

3.1.6 残留熱除去系ストレーナ，低圧炉心スプレイ系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナの評価

クラス2 (第三種)						
評価 ケース	(1) J E A G 4601・補-1984		(2) 既工認 (改造工事)		(3) 今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	III _{AS}	$D + P_D + M_D + S_1^*$	III _{AS}	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
②	—	—	$D + P_L^{**} + M_L^* + S_1^*$	III _{AS}	$D + P_L^{**} + M_L^* + S_d^*$	III _{AS}
③	$D + P_D + M_D + S_2$	IV _{AS}	$D + P_D + M_D + S_2$	IV _{AS}	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

(1) J E A G 4601・補-1984 における要求

J E A G 4601・補-1984 において，クラス2 (第三種) 設備は，ケース①及び③の2ケースについての考慮が求められている。なお，ケース③の組合せについては A_s クラスの場合に考慮する。

(2) 既工認での評価

既工認においては，J E A G 4601・補-1984 に加えて，「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について (内規)」(平成17・10・13 原院第4号)に基づき，ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。

(3) 今回の評価

今回の評価においては，J E A G 4601・補-1984 に加えて，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について (内規)」(平成20・02・12 原院第5号)に基づき，ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。

3.2 今回評価で用いた圧力荷重及び機械的荷重

荷重の組合せ評価に用いる圧力荷重（P等）及び機械的荷重（M等）については、J E A G 4 6 0 1・補-1984において、設備種別ごとに整理されている。（下記 J E A G 4 6 0 1・補-1984 抜粋参照のこと。）

整理表にクラス1（第一種）及びクラスMC（第二種）については、圧力荷重（P， P_L ）及び機械的荷重（M， M_L ）を考慮し、クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）については最高使用圧力（ P_D ）及び設計機械荷重（ M_D ）を考慮した評価を実施することが記載されており、それに基づき適切に評価を実施している。次項以降に、クラス1（第一種）及びクラスMC（第二種）の評価に用いた設備種別ごとの具体的な荷重一覧表を示す。なお、クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）については、運転状態によらず最高使用圧力及び設計機械荷重を用いていることから、ここでの記載は省略する。

種 別	型式		BWR	PWR
	荷重			
第 1 種	P		タービントリップ又は全給水流量喪失により生じている最高圧力による荷重	負荷喪失又は外部電源喪失により生じている最高圧力による荷重
	M		<ul style="list-style-type: none"> ○安全弁吹出時の反力荷重 ○ボルト締付力 ○スクラム反力等 	<ul style="list-style-type: none"> ○安全弁吹出時の反力荷重 ○ボルト締付力等
	P _L		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	同 左
	M _L			
第 2 種	P		地震と重ね合わせる必要のある事象における最大圧力荷重	地震と重ね合わせる必要のある事象における最大圧力荷重
	M		逃し安全弁開により生じる空気泡振動による荷重	特になし
	P _L		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	同 左
	M _L			
第 3 ・ 5 ・ 4 種	P _d		最高使用圧力	
	M _d		設計機械荷重	
炉心支持構造物	P		地震と組み合わせる必要のある事象における最大差圧	
	M		地震と組み合わせる必要のある事象における機械的荷重	
	P _L		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	
	M _L			
その 支 持 構 造 物 の 他 の ポ ン プ	P _d		最高使用圧力	
	M _d		設計機械荷重	

●クラス 1

今回クラス 1 容器の評価に用いた数値

- ・ P = MPa (領域 A, B), MPa (領域 C), D+M = kN* (運転状態 II : スクラム (タービントリップ), スクラム (その他のスクラム), スクラム (原子炉給水ポンプ停止), スクラム (逃がし安全弁誤作動))

(*クラス 1 のうち原子炉圧力容器の下部鏡板の評価に使用する荷重)

運転状態	事象	設計過渡条件 (圧力)		荷重				地震と事象の組合せを独立事象とした場合*1		地震の従属事象としての適用の有無*2	備考
		初期圧力 (MPa)	ピーク時変動圧力 (MPa)	P (I~III) (MPa)	P _L (IV) (MPa)	D+M (I~III) (kN)	D+M _L (IV) (kN)	適用の有無	説明		
I 及び II	ボルト締付け							—		—	
	耐圧試験 (最高使用圧力以下)							—		—	
	起動 (昇温)							S d : Δ S s : Δ	事象の継続時間は数時間程度。	×	運転状態 I の出力運転で代表される。
	起動 (タービン起動)							S d : Δ S s : Δ	同上	×	同上
	夜間低出力運転 (出力 75%)							S d : Δ S s : Δ		×	
	週末低出力運転 (出力 50%)							S d : ○ S s : ○		×	
	制御棒パターン変更							S d : ○ S s : ○		×	
	給水加熱機能喪失 (発電機トリップ)							S d : × S s : ×	事象の継続時間は数分程度。	△	運転状態 II のタービントリップ, 又は原子炉給水ポンプ停止で代表される。
	給水加熱機能喪失 (給水加熱器部分バイパス)							S d : × S s : ×	同上	△	同上
	スクラム (タービントリップ)							S d : Δ S s : ×	最大圧力は 1 分以内。その後の状態は他の事象で考慮される。	○	
	スクラム (その他のスクラム)							S d : × S s : ×	事象の継続時間は 1 分以内。	△	
	定格出力運転							S d : ○ S s : ○		×	
	停止 (タービン停止)							S d : Δ S s : Δ	事象の継続時間は数時間程度	×	
	停止 (高温待機)							S d : Δ S s : Δ	同上	×	
	停止 (冷却)							S d : Δ S s : Δ	同上	×	
	停止 (容器満水)							S d : Δ S s : Δ		×	
	停止 (満水後冷却)							S d : ○ S s : ○	事象の継続時間は数時間程度。	×	
	ボルト取外し							—		—	
	燃料交換							S d : Δ S s : Δ		×	
	スクラム (原子炉給水ポンプ停止)							S d : Δ S s : ×	最大圧力は 1 分以内。その後の状態は他の事象で考慮される。	○	
スクラム (逃がし安全弁誤作動)							S d : × S s : ×	圧力は低下する。	×		
III	スクラム (過大圧力)						S d : × S s : ×	事象の継続時間は 1 分以内。	×		
IV	冷却材喪失事故						S d : Δ S s : ×	長時間*継続するもの。 (*10 ⁻¹ 年以上)	×		

- 注記*1: 地震と事象の組合せを独立事象とした場合の適用有無は、次に分類される。
 ○印: 独立事象として地震と重なる可能性があり、地震と組合せた評価が必要なもの。
 △印: 独立事象として地震と重なる可能性はあるが、発生する荷重が、他の独立事象又は従属事象で代表され、地震と組合せた評価が不要なもの。
 ×印: 独立事象として地震と重なる可能性がないもの。
- *2: 地震と事象の組合せを従属事象とした場合の適用有無は、次に分類される。
 ○印: 地震の従属事象であり、地震と組合せた評価が必要なもの。
 △印: 地震の従属事象であるが○印の事象で代表され地震と組合せた評価が不要なもの。
 ×印: 地震の従属事象でないもの。
- *3: 大気圧相当を考慮する。
 *4: 10⁻¹年以上継続する事象に対する値ではなく、冷却材喪失事故直前の値を記載する。

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

●クラスMC

今回評価で用いた数値

・ P = -13.7kPa, M = 0kN (運転状態Ⅰ)

・ P = -13.7kPa, M = 0kN (運転状態Ⅱ)

運転状態	事象	荷重				地震と事象の組合せを独立事象とした場合*1		地震の従属事象としての適用の有無*2	備考
		P (kPa) (Ⅰ及びⅡ)	P _L (kPa) (Ⅳ)	M (kN) (Ⅰ及びⅡ)	M _L (kN) (Ⅳ)	適用の有無	説明		
Ⅰ	起動	-13.7	—	0	—	S _d :△ S _s :△	事象の継続時間は時間のオーダー。	×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される
	停止	-13.7	—	0	—	S _d :△ S _s :△	同上	×	同上
	出力運転	-13.7	—	0	—	S _d :○ S _s :○		×	
	高温待機	-13.7	—	0	—	S _d :△ S _s :△		×	運転状態Ⅰの出力運転で代表される。
	燃料交換	0	—	0	—	S _d :△ S _s :△		×	運転状態Ⅰの出力運転における設計条件で代表される。
Ⅱ	外部電源喪失	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		△	運転状態Ⅱの主蒸気隔離弁の閉鎖で代表される。
	負荷の喪失	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		△	同上
	主蒸気隔離弁の閉鎖	-13.7	—	0*3	—	S _d :○ S _s :×	事象後 30 分程度にわたる主蒸気逃がし安全弁作動	○	
	給水制御系の故障	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		△	運転状態Ⅱの主蒸気隔離弁の閉鎖で代表される。
	圧力制御装置の故障	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		△	同上
	全給水流量の喪失	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		△	同上
	タービントリップ	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		△	同上
	逃がし安全弁誤作動	-13.7	—	0*3	—	S _d :△ S _s :×		×	同上
Ⅲ	原子炉圧力容器の過大圧力	—	—	—	—	S _d :×	この事象の継続時間は1分以内	×	
Ⅳ	冷却材喪失事故	—	*4	—	0	S _d :○ S _s :×	長時間*継続するもの。 (*10 ⁻¹ 年以上)	×	長時間*作用する圧力、温度は弾性設計用地震動S _d と組合せるものとする。また冷却材喪失事故時に短時間働く圧力、温度以外にプール水揺動による衝撃力があるがこれは告示第501号第21条第2項第2号設計・建設規格(PVE-3113)のジェット荷重と同等に扱う。 (*10 ⁻¹ 年以上)

注記*1：地震と事象の組合せを独立事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印：独立事象として地震と重なる可能性があり、地震と組合せた評価が必要なもの。

△印：独立事象として地震と重なる可能性はあるが、発生する荷重が、他の独立事象又は従属事象で代表され、地震と組合せた評価が不要なもの。

×

*2：地震と事象の組合せを従属事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印：地震の従属事象であり、地震と組合せた評価が必要なもの。

△印：地震の従属事象であるが○印の事象で代表され地震と組合せた評価が不要なもの。

×

*3：表中はドライウェルでのMの値を示す。サプレッションチェンバは kPa、 kPaとなる。

*4：大気圧相当を考慮する。

本資料のうち、枠囲みの内容は当社の商業機密又は防護上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-19-0600-4_改 2
提出年月日	2021年4月22日

補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について

目 次

1. 概要	1
2. 波及的影響に関する評価方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 下位クラス施設の抽出方法	4
2.3 影響評価方法	5
2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方	5
3. 事象検討	7
3.1 別記2に記載された事項に基づく事象検討	7
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	8
3.2.1 被害事例とその要因の整理	8
3.2.2 追加考慮すべき事象の検討	9
3.3 津波、火災及び溢水による影響評価	10
3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価	10
3.5 液状化による影響評価	10
4. 上位クラス施設の確認	11
5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法	22
5.1 相対変位又は不等沈下による影響	22
5.2 接続部における相互影響	26
5.3 建屋内における施設の損傷、転倒、落下等による影響	35
5.4 建屋外における施設の損傷、転倒、落下等による影響	37
6. 下位クラス施設の検討結果	39
6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果	39
6.1.1 抽出手順	39
6.1.2 下位クラス施設の抽出結果	39
6.1.3 影響評価結果	39
6.2 接続部における相互影響検討結果	47
6.2.1 抽出手順	47
6.2.2 接続部の抽出結果及び影響評価対象の選定結果	47
6.2.3 影響評価結果	47
6.3 建屋内における施設の損傷、転倒、落下等による影響検討結果	68
6.3.1 抽出手順	68
6.3.2 下位クラス施設の抽出結果	68
6.3.3 耐震評価結果	68
6.4 建屋外における施設の損傷、転倒、落下等による影響検討結果	120
6.4.1 抽出手順	120
6.4.2 下位クラス施設の抽出結果	120
6.4.3 耐震評価結果	120

添 付 資 料

添付資料 1-1	波及的影響評価に係る現地調査の実施要領
添付資料 1-2	波及的影響評価に係る現地調査記録
添付資料 2-1	原子力発電所における地震被害事例の要因整理
添付資料 2-2	東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所における地震被害事例の要因整理
添付資料 3	周辺斜面の崩壊等による上位クラス施設への影響
添付資料 4	上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について
添付資料 5	設置予定施設及び撤去予定施設に対する波及的影響評価の考え方について
添付資料 6	原子炉補機冷却海水系通水機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
添付資料 7	防潮堤・防潮壁への下位クラス施設の波及的影響の検討について
添付資料 8	小規模建屋の上位クラス施設への波及的影響の検討について
添付資料 9	下位クラス施設の損傷による機械的荷重等の影響について
添付資料 10	燃料チャンネル着脱機の波及的影響評価

参考資料 1	下位クラス配管の損傷形態の検討について
参考資料 2	設置変更許可時からの相違点について

: 今回提出範囲

1. 概要

設計基準対象施設のうち耐震重要度分類 S クラスに属する施設，その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下「S クラス施設等」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって，その安全機能を損なわないことについて，また，重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備，常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要 SA 施設」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって，重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないことについて，設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い，評価を実施する。

ここで，S クラス施設等と重要 SA 施設を合わせて「上位クラス施設」と定義し，S クラス施設等の安全機能と重要 SA 施設の重大事故等に対処するために必要な機能を合わせて「上位クラス施設の機能」と定義する。また，上位クラス施設に対する波及的影響の検討対象とする「下位クラス施設」とは，上位クラス施設以外の発電所内にある施設（資機材等を含む）をいう。

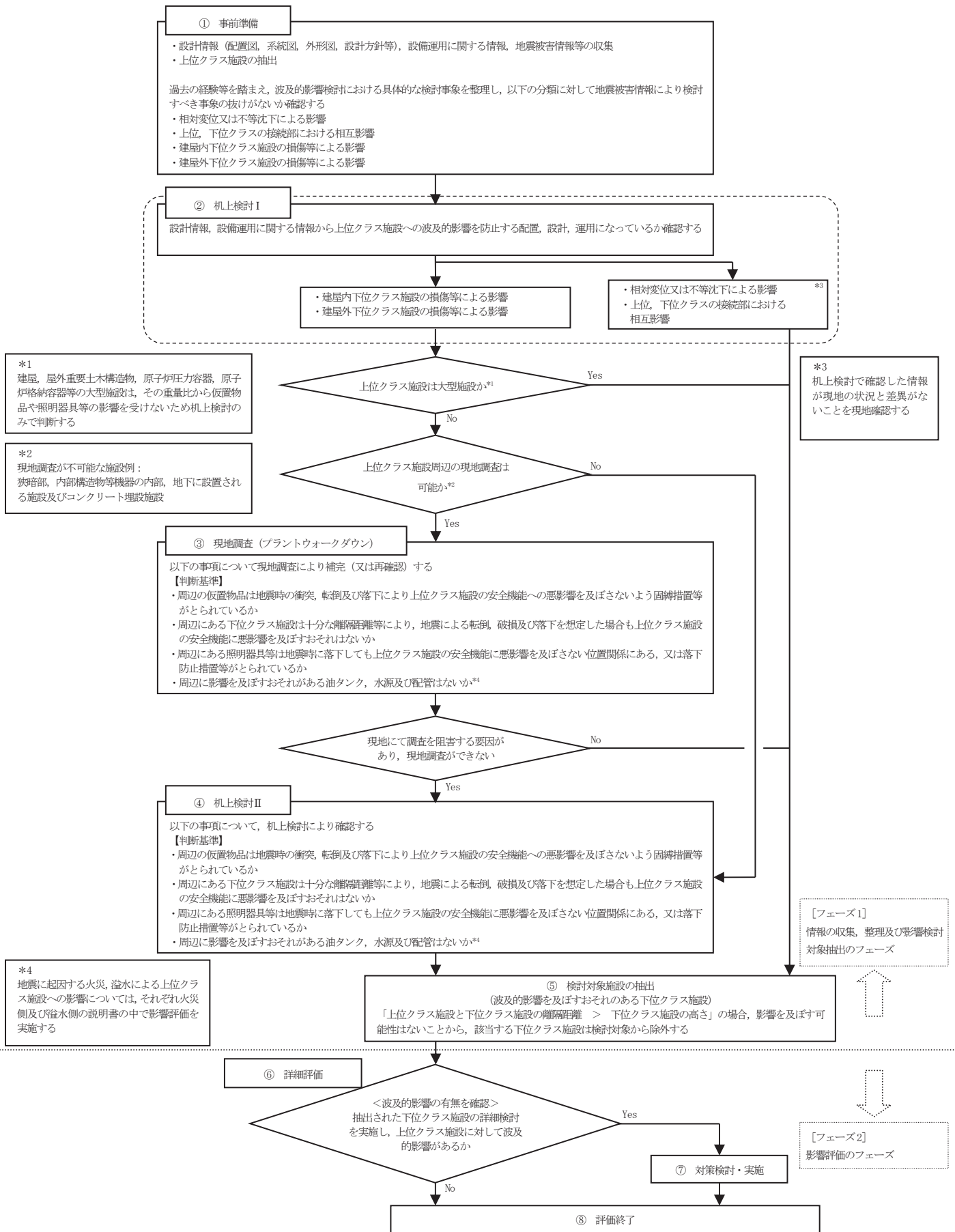
2. 波及的影響に関する評価方針

2.1 基本方針

波及的影響評価は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記2（以下「別記2」という。）に記載された波及的影響に係る4つの事項を基に、検討すべき事象を整理する。また、原子力発電所の地震被害情報を基に、別記2の波及的影響に係る4つの事項以外に検討すべき事象の有無を確認する。
- (2) (1)で整理した検討事項を基に、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。
- (3) (2)で抽出された下位クラス施設について、配置、設計、運用上の観点から上位クラス施設への影響評価を実施する。

また、波及的影響評価に係る検討フローを第2.1-1図に示す。



*フロー中の①～⑧の数字は第5.1-1図，第5.1-2図，第5.2-8図，第5.3-1及び第5.4-1図中の①～⑧に対応する。

第2.1-1図 波及的影響評価に係る検討フロー

2.2 下位クラス施設の抽出方法

上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出は、設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討により実施する。

(1) 事前準備及び机上検討Ⅰ [第 2.1-1 図 ①, ②]

女川原子力発電所第 2 号機の屋外配置図、機器配置図等の設計図書類を用いて、建屋外及び建屋内の上位クラス施設を抽出し、その配置状況の情報を整理する。配置状況確認結果を踏まえ、検討事象ごとに、以下に示す考え方を踏まえて波及的影響を及ぼすおそれのある施設を抽出する。

- a. 検討事象が「建屋内下位クラス施設の損傷等による影響」又は「建屋外下位クラス施設の損傷等による影響」の場合
 - 上位クラス施設が大型施設であれば、重量比から仮置物品等の影響を受けないことから、本項目(1)で調査した設計図書類の情報によって波及的影響を及ぼすおそれのある施設を抽出する。
 - 上位クラス施設が大型施設ではない場合には、現地調査が困難な場合を除き下記(2)及び(3)に示す情報の補完作業を実施する。
- b. 検討事象が「相対変位又は不等沈下による影響」又は「上位、下位クラスの接続部における相互影響」の場合
 - 「相対変位又は不等沈下による影響」については、建屋外の大型施設が評価対象となることから、本項目(1)で調査した設計図書類の情報によって波及的影響を及ぼすおそれのある施設を抽出する。
 - 「上位、下位クラスの接続部における相互影響」については、系統図等の設計図書類で網羅的に確認が可能であることから、本項目(1)で調査した設計図書類の情報によって波及的影響を及ぼすおそれのある施設を抽出する。

(2) 現地調査（プラントウォークダウン） [第 2.1-1 図 ③]

机上検討Ⅰで抽出された下位クラス施設の詳細な設置状況又は配置状況を確認すること及び設計図書類では判別出来ない仮設設備又は資機材等が影響防止対策を施工していない状態で上位クラス施設周辺に配置されていないことを確認することを目的として、建屋内外の上位クラス施設を対象として現地調査を実施する。

現地調査の実施要領を添付資料 1-1 に示す。また、現地調査記録の例を添付資料 1-2 に示す。

なお、現地調査における確認項目や判断基準についても添付資料 1-1 の実施要領に示す。

(3) 机上検討Ⅱ [第 2.1-1 図 ④]

現地調査を実施する必要があると判断したものの、現地調査を実施できない上位クラス施設については、現地調査と同様の判断基準で机上検討を実施する。

(4) 検討対象施設の抽出 [第 2.1-1 図 ⑤]

上記(1)～(3)において抽出された情報を用いて、上位クラス施設へ地震時に波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

なお、上位クラス施設と下位クラス施設の離隔距離が下位クラス施設の高さを超える場合は、「下位クラス施設の損傷等による影響」、「相対変位又は不等沈下による影響」のいずれの検討事象においても影響がないものと考えられることから、該当する下位クラス施設は検討対象から除外する。

2.3 影響評価方法 [第 2.1-1 図 ⑥, ⑦, ⑧]

波及的影響を及ぼすおそれがあるとして抽出された下位クラス施設については、詳細評価を実施し、上位クラス施設の機能を損なわないことにより、その影響を確認する。

詳細評価において、抽出された下位クラス施設が耐震性を有していることの確認によって上位クラス施設の機能を損なわないことを確認する場合、適用する地震動は上位クラス施設の設計に用いる基準地震動 S_s とし、上位クラス施設への波及的影響が否定できない場合には、影響を防止するための対策を検討し、実施することで評価を完了とする。

2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方

プラントの運転状態としては、通常運転時、事故対処時及び定期検査時があり、各運転状態において要求される上位クラス施設の機能を考慮して波及的影響評価を実施する。

通常運転時は、ほぼ全ての上位クラス施設が供用状態（運転又は待機状態）にあり、下位クラス施設の波及的影響も考慮した上で、基準地震動 S_s に対して安全機能を損なわないことを確認する。また、事故対処時においても、通常運転時と同様である。

定期検査時は、その工程に伴い、上位クラス施設は供用状態から除外され、システムも隔離される。その状態では当該施設の安全機能には期待しないことから、波及的影響評価の対象から除外する。また、定期検査時においても補機冷却システムや電源系等、一部のシステムは供用状態にあるため、これらの施設については波及的影響評価の対象となる。例として、定期検査時のオペレーションフロアレイダウニアリアの資機材による使用済燃料プール及び開放された原子炉に対する影響評価は、発電用原子炉設置変更許可申請（東北電原技第 5 号）に係る審査資料「02-NP-0272 設計基準対象施設について」の「第

16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設について」のうち、「別添資料 1 使用済燃料プールへの重量物落下について」の検討により、影響がないことを確認している。

上記のことから、事故対処時及び定期検査時の評価は、通常運転時において要求される上位クラス施設の機能を考慮した波及的影響評価に包含される。

3. 事象検討

3.1 別記2に記載された事項に基づく事象検討

別記2に記載された波及的影響に係る4つの事項を基に、具体的な検討事象を整理する。

- ① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響
 - (1) 地盤の不等沈下による影響
 - ・地盤の不等沈下による下位クラス施設の傾きや倒壊に伴う隣接した上位クラス施設への衝突
 - (2) 建屋間の相対変位による影響
 - ・上位クラス施設と下位クラス施設の建屋間の相対変位による隣接した上位クラス施設への衝突
- ② 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響
 - ・機器・配管系において接続する下位クラス施設の損傷又は隔離に伴う上位クラス施設側の系統のプロセス変化
 - ・下位クラス機器・配管系の損傷に伴う機械的荷重の影響
 - ・電気計装設備において接続する下位クラス施設の損傷に伴う電気回路及び信号伝送回路を介した悪影響
- ③ 建屋内における下位クラス施設の損傷，転倒，落下等による上位クラス施設への影響
 - ・下位クラス施設の転倒，落下及び倒壊に伴う上位クラス施設への衝突
 - ・可燃物を内包した下位クラス施設の損傷に伴う火災
 - ・水・蒸気を内包した下位クラス施設の損傷に伴う溢水
- ④ 建屋外における下位クラス施設の損傷，転倒，落下等による上位クラス施設への影響
 - (1) 施設の損傷，転倒，落下等による影響
 - ・下位クラス施設の転倒，落下及び倒壊に伴う上位クラス施設への衝突
 - ・可燃物を内包した下位クラス施設の損傷に伴う火災
 - ・水・蒸気を内包した下位クラス施設の損傷に伴う溢水
 - (2) 周辺斜面の崩壊による影響
 - ・周辺斜面の崩壊による土塊の衝突

3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

3.2.1 被害事例とその要因の整理

別記 2 に記載された事項のほかに考慮すべき事項がないかを確認するため、原子力施設情報公開ライブラリ（NUCIA：ニューシア）から、同公開ライブラリに登録された以下の地震を対象に、原子力発電所の被害情報を抽出した。また、女川原子力発電所の不適合情報から地震による被害情報を抽出した。

これまでの被害事例において、下位クラス施設の破損等による波及的影響を含めて上位クラス施設の安全機能が損なわれる事象は確認されていないため、被害事例は全て上位クラス施設以外のものとなるが、これらの地震被害の発生要因（原因）を整理し、3.1 項で検討した波及的影響の具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因がないかを検討した。

被害事例とその要因を整理した結果を添付資料 2-1 及び 2-2 に示す。

（対象とした情報）

(1) 添付資料 2-1

- ・宮城県沖地震（女川原子力発電所：平成 17 年 8 月）
- ・能登半島地震（志賀原子力発電所：平成 19 年 3 月）
- ・新潟県中越沖地震（柏崎刈羽原子力発電所：平成 19 年 7 月）
- ・駿河湾地震（浜岡原子力発電所：平成 21 年 8 月）
- ・東北地方太平洋沖地震（東海第二発電所，福島第二原子力発電所：平成 23 年 3 月^{*1}）

*1 NUCIA 最終報告を対象とした（福島第二は一部中間報告を対象）。

(2) 添付資料 2-2

- ・東北地方太平洋沖地震（女川原子力発電所：平成 23 年 3 月^{*2}）
- *2 不適合情報は合計 662 件と多数であるため、これまで当社ホームページや NUCIA 等で公表している件名について抜粋して添付資料 2-2 に示す。事象検討としては 662 件全件について実施しており下記の I～VI に分類されることを確認している。

添付資料 2-1 及び 2-2 の整理の結果、地震被害の発生要因は以下の I～VI に分類された。

[地震被害発生要因]

- I：地盤の不等沈下（液状化による影響を含む）による損傷
- II：建屋間の相対変位による損傷
- III：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等
- IV：周辺斜面の崩壊
- V：使用済燃料プールのスロッシングによる溢水

VI：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わない I ～ V 以外の要因等）

3.2.2 追加考慮すべき事象の検討

上記 I ～ VI の要因が 3.1 項で整理した①～④の検討事項の対象となっているかを第 3.2-1 表に整理した。

第 3.2-1 表に示すとおり， I ～ V の要因は①～④の検討事項に分類されており，いずれの検討事項にも分類されなかった要因は，「VI：その他（地震の揺れによる警報発信等，施設の損傷を伴わない I ～ V 以外の要因等）」であった。

要因 VI については，地震の揺れによる警報発信，機器の誤動作，避圧弁の動作等の要因並びに地震に起因する津波，火災及び溢水による要因である。このうち警報発信，機器の誤動作，避圧弁の動作等については，施設の損傷を伴わない要因であることから，波及的影響の観点で考慮すべき検討事項には当たらないと判断した。また，津波，火災及び溢水による影響については，3.3 項に示すとおり別途影響評価を実施していることから，ここでは検討の対象外とする。

以上のことから，波及的影響評価における検討事項①～④について，地震による原子力発電所の被害情報から確認された発生要因を踏まえても，特に追加すべき事項がないことが確認された。

第 3.2-1 表 地震被害事例の要因と検討事象の整理

番号	波及的影響評価における検討事項		地震被害発生要因
①	設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響	地盤の不等沈下による影響	I
		建屋間の相対変位による影響	II
②	上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響	接続部における相互影響	II, III
③	建屋内における下位クラス施設の損傷，転倒，落下等による上位クラス施設への影響	施設の損傷，転倒，落下等による影響	III, V
④	建屋外における下位クラス施設の損傷，転倒，落下等による上位クラス施設への影響	施設の損傷，転倒，落下等による影響	I, III
		周辺斜面の崩壊による影響	IV

3.3 津波，火災及び溢水による影響評価

地震に起因する津波，火災及び溢水による安全機能又は重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設への影響については，それぞれ津波側，火災側及び溢水側の説明書で影響評価を実施する。

津波の影響評価では，必要な津波防護対策（S クラス）を講じることにより，基準津波に対して施設の安全機能又は重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない設計としている。火災の影響評価では，地震による損傷の有無に関わらず，可燃物を内包している機器・配管系の全てが火災源となることを想定して施設の安全機能又は重大事故等に対処するために必要な機能への影響評価を実施している。また，溢水の影響評価では，水又は蒸気を内包している下位クラスの機器・配管系について，基準地震動 S_s に対する耐震性を確認できないものが溢水源となることを想定して施設の安全機能又は重大事故等に対処するために必要な機能への影響評価を実施することから，地震に起因する津波，火災及び溢水による波及的影響については，これらの影響評価に包絡される。

3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価

上位クラス施設については，基準地震動 S_s による地震力により周辺斜面の崩壊の影響がないことが確認された場所に設置する。具体的には「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」，「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術」及び「宅地防災マニュアルの解説」を参考に，個々の斜面高さを踏まえて対象斜面を抽出する。

上記に基づく対象斜面の抽出とその耐震安全性評価については，「女川原子力発電所第2号炉耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について」に記載しており，上位クラス施設の機能に対して影響がないことを確認している。また，上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設については，周辺斜面の崩壊による影響が無いことを確認した。確認方針，状況について添付資料3に示す。

3.5 液状化による影響評価

液状化による影響のうち不等沈下については，検討事項①に含まれるが，その他の被害想定として，浮き上がり及び側方流動による影響を確認する。

上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設については，敷地内の地下水位を適切に反映した上で，基準地震動 S_s に対して浮き上がり及び側方流動による変位によって，上位クラス施設への影響がないことを6.4項で確認する。

4. 上位クラス施設の確認

波及的影響評価を実施するに当たって、防護対象となる上位クラス施設は以下のとおりとする。

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震 S クラス施設（津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を含む。）
- (2) (1)の間接支持構造物である建物・構築物
- (3) 屋外重要土木構造物
- (4) 重大事故等対処施設のうち，常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備，常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）
- (5) (4)が設置される常設重大事故等対処施設（間接支持構造物である建物・構築物）

建屋外の上位クラス施設一覧を第 4-1 表に，建屋内の上位クラス施設一覧を第 4-2 表に示す。表中に記載の整理番号について附番方法は以下のとおりである。

例) 0 001

① ②

①：設備の種類を表すアルファベットの分類記号で，以下のとおり設備種別ごとに設定する。

0・・・屋外設備

E・・・機器配管系設備

V・・・弁

B・・・電気盤，制御盤

I・・・計測制御設備

②：①で分類した設備種別ごとに 001 番から順次附番する。

また，表中では原子炉建屋を R/B，制御建屋を C/B と表記する。設置場所に記載している番号は第 6.3-1 図に示すエリア番号と対応している。

第4-1表 女川2号機 建屋外上位クラス施設一覧表 (1/2)

