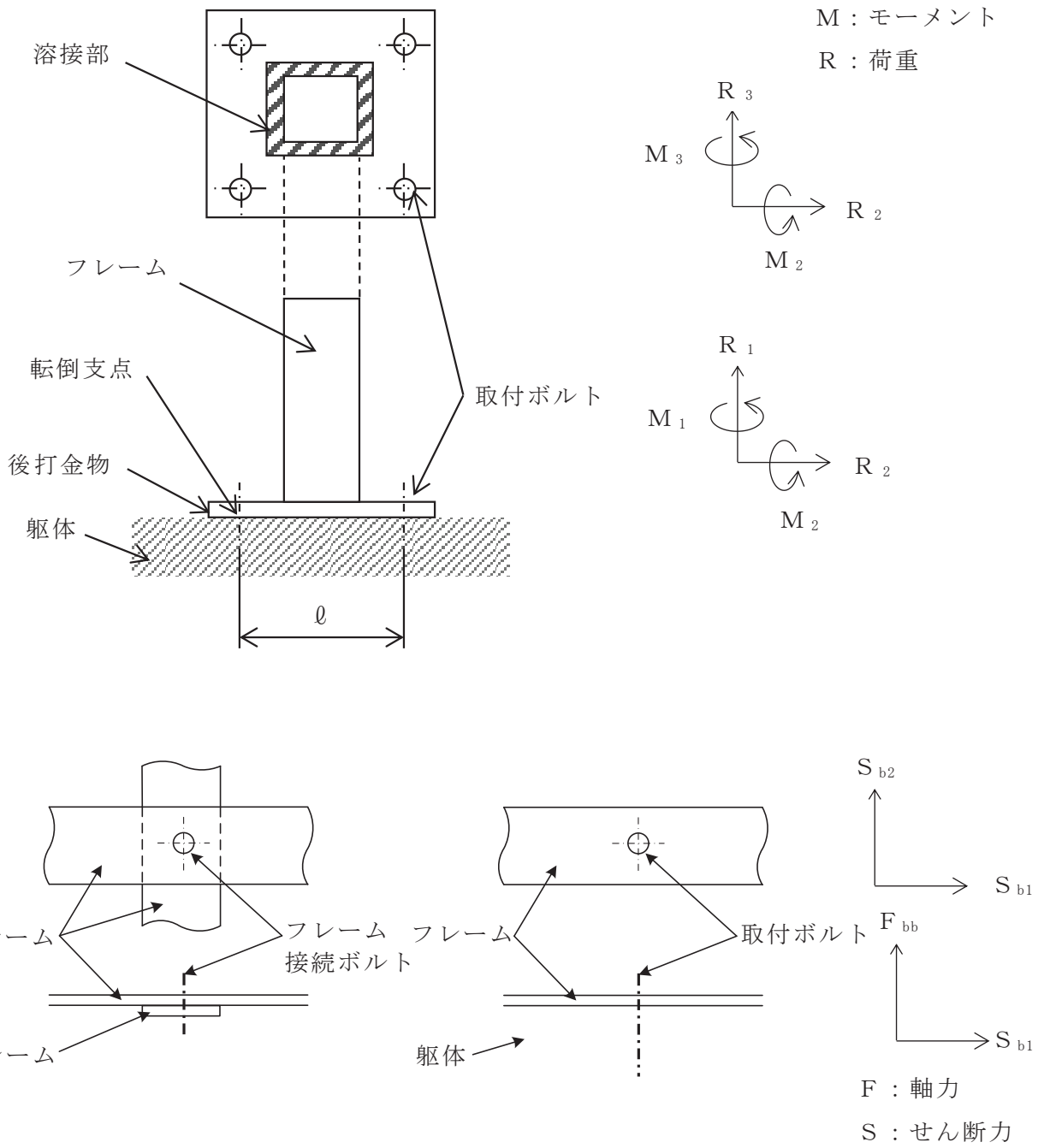


図 4-16 フレーム接続ボルト及び取付ボルトの計算モデル例

i-1. フレーム（はり）

フレーム（はり）の組合せ応力を以下のとおり計算する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{|R_1|}{A_{rea}}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_s = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{|R_2|}{A_1} \right) + \left(\frac{|M_1|}{Z_{p1}} \right), \left(\frac{|R_3|}{A_2} \right) + \left(\frac{|M_1|}{Z_{p2}} \right) \right\}$$

又は,

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{|R_2|}{A_1} \right)^2 + \left(\frac{|R_3|}{A_2} \right)^2} + \text{Max} \left\{ \frac{|M_1|}{Z_{p1}}, \frac{|M_1|}{Z_{p2}} \right\}$$

(ハ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_2|}{Z_2} + \frac{|M_3|}{Z_1}$$

(ニ) 組合せ応力

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau_s^2}$$

i-2. フレーム（シエル）

フレーム（シエル）の組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

ここで,

$$\sigma_x = \frac{F_x}{t} \pm \frac{6 M_x}{t^2}$$

$$\sigma_y = \frac{F_y}{t} \pm \frac{6 M_y}{t^2}$$

$$\tau_{x y} = \frac{F_{x y}}{t} \pm \frac{6 M_{x y}}{t^2}$$

ii. フレーム取付溶接部及び固定端溶接部

フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の応力を以下のとおり計算する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{s t} = \frac{|R_3|}{A_w}$$

(ロ) 軸応力

$$\sigma_{w t} = \frac{|R_1|}{A_w}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau_{s s} = \frac{S}{A_w} + \frac{|M_3|}{Z_{p w}}$$

又は,

$$\tau_{w s} = \sqrt{\left(\frac{|R_2|}{A_w}\right)^2 + \left(\frac{|R_3|}{A_w}\right)^2} + \frac{|M_1|}{Z_{p w}}$$

ここで、組合せせん断力 S は,

$$S = \sqrt{|R_1|^2 + |R_2|^2}$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_{s b} = \frac{|M_2|}{Z_{y w}} + \frac{|M_1|}{Z_{x w}}$$

又は,

$$\sigma_{w b} = \frac{|M_2|}{Z_2} + \frac{|M_3|}{Z_1}$$

(ホ) 組合せ応力

$$\sigma_{s a} = \sqrt{(\sigma_{s t} + \sigma_{s b})^2 + \tau_{s s}^2}$$

又は,

$$\sigma_{w a} = \sqrt{(\sigma_{w t} + \sigma_{w b})^2 + \tau_{w s}^2}$$

(ヘ) フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の断面積

$$A_w = (L_k / \sqrt{2}) \times L_w$$

iii. フレーム接続ボルト及び取付ボルト

フレーム接続ボルト及び取付ボルトの応力を以下のとおり計算する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{b t} = \frac{F_{b 1}}{A_b}$$

ここで、引張力は、

$$F_{b 1} = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_2|}{n_f \ell} \right), \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_3|}{n_f \ell} \right) \right\}$$

$$F_{b 1} = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_2|}{n_f \ell_2} \right), \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_3|}{n_f \ell_1} \right) \right\}$$

又は

$$F_{b 1} = \frac{F_{b b}}{n}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_{b s} = \frac{F_{b 2}}{n A_b}$$

ここで、せん断力は、

$$F_{b2} = \sqrt{\left(|R_2| + \frac{|M_1|}{\ell}\right)^2 + \left(|R_3| + \frac{|M_1|}{\ell}\right)^2}$$

$$F_{b2} = \sqrt{\left(|R_2| + \frac{|M_1|}{\ell_1}\right)^2 + \left(|R_3| + \frac{|M_1|}{\ell_1}\right)^2}$$

又は、

$$F_{b2} = \sqrt{S_{b1}^2 + S_{b2}^2}$$

(3) 波及的影響評価

基準地震動 S_s による地震力に対し，当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを，「4.2(2) 構造強度評価」により確認する。

4.3 その他設備

その他設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価を実施する。

その他設備の耐震評価フローを図 4-15 に示す。

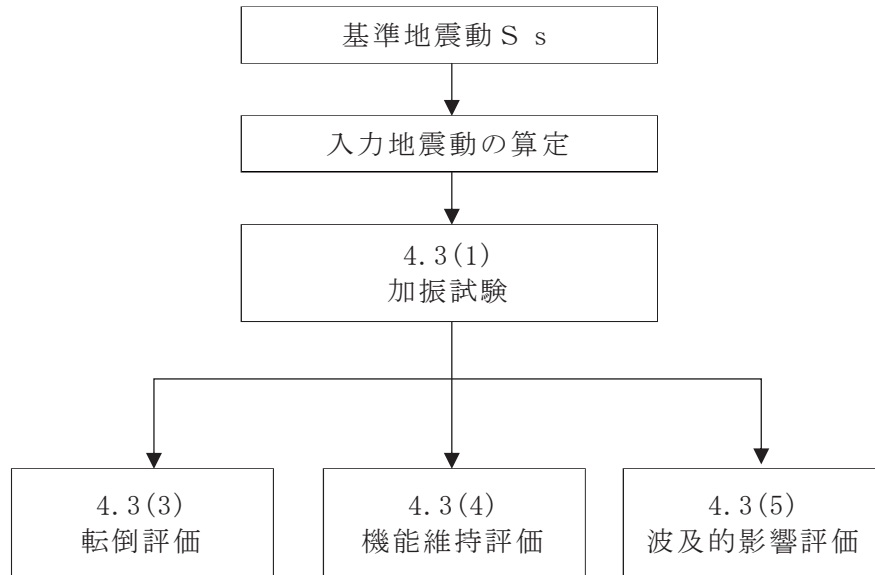


図 4-17 その他設備の耐震評価フロー

また、その他設備を設置する架台においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、架台単体としての構造強度評価、転倒評価及び波及的影響評価を実施する。

(1) 加振試験

a. 基本方針

その他設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、設備全体として安定性を有し、転倒しないこと、動的機能、電氣的機能及び支持機能が維持できること並びに当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを加振試験の結果を踏まえて評価することから、以下の「b. 入力地震動」に示す入力地震動を用いて、「(3) 転倒評価」、「(4) 機能維持評価」及び「(5) 波及的影響評価」に示す方法により加振試験を行う。

b. 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に示す、各対象設備の保管場所ごとに算定した入力地震動を用いる。

(2) 架台の構造強度評価

その他設備を設置する架台においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、架台単体としての構造強度評価、転倒評価及び波及的影響評価を実施する。

架台の構造強度評価フローを図 4-16 に示す。

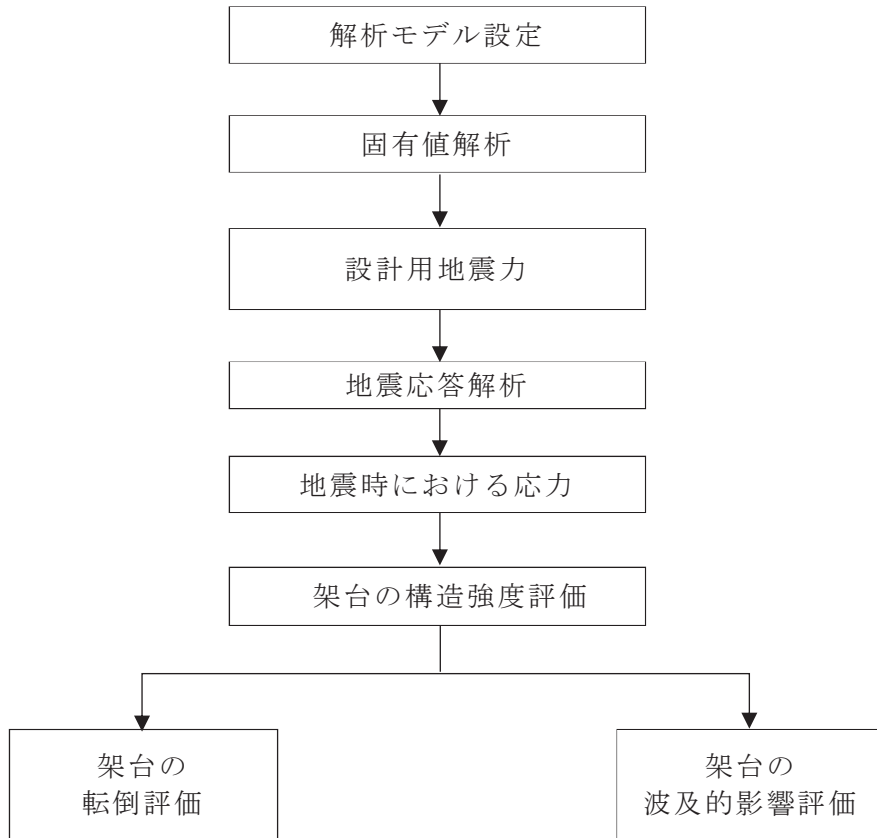


図 4-18 その他設備の架台の構造強度評価フロー

a. 地震応答解析及び構造強度評価方法

(a) 基本方針

その他設備の架台においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、地震応答解析により算出する固有振動数及び地震による荷重を用いて主要な構造部材が必要な構造強度を有することを応力評価にて確認することから、以下のとおり、地震応答解析を実施する。

その他設備の架台の地震応答解析は、以下の「(b) 地震応答解析」に示す解析方法に従い、「(c) 設計用地震力」に示す入力地震動を用いて「(d) 構造強度評価」に示す応力計算方法に従って実施する。

(b) 地震応答解析

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析方法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格及び基準や実験等の結果に基づき設定する。

イ. 解析方法及び解析モデル

「2.1 評価対象設備」に示す評価対象設備のうち、解析により固有値等の評価を行う設備は、当該設備を 3 次元 FEM にてモデル化し、固有周期及び評価部位に発生する荷重を算出する。解析の概要を以下に示す。

- i. その他設備の架台を構成する鋼材をはり要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルによる固有値解析を行い、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した上で、1.2 倍した設置床の最大応答加速度を用いた静解析を実施する。
- ii. 架台上に保管される機器の質量は、その重心高さを剛体により模擬した集中質量として付加する。また、鋼板の質量は柱・梁の交点に集中質量として付加する。
- iii. 架台は、基礎ボルトにより床面に固定されることから、解析モデルでは各基礎ボルトの位置で完全拘束（XYZ 並進拘束，XYZ 軸回り拘束）とする。
- iv. 解析コードは「MSC NASTARAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる解析コード MSC NASTARAN 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。

(c) 設計用地震力

構造強度評価にて荷重を算出する際に用いる設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づき設定する。

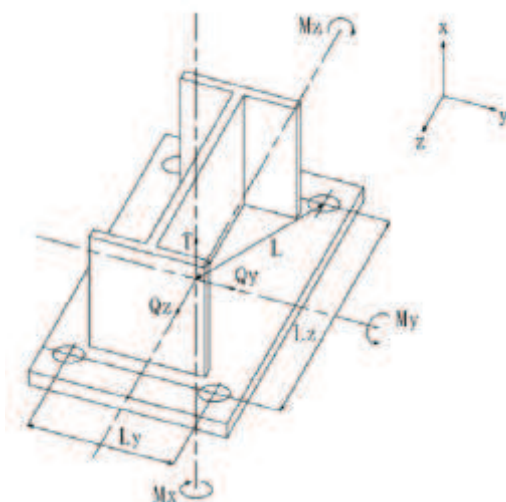
(d) 構造強度評価

その他設備を設置する架台は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せに対して、地震応答解析により求める荷重から算出した応力が、「3.2 許容限界」にて設定している許容応力内に収まることを確認する。

構造強度評価に使用する記号を表 4-4 に示す。

表 4-4 架台の構造強度評価に使用する記号

記号	単位	定義
σ_b	MPa	基礎ボルトの最大引張応力
T	N	ボルトに作用する引張力
n	—	1要素あたりのボルト本数
n_y	—	要素座標系 y 軸まわりに作用する曲げモーメントを受けるボルト本数
n_z	—	要素座標系 z 軸まわりに作用する曲げモーメントを受けるボルト本数
A_b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
M_x	N・mm	要素座標系 x 軸まわりに作用するねじりモーメント
M_y	N・mm	要素座標系 y 軸まわりに作用する曲げモーメント
M_z	N・mm	要素座標系 z 軸まわりに作用する曲げモーメント
Q_y	N	ボルトに作用する要素座標系 y 軸方向のせん断力
Q_z	N	ボルトに作用する要素座標系 z 軸方向のせん断力
L	mm	中立軸とボルト位置の距離
L_y	mm	要素座標系 y 方向のボルトピッチ
L_z	mm	要素座標系 z 方向のボルトピッチ
τ_b	MPa	基礎ボルトの最大せん断応力



イ. 解析方法及び解析モデル

FEM 解析を実施し、得られる荷重及び応力を用いて、基礎ボルトの応力計算を行う。

i. 基礎ボルトの応力計算

ボルトの応力を以下のとおり計算する。

引張応力及び組合せ応力

$$\sigma_b = \frac{T}{n A_b} + \frac{M_y}{n_y L_z A_b} + \frac{M_z}{n_z L_y A_b}$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{Q_y^2 + Q_z^2}}{n A_b} + \frac{M_x}{n L A_b}$$

b. 転倒評価

その他設備を設置する架台が、基準地震動 S_s による地震力に対し、転倒しないことを、「a. 地震応答解析及び構造強度評価」に基づき、評価部位が健全であることにより確認する。

c. 波及的影響評価

その他設備を設置する架台が、基準地震動 S_s による地震力に対し、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、「a. 地震応答解析及び構造強度評価」に基づき、評価部位が健全であることにより確認する。

(3) 転倒評価

その他設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.3(1)b. 入力地震動」を基に作成したランダム波又は正弦波若しくはサインビート波による加振試験を行い、試験後にスリング等が健全であり転倒していないことを確認する。

転倒評価は、当該設備保管場所の設置床又は地表面の最大応答加速度と「4.3(1)加振試験」における加振試験にて転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ加振試験にて転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

(4) 機能維持評価

その他設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.3(1)b. 入力地震動」を基に作成したランダム波又は正弦波若しくはサインビート波による加振試験を行い、試験後に動的及び電氣的機能が維持されることを確認する。

機能維持評価は、当該設備保管場所の設置床又は地表面の最大応答加速度と「4.3(1) 加振試験」における加振試験にて、試験後に動的及び電氣的機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ加振試験にて試験後に動的及び電氣的機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

(5) 波及的影響評価

その他設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.3(1)b. 入力地震動」を基に作成したランダム波又は正弦波若しくはサインビート波による加振試験を行い、当該設備がすべり及び傾きによる波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、当該設備保管場所の設置床又は地表面の最大応答加速度と「4.3(1) 加振試験」における加振試験にてスリング等の健全性を確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ加振試験にてスリング等の健全性を確認した加振台の最大加速度以下であることを確認する。

4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮

動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向を組み合わせた地震力が、可搬型重大事故等対処設備の有する耐震性に及ぼす影響については、添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針に基づき評価を行う。

評価内容及び評価結果は、添付書類「VI-2-別添 3-6 可搬型重大事故等対処設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

5. 適用規格・基準等

適用規格・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

VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における
入力地震動

目次

1. 概要	1
2. 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等	1
3. 保管エリア等における入力地震動の算定	3
3.1 保管エリア等における入力地震動の算定方針	3
3.2 解析条件の設定	4
3.3 地震応答解析モデルの作成	16
3.4 地震応答解析に用いる地震動	24
3.5 地震応答解析における解析ケース	25
4. 加速度応答スペクトルの算定	26
4.1 保管エリア等の最大応答加速度	26
4.2 第1保管エリア	29
4.3 第2保管エリア	72
4.4 第3保管エリア	101
4.5 第4保管エリア	130
4.6 緊急時対策建屋北側	159

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」に示すとおり、可搬型重大事故等対処設備保管エリア等に保管する可搬型重大事故等対処設備について、その加振試験等に際して必要となる入力地震動を求めるために行う、基準地震動 S_s を基にした各保管エリア等の地盤等の地震応答解析について説明するものである。

なお、原子炉建屋、制御建屋、緊急時対策建屋については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す。

本資料には、可搬型重大事故等対処設備保管エリア等の地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

2. 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等

可搬型重大事故等対処設備は、位置的分散を考慮し、以下に示す箇所に保管する。

可搬型重大事故等対処設備保管エリア等の位置を図 2-1 に示す。

- ・ 第 1 保管エリア
- ・ 第 2 保管エリア
- ・ 第 3 保管エリア
- ・ 第 4 保管エリア
- ・ 緊急時対策建屋北側

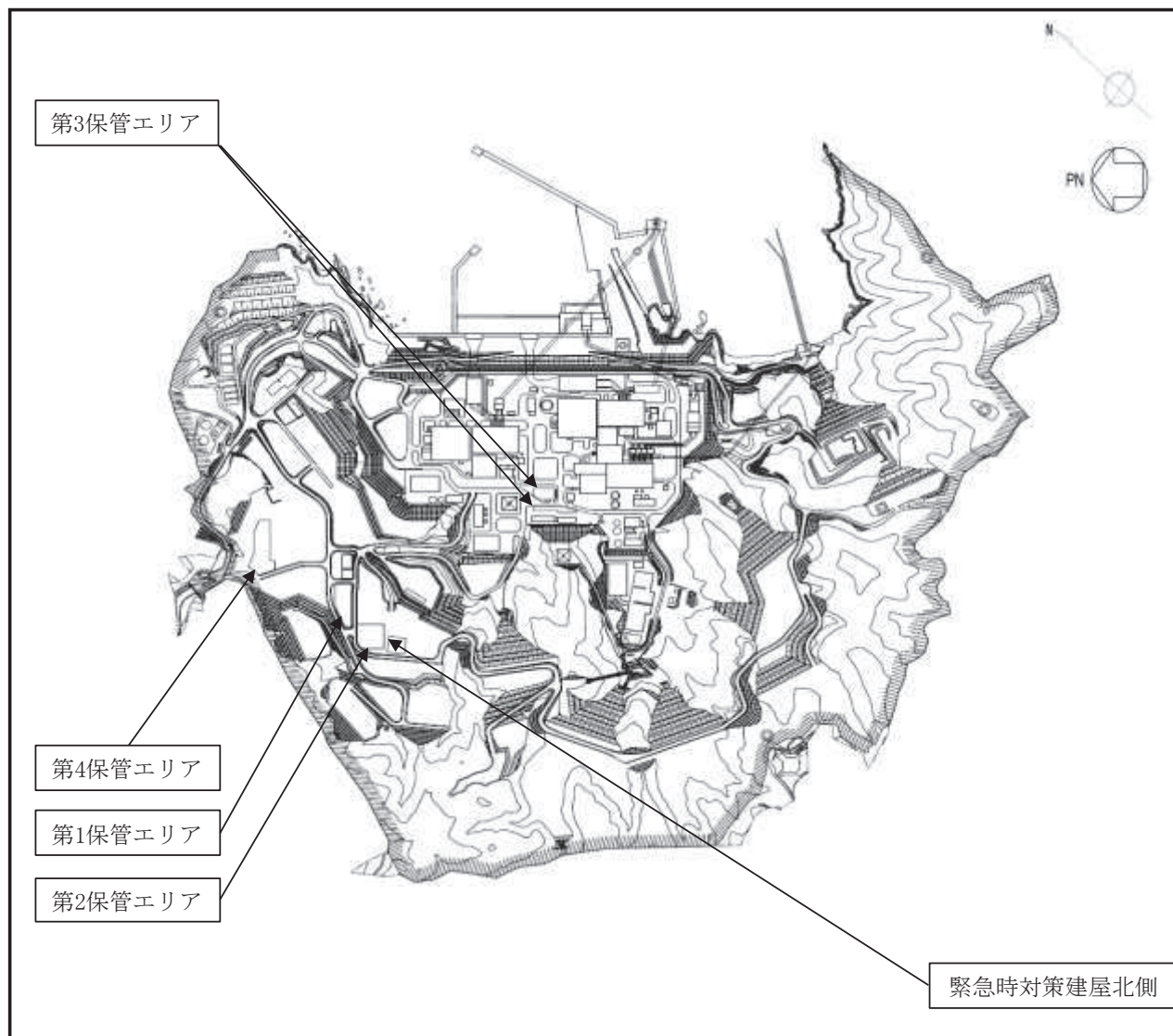


図 2-1 可搬型重大事故等対処設備保管エリア等の位置

3. 保管エリア等における入力地震動の算定

3.1 保管エリア等における入力地震動の算定方針

保管エリア等における入力地震動は、水平方向及び鉛直方向に対して、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を基に、各保管エリア等における地震応答解析により算定する。基準地震動 S_s は添付書類「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」による。

第1, 第3, 第4 保管エリアにおける地盤の地震応答解析は、一次元重複反射理論により行う。解析コードは「SHAKE Ver1.6」及び「microSHAKE/3D Ver2.3.3」を使用する。

第2 保管エリアは淡水貯水槽上に設定されており、地盤及び構造物の地震応答解析は二次元 FEM 解析により行う。解析コードは「SuperFLUSH/2D Ver.6.1」を使用する。

緊急時対策建屋北側における地盤の地震応答解析は、一次元重複反射理論により行う。解析コードは「SHAKE Ver1.6」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。

保管エリア等における入力地震動の算定フローを図 3-1 に示す。

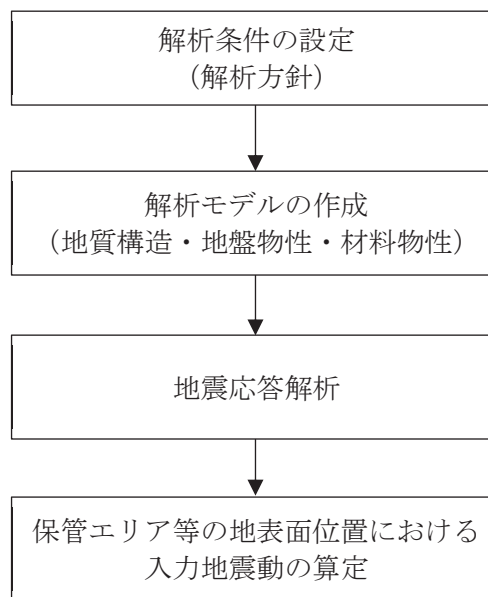


図 3-1 保管エリア等における入力地震動の算定フロー図

3.2 解析条件の設定

(1) 地盤の解析用物性値

保管エリア等における地震応答解析に用いる地盤の解析用物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。

地震応答解析に用いる地盤の解析用物性値を表 3-1～表 3-4 に、地盤の解析用物性値の設定根拠を表 3-5～表 3-8 に示す。

第 1, 第 2, 第 4 保管エリア及び緊急時対策建屋北側には牧の浜部層の解析用物性値を、第 3 保管エリアには狐崎部層の解析用物性値を用いる。

表 3-1 (1) 地盤の解析用物性値 (狐崎部層)

岩種・岩級	物理特性			強度特性				変形特性												
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h									
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s														
[B] 級	砂岩	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.25	表 3-1 (2) 参照			0.03										
	頁岩	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.28				0.03										
	ひん岩	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.31				0.03										
[C _H] 級	砂岩	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.24				表 3-1 (2) 参照			0.03							
	頁岩	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.25							0.03							
	ひん岩	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.29							0.03							
[C _M] 級	砂岩	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26							表 3-1 (2) 参照			0.03				
	頁岩	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.20										0.03				
	ひん岩	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26										0.03				
[C _L] 級	砂岩	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31										表 3-1 (2) 参照			0.03	
	頁岩	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	400	0.31													0.03	
	ひん岩	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31													0.03	
[D] 級	砂岩	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	表 3-1 (2) 参照												h = $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	
	頁岩	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38														$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d / G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$
	ひん岩	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38														

表 3-1(2) 地盤の解析用物性値(狐崎部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.2×10^3	0.36
		第5速度層	16.5×10^3	0.35
	頁岩	第2速度層	1.6×10^3	0.44
		第3速度層	6.0×10^3	0.40
		第4速度層	13.5×10^3	0.36
		第5速度層	16.7×10^3	0.35
	ひん岩	第3速度層	6.4×10^3	0.40
		第4速度層	14.2×10^3	0.36
		第5速度層	17.6×10^3	0.35
	C _M 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3
第2速度層			1.5×10^3	0.44
第3速度層			5.7×10^3	0.40
第4速度層			12.7×10^3	0.36
第5速度層			15.8×10^3	0.35
頁岩		第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.0×10^3	0.36
		第5速度層	16.2×10^3	0.35
ひん岩		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.7×10^3	0.40
		第4速度層	12.7×10^3	0.36
C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48	
	第2速度層	1.4×10^3	0.44	
	第3速度層	5.5×10^3	0.40	
D級	第1速度層	表 3-1(1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.44	

表 3-2(1) 地盤の解析用物性値(牧の浜部層)

岩種・岩級	物理特性		強度特性				変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	τ_0 (N/mm ²)	静的・動的特性		静的特性		動的特性		減衰定数 h	
			せん断強度 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	せん断強度 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d		
B級	砂岩	26.4	54.0	1.12 $\sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表3-2(2)参照	0.03		
	頁岩	27.1	32.0	0.96 $\sigma^{0.31}$	3,700	0.23		0.03		
	ひん岩	27.9	54.0	1.12 $\sigma^{0.74}$	2,800	0.18		0.03		
C _{II} 級	砂岩	26.2	54.0	1.12 $\sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03		
	頁岩	27.1	32.0	0.96 $\sigma^{0.31}$	1,900	0.22		0.03		
	ひん岩	27.9	54.0	1.12 $\sigma^{0.74}$	1,900	0.18		0.03		
C _{III} 級	砂岩	25.5	50.0	1.09 $\sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03		
	頁岩	25.4	32.0	0.96 $\sigma^{0.31}$	1,500	0.21		0.03		
	ひん岩	25.5	50.0	1.09 $\sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03		
C _L 級	砂岩	23.1	44.0	0.73 $\sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03		
	頁岩	23.1	27.0	0.58 $\sigma^{0.31}$	180	0.26		0.03		
	ひん岩	23.1	44.0	0.73 $\sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03		
D級	砂岩	20.2	24.0	0.41 $\sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d / G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	h = 0.085 γ / (0.00026 + γ) + 0.028		
	頁岩	20.2	24.0	0.12 $\sigma^{0.21}$	39	0.38				
	ひん岩	20.2	24.0	0.41 $\sigma^{0.49}$	78	0.38				

表 3-2(2) 地盤の解析用物性値(牧の浜部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	頁岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	ひん岩	第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	C _M 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3
第2速度層			1.2×10^3	0.45
第3速度層			4.7×10^3	0.41
第4速度層			11.5×10^3	0.34
第5速度層			16.8×10^3	0.33
頁岩		第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
ひん岩		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48	
	第2速度層	1.2×10^3	0.45	
	第3速度層	4.7×10^3	0.41	
D級	第1速度層	表 3-2(1)参照	0.48	
	第2速度層		0.45	

表 3-3 地盤の解析用物性値 (盛土ほか)

岩種・岩級	物理特性		強度特性						変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
			内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)				
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00036)^*$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$		
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.0201 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.0911 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$		
断層 及びシーム	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.0012)^*$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$		
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.0311 \log \gamma$		
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.0501 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$		
背面補強工	24.0	—										
置換コンクリート	22.5	28,000										
		11,667										
		0.2										
		0.05										

注記*: 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間
 $G_0 = E_s / 2(1 + \nu_s)$, $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m)$, $\gamma_m = \tau_r / G_0$

表 3-4 地盤の解析用物性値 (マンメイドロック)

	物理特性	強度特性				変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断剛性 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 (%)
マンメイドロック (既設) ($f'_{ck}=15.6$ N/mm ²)	22.6	3.12	-*	1.43	-*	20590	8579	0.2	3
マンメイドロック (新設) ($f'_{ck}=21.0$ N/mm ²)	22.5	4.20	-*	1.75	-*	23500	9792	0.2	3

注記* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

表 3-5 地盤の解析用物性値の設定根拠(狐崎部層)

岩種・岩級	物理特性	強度特性		変形特性	
		静的・動的的特性	静的・動的的特性	静的・動的的特性	動的的特性
B級 及び C _H 級	砂岩 頁岩 ひん岩 密度試験	ブロックせん断試験* 摩擦抵抗試験*	岩盤変形試験*	砂岩と同じ値	動的的特性
			岩盤変形試験*		
			砂岩と同じ値		
C _H 級	砂岩 頁岩 ひん岩 密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	砂岩と同じ値	PS検層
			砂岩と同じ値		
			砂岩と同じ値		
C _L 級	砂岩 頁岩 ひん岩 密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	換算値	砂岩と同じ値	動的的特性
			砂岩と同じ値		
			砂岩と同じ値		
D級	砂岩 頁岩 ひん岩 密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	換算値	砂岩と同じ値	繰返し三軸試験
			砂岩と同じ値		
			砂岩と同じ値		

注記* : B級については、C_H級と同じ値を用いる。

表 3-6 地盤の解析用物性値の設定根拠(牧の浜部層)

岩種・岩級	物理特性	強度特性		変形特性	
		静的・動的特性		静的特性	動的特性
B級	砂岩	密度試験 C _H 級と同じ値	C _H 級と同じ値	換算値	
	頁岩				
	ひん岩				
C _H 級	砂岩	密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験 換算値	岩盤変形試験	PS 検層
	頁岩			砂岩と同じ値	
	ひん岩			砂岩と同じ値	
C _M 級	砂岩	密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	
	頁岩			砂岩と同じ値	
	ひん岩			砂岩と同じ値	
C _L 級	砂岩	密度試験	ロックせん断試験 摩擦抵抗試験 換算値	換算値	
	頁岩			砂岩と同じ値	
	ひん岩			砂岩と同じ値	
D級	砂岩	密度試験	ロックせん断試験 摩擦抵抗試験 換算値	換算値	繰返し三軸試験
	頁岩			砂岩と同じ値	
	ひん岩			砂岩と同じ値	

表 3-7 地盤の解析用物性値の設定根拠(盛土(ほか))

岩種・岩級	物理特性	強度特性		変形特性	
		静的・動的的特性	静的特性	静的特性	動的的特性
盛土	現場密度試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	繰返し三軸試験
旧表土	密度試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	繰返し三軸試験
断層及びびしーム	密度試験	単純せん断試験	単純せん断試験	単純せん断試験	繰返し単純せん断試験
セメント改良土	現場密度試験	三軸圧縮試験 岩石の引張強さ試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	PS 検層 繰返し三軸試験
改良地盤	密度試験	三軸圧縮試験 岩石の引張強さ試験	三軸圧縮試験	平板載荷試験	PS 検層 繰返し三軸試験
背面補強工 置換コンクリート					

コンクリート標準示方書 構造性能照査編

表 3-8 地盤の解析用物性値の設定根拠(マンメイドロック)

マンメイドロック (既設) ($f'_{ck}=15.6 \text{ N/mm}^2$)	マンメイドロック (新設) ($f'_{ck}=21.0 \text{ N/mm}^2$)	物理特性		強度特性		変形特性			
		単位体積重量 γ (kN/m^3)	せん断強度 τ_0 (N/mm^2)	せん断強度 σ_t (N/mm^2)	引張強度 σ_t (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	せん断剛性 (N/mm^2)	ポアソン比	減衰定数 (%)
		文献に基づき 設定*1	文献に基づき設定*2 ($\tau_0=1/5f'_{ck}$)	文献に基づき設定*1 ($\sigma_t=0.23f'_{ck}$)	文献に基づき設定*1 ($\sigma_t=0.23f'_{ck}$)	文献に基づき 設定*1	ヤング係数と ポアソン比の 関係より算出	文献に基づき 設定*1	岩盤と同じ値
		文献に基づき 設定*1	文献に基づき設定*2 ($\tau_0=1/5f'_{ck}$)	文献に基づき設定*1 ($\sigma_t=0.23f'_{ck}$)	文献に基づき設定*1 ($\sigma_t=0.23f'_{ck}$)	文献に基づき 設定*1	ヤング係数と ポアソン比の 関係より算出	文献に基づき 設定*1	岩盤と同じ値

注記*1: コンクリート標準示方書 構造性能照査編 土木学会 2002年

*2: コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編 土木学会 2013年

(2) 地下水位

保管エリアにおける地震応答解析に用いる地下水位は、添付書類「VI-1-1-6-別添 1 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に基づき設定する。

緊急時対策建屋北側における地震応答解析に用いる地下水位は、添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」に示す緊急時対策建屋と同様に設定する。

各保管エリア等における地下水位の設定を表 3-9 に示す。

表 3-9 各保管エリア等における地下水位の設定

対象	地震応答解析モデルの位置	地下水位* (m)
第 1 保管エリア	①	0. P. +61. 73 (地表面)
	②	0. P. +61. 77 (地表面)
	③	0. P. +61. 69 (地表面)
第 2 保管エリア	NS 方向	0. P. +62. 00 (地表面)
	EW 方向	0. P. +62. 00 (地表面)
第 3 保管エリア	①	0. P. +14. 80 (地表面)
	②	0. P. +14. 80 (地表面)
第 4 保管エリア	①	0. P. +62. 00 (地表面)
	②	0. P. +62. 00 (地表面)
緊急時対策建屋北側	—	0. P. +62. 00 (地表面)

注記* : 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動を考慮すると、表記値より一様に約 1m 沈下。以後の記載についても同様。

(3) 使用材料及び材料の物性値

第 2 保管エリアである淡水貯水槽における使用材料及び地震応答解析に必要な材料の物性値を、表 3-10 に示す。

表 3-10 使用材料及び材料の物性値*1

	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)
普通 コンクリート Fc=24	2.27×10 ⁴ *2	0.945×10 ⁴ *2	0.2	23*3
鉄筋	2.05×10 ⁵	—	—	—

注記*1：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2010 改定）

$$*2 : E = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{23}{24}\right)^2 \times \left(\frac{24}{60}\right)^{\frac{1}{3}} = 22669 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 2.27 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$G = \frac{3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{23}{24}\right)^2 \times \left(\frac{24}{60}\right)^{\frac{1}{3}}}{2(1+0.2)} = 9445.4 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow 0.945 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

*3：鉄筋コンクリートの場合は 24 とする。

(4) 基準地震動 S s

保管エリア等における地震応答解析に用いる基準地震動 S s は、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」に基づき、水平方向及び鉛直方向に対して、解放基盤表面で定義される基準地震動 S s を用いる。

3.3 地震応答解析モデルの作成

地震応答解析モデルは、各保管エリア等において、周辺の地質構造を考慮して作成する。なお、第2保管エリアは淡水貯水槽上に設定されており、地盤及び構造物をモデル化する。

地震応答解析モデルの作成位置を図3-2に、地震応答解析モデルを図3-3～図3-7、表3-11及び表3-12に示す。

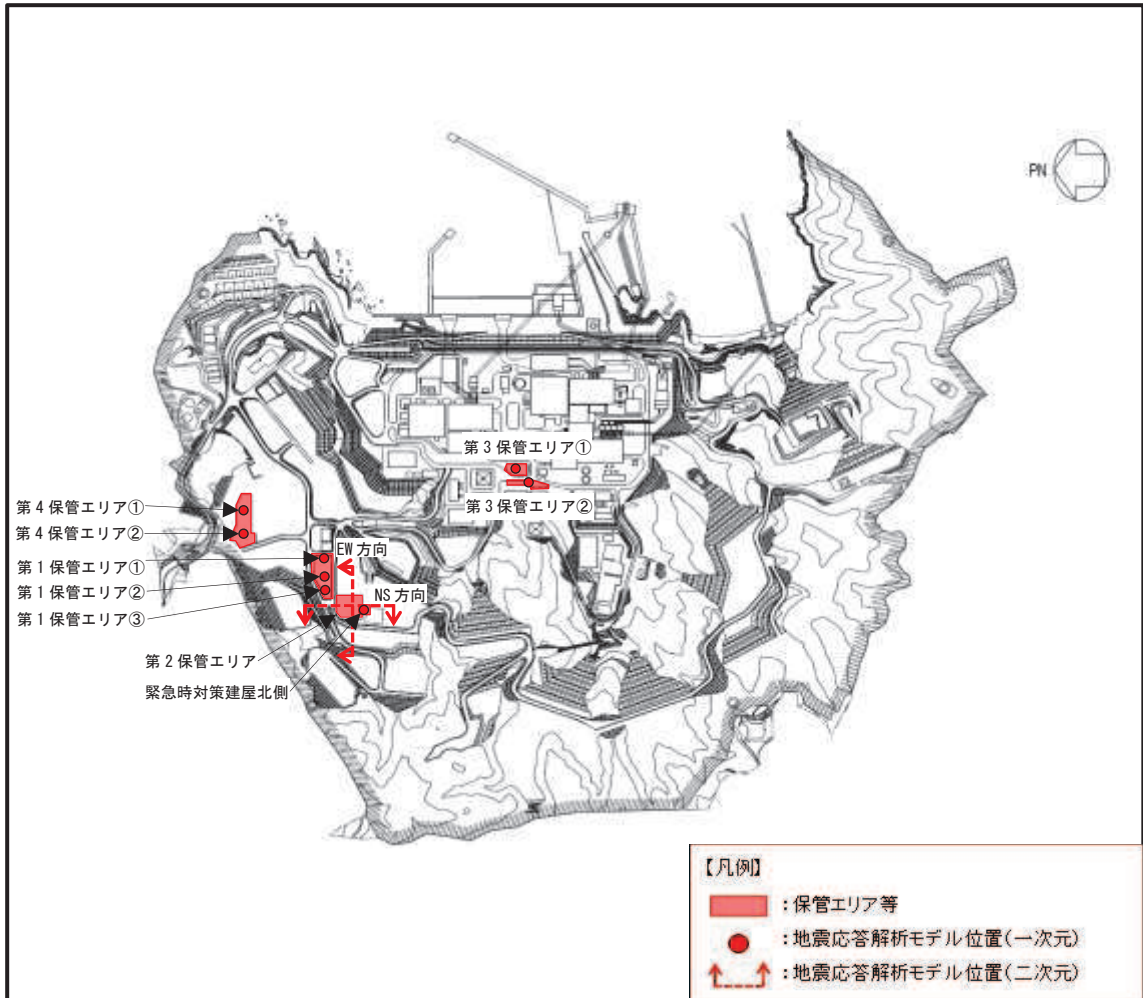


図3-2 地震応答解析モデルの作成位置

第1 保管エリア①

第1 保管エリア②

第1 保管エリア③

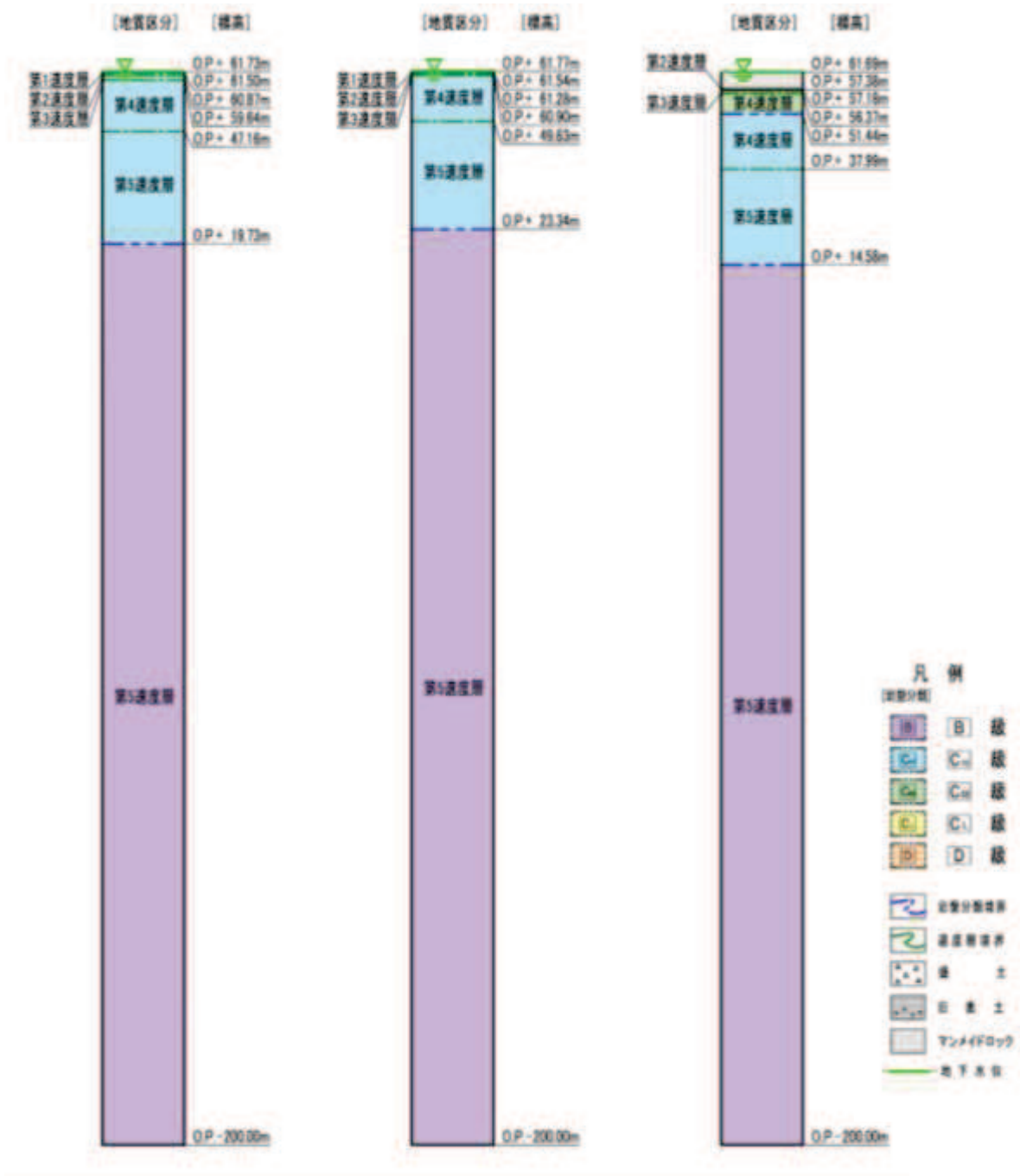
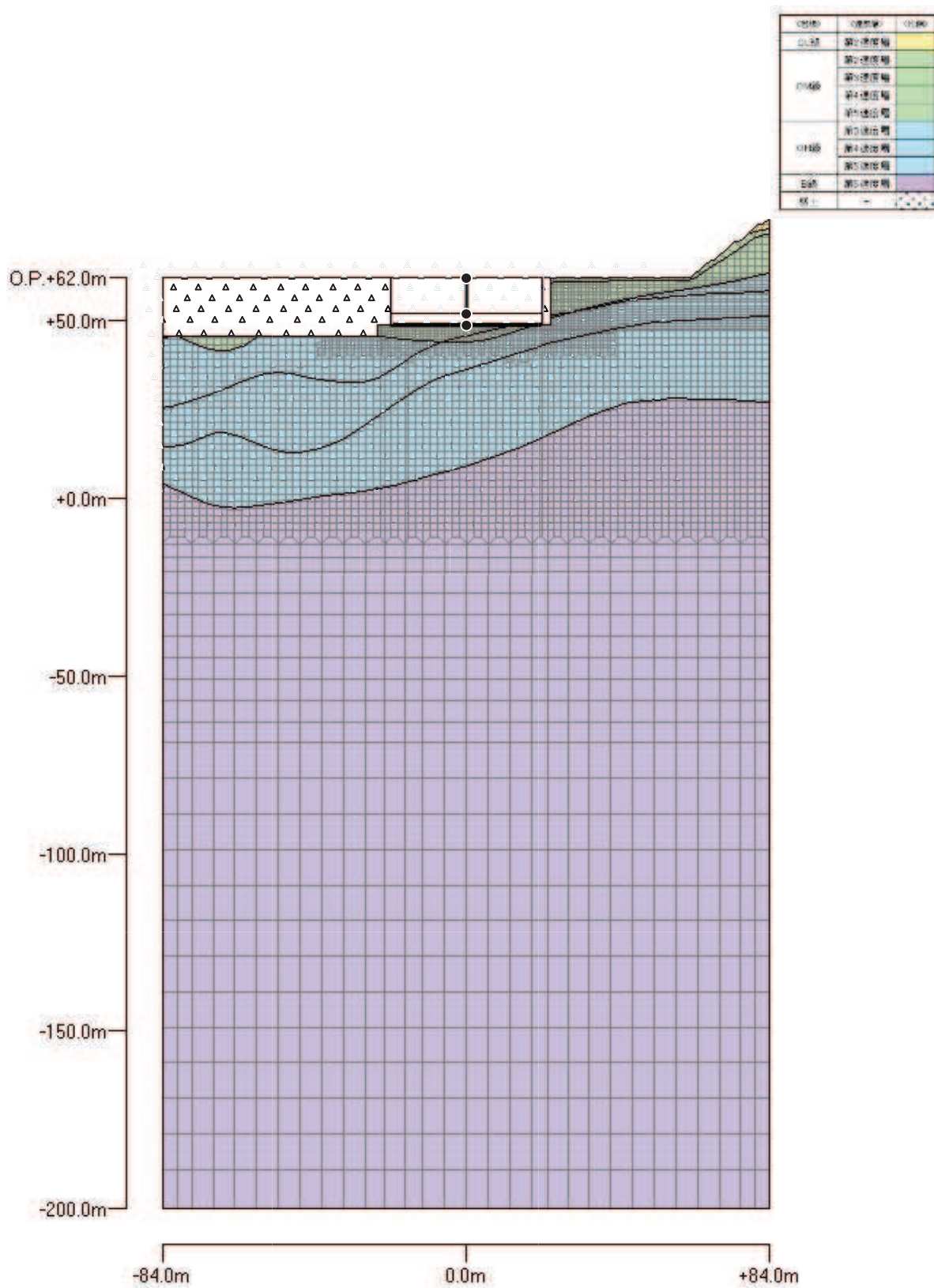


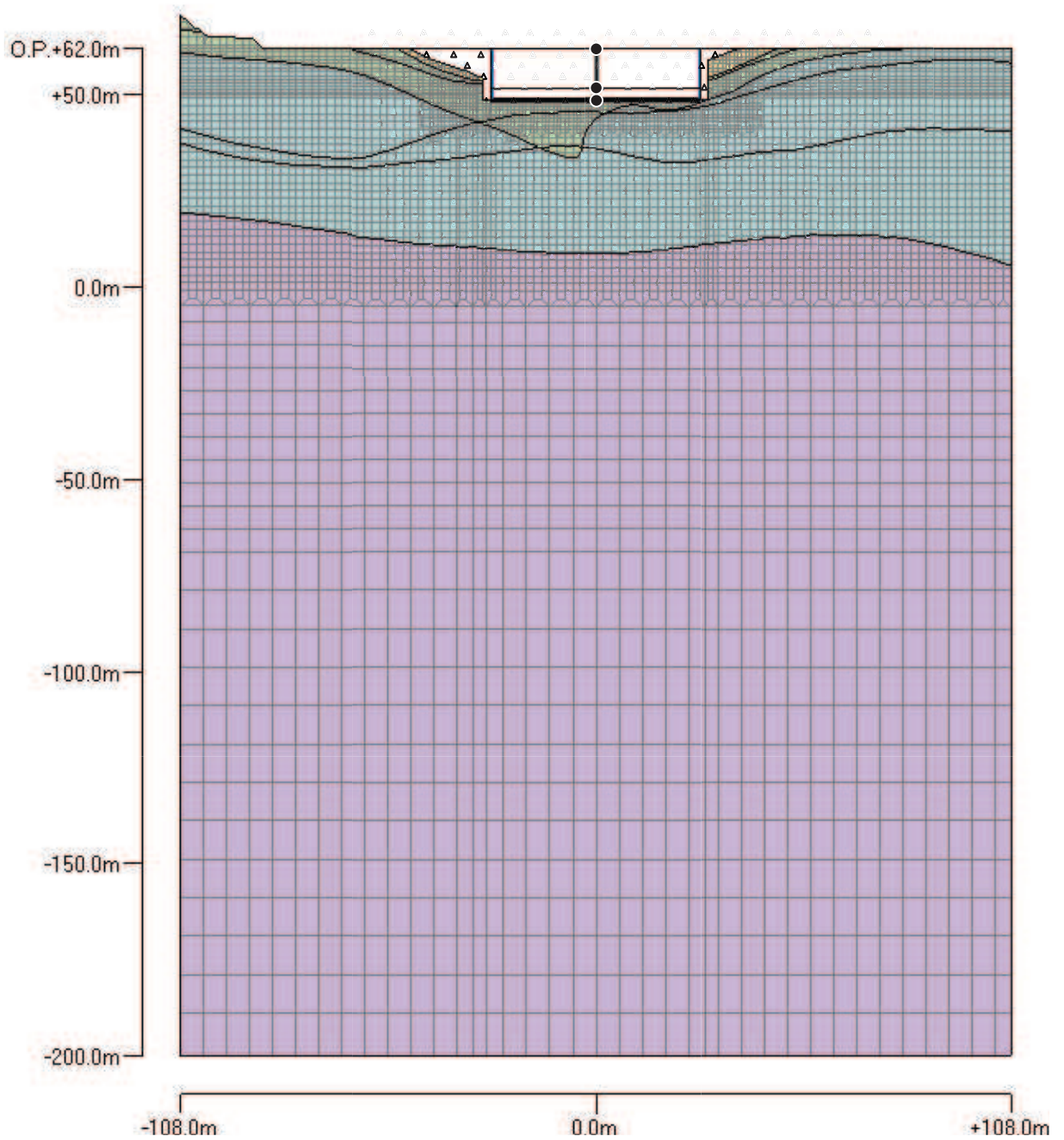
図 3-3 第1 保管エリアの地震応答解析モデル (一次元)



(1) NS 方向

図 3-4(1) 第 2 保管エリアの地震応答解析モデル (二次元)

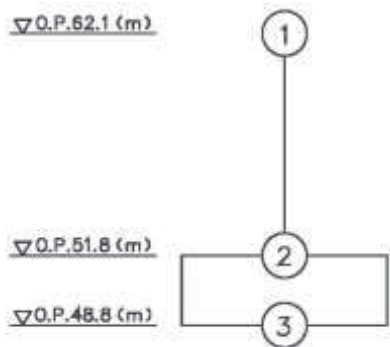
区画名	区画説明	区画色
0150	第1層地盤	黄緑色
0149	第2層地盤	緑色
0148	第3層地盤	青緑色
0147	第4層地盤	青色
0146	第5層地盤	水色
0145	第6層地盤	紫色
0144	第7層地盤	黒色
0143	第8層地盤	黒色



(2) EW 方向

図 3-4(2) 第 2 保管エリアの地震応答解析モデル (二次元)

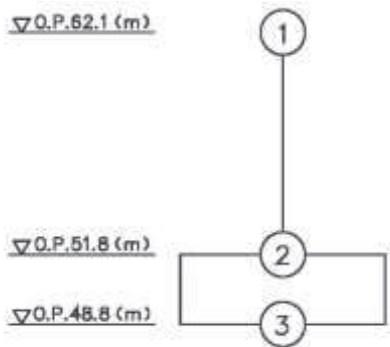
表 3-11 第 2 保管エリアの地震応答解析モデル（質点系） 諸元（NS 方向）



質点番号	重量 W (kN)	回転慣性 I _g (×10 ⁵ kN・m ²)	断面 2 次 モーメント I (×10 ² m ⁴)	せん断 断面積 AS (m ²)
1	215960	320.3		
			1095.1	405.0
2	252930	376.4		
			3334.0	2268.0
3	81650	120.2		

- ・基礎スラブ：42.0m (NS) × 54.0m (EW)
- ・総重量：550540 (524760) kN

表 3-12 第 2 保管エリアの地震応答解析モデル（質点系） 諸元（EW 方向）



質点番号	重量 W (kN)	回転慣性 I _g (×10 ⁵ kN・m ²)	断面 2 次 モーメント I (×10 ² m ⁴)	せん断 断面積 AS (m ²)
1	215960	527.7		
			1576.6	388.8
2	252930	619.2		
			5511.2	2268.0
3	81650	198.6		

- ・基礎スラブ：42.0m (NS) × 54.0m (EW)
- ・総重量：550540 (524760) (kN)

第 3 保管エリア①

第 3 保管エリア②

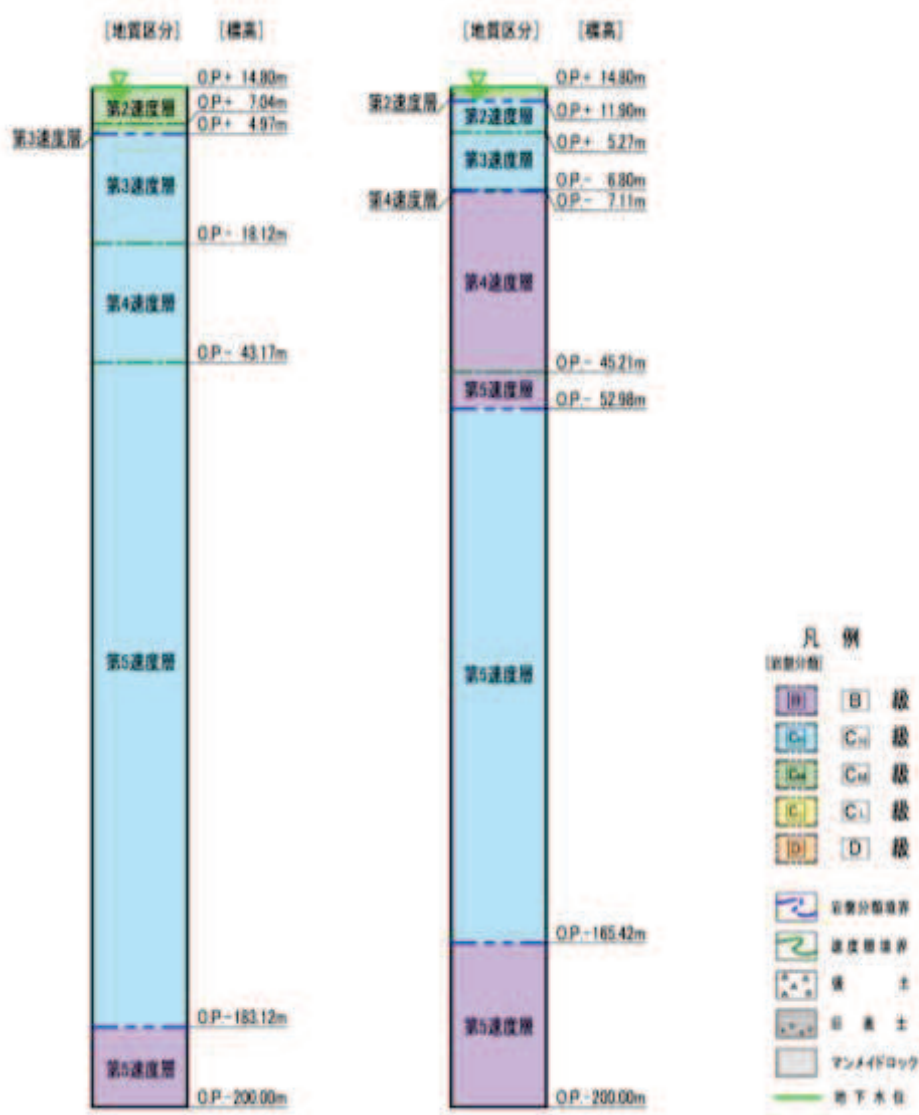


図 3-5 第 3 保管エリアの地震応答解析モデル (一次元)

第4 保管エリア①

第4 保管エリア②

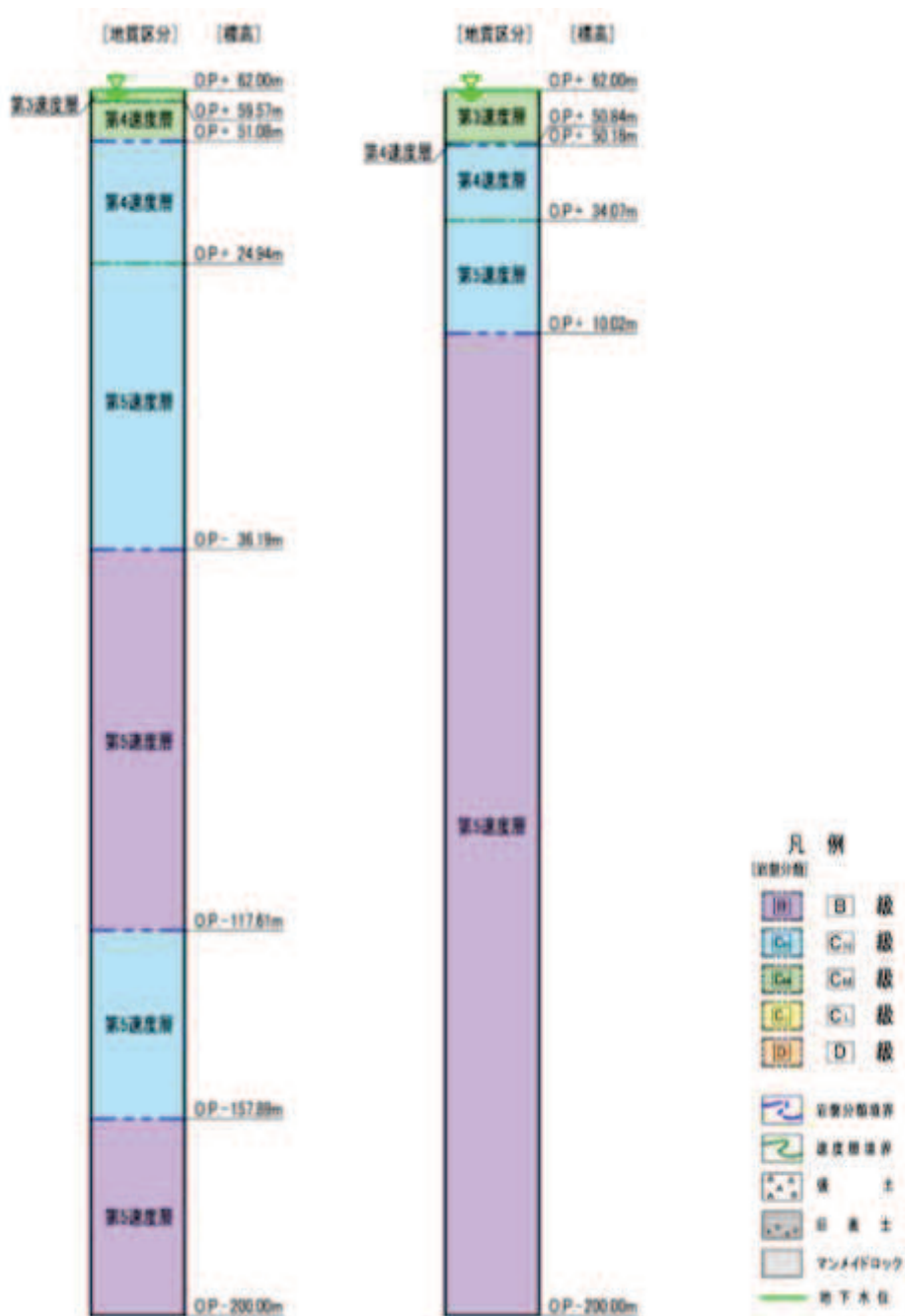


図 3-6 第4 保管エリアの地震応答解析モデル (一次元)

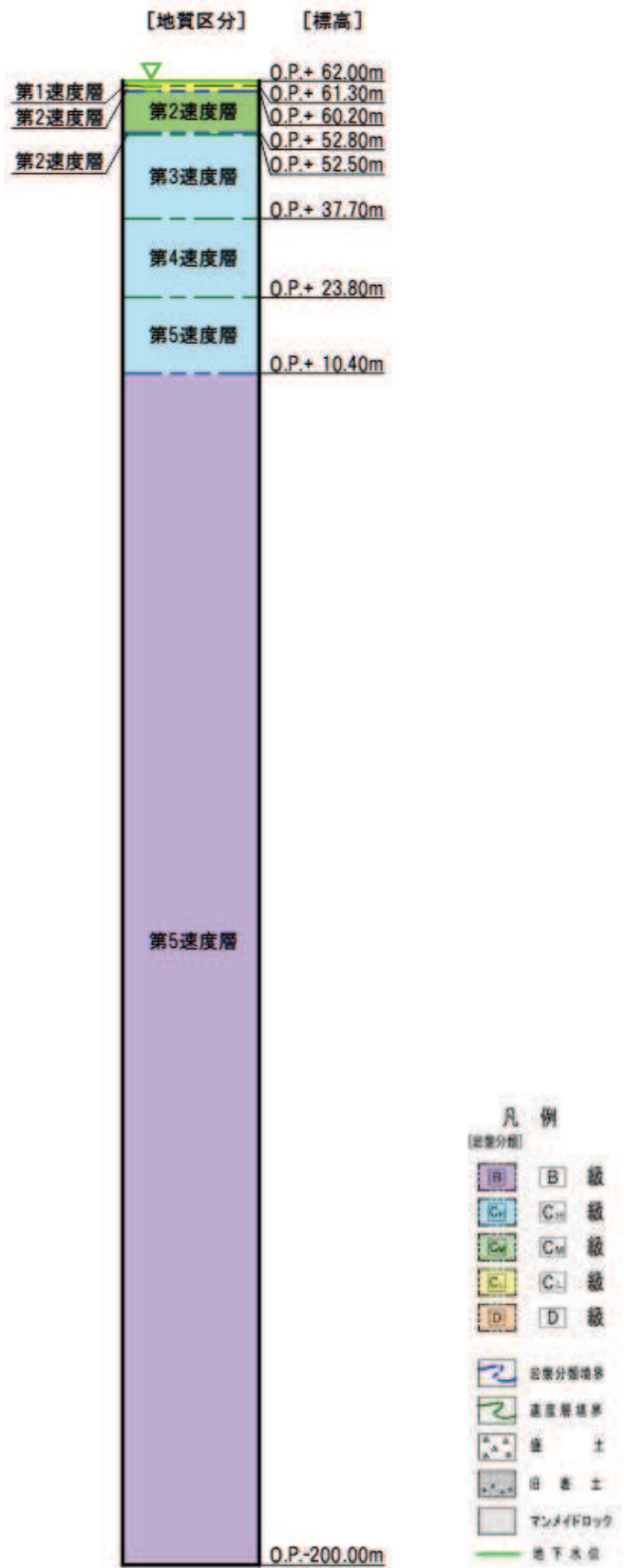


図 3-7 緊急時対策建屋北側の地震応答解析モデル（一次元）

3.4 地震応答解析に用いる地震動

地震応答解析に用いる地震動は、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の底面位置で評価したものをを用いる。

地震応答解析に用いる地震動算定の概念図を図 3-8 に示す。地震応答解析に用いる地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver1.6」及び「microSHAKE/3D Ver2.3.3」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。

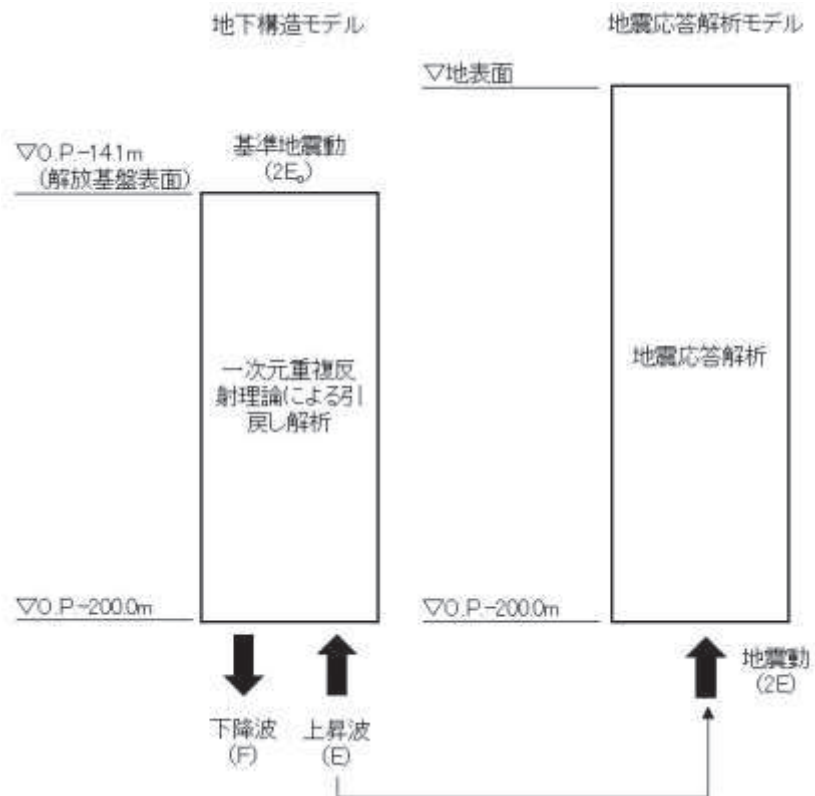


図 3-8 地震応答解析に用いる地震動算定の概念図

3.5 地震応答解析における解析ケース

保管エリア等における入力地震動の算定においては、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-13 に示す解析ケースを設定する。

保管エリア等は主として C_M 級岩盤、C_H 級岩盤、B 級岩盤が分布し、これらの地盤が地震時に保管エリア等における入力地震動に影響を与えると判断されることから、これらの物性のばらつきを考慮した入力地震動を算定する。

表 3-13 解析ケース

解析ケース	材料物性* (E ₀ : ヤング係数)	地盤物性 (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		平均値+1σ
ケース③		平均値-1σ

注記* : 第 1 保管エリアの MMR 及び第 2 保管エリア直下の淡水貯水槽に適用。

4. 加速度応答スペクトルの算定

保管エリア等における入力地震動の解析ケースより、最大応答加速度と加速度応答スペクトルを整理する。

なお、本資料では、表 3-13 に示す解析ケースのうち「基本ケース」の算定結果を示す。

4.1 保管エリア等の最大応答加速度

第 1 保管エリアの最大応答加速度（基本ケース）を表 4-1～表 4-3 に、第 2 保管エリアの最大応答加速度（基本ケース）を表 4-4 及び表 4-5 に、第 3 保管エリアの最大応答加速度（基本ケース）を表 4-6 及び表 4-7 に、第 4 保管エリアの最大応答加速度（基本ケース）を表 4-8 及び表 4-9 に、緊急時対策建屋北側の最大応答加速度（基本ケース）を表 4-10 に示す。

表 4-1 最大応答加速度（絶対値）（第 1 保管エリア①）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	537.65	757.66	599.57	599.52	597.87	702.75	581.39
鉛直方向 (cm/s ²)	392.82	493.48	534.91	341.27	373.49	384.32	291.84

表 4-2 最大応答加速度（絶対値）（第 1 保管エリア②）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	536.65	739.32	586.88	593.69	586.32	690.45	580.93
鉛直方向 (cm/s ²)	391.63	492.15	530.57	339.76	372.58	382.96	291.24

表 4-3 最大応答加速度（絶対値）（第 1 保管エリア③）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	534.69	738.14	618.00	604.98	622.63	712.66	584.81
鉛直方向 (cm/s ²)	398.31	499.76	554.14	347.41	378.33	390.14	294.91

表 4-4 最大応答加速度（絶対値）（第 2 保管エリア）（1/2）

基準地震動 S _s	S _s -D1		S _s -D2		S _s -D3	
	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (cm/s ²)	1019.71	1031.23	1191.55	1149.37	979.34	1088.39
鉛直方向 (cm/s ²)	439.02	453.38	523.36	561.50	526.34	556.14

表 4-5 最大応答加速度（絶対値）（第 2 保管エリア）（2/2）

基準地震動 S _s	S _s -F1		S _s -F2		S _s -F3		S _s -N1	
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (cm/s ²)	804.27	785.79	884.41	893.68	1072.56	942.03	608.94	630.61
鉛直方向 (cm/s ²)	369.88	376.18	387.09	397.56	425.85	436.64	299.80	294.40

表 4-6 最大応答加速度（絶対値）（第 3 保管エリア①）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	890.35	1182.27	1053.92	789.26	928.91	1007.17	621.93
鉛直方向 (cm/s ²)	467.59	660.25	673.84	402.35	426.63	437.34	313.66

表 4-7 最大応答加速度（絶対値）（第 3 保管エリア②）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	1076.78	1313.84	1076.02	823.81	967.33	1111.27	612.49
鉛直方向 (cm/s ²)	446.89	630.14	673.33	392.23	416.00	430.70	311.48

表 4-8 最大応答加速度（絶対値）（第 4 保管エリア①）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	550.02	694.29	649.17	590.39	615.15	709.42	585.72
鉛直方向 (cm/s ²)	405.99	527.29	565.01	359.77	387.82	398.73	294.66

表 4-9 最大応答加速度（絶対値）（第 4 保管エリア②）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	584.13	895.01	733.47	656.08	682.53	762.76	606.15
鉛直方向 (cm/s ²)	401.98	517.22	569.53	356.95	384.63	397.32	295.56

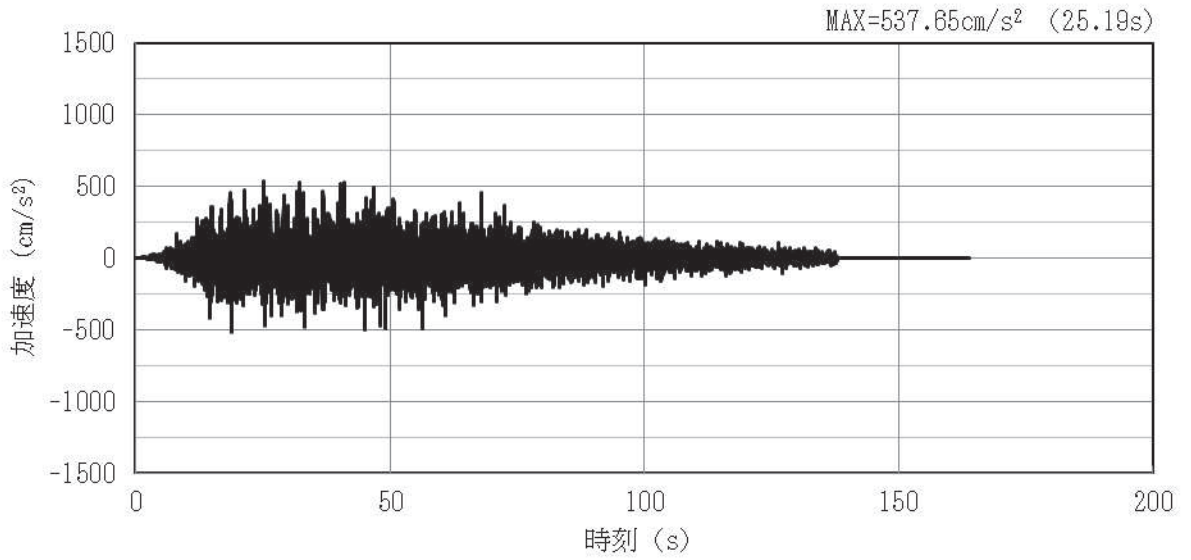
表 4-10 最大応答加速度（絶対値）（緊急時対策建屋北側）

基準地震動 S _s	S _s -D1	S _s -D2	S _s -D3	S _s -F1	S _s -F2	S _s -F3	S _s -N1
水平方向 (cm/s ²)	1031.74	1374.41	1083.95	860.37	914.08	1110.08	624.56
鉛直方向 (cm/s ²)	449.44	643.40	634.79	396.59	418.56	433.20	310.06

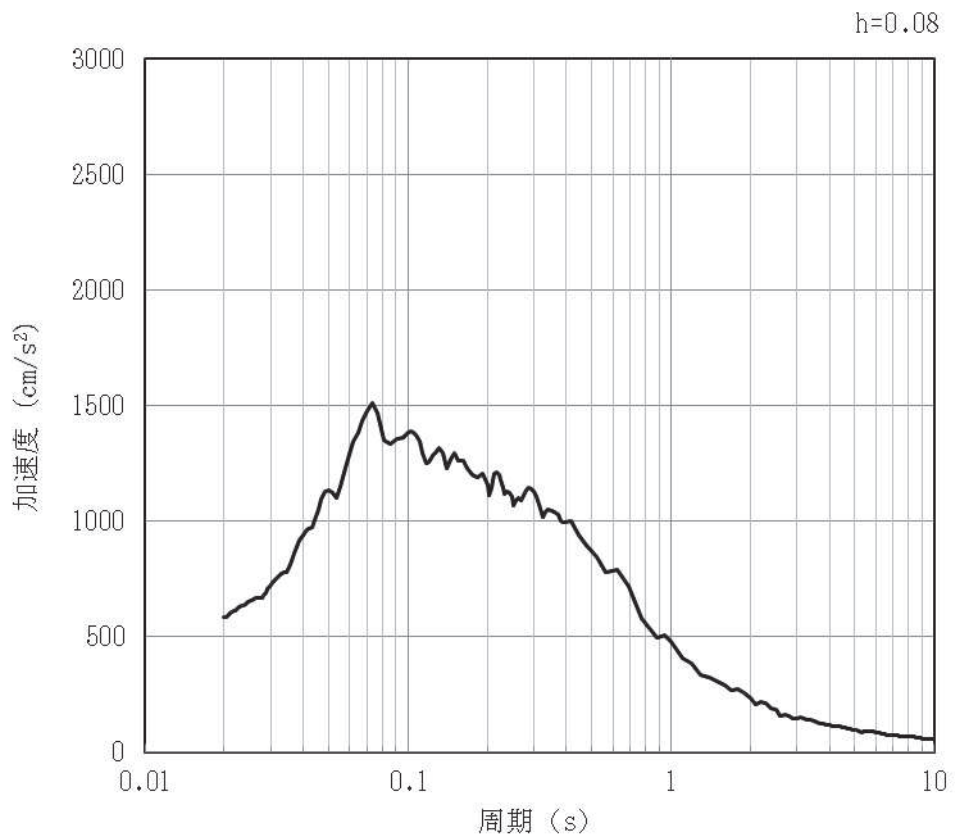
4.2 第1保管エリア

一次元重複反射理論による地震応答解析により算定した第1保管エリアの地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル（基本ケース）を図4-1～図4-42に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数（8%）を考慮し設定する。

(1) 第1保管エリア①

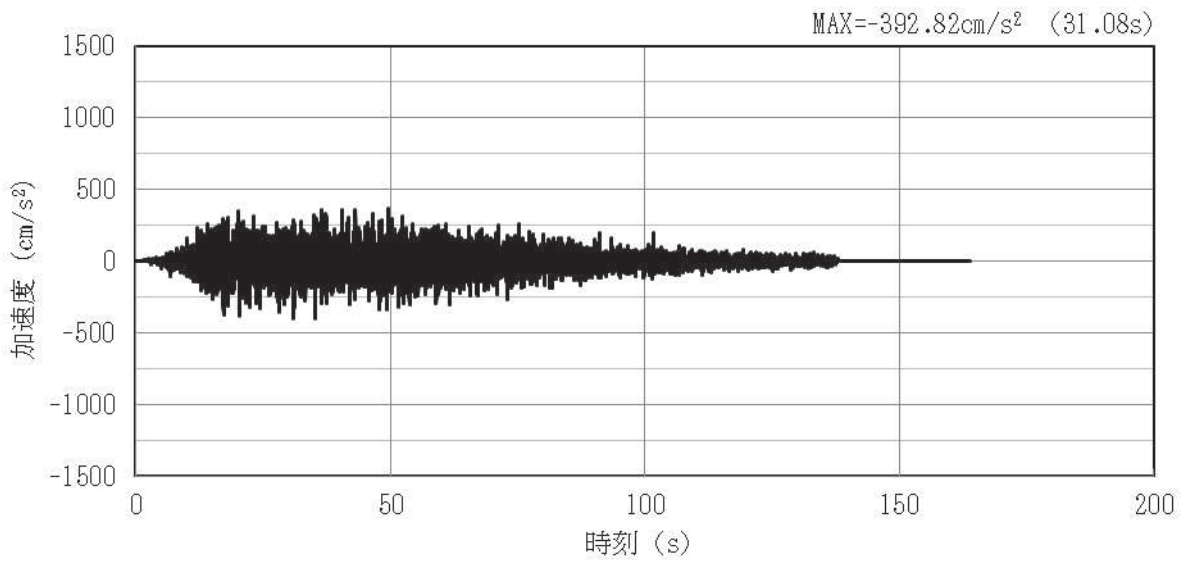


(a) 加速度時刻歴波形

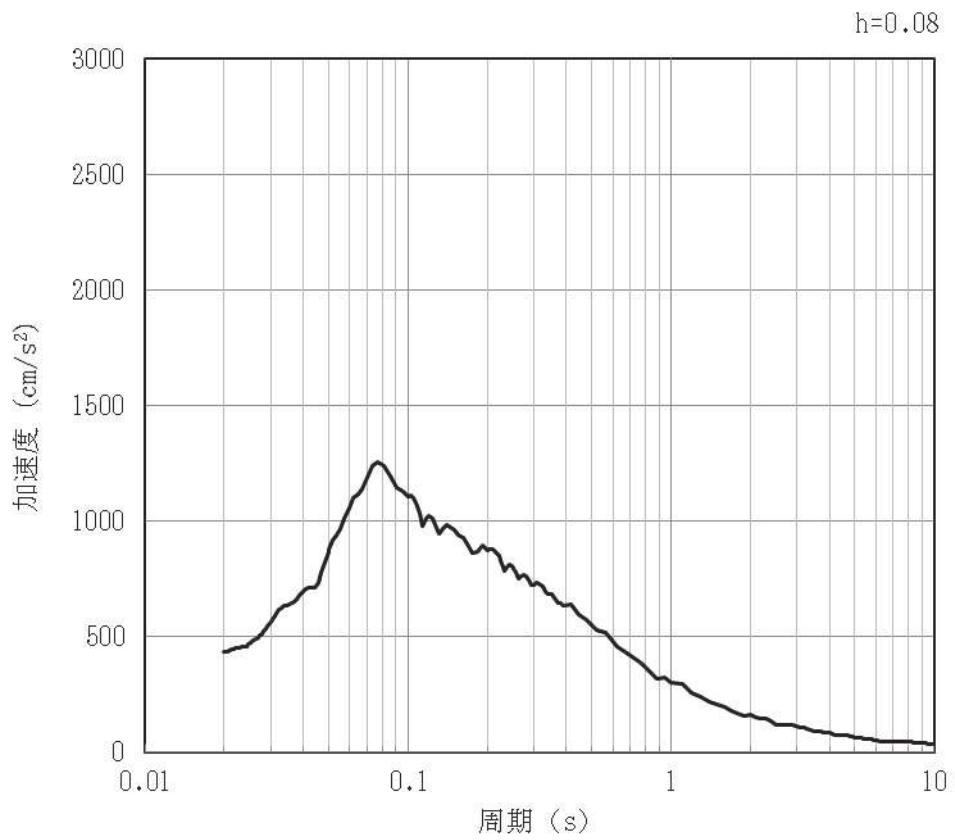


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-1 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 (水平方向: S s-D1)
(第1保管エリア①) (1/42)

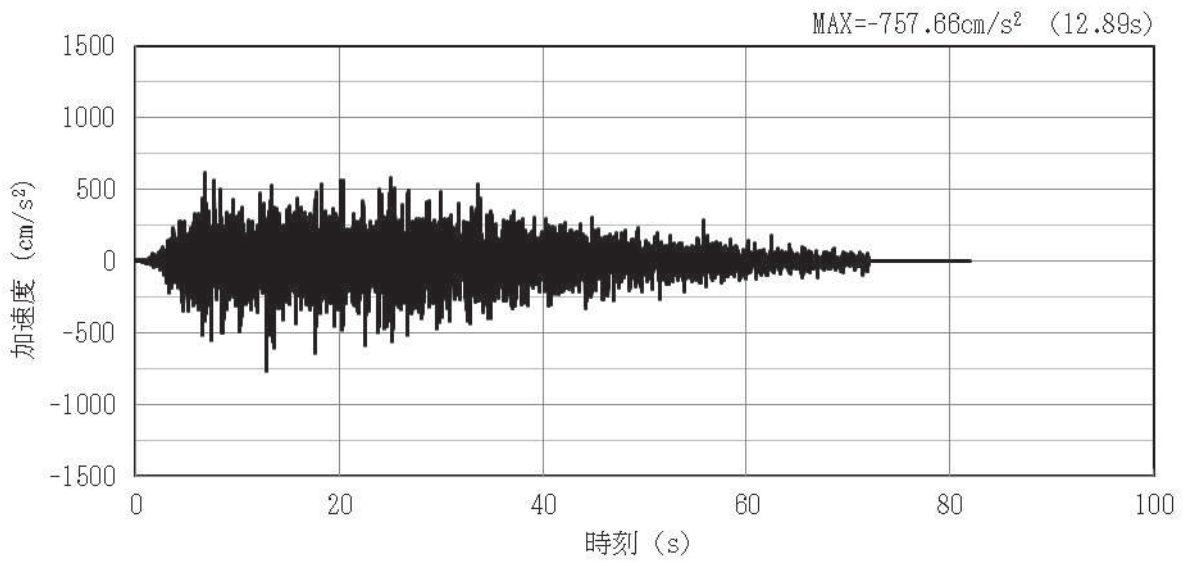


(a) 加速度時刻歴波形

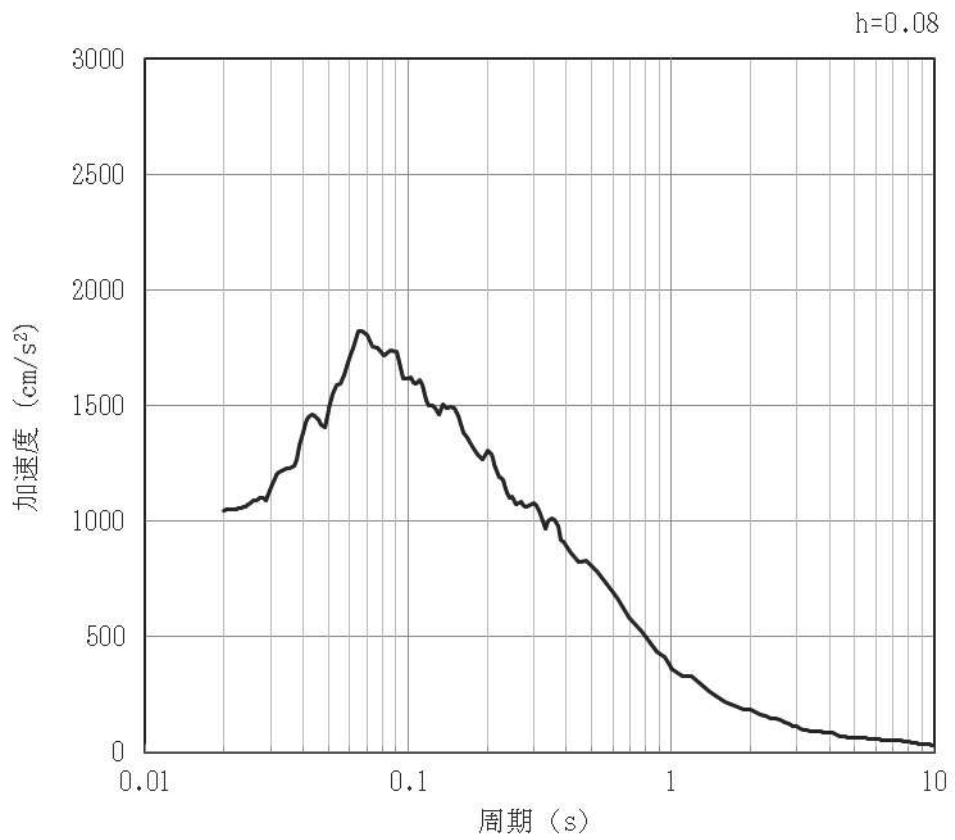


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2 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 (鉛直方向：S s-D1)
(第 1 保管エリア①) (2/42)

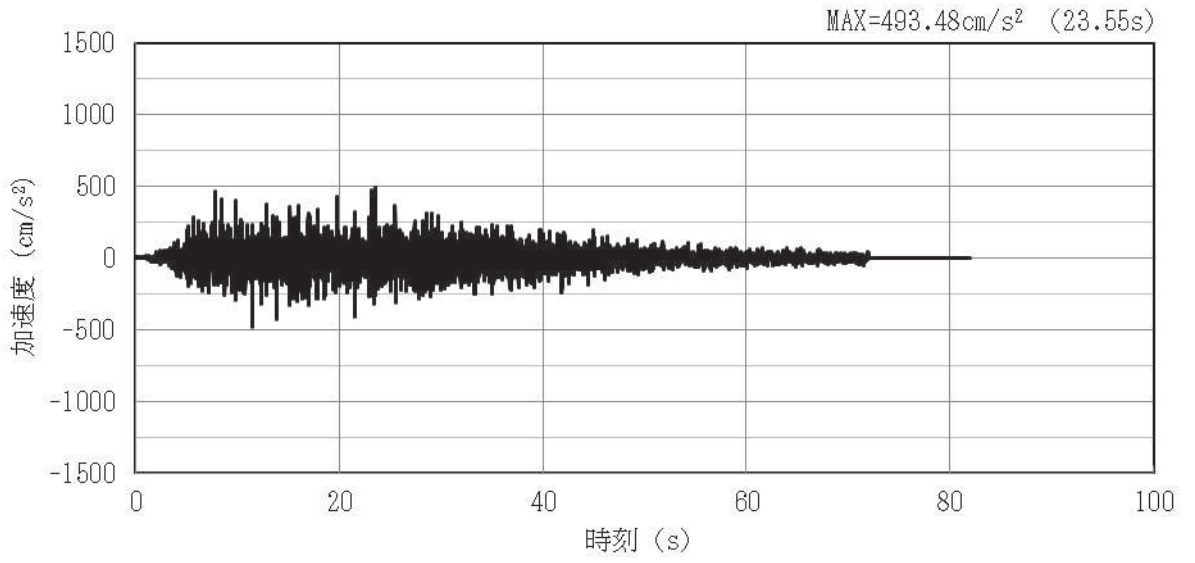


(a) 加速度時刻歴波形

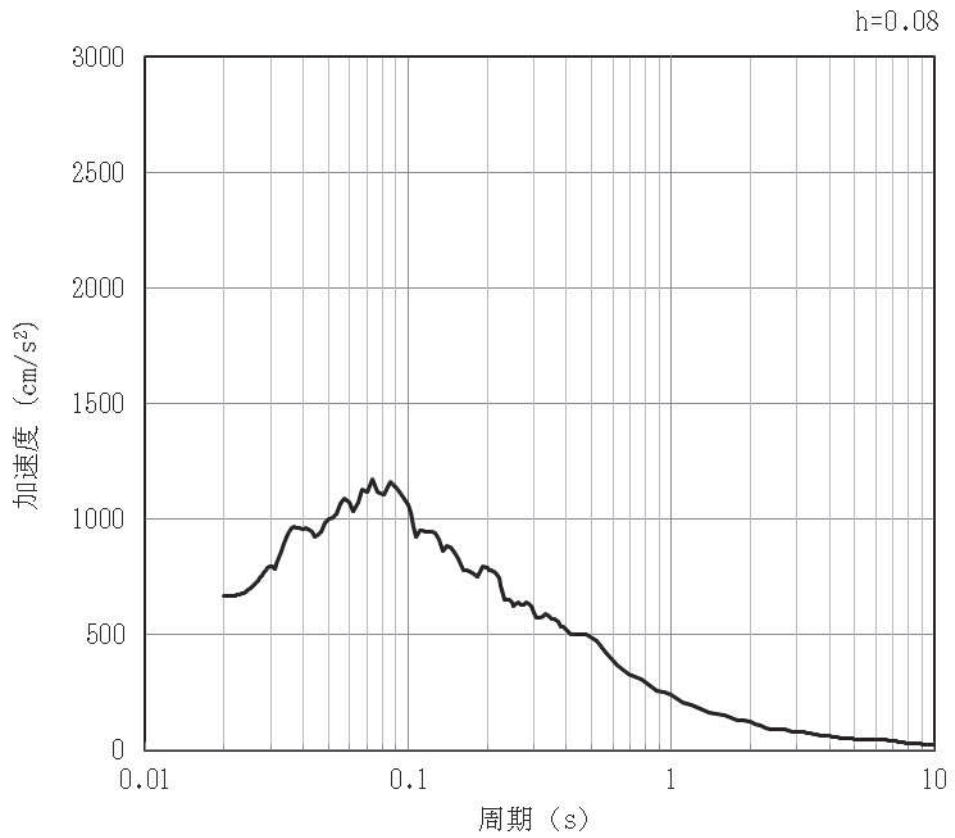


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル (水平方向: S s-D2)
(第 1 保管エリア①) (3/42)

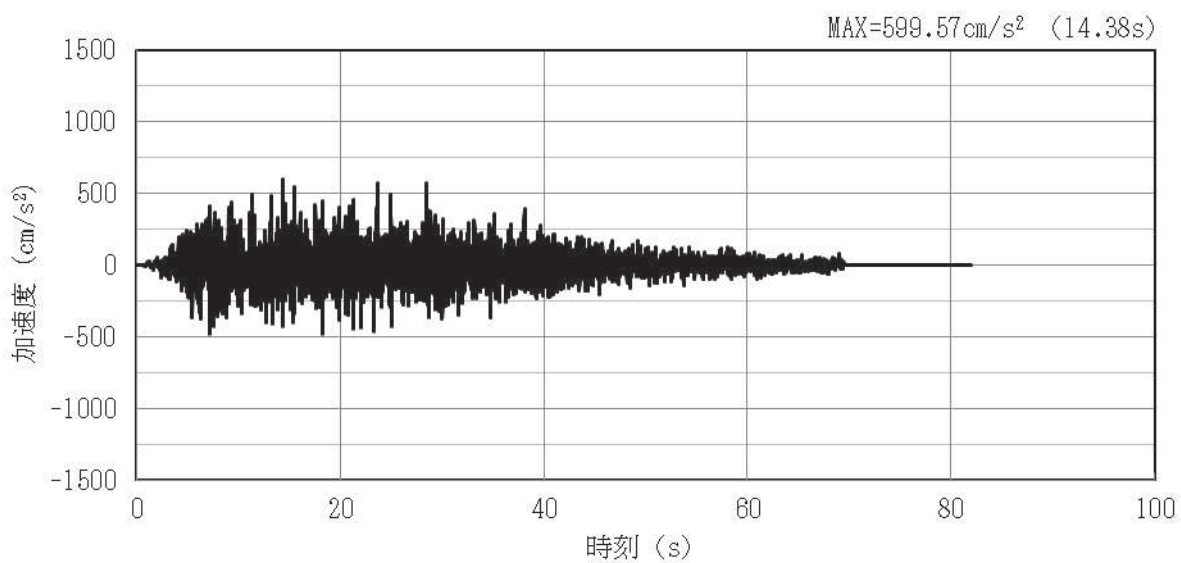


(a) 加速度時刻歴波形

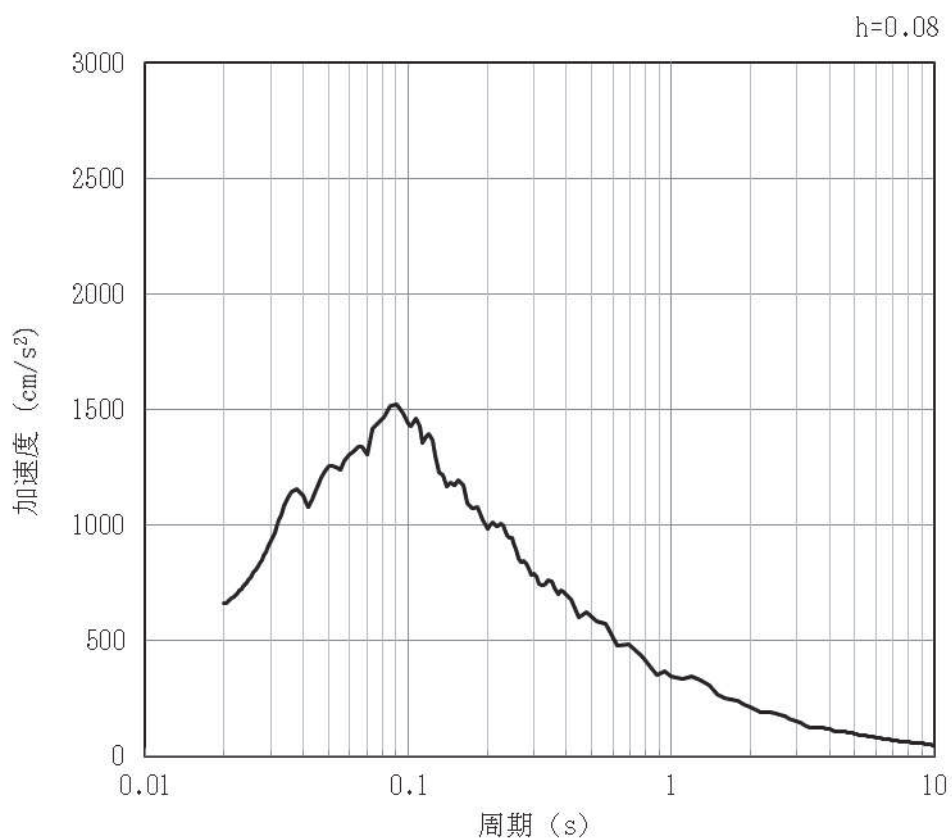


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル (鉛直方向: S s-D2)
(第 1 保管エリア①) (4/42)

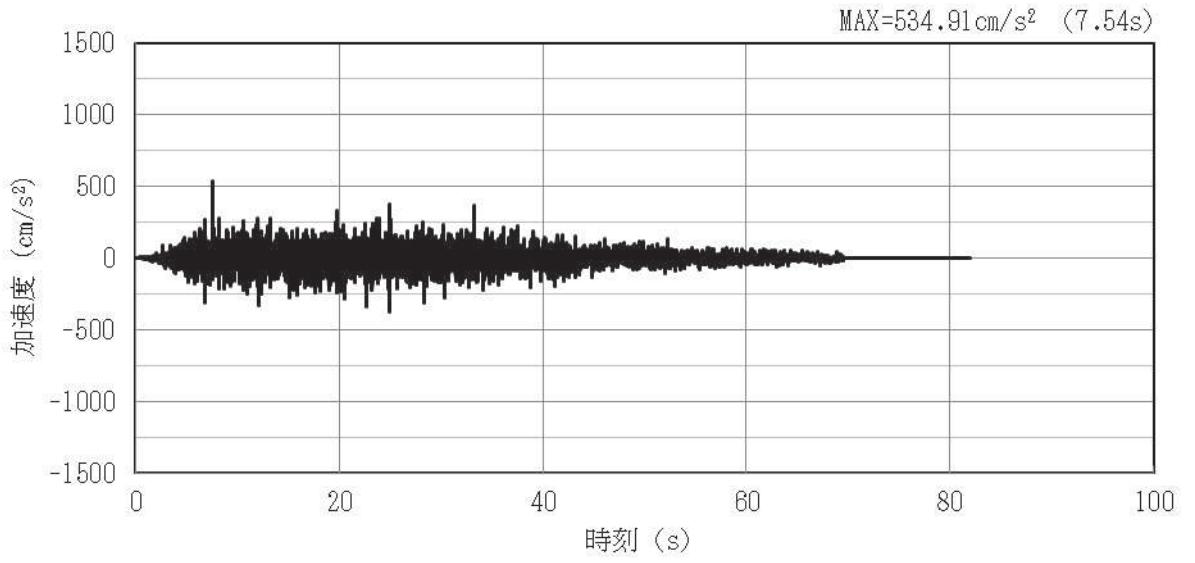


(a) 加速度時刻歴波形

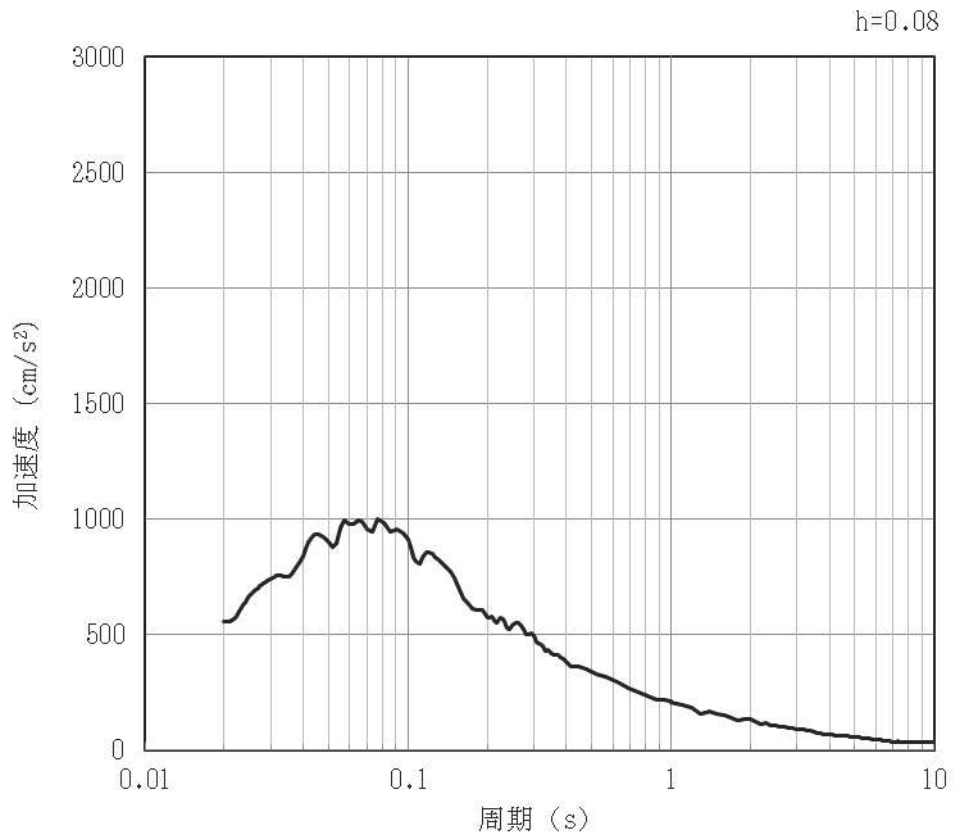


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 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 (水平方向: S s-D3)
(第1保管エリア①) (5/42)

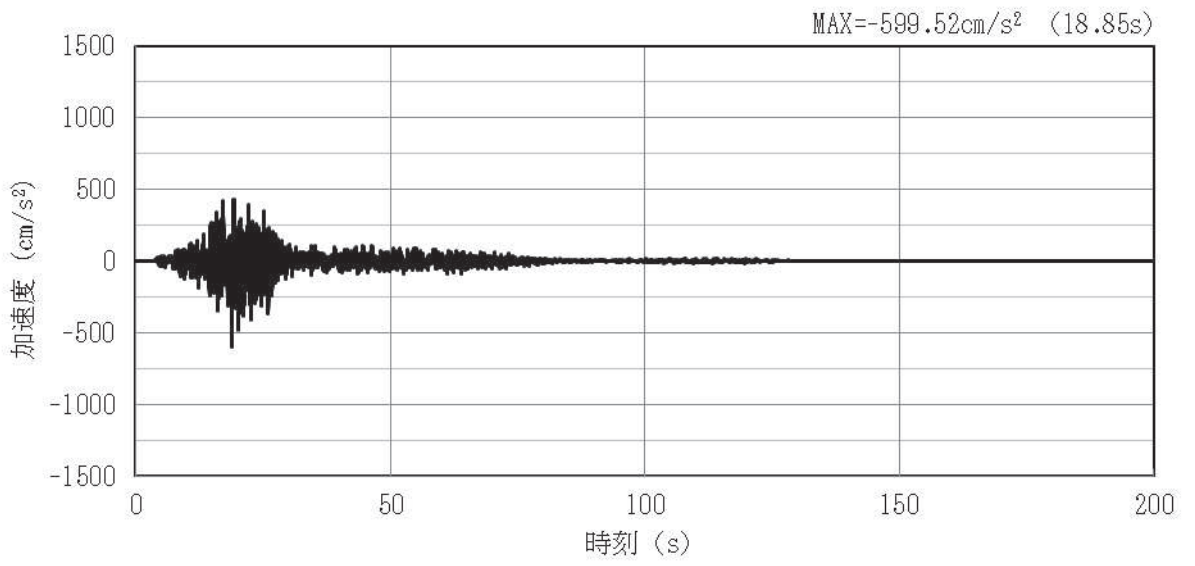


(a) 加速度時刻歴波形

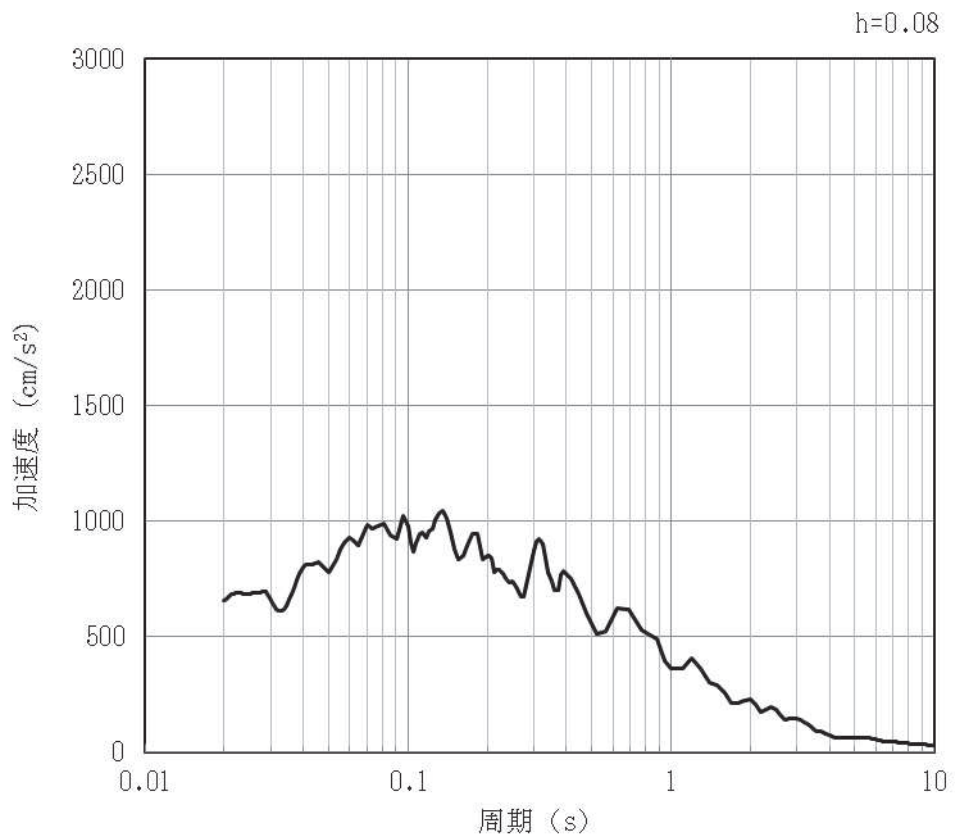


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 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 (鉛直方向 : S s - D3)
(第 1 保管エリア①) (6/42)

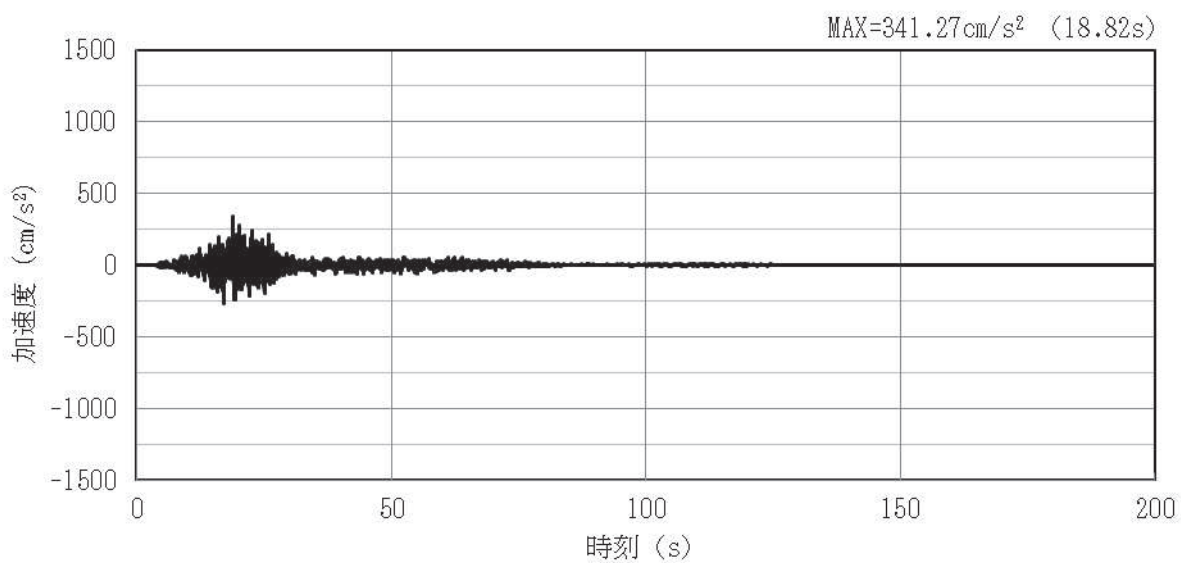


(a) 加速度時刻歴波形

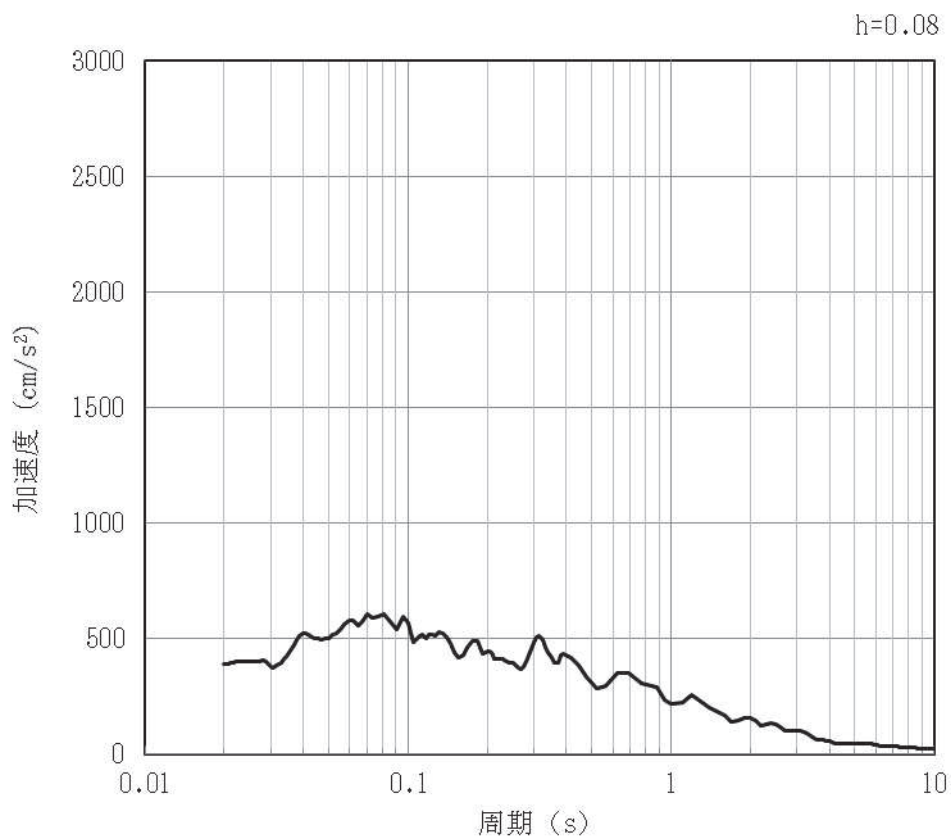


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 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 (水平方向: S s-F1)
(第1保管エリア①) (7/42)

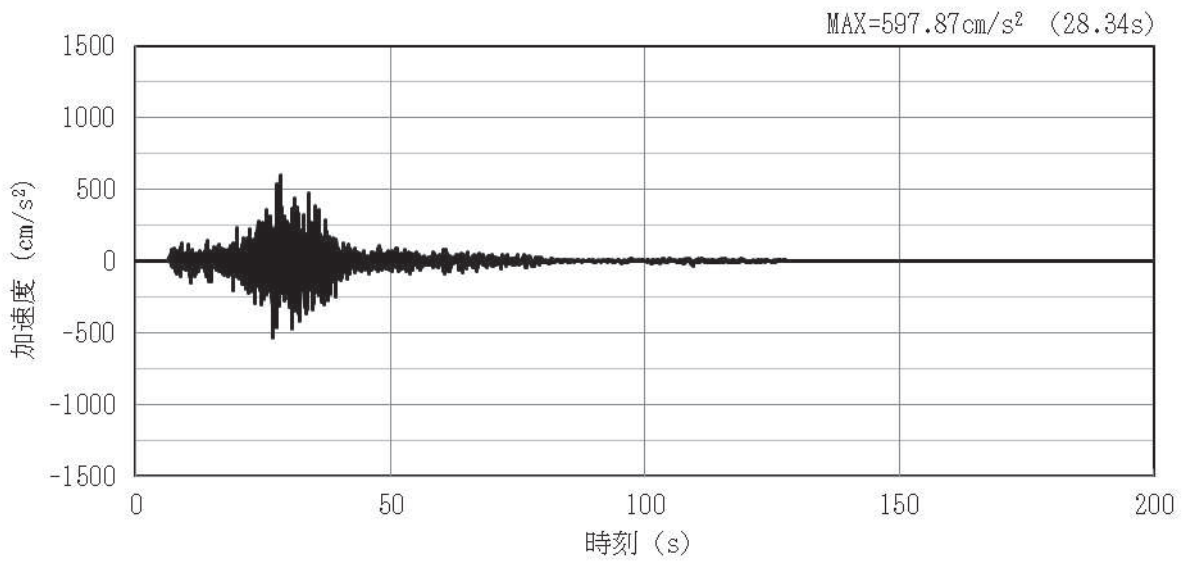


(a) 加速度時刻歴波形

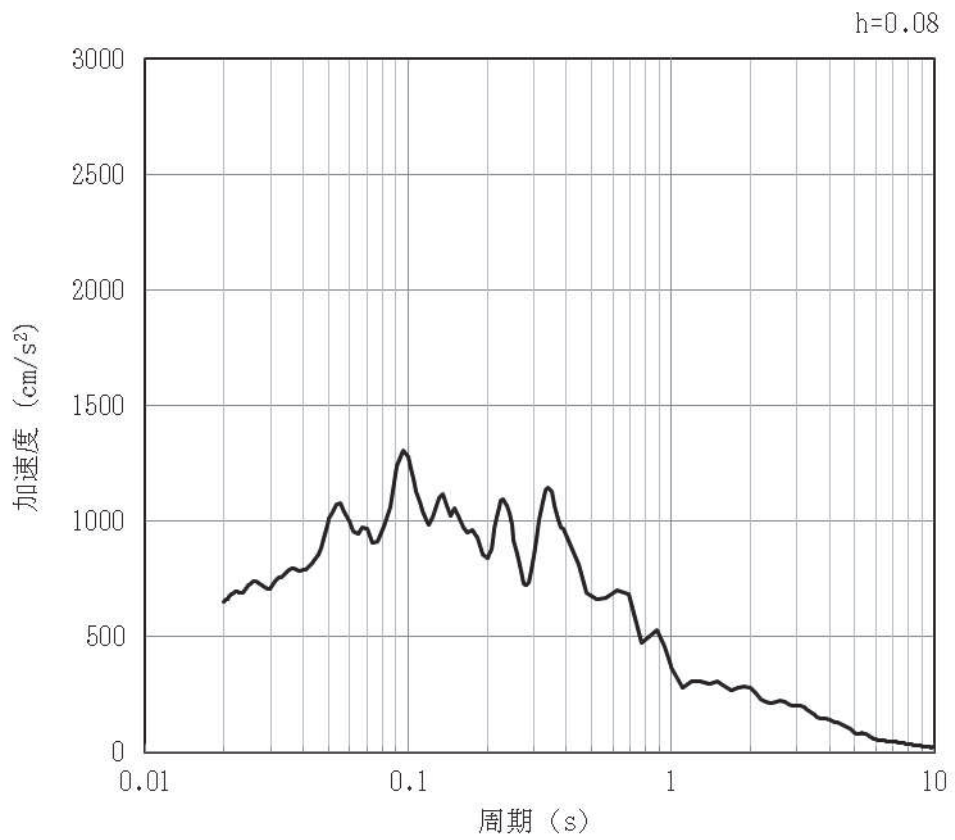


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 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 (鉛直方向: S s-F1)
(第 1 保管エリア①) (8/42)

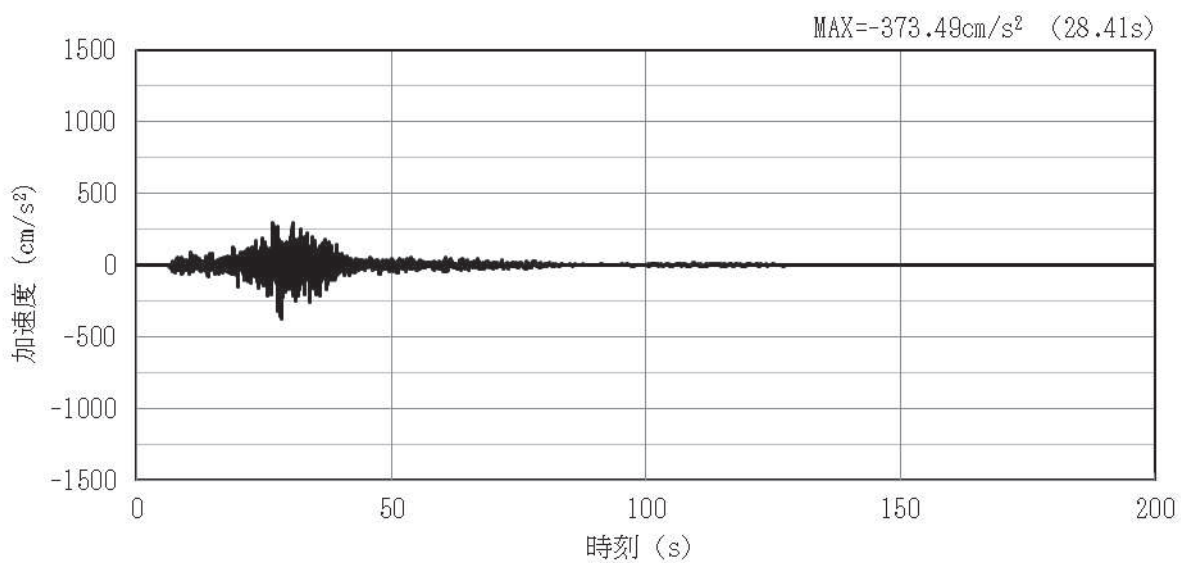


(a) 加速度時刻歴波形

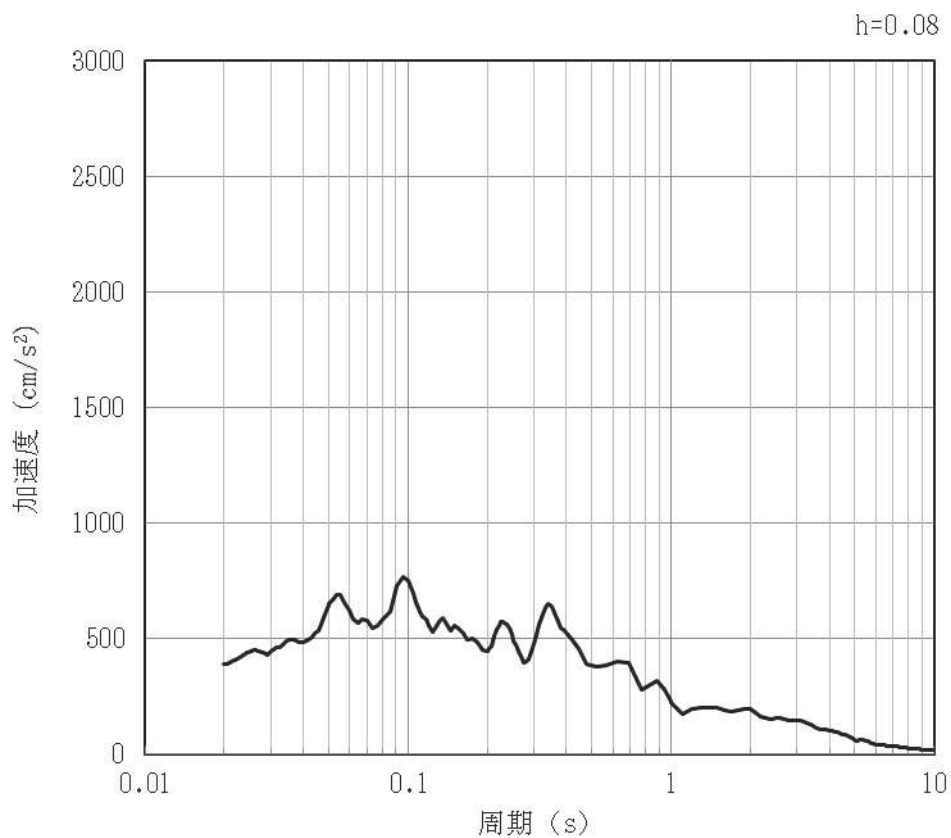


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 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 (水平方向: S s-F2)
(第1保管エリア①) (9/42)

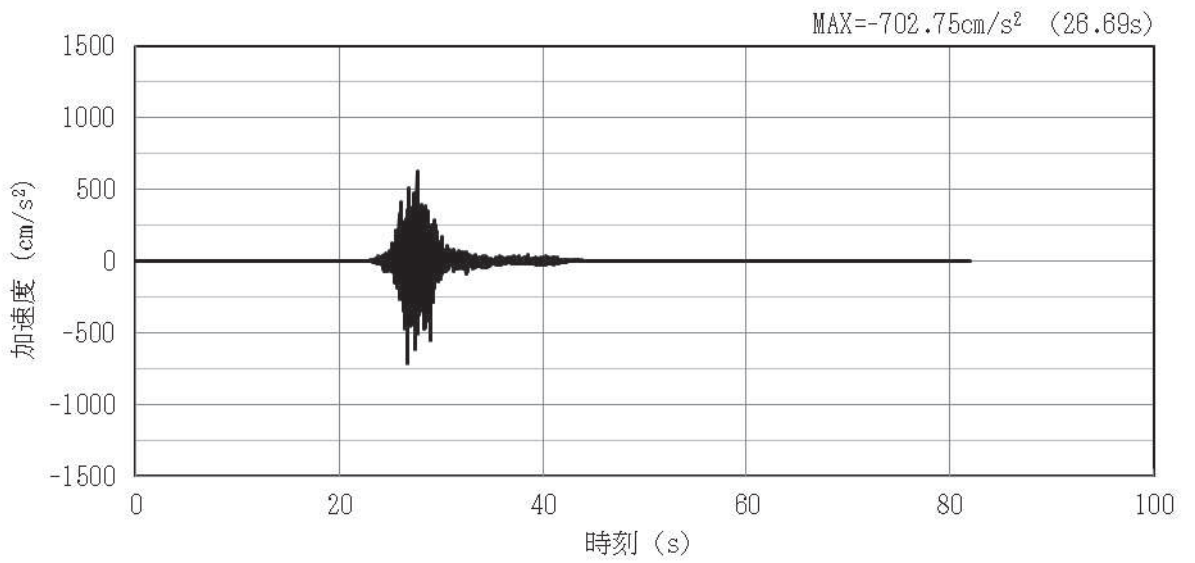


(a) 加速度時刻歴波形

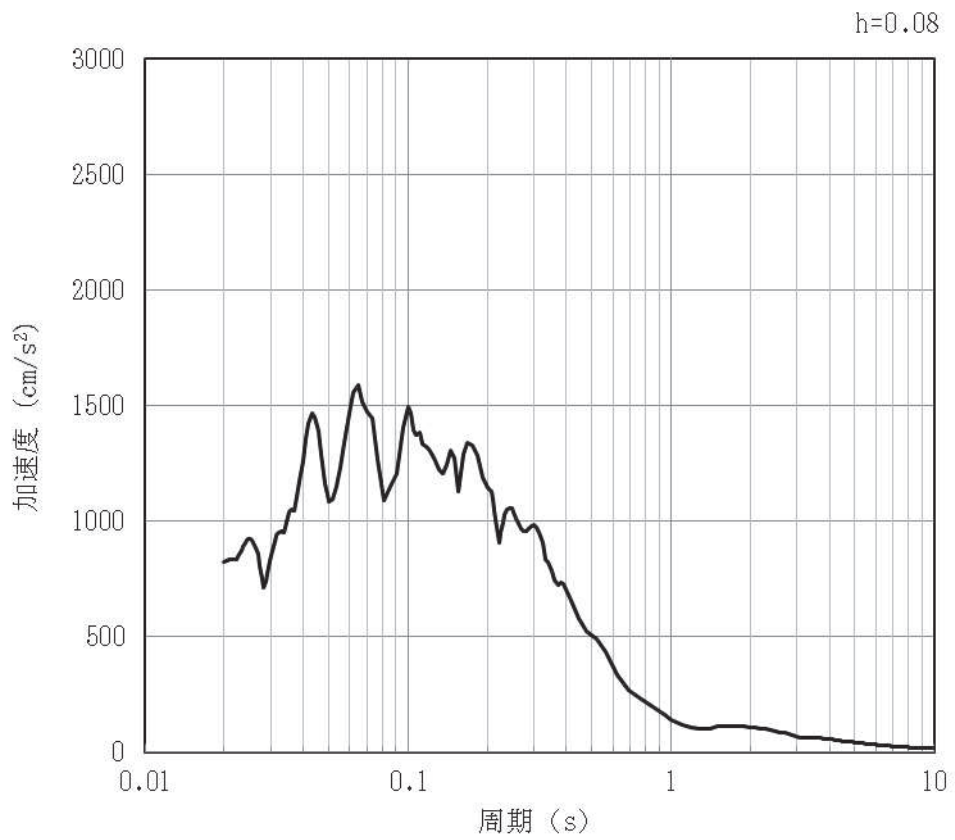


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 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 (鉛直方向: S s-F2)
(第 1 保管エリア①) (10/42)

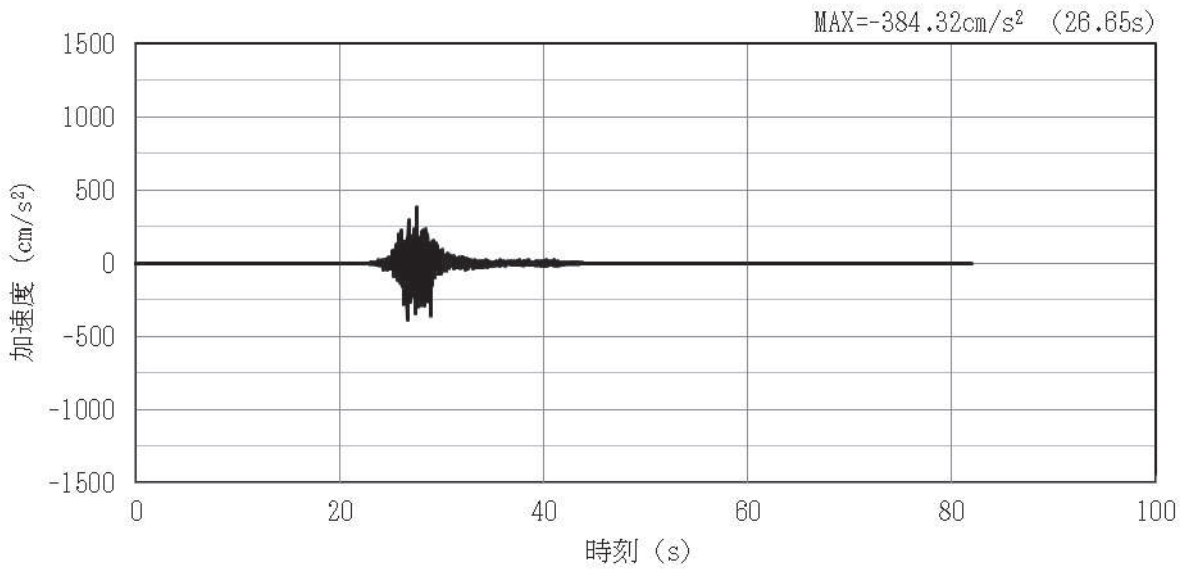


(a) 加速度時刻歴波形

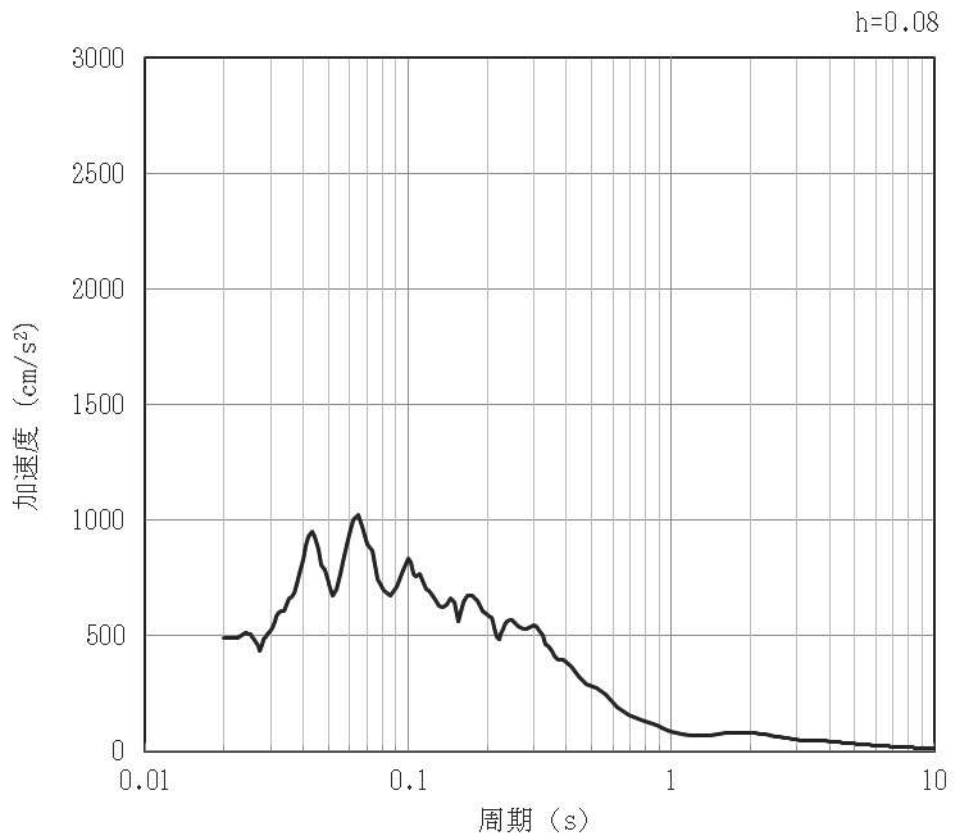


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 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 (水平方向 : S s-F3)
(第 1 保管エリア①) (11/42)

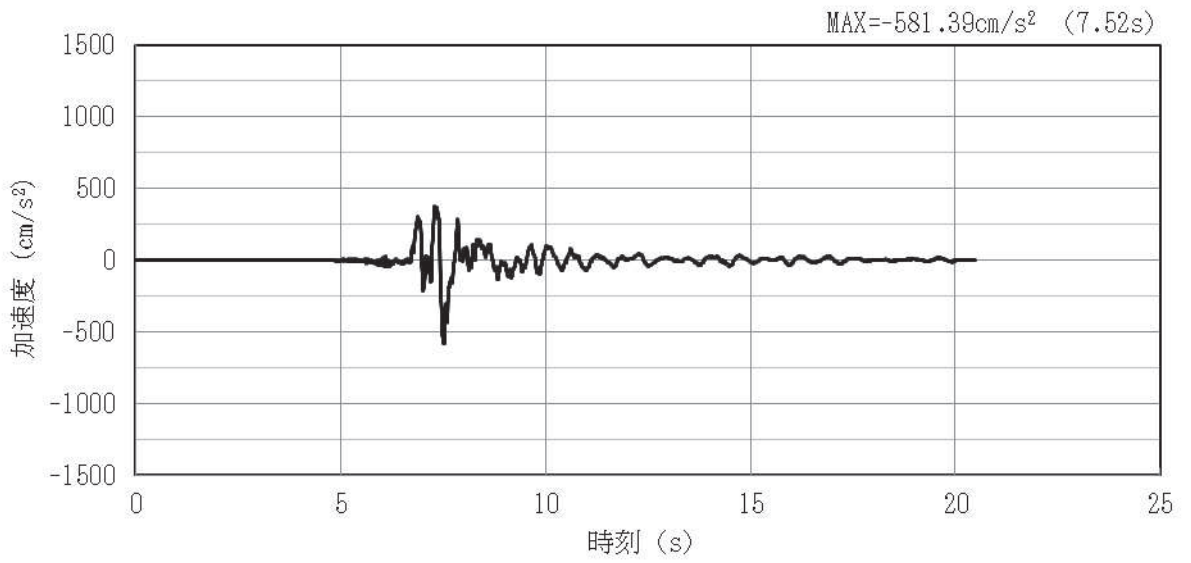


(a) 加速度時刻歴波形

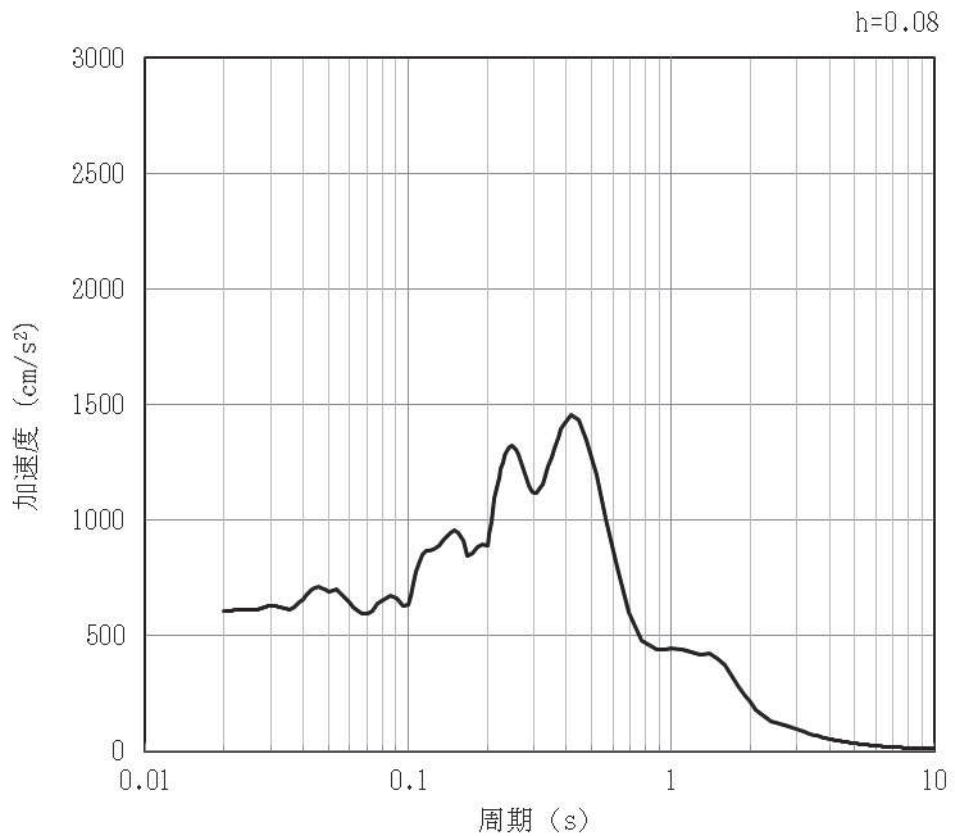


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 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 (鉛直方向 : S s-F3)
(第 1 保管エリア①) (12/42)

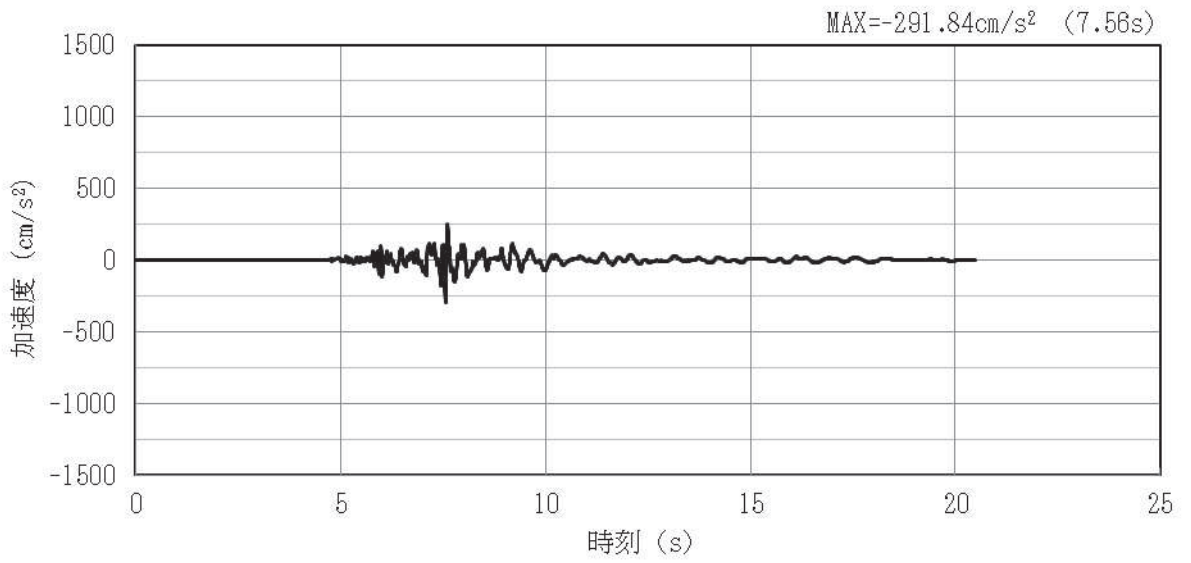


(a) 加速度時刻歴波形

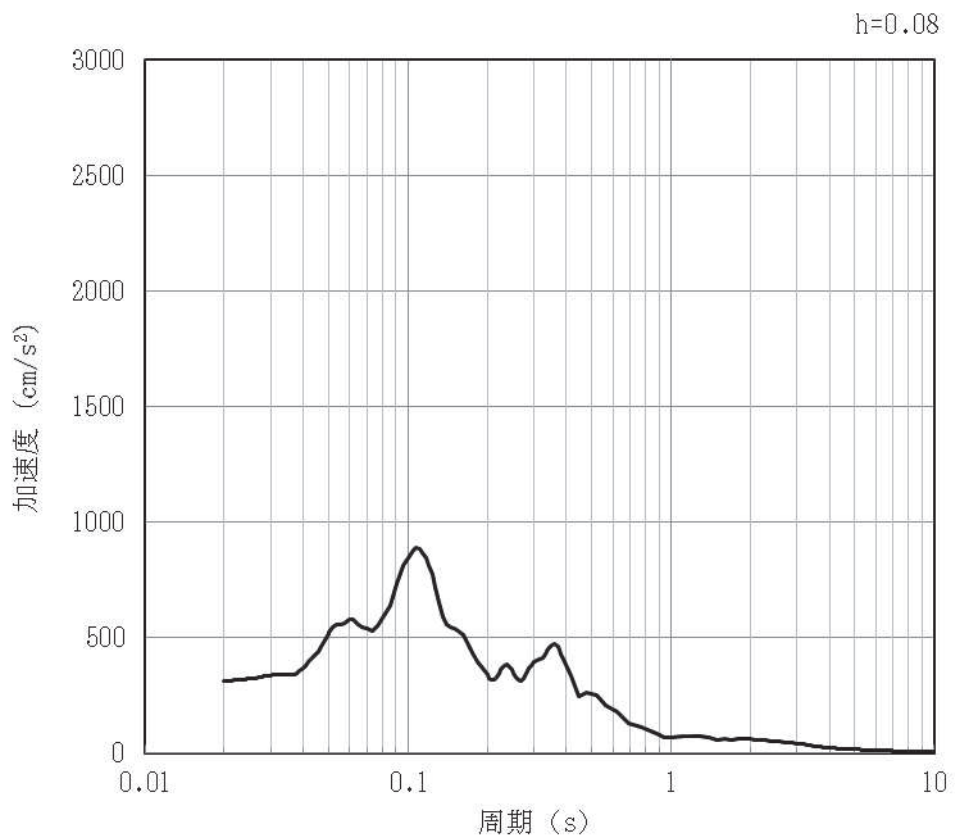


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 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 (水平方向 : S s -N1)
(第 1 保管エリア①) (13/42)



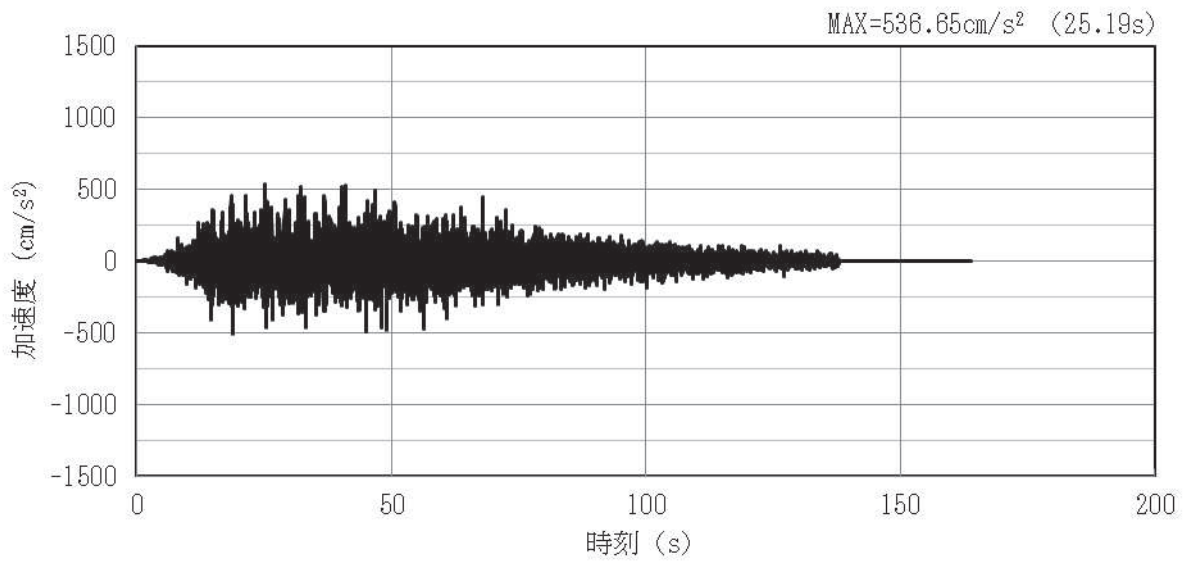
(a) 加速度時刻歴波形



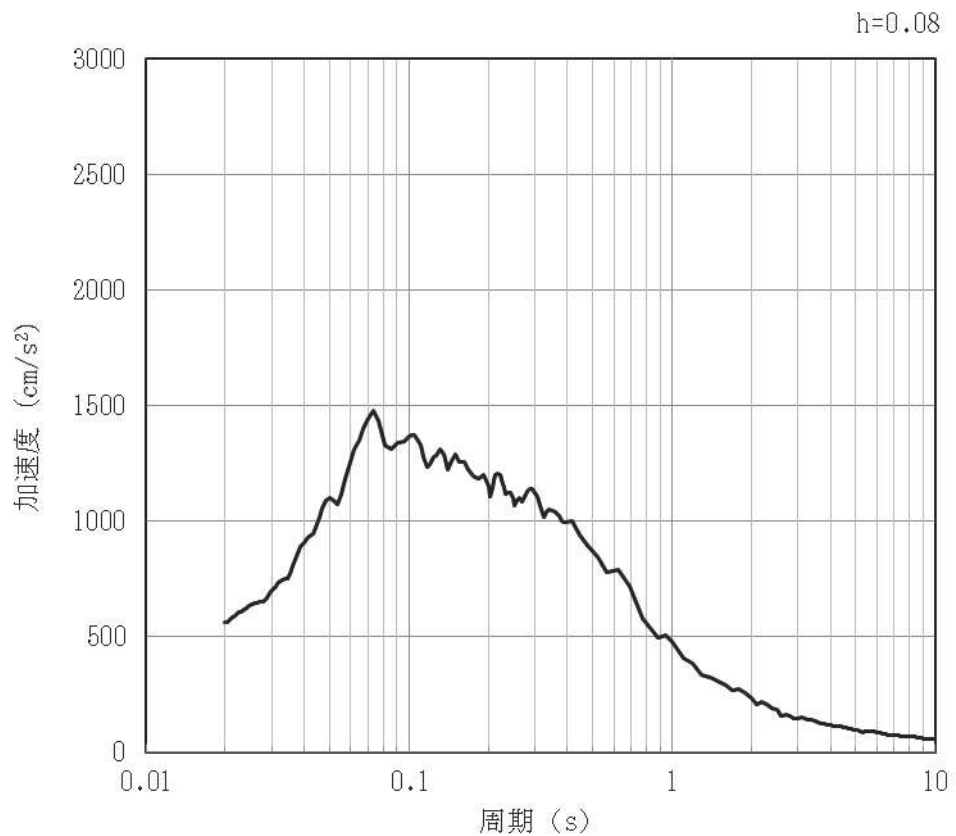
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 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 (鉛直方向 : S s -N1)
(第 1 保管エリア①) (14/42)

(2) 第1保管エリア②

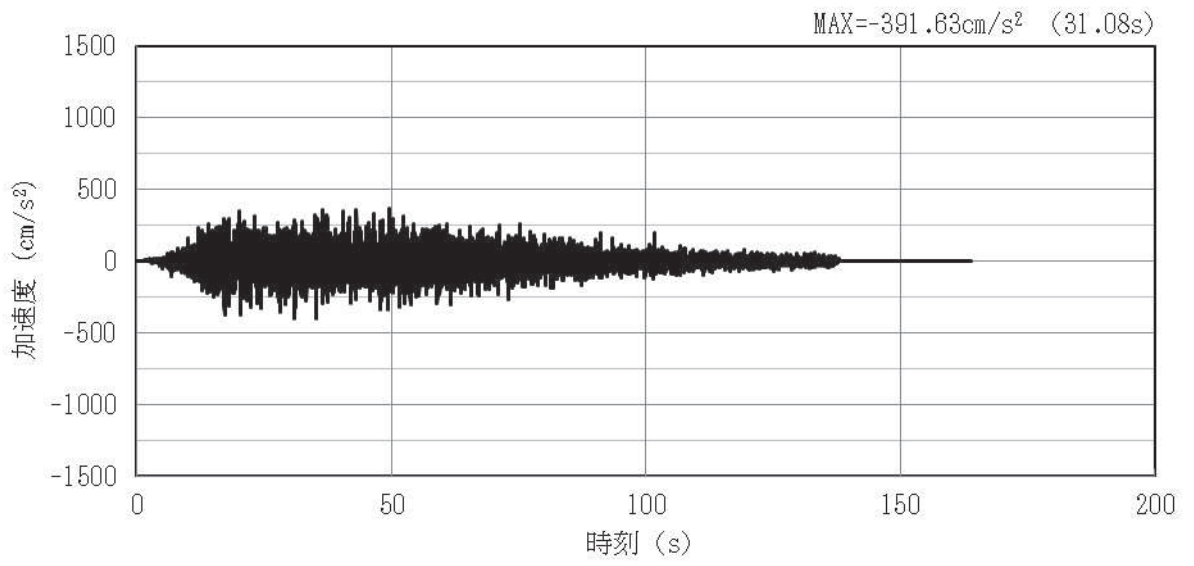


(a) 加速度時刻歴波形

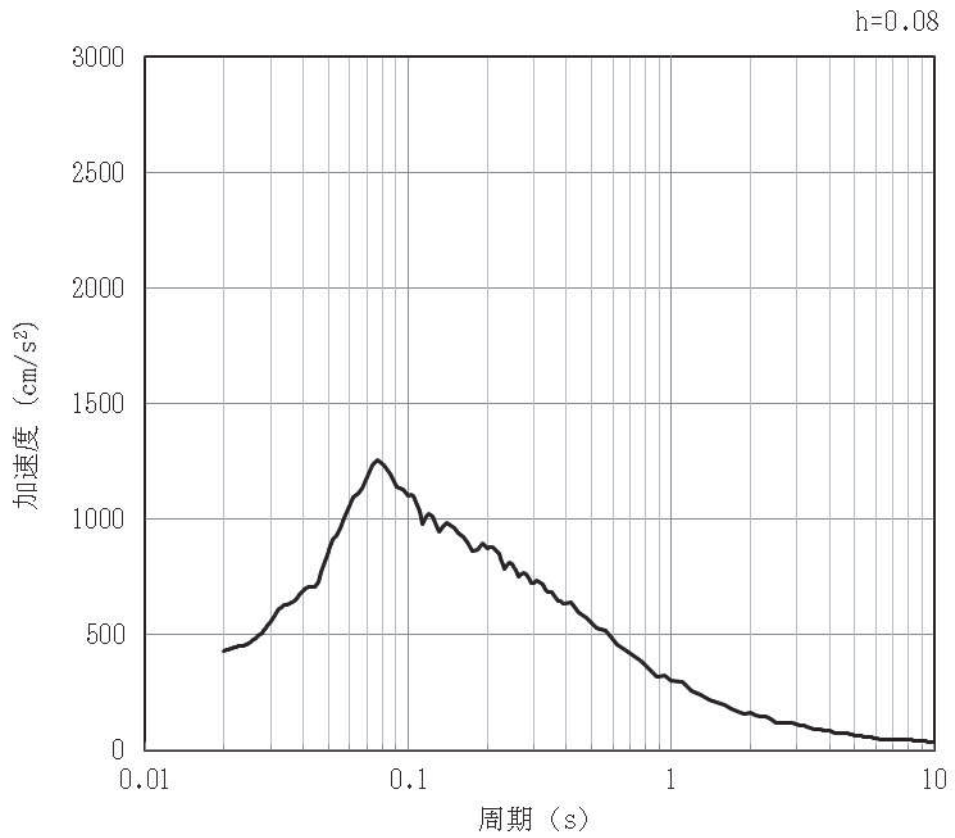


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 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 (水平方向: S s-D1)
(第1保管エリア②) (15/42)

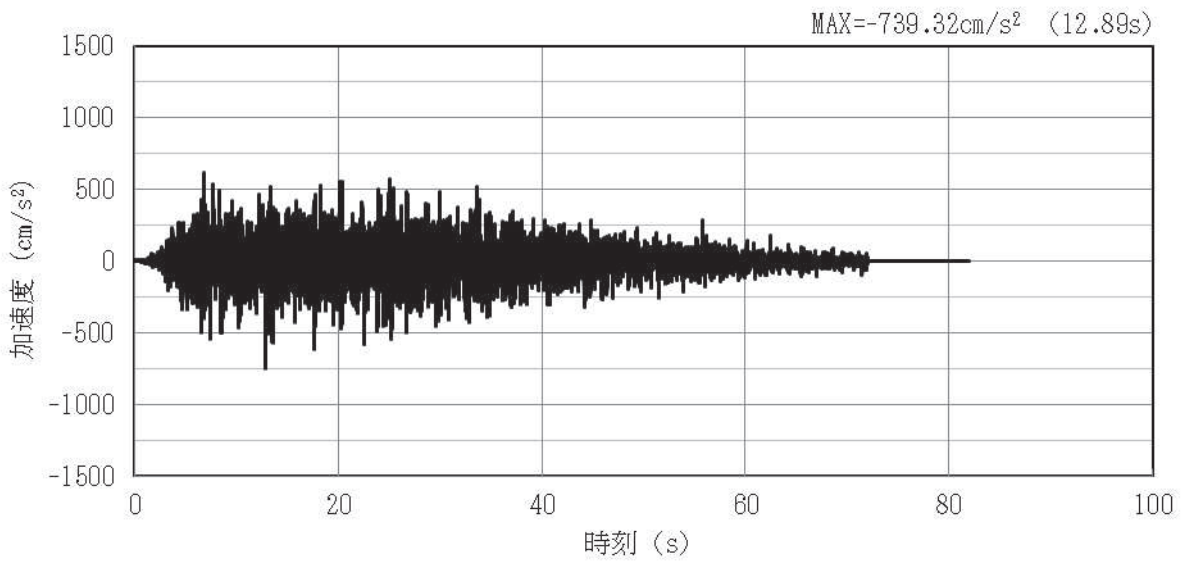


(a) 加速度時刻歴波形

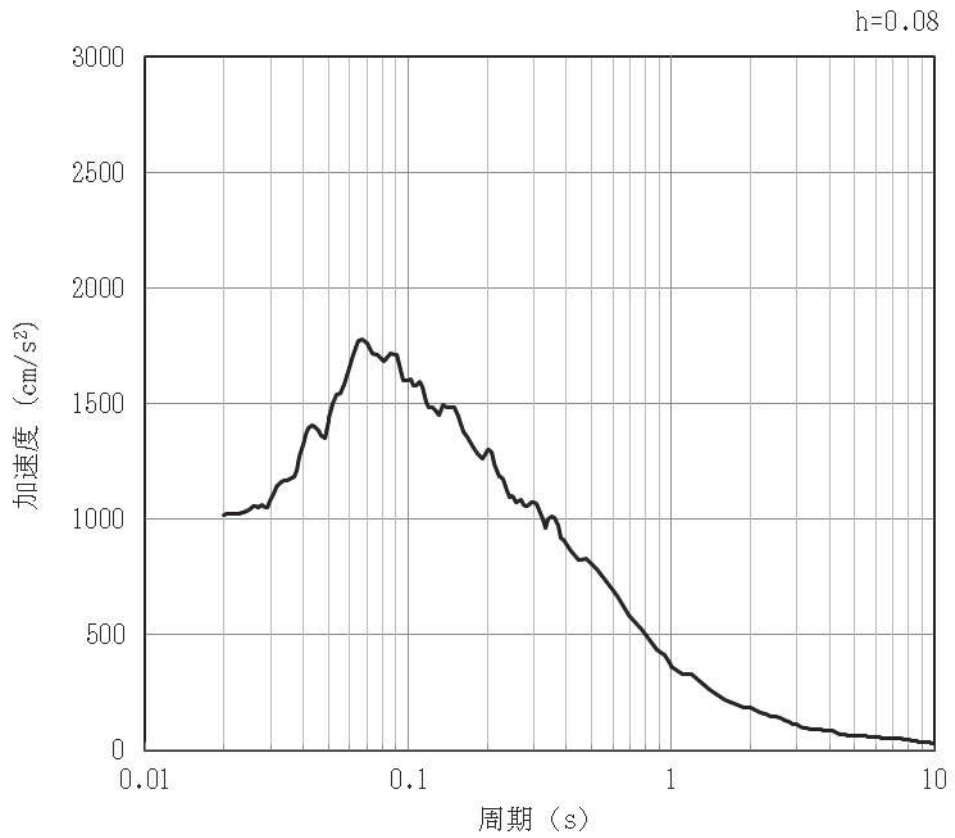


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-16 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 (鉛直方向: S s-D1)
(第 1 保管エリア②) (16/42)

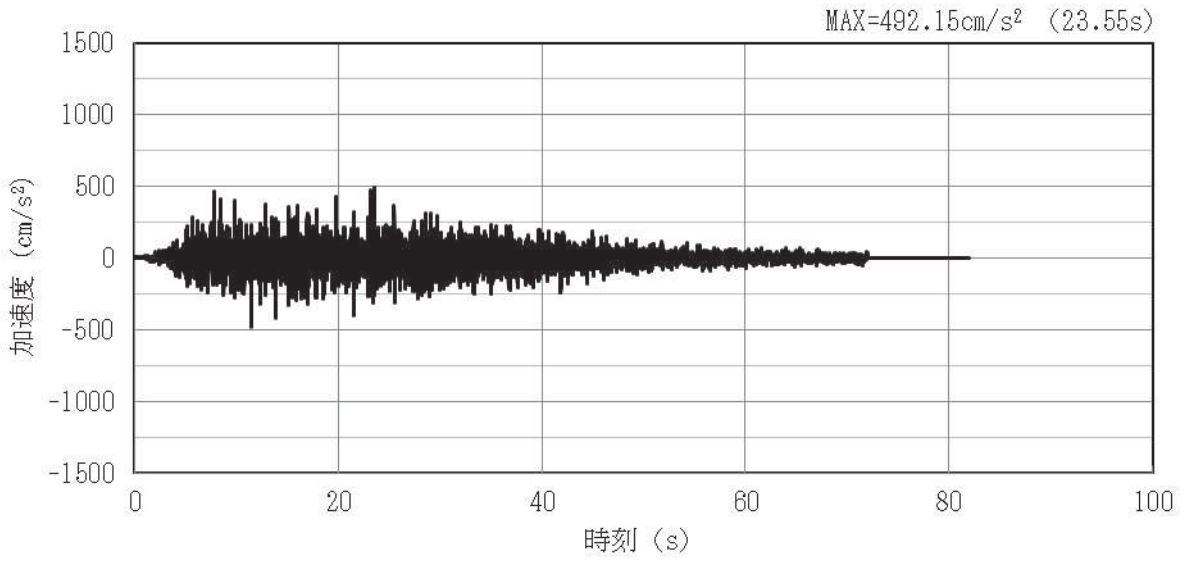


(a) 加速度時刻歴波形

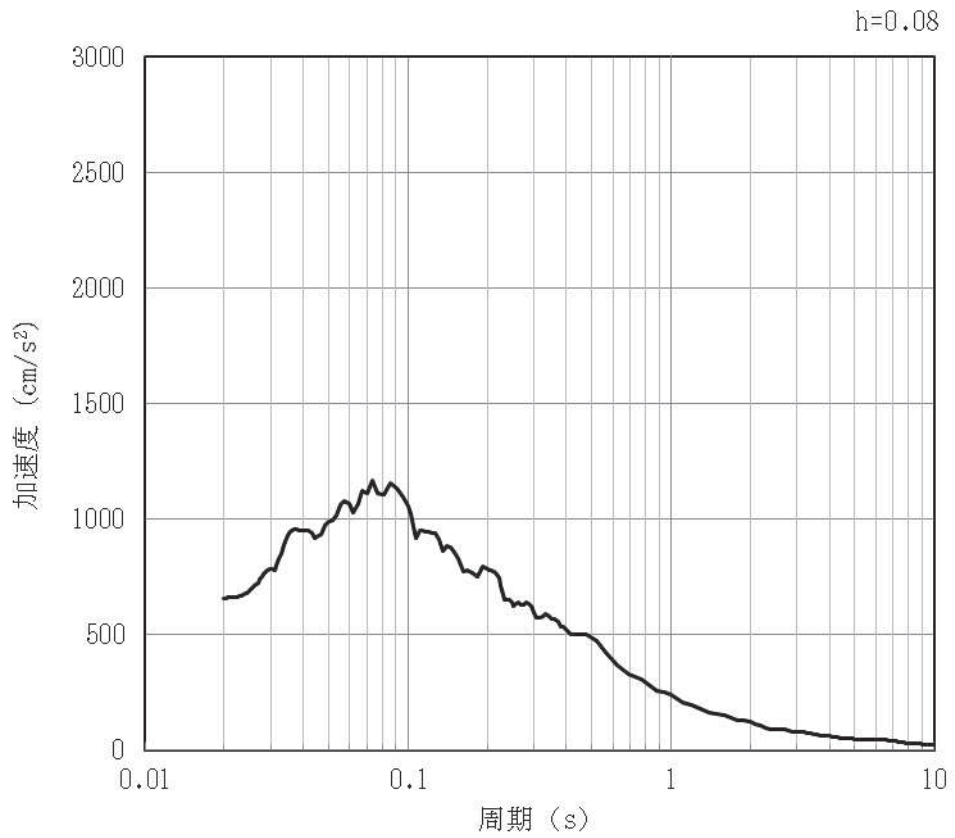


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-17 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 (水平方向: S s-D2)
(第 1 保管エリア②) (17/42)

