

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-20_改4

補足-600-20 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性について

目次

1. 概要	1
2. BOP 閉止装置の全体構造	1
3. BOP 閉止装置の構造	2
4. 評価部位	3
4.1 考慮する荷重	3
4.2 荷重伝達経路	4
4.2.1 地震荷重	4
4.2.2 圧力荷重及び機械的荷重	6
4.3 評価部位	6
4.3.1 扉及び支持部材の考慮する荷重方向	6
4.3.2 応力評価部位	6
5. 評価条件	9
5.1 荷重の組合せ, 許容応力状態及び許容応力	9
5.2 設計条件	11
5.2.1 温度条件	11
5.2.2 死荷重	11
5.2.3 圧力荷重	11
5.2.4 機械的荷重	11
5.2.5 地震荷重	11
5.3 各評価部位の許容応力	13
6. 評価	15
6.1 BOP 閉止装置の固有周期の計算方法	15
6.1.1 解析モデル	15
6.1.2 固有周期の算出結果	16
6.2 応力計算方法	17
6.2.1 扉の応力計算	17
6.2.2 閘部の応力計算	23
6.2.3 丁番部の応力計算	34
6.3 評価結果	47

1. 概要

本資料は、ブローアウトパネル関連設備のうち、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の耐震評価手法について説明するものである。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」

2. BOP 閉止装置の全体構造

BOP 閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟に装置取付架台を介して 1 式（24 台）設置しており、BOP 閉止装置の枠板は据付ボルトにより装置取付架台に固定される。BOP 閉止装置の全体構造を図 2-1 に示す。BOP 閉止装置 24 台と装置取付架台から構成される全体構造の固有周期は 0.05s 以下であり、全体構造が剛構造であることを確認している。そのため、全体構造における BOP 閉止装置の振動特性と BOP 閉止装置 1 台の振動特性に差異はないため、以下では BOP 閉止装置 1 台に対する評価結果を代表として記載する。添付 2 に装置取付架台が剛構造である根拠を示す。

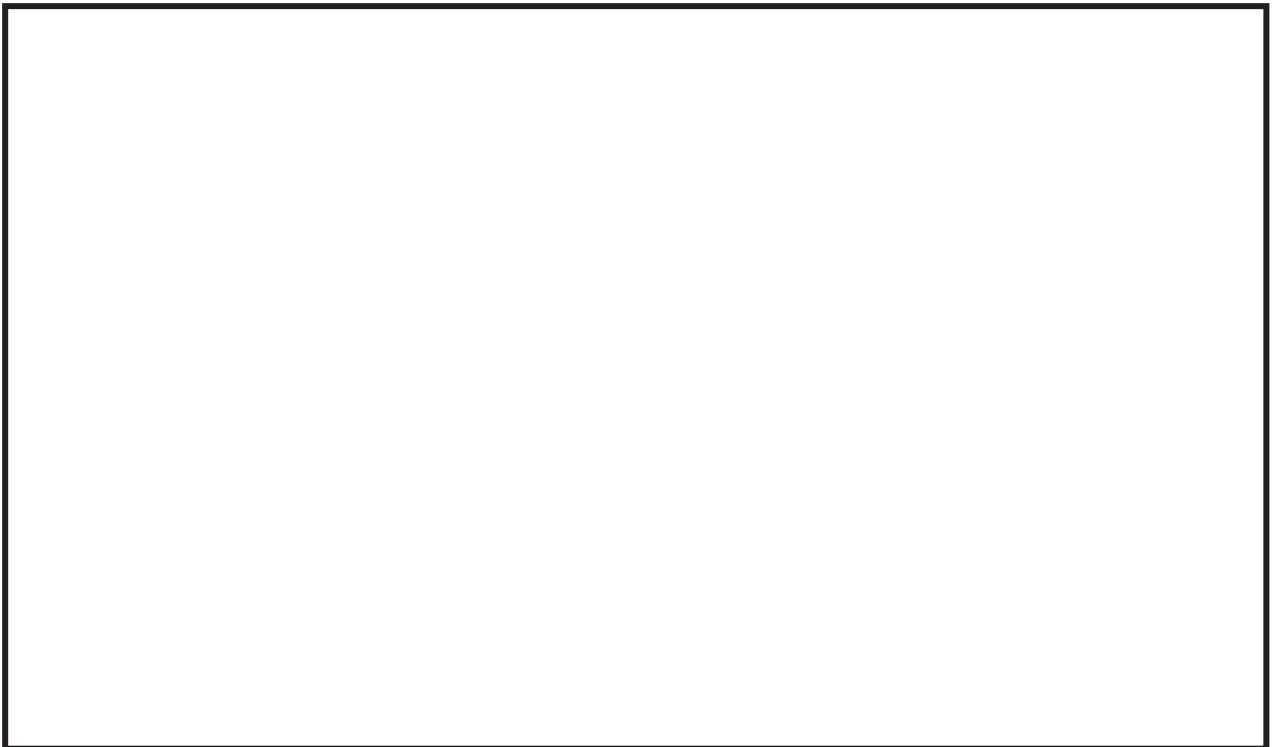
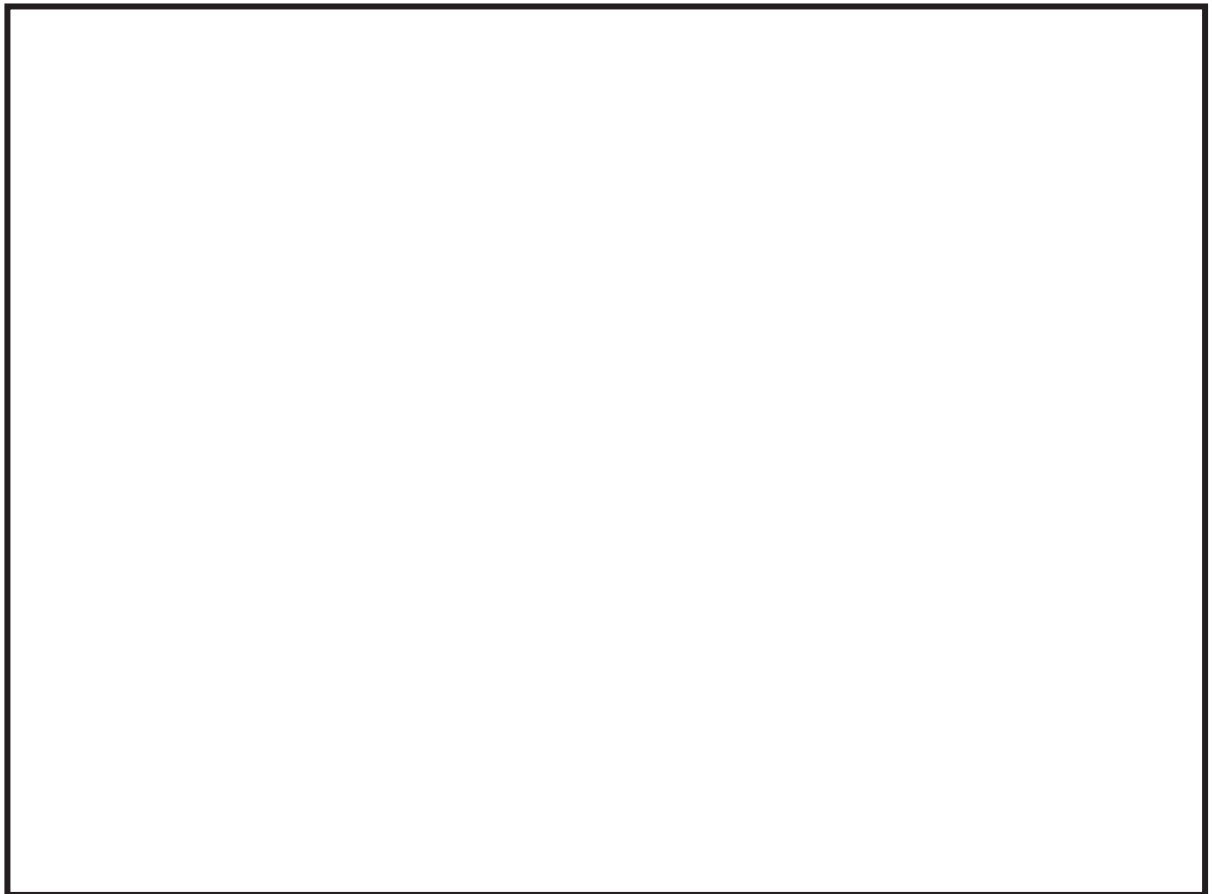


図 2-1 BOP 閉止装置の全体構造

3. BOP 閉止装置の構造

BOP 閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）が開放された状態で炉心損傷した場合において、扉を電動機又は手動により動作させ、BOP 開口部を閉止する装置である。図 3-1 に BOP 閉止装置の構造を示す。BOP 閉止装置は、丁番を軸として、扉本体に取付けられたチェーンを介して電動機により開閉動作を可能とする。また、扉開状態及び扉閉状態では門により扉の動きを拘束する。



- | | | |
|--------------------------------------|---------------|----------------------------------|
| ① 扉
・内梁
・外梁
・面板 | ② 枠板
・枠板 | ③ 門部
・門ピン
・門ピン受
・門ブラケット |
| ④ 丁番部
・丁番ブラケット
・丁番軸
・丁番ブロック | ⑤ 駆動部
・電動機 | |

図 3-1 BOP 閉止装置の構造

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 評価部位

BOP 閉止装置は、扉をその支持部材である門及び丁番で支持する構造となっている。そのため評価部位は扉及び上記 2 種類の支持部材から選定する。以下に考慮する荷重、荷重伝達経路及び評価部位を示す。

4.1 考慮する荷重

BOP 閉止装置は、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」及び添付書類「VI-1-1-6-別添 4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、表 4-1 に示す荷重を考慮する。

表 4-1 BOP 閉止装置に考慮する荷重

状態	死荷重	差圧	S s 地震	風 (台風)	竜巻		津波	火山の 影響	積雪
					風 (100 m/s)	飛来物			
扉開	○	—	○	—	—	—	—	—	—
扉閉	○	○	○	○	—	—	—	—	—

4.2 荷重伝達経路

4.2.1 地震荷重

BOP 閉止装置が扉開及び扉閉それぞれの状態で、地震荷重が作用した場合の各部位の荷重伝達経路を以下に示す。

(1) 門部

地震動が作用した場合、門ピンを介して門ピン受及び門ブラケットに伝達される。門部の荷重伝達経路を図 4-1 に示す。門部は面外方向地震荷重を支持し、扉開及び扉閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持する門ピンに扉慣性力が作用する。
- 3) 扉、門ピンを支持する門ピン受及び門ブラケットに扉慣性力が作用する。

以上から地震動に対しては、扉慣性力を支持する門部の部位のうち、門ピン、門ピン受及び門ブラケットが主要な荷重伝達経路になる。

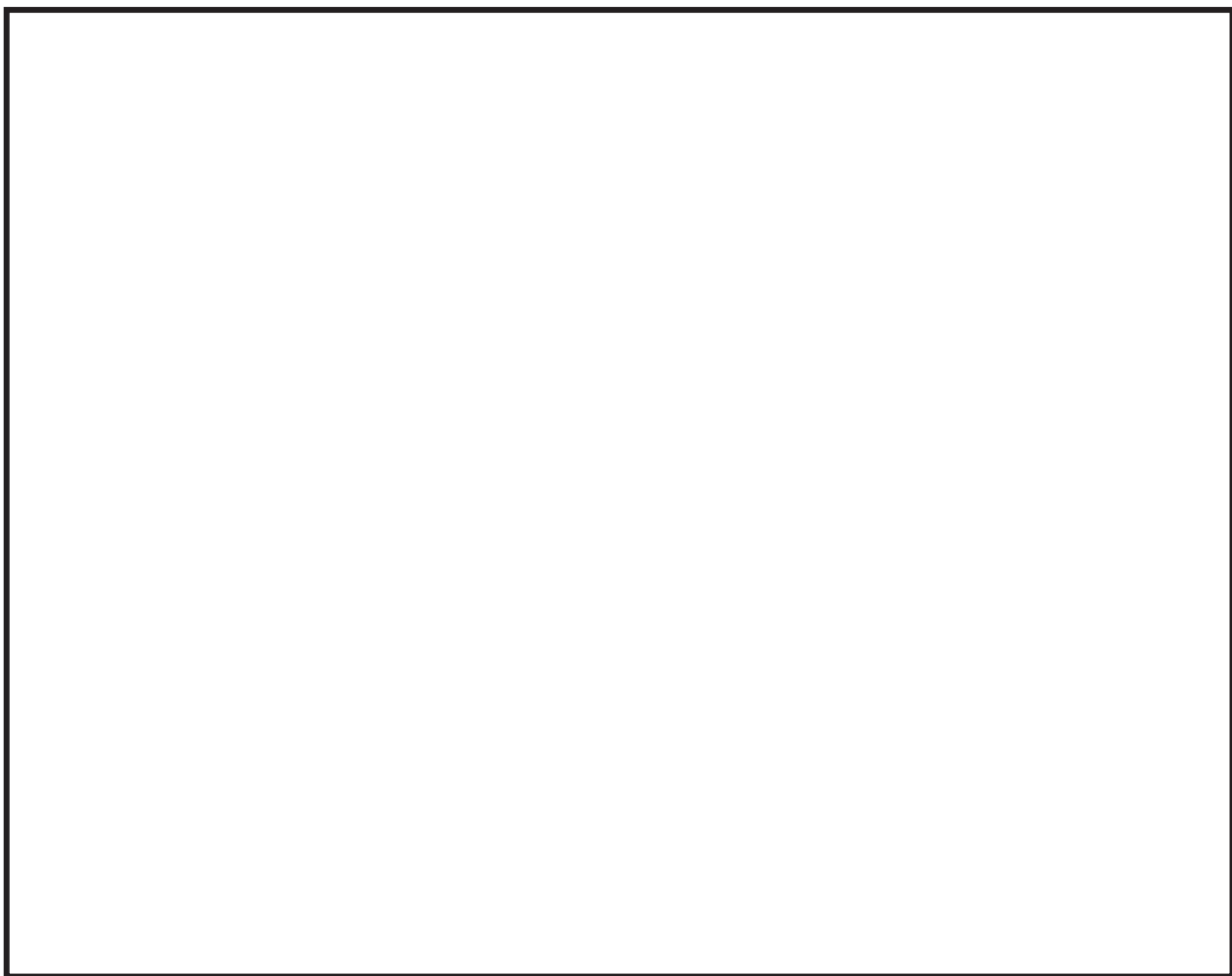


図 4-1 門部の荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 丁番部

地震動が作用した場合、丁番ブラケットから丁番軸を介して丁番ブロックに伝達される。丁番部の荷重伝達経路を図 4-2 に示す。丁番部は面外方向・面内方向・鉛直方向（死荷重を含む）地震荷重を支持し、扉開及び扉閉状態ともに荷重伝達経路は以下に示すとおりである。

- 1) 地震動により扉に慣性力が作用する。
- 2) 扉を支持する丁番ブラケットに扉慣性力が作用する。
- 3) 扉、丁番ブラケットを支持する丁番軸及び丁番ブロックに扉慣性力が作用する。

以上から地震動に対しては、扉慣性力を支持する丁番部の部位のうち、丁番ブラケット、丁番軸及び丁番ブロックが主要な荷重伝達経路になる。

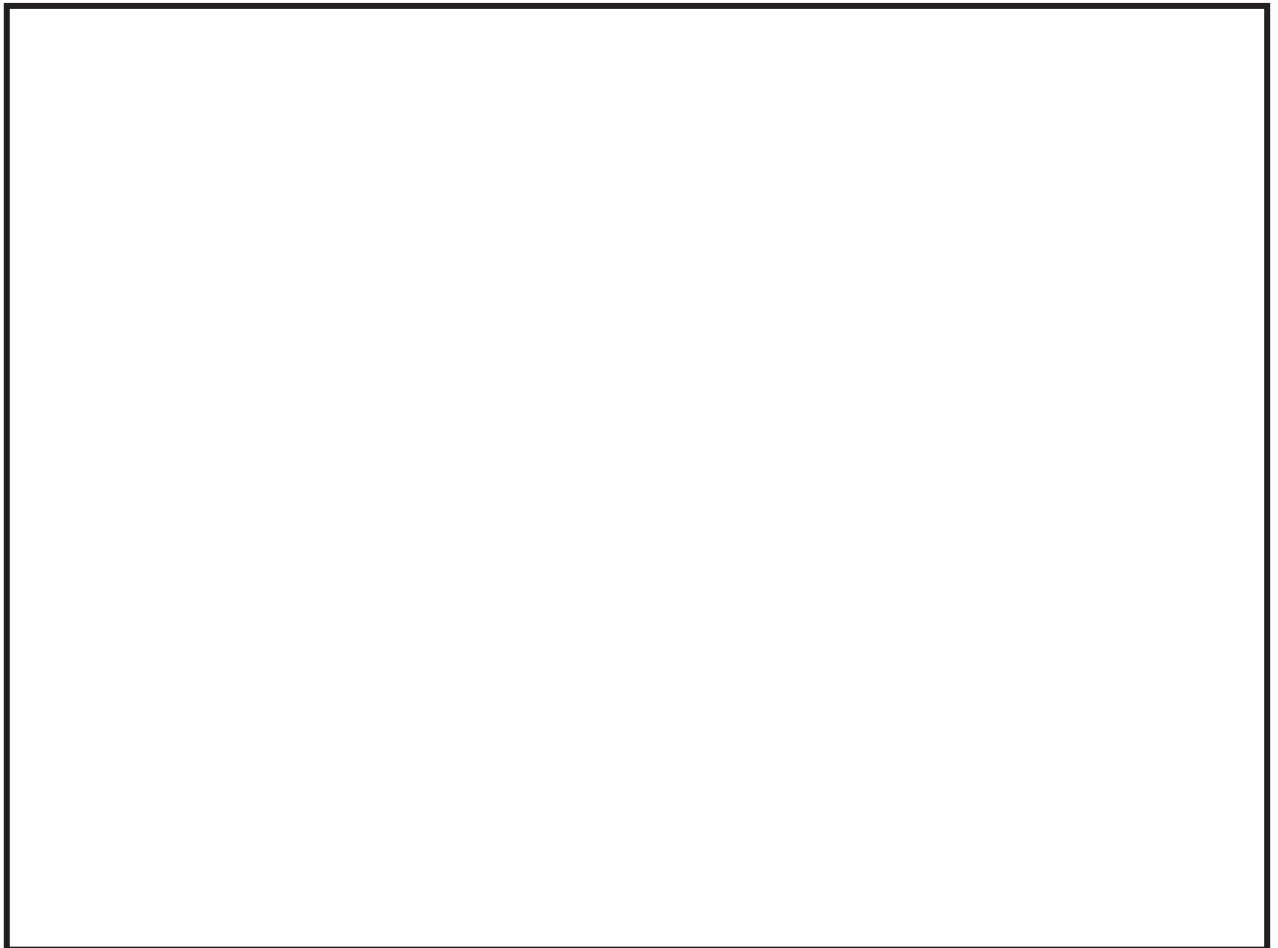


図 4-2 丁番部の荷重伝達経路

4.2.2 圧力荷重及び機械的荷重

圧力荷重及び機械的荷重は扉面外方向に分布荷重として作用するため、各部位の荷重伝達経路は地震荷重が面外方向に作用した場合と同様である。

4.3 評価部位

4.3.1 扉及び支持部材の考慮する荷重方向

扉及び支持部材の主要部材に対して、強度評価で考慮する荷重方向を表 4-2 に示す。

表 4-2 扉及び支持部材の強度評価上考慮する荷重方向

主要部材		考慮する荷重方向			
		面外	面内	鉛直	
扉	梁	○	○	○	
	板	○	○	○	
支持部材	門部	門ピン	○	—	—
		門ピン受	○	—	—
		門ブラケット	○	—	—
	丁番部	丁番ブラケット	○	○	○
		丁番軸	○	○	○
		丁番ブロック	○	○	○

4.3.2 応力評価部位

応力評価部位は、表 4-2 に示す主要部材のうち、構造強度評価上厳しい箇所とする。評価部位をまとめたものを表 4-3 に示す。また、評価部位を示した BOP 閉止装置構造の全体図（扉閉状態）を図 4-3 に示す。

表 4-3 強度評価を実施する部位

評価部位		応力評価箇所	備考*	
扉	梁	外梁	①	
		内梁	②	
	板	面板	③	
支持部材	門部	門ピン	本体	④
		門ピン受	本体	⑤
			取付ボルト	⑥
		門ブラケット	本体	⑦
			取付ボルト	⑧
		丁番部	丁番ブラケット	本体
	取付ボルト			⑩
	丁番軸		本体	⑪
	丁番ブロック		本体	⑫
		取付ボルト	⑬	

注記*：備考欄に記載の番号は、図 4-3 中の番号を示す。

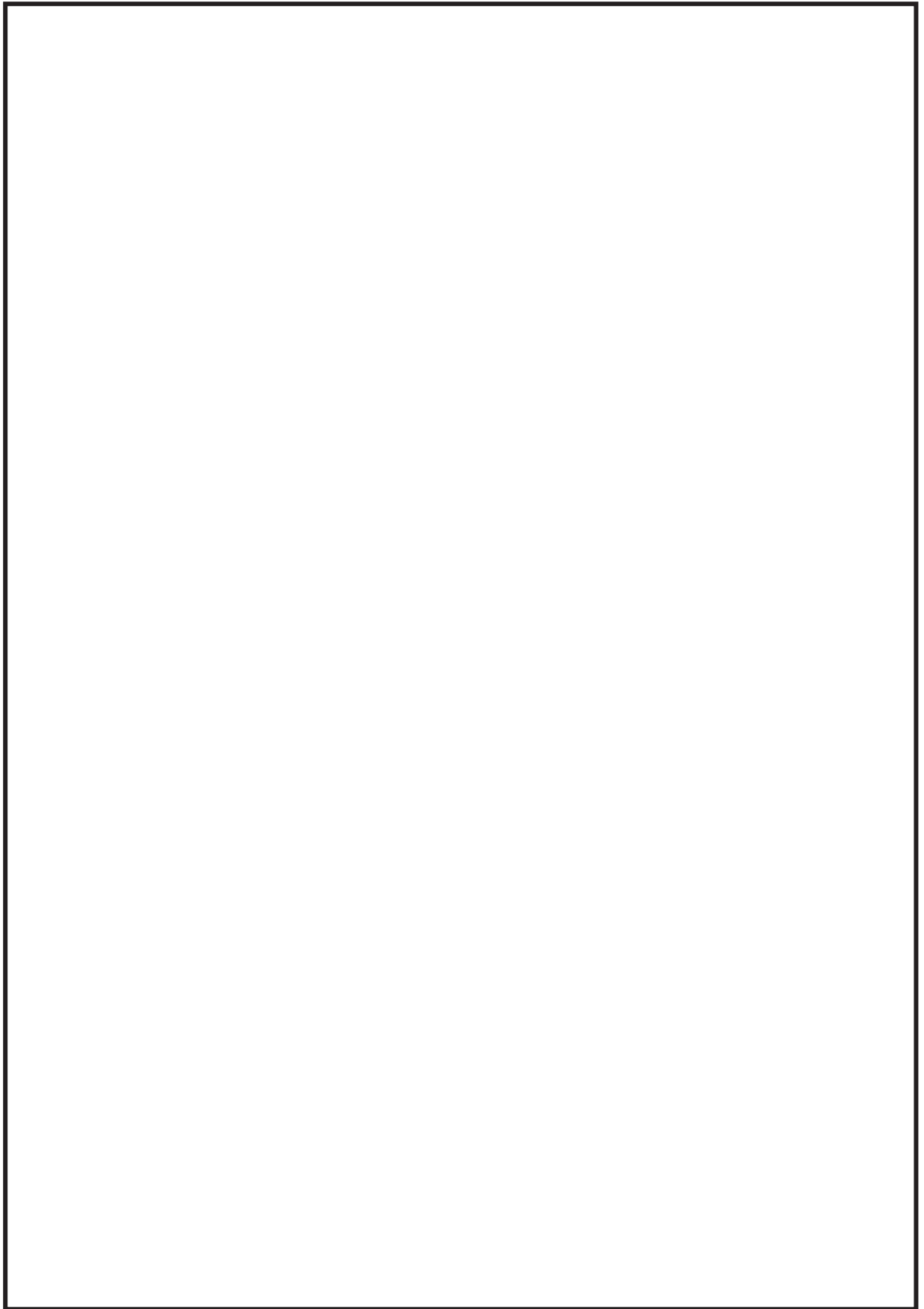


図 4-3 BOP 閉止装置構造の全体図（扉閉状態）

5. 評価条件

5.1 荷重の組合せ，許容応力状態及び許容応力

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，強度評価に用いる BOP 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力を表 5-1 に示す。

なお，BOP 閉止装置に作用する荷重は，死荷重，地震荷重，圧力荷重及び風荷重による機械的荷重が主であることから，一次応力について評価を実施する。

表 5-1 BOP 閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力

状態	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 (ボルト等以外)			許容限界 (ボルト等)	
			引張	せん断	組合せ	引張 ^{*3}	せん断
扉開	D + P _D + M _D + S _s	Ⅲ _{AS} ^{*1}	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _t	1.5・f _t	1.5・f _s
		Ⅳ _{AS}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
扉閉	D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	Ⅲ _{AS} ^{*1}	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _t	1.5・f _t	1.5・f _s
		V _{AS} ^{*2}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]

注：

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又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（BOP 閉止装置では扉開状態において圧力荷重は作用しないため考慮しない。）

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重（BOP 閉止装置では扉開状態において風荷重は作用しないため考慮しない。）

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重（BOP 閉止装置では建屋内外差圧による圧力荷重を考慮する。）

M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重（BOP 閉止装置では風荷重を考慮する。）

Ⅲ_{AS} : 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。）の供用状態 C 相当の許容応力を基準として，それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応

力状態

- IV_{AS} : 設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- V_{AS} : 運転状態V相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- f_t : 許容応力状態 III_{AS} での許容引張応力
- f_s : 許容応力状態 III_{AS} での許容せん断応力
- f_t^* : 許容応力状態 IV_{AS} 及び V_{AS} での許容引張応力
- f_s^* : 許容応力状態 IV_{AS} 及び V_{AS} での許容せん断応力

注記*1: 門ピン等については、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を III_{AS} とする。

*2: V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*3: せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、以下から算出する。

$$f_{ts} = \min(1.4 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau, f_t)$$

ここで、

τ : せん断応力

5.2 設計条件

5.2.1 温度条件

評価する際の温度条件（許容応力算出条件）は以下とする。

扉開状態：55 °C

扉閉状態：66 °C

5.2.2 死荷重

死荷重（D）として考慮する扉の質量（m）は kg である。

5.2.3 圧力荷重

非常用ガス処理系による原子炉建屋内外最大差圧である Pa（負圧）を圧力荷重（P_{SAD}）として考慮する。

5.2.4 機械的荷重

機械的荷重（M_{SAD}）として、風荷重を考慮する。風荷重は、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 30m/s とする。

5.2.5 地震荷重

地震荷重（基準地震動 S_s）は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく設計用地震力により、BOP 閉止装置に作用する震度を用いて算定する。地震荷重の算出の際に考慮する質量は「5.2.2 死荷重」で示す数値と同一のものを使用する。

(1) 固有周期

固有周期の計算結果を表 5-2 に示す。固有周期の計算方法は「6.1 BOP 閉止装置の固有周期の計算方法」に示す。

表 5-2 固有周期

（単位：s）

固有周期	面外方向		面内方向	鉛直方向
	扉開状態	扉閉状態		
	0.027	0.027	0.05 以下	0.05 以下

(2) 設計用地震力

扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-3 に、扉閉状態における耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 5-3 扉閉状態の設計用地震力（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)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	面外 方向	面内 方向	鉛直 方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	C _{H1} = 3.15	C _{H2} = 3.15	C _V = 1.85

注記*：基準床レベルを示す。

表 5-4 扉閉状態の設計用地震力（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)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	面外 方向	面内 方向	鉛直 方向	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	面外方向 設計震度	面内方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 38.25)	0.027	0.05 以下	0.05 以下	—	—	—	C _{H1} = 3.15	C _{H2} = 3.15	C _V = 1.85

注記*：基準床レベルを示す。

5.3 各評価部位の許容応力

各評価部位の許容応力は、各部位の材質及び設計・建設規格 付録材料図表 Part5 に規定される各温度の設計降伏点 (S_y) 及び設計引張強さ (S_u) から設定する。材質及び許容応力を表 5-5 に示す。

表 5-5(1) 扉の許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t^*$ (MPa)	$1.5 f_s^*$ (MPa)
扉		55	IV _A S					
		66	V _A S					

表 5-5(2) 門部の許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
門ピン		55	III _A S*					
		66						
門ピン受		55	III _A S*					
		66						
門ピン受 取付ボルト		55	III _A S*					
		66						
門ブラケット		55	III _A S*					
		66						
門ブラケット 取付ボルト	55	III _A S*						
	66							

注記*：門ピン等については、基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、扉固定の機能を維持する設計とすることから許容応力状態を III_AS とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-5(3) 丁番部の許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t^*$ (MPa)	$1.5 f_s^*$ (MPa)
丁番ブラケット		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番ブラケット 取付ボルト		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番軸		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番ブロック		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					
丁番ブロック 取付ボルト		55	IV _{AS}					
		66	V _{AS}					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 評価

6.1 BOP 閉止装置の固有周期の計算方法

6.1.1 解析モデル

BOP 閉止装置の解析モデルを図 6-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 6-1 に示す。

- (1) BOP 閉止装置の外梁及び内梁を三次元のはり要素及び面板を三次元のシェル要素でモデル化した FEM モデルによって固有周期を求める。なお、丁番は扉開状態及び扉閉状態で扉を固定する部材の位置が同じであり、門については扉開状態と扉閉状態で扉を固定する部材の位置が異なるが、扉から見た門の位置は同じであるために、解析モデルは扉開状態及び扉閉状態で共通とする。
- (2) 解析モデルの質量は、扉を構成する内梁、外梁及び面板等の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件として、門は面外方向の並進拘束及び丁番は面外、面内及び鉛直方向の並進拘束とする。
- (4) 解析コードは「MSC 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。

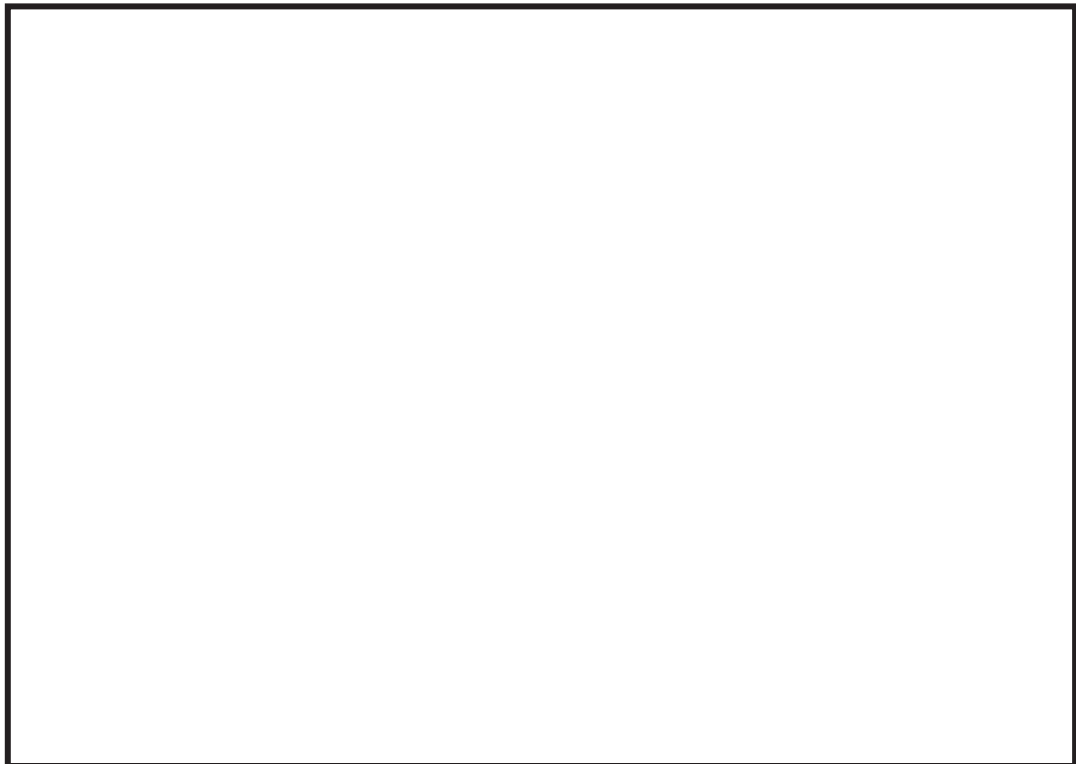


図 6-1 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-1 解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値	
材料	—	—	<input type="text"/>	
質量	m	kg	<input type="text"/>	
温度条件	扉開状態	T	°C	55
	扉閉状態			66
縦弾性係数	扉開状態	E	MPa	<input type="text"/>
	扉閉状態			<input type="text"/>
ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>	
要素数	—	個	<input type="text"/>	
節点数	—	個	<input type="text"/>	

6.1.2 固有周期の算出結果

扉開状態の固有値解析結果を表 6-2 に示す。また扉閉状態の固有値解析結果を表 6-3 に示す。振動モード図を図 6-2 に示す。

表 6-2 扉開状態の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			面外方向	面内方向	鉛直方向
1次	0.027	面外	—	—	—

表 6-3 扉閉状態の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			面外方向	面内方向	鉛直方向
1次	0.027	面外	—	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

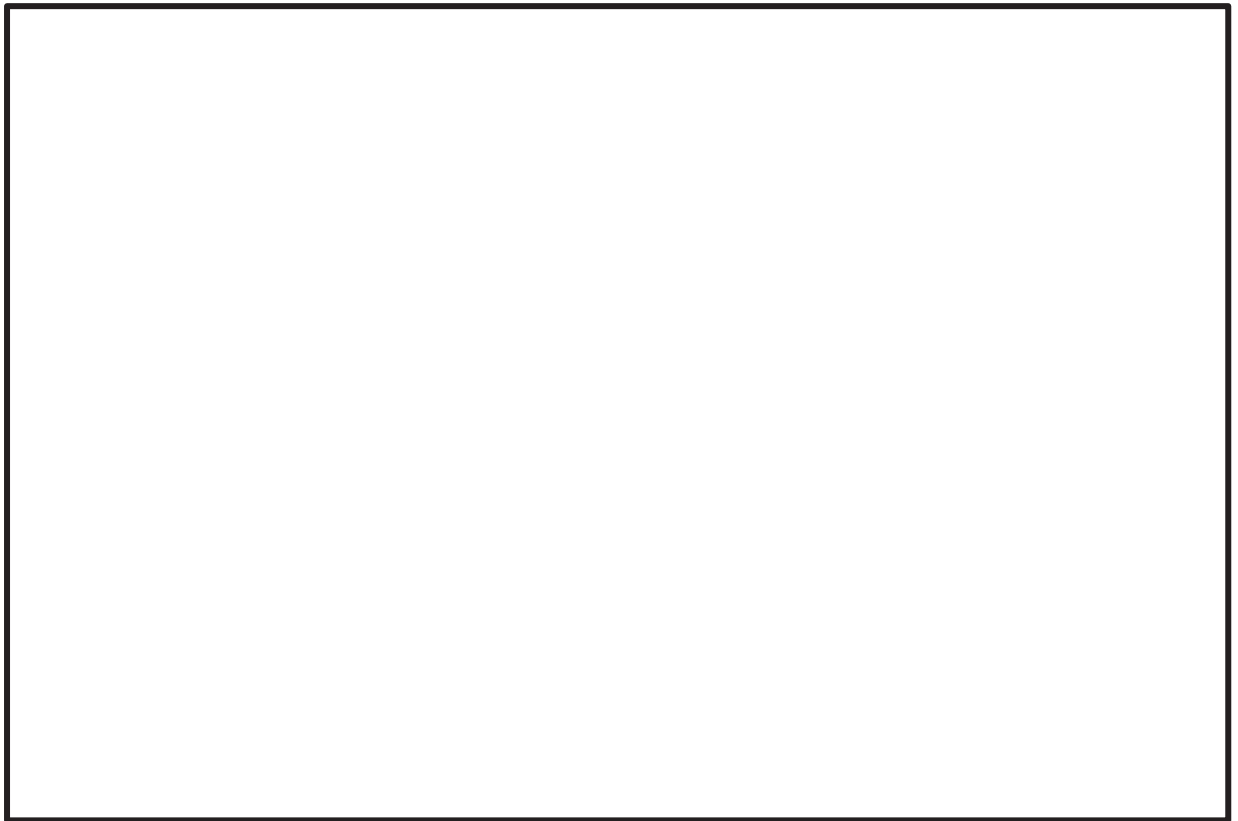


図 6-2 振動モード図

6.2 応力計算方法

4.3 項で述べた評価部位に対し，それぞれ有限要素法等により，扉開状態と扉閉状態それぞれの荷重条件における応力を算出する。ここで，後述する応力計算の詳細においては，扉開状態と扉閉状態で条件が同じものについては統一することとし，扉開状態もしくは扉閉状態のみで用いる条件については，その旨を述べることとする。

6.2.1 扉の応力計算

(1) 梁に作用する荷重

6.1.1 項に示した解析モデルに対し，以下の荷重を考慮し，要素に発生する荷重を算出し，強度評価において組み合わせる。

- a. 地震荷重により生じる荷重は，扉に対して面外方向，面内方向及び鉛直方向それぞれについて算出する。扉開状態での各方向の地震荷重に対する変形図を図 6-3 に，扉閉状態での各方向の地震荷重に対する変形図を図 6-4 に示す。
- b. 圧力荷重及び機械的荷重は，扉に対して面外方向に等分布に作用するものとし，評価は外梁 4 辺を面外方向に拘束し，単位圧力による荷重に対して実施する。扉閉状態での圧力荷重及び機械的荷重に対する変形図を図 6-4 に示す。
- c. 死荷重は，扉に対して鉛直方向に作用するものとし算出する。死荷重による変形図は，鉛直方向の地震荷重と同等である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

上記 a. ~c. より算出した荷重を、以下の SRSS 法を用いて水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重を組み合わせる。

$$(\text{合成荷重}) = \sqrt{((\text{面外方向地震荷重})^2 + (\text{面内方向地震荷重})^2 + (\text{鉛直方向地震荷重})^2) + (\text{圧力荷重}) + (\text{機械的荷重}) + (\text{死荷重})}$$

(2) 梁の応力計算

梁の応力は、FEM 解析により算出した荷重から以下に示す式で算出する。荷重は、並進力 F_x , F_y , F_z , モーメント力 M_x , M_y , M_z とする。ただし、添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (6.2.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_x}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A} \dots\dots\dots (6.2.1.2)$$

ここで、

- A : 断面積
- Z_x : ねじり断面係数
- Z_y : y 軸周り断面係数
- Z_z : z 軸周り断面係数

b. 引張応力

引張応力 σ_t は次式となる。

$$\sigma_t = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \dots\dots\dots (6.2.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力 τ は次式となる。

$$\tau = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \dots\dots\dots (6.2.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力 σ_c は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (6.2.1.5)$$

(3) 面板の応力

面板の応力は、各荷重（地震荷重，圧力荷重及び機械的荷重）から FEM 解析により算出した引張応力及びせん断応力を各々合計し，以下に示す式で組合せ応力を算出する。

a. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots \dots \dots (6.2.1.6)$$

ここで，

σ_x, σ_y : 面板面内に生じる互いに直交する引張応力

τ_{xy} : 面板面内に生じるせん断応力

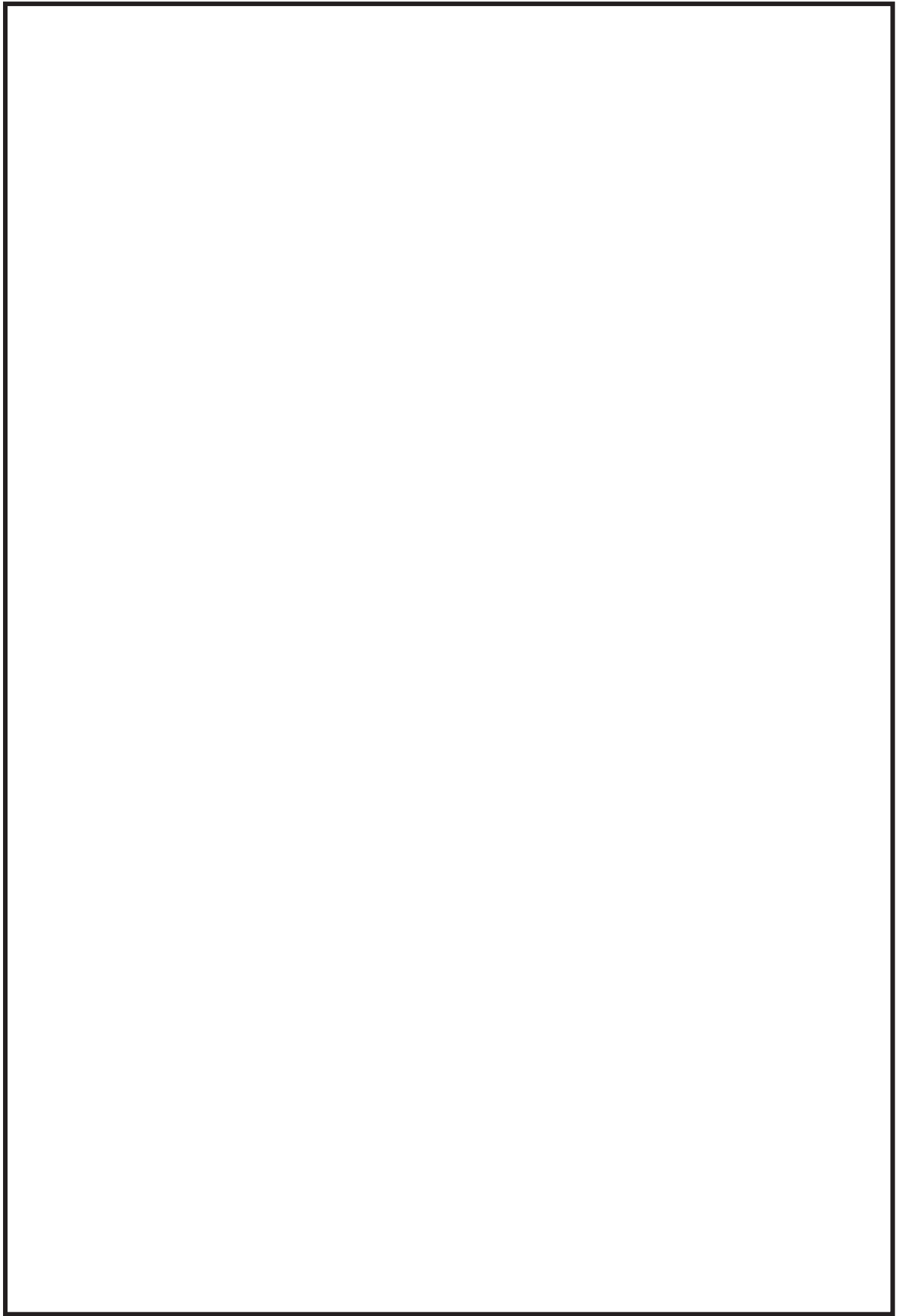


図 6-3 各荷重による変形（扉開）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

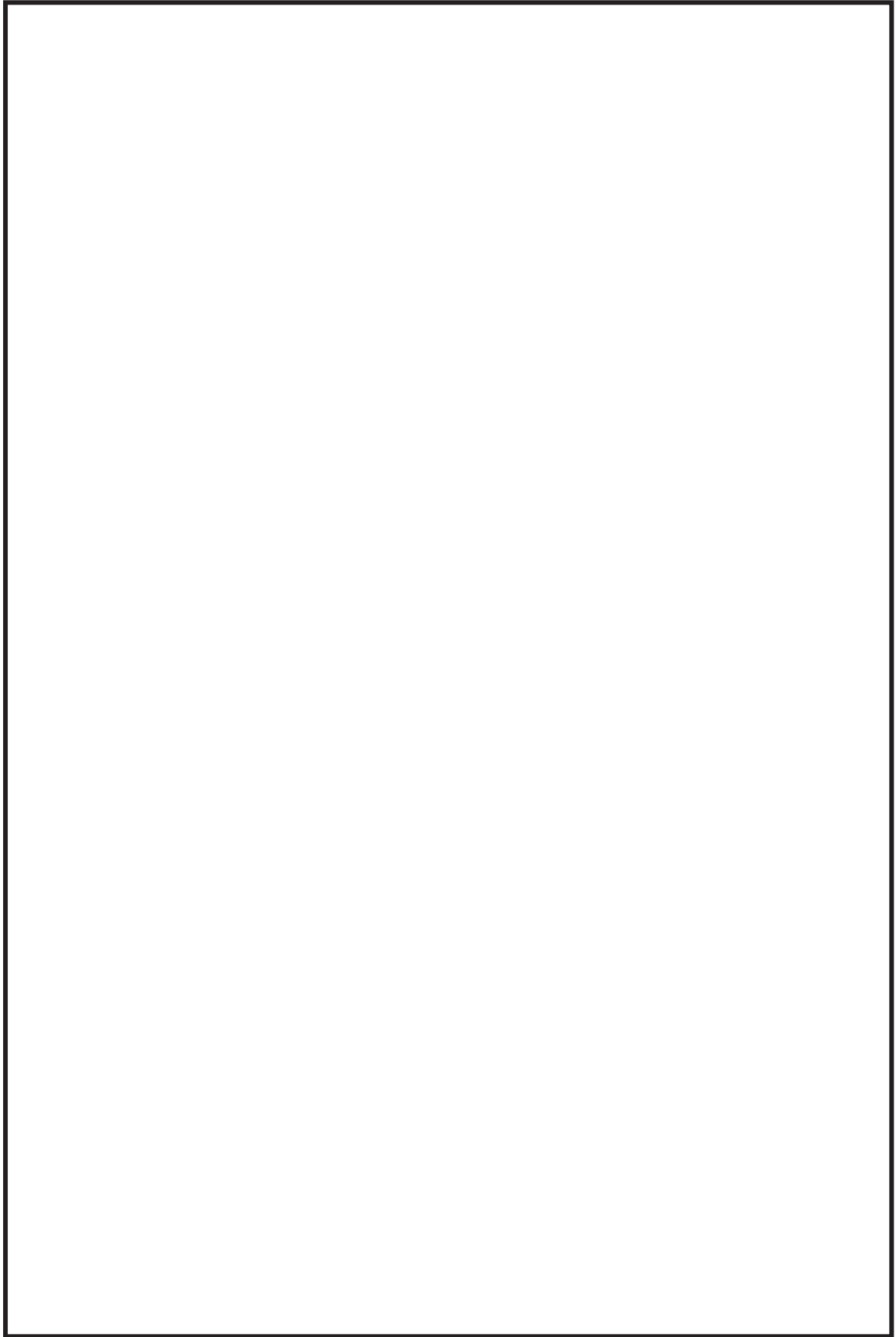


図 6-4 各荷重による変形〈扉閉〉(1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

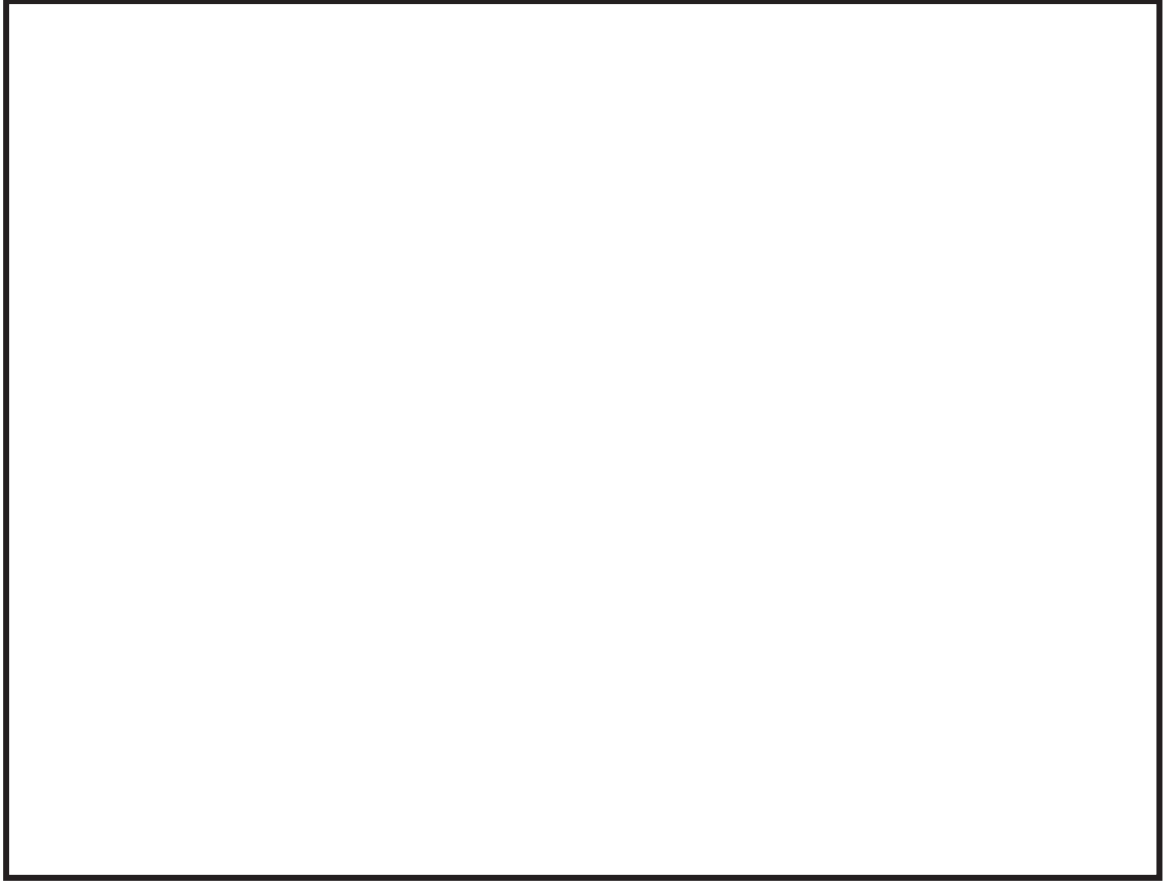


図 6-4 各荷重による変形〈扉閉〉(2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6.2.2 門部の応力計算

門部を構成する部材のうち，門ピン，門ピン受（本体及び取付ボルト）及び門ブラケット（本体及び取付ボルト）について応力評価を実施する。

(1) 門ピン

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ピンに作用する。応力計算は，図 6-5 に示す先端に集中荷重が作用する片持ち梁として，生じる応力を計算する。



図 6-5 門ピン計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{4ho} = F_{4ho} \cdot L_4 \cdots \cdots (6.2.2.1)$$

ここで，

$$F_{4ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{4o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{4o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{4ho} = M_{4ho} / Z_4 \cdots \cdots (6.2.2.2)$$

ここで，

Z_4 : 門ピンの断面係数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{4p} = (F_{4p} + F_{4w}) \cdot L_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.3)$$

ここで，

$$F_{4p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{4o}$$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{4p} = 0$ ）

$$F_{4w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{4o}$$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{4w} = 0$ ）

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{4p} = M_{4p} / Z_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.4)$$

- ハ. 門ピンに生じる引張応力

$$\sigma_4 = \sigma_{4ho} + \sigma_{4p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.5)$$

- (b) せん断応力

- イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{4ho} = F_{4ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.6)$$

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{4ho} = Q_{4ho} / A_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.7)$$

ここで，

A_4 : 門ピンの断面積

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{4p} = F_{4p} + F_{4w} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.8)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{4p} = Q_{4p} / A_4 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.9)$$

ハ. 門ピンに生じるせん断応力

$$\tau_4 = \tau_{4ho} + \tau_{4p} \dots\dots\dots (6.2.2.10)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{4c} = \sqrt{(\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2)} \dots\dots\dots (6.2.2.11)$$

(2) 門ピン受

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ピン受到に作用する。応力計算は、図 6-6 に示す A～A 断面に生じる引張応力と B～B 断面に生じるせん断応力を計算する。

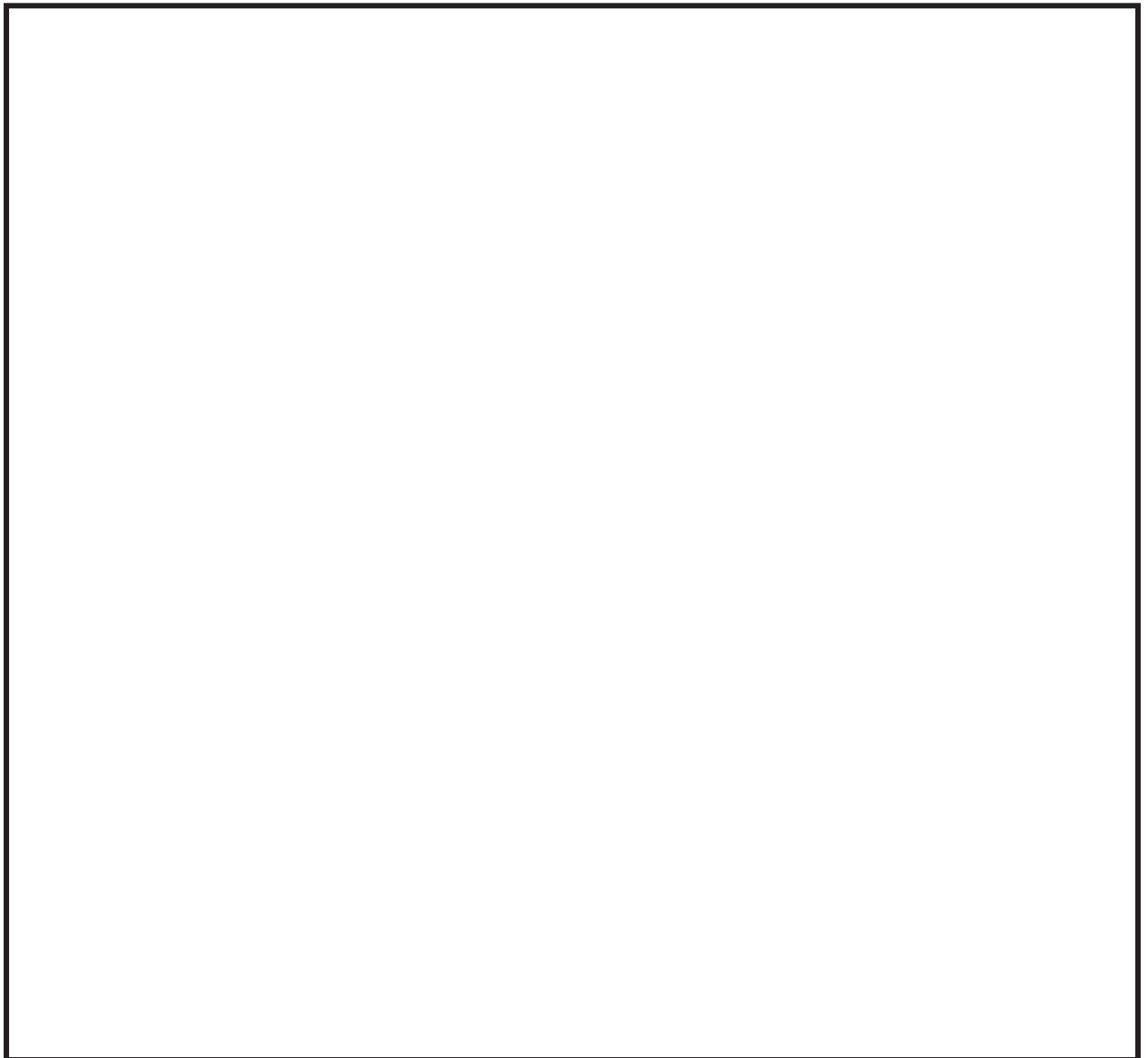


図 6-6 門ピン受計算モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により A～A 断面に作用する引張力は次式により求める。

$$N_{5ho} = F_{5ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.12)$$

ここで,

$$F_{5ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{5o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{5o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張力により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5hot} = N_{5ho} / A_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.13)$$

ここで,

A_{5A} : 門ピン受 A～A 断面の断面積

面外方向設計震度により A～A 断面に作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{5hob} = F_{5ho} \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.14)$$

面外方向設計震度の曲げモーメントにより A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5hob} = M_{5hob} / Z_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.15)$$

ここで,

Z_{5A} : 門ピン受 A～A 断面の断面係数

ロ. 面圧 (扉開状態 : 考慮なし, 扉閉状態 : 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により A～A 断面に作用する引張力は次式により求める。

$$N_{5p} = F_{5p} + F_{5w} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.16)$$

ここで,

$$F_{5p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{5o}$$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{5p} = 0$)

$$F_{5w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{5o}$$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{5w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5pt} = N_{5p} / A_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.17)$$

面圧により A～A 断面に作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{5pb} = (F_{5p} + F_{5w}) \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.18)$$

面圧の曲げモーメントにより A～A 断面に生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{5pb} = M_{5pb} / Z_{5A} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.19)$$

ハ. 門ピン受 A～A 断面に生じる引張応力

$$\sigma_5 = \sigma_{5hot} + \sigma_{5hob} + \sigma_{5pt} + \sigma_{5pb} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.20)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{5ho} = F_{5ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.21)$$

面外方向設計震度のせん断力により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5hos} = Q_{5ho} / A_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.22)$$

ここで,

A_{5B} : 門ピン受 B～B 断面の断面積 (せん断)

面外方向設計震度により B～B 断面に作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{5hot} = F_{5ho} \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.23)$$

面外方向設計震度のねじりモーメントにより B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5hot} = M_{5hot} / Z_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.24)$$

ここで,

Z_{5B} : 門ピン受 B～B 断面のねじり断面係数

ロ. 面圧 (扉開状態 : 考慮なし, 扉閉状態 : 圧力荷重及び機械的荷重) によるせん断応力

面圧により B～B 断面に作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{5p} = F_{5p} + F_{5w} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.25)$$

面圧のせん断力により B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5ps} = Q_{5p} / A_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.26)$$

面圧により B～B 断面に作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{5pt} = (F_{5p} + F_{5w}) \cdot L_5 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.27)$$

面圧のねじりモーメントによる B～B 断面に生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{5pt} = M_{5pt} / Z_{5B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.28)$$

ハ. 門ピン受 B～B 断面に生じるせん断応力

$$\tau_5 = \tau_{5hos} + \tau_{5hot} + \tau_{5ps} + \tau_{5pt} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.29)$$

(3) 門ピン受取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ピン受取付ボルトに作用する。応力計算は、図 6-7 に示すようにボルトが引抜きを受けると考えて、生じる引張応力を計算する。



図 6-7 門ピン受取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{6ho} = F_{6ho} / n_{6B} \cdot (L_{6A} + L_{6B}) / L_{6B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.30)$$

ここで、

$$F_{6ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{6o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{6o} : 面外方向支持点の数

n_{6B} : 門ピン受取付ボルトの数

面外方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{6ho} = N_{6ho} / A_6 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.31)$$

ここで,

A_6 : 門ピン受取付ボルトの断面積

ロ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{6p} = (F_{6p} + F_{6w}) / n_{6B} \cdot (L_{6A} + L_{6B}) / L_{6B} \cdots \cdots (6.2.2.32)$$

ここで,

F_{6p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{6o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{6p} = 0$)

F_{6w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{6o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{6w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{6p} = N_{6p} / A_6 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.33)$$

ハ. 門ピン受取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_6 = \sigma_{6ho} + \sigma_{6p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.34)$$

(4) 門ブラケット

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ブラケットに作用する。応力計算は、図 6-8 に示す中央に集中荷重が作用する両端固定梁として、生じる応力を計算する。



図 6-8 門ブラケット計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{7h0} = F_{7h0} \cdot L_7 / 8 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.35)$$

ここで、

$$F_{7h0} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{70}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{70} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7ho} = M_{7ho} / Z_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.36)$$

ここで、

Z_7 : 門ブラケットの断面係数

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{7p} = (F_{7p} + F_{7w}) \cdot L_7 / 8 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.37)$$

ここで、

F_{7p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_7$ 。

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{7p} = 0$ ）

F_{7w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_7$ 。

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{7w} = 0$ ）

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{7p} = M_{7p} / Z_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.38)$$

- ハ. 門ブラケットに生じる引張応力

$$\sigma_7 = \sigma_{7ho} + \sigma_{7p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.39)$$

- (b) せん断応力

- イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{7ho} = F_{7ho} / 2 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.40)$$

面外方向設計震度により生じるせん断力は次式により求める。

$$\tau_{7ho} = Q_{7ho} / A_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.41)$$

ここで、

A_7 : 門ブラケットの断面積

- ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{7p} = (F_{7p} + F_{7w}) / 2 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.42)$$

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{7p} = Q_{7p} / A_7 \cdots \cdots \cdots (6.2.2.43)$$

ハ. 門ブラケットに生じるせん断応力

$$\tau_7 = \tau_{7ho} + \tau_{7p} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.44)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{7c} = \sqrt{(\sigma_7^2 + 3 \cdot \tau_7^2)} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.45)$$

(5) 門ブラケット取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向荷重が門ブラケット取付ボルトに作用する。応力計算は、図 6-9 に示すように、ボルトに引張荷重が作用すると考えて、生じる引張応力を計算する。



図 6-9 門ブラケット取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{8ho} = F_{8ho} / n_{8B} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.46)$$

ここで、

$$F_{8ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{8o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{s0} : 面外方向支持点の数

n_{sB} : 門ブラケット取付ボルトの数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{sho} = N_{sho} / A_s \cdots \cdots \cdots (6.2.2.47)$$

ここで,

A_s : 門ブラケット取付ボルトの断面積

ロ. 面圧 (扉開状態 : 考慮なし, 扉閉状態 : 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{sp} = (F_{sp} + F_{sw}) / n_{sB} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.48)$$

ここで,

F_{sp} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{s0}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{sp} = 0$)

F_{sw} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{s0}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{sw} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{sp} = N_{sp} / A_s \cdots \cdots \cdots (6.2.2.49)$$

ハ. 門ブラケット取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_s = \sigma_{sho} + \sigma_{sp} \cdots \cdots \cdots (6.2.2.50)$$

6.2.3 丁番部の応力計算

丁番部を構成する部材のうち、丁番ブラケット（本体及び取付ボルト）、丁番軸及び丁番ブロック（本体及び取付ボルト）について応力評価を実施する。

(1) 丁番ブラケット

a. 計算モデル

扉の面外方向、面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブラケットに作用する。応力計算は、図 6-10 に示す断面に荷重及びモーメントが作用すると考え、生じる応力を計算する。



図 6-10 丁番ブラケット計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{9hoZ} = F_{9ho} \cdot L_9 \dots\dots\dots (6.2.3.1)$$

ここで、

$$F_{9ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{9o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{9o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{9ho} = M_{9hoZ} / Z_{9Z} \dots\dots\dots (6.2.3.2)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ここで、

Z_{9Z} : 丁番ブラケットの Z 軸周りの断面係数

ロ. 面内方向設計震度による引張応力

面内方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{9hi} = F_{9hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.3)$$

ここで、

F_{9hi} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{9i}$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{9i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{9hit} = N_{9hi} / A_9 \cdots \cdots \cdots (6.2.3.4)$$

ここで、

A_9 : 丁番ブラケットの断面積

ハ. 鉛直方向設計震度による引張応力

鉛直方向設計震度により作用する X 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{9vX} = F_{9v} \cdot L_9 \cdots \cdots \cdots (6.2.3.5)$$

ここで、

F_{9v} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{9v}$

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{9v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{9v} = M_{9vX} / Z_{9X} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.6)$$

ここで、

Z_{9X} : 丁番ブラケットの X 軸周りの断面係数

ニ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{9pZ} = (F_{9p} + F_{9w}) \cdot L_9 \cdots \cdots \cdots (6.2.3.7)$$

ここで、

F_{9p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{9o}$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{9p} = 0$)

F_{9w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{9o}$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{9w} = 0$)

- ΔP : 差圧
- P_w : 風圧力
- A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{g_p} = M_{g_p z} / Z_{g_z} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.8)$$

ホ. 丁番ブラケットに生じる引張応力

$$\sigma_g = \sigma_{g_{ho}} + \sigma_{g_{hit}} + \sigma_{g_v} + \sigma_{g_p} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.9)$$

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{g_{ho}} = F_{g_{ho}} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.10)$$

面外方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{g_{hos}} = Q_{g_{ho}} / A_g \cdots \cdots \cdots (6.2.3.11)$$

ロ. 鉛直方向設計震度によるせん断応力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{g_v} = F_{g_v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.12)$$

鉛直方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{g_v} = Q_{g_v} / A_g \cdots \cdots \cdots (6.2.3.13)$$

ハ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{g_p} = F_{g_p} + F_{g_w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.14)$$

面圧のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{g_{ps}} = Q_{g_p} / A_g \cdots \cdots \cdots (6.2.3.15)$$

ニ. 丁番ブラケットに生じるせん断応力

$$\tau_g = \sqrt{(\tau_{g_{hos}} + \tau_{g_{ps}})^2 + \tau_{g_v}^2} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.16)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{g_c} = \sqrt{(\sigma_g^2 + 3 \cdot \tau_g^2)} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.17)$$

(2) 丁番ブラケット取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向，面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブラケット取付ボルトに作用する。応力計算は，図 6-11 に示すボルト列に荷重及びモーメントが作用すると考え，生じる応力を計算する。

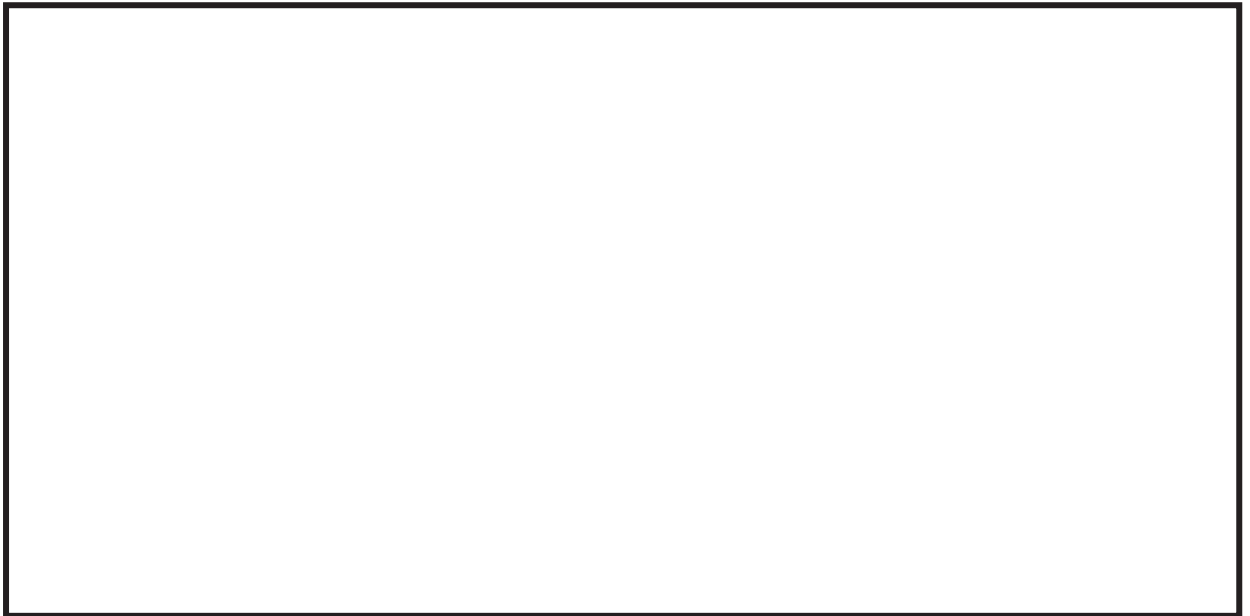


図 6-11 丁番ブラケット取付ボルト計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{10ho} = F_{10ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.18)$$

ここで，

$$F_{10ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{10o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{10o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10hot} = N_{10ho} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.19)$$

ここで，

A_{10} : 丁番ブラケット取付ボルトの断面積

面外方向設計震度により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{10hoz} = F_{10ho} \cdot L_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.20)$$

面外方向設計震度の Z 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10hob} = M_{10hoz} / Z_{10z} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.21)$$

ここで、

Z_{10z} : 丁番ブラケット取付ボルトの Z 軸周りの断面係数

ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{10p} = F_{10p} + F_{10w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.22)$$

ここで、

F_{10p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{10o}$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{10p} = 0$ ）

F_{10w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{10o}$

（ただし，扉開状態では作用しないため， $F_{10w} = 0$ ）

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10pt} = N_{10p} / A_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.23)$$

面圧により作用する Z 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{10pz} = (F_{10p} + F_{10w}) \cdot L_{10} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.24)$$

面圧の Z 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{10pb} = M_{10pz} / Z_{10z} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.25)$$

ハ. 丁番ブラケット取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_{10} = \sigma_{10hot} + \sigma_{10pt} + \sigma_{10hob} + \sigma_{10pb} \cdots \cdots (6.2.3.26)$$

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{10hi} = F_{10hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.27)$$

ここで、

F_{10hi} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{10i}$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{10i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{10his} = Q_{10hi} / A_{10} \dots\dots\dots (6.2.3.28)$$

ロ. 鉛直方向設計震度によるせん断応力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{10v} = F_{10v} \dots\dots\dots (6.2.3.29)$$

ここで,

$$F_{10v} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{10v}$$

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{10v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{10vs} = Q_{10v} / A_{10} \dots\dots\dots (6.2.3.30)$$

鉛直方向設計震度により作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{10vx} = F_{10v} \cdot L_{10} \dots\dots\dots (6.2.3.31)$$

鉛直方向設計震度のねじりモーメントにより生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{10vt} = M_{10vx} / Z_{10x} \dots\dots\dots (6.2.3.32)$$

ここで,

Z_{10x} : 丁番ブラケット取付ボルトのねじり断面係数

ハ. 丁番ブラケット取付ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_{10} = \sqrt{((\tau_{10his} + \tau_{10vt} \cdot \sin \phi_{10})^2 + (\tau_{10vs} + \tau_{10vt} \cdot \cos \phi_{10})^2)} \dots\dots\dots (6.2.3.33)$$

ここで,

ϕ_{10} : 丁番ブラケット取付ボルトの角度

(3) 丁番軸

a. 計算モデル

扉の面外方向、面内方向及び鉛直方向荷重が丁番軸に作用する。応力計算は、図 6-12 に示す断面に並進荷重が作用するとして、生じる応力を計算する。

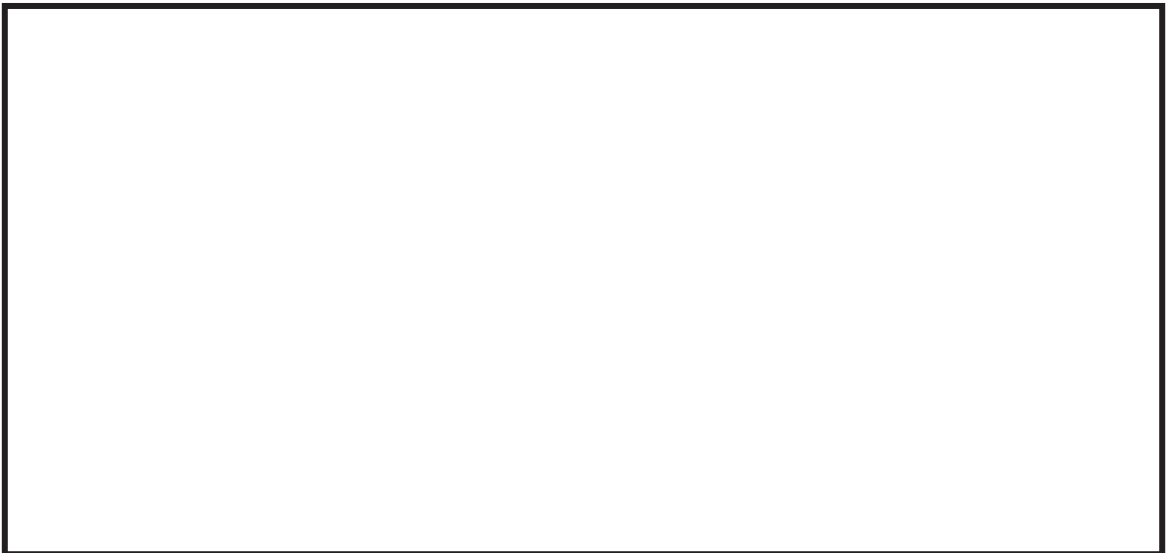


図 6-12 丁番軸計算モデル

b. 応力計算

(a) 引張応力

イ. 鉛直方向設計震度による引張応力

鉛直方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{11v} = F_{11v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.34)$$

ここで、

$$F_{11v} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{11v}$$

m_d : 扉の質量

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{11v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{11v} = N_{11v} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.35)$$

ここで、

A_{11} : 丁番軸の断面積

ロ. 丁番軸に生じる引張応力

$$\sigma_{11} = \sigma_{11v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.36)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) せん断応力

イ. 面外方向設計震度によるせん断応力

面外方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{11ho} = F_{11ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.37)$$

ここで,

$$F_{11ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{11o}$$

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{11o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{11ho} = Q_{11ho} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.38)$$

ロ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{11hi} = F_{11hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.39)$$

ここで,

$$F_{11hi} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{11i}$$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{11i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{11hi} = Q_{11hi} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.40)$$

ハ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) によるせん断応力

面圧により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{11p} = F_{11p} + F_{11w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.41)$$

ここで,

$$F_{11p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{11o}$$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{11p} = 0$)

$$F_{11w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{11o}$$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{11w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{11p} = Q_{11p} / A_{11} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.42)$$

ニ. 丁番軸に生じるせん断応力

$$\tau_{11} = \sqrt{((\tau_{11ho} + \tau_{11p})^2 + \tau_{11hi}^2)} \dots\dots\dots (6.2.3.43)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{11c} = \sqrt{(\sigma_{11}^2 + 3 \cdot \tau_{11}^2)} \dots\dots\dots (6.2.3.44)$$

(4) 丁番ブロック

a. 計算モデル

扉の面外方向，面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブロックに作用する。応力計算は，図 6-13 に示す断面に荷重が作用すると考え，生じる応力を計算する。



図 6-13 丁番ブロック計算モデル

b. 応力計算

丁番ブロックは，扉開状態と扉閉状態では座標系が異なるが，以下では扉閉状態の座標系を代表にして，応力計算手法を示す。

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{12ho} = F_{12ho} \dots\dots\dots (6.2.3.45)$$

ここで，

$$F_{12ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{12o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{12o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{12ho} = N_{12ho} / A_{12} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.46)$$

ここで,

A_{12} : 丁番ブロックの断面積

ロ. 面圧 (扉開状態: 考慮なし, 扉閉状態: 圧力荷重及び機械的荷重) による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{12p} = F_{12p} + F_{12w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.47)$$

ここで,

F_{12p} : 圧力荷重 = $\Delta P \cdot A_p / n_{12o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{12p} = 0$)

F_{12w} : 機械的荷重 = $P_w \cdot A_p / n_{12o}$

(ただし, 扉開状態では作用しないため, $F_{12w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{12p} = N_{12p} / A_{12} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.48)$$

ハ. 丁番ブロックに生じる引張応力

$$\sigma_{12} = \sigma_{12ho} + \sigma_{12p} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.49)$$

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{12hi} = F_{12hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.50)$$

ここで,

F_{12hi} : 地震荷重 = $m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{12i}$


C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{12i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{12hi} = Q_{12hi} / A_{12s} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.51)$$

ここで、

A_{12s} : 丁番ブロックの断面積 (せん断) 

ロ. 丁番ブロックに生じるせん断応力

$$\tau_{12} = \tau_{12hi} \dots \dots \dots (6.2.3.52)$$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_{12c} = \sqrt{(\sigma_{12}^2 + 3 \cdot \tau_{12}^2)} \dots \dots \dots (6.2.3.53)$$

(5) 丁番ブロック取付ボルト

a. 計算モデル

扉の面外方向、面内方向及び鉛直方向荷重が丁番ブロック取付ボルトに作用する。応力計算は、図 6-14 に示すボルト列に荷重及びモーメントが作用すると考え、生じる応力を計算する。



図 6-14 丁番ブロック取付ボルト計算モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 応力計算

丁番ブロック取付ボルトは、扉開状態と扉閉状態では座標系が異なるが、以下では扉閉状態の座標系を代表にして、応力計算手法を示す。

(a) 引張応力

イ. 面外方向設計震度による引張応力

面外方向設計震度により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{13ho} = F_{13ho} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.54)$$

ここで、

$$F_{13ho} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h1} / n_{13o}$$

m_d : 扉の質量

C_{h1} : 面外方向設計震度

n_{13o} : 面外方向支持点の数

面外方向設計震度の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13hot} = N_{13ho} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.55)$$

ここで、

A_{13} : 丁番ブロック取付ボルトの断面積

面外方向設計震度により作用する Y 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{13hoY} = F_{13ho} \cdot L_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.56)$$

面外方向設計震度の Y 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13hob} = M_{13hoY} / Z_{13Y} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.57)$$

ここで、

Z_{13Y} : 丁番ブロック取付ボルトの Y 軸周りの断面係数

ロ. 面圧（扉開状態：考慮なし，扉閉状態：圧力荷重及び機械的荷重）による引張応力

面圧により作用する引張力は次式により求める。

$$N_{13p} = F_{13p} + F_{13w} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.58)$$

ここで、

$$F_{13p} : \text{圧力荷重} = \Delta P \cdot A_p / n_{13o}$$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{13p} = 0$)

$$F_{13w} : \text{機械的荷重} = P_w \cdot A_p / n_{13o}$$

(ただし、扉開状態では作用しないため、 $F_{13w} = 0$)

ΔP : 差圧

P_w : 風圧力

A_p : 扉の受圧面積

面圧の引張力により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13pt} = N_{13p} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.59)$$

面圧により作用する Y 軸周りの曲げモーメントは次式により求める。

$$M_{13pY} = F_{13p} \cdot L_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.60)$$

面圧の Y 軸周りの曲げモーメントにより生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_{13pb} = M_{13pY} / Z_{13Y} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.61)$$

ハ. 丁番ブロック取付ボルトに生じる引張応力

$$\sigma_{13} = \sigma_{13hot} + \sigma_{13pt} + \sigma_{13hob} + \sigma_{13pb} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.62)$$

(b) せん断応力

イ. 面内方向設計震度によるせん断応力

面内方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{13hi} = F_{13hi} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.63)$$

ここで,

$$F_{13hi} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_{h2} / n_{13i}$$

C_{h2} : 面内方向設計震度

n_{13i} : 面内方向支持点の数

面内方向設計震度のせん断力により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13his} = Q_{13hi} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.64)$$

面内方向設計震度により作用するねじりモーメントは次式により求める。

$$M_{13hiX} = F_{13hi} \cdot L_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.65)$$

面内方向設計震度のねじりモーメントにより生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13hit} = M_{13hiX} / Z_{13X} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.66)$$

ここで,

Z_{13X} : 丁番ブロック取付ボルトのねじり断面係数

ロ. 鉛直方向設計震度によるせん断応力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_{13v} = F_{13v} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.67)$$

ここで,

$$F_{13v} : \text{地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v) / n_{13v}$$

C_v : 鉛直方向設計震度

n_{13v} : 鉛直方向支持点の数

鉛直方向設計震度により生じるせん断応力は次式により求める。

$$\tau_{13v} = Q_{13v} / A_{13} \cdots \cdots \cdots (6.2.3.68)$$

ハ. 丁番ブロック取付ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_{13} = \sqrt{((\tau_{13his} + \tau_{13hit} \cdot \sin \phi_{13})^2 + (\tau_{13v} + \tau_{13hit} \cdot \cos \phi_{13})^2) \cdots \cdots \cdots (6.2.3.69)}$$

ここで,

ϕ_{13} : 丁番ブロック取付ボルトの角度

6.3 評価結果

BOP 閉止装置の扉開状態での応力評価結果を表 6-4, 扉閉状態での応力評価結果を表 6-5 に示す。全ての評価部位の算出応力は許容応力を満足しており, 耐震性を有することを確認した。

耐震計算書においては, 扉, 閘部及び丁番部の代表部位 (評価上最も厳しい部位) についての評価結果を記載する。

表 6-4 応力評価結果（扉開状態 基準地震動 S s）

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	代表	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	12.70			—	
			せん断	0.09				
			組合せ	12.70				
		内梁	引張り	28.18				○
			せん断	0.05				
			組合せ	28.18				
		面板	引張り	15.24				—
			せん断	0.37				
			組合せ	19.19				
	支持部材	門部	門ピン	引張り			37.63	○
				せん断			1.88	
				組合せ			37.77	
			門ピン受	引張り			3.21	—
				せん断			6.12	
			門ピン受 取付ボルト	引張り			39.82	—
		門ブラケット	引張り	2.41			—	
			せん断	0.79				
			組合せ	2.77				
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	7.37			—	
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			21.22	○
				せん断			1.38	
				組合せ			21.36	
			丁番ブラケット 取付ボルト	引張り			10.66	—
				せん断			30.63	
	丁番軸		引張り	8.54			—	
			せん断	5.28				
			組合せ	12.51				
	丁番ブロック		引張り	4.02			—	
			せん断	8.04				
		組合せ	14.50					
	丁番ブロック 取付ボルト	引張り	20.49	—				
		せん断	14.95					

注記*：裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-5 応力評価結果（扉閉状態 基準地震動 S s）

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	代表	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	12.83			—	
			せん断	0.18				
			組合せ	12.84				
		内梁	引張り	37.29			○	
			せん断	0.06				
			組合せ	37.29				
		面板	引張り	18.78			—	
			せん断	0.40				
			組合せ	23.75				
	支持部材	門部	門ピン	引張り			50.20	○
				せん断			2.51	
				組合せ			50.39	
			門ピン受	引張り			4.28	—
				せん断			8.16	
			門ピン受 取付ボルト	引張り			53.13	—
		門ブラケット	引張り	3.22			—	
			せん断	1.05				
			組合せ	3.70				
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	9.84			—	
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			24.07	○
				せん断			1.42	
				組合せ			24.19	
			丁番ブラケット 取付ボルト	引張り			14.22	—
				せん断			30.63	
	丁番軸		引張り	8.54			—	
			せん断	5.67				
			組合せ	13.02				
	丁番ブロック		引張り	5.37			—	
			せん断	8.04				
			組合せ	14.93				
	丁番ブロック 取付ボルト		引張り	13.67			—	
		せん断	22.33					

注記*：裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

加振試験により得られた荷重による応力評価結果

1. 概要

本資料は、BOP 閉止装置の加振試験の結果から得られた荷重に対する強度評価結果について纏めたものである。

加振試験による荷重の算出に関しては、BOP 閉止装置の扉に取り付けた加速度計の計測値から算出した荷重を BOP 閉止装置の慣性力として設定する方法を採用した。

2. 加速度計設置位置

扉の慣性力を算出するための加速度計は、面外、面内及び鉛直方向について扉の各部に配置した。各加速度計の設置位置について以下に示す。

(1) 面外方向

加速度計は扉の中央、上丁番部、上門部及び下丁番部 1 箇所ずつに設置した。

扉慣性力	加速度計設置位置

(2) 面内方向

加速度計は扉の中央，上丁番部及び下丁番部 1箇所ずつに設置した。

扉慣性力	加速度計設置位置

(3) 鉛直方向

加速度計は扉の中央 1箇所ずつに設置した。

扉慣性力	加速度計設置位置

3. 扉の慣性力の算出

加振試験において，扉に取付けた加速度計による計測結果（最大加速度）から，扉に作用した慣性力を算出する。

3.1 計測データによる最大加速度

加振試験で計測された扉各部の最大加速度を表 3-1 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 扉の最大加速度一覧

(単位：m/s²)

試験体	方向	計測位置	記号	1.0×S s 加振	
				扉開	扉閉
扉 1	面外方向	扉 下丁番	A10X		
		扉 上丁番	A8X		
		扉 中央	A7X		
		扉 上門	A9X		
	面内方向	扉 下丁番	A10Y		
		扉 上丁番	A8Y		
		扉 中央	A7Y		
鉛直方向	扉 中央	A7Z			
扉 2	面外方向	扉 下丁番	A14X		
		扉 上丁番	A12X		
		扉 中央	A11X		
		扉 上門	A13X		
	面内方向	扉 下丁番	A14Y		
		扉 上丁番	A12Y		
		扉 中央	A11Y		
	鉛直方向	扉 中央	A11Z		



3.2 振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除いた補正加速度

加振試験では、振動台への入力時の加速度の増加分及び試験体を設置している支持架台での増幅の影響により、耐震条件から求まる目標 ZPA 以上に、支持架台での計測加速度が増加している。試験体には、この増加した加速度が入力されており、扉の計測加速度もそれに応じて大きくなっている。強度評価に、扉の計測加速度を直接適用

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

することは実機の想定と異なることが想定される。そのため、振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除いた補正加速度を求め、強度評価に適用する。補正加速度は以下の式に示すように、扉の最大加速度に対する補正值から算出する。別紙1にて、振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅を除くための補正值を算出する。なお、支持架台の加速度としては支持架台下部加速度と上部加速度を、扉重心位置標高（O.P. 38.25m）で線形補間した値を用いた。算出結果を表3-2に示す。

$$\alpha' = a_0 / a_2 \times \alpha$$

ここで、

α' : 補正加速度 (m/s²)

α : 扉の最大加速度 (m/s²)

a_0 : 耐震条件から求まる目標 ZPA (m/s²)

a_2 : 支持架台での計測加速度 (m/s²)

(補正值 a_0 / a_2 の比率は別紙1による)

表 3-2 補正加速度

(単位 : m/s²)

試験体	方向	計測位置	記号	1.0×S _s 加振	
				扉開	扉閉
扉1	面外方向	扉 下丁番	A10X		
		扉 上丁番	A8X		
		扉 中央	A7X		
		扉 上門	A9X		
	面内方向	扉 下丁番	A10Y		
		扉 上丁番	A8Y		
		扉 中央	A7Y		
鉛直方向	扉 中央	A7Z			
扉2	面外方向	扉 下丁番	A14X		
		扉 上丁番	A12X		
		扉 中央	A11X		
		扉 上門	A13X		
	面内方向	扉 下丁番	A14Y		
		扉 上丁番	A12Y		
		扉 中央	A11Y		
	鉛直方向	扉 中央	A11Z		

3.3 扉の相当震度

扉の慣性力は以下のように、扉全体応答として平均的な応答加速度を求め、震度に換算する。

面外方向：以下の式により、扉 1, 2 の扉、門部及び丁番部それぞれに設置した加速度計(下補足図の X 付き箇所)の補正加速度から平均的な加速度(震度)を求め、扉 1, 2 のうち大きい方を選定する。丁番部については加速度計が 2 箇所 (A8 及び A10) あるため、2 箇所の平均値を丁番部の加速度として、加速度の算出に使用している。

$$a = \text{Max}[\{A7 + A9 + (A10 + A8)/2\}/3, \{A11 + A13 + (A14 + A12)/2\}/3]/g$$

面内方向：以下の式により、扉 1, 2 の扉及び丁番部それぞれに設置した加速度計(下補足図の Y 付き箇所)の補正加速度から平均加速度(震度)を求め、扉 1, 2 のうち大きい方を選定する。

$$a = \text{Max}[(A7 + A8 + A10)/3, (A11 + A12 + A14)/3]/g$$

鉛直方向：以下の式により、扉 1, 2 の扉に設置した加速度計(下補足図の Z 付き箇所)の補正加速度(震度)を適用し、扉 1, 2 のうち大きい方を選定する。

$$a = \text{Max}[A7, A11]/g$$

ここで、

a : 扉の相当震度 (—)

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

なお、式中の記号には、表 3-2 の補正加速度を用いる。



算出結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 扉の相当震度

(単位：—)

方向	1.0×S _s 加振	
	扉開	扉閉
面外方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
面内方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注：小数点以下第 3 位を切上げ

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 結果

3項で算出した扉の相当震度を用いて強度評価を実施した。結果は表 4-1 に示す通りで、算出応力は許容応力を満足しており、加振試験による扉の相当震度に対して構造強度を有していることを確認した。

表 4-1 (1/2) 扉及び支持部材応力評価結果 (扉開状態)

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	44.88			
			せん断	0.32			
			組合せ	44.88			
		内梁	引張り	102.58			
			せん断	0.18			
			組合せ	102.58			
		面板	引張り	55.73			
			せん断	0.62			
			組合せ	70.12			
	支持部材	門部	門ピン	引張り			137.60
				せん断			6.88
				組合せ			138.12
			門ピン受	引張り			11.73
				せん断			22.37
			門ピン受 取付ボルト	引張り			145.64
		門ブラケット	引張り	8.82			
			せん断	2.88			
			組合せ	10.14			
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	26.97			
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			51.86
				せん断			2.58
	組合せ			52.05			
	丁番ブラケット 取付ボルト		引張り	38.98			
			せん断	49.94			
	丁番軸		引張り	14.11			
			せん断	10.53			
			組合せ	23.07			
丁番ブロック	引張り	10.29					
	せん断	14.71					
	組合せ	27.48					
丁番ブロック 取付ボルト	引張り	26.21					
	せん断	39.63					

注記* : 裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 (2/2) 扉及び支持部材応力評価結果 (扉閉状態)

評価対象設備	評価部位		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*	
BOP 閉止装置	扉	外梁	引張り	42.20			
			せん断	0.39			
			組合せ	42.21			
		内梁	引張り	105.13			
			せん断	0.18			
			組合せ	105.13			
		面板	引張り	55.57			
			せん断	0.66			
			組合せ	70.12			
	支持部材	門部	門ピン	引張り			141.34
				せん断			7.07
				組合せ			141.87
			門ピン受	引張り			12.04
				せん断			22.98
			門ピン受 取付ボルト	引張り			149.59
		門ブラケット	引張り	9.06			
			せん断	2.96			
			組合せ	10.41			
		門ブラケット 取付ボルト	引張り	27.70			
		丁番部	丁番ブラケット	引張り			53.02
				せん断			2.63
				組合せ			53.22
			丁番ブラケット 取付ボルト	引張り			40.04
				せん断			50.71
	丁番軸		引張り	14.32			
			せん断	10.81			
			組合せ	23.58			
	丁番ブロック		引張り	10.55			
		せん断	15.11				
		組合せ	28.22				
丁番ブロック 取付ボルト	引張り	38.48					
	せん断	31.89					