整理番号	建屋外上位クラス施設	区分
0001	原子炉補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設
0002	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設
0003	RSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設
0004	RSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設
0005	RSWポンプ吐出連絡管止め弁	Sクラス SA施設
0006	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設
0007	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレナー	Sクラス SA施設
0008	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設
0009	HPSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設
0010	HPSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設
0011	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設
0012	原子炉格納容器下部注水系配管	SA施設
0013	原子炉補機代替冷却水系配管	SA施設
0014	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系配管	SA施設
0015	可搬型窒素ガス供給系配管	SA施設
0016	燃料プール代替注水系配管	SA施設
0017	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設
0018	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	SA施設
0019	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設
0020	復水貯蔵タンク外部注水入口弁	SA施設
0021	復水貯蔵タンク	SA施設
0022	復水貯蔵タンク水位計器架台	SA施設
0023	RSWポンプ出口圧力計器架台	Sクラス
0024	HPSWポンプ出口圧力計器架台	Sクラス
0025	排気筒	Sクラス SA施設
0026	防潮堤	Sクラス

整理番号	建屋外上位クラス施設	区分
0027	防潮壁	Sクラス
0028	逆流防止設備	Sクラス
0029	水密扉	Sクラス
0030	浸水防止蓋	Sクラス
0031	逆止弁付ファンネル	Sクラス
0032	貫通部止水処置	Sクラス
0033	津波監視カメラ	Sクラス
0034	取水ピット水位計	Sクラス
0035	原子炉建屋	Sクラス 間接支持構造物 SA施設
0036	制御建屋	間接支持構造物
0037	海水ポンプ室	屋外重要土木構造物 間接支持構造物 SA施設
0038	軽油タンク室	屋外重要土木構造物 間接支持構造物
0039	復水貯蔵タンク基礎	SA施設間接支持構造物
0040	軽油タンク連絡ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物
0041	排気筒連絡ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物
0042	原子炉機器冷却海水配管ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物
0043	緊急用電気品建屋	SA施設間接支持構造物
0044	ガスタービン発電設備軽油タンク室	SA施設間接支持構造物
0045	緊急時対策建屋	SA施設間接支持構造物
0046	取水口	屋外重要土木構造物 SA施設
0047	取水路	屋外重要土木構造物 SA施設
0048	3号機海水熱交換器建屋	間接支持構造物
0049	無線連絡設備 (屋外アンテナ)	SA施設
0050	衛星電話設備 (屋外アンテナ)	SA施設
0051	無線通信装置	SA施設
0052	取放水路流路縮小工	Sクラス

第 4-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設一覧表 (2/2)

整理番号	建屋外上位クラス施設	区分
0053	浸水防止壁	Sクラス
0054	揚水井戸	間接支持構造物
0055	3号機補機冷却海水系放水ピット	間接支持構造物
0056	3号機海水ポンプ室	間接支持構造物
0057	貯留堰	Sクラス SA施設
0058	衛星通信装置	SA施設
0059	復水貯蔵タンク水位	Sクラス

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (1/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置建屋	設置場所
E001	燃料集合体	Sクラス	R/B	PCV内
E002	原子炉圧力容器	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E003	炉心支持構造物	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E004	原子炉圧力容器支持構造物	Sクラス	R/B	PCV内
E005	原子炉圧力容器付属構造物	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E006	原子炉圧力容器内部構造物	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E007	使用済燃料プール	Sクラス SA施設	R/B	R-301
E008	使用済燃料貯蔵ラック	Sクラス SA施設	R/B	R-301
E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	Sクラス SA施設	R/B	R-301
E010	原子炉再循環ポンプ	Sクラス	R/B	PCV内
E011	原子炉再循環系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E013	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E014	主蒸気第一隔離弁用アキュムレータ	Sクラス	R/B	PCV内
E015	主蒸気第二隔離弁用アキュムレータ	Sクラス	R/B	R-B104
E016	主蒸気系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E017	復水給水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E018	残留熱除去系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	R-104
E019	残留熱除去系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B304, B305, B307
E020	残留熱除去系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E021	残留熱除去系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E022	高圧炉心スプレイスポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B306
E023	高圧炉心スプレイスストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E024	高圧炉心スプレイス配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E025	低圧炉心スプレイスポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B303
E026	低圧炉心スプレイスストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E027	低圧炉心スプレイス配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E028	原子炉隔離時冷却系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B307
E029	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	Sクラス SA施設	R/B	R-B307
E030	原子炉隔離時冷却系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
E032	原子炉補機冷却水ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
E033	原子炉補機冷却水サージタンク	Sクラス SA施設	R/B	R-301
E034	原子炉補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E035	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
E036	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E037	高圧炉心スプレイス補機冷却水系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	R-B310
E038	高圧炉心スプレイス補機冷却水ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B310
E039	高圧炉心スプレイス補機冷却水サージタンク	Sクラス SA施設	R/B	R-206
E040	高圧炉心スプレイス補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E041	高圧炉心スプレイス補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E042	原子炉冷却材浄化系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E043	制御棒駆動機構	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E044	水圧制御ユニット	Sクラス SA施設	R/B	R-B103, B106
E045	制御棒駆動水圧系配管	Sクラス SA施設	R/B	—

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置建屋	設置場所
E046	ほう酸水注入系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-206
E047	ほう酸水注入系貯蔵タンク	Sクラス SA施設	R/B	R-206
E048	ほう酸水注入系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E049	放射性ドレン移送系配管	Sクラス	R/B	—
E050	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA施設	R/B	R-105
E051	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA施設	R/B	R-105
E052	燃料プール冷却浄化系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E053	換気空調補機常用冷却水系配管	Sクラス	R/B	—
E054	換気空調補機非常用冷却水系配管	Sクラス	R/B C/B	—
E055	補給水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E056	高圧窒素ガス供給系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E057	所内用圧縮空気系配管	Sクラス	R/B	—
E058	計装用圧縮空気系配管	Sクラス	R/B	—
E059	サンプリング配管	Sクラス	R/B	—
E060	高圧窒素ガス供給系窒素ガスボンベラック	Sクラス	R/B	R-110, 111
E061	中央制御室送風機	Sクラス SA施設	C/B	C-B201, B202
E062	中央制御室排風機	Sクラス SA施設	C/B	C-B201, B202
E063	中央制御室再循環送風機	Sクラス SA施設	C/B	C-B201, B202
E064	中央制御室再循環フィルタ装置	Sクラス SA施設	C/B	C-B201
E065	ドライウエル	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E066	ドライウエルベント開口部	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E067	サブプレッショントラップ	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E068	ボックスサポート	Sクラス SA施設	R/B	R-B302
E069	機器搬出入用ハッチ	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E070	逃がし安全弁搬出入口	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E071	制御棒駆動機構搬出入口	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E072	所員用エアロック	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E073	原子炉格納容器配管貫通部	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E074	原子炉格納容器電気配線貫通部	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E075	ダウンカマ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E076	ベント管	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E077	ベント管ベローズ	Sクラス SA施設	R/B	PCV
E078	ベント管ヘッド	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E079	真空破壊装置	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E080	サブプレッショントラップスプレイス管	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E081	ドライウエルスプレイス管	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E082	原子炉格納容器スタビライザ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
E083	原子炉格納容器調気系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E084	非常用ガス処理系排風機	Sクラス SA施設	R/B	R-205
E085	非常用ガス処理系空気乾燥装置	Sクラス SA施設	R/B	R-205
E086	非常用ガス処理系フィルタ装置	Sクラス SA施設	R/B	R-205
E087	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設	R/B	—
E088	可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロフ	Sクラス	R/B	R-206
E089	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	Sクラス	R/B	R-206
E090	可燃性ガス濃度制御系配管	Sクラス	R/B	—

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (2/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置建屋	設置場所
E091	非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル機関	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
E092	非常用ディーゼル発電設備空気だめ	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
E093	非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンク	Sクラス SA施設	R/B	R-203
E094	非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル発電機	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
E095	非常用ディーゼル発電設備清水膨張タンク	Sクラス SA施設	R/B	R-M201, M203
E096	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E097	非常用ディーゼル発電設備清水冷却器	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E098	非常用ディーゼル発電設備潤滑油加熱器	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E099	非常用ディーゼル発電設備潤滑油加熱器ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E100	非常用ディーゼル発電設備潤滑油ブライミングポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E101	非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンク	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
E102	非常用ディーゼル発電設備潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E103	非常用ディーゼル発電設備潤滑油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
E104	非常用ディーゼル発電設備燃料油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
E105	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	Sクラス SA施設	軽油タンク室	DO-B102
E106	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	Sクラス SA施設	R/B 軽油タンク室	—
E107	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレィ系ディーゼル機関	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E108	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備空気だめ	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E109	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備燃料デイトンク	Sクラス SA施設	R/B	R-203
E110	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E111	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備清水膨張タンク	Sクラス SA施設	R/B	R-M202
E112	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備清水加熱器	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E113	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備清水冷却器	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E114	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備潤滑油加熱器	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E115	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備清水加熱器ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E116	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備潤滑油ブライミングポンプ	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E117	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E118	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備燃料油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E119	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	Sクラス SA施設	軽油タンク室	DO-B102
E120	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備発電機軸受潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	R-110
E121	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備燃料移送系配管	Sクラス SA施設	R/B 軽油タンク室	—
E122	軽油タンク	Sクラス SA施設	軽油タンク室	DO-B101
E123	SGTS室空調機	Sクラス	R/B	R-205
E124	FCS室空調機	Sクラス	R/B	R-206
E125	CAMS室空調機	Sクラス	R/B	R-205
E126	FPCポンプ室空調機	Sクラス	R/B	R-105
E127	LPSCポンプ室空調機	Sクラス	R/B	R-B203
E128	HPCSポンプ室空調機	Sクラス	R/B	R-B206
E129	RHRポンプ室空調機	Sクラス	R/B	R-B304, B305, B307
E130	D/G室非常用給気ケーシング	Sクラス	R/B	R-303
E131	換気空調補機非常用冷却水系冷水ポンプ	Sクラス	R/B	R-202
E132	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	Sクラス	R/B	R-202
E133	原子炉補機(A)室送風機	Sクラス	R/B	R-203
E134	原子炉補機(A)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	R-203
E135	原子炉補機(HPCS)室送風機	Sクラス	R/B	R-203

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置建屋	設置場所
E136	原子炉補機(HPCS)室排風機	Sクラス	R/B	R-203
E137	原子炉補機(HPCS)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	R-203
E138	原子炉補機(B)室送風機	Sクラス	R/B	R-203
E139	原子炉補機(B)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	R-203
E140	D/G(A)室非常用送風機	Sクラス	R/B	R-203
E141	D/G(HPCS)室非常用送風機	Sクラス	R/B	R-203
E142	D/G(B)室非常用送風機	Sクラス	R/B	R-203
E143	原子炉補機(A)室排風機	Sクラス	R/B	R-M203
E144	原子炉補機(B)室排風機	Sクラス	R/B	R-M201
E145	RCWポンプ(A)室空調機	Sクラス	R/B	R-B308
E146	RCWポンプ(B)室空調機	Sクラス	R/B	R-B309
E147	中央制御室給気ケーシング	Sクラス	C/B	C-B201, B202
E148	計測制御電源室給気ケーシング	Sクラス	C/B	C-B201, B202
E149	計測制御電源(A)室送風機	Sクラス	C/B	C-B201
E150	計測制御電源(A)室排風機	Sクラス	C/B	C-B201
E151	計測制御電源(B)室送風機	Sクラス	C/B	C-B202
E152	計測制御電源(B)室排風機	Sクラス	C/B	C-B202
E153	中央制御室換気空調系ダクト	Sクラス SA施設	C/B	—
E154	計測制御電源(A)室換気空調系ダクト	Sクラス	C/B	—
E155	計測制御電源(B)室換気空調系ダクト	Sクラス	C/B	—
E156	スキマサージタンク	SA施設	R/B	R-301
E157	高圧代替注水系タービンポンプ	SA施設	R/B	R-B207
E158	高圧代替注水系配管	SA施設	R/B	—
E159	代替高圧窒素ガス供給系配管	SA施設	R/B	—
E160	復水移送ポンプ	SA施設	R/B	R-B207
E161	原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置	SA施設	R/B	R-106
E162	原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置出口側圧力開放板	SA施設	R/B	R-106
E163	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設	R/B	—
E164	静的触媒式水素再結合装置	SA施設	R/B	R-301
E165	ガスタービン発電設備機関・発電機	SA施設	緊急用電気品 建屋	E-101
E166	ガスタービン発電設備軽油タンク	SA施設	ガスタービン発電 設備軽油タンク室	E0-B101
E167	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設	ガスタービン発電 設備軽油タンク室 緊急用電気品建屋	—
E168	ガスタービン発電設備燃料小出槽	SA施設	緊急用電気品 建屋	E-101
E169	中央制御室しゃへい壁	Sクラス SA施設	C/B	C-301
E170	中央制御室待避所遮蔽	SA施設	C/B	C-301
E171	中央制御室待避所加圧設備	SA施設	C/B	C-302
E172	緊急時対策所遮蔽	SA施設	緊急時対策建屋	TS-B203
E173	緊急時対策所非常用送風機	SA施設	緊急時対策建屋	TS-102
E174	緊急時対策所非常用フィルタ装置	SA施設	緊急時対策建屋	TS-102
E175	緊急時対策所加圧設備	SA施設	緊急時対策建屋	TS-B102
E176	緊急時対策所換気空調系ダクト	SA施設	緊急時対策建屋	—
E177	緊急時対策所軽油タンク	SA施設	緊急時対策建屋	TS-106
E178	緊急時対策所燃料移送系配管	SA施設	緊急時対策建屋	—
E179	代替循環冷却ポンプ	SA施設	R/B	R-B301
E180	原子炉建屋フロアアウトパネル	SA施設	R/B	R-302

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (3/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置建屋	設置場所
E181	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	SA施設	R/B	R-302
E182	直流駆動低圧注水系ポンプ	SA施設	R/B	R-B310
E183	直流駆動低圧注水系配管	SA施設	R/B	—
E184	遠隔手動弁操作設備	SA施設	R/B	R-111, B109
E185	緊急時対策所非常用給排水配管	SA施設	緊急時対策建屋	—
E186	原子炉換気空調系ダクト (二次格納施設バウンダリ)	Sクラス	R/B	—
E187	燃料プール代替注水系配管	SA施設	R/B	—
E188	燃料プールのスプレィ系配管	SA施設	R/B	—
E189	原子炉補機代替冷却水系配管	SA施設	R/B	—
E190	原子炉格納容器下部注水系配管	SA施設	R/B	—
E191	原子炉格納容器代替スプレィ冷却系配管	SA施設	R/B	—
E192	代替循環冷却系配管	SA施設	R/B	—
E193	可搬型窒素ガス供給系配管	SA施設	R/B	—

整理番号	建屋内上位クラス施設 (弁)	区分	設置建屋	設置場所
V001	主蒸気逃がし安全弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V002	主蒸気第一隔離弁	Sクラス	R/B	PCV内
V003	主蒸気第二隔離弁	Sクラス	R/B	R-B104
V004	主蒸気ドレンライン第一隔離弁	Sクラス	R/B	PCV内
V005	主蒸気ドレンライン第二隔離弁	Sクラス	R/B	R-B104
V006	原子炉給水逆止弁	Sクラス	R/B	R-B104
V007	FDW第二隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B104
V008	FDW第一隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V009	SLCタンク出口弁	Sクラス SA施設	R/B	R-206
V010	SLC注入電動弁	Sクラス SA施設	R/B	R-206
V011	RHRポンプS/C吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B304, B305, B307
V012	RHRポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B304, B305, B307
V013	RHR熱交換器バイパス弁	Sクラス SA施設	R/B	R-104
V014	RHR LPCI注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB101, MB102
V015	RHR LPCI注入試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V016	RHR熱交換器出口弁	Sクラス SA施設	R/B	R-104
V017	RHR格納容器スプレィ流量調整弁	Sクラス SA施設	R/B	R-105, 107
V018	RHR格納容器スプレィ隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-105, 107
V019	RHR S/Cスプレィ隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB201
V020	RHR停止時冷却吸込第一隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V021	RHR停止時冷却吸込第二隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB201
V022	RHRポンプ停止時冷却吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B304, B305
V023	RHR停止時冷却注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB201
V024	RHR停止時冷却試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V025	RHRヘッドスプレィ注入隔離弁	Sクラス	R/B	R-105
V026	RHRヘッドスプレィ注入逆止弁	Sクラス	R/B	PCV内
V027	RHRポンプミニマムフロー逆止弁	Sクラス	R/B	R-B304, B305, B307
V028	RHRポンプミニマムフロー弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB201
V029	LPCSポンプS/C吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B303
V030	LPCSポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B303
V031	LPCS注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB103
V032	LPCS注入ライン試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V033	LPCSポンプミニマムフロー逆止弁	Sクラス	R/B	R-B303
V034	LPCSポンプミニマムフロー弁	Sクラス	R/B	R-MB201
V035	HPCSポンプCST吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B306
V036	HPCSポンプCST吸込逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B306
V037	HPCS注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB103
V038	HPCS注入ライン試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
V039	HPCSポンプS/C吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B306
V040	HPCSポンプS/C吸込逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B306
V041	HPCSポンプCST側ミニマムフロー第一弁	Sクラス	R/B	R-MB201
V042	HPCSポンプS/C側ミニマムフロー弁	Sクラス	R/B	R-MB201
V043	RCICポンプCST吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B307
V044	RCICポンプCST吸込逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B307
V045	RCIC注入弁	Sクラス SA施設	R/B	R-MB201

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (4/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (弁)	区分	設置建屋	設置場所
V046	RCIC注入ライン試験可能逆止弁	スクラス SA施設	R/B	R-MB201
V047	RCICポンプS/C吸込弁	スクラス	R/B	R-B307
V048	RCICポンプS/C吸込逆止弁	スクラス	R/B	R-B307
V049	RCICタービン入口蒸気ライン第一隔離弁	スクラス SA施設	R/B	PCV内
V050	RCICタービン入口蒸気ライン第二隔離弁	スクラス SA施設	R/B	R-105
V051	RCICタービン止め弁	スクラス SA施設	R/B	R-B307
V052	RCICタービン排気ライン逆止弁	スクラス SA施設	R/B	R-B202
V053	RCICタービン排気ライン隔離弁	スクラス SA施設	R/B	R-B202
V054	RCICポンプミナマフロー逆止弁	スクラス	R/B	R-B307
V055	RCICポンプミナマフロー弁	スクラス	R/B	R-B202
V056	RCIC冷却水ライン止め弁	スクラス	R/B	R-B307
V057	RCIC冷却水ライン圧力調整弁	スクラス	R/B	R-B307
V058	RCIC真空ポンプ吐出ライン逆止弁	スクラス	R/B	R-B202
V059	RCIC真空ポンプ吐出ライン隔離弁	スクラス	R/B	R-B202
V060	CUW入口ライン第一隔離弁	スクラス	R/B	PCV内
V061	CUW入口ライン第二隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V062	CUW注入ライン逆止弁	スクラス	R/B	R-MB201
V063	FPC燃料プール再循環逆止弁	スクラス SA施設	R/B	R-105
V064	FPC燃料プール注入逆止弁	スクラス SA施設	R/B	R-301
V065	D/W LCWサンブ第一隔離弁	スクラス	R/B	PCV内
V066	D/W LCWサンブ第二隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V067	D/W HCWサンブ第一隔離弁	スクラス	R/B	PCV内
V068	D/W HCWサンブ第二隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V069	FPMUW燃料プール注入弁	スクラス	R/B	R-106
V070	HNCW供給ライン第二隔離弁	スクラス	R/B	R-B105
V071	HNCW戻りライン第一隔離弁	スクラス	R/B	PCV内
V072	HNCW戻りライン第二隔離弁	スクラス	R/B	R-B105
V073	中央制御室給気冷却コイル温度調節弁	スクラス	R/B	C-B202
V074	HECW往還差圧調節弁	スクラス	R/B	R-202
V075	計測制御電源室給気冷却コイル温度調節弁	スクラス	R/B	C-B201, B202
V076	原子炉補機室給気冷却コイル温度調節弁	スクラス	R/B	R-203
V077	RCWポンプ吐出逆止弁	スクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
V078	RCW熱交換器冷却水出口弁	スクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
V079	RCW冷却水供給温度熱交換器調節弁	スクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
V080	RCW冷却水供給温度調節弁後弁	スクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
V081	RCW冷却水供給温度ポンプ調節弁	スクラス	R/B	R-B308, B309
V082	RHR熱交換器冷却水出口弁	スクラス SA施設	R/B	R-104
V083	RCWサージタンク非常用補給水弁	スクラス	R/B	R-301
V084	非常用D/G冷却水出口弁	スクラス SA施設	R/B	R-B108, B110
V085	RCW常用冷却水緊急シャ断弁	スクラス	R/B	R-B308, B309
V086	RCW常用冷却水供給側分離弁	スクラス	R/B	R-B308, B309
V087	RCW常用冷却水戻り側分離弁	スクラス	R/B	R-B308, B309
V088	RCW常用冷却水戻り側逆止弁	スクラス	R/B	R-B308, B309
V089	RCW供給側第二隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V090	RCW供給側第一隔離逆止弁	スクラス	R/B	PCV内

整理番号	建屋内上位クラス施設 (弁)	区分	設置建屋	設置場所
V091	RCW戻り側第一隔離弁	スクラス	R/B	PCV内
V092	RCW戻り側第二隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V093	原子炉補機冷却海水系ストレーナ旋回弁	スクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
V094	RSWストレーナブロー弁	スクラス	R/B	R-B308, B309
V095	HPCWサージタンク非常用補給水弁	スクラス	R/B	R-206
V096	HPIN非常用窒素ガス入口弁	スクラス SA施設	R/B	R-110, 111
V097	HPIN常用非常用窒素ガス連絡弁	スクラス SA施設	R/B	R-106, 107
V098	非常用ガス処理系入口弁	スクラス SA施設	R/B	R-301
V099	非常用ガス処理系空気乾燥装置入口弁	スクラス SA施設	R/B	R-205
V100	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁	スクラス SA施設	R/B	R-205
V101	バージ用空気供給側隔離弁	スクラス	R/B	R-B103
V102	D/Wバージ用入口隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V103	S/Cバージ用入口隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V104	格納容器外真空逃がし逆止隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V105	格納容器外真空逃がし隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V106	補給用窒素ガス供給側第二隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V107	D/W補給用窒素ガス供給用第一隔離弁	スクラス SA施設	R/B	R-MB201
V108	S/C補給用窒素ガス供給用第一隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V109	バージ用窒素ガス供給側第二隔離弁	スクラス	R/B	R-B103
V110	D/Wベント用出口隔離弁	スクラス SA施設	R/B	R-107
V111	ベント用SGTS側隔離弁	スクラス	R/B	R-205
V112	ベント用HVAC側隔離弁	スクラス	R/B	R-107
V113	S/Cベント用出口隔離弁	スクラス SA施設	R/B	R-MB201
V114	D/Wベント用出口隔離弁バイパス弁	スクラス	R/B	R-107
V115	S/Cベント用出口隔離弁バイパス弁	スクラス	R/B	R-MB201
V116	PCV耐圧強化ベント用連絡配管隔離弁	スクラス SA施設	R/B	R-205
V117	PCV耐圧強化ベント用連絡配管止め弁	スクラス SA施設	R/B	R-205
V118	FCS入口隔離弁	スクラス	R/B	R-106, 107
V119	FCS出口隔離弁	スクラス	R/B	R-MB201
V120	RCICタービン入口蒸気ドレンライン第一弁	スクラス	R/B	R-B307
V121	RHRヘッドスプレイライン洗浄流量調節弁	スクラス SA施設	R/B	R-MB101
V122	RHR B系格納容器冷却ライン洗浄流量調整弁	SA施設	R/B	R-107
V123	原子炉再循環ポンプ吐出弁	スクラス	R/B	PCV内
V124	RHR試験用調整弁	スクラス SA施設	R/B	R-MB201
V125	CRD復水入口弁	SA施設	R/B	R-B211
V126	MUWCサンプリング取出止め弁	SA施設	R/B	R-B207
V127	復水貯蔵タンク常用, 非常用給水管連絡ライン止め弁	SA施設	R/B	R-B307
V128	FPMUWポンプ吸込弁	SA施設	R/B	R-B307
V129	復水貯蔵タンク常用, 非常用給水管連絡ライン逆止弁	SA施設	R/B	—
V130	R/B 1F 緊急時隔離弁	SA施設	R/B	R-104
V131	緊急時原子炉北側外部注水入口弁	SA施設	R/B	R-109
V132	T/B 緊急時隔離弁	SA施設	R/B	R-B207
V133	緊急時原子炉東側外部注水入口弁	SA施設	R/B	R-111
V134	FCVSベントライン隔離弁	SA施設	R/B	R-206
V135	FCVS窒素供給ライン止め弁	SA施設	R/B	—

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (5/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (弁)	区分	設置建屋	設置場所
V136	FCVS側PSA窒素供給ライン元弁	SA施設	R/B	—
V137	S/C側PSA窒素供給ライン第一隔離弁	SA施設	R/B	R-B202
V138	FPC熱交換器入口弁	SA施設	R/B	R-105
V139	FPCろ過脱塩装置バイパス弁	SA施設	R/B	R-M204
V140	FPCろ過脱塩装置出口弁	SA施設	R/B	R-M204
V141	FPCろ過脱塩装置入口第一弁	SA施設	R/B	R-M204
V142	FPCろ過脱塩装置入口第二弁	SA施設	R/B	R-M204
V143	中央制御室換気空調系ダンパ	Sクラス SA施設	C/B	—
V144	HPAC注入弁	SA施設	R/B	R-B207
V145	HPACタービン止め弁	SA施設	R/B	R-B207
V146	RCIC蒸気供給ライン分離弁	Sクラス SA施設	R/B	R-B103
V147	FPC熱交換器冷却水出口弁	Sクラス SA施設	R/B	R-105
V148	HECW冷凍機冷却水圧力調節弁	Sクラス SA施設	R/B	—
V149	RCW代替冷却システム用電動仕切弁	Sクラス SA施設	R/B	—
V150	FCVS排水移送ライン第二隔離弁	SA施設	R/B	—
V151	FCVS排水移送ライン第一隔離弁	SA施設	R/B	—
V152	原子炉格納容器下部注水用復水流量調整弁	SA施設	R/B	R-B103
V153	原子炉格納容器下部注水用復水仕切弁	SA施設	R/B	R-B103
V154	代替制御棒挿入機能用電磁弁	SA施設	R/B	R-B103, B106
V155	HPAC蒸気供給ライン分離弁	SA施設	R/B	R-B103
V156	代替HPIN窒素排気出口弁	SA施設	R/B	R-107
V157	代替HPIN第一隔離弁	SA施設	R/B	R-107
V158	DCLIポンプ吸込弁	SA施設	R/B	R-B306
V159	DCLI注入流量調整弁	SA施設	R/B	R-B306
V160	R/B B1F 緊急時隔離弁	SA施設	R/B	R-B106
V161	RCW代替冷却水不要負荷分離弁	SA施設	R/B	R-MB301, MB202
V162	RHR格納容器代替スプレイ注入元弁	SA施設	R/B	R-109, 111
V163	代替循環冷却ポンプ吸込弁	SA施設	R/B	R-B302
V164	代替循環冷却ポンプ流量調整弁	SA施設	R/B	R-B302
V165	代替循環冷却ポンプバイパス弁	SA施設	R/B	R-B301
V166	RHR MUWC連絡第一弁	SA施設	R/B	R-104
V167	RHR MUWC連絡第二弁	SA施設	R/B	R-104

整理番号	建屋内上位クラス施設 (電気盤等)	区分	設置建屋	設置場所
B001	460V制御建屋モータコントロールセンタ	Sクラス SA施設	C/B	C-B105
B002	125V蓄電池	Sクラス SA施設	C/B R/B	C-B205, B102, B106, MB101, R-M202
B003	125V直流受電パワーセンタ	Sクラス SA施設	C/B	C-B105
B004	125V充電器盤	Sクラス SA施設	C/B R/B	C-B105 R-B109
B005	125V直流主母線盤	Sクラス SA施設	C/B R/B	C-B105 R-B109, 101
B006	125V直流分電盤	Sクラス SA施設	C/B R/B	C-B105 R-B109
B007	無停電交流電源用静止型無停電電源装置	Sクラス	C/B	C-B105
B008	交流120V無停電交流分電盤	Sクラス	C/B	C-B105
B009	中央制御室用電源切替盤	Sクラス SA施設	C/B	C-B105
B010	中央制御室120V交流分電盤	Sクラス SA施設	C/B	C-B105
B011	6.9kVメタクラ	Sクラス SA施設	R/B 緊急用電気品 建屋 緊急時対策建屋	R-B107, B109, 204, E- B101, TS-104
B012	460Vパワーセンタ	Sクラス SA施設	R/B	R-B107, B109, 204
B013	460V原子炉建屋モータコントロールセンタ	Sクラス SA施設	R/B	R-B107, B110, 110, 111, 204
B014	125V直流RCICモータコントロールセンタ	Sクラス SA施設	R/B	R-B102
B015	高圧炉心スプレイ系120V交流分電盤2H	Sクラス	R/B	R-B109
B016	原子炉冷却制御盤	Sクラス	C/B	C-301
B017	原子炉制御盤	Sクラス	C/B	C-301
B018	原子炉補機制御盤	Sクラス	C/B	C-301
B019	原子炉保護系盤	Sクラス	C/B	C-301
B020	原子炉保護系試験盤	Sクラス	C/B	C-301
B021	原子炉系プロセス計装盤	Sクラス	C/B	C-301
B022	残留熱除去系(A)・低圧炉心スプレイ系盤	Sクラス	C/B	C-301
B023	残留熱除去系(B・C)盤	Sクラス	C/B	C-301
B024	高圧炉心スプレイ系盤	Sクラス	C/B	C-301
B025	原子炉隔離時冷却系盤	Sクラス	C/B	C-301
B026	格納容器第一隔離弁盤	Sクラス	C/B	C-301
B027	格納容器第二隔離弁盤	Sクラス	C/B	C-301
B028	自動減圧系盤	Sクラス	C/B	C-301
B029	FPC・FPMUW・SLC・MUWC・MUWP制御盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B030	トリップチャンネル盤	Sクラス	C/B	C-301
B031	FCS・SGTS盤	Sクラス	C/B	C-301
B032	サプレッションプール水温度記録監視盤	Sクラス	C/B	C-301
B033	格納容器計装配管隔離弁盤	Sクラス	C/B	C-301
B034	所内補機制御盤	Sクラス	C/B	C-301
B035	タービン発電機制御盤	Sクラス	C/B	C-301
B036	所内電源制御盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B037	非常用換気空調系盤	Sクラス	C/B	C-301
B038	HPCS系非常用換気空調系盤	Sクラス	C/B	C-301
B039	RCW・RSW盤	Sクラス	C/B	C-301
B040	RCICタービン制御盤	Sクラス	C/B	C-B105
B041	漏えい検出系盤	Sクラス	C/B	C-301
B042	計算機バッファ補助リレー盤	Sクラス	C/B	C-301
B043	M/C補助継電器盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B044	AM制御盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (6/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (電気盤等)	区分	設置建屋	設置場所
B045	中央制御室外原子炉停止装置盤	Sクラス	C/B	C-B103
B046	FCS SCR盤	Sクラス	R/B	R-B107, B109
B047	中央制御室端子盤	Sクラス	C/B	C-201, 202, 203
B048	非常用ディーゼル発電機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
B049	非常用ディーゼル発電機補機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
B050	非常用ディーゼル発電機シリコン整流器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
B051	非常用ディーゼル発電機界磁調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
B052	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-109, 111
B053	非常用ディーゼル発電機 NGR盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B107, B109
B054	非常用ディーゼル発電機 SCT盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B107, B109
B055	非常用ディーゼル発電機 PPT盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B107, B109
B056	非常用ディーゼル発電機 PT-CT盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B107, B109
B057	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	R-110
B058	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機補機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	R-110
B059	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機シリコン整流器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-110
B060	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機界磁調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-110
B061	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機自動電圧調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-110
B062	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 NGR盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B109
B063	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 SCT盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B109
B064	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 PPT盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B109
B065	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 PT-CT盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B109
B066	スクラム電磁弁ヒューズ盤	Sクラス	R/B	R-B103, B106
B067	PLRポンプ停止検出用不足電圧継電器盤	Sクラス	R/B	R-B208
B068	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	Sクラス	R/B	R-202
B069	HPCS交流分電盤2H用変圧器	Sクラス	R/B	R-B109
B070	動力変圧器	Sクラス SA施設	R/B 緊急時対策建屋	R-B109, 204, TS-104
B071	起動領域モニタ・安全系プロセス放射線モニタ盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B072	出力領域モニタ盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B073	出力領域モニタ補助盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B074	TIP制御盤	Sクラス	C/B	C-301
B075	格納容器内雰囲気モニタ盤	Sクラス SA施設	C/B	C-301
B076	SRNM前置増幅器盤	Sクラス SA施設	R/B	R-B103, B106
B077	安全系プロセス放射線モニタ多重伝送現場盤	Sクラス	R/B	R-B107, B110
B078	RSS盤用変圧器	Sクラス	C/B	C-B105
B079	125V代替蓄電池	SA施設	C/B	C-204
B080	125V代替充電器盤	SA施設	C/B	C-B104
B081	ガスタービン発電機接続盤	SA施設	緊急用電気品 建屋	E-B101
B082	250V蓄電池	SA施設	C/B	C-B203
B083	代替原子炉再循環ポンプトリップ遮断器	SA施設	R/B	R-B208
B084	HPAC制御盤	SA施設	C/B	C-301
B085	代替注水制御盤	SA施設	C/B	C-301
B086	DCLI制御盤	SA施設	C/B	C-301
B087	フィルタベント系制御盤	SA施設	C/B	C-301
B088	250V充電器盤	SA施設	C/B	C-B204
B089	125V直流電源切替盤	SA施設	R/B	R-101