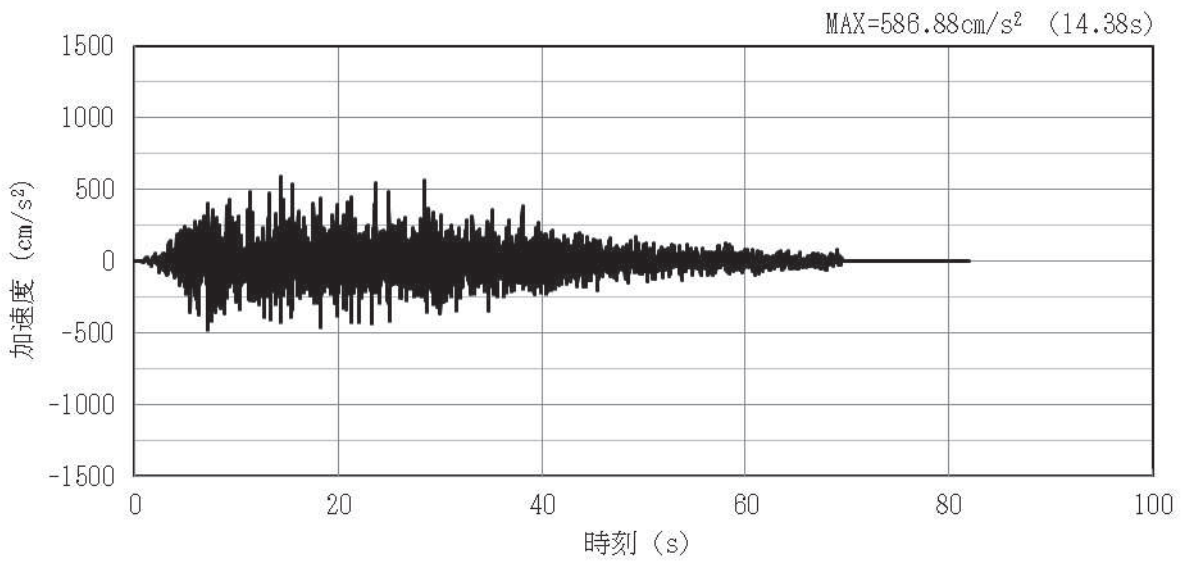


(a) 加速度時刻歴波形

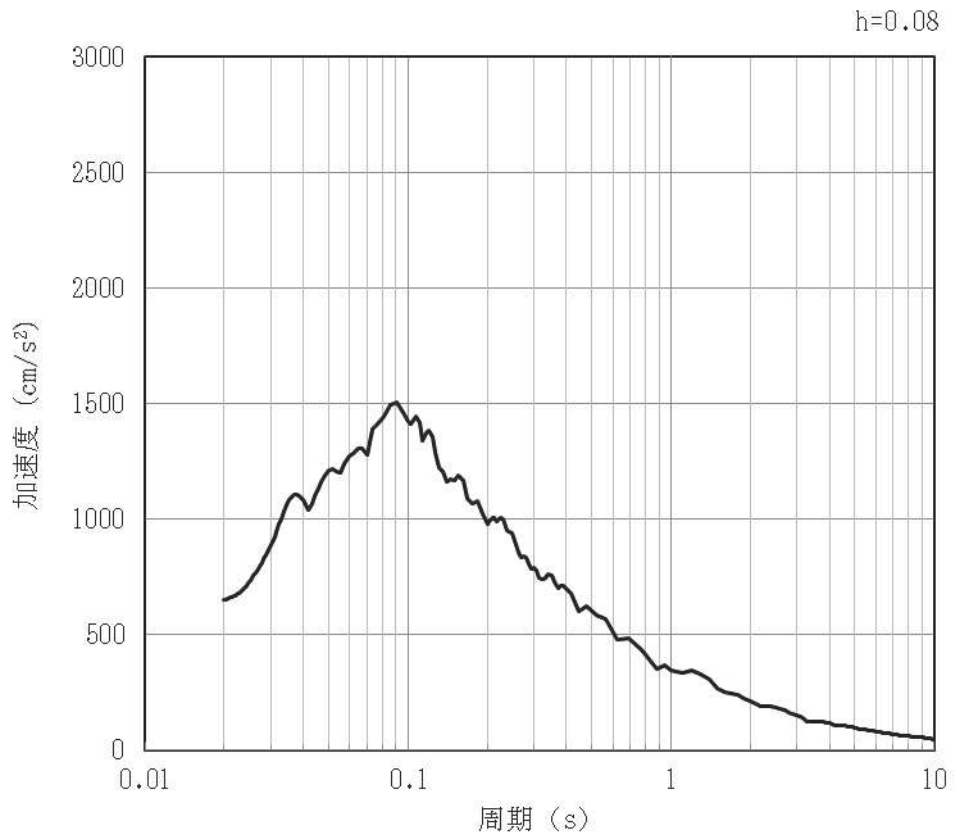


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-18 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 (鉛直方向: S s-D2)
(第 1 保管エリア②) (18/42)

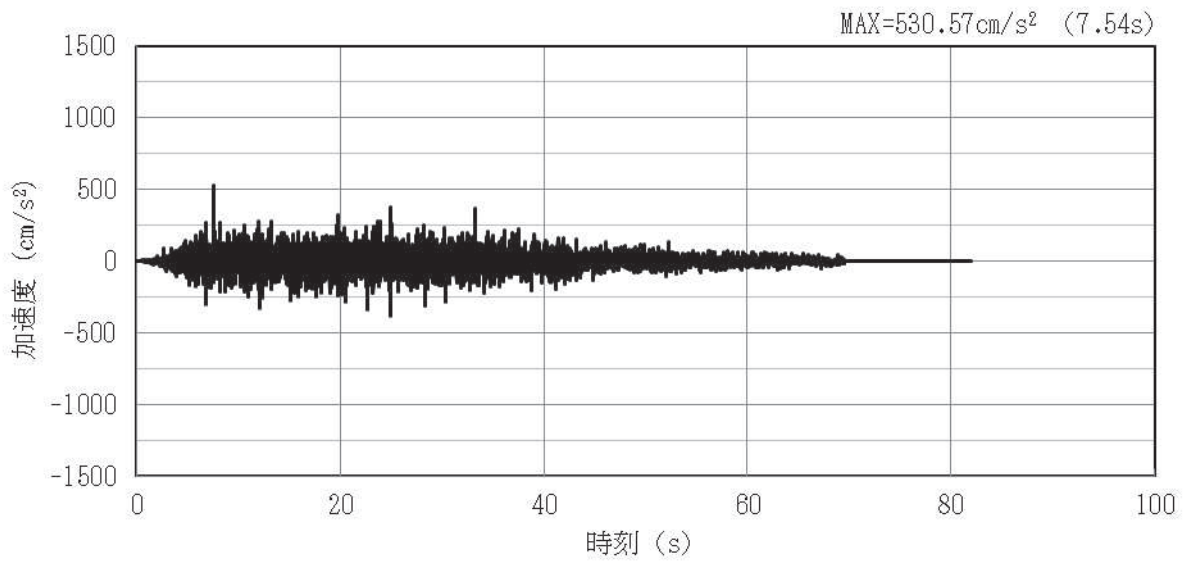


(a) 加速度時刻歴波形

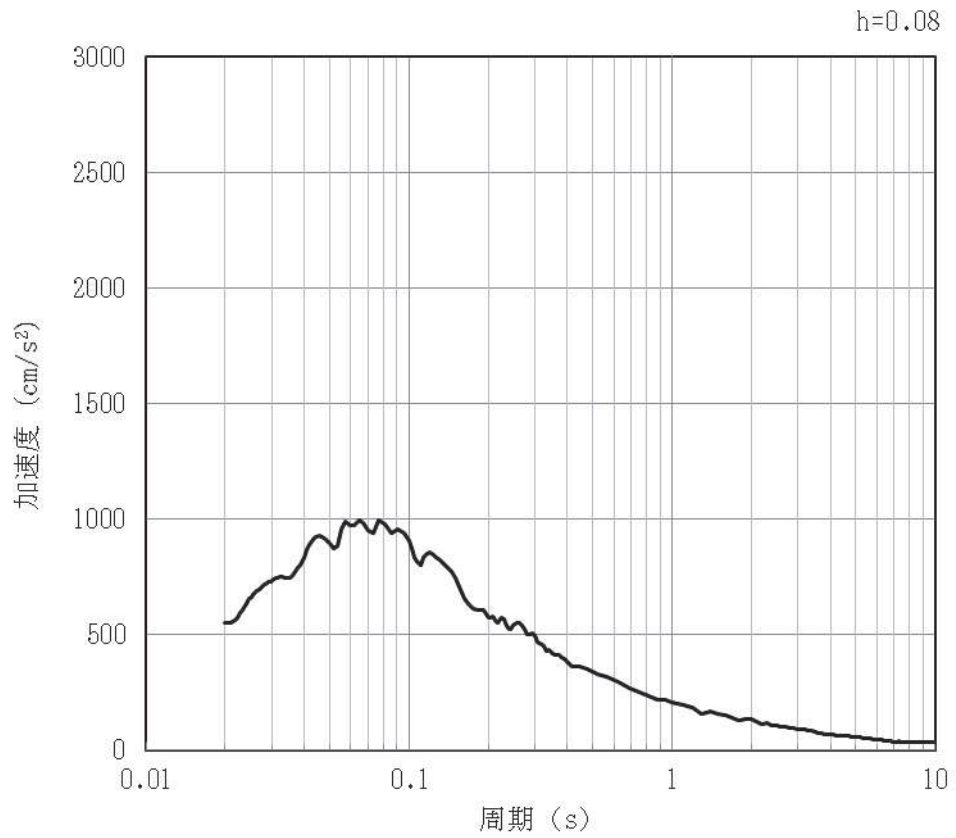


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-19 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 (水平方向: S s-D3)
(第 1 保管エリア②) (19/42)

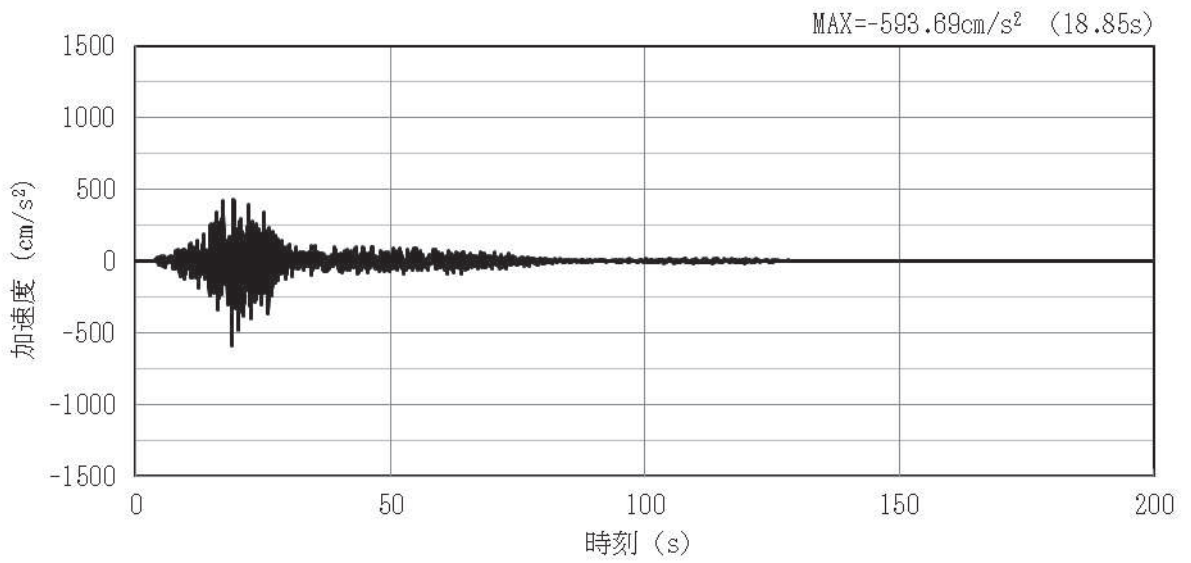


(a) 加速度時刻歴波形

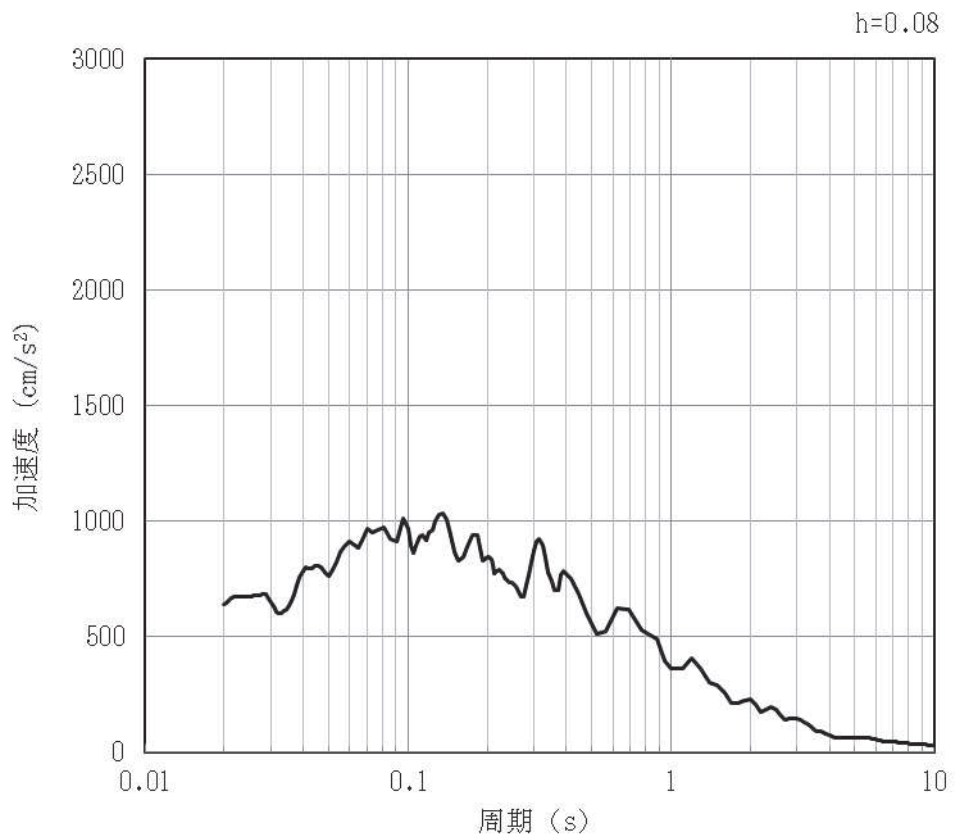


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-20 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 (鉛直方向: S s-D3)
(第 1 保管エリア②) (20/42)

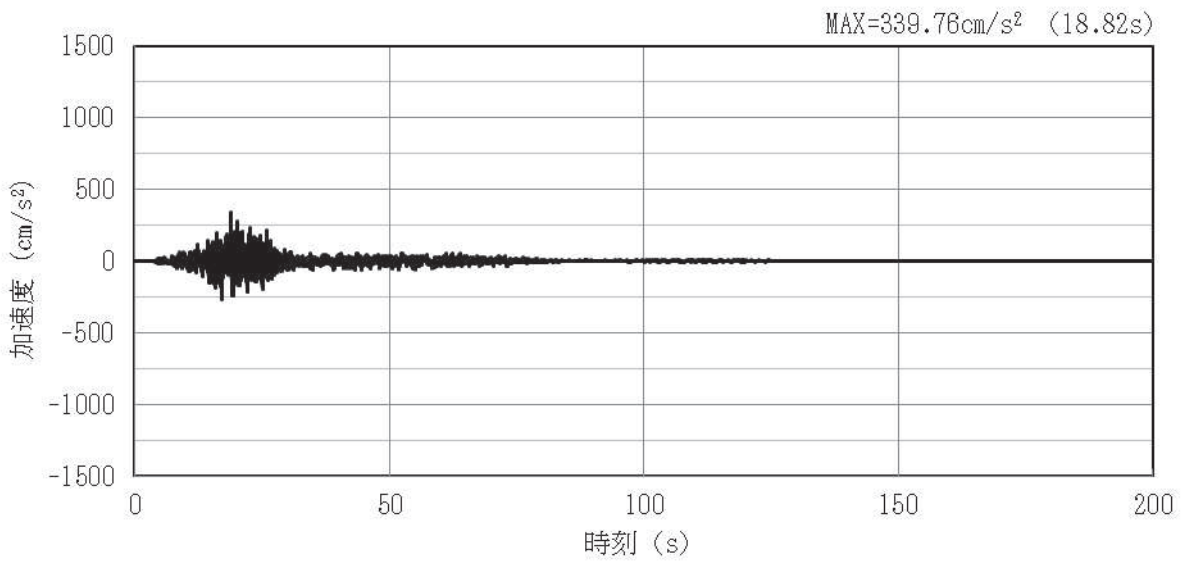


(a) 加速度時刻歴波形

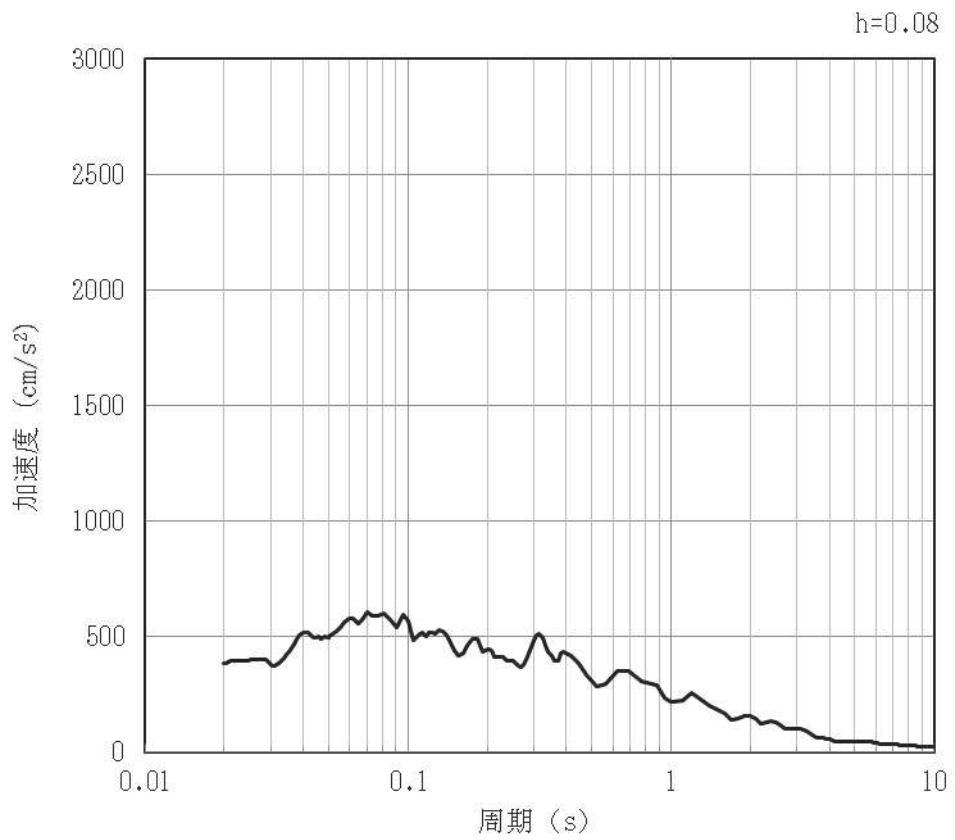


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-21 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（水平方向：S s-F1）
（第 1 保管エリア②）（21/42）

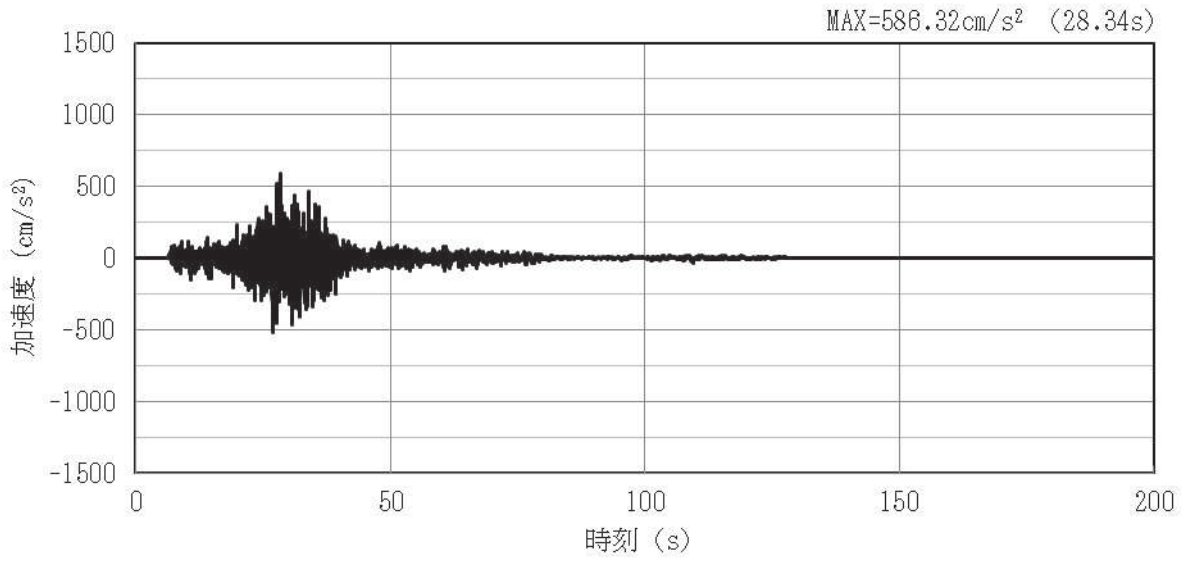


(a) 加速度時刻歴波形

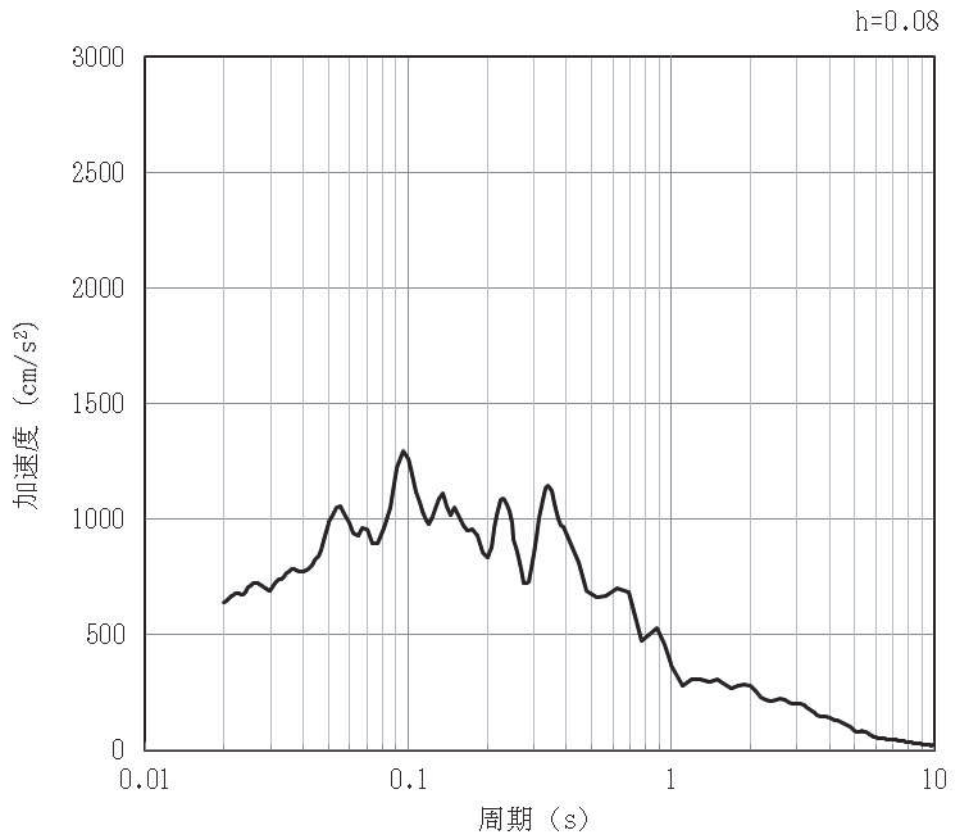


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-22 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 (鉛直方向: S s-F1)
(第 1 保管エリア②) (22/42)

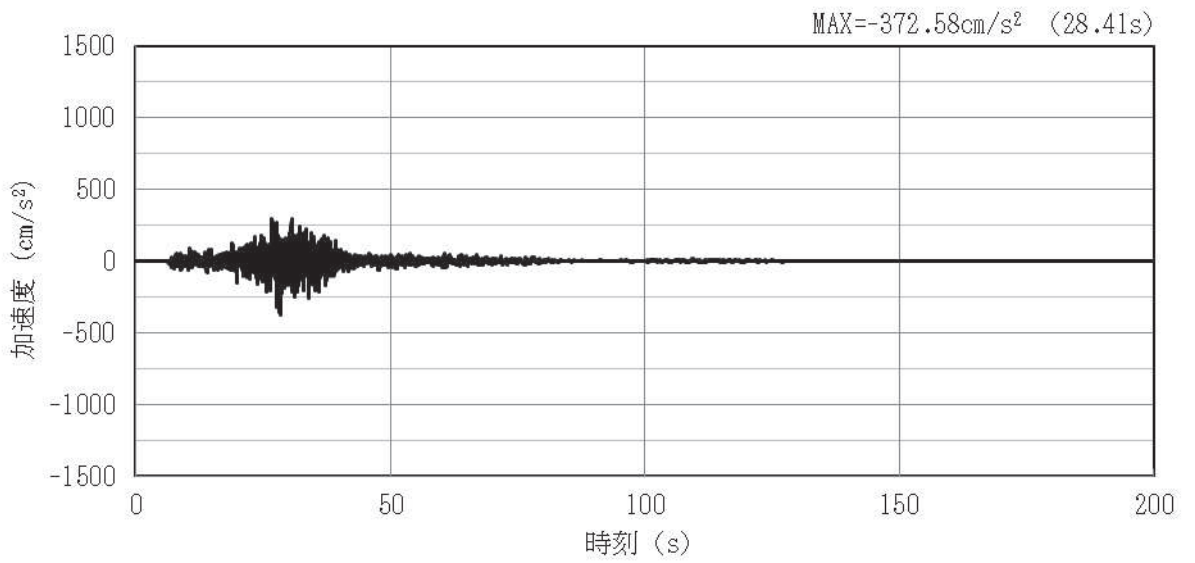


(a) 加速度時刻歴波形

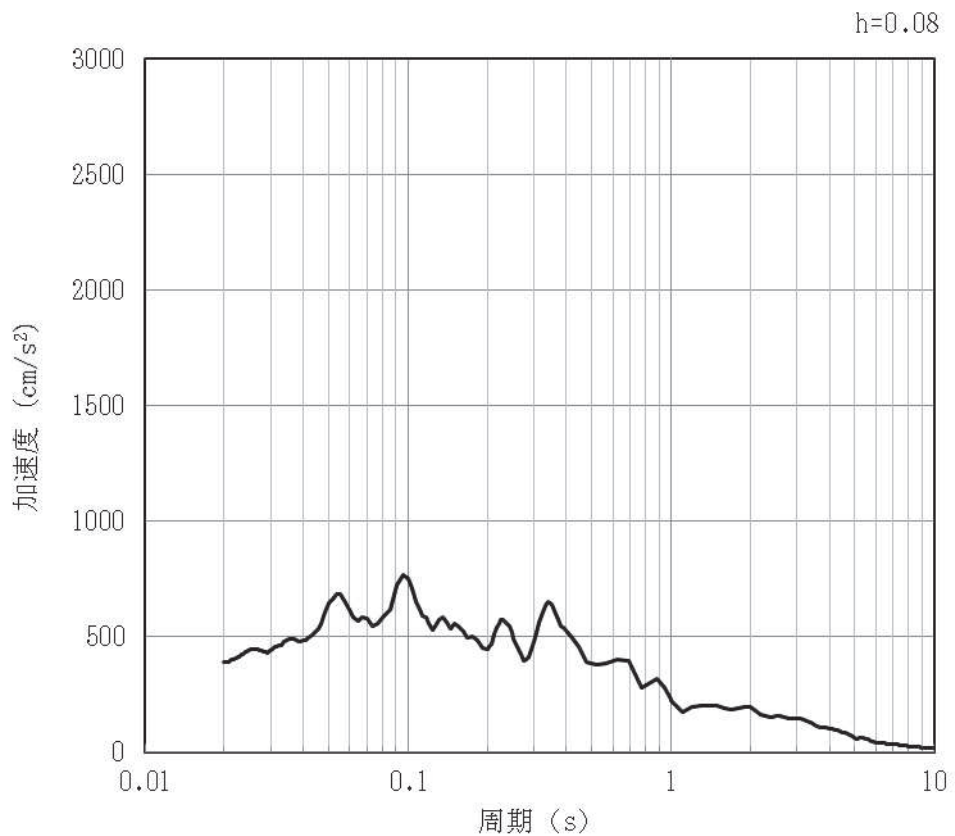


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-23 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 (水平方向 : S s-F2)
(第 1 保管エリア②) (23/42)

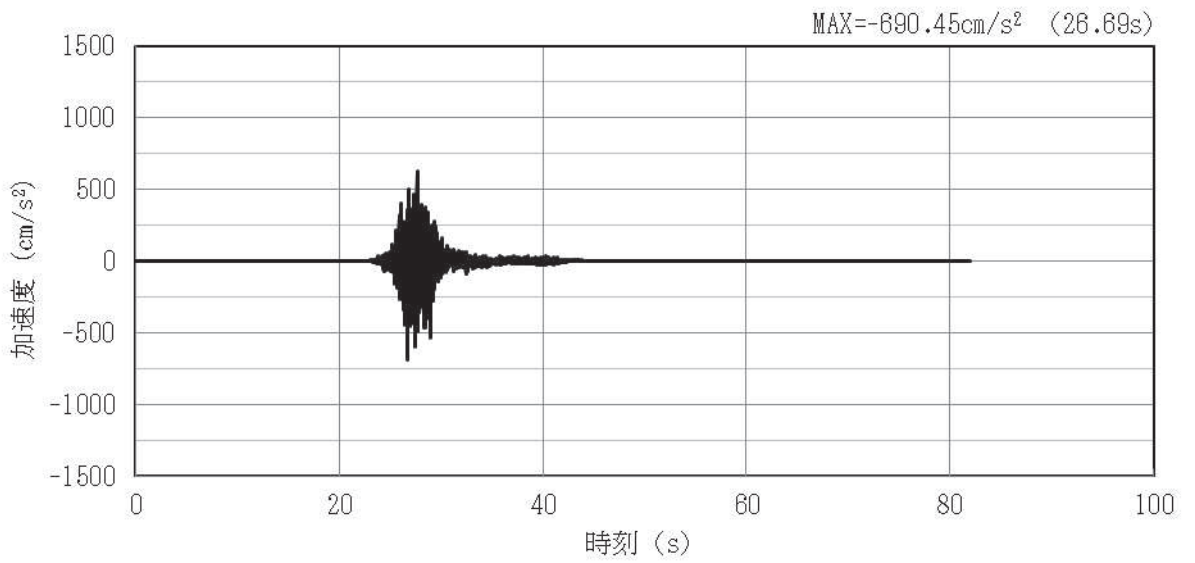


(a) 加速度時刻歴波形

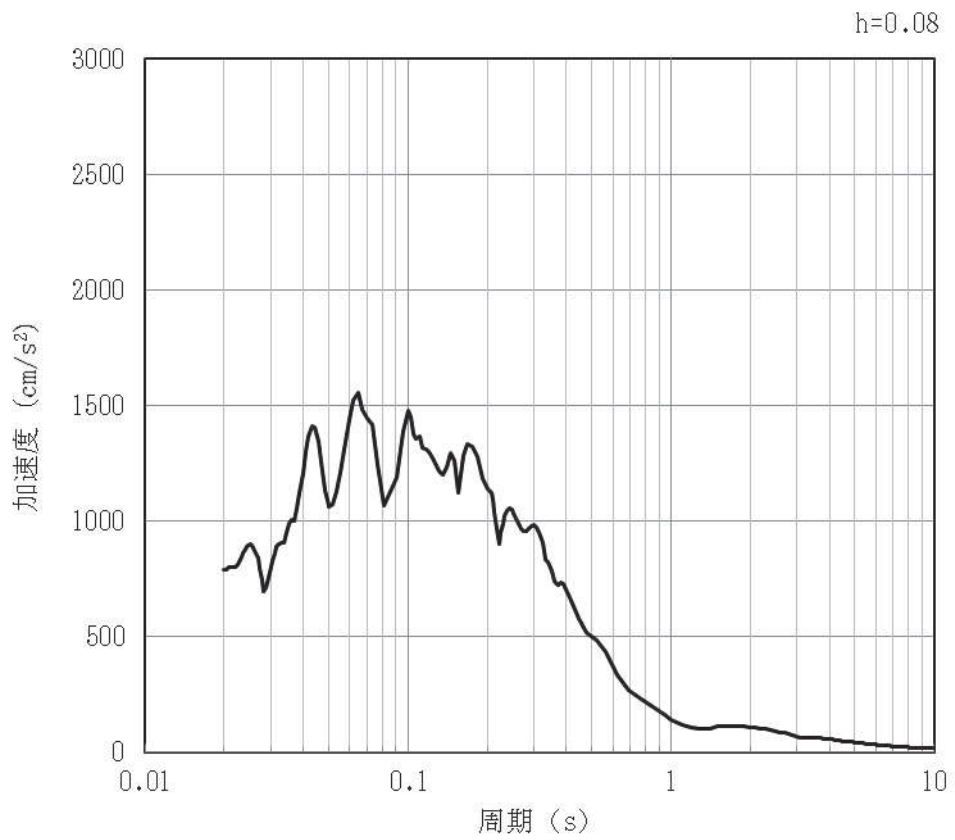


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-24 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 (鉛直方向：S s-F2)
(第 1 保管エリア②) (24/42)

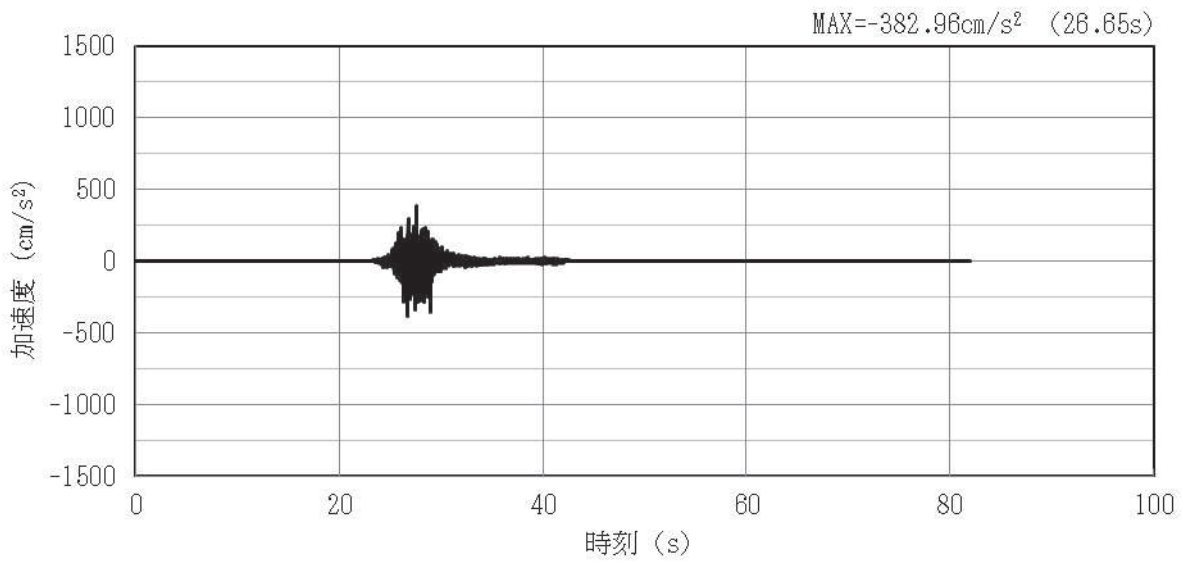


(a) 加速度時刻歴波形

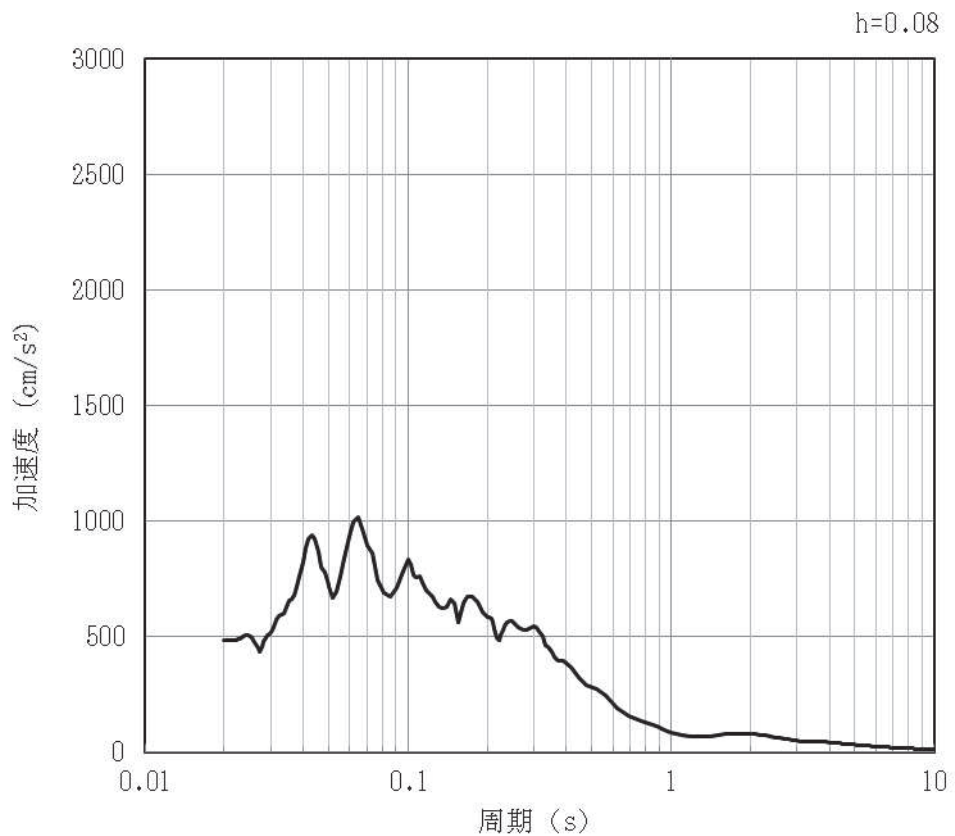


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-25 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 (水平方向: S s-F3)
(第 1 保管エリア②) (25/42)

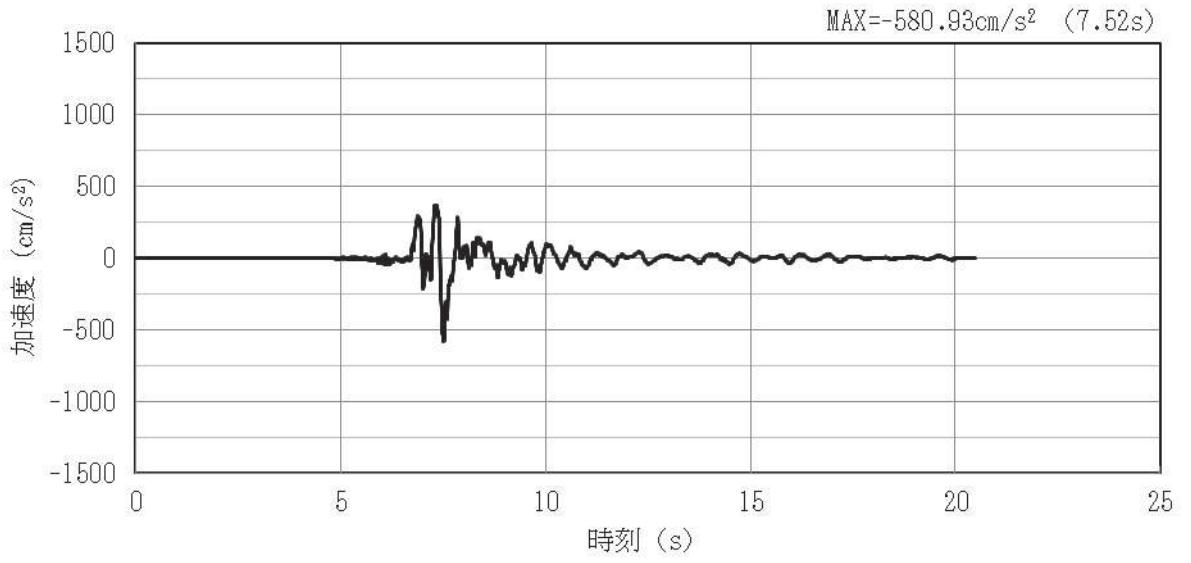


(a) 加速度時刻歴波形

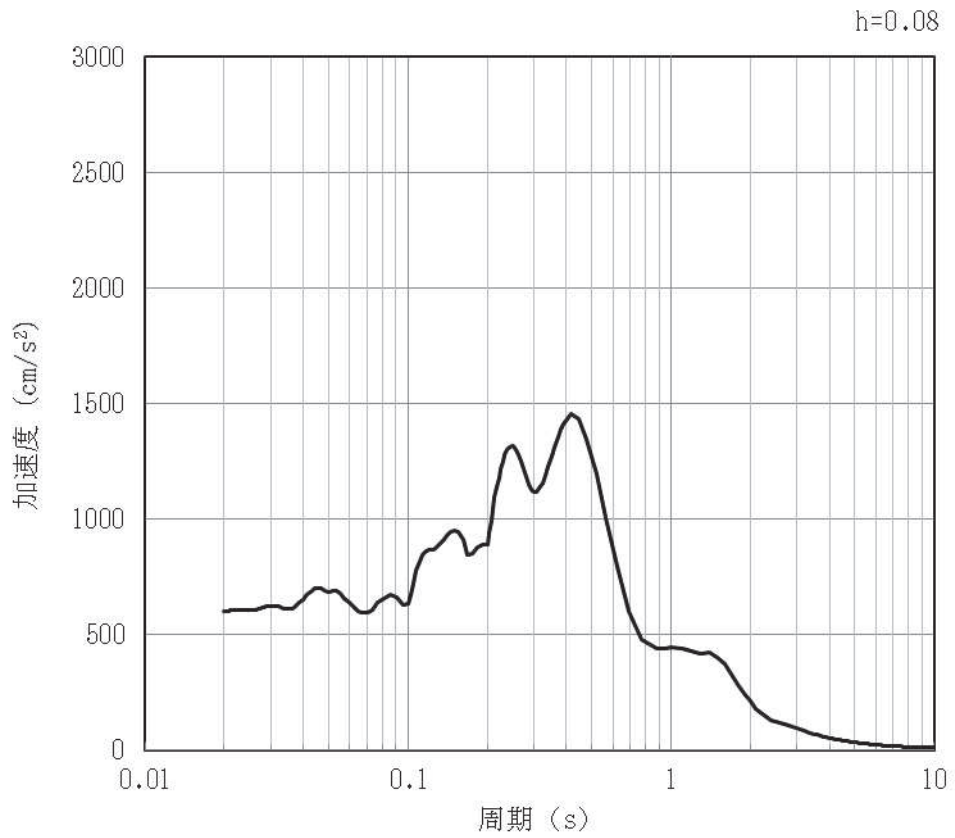


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-26 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 (鉛直方向: S s-F3)
(第 1 保管エリア②) (26/42)

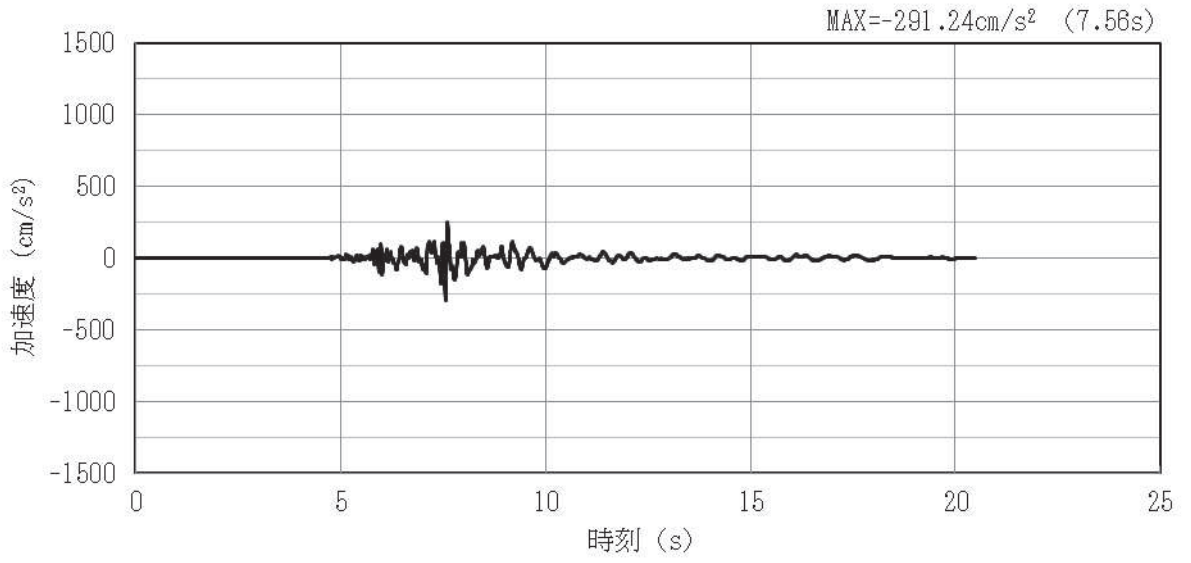


(a) 加速度時刻歴波形

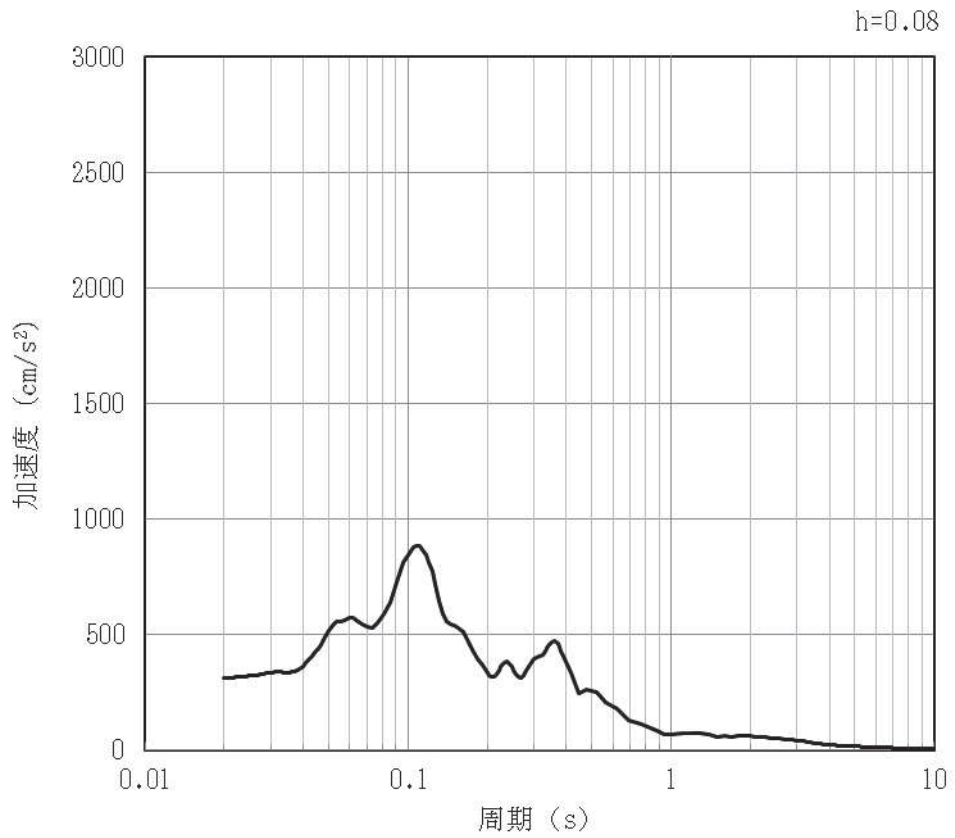


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-27 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 (水平方向 : S s-N1)
(第 1 保管エリア②) (27/42)



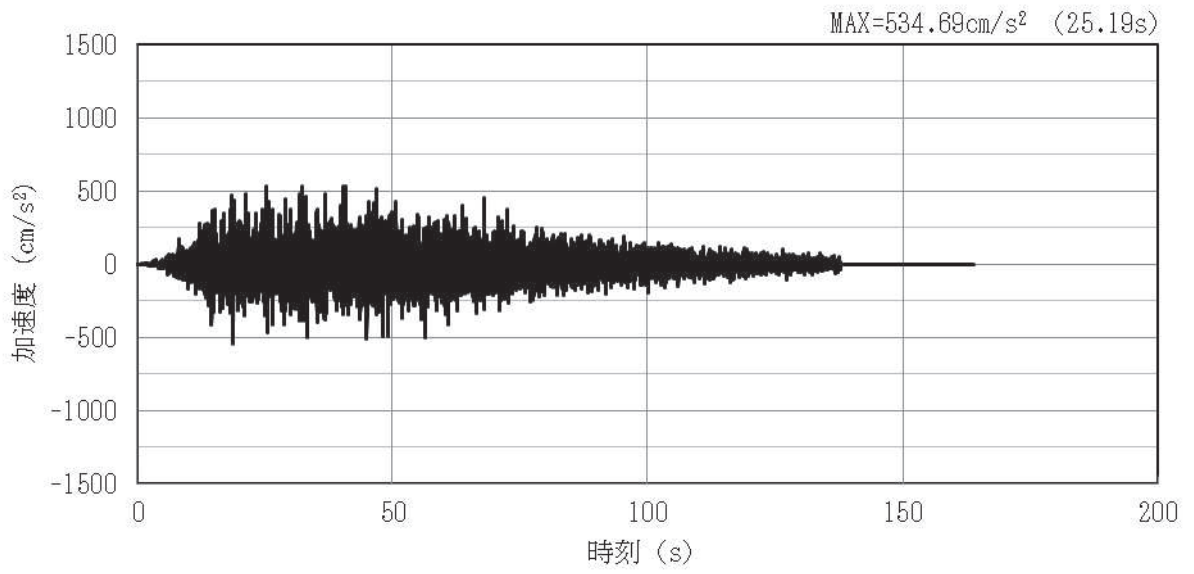
(a) 加速度時刻歴波形



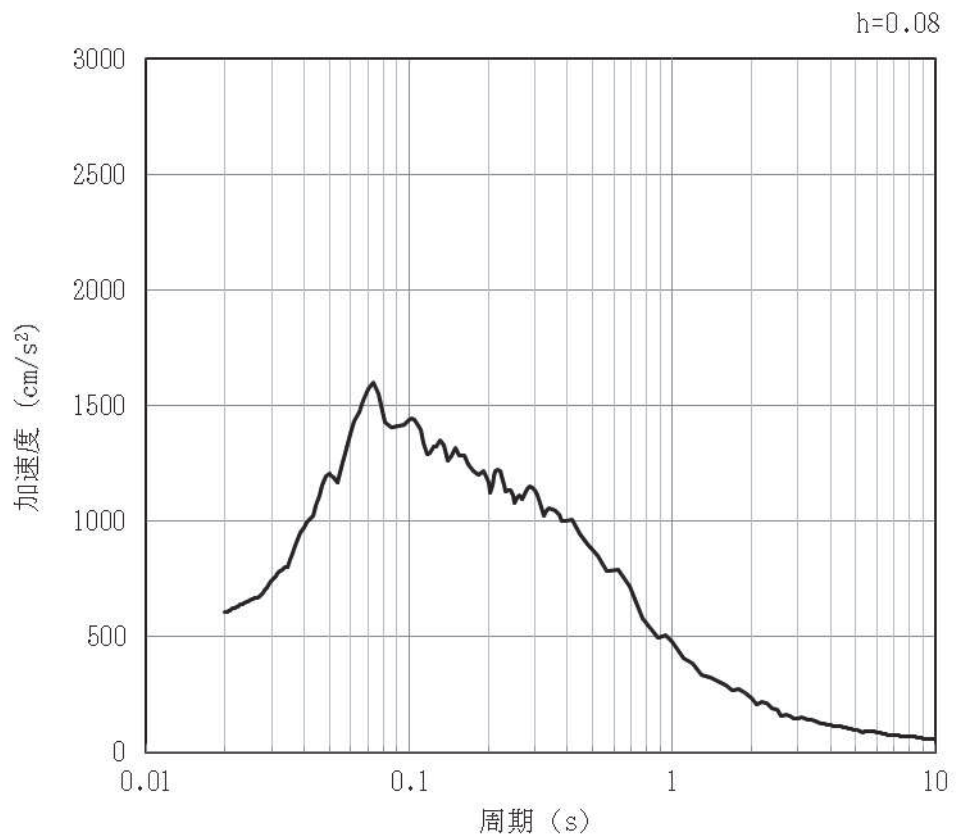
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-28 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 (鉛直方向 : S s-N1)
(第 1 保管エリア②) (28/42)

(3) 第1保管エリア③

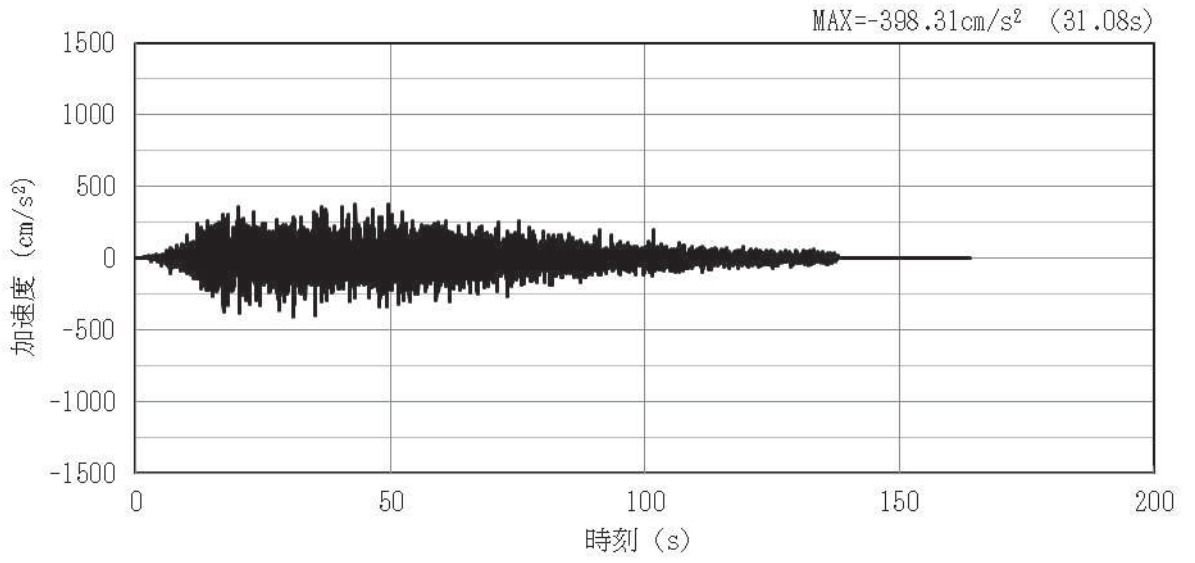


(a) 加速度時刻歴波形

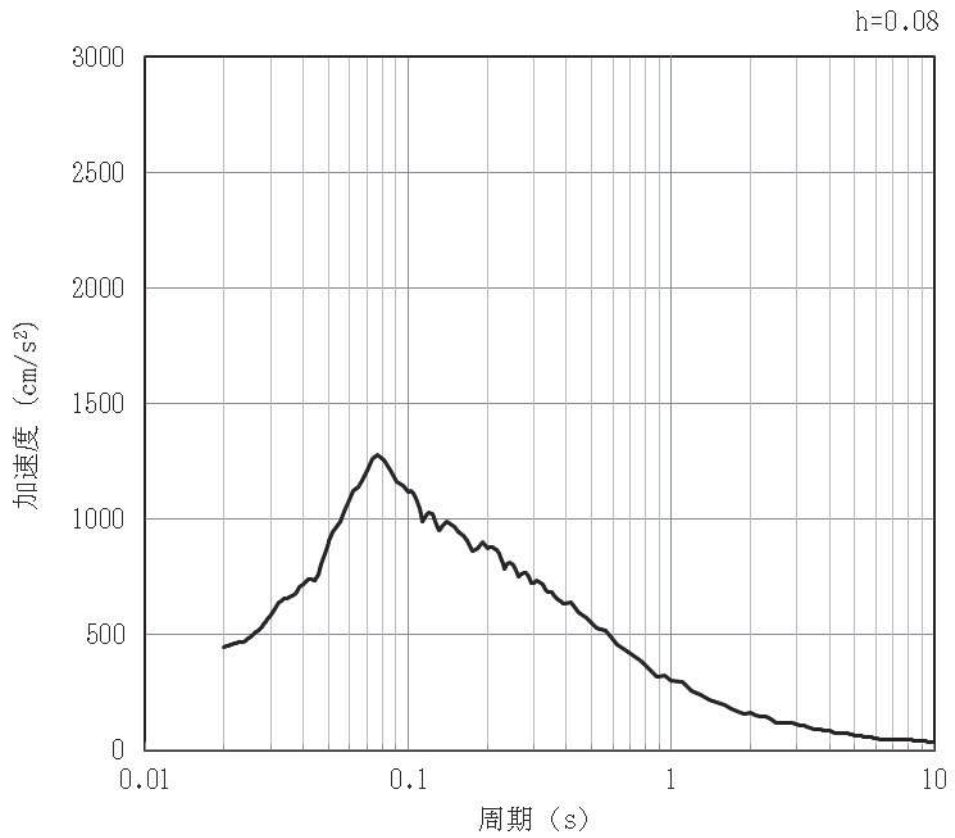


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-29 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 (水平方向: S s-D1)
(第1保管エリア③) (29/42)

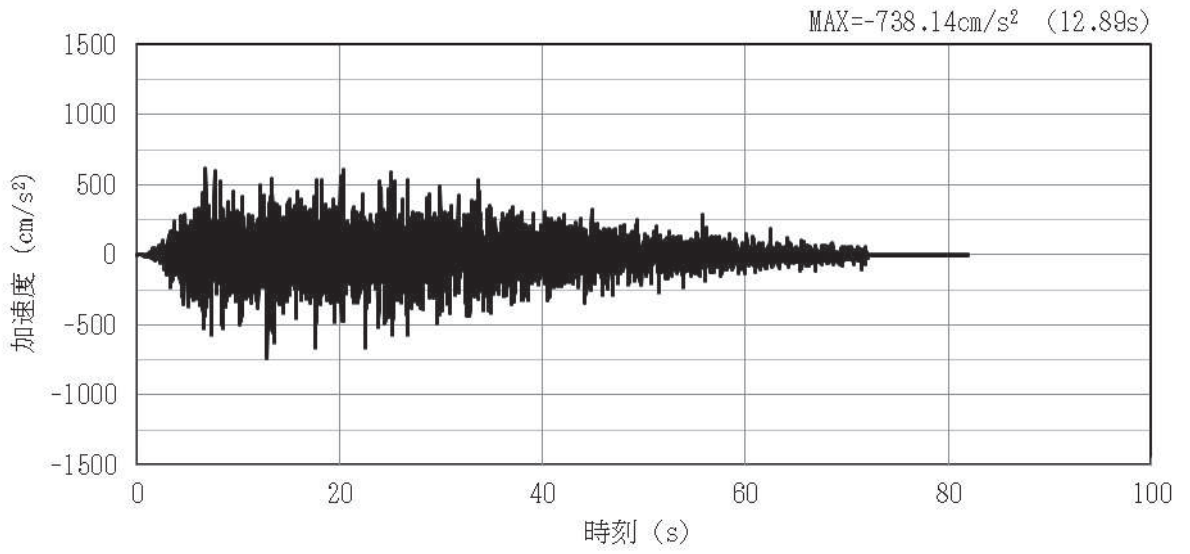


(a) 加速度時刻歴波形

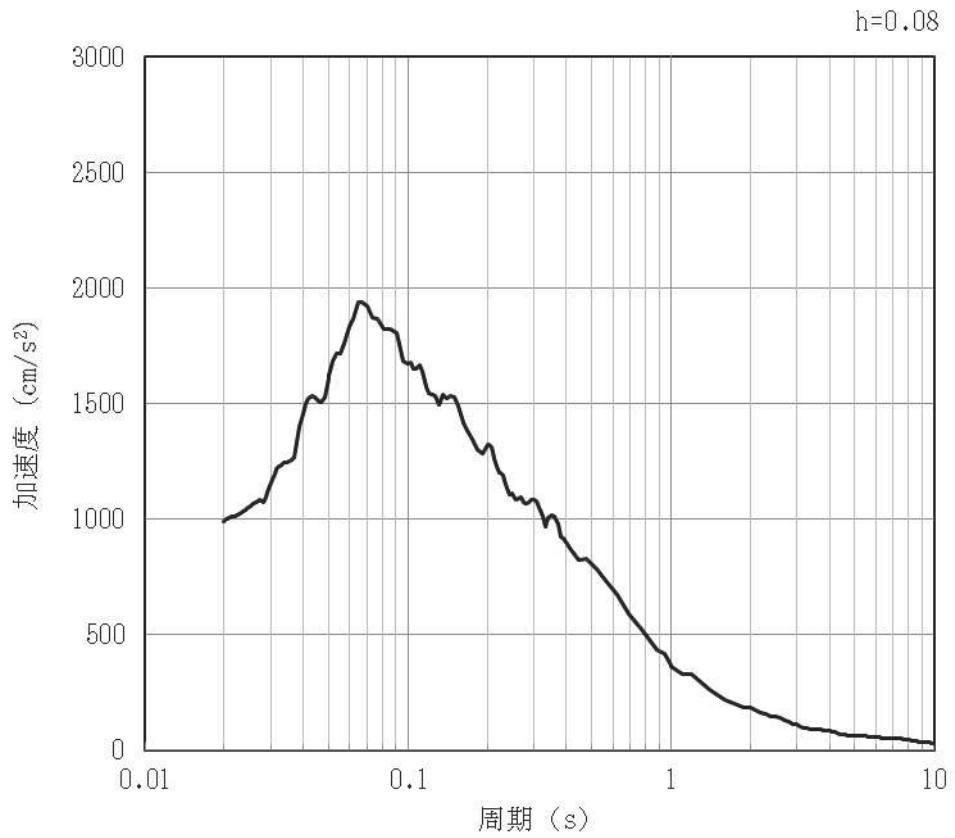


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-30 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 (鉛直方向: S s-D1)
(第 1 保管エリア③) (30/42)

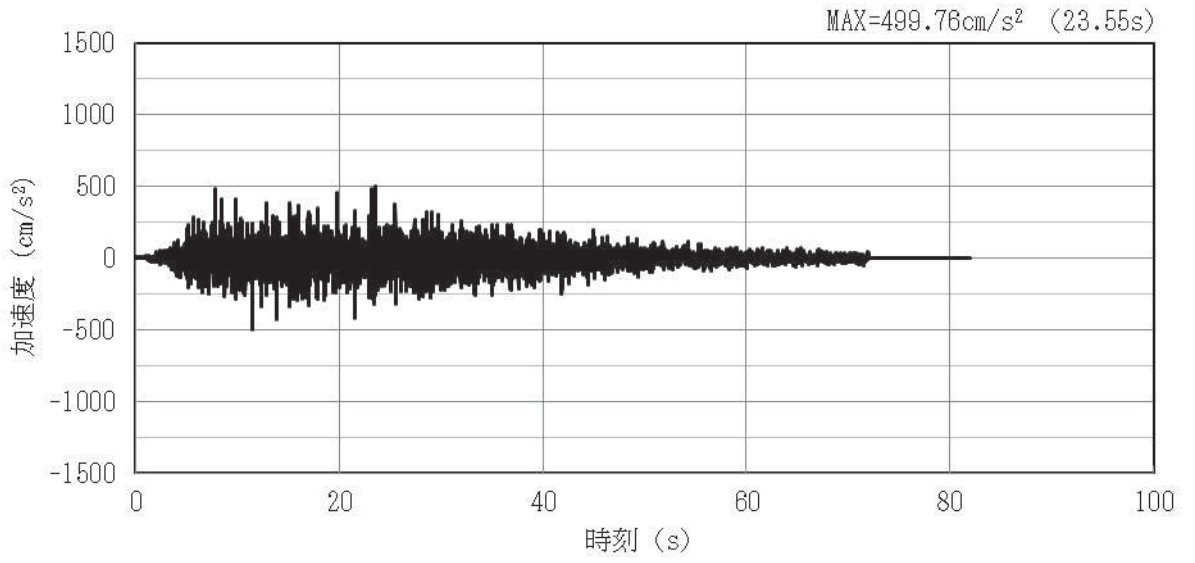


(a) 加速度時刻歴波形

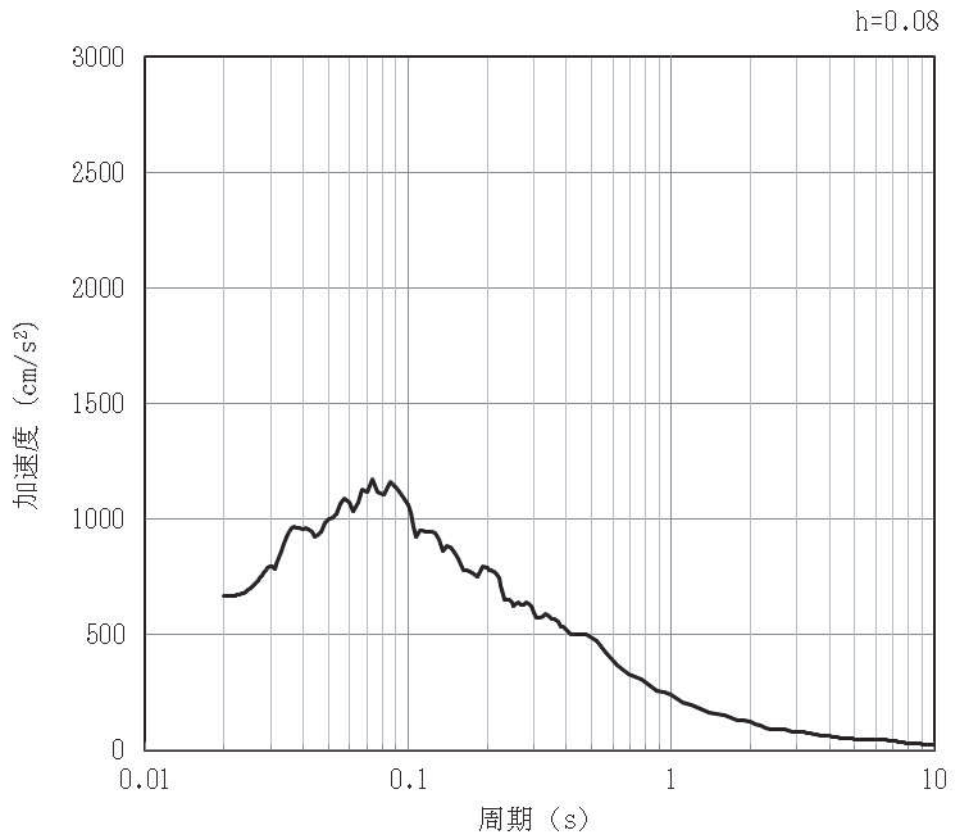


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-31 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 (水平方向: S s-D2)
(第 1 保管エリア③) (31/42)

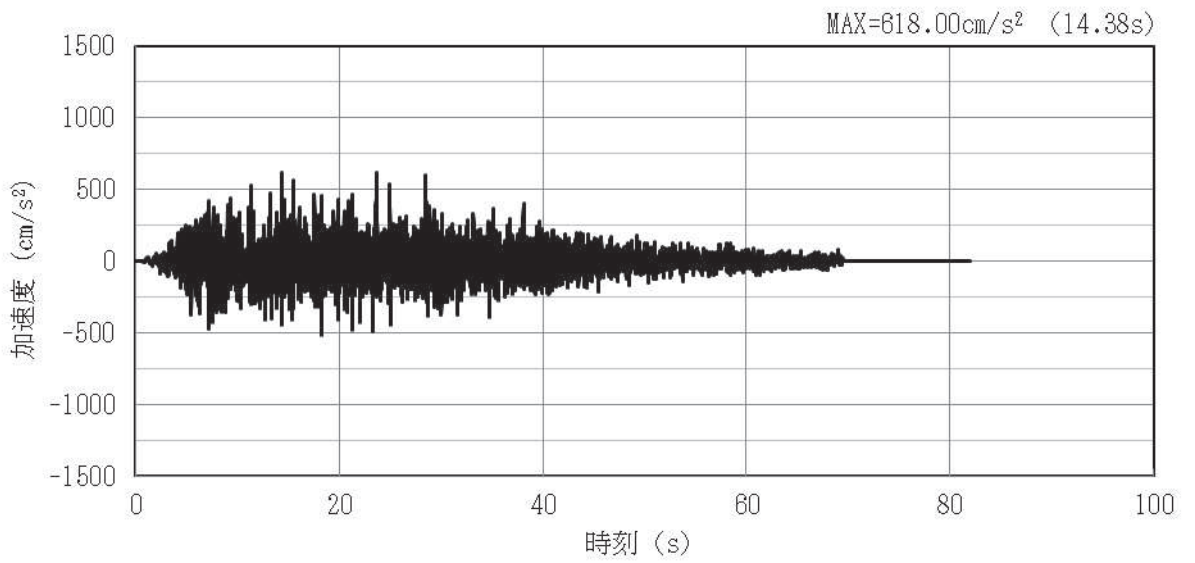


(a) 加速度時刻歴波形

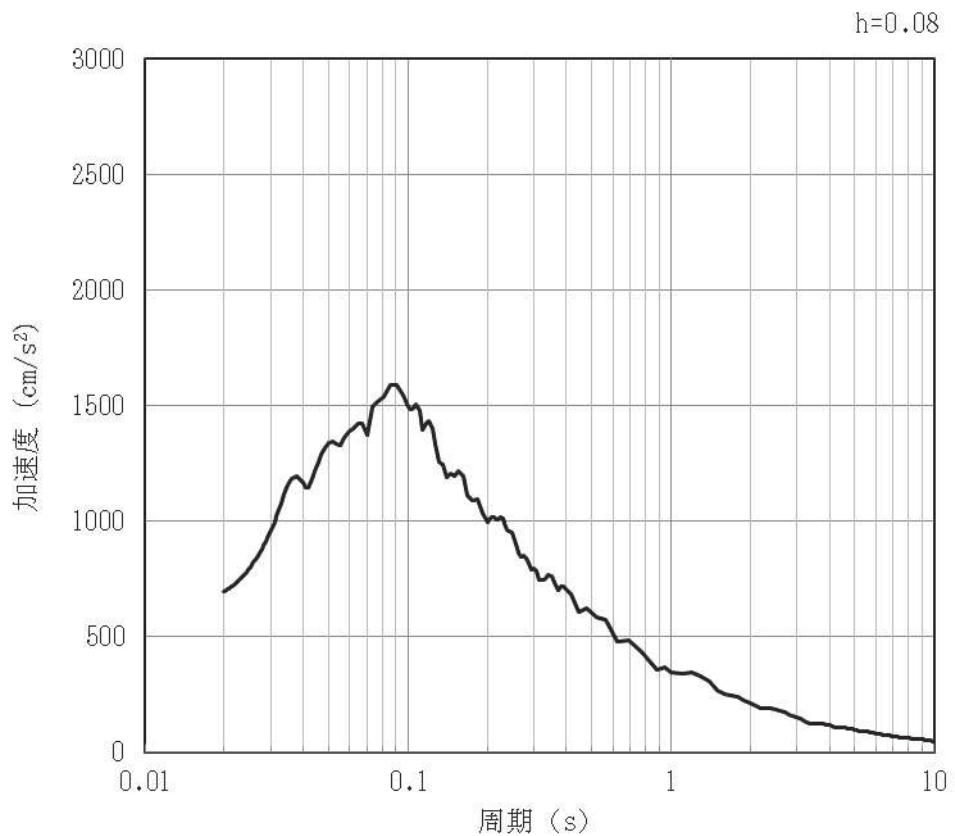


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-32 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 (鉛直方向: S s-D2)
(第 1 保管エリア③) (32/42)

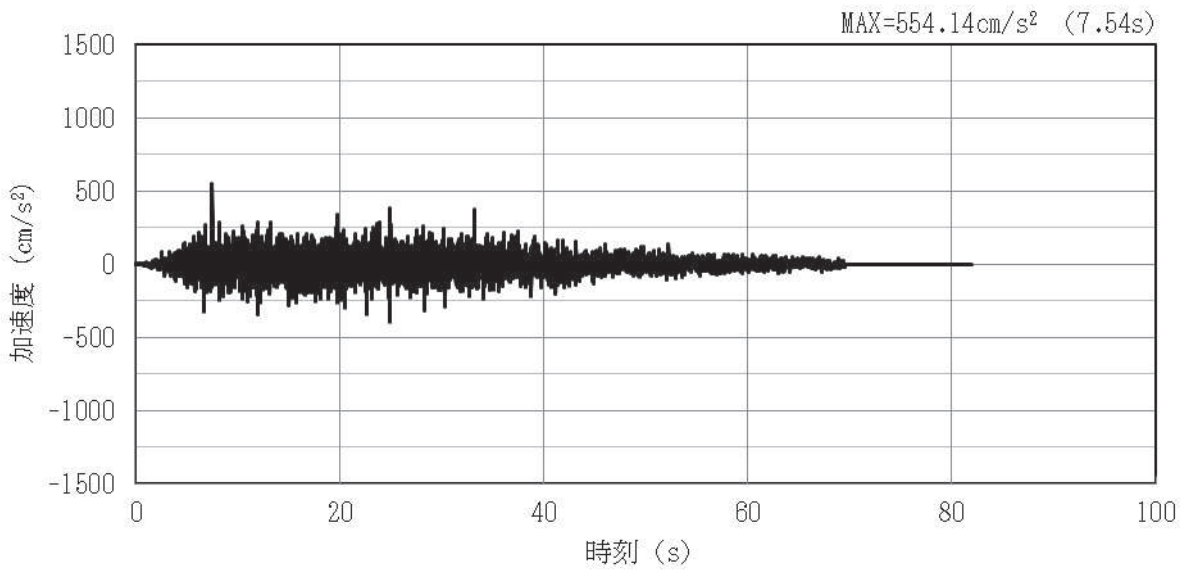


(a) 加速度時刻歴波形

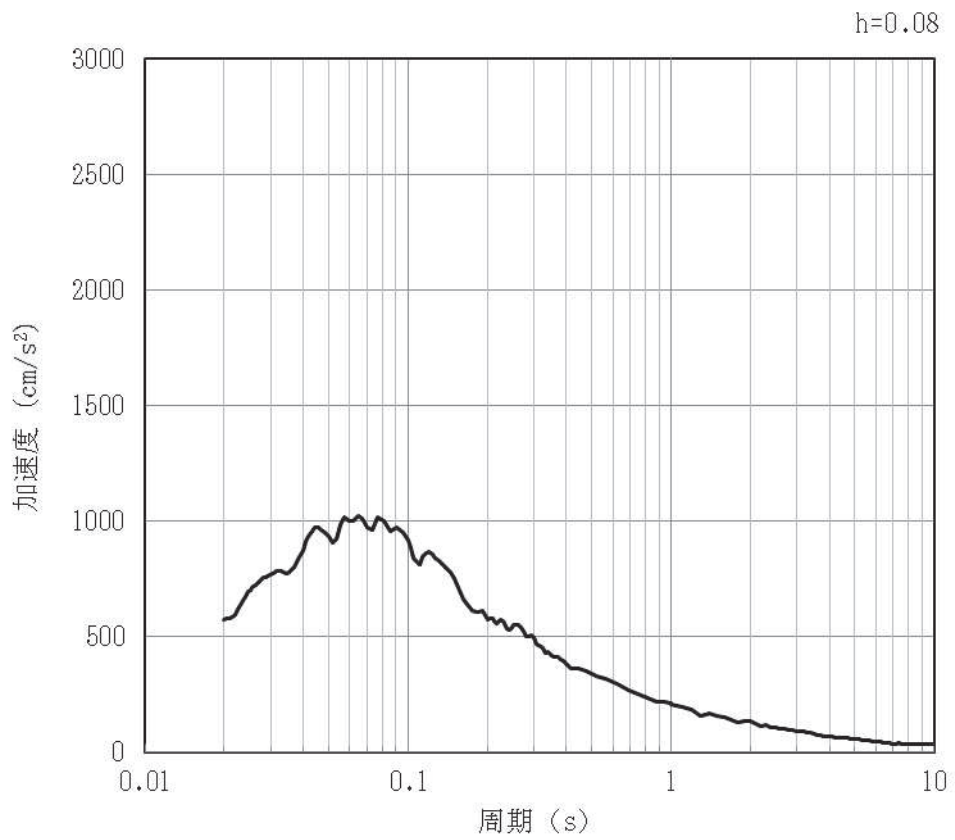


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-33 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 (水平方向: S s-D3)
(第 1 保管エリア③) (33/42)

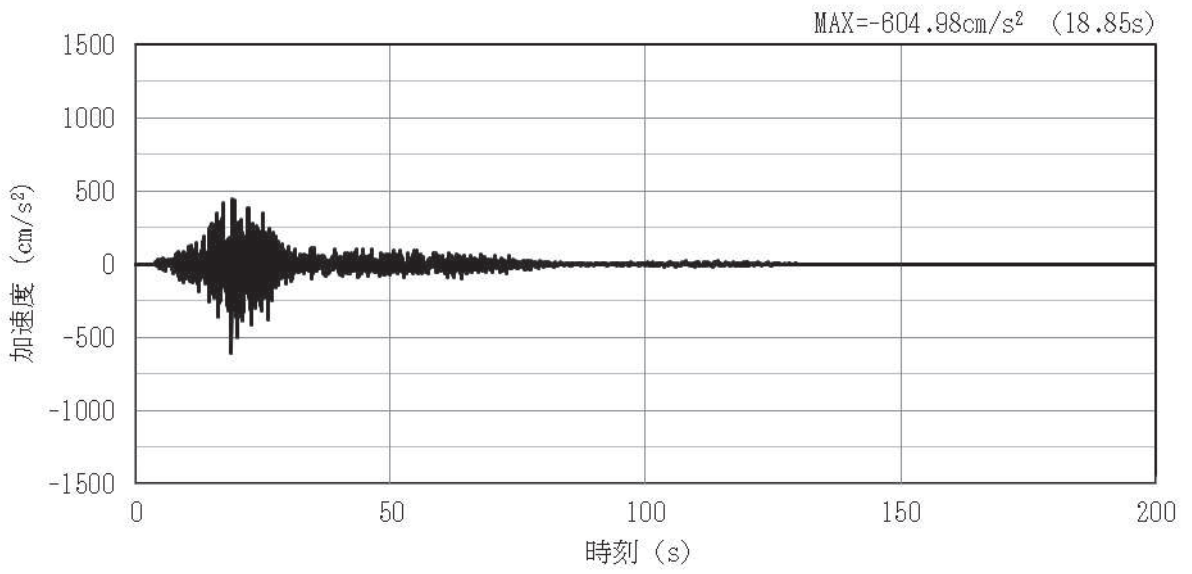


(a) 加速度時刻歴波形

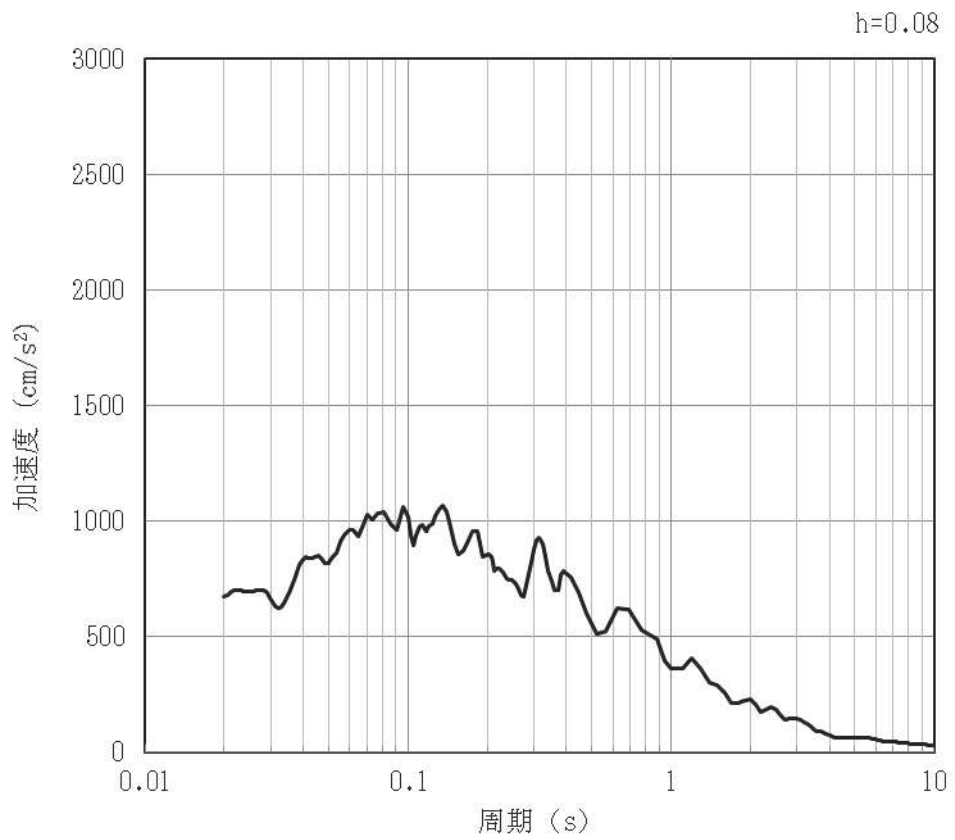


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-34 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 (鉛直方向：S s-D3)
(第 1 保管エリア③) (34/42)

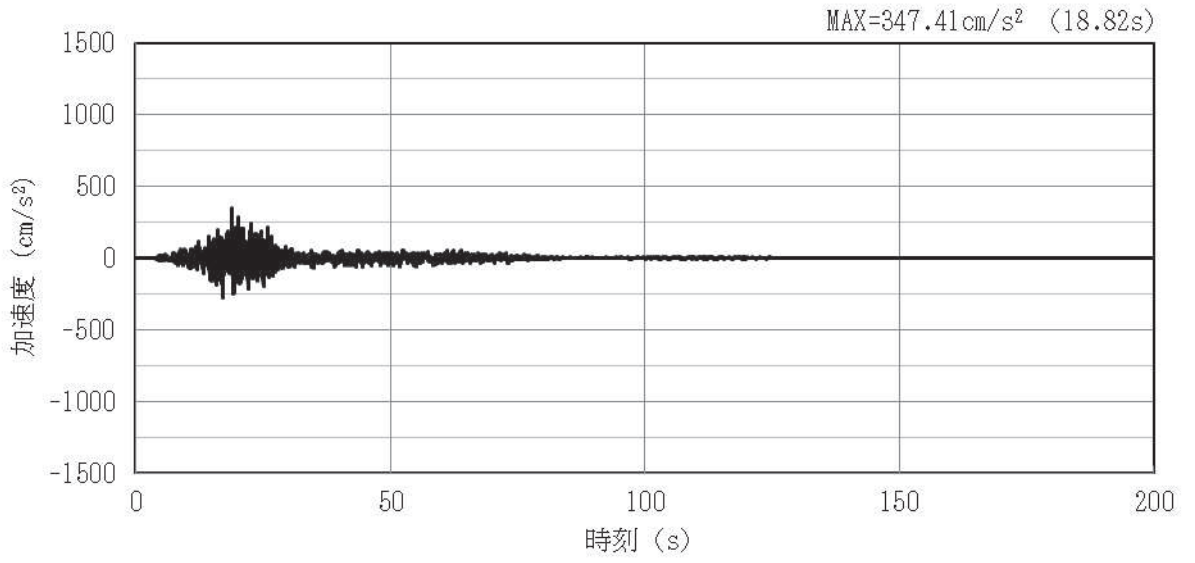


(a) 加速度時刻歴波形

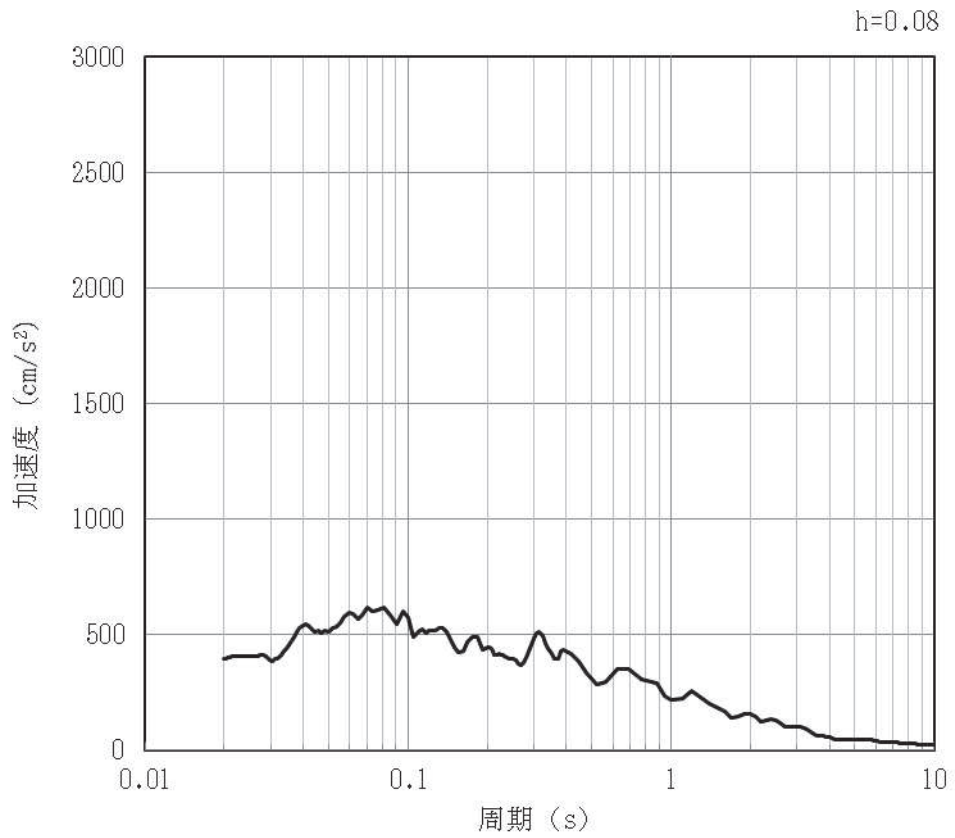


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-35 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 (水平方向: S s-F1)
(第 1 保管エリア③) (35/42)

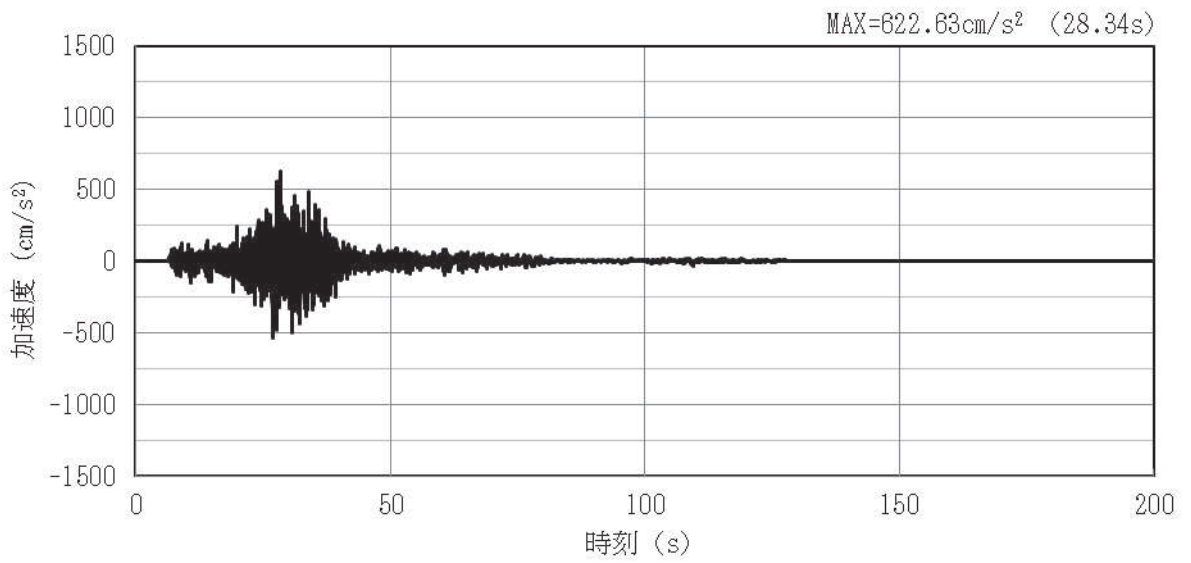


(a) 加速度時刻歴波形

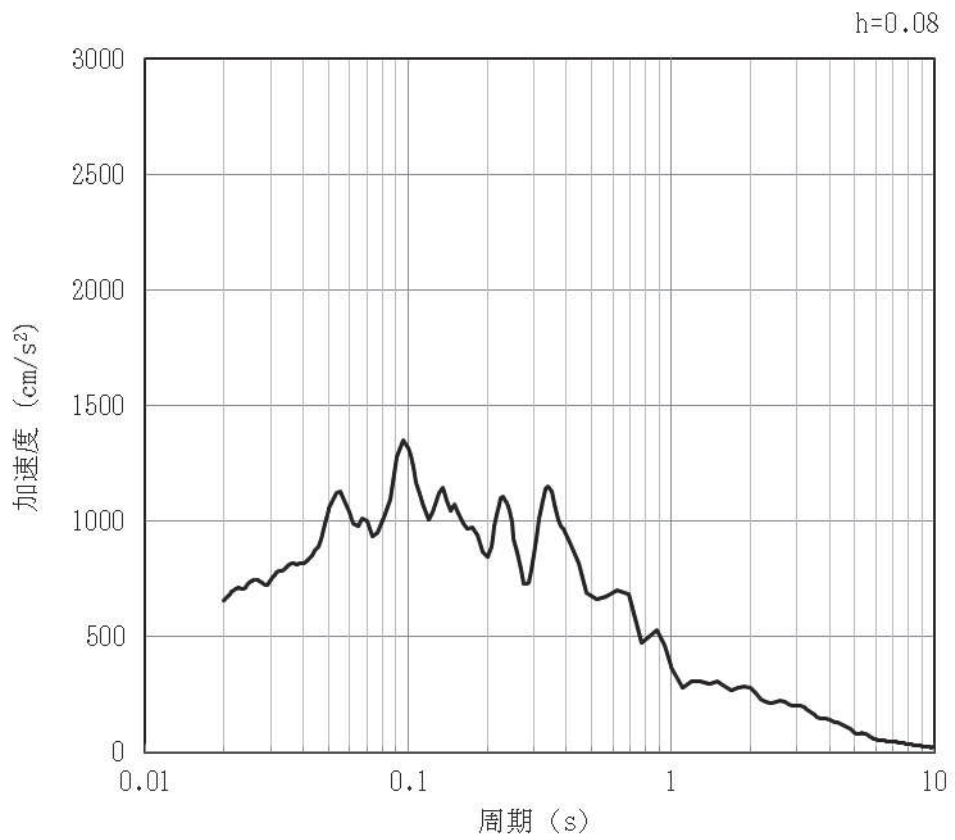


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-36 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 (鉛直方向: S s-F1)
(第 1 保管エリア③) (36/42)

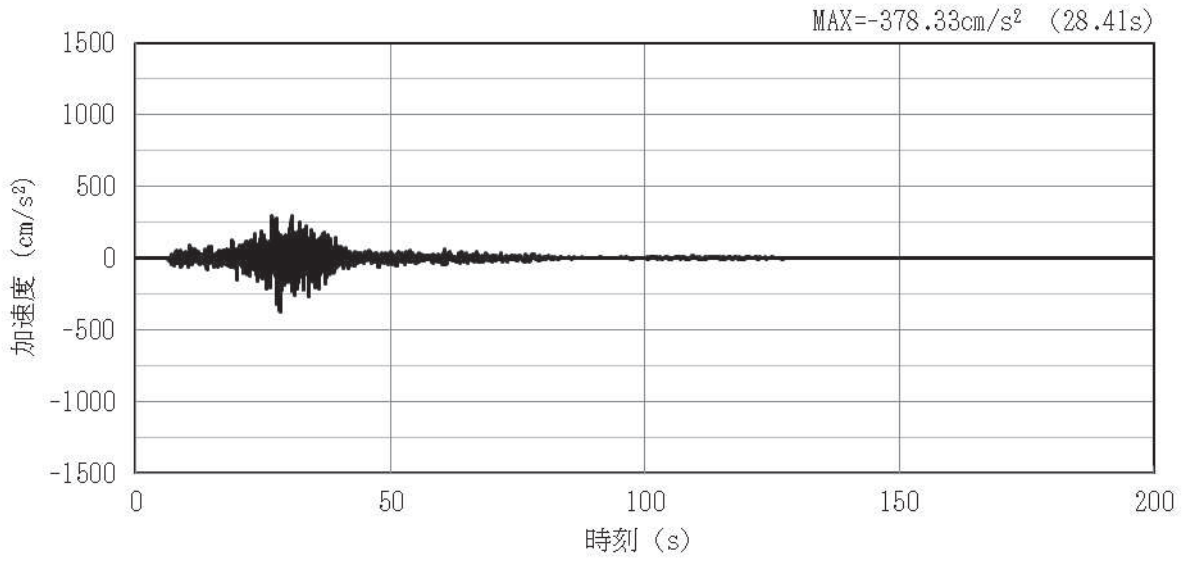


(a) 加速度時刻歴波形

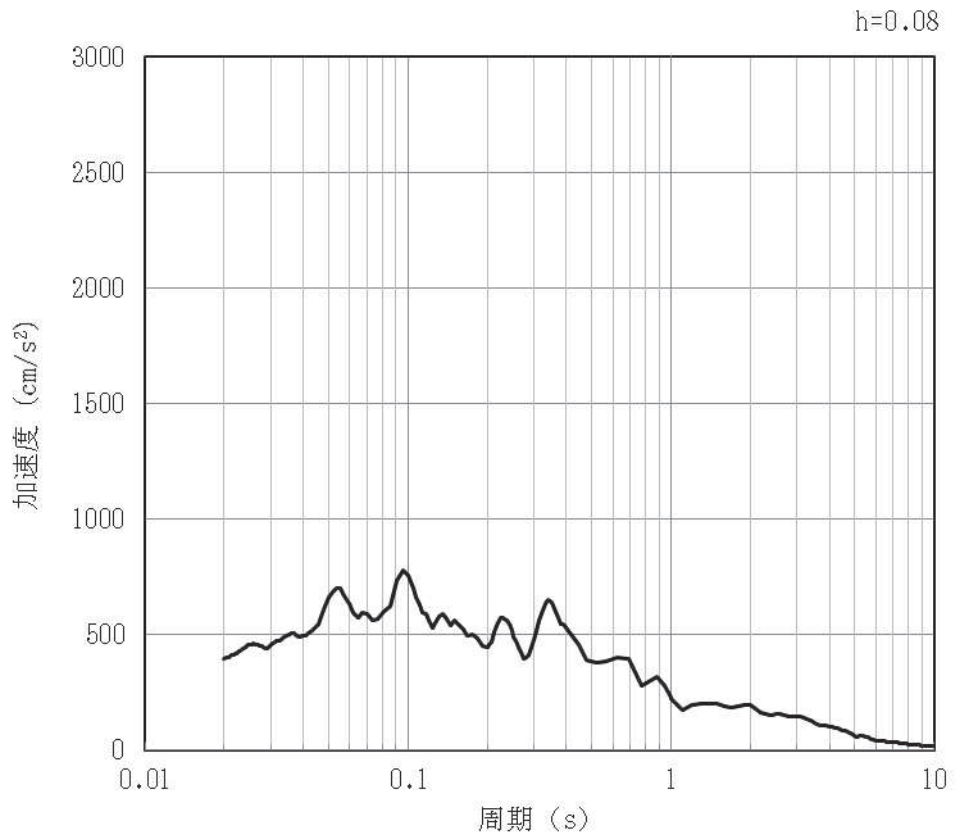


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-37 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 (水平方向 : S s-F2)
(第 1 保管エリア③) (37/42)

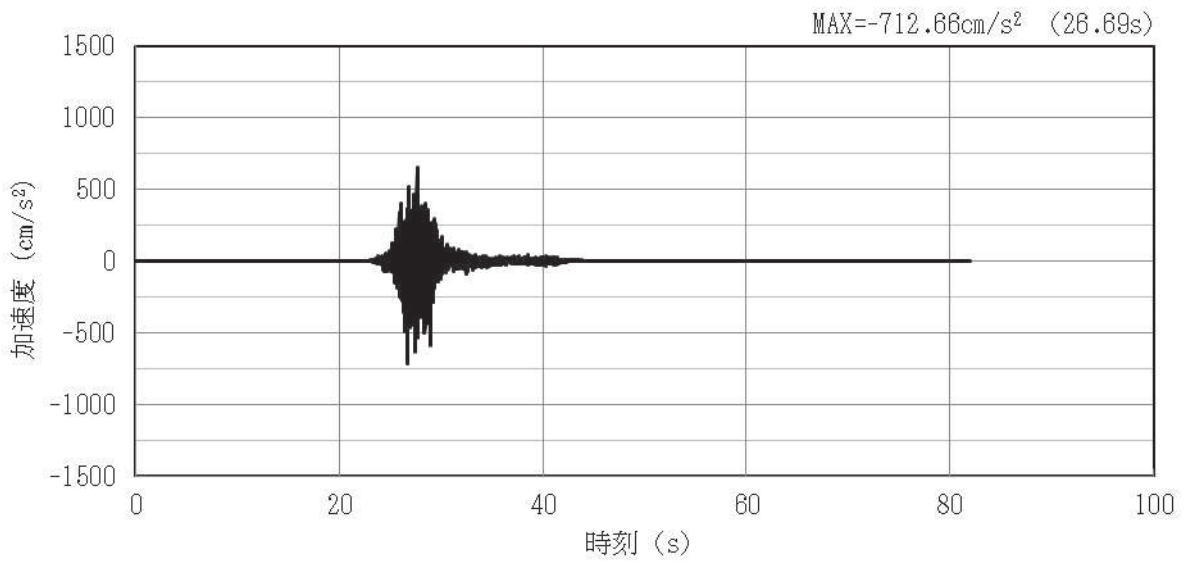


(a) 加速度時刻歴波形

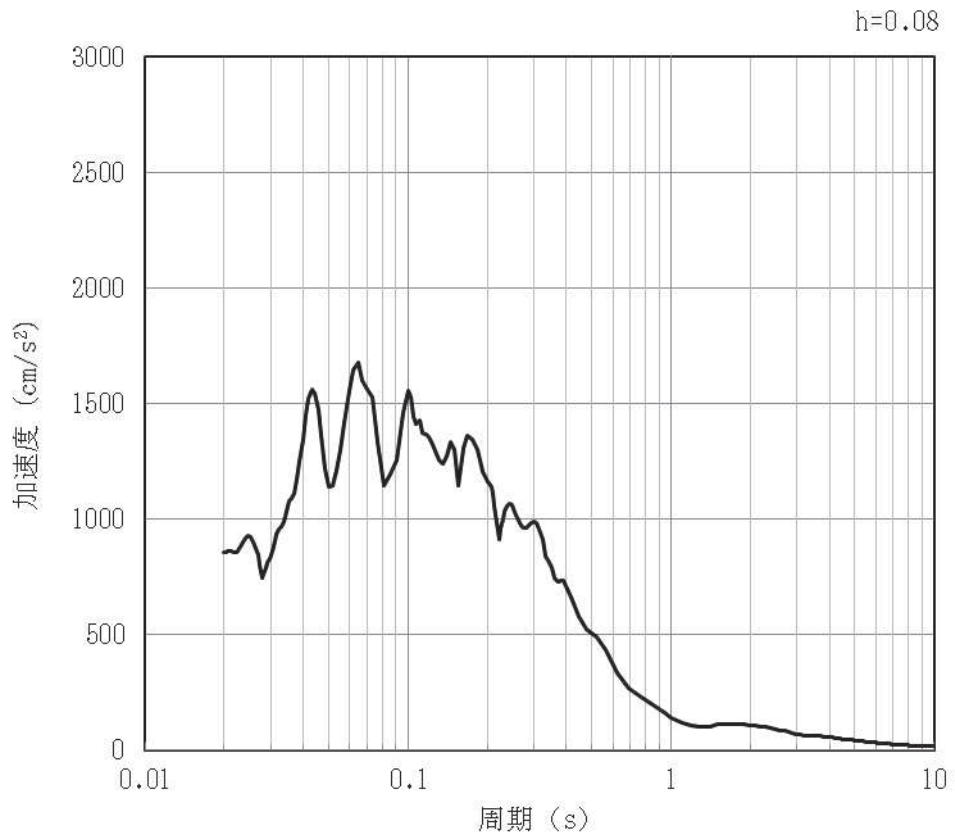


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-38 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 (鉛直方向: S s-F2)
(第 1 保管エリア③) (38/42)

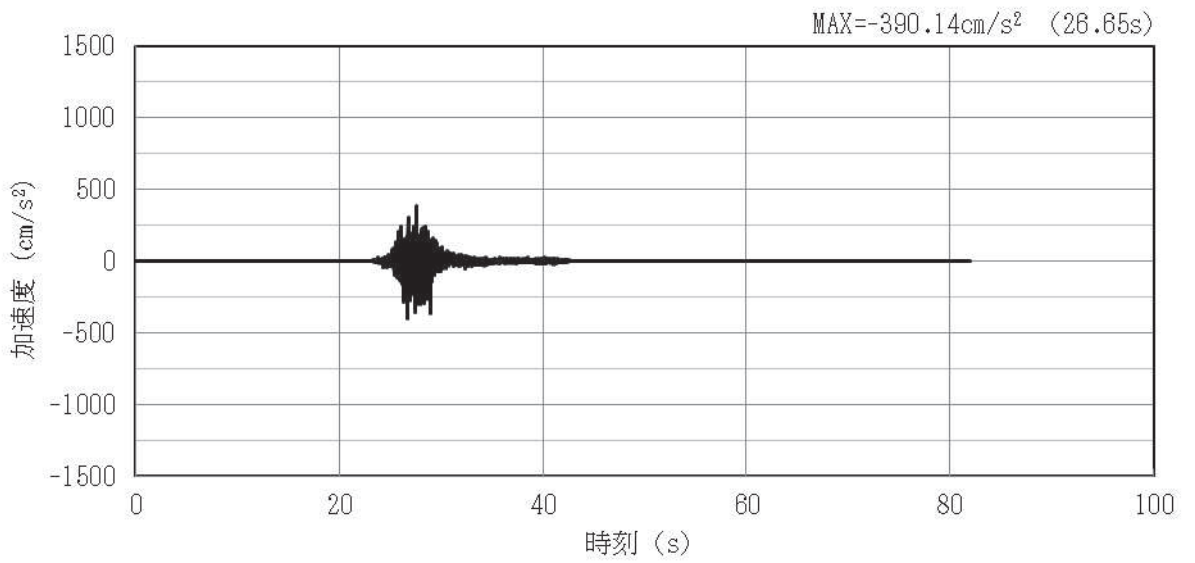


(a) 加速度時刻歴波形

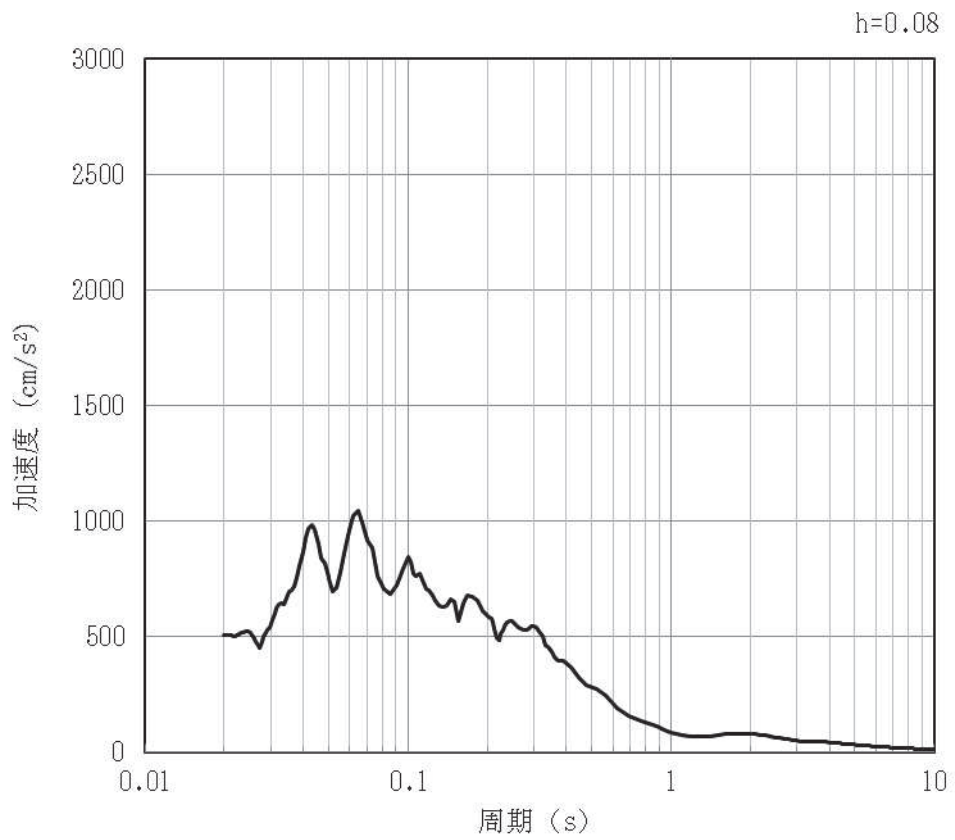


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-39 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 (水平方向: S s-F3)
(第 1 保管エリア③) (39/42)

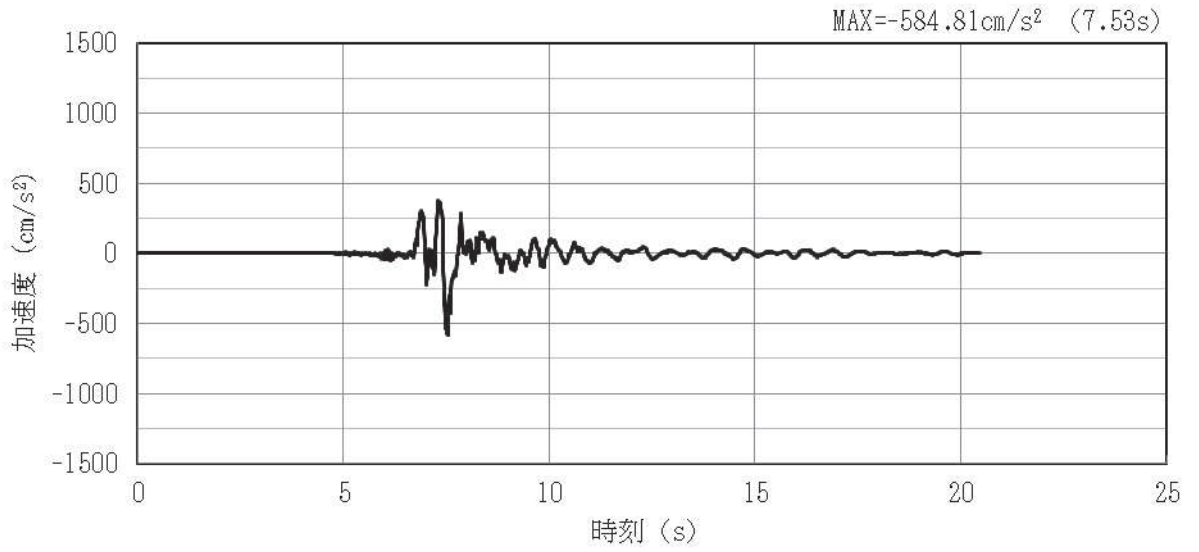


(a) 加速度時刻歴波形

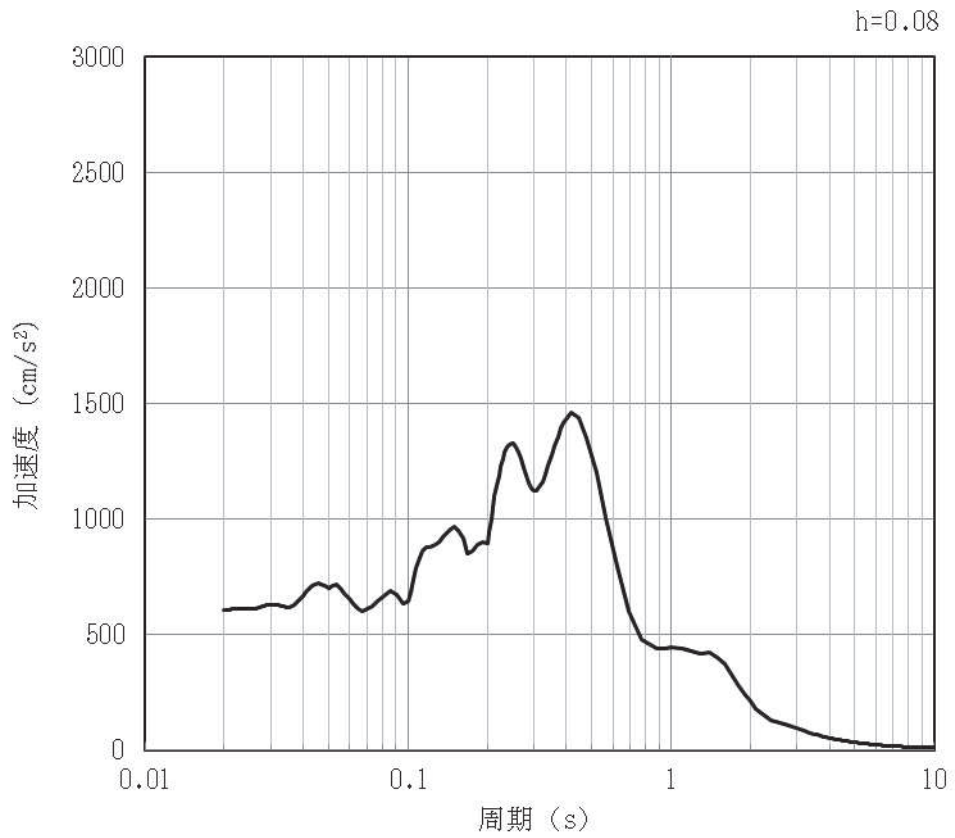


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-40 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 (鉛直方向: S s-F3)
(第 1 保管エリア③) (40/42)

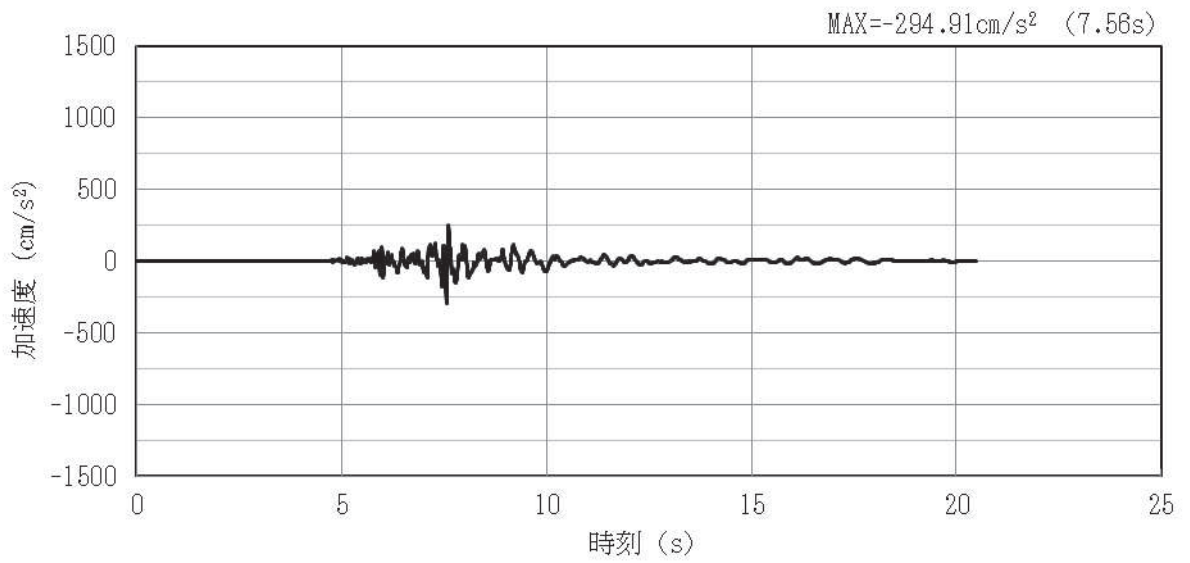


(a) 加速度時刻歴波形

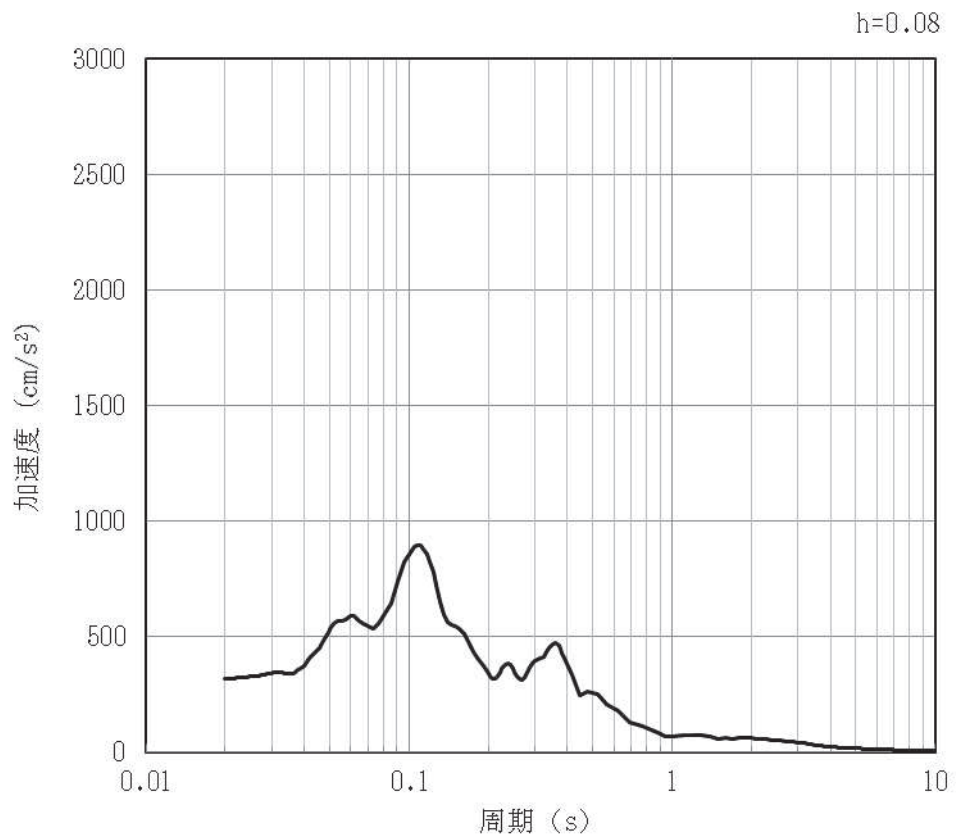


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-41 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 (水平方向 : S s-N1)
(第 1 保管エリア③) (41/42)



(a) 加速度時刻歴波形

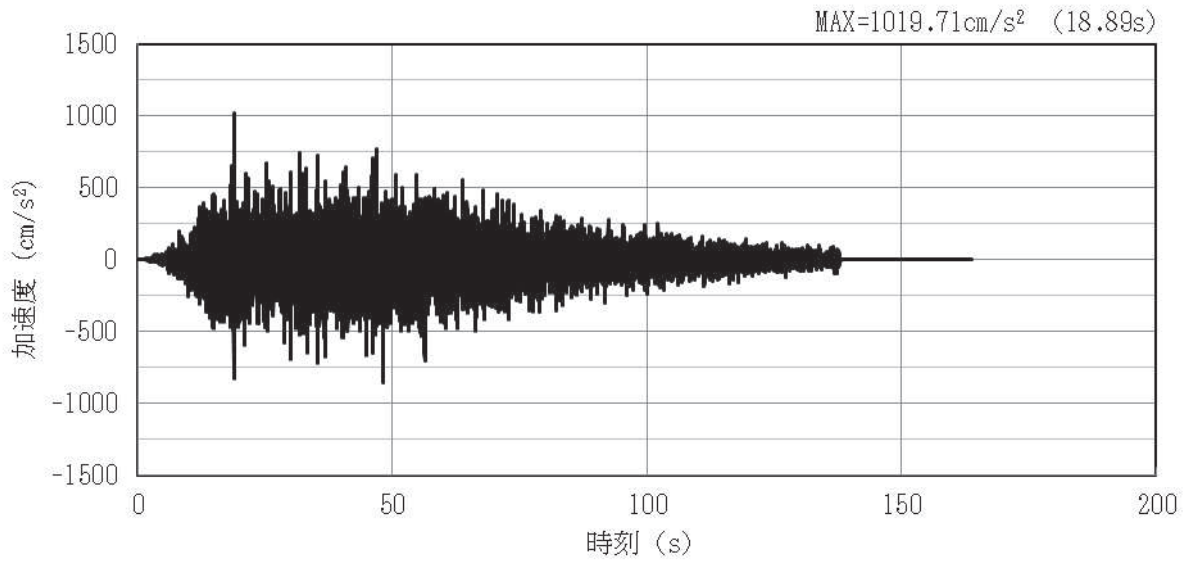


(b) 加速度応答スペクトル

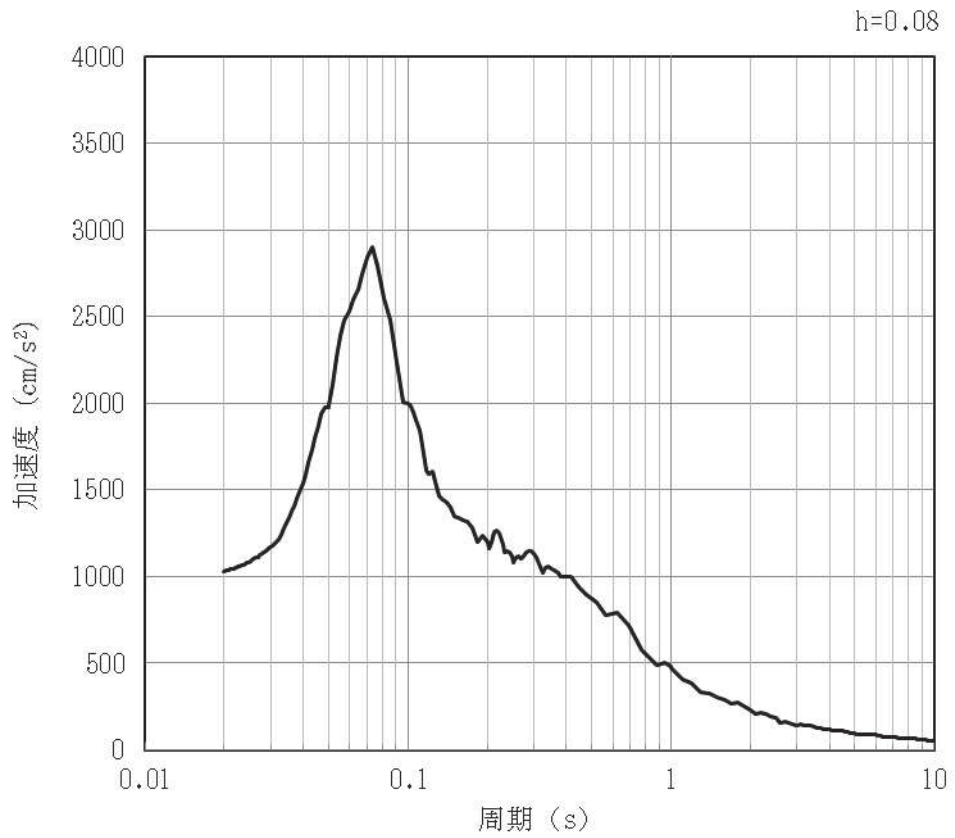
図 4-42 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル (鉛直方向: S s-N1)
(第1保管エリア③) (42/42)

4.3 第2保管エリア

二次元 FEM 解析により算定した第2保管エリアの地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル（基本ケース）を図 4-43～図 4-70 に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数（8%）を考慮し設定する。

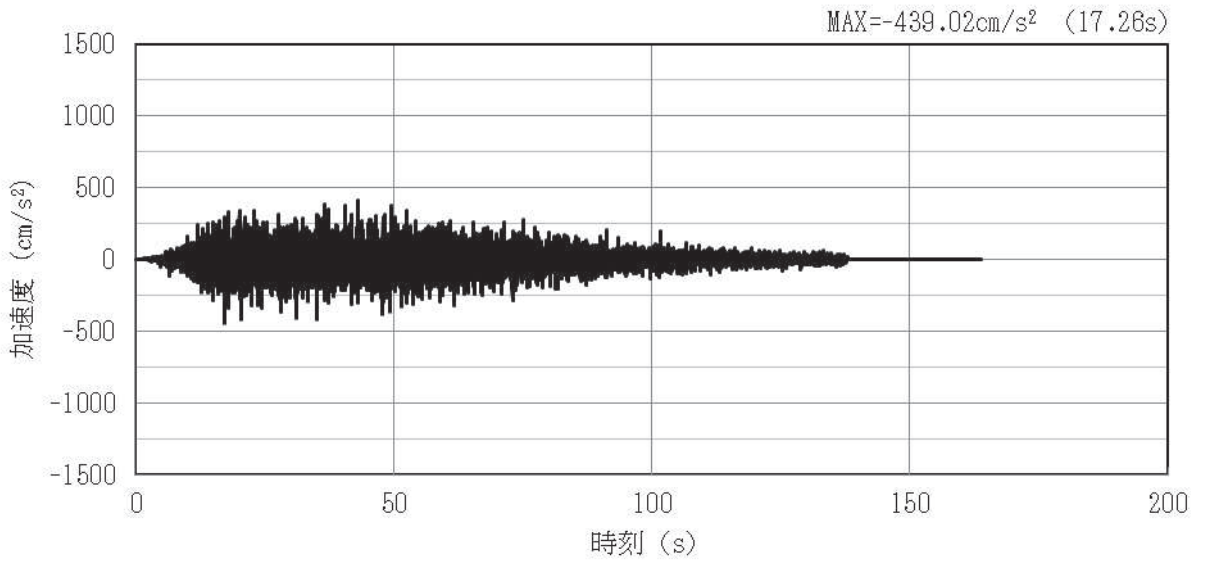


(a) 加速度時刻歴波形

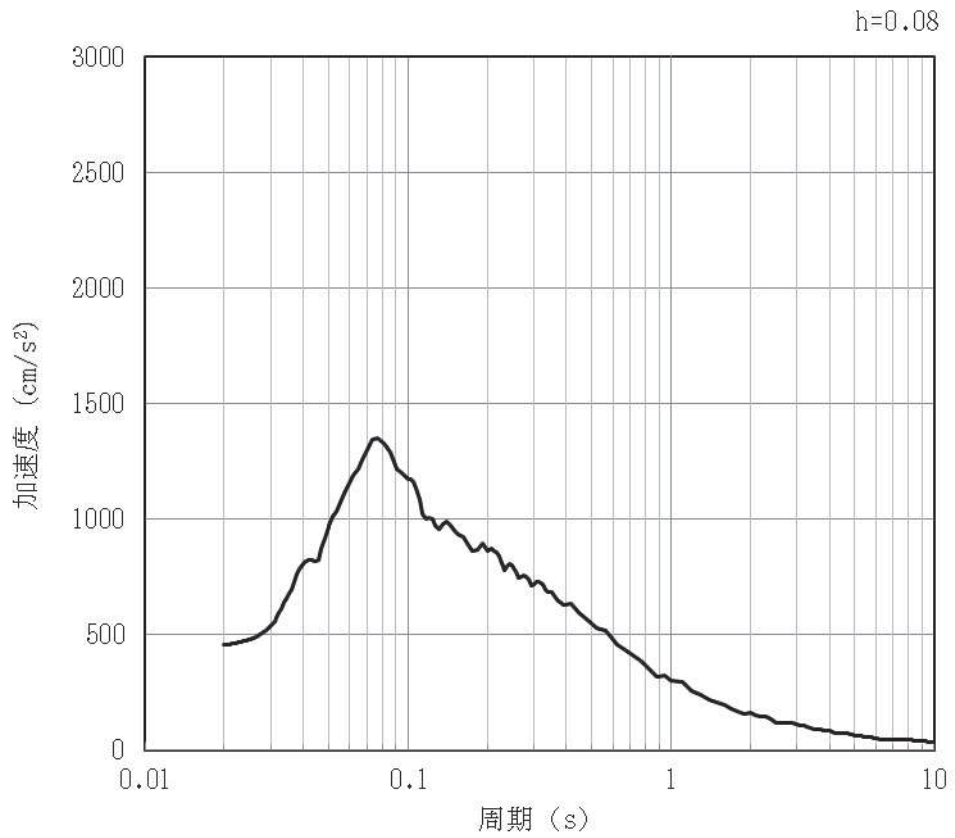


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-43 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 (水平方向 : S s-D1EW)
(第 2 保管エリア) (1/28)

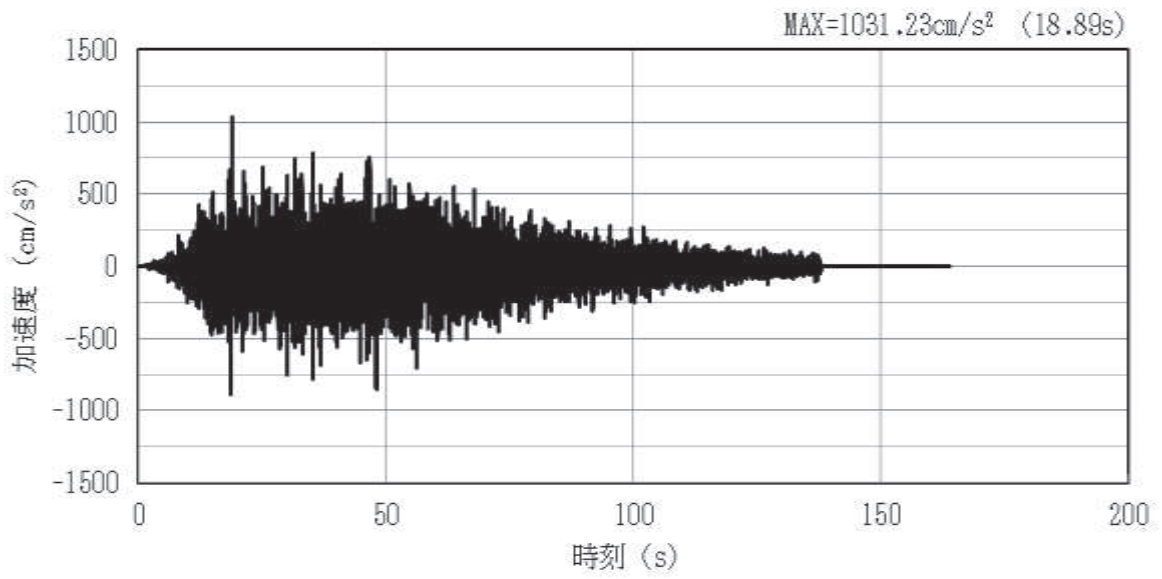


(a) 加速度時刻歴波形

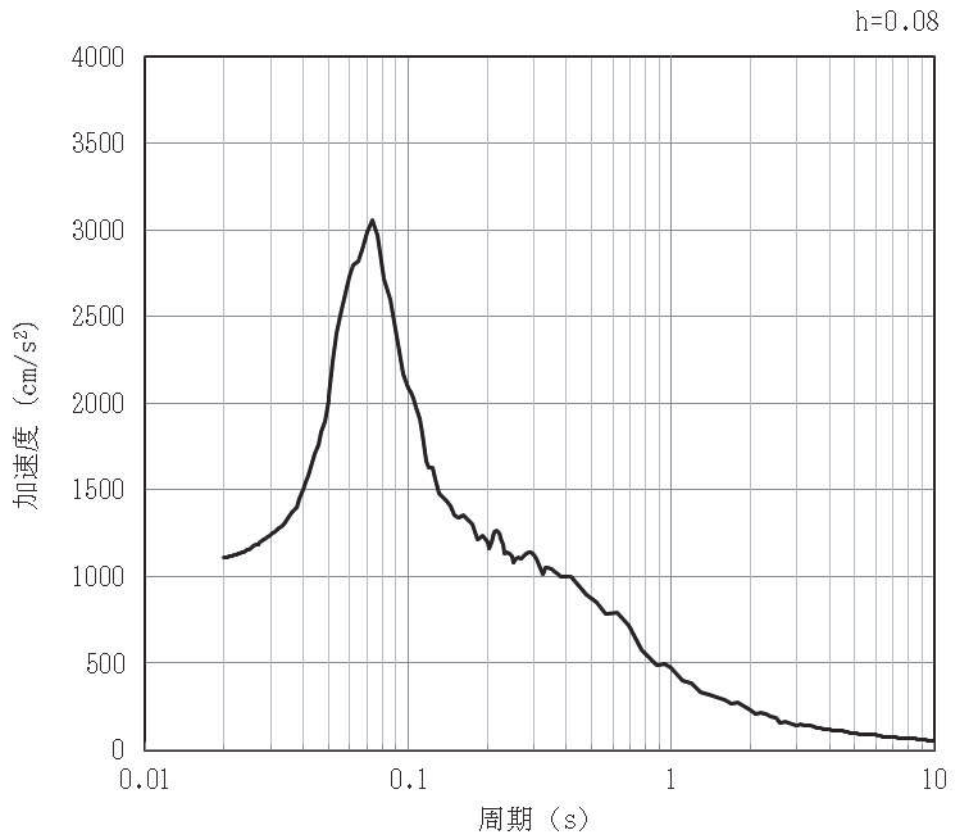


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-44 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 (鉛直方向: S s-D1EW)
(第 2 保管エリア) (2/28)

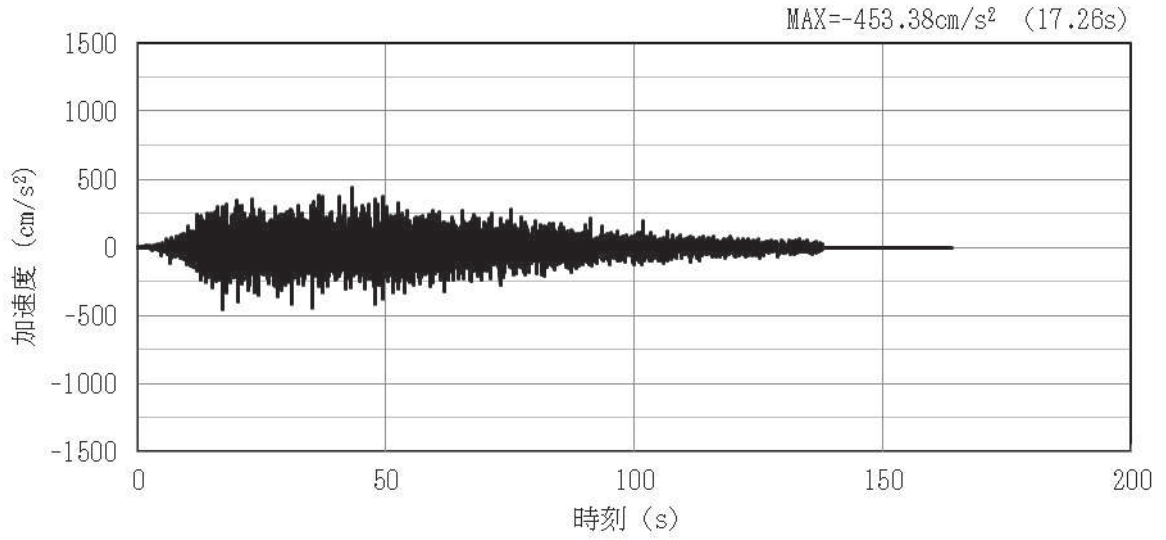


(a) 加速度時刻歴波形

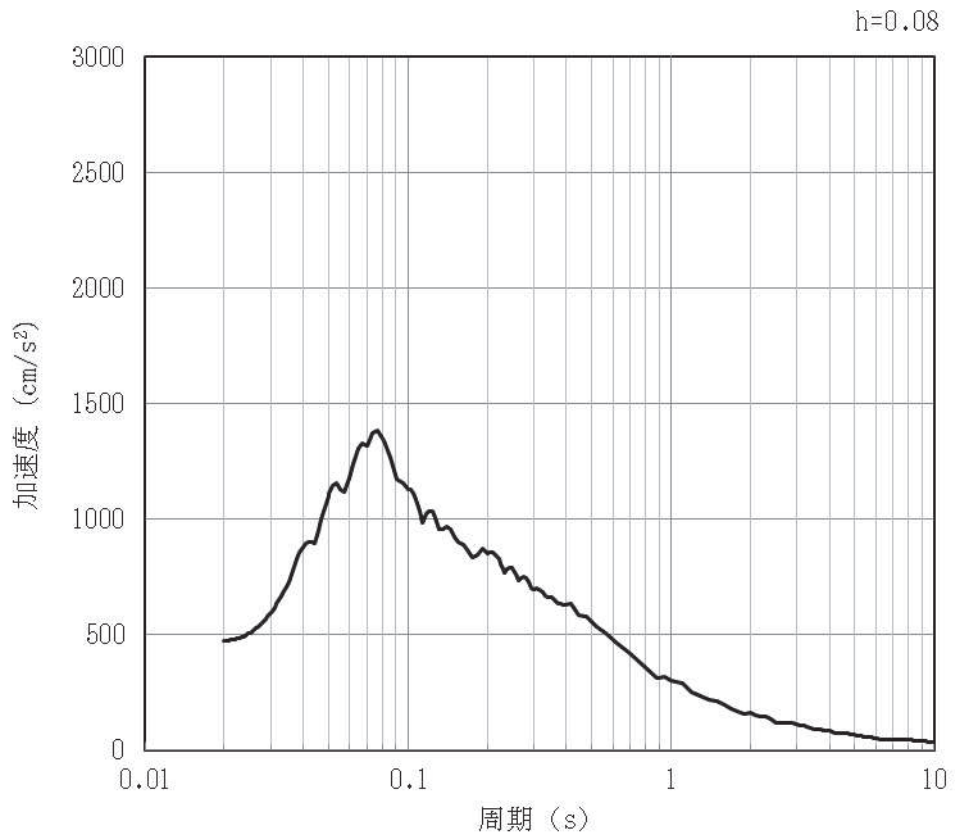


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-45 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 (水平方向: S s-D1N S)
(第 2 保管エリア) (3/28)

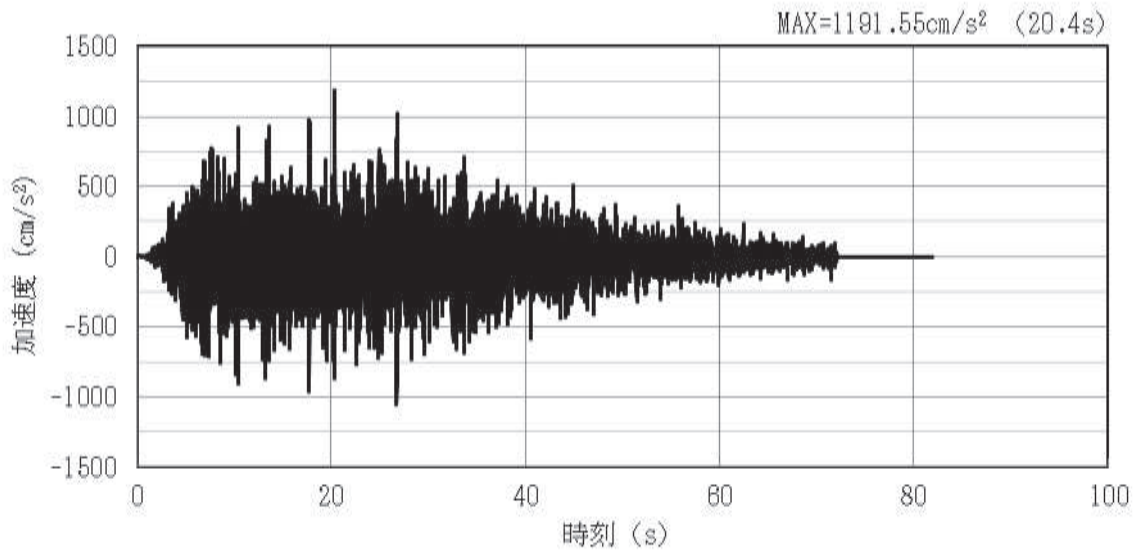


(a) 加速度時刻歴波形

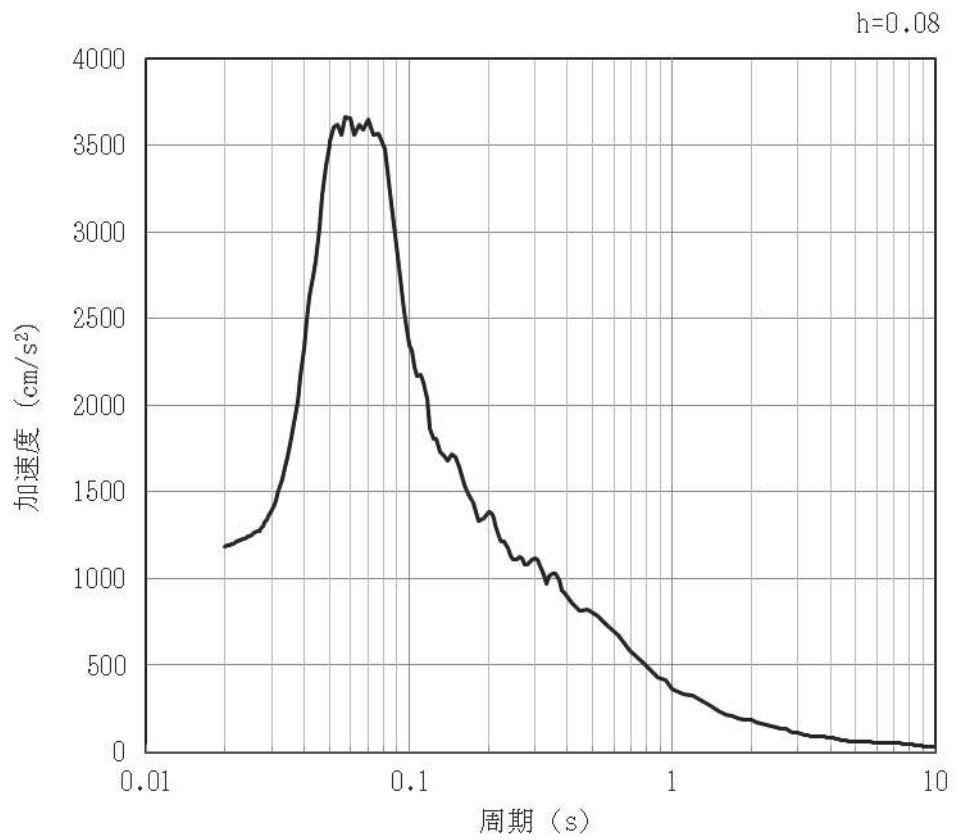


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-46 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 (鉛直方向: S s-D1NS)
(第 2 保管エリア) (4/28)

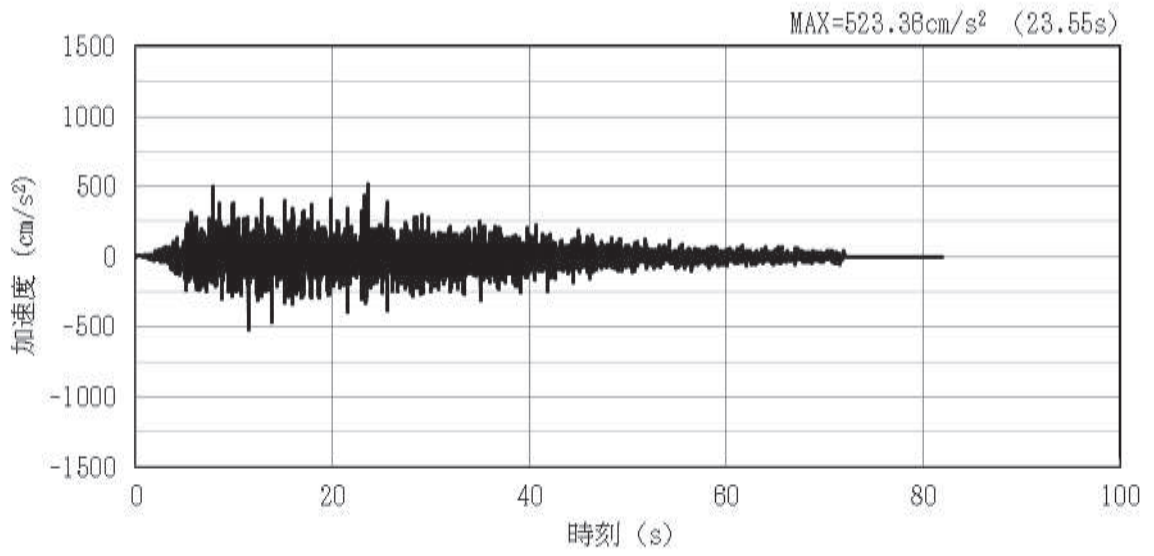


(a) 加速度時刻歴波形

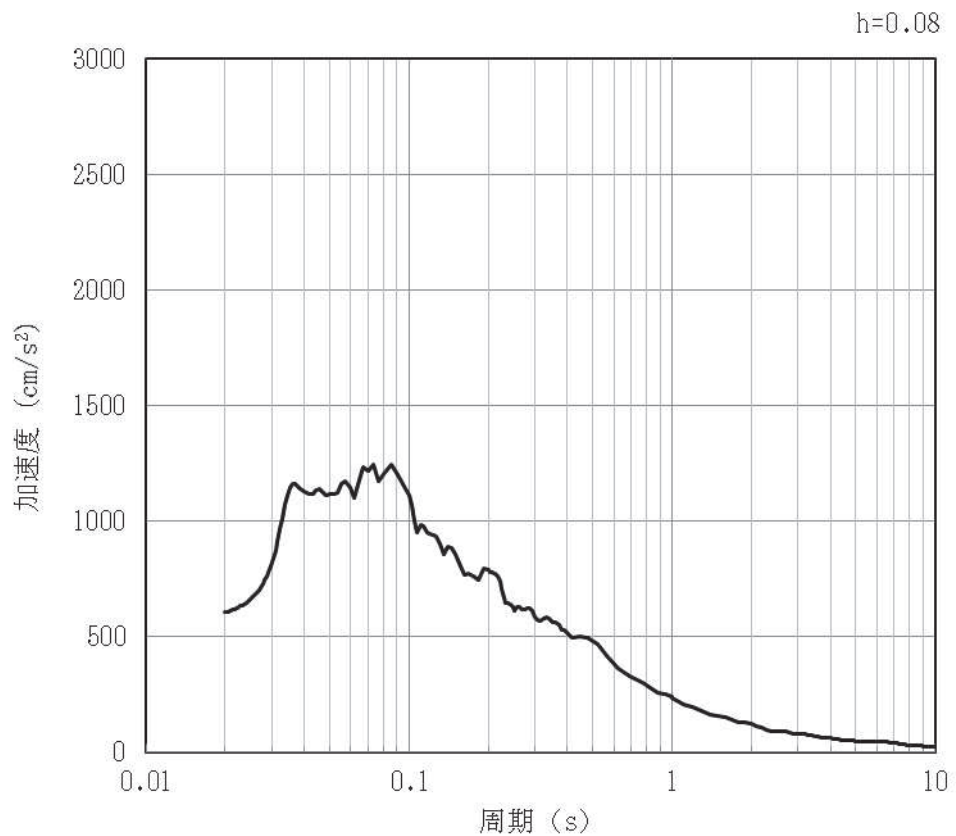


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-47 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（水平方向：S s-D2EW）
（第 2 保管エリア）（5/28）

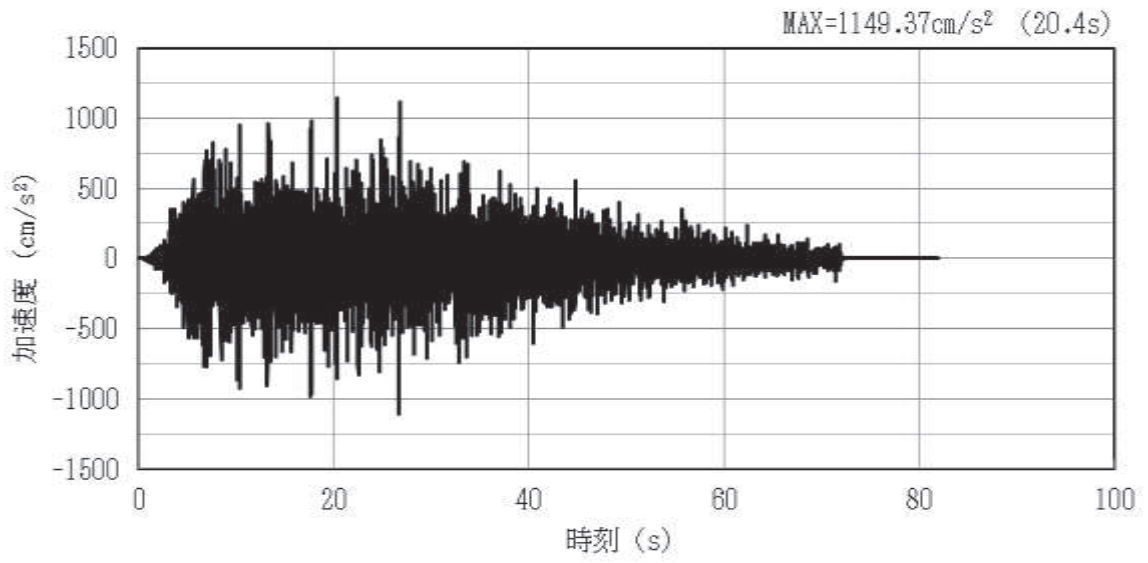


(a) 加速度時刻歴波形

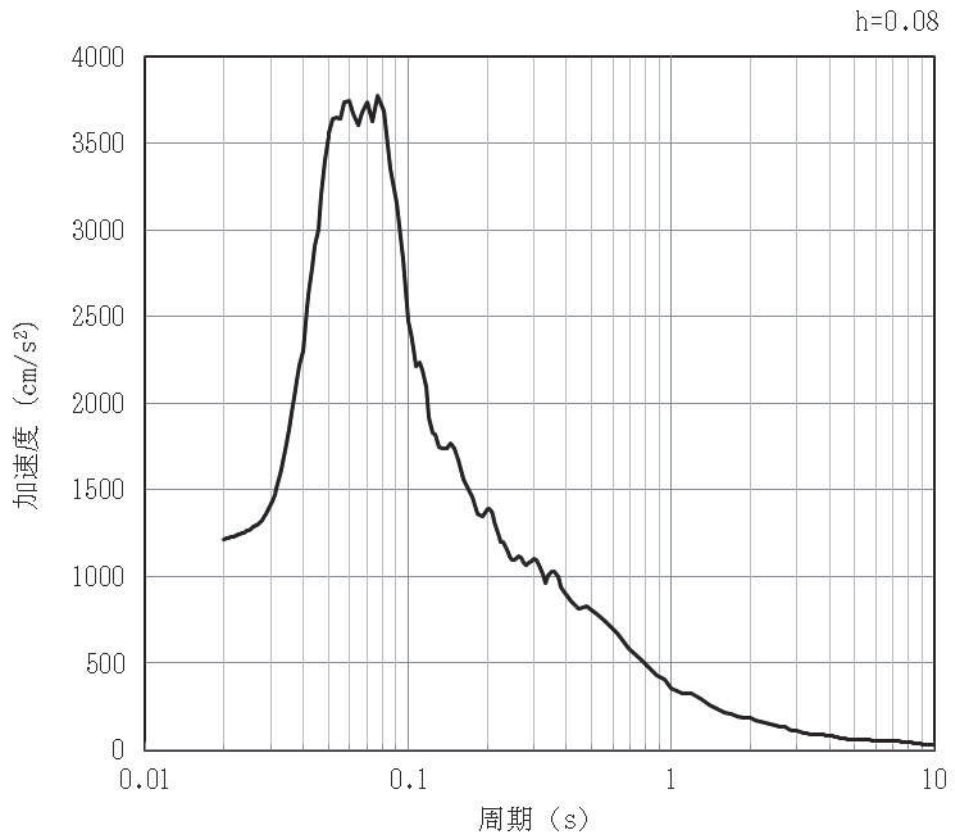


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-48 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 (鉛直方向: S s-D2EW)
(第 2 保管エリア) (6/28)

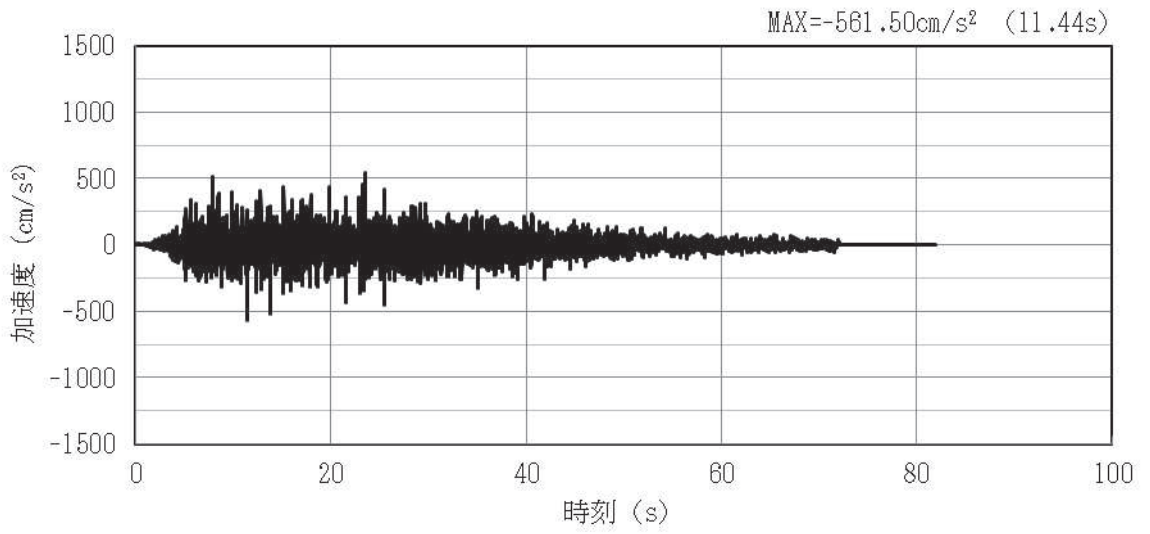


(a) 加速度時刻歴波形

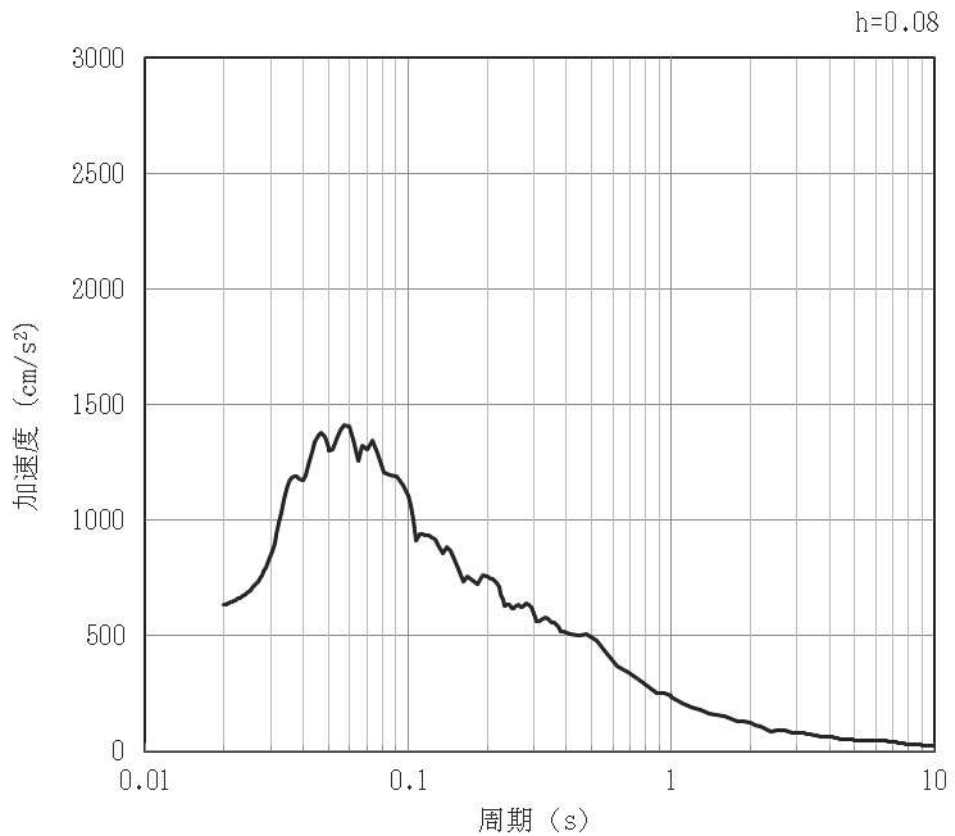


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-49 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（水平方向：S s-D2N S）
（第 2 保管エリア）（7/28）