注記* : 裕度 = (許容応力) / (算出応力)

5. 別紙

別紙 1 振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除くための補正值の算出

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を
除くための補正值の算出

本資料は、加振試験より得られた扉の加速度から、振動台への入力時の加速度の増加分及び支持架台での増幅の影響を除くために、地震応答解析結果 () と加振試験結果の最大加速度の比率（最終補正值）を算定したものである。

1. 比率算定の考え方

今回得られた BOP 閉止装置の加振試験結果では、以下の 2 点で実機条件と乖離している。そのため、これらの乖離を補正するための比率を算出し、得られた試験結果を補正する。ここでは、試験結果のうち扉の応答加速度を補正する比率を算出する。

1.1 振動台への入力時の加速度の増加

加振試験は、目標 ZPA を満足するように模擬地震波（ $1.0 \times S_s$ ）を作成し、実施した。模擬地震波は確実に目標 ZPA を上回る様に作成していることから、結果として目標 ZPA を超過した加速度が振動台へ入力される事となる。よって、以下の通り補正を行う。

$$\text{補正值 (A) (振動台への入力時の加速度の増加)} = a_0 / a_1$$

ここで、

a_0 : 目標 ZPA

a_1 : 振動台上の加速度計（計測点 A1-1 又は A2-1）の計測結果

1.2 支持架台での増幅

試験体は、支持架台での増幅があるため、扉の上部（計測点 A3 又は A4）、下部（計測点 A1-1 又は A2-1）の計測結果に差異が生じている。これは実機条件と試験条件に差異がある事を示している。よって、以下の通り補正を行う。

$$\text{補正值 (B) (支持架台での増幅)} = a_1 / a_2$$

ここで、

a_1 : 振動台上の加速度計（計測点 A1-1 又は A2-1）の計測結果

a_2 : 扉上下端位置の加速度計（計測点 A1-1 と A3, または A2-1 と A4）の計測結果を扉重心位置標高（O.P. 38.25m）で線形補間した値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a₂設定の考え方（イメージを図 1-1 に示す）

扉は、丁番軸及び丁番ブロックによって、上下 2 点支持されている。よって、上部、下部からの加速度入力の影響が同じと考え、上部と下部（計測点 A1-1 と A3 又は、A2-1 と A4）の計測結果を扉重心位置標高（O.P. 38.25m）で線形補間した値を比率算定に使用する。



図 1-1 比率算定に用いる加速度計測結果のイメージ

- 1.3 振動台への入力時の加速度の増加及び支持架台での増幅の補正值
以上を踏まえ、下式の通り最終補正值を定める。

$$\begin{aligned} \text{最終補正值} &= \text{補正值(A)} \text{（振動台への入力時の加速度の増加）} \\ &\quad \times \text{補正值(B)} \text{（支持架台での増幅）} \\ &= a_0 / a_1 \times a_1 / a_2 \end{aligned}$$

2. 比率算定結果

最終補正值としての比率算定結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 比率算定結果

試験体*1	方向	① a ₀ (目標 ZPA)*2 [×9.8m/s ²]	記号	計器 番号	a ₁ 及びa ₂ (加振試験結果)[×9.8m/s ²]				a ₀ /a ₂ (最終補正值)*4	
					②扉開		③扉閉		扉開 ①/②	扉閉 ①/③
					方向	加振試験結果	方向	加振試験結果		
扉 1	面外方向	□	a ₁	A1-1	Y	□	X	□	□	□
			-	A3	Y	□	X	□		
			a ₂	線形補間*3	Y	□	X	□		
	面内方向	□	a ₁	A1-1	X	□	Y	□	□	□
			-	A3	X	□	Y	□		
			a ₂	線形補間*3	X	□	Y	□		
	鉛直方向	□	a ₁	A1-1	Z	□	Z	□	□	□
			-	A3	Z	□	Z	□		
			a ₂	線形補間*3	Z	□	Z	□		
扉 2	面外方向	□	a ₁	A2-1	Y	□	X	□	□	□
			-	A4	Y	□	X	□		
			a ₂	線形補間*3	Y	□	X	□		
	面内方向	□	a ₁	A2-1	X	□	Y	□	□	□
			-	A4	X	□	Y	□		
			a ₂	線形補間*3	X	□	Y	□		
	鉛直方向	□	a ₁	A2-1	Z	□	Z	□	□	□
			-	A4	Z	□	Z	□		
			a ₂	線形補間*3	Z	□	Z	□		

注記*1: 試験体を正面として見た時に左側のユニットを扉1, 右側のユニットを扉2とする。

*2: 0-2 1.0×S s相当の模擬地震波の目標 □ を用いる。

*3: 扉1は計測結果(A1-1及びA3), 扉2は計測結果(A2-1及びA4)をそれぞれ扉重心位置標高(0.P.38.25m)で線形補間した値を用いる。

*4: 小数点4桁目を切上げ。

装置取付架台を剛構造として扱うことの根拠について

1. はじめに

BOP 閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟に固定された装置取付架台に据付ボルトで固定されている。本資料は、BOP 閉止装置を支持する装置取付架台が剛構造であることを説明するものである。

2. 構造図

装置取付架台の構造図を図 2-1 に示す。

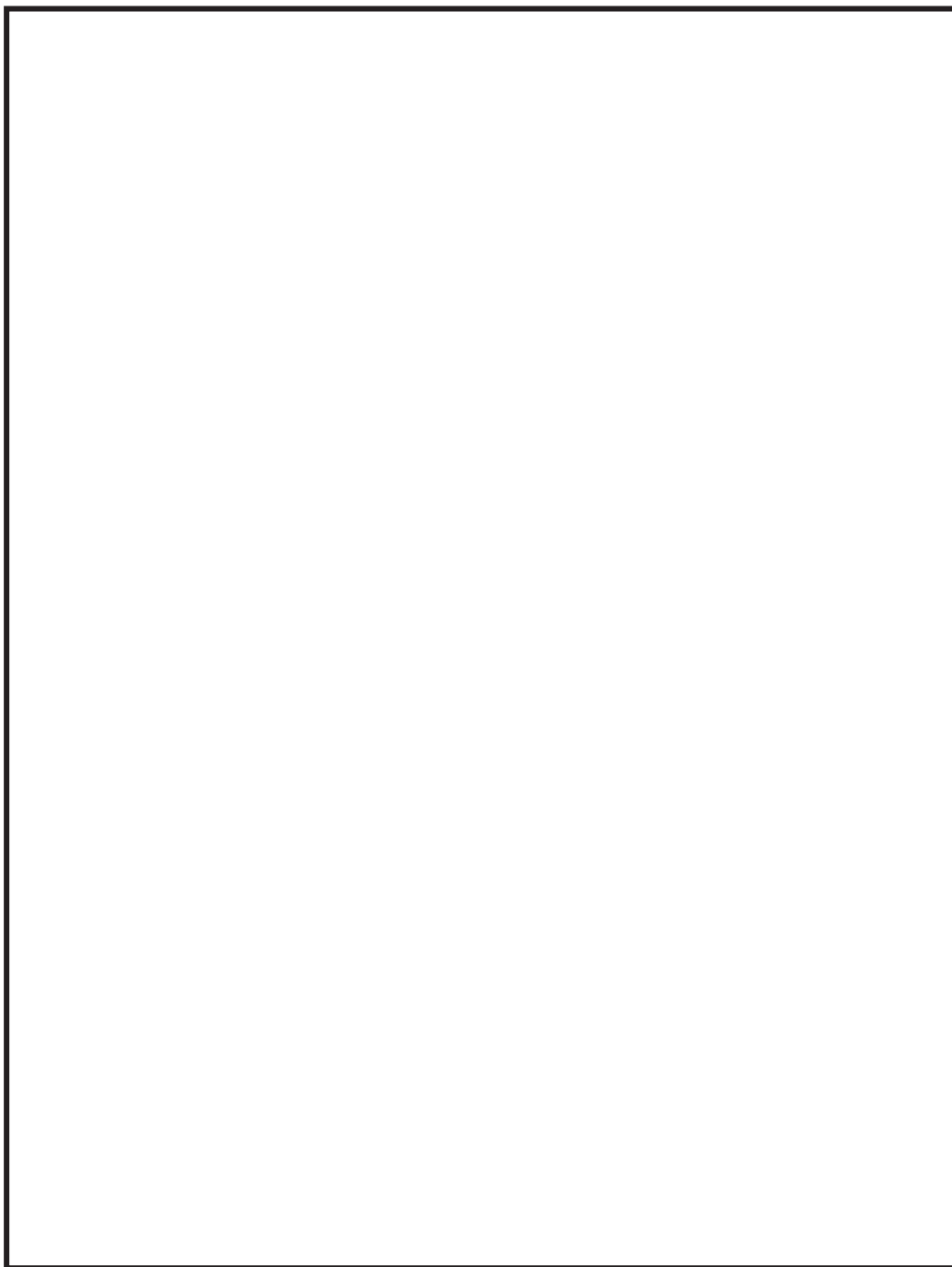


図 2-1 装置取付架台 構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 解析条件

装置取付架台の解析条件を表 3-1 に示す。

表 3-1 装置取付架台 解析条件

項目		記号	単位	値	
設計条件	BOP 閉止装置	m	kg	□	
	扉の質量 (1 台)				
物性値	鋼材 縦弾性係数	E	MPa	扉開	□
				扉閉	□
	鋼材 ポアソン比	ν	-	□	
	鋼材 密度	ρ	kg/mm ³	□	

4. 解析モデル

装置取付架台の解析モデル図を図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。装置取付架台は図 4-1 に示すように、断面が異なる複数の鋼材から構成されている。

- (1) 装置取付架台を三次元のはり要素でモデル化した FEM モデルを用いる。
- (2) 解析モデルの質量は、装置取付架台の鋼材質量及び BOP 閉止装置 1 式 (24 台) の質量を考慮する。
- (3) 拘束条件として、装置取付架台の原子炉建屋原子炉棟の壁及び床への取付部を固定とする。なお、装置取付架台は、原子炉建屋原子炉棟の壁及び床に後付けアンカーで固定する。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。
- (5) 固有値解析は、BOP 閉止装置が扉開及び扉閉状態に対して実施する。



図 4-1 装置取付架台 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有値解析結果

固有値解析結果を図 5-1 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。

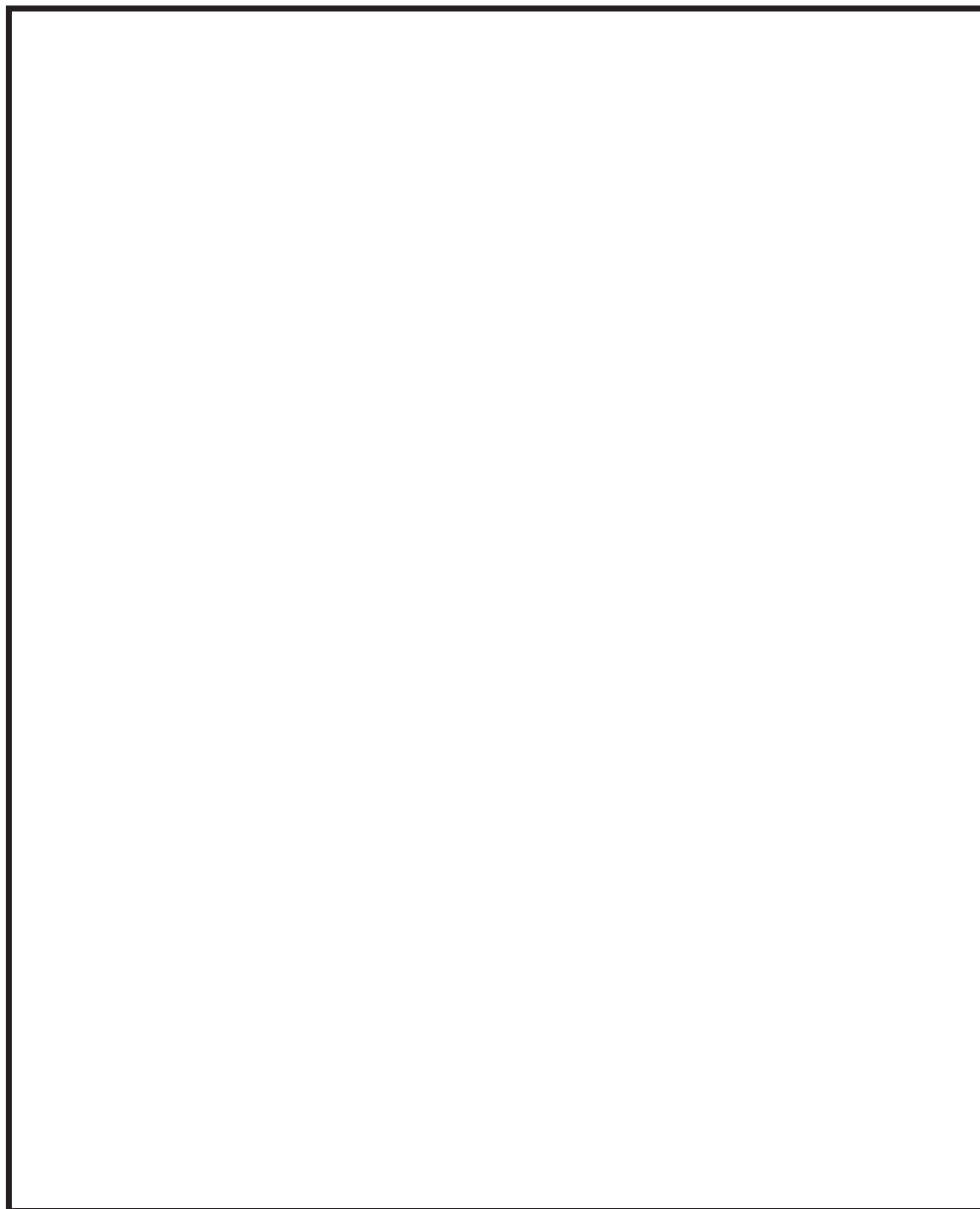


図 5-1 固有値解析結果

補足-600-21 ガスタービン発電設備の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

目 次

1. 概要	1
2. 緊急用電気品建屋における入力地震動	1
2.1 入力地震動	1
2.2 ガスタービン発電設備の減衰定数	1
2.3 床応答曲線の包絡性	2
3. ガスタービン発電設備の耐震評価について	3
3.1 ガスタービン発電設備の固定装置について	3
3.2 評価手順	4
3.3 評価方針	6
3.4 加振試験	7
3.5 機能維持評価	10
3.6 保守性・不確実さのトータルバランスについて	11
別紙 3-1 固定装置の部材の健全性について	21
別紙 3-2 加振試験における設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度について	33

1. 概要

本補足説明資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、耐震評価を実施し、添付書類「VI-2-10-1-2-3-1 ガスタービン発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に評価結果をとりまとめている常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に該当するガスタービン発電設備 機関・発電機の耐震評価について補足するものである。

2. 緊急用電気品建屋における入力地震動

2.1 入力地震動

ガスタービン発電設備は、緊急用電気品建屋 1 階に設置している。

ガスタービン発電設備の入力地震動算定における地盤モデル及び解析用物性値については、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」に示すとおりである。

入力地震動は、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」に示す緊急用電気品建屋の地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用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。

2.2 ガスタービン発電設備の減衰定数

試験における加振台の床応答曲線（以下「FRS」という。）が、緊急用電気品建屋 1 階の設計用 FRS を上回ることを確認する際に用いるガスタービン発電設備の減衰定数は、5%としている。

ガスタービン発電設備のような車両構造の設備については、J E A G 4 6 0 1 に減衰定数の規定はなく、減衰機構も複雑であることから、様々な文献に複数の減衰定数に関する記載*がある。これらの文献によると、車両構造の設備は、高い減衰が期待できる。加振試験により確認したガスタービン発電設備の減衰定数は、最も低いもので約 8%であるため、試験結果を参考に減衰定数を 5%とした。

注記*：自動車技術ハンドブックによるとサスペンションの減衰定数は 20%～80%であり、国土交通省の国土技術政策総合研究所資料第 180 号「大型車の振動特性が橋梁に及ぼす影響に関する研究（Ⅱ）」によると 10%以上とされている。

2.3 床応答曲線の包絡性

ガスタービン発電設備の耐震評価においては，大型構造物を搭載可能な能力を有した国立研究開発法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センターの3次元震動台（以下「加振台」という。）を用いることにより，加振試験にて評価している。加振台の仕様を表 2-1 に示す。

加振台の床応答曲線と緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線の比較及びガスタービン発電設備の固有振動数を図 2-3-1 に示す。

ガスタービン発電設備の固有振動数において，加振台の水平方向及び鉛直方向の床応答曲線が緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線を上回っていることを確認した。

表 2-1 加振台の仕様

加振台の大きさ		20000mm×15000mm
最大搭載質量		1200ton
最大加速度	水平	9m/s ²
	鉛直	15m/s ²

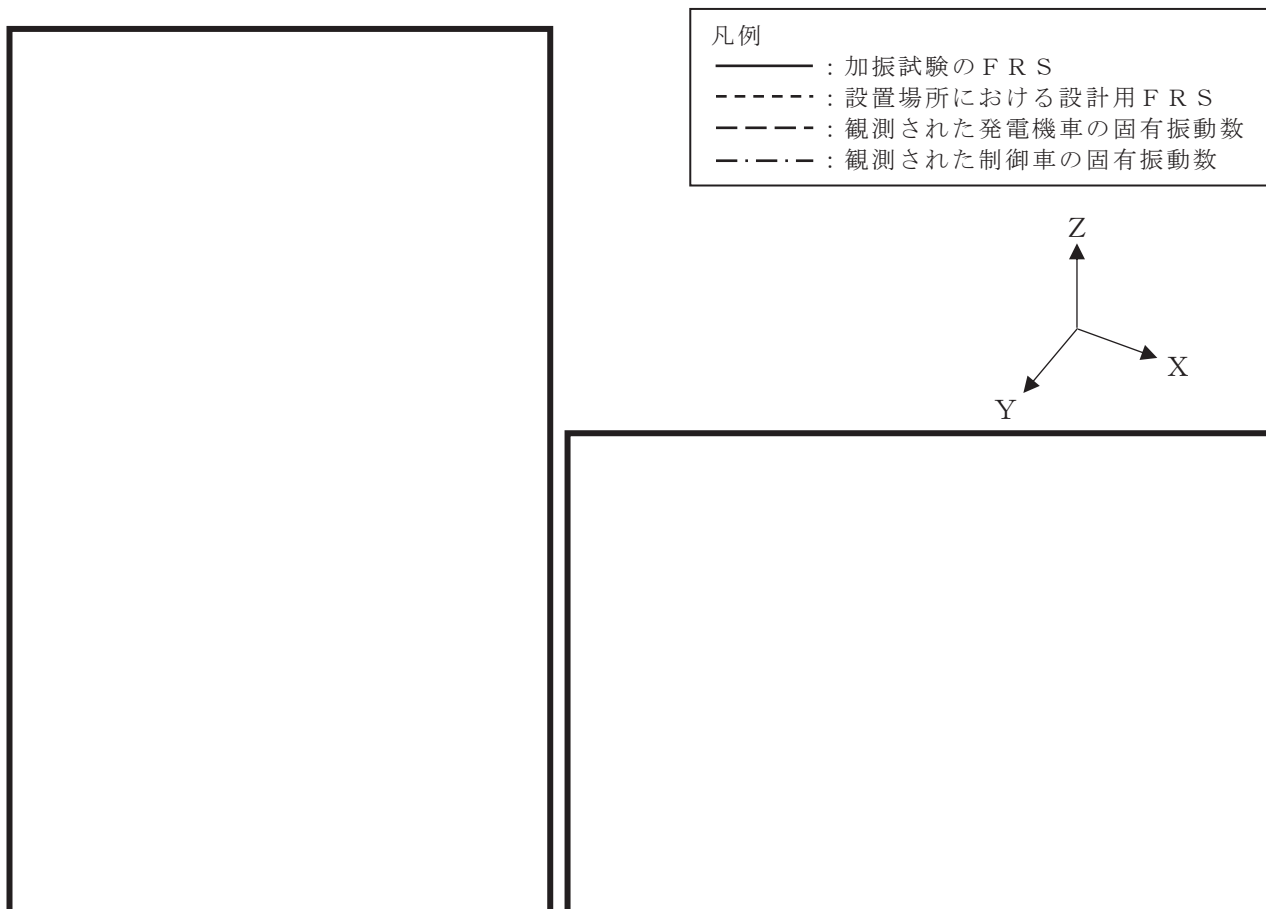


図 2-3-1 加振台の床応答曲線と設計用床応答曲線との比較

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. ガスタービン発電設備の耐震評価について

3.1 ガスタービン発電設備の固定装置について

ガスタービン発電設備に設置する固定装置の構造を、以下に示す。固定装置は、「タイヤ止め架台」、「スリング」から構成される。図 3-1-1 に固定装置の構造概要を示す。

車輪の走行軸方向及び走行軸直角方向には横ずれ防止用の梁、車輪の鉛直方向にはスリングを設置する事で、地震動を受けた際に、車輪は前後方向、左右方向、上下方向に固定されるため、車両は転倒しない。

このため、車両の状態が適切に保持される。



図 3-1-1 固定装置の構造概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 評価手順

ガスタービン発電設備の評価に当たっては、ガスタービン発電設備に要求される機能を踏まえ、必要となる性能目標を設定し、評価方法及び評価内容を決定する。評価に関する概要を表した評価体系図を図 3-2-1 に示す。

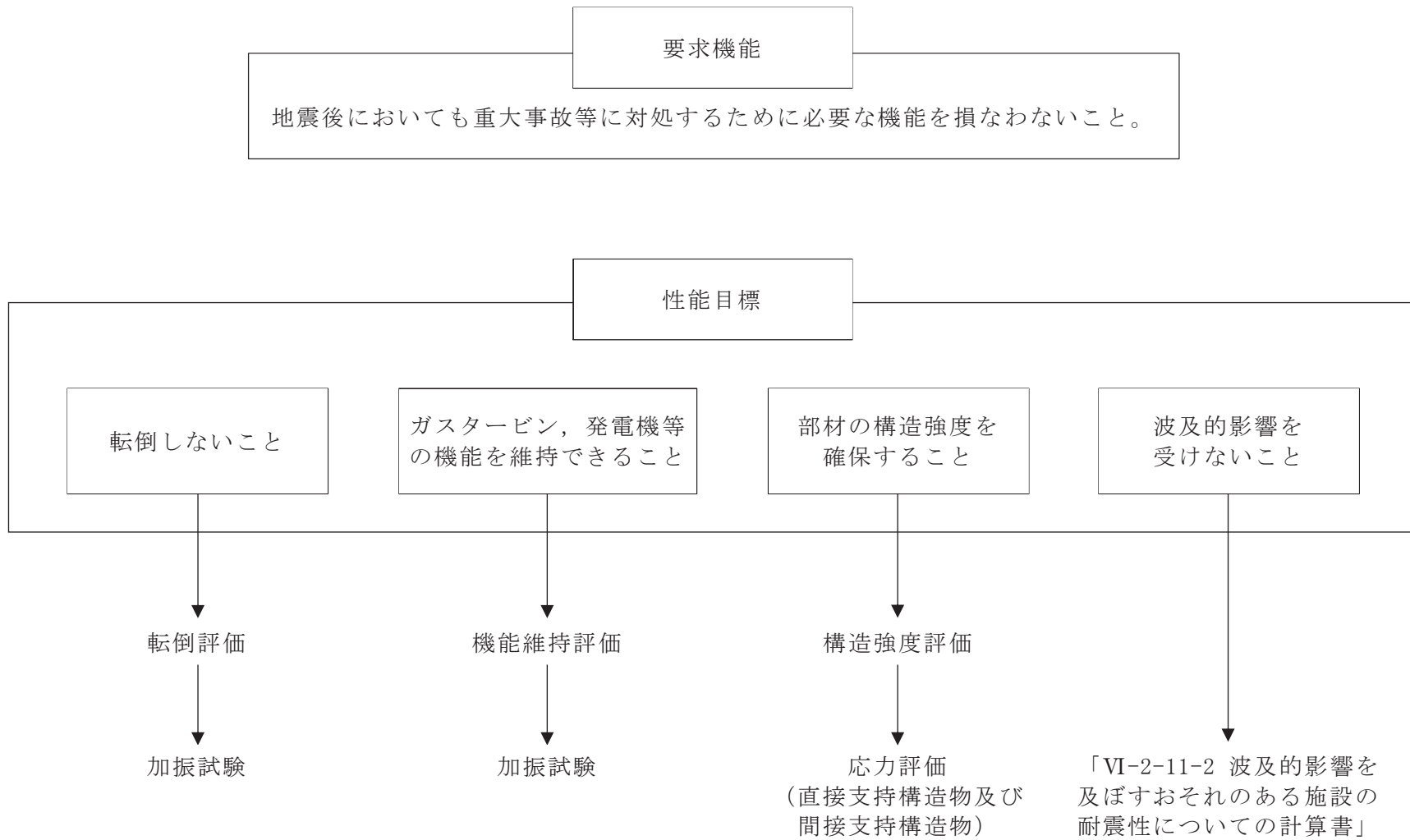


図 3-2-1 評価体系図

3.3 評価方針

ガスタービン発電設備は、緊急用電気品建屋内に設置される事から、積雪荷重について考慮しない。

3.4 加振試験

3.4.1 加振試験結果

(1) 試験方法

ガスタービン発電設備を図 3-4-1 に示すように加振台に設置し，以下に示す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，加振試験後に動的または電氣的機能が維持されること等を確認する。

- ・加振波 : 緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線を包絡するように設定したランダム波。加振試験に用いた加振波（加振台上での観測データ）の例を図 3-4-2 に示す。
- ・加振方向 : 水平（走行軸方向）* + 鉛直，水平（走行軸直角方向）* + 鉛直（2 軸同時加振）
*加振台の性能を考慮し，車両を斜めに配置させ水平（走行軸方向）は 2 方向に同位相の加振波を入力，水平（走行軸直角方向）は 2 方向のうち 1 方向に逆位相の加振波を入力することで，必要な加速度を得ている。
- ・計測内容 : 評価部位の頂部に加速度計を設置し，応力評価部位の評価に用いる加速度応答の最大値を計測した。
- ・固定装置 : ガスタービン発電設備については，固定装置を設置した状態で加振試験を実施した。

(2) 加速度測定結果

ガスタービン発電設備の加振台の床応答曲線が緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線を上回っていることを確認した。



図 3-4-1 試験構成

		時刻歴波形	床応答スペクトル
水平方向 (走行軸直角方向)	X方向		
水平方向 (走行軸方向)	Y方向		
鉛直方向 (走行軸方向)	Z方向		

図 3-4-2 加振試験に用いた加振波の時刻歴波形の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 加速度の測定位置

発電機車の加速度の測定位置を図 3-4-3 に、制御車の加速度の測定位置を図 3-4-4 に示す。なお、加速度の測定は加振方向に合わせて 3 軸方向を測定した。

●：加速度の測定位置

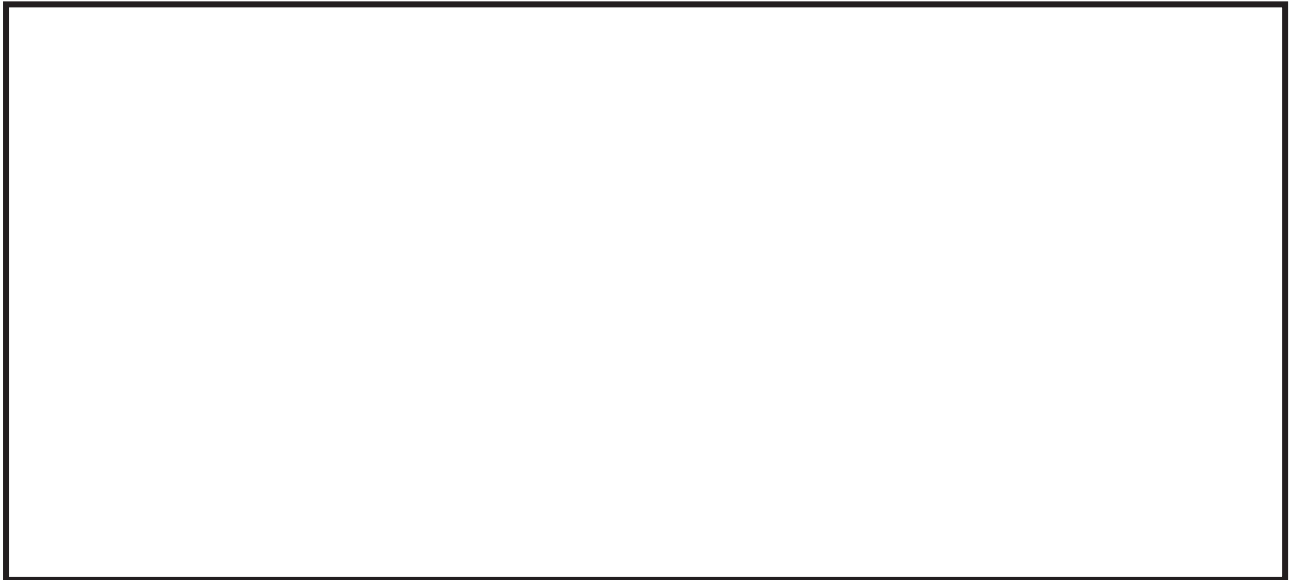


図 3-4-3 発電機車の加速度の測定位置

●：加速度の測定位置



図 3-4-4 制御車の加速度の測定位置

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 機能維持評価

ガスタービン発電設備は、加振試験後の機能維持確認として、各設備の機能に応じた試験を実施し、機器が問題なく動作することを確認している。加振試験後の機能維持確認方法と結果を、表 3-5-1 および表 3-5-2 に示す。

また、加振台の最大加速度である機能確認済加速度と緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線の最大応答加速度である機能維持評価用加速度を比較し、機能確認済加速度が機能維持評価用加速度を上回っていることを確認している。機能確認済加速度と機能維持評価用加速度を表 3-5-2 に示す。

表 3-5-1 加振試験後の機能維持確認方法と結果

設備名称	確認事項
ガスタービン 発電設備	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、ガスタービン発電設備が転倒していないことを確認した。また、加振時に固定装置が作用していることから、固定装置も健全であることを確認した。 ・外観点検を行い、ガスタービン発電設備の必要な機能に影響する損傷、燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・定格運転状態において、異常な振動、異音等の不具合が無いこと、発電機能が維持されていることを確認した。

表 3-5-2 加振試験後の定格運転時機能維持確認結果

項目	計測値	管理値
タービン入口温度 (°C)		
タービン出口温度 (°C)		
タービン振動 ($\mu\text{m p-p}$)		
発電機電圧 (V)		
発電機電流 (A)		

表 3-5-3 機能確認済加速度

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

項目	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度
水平方向	1.88	1.19
鉛直方向	1.14	0.65

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.6 保守性・不確実さのトータルバランスについて

3.6.1 保守性及び不確実さのトータルバランスの検討方針

ガスタービン発電設備の耐震設計及び評価の各段階に含まれる保守性及び不確実さ（非保守性を含む。以下、同様。）の全体的な釣り合い（以下「トータルバランス」という。）の検討は、以下の手順により実施する。

- (1) 保守性及び不確実さ要因の抽出
- (2) 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング
- (3) 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析
- (4) 各要因の保守性及び不確実さの定量化
- (5) 保守性・不確実さのトータルバランスの検討

(1) 保守性及び不確実さの要因の抽出

ガスタービン発電設備の耐震設計及び評価の各段階に含まれる保守性及び不確実さの要因となり得る項目を抽出する。

基準地震動 S_s による地震力に対するガスタービン発電設備の機能維持の評価は、「転倒評価」、「応力評価」及び「機能維持評価」の各段階に分けて実施されるが、これらの評価はガスタービン発電設備の加振試験結果を用いて実施される。

したがって、保守性・不確実さ要因の抽出にあたっては、ガスタービン発電設備の耐震設計及び評価を以下の各段階に分けて検討する。

- ① 加振試験
- ② 転倒評価
- ③ 応力評価
- ④ 機能維持評価

なお、①加振試験の検討対象範囲は、試験結果を出す段階までとし、これらの結果を用いた評価における評価手法そのものや評価条件の設定に含まれる保守性及び不確実さの要因はそれぞれ②～④の中で抽出する。

上記の各段階を基本的に以下の要素に分割し、要素毎に試験及び評価結果へ影響を与える可能性のある要因、即ち、保守性・不確実さ要因を抽出する。

- ・ 手法（試験方法、評価方法）
- ・ 入力条件（加振試験入力波、設計用地震力等）
- ・ 評価モデル（評価モデル、評価条件、試験条件等）

なお、各評価の特性を踏まえ、要素分類にあてはまらない評価要素があれば必要に応じて当該要素を追加する。

以上の設計・評価の段階及び要素に対する保守性及び不確実さ要因の抽出は、実機との差異、各種条件設定の根拠となるデータの不確実さ等に着目して実施する。

(2) 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング

(1)項より抽出された保守性及び不確実さの要因，特に不確実さに関連する要因について，他の設備の耐震評価において J E A G 4 6 0 1 や工認（今回工認において妥当性確認済みの項目を含む）と同様の取り扱いを行っている場合は，当該要因が評価結果に与える不確実さは無いと考え，以降の検討の対象外とする。

(3) 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

(2)項までに抽出された保守性及び不確実さの各要因について，保守性及び不確実さのそれぞれの観点でガスタービン発電設備の耐震評価上及ぼす影響を分析する。

(4) 各要因の保守性及び不確実さの定量化

保守性及び不確実さの各要因について，その保守性や不確実さ・非保守性が定量化可能なものについて，その定量化を行う。

(5) 保守性・不確実さのトータルバランスの検討

「転倒評価」，「応力評価」及び「機能維持評価」の評価毎に，評価に関連する不確実さ要因を抽出し，不確実さ要因に対して，同じ要因が有する保守性や他の要因の保守性により，当該不確実さが包絡されることを確認する。

以上までの検討を基に，「転倒評価」，「応力評価」及び「機能維持評価」の評価毎に，評価全体として保守性が確保されていることを確認する。

3.6.2 検討結果

(1) 保守性及び不確実さ要因の抽出結果

保守性及び不確実さの要因の抽出結果を表 3-6-1 に示す。表 3-6-1 では、当該項目が保守性の要因と不確実さの要因のいずれに該当するかを併せて示している。

(2) 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング結果

上記(1)項で抽出された保守性及び不確実さ要因について、工認や J E A G 4 6 0 1 での適用実績の有無を表 3-6-1 に併せて示す。

なお、「実績あり」(表中凡例“○”)の場合は下記(3)項以降の検討対象外とするが、その場合であっても、ガスタービン発電設備の耐震評価上において保守性や不確実さの観点で重要な場合や評価結果に影響が大きいと考えられる場合は検討対象として追加する。

(3) 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

(2)項までに抽出された保守性及び不確実さの要因に関し、その影響に対する定性的な検討を以下の要領で行った。検討結果を表 3-6-2 に示す。

- ・同じ保守性及び不確実さの要因であっても、その保守性や不確実さの影響は、耐震評価にて使用する応答値の項目(加速度・変位)毎に異なる。したがって、これらの項目毎に、保守性や不確実さが与える影響を定性的に分析した。
- ・車両型設備の耐震評価は、「転倒評価」、「応力評価」及び「機能維持評価」に分けられる。各評価において使用する応答値の項目が異なるため、各評価で使用する応答値を整理した。
- ・以上の整理を踏まえて、保守性及び不確実さに関する各要因が各応答値に与える保守性や不確実さの内容を整理した。
- ・また、当該要因が評価上与える相対的な影響度を定性的に検討し、「相対的に影響が大きい」、「相対的に影響が小さい」及び「影響は有意でない」の3種類に分類した。
- ・各保守性及び不確実さ要因について、その影響が定量化可能なものは定量化し、その結果を上記(3)項の影響度合い分類結果に反映した。

ここで、定量的あるいは定性的に評価結果に与える影響が概ね 10%を超えると判断される場合は「相対的に影響が大きい」に、影響が概ね 10%以下であると判断される場合は「相対的に影響が小さい」に分類する。また、影響が数%程度以下と判断される場合は「影響が有意でない」に分類した。「影響は有意でない」項目については、以降の検討の対象外とした。

(4) 保守性・不確実さのトータルバランスの検討

転倒評価，応力評価及び機能維持評価の評価毎に，表 3-6-2 の検討結果を以下の要領で整理することにより各評価が全体として保守的であることを確認した。

まず，表 3-6-2 から，不確実さの影響度が「相対的に影響が大きい」（凡例：【○】）及び「相対的に影響が小さい」（凡例：【△】）となっている要因を抽出する。

抽出した各要因を，その不確実さの内容と不確実さに対する対応から，「不確実さの残る要因」，「保守性の残る要因」及び「保守性と不確実さが同等である要因」に分類した。各分類の位置付けは以下のとおりである。

「不確実さの残る要因」：

当該要因の不確実さが，当該要因自身の保守性もしくは当該要因の不確実さに直接的に関連する他の要因が有する保守性により完全に包絡できないもの。

「保守性の残る要因」：

当該要因の保守性が，当該要因自身の不確実さもしくは直接的に関連する他の要因における不確実さを包絡し，その上で更に保守性が残存するもの。

「保守性と不確実さが同等である要因」：

当該要因の不確実さと，当該要因自身の保守性もしくは直接的に関連する他の要因における保守性がほぼ同等で相殺し合うもの。

なお，「不確実さの残る要因」は，さらに「保守性を有する直接的な対応のない不確実さ要因」と「定性的な確認のみの不確実さ」に分類する。前者は，保守性を有する直接的な対応がないため，不確実さの残存を否定できないものである。後者は，定性的な検討において，不確実さの程度，保守性の程度あるいはその両者が不明確であるために不確実さの残存を否定できないもの（影響が有意でないもの以外）である。

「保守性の残る要因」は，「未適用の保守性要因」と「保守性の残存する保守性要因」に分類する。前者は，当該要因に不確実さがなく，かつ，直接的に関連するほかの要因もないものである。後者は，当該要因自身の不確実さもしくは直接的に関連する他の要因における不確実さを包絡し，その上でさらに保守性が残存するものである。

「保守性と不確実さが同等である要因」は，「設計にて対応済みの要因」と「定性的に確認した要因」に分類する。前者は，当該要因の不確実さに対し設計上の対応で保守性が担保されるものである。後者は，当該要因の不確実さに対して特

段設計上の対応は行っていないが、当該要因の持つ特性から当該要因の不確実さに対する保守性が確認されるものである。

以上に基づく各評価に対する抽出・分析結果を表 3-6-3～表 3-6-5 に示す。

上記各分類のうち「不確実さの残る要因」と「保守性の残る要因」を総合的に分析することにより、各評価全体として保守性が確保されていることを確認した。確認結果を表 3-6-3～表 3-6-5 の「総合評価」欄に示す。

以上の検討の結果、車両型設備の耐震設計・評価全体として、各種不確実さを包絡する適切な保守性を有することを確認した。

表 3-6-1 保守性及び不確実さ要因の抽出結果

設計・評価段階	設計・評価要素	保守性及び不確実さを有する項目	設計・評価での取り扱いの概要	保守性の要因 (○：該当あり， —：該当なし)	不確実さの要因 (○：該当あり， —：該当なし)	J E A G ・先行プ ラント等での実績 の有無 (○：実績あり， ●：実績なし)	備 考
加振試験	試験方法	加振方向	水平1方向及び鉛直方向の2方向同時入力。	—	—	○	
		試験回数	当該設備の設置場所での設計用床応答曲線を、車両の固有振動数で包絡させた加振波で走行軸方向+鉛直、走行軸直角方向+鉛直の2回加振。	—	○	○	
	設計用地震力(入力地震動)	加振試験入力波	当該設備の設置場所での設計用床応答曲線を、車両の固有振動数で包絡させたランダム波を使用。	○	○	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
	試験体及び諸元	試験体	実機と同一の車両型設備を使用。	—	—	○	
		試験環境	実機設置エリアと同等の設置状態を模擬。	—	—	○	
転倒評価	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性・不確実さ等に該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	(該当なし)	(試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、評価方法の観点で保守性・不確実さ等に該当する要素はない。)	—	—	—	
	設計用地震力	(該当なし)	(試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、設計用地震力の観点で保守性・不確実さ等に該当する要素はない。)	—	—	—	
応力評価	荷重の組合せ及び許容限界	許容限界	J E A G 4 6 0 1 のその他の支持構造物の許容値を適用。	○	—	○	
	評価方法	ボルト応力評価法 (評価モデル)	J E A G 4 6 0 1 のポンプ等のボルト応力評価法を適用。	○	—	○	
	設計用地震力	設置床での応答加速度	加振試験で得られた評価部位頂部での応答を設置床での応答としている。	○	—	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
		設計用加速度	設置床での応答加速度(評価部位頂部の応答加速度)を設計用加速度としている。	—	—	○	
		FRS 拡幅	加振試験入力波作成の際に、拡幅を考慮した FRS を用いている。	○	—	○	
	誘発上下動	ローリング・ロッキング挙動により車両端部で鉛直方向へ応答が発生し得るが、評価では各評価部位頂部での応答加速度を使用。	—	○	○	実績はあるが、不確実さの観点で重要であるため除外しない。	
機能維持	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(加振試験にて加振後に機能が維持されていることを直接的に確認するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性・不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	(該当なし)	(加振試験にて加振後に機能が維持されていることを直接的に確認するため、評価方法の観点で保守性・不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	設計用地震力	(該当なし)	(上記「加振試験」での該当項目と同様であり、機能維持評価として新規に該当する項目はない。)	—	—	—	

表 3-6-2 保守性及び不確かさ要因の分析及び影響が有意でない不確かさのスクリーニング

設計・評価 段階	設計・評価 要素	保守性及び 不確かさ要因	影響項目	評価との対応			保守性 【凡例】【○】：相対的に影響度大 【△】：相対的に影響度小 【—】：影響が有意でない	不確かさ 【凡例】【○】：相対的に影響度大 【△】：相対的に影響度小 【—】：影響が有意でない	影響が有意でない理由
				転倒評価 (○：該当あり， —：該当なし)	応力評価 (○：該当あり， —：該当なし)	機能維持評価 (○：該当あり， —：該当なし)			
加振試験	設計用地震力 (入力地震動)	a. 加振試験入力波	加速度	○	○	○	試験入力波は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。 【○】	—	—
転倒評価	(該当なし)	—	—	—	—	—	—	—	—
応力評価	設計用地震力	b. 設置床での応答 加速度	加速度	—	○	—	試験で得られた評価部位頂部での応答加速度を、評価上は、より低い位置である設備設置床での応答と仮定することによる保守性がある。【△】	—	—
		c. 誘発上下動	加速度	—	○	○	—	水平方向の地震に伴い発生するローリングやロッキング挙動により、重心位置から離れた箇所では、誘発上下動が発生し、鉛直応答が増加する可能性がある。【—】	応力評価においては、各評価部位で計測した加速度を用いて応力評価を実施していることから、影響は有意ではない。
機能維持	(該当なし)	—	—	—	—	—	—	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6-3 転倒評価に関連する不確かさ要因

		不確かさ要因*1	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）*2	備 考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	試験入力波は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		転倒評価は、評価に用いる地震力（入力加速度）として実機の加振試験結果を直接用いているため有意な不確かさはない。一方、加振試験の入力地震動には保守性を有する。以上より、転倒評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6-2 における「保守性及び不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【 】内の記号は、表 3-6-2 の「保守性」、「不確かさ」欄の記号を表している。

表 3-6-4 応力評価に関連する不確かさ要因

		不確かさ要因*1	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）*2	備考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
		c. 誘発上下動	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	試験入力波は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。【○】	
		b. 設置床での応答加速度	—	試験で得られた評価部位頂部の応答加速度を、評価上はより低い位置である設備設置床での応答と仮定することによる保守性がある【△】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		応力評価は、評価に用いる地震力（入力加速度）として評価部位頂部の応答加速度を用いているため有意な不確かさはない。 一方、未適用の保守性要因として「加振試験入力波」及び「設置床での応答加速度」がある。 以上より、加振試験結果に基づく応力評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6-2 における「保守性及び不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【 】内の記号は、表 3-6-2 の「保守性」、「不確かさ」欄の記号を表している。

表 3-6-5 機能維持評価に関連する不確かさ要因

		不確かさ要因*1	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）*2	備考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	試験入力波（機能確認済加速度）は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		機能維持評価は、評価に用いる地震力（入力加速度）として実機の加振試験での計測値を直接用いているため有意な不確かさはない。一方、加振試験の入力地震動には保守性を有する。以上より、機能維持評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6-2 における「保守性及び不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【 】内の記号は、表 3-6-2 の「保守性」、「不確かさ」欄の記号を表している。

固定装置の部材の健全性について

1. 概要

固定装置の耐震評価については、固定装置を設置した状態で加振試験を実施することにより、健全性が確保できることを確認していることから、評価方法とその結果について示す。

2. 加振試験による固定装置の評価

2.1 タイヤ止め架台の評価

タイヤ止め架台が前後、左右方向変位の抑制に寄与し、異常がないことを確認した。

(評価方法)

- ①車両の前後変位、左右変位及び上下変位が抑制されていることを確認した。
- ②加振試験後の点検において異常がないことを確認した。



図 2-1 タイヤ止め架台概要図

2.2 スリングの評価

スリングが上下方向変位の抑制に寄与し、異常がないことを確認した。

(評価方法)

- ①車両の上下変位が抑制されていることを確認した。
- ②加振試験後の点検において異常がないことを確認した。

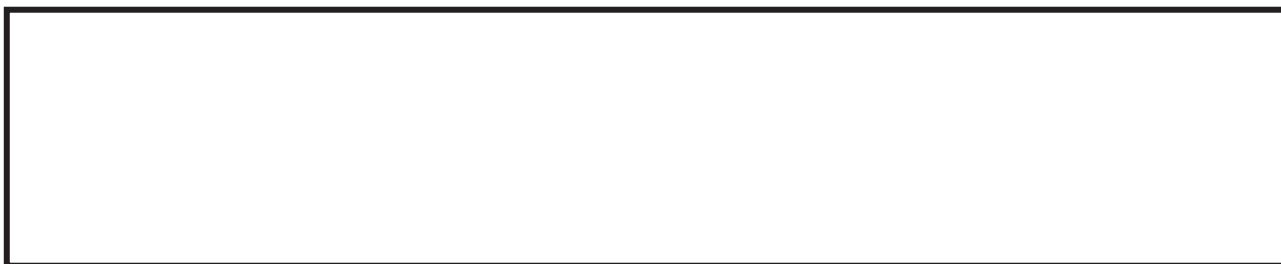


図 2-2 スリング概要図

3. 加振試験における固定装置基礎ボルトの評価

固定装置の基礎ボルトについては、タイヤを固定するタイヤ止め架台を緊急用電気品建屋1階に固定するために設置されており、耐震評価上重要な支持構造物であるため、間接支持構造物として評価を行う。

3.1 評価方針

固定装置基礎ボルトの応力評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震計算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、加振試験で得られた設計用加速度を用い評価を行う。

3.2 設計用加速度

構造強度評価に用いる入力加速度は、発電機車固定装置基礎ボルトにおいては、発電機頂部*の設計用加速度を、制御車固定装置基礎ボルトにおいては、蓄電池架台頂部*の設計用加速度を用いる。設計用加速度を表3-1に示す。

*車両の重心に近い位置および重心より高い位置を選定

表 3-1 設計用加速度（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	基準地震動 S s			
	発電機車固定装置		制御車固定装置	
	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
緊急用 電気品建屋 O.P. 62.90 ^{*1}	$a_H=17.46^{*2}$	$a_V=14.12^{*2}$	$a_H=14.71^{*3}$	$a_V=11.57^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：加振試験で得られた発電機頂部における最大応答加速度。

*3：加振試験で得られた蓄電池架台頂部における最大応答加速度。

3.3 計算方法

3.3.1 基礎ボルトの応力

固定装置基礎ボルトの応力は、地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

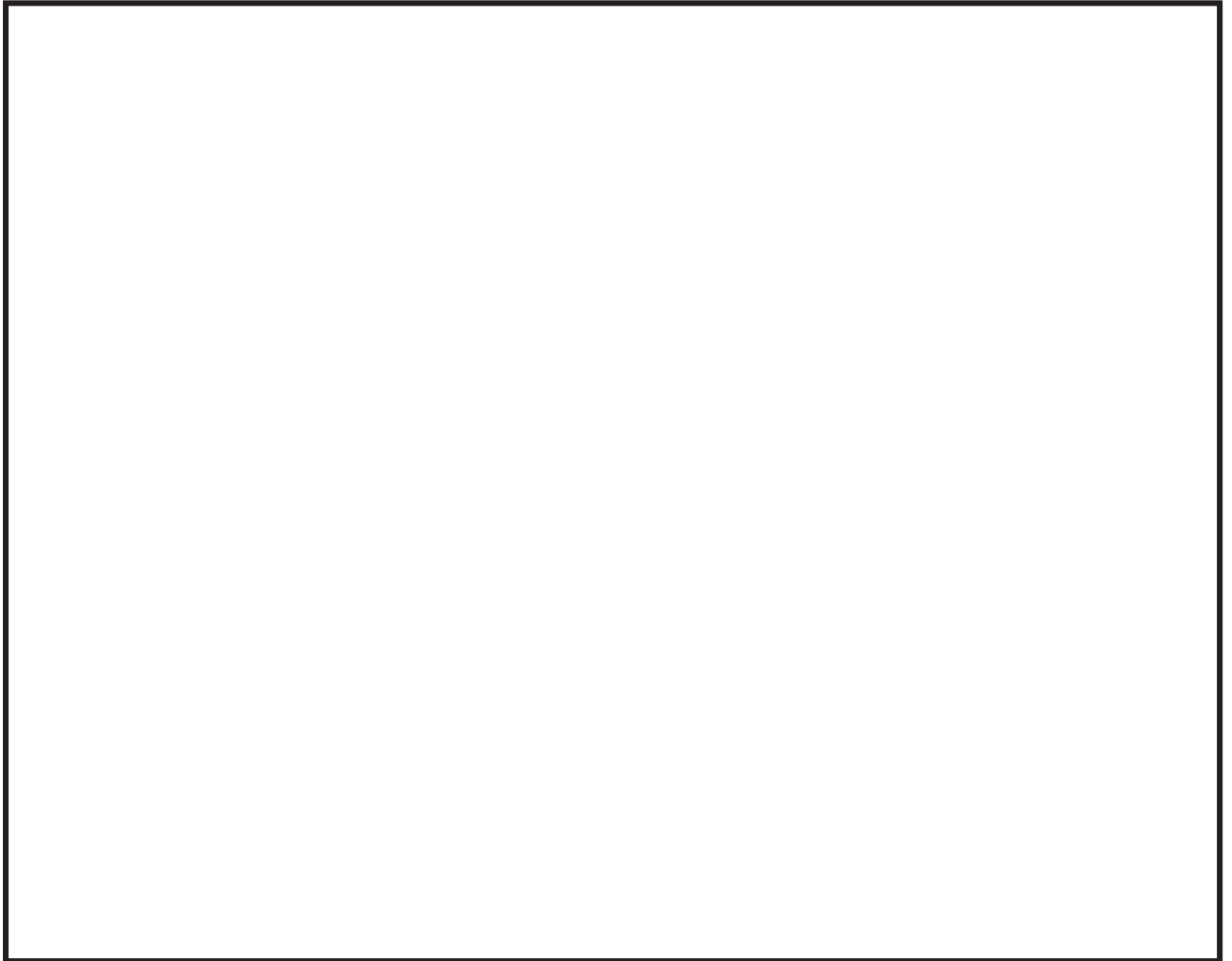


図 3-1 計算モデル（発電機車走行軸直角方向転倒）

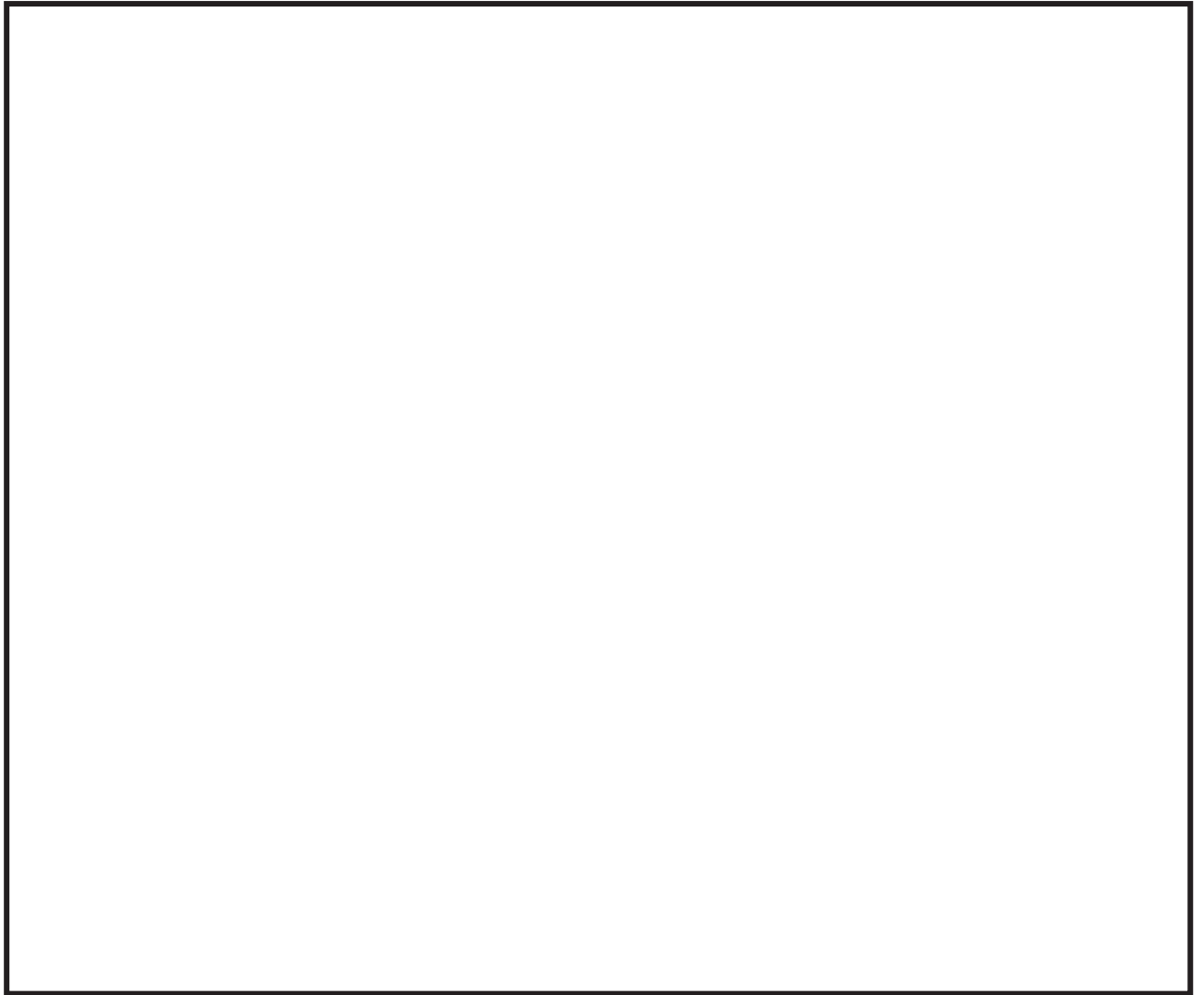


図 3-2 計算モデル（発電機車走行軸方向転倒）



図 3-3 計算モデル（制御車走行軸直角方向転倒）

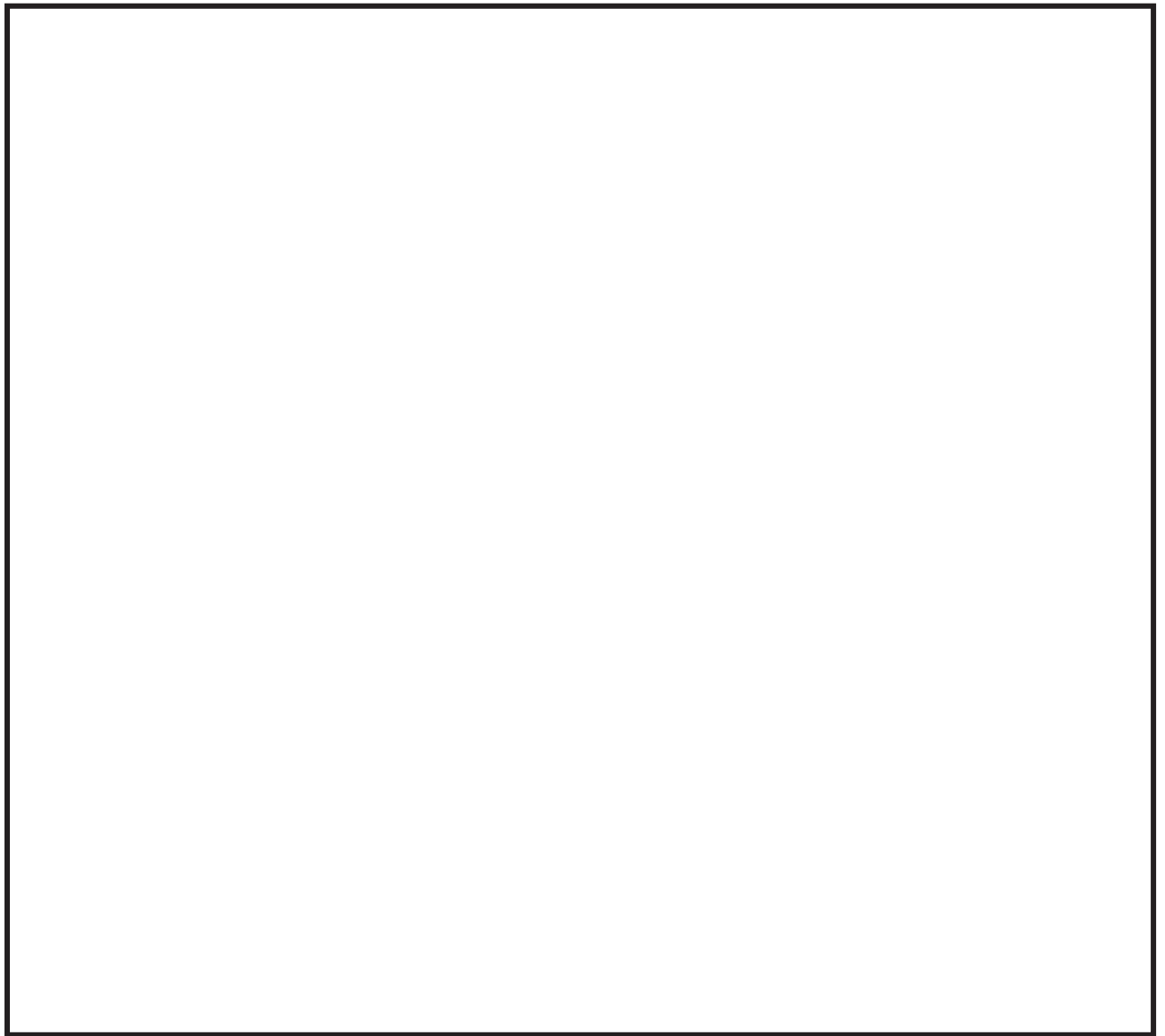


図 3-4 計算モデル（制御車走行軸方向転倒）

3.4 評価結果

固定装置基礎ボルトの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有している事を確認した。

3.4.1 構造強度の評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスタービン発電設備 固定装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

1.1.1 固定装置 (発電機車)

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s (m/s ²)		回転体振動に よる加速度 (m/s ²)	回転体回転により 働くモーメント (N・mm)	周囲 環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計用加速度	鉛直方向 設計用加速度			
固定装置 (発電機車)	常設耐震/防止 常設/緩和	緊急用電気品建屋 0.P.62.90*	—	—	a _H =17.46	a _V =14.12	—	—	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.1.2 固定装置 (制御車)

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s (m/s ²)		回転体振動に よる加速度 (m/s ²)	回転体回転により 働くモーメント (N・mm)	周囲 環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計用加速度	鉛直方向 設計用加速度			
固定装置 (制御車)	常設耐震/防止 常設/緩和	緊急用電気品建屋 0.P.62.90*	—	—	a _H =14.71	a _V =11.57	—	—	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2.1 固定装置 (発電機)

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト ($i=1$)							

部材	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	n_{fi}^* (mm)	F_{ii}^* (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 ($i=1$)					—	走行軸方向

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

1.2.2 固定装置 (制御車)

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト ($i=1$)							

部材	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	n_{fi}^* (mm)	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 ($i=1$)					—	走行軸方向

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

(1) 固定装置 (発電機車)

(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)	—	7.883×10 ⁴	—	4.740×10 ⁵

(2) 固定装置 (制御車)

(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=2)	—	3.278×10 ⁴	—	2.449×10 ⁵

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
固定装置（発電機車） 基礎ボルト （i=1）	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=78$	[]
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=18$	
固定装置（制御車） 基礎ボルト （i=2）	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=33$	
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	

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

加振試験における設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度について

1. 概要

「3.6 保守性・不確実さのトータルバランスについて」において、「試験入力波は設計用床応答曲線を上回るように設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。」と記載している。ここでは、当該記載の根拠として、車両型設備の固有振動数において加振波の FRS の加速度を設計用 FRS の加速度で除した際の裕度について整理する。

2. 裕度の整理結果

各固有振動数に対する設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度を示す。また、グラフ中に最も裕度が小さい箇所について裕度を記載する。

X方向 (走行軸直角方向)			固有振動数(Hz)	裕度
		発電機車		
		制御車		
		発電機車		
制御車				
Y方向 (走行軸方向)			固有振動数(Hz)	裕度
		発電機車		
		制御車		
	発電機車			
制御車				
Z方向 (鉛直方向)		固有振動数(Hz)	裕度	
	発電機車			
	制御車			
	発電機車			
制御車				

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-22_改3

補足-600-22 高圧代替注水系タービンポンプの耐震性についての
計算書に関する補足説明資料

高圧代替注水系タービンポンプ加振試験について

1. 試験概要

高圧代替注水系タービンポンプは横形のポンプであるが、原動機であるタービンと一体構造となっており、J E A G 4 6 0 1における適用形式が異なることから、機能確認済加速度を用いた評価とすることができない。そのため、機能確認済加速度を設定することを目的とし、を用い、女川原子力発電所第2号機向けのポンプと同型式のポンプの加振試験を実施した。本ポンプはタービンと一体構造であるため、ガバナ等の付属品を含む形で試験を実施した。ポンプ断面イメージ図を図 1-1 に示す。試験方法としては振動特性把握試験を実施し固有振動数を求め、剛構造であることを確認した後、機器の据付位置における評価用加速度を包絡する加振波で加振試験を実施した。また、加振試験に加え、試験前後の性能比較及び試験後に機器毎の部品に分解し目視検査を実施することで健全性を確認している。振動試験装置外観を図 1-2、加振台仕様を表 1-1 に示す。また、試験体と実機の主な仕様の比較を表 1-2 に示す。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-5-5-3-1 高圧代替注水系タービンポンプの耐震性についての計算書」



図 1-1 ポンプ断面イメージ図

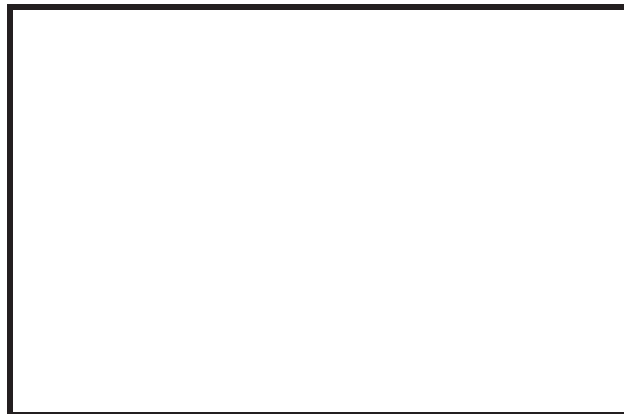


図 1-2 振動試験装置外観

表 1-1 加振台仕様

寸法		
最大積載質量		
運転周波数帯域		
最大加速度 (10t 搭載時)	水平	$1.6 \times 9.8 \text{ m/s}^2$
	鉛直	$1.2 \times 9.8 \text{ m/s}^2$

表 1-2 高圧代替注水系タービンポンプの主な仕様の比較

仕様		試験体	実機
外形寸法		1430 mm (長さ)	1394 mm (長さ)
		940 mm (幅)	850 mm (幅)
		1285 mm (高さ)	1251.5 mm (高さ)
質量		3740 kg (公称値)	3150 kg (公称値)
ポンプ	種類	ターボ形	同左
	容量	136 m ³ /h	90.8 m ³ /h
原動機	種類	背圧式蒸気タービン	同左
	出力	554 kW	534 kW

2. 振動特性把握試験

2.1 試験方法

ポンプに 3 軸加速度計を取付け、加振波として までの範囲でランダム波を使用した各軸単独加振を実施し、3 軸それぞれについて応答加速度から周波数応答関数を得て、固有周期について求める。計測センサー取付位置を図 2-1、図 2-2 に示す。



図 2-1 計測センサー取付位置 (その 1)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

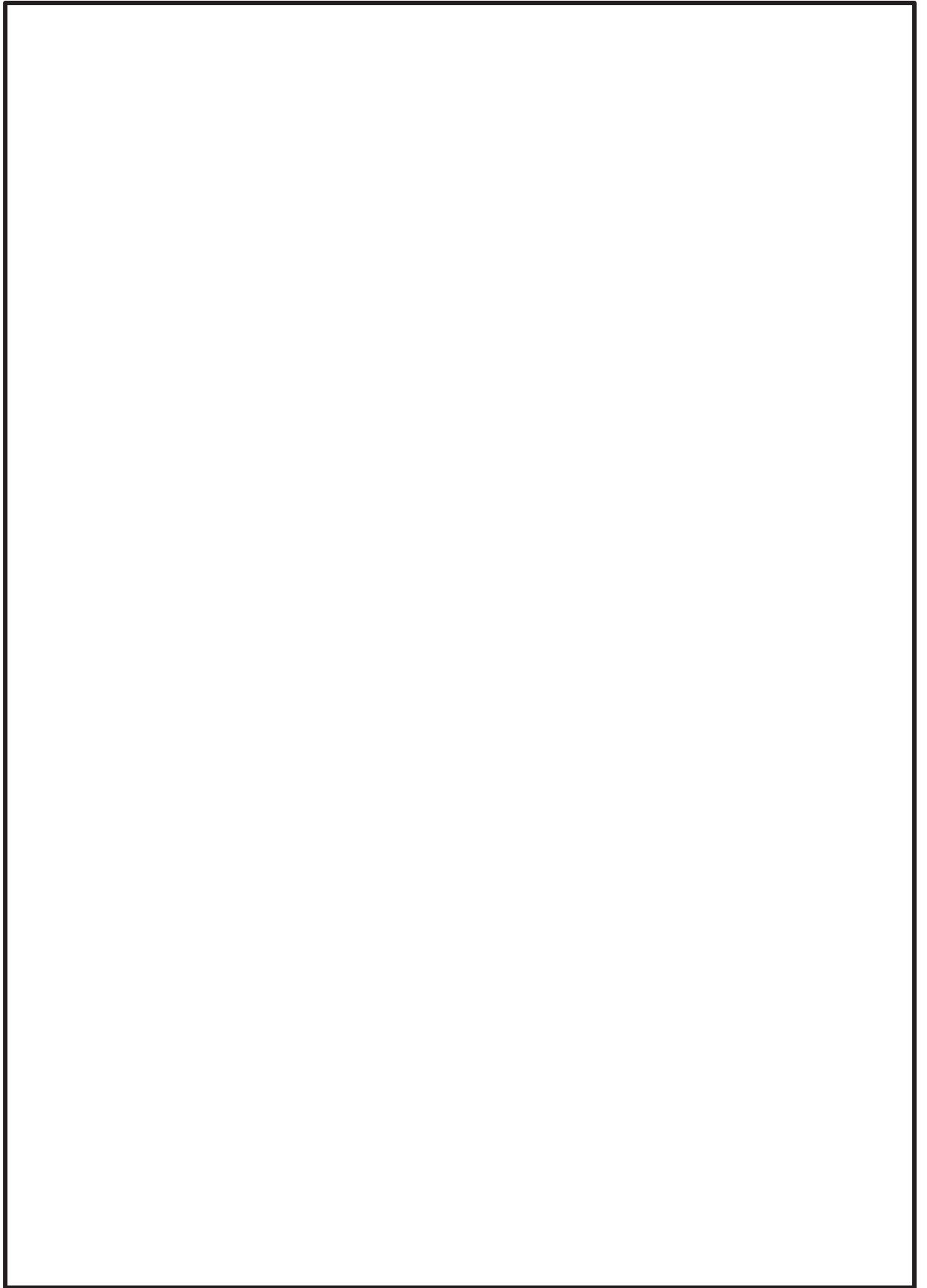
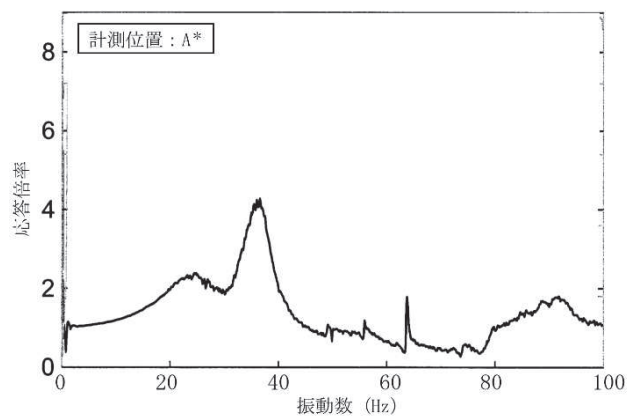


図 2-2 計測センサー取付位置（その 2）

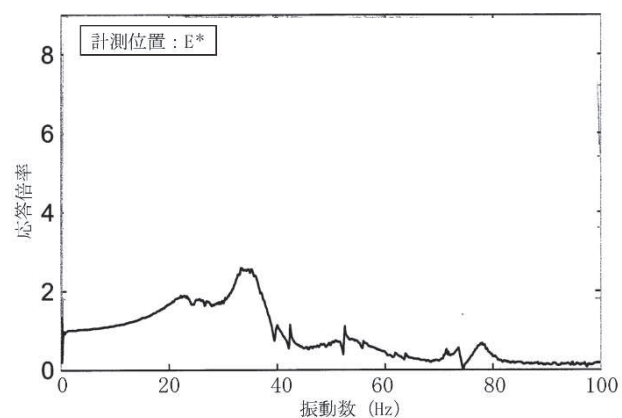
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 試験結果

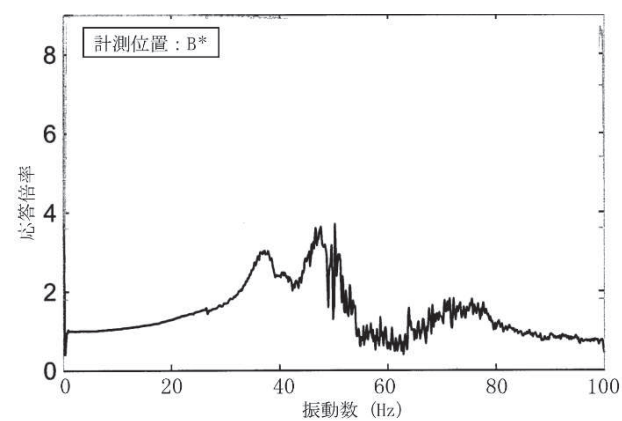
試験により得られた周波数応答関数を図 2-3 に、各軸方向の固有周期を表 2-1 に示す。各軸方向について剛構造と見なせる固有周期 0.05 秒を十分に下回る結果が得られた。



a. 水平 X 方向



b. 水平 Y 方向



c. 鉛直 Z 方向

注記* : 各計測位置のうち、応答が卓越しているものを代表で記載。

図 2-3 周波数応答関数

表 2-1 各軸方向での固有周期

方向	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
X	0.028	
Y	0.029	
Z	0.027	

3. 加振試験

3.1 試験方法

「2.2 試験結果」で示しているように、機器の固有周期は 0.05 秒を下回っており、剛構造と見なせることから、機器据付位置における床応答加速度 (1.0ZPA) を上回るような加振波を生成し、加振試験を実施する。加振波は水平 (前後) + 水平 (左右) + 鉛直方向を加振方向として、次のように生成される。

- ・機器据付位置における設計用床応答曲線と等価な試験用床応答曲線を設定し、ランダム波を作成する。
- ・作成されたランダム波を入力とした加振台の時刻歴加速度波形から床応答曲線に変換し、試験用床応答曲線と比較する。
- ・ここで加振台での床応答曲線が試験用床応答曲線を満足する場合、これを最終的な入力加振波とする。満足していない場合、ランダム波を補正し、再度確認するプロセスを繰り返して試験用床応答曲線を満足する入力加振波を作成する。

加振試験における試験条件を表 3-1 に、加振波を図 3-1 に示す。

表 3-1 加振試験条件

項目	試験条件
加振地震波	ランダム波
加振方向	水平 2 方向 + 鉛直方向の 3 軸同時加振試験
運転状態	停止中加振 (満水状態)
取付状態	振動台上に設置された台板にボルトにて取り付け
試験回数	1 回

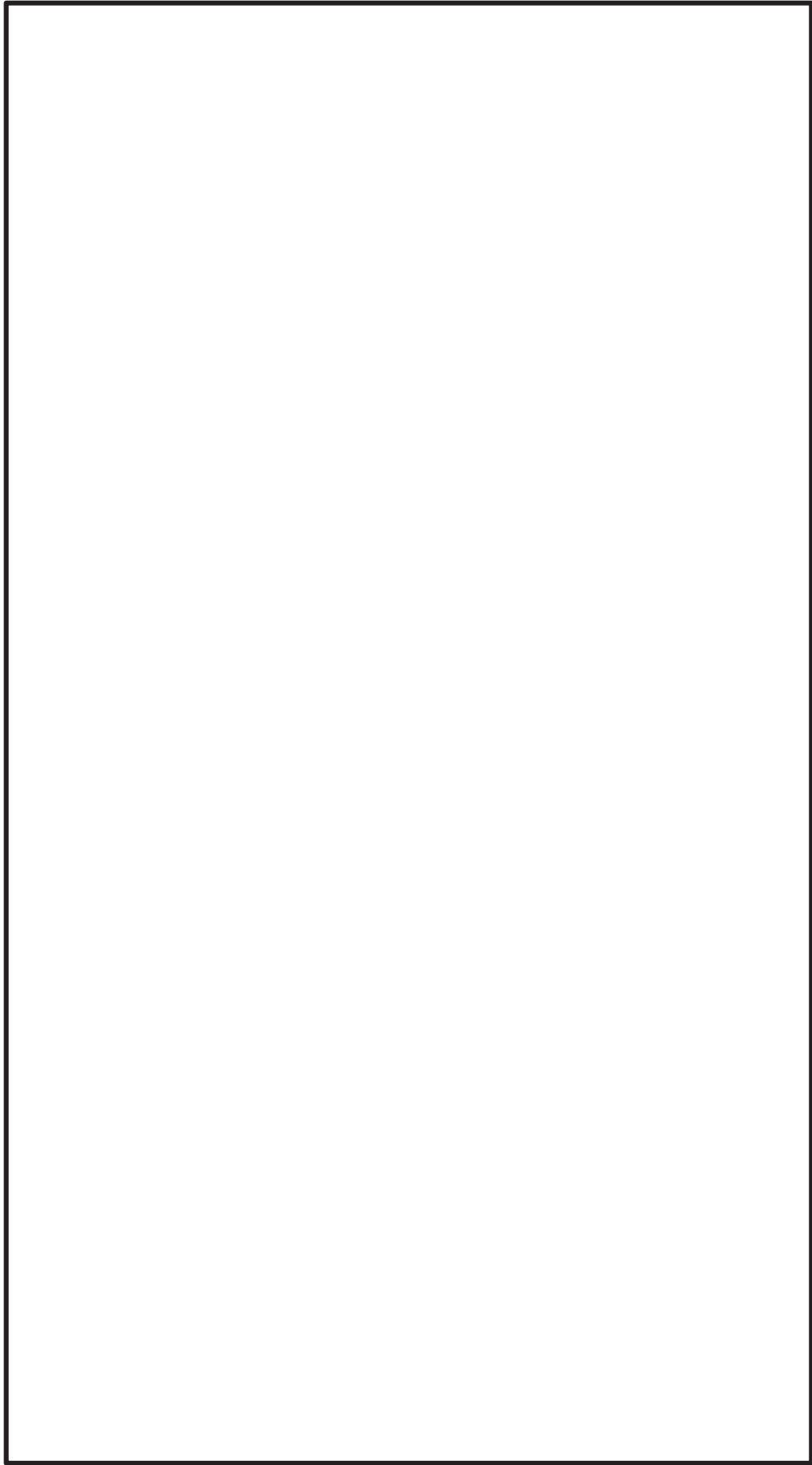


図 3-1 加振試験に用いた加振波（振動台上での計測データ）の加速度時刻歴波形

3.2 試験結果

加振中及び加振後に、以下の項目について確認し、異常のないことをもって、本試験における加振台での最大加速度を整数位で切り捨てた値を機能確認済加速度とした。

図 3-2 に設計用床応答曲線及び加振台床応答曲線を示す。なお、振動台の影響により 50Hz 近傍にピークが生じている。

また、加振試験前後の動作試験結果を図 3-3 に示す。

- (1) 加振台への時刻歴入力 of 最大加速度が機器据付位置における機能維持評価用加速度以上であること。(表 3-2 参照)
- (2) 漏えいのないこと。
- (3) 構造上損傷のないこと。
- (4) 加振中にガバナが 以上変位しないこと。
- (5) トリップ装置が誤作動しないこと。
- (6) 加振試験前後に動作試験を実施し、機器の健全性及び動作に異常のないこと。
 - a. 高圧及び低圧時における定格流量点で設計揚程の の範囲にあること。
 - b. 高圧時による性能試験で、必要揚程を下回らないこと。
 - c. 高圧時による性能試験で、設定締切揚程を上回らないこと。
 - d. 正常にトリップ機能が動作すること。
 - e. 漏えいのないこと。
- (7) 加振試験後に機器毎の部品に分解し、外観の目視点検により損傷のないこと。

表 3-2 機能維持評価用加速度と試験時の時刻歴最大加速度との比較

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

方向	機能維持 評価用加速度	機能確認済加速度	加振台加振試験時 最大加速度
X	1.13	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Y	1.13	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z	0.75	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3.3 まとめ

加振試験で水平方向は $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、鉛直方向は $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ まで問題ないことを確認した。また、加振試験後の点検で損傷が無いこと及び性能試験において機器の健全性及び動作性に異常が無いこと(図 3-3 参照)を確認し、高圧代替注水系タービンポンプの動的機能が維持されることを確認した。

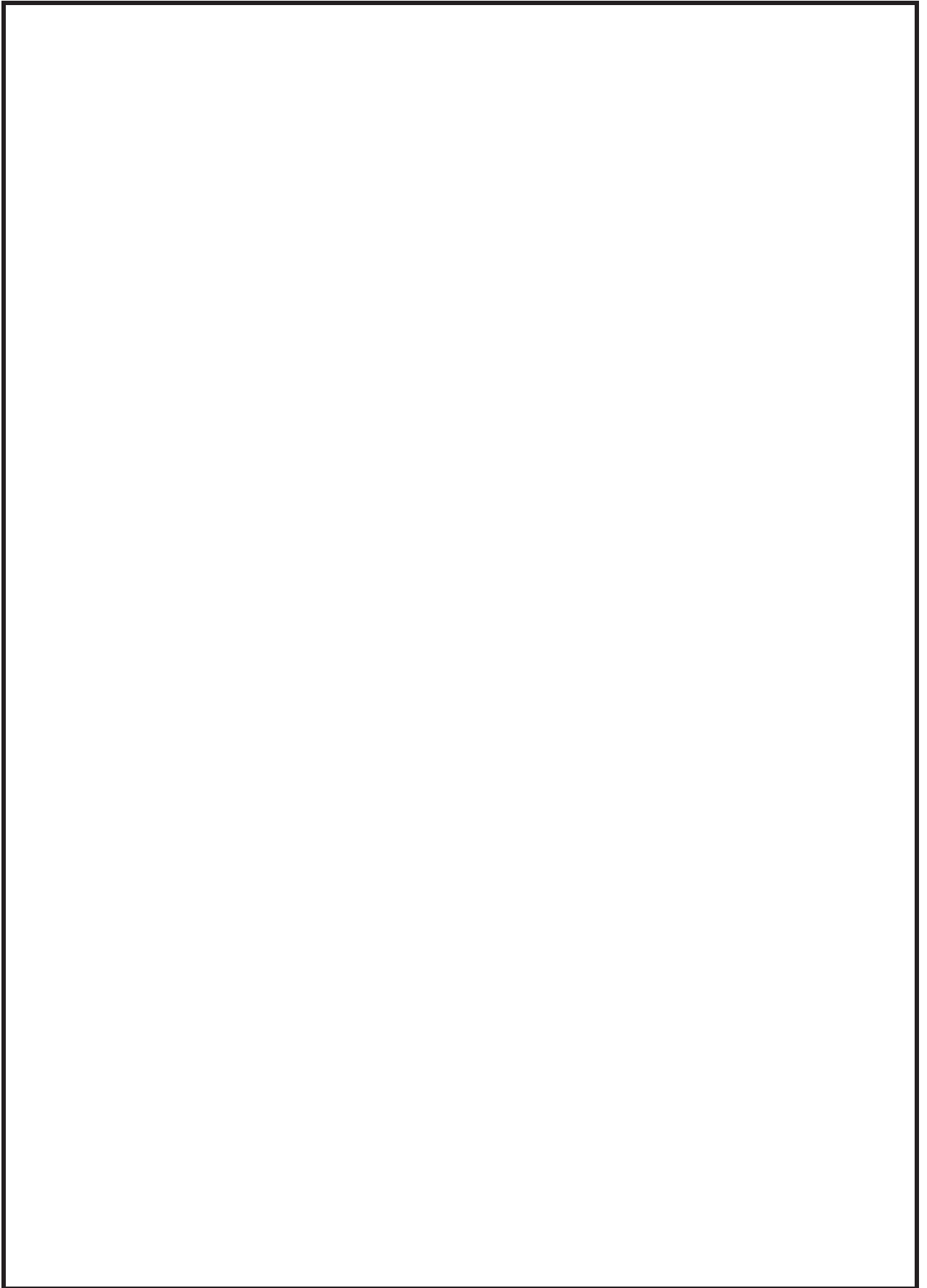


図 3-2 設計用床応答曲線と加振台床応答曲線との比較

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

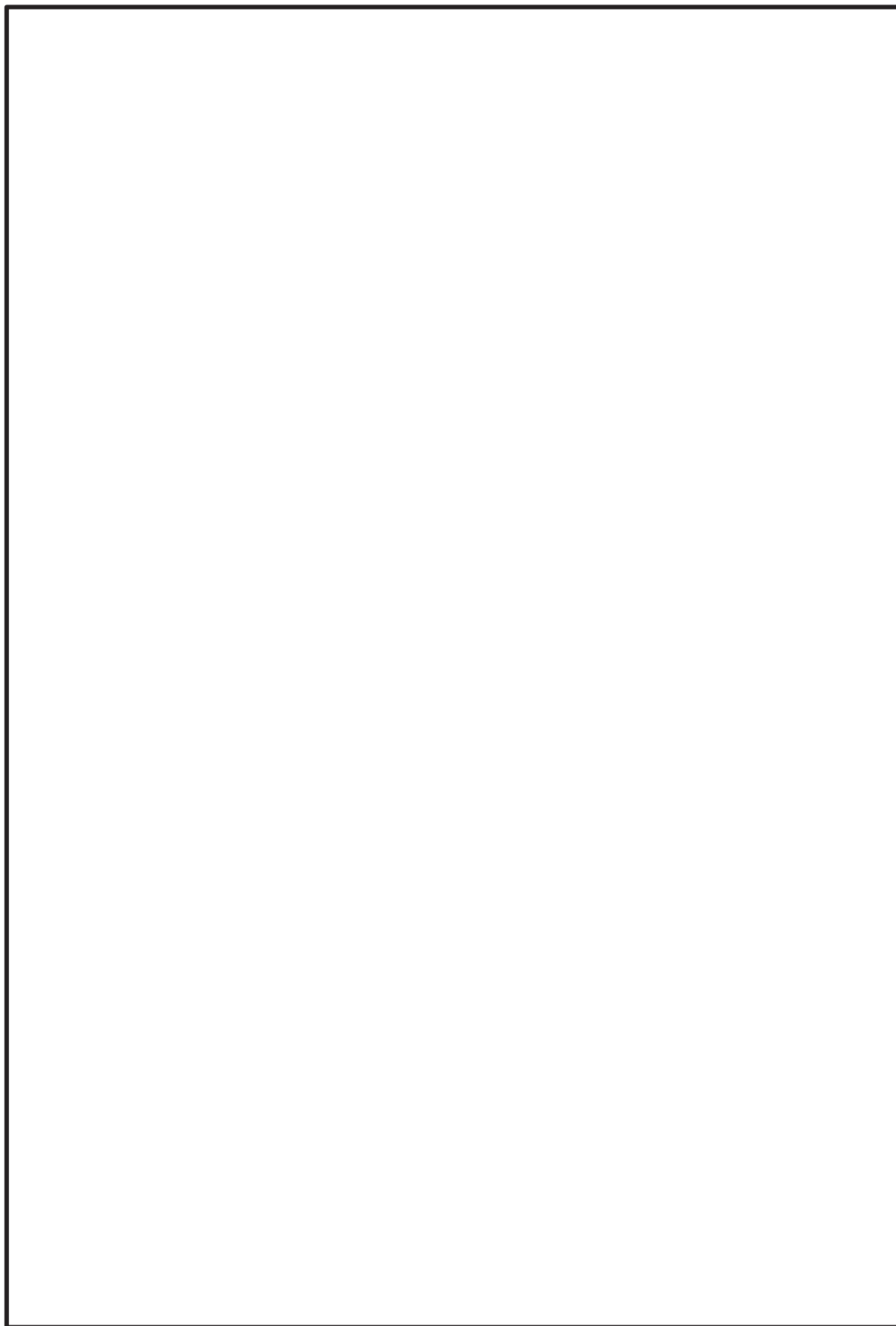


図 3-3(1) 加振試験前の動作試験結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

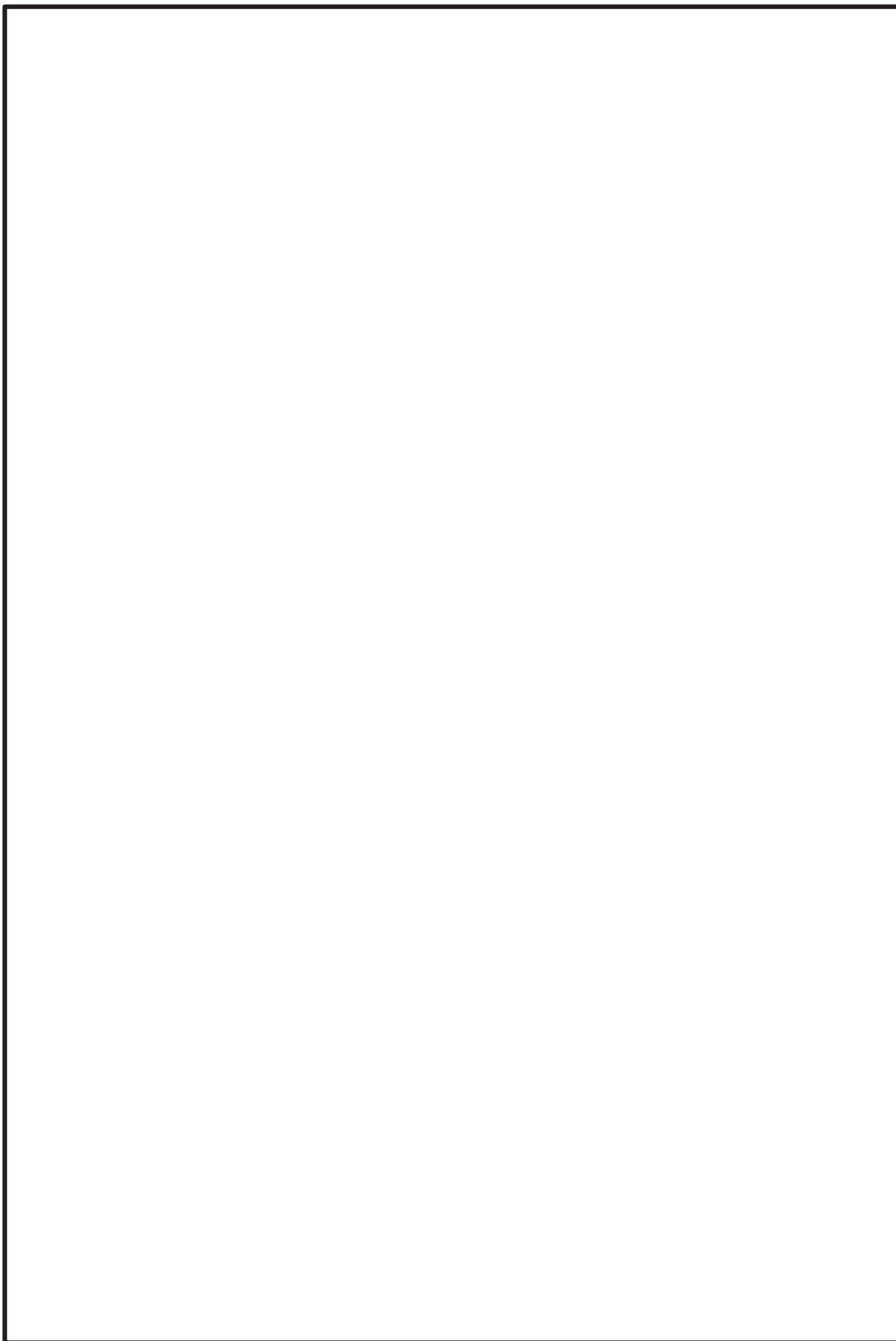


図3-3(2) 加振試験後の動作試験結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-23_改8

補足-600-23 可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書に関する補足説明資料

目次

1.	概要	補 1-1
1.1	可搬型重大事故等対処設備の評価対象設備について	補 1-1
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	補 2-1
2.1	概要	補 2-1
2.2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等	補 2-2
2.3	保管エリア等における入力地震動の算定	補 2-4
2.4	地震応答 FRS の算定	補 2-38
2.5	設計用 FRS の作成	補 2-38
2.6	加振台の FRS の妥当性確認	補 2-41
3.	車両型設備の耐震評価について	補 3-1
3.1	車両型設備の固縛装置について	補 3-1
3.2	評価手順	補 3-2
3.3	評価条件	補 3-4
3.4	加振試験	補 3-7
3.5	構造強度評価	補 3-14
3.6	機能維持評価	補 3-26
3.7	波及的影響評価	補 3-29
3.8	保守性及び不確実さの全体的な釣り合いについて	補 3-34
4.	地震時に固縛装置を展張させないための余長の設定方法について	補 4-1
4.1	概要	補 4-1
4.2	余長の定義	補 4-1
4.3	余長の設定	補 4-2
5.	車両型設備とアンカープレートとの位置関係について	補 5-1
5.1	概要	補 5-1
5.2	車両型設備とアンカープレートとの位置関係	補 5-1
6.	地震波の継続時間の差が車両型設備の耐震評価に与える影響について	補 6-1
6.1	概要	補 6-1
6.2	車両型設備の耐震評価	補 6-1
6.3	結論	補 6-4
7.	車両型設備の仕様について	補 7-1
8.	加振試験における車両型設備の傾き角の計測方法について	補 8-1
8.1	概要	補 8-1
8.2	計測方法	補 8-1