整理番号	建屋内上位クラス施設 (電気盤等)	区分	設置建屋	設置場所
B090	460V原子炉建屋交流電源切替盤	SA施設	R/B	R-101, 204
B091	250V直流主母線盤	SA施設	C/B	C-B204
B092	緊急用電源切替操作盤	SA施設	C/B	C-301
B093	ガスタービン発電設備制御盤	SA施設	緊急用電気品 建屋	E-101
B094	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ接続盤	SA施設	緊急用電気品 建屋	E-101
B095	モータコントロールセンタ (緊急時対策所用)	SA施設	緊急時対策所	TS-104
B096	105V交流電源切替盤 (緊急時対策所用)	SA施設	緊急時対策所	TS-104
B097	105V交流分電盤 (緊急時対策所用)	SA施設	緊急時対策所	TS-104
B098	120V交流分電盤 (緊急時対策所用)	SA施設	緊急時対策所	TS-104
B099	210V交流分電盤 (緊急時対策所用)	SA施設	緊急時対策所	TS-104
B100	125V直流主母線盤 (緊急時対策所用)	SA施設	緊急時対策所	TS-104
B101	250V直流受電パワーセンタ	SA施設	C/B	C-B204
B102	120V原子炉建屋交流電源切替盤	SA施設	C/B	C-B204

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (7/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (計装)	区分	設置建屋	設置場所
I001	低圧炉心スプレイ系計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-B203
I002	原子炉系 (広域水位) 計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-B103, B106
I003	原子炉系 (狭域水位) 計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-105, 106, 107
I004	ドライウェル圧力計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-205, 206
I005	ジェットポンプ計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-B103, B106
I006	高圧炉心スプレイ系計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-B206
I007	主蒸気流量計装ラック	スクラス	R/B	R-B103, B106
I008	RHR-RCICエルボメータ計装ラック	スクラス	R/B	R-B103, B106
I009	RCICポンプ計器架台	スクラス SA施設	R/B	R-B307
I010	原子炉隔離時冷却系タービン計装ラック	スクラス	R/B	R-B207
I011	残留熱除去系計装ラック	スクラス SA施設	R/B	R-B307, B204, B207
I012	RHR C系計器架台	スクラス SA施設	R/B	R-B307
I013	RCW系統流量計器架台	スクラス SA施設	R/B	R-B308, B309
I014	RCW常用系入口流量計器架台	スクラス	R/B	R-B308
I015	HPCWポンプ計器架台	スクラス	R/B	R-B310
I016	RCICタービン排気ダイアフラム圧力II系計器架台	スクラス	R/B	R-B207
I017	CRDスクラム排出容器水位計器架台	スクラス	R/B	R-B103, B106
I018	S/C圧力, S/C-R/B差圧計器架台	スクラス	R/B	R-B103, B106
I019	ほう酸水注入系計器架台	スクラス	R/B	R-206
I020	RCICタービン計器架台	スクラス	R/B	R-B307
I021	原子炉圧力 (SA)	SA施設	R/B	R-105, 106, 107
I022	原子炉水位 (SA広帯域)	SA施設	R/B	R-B106
I023	原子炉水位 (SA燃料域)	SA施設	R/B	R-B103
I024	原子炉圧力容器温度	SA施設	R/B	PCV内
I025	サブプレッションプール水温度	スクラス SA施設	R/B	PCV内
I026	サブプレッションプール水位	スクラス	R/B	R-B306
I027	圧力抑制室水位	スクラス SA施設	R/B	R-B303, B304, B306
I028	原子炉建屋外気間差圧	スクラス	R/B	R-301, 302
I029	格納容器内雰囲気モニタサンプリングラック	スクラス SA施設	R/B	R-205
I030	格納容器内雰囲気モニタ校正ラック	スクラス SA施設	R/B	R-205
I031	格納容器内雰囲気モニタヒータ制御盤	スクラス	R/B	R-202, 203
I032	格納容器内雰囲気酸素濃度	スクラス SA施設	R/B	R-205
I033	格納容器内雰囲気酸素濃度	スクラス SA施設	R/B	R-205
I034	格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W)	スクラス SA施設	R/B	R-B103, B105
I035	格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C)	スクラス SA施設	R/B	R-B202
I036	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置	SA施設	R/B	R-301
I037	SLCポンプ潤滑油圧力	スクラス	R/B	R-206
I038	RCWサージタンク水位	スクラス	R/B	R-301
I039	RCWサージタンク降水管水位	スクラス	R/B	R-206
I040	HPCWサージタンク水位	スクラス	R/B	R-206
I041	HPCWサージタンク降水管水位	スクラス	R/B	R-107
I042	RSWストレーナ差圧	スクラス	R/B	R-B308, B309
I043	SGTSトレイン出口流量	スクラス	R/B	R-301
I044	フィルタ装置チャコールエアフィルタ入口温度	スクラス	R/B	R-205
I045	フィルタ装置チャコールエアフィルタ温度	スクラス	R/B	R-205

整理番号	建屋内上位クラス施設 (計装)	区分	設置建屋	設置場所
I046	フィルタ装置チャコールエアフィルタ出口温度	スクラス	R/B	R-205
I047	非常用D/G計装ラック	スクラス	R/B	R-109, 110, 111
I048	非常用D/G二次冷却水差圧計器架台	スクラス	R/B	R-B108, B110
I049	HPCS D/G計装ラック	スクラス	R/B	R-109, 111
I050	燃料デイトンク油面	スクラス	R/B	R-203
I051	オイルパン油面	スクラス	R/B	R-110
I052	D/G室温度	スクラス	R/B	R-109, 110, 111
I053	D/G速度	スクラス	R/B	R-109, 110, 111
I054	RCW冷却水供給温度	スクラス	R/B	R-B308, B309
I055	FCS入口ガス流量	スクラス	R/B	R-206
I056	FCSブロワ入口圧力	スクラス	R/B	R-206
I057	FCSブロワ入口流量	スクラス	R/B	R-206
I058	FCSブロワ入口温度	スクラス	R/B	R-206
I059	FCS加熱管内ガス温度	スクラス	R/B	R-206
I060	FCS加熱管出口ガス温度	スクラス	R/B	R-206
I061	FCS加熱管表面温度	スクラス	R/B	R-206
I062	FCS再結合器表面温度	スクラス	R/B	R-206
I063	FCS冷却器出口ガス温度	スクラス	R/B	R-206
I064	HECW冷水往還差圧	スクラス	R/B	R-202
I065	HECW冷水還温度	スクラス	R/B	R-202
I066	HECW冷凍機冷水出口流量	スクラス	R/B	R-202
I067	原子炉補機室給気温度	スクラス	R/B	R-203
I068	R/B主蒸気管漏えい検出 (周囲温度)	スクラス	R/B	R-B104, M205
I069	R/B主蒸気管漏えい検出 (給気温度)	スクラス	R/B	R-B104
I070	R/B主蒸気管漏えい検出 (排気温度)	スクラス	R/B	R-B104
I071	RHR熱交室漏えい検出 (周囲温度)	スクラス	R/B	R-104
I072	RHRポンプ室漏えい検出 (周囲温度)	スクラス	R/B	R-B304, B305
I073	RHR熱交室漏えい検出 (給気温度)	スクラス	R/B	R-104
I074	RHRポンプ室漏えい検出 (給気温度)	スクラス	R/B	R-B304, B305
I075	RHR熱交室漏えい検出 (排気温度)	スクラス	R/B	R-104
I076	RHRポンプ室漏えい検出 (排気温度)	スクラス	R/B	R-B304, B305
I077	RCIC機器室漏えい検出 (周囲温度)	スクラス	R/B	R-B307
I078	RCIC機器室漏えい検出 (給気温度)	スクラス	R/B	R-B307
I079	RCIC機器室漏えい検出 (排気温度)	スクラス	R/B	R-B307
I080	CUW非再生熱交室漏えい検出 (周囲温度)	スクラス	R/B	R-B207
I081	CUW非再生熱交室漏えい検出 (周囲温度)	スクラス	R/B	R-B207
I082	CUW非再生熱交室漏えい検出 (給気温度)	スクラス	R/B	R-B207
I083	CUW非再生熱交室漏えい検出 (給気温度)	スクラス	R/B	R-B207
I084	CUW非再生熱交室漏えい検出 (排気温度)	スクラス	R/B	R-B207
I085	CUW非再生熱交室漏えい検出 (排気温度)	スクラス	R/B	R-B207
I086	計測制御電源室給気温度	スクラス	C/B	C-B101
I087	中央制御室還気温度	スクラス	C/B	C-B201
I088	格納容器内雰囲気モニタブリアンプ収納箱	スクラス SA施設	R/B	R-B107, B110
I089	高圧代替注水系ポンプ出口流量	SA施設	R/B	R-B207
I090	高圧代替注水系ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	R-B207

第4-2表 女川2号機 建屋内上位クラス施設一覧表 (8/8)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (計装)	区分	設置建屋	設置場所
I091	残留熱除去系洗浄ライン流量	SA施設	R/B	R-B103, 107
I092	残留熱除去系熱交換器入口温度	SA施設	R/B	R-104
I093	残留熱除去系熱交換器出口温度	SA施設	R/B	R-104
I094	ほう酸水注入系ポンプ出口圧力	Sクラス	R/B	R-206
I095	原子炉格納容器下部注水流量	SA施設	R/B	R-B103
I096	原子炉格納容器代替スプレイ流量	SA施設	R/B	R-104, 107
I097	ドライウエル温度	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
I098	圧力抑制室内空気温度	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
I099	圧力抑制室圧力	SA施設	R/B	R-B106
I100	原子炉格納容器下部水位	SA施設	R/B	PCV内
I101	ドライウエル水位	SA施設	R/B	PCV内
I102	格納容器内水素濃度(D/W)	SA施設	R/B	PCV内
I103	格納容器内水素濃度(S/C)	SA施設	R/B	PCV内
I104	起動領域モニタ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
I105	出力領域モニタ	Sクラス SA施設	R/B	PCV内
I106	フィルタ装置入口圧力 (広帯域)	SA施設	R/B	R-109
I107	フィルタ装置出口圧力 (広帯域)	SA施設	R/B	R-106
I108	フィルタ装置水位 (広帯域)	SA施設	R/B	R-B105
I109	フィルタ装置水温度	SA施設	R/B	R-106
I110	フィルタ装置出口水素濃度	SA施設	R/B	R-206
I111	フィルタ装置出口放射線モニタ	SA施設	R/B	R-203
I112	残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量	SA施設	R/B	R-B103, B106
I113	原子炉建屋内水素濃度	SA施設	R/B	R-B202, B105, 104, 107, 301
I114	使用済燃料プール水位/温度	SA施設	R/B	R-301
I115	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量, 低線量)	SA施設	R/B	R-301
I116	使用済燃料プール監視カメラ	SA施設	R/B	R-302
I117	差圧計	SA施設	C/B 緊急時対策建屋	C-302 TS-B203
I118	安全パラメータ表示システム (SPDS)	SA施設	C/B 緊急時対策建屋	C-301 TS-B202, 203
I119	統合原子力防災ネットワークに接続する 通信連絡設備	SA施設	緊急時対策建屋	TS-B203
I120	データ伝送設備	SA施設	C/B 緊急時対策建屋	C-301 TS-B202
I121	データ表示装置	SA施設	C/B	C-302
I122	代替循環冷却ポンプ出口流量	SA施設	R/B	R-B301
I123	代替循環冷却ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	R-B301
I124	HPIN ADS入口圧力	Sクラス SA施設	R/B	R-106, 107
I125	直流駆動低圧注水系ポンプ出口流量	SA施設	R/B	R-B310
I126	直流駆動低圧注水系ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	R-B310
I127	原子炉格納容器下部温度	SA施設	R/B	PCV内
I128	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA施設	R/B	R-201
I129	代替HPIN窒素ガス供給止め弁入口圧力	SA施設	R/B	R-110, 111
I130	復水移送ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	R-B207
I131	無線連絡設備 (固定型)	SA施設	C/B 緊急時対策建屋	C-301, 302, TS-B203
I132	衛星電話設備 (固定型)	SA施設	C/B 緊急時対策建屋	C-301, 302, TS-B203

5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法

3 項で整理した各検討事象を基に，上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フローを作成し，当該フローに基づき影響評価を実施する。

5.1 相対変位又は不等沈下による影響

(1) 地盤の不等沈下による影響

第 5.1-1 図のフローに従い，上位クラス施設及びそれらの間接支持構造物である建物・構築物の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し，波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

地盤の不等沈下による下位クラス施設の傾きや倒壊を想定しても，上位クラス施設に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し，離隔距離が十分でない下位クラス施設を抽出する。

b. 耐震性の確認

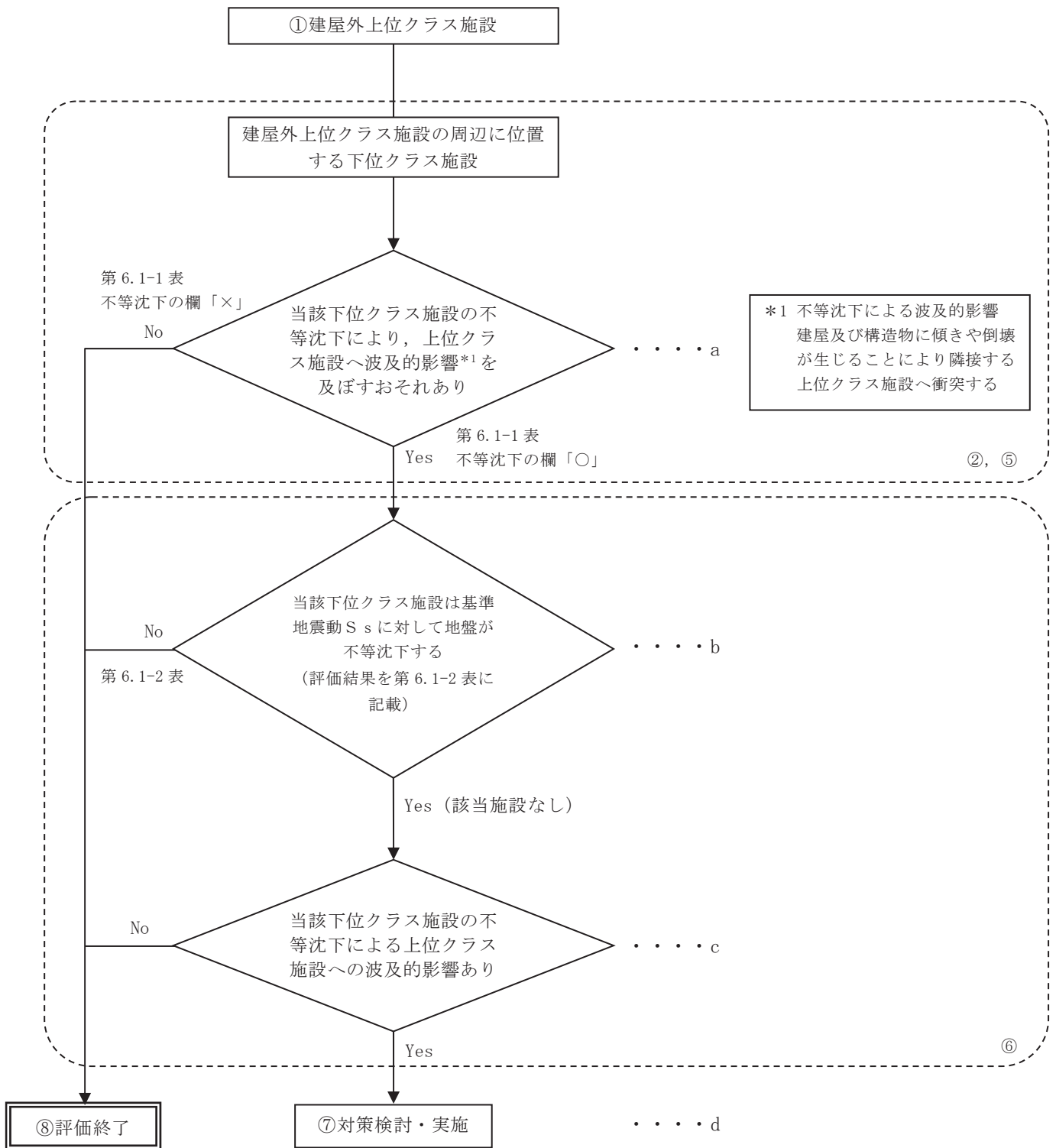
a 項で抽出した下位クラス施設について，基準地震動 S_s に対して十分な支持性能を持つ岩盤に設置されていることの確認により，不等沈下しないことを確認する。

c. 不等沈下に伴う波及的影響の評価

b 項で地盤の不等沈下のおそれが否定できない下位クラス施設については，傾きや倒壊を想定し，これらによる上位クラス施設への影響を確認し，上位クラス施設の機能を損なわないことを確認する。

d. 対策検討

c 項で上位クラス施設の機能を損なうおそれが否定できない下位クラス施設に対して，基礎地盤の補強や周辺の地盤改良等を行い，不等沈下による下位クラス施設の波及的影響を防止する。



*フロー中の①, ②, ⑤~⑧の数字は第2.1-1図中の①, ②, ⑤~⑧に対応する。

第5.1-1図 不等沈下による建屋外上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フロー

(2) 建屋間の相対変位による影響

第 5.1-2 図のフローに従い、上位クラス施設及びそれらの間接支持構造物である建物・構築物の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

地震による建屋間の相対変位を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない下位クラス施設を抽出する。

b. 耐震性の確認

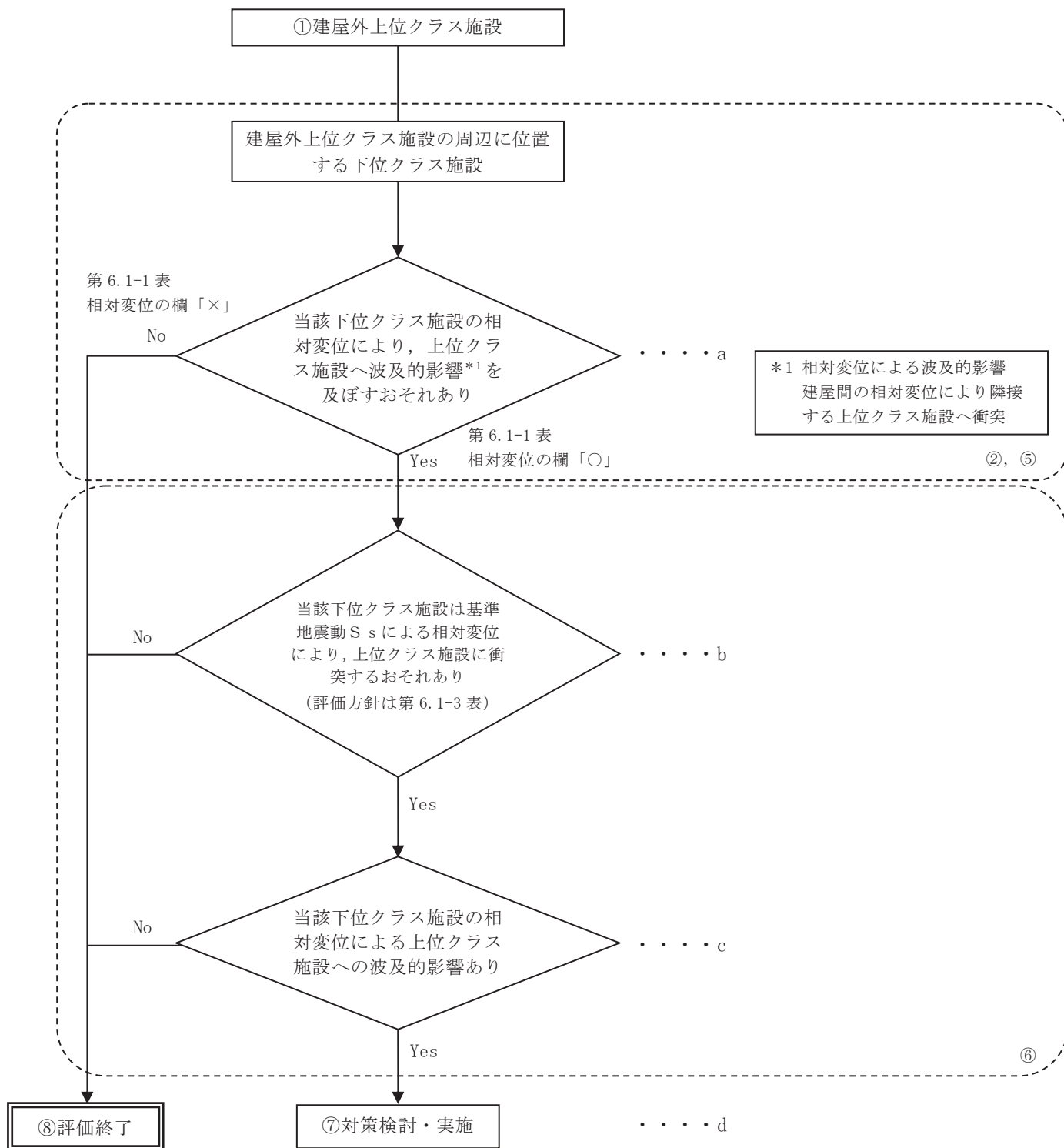
a 項で抽出した下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して建屋間の相対変位による上位クラス施設への衝突がないことを確認する。

c. 相対変位に伴う波及的影響の評価

b 項で衝突のおそれが否定できない下位クラス施設について、衝突部分の接触状況を確認し、建屋全体又は局部評価を実施し、衝突に伴い、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

d. 対策検討

c 項で上位クラス施設の機能を損なうおそれが否定できない下位クラス施設に対して、建屋の補強等を行い、建屋間の相対変位等による下位クラス施設の波及的影響を防止する。



* フロー中の①, ②, ⑤~⑧の数字は第 2.1-1 図中の①, ②, ⑤~⑧に対応する。

第 5.1-2 図 相対変位による建屋外上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある
下位クラス施設の抽出及び評価フロー

5.2 接続部における相互影響

第 5.2-8 図のフローに従い、上位クラス施設と接続する下位クラス施設を抽出し、波及的影響を検討する。

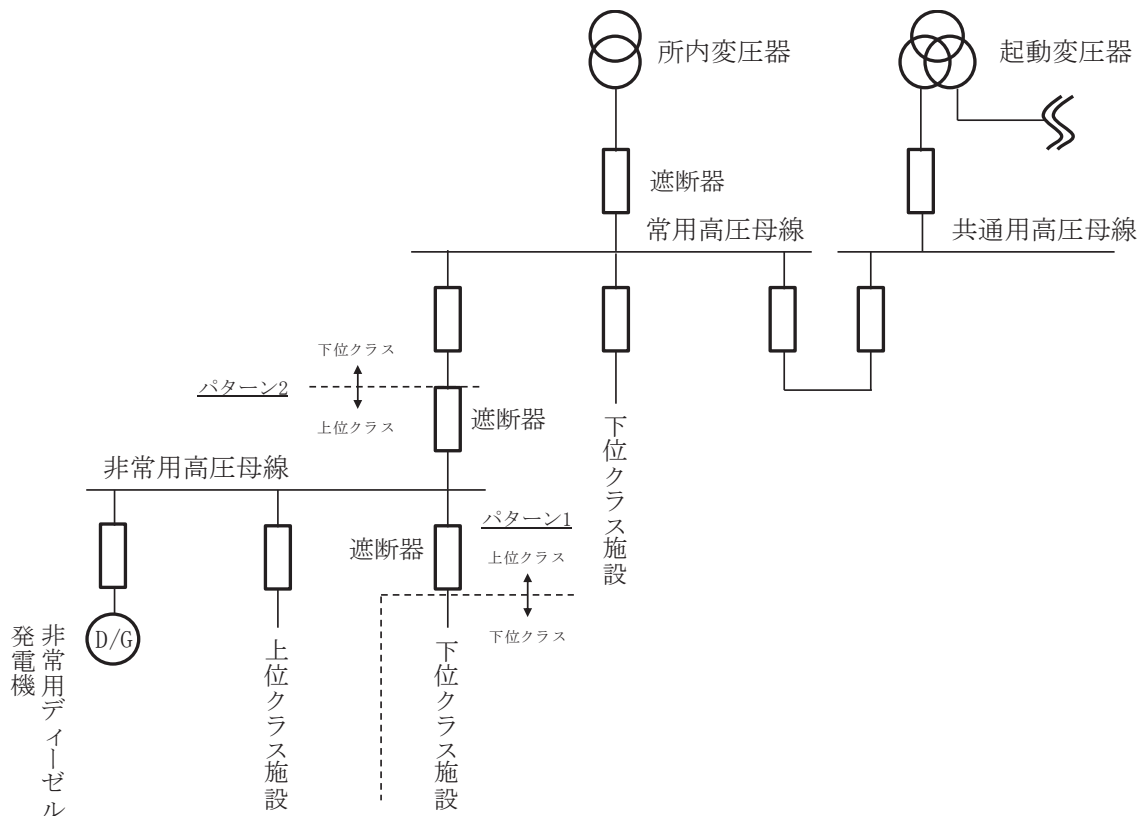
なお、接続部における相互影響のうち、下位クラス配管破損時の機械的荷重による影響及び環境温度への影響については添付資料 9 に示す。

a. 接続部の抽出

上位クラス施設と下位クラス施設が接続する箇所を抽出する。ここで、電気設備、計測制御設備、原子炉格納容器貫通部、空気駆動弁（以下「A0 弁」という。）駆動用空気供給配管接続部及び弁グランド部漏えい検出配管接続部については、以下のとおり設計上の配慮がなされているため抽出の対象外とする。

(a) 電気設備

受電系統について、上位クラス施設と下位クラス施設は基本的に系統的に分離した設計としているが、第 5.2-1, 2 図の受電系統概念図にあるように一部の受電系統においては上位クラス施設と下位クラス施設との接続がある。このため、上位クラス施設と下位クラス施設と接続するパターンを下記のように整理した。



第 5.2-1 図 受電系統概念図（パターン 1, 2）

[パターン 1]

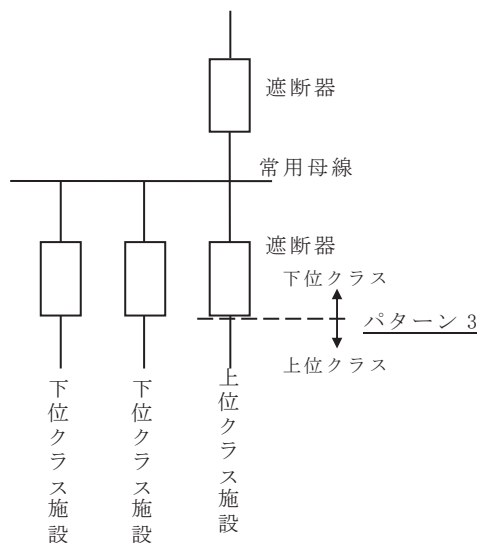
第 5.2-1 図のパターン 1 に示すように上位クラスの電源盤と下位クラス施設が接続し，上位クラスの電源盤から下位クラス施設に給電する場合，上位クラスの電源盤と下位クラス施設は遮断器を介して接続されており，下位クラス施設の故障が生じた場合においても，上位クラスの電源盤の遮断器が動作することで事故範囲を隔離し，上位クラスの電源盤の機能に影響を与えない設計としている。

[パターン 2]

第 5.2-1 図のパターン 2 のように上位クラス施設である非常用高圧母線と下位クラス施設が接続し，下位クラス施設から非常用高圧母線に給電する場合，上位クラスの電源盤と下位クラス施設は遮断器を介して接続されており，下位クラス施設の故障が生じた場合には，上位クラスの電源盤の遮断器が動作することにより事故範囲を隔離する。この際，非常用高圧母線が停電するが非常用ディーゼル発電機が自動起動し，非常用高圧母線に給電するため，上位クラス施設である非常用高圧母線が機能喪失しない設計としている。

[パターン 3]