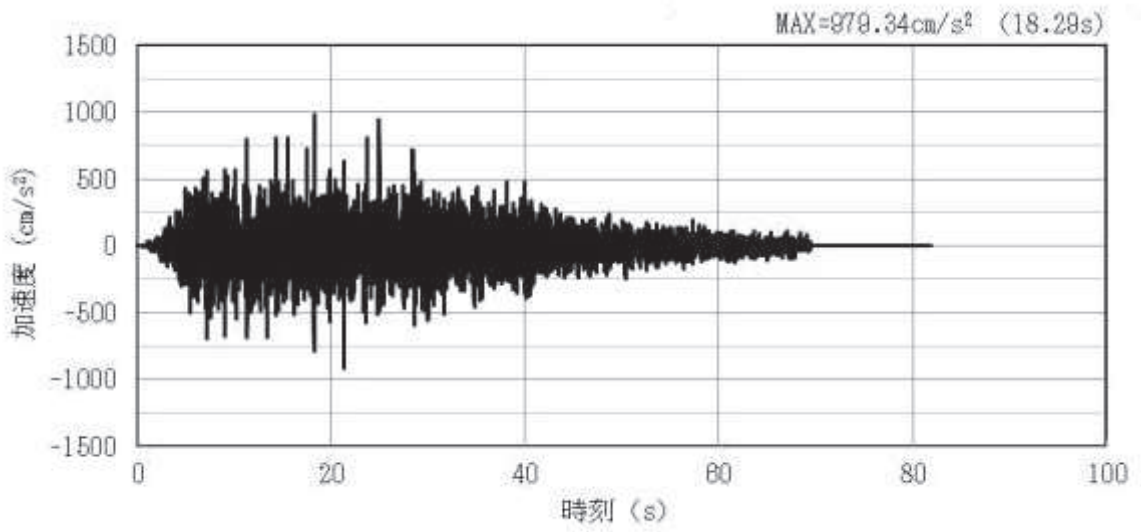


(a) 加速度時刻歴波形

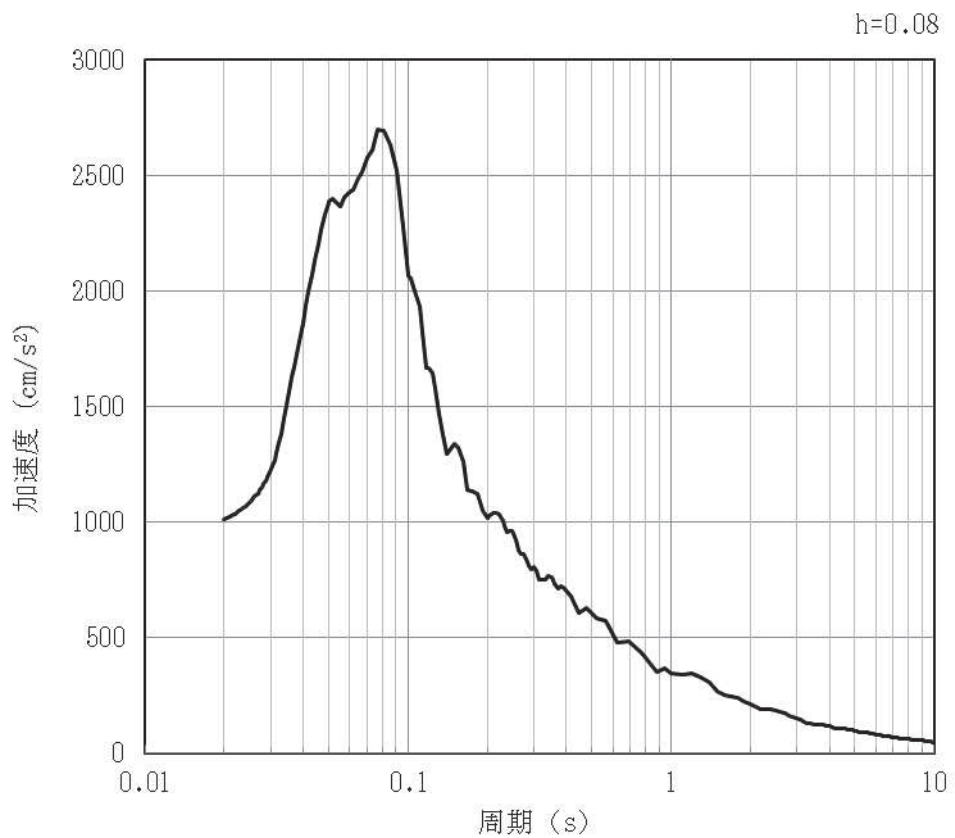


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-50 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 (鉛直方向: S s-D2N S)
(第 2 保管エリア) (8/28)

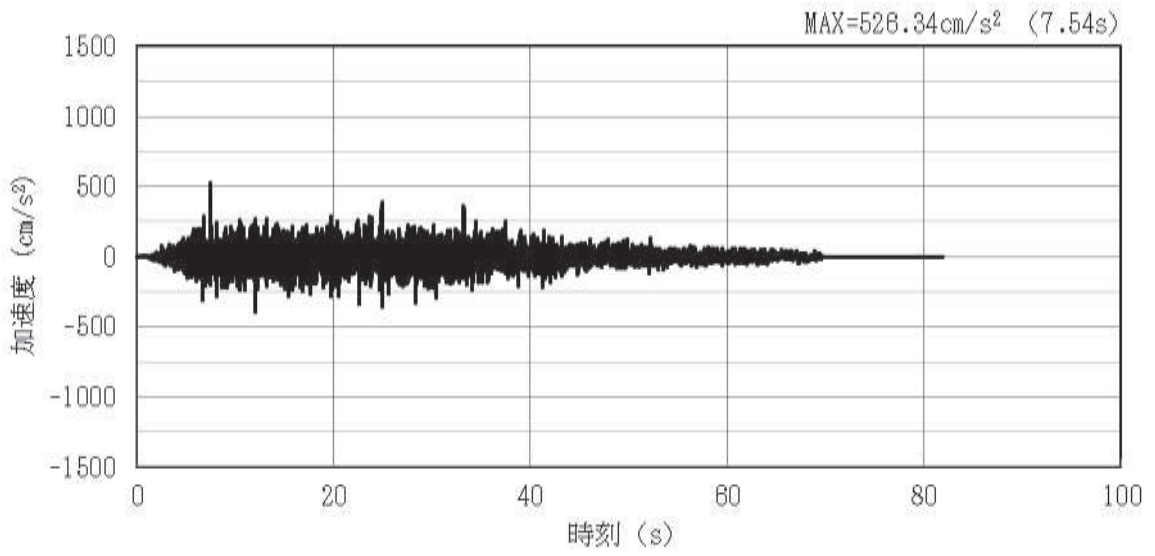


(a) 加速度時刻歴波形

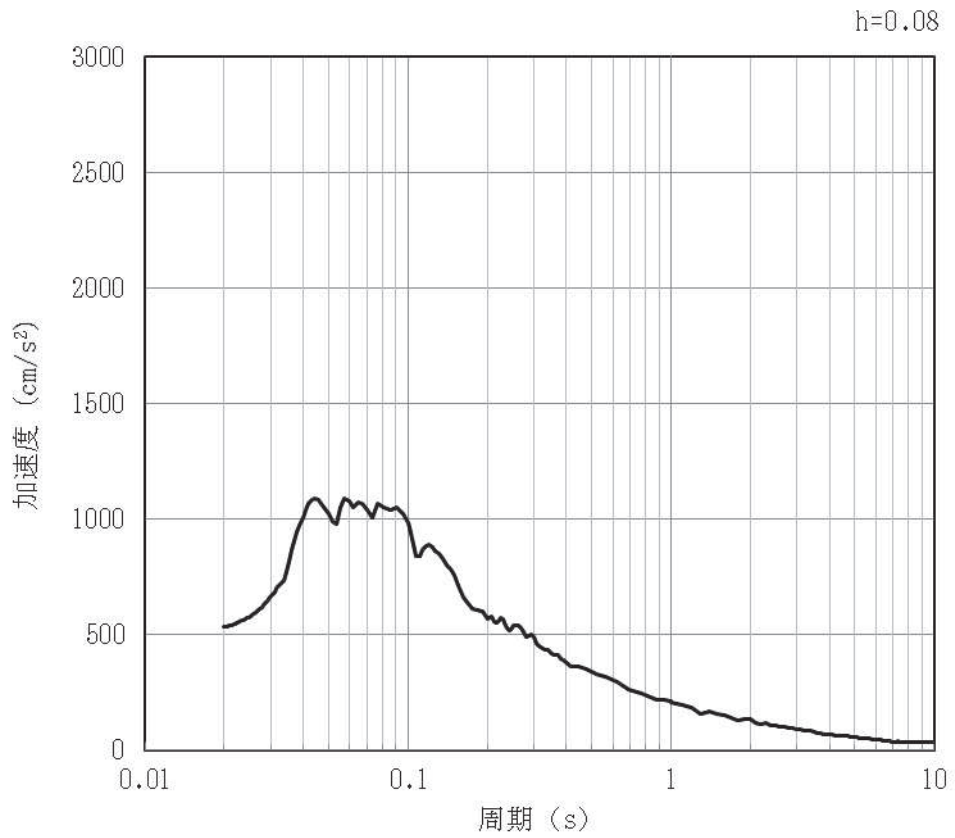


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-51 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 (水平方向: S s-D3E W)
(第 2 保管エリア) (9/28)

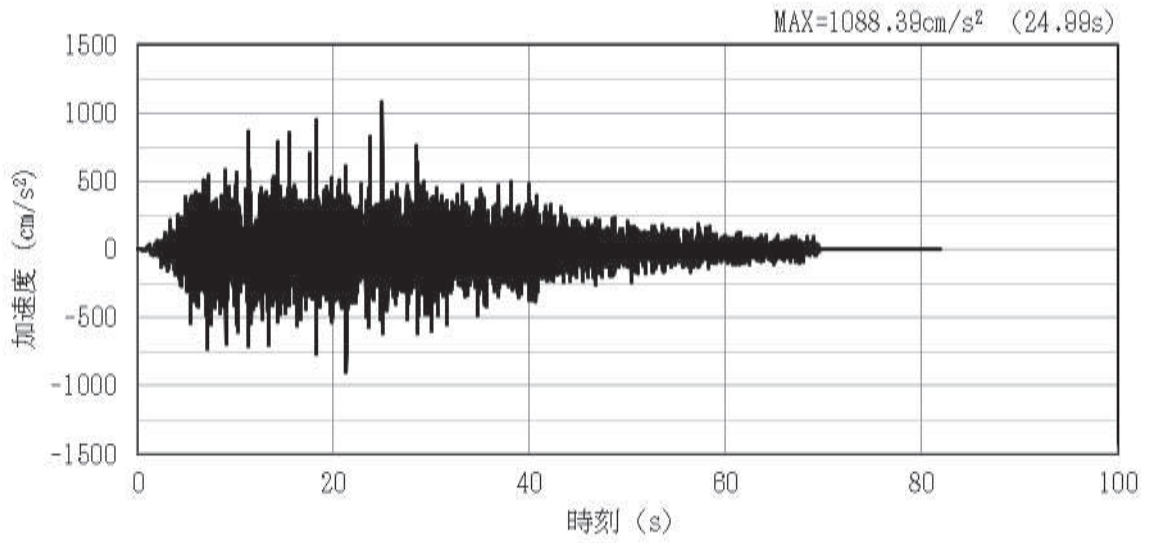


(a) 加速度時刻歴波形

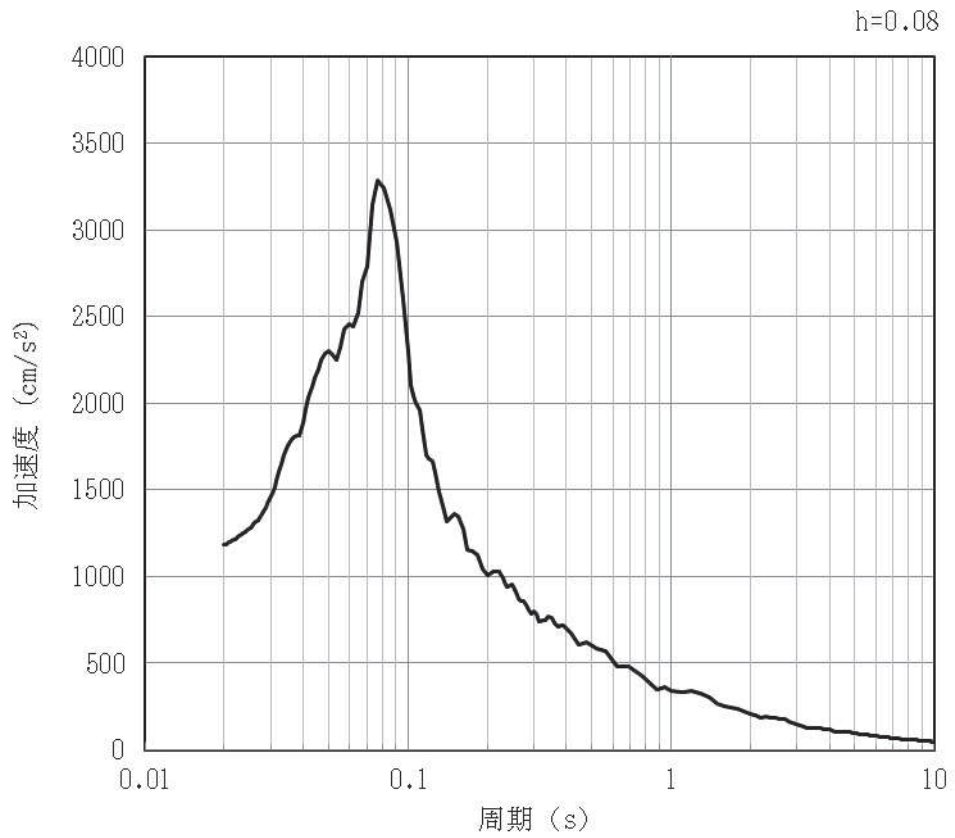


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-52 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 (鉛直方向: S s-D3EW)
(第 2 保管エリア) (10/28)

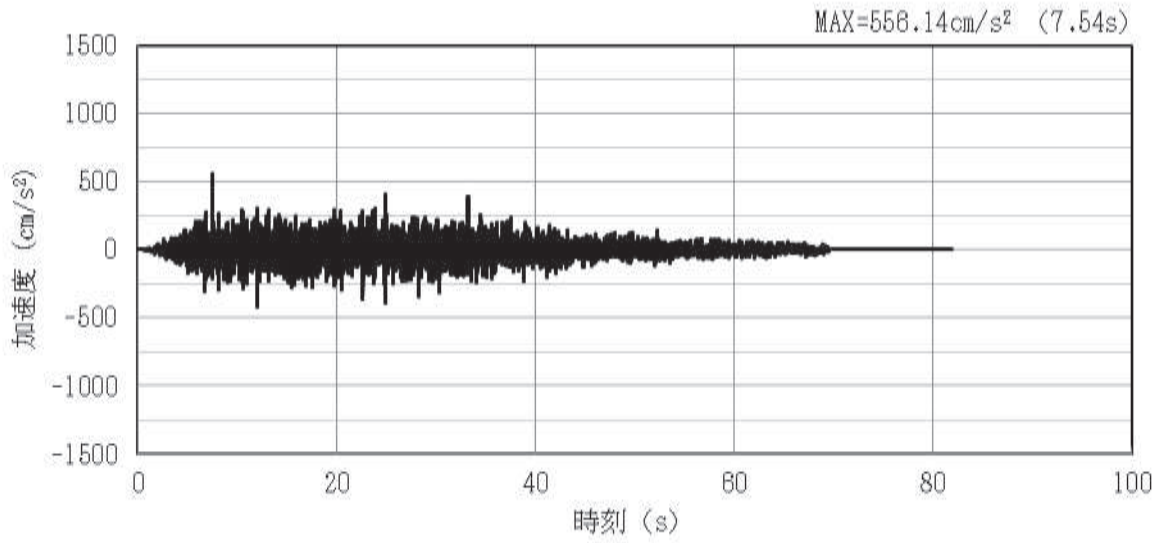


(a) 加速度時刻歴波形

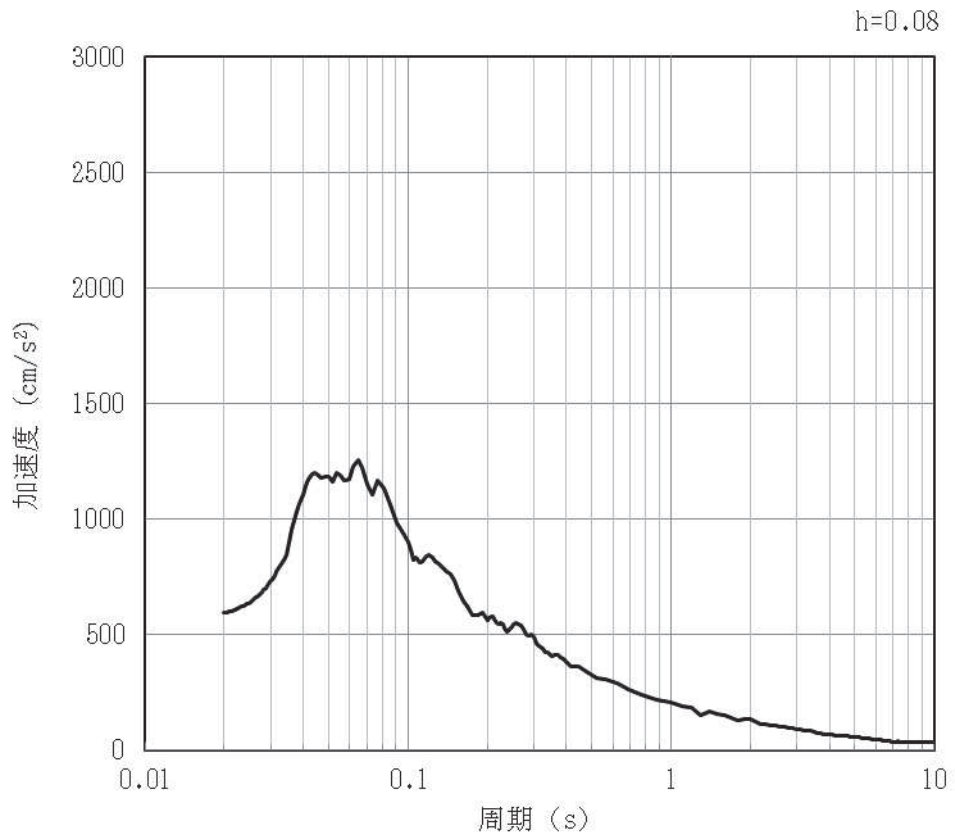


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-53 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 (水平方向 : S s-D3N S)
(第 2 保管エリア) (11/28)

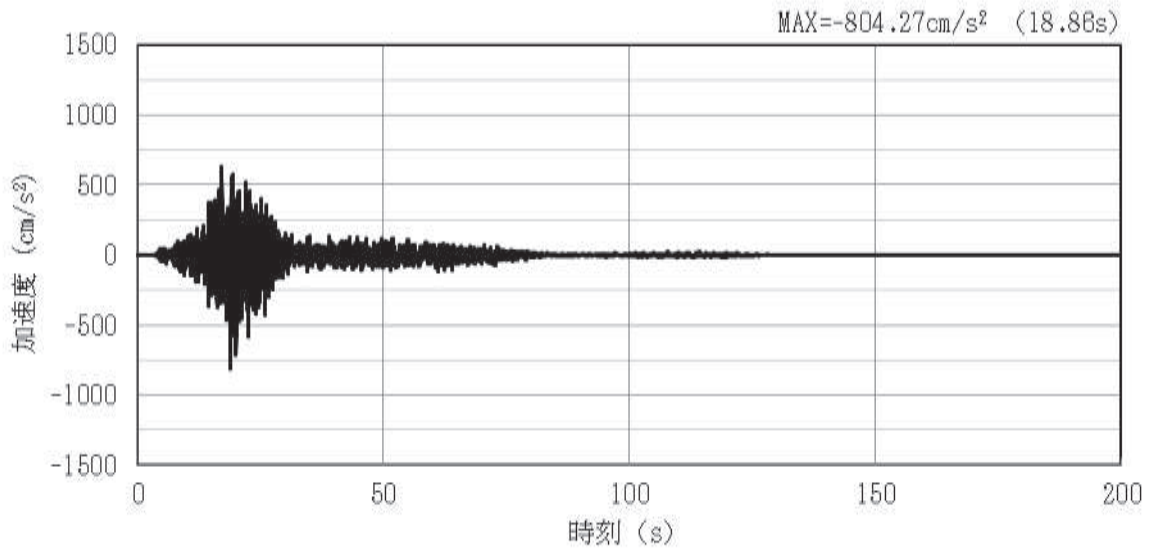


(a) 加速度時刻歴波形

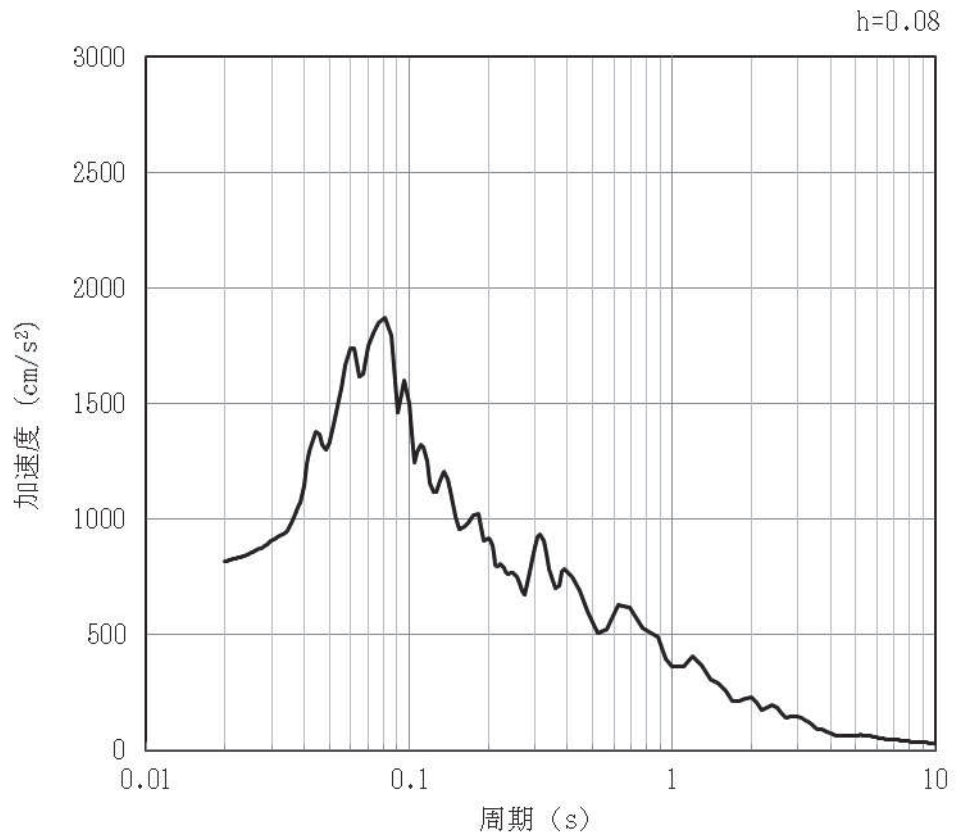


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-54 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 (鉛直方向: S s-D3N S)
(第 2 保管エリア) (12/28)

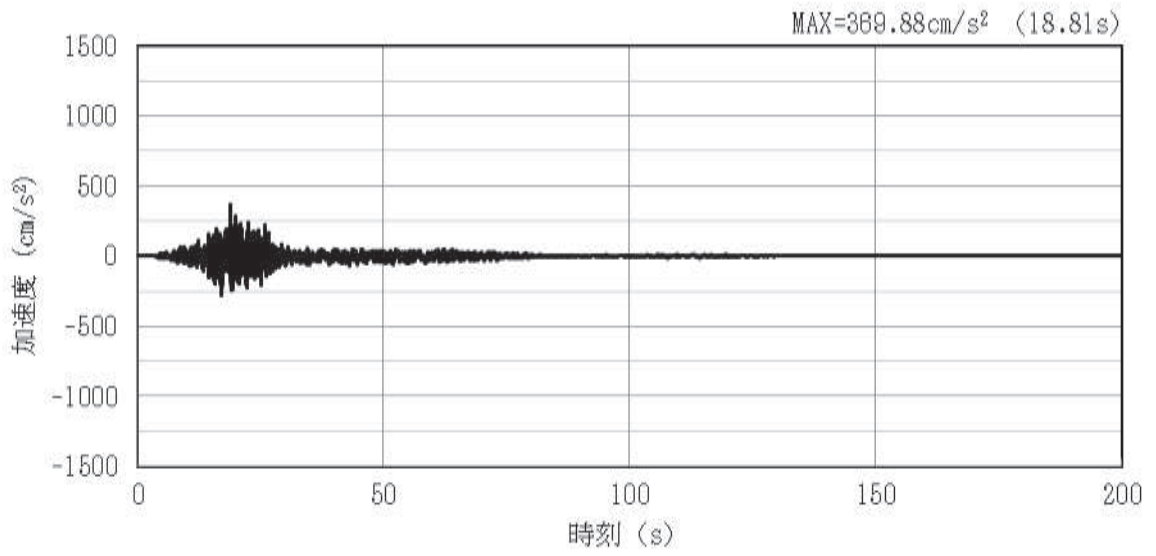


(a) 加速度時刻歴波形

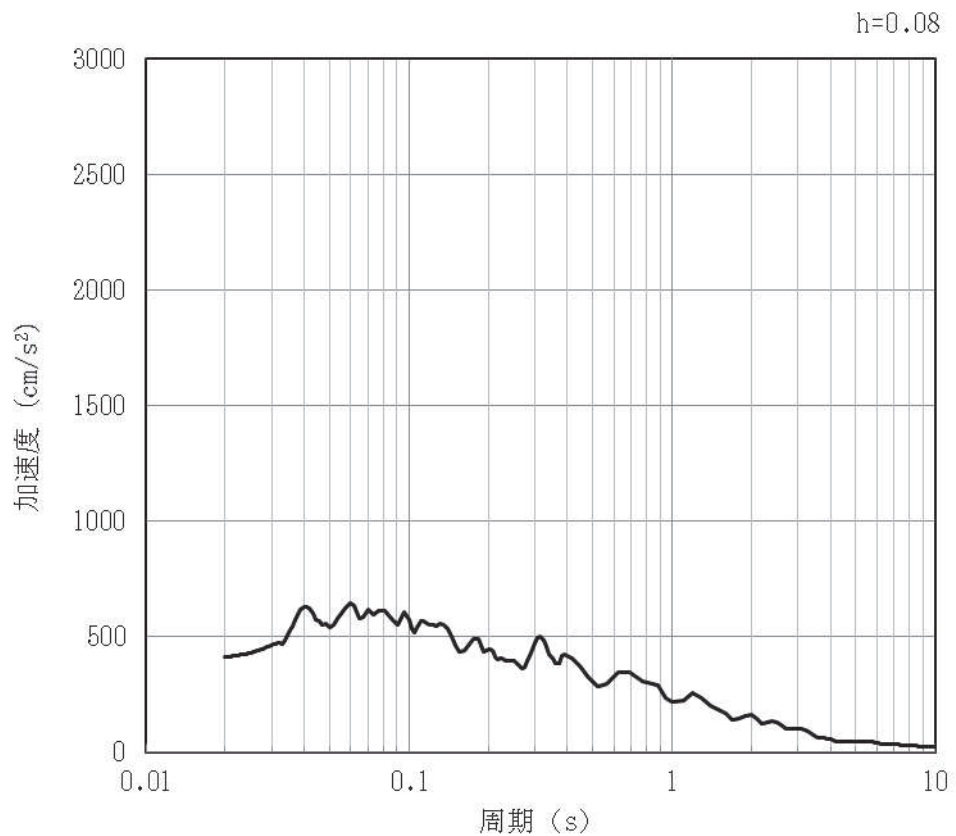


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-55 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 (水平方向: S s-F1EW)
(第 2 保管エリア) (13/28)

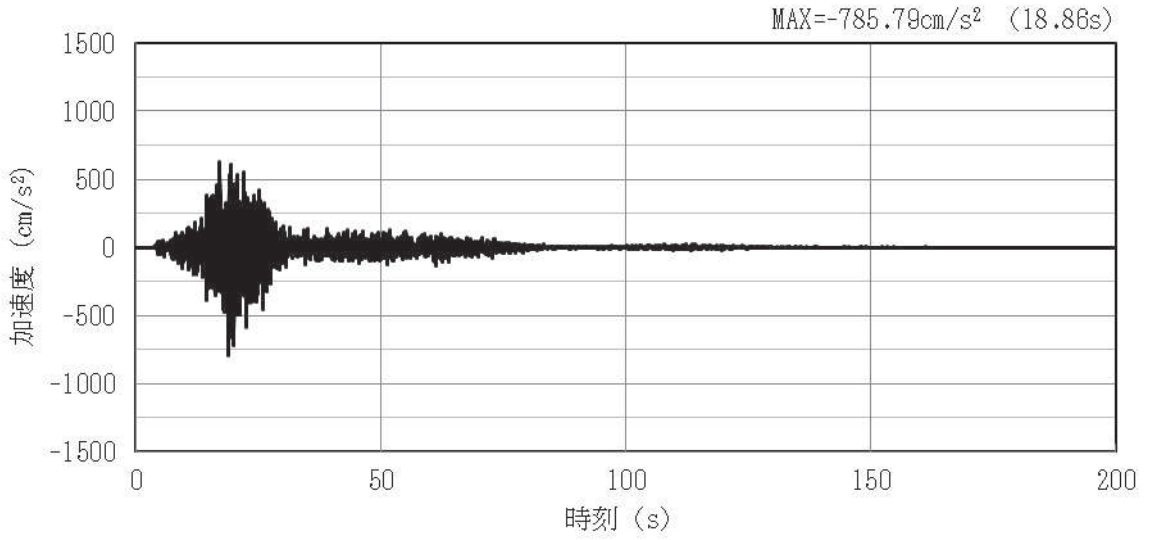


(a) 加速度時刻歴波形

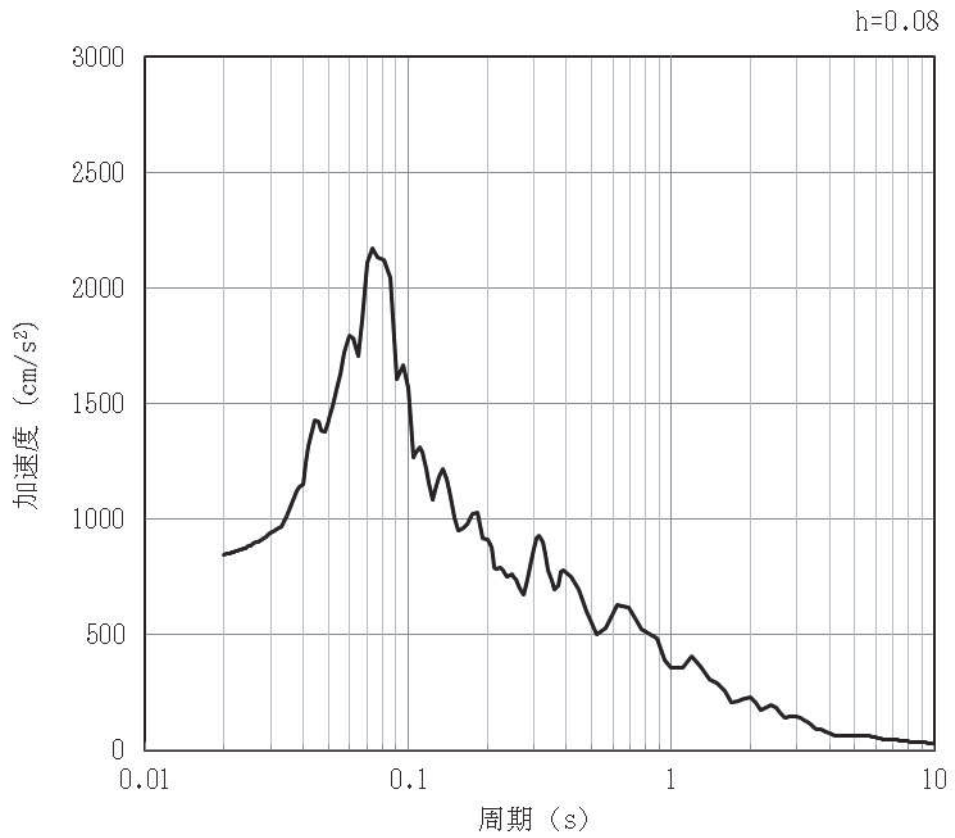


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-56 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 (鉛直方向: S s-F1EW)
(第 2 保管エリア) (14/28)

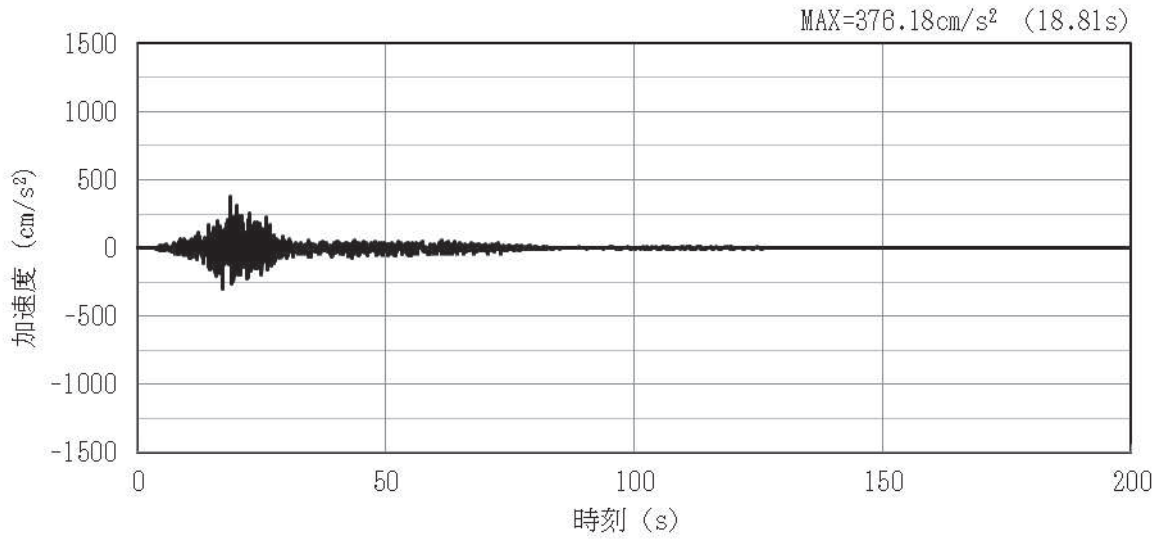


(a) 加速度時刻歴波形

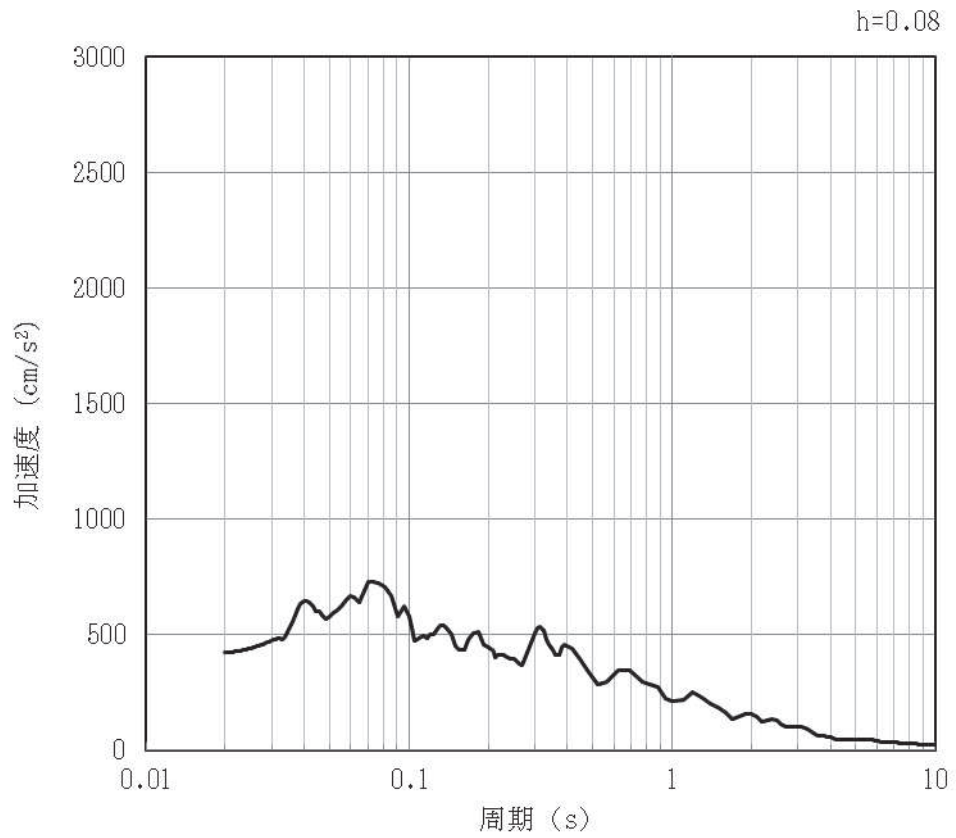


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-57 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 (水平方向: S s-F1NS)
(第 2 保管エリア) (15/28)

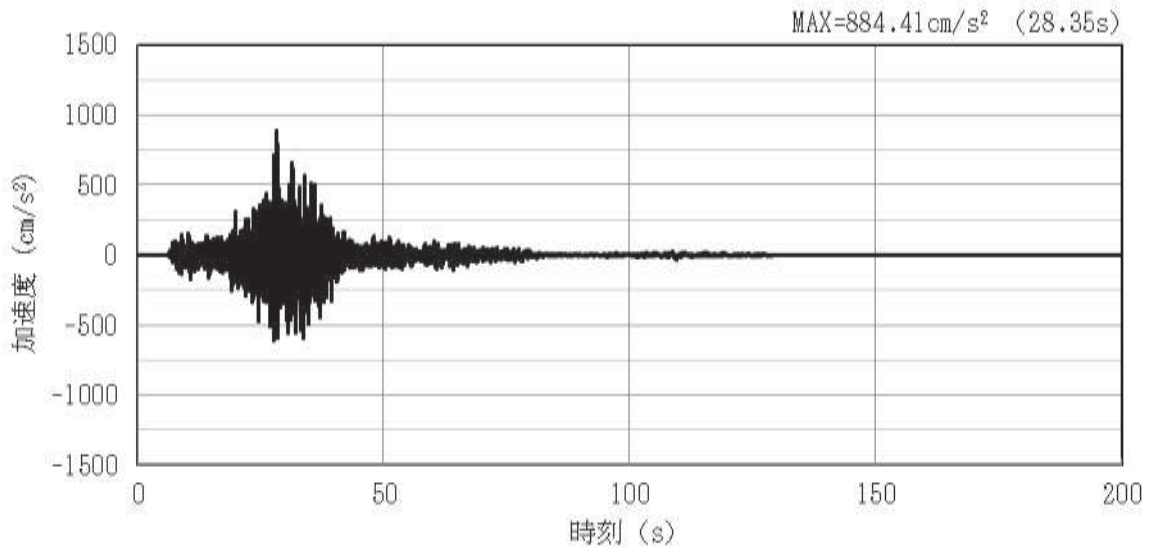


(a) 加速度時刻歴波形

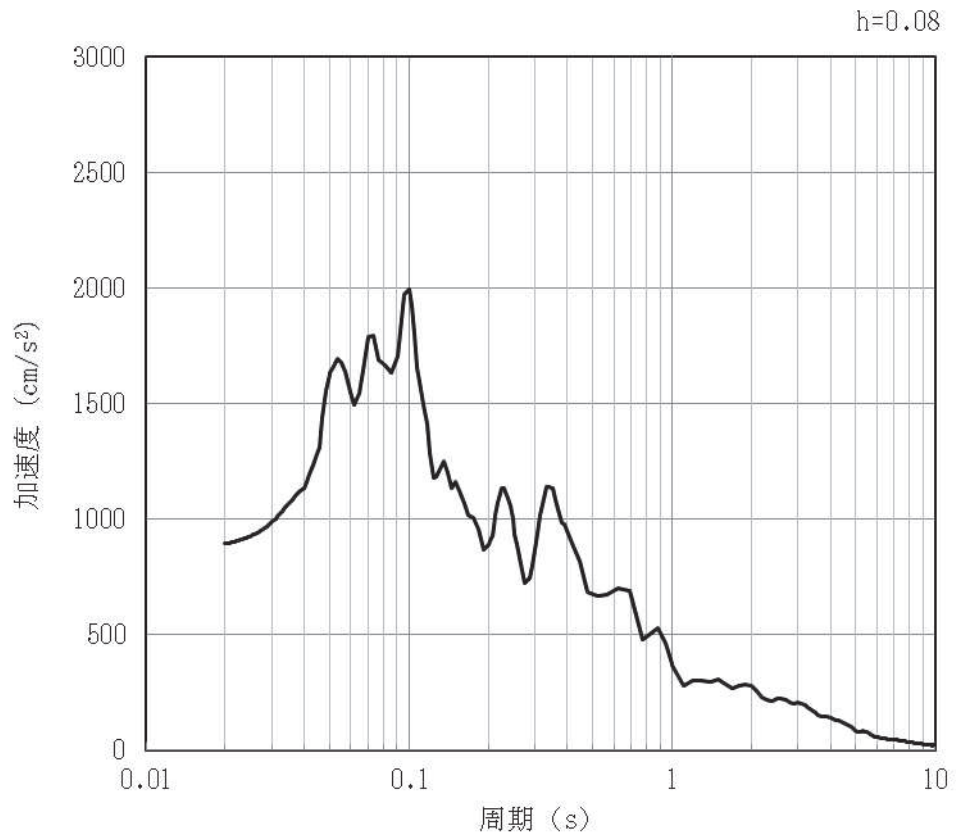


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-58 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 (鉛直方向: S s-F1NS)
(第 2 保管エリア) (16/28)

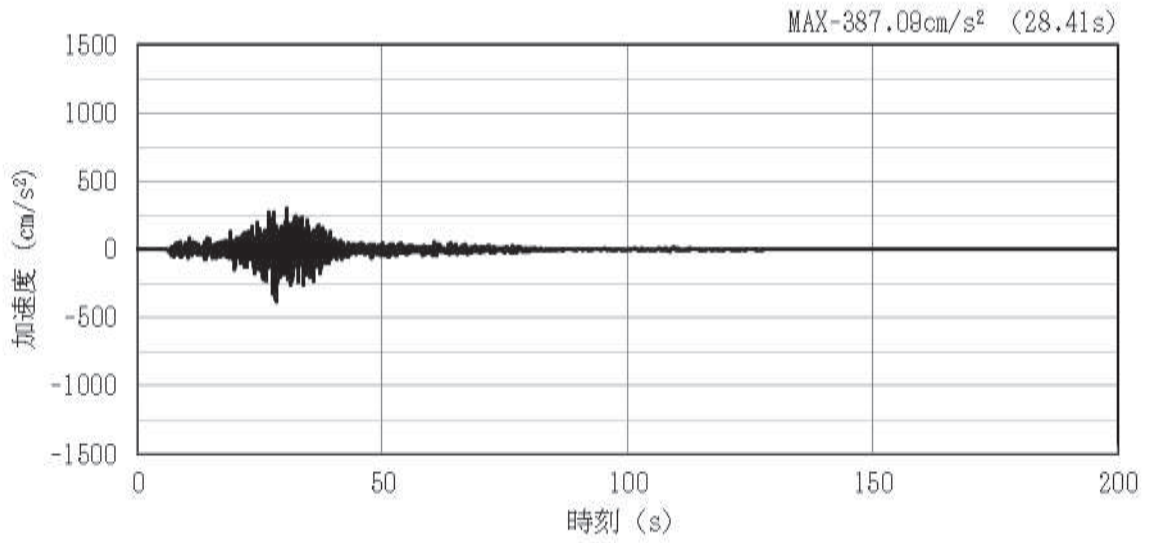


(a) 加速度時刻歴波形

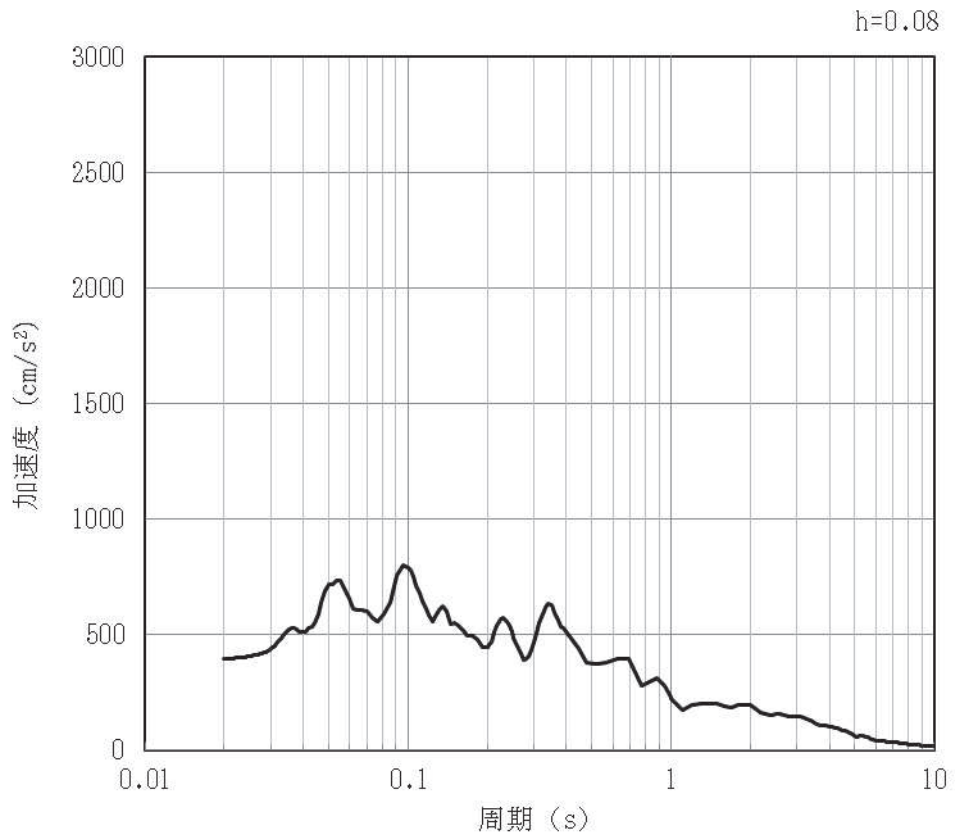


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-59 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 (水平方向: S s-F2EW)
(第2保管エリア) (17/28)

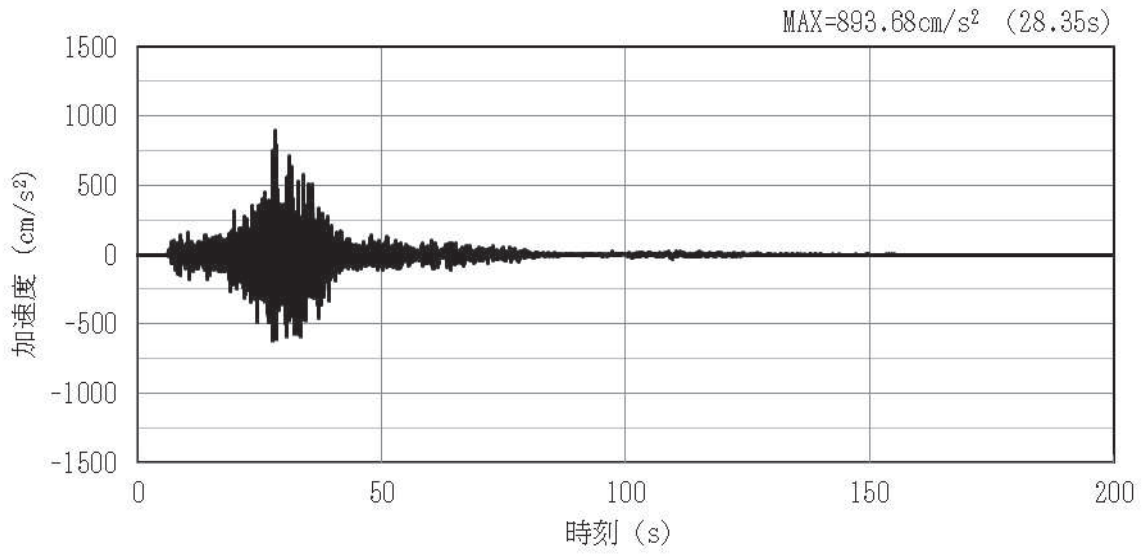


(a) 加速度時刻歴波形

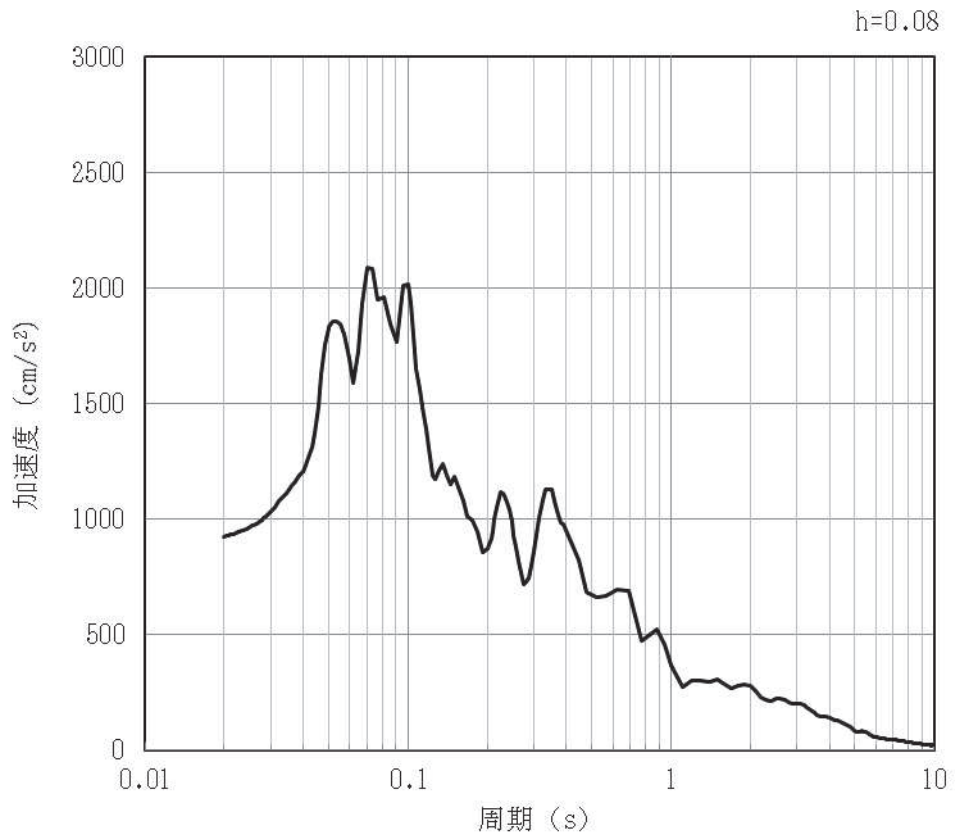


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-60 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 (鉛直方向: S s-F2EW)
(第 2 保管エリア) (18/28)

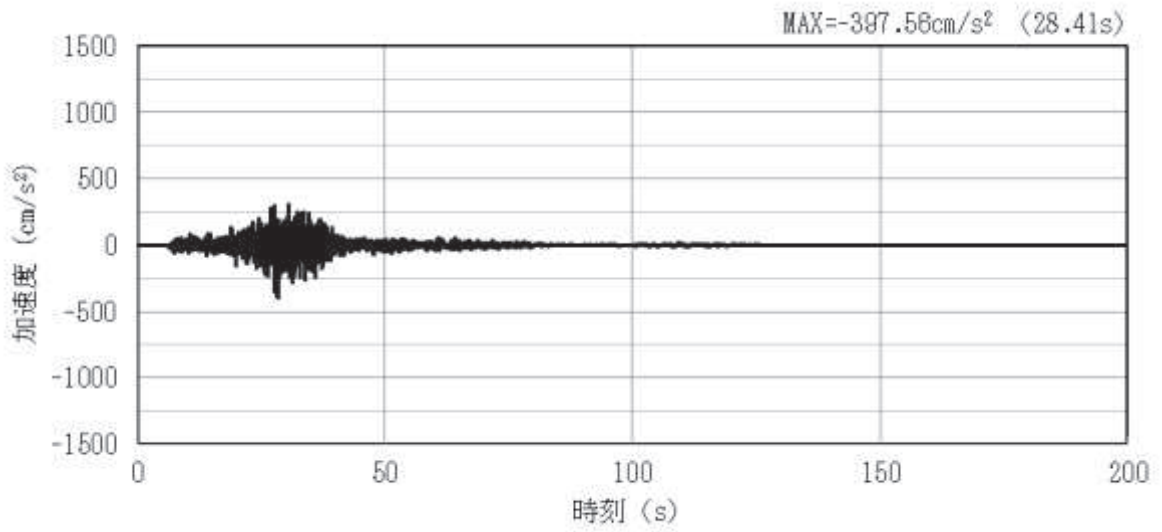


(a) 加速度時刻歴波形

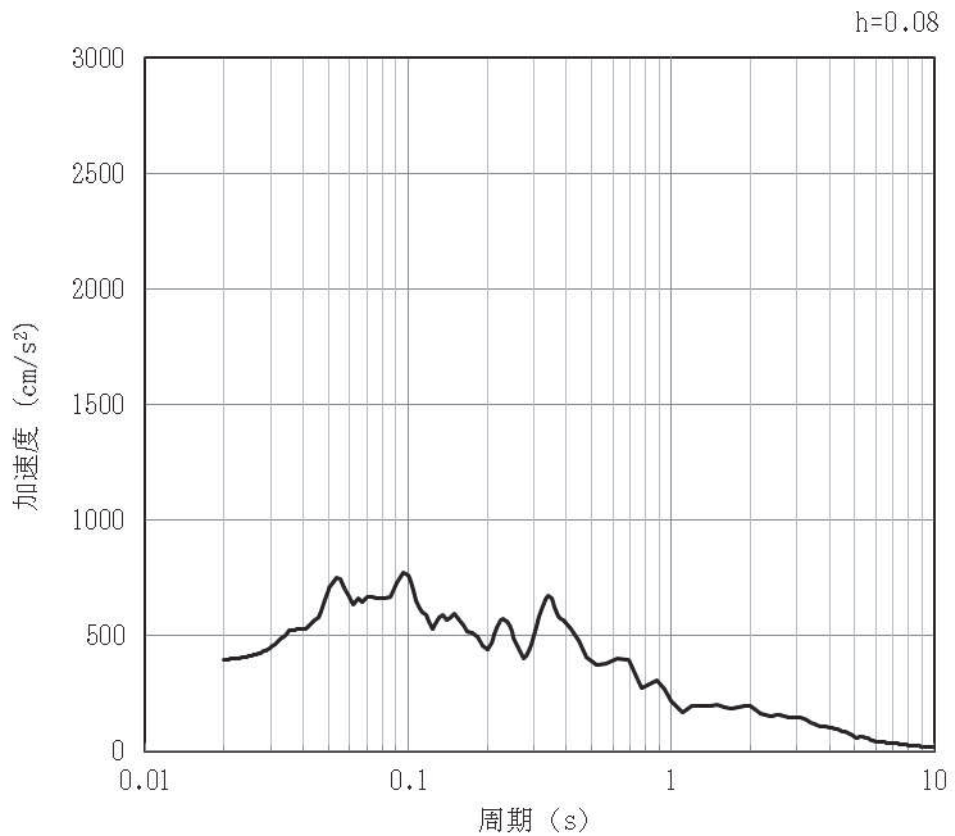


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-61 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（水平方向：S s-F2N S）
（第 2 保管エリア）（19/28）

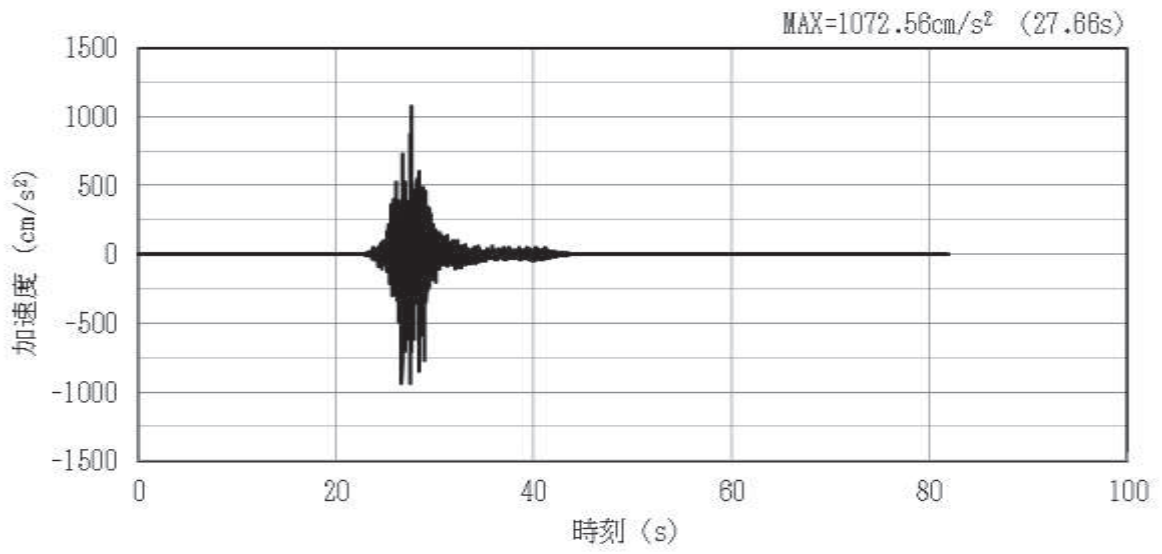


(a) 加速度時刻歴波形

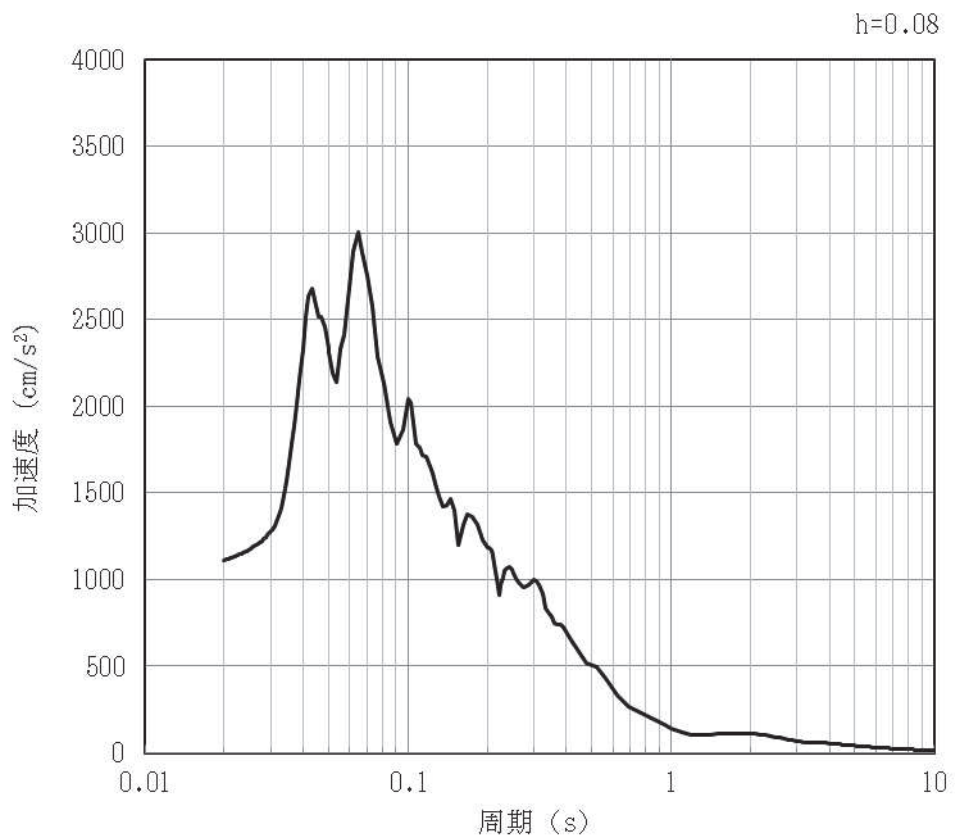


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-62 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（鉛直方向：S s-F2NS）
（第 2 保管エリア）（20/28）

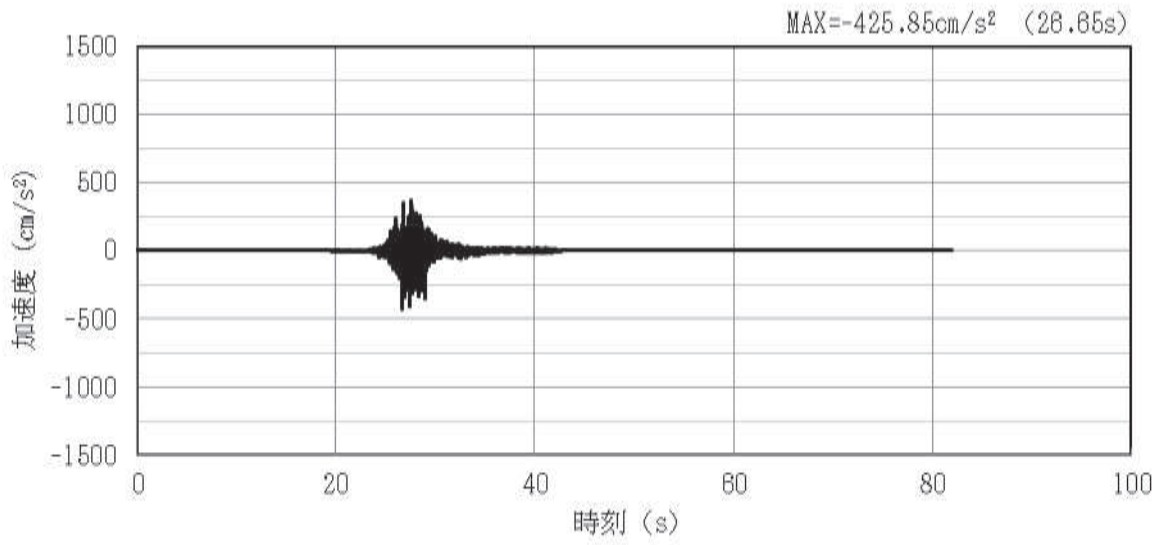


(a) 加速度時刻歴波形

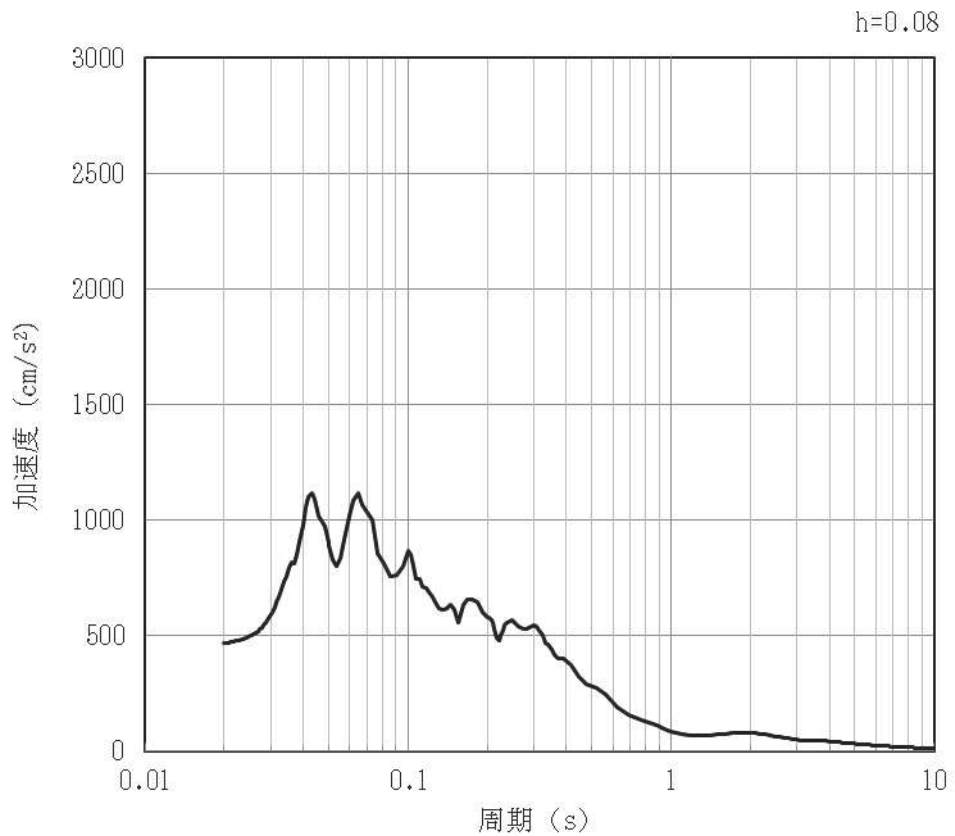


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-63 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 (水平方向: S s-F3EW)
(第2保管エリア) (21/28)

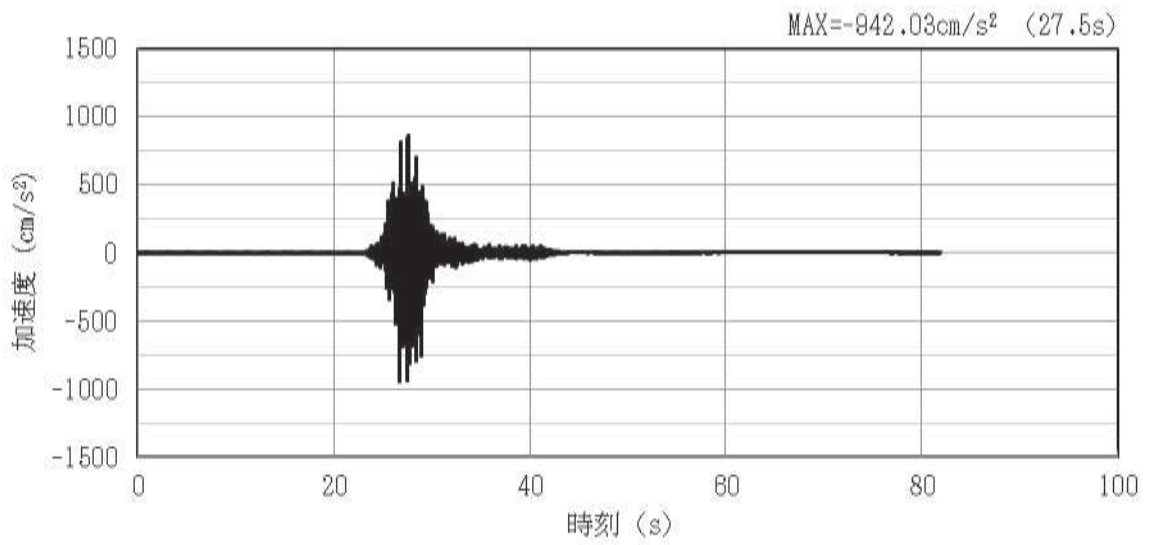


(a) 加速度時刻歴波形

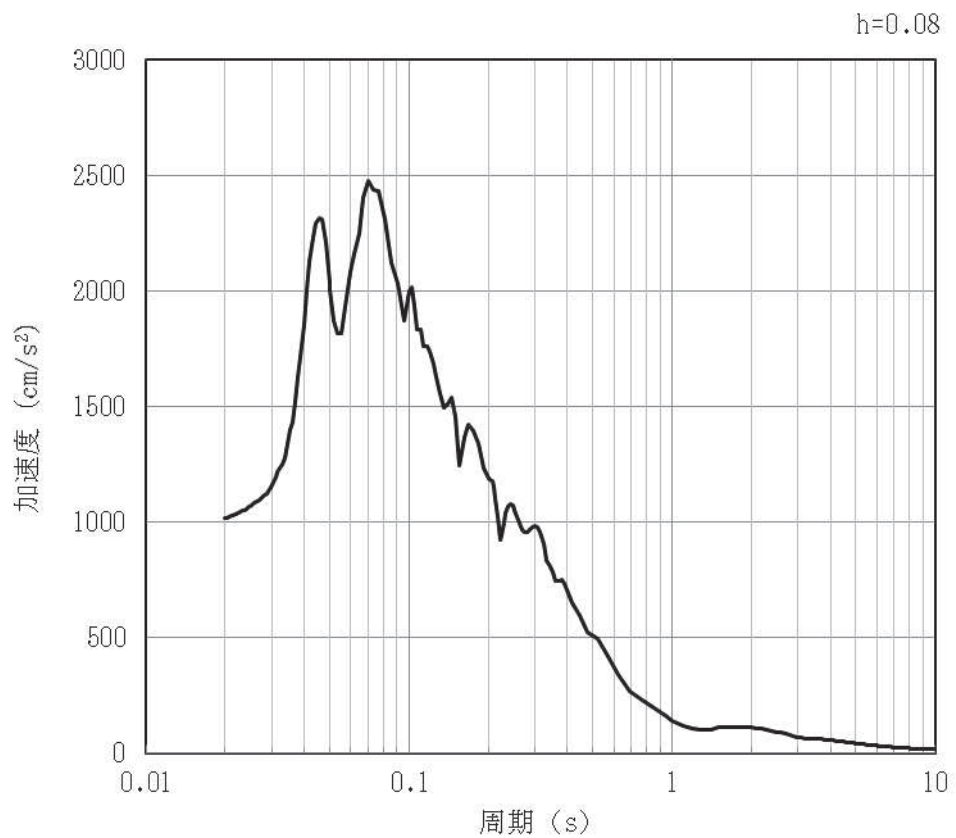


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-64 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 (鉛直方向: S s-F3EW)
(第 2 保管エリア) (22/28)

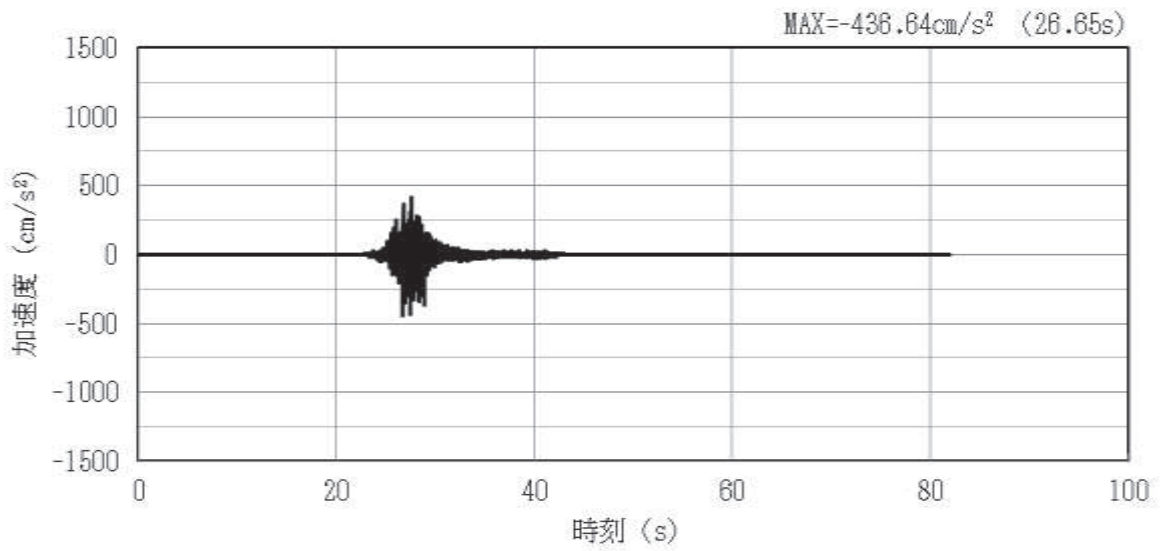


(a) 加速度時刻歴波形

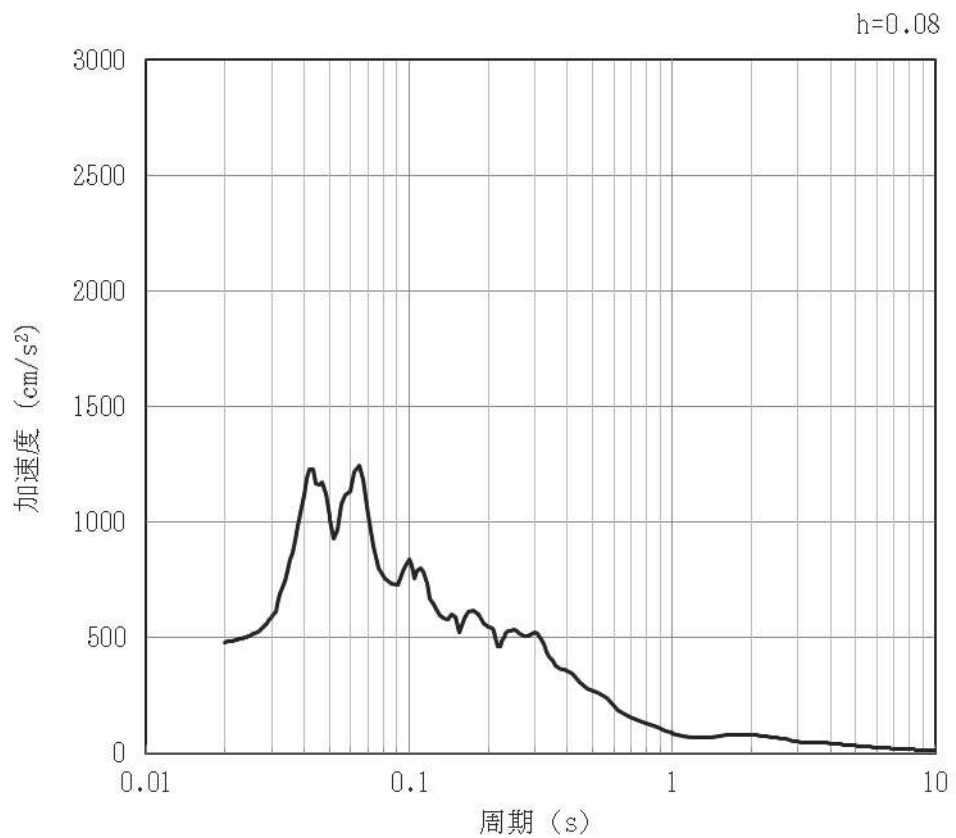


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-65 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（水平方向：S s-F3NS）
（第 2 保管エリア）（23/28）

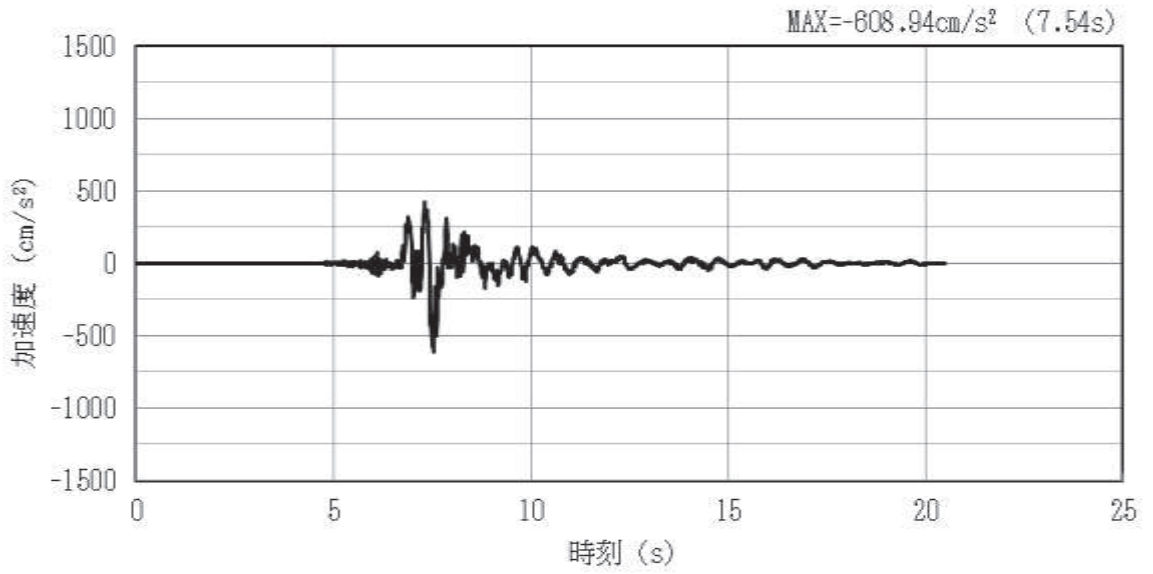


(a) 加速度時刻歴波形

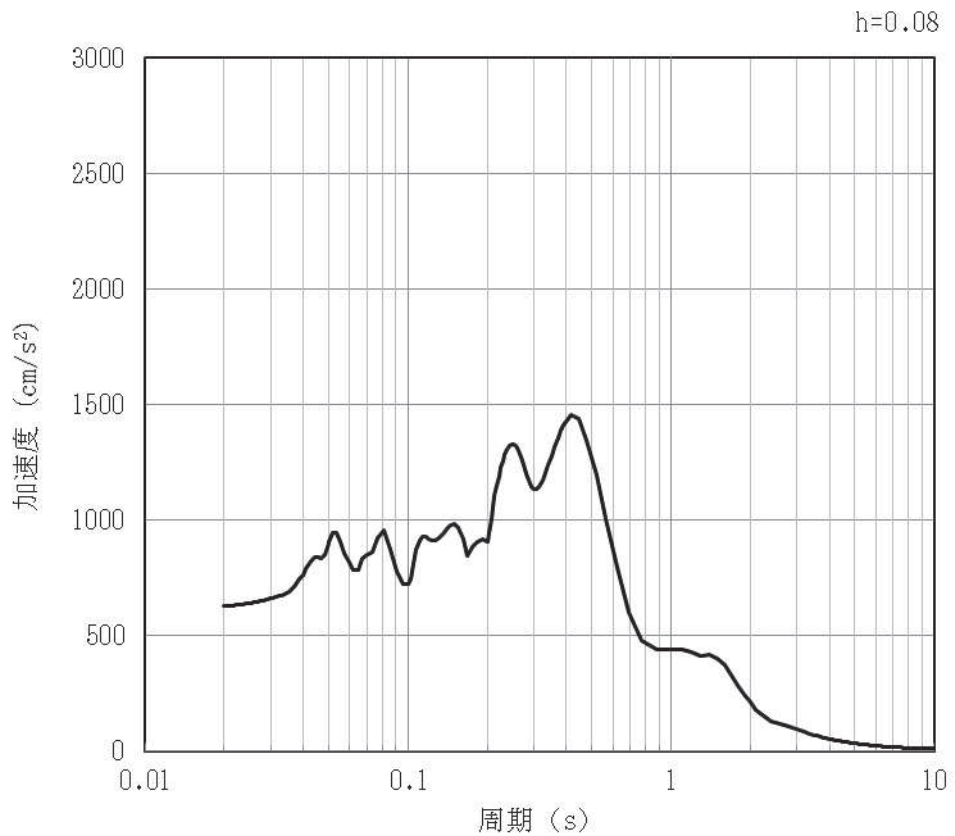


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-66 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 (鉛直方向: S s-F3NS)
(第 2 保管エリア) (24/28)

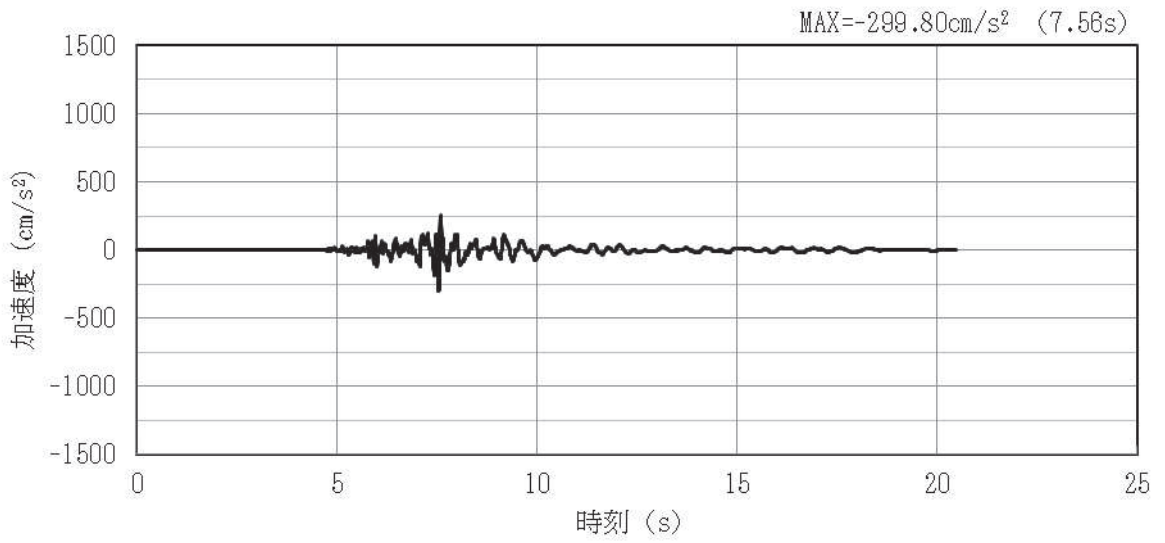


(a) 加速度時刻歴波形

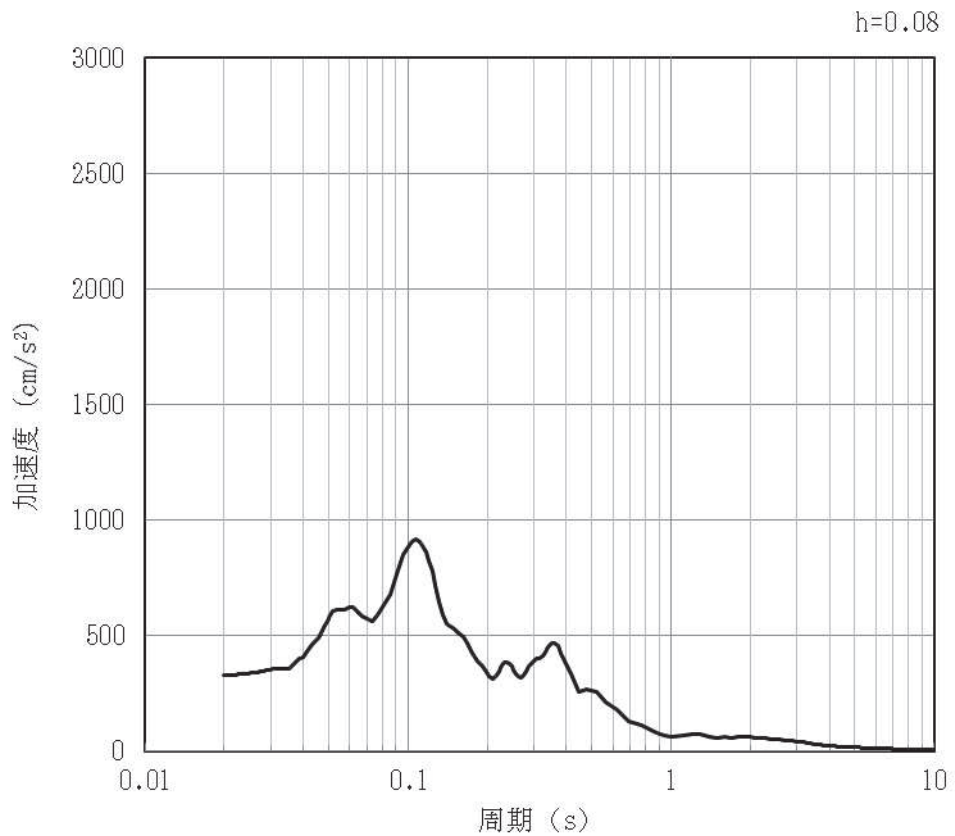


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-67 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（水平方向：S s-N1EW）
（第 2 保管エリア）（25/28）

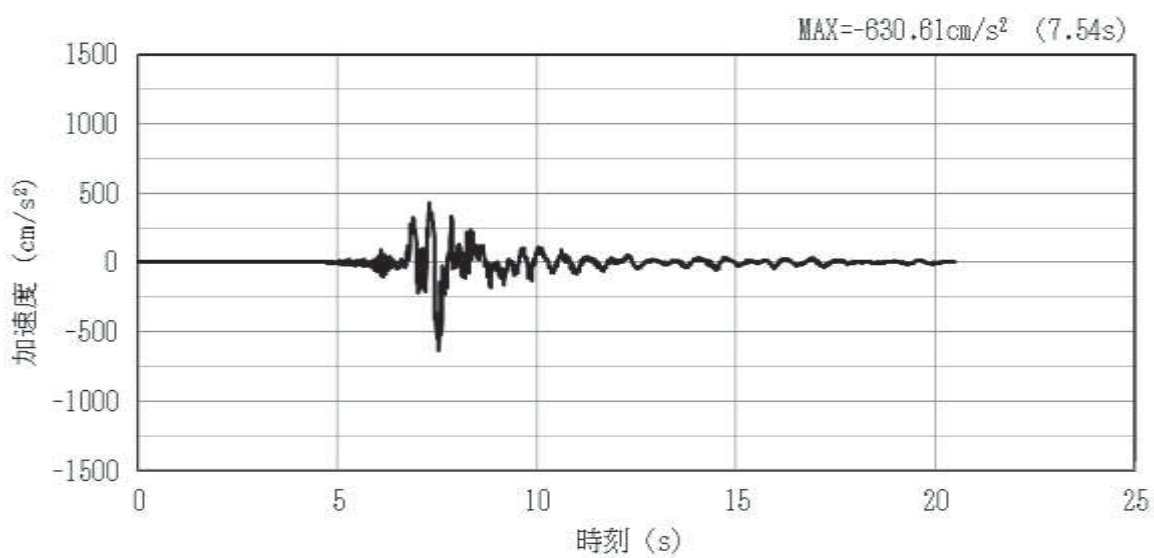


(a) 加速度時刻歴波形

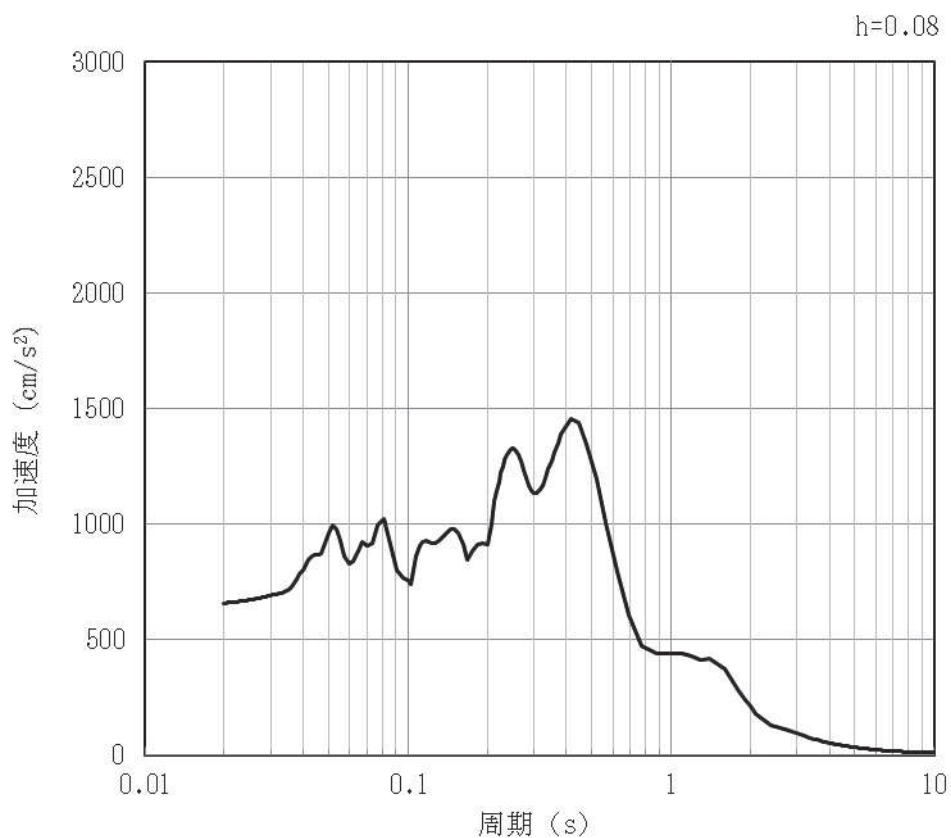


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-68 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 (鉛直方向: S s-N1EW)
(第 2 保管エリア) (26/28)

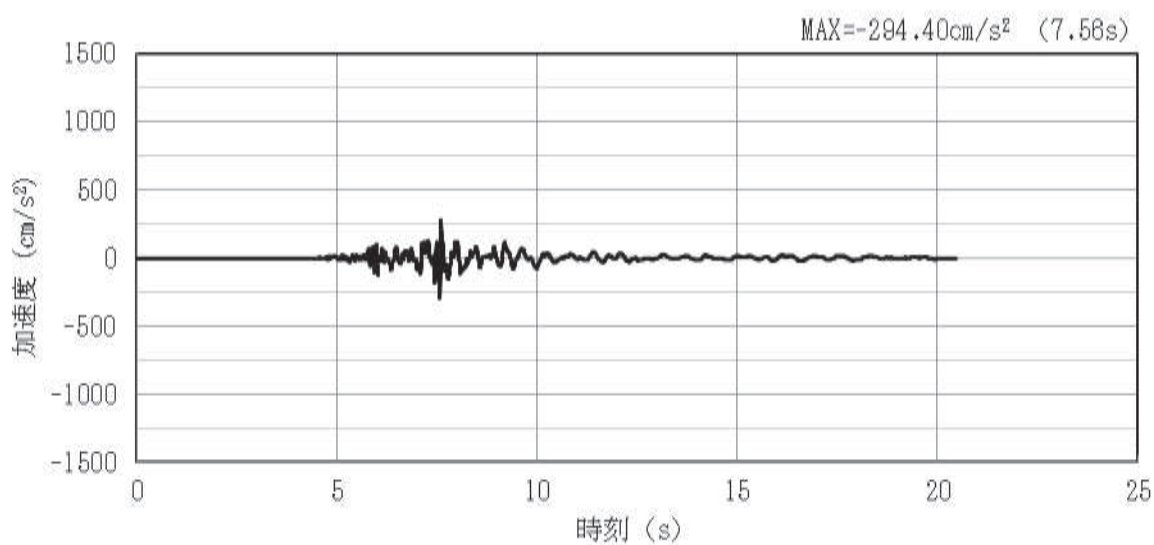


(a) 加速度時刻歴波形

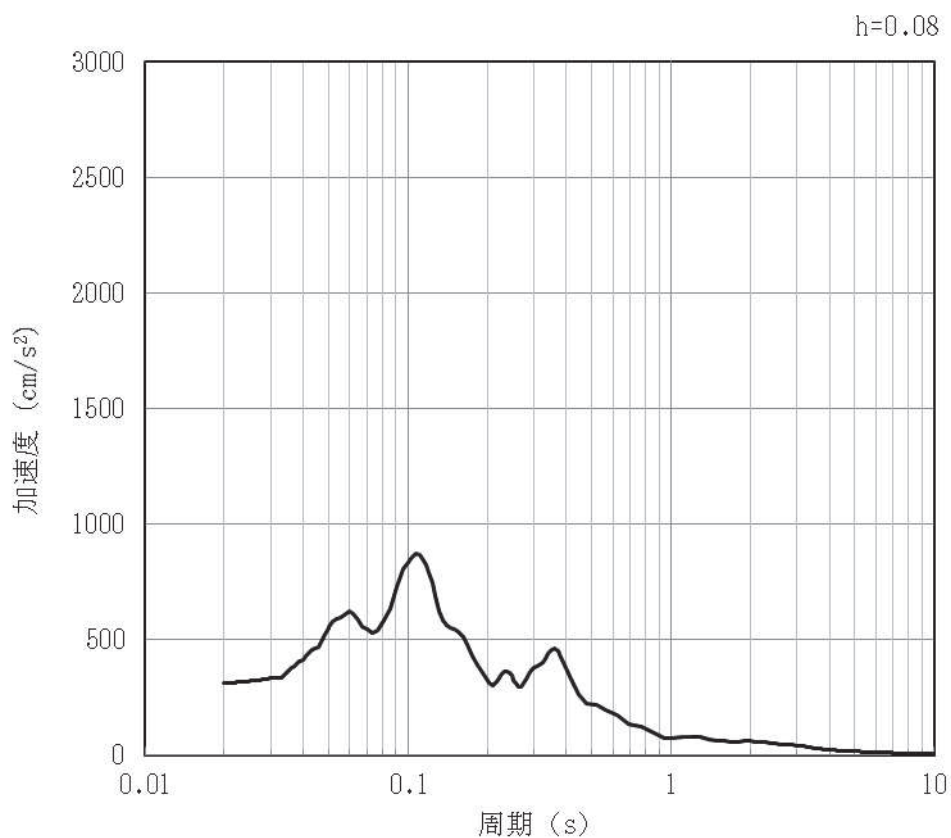


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-69 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（水平方向：S s-N1NS）
（第 2 保管エリア）（27/28）



(a) 加速度時刻歴波形



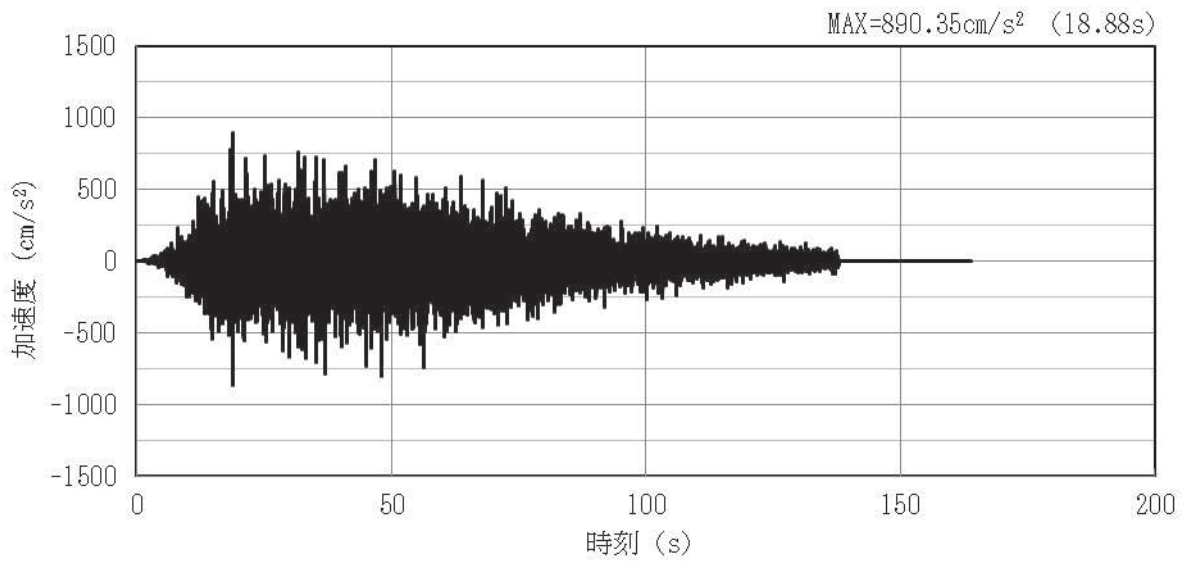
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-70 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 (鉛直方向: S s-N1NS)
(第 2 保管エリア) (28/28)

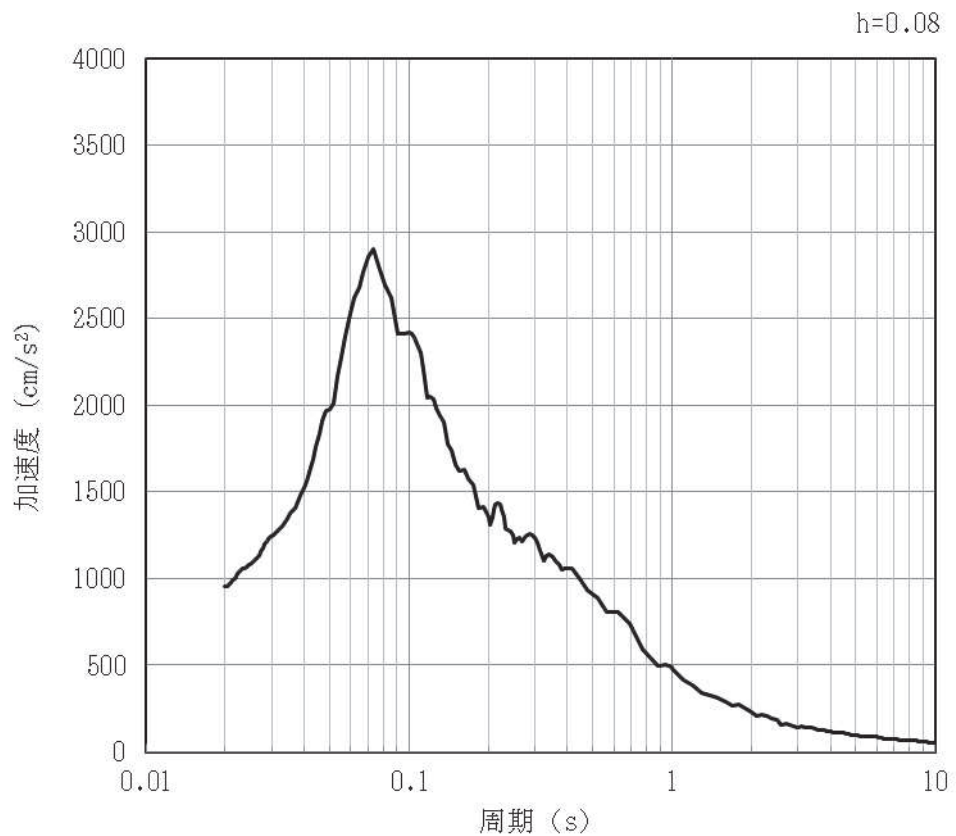
4.4 第3保管エリア

一次元重複反射理論による地震応答解析により算定した第3保管エリアの地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル（基本ケース）を図4-71～図4-98に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数（8%）を考慮し設定する。

(1) 第3保管エリア①

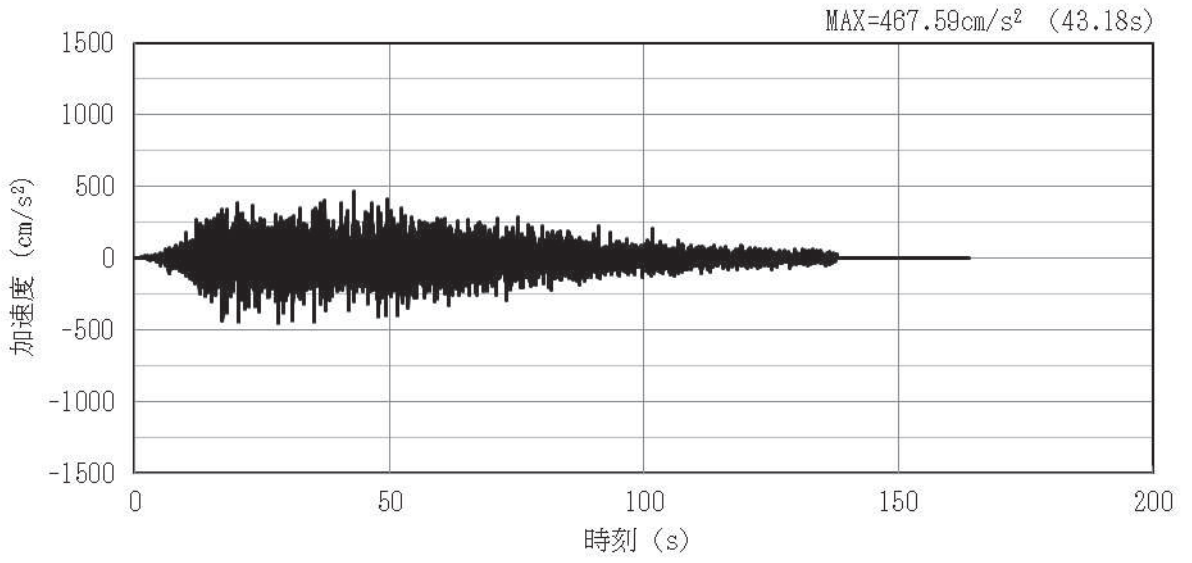


(a) 加速度時刻歴波形

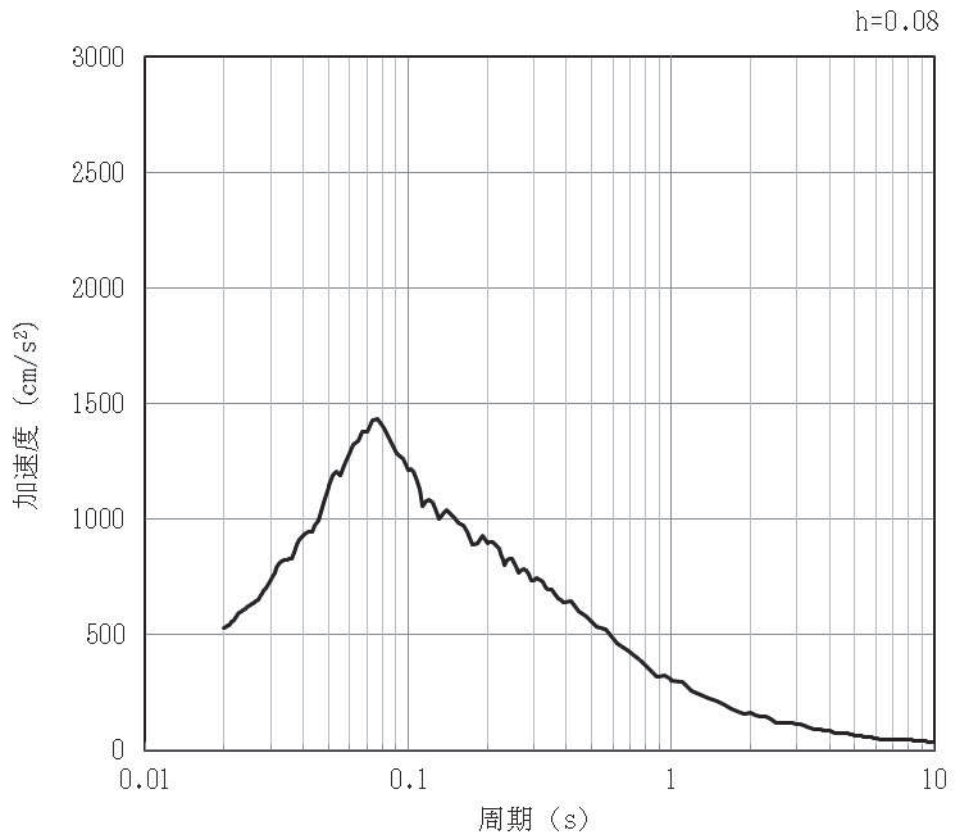


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-71 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 (水平方向: S s-D1)
(第3保管エリア①) (1/28)

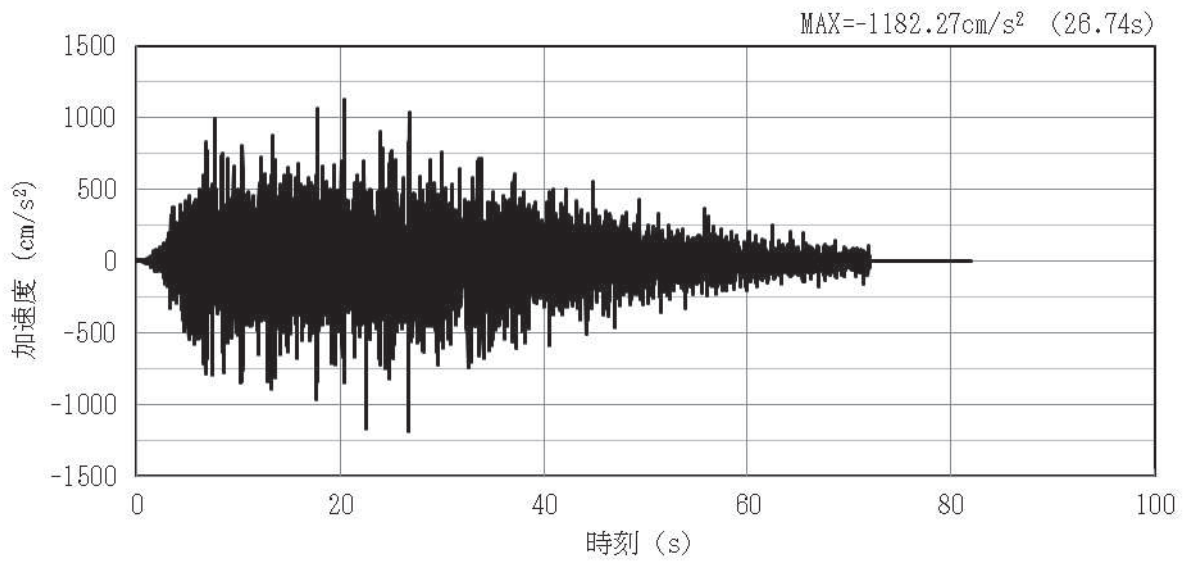


(a) 加速度時刻歴波形

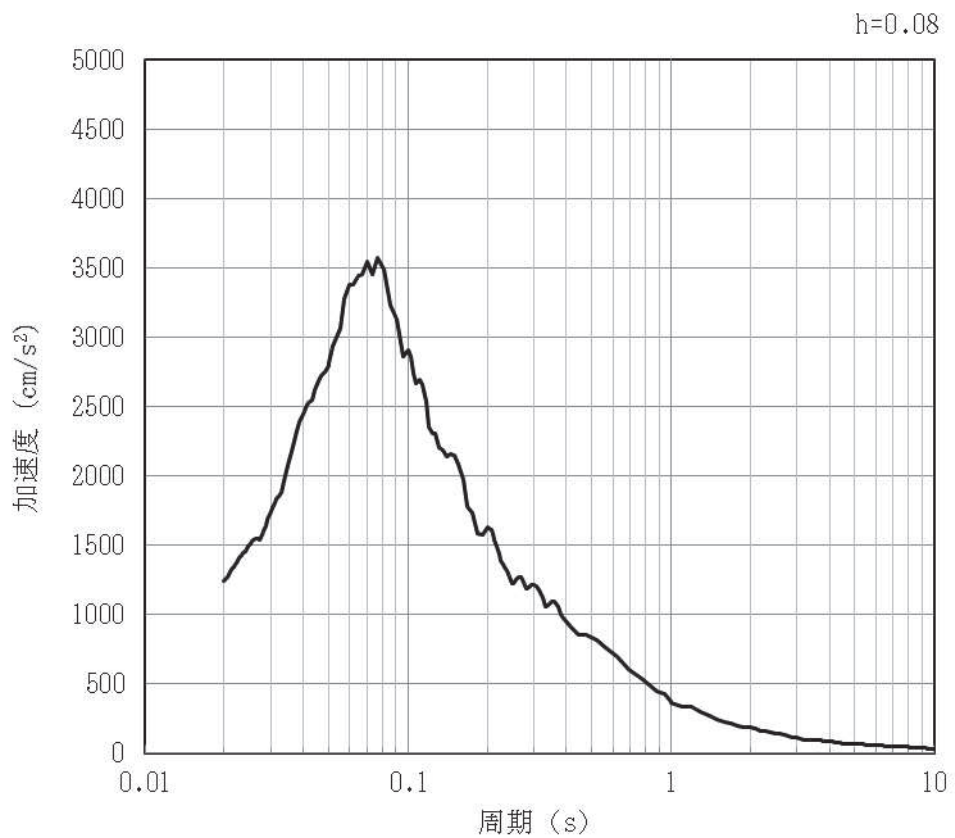


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-72 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 (鉛直方向: S s-D1)
(第 3 保管エリア①) (2/28)

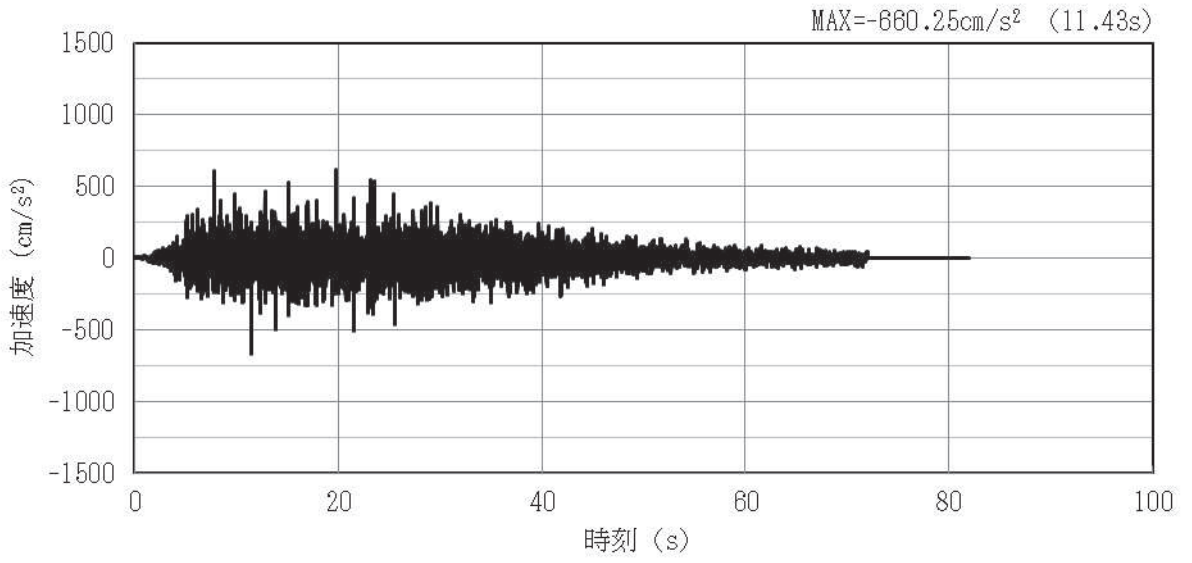


(a) 加速度時刻歴波形

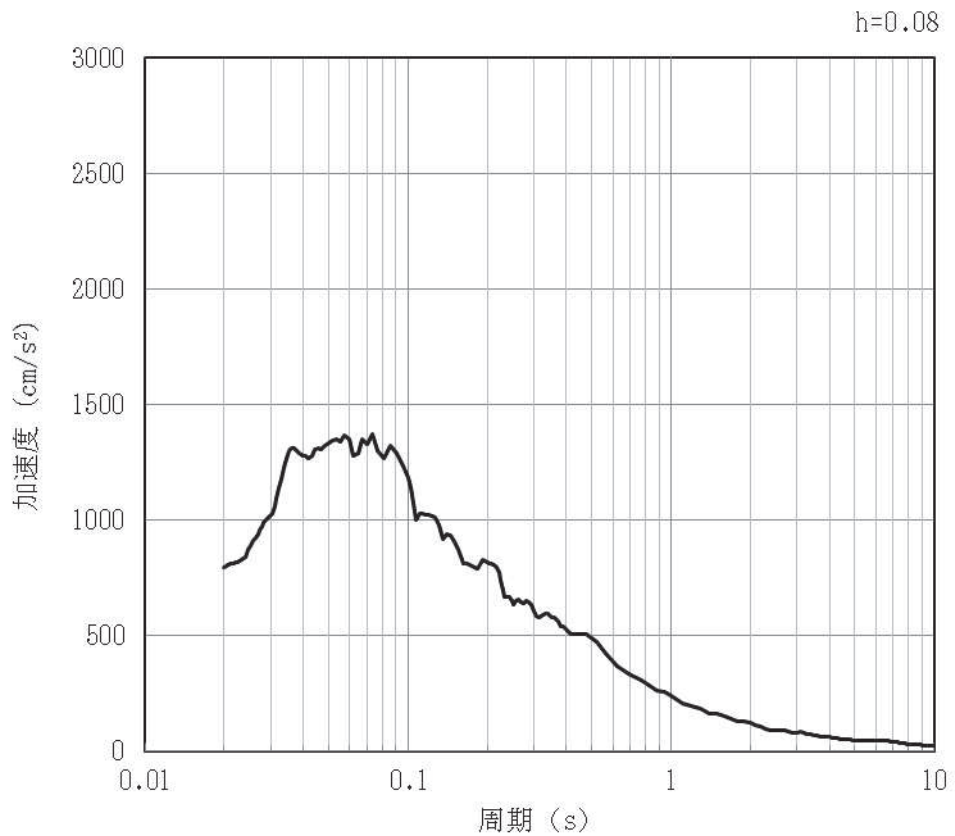


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-73 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（水平方向：S s-D2）
（第 3 保管エリア①）（3/28）

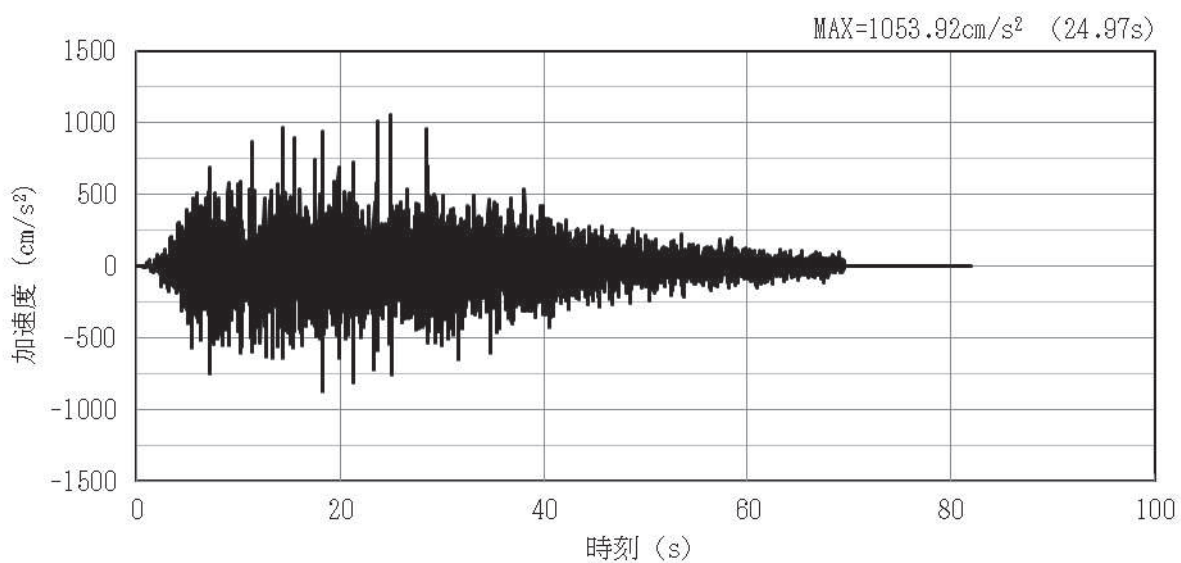


(a) 加速度時刻歴波形

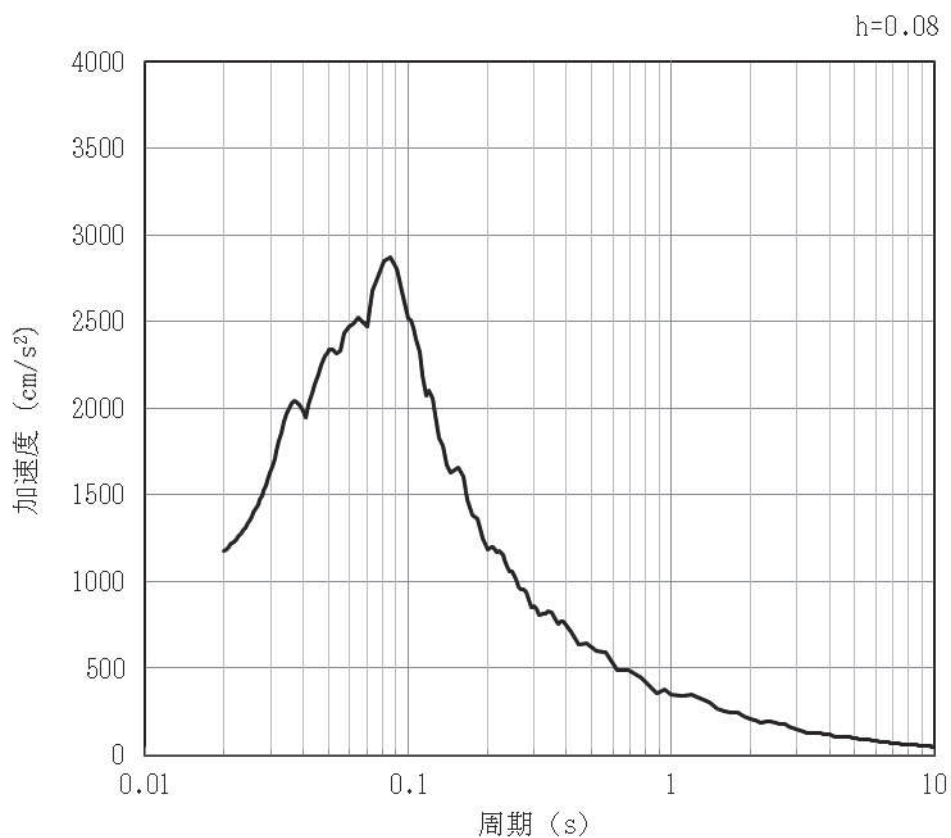


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-74 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（鉛直方向：S s-D2）
（第 3 保管エリア①）（4/28）

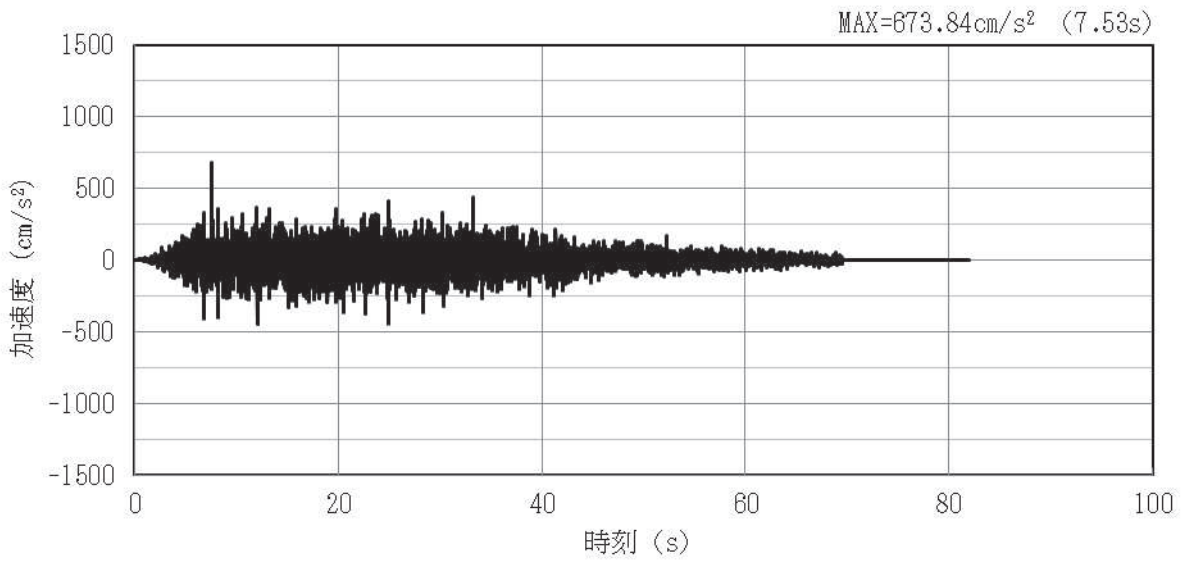


(a) 加速度時刻歴波形

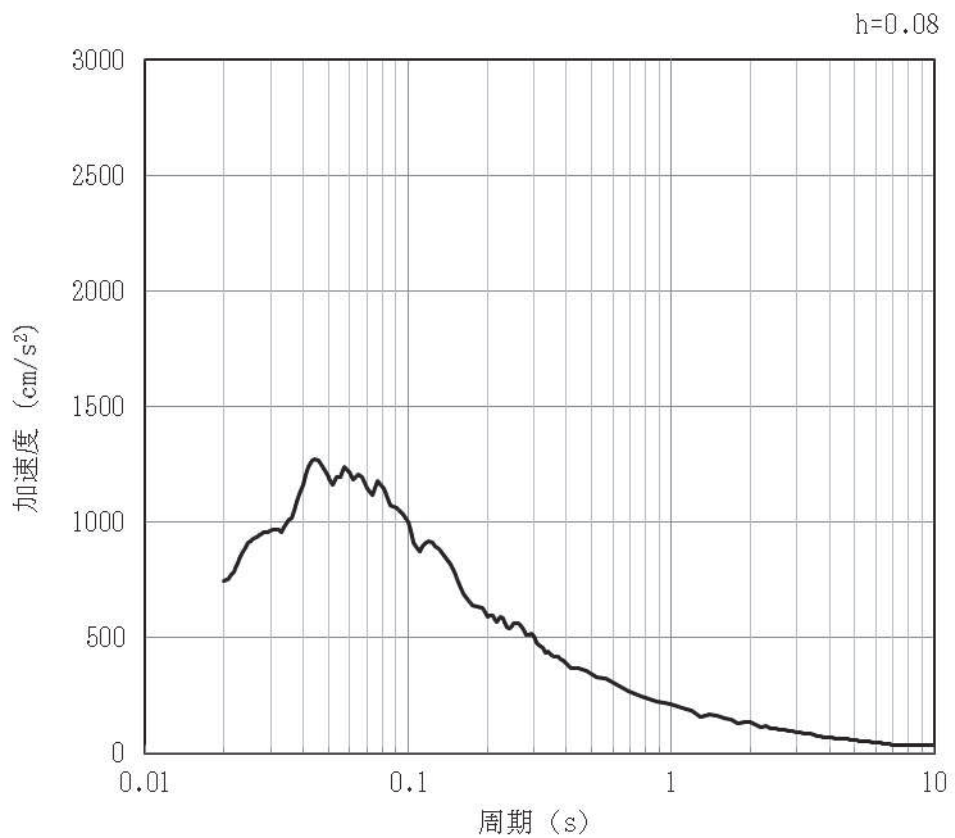


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-75 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 (水平方向: S s-D3)
(第3保管エリア①) (5/28)

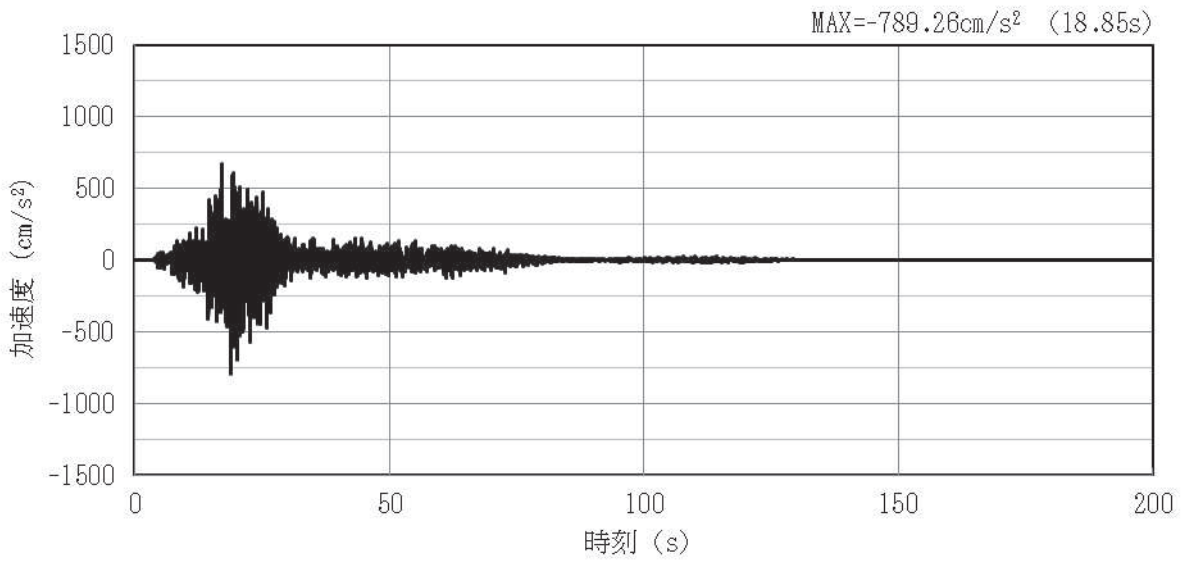


(a) 加速度時刻歴波形

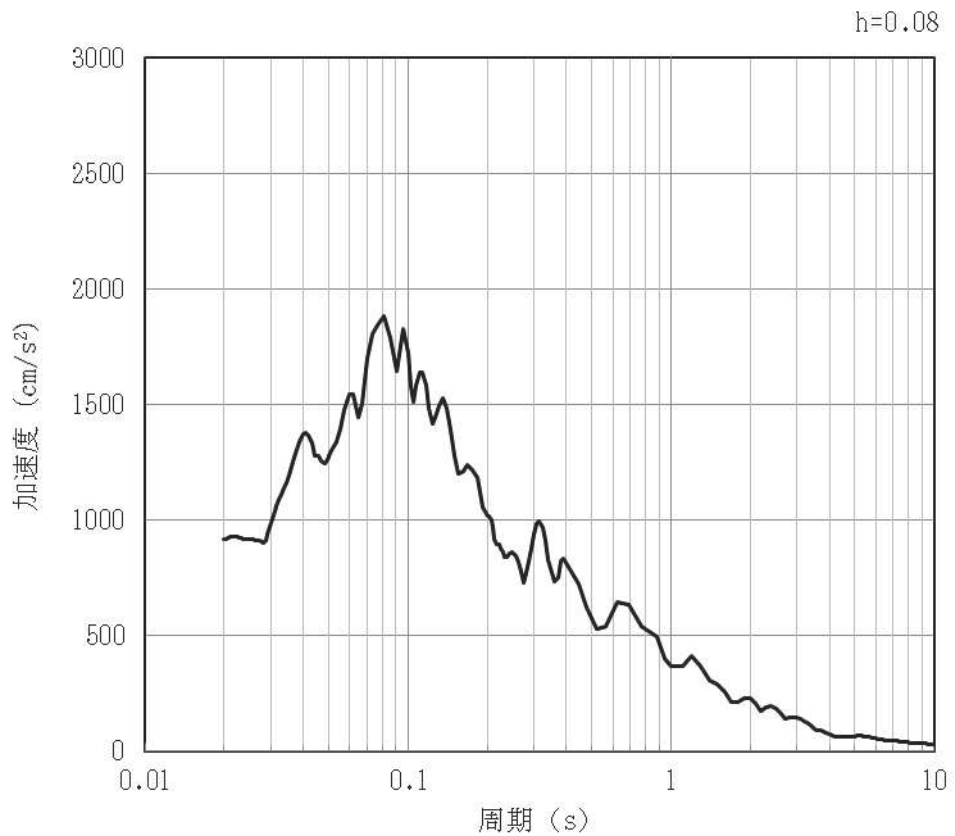


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-76 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 (鉛直方向: S s-D3)
(第3保管エリア①) (6/28)

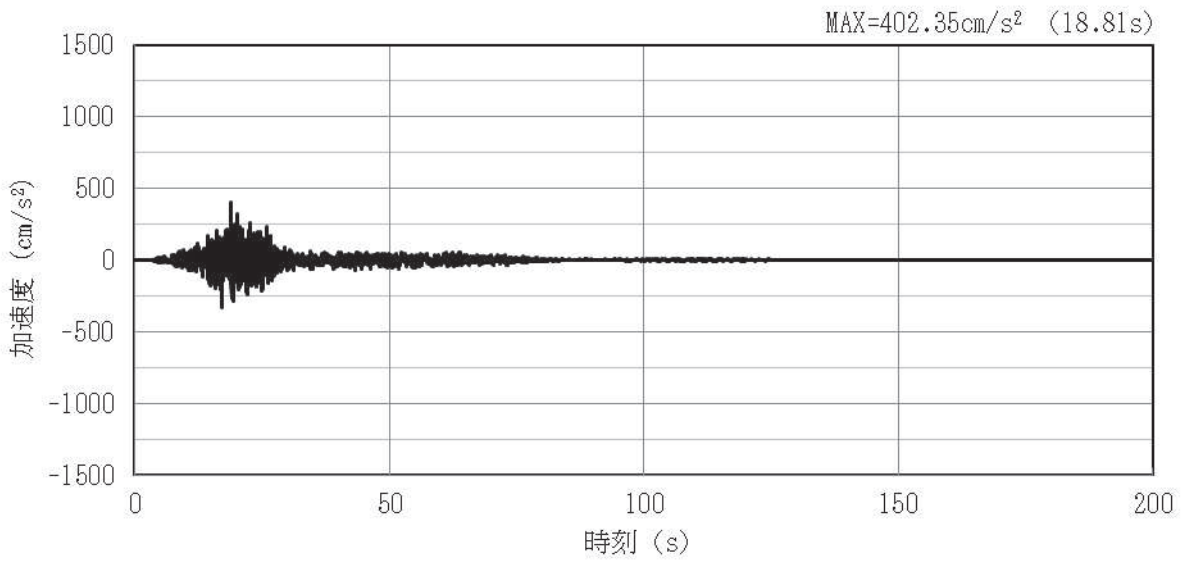


(a) 加速度時刻歴波形

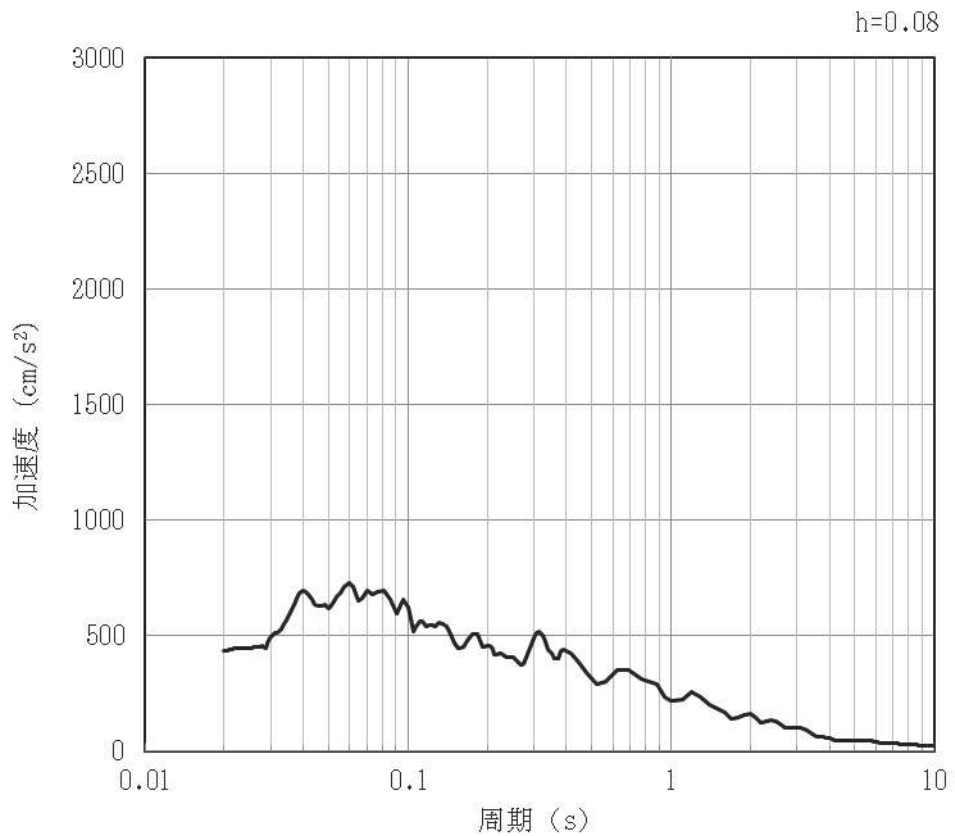


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-77 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 (水平方向 : S s-F1)
(第3保管エリア①) (7/28)

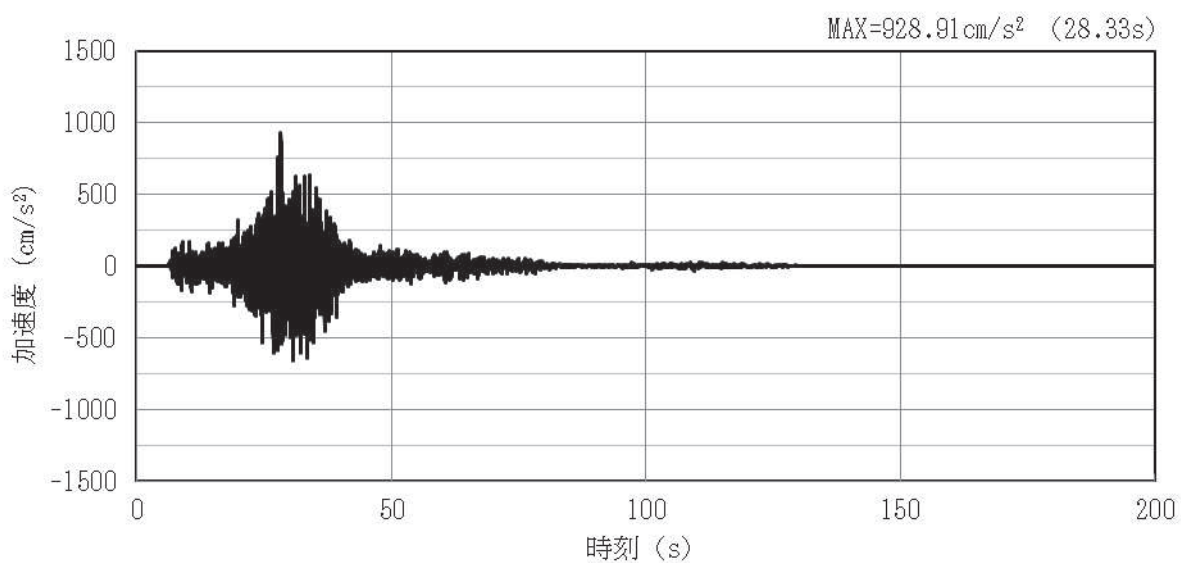


(a) 加速度時刻歴波形

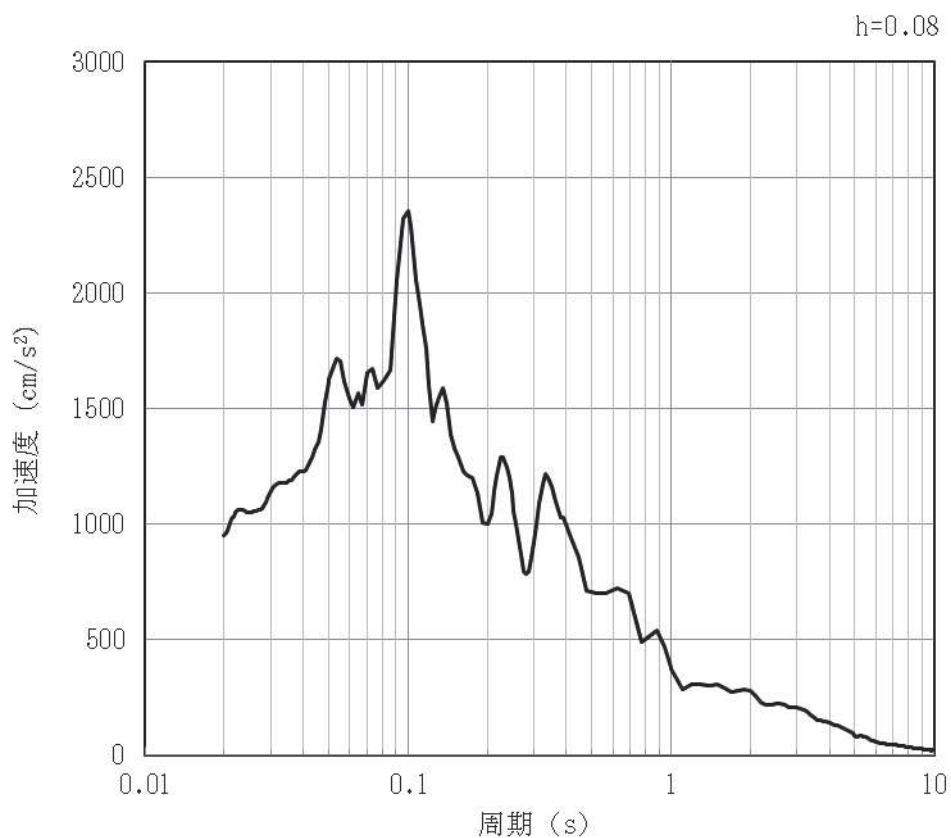


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-78 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 (鉛直方向: S s-F1)
(第3保管エリア①) (8/28)

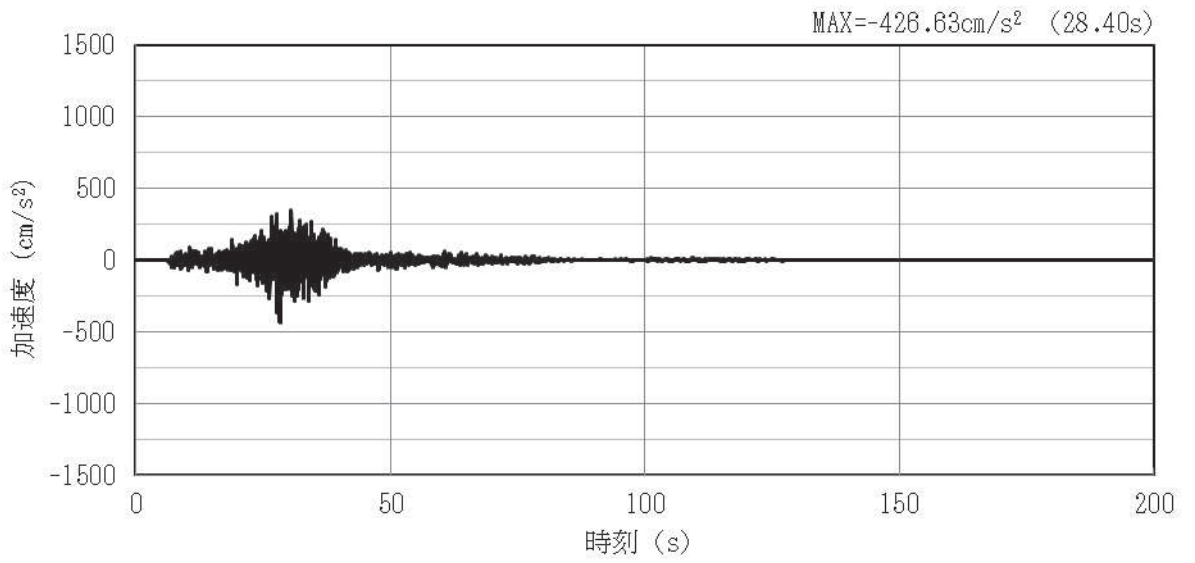


(a) 加速度時刻歴波形

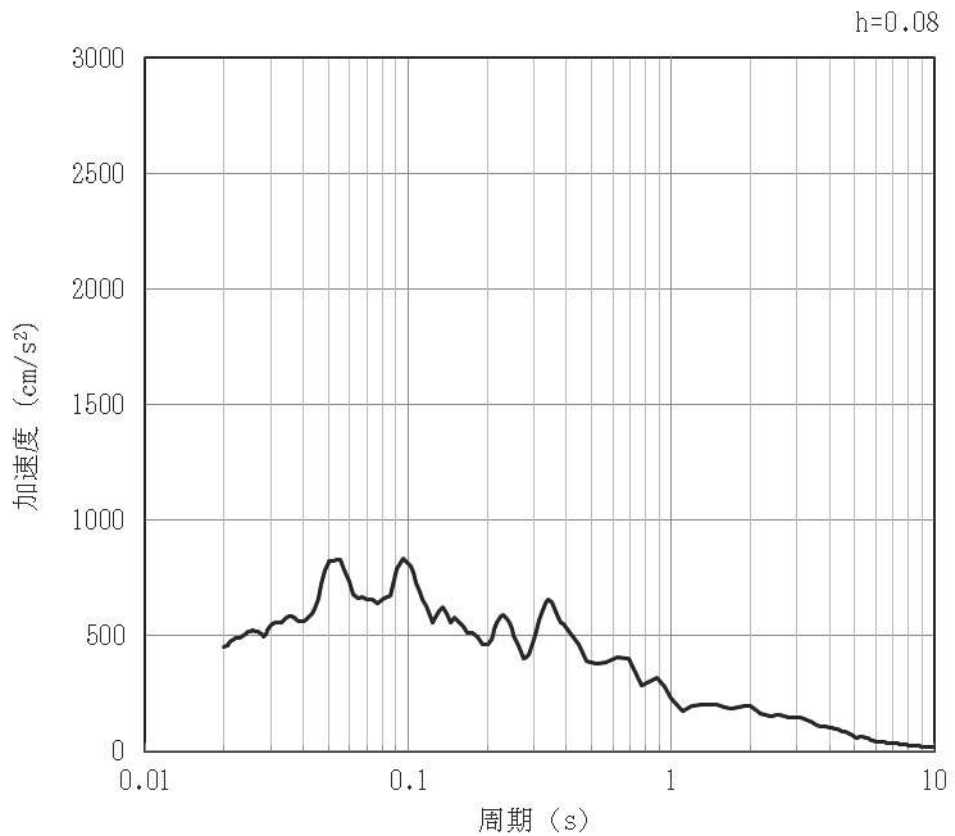


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-79 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 (水平方向 : S s - F 2)
(第 3 保管エリア①) (9/28)

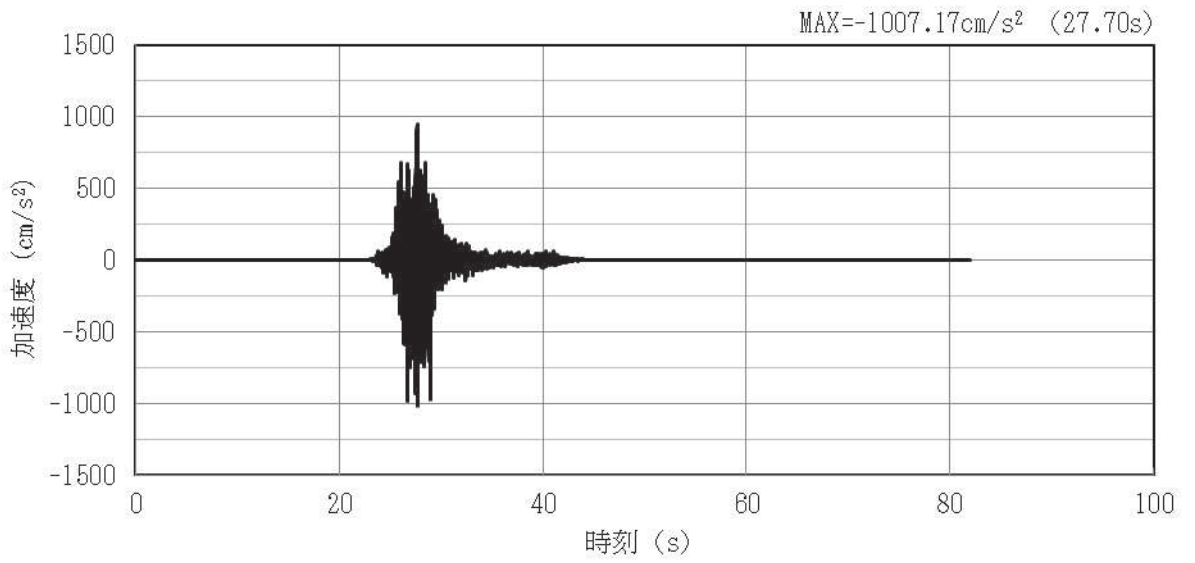


(a) 加速度時刻歴波形

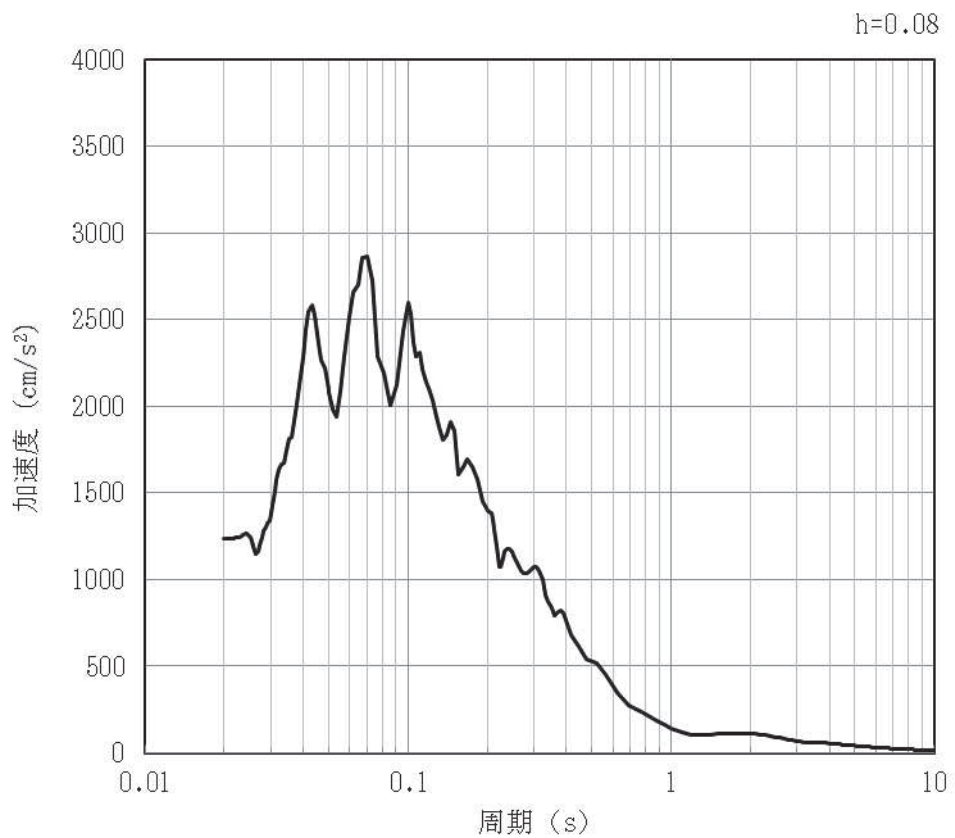


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-80 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 (鉛直方向: S s-F2)
(第 3 保管エリア①) (10/28)

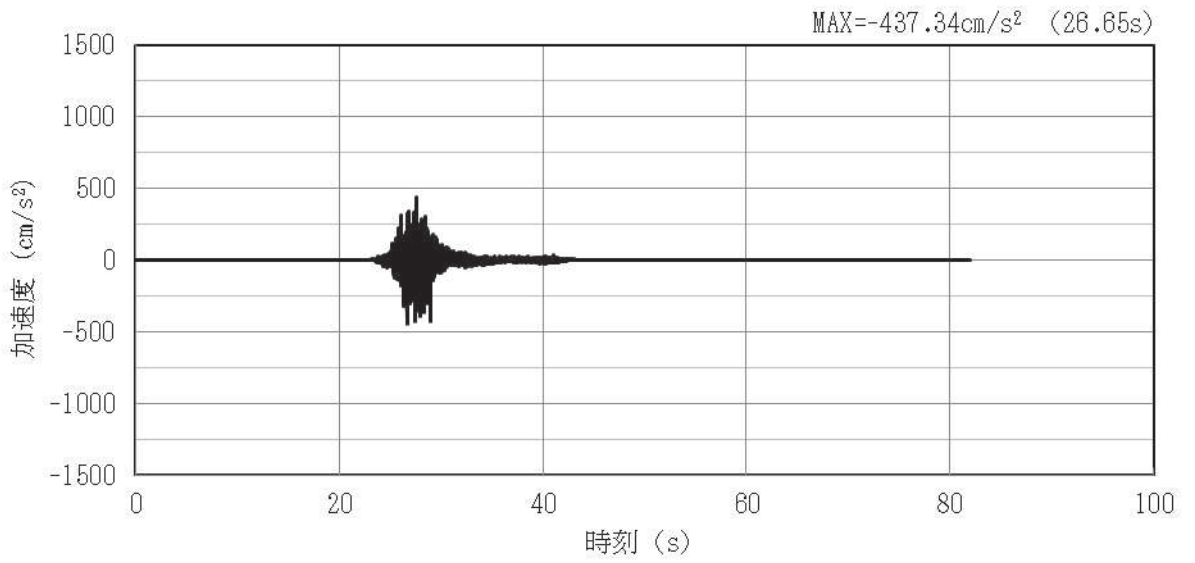


(a) 加速度時刻歴波形

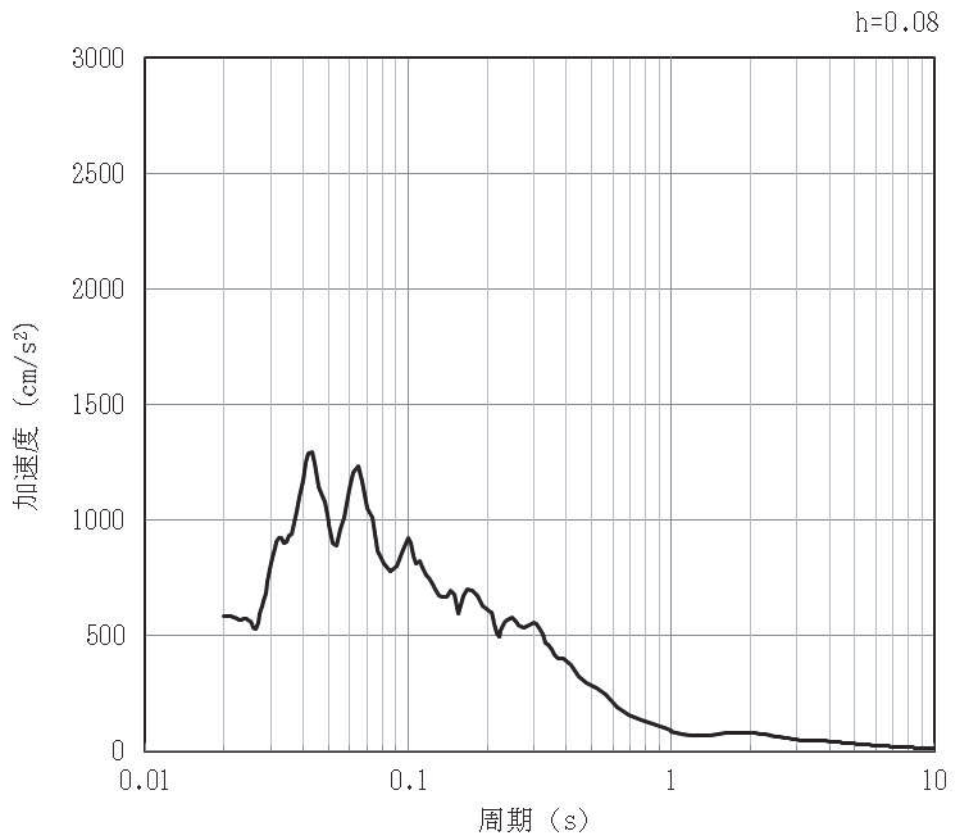


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-81 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（水平方向：S s-F 3）
（第 3 保管エリア①）（11/28）

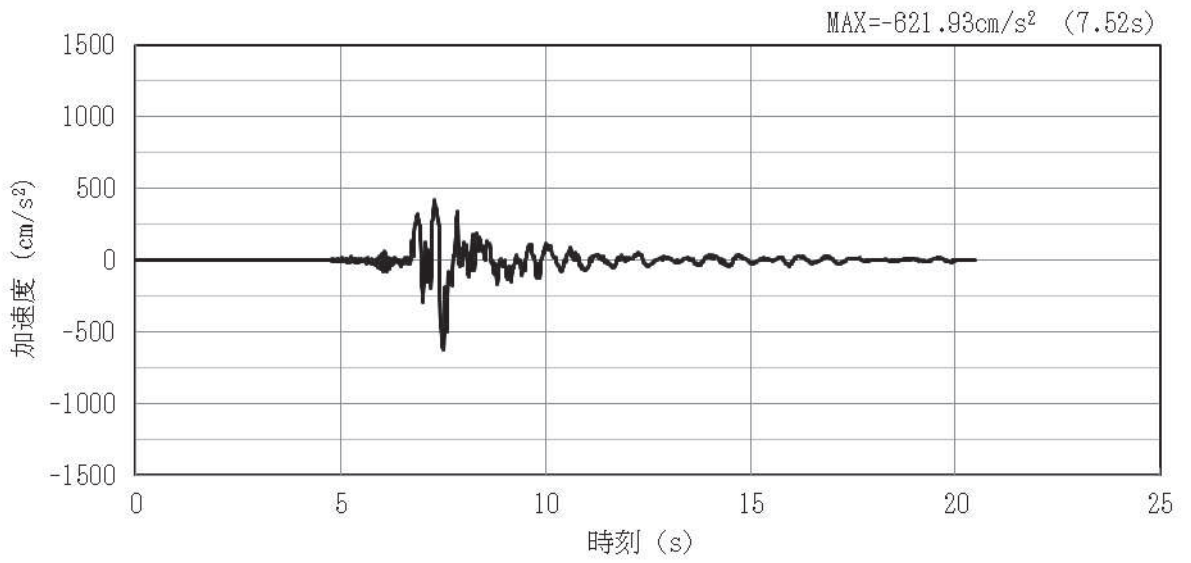


(a) 加速度時刻歴波形

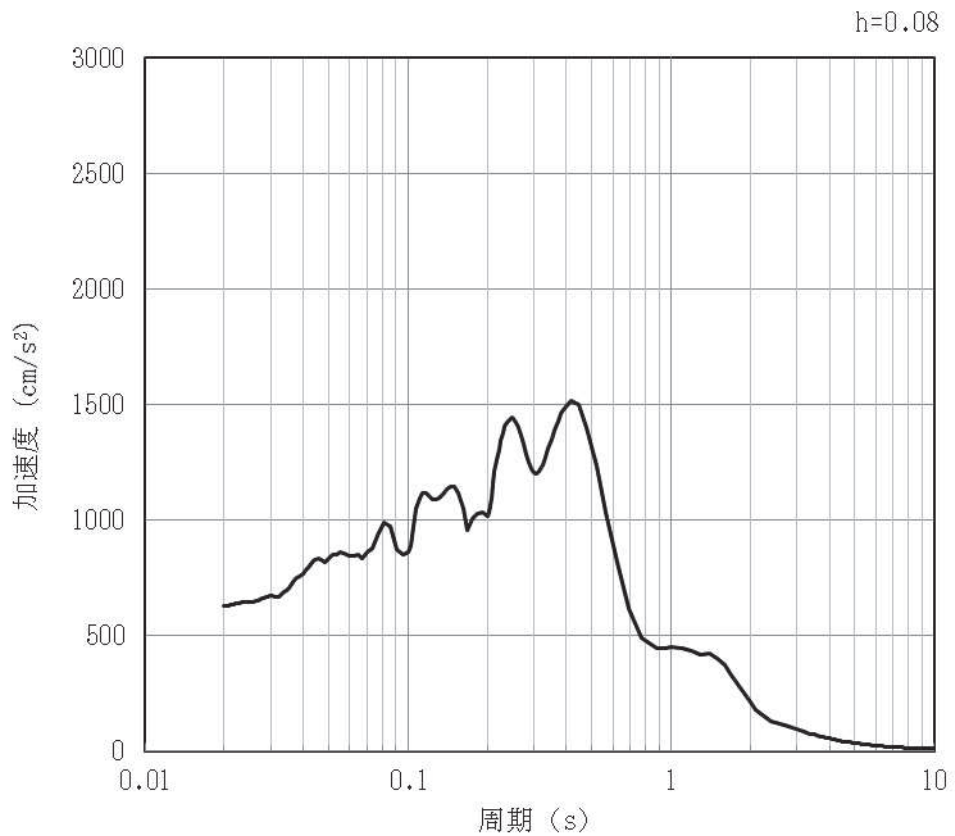


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-82 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 (鉛直方向: S s-F3)
(第 3 保管エリア①) (12/28)

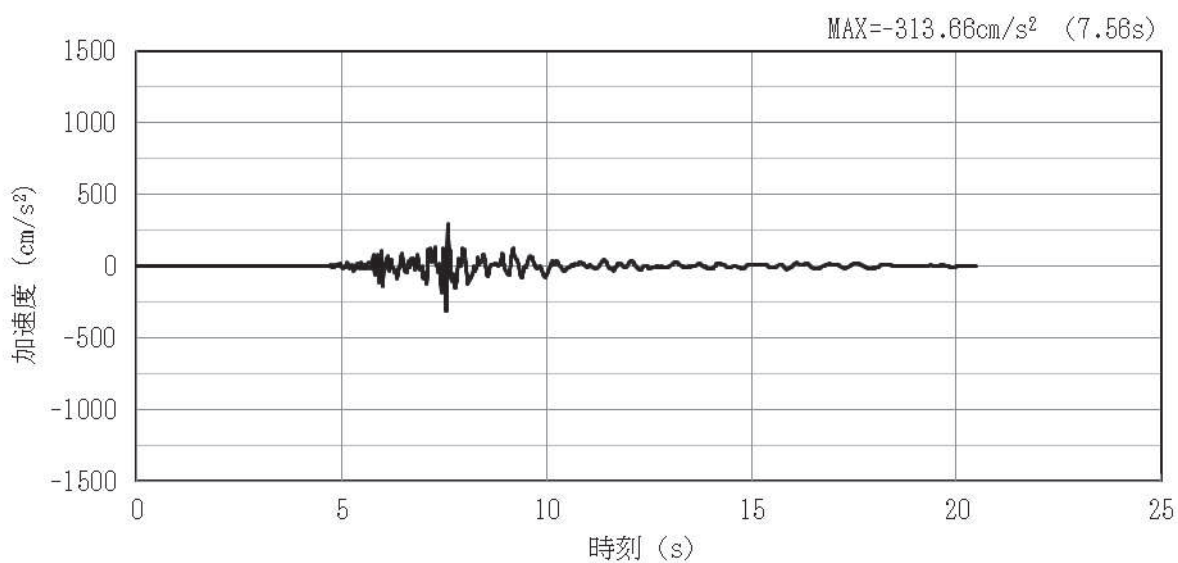


(a) 加速度時刻歴波形

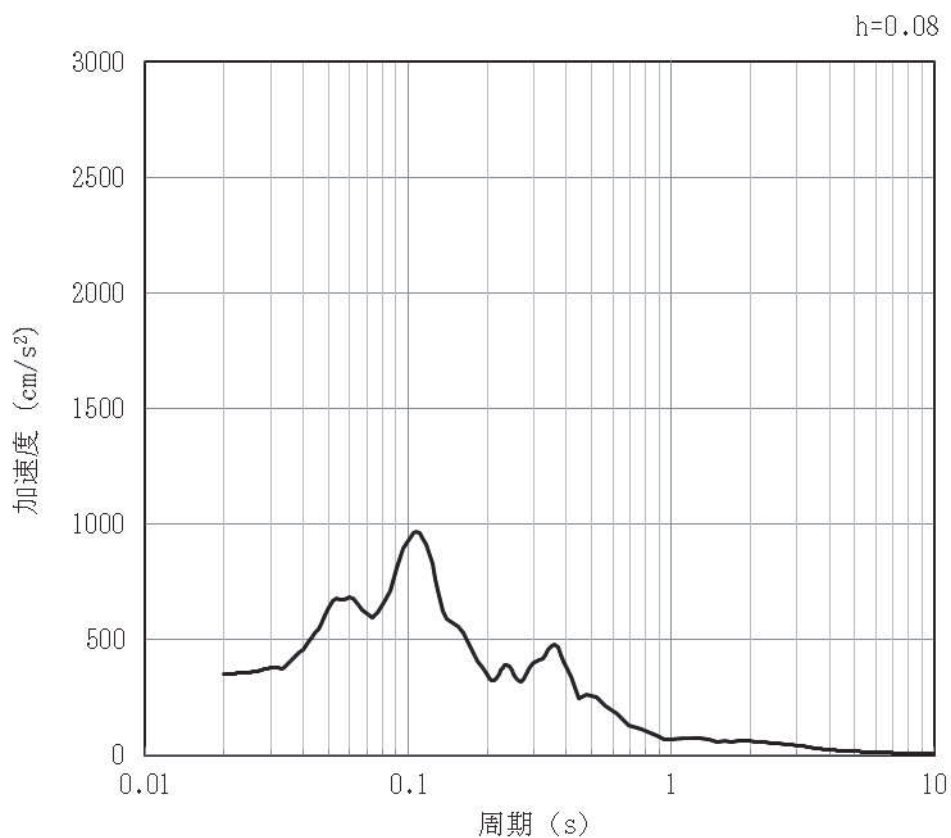


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-83 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 (水平方向 : S s -N1)
(第 3 保管エリア①) (13/28)