9. 設計用 FRS に対する車両型設備の加振試験における加振波 FRS の裕度について……	補 9-1
9.1 概要……	補 9-1
9.2 裕度の整理結果……	補 9-1
10. その他設備の耐震評価について……	補 10-1
10.1 その他設備の加振試験について……	補 10-1
10.2 加振試験後の機能維持確認について……	補 10-13

別紙 1 車両型設備の固有振動数の測定結果

別紙 2 車両型設備の減衰定数の測定結果

別紙 3 保管エリア等における地盤の振動特性について

別紙 4 淡水貯水槽の地震応答解析結果及び健全性の確認結果

1. 概要

本補足説明資料は、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」の「別添 2 可搬型重大事故等対処設備の設計方針」にて設定する耐震設計上の重大事故等対処施設に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 による地震力において必要な機能を損なわないことを確認するための耐震計算方法について説明する添付書類「VI-2 耐震性に関する説明書」の「別添 3 可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書」について補足するものである。

1.1 可搬型重大事故等対処設備の評価対象設備について

可搬型重大事故等対処設備は、地震に対して、地震時の転倒やすべりによる悪影響防止及び地震後の機能維持を図れるよう、必要に応じて地震に対する転倒防止、固縛等の措置を講じる設計としている。

このため、可搬型重大事故等対処設備のうち、転倒により必要な機能を喪失する恐れがあるものに対して、転倒評価を行うとともに機能維持評価を行う。

なお、ホース等の耐震計算書に記載していない設備に関しては、地震により転倒しても損傷の恐れはないが、適切に転倒防止、固縛等の措置を講じることにより、悪影響防止を図る。ホース等の耐震計算書に記載していない設備の評価結果について表 1-1 に示す。

表 1-1 耐震計算書に記載していない設備の評価結果 (1/5)

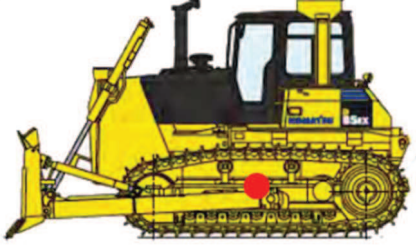
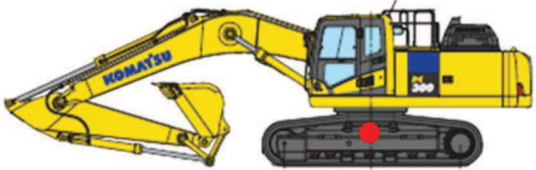
設備名称	地震により機能喪失しない理由	補足説明図
ブルドーザ	<p>本設備は、一般車両と比較して重心が十分に低いことから、地震により転倒する恐れはない。また整備されていない地面での使用を想定して設計された設備であり、もともと衝撃に強い構造であることから、地震により機能喪失する恐れはない。</p>	 <p style="text-align: right;">● : 重心位置</p>
バックホウ	<p>本設備は、一般車両と比較して重心が十分に低く、ブーム・アームを下げた状態で保管することから、地震により転倒する恐れはない。また整備されていない地面での使用を想定して設計された設備であり、もともと衝撃に強い構造であることから、地震により機能喪失する恐れはない。</p>	 <p style="text-align: right;">● : 重心位置</p>

表 1-1 耐震計算書に記載しない設備の評価結果 (2/5)



設備名称	地震により機能喪失しない理由	補足説明図
スプレイノズル	<p>保管時は、安定した床面に保管する。</p> <p>本設備は、単純な構造であり、仮に転倒したとしても必要な機能を喪失することはない。</p>	
放水砲	<p>保管時は、車輪を輪留めで固定し保管する。</p> <p>本設備は、重心が低いため、構造的に転倒する恐れはない。また、ステンレス製の配管を鉄製の土台に取り付けた頑丈かつ簡易な構造であり、回転体や動力も有しないことから、地震により放水に必要な機能を喪失することはない。</p>	

表 1-1 耐震計算書に記載しない設備の評価結果 (3/5)

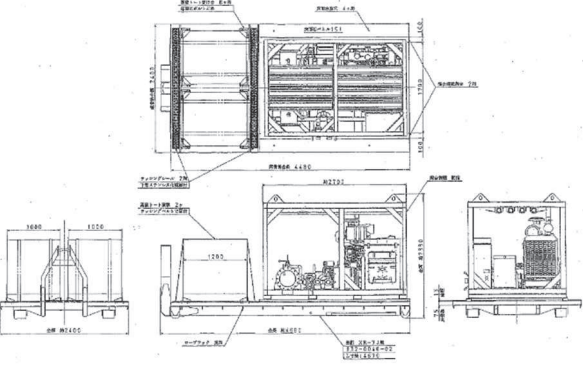
設備名称	地震により機能喪失しない理由	補足説明図
<p>泡消火薬剤混合装置</p>	<p>航空機燃料火災時に使用するものであり、地震後に使用する設備ではない。</p>	

表 1-1 耐震計算書に記載しない設備の評価結果 (4/5)

設備名称	地震により機能喪失しない理由	補足説明図
<p>シルトフェンス</p>	<p>保管時は、専用のコンテナ内に収納して保管する。本設備は、仮に転倒したとしても動力を有しない単純構造であり、さらに強靱なコンテナに収納されていることから、必要な機能を喪失することは無い。</p>	<div data-bbox="1503 363 1899 660" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1644 692 1765 719">コンテナ</p> <div data-bbox="1417 743 1989 922" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1518 959 1868 986">シルトフェンス (展張前)</p> <div data-bbox="1503 1010 1928 1316" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1518 1331 1868 1358">シルトフェンス (展張後)</p>

補 1-5

表 1-1 耐震計算書に記載しない設備の評価結果 (5/5)

設備名称	地震により機能喪失しない理由	補足説明図
<p>ホース, 管等</p> <p>取水用ホース (250A : 5m, 10m, 20m)</p> <p>送水用ホース (300A : 2m, 5m, 10m, 20m, 50m)</p> <p>送水用ホース (150A : 1m, 2m, 5m, 10m, 20m)</p> <p>スプレイ用ホース (65A : 20m)</p> <p>送水用ホース (65A : 20m)</p> <p>窒素供給用ホース (50A : 5m)</p> <p>耐熱ホース (300A : 2m, 5m, 10m)</p> <p>耐熱ホース (201A : 5m, 10m)</p> <p>代替高圧窒素ガス供給用フレキシブルホース (Φ32.9 : 6m, 8m)</p> <p>軽油払出用ホース (外径 63mm : 2m)</p> <p>給油用ホース (20A : 7m)</p> <p>給油用ホース (φ25 : 50m)</p> <p>恒設配管取合接続管</p> <p>除熱用ヘッド</p> <p>窒素供給用ヘッド</p> <p>可搬型窒素ガス供給装置接続管</p> <p>注水用ヘッド</p> <p>可搬型ストレーナ</p> <p>連結管</p>	<p>転倒により損傷するようなものではなく, 地震による転倒に対し, 機能喪失しない。</p>	<div data-bbox="1458 389 1951 810" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1413 858 1995 943">例. 燃料プール代替注水系主配管 (送水用ホース) (展張前)</p> <div data-bbox="1458 986 1951 1299" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1413 1342 1995 1426">例. 燃料プール代替注水系主配管 (送水用ホース) (展張後)</p>

耐震評価に当たっては、転倒により必要な機能を喪失するおそれがある設備に対して転倒評価を実施する。

また、設備ごとの要求機能を整理し、性能目標に応じた耐震評価（構造強度評価、機能維持評価及び波及的影響評価）を行う。

構造強度評価については、性能目標に応じて評価部位を選定して強度評価を行う。

また、機能維持評価については、性能目標に応じて動的及び電氣的機能維持評価並びに支持機能及び移動機能維持機能評価を行う。

波及的影響評価については、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ことを確認する。

なお、車両型設備及びその他設備の耐震評価においては、大容量送水ポンプ（タイプⅠ）等の大型構造物を搭載可能な能力を有した国立研究開発法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センターの3次元振動台、国立研究開発法人 土木研究所 つくば中央研究所の加振台、清水建設株式会社 技術研究所の加振台及びIMV株式会社 大阪テストラボ並びに上野原高度試験センターの加振台（以下、「加振台」という。）を用いることにより、全ての車両型設備及びその他設備を加振試験にて評価している。加振台の仕様を表1-2に示す。

表 1-2(1) 加振台の仕様

（国立研究開発法人 防災科学研究所 兵庫耐震工学研究センター）

振動台の大きさ		20000mm×15000mm
最大搭載質量		1200t
最大加速度	水平	9m/s ²
	鉛直	15m/s ²
対象車両		大容量送水ポンプ（タイプⅠ） 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

表 1-2(2) 加振台の仕様

(国立研究開発法人 土木研究所 つくば中央研究所)

振動台の大きさ		8000mm×8000mm
最大搭載質量		300t
最大加速度	水平	19.6m/s ²
	鉛直	9.8m/s ²
対象車両		タンクローリ

表 1-2(3) 加振台の仕様

(清水建設株式会社 技術研究所)

振動台の大きさ		7000mm×7000mm
最大搭載質量		70t
最大加速度	水平	26.5m/s ²
	鉛直	36.3m/s ²
対象設備		小型船舶

表 1-2(4) 加振台の仕様

(IMV株式会社 大阪テストラボ)

振動台の大きさ	水平	1520mm×1524mm
	鉛直	1450mm×1450mm
最大搭載質量		1t
最大加速度	水平	1000m/s ²
	鉛直	1000m/s ²
対象設備	緊急時対策所可搬型エリアモニタ 可搬型ダスト・よう素サンプラ γ線サーベイメータ β線サーベイメータ α線サーベイメータ 電離箱サーベイメータ 酸素濃度計（中央制御室用） 酸素濃度計（緊急時対策所用） 二酸化炭素濃度計（中央制御室） 二酸化炭素濃度計（緊急時対策所用） 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 可搬型照明（SA） 可搬型計測器	

表 1-2(5) 加振台の仕様

(IMV株式会社 大阪テストラボ)

振動台の大きさ	水平	1800mm×1800mm
	鉛直	1450mm×1450mm
最大搭載質量		2t
最大加速度	水平	1000m/s ²
	鉛直	1000m/s ²
対象設備		可搬型モニタリングポスト

表 1-2(6) 加振台の仕様

(IMV株式会社 上野原高度試験センター)

振動台の大きさ	水平	1520mm×1524mm
	鉛直	1450mm×1450mm
最大搭載質量		2t
最大加速度	水平	1000m/s ²
	鉛直	1000m/s ²
対象設備		主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池

表 1-2(7) 加振台の仕様

(IMV株式会社 上野原高度試験センター)

振動台の大きさ	水平	1000mm×1000mm	1520mm×1524mm
	鉛直	1219mm×1219mm	1219mm×1219mm
最大搭載質量		1t	2t
最大加速度	水平	857m/s ²	1000m/s ²
	鉛直	857m/s ²	1000m/s ²
対象設備		代替気象観測設備	

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

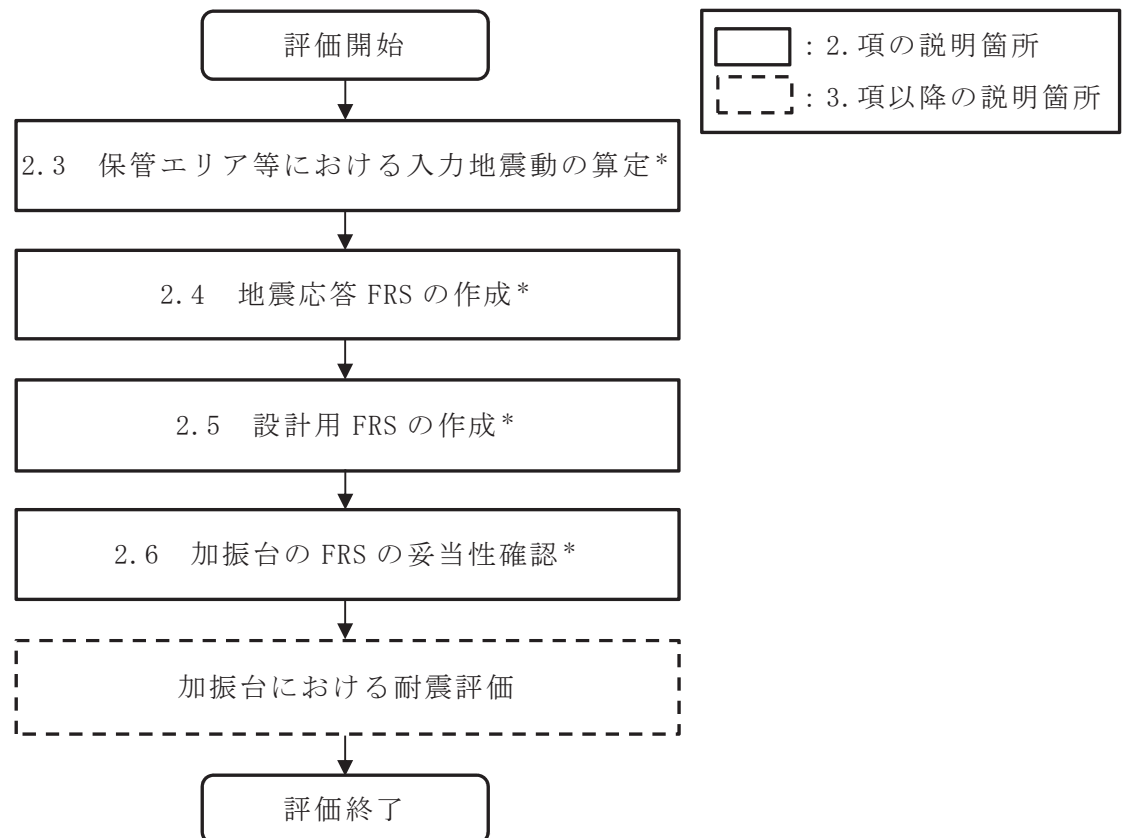
2.1 概要

可搬型重大事故等対処設備の加振試験による耐震評価フローを図 2-1 に示す。

ここでは、加振試験における加振台の床応答曲線（以下「FRS」という。）の妥当性を確認するために、可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における地表面の入力地震動（以下「保管エリア等における入力地震動」という。）の算定、加速度応答スペクトル（以下「地震応答 FRS」という。）及び設計用 FRS^{*1}の作成並びに加振台の FRS の妥当性について示す。

なお、原子炉建屋、制御建屋における入力地震動の算定については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す。

*1：設計用 FRS については「2.5 設計用 FRS の作成」に示すとおり。



注記*：フロー中の番号は本資料での記載箇所

図 2-1 可搬型重大事故等対処設備の加振試験による耐震評価フロー

2.2 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図を図 2-2 に示す。

- ①：第 1 保管エリア
- ②：第 2 保管エリア
- ③：第 3 保管エリア
- ④：第 4 保管エリア
- ⑤：緊急時対策建屋北側

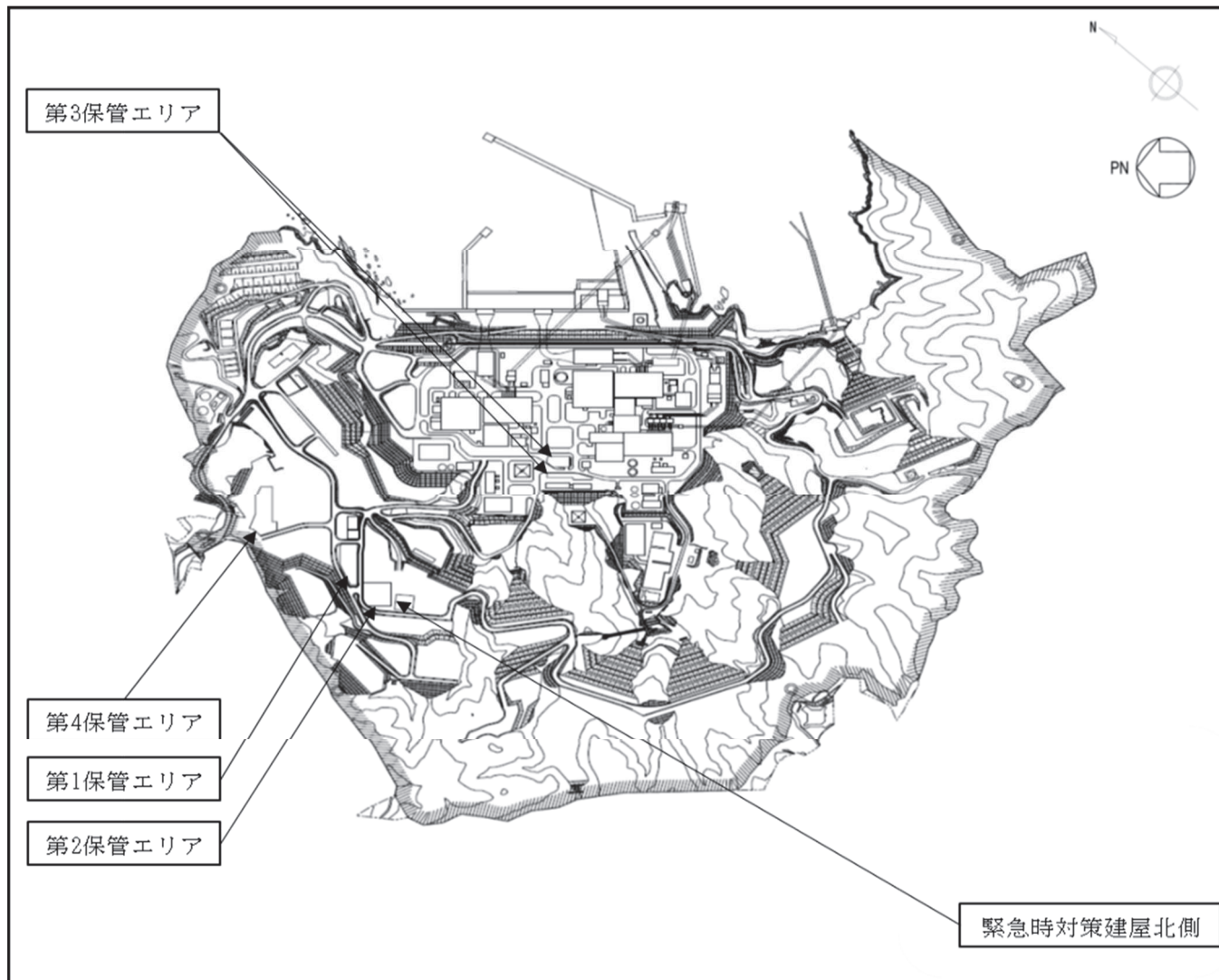


図 2-2 可搬型重大事故等対処設備保管エリア等の位置

2.3 保管エリア等における入力地震動の算定

2.3.1 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。

保管エリア等における入力地震動の算定フローを図 2.3.1-1 に示す。

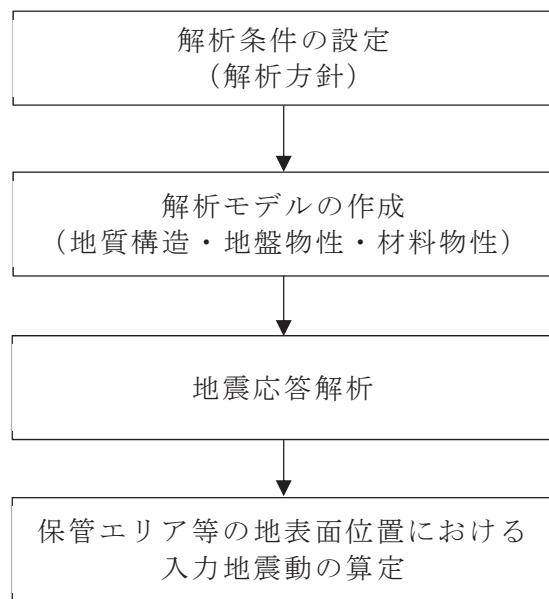


図 2.3.1-1 保管エリア等における入力地震動の算定フロー図

2.3.2 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 2.3.2-1～表 2.3.2-4 に、地盤の解析用物性値の設定根拠を表 2.3.2-5～表 2.3.2-8 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。保管エリア等の位置及び地盤の種別について図 2.3.2-1 に示す。

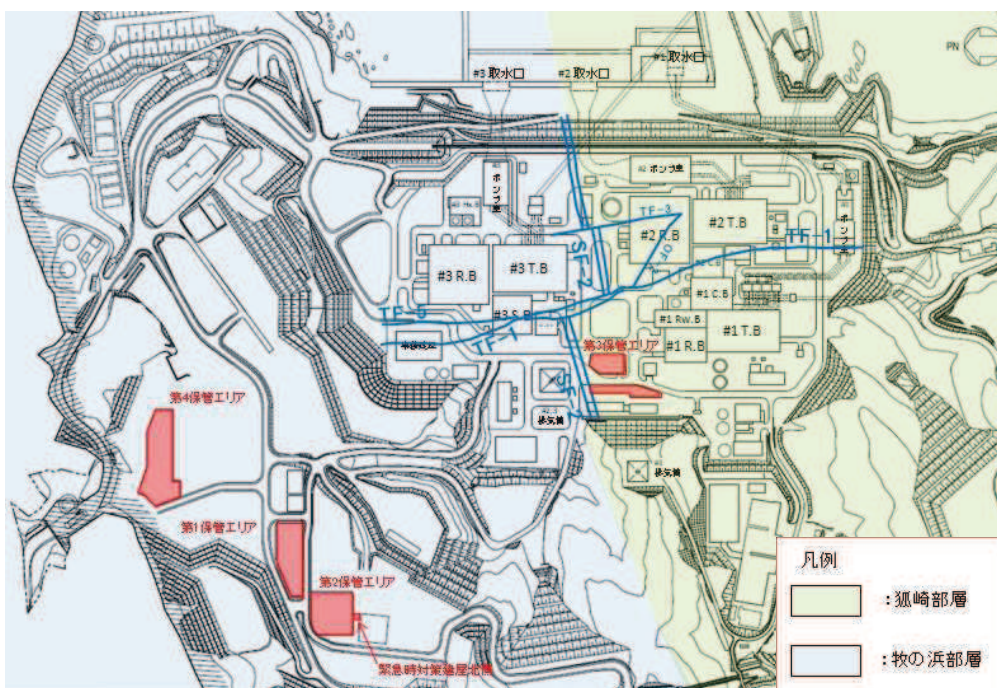


図 2.3.2-1 保管エリア等の位置及び地盤の種別

表 2.3.2-1(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		
			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	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
B級	砂岩	26.4	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.25	表2.3.2-1(2)参照	0.03	
	頁岩	26.9	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.28		0.03	
	ひん岩	28.7	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.31		0.03	
C _H 級	砂岩	26.2	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.24		0.03	
	頁岩	26.6	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.25		0.03	
	ひん岩	28.0	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.29		0.03	
C _M 級	砂岩	25.2	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26		0.03	
	頁岩	25.8	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.20		0.03	
	ひん岩	25.2	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26		0.03	
C _L 級	砂岩	24.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31		0.03	
	頁岩	24.1	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	400	0.31		0.03	
	ひん岩	24.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31		0.03	
D級	砂岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	
	頁岩	20.2	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38			
	ひん岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38			

表 2.3.2-1(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 2.3.2-1(1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.44	

表 2.3.2-2(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)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			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	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
B級	砂岩	26.4	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表2.3.2-2(2)参照	0.03	
	頁岩	27.1	1.25	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	3,700	0.23		0.03	
	ひん岩	27.9	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	2,800	0.18		0.03	
C _H 級	砂岩	26.2	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03	
	頁岩	27.1	1.25	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	1,900	0.22		0.03	
	ひん岩	27.9	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.18		0.03	
C _M 級	砂岩	25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
	頁岩	25.4	0.76	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	1,500	0.21		0.03	
	ひん岩	25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
C _L 級	砂岩	23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
	頁岩	23.1	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	180	0.26		0.03	
	ひん岩	23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
D級	砂岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	
	頁岩	20.2	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38			
	ひん岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38			

表 2.3.2-2(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
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 2.3.2-2(1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.45	

表 2.3.2-3 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)	静的・動的特性				静的特性		動的特性		
		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)	静弾性係数 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	減衰定数 h
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	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	—				28,000	0.2	11,667	0.2	0.05
置換コンクリート	22.5									

注記* : 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

$$G_0 = E_s / 2(1 + \nu_s), G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m), \gamma_m = \tau_t / G_0$$

表 2.3.2-4 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 2.3.2-5 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・動的特性		静的特性	動的特性
B級 及び C _H 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*		PS検層
	頁岩			岩盤変形試験*		
	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		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		
	頁岩		換算値			
	ひん岩	砂岩と同じ値		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		繰返し三軸試験
	頁岩	換算値		換算値		砂岩と同じ値
	ひん岩	砂岩と同じ値		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 2.3.2-6 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	換算値	PS 検層
	頁岩				
	ひん岩	C _H 級と同じ値			
C _H 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		換算値	砂岩と同じ値	
	ひん岩		砂岩と同じ値	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		ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	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	
	頁岩		換算値	砂岩と同じ値	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	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	繰返し三軸試験
	頁岩	換算値	換算値	換算値	砂岩と同じ値
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値

表 2.3.2-7 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		
		静的・動的特性	静的特性	動的特性
盛土	現場密度試験	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	繰返し三軸試験
断層及びシーム	密度試験	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	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	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 2.3.2-8 地盤の解析用物性値の設定根拠(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)	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
マンメイドロック (既設) ($f'ck=15.6$ N/mm ²)	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 ($\sigma_t=0.23f'ck^{2/3}$)	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
マンメイドロック (新設) ($f'ck=21.0$ N/mm ²)	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 ($\sigma_t=0.23f'ck^{2/3}$)	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 2.3.2-9 に示す。

表 2.3.2-9 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2.3.2-10に示す。

表2.3.2-10 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。

2.3.3 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は、評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき作成した地質断面図を基に作成する。敷地内で実施したボーリング調査位置及び各保管エリア等の地質断面図位置を図2.3.3-1に、地質断面図及び地質断面図作成にあたり参照したボーリング調査の代表位置を図2.3.3-2～2.3.3-6に示す。なお、代表位置におけるボーリング柱状図は「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示す。

第1, 3, 4保管エリアについては、作成した地質断面図を基に、地表面加速度に影響を及ぼす岩盤、速度層の分布及びマンメイドロック（以下「MMR」という。）に着目し、保管エリアごとに地震応答解析モデルの作成位置を選定する。

第2保管エリア及び緊急時対策建屋北側については、作成した地質断面図を基に地震応答解析モデルを作成する。

地震応答解析モデルの作成位置を図2.3.3-7に、地震応答解析モデルを図2.3.3-8～図2.3.3-12及び表2.3.3-1～表2.3.3-2に示す。

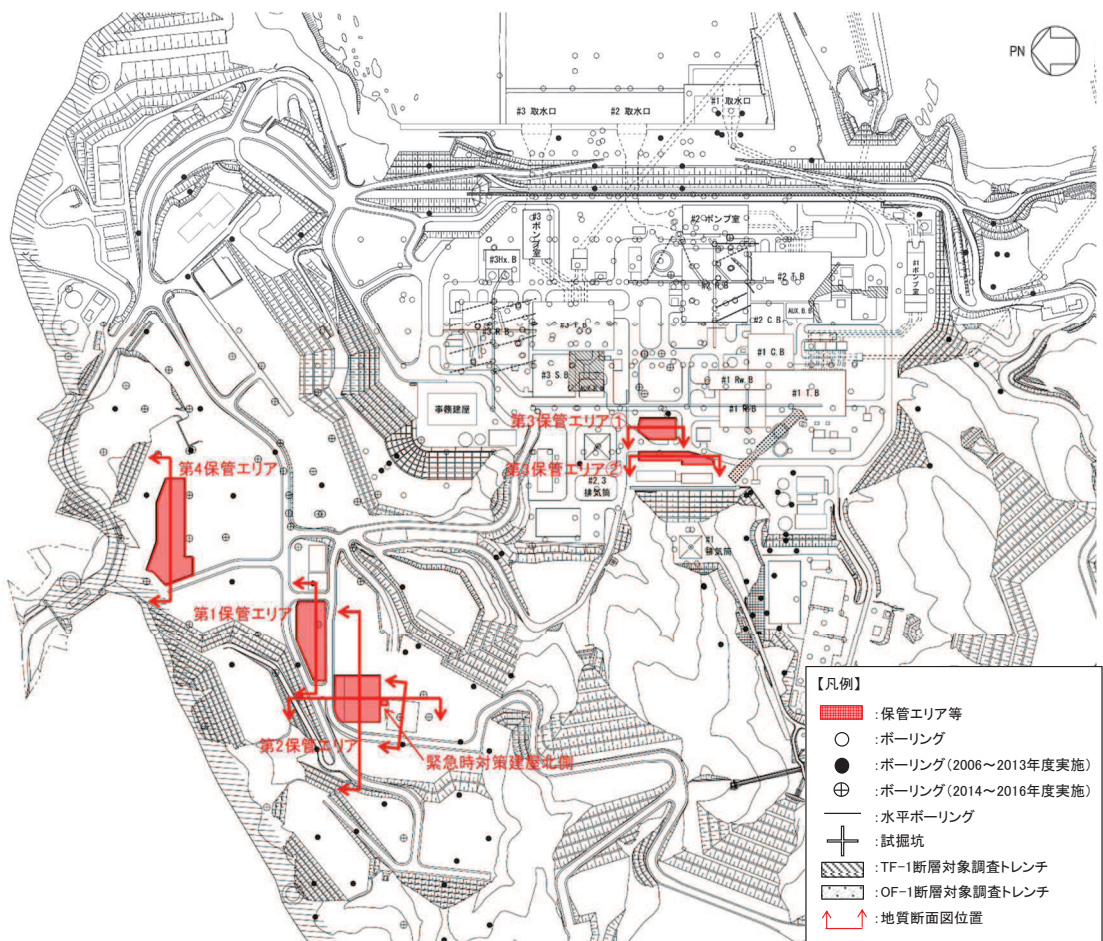


図 2.3.3-1 ボーリング調査位置及び地質断面図位置

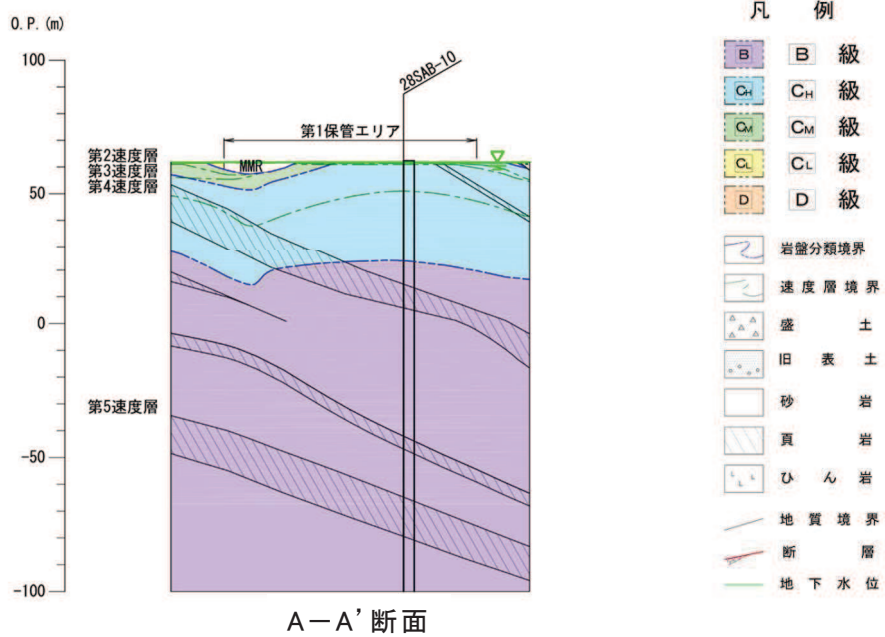
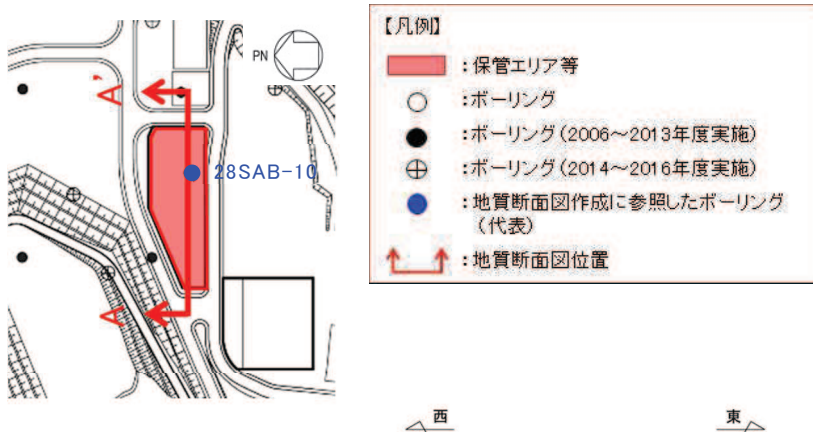


図 2.3.3-2 第1保管エリアの地質断面図

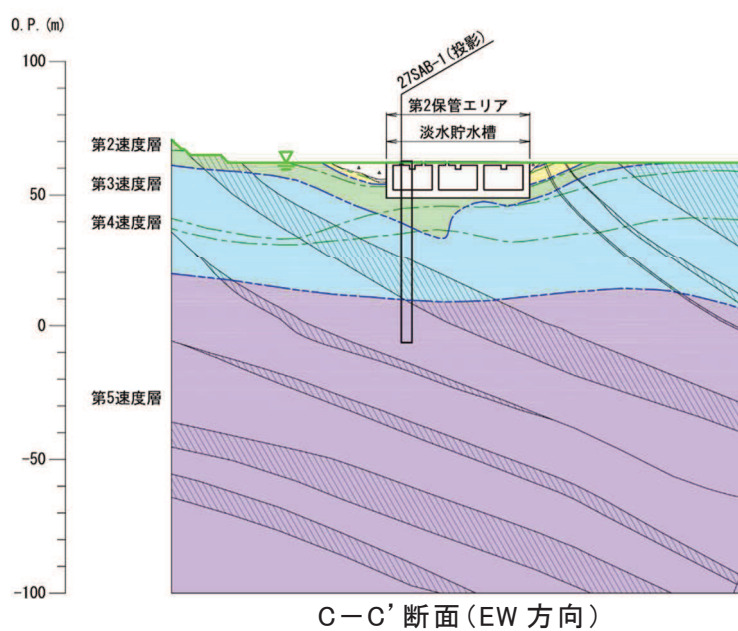
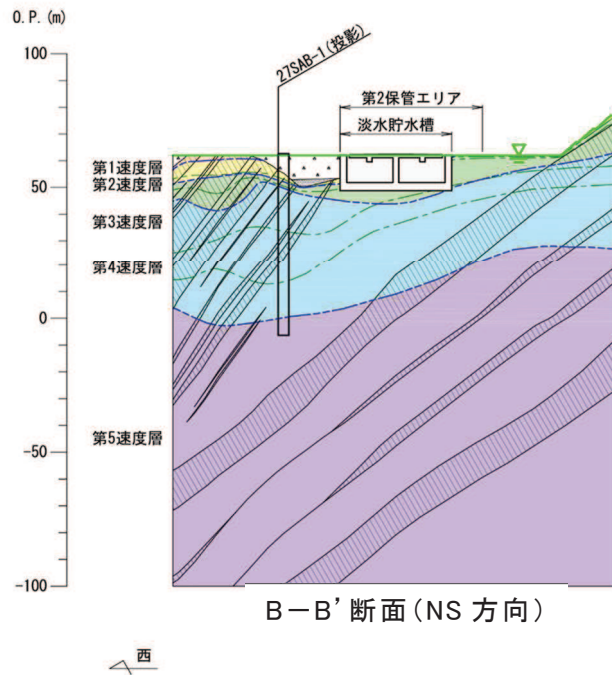
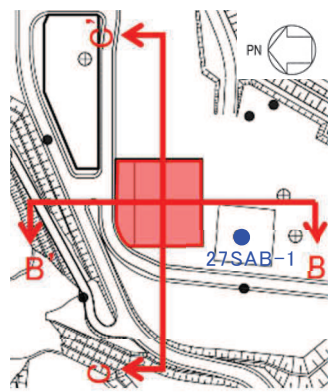
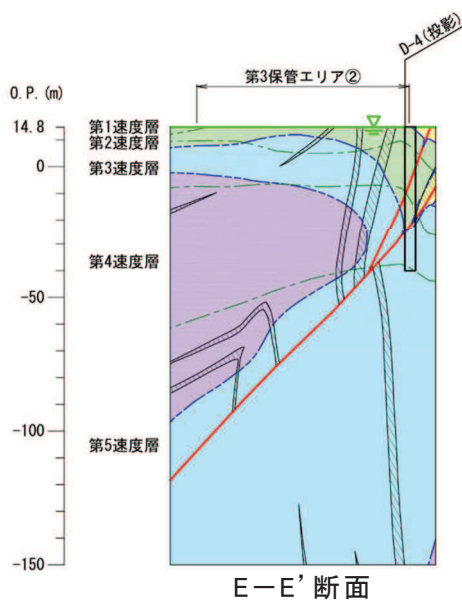
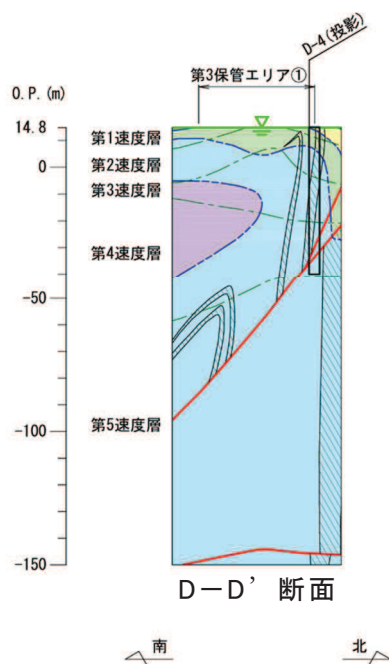
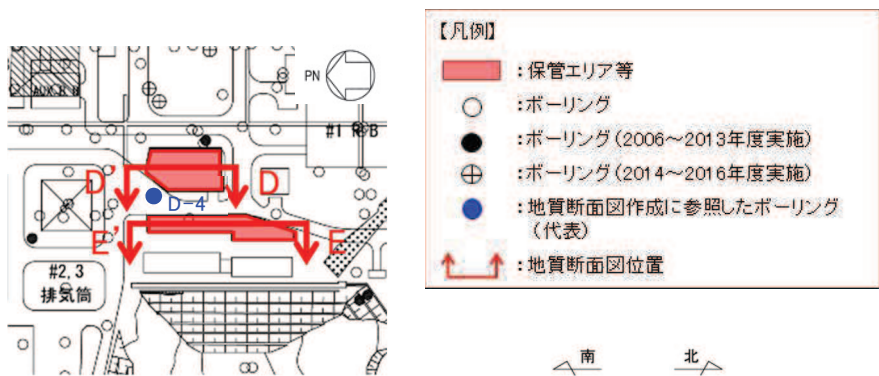


図 2.3.3-3 第 2 保管エリアの地質断面図



凡 例

B	B 級
C _H	C _H 級
C _M	C _M 級
C _L	C _L 級
D	D 級
—	岩盤分類境界
—	速度層境界
△△△	盛 土
○○○	旧 表 土
□	砂 岩
▨	頁 岩
⊔	ひ ん 岩
—	地 質 境 界
—	断 層
—	地 下 水 位

図 2.3.3-4 第 3 保管エリアの地質断面図

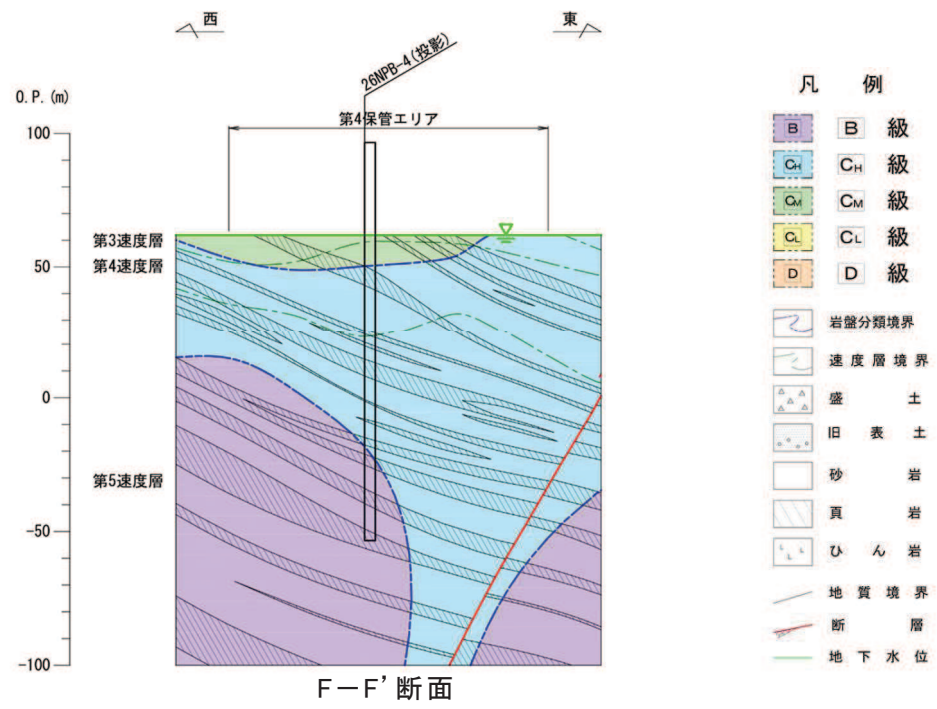
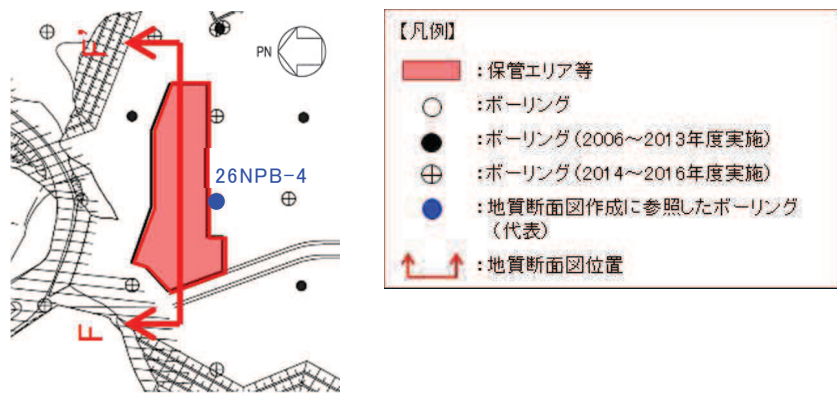


図 2.3.3-5 第4保管エリアの地質断面図

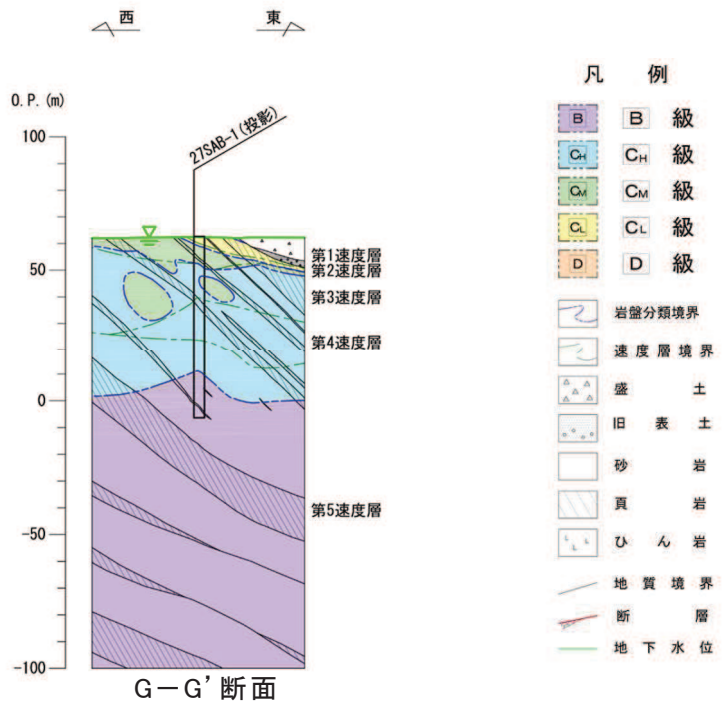
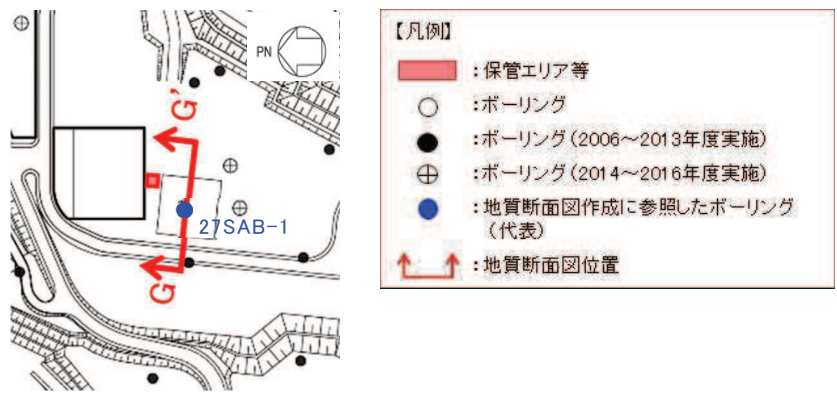


図 2.3.3-6 緊急時対策建屋北側の地質断面図

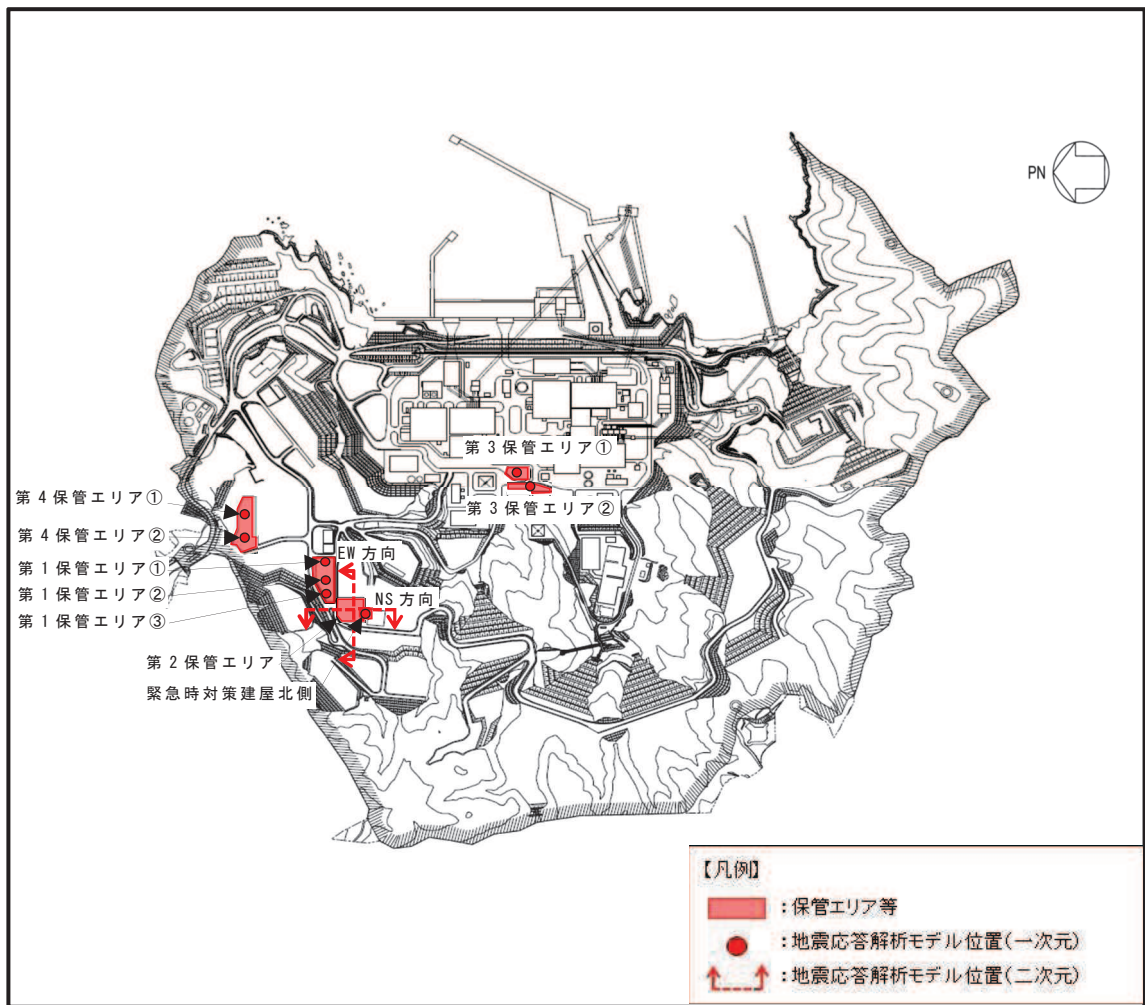
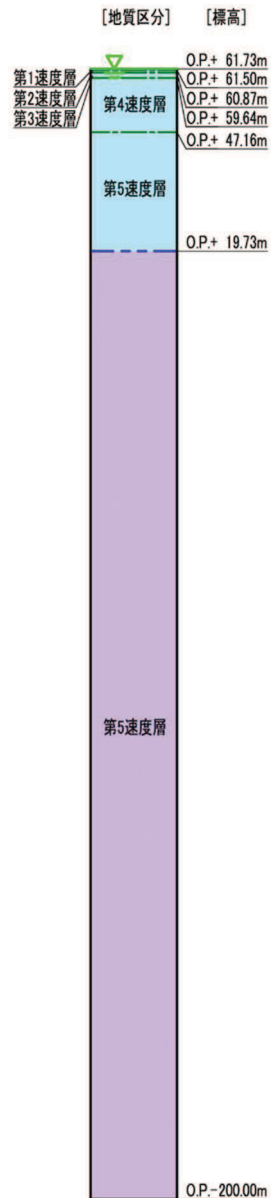
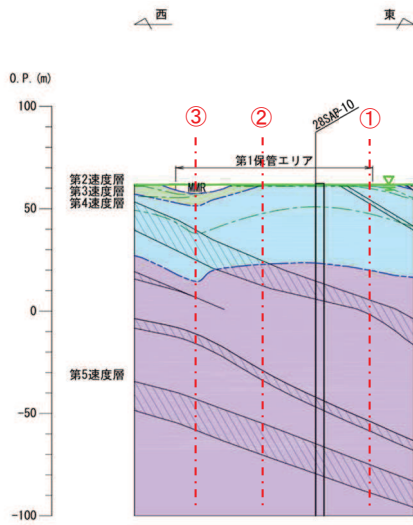


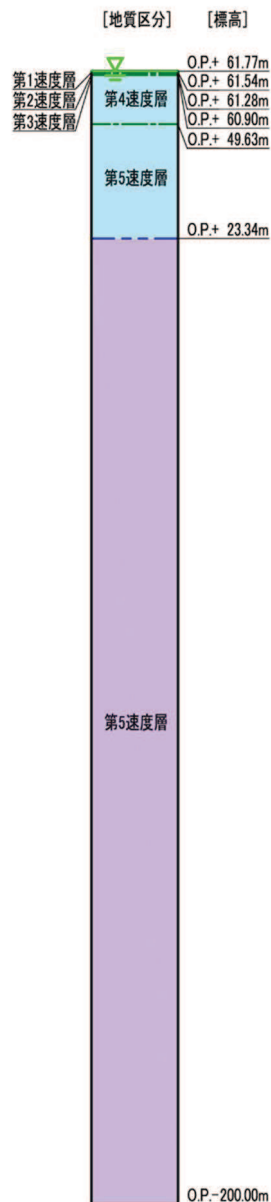
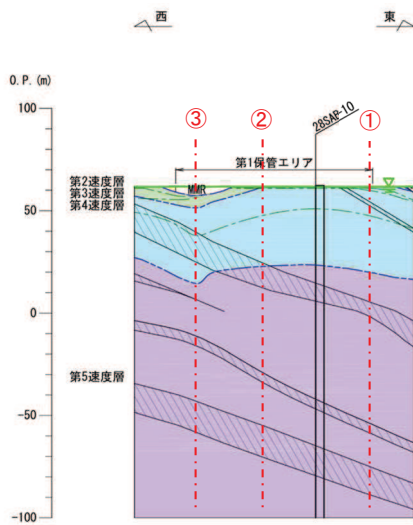
図 2.3.3-7 地震応答解析モデルの作成位置



せん断波速度 Vs(m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	動せん断弾性係数 Gs(N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
274	26.2	0.2×10^3	0.48	0.03
670	26.2	1.2×10^3	0.45	0.03
1326	26.2	4.7×10^3	0.41	0.03
2075	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
2508	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
2498	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03

- 凡例
- 【岩盤分類】
- B 級
 - C_H 級
 - C_M 級
 - C_L 級
 - D 級
- 岩盤分類境界
 速度層境界
 盛土
 旧表土
 マンメイドロック
 地下水位

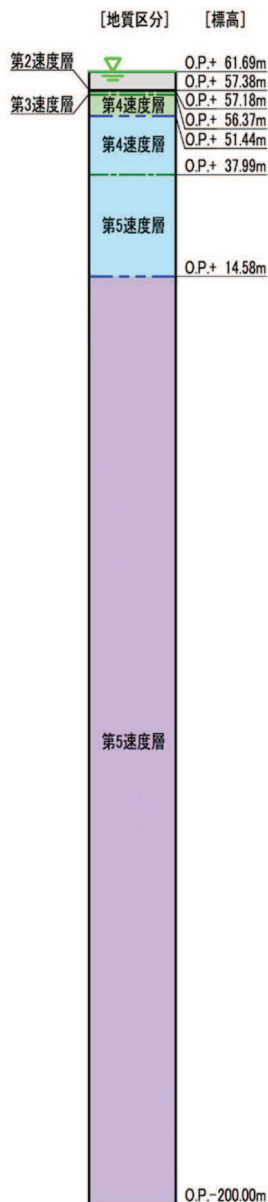
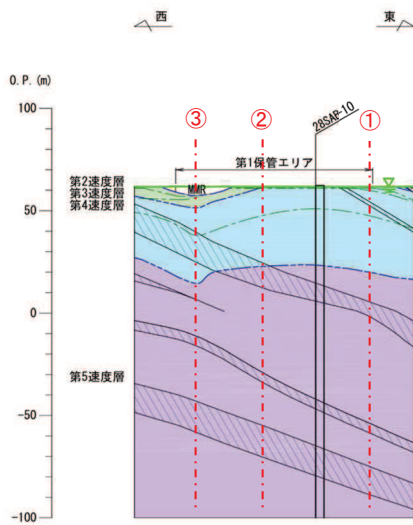
図 2.3.3-8(1) 第 1 保管エリア①の地震応答解析モデル (一次元)



せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_s (kN/m ³)	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
274	26.2	0.2×10^3	0.48	0.03
670	26.2	1.2×10^3	0.45	0.03
1326	26.2	4.7×10^3	0.41	0.03
2075	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
2508	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
2498	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03

- 凡例
- 【岩盤分類】
- B 級
 - C_H 級
 - C_M 級
 - C_L 級
 - D 級
- 岩盤分類境界
 速度層境界
 盛土
 旧表土
 マンメイドロック
 地下水位

図 2.3.3-8(2) 第 1 保管エリア②の地震応答解析モデル (一次元)

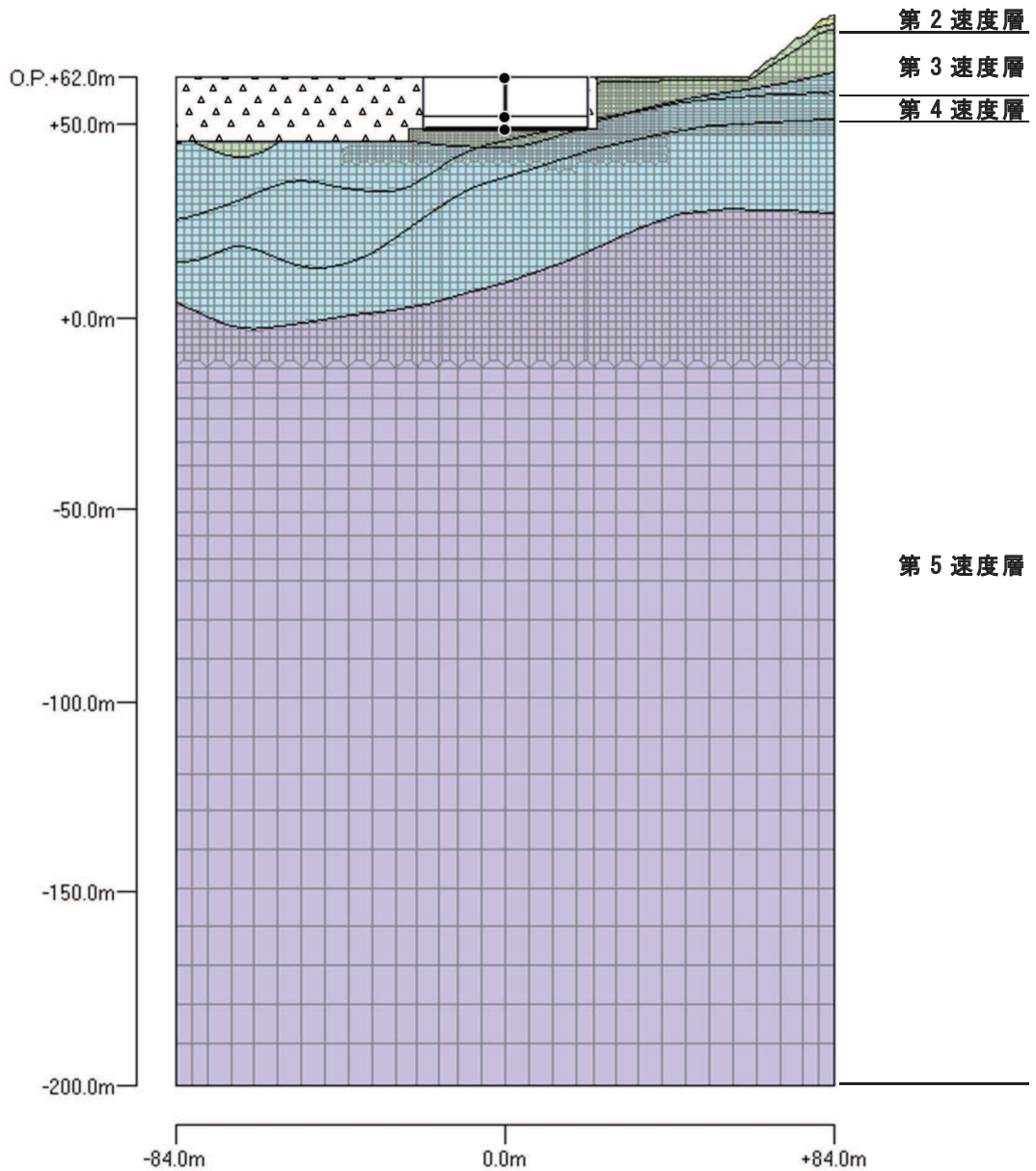


せん断波 速度 $V_s(m/s)$	単位体積 重量 $\gamma_s(kN/m^3)$	動せん断 弾性係数 $G_s(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
2066	22.5	9.8×10^4	0.20	0.03
679	25.5	1.2×10^4	0.45	0.03
1344	25.5	4.7×10^4	0.41	0.03
2103	25.5	11.5×10^4	0.34	0.03
2075	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
2508	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
2498	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03



図 2.3.3-8(3) 第 1 保管エリア③の地震応答解析モデル (一次元)

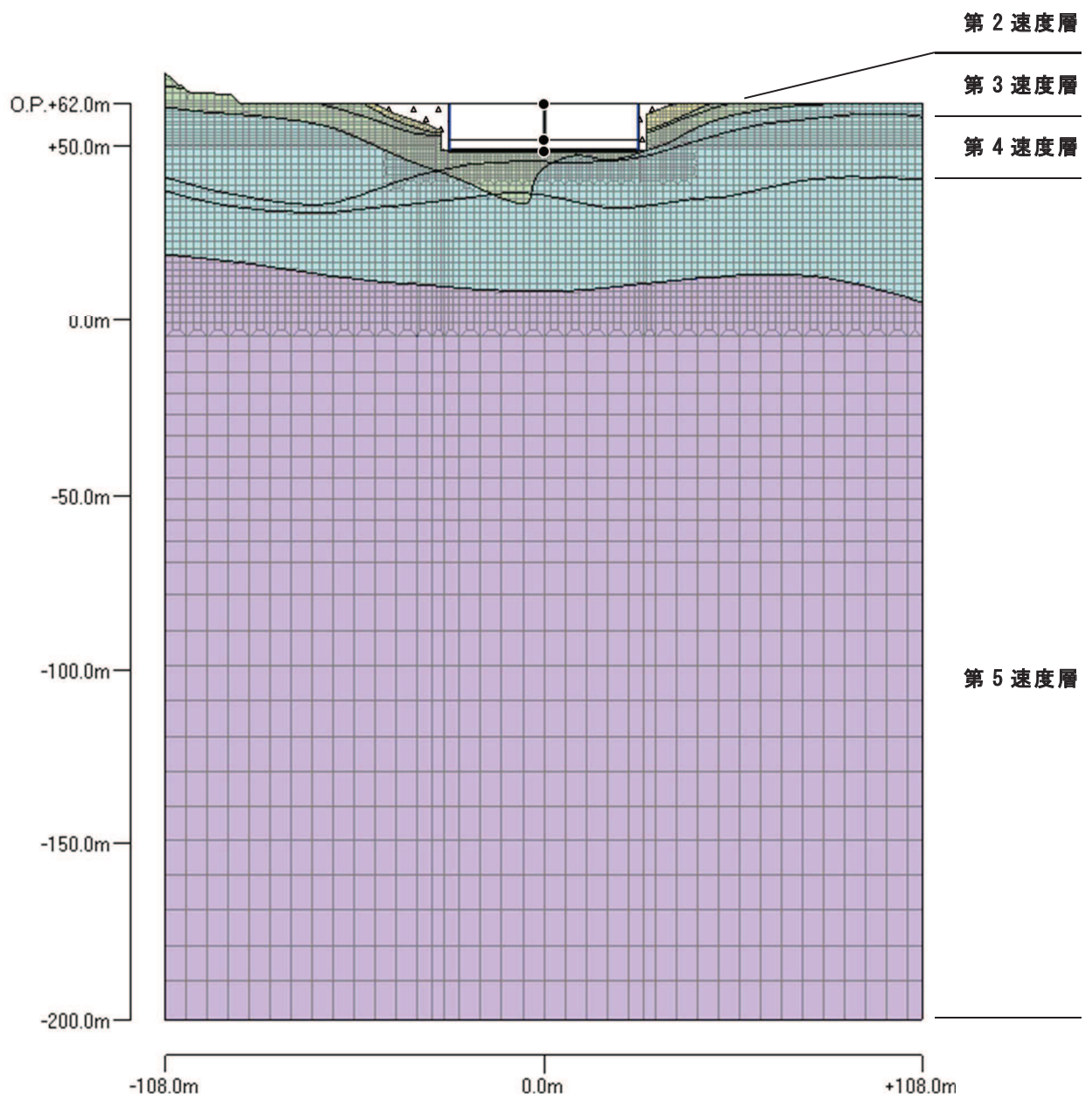
<岩級>	<速度層>	<凡例>	せん断波 速度 Vs(m/s)	単位体積 重量 γ_i (kN/m ³)	動せん断 弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
CL級	第2速度層		710	23.1	1.2×10^3	0.45	0.03
CM級	第2速度層		680	25.5	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1340	25.5	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2100	25.5	11.5×10^3	0.34	0.03
CH級	第5速度層		2540	25.5	16.8×10^3	0.33	0.03
	第2速度層		670	26.2	1.2×10^3	0.45	0.03
CH級	第3速度層		1330	26.2	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2070	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2510	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
B級	第5速度層		2500	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03
盛土	—		—	20.6	ひずみ依存特性	0.48	ひずみ依存特性



(1) NS 方向

図 2.3.3-9(1) 第2 保管エリアの地震応答解析モデル (二次元)

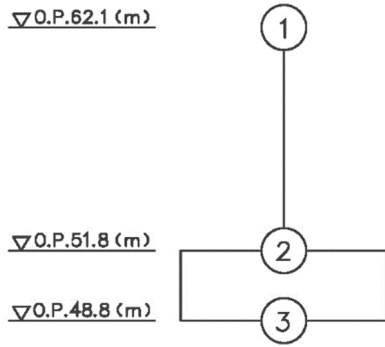
<岩級>	<速度層>	<凡例>	せん断波 速度 Vs(m/s)	単位体積 重量 $\gamma_i(\text{kN}/\text{m}^3)$	動せん断 弾性係数 $G_d(\text{N}/\text{mm}^2)$	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
CL級	第2速度層		710	23.1	1.2×10^3	0.45	0.03
CM級	第2速度層		680	25.5	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1340	25.5	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2100	25.5	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2540	25.5	16.8×10^3	0.33	0.03
CH級	第2速度層		670	26.2	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1330	26.2	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2070	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2510	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
B級	第5速度層		2500	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03
盛土	—		—	20.6	ひずみ依存特性	0.48	ひずみ依存特性



(2) EW 方向

図 2.3.3-9(2) 第2 保管エリアの地震応答解析モデル (二次元)

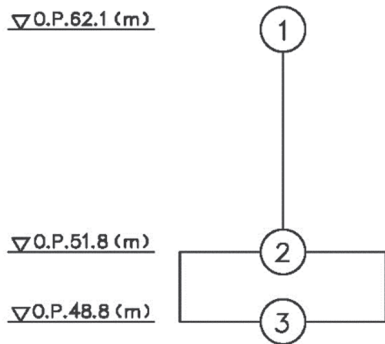
表 2.3.3-1 第2保管エリアの地震応答解析モデル（質点系）諸元（NS方向）



質点番号	重量 W (kN)	回転慣性 I _g ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	断面2次 モーメント I ($\times 10^2 \text{m}^4$)	せん断 断面積 AS (m^2)
1	215960	320.3		
2	252930	376.4	1095.1	405.0
3	81650	120.2	3334.0	2268.0

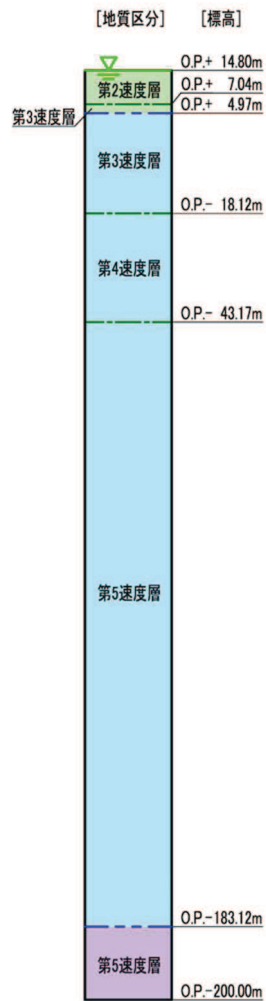
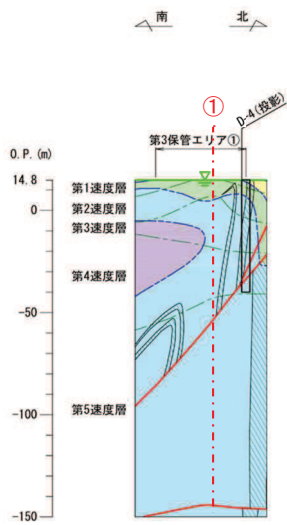
- ・基礎スラブ：42.0m（NS）×54.0m（EW）
- ・総重量：550540（524760）kN

表 2.3.3-2 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 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	断面2次 モーメント I ($\times 10^2 \text{m}^4$)	せん断 断面積 AS (m^2)
1	215960	527.7		
2	252930	619.2	1576.6	388.8
3	81650	198.6	5511.2	2268.0

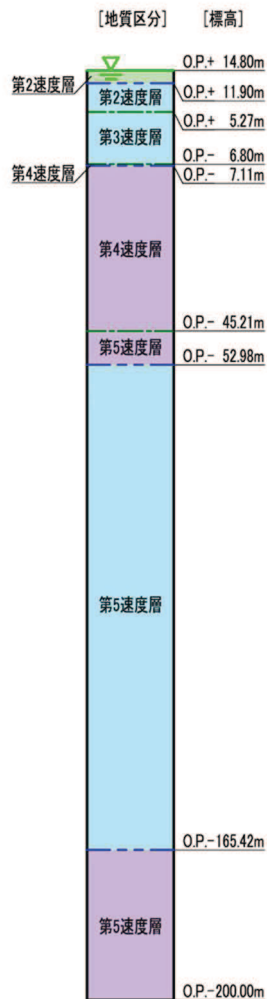
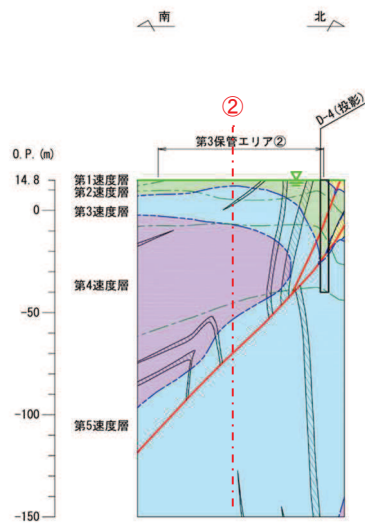
- ・基礎スラブ：42.0m（NS）×54.0m（EW）
- ・総重量：550540（524760）(kN)



せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_r (kN/m ³)	動せん断弾性係数 G_v (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
764	25.2	1.5×10^3	0.44	0.03
1489	25.2	5.7×10^3	0.40	0.03
1486	26.2	5.9×10^3	0.40	0.03
2223	26.2	13.2×10^3	0.36	0.03
2485	26.2	16.5×10^3	0.35	0.03
2476	26.4	16.5×10^3	0.35	0.03

- 凡例
- [岩盤分類]
- B 級
 - C_{II} 級
 - C_{III} 級
 - C_I 級
 - D 級
- 岩盤分類境界
- 速度層境界
- 盛土
- 旧表土
- マンメイドロック
- 地下水位

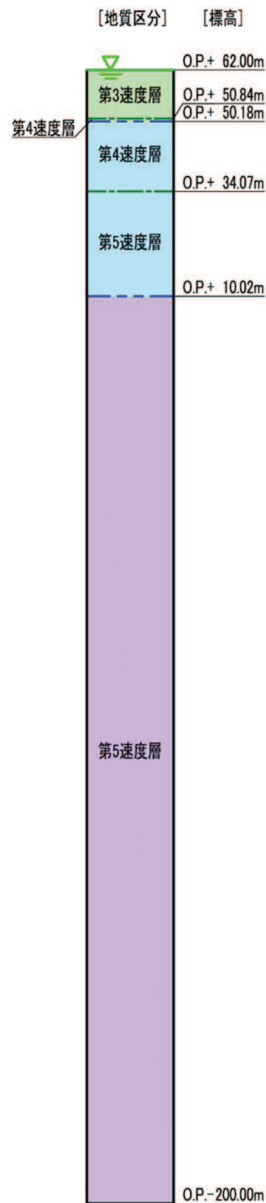
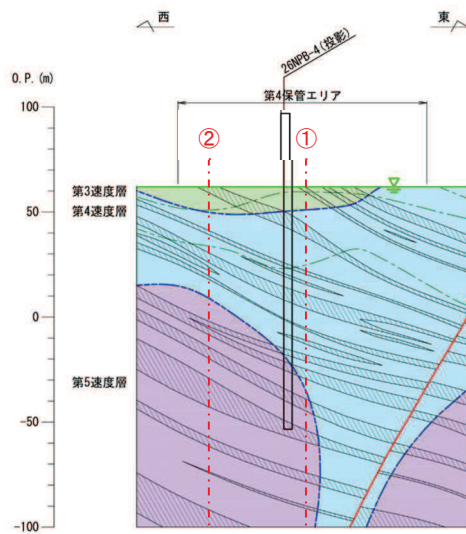
図 2.3.3-10(1) 第3保管エリア①の地震応答解析モデル(一次元)



せん断波速度 Vs(m/s)	単位体積重量 γ_s (kN/m ³)	動せん断弾性係数 G _v (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
764	25.2	1.5×10^2	0.44	0.03
749	26.2	1.5×10^2	0.44	0.03
1486	26.2	5.9×10^2	0.40	0.03
2223	26.2	13.2×10^3	0.36	0.03
2214	26.4	13.2×10^3	0.36	0.03
2476	26.4	16.5×10^3	0.35	0.03
2485	26.2	16.5×10^3	0.35	0.03
2476	26.4	16.5×10^3	0.35	0.03

- 凡例
- [岩盤分類]
- B 級
 - C_{II} 級
 - C_{III} 級
 - C_I 級
 - D 級
- 岩盤分類境界
- 速度層境界
- 盛土
- 旧表土
- マンメイドロック
- 地下水位

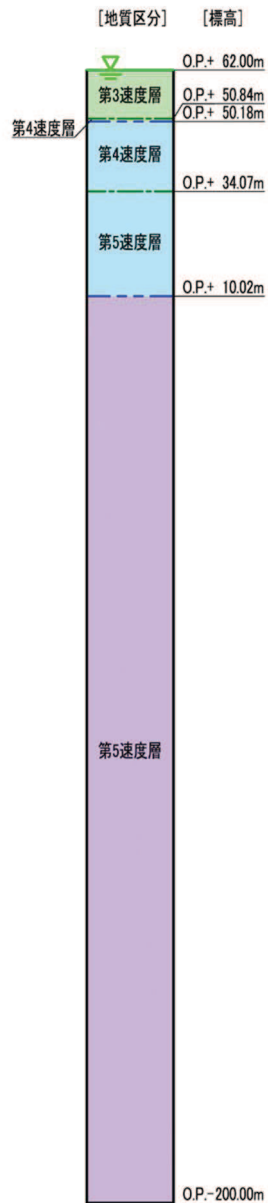
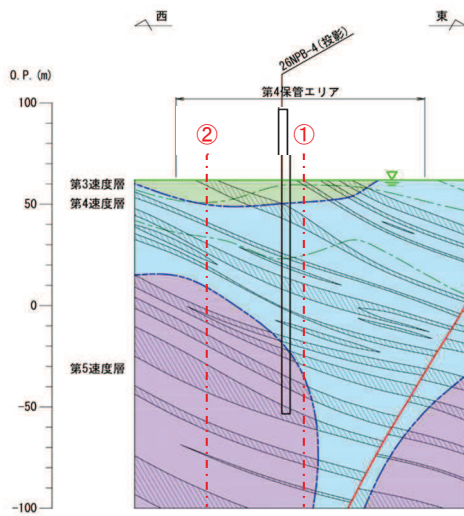
図 2.3.3-10(2) 第3保管エリア②の地震応答解析モデル(一次元)



せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	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
1344	25.5	4.7×10^3	0.41	0.03
2103	25.5	11.5×10^3	0.34	0.03
2075	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
2508	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
2498	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03

- 凡例
- [岩盤分類]
- B 級
 - C_H 級
 - C_M 級
 - C_L 級
 - D 級
- 岩盤分類境界
 - 速度層境界
 - 盛土
 - 旧表土
 - マンメイドロック
 - 地下水位

図 2.3.3-11(1) 第4保管エリア①の地震応答解析モデル（一次元）



せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	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
1344	25.5	4.7×10^3	0.41	0.03
2103	25.5	11.5×10^3	0.34	0.03
2075	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
2508	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
2498	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03

- 凡例
[岩盤分類]
- B 級
 - C_H 級
 - C_M 級
 - C_L 級
 - D 級
 - 岩盤分類境界
 - 速度層境界
 - 盛土
 - 旧表土
 - マンメイドロック
 - 地下水位

図 2.3.3-11(2) 第4保管エリア②の地震応答解析モデル(一次元)

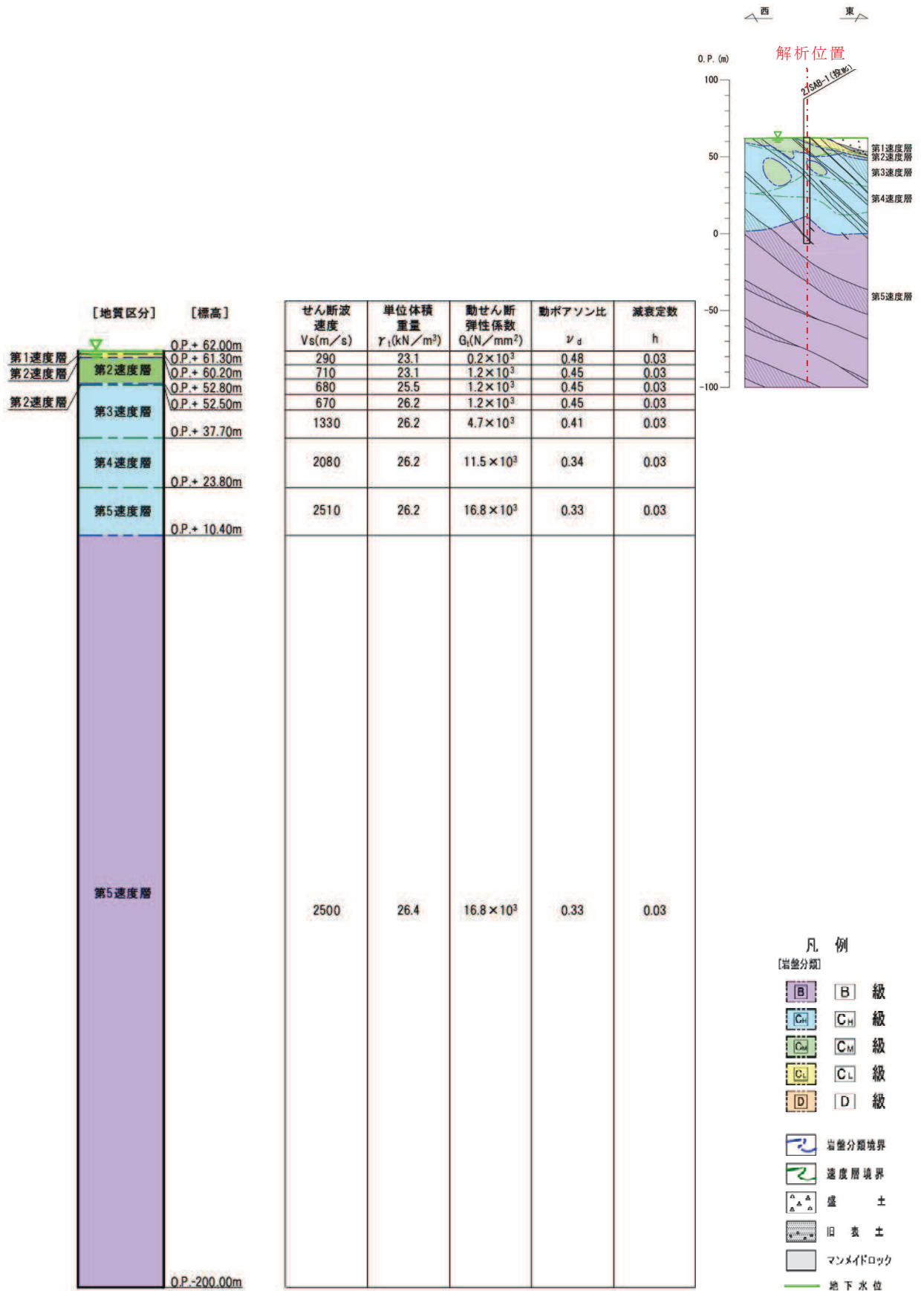


図 2.3.3-12 緊急時対策建屋北側の地震応答解析モデル（一次元）

2.3.4 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。

なお、地震応答解析に用いる地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に記載の地下構造モデルを用いる。表 2.3.4-1 に地下構造モデルを示す。なお、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地下構造モデルを、第 3 保管エリアには狐崎部層の地下構造モデルを用いる。

地震応答解析に用いる地震動算定の概念図を図 2.3.4-1 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。

表 2.3.4-1 地下構造モデル

地層	狐崎部層		牧の浜部層	
標高	解放基盤表面～0. P. -200m		解放基盤表面～0. P. -200m	
P 波速度 V_p (m/s)	0. P. -14. 1m～-25. 0m	3420	0. P. -14. 1m～-27. 0m	3380
	0. P. -25. 0m～-80. 0m	4700	0. P. -27. 0m～-50. 0m	4380
	0. P. -80. 0m～-200. 0m	5130	0. P. -50. 0m～-200. 0m	5060
S 波速度 V_s (m/s)	0. P. -14. 1m～-25. 0m	1300	0. P. -14. 1m～-27. 0m	1360
	0. P. -25. 0m～-80. 0m	2150	0. P. -27. 0m～-50. 0m	2040
	0. P. -80. 0m～-200. 0m	2440	0. P. -50. 0m～-200. 0m	2520
動ポアソン比 ν_d	0. P. -14. 1m～-25. 0m	0. 42	0. P. -14. 1m～-27. 0m	0. 40
	0. P. -25. 0m～-80. 0m	0. 37	0. P. -27. 0m～-50. 0m	0. 36
	0. P. -80. 0m～-200. 0m	0. 35	0. P. -50. 0m～-200. 0m	0. 34
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	0. P. -14. 1m～-25. 0m	23. 8	0. P. -14. 1m～-27. 0m	26. 1
	0. P. -25. 0m～-80. 0m	24. 6	0. P. -27. 0m～-50. 0m	26. 4
	0. P. -80. 0m～-200. 0m	25. 0	0. P. -50. 0m～-200. 0m	26. 5
減衰定数 h (%)	0. P. -14. 1m～-25. 0m	3	0. P. -14. 1m～-27. 0m	3
	0. P. -25. 0m～-80. 0m		0. P. -27. 0m～-50. 0m	
	0. P. -80. 0m～-200. 0m		0. P. -50. 0m～-200. 0m	

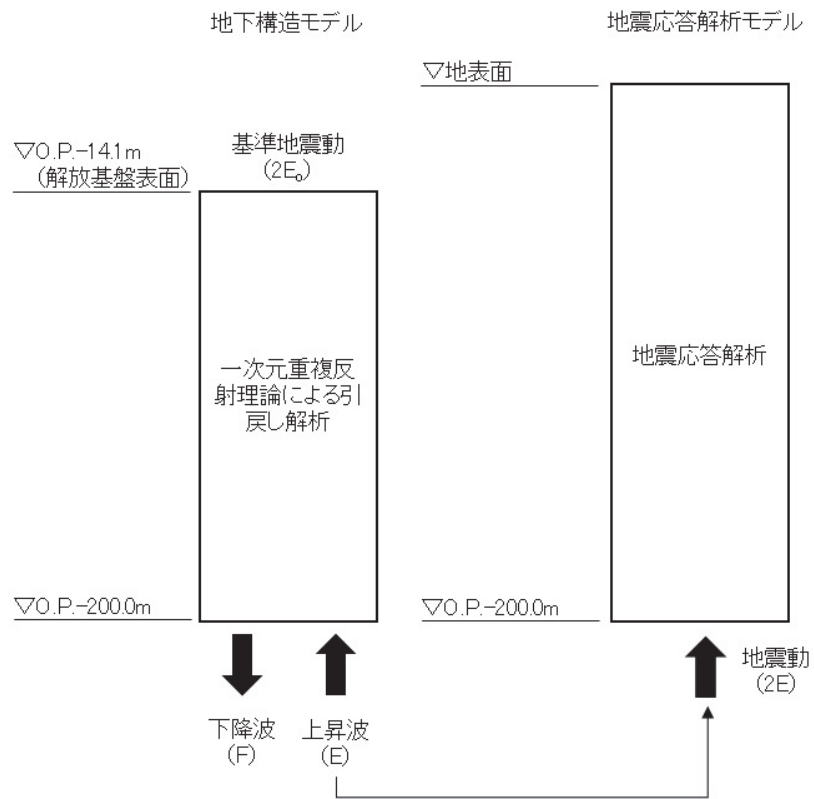


図 2.3.4-1 地震応答解析に用いる地震動算定の概念図

2.3.5 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 2.3.5-1 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。なお、第 2 保管エリア直下の淡水貯水槽は、基準地震動 S_s による地震力に対して応答が弾性範囲となるように設計しており、新設の建屋であることから、躯体にひび割れが発生することによる顕著な剛性低下は発生しづらいと考えられる。

表 2.3.5-1 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+1 σ
ケース③		平均値-1 σ

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。

2.4 地震応答 FRS 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、地震応答 FRS を作成する。

地震応答 FRS に用いる減衰定数は、保管エリア等に保管する設備ごとの減衰定数を考慮し設定する。ここでは、代表として車両型設備に対する地震応答 FRS の作成について記載する。

車両型設備の減衰定数は J E A G 4 6 0 1 に規定はなく、減衰機構が複雑であり、様々な文献に複数の減衰定数*に関する記載がある。これらの文献によると、車両構造の設備は高い減衰が期待できる。

FRS は、高減衰になるほど滑らかになるとともに、車両全体の加速度が小さくなる傾向があり、加振試験により確認した車両型設備の減衰定数は、最も低いものでもホース延長回収車の約 10% で、それ以外の車両型設備はより高減衰となるため、上述の文献を参考に、車両型設備の減衰定数は 8% と設定している。

注記*：自動車技術ハンドブックによると減衰定数は 20%～80%

国土交通省の国土技術製作総合研究所資料第 180 号「大型車の振動特性が橋梁に及ぼす影響に関する研究（Ⅱ）」によると減衰定数は 10%以上

2.5 設計用 FRS の作成

「2.4 地震応答 FRS の算定」において作成した各保管エリア等の地震応答 FRS に対して、機器の固有周期のずれ等の影響を考慮し、周期軸方向に±10%の拡幅した FRS と、地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析に基づく地震応答 FRS を包絡する FRS を設計用 FRS としている。第 2 保管エリア（水平方向）における設計用 FRS の作成例について図 2-3 に示す。

車両型設備を保管する第 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おける水平方向及び鉛直方向の設計用 FRS を図 2-4 に示す。