パターン 1，2 以外に考えられる上位クラス施設と下位クラス施設が接続する組合せとして，第 5.2-2 図のように下位クラスの電源盤から上位クラス施設に給電するパターンが挙げられる。この場合，下位クラスの電源盤の故障により上位クラス施設が機能喪失することとなるが，女川 2 号機においては本パターンのような系統はない。



第 5.2-2 図 受電系統概念図 (パターン 3)

以上より，電気設備については，上位クラス施設に接続する下位クラス施設の故障が上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがない設計としている。

(b) 計測制御設備

計測制御設備について，非常用系（上位クラス施設）と常用系（下位クラス施設）は原則物理的に分離しているが，制御信号及び計装配管の一部に上位クラス施設と下位クラス施設との接続部がある。このため，上位クラス施設と下位クラス施設と接続するパターンを下記のように整理した。

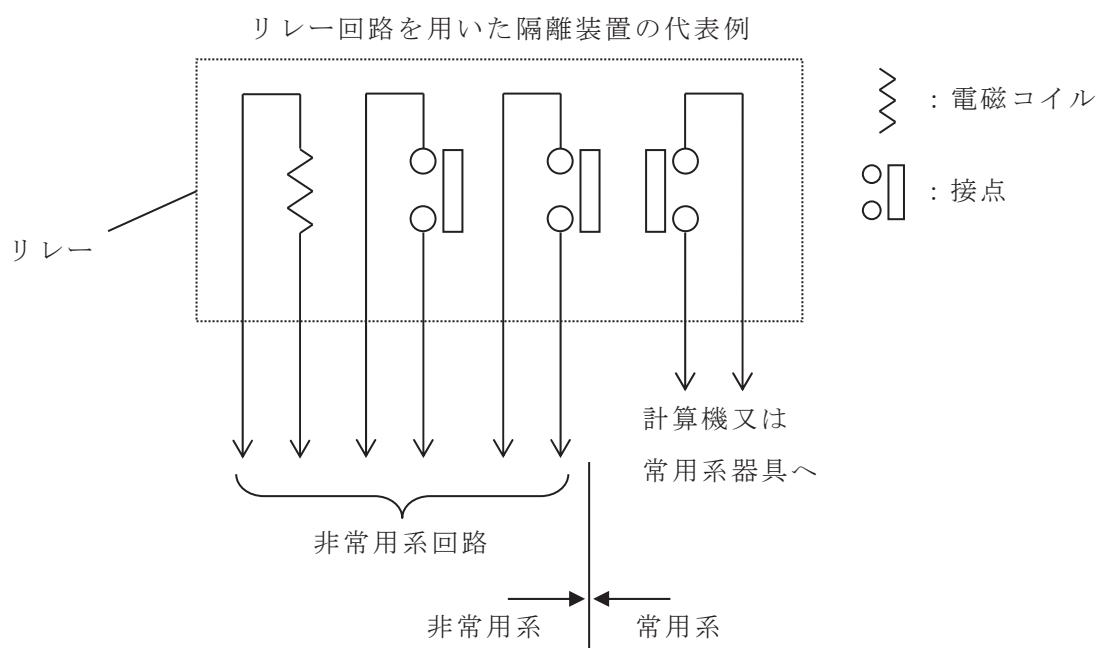
i) 制御信号

制御信号について，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として下記のパターンが考えられる。

- ①非常用系（上位クラス）から常用系（下位クラス）に伝送する
- ②常用系（下位クラス）から非常用系（上位クラス）に伝送する

このうち，②のパターンについては女川2号機において存在しない。

①については，信号伝送における第5.2-3図の分離概念図に示すとおり，フォトプラやリレー回路などの隔離装置を介することにより，電氣的に分離されており，常用系（下位クラス）の故障が非常用系（上位クラス）に波及することがない設計としている。



ii) 計装配管

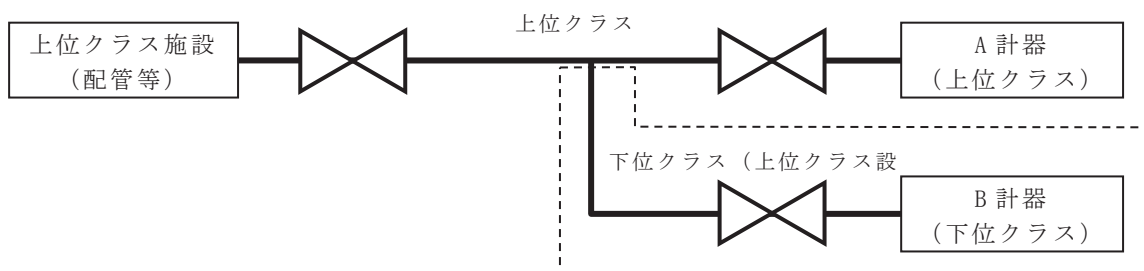
計装配管について、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として下記のパターンが考えられる。

- ①上位クラスの機器に下位クラスの計器の計装配管が接続されている
- ②下位クラスの機器に上位クラスの計器の計装配管が接続されている
- ③上位クラスの計器の常用時における計測のために、計装用圧縮空気系(下位クラス)が接続されている

このうち、②については女川 2 号機において存在しない。①については、上位クラスの計器と下位クラスの計器が接続されているパターンと上位クラスの機器(原子炉圧力容器)の計測装置として下位クラスの機器が接続されているパターンがあるため、それぞれパターン①-1、①-2 と分類し、③についてはパターン③と分類して下記のとおり整理した。

[パターン①-1]

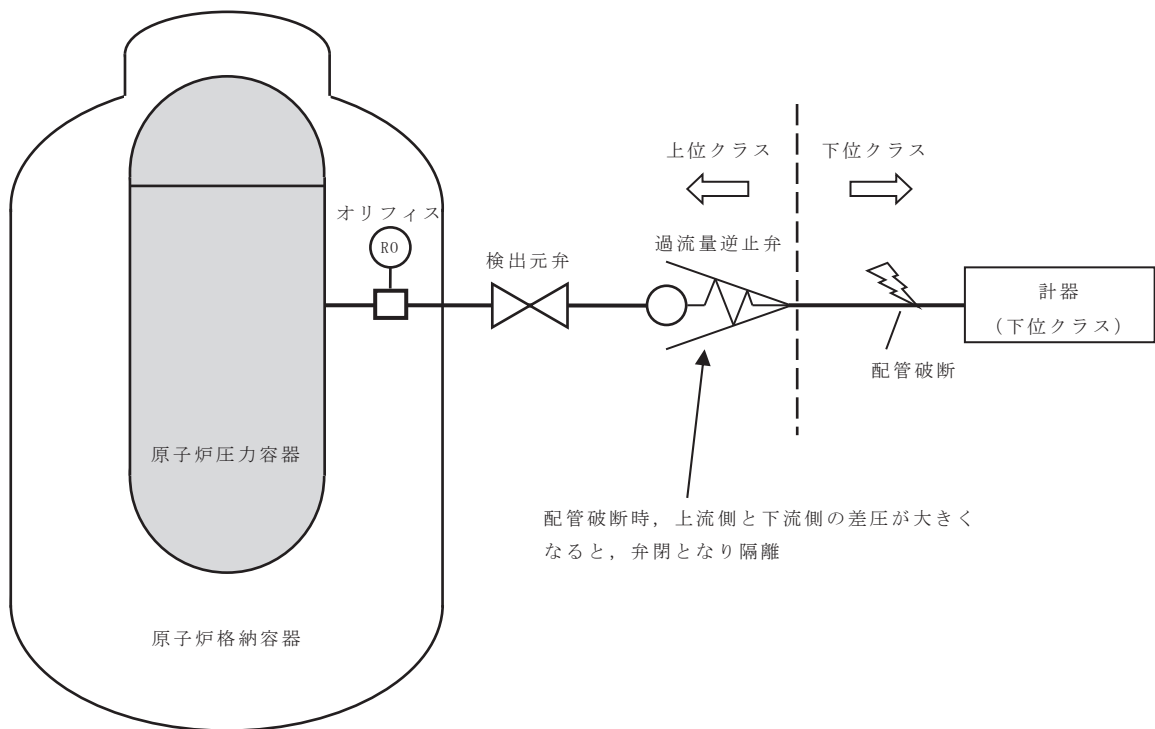
上位クラスと下位クラスの計装配管が接続部を有している場合、第 5.2-4 図に示すとおり、計装配管の耐震設計は上位クラス的设计に合わせているため波及的影響はない。



第 5.2-4 図 計装配管の耐震設計概念図

[パターン①-2]

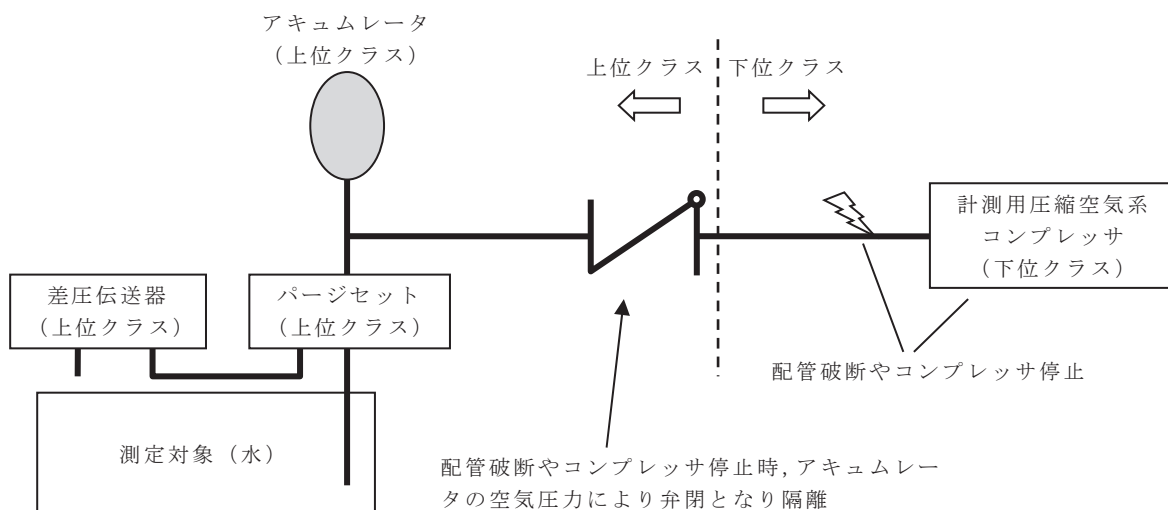
原子炉圧力容器（上位クラス）に接続されている下位クラスの計器については、第 5.2-5 図の原子炉圧力容器からの計装ライン構成概念図に示すとおり、過流量逆止弁の下流側は下位クラスの設計としている。ただし、原子炉圧力容器に接続されている計装配管には、原子炉格納容器内側に流量制限オリフィスを設けるとともに、原子炉格納容器外側には過流量逆止弁を設置しており、万一、下位クラス範囲で配管破断が発生した場合でも、差圧大で瞬時に過流量逆止弁が閉となるため、原子炉冷却材圧力バウンダリは隔離される。



第 5.2-5 図 原子炉圧力容器からの計装ライン構成概念図

[パターン③]

上位クラスの計器の常用時における測定のために、計測用圧縮空気系（下位クラス）を使用している場合、第 5.2-6 図に示すとおり、計装用圧縮空気系の機能喪失時には逆止弁により計測用圧縮空気系との接続を隔離し、上位クラスのアキュムレータにより計測を継続するため、波及的影響はない。



第 5.2-6 図 計装用圧縮空気系と上位クラスの計器との接続概念図

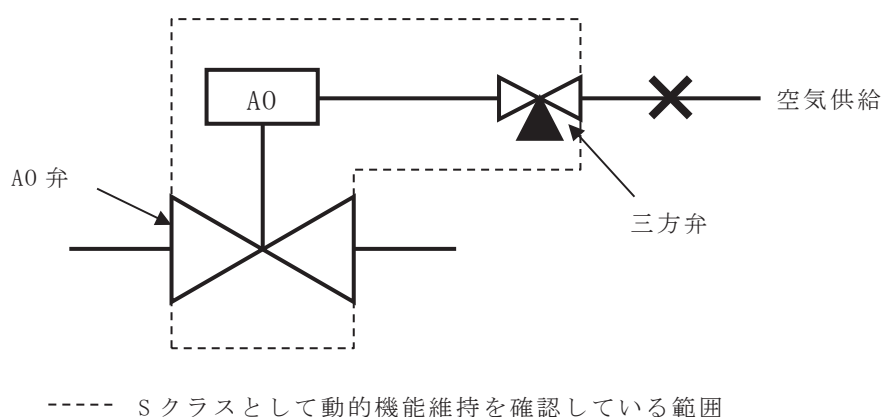
以上より、計測制御設備については、上位クラス施設に接続する下位クラス施設の故障が上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがない設計としている。

(c) 原子炉格納容器貫通部

原子炉格納容器貫通部については、前後の隔離弁を含めて上位クラス施設として設計されており、接続する下位クラスの配管が破損した場合においても隔離弁の健全性は保たれ、原子炉格納容器バウンダリとしての貫通部の機能に波及的影響を及ぼすおそれがない設計としている。

(d) A0 弁駆動用空気供給配管接続部

上位クラスの配管に設置される A0 弁駆動用の空気供給配管は、上位クラス施設として設計されてはいないが、仮に空気供給配管が破損した場合でも、A0 弁はフェイルセーフ側に動作するため、上位クラス施設の安全機能は喪失しないことから、抽出の対象外としている。なお、空気供給配管の供給側で閉塞が発生したとしても A0 弁はフェイルセーフ側に動作しないが、動作要求信号が発生すれば、三方弁から支障なく排気されることから A0 弁の機能に影響を与えない。また、空気供給配管の A0 弁側については S クラスの A0 弁とあわせて動的機能維持を確認している範囲であるため閉塞しない。



第 5.2-7 図 A0 弁概念図

(e) 弁グランド部漏えい検出配管接続部

上位クラスの配管に設置される弁のグランド部に接続される弁グランド部漏えい検出配管については、下位クラス施設であるが、仮に弁グランド部漏えい検出配管が破損した場合でも、上位クラス施設である弁の機能に影響がないことから抽出の対象外としている。

b. 影響評価対象の選定

a 項で抽出された機器、配管系を影響評価対象とする。

ただし、a 項で抽出した接続部のうち、上位クラス施設として設計された弁又はダンパにより常時隔離されているものは、接続する下位クラスの配管が破損した場合においても健全性は確保されるため評価対象外とする。

c. 影響評価

b 項で抽出した下位クラス施設について、下位クラス施設が損傷した場合の系

統隔離等に伴うプロセス変化により，上位クラス施設の過渡条件が設計の想定範囲内であることを確認する。

なお，下位クラス配管の損傷形態として破損と閉塞が考えられるが，接続部の影響評価においては破損について検討する。閉塞事象は配管が軸直交方向に大きな荷重を受けて折れ曲がり，流路を完全に遮断することで発生するが，地震荷重は交番荷重であることや材料のシェイクダウンを考慮すると，完全に閉塞が発生することは考え難い。また，周辺の下位クラス施設の損傷等の影響による閉塞については，周辺に損傷等により影響を及ぼす下位クラス施設がないことを確認しており検討対象外となる。さらに下位クラス施設が建屋間を渡って敷設されている場合には，相対変位や不等沈下による損傷等も考えられるが，女川2号機では，建屋間を渡る下位クラス施設については全てバウンダリ弁を介して上位クラス施設と隔離していることから検討対象外となる。したがって，下位クラス配管の損傷形態としては破損を考慮するものである。下位クラス配管の損傷形態の検討については，参考資料1に詳細を示す。

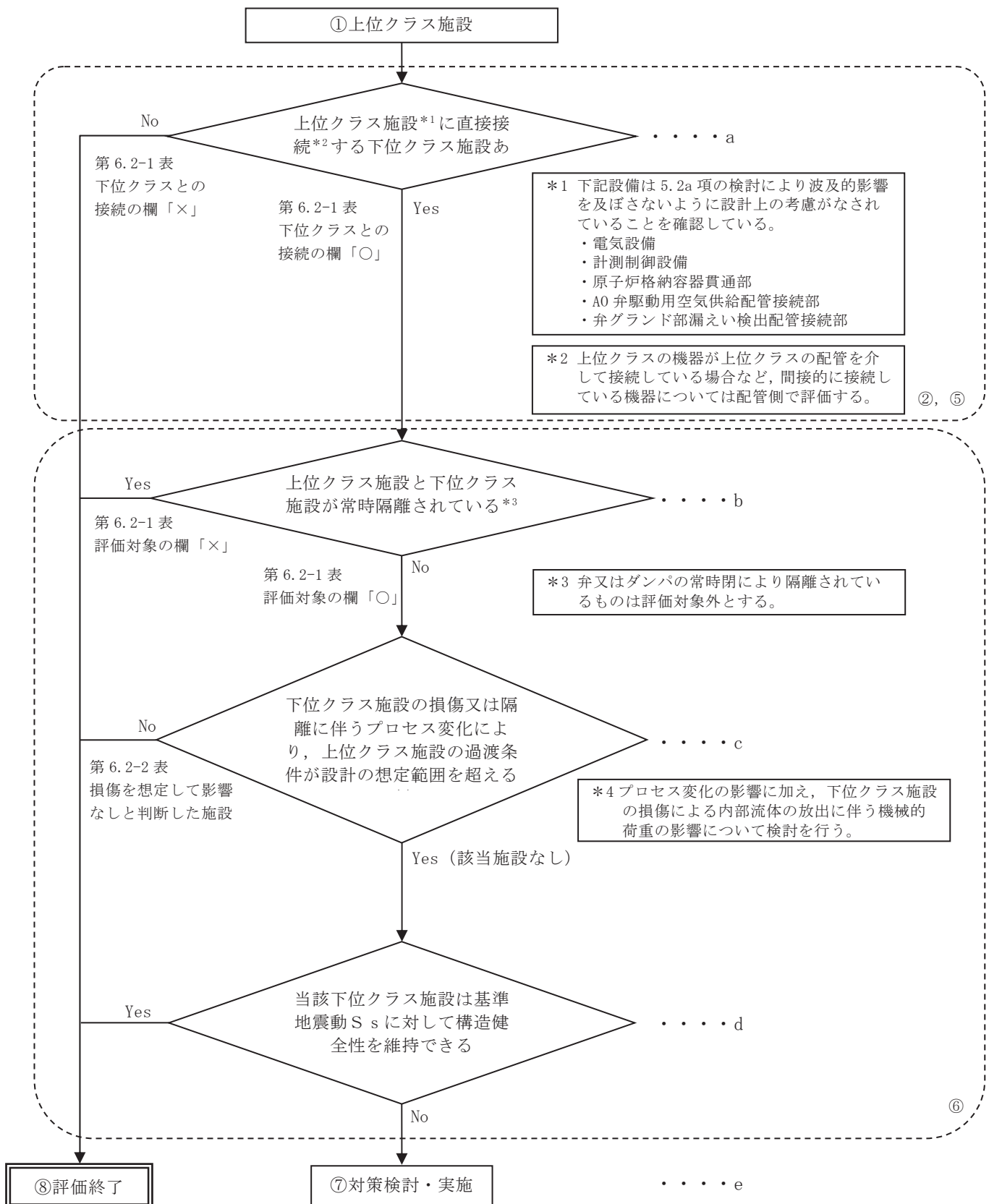
また，下位クラス施設の損傷に伴う上位クラス施設のプロセス変化とは別に，内部流体の外部への放出に伴う機械的荷重の発生が想定される。この荷重が上位クラス施設へ及ぼす影響について検討を行った結果を添付資料9に示す。

d. 耐震性の確認

c 項で設計の想定範囲を超えるものについて，基準地震動 S_s に対して，構造健全性が維持され内部流体の内包機能等の必要な機能を維持できることを確認する。

e. 対策検討

d 項で上位クラス施設の機能を損なうおそれが否定できない下位クラス施設について，基準地震動 S_s に対して健全性を維持できる構造への改造，接続部から上位クラス施設の機器，配管側に同じく健全性を維持できる隔離弁の設置等により波及的影響を防止する。



*フロー中の①, ②, ⑤~⑧の数字は第 2.1-1 図中の①, ②, ⑤~⑧に対応する。

第 5.2-8 図 上位クラス施設と接続する下位クラス施設の抽出及び評価フロー

5.3 建屋内における施設の損傷、転倒、落下等による影響

第 5.3-1 図のフローに従い、建屋内の上位クラス施設の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

下位クラス施設の抽出に当たっては、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等の対策を適切に実施していることを確認する。

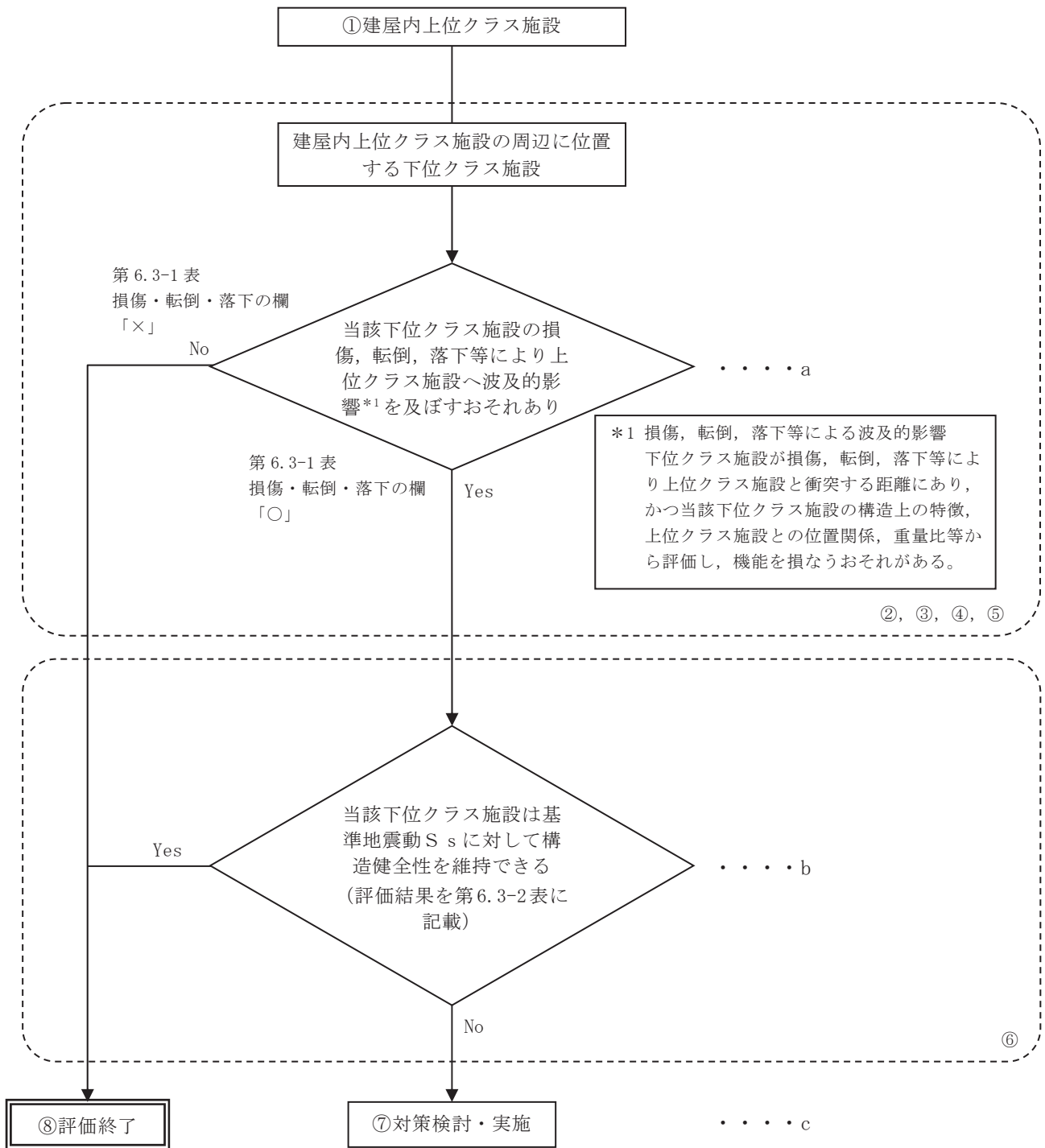
また、上述の確認ができなかった下位クラス施設について、構造上の特徴、上位クラス施設との位置関係、重量等を踏まえて、損傷、転倒、落下等を想定した場合の上位クラス施設への影響を評価し、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

b. 耐震性の確認

a 項で損傷、転倒、落下等を想定した場合に上位クラス施設の機能への影響が否定できない下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して、損傷、転倒、落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

c. 対策検討

b 項で構造健全性の維持を確認できなかった下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して健全性を維持できるような構造への改造、上位クラス施設と下位クラス施設との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、下位クラス施設の移設等により波及的影響を防止する。



*フロー中の①～⑧の数字は第2.1-1図中の①～⑧に対応する。

第5.3-1図 損傷、転倒、落下等により建屋内上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フロー

5.4 建屋外における施設の損傷、転倒、落下等による影響

第 5.4-1 図のフローに従い、建屋外の上位クラス施設の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出し、波及的影響の有無を検討する。

a. 下位クラス施設の抽出

下位クラス施設の抽出に当たっては、施設の設置地盤及び周辺地盤の液状化（浮き上がり及び側方流動）による影響を考慮した上で、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等の対策を適切に実施していることを確認する。

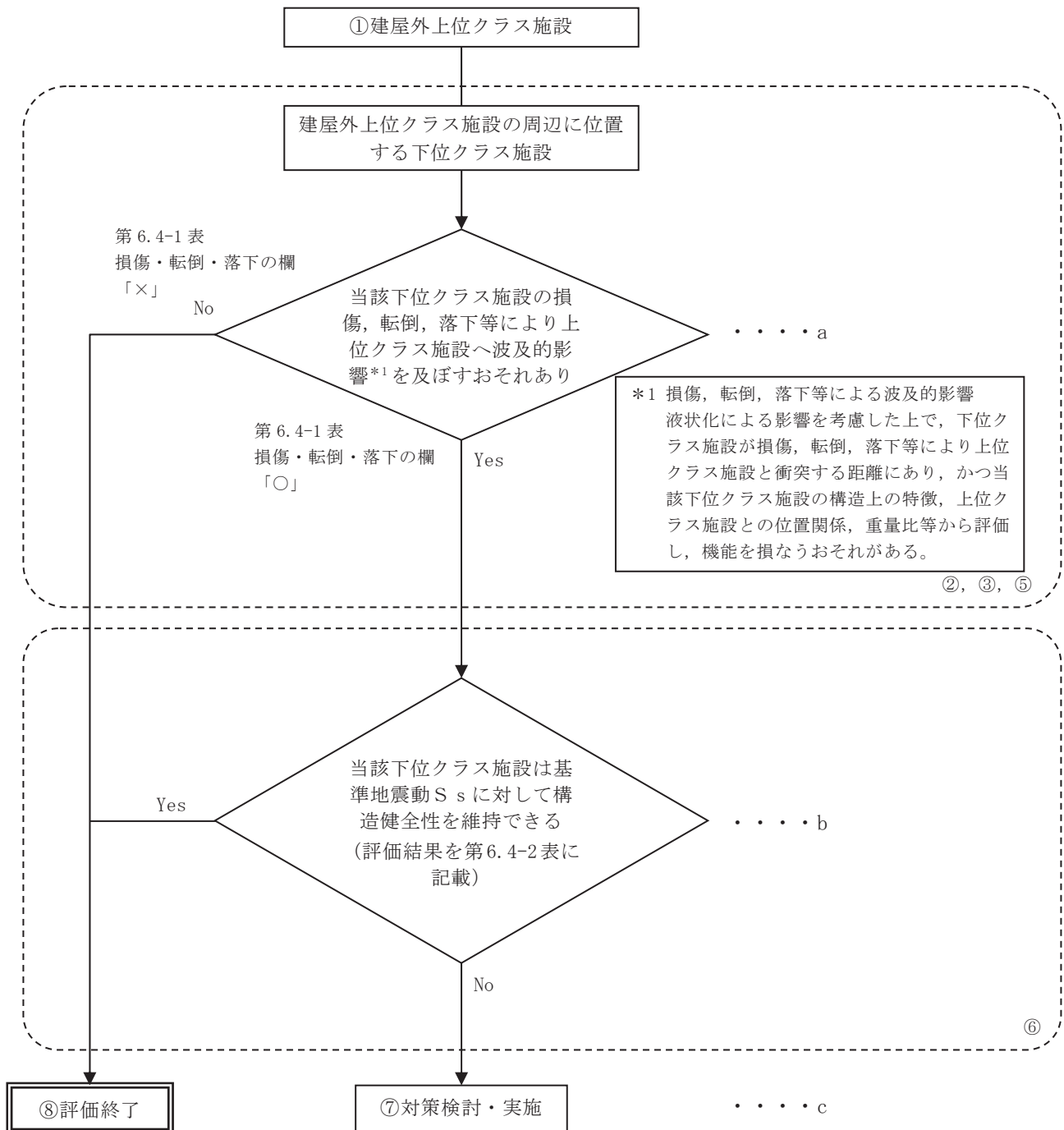
また、上述の確認ができなかった下位クラス施設について、構造上の特徴、上位クラス施設との位置関係、重量等を踏まえて、損傷、転倒、落下等を想定した場合の上位クラス施設への影響を評価し、上位クラス施設の機能を損なうおそれがないことを確認する。

b. 耐震性の確認

a 項で損傷、転倒、落下等を想定した場合に上位クラス施設の機能への影響が否定できない下位クラス施設について、地下水位を適切に設定した上で、基準地震動 S_s に対して、損傷、転倒、落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

c. 対策検討

b 項で構造健全性の維持を確認できなかった下位クラス施設について、基準地震動 S_s に対して健全性を維持できるような構造への改造、上位クラス施設と下位クラス施設との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、下位クラス施設の移設等により波及的影響を防止する。



*フロー中の①～③, ⑤～⑧の数字は第2.1-1図中の①～③, ⑤～⑧に対応する。

第5.4-1図 損傷、転倒、落下等により建屋外上位クラス施設へ影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及び評価フロー