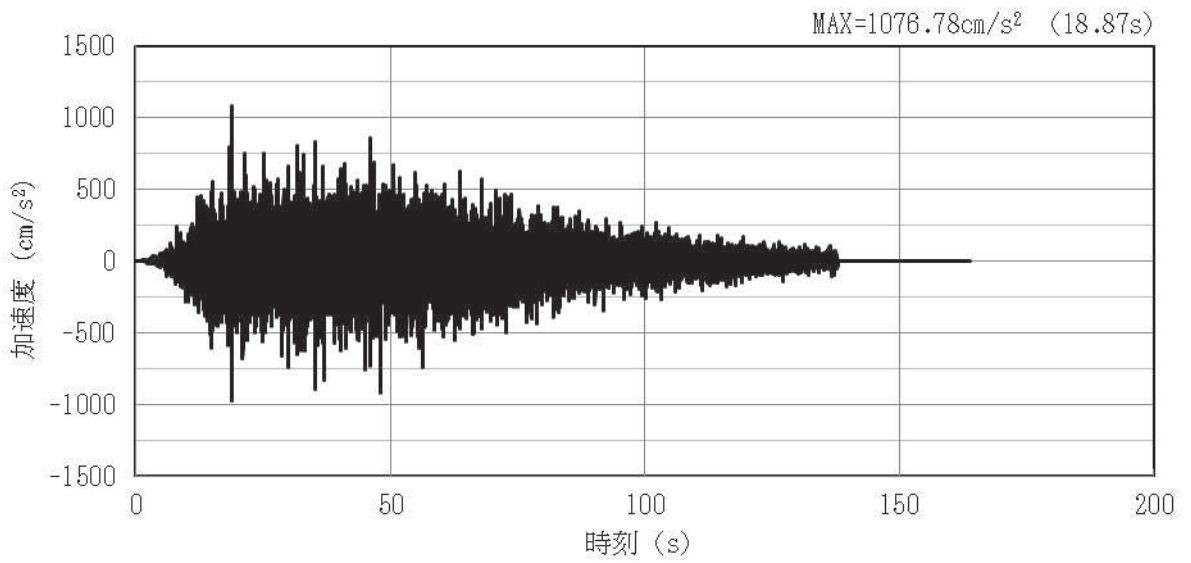
(a) 加速度時刻歴波形



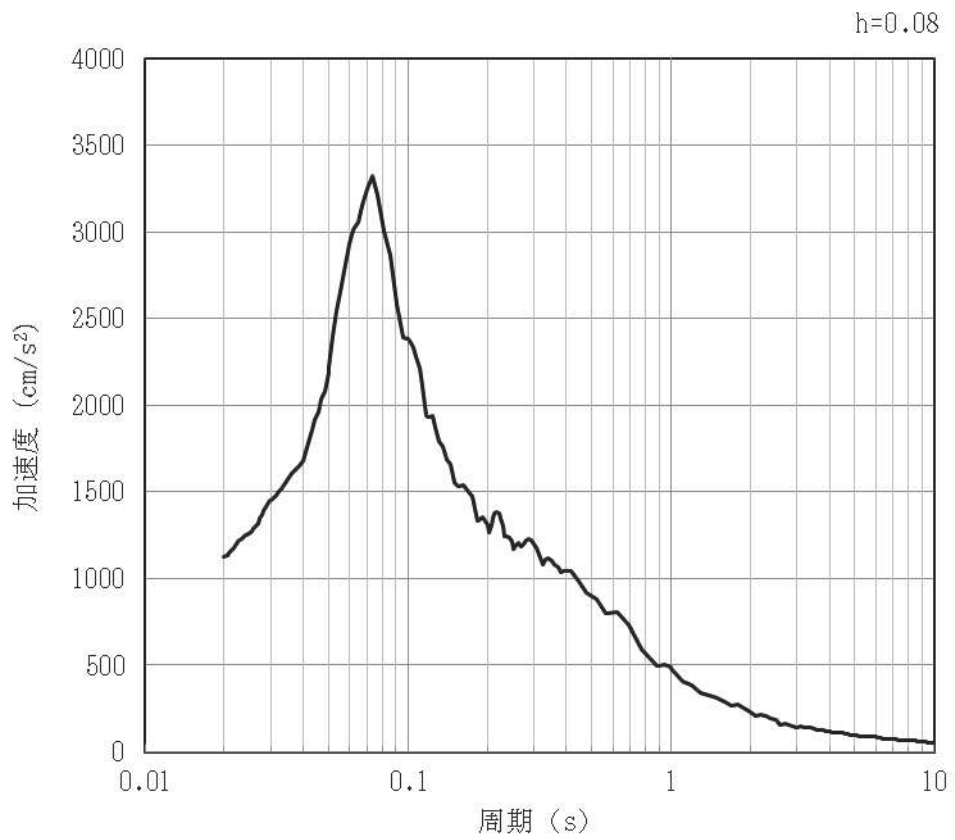
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-84 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（鉛直方向：S s-N1）
（第 3 保管エリア①）（14/28）

(2) 第3保管エリア②

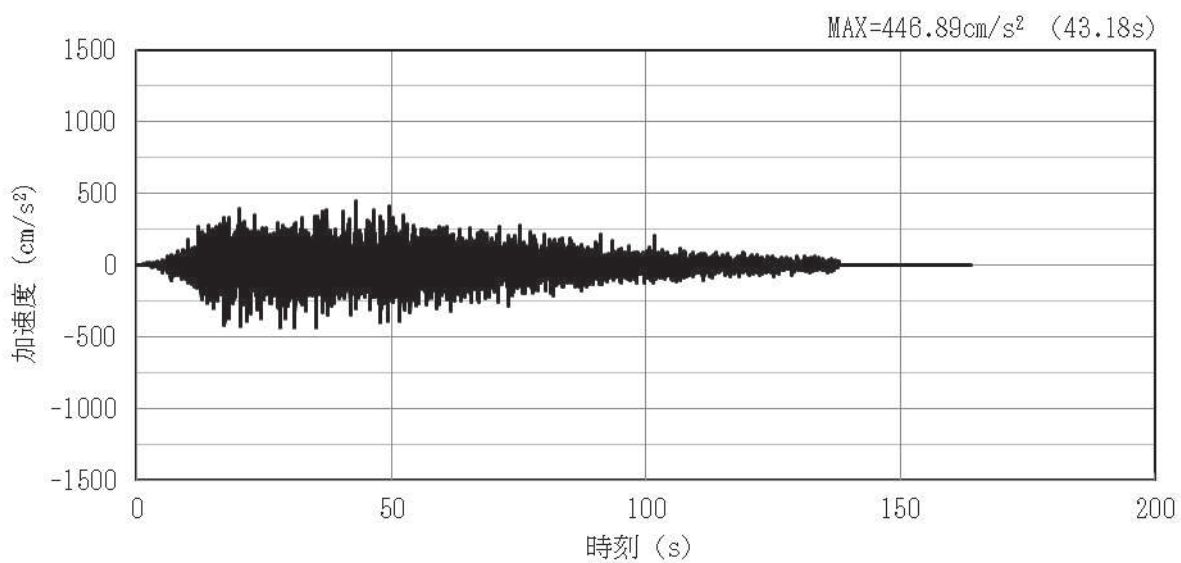


(a) 加速度時刻歴波形

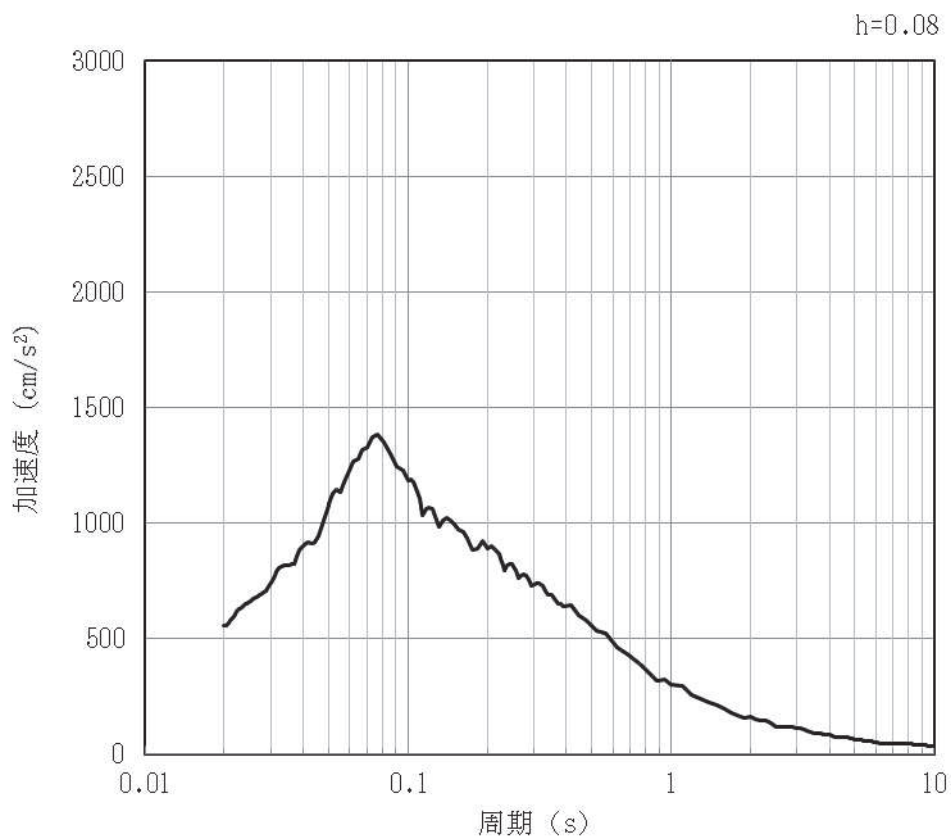


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-85 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 (水平方向: S s-D1)
(第3保管エリア②) (15/28)

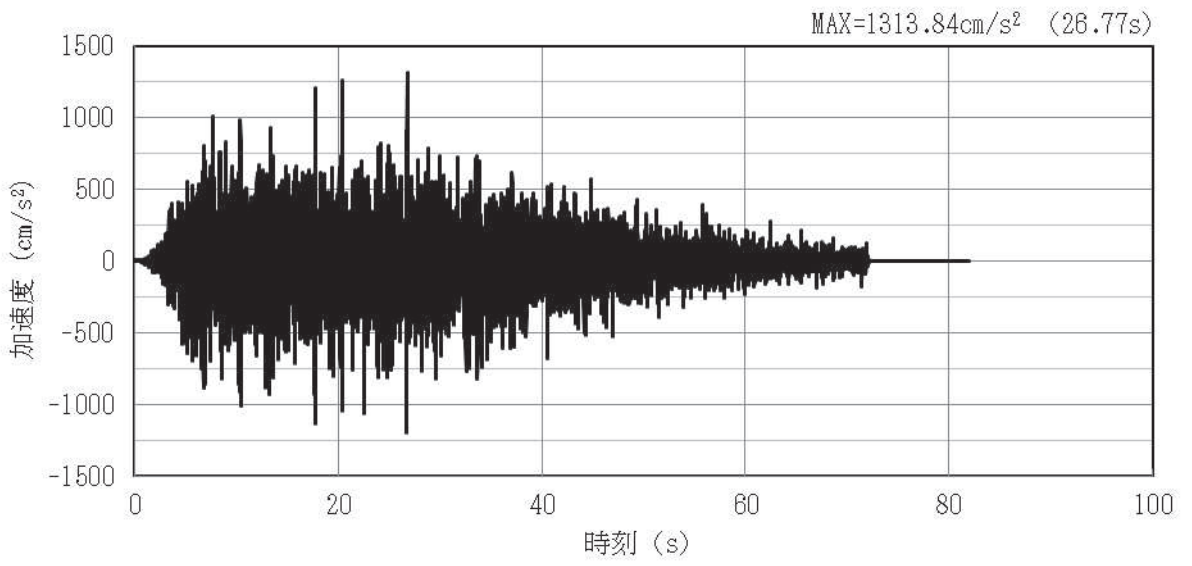


(a) 加速度時刻歴波形

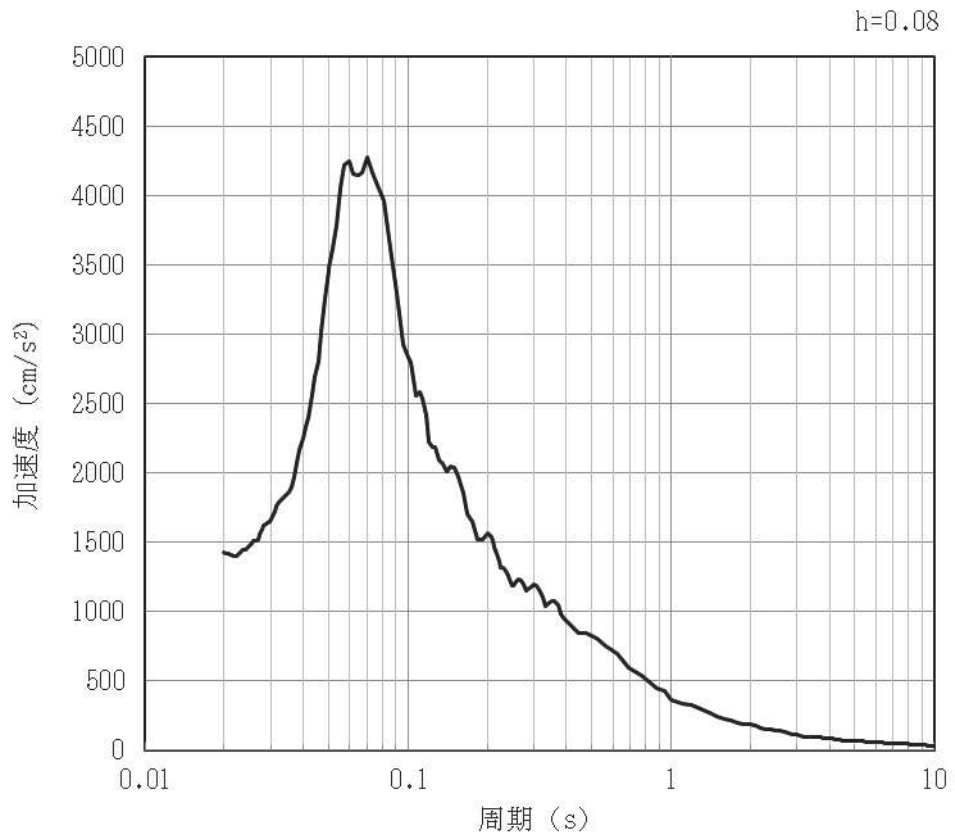


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-86 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 (鉛直方向: S s-D1)
(第 3 保管エリア②) (16/28)

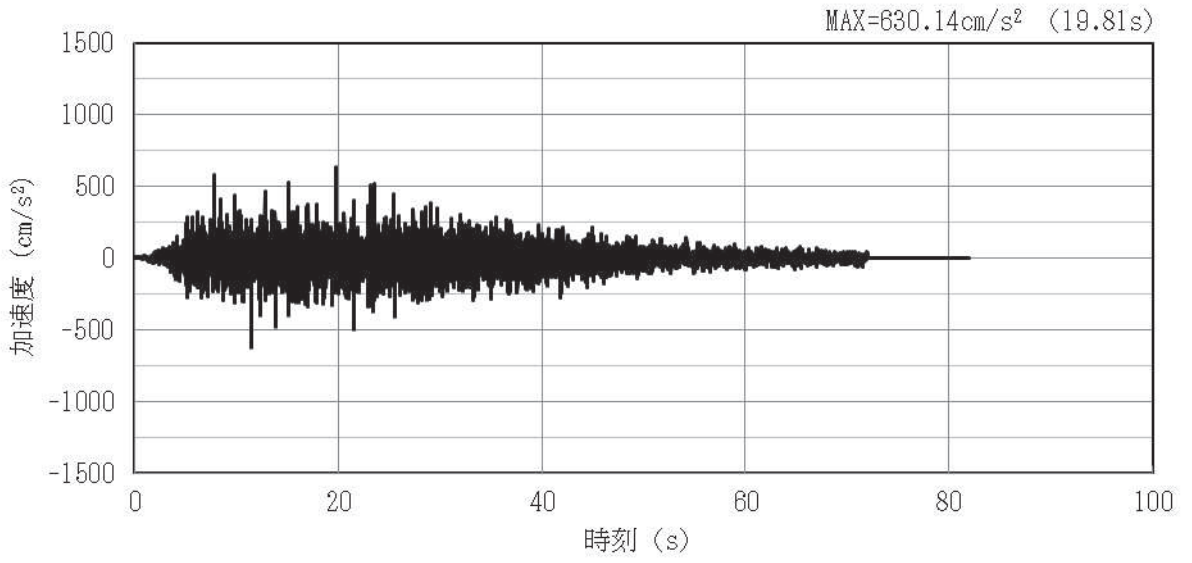


(a) 加速度時刻歴波形

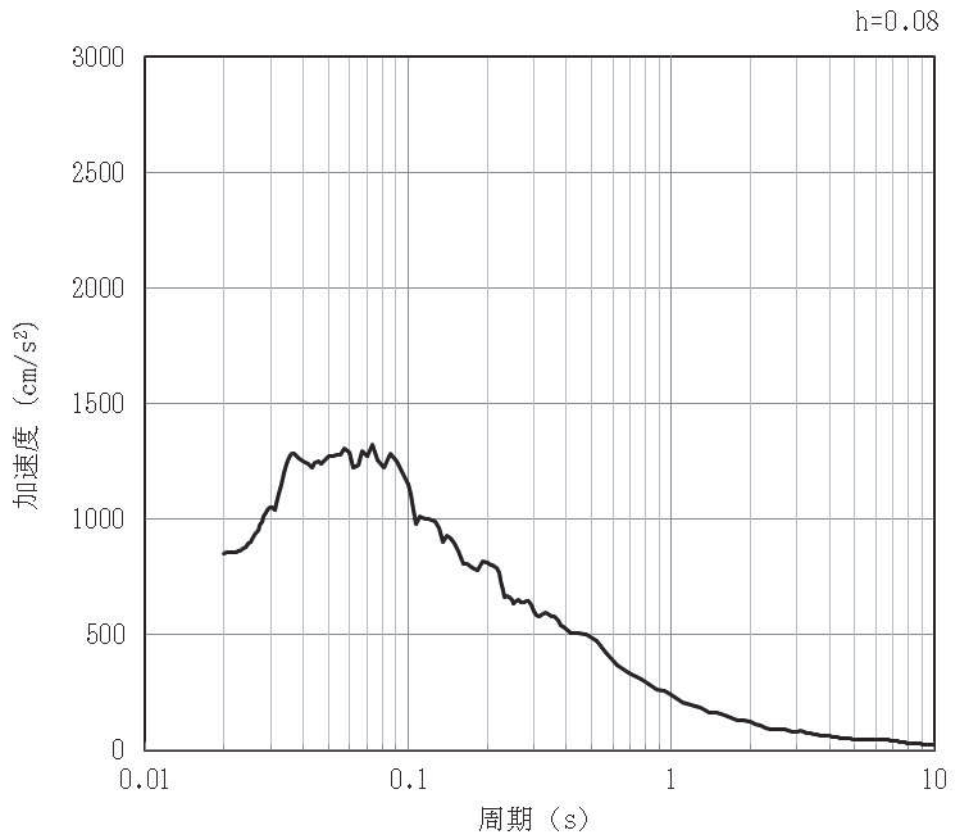


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-87 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 (水平方向: S s-D2)
(第 3 保管エリア②) (17/28)

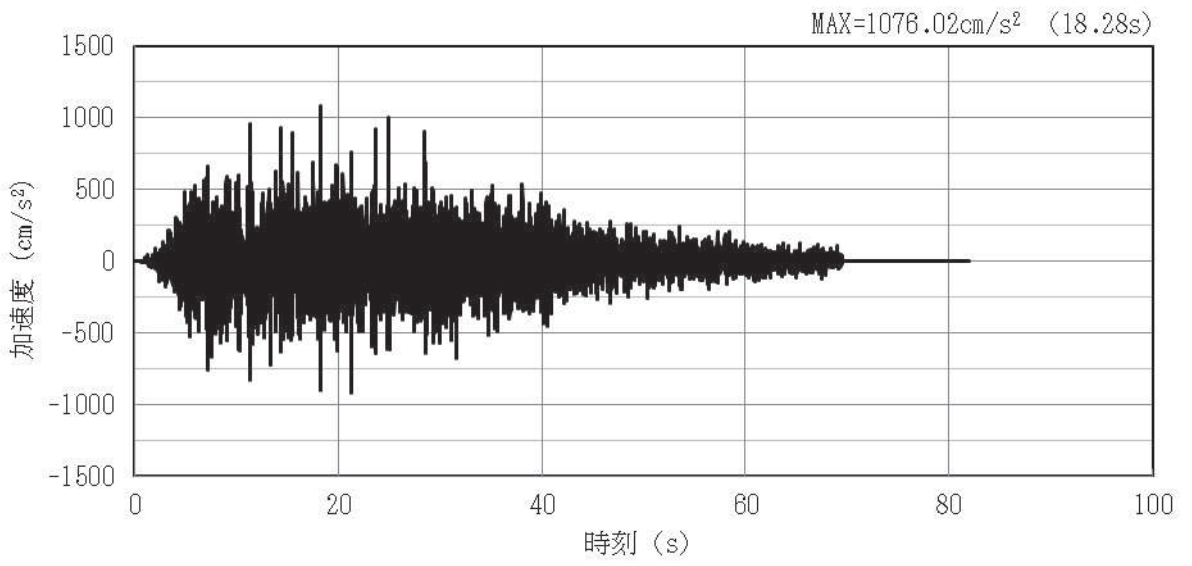


(a) 加速度時刻歴波形

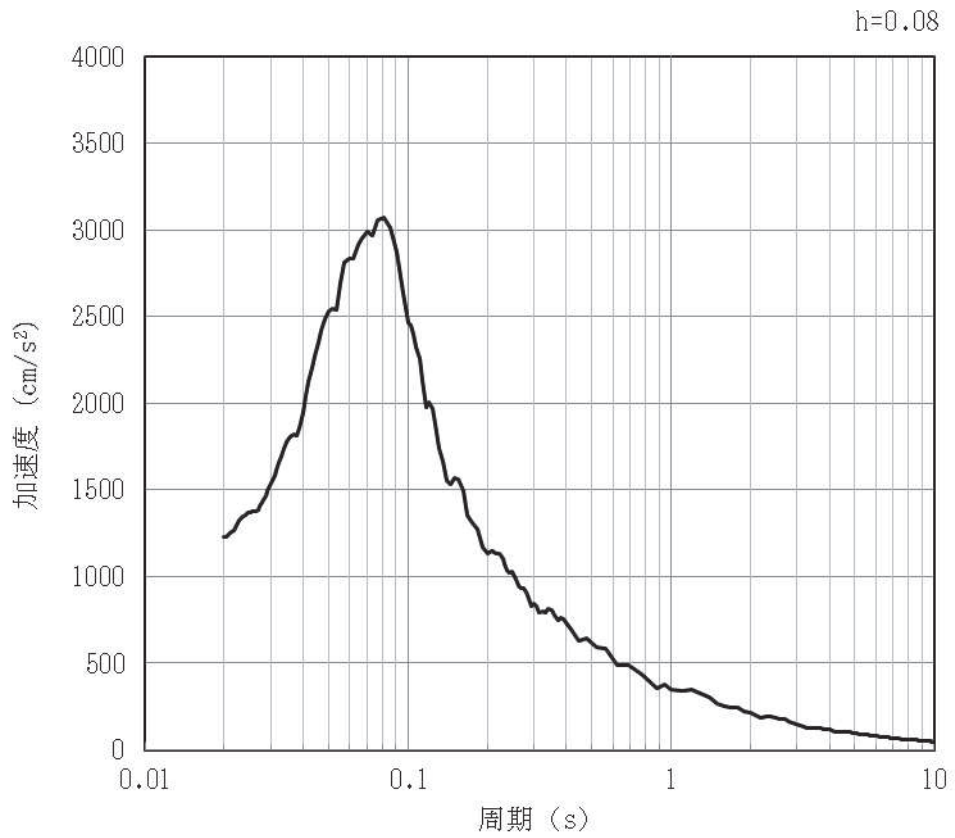


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-88 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 (鉛直方向: S s-D2)
(第 3 保管エリア②) (18/28)

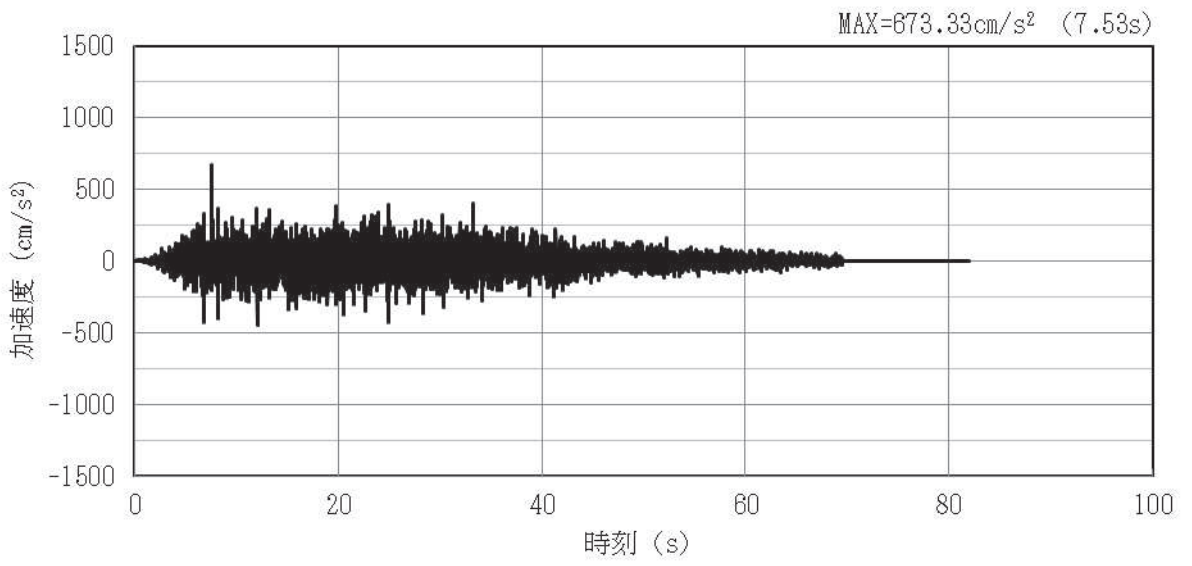


(a) 加速度時刻歴波形

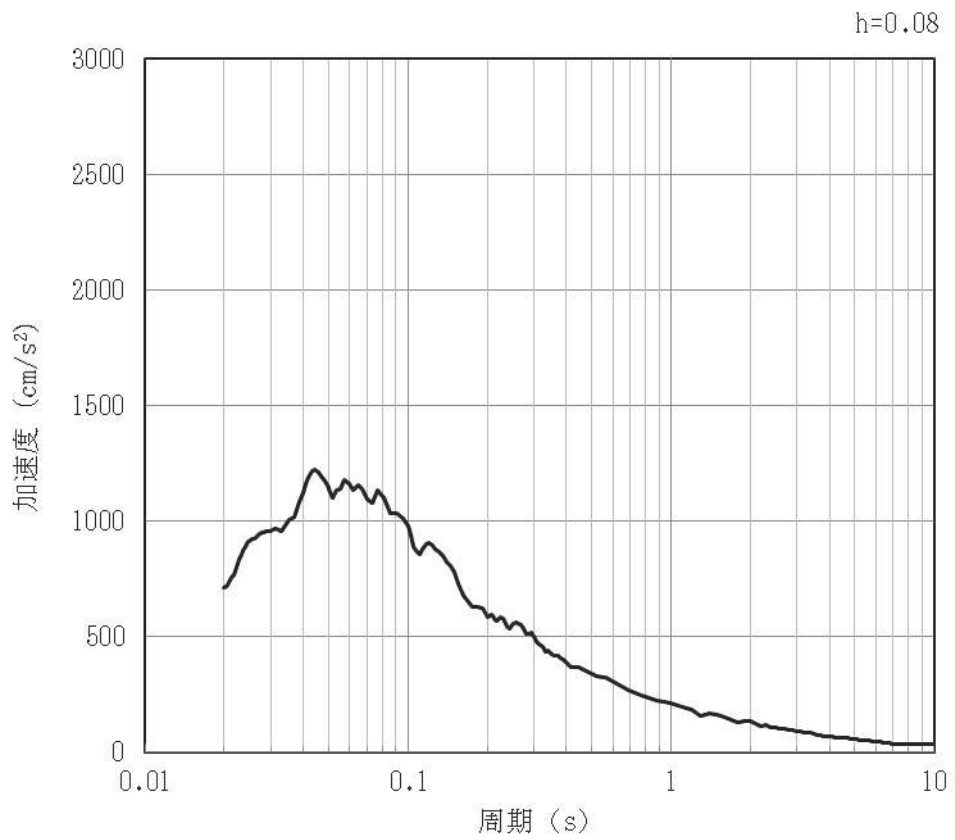


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-89 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 (水平方向: S s-D3)
(第 3 保管エリア②) (19/28)

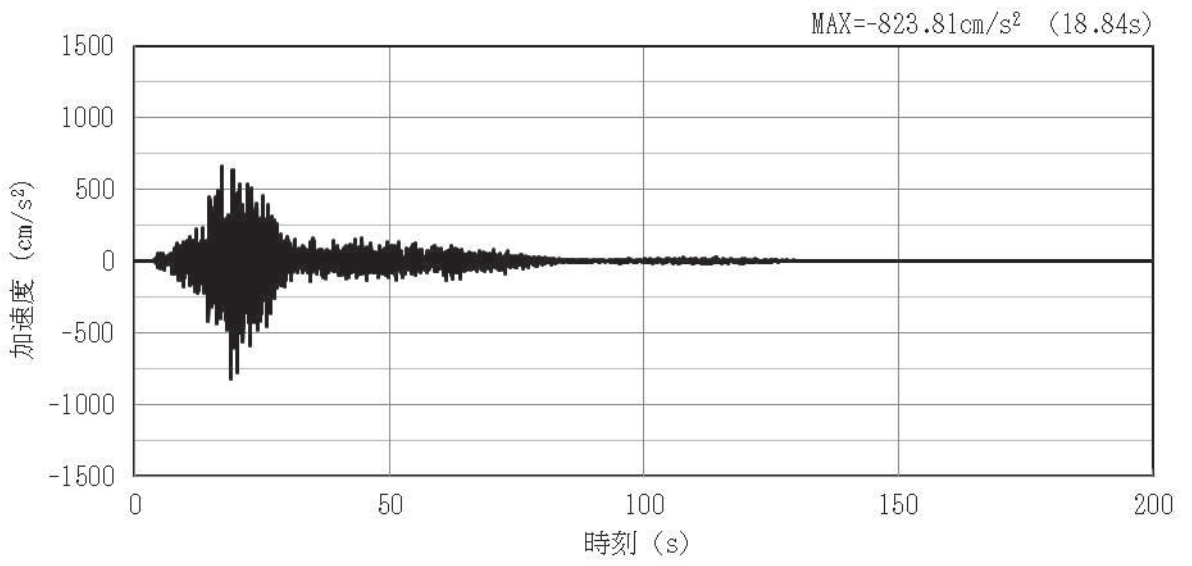


(a) 加速度時刻歴波形

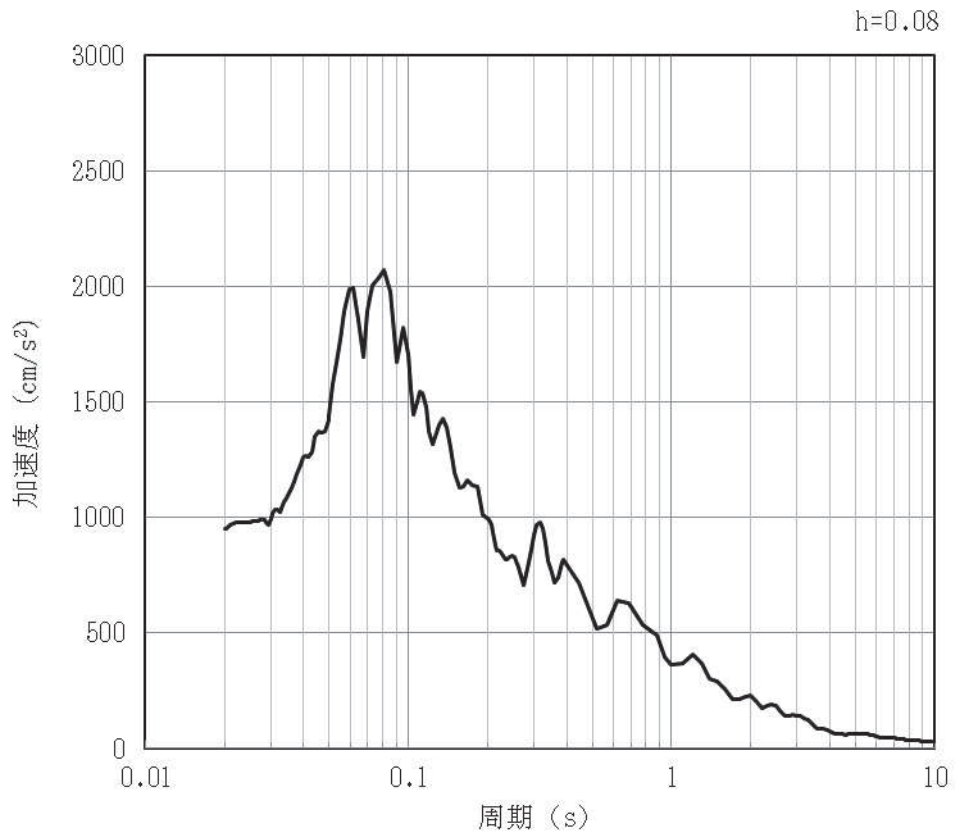


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-90 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 (鉛直方向: S s-D3)
(第 3 保管エリア②) (20/28)

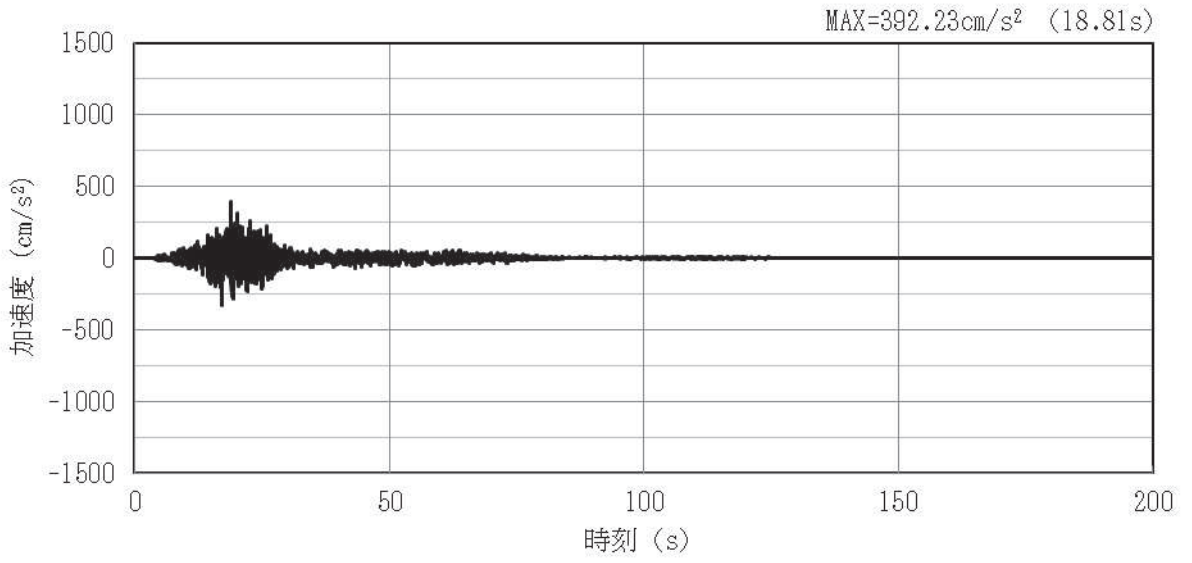


(a) 加速度時刻歴波形

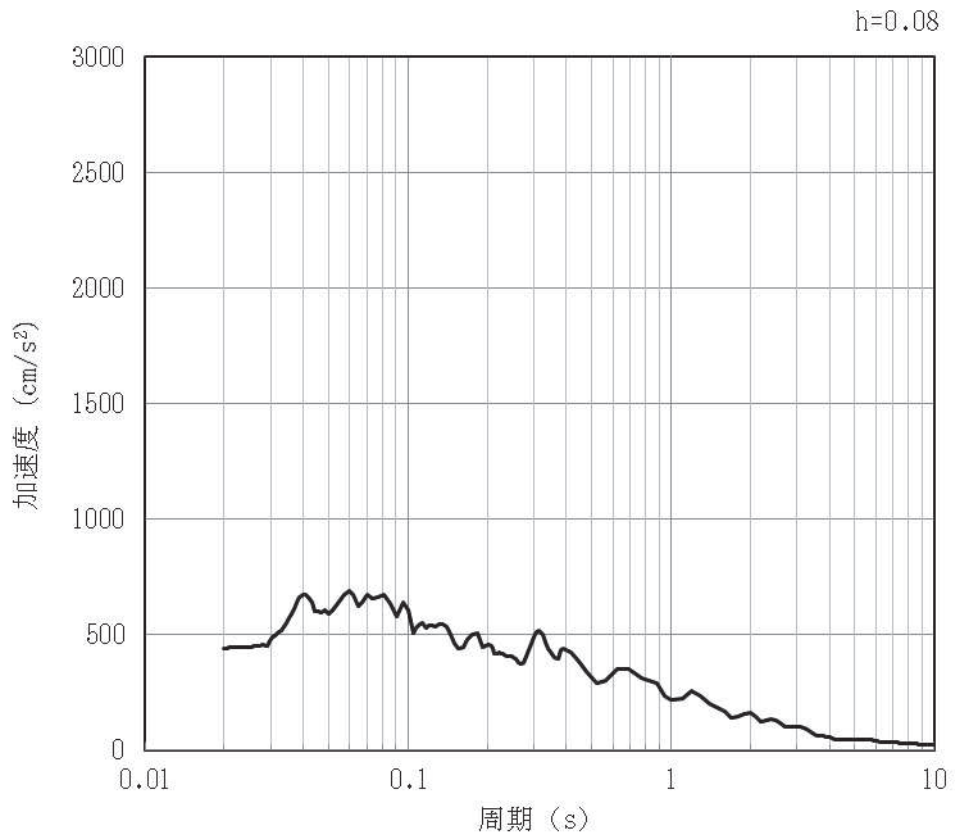


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-91 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（水平方向：S s-F1）
（第3保管エリア②）（21/28）

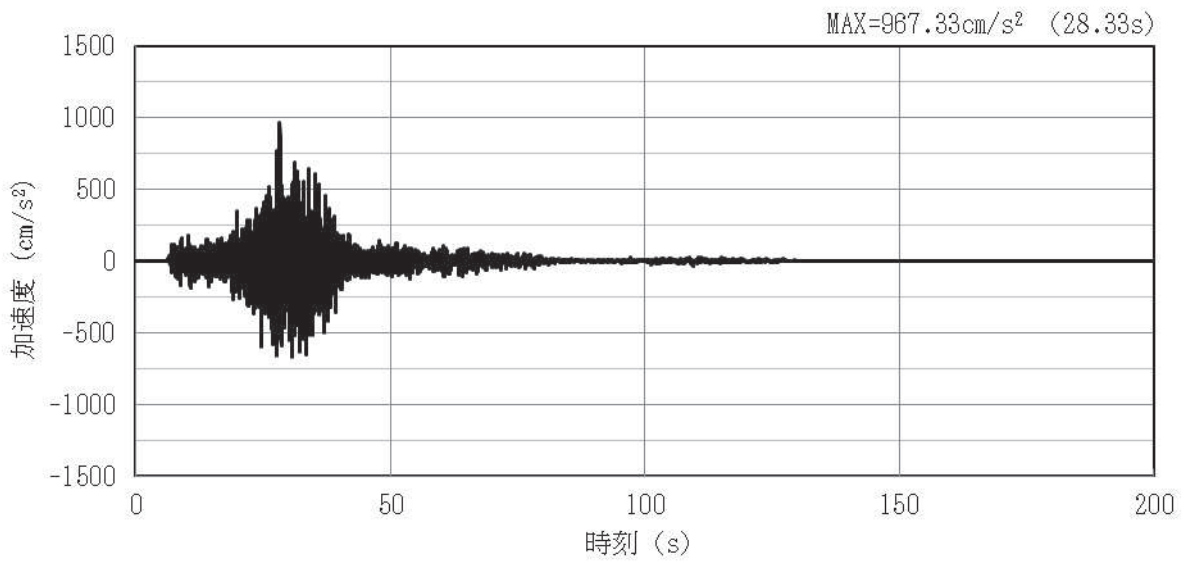


(a) 加速度時刻歴波形

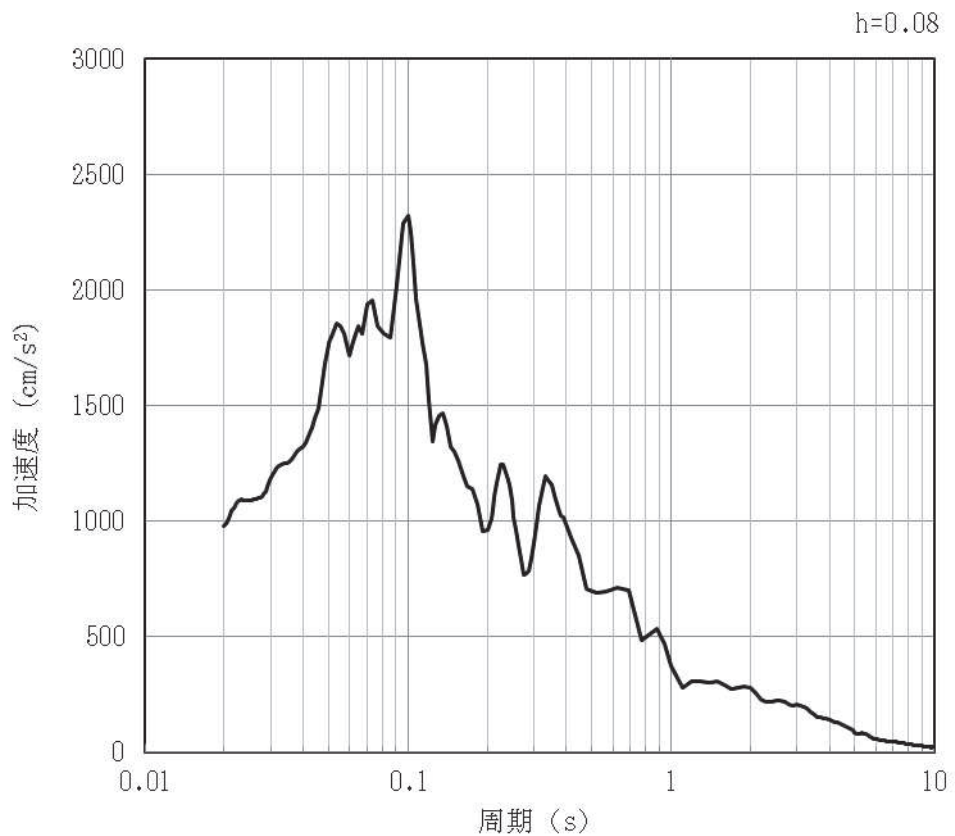


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-92 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 (鉛直方向: S s-F1)
(第 3 保管エリア②) (22/28)

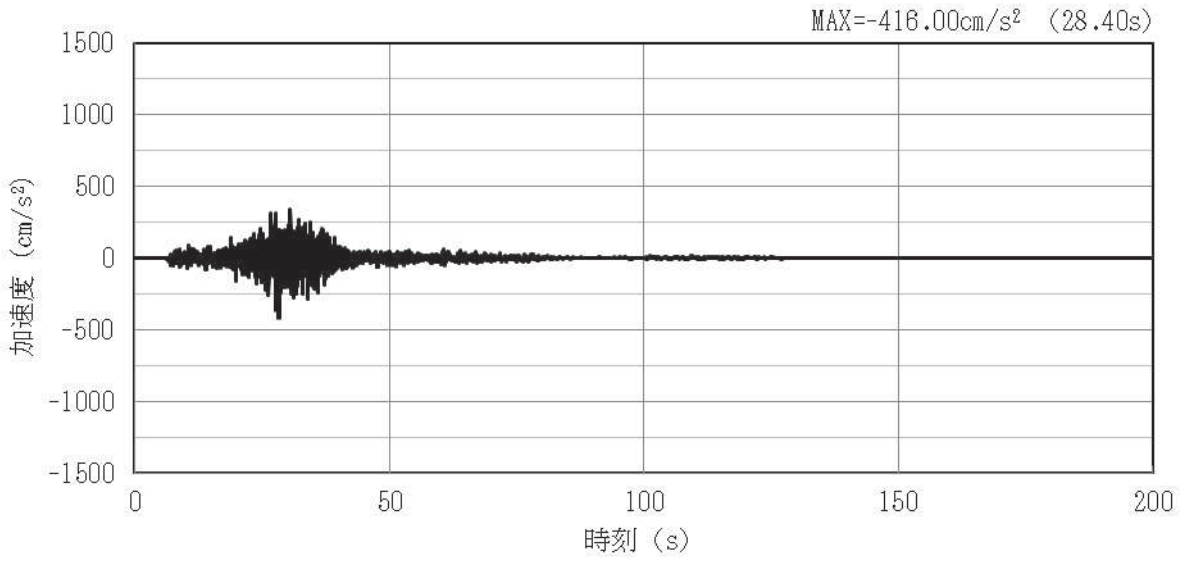


(a) 加速度時刻歴波形

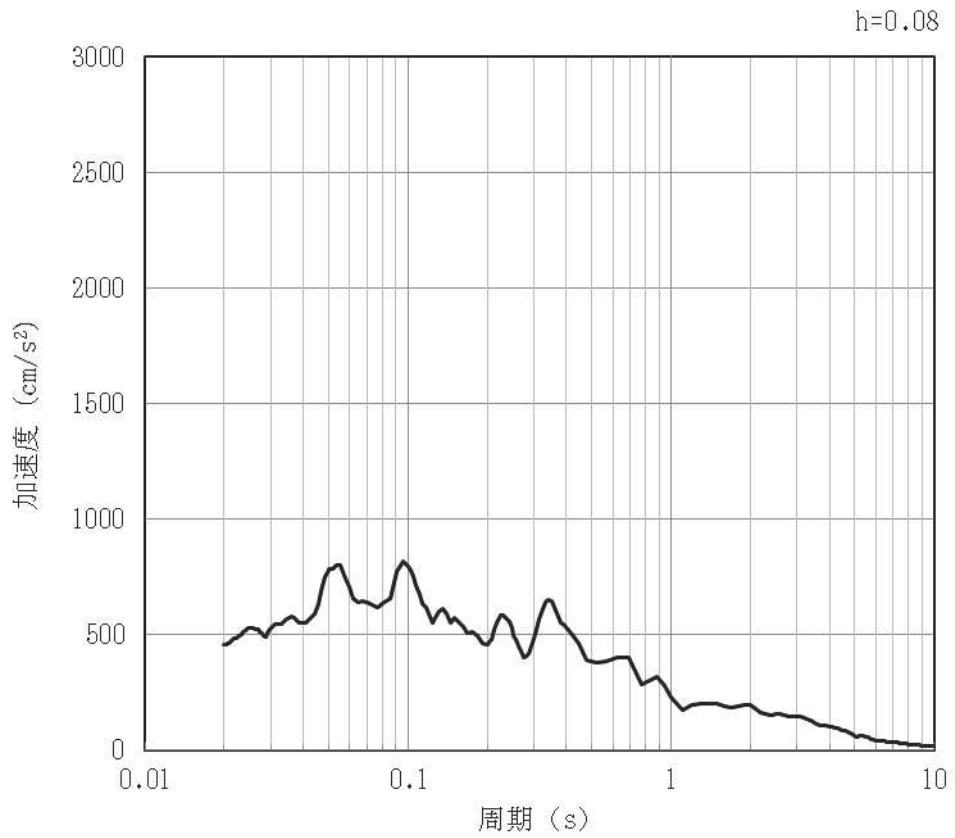


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-93 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 (水平方向: S s-F2)
(第3保管エリア②) (23/28)

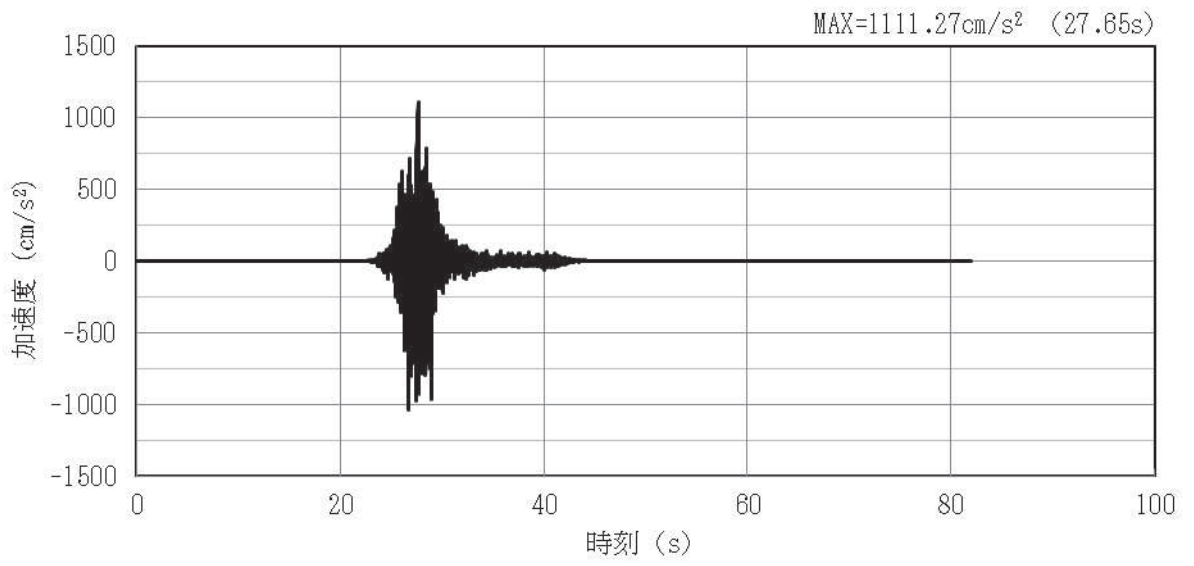


(a) 加速度時刻歴波形

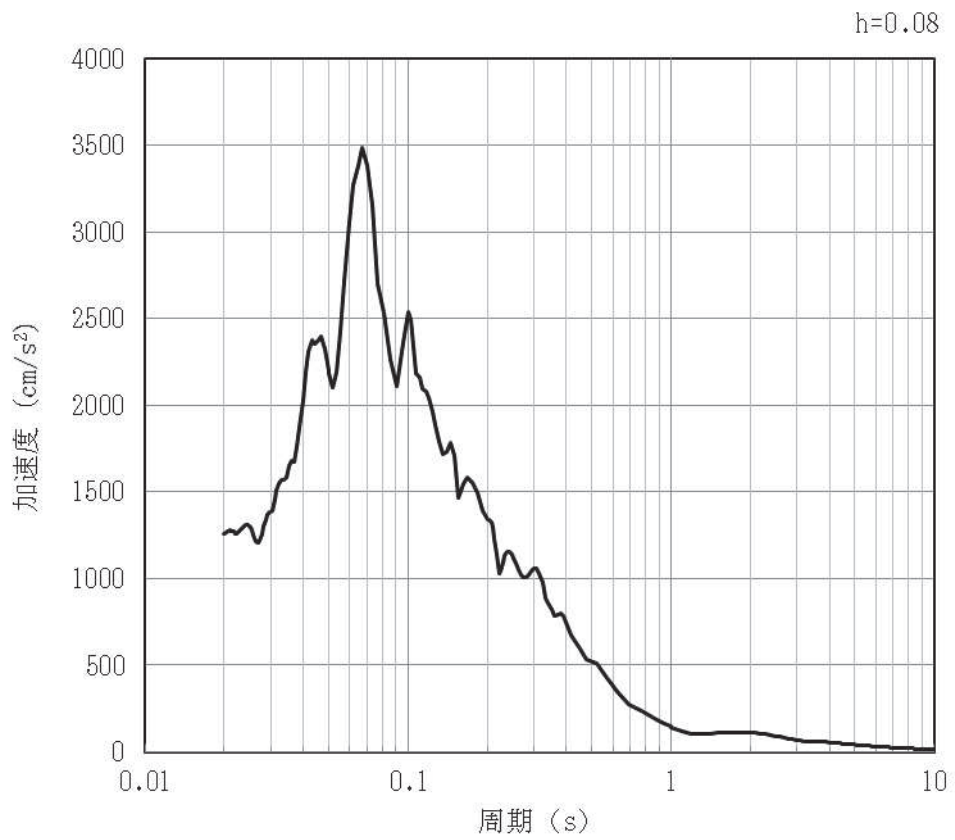


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-94 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 (鉛直方向: S s-F2)
(第 3 保管エリア②) (24/28)

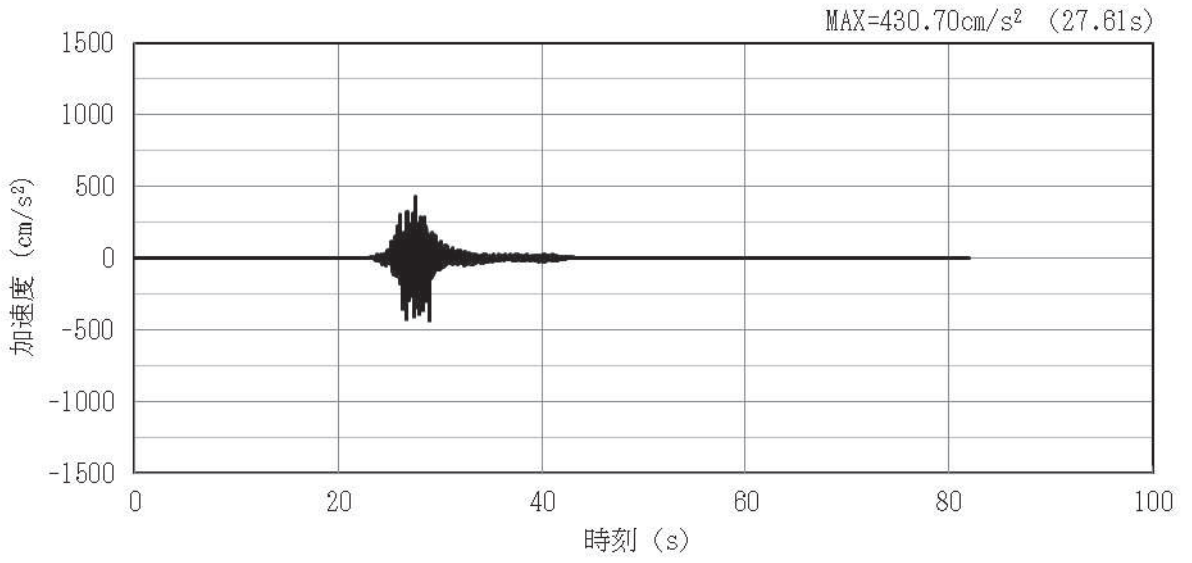


(a) 加速度時刻歴波形

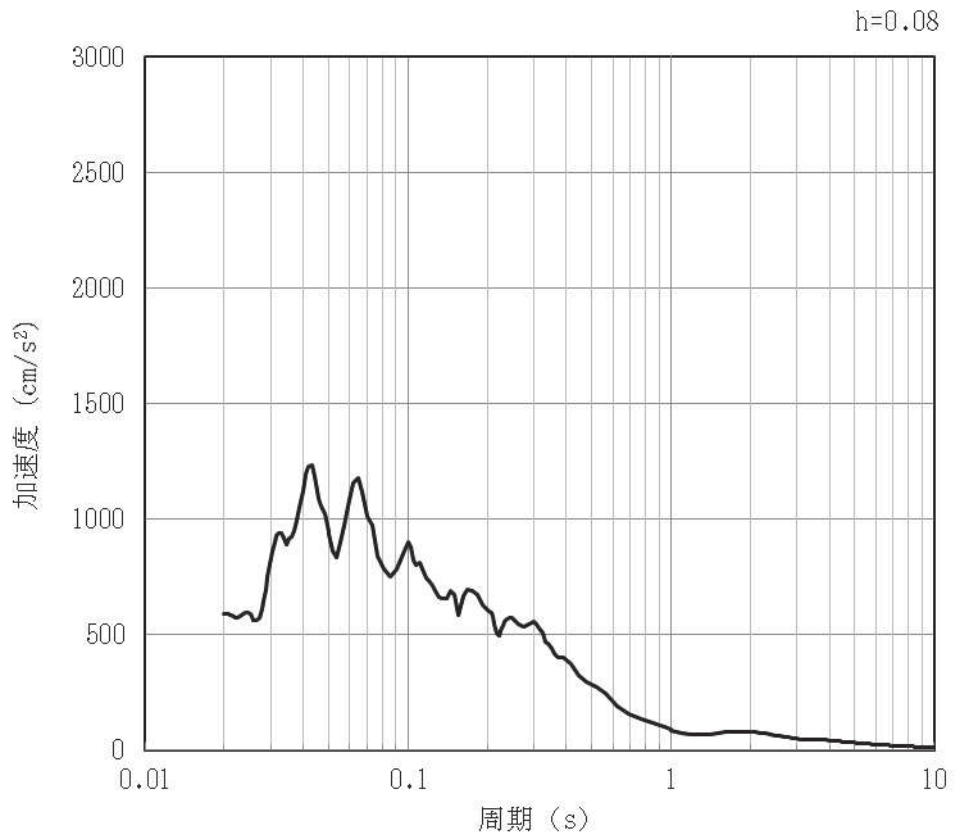


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-95 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 (水平方向: S s-F3)
(第3保管エリア②) (25/28)

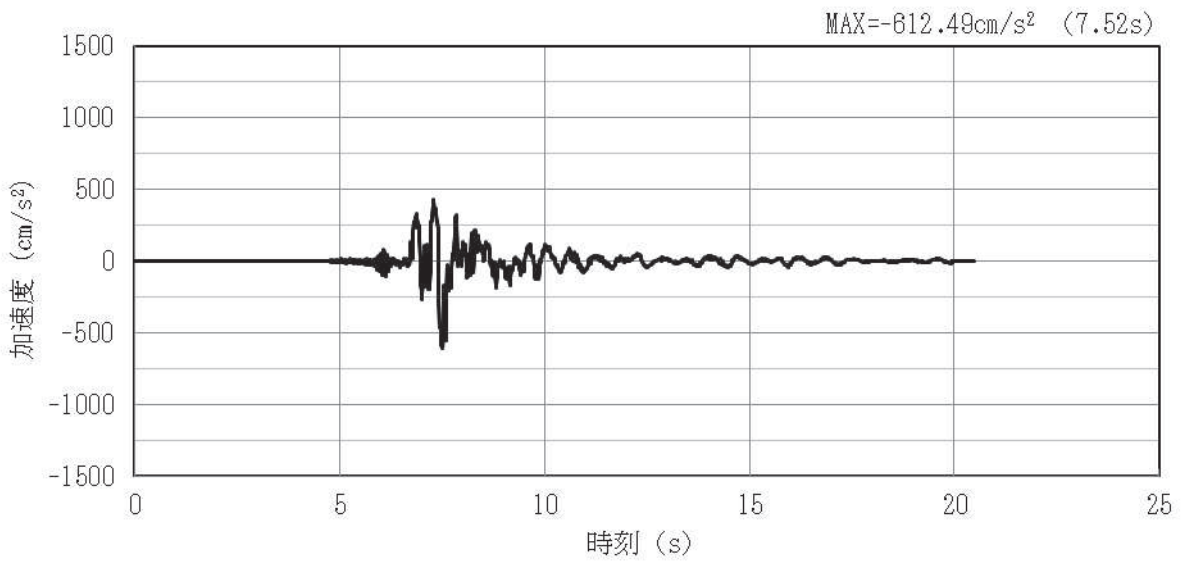


(a) 加速度時刻歴波形

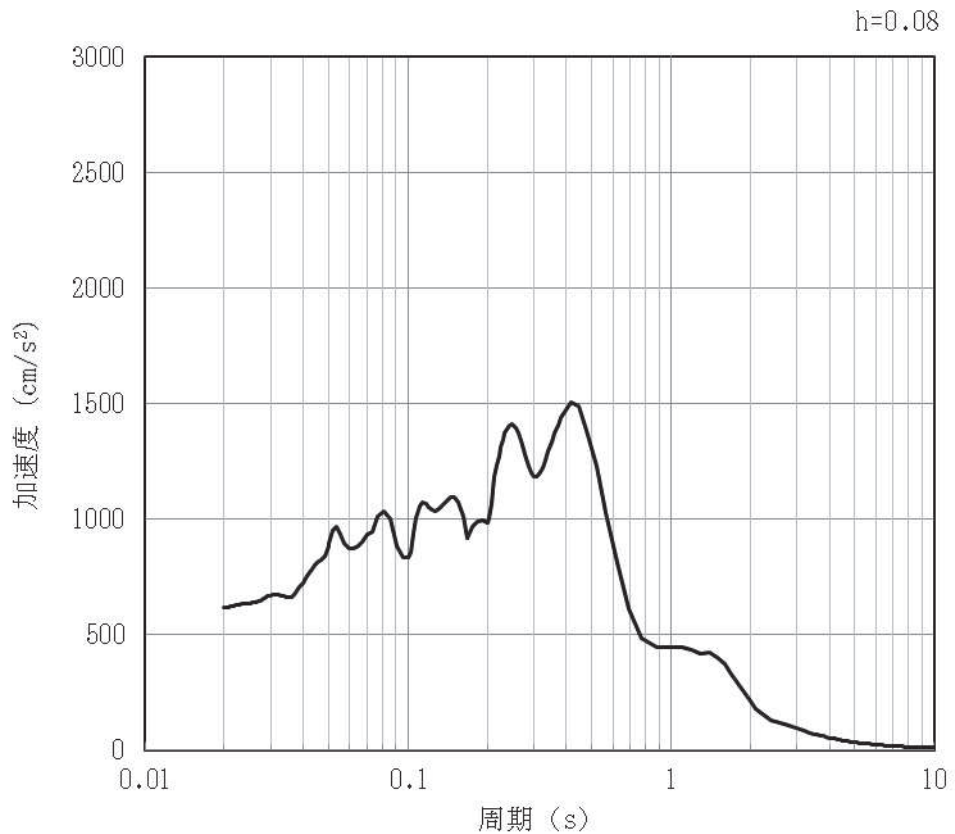


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-96 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 (鉛直方向: S s-F3)
(第 3 保管エリア②) (26/28)

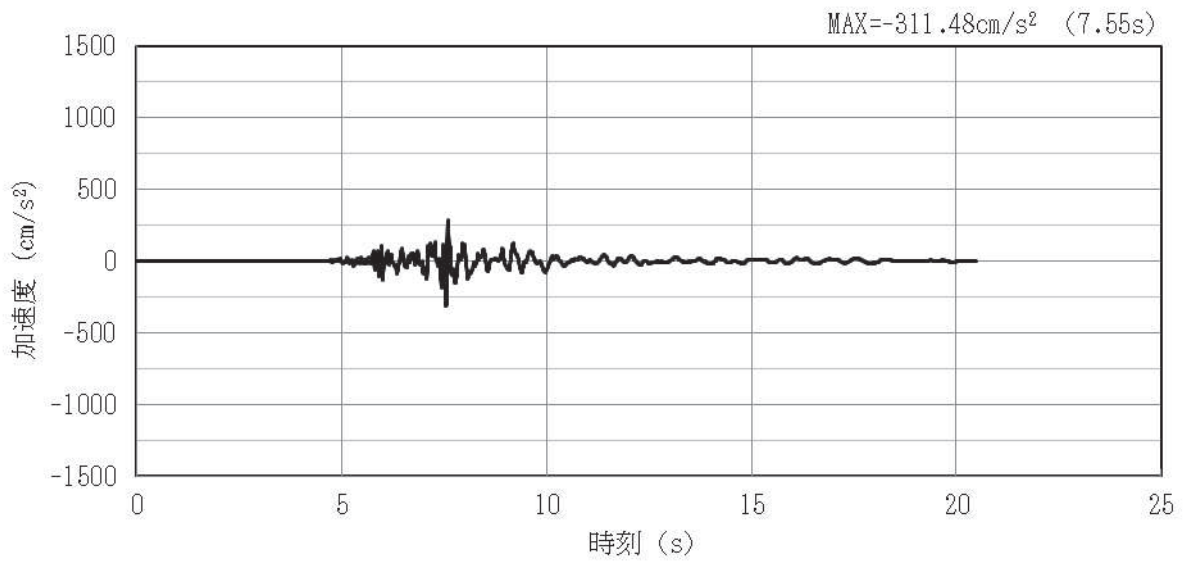


(a) 加速度時刻歴波形

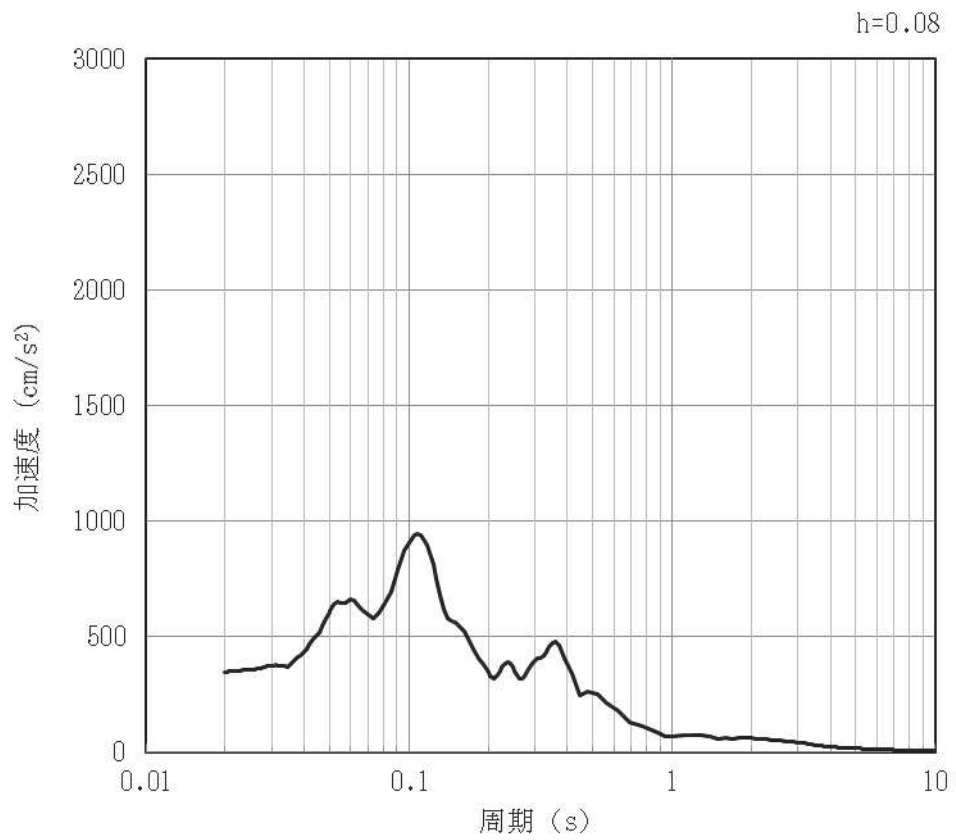


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-97 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 (水平方向 : S s-N1)
(第 3 保管エリア②) (27/28)



(a) 加速度時刻歴波形



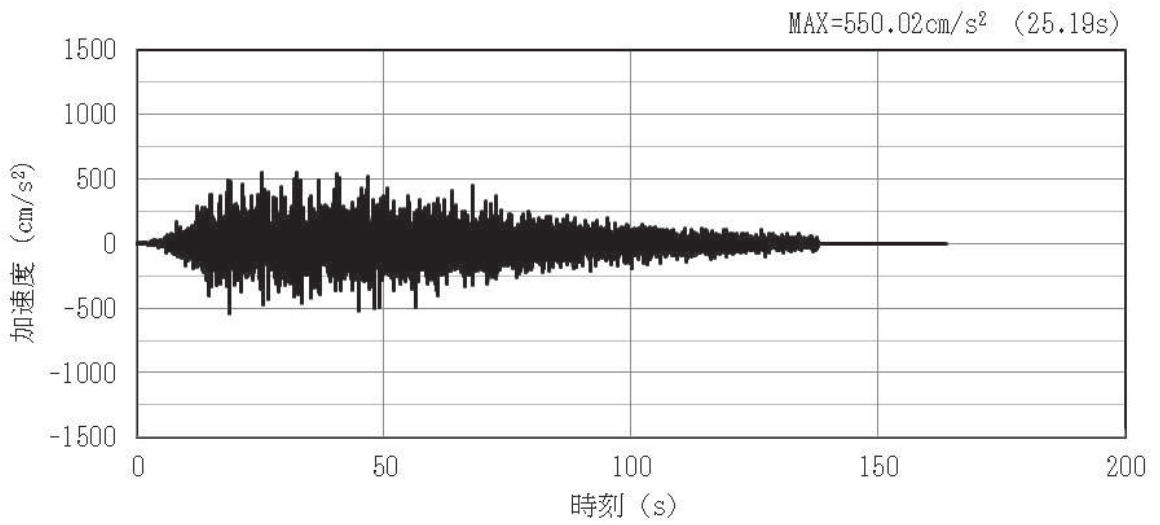
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-98 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 (鉛直方向 : S s-N1)
(第 3 保管エリア②) (28/28)

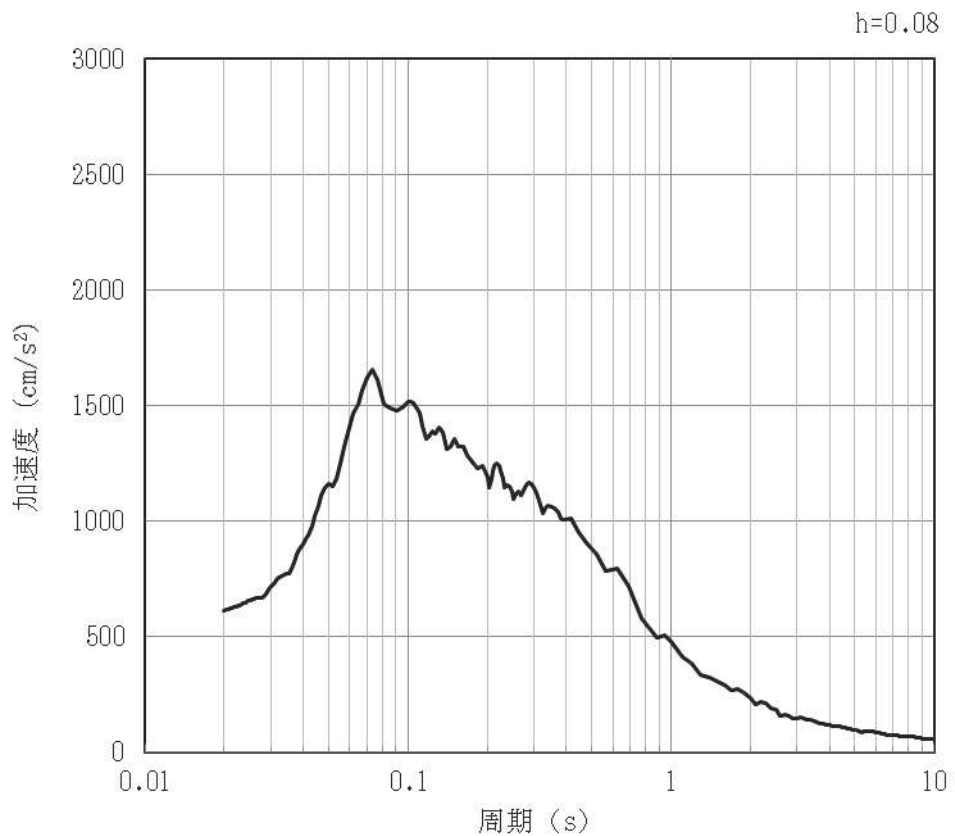
4.5 第4保管エリア

一次元重複反射理論による地震応答解析により算定した第4保管エリアの地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル（基本ケース）を図4-99～図4-126に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数（8%）を考慮し設定する。

(1) 第4保管エリア①

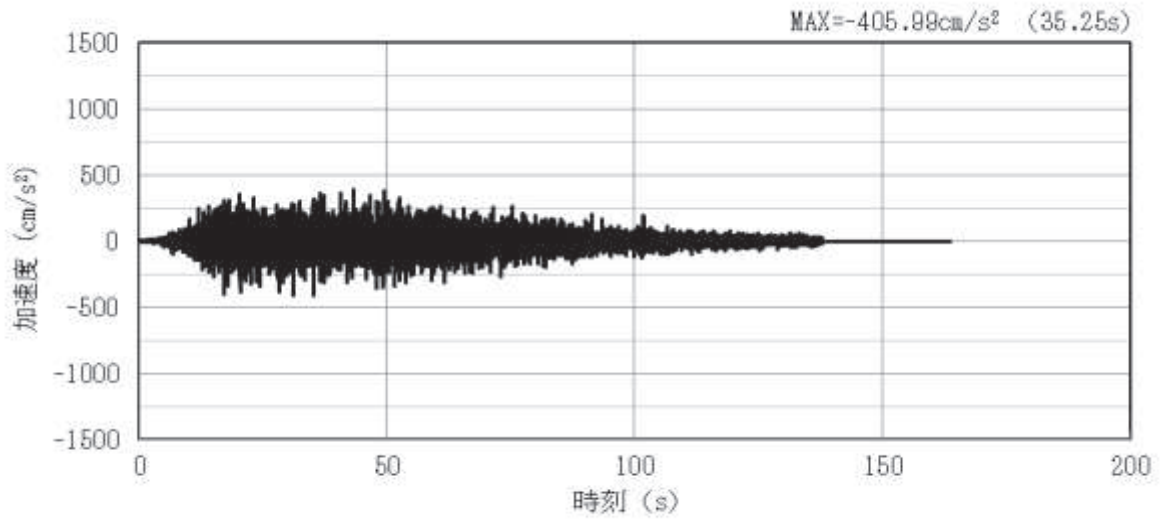


(a) 加速度時刻歴波形

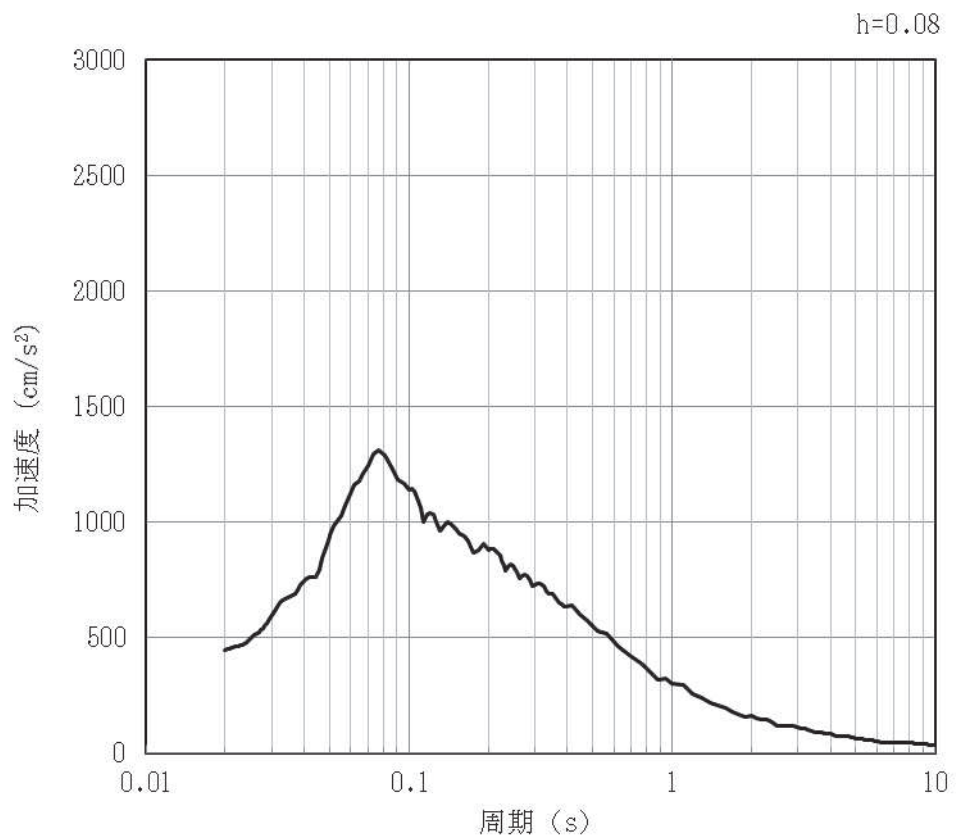


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-99 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 (水平方向: S s-D1)
(第4保管エリア①) (1/28)

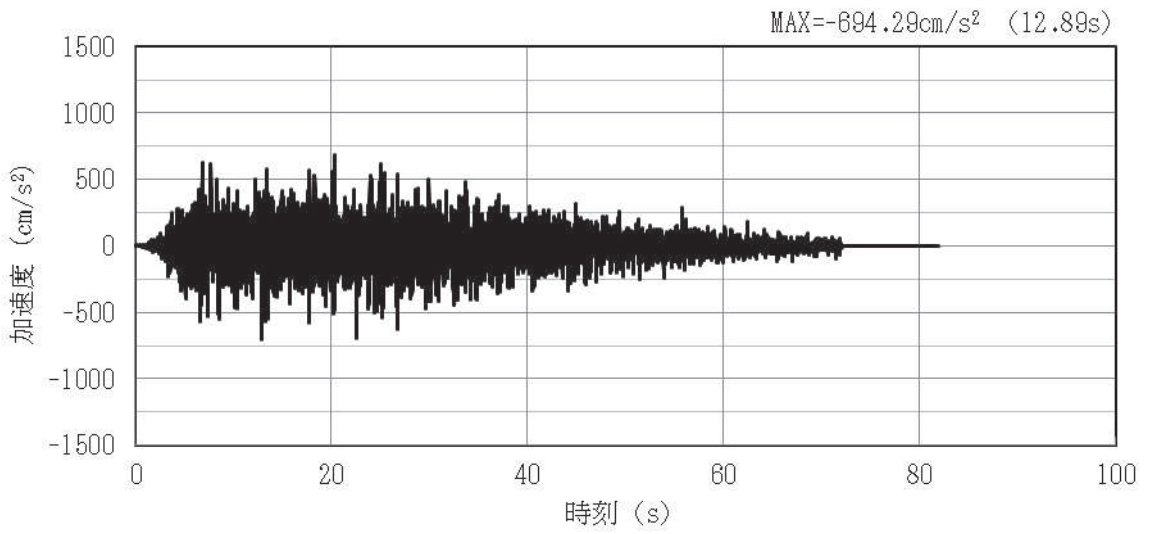


(a) 加速度時刻歴波形

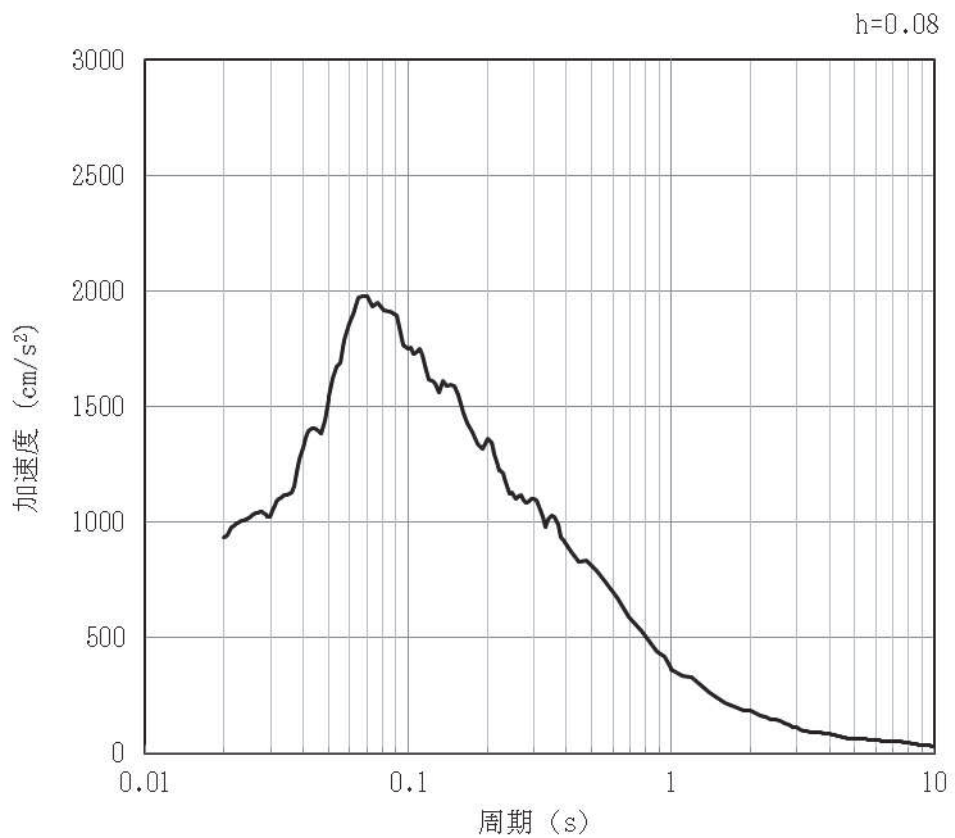


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-100 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（鉛直方向：S s-D1）
（第 4 保管エリア①）（2/28）

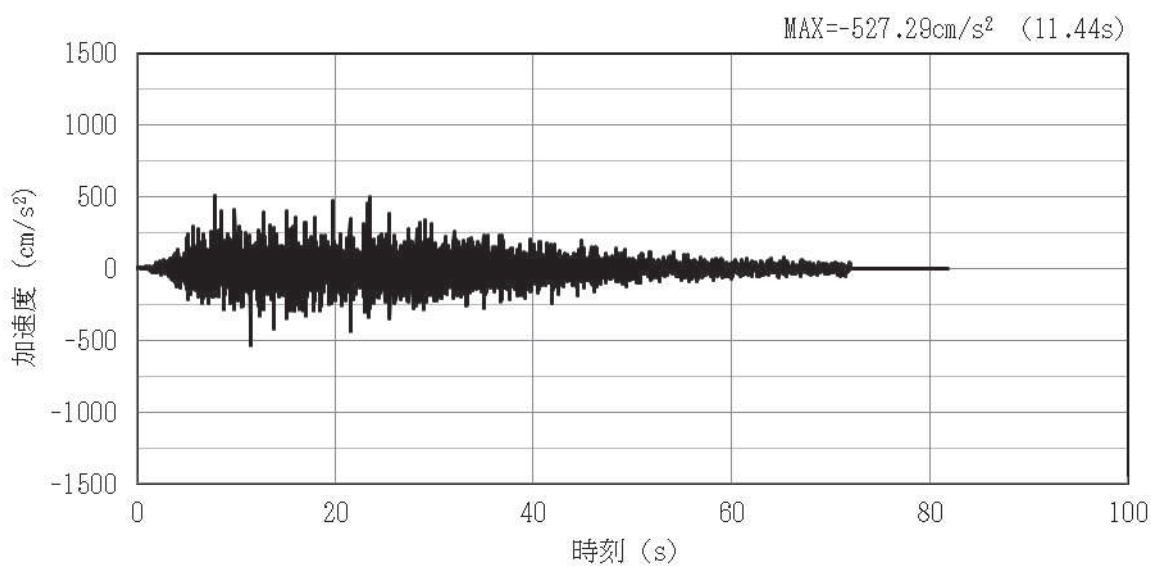


(a) 加速度時刻歴波形

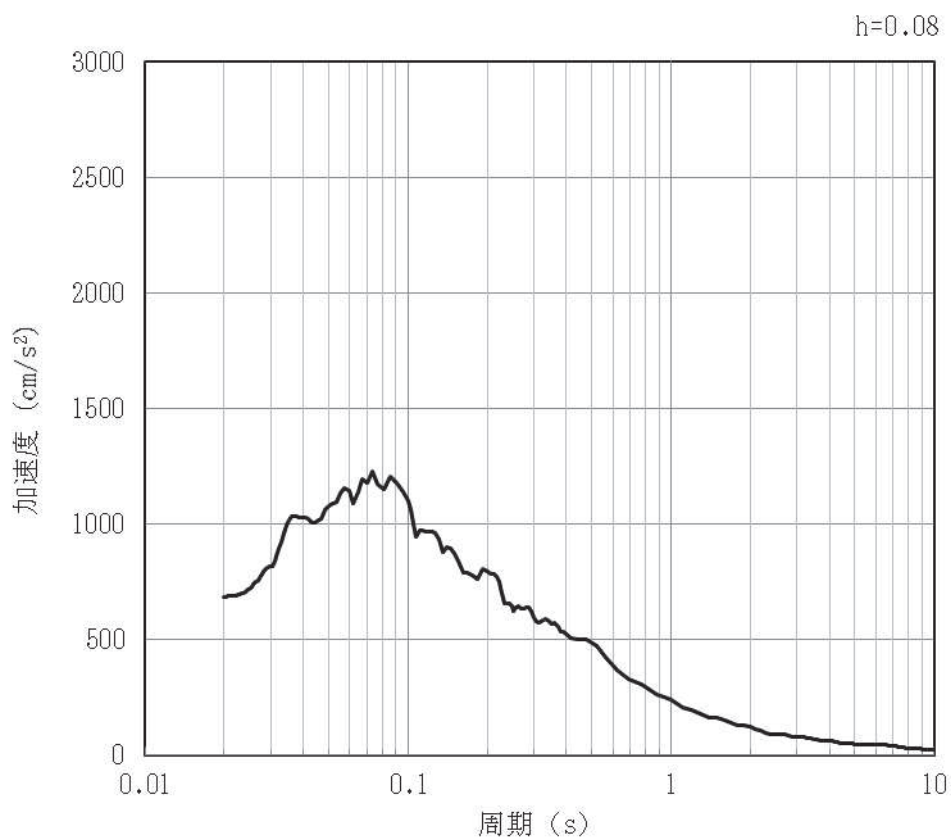


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-101 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 (水平方向: S s-D2)
(第 4 保管エリア①) (3/28)

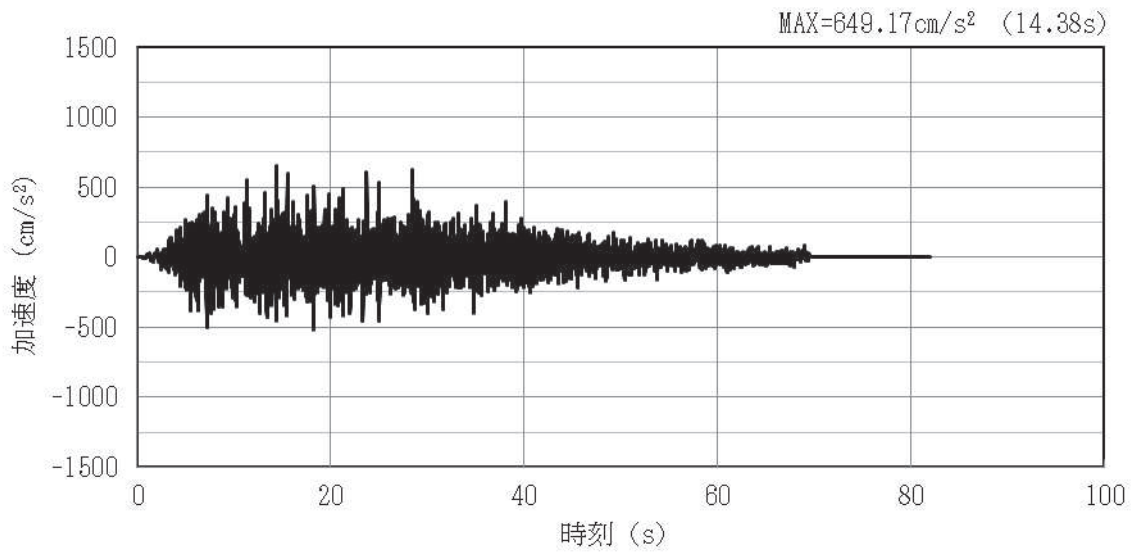


(a) 加速度時刻歴波形

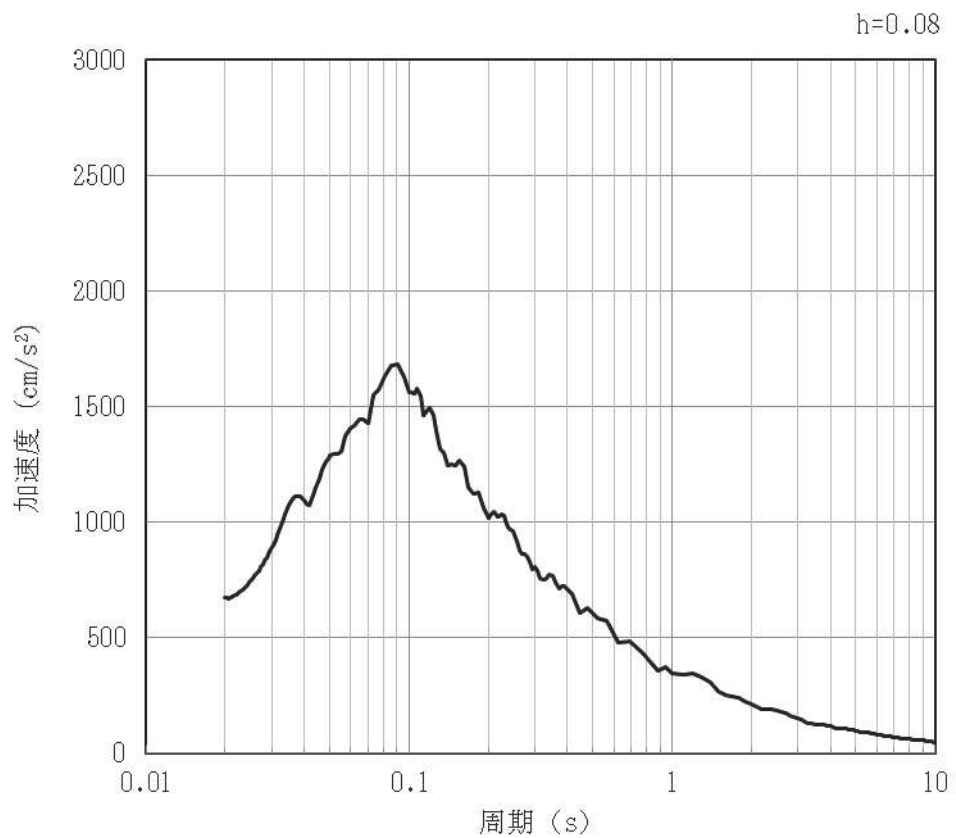


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-102 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（鉛直方向：S s-D2）
（第 4 保管エリア①）（4/28）

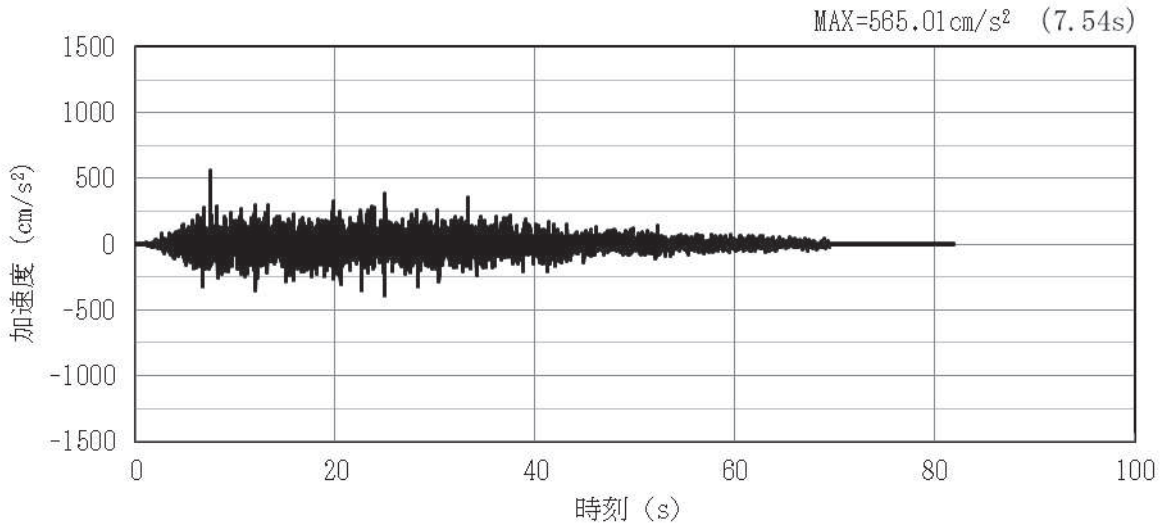


(a) 加速度時刻歴波形

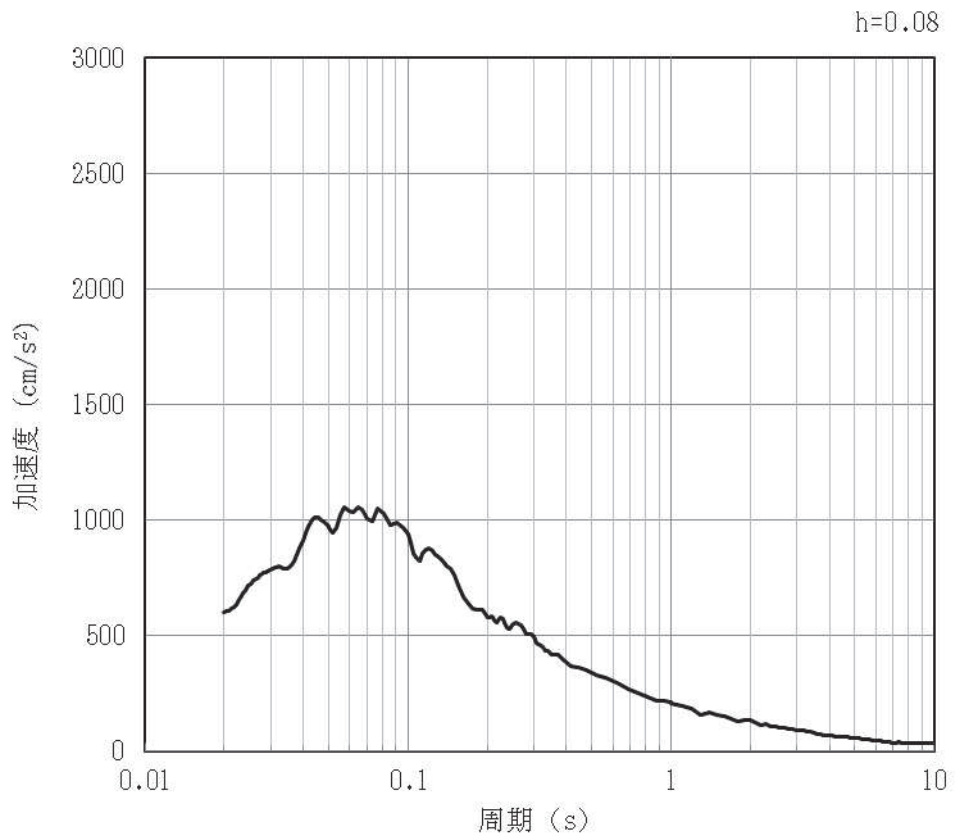


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-103 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（水平方向：S s-D3）
（第 4 保管エリア①）（5/28）

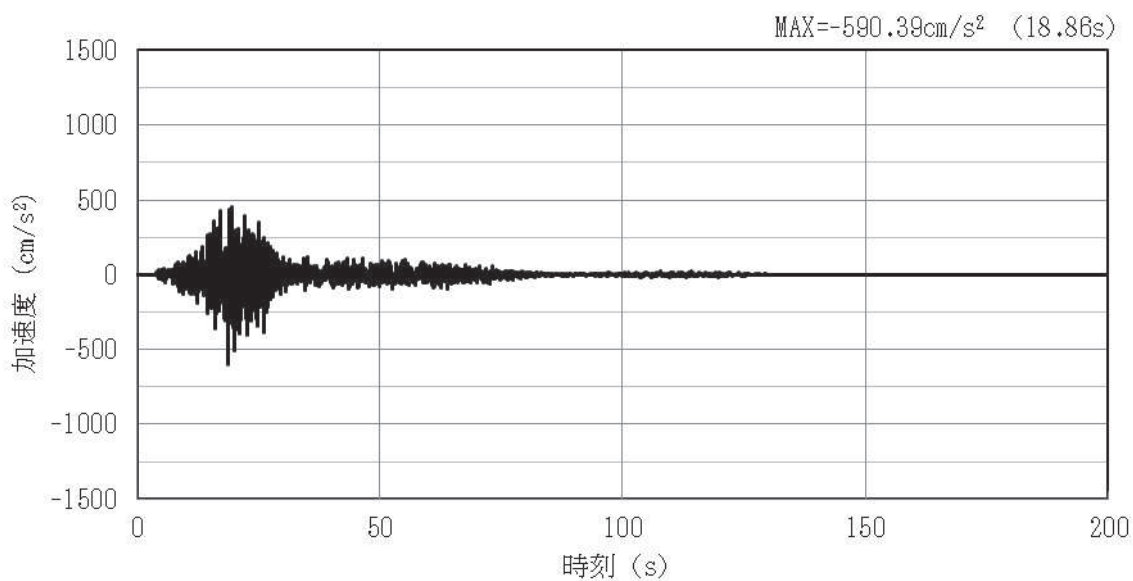


(a) 加速度時刻歴波形

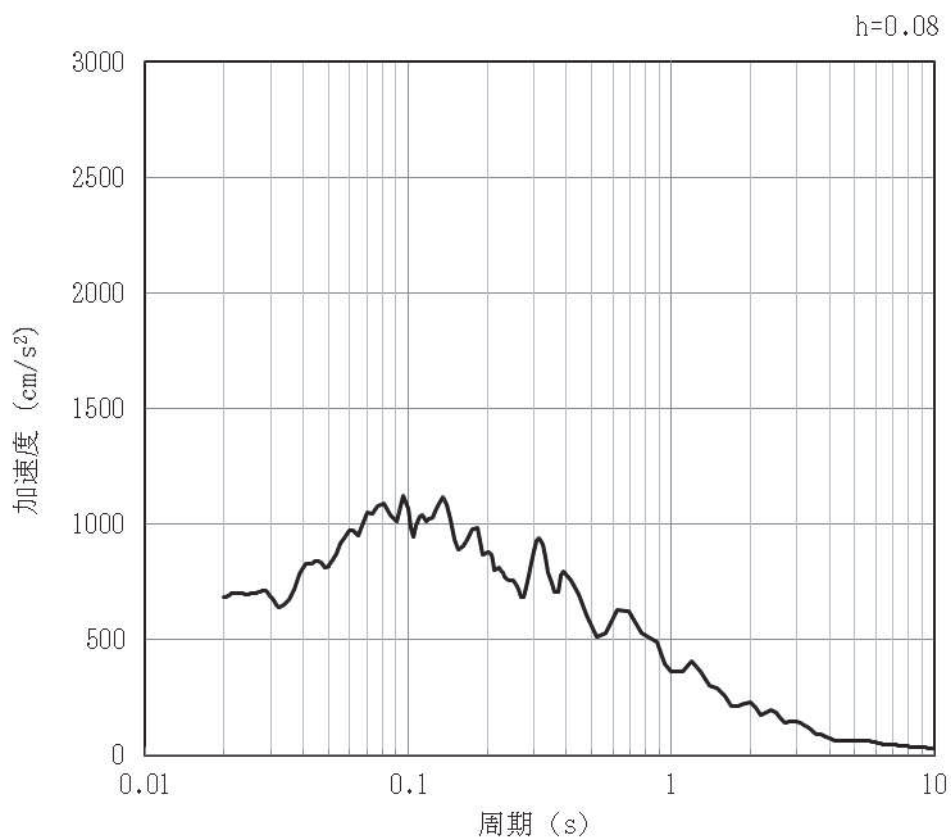


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-104 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（鉛直方向：S s-D3）
（第 4 保管エリア①）（6/28）

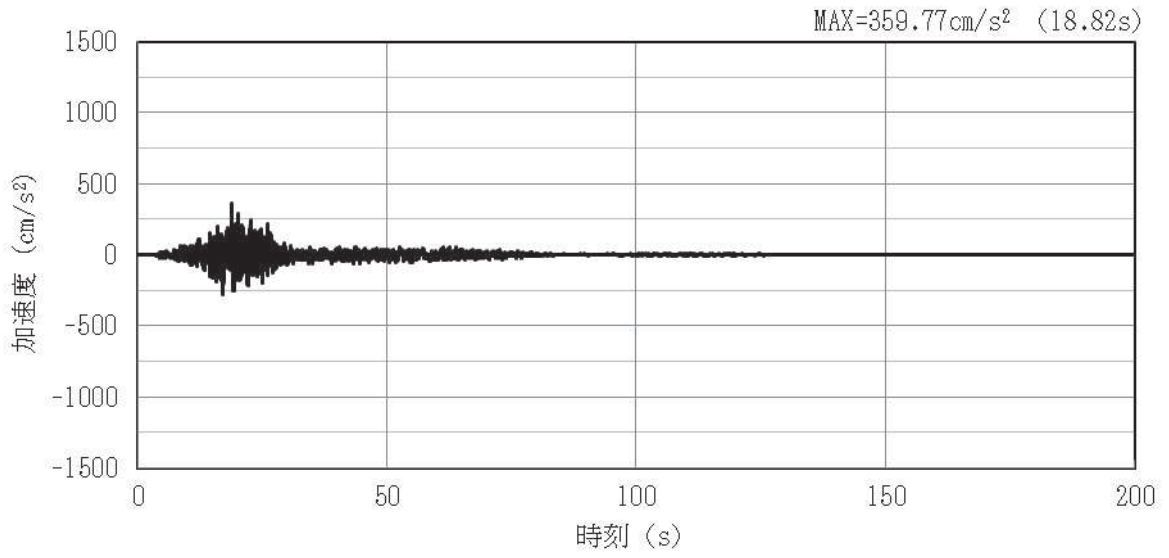


(a) 加速度時刻歴波形

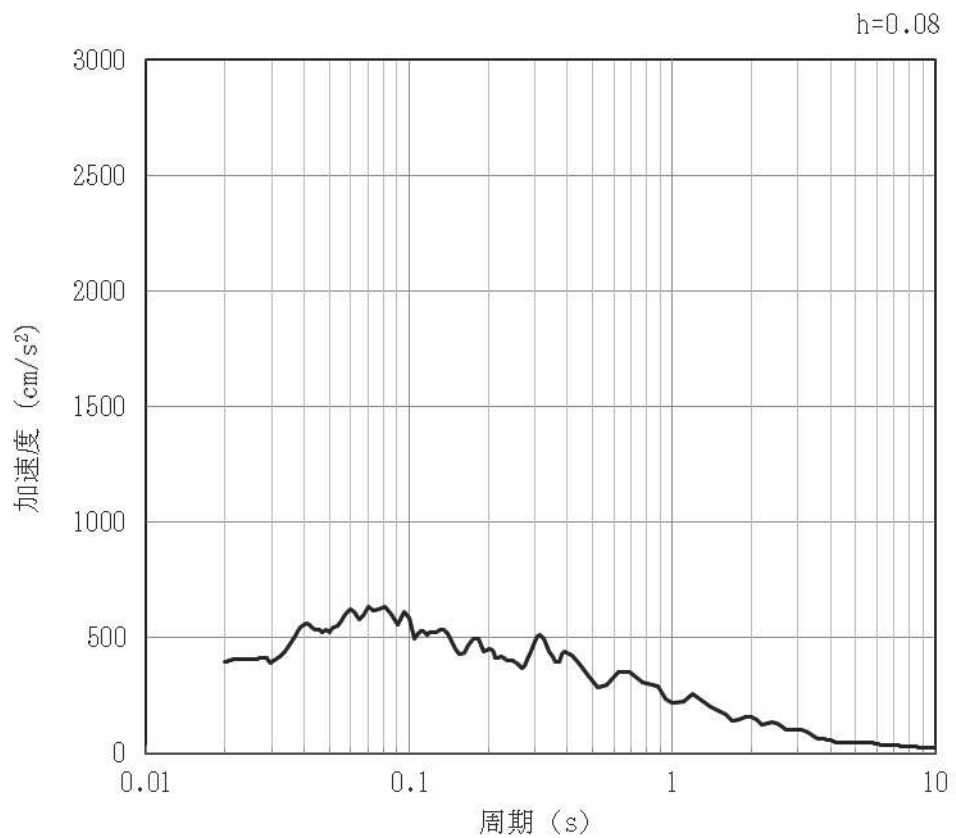


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-105 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（水平方向：S s-F1）
（第4保管エリア①）（7/28）

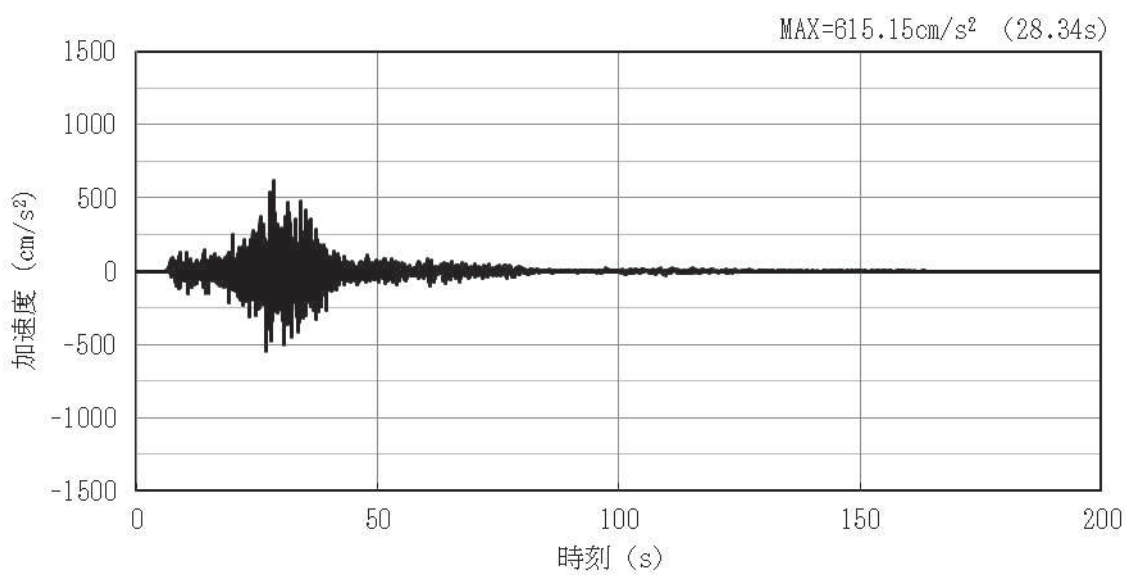


(a) 加速度時刻歴波形

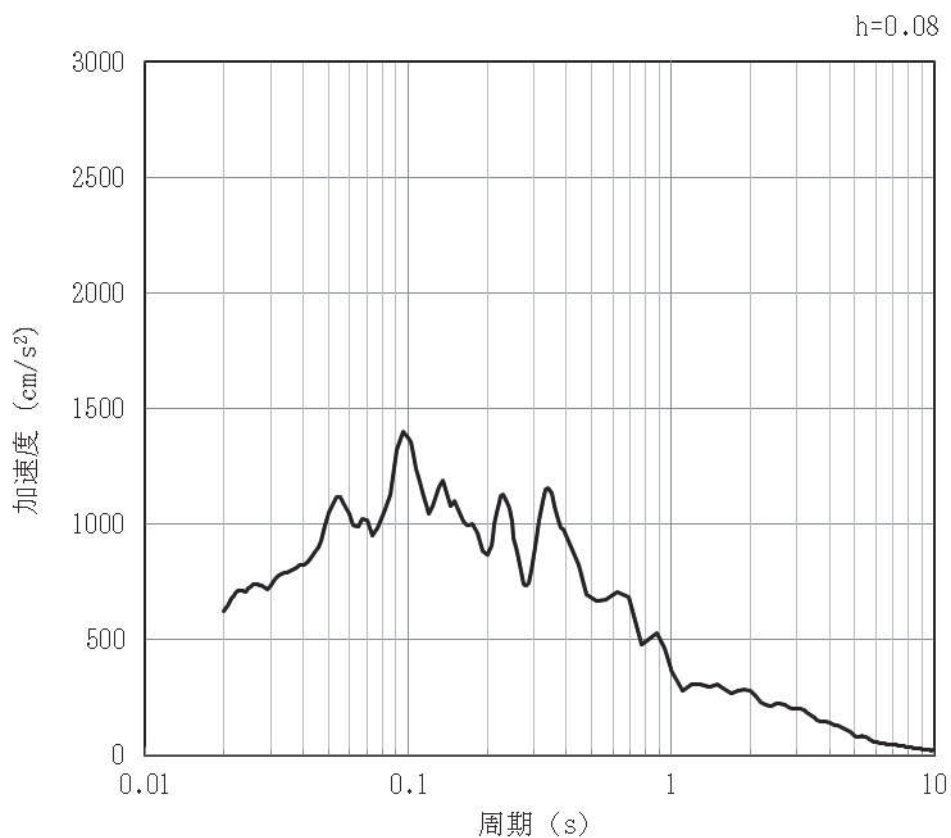


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-106 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（鉛直方向：S s-F1）
（第 4 保管エリア①）（8/28）

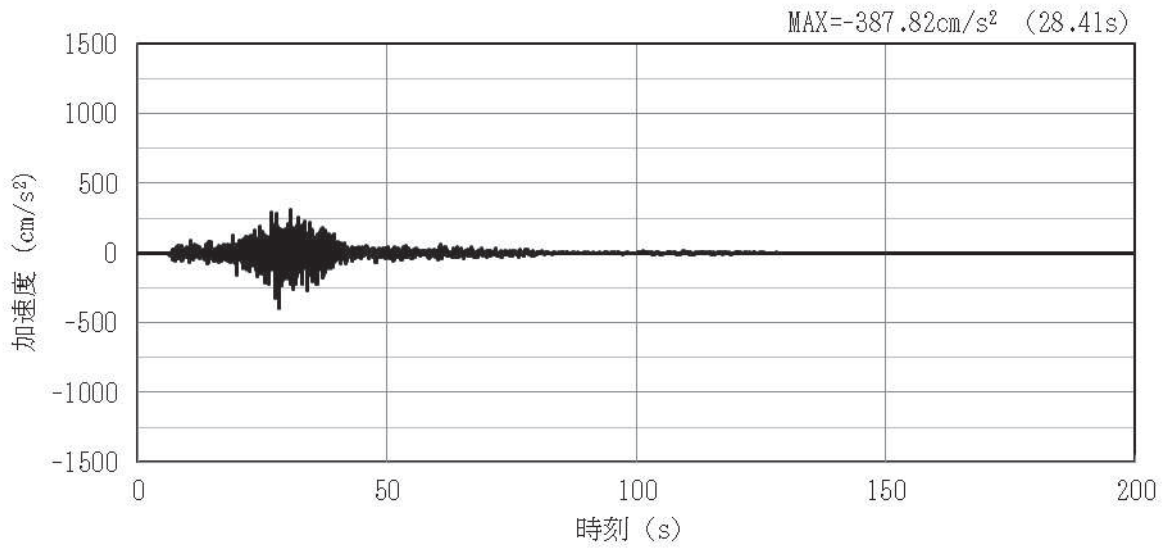


(a) 加速度時刻歴波形

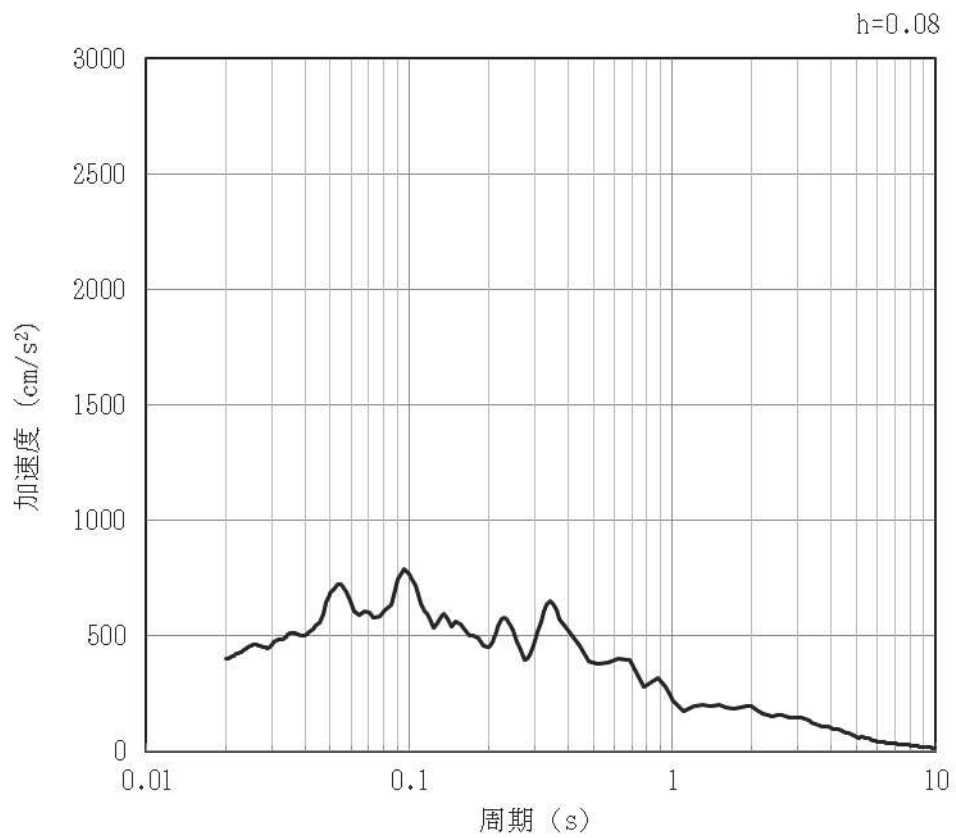


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-107 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（水平方向：S s-F2）
（第 4 保管エリア①）（9/28）

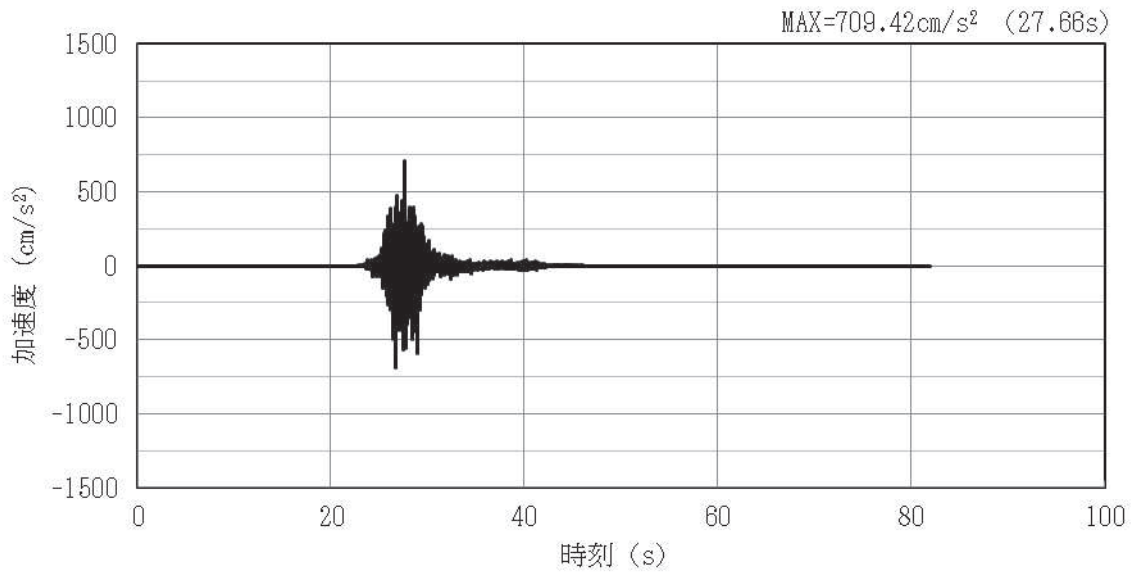


(a) 加速度時刻歴波形

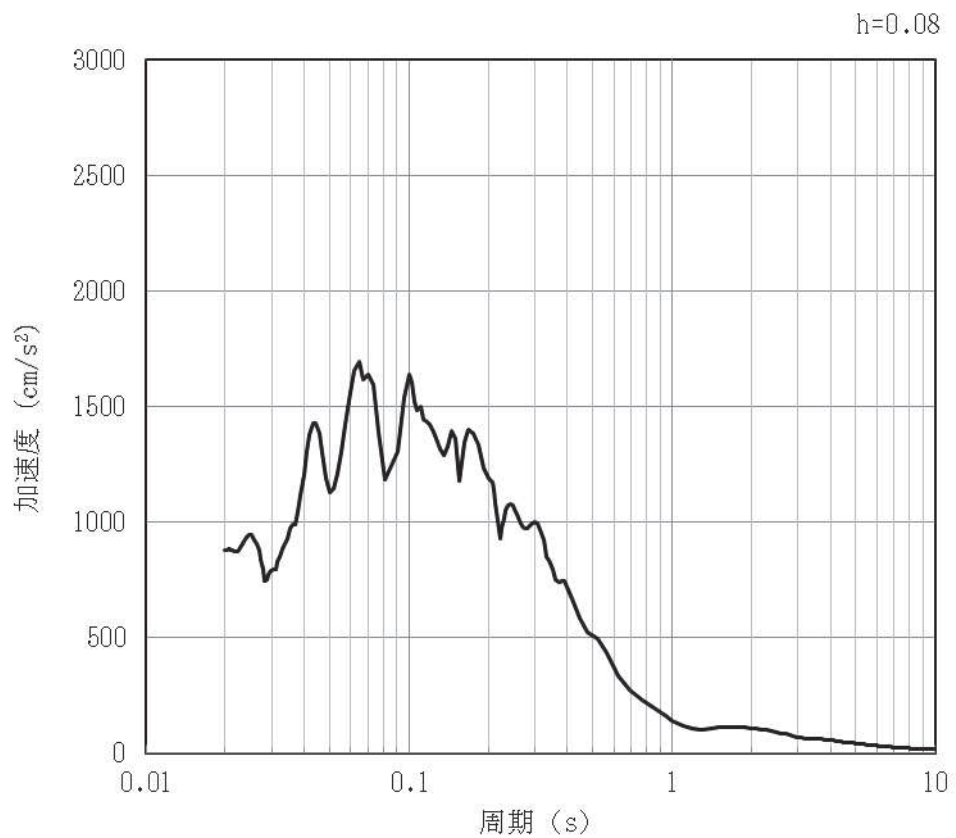


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-108 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（鉛直方向：S s-F2）
（第 4 保管エリア①）（10/28）

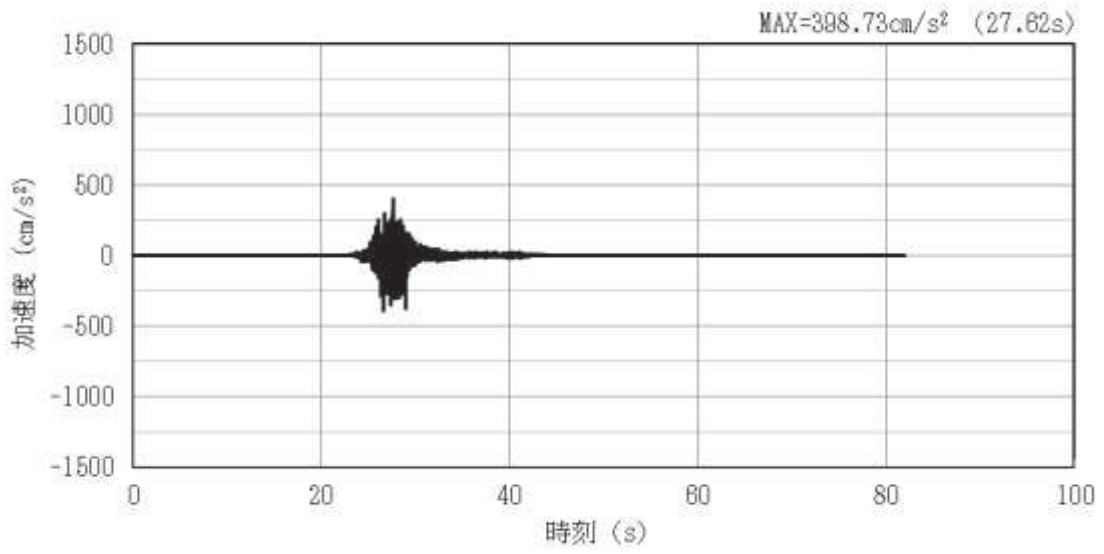


(a) 加速度時刻歴波形

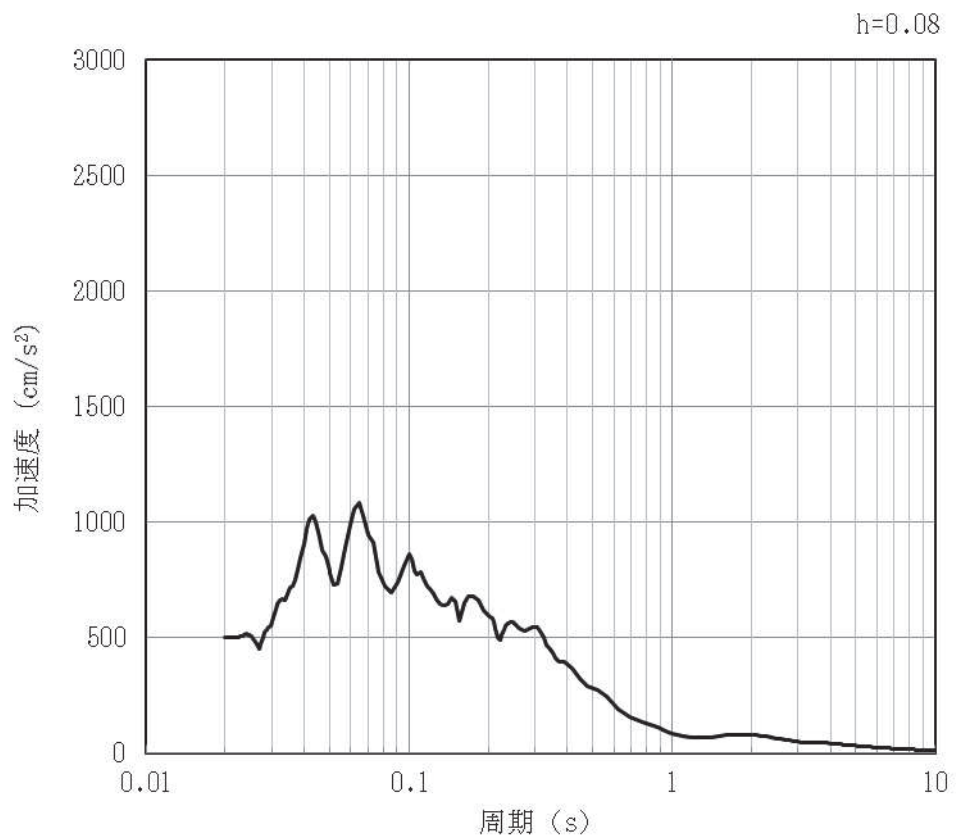


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-109 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（水平方向：S s-F3）
（第 4 保管エリア①）（11/28）

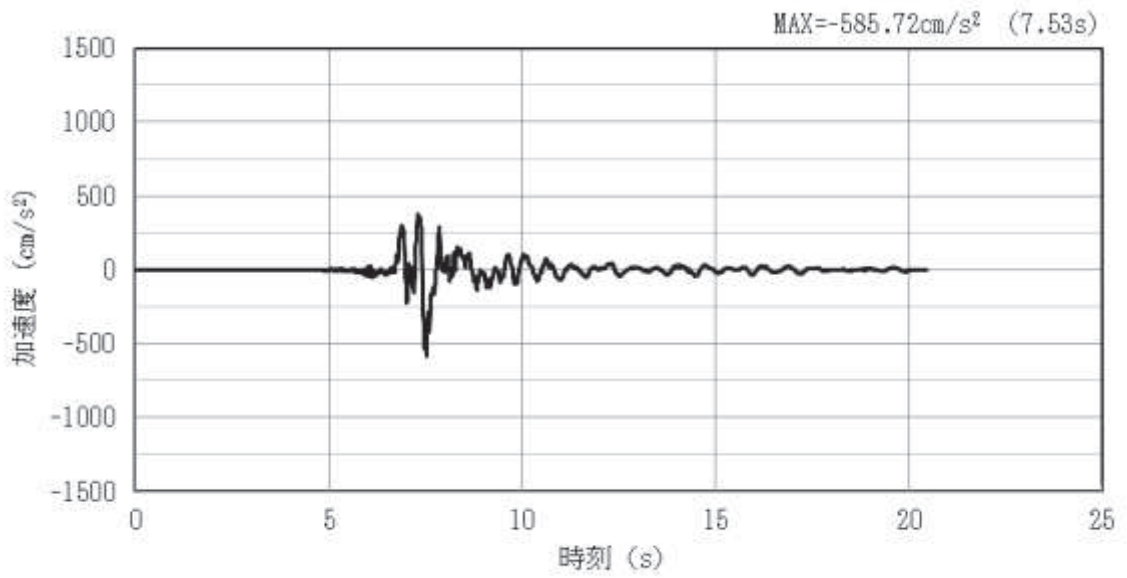


(a) 加速度時刻歴波形

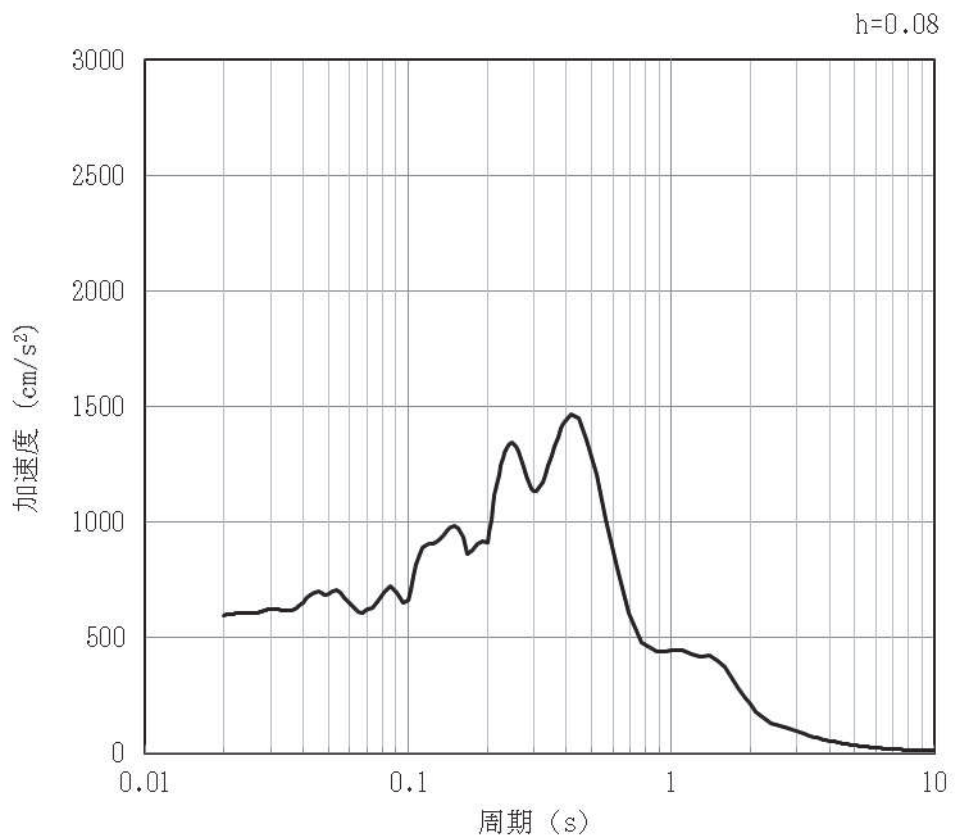


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-110 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（鉛直方向：S s-F3）
（第 4 保管エリア①）（12/28）

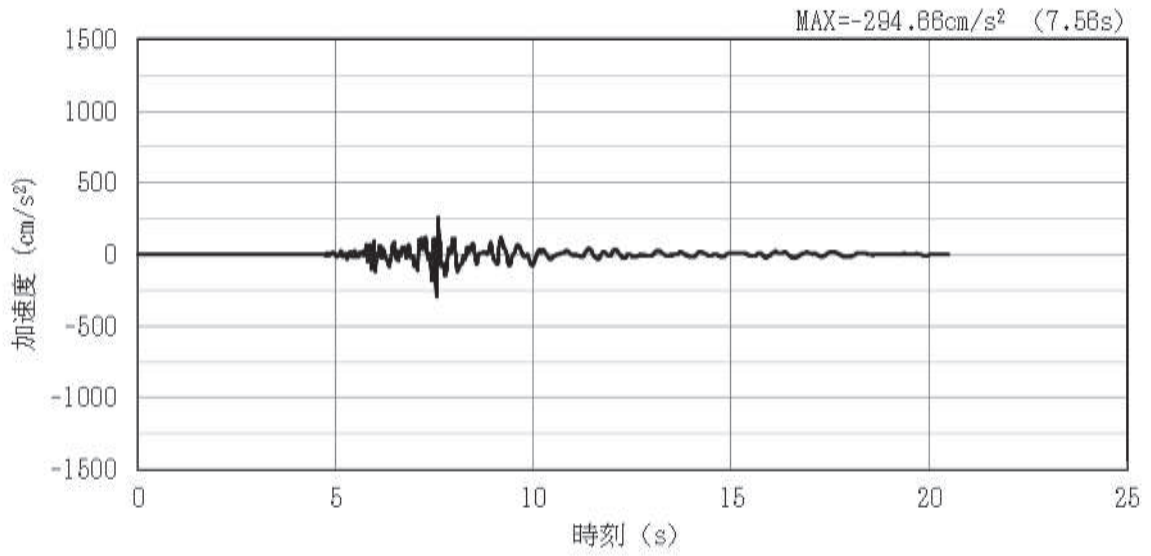


(a) 加速度時刻歴波形

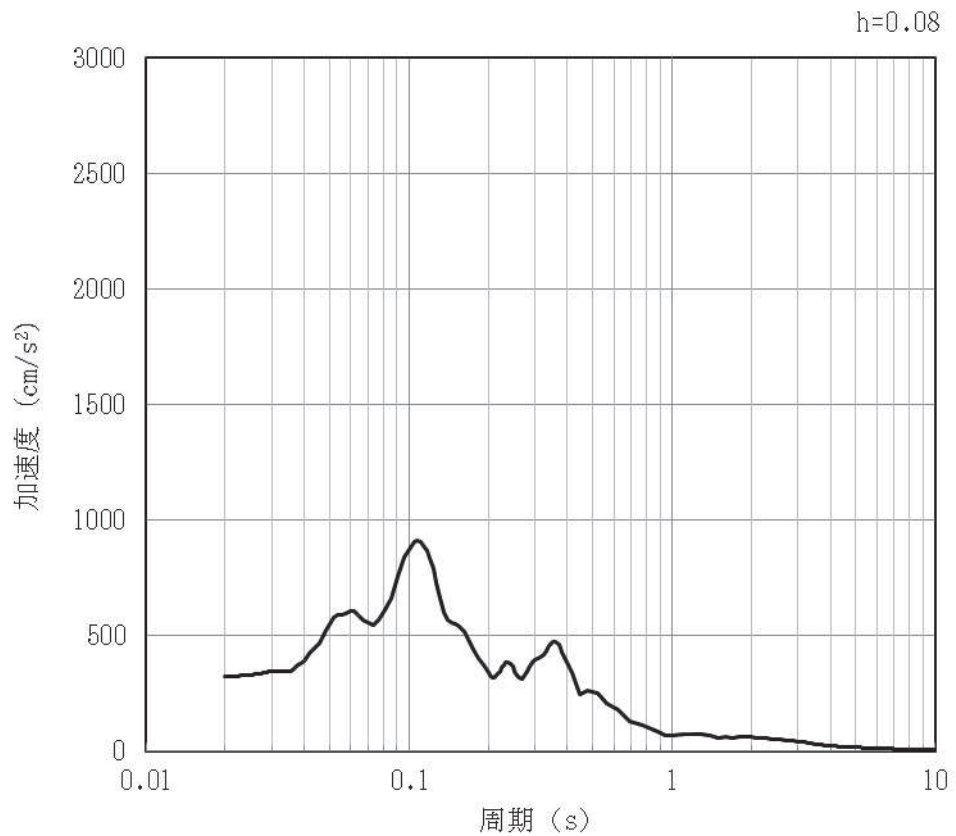


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-111 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（水平方向：S s-N1）
（第 4 保管エリア①）（13/28）



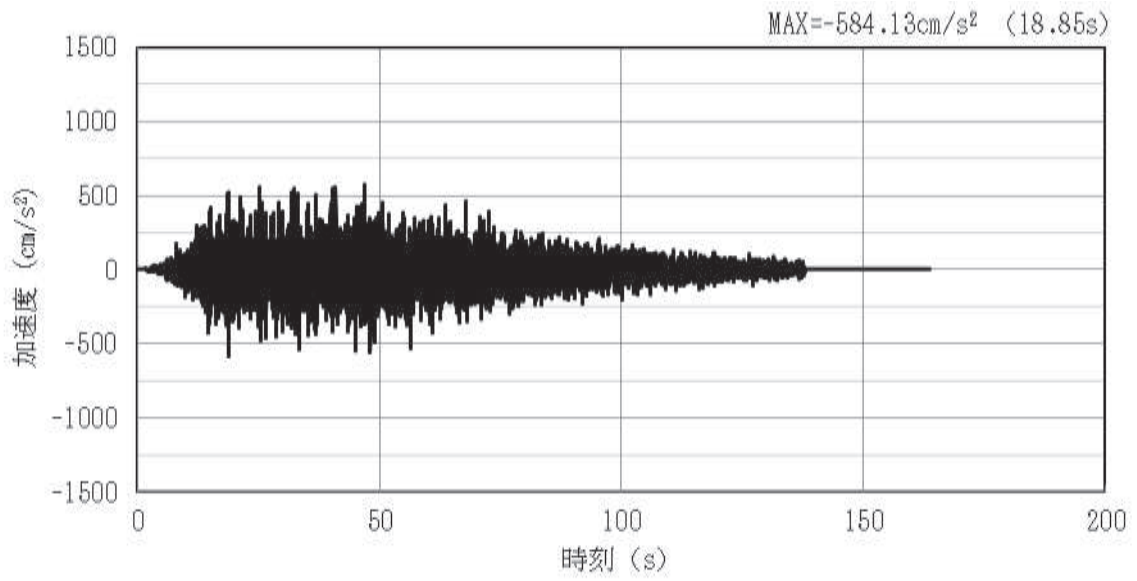
(a) 加速度時刻歴波形



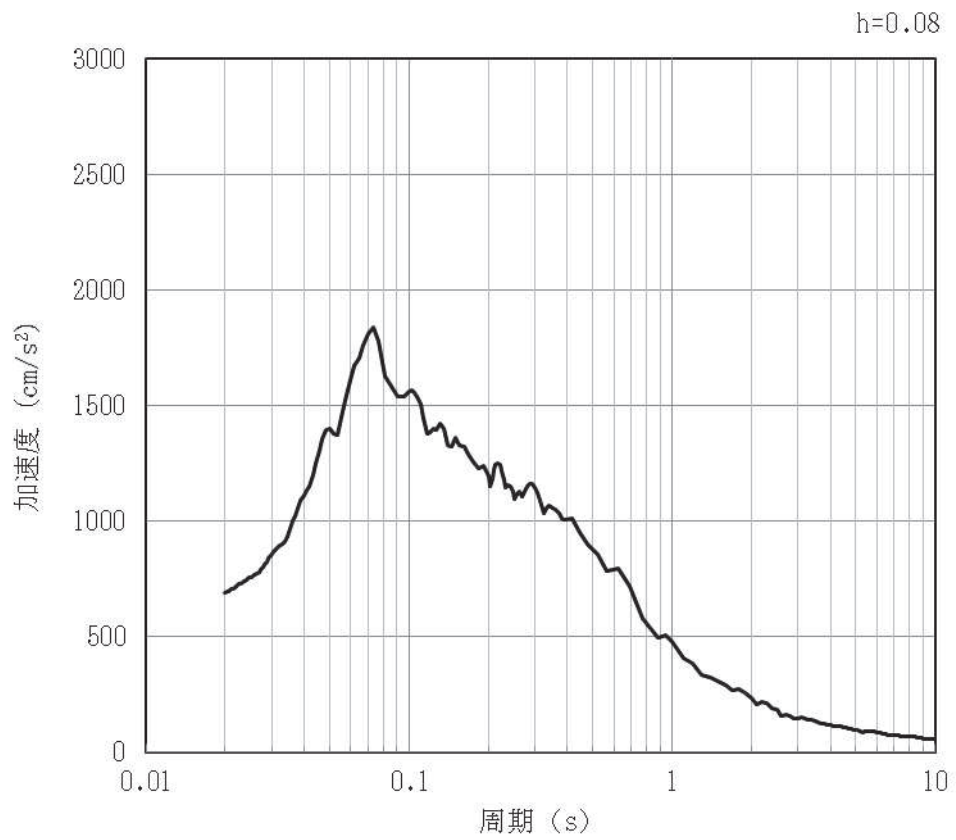
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-112 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（鉛直方向：S s-N1）
（第 4 保管エリア①）（14/28）

(2) 第4保管エリア②

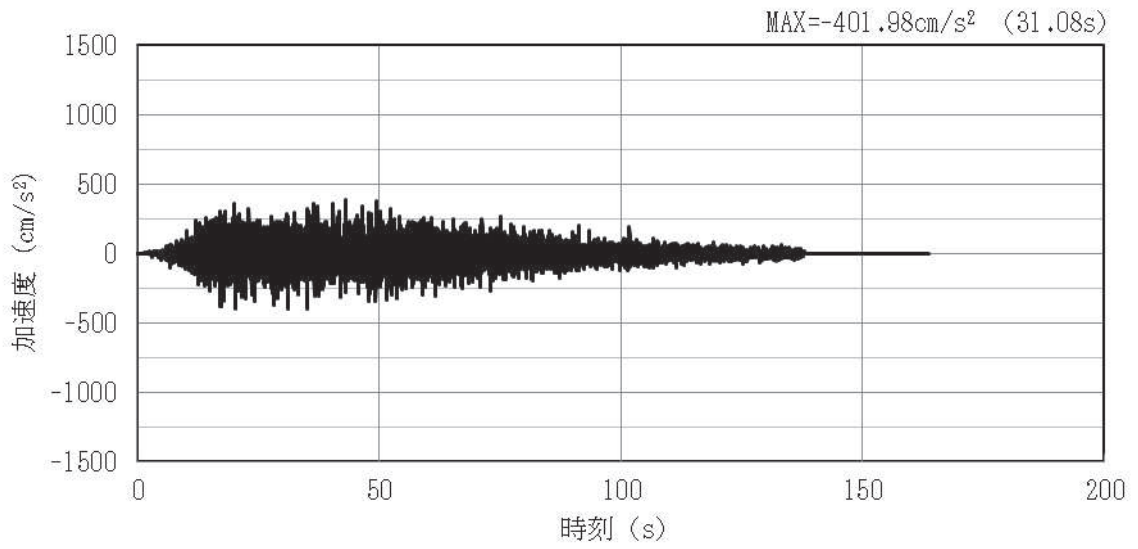


(a) 加速度時刻歴波形

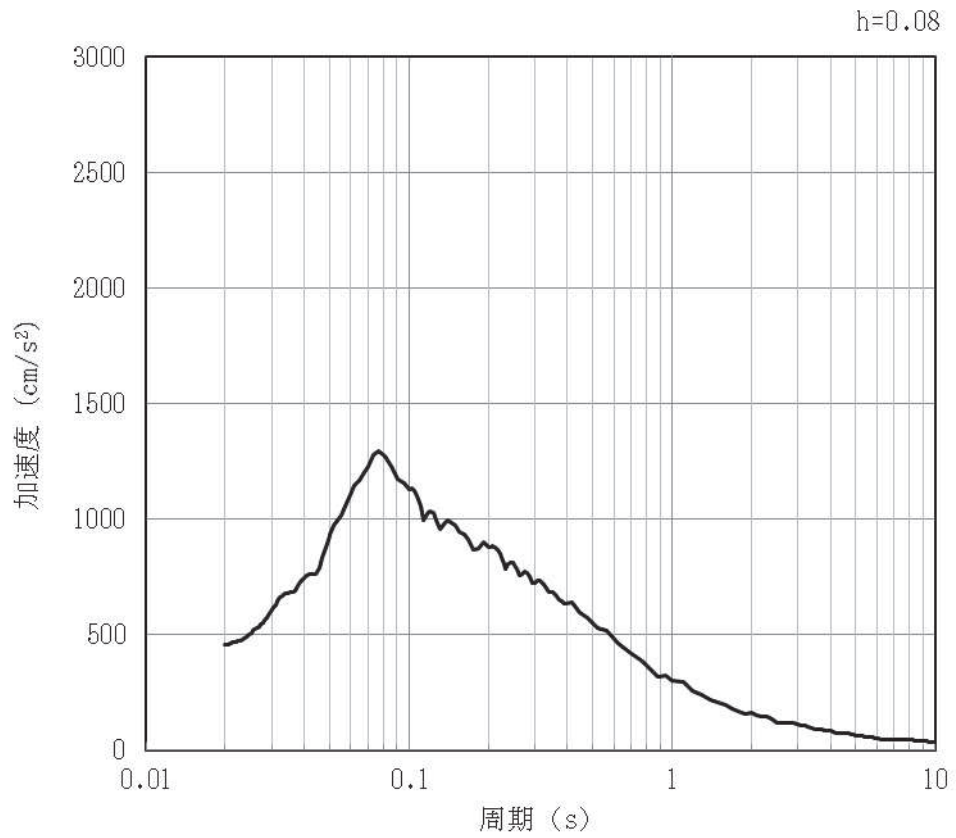


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-113 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 (水平方向: S s-D1)
(第4保管エリア②) (15/28)

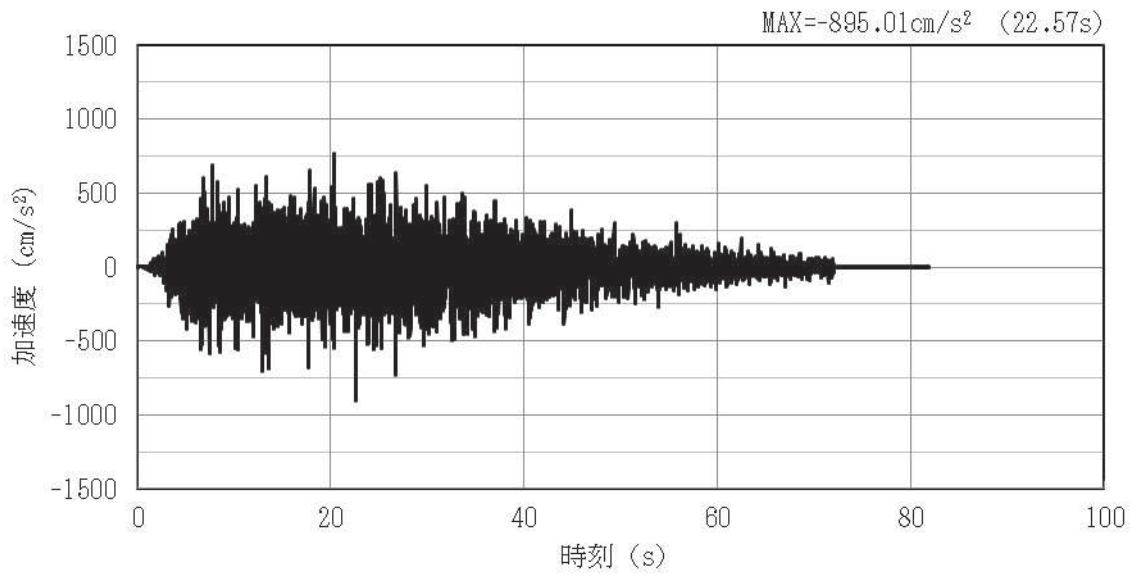


(a) 加速度時刻歴波形

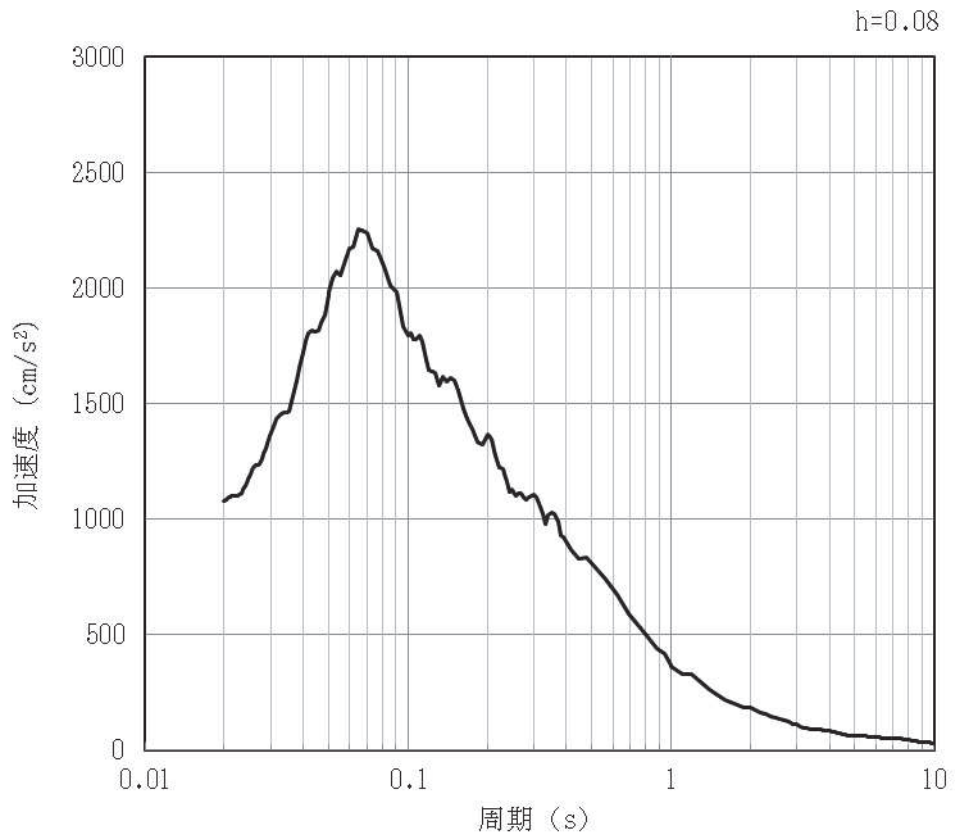


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-114 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 (鉛直方向: S s-D1)
(第 4 保管エリア②) (16/28)

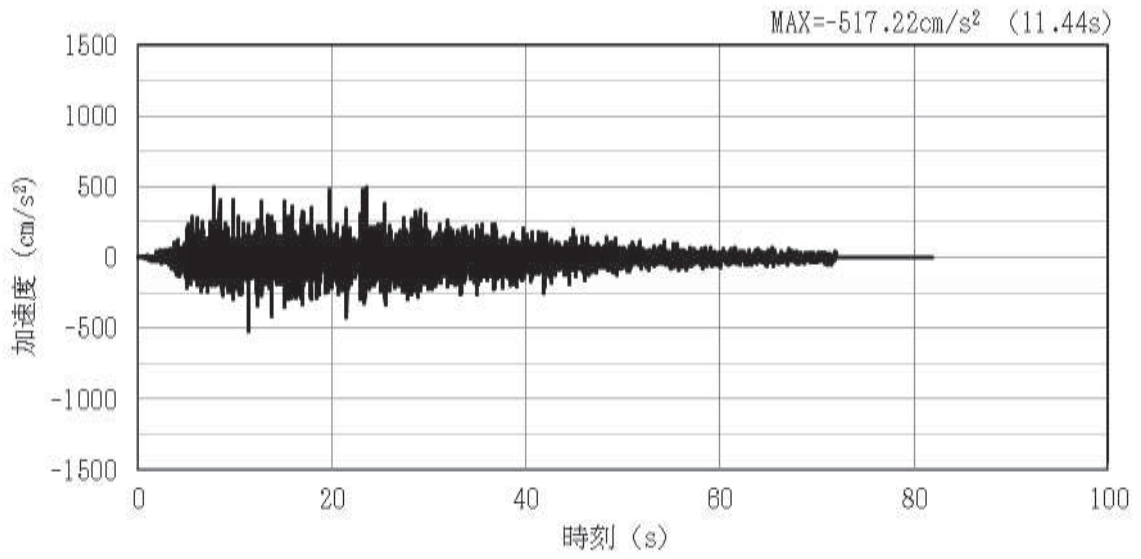


(a) 加速度時刻歴波形

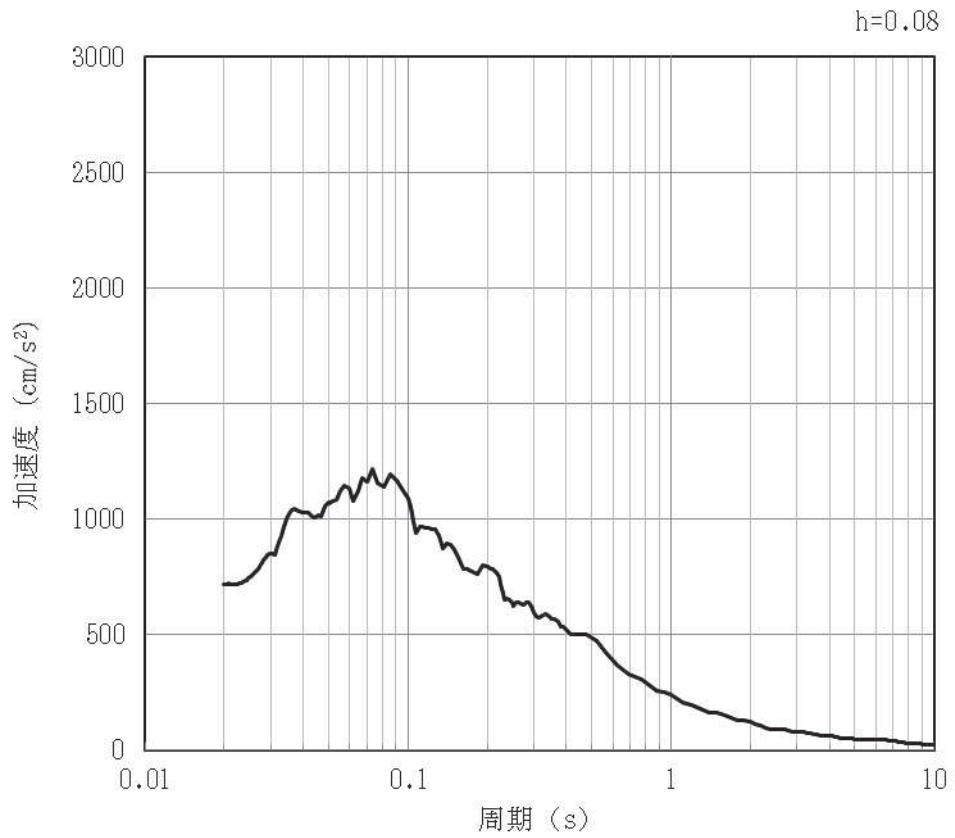


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-115 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 (水平方向: S s-D2)
(第 4 保管エリア②) (17/28)

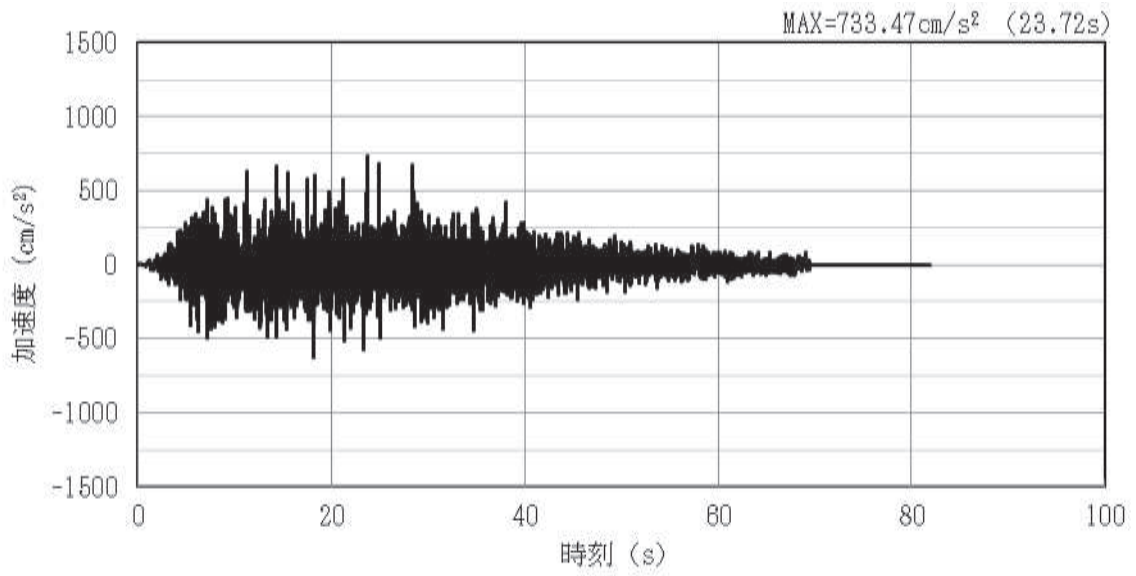


(a) 加速度時刻歴波形

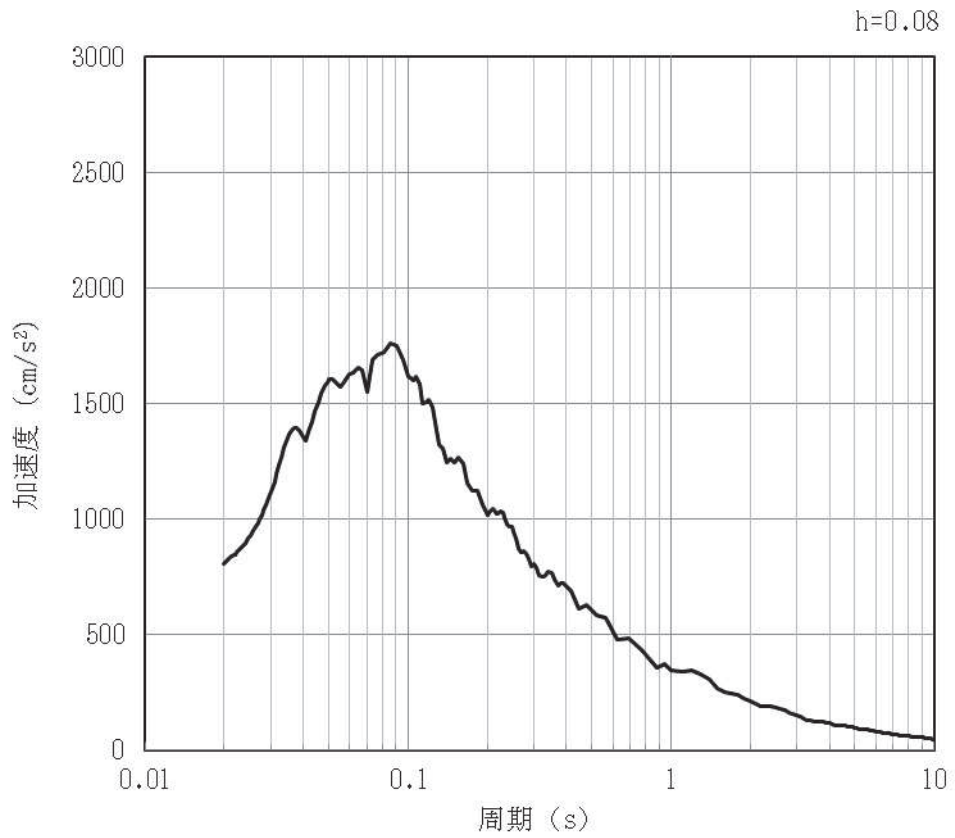


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-116 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 (鉛直方向: S s-D2)
(第4保管エリア②) (18/28)