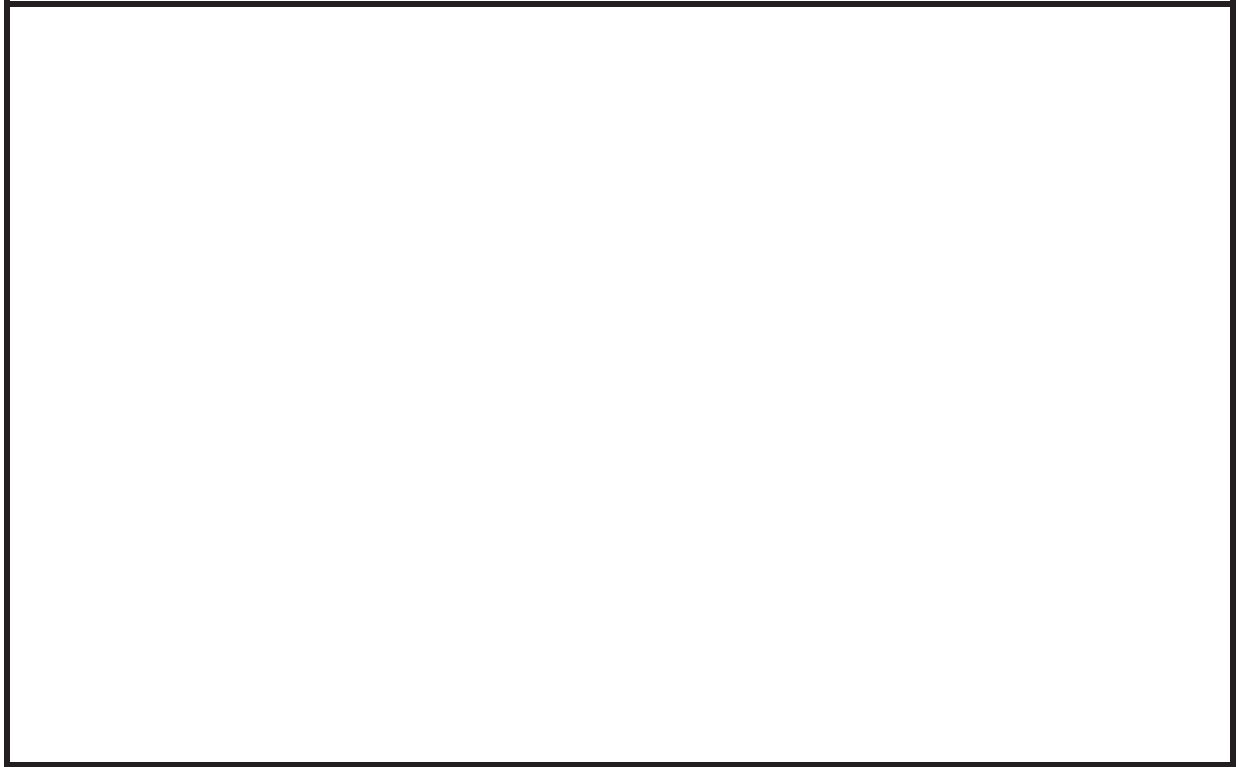
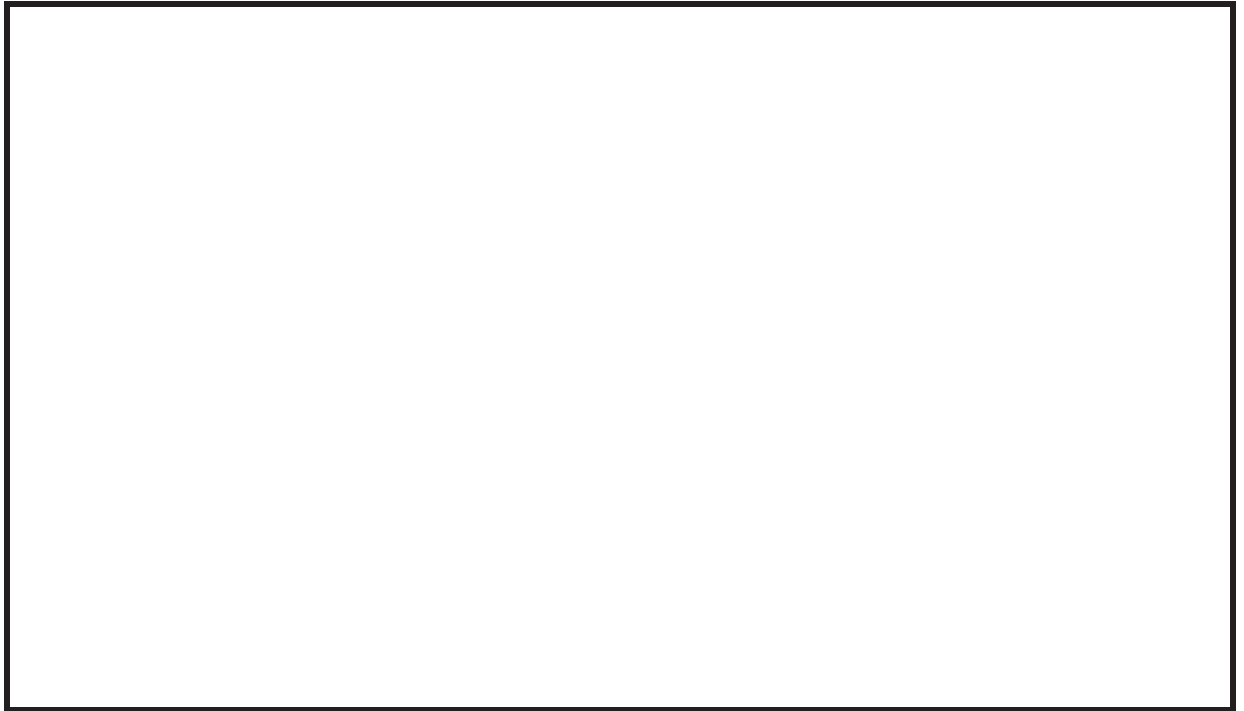
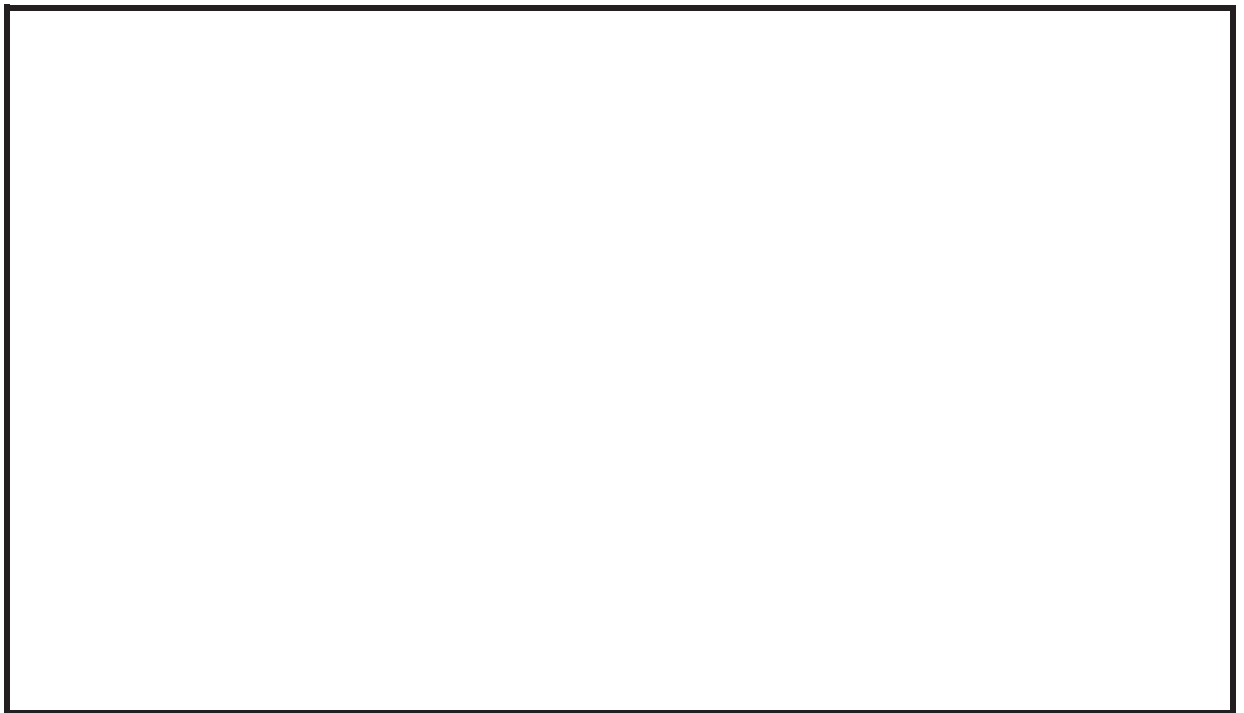


図 2-3 設計用 FRS (基準地震動 S_s) の作成例 (第 2 保管エリア (水平方向))



(水平方向)



(鉛直方向)

図 2-4 水平方向及び鉛直方向の設計用 FRS (基準地震動 S_s)

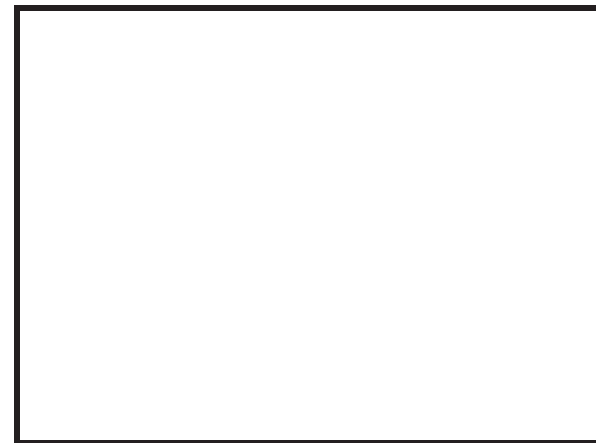
2.6 加振台の FRS の妥当性確認

車両型設備について、加振台の FRS と保管エリア等における設計用 FRS（基本ケース，ばらつきケースの包絡）の比較を図 2-5 に示す。

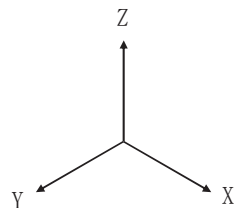
図 2-5 のとおり，加振台の FRS は，保管エリア等設計用 FRS（基本ケース，ばらつきケースの包絡）をおおむね全周期帯において包絡している，又は一部の周期帯で包絡できない範囲が存在するものの，各車両型設備の固有周期においては，加振台の FRS が保管エリア等における設計用 FRS（基本ケース，ばらつきケースの包絡）を上回っていることを確認した。

設備名称：大容量送水ポンプ（タイプ I）

保管場所：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



凡例	
第1保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース，ばらつきケースの包絡）	第3保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース，ばらつきケースの包絡）
第2保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース，ばらつきケースの包絡）	第4保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース，ばらつきケースの包絡）
加振台のFRS（出力）	
計測された設備の固有周期	



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）

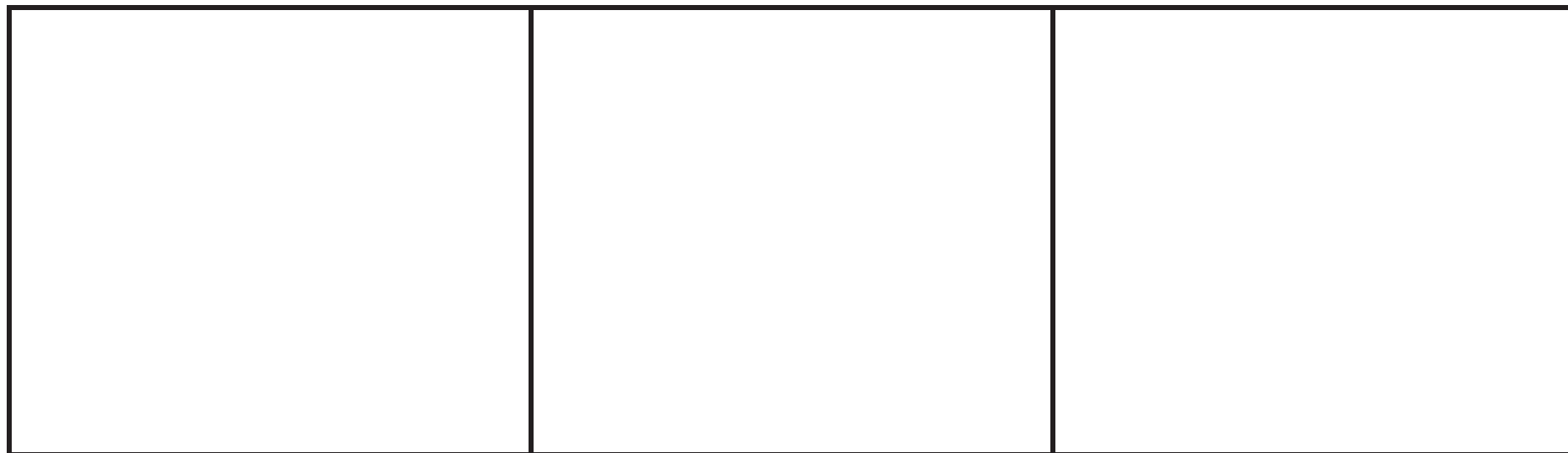


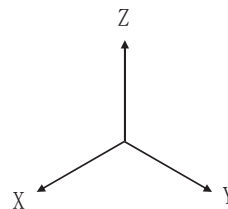
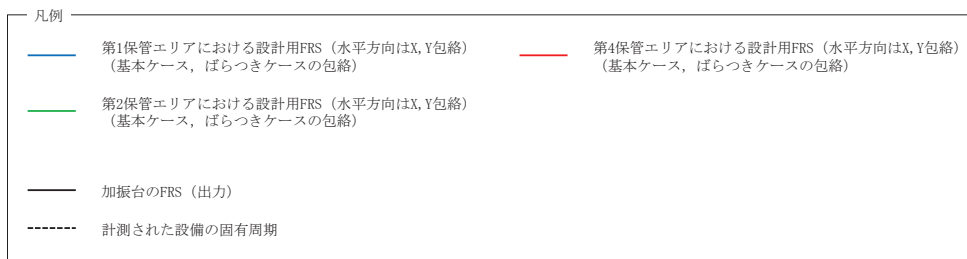
図 2-5 加振台の FRS と設計用 FRS（基準地震動 S_s ）との比較（1/8）

補 2-42

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：大容量送水ポンプ（タイプⅡ）

保管場所：第1保管エリア，第2保管エリア，第4保管エリア



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



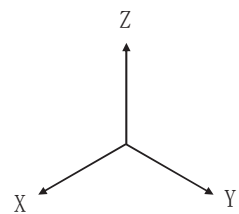
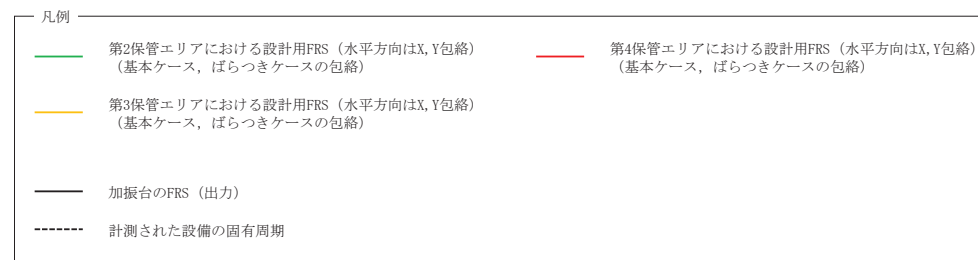
図 2-5 加振台の FRS と設計用 FRS（基準地震動 S_s ） との比較（2/8）

補 2-43

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：電源車

保管場所：第2保管エリア，第3保管エリア，第4保管エリア



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



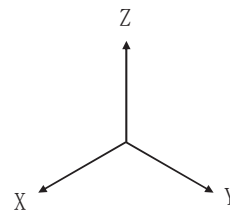
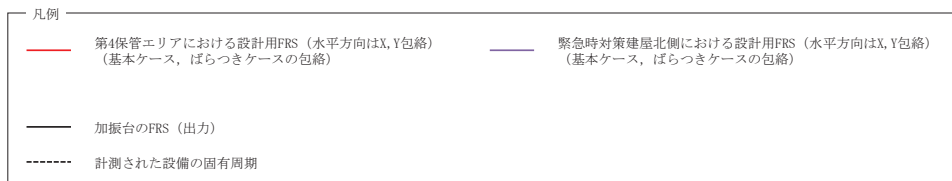
図 2-5 加振台の FRF と設計用 FRF（基準地震動 S_s ）との比較（3/8）

補 2-44

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：電源車（緊急時対策所用）

保管場所：第4保管エリア，緊急時対策建屋所北側



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



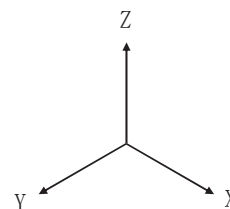
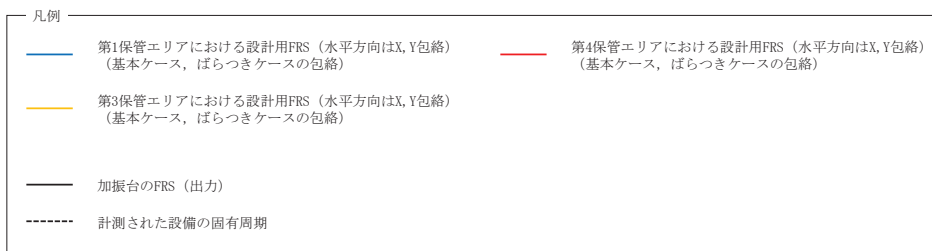
図 2-5 加振台の FRF と設計用 FRF（基準地震動 S_s ）との比較（4/8）

補 2-45

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット

保管場所：第1保管エリア，第3保管エリア，第4保管エリア



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



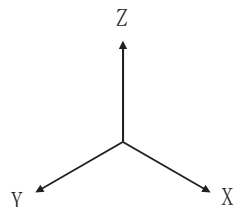
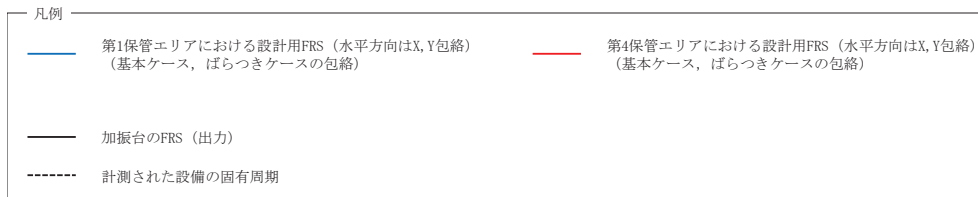
図 2-5 加振台の FRS と設計用 FRS（基準地震動 S_s ）との比較（5/8）

補 2-46

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：可搬型窒素ガス供給装置

保管場所：第1保管エリア，第4保管エリア



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



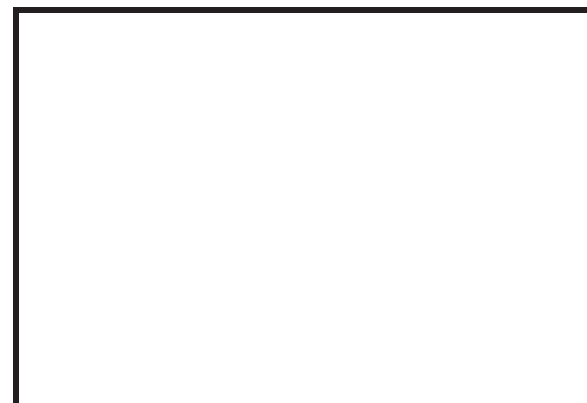
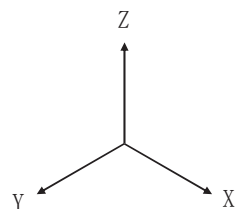
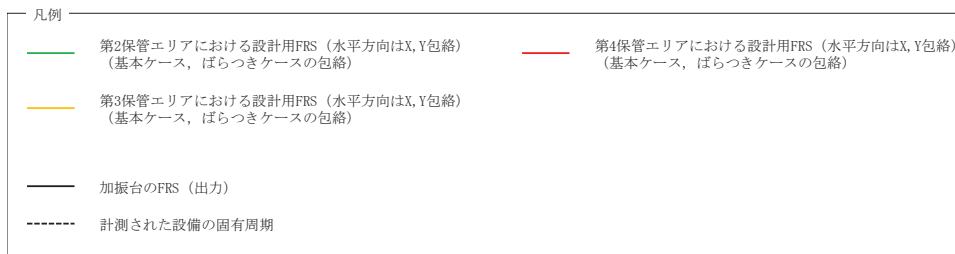
図 2-5 加振台の FRF と設計用 FRF（基準地震動 S_s ）との比較（6/8）

補 2-47

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：ホース延長回収車

保管場所：第2保管エリア，第3保管エリア，第4保管エリア



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



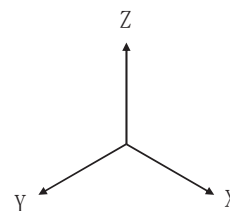
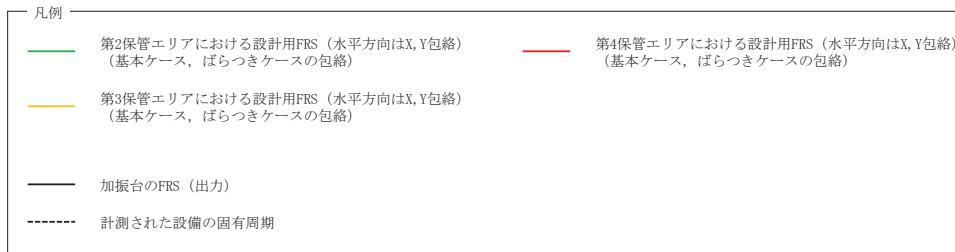
図 2-5 加振台の FRS と設計用 FRS（基準地震動 S_s ）との比較（7/8）

補 2-48

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設備名称：タンクローリ

保管場所：第2保管エリア，第3保管エリア，第4保管エリア



X 方向（走行軸直角方向）

Y 方向（走行軸方向）

Z 方向（鉛直方向）



図 2-5 加振台の FRS と設計用 FRS（基準地震動 S_s ）との比較（8/8）

補 2-49

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 車両型設備の耐震評価について

3.1 車両型設備の固縛装置について

第1保管エリア、第2保管エリア、第3保管エリア、第4保管エリア及び緊急時対策建屋北側に保管する車両型設備は、竜巻襲来時に飛散し、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す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「基礎部」から構成される。図3-1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と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移動等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。

- ・固縛装置の連結材（ロープ）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、固縛装置が展張しない余長のことを示す。

固縛装置は、竜巻対策として設置することを目的としており、その設計方針、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計算の基本方針については、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」に、固縛装置の強度計算の方法及び結果については、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」に示す。

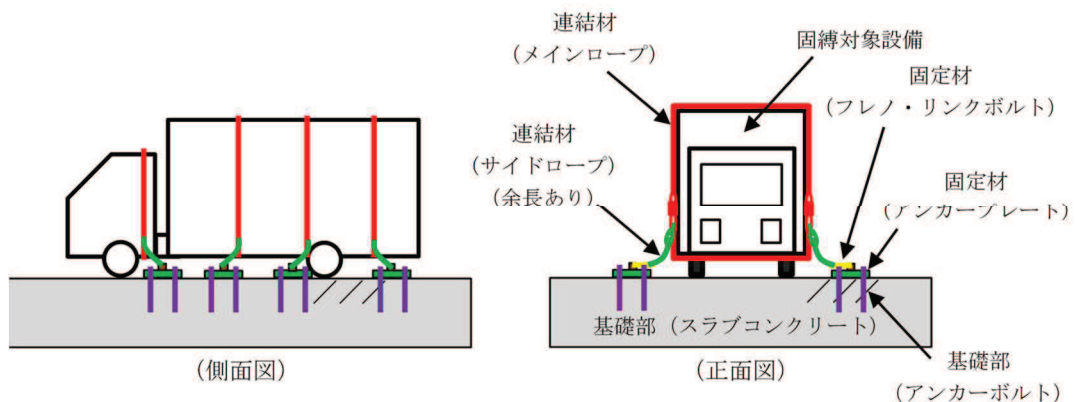


図3-1 固縛装置の構造概要

3.2 評価手順

車両型設備の評価に当たっては、車両型設備に要求される機能を踏まえ、必要となる性能目標を設定し、評価方法及び評価内容を決定する。評価に関する概要を表した評価体系図を図 3-2 に示す。

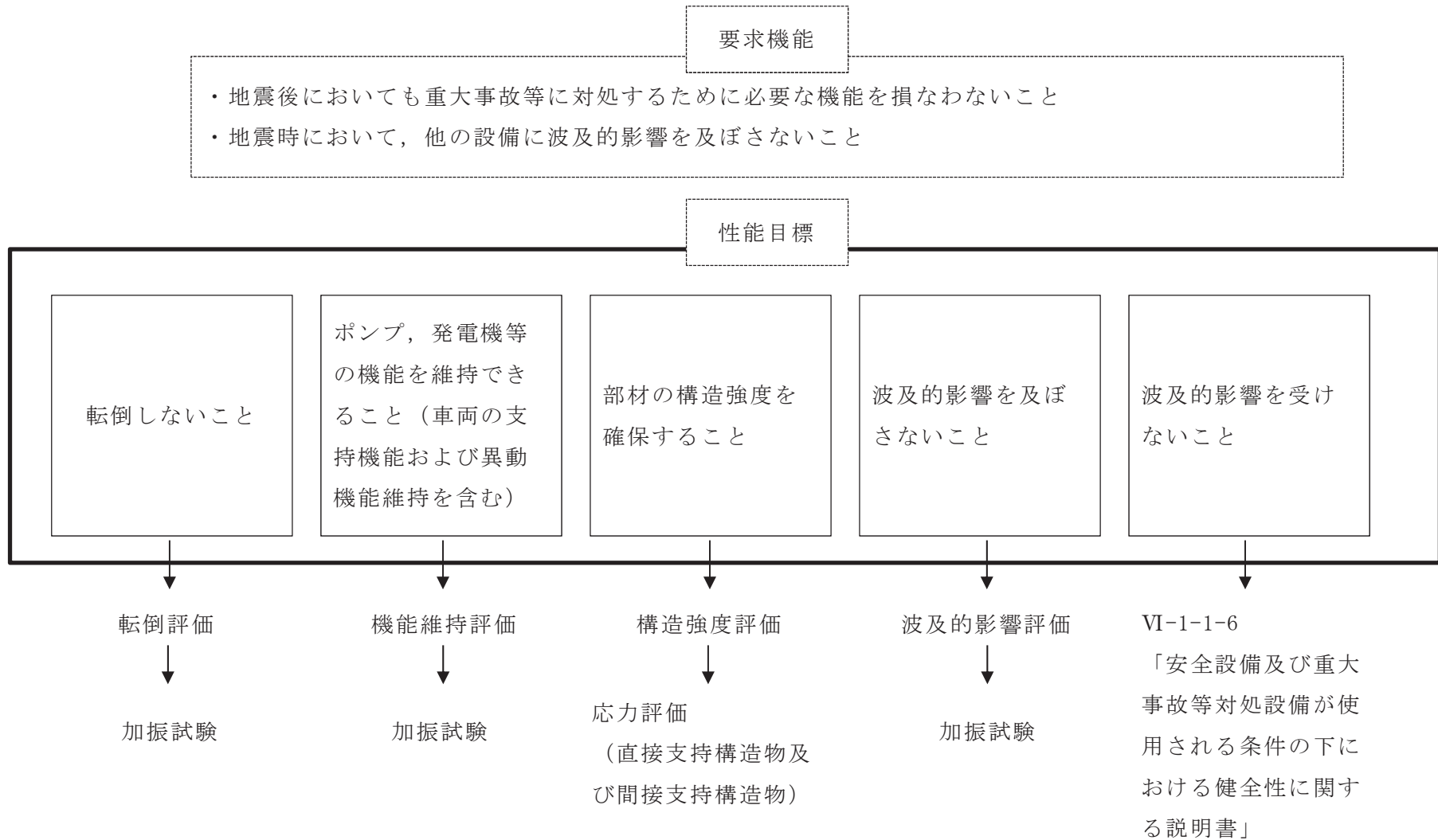


図 3-2 詳細体系図

3.3 評価条件

添付書類「VI-1-1-2-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき、車両型設備の地震力に対する積雪荷重及び風荷重の影響について評価する。

(1) 概要

車両型設備は、建物・構築物のような風を一面に受ける構造と異なり、風は車両の隙間を吹き抜けやすい構造となっており、また、受圧面積が相対的に小さいこと及びポンプ、発電機、内燃機関等の重量物が積載され車両重量が大きいことから、風荷重による影響は軽微であると考えられる。また、耐震評価においては、各保管場所の入力地震動をおおむね上回っている加振波に基づく評価部位頂部の加速度を用いているため、これらの地震動による地震力より大きな地震力で評価している。よって、風荷重については、この加振試験が持つ保守性の中に含まれていると考えられる。また、積雪については、除雪することとしていることから、積雪荷重については考慮しない。

ここでは、参考までに最も受圧面の大きな可搬型窒素ガス供給装置を対象に、風荷重の影響について評価を行う。評価内容及び評価結果は以下に示す。

(2) 地震荷重の算出

評価に用いる評価部位頂部（コンテナ頂部）の加速度から算出される水平方向の地震荷重 W_G [kN] は、以下の式により、601.1kN と算出される。

$$W_G = \frac{m \cdot C_H \cdot g}{1000}$$

ここで、 m ：質量（30,801kg）

C_H ：水平方向の評価用震度（1.99）

g ：重力加速度（9.80665m/s²）

(3) 風荷重の算出

風荷重の算出においては、隙間の吹き抜け等を考慮せず、図 3-3 に示すとおり、受圧面積を簡易に設定し、保守的に算出する。

地震荷重に対し考慮する風荷重について、その算出に用いる風速は、「Eの数値を算出する方法並びに V_0 及び風力係数の数値を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた石巻市及び女川町の基準風速30m/sと設定する。風速30m/s時に生じる風荷重 W_w [kN] は、次の式により、40.3kNと算出される。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

ρ : 空気密度 (1.226kg/m³)

G : ガスト影響係数 (1.0)

C : 風力係数 (1.2) *

A : 受圧面積 (60.76m²)

V : 風速 (30m/s)

注記 * : 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」において、屋外の重大事故等対処設備に対する竜巻による風荷重の評価に使用している風力係数であり、「日本鋼構造協会 1997年 構造物の耐風工学」に基づく。

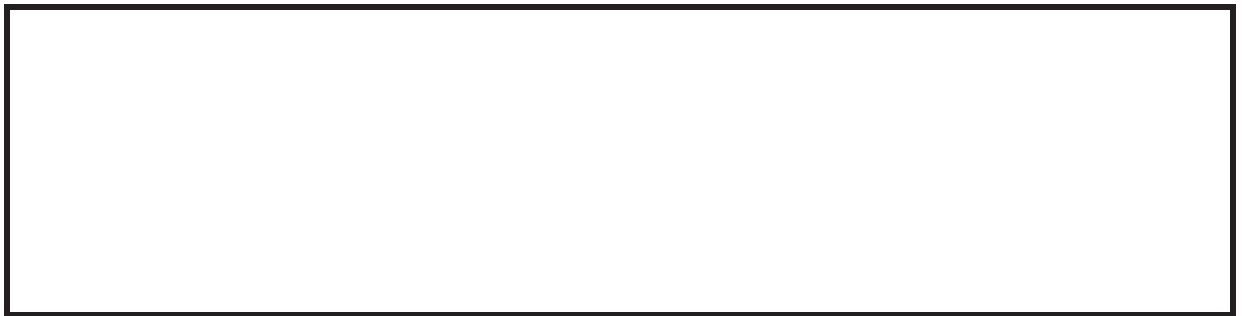


図 3-3 受圧面積 (可搬型窒素ガス供給装置) (単位 : mm)

(4) 地震荷重と風荷重の比較

保守的な条件で算出した風荷重（40.3kN）は，地震荷重（601.1kN）の7%未満であり，十分小さいと言える。また，図3-4に示すとおり，設備の1次固有周期では，加振台のFRSが設計用FRSに対し，56%程度上回ることから，風荷重の影響は，この加振試験が持つ保守性に包絡される。



図3-4 加振台のFRSと設計用FRS（基準地震動 S_s ）の比較

3.4 加振試験

(1) 試験方法

車両型設備を図 3-5 に示すように加振台に設置し、以下に示す加振波による加振試験を行い、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、加振試験に係る試験条件について表 3-1 に示す。

- ・加振波：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 $S_s - D1$ ～ $S_s - N1$ 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。
- ・加振方向：「水平（走行軸方向）＋鉛直」及び「水平（走行直角方向）＋鉛直」（2 軸加振）又は「水平（走行軸方向）＋水平（走行直角方向）＋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）、電源車、電源車（緊急時対策所用）、可搬型窒素ガス供給装置及びホース回収延長車については 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。

加振試験に用いた加振波（加振台上での計測データ）の加速度時刻歴波形の例を、図 3-6 に示す。

(2) 試験結果

(1)項の加振波で加振試験を実施し、試験時に、構造強度評価の設計用加速度を算出するために用いる評価部位頂部の最大応答加速度、転倒評価に用いる転倒の有無、機能維持評価に用いる加振台の最大加速度及び波及的影響評価に用いる車両型設備の最大変位量を計測した。

また、加振試験後に、車両型設備が転倒していないこと、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ていることを確認した。なお、加振試験時における車両型設備の振動挙動については、いずれの車両においても走行軸直角方向加振時の左右の揺れが主であり、その他特異な挙動を示していないことを確認した。

表 3-1 車両型設備の加振試験に係る試験条件について

車両名称	加振波	加振方向	固縛装置		路面状況		車両状態	
			保管時	加振時	保管時	加振時	保管時	加振時
大容量送水ポンプ (タイプⅠ)	ランダム波	3軸加振* ¹	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
大容量送水ポンプ (タイプⅡ)	ランダム波	2軸加振* ²	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
電源車	ランダム波	2軸加振* ²	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
電源車 (緊急時対策所用)	ランダム波	2軸加振* ²	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	ランダム波	3軸加振* ¹	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
可搬型窒素ガス供給装置	ランダム波	2軸加振* ²	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
ホース延長回収車	ランダム波	2軸加振* ²	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用
タンクローリ	ランダム波	3軸加振* ¹	有	無* ³	コンクリート	コンクリート (乾燥状態)	サイドブレーキ使用	サイドブレーキ使用

注記*1:「水平（走行軸方向）＋水平（走行直角方向）＋鉛直」による加振

*2:「水平（走行軸方向）＋鉛直」及び「水平（走行直角方向）＋鉛直」による加振

*3: 固縛装置の連結材（サイドロープ）の余長を十分に設けることにより、地震時に連結材（サイドロープ）が展張しない設計とすることから、固縛装置を模擬しない

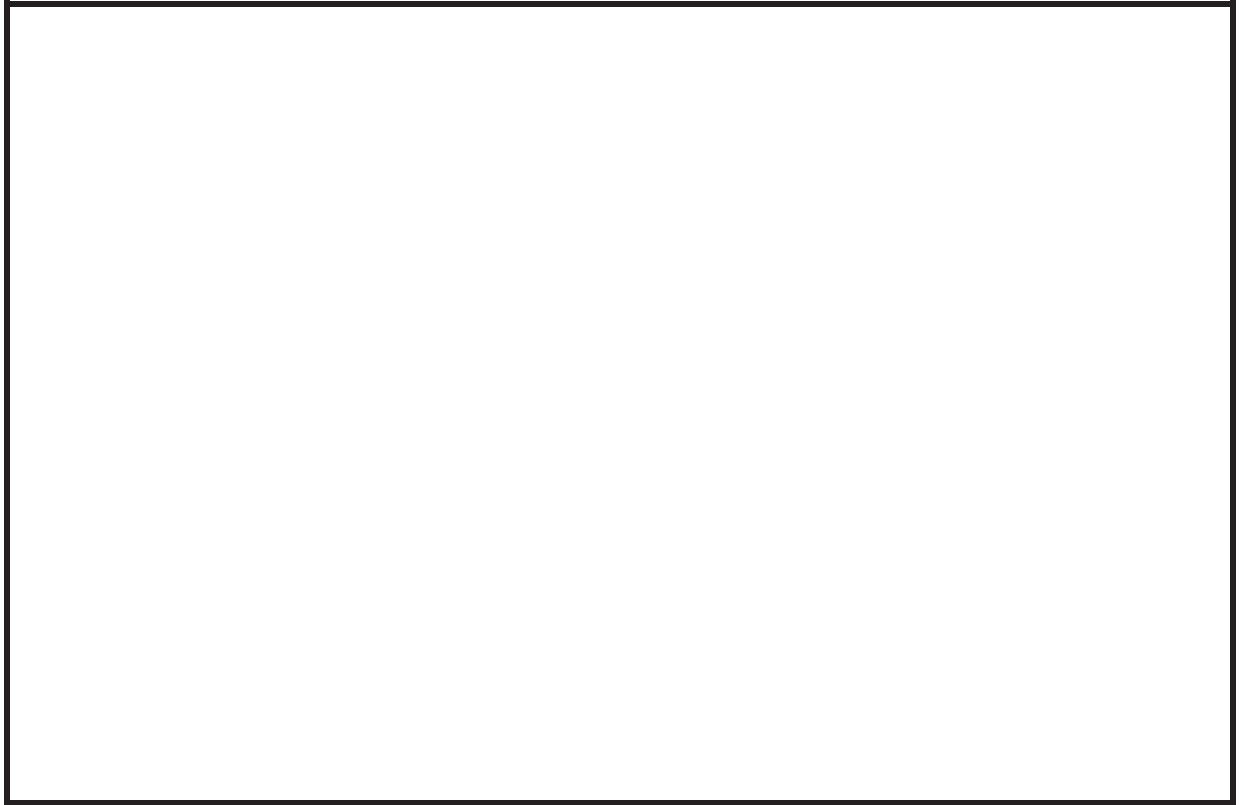


図 3-5 試験構成 (1/8) 大容量送水ポンプ (タイプ I)

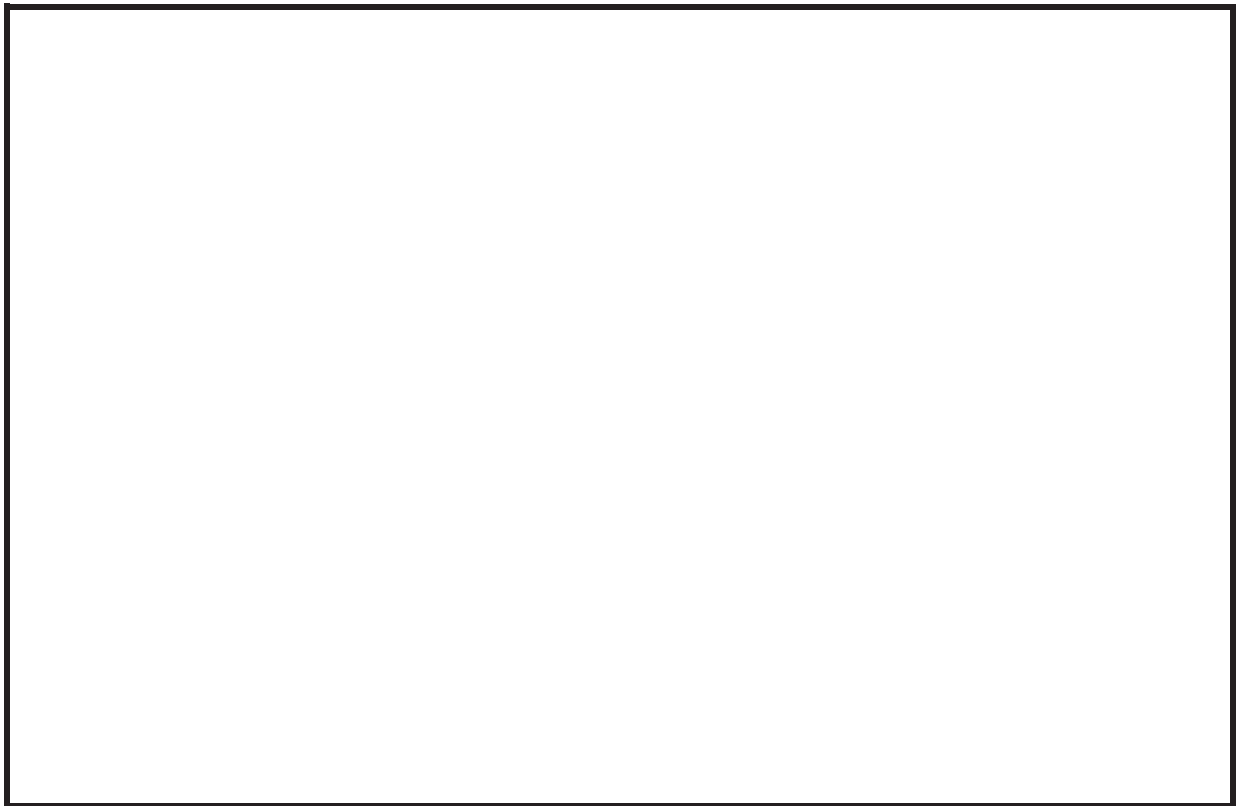


図 3-5 試験構成 (2/8) 大容量送水ポンプ (タイプ II)

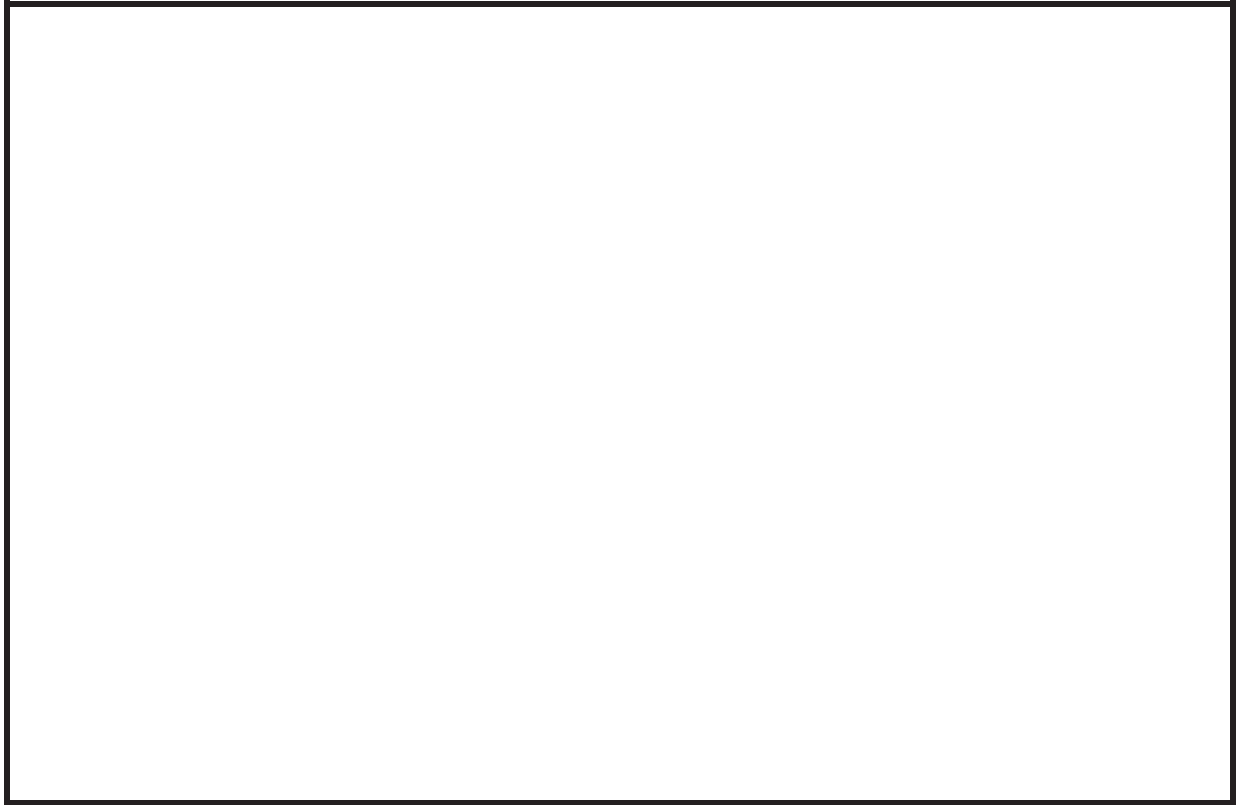


図 3-5 試験構成 (3/8) 電源車

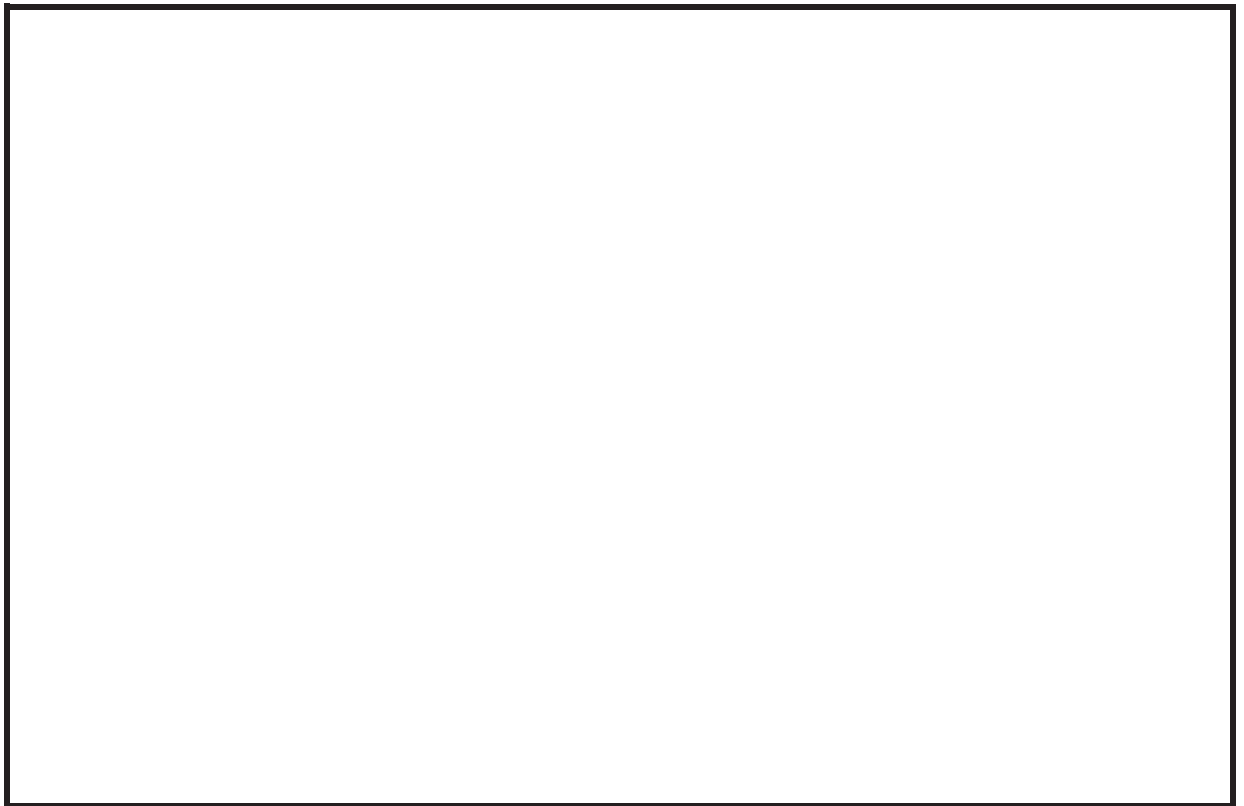


図 3-5 試験構成 (4/8) 電源車 (緊急時対策所用)

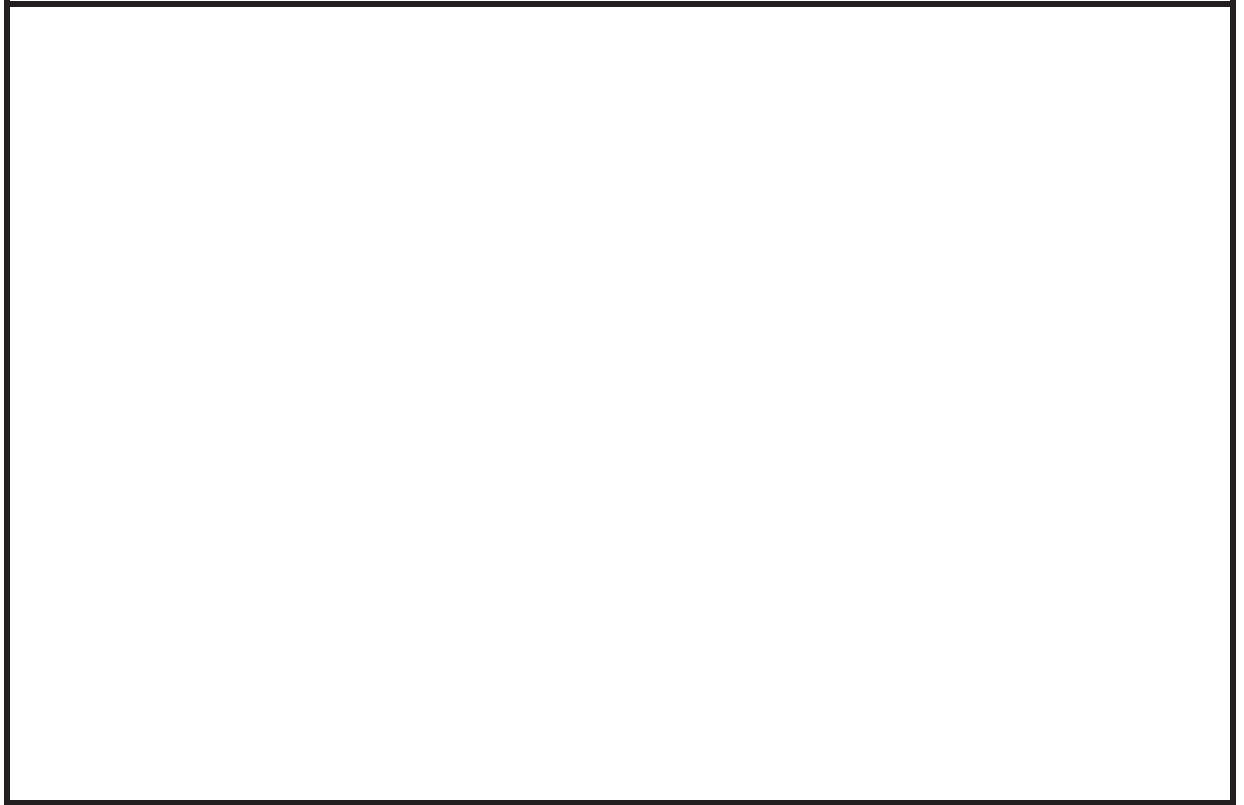


図 3-5 試験構成 (5/8) 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット

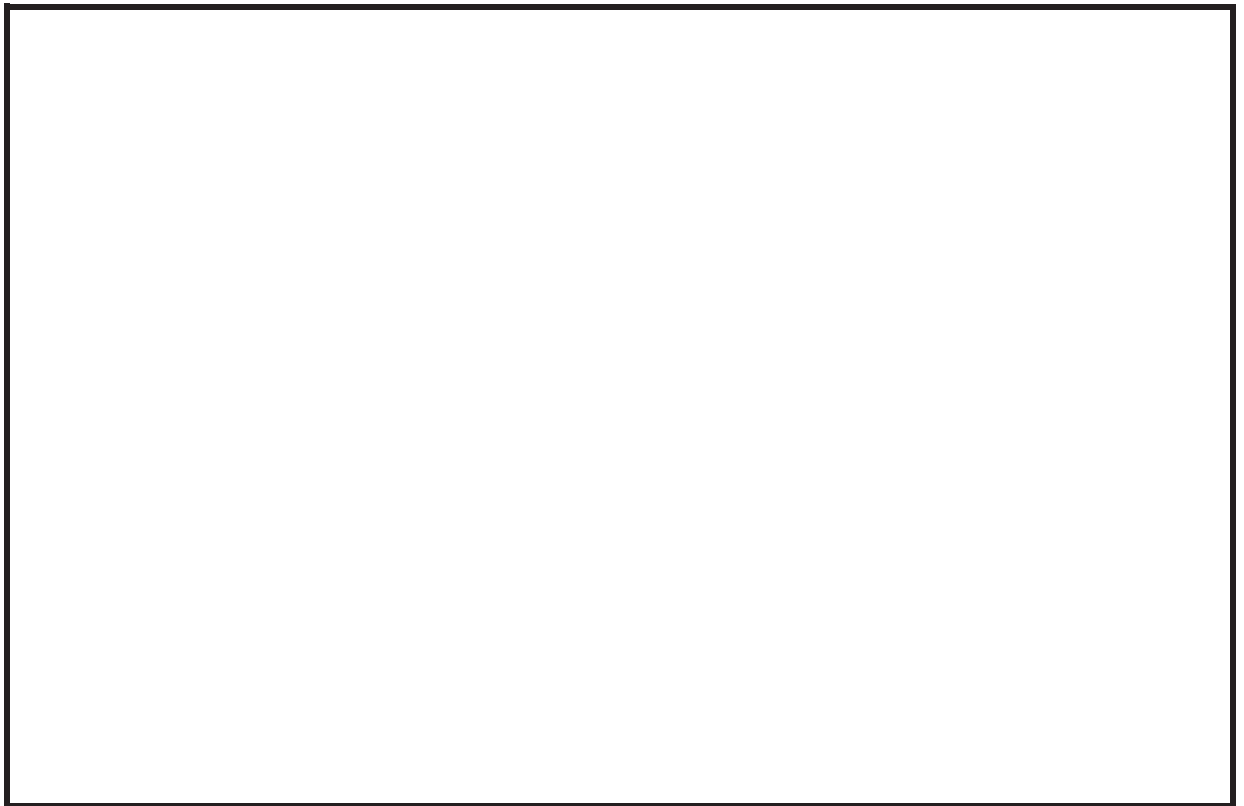


図 3-5 試験構成 (6/8) 可搬型窒素ガス供給装置

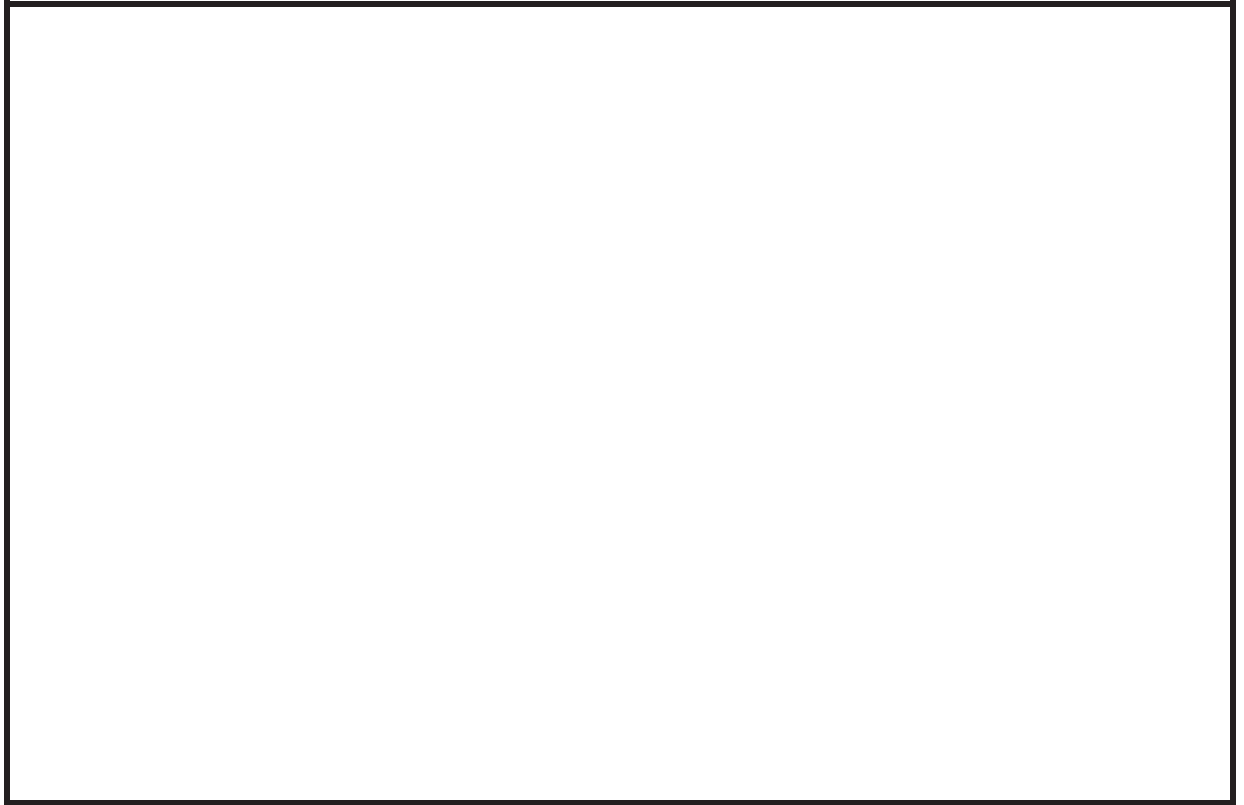


図 3-5 試験構成 (7/8) ホース延長回収車

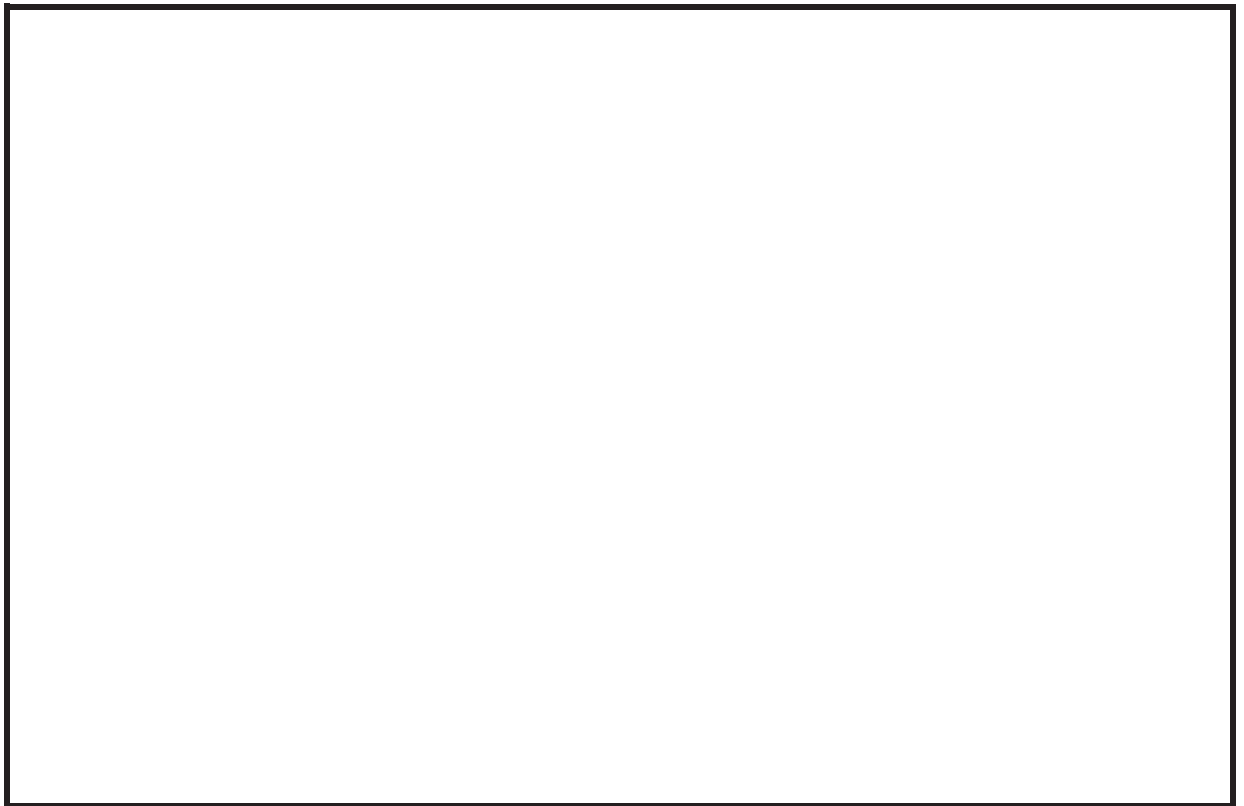


図 3-5 試験構成 (8/8) タンクローリ

	加速度時刻歴波形	FRS
水平方向 X		
水平方向 Y		
鉛直方向 Z		

図 3-6 加振試験に用いた加振波（加振台上での計測データ）の加速度時刻歴波形の例

3.5 構造強度評価

(1) 基本方針

可搬型重大事故等対処設備のうち、車両型設備に積載されている主要機器であるポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルト（直接支持構造物）及び直接支持構造物を支持するコンテナ取付ボルト（間接支持構造物）を対象とし、地震時における構造強度評価を実施する。また、評価のうち許容応力の算出及び耐震計算については、J E A G 4 6 0 1に基づき実施する。

(2) 評価部位

可搬型重大事故等対処設備の構造強度評価対象としては、主たる機能を有するポンプ、発電機、内燃機関等の機器本体、機器本体を支持する直接支持構造物である取付ボルト、機器本体を積載している間接支持構造物である車両部の車両フレーム、コンテナ台板及びコンテナ取付ボルトが対象となる。

a. 機器本体，直接支持構造物

可搬型重大事故等対処設備の構造強度評価対象は、J E A G 4 6 0 1における評価部位の選定の考え方を踏まえて、評価部位を選定する。機器本体であるポンプ、発電機、内燃機関等は、剛構造の設備であることから、構造強度評価対象として取付ボルトが評価対象となる旨規定されている。

可搬型重大事故等対処設備のポンプ、発電機、内燃機関等の取付ボルトの取付方法は、既設発電所設備と同様、ボルト構造による締結であり、ポンプケーシングやシリンダブロックは起動時の内圧に耐え、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の設計となっている。以上のことから、その設備構造を勘案し評価部位は取付ボルトとする。

タンクローリのタンクは、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。タンクローリは、保管時においてタンクが空の状態であり、地震時に考慮すべき荷重は、地震荷重による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作用することからタンク取付ボルトを評価部位とする。

したがって、車両型設備の構造強度評価部位は、各設備の直接支持構造物である取付ボルトとする。

各設備の具体的な評価部位を表 3-1 及び図 3-7～図 3-14 に示す。

b. 間接支持構造物

地震時の地震動は、移動機能を担う車両部の車輪、サスペンション、車両フレーム、コンテナ台板、コンテナ取付ボルトへ伝播し、ポンプ、発電機、内燃機関等へ地震荷重が伝わることから、車両部のうち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，コンテナ取付ボルトのうち，断面積の最も小さなコンテナ取付ボルトを評価部位とする。

各設備の具体的な評価部位を表 3-1 及び図 3-7～図 3-14 に示す。

表 3-1 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 3-7
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 3-8
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 3-9
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 3-10
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 3-11
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 3-12
ホース延長回収車	マルチリフト取付ボルト (上部／下部)	—	図 3-13
タンクローリ	タンク取付ボルト ポンプ取付ボルト	—	図 3-14

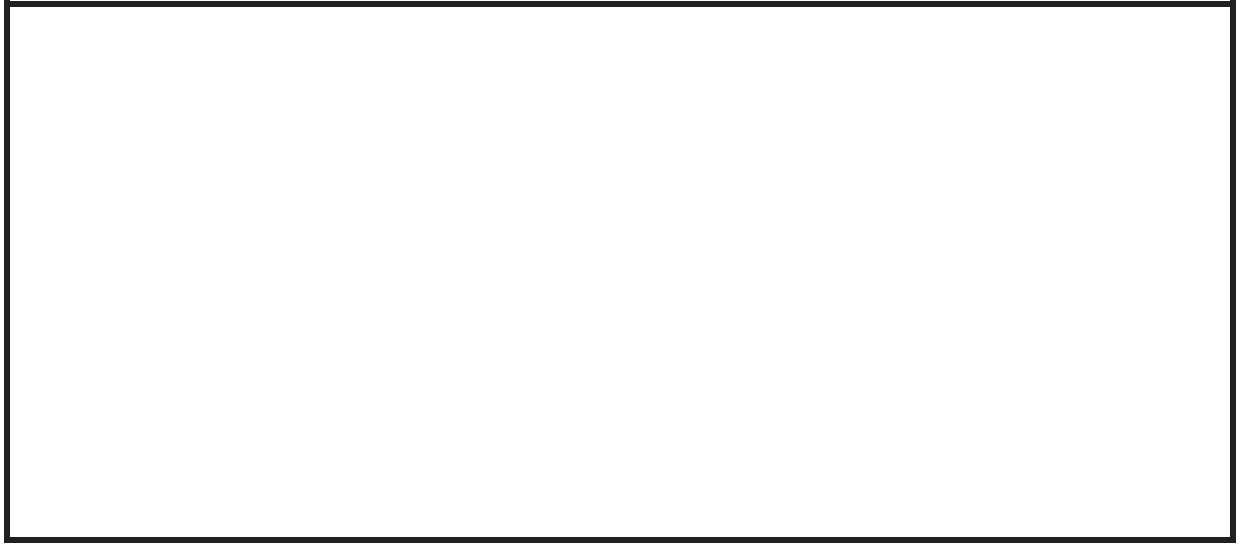


図 3-7 大容量送水ポンプ（タイプ I）の評価部位概略図(1/3)



図 3-7 大容量送水ポンプ（タイプ I）の評価部位概略図(2/3)

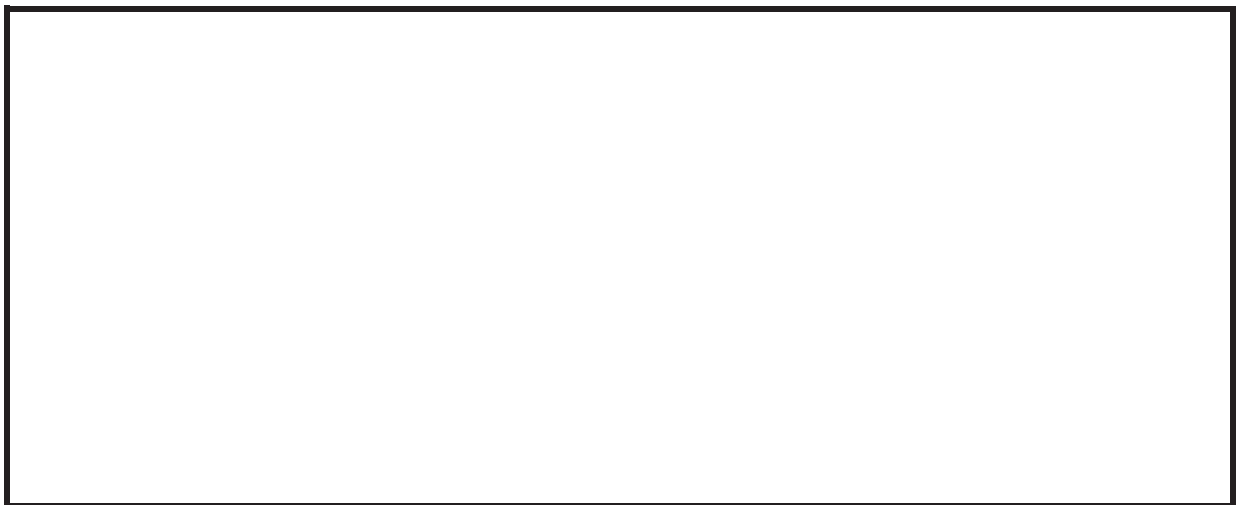


図 3-7 大容量送水ポンプ（タイプ I）の評価部位概略図(3/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

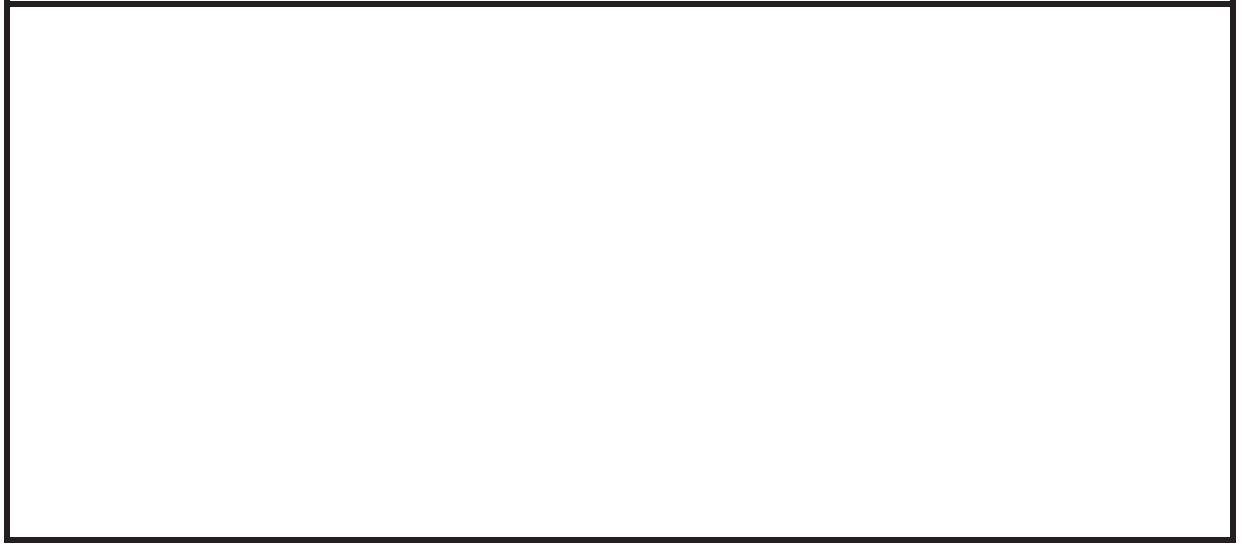


図 3-8 大容量送水ポンプ（タイプⅡ）の評価部位概略図(1/3)



図 3-8 大容量送水ポンプ（タイプⅡ）の評価部位概略図(2/3)



図 3-8 大容量送水ポンプ（タイプⅡ）の評価部位概略図(3/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

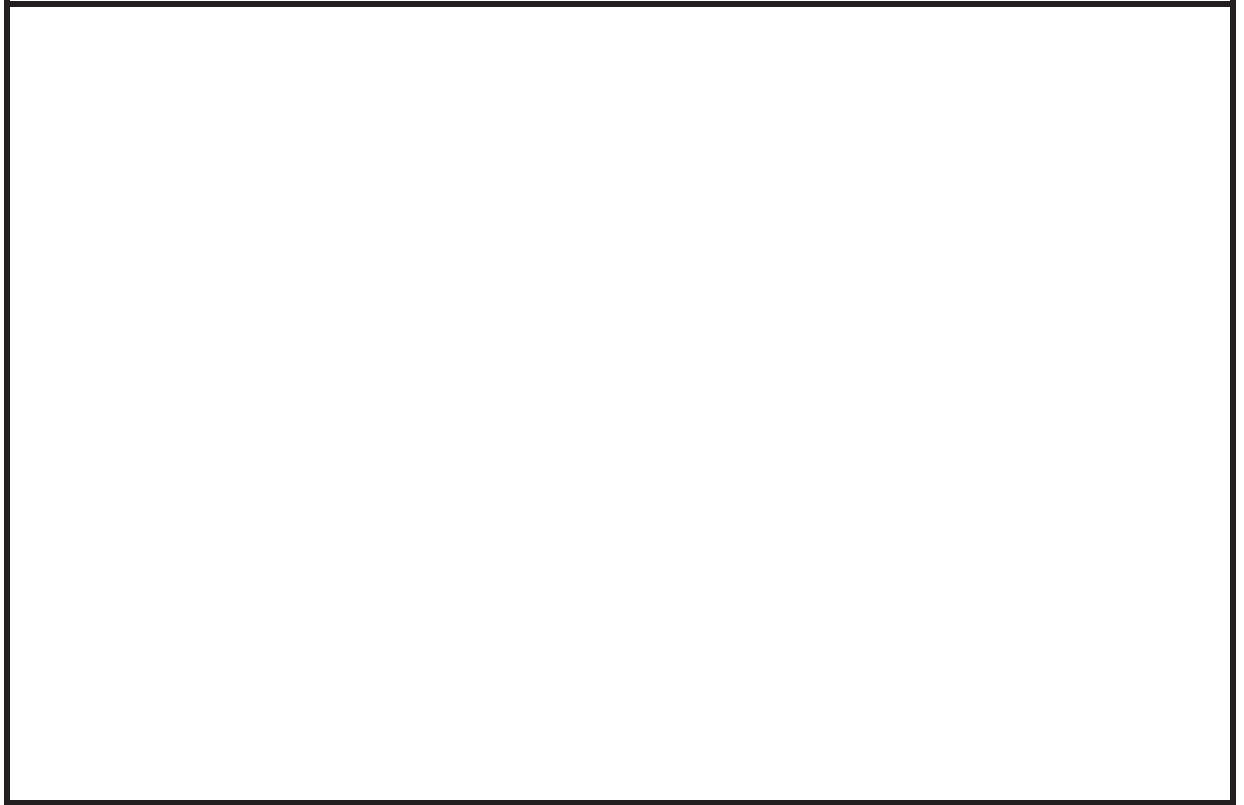


図 3-9 電源車の評価部位概略図 (1/2)

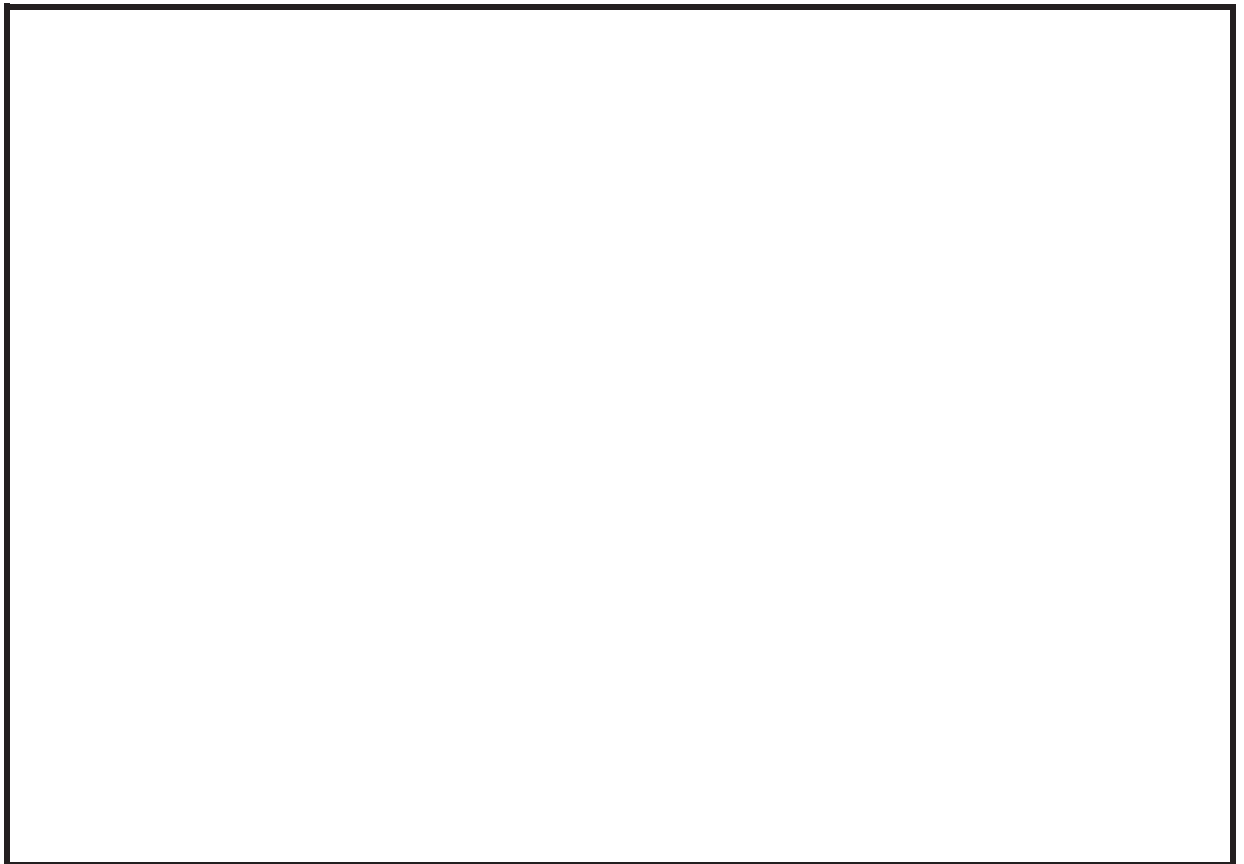


図 3-9 電源車の評価部位概略図 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

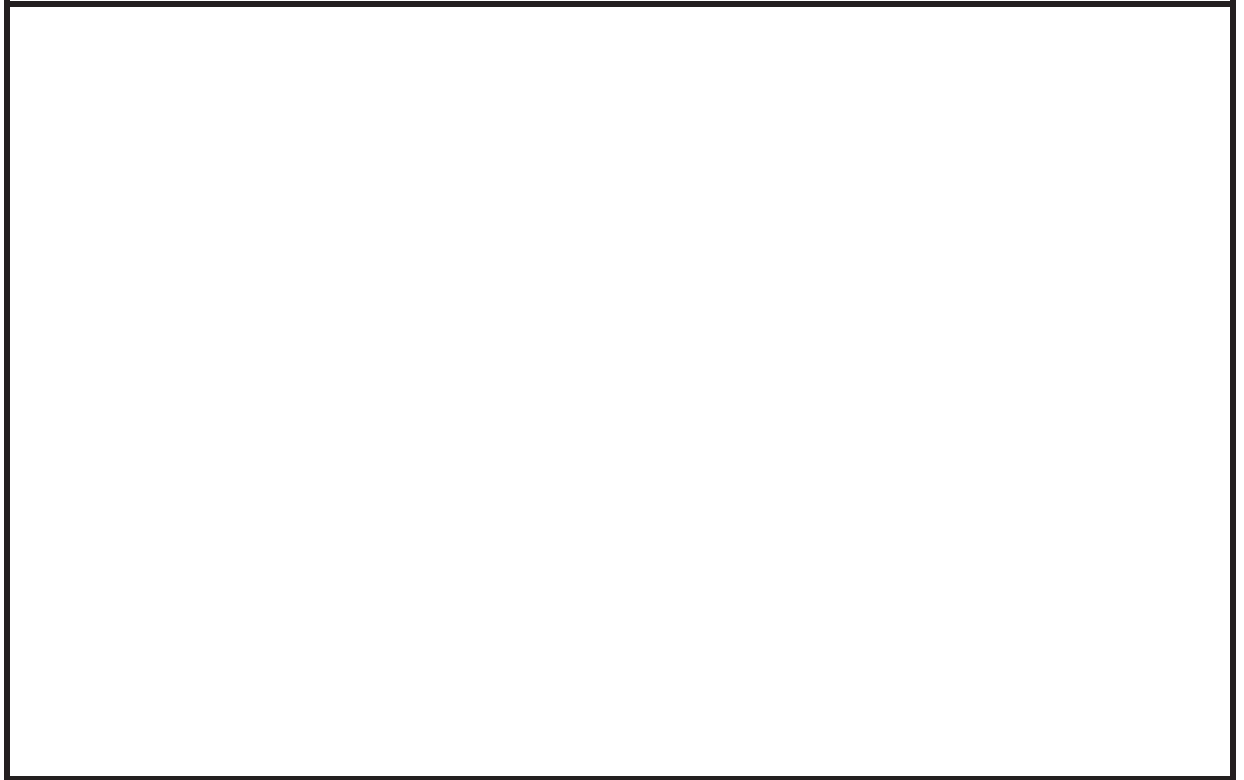


図 3-10 電源車（緊急時対策所用）の評価部位概略図（1/2）



図 3-10 電源車（緊急時対策所用）の評価部位概略図（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 3-11 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの評価部位概略図 (1/3)

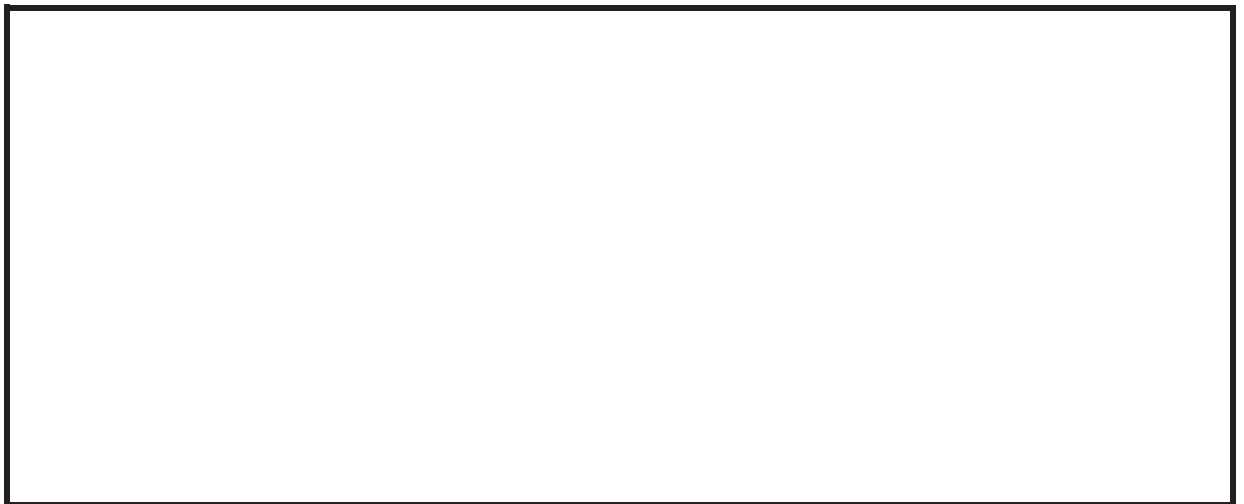


図 3-11 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの評価部位概略図 (2/3)

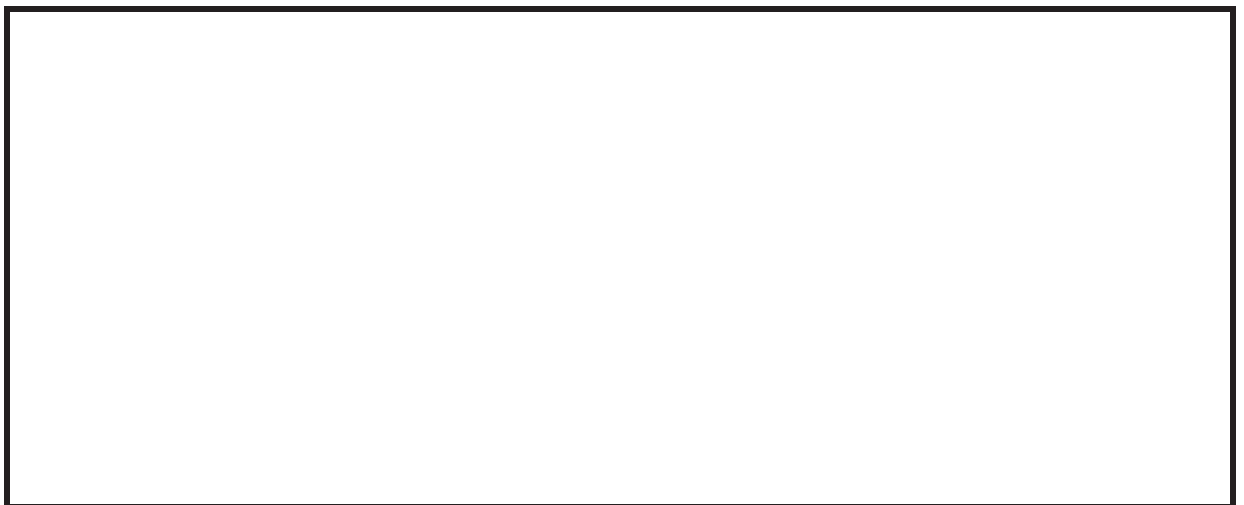


図 3-11 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの評価部位概略図 (3/3)

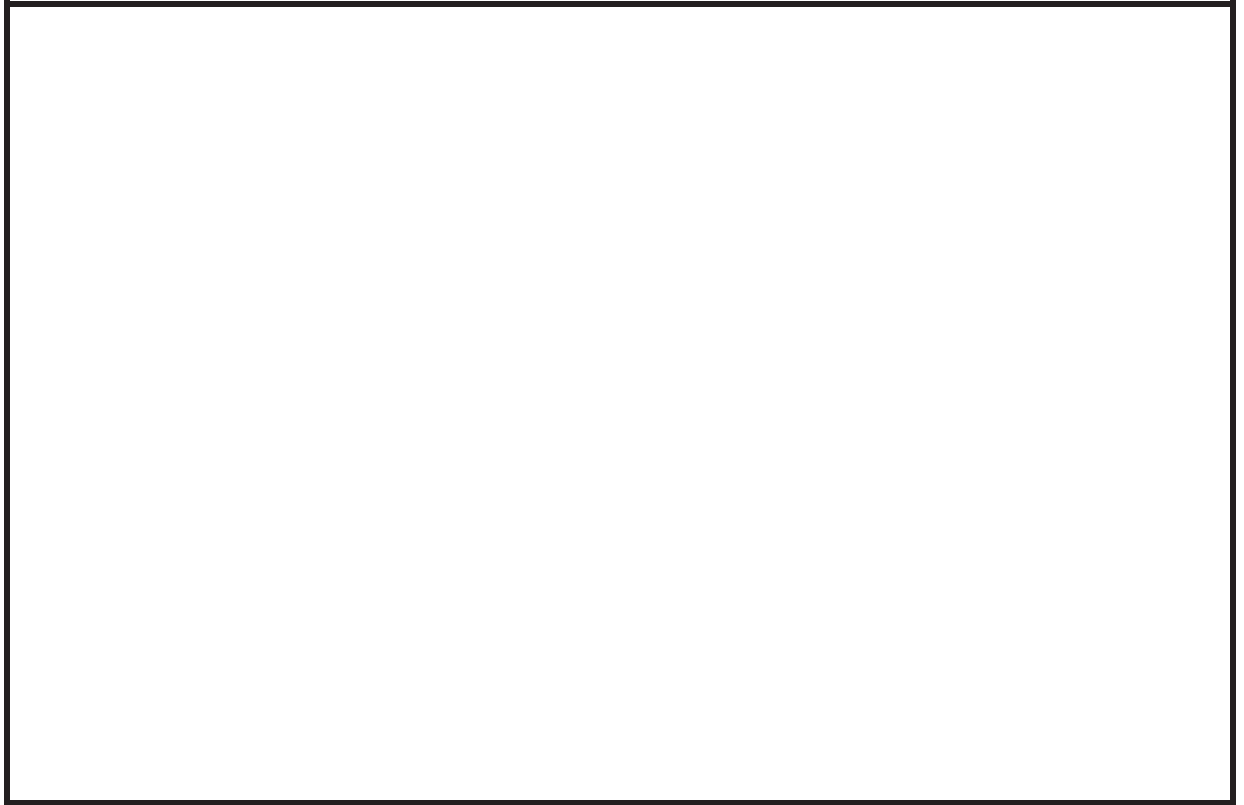


図 3-12 可搬型窒素ガス供給装置の評価部位概略図 (1/4)

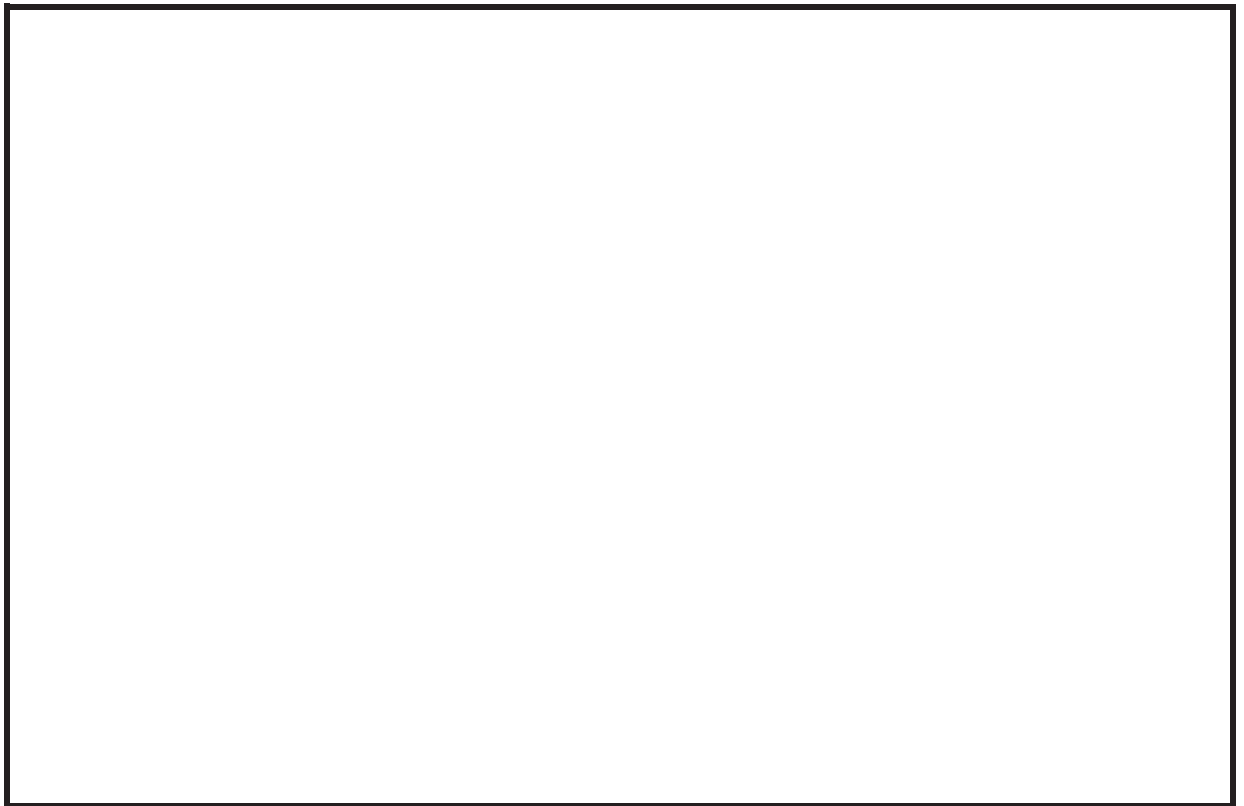


図 3-12 可搬型窒素ガス供給装置の評価部位概略図 (2/4)