6. 下位クラス施設の検討結果

5 項で示したフローに基づき，上位クラス施設へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果

6.1.1 抽出手順

(1) 地盤の不等沈下による影響

机上検討を基に，上位クラス施設に対して，地盤の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

(2) 建屋間の相対変位による影響

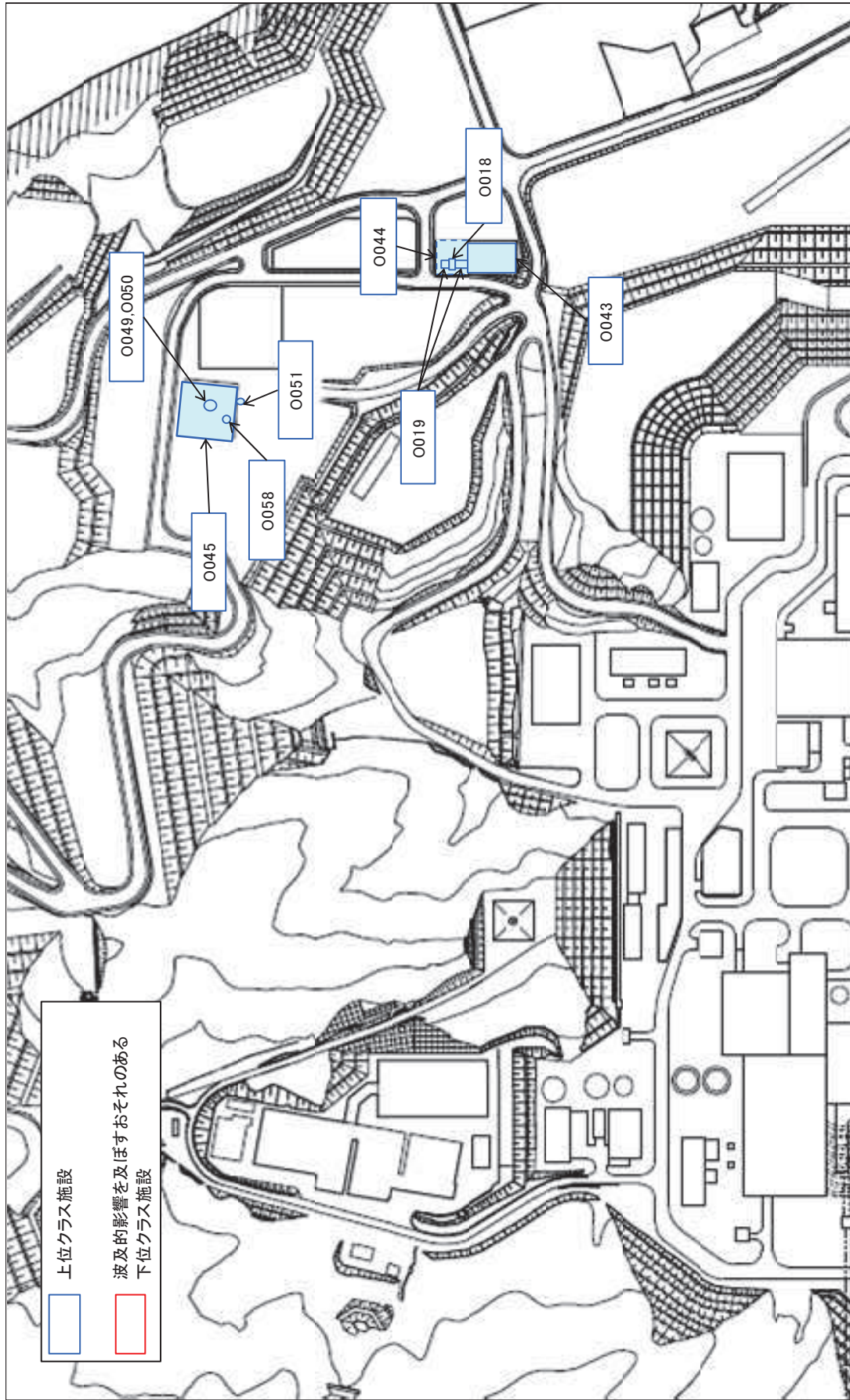
机上検討を基に，上位クラス施設に対して，建屋間の相対変位により波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

6.1.2 下位クラス施設の抽出結果

第 5.1-1 図及び第 5.1-2 図のフローの a に基づいて，波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した結果を第 6.1-1 図，第 6.1-2 図及び第 6.1-1 表に示す。

6.1.3 影響評価結果

6.1.2 で抽出した波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の評価結果を第 6.1-2 表及び第 6.1-3 表に示す。



第 6.1-2 図 女川 2 号機 相対変位又は不等沈下に係る建屋外上位クラス施設配置図 (高台側)

第 6.1-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設（1/3）

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：あり，×：なし)		備考
				不等沈下	相対変位	
0001	原子炉補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設	—	×	×	
0002	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	—	×	×	
0003	RSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	—	×	×	
0004	RSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設	—	×	×	
0005	RSWポンプ吐出連絡管止め弁	Sクラス SA施設	—	×	×	
0006	高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設	—	×	×	
0007	高圧炉心スプレィ補機冷却海水系スト レーナ	Sクラス SA施設	—	×	×	
0008	高圧炉心スプレィ補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	—	×	×	
0009	HPSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	—	×	×	
0010	HPSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設	—	×	×	
0011	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設	—	×	×	
0012	原子炉格納容器下部注水系配管	SA施設	—	×	×	
0013	原子炉補機代替冷却水系配管	SA施設	—	×	×	
0014	原子炉格納容器代替スプレィ冷却系配管	SA施設	—	×	×	
0015	可搬型窒素ガス供給系配管	SA施設	—	×	×	
0016	燃料プール代替注水系配管	SA施設	—	×	×	
0017	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設	—	×	×	
0018	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	SA施設	—	×	×	
0019	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設	—	×	×	
0020	復水貯蔵タンク外部注水入口弁	SA施設	—	×	×	
0021	復水貯蔵タンク	SA施設	—	×	×	
0022	復水貯蔵タンク水位計器架台	SA施設	—	×	×	
0023	RSWポンプ出口圧力計器架台	Sクラス	—	×	×	
0024	HPSWポンプ出口圧力計器架台	Sクラス	—	×	×	
0025	排気筒	Sクラス SA施設	—	×	×	

第 6.1-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設（2/3）

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：あり，×：なし)		備考
				不等沈下	相対変位	
0026	防潮堤	Sクラス	—	×	×	
0027	防潮壁	Sクラス	タービン建屋	○	×	
0028	逆流防止設備	Sクラス	タービン建屋	○	×	
0029	水密扉	Sクラス	—	×	×	
0030	浸水防止蓋	Sクラス	—	×	×	
0031	逆止弁付ファンネル	Sクラス	—	×	×	
0032	貫通部止水処置	Sクラス	タービン建屋	○	×	
0033	津波監視カメラ	Sクラス	—	×	×	
0034	取水ピット水位計	Sクラス	—	×	×	
0035	原子炉建屋	Sクラス 間接支持構造物 SA施設	タービン建屋	○	○	
			制御建屋	×	○	
0036	制御建屋	間接支持構造物	タービン建屋	○	○	
			補助ボイラー建屋	○	○	
			第1号機制御建屋	○	○	
0037	海水ポンプ室	屋外重要土木構造物 間接支持構造物 SA施設	—	×	×	
0038	軽油タンク室	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	×	
0039	復水貯蔵タンク基礎	SA施設間接支持構造物	—	×	×	
0040	軽油タンク連絡ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	×	
0041	排気筒連絡ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	×	
0042	原子炉機器冷却海水配管ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	×	
0043	緊急用電気品建屋	SA施設間接支持構造物	—	×	×	
0044	ガスタービン発電設備軽油タンク室	SA施設間接支持構造物	—	×	×	
0045	緊急時対策建屋	SA施設間接支持構造物	—	×	×	
0046	取水口	屋外重要土木構造物 SA施設	—	×	×	
0047	取水路	屋外重要土木構造物 SA施設	—	×	×	
0048	第3号機海水熱交換器建屋	間接支持構造物	—	×	×	

第 6.1-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（相対変位又は不等沈下）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設（3/3）

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：あり，×：なし)		備考
				不等沈下	相対変位	
0049	無線連絡設備（屋外アンテナ）	SA施設	—	×	×	
0050	衛星電話設備（屋外アンテナ）	SA施設	—	×	×	
0051	無線通信装置	SA施設	—	×	×	
0052	取放水路流路縮小工	Sクラス	—	×	×	
0053	浸水防止壁	Sクラス	—	×	×	
0054	揚水井戸	間接支持構造物	—	×	×	
0055	第3号機補機冷却海水系放水ピット	間接支持構造物	—	×	×	
0056	第3号機海水ポンプ室	間接支持構造物	—	×	×	
0057	貯留堰	Sクラス SA施設	—	×	×	
0058	衛星通信装置	SA施設	—	×	×	
0059	復水貯蔵タンク水位	Sクラス	—	×	×	

第6.1-2表 女川2号機 建屋外施設の評価結果（地盤の不等沈下による影響）

建屋外上位クラス 施設	波及的影響を及ぼすおそれのある 下位クラス施設	評価結果	備考
防潮壁	タービン建屋	タービン建屋はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照
逆流防止設備	タービン建屋	タービン建屋はMMRを介して岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照
貫通部止水処置	タービン建屋	タービン建屋はMMRを介して岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照
原子炉建屋	タービン建屋	タービン建屋はMMRを介して原子炉建屋と連続した岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照
制御建屋	タービン建屋	タービン建屋はMMRを介して制御建屋と連続した岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照
	補助ボイラー建屋	補助ボイラー建屋はMMRを介して制御建屋と連続した岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照
	第1号機制御建屋	第1号機制御建屋はMMRを介して制御建屋と連続した岩盤に支持されており、不等沈下は生じない。	本資料 添付資料4参照

第 6.1-3 表 女川 2 号機 建屋外施設の評価結果 (相対変位による影響)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
原子炉建屋	タービン建屋	基準地震動 S_s に対する地震応答解析により、接触しないことを確認した。	VI-2-11-2-3 「タービン建屋の耐震性についての計算書」参照
	制御建屋*1	基準地震動 S_s に対する地震応答解析により、接触しないことを確認した。	VI-2-2-4 「制御建屋の耐震性についての計算書」参照
制御建屋*2	タービン建屋	基準地震動 S_s に対する地震応答解析により、接触しないことを確認した。	VI-2-11-2-3 「タービン建屋の耐震性についての計算書」参照
	補助ボイラー建屋	基準地震動 S_s に対する地震応答解析により、接触しないことを確認した。	VI-2-11-2-4 「補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書」参照
	第 1 号機制御建屋	基準地震動 S_s に対する地震応答解析により、接触しないことを確認した。	VI-2-11-2-5 「第 1 号機制御建屋の耐震性についての計算書」参照

注記 *1：当該建屋は上位クラス施設であるが、原子炉建屋に近接していることを踏まえ相対変位の影響を確認する。

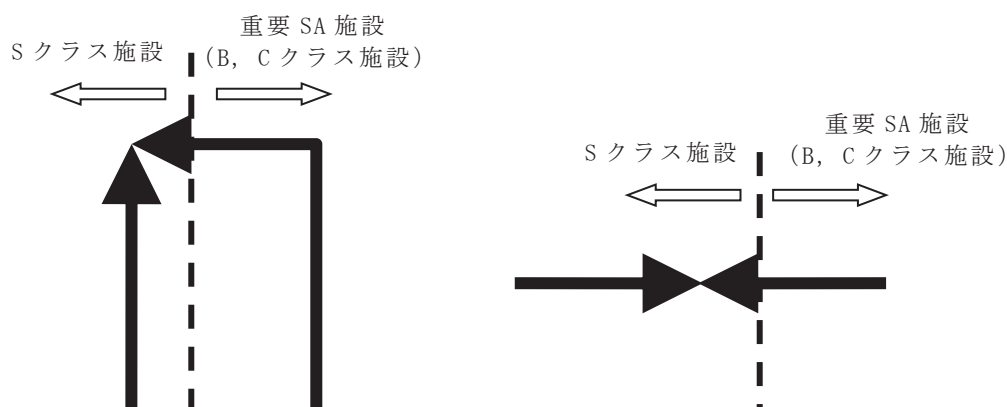
*2：制御建屋に対する原子炉建屋の影響は、原子炉建屋に対する制御建屋の影響確認内容と相違ないため記載を省略する。

6.2 接続部における相互影響検討結果

6.2.1 抽出手順

机上検討を基に，上位クラス施設と接続する下位クラス施設のうち，下位クラス施設の損傷又は隔離によるプロセス変化により，上位クラス施設に影響を及ぼすおそれがある下位クラス施設を抽出する。なお，Sクラス施設等と重要SA施設との接続部は，第6.2-1図の接続部例に示すとおり上位クラス同士の間での接続であることから，上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

接続部については，系統図等により網羅的に確認が可能であり，プラント建設時及び改造工事の際は，施工に伴う確認，系統図作成時における現場確認，使用前検査，試運転等から接続部が設計図書どおりであることを確認していることから，接続部の波及的影響については，机上検討により評価対象の抽出が可能である。



第6.2-1図 Sクラス施設等と重要SA施設の接続部例

6.2.2 接続部の抽出結果及び影響評価対象の選定結果

第5.2-8図のフローのa及びbに基づいて抽出された評価対象接続部について整理したものを第6.2-1表に示す。

6.2.3 影響評価結果

6.2.2項で抽出した上位クラス施設と下位クラス施設との接続部について，第5.2-8図のフローのcに基づいて影響評価を行った結果を第6.2-2表に示す。

影響評価を行った結果，上位クラス施設と接続する下位クラス施設が損傷することによって，上位クラスの機能に影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (1/9)

整理番号	建屋外上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
0001	原子炉補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設	屋外	○	○	グラウンドドレンライン	
0002	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	屋外	○	×	ろ過水系ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	鉄イオン供給ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
0003	RSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0004	RSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0005	RSWポンプ吐出連絡管止め弁	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0006	高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設	屋外	○	○	グラウンドドレンライン	
0007	高圧炉心スプレィ補機冷却海水系ストレーナ	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0008	高圧炉心スプレィ補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	屋外	○	×	ろ過水系ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
0009	HPSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0010	HPSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0011	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0012	補給水系配管	SA施設	屋外	×	—		
0013	原子炉補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0014	残留熱除去系配管	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0015	原子炉格納容器調気系配管	Sクラス SA施設	屋外	×	—		
0016	燃料プール冷却浄化系配管	SA施設	屋外	×	—		
0017	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設	屋外	×	—		
0018	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	SA施設	屋外	×	—		
0019	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設	屋外	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	タイライン	通常閉の弁を介して接続されている
0020	復水貯蔵タンク外部注水入口弁	SA施設	屋外	×	—		
0021	復水貯蔵タンク	SA施設	屋外	○	○	オーバーフローライン	
					○	復水補給水戻りライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (2/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E001	燃料集合体	Sクラス	R/B	×	—		
E002	原子炉圧力容器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E003	炉心支持構造物	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E004	原子炉圧力容器支持構造物	Sクラス	R/B	×	—		
E005	原子炉圧力容器付属構造物	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E006	原子炉圧力容器内部構造物	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E007	使用済燃料プール	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E008	使用済燃料貯蔵ラック	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E010	原子炉再循環ポンプ	Sクラス	R/B	○	○	シールキャビティ圧力制御流量ライン	
					×	シールキャビティバージ水ライン	逆止弁を介して接続されている
E011	原子炉再循環系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E013	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E014	主蒸気第一隔離弁用アキュムレータ	Sクラス	R/B	×	—		
E015	主蒸気第二隔離弁用アキュムレータ	Sクラス	R/B	×	—		
E016	主蒸気系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	○	主蒸気ライン	
					○	主蒸気ドレンライン	
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	RPVベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E017	復水給水系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	RPVフランジ漏えい検出ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	復水給水系ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E018	残留熱除去系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E019	残留熱除去系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	ベDESTALドレンライン	
					○	メカニカルシールリークドレンライン	
E020	残留熱除去系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E021	残留熱除去系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	復水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	燃料プール冷却浄化系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	廃棄物処理系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	事故後サンプリングライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	復水貯蔵タンクライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている					
E022	高圧炉心スプレー系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	ベDESTALドレンライン	
					○	メカニカルシールリークドレンライン	
E023	高圧炉心スプレー系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (3/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E024	高圧炉心スプレイ系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	復水貯蔵タンク戻りライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	燃料プール補給水テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	燃料プール補給水ライン	
					×	復水補給水系ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E025	低圧炉心スプレイ系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	ベデスタルドレンライン	
					○	メカニカルシールリークドレンライン	
E026	低圧炉心スプレイ系ストレナ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E027	低圧炉心スプレイ系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	復水貯蔵タンクライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	復水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E028	原子炉隔離時冷却系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	ブラケットドレンライン	
E029	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E030	原子炉隔離時冷却系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	○	主復水器ライン	
					×	復水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	復水貯蔵タンク戻りライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	建屋内開放ライン	ラプチャディスクを介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁または安全弁 (通常閉) を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E032	原子炉補機冷却水ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	メカニカルシールリークドレンライン	
					○	ベアリングブラケットドレンライン	
E033	原子炉補機冷却水サージタンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	補給水ライン	
					×	燃料プール補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E034	原子炉補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	○	常用系ライン	
					○	燃料プール補給水ポンプ軸受冷却ライン	
					×	燃料プール補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁または安全弁 (通常閉) を介して接続されている
×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されている					
E035	原子炉補機冷却海水系ストレナ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E036	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
E037	高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E038	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	メカニカルシールリークドレンライン	
					○	ベアリングブラケットドレンライン	

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (4/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E039	高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンク	Sクラス SA施設	R/B	○	×	補給水ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	燃料プール補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E040	高圧炉心スプレイ補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	防食剤添加タンクライン	通常閉の弁を介して接続されている
E041	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	試料採取系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
E042	原子炉冷却材浄化系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ろ過脱塩装置ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E043	制御棒駆動機構	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E044	水圧制御ユニット	Sクラス SA施設	R/B	○	×	制御棒駆動水圧系ライン	通常閉の弁および逆止弁を介して接続されている
E045	制御棒駆動水圧系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E046	ほう酸水注入系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	グランドバックシンリーク ドレンライン	
E047	ほう酸水注入系貯蔵タンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	補給水ライン	
					○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					×	サンプリングライン	通常閉の弁を介して接続されている
E048	ほう酸水注入系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	補給水ライン	通常閉の弁および逆止弁を介して接続されている
					×	補給水ライン (バイパス)	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストタンクライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E049	放射性ドレン移送系配管	Sクラス	R/B	×	—		
E050	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA施設	R/B	○	○	ブラケットドレンライン	
E051	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA施設	R/B	×	—		
E052	燃料プール冷却浄化系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	燃料プール補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	残留熱除去系戻りライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	原子炉ウエル注水ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	原子炉ウエル戻りライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ろ過脱塩装置ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E053	換気空調補機常用冷却水系配管	Sクラス	R/B	×	—		
E054	換気空調補機非常用冷却水系配管	Sクラス	R/B C/B	○	×	冷媒回収ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	防食剤添加タンクライン	通常閉の弁を介して接続されている

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (5/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E055	補給水系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	○	制御棒駆動水圧系給水ライン	
					×	ろ過水系ライン	通常閉の弁および逆止弁を介して接続されている
					×	タービン建屋供給ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ECCS系封水ライン	通常閉の弁および逆止弁を介して接続されている
					×	除染用給水ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	プール/原子炉ウエル水張りライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	スキマサージタンク補給水	通常閉の弁を介して接続されている
					×	純水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	試料採取系ライン	
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E056	高圧窒素ガス供給系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	○	常用系ライン	
					×	安全弁排気ライン	安全弁 (通常閉) を介して接続されている
E057	所内用圧縮空気系配管	Sクラス	R/B	×	—		
E058	計装用圧縮空気系配管	Sクラス	R/B	×	—		
E059	サンプリング配管	Sクラス	R/B	×	—		
E060	高圧窒素ガス供給系窒素ガスポンベラック	Sクラス	R/B	×	—		
E061	中央制御室送風機	Sクラス SA施設	C/B	×	—		
E062	中央制御室排風機	Sクラス SA施設	C/B	×	—		
E063	中央制御室再循環送風機	Sクラス SA施設	C/B	×	—		
E064	中央制御室再循環フィルタ装置	Sクラス SA施設	C/B	×	—		
E065	ドライウエル	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E066	ドライウエルベント開口部	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E067	サブプレッションチェンバ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E068	ボックスサポート	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E069	機器搬出入用ハッチ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E070	逃がし安全弁搬出入口	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E071	制御棒駆動機構搬出入口	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E072	所員用エアロック	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E073	原子炉格納容器配管貫通部	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E074	原子炉格納容器電気配線貫通部	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E075	ダウンカマ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E076	ベント管	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E077	ベント管ベローズ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E078	ベントヘッド	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E079	真空破壊装置	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E080	サブプレッションチェンバスプレイ管	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E081	ドライウエルスプレイ管	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E082	原子炉格納容器スタビライザ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E083	原子炉格納容器調気系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	○	窒素ガス供給ライン	
					×	建屋空調系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	パージ用窒素供給ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている					

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (6/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E084	非常用ガス処理系排風機	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E085	非常用ガス処理系空気乾燥装置	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ドレンライン	逆止弁を介して接続されている
E086	非常用ガス処理系フィルタ装置	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E087	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設	R/B	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E088	可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロフ	Sクラス	R/B	×	—		
E089	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	Sクラス	R/B	×	—		
E090	可燃性ガス濃度制御系配管	Sクラス	R/B	○	×	復水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E091	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関	Sクラス SA施設	R/B	○	○	吸気ライン	
					○	排気ライン	
					○	燃料油ドレンライン	
					○	ミスト管	
					○	潤滑油ドレンライン	
					○	吸気ドレンライン	
					○	機関付清水ポンプシールリークドレンライン	
×	冷却水ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている					
E092	非常用ディーゼル発電設備空気だめ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E093	非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	燃料油ドレンユニットライン	
					○	オーバーフローライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	ミスト管	
E094	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル発電機	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E095	非常用ディーゼル発電設備清水膨張タンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	補給水ライン	
					○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E096	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E097	非常用ディーゼル発電設備清水冷却器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E098	非常用ディーゼル発電設備潤滑油加熱器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E099	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	メカニカルシールリークドレンライン	
E100	非常用ディーゼル発電設備潤滑油ブライミングポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	オイルパンドレンライン	
E101	非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンブタンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	給油ライン	
					○	ミスト管	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E102	非常用ディーゼル発電設備潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E103	非常用ディーゼル発電設備潤滑油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	ドレンライン	
E104	非常用ディーゼル発電設備燃料油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E105	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	Sクラス SA施設	軽油タンク室	×	—		
E106	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	Sクラス SA施設	R/B 軽油タンク室	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	タイライン	通常閉の弁を介して接続されている

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (7/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E107	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関	Sクラス SA施設	R/B	○	○	吸気ライン	
					○	排気ライン	
					○	潤滑油補給ライン	
					×	潤滑油ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	燃料油ドレンライン	
					○	ミスト管	
					○	吸気ドレンライン	
					○	機関付清水ポンプシールリークドレンライン	
					×	冷却水ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E108	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E109	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	燃料油ドレンユニットライン	
					○	オーバーフローライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	ミスト管	
E110	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル発電機	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E111	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備清水膨張タンク	Sクラス SA施設	R/B	○	○	補給水ライン	
					○	オーバーフローライン	
					○	大気開放ライン	
					×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E112	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備清水加熱器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E113	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備清水冷却器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E114	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油加熱器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E115	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備清水加熱器ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	メカニカルシールリークドレンライン	
E116	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油ブライミングポンプ	Sクラス SA施設	R/B	○	○	オイルパンドレンライン	
E117	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E118	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E119	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	Sクラス SA施設	軽油タンク室	×	—		
E120	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備発電機軸受潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	×	—		
E121	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送系配管	Sクラス SA施設	R/B 軽油タンク室	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	タイライン	通常閉の弁を介して接続されている
E122	軽油タンク	Sクラス SA施設	軽油タンク室	○	○	給油ライン	
					○	ミスト管	
					○	軽油タンク戻りライン	
E123	SGTS室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E124	FCS室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E125	CAMS室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E126	FPCポンプ室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E127	LPCSポンプ室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E128	HPCSポンプ室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E129	RHRポンプ室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E130	D/G室非常用給気ケーシング	Sクラス	R/B	×	—		
E131	換気空調補機非常用冷却水系冷水ポンプ	Sクラス	R/B	×	—		

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (8/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E132	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	Sクラス	R/B	×	—		
E133	原子炉補機(A)室送風機	Sクラス	R/B	×	—		
E134	原子炉補機(A)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	×	—		
E135	原子炉補機(HPCS)室送風機	Sクラス	R/B	×	—		
E136	原子炉補機(HPCS)室排風機	Sクラス	R/B	×	—		
E137	原子炉補機(HPCS)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	×	—		
E138	原子炉補機(B)室送風機	Sクラス	R/B	×	—		
E139	原子炉補機(B)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	×	—		
E140	D/G(A)室非常用送風機	Sクラス	R/B	×	—		
E141	D/G(HPCS)室非常用送風機	Sクラス	R/B	×	—		
E142	D/G(B)室非常用送風機	Sクラス	R/B	×	—		
E143	原子炉補機(A)室排風機	Sクラス	R/B	×	—		
E144	原子炉補機(B)室排風機	Sクラス	R/B	×	—		
E145	RCWポンプ(A)室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E146	RCWポンプ(B)室空調機	Sクラス	R/B	×	—		
E147	中央制御室給気ケーシング	Sクラス	C/B	×	—		
E148	計測制御電源室給気ケーシング	Sクラス	C/B	×	—		
E149	計測制御電源(A)室送風機	Sクラス	C/B	×	—		
E150	計測制御電源(A)室排風機	Sクラス	C/B	×	—		
E151	計測制御電源(B)室送風機	Sクラス	C/B	×	—		
E152	計測制御電源(B)室排風機	Sクラス	C/B	×	—		
E153	中央制御室換気空調系ダクト	Sクラス SA施設	C/B	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E154	計測制御電源(A)室換気空調系ダクト	Sクラス	C/B	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E155	計測制御電源(B)室換気空調系ダクト	Sクラス	C/B	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E156	スキマサージタンク	SA施設	R/B	×	—		
E157	高圧代替注水系ポンプ	SA施設	R/B	×	—		
E158	高圧代替注水系配管	SA施設	R/B	○	×	蒸気ドレンライン	逆止弁を介して接続されている
					○	主復水器ライン (蒸気)	
					×	主復水器ライン (水)	通常閉の弁を介して接続されている
					×	建屋内開放ライン	ラフチャディスクを介して接続されている
					○	燃料プール補給水系ライン	
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている					
E159	代替高圧窒素ガス供給系配管	SA施設	R/B	○	×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている
E160	復水移送ポンプ	SA施設	R/B	○	○	グラウンドドレンライン	
E161	原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン	通常閉の弁を介して接続されている
E162	原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置出口側圧力開放板	SA施設	R/B	×	—		
E163	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設	R/B	○	×	格納容器調気系補給用窒素供給ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	純水補給水系ライン	逆止弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E164	静的触媒式水素再結合装置	SA施設	R/B	×	—		
E165	ガスタービン発電機	SA施設	緊急用電気品建屋	×	—		

第 6.2-1 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部一覧表 (9/9)

整理番号	建屋内上位クラス施設 (機器・配管)	区分	設置場所	下位クラスとの接続*1 (有:○, 無:×)	評価対象	接続配管等	備考
E166	ガスタービン発電設備軽油タンク	SA施設	ガスタービン発電設備軽油タンク室	○	○	給油ライン	
					○	ミスト管	
					○	軽油タンク戻りライン	
E167	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設	ガスタービン発電設備軽油タンク室 緊急用電気品建屋	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	軽油タンク戻りライン	通常閉の弁を介して接続されている
E168	ガスタービン発電設備燃料小出槽	SA施設	緊急用電気品建屋	×	—		
E169	中央制御室しゃへい壁	Sクラス SA施設	C/B	×	—		
E170	中央制御室待避所遮蔽	SA施設	C/B	×	—		
E171	中央制御室待避所加圧設備	SA施設	C/B	×	—		
E172	緊急時対策所遮蔽	SA施設	緊急時対策建屋	×	—		
E173	緊急時対策所非常用送風機	SA施設	緊急時対策建屋	×	—		
E174	緊急時対策所非常用フィルタ装置	SA施設	緊急時対策建屋	×	—		
E175	緊急時対策所加圧設備	SA施設	緊急時対策建屋	×	—		
E176	緊急時対策所換気空調系ダクト	SA施設	緊急時対策建屋	×	—		
E177	緊急時対策所軽油タンク	SA施設	緊急時対策建屋	○	×	給油ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					○	ミスト管	
E178	緊急時対策所燃料移送系配管	SA施設	緊急時対策建屋	×	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E179	代替循環冷却ポンプ	SA施設	R/B	○	○	ブラケットドレンライン	
					○	メカニカルシールリークドレンライン	
E180	原子炉建屋ブローアウトパネル	SA施設	R/B	×	—		
E181	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	SA施設	R/B	×	—		
E182	直流駆動低圧注水系ポンプ	SA施設	R/B	○	○	メカニカルシールリークドレンライン	
E183	直流駆動低圧注水系配管	SA施設	R/B	○	×	純水補給水系ライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E184	遠隔手動弁操作設備	SA施設	R/B	×	—		
E185	緊急時対策所非常用給排気配管	SA施設	緊急時対策建屋	×	—		
E186	原子炉棟換気空調系ダクト (二次格納施設バウンダリ)	Sクラス	R/B	○	○	換気空調系ダクト	
E187	燃料プール代替注水系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E188	燃料プールのスプレイ系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E189	原子炉補機代替冷却水系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E190	原子炉格納容器下部注水系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E191	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E192	代替循環冷却系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
E193	可搬型窒素ガス供給系配管	SA施設	R/B	○	×	ドレンライン, ベントライン	通常閉の弁を介して接続されている
					×	テストライン	通常閉の弁を介して接続されている

*1 Sクラス施設等と重要 SA 施設との接続部は上位クラス同士であるため、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部として抽出しない。