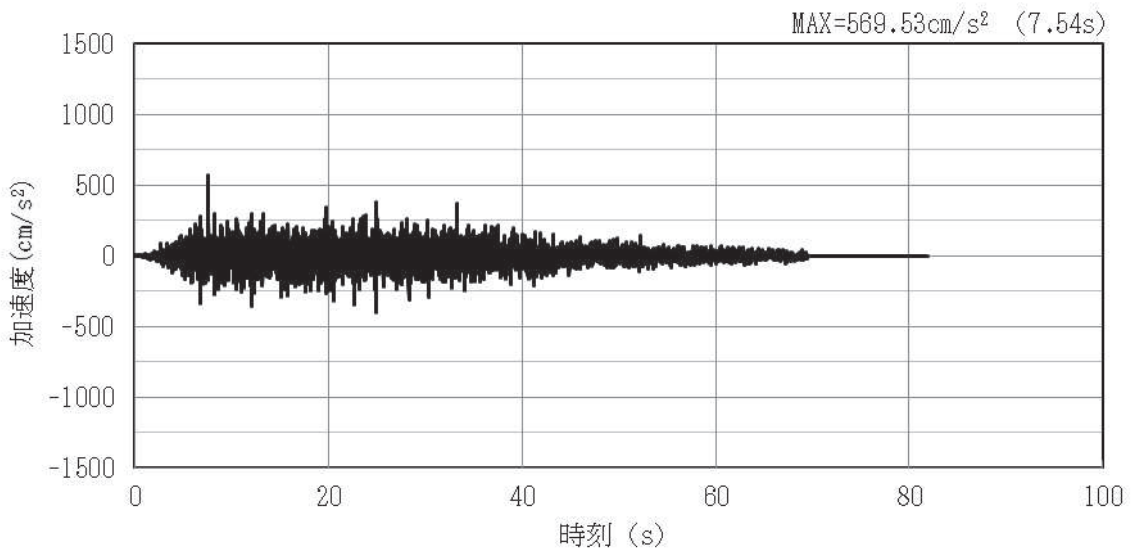


(a) 加速度時刻歴波形

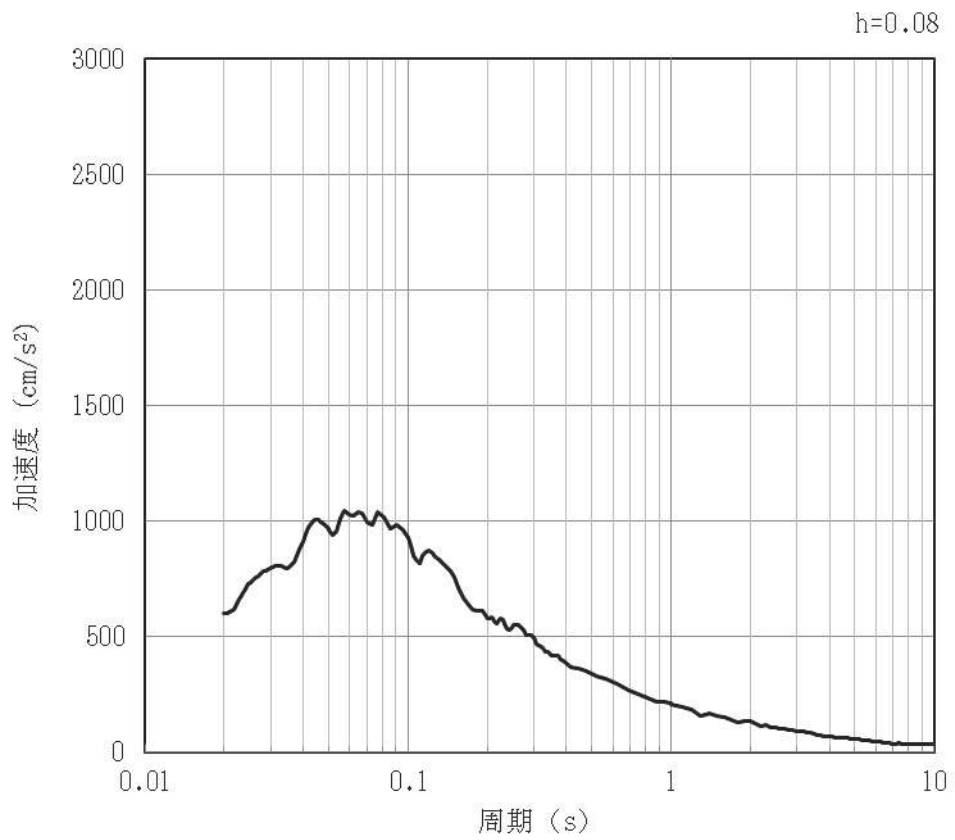


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-117 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 (水平方向: S s-D3)
(第 4 保管エリア②) (19/28)

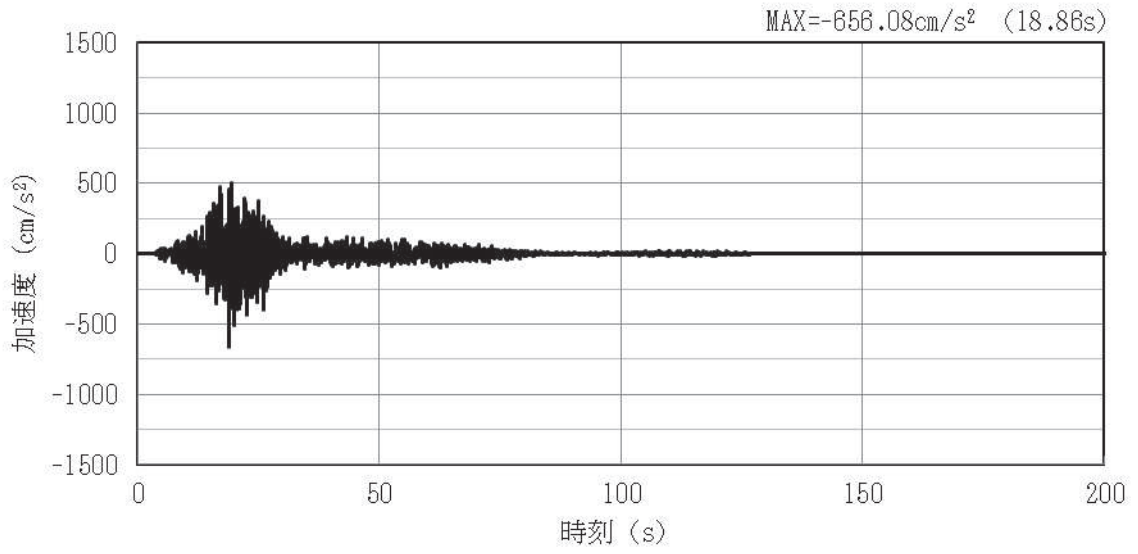


(a) 加速度時刻歴波形

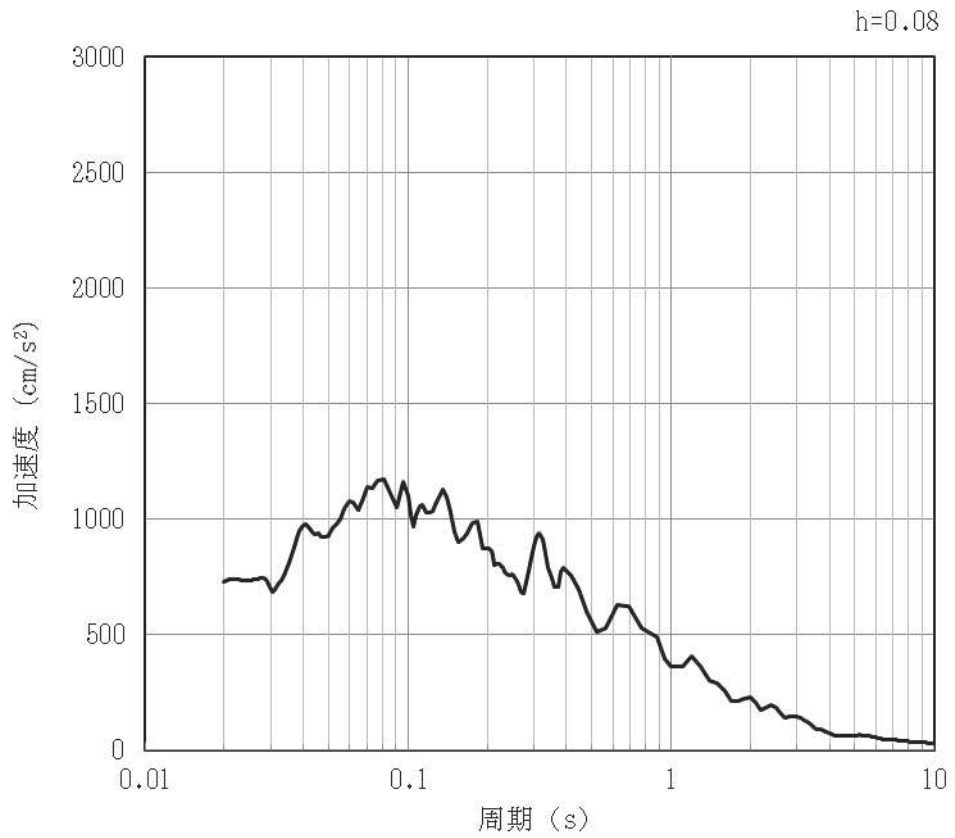


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-118 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 (鉛直方向: S s-D3)
(第 4 保管エリア②) (20/28)

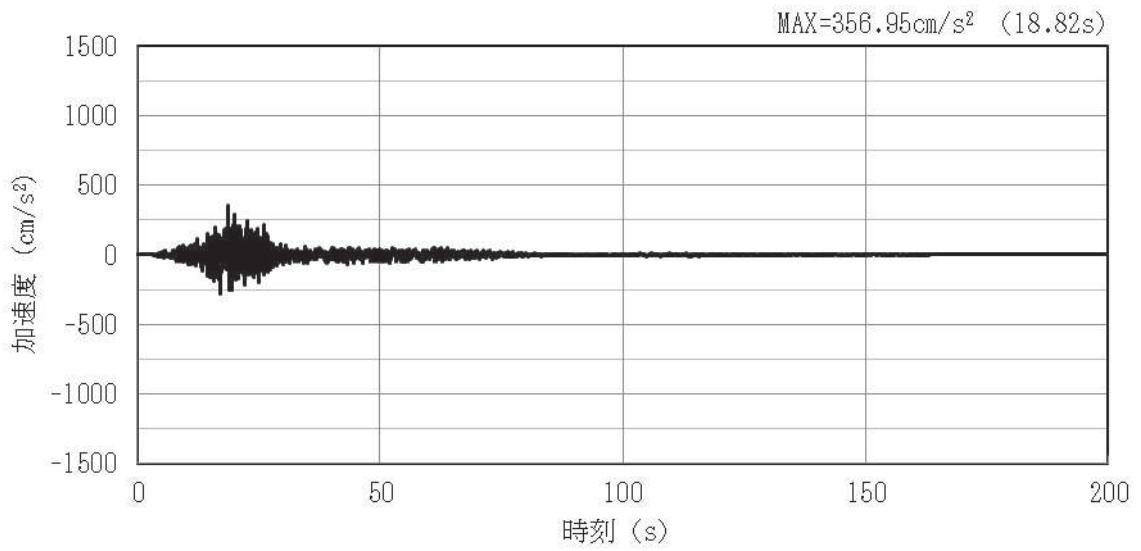


(a) 加速度時刻歴波形

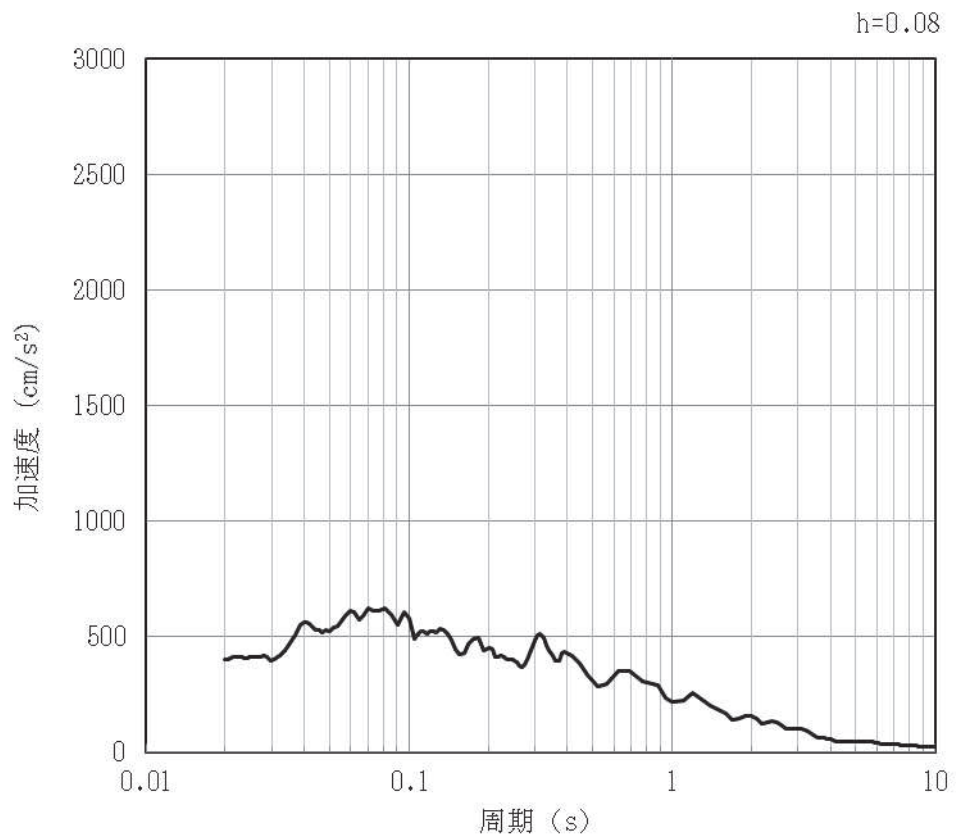


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-119 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 (水平方向: S s-F1)
(第 4 保管エリア②) (21/28)

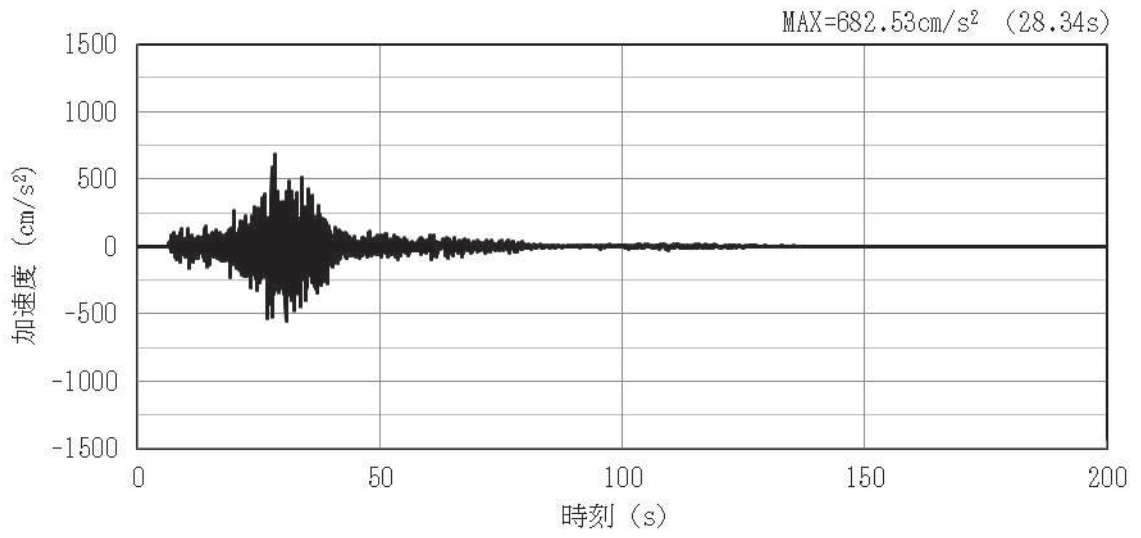


(a) 加速度時刻歴波形

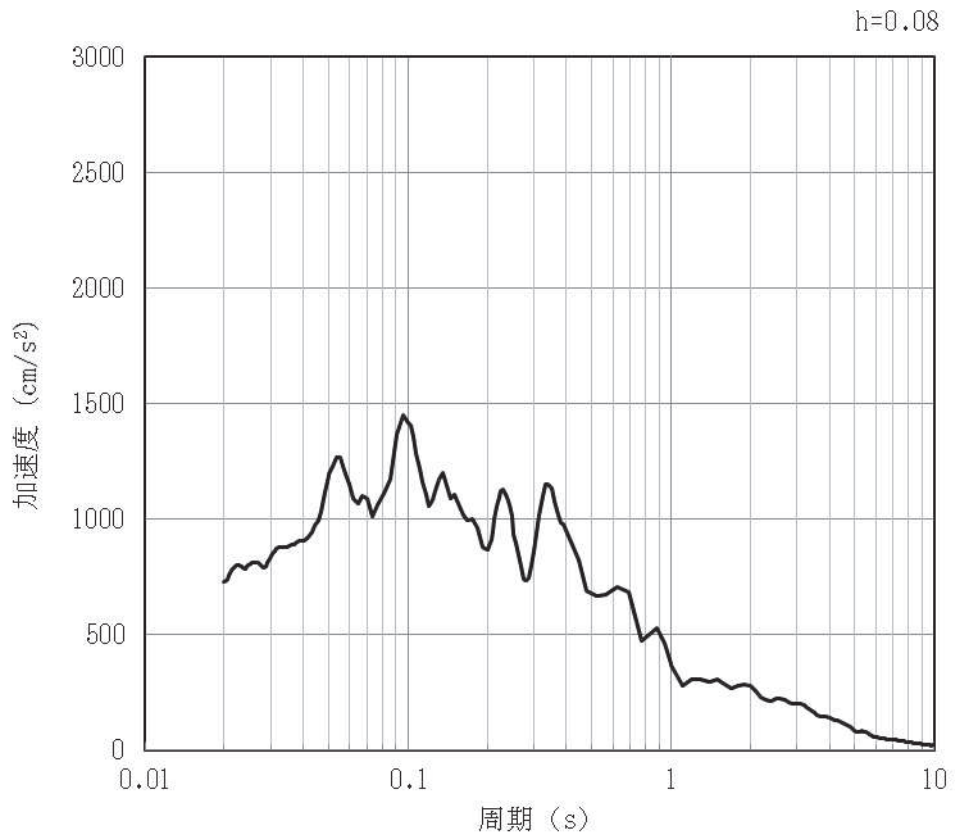


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-120 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 (鉛直方向: S s-F1)
(第 4 保管エリア②) (22/28)

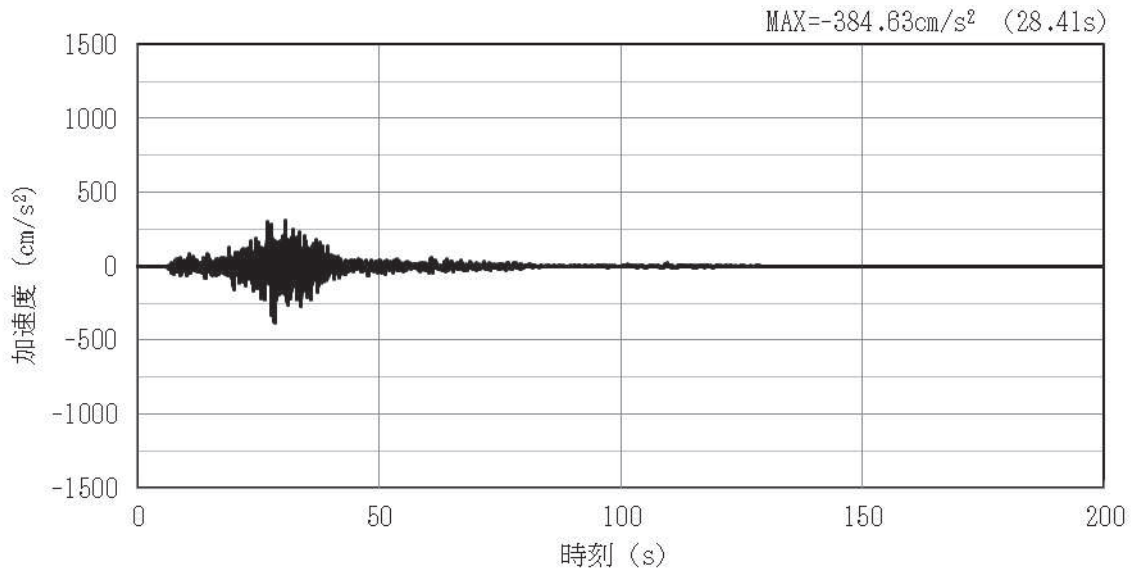


(a) 加速度時刻歴波形

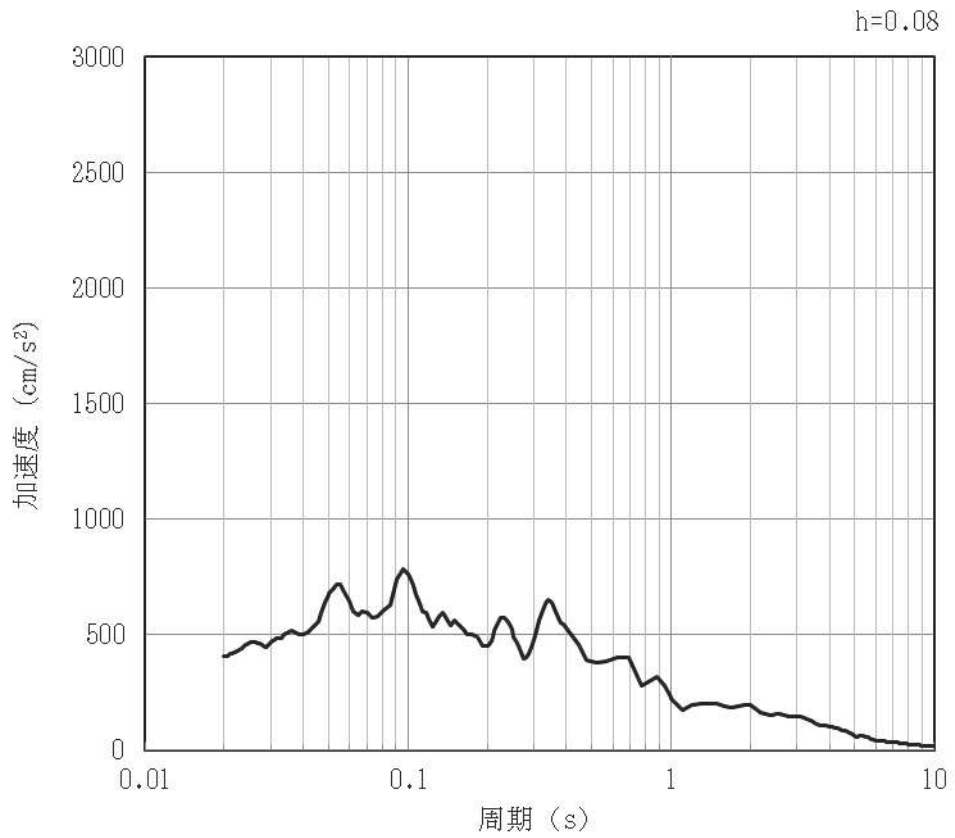


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-121 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 (水平方向: S s-F2)
(第 4 保管エリア②) (23/28)

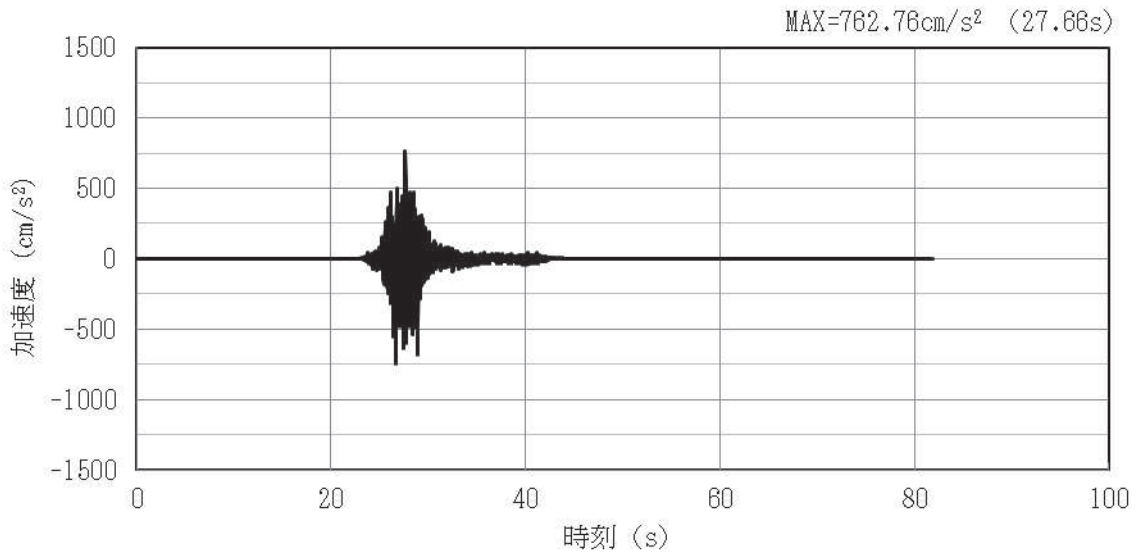


(a) 加速度時刻歴波形

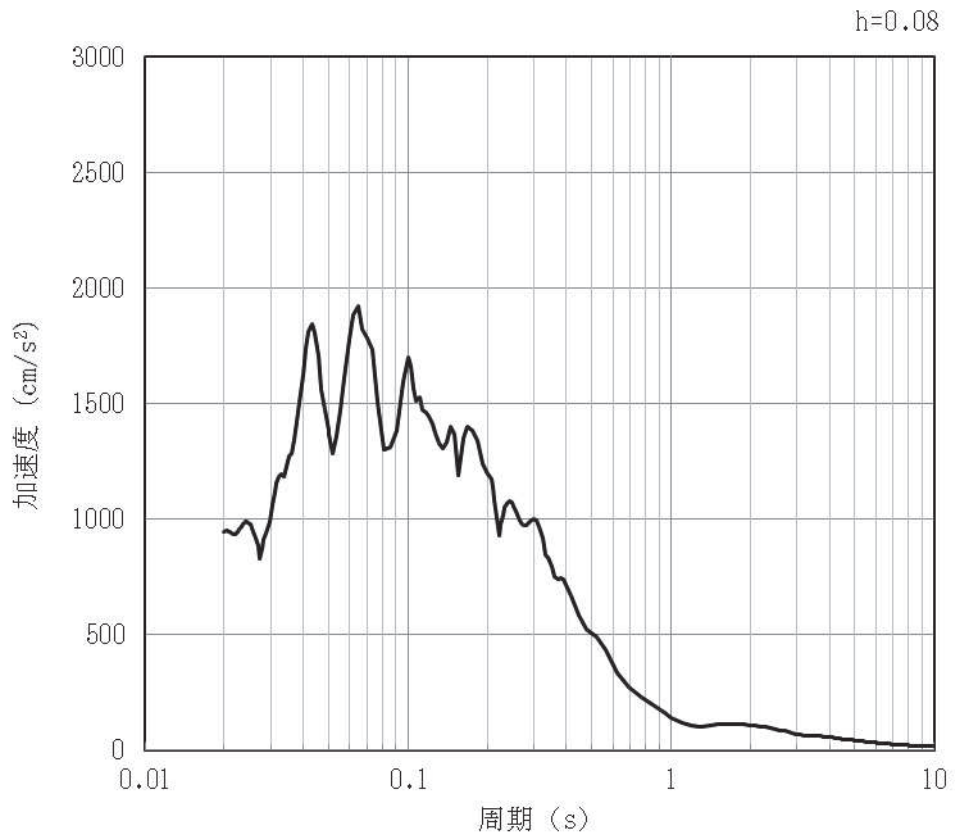


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-122 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 (鉛直方向: S s-F2)
(第 4 保管エリア②) (24/28)

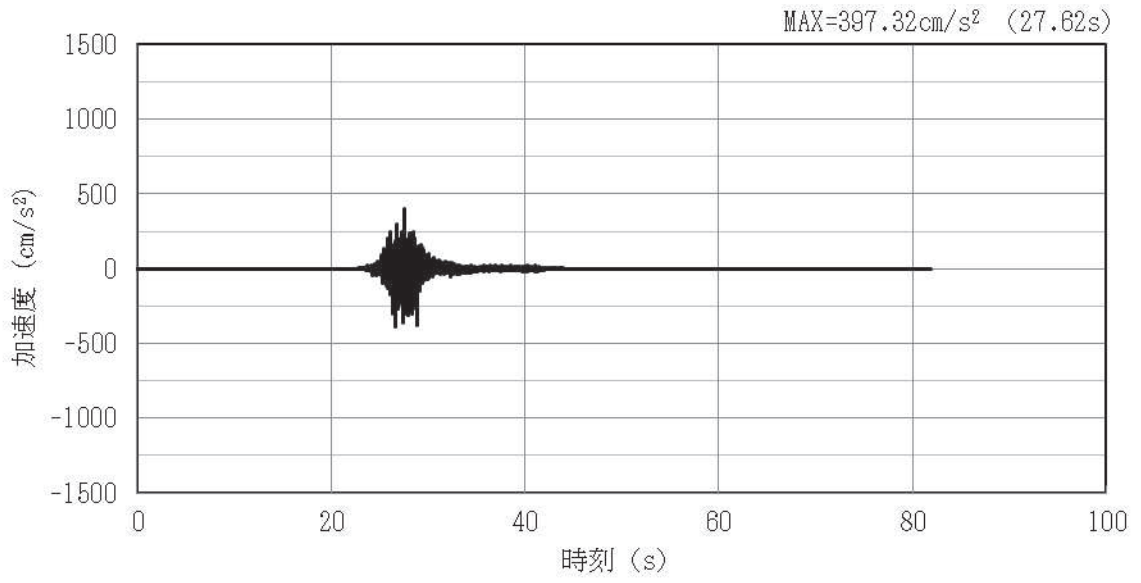


(a) 加速度時刻歴波形

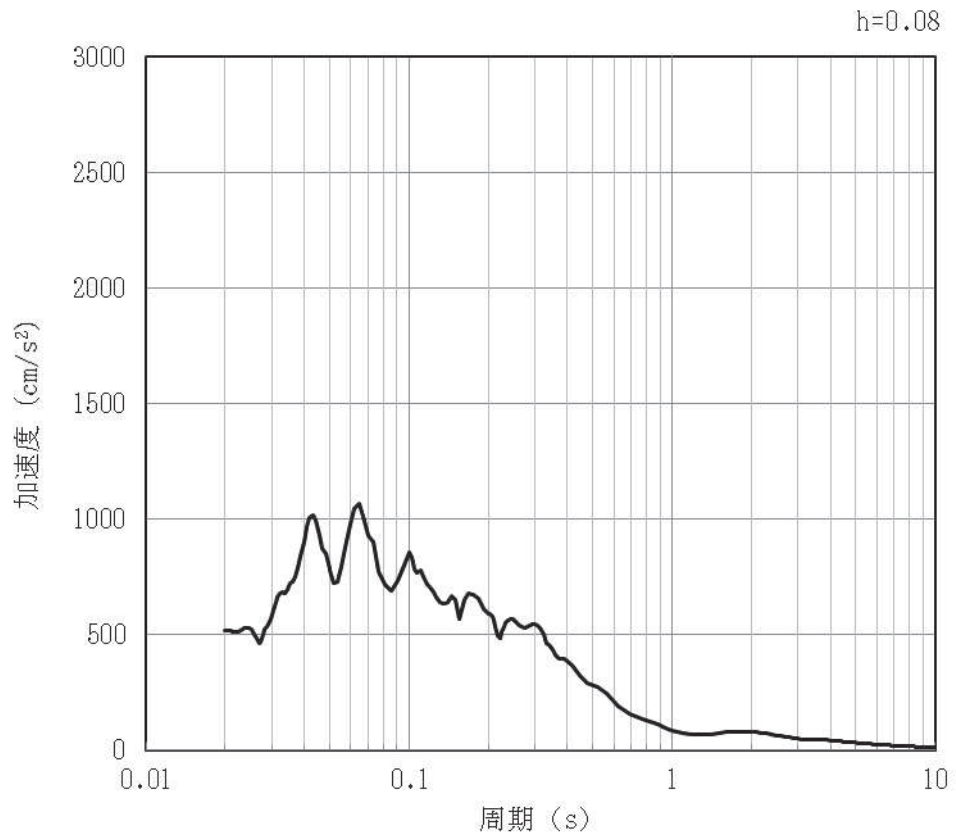


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-123 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 (水平方向: S s-F3)
(第 4 保管エリア②) (25/28)

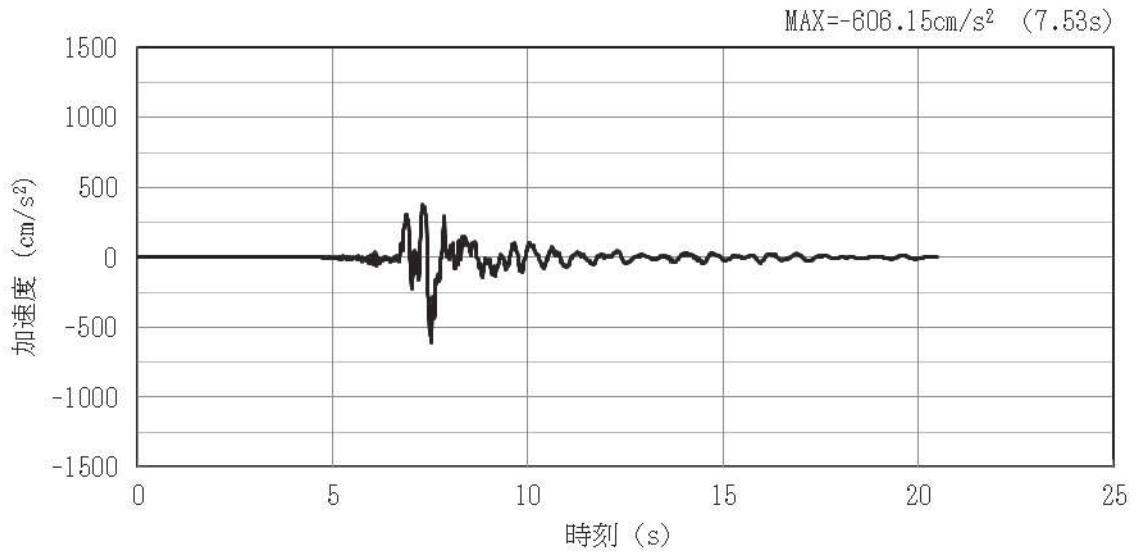


(a) 加速度時刻歴波形

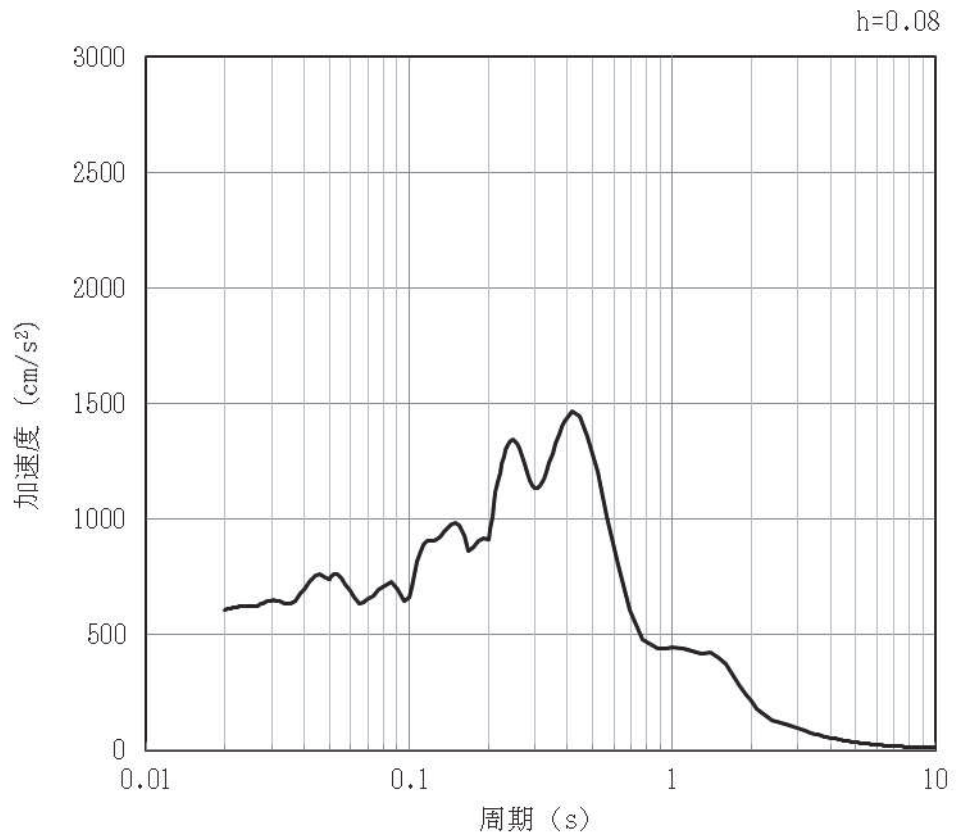


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-124 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 (鉛直方向: S s-F3)
(第 4 保管エリア②) (26/28)

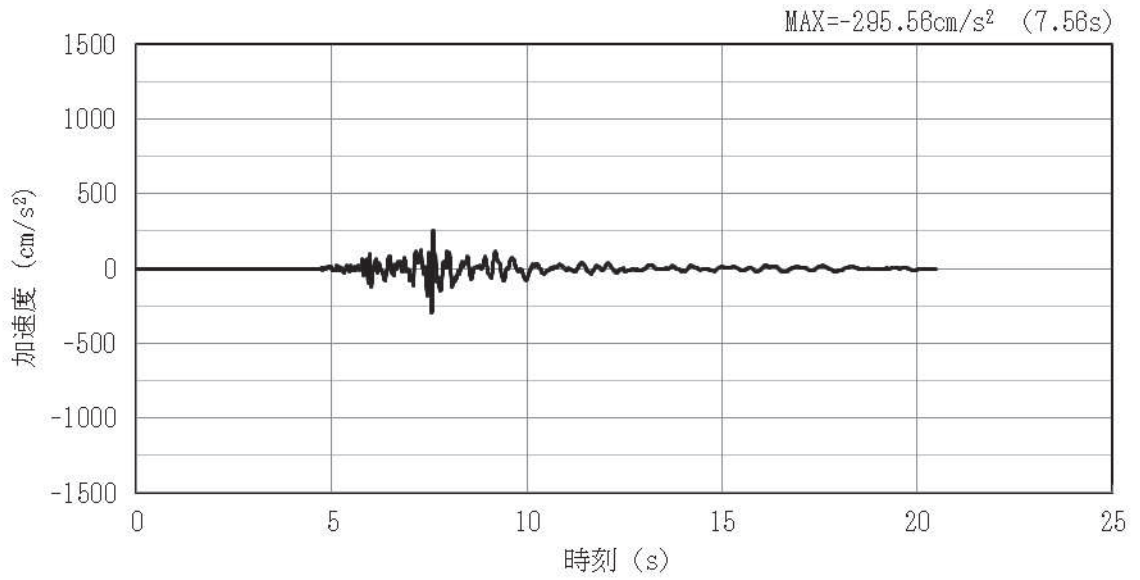


(a) 加速度時刻歴波形

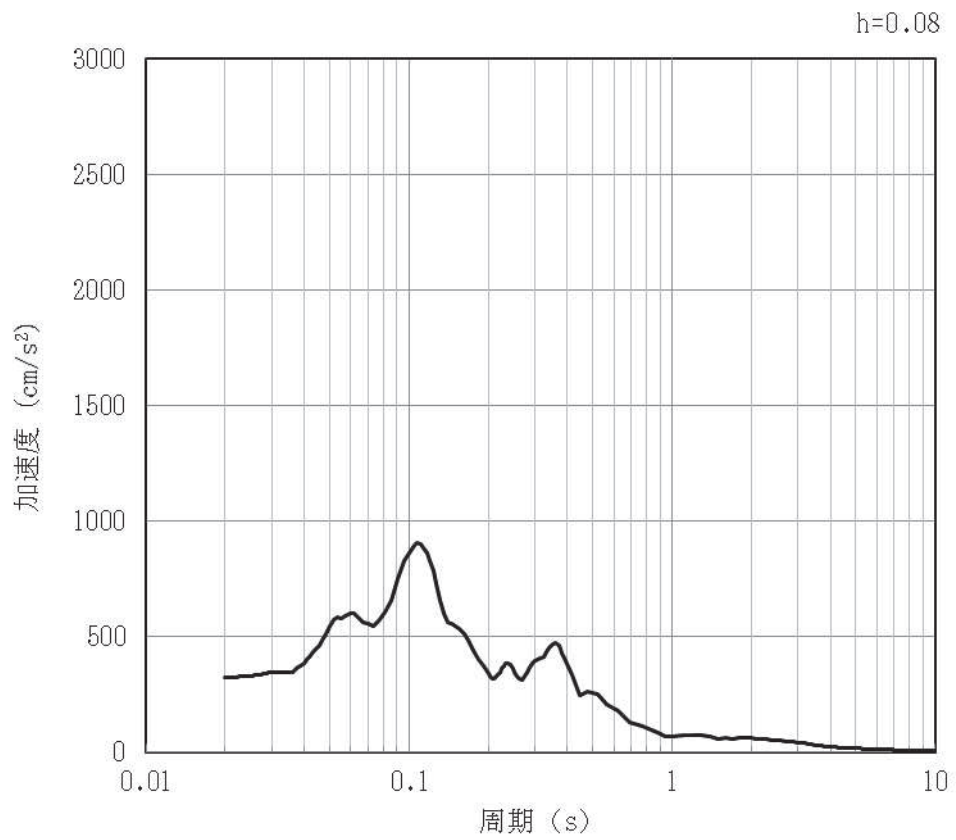


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-125 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 (水平方向: S s-N1)
(第 4 保管エリア②) (27/28)



(a) 加速度時刻歴波形

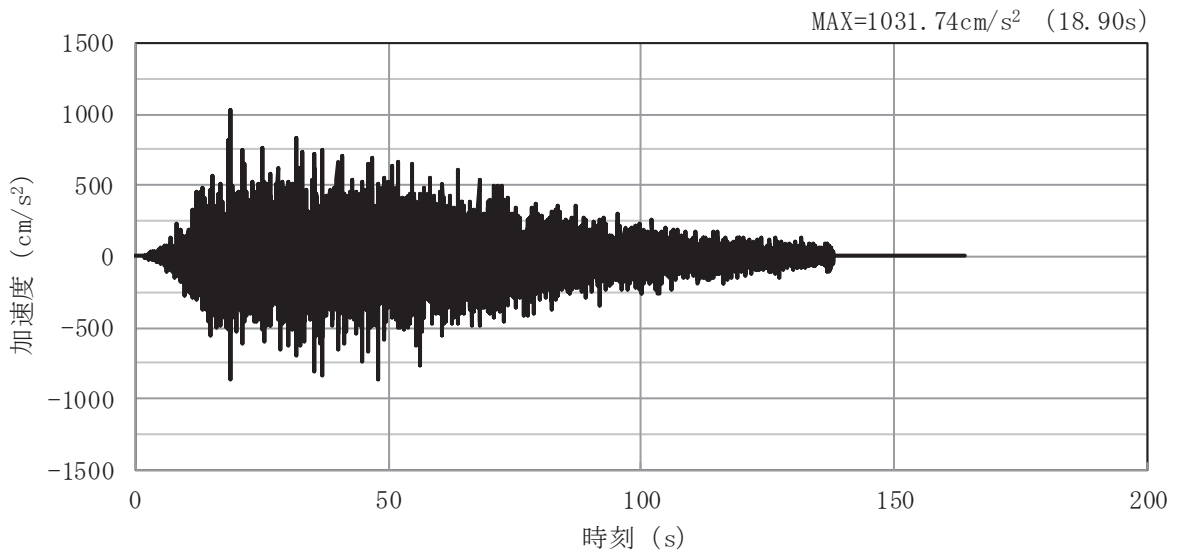


(b) 加速度応答スペクトル

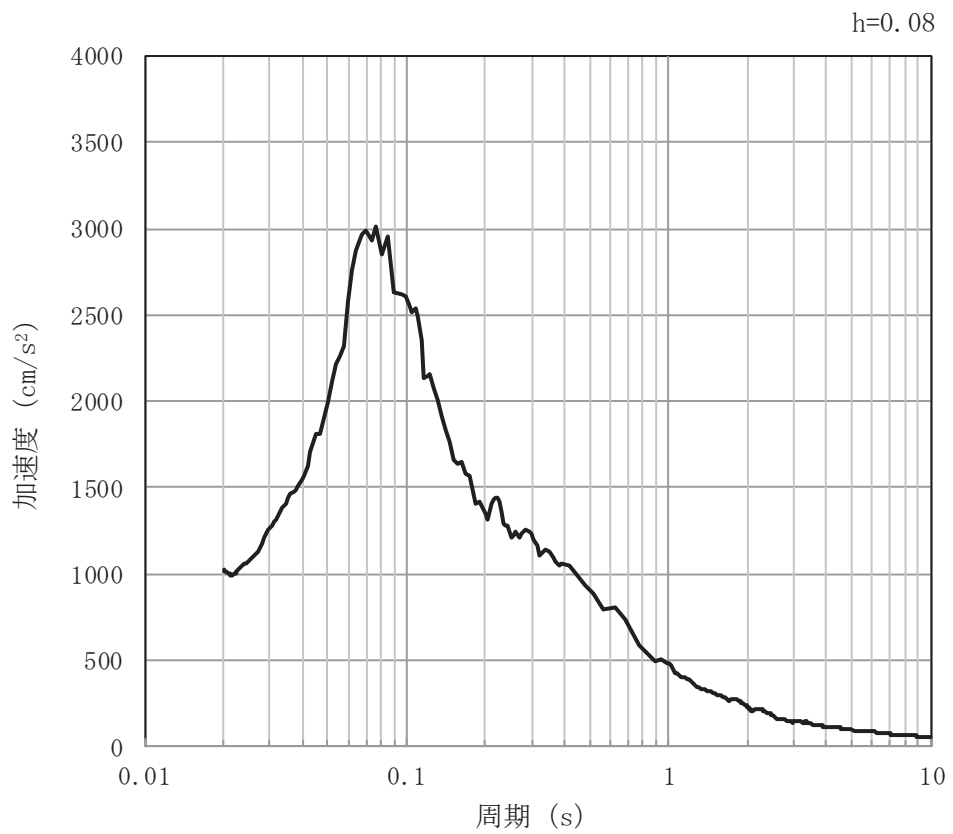
図 4-126 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル (鉛直方向: S s-N1)
(第 4 保管エリア②) (28/28)

4.6 緊急時対策建屋北側

一次元重複反射理論による地震応答解析により算定した緊急時対策建屋北側の地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(基本ケース)を図 4-127～図 4-140 に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数(8%)を考慮し設定する。

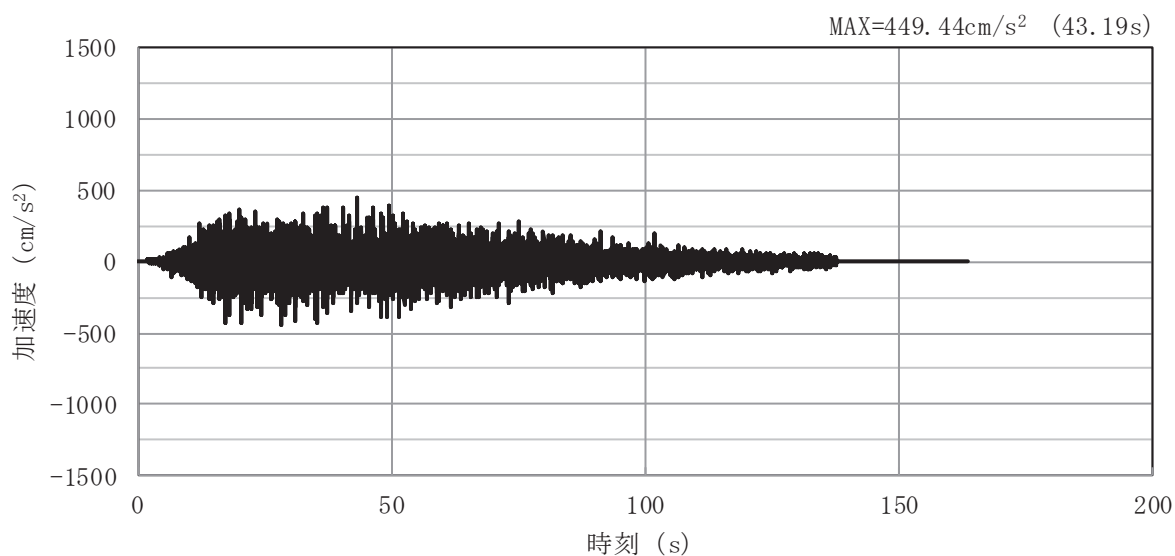


(a) 加速度時刻歴波形

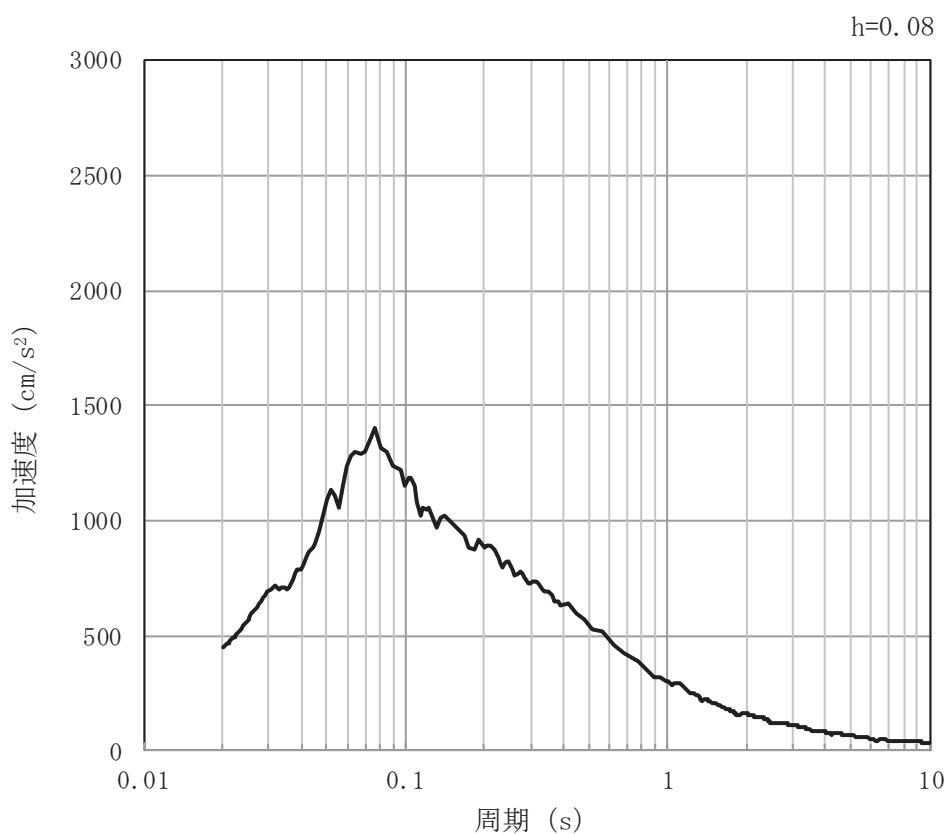


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-127 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（水平方向：S s-D1）
（緊急時対策建屋北側）（1/14）

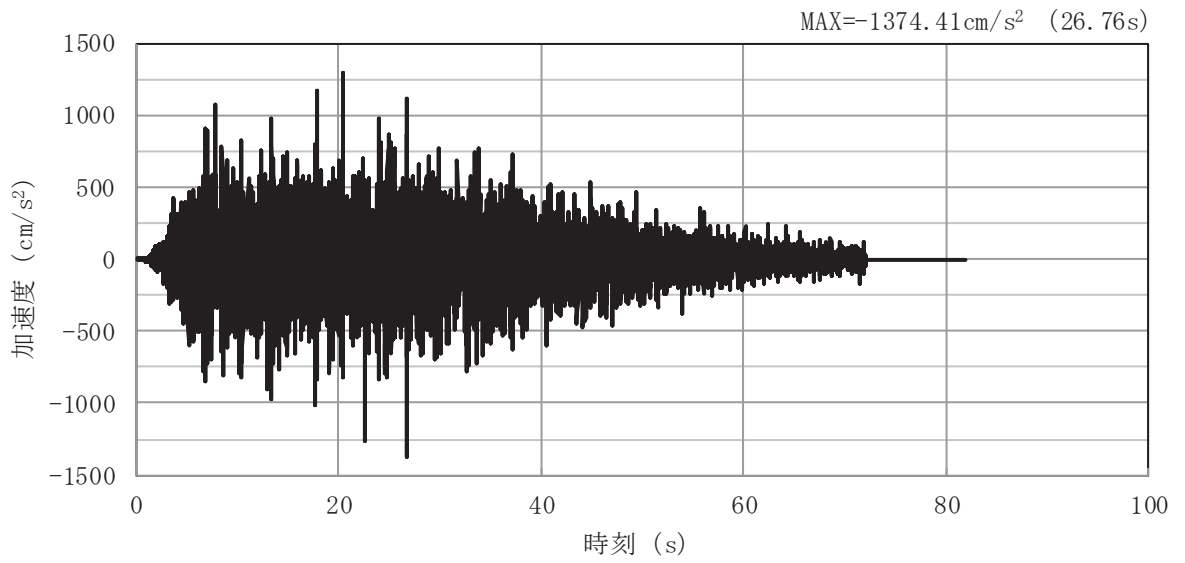


(a) 加速度時刻歴波形

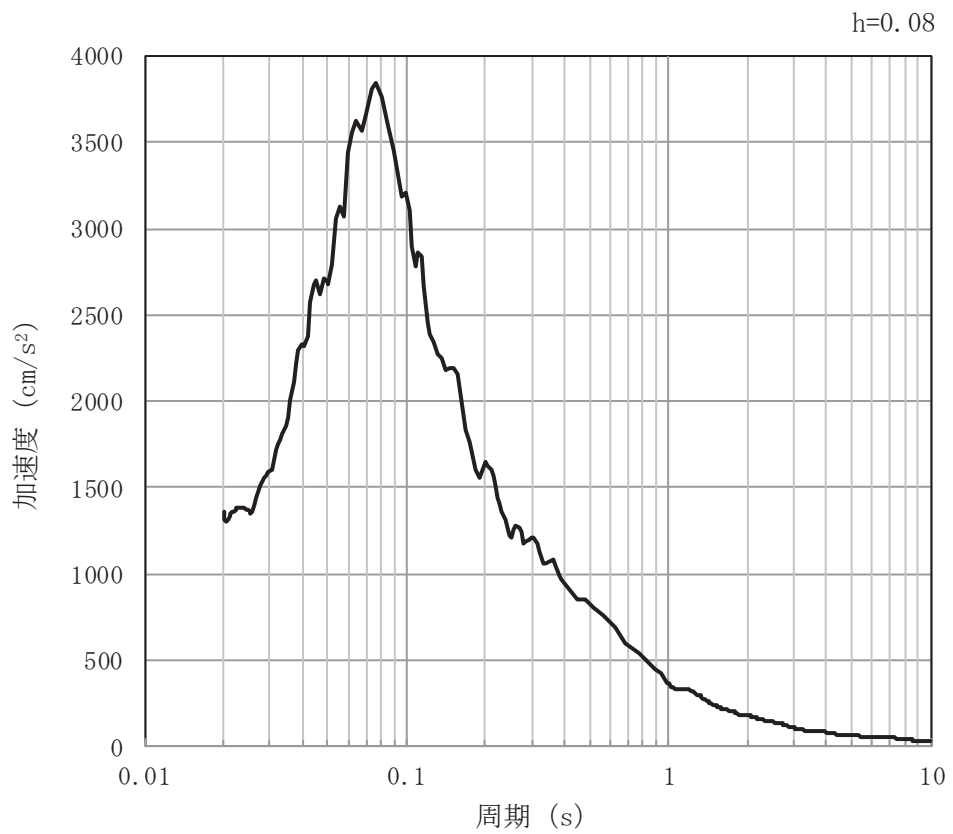


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-128 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（鉛直方向：S s-D1）
（緊急時対策建屋北側）（2/14）

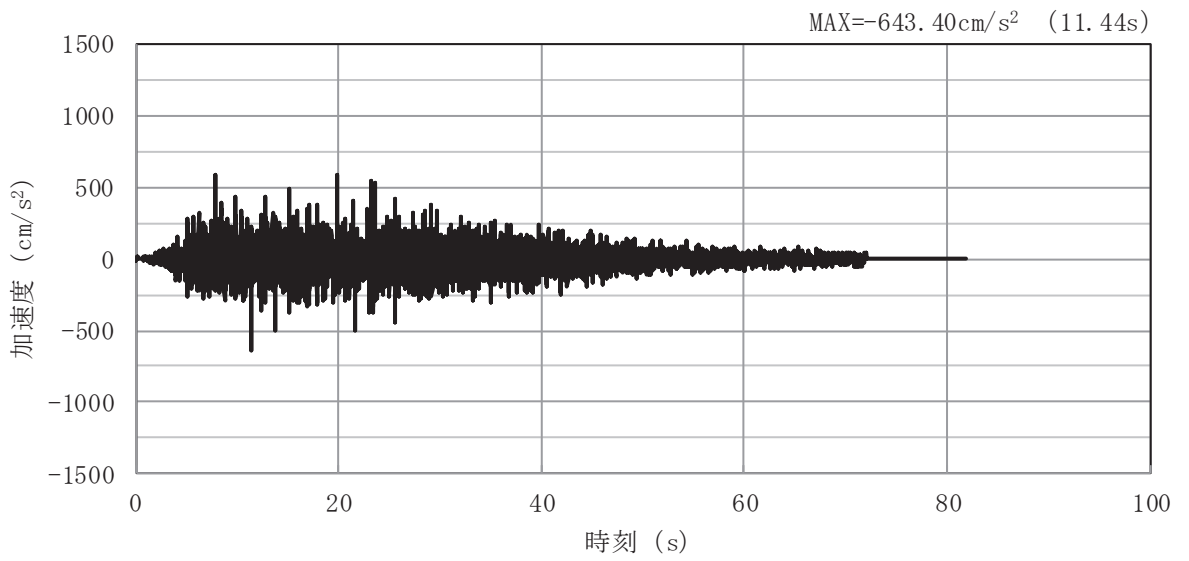


(a) 加速度時刻歴波形

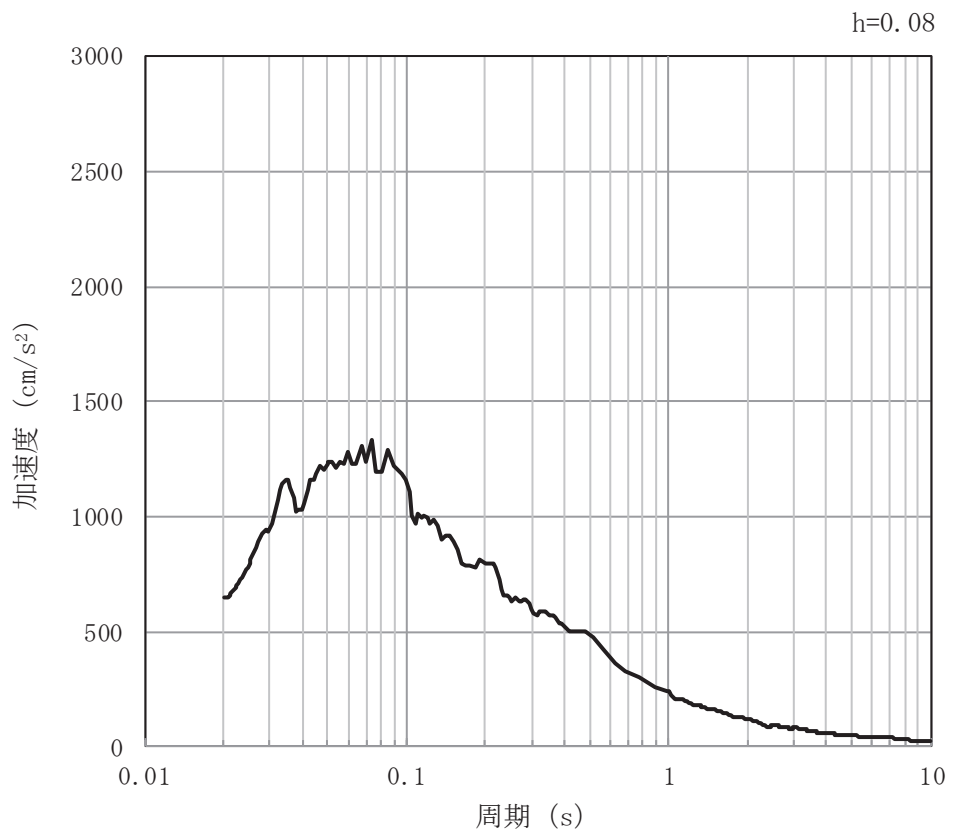


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-129 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（水平方向：S s-D2）
（緊急時対策建屋北側）（3/14）

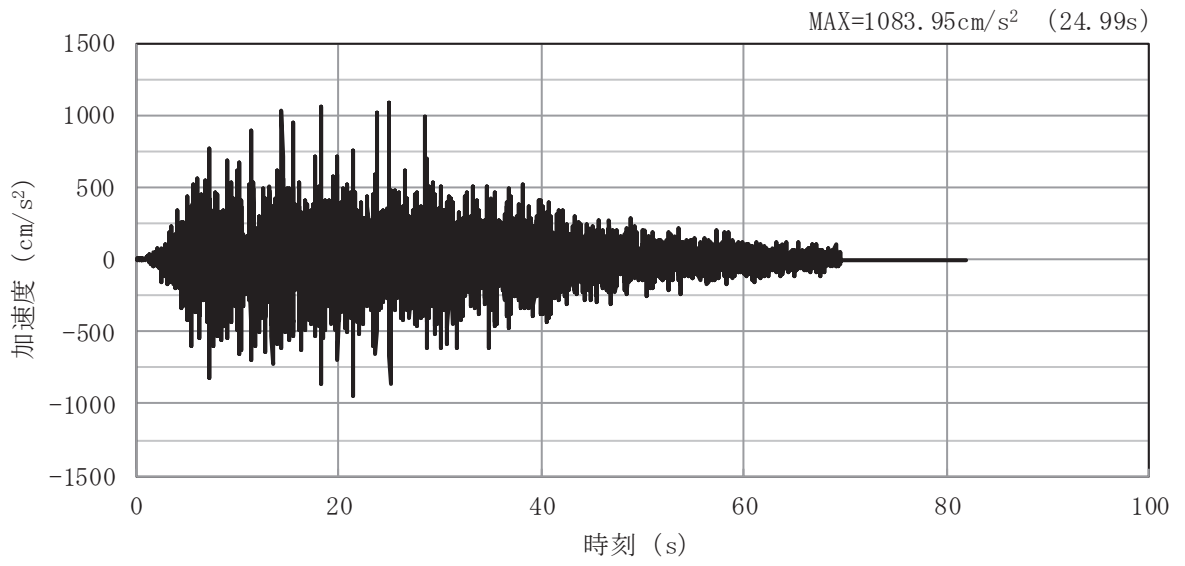


(a) 加速度時刻歴波形

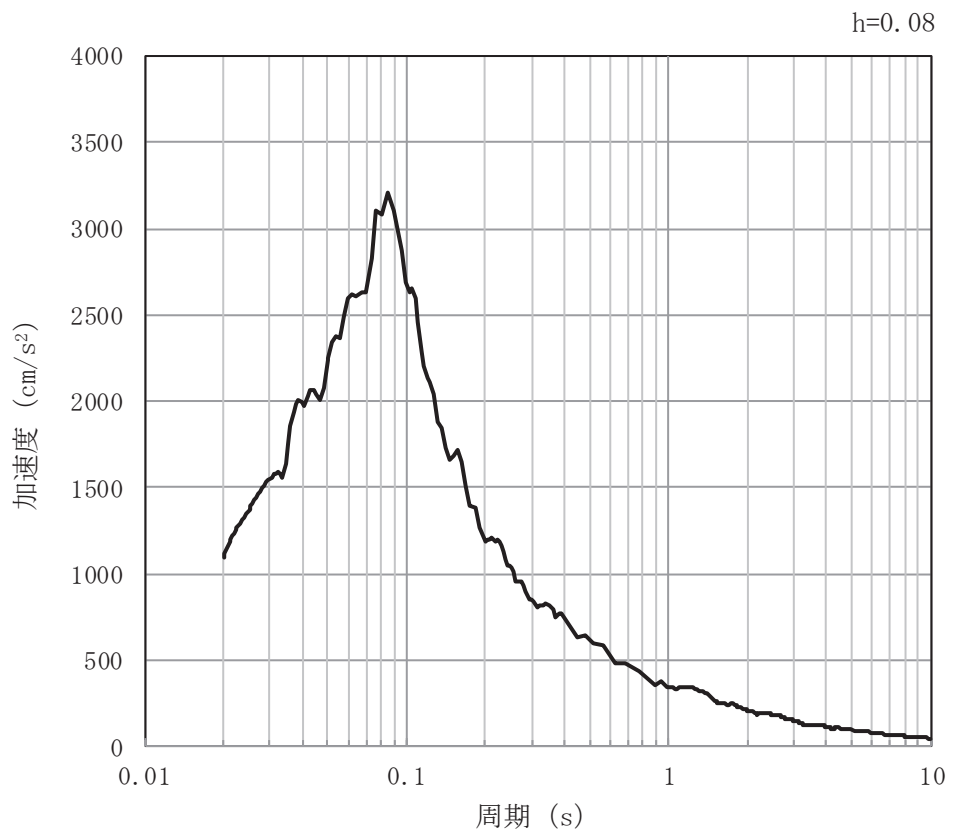


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-130 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（鉛直方向：S s-D2）
（緊急時対策建屋北側）（4/14）

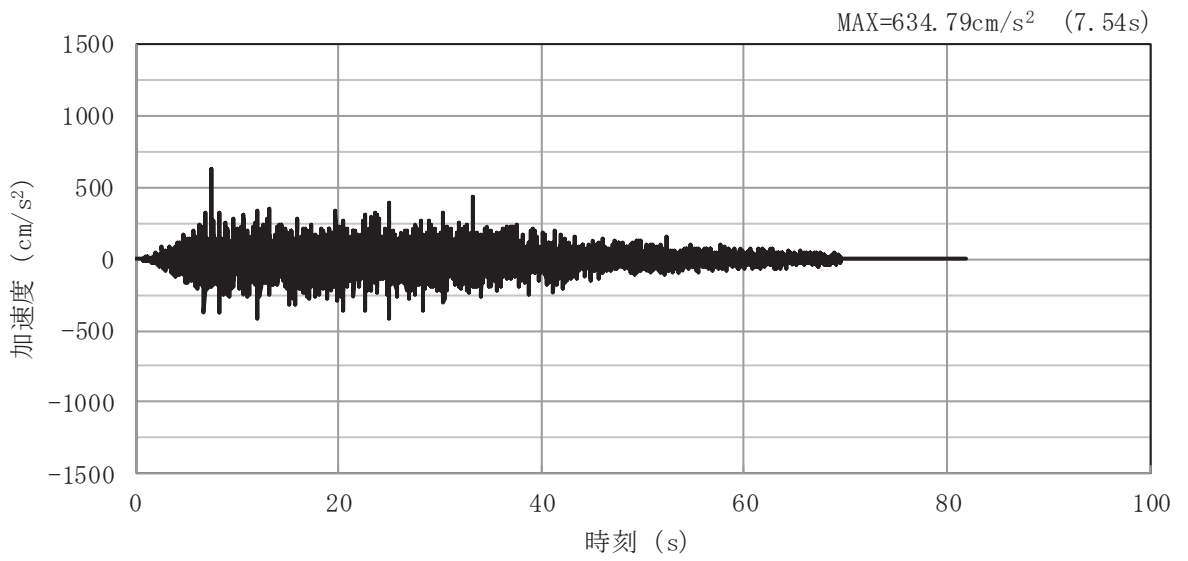


(a) 加速度時刻歴波形

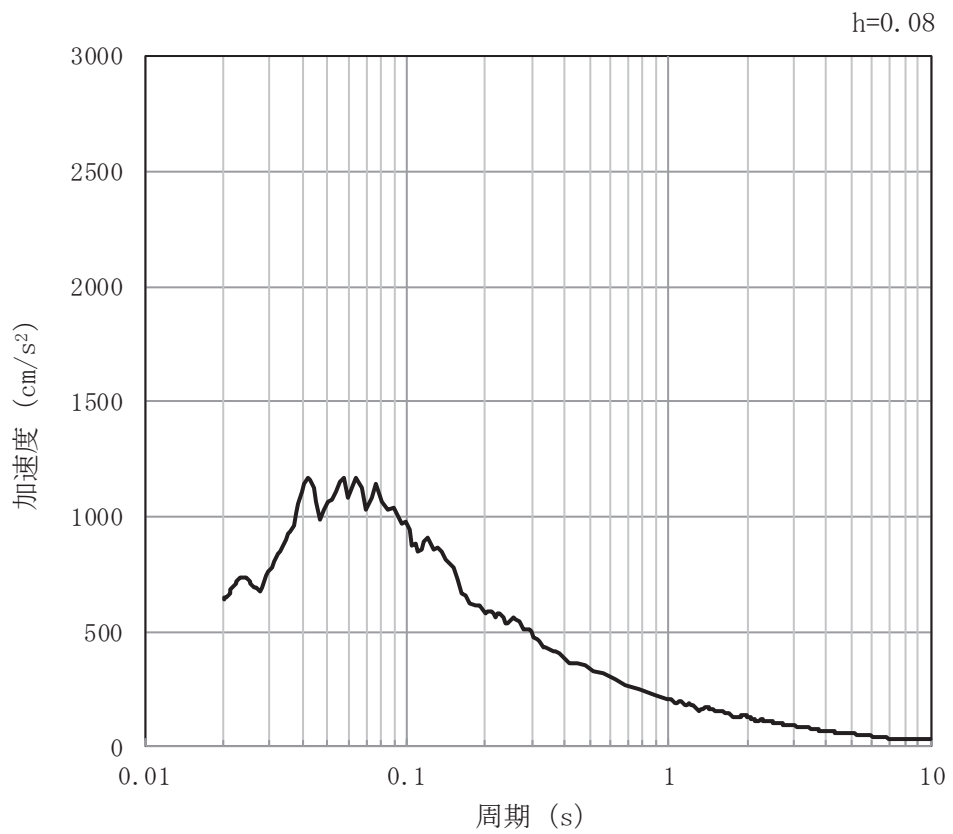


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-131 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（水平方向：S s-D3）
（緊急時対策建屋北側）（5/14）

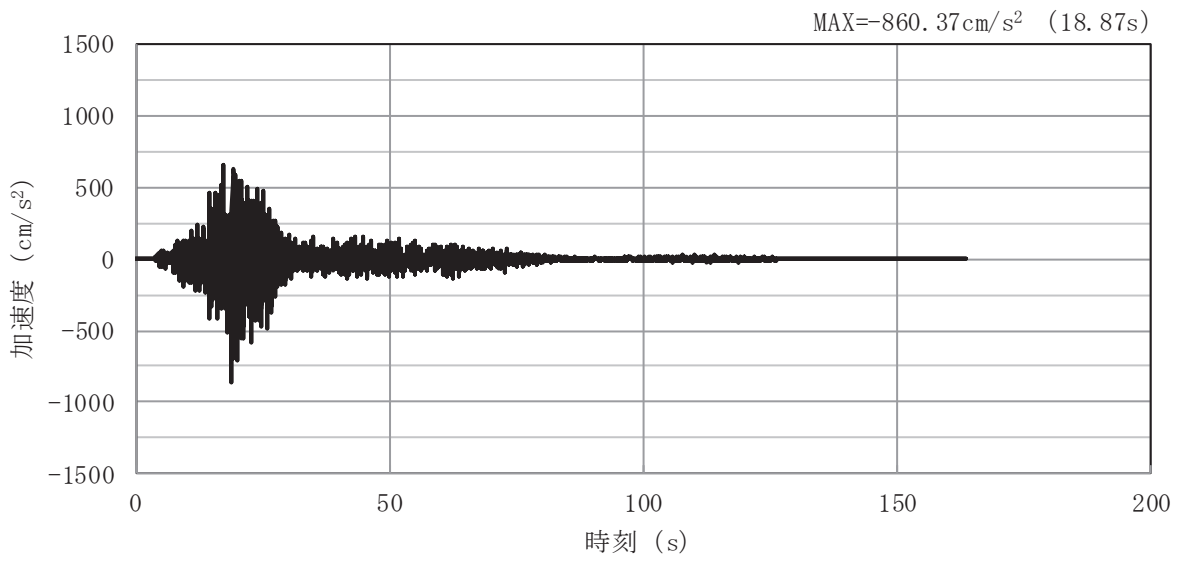


(a) 加速度時刻歴波形

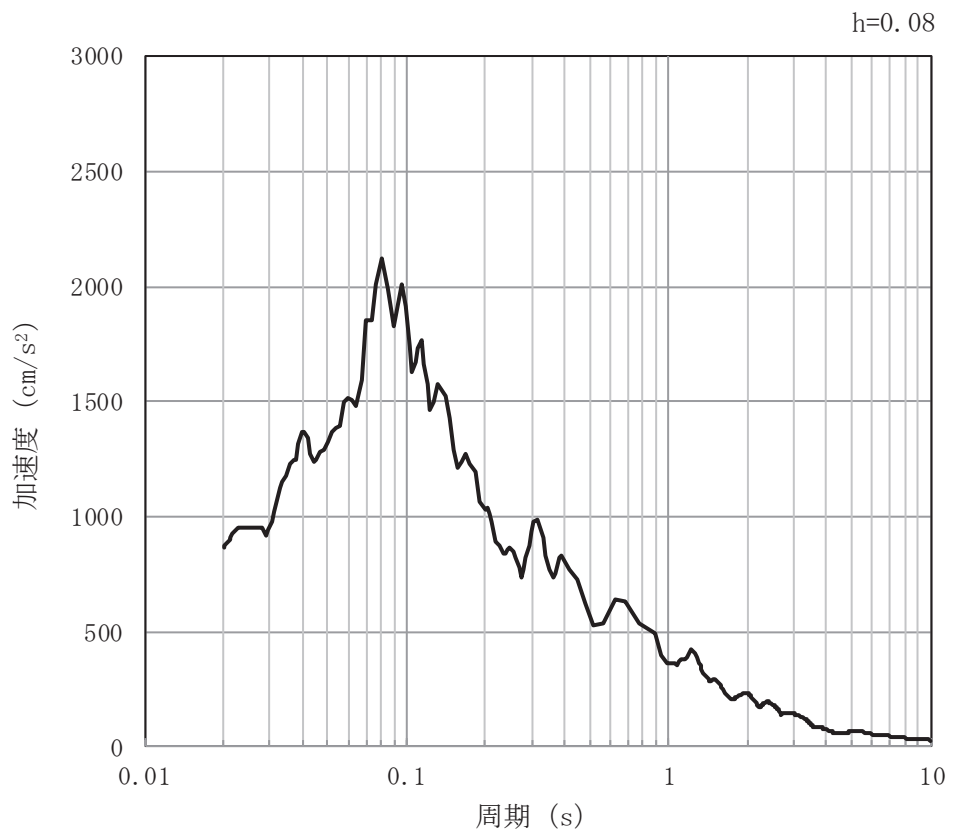


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-132 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（鉛直方向：S s-D3）
（緊急時対策建屋北側）（6/14）

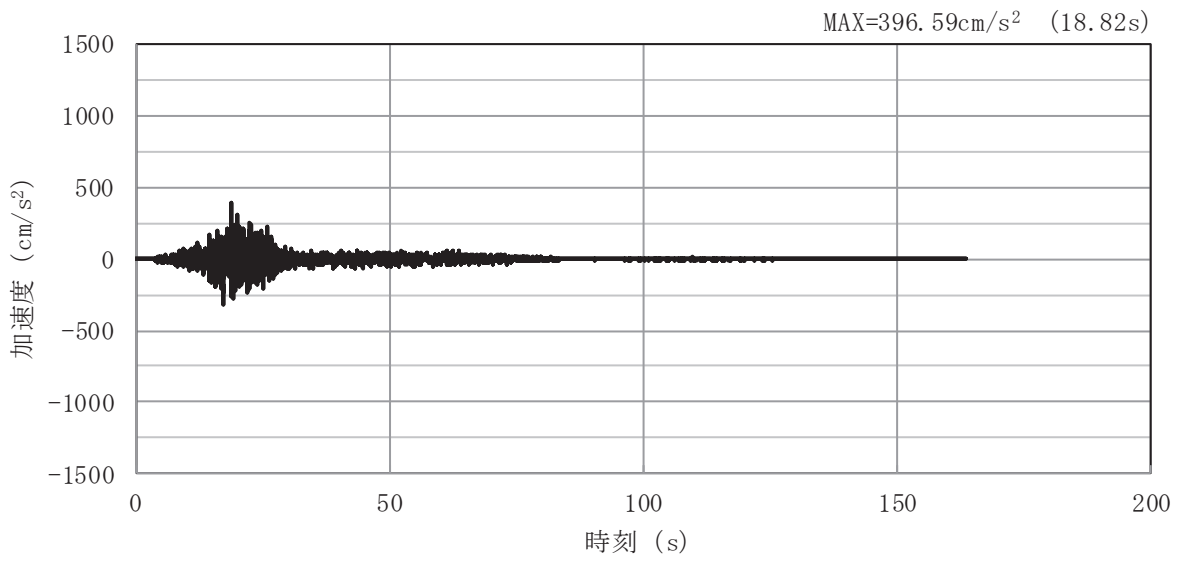


(a) 加速度時刻歴波形

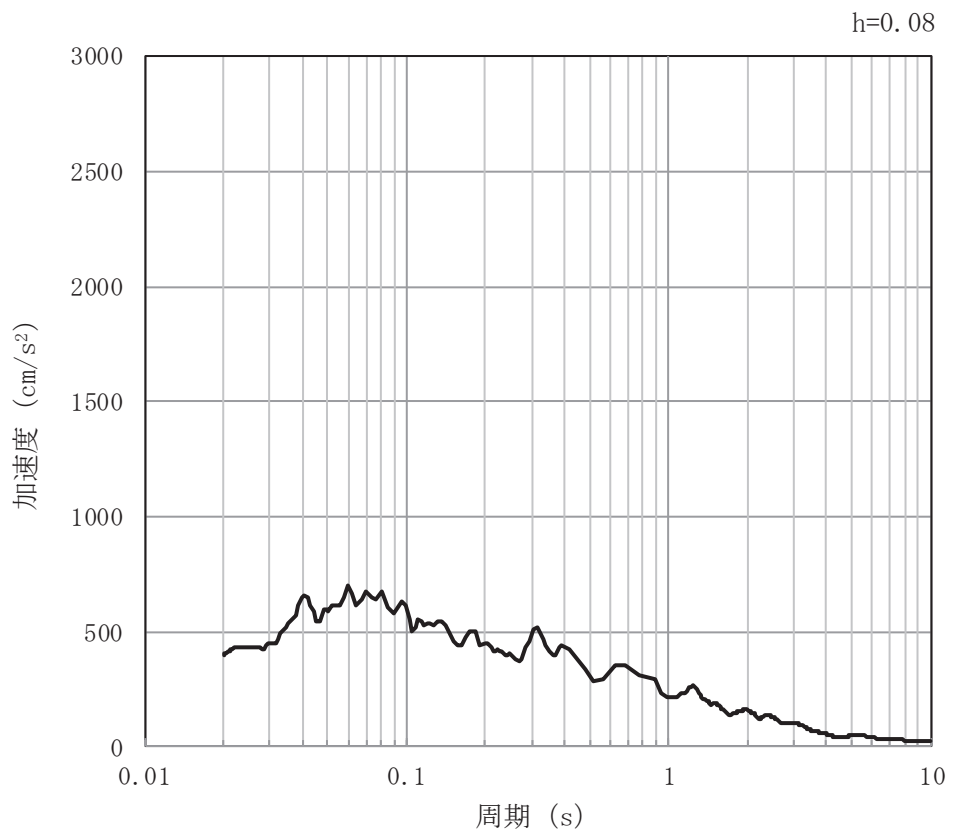


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-133 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（水平方向：S s-F1）
（緊急時対策建屋北側）（7/14）

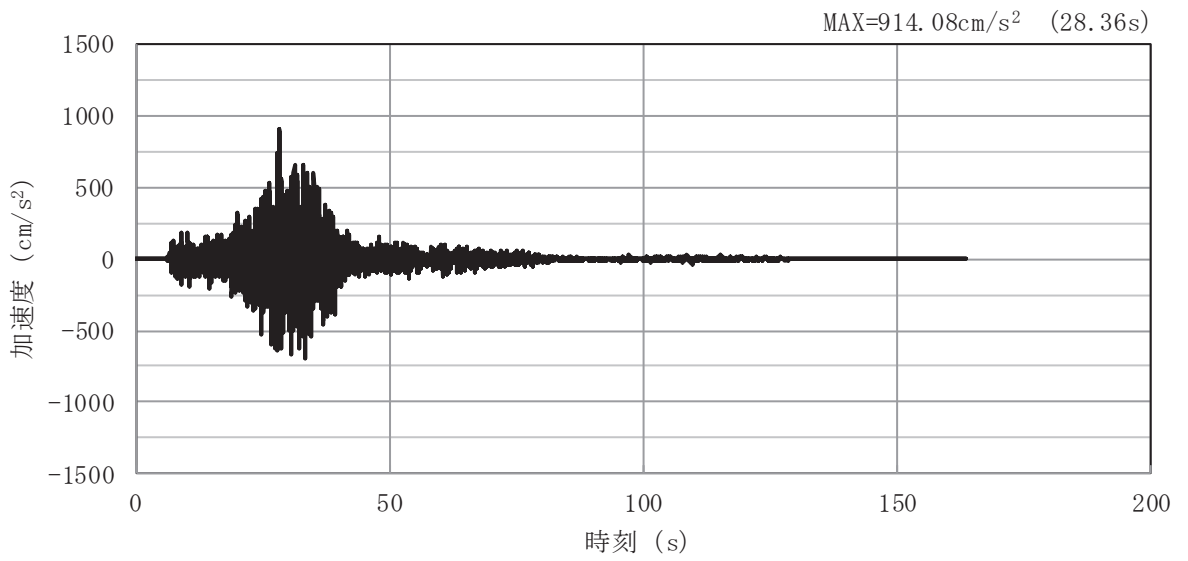


(a) 加速度時刻歴波形

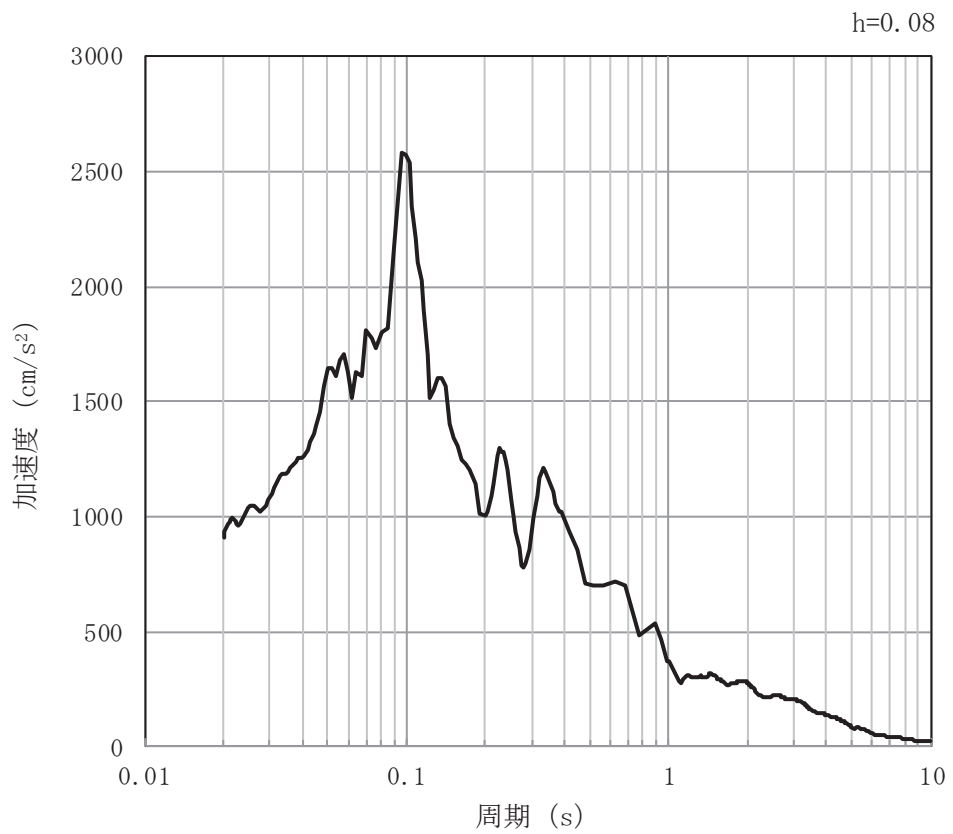


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-134 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（鉛直方向：S s-F1）
（緊急時対策建屋北側）（8/14）

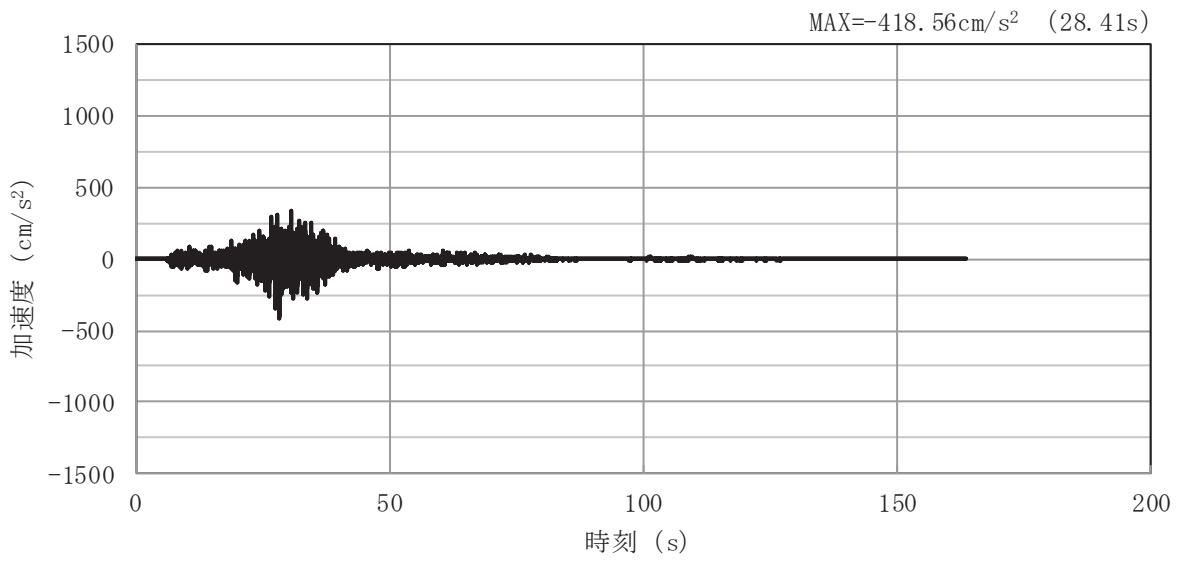


(a) 加速度時刻歴波形

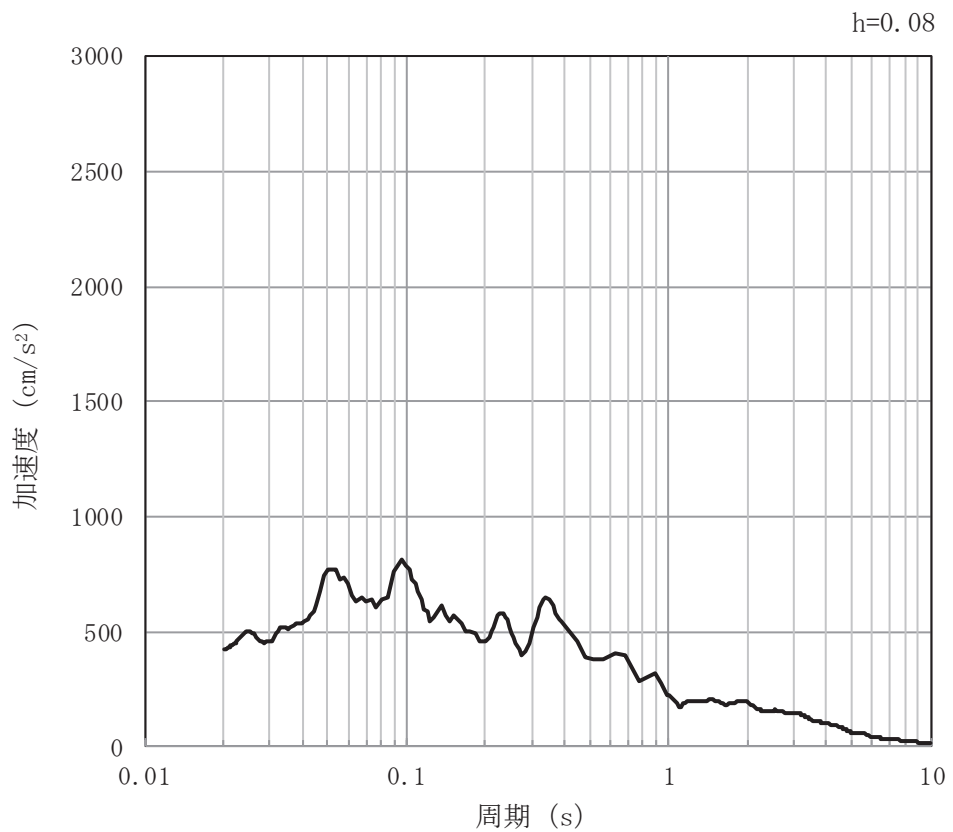


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-135 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（水平方向：S s - F2）
（緊急時対策建屋北側）（9/14）

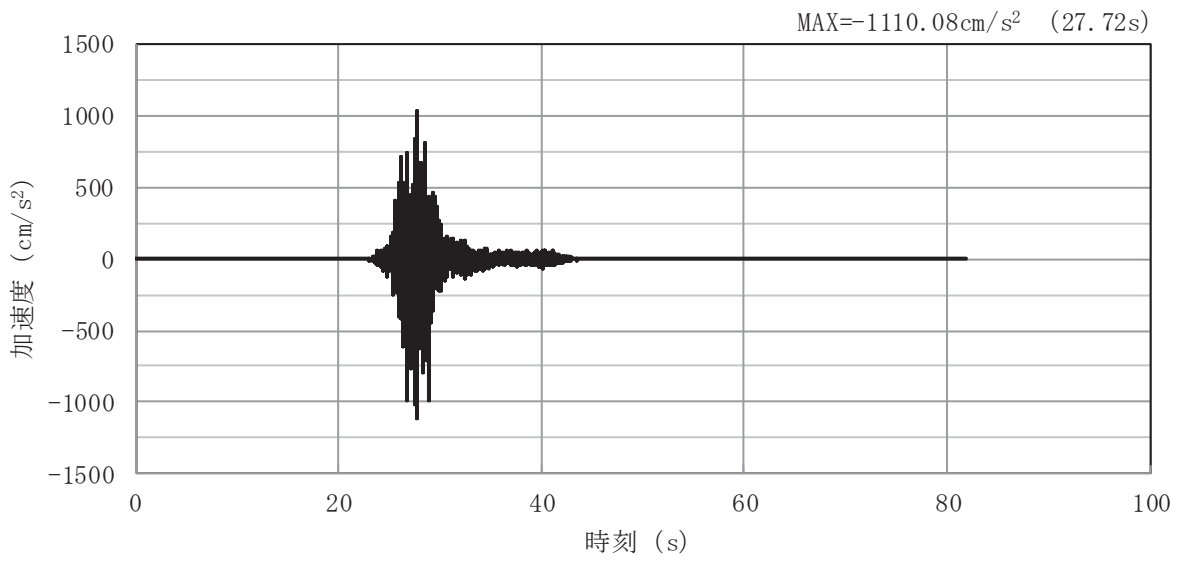


(a) 加速度時刻歴波形

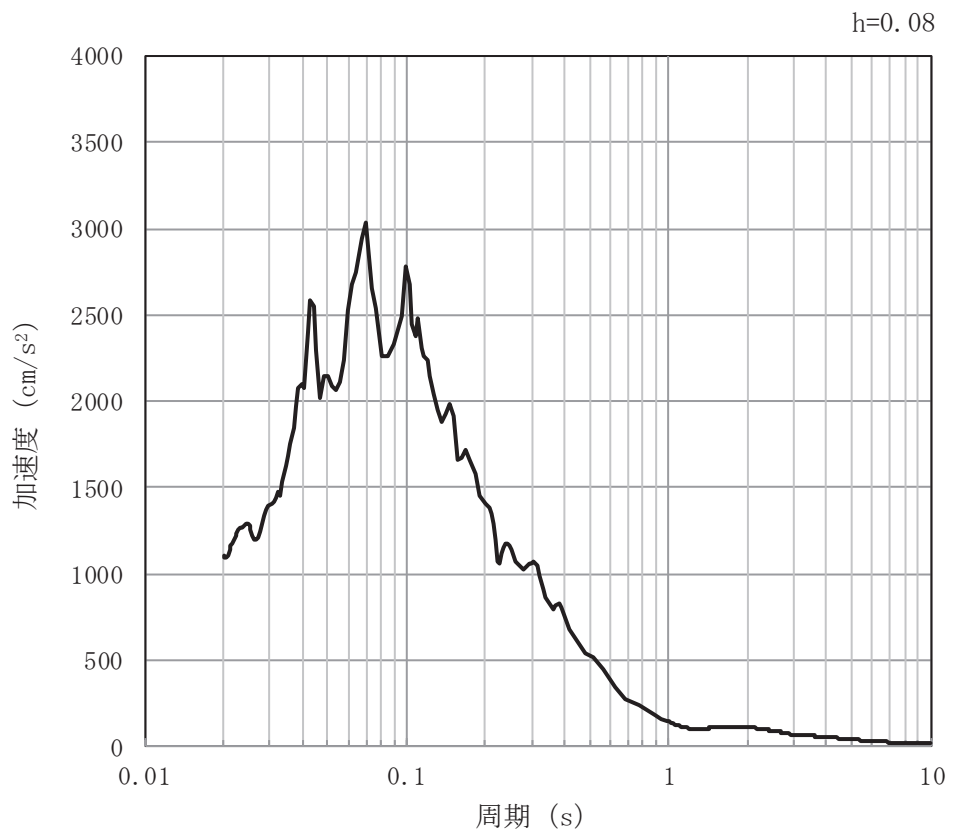


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-136 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（鉛直方向：S s-F2）
（緊急時対策建屋北側）（10/14）

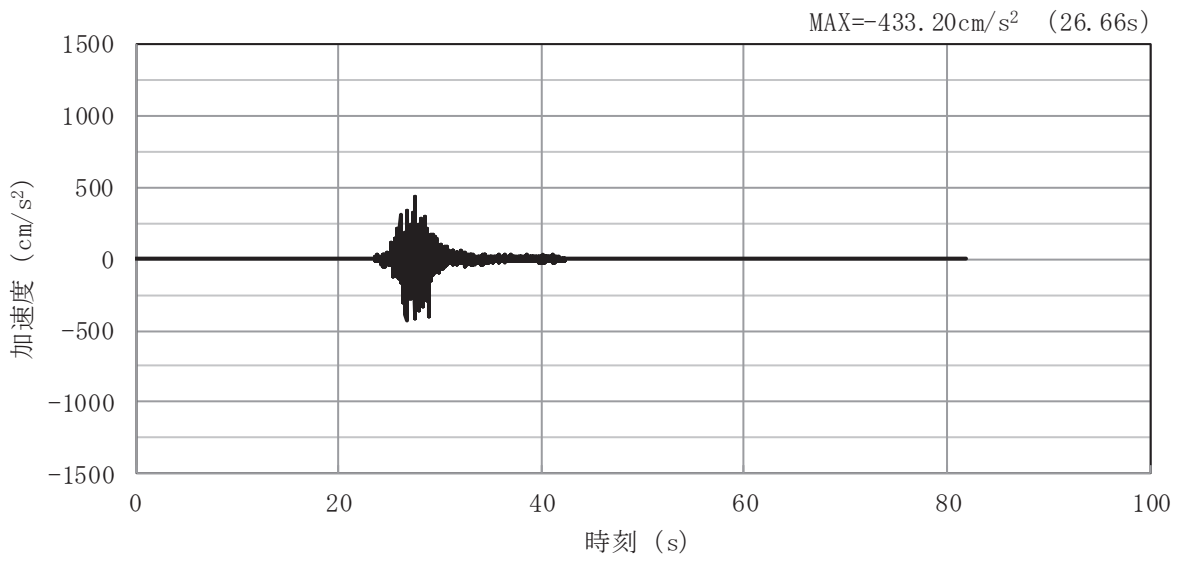


(a) 加速度時刻歴波形

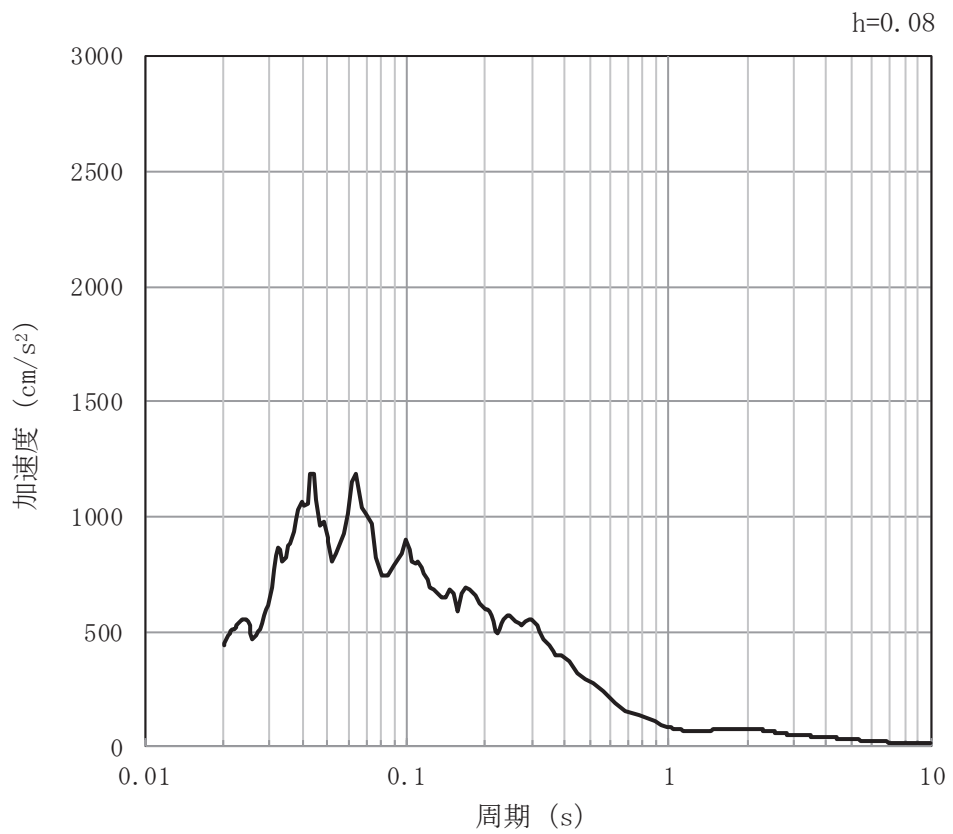


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-137 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（水平方向：S s-F3）
（緊急時対策建屋北側）（11/14）

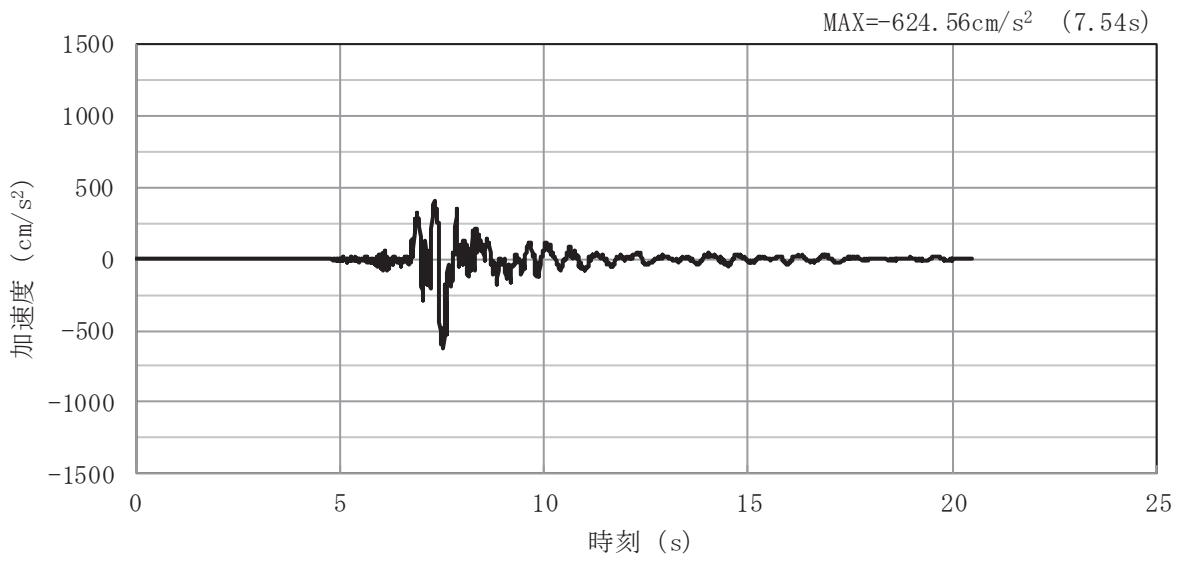


(a) 加速度時刻歴波形

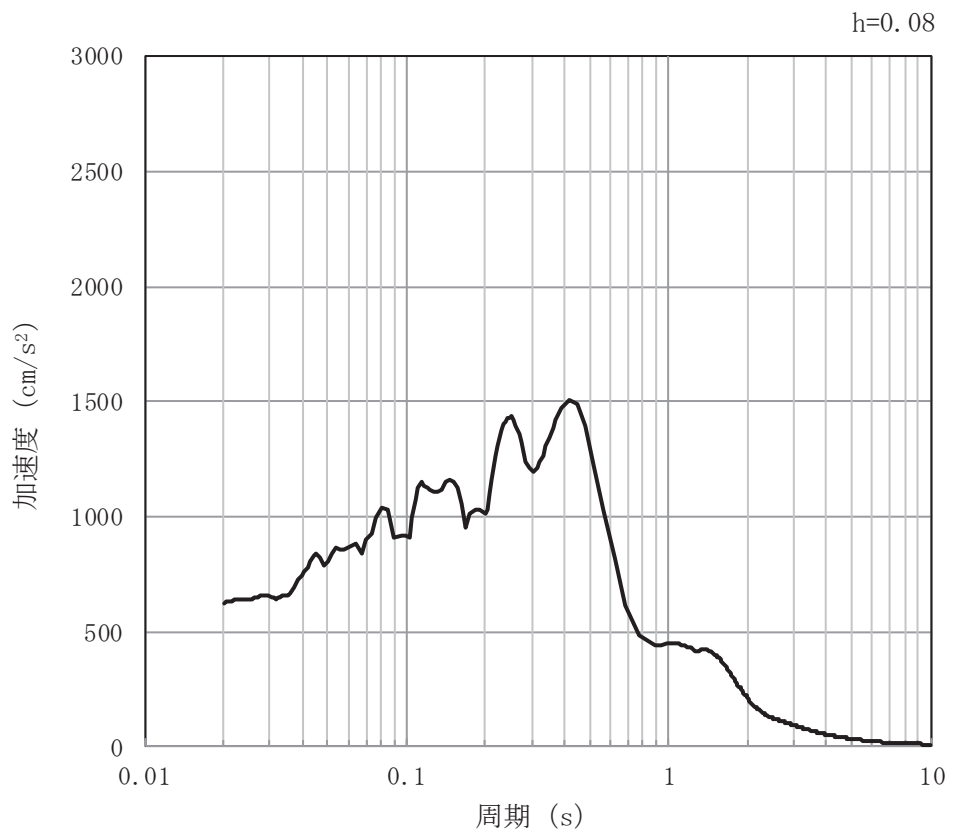


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-138 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（鉛直方向：S s-F3）
（緊急時対策建屋北側）（12/14）

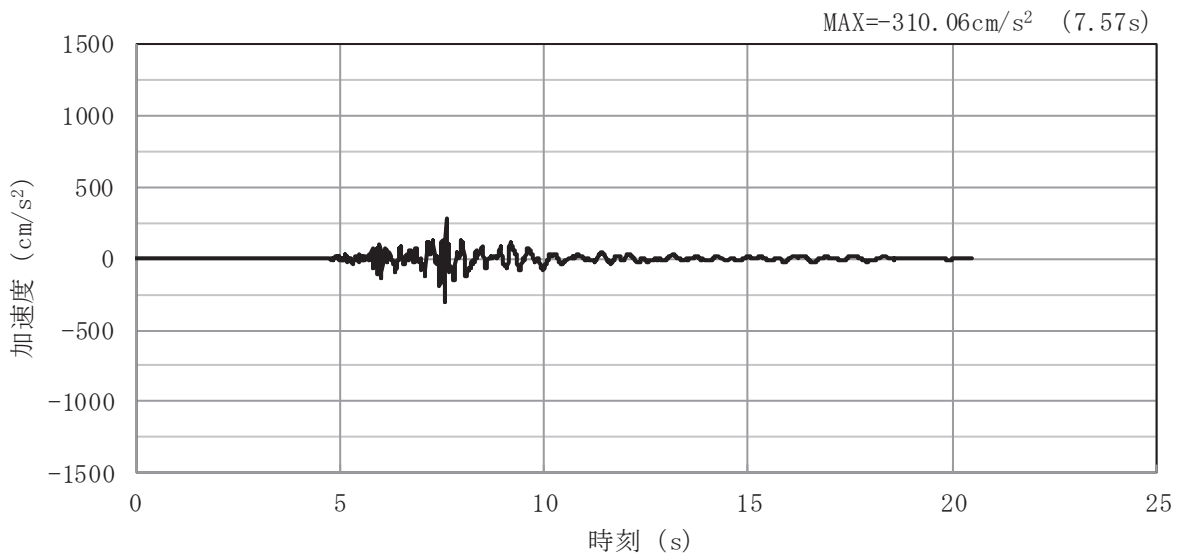


(a) 加速度時刻歴波形

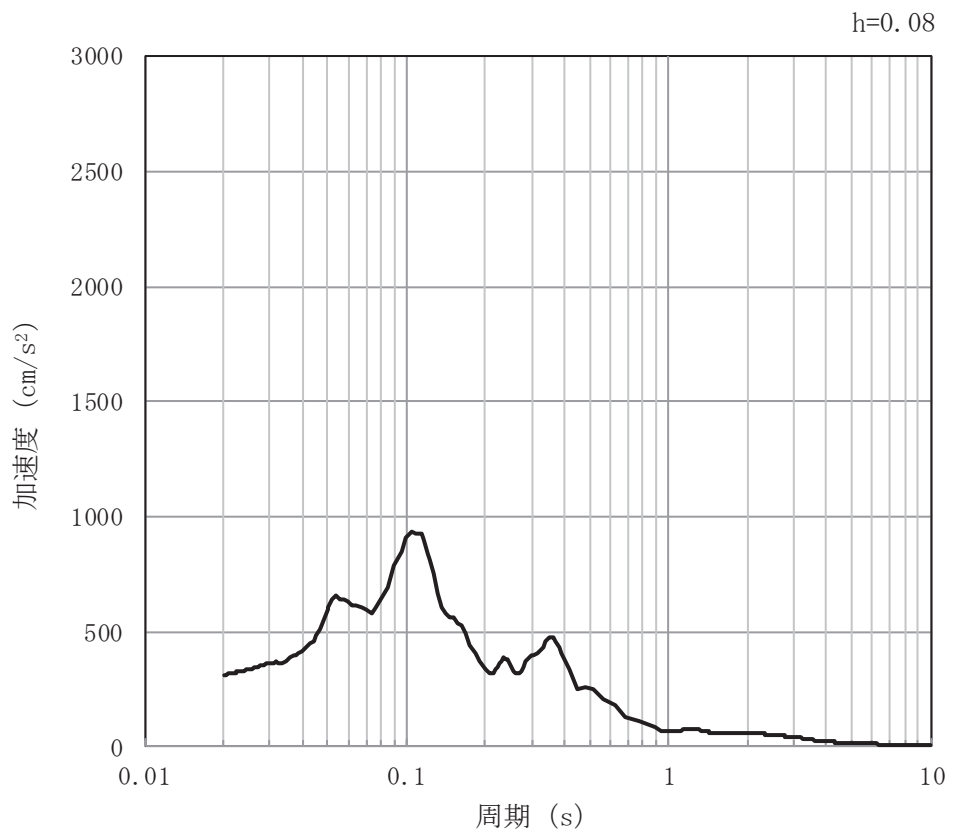


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-139 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（水平方向：S s-N1）
（緊急時対策建屋北側）（13/14）



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-140 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（鉛直方向：S s-N1）
（緊急時対策建屋北側）（14/14）

VI-2-別添 3-3 可搬型重大事故等対処設備のうち
車両型設備の耐震計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 配置	1
2.2 構造概要	4
2.3 固縛装置	9
2.4 評価方針	11
2.5 適用規格・基準等	14
3. 加振試験	15
3.1 基本方針	15
3.2 入力地震動	15
3.3 試験方法	15
3.4 試験結果	15
4. 構造強度評価	18
4.1 基本方針	18
4.2 評価部位	18
4.3 荷重及び荷重の組合せ	19
4.4 許容限界	19
4.5 評価方法	20
5. 転倒評価	31
5.1 基本方針	31
5.2 評価部位	31
5.3 許容限界	31
5.4 評価方法	31
6. 機能維持評価	32
6.1 基本方針	32
6.2 評価部位	32
6.3 許容限界	32
6.4 評価方法	32
7. 波及的影響評価	34
7.1 基本方針	34
7.2 評価部位	34
7.3 許容限界	34
7.4 評価方法	36

8. 評価条件	37
8.1 構造強度評価	37
8.2 転倒評価	37
8.3 機能維持評価	37
8.4 波及の影響評価	38
9. 評価結果	53
9.1 構造強度評価結果	53
9.2 転倒評価結果	53
9.3 機能維持評価結果	53
9.4 波及の影響評価結果	53

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」（以下「別添 3-1」という。）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、可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備が地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、十分な構造強度及び機能維持を有するとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。その耐震評価は、加振試験、構造強度評価、転倒評価及び機能維持評価並びに波及的影響評価により行う。

2. 基本方針

別添 3-1 の「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり、車両型設備の「2.1 配置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 配置

車両型設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、第 1 保管エリア、第 2 保管エリア、第 3 保管エリア、第 4 保管エリア、緊急時対策建屋北側に分散して保管する。これらの保管場所を表 2-1 及び図 2-1 に示す。

表 2-1 車両型設備の保管場所

設備名称	保管場所
大容量送水ポンプ（タイプⅠ）	第1保管エリア 第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア
大容量送水ポンプ（タイプⅡ）	第1保管エリア 第2保管エリア 第4保管エリア
電源車	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア
電源車（緊急時対策所用）	緊急時対策所北側 第4保管エリア
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	第1保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア
可搬型窒素ガス供給装置	第1保管エリア 第4保管エリア
ホース延長回収車	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア
タンクローリ	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア

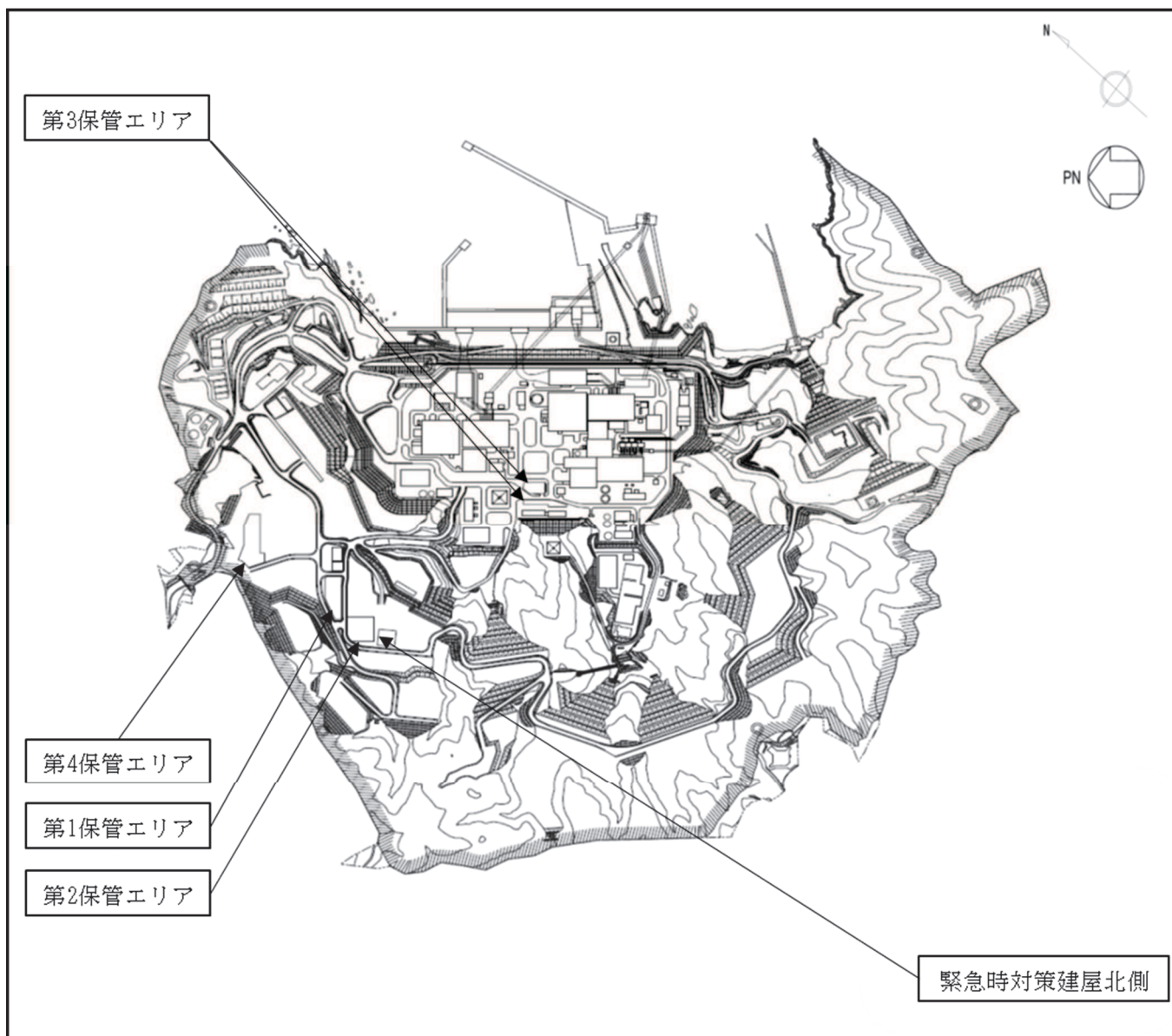


図 2-1 車両型設備の保管場所位置図

2.2 構造概要

車両型設備の構造は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、車両型設備の構造計画を表 2-2 に、車両型設備の構造図を図 2-2～図 2-8 に示す。

表 2-2 車両型設備の構造計画 (1/2)

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
大容量送水ポンプ (タイプⅠ) 及び 大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	サスペンションを有し、自走にて移動できる構造*とし、車両、ポンプ及び内燃機関により構成する。	ポンプ及び内燃機関は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。ポンプ及び内燃機関を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトラックに積載し取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-2 図 2-3
電源車 及び 電源車 (緊急時対策所用)	サスペンションを有し、自走にて移動できる構造*とし、車両、発電機及び内燃機関により構成する。	発電機及び内燃機関は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。発電機及び内燃機関を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトラックに積載し取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-4

注記 *：早期の重大事故等への対処を考慮し移動機能を有するとともに、地震に対する影響を軽減できる構造として、サスペンションを有している。

表 2-2 車両型設備の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉補機代替 冷却水系熱交換器 ユニット	サスペンションを有し、トラクタにて連結したトレーラを牽引して移動できる構造*とし、車両、熱交換器、ポンプ及び内燃機関により構成する。	熱交換器、ポンプ及び内燃機関は、トレーラに直接支持構造物である取付ボルトにて固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-5
可搬型窒素ガス 供給装置	サスペンションを有し、トラクタにて連結したトレーラを牽引して移動できる構造*とし、車両、窒素ガス分離装置、空気圧縮機及び発電機により構成する。	窒素ガス分離装置、空気圧縮機及び発電機は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。窒素ガス分離装置、空気圧縮機及び発電機を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトレーラに積載し取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-6
ホース延長回収車	サスペンションを有し、自走にて移動できる構造*とし、車両及びマルチリフトにより構成する。	マルチリフトは、トラックの荷台に直接支持構造物である取付ボルトにて固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-7
タンクローリ	サスペンションを有し、自走にて移動できる構造*とし、車両、タンク及びポンプにより構成する。	タンク及びポンプは、トラックの荷台に直接支持構造物である取付ボルトにて固定し、保管場所に固定せずに保管する。	図 2-8

注記 *：早期の重大事故等への対処を考慮し移動機能を有するとともに、地震に対する影響を軽減できる構造として、サスペンションを有している。

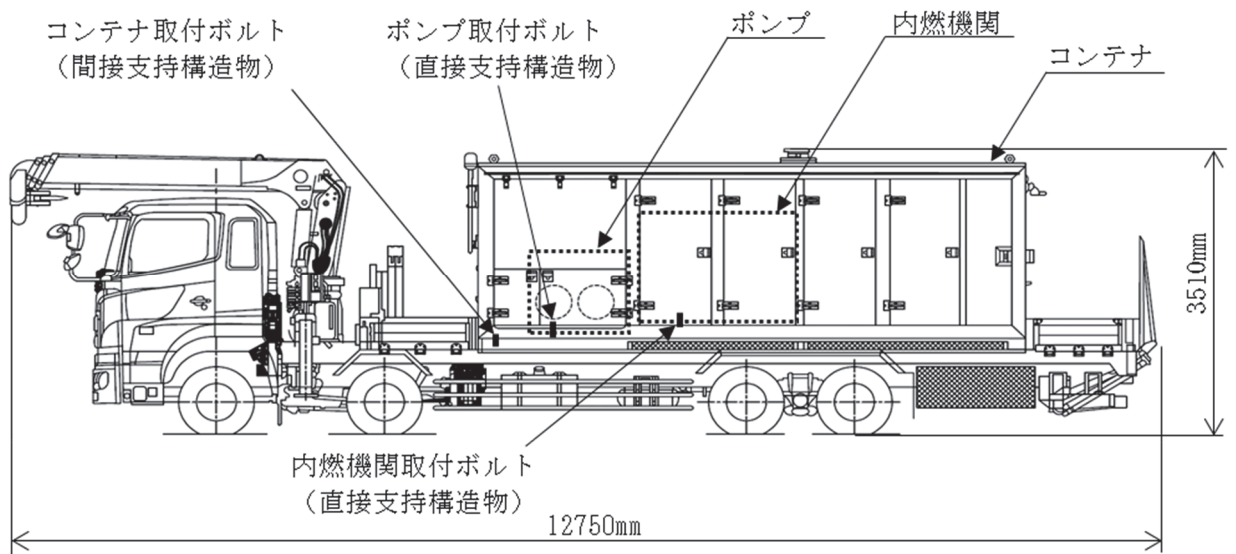


図 2-2 大容量送水ポンプ (タイプ I) の構造図 (外観図)

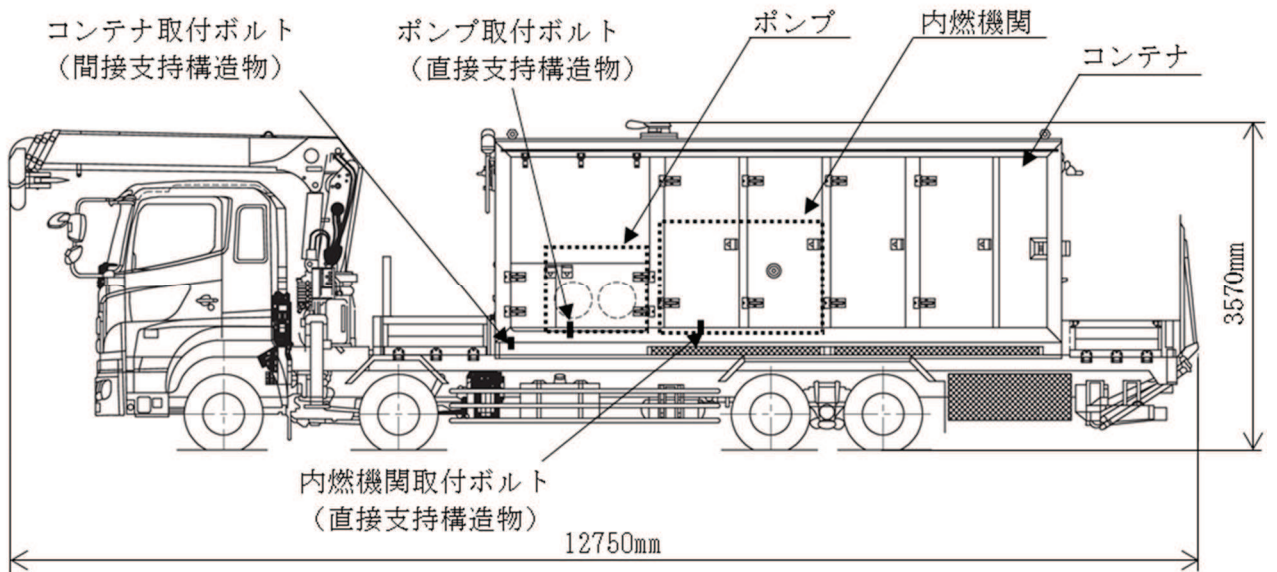


図 2-3 大容量送水ポンプ (タイプ II) の構造図 (外観図)

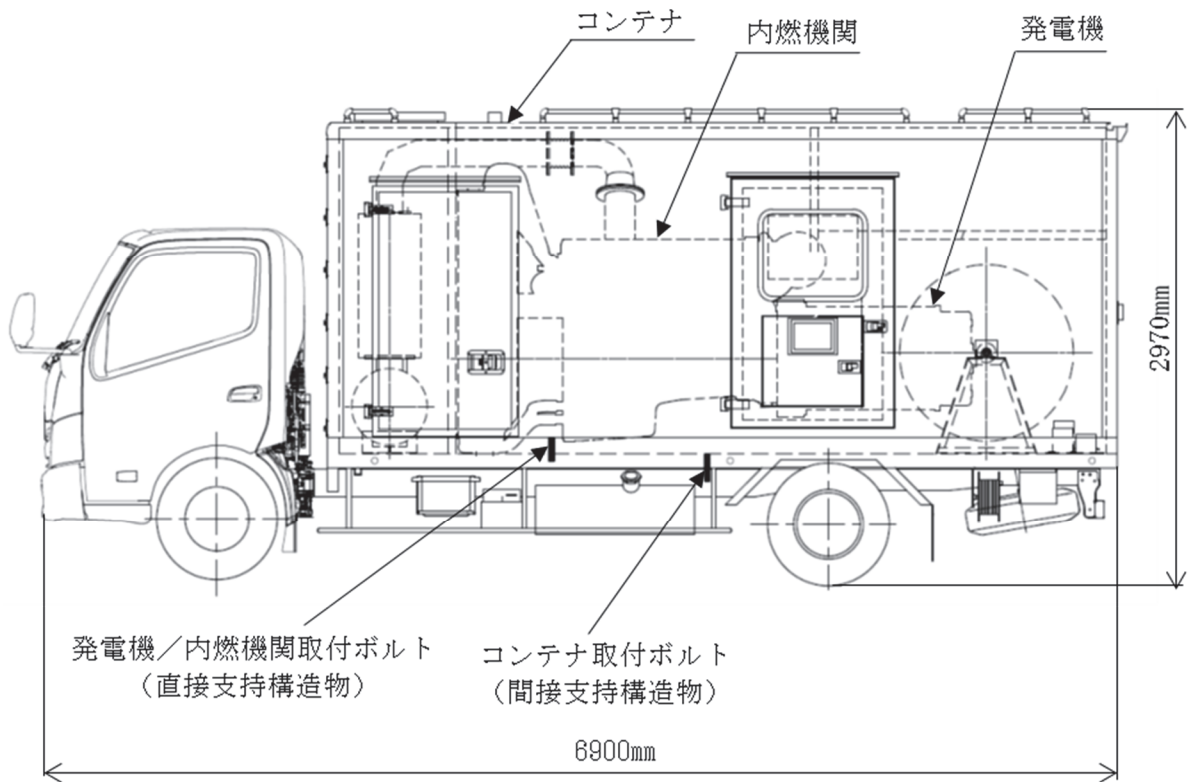


図 2-4 電源車及び電源車（緊急時対策所用）の構造図（外観図）



図 2-5 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの構造図（外観図）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

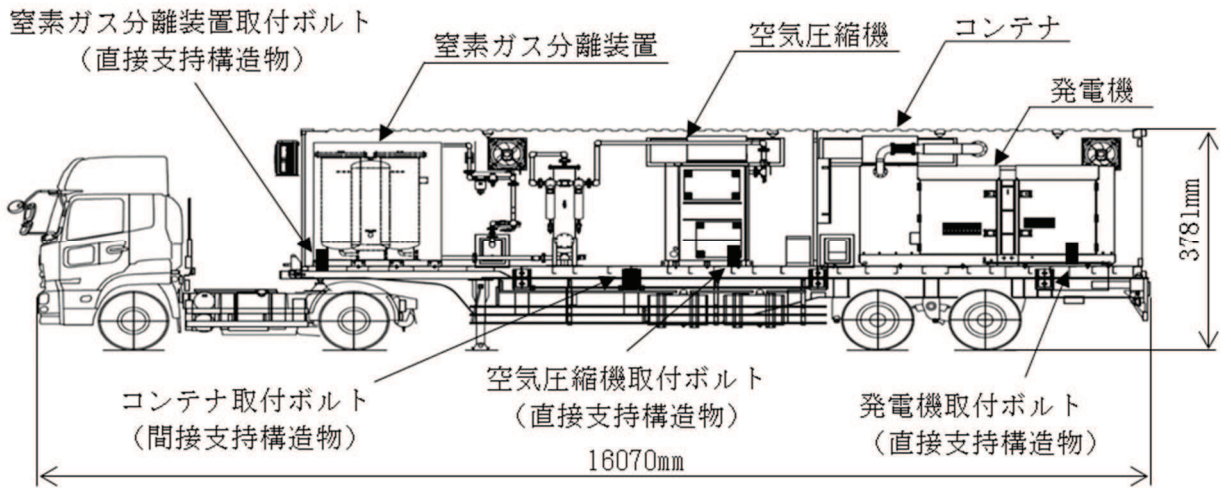


図 2-6 可搬型窒素ガス供給装置の構造図 (外観図)

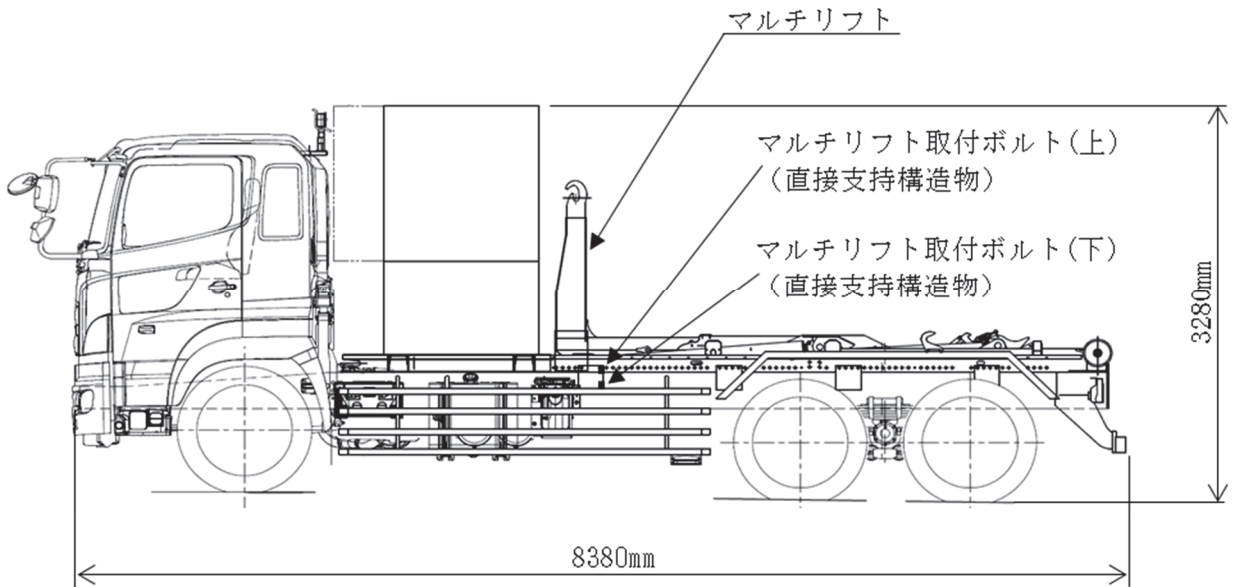


図 2-7 ホース延長回収車の構造図 (外観図)

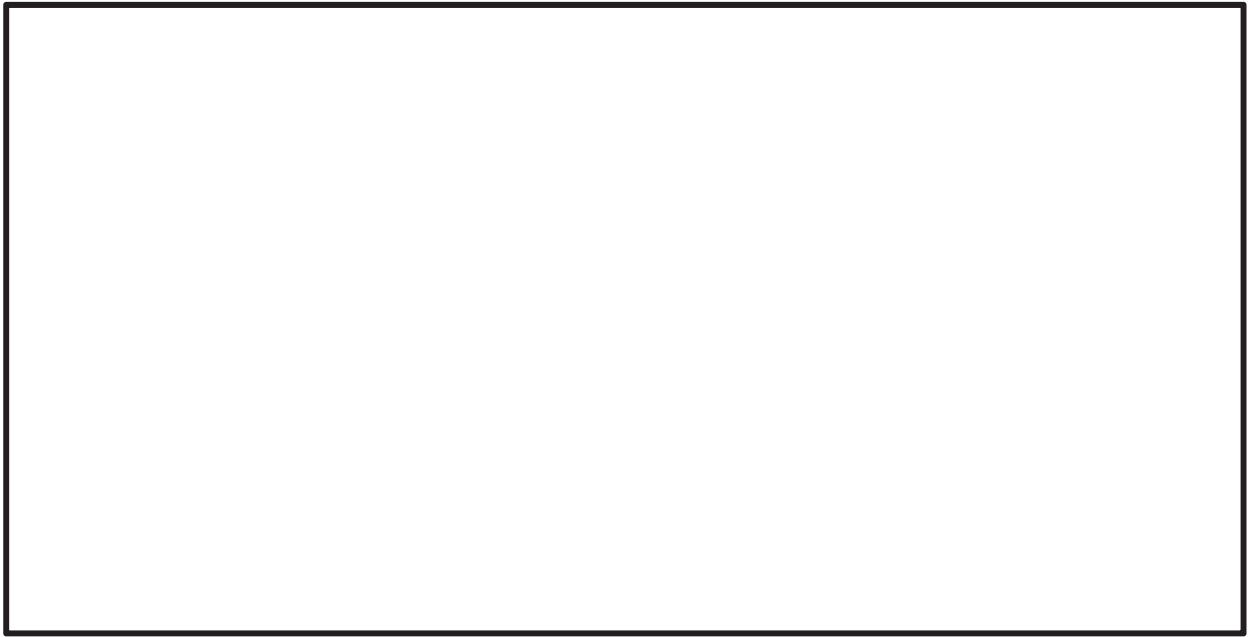


図 2-8 タンクローリの構造図（外観図）

2.3 固縛装置

車両型設備については、屋外の可搬型重大事故等対処設備保管場所に保管することから、竜巻襲来時に飛散し、他の重大事故等対処設備を損傷させることを防止するため、固縛装置を設置する。固縛装置は、「連結材」と連結材を固定するための「固定材」及び「基礎」から構成される。図 2-9 に固縛装置の構造概要を示す。

「連結材」は、車両型設備を胴巻きにするメインロープと固定材との取り合いとなるサイドロープで構成され、材質は高強度繊維ロープを使用している。サイドロープは、車両型設備の特徴であるサスペンションの耐震性（振動抑制効果）を損なわないよう余長を持たせている。「固定材」は、アンカープレートとフレノ・リンクボルトで構成され、「基礎部」は固定材と基礎を定着するアンカーボルト及び基礎（スラブコンクリート）で構成されている。

なお、固縛装置を車両型設備に設置する場合、地震時の車両型設備の挙動により固縛装置が作用して、車両型設備の重大事故等に対処するために必要な機能に影響を与えることのないように、以下の設計とする。

- ・固縛装置の余長を十分に設けることにより地震時に作用させない設計とする。ここで、十分な余長とは、地震に伴う車両型設備のすべり及び傾きによる変位が生じた場合でも、固縛装置が展張せず、また、固定材にタイヤが干渉しない余長のことを示す。本設計に基づく固縛装置を、以下「長い余長の固縛装置」という。

固縛装置の設計方針、構造計画等の詳細については、添付書類「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」に、竜巻対策としての固縛装置の強度に関する設計については、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」及び添付書類「VI-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」にて評価する。また、固縛装置の耐震評価としては、加振試験後に固縛装置が健全であり、車両型設備が転倒しないことを確認する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

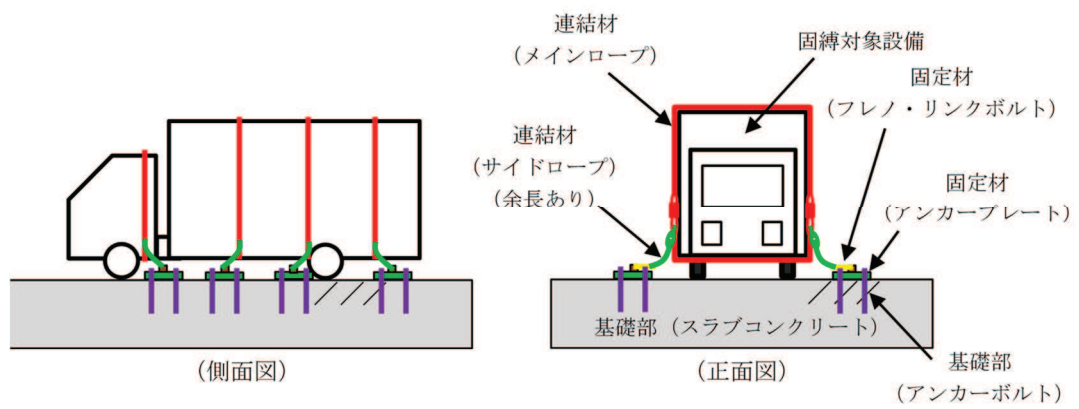


図 2-9 固縛装置の構造概要

2.4 評価方針

車両型設備の評価方針を以下に示し、評価方法の一覧を表 2-3 に、耐震評価フローを図 2-10 に示す。

(1) 構造強度評価

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 (1) 車両型設備」にて設定した構造強度評価の方針に従い、直接支持構造物及び間接支持構造物に対する構造強度評価を実施する。

車両型設備の構造強度評価は、「3. 加振試験」にて得られた評価部位頂部の水平方向加速度及び鉛直方向加速度を用い、「4. 構造強度評価」に示す方法により、車両型設備の評価部位に作用する応力が許容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す評価部位のうち直接支持構造物としての取付ボルトの構造強度評価については、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 に規定されているその他の支持構造物の評価に従い実施する。間接支持構造物としての取付ボルトについては、直接支持構造物の構造強度評価に準じて実施する。

(2) 転倒評価

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 (1) 車両型設備」にて設定した転倒評価の方針に従い、転倒評価を実施する。

車両型設備の転倒評価は、「5. 転倒評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における加振試験を行い、車両型設備が転倒していないことを確認し、保管場所の地表面の最大応答加速度と、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

(3) 機能維持評価

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 (1) 車両型設備」にて設定した機能維持評価の方針に従い、支持機能、移動機能、動的及び電氣的機能維持評価を実施する。

車両型設備の機能維持評価は、「6. 機能維持評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における加振試験にて、加振試験後に支持機能及び移動機能、並びにポンプの送水機能、発電機の発電機能、内燃機関の駆動機能等の動的及び電氣的機能を維持できることを確認し、保管場所の地表面の最大応答加速度と、加振試験により支持機能、移動機能、動的及び電氣的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

(4) 波及的影響評価

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2(1) 車両型設備」にて設定した波及的影響評価の方針に従い、波及的影響評価を実施する。

車両型設備の波及的影響評価は、「7. 波及的影響評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における加振試験にて確認した、車両型設備のすべり及び傾きによる最大変位量が、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

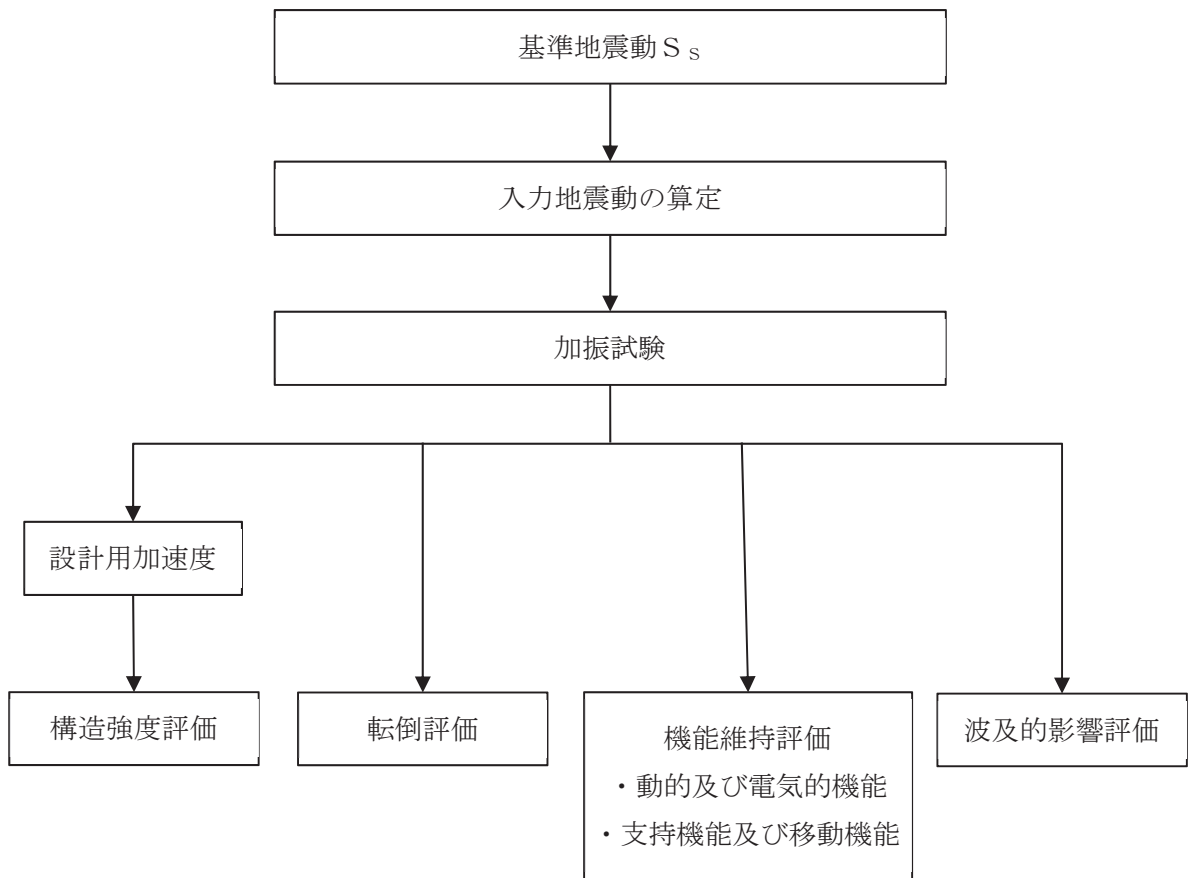


図 2-10 車両型設備の耐震評価フロー

表 2-3 車両型設備の評価方法

設備名称	車両種別	設備種別	構造強度評価		転倒評価	機能維持評価	波及的 影響評価
			直接支持 構造物	間接支持 構造物			
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	トラック	ポンプ車	加振試験＋ 応力計算	加振試験＋ 応力計算	加振試験	加振試験	加振試験
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	トラック	ポンプ車	加振試験＋ 応力計算	加振試験＋ 応力計算	加振試験	加振試験	加振試験
電源車	トラック	発電機車	加振試験＋ 応力計算	加振試験＋ 応力計算	加振試験	加振試験	加振試験
電源車 (緊急時対策所用)	トラック	発電機車	加振試験＋ 応力計算	加振試験＋ 応力計算	加振試験	加振試験	加振試験
原子炉補機代替 冷却水系熱交換器 ユニット	トラクタ・ トレーラ	熱交換器車	加振試験＋ 応力計算	—	加振試験	加振試験	加振試験
可搬型窒素ガス 供給装置	トラクタ・ トレーラ	窒素発生装置	加振試験＋ 応力計算	加振試験＋ 応力計算	加振試験	加振試験	加振試験
ホース延長回収車	トラック	ホース延長 回収車	加振試験＋ 応力計算	—	加振試験	加振試験	加振試験
タンクローリ	トラック	タンクローリ	加振試験＋ 応力計算	—	加振試験	加振試験	加振試験

2.5 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。)

3. 加振試験

3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.1 車両型設備 (1) 加振試験」にて設定した基本方針に従い、加振試験を実施する。

加振試験は、以下の「3.2 入力地震動」に示す入力地震動を用いて、「3.3 試験方法」に示す方法により、「4. 構造強度評価」に用いる評価部位頂部の最大応答加速度、「5. 転倒評価」に用いる転倒の有無、「6. 機能維持評価」に用いる加振台の最大加速度及び「7. 波及的影響評価」に用いる車両型設備の最大変位量を求める。

3.2 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に示す、各保管場所の $S_s - D1 \sim S_s - N1$ の地震動を用いて、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成する設計用床応答曲線をおおむね上回るよう作成したランダム波とする。

加振試験の入力地震動は、全ての保管場所における入力地震動を各対象設備の固有周期帯において上回り、かつ周期全体としておおむね上回るように設定する。

3.3 試験方法

車両型設備を実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「3.2 入力地震動」に示すランダム波を入力地震動として加振試験を行い、評価部位頂部の最大応答加速度、加振試験後に転倒していないこと、加振台の最大加速度及び車両型設備の最大変位量を確認する。

また、加振試験は水平方向と鉛直方向同時入力で行う。

- ・加振波：「3.2 入力地震動」にて設定したランダム波
- ・加振方向：「水平（走行軸方向）＋鉛直」及び「水平（走行軸直角方向）＋鉛直」（2軸加振）又は「水平（走行軸方向）＋水平（走行軸直角方向）＋鉛直」（3軸加振）

加振波の最大加速度と振動台の制限加速度の関係上、2軸加振及び3軸加振の使い分けを行うこととし、大容量送水ポンプ（タイプⅡ）、可搬型窒素ガス供給装置、ホース延長回収車、電源車及び電源車（緊急時対策所用）については2軸加振を実施し、その他の車両型設備については、3軸加振を実施する。

3.4 試験結果

加振試験により得られた結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 加振試験結果 (1/2)

設備名称	評価部位	評価部位の最大*1, *2 応答加速度 ($\times 9.8m/s^2$)		転倒の有無	加振台の*3 最大加速度 ($\times 9.8m/s^2$)		車両型設備の*2 最大変位量 (mm)	
		水平 (走行軸方向/ 走行軸直角方向)	鉛直		水平	鉛直	走行軸 方向	走行軸 直角方向
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	ポンプ取付ボルト	0.54/0.83	0.89	無	1.56	0.76	330	538
	内燃機関取付ボルト	0.57/1.07	1.29					
	コンテナ取付ボルト	0.70/1.50	1.90					
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	ポンプ取付ボルト	0.63/0.87	1.37	無	1.83	1.24	260	1067
	内燃機関取付ボルト	0.82/1.73	1.47					
	コンテナ取付ボルト	0.67/1.51	2.46					
電源車	発電機/内燃機関 取付ボルト	0.66/1.12	1.95	無	2.31	1.36	190	716
	コンテナ取付ボルト	1.31/2.79	2.99					
電源車 (緊急時対策所用)	発電機/内燃機関 取付ボルト	0.66/1.12	1.95	無	2.31	1.36	190	716
	コンテナ取付ボルト	1.31/2.79	2.99					

注記*1 : 評価部位の最大応答加速度が加振台の最大加速度を下回るものについては、加振試験時の床応答スペクトルにおける車両型設備の固有周期帯での応答値が加振台の最大加速度を下回っていることが主要因と考えられる。

*2 : 基準地震動 S s に対する加振試験により得られた試験結果。

*3 : 基準地震動 S s に対する加振試験により計測された加振台の最大加速度。

表 3-2 加振試験結果(2/2)

設備名称	評価部位	評価部位の最大*1, *2 応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		転倒の有無	加振台の*3 最大加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		車両型設備の*2 最大変位量 (mm)	
		水平 (走行軸方向/ 走行軸直角方向)	鉛直		水平	鉛直	走行軸 方向	走行軸 直角方向
原子炉補機代替 冷却水系熱交換器 ユニット	熱交換器取付ボルト	0.54/1.22	1.16	無	1.56	0.76	390	372
	ポンプ取付ボルト	0.58/0.88	0.78					
	内燃機関取付ボルト	0.64/1.18	1.01					
可搬型窒素ガス 供給装置	窒素ガス分離装置 取付ボルト	1.06/1.30	1.48	無	2.09	1.37	130	571
	空気圧縮機 取付ボルト	1.17/1.06	1.84					
	発電機取付ボルト	1.07/1.28	1.98					
	コンテナ取付ボルト	0.89/1.66	2.83					
ホース延長回収車	マルチリフト 取付ボルト (上部/下部)	3.81/9.95	2.76	無	1.83	1.24	130	519
タンクローリ	タンク取付ボルト	1.09/1.90	1.55	無	1.61	1.16	587	694
	ポンプ取付ボルト	1.00/1.63	1.91					

注記*1 : 評価部位の最大応答加速度が加振台の最大加速度を下回るものについては、加振試験時の床応答スペクトルにおける車両型設備の固有周期帯での応答値が加振台の最大加速度を下回っていることが主要因と考えられる。

*2 : 基準地震動 S s に対する加振試験により得られた試験結果。

*3 : 基準地震動 S s に対する加振試験により計測された加振台の最大加速度。

4. 構造強度評価

4.1 基本方針

車両型設備の構造強度評価は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価方針に従って、構造強度評価を実施する。

車両型設備の構造強度評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容応力を満足することを、「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価部位

車両型設備の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価部位に従って設定する。評価部位を表 4-1 に示す。

表 4-1 車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物 評価部位

設備名称	評価部位		図
	直接支持構造物	間接支持構造物	
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-2
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-3
電源車	発電機／内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-4
電源車 (緊急時対策所用)	発電機／内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-4
原子炉補機代替 冷却水系熱交換器 ユニット	熱交換器取付ボルト ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	—	図 2-5
可搬型窒素ガス 供給装置	窒素ガス分離装置取付ボルト 空気圧縮機取付ボルト 発電機取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-6
ホース延長回収車	マルチリフト取付ボルト (上部／下部)	—	図 2-7
タンクローリ	タンク取付ボルト ポンプ取付ボルト	—	図 2-8

4.3 荷重及び荷重の組合せ

車両型設備の構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 3-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重及び荷重の組合せを用いる。

車両型設備の構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

設備名	評価部位	荷重の組合せ
車両型設備	取付ボルト	D + S _s

4.4 許容限界

車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物の許容限界は、「4.2 評価部位」にて設定した評価部位の破断延性限界を考慮し、別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界に従い、許容応力状態 IV_AS の許容応力とする。

各評価部位の許容限界を表 4-3 に示す。

表 4-3 取付ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}	
			一次応力	
			引張り ^{*3}	せん断 ^{*3}
取付ボルト	D + S _s	IV _{AS}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]

注記*1 : f_t^{*}, f_s^{*}は, 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中 S_y及びS_y(RT)を 1.2・S_y及び1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3133)。ただし, S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2 : J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

3 : ボルトにせん断力が作用する場合, 組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{t_s}は, 設計・建設規格 SSB-3133に基づき, f_{t_s}=Min[1.4・f_{t_o}-1.6・τ_b, f_{t_o}]とする。ここで, f_{t_o}は1.5・f_t^{}とする。

なお, f_{t_s}は引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力をいい, f_{t_o}は引張力のみ受けるボルトの許容引張応力をいう。

4.5 評価方法

車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物の構造強度評価は, 別添 3-1の「4.1(2)構造強度評価」で設定した計算式に従って, 評価部位について, J E A G 4 6 0 1-1987に規定されているポンプ等の取付ボルトの評価方法を用いて発生応力を算出し, 許容応力以下であることを確認する。

評価については, 表 3-1に示す加振試験で測定された評価部位頂部の加速度を設計用加速度とし, 発生応力を算出し, 構造強度評価を行う。

(1) 評価に使用する記号及び計算モデルの説明

構造強度評価に使用する記号を表 4-4に, 計算モデル例を図 4-1~図 4-8に示す。

なお, 取付ボルト①については, タンクローリのポンプ及びホース延長回収車以外の評価部位について, 取付ボルト②については, タンクローリのポンプについて, 取付ボルト③については, コンテナについて, 取付ボルト④については, ホース延長回収車のマルチリフト(上部/下部)に適用する。

表 4-4 構造強度評価に使用する記号

記号	単位	記号の説明
A_b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
a_H	m/s^2	設計用水平加速度
a_P	m/s^2	回転体振動による加速度
a_V	m/s^2	設計用鉛直加速度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	据付面から重心位置までの高さ
L	mm	車両重心位置と取付ボルト間の水平方向距離
l_i	mm	支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離 (i は距離の長い順に番号取りをする。)
m	kg	機器の保管時質量
M_p	$\text{N}\cdot\text{mm}$	回転体回転により働くモーメント
N_i	—	引張力又はせん断力の作用する取付ボルトの本数 (i は転倒支点から距離の遠い順に番号取りをする。)
n	—	取付ボルトの総本数
σ_b	MPa	取付ボルトの最大引張応力
τ_b	MPa	取付ボルトの最大せん断応力

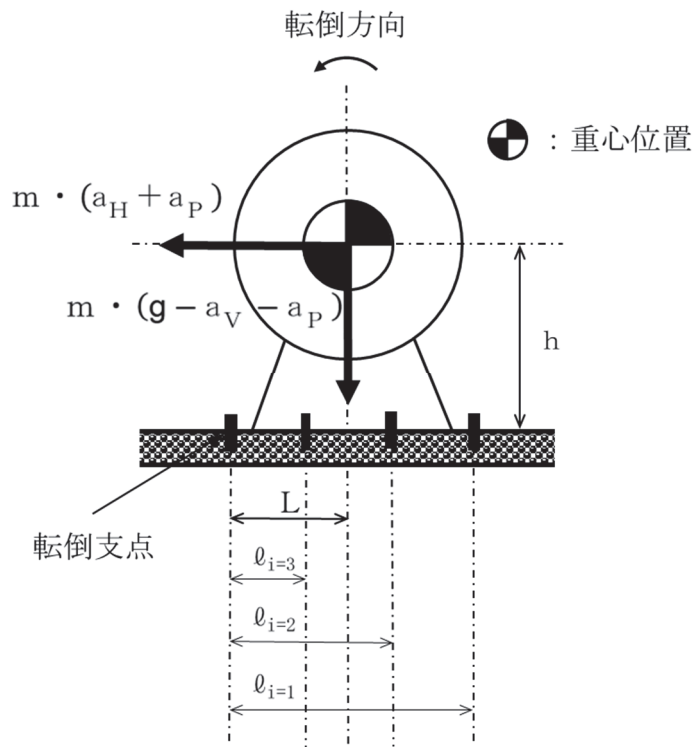


図 4-1 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト① 軸直角方向転倒-1 $(g - a_V - a_P) \geq 0$ の場合)

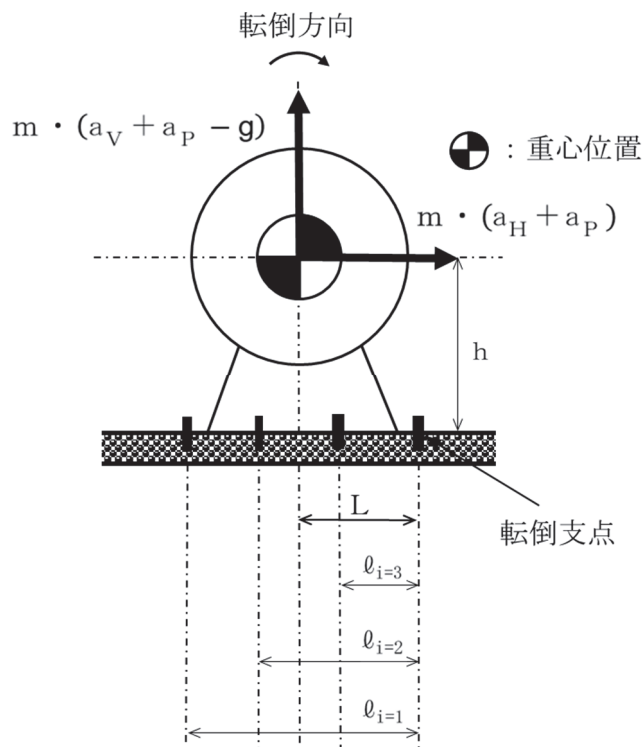


図 4-1 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト① 軸直角方向転倒-2 $(g - a_V - a_P) < 0$ の場合)

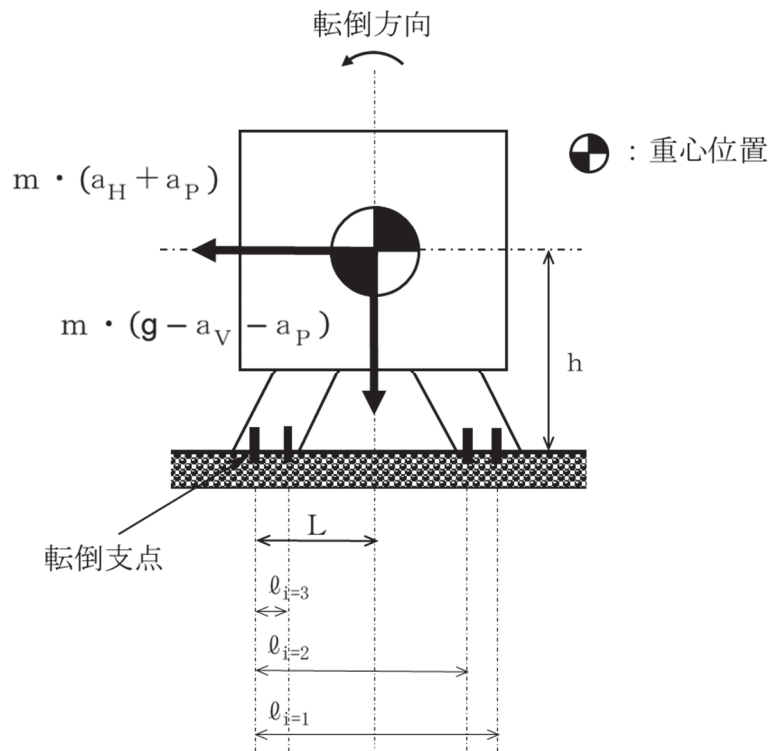


図 4-2 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト① 軸方向転倒-1 ($g - a_V - a_P \geq 0$ の場合))