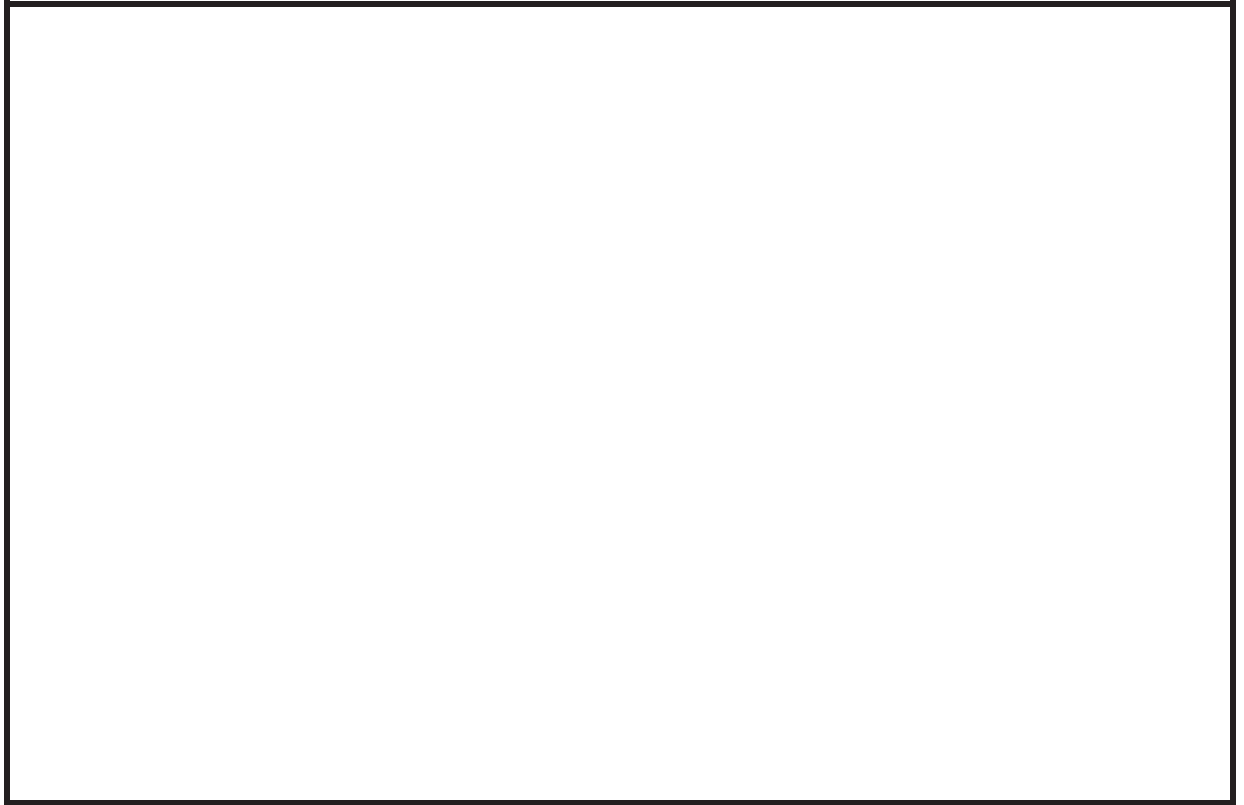


図 3-12 可搬型窒素ガス供給装置の評価部位概略図 (3/4)

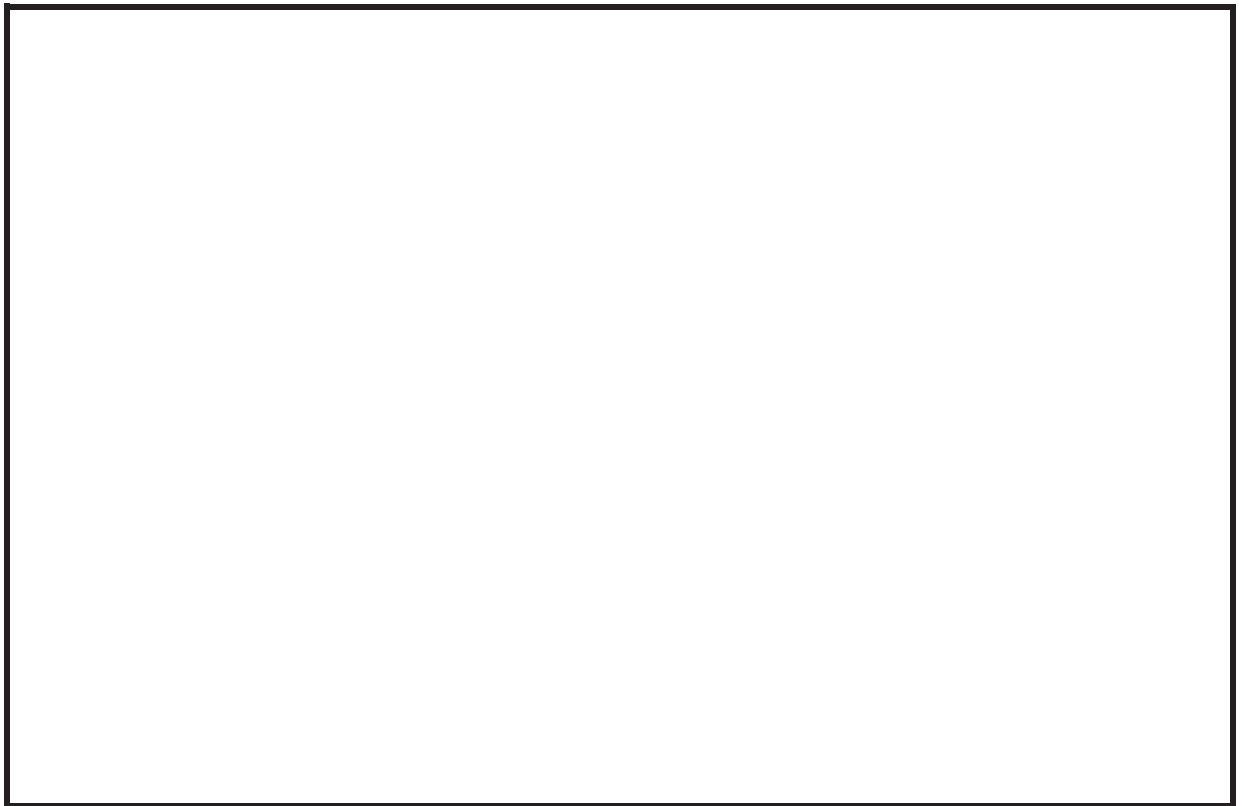


図 3-12 可搬型窒素ガス供給装置の評価部位概略図 (4/4)

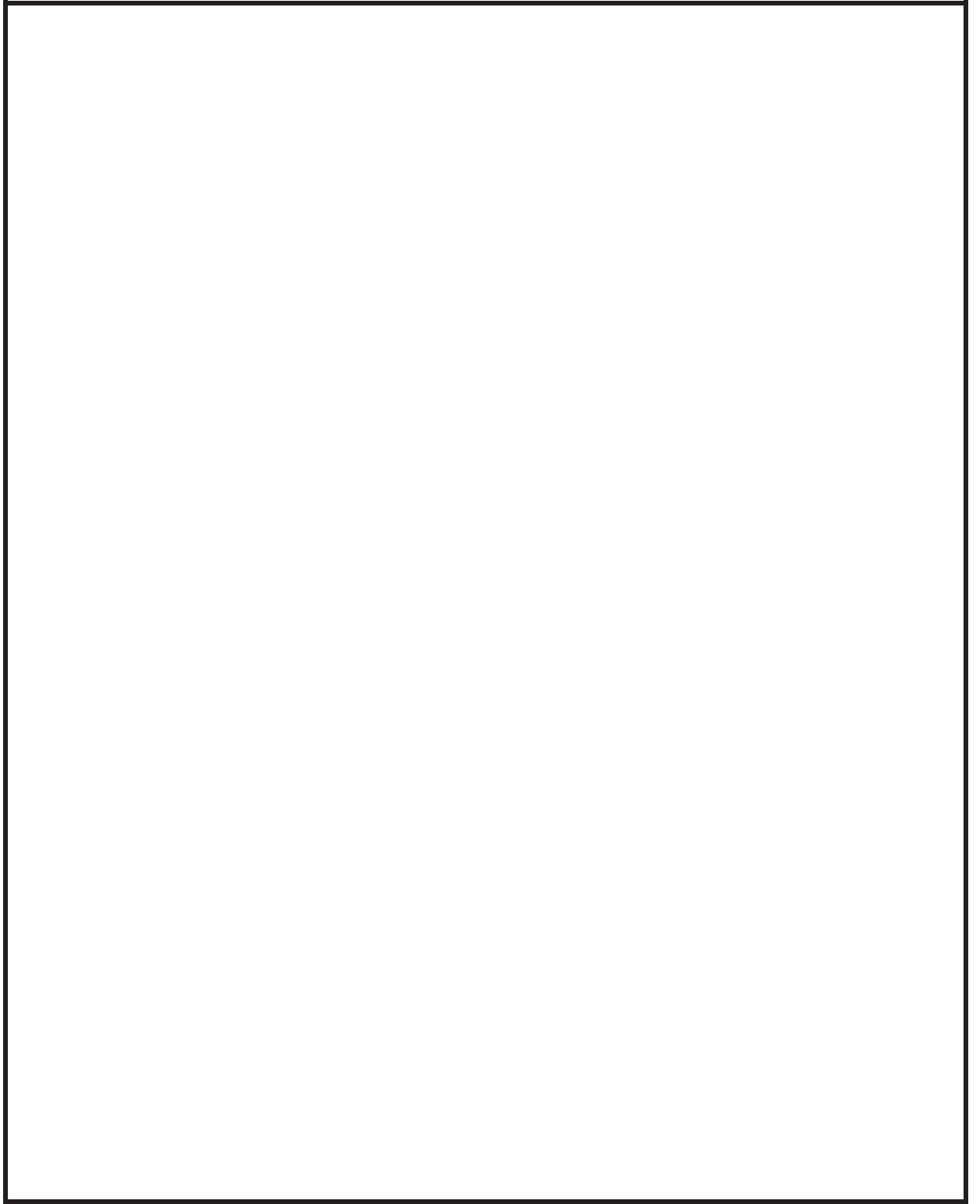


図 3-13 ホース延長回収車の評価部位概略図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

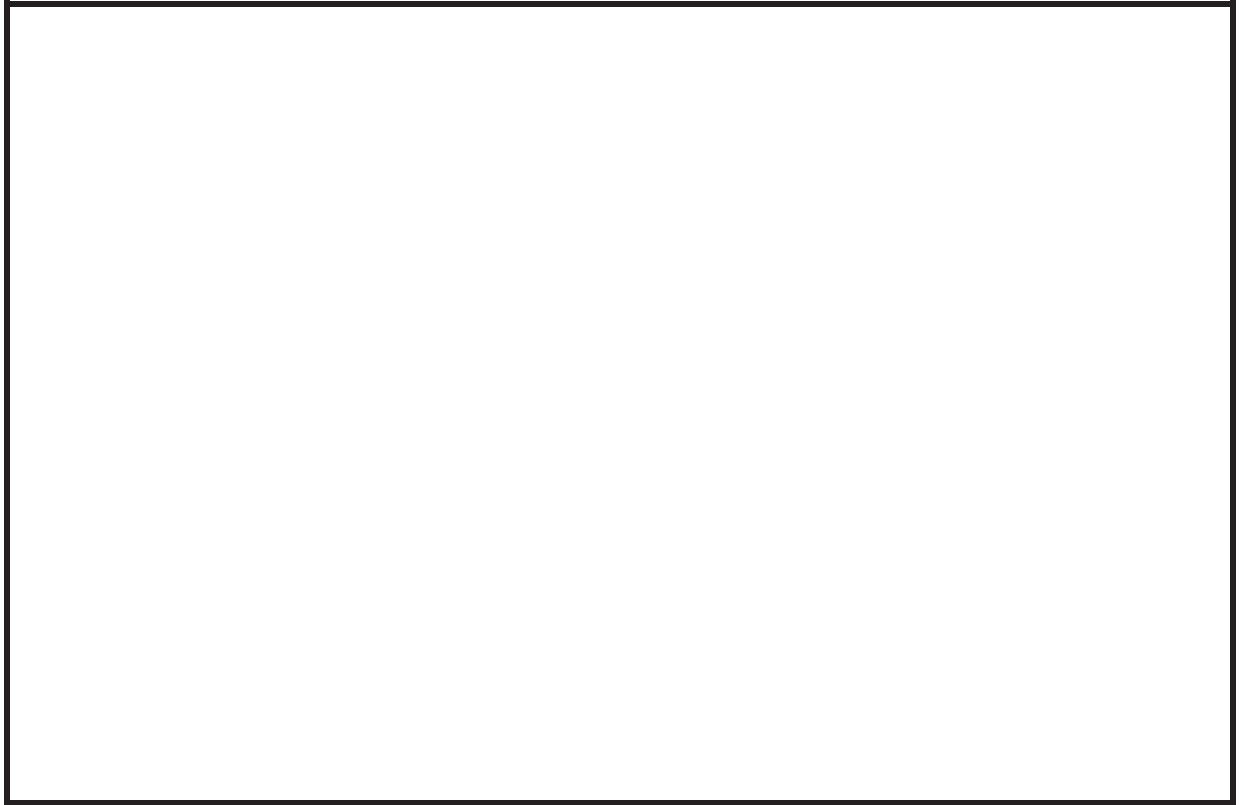


図 3-14 タンクローリの評価部位概略図(1/2)

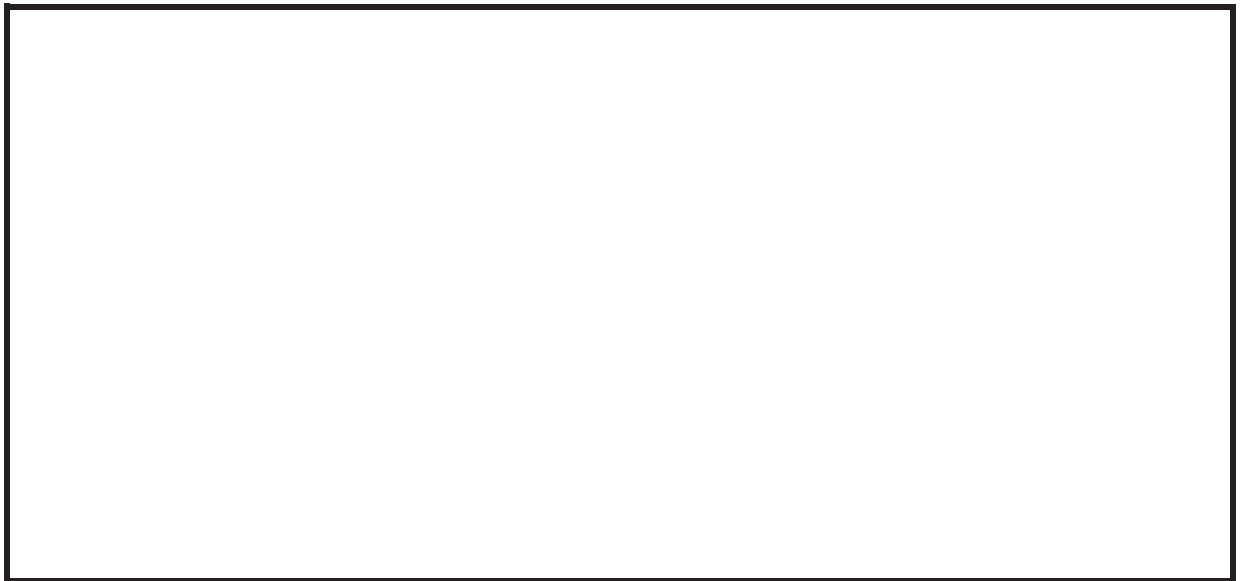


図 3-14 タンクローリの評価部位概略図(2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 取付ボルトの締結状態

車両型設備の耐震評価のうち構造強度評価の評価部位は、取付ボルトを対象として選定している。取付ボルトは、納入メーカーにてトルク管理をしていることから、剛に締結されているため機器の支持機能を十分に発揮することができる。また、ボルト締結状態の管理については、可能な限り通常のパトロール及び起動試験による目視の確認を行うとともに、分解点検による取外しを行う場合等については、適切なトルクでの締付を行うなど継続して管理を行うこととしている。

3.6 機能維持評価

可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備は、加振試験後の機能維持確認として、各設備の機能に応じた試験を実施し、設備が問題なく動作することを確認している。

加振試験後の機能維持確認方法と結果を、表 3-2 に示す。

表 3-2 加振試験後の機能維持確認方法と結果 (1/2)

設備名称	確認事項
大容量送水ポンプ (タイプ I)	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、転倒していないことを確認した。 ・外観点検により、設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷、燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・起動試験により、送水機能に問題ないことを確認した。 ・走行試験により、自走機能に問題ないことを確認した。
大容量送水ポンプ (タイプ II)	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、転倒していないことを確認した。 ・外観点検により、設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷、燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・起動試験により、送水機能に問題ないことを確認した。 ・走行試験により、自走機能に問題ないことを確認した。
電源車	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、転倒していないことを確認した。 ・外観点検により、設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷、燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・起動試験により、発電機能に問題ないことを確認した。 ・走行試験により、自走機能に問題ないことを確認した。
電源車 (緊急時対策所用)	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、転倒していないことを確認した。 ・外観点検により、設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷、燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・起動試験により、発電機能に問題ないことを確認した。 ・走行試験により、自走機能に問題ないことを確認した。

表 3-2 加振試験後の機能維持確認方法と結果 (2/2)

設備名称	確認事項
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後により，転倒していないことを確認した。 ・外観点検により，設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷，燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・走行試験により，自走機能に問題がないことを確認した。
可搬型窒素ガス供給装置	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後により，転倒していないことを確認した。 ・外観点検により，設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷，燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・性能試験により，窒素供給機能に問題がないことを確認した。 ・走行試験により，自走機能に問題がないことを確認した。
ホース延長回収車	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により，転倒していないことを確認した。 ・外観点検により，設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷，燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・起動試験により，コンテナ着脱機能に問題ないことを確認した。 ・走行試験により，自走機能に問題ないことを確認した。
タンクローリ	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により，転倒していないことを確認した。 ・外観点検により，設備に要求される機能に影響を及ぼす損傷，燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・起動試験により，給油機能に問題ないことを確認した。 ・走行試験により，自走機能に問題ないことを確認した。

3.7 波及的影響評価

(1) 基本方針

地震時におけ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として考慮すべき項目としては、地震に伴う車両のすべり及び傾きによる干渉がある。このため波及的影響評価においては、地震時のすべり量及び傾き角より算出した変位量を評価し、本評価結果に基づき、車両型設備 1 台当たりの離隔距離を適切に設定することにより、他の設備のと接触、衝突等が生じない設計とする。

また、評価対象となる設備は、第 1 保管エリア、第 2 保管エリア、第 3 保管エリア、第 4 保管エリア及び緊急時対策建屋（北側）に保管される車両型設備であり、各保管エリアに保管される車両型設備は、竜巻による飛散防止の観点から、固縛措置を講じる設計とする。このため、地震に伴う車両のすべり及び傾きが生じても、竜巻対策としての固縛装置の干渉がないよう、固縛装置は適正な余長を設ける設計とする。

(2) 評価方法

加振試験にて得られたすべり量及び傾き角により算出した車両型設備の最大変位量が、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を確認する。

(3) 評価結果

波及的影響評価として評価した走行軸方向の車両型設備の最大変位量と走行軸直角方向の車両型設備の最大変位量については、設定した離隔距離（許容限界）未満であることを確認した。

a. 走行軸方向

表 3-3 に各車両型設備の走行軸方向に関する評価結果を示す。表 3-3 より、走行軸方向の車両型設備の最大変位量は、設定した離隔距離（許容限界）未満であることを確認した。

b. 走行軸直角方向

表 3-4 に各車両型設備の走行軸直角方向に関する評価結果を示す。表 3-4 より、走行軸直角方向の車両型設備の最大変位量は、設定した離隔距離（許容限界）未満であることを確認した。

表 3-3 波及的影響評価結果（走行軸方向）

設備名称	保管場所	すべり量	傾きによる 変位量*1	車両の最大変位量 (走行軸方向)	許容限界*2 (走行軸方向)	評価結果
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	—	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	—	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	—	190	1000	○
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	190	—	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	—	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	—	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	—	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	—	587	1000	○

注記*1：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。

*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 3-4 波及的影響評価結果（走行軸直角方向）

設備名称	保管場所	すべり量	傾きによる 変位量	車両の最大変位量 (走行軸直角方向)	許容限界* ¹ (走行軸直角方向)	評価結果
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	110	428	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	570	497	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	200	516	716	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	200	516	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	190	182	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	110	461	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	290	229	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	357	337	694	1500	○

注記*1：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

実際の車両型設備の配置に必要となる間隔については、隣り合う設備の離隔距離の合算値以上とする。

なお、地震に伴うすべり及び傾きを、双方が同時に接近する方向に生じる可能性はほとんどないため、各々の離隔距離（許容限界）を単純に加算して決定する必要はない。

ただし、最終的に環境条件（摩擦係数）の変動等を考慮し、保守性を持たせるため、上記の離隔距離（許容限界）を確保する。

(4) 加振台と実際の保管場所との環境条件の相違による影響

a. 環境条件比較

実測値とした加振台と実際の保管場所の条件には、路面材料、路面状況等、種々の相違が考えられる。

(a) 路面材料

加振試験は実際の保管場所と同様にコンクリートにて実施しており、路面材料の相違はない。

(b) 路面状況

加振台は乾燥状態であるが、屋外設置の設備に関しては気象等の影響により路面状況が変化する。乾燥面と湿潤面を比較すると湿潤面の方が摩擦係数は低下し、凍結した路面であればさらに摩擦係数が低下する。一般的に摩擦係数の低下に伴いすべり量は大きくなるが、実際の車両型設備の配置の際には、車両型設備ごとに設定した離隔距離を合算した離隔距離以上で配置すること、離隔距離は車両型設備の最大変位量に対し余裕をもった値を設定していること、及び車両型設備が同時に接近する方向に移動する可能性は低いことから、十分な保守性を確保している。また、著しく摩擦係数の低下が想定されるような以下の場合については、路面状況を維持する対応をとることから、路面状況の差が波及的影響評価の結果に与える影響は軽微である。

砂の細粒子等の異物が舗装路面に散乱している場合等については、発電所内の運用管理（保管場所のパトロール等）において、必要に応じて清掃・除去を行うため、考慮対象外とする。

凍結に関しては、舗装した保管場所にて水溜まりなどが発生しないよう、良好な排水ができる設計としていることから、降雨後に気温が低下し氷点下になったとしても、良好な排水により摩擦係数に影響を与えるような凍結（ある程度厚みを持った凍結面であって、すべりに伴い重量物である車両型設備が載ることにより圧力を与えても表面しか解けないような凍結）の恐れはなく、降雪に伴う凍結が発生する恐れのある場合にも、凍結防止剤の散布等を行い、対策を講じることとしているため、凍結については考慮対象外とする。

(c) 保管時のブレーキ力

加振試験時には実際の保管状態を模擬するため、車両のサイドブレーキを使用した状態で試験を実施しているが、車両型設備の走行軸方向の移動に対してブレーキ力が作用するため、サイドブレーキには車両型設備の走行軸方向のすべり量を低減させる効果があると考えられる。

そのため、停車時におけるサイドブレーキの取扱としては、車両ごとのマニュアルに従い必要な引きしろ分動作させることで十分なブレーキ力を与え、定期的な保守点検時においても状態の確認を行うとともに、必要により調整を行う。

また、サイドブレーキの点検は、法定点検項目の一つとして車両ごとに定められた点検間隔で実施するものであるため、それぞれの保守点検の間隔中における劣化は生じ難い。なお、加振試験時に用いた地震動は、保管場所の地震動をおおむね上回る加速度とし、さらに試験によって得られた最も大きなすべり量を車両設備ごとに適用しており、相当の保守性を有していることから、仮に保守点検の間隔中にブレーキ力のばらつきや劣化が生じたとしても、その保守性の中に含まれるものとする。

3.8 保守性及び不確実さの全体的な釣り合いについて

(1) 保守性及び不確実さの全体的な釣り合いの検討方針

車両型設備の耐震設計及び評価の各段階に含まれる保守性及び不確実さ（非保守性を含む。以下、同様。）の全体的な釣り合い（以下、「トータルバランス」という。）の検討は以下の手順により実施する。

- a. 保守性及び不確実さの要因の抽出
- b. 保守性及び不確実さの要因のスクリーニング
- c. 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析
- d. 各要因の保守性及び不確実さの定量化
- e. 保守性及び不確実さのトータルバランスの検討

a. 保守性及び不確実さの要因の抽出

車両型設備の耐震設計及び評価の各段階に含まれる保守性及び不確実さの要因となり得る項目を抽出する。

基準地震動 S_s による地震力に対する車両型設備の機能維持の評価は、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の各段階に分けて実施されるが、これらの評価は車両型設備の加振試験結果を用いて実施される。

したがって、保守性及び不確実さの要因の抽出に当たっては、車両型設備の耐震設計及び評価を以下の各段階に分けて検討する。

- ① 加振試験
- ② 構造強度評価
- ③ 転倒評価
- ④ 機能維持評価
- ⑤ 波及的影響評価

なお、「① 加振試験」の検討対象範囲は、試験結果を出す段階までとし、これらの結果を用いた評価における評価手法そのものや評価条件の設定に含まれる保守性及び不確実さの要因はそれぞれ「② 構造強度評価」から「⑤ 波及的影響評価」の中で抽出する。

上記の各段階を基本的に以下の要素に分割し、要素ごとに試験及び評価結果へ影響を与える可能性のある要因、即ち、保守性及び不確実さ要因を抽出する。

- ・手法（試験方法、評価方法）
- ・入力条件（設計用地震力）
- ・評価モデル及び評価条件（試験体及び諸元、荷重の組合せ及び許容限界）

なお、各評価の特性を踏まえ、上記の要素分類に当てはまらない評価要素があれば必要に応じて当該要素を追加する。

b. 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング

「a. 保守性及び不確実さ要因の抽出」により抽出された保守性及び不確実さの要因，特に不確実さに関連する要因について，他の設備の耐震評価における工認（今回工認において妥当性確認済みの項目を含む）や J E A G 4 6 0 1 と同様の取り扱いを行っている場合は，当該要因が評価結果に与える不確実さはないと考え，以降の検討の対象外とする。

c. 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

「b. 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング」までに抽出された保守性及び不確実さの各要因について，保守性及び不確実さそれぞれの観点で車両型設備の耐震評価に及ぼす影響を定性的に分析する。

d. 各要因の保守性及び不確実さの定量化

保守性及び不確実さの各要因について，その保守性や不確実さが定量化可能なものについて，その定量化を行う。

e. 保守性及び不確実さのトータルバランスの検討

「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」の評価ごとに，評価に関連する不確実さ要因を抽出し，不確実さ要因に対して，同要因が有する保守性や他の要因の保守性により，当該不確実さによる非保守性が包絡されることを確認する。

以上までの検討を基に，「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」の評価ごとに，評価全体として保守性が確保されていることを確認する。

(2) 検討結果

a. 保守性及び不確実さ要因の抽出結果

保守性及び不確実さ要因の抽出結果を表 3-5 に示す。表 3-5 では，当該項目が保守性の要因と不確実さの要因のいずれに該当するかを併せて示している。

b. 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング結果

「a. 保守性及び不確実さ要因の抽出結果」で抽出された項目の保守性及び不確実さ要因について，工認や J E A G 4 6 0 1 での適用実績の有無を表 3-5 に併せて示す。

また，「実績あり」（凡例：○）の場合は，下記「c. 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析」以降の検討の対象外としたが，その場合であっても，

車両型設備の耐震評価上において保守性及び不確実さの観点で重要な場合や評価結果に影響が大きいと考えられる場合は、検討対象として追加した。

c. 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

「b. 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング結果」までに抽出された保守性及び不確実さ要因に関し、その影響に対する定性的な検討を以下の要領で行った。検討結果については、表 3-6 に示す。

- ・同じ保守性及び不確実さ要因であっても、その保守性及び不確実さの影響は、耐震評価にて使用する応答値の項目（加速度・変位・すべり量）ごとに異なる。したがって、これらの項目ごとに、保守性及び不確実さが与える影響を定性的に分析した。
- ・車両型設備の耐震評価は、「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」に分けられる。各評価において使用する応答値の項目が異なるため、各評価で使用する応答値を整理した。
- ・以上の整理を踏まえて、保守性及び不確実さに関する各要因が各応答値に与える保守性及び不確実さの内容を整理した。
- ・また、当該要因が評価上与える相対的な影響度を定性的に検討し、「相対的に影響が大きい」、「相対的に影響が小さい」及び「影響が有意でない」の3種類に分類した。

ここで、定量的あるいは定性的に評価結果に与える影響がおおむね 10%を超えると判断される場合は「相対的に影響が大きい」分類した。また、影響が数%程度以下と判断される場合は「影響が有意でない」に分類した。なお、「影響が有意でない」項目については、以降の検討対象外とした。

d. 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

保守性及び不確実さ要因について、その影響が定量化可能なものは定量化し、その結果を上記「c. 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析」の影響度合い分類結果に反映した。

e. 保守性及び不確実さのトータルバランスの検討

「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」の評価ごとに、表 3-6 の検討結果を以下の要領で整理することにより各評価が全体として保守性を有していることを確認した。

まず、表 3-6 にて、保守性及び不確実さの影響度が「相対的に大きい」（凡例：【○】）又は「相対的に影響が小さい」（凡例：【△】）要因を抽出した。

抽出した各要因を，その不確実さの内容と不確実さに対する対応から，「不確実さの残る要因」，「保守性の残る要因」及び「保守性と不確実さが同等である要因」に分類した。

各分類の位置づけは以下のとおりである。

「不確実さの残る要因」：当該要因の不確実さが，当該要因自身の保守性もしくは当該要因の不確実さに直接的に関連する他の要因が有する保守性により完全に包絡できないもの。

「保守性の残る要因」：当該要因の保守性が，当該要因自身の不確実さもしくは当該要因の保守性に直接的に関連する他の要因における不確実さを包絡し，その上でさらに保守性が残存するもの。

「保守性と不確実さが同等である要因」：当該要因の不確実さと，当該要因自身の保守性もしくは当該要因の不確実さに直接的に関連する他の要因における保守性がほぼ同等で相殺しあうもの。

なお，「不確実さの残る要因」は，さらに「保守性を有する直接的な対応のない不確実さ要因」と「定性的な確認のみの不確実さ要因」に分類する。後者としては，定性的な検討において，不確実さの程度，保守性の程度あるいはその両者が不明確であるために不確実さの残存を否定できないものを抽出した。

「保守性の残る要因」は，「未適用の保守性要因」と「保守性の残存する保守性要因」に分類する。前者は，当該要因に不確実さがなく，かつ，当該要因に直接的に関連する他の要因における不確実さもないものである。後者は，当該要因自身の不確実さもしくは当該要因に直接的に関連する他の要因における不確実さを包絡し，その上でさらに保守性が残存するものである。

「保守性と不確実さが同等である要因」は，「設計にて対応済みの要因」と「定性的に確認した要因」に分類する。前者は，当該要因の不確実さに対し設計上の対応で保守性が担保されるものである。後者は，当該要因の不確実さに対して特段設計上の対応は行っていないが，当該要因の持つ性質から当該要因の不確実さに対する保守性が確認されるものである。

以上に基づく各評価に対する抽出及び分析結果を表 3-7～表 3-10 に示す。

上記各分類のうち，「不確実さの残る要因」と「保守性の残る要因」を総合的に分析することにより，各評価全体として保守性が確保されていることを確認した。確認結果を表 3-7～表 3-10 の「総合評価」欄に示す。

以上の検討の結果，車両型設備の耐震設計及び評価全体として，各種不確実さを包絡する適切な保守性を有することを確認した。

表 3-5 保守性及び不確実さ要因抽出結果 (1/2)

設計・評価段階	設計・評価要素	保守性・不確実さを有する項目	車両型設備の設計・評価での取扱の概要	保守性の要因	不確実さの要因	工認及び JEAG での実績の有無 (○：実績あり, ●：実績なし)	備考
加振試験	試験方法	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）（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）、可搬型窒素ガス供給装置及びホース回収延長車） ・「水平（走行軸方向）＋水平（走行軸直角方向）＋鉛直」（3軸加振）（大容量送水ポンプ（タイプⅠ）、原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット、タンクローリ）	—	—	○	
		試験回数	当該設備の各保管場所における設計用 FRS を各車両型設備の固有周期で包絡された加振波で、2軸加振設備は2回、3軸加振設備は1回加振	—	○	○	
	設計用地震力（加速度・変位・すべり量）	加振試験入力波	当該設備の各保管場所全ての設計用 FRS を各車両型設備の固有周期で包絡させたランダム波を使用	○	○	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
	試験体及び諸元	試験体	実機と同一の車両型設備を使用	—	—	○	
		試験環境	実施機保管場所と同等のコンクリート上に設置	—	—	○	
構造強度評価	荷重の組合せ及び許容限界	許容限界	JEAG 4601 のその他支持構造物の許容値を適用	○	—	○	
	評価方法	ボルト応力評価方法	JEAG 4601 のポンプ等のボルト応力評価方法を適用	○	—	○	
		FRS 拡幅	加振試験入力波作成の際に、拡幅を考慮した FRS を用いている。	○	—	○	
	設計用地震力（加速度）	設置床での応答加速度	加振試験で得られた評価部位頂部での応答を設置床での応答としている。	○	—	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
		設計用加速度	評価部位頂部の最大応答加速度に対し、更に 1.2 倍したものを設計用加速度としている。	○	—	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
	誘発上下動	ローリング（走行軸回りの回転）・ロッキング（タイヤの浮上りを伴う走行軸回りの回転）挙動により車両型設備端部で鉛直方向へ応答が発生し得るが、評価では評価部位頂部での応答を使用	—	○	○	実績はあるが、不確実さの観点で重要であるため除外しない。	

表 3-5 保守性及び不確実さ要因抽出結果 (2/2)

設計・評価段階	設計・評価要素	保守性・不確実さを有する項目	車両型設備の設計・評価での取扱の概要	保守性の要因	不確実さの要因	工認及び JEAG での実績の有無 (○：実績あり, ●：実績なし)	備考
転倒評価	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(加振試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性及び不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	(該当なし)	(加振試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、評価方法の観点で保守性及び不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	設計用地震力 (加速度)	(該当なし)	(上記「加振試験」での当該項目と同様であり、転倒評価として新規に該当する項目はない。)	—	—	—	
機能維持評価	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(加振試験にて試験後に機能が維持されていること直接的に確認するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性及び不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	(該当なし)	(加振試験にて試験後に機能が維持されていること直接的に確認するため、評価方法の観点で保守性及び不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	設計用地震力 (加速度)	(該当なし)	(上記「加振試験」での当該項目と同様であり、機能維持評価として新規に該当する要素はない。)	—	—	—	
波及的影響評価	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(発電所における敷地の制限、可搬型重大事故等対処設備の作業性及び運用性を踏まえ設定するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性及び不確かさに該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	配置間隔の設定方法	車両型設備の配置間隔として、隣り合う設備の離隔距離の合算値以上とする設計とする。	○	—	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
	設計用地震力 (変位・すべり量)	最大変位量の算出方法	加振試験で得られたすべり量の最大値と傾きによる変位量の最大値を合わせた場合の影響評価を実施する。	○	—	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。

表 3-6 保守性・不確実さ要因の分析及び影響が有意でない不確実さのスクリーニング (1/2)

設計・評価段階	設計・評価要素	保守性・不確実さ要因	影響項目	評価との対応				保守性 [凡例] 【○】: 相対的に影響度大 【△】: 相対的に影響度小	不確実さ [凡例] 【○】: 相対的に影響度大 【△】: 相対的に影響度小 【-】: 影響が有意でない	影響が有意でない理由
				転倒評価	構造強度評価	機能維持評価	波及的影響評価			
加振試験	設計用地震力 (加速度・変位・すべり量)	a. 加振試験入力波	加速度	○	○	○	-	加振試験入力波は、設計用FRSをおおむね上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有周期により異なるが、数%~20%程度）となる。 【○】	-	-
			変位	-	-	-	○	同上【△】	-	-
			すべり量	-	-	-	○	同上【△】	-	-
構造強度評価	設計用地震力 (加速度)	b. 設置床での応答加速度	加速度	-	○	-	-	加振試験で得られた評価部位頂部での最大応答加速度を、評価上は、より低い位置である設備設置床での応答と仮定することによる保守性がある。【△】	-	-
		c. 設計用加速度	加速度	-	○	-	-	評価部位頂部の最大応答加速度に対し、更に1.2倍したものを設計用加速度としている。【○】	-	-
		d. 誘発上下動	加速度	-	○	-	-	-	水平・鉛直方向の地震に伴い発生するローリング（走行軸回りの回転）やロッキング（タイヤの浮き上がりを伴う走行軸回りの回転）挙動により、重心位置から離れた箇所では、誘発上下動が発生し、鉛直応答が増加する可能性がある。 【-】	構造強度評価においては、評価部位頂部で計測を実施していることから、影響は有意でない。
転倒評価	(該当なし)	-	-	-	-	-	-	-	-	
機能維持評価	(該当なし)	-	-	-	-	-	-	-	-	

表 3-6 保守性・不確かさ要因の分析及び影響が有意でない不確かさのスクリーニング (2/2)

設計・評価 段階	設計・評価 要素	保守性・ 不確かさ 要因	影響項目	評価との対応				保守性 [凡例] 【○】: 相対的に影響度大 【△】: 相対的に影響度小	不確かさ [凡例] 【○】: 相対的に影響度大 【△】: 相対的に影響度小 【-】: 影響が有意でない	影響が有 意でない 理由
				転倒 評価	構造 強度 評価	機能 維持 評価	波及的 影響 評価			
波及的影響 評価	評価方法	e. 配置間隔 の設定	変位	-	-	-	○	車両型設備同士がぶつかる 方向に同時にすべり及び傾 きが発生することは考えに くい、車両型設備の実際 の配置間隔として、隣り合 う設備の離隔距離の合算値 以上とする設計により保守 性がある。【○】	-	-
			すべり量	-	-	-	○			
	設計用地震力 (変位・すべり 量)	f. 最大変位 量の算出方 法	変位	-	-	-	○	加振試験で得られたすべり 量の最大値と傾きによる変 位量の最大値は、同時に発 生する可能性は低く、その 両方の値を用いて算出する 最大変位量はある程度の保 守性を有している。【△】	-	-
			すべり量	-	-	-	○			

表 3-7 構造強度評価に関連する保守性・不確かさ要因

		保守性・不確かさ要因* ¹	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）* ²	備考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	加振試験入力波は、設計用 FRS をおおむね上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有周期により異なるが、数%～20%程度）となる。【○】	
		b. 設置床での応答加速度	—	加振試験で得られた評価部位頂部での最大応答加速度を、評価上は、より低い位置である設備設置床での応答と仮定することによる保守性がある。【△】	
		c. 設計用加速度	—	評価部位頂部の最大応答加速度に対し、更に 1.2 倍したものを設計用加速度としている。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		構造強度評価は、評価に用いる設計用地震力（加速度）として実機の加振試験での計測値を直接用いているため有意な不確かさはない。 一方、未適用の保守性要因として「加振試験入力波」、「設置床での応答加速度」及び「設計用加速度」がある。 以上より、加振試験結果に基づく構造強度評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6 における「保守性・不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【】内の記号は、表 3-6 における「保守性」欄の記号を表している。

表 3-8 転倒評価に関連する保守性・不確実さ要因

		保守性・不確実さ要因* ¹	不確実さ	不確実さに対する対応（保守性）* ²	備考
不確実さの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確実さ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確実さ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	加振試験入力波は、設計用 FRS をおおむね上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有周期により異なるが、数%～20%程度）となる。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確実さが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		転倒評価は、評価に用いる設計用地震力（加速度）として実機の加振試験での計測値を直接用いているため有意な不確実さはない。 一方、未適用の保守性要因として「加振試験入力波」がある。 以上より、加振試験結果に基づく転倒評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6 における「保守性・不確実さ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【】内の記号は、表 3-6 における「保守性」欄の記号を表している。

表 3-9 機能維持評価に関連する保守性・不確実さ要因

		保守性・不確実さ要因* ¹	不確実さ	不確実さに対する対応（保守性）* ²	備考
不確実さの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確実さ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確実さ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	加振試験入力波は、設計用 FRS をおおむね上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有周期により異なるが、数%～20%程度）となる。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確実さが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		機能維持評価は、評価に用いる設計用地震力（加速度）として実機の加振試験での計測値を直接用いているため有意な不確実さはない。 一方、未適用の保守性要因として「加振試験入力波」がある。 以上より、加振試験結果に基づく機能維持評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6 における「保守性・不確実さ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【】内の記号は、表 3-6 における「保守性」欄の記号を表している。

表 3-10 波及的影響評価に関連する保守性・不確実さ要因

		保守性・不確実さ要因* ¹	不確実さ	不確実さに対する対応（保守性）* ²	備考
不確実さの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確実さ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確実さ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	加振試験入力波は、設計用 FRS をおおむね上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有周期により異なるが、数%～20%程度）となる。【○】	
		e. 配置間隔の設定方法	—	車両型設備同士がぶつかる方向に同時にすべり及び傾きが発生することは考えにくいですが、車両型設備の実際の配置間隔として、隣り合う設備の離隔距離の合算値以上とする設計により保守性がある。【○】	
		f. 最大変位量の算出方法	—	加振試験で得られたすべり量の最大値と傾きによる変位量の最大値は、同時に発生する可能性は低く、その両方の値を用いて算出する最大変位量はある程度の保守性を有している。【△】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確実さが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		<p>波及的影響評価は、評価に用いる設計用地震力（変位・すべり量）として実機の加振試験での計測値を直接用いているため有意な不確実さはない。</p> <p>一方、未適用の保守性要因として「加振試験入力波」、「配置間隔の設定方法」及び「最大変位量の算出方法」がある。</p> <p>以上より、加振試験結果に基づく波及的影響評価について、評価全体として保守性が確保されている。</p>			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6 における「保守性・不確実さ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【】内の記号は、表 3-6 における「保守性」欄の記号を表している。

4. 地震時に固縛装置を展張させないための余長の設定方法について

4.1 概要

車両型設備の耐震計算においては、竜巻対策としての固縛装置を設置しない状態で加振試験を行った結果を用いて耐震評価をする。このため、当該設備については、加振試験の条件に合わせて、展張しない十分な余長を有した固縛装置を設置する方針としている。ここでは、固縛装置を展張させないための余長の設定方法について説明する。

4.2 余長の定義

固縛装置の設計余長は、図 4-1 に示すように、車両型設備が走行軸直角方向へ横すべりして連結材（サイドロープ）を展張させた場合において、車両型設備が初期位置から横すべりした水平距離として定義している。以降は、本設計方法に基づく設計余長を「余長」と呼ぶこととする。

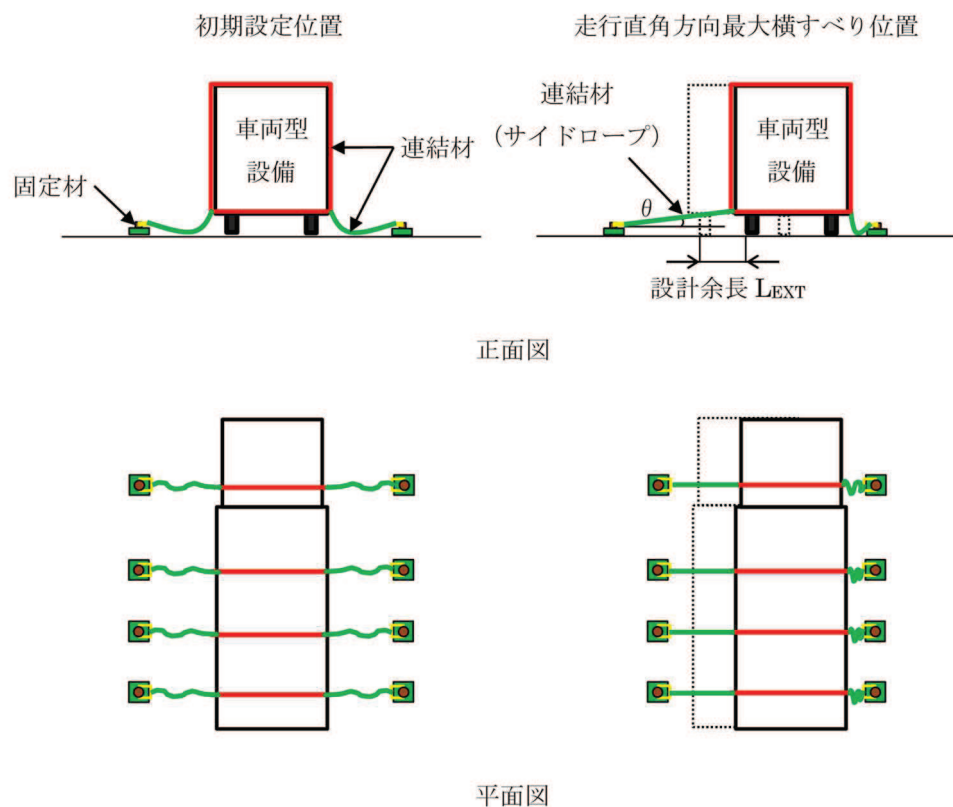


図 4-1 固縛装置の概要図

4.3 余長の設定

固縛装置の余長は、車両型設備の最大変位量を基に、以下の計算式を用いて設定する。余長の計算に用いる寸法を図 4-2 に、余長の計算結果および設定値を表 4-1 に示す。

なお、加振試験により計測された最大変位量については、走行軸直角方向の最大すべり量、走行軸方向の最大すべり量、傾きによる最大浮き上がり量が、全て同時刻に発生したものではないことから、本計算式を基に設定する余長には保守性が含まれている。

$$L_{EXT} = L_{MAX} \cdot \cos \theta - l_X$$

$$L_{MAX} = \sqrt{(L_X + l_X)^2 + L_Y^2 + L_Z^2}$$

L_{EXT} : 固縛装置を展張させないために必要な余長（この長さ以上の余長を確保）

L_{MAX} : 固縛装置を展張させないために必要な固定材設置予定位置から連結材（サイドロープ）先端までの必要最大長さ

L_X : 車両型設備の初期位置から車両型設備の走行軸直角方向の最大すべり位置までの距離

L_Y : 車両型設備の初期位置から車両型設備の走行軸方向の最大すべり位置までの距離

L_Z : 固定材設置予定高さから車両型設備の傾きによる最大浮き上がり高さまでの距離

l_X : オフセット量（固定材設置予定位置から車両型設備の初期位置までの距離）

θ : 車両型設備が初期位置から走行軸直角方向に横すべりして固縛装置が展張したときの連結材（サイドロープ）と地面が有する角度（図 4-1 に記載の θ ）

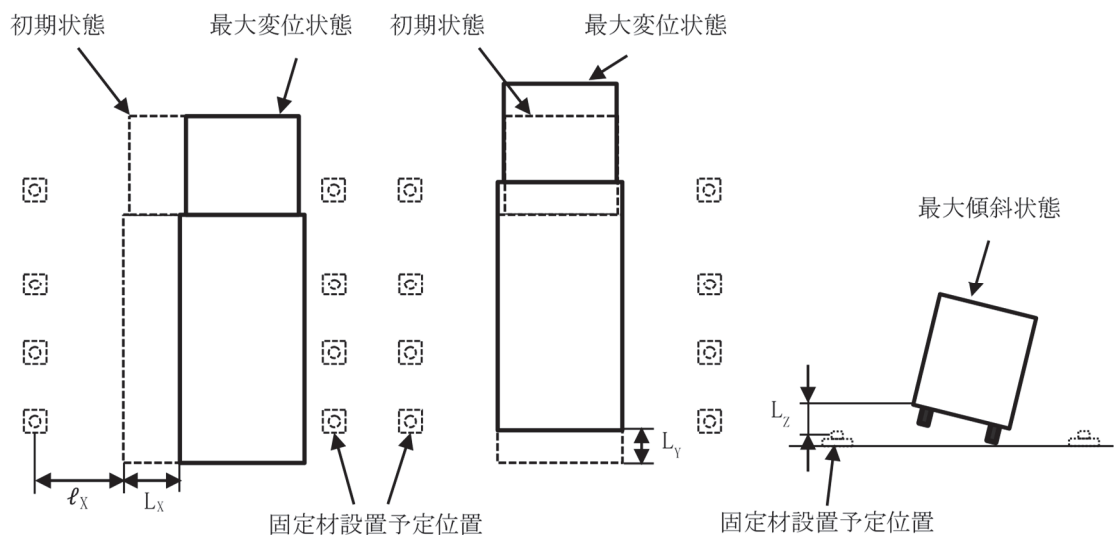


図 4-2 固縛装置の余長の計算に用いる寸法

表 4-1 余長の計算結果

車両型設備名称	L _x (mm)	L _y (mm)	L _z (mm)	φ _x (mm)	L _{MAX} (mm)	θ (°)	L _{EXT} (mm)	余長 (mm)
大容量送水ポンプ(タイプⅠ)	110	330	452.3	1002.5	1245.5	6.9	233.8	300
大容量送水ポンプ(タイプⅡ)	570	120	494.8	1002.5	1652.9	5.2	643.5	700
電源車	200	190	528.0	1150	1462.0	5.9	304.2	400
電源車(緊急時対策所用)	200	190	528.0	1150	1462.0	5.9	304.2	400
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	190	390	280.4	1005	1287.9	6.7	274.1	300
可搬型窒素ガス供給装置	110	130	998.2	1002.5	1500.3	27.8	324.3	600
ホース延長回収車	290	120	323.5	1005	1340.2	6.4	326.7	400
タンクローリ	357	587	427.6	1150	1672.9	5.2	516.1	600

5. 車両型設備とアンカープレートとの位置関係について

5.1 概要

固縛装置を用いる車両型設備については、固縛装置を取付けずに加振試験を行っていることから、加振試験時の車両型設備の挙動と固縛装置の固定材（アンカープレート）との干渉の確認が取れていない。仮に干渉（タイヤとアンカープレートが接触）した場合においても設備の損傷は考えにくいものの、加振試験結果と実際の車両型設備の設置位置におけるアンカープレートとの位置関係について説明する。

5.2 車両型設備とアンカープレートとの位置関係

車両型設備の端部からアンカープレート端部までの距離（離隔距離）は、車両型設備の走行軸直角方向の最大すべり量以上となるように設定する。

6. 地震波の継続時間の差が車両型設備の耐震評価に与える影響について

6.1 概要

基準地震動 S_s による車両型設備の保管場所の地震応答波（以下「 S_s 地震波」という。）と加振試験における加振波（以下「加振波」という。）を比較すると、最大加速度は加振波の方が大きいですが、継続時間は S_s 地震波の方が長い結果となっている。加振波は車両型設備の固有周期を考慮し、長周期側に卓越した地震波としており、加振台の能力制限により継続時間を短くせざるを得ないものであるため、 S_s 地震波と加振波の継続時間の差が、加振試験を基にした車両型設備の耐震評価に与える影響について検討し、評価に問題がないことを確認する。

6.2 車両型設備の耐震評価

(1) 車両型設備に対する評価項目

車両型設備に対して実施した耐震評価項目は以下のとおりである。

- ①構造強度評価
- ②転倒評価
- ③機能維持評価
- ④波及的影響評価

(2) 各評価項目に対する継続時間の影響の有無の検討

加振試験については、車両型設備の保管場所の設計用 FRS をおおむね上回るように設定した入力地震動を用いて実施しており、車両型設備に対して S_s 地震波よりも保守的な加速度が付与された試験となっている。前項で整理した各評価項目はいずれも加速度に依存する評価項目であることから、加速度に着目した評価としては、保守的な結果となるものとする。一方、 S_s 地震波と加振波の継続時間の差の影響の有無については、評価項目によって異なるものとする。そこで、各評価項目に対して、以下のとおり継続時間影響について検討した。なお、 S_s 地震波と加振波の継続時間については、表 6-1 のとおりである。

表 6-1 S s 地震波と加振波の継続時間

保管場所	基準地震動	S s 地震波 (s)	加振波 (s)
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	S s - D 1	約 137	
	S s - D 2	約 72	
	S s - D 3	約 69	
	S s - F 1	約 180	
	S s - F 2	約 180	
	S s - F 3	約 48	
	S s - N 1	約 20	

- ①構造強度評価は、加振試験で計測した車両型設備の最大応答加速度を用いた評価を行うものであり、構造的な損傷は慣性力の影響が支配的となることから、継続時間の影響は無いと考える。
- ②転倒評価は、計測した加振台の最大加速度が保管場所の最大応答加速度を上回っていることを確認するものであり、転倒の有無は最大加速度の影響が支配的となることから、継続時間の影響は無いと考える。
- ③機能維持評価は、計測した加振台の最大加速度が保管場所の最大応答加速度を上回っていることを確認するものであり、機能維持に係る部位の強度は最大加速度の影響が支配的となることから、継続時間の影響は無いと考える。
- ④波及的影響評価は、加振試験で計測した「すべり量」と「傾きによる変位量」の合算値から最大変位量を求め、許容限界に収まっていることを確認するものである。

このうち、「傾きによる変位量」については、加振試験時の加振力に関連が強く、継続時間の影響は無いと考えられる。「すべり量」についても、車両型設備にかかる加振力が、設置面との静止摩擦力以上になった場合の移動量であることから、加振力の大きさに依存すると考えられる。なお、「すべり量」については、地震時の車両型設備の移動量の蓄積によるものであるため、地震波の継続時間により差が生じる可能性はあるものの、地震荷重は交番荷重であり、同じ方向にすべり続けることは考えにくく、実際の加振試験においても車両型設備が行き来する挙動が確認されていることから、影響は小さいと考えられる。

加振試験において確認された車両型設備の挙動の例を図 6-1 に示す。

また、加振試験に用いた加振波（加振台上での計測データ）の加速度時刻歴波形の例を図 6-2 に示す。

図 6-2 より、「傾きによる変位量」の最大値は、鉛直上向きの最大加速度発生後、時間遅れで発生していることが確認でき、この時間遅れは、車両型設備が鉛直上向きの加振力により突き上げられ、傾きが最大となるまでに要する時間と考えられる。よって、「傾きによる変位量」は、加振力との関連が強いものであると考えられる。なお、車両型設備は、サスペンションのようなばね構造を有するものであり、設備ごとの機構の違いにより、「傾きによる変位量」と加振力の関連の強さは異なるものとする。また、「すべり量」と「傾きによる変位量」の最大値は、同時に発生していないことが確認できる。

加振試験で得られたすべり量と傾きによる変位量の最大値は、同時に発生する可能性は低いですが、その両方の単純和として最大変位量を算出しており、また、車両型設備がぶつかる方向に同時にすべり及び傾きが生じることは考えにくいですが、車両型設備の実際の配置間隔は、隣り合う設備の離隔距離（最大変位量に対し余裕を持つ

た値)の合算値以上とした設計としていることから、波及的影響評価は保守性を有している。

以上のことから、地震波の継続時間の不確かさに対して、波及的影響評価が保守性を有していることから、S s地震波と加振波の継続時間の差が耐震評価結果に与える影響は無いと考える。

6.3 結論

S s地震波の継続時間が加振波に対して長いことから、地震波の継続時間が加振試験に基づく耐震評価に与える影響について検討した。その結果、S s地震波と加振波の継続時間の差は、加振試験に基づく耐震評価に影響を与えないことを確認した。

計測時間	大容量送水車（タイプ I）の加振試験の動画データ
13:01:58 (加振開始)	
13:02:18	
13:02:38	
13:02:57	

図 6-1 加振試験において確認された車両型設備の挙動の例

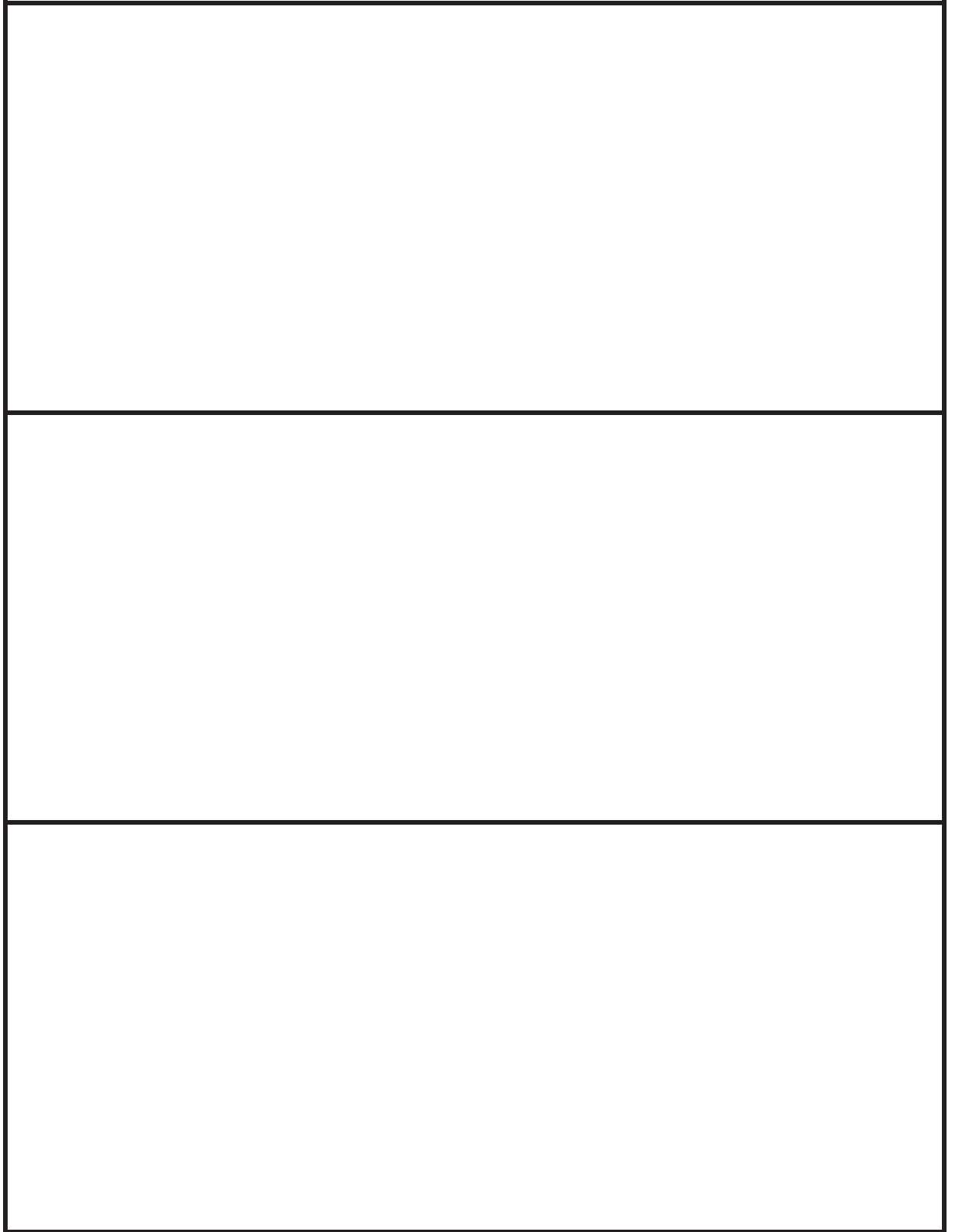


図 6-2 加振試験に用いた加振波（加振台上での計測データ）の加速度時刻歴波形の例

7. 車両型設備の仕様について

加振試験に使用した車両型設備の仕様を表 7-1 に示す。なお、固縛装置の連結材（サイドロープ）の余長を十分に設けることにより、地震時に連結材（サイドロープ）が展張しない設計とすることから、固縛装置を模擬しない条件で加振試験を実施している。

表 7-1 車両型設備の仕様

設備名称	車両仕様*	設備仕様
大容量送水ポンプ（タイプⅠ）	型式：トラック 全長：12750 mm 全幅：2495 mm 高さ：3510 mm 重量：22640 kg	容量：1440m ³ /h/個 吐出圧力：1.2MPa
大容量送水ポンプ（タイプⅡ）	型式：トラック 全長：12750 mm 全幅：2495 mm 高さ：3570 mm 重量：24210 kg	容量：1800m ³ /h/個 吐出圧力：1.2MPa
電源車	型式：トラック 全長：6900 mm 全幅：2200 mm 高さ：2970 mm 重量：7880 kg	容量：400kVA 電圧：6900kV 周波数：50Hz
電源車（緊急時対策所用）	型式：トラック 全長：6900 mm 全幅：2200 mm 高さ：2970 mm 重量：7880 kg	容量：400kVA 電圧：6900kV 周波数：50Hz
原子炉補機代替冷却水系 熱交換器ユニット	型式：トラック・ トレーラ 全長：15915 mm 全幅：2490 mm 高さ：3475 mm 重量：35120 kg	容量：20.0MW/台
可搬型窒素ガス供給装置	型式：トラック・ トレーラ 全長：16070 mm 全幅：2495 mm 高さ：3781 mm 重量：30801 kg	容量：220m ³ /h/個 [normal] (窒素純度 99%) 吐出圧力：427KPa
ホース延長回収車	型式：トラック 全長：8380 mm 全幅：2490 mm 高さ：3280 mm 重量：10620 kg	—
タンクローリ	型式：トラック 全長：5920 mm 全幅：2200 mm 高さ：2420 mm 重量：4370 kg	タンク容量：4.0 kL

注記*：全長、全幅、高さ及び重量については、車両型設備ごとに個体差があるため、記載値は概略値を示す。

8. 加振試験における車両型設備の傾き角の計測方法について

8.1 概要

波及的影響評価に用いる車両型設備の傾き角の計測方法を、以下に整理する。

8.2 計測方法

波及的影響評価に用いる車両型設備の傾き角については、加振試験中の車両型設備の挙動を撮影した動画の中から、最大傾き角となる時刻の静止画像を取出し、水平面からコンテナ下端までの角度を計測している。

車両型設備の傾き角を計測した例として大容量送水ポンプ（タイプ I）の最大傾き角の計測結果を図 8-1 に示す。

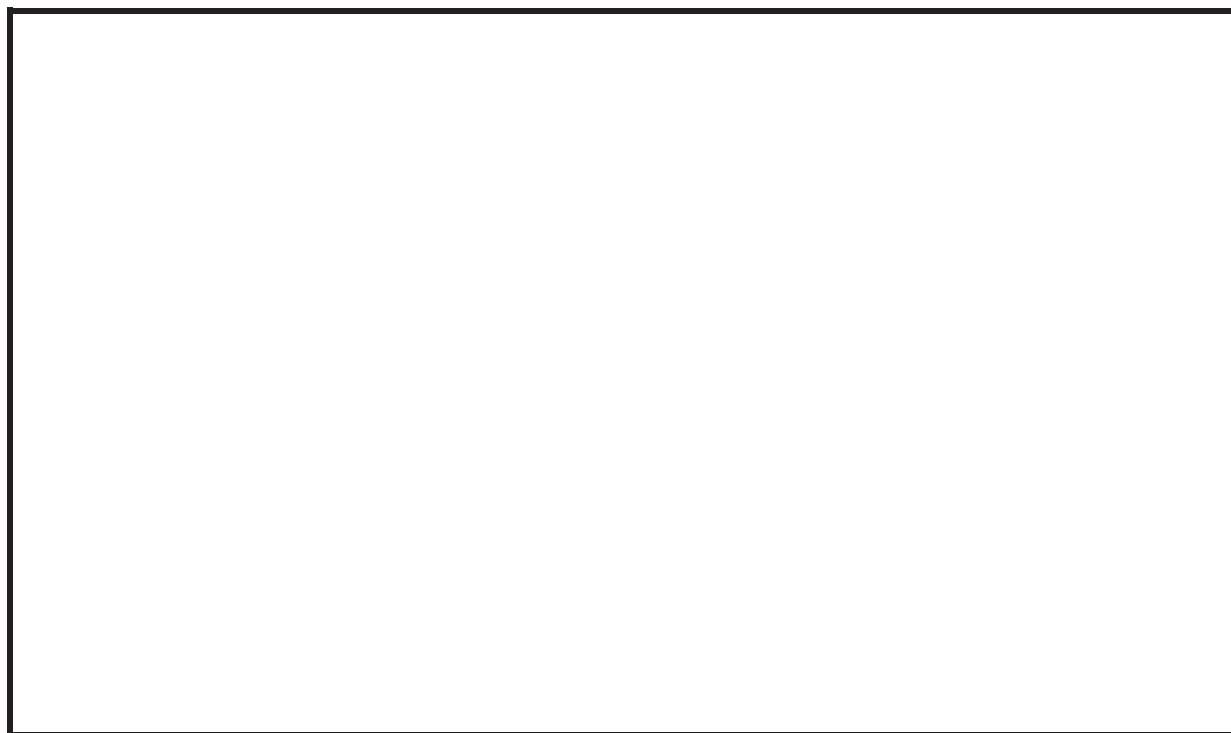


図 8-1 大容量送水ポンプ（タイプ 1）の最大傾き角の計測結果

9. 設計用 FRS に対する車両型設備の加振試験における加振波 FRS の裕度について

9.1 概要

「3.8 保守性及び不確実さの全体的な釣り合いについて」において、「加振試験入力波は、設計用 FRS をおおむね上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有周期により異なるが、数%~20%程度）となる。」と記載している。ここでは、当該記載の根拠として、車両型設備の固有周期における設計用 FRS に対する加振波 FRS の裕度について、以下に示す。

9.2 裕度の整理結果

車両型設備の走行軸直角方向、走行軸方向及び鉛直方向について、車両型設備ごとの固有周期における設計用 FRS に対する加振波 FRS の裕度を図 9-1~図 9-8 に記載する。

凡例			
—	第1保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース、ばらつきケースの包絡）	—	第3保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース、ばらつきケースの包絡）
—	第2保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース、ばらつきケースの包絡）	—	第4保管エリアにおける設計用FRS（水平方向はX, Y包絡） （基本ケース、ばらつきケースの包絡）
—	加振台のFRS（出力）		
--	計測された設備の固有周期		

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-1 設計用 FRS（基準地震動 S_s ）と加振波 FRS の比較
（大容量送水ポンプ（タイプ I））

凡例	
— (Blue line)	第1保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (Green line)	第2保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (Black line)	加振台のFRS (出力)
--- (Dashed line)	計測された設備の固有周期
— (Red line)	第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-2 設計用 FRS (基準地震動 S_s) と加振波 FRS の比較
大容量送水ポンプ (タイプ II)

凡例	
— (緑)	第2保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (黄)	第3保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (黒)	加振台のFRS (出力)
--- (黒)	計測された設備の固有周期
— (赤)	第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-3 設計用 FRS (基準地震動 S_s) と加振波 FRS の比較

電源車

* : タイヤが動いたため参考扱い。

凡例	
— 第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)	— 緊急時対策建屋北側における設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— 加振台のFRS (出力)	
- - 計測された設備の固有周期	

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-4 設計用 FRS (基準地震動 S s) と加振波 FRS の比較
電源車 (緊急時対策所用)

* : タイヤが動いたため参考扱い。

凡例	
— (Blue line)	第1保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (Yellow line)	第3保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (Black line)	加振台のFRS (出力)
--- (Dashed line)	計測された設備の固有周期
— (Red line)	第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-5 設計用 FRS (基準地震動 S s) と加振波 FRS の比較
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット

凡例	
— 第1保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)	— 第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— 加振台のFRS (出力)	
-- 計測された設備の固有周期	

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-6 設計用 FRS (基準地震動 S_s) と加振波 FRS の比較
可搬型窒素ガス供給装置

凡例	<ul style="list-style-type: none"> — 第2保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡) — 第3保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡) — 加振台のFRS (出力) --- 計測された設備の固有周期 	<ul style="list-style-type: none"> — 第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
----	--	---

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-7 設計用 FRS (基準地震動 S_s) と加振波 FRS の比較

ホース延長回収車

凡例	
— (緑線) 第2保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)	— (赤線) 第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— (黄線) 第3保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)	
— (黒線) 加振台のFRS (出力)	
--- (黒線) 計測された設備の固有周期	

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
走行軸直角方向 (X)			
走行軸方向 (Y)			
鉛直方向 (Z)			

図 9-8 設計用 FRS (基準地震動 S_s) と加振波 FRS の比較
タンクローリ

10. その他設備の耐震評価について

10.1 その他設備の加振試験について

(1) 試験方法

その他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、以下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。

可搬型計測器及び小型船舶を例として、保管状態及び試験状態を図 10-1 及び図 10-2 に示す。

- ・加振波：添付資料「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計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。

- ・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」

- ・加振波振動数：【正弦波，サインビート波】

33Hz または共振振動数（33Hz 以下に共振点がある場合は共振振動数で評価し、ない場合は 33Hz で評価する）

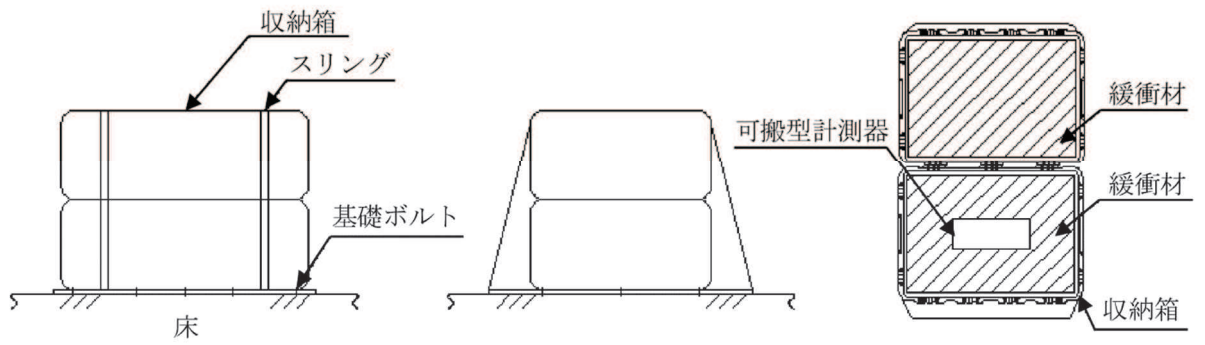
(2) 減衰定数

屋外に保管するその他設備のうち小型船舶については、スリング等による固縛状態から減衰しにくいものと想定し、減衰定数を 0.5% と設定し、設計用 FRS 及び加振波の FRS に適用する。

(3) 試験結果

対象設備，保管場所，加振波の種類及び加振方向について，表 10-1 に示す。

小型船舶については，加振波の FRS と保管場所における設計用 FRS を比較した結果，設計用 FRS を包絡していることを確認した。加振波の FRS と設計用 FRS を図 10-3 に示す。その他のその他設備については，加振台の最大加速度と保管場所の最大応答加速度設計用 FRS を比較した結果，加振台の最大加速度が保管場所の最大応答加速度を上回っていることが確認できた。加振台の最大加速度と保管場所の最大応答加速度を表 10-2 に示す。

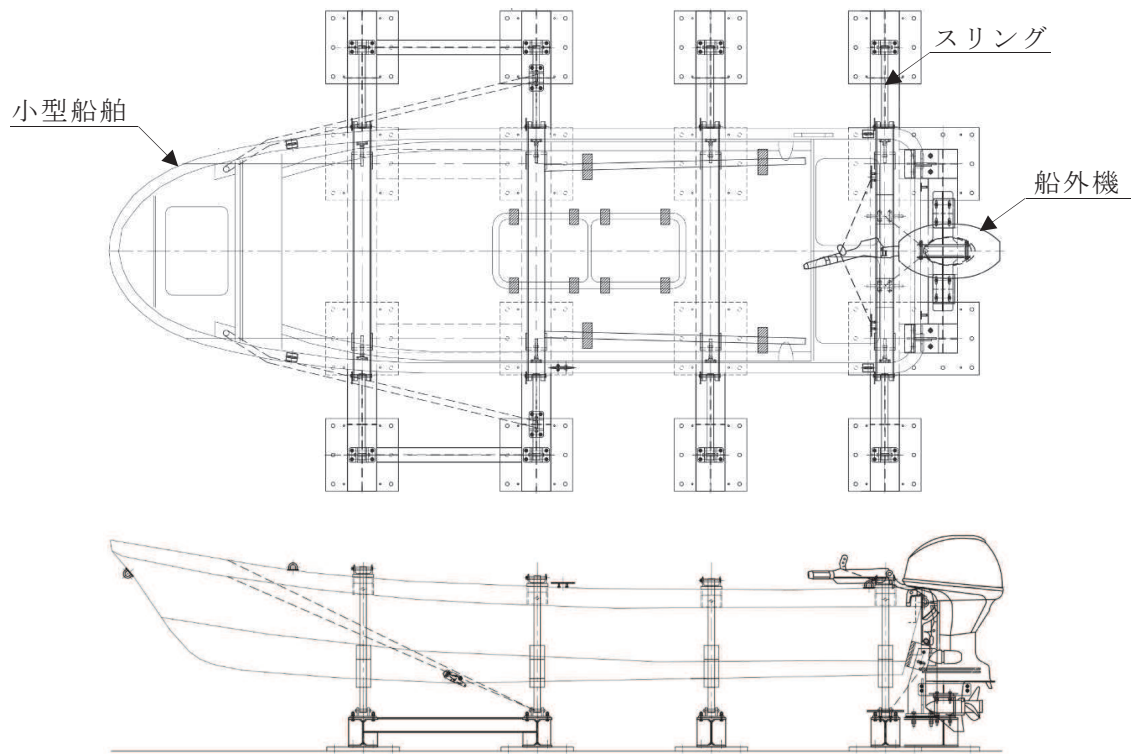


(保管状態)



(試験状態)

図 10-1 可搬型計測器の保管状態及び試験状態



(保管状態)



(試験状態)

図 10-2 小型船舶の保管状態及び試験状態

表 10-1 対象設備，保管場所，加振波の種類及び加振方向（1/2）

設備名称	保管場所	加振波の種類	加振方向
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）	正弦波	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	第 1 保管エリア 第 2 保管エリア 第 4 保管エリア 緊急時対策建屋	サインビート波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
可搬型ダスト・よう素サンプラ	緊急時対策建屋（地下 1 階）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
γ線サーベイメータ	緊急時対策建屋（地下 1 階）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
β線サーベイメータ	緊急時対策建屋（地下 1 階）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
α線サーベイメータ	緊急時対策建屋（地下 1 階）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
電離箱サーベイメータ	緊急時対策建屋（地下 1 階）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
代替気象観測設備	第 2 保管エリア 第 4 保管エリア	サインビート波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
可搬型計測器	制御建屋（中央制御室） 緊急時対策建屋（緊急時対策所）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
酸素濃度計（中央制御室用）	制御建屋（中央制御室）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
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）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
二酸化炭素濃度計（中央制御室用）	制御建屋（中央制御室）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
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）	正弦波	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	制御建屋（地上 2 階）	サインビート波	水平単独 2 方向及び鉛直単独

表 10-1 対象設備，保管場所，加振波の種類及び加振方向（2/2）

設備名称	保管場所	加振波の種類	加振方向
衛星電話設備（携帯型）	制御建屋（中央制御室） 緊急時対策建屋（緊急時対策所）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
無線連絡設備（携帯型）	制御建屋（中央制御室） 緊急時対策建屋（緊急時対策所）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
携行型通話装置	制御建屋（中央制御室） 緊急時対策建屋（緊急時対策所）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
可搬型照明（SA）	制御建屋（中央制御室）	正弦波	水平単独 2 方向及び鉛直単独
小型船舶	第 1 保管エリア 第 4 保管エリア	ランダム波	水平（前後方向）＋鉛直及び 水平（左右方向）＋鉛直

凡例	
— 第1保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)	— 第4保管エリアにおける設計用FRS (水平方向はX, Y包絡) (基本ケース, ばらつきケースの包絡)
— 加振台のFRS (出力)	
-- 計測された設備の固有周期	

方向	FRS	固有周期 (s)	裕度
X 方向			
Y 方向			
Z 方向			

注記* : 船外機において計測された固有周期。

図 10-3 加振台の FRS と設計用 FRS (基準地震動 S s) の比較 (小型船舶)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 10-2 保管場所の最大応答加速度と加振台の最大加速度の比較 (1/6)

設備名称	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	
			(×9.8m/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)	水平 (前後)	0.74	3.73	
		水平 (左右)	0.74	3.70	
		鉛直	0.63	2.72	
可搬型モニタリングポスト	第1保管エリア	水平 (前後)	0.81	2.47	
		水平 (左右)	0.81	2.42	
		鉛直	0.57	1.24	
	第2保管エリア	水平 (前後)	1.33	2.47	
		水平 (左右)	1.33	2.42	
		鉛直	0.68	1.24	
	第4保管エリア	水平 (前後)	0.92	2.47	
		水平 (左右)	0.92	2.42	
		鉛直	0.59	1.24	
	緊急時対策建屋	緊急時対策建屋	水平 (前後)	2.02	3.25
			水平 (左右)	2.02	3.26
			鉛直	1.24	2.13

表 10-2 保管場所の最大応答加速度と加振台の最大加速度の比較 (2/6)

設備名称	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
			(×9.8m/s ²)	
可搬型ダスト・よう素サンプラ	緊急時対策建屋 (地下1階)	水平 (前後)	1.01	3.69
		水平 (左右)	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)	水平 (前後)	1.01	3.73
		水平 (左右)	1.01	3.70
		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)	水平 (前後)	1.01	3.73
		水平 (左右)	1.01	3.70
		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)	水平 (前後)	1.01	3.73
		水平 (左右)	1.01	3.70
		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)	水平 (前後)	1.01	3.73
		水平 (左右)	1.01	3.70
		鉛直	0.73	2.72

表 10-2 保管場所の最大応答加速度と加振台の最大加速度の比較 (3/6)

設備名称	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
			(×9.8m/s ²)	
代替気象観測設備	第2保管エリア	水平(前後)	1.33	2.56
		水平(左右)	1.33	2.59
		鉛直	0.68	1.37
	第4保管エリア	水平(前後)	0.92	2.56
		水平(左右)	0.92	2.59
		鉛直	0.59	1.37
可搬型計測器	制御建屋(中央制御室)	水平(前後)	2.32	3.73
		水平(左右)	2.32	3.70
		鉛直	1.67	2.72
	緊急時対策建屋(緊急時対策所)	水平(前後)	0.74	3.73
		水平(左右)	0.74	3.70
		鉛直	0.63	2.72

表 10-2 保管場所の最大応答加速度と加振台の最大加速度の比較 (4/6)

設備名称	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
			(×9.8m/s ²)	
酸素濃度計 (中央制御室用)	制御建屋 (中央制御室)	水平 (前後)	2.32	3.73
		水平 (左右)	2.32	3.70
		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)	水平 (前後)	0.74	3.73
		水平 (左右)	0.74	3.70
		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)	水平 (前後)	2.32	3.73
		水平 (左右)	2.32	3.70
		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)	水平 (前後)	0.74	3.73
		水平 (左右)	0.74	3.70
		鉛直	0.63	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)	水平 (前後)	1.90	3.16
		水平 (左右)	1.90	3.50
		鉛直	1.44	2.57

表 10-2 保管場所の最大応答加速度と加振台の最大加速度の比較 (5/6)

設備名称	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
			(×9.8m/s ²)	
衛星電話設備 (携帯型)	制御建屋 (中央制御室)	水平 (前後)	2.32	3.73
		水平 (左右)	2.32	3.70
		鉛直	1.67	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所)	水平 (前後)	0.74	3.73
		水平 (左右)	0.74	3.70
		鉛直	0.63	2.72
無線連絡設備 (携帯型)	制御建屋 (中央制御室)	水平 (前後)	2.32	3.73
		水平 (左右)	2.32	3.70
		鉛直	1.67	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所)	水平 (前後)	0.74	3.73
		水平 (左右)	0.74	3.70
		鉛直	0.63	2.72

表 10-2 保管場所の最大応答加速度と加振台の最大加速度の比較 (6/6)

設備名称	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
			(×9.8m/s ²)	
携行型通話装置	制御建屋 (中央制御室)	水平 (前後)	2.32	3.73
		水平 (左右)	2.32	3.70
		鉛直	1.67	2.72
	緊急時対策建屋 (緊急時対策所)	水平 (前後)	0.74	3.73
		水平 (左右)	0.74	3.70
		鉛直	0.63	2.72
可搬型照明 (SA)	制御建屋 (中央制御室)	水平 (前後)	2.32	3.68
		水平 (左右)	2.32	3.70
		鉛直	1.67	2.73

注記* : 基準地震動 S s に対する保管場所の最大応答加速度

10.2 加振試験後の機能維持確認について

可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備は，加振試験後の機能維持確認として，各設備の機能に応じた試験を実施し，設備が問題なく動作することを確認している。

加振試験後の機能維持確認方法と結果を，表 10-3 に示す。

表 10-3 加振試験後の機能維持確認方法と結果 (1/4)

設備名称	保管方法	確認事項
緊急時対策所可搬型 エリアモニタ	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・起動試験により，計測機能に問題が無いことを確認した。
可搬型モニタリングポスト	収納箱 架台固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作及び警報が正常に動作することを確認した。 ・各定数が設定でき，線量当量率の指示値が基準範囲内であることを確認した。
	本体固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，可搬型モニタリングポストと固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作及び警報が正常に動作することを確認した。 ・各定数が設定でき，線量当量率の指示値が基準範囲内であることを確認した。
可搬型ダスト・よう素サンプラ	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作が正常に動作することを確認した。 ・流量が基準範囲内であることを確認した。

表 10-3 加振試験後の機能維持確認方法と結果 (2/4)

設備名称	保管方法	確認事項
γ線サーベイメータ	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作が正常に動作することを確認した。 ・線量当量率及び吸収線量率の指示値が基準範囲内であることを確認した。
β線サーベイメータ	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作が正常に動作することを確認した。 ・計数率の指示値及び機器効率が基準範囲内であることを確認した。
α線サーベイメータ	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作が正常に動作することを確認した。 ・計数率の指示値及び機器効率が基準範囲内であることを確認した。
電離箱サーベイメータ	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作が正常に動作することを確認した。 ・線量当量率の指示値が基準範囲内であることを確認した。

表 10-3 加振試験後の機能維持確認方法と結果 (3/4)

設備名称	保管方法	確認事項
代替気象観測設備	収納箱 架台固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・各動作及び警報が正常に動作することを確認した。
可搬型計測器	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・電流，熱電対，測温抵抗体の測定ができることを確認した。
酸素濃度計（中央制御室用） 酸素濃度計（緊急時対策所用）	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・酸素濃度の測定ができることを確認した。
二酸化炭素濃度計（中央制御室用） 二酸化炭素濃度計（緊急時対策所用）	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり，転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・二酸化炭素濃度の測定ができることを確認した。
主蒸気逃がし安全弁用可搬型蓄電池	本体固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により，取付金具が健全であり，逃がし安全弁用可搬型蓄電池が転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い，著しい損傷がないことを確認した。 ・直流出力ができ，負荷に電力を供給可能なことを確認した。

表 10-3 加振試験後の機能維持確認方法と結果 (4/4)

設備名称	保管方法	確認事項
衛星電話設備 (携帯型)	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により、収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり、転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。 ・発信・着信ができ、通話が可能なことを確認した。
無線連絡設備 (携帯型)	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により、収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり、転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。 ・発信・着信ができ、通話が可能なことを確認した。
携行型通話装置	収納箱固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により、収納箱の固縛に使用したスリングが健全であり、転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。 ・発信・着信ができ、通話が可能なことを確認した。
可搬型照明 (SA)	本体固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により、取付金具が健全であり、可搬型照明 (SA) が転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。 ・可搬型照明 (SA) を動作させ、正常に点灯することを確認した。
小型船舶	本体固縛	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験後の外観点検により、固縛に使用したスリング及び支持構造物が健全であり、小型船舶が転倒していないことを確認した。 ・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。 ・水上での走行に問題がないことを確認した。

車両型設備の固有振動数の測定結果

1. 概要

車両型設備の固有振動数は、対象となる車両型設備を加振し、入力及び出力（加振台上加速度及び車両型設備の応答加速度）を同時に計測して、伝達関数（入力と出力の関係を示す関数）を算出することで求めることができる。ここでは、車両型設備の固有振動数の測定結果について説明する。

2. 固有振動数の算出方法

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、ランダム波を加振台に入力することで、加振台上の加速度及び車両型設備の応答加速度を計測する。計測する加振台上加速度及び車両型設備の応答加速度をフーリエ変換し、それらの比をとり伝達関数を算出する。その結果を用いて、車両型設備の固有振動数を求める。固有振動数の算出イメージを図1に示す。

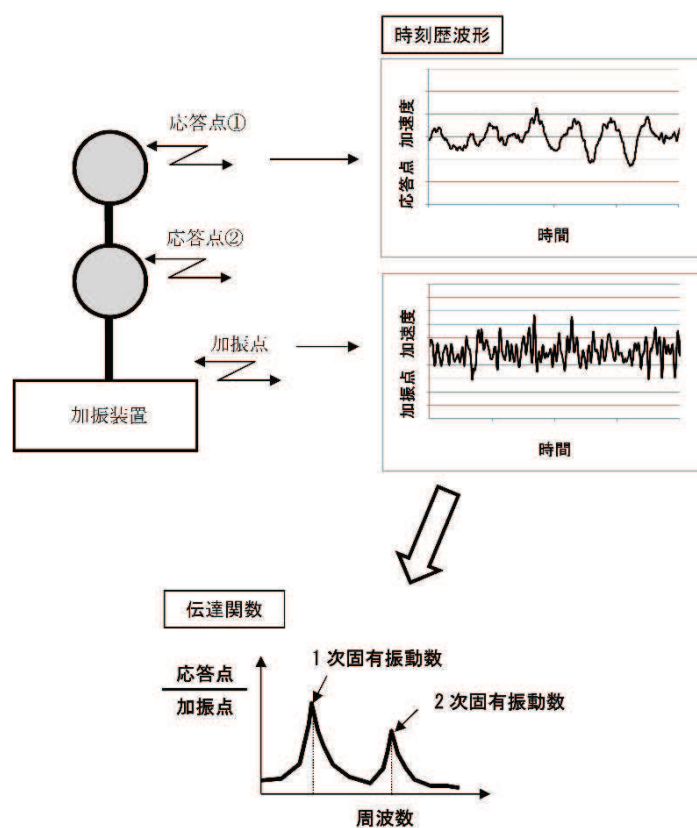


図1 固有振動数の算出概念図

3. 車両型設備の固有振動数

車両型設備のうちホース延長回収車を例として，加振試験により得られた振動特性結果を図 2 に示す。

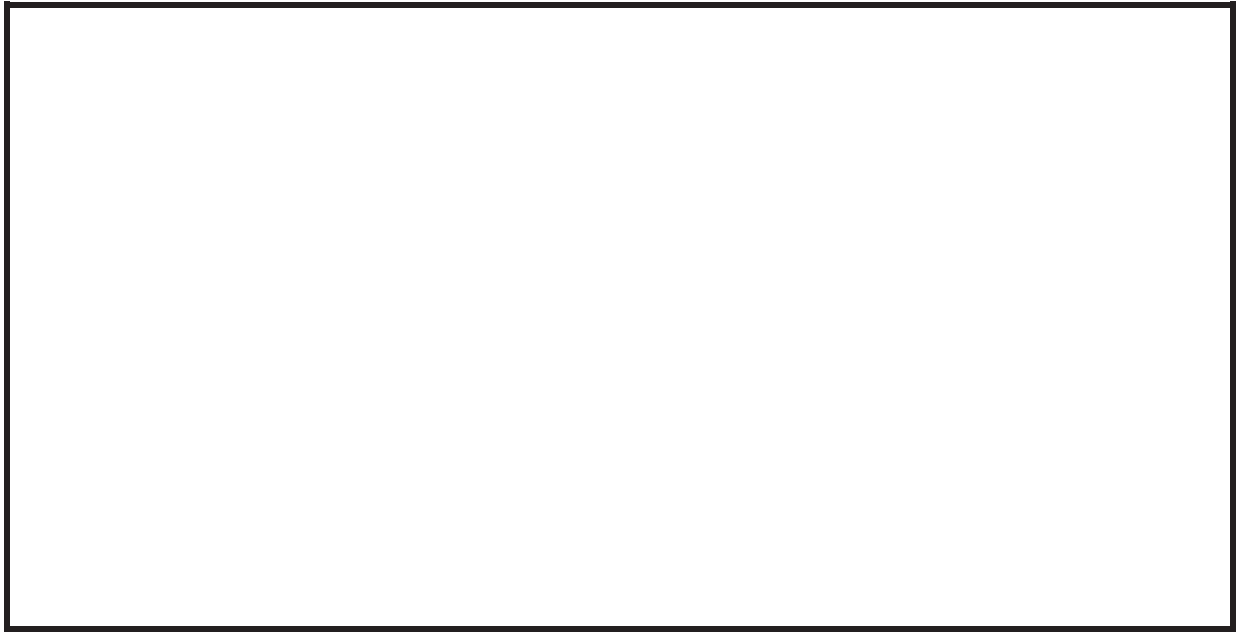


図 2 振動特性（ホース延長回収車）

車両型設備の減衰定数の測定結果

1. 概要

車両型設備の減衰定数は、対象となる車両型設備を加振し、入力及び出力（加振台上加速度及び車両型設備の応答加速度）を同時に計測して、伝達関数（入力と出力の関係を示す関数）からハーフパワー法にて求めることができる。ここでは、車両型設備の減衰定数の測定結果について説明する。

2. 減衰定数の算出方法

ハーフパワー法とは、応答曲線のピークに着目して振動系の減衰を近似的に求める方法であり、最大応答点 A_{\max} を示す振動数を f_n 、 $A_{\max}/\sqrt{2}$ を示す振動数を f_1 、 f_2 とすると、減衰定数 h は、以下の式のとおり f_n と 2 点 (f_1 , f_2) の振動数幅 Δf で示される。ハーフパワー法の概念図を図 1 に示す。

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta f}{f_n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_n}$$