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (1/11)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【C】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉補機冷却海水ポンプ	グラントドレンドレンライン【C】	グラントドレンドレンラインとは、ポンプのグラント部（軸封部）から排出される少量の海水を排水するための、小口径のドレンドレンラインであり、ポンプのパウダリと直接接続しているものではない。したがって、グラントドレンドレンラインが破損した場合でも、グラント部から排出するごく少量の海水が、破損した部分から漏出するだけであり、グラント部を含む上位クラス機能（ポンプ機能）に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	グラントドレンドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、グラントドレンドレンラインが破損した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
復水貯蔵タンク	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインは復水貯蔵タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
	復水補給水戻りライン【C】	復水補給水戻りラインは復水貯蔵タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
原子炉再循環ポンプ	シールキヤピティ圧力制御流量ライン【B】	原子炉再循環ポンプは地震スクラム後には動作機能要求がなく、原子炉冷却材圧力バウンダリとしての機能のみが要求される。シールキヤピティ圧力制御流量ラインが破損した場合でも、原子炉冷却材圧力バウンダリに影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (2/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【 】：耐震クラス	評価結果	備考
主蒸気系配管	主蒸気ライン【B】	主蒸気第二隔離弁の下流側で地震によって主蒸気系配管が破断した場合、破断口から冷却材が外部に流出する。しかし、冷却材の流出流量は原子炉圧力容器ノズルに設置されている流量制限器により、破断した配管の本数に係わらず定格主蒸気流量の 200%に制限される。その際に、主蒸気流量大信号発生により主蒸気隔離弁が 5 秒で全閉し流出が停止する。流出流量 200%による事故解析は、設置許可の安全解析において実施されており、水位低下によって炉心が露出しないことを確認しているため、地震時に原子炉格納容器外で主蒸気系配管が破断した場合でもその影響が防止される設計となっている。	—
	主蒸気ドレンライン【B】	主蒸気ドレンライン第二隔離弁は主蒸気隔離弁の信号による同弁閉動作のインターロックを設置しているため、地震スクラム時には同弁で下位クラス側と隔離されることから、上位クラスの系統機能へ影響を与えない。	—
残留熱除去系ポンプ	ペデスタルドレンライン【C】 メカニカルシールドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ペデスタルドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。 原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ポンプ	ペデスタルドレンライン【C】 メカニカルシールドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ペデスタルドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。 原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (3/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【 】：耐震クラス	評価結果	備考
高圧炉心スプレイス配管	燃料プール補給水ライン【B】	SA 運用時に当該配管の隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—
低圧炉心スプレイスポンプ	ペダスタルドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ペダスタルドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
原子炉隔離時冷却系ポンプ	メカニカルシールリークドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
原子炉隔離時冷却系配管	ブラケットドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ブラケットドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
原子炉補機冷却系配管	主復水器ライン【B】	RCIC 系統運用時に当該配管の隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—
原子炉補機冷却水ポンプ	メカニカルシールリークドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
原子炉補機冷却水ポンプ	ベアリングブラケットドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ベアリングブラケットドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (4/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【 】：耐震クラス	評価結果	備考
原子炉補機冷却水サージタンク	補給水ライン【C】 オーバーフローライン【C】 大気開放ライン【C】	補給水ラインは原子炉補機冷却水サージタンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 オーバーフローラインは原子炉補機冷却水サージタンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
原子炉補機冷却水系配管	常用系ライン【C】 燃料プールの補給水ポンプ軸受冷却ライン【B】	下位クラスの損傷により系統水位が低下すると、系統水位低のインタロックによって隔離弁が閉動作し、下位クラス側と隔離されるため上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。 小口径配管のため、損傷しても影響は軽微であることから、上位クラス施設（原子炉補機冷却水系配管）への影響はない。	—
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	メカニカルシールリークドレンライン【C】 ベアリングブラケットドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。 原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ベアリングブラケットドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンク	オーバーフローライン【C】 大気開放ライン【C】	オーバーフローラインは高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 大気開放ラインは高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (5/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【 】：耐震クラス	評価結果	備考
ほう酸水注入系ポンプ	グランドパッキンリークドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、グランドパッキンリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
	補給水ライン【C】	補給水ラインはほう酸水注入系貯蔵タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
ほう酸水注入系貯蔵タンク	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインはほう酸水注入系貯蔵タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
	大気開放ライン【C】	大気開放ラインはほう酸水注入系貯蔵タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
燃料プール冷却浄化系ポンプ	ブラケットドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ブラケットドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
復水補給水系配管	制御棒駆動水圧系給水ライン【B】	SA 運用時に当該配管の隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—
	試料採取系ライン【C】	SA 運用時に当該配管の隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—
高圧窒素ガス供給系配管	常用系ライン【C】	下位クラスの損傷により常用系の圧力が低下すると、インターロックによって隔離弁が閉動作し下位クラス側と隔離されるため上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—
原子炉格納容器調気系配管	窒素ガス供給ライン【C】	下位クラスの損傷が発生した場合には、隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (6/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【C】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備 非常用ディーゼル機関	吸気ライン【C】	当該配管が損傷した場合でもディーゼル機関への吸気は継続することから、下位クラス施設の損傷が上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	排気ライン【C】	当該配管が損傷した場合でもディーゼル機関の排気は継続することから、下位クラス施設の損傷が上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	燃料油ドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、燃料油ドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）へ影響を与えない。	—
	ミスト管【C】	ミスト管が損傷してもオイルミストの排出機能を損なうことはないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	潤滑油ドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、潤滑油ドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	吸気ドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、吸気ドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）へ影響を与えない。	—
	機関付清水ポンプシールリングドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、機関付清水ポンプシールリングドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）へ影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (7/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【C】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電機燃料デイトンク	燃料油ドレンユニットライン【C】 オーバーフローライン【C】 ミスト管【C】 補給水ライン【C】	燃料油ドレンユニットラインは燃料デイトンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 オーバーフローラインは燃料デイトンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 ミスト管が損傷してもオイルミストの排出機能を損なうことはない。 補給水ラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電機清水膨張タンク	オーバーフローライン【C】 大気開放ライン【C】	オーバーフローラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 大気開放ラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電機清水加熱器ポンプ	メカニカルシールリークドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設の機能に影響を与えない。	—
非常用ディーゼル発電機潤滑油プライングポンプ	オイルパンドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、オイルパンのドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設の機能に影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (8/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【C】：耐震クラス	評価結果	備考
非常用ディーゼル発電設備潤滑油サブタンク	給油ライン【C】	給油ラインは潤滑油サブタンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
発電用ディーゼル発電設備潤滑油フィルター	ミスト管【C】	ミスト管が損傷してもオイルミストの排出機能を損なうことはないため、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
	ドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、オイルパンのドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設の機能に影響を与えない。	—
	吸気ライン【C】	当該配管が損傷した場合でもディーゼル機関への吸気は継続することから、下位クラス施設の損傷が上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	排気ライン【C】	当該配管が損傷した場合でもディーゼル機関の排気は継続することから、下位クラス施設の損傷が上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	潤滑油補給ライン【C】	当該配管が損傷した場合でも、機関付潤滑油ポンプによってオイルパンからディーゼル機関へ潤滑油が補給されるため、下位クラス施設の損傷が上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	燃料油ドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、燃料油ドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）へ影響を与えない。	—
	ミスト管【C】	ミスト管が損傷してもオイルミストの排出機能を損なうことはないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）の機能に影響を与えない。	—
	吸気ドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、吸気ドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）へ影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (9/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【C】：耐震クラス	評価結果	備考
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	機関付清水ポンプシールリングドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、機関付清水ポンプシールリングドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ディーゼル機関）へ影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料タンク	燃料油ドレンユニットライン【C】	燃料ドレンユニットラインは燃料タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料タンク	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインは燃料タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	ミスト管【C】	ミスト管が損傷してもオイルミストの排出機能を損なうことはないため、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	補給水ライン【C】	補給水ラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	オーバーフローライン【C】	オーバーフローラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	大気開放ライン【C】	大気開放ラインは清水膨張タンクの通常水位より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	メカニカルシールリングドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリングドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設（ポンプ）へ影響を与えない。	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 滑油プライミングポンプ	オイルパンドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、オイルパンのドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設の機能に影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (10/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【C】：耐震クラス	評価結果	備考
軽油タンク	給油ライン【C】 ミスト管【C】 燃料油戻りライン【C】	給油ラインは軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 ミスト管は軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 燃料油戻りラインは軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
原子炉棟換気空調系ダクト （二次格納施設バウンダリ）	換気空調系ダクト【C】	下位クラスの換気空調系ダクトが損傷した場合でも、隔離弁により二次格納施設が隔離されるため、バウンダリ機能に影響を与えない。	—
高圧代替注水系配管	主復水器ライン（蒸気）【B】 燃料プール補給水系ライン【B】	SA 運用時に当該配管の隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。 SA 運用時に当該配管の隔離弁を閉操作し隔離することから、上位クラスの系統機能へ影響を及ぼさない。	—
復水移送ポンプ	グラウンドドレンライン【B】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、グラウンドドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
ガスタービン発電設備軽油タンク	給油ライン【C】 ミスト管【C】 燃料油戻りライン【C】	給油ラインは軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 ミスト管は軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。 燃料油戻りラインは軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—

第 6.2-2 表 女川 2 号機 上位クラス施設と下位クラス施設との接続部の評価結果 (11/11)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス接続配管等【 】：耐震クラス	評価結果	備考
緊急時対策所軽油タンク	ミスト管【C】	ミスト管は軽油タンクの通常油面より上部に接続しており、損傷した場合でも、上位クラス施設（タンク）の機能に影響を与えない。	—
代替循環冷却ポンプ	ブラケットドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、ブラケットドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
	メカニカルシールリークドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—
直流駆動低圧注水系ポンプ	メカニカルシールリークドレンライン【C】	原子炉補機冷却海水ポンプと同様に、メカニカルシールリークドレンラインが損傷した場合でも、上位クラス機能に直接影響を及ぼさないため、上位クラス施設へ影響を与えない。	—

6.3 建屋内における施設の損傷，転倒，落下等による影響検討結果

6.3.1 抽出手順

机上検討及び現地調査を基に，建屋内上位クラス施設に対して，損傷，転倒，落下等により影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

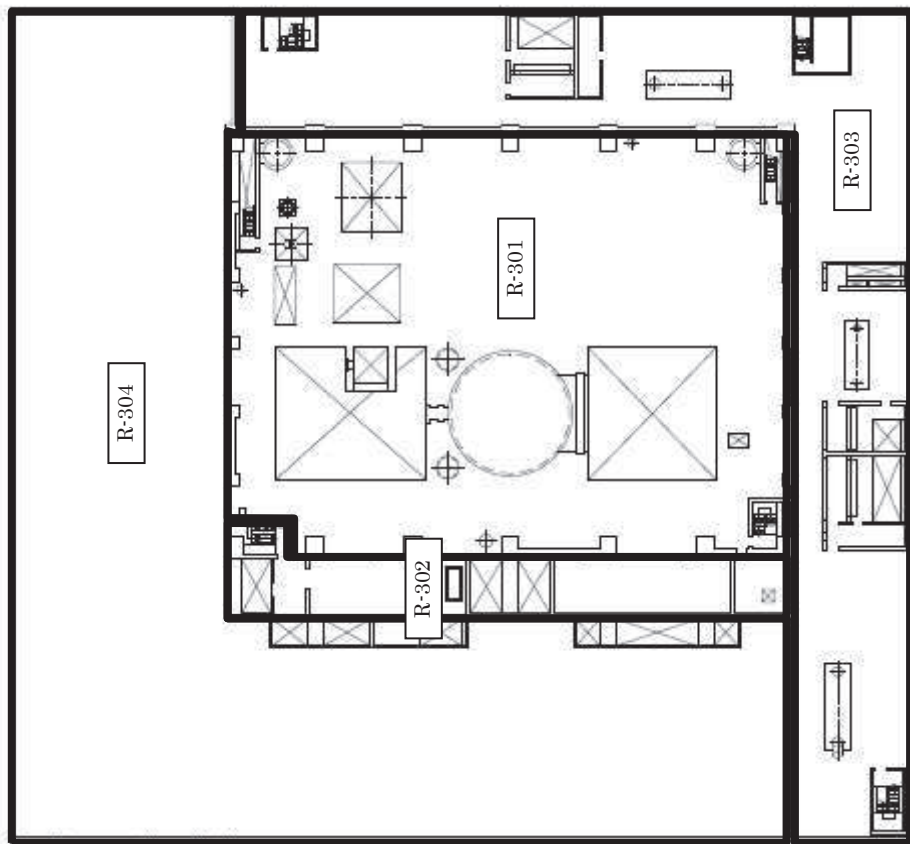
建屋内上位クラス施設の配置図を第 6.3-1 図に示す（配置図上のエリア番号は第 4-2 表の設置場所に該当する）。原子炉建屋クレーンの位置関係概要図を第 6.3-2 図に，燃料交換機の位置関係概要図を第 6.3-3 図に，制御棒貯蔵ハンガ，制御棒貯蔵ラック及び燃料チャンネル着脱機の位置関係概要図を第 6.3-4 図に，原子炉ウェルカバー及び原子炉しゃへい壁の位置関係概要図を第 6.3-5 図に示す。

6.3.2 下位クラス施設の抽出結果

第 5.3-1 図のフローの a に基づいて，上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した結果を第 6.3-1 表に示す。

6.3.3 耐震評価結果

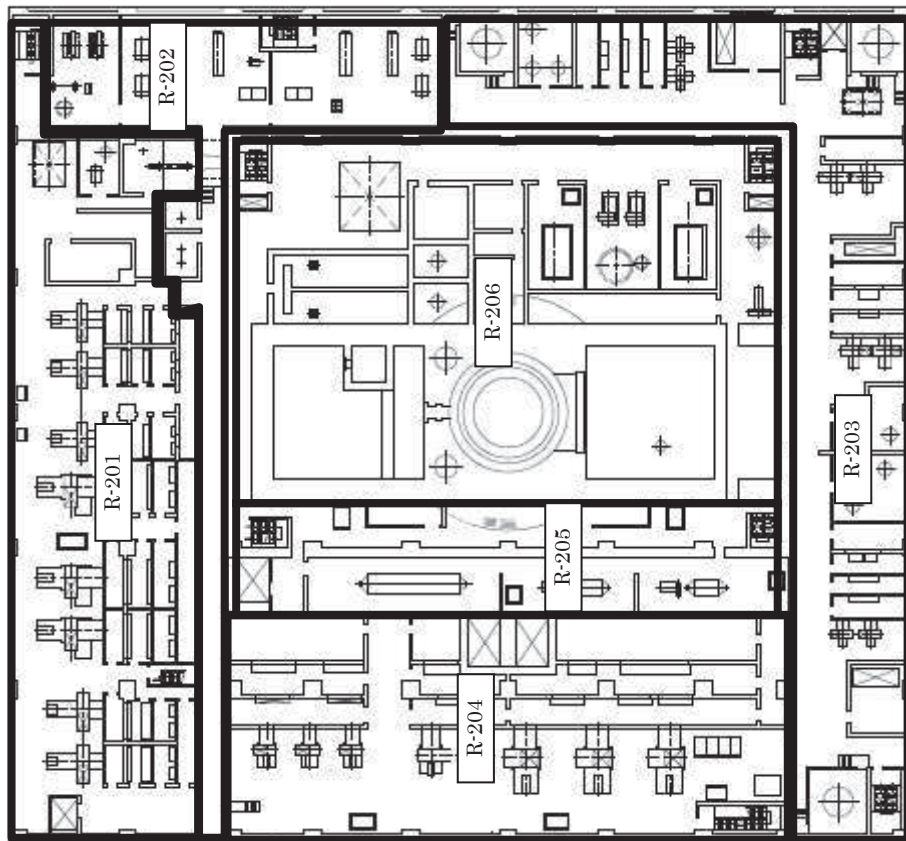
6.3.2 項で抽出した建屋内下位クラス施設の評価結果について，第 6.3-2 表に示す。



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋3F O.P. 33200

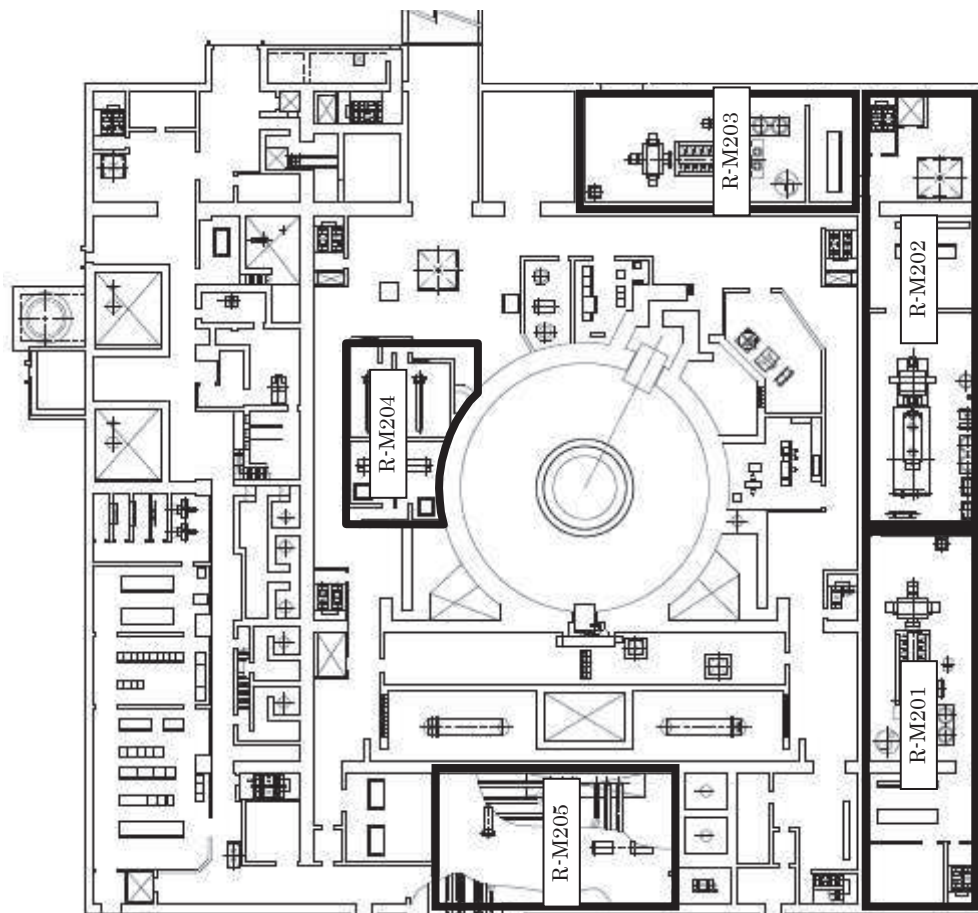
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (1/23)



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋2F O.P. 22500

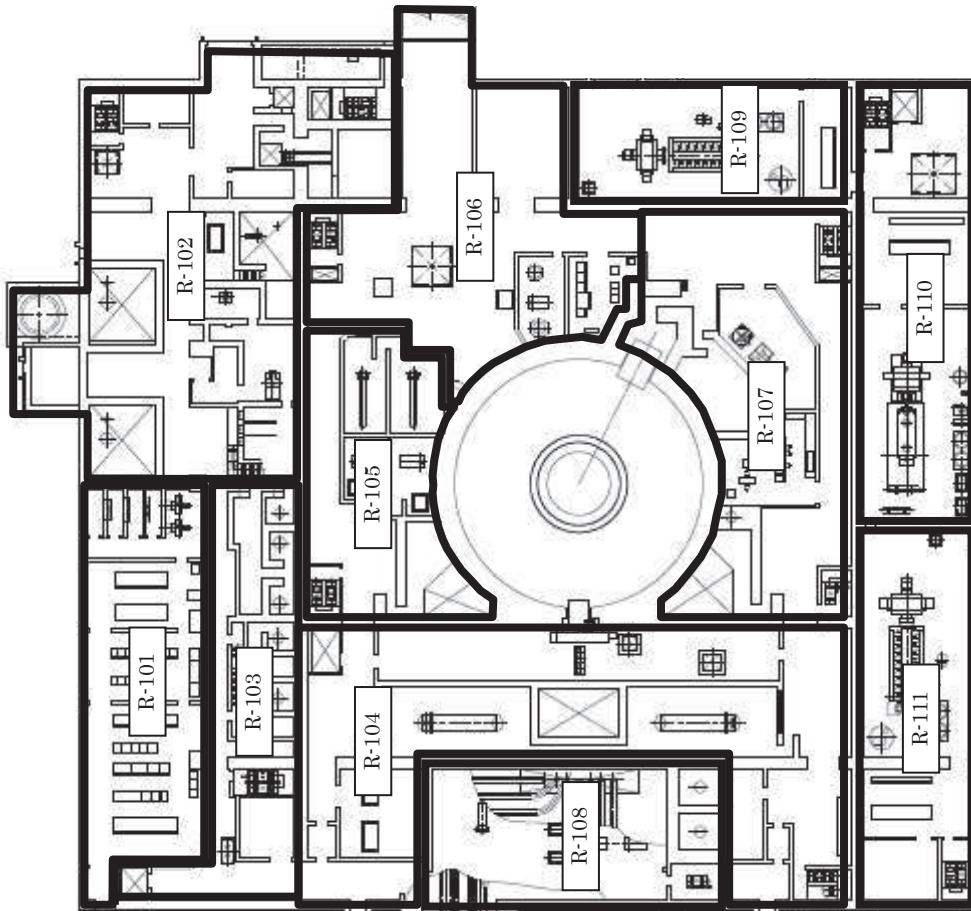
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図(2/23)



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋M2F

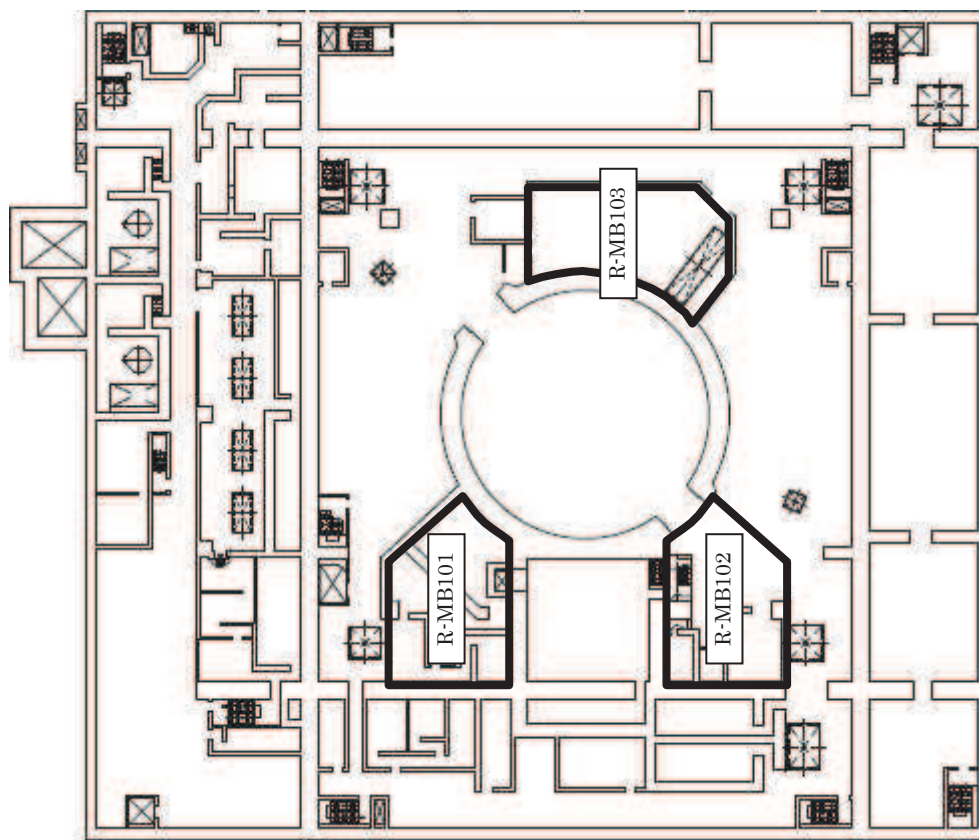
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (3/23)



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋 1F O.P. 15000

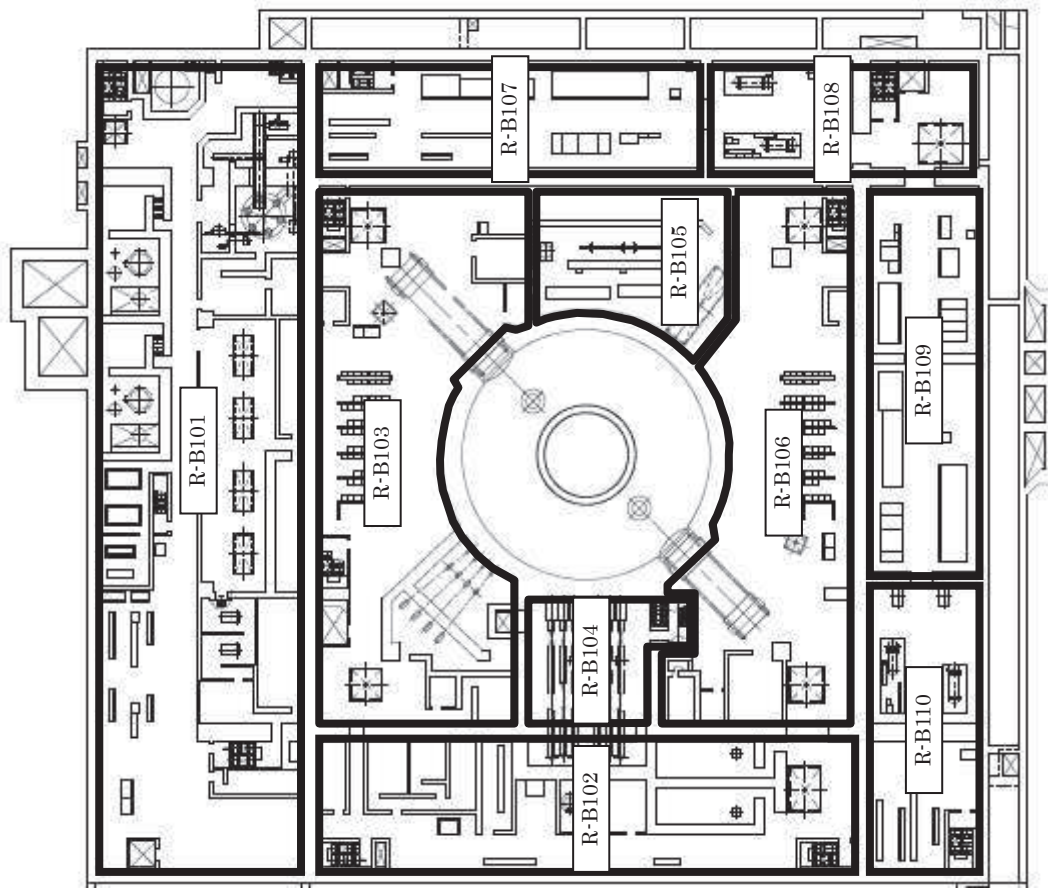
第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (4/23)



第 6.3-1 図 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設配置図 (5/23)

女川原子力発電所第 2 号機

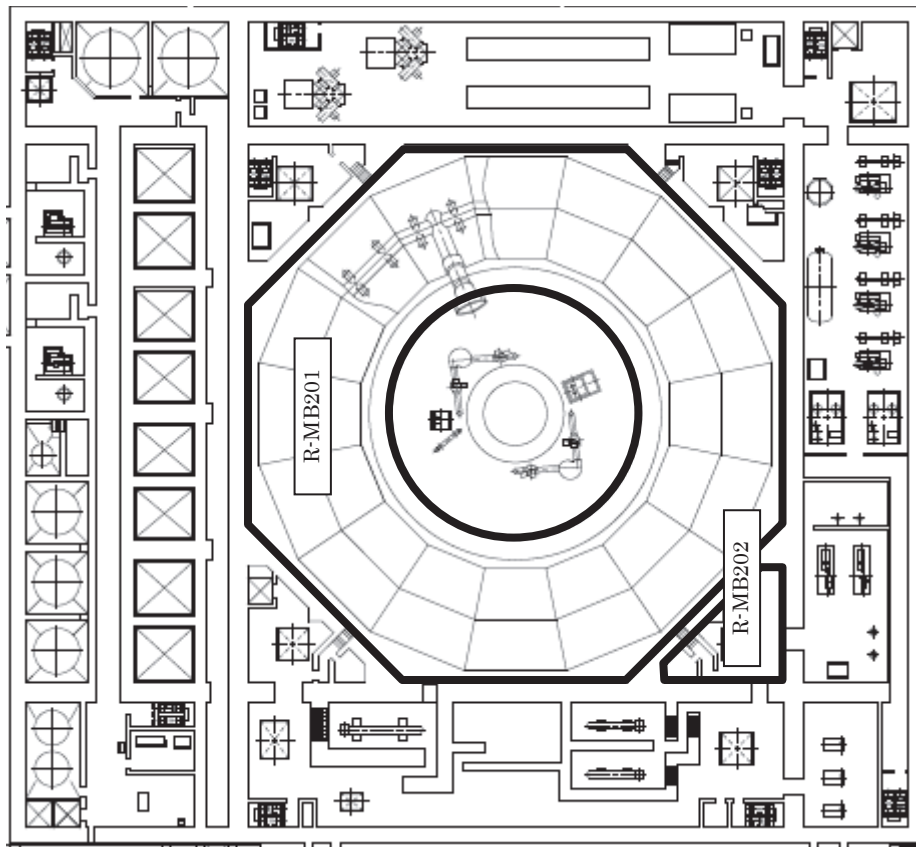
原子炉建屋 MB1F



第 6.3-1 図 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設配置図 (6/23)

女川原子力発電所第 2 号機

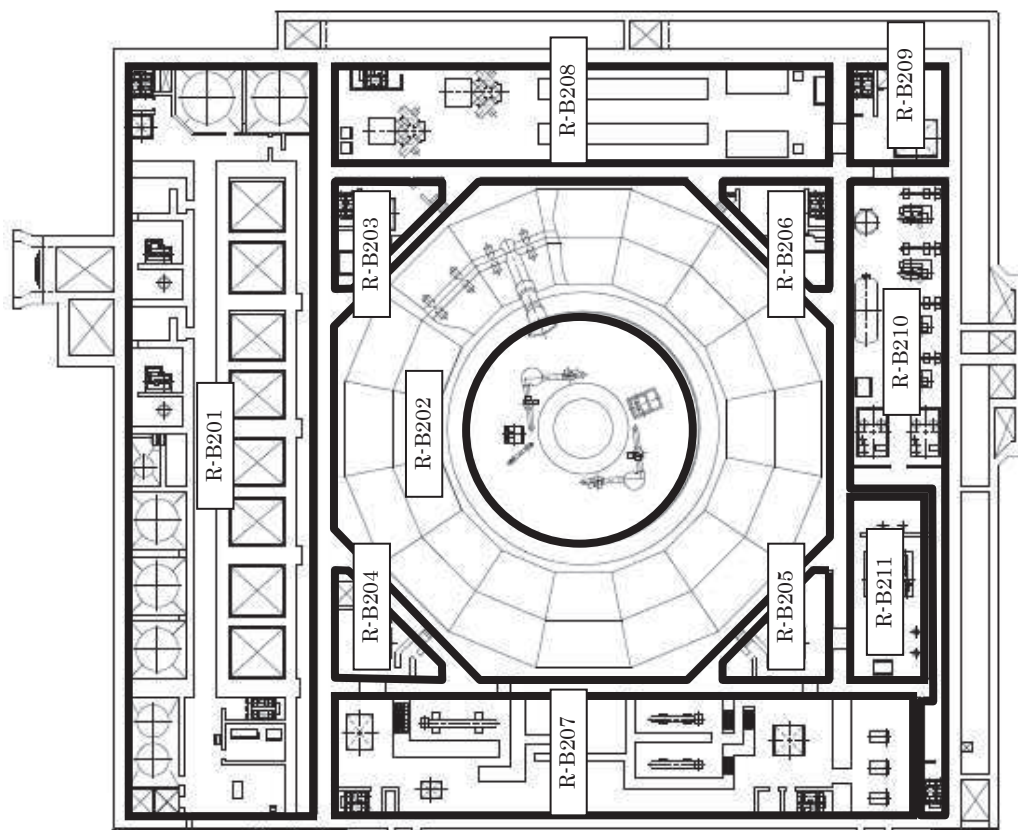
原子炉建屋 B1F O.P. 6000



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋 MB2F

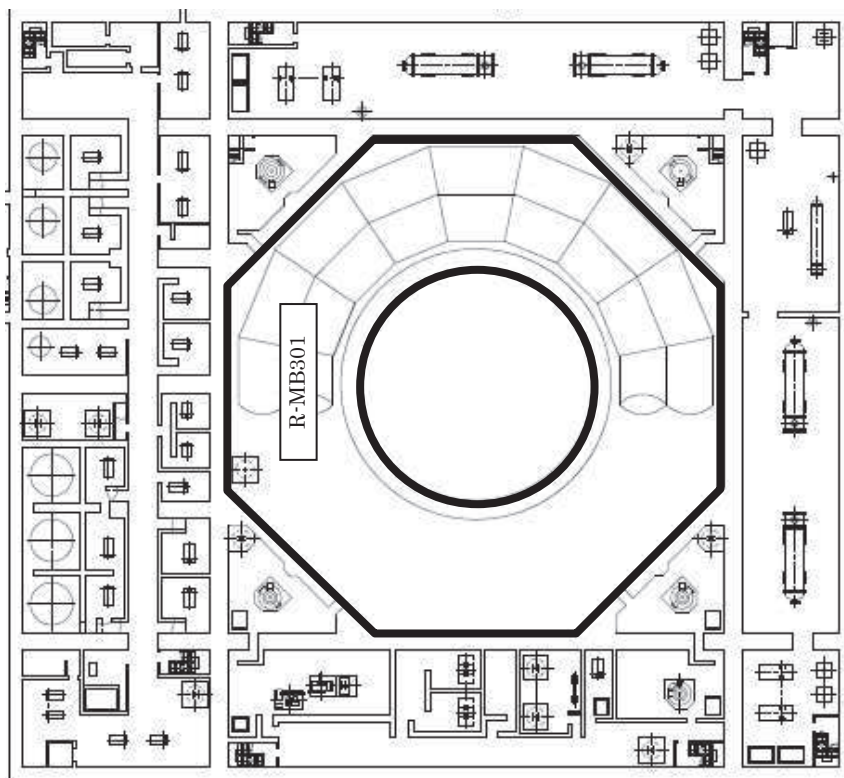
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (7/23)