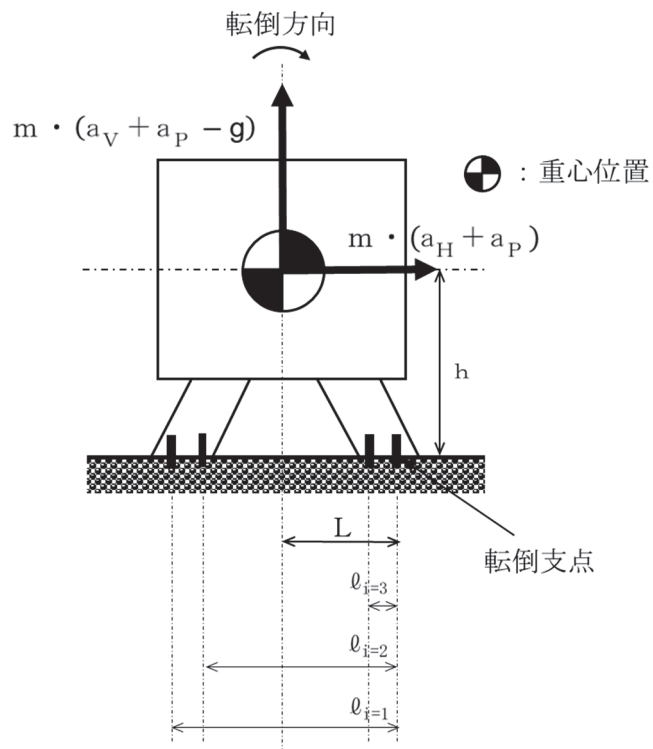
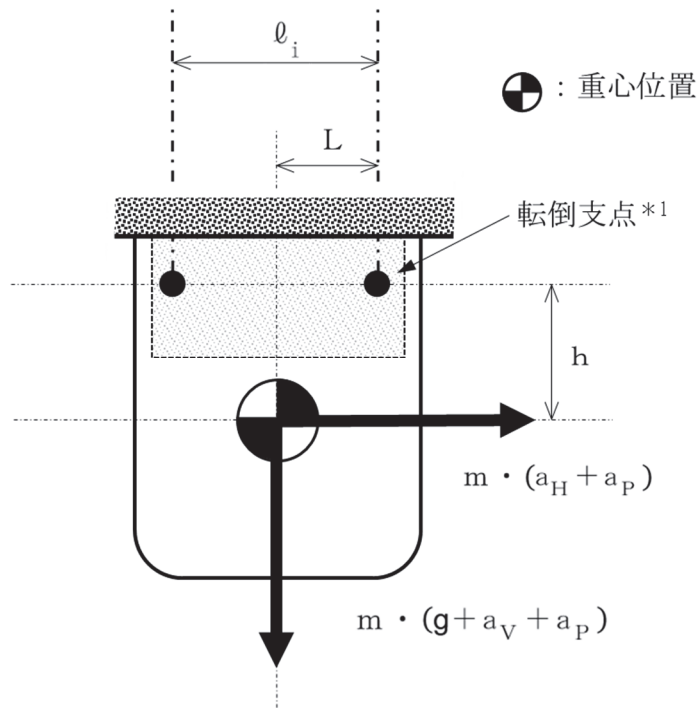
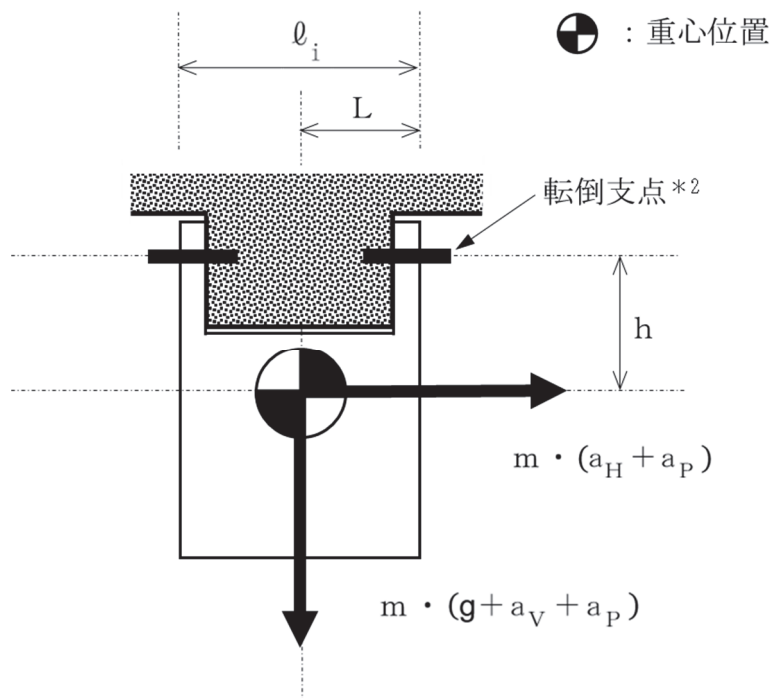


図 4-2 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト① 軸直角方向転倒-2 ($g - a_V - a_P < 0$ の場合))



注記*1 : 取付ボルト向きは軸方向と平行。

図 4-3 直接支持構造物の計算モデル例（車両正面（軸方向）図）
（取付ボルト② 軸直角方向転倒）



注記*2 : 取付ボルト向きは軸方向と平行。

図 4-4 直接支持構造物の計算モデル例（車両側面（軸直角方向）図）
（取付ボルト② 軸方向転倒）

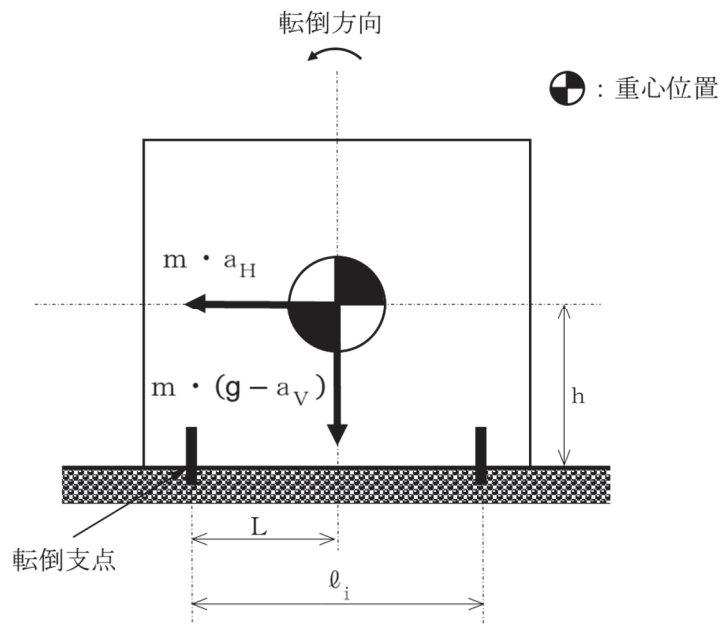


図 4-5 間接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト③ 軸直角方向転倒-1 ($g - a_v \geq 0$ の場合))

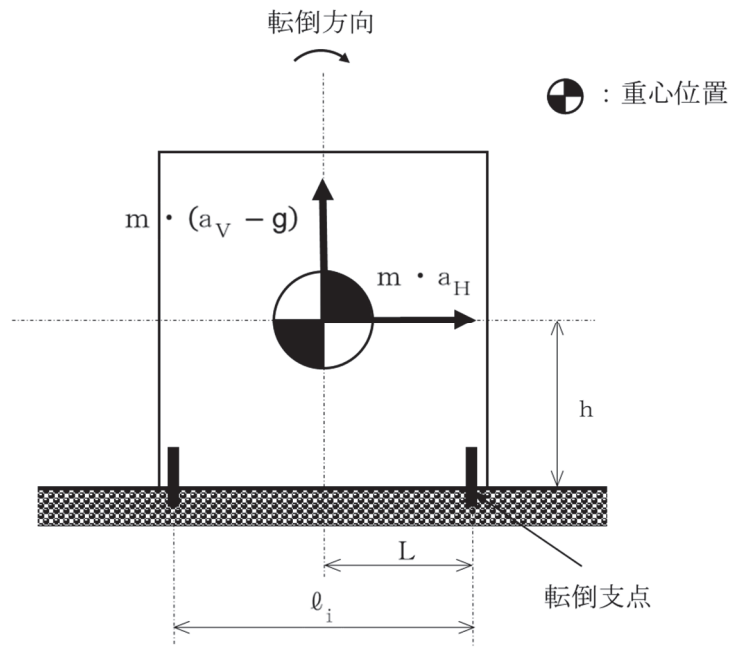


図 4-5 間接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト③ 軸直角方向転倒-2 ($g - a_v < 0$ の場合))

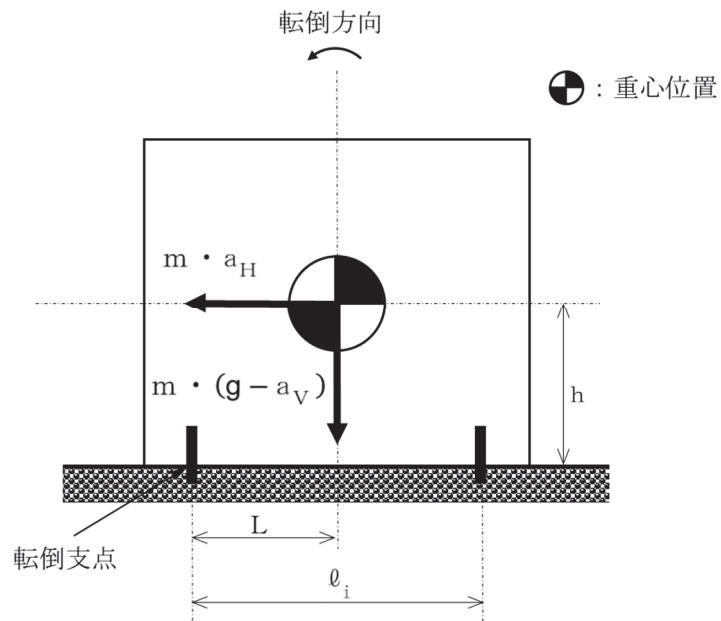


図 4-6 間接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト③ 軸方向転倒-1 ($g - a_v \geq 0$ の場合))

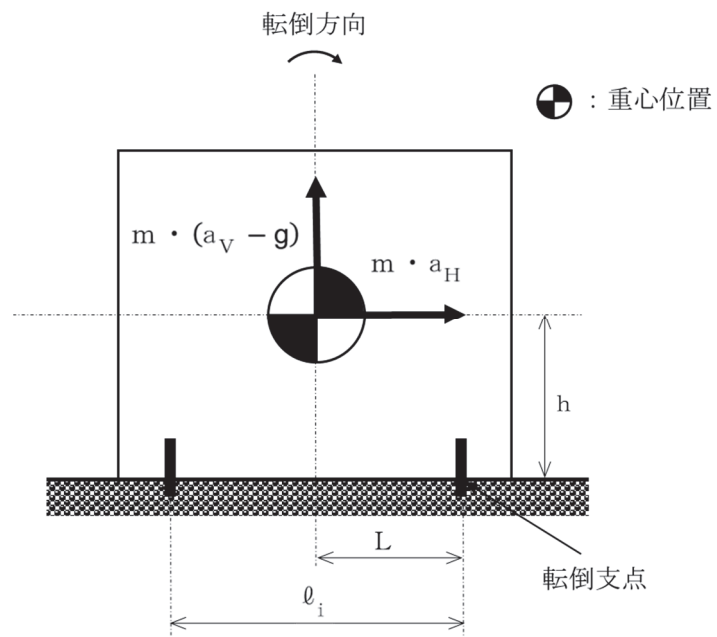


図 4-6 間接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト③ 軸方向転倒-2 ($g - a_v < 0$ の場合))

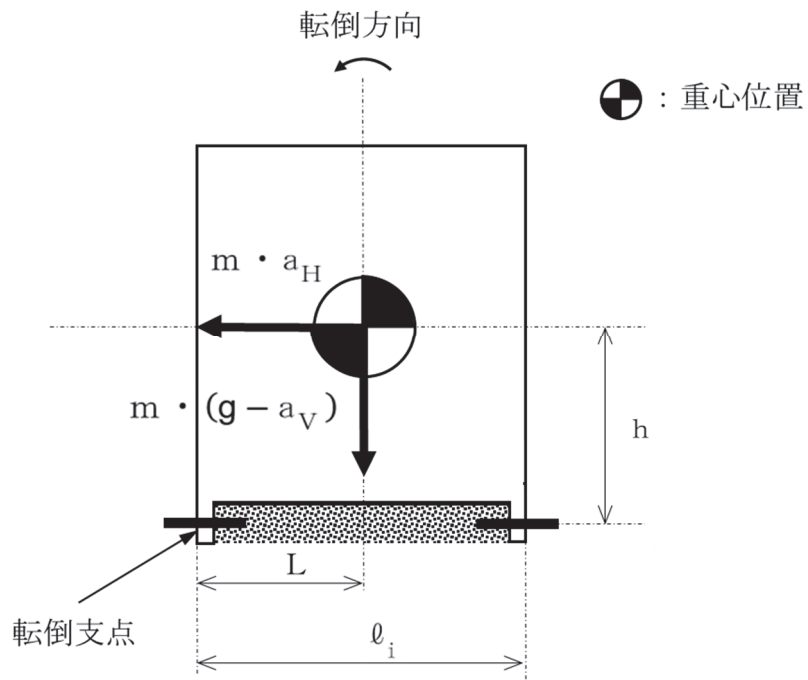


図 4-7 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト④ 軸直角方向転倒-1 ($g - a_v) \geq 0$ の場合)

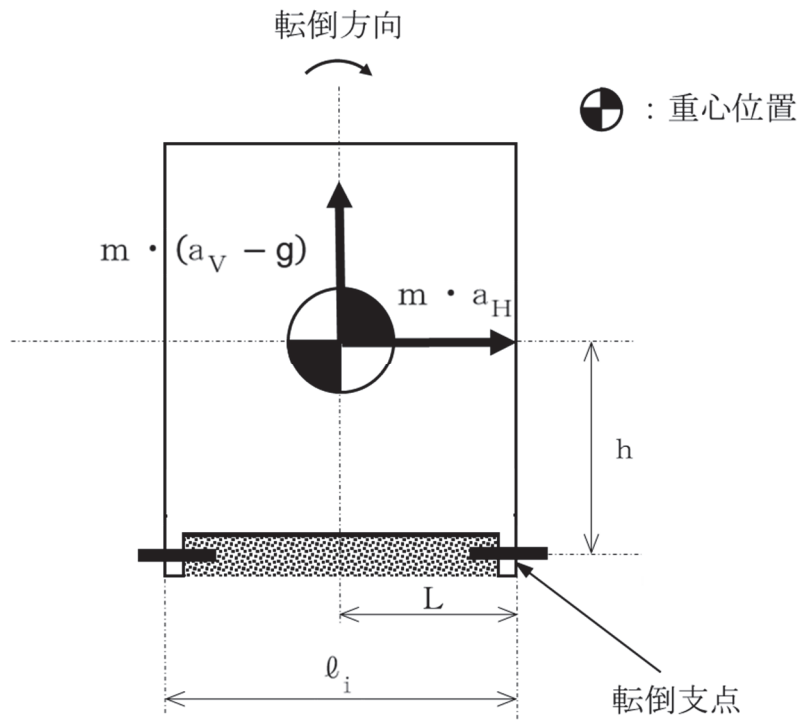


図 4-7 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト④ 軸直角方向転倒-2 ($g - a_v) < 0$ の場合)

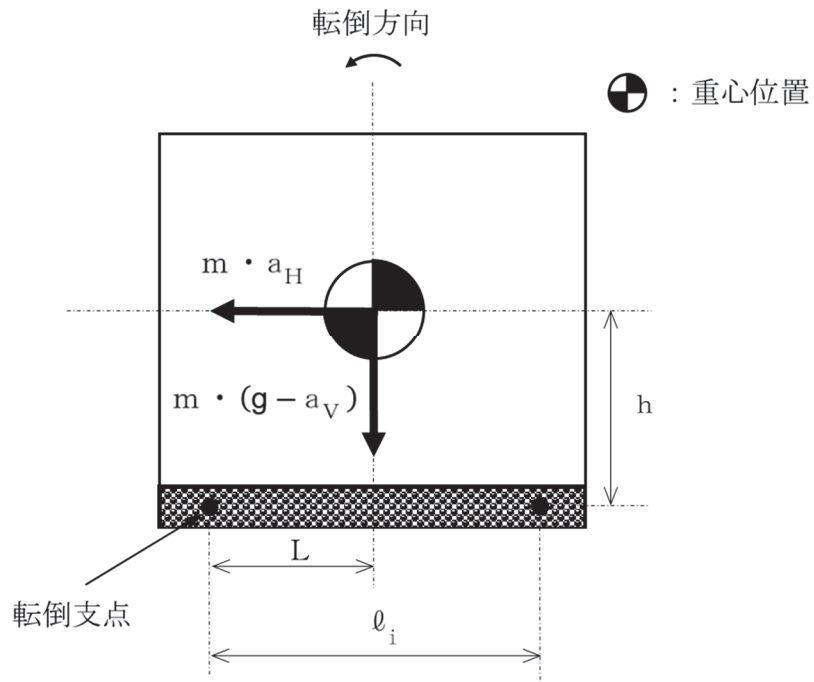


図 4-8 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2)
 (取付ボルト④ 軸方向転倒-1 ($g - a_v \geq 0$ の場合))

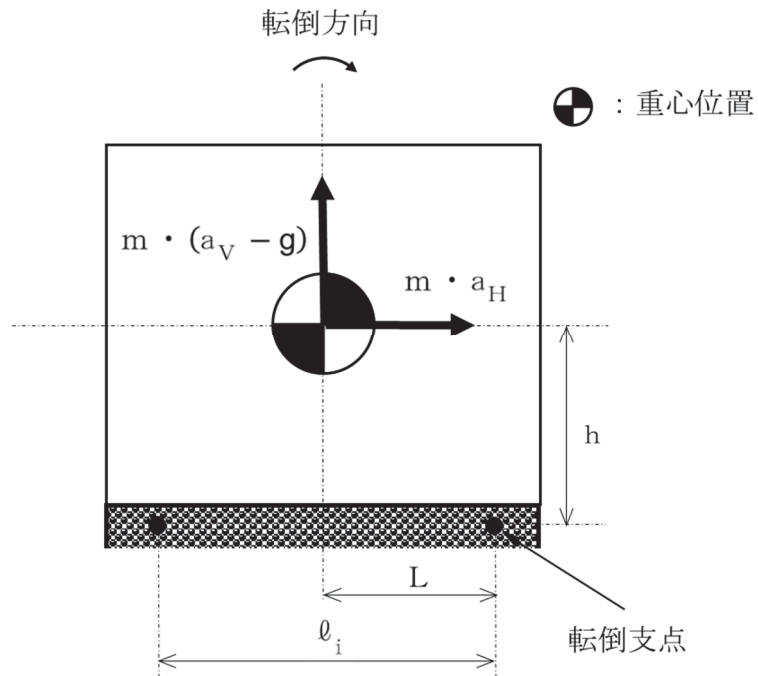


図 4-8 直接支持構造物の計算モデル例 (2/2)
 (取付ボルト④ 軸方向転倒-2 ($g - a_v < 0$ の場合))

a. 直接支持構造物の計算式

(a) 図 4-1 及び図 4-2 の場合の引張応力

なお、図 4-2 の場合のボルトについては、回転体回転により働くモーメントは作用しない。

$$\sigma_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P) \cdot h + M_P - m \cdot (g - a_V - a_P) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2} \dots \dots \dots (4.1)$$

(b) 図 4-1 及び図 4-2 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P)}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.2)$$

(c) 図 4-3 の場合のせん断応力

i. 荷重によるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot \sqrt{(a_H + a_P)^2 + (g + a_V + a_P)^2}}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.3)$$

ii. モーメントによるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P) \cdot h + M_P + m \cdot (g + a_V + a_P) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2} \dots \dots \dots (4.4)$$

(d) 図 4-4 の場合の引張応力

$$\sigma_b = \frac{m \cdot \sqrt{(a_H + a_P)^2 + (g + a_V + a_P)^2}}{\sum_{i=1} N_i \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.5)$$

(e) 図 4-4 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_P) \cdot h + m \cdot (g + a_V + a_P) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2} \dots \dots \dots (4.6)$$

(f) 図 4-7 の場合の引張応力

$$\sigma_b = \frac{m \cdot \sqrt{a_H^2 + (g - a_V)^2}}{\sum_{i=1} N_i \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.7)$$

(g) 図 4-7 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H \cdot h - m \cdot (g - a_V) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2} \dots \dots \dots (4.8)$$

(h) 図 4-8 の場合のせん断応力

i. 荷重によるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot \sqrt{a_H^2 + (g - a_V)^2}}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.9)$$

ii. モーメントによるせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H \cdot h - m \cdot (g - a_V) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2} \dots \dots \dots (4.10)$$

b. 間接支持構造物の計算式

(a) 図 4-5 及び図 4-6 の場合の引張応力

$$\sigma_b = \frac{m \cdot a_H \cdot h - m \cdot (g - a_V) \cdot L}{A_b} \cdot \frac{\ell_1}{\sum_{i=1} N_i \cdot \ell_i^2} \dots \dots \dots (4.11)$$

(b) 図 4-5 及び図 4-6 の場合のせん断応力

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.12)$$

5. 転倒評価

5.1 基本方針

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」に設定した評価方針に従い、転倒評価を実施する。

車両型設備の転倒評価は、「5.2 評価部位」に示す評価部位が「5.3 許容限界」に示す許容限界を満足することを「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価部位

転倒評価の評価部位は、別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり、地震後に転倒していないことが要求される車両型設備全体とする。

5.3 許容限界

許容限界は、「5.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所の地表面の最大応答加速度が、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

5.4 評価方法

車両型設備の転倒評価は、別添 3-1 の「4.1(3) 転倒評価」にて設定した評価方針に従い、保管場所の地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にて転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

6. 機能維持評価

6.1 基本方針

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

車両型設備の機能維持評価は、「6.2 評価部位」に示す評価部位が「6.3 許容限界」に示す許容限界を満足することを、「6.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6.2 評価部位

機能維持評価の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す確認方法を踏まえて、地震後に支持機能及び移動機能の維持が必要な車両部並びに動的及び電氣的機能の維持が必要な車両に積載しているポンプ、発電機及び内燃機関等とする。

6.3 許容限界

許容限界は、「6.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所の地表面の最大応答加速度が、加振試験により支持機能、移動機能、動的及び電氣的機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

6.4 評価方法

車両型設備の機能維持評価は、別添 3-1 の「4.1(4) 機能維持評価」にて設定した評価方針に従い、保管場所の地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にて得られた、表 6-1 に示す機能維持確認項目を確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

表 6-1 車両型設備の機能維持確認項目

設備名称	機能維持確認項目
<p>大容量送水ポンプ (タイプ I)</p>	<p>重大事故等時に原子炉へ注水，原子炉格納容器内部へのスプレ イ，原子炉格納容器下部への注水，使用済燃料プールへの注水 又はスプレイ，代替淡水源（復水貯蔵タンク）への補給，原子 炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置への補給，最終ヒー トシンク（海洋）への熱の輸送が可能な容量及び揚程を有する こと。 また，保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。</p>
<p>大容量送水ポンプ (タイプ II)</p>	<p>重大事故等時に代替淡水源（淡水貯水槽）への補給，大気への 放射性物質の拡散抑制及び航空機燃料火災への泡消火が可能な 容量及び揚程を有すること。 また，保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。</p>
<p>電源車</p>	<p>重大事故等時の全交流動力電源喪失時，又は全交流動力電源及 び直流電源喪失時に必要な負荷に給電するための容量を有する こと。 また，保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。</p>
<p>電源車 (緊急時対策所用)</p>	<p>重大事故等時の全交流動力電源喪失時に緊急時対策所に給電す るための容量を有すること。</p>
<p>原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット</p>	<p>重大事故等時に残留熱除去系，燃料プール冷却浄化系で発生し た熱を最終ヒートシンク（海洋）へ輸送が可能な容量を有する こと。 また，保管場所から設置場所まで自走機能を有すること，</p>
<p>可搬型窒素ガス供給装置</p>	<p>重大事故等時に屋外から原子炉格納容器及び原子炉格納容器フ ィルタベント系に窒素を供給するための容量を有すること。 また，保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。</p>
<p>ホース延長回収車</p>	<p>重大事故等時にホース等の運搬，設置作業ができること。 また，保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。</p>
<p>タンクローリ</p>	<p>重大事故等時に軽油タンクから対象設備（電源車(燃料タン ク)，可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク)，大容量送 水ポンプ(タイプ I)(燃料タンク)，大容量送水ポンプ(タイプ II)(燃料タンク)，原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット (燃料タンク)及びガスタービン発電設備)へ必要となる容量の 燃料油を輸送できること。 また，保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。</p>

7. 波及的影響評価

7.1 基本方針

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響評価を実施する。

車両型設備の波及的影響評価は、「7.2 評価部位」に示す評価部位が、「7.3 許容限界」に示す許容限界を満足することを「7.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

7.2 評価部位

波及的影響評価の評価部位は、別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり、車両型設備全体とする。

7.3 許容限界

車両型設備は、「7.2 評価部位」にて設定した評価部位と他の設備との離隔距離について、車両型設備の加振試験にて確認した最大変位量を基に、1 台当たりについて表 7-1 の値を許容限界とする。

なお、実際の車両型設備の配置に必要な車両型設備の間隔については、隣り合う設備の離隔距離の合算値以上とする。

表 7-1 加振試験にて確認した最大変位量をもとに定めた 1 台当たりの離隔距離
(単位：mm)

設備名称	保管場所	離隔距離	
		走行軸方向	走行軸直角方向
大容量送水ポンプ (タイプ I)	第 1 保管エリア 第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500
大容量送水ポンプ (タイプ II)	第 1 保管エリア 第 2 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500
電源車	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500
電源車 (緊急時対策所用)	緊急時対策所北側 第 4 保管エリア	1000	1500
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	第 1 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500
可搬型窒素ガス供給装置	第 1 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500
ホース延長回収車	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500
タンクローリ	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	1000	1500

7.4 評価方法

車両型設備の波及的影響評価は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、「3. 加振試験」における加振試験にて得られた、車両型設備の傾き及びすべりによる変位量の合算値から求めた車両型設備の最大変位量が、許容限界以下であることを確認する。

地震時における各設備のすべり量の算出については、「(1)すべり量」に、地震時における各設備の傾きによる変位量の算出については、「(2)傾きによる変位量」に、最大変位量の算出については、「(3)最大変位量」に示す。

(1) すべり量

すべり量については、各設備の加振試験により確認したすべり量のうち、最も大きいすべり量を使用する。

(2) 傾きによる変位量

傾きによる変位量については、各設備の加振試験で得られた傾き角のうち、最も大きい値を用いて算出し、以下の関係式により示される。

また、波及的影響として評価すべき傾きによる変位量を表した図を図 7-1 に、使用する記号を表 7-2 に、算出された傾きによる変位量を表 8-17 に示す。

なお、地震による走行軸方向への傾きはほとんど無視できるため、走行軸方向への傾きによる変位量は評価しない。

$$X = h \cdot \sin \theta \quad \dots \dots \dots (7.1)$$

表 7-2 波及的影響評価に使用する記号

記号	単位	記号の説明
X	mm	傾きによる変位量
h	mm	設備高さ
θ	°	傾き角

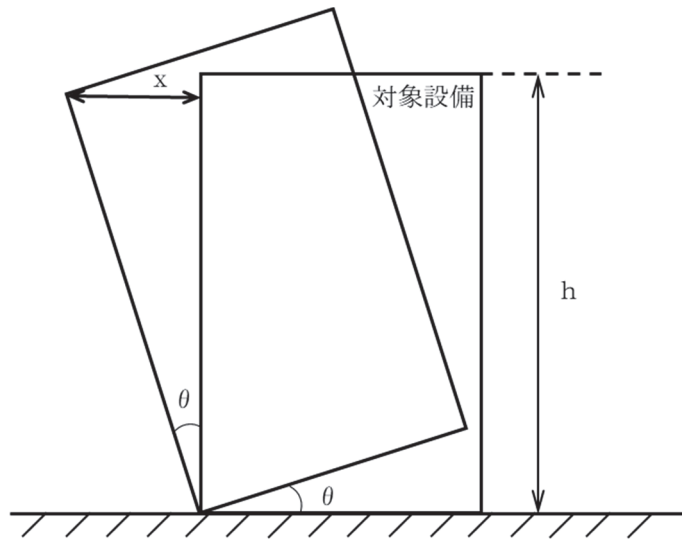


図 7-1 傾きによる変位量の算出図

(3) 最大変位量

「(1) すべり量」にて設定したすべり量に、「(2) 傾きによる変位量」により算出される傾きによる変位量を加算した値を最大変位量と定義し、最大変位量が「7.3 許容限界」にて設定した離隔距離未満であることを波及的影響評価として確認する。

各設備の最大変位量を表 8-18 及び表 8-19 に示す。

8. 評価条件

8.1 構造強度評価

「4. 構造強度評価」に用いる評価条件を表 8-1～表 8-16 に示す。

8.2 転倒評価

車両型設備の転倒評価は、「5. 転倒評価」に示す評価方法に従い、保管場所における地表面の最大応答加速度が、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認するものであり、転倒しないことを確認するために個別に設定する評価条件はない。

比較対象となる保管場所の地表面の最大応答加速度は、評価結果と併せて表 9-3 に示す。

8.3 機能維持評価

車両型設備の機能維持評価は、「6. 機能維持評価」に示す評価方法に従い、保管場所の地表面の最大応答加速度が、加振試験により積載物から受ける荷重を支持する支持機能及び車両としての自走、牽引等による移動機能並びにポンプの送水機能、発電機の発電機能、内燃機関の駆動機能等の動的及び電気的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認するものであり、機能維持を確認するために個別に設定する評価条件はない。

比較対象となる保管場所の地表面の最大応答加速度は、評価結果と併せて表 9-3 に示す。

8.4 波及的影響評価

「7. 波及的影響評価」に用いる評価条件を表 8-17 に示す。

表 8-1 大容量送水ポンプ（タイプ I）の評価条件（走行軸方向）

記号	単位	評価部位		
		ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg	800	1814	12300
h	mm	959	570	1327
A _b	mm ²	572.6	452.4	314.2
n	—	4	4	20
N ₁	—	2	2	2
N ₂	—	—	—	2
N ₃	—	—	—	2
N ₄	—	—	—	2
N ₅	—	—	—	2
N ₆	—	—	—	2
N ₇	—	—	—	2
N ₈	—	—	—	2
N ₉	—	—	—	2
L	mm	240	706.4	2912
ℓ ₁	mm	480	1260	5781
ℓ ₂	mm	—	—	5202
ℓ ₃	mm	—	—	4624
ℓ ₄	mm	—	—	3534
ℓ ₅	mm	—	—	3009
ℓ ₆	mm	—	—	2444
ℓ ₇	mm	—	—	2000
ℓ ₈	mm	—	—	1038
ℓ ₉	mm	—	—	519

表 8-2 大容量送水ポンプ（タイプ I）の評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位		
		ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg	800	1814	12300
h	mm	959	570	1327
A _b	mm ²	572.6	452.4	314.2
n	—	4	4	20
N ₁	—	2	2	10
L	mm	410	380	565.5
ℓ ₁	mm	820	720	1130

表 8-3 大容量送水ポンプ（タイプ II）の評価条件（走行軸方向）

記号	単位	評価部位		
		ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg	900	2600	13000
h	mm	1008	703	985
A _b	mm ²	452.4	452.4	314.2
n	—	4	4	20
N ₁	—	2	2	2
N ₂	—	—	—	2
N ₃	—	—	—	2
N ₄	—	—	—	2
N ₅	—	—	—	2
N ₆	—	—	—	2
N ₇	—	—	—	2
N ₈	—	—	—	2
N ₉	—	—	—	2
L	mm	287.5	693.8	2837
ℓ ₁	mm	575	1554	5781
ℓ ₂	mm	—	—	5262
ℓ ₃	mm	—	—	4743
ℓ ₄	mm	—	—	3781
ℓ ₅	mm	—	—	3337
ℓ ₆	mm	—	—	2772
ℓ ₇	mm	—	—	2247
ℓ ₈	mm	—	—	1157
ℓ ₉	mm	—	—	579

表 8-4 大容量送水ポンプ（タイプⅡ）の評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位		
		ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg	900	2600	13000
h	mm	1008	703	985
A_b	mm ²	452.4	452.4	314.2
n	—	4	4	20
N_1	—	2	2	10
L	mm	344.5	380	692.5
ℓ_1	mm	689	729	1130

表 8-5 電源車及び電源車（緊急時対策所用）の評価条件（走行軸方向）

記号	単位	評価部位	
		発電機／内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg	2643	4422
h	mm	639	370
A _b	mm ²	113.1	113.1
n	—	16	28
N ₁	—	4	2
N ₂	—	4	2
N ₃	—	4	2
N ₄	—	—	2
N ₅	—	—	2
N ₆	—	—	2
N ₇	—	—	2
N ₈	—	—	2
N ₉	—	—	2
N ₁₀	—	—	2
N ₁₁	—	—	2
N ₁₂	—	—	2
N ₁₃	—	—	2
L	mm	1045.5	2813
ℓ ₁	mm	2044.5	4355
ℓ ₂	mm	1884.5	3955
ℓ ₃	mm	160	3700
ℓ ₄	mm	—	3508
ℓ ₅	mm	—	3281
ℓ ₆	mm	—	3201
ℓ ₇	mm	—	3121
ℓ ₈	mm	—	2973
ℓ ₉	mm	—	2331
ℓ ₁₀	mm	—	1396
ℓ ₁₁	mm	—	1316
ℓ ₁₂	mm	—	1236
ℓ ₁₃	mm	—	685

表 8-6 電源車及び電源車（緊急時対策所用）の評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位	
		発電機／内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg	2643	4422
h	mm	639	370
A _b	mm ²	113.1	113.1
n	—	16	28
N ₁	—	4	14
N ₂	—	4	—
N ₃	—	4	—
L	mm	365	405
ℓ ₁	mm	730	810
ℓ ₂	mm	650	—
ℓ ₃	mm	80	—

表 8-7 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの評価条件（走行軸方向）

記号	単位	評価部位		
		熱交換器取付ボルト	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト
m	kg	2340	895	1992
h	mm	956	100	198
A _b	mm ²	314.2	706.9	201.1
n	—	4	4	4
N ₁	—	2	2	2
L	mm	1014	275	650.5
ℓ ₁	mm	1939	225	1045

表 8-8 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位		
		熱交換器取付ボルト	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト
m	kg	2340	895	1992
h	mm	956	100	198
A _b	mm ²	314.2	706.9	201.1
n	—	4	4	4
N ₁	—	2	2	2
L	mm	200	500	319
ℓ ₁	mm	400	935	630

表 8-9 可搬型窒素ガス供給装置の評価条件（走行軸方向）

記号	単位	評価部位			
		窒素ガス分離装置 取付ボルト	空気圧縮機 取付ボルト	コンテナ 取付ボルト	発電機 取付ボルト
m	kg	3500	1905	18600	4190
h	mm	1150	553	1047	600
A _b	mm ²	314.2	314.2	1017.9	314.2
n	—	8	6	8	8
N ₁	—	2	2	2	2
N ₂	—	2	2	2	2
N ₃	—	2	—	2	2
L	mm	755	382	4683	1550
ℓ ₁	mm	1650	900	7540	2700
ℓ ₂	mm	1100	450	5960	1800
ℓ ₃	mm	550	—	3266	900

表 8-10 可搬型窒素ガス供給装置の評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位			
		窒素ガス分離装置 取付ボルト	空気圧縮機 取付ボルト	コンテナ 取付ボルト	発電機 取付ボルト
m	kg	3500	1905	18600	4190
h	mm	1150	553	1047	600
A _b	mm ²	314.2	314.2	1017.9	314.2
n	—	8	6	8	8
N ₁	—	4	3	4	4
L	mm	850	1159	1306.5	610
ℓ ₁	mm	1700	2140	2649	1220

表 8-11 ホース延長回収車の評価条件（走行軸方向）（1/2）

記号	単位	評価部位	
		マルチリフト取付ボルト(上部)	マルチリフト取付ボルト(下部)
m	kg	1200	1200
h	mm	98	204
A _b	mm ²	337.2	337.2
n	—	32	32
N ₁	—	2	2
N ₂	—	2	2
N ₃	—	2	2
N ₄	—	2	2
N ₅	—	2	2
N ₆	—	2	2
N ₇	—	2	2
N ₈	—	2	2
N ₉	—	2	2
N ₁₀	—	2	2
N ₁₁	—	2	2
N ₁₂	—	2	2
N ₁₃	—	2	2
N ₁₄	—	2	2
N ₁₅	—	2	2
L	mm	1950	1950
ℓ ₁	mm	3100	3100
ℓ ₂	mm	3050	3050
ℓ ₃	mm	3000	3000
ℓ ₄	mm	2950	2950
ℓ ₅	mm	2200	2200
ℓ ₆	mm	2150	2150
ℓ ₇	mm	2100	2100
ℓ ₈	mm	2050	2050
ℓ ₉	mm	1300	1300
ℓ ₁₀	mm	1250	1250
ℓ ₁₁	mm	1200	1200
ℓ ₁₂	mm	1150	1150
ℓ ₁₃	mm	150	150
ℓ ₁₄	mm	100	100

表 8-11 ホース延長回収車の評価条件（走行軸方向）（2/2）

記号	単位	評価部位	
		マルチリフト取付ボルト(上部)	マルチリフト取付ボルト(下部)
ℓ_{15}	mm	50	50

表 8-12 ホース延長回収車の評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位	
		マルチリフト取付ボルト(上部)	マルチリフト取付ボルト(下部)
m	kg	1200	1200
h	mm	98	204
A_b	mm ²	337.2	337.2
n	—	32	32
N_1	—	16	16
L	mm	447	428
ℓ_1	mm	894	856

表 8-13 タンクローリの評価条件（走行軸方向）

記号	単位	評価部位	
		タンク取付ボルト	ポンプ取付ボルト
m	kg	900	28
h	mm	741	125
A_b	mm ²	314.2	113.1
n	—	6	4
N_1	—	2	2
N_2	—	2	—
L	mm	975	53
ℓ_1	mm	2441	105
ℓ_2	mm	1025	—

表 8-14 タンクローリの評価条件（走行軸直角方向）

記号	単位	評価部位	
		タンク取付ボルト	ポンプ取付ボルト
m	kg	900	28
h	mm	741	125
A_b	mm^2	314.2	113.1
n	—	6	4
N_1	—	3	2
L	mm	441	65
ℓ_1	mm	882	117

表 8-15 使用材料の許容応力評価条件 (1/2)

設備名称	評価部位	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
			周囲環境温度			
大容量送水 ポンプ (タイプⅠ)	ポンプ取付ボルト	DIN931	周囲環境温度	40	660	830
	内燃機関取付ボルト	DIN933	周囲環境温度	40	660	830
	コンテナ取付ボルト	SS400	周囲環境温度	40	235	400
大容量送水 ポンプ (タイプⅡ)	ポンプ取付ボルト	DIN931	周囲環境温度	40	660	830
	内燃機関取付ボルト	DIN933	周囲環境温度	40	660	830
	コンテナ取付ボルト	SS400	周囲環境温度	40	235	400
電源車	発電機／内燃機関取付ボルト	SNB21-1	周囲環境温度	40	1030	1140
	コンテナ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
電源車 (緊急時対策所用)	発電機／内燃機関取付ボルト	SNB21-1	周囲環境温度	40	1030	1140
	コンテナ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930

表 8-15 使用材料の許容応力評価条件 (2/2)

設備名称	評価部位	ボルト材質	温度条件		S _y (MPa)	S _u (MPa)
				(°C)		
原子炉補機代替 冷却水系熱交換器 ユニット	熱交換器取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
	ポンプ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
	内燃機関取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
可搬型窒素 ガス供給装置	窒素ガス分離装置取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
	空気圧縮機取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
	発電機取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
	コンテナ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
ホース延長 回収車	マルチリフト 取付ボルト(上部)	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
	マルチリフト 取付ボルト(下部)	SCM435	周囲環境温度	40	785	930
タンクローリ	タンク取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400
	ポンプ取付ボルト	SS400 (径≤16mm)	周囲環境温度	40	245	400

表 8-16 直接支持構造物及び間接支持構造物の設計用加速度(1/2)

(×9.8m/s²)

設備名称	評価部位	設計用加速度	
		水平 (走行軸方向/走行軸直角方向)	鉛直
大容量送水ポンプ (タイプ I)	ポンプ取付ボルト	0.64/1.00	1.07
	内燃機関取付ボルト	0.68/1.28	1.55
	コンテナ取付ボルト	0.84/1.80	2.28
大容量送水ポンプ (タイプ II)	ポンプ取付ボルト	0.75/1.05	1.64
	内燃機関取付ボルト	0.98/2.07	1.77
	コンテナ取付ボルト	0.80/1.82	2.95
電源車	発電機/内燃機関取付ボルト	0.79/1.34	2.34
	コンテナ取付ボルト	1.57/3.35	3.59
電源車 (緊急時対策所用)	発電機/内燃機関取付ボルト	0.79/1.34	2.34
	コンテナ取付ボルト	1.57/3.35	3.59
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	熱交換器取付ボルト	0.64/1.46	1.39
	ポンプ取付ボルト	0.69/1.06	0.93
	内燃機関取付ボルト	0.76/1.41	1.22

表 8-16 直接支持構造物及び間接支持構造物の設計用加速度(2/2)

(×9.8m/s²)

設備名称	評価部位	設計用加速度	
		水平 (走行軸方向/走行軸直角方向)	鉛直
可搬型窒素ガス供給装置	窒素ガス分離装置取付ボルト	1.27/1.56	1.78
	空気圧縮機取付ボルト	1.40/1.27	2.21
	発電機取付ボルト	1.28/1.53	2.38
	コンテナ取付ボルト	1.07/1.99	3.39
ホース延長回収車	マルチリフト取付ボルト(上部)	4.57/11.94	3.31
	マルチリフト取付ボルト(下部)	4.57/11.94	3.31
タンクローリ	タンク取付ボルト	1.30/2.28	1.86
	ポンプ取付ボルト	1.20/1.96	2.29

表 8-17 傾きによる変位量

設備名称	保管場所	h* (mm)	θ^* (°)	X* (mm)
大容量送水ポンプ (タイプ I)	第 1 保管エリア 第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	3510	7	428
大容量送水ポンプ (タイプ II)	第 1 保管エリア 第 2 保管エリア 第 4 保管エリア	3570	8	497
電源車	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	2970	10	516
電源車 (緊急時対策所用)	緊急時対策建屋北側 第 4 保管エリア	2970	10	516
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	第 1 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	3475	3	182
可搬型窒素ガス供給装置	第 1 保管エリア 第 4 保管エリア	3781	7	461
ホース延長回収車	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	3280	4	229
タンクローリ	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	2420	8	337

注記* : 基準地震動 S s に対する加振試験により得られた試験結果。

表 8-18 各設備の最大変位量（走行軸方向）

設備名称	すべり量* (mm)	傾きによる 変位量(X) (mm)	最大変位量* (走行軸方向) (mm)
大容量送水ポンプ（タイプⅠ）	330	—	330
大容量送水ポンプ（タイプⅡ）	260	—	260
電源車	190	—	190
電源車（緊急時対策所用）	190	—	190
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	390	—	390
可搬型窒素ガス供給装置	130	—	130
ホース延長回収車	130	—	130
タンクローリ	587	—	587

注記* ： 基準地震動 S s に対する加振試験により得られた試験結果。

表 8-19 各設備の最大変位量（走行軸直角方向）

設備名称	すべり量* (mm)	傾きによる* 変位量 (X) (mm)	最大変位量* (走行軸直角方向) (mm)
大容量送水ポンプ（タイプⅠ）	110	428	538
大容量送水ポンプ（タイプⅡ）	570	497	1067
電源車	200	516	716
電源車（緊急時対策所用）	200	516	716
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	190	182	372
可搬型窒素ガス供給装置	110	461	571
ホース延長回収車	290	229	519
タンクローリ	357	337	694

注記* ： 基準地震動 S s に対する加振試験により得られた試験結果。

9. 評価結果

車両型設備の基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果を以下に示す。

構造強度評価の結果、発生値は許容応力を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して評価部位の健全性が維持されることを確認した。

転倒評価の結果、保管場所の地表面の最大応答加速度が、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であり、転倒しないことを確認した。

機能維持評価の結果、保管場所の地表面の最大応答加速度は、加振試験により支持機能、移動機能、動的及び電氣的機能を維持できることを確認した最大加速度以下であり、基準地震動 S_s による地震力に対し、機能が維持されることを確認した。

波及的影響評価の結果、車両型設備の最大変位量については、設定した許容限界（離隔距離）未満であり、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

以上より、車両型設備は地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、重大事故等に対処するために必要な機能を維持するとともに当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

9.1 構造強度評価結果

(1) 直接支持構造物

車両型設備の直接支持構造物の構造強度評価結果を表 9-1 に示す。

(2) 間接支持構造物

車両型設備の間接支持構造物の構造強度評価結果を表 9-2 に示す。

9.2 転倒評価結果

車両型設備の転倒評価結果を表 9-3 に示す。

9.3 機能維持評価結果

車両型設備の機能維持評価結果を表 9-3 に示す。

9.4 波及的影響評価結果

(1) 走行軸方向

車両型設備の波及的影響評価結果（走行軸方向）を表 9-4 に示す。

(2) 走行軸直角方向

車両型設備の波及的影響評価結果（走行軸直角方向）を表 9-4 に示す。

表 9-1 直接支持構造物の構造強度評価結果

(単位：MPa)

設備名称	評価部位	応力分類	発生値*1 (MPa)	許容応力 (MPa)	評価 結果
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	ポンプ取付ボルト	引張り	14	435*2	○
		せん断	4	334	○
	内燃機関取付ボルト	引張り	26	435*2	○
		せん断	13	334	○
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	ポンプ取付ボルト	引張り	21	435*2	○
		せん断	6	334	○
	内燃機関取付ボルト	引張り	68	435*2	○
		せん断	30	334	○
電源車	発電機／内燃機関取付 ボルト	引張り	59	598*2	○
		せん断	20	460	○
電源車 (緊急時対策所用)	発電機／内燃機関取付 ボルト	引張り	59	598*2	○
		せん断	20	460	○
原子炉補機代替 冷却水系熱交換器 ユニット	熱交換器取付ボルト	引張り	135	487*2	○
		せん断	27	375	○
	ポンプ取付ボルト	引張り	3	487*2	○
		せん断	4	375	○
	内燃機関取付ボルト	引張り	27	487*2	○
		せん断	35	375	○
可搬型窒素ガス 供給装置	窒素ガス分離装置 取付ボルト	引張り	51	487*2	○
		せん断	22	375	○
	空気圧縮機取付ボルト	引張り	31	487*2	○
		せん断	13	375	○
	発電機取付ボルト	引張り	48	487*2	○
		せん断	26	375	○
ホース延長回収車	マルチリフト取付ボルト (上部)	引張り	27	487*2	○
		せん断	6	375	○
	マルチリフト取付ボルト (下部)	引張り	27	487*2	○
		せん断	9	375	○
タンクローリ	タンク取付ボルト	引張り	22	210*2	○
		せん断	11	160	○
	ポンプ取付ボルト	引張り	3	210*2	○
		せん断	5	160	○

注記*1 : 基準地震動 S_s に対する加振試験を基に得られた評価結果。

*2 : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

表 9-2 間接支持構造物の構造強度評価結果

(単位：MPa)

設備名称	評価部位	応力分類	発生値*1 (MPa)	許容応力 (MPa)	評価
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	コンテナ取付ボルト	引張り	106	210*2	○
		せん断	35	160	○
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	コンテナ取付ボルト	引張り	113	210*2	○
		せん断	37	160	○
電源車	コンテナ取付ボルト	引張り	78	487*2	○
		せん断	46	375	○
電源車 (緊急時対策所用)	コンテナ取付ボルト	引張り	78	487*2	○
		せん断	46	375	○
可搬型窒素ガス 供給装置	コンテナ取付ボルト	引張り	88	487*2	○
		せん断	45	375	○

注記*1 : 基準地震動 S_s に対する加振試験を基に得られた評価結果。

*2 : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

表 9-3 転倒評価及び機能維持評価結果 (1/2)

(×9.8m/s²)

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 ^{*1} 応答加速度	加振台の ^{*2} 最大加速度	転倒評価結果	機能維持 ^{*3} 評価結果
大容量送水ポンプ (タイプ I)	第 1 保管エリア	水平	1.44	1.56	○	○
	第 2 保管エリア 第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	鉛直	0.71	0.76	○	○
大容量送水ポンプ (タイプ II)	第 1 保管エリア	水平	1.33	1.83	○	○
	第 2 保管エリア 第 4 保管エリア	鉛直	0.68	1.24	○	○
電源車	第 2 保管エリア	水平	1.44	2.31	○	○
	第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	鉛直	0.71	1.36	○	○
電源車 (緊急時対策所用)	緊急時対策建屋北側	水平	1.41	2.31	○	○
	第 4 保管エリア	鉛直	0.68	1.36	○	○
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	第 1 保管エリア	水平	1.44	1.56	○	○
	第 3 保管エリア 第 4 保管エリア	鉛直	0.71	0.76	○	○

注記*1 : 基準地震動 S_s に対する地震応答解析により求めた地表面の最大応答加速度。

*2 : 基準地震動 S_s に対する加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 : 加振試験後の支持機能, 移動機能及び表 6-1 に示す機能維持確認項目の確認を含む。

表 9-3 転倒評価及び機能維持評価結果 (2/2)

(×9.8m/s²)

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 ^{*1} 応答加速度	加振台の ^{*2} 最大加速度	転倒評価結果	機能維持 ^{*3} 評価結果
可搬型窒素ガス供給装置	第1保管エリア	水平	0.92	2.09	○	○
	第4保管エリア	鉛直	0.59	1.37	○	○
ホース延長回収車	第2保管エリア	水平	1.44	1.83	○	○
	第3保管エリア 第4保管エリア	鉛直	0.71	1.24	○	○
タンクローリ	第2保管エリア	水平	1.44	1.61	○	○
	第3保管エリア 第4保管エリア	鉛直	0.71	1.16	○	○

注記*1 : 基準地震動 S_s に対する地震応答解析により求めた地表面の最大応答加速度。

*2 : 基準地震動 S_s に対する加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 : 加振試験後の支持機能, 移動機能及び表 6-1 に示す機能維持確認項目の確認を含む。

表 9-4 波及的影響評価結果（走行軸方向）

（単位：mm）

設備名称	保管場所	最大変位量*1 (走行軸方向)	許容限界*2 (走行軸方向)	評価
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	第1保管エリア 第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	330	1000	○
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	第1保管エリア 第2保管エリア 第4保管エリア	260	1000	○
電源車	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	190	1000	○
電源車 (緊急時対策所用)	緊急時対策建屋北側 第4保管エリア	190	1000	○
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	第1保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	390	1000	○
可搬型窒素ガス供給装置	第1保管エリア 第4保管エリア	130	1000	○
ホース延長回収車	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	130	1000	○
タンクローリ	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	587	1000	○

注記*1 : 基準地震動S_sに対する加振試験により得られた試験結果。

*2 : 加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離

表 9-5 波及的影響評価結果（走行軸直角方向）

（単位：mm）

設備名称	保管場所	最大変位量*1 (走行軸直角方向)	許容限界*2 (走行軸直角方向)	評価
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	第1保管エリア 第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	538	1500	○
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	第1保管エリア 第2保管エリア 第4保管エリア	1067	1500	○
電源車	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	716	1500	○
電源車 (緊急時対策所用)	緊急時対策建屋北側 第4保管エリア	716	1500	○
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	第1保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	372	1500	○
可搬型窒素ガス供給装置	第1保管エリア 第4保管エリア	571	1500	○
ホース延長回収車	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	519	1500	○
タンクローリ	第2保管エリア 第3保管エリア 第4保管エリア	694	1500	○

注記*1 : 基準地震動S_sに対する加振試験により得られた試験結果。

*2 : 加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離

VI-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の
耐震計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 配置	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
3. 固有値解析	9
3.1 基本方針	9
3.2 解析方法	9
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有値解析結果	23
3.5 設計用地震力	26
4. 構造強度評価	28
4.1 基本方針	28
4.2 評価部位	28
4.3 荷重及び荷重の組合せ	29
4.4 許容限界	29
4.5 評価方法	31
5. 波及的影響評価	41
5.1 基本方針	41
6. 計算条件	42
6.1 機器要目	42
6.2 計算数値	46
6.3 使用材料の許容応力評価条件	49
7. 評価結果	51
7.1 構造強度評価結果	51
7.2 波及的影響評価結果	51

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」（以下「別添 3-1」という。）にて設定している構造強度の設計方針に基づき、可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備が地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、十分な構造強度を有するとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備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。その耐震評価は、固有値解析、構造強度評価及び波及的影響評価により行う。

2. 基本方針

別添 3-1「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり、ポンベ設備の「2.1 配置」及び「2.2 構造計画」を示す。

2.1 配置

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、原子炉建屋（O.P. 15.00m）、制御建屋（O.P. 1.50m, O.P. 15.00m）及び緊急時対策建屋（O.P. 57.30m）に保管する。

2.2 構造計画

ポンベ設備の構造は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、ポンベ設備の構造計画を表 2-1 に、ポンベ設備の概略構造図を図 2-1～図 2-5 に示す。

表 2-1 ポンベ設備の構造計画

設備名称	計画の概要		概略 構造図
	主体構造	基礎・支持構造	
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	高圧窒素ガスポンベ及びポンベの支持構造物であるボンベラックにより構成する。	高圧窒素ガスポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラックに固定し、ボンベラックを躯体床及び壁に施工された埋込金物に溶接し据え付ける。	図 2-1
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	高圧窒素ガスポンベ及びポンベの支持構造物であるボンベラックにより構成する。	高圧窒素ガスポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラックに固定し、ボンベラックを躯体床及び壁に取付ボルトで設置されたアンカープレートに溶接し据え付ける。	図 2-2 図 2-3
中央制御室待避所加圧設備 (空気ポンベ)	空気ポンベ及びポンベの支持構造物であるボンベラックにより構成する。	空気ポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、固定ボルトによりボンベラックに固定し、ボンベラックは取付ボルトにより躯体床に据え付ける。	図 2-4
緊急時対策所加圧設備 (空気ポンベ)	空気ポンベ及びポンベを収納するボンベカードルフレームにより構成する。	空気ポンベは、容器として十分な強度を有する構造とし、ボンベカードルフレーム内に固定し、ボンベカードルフレームは、躯体床に施工された埋込金物に溶接にて固定された支持架構に取付ボルトにより据え付ける。	図 2-5

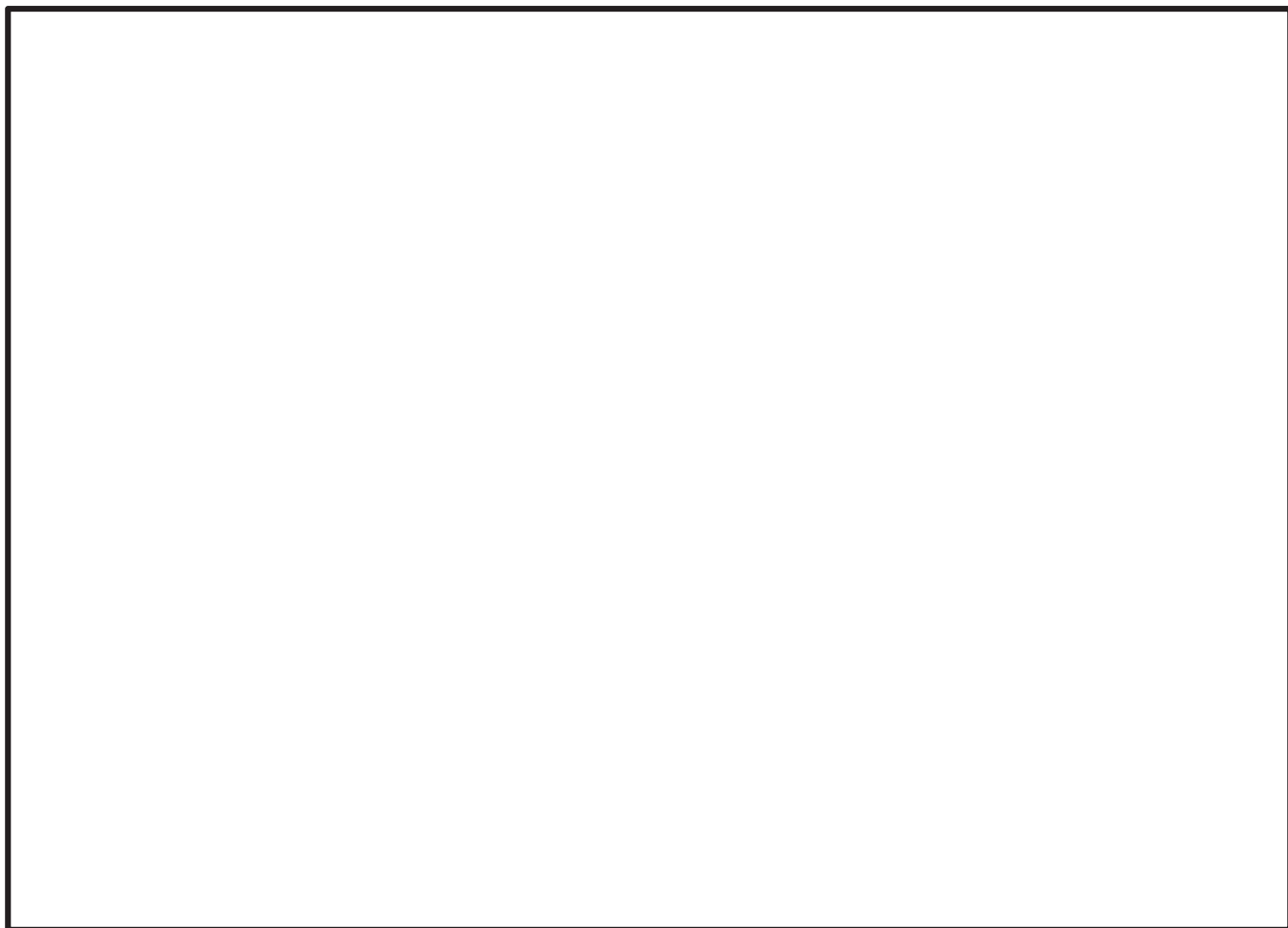


図 2-1 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの概略構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

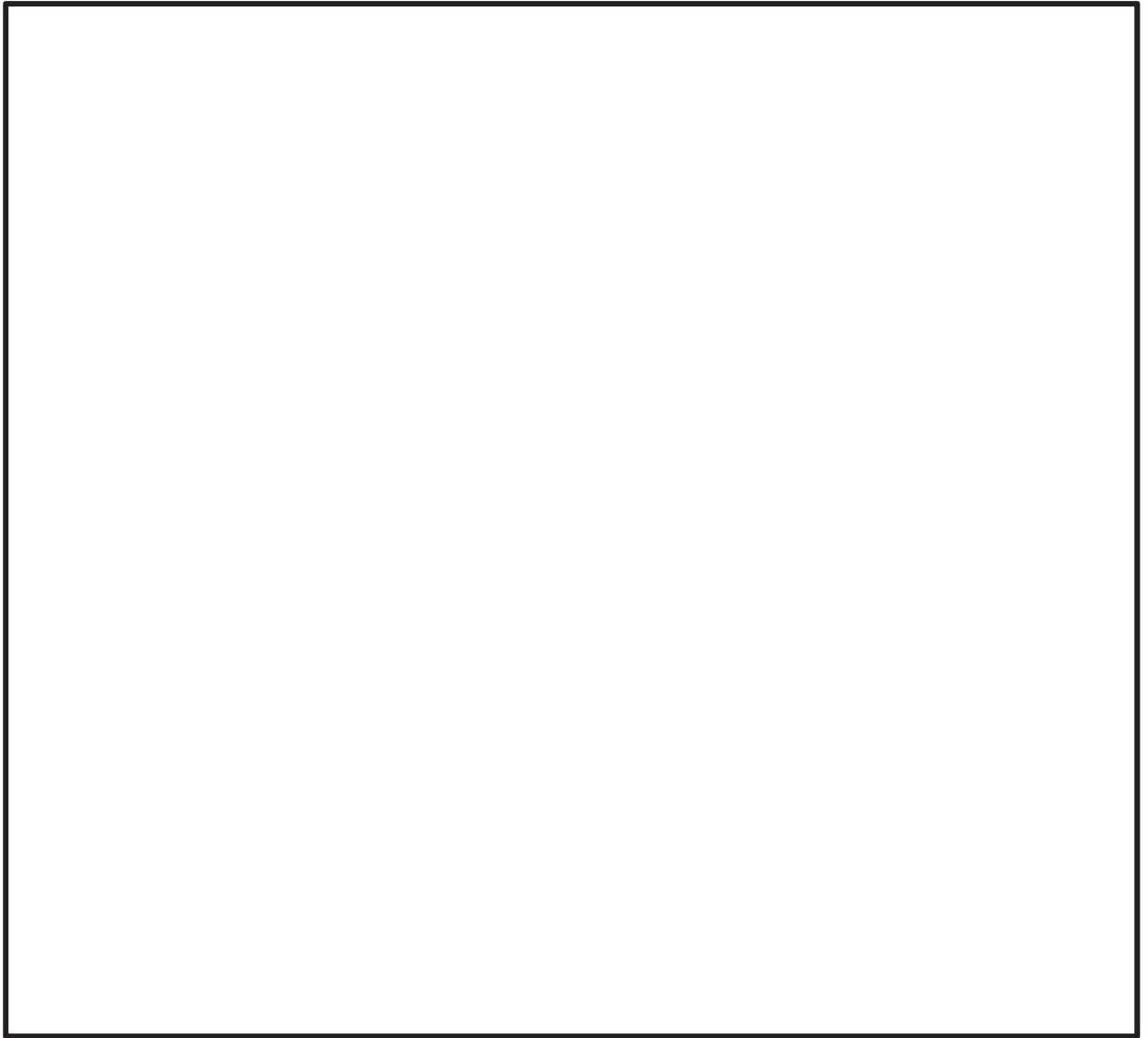


図 2-2 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (A) の概略構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

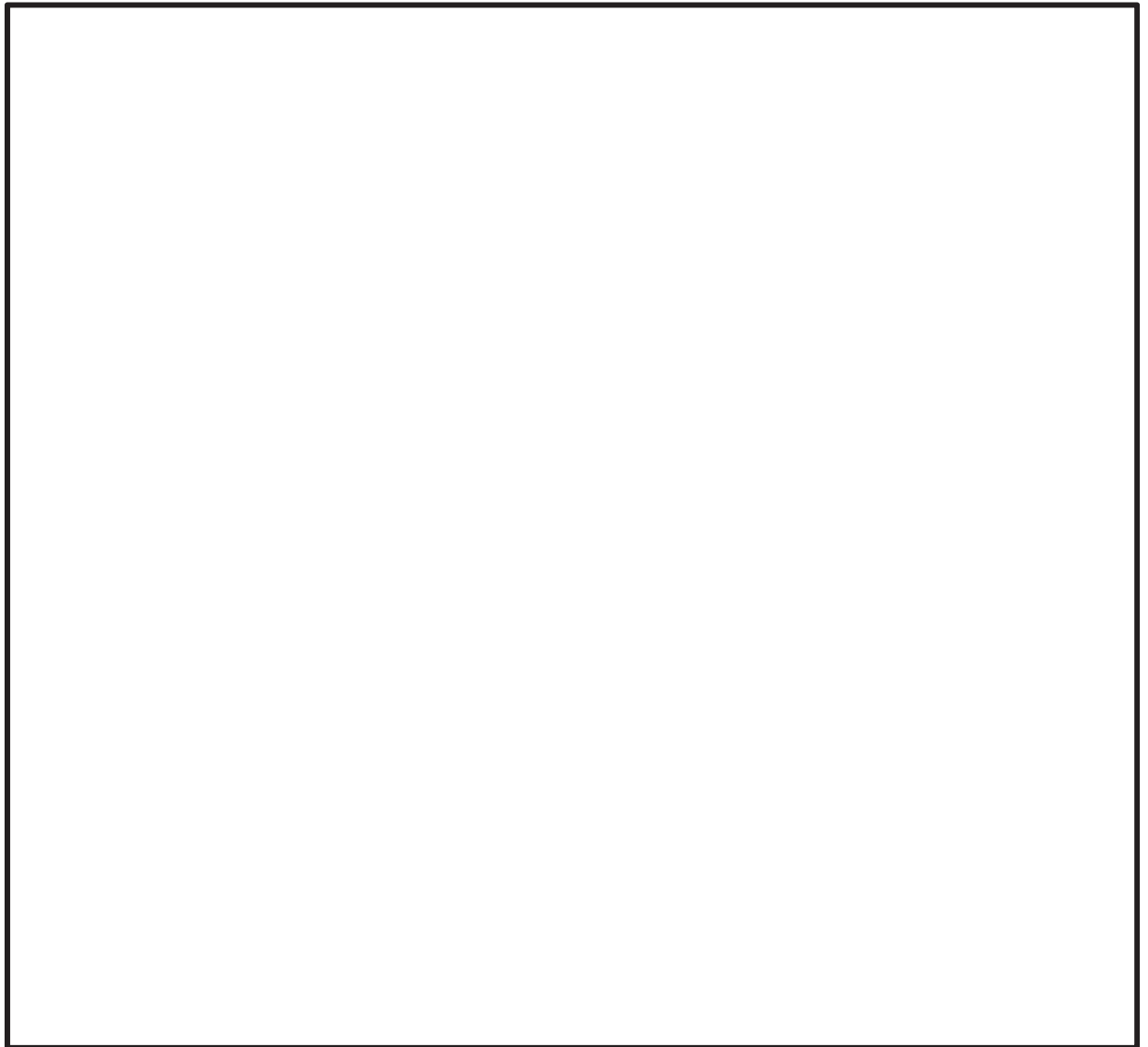


図 2-3 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (B) の概略構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

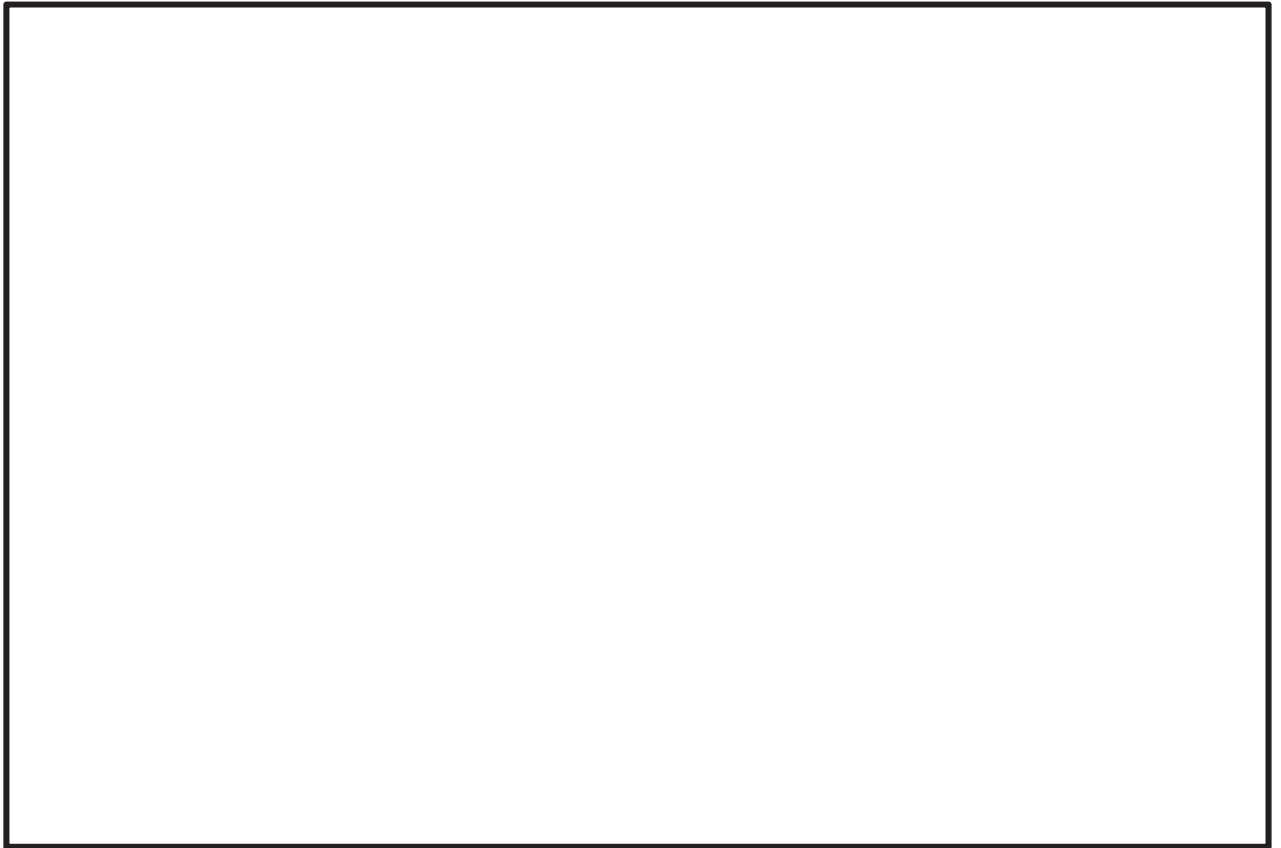


図 2-4 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ポンベラックの概略構造図



図 2-5 緊急時対策所加圧設備(空気ポンベ)ポンベカードルの概略構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

ポンベ設備の評価方針を以下に示し、耐震評価フローを図 2-6 に示す。

(1) 構造強度評価

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.2(2) ポンベ設備」にて設定した構造強度評価の方針に従い構造強度評価を実施する。

ポンベ設備の構造強度評価は、「3. 固有値解析」にて得られた固有周期を用い、「4. 構造強度評価」に示す方法により、ポンベ設備の評価部位に作用する応力が許容限界を満足することを確認する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す評価部位のうち直接支持構造物としてのボンベラック等、溶接部及び取付ボルトの構造強度評価については、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 に規定されているその他の支持構造物の評価に従い実施する。

(2) 波及的影響評価

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.2(2) ポンベ設備」にて設定した波及的影響評価の方針に従い、波及的影響評価を実施する。

ポンベ設備の波及的影響評価は、「5. 波及的影響評価」に示す方法により、基準地震動 S_s による地震力に対し、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、「4. 構造強度評価」により確認する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

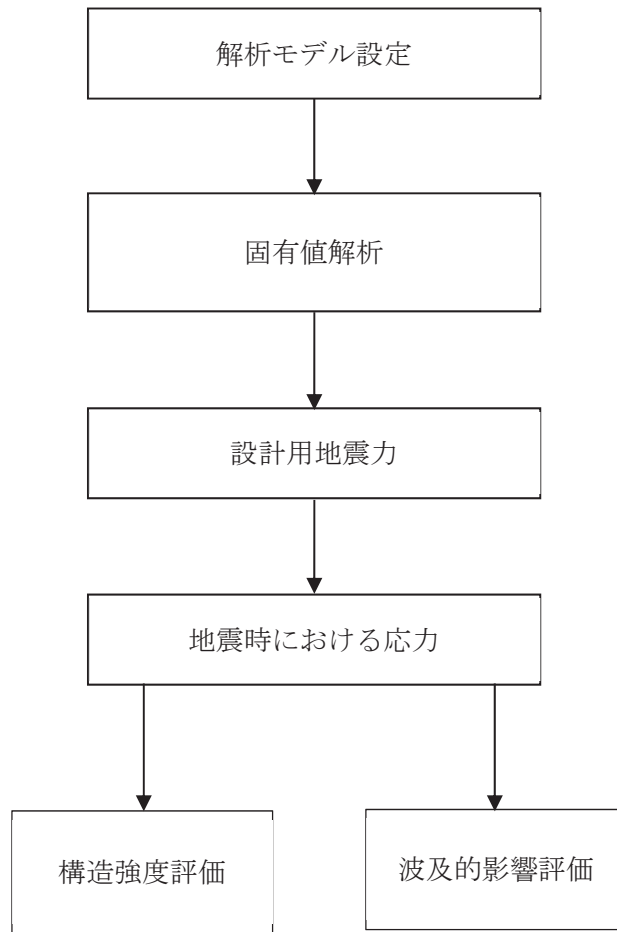


図 2-6 ボンベ設備の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (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。)
- (5) 日本産業規格
- (6) 鋼構造設計規準

3. 固有値解析

3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.2(1) 固有値解析」にて設定した基本方針に従い、固有値解析を実施する。

固有値解析は、以下の「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて、「3.4 固有値解析結果」においてポンベ設備の固有周期を求める。

3.2 解析方法

- (1) ポンベラックを構成する各部材を、はり要素としてモデル化した多質点モデル及びシェル要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルにより固有値解析を実施する。
- (2) 拘束条件として、建屋躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (3) ポンベラックの構造強度評価及び波及的影響評価を目的としているため、ポンベラックに収納・固定されるポンベ及び配管・弁等の機器重量は、各々組込む位置に相当する各質点に付加する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ、代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ及び緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）の評価に用いる解析コードは、「NX NASTRAN」とし、中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）の評価に用いる解析コードは、「MSC NASTRAN」とする。なお、評価に用いる解析コード「NX NASTRAN」及び「MSC NASTRAN」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。

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ

高圧窒素ガスポンベラックの解析モデルは、ポンベラックを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-1、図 3-2 に、解析モデルの諸元を表 3-1 に示す。

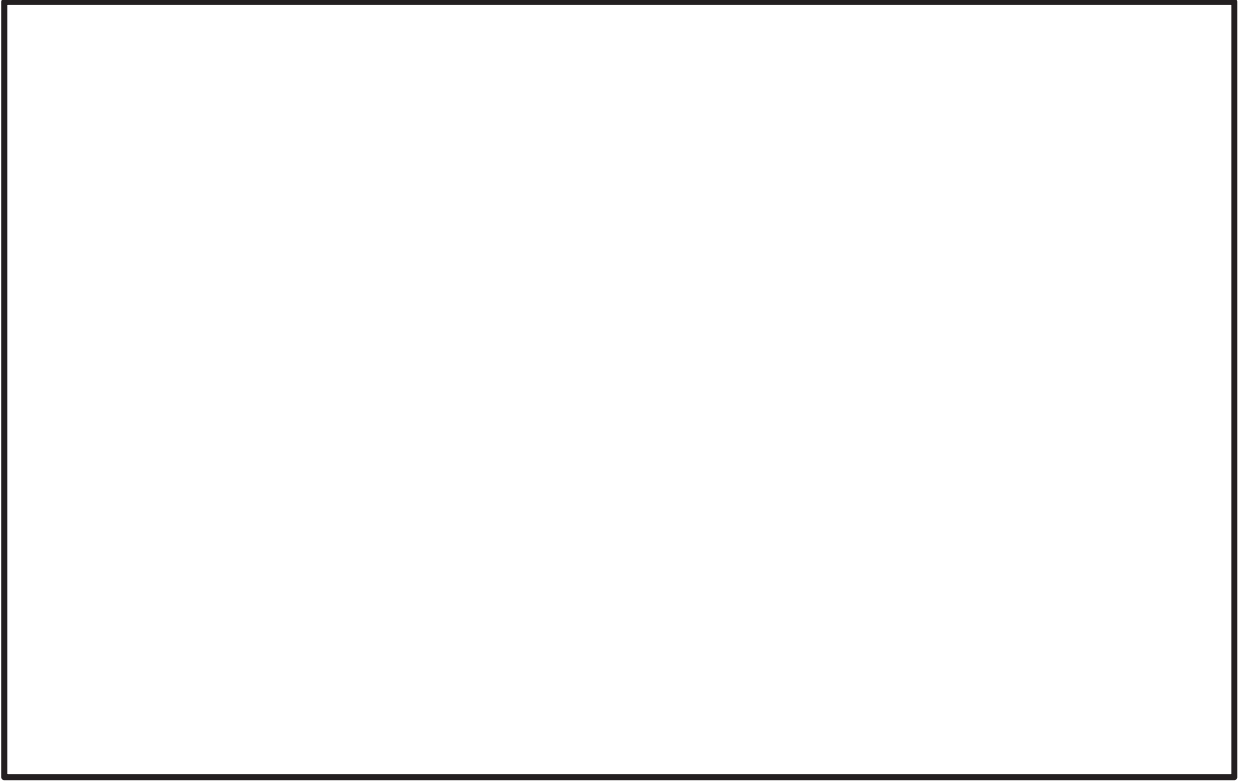


図 3-1 解析モデル(高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (要素番号記載))

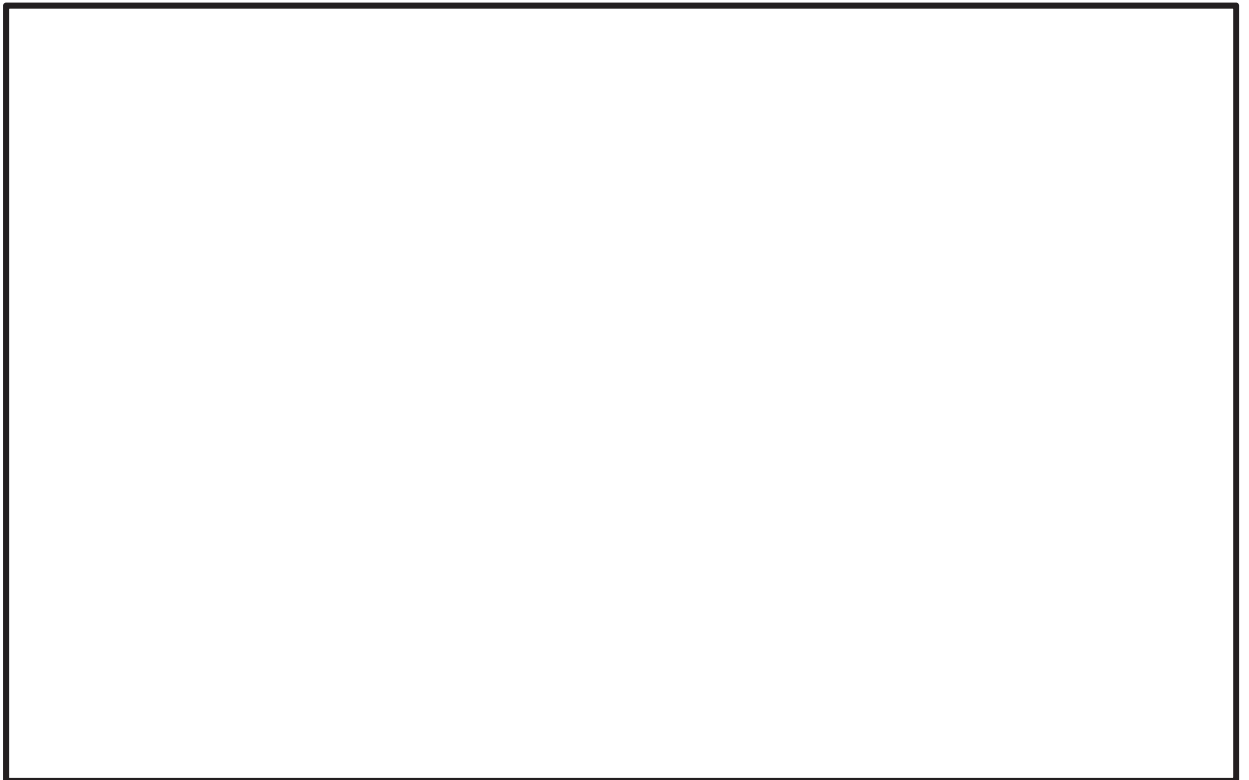


図 3-2 解析モデル(高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (接点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400/STKR400
温度条件 (周囲環境温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
質量 (ボンベ)	W	kg	<input type="text"/>
質量 (フレーム)	m	kg	<input type="text"/>
ボンベ数	—	本/基	8
寸法	—	—	図 2-1
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

表 3-1 解析モデルの諸元 (2/2)

部材	番号	要素 番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶

(2) 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ

代替高圧窒素ガスボンベラックの解析モデルは、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-3～図 3-6 に、解析モデルの諸元を表 3-2 に示す。

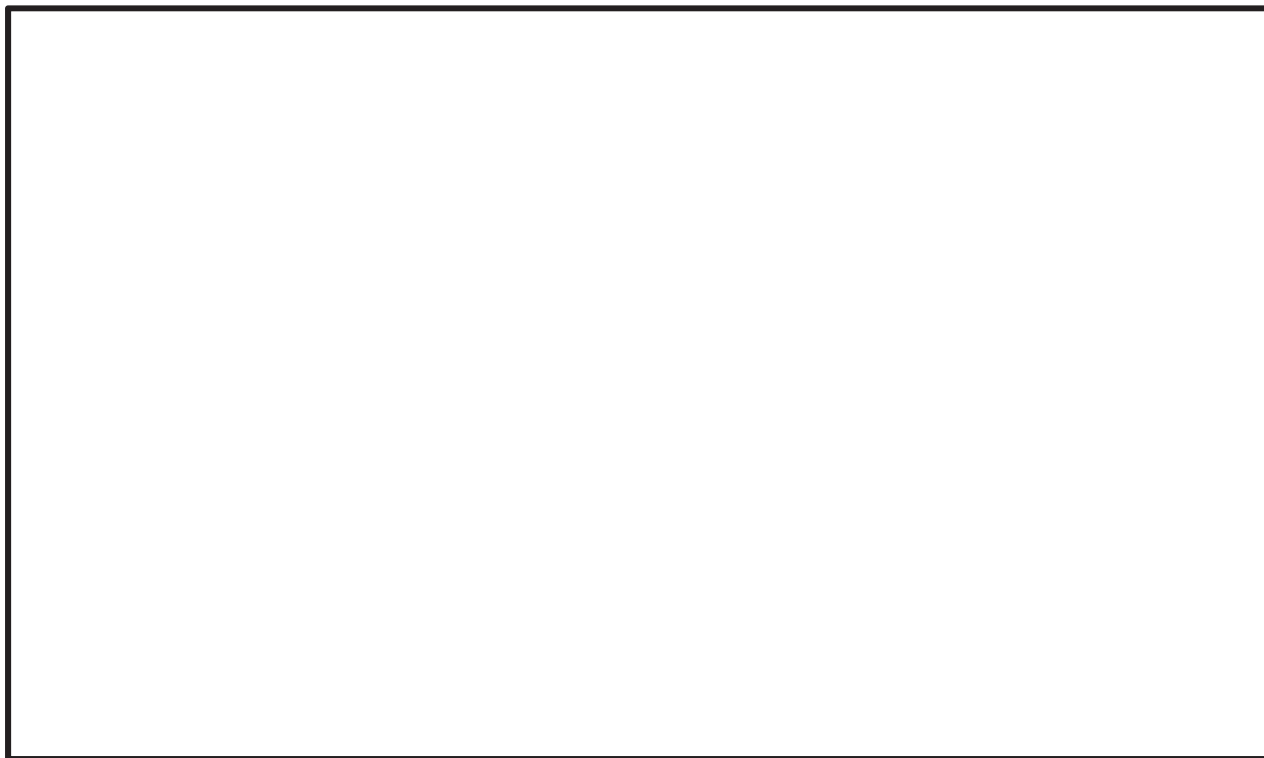


図 3-3 解析モデル

(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (A) (要素番号記載))

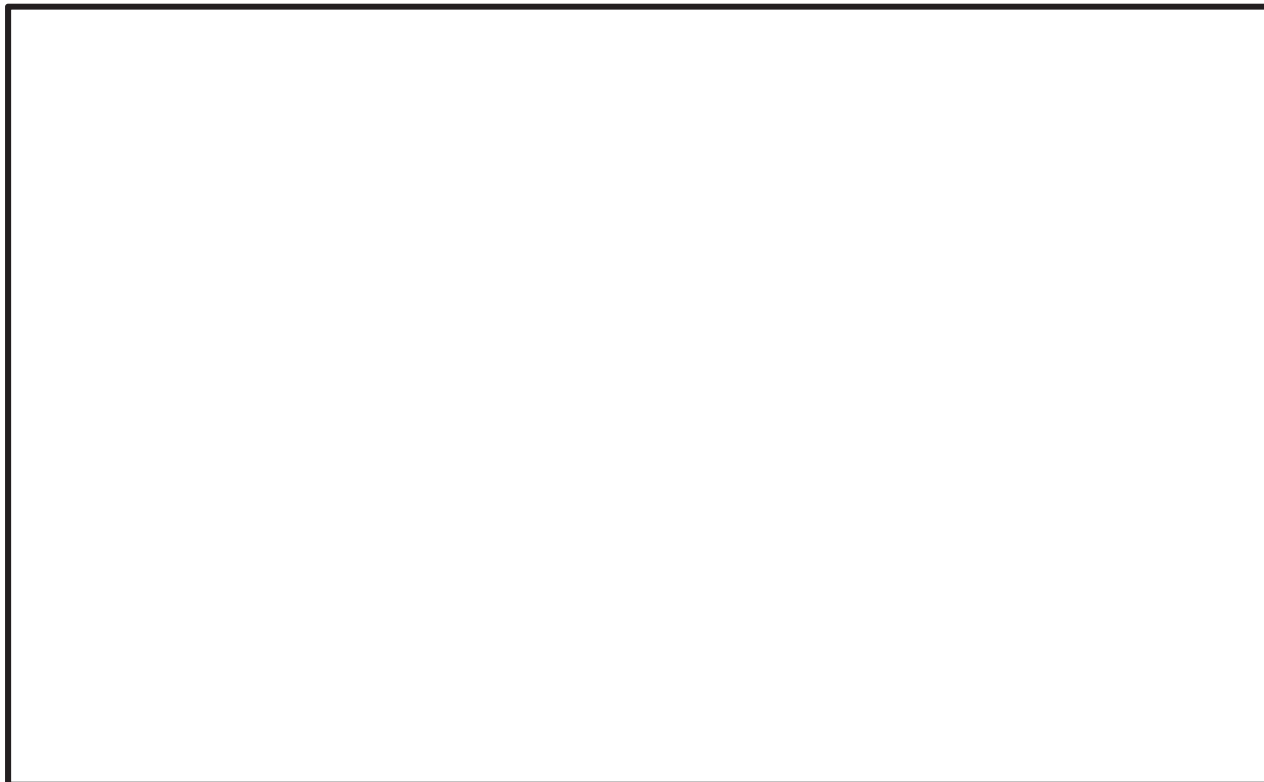


図 3-4 解析モデル

(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (A) (節点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 3-5 解析モデル

(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (B) (要素番号記載))

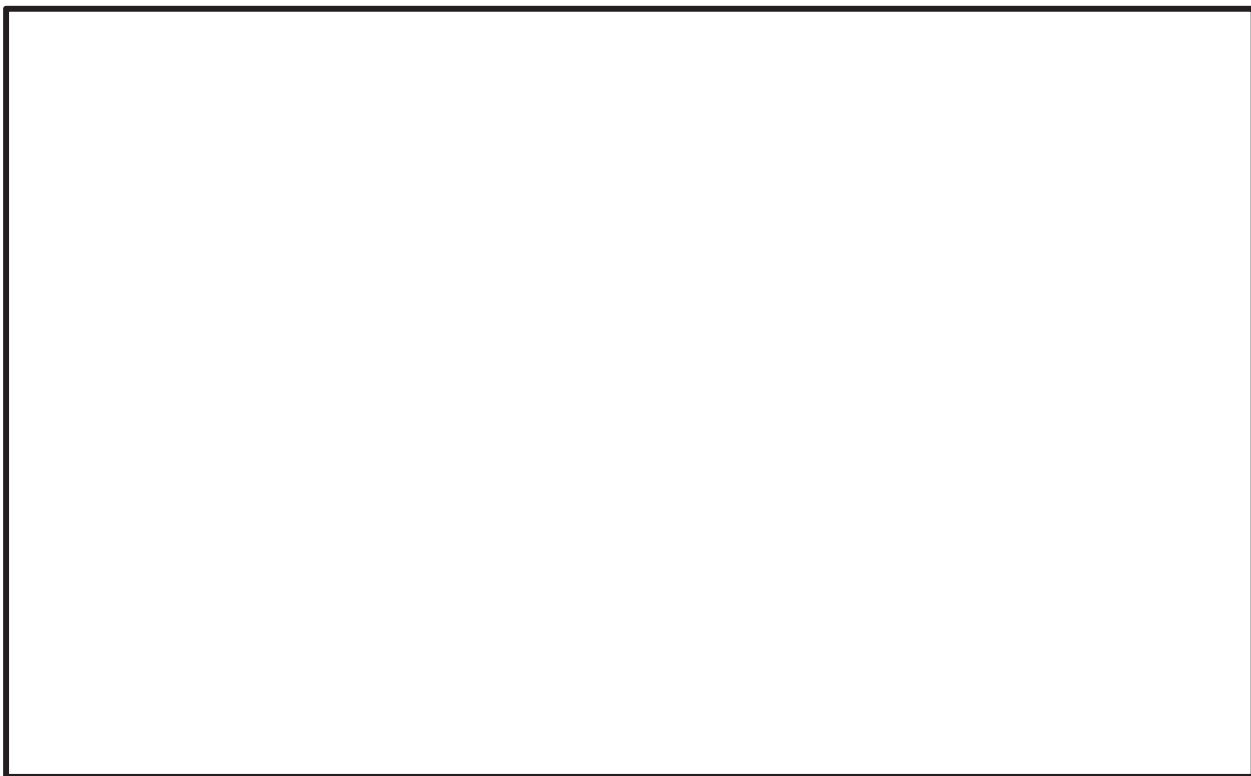


図 3-6 解析モデル

(代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック (B) (節点番号記載))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-2 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400/STKR400
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
質量 (ポンベ)	W	kg	<input type="text"/>
質量 (フレーム)	m	kg	<input type="text"/>
ポンベ数	—	本/基	3
寸法	—	—	図 2-2, 図 2-3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

表 3-2 解析モデルの諸元 (2/2)

部材	番号	要素番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
ボンベラック (A) フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
ボンベラック (B) フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
取付ボルト			SS400		—				—

注記 * : 要素 12, 13 については, (A)のみ評価対象となる。

(3) 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）

中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの解析モデルは、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素及びシェル要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-7 に、解析モデルの諸元を表 3-3 に示す。

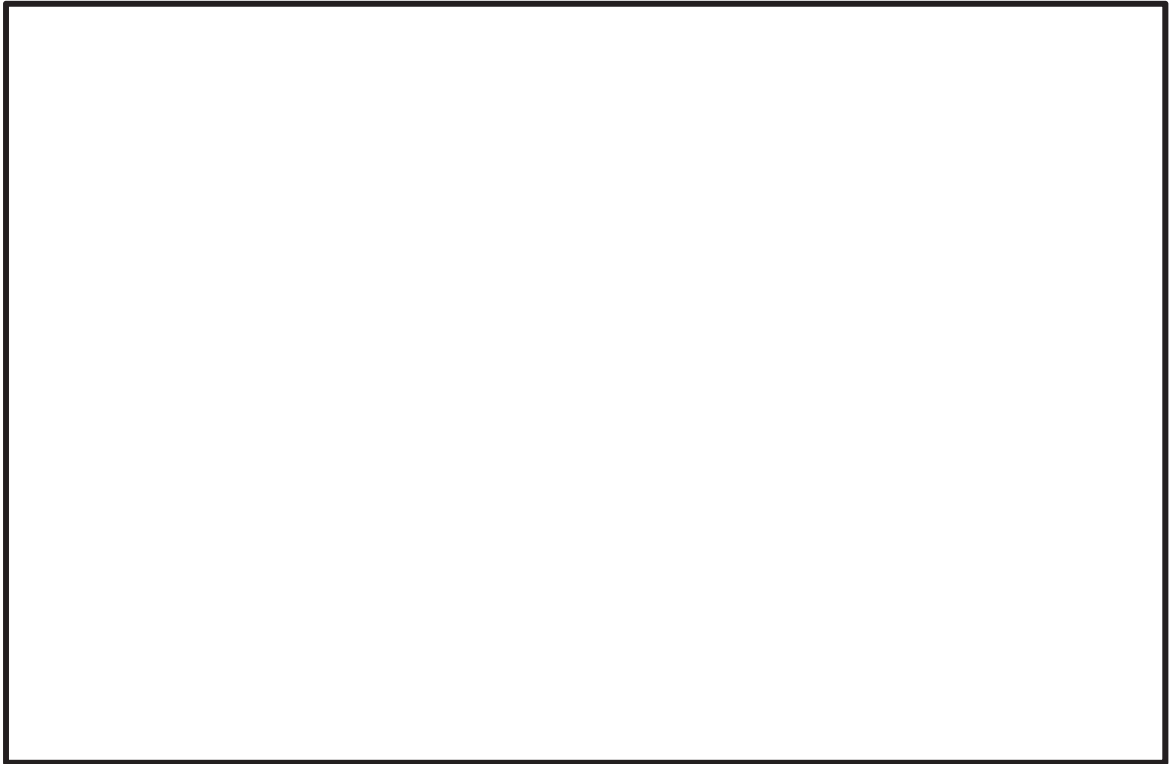


図 3-7 解析モデル（中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラック）

表 3-3 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質（ボンベラック）	—	—	SS400／STKR400
材質（ボンベ）	—	—	クロムモリブデン鋼
温度条件（周囲環境温度）	T	℃	40
縦弾性係数（ボンベラック）	E	MPa	2.02×10^5
縦弾性係数（ボンベ）	E	MPa	2.04×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
質量（ボンベユニット）	m	kg	<input type="text"/>
ボンベ数	—	本／基	10
寸法	—	—	図 2-4
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-3 解析モデルの諸元(2/2)

部材	番号	要素番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
ボンベラック フレーム			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.02×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
ボンベ			SCM430	2.04×10 ⁵				1.177×10 ⁻⁵	
固定ボルト			SNB7	2.04×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶	
フレーム 接続ボルト			SCM435	—				—	
取付ボルト			SS400	—				—	

(4) 緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）

緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）ポンベカードルの解析モデルは、ポンベカードルを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した多質点モデルである。

解析モデルを図 3-8 に、解析モデルの諸元を表 3-4 に示す。

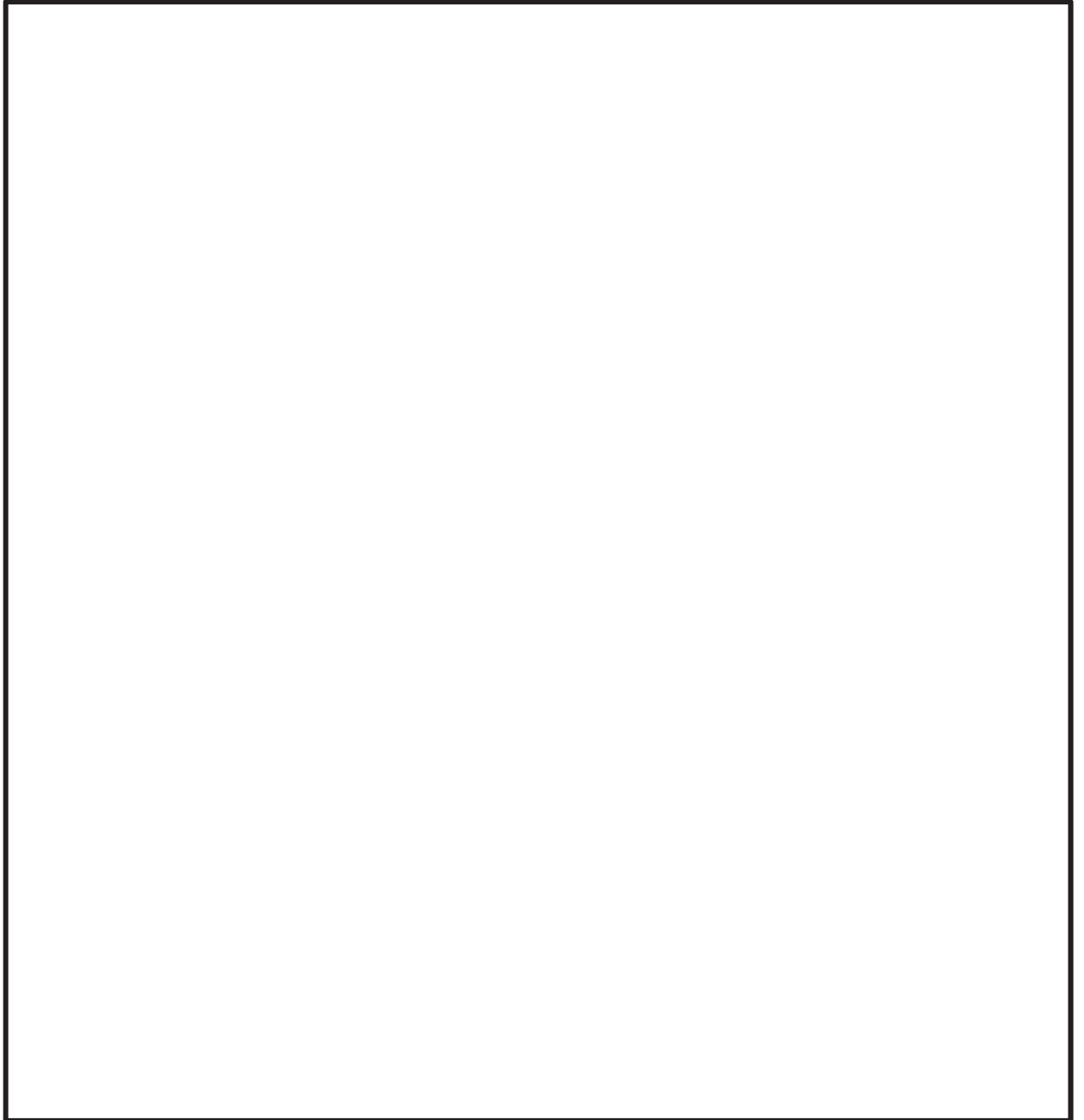


図 3-8 解析モデル（緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）ポンベカードル）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-4 解析モデルの諸元(1/2)

項目	記号	単位	入力値
材質 (ボンベカードル)	—	—	SS400/STKR400
材質 (取付ボルト)	—	—	SNB7
質量 (ボンベ)	W	kg	<input type="text"/>
質量 (フレーム)	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
ボンベ数	—	本/基	20
寸法	—	—	図 2-5
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

表 3-4 解析モデルの諸元 (2/2)

部材	番号	要素番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント		密度 (kg/mm ³)
							I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)	
ボンベカードル フレーム			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			STKR400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
			SS400		2.01×10 ⁵				7.85×10 ⁻⁶
取付ボルト			SNB7		—			—	

3.4 固有値解析結果

ポンベ設備の固有値解析結果を表 3-5 に、1 次の振動モード図を図 3-9～図 3-13 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-5 固有値解析結果

設備名称	ボンベラック 支持構造	モード	卓越方向	固有周期 (s)
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック	溶接			
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック (A)	溶接 取付ボルト			
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベラック (B)	溶接 取付ボルト			
中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ) ボンベラック	溶接 接続ボルト 取付ボルト			
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ) ボンベカードル	溶接 取付ボルト			

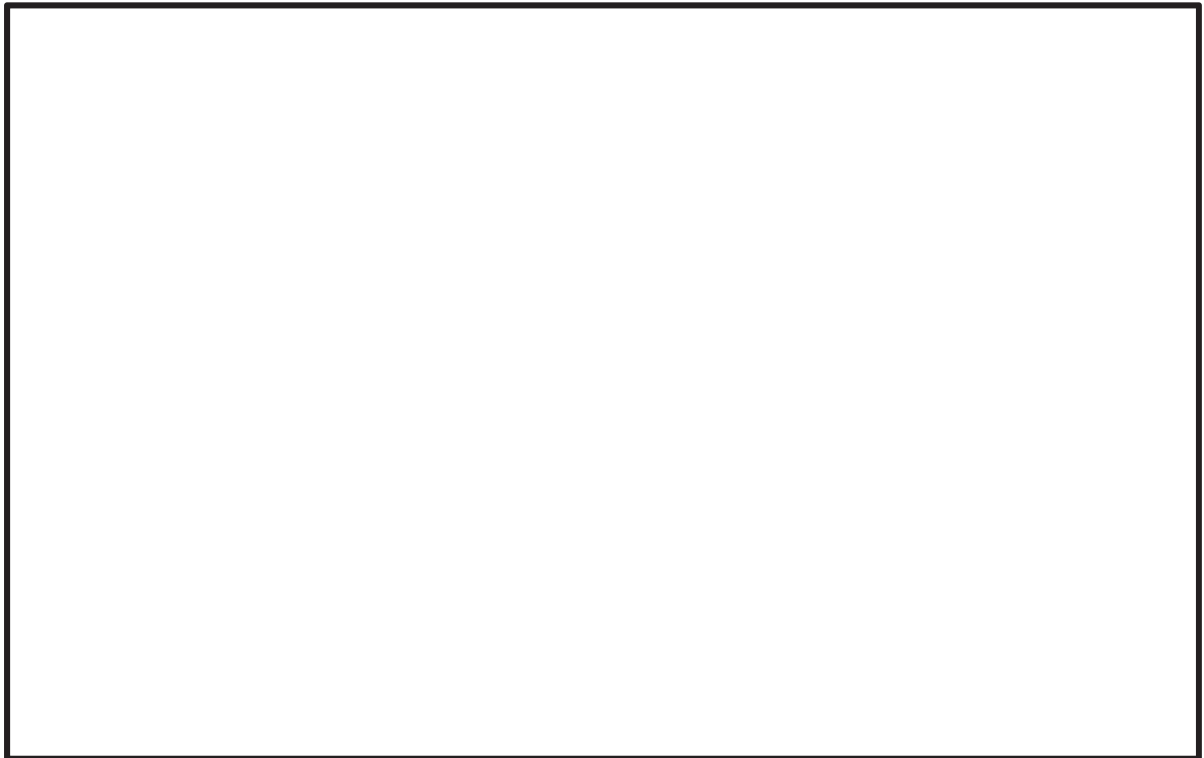


図 3-9 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラック振動モード



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

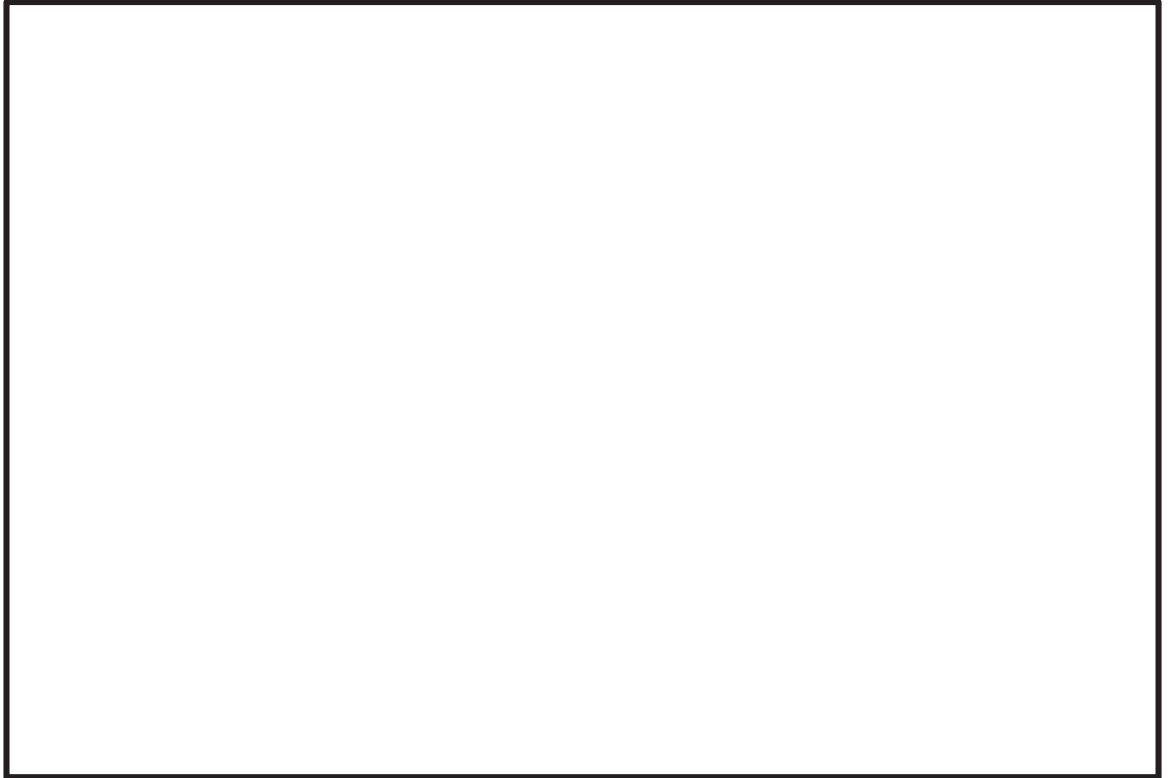


図 3-10 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペラック (A) 振動モード

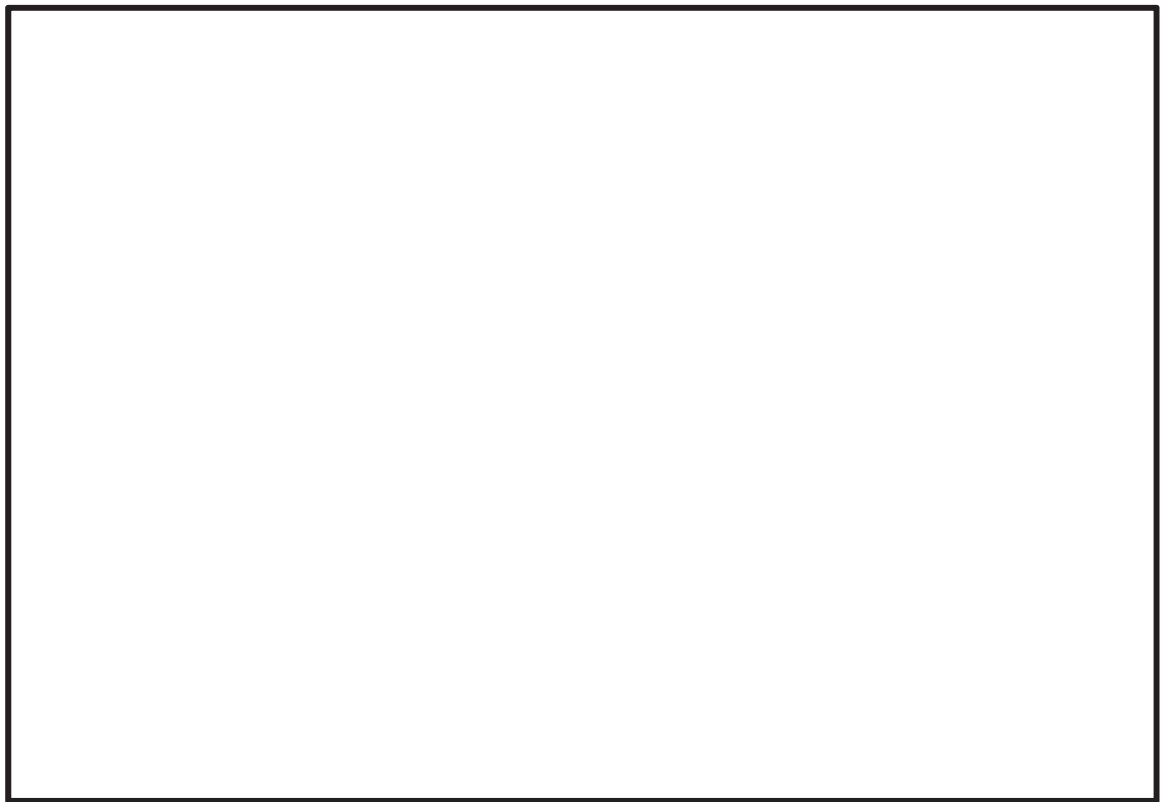


図 3-11 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンペラック (B) 振動モード



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

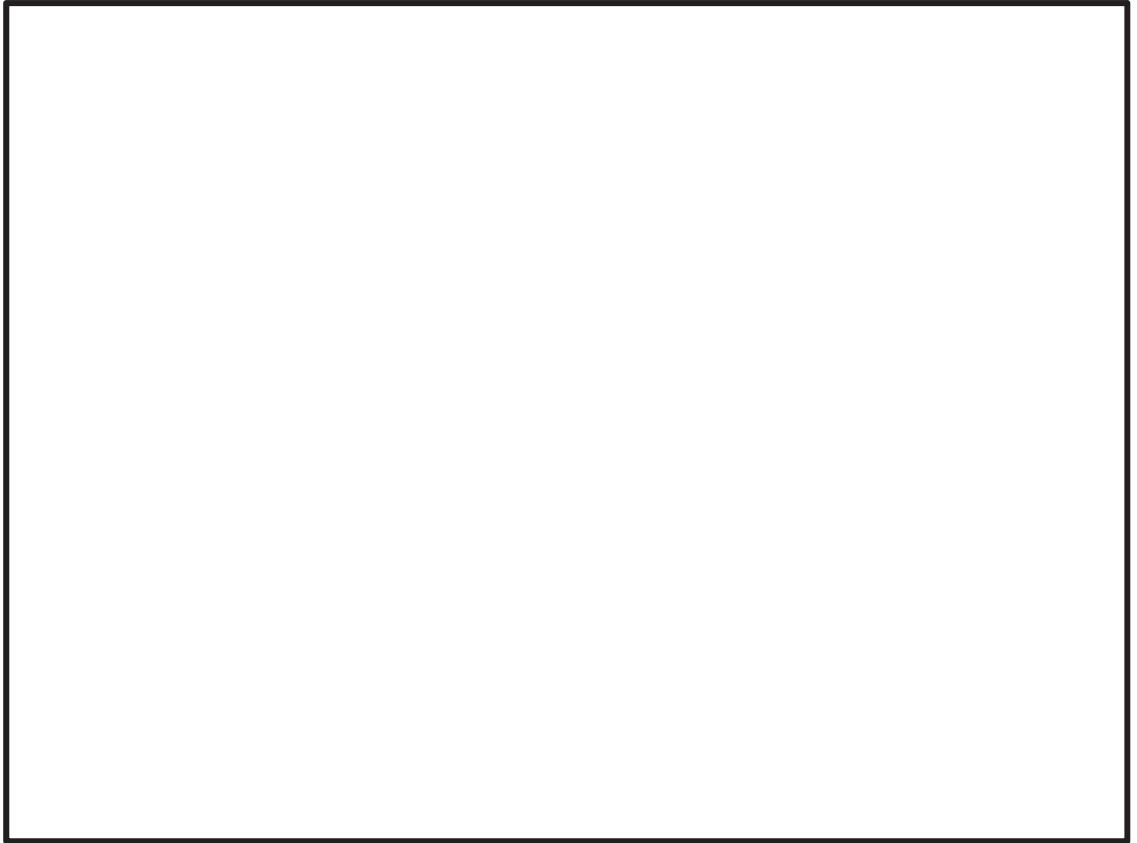


図 3-12 中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）ボンベラック振動モード



図 3-13 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードル振動モード



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 設計用地震力

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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-6～表 3-9 に示す。

表 3-6 設計用地震力（高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋付属棟 O. P. 15.00* (O. P. 22.50)	□	2.12	1.56

注記 *：基準床レベルを示す。

表 3-7 設計用地震力（代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスポンベ（A系，B系））

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋付属棟 O. P. 15.00* ¹ (O. P. 22.50)	□	2.12	1.56

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：ボンベラック(A)の固有周期。

*3：ボンベラック(B)の固有周期。

表 3-8 設計用地震力（中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ））

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御建屋 O. P. 1.50* O. P. 15.00*	□	2.25	1.39

注記 *：基準床レベルを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-9 設計用地震力（緊急時対策所加圧設備（空気ポンペ））

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策建屋 O.P. 57.30*		1.21	0.87

注記 * : 基準床レベルを示す。

4. 構造強度評価

4.1 基本方針

ボンベ設備の構造強度評価は、別添 3-1 の「2.2(2) ボンベ設備」で設定した評価方針に従って、構造強度評価を実施する。

ボンベ設備の構造強度評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容限界を満足することを、「3.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価部位

ボンベ設備の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価部位に従って設定する。評価部位を表 4-1 に示す。

表 4-1 ボンベ設備の評価部位

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	図
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベ	溶接	フレーム	図 2-1
		フレーム取付 溶接部	
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスボンベ	溶接	フレーム	図 2-2 図 2-3
		フレーム取付 溶接部	
	取付ボルト	取付ボルト	
中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接 接続ボルト	フレーム	図 2-4
		フレーム取付 溶接部	
		フレーム 接続ボルト	
	取付ボルト	取付ボルト	
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接	フレーム	図 2-5
		固定端溶接部	
	取付ボルト	取付ボルト	

4.3 荷重及び荷重の組合せ

ポンベ設備の構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 3-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重及び荷重の組合せを用いる。

ポンベ設備の構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

設備名称	評価部位	荷重の組合せ
ポンベ設備	フレーム	D + S _s
	フレーム取付溶接部	
	フレーム接続ボルト	
	固定端溶接部	
	取付ボルト	

4.4 許容限界

ポンベ設備の許容限界は、「4.2 評価部位」にて設定した評価部位の破断延性限界を考慮し、別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界に従い、許容応力状態IV_AS の許容応力とする。

評価部位の許容限界を表 4-3～表 4-5 に示す。

表 4-3 ポンベラックの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2
			一次応力
			組合せ
フレーム	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t *

注記 *1: f_t*は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a 本文中 S_y及びS_y (RT) を 1.2・S_y 及び 1.2・S_y (RT) と読み替えて算出した値 (設計・建設規格 SSB-3121.3)。ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 4-4 フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2	
			一次応力	
			せん断	
フレーム取付溶接部	D + S _s	IV _A S	1.5・f _s *	
固定端溶接部	D + S _s	IV _A S	1.5・f _s *	

注記 *1: f_s*は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中S_y及びS_y(RT)を1.2・S_y及び1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3121.3)。

ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 4-5 フレーム接続ボルト及び取付ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2	
			一次応力	
			引張り*3	せん断*3
フレーム 接続ボルト	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
取付ボルト	D + S _s	IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *

注記 *1: f_t*, f_s*は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a本文中S_y及びS_y(RT)を1.2・S_y及び1.2・S_y(RT)と読み替えて算出した値(設計・建設規格 SSB-3133)。

ただし、S_y及び0.7・S_uのいずれか小さい方の値とする。

*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

*3: ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力

f_{ts}は、設計・建設規格 SSB-3133に基づき、f_{ts}=Min[1.4・f_{to}-1.6・τ_b, f_{to}]とする。ここで、f_{to}は1.5・f_t*とする。

なお、f_{ts}は引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力をいい、f_{to}は引張力のみ受けるボルトの許容引張応力をいう。

4.5 評価方法

ポンベ設備の構造強度評価は、別添 3-1 の「4.2(2) 構造強度評価」で設定した計算式に従って、評価部位の発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。

(1) 評価に使用する記号及び計算モデルの説明

構造強度評価に使用する記号を表 4-6 に、計算モデル例を図 4-1～図 4-5 に示す。

表 4-6 構造強度評価に使用する記号(1/2)

記号	単位	定義
A_{rea}	mm ²	R ₁ 軸方向の力を受けるフレームの断面積
A_1	mm ²	R ₂ 軸方向の力を受けるフレームの断面積
A_2	mm ²	R ₃ 軸方向の力を受けるフレームの断面積
A_w	mm ²	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の断面積
A_b	mm ²	フレーム接続ボルト及び取付ボルトの軸断面積
σ_a	MPa	フレームに生じる組合せ応力
σ_b	MPa	フレームに生じる曲げ応力
τ_s	MPa	フレームに生じるせん断応力
σ_t	MPa	フレームに生じる引張応力
σ	MPa	フレーム（シェル）に生じる組合せ応力
σ_x	MPa	フレーム（シェル）に生じるX方向の垂直応力
σ_y	MPa	フレーム（シェル）に生じるY方向の垂直応力
τ_{xy}	MPa	σ_x , σ_y の作用するフレーム（シェル）面内のせん断応力
F_x	N/mm	フレーム（シェル）のX方向の面内力
F_y	N/mm	フレーム（シェル）のY方向の面内力
F_{xy}	N/mm	フレーム（シェル）のXY方向の面内せん断力
M_x	N・mm/mm	フレーム（シェル）のX方向の曲げモーメント
M_y	N・mm/mm	フレーム（シェル）のY方向の曲げモーメント
M_{xy}	N・mm/mm	フレーム（シェル）のXY方向のねじりモーメント
t	mm	フレーム（シェル）の板厚
σ_{sa}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる組合せ応力
σ_{sb}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる曲げ応力
τ_{ss}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じるせん断応力
σ_{st}	MPa	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる引張応力
σ_{wt}	MPa	フレーム取付溶接部に生じる軸応力
τ_{ws}	MPa	フレーム取付溶接部に生じるせん断応力
σ_{wb}	MPa	フレーム取付溶接部に生じる曲げ応力
σ_{wa}	MPa	フレーム取付溶接部に生じる組合せ応力
F_{b1}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)
F_{b2}	N	取付ボルトに作用するせん断力
F_{bb}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じる軸力

表 4-6 構造強度評価に使用する記号(2/2)

記号	単位	定義
S_{b1}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じるせん断力
S_{b2}	N	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じるせん断力
τ_{bs}	MPa	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じるせん断応力
σ_{bt}	MPa	フレーム接続ボルト及び取付ボルトに生じる引張応力
l	mm	取付ボルト間の距離
l_1	mm	取付ボルト間の距離
l_2	mm	取付ボルト間の距離
M_1	N・mm	R_1 軸廻りのモーメント
M_2	N・mm	R_2 軸廻りのモーメント
M_3	N・mm	R_3 軸廻りのモーメント
n	-	固定端 1 箇所当たりのフレーム接続ボルト及び取付ボルトの本数
n_f	-	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数
R_1	N	R_1 軸方向の力
R_2	N	R_2 軸方向の力
R_3	N	R_3 軸方向の力
S	N	フレーム取付溶接部及び固定端溶接部に生じる組合せせん断力
Z_1	mm ³	R_3 軸廻りのモーメント M_3 を受けるフレームの断面係数
Z_2	mm ³	R_2 軸廻りのモーメント M_2 を受けるフレームの断面係数
Z_{p1}	mm ³	R_2 軸方向の応力を組合せる時のモーメント M_1 を受けるねじり断面係数
Z_{p2}	mm ³	R_3 軸方向の応力を組合せる時のモーメント M_1 を受けるねじり断面係数
Z_{pw}	mm ³	フレーム取付溶接部のねじり断面係数
Z_{xw}	mm ³	R_1 軸廻りのモーメント M_3 を受ける溶接部の断面係数
Z_{yw}	mm ³	R_3 軸廻りのモーメント M_2 を受ける溶接部の断面係数
L_k	mm	溶接部の脚長
L_w	mm	溶接部長さ (1 箇所当たり)

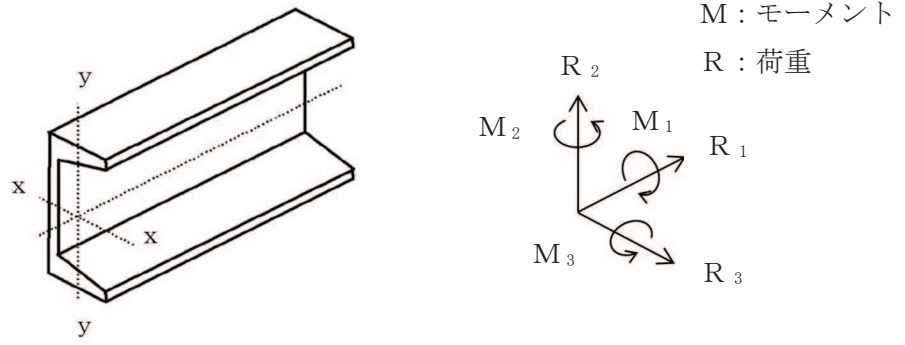


図 4-1 フレーム（はり）の計算モデル例

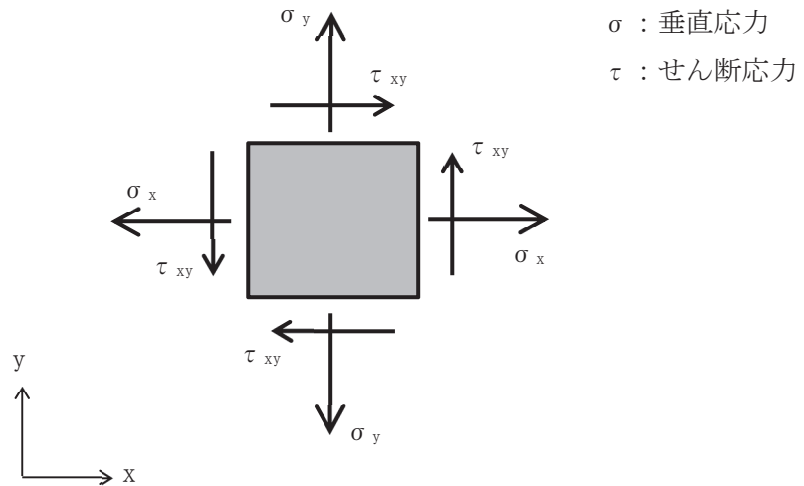
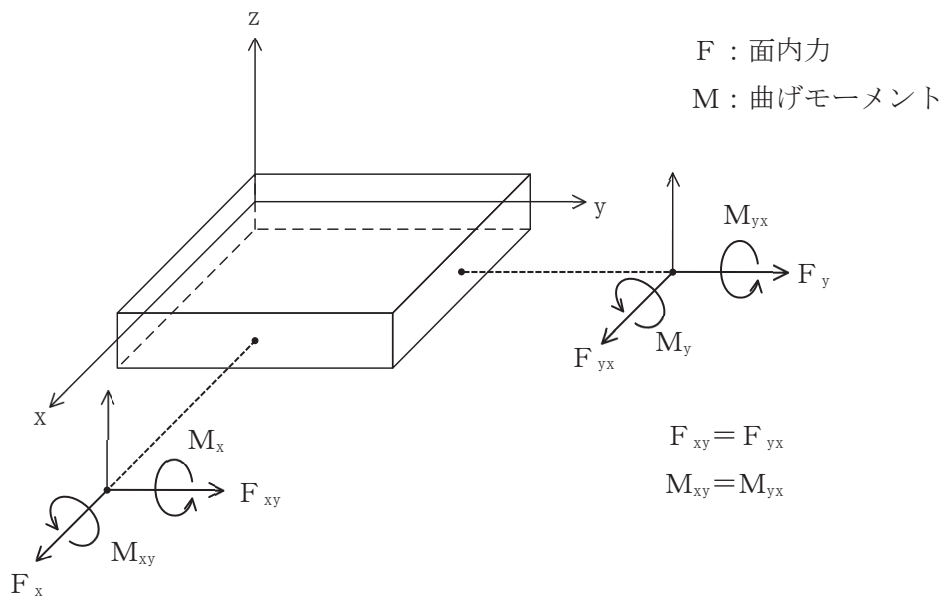


図 4-2 フレーム（シェル）の計算モデル例

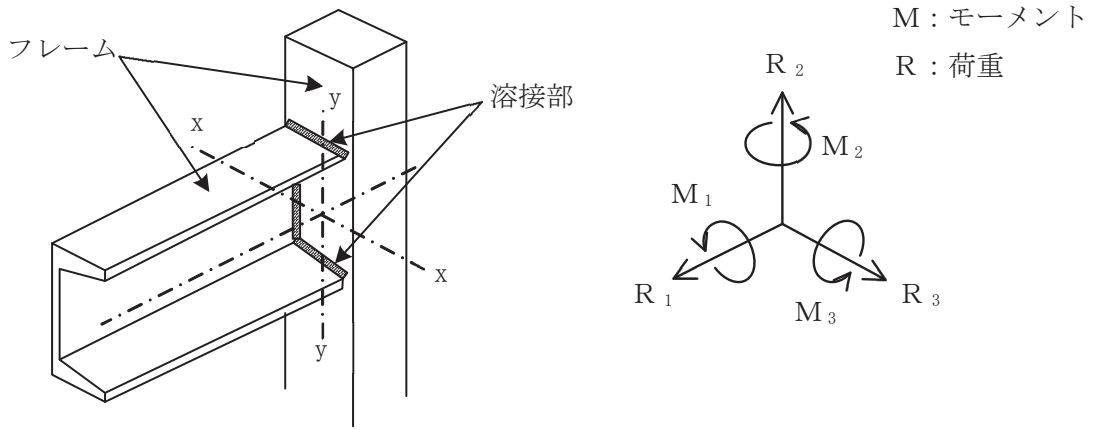
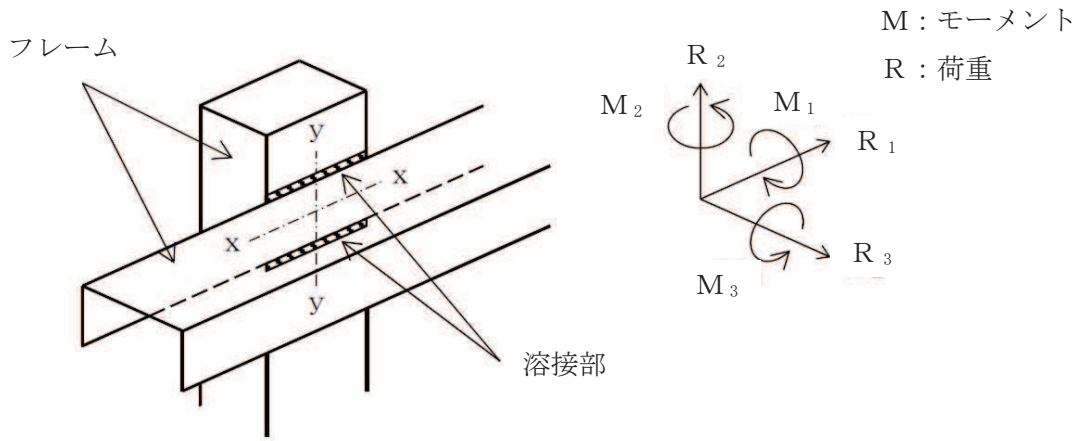


図 4-3 フレーム取付溶接部の計算モデル例

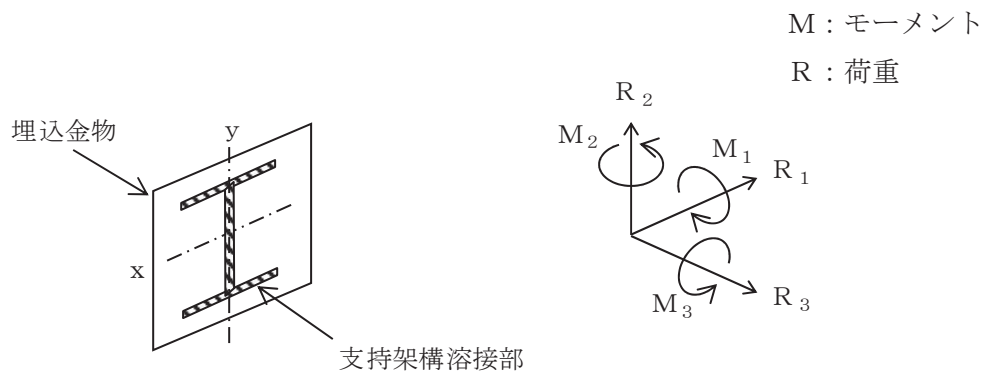


図 4-4 固定端溶接部の計算モデル例

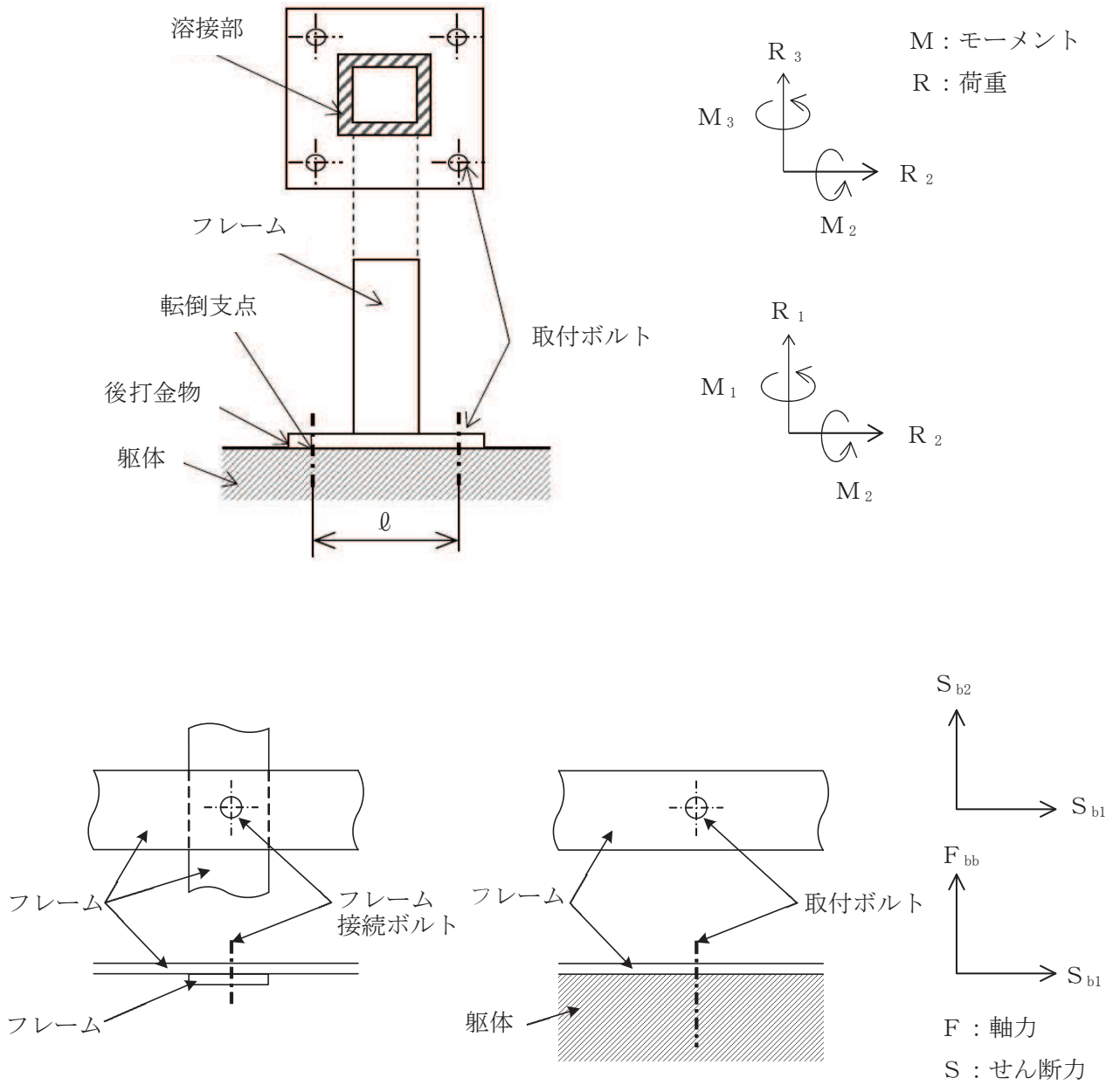


図 4-5 フレーム接続ボルト及び取付ボルトの計算モデル例

(a) 評価式

イ. フレーム (はり)

(イ) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{|R_1|}{A_{rea}} \dots\dots\dots (4.1)$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_s = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{|R_2|}{A_1} \right) + \left(\frac{|M_1|}{Z_{p1}} \right), \left(\frac{|R_3|}{A_2} \right) + \left(\frac{|M_1|}{Z_{p2}} \right) \right\} \dots\dots\dots (4.2)$$

又は,

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{|R_2|}{A_1} \right)^2 + \left(\frac{|R_3|}{A_2} \right)^2} + \text{Max} \left\{ \frac{|M_1|}{Z_{p1}}, \frac{|M_1|}{Z_{p2}} \right\} \dots\dots\dots (4.3)$$

(ハ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_2|}{Z_2} + \frac{|M_3|}{Z_1} \dots\dots\dots (4.4)$$

(ニ) 組合せ応力

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau_s^2} \dots\dots\dots (4.5)$$

ロ. フレーム (シェル)

フレーム(シェル)の組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (4.6)$$

ここで,

$$\sigma_x = \frac{F_x}{t} \pm \frac{6M_x}{t^2} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$\sigma_y = \frac{F_y}{t} \pm \frac{6M_y}{t^2} \dots\dots\dots (4.8)$$

$$\tau_{xy} = \frac{F_{xy}}{t} \pm \frac{6M_{xy}}{t^2} \dots\dots\dots (4.9)$$

ハ. フレーム取付溶接部及び固定端溶接部

フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の応力を以下のとおり計算する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{st} = \frac{|R_3|}{A_w} \dots\dots\dots (4.10)$$

(ロ) 軸応力

$$\sigma_{wt} = \frac{|R_1|}{A_w} \dots\dots\dots (4.11)$$

(ハ) せん断応力

$$\tau_{ss} = \frac{S}{A_w} + \frac{|M_3|}{Z_{pw}} \dots\dots\dots (4.12)$$

又は,

$$\tau_{ws} = \sqrt{\left(\frac{|R_2|}{A_w}\right)^2 + \left(\frac{|R_3|}{A_w}\right)^2} + \frac{|M_1|}{Z_{pw}} \dots\dots\dots (4.13)$$

ここで、組合せせん断力 S は,

$$S = \sqrt{|R_1|^2 + |R_2|^2} \dots\dots\dots (4.14)$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_{sb} = \frac{|M_2|}{Z_{yw}} + \frac{|M_1|}{Z_{xw}} \dots\dots\dots (4.15)$$

又は,

$$\sigma_{wb} = \frac{|M_2|}{Z_2} + \frac{|M_3|}{Z_1} \dots\dots\dots (4.16)$$

(ホ) 組合せ応力

$$\sigma_{sa} = \sqrt{(\sigma_{st} + \sigma_{sb})^2 + \tau_{ss}^2} \dots\dots\dots (4.17)$$

又は,

$$\sigma_{wa} = \sqrt{(\sigma_{wt} + \sigma_{wb})^2 + \tau_{ws}^2} \dots\dots\dots (4.18)$$

(ヘ) フレーム取付溶接部及び固定端溶接部の断面積

$$A_w = (L_k / \sqrt{2}) \times L_w \dots\dots\dots (4.19)$$

ニ. フレーム接続ボルト及び取付ボルト

フレーム接続ボルト及び取付ボルトの応力を以下のとおり計算する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_{b1}}{A_b} \dots\dots\dots (4.20)$$

ここで、引張力は、

$$F_{b1} = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_2|}{n_f \ell} \right), \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_3|}{n_f \ell} \right) \right\} \dots\dots\dots (4.21)$$

$$F_{b1} = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_2|}{n_f \ell_2} \right), \left(\frac{|R_1|}{n} \right) + \left(\frac{|M_3|}{n_f \ell_1} \right) \right\} \dots\dots\dots (4.22)$$

又は,

$$F_{b1} = \frac{F_{bb}}{n} \dots\dots\dots (4.23)$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_{bs} = \frac{F_{b2}}{n A_b} \dots\dots\dots (4.24)$$

ここで、せん断力は、

$$F_{b2} = \sqrt{\left(|R_2| + \frac{|M_1|}{\ell}\right)^2 + \left(|R_3| + \frac{|M_1|}{\ell}\right)^2} \dots\dots\dots (4.25)$$

$$F_{b2} = \sqrt{\left(|R_2| + \frac{|M_1|}{\ell_1}\right)^2 + \left(|R_3| + \frac{|M_1|}{\ell_1}\right)^2} \dots\dots\dots (4.26)$$

又は、

$$F_{b2} = \sqrt{S_{b1}^2 + S_{b2}^2} \dots\dots\dots (4.27)$$

5. 波及的影響評価

5.1 基本方針

ポンベ設備は、別添 3-1 の「2.2(2) ポンベ設備」にて設定した評価方針に従い、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響を実施する。

ポンベ設備の波及的影響は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重および荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容応力を満足することを、「3.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6. 計算条件

6.1 機器要目

「4. 構造強度評価」及び「5. 波及的影響評価」における機器要目を表 6-1～表 6-13 に示す。

表 6-1 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの機器要目 (フレーム)

記号	単位	数値

表 6-2 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの評価条件 (フレーム取付溶接部)

記号	単位	数値

表 6-3 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの評価条件 (フレーム)

記号	単位	数値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-4 代替高压窒素ガス供給系高压窒素ガスボンベラックの評価条件
(フレーム取付溶接部)

記号	単位	数値

表 6-5 代替高压窒素ガス供給系高压窒素ガスボンベラックの評価条件
(取付ボルト)

記号	単位	数値

表 6-6 中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ) ボンベラックの評価条件
(フレーム (はり要素))

記号	単位	数値

表 6-7 中央制御室待避所加圧設備 (空気ボンベ) ボンベラックの評価条件
(フレーム (シェル要素))

記号	単位	数値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-8 中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）ボンベラックの評価条件
（フレーム取付溶接部）

記号	単位	数値

表 6-9 中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）ボンベラックの評価条件
（フレーム接続ボルト）

記号	単位	数値

表 6-10 中央制御室待避所加圧設備（空気ボンベ）ボンベラックの評価条件
（取付ボルト）

記号	単位	数値

表 6-11 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードルの評価条件（フレーム）

記号	単位	数値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-12 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードルの評価条件
（固定端溶接部）

記号	単位	数値

表 6-13 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードルの評価条件
（取付ボルト）

記号	単位	数値

6.2 計算数値

「4. 構造強度評価」及び「5. 波及的影響評価」における計算数値を表 6-14～6-26 に示す。

表 6-14 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの計算数値（フレーム）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
41	6.292×10^1	4.465×10^5	3.979×10^5	9.315×10^2	1.747×10^3	1.973×10^3

表 6-15 高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの計算数値
（フレーム取付溶接部）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
27	1.152×10^2	3.992×10^5	4.472×10^5	6.456×10^2	1.977×10^3	1.747×10^3

表 6-16 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの計算数値（フレーム）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
(A):30	0	6.936×10^5	3.496×10^4	0	1.668×10^2	3.528×10^3
(B):30	0	6.936×10^5	3.496×10^4	0	1.668×10^2	3.528×10^3

表 6-17 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの計算数値
（フレーム取付溶接部）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
(A):20	1.319×10^2	3.258×10^5	6.110×10^4	4.584×10^2	1.729×10^2	1.491×10^3
(B):20	5.647×10^1	3.257×10^5	2.932×10^4	1.269×10^3	1.254×10^2	1.490×10^3

表 6-18 代替高圧窒素ガス供給系高圧窒素ガスボンベラックの計算数値（取付ボルト）

接点番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
(A):30	1.113×10^5	5.828×10^4	9.767×10^5	1.755×10^2	3.720×10^3	4.263×10^2
(B):7	1.842×10^3	6.936×10^5	2.225×10^3	3.617×10^3	0	2.374×10^2

表 6-19 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの計算数値
（フレーム（はり要素））

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
36825	0	1.284×10^5	9.208×10^4	1.776×10^3	3.669×10^3	2.630×10^3

表 6-20 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの計算数値
（フレーム（シェル要素））

要素番号	M_x [N・mm/mm]	M_y [N・mm/mm]	M_{xy} [N・mm/mm]	F_x [N/mm]	F_y [N/mm]	F_{xy} [N/mm]
2161	4.013×10^3	-1.835×10^3	2.032×10^2	-32.10	-25.59	-9.606

表 6-21 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの計算数値
（フレーム取付溶接部）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
20865	-2.019×10^3	-2.078×10^5	-2.817×10^5	-2.691×10^3	-8.625×10^2	-2.684×10^3

表 6-22 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの計算数値
（フレーム接続ボルト）

要素番号	F_{bb} [N]	S_{b1} [N]	S_{b2} [N]
36813	2.757×10^3	1.164×10^2	4.313×10^2
2925	-3.792×10^2	1.485×10^4	5.413×10^3

表 6-23 中央制御室待避所加圧設備（空気ポンベ）ボンベラックの計算数値
（取付ボルト）

要素番号	F_{bb} [N]	S_{b1} [N]	S_{b2} [N]
26918	1.417×10^4	1.065×10^3	1.004×10^2
33087	2.119×10^3	6.126×10^3	3.845×10^3

表 6-24 緊急時対策所加圧設備（空気ポンベ）ボンベカードルの計算数値（フレーム）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
SS400:132	9.448×10^2	5.855×10^5	9.453×10^4	1.502×10^3	5.402×10^2	2.287×10^3
STKR400:190	5.231×10^4	5.536×10^5	7.786×10^4	2.094×10^2	3.849×10^2	1.215×10^3

表 6-25 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードルの計算数値
（固定端溶接部）

要素番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
116	1.345×10^2	2.460×10^6	8.945×10^4	5.140×10^3	3.171×10^2	8.325×10^3

表 6-26 緊急時対策所加圧設備（空気ボンベ）ボンベカードルの計算数値（取付ボルト）

接点番号	M_1 [N・mm]	M_2 [N・mm]	M_3 [N・mm]	R_1 [N]	R_2 [N]	R_3 [N]
138	1.076×10^6	1.535×10^6	1.969×10^4	1.365×10^4	6.033×10^3	1.220×10^3

6.3 使用材料の許容応力評価条件

「4. 構造強度評価」及び「5. 波及的影響評価」における使用材料の許容応力評価条件を表 6-27 に示す。

表 6-27 使用材料の許容応力評価条件(1/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
				周囲環境温度			
高圧窒素ガス供給系高圧 窒素ガスボンベ	溶接	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394
		フレーム取付 溶接部	STKR400	周囲環境温度	50	234	394
代替高圧窒素ガス 供給系高圧窒素 ガスボンベ	溶接	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394
		フレーム取付 溶接部	STKR400	周囲環境温度	50	234	394
	取付ボルト	取付ボルト	SS400 (40mm < t ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	211	394
中央制御室待避所 加圧設備 (空気ボンベ)	溶接 接続ボルト	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400
		フレーム取付 溶接部	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400
		フレーム 接続ボルト	SCM435 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	785	930
	取付ボルト	取付ボルト	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400

表 6-27 使用材料の許容応力評価条件 (2/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接	フレーム	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394
		フレーム	STKR400	周囲環境温度	50	234	394
		固定端溶接部	SS400 (t ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394
	取付ボルト	取付ボルト	SNB7 (t ≤ 63mm)	周囲環境温度	50	715	838

7. 評価結果

ポンベ設備の基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果を表 7-1 に示す。

構造強度評価及び波及的影響評価の結果、発生値は許容応力を満足しており、基準地震動 S_s による地震動に対して評価部位の健全性が維持されるとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

以上より、ポンベ設備は地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、重大事故等に対処するために必要な機能を維持するとともに当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

7.1 構造強度評価結果

ポンベ設備の構造強度評価結果を表 7-1 に示す。

7.2 波及的影響評価結果

ポンベ設備の波及的影響評価結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 構造強度評価結果及び波及的影響評価結果(1/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	応力分類	発生値*1 (MPa)	許容 応力 (MPa)	評価 結果	
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	溶接	フレーム	組合せ	72	276	○	
		フレーム 取付溶接部	せん断	60	159	○	
代替高圧窒素ガス 供給系高圧窒素 ガスポンベ	(A)	溶接	フレーム	組合せ	94	276	○
			フレーム 取付溶接部	せん断	51	159	○
		取付ボルト	取付ボルト	引張り	13	152*2	○
				せん断	6	117	○
	(B)	溶接	フレーム	組合せ	94	276	○
			フレーム 取付溶接部	せん断	51	159	○
		取付ボルト	取付ボルト	引張り	14	152*2	○
				せん断	1	117	○

注記 *1: 基準地震動 S_s に対する評価結果。

$$*2: f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$$

表 7-1 構造強度評価結果及び波及的影響評価結果(2/2)

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	応力分類	発生値* ¹ (MPa)	許容 応力 (MPa)	評価 結果
中央制御室待避所 加圧設備 (空気ボンベ)	溶接 接続ボルト	フレーム	組合せ	175	280	○
		フレーム 取付溶接部	せん断	80	161	○
		フレーム 接続ボルト	引張り	14	488* ²	○
			せん断	79	375	○
	取付ボルト	取付ボルト	引張り	71	168* ²	○
			せん断	36	129	○
緊急時対策所加圧設備 (空気ボンベ)	溶接	フレーム (SS400)	組合せ	82	276	○
		フレーム (STKR400)	組合せ	25	276	○
		固定端 溶接部	せん断	18	159	○
	取付ボルト	取付ボルト	引張り	54	440* ²	○
			せん断	31	338	○

注記 *1: 基準地震動 S_s に対する評価結果。

$$*2: f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$$

VI-2-別添 3-5 可搬型重大事故等対処設備のうち
その他設備の耐震計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 配置	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	11
3. 加振試験	11
3.1 基本方針	11
3.2 入力地震動	11
3.3 試験方法	11
3.4 試験結果	11
4. 構造強度評価	15
4.1 基本方針	15
4.2 評価部位	15
4.3 地震応答解析及び構造強度評価方法	15
4.4 荷重の組合せ及び許容応力	16
4.5 解析モデル及び諸元	18
4.6 固有周期	23
4.7 設計用地震力	25
4.8 計算方法	26
4.9 計算条件	27
5. 転倒評価	29
5.1 基本方針	29
5.2 評価部位	29
5.3 許容限界	29
5.4 評価方法	29
6. 機能維持評価	30
6.1 基本方針	30
6.2 評価部位	30
6.3 許容限界	30
6.4 評価方法	30
7. 波及的影響評価	32
7.1 基本方針	32
7.2 評価部位	32
7.3 許容限界	32
7.4 評価方法	32

8. 評価結果	33
8.1 構造強度評価	33
8.2 転倒評価	33
8.3 機能維持評価	33
8.4 波及の影響評価	33

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」（以下「別添 3-1」という。）にて設定している機能維持の設計方針に基づき、可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備が地震後において、基準地震動 S_s による地震力に対し、十分な機能維持を有するとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。その耐震評価は加振試験、構造強度評価、転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価により行う。なお、加振試験結果に基づき行う転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価により、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材に該当するスリング等が支持機能を喪失しないことを確認する。

2. 基本方針

別添 3-1 の「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり、その他設備の「2.1 配置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 配置

その他設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、表 2-1 に示す保管場所に保管する。

表 2-1 機器リスト (1/2)

機器名称	機器保管場所	保管状態
緊急時対策所可搬型 エリアモニタ	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	収納箱固縛
可搬型モニタリングポスト	第1保管エリア O.P. 約 62m	収納箱架台固縛
	第2保管エリア O.P. 約 62m	
	第4保管エリア O.P. 約 62m	
	緊急時対策建屋 O.P. 69.40m	本体固縛
可搬型ダスト・ よう素サンプラ	緊急時対策建屋(地下1階) O.P. 57.30m	収納箱固縛
γ線サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下1階) O.P. 57.30m	収納箱固縛
β線サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下1階) O.P. 57.30m	収納箱固縛
α線サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下1階) O.P. 57.30m	収納箱固縛
電離箱サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下1階) O.P. 57.30m	収納箱固縛
代替気象観測設備	第2保管エリア O.P. 約 62m	収納箱架台固縛
	第4保管エリア O.P. 約 62m	
可搬型計測器	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	収納箱固縛
	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	
酸素濃度計	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	収納箱固縛
	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	
二酸化炭素濃度計	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	収納箱固縛
	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	

表 2-1 機器リスト (2/2)

機器名称	機器保管場所	保管状態
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	制御建屋(地上2階) O.P. 19.50m	本体固縛
衛星電話設備(携帯型)	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	収納箱固縛
	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	
無線連絡設備(携帯型)	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	収納箱固縛
	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	
携行型通話装置	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	収納箱固縛
	緊急時対策建屋(緊急時対策所) O.P. 51.50m	
可搬型照明(SA)	制御建屋(中央制御室) O.P. 22.95m	本体固縛
小型船舶	第1保管エリア O.P. 約62m	本体固縛
	第4保管エリア O.P. 約62m	

2.2 構造概要

その他設備の構造は、別添3-1の「2.1 評価対象設備」に示す収納箱固縛、収納箱架台固縛及び本体固縛の構造計画としており、その他設備の代表の構造計画を表2-2～表2-4に、保管状態図を図2-1～図2-3に示す。

表 2-2 その他設備の構造計画（収納箱固縛）

設備名称	計画の概要 (可搬型計測器の例)		説明図
	主体構造	支持構造	
可搬型計測器*	可搬型計測器及びこれを収納する収納箱で構成する。	緩衝材を内装した収納箱に可搬型計測器を収納し、スリングを用いて固縛する。スリングは床に基礎ボルトで固定する。	図 2-1

注記 * : その他の設備は、表 2-1 参照。

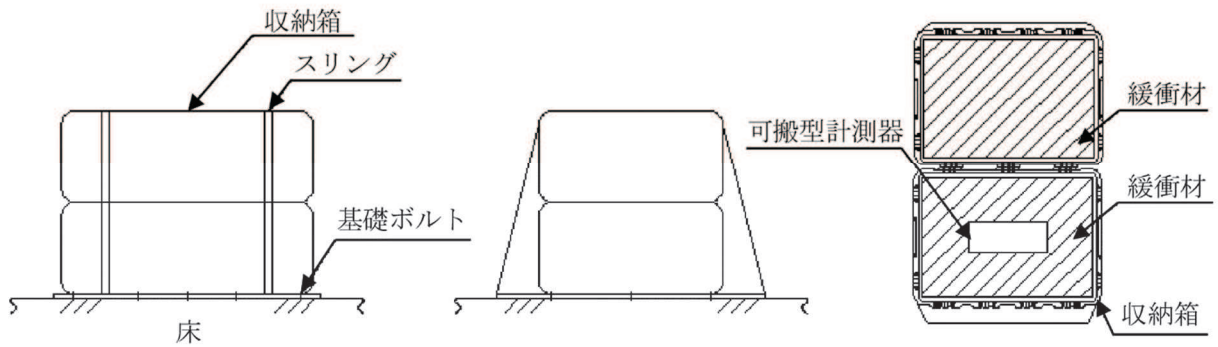
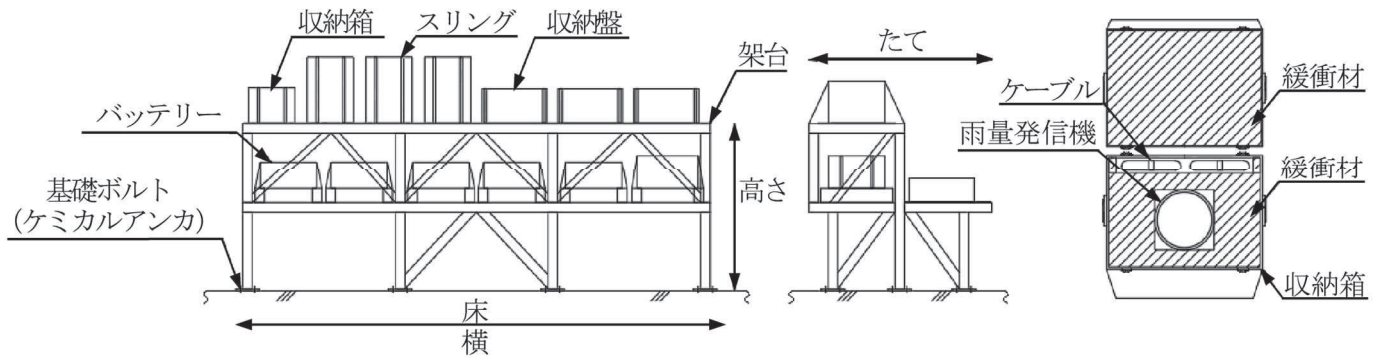


図 2-1 可搬型計測器の保管状態図

表 2-3 その他設備の構造計画（収納箱架台固縛）

設備名称	計画の概要 (代替気象観測設備の例)		説明図
	主体構造	支持構造	
代替気象観測設備*	代替気象観測設備（雨量，日射量，放射収支，風向風速発信器）を収納する収納箱で構成する。	緩衝材を内装した収納箱に代替気象観測設備を収納し，収納箱を架台にスリングで固縛する。架台は床に基礎ボルトで固定する。	図 2-2

注記 *：その他の設備は，表 2-1 参照。



	架台 1-1	架台 1-2	架台 2-1	架台 2-2
たて	約 1920 mm	約 1920 mm	約 950 mm	約 950 mm
横	約 5050 mm	約 5050 mm	約 1530 mm	約 1530 mm
高さ	約 1770 mm	約 1770 mm以下	約 1570 mm	約 1570 mm以下

図 2-2 代替気象観測設備の保管状態図

表 2-4 その他設備の構造計画（本体固縛）

設備名称	計画の概要 (主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池の例)		説明図
	主体構造	支持構造	
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池*	主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池で構成する。	主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池を取付金具で固縛し、床に基礎ボルトで固定する。	図 2-3

注記 * : その他の設備は、表 2-1 参照。

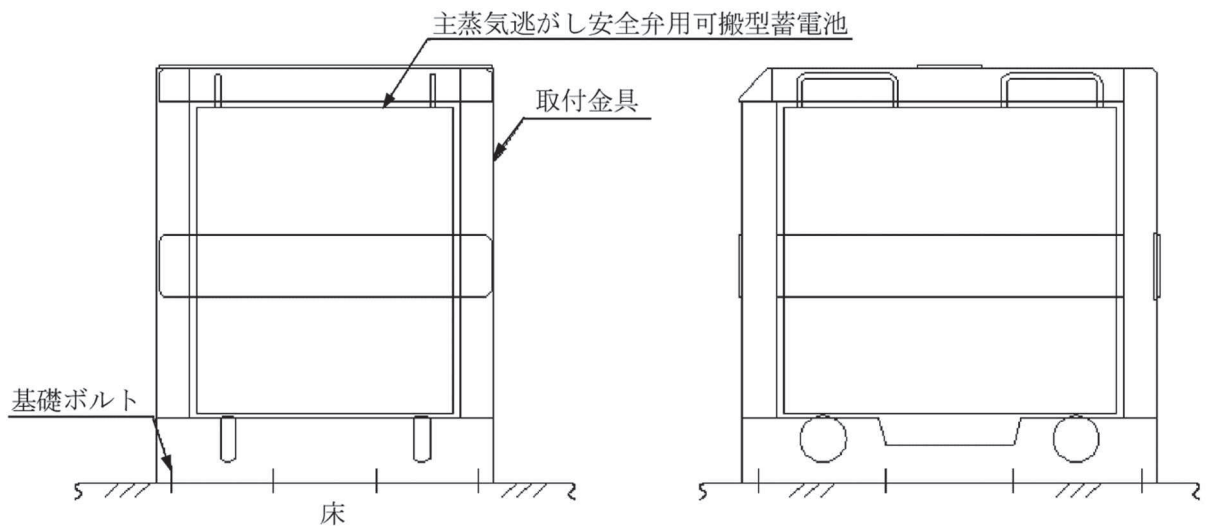


図 2-3 主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池の保管状態図

2.3 評価方針

その他設備の評価方針を以下に示し、評価方法の一覧を表 2-5 に、耐震評価フローを図 2-4 及び図 2-5 に示す。なお、評価方法として、収納箱架台固縛対象設備は架台の応力計算及び加振試験により、収納箱固縛及び本体固縛対象設備は加振試験により評価を実施する。

2.3.1 構造強度評価

その他設備の架台は、別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した構造強度評価の方針に従い、基礎ボルトに対する構造強度評価を実施する。

その他設備の架台の構造強度評価は、「2.2 構造概要」のうち表 2-3 及び図 2-2 にて示す架台 1-1～架台 2-2 の部位を踏まえ「4.2 評価部位」にて設定する箇所に作用する応力等が、「4.4 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重の組合せ及び許容限界を満足することを、「4.3 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

また、構造強度評価結果を基に、その他設備の架台が転倒しないこと及び波及的影響を及ぼさないことを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

2.3.2 転倒評価

その他設備は、別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した転倒評価の方針に従い、転倒評価を実施する。

その他設備の転倒評価は、「5. 転倒評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における加振試験にて、試験後に転倒していないことを確認し、保管場所の設置床又は地表面の最大応答加速度と、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

2.3.3 機能維持評価

その他設備は、別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した機能維持評価の方針に従い、動的及び電氣的機能並びに支持機能維持評価を実施する。

その他設備の機能維持評価は、「6. 機能維持評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における加振試験にて、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、試験後に計測機能、給電機能等の動的及び電氣的機能並びに支持機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

2.3.4 波及的影響評価

その他設備は、別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した波及的影響評価の方針に従い、波及的影響評価を実施する。

その他設備の波及的影響評価は、「7. 波及的影響評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における加振試験にて、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、スリング等が健全であり転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容