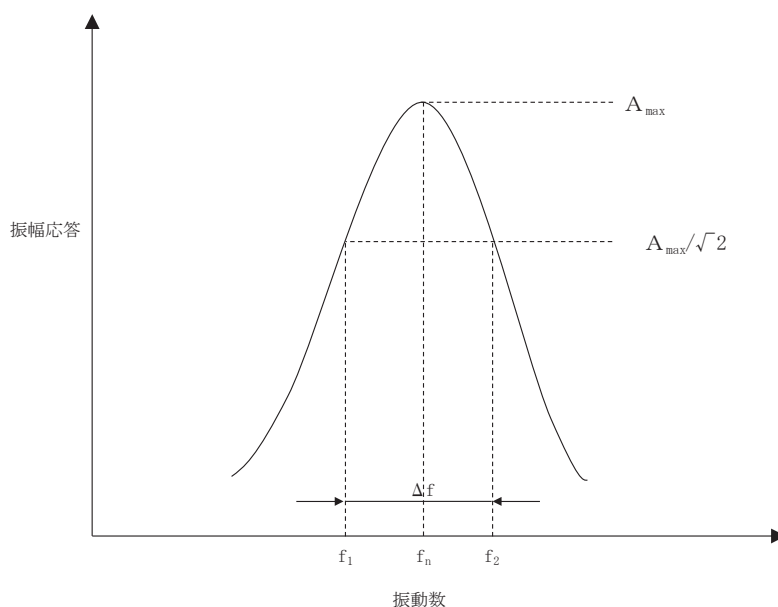


図 1 ハーフパワー法

3. 車両型設備の減衰定数

車両型設備のうちホース延長回収車を例として、加振試験により得られた振動特性結果を図 2 に示す。

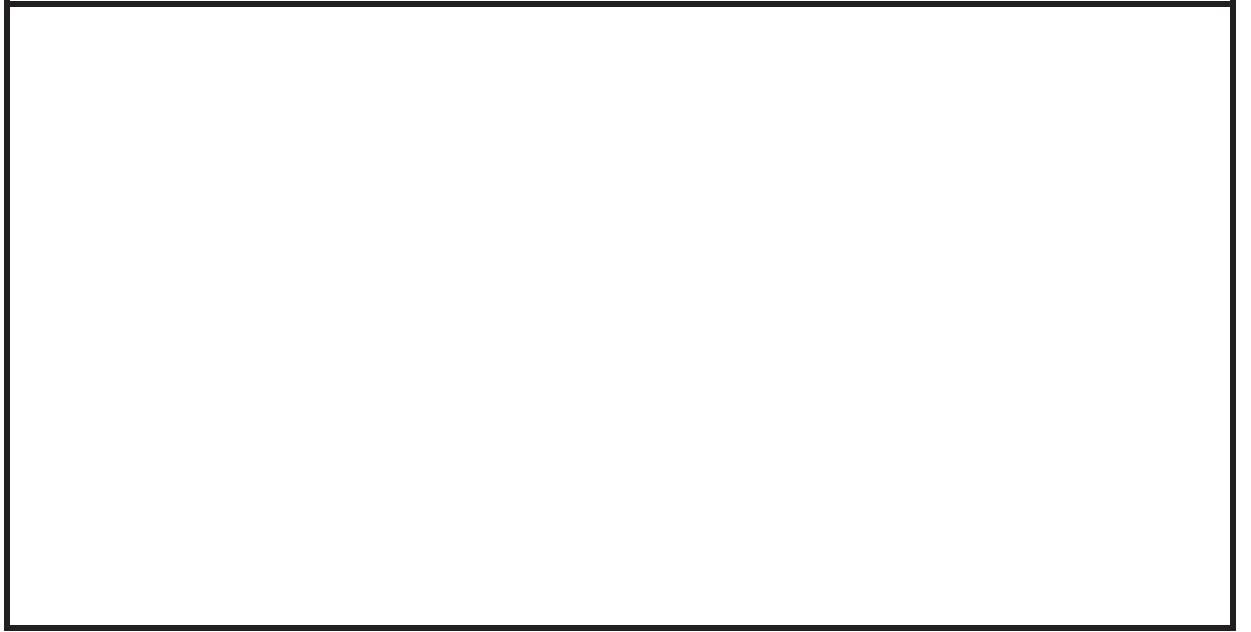


図 2 振動特性（ホース延長回収車）

保管エリア等における地盤の振動特性について

1. 保管エリア等の最大応答

本資料は、図 1-1 に示す保管エリア等における地盤の振動特性として、保管エリア等の地震応答解析モデルの解析ケース①（基本ケース）における最大加速度分布図、最大変位分布図及び最大ひずみ分布図を示すものである。

地震応答解析により算出された、保管エリア等の最大加速度分布図、最大変位分布図及び最大ひずみ分布図を図 1-2～1-11 に示す。

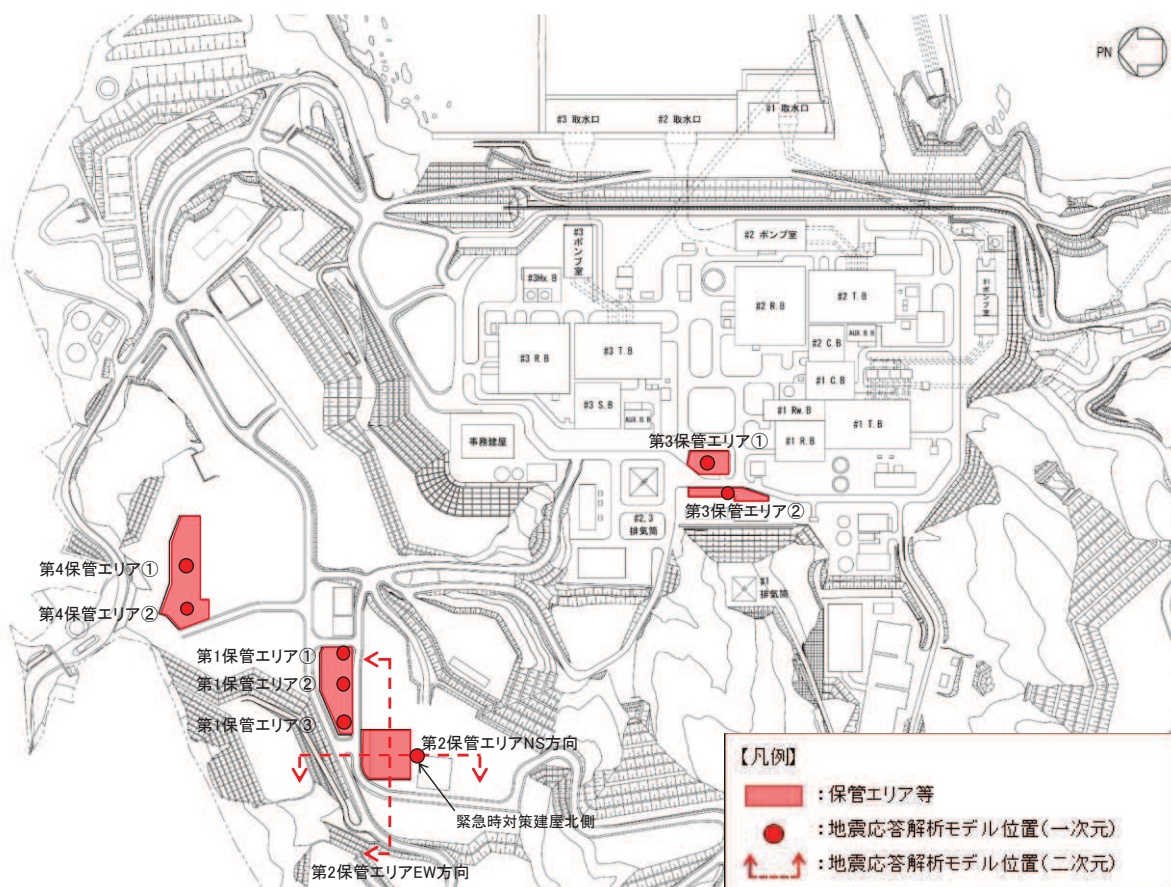


図 1-1 保管エリア等の位置図

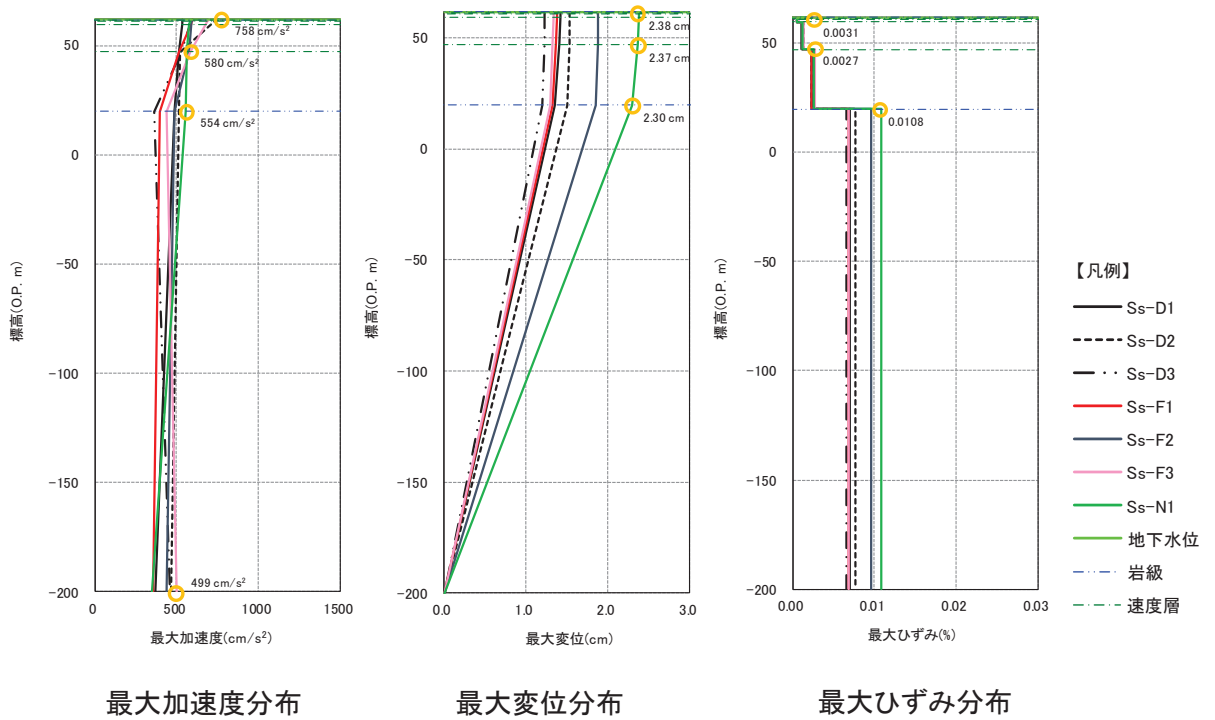


図 1-2(1) 第 1 保管エリア① (水平方向)

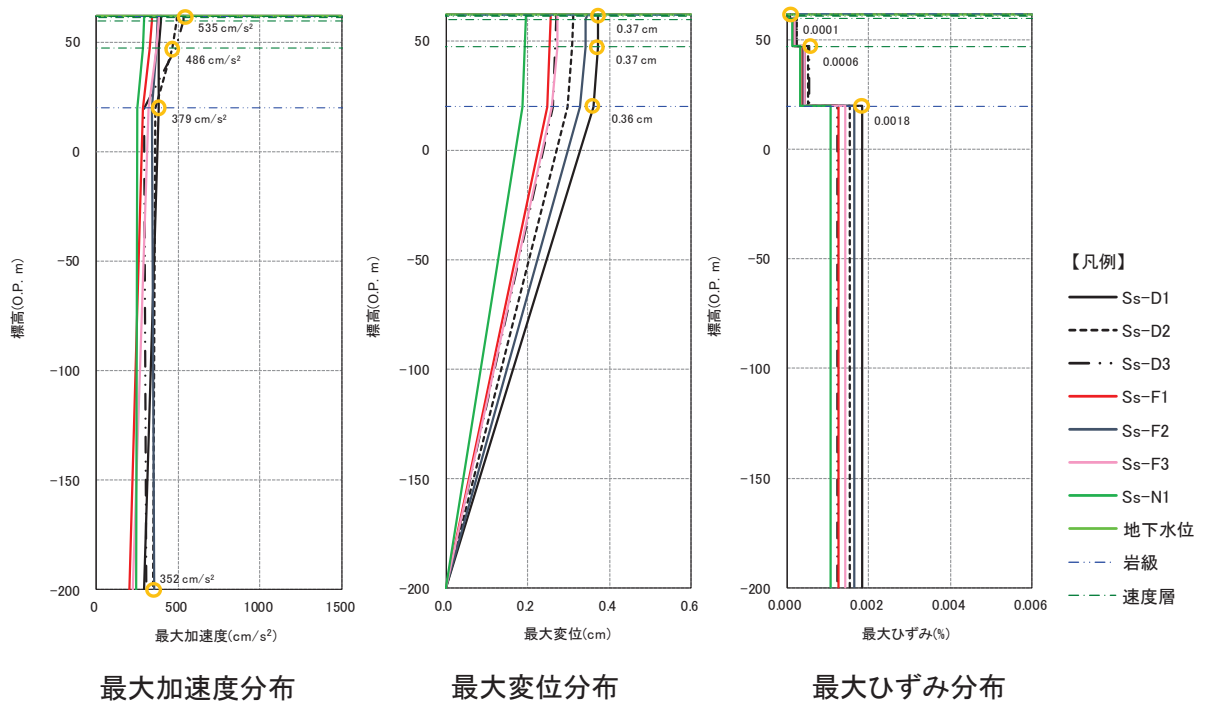


図 1-2(2) 第 1 保管エリア① (鉛直方向)

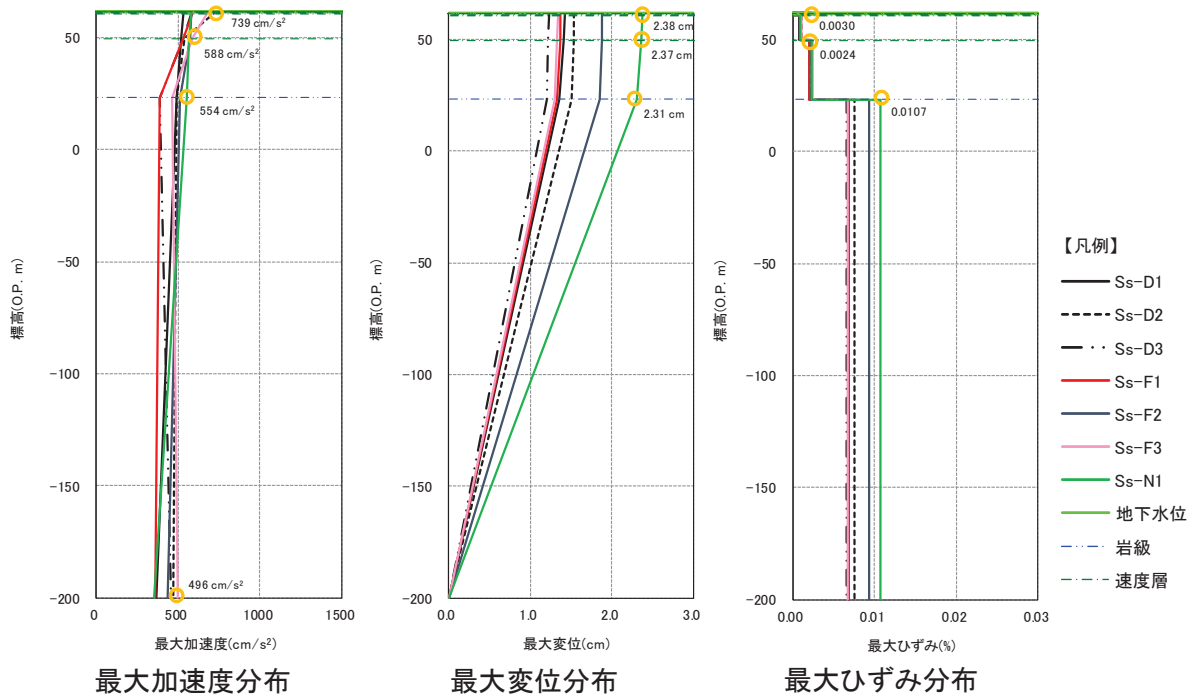


図 1-3(1) 第 1 保管エリア② (水平方向)

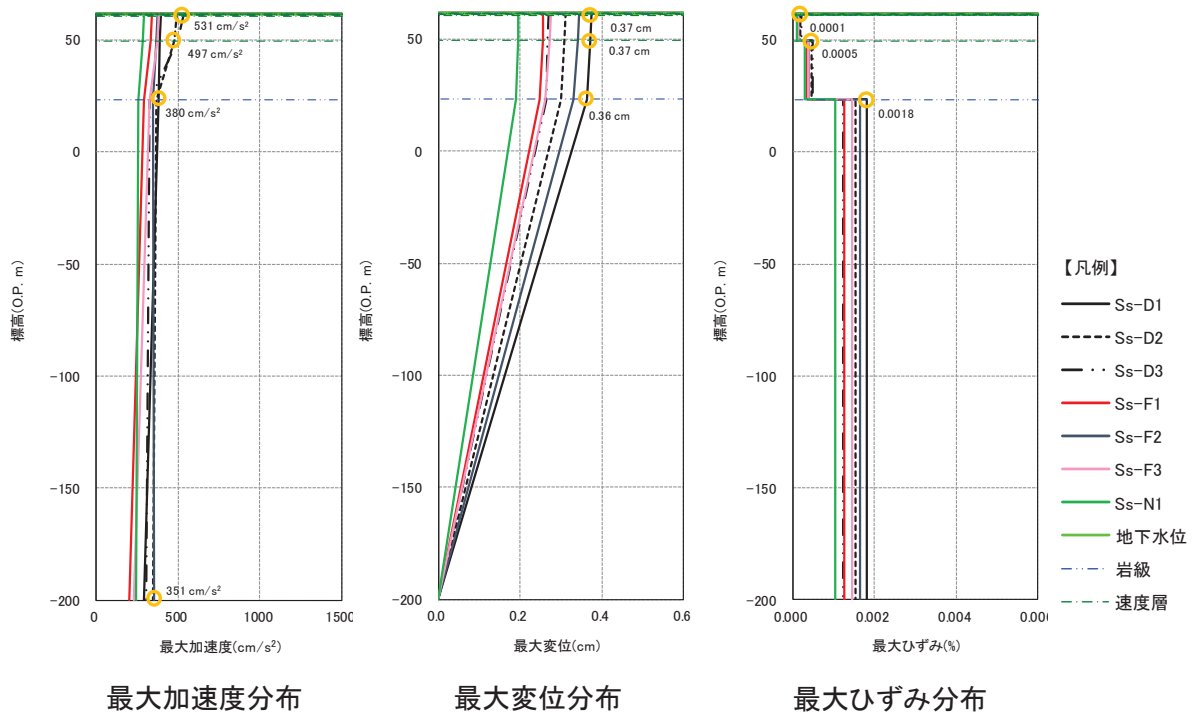


図 1-3(2) 第 1 保管エリア② (鉛直方向)

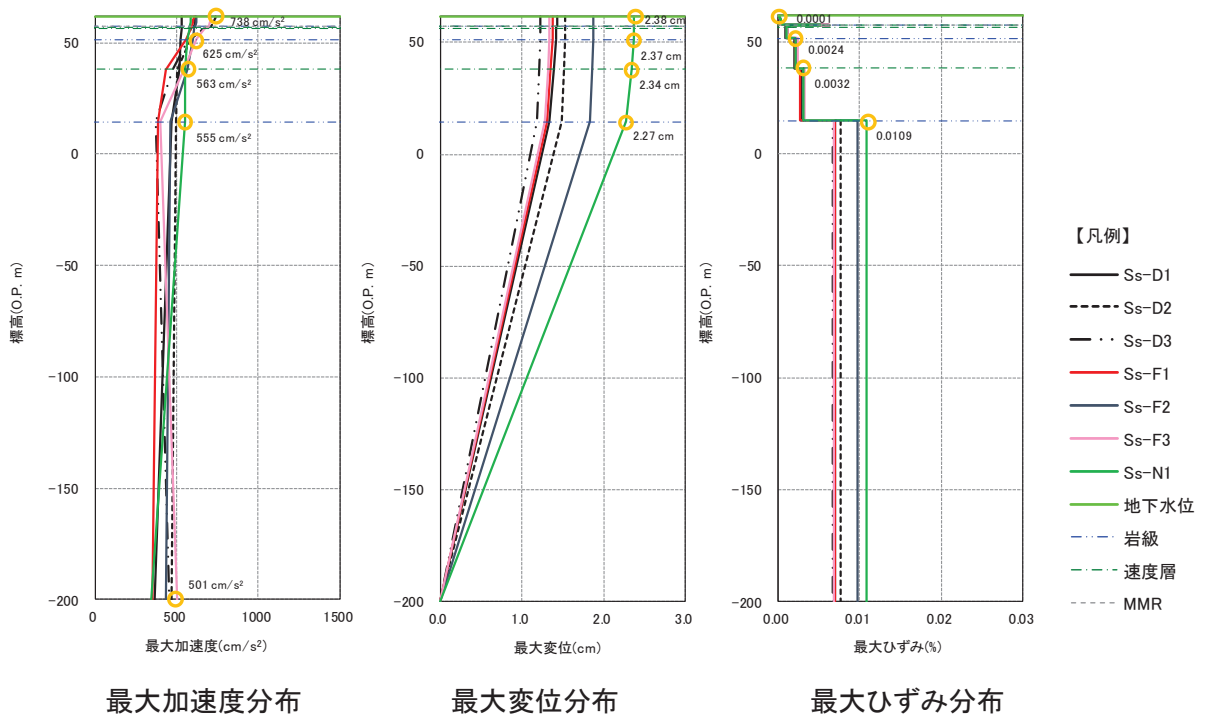


図 1-4(1) 第 1 保管エリア③ (水平方向)

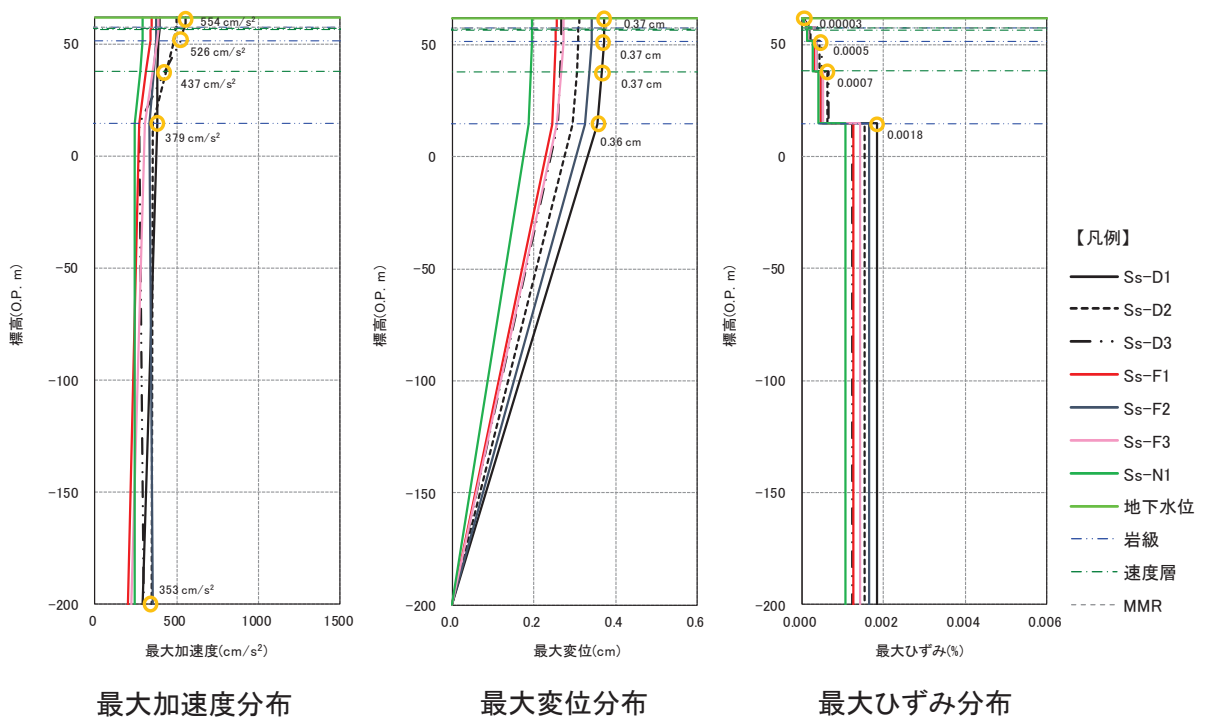
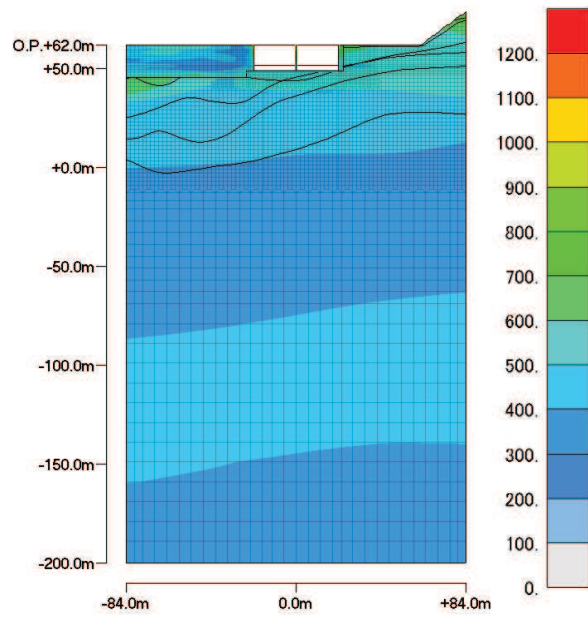
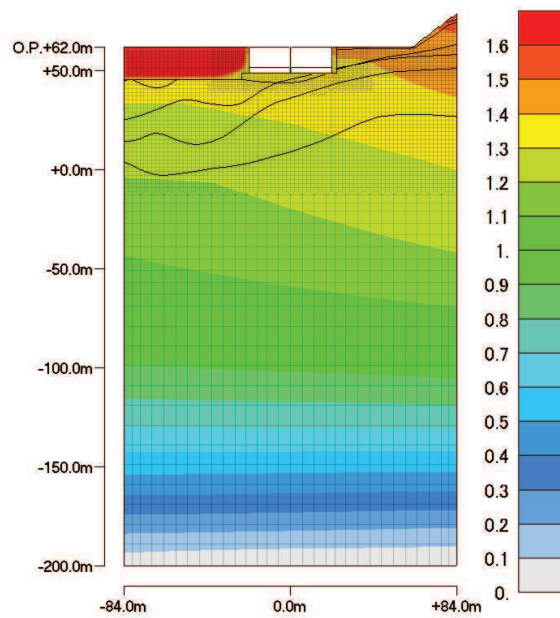


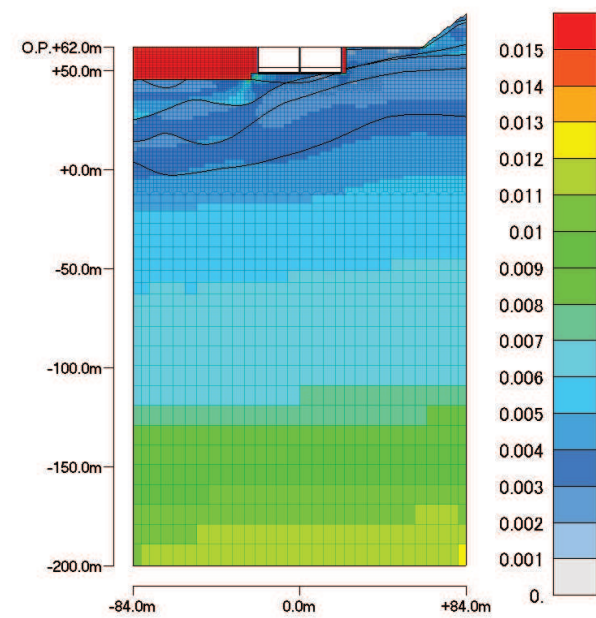
図 1-4(2) 第 1 保管エリア③ (鉛直方向)



最大加速度分布
(最大値: 1031.2 cm/s^2)

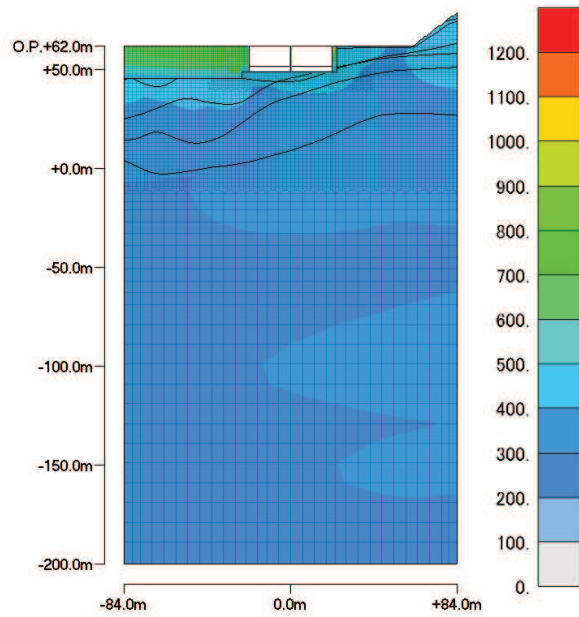


最大変位分布
(最大値: 8.8681cm)

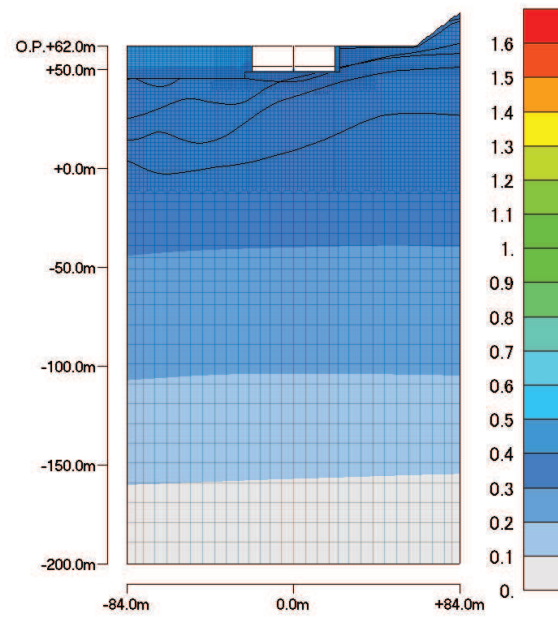


最大ひずみ分布
(最大値: 0.8067%)

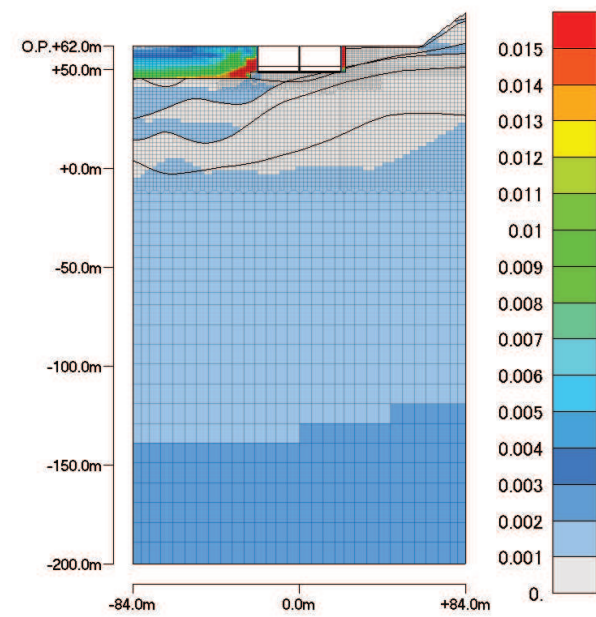
図 1-5(1) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 $S_s - D1$) 水平応答



最大加速度分布
(最大値: 1254.1 cm/s^2)

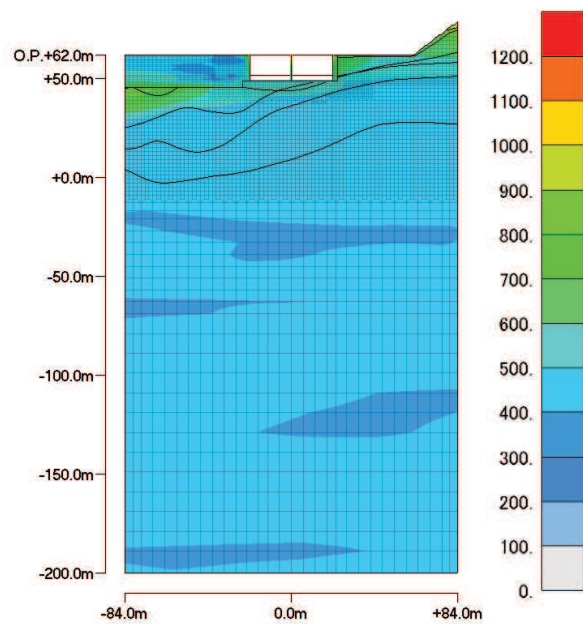


最大変位分布
(最大値: 0.4297cm)

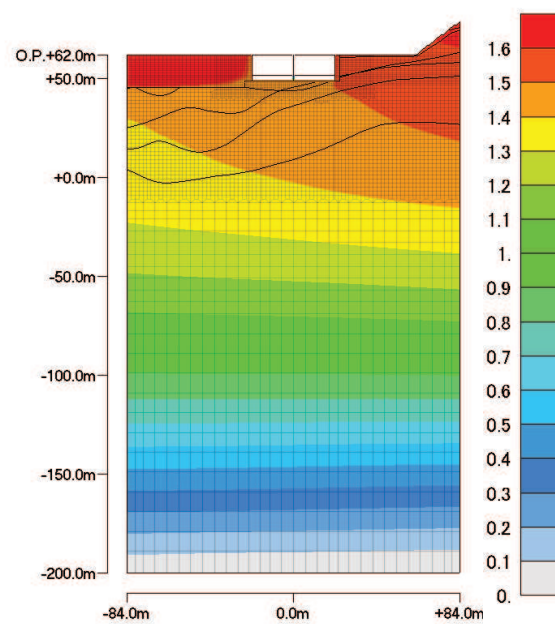


最大ひずみ分布
(最大値: 0.06919%)

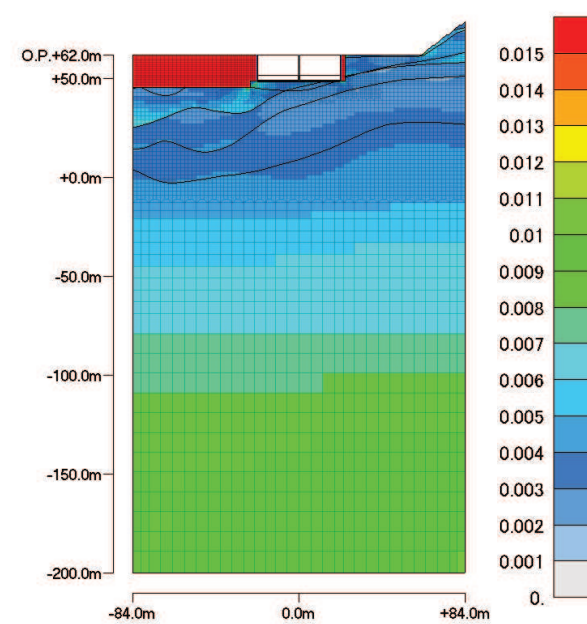
図 1-5(2) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 1) 鉛直応答



最大加速度分布
(最大値: 1149.4 cm/s²)

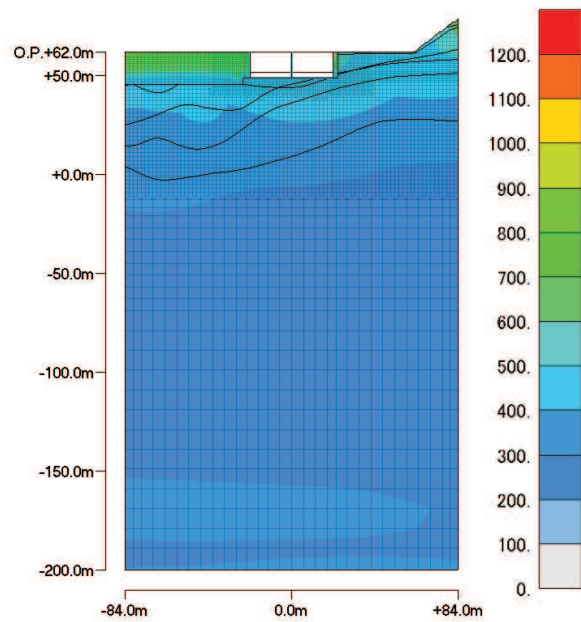


最大変位分布
(最大値: 6.84741cm)

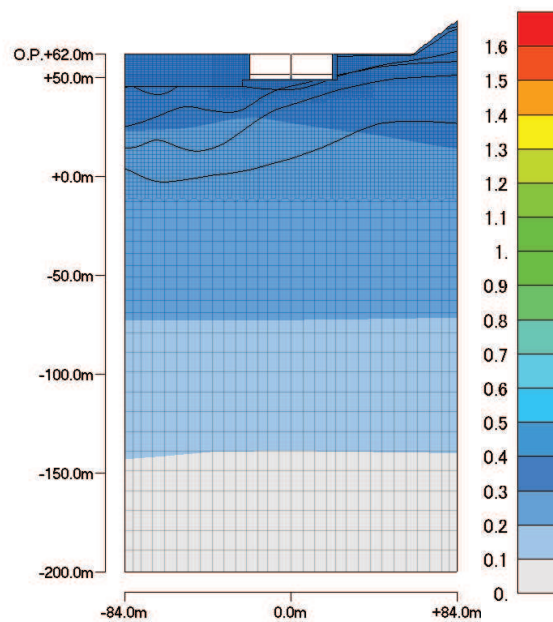


最大ひずみ分布
(最大値: 0.7476%)

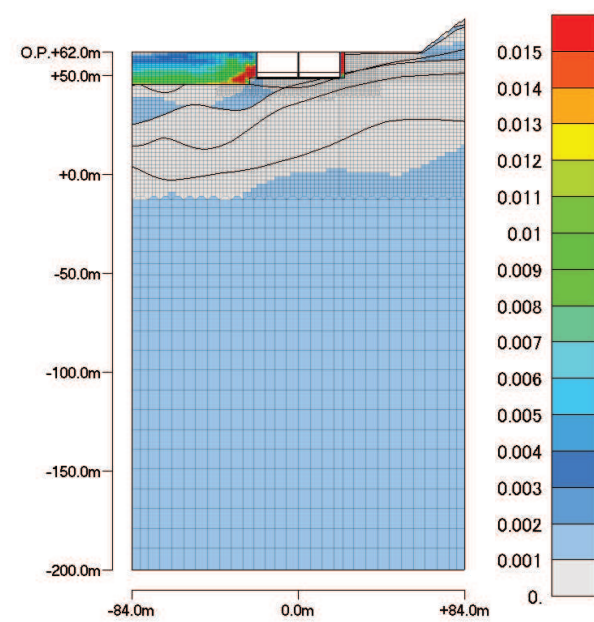
図 1-5(3) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 2) 水平応答



最大加速度分布
(最大値:1188.4 cm/s²)



最大変位分布
(最大値:0.3543cm)



最大ひずみ分布
(最大値:0.07028%)

図 1-5(4) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 2) 鉛直応答

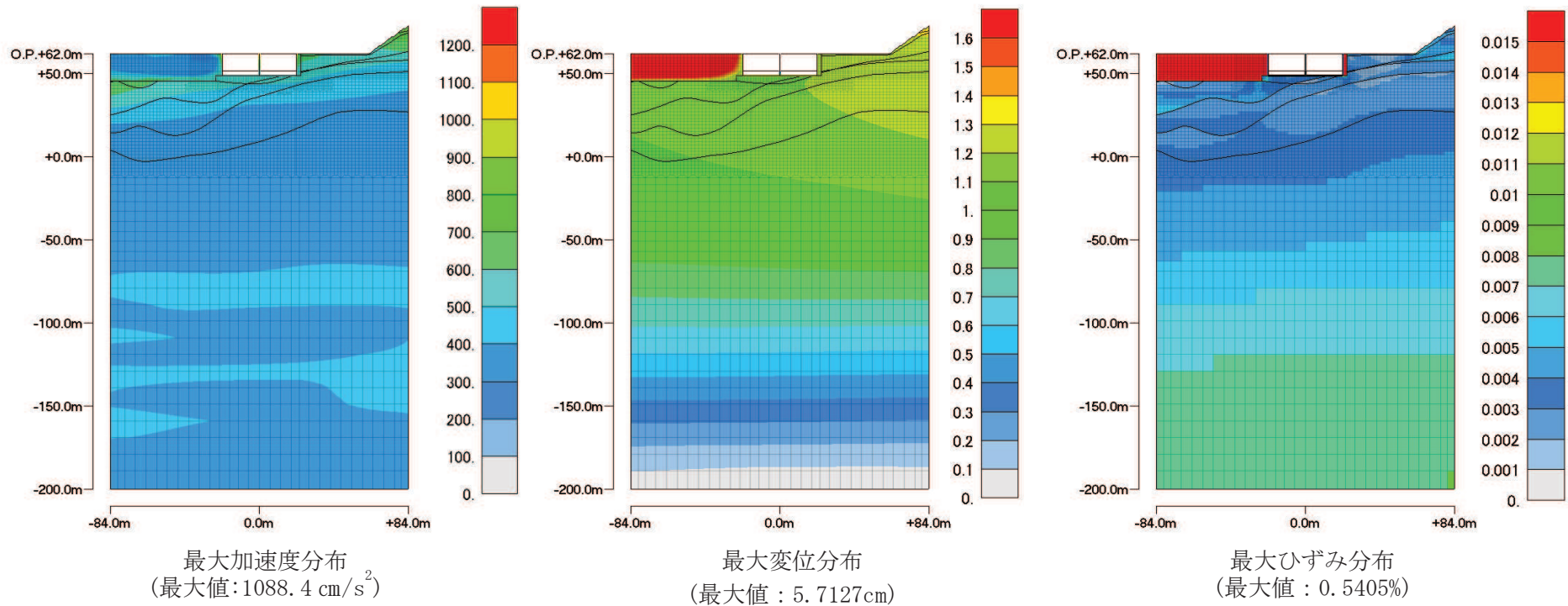


図 1-5(5) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 3) 水平応答

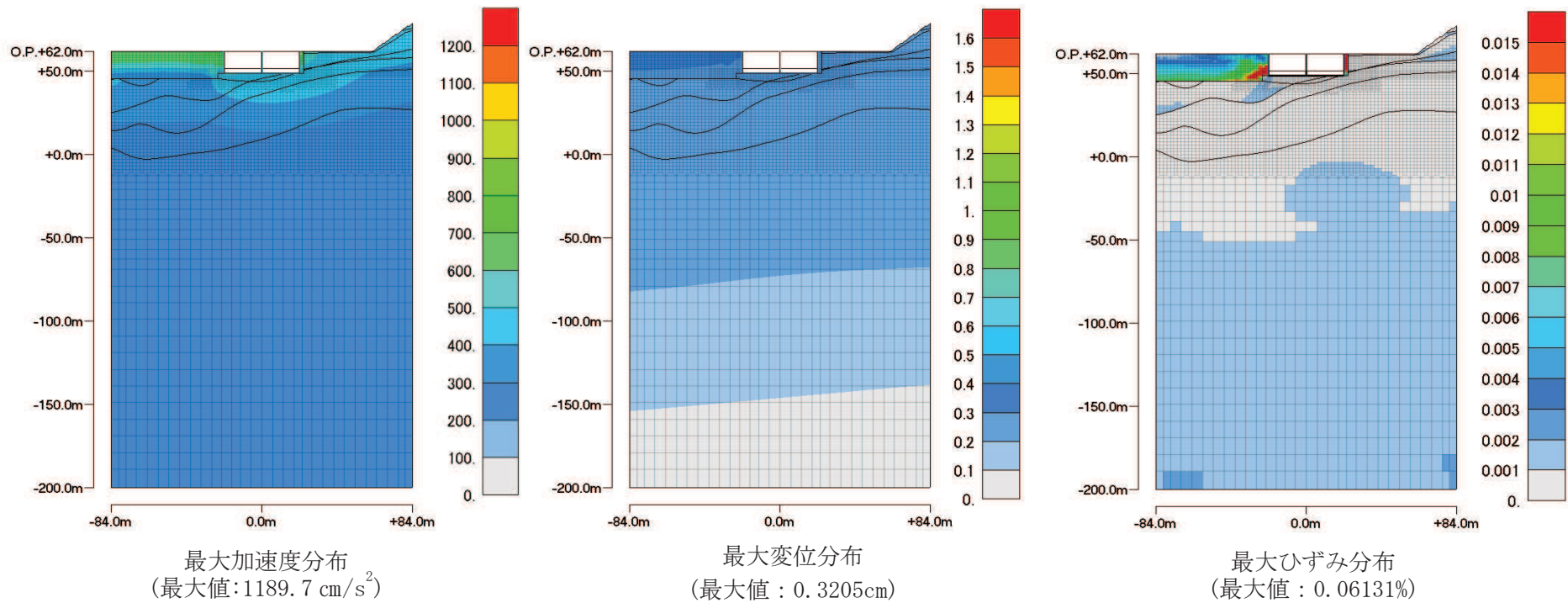
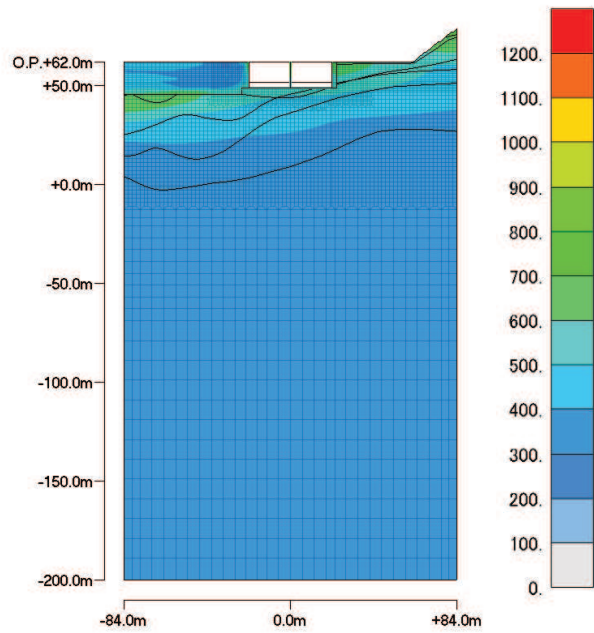
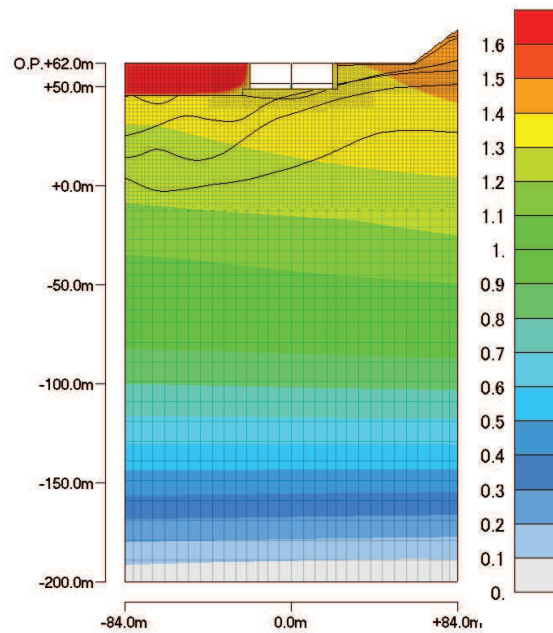


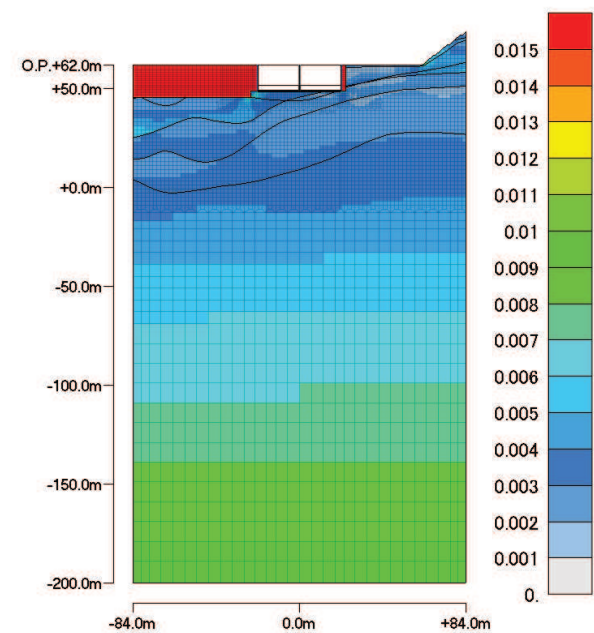
図 1-5(6) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S_s-D3) 鉛直応答



最大加速度分布
(最大値:785.79 cm/s^2)

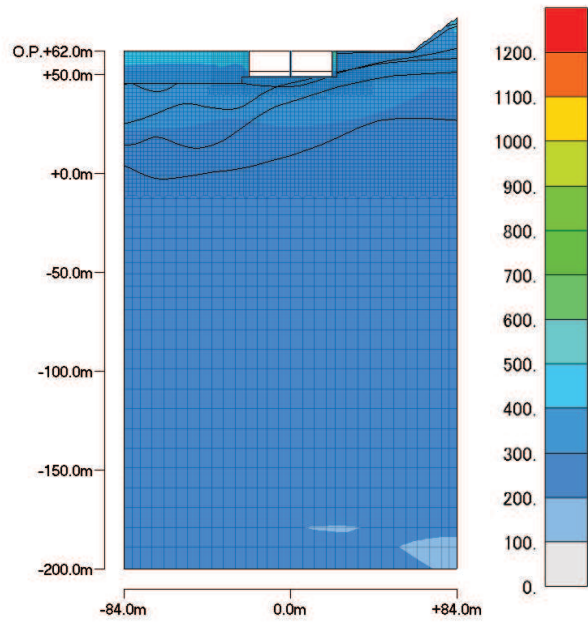


最大変位分布
(最大値:7.705cm)

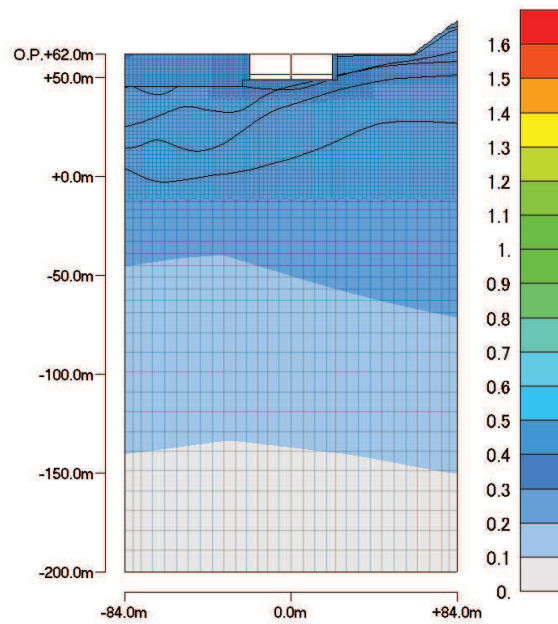


最大ひずみ分布
(最大値:0.671%)

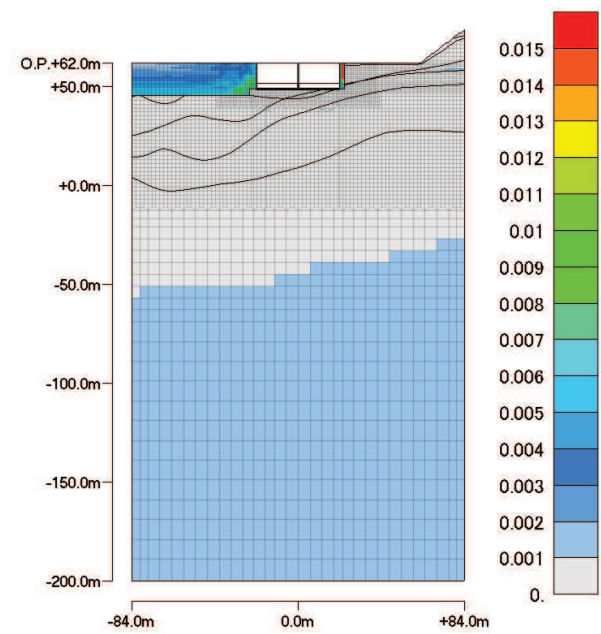
図 1-5(7) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 1) 水平応答



最大加速度分布
(最大値:712.77 cm/s²)

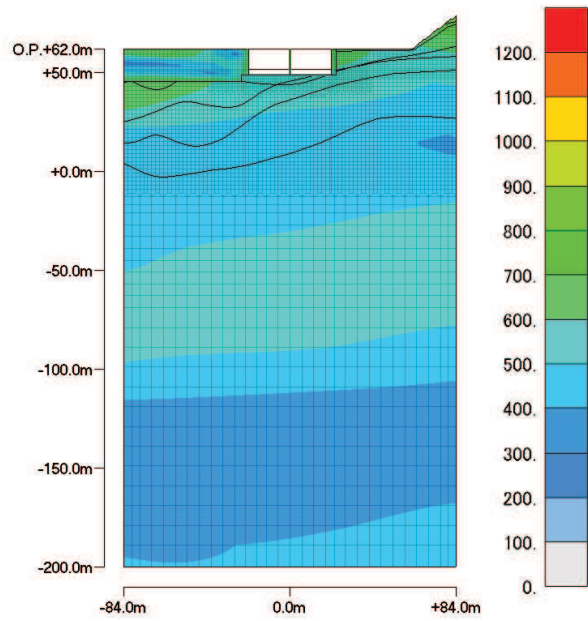


最大変位分布
(最大値 : 0.3164cm)

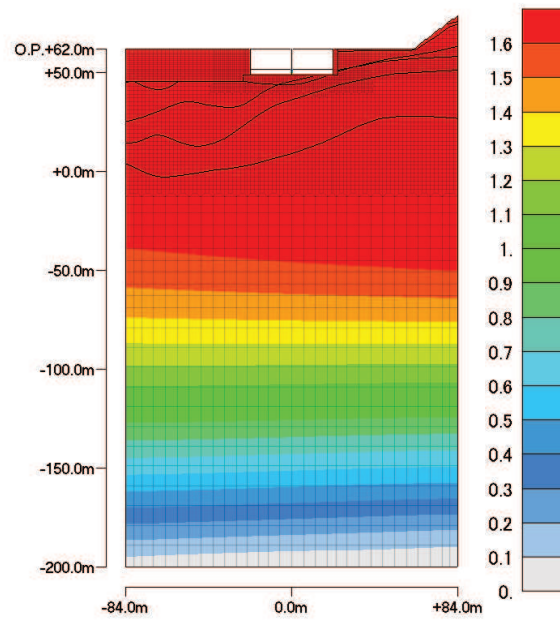


最大ひずみ分布
(最大値 : 0.0415%)

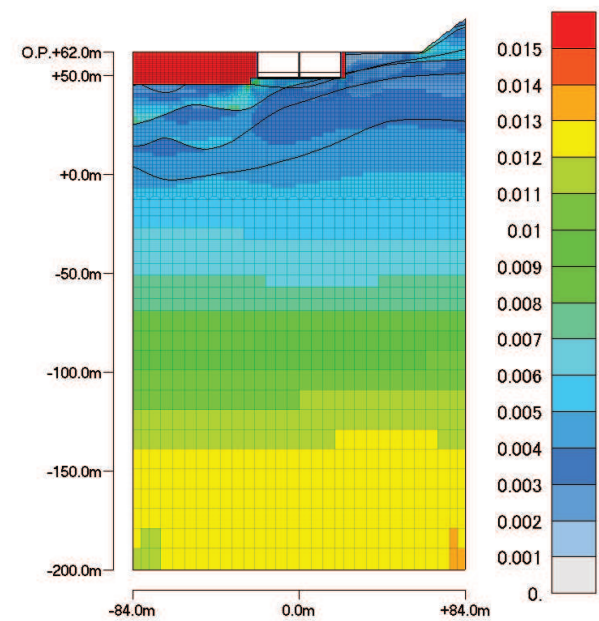
図 1-5(8) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 1) 鉛直応答



最大加速度分布
(最大値: 893.68 cm/s^2)

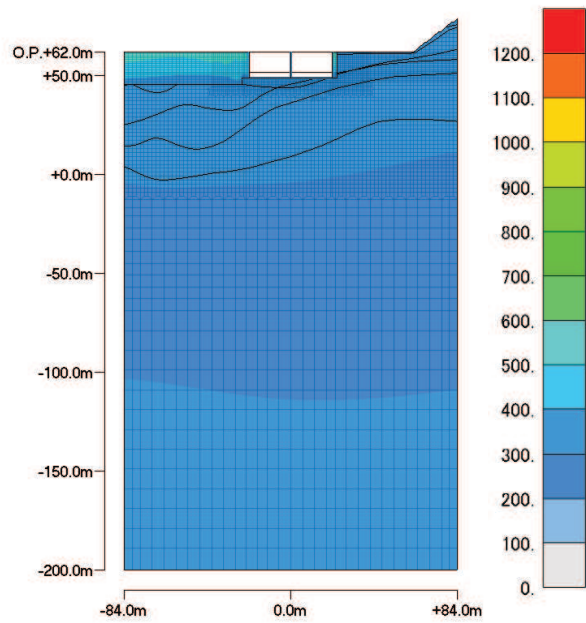


最大変位分布
(最大値: 8.9437cm)

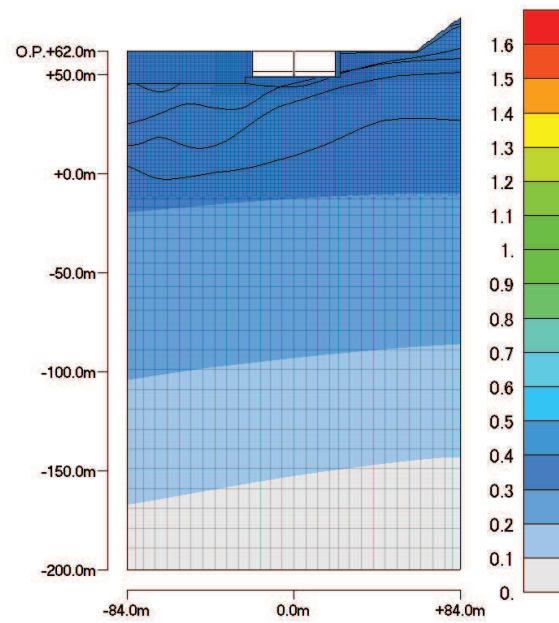


最大ひずみ分布
(最大値: 0.875%)

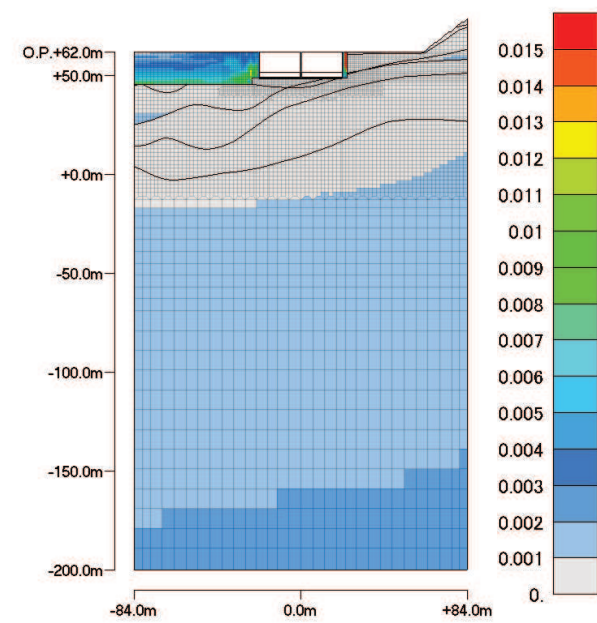
図 1-5(9) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 2) 水平応答



最大加速度分布
(最大値: 713.4 cm/s^2)

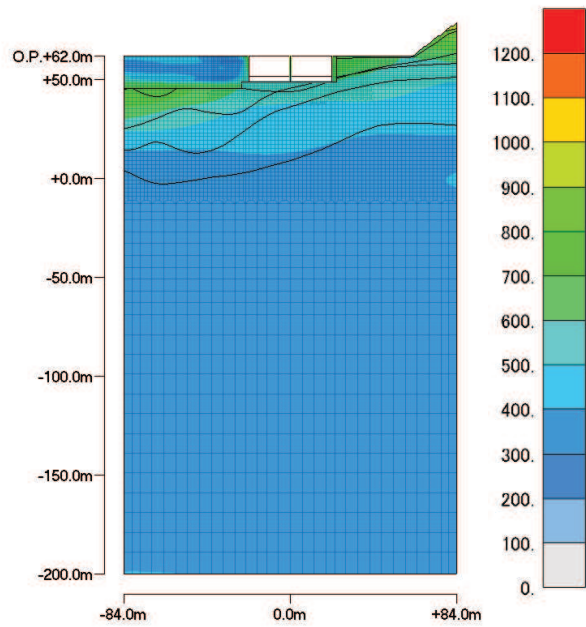


最大変位分布
(最大値: 0.3915cm)

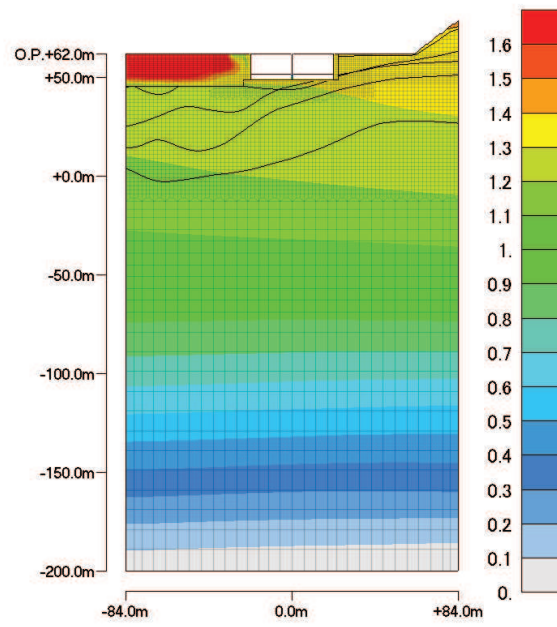


最大ひずみ分布
(最大値: 0.03563%)

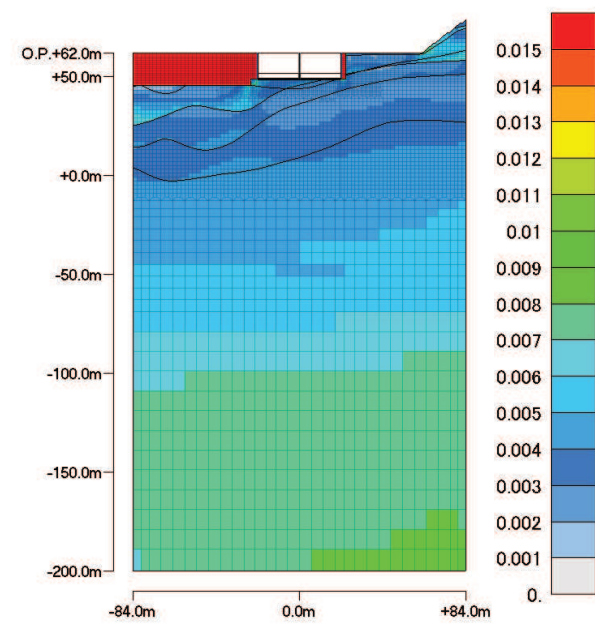
図 1-5(10) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 2) 鉛直応答



最大加速度分布
(最大値:960.23 cm/s^2)

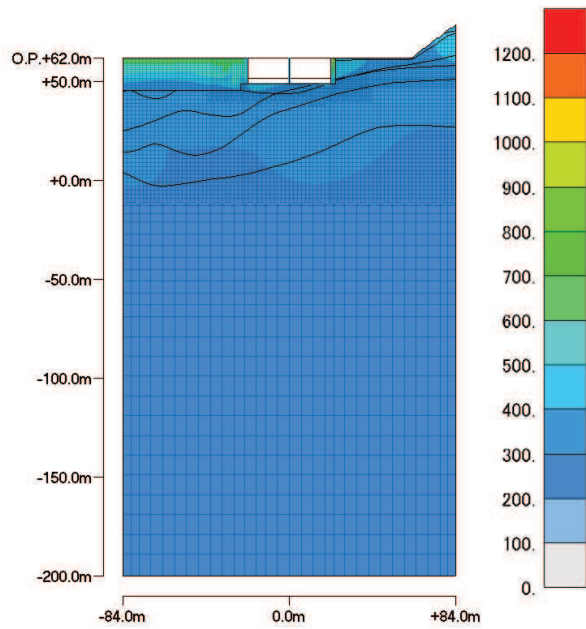


最大変位分布
(最大値:3.7006cm)

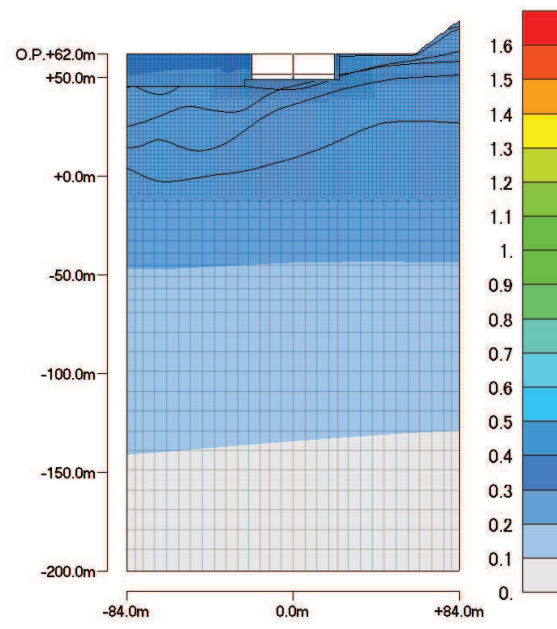


最大ひずみ分布
(最大値:0.4656%)

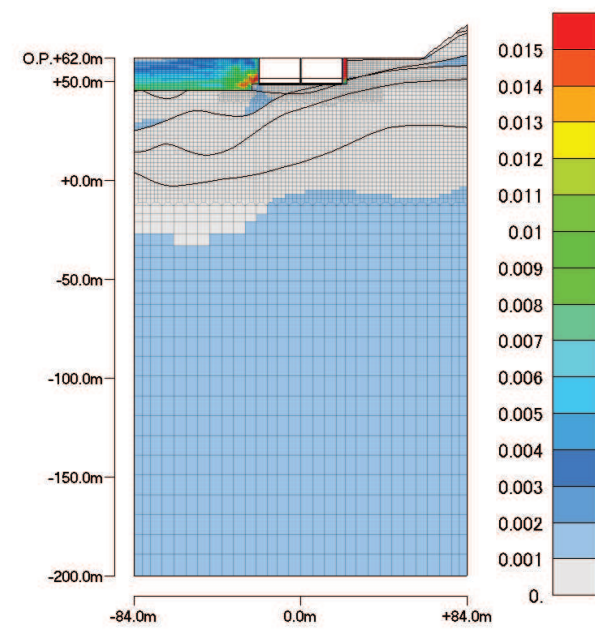
図 1-5(11) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 3) 水平応答



最大加速度分布
(最大値:1348.6 cm/s²)

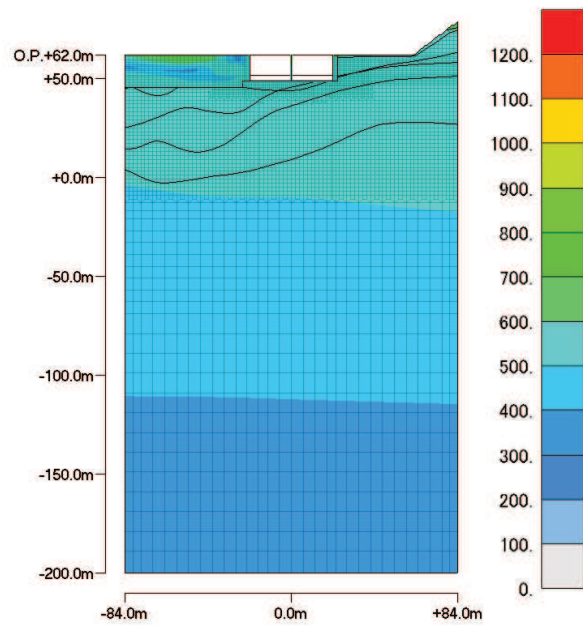


最大変位分布
(最大値 : 0.3571cm)

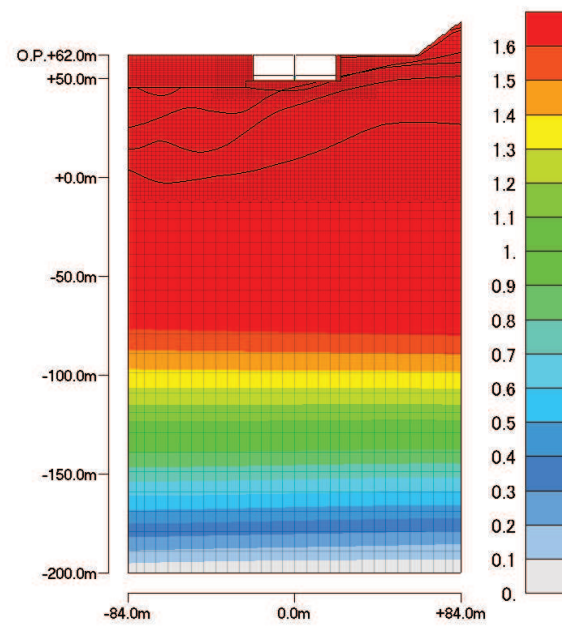


最大ひずみ分布
(最大値 : 0.6957%)

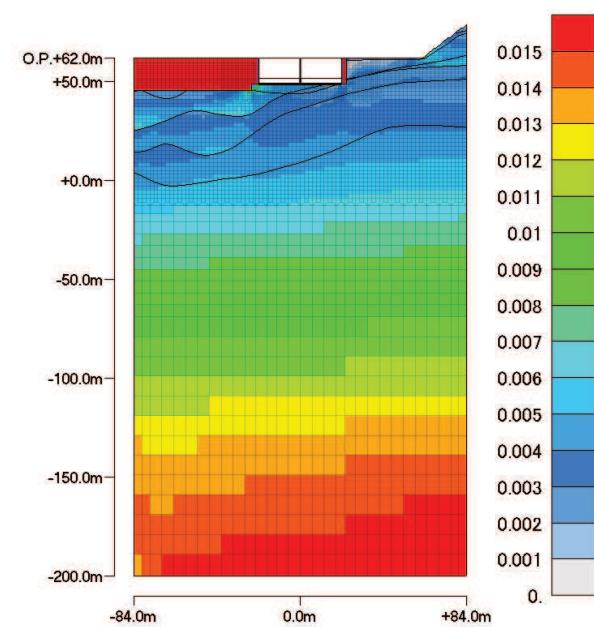
図 1-5(12) 第2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 3) 鉛直応答



最大加速度分布
(最大値:779.97 cm/s^2)

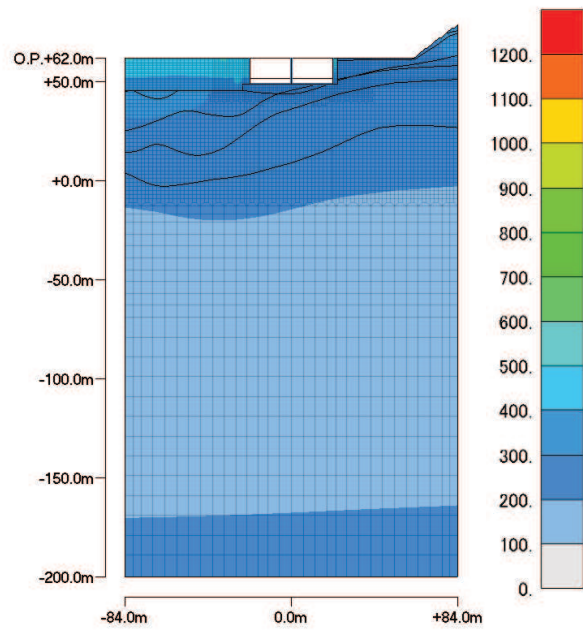


最大変位分布
(最大値:12.109cm)

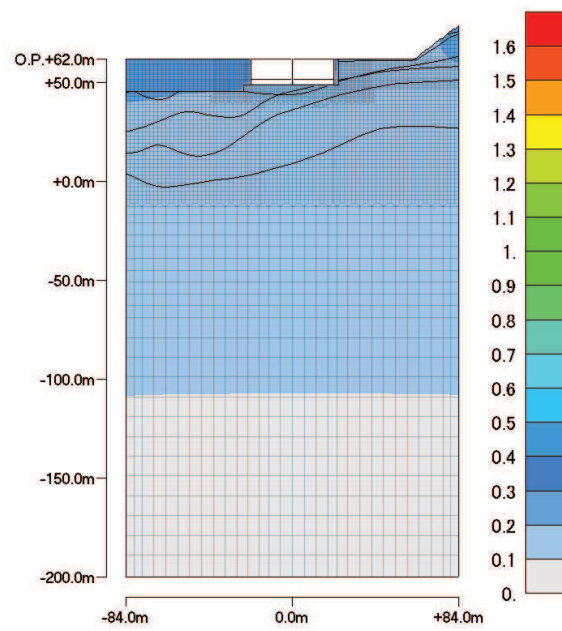


最大ひずみ分布
(最大値:1.1731%)

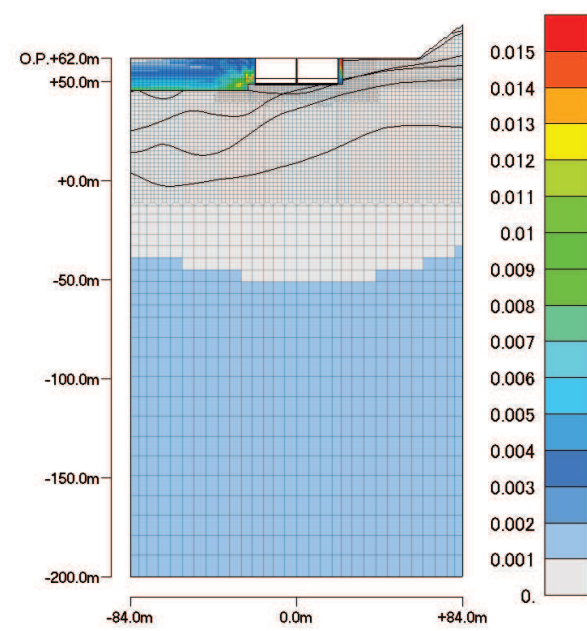
図 1-5(13) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - N 1) 水平応答



最大加速度分布
(最大値: 626.69 cm/s^2)



最大変位分布
(最大値: 0.2601cm)



最大ひずみ分布
(最大値: 0.0284%)

図 1-5(14) 第 2 保管エリア (NS 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - N 1) 鉛直応答

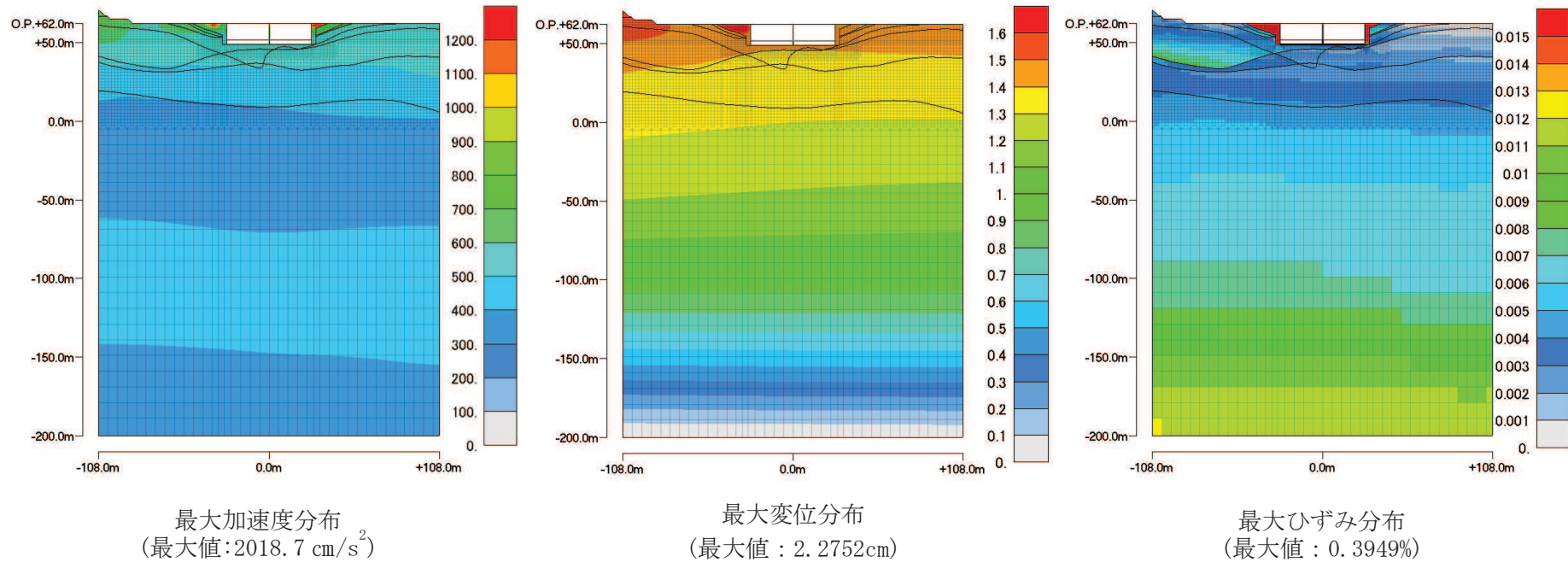
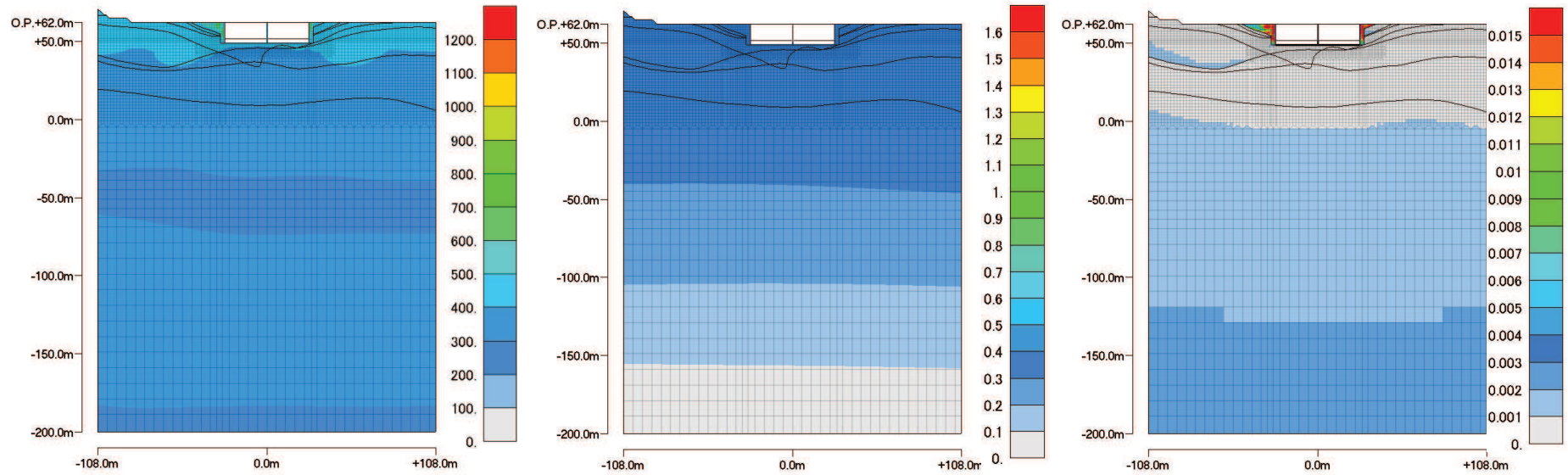


図 1-6(1) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 $S_s - D1$) 水平応答

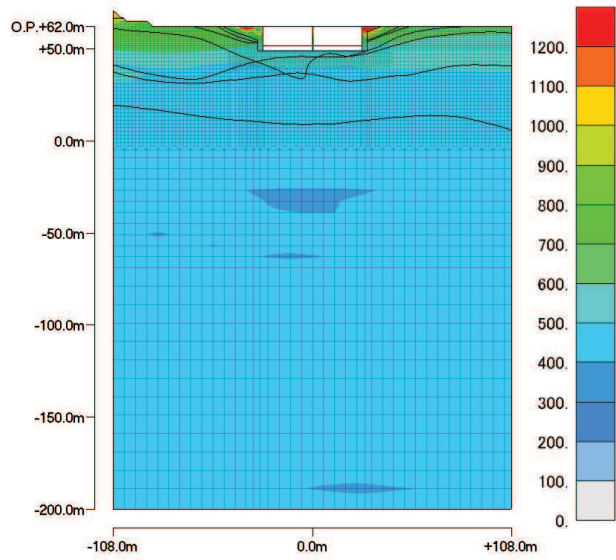


最大加速度分布
(最大値: 922.55 cm/s^2)

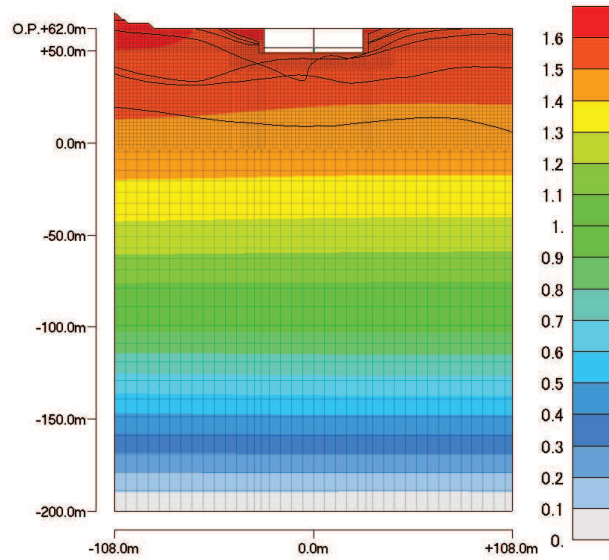
最大変位分布
(最大値: 0.4103cm)

最大ひずみ分布
(最大値: 0.04062%)

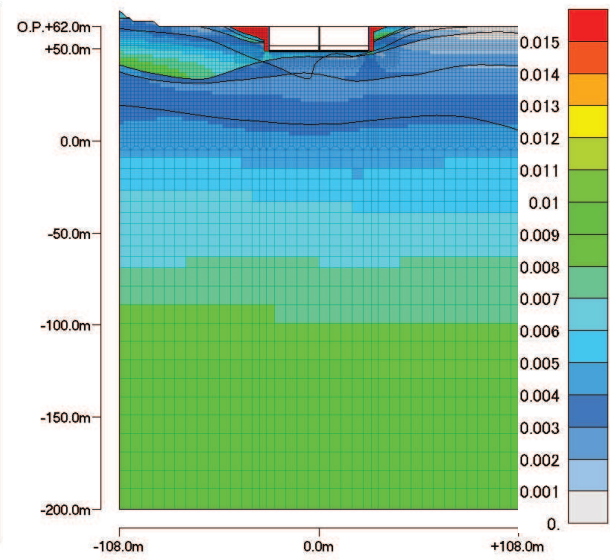
図 1-6(2) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 1) 鉛直応答



最大加速度分布
(最大値:3281 cm/s²)



最大変位分布
(最大値:2.3548cm)



最大ひずみ分布
(最大値:0.4068%)

図 1-6(3) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S_s-D2) 水平応答

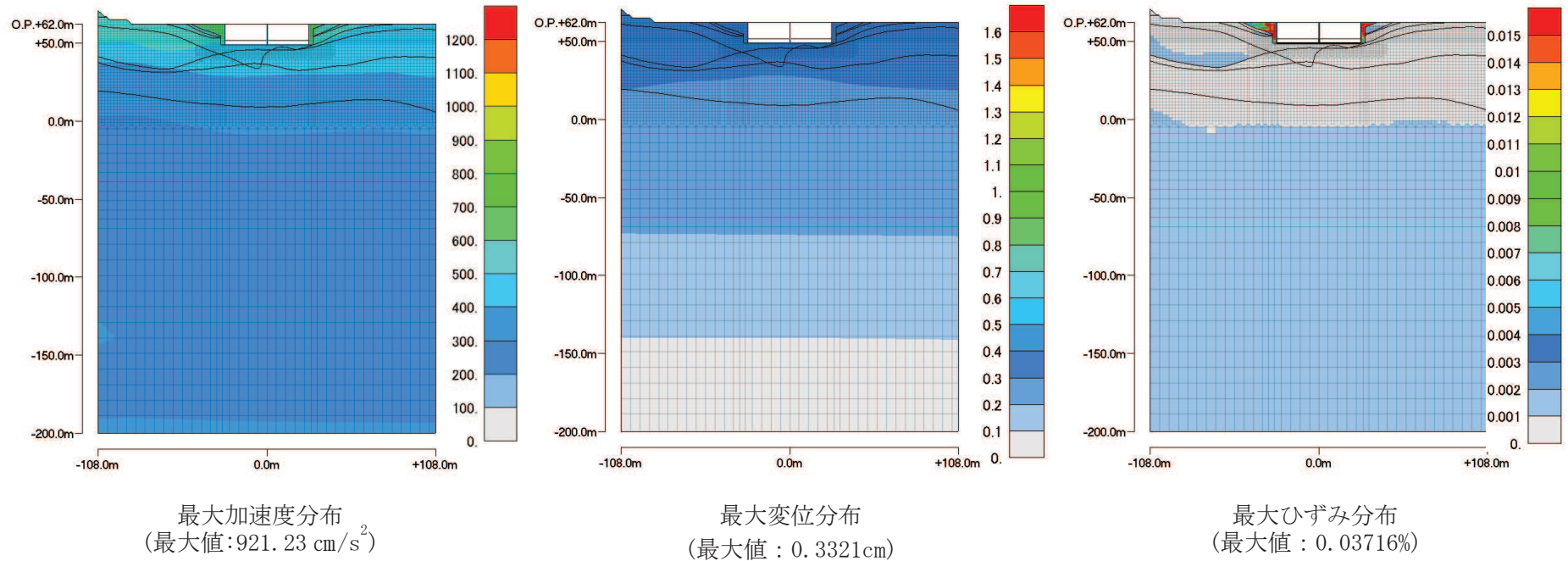
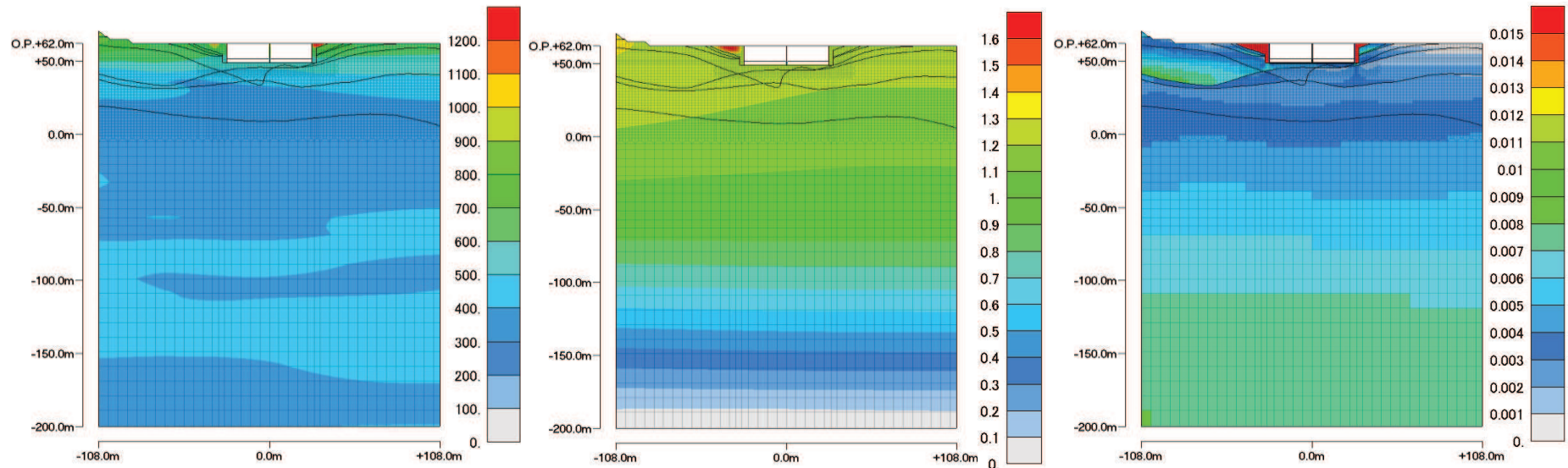


図 1-6(4) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 $S_s - D2$) 鉛直応答

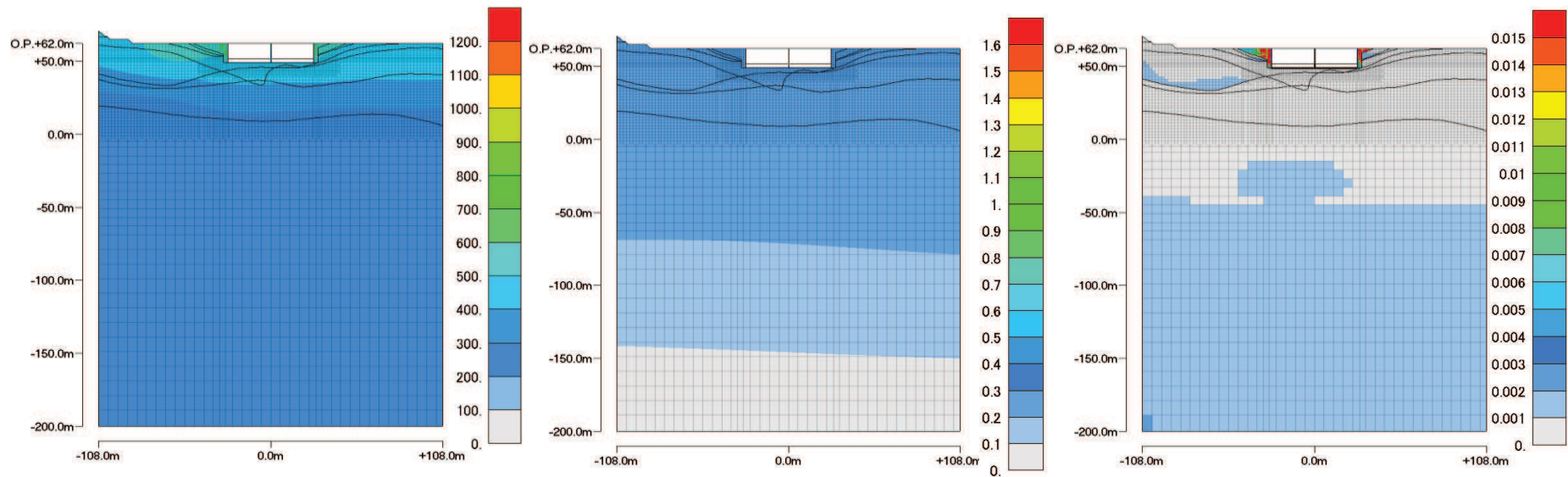


最大加速度分布
(最大値:2204.9 cm/s^2)