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋 B2F O.P. -800

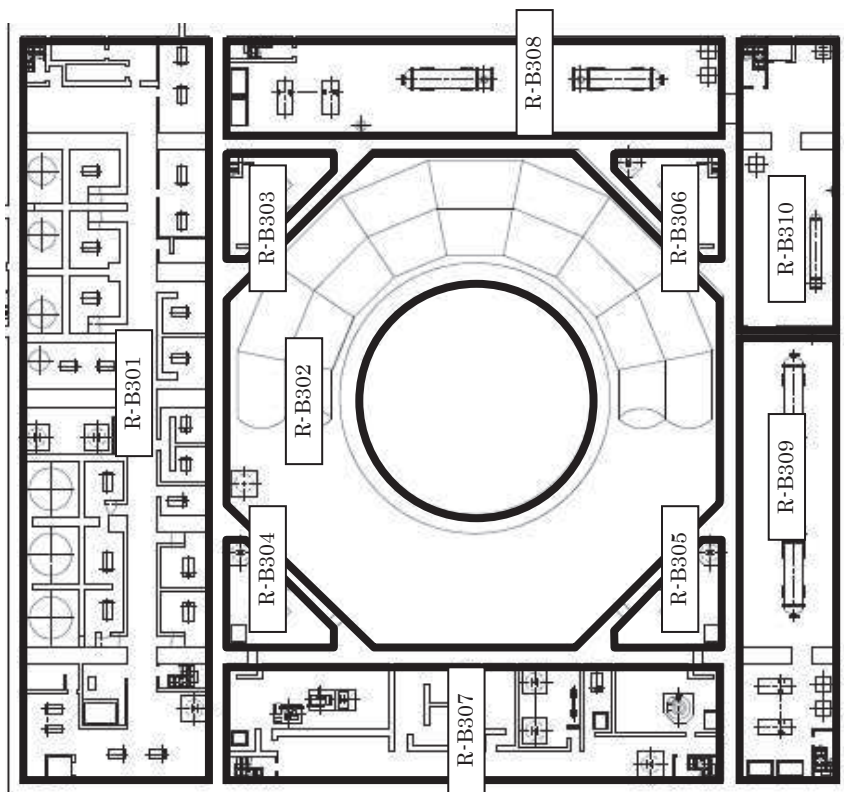
第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (8/23)



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋 MB3F

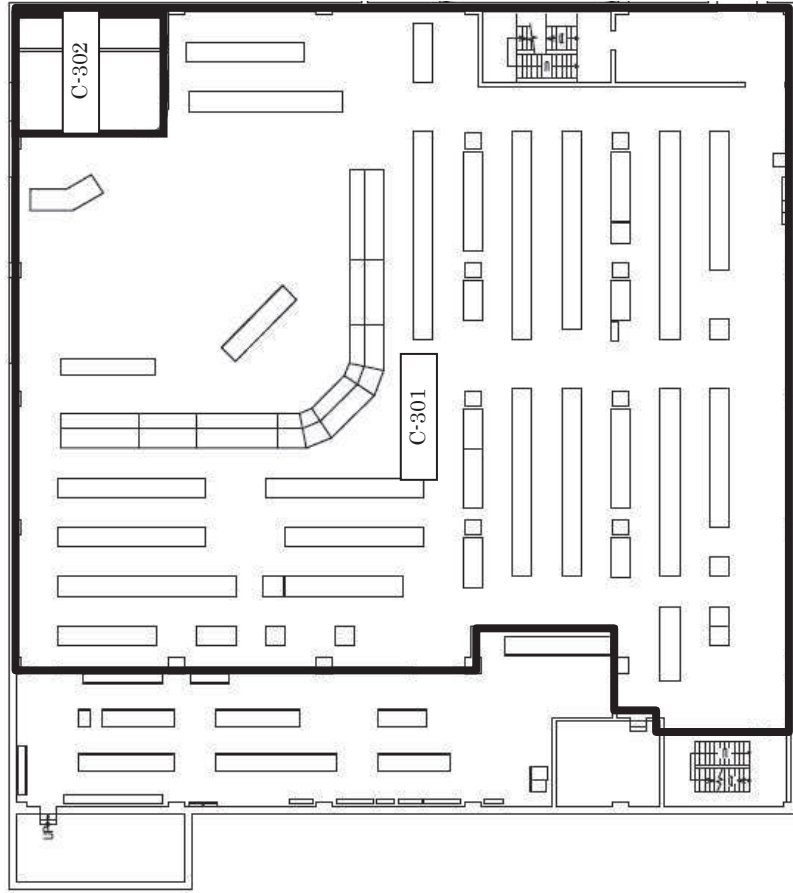
第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (9/23)



女川原子力発電所第2号機

原子炉建屋B3F O.P. -8100

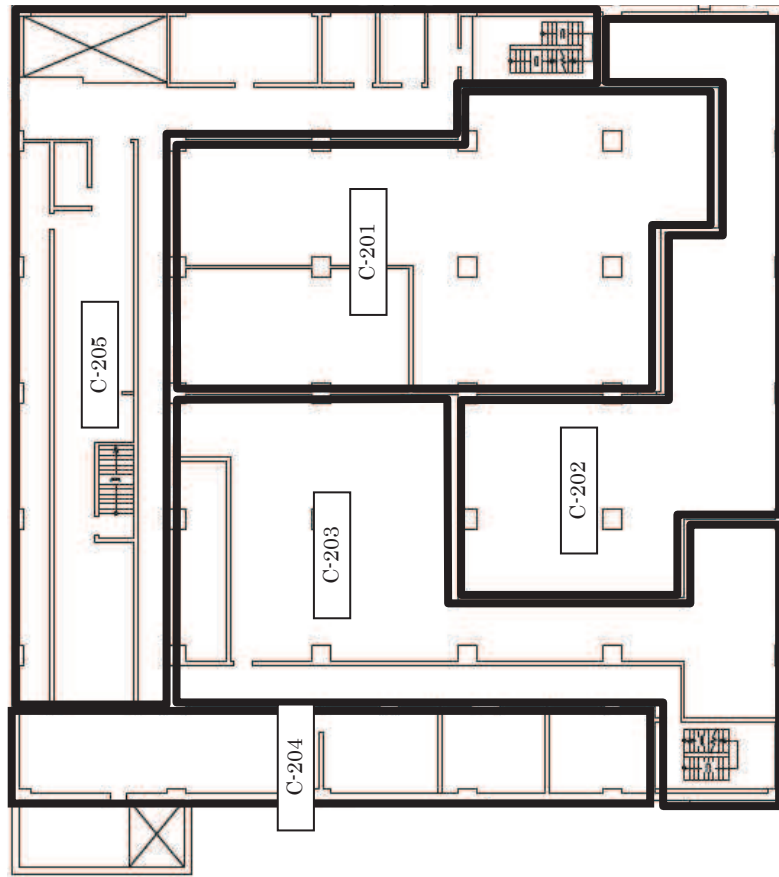
第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (10/23)



女川原子力発電所第2号機

制御建屋 3F O.P. 22950

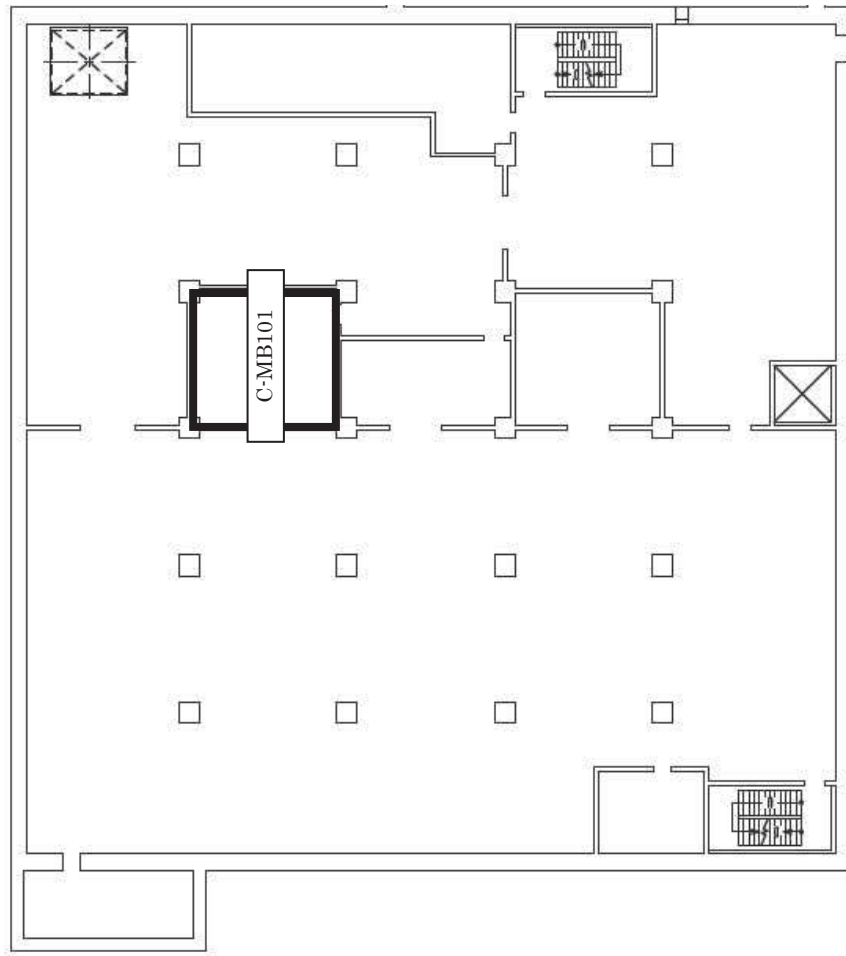
第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (11/23)



女川原子力発電所第2号機

制御建屋2F O.P. 19500

第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (12/23)

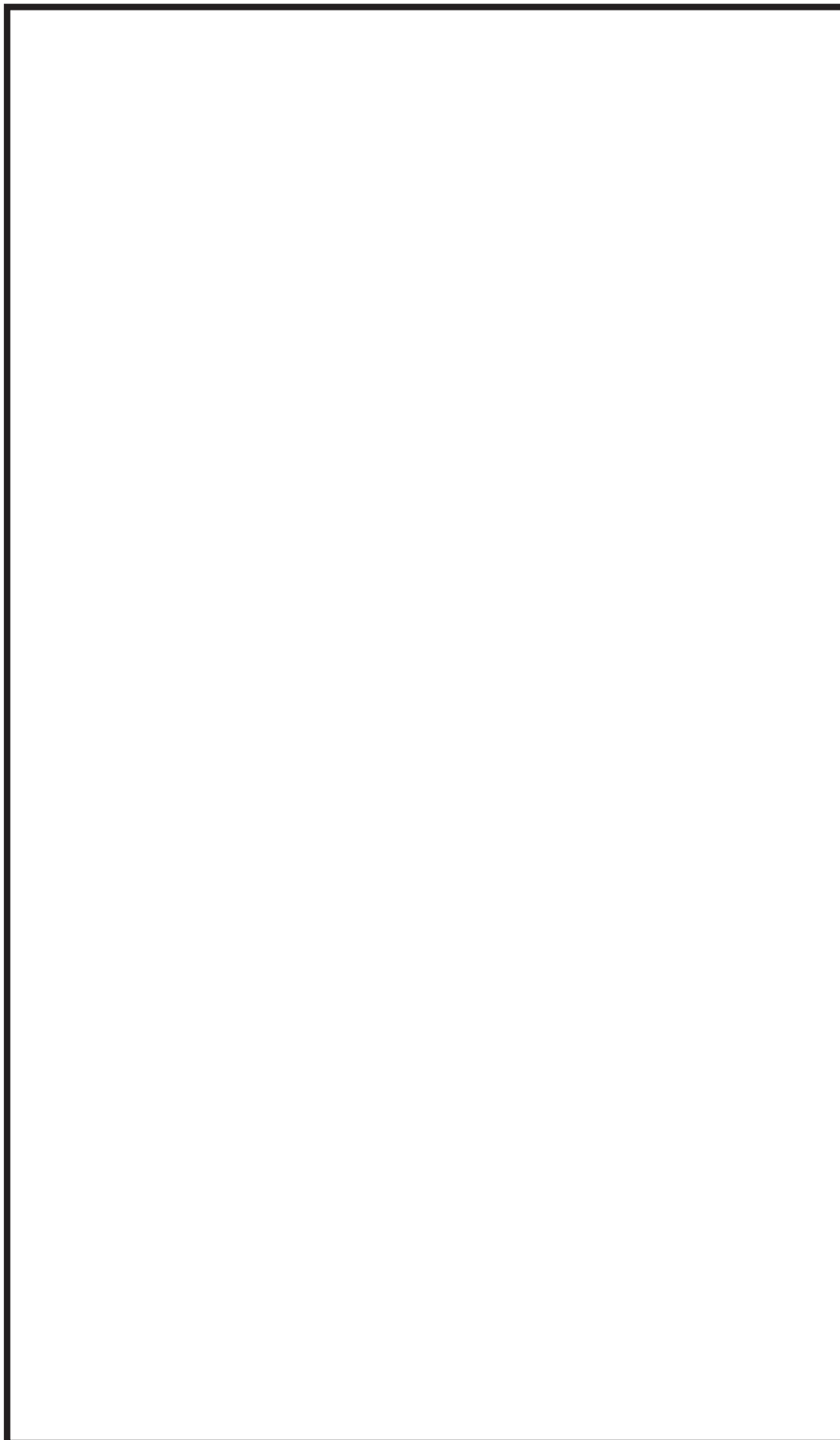


女川原子力発電所第2号機

制御建屋 MB1F

第 6.3-1 図 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設配置図 (13/23)

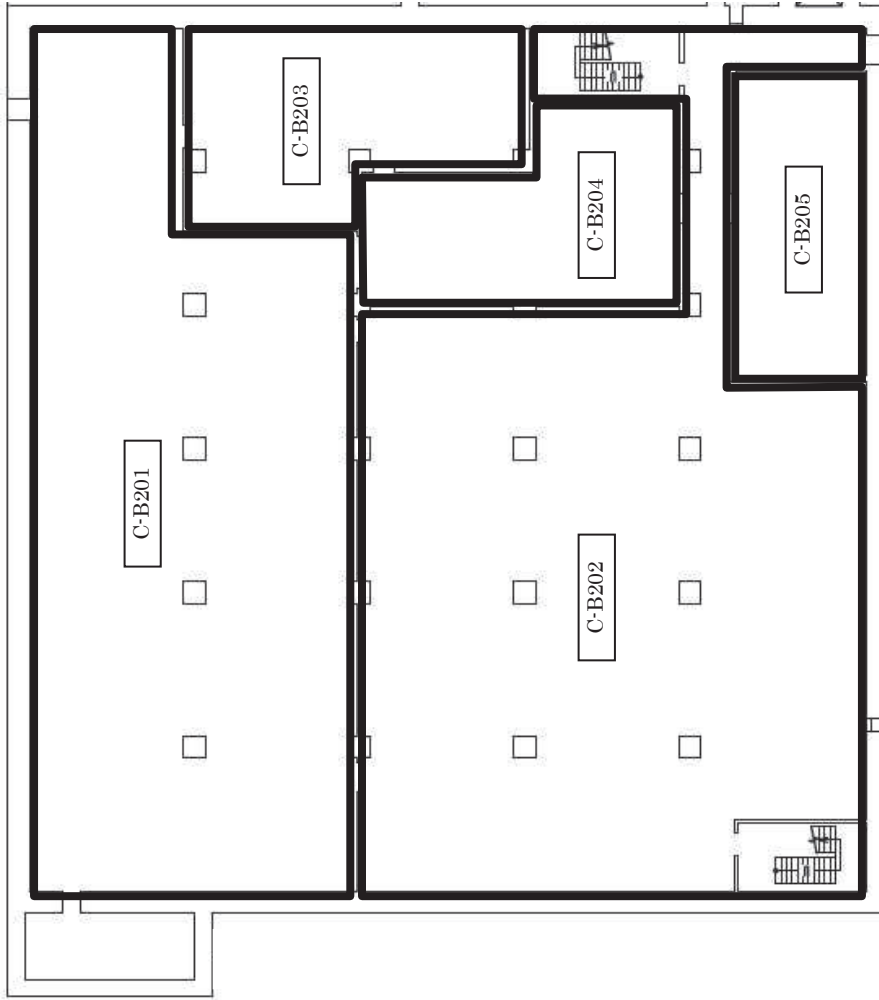
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



第 6.3-1 図 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設配置図 (14/23)

女川原子力発電所第 2 号機

制御建屋 B1F 0.P. 8000



女川原子力発電所第2号機

制御建屋 B2F 0.P. 1500

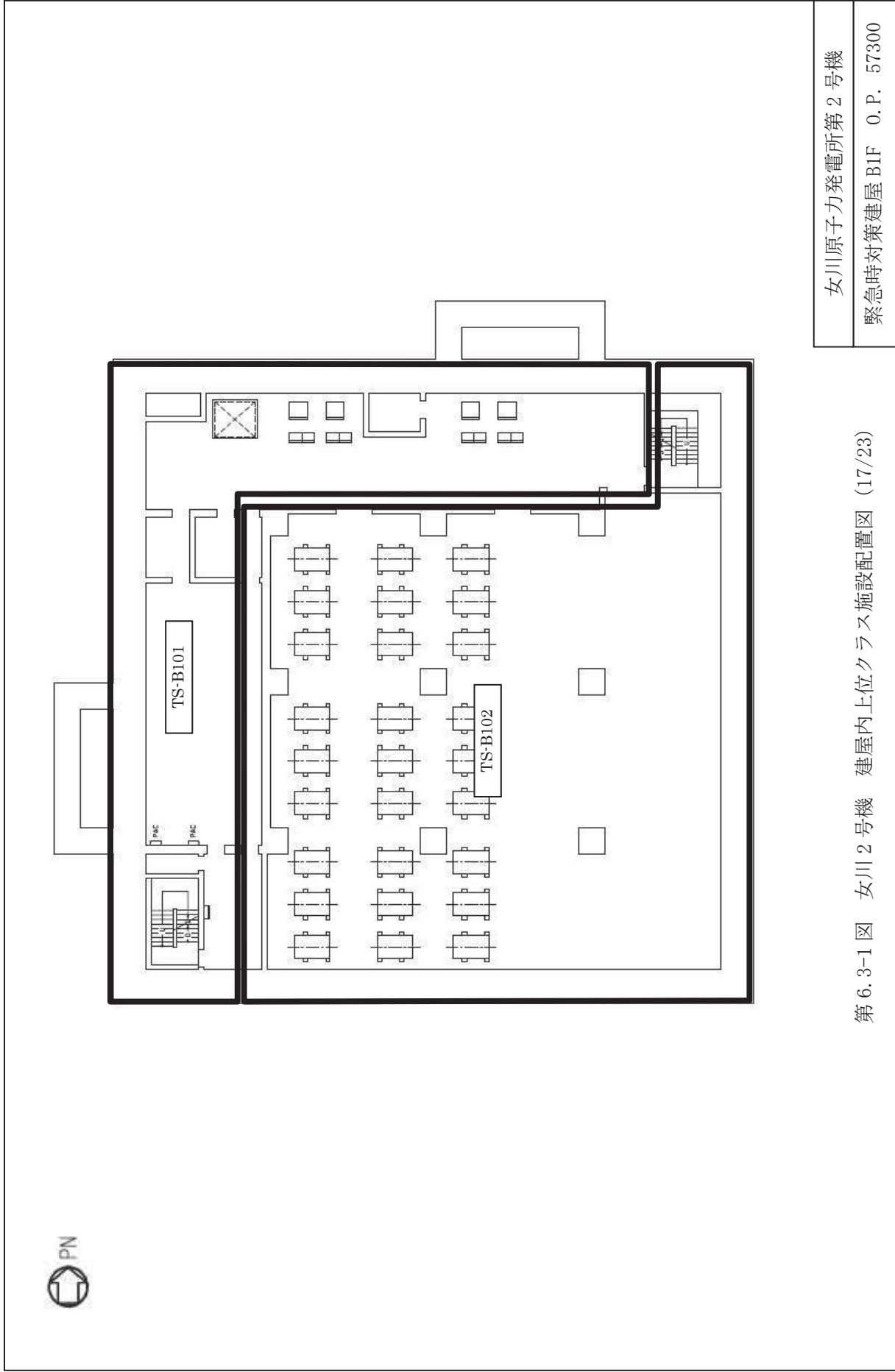
第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (15/23)



女川原子力発電所第2号機

緊急時対策建屋1F O.P. 62200

第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図(16/23)



女川原子力発電所第2号機

緊急時対策建屋 B1F O.P. 57300

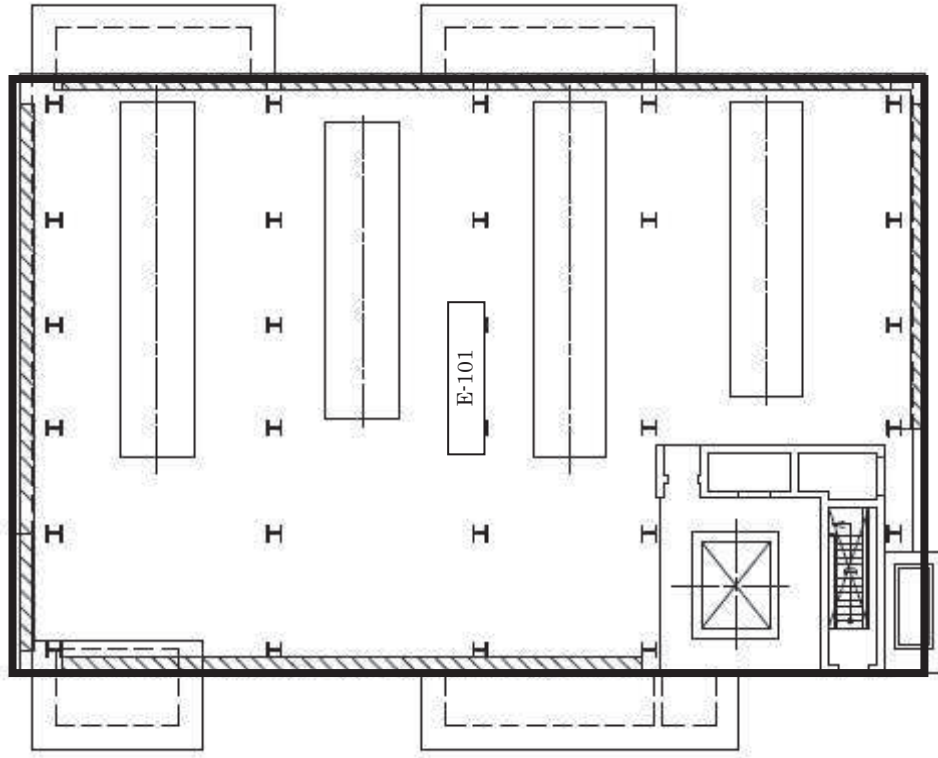
第 6.3-1 図 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設配置図 (17/23)



女川原子力発電所第2号機

緊急時対策建屋 B2F O.P. 51500

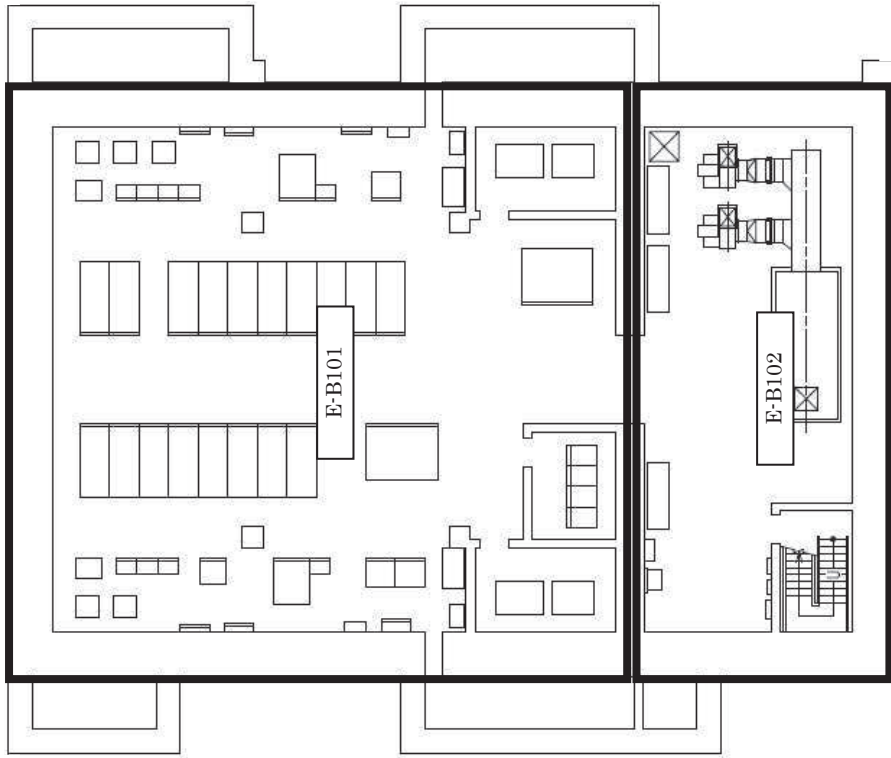
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (18/23)



女川原子力発電所第2号機

緊急用電気品建屋 1F 0.P. 62900

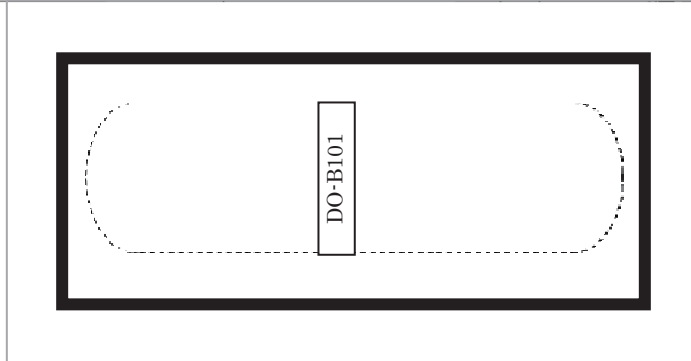
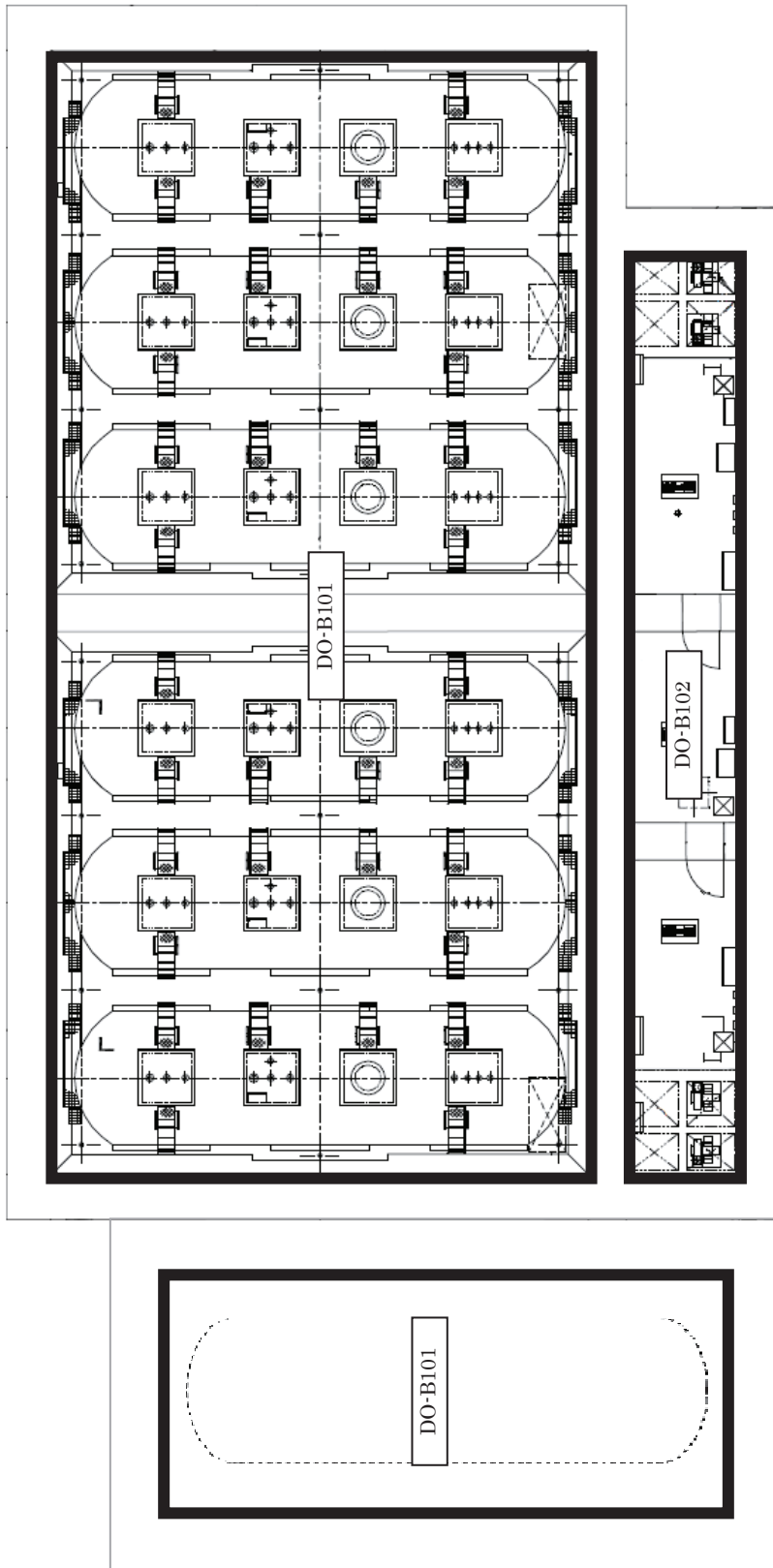
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (19/23)