限界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

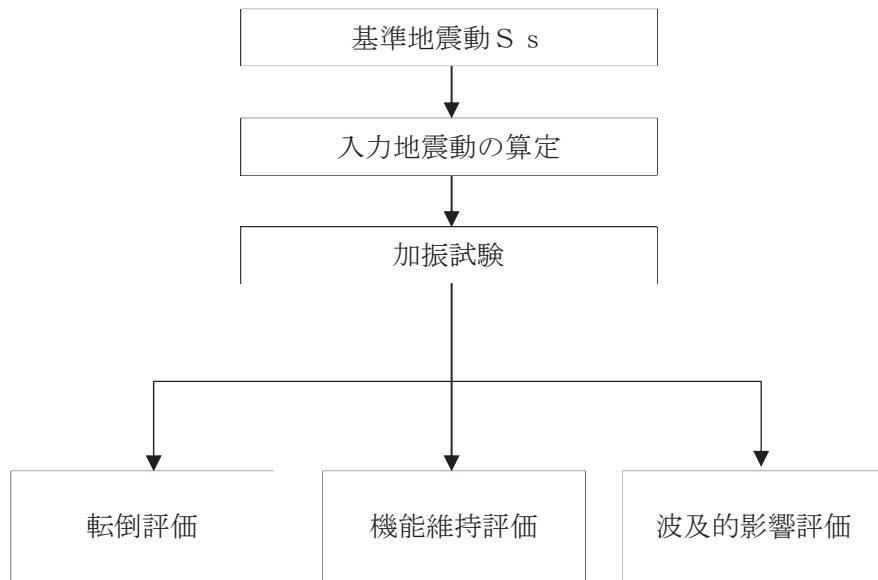


図 2-4 その他設備の耐震評価フロー

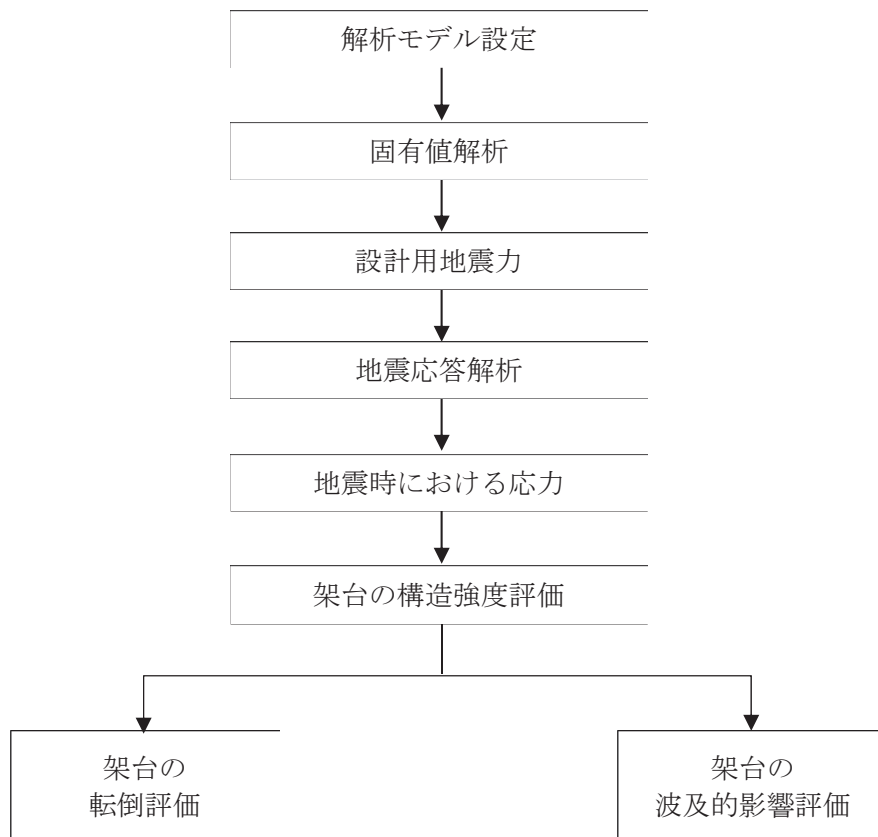


図 2-5 その他設備の架台の耐震評価フロー

表 2-5 その他設備の評価方法 (1/2)

機器名称	保管状態	構造強度 評価	転倒評価	機能維持 評価	波及的 影響評価	加振方向
可搬型モニタリングポスト*1 代替気象観測設備	収納箱架台 固縛	架台の 応力計算	加振試験 + 架台の 応力計算	加振試験	加振試験 + 架台の 応力計算	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
						「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
緊急時対策所可搬型エアモニタ	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
可搬型ダスト・よう素サンプリャ	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
γ線サーベイメータ	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
β線サーベイメータ	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
α線サーベイメータ	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
電離箱サーベイメータ	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
可搬型計測器	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
酸素濃度計	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」

表 2-5 その他設備の評価方法 (2/2)

機器名称	保管状態	構造強度 評価	転倒評価	機能維持 評価	波及的 影響評価	加振方向
二酸化炭素濃度計	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
酸素濃度計	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
二酸化炭素濃度計	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
衛星電話設備 (携帯型)	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
無線連絡設備 (携帯型)	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
携行型通話装置	収納箱固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
可搬型モニタリングポスト*2	本体固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	本体固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
可搬型照明 (SA)	本体固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平単独 2 方向及び鉛直単独」
小型船舶	本体固縛	—	加振試験	加振試験	加振試験	「水平 (前後方向) + 鉛直」及び 「水平 (左右方向) + 鉛直」

注記 *1：第 1 保管エリア，第 2 保管エリア及び第 4 保管エリアに保管。

*2：緊急時対策建屋 (地上 2 階) に保管。

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (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。)
- (5) 日本産業規格
- (6) 鋼構造設計基準

3. 加振試験

3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.3(1) 加振試験」にて設定した基本方針に従い、加振試験を実施する。

加振試験は、以下の「3.2 入力地震動」に示す入力地震動を用いて、「3.3 試験方法」に示す方法により、「5. 転倒評価」、「6. 機能維持評価」、「7. 波及的影響評価」に用いる加振台の最大加速度を求める。

3.2 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に示す、各保管場所の基準地震動 S_s に基づき作成する設備評価用床応答曲線を包絡するよう作成したランダム波又は各保管場所の最大応答加速度 (ZPA) を上回る加速度の正弦波若しくはサインビート波とする。

3.3 試験方法

その他設備を実際の設置状態を模擬した状態で加振台に設置し、「3.2 入力地震動」に示すランダム波又は正弦波若しくはサインビート波を入力地震動として加振試験を行い、スリング等が有効に機能することで、加振試験後に転倒していないこと及び加振台の最大加速度を確認する。

- ・加振波 : 「3.2 入力地震動」にて設定したランダム波又は正弦波若しくはサインビート波
- ・加振方向 : 【ランダム波】

「水平 (前後方向) + 鉛直」及び「水平 (左右方向) + 鉛直」
 【正弦波, サインビート波】
 「水平単独 2 方向及び鉛直単独」

3.4 試験結果

加振試験により得られた結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 加振試験結果 (1/3)

機器名称	保管場所	保管状態	転倒の有無	加振台の 最大加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
				水平	鉛直
緊急時対策所可搬型エリアモニタ	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O.P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	第 1 保管エリア O.P. 約 62m	収納箱架台固縛	無	2.47	1.24
	第 2 保管エリア O.P. 約 62m	収納箱架台固縛	無	2.47	1.24
	第 4 保管エリア O.P. 約 62m	収納箱架台固縛	無	2.47	1.24
可搬型モニタリングポスト	緊急時対策建屋 O.P. 69.40m	本体固縛	無	3.26	2.13
可搬型ダスト・よう素サンプラ	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.76	2.73
	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
γ 線サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
β 線サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
α 線サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
電離箱サーベイメータ	緊急時対策建屋(地下 1 階) O.P. 57.30m	収納箱固縛	無	3.73	2.72

表 3-1 加振試験結果 (2/3)

機器名称	保管場所	保管状態	転倒の有無	加振台の 最大加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
				水平	鉛直
代替気象観測設備	第 2 保管エリア O. P. 約 62m	収納箱架台固縛	無	2.59	1.37
	第 4 保管エリア O. P. 約 62m	収納箱架台固縛	無	2.59	1.37
可搬型計測器	制御建屋(中央制御室) O. P. 22.95m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所)O. P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
酸素濃度計	制御建屋(中央制御室) O. P. 22.95m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所)O. P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
二酸化炭素濃度計	制御建屋(中央制御室) O. P. 22.95m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所)O. P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	制御建屋(地上 2 階) O. P. 19.50m	本体固縛	無	3.50	2.57

表 3-1 加振試験結果 (3/3)

機器名称	保管場所	保管状態	転倒の有無	加振台の最大加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
				水平	鉛直
衛星電話設備 (携帯型)	制御建屋 (中央制御室) O. P. 22.95m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O. P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
無線連絡設備 (携帯型)	制御建屋 (中央制御室) O. P. 22.95m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O. P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
携行型通話装置	制御建屋 (中央制御室) O. P. 22.95m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O. P. 51.50m	収納箱固縛	無	3.73	2.72
可搬型照明 (SA)	制御建屋 (中央制御室) O. P. 約 22.95m	本体固縛	無	3.70	2.73
	第 1 保管エリア O. P. 約 62m	本体固縛	無	3.38	2.08
小型船舶	第 4 保管エリア O. P. 約 62m	本体固縛	無	3.38	2.08

注記* : 基準地震動 S s に対する加振試験により得られた試験結果。

4. 構造強度評価

4.1 基本方針

その他設備の架台の構造強度評価は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価方針に従って、構造強度評価を実施する。

その他設備の架台の構造強度評価は、「2.2 構造計画」のうち表 2-3 及び図 2-2 にて示す架台 1-1～架台 2-2 の部位を踏まえ「4.2 評価部位」にて設定する箇所に作用する応力等が、「4.4 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重の組合せ及び許容限界を満足することを、「4.3 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。なお、構造強度評価は架台 1-1 及び架台 2-1 に対して実施する。

4.2 評価部位

その他設備の架台の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価部位に従って基礎ボルトとする。

4.3 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 固有周期及び荷重を求めるため、その他設備の架台を構成する鋼材をはり要素としてモデル化した 3 次元 FEM モデルにより固有値解析を行い、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した上で、1.2 倍した設置床又は地表面の最大応答加速度を用いた静解析を実施する。
- (2) 架台は、各保管場所の床面に設置され、基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (3) 解析モデルの質量には、保管対象物の質量と架台自身の質量を考慮する。
- (4) 架台の構造強度評価は、図 2-2 にて示す架台 1-1～架台 2-2 のうち、重心位置が高い架台 1-1 及び架台 2-1 を代表として実施する。なお、架台 1-1 及び架台 1-2 には代替気象観測設備、架台 2-1 及び架台 2-2 には可搬型モニタリングポストを保管する。

4.4 荷重の組合せ及び許容応力

その他設備の架台の構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力は、別添 3-1 の「3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で設定した荷重の組合せ及び許容応力状態を用いる。

4.4.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

その他設備の架台の構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 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）

設備名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他設備（架台）	—	—*	D + S _s	IV _A S

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。

4.4.2 許容応力

その他設備の架台の基礎ボルトの許容応力は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価部位の破断延性限界を考慮し、別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界に従い、許容応力状態 IV_AS の許容応力とする。

各評価部位の許容応力を表 4-2 に示す。

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	
	一次応力	
	引張り*3	せん断*3
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1： f_t^* 、 f_s^* は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a 本文中 Sy 及び Sy (RT) を $1.2 \cdot Sy$ 及び $1.2 \cdot Sy$ (RT) と読み替えて算出した値（設計・建設規格 SSB-3133）。ただし、Sy 及び $0.7 \cdot Su$ のいずれか小さい方の値とする。

*2：J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

3：ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は、設計・建設規格 SSB-3131 に基づき、 $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ とする。ここで、 f_{to} は $1.5 \cdot f_t^$ とする。

4.4.3 使用材料の許容応力評価条件

その他設備の架台の許容応力評価条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 その他設備の架台の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

設備名称	評価部材	ボルト材質	温度条件(°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
			周囲環境温度			
架台 1-1	基礎ボルト	SS400 (16 mm<径≦ 40 mm)	周囲環境温度	40	235	400
架台 2-1	基礎ボルト	SS400 (16 mm<径≦ 40 mm)	周囲環境温度	40	235	400

4.5 解析モデル及び諸元

解析モデルを図 4-1、図 4-2 に、解析モデルの諸元を表 4-4 に、外形図を図 4-3、図 4-4 に示す。

- (1) 図 4-1、図 4-2 中の△は拘束節点を示す。
- (2) 図 4-1、図 4-2 中の青線は角形鋼管を、赤線は山形鋼を、緑線はH形鋼を、橙線は溝形鋼を示す。破線は荷重振分用の剛体を示す。
- (3) 架台上に保管される機器の質量は、その重心高さを剛体により模擬した集中質量として付加する。また、鋼板の質量は柱・梁の交点に集中質量として付加する。質量付加位置を■で示す。
- (4) 架台は、基礎ボルトにより床面に固定されることから、解析モデルでは各基礎ボルトの位置で完全拘束（XYZ 並進拘束，XYZ 軸回り拘束）とする。
- (5) 部材の応力算出に必要な機器要目を表 4-5 に示す。
- (6) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN 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。

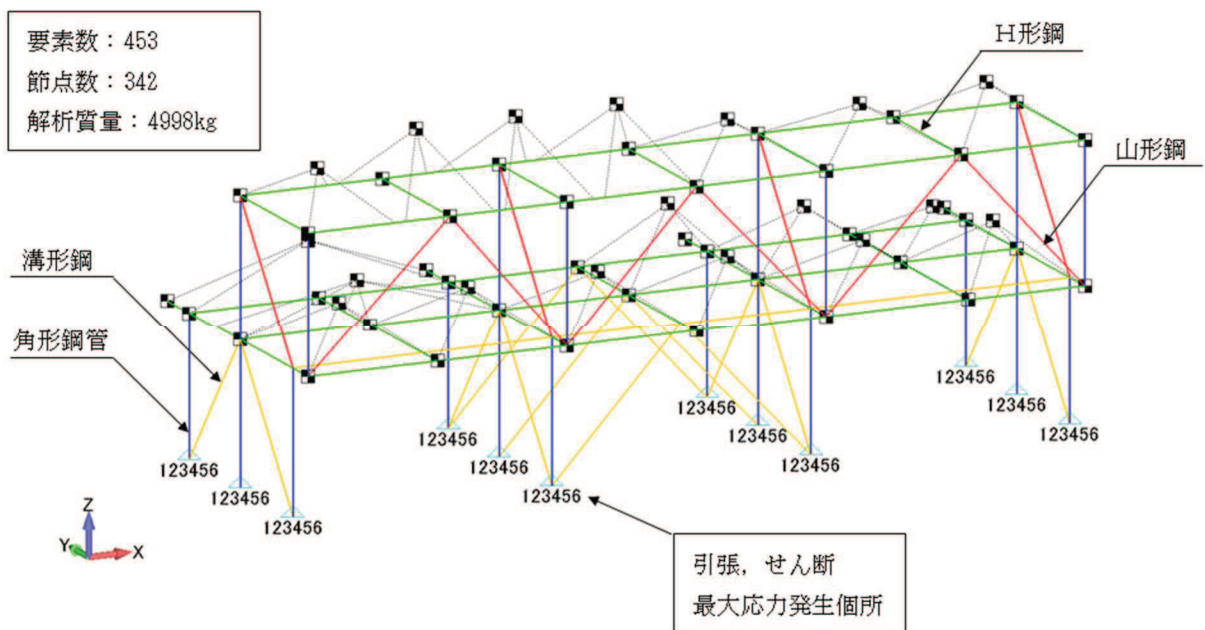


図 4-1 架台 1-1 解析モデル

要素数：120
節点数：92
解析質量：1153kg

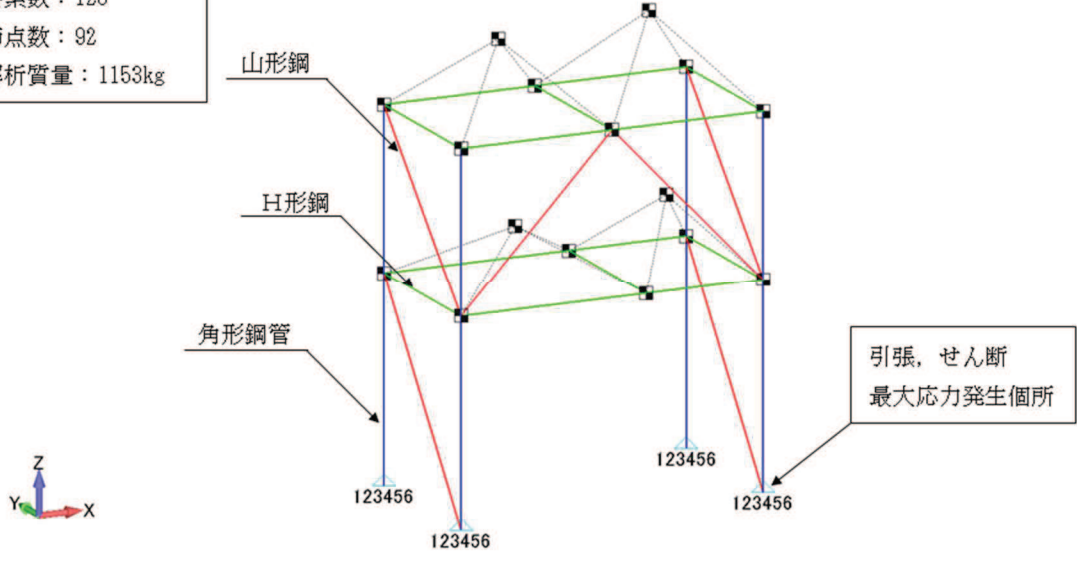


図 4-2 架台 2-1 解析モデル

表 4-4 解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値	
材質 (架台本体)	—	—	SS400, STKR400	
材質 (基礎ボルト)	—	—	SS400	
温度条件	T	℃	SS400	40
			STKR400	40
縦弾性係数	E	MPa	SS400	2.02×10^5
			STKR400	2.02×10^5
ポアソン比	ν	—	SS400	0.3
			STKR400	0.3

表 4-5 部材の機器要目 (1/3)

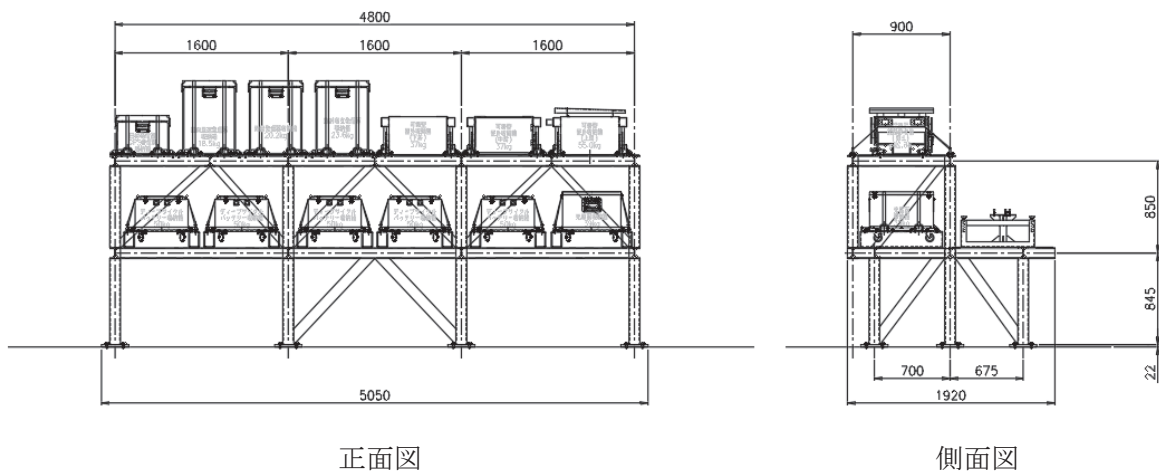
架台			架台 1-1			
部材			角型鋼管	H形鋼	溝形鋼	山形鋼
材質			STKR400	SS400	SS400	SS400
寸法		mm	100×100×6	100×100×6 ×8	100×50×5 ×7.5	65×65×6
断面積	A	mm ²	2.163×10^3	2.159×10^3	1.192×10^3	752.7
断面二次 モーメント	Iz	mm ⁴	3.110×10^6	3.780×10^6	1.880×10^6	2.940×10^5
	Iy	mm ⁴	3.110×10^6	1.340×10^6	2.600×10^5	2.940×10^5
ねじり定数	J	mm ⁴	4.980×10^6	4.020×10^4	1.760×10^4	8.928×10^3
有効せん断 面積	Aey	mm ²	912.0	504.0	425.0	354.0
	Aez	mm ²	912.0	1.600×10^3	750.0	354.0

表 4-5 部材の機器要目 (2/3)

架台			架台 2-1		
部材			角型鋼管	H形鋼	山形鋼
材質			STKR400	SS400	SS400
寸法		mm	100×100×6	100×100×6 ×8	65×65×6
断面積	A	mm ²	2.163×10^3	2.159×10^3	752.7
断面二次 モーメント	Iz	mm ⁴	3.110×10^6	3.780×10^6	2.940×10^5
	Iy	mm ⁴	3.110×10^6	1.340×10^6	2.940×10^5
ねじり定数	J	mm ⁴	4.980×10^6	4.020×10^4	8.928×10^3
有効せん断 面積	Aey	mm ²	912.0	504.0	354.0
	Aez	mm ²	912.0	1.600×10^3	354.0

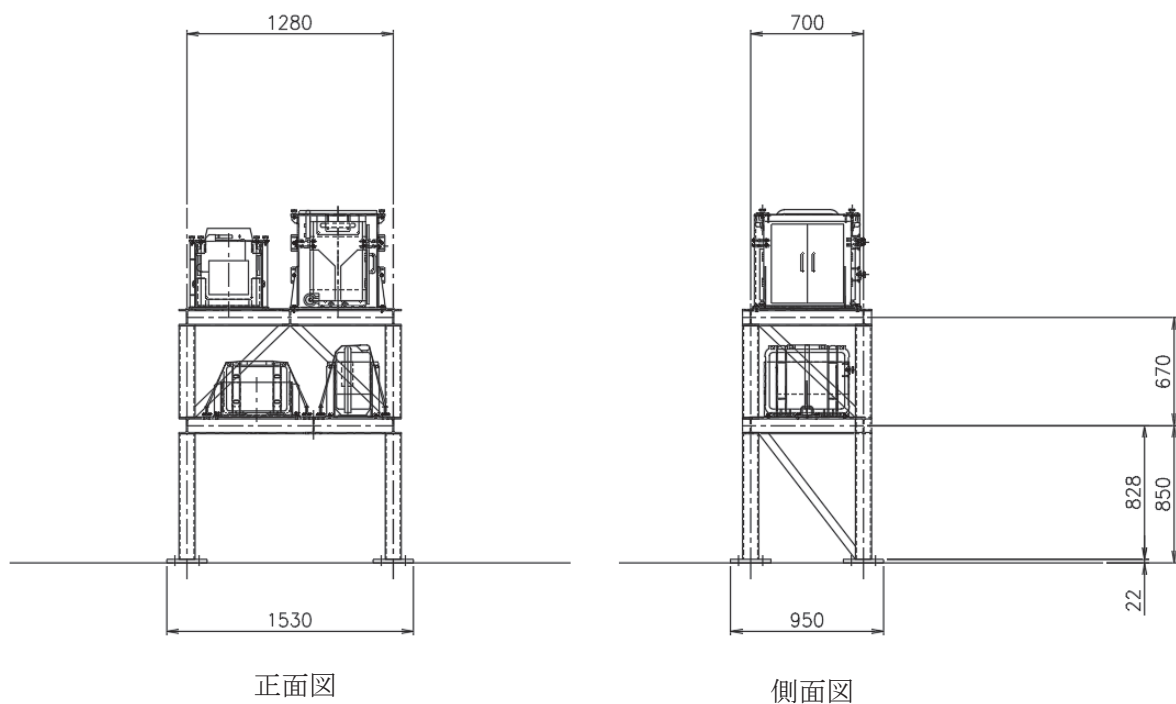
表 4-5 部材の機器要目 (3/3)

架台		全架台共通
部材		基礎ボルト
材質		SS400
呼び径	mm	M20
呼び径 断面積	mm ²	314.2
備考	—	全ねじ ボルト



(単位：mm)

図 4-3 架台 1-1 外形図



(単位：mm)

図 4-4 架台 2-1 外形図

4.6 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6，表 4-7 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。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。図 4-5 に架台 1-1 の振動モード，図 4-6 に架台 2-1 の振動モードを示し，図中の青線は角型鋼管を，赤線は山形鋼を，緑線はH形鋼を，橙線は溝形鋼を示す。

表 4-6 架台 1-1 固有値解析結果

モード	固有周期(s)	卓越方向
1 次	0.030	水平

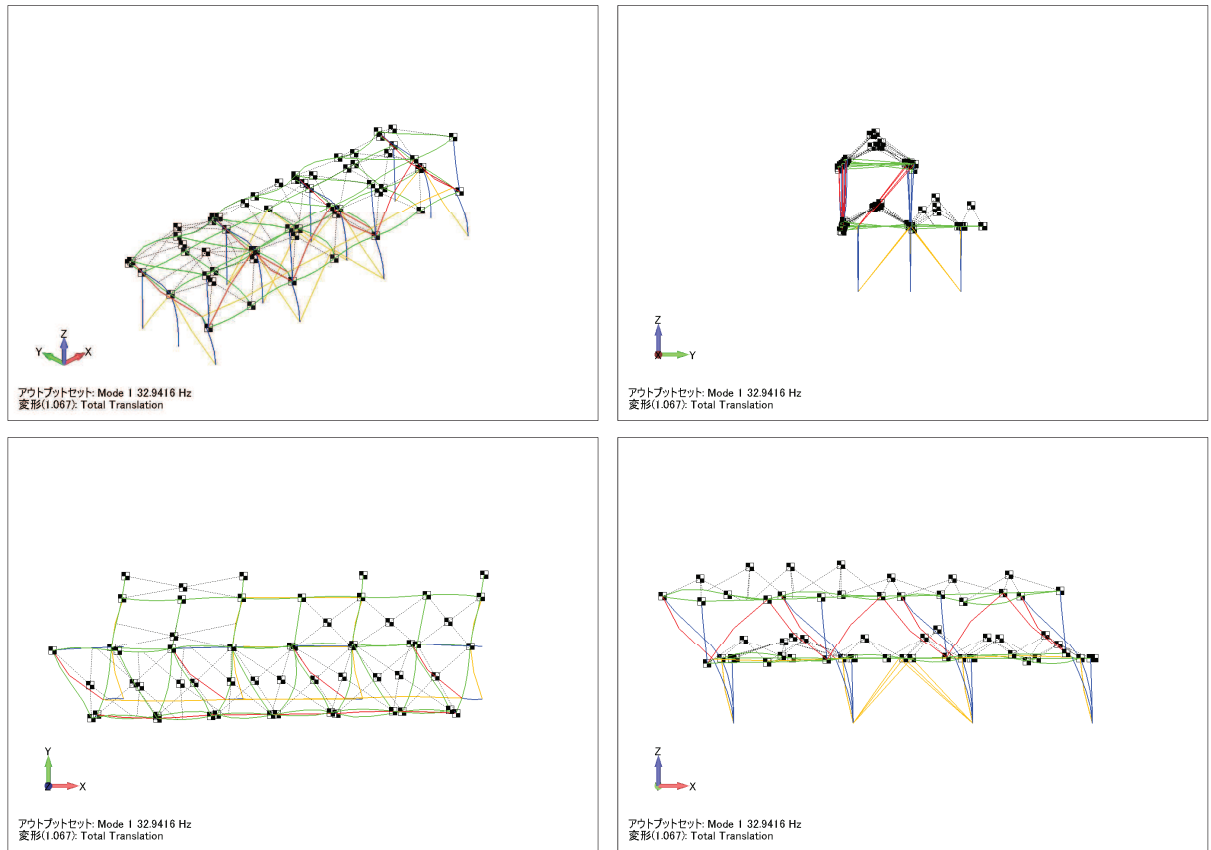


図 4-5 架台 1-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.030s)

表 4-7 架台 2-1 固有値解析結果

モード	固有周期(s)	卓越方向
1次	0.041	水平

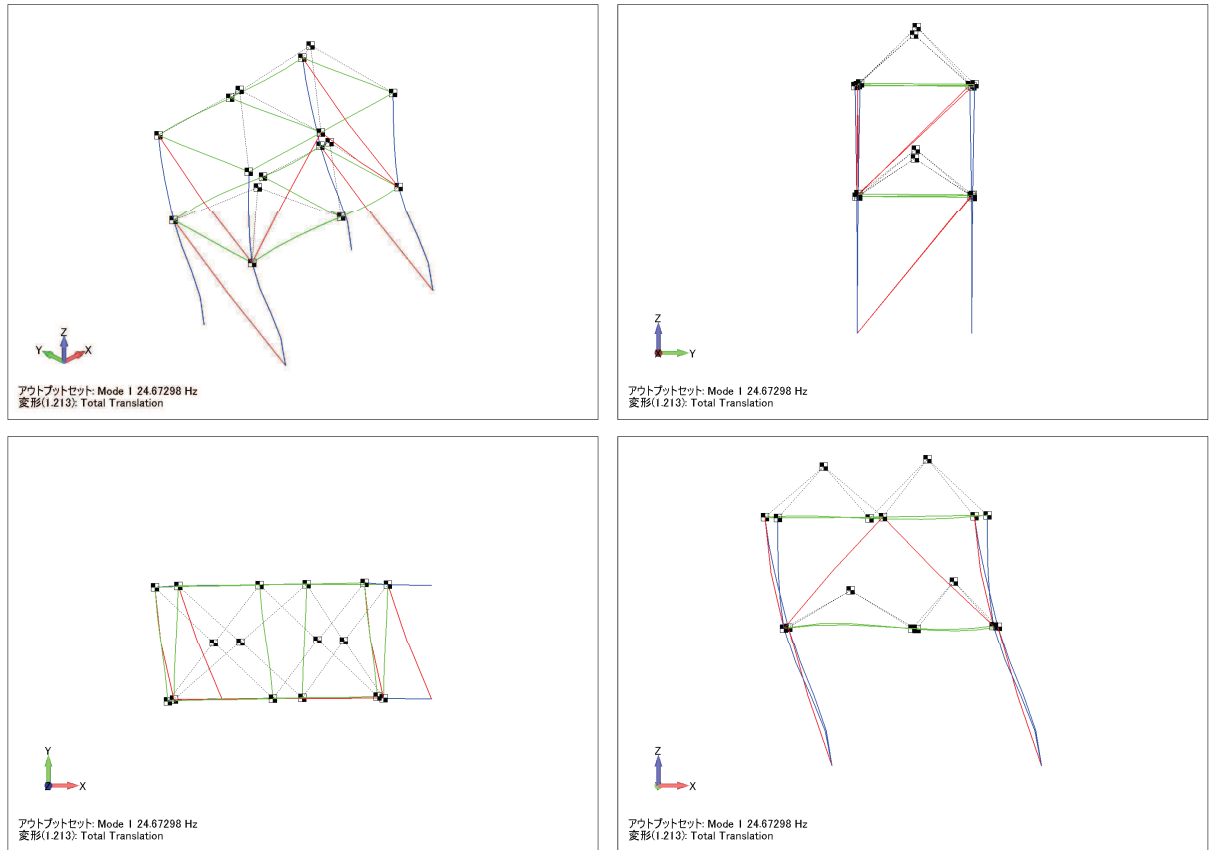


図 4-6 架台 2-1 振動モード (1次モード 水平方向 0.041s)

4.7 設計用地震力

構造強度評価にて荷重を算出する際に用いる設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づき設定する。評価に用いる設計用地震力を表 4-8、表 4-9 に示す。

表 4-8 架台 1-1 の設計用地震力（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 *3	鉛直方向 設計震度 *3
第 2 保管エリア (O.P. 約 62*1)	0.030	0.05 以下*2	$C_H=1.74$	$C_V=0.82$

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。

*3：設計震度は添付書類「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づく。なお、第 2 保管エリアと第 4 保管エリアを包絡する値を設計震度とする。

表 4-9 架台 2-1 の設計用地震力（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 *3	鉛直方向 設計震度 *3
第 2 保管エリア (O.P. 約 62*1)	0.041	0.05 以下*2	$C_H=1.74$	$C_V=0.82$

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。

*3：設計震度は添付書類「VI-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づく。なお、第 1 保管エリアと第 2 保管エリアと第 4 保管エリアを包絡する値を設計震度とする。

4.8 計算方法

構造強度評価に使用する記号を表 4-10 に示す。

表 4-10 構造強度評価に使用する記号

記号	単位	定義
C_H	—	設計用水平震度
C_V	—	設計用鉛直震度
σ_b	MPa	基礎ボルトの最大引張応力
T	N	ボルトに作用する引張力
n	—	1 要素あたりのボルト本数
A_b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
M_y	N・mm	要素座標系 y 軸まわりに作用する曲げモーメント
n_y	—	要素座標系 y 軸まわりに作用する曲げモーメントを受けるボルト本数
L_z	mm	要素座標系 z 方向のボルトピッチ
M_z	N・mm	要素座標系 z 軸まわりに作用する曲げモーメント
n_z	—	要素座標系 z 軸まわりに作用する曲げモーメントを受けるボルト本数
L_y	mm	要素座標系 y 方向のボルトピッチ
τ_b	MPa	基礎ボルトの最大せん断応力
Q_y	N	ボルトに作用する要素座標系 y 軸方向のせん断力
Q_z	N	ボルトに作用する要素座標系 z 軸方向のせん断力
M_x	N・mm	要素座標系 x 軸まわりに作用するねじりモーメント
L	mm	中立軸とボルト位置の距離

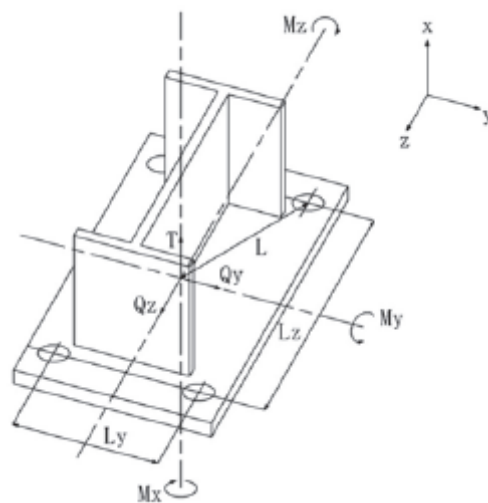
FEM 解析を実施し、得られる荷重及び応力を用いて、基礎ボルトの応力計算を行う。
ボルトの応力を以下のとおり計算する。

引張応力及び組合せ応力

$$\sigma_b = \frac{T}{nA_b} + \frac{M_y}{n_y L_z A_b} + \frac{M_z}{n_z L_y A_b}$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{Q_y^2 + Q_z^2}}{nA_b} + \frac{M_x}{nLA_b}$$



4.9 計算条件

構造強度評価に用いる評価条件を表 4-11 に示す。

表 4-11 その他設備の架台の評価条件 (1/2)

設備名称	据付場所	評価部位	ボルト材質	C _H	C _V	T (N)	n	A _b (mm ²)	M _y (N・mm)	n _y	L _z (mm)	M _z (N・mm)	n _z	L _y (mm)
架台 1-1	第 2 保管 エリア	基礎 ボルト	SS400	1.74	0.82	2.312 × 10 ⁴	4	314.2	5.022 × 10 ³	2	150	5.083 × 10 ⁵	2	150
				1.74										

表 4-11 その他設備の架台の評価条件 (2/2)

設備名称	据付場所	評価部位	ボルト材質	Q_y (N)	Q_z (N)	A_b (mm^2)	n	M_x ($\text{N}\cdot\text{mm}$)	L (mm)
架台 1-1	第 2 保管 エリア	基礎 ボルト	SS400	508.3	2.038 $\times 10^4$	314.2	4	1.968 $\times 10^5$	106
架台 2-1				8.966 $\times 10^3$	322.1			4.872 $\times 10^4$	

5. 転倒評価

5.1 基本方針

その他設備は、別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した評価方針に従い、転倒評価を実施する。

その他設備の転倒評価は、「5.2 評価部位」に示す評価部位が、「5.3 許容限界」に示す許容限界を満足することを、「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価部位

転倒評価の評価部位は、別添 3-1 の「4.3 その他設備」にて設定したとおり、地震後に転倒していないことが要求されるその他設備全体とする。

5.3 許容限界

許容限界は、「5.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験によりスリング等が健全であり転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

5.4 評価方法

その他設備の転倒評価は、別添 3-1 の「4.3(3) 転倒評価」にて設定した評価方法に従い、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にて転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

6. 機能維持評価

6.1 基本方針

その他設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

その他設備の機能維持評価は、「6.2 評価部位」に示す評価部位が、「6.3 許容限界」に示す許容限界を満足することを、「6.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6.2 評価部位

機能維持評価の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す確認方法を踏まえて、地震後に計測機能、給電機能等の動的及び電氣的機能並びにスリング等の支持機能を維持できることが要求される機器全体とする。

6.3 許容限界

許容限界は、「6.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所における設置床又は地表面の最大応答床加速度が、加振試験により動的及び電氣的機能並びに支持機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

6.4 評価方法

その他設備の機能維持評価は、別添 3-1 の「4.3(4) 機能維持評価」にて設定した評価方針に従い、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にて得られた、表 6-1 に示す機能維持確認項目を確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

表 6-1 機能維持確認項目

機器名称	機能維持確認項目
緊急時対策所可搬型エリアモニタ 可搬型モニタリングポスト 電離箱サーベイメータ γ 線サーベイメータ	放射線量の測定が可能なこと
β 線サーベイメータ α 線サーベイメータ	放射性物質の濃度の測定が可能なこと
可搬型ダスト・よう素サンプラ	空気中の放射性物質を採取可能なこと
代替気象観測設備	気象条件の測定が可能なこと
可搬型計測器	電力供給ができ、出力を測定可能なこと
酸素濃度計	酸素の濃度の測定が可能なこと
二酸化炭素濃度計	二酸化炭素の濃度の測定が可能なこと
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	負荷に給電可能なこと
衛星電話設備（携帯型） 無線連絡設備（携帯型） 携行型通話装置	発信・着信ができ通話が可能なこと
可搬型照明（SA）	照明が点くこと
小型船舶	水上での走行ができること

7. 波及的影響評価

7.1 基本方針

その他の設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響評価を実施する。

その他設備の波及的影響評価は、「7.2 評価部位」に示す評価部位が、「7.3 許容限界」に示す許容限界を満足することを、「7.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

7.2 評価部位

波及的影響評価の対象部位は、別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり、その他の設備全体とする。

7.3 許容限界

許容限界は、「7.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験によりスリング等の支持機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

7.4 評価方法

その他設備の波及的影響評価は、別添 3-1 の「4.3(5) 波及的影響評価」にて設定した評価方針に従い、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にてスリング等の支持機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

8. 評価結果

その他設備の基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果を以下に示す。

構造強度評価の結果，その他設備を設置する架台の基礎ボルトの発生値は許容応力を満足しており，基準地震動 S_s による地震力に対して評価部位の健全性が維持されることを確認した。

その他設備を設置する架台の健全性が維持されることにより，基準地震動 S_s による地震力に対し，転倒しないこと及び当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

転倒評価の結果，保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が，加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であり，転倒しないことを確認した。また，加振試験後にスリング等が健全であることを確認した。

機能維持評価の結果，保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が，加振試験により動的及び電氣的機能並びに支持機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であり，基準地震動 S_s による地震力に対し，機能が維持されることを確認した。

波及的影響評価の結果，保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が，加振試験によりスリング等の支持機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であり，当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

以上より，その他設備は地震後において，基準地震動 S_s による地震力に対し，重大事故等に対処するために必要な機能を維持するとともに波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

8.1 構造強度評価

その他設備の架台の構造強度評価結果を表 8-1 に示す。

8.2 転倒評価

その他設備の転倒評価結果を表 8-2～表 8-4 に示す。

8.3 機能維持評価

その他設備の機能維持評価結果を表 8-2～表 8-4 に示す。

8.4 波及的影響評価

その他設備の波及的影響評価結果を表 8-2～表 8-4 に示す。

表 8-1 その他設備の架台の構造強度評価結果

機器名称 (据付場所)	評価部位	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
架台 1-1 (第 2 保管エリア)	基礎ボルト	引張り	24	168*
		せん断	18	129
架台 2-1 (第 2 保管エリア)	基礎ボルト	引張り	34	168*
		せん断	8	129

全て許容応力以下である。

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

表 8-2 基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果 (ランダム波加振試験)

機器名称	機器保管場所	方向	保管場所 の最大応 答加速度	加振台の 最大 加速度	転倒 評価	機能 維持 評価	波及 的 影響 評価
			(×9.8 m/s ²)				
小型船舶	第 1 保管エリア O.P. 約 62m	水平	0.81	3.38	○	○	○
		鉛直	0.57	2.08			
	第 4 保管エリア O.P. 約 62m	水平	0.92	3.38	○	○	○
		鉛直	0.59	2.08			

(凡例) ○ : 各項目の評価の結果, 良であることを確認した。

表 8-3 基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果（正弦波加振試験）（1/2）

機器名称	機器保管場所	方向	保管場所 の最大応 答加速度	加振台の 最大 加速度	転倒 評価	機能 維持 評価	波及 的 影響 評価
			($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)				
緊急時対策所可搬型 エリアモニタ	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O.P. 51.50m	水平	0.74	3.73	○	○	○
		鉛直	0.63	2.72			
可搬型ダスト・よう 素サンプラ	緊急時対策建屋 (地下1階) O.P. 57.30m	水平	1.01	3.76	○	○	○
		鉛直	0.73	2.73			
γ線サーベイメータ	緊急時対策建屋 (地下1階) O.P. 57.30m	水平	1.01	3.73	○	○	○
		鉛直	0.73	2.72			
β線サーベイメータ	緊急時対策建屋 (地下1階) O.P. 57.30m	水平	1.01	3.73	○	○	○
		鉛直	0.73	2.72			
α線サーベイメータ	緊急時対策建屋 (地下1階) O.P. 57.30m	水平	1.01	3.73	○	○	○
		鉛直	0.73	2.72			
電離箱サーベイメー タ	緊急時対策建屋 (地下1階) O.P. 57.30m	水平	1.01	3.73	○	○	○
		鉛直	0.73	2.72			
酸素濃度計 (中央制御室用)	制御建屋 (中央制御室) O.P. 22.95m	水平	2.32	3.73	○	○	○
		鉛直	1.67	2.72			
酸素濃度計 (緊急時対策所用)	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O.P. 51.50m	水平	0.74	3.73	○	○	○
		鉛直	0.63	2.72			
二酸化炭素濃度計 (中央制御室用)	制御建屋 (中央制御室) O.P. 22.95m	水平	2.32	3.73	○	○	○
		鉛直	1.67	2.72			
二酸化炭素濃度計 (緊急時対策所用)	緊急時対策建屋 (緊急時対策所) O.P. 51.50m	水平	0.74	3.73	○	○	○
		鉛直	0.63	2.72			

(凡例) ○ : 各項目の評価の結果, 良であることを確認した。

表 8-3 基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果（正弦波加振試験）（2/2）

機器名称	機器保管場所	方向	保管場所 の最大応 答加速度	加振台の 最大 加速度	転倒 評価	機能 維持 評価	波及 的 影響 評価
			($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)				
衛星電話設備（携帯 型）	制御建屋 （中央制御室） O. P. 22. 95m	水平	2. 32	3. 73	○	○	○
		鉛直	1. 67	2. 72			
	緊急時対策建屋 （緊急時対策所） O. P. 51. 50m	水平	0. 74	3. 73	○	○	○
		鉛直	0. 63	2. 72			
無線連絡設備（携帯 型）	制御建屋 （中央制御室） O. P. 22. 95m	水平	2. 32	3. 73	○	○	○
		鉛直	1. 67	2. 72			
	緊急時対策建屋 （緊急時対策所） O. P. 51. 50m	水平	0. 74	3. 73	○	○	○
		鉛直	0. 63	2. 72			
携行型通話装置	制御建屋 （中央制御室） O. P. 22. 95m	水平	2. 32	3. 73	○	○	○
		鉛直	1. 67	2. 72			
	緊急時対策建屋 （緊急時対策所） O. P. 51. 50m	水平	0. 74	3. 73	○	○	○
		鉛直	0. 63	2. 72			
可搬型照明（SA）	制御建屋 （中央制御室） O. P. 22. 95m	水平	2. 32	3. 70	○	○	○
		鉛直	1. 67	2. 73			
可搬型計測器	制御建屋 （中央制御室） O. P. 22. 95m	水平	2. 32	3. 73	○	○	○
		鉛直	1. 67	2. 72			
	緊急時対策建屋 （緊急時対策所） O. P. 51. 50m	水平	0. 74	3. 73			
		鉛直	0. 63	2. 72			

（凡例） ○：各項目の評価の結果，良であることを確認した。

表 8-4 基準地震動 S_s による地震力に対する評価結果 (サインビート波加振試験)

機器名称	機器保管場所	方向	保管場所 の最大応 答加速度	加振台の 最大 加速度	転倒 評価	機能 維持 評価	波及 的 影響 評価
			(×9.8 m/s ²)				
可搬型モニタリング ポスト	第 1 保管エリア O.P. 約 62m	水平	0.81	2.47	○	○	○
		鉛直	0.57	1.24			
	第 2 保管エリア O.P. 約 62m	水平	1.33	2.47			
		鉛直	0.68	1.24			
	第 4 保管エリア O.P. 約 62m	水平	0.92	2.47			
		鉛直	0.59	1.24			
	緊急時対策建屋 O.P. 69.40m	水平	2.02	3.26			
		鉛直	1.24	2.13			
代替気象観測設備	第 2 保管エリア O.P. 約 62m	水平	1.33	2.59	○	○	○
		鉛直	0.68	1.37			
	第 4 保管エリア O.P. 約 62m	水平	0.92	2.59			
		鉛直	0.59	1.37			
主蒸気逃がし安全弁 用可搬型蓄電池	制御建屋 (地上 2 階) O.P. 19.50m	水平	1.90	3.50	○	○	○
		鉛直	1.44	2.57			

(凡例) ○ : 各項目の評価の結果, 良であることを確認した。

VI-2-別添 3-6 可搬型重大事故等対処設備の水平 2 方向及び鉛直方向
地震力の組合せに関する影響評価結果

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価方法	1
4. 評価結果	3
4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	3
4.2 建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討による機器・配管系への 影響の検討結果	4
4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	4
4.4 まとめ	5

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対する機能を保持できることを確認した可搬型重大事故等対処設備に対し、水平 2 方向及び鉛直方向の組合せによる地震力が与える影響について説明するものである。なお、耐震設計上の重大事故等対処施設の設備の分類に該当しない設備である可搬型重大事故等対処設備は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別記 2 において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を要求されていないが、確認を行うものである。

2. 基本方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針を踏まえて、可搬型重大事故等対処設備としての構造上及び保管方法の特徴を踏まえた抽出を行い、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

3. 評価方法

添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して、耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを評価対象設備として抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

影響評価のフローを図 3-1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

可搬型重大事故等対処設備のうち、基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度又は機能維持を確認する設備を評価対象とする。(図 3-1①)

(2) 構造上及び保管方法の特徴による抽出

可搬型重大事故等対処設備としての構造上及び保管方法の特徴から、水平 2 方向の地震力が重畳する観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上及び保管方法の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が 1 割程度以下となる設備を分類しているが、水平 1 方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が 1.1 未満の設備については、個別に検討を行うこととする。(図 3-1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向

地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。(図 3-1③)

(4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

(3) の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。(図 3-1④)

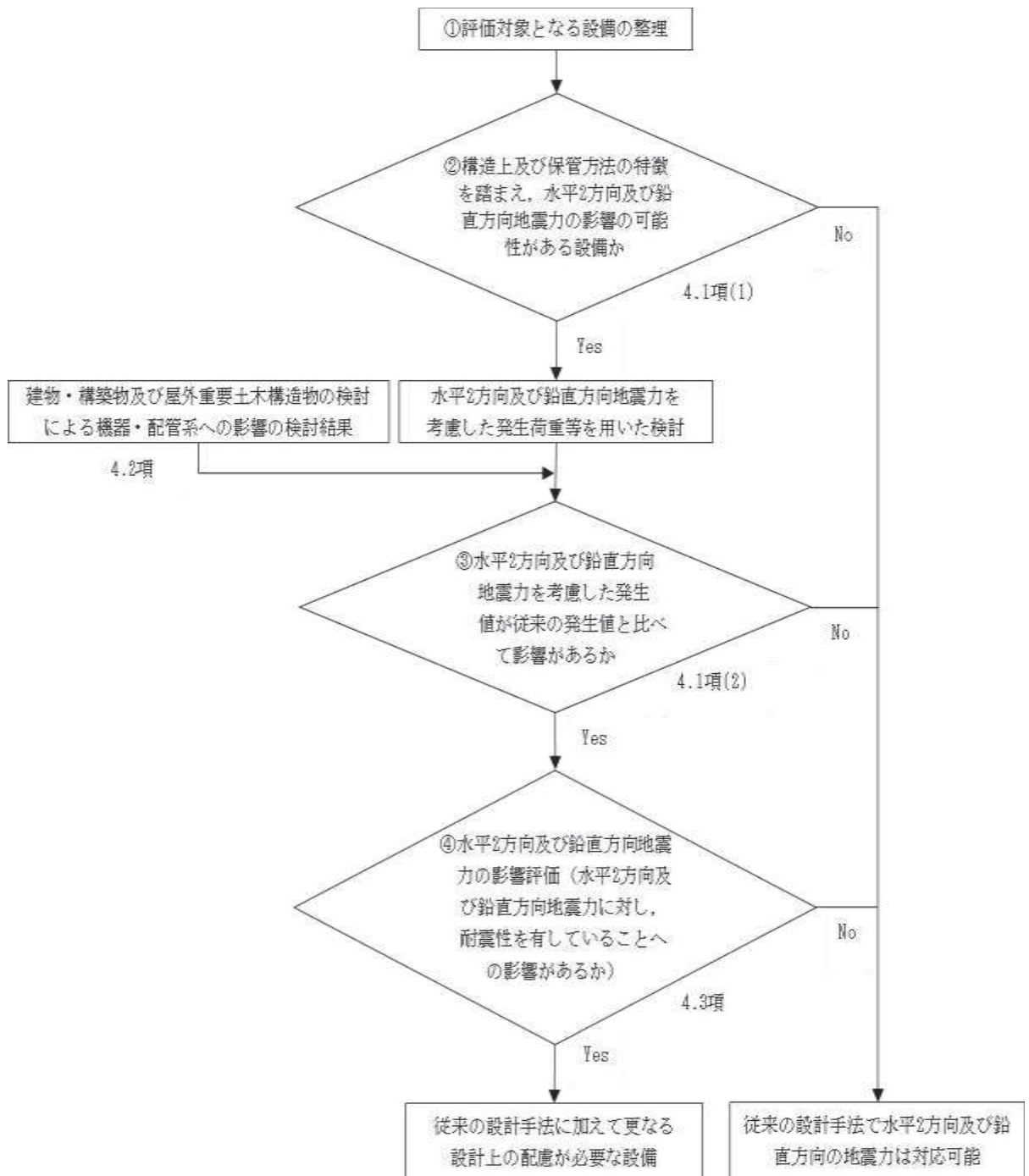


図 3-1 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

4. 評価結果

4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を表4-1に示す。添付書類「VI-2-12-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の「3.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位及び応力分類に対し、構造上及び保管方法の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出した。抽出結果を表4-2に示す。

なお、評価対象設備の抽出に当たって、耐震性への影響が軽微とした設備の理由を以下に示す。

a. 構造強度評価対象設備

構造強度評価対象設備において、耐震性への影響が軽微と分類した設備はなし。

b. 機能維持評価対象設備

(a) 収納箱

収納箱に保管している設備は、収納箱内で緩衝材によって保護されており、X、Yの2方向入力に対して、応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向の入力の影響は軽微である。

(b) その他

水平2方向及び鉛直方向地震力を同時に入力した加振試験結果に基づき機能維持評価を行い、健全性を確認していることから、水平2方向入力の影響は考慮済みである。

(2) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1) にて影響の可能性がある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。抽出結果を表 4-2 に示す。

なお、評価対象設備の抽出に当たって、耐震性への影響が軽微とした設備の理由を以下に示す。

a. 構造強度評価対象設備

(a) 車両型設備

車両型設備に積載したポンプ、発電機、内燃機関等は、矩形構造の横型回転機器等であり応答軸（強軸・弱軸）が明確である。水平 2 方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質的には弱軸方向に 1 方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。

(b) ボンベ設備

ボンベ設備は、矩形構造の架構設備であり応答軸（強軸・弱軸）が明確である。水平 2 方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質的には弱軸方向に 1 方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。

b. 機能維持評価対象設備

(a) その他

加振試験結果に基づき機能維持評価を行い、健全性を確認している。矩形構造であり、応答軸（強軸・弱軸）が明確である。水平 2 方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質的には弱軸方向に 1 方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。

4.2 建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討において、可搬型重大事故等対処設備への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

4.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表 4-2 において、水平 2 方向の地震力による影響の可能性があるとして抽出された設備はないため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を行う設備はない。

4.4 まとめ

可搬型重大事故等対処設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、従来の設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した結果、設備が有する耐震性に影響のないことを確認したため、従来の設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響検討対象設備

別添番号	設備名称	構造強度評価	機能維持評価	部位*
別添 3-3	大容量送水ポンプ(タイプ I)	○	○	各部位
	大容量送水ポンプ(タイプ II)	○	○	各部位
	電源車	○	○	各部位
	電源車(緊急時対策所用)	○	○	各部位
	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	○	○	各部位
	可搬型窒素ガス供給装置	○	○	各部位
	ホース延長回収車	○	○	各部位
	タンクローリ	○	○	各部位
別添 3-4	高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	○	—	各部位
	代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	○	—	各部位
	中央制御室待避所加圧設備(空気ポンベ)	○	—	各部位
	緊急時対策所加圧設備(空気ポンベ)	○	—	各部位
別添 3-5	緊急時対策所可搬型エリアモニタ	—	○	各部位
	可搬型モニタリングポスト	—	○	各部位
	可搬型ダスト・よう素サンプラ	—	○	各部位
	γ線サーベイメータ	—	○	各部位
	β線サーベイメータ	—	○	各部位
	α線サーベイメータ	—	○	各部位
	電離箱サーベイメータ	—	○	各部位
	代替気象観測設備	—	○	各部位
	可搬型計測器	—	○	各部位
	酸素濃度計(中央制御室用)	—	○	各部位
	二酸化炭素濃度計(中央制御室用)	—	○	各部位
	酸素濃度計(緊急時対策所用)	—	○	各部位
	二酸化炭素濃度計(緊急時対策所用)	—	○	各部位
	主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	—	○	各部位
	衛星電話設備(携帯型)	—	○	各部位
	無線連絡設備(携帯型)	—	○	各部位
携行型通話装置	—	○	各部位	
可搬型照明(SA)	—	○	各部位	
小型船舶	—	○	各部位	

注記* : 部位については、別添 3-3 から別添 3-5 に示す耐震評価箇所のとおり。

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備（部位）の抽出結果（1/5）

（凡例）

○：影響の可能性あり △：影響軽微 ー：該当なし

(1) 構造強度評価（1/2）

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	4.1 項(1) 水平 2 方向の地震力が 重畳する観点	4.1 項(2) 水平 1 方向及び鉛直方向地震 力に対する水平 2 方向及び鉛 直方向地震力の増分の観点	検討結果 (影響軽微の理由)
大容量送水ポンプ(タイプ I)	○	△	4.1 項(2) a. 「(a) 車両型設備」の理由 (車両型設備に積載したポンプ、発電 機、内燃機関等は、矩形構造の横型回 転機器等であり応答軸（強軸・弱軸） が明確である。水平 2 方向の地震力が 発生した場合、その応答はそれぞれの 応答軸方向に分解され、実質的には弱 軸方向に 1 方向入力した応答レベルと 同等となることから、耐震性への影響 の懸念はないと整理した。)による。
大容量送水ポンプ(タイプ II)	○	△	
電源車	○	△	
電源車(緊急時対策所用)	○	△	
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	○	△	
可搬型窒素ガス供給装置	○	△	
ホース延長回収車	○	△	
タンクローリ	○	△	

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備（部位）の抽出結果（2/5）

（凡例）

○：影響の可能性あり △：影響軽微 ー：該当なし

(1) 構造強度評価（2/2）

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	4.1 項(1) 水平 2 方向の地震力が 重畳する観点	4.1 項(2) 水平 1 方向及び鉛直方向地震 力に対する水平 2 方向及び鉛 直方向地震力の増分の観点	検討結果 (影響軽微の理由)
高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	○	△	4.1 項(2) a. 「(b) ポンベ設備」の理由 (ポンベ設備は、矩形構造の架構設備であり、応答軸(強軸・弱軸)が明確である。水平 2 方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質的には弱軸方向に 1 方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。) による。
代替高圧窒素ガス供給系 高圧窒素ガスポンベ	○	△	
中央制御室待避所加圧設備(空気ポンベ)	○	△	
緊急時対策所加圧設備(空気ポンベ)	○	△	

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備（部位）の抽出結果（3/5）

（凡例）

○：影響の可能性あり △：影響軽微 ー：該当なし

(2) 機能維持評価（1/3）

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	4.1 項(1) 水平 2 方向の地震力が 重畳する観点	4.1 項(2) 水平 1 方向及び鉛直方向地震 力に対する水平 2 方向及び鉛 直方向地震力の増分の観点	検討結果 (影響軽微の理由)
大容量送水ポンプ(タイプ I)	△	ー	4.1 項(1)b. 「(b) その他」の理由(水平 2 方向及び鉛直方向地震力を同時に入力した加振試験結果に基づき機能維持評価を行い、健全性を確認していることから、水平 2 方向入力の影響は考慮済みである。)による。
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	△	ー	
タンクローリ	△	ー	
大容量送水ポンプ(タイプ II)	○	△	4.1 項(2)b. 「(a) その他」の理由(加振試験結果に基づき機能維持評価を行い、健全性を確認している。矩形構造であり、応答軸(強軸・弱軸)が明確である。水平 2 方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質的には弱軸方向に 1 方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。)による。
ホース延長回収車	○	△	
可搬型窒素ガス供給装置	○	△	
電源車	○	△	
電源車(緊急時対策所用)	○	△	

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備（部位）の抽出結果（4/5）

（凡例）

○：影響の可能性あり △：影響軽微 ー：該当なし

(2) 機能維持評価（2/3）

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	4.1 項(1) 水平 2 方向の地震力が 重畳する観点	4.1 項(2) 水平 1 方向及び鉛直方向地震 力に対する水平 2 方向及び鉛 直方向地震力の増分の観点	検討結果 (影響軽微の理由)
緊急時対策所可搬型エリアモニタ	△	ー	4.1 項(1)b. 「(a) 収納箱」の理由（収納箱に保管している設備は、収納箱内で緩衝材によって保護されており、X、Y の 2 方向入力に対して、応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向の入力の影響は軽微である。）による。
可搬型ダスト・よう素サンプラ	△	ー	
γ 線サーベイメータ	△	ー	
β 線サーベイメータ	△	ー	
α 線サーベイメータ	△	ー	
電離箱サーベイメータ	△	ー	
可搬型計測器	△	ー	
酸素濃度計（中央制御室用）	△	ー	
二酸化炭素濃度計（中央制御室用）	△	ー	
酸素濃度計（緊急時対策所用）	△	ー	
二酸化炭素濃度計（緊急時対策所用）	△	ー	
衛星電話設備（携帯型）	△	ー	
無線連絡設備（携帯型）	△	ー	
携行型通話装置	△	ー	

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備（部位）の抽出結果（5/5）

（凡例）

○：影響の可能性あり △：影響軽微 ー：該当なし

（2）機能維持評価（3/3）

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	4.1 項(1) 水平 2 方向の地震力が 重畳する観点	4.1 項(2) 水平 1 方向及び鉛直方向地震 力に対する水平 2 方向及び鉛 直方向地震力の増分の観点	検討結果（影響軽微の理由）
可搬型モニタリングポスト	○	△	4.1 項(2)b. 「(a) その他」の理由（加振試験結果に基づき機能維持評価を行い、健全性を確認している。矩形構造であり、応答軸（強軸・弱軸）が明確である。水平 2 方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質的には弱軸方向に 1 方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。）による。
代替気象観測設備	○	△	
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	○	△	
可搬型照明（SA）	○	△	
小型船舶	○	△	

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-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
- VI-3-別添 2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
- 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
- VI-3-別添 4 発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書
- VI-3-別添 5 非常用発電装置（可搬型）の強度に関する説明書
- VI-3-別添 6 炉心支持構造物の強度に関する説明書
- VI-3-別添 7 原子炉圧力容器内部構造物の強度に関する説明書

VI-3-1 強度計算の基本方針

目 次

- VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要
- VI-3-1-2 クラス 1 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針
- 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
- VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針
- VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要

目次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条に規定されている設計基準対象施設又は第 55 条に規定されている重大事故等対処設備に属する容器，管，ポンプ，弁若しくはこれらの支持構造物又は設計基準対象施設に属する炉心支持構造物の材料及び構造について，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することを説明するものである。

なお，設計基準対象施設のうち材料及び構造の要求事項に変更がなく，改造を実施しない機器については，今回の申請において変更は行わない。

今回，新たに材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器が十分な強度を有することを説明するものである。

- ・クラス 1 機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲
- ・クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」及び「原子炉格納容器調気設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・クラス 3 機器のうち「原子炉冷却材補給設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・クラス 3 機器のうち「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」
- ・重大事故等クラス 2 機器
- ・重大事故等クラス 2 支持構造物
- ・重大事故等クラス 3 機器
- ・原子炉格納容器のうち改造に伴い強度評価が必要な範囲

また，クラス 1 管を支持する支持構造物及び重大事故等クラス 2 管を支持する支持構造物であって，その損壊により重大事故等クラス 2 管に損壊を生じさせるおそれがある重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算については，計算方法が耐震評価と同じであり，地震荷重が支配的であることから添付書類「VI-2 耐震性に関する説明書」にて説明する。

上述の機器と評価条件が異なる自然現象等特殊な荷重を考慮した評価が必要な設備のうち竜巻の荷重を考慮した評価を別添 1 に，火山の影響による荷重を考慮した評価を別添 2 に，津波又は溢水の荷重を考慮した評価を別添 3 に示す。

技術基準規則の機器区分に該当しない機器のうち，施設したガスタービン（燃料系含む）及び内燃機関（燃料系含む）の評価を別添 4 に，非常用発電装置（可搬型）の内燃機関の評価を別添 5 に，重大事故等対処設備としての炉心支持構造物の評価を別添 6 に，重大事故等対処設備としての原子炉压力容器内部構造物の評価を別添 7 に示す。

VI-3-1 強度計算の基本方針

- VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要（本紙）
- VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針
- 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
- VI-3-1-6 重大事故等クラス3機器の強度評価の基本方針
- VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

VI-3-2 強度計算方法

- VI-3-2-1 強度計算方法の概要
- VI-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
- VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
- VI-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
- VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- VI-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- VI-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法
- VI-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
- VI-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法
- VI-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法
- VI-3-2-14 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 1 機器の強度計算の基本方針	2
2.1 クラス 1 機器の構造及び強度	3

1. 概要

クラス 1 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 1 号及び第 8 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲について，クラス 1 機器となる管及び弁が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 1 機器の強度計算の基本方針

クラス 1 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

原子炉冷却材圧力バウンダリの拡大範囲は施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号（以下「告示第 5 0 1 号」という。）又は設計・建設規格であることから、適用規格が告示第 5 0 1 号の場合は告示第 5 0 1 号と設計・建設規格の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施するが、既工認における評価結果がある場合はその評価結果の確認による評価を実施する。適用規格が設計・建設規格の場合は設計・建設規格による評価を実施するが、既工認における評価結果があることからその評価結果の確認による評価を実施する。

クラス 1 機器の材料については、告示第 5 0 1 号又は設計・建設規格に規定されている材料を使用する設計とする。

2.1 クラス1機器の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス1機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲については、施設時の適用規格が告示第501号又は設計・建設規格である。

施設時の適用規格が告示第501号のものについては設計・建設規格との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施するが、既工認における評価結果がある場合はその評価結果の確認による評価を実施する。適用規格が設計・建設規格のものについては設計・建設規格による評価を実施するが、既工認における評価結果があることからその評価結果の確認による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値が設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の2つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。評価式の比較は、評価式の形や評価式で用いる係数の比較を行い、評価結果が保守的になる方を安全側とする。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値のSI単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上述の2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第501号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、告示第501号及び設計・建設規格の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目例を示す。

a. 評価式

(a) 弁*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
弁箱および弁ふたの肉厚	<p>[VVB-3210(1)]</p> <p>弁箱（ネック部内径と弁入口流路内径との比が1.5を超えるもののネック部を除く）または弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値以上であること。</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1)(t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>[第82条第1項第1号]</p> <p>弁箱（ネック部内径と弁入口流路内径との比が1.5を超えるもののネック部を除く。）又は弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1)(t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>設計・建設規格 又は 告示第501号</p>	*2
配管反力による弁箱の二次応力	<p>[VVB-3330]</p> <p>次の3つの計算式により計算した二次応力は、260℃の温度における付録材料図表Part5表1に定める値S_mの1.5倍の値を超えないこと。</p> $P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$ $P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$ $P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$	<p>[第81条第1項第1号ロ]</p> <p>次の3つの計算式により計算した応力は、それぞれ260度の温度における別表第2に定める値の1.5倍の値を超えないこと。</p> $P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$ $P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$ $P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$	<p>設計・建設規格</p>	*3

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は計算に用いる t_1 、 t_2 の値が規格間で相違があり、設計・建設規格と告示第501号でtの値が大きくなる規格の評価式を適用する。

*3： P_d 、 P_b 及び P_t （二次応力）は計算に用いる S_y 値が規格間で相違があり、設計・建設規格の S_y 値が大きく安全側が明確であるため、設計・建設規格の評価式を適用する。 S_y 値の代表例については、次頁「b. 許容値」にて記載する。

b. 許容値

許容値については、代表例により規格の相違を記載する。

(a) 弁*

機器名	接続管の材料	評価で使用する温度 (°C)	設計・建設規格 (MPa)	告示第 5 0 1 号 (MPa)	適用する規格
残留熱除去系 A系停止時 冷却吸込第二隔離弁 (E11-F016A)	SFVC2B	260	200	194	設計・建設規格

注記 * : 表中の設計・建設規格の値及び告示第 5 0 1 号の値は設計降伏点 S_y 値を示す。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施する。クラス1機器の計算書に記載する強度評価結果については、安全側の規格による評価結果を記載する。

なお、告示第501号及び設計・建設規格の両規格による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

VI-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針	1
2.1 クラス 2 機器の構造及び強度	2

1. 概要

クラス 2 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第 17 条第 1 項第 2 号及び第 9 号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」及び「原子炉格納容器調気設備」の改造に伴い、管及び弁が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針

クラス 2 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条(材料及び構造)に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号)第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。))<第 I 編軽水炉規格> J S M E S N C 1 - 2005/2007」(日本機械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012 年版)<第 I 編軽水炉規格> J S M E S N C 1 - 2012」(日本機械学会)によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007(以下「設計・建設規格」という。)及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」及び「原子炉格納容器調気設備」の改造を実施する機器の評価は、施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号(以下「告示第 5 0 1 号」という。))の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第 5 0 1 号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。施設時の適用規格が設計・建設規格の場合は、設計・建設規格による評価を実施する。

なお、クラス 2 機器を同位クラスである重大事故等クラス 2 機器として兼用し、重大事故等時の使用条件に設計基準の使用条件が包絡され、重大事故等時における評価結果がある場合は、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、設計基準の評価結果の記載は省略する。

クラス 2 機器の材料については、告示第 5 0 1 号又は設計・建設規格に規定されている材料を使用する設計とする。

2.1 クラス 2 機器の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」の改造を実施する機器については、施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号であるため、設計・建設規格と告示第 5 0 1 号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。また、「原子炉格納容器調気設備」の改造を実施する機器については設計・建設規格による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値が設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の 2 つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。評価式の比較は、評価式の形や評価式で用いる係数の比較を行い、評価結果が保守的になる方を安全側とする。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値の SI 単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上述の 2 つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、告示第 5 0 1 号及び設計・建設規格の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号である場合の設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号による評価について、評価式及び許容値の 2 つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目を示す。

a. 評価式

(a) 弁*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
弁箱および弁ふたの肉厚	<p>[VVC-3210(1)]</p> <p>弁箱（ネック部を除く）または弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値以上であること。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表1-1に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表3の呼び圧力1.03MPaの欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>[第85条第1項]</p> <p>弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表第13に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表第15の呼び圧力10.5キログラム毎平方センチメートルの欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	設計・建設規格	*2

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は計算に用いるt₁、t₂の値が規格間で相違があり、設計・建設規格と告示第501号でtの値が大きくなる設計・建設規格の評価式を適用する。なお、t₁、t₂の値については次項「b. 許容値」にて記載する。

b. 許容値

(a) 弁*1

評価項目	許容 圧力 P ₁ (MPa)	許容 圧力 P ₂ (MPa)	P ₁ , P ₂ に基づく 最小厚さ(mm) *2				適用する 規格
			設計・建設 規格		告示 第501号		
			t ₁	t ₂	t ₁	t ₂	
弁箱又は弁ふたの厚さ $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$ (残留熱除去系 F008)	2.00	5.17	10.6	16.3	10.3	16.1	設計・建設 規格

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法」による。

*2：設計・建設規格 別表3及び告示第501号 別表15による。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施し、強度計算書に評価結果を記載する。なお、設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 3 機器の強度計算の基本方針.....	2
2.1 クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の構造及び強度.....	3
2.2 クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器の構造及び強度.....	3

1. 概要

クラス 3 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 3 号及び第 10 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」のうちクラス 3 機器となる容器及び管並びにクラス 3 機器のうち「原子炉冷却材補給設備」の改造を実施する管が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 3 機器の強度計算の基本方針

クラス 3 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とし、施設時の適用規格が設計・建設規格のものである為、設計・建設規格による評価を実施する。

なお、クラス 3 機器を上位クラスである重大事故等クラス 2 機器として兼用し、重大事故等時の使用条件に設計基準の使用条件が包絡され、重大事故等時における評価結果がある場合は、設計基準の評価結果の記載は省略する。

また、技術基準規則の解釈の冒頭において「技術基準規則に定める技術的要件を満足する技術的内容は、本解釈に限定されるものではなく、技術基準規則に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、技術基準規則に適合するものと判断する。」ことが規定されている。

クラス 3 容器のうち完成品としてそれぞれの高圧ガス保安法及び消防法の規制を受ける消火設備用ポンベ及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（原規技発第 1306195 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）」に基づき設定する火災区域又は火災区画に配備する消火器（以下「消火器」という。）については、技術基準規則第 17 条第 1 項第 3 号及び第 10 号におけるクラス 3 容器の材料、構造及び強度の要求に照らして十分な保安水準の確保ができることを確認した上で、高圧ガス保安法及び消防法に適合したものを使用する設計とする。

消火設備用ポンベ及び消火器の材料については、技術基準規則第 17 条におけるクラス 3 容器の材料、構造及び強度の規定と高圧ガス保安法又は消防法の規定の比較評価において適切であることを確認する。

2.1 クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く。）については、技術基準規則施行前に着手又は完成した設備を含み、施設時の適用規格は設計・建設規格である。よって、設計・建設規格による評価を実施する。

2.2 クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器の構造及び強度

クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器については設計に適用した高圧ガス保安法及び消防法の規定が技術基準規則第 17 条に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があることを確認する。

(1) 技術基準規則第 17 条第 1 項第 3 号、第 10 号及び第 15 号の要求事項

a. 材料

- ・クラス 3 容器に使用する材料が、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学成分を有すること。
- ・工学的安全施設に属するクラス 3 容器に使用する材料にあつては、当該機器の最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有することを機械試験又はその他の評価方法により確認したものであること。（火災防護設備は工学的安全施設に該当しないため対象外）

b. 構造及び強度

- ・設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えること。
- ・クラス 3 容器に属する伸縮継手にあつては、設計上定める条件で応力が繰り返し加わる場合において、疲労破壊を生じないこと。（消火設備用ポンベ及び消火器に対して伸縮継手を使用していないため対象外）
- ・設計上定める条件において、座屈が生じないこと。（消火設備用ポンベ及び消火器の外表面には圧力が加わらないことから対象外）

c. 主要な耐圧部の溶接部

主要な耐圧部の溶接部について、不連続で特異な形状でないものであること等が規定されている。（主要な耐圧部の溶接部は、機器のうち容器及び管を対象とし、施設の安全上の重要度、圧力、口径等から技術基準規則の解釈に定められており、火災防護設備については、外径 150 mm 以上の管が「主要な耐圧部の溶接部」に該当し、容器については対象外）

(2) 技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法の規定の比較

a. 材料

技術基準規則第 17 条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有していることが要求されている。

一方、高圧ガス保安法では、容器について、充てんする高圧ガスの種類、充てん圧力、

使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造することが要求されており、考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから、材料に対して要求する保安水準は確保されている。

(圧力)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、機器が受ける最高の圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており、高圧ガス保安法における、ポンペ内部に受ける最高の圧力である「充てん圧力」と同等である。

(温度)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、最高の温度以上の温度である「最高使用温度」を条件としており、高圧ガス保安法における「使用温度」として規定している温度の上限値と同等である。

(荷重)

技術基準規則第 17 条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス 3 容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火設備用ポンペに対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、高圧ガス保安法も充てん圧力を規定していることから、想定する荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第 17 条では、機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選定することが要求されており、具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定されている。

一方、高圧ガス保安法では、ポンペの材料選定として、充てんする高圧ガスの種類等、使用される環境に応じた適切な材料を選定するよう規定していることから、技術基準規則第 17 条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。

b. 構造及び強度

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されている。

一方、高圧ガス保安法では、「溶接容器及び一般継目なし容器（消火設備用ポンペ）の必要肉厚を材料の許容応力より算出すること」が要求されており、材料の降伏点を越えることのないよう許容応力を規定していることから、要求する保安水準は確保されている。

上述の a. 項及び b. 項より、技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法の材料、構造及び強度の規定の水準は同等であることから、火災防護設備として使用する消火設備用ポンペについては、高圧ガス保安法の材料、構造及び強度に関する要求に適合することにより、技術基準規則第 17 条の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから、高圧ガス保安法に適合したものを使用する設計とする。

(3) 技術基準規則第 17 条と消防法の規定の比較

a. 材料

技術基準規則第 17 条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用することが要求されている。

一方、消防法では、容器について耐食性及び耐久性を有する材料を用いた堅牢な材料を使用すること並びに腐食試験等においてさび等の異常を生じないことが要求されており、考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから、材料に対して要求する保安水準は確保されている。

(圧力)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、機器が受ける最高の圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており、消防法における消火器内部に受ける最高の圧力である「調整圧力、閉そく圧力及び使用圧力の上限值」と同等である。

(温度)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、最高の温度以上の温度である「最高使用温度」を条件としており、消防法における「使用温度範囲」として規定している最高温度と同等である。

(荷重)

技術基準規則第 17 条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス 3 容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火器に対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、消防法も使用圧力等を規定していることから、想定する荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第 17 条では、機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選定することが要求されており、具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定されている。

一方、消防法では、消火器の材料選定として、充てんした消火剤に接触する部分をその消火剤に侵されない材料で造ることが規定されており、技術基準規則第 17 条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。

b. 構造及び強度

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されている。

一方、消防法では、使用材料に応じた消火器の本体容器の板厚を規定しており、消火器内部に受ける最高の圧力（調整圧力、閉そく圧力及び使用圧力の上限值）を超える圧力（設計上定める最高の圧力の 1.3～2.0 倍）で耐圧試験を実施し、強度上支障のある永久ひずみ（円筒部分にあつては、円周長の 0.5 %以上の永久ひずみ）を生じないことが要求されている。これは、設計上定める条件に対して十分な裕度をもって、全体的な変形を弾性域に抑えることができる水準であることから、要求する保安水準は確保されている。

上述の a. 項及び b. 項より、技術基準規則第 17 条と消防法の材料、構造及び強度の規定の

水準は同等であることから、火災防護設備として使用する消火器については、消防法の材料、構造及び強度に関する要求に適合することにより、技術基準規則第 17 条の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから、消防法に適合したものを使用する設計とする。

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

目次

1. 概要	1
2. 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	2
2.1 重大事故等クラス2 機器（クラス1 機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2 支持構造物（クラス1 支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の構造及び強度	4
2.1.1 クラス2 機器の規定に基づく評価	7
2.1.2 クラス2 機器の規定によらない場合の評価	14
2.2 重大事故等クラス2 機器であってクラス1 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物であってクラス1 支持構造物の構造及び強度	29
2.3 重大事故等クラス2 機器であって原子炉格納容器及び重大事故等クラス2 支持構造物であって原子炉格納容器支持構造物の構造及び強度	31
2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価	33

1. 概要

重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条第 1 項第 2 号及び第 5 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，重大事故等クラス 2 機器である容器，管，ポンプ及び弁並びに重大事故等クラス 2 支持構造物であって，重大事故等クラス 2 機器に溶接により取り付けられ，その損壊により重大事故等クラス 2 機器に損壊を生じさせるおそれがある支持構造物（以下「重大事故等クラス 2 支持構造物」という。）が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 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

重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の材料及び構造については、技術基準規則第 55 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い、設計基準対象施設の規定を準用する。

また、技術基準規則の解釈第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、重大事故等クラス 2 機器（クラス 1 機器及び原子炉格納容器を除く）及び重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 1 支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とするが、施設時の規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日通商産業省告示第 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第 5 0 1 号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。施設時の適用規格が設計・建設規格の場合は、設計・建設規格による評価を実施する。

クラス 2 機器又はクラス 2 支持構造物を同位クラスである重大事故等クラス 2 機器又は重大事故等クラス 2 支持構造物として兼用し、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、クラス 2 機器又はクラス 2 支持構造物の既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果がある場合は、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。

重大事故等クラス 2 機器であってクラス 1 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物であってクラス 1 支持構造物の評価は、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、既工認における評価結果がある場合は、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。重大事故等クラス 2 機器であってクラス 1 機器である原子炉圧力容器は施設時の適用規格である告示第 5 0 1 号による評価を実施する。上述以外の重大事故等クラス 2 機器であってクラス 1 機器は告示第 5 0 1 号と設計・建設規格の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器又は重大事故等クラス 2 支持構造物であって原子炉格納容器支持構造物の評価は、告示第 5 0 1 号に基づき評価を実施する。ただし、改造箇所が適用規格が設計・建設規格の場合は設計・建設規格と告示第 5 0 1 号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

重大事故等クラス 2 機器であって非常用炉心冷却設備に係るろ過装置（ストレーナ）の評価は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 に記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））の評価方針を考慮し、重大事故等クラス 2 機器としての評価を実施する。

重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の材料については、技術基準規則第 55 条において材料は「使用前に適用されるものとする。」と規定されていることから、技術基準規則施行前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号における材料の規定によらない場合は、使用条件に対して適切であることを確認した材料を使用する設計とする。

2.1 重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の構造及び強度

重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の評価における適用規格、評価方法の考え方を図2-1に示す。重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物において、施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物で、クラスアップ又は条件アップ*¹されておらず、既工認における評価結果がある場合は、その評価結果の確認による評価を実施する。

（評価区分①）

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器及び支持構造物については、設計・建設規格による評価を実施する。（評価区分②）

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物でクラスアップ又は条件アップされており、施設時の適用規格が告示第501号である機器又は支持構造物については、設計・建設規格又は告示第501号のいずれか安全側の規格による評価を実施する。また、クラスアップ又は条件アップされておらず、既工認における評価結果がない場合で、施設時の適用規格が告示第501号である機器又は支持構造物については、同じく設計・建設規格又は告示第501号のいずれか安全側の規格による評価を実施する。（評価区分③）

上述する機器又は支持構造物以外については、設計・建設規格による評価を実施する。（評価区分④）

設計・建設規格又は告示第501号に評価式*²が規定されていない場合、又は、より精緻な評価が必要な場合は、同等性を示す評価方法により十分な強度を有することを確認する。

技術基準規則において、重大事故等クラス2機器の強度評価については、延性破断、疲労破壊（各機器に属する伸縮継手及び伸縮継手を除く管に限る。）及び座屈（容器及び管に限る。）による破壊の防止が求められており、重大事故等クラス2支持構造物の強度評価については、延性破断及び座屈による破壊の防止が求められている。

ただし、重大事故等クラス2管の疲労評価については、重大事故等時は運転状態IVを超える事象であり、発生回数が少なく疲労に顕著な影響を及ぼす繰返し応力は発生しないこと、また、設計基準対象施設と機能を兼用している設備については、設計基準対象施設に対する要求事項に基づき疲労評価を実施していることから、評価を省略する。

注記 *1：クラスアップする機器とは，クラス1機器又はクラス2機器に属さない機器のうち重大事故等クラス2機器となるものをいう。条件アップする機器とは，設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度に，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されないものをいう。

*2：評価式とは，設計・建設規格にて評価する場合はクラス2機器の評価式，告示第501号にて評価する場合は第3種機器の評価式を示す。

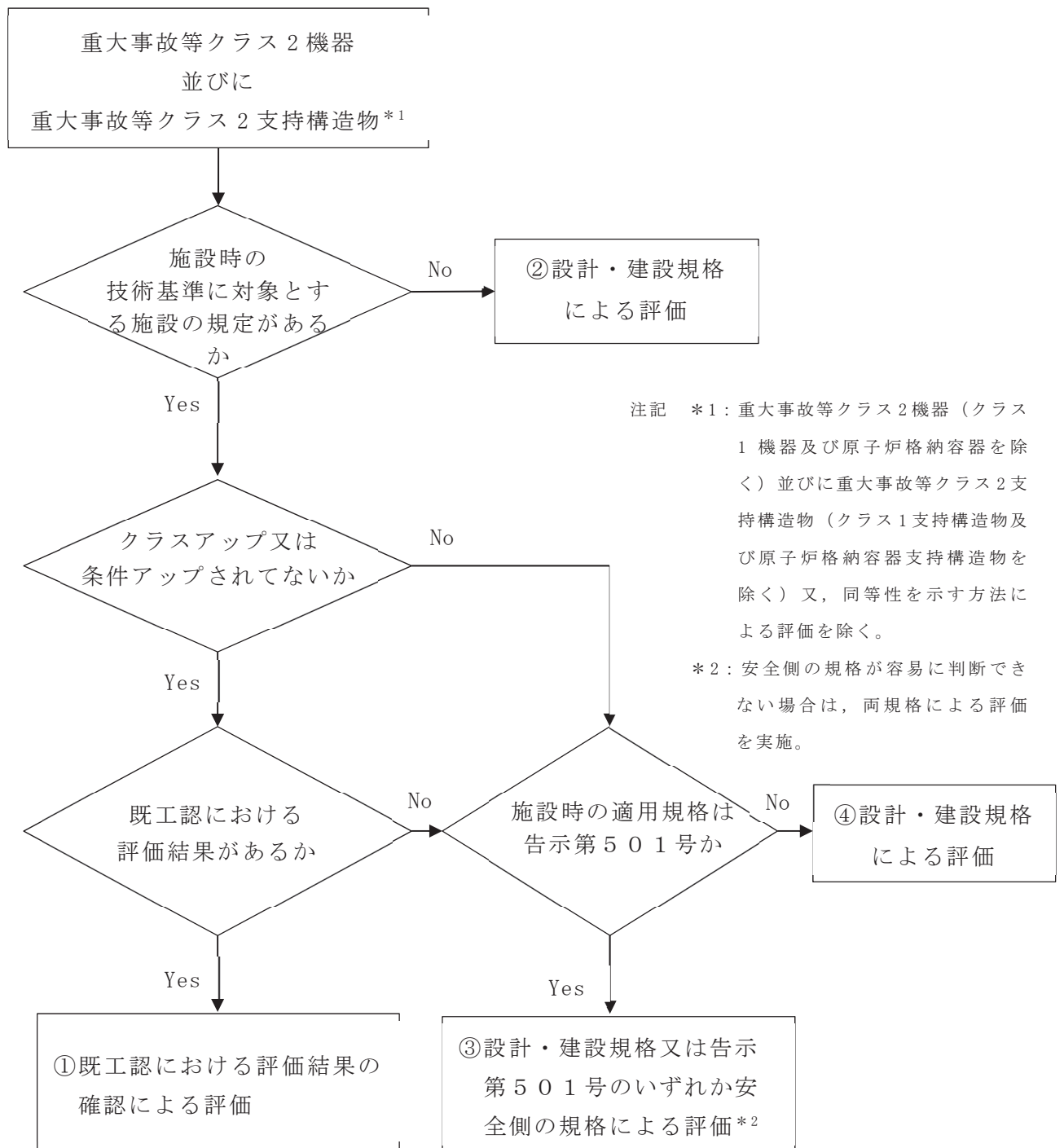


図 2-1 評価区分の整理フロー

2.1.1 クラス 2 機器の規定に基づく評価

(1) 強度計算における適用規格の選定

重大事故等クラス 2 機器のうち図 2-1 において、「③設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれか安全側の規格による評価」に区分された機器の適用規格について説明する。当該機器の施設時の適用規格は告示第 5 0 1 号であるため、設計・建設規格と告示第 5 0 1 号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

安全側の規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値が設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の 2 つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。評価式の比較は、評価式の形や評価式で用いる係数の比較を行い、評価結果が保守的になる方を安全側とする。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値の SI 単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上記 2 つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目例を示す。なお、本項に記載の告示第501号の評価式は、両規格の比較を行うため、SI単位系に換算したものをを用いる。

a. 評価式

(a) 容器*1

評価項目	設計・建設規格	告示第 5 0 1 号	適用する規格	備考
平板の板厚計算 における係数	[PVC-3310] 取付方法(i)の場合 K=0.33 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第 34 条第 1 項] 取付方法(g)の場合 K=0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第 5 0 1 号	*2

注記 *1: 評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-8 重大事故等クラス 2 容器の強度計算方法」による。

*2: t (必要肉厚) は告示第 5 0 1 号の方が大きくなり安全側が明確であるため、告示第 5 0 1 号の評価式を適用する。

(b) ポンプ*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングの厚さの規定	[PMC-3310 (片吸込み1重うず巻きポンプ)] $t = \frac{P \cdot A}{S}$	[第77条第2項] $t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	設計・建設規格	*2
うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシング各部形状の規定	[PMC-3340 (3)] 分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸み径は，式 PMC-3 により計算した値の 0.1 倍の値または 6mm のうちいずれか大きい値以上であること。	[第77条第7項3] 分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸み径は，第2項の計算式により計算した値の 0.1 倍の値又は 7mm のうちいずれか大きい値以上であること。	告示第501号	*3
うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ計算における係数(平板形)	[PMC-3410] 取付方法(a)の場合 K = 0.17 取付方法(その他)の場合 K = 0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第77条第5項] 取付方法(a)の場合 K = 0.20 取付方法(その他)の場合 K = 0.75 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第501号	*3

注記 *1：評価式に記載の記号は，添付書類「VI-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は設計・建設規格の方が大きくなり安全側が明確であるため，設計・建設規格の評価式を適用する。

*3：すみの丸み半径及びケーシングカバー厚さは告示第501号の方が大きくなり安全側が明確であるため，告示第501号の評価式を適用する。

(c) 管*1

評価項目	設計・建設規格	告示第 5 0 1 号	適用する規格	備考
平板の板厚計算 における係数	[PPC-3413] 取付方法(i)の場合 K=0.33 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第 58 条第 3 項] 取付方法(i)の場合 K=0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第 5 0 1 号	*2

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は告示第 5 0 1 号の方が大きくなり安全側が明確であるため、告示第 5 0 1 号の評価式を適用する。

(d) 弁*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
弁箱および 弁ふたの肉厚	<p>[VVC-3210(1)]</p> <p>弁箱（ネック部を除く）または弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値以上であること。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表 1-1 に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表 3 の呼び圧力 1.03 MPa の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>[第 85 条第 1 項]</p> <p>弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表第 13 に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表第 15 の呼び圧力 10.5 キログラム毎平方センチメートルの欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>設計・建設規格</p> <p>又は</p> <p>告示第501号</p>	<p>*2</p>

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は計算に用いる t₁、t₂の値が規格間で相違があり、設計・建設規格と告示第501号でtの値が大きくなる規格の評価式を適用する。なお、t₁、t₂の値については次項「b. 許容値」にて記載する。

b. 許容値

(a) 弁*¹

評価項目	許容 圧力 P ₁ (MPa)	許容 圧力 P ₂ (MPa)	P ₁ , P ₂ に基づく 最小厚さ(mm) * ²				適用する 規格
			設計・建設 規格		告示 第501号		
			t ₁	t ₂	t ₁	t ₂	
弁箱又は弁ふたの厚さ $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$ (高圧炉心スプレイ系 F003)	9.85	14.78	17.0	25.0	17.2	25.0	告示 第501号

注記 *¹: 評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-11 重大事故等クラス 2 弁の強度
計算方法」による。

*²: 設計・建設規格 別表 3 及び告示第 5 0 1 号 別表 15 による。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号である場合の設計・建設規格及び告示第 5
0 1 号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施し、強度
計算書に評価結果を記載する。なお、設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格
による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

2.1.2 クラス 2 機器の規定によらない場合の評価

ここでは、設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号に評価式*¹が規定されていない場合、又は、より精緻な評価を実施する必要がある場合の評価方法について説明する。

設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号に評価式が規定されていない場合、同等性を示す評価式により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は、クラス 1 容器の規定を準用した評価により十分な強度を有することを確認する。

図 2-2 に重大事故等クラス 2 機器の技術基準規則適合性確認フローを示す。今回の工事計画対象設備である重大事故等クラス 2 機器の評価のうち、フローに基づき抽出された同等性評価方法を以下に示す。

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式*²を用いた評価
 - (b) クラス 3 ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式*³を用いた評価

- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス 1 容器の規定を準用した評価

注記 *1：評価式とは、設計・建設規格にて評価する場合はクラス 2 機器の評価式、告示第 5 0 1 号にて評価する場合は第 3 種機器の評価式を示す。

*2：機械工学便覧に記載されている 4 辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式

*3：機械工学便覧に記載されているねじ山のせん断破壊荷重評価式

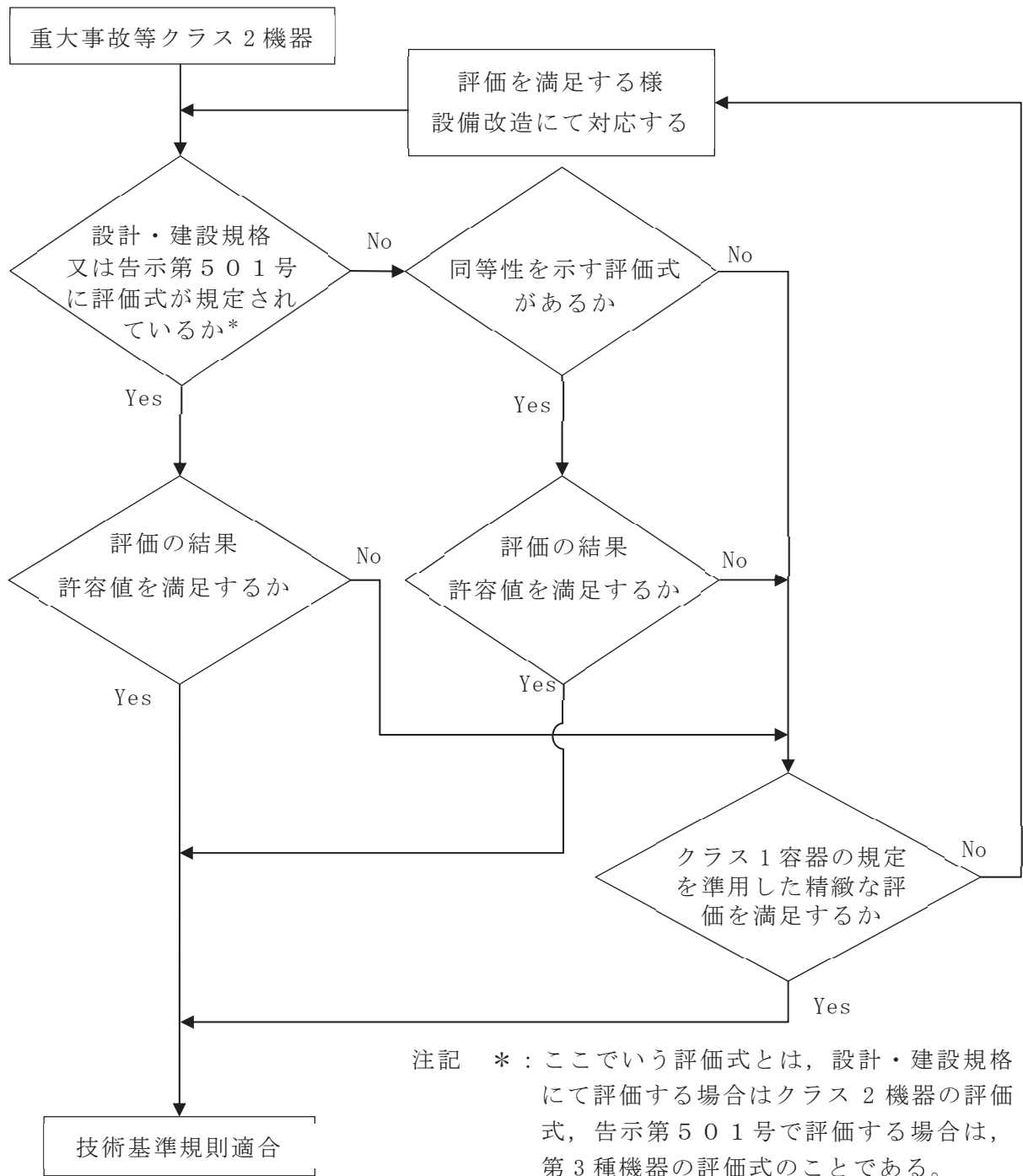


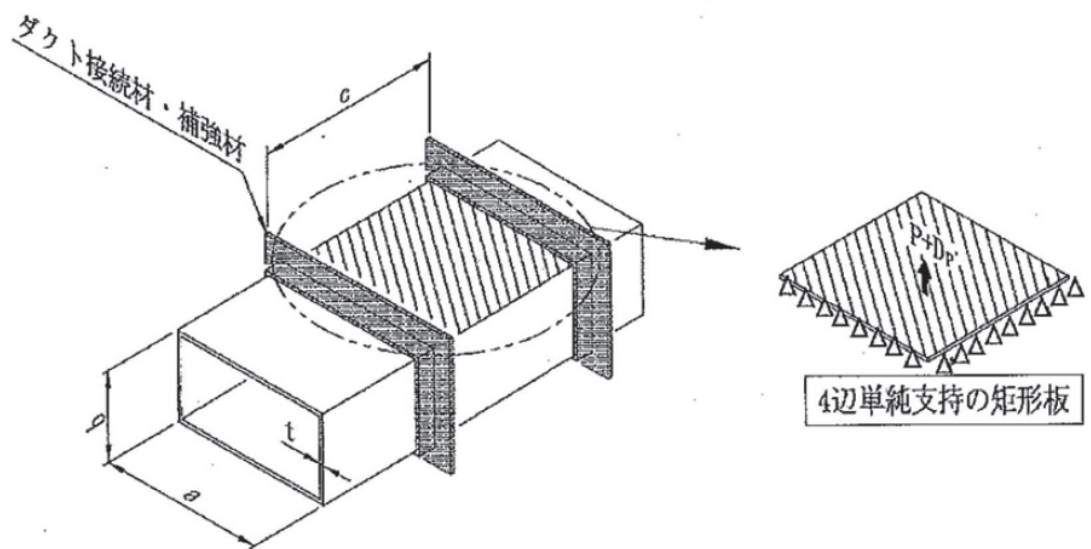
図 2-2 重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形板の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

重大事故等クラス2管のうち矩形ダクトについては、形状が円形ではないことから、設計・建設規格に規定されているクラス2管の円形を前提とした評価式を適用することができない。このため、矩形ダクトの強度評価については、以下に示すとおり重大事故等クラス2管の評価手法として妥当性を確認した機械工学便覧に記載されている長方形板の大たわみ式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できない矩形ダクトについて、矩形ダクトの任意のダクト鋼板面のうち2辺は他の2つの側面のダクト鋼板で支持されており、残りの2辺は補強部材（及び接続材）で支持された、4辺単純支持長方形板とみなすことができる。実際の使用条件では、この鋼板面に圧力と自重の等分布荷重である面外荷重が作用する。鋼板面は、この面外荷重により薄い平板が板厚の半分以上大きくたわみ、膜引張応力状態で応力の釣合いが保たれ、鋼板中心部で最大応力が発生する。このように、薄い平板が板厚の半分以上の比較的大きなたわみを生じる挙動を示す場合の応力評価には、機械工学便覧記載の長方形板の大たわみ式（次項に示す2つの式）が適していることから、矩形ダクトの強度評価には、機械工学便覧記載の4辺単純支持長方形板の大たわみ式を用いる。



計算に使う記号

記号	単位	定義
t	mm	ダクトの厚さ
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
P	MPa	最高使用圧力
g	mm/s ²	重力加速度
D _p	kg/mm ²	単位面積あたりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
ν	—	ポアソン比
δ _{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
σ _{max}	MPa	面外荷重による一次応力

計算式

$$\frac{256 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi^6 \cdot E \cdot t^4} \cdot (P + g \cdot D_p) =$$

$$\frac{4}{3} \cdot \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{a^2 \cdot c^2} + (3 - \nu^2) \cdot \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \cdot \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{max}}{8 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left\{ \frac{(2 - \nu^2) \cdot \delta_{max} + 4 \cdot t}{a^2} + \frac{\nu \cdot (\delta_{max} + 4 \cdot t)}{c^2} \right\}$$

b. 判断基準

矩形ダクトの強度評価では，設計・建設規格クラス 2 管に規定のある厚さ計算及び応力計算を参考とし，機械工学便覧のたわみの式を適用した評価を実施する。また，判断基準については以下のとおりとし，裕度については設計・建設規格のクラス 2 管の規定における許容引張応力 S 値を適用する。

(a) 厚さ計算

最小板厚を求める場合は，面外荷重による一次応力 σ_{max} を許容引張応力 S 値に置き換えて，2 式を解き，両式を満足する δ_{max} 及び t を求める。この時の t を矩形ダクトの計算上必要な厚さと定義し，ダクトの実際使用厚さが計算上必要な厚さを満足することを確認する。

(b) 応力計算

一次応力を求める場合は，公称値を用いて，2 式を解き，両式を満足する δ_{max} 及び σ_{max} を求める。この時の σ_{max} を矩形ダクトの一次応力と定義し，一次応力が許容引張応力 S 値の 1.5 倍以下であることを確認する。

(2) クラス 3 ポンプの規定を準用した立形ポンプの評価

重大事故等クラス 2 ポンプのうち立形ポンプについては、告示第 5 0 1 号の第 3 種ポンプ及び設計・建設規格におけるクラス 2 ポンプに評価式が規定されていないため、立形ポンプの強度評価については、以下に示すとおりの重大事故等クラス 2 ポンプの評価手法として妥当性を確認した設計・建設規格に規定されているクラス 3 ポンプの評価式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス 2 ポンプ及びクラス 3 ポンプのケーシングの強度評価式を表 2-1 に示す。

ケーシング厚さの評価式については、一般的な材料力学における内圧を受ける薄肉円筒の式又は内圧を受ける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づいており、横形ポンプにおいては、クラス 2 ポンプとクラス 3 ポンプの考え方は同一であり、技術的に同一の強度を有することが要求されている。この考え方については、クラス 2 管とクラス 3 管の厚さ計算についても同様であることから、クラス 2 ポンプに評価式が規定されていない重大事故等クラス 2 ポンプのうち立形ポンプのケーシングの強度評価については、クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いる。

表 2-1 設計・建設規格 ケーシングの強度評価式

ポンプ 型式	設計・建設規格強度評価式		備考
	クラス 2	クラス 3	
横形 ポンプ	$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	・同じ式である。 ・内圧を受ける薄肉円筒の式に基づく。
立形 ポンプ	—	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot (S \cdot \eta + P \cdot y)}$	・内圧を受ける円筒の応力式である Lame の修正式に基づく。
配管 (参考)	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$	・同じ式である。 ・内圧を受ける円筒の応力式である Lame の修正式に基づく。
<p>t : ケーシング及び吐出エルボ、揚水管又はボウルの計算上必要な厚さ (mm)</p> <p>P : 最高使用圧力 (MPa)</p> <p>A : 設計・建設規格 図 PMC-3320-1 から図 PMC-3320-6 又は設計・建設規格 図 PMD-3310-1 から PMD-3310-6 までに示す寸法 (mm)</p> <p>S : 最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力 (MPa)</p> <p>D_o : 設計・建設規格 図 PMD-3310-7 に示す吐出エルボの外径寸法、揚水管の外径寸法、個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法 (mm)</p> <p>η : 長手継手の効率で、設計・建設規格 PVD-3110 に定めるところによる。</p> <p>y : 0.4 (D_o / t ≥ 6.0 の場合) d / (d + D_o) (D_o / t < 6.0 の場合)</p>			

b. 判断基準

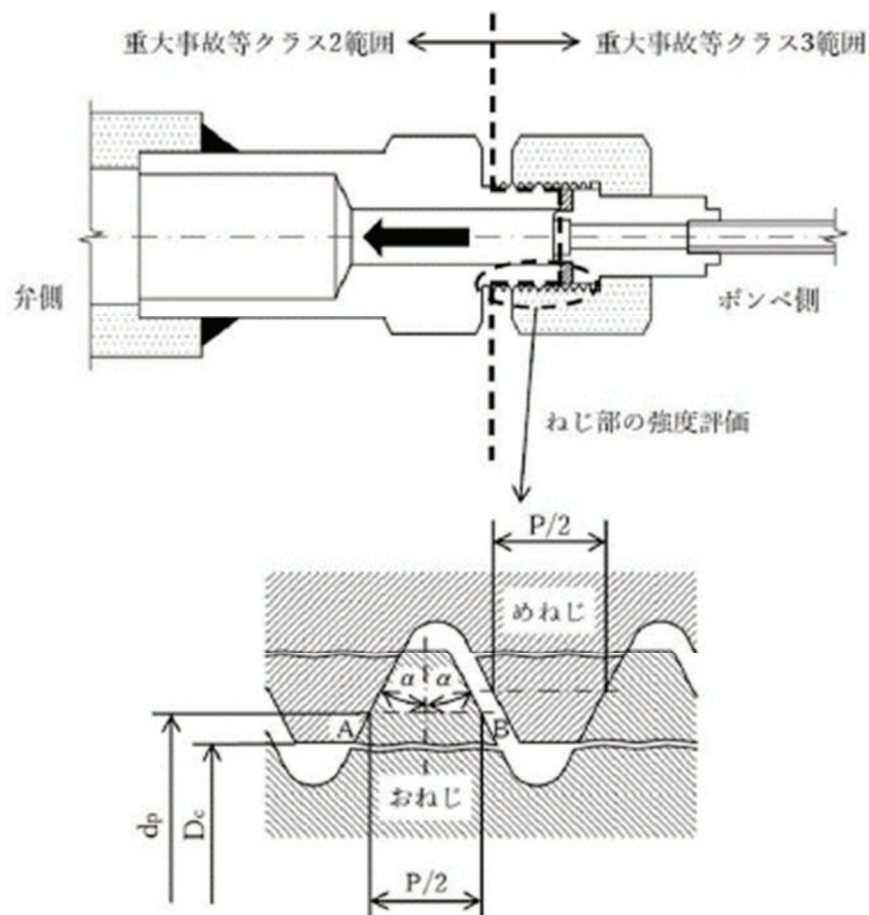
立形ポンプのケーシングの強度評価では、クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いた評価を実施するが、評価式に用いる許容引張応力 S 値については設計・建設規格のクラス 2 ポンプのケーシングの規定を適用する。

(3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

重大事故等クラス2管のうちねじ込み継手については端部がねじ部であるため設計・建設規格に規定されているクラス2管の評価式を適用することができない。このため、ねじ部の強度評価については、以下に示す機械工学便覧に記載されているねじ部のせん断破壊評価式を準用した評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について、使用するねじはJ I S B 8 2 4 6 (2004)「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを使用することから、ねじ部の強度評価に用いられる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い評価する。また、継手部の厚さ計算については、設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規定を用いる。



計算に使う記号及び計算式

記号	単位	定義
AB	mm	おねじのせん断長さ
P	mm	ピッチ
d_p	mm	おねじの有効径
D_c	mm	めねじの内径
α	°	ねじ角度
W_B	N	おねじのねじ山の許容軸方向荷重
z	—	負荷能力があるとみなされる，ねじ山の数 $z = (L - 0.5 \cdot P) / P$
τ_B	MPa	おねじ材料の許容せん断応力
L	mm	ねじの基準長さ
F_B	MPa	おねじの耐圧力
F_t	N	ねじ締付トルクによる引抜荷重
A	mm ²	内圧評価断面積

計算式
$AB = (P/2) + (d_p - D_c) \cdot \tan \alpha$ $W_B = \pi \cdot D_c \cdot (AB) \cdot z \cdot \tau_B$ $F_B = (W_B - F_t) / A$

b. 許容値

ねじ部のせん断評価は，機械工学便覧記載のせん断破壊式を準用した評価を実施するが，ねじ込み継手は管と管とを接続する継手であることから，許容値については設計・建設規格クラス 2 管の規定における許容引張応力 S を基に求めた許容せん断応力 $S/\sqrt{3}$ を適用する。

(4) クラス 1 容器の規定を準用又は参考とした評価

重大事故等クラス 2 機器の評価において、公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価を実施する必要があるため、設計・建設規格にて規定されている準用規定に基づき、クラス 1 容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。そのため機器によっては、公式による評価と解析による評価を組み合わせ、その健全性を確認する方針とする。

クラス 1 容器の規定を満足しない場合は、重大事故等時に求められる機能を発揮できるよう、クラス 1 容器の規定を参考とした評価を実施する。

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

設計・建設規格のクラス 2 機器の評価は公式による評価が基本となるが、公式による評価を満足しない部位を含む機器は、公式による評価と解析による評価を組み合わせた評価を実施する。

(a) クラス 2 機器の公式による評価

設計・建設規格のクラス 2 機器の評価については、設計・建設規格 PVC-3000 (クラス 2 容器の設計), PPC-3000 (管の設計), PMC-3000 (クラス 2 ポンプの設計) の各機器の規定において、胴、管、ケーシング等の一般部の板厚評価式、開口部に対する補強及びフランジの簡易評価式等、強度評価式が種々に与えられているが、構造不連続部等の局所に着目した強度評価方法については明確にされていない。

設計・建設規格のクラス 2 機器であっても、構造不連続部等の局所的に応力が高い部分も存在すると考えられるが、各機器の規定されている強度評価は、一般部に対し、許容値を低く設定 (許容引張応力 S) して裕度のある評価を行うことで、局所の健全性も担保している。

(b) 解析による評価

評価対象部位のうち公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価としてクラス 1 容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。解析による評価は、構造不連続部等の局所的に応力が高い部位を模擬した詳細な解析に応じた許容値 (設計応力強さ S_m) を設定し、より精緻な評価を行うことで、局所の健全性を確認している。

(c) 評価対象部位間の相互影響

前述の(b)項に記載の機器は、評価対象部位ごとに公式と解析による評価が混在する機器であり、以下に示すとおり部位間の相互影響を適切に考慮することで、機器としての健全性を確認する。

イ. 一体構造体

主管に設けられた管台等の一体構造体中に存在する構造不連続部等の局所では、一般部に比べ発生応力が大きくなり、その局部応力により局所周辺も発生応力が引き上げられると考えられる。そのため、局部応力が隣接する部位に及ぼす影響の有無を適切に評価する必要がある。

局部応力が隣接する部位に及ぼす影響については、設計・建設規格 解説にその考え方が示されており、設計・建設規格 解説 PVB-3513（補強面積の設置条件）及び設計・建設規格 解説 PVB-3530（補強をしない穴の適合条件）では、殻理論に基づく軸対称殻上の局所が及ぼす影響範囲について示されている。設計・建設規格 解説 PVB-3513 には

「 $0.5 \sqrt{R \cdot t}$ 内に局部応力のほとんどが収まる」と示されている。

以上のことから、主管に設けられた管台等の一体構造体内に存在する構造不連続部等の局所の評価について、局部応力が及ぼす影響範囲

$0.5 \sqrt{R \cdot t}$ を網羅するよう適切にモデル化することで、一体構造体として評価を実施する。

ロ. 一体でない構造体

フランジとボルト等の一体でない異なる構造体中に存在する評価対象部位間では、荷重・変位伝達等を個別に設定することで、独立した部位として個々に評価を実施する。

b. ボルトの応力計算

重大事故等クラス2機器の評価において公式による評価を満足しない耐圧部ボルトについては、設計・建設規格 解説 PMC-3510 及び設計・建設規格 PMB-3210 の規定に従った、クラス1容器のボルト等の応力評価の規定である、設計・建設規格 PVB-3121 を満足しないものもあることから、今回の評価においては、当該規定を参考とした以下の評価を実施する。

設計・建設規格 PVB-3121 では、最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付時のボルト荷重により生じる平均引張応力を設計応力強さ (S_m) 以下に抑えることが規定されている。また、供用状態に応じた機能に対して必要な強度を確保するよう、供用状態ごとに許容値が設定されている。

重大事故等時のボルトの評価においては、設計・建設規格 PVB-3121 を参考とし、重大事故等時の評価であることから供用状態ごとに規定されている許容値のうち平均引張応力に対して $2S_m$ 、最大応力に対して $3S_m$ を用いて評価を行うこととし、許容値に対応した評価を行うため、重大事故等時において確実に機能を発揮するよう、設計・建設規格のボルト評価において規定されている荷重に加え、重大事故等時の使用環境等を踏まえ規格では想定していない短期的な荷重を考慮しても、弾性域に抑えられ、シール性能を確保できることを確認する。

(a) 技術基準規則における要求事項

耐圧部ボルトはシール性能を確保する機能を有することから、重大事故等時において想定される荷重に対して、耐圧部ボルトが技術基準規則第55条の要求を満たした弾性状態であることを確認し、シール性能を確保できることを確認する。

(b) ボルト評価において考慮する荷重

表2-2に、今回の評価において考慮する荷重を示す。

今回の耐圧部ボルトの評価においては、(c)項で後述するように、設計条件における平均引張応力に対する許容値 S_m を用いる代わりに、最大応力（平均引張応力と曲げ応力との和）を $3S_m$ に抑え、平均引張応力は $2S_m$ に設定することから、重大事故等時において確実にボルトに求められる機能を発揮できるよう、設計・建設規格のボルト評価において規定されている荷重と設計・建設規格においては規定されていないが重大事故等時に想定される荷重を保守的に設定した荷重とを考慮する。

設計・建設規格で規定されている荷重については、設計・建設規格 PVB-3121 において初期締付力とそれに付加される荷重があり、初期締付力とし

ては、最高使用圧力におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重を考慮し、初期締付力に付加される荷重として、熱サイクルや内圧の影響を考慮することと規定されている。

設計・建設規格においては規定されていないが保守的に設定する荷重については、ケーシング外部から発生する荷重とケーシング内部に発生する荷重とに分けて述べる。

ケーシング外部から発生する荷重として、重大事故等時において想定される荷重は、地震を含む自然現象の影響によるケーシング外部からの荷重が想定されるが、耐震評価については「VI-2 耐震性に関する説明書」において耐震クラスに応じた評価を実施しており、自然現象等特殊な荷重を考慮した強度評価については、屋内に設置された原子炉補機冷却水ポンプについては自然現象等特殊な荷重による影響は受けない。

ケーシング内部に発生する荷重として、対象機器がポンプの場合は回転体による影響が想定されるが、評価対象ボルトは上下のケーシングを締結するケーシングボルトであり、ケーシングと一体で振動するとみなすことができることから、振動による影響は十分小さい。また、出口弁締切運転による内部圧力の上昇及びポンプキャビテーションによる内部圧力の変動が考えられる。それら内部圧力については、機器の設計において、最高使用圧力により包絡されるよう設定されているが、重大事故等時における内部流体による初期の短期的荷重による影響を考慮し、最高使用圧力を上回る内圧を考慮した評価を実施する。

以上のことから、今回の耐圧部ボルト評価において考慮する荷重は、設計・建設規格 PVB-3121 に規定される荷重に加えて、初期の短期的な影響による荷重を考慮のうえ強度評価を実施する。

(c) ボルト評価における許容値

設計・建設規格 PVB-3121 の規定は、設計条件及び各供用状態におけるボルトの許容応力について定めたものであり、設計条件の評価である設計・建設規格 PVB-3121(1)においては、初期締付力である最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付時のボルト荷重により生じる平均引張応力を設計応力強さ $S_m (=1/3 S_y)$ 以下に抑えることが規定されている。また、供用状態の評価である設計・建設規格 PVB-3121(2)においては、初期締付力に付加される荷重により生じる最大応力(平均引張応力と曲げ応力との和)を許容値 $3 S_m (= S_y)$ に抑え、平均引張応力を許容値 $2 S_m (=2/3 S_y)$ に抑えることにより、ボルトによるシール機能が要求される状態において弾性域

に抑えることを要求している。また、設計・建設規格 PVB-3121(3)は弾性域を超えた塑性域での評価であることから、今回省略する。

今回の評価において、本規定を重大事故等クラス 2 機器のボルト評価に適用する場合、許容応力については、重大事故等時において確実にボルトに求められる機能を発揮するよう、設計・建設規格 PVB-3121 に規定される荷重に加えて、設計・建設規格に規定されていないが、重大事故等時の使用環境等を踏まえ、保守的に初期の短期的荷重による影響を考慮のうえ、ボルトに求められる機能要求に対する必要な強度を確保する観点から、各供用状態の評価である設計・建設規格 PVB-3121(2)「供用状態 A、供用状態 B および供用状態 C」の評価を適用し、塑性変形しないことを確認する。

(d) まとめ

今回の評価において、重大事故等クラス 2 機器のうち、クラス 1 容器を参考としたボルト評価を実施する場合は、前述する (b) 項の荷重を考慮して算出した平均引張応力が許容値 $2S_m (=2/3S_y)$ に収まること、また、平均引張応力と曲げ応力との和が許容値 $3S_m (=S_y)$ に収まることを確認し、耐圧部ボルトに求められるシール性能を確保できることを確認する。

表 2-2 ボルト評価において考慮する荷重

No.	荷重	考慮 有無	備考
1	使用状態での荷重 (W_{m1})	○	設計・建設規格 解説 PVB-3121(1)a. に規定される最高使用圧力によるボルト荷重を考慮
2	ガスケット締付による荷重 (W_{m2})	○	設計・建設規格 解説 PVB-3121(1)b. に規定されるガスケット締付による荷重を考慮
3	内圧により付加される荷重	○	内圧(最高使用圧力)により付加される荷重を考慮
4	熱により付加される荷重	○	熱により付加される荷重を考慮
5	回転体振動による加速度	×	ケーシングボルトはポンプ上下のケーシングを締結するものであり、基礎・架台と締結する固定点ではなく、回転体振動による加速度はケーシングボルトに発生しない。
6	内圧により付加される荷重に短期的な内圧による荷重を考慮	○*	最高使用圧力に保守的に短期的な荷重を加えて設定した内圧により付加される荷重を考慮

注記 * : 起動時等の短期的な内圧による荷重は、従来設計において最高使用圧力により考慮しているが、保守的な評価とするため短期的な内圧による荷重を内圧により付加される荷重に付加して評価する。

2.2 重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は、技術基準規則第55条において、「設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

クラス1機器については、重大事故等時に流路としての機能が要求され、重大事故等クラス2機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時の使用圧力、使用温度、事故時荷重等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑えることについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、原子炉圧力容器については施設時の適用規格である告示第501号による評価を行い、原子炉圧力容器以外の機器については告示第501号と設計・建設規格を比較し、いずれか安全側の規格による評価を行う。設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び事故時荷重に対して、運転状態Ⅳの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、流路としての十分な機能が保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

また、重大事故等クラス2支持構造物は、技術基準規則第55条において、「重大事故等クラス2機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス2機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあつては、設計上定める条件において、延性破断及び座屈が生じないこと」が要求されていることから、重大事故等クラス2機器であってクラス1機器に溶接により取り付けられている支持構造物については、重大事故等クラス2機器であってクラス1機器と同様に、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び自重に対して、運転状態Ⅳの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とする。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

注記 *：運転状態Ⅳの許容応力は、告示第501号第13条解説において、鋼材の終局的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力（ P_m ）は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力（ P_L ）＋一次曲げ応力（ P_b ）は $1.5 \times 2/3 S_u$ （ $= S_u$ ）と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。告示第501号に規定されている運転状態Ⅳの許容応力は、耐圧機能維持の観点から、

安全評価上の仮定に保証を与えるものであり，それを適用することについては，材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を有した設計となる。

2.3 重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器及び重大事故等クラス 2 支持構造物であって原子炉格納容器支持構造物の構造及び強度

重大事故等クラス 2 機器は、技術基準規則第 55 条において、「設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

原子炉格納容器については、重大事故等時に放射性物質の閉じ込め機能が要求され、重大事故等クラス 2 機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時の使用圧力、使用温度等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑えることについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の適用規格である告示第 501 号による評価を基本とし、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力及び使用温度の評価条件に対して、運転状態Ⅳの許容応力^{*1, 2}を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能を保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

また、重大事故等クラス 2 支持構造物は、技術基準規則第 55 条において、「重大事故等クラス 2 機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス 2 機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあつては、設計上定める条件において、延性破断及び座屈が生じないこと」が要求されていることから、重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器に溶接により取り付けられている原子炉格納容器支持構造物については、重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器と同様に、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び自重に対して、運転状態Ⅳの許容応力^{*1, 2}を目安とした十分な裕度を有する設計とする。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

注記 *1：運転状態Ⅳの許容応力は、告示第 501 号第 13 条解説において、鋼材の終局的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力 (P_m) は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力 (P_L) + 一次曲げ応力 (P_b) は $1.5 \times 2/3 S_u (= S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。告示第 501 号に規定されている運転状態Ⅳの許容応力は、耐圧機能維

持の観点から、安全評価上の仮定に保証を与えるものであり、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を有した設計となる。

- * 2 : 原子炉格納容器及び原子炉格納容器支持構造物のうち改造を実施する設備の強度評価において、設計・建設規格による評価を行う場合、本文内の運転状態Ⅳを供用状態Dに、注記* 1の告示第501号を設計・建設規格、第13条解説を解説 PVB-3111と読み替える。

2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料について、技術基準規則施行前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価については、以下の方針に従って重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格又は告示第501号において使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は、機械的強度及び化学的成分について、使用材料となるクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a. 機械的強度

(a) 評価項目の選定

機械的強度については、使用材料と比較対象となるクラス2機器の使用可能な材料として規定されている材料の材料規格である日本産業規格（以下「JIS」という。）等に規定されている機械的性質のうち機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。選定結果を表2-3に示す。

表 2-3 機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
降伏点 又は耐力		
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス 2 機器の強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス 2 機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス 2 機器については，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工等の成型性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス 2 機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工等の成型性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス 2 機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー 衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料のじん性の評価に用いられる値であるが，じん性については「(2) 破壊じん性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐摩耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記 * : J I S 等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b) 機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について、使用材料と設計・建設規格においてクラス2機器に使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b. 化学的成分

(a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は、使用材料と比較対象となるクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるJIS等に記載されている化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について、使用材料と設計・建設規格においてクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い、化学的成分規定値に差異があった場合は、化学的成分ごとの影響を確認し、使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは、求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお、各化学的成分の影響については、表2-4のとおり整理する。

表 2-4 化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	S _i	M _n	P	S	C _u	N _i	C _r	M _o	V	W	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	—	向上	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、材料の機械的強度である引張強さ、降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	—	—	—	—	—	—	—	向上	—	—	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、高温域（設計・建設規格 PVB-3312）で使用されていないことを確認する。
溶接性		低下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、溶接規格*にて定められた数値 0.35 %以下であることを確認する。
じん性		低下	—	向上	低下	低下	—	向上	—	—	—	—	じん性については、「(2) 破壊じん性」において確認する。なお、じん性に影響を及ぼす不純物である P、S の化学的成分に差異がある場合は、成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	—	—	—	—	—	向上	向上	—	—	—	耐食性のうち、応力腐食割れに影響を与える化学的成分には、C、N _i 、C _r があるが、N _i 、C _r については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから、悪影響を与えるCの含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える成分に差異がある場合は、悪影響を与える差異がないことを確認する。なお、耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	—	—	—	—	—	向上	向上	向上	向上	向上	—	

注記 *：発電用原子力設備規格 溶接規格（2007年版）J SME S NB 1-2007（日本機械学会）を示す。なお、施設時の適用規格である電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令（昭和 45 年通商産業省令第 81 号）も同値である。

(2) 破壊じん性

a. 破壊じん性試験不要となる材料の規定

破壊じん性については、設計・建設規格に規定されている破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊じん性試験不要となる材料の規定*1

- ・厚さが 16 mm 未満の材料
- ・断面積 625 mm² 未満の棒の材料
- ・呼び径が 25 mm 未満のボルト等の材料
- ・外径が 169 mm 未満の管の材料
- ・厚さが 16 mm, 又は外径が 169 mm 未満の管に接続されるフランジの材料及び管継手の材料
- ・オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金
- ・非鉄金属

注記 *1: 一例としてクラス 2 容器の除外規定 (設計・建設規格 PVC-2310) を記載している。

b. 破壊じん性の確認

破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当しない機器の破壊じん性については、施設時の要求を考慮し、以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊じん性が要求されていた設備

該当設備は、施設時の規格の要求に基づき十分な破壊じん性を有していることを確認している。また、材料の破壊じん性値は、一般的に温度が低くなるにつれて低下することから、脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊じん性が要求されていなかった設備

対象設備は、機器クラスがクラス 3 機器 (工学的安全施設を除く)、クラス 4 管及び Non クラス*2 に該当する設備であり、施設時における破壊じん性に対する要求がないことから、材料のじん性は確認されていないが、設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで、使用条件下での脆性破壊に対するじん性は同じであるとみなせることから、脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記 *2: 技術基準規則第2条第2項第28号, 第32号, 第33号, 第34条及び第35条に規定する「原子炉格納容器」, 「クラス1容器」, 「クラス1管」, 「クラス1ポンプ」, 「クラス1弁」, 「クラス2容器」, 「クラス2管」, 「クラス2ポンプ」, 「クラス2弁」及びこれらを支持する構造物, 「クラス3容器」, 「クラス3管」, 「クラス4管」, 炉心支持構造物並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外の容器, 管, ポンプ, 弁又は支持構造物

上述の(a)項, (b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は屋外に施設される機器においては石巻特別地域気象観測所の気象観測記録における最低温度である -14.6°C , 原子炉格納容器の最低使用温度は 0°C , 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器及び屋内に設置されている機器においては建屋内雰囲気温度の最低温度である 10°C , 海水と接する設備は海水の最低温度 5.6°C がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため, 原子炉格納容器及び屋外に施設される機器の最低使用温度は設計基準対象施設として設定した値と変わらない。屋内に施設される機器のうち, 重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は, 設計基準対象施設として設定されている最低温度 10°C を下回ることではなく, 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器については, 重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため, 設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることはない。また, 屋内に施設される機器のうち, 重大事故等時において通水される内部流体のうち最も温度が低い海水の場合においても最低海水温度が 5.6°C であり, 設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 10°C を有意に下回ることはない。

以上より, (a)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていた機器において, 材料の破壊じん性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない機器については, 施設時に確認した破壊じん性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊じん性を包絡しており, 重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回る機器については, 使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていなかった機器において, 設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し, 使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス2機器に属する鋳造品については、非破壊検査の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の有無

強度計算に用いる許容値に、非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで、材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

VI-3-1-6 重大事故等クラス3機器の強度評価の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針	2
2.1 完成品を除く重大事故等クラス 3 機器の構造及び強度	3
2.2 重大事故等クラス 3 機器のうち完成品の構造及び強度	4

1. 概要

重大事故等クラス 3 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条第 1 項第 3 号及び第 6 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，重大事故等クラス 3 機器である容器，管及びポンプが十分な強度を有することを確認するための強度評価の基本方針について説明するものである。

2. 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針

重大事故等クラス 3 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 55 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）により完成品として一般産業品の規格及び基準へ適合している場合は、技術基準規則の規定を満足するものとされている。

よって、重大事故等クラス 3 機器の技術基準規則第 55 条への適合性については、技術基準規則の解釈第 55 条 6 において同解釈第 17 条 6 を準用していることから、第 17 条において技術基準規則を満たす仕様規定としている「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 I 編 軽水炉規格＞ J S M E S N C 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）のクラス 3 機器を参考にして評価を実施する、又は完成品として一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認することで評価を実施する。

完成品を除く重大事故等クラス 3 機器の材料については設計・建設規格を参考にして適切な材料を使用する設計とする。また、重大事故等クラス 3 機器のうち完成品の材料については、完成品として一般産業品の規格及び基準に適合するものを使用する設計とする。

2.1 完成品を除く重大事故等クラス3機器の構造及び強度

(1) 管

管は、設計・建設規格のクラス3管の規定を準用し、強度評価を実施する。

(2) フランジ

管のフランジは、設計・建設規格 PPD-3414 に適合するものを使用する設計とする。

(3) 管継手

管継手の強度評価は、以下のいずれかによる。

- ・設計・建設規格 PPD-3415 に適合するものを使用する設計とする。
- ・設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ、実条件を踏まえた耐圧試験により裕度を有することが確認された型式のものを使用する設計とする。なお、設計・建設規格のクラス3機器の規定では、設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求めており、設計許容応力は降伏点に対して8分の5を基準にしていることから、降伏点に対する安全率は1.6となる。また、設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍（気圧の場合は1.25倍）の106%を超えないこととしている。

2.2 重大事故等クラス3機器のうち完成品の構造及び強度

完成品は、一般産業品の規格及び基準への適合性を確認することにより材料及び構造の要求を満たしていると評価することから、適用される規格及び基準を、その規格基準に応じて、「法令*1又は公的な規格*2」、「メーカー規格及び基準」の2つの区分に分類し、適用される規格及び基準が妥当であること、対象とする機器の材料が適切であること及び使用条件に対する強度を確認する。

内燃機関を有する可搬型ポンプに附属する燃料タンク、非常用発電装置（可搬型）に附属する燃料タンク及び冷却水ポンプについては、可搬型ポンプ及び非常用発電装置（可搬型）が燃料タンク等を含む一体構造品の完成品として製作されているため、内燃機関を有する可搬型ポンプ又は非常用発電装置（可搬型）が一般産業品の規格及び基準へ適合していることを確認することで、それらの附属機器である燃料タンク又は冷却水ポンプが重大事故等時の使用条件に対する強度を有することを確認する。

注記 *1：例えば、高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則等

*2：例えば、日本産業規格等

VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要 1
2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針 1

1. 概要

原子炉格納容器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 5 号及び第 12 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は，原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部及び電気配線貫通部が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

原子炉格納容器の材料及び構造については，技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが，技術基準規則の施行の際現に施設し，又は着手した設計基準対象施設については，施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007 及び J S M E S N C 1 - 2012 は，いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部及び電気配線貫通部は施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日通商産業省告示第 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）であることから，J S M E S N C 1 - 2005/2007 と告示第 5 0 1 号の比較を行い，いずれか安全側の規格による評価を実施する。

なお，原子炉格納容器の強度計算方法については計算書で個別に示すこととする。

VI-3-2 強度計算方法

目 次

- VI-3-2-1 強度計算方法の概要
- VI-3-2-2 クラス 1 管の強度計算方法
- VI-3-2-3 クラス 1 弁の強度計算方法
- VI-3-2-4 クラス 2 管の強度計算方法
- VI-3-2-5 クラス 2 弁の強度計算方法
- VI-3-2-6 クラス 3 容器の強度計算方法
- VI-3-2-7 クラス 3 管の強度計算方法
- VI-3-2-8 重大事故等クラス 2 容器の強度計算方法
- VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法
- VI-3-2-10 重大事故等クラス 2 ポンプの強度計算方法
- VI-3-2-11 重大事故等クラス 2 弁の強度計算方法
- VI-3-2-12 重大事故等クラス 2 支持構造物（容器）の強度計算方法
- VI-3-2-13 重大事故等クラス 2 支持構造物（ポンプ）の強度計算方法
- VI-3-2-14 重大事故等クラス 3 機器の強度評価方法

VI-3-2-1 強度計算方法の概要

目次

1. 概要	1
2. 評価条件整理表	2

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-1 強度計算の基本方針」に基づき、クラス1機器、クラス2機器、クラス3機器、重大事故等クラス2機器、重大事故等クラス2支持構造物及び重大事故等クラス3機器が十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものであり、以下の資料により構成する。

- VI-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
- VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
- VI-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
- VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- VI-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- VI-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法
- VI-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
- VI-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法
- VI-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法
- VI-3-2-14 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

2. 評価条件整理表

添付書類「VI-3-1 強度計算の基本方針」に示す強度計算の方針との整合を図るため、各強度計算書において、「評価条件整理表」を添付する。本項では「評価条件整理表」で整理する項目について説明する。なお、強度評価対象機器のうち以下の機器については、評価条件及び適用規格の比較等が不要であることから「評価条件整理表」は添付しないこととする*。

注記 *：重大事故等クラス2機器であってクラス1容器は、設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度に、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されない機器であるため「評価条件整理表」の添付は省略しないこととする。

- ・重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器
- ・消火設備用ポンベ又は消火器
- ・重大事故等クラス3機器

- (1) 新設又は既設の判定
当該設備が新設又は既設であることを記載する。
- (2) 施設時の技術基準における規定の有無

表 2-1 施設時の技術基準における規定の有無の判定区分*

項目	説明
有	施設時の技術基準が 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「昭和55年告示第501号」という。） 又は 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（平成6年7月21日 通商産業省告示第501号）（以下「平成6年告示第501号」という。） 又は 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））＜第I編 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。） である機器
無	「施設時の技術基準における規定がない機器」

注記 *：「新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）」については「有」「無」に分類可能なものであっても「－」とする。

(3) 機器クラス

- ・クラスアップの有無

表 2-2 クラスアップの有無の判定区分*¹

項目	説明
有	「原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲でありクラス 2 機器からクラス 1 機器になる機器」* ² 、「施設時に規定がなかった機器のうち今回クラス 3 機器に分類される機器」* ² 、又は「クラス 1 機器又はクラス 2 機器に属さない機器のうち重大事故等クラス 2 機器となる機器」
無	上記以外の強度評価対象機器

注記 *1:「施設時の技術基準における規定がない機器」又は「新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）」については「有」「無」に分類可能なものであっても「－」とする。

*2: クラスアップする理由を評価条件整理表に注記として追加する。

- ・施設時機器クラス

表 2-3 施設時機器クラスの判定区分*

項目	説明
DB-1	「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 2 条第 2 項第 32 号に規定する「クラス 1 容器」、「クラス 1 管」、「クラス 1 ポンプ」又は「クラス 1 弁」及びこれらを支持する構造物
DB-2	技術基準規則第 2 条第 2 項第 33 号に規定する「クラス 2 容器」、「クラス 2 管」、「クラス 2 ポンプ」又は「クラス 2 弁」及びこれらを支持する構造物
DB-3	技術基準規則第 2 条第 2 項第 34 号に規定する「クラス 3 容器」、「クラス 3 管」
DB-4	技術基準規則第 2 条第 2 項第 35 号に規定する「クラス 4 管」
Non	上記以外の容器、管、ポンプ、弁又は支持構造物
－	新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）又は上記以外の機器

注記 * : 施設時の適用規格が昭和 55 年告示第 5 0 1 号又は平成 6 年告示第 5 0 1 号の場合には、技術基準規則における機器クラスに読み替えて記載する。

- ・DB クラス：設計基準対象施設としての機器クラス

表 2-4 DB クラスの判定区分

項目	説明
DB-1	技術基準規則第 2 条第 2 項第 32 号に規定する「クラス 1 容器」, 「クラス 1 管」, 「クラス 1 ポンプ」又は「クラス 1 弁」及びこれらを支持する構造物
DB-2	技術基準規則第 2 条第 2 項第 33 号に規定する「クラス 2 容器」, 「クラス 2 管」, 「クラス 2 ポンプ」又は「クラス 2 弁」及びこれらを支持する構造物
DB-3	技術基準規則第 2 条第 2 項第 34 号に規定する「クラス 3 容器」, 「クラス 3 管」
DB-4	技術基準規則第 2 条第 2 項第 35 号に規定する「クラス 4 管」
Non	重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用する機器であり, 上記以外の容器, 管, ポンプ, 弁又は支持構造物
—	重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器であり, 上記以外の機器

- ・SA クラス：重大事故等対処設備としての機器クラス

表 2-5 SA クラスの判定区分

項目	説明
SA-2	技術基準規則第 2 条第 2 項第 38 号に規定する「重大事故等クラス 2 容器」, 「重大事故等クラス 2 管」, 「重大事故等クラス 2 ポンプ」又は「重大事故等クラス 2 弁」及びこれらを支持する構造物
—	設計基準対象施設としてのみ使用する機器

(4) 評価条件

- ・条件アップの有無

表 2-6 条件アップの有無の判定区分*

項目	説明
有	設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度に, 重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されない機器
無	上記以外の強度評価対象機器

注記 * : 「施設時の技術基準における規定がない機器」又は「新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）」は「有」「無」に分類可能なものであっても「—」とする。

- ・DB 条件：最高使用圧力及び最高使用温度
- ・SA 条件：重大事故等時における使用時の圧力及び温度

(5) 既工認における評価結果の有無

表 2-7 既工認における評価結果の有無の判定区分*

項目	説明
有	既工認において同等以上の評価条件にて評価されている機器
無	上記以外の強度評価対象機器

注記 * : 「施設時の技術基準における規定がない機器」, 「クラスアップする機器」, 「条件アップする機器」又は「新設する機器 (重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む)」は「有」「無」に分類可能なものであっても「-」とする。

(6) 施設時の適用規格

表 2-8 施設時の評価規格の判定区分*

項目	説明
S55 告示	施設時の適用規格が昭和 55 年告示第 5 0 1 号である機器
H6 告示	施設時の適用規格が平成 6 年告示第 5 0 1 号である機器
設計・建設規格	施設時の適用規格が設計・建設規格である機器

注記 * : 「施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器」, 「施設時に上記以外の規格にて評価を実施している機器」又は「新設する機器 (重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む)」は「-」とする。

(7) 評価区分

表 2-9 評価区分

項目	説明
既工認	既工認における評価結果の確認による評価
設計・建設規格 又は告示	設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号 ^{*1} のいずれか安全側の規格による評価 ^{*2}
設計・建設規格	設計・建設規格による評価 ^{*3, *4}
同等性 ^{*5}	同等性を示す手法による評価

注記 *1:「告示第 5 0 1 号」とは昭和 55 年告示第 5 0 1 号を指す。

*2:安全側の規格が容易に判断できない場合は、両規格による評価を実施する。

*3:施設時の適用規格が設計・建設規格の場合又は施設時の技術基準に規定がない場合

*4:平成 6 年告示第 5 0 1 号のものについては、公式及び解析による評価において設計・建設規格と差異がないことから、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

*5:一部の部位のみ同等性を示す手法による評価を実施する場合においても列記する。

(8) 同等性評価区分

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式を用いた評価
 - (b) クラス 3 ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式を用いた評価
- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス 1 容器の規定を準用した評価

(9) 評価クラス

(1)～(8)の分類に基づき、評価クラスを判別する。

VI-3-2-2 クラス1管の強度計算方法

目次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用基準	1
2. クラス1管の強度計算方法	1
2.1 計算方針	1
2.2 計算方法	2
3. 計算書の構成	17
3.1 管の応力計算書	17

1. 一般事項

1.1 概要

本計算方法は、発電用原子力設備のうち、クラス 1 管の応力計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）
- (2) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（以下「技術基準規則解釈」という。）
- (3) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (4) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）

2. クラス 1 管の強度計算方法

2.1 計算方針

設計基準対象施設は、それぞれの施設の評価条件での設計・建設規格による評価を実施する。技術基準規則解釈において、技術基準規則第 17 条に規定の要求に適合する材料及び構造とは、設計・建設規格によることから、クラス 1 管は、設計・建設規格 PPB-3500 による評価を実施する。加えて、施設時に適用された規格が告示第 5 0 1 号の範囲については、告示第 5 0 1 号第 46 条から第 48 条までの規定に基づく評価を実施する。

2.2 計算方法

2.2.1 解析による計算

応力計算は、三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。なお、解析は解析コード「ISAP」を使用する。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。

2.2.1.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ：6方向を固定として扱う。
 - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量（フランジ部含む。）の他に弁等の集中質量、管内流体の質量、付加質量として保温材等の質量を考慮するものとする。

2.2.1.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

- (1) 荷重条件
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重（自重及びその他の長期的荷重）
 - c. 機械的荷重（逃し弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）
 - d. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力
 - e. 配管肉厚方向の温度こう配及び管軸に沿った構造上不連続部に生じる熱応力

2.2.2 計算式

2.2.2.1 記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
$B_1, B_2,$ B_{2b}, B_{2r}	—	告示第501号第48条及び設計・建設規格 PPB-3810に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）
$C_1, C_2, C_{2b},$ C_{2r}, C_3, C_3'	—	告示第501号第48条及び設計・建設規格 PPB-3810に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）
C_4	—	フェライト系材料に対し 1.1, オーステナイト系材料に対し 1.3
D_0	mm	管の外径
E	MPa	告示第501号別表第11及び設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規定する縦弾性係数
E_{ab}	MPa	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温における告示第501号別表第11及び設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規定する縦弾性係数の平均値
$K_1, K_2, K_{2b},$ K_{2r}, K_3	—	告示第501号第48条及び設計・建設規格 PPB-3810に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）

記号	単位	定義
$M_{b p}$	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重により生ずるモーメント
$M_{b r}$	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
$M_{b s}$	N・mm	<p>(S_n, S_p) : 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱膨張, 支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント</p> <p>(S_n') : 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の支持点の変位（熱によるものを除く。）及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント</p> <p>(S_e) : 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント</p>
M_c	N・mm	管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント
$M_{i p}$	N・mm	管の機械的荷重により生ずるモーメント

記号	単位	定義
$M_{i s}$	N・mm	<p>(S_n, S_p): 管の熱膨張, 支持点の変位及び機械的荷重 (自重を除く。) により生ずるモーメント</p> <p>(S_n'): 管の支持点の変位 (熱によるものを除く。) 及び機械的荷重 (自重を除く。) により生ずるモーメント</p> <p>(S_e): 管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント</p>
$M_{r p}$	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重により生ずるモーメント
$M_{r s}$	N・mm	<p>(S_n, S_p): 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱膨張, 支持点の変位及び機械的荷重 (自重を除く。) により生ずるモーメント</p> <p>(S_n'): 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の支持点の変位 (熱によるものを除く。) 及び機械的荷重 (自重を除く。) により生ずるモーメント</p> <p>(S_e): 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント</p>
n_i	—	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数
N_i	—	繰返し荷重 i の許容繰返し回数
P	MPa	最高使用圧力
P_0	MPa	運転状態 I 及び II (供用状態 A 及び B) において生ずる圧力
P_0'	MPa	供用状態における最大圧力

記号	単位	定義
S_c	MPa	室温における告示第501号別表第6及び設計・建設規格付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力
S_e	MPa	熱膨張応力
S_θ	MPa	繰返しピーク応力強さ（告示第501号第46条第5項及び設計・建設規格 PPB-3533 による。）
S_m	MPa	告示第501号別表第2及び設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に規定する材料の設計応力強さ
S_n	MPa	一次＋二次応力
S_n'	MPa	一次＋二次応力（熱によるものを除く。）
S_p	MPa	ピーク応力
$S_{pr m}$	MPa	一次応力
S_y	MPa	告示第501号別表第9及び設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点
t	mm	管の厚さ
T_a, T_b	℃	構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の計算式により計算した範囲 l_a, l_b 内の平均温度 $l_a = \sqrt{(d_a t_a)}, l_b = \sqrt{(d_b t_b)}$ d_a 及び d_b ：構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側における管の内径(mm) t_a 及び t_b ： l_a 及び l_b の範囲内における管の平均厚さ(mm)
ΔT	℃	温度差の変動範囲
ΔT_1	℃	線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面温度差
ΔT_2	℃	管の内面又は外面において生ずる温度とそれに対応する線形化した温度との差のうちいずれか大きい方の温度（負の場合は0とする。）

記号	単位	定義
Z, Z_i	mm^3	管の断面係数
Z_b	mm^3	管台又は突合せ溶接式テーパーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm^3	管台又は突合せ溶接式テーパーに接続される主管の断面係数
α	$\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$	室温における告示第 5 0 1 号別表第 12 及び設計・建設規格付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数
α_a, α_b	$\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側の室温における告示第 5 0 1 号別表第 12 及び設計・建設規格付録材料図表 Part6 表 2 に規定する熱膨張係数
ε_e	—	<p>S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、弾性解析により計算したときのひずみであり、次の計算式により計算した値</p> $\varepsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ <p>$\bar{\sigma}^*$: 弾性解析によるミーゼス相当応力</p>
ε_{ep}	—	<p>S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、材料の応力-ひずみ関係として、降伏応力を S_m の 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり、次の計算式により計算した値</p> $\varepsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\varepsilon}^p$ <p>$\bar{\sigma}$: 弾塑性解析によるミーゼス相当応力</p> <p>$\bar{\varepsilon}^p$: 弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ</p>
(I, II)	—	運転状態 I 及び運転状態 II 若しくは設計条件相当の応力評価を行う運転状態
(A, B)	—	供用状態 A 及び供用状態 B 若しくは設計条件相当の応力評価を行う供用状態

2.2.2.2 応力計算

(1) 告示第501号第46条から第48条による評価

a. 一次応力 (告示第501号第46条第1号イ及びロ)

(a) 管台及び突合せ溶接式テイナー

$$S_{pr m}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \leq 1.5 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 1.5 \cdot S_m$$

b. 一次応力 (告示第501号第46条第2号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テイナー

$$S_{pr m}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \leq 2.25 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 2.25 \cdot S_m$$

c. 一次応力 (告示第501号第46条第3号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テイナー

$$S_{pr m}(3) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \leq 3 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(3) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$$

d. 一次+二次応力 (告示第501号第46条第4号イ及びロ)

(a) 管台及び突合せ溶接式テイナー

$$S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

e. ピーク応力 (告示第501号第46条第5号イ及びロ)

(a) 管台及び突合せ溶接式テイナー

$$S_p = K_1 \cdot C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + K_{2b} \cdot C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + K_{2r} \cdot C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + K_3 \cdot E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + K_3 \cdot C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_2 | / 0.7$$

(b) (a)以外の管

$$S_p = K_1 \cdot C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + K_2 \cdot C_2 \cdot M_{is} / Z_i + K_3 \cdot E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + K_3 \cdot C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_2 | / 0.7$$

- f. 繰返しピーク応力強さ（告示第501号第46条第5号）

$$S_0 = S_p / 2$$

- g. 許容繰返し回数（告示第501号第46条第5号）

告示第501号 別図第1又は別図第2を用いて、繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数 N_i を算出する。

- h. 疲労累積係数（告示第501号第46条第5号）

$$\sum (n_i / N_i) \leq 1.0$$

- i. 簡易弾塑性解析（告示第501号第47条）

- (a) 告示第501号 別表第2に定める当該部分の材料の最小降伏点と最小引張強さとの比が0.8以下であること。（告示第501号第47条第1号）

- (b) 運転状態Ⅰ及びⅡにおいて生ずる当該部分の温度は、次の値を超えないこと。（告示第501号第47条第2号）

イ. 低合金鋼，マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼 375°C

ロ. オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金 425°C

- (c) 一次＋二次応力（熱によるものを除く。）（告示第501号第47条第3号）

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + C_3' \cdot E_{ab} \cdot |\alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b| \leq 3 \cdot S_m$$

ロ. イ. 以外の管

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + C_3' \cdot E_{ab} \cdot |\alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b| \leq 3 \cdot S_m$$

- (d) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける告示第501号第46条第5号の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとした値は、告示第501号 別図第1又は別図第2における10回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さの値を超えないこと。（告示第501号第47条第4号）

- (e) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける次の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとし、告示第501号 別図第1又は別図第2において、これに対応する許容繰返し回数が実際の繰返し回数以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が2種類以上ある場合は、疲労累積係数が1以下でなければならない。（告示第501号第47条第5号）

イ. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$S_0 = S_p / 2$$

ロ. $3 \cdot S_m \leq S_n \leq m \cdot 3 \cdot S_m$ の場合

$$S_0 = \text{MAX} [K_e \cdot S_p / 2, \{S_p + A_0 \cdot S_n \cdot (S_p / 3 \cdot S_m - 1)\} / 2]$$

$$K_e = 1 + (1 - n) \cdot (S_n / 3 \cdot S_m - 1) / \{n \cdot (m - 1)\}$$

m, n, A₀ : 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	m	n	A ₀
低合金鋼	2.0	0.2	1.0
マルテンサイト系ステンレス鋼	2.0	0.2	1.0
炭素鋼	3.0	0.2	0.66
オーステナイト系ステンレス鋼	1.7	0.3	0.7
高ニッケル合金	1.7	0.3	0.7

ハ. $m \cdot 3 \cdot S_m < S_n$ の場合

$$S_e = S_p / (2 \cdot n)$$

(f) 熱膨張応力 (告示第 501 号第 47 条第 6 号)

イ. 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_e = C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r \leq 3 \cdot S_m$$

ロ. イ以外の管

$$S_e = C_2 \cdot M_{is} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$$

(2) 設計・建設規格 PPB-3500 による評価

a. 一次応力 (設計・建設規格 PPB-3520)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_{pr m}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \leq 1.5 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 1.5 \cdot S_m$$

b. 一次応力 (設計・建設規格 PPB-3552)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_{pr m}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \\ \leq \text{Min} (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq \text{Min} (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$$

c. 一次応力 (設計・建設規格 PPB-3562)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_{pr m}(3) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \\ \leq \text{Min} (3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(3) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq \text{Min} (3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$$

d. 一次+二次応力 (設計・建設規格 PPB-3531)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + C_3 \cdot E_{ab} \cdot \\ | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \\ \leq 3 \cdot S_m$$

e. ピーク応力 (設計・建設規格 PPB-3532)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

$$S_p = K_1 \cdot C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + K_{2b} \cdot C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + \\ K_{2r} \cdot C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + K_3 \cdot E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + K_3 \cdot C_3 \cdot E_{ab} \cdot \\ | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_2 | / 0.7$$

(b) (a)以外の管

$$S_p = K_1 \cdot C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + K_2 \cdot C_2 \cdot M_{is} / Z_i + \\ K_3 \cdot E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + K_3 \cdot C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | + \\ E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_2 | / 0.7$$

- f. 繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格 PPB-3533）

$$S_e = S_p / 2$$

- g. 許容繰返し回数（設計・建設規格 PPB-3534）

設計・建設規格 添付 4-2 3.1 及び 3.2 を用いて、設計・建設規格 PPB-3533 に従って算出された繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数 N_i を算出する。

- h. 疲労累積係数（設計・建設規格 PPB-3535）

$$\Sigma (n_i / N_i) \leq 1.0$$

- i. 簡易弾塑性解析（設計・建設規格 PPB-3536）

- (a) 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める当該部分の材料の最小降伏点と最小引張強さとの比が 0.8 以下であること。

- (b) 供用状態 A 及び B において生ずる当該部分の温度は、次の値を超えないこと。

イ. 低合金鋼，マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼 370°C

ロ. オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金 430°C

- (c) 一次＋二次応力(熱によるものを除く。)

- イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + C_{3'} \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

- ロ. イ. 以外の管

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + C_{3'} \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

- (d) 供用状態 A 及び B における設計・建設規格 PPB-3533 の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとした値は、設計・建設規格 添付 4-2, 3.1 及び 3.2 における 10 回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さの値を超えないこと。

- (e) 供用状態 A 及び B における次の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとし、設計・建設規格 添付 4-2, 3.1 及び 3.2 において、これに対応する許容繰返し回数が実際の繰返し回数以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が 2 種類以上ある場合は、疲労累積係数が 1 以下でなければならない。

$$S_e = K_e \cdot S_p / 2$$

K_e : 次の計算式により計算した値

- イ. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

ロ. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合

(イ) $K < B_0$ の場合

i. $S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1)$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\}$$

ii. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1)$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

(ロ) $K \geq B_0$ の場合

i. $S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1 / K) + 1 - a$$

ii. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

ここで,

$$K = S_p / S_n,$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1 / K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A_0, B_0 : 下表に掲げる材料の種類に応じ、それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	B ₀
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合, 2.2.2.2(2)i.(e)ロ.に関わらず, 次の計算式により計算した値を用いても良い。

$$K_e = \varepsilon_{ep} / \varepsilon_e$$

(f) 熱膨張応力

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_e = C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r \leq 3 \cdot S_m$$

ロ. (イ)以外の管

$$S_e = C_2 \cdot M_{is} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$$

(g) 管の内外面の温度差の変動範囲

$$\Delta T \leq 1.4 \cdot y \cdot S_y / (E \cdot \alpha) \cdot C_4$$

y : x の値に応じ下表に示す値

x	0.3	0.5	0.7	0.8
y	3.33	2.00	1.20	0.80

(備考) 表中の値の中間の値は、比例法によって計算する。

x : 次式により計算した値

$$x = P_0' \cdot D_0 / (2 \cdot t) \cdot 1 / S_y$$

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

管クラス	設備	荷重の組合せ	状態
クラス 1 管	原子炉冷却材 圧力バウンダリ	P + M + D	設計条件
		P + M + T + O	運転状態 I, II 供用状態 A, B
		P + M + D	運転状態 III 供用状態 C
		P + M + D	運転状態 IV 供用状態 D

表 2-1 中の記号

P : 内圧による荷重

M : 機械荷重 (自重除く。)

D : 配管の自重による荷重

T : 配管の熱膨張荷重 (支持点の熱膨張変位を含む。)

O : 過渡熱による荷重

表 2-2 許容応力（告示第 5 0 1 号第 46 条から第 48 条）

状態	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
運転状態 I, II	—	$3 \cdot S_m$	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
運転状態 III	$2.25 \cdot S_m$	—	—
運転状態 IV	$3 \cdot S_m$	—	—

表 2-3 許容応力（設計・建設規格 PPB-3500）

状態	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
供用状態 A, B	—	$3 \cdot S_m$	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
供用状態 C	$\text{Min} (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$	—	—
供用状態 D	$\text{Min} (3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	—	—

2.2.4 計算精度と桁処理方法

計算精度は6桁以上を確保する。表示する数値の桁処理方法は表2-4に示すとおりである。

表 2-4 数値の桁処理方法

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力* ¹		MPa	—	—	小数点以下第2位* ²
温度	下記以外の温度	℃	—	—	整数位
	過渡変化温度差	℃	小数点以下第1位	切上げ	整数位
	許容温度差	℃	小数点以下第1位	切捨て	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	移動量	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
	鳥瞰図記載	mm	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
質量		kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
ばね定数		N/mm	有効桁数4桁	四捨五入	有効桁数3桁
回転ばね定数		N・mm/rad	有効桁数4桁	四捨五入	有効桁数3桁
方向余弦		—	小数点以下第5位	四捨五入	小数点以下第4位
応力	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
疲労累積係数		—	小数点以下第5位	切上げ	小数点以下第4位

注記 *1：必要に応じてkPaを使用する。また、静水頭は「静水頭」と表示する。

*2：必要に応じて小数点以下第3位又は第4位を用いる。

*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許容応力は、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。また、告示別表に記載された許容応力は、各温度の値をSI単位に換算し、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 計算書の構成

3.1 管の応力計算書

(1) 概要

本計算方法に基づき、管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。

また、評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

a. 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、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についても記載する。

(2) 概略系統図及び鳥瞰図

a. 概略系統図

工事計画記載範囲の管を含む概略系統図を添付する。ただし、工事計画記載範囲のすべてについて既工認における評価結果の確認による評価を実施した系統については、既工認の計算書番号等を記載のうえ、添付を省略する。

b. 鳥瞰図

工事計画記載範囲の管のうち評価結果記載の解析モデル図を添付する。ただし、以下に該当する場合は、その旨を記載のうえ、添付を省略する。

(a) 既工認における評価結果の確認による評価を実施した範囲

既工認の計算書番号等を記載の上、添付を省略する。

(3) 計算条件

本項目記載内容及び添付フォーマットを以下に示す。ただし、鳥瞰図の添付を省略した範囲については、同様の理由で添付を省略する。

a. 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。

鳥瞰図番号

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

鳥瞰図番号

管名称	対応する評価点

配管の質量（付加質量含む）

鳥瞰図番号

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

弁部の質量を下表に示す。

鳥瞰図番号

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

鳥瞰図番号

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

**印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

b. 材料及び許容応力

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa) *			
		S _m	S _y	S _u	S _h

注記 * : 評価に使用しない許容応力については欄を設けない。

(4) 評価結果

工事計画記載範囲の管の各応力区分における最大発生応力の評価点の評価結果を示した表を解析モデル単位に添付する。解析モデルは各応力区分における裕度最小モデルを添付する。添付フォーマットを以下に示す。

a. 告示第501号 第46条から第48条による評価結果
鳥瞰図番号

運転状態	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
				一次応力 S_{perm}	許容応力 $1.5 \cdot S_m$ $2.25 \cdot S_m$ $3 \cdot S_m$	一次+二次応力 S_n	熱膨張応力 S_e	熱を除いた一次+二次応力 S_n'	許容応力 $3 \cdot S_m$	疲労累積係数 U
(I, II)			$S_{perm} (1)$	Max	$1.5 \cdot S_m$					
(I, II)			S_n			Max			$3 \cdot S_m$	
(I, II)			S_e				Max		$3 \cdot S_m$	
(I, II)			S_n'					Max	$3 \cdot S_m$	
(I, II)			U							Max
III			$S_{perm} (2)$	Max	$2.25 \cdot S_m$					
IV			$S_{perm} (3)$	Max	$3 \cdot S_m$					

b. 設計・建設規格 PPB-3500 による評価結果

鳥瞰図番号

供用状態	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)				熱応力評価 (°C)		疲労評価 疲労累積係数 U
				一次応力 $S_{pr m}$	許容応力 $1.5 \cdot S_m$ $\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$ $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	一次+二次応力 S_n	熱膨張応力 S_e	熱を除いた一次+二次応力 S_n'	許容応力 $3 \cdot S_m$	温度差の変動範囲 ΔT	許容温度差	
(A, B)			$S_{pr m} (1)$	Max	$1.5 \cdot S_m$							
(A, B)			S_n			Max				$3 \cdot S_m$		
(A, B)			S_e				Max			$3 \cdot S_m$		
(A, B)			S_n'					Max		$3 \cdot S_m$		
(A, B)			ΔT							Max	*	
(A, B)			U									Max
C			$S_{pr m} (2)$	Max	$\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$							
D			$S_{pr m} (3)$	Max	$\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$							

注記* : 本書 2.2.2.2(2) i. (g) に基づき計算した値 $(1.4 \cdot y \cdot S_y / (E \cdot \alpha) \cdot C_4)$ を記載する。

(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、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。このため、下表の代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス1範囲 運転状態Ⅰ，Ⅱ）

No	配管モデル	運転状態(Ⅰ, Ⅱ)												
		一次応力(膜+曲げ)					一次+二次応力(Sn)					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	***-1	1	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—	17	*,****	—
2	***-2	2	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	○	18	*,****	—
3	***-3	3	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—	19	*,****	○
4	***-4	4	**	***	*,**	○	14	**	***	*,**	—	20	*,****	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—	21	*,****	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—	22	*,****	—

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範囲 運転状態Ⅲ，Ⅳ）

No	配管モデル	運転状態Ⅲ					運転状態Ⅳ				
		一次応力(膜+曲げ)					一次応力(膜+曲げ)				
		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	***-1	23	**	***	*,**	—	29	**	***	*,**	—
2	***-2	24	**	***	*,**	—	30	**	***	*,**	—
3	***-3	25	**	***	*,**	—	31	**	***	*,**	—
4	***-4	26	**	***	*,**	○	32	**	***	*,**	○
5	***-5	27	**	***	*,**	—	33	**	***	*,**	—
6	***-6	28	**	***	*,**	—	34	**	***	*,**	—

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範囲 供用状態A, B）

No	配管モデル	供用状態(A, B)												
		一次応力(膜+曲げ)					一次+二次応力(Sn)					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	***-1	1	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—	17	*,****	—
2	***-2	2	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	○	18	*,****	—
3	***-3	3	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—	19	*,****	○
4	***-4	4	**	***	*,**	○	14	**	***	*,**	—	20	*,****	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—	21	*,****	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—	22	*,****	—

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範囲 供用状態C, D）

No	配管モデル	供用状態C					供用状態D				
		一次応力(膜+曲げ)					一次応力(膜+曲げ)				
		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	***-1	23	**	***	*,**	—	29	**	***	*,**	—
2	***-2	24	**	***	*,**	—	30	**	***	*,**	—
3	***-3	25	**	***	*,**	—	31	**	***	*,**	—
4	***-4	26	**	***	*,**	○	32	**	***	*,**	○
5	***-5	27	**	***	*,**	—	33	**	***	*,**	—
6	***-6	28	**	***	*,**	—	34	**	***	*,**	—

VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法

目次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	3
1.4 計算精度と数値の丸め方	4
1.5 材料の表示方法	5
2. クラス1弁の強度計算方法	6
2.1 弁箱に係るものの応力評価	6
2.2 弁体の一次応力	16
2.3 フランジ及びボルトの強度計算	22
2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算	30
2.5 弁箱の形状規定	32
3. 添付図	33

別紙 クラス1弁の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、添付書類「VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス1弁が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、昭和55年通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第501号」という。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7）（日本機械学会2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

告示第501号と設計・建設規格の比較に基づく、告示第501号各条項又は設計・建設規格規格番号と本資料との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 両規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本産業規格（以下「J I S」という。）と本資料との対応は、表1-2に示すとおりである。

表 1-1 告示第 5 0 1 号各条項又は設計・建設規格 規格番号と強度計算書との対応

告示第 5 0 1 号 条項 設計・建設規格 規格番号	本資料の計算式 (章節番号)	備考
第 81 条 材料の許容応力	2. 1	弁箱に係るものの応力評価
VVB-3300 弁の応力評価		
VVB-3320 ^{*1}	2. 1. 1	一次応力
VVB-3330 ^{*1}	2. 1. 2	配管反力による応力
VVB-3340 ^{*1}	2. 1. 3	一次＋二次応力
VVB-3350 ^{*1, *2}	2. 1. 4	一次局部応力
第 1 項第 1 号ホ(イ) ^{*1}	2. 1. 5	起動時及び停止時の繰返しピーク応力 強さ
VVB-3360 ^{*1}		
第 1 項第 1 号ホ(ロ) ^{*1}	2. 1. 6	繰返しピーク応力強さ
VVB-3370 ^{*1}		
VVB-3380 ^{*1}	2. 2	弁体の一次応力
VVB-3390	2. 3	フランジの強度計算
VVB-3390(1) ^{*1 a}	2. 3	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVB-3390(1) ^{*1 b}	2. 3	フランジボルトの応力解析
第 82 条 弁の形状等		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
第 1 項第 1 号	2. 4	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVB-3200 耐圧部の設計		
VVB-3210	2. 4	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVB-3400 弁の形状	2. 5	弁箱の形状規定
VVB-3410 ^{*1}	2. 5	弁箱のネック部内径と弁入口流路内径 の比
VVB-3411(1) ^{*1}	2. 5	弁箱のネック部と流路部が交わる部分 の外表面の丸みの半径
VVB-3411(2) ^{*1}	2. 5	弁箱の弁座挿入部のすみの丸みの半径

注記 *1：告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ(イ)，(ロ)又は設計・建設規格 VVB-3320, 3330, 3340, 3350, 3360, 3370, 3380, 3390(1)a, 3390(1)b, 3410, 3411(1), 3411(2)による計算は，接続管の外径が 115mm を超える弁について適用する。

*2：設計・建設規格 VVB-3350 に対する確認については，弁の最高使用圧力を決定する時点でその 1.1 倍を超えないよう安全弁等を設置するため，供用状態 C においても最高使用圧力の 1.2 倍を超えることはない。

表 1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		本資料の計算式 (章節番号)	備考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003)		2.3	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造—一般事項」			
附属書 3 (規定)	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		

注記 * : 設計・建設規格 VVB-3390 により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」(以下「J I S B 8 2 6 5」という。)の附属書 3 (規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算は、本資料と各弁の強度計算書からなる。
- (2) 各弁の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本資料によるものとする。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3 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
圧力	最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
	告示第501号 別表第13又は 設計・建設規格 別表 1-1 に規定する 許容圧力	MPa	—*1 (小数点以下第3位)	—*1 (四捨五入)	小数点以下第2位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
応力	許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
	算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
	実際の長さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第3位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
面積	総断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	実際の断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	弁操作力による反力	N	—	—	整数位
	上記以外の力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		°	—	—	小数点以下第1位

注記 *1：設計・建設規格 別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法により補間して求める場合は、() 内を適用する。また、告示第501号別表に記載された許容圧力は、各温度の値を SI 単位に換算し、SI 単位に換算した値の小数点以下第3位を四捨五入して、小数点以下第2位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

*2：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許容引張応力は、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。また、告示第501号別表に記載された許容引張応力は、各温度の値を SI 単位に換算し、SI 単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して、整数位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

J I S の改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合，設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し，最新の J I S による材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

(例 1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例 2) SCS14A 相当 (ASME SA351 Gr. CF8M)

- (2) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SNB7 (径 \leq 63 mm)

- (3) ガasket材料で非石綿の場合の表示は，フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお，この場合のガasket係数 (m) 及びガasketの最小設計締付圧力 (y) は，J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 備考 3 よりガasketメーカー推奨値を適用する。

2. クラス1弁の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス1弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に示す。

2.1 弁箱に係るものの応力評価

告示第501号第81条第1項第1号ホ(イ), (ロ)又は設計・建設規格 VVB-3320, 3330, 3340, 3350, 3360, 3370 を適用する。

(1) 記号の説明

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A ₀	A ₀	告示第501号第81条第1項第1号ホの表又は設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	—
m, n	m, n	告示第501号第81条第1項第1号ホの表より求めた値	—
A ₁	A ₁	接続管の断面積の2分の1	mm ²
A ₂	A ₂	図3-2に示すA~A断面における金属部の断面積	mm ²
A _f	A _f	図3-1に示す流体部面積	mm ²
(A _{f1} , A _{f2})	(A _{f1} , A _{f2})		
A _m	A _m	図3-1に示す金属部面積	mm ²
(A _{m1} , A _{m2})	(A _{m1} , A _{m2})		
B ₀	B ₀	設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	—
C ₂	C ₂	応力係数で設計・建設規格 VVB-3340 の表 VVB-3340-1 より求めた値	—
C ₃	C ₃	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ホ 図1 又は設計・建設規格 VVB-3360 の表 VVB-3360-1 より求めた値	—
C ₄	C ₄	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ハ 図3 又は設計・建設規格 VVB-3340 の表 VVB-3340-2 より求めた値	—
C ₅	C ₅	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ホの図又は設計・建設規格 VVB-3370 の表 VVB-3370-1 より求めた値	—
C _b	C _b	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ロ 図2 又は設計・建設規格 VVB-3330 式(VVB-9) より求めた値	—
d	d	図3-1に示す寸法	mm

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
E	E	260℃の温度における告示第501号別表第11又は設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規定する材料の縦弾性係数	MPa
	E _m	最高使用温度における告示第501号別表第11又は設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規定する材料の縦弾性係数	MPa
	I _t	疲労累積係数	—
K	K	ネック部の角度による係数	—
K _e	K _e	設計・建設規格 PVB-3315(2)(3)より求まる係数	—
L _A	L _A	図3-1に示すA _f 及びA _m の範囲	mm
L _N	L _N	図3-1に示すA _f 及びA _m の範囲	mm
	N(1)	S ₀ (1)に対応する許容繰返し回数	—
	N(2)	S ₀ (2)に対応する許容繰返し回数	—
	N _i	実際の繰返し回数	—
	N _{r i}	許容繰返し回数	—
P	P	最高使用圧力	MPa
P ₁	P ₁	最高使用温度における告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P ₂	P ₂	最高使用温度における告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P _b	P _b	配管反力による弁箱の応力（告示第501号第81条第1項第1号口又は設計・建設規格 VVB-3330による。）	MPa
P _d	P _d	配管反力による弁箱の応力（告示第501号第81条第1項第1号口又は設計・建設規格 VVB-3330による。）	MPa
P _e	P _e	P _d 、P _b 及びP _t の中の最大応力	MPa
P _{r 1}	P _{r 1}	260℃の温度における告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa

告示第 5 0 1 号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
P_{r2}	P_{r2}	260 °Cの温度における告示第 5 0 1 号別表第 13 又は設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_s	P_s	260 °Cにおける許容圧力	MPa
P_t	P_t	配管反力による弁箱の応力（告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ロ又は設計・建設規格 VVB-3330 による。）	MPa
ΔP_{fm}	ΔP_{fm}	供用状態 A 及び供用状態 B（供用状態 C において開閉操作を必要とする弁については、供用状態 A、供用状態 B 及び供用状態 C）において生じる圧力の段階的な変化の最大値と最小値との差（運転条件図により求める。起動時及び停止時を除く。）	MPa
Q_T	Q_T	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力で告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ図 2 又は設計・建設規格 VVB-3360 の表 VVB-3360-2 より求めた値	MPa
q	q	設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	—
r	r	図 3-2 に示す A～A 断面における平均半径 $r = r_i + t_e / 2$	mm
r_1	r_1	図 3-1 に示すネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径	mm
r_i	r_i	図 3-2 に示す A～A 断面における内半径	mm
S	S	弁箱の一次応力又は一次局部応力	MPa
$S\ell$	$S\ell$	繰返しピーク応力強さ（告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ(ロ) (1) (二) 又は設計・建設規格 VVB-3370 による。）	MPa
$S\ell$	$S\ell(1)$	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ（告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ(イ) 又は設計・建設規格 VVB-3360 式(VVB-14.1) による。）	MPa
$S\ell$	$S\ell(2)$	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ（告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ(イ) 又は設計・建設規格 VVB-3360 式(VVB-14.2) による。）	MPa

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
S_m	S_m	弁箱材料の260℃の温度における告示第501号別表第2又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_n	S_n	告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(1)(一)又は設計・建設規格 VVB-3370 式(VVB-15)の計算式により求めた応力	MPa
S_n	$S_n(1)$	弁箱の一次+二次応力(設計・建設規格 VVB-3340 式(VVB-10.1)による。)	MPa
S_n	$S_n(2)$	弁箱の一次+二次応力(設計・建設規格 VVB-3340 式(VVB-10.2)による。)	MPa
S_p	S_p	告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(1)(二)又は設計・建設規格 VVB-3370 式(VVB-17)の計算式により求めた応力	MPa
S_y	S_y	接続管の260℃の温度における告示第501号別表第9又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点	MPa
T_b	T_b	図3-1に示す弁箱の厚さ	mm
t_e	t_e	図3-2に示すA~A断面における金属部の厚さ	mm
T_{e1}	T_{e1}	図3-3及び図3-4に示す寸法	mm
T_{e2}	T_{e2}	図3-3及び図3-4に示す寸法	mm
	T_m	最高使用温度	℃
T_r	T_r	図3-1に示す弁箱の厚さ	mm
Z_1	Z_1	接続管の断面係数	mm ³
Z_2	Z_2	図3-2に示すA~A断面における断面係数	mm ³
Z_p	Z_p	図3-2に示すA~A断面における極断面係数	mm ³
α	α	260℃の温度における告示第501号別表第12又は設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表2に規定する材料の熱膨張係数	mm/mm℃
ϵ_e	ϵ_e	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、弾性解析により計算したときのひずみ	—
ϵ_{ep}	ϵ_{ep}	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、材料の応力—ひずみ関係として、降伏応力を S_m の1.5倍とした弾完全塑性体とした弾塑性解析より計算したときのひずみ	—
ϵ^{-p}	ϵ^{-p}	弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	—

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
θ	θ	ネック部の中心線と流路中心線との交角	°
$\frac{\sigma}{\sigma^*}$		弾塑性解析によるミーゼス相当応力	MPa
$\frac{\sigma}{\sigma}$		弾性解析によるミーゼス相当応力	MPa
ΔT	ΔT	告示第501号第81条第1項第1号ハ図2又は設計・建設規格 VVB-3340 式(VVB-12)より求めた値	°C
ΔT_f	ΔT_f	流体温度変動の振幅（運転条件図により求める。告示第501号の場合 17°C以上又は設計・建設規格の場合 14°C以上のものに限る。）	°C
ΔT_{fm}	ΔT_{fm}	供用状態 A 及び供用状態 B（供用状態 A において開閉操作を必要とする弁にあっては、供用状態 A、供用状態 B 及び供用状態 C）において生じる流体温度の段階的な温度変化の最大値と最小値との差（運転条件図により求める。起動時及び停止時を除く。）	°C

2.1.1 一次応力

設計・建設規格 VVB-3320 を適用する。

(1) 算式

弁箱の一次応力は次の式による。

$$S = P_s \cdot \left(\frac{A_f^*}{A_m} + 0.5 \right)$$

注記 * : $\frac{A_f}{A_m}$ は図 3-1 の (4) の場合, $\frac{A_{f1}}{A_{m1}}$ と $\frac{A_{f2}}{A_{m2}}$ のいずれか大きい値を用いる。

ここで,

$$P_s = P_{r1} + \left(\frac{P - P_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot (P_{r2} - P_{r1})$$

A_m 及び A_f を求める時に用いる L_A 及び L_N は次の式で求める。

$L_A = 0.5 \cdot d - T_b$, $L_A = T_r$ のいずれか大きい値を用いる。

$$L_N = 0.5 \cdot r_1 + 0.354 \cdot \sqrt{T_b \cdot (d + T_b)}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$S \leq S_m$$

2.1.2 配管反力による応力

設計・建設規格 VVB-3330 を適用する。

(1) 算式

配管反力による弁箱の応力は次の式による。

$$P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$$

$$P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$$

$$P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$P_d \leq 1.5 \cdot S_m$$

$$P_b \leq 1.5 \cdot S_m$$

$$P_t \leq 1.5 \cdot S_m$$

2.1.3 一次+二次応力

設計・建設規格 VVB-3340 を適用する。

(1) 算式

供用状態 A 及び供用状態 B（供用状態 C において開閉操作を必要とする弁にあっては、供用状態 A、供用状態 B 及び供用状態 C）における弁箱の一次+二次応力は次の式による。

$$S_n(1) = 3 \cdot K \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + P_e + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_2 \cdot \Delta T$$

$$S_n(2) = 3 \cdot K \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot C_2 \cdot C_4 \cdot \Delta T_{fm}$$

ここで

$$K = 0.2 + \frac{0.8}{\sin \theta}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$S_n(1) \leq 3 \cdot S_m$$

$$S_n(2) \leq 3 \cdot S_m$$

2.1.4 一次局部応力

設計・建設規格 VVB-3350 を適用する。

(1) 算式

供用状態 C において開閉操作を必要とする弁以外の弁については、弁箱の一次局部応力は次の式による。

$$S = 1.5 \cdot K \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + 1.2 \cdot P_e$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$S \leq 2.25 \cdot S_m$$

2.1.5 起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ

告示第 501 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ(イ)又は設計・建設規格 VVB-3360 を適用する。

(1) 算式

弁箱の起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さは次の式による。

$$S_l(1) = 2 \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \frac{P_e}{2} + \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot \Delta T + 1.3 \cdot Q_T$$

$$S_l(2) = 1.2 \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + P_e + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot \Delta T$$

(2) 評価

告示第501号別図第1又は第2, 設計・建設規格 添付4-2 3.1又は3.2において, S_{θ} (1) 及び S_{θ} (2) に対応する許容繰返し回数 N (1) 及び N (2) がそれぞれ 2000 回以上であること。

2.1.6 繰返しピーク応力強さ

告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)又は設計・建設規格 VVB-3370 を適用する。

(1) 算式

供用状態 A 及び供用状態 B (供用状態 C において開閉操作を必要とする弁にあっては, 供用状態 A, 供用状態 B 及び供用状態 C) における弁箱の繰返しピーク応力強さは次の式による。

$$S_n = 3 \cdot \Delta P_{f m} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \Delta T_{f m} \quad \dots\dots\dots (2.1.6.1)$$

- a. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260 °C における告示第501号別表第2又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値 (S_m) の3倍未満の場合 ($S_n < 3 \cdot S_m$)

$$S_{\theta} = \frac{S_p}{2}$$

ここで

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{f m} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

- b. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260 °C における告示第501号別表第2に定める値 (S_m) の3倍以上で, 告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(2)の表に掲げる m の値と上記 S_m の値を乗じた値の3倍以下の場合 ($3 \cdot S_m \leq S_n \leq 3 \cdot m \cdot S_m$)

$$S_{\theta} = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

$$S_{\theta} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ S_p + A_o \cdot S_n \cdot \left(\frac{S_p}{3 \cdot S_m} - 1 \right) \right\}$$

上記2式のうちいずれか大きい方

ここで

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{f m} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

$$K_e = 1 + \frac{1-n}{n \cdot (m-1)} \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - 1 \right)$$

- c. (2.1.6.1) 式で計算した値が告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(2)の表に掲げるmの値と弁箱材料の260℃における告示第501号別表第2に定める値(S_m)を乗じた値の3倍を超える場合($S_n > 3 \cdot m \cdot S_m$)

$$S\ell = \frac{S_p}{2 \cdot n}$$

ここで

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

- d. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の260℃における設計・建設規格 付録材料 図表 Part5 表1に定める値(S_m)の3倍以上の場合($S_n \geq 3 \cdot S_m$)

$$S\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

- (a) $K < B_0$ (K_e 式(以下、 A_0 式と呼ぶ)と K_e' 式が交わる場合)

$$\text{イ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K} \right)$$

$$\text{ロ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right)$$

(b) $K \geq B_0$ (A_0 式と K_e' 式が交わらない場合)

$$\text{イ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}}{a}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + 1 - a$$

$$\text{ロ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}}{a}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$$

$$K = \frac{S_p}{S_n}$$

$$a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}$$

e. (2.1.6.1)式で計算した値が弁箱材料の260℃における設計・建設規格 付録材料 図表 Part5 表1に定める値(S_m)を乗じた値の3倍以上の場合($S_n \geq 3 \cdot S_m$) b. 項に係らず、次の計算式により計算した値を用いてもよい。

$$S_l = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

$$K_e = \frac{\varepsilon_{ep}}{\varepsilon_e}$$

$$\varepsilon_{ep} = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_p$$

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma}{E}$$

K_e は S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して安全側となるようにサイクルを設定してよい。

(2) 評価

告示第501号別図第1又は第2, 設計・建設規格 添付4-2 3.1又は3.2において, S_l に対応する許容繰返し回数(N_{ri})が実際の繰返し回数(N_i)以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が2種類以上あるときは、疲労累積係数(I_t)が1以下であること。

すなわち、

$$I_t = \sum \frac{N_i}{N_{ri}} \leq 1$$

であること。

2.2 弁体の一次応力

設計・建設規格 VVB-3380 を適用する。

具体的な計算方法は、VVB-3380 解説による。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位	
	A A' B B'	機械工学便覧新版A4 編表 26 (以下「便覧」という。)より求めた値 (添字の数字は、便覧の荷重状態のNo.を示す。)	—	
	a		円板の外周半径	mm
	a ₁		円板の外周半径 (形式G2の場合)	mm
	b		円板の内周半径	mm
	h	弁体の厚さ	mm	
	(h ₁ , h ₂)	(h ₁ 及びh ₂ は形式G2の場合)		
	P	最高使用圧力	MPa	
	P _c	機械的荷重を含む集中荷重	N	
	(P ₁ , P ₂)			
	S _m	弁体材料の最高使用温度における設計・建設規格付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa	
	ν	ポアソン比 (0.3)	—	
	π	円周率	—	
	σ _D σ _{D1} σ _{D2} σ _{D3}	弁体に発生する一次応力 (σ _{D1} , σ _{D2} 及びσ _{D3} は形式G2の場合)	MPa*	
	σ, σ'		便覧より求めた応力 (添字の数字は、便覧の荷重状態のNo.を示す。)	MPa*

注記 * : 便覧は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

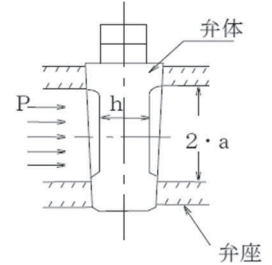
(2) 算式

弁体にかかる最高使用圧力及び機械的荷重により生じる荷重状態をモデル化し、円板の理論式により各弁体に応じて一次応力を計算する。

a. 形式W1

右図のような弁体形状のもの

$$\sigma_D = \frac{3 \cdot (3 + \nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \quad *1$$



b. 形式W2

右図のような弁体形状のもの

$$\sigma_D = |\sigma_{11}| + |\sigma_{15}|$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot \pi \cdot b^2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{11} + \ell_n \frac{a}{b} \right) - (1 - \nu) \cdot \left(1 - B_{11} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\} \quad *2$$

$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1 - \nu) \cdot a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ 1 - \left(1 + 2 \cdot \ell_n \frac{a}{b} \right) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}$$

$$B_{11} = \frac{2 \cdot b^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 1 \right\}$$

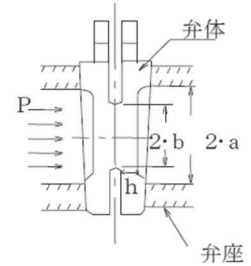
$$\sigma_{15} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \cdot$$

$$\left\{ (3 + \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{15} + \ell_n \frac{a}{b} \right) \cdot \frac{b^2}{a^2} - (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a^2} + B_{15} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\} \quad *3$$

$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2}$$

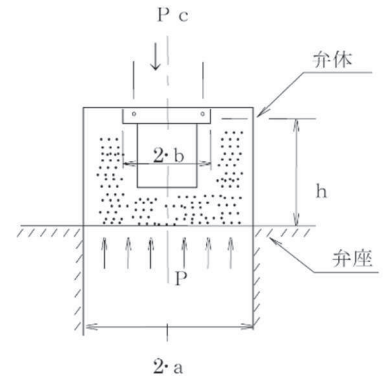
$$\cdot \left[(3 + \nu) \cdot \frac{a^2}{b^2} + (1 - \nu) \cdot \left\{ \left(4 \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 3 \right) \cdot \frac{b^2}{a^2} - 2 \right\} \right]$$

$$B_{15} = \frac{b^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left[(3 + \nu) - \left\{ (5 + \nu) + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} \right\} \cdot \frac{b^2}{a^2} \right]$$



c. 形式G1

右図のような弁体形状のもの



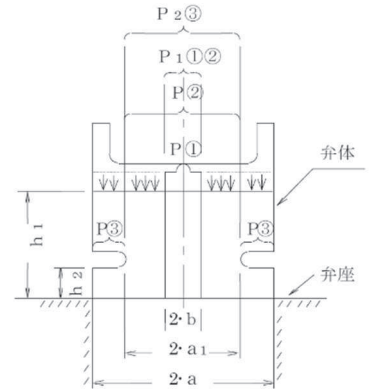
$$\sigma_D = |\sigma_5| + |\sigma_7|$$

$$\sigma_5 = \frac{3 \cdot P_c}{8 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 4 - (1 - \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}^{*4}$$

$$\sigma_7 = \frac{3 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ (1 - \nu) \cdot \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) + 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} \right\}^{*5}$$

d. 形式G2

右図のような弁体形状のもの



σ_D は σ_{D1} , σ_{D2} 及び σ_{D3} の最大のもの

(a) 図の①の荷重状態の場合

$$\sigma_{D1} = |\sigma_{13}| + |\sigma_9| \quad (P \text{ 及び } P_1 \text{ は図の①})$$

$$\sigma_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_1^2} \cdot \left\{ (1 + 3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{13} + \ell_n \frac{a}{b} \right) \cdot \frac{b^2}{a^2} + (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a^2} + B_{13} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}^{*6}$$

$$A_{13} = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b} - \frac{1}{4 \cdot (1 + \nu)} \cdot \left\{ (1 + 3 \cdot \nu) + (3 + \nu) \cdot \frac{a^2}{b^2} \right\}$$

$$B_{13} = \frac{1}{1 - \nu} \cdot \left\{ 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b} - (3 + \nu) \right\} \cdot \frac{b^2}{a^2}$$

$$\sigma_9 = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_9 + \ell_n \frac{a}{b} \right) + (1 - \nu) \cdot \left(1 - B_9 \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}^{*7}$$

$$A_9 = \frac{1 - \nu}{2 \cdot (1 + \nu)} + \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b}$$

$$B_9 = - \frac{2 \cdot (1 + \nu)}{1 - \nu} \cdot \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b}$$

(b) 図の②の荷重状態の場合

$$\sigma_{D2} = \left| \sigma'_{13} \right| + \left| \sigma'_{9} \right| \quad (P \text{ 及び } P_1 \text{ は図の②})$$

$$\sigma'_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a_1^2}{8 \cdot h_1} \cdot \left\{ (1+3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a_1} + 4 \cdot (1+\nu) \cdot \left(A'_{13} + \ell_n \frac{a_1}{b} \right) \cdot \frac{b^2}{a_1} + (1-\nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a_1} + B'_{13} \cdot \frac{a_1^2}{b^2} \right) \right\}^{*6}$$

$$A'_{13} = \frac{b^2}{a_1^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b} - \frac{1}{4 \cdot (1+\nu)} \cdot \left\{ (1+3 \cdot \nu) + (3+\nu) \cdot \frac{a_1^2}{b^2} \right\}$$

$$B'_{13} = \frac{1}{1-\nu} \cdot \left\{ 4 \cdot (1+\nu) \cdot \frac{b^2}{a_1^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b} - (3+\nu) \right\} \cdot \frac{b^2}{a_1}$$

$$\sigma'_{9} = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1}$$

$$\cdot \left\{ 2 \cdot (1+\nu) \cdot \left(A'_{9} + \ell_n \frac{a_1}{b} \right) + (1-\nu) \cdot \left(1 - B'_{9} \cdot \frac{a_1^2}{b^2} \right) \right\}^{*7}$$

$$A'_{9} = \frac{1-\nu}{2 \cdot (1+\nu)} + \frac{b^2}{a_1^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b}$$

$$B'_{9} = -\frac{2 \cdot (1+\nu)}{1-\nu} \cdot \frac{b^2}{a_1^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b}$$

(c) 図の③の荷重状態の場合

$$\sigma_{D3} = \left| \sigma'_{15} \right| + \left| \sigma'_{11} \right| \quad (P \text{ 及び } P_1 \text{ は図の③})$$

$$\sigma'_{15} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_2} \cdot \left\{ (3+\nu) \cdot \frac{a_1^2}{a} + 4 \cdot (1+\nu) \cdot \left(A'_{15} + \ell_n \frac{a}{a_1} \right) \cdot \frac{a_1^2}{a} - (1-\nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot a_1^2}{a} + B'_{15} \cdot \frac{a^2}{a_1} \right) \right\}^{*8}$$

$$A'_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2}$$

$$\cdot \left[(3+\nu) \cdot \frac{a^2}{a_1} + (1-\nu) \cdot \left\{ \left(4 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 3 \right) \cdot \frac{a_1^2}{a} - 2 \right\} \right]$$

$$B'_{15} = \frac{a_1^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2}$$

$$\cdot \left[(3+\nu) - \left\{ (5+\nu) + 4 \cdot (1+\nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} \right\} \cdot \frac{a_1^2}{a} \right]$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot P_2}{4 \cdot \pi \cdot h_2^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{11} + \ell_n \frac{a}{a_1} \right) - (1 - \nu) \cdot \left(1 - B_{11} \cdot \frac{a^2}{a_1^2} \right) \right\}^{*9}$$

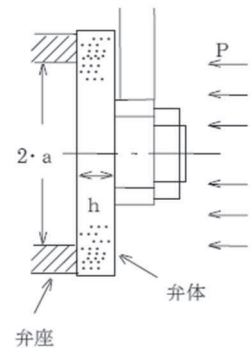
$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1 - \nu) \cdot a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ 1 - \left(1 + 2 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} \right) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right\}$$

$$B_{11} = \frac{2 \cdot a_1^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 1 \right\}$$

e. 形式C1

右図のような弁体形状のもの

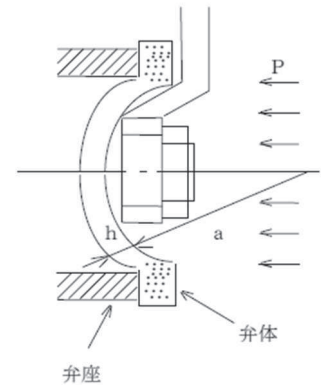
$$\sigma_D = \frac{3 \cdot (3 + \nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \quad *10$$



f. 形式C2

右図のような弁体形状のもの

$$\sigma_D = \frac{P \cdot a}{1.2 \cdot h} \quad *11$$



(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$\sigma_D \leq 1.5 \cdot S_m$$

注記 *1: 便覧 No. 1 による。

*2: 便覧 No. 11 による。

ただし、 $P_c = \pi \cdot b^2 \cdot P$ とする。

*3: 便覧 No. 15 による。

*4: 便覧 No. 5 による。

ただし、 $P = \frac{P_c}{\pi \cdot b^2}$ とする。

*5: 便覧 No. 7 による。

ただし、 $P_c = \pi \cdot a^2 \cdot P$ とする。

*6 : 便覧 No. 13 による。

ただし, $h = h_1$ とする。

*7 : 便覧 No. 9 による。

ただし, $P_c = P_1$ 及び $h = h_1$ とする。

*8 : 便覧 No. 15 による。

ただし, $h = h_2$ とする。

*9 : 便覧 No. 11 による。

ただし, $P_c = P_2$ 及び $h = h_2$ とする。

*10 : 便覧 No. 1 による。

*11 : 設計・建設規格 PMC-3410(2)b. より応力値を求める式に変換した。

2.3 フランジ及びボルトの強度計算

設計・建設規格 VVB-3390 を適用する。

(1) 記号の説明

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1 のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (f < 1 のときの一体形フランジの場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 (= $\frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2$ (一体形フランジの場合))	mm ³
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
e	e	係数 (= $\frac{F}{h_0}$ (一体形フランジの場合))	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
	F _e	フランジに作用する機械的鉛直荷重 (弁操作力による反力)	N
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 4 又は表 4 による。)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm

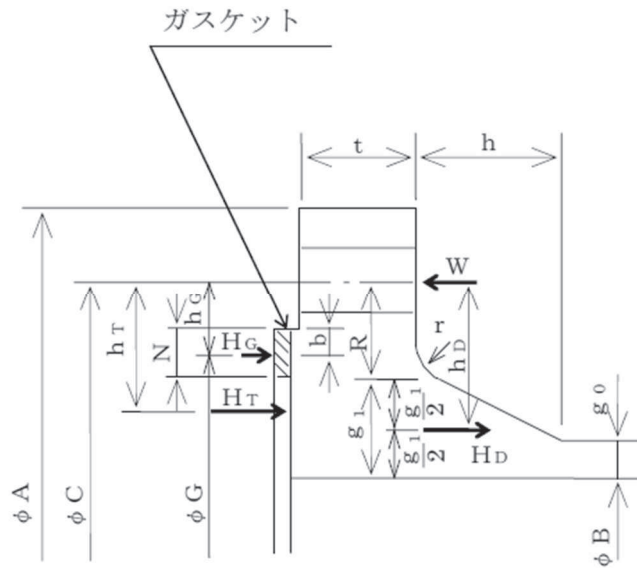
J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_o}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円から H_T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N・mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント (駆動部の偏心荷重によるモーメント)	N・mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M_o	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	$P_{e q}$	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した等価圧力	MPa
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 8 又は表 4 による。)	—
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

J I Sの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表2に定める設計応力強さ	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表2に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める設計応力強さ	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	NON- ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—

注記 * : J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 2 b) 7)

注 1 : ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注 2 : W は、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図 2-1 一体形フランジ

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) $b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

ここで、

$$b_o = N / 2$$

b. フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$

$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$$

(b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket縮付部})$$

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

ただし, $R = \frac{C-B}{2} - g_1$

注記 * : クラス 1 弁には, 一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_O = M_D + M_G + M_T$$

i. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C-G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{H_o} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_o} \quad *1, *2$$

$$\sigma_{R_o} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{T_o} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_o}$$

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

$$\sigma_{H_g} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} \quad *2$$

$$\sigma_{R_g} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{T_g} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_g}$$

ここで,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2$$

$$e = \frac{F}{h_o}$$

注記 *1: 設計・建設規格 VVB-3390 式 (VVB-19) による。J I S B 8 2 6 5 の計算式に一次膜応力を加えたものである。

*2: $B < 20 \cdot g_1$ のときは、 σ_{H_o} 及び σ_{H_g} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

- a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

- b. ハブの軸方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{H_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{H_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f a}$

- c. フランジの半径方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{R_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{R_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f a}$

- d. フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{T_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{T_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f a}$

2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

告示第501号第82条第1項第1号又は設計・建設規格 VVB-3210 を適用する。

(1) 記号の説明

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図3-5に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図3-5に示すネック部の内径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
T_m	T_m	最高使用温度	°C
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	告示第501号別表第15又は設計・建設規格 別表3の呼び圧力（告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1において P_1 に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち、当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_2	t_2	告示第501号別表第15又は設計・建設規格 別表3の呼び圧力（告示第501号別表第13又は設計・建設規格 別表1-1において P_2 に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち、当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_m	t_{ab}	弁箱の最小厚さ	mm
	t_{af}	弁ふたの最小厚さ	mm
	t_m	ネック部の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ma}	ネック部の最小厚さ	mm

(2) 算式

- a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ

$$t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$$

- b. ネック部の計算上必要な厚さ

- (a) $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合

$$t_m = t$$

- (b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_m = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

- a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$$t_{ab} \geq t$$

$$t_{af} \geq t$$

- b. ネック部の最小厚さ

$$t_{ma} \geq t_m$$

2.5 弁箱の形状規定

設計・建設規格 VVB-3410, 3411 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図 3-5 に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図 3-5 に示すネック部の内径	mm
h	h	図 3-6 に示す弁座挿入部の高さ	mm
r_1	r_1	図 3-1 に示すネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径	mm
r_2	r_2	図 3-6 に示す弁座挿入部のすみの丸みの半径	mm
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ（設計・建設規格 VVB-3210 による。）	mm

(2) 評価

弁箱の形状は以下の条件を満足するものとする。

- a. ネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径

$$r_1 \geq 0.3 \cdot t$$

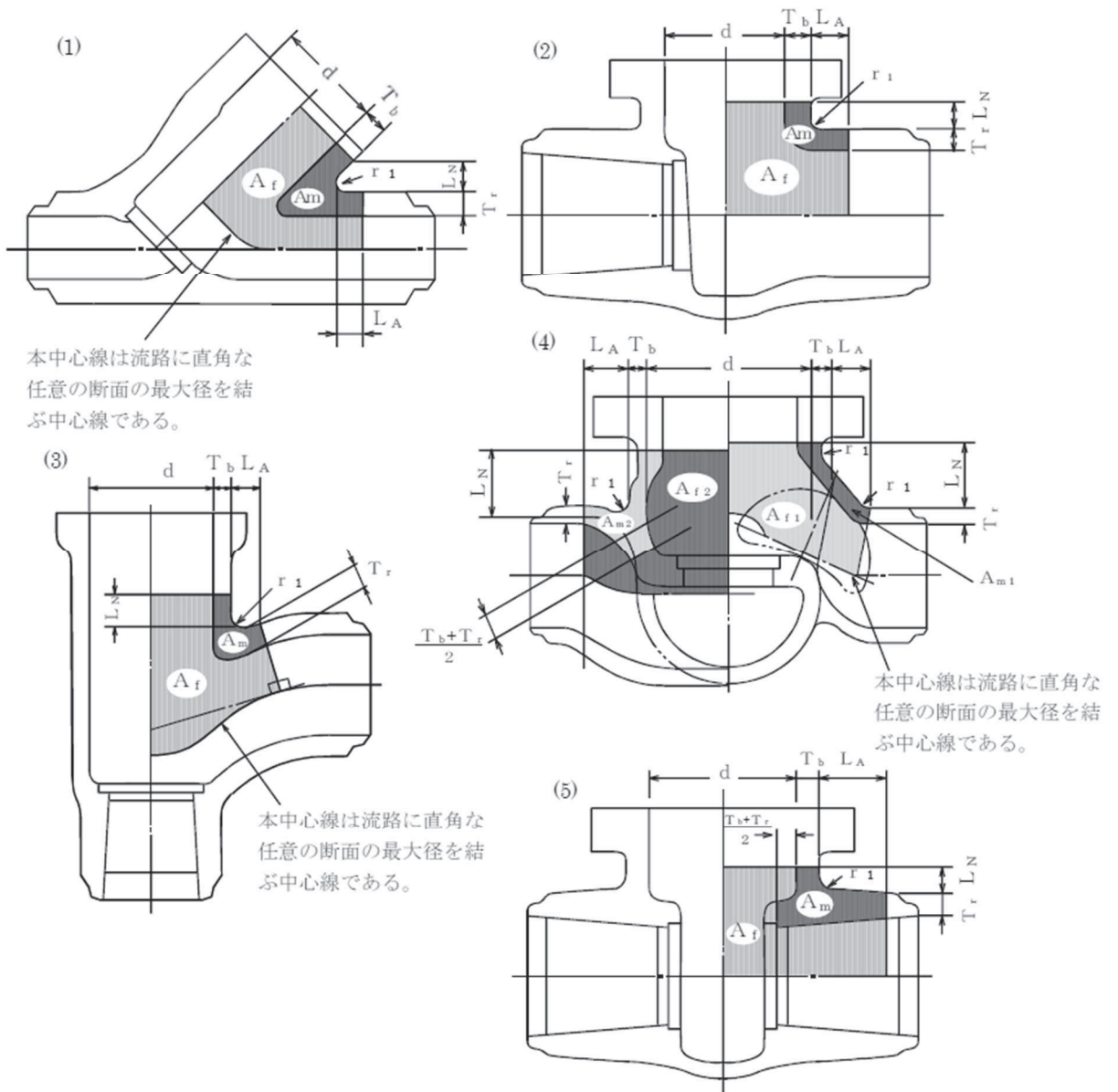
- b. 弁座挿入部のすみの丸みの半径

$$r_2 \geq \text{Max} (0.05 \cdot t, 0.1 \cdot h)$$

- c. ネック部の内径と弁入口流路内径の比

$$\frac{d_n}{d_m} < 2$$

3. 添付図

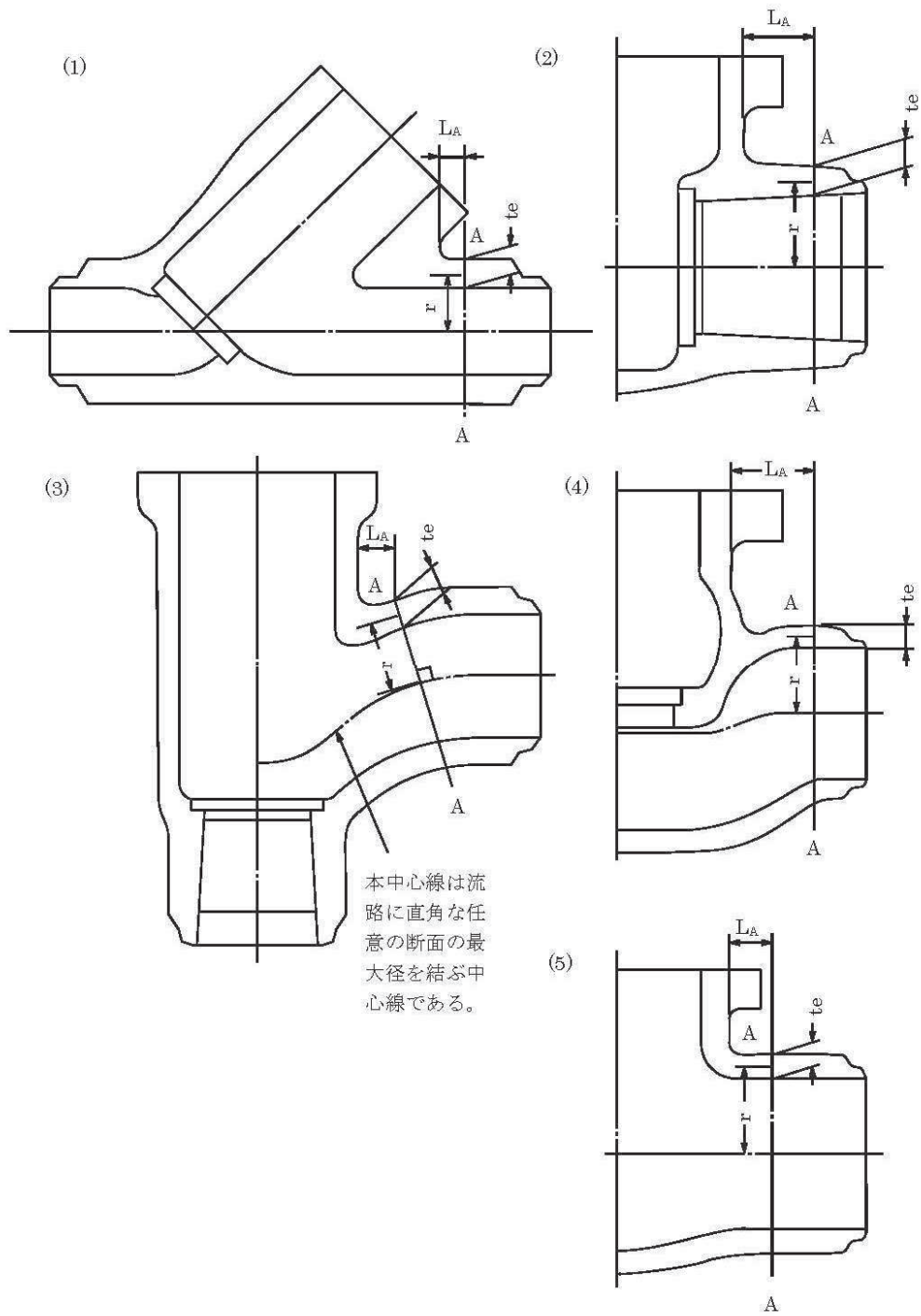


注 1 : 本図は設計・建設規格 VVB-3320 の図 VVB-3320-1 と同じ。

注 2 : (4) の場合、 A_f 及び A_m の値は、図 A_{f1} 及び A_{f2} 並びに A_{m1} 及び A_{m2} のうち

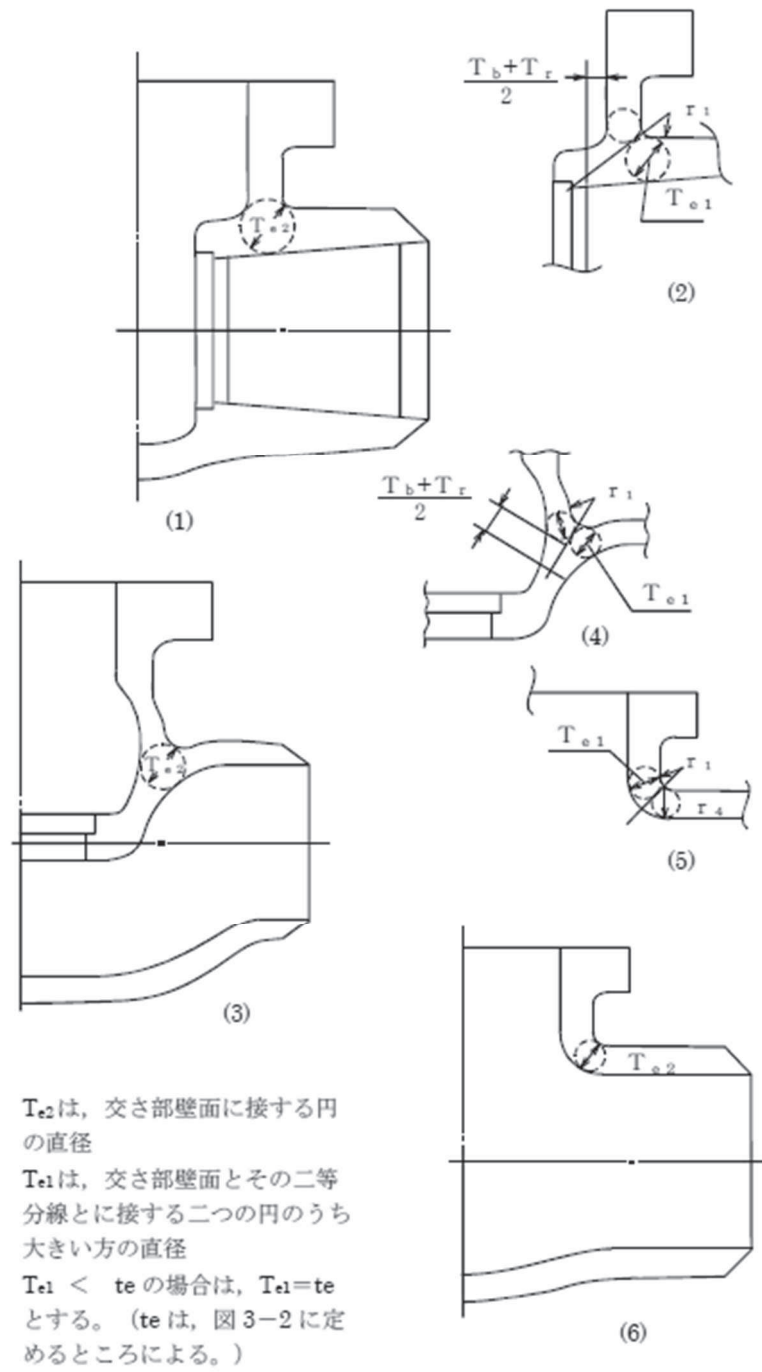
$$\frac{A_{f1}}{A_{m1}} \text{ と } \frac{A_{f2}}{A_{m2}} \text{ の値が大きい方の組合せを用いる。}$$

図 3-1 A_f 及び A_m の範囲を明示した図



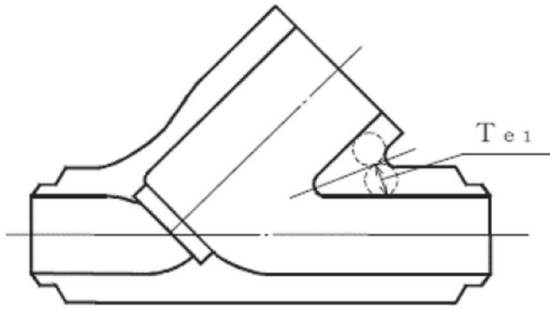
注 : 本図は設計・建設規格 VVB-3330 の図 VVB-3330-1 と同じ。

図 3-2 t_e 及び r を明示した図



注 : 本図は設計・建設規格 VVB-3340 の図 VVB-3340-1 と同じ。

図 3-3 T_{e1} 及び T_{e2} を明示した図

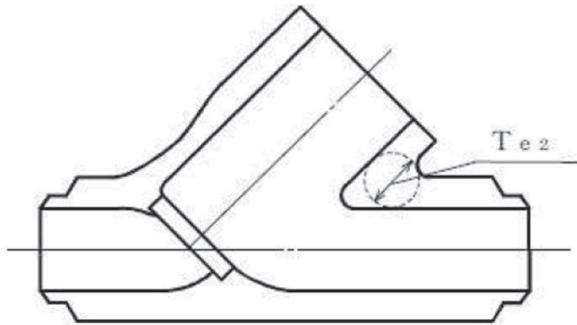


T_{e1} は、交差部壁面とその二等分線とに接する二つの円のうち大きい方の直径

$T_{e1} < t_e$ の場合は、 $T_{e1} = t_e$ とする。

(t_e は、図3-2に定めるところによる。)

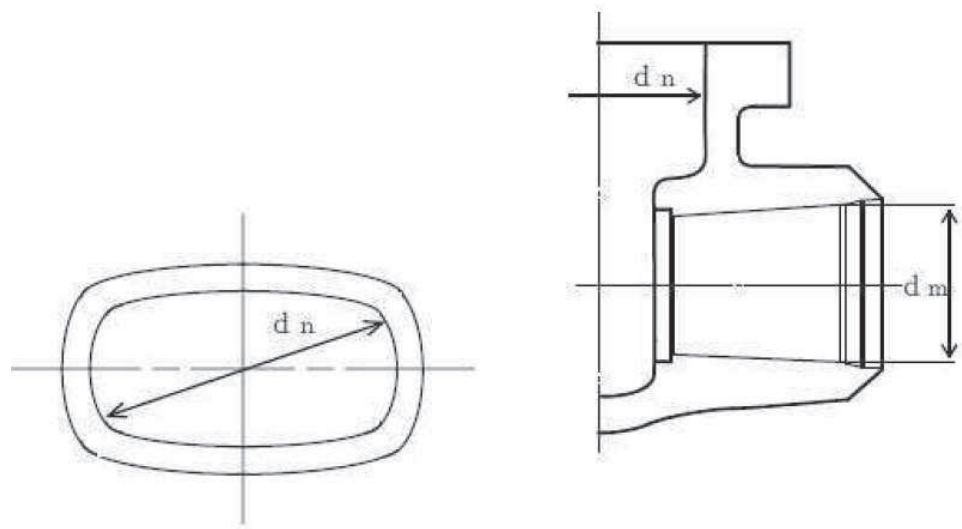
注：本図は図3-3の(4)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの



T_{e2} は、交差部壁面に接する円の直径

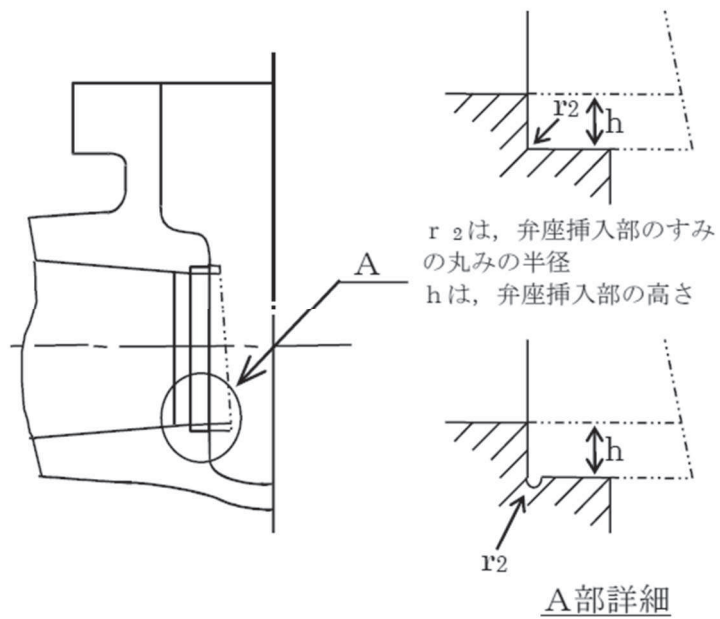
注：本図は図3-3の(3)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

図3-4 T_{e1} 及び T_{e2} を明示した図



注 : 本図は設計・建設規格 VVB-3210 解説図 VVB-3210-3 と同じ。

図 3-5 d_m 及び d_n を明示した図



注 : 本図は設計・建設規格 VVB-3411 の図 VVB-3411-2 と同じ。

図 3-6 h 及び r_2 を明示した図

別紙 クラス1弁の強度計算書のフォーマット

VI-*-*-*-* ○○○○○○○○○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-2 クラス1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-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法」及び「VI-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法」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

機器名	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		SA 条件								
										圧力 (MPa)	温度 (°C)							

目次

1. クラス1弁
1.1 設計仕様
1.2 強度計算書

1. クラス1 弁

1.1 設計仕様

系統：

機器の区分		クラス1弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト

1.2 強度計算書

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

		設計・建設規格	告示第501号	設計・建設規格	告示第501号
設計条件		弁箱の一次+二次応力評価			
最高使用圧力 P	(MPa)			t_e	(mm)
最高使用温度 T_m	(°C)			T_{e1}	(mm)
弁箱材料				T_{e2}	(mm)
接続管材料				r_i	(mm)
接続管外径	(mm)			θ	(°)
接続管内径	(mm)			K	
添付図番号				P_e	(MPa)
	図 3-3	(2)	(一例)	$\alpha \times 10^{-6}$	(mm/mm°C)
内圧による弁箱の一次応力評価				E	(MPa)
				C_2	
P_1	(MPa)			ΔT	(°C)
P_2	(MPa)			C_4	
P_{r1}	(MPa)			ΔP_{fm}	(MPa)
P_{r2}	(MPa)			ΔT_{fm}	(°C)
P_s	(MPa)			$S_n (1)$	(MPa)
d	(mm)			$S_n (2)$	(MPa)
T_b	(mm)			$3 \cdot S_m$	(MPa)
T_r	(mm)			評価： $S_n (1) \leq 3 \cdot S_m$ $S_n (2) \leq 3 \cdot S_m$ よって十分である。	
L_A	(mm)				
L_N	(mm)				
A_f	(mm ²)		$\times 10^4$		
A_m	(mm ²)		$\times 10^4$	弁箱の局部一次応力評価	
r_1	(mm)			S	(MPa)
S	(MPa)			$2.25 \cdot S_m$	(MPa)
S_m	(MPa)			評価： $S \leq 2.25 \cdot S_m$ よって十分である。	
評価： $S \leq S_m$ よって十分である。				評価： $S \leq 2.25 \cdot S_m$ よって十分である。	
配管反力による弁箱の二次応力評価				起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ	
A-A断面の弁外径	(mm)			C_3	
A_1	(mm ²)		$\times 10^3$	Q_T	(MPa)
A_2	(mm ²)		$\times 10^4$	$S_l (1)$	(MPa)
C_b				$S_l (2)$	(MPa)
Z_1	(mm ³)		$\times 10^5$	E_m	(MPa)
Z_2	(mm ³)		$\times 10^6$	N (1)	
Z_p	(mm ³)		$\times 10^6$	N (2)	
S_y	(MPa)			評価： $N (1) \geq 2000$ $N (2) \geq 2000$ よって十分である。	
P_d	(MPa)				
P_b	(MPa)				
P_t	(MPa)				
$1.5 \cdot S_m$	(MPa)				
評価： $P_d \leq 1.5 \cdot S_m$ $P_b \leq 1.5 \cdot S_m$ $P_t \leq 1.5 \cdot S_m$ よって十分である。					

O 2 ⑥ VI-3-2-3 R 2

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

繰返しピーク応力強さ（疲労累積係数） 告示第501号						
m	n	A _o	C ₅	S _n (MPa)	3・S _m (MPa)	3・m・S _m (MPa)
ΔT _f (°C)	S _p (MPa)	K _e	S _σ (MPa)	N _i	N _{r i}	N _i /N _{r i}
<p>評価：疲労累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r i}} = \leq 1$</p> <p style="text-align: right;">よって十分である。</p>						
弁箱の形状規定 設計・建設規格			弁体の一次応力評価 設計・建設規格			
r ₁	(mm)		材料			
r ₂	(mm)		形式			
0.3・t	(mm)		P	(MPa)		
0.05・t	(mm)		P _c (P ₁ , P ₂)	(N)		
0.1・h	(mm)		h	(mm)		
d _n /d _m			a	(mm)		
<p>評価：r₁ ≥ 0.3・t</p> <p>r₂ ≥ Max (0.05・t, 0.1・h)</p> <p>$\frac{d_n}{d_m} < 2$</p> <p style="text-align: right;">よって十分である。</p>			b	(mm)		
			σ _D	(MPa)		
			1.5・S _m	(MPa)		
			<p>評価：σ_D ≤ 1.5・S_m</p> <p style="text-align: right;">よって十分である。</p>			

O2 ⑥ VI-3-2-3 R2

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計・建設規格		告示 第501号		設計・建設規格	
設計条件			ネック部の厚さ		
最高使用圧力 P (MPa)		d_n (mm)			
最高使用温度 T_m (°C)		d_n / d_m			
弁箱又は弁ふたの厚さ			t_m (mm)		
弁箱材料		t_{ma} (mm)			
弁ふた材料		評価： $t_{ma} \geq t_m$ よって十分である。			
P_1 (MPa)					
P_2 (MPa)					
d_m (mm)					
t_1 (mm)					
t_2 (mm)					
t (mm)					
t_{ab} (mm)					
t_{af} (mm)					
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。					

O 2 ⑥ VI-3-2-3 R 2

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)		H_D (N)	$\times 10^5$
P_{eq} (MPa)		h_D (mm)	
T_m (°C)		M_D (N·mm)	$\times 10^7$
M_e (N·mm)	$\times 10^6$	H_G (N)	$\times 10^5$
F_e (N)		h_G (mm)	
フランジの形式	J I S B 8 2 6 5 附属書 3 b) 7) (例)	M_G (N·mm)	$\times 10^7$
フランジ		H_T (N)	$\times 10^5$
材料		h_T (mm)	
σ_{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)		M_T (N·mm)	$\times 10^7$
		M_o (N·mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		M_g (N·mm)	$\times 10^8$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	
C (mm)		h_o (mm)	
g_o (mm)		f	
g_1 (mm)		F	
h (mm)		V	
ボルト		e (mm ⁻¹)	
材料		d (mm ³)	
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)		L	
		T	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		U	
		Y	
n		Z	
d_b (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ_{Ho} (MPa)	
材料		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ_{To} (MPa)	
G (mm)		σ_{Hg} (MPa)	
m		σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm ²)		σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
G_s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$\times 10^6$		
H_p (N)	$\times 10^5$		
W_{m1} (N)	$\times 10^6$		
W_{m2} (N)	$\times 10^5$		
A_{m1} (mm ²)	$\times 10^3$		
A_{m2} (mm ²)	$\times 10^3$		
A_m (mm ²)	$\times 10^3$		
A_b (mm ²)	$\times 10^4$		
W_o (N)	$\times 10^6$		
W_g (N)	$\times 10^6$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

O 2 ⑥ VI-3-2-3 R 2

外径 115 mm 以下の管に接続される弁のフォーマット

外径 115 mm 以下の管に接続される弁は、以下の計算を省略する。

設計・建設規格 VVB-3010 による。

- ・弁箱の応力解析
- ・弁体の応力解析
- ・フランジの応力計算

1. 設計仕様

系統：

機器の区分		クラス1 弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト

2. 強度計算書

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)		d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ		t_m (mm)	
弁箱材料		t_{ma} (mm)	
弁ふた材料		評価： $t_{ma} \geq t_m$ よって十分である。	
P_1 (MPa)			
P_2 (MPa)			
d_m (mm)			
t_1 (mm)			
t_2 (mm)			
t (mm)			
t_{ab} (mm)			
t_{af} (mm)			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-2-3 R 2 E

VI-3-2-4 クラス2管の強度計算方法

まえがき

本強度計算方法は、工事計画認可申請書に添付するクラス2管の強度計算について説明するものである。

本書は、以下により構成される。

第一部 クラス2管の基本板厚計算方法

第二部 クラス2管の応力計算方法

第一部 クラス2管の基本板厚計算方法

目次

1. 一般事項	1-1
1.1 概要	1-1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1-1
1.3 強度計算書の構成とその見方	1-2
1.4 計算精度と数値の丸め方	1-2
1.5 材料の表示方法	1-3
1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法	1-3
2. クラス2管の強度計算方法	1-4
2.1 共通記号	1-4
2.2 管の板厚計算	1-5

別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本計算方法は、発電用原子力設備のうちクラス2管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

(1) 強度計算は、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））
J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

(2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては、他の規格及び基準を適用して行う。

(3) 強度計算書で計算するもの以外の管継手は、以下に掲げる日本産業規格（以下「J I S」という。）（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格 別表4に掲げるものとし、接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格 PPC-3415）

- a. J I S B 2 3 1 2 (2001)「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- b. J I S B 2 3 1 3 (2001)「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
- c. J I S B 2 3 1 6 (1997)「配管用鋼製差込み溶接式管継手」

(4) 強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については、以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PPC-3414）

- a. J I S B 2 2 3 8 (1996)「鋼製管フランジ通則」

(5) 管の接続

管と管を接続する場合は、設計・建設規格 PPC-3430により溶接継手又はフランジ継手とする。

表 1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PPC-3411 (直管) PPC-3411 (1) PPC-3411 (2) PPC-3411 (3) PPC-3412 (曲げ管) PPC-3411 (直管) を準用する。	2.2	管の板厚計算

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は，本計算方法と各配管の強度計算書からなる。
- (2) 各配管の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本計算方法によるものとする。
- (3) 各配管の強度計算書において，NO. の番号は概略系統図の丸で囲んだ番号を表す。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-2 に示すとおりとする。

表 1-2 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
圧 力	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
	外面に受ける最高の圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位*2
温度		℃	—	—	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位

注記 *1：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許容引張応力及び設計降伏点は，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：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例 1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例 2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11Cl. 1)

- (2) 管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので、材料表示としては、製造方法の区別を特に表示しない。

(継目無管 : S, 溶接管 : W)

- (3) 強度区分により許容引張応力の値が異なる場合、材料記号の後に J I S で定める強度区分を付記する。

(例)

設計・建設規格の表示		計算書の表示
SCMV3	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> 付録材料図表 Part5 表 5 の許容 引張応力の上段 </div>	SCMV3-1
SCMV3	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> 付録材料図表 Part5 表 5 の許容 引張応力の下段 </div>	SCMV3-2

1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

- (1) 管継手の表示方法

概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号に“*”を付け、概略系統図中に“注記 * : 管継手”と表示する。

- (2) 管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中、管の途中において仕様変更が生じた場合は“—●—”のように表示する。

2. クラス 2 管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス 2 管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	NO.	管の番号 数字のみ：管	—
P	P	最高使用圧力（内圧）	MPa
P_e	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率 設計・建設規格 PVC-3130 による。	—

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は、設計・建設規格 PPC-3411 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{op} となる。）	—
D_o	D_o	管の外径	mm
ℓ	ℓ	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算式	t_r として用いる値の算式	—
	製法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(1)の式より求めた値：t

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(2)の図 PPC-3411-1 より求めた値。ただし、図から求められない場合は次の式より求めた値：t_{op}

$$t_{op} = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (B)$$

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格 PPC-3411(3)の表 PPC-3411-1 より求めた値……… (C)

(3) 評価

t, t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ(t_s) ≥ 管に必要な厚さ(t_r)ならば強度は十分である。

(4) 補足

- a. 計算書中、算式の項の文字は(2)a項, b項及びc項の文字A, B及びCに対応する。
- b. 曲げ管は、管に必要な厚さが確保されている場合は、直管と同等に考えるものとし、表示はしないものとする。

別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

基本板厚計算書の概略系統図記載要領については、添付書類「VI-3-2-7 クラス 3 管の強度計算方法 別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領」による。

別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

管の基本板厚計算書のフォーマットについては、添付書類「VI-3-2-7 クラス 3 管の強度計算方法 別紙 2 管の基本板厚計算書のフォーマット」による。

第二部 クラス2管の応力計算方法

目次

1. 一般事項	2-1
1.1 概要	2-1
1.2 適用規格	2-1
2. クラス2管の強度計算方法	2-1
2.1 計算方針	2-1
2.2 計算方法	2-1
3. 計算書の構成	2-9
3.1 管の応力計算書	2-9

1. 一般事項

1.1 概要

本計算方法は、発電用原子力設備のうち、クラス 2 管の応力計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格

適用規格を以下に示す。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）
- (2) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（以下「技術基準規則解釈」という。）
- (3) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）
- (4) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第 5 0 1 号（以下「告示第 5 0 1 号」という。）

2. クラス 2 管の強度計算方法

2.1 計算方針

技術基準規則解釈において、技術基準規則第 17 条に規定の要求に適合する材料及び構造とは、施設時の規格によることから、クラス 2 管は、設計・建設規格 PPC-3500 と告示第 5 0 1 号 第 56 条のいずれか安全側による評価を実施する。

2.2 計算方法

2.2.1 解析による計算

応力計算についての計算は三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。なお、解析は解析コード「ISAP」を使用する。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。

2.2.1.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ：6方向を固定と扱う。
 - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量（フランジ部含む。）の他に弁等の集中質量、管内流体の質量、付加質量として保温材等の質量を考慮するものとする。

2.2.1.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

- (1) 荷重条件
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重（自重及びその他の長期的荷重）
 - c. 機械的荷重（逃し弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）
 - d. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力

2.2.2 計算式

2.2.2.1 記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
$B_1, B_2,$ B_{2b}, B_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次応力の計算に使用するもの)
D_0	mm	管の外径
f	—	設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力低減係数
i_1	—	・告示第501号第57条に規定する値又は1.33のいずれか大きい方の値 ・設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は1.33のいずれか大きい方の値
i_2	—	・告示第501号第57条に規定する値又は1.0のいずれか大きい方の値 ・設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は1.0のいずれか大きい方の値
M_a	N・mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_{ab}	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_{ar}	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_b	N・mm	管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント

記号	単位	定義
M_{bb}	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_{br}	N・mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_c	N・mm	管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント
P	MPa	最高使用圧力
P_m	MPa	内面に受ける最高の圧力
S_a	MPa	告示第501号第56条第2号又は設計・建設規格 PPC-3530に規定する許容応力
S_c	MPa	室温における告示第501号 別表第6又は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力
S_h	MPa	最高使用温度における告示第501号 別表第6又は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力
S_n	MPa	一次＋二次応力
$S_{pr m}$	MPa	一次応力
t	mm	管の厚さ
Z, Z_i	mm ³	管の断面係数
Z_b	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数
(I, II)	—	運転状態 I 及び運転状態 II 若しくは設計条件相当の応力評価を行う運転状態
(A, B)	—	供用状態 A 及び供用状態 B 若しくは設計条件相当の応力評価を行う供用状態

2.2.2.2 応力計算

(1) 告示第501号第56条の規定に基づく評価

a. 一次応力 (告示第501号第56条第1号)

(a) 最高使用圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る。) による一次応力

$$S_{p_{rm}} = P \cdot D_0 / (4 \cdot t) + 0.75 \cdot i_1 \cdot M_a / Z \leq S_h$$

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重) による一次応力

$$S_{p_{rm}} = P_m \cdot D_0 / (4 \cdot t) + 0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq 1.2 \cdot S_h$$

b. 一次+二次応力 (告示第501号第56条第2号)

(a) 最高使用圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る。) による一次+二次応力

$$S_n = P \cdot D_0 / (4 \cdot t) + (0.75 \cdot i_1 \cdot M_a + i_2 \cdot M_c) / Z$$

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重) による一次+二次応力

$$S_n = P_m \cdot D_0 / (4 \cdot t) + \{0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) + i_2 \cdot M_c\} / Z$$

(c) (a)に対する許容応力

$$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$$

(d) (b)に対する許容応力

$$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$$

(2) 設計・建設規格 PPC-3500 による評価

a. 一次応力 (設計・建設規格 PPC-3520)

(a) 最高使用圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る。) による一次応力

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{p_{rm}} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{ab} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{ar} / Z_r \leq 1.5 \cdot S_h$$

ロ. イ.以外の管

$$S_{p_{rm}} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_a / Z \leq 1.5 \cdot S_h$$

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重) による一次応力

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{p_{rm}} = B_1 \cdot P_m \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot (M_{ab} + M_{bb}) / Z_b + B_{2r} \cdot (M_{ar} + M_{br}) / Z_r \leq 1.8 \cdot S_h$$

ロ. イ.以外の管

$$S_{p_{rm}} = B_1 \cdot P_m \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq 1.8 \cdot S_h$$

b. 一次＋二次応力（設計・建設規格 PPC-3530）

- (a) 最高使用圧力及び機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）による一次＋二次応力

$$S_n = P \cdot D_o / (4 \cdot t) + (0.75 \cdot i_1 \cdot M_a + i_2 \cdot M_c) / Z$$

- (b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重（自重その他の長期的荷重及び逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重）による一次＋二次応力

$$S_n = P_m \cdot D_o / (4 \cdot t) + \{0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) + i_2 \cdot M_c\} / Z$$

- (c) (a)に対する許容応力

$$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$$

- (d) (b)に対する許容応力

$$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$$

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

管クラス	荷重の組合せ	状態
クラス 2 管	P + D	設計条件 運転状態 I, II 供用状態 A, B
	P + D + M	

表 2-2 許容応力 (告示第 5 0 1 号第 56 条)

状態	荷重の組合せ	一次応力 (曲げ応力 を含む。)	一次+二次応力
設計条件	P + D	S_h	—
	P + D + M	$1.2 \cdot S_h$	—
運転状態 I, II	P + D	—	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$
	P + D + M	—	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$

表 2-3 許容応力 (設計・建設規格 PPC-3500)

状態	荷重の組合せ	一次応力 (曲げ応力 を含む。)	一次+二次応力
設計条件	P + D	$1.5 \cdot S_h$	—
	P + D + M	$1.8 \cdot S_h$	—
供用状態 A, B	P + D	—	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$
	P + D + M	—	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$

表 2-1, 表 2-2, 表 2-3 中の記号

P : 内圧による荷重

D : 自重その他の長期的荷重

M : 逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重

2.2.4 計算精度と桁処理方法

計算精度は 6 桁以上を確保する。表示する数値の桁処理方法は表 2-4 に示すとおりである。

表 2-4 数値の桁処理方法

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力* ¹		MPa	—	—	小数点以下第 2 位* ²
温度		℃	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
	移動量	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	鳥瞰図記載	mm	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量		kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
ばね定数		N/mm	有効桁数 4 桁	四捨五入	有効桁数 3 桁
回転ばね定数		N・mm/rad	有効桁数 4 桁	四捨五入	有効桁数 3 桁
方向余弦		—	小数点以下第 5 位	四捨五入	小数点以下第 4 位
応力	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: 必要に応じて kPa を使用し, MPa 表示を () 内に併記する。また, 静水頭は「静水頭」と表示する。

*2: 必要に応じて小数点以下第 3 位又は第 4 位を用いる。

*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許容応力は, 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。また, 告示別表に記載された許容応力は, 各温度の値を SI 単位に換算し, 設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 計算書の構成

3.1 管の応力計算書

(1) 概要

本計算方法に基づき、管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。

また、評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

a. 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、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についても記載する。

(2) 概略系統図及び鳥瞰図

a. 概略系統図

工事計画記載範囲の管を含む概略系統図を添付する。

b. 鳥瞰図

工事計画記載範囲の管のうち評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。

(3) 計算条件

本項目記載内容及び添付フォーマットを以下に示す。ただし、鳥瞰図の添付を省略した範囲については、同様の理由で添付を省略する。

a. 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。

鳥瞰図番号

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

鳥瞰図番号

管名称	対 応 す る 評 価 点

配管の質量（付加質量含む）

鳥瞰図番号

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)

弁部の質量を下表に示す。

鳥瞰図番号

評価点	質量 (kg)	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)

支持点部のばね定数を下表に示す。

鳥瞰図番号

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

**印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

b. 材料及び許容応力

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa) *			
		S_m	S_y	S_u	S_h

注記 * : 評価に使用しない許容応力については欄を設けない。

(4) 評価結果

工事計画記載範囲の管の各応力区分における最大発生応力の評価点の評価結果を示した表を解析モデル単位に添付する。解析モデルは各応力区分における裕度最小モデルを添付する。添付フォーマットを以下に示す。

a. 告示501号第56条による評価結果

鳥瞰図	運転状態	最大応力評価点	最大応力区分*1	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)	
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力*2
				$S_{prm}(1)$	S_h	$S_n(a)$	$S_a(c)$
				$S_{prm}(2)$	$1.2 \cdot S_h$	$S_n(b)$	$S_a(d)$
鳥瞰図 番号	(I, II)		$S_{prm}(1)$	Max	S_h		
	(I, II)		$S_n(a)$			Max	$S_a(c)$
	(I, II)		$S_{prm}(2)$	Max	$1.2 \cdot S_h$		
	(I, II)		$S_n(b)$			Max	$S_a(d)$

注記 *1 : $S_{prm}(1)$, $S_{prm}(2)$ はそれぞれ、告示501号第56条第1号(イ), (ロ)に基づき計算した一次応力, $S_n(a)$, $S_n(b)$ はそれぞれ、告示501号第56条第2号(イ), (ロ)に基づき計算した一次+二次応力を示す。

*2 : $S_a(c)$, $S_a(d)$ はそれぞれ、告示501号第56条第2号(ハ), (ニ)に基づき計算した許容応力を示す。

b. 設計・建設規格 PPC-3500 による評価結果

鳥瞰図	供用状態	最大応力評価点	最大応力区分*1	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)	
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力*2
				$S_{prm}(1)$	$1.5 \cdot S_h$	$S_n(a)$	$S_a(c)$
				$S_{prm}(2)$	$1.8 \cdot S_h$	$S_n(b)$	$S_a(d)$
鳥瞰図 番号	(A, B)		$S_{prm}(1)$	Max	$1.5 \cdot S_h$	Max	$S_a(c)$
	(A, B)		$S_n(a)$				
	(A, B)		$S_{prm}(2)$	Max	$1.8 \cdot S_h$	Max	$S_a(d)$
	(A, B)		$S_n(b)$				

注記 *1: $S_{prm}(1)$, $S_{prm}(2)$ 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, $S_n(a)$, $S_n(b)$ はそれぞれ, 設計・建設規格 PPC-3530(1)a, bに基づき計算した一次+二次応力を示す。

*2: $S_a(c)$, $S_a(d)$ はそれぞれ, 設計・建設規格 PPC-3530(1)c, dに基づき計算した許容応力を示す。

(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, 応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載する。このため, 下表の代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。

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 範囲)

No	配管モデル	運転状態 (I, II) *1					運転状態 (I, II) *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	***-1	1	**	***	*,**	—	9	**	***	*,**	—
2	***-2	2	**	***	*,**	○	10	**	***	*,**	○
3	***-3	3	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—
4	***-4	4	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	14	**	***	*,**	—
7	***-7	7	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—
8	***-8	8	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—

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（クラス 2 範囲）

No	配管 モデル	運転状態（Ⅰ，Ⅱ） ^{*3}					運転状態（Ⅰ，Ⅱ） ^{*4}				
		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
1	***-1	1	**	***	*,**	—	9	**	***	*,**	—
2	***-2	2	**	***	*,**	○	10	**	***	*,**	○
3	***-3	3	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—
4	***-4	4	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	14	**	***	*,**	—
7	***-7	7	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—
8	***-8	8	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—

注記 *3：告示第501号第56条第2号（イ）に基づき計算した一次＋二次応力を示す。

*4：告示第501号第56条第2号（ロ）に基づき計算した一次＋二次応力を示す。

O 2 ⑥ VI-3-2-4 R 5

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 範囲）

No	配管 モデル	供用状態（A，B） ^{*1}					供用状態（A，B） ^{*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	***-1	1	**	***	*,**	—	9	**	***	*,**	—
2	***-2	2	**	***	*,**	○	10	**	***	*,**	○
3	***-3	3	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—
4	***-4	4	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	14	**	***	*,**	—
7	***-7	7	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—
8	***-8	8	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—

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。

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範囲）

No	配管 モデル	供用状態 (A, B) *3					供用状態 (A, B) *4				
		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
1	***-1	1	**	***	*,**	—	9	**	***	*,**	—
2	***-2	2	**	***	*,**	○	10	**	***	*,**	○
3	***-3	3	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—
4	***-4	4	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	14	**	***	*,**	—
7	***-7	7	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—
8	***-8	8	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—

注記 *3：設計・建設規格 PPC-3530(1)aに基づき計算した一次+二次応力を示す。

*4：設計・建設規格 PPC-3530(1)bに基づき計算した一次+二次応力を示す。

VI-3-2-5 クラス 2 弁の強度計算方法

目次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	2
1.4 計算精度と数値の丸め方	3
1.5 材料の表示方法	4
2. クラス2弁の強度計算方法	5
2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算	5
2.2 フランジの強度計算	8
3. 添付図	20

別紙 クラス2弁の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、添付書類「VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス 2 弁が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、昭和 55 年通商産業省告示第 5 0 1 号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第 5 0 1 号」という。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

なお、告示第 5 0 1 号及び設計・建設規格による評価について、評価式及び許容値の 2 つの項目について比較を実施した結果、設計・建設規格側が安全側であることを確認した。そのため、設計・建設規格による評価を行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表 1-1 に示すとおりである。

- (2) 設計・建設規格に計算式の規定がないフランジについては日本産業規格（以下「J I S」という。）を適用して行う。本資料との対応は、表 1-2 に示すとおりである。
- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 VVC-3410）

- a. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」

表 1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
VVC-3200 耐圧部の設計 VVC-3210	2.1	弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3300 弁の応力評価 VVC-3310 (a) * VVC-3310 (b) *	2.2 2.2	フランジの強度計算 弁箱と弁ふたのフランジの応力解析 フランジボルトの応力解析

注記 * : 設計・建設規格 VVC-3310 による計算は、接続管の外径が 115 mm を超える弁について適用する。

表 1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
N o .	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003)		2.2	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造—一般事項」			
附属書 3 (規定)	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		
附属書 4 (規定)	3		
「全面形非金属ガスケットを用いる	4		
全面座フランジ」			

注記 * : 設計・建設規格 VVC-3310 により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」(以下「J I S B 8 2 6 5」という。)の附属書 3 (規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」及び附属書 4 (規定)「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算は、本資料と各弁の強度計算書からなる。
- (2) 各弁の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているため、本資料によるものとする。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3 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
圧力	最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
	設計・建設規格別表 1-1 に規定する許容 圧力	MPa	—*1 (小数点以下第3位)	—*1 (四捨五入)	小数点以下第2位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
応力	許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
	算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
	実際の長さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第3位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
面積	総断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	実際の断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	弁操作力による反力	N	—	—	整数位
	上記以外の力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		°	—	—	小数点以下第1位

注記 *1：設計・建設規格 別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法により補間して求める場合は、() 内を適用する。

*2：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許容引張応力は、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：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

J I S の改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合，設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し，最新の J I S による材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

(例 1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例 2) SCS14A 相当 (ASME SA351 Gr. CF8M)

- (2) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SNB7 (径 \leq 63 mm)

- (3) ガasket材料で非石綿の場合の表示は，フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお，この場合のガasket係数 (m) 及びガasketの最小設計締付圧力 (y) は，J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 備考 3 よりガasketメーカー推奨値を適用する。

2. クラス 2 弁の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス 2 弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に示す。

2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

設計・建設規格 VVC-3210 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図 3-1 に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図 3-1 に示すネック部の内径	mm
\varnothing	\varnothing	$\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合、図 3-2 に示すネック部の厚さが t 以上必要な部分の範囲	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	設計・建設規格 別表 3 の呼び圧力（設計・建設規格 別表 1-1 において P_1 に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち、当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_2	t_2	設計・建設規格 別表 3 の呼び圧力（設計・建設規格 別表 1-1 において P_2 に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち、当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
	t_{ab}	弁箱の最小厚さ	mm
	t_{af}	弁ふたの最小厚さ	mm
	T_m	最高使用温度	℃
t_m	t_{m1}	\varnothing の範囲内のネック部の計算上必要な厚さ	mm
t_m	t_{m2}	\varnothing の範囲外及び $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合、ネック部の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ma1}	t_{m1} に対応するネック部の最小厚さ	mm
	t_{ma2}	t_{m2} に対応するネック部の最小厚さ	mm

(2) 算式

- a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ

$$t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$$

注：最高使用圧力が最高使用温度における設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合は，弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ t は，設計・建設規格 別表 3 の呼び圧力（1.03 MPa）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。

- b. ネック部の計算上必要な厚さ

- (a) $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合

- イ. 弁箱流路方向の外径から，ネック方向に沿って次の式で計算した ℓ の範囲の必要な厚さ

$$t_{m1} = t$$

$$\ell = 1.1 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

- ロ. イ. 以外のネック部の必要な厚さ

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

- (b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

- a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$$t_{ab} \geq t$$

$$t_{af} \geq t$$

- b. ネック部の最小厚さ

- (a) $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合

$$t_{ma1} \geq t_{m1}$$

$$t_{ma2} \geq t_{m2}$$

- (b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_{ma2} \geq t_{m2}$$

2.2 フランジの強度計算

2.2.1 ボルト締めフランジ

設計・建設規格 VVC-3310 を適用する。

(1) 記号の説明

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締め時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1 のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (f < 1 のときの一体形フランジの場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 (= $\frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2$ (一体形フランジの場合))	mm ³
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
e	e	係数 (= $\frac{F}{h_0}$ (一体形フランジの場合))	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
	F _e	フランジに作用する機械的鉛直荷重 (弁操作力による反力)	N
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 4 又は表 4 による。)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm

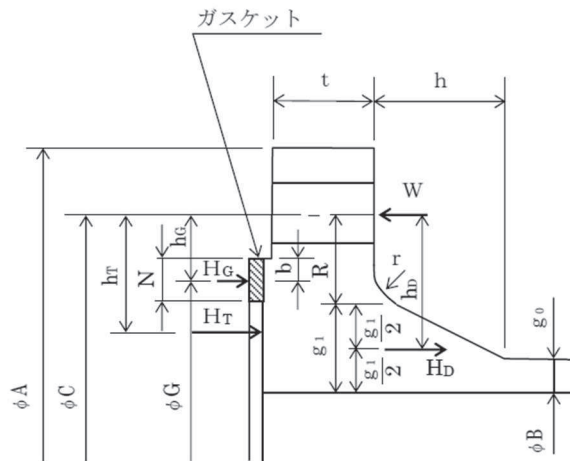
J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_o}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円から H_T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント (駆動部の偏心荷重によるモーメント)	N・mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M_o	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm

J I Sの記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	P _{e q}	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した等価圧力	MPa
P	P _{F D}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 8 又は表 4 による。)	—
W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

J I Sの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	NON- ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—

注記 * : J I S B 8 2 6 5は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 2 b) 7))

注 1 : ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注 2 : Wは、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図 2-1 一体形フランジ

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) $b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

ここで、

$$b_o = N / 2$$

b. フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$

$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$$

(b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket縮付時})$$

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

ただし, $R = \frac{C-B}{2} - g_1$

注記 * : クラス 2 弁には, 一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

i. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C-G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_o} \quad *1, *2$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} \quad *2$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

ここで、

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2$$

$$e = \frac{F}{h_o}$$

注記 *1: 設計・建設規格 VVB-3390 式(VVB-19)による。J I S B 8 2 6 5 の計算式に一次膜応力を加えたものである。

*2: $B < 20 \cdot g_1$ のときは、 σ_{Ho} 及び σ_{Hg} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

- b. ハブの軸方向応力

使用状態にあつては

$$\sigma_{H_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$$

ガスケット締付時にあつては

$$\sigma_{H_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f a}$$

- c. フランジの半径方向応力

使用状態にあつては

$$\sigma_{R_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$$

ガスケット締付時にあつては

$$\sigma_{R_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f a}$$

- d. フランジの周方向応力

使用状態にあつては

$$\sigma_{T_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$$

ガスケット締付時にあつては

$$\sigma_{T_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f a}$$

2.2.2 全面座フランジ

設計・建設規格 VVC-3310 を適用する。

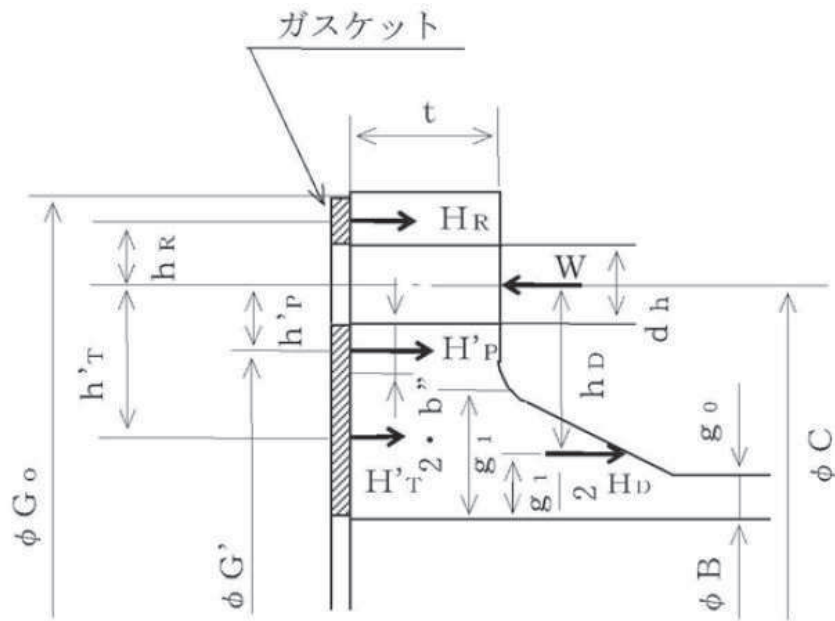
(1) 記号の説明

J I Sの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの所要総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの所要総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの所要総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
b'_o	b'_o	$G_o - C$, ガスケット締付時におけるガスケット座の基本幅	mm
b'	b'	$4 \cdot \sqrt{b'_o}$, ガスケット締付時におけるガスケット座の有効幅	mm
$2b''$	$2 \cdot b''$	使用状態におけるガスケット座の有効幅 $2 \cdot b'' = 5 \text{ mm}$	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d_h	d_h	ボルト穴の直径	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
G'	G'	$C - (d_h + 2 \cdot b'')$, ガスケット圧縮力 H'_P の位置の直径	mm
G_o	G_o	ガスケット外径とフランジ外径の小さい方の値	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H'	H'	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H'_P	H'_P	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	N
H'_T	H'_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
H_R	H_R	平衡反力	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
h'_P	h'_P	ボルト穴の中心円から H'_P 作用点までの半径方向の距離	mm

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
h'_T	h'_T	ボルトの中心円から H'_T 作用点までの半径方向の距離	mm
h_R	h_R	ボルトの中心円から H_R 作用点までの半径方向の距離	mm
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
M_o	M_o	$H_R \cdot h_R$, 使用状態でフランジに作用する全モーメント	N・mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
t	$t_{f\ell}$	フランジの厚さ	mm
t	t	フランジの計算厚さ	mm
W_{m1}	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 に定める許容引張応力	MPa*
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 に定める許容引張応力	MPa*
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める許容引張応力	MPa*

注記 * : J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(J I S B 8 2 6 5 附属書 4 図 1)

注 1 : ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注 2 : Wは、 W_{m1} 及び W_{m2} のボルト荷重を表す。

図 2-2 全面座フランジ

a. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H'_{P} + H_{R}$$

$$H' = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_h)^2 \cdot P_{FD}$$

$$H'_{P} = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G' \cdot m \cdot P_{FD}$$

$$H_{R} = \frac{H_D \cdot h_D + H'_T \cdot h'_T + H'_{P} \cdot h'_{P}}{h_R}$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P_{FD}$$

$$h_D = \frac{(C - B)}{2} - 0.5 \cdot g_1$$

$$H'_T = H' - H_D$$

$$h'_T = \frac{(C + d_h + 2 \cdot b'') - B}{4}$$

$$h'_{P} = \frac{d_h + 2 \cdot b''}{2}$$

$$h_R = \frac{G_0 - (C + d_h)}{4} + \frac{d_h}{2}$$

(b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b' \cdot C \cdot y$$

b. ボルトの所要総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

c. フランジの計算厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_o}{\sigma_{fb} \cdot (\pi \cdot C - n \cdot d_h)}}$$

(3) 評価

全面座フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

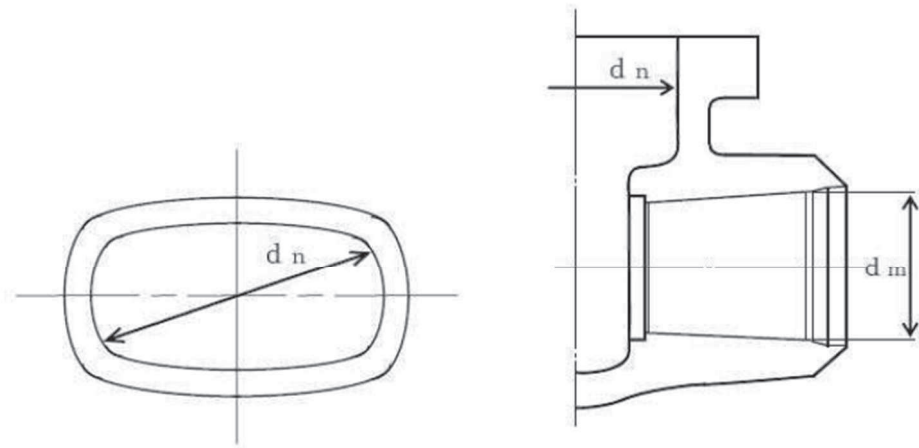
a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

b. フランジの厚さ

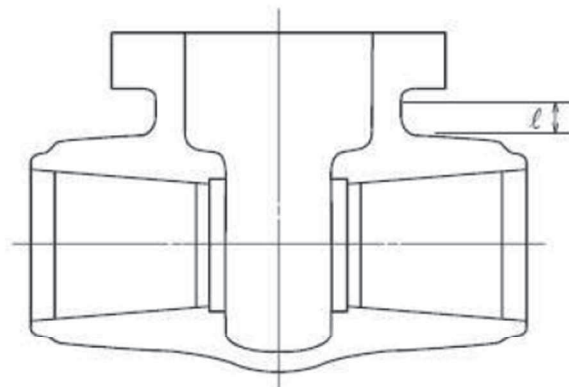
$$t_{fl} \geq t$$

3. 添付図



注：本図は設計・建設規格 VVB-3210 の解説図 VVB-3210-3 と同じ。

図 3-1 d_m 及び d_n を明示した図



l の範囲は、ネック部と流路部の交わる部分を基点として
ネック部方向にとるものとする。

注：本図は設計・建設規格 VVC-3210 の図 VVC-3210-1 と同じ。

図 3-2 ネック部の l の範囲

別紙 クラス2弁の強度計算書のフォーマット

VI-*-*-*-* ○○○○○○○○○○○の強度計算書

○ 2 ⑥ VI-3-2-5 R 3

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-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法」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

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準と 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		SA 条件								
										圧力 (MPa)	温度 (℃)							

目次

1. クラス2弁
1.1 設計仕様
1.2 強度計算書

02 ⑥ VI-3-2-5 R3

1. クラス 2 弁

1.1 設計仕様

系統：

機器の区分		クラス2弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト

1.2 強度計算書

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)		d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ		ℓ (mm)	
弁箱材料		t_{m1} (mm)	
弁ふた材料		t_{m2} (mm)	
P_1 (MPa)		t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)		t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_1 (mm)			
t_2 (mm)			
t (mm)			
t_{ab} (mm)			
t_{af} (mm)			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-2-5 R 3

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)		H_D (N)	$\times 10^5$
P_{eq} (MPa)		h_D (mm)	
T_m (°C)		M_D (N・mm)	$\times 10^7$
M_e (N・mm)	$\times 10^6$	H_G (N)	$\times 10^5$
F_e (N)		h_G (mm)	
フランジの形式		M_G (N・mm)	$\times 10^7$
フランジ		H_T (N)	$\times 10^5$
材料		h_T (mm)	
σ_{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)		M_T (N・mm)	$\times 10^7$
		M_o (N・mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		M_g (N・mm)	$\times 10^8$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	
C (mm)		h_o (mm)	
g_o (mm)		f	
g_l (mm)		F	
h (mm)		V	
ボルト		e (mm ⁻¹)	
材料		d (mm ³)	
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)		L	
		T	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		U	
		Y	
n		Z	
d_b (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ_{Ho} (MPa)	
材料		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ_{To} (MPa)	
G (mm)		σ_{Hg} (MPa)	
m		σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm ²)		σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
G_s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$\times 10^6$		
H_p (N)	$\times 10^5$		
W_{m1} (N)	$\times 10^6$		
W_{m2} (N)	$\times 10^5$		
A_{m1} (mm ²)	$\times 10^3$		
A_{m2} (mm ²)	$\times 10^3$		
A_m (mm ²)	$\times 10^3$		
A_b (mm ²)	$\times 10^4$		
W_o (N)	$\times 10^6$		
W_g (N)	$\times 10^6$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

O 2 ⑥ VI-3-2-5 R 3 E

VI-3-2-6 クラス 3 容器の強度計算方法

目次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	1
1.4 計算精度と数値の丸め方	3
1.5 材料の表示方法	4
2. クラス3容器の強度計算方法	6
2.1 共通記号	6
2.2 開放タンクの構造及び強度	7
2.2.1 開放タンクの胴の計算	7
2.2.2 開放タンクの平板の厚さの計算	8
2.2.3 開放タンクの底板の計算	18
2.2.4 開放タンクの管台の計算	19
2.2.5 開放タンクの胴の穴の補強計算	20
別紙 クラス3容器の強度計算書のフォーマット	

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、添付書類「VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス 3 容器が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。)) J S M E S N C 1 -2005/2007)(日本機械学会 2007年9月)(以下「設計・建設規格」という。)により行う。

また、消火設備用ポンベ及び消火器については、添付書類「VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針」に示すとおり、高圧ガス保安法又は消防法に適合したものを使用することとする。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表 1-1 に示すとおりである。

- (2) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格(材料に関する部分を除く。)又は設計・建設規格 別表 2 に掲げるものを使用する。(設計・建設規格 PVC-3700, PVD-3010)
- a. J I S B 2 2 3 8 (1996)「鋼製管フランジ通則」
 - b. J I S B 2 2 3 9 (1996)「鋳鉄製管フランジ通則」

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、本書と各容器の強度計算書からなる。
- (2) 各容器の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているため、本書によるものとする。

表 1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PVD-3000 クラス 3 容器の設計 PVD-3010 (PVC-3920 準用) PVD-3310 PVD-3010 (PVC-3960, PVC-3970 準用) PVD-3010 (PVC-3980 準用) PVD-3010 (PVC-3160, PVC-3950 準用) PVD-3510	2.2.1 2.2.2 2.2.3 2.2.4 2.2.5	開放タンクの胴の計算 開放タンクの平板の厚 さの計算 開放タンクの底板の計 算 開放タンクの管台の計 算 開放タンクの胴の穴の 補強計算 開放タンクに穴を設け る場合の規定および補 強不要となる穴の規定

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-2 に示すとおりとする。

表 1-2 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	
最高使用圧力 (開放タンク)	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位	
温度	℃	—	—	整数位	
許容応力 ^{*1}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位	
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位	
長さ	下記以外の長さ	mm m ^{*2}	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第 3 位
	開放タンクの水頭 及び管台の内径	m	小数点以下第 5 位	四捨五入	小数点以下第 4 位
	ガスケット厚さ	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 ^{*3}	
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}	
比重	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位	

注記 *1: 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許容引張応力は、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。ただし、許容引張応力が設計・建設規格 付録材料図表に定められた値の a 倍である場合は次のようにして定める。

(1) 比例法により補間した値の小数点以下第 2 位を切り捨て、小数点以下第 1 位までの値を a 倍する。

(2) (1)で得られ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: 開放タンクの胴内径

*3: 絶対値が 1,000 以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号相当(当該材記号)

(例 1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例 2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11C1.1)

- (2) 管材の許容引張応力の値は継目無管，電気抵抗溶接管及び鍛接管等，製造方法により異なる場合があるため材料記号の後に“－”を入れ，その製法による記号を付記して表示する。

(例) STPT410-S (継目無管の場合)

- (3) 強度区分により許容引張応力が異なる場合，材料記号の後に J I S で定める強度区分を付記して表示する。

(例)

	設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3	(付録材料図表 Part5 表 5 の許容引張応力の上段)	SCMV3-1
SCMV3	(付録材料図表 Part5 表 5 の許容引張応力の下段)	SCMV3-2

- (4) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) S45C (直径 40mm 以下)

- (5) 熱処理によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に J I S に定める熱処理記号を付記して表示する。

(例) SUS630 H1075 (固溶化熱処理後 570～590℃空冷の場合)

(6) ガasket材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

(例) 非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガasket (非石綿) (ステンレス鋼)

平形金属被覆ガasket (非石綿板) (ステンレス鋼)

なお、この場合のガasket係数 m 及びガasketの最小設計締付圧力 y は、JIS B 8265 附属書 3 表 2 備考 3 より、ガasketメーカー推奨値を適用する。

2. クラス 3 容器の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス 3 容器の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

クラス 3 容器の強度計算において，特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
η	η	継手の効率	—
	継手の種類	設計・建設規格 PVD-3110 に規定している継手の種類に応じた効率を使用する。	—
	継手無し	同左	—
	突合せ両側溶接	同左	—
	裏当金（取り除く。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものに限る。）並びにこれと同等以上の効果が得られる方法による溶接	—
	裏当金（取り除かず。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものを除く。）	—
	裏当金を使用しない突合せ片側溶接	同左	—
	両側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	放射線検査の有無		
	有り	発電用原子力設備規格（溶接規格 J S M E S N B 1 - 2001）（日本機械学会 2001 年 2 月）N-3140 及び N-4140（N-1100(1)a 準用）の規定に準じて放射線透過試験を行い，同規格の規定に適合するもの	—
	無し	その他のもの	—

2.2 開放タンクの構造及び強度

2.2.1 開放タンクの胴の計算

消火水タンク及び屋外消火系消火水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3920 準用）を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	m
H	H	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{s0}	胴の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし、1.00 未満の場合は 1.00 とする。	—

(2) 算式

開放タンクの胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

- c. 胴の内径に応じた必要厚さ： t_3

胴の内径が 5m を超えるものについては、胴の内径の区分に応じ設計・建設規格表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(3) 評価

胴の最小厚さ（ t_s ） \geq 胴に必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.2 開放タンクの平板の厚さの計算

消火水タンク及び屋外消火系消火水タンクについては、設計・建設規格 PVD-3310 を適用する。

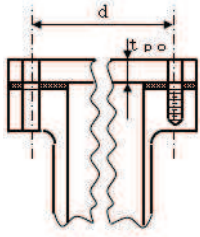
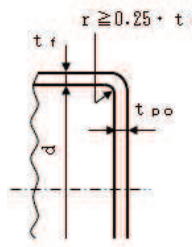
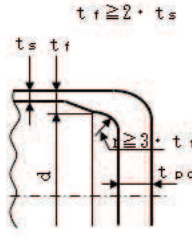
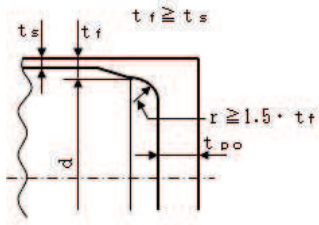
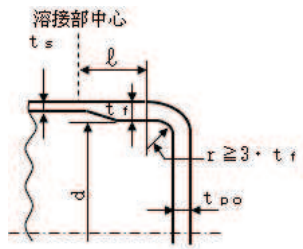
(1) 記号の説明

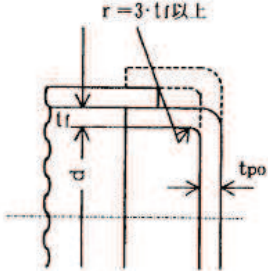
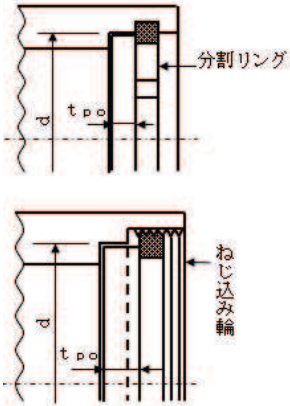
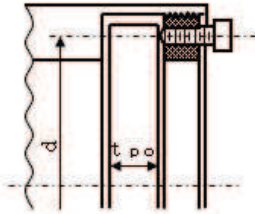
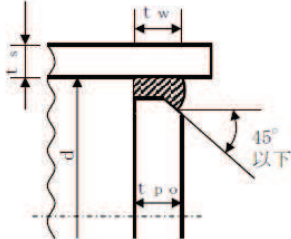
設計・建設規格, J I S の記号	計算書の 表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d, G	d	設計・建設規格 表 PVD-3310-1 に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり (ガスケットの場合 $d = G$)	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つために、ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	モーメントアームでボルトのピッチ円の直径と d との差の 2 分の 1	mm
K	K	平板の厚さ計算における取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジ部の長さ	mm

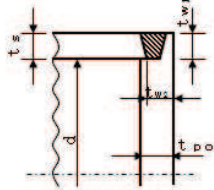
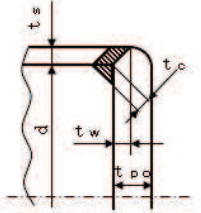
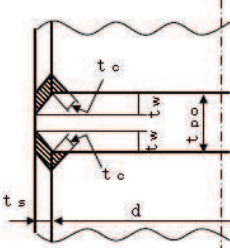
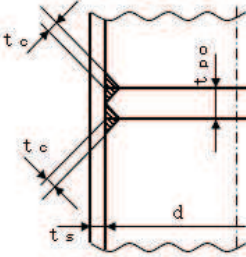
設計・建設規格, J I S の記号	計算書の 表示	表示内容	単位
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附 属書 3 表 2 による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P	最高使用圧力	MPa
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引 張応力	MPa
σ_a	S_a	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。 常温におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
σ_b	S_b	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による。 最高使用温度におけるボルト材料の許容引張 応力	MPa
t	t	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による。 平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
	t_p	平板の最小厚さ	mm
	$t_{p o}$	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	胴又は管の最小厚さ	mm
t_r	$t_{s r}$	胴又は管の継目がない場合の計算上必要な厚 さ	mm
t_w	t_w	設計・建設規格 表 PVD-3310-1 による。	mm
$t_{w 1}$	$t_{w 1}$	設計・建設規格 表 PVD-3310-1 による。	mm
$t_{w 2}$	$t_{w 2}$	設計・建設規格 表 PVD-3310-1 による。	mm

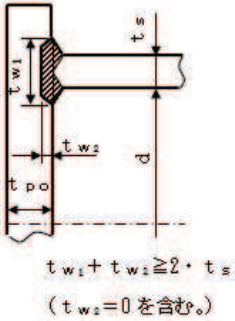
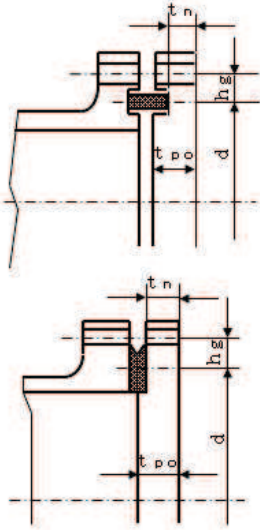
設計・建設規格, J I S の記号	計算書の 表示	表示内容	単位
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	ガスケット座面の形状	ガスケット座面の形状 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	—

(2) 形状の制限

	取付け方法	形状の制限
(a)		無し。
(b)		$d \leq 600\text{mm}$, $d/4 > t_{po} \geq d/20$ かつ, $r \geq t_f/4$ であること。
(c)		$t_f \geq 2 \cdot t_s$ かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(d)		$t_f \geq t_s$ かつ, $r \geq 1.5 \cdot t_f$ であること。
(e)		$r \geq 3 \cdot t_f$ であること。

	取付け方法	形状の制限
(f)		<p>$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。</p>
(g)		<p>$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ であること。</p>
(h)		<p>$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ であること。</p>
(i)		<p>$t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>

	取付け方法	形状の制限
(j)	 <p style="text-align: center;"> $t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ $t_{w1} \geq t_s$ </p>	$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s,$ $t_{w1} \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_{sr}$ であること。
(k) (1)		$t_w \geq \text{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_{po})$ かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。
(k) (2)		$t_w \geq \text{Min}(1.0 \cdot t_s, 0.5 \cdot t_{po})$ かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。
(l)		$t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。

	取付け方法	形状の制限
(m)	 <p style="text-align: center;">$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ ($t_{w2} = 0$ を含む。)</p>	$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s,$ ($t_{w2} = 0$ を含む。)
(n)		無し。
(o)	その他の場合	無し。

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	Kの値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max(0.2, 0.33・m) ここで、 $m = t_{sr} / t_s$
(e)	0.17 0.10*1
(f)	
(g)	0.20
(h)	
(i)	Max(0.2, 0.33・m) ここで、 $m = t_{sr} / t_s$
(j)	0.33
(k) (1)	
(k) (2)	Max(0.2, 0.33・m)
(l)	ここで、 $m = t_{sr} / t_s$
(m)	
(n)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし、 t_n の厚さにあつては $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ *2
(o)	0.50

注記 *1：取付け方法(e)において t_f から t_s へ移行するテーパが 1 対 4 又はそれより緩やかであり、かつ、以下の①又は②いずれかの場合、K = 0.10 とする。

① $l \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

② t_s が $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにわたって

$t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - l / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記 *2: 取付け方法 (n) の場合の F, h_g , W 及び d は以下による。

(a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅 (b) 及びガスケット反力円の直径

(G) は、ガスケット座の基本幅 (b_o) に従い以下のように求める。

$b_o \leq 6.35$ mm の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35$ mm の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_p$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$$

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$F = \text{Max}(W_o, W_g)$$

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$$h_g = \frac{C - G}{2}$$

(4) 評価

平板の最小厚さ（ t_p ） \geq 平板の計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.3 開放タンクの底板の計算

消火水タンク及び屋外消火系消火水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3960 及び PVC-3970 準用) を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	t	底板の規格上必要な厚さ	mm
	t_b	底板の最小厚さ	mm
	t_{bo}	底板の呼び厚さ	mm

(2) 形状の制限

a. 平板

(3) 算式

開放タンクの底板に必要な厚さは次によるものとする。

- a. 地面，基礎等に直接接触するものの厚さ： t
設計・建設規格 PVD-3010 により 3mm 以上

(4) 評価

底板の最小厚さ (t_b) \geq 底板に必要な厚さ (t) ならば十分である。

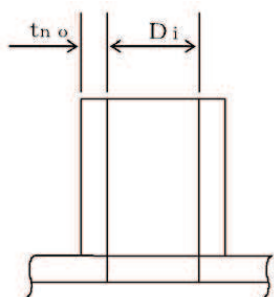
2.2.4 開放タンクの管台の計算

消火水タンク及び屋外消火系消火水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3980 準用）を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	管台の内径*	m
H	H	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
t	t	管台に必要な厚さ	mm
	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし 1.00 未満の場合は 1.00 とする。	—

注記 *：管台の内径及び呼び厚さは、下図参照。



注：本図は、管台の内径及び呼び厚さの寸法を説明するものであり、管台の取付け形式を示すものではない。

(2) 算式

開放タンクの管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 管台の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

- b. 規格上必要な最小厚さ： t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さ

(3) 評価

管台の最小厚さ (t_n) \geq 管台に必要な厚さ (t) ならば十分である。

2.2.5 開放タンクの胴の穴の補強計算

消火水タンク及び屋外消火系消火水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3510(設計・建設規格 PVC-3160 及び PVC-3950 準用)を適用する。

なお、穴を設ける場合の規定及び補強不要となる穴の規定については以下の通りとする。

(PVD-3511, PVD-3512 適用)

- ・穴は、円形またはだ円形であること。ただし、容器内の流体等の監視用のために設ける穴で長方形の両端が凸形に半円形状であるものについてはこの限りではない。
- ・穴の径(円形の穴については直径, だ円形の穴については長径をいう)が 85mm 以下の場合、補強計算は不要とする。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A_0	補強に有効な総面積	mm^2
	A_1	胴の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_2	管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_3	すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_4	強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{0D}	$X_1 \neq X_2$ の場合の片側断面についての補強に有効な総面積	mm^2
	A_{1D}	$X_1 \neq X_2$ の場合の片側断面についての胴の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{2D}	$X_1 \neq X_2$ の場合の片側断面についての管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{3D}	$X_1 \neq X_2$ の場合の片側断面についてのすみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{4D}	$X_1 \neq X_2$ の場合の片側断面についての強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
	A_{rD}	片側断面についての穴の補強に必要な面積	mm^2
	B_e	強め板の外径	mm
d	d	胴の断面に現われる穴の径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位	
D _i	d _w	管台の取り付く穴の径（完全溶込み溶接により溶接された管台については、 $d_w = D_{o.n} + \alpha$ （ α はルート間隔の 2 倍）、それ以外の管台については、 $d_w = D_{o.n}$ ）	mm	
	D _i	円筒胴にあつては胴の内径。	mm	
	D _{o.n}	管台の外径	mm	
	F	F	係数	—
		F ₁	すみ肉溶接の許容せん断応力の係数	—
		F ₂	突合せ溶接の許容せん断応力の係数	—
		F ₃	突合せ溶接の許容引張応力の係数	—
		F ₄	管台壁の許容せん断応力の係数	—
	L	L ₁	溶接の脚長 ^{*1}	mm
		L ₂	溶接の脚長 ^{*1}	mm
		L ₃	溶接の脚長 ^{*1}	mm
		L ₄	溶接の脚長 ^{*1}	mm
		L ₅	溶接の脚長 ^{*1}	mm
	P	P	$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$	MPa
		S _e	強め板材の許容引張応力	MPa
設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。				
S	S _n	管台材の許容引張応力	MPa	
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。		
S	S _s	胴板材の許容引張応力	MPa	
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。		

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	S_{w1}	すみ肉溶接部の許容せん断応力	MPa
	S_{w2}	突合せ溶接部の許容せん断応力	MPa
	S_{w3}	突合せ溶接部の許容引張応力	MPa
	S_{w4}	管台壁の許容せん断応力	MPa
	t_e	強め板の最小厚さ	mm
t_n	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ	mm
t_{nr}	t_{nr}	管台の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
	W	溶接部の負うべき荷重	N
	W_1	$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$	N
	W_2	$W_2 = (d \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$ 又は $W_2 = (d_w \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$	N
	W_{e1}	すみ肉溶接部のせん断力 (管台取付部：胴の外側)	N
	W_{e2}	すみ肉溶接部のせん断力 (管台取付部：胴の内側)	N
	W_{e3}	すみ肉溶接部のせん断力 (強め板取付部)	N
	W_{e4}	突合せ溶接部のせん断力 (胴と強め板との突合せ部)	N
	W_{e5}	突合せ溶接部のせん断力 (管台取付部)	N
	W_{e5D}	突合せ溶接部のせん断力 (管台取付部)	N
	W_{e6}	突合せ溶接部の引張力 (胴の部分径 D_{on} において)	N
	W_{e7}	突合せ溶接部の引張力 (胴の部分径 d_w において)	N
	W_{e8}	突合せ溶接部の引張力 (強め板の部分径 D_{on} において)	N
	W_{e9}	突合せ溶接部の引張力 (強め板の部分径 d_w において)	N
	W_{e10}	管台のせん断力	N
	W_{e11}	すみ肉溶接部のせん断力 (管台取付部の胴の部分径 d_w より外側)	N

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位	
η	W e b p 1	予想される破断箇所の強さ	N	
	W e b p 2	予想される破断箇所の強さ	N	
	W e b p 3	予想される破断箇所の強さ	N	
	W e b p 4	予想される破断箇所の強さ	N	
	W e b p 5	予想される破断箇所の強さ	N	
	W e b p 6	予想される破断箇所の強さ	N	
	W E L D -	管台溶接形式（図 2-1～図 2-10 を参照）	—	
	X	補強の有効範囲（胴の面に沿った方向）	mm	
	X ₁	補強の有効範囲	mm	
	X ₂	補強の有効範囲	mm	
	Y ₁	補強の有効範囲（胴より外側）	mm	
	Y ₂	補強の有効範囲（胴より内側）	mm	
	η	η	穴が長手継手又は胴との接合部の周継手を通る場合はその継手の効率。その他の場合は 1.00	—
	π	π	円周率	—
		応力除去の有無		
		有り	同左	—
	無し	同左	—	

注記 *1：設計・建設規格 図 PVD-4112-3 による。

(2) 胴の補強計算

a. 管台の形式

図 2-1～図 2-10 に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。

b. 穴の補強

(a) 補強に必要な面積

設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3161.3 準用）を適用する。

イ. 円筒形の胴の場合

(イ) 管台の一部が胴の部分となっていない場合及び W E L D - 8, 22 の場合

$$A_r = d \cdot t_{s_r} \cdot F$$

(ロ) 管台の一部が胴の部分となっている場合

$$A_r = d \cdot t_{s_r} \cdot F + 2 \cdot (1 - S_n / S_s) \cdot t_{s_r} \cdot F \cdot t_n$$

($S_n / S_s > 1$ の場合は $S_n / S_s = 1$ とする。以下，胴の場合において同じ)

(b) 補強に有効な範囲

設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3161.1 準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{M a x} (d, d/2 + t_s + t_n)$$

$$Y_1 = \text{M i n} (2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{M i n} (2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。また，強め板がない場合には $t_e = 0$ とする。

(c) 補強に有効な面積

設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格 PVC-3161.2 準用）を適用する。

イ. 胴の部分の補強に有効な面積

- (イ) 管台の一部が胴の部分となっていない場合及びWELD-8, 22 の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X - d)$$

- (ロ) 管台の一部が胴の部分となっている場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X - d) \\ - (1 - S_n/S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

ロ. 管台の部分の補強に有効な面積

- (イ) 管台が胴の内側に突出していない場合及びWELD-8, 22 の場合

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 \cdot S_n/S_s$$

- (ロ) 管台が胴の内側に突出している場合

$$A_2 = 2 \cdot \{(t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 + t_n \cdot Y_2\} \cdot S_n/S_s$$

ただし,

$$t_{nr} = \frac{P \cdot (D_{on} - 2 \cdot t_n)}{2 \cdot S_n - 1.2 \cdot P}$$

ハ. すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_3 = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし, 補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ. 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4 = \{ \text{Min}(B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e/S_s$$

($S_e/S_s > 1$ の場合は $S_e/S_s = 1$ とする。以下胴の場合において同じ)

ホ. 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

- (d) 補強に有効な範囲 $X_1 \neq X_2$ の場合の補強に有効な面積の確認

設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3110 (設計・建設規格 PVC-3165 準用) を適用する。

補強に必要な面積の 2 分の 1 以上の補強に有効な面積は穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし, 補強に有効な範囲 $X_1 = X_2$ の場合は上記条件を満足することが明らかであり, 以下の計算は行わない。

イ. 補強に必要な面積の 2 分の 1

$$A_{rD} = A_r/2$$

ロ. X_1 又は X_2 のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

(イ) 胴の部分の補強に有効な面積

管台の一部が胴の部分となっていない場合及び WELD-8, 22 の場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{\text{Min}(X_1, X_2) - d/2\}$$

管台の一部が胴の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{\text{Min}(X_1, X_2) - d/2\} \\ - (1 - S_n/S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot t_n$$

(ロ) 管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D} = A_2/2$$

(ハ) すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D} = A_3/2$$

(ニ) 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D} = A_4/2$$

(ホ) 補強に有効な総面積

$$A_{0D} = A_{1D} + A_{2D} + A_{3D} + A_{4D}$$

c. 溶接部の強度

設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3168 及び PVC-3169 準用) を適用する。

(a) 溶接部の負うべき荷重

次の 2 つの計算式 (W_1 及び W_2) により求めた荷重のうちいずれか小さい方

$$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$$

管台の一部が胴の部分となっていない場合及び WELD-8, 22 の場合

$$W_2 = (d \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$$

管台の一部が胴の部分となっている場合

$$W_2 = (d_w \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$$

よって, $W = \text{Min}(W_1, W_2)$

ここで, $W < 0$ の場合は, 溶接部の強度計算は必要ない。

一方, $W \geq 0$ の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b) 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_s \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_s \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_s \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_s, S_n) \cdot F_4$$

(c) 継手部の強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_1 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e2} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_3 \cdot S_{w1} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-17 以外の場合)}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot (d - 2 \cdot L_2) \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-17 の場合)}$$

$$W_{e3} = \pi \cdot B_e \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot D_{on} \cdot \left(\frac{d_w - D_{on}}{2} \right) \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e5} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-5, 6, 14 以外の場合)}$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-5, 6, 14 の場合)}$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-6 以外の場合)}$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-6 の場合)}$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-14 以外の場合)}$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-14 の場合)}$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

(d) 予想される破断箇所の強さ

イ. WELD-1 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e5D}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e5}$$

ロ. WELD-2 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ハ. WELD-3 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

ニ. WELD-4 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e11}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e11} + W_{e7}$$

ただし、 $D_{on} = d_w$ の場合は $W_{ebp1} = W_{ebp3}$ となるため W_{ebp3} を省略する。

ホ. WELD-5 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヘ. WELD-6 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e7}$$

ト. WELD-8 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

チ. WELD-9 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

リ. WELD-11 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ヌ. WELD-12 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ル. WELD-13 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5D}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e5}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5}
 \end{aligned}$$

ヲ. WELD-14 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ワ. WELD-15, 16, 22 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

カ. WELD-17 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

コ. WELD-18 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

タ. WELD-19, 19' の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

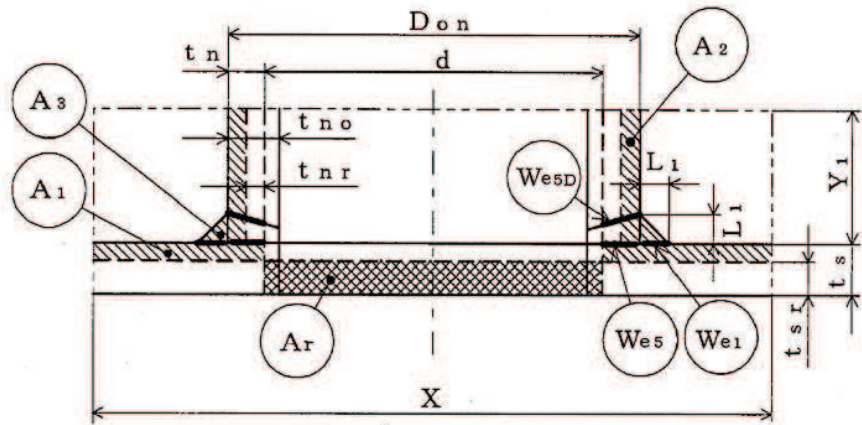
d. 評価

胴の穴の補強は、下記の条件を満足すれば十分である。

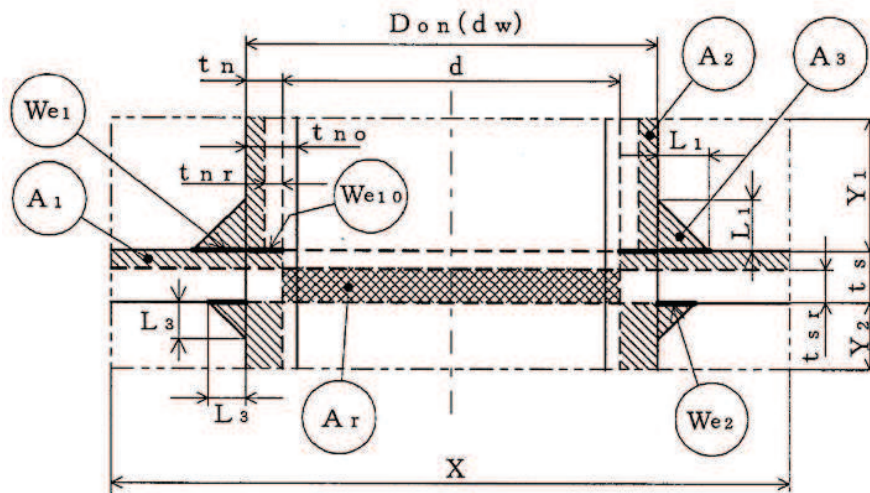
$$A_0 > A_r$$

$$A_{0D} \geq A_{rD} \quad (\text{ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ})$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)



WELD-1



WELD-2

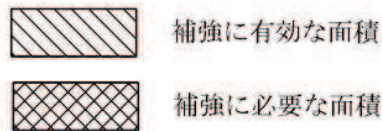
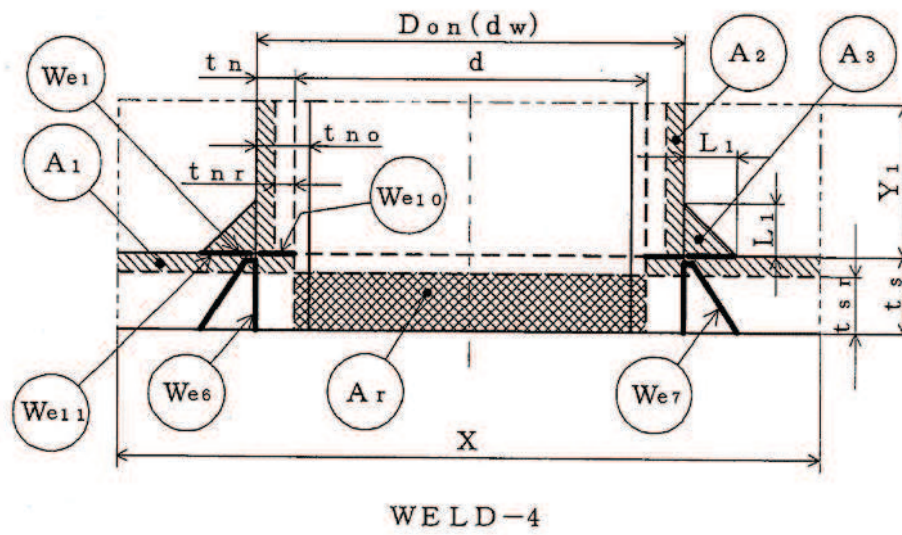
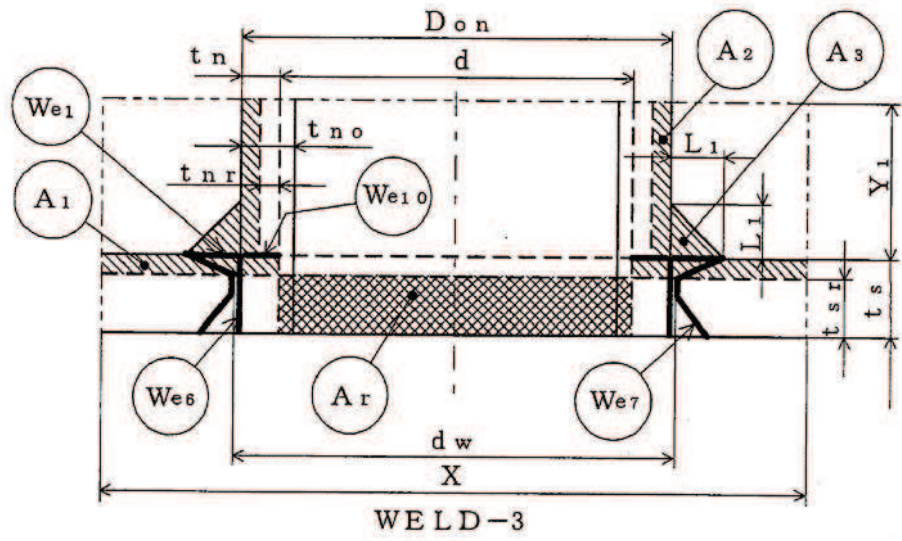


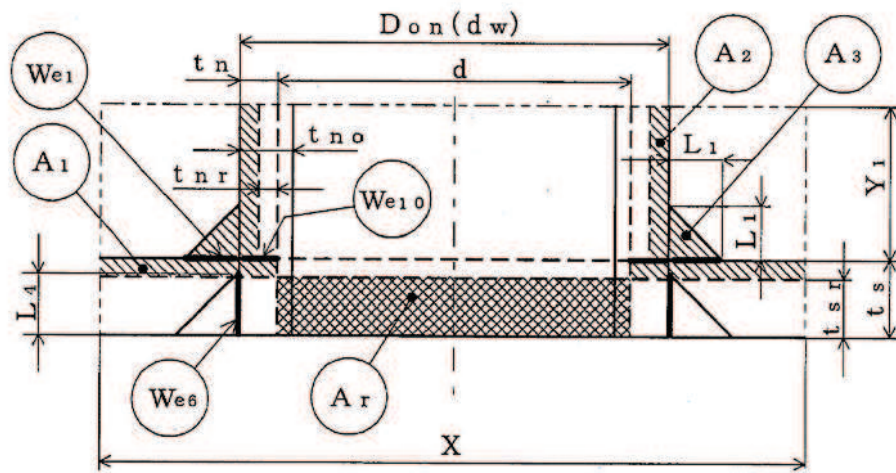
図 2-1

* : W_{e1} 等で示される図中の太線は、予想される破断形式を示す。(以降、同様)

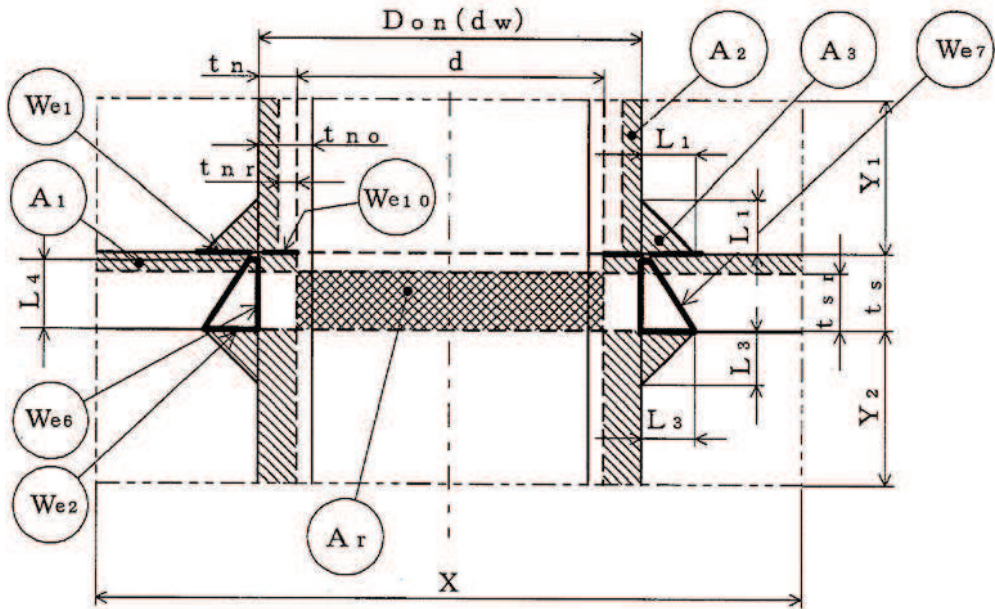


- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図 2-2



WELD-5



WELD-6

- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図 2-3

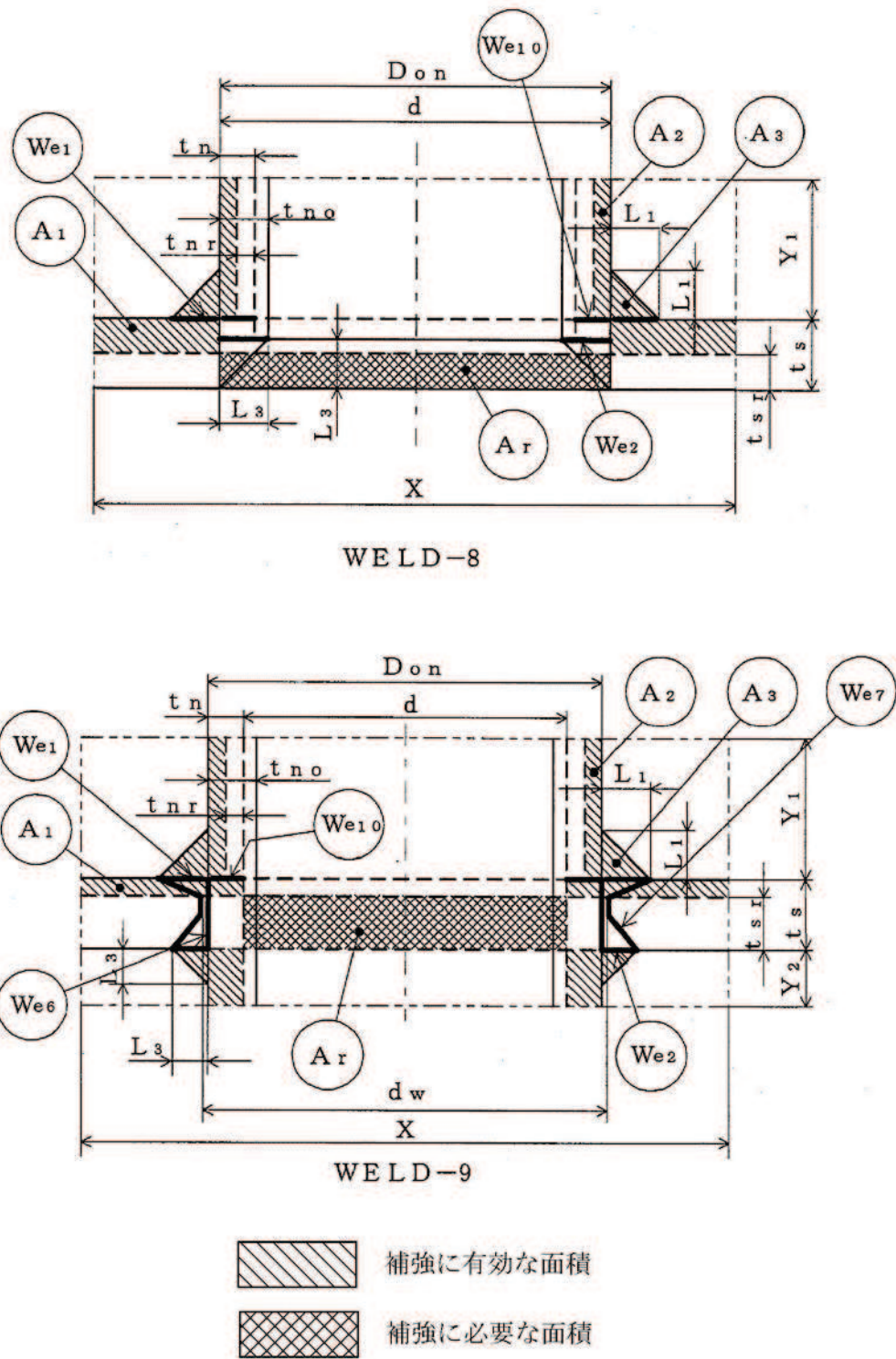
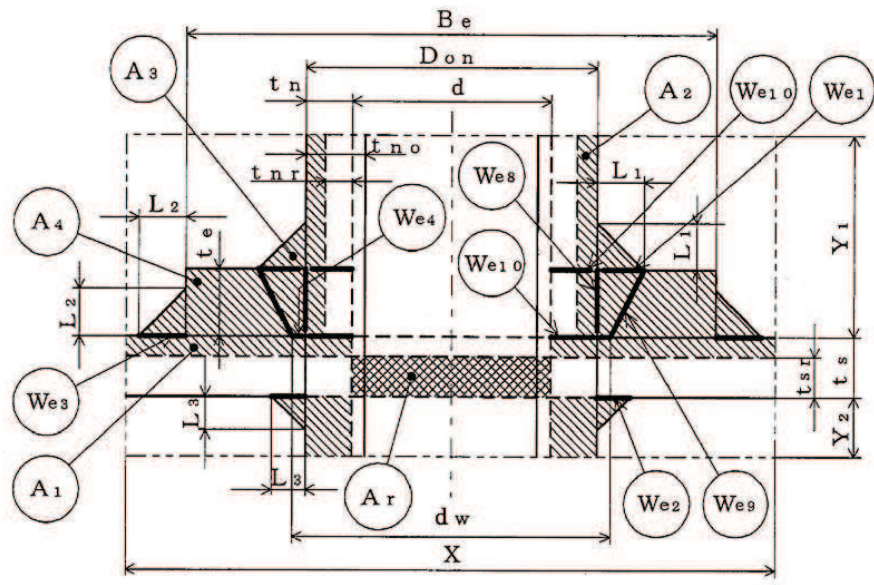
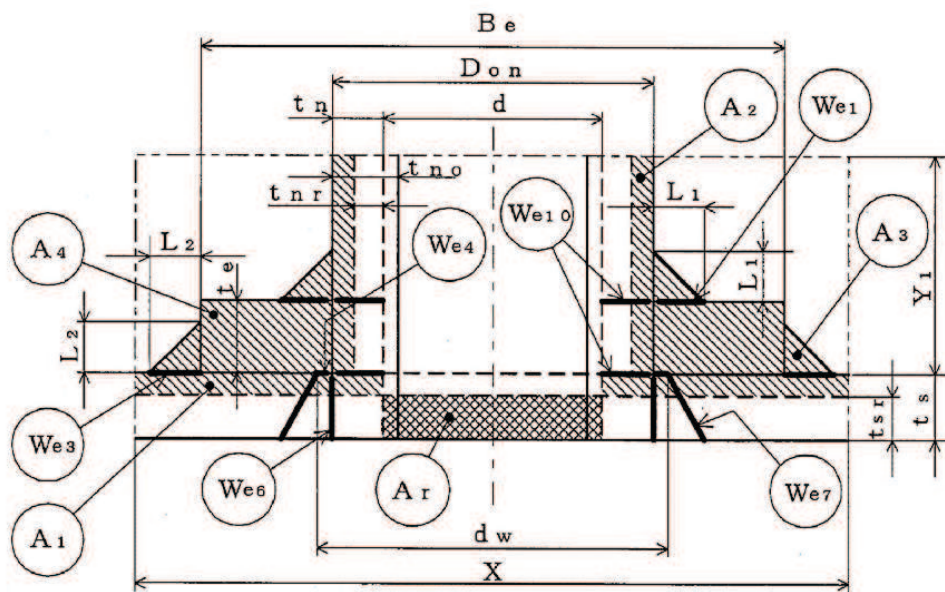


図 2-4



WELD-11



WELD-12

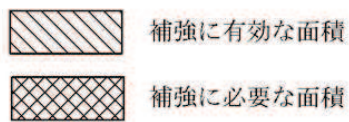
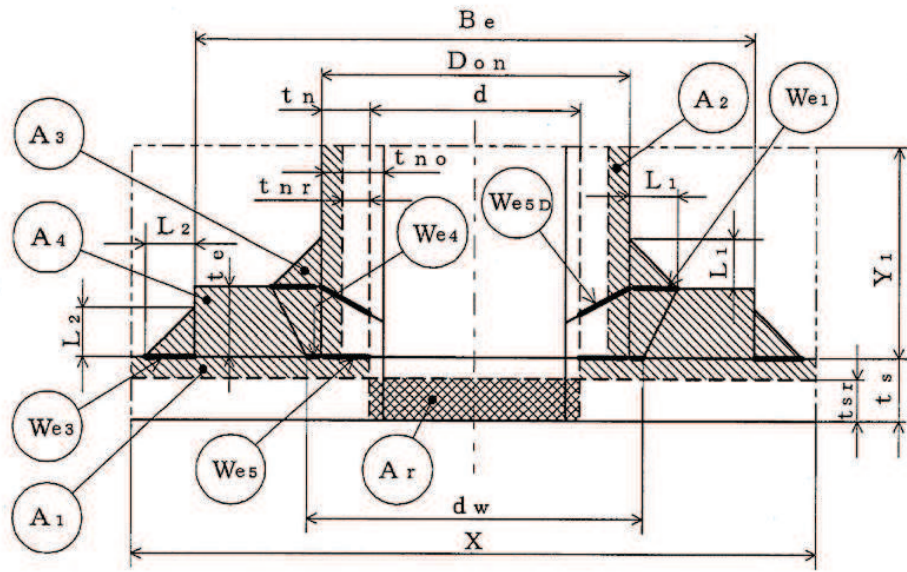
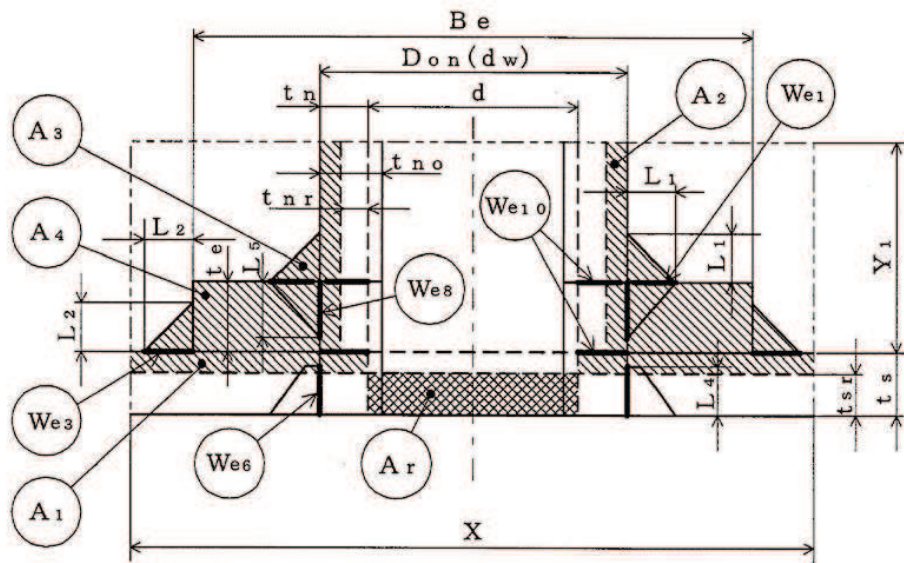


図 2-5



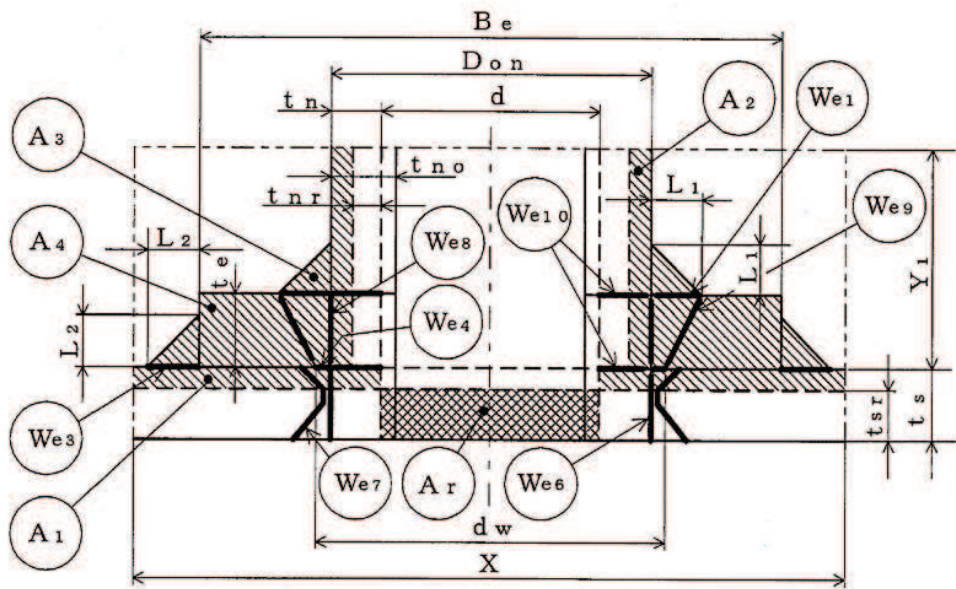
WELD-13



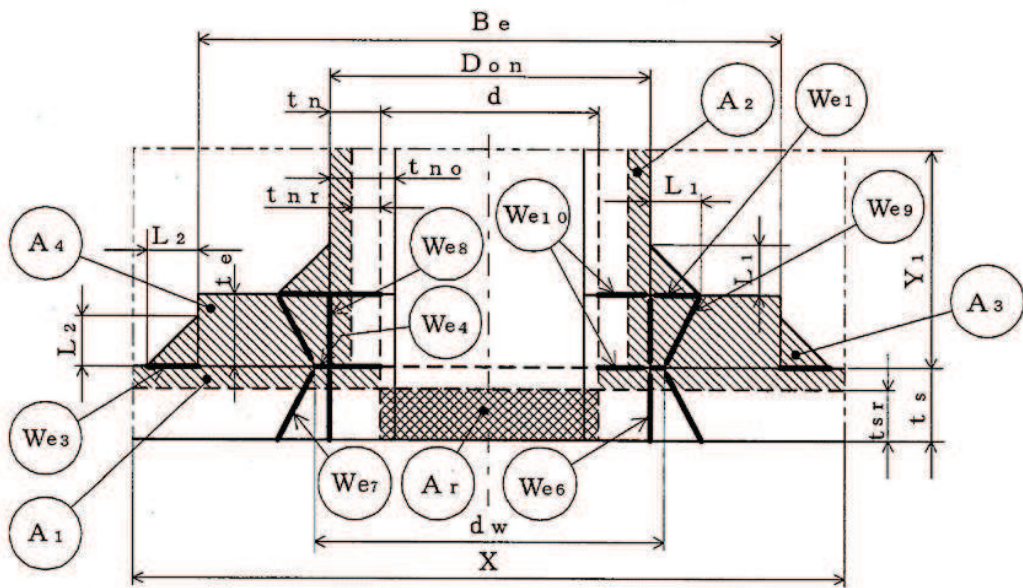
WELD-14

- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図 2-6



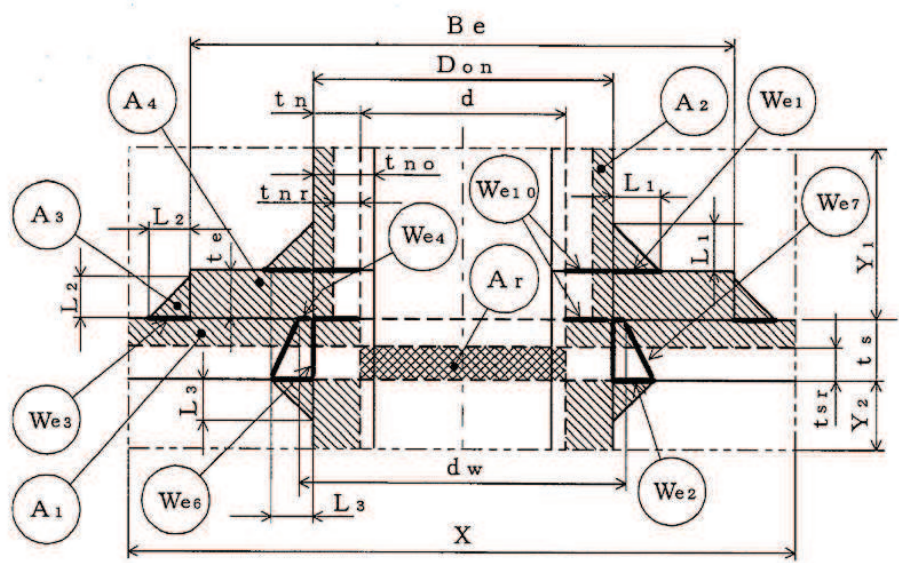
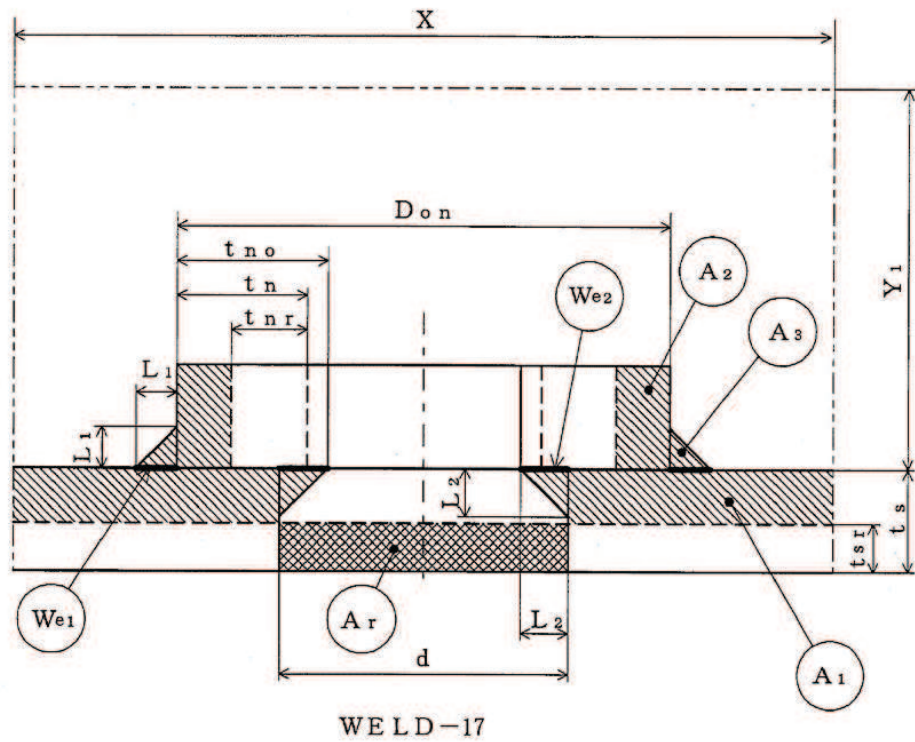
WELD-15



WELD-16

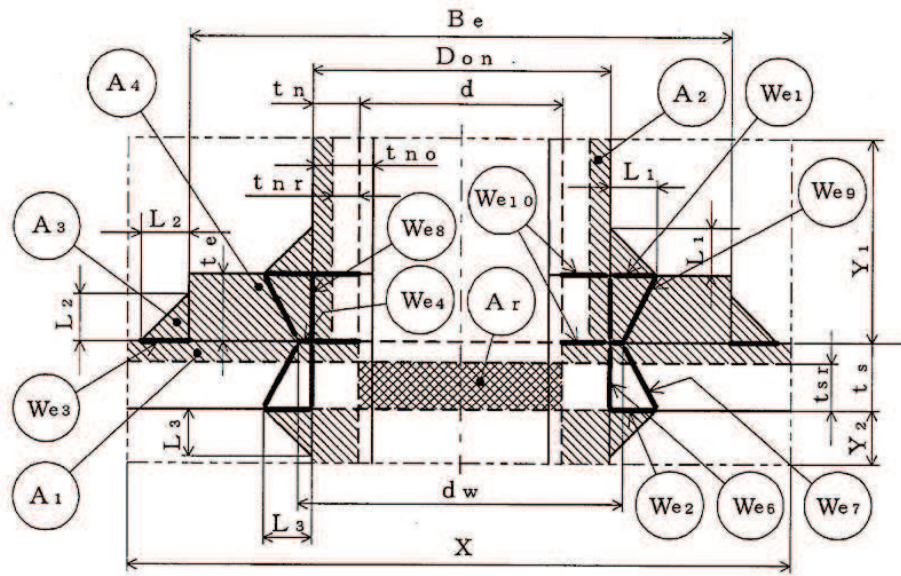


図 2-7

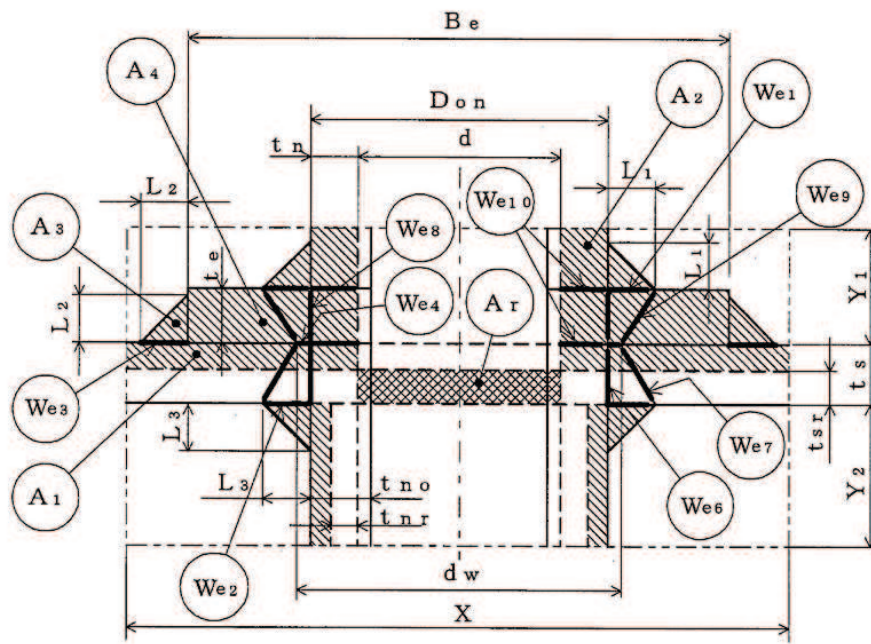


- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図 2-8



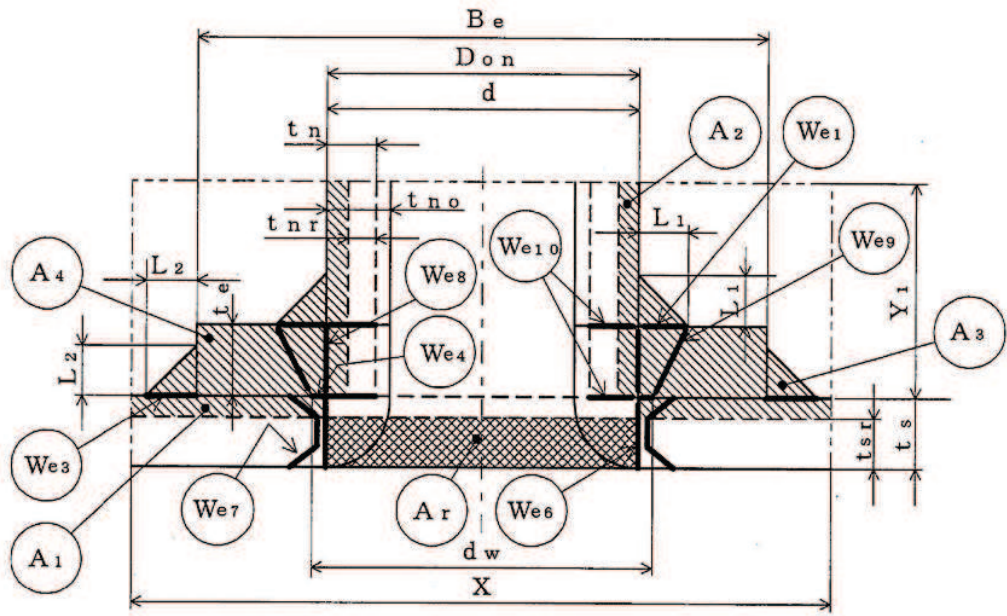
WELD-19



WELD-19'

- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図 2-9



WELD-22

-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図 2-10

別紙 クラス 3 容器の強度計算書のフォーマット

VI-3-*-*-* ○○○○○○○○○○○の強度計算書

○ 2 ⑥ VI-3-2-6 R 2

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-6 クラス 3 容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に基づき、火災防護設備用水源タンクについては評価条件整理表は不要とする。

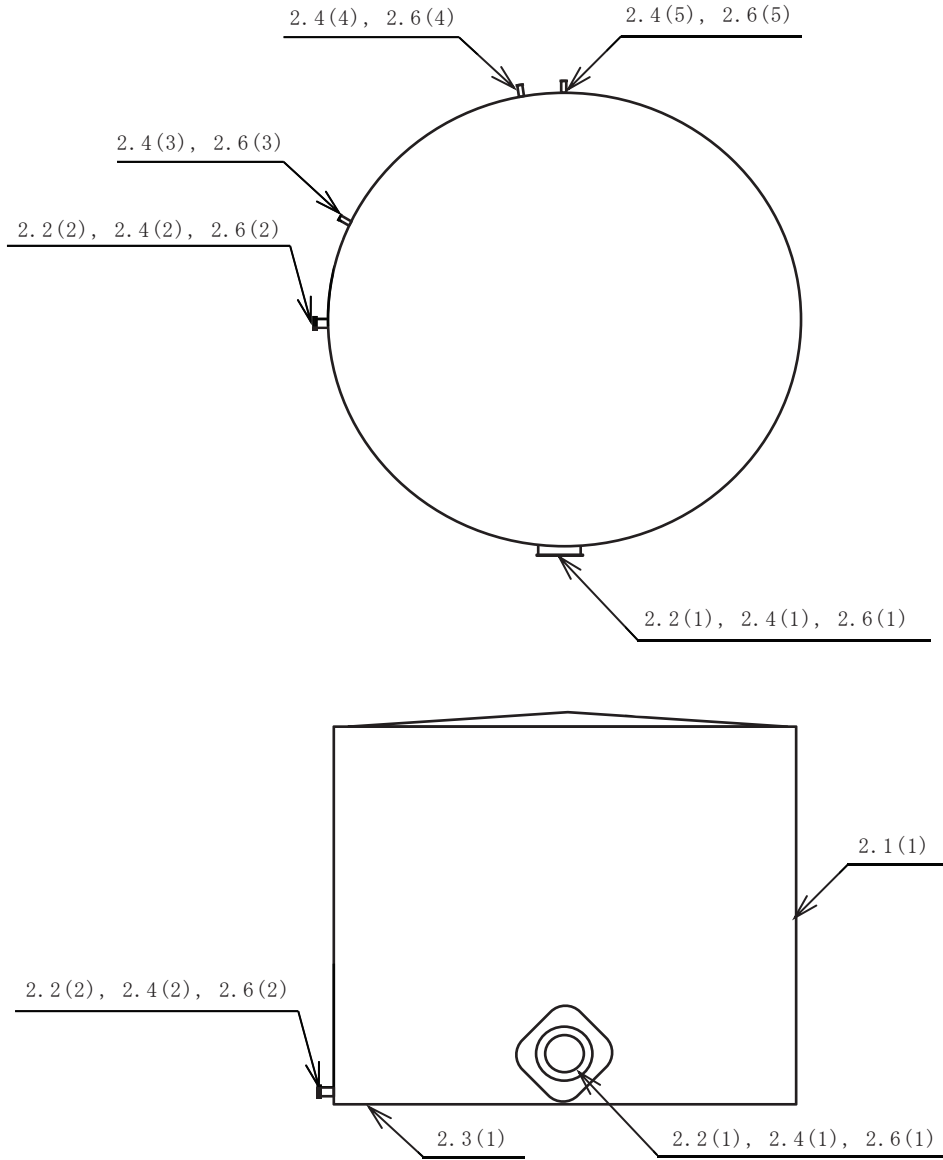
目次

1.	計算条件
1.1	計算部位
1.2	設計条件
2.	強度計算
2.1	〇〇の計算
2.2	△△の計算
2.3	□□の計算

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の
計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用压力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	

2. 強度計算

2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称	(1) 胴板	
材料		
水頭	H (m)	
最高使用温度	(°C)	
胴の内径	D_i (m)	
液体の比重	ρ	
許容引張応力	S (MPa)	
継手効率	η	
継手の種類		
放射線検査の有無		
必要厚さ	t_1 (mm)	
必要厚さ	t_2 (mm)	
必要厚さ	t_3 (mm)	
t_1, t_2, t_3 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t_{s0} (mm)	
最小厚さ	t_s (mm)	
評価： $t_s \geq t$, よって十分である。		

2.2 開放タンクの平板の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) ○○マンホール平板	
平板の取付け方法	(j)	
平板の穴の有無	無し	
溶接部の寸法	t_{w1}	(mm)
溶接部の寸法	t_{w2}	(mm)
胴又は管の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)
胴又は管の最小厚さ	t_s	(mm)
	$t_{w1} + t_{w2}$	(mm)
	$2 \cdot t_s$	(mm)
	$1.25 \cdot t_{sr}$	(mm)
評価： $t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_{w1} \geq t_s$, $t_s \geq 1.25 \cdot t_{sr}$ によって十分である。		

設計・建設規格 PVD-3310

平板の厚さ

平板名称	(1) ○○マンホール平板	
材料		
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
許容引張応力	S	(MPa)
取付け方法による係数	K	
平板の径	d	(mm)
必要厚さ	t	(mm)
呼び厚さ	t_{po}	(mm)
最小厚さ	t_p	(mm)
評価： $t_p \geq t$, によって十分である。		

2.3 開放タンクの底板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVD-3010(PVC-3960 準用)

底板の形：平板

(2) 設計・建設規格 PVD-3010(PVC-3970 準用)

底板名称		(1) 底板
材料		
必要厚さ	t (mm)	
呼び厚さ	$t_{b.o}$ (mm)	
最小厚さ	t_b (mm)	
評価： $t_b \geq t$, よって十分である。		

2.4 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(1) ○○マンホール	
材料		
水頭	H (m)	
最高使用温度	(°C)	
管台の内径	D_i (m)	
液体の比重	ρ	
許容引張応力	S (MPa)	
継手効率	η	
継手の種類		
放射線検査の有無		
必要厚さ	t_1 (mm)	
必要厚さ	t_2 (mm)	
t_1, t_2 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t_{no} (mm)	
最小厚さ	t_n (mm)	
評価： $t_n \geq t$, よって十分である。		

2.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算
設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

洞板名称	(1) 洞板
補強の計算を要する 85mm を超える穴の 名称	〇〇マンホール (2.6 (1)) △△ノズル (2.6 (2))

2.6 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 W E L D - 1 1

管台名称	(1) ○○マンホール	
胴板材料		
管台材料		
強め板材料		
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)
穴の径	d	(mm)
管台が取付く穴の径	d_w	(mm)
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)
管台の最小厚さ	t_n	(mm)
胴板の継手効率	η	
係数	F	
胴の内径	D_i	(mm)
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{s,r}$	(mm)
管台の計算上必要な厚さ	$t_{n,r}$	(mm)
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm ²)
補強の有効範囲	X_1	(mm)
補強の有効範囲	X_2	(mm)
補強の有効範囲	X	(mm)
補強の有効範囲	Y_1	(mm)
補強の有効範囲	Y_2	(mm)
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)
強め板の外径	B_e	(mm)
管台の外径	$D_{o,n}$	(mm)
溶接寸法	L_1	(mm)
溶接寸法	L_2	(mm)
溶接寸法	L_3	(mm)
胴板の有効補強面積	A_1	(mm ²)
管台の有効補強面積	A_2	(mm ²)
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm ²)
強め板の有効補強面積	A_4	(mm ²)
補強に有効な総面積	A_o	(mm ²)
評価： $A_o > A_r$ ， よって十分である。		

管台名称	(1) ○○マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	d_j	(mm)
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	W_1	(N)
溶接部にかかる荷重	W_2	(N)
溶接部の負うべき荷重	W	(N)
すみ肉溶接の許容せん断応力	S_{w1}	(MPa)
突合せ溶接の許容せん断応力	S_{w2}	(MPa)
突合せ溶接の許容引張応力	S_{w3}	(MPa)
管台壁の許容せん断応力	S_{w4}	(MPa)
応力除去の有無		
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	F_1	
突合せ溶接の許容せん断応力係数	F_2	
突合せ溶接の許容引張応力係数	F_3	
管台壁の許容せん断応力係数	F_4	
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e1}	(N)
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e2}	(N)
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e3}	(N)
突合せ溶接部のせん断力	W_{e4}	(N)
突合せ溶接部の引張力	W_{e8}	(N)
突合せ溶接部の引張力	W_{e9}	(N)
管台のせん断力	W_{e10}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp1}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp2}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp3}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp4}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp5}	(N)
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		