最大変位分布
(最大値 : 1.6714cm)

最大ひずみ分布
(最大値 : 0.3047%)

図 1-6(5) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 3) 水平応答



最大加速度分布
(最大値:873.88 cm/s^2)

最大変位分布
(最大値:0.2848cm)

最大ひずみ分布
(最大値:0.03502%)

図 1-6(6) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - D 3) 鉛直応答

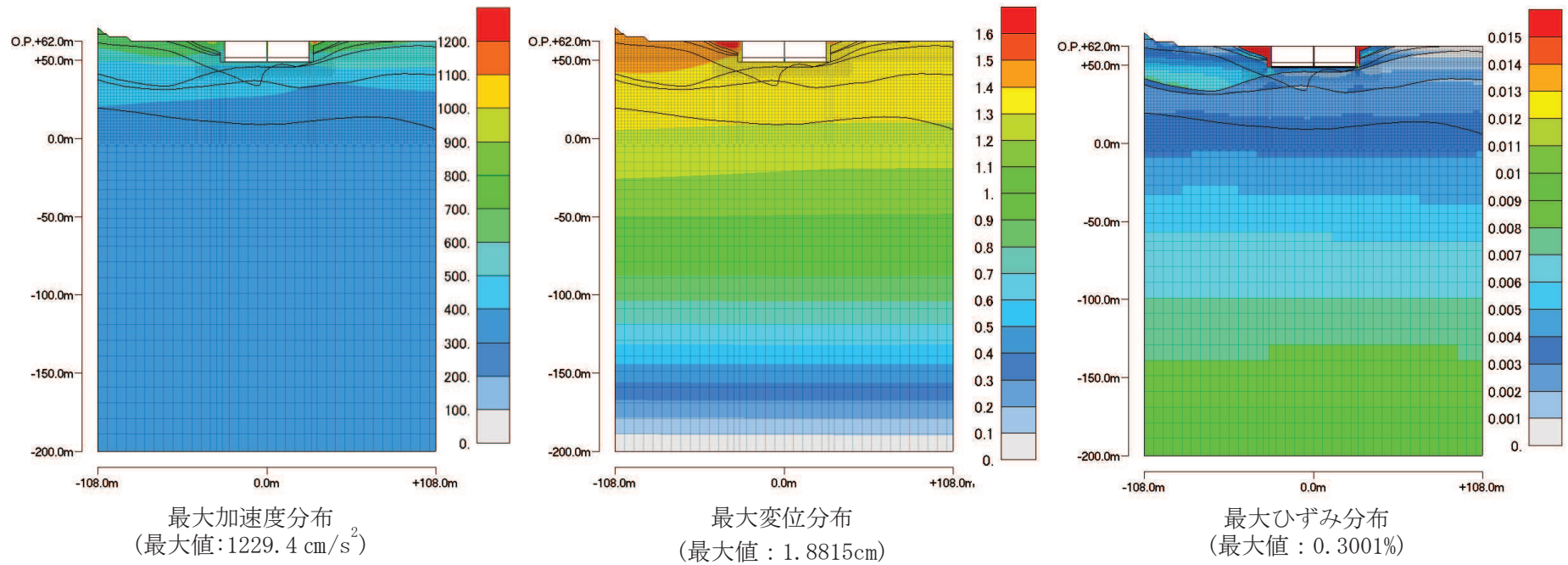


図 1-6(7) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 1) 水平応答

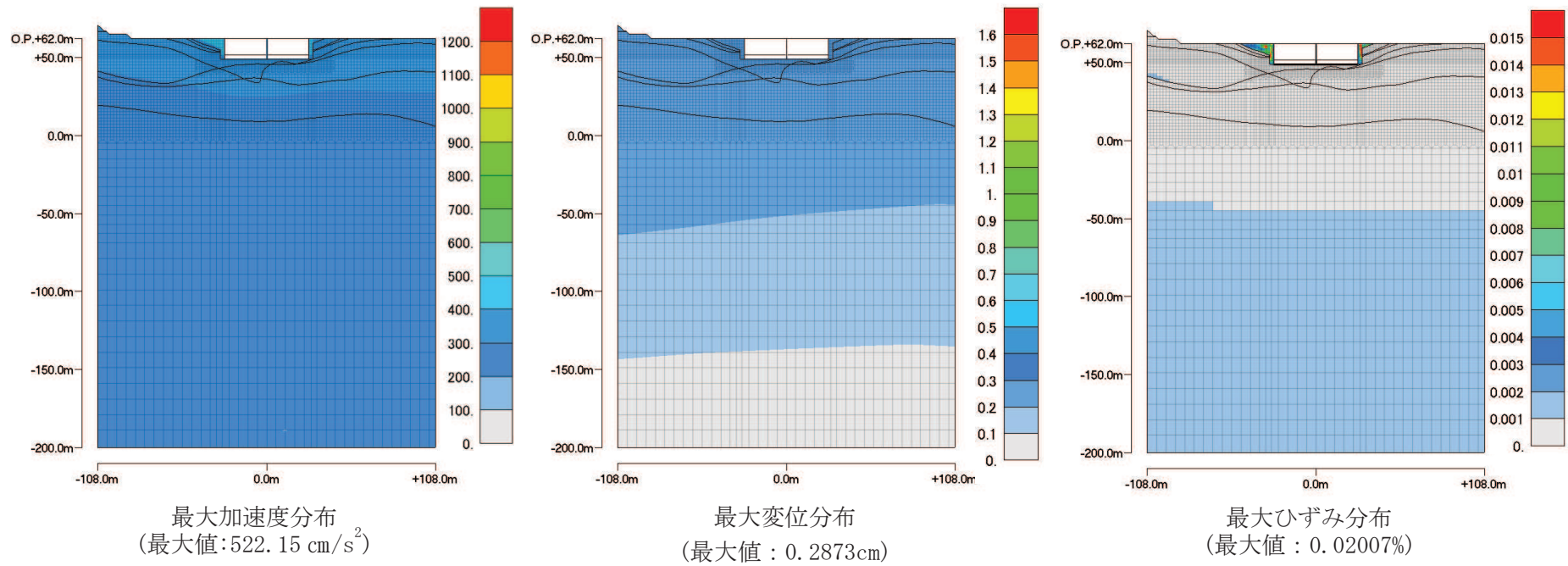


図 1-6(8) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S_s - F 1) 鉛直応答

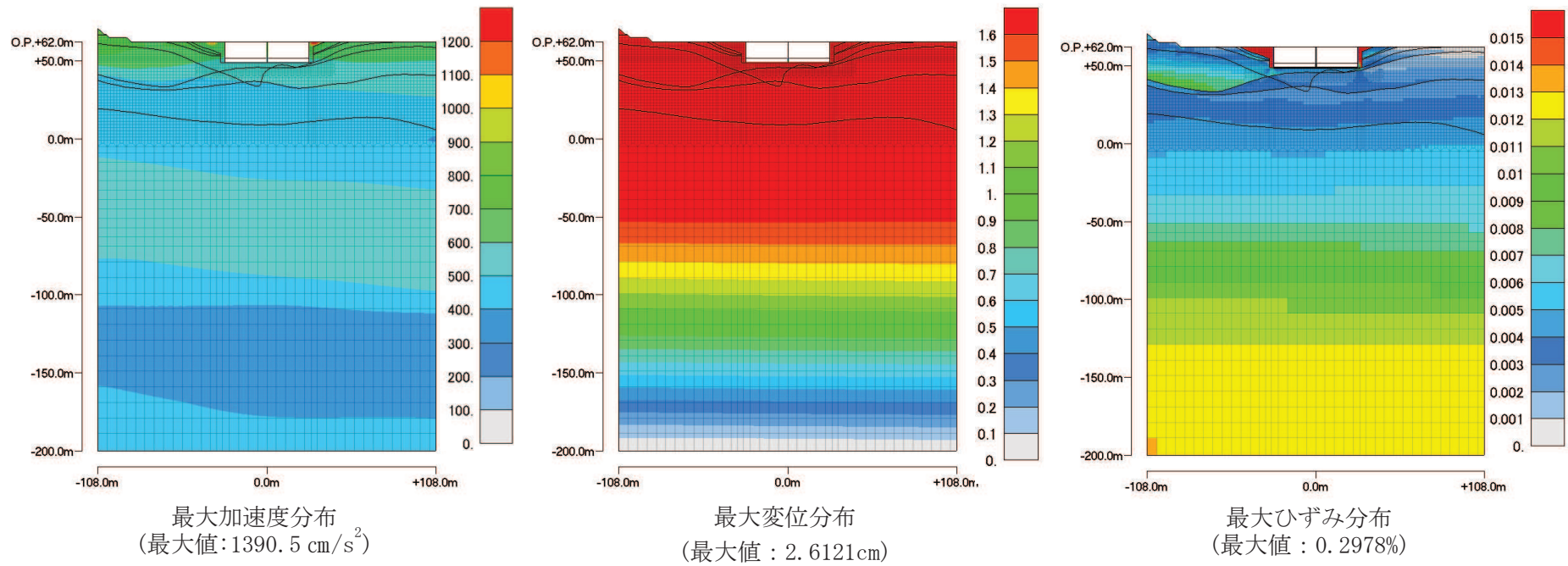


図 1-6(9) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 $S_s - F2$) 水平応答

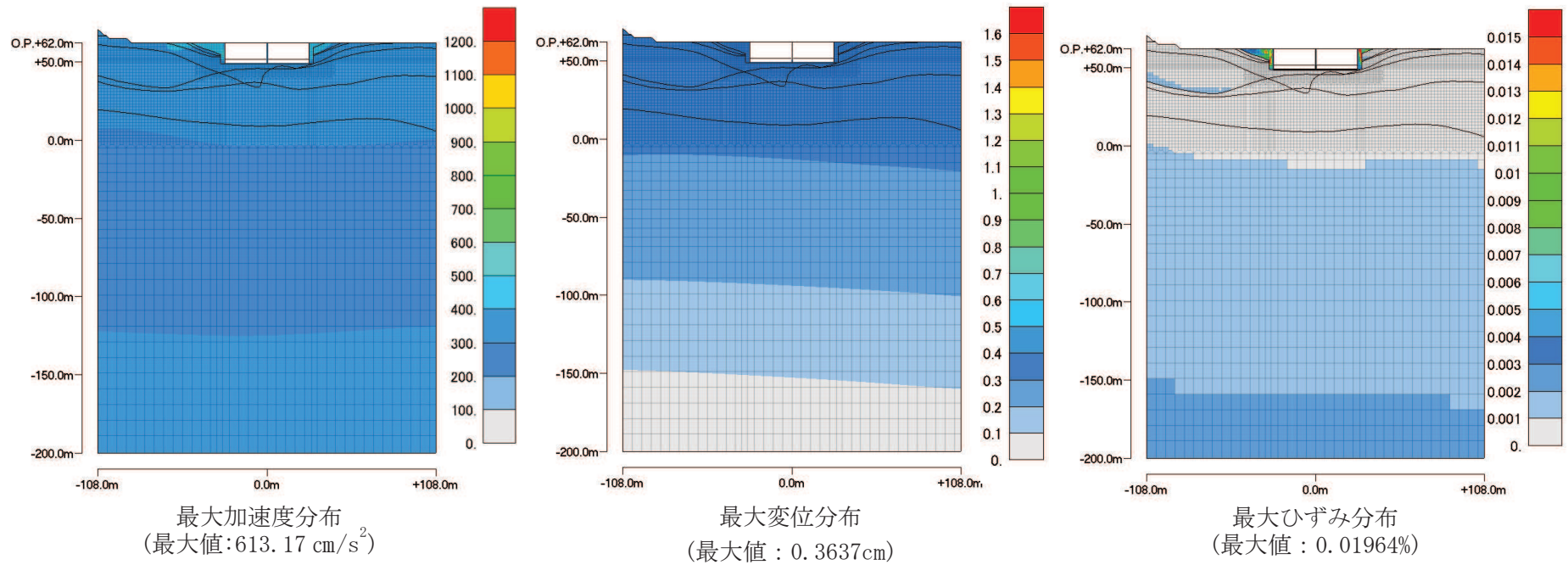


図 1-6(10) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 $S_s - F2$) 鉛直応答

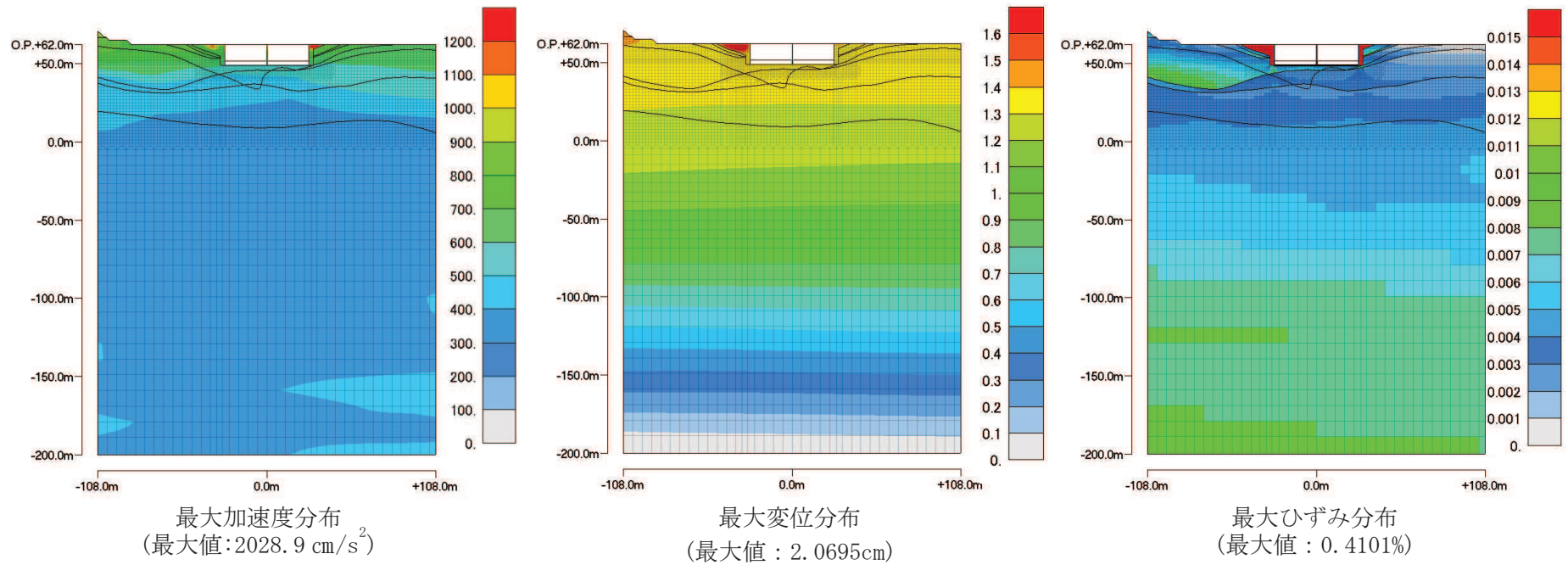


図 1-6(11) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 $S_s - F_3$) 水平応答

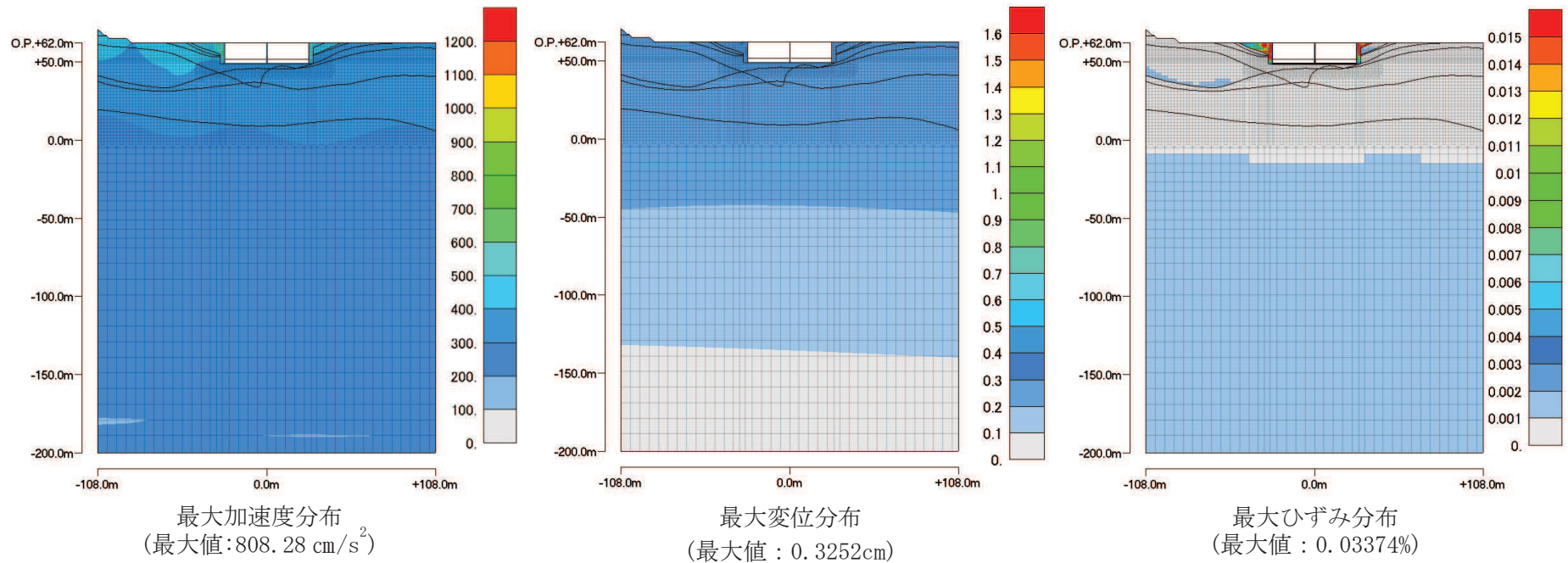


図 1-6(12) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - F 3) 鉛直応答

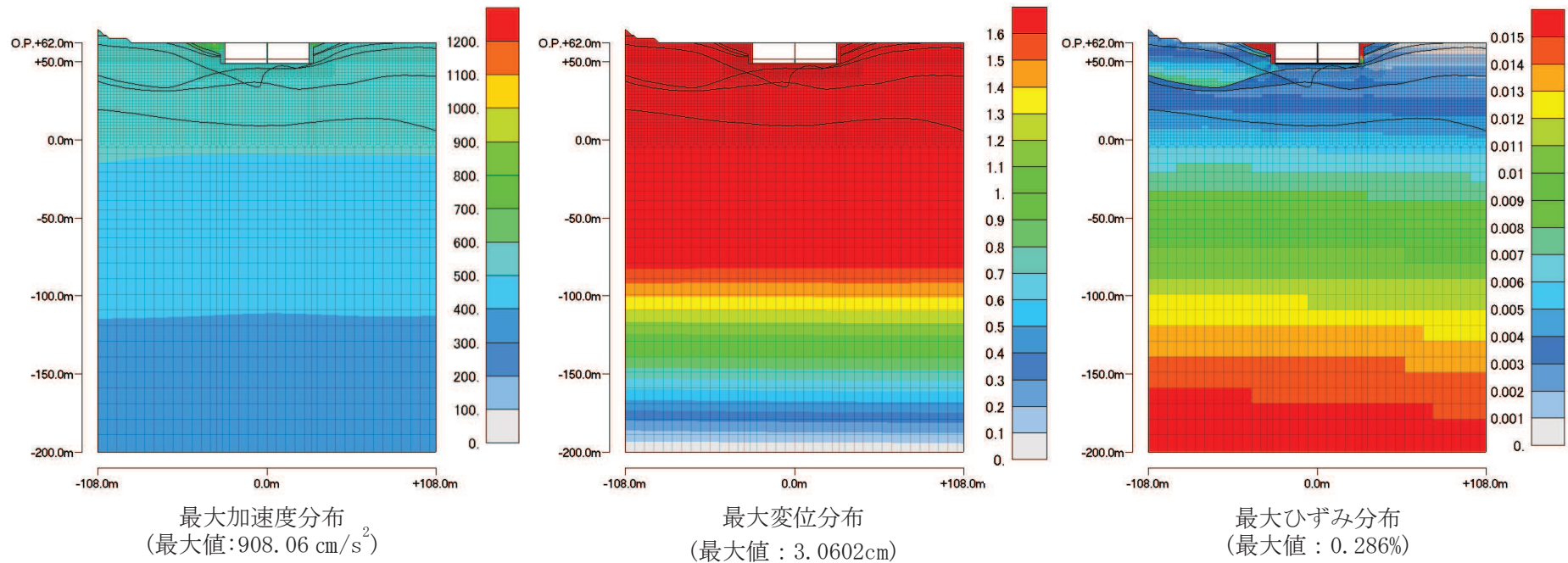


図 1-6(13) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - N 1) 水平応答

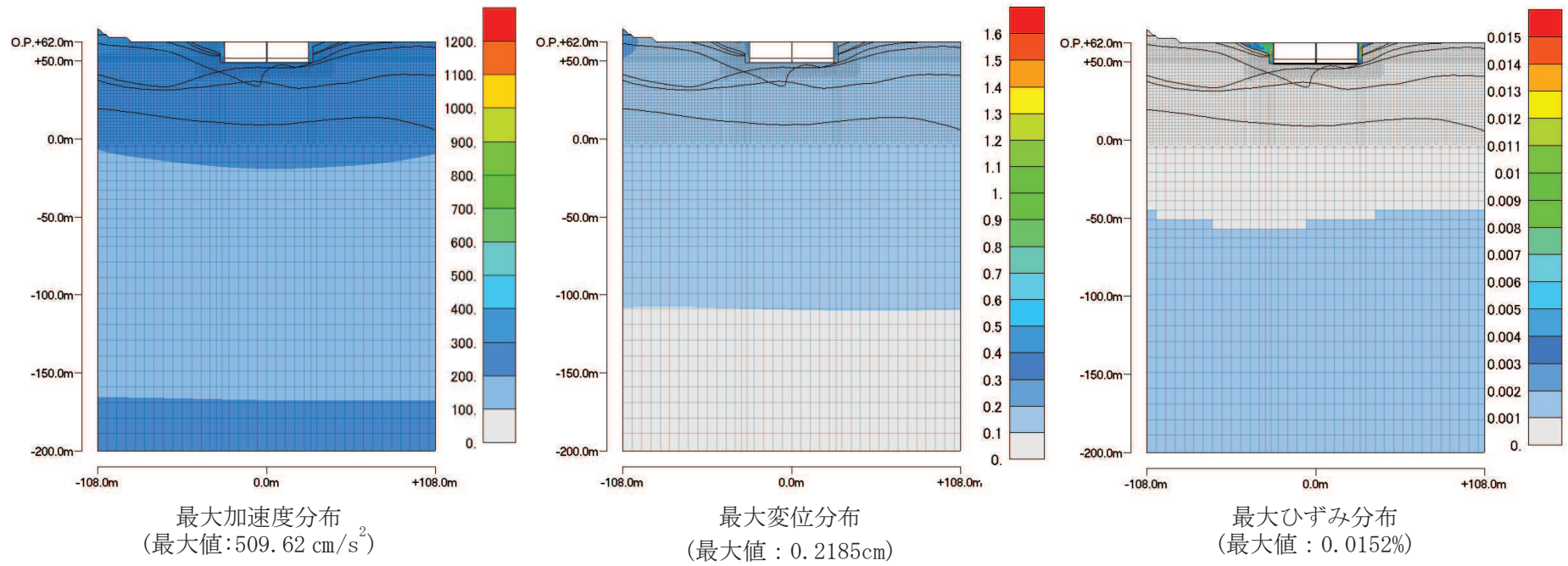


図 1-6(14) 第 2 保管エリア (EW 方向) における最大応答 (基準地震動 S s - N 1) 鉛直応答

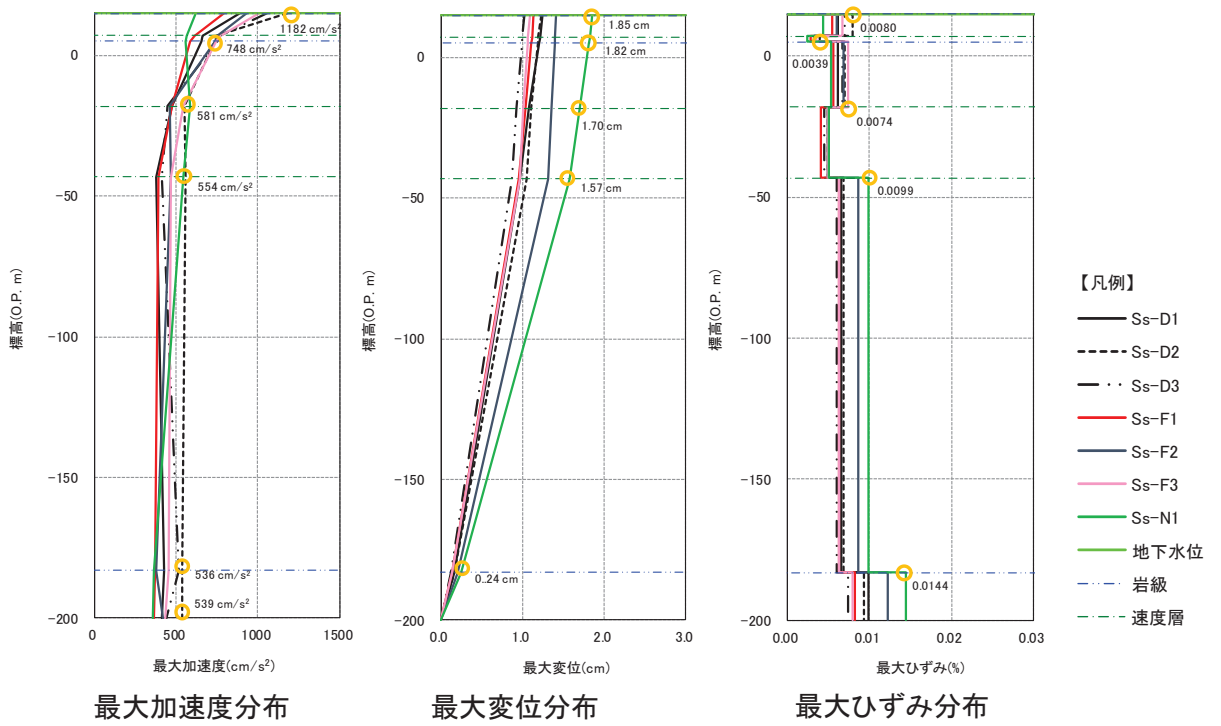


図 1-7(1) 第 3 保管エリア① (水平方向)

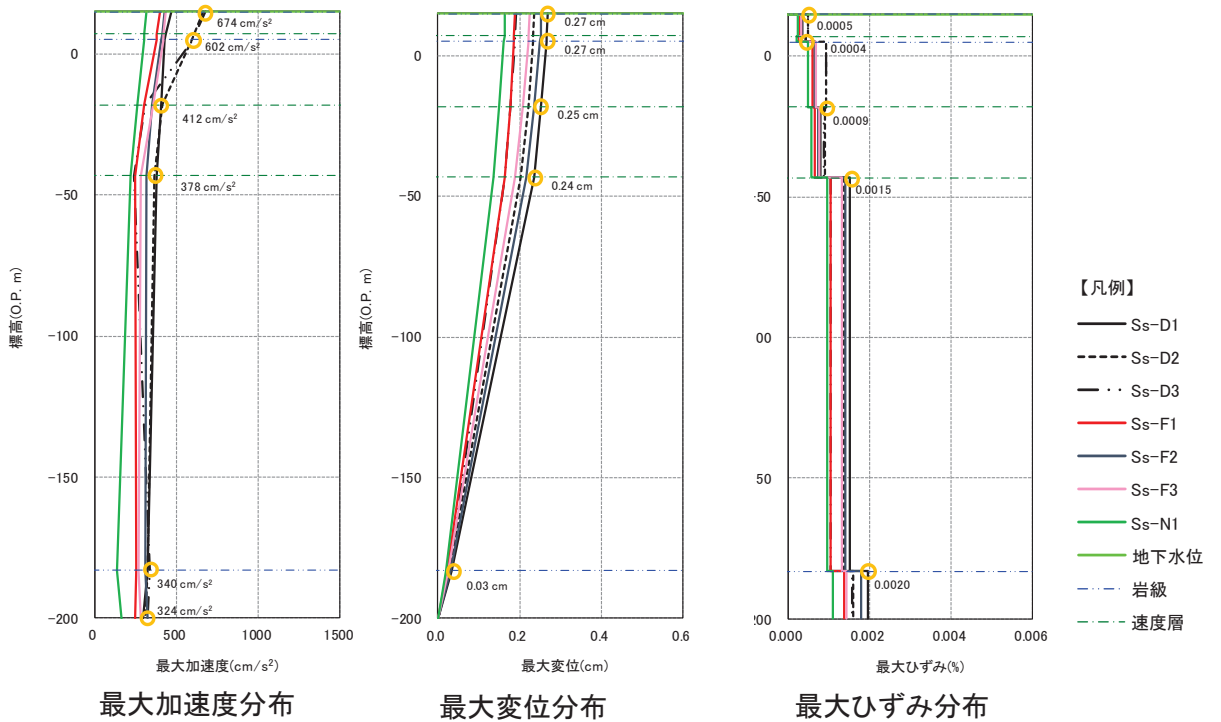


図 1-7(2) 第 3 保管エリア① (鉛直方向)

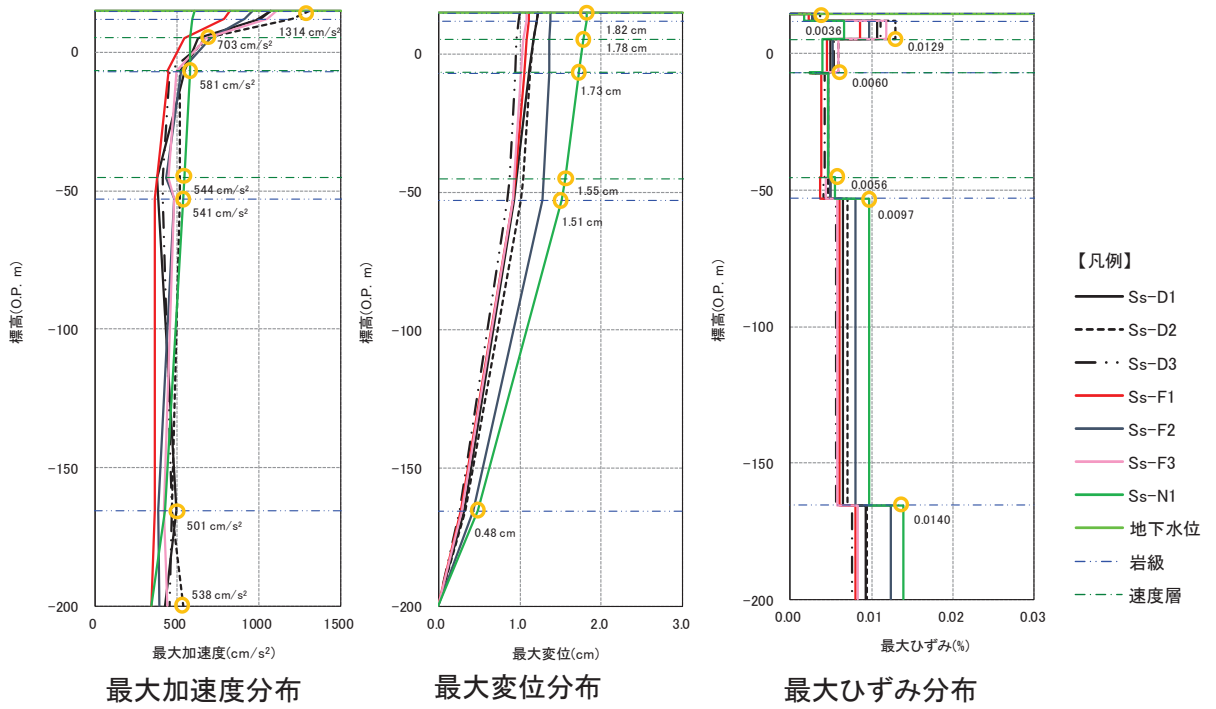


図 1-8(1) 第 3 保管エリア② (水平方向)

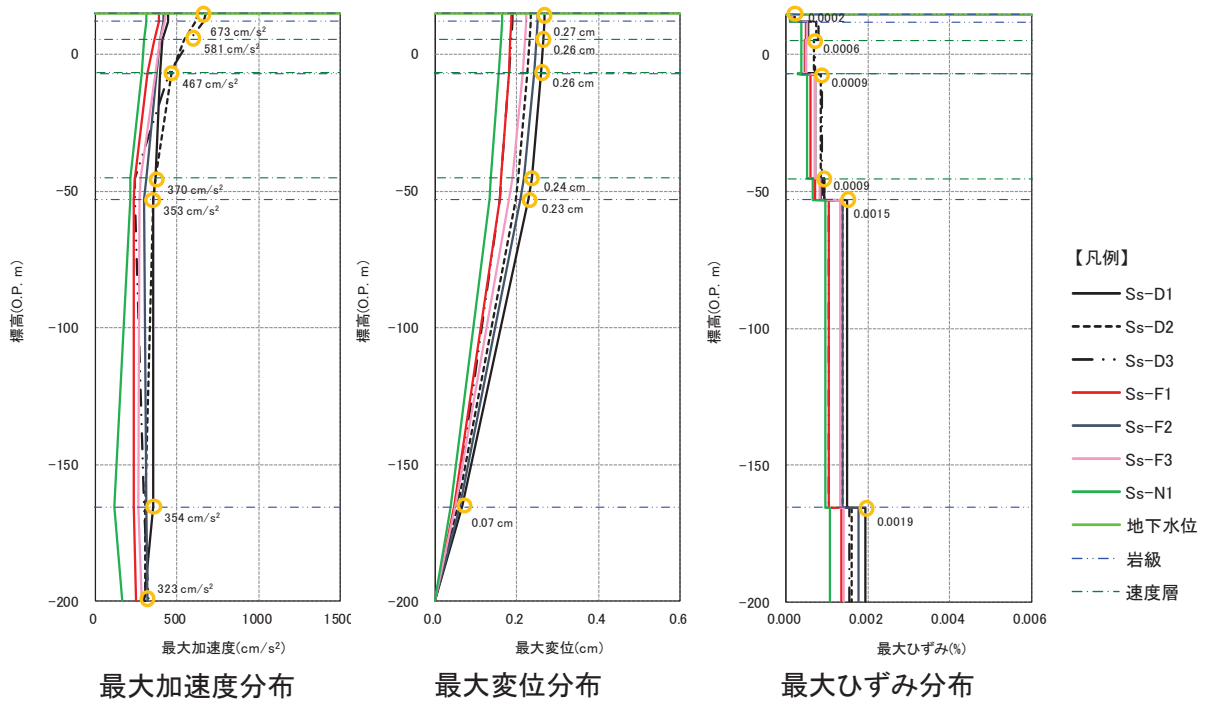


図 1-8(2) 第 3 保管エリア② (鉛直方向)

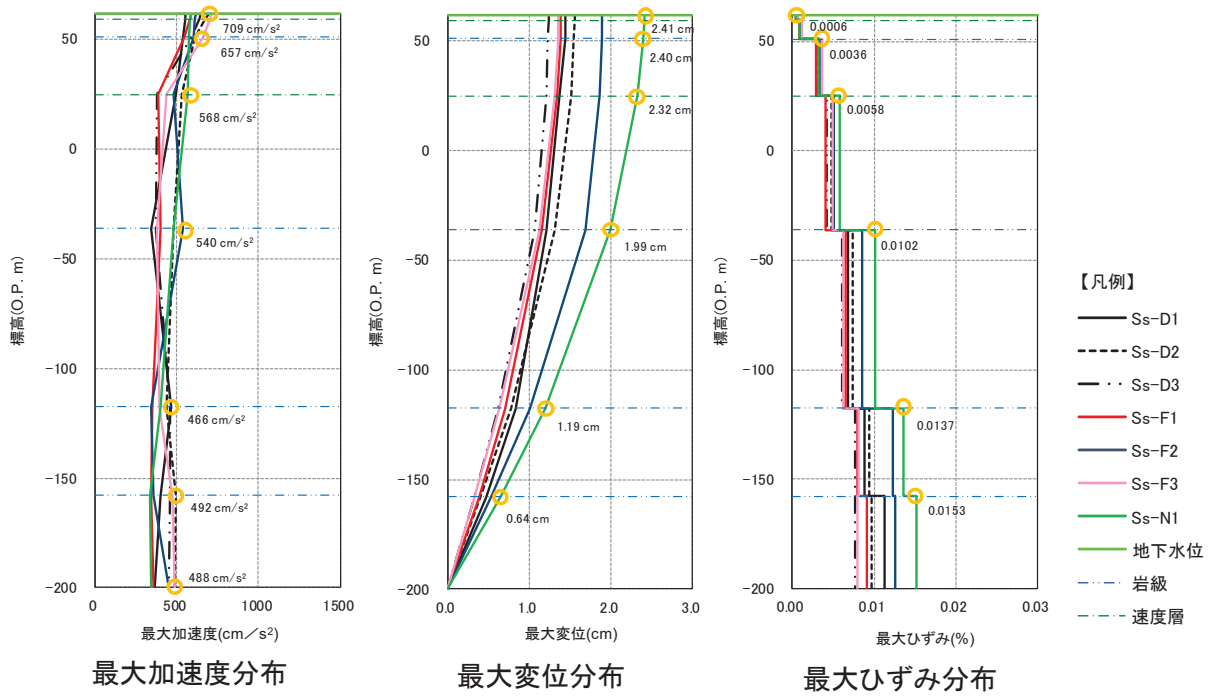


図 1-9(1) 第 4 保管エリア① (水平方向)

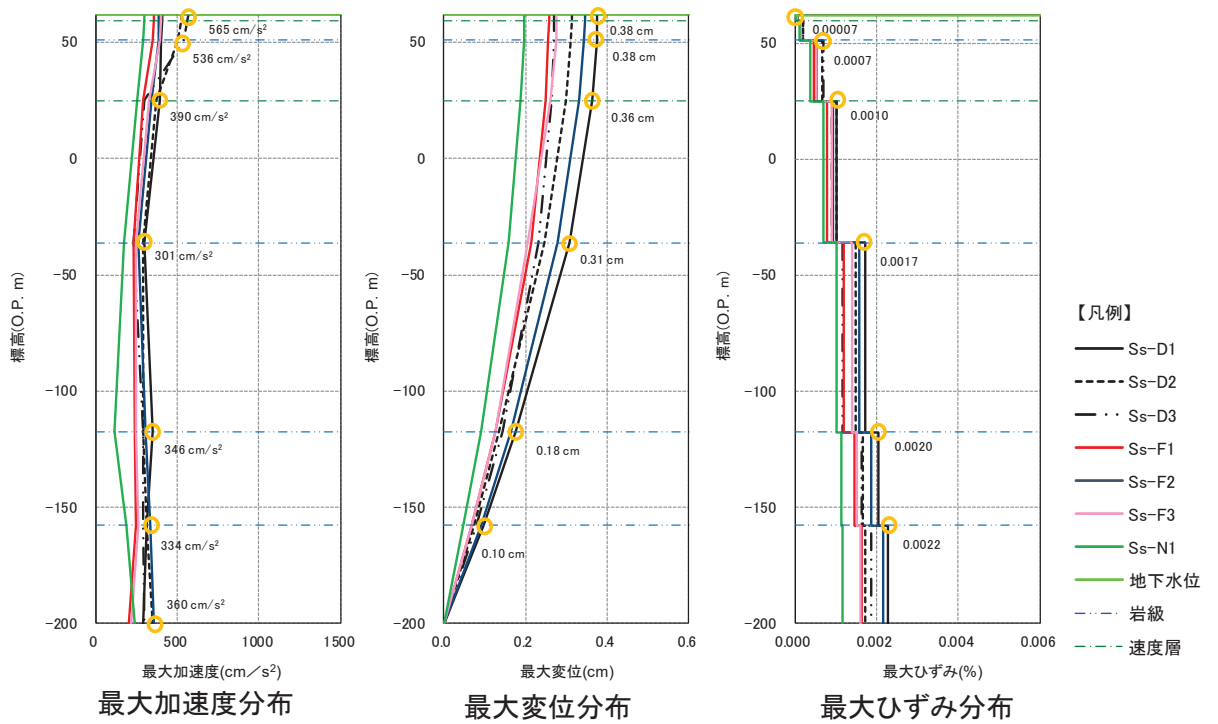


図 1-9(2) 第 4 保管エリア① (鉛直方向)

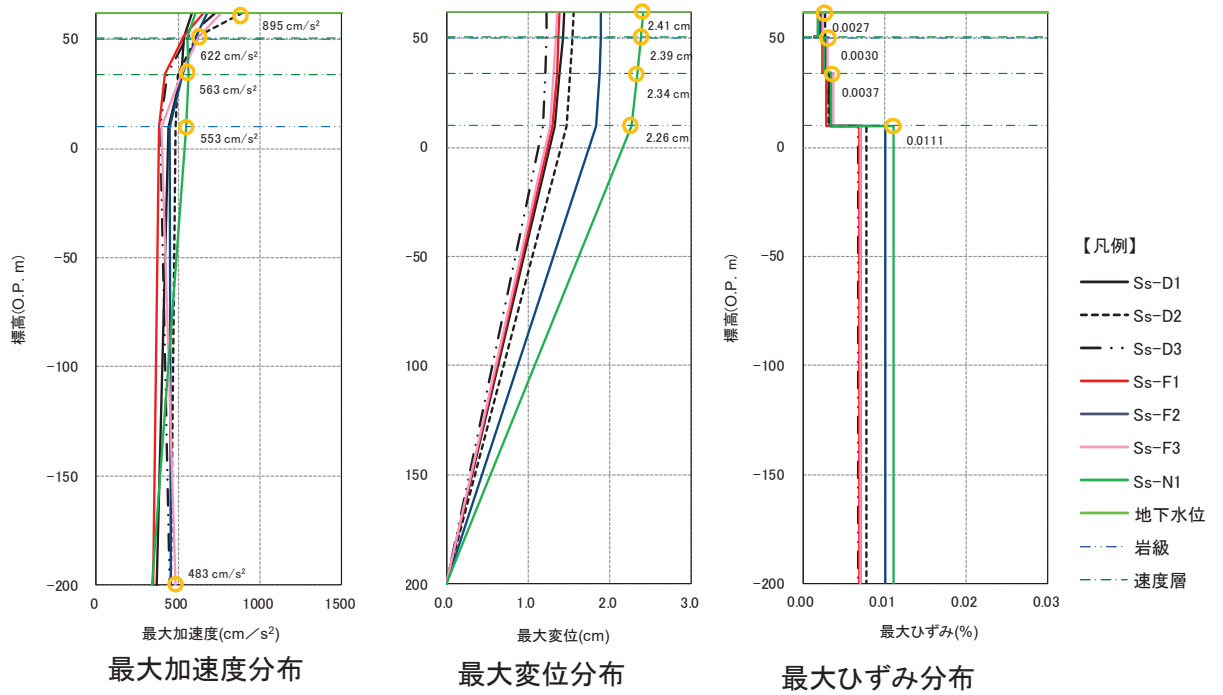


図 1-10(1) 第 4 保管エリア② (水平方向)

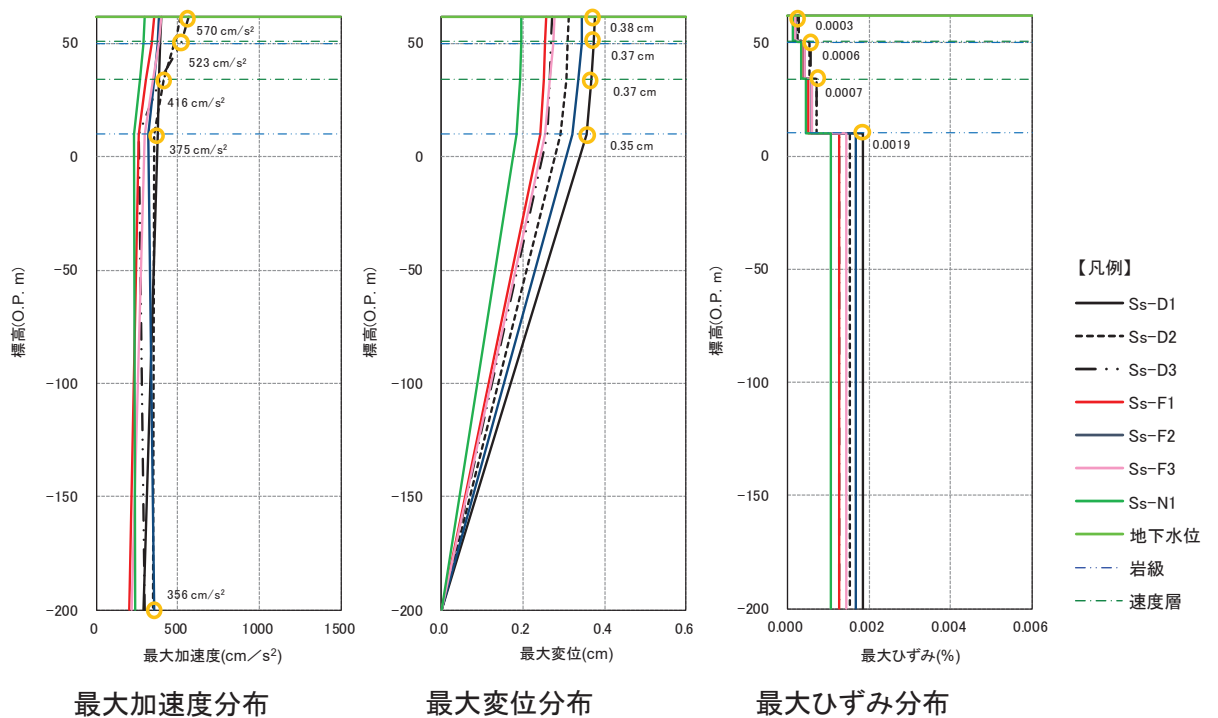


図 1-10(2) 第 4 保管エリア② (鉛直方向)

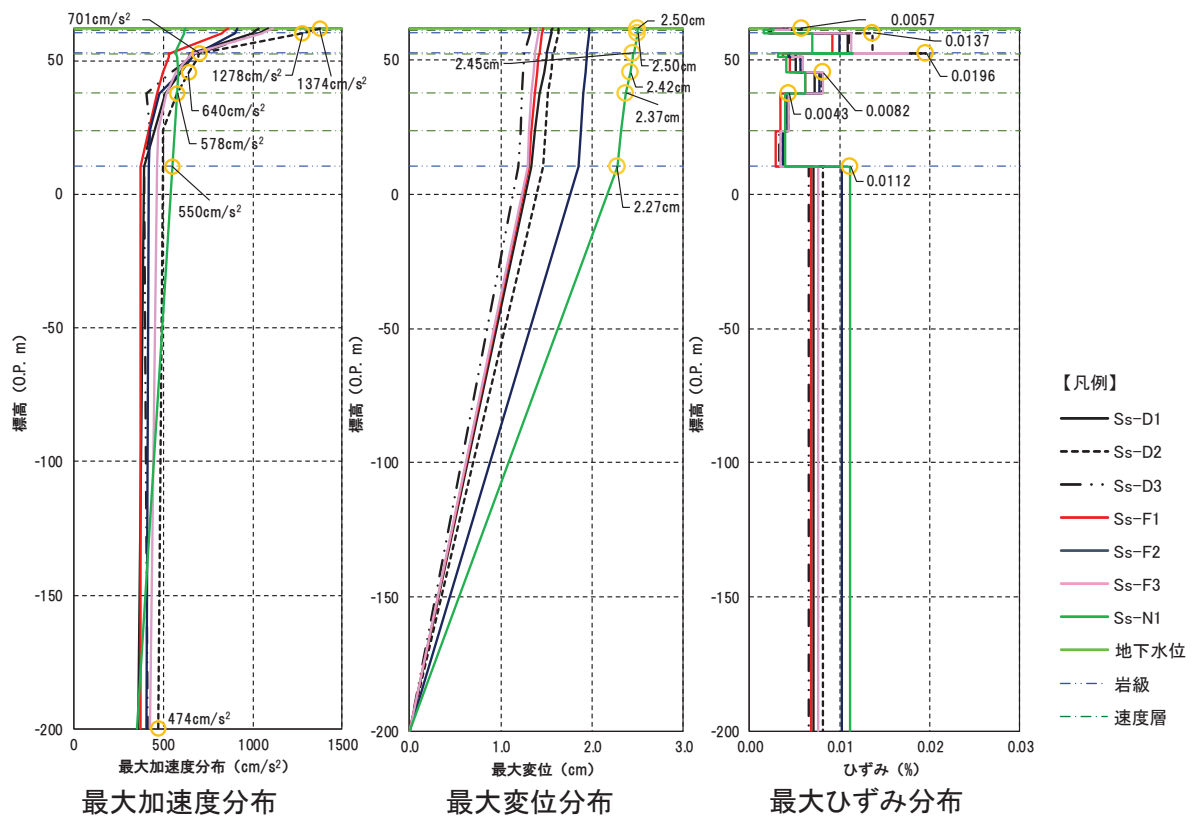


図 1-11 (1) 緊急時対策建屋北側 (水平方向)

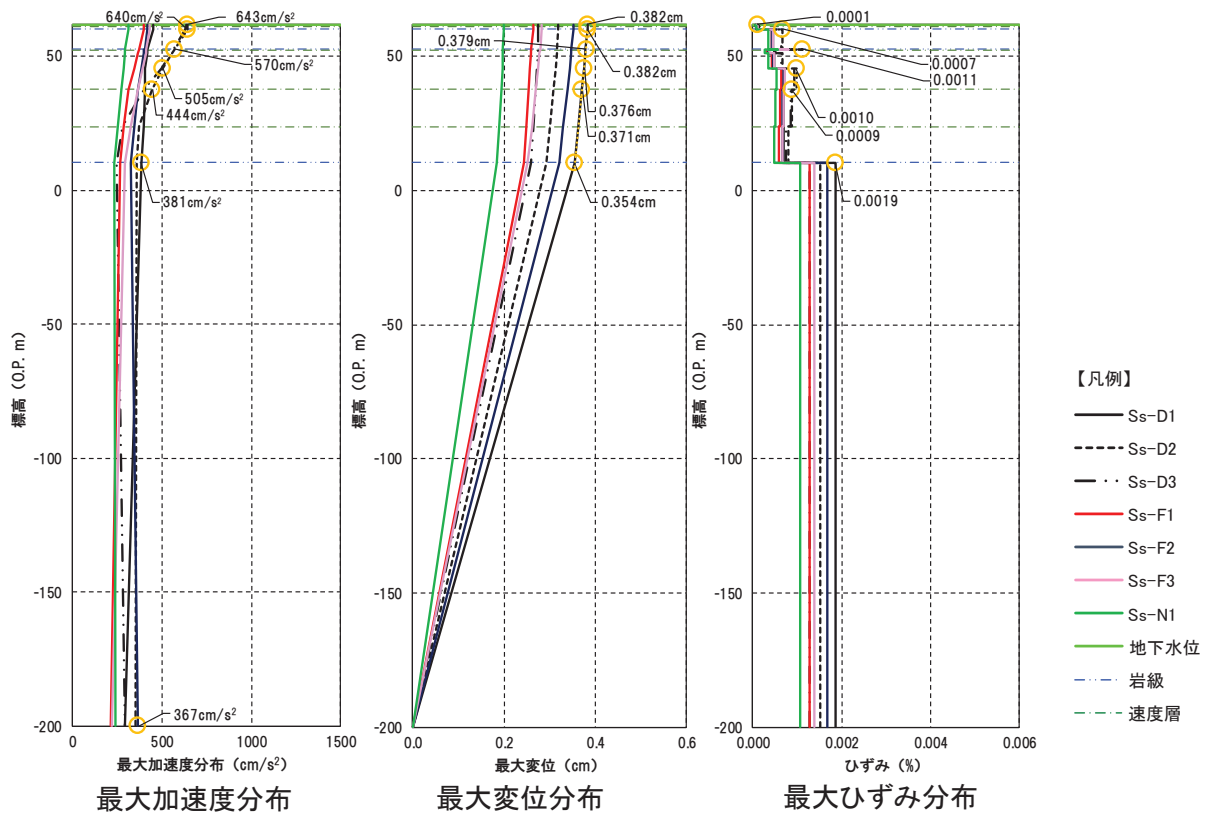


図 1-11 (2) 緊急時対策建屋北側 (鉛直方向)

淡水貯水槽の地震応答解析結果及び健全性の確認結果

1. 淡水貯水槽の地震応答解析

1.1 概要

本資料では、第2保管エリアの入力地震動算定に用いた淡水貯水槽の地震応答解析結果の概要を示す。また、基準地震動 S_s による地震力に対する、淡水貯水槽の健全性の確認を行う。

1.2 地震応答解析の基本方針

1.2.1 位置

淡水貯水槽の設置位置を図1-1に示す。

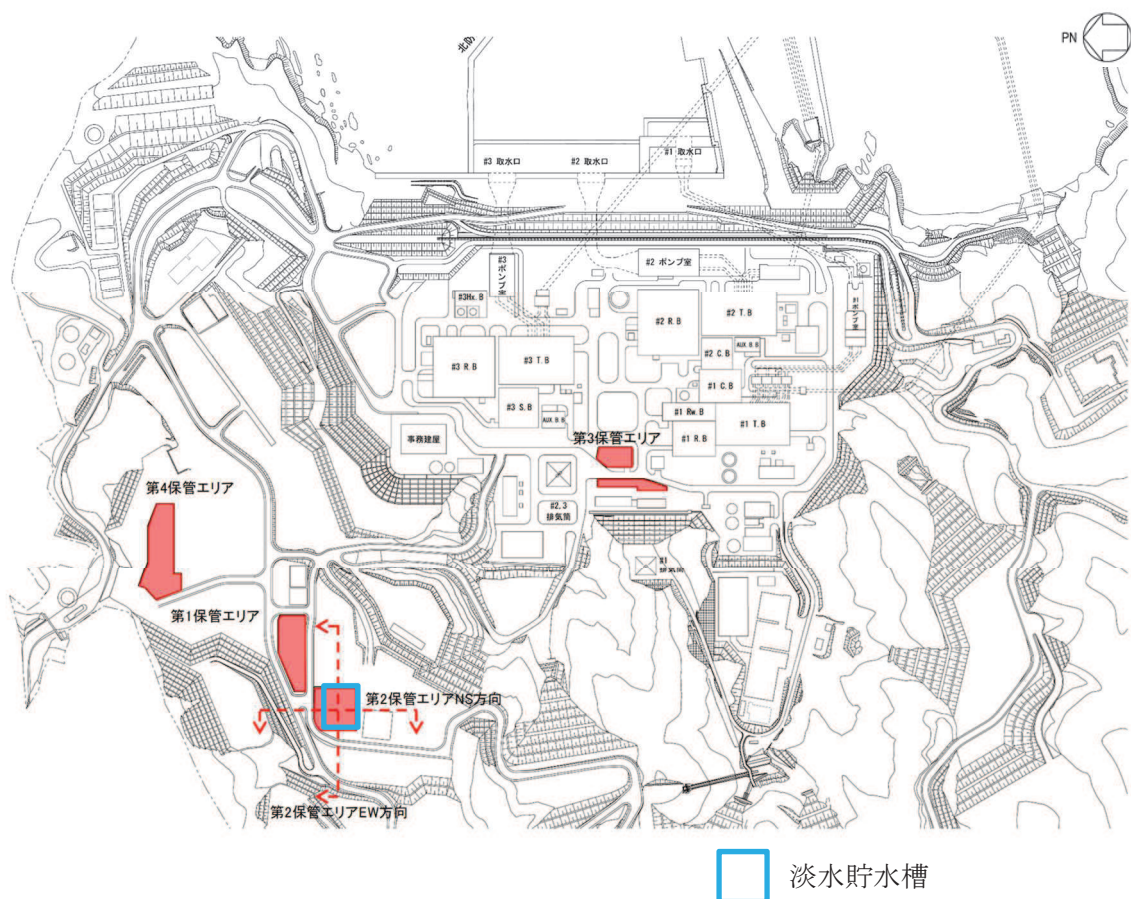


図 1-1 淡水貯水槽の設置位置

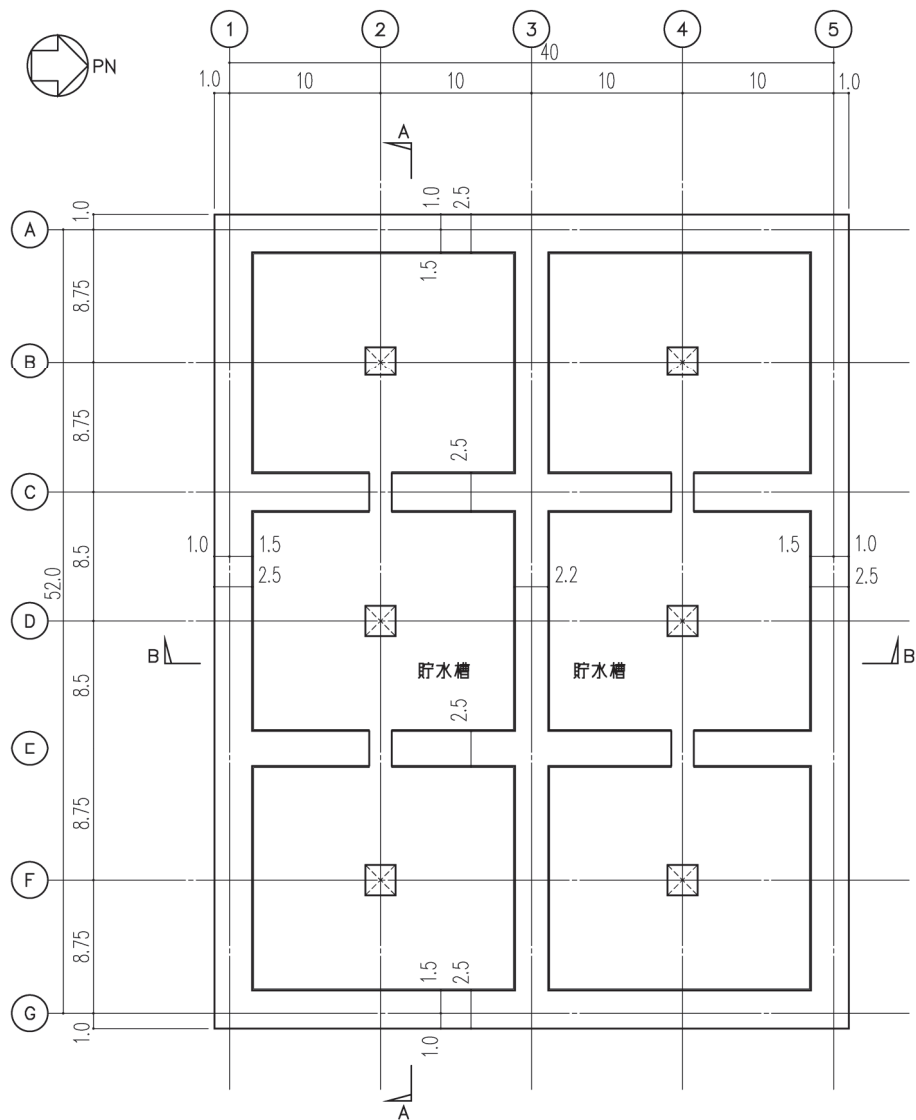
1.2.2 構造概要

淡水貯水槽は、女川原子力発電所第3号機原子炉建屋西側の高台に位置する地中構造物である。

主要構造は鉄筋コンクリート造、平面形状は長辺方向（EW方向）が54.0m、短辺方向（NS方向）が42.0mの長方形を成しており、基礎底面からの高さは約13.3mである。躯体の基礎は厚さ3mの堅固な基礎版であり、岩盤上に直接設置されている。

また、淡水貯水槽は、ポンプの吸込のための最低水深60cmを除いた有効貯水量が5,000m³の2つの貯水槽によって構成され、合計の有効貯水量は10,000m³である。

淡水貯水槽の概略平面図及び概略断面図を図1-2及び図1-3に示す。なお、概略断面図中には、有効貯水量10,000m³時の水位（基礎版上端から7.3m）を合わせて示す。



(単位：m)

図 1-2 淡水貯水槽の概略平面図 (0. P. 51. 8m)

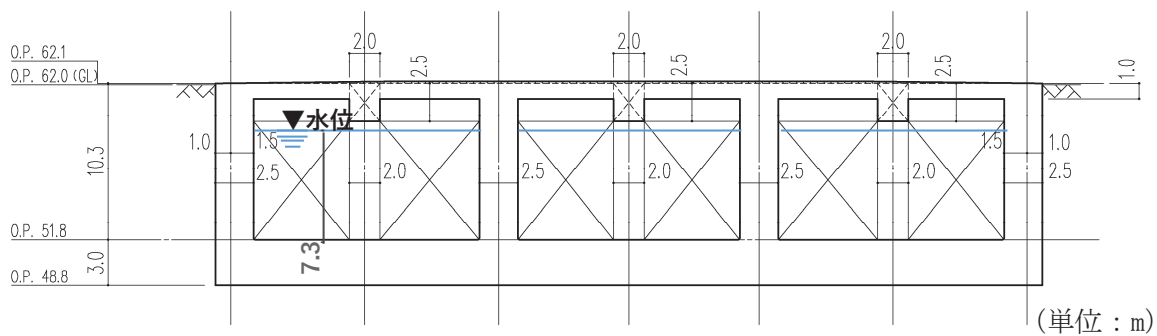


図 1-3(1) 淡水貯水槽の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

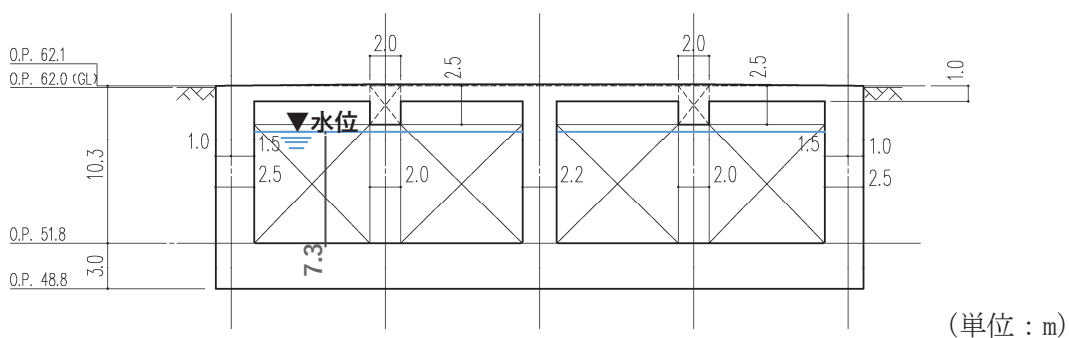


図 1-3(2) 淡水貯水槽の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

1.2.3 解析方針

淡水貯水槽の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

1.3 解析方法

1.3.1 設計に用いる地震波

淡水貯水槽の地震応答解析モデルは、構造物と地盤の相互作用を評価した構造物－地盤連成モデルとする。この連成モデルへの入力地震動は、水平及び鉛直方向について、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面 (O.P. -14.1m) に定義した基準地震動 S_s (水平及び鉛直動) から、一次元地盤モデルにより O.P. -200m 基盤波を算定し構造物－地盤連成モデルへ入力する。

1.3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表 1-1 に示す。

解析に用いる減衰定数は、補足説明資料「補足-620-3 原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の「別紙 4 地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数に関する検討」及び補足説明資料「補足-610-1 建屋耐震評価に関する補足説明資料」の「別紙 4 新設建屋の地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数について」を踏まえ、水平方向及び鉛直方向とも 5% と設定する。

表 1-1 材料の諸定数

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
普通コンクリート Fc=24 (N/mm ²) 鉄筋 : SD345	2.27 × 10 ⁴	0.945 × 10 ⁴	5

1.3.3 地盤の地震応答解析モデル

淡水貯水槽は地中に完全に埋め込まれた構造物であり、貯水される水の重量による耐震壁の面外方向の慣性力、土圧の影響を適切に評価するため、地震応答解析モデルは二次元 FEM 地盤モデルによる構造物-地盤連成モデルとする。

淡水貯水槽における二次元 FEM 地盤モデル作成の概要を以下に示す。

- (1) 地盤モデルの奥行幅は単位幅（1m）とする。
- (2) 地盤モデル化範囲の水平領域は、淡水貯水槽両側共 $1.5B_x$ （ B_x ：基礎スラブ水平方向幅）とし、鉛直領域は、 $2.0B_x$ を目安とする。 $2.0B_x$ 以深は B 級第 5 速度層に該当する安定した地盤のため、地盤モデルの下端は、O.P. -200m に設定する。
- (3) 地盤のモデル化にあたっては、実際の地層断面図に基づく層境界を反映する。
- (4) 粘性境界に用いる粘性ダンパーの係数は次式により算定する。

$$C_v = \rho \cdot V_p \cdot A \quad (\text{側面及び底面地盤境界})$$

$$C_s = \rho \cdot V_s \cdot A \quad (\text{側面、底面及び面外地盤境界})$$

ここに、

- ρ : 地盤の密度
- V_p : 地盤の P 波速度
- V_s : 地盤の S 波速度
- A : 各ダンパーの支配面積

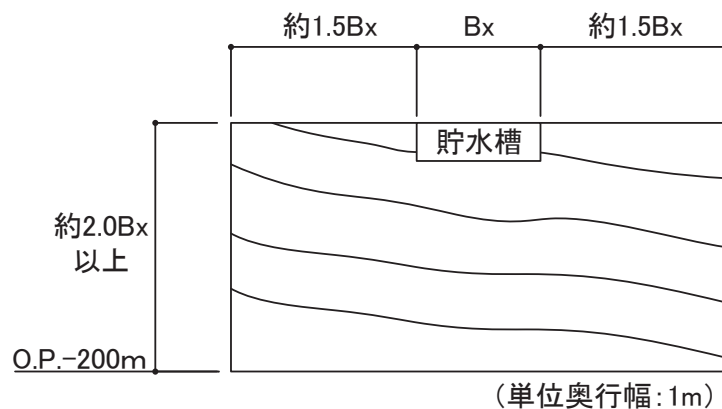


図 1-4 地盤の FEM モデル化範囲

1.3.4 淡水貯水槽の地震応答解析モデル

淡水貯水槽の水平方向の地震応答解析モデルは、建屋質点系（弾性）+FEM 地盤による疑似 3 次元モデルとし、NS, EW 方向共に建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁からなる質点系モデルとする。淡水貯水槽の鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁及び柱の軸剛性を考慮した質点系モデルとする。耐震壁の剛性評価範囲を図 1-5～1-7 に示す。

質点の考え方について、図 1-8 に淡水貯水槽の概略断面図を示す。図 1-8 中の①, ②, ③は解析モデル上の各質点を示す。躯体重量については、階高の半分ずつをそれぞれの質点に集約する。解析モデル上の貯水については、保守的に淡水貯水槽頂版（以下「頂版」という。）下までの水位を想定し、水平方向加振モデルの場合は躯体重量と同様に階高の半分ずつをそれぞれの質点に集約し、鉛直方向加振モデルの場合は基礎スラブ上端に集約する。また、淡水貯水槽の頂版上には可搬型重大事故等対処設備（車両型）が配置されることから、それらの重量を質点 1 に対する積載荷重として考慮した。

淡水貯水槽と地盤の接続について、頂版及び基礎版についてはこれらを剛板と仮定した剛ばね及び剛ビームとし、底面及び側面に多点拘束を設定する。なお、淡水貯水槽の側方地盤と接する鉛直方向の剛ビームは、地盤応答を線形補間するために設定しており、質点 1-2 及び質点 2-3 間でそれぞれ地盤応答を線形補間するため、質点 2 のレベルに接続する剛ビーム同士はピン接合としている。地表面における剛ビームの上端と水平剛バネの接続部については、水平変位を伝達し、鉛直変位は伝達しないものとして設定している。

淡水貯水槽の二次元 FEM モデル及び地盤の物性値を図 1-9 に、淡水貯水槽と地盤の境界条件を図 1-10 及び図 1-11 に示す。また、モデル化にあたっては、建屋諸元を建屋幅で除して単位幅（1m 幅）に換算して用いる。

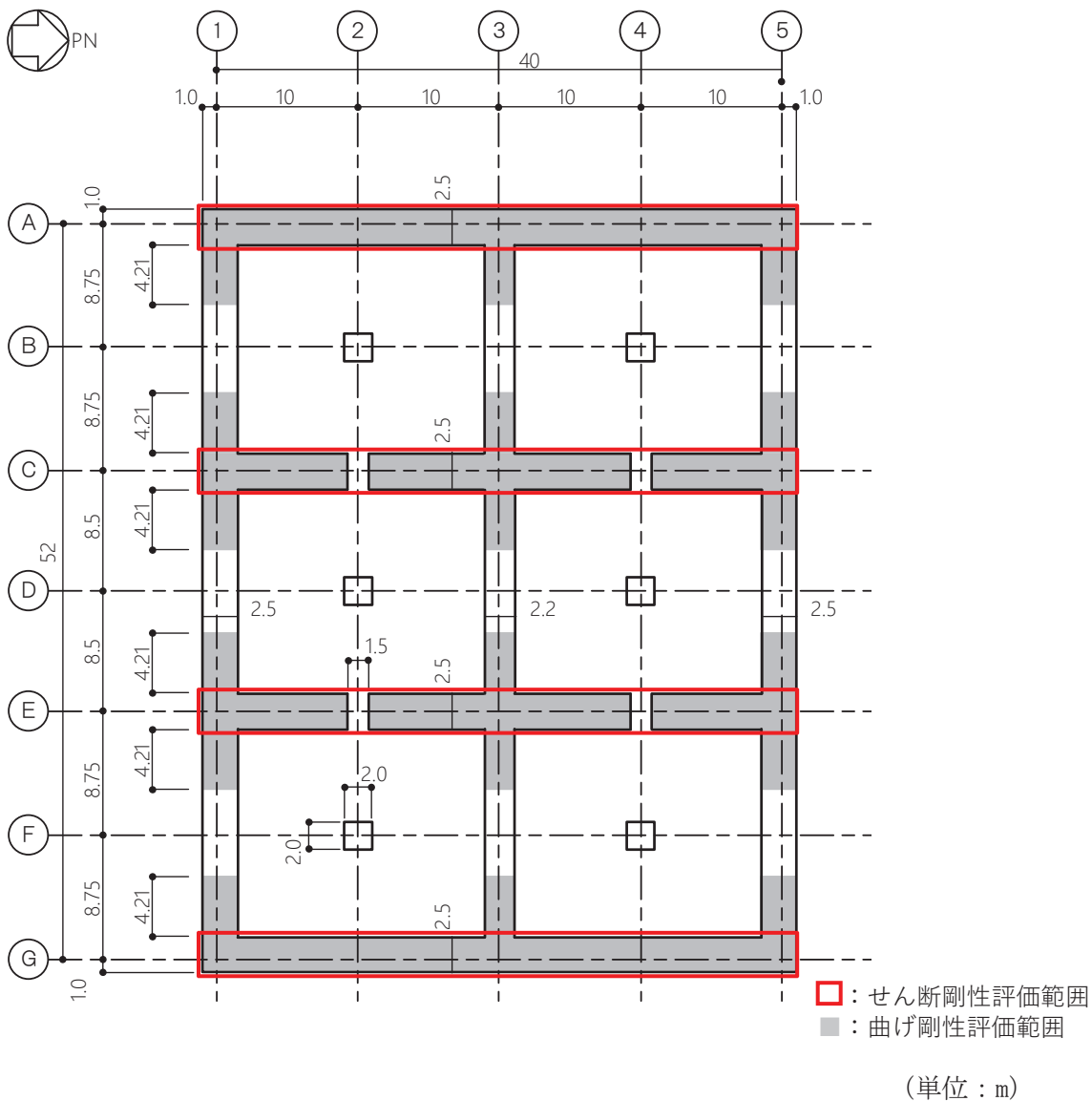


図 1-5 耐震壁の剛性評価範囲 (NS 方向)

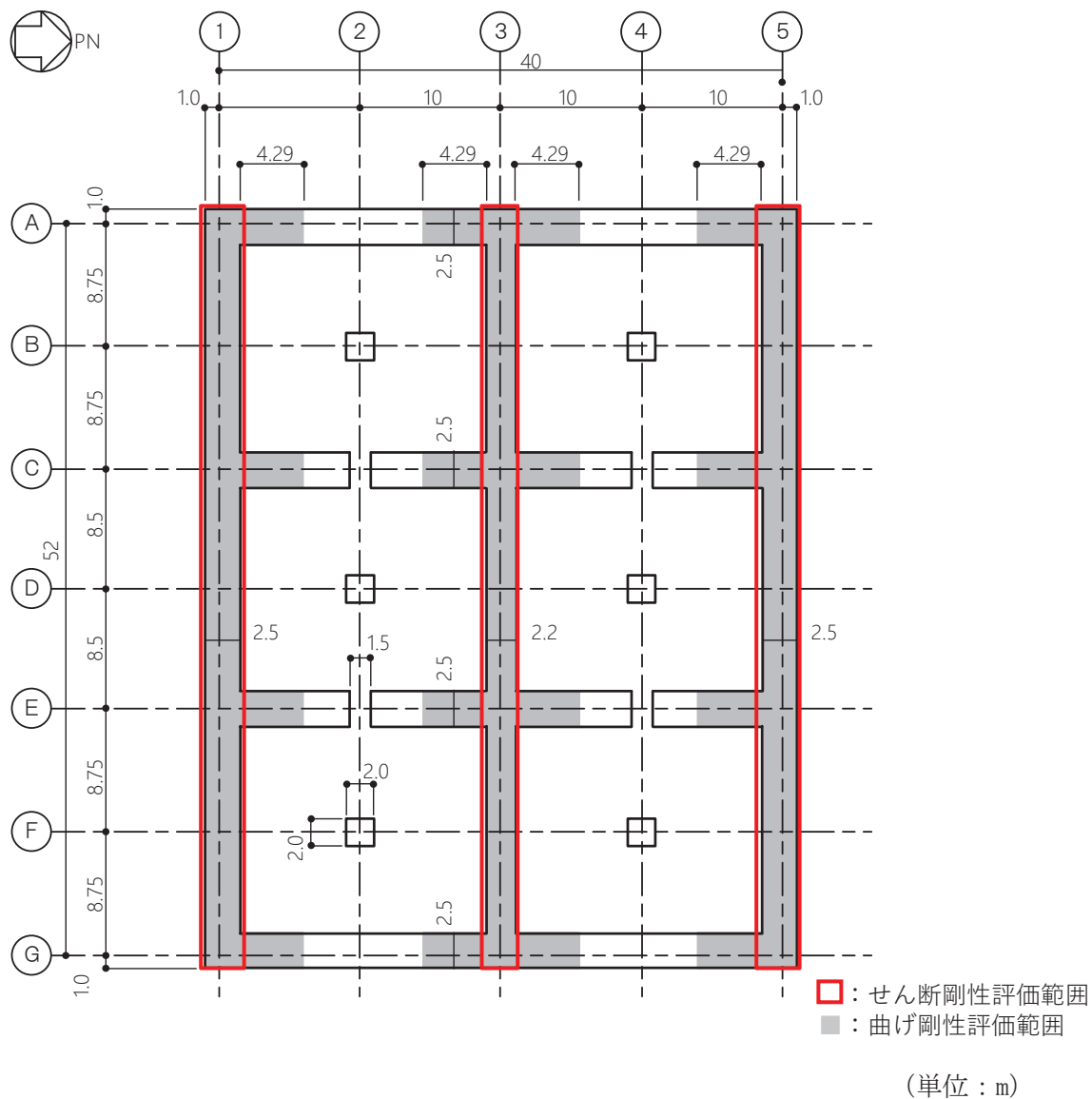
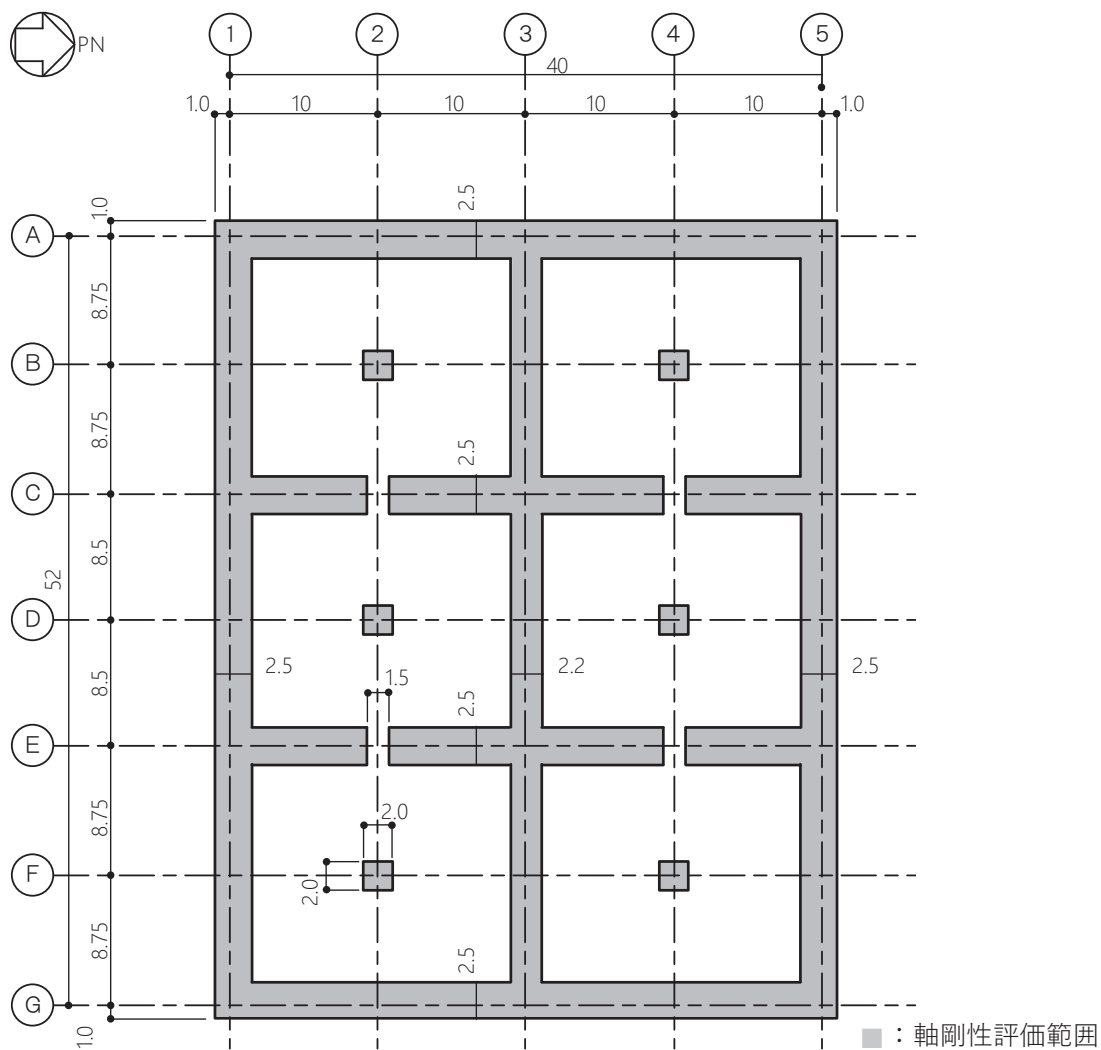


図 1-6 耐震壁の剛性評価範囲 (EW 方向)



(単位：m)

図 1-7 耐震壁の剛性評価範囲 (UD 方向)

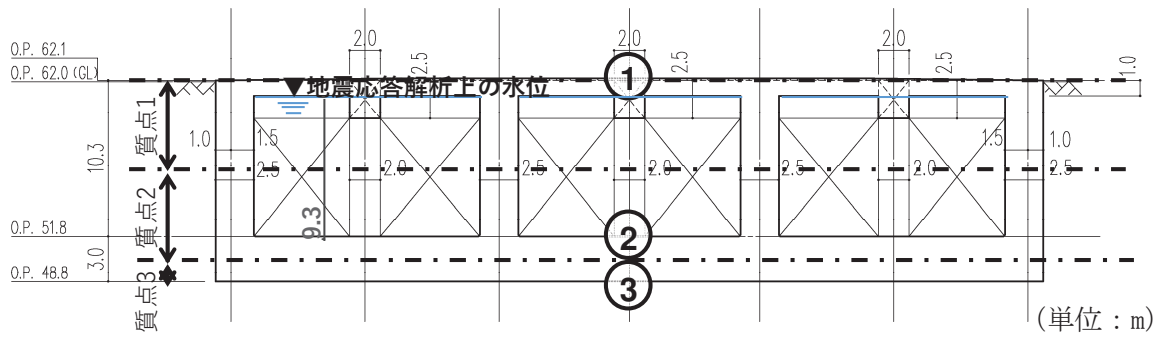


図 1-8(1) 淡水貯水槽の概略断面図 (EW 方向)

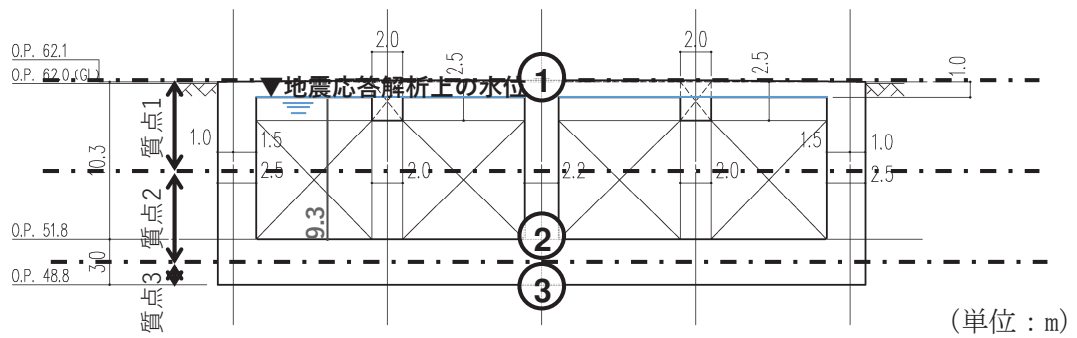
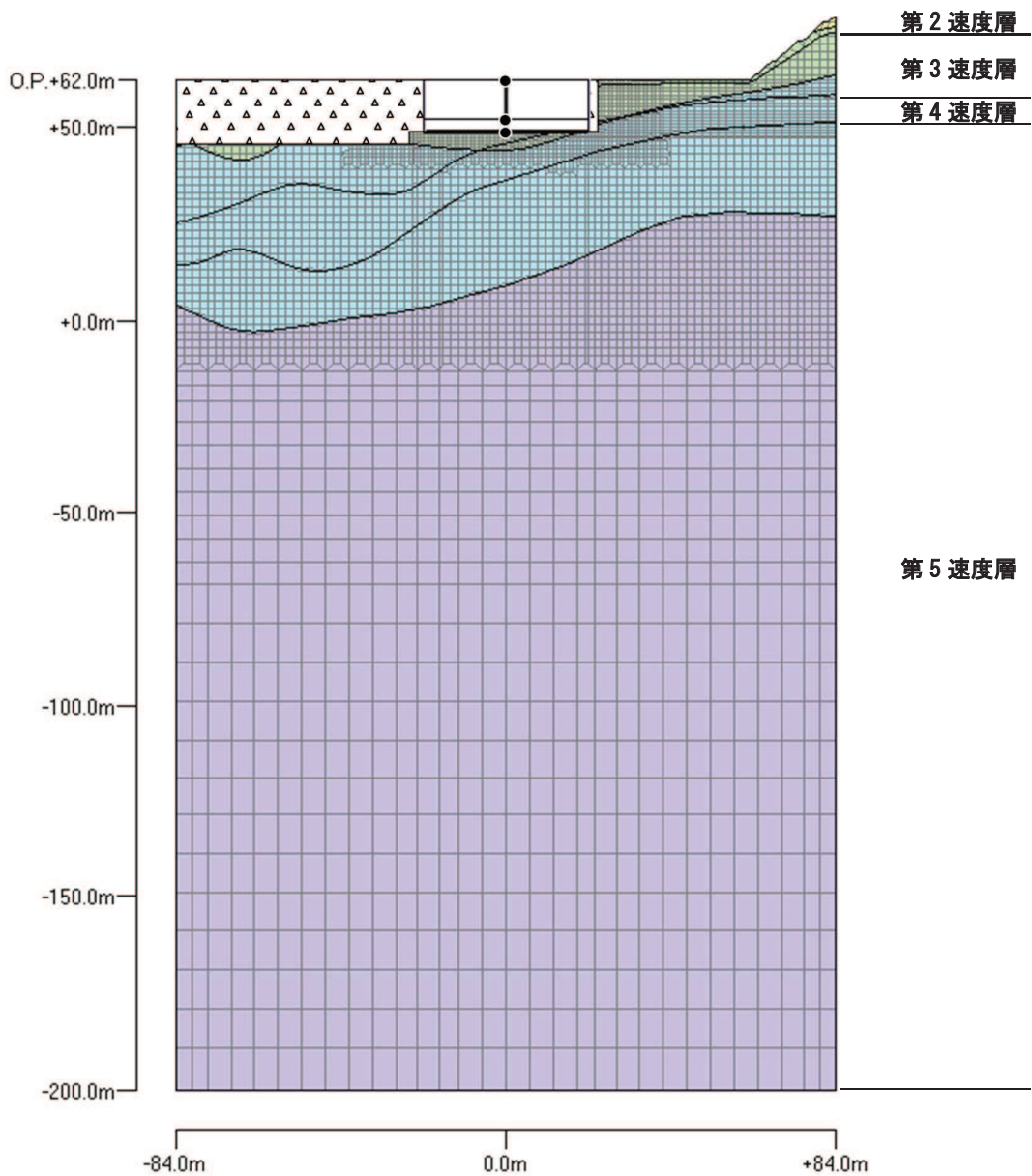


図 1-8(2) 淡水貯水槽の概略断面図 (NS 方向)

<岩級>	<速度層>	<凡例>	せん断波 速度 Vs(m/s)	単位体積 重量 γ_1 (kN/m ³)	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
CL級	第2速度層		710	23.1	1.2×10^3	0.45	0.03
CM級	第2速度層		680	25.5	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1340	25.5	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2100	25.5	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2540	25.5	16.8×10^3	0.33	0.03
CH級	第2速度層		670	26.2	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1330	26.2	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2070	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2510	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
B級	第5速度層		2500	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03
盛土	—	▲▲▲	—	20.6	ひずみ依存特性	0.48	ひずみ依存特性



(1) NS 方向モデル

図 1-9(1) 二次元 FEM 地盤モデル及び地盤の物性値

<岩級>	<速度層>	<凡例>	せん断波 速度 Vs(m/s)	単位体積 重量 $\gamma_i(\text{kN}/\text{m}^3)$	動せん断 弾性係数 $G_d(\text{N}/\text{mm}^2)$	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
CL級	第2速度層		710	23.1	1.2×10^3	0.45	0.03
CM級	第2速度層		680	25.5	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1340	25.5	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2100	25.5	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2540	25.5	16.8×10^3	0.33	0.03
CH級	第2速度層		670	26.2	1.2×10^3	0.45	0.03
	第3速度層		1330	26.2	4.7×10^3	0.41	0.03
	第4速度層		2070	26.2	11.5×10^3	0.34	0.03
	第5速度層		2510	26.2	16.8×10^3	0.33	0.03
B級	第5速度層		2500	26.4	16.8×10^3	0.33	0.03
盛土	—		—	20.6	ひずみ依存特性	0.48	ひずみ依存特性

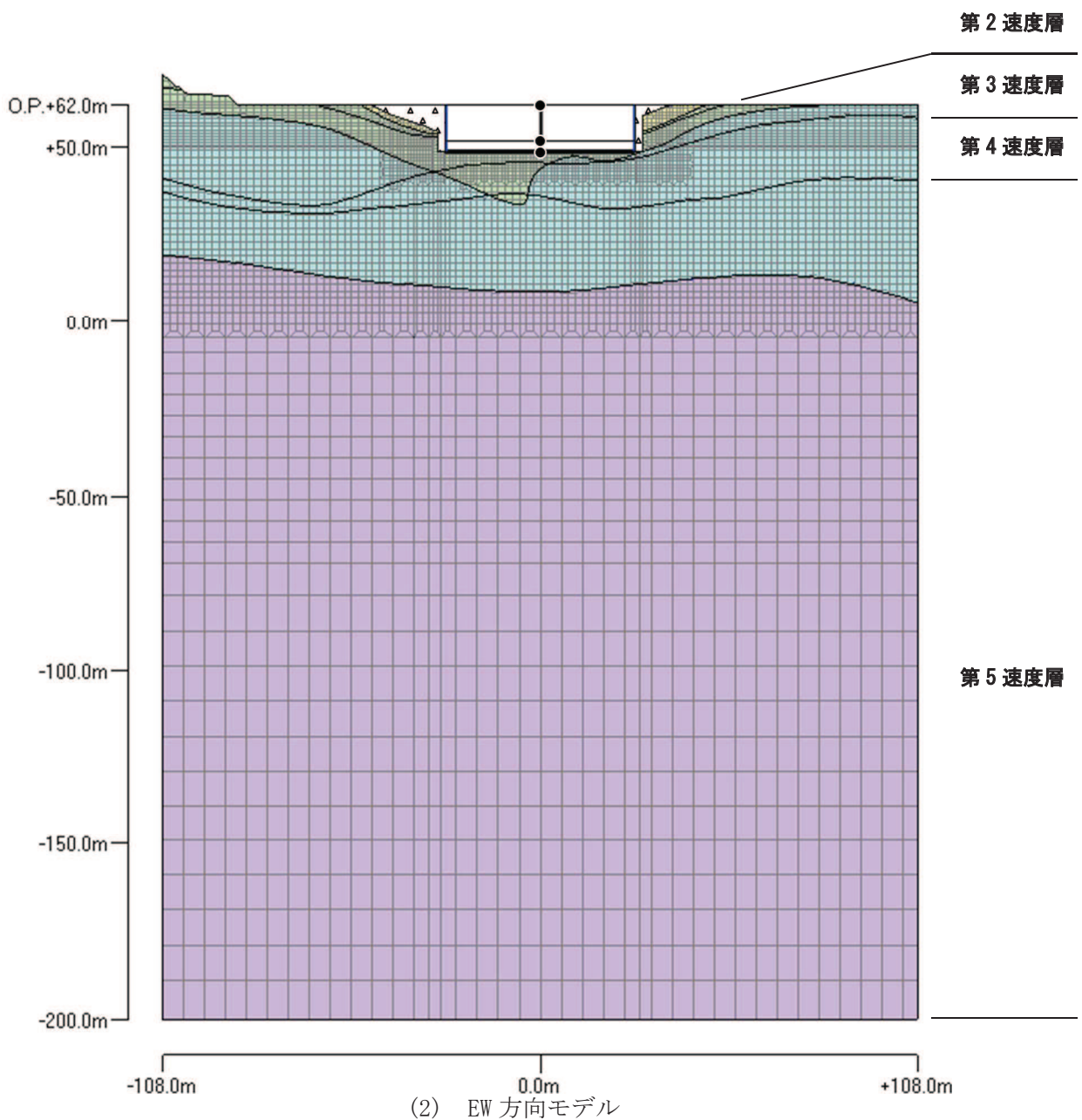
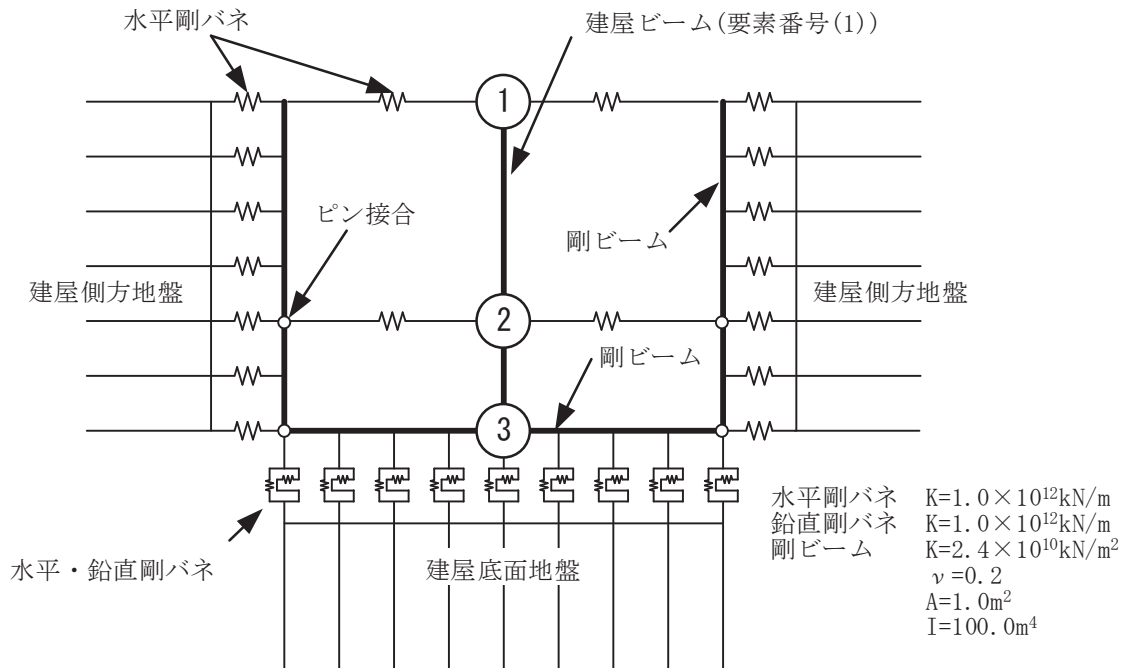


図 1-9(2) 二次元 FEM 地盤モデル及び地盤の物性値

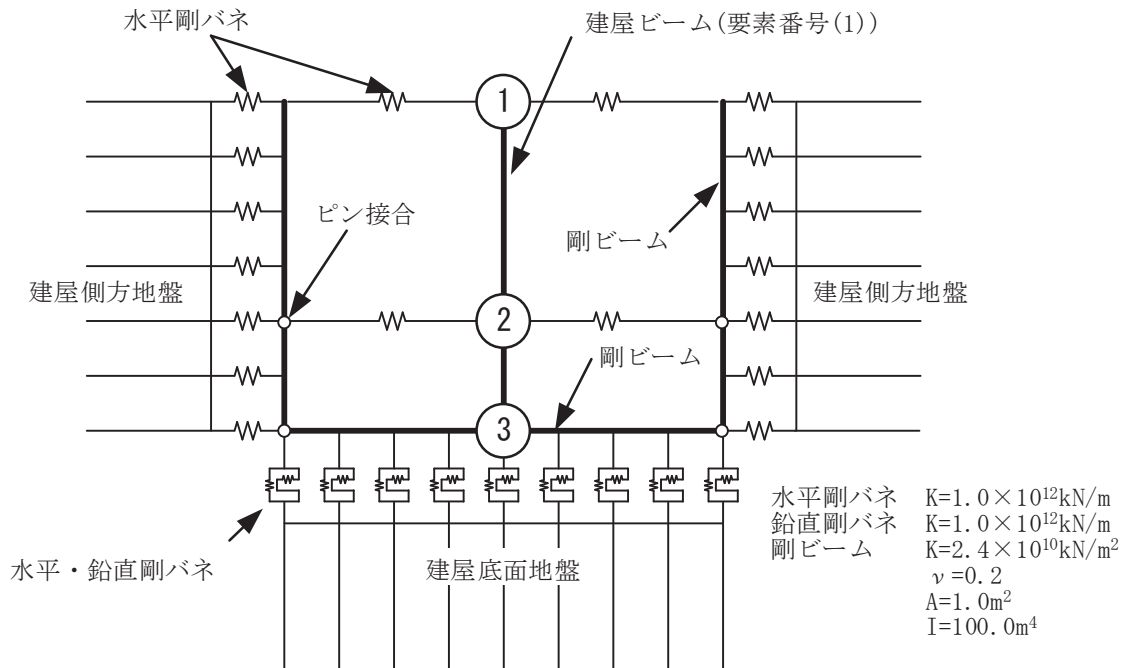
質点番号	重量 W (kN)	回転慣性 I _g (×10 ⁶ kN・m ²)	断面2次モーメント I (×10 ² m ⁴)	せん断断面積 AS (m ²)
1	3999.3	5.931	20.280	7.500
2	4683.9	6.970	61.741	42.000
3	1512.0	2.226		



(1) NS 方向モデル

図 1-10(1) 淡水貯水槽と地盤の境界条件 (水平方向加振モデル)

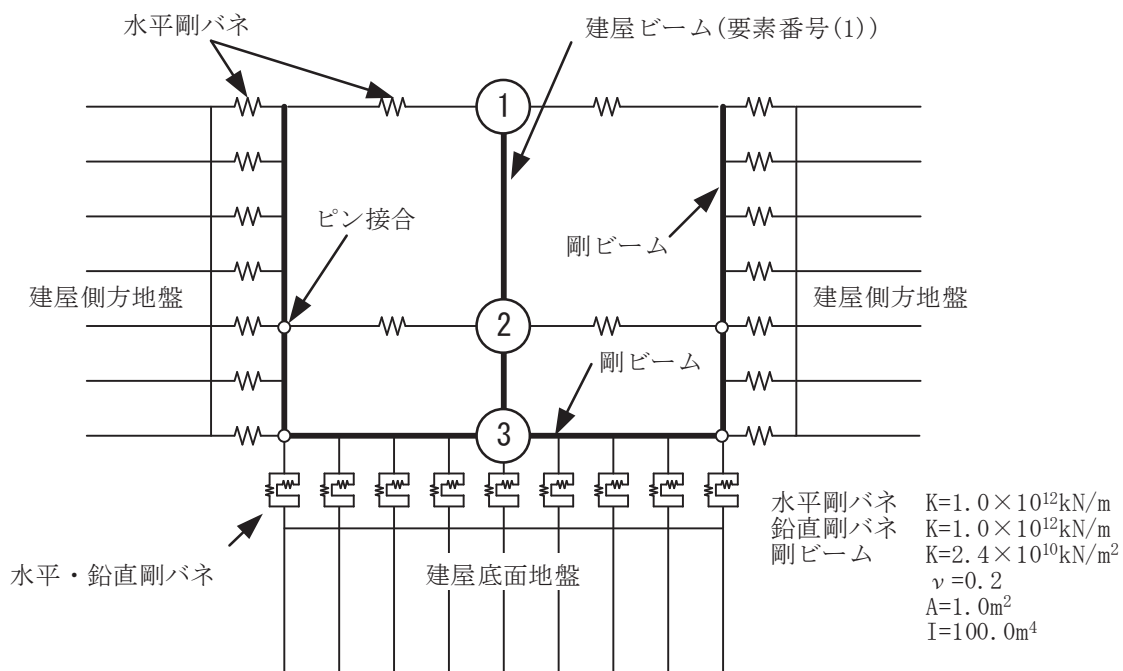
質点番号	重量 W (kN)	回転慣性 I _g (×10 ³ kN・m ²)	断面2次モーメント I (×10 ² m ⁴)	せん断断面積 AS (m ²)
1	5141.9	12.564		
			37.538	9.257
2	6022.1	14.743	131.219	54.000
3	1944.0	4.729		



(2) EW 方向モデル

図 1-10(2) 淡水貯水槽と地盤の境界条件 (水平方向加振モデル)

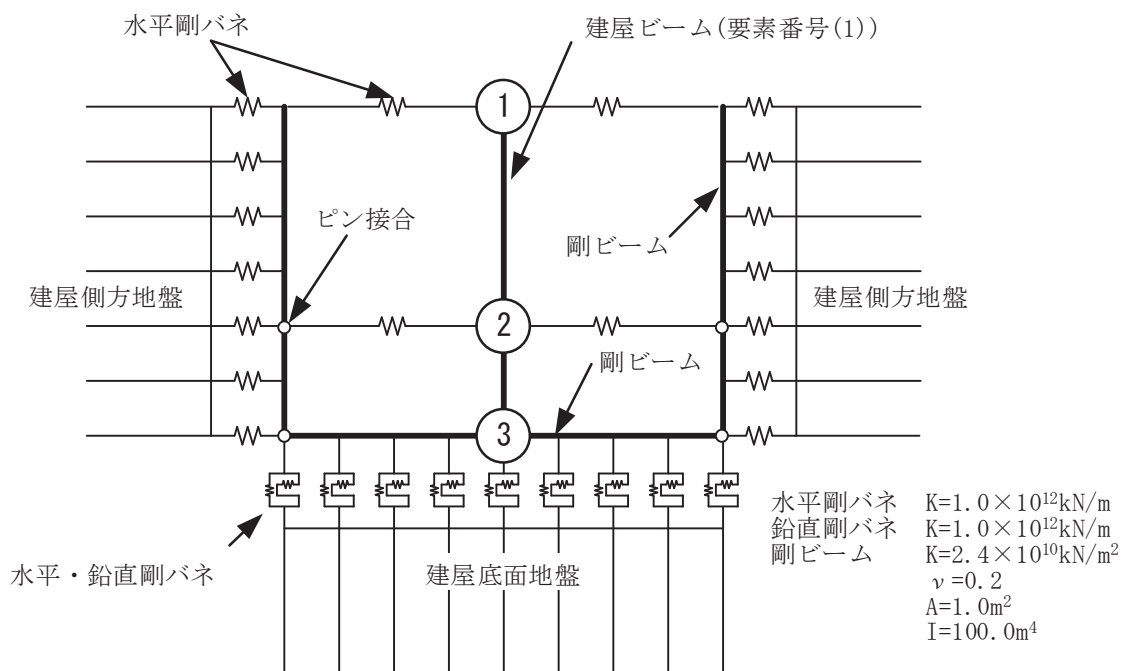
質点番号	重量 W (kN)	軸断面積 A _N (m ²)
1	2934.6	13.811
		42.000
2	5748.5	42.000
3	1512.0	



(1) NS 方向モデル

図 1-11(1) 淡水貯水槽と地盤の境界条件 (鉛直方向加振モデル)

質点番号	重量 W (kN)	軸断面積 A_N (m ²)
1	3773.1	17.757
2	7391.0	54.000
3	1944.0	



(2) EW 方向モデル

図 1-11(2) 淡水貯水槽と地盤の境界条件 (鉛直方向加振モデル)

1.3.5 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 S_s から次の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を一次元地盤としてモデル化し、解析コード「SHAKE」を用いた一次元波動論に基づく評価により O.P. -200m の入射波を算定する。算定した O.P. -200m の入射波を2倍にして二次元 FEM 地盤モデルの入力地震動とする。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 1-12 に示す。

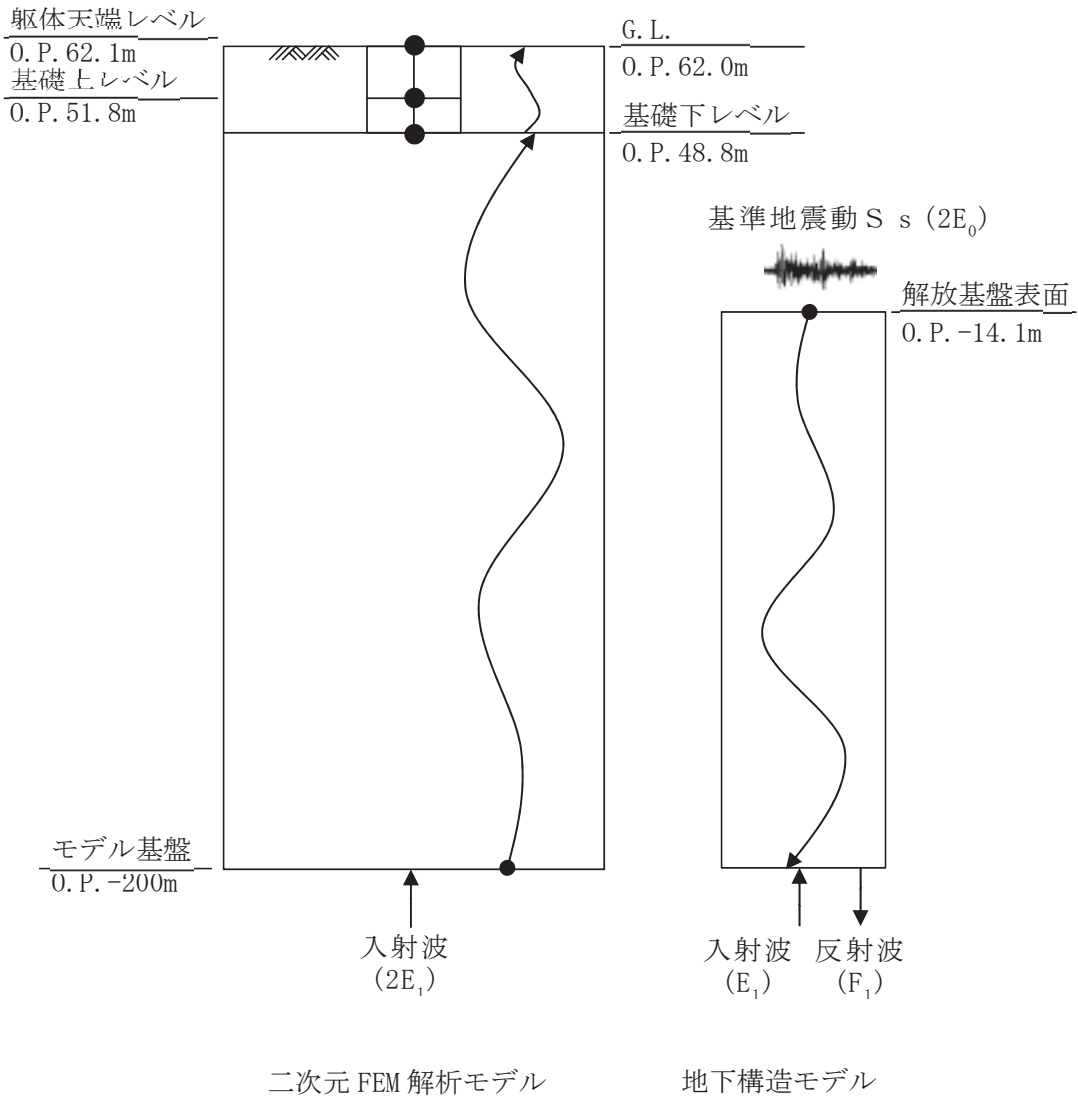


図 1-12 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

1.3.6 解析方法

淡水貯水槽について、動的解析により応答加速度、応答せん断力、応答曲げモーメント、及び応答軸力を算出する。

淡水貯水槽の地震応答解析は、解析コード「SuperFLUSH/2D」を用いた周波数応答解析にとする。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。なお、図 1-9 に示す盛土部分はひずみ依存特性（または非線形特性）を有している。

1.3.7 材料物性の不確かさ

解析においては、「1.3.4 淡水貯水槽の地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、第2保管エリアの入力地震動評価の観点から地盤物性のばらつきを考慮する。材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 1-2 に示す。

表 1-2 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	入力方向	建屋減衰定数	地盤物性値
基準地震動 S _s	ケース 1	NS, EW, 鉛直	5%	平均値
	ケース 2			平均値 + σ
	ケース 3			平均値 - σ

1.4 地震応答解析結果

材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果について、基本ケースによる解析結果とあわせて表 1-3~1-6 に示す。

表 1-3(1) 最大応答加速度一覧表 (NS 方向モデル)

(a) NS 方向入力 NS 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s^2)						
		$S_s - D 1$	$S_s - D 2$	$S_s - D 3$	$S_s - F 1$	$S_s - F 2$	$S_s - F 3$	$S_s - N 1$
1	1	1031	1149	1088	786	894	942	631
	2	541	612	576	540	604	603	569
	3	532	576	553	531	589	591	570
2	1	1068	1200	1091	786	899	944	623
	2	545	610	585	545	601	611	573
	3	536	575	561	538	588	600	574
3	1	998	1107	1063	788	878	951	627
	2	537	612	568	532	605	594	565
	3	528	575	544	523	588	581	567

(b) NS 方向入力 UD 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s^2)						
		$S_s - D 1$	$S_s - D 2$	$S_s - D 3$	$S_s - F 1$	$S_s - F 2$	$S_s - F 3$	$S_s - N 1$
1	1	72.6	105.0	73.0	43.8	58.3	73.6	32.2
	2	64.5	93.0	63.7	39.7	52.2	64.1	30.8
	3	62.4	89.9	61.3	38.6	50.6	61.6	30.4
2	1	58.4	90.7	66.6	38.5	51.2	76.4	29.9
	2	51.6	79.5	57.2	34.9	45.9	65.8	28.2
	3	50.2	76.6	54.8	34.0	44.6	63.2	27.7
3	1	85.0	110.9	73.9	47.1	61.5	75.5	34.9
	2	76.4	98.8	65.4	42.9	55.0	67.5	33.1
	3	74.2	95.6	63.2	41.8	53.3	65.6	32.6

表 1-3(1) 最大応答加速度一覧表 (NS 方向モデル)

(c) UD 方向入力 UD 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	453	562	556	376	398	437	294
	2	424	501	500	356	384	406	285
	3	417	486	485	351	381	398	283
2	1	459	568	562	380	398	441	297
	2	429	506	504	359	384	410	287
	3	421	491	489	354	381	402	285
3	1	446	553	549	372	396	432	292
	2	422	495	494	353	383	402	283
	3	416	482	480	347	379	394	280

(d) UD 方向入力 NS 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	96.6	92.9	92.8	61.4	61.8	97.3	49.6
	2	29.3	31.0	30.8	19.9	19.0	40.8	16.6
	3	24.6	25.1	26.3	16.0	15.3	34.3	13.5
2	1	99.1	87.0	95.4	68.1	61.1	100.2	60.9
	2	28.4	27.7	32.0	20.1	19.1	35.8	15.8
	3	22.2	22.9	27.2	16.1	15.3	29.1	12.8
3	1	88.1	92.3	95.0	56.7	60.8	99.8	41.2
	2	30.0	34.4	32.2	22.2	18.4	42.1	16.4
	3	27.0	28.0	27.1	18.7	16.2	36.0	13.6

表 1-3(2) 最大応答加速度一覧表 (EW 方向モデル)

(a) EW 方向入力 EW 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	1020	1192	979	804	884	1073	609
	2	545	582	575	530	587	595	569
	3	541	560	556	519	574	569	571
2	1	1047	1209	998	805	905	1087	615
	2	552	590	586	535	590	607	570
	3	547	569	566	525	578	580	572
3	1	993	1177	975	796	863	1057	600
	2	538	576	565	521	580	589	567
	3	535	555	545	510	567	561	569

(b) EW 方向入力 UD 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	34.6	45.5	32.3	19.5	25.9	40.1	10.9
	2	32.2	41.2	29.9	18.6	24.1	36.9	10.5
	3	31.5	40.0	29.3	18.4	23.6	36.1	10.4
2	1	32.7	46.0	34.9	19.3	26.2	36.2	11.1
	2	30.1	41.6	32.2	18.4	25.2	33.6	10.8
	3	29.4	40.5	31.5	18.1	25.0	33.0	10.7
3	1	33.0	44.1	33.5	22.3	25.0	36.5	12.1
	2	30.7	39.9	31.1	21.0	23.3	33.6	11.7
	3	30.2	38.8	30.4	20.7	22.9	32.8	11.6

表 1-3(2) 最大応答加速度一覧表 (EW 方向モデル)

(c) UD 方向入力 UD 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	439	523	526	370	387	426	300
	2	411	481	473	349	376	394	290
	3	404	470	459	344	373	387	287
2	1	442	530	530	372	390	431	300
	2	414	486	476	352	378	399	290
	3	407	475	463	346	375	391	287
3	1	435	518	520	367	385	421	299
	2	408	476	467	346	374	390	290
	3	401	465	454	341	371	382	287

(d) UD 方向入力 EW 方向応答

ケース	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	47.8	53.6	42.9	26.5	28.4	53.8	17.7
	2	23.0	19.3	17.7	11.7	10.5	18.2	11.7
	3	21.3	18.1	17.4	11.2	10.0	17.1	11.3
2	1	47.5	55.5	49.4	27.2	25.3	55.6	16.3
	2	22.1	19.6	17.5	11.9	10.3	16.5	11.4
	3	20.1	18.8	16.8	11.0	9.8	15.9	11.0
3	1	46.1	57.1	46.1	23.3	29.8	47.5	18.6
	2	22.7	20.5	19.1	12.1	10.5	17.4	11.7
	3	21.0	19.2	18.0	11.3	9.8	16.9	11.5

表 1-4(1) 最大応答せん断力一覧表 (NS 方向モデル)

(a) NS 方向入力 NS 方向応答

ケース	要素番号	最大応答せん断力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	4311	5066	5052	3642	3961	4167	3075
2	1	4528	5243	5041	3634	3899	4167	3021
3	1	4112	4974	4936	3661	4093	4205	3084

(b) UD 方向入力 NS 方向応答

ケース	要素番号	最大応答せん断力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	465.9	475.2	439.3	292.8	312.4	486.3	245.9
2	1	491.0	452.7	445.3	288.6	310.9	489.9	281.5
3	1	432.5	479.8	463.0	311.8	314.6	482.8	217.6

表 1-4(2) 最大応答せん断力一覧表 (EW 方向モデル)

(a) EW 方向入力 EW 方向応答

ケース	要素番号	最大応答せん断力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	5740	6828	5426	4664	5097	5932	3646
2	1	5874	6921	5530	4646	5191	5954	3660
3	1	5617	6769	5439	4641	5009	5921	3614

(b) UD 方向入力 EW 方向応答

ケース	要素番号	最大応答せん断力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	305.1	319.9	267.5	170.9	161.8	323.0	102.2
2	1	289.9	334.7	303.2	167.9	157.8	334.6	96.35
3	1	291.6	341.3	291.4	146.0	171.6	282.8	111.1

表 1-5(1) 最大応答曲げモーメント一覧表 (NS 方向モデル)

(a) NS 方向入力 NS 方向応答

ケース	要素番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)						
		S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
1	1	7798	12266	8271	5176	5536	9817	2074
2	1	7911	12408	8232	5229	5399	9815	1999
3	1	7737	11853	8153	4977	5548	9843	2016

(b) UD 方向入力 NS 方向応答

ケース	要素番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)						
		S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
1	1	890.0	909.6	861.0	686.3	545.1	1138.9	492.4
2	1	860.6	880.3	811.6	679.1	611.5	1099.1	544.2
3	1	1047.5	1078.4	958.8	670.5	607.7	1340.9	407.5

表 1-5(2) 最大応答曲げモーメント一覧表 (EW 方向モデル)

(a) EW 方向入力 EW 方向応答

ケース	要素番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)						
		S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
1	1	9322	13527	10474	6662	6283	12788	2322
2	1	9008	13012	10038	6242	6032	12247	2269
3	1	10017	13863	11233	7144	6525	13141	2468

(b) UD 方向入力 EW 方向応答

ケース	要素番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)						
		S s - D 1	S s - D 2	S s - D 3	S s - F 1	S s - F 2	S s - F 3	S s - N 1
1	1	660.4	1039.2	758.8	451.5	533.4	825.9	333.5
2	1	794.0	1216.6	857.0	559.8	576.0	1068.9	344.8
3	1	654.7	821.1	701.4	454.2	419.1	645.3	338.0

表 1-6(1) 最大応答軸力一覧表 (NS 方向モデル)

(a) UD 方向入力 UD 方向応答

ケース	要素番号	最大応答軸力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	1315	1710	1628	1118	1191	1317	930.5
2	1	1341	1732	1647	1123	1193	1329	934.5
3	1	1301	1682	1604	1115	1185	1303	924.6

(b) NS 方向入力 UD 方向応答

ケース	要素番号	最大応答軸力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	221.3	318.7	219.6	130.5	177.0	217.3	96.09
2	1	182.2	282.3	203.8	116.9	158.9	221.9	90.69
3	1	253.0	329.7	218.9	137.8	182.4	232.5	101.4

表 1-6(2) 最大応答軸力一覧表 (EW 方向モデル)

(a) UD 方向入力 UD 方向応答

ケース	要素番号	最大応答軸力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	1643	2014	1982	1376	1491	1609	1182
2	1	1656	2028	1999	1383	1500	1630	1184
3	1	1629	1995	1958	1373	1481	1591	1182

(b) EW 方向入力 UD 方向応答

ケース	要素番号	最大応答軸力 (kN)						
		S _s -D 1	S _s -D 2	S _s -D 3	S _s -F 1	S _s -F 2	S _s -F 3	S _s -N 1
1	1	132.0	177.6	127.1	76.34	97.60	152.9	41.83
2	1	128.1	181.7	133.6	72.32	98.99	142.1	42.76
3	1	123.0	167.1	129.2	86.93	95.70	135.2	45.18

2. 健全性の確認

2.1 地震力に対する耐震壁の断面評価（面内方向）

地震応答解析結果より、基準地震動 S_s に対する耐震壁の最大応答せん断力に対する断面の評価を実施する。基準地震動 S_s に対する耐震壁の断面の評価にあたっては、NS 及び EW それぞれの水平・鉛直加振モデルの最大応答せん断力の包絡値について、水平 1.0 倍、鉛直 0.4 倍とした組み合わせ荷重に対する評価を行う。

応答せん断力に対する耐震壁の断面評価結果を表 2-1 に示す。評価の結果、耐震壁に発生するせん断応力度は、第 1 折点及び短期許容せん断応力度以下であることを確認した。

表 2-1 応答せん断力に対する耐震壁の断面評価結果

方向	①コンクリートの 第 1 折点おける せん断応力度* τ_1 (N/mm ²)	②コンクリートの 短期許容 せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	③せん断 応力度 τ (N/mm ²)	応答比		評価 結果
				③/①	③/②	
NS	1.656	1.095	0.730	0.44	0.67	可
EW			0.782	0.47	0.72	可

注記*：長期荷重による軸応力を考慮して算出。

2.2 地震時土圧及び水圧に対する耐震壁の断面評価（面外方向）

地震応答解析結果より，基準地震動 S_s 時における耐震壁の土圧及び水圧に対する断面評価を行う。

貯水槽の外周部の耐震壁については土圧と水圧を組み合わせた検討を行い，内部の耐震壁については水圧に対する検討を行う。

2.2.1 荷重及び荷重の組み合わせ

荷重及び荷重の組み合わせは，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組み合わせを用いる。

(1) 荷重

a. 水平地震荷重

水平地震荷重は，基準地震動 S_s による地震応答解析結果より設定する。なお，水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した淡水貯水槽の地震応答解析結果を包絡したものとする。

基準地震動 S_s による地震応答解析結果の加速度から水平震度及び面外慣性力を算定し，水平地震荷重とする。

表 2-2 に応力解析で考慮した基準地震動 S_s 時の水平地震荷重を示す。

表 2-2(1) 水平地震時荷重（加速度・水平震度）

質点番号	O. P. (m)	方向	最大値 (cm/s^2)	検討用 水平震度
1	62.1	NS	1237.5	1.270
		EW	1232.1	1.260

表 2-2(2) 水平地震時荷重（面外慣性力）

部位	壁厚 (m)	面外慣性力 (kN/m^2)
外壁	2.5	76.2
隔壁	2.2	61.7

b. 地震時土圧荷重

地震時土圧荷重は、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算出する。地震時増分土圧については、材料物性の不確かさを考慮した淡水貯水槽の震応答解析結果から、地盤の二次元 FEM モデルの応答を包絡したものとする。

基準地震動 S_s 時の地震時土圧を図 2-1 に示す。

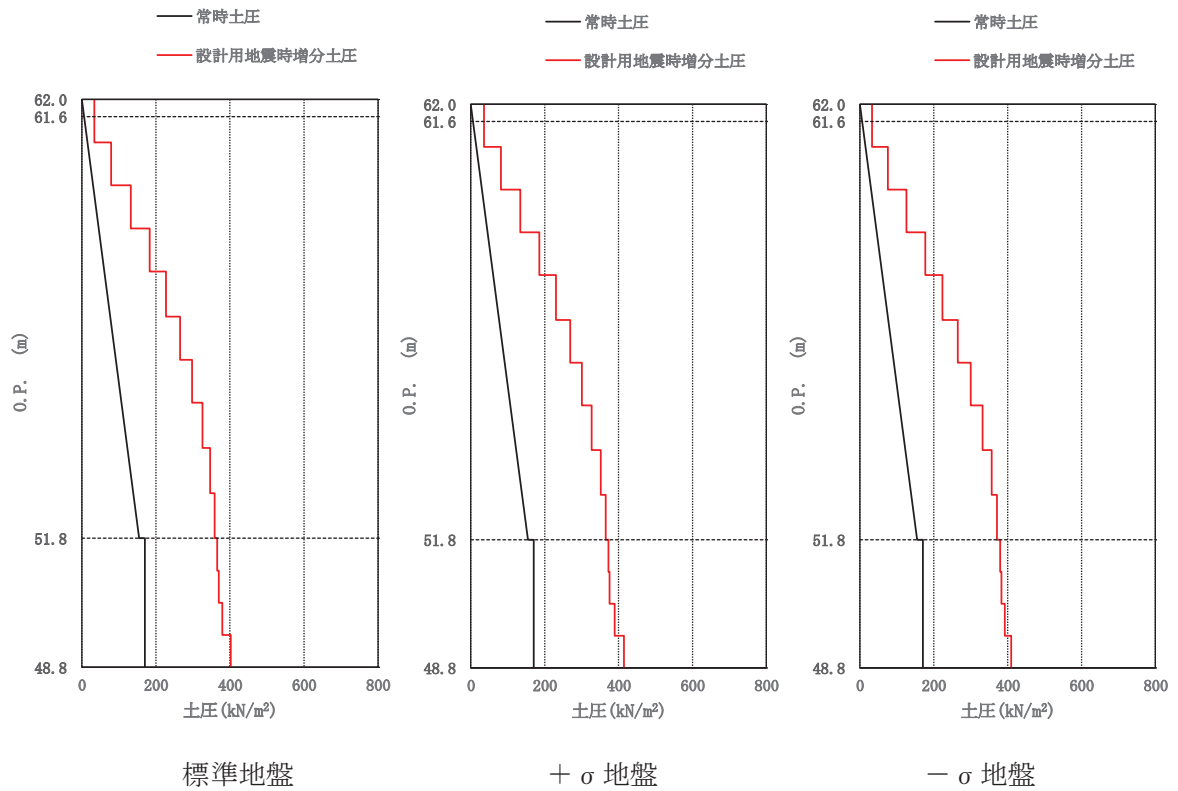


図 2-1 地震時土圧

c. 地震時水圧荷重

地震時水圧荷重は、常時水圧に地震時動水圧を加えて算出する。地震時水圧荷重は、材料物性の不確かさを考慮した淡水貯水槽の地震応答解析結果を基にして、Westergaard 式から算出した荷重を用いる。検討における水位は、図 1-3 に示す有効貯水量 10,000m³ 時の水位である 7.3m とした。

基準地震動 S_s 時の地震時水圧を図 2-2 に示す。

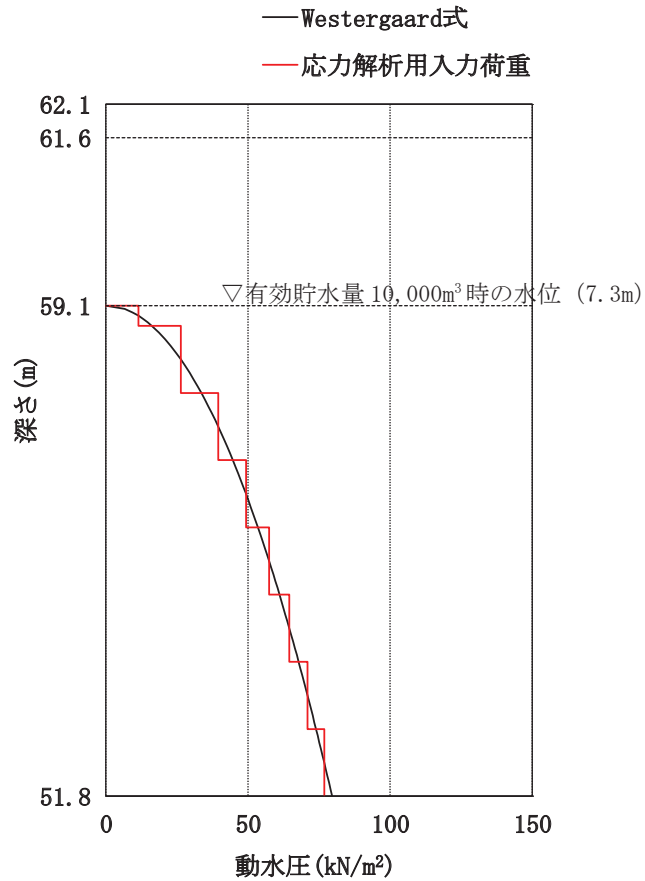


図 2-2 地震時水圧

注：解析モデルへは 1m ごとに平均化した荷重を入力する。

(2) 荷重の組み合わせ

荷重の組み合わせを表 2-3 に示す。

表 2-3 荷重の組み合わせ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	S s

S s : 地震荷重 (地震時土圧荷重, 地震時水圧荷重を含む)

2.2.2 許容限界

応力解析による評価における耐震壁の許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、「RC-N規準」に基づく短期許容応力度とする。

2.2.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

応力解析は、単純はりモデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「KANSAS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

耐震壁については、O.P. 51.8m~O.P. 61.6m (頂版の構造芯) をモデル化し、壁を単位幅で切り出して、線材でモデル化する。境界条件は、基礎版と接続する脚部を固定とし、頂版との接続部をピン固定とする。耐震壁の解析モデルを図 2-3 に示す。

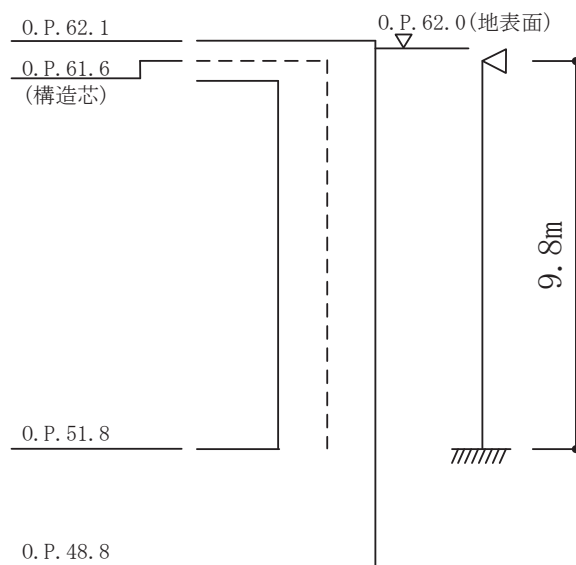


図 2-3 耐震壁の解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 2-4 及び表 2-5 に示す。

表 2-4 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	2.27×10^4 (N/mm ²)
ポアソン比	0.2

表 2-5 鉄筋の物性値

諸元	物性値
種別	SD345
ヤング係数	2.05×10^5 (N/mm ²)

2.2.4 評価方法

(1) 応力解析方法

荷重の入力方法を以下に示す。また、算出した曲げモーメント及びせん断力を表 2-6 に示す。

a. 水平地震荷重

水平地震荷重は「2.2.1 荷重及び荷重の組み合わせ」の「(1) 荷重」, 「a. 水平地震荷重」で示した面外慣性力を分布荷重として入力する。

b. 地震時土圧荷重

地震時土圧荷重は「2.2.1 荷重及び荷重の組み合わせ」の「(1) 荷重」, 「b. 地震時土圧荷重」で示した荷重を、面外慣性力と同一方向に分布荷重として入力する。

c. 地震時水圧荷重

地震時水圧荷重は「2.2.1 荷重及び荷重の組み合わせ」の「(1) 荷重」, 「c. 地震時水圧荷重」で示した荷重を、面外慣性力と同一方向に分布荷重として入力する。

表 2-6 応力解析により算出した曲げモーメント及びせん断力

(1) 耐震壁 (外周部)

壁厚 (m)	曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
2.5	5048.1	2937.3

(2) 耐震壁 (内部)

壁厚 (m)	曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)
2.2	1819.9	1057.8

(2) 断面の評価方法

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが、短期許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

M_A : 短期許容曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した短期許容面外せん断力を超えないことを確認する。なお、耐震壁については軸力を付加しない。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm) (単位幅 1000mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

2.2.5 評価結果

頂版の配筋一覧を表 2-7 に、断面の評価結果を表 2-8 に示す。基準地震動 S_s において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 2-7 耐震壁の配筋一覧

部材	配筋	断面積 (mm^2/m)
外周部	D38@200 +D38@400	8550
内部	D38@200 +D38@400	8550

表 2-8 耐震壁の評価結果 (基準地震動 S_s)

部位		外周部	内部
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		2500 × 1000	2200 × 1000
有効せい d (mm)		2330	2030
	主筋	D38@200+D38@400 (8550 mm^2/m)	D38@200+D38@400 (8550 mm^2/m)
曲げ モーメント	発生曲げモーメント M ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	5048.1	1819.9
	短期許容曲げモーメント M_A ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	6013.8	5239.4
	検定値 M/M_A	0.84	0.35
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	2937.3	1057.8
	許容せん断力の 割り増し係数 α	2.00	2.00
	許容面外せん断力 Q_A (kN/m)	4444.4	3872.2
	検定値 Q/Q_A	0.67	0.28
判定		可	可

2.3 淡水貯水槽頂版の評価

地震応答解析において算出した淡水貯水槽頂部の応答を用いて、第2保管エリアである頂版の評価を行う。

評価にあたっては第2保管エリアに設置される設備の重量を考慮し、基準地震動 S_s 時における鉛直荷重に対して、頂版が安全余裕を有することを確認する。

2.3.1 荷重及び荷重の組み合わせ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重及び積載荷重とする。

積載荷重としては、頂版上には可搬型重大事故等対処設備（車両型）が配置されることから、頂版の評価結果が保守的となるように設備重量を考慮する。

具体的には、第2保管エリアに配置される可搬型重大事故等対処設備（車両型）の中で最も重量の大きい「大容量送水ポンプ（タイプⅡ）」が、頂版上に3台配置された状態を考慮する。

b. 地震荷重

鉛直地震荷重は、基準地震動 S_s による地震応答解析における質点1の鉛直方向最大応答加速度より算定される鉛直震度とする。なお、鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組み合わせ

荷重の組み合わせを表 2-9 に示す。

表 2-9 荷重の組み合わせ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	$(1 + K_v)(G + P + P_s)$

G : 固定荷重*¹

P : 積載荷重*²

(可搬型重大事故等対処設備(車両型)による荷重)

K_v : 鉛直震度

P_s : 積雪荷重*³

注記*1: 躯体自重 (24.0kN/m²) 及び仕上げ・増打ち重量 (7.6kN/m²) を考慮する。

*2: 設備重量として大容量送水ポンプ(タイプⅡ)3台分の重量に集中係数として1.5を考慮し、支持スパン(7.9m×6.5m)で除することで等分布荷重(20.8kN/m²)に換算したうえで、「建築基準法施行令第85条」による積載荷重として1.8kN/m²を加算する。

*3: 積雪量については石巻測候所の最深積雪量(1923年2月17日)を考慮して43cmとし、S s地震時は0.35の係数を乗じることで、積雪荷重0.3kN/m²とする。

2.3.2 許容限界

応力解析による評価における頂版の許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、「RC-N規準」に基づく短期許容応力度とする。

2.3.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

頂版の検討においては、柱、壁及びはりで囲まれた範囲について四辺固定版としてモデル化する。

頂版の解析モデルを図 2-4 に示す。

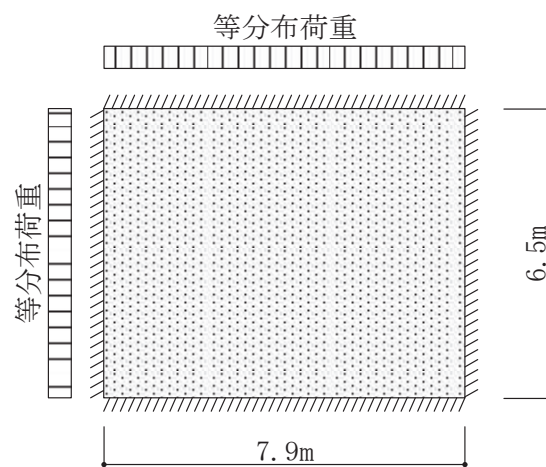


図 2-4 頂版の解析モデル

(2) 解析諸元

仕様材料の物性値を表 2-10 及び表 2-11 に示す。

表 2-10 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	2.27×10^4 (N/mm ²)
ポアソン比	0.2

表 2-11 鉄筋の物性値

諸元	物性値
種別	SD345
ヤング係数	2.05×10^5 (N/mm ²)

2.3.4 評価方法

(1) 荷重ケース

作用荷重のうち地震荷重は、鉛直荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため、地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

(2) S s地震時の鉛直震度

検討に用いる鉛直震度は、淡水貯水槽頂版上部（O.P. 62.0m, 質点番号1）の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度とする。検討に用いる鉛直震度を表 2-12 に示す。

表 2-12 検討に用いる鉛直震度（S s地震時）

質点番号	O.P. (m)	包絡値
1	62.0	1.63

(3) S s地震時の応力の算出方法

S s地震時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力の算出方法は下式の通りである。S s地震時の端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力を表 2-13 に示す。

(四辺固定版)

- 短辺の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- 短辺の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_x \cdot l_x^2$$

- 短辺のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot l_x$$

- 長辺の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_x^2$$

- 長辺の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_x^2$$

・長辺のせん断力 (Q_Y)

$$Q_Y = 0.46 \cdot w \cdot l_X$$

ここで,

l_X : 短辺有効スパン (m)

l_Y : 長辺有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの S_s 地震時荷重 (kN/m^2)

$$w_x = \frac{l_Y^4}{l_X^4 + l_Y^4} \cdot w$$

表 2-13 鉛直震度より算出した端部曲げモーメント、中央部曲げモーメント及びせん断力

部位	検討用鉛直震度*	方向	端部曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)	中央部曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$)	せん断力 (kN/m)
床頂版	1.63	短辺(NS)	214.8	143.2	300.8
		長辺(EW)	156.7	104.5	266.1

注記* : 検討用鉛直震度には長期荷重時の重量を含むものとする。

2.3.5 頂版の断面評価方法

(1) 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが、次式をもとに計算した短期許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで,

M_A : 短期許容曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm^2)

f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm^2)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した短期許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm) (単位幅 1000mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

2.3.6 評価結果

頂版の配筋一覧を表 2-14 に、断面の評価結果を表 2-15 に示す。基準地震動 S_s 時において、発生値が許容限界を超えないことを確認した。

表 2-14 頂版の配筋一覧

部材	方向	上ば筋		下ば筋	
		配筋	断面積 (mm ² /m)	配筋	断面積 (mm ² /m)
床頂版	NS	D38@200	5700	D38@200	5700
	EW	D38@200	5700	D38@200	5700

表 2-15 床頂版の評価結果（基準地震動 S s）

厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		1000 × 1000
有効せい d (mm)		850
配筋	上ば筋	D38@200 (5700 mm ² /m)
	下ば筋	D38@200 (5700 mm ² /m)
曲げ モーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	214.8
	短期許容曲げモーメント M _A (kN・m/m)	1462.5
	検定値 M/M _A	0.15
面外 せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	300.8
	許容せん断力の 割り増し係数 α	2.00
	許容面外せん断力 Q _A (kN/m)	1621.3
	検定値 Q/Q _A	0.19
判定		可

2.4 淡水貯水槽頂版に対するスロッシングの影響検討

淡水貯水槽内の貯水には、水平方向の地震によりスロッシングが発生し、スロッシングで貯水が頂版に到達する場合は、スロッシングによる荷重が作用する。そこで、地震応答解析において算出した淡水貯水槽基礎版上 (O.P. 51.8m) の応答を用いて、地震動によるスロッシングに対して頂版への影響検討を行う。

検討における水位は、図 1-3 に示す有効貯水量 10,000m³時の水位である 7.3m とした。

2.4.1 評価方針

淡水貯水槽のスロッシングについては、地震動の増加により波高が大きくなり、貯水の波面が頂版に衝突することで、頂版に荷重が作用する。そこで、下記の手順により、貯水のスロッシングによる頂版への影響を確認する。

- (1) 頂版に波高が到達するか
- (2) 波高が頂版に到達する場合は、スロッシングによる荷重に対する断面の評価を実施

2.4.2 波高の評価方法

波高の評価に当たっては、速度ポテンシャル理論に基づきスロッシング周期及び波高を算出する。速度ポテンシャル理論におけるスロッシング周期 T 及び壁面での波高 d_{max} の算出方法は以下のとおり。^{1) 2)}

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{\pi \cdot g}{2 \cdot L} \tanh\left(\frac{\pi \cdot H}{2 \cdot L}\right)}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi / T$$

$$d_{max} = 0.811 \cdot \frac{L}{g} \cdot \omega \cdot S_v$$

ここで、

T : スロッシング周期 (s)

H : 水深 (m)

2 L : 振動方向長さ (m)

g : 重力加速度 (cm/s²)

d_{max} : 壁面での波高 (m)

S_v : スロッシング周期における速度応答 (cm/s)

スロッシングの振動方向長さ及び水深を図 2-5 に、スロッシング周期の算出結果を表 2-16 に示す。

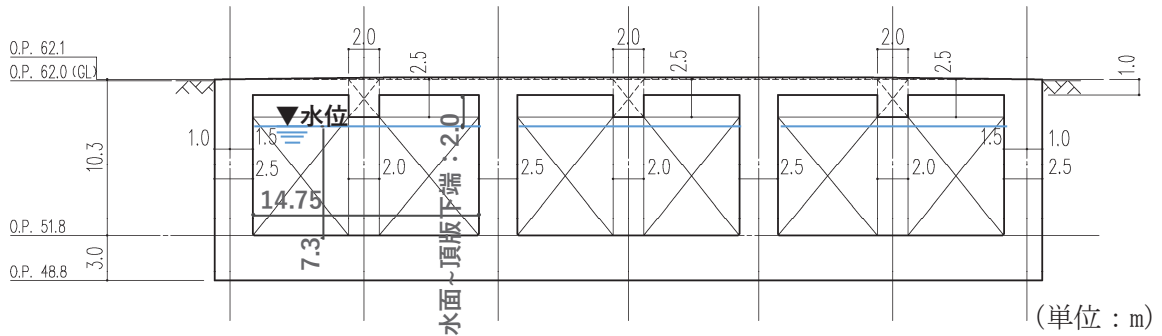


図 2-5 (1) スロッシングの振動方向長さ及び水深 (EW 方向)

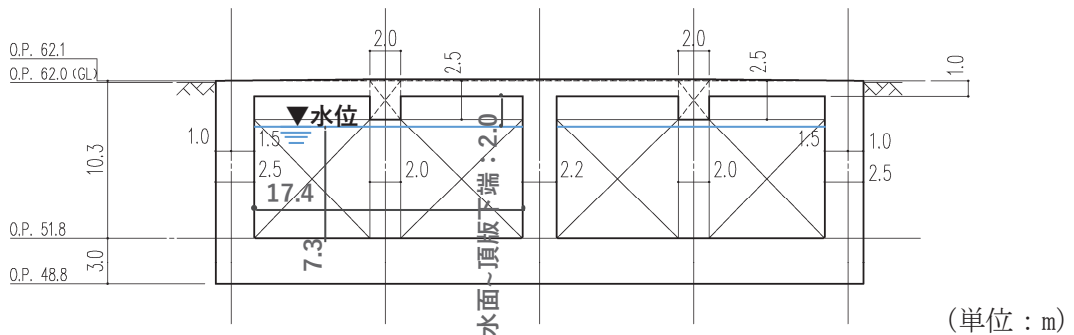


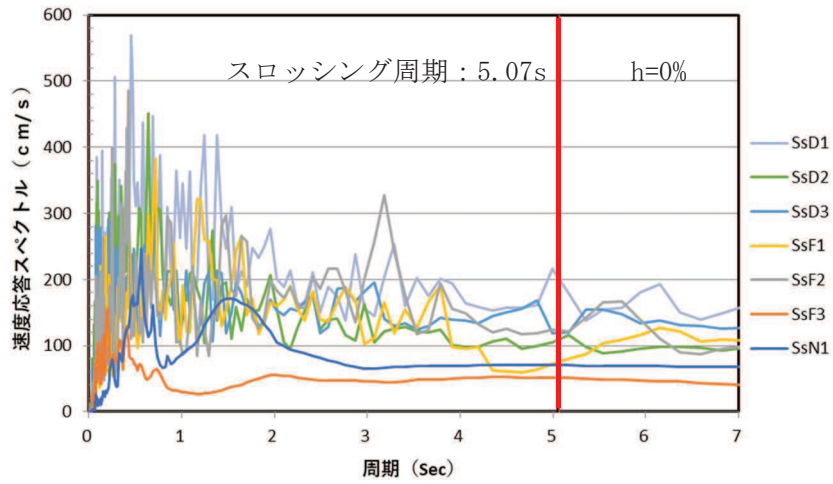
図 2-5 (2) スロッシングの振動方向長さ及び水深 (NS 方向)

表 2-16 スロッシング周期の算出結果

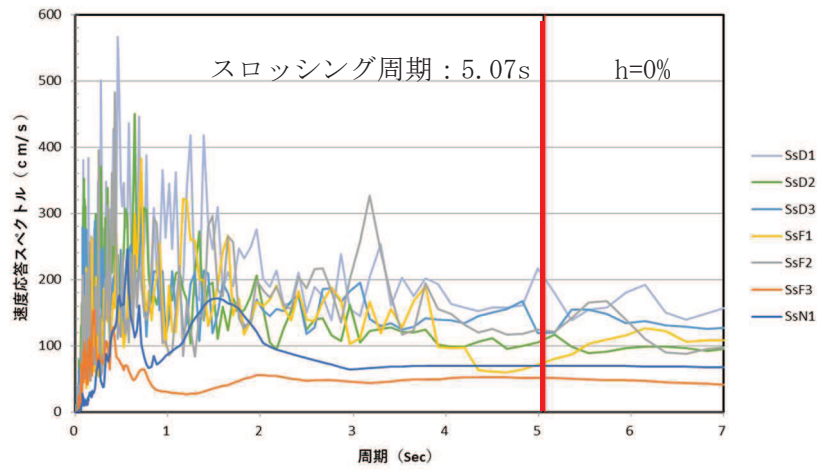
	NS 方向	EW 方向
水深 (m)	7.3	7.3
振動方向長さ 2 L (m)	17.4	14.75
スロッシング周期 T (s)	5.07	4.55

検討ケースは「1.3.7 材料物性の不確かさ」の表 1-2 に示すとおり、「1.3.4 淡水貯水槽の地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、地盤物性のばらつきを考慮する。

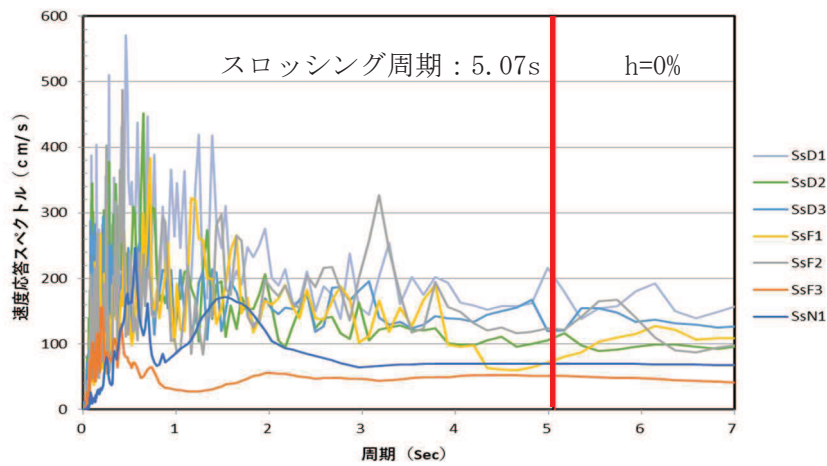
これらのケースについて、基準地震動 $S_s-D1 \sim S_s-D3$, $S_s-F1 \sim S_s-F3$, S_s-N1 の速度応答スペクトルとスロッシング周期を図 2-6 に示す。なお、図 2-6 の速度応答スペクトルを算定する際の減衰は、「J E A G 4 6 0 1 - 1987 原子力発電所耐震設計技術指針」で示される液体の揺動の設計用減衰定数 0.5% を参考に、保守的に減衰定数 0% としている。



(a) ケース 1 (標準地盤 NS 方向)

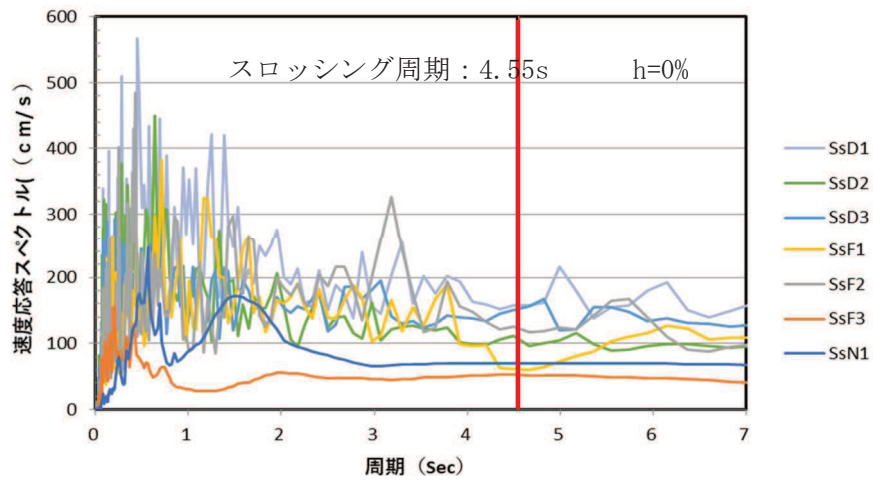


(b) ケース 2 (+ σ 地盤 NS 方向)

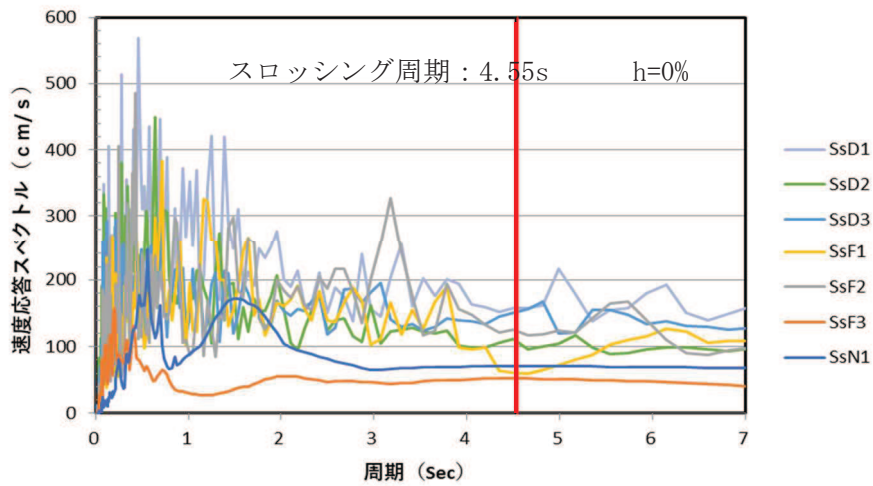


(c) ケース 3 (- σ 地盤 NS 方向)

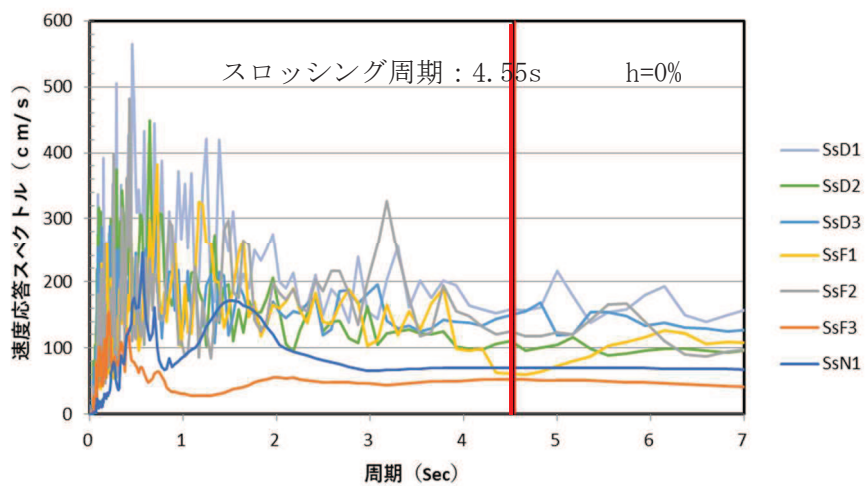
図 2-6(1) 速度応答スペクトルとスロッシング周期 (NS 方向)



(a) ケース 1 (標準地盤 EW 方向)



(b) ケース 2 (+ σ 地盤 EW 方向)



(c) ケース 3 (- σ 地盤 EW 方向)

図 2-6(2) 速度応答スペクトルとスロッシング周期 (EW 方向)

2.4.3 波高の評価結果

スロッシング周期における各ケースの速度応答を表 2-17 に示す。NS 及び EW の両方向とも、スロッシング周期における速度応答は、基準地震動 $S_s - D1$ が最大となった。

表 2-17 スロッシング周期における各ケースの速度応答

ケース	NS 方向		EW 方向	
	地震動	速度応答 (cm/s)	地震動	速度応答 (cm/s)
ケース 1 (標準地盤)	$S_s - D1$	207.6	$S_s - D1$	159.2
ケース 2 ($+\sigma$ 地盤)	$S_s - D1$	207.7	$S_s - D1$	159.2
ケース 3 ($-\sigma$ 地盤)	$S_s - D1$	207.6	$S_s - D1$	159.2

注：網掛は最大値を示す。

速度応答の最大値から算出したスロッシング波高の評価結果を表 2-18 に示す。図 2-5 に示すとおり、淡水貯水槽の水面から頂版下端までの高さは 2.0m であり、表 2-18 の結果から、いずれのケースにおいても貯水の波面が頂版に到達しないことを確認したことから、「2.4.1 評価方針」のとおり、スロッシングにより貯水が頂版の健全性に影響を及ぼさないことを確認した。

なお、いずれのケースにおいても貯水の波面が頂版に到達しないことから、基準地震動 S_s によるスロッシングによって、淡水貯水槽の貯水が敷地内に溢れ出さないことを確認した。

表 2-18 スロッシング波高の評価結果

	NS 方向	EW 方向
波高 d_{max} (m)	1.86	1.35
水面から頂版下端までの高さ (m)	2.0	2.0
評価	可	可

3. 第2保管エリアにおける淡水貯水槽の材料物性の違いによる影響検討

3.1 影響検討概要

淡水貯水槽の地震応答解析では、「1.3.7 材料物性の不確かさ」に示すとおり、地盤物性のばらつきが地震時に第2保管エリアの入力地震動に影響を与えられられることから、地盤物性の不確かさを考慮している。ここでは、可搬型重大事故等対処設備（車両型）の入力地震動への影響及び淡水貯水槽の健全性への影響を確認する観点から、地盤種別及び淡水貯水槽のコンクリート物性値を変えた場合の影響検討を行う。解析ケースを表 3-1 に示す。

表 3-1 解析ケース

検討ケース	表層地盤の種別	コンクリート物性値	
		剛性	材料減衰
基本ケース	盛土	設計基準強度に基づき J E A G 式で評価	5%
検討ケース 1 表層地盤種別	セメント改良土	同上	同上
検討ケース 2 材料減衰	盛土	同上	3%
検討ケース 3 実強度	同上	実強度*に基づき J E A G 式で評価	5%
検討ケース 4 剛性低下	同上	基本ケースの 0.8 倍	同上

注：網掛け部分は、基本ケースに対して変更したパラメータを示す。

注記*：コンクリート強度の実強度は、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 2013」に基づき、圧縮強度の標準偏差を考慮した値としている。

3.1.1 第2保管エリア周辺表層を改良土物性にした場合の影響検討

淡水貯水槽の周辺地盤については、モデル化に当たっては盛土の物性値を採用している。一方で、淡水貯水槽の周辺地盤近傍については、重大事故等対処設備を支持する地盤が地震等の影響で沈下することがないように、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」に示すとおり、セメント改良土による埋戻を行っている。そこで、検討ケース1として表層地盤をセメント改良土とした場合の地震応答解析を行い、その影響を確認する。

検討に用いる地震動は、最大加速度が最も大きく、すべての周期帯において大きな応答を生じさせる基準地震動S_s-D₂を用いた。検討に用いる物性値を表3-2に、セメント改良土とする範囲を図3-1に、基準地震動S_s-D₂の加速度時刻歴波形を図3-2に示す。

なお、図3-1では盛土すべてをセメント改良土に置換することとし、実際の施工範囲よりも広い範囲をセメント改良土に置換してモデル化することで、セメント改良土に置換した影響がより顕著に表れる評価条件とした。

3.1.2 淡水貯水槽のコンクリート物性値を変化させた場合の影響検討

淡水貯水槽の地震応答解析におけるコンクリート強度は、表1-1に示すとおり、設計基準強度と設定しているが、淡水貯水槽が新設であることを踏まえ、他の新設建屋と同様に表3-1のとおりコンクリート強度を変えた場合のケースについて地震応答解析を行う（検討ケース3~4）。また、減衰定数は表1-1に示すとおり、5%と設定しているが、淡水貯水槽が新設であること、また、「2.1 地震力に対する耐震壁の断面評価（面内方向）」に示すとおり、基準地震動S_sに対する応答がスケルトンカーブの第1折点に対しても小さいことを考慮し、念のため鉄筋コンクリート造部の減衰定数を3%とした場合の地震応答解析を行い、第2保管エリアの入力地震動に対する影響、及び影響淡水貯水槽の健全性に対する影響を検討する（検討ケース2）。

検討に用いる地震動は、検討ケース1と同じく、最大加速度が最も大きく、すべての周期帯において大きな応答を生じさせる基準地震動S_s-D₂を用いた。

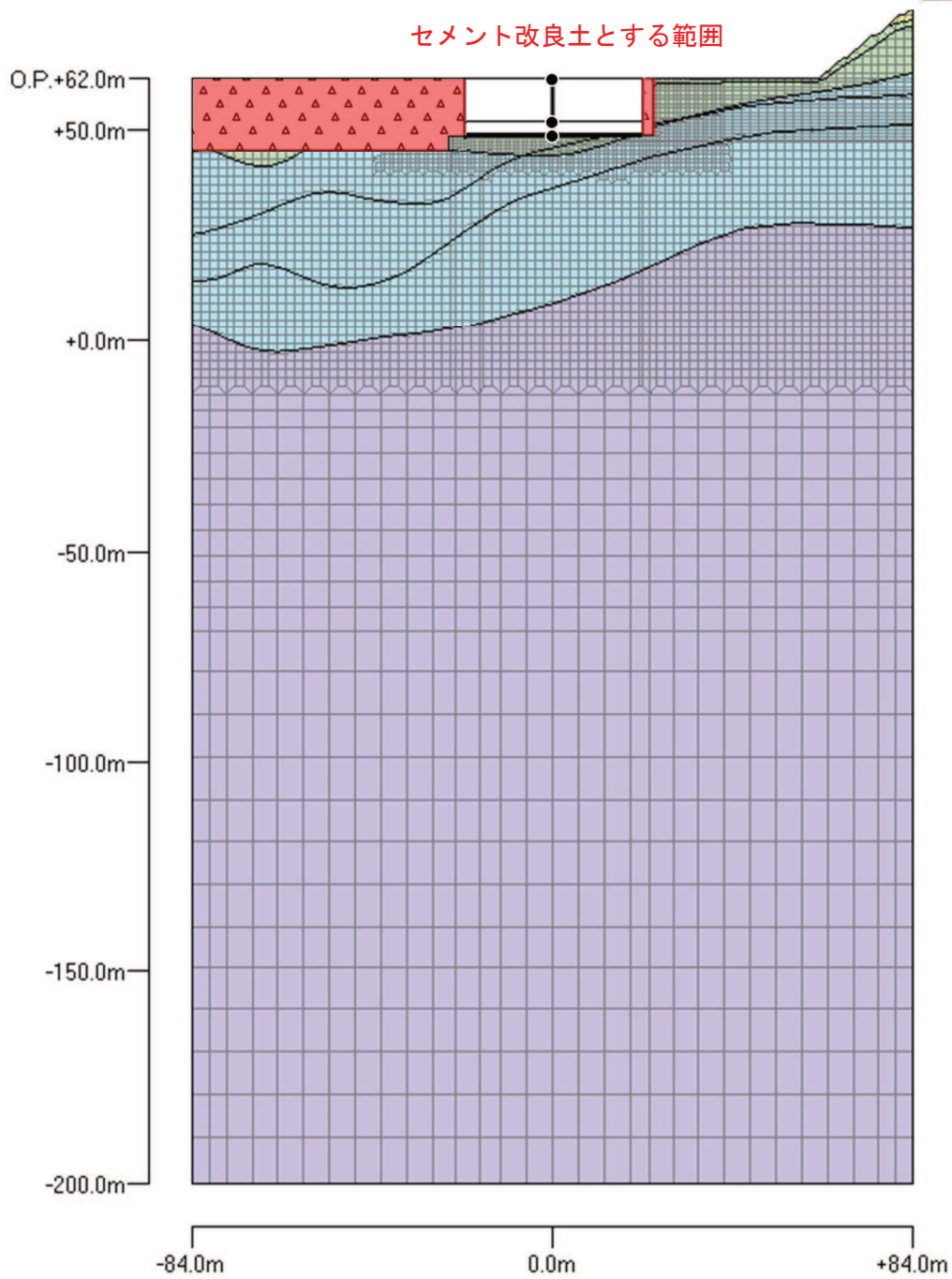
表 3-2 地盤の解析用物性値(盛土ほか)

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)	静的・動的特性				静的特性		動的特性		
		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)	静弾性係数 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	減衰定数 h
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	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	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.020 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.091 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層 及びびシーム	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	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.031 \log \gamma$
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	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.050 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$
背面補強工	24.0	—				28,000	0.2	11,667	0.2	0.05
置換コンクリート	22.5	—				28,000	0.2	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

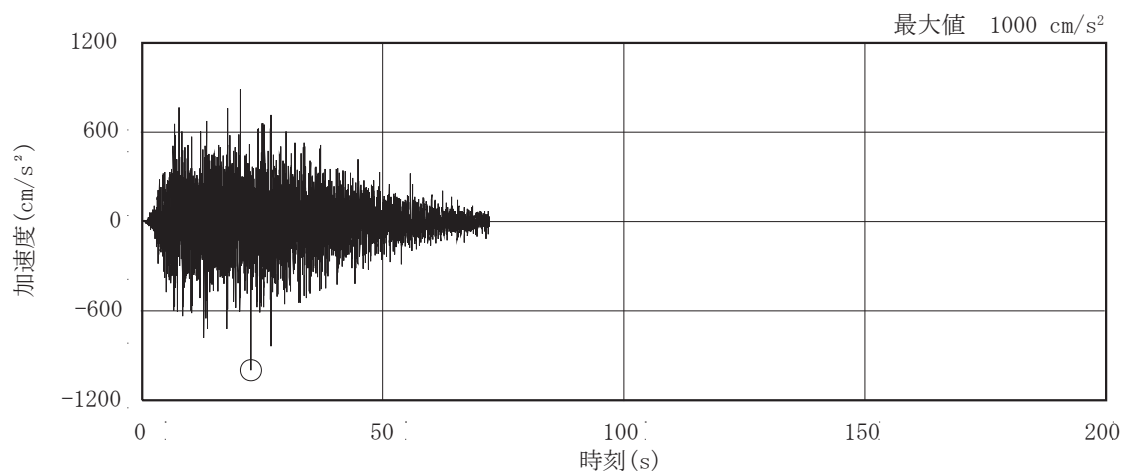
$$G_0 = E_s / 2(1 + \nu_s), \quad G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m), \quad \gamma_m = \tau_f / G_0$$

〈岩級〉	〈速度層〉	〈凡例〉
DL級	第2速度層	■
CM級	第3速度層	■
	第4速度層	■
	第5速度層	■
CH級	第3速度層	■
	第4速度層	■
B級	第5速度層	■
盛土	-	▲

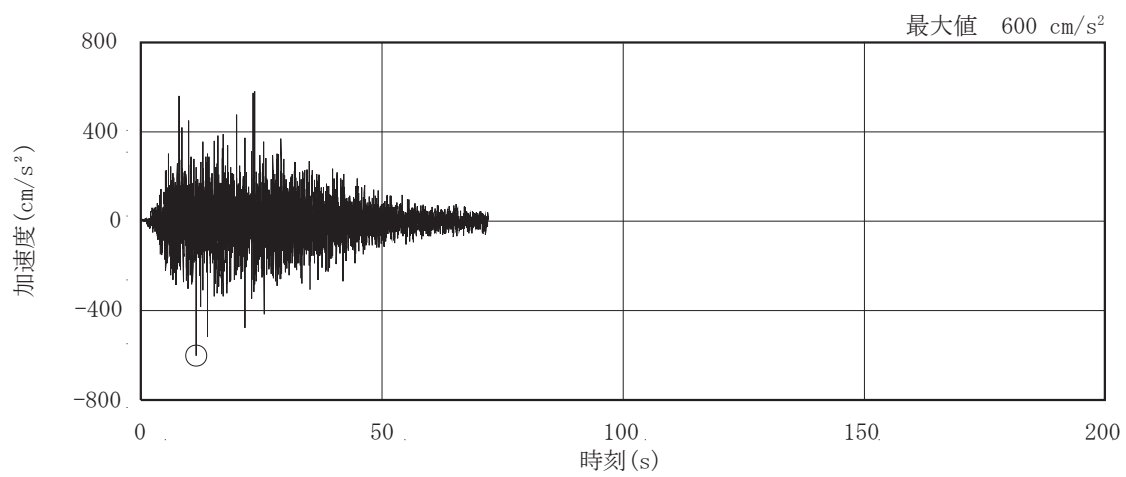


(1)NS 方向モデル

図 3-1(1) 第 2 保管エリアの地震応答解析モデル (二次元)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-2 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s-D2)

3.2 地震応答解析結果

(1) 加速度応答スペクトル

各検討ケースの加速度応答スペクトルを第2保管エリアの設計用FRSと比較した結果のうち、検討ケース1（表層地盤種別）を図3-3に、検討ケース2～4（材料減衰、実強度、剛性低下）を図3-4に示す。なお、車両型設備の応答スペクトルへの影響を確認するため、加速度応答スペクトルの減衰定数は8%としている。

図3-3に示す検討ケース1（表層地盤種別）の水平方向については、NS方向モデルの加速度応答スペクトルは基本ケースを下回る傾向が見られたが、EW方向モデルの加速度応答スペクトルでは周期0.04秒～0.07秒付近で基本ケースに対して増幅が見られた。また、図3-4に示す検討ケース2～4（材料減衰、実強度、剛性低下）の水平方向については、基本ケースに対する加速度応答スペクトルの変化が小さいことを確認した。一方、いずれの検討ケースにおいても、第2保管エリア上に配置される車両型設備の固有周期帯においては、基本ケースに対する加速度応答スペクトルの変化がほとんど見られなかった。このことから、地盤物性および淡水貯水槽のコンクリート物性値を変動させたケースいずれも短周期帯に影響がみられ、0.4秒付近以降の比較的長周期における伝達関数にほとんど影響しない伝達特性であり、 $S_s - D2$ 以外の基準地震動 S_s においても同様に、車両型設備の固有周期帯では影響はないと判断される。なお、第2保管エリア設計用FRSの周期0.4秒付近に見られるピークは、基準地震動 $S_s - N1$ によるものであるが、上記のとおり比較的長周期にはほとんど影響しない伝達特性であるため、車両型設備の固有周期帯に対する影響はない。

また、鉛直方向については、いずれの検討ケースにおいても、すべての周期帯で基本ケースに対する加速度応答スペクトルの変化がほとんど見られなかった。



(a) 水平応答



(b) 鉛直応答

図 3-3(1) 第 2 保管エリアの加速度応答スペクトル (検討ケース 1) (NS 方向モデル)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) 水平応答



(b) 鉛直応答

図 3-3(2) 第 2 保管エリアの加速度応答スペクトル (検討ケース 1) (EW 方向モデル)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) 水平応答



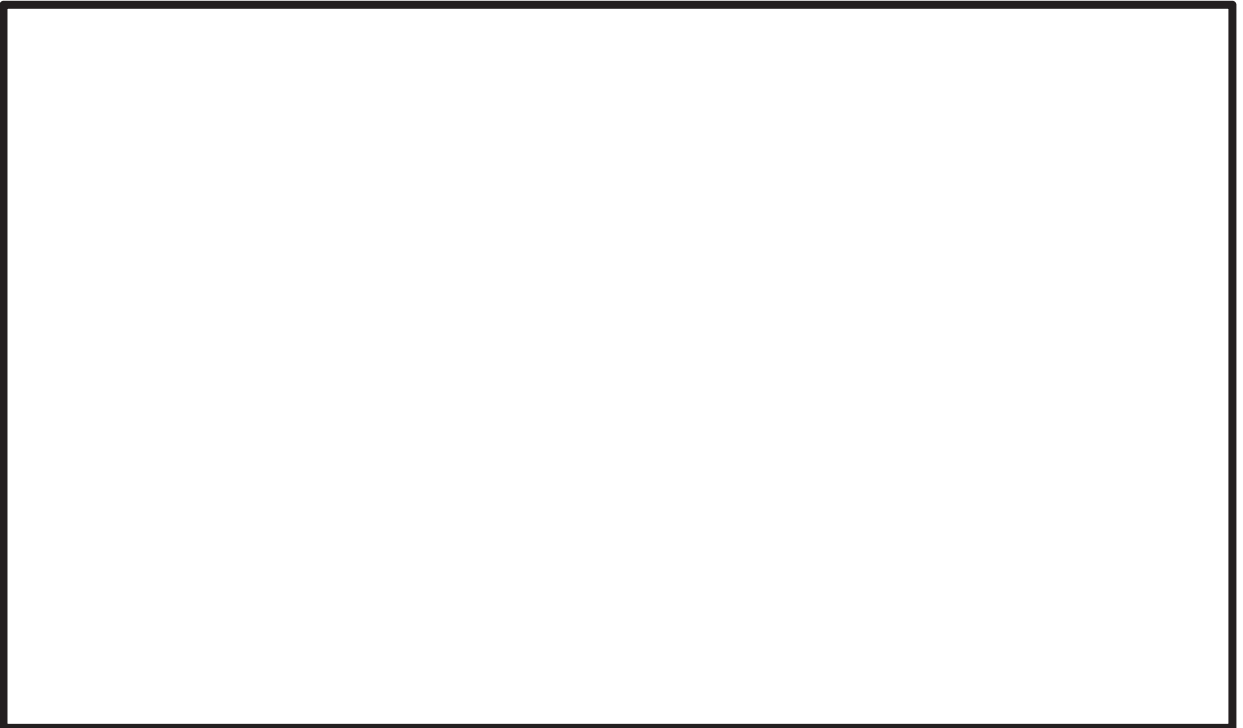
(b) 鉛直応答

図 3-4(1) 第 2 保管エリアの加速度応答スペクトル (検討ケース 2~4) (NS 方向モデル)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) 水平応答



(b) 鉛直応答

図 3-4(2) 第 2 保管エリアの加速度応答スペクトル (検討ケース 2~4) (EW 方向モデル)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 最大応答加速度

各検討ケースの最大応答加速度を表 3-3 に示す。

各検討ケースの中で、基本ケースに対する影響が最も大きいケースは、検討ケース 1 (表層地盤種別) の水平応答であった。

表 3-3 最大応答加速度 (基準地震動 S_s-D2)

解析ケース		水平加振 (cm/s ²)			鉛直加振 (cm/s ²)		
		NS 方向 モデル	EW 方向 モデル	水平包絡	NS 方向 モデル	EW 方向 モデル	鉛直包絡
設計条件	基本ケース	1149.37	1191.55	1191.55	561.50	523.36	561.50
	ケース 2	1200.31	1209.28	1209.28	567.72	529.59	567.72
	ケース 3	1106.77	1177.39	1177.39	553.06	517.92	553.06
影響検討 条件	検討ケース 1	1028.58	1263.88	1263.88	540.92	524.83	540.92
	検討ケース 2	1186.47	1236.23	1236.23	560.30	524.51	560.30
	検討ケース 3	1103.78	1087.29	1103.78	543.39	513.58	543.39
	検討ケース 4	1215.63	1227.46	1227.46			

注：ハッチングは加振方向に対する最大応答を示す。

以上の検討において、「(1) 加速度応答スペクトル」より、第 2 保管エリア上に配置される車両型設備の固有周期帯においては、基本ケースに対する加速度応答スペクトルの変化がほとんど見られなかったこと、「(2) 最大応答加速度」より、基本ケースに対する影響が最も大きいケースは、検討ケース 1 (表層地盤種別) の水平応答であったことから、検討ケースのうち第 2 保管エリアの入力地震動に影響を与えられられるのは、検討ケース 1 (表層地盤種別) であると考えられる。そこで、「3.3 設備に対する影響検討」において機器・配管系及び可搬型重大事故等対処設備 (車両型) に対する影響検討を行い、「3.4 淡水貯水槽の健全性への影響」において淡水貯水槽の躯体に対する影響検討を行う。

3.3 設備に対する影響検討

3.3.1 可搬型重大事故等対処設備（車両型）の入力地震動への影響

(1) 加速度応答スペクトル

「3.2 地震応答解析結果」の結果を踏まえ、第2保管エリアの設計用FRSに対して、検討ケース1（表層地盤種別）の影響を反映した検討（検討用FRS）を行う。

検討用FRSについては、第2保管エリアの設計用FRSに対し補正係数を乗じることで算出し、補正係数については、第2保管エリア上に配置される車両型設備の固有周期の範囲における、各ケースの最大応答の比を用いた。

なお、第2保管エリアの設計用FRSは地盤物性のばらつきを包絡して策定されていることから、検討用FRSは第2保管エリア上に配置される車両型設備の固有周期帯において、表層地盤種別の影響と地盤物性のばらつきを重畳させた検討となる。

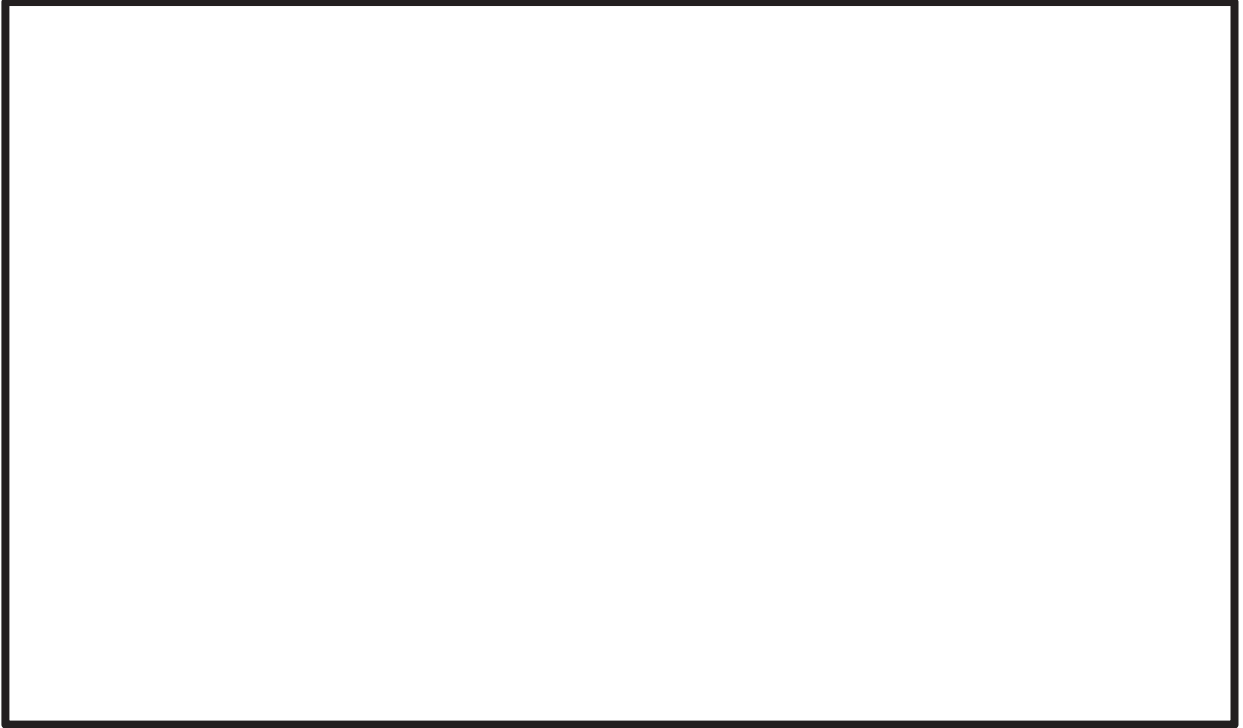
第2保管エリア検討用FRS = 第2保管エリアの設計用FRS × 補正係数

補正係数 = S_{s-D2} の検討ケース1 / S_{s-D2} の基本ケース

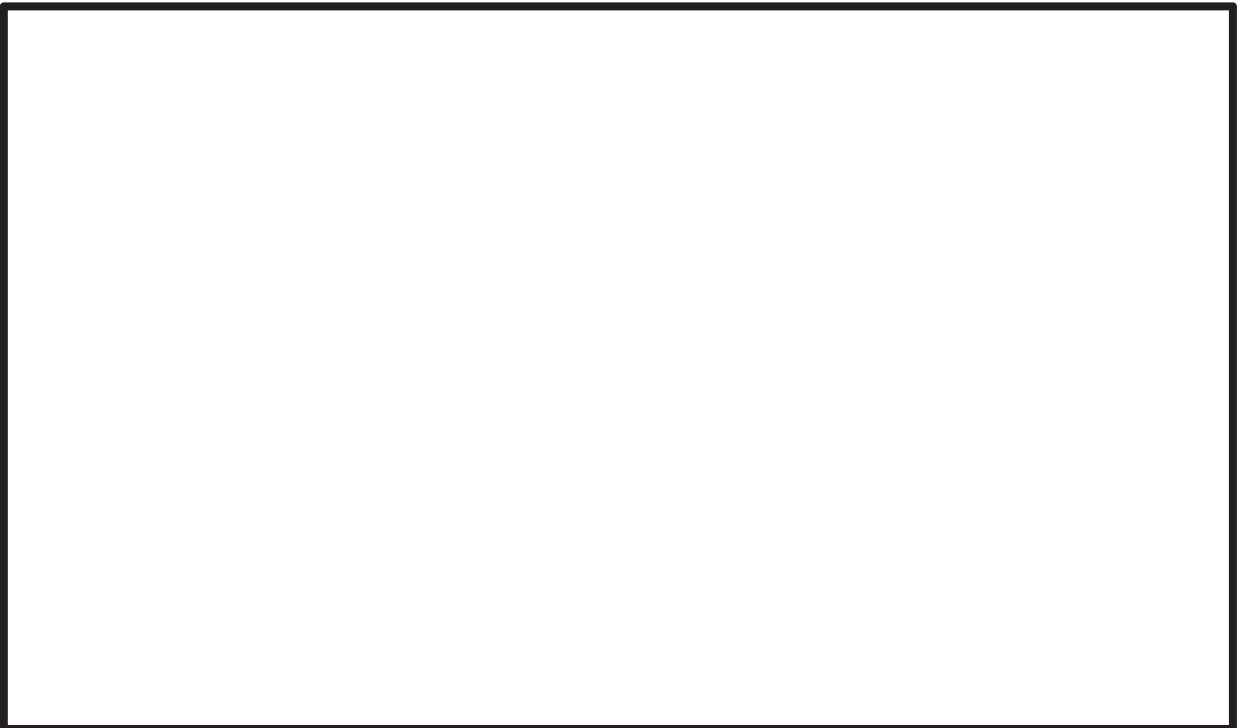
= 1.020（水平包絡）、1.000（鉛直包絡）

第2保管エリア検討用FRSを車両型設備の設計に用いた加振台FRSと比較した結果を図3-5に示す。ここでは、車両型設備の応答スペクトルへの影響を確認するため、加速度応答スペクトルの減衰定数は8%としている。

第2保管エリア検討用FRSは、短周期側から第2保管エリア上に配置される車両型設備の固有周期において、加振台FRSに包絡されることを確認したことから、機器の設計条件に対する影響がないことを確認した。



(a) 周期 0.02s~10s



(b) 周期 0.1s~2s 拡大図

図 3-5(1) 第 2 保管エリアの設計用 FRS と検討用 FRS の比較 (水平応答)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) 周期 0.02s~10s



(b) 周期 0.1s~2s 拡大図

図 3-5(2) 第 2 保管エリアの設計用 FRS と検討用 FRS の比較 (鉛直応答)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 最大応答加速度

第2 保管エリアの設計用最大応答加速度に対して、検討ケース1（表層地盤種別）の影響を反映した検討を行う。

第2 保管エリア検討用最大応答加速度は、第2 保管エリアの設計用最大応答加速度に対し補正係数を乗じることで算出し、補正係数については、検討ケース1（表層地盤種別）とケース1（基本ケース）の最大応答加速度の比率を用いた。

$$\begin{aligned} \text{補正係数} &= S_{s-D2} \text{の検討ケース1} / S_{s-D2} \text{の基本ケース} \\ &= 1.05 \text{（水平包絡）}, 1.00 \text{（鉛直包絡）} \end{aligned}$$

第2 保管エリア検討用最大応答加速度

$$= \text{第2 保管エリアの設計用最大応答加速度} \times \text{補正係数}$$

$$\text{水平} : 1.60 \text{（最大応答加速度} \times 1.2 \text{）} \times 1.05 \text{（補正係数）} = 1.68$$

$$\text{鉛直} : 0.82 \text{（最大応答加速度} \times 1.2 \text{）} \times 1.00 \text{（補正係数）} = 0.82$$

第2 保管エリアに設置している設備のうち、最大応答加速度で評価しているその他設備を保管する架台に適用している設計震度について、第2 保管エリア検討用最大応答加速度以下であることを確認した。比較結果を表3-4に示す。

表3-4 第2 保管エリア検討用最大応答加速度と架台の設計震度との比較結果

	水平	鉛直
第2 保管エリア検討用最大応答加速度	1.68	0.82
架台の設計震度	1.74*	0.82*

注記*：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。

3.4 淡水貯水槽の健全性への影響

淡水貯水槽の健全性への影響については、「3.3.1(2)最大応答加速度」に示すとおり最大応答加速度は設計条件から大幅な増加は無く、また、淡水貯水槽の基準地震動 S_s に対する応答は弾性範囲内であることから、材料物性の違いが淡水貯水槽の健全性に与える影響はないと判断した。

【参考文献】

- 1) 原子炉容器モデルのスロッシング解析，動力炉・核燃料開発事業団，大洗工学センター，1987年9月
- 2) 日本建築学会 2010年 容器構造設計指針・同解説