女川原子力発電所第2号機

緊急用電気品建屋B1F O.P. 56400

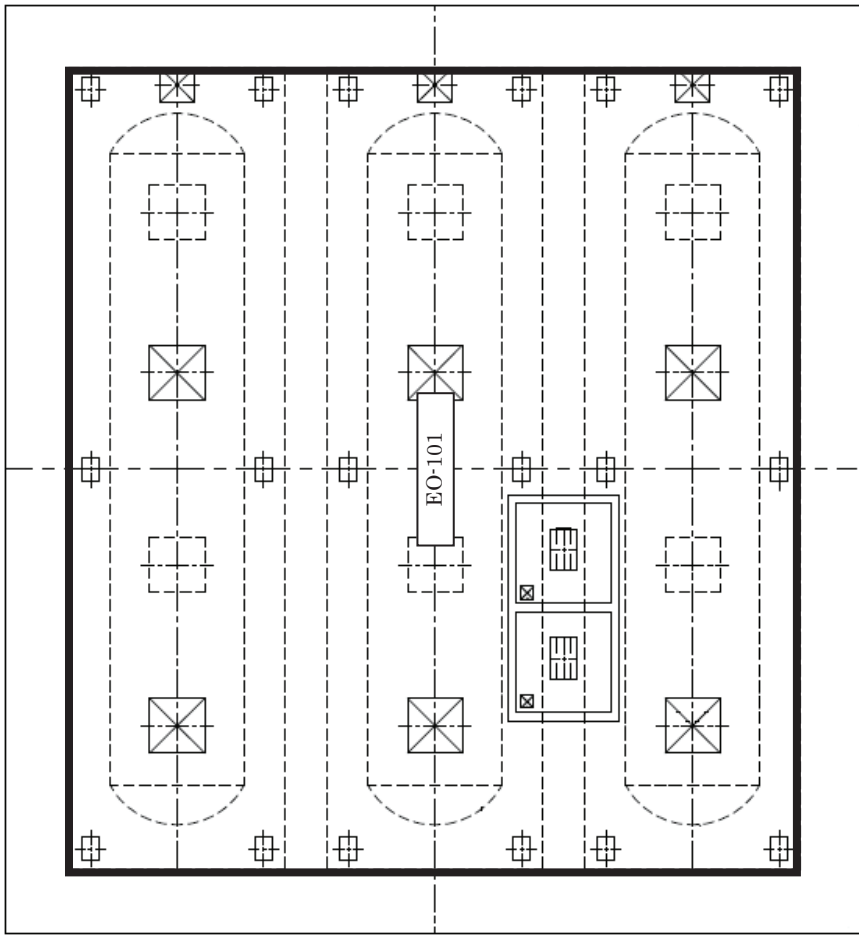
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (20/23)



女川原子力発電所第2号機

軽油タンク室 O.P. 9500

第6.3-1 図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (21/23)

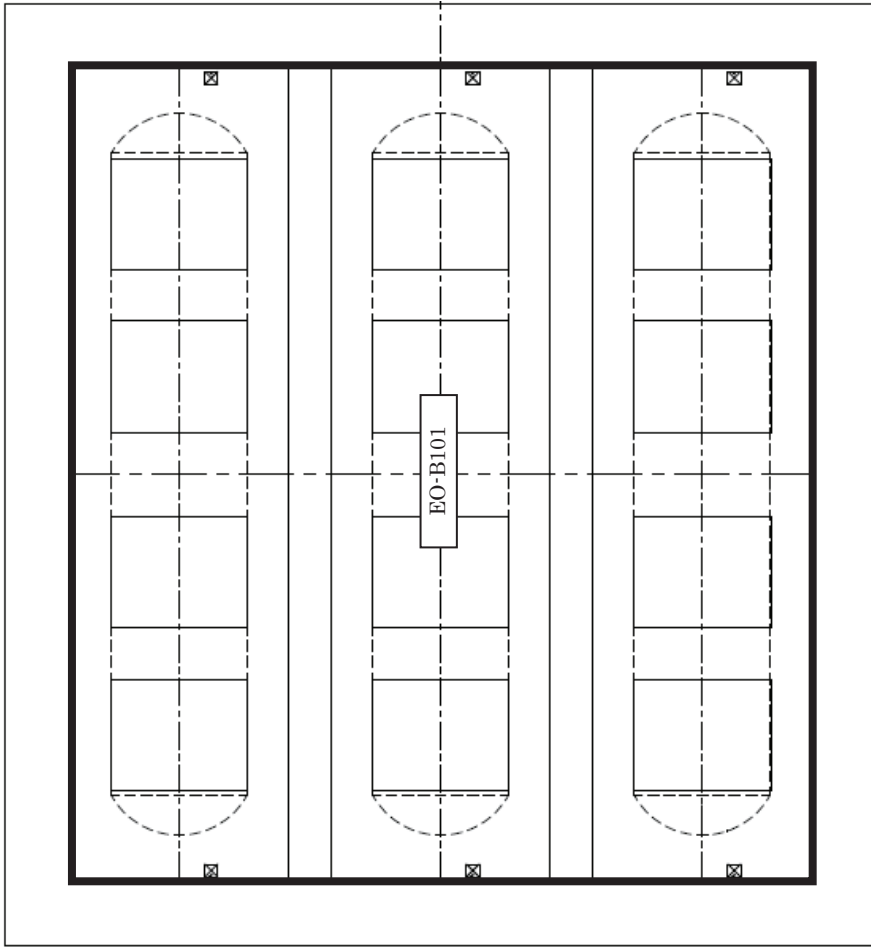


女川原子力発電所第2号機

ガスタービン発電設備

軽油タンク室 O.P. 62300

第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (22/23)

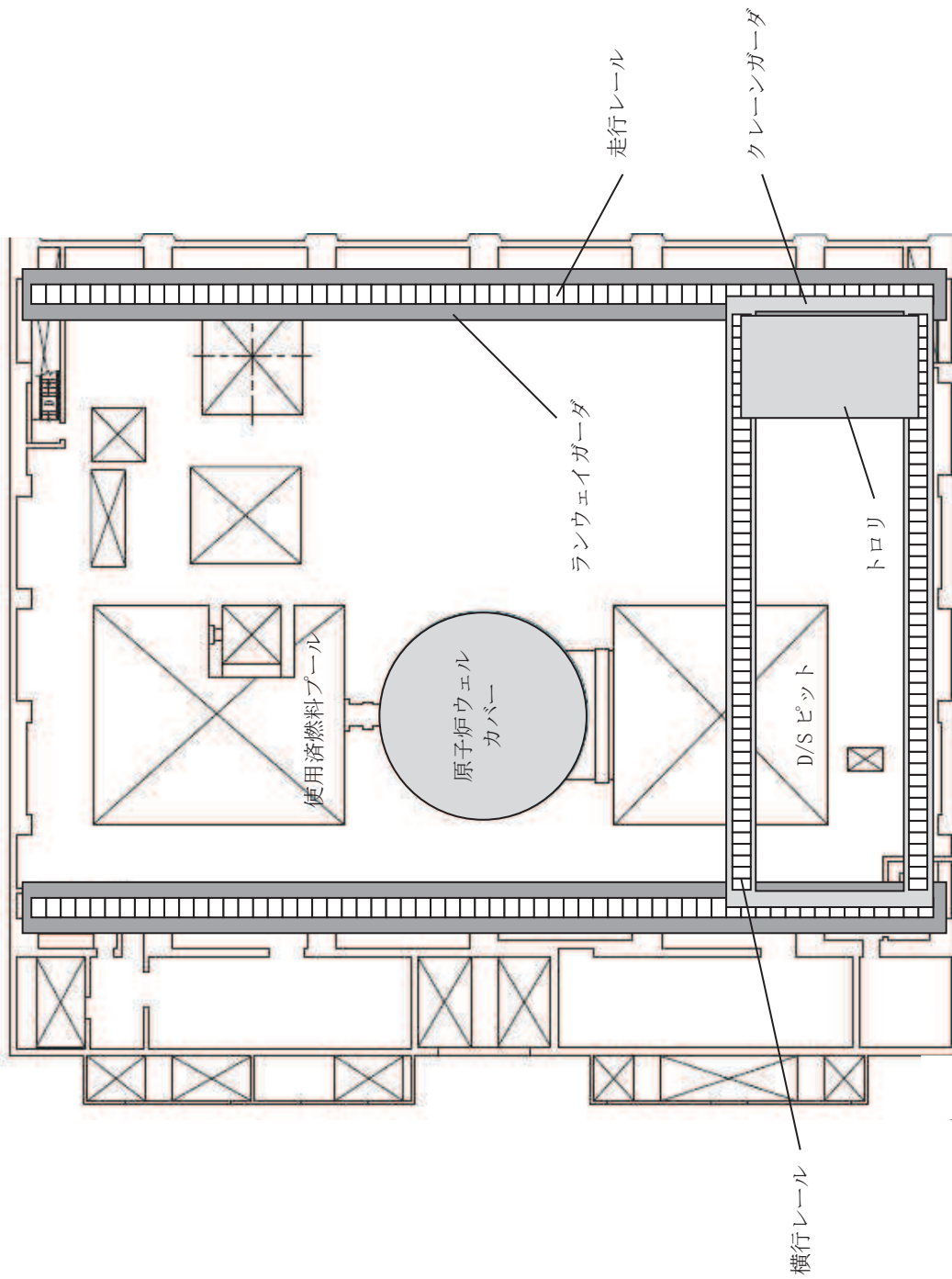


女川原子力発電所第2号機

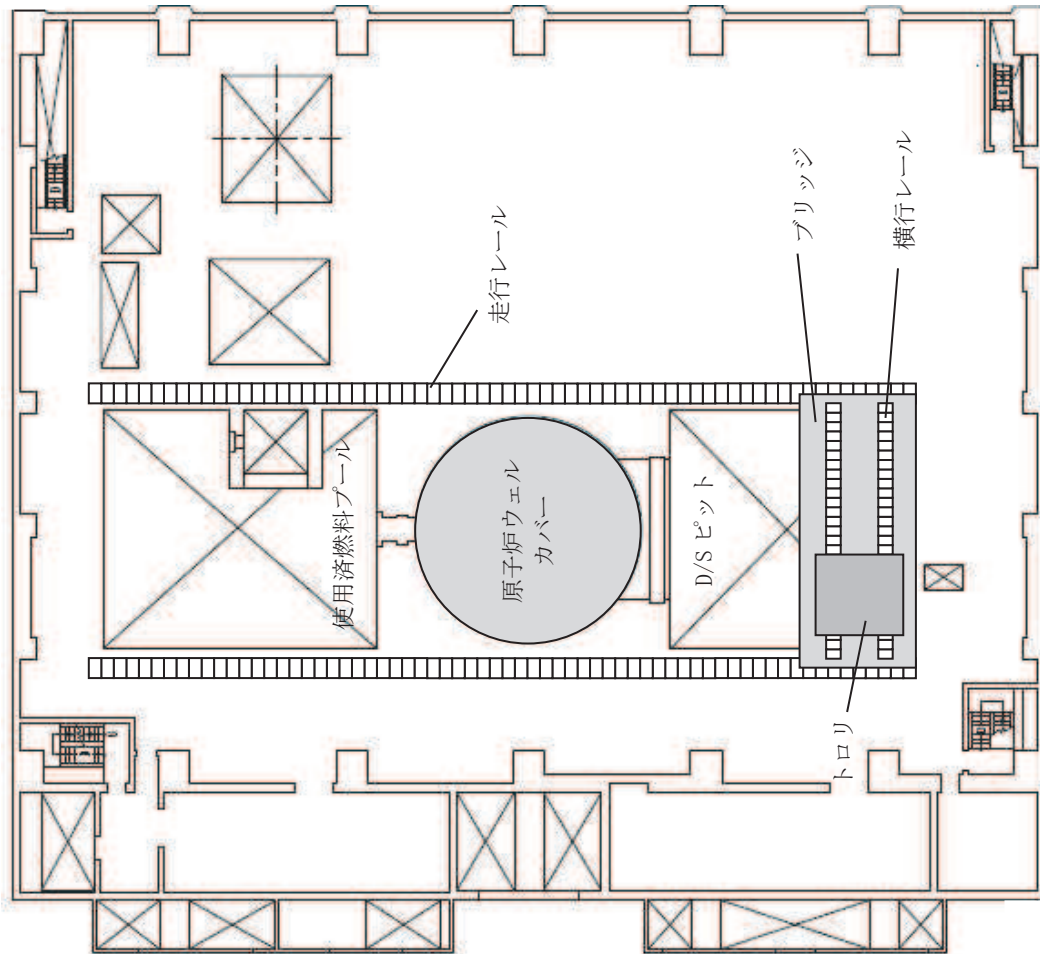
ガスタービン発電設備

軽油タンク室 O.P. 56700

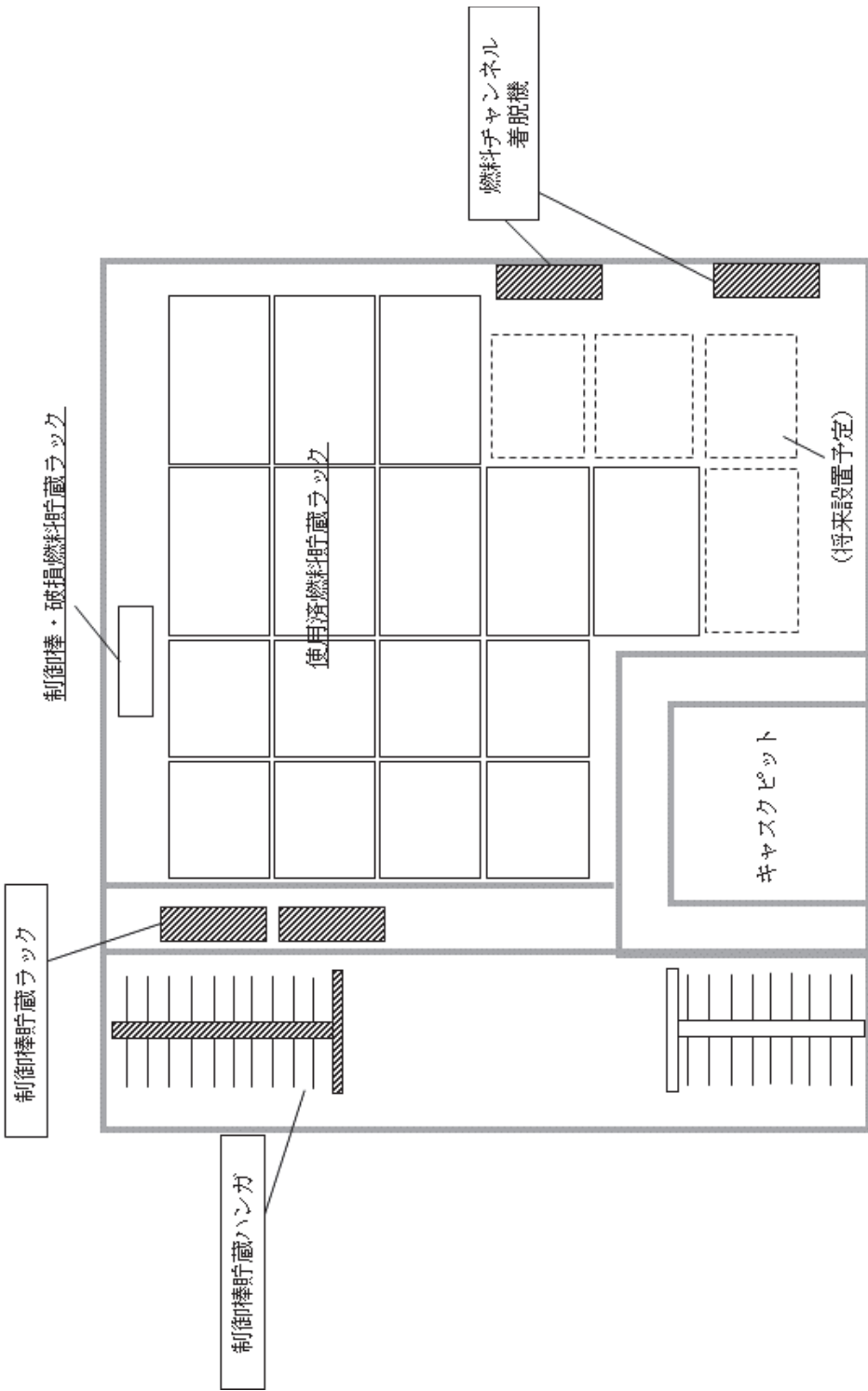
第6.3-1図 女川2号機 建屋内上位クラス施設配置図 (23/23)



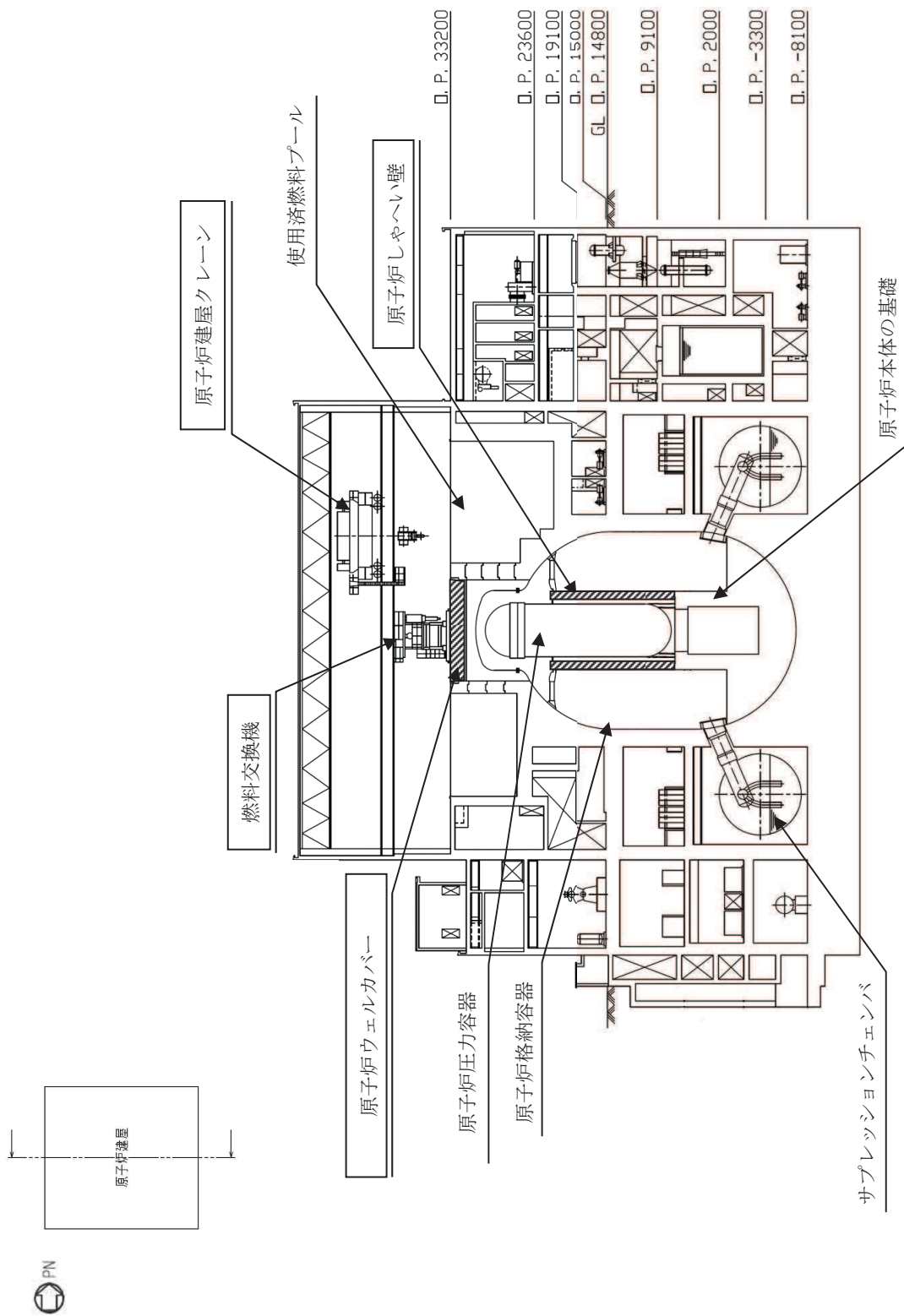
第 6.3-2 図 女川 2 号機 原子炉建屋クレーン位置関係概要図



第6.3-3 図 女川2号機 燃料交換機位置関係概要図



第 6.3-4 図 女川 2 号機 使用済燃料プール内下位クラス設備位置関係概要図



第 6.3-5 図 女川 2 号機 原子炉ウェルカバ及び原子炉しゃへい壁位置関係概要図

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼす
おそれのある下位クラス施設（1/18）

整理 番号	建屋内上位クラス施設（機器・配管）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ （○：有，×：無）	備考
					損傷・転倒・落下	
E001	燃料集合体	Sクラス	R/B	—	×	*1
E002	原子炉圧力容器	Sクラス SA施設	R/B	原子炉しゃへい壁	○	*2
E003	炉心支持構造物	Sクラス SA施設	R/B	—	×	*1
E004	原子炉圧力容器支持構造物	Sクラス	R/B	—	×	*3
E005	原子炉圧力容器付属構造物	Sクラス SA施設	R/B	—	×	*3
E006	原子炉圧力容器内部構造物	Sクラス SA施設	R/B	—	×	*1
E007	使用済燃料プール	Sクラス SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料交換機	○	
E008	使用済燃料貯蔵ラック	Sクラス SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料交換機	○	
				制御棒貯蔵ハンガ	○	*4
				制御棒貯蔵ラック	○	*4
				燃料チャンネル着脱機	○	*4
E009	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	Sクラス SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料交換機	○	
E010	原子炉再循環ポンプ	Sクラス	R/B	—	×	
E011	原子炉再循環系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E012	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用ア キュムレータ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E013	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用ア キュムレータ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E014	主蒸気第一隔離弁用アキュムレータ	Sクラス	R/B	—	×	
E015	主蒸気第二隔離弁用アキュムレータ	Sクラス	R/B	—	×	
E016	主蒸気系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E017	復水給水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E018	残留熱除去系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E019	残留熱除去系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E020	残留熱除去系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E021	残留熱除去系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E022	高圧炉心スプレイ系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E023	高圧炉心スプレイ系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E024	高圧炉心スプレイ系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E025	低圧炉心スプレイ系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E026	低圧炉心スプレイ系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E027	低圧炉心スプレイ系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E028	原子炉隔離時冷却系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E029	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービ ン	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E030	原子炉隔離時冷却系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼす
おそれのある下位クラス施設（2/18）

整理 番号	建屋内上位クラス施設（機器・配管）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
E031	原子炉補機冷却水系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E032	原子炉補機冷却水ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E033	原子炉補機冷却水サージタンク	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E034	原子炉補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E035	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E036	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E037	高压炉心スプレィ補機冷却水系熱交換器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E038	高压炉心スプレィ補機冷却水ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E039	高压炉心スプレィ補機冷却水サージタンク	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E040	高压炉心スプレィ補機冷却水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E041	高压炉心スプレィ補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E042	原子炉冷却材浄化系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E043	制御棒駆動機構	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E044	水圧制御ユニット	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E045	制御棒駆動水圧系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E046	ほう酸水注入系ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E047	ほう酸水注入系貯蔵タンク	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E048	ほう酸水注入系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E049	放射性ドレン移送系配管	Sクラス	R/B	—	×	
E050	燃料プール冷却浄化系ポンプ	SA施設	R/B	—	×	
E051	燃料プール冷却浄化系熱交換器	SA施設	R/B	—	×	
E052	燃料プール冷却浄化系配管	Sクラス SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料交換機	○	
E053	換気空調補機常用冷却水系配管	Sクラス	R/B	—	×	
E054	換気空調補機非常用冷却水系配管	Sクラス	R/B C/B	—	×	
E055	補給水系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E056	高压窒素ガス供給系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E057	所内用圧縮空気系配管	Sクラス	R/B	—	×	
E058	計装用圧縮空気系配管	Sクラス	R/B	—	×	
E059	サンプリング配管	Sクラス	R/B	—	×	
E060	高压窒素ガス供給系窒素ガスボンベラック	Sクラス	R/B	—	×	
E061	中央制御室送風機	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
E062	中央制御室排風機	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
E063	中央制御室再循環送風機	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
E064	中央制御室再循環フィルタ装置	Sクラス SA施設	C/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼす
おそれのある下位クラス施設（3/18）

整理 番号	建屋内上位クラス施設（機器・配管）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
E065	ドライウエル	Sクラス SA施設	R/B	原子炉ウエルカバー	○	*2
E066	ドライウエルベント開口部	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E067	サブプレッションチェンバ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E068	ボックスサポート	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E069	機器搬出入用ハッチ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E070	逃がし安全弁搬出入口	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E071	制御棒駆動機構搬出入口	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E072	所員用エアロック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E073	原子炉格納容器配管貫通部	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E074	原子炉格納容器電気配線貫通部	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E075	ダウンカム	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E076	ベント管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E077	ベント管ベローズ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E078	ベントヘッド	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E079	真空破壊装置	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E080	サブプレッションチェンバスプレイ管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E081	ドライウエルスプレイ管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E082	原子炉格納容器スタビライザ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E083	原子炉格納容器調気系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E084	非常用ガス処理系排風機	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E085	非常用ガス処理系空気乾燥装置	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E086	非常用ガス処理系フィルタ装置	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E087	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E088	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ	Sクラス	R/B	—	×	
E089	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	Sクラス	R/B	—	×	
E090	可燃性ガス濃度制御系配管	Sクラス	R/B	—	×	
E091	非常用ディーゼル発電設備非常用ディー ゼル機関	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E092	非常用ディーゼル発電設備空気だめ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E093	非常用ディーゼル発電設備燃料デイトン ク	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E094	非常用ディーゼル発電設備非常用ディー ゼル発電機	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E095	非常用ディーゼル発電設備清水膨張タン ク	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E096	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E097	非常用ディーゼル発電設備清水冷却器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E098	非常用ディーゼル発電設備潤滑油加熱器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E099	非常用ディーゼル発電設備清水加熱器ボ ンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
E100	非常用ディーゼル発電設備潤滑油ブライ ミングポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（4/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（機器・配管）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
E101	非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンク	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E102	非常用ディーゼル発電設備潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E103	非常用ディーゼル発電設備潤滑油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E104	非常用ディーゼル発電設備燃料油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E105	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	Sクラス SA施設	軽油タンク室	—	—	×	
E106	非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	Sクラス SA施設	R/B 軽油タンク室	—	—	×	
E107	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E108	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 空気だめ	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E109	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料デイトank	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E110	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E111	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水膨張タンク	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E112	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水加熱器	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E113	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水冷却器	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E114	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 潤滑油加熱器	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E115	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 清水加熱器ポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E116	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 潤滑油ブライミングポンプ	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E117	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E118	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料油フィルタ	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E119	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	Sクラス SA施設	軽油タンク室	—	—	×	
E120	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 発電機軸受潤滑油冷却器	Sクラス SA施設	R/B	—	—	×	
E121	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送系配管	Sクラス SA施設	R/B 軽油タンク室	—	—	×	
E122	軽油タンク	Sクラス SA施設	軽油タンク室	—	—	×	
E123	SGTS室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E124	FCS室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E125	CAMS室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E126	FPCポンプ室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E127	LPCSポンプ室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E128	HPCSポンプ室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E129	RHRポンプ室空調機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E130	D/G室非常用給気ケーシング	Sクラス	R/B	—	—	×	
E131	換気空調補機非常用冷却水系冷水ポンプ	Sクラス	R/B	—	—	×	
E132	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E133	原子炉補機(A)室送風機	Sクラス	R/B	—	—	×	
E134	原子炉補機(A)室給気ケーシング	Sクラス	R/B	—	—	×	
E135	原子炉補機(HPCS)室送風機	Sクラス	R/B	—	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（5/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（機器・配管）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
E136	原子炉補機 (HPCS) 室排風機	Sクラス	R/B	—	×		
E137	原子炉補機 (HPCS) 室給気ケーシング	Sクラス	R/B	—	×		
E138	原子炉補機 (B) 室送風機	Sクラス	R/B	—	×		
E139	原子炉補機 (B) 室給気ケーシング	Sクラス	R/B	—	×		
E140	D/G (A) 室非常用送風機	Sクラス	R/B	—	×		
E141	D/G (HPCS) 室非常用送風機	Sクラス	R/B	—	×		
E142	D/G (B) 室非常用送風機	Sクラス	R/B	—	×		
E143	原子炉補機 (A) 室排風機	Sクラス	R/B	—	×		
E144	原子炉補機 (B) 室排風機	Sクラス	R/B	—	×		
E145	RCWポンプ (A) 室空調機	Sクラス	R/B	—	×		
E146	RCWポンプ (B) 室空調機	Sクラス	R/B	—	×		
E147	中央制御室給気ケーシング	Sクラス	C/B	—	×		
E148	計測制御電源室給気ケーシング	Sクラス	C/B	—	×		
E149	計測制御電源 (A) 室送風機	Sクラス	C/B	—	×		
E150	計測制御電源 (A) 室排風機	Sクラス	C/B	—	×		
E151	計測制御電源 (B) 室送風機	Sクラス	C/B	—	×		
E152	計測制御電源 (B) 室排風機	Sクラス	C/B	—	×		
E153	中央制御室換気空調系ダクト	Sクラス SA施設	C/B	—	×		
E154	計測制御電源 (A) 室換気空調系ダクト	Sクラス	C/B	—	×		
E155	計測制御電源 (B) 室換気空調系ダクト	Sクラス	C/B	—	×		
E156	スキマサージタンク	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	*5	
				燃料交換機	○		
E157	高压代替注水系タービンポンプ	SA施設	R/B	—	×		
E158	高压代替注水系配管	SA施設	R/B	—	×		
E159	代替高压室素ガス供給系配管	SA施設	R/B	—	×		
E160	復水移送ポンプ	SA施設	R/B	—	×		
E161	原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置	SA施設	R/B	—	×		
E162	原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置出口側圧力開放板	SA施設	R/B	—	×		
E163	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設	R/B	—	×		
E164	静的触媒式水素再結合装置	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○		
E165	ガスタービン発電機	SA施設	緊急用電気品 建屋	—	×		
E166	ガスタービン発電設備軽油タンク	SA施設	ガスタービン発電 設備軽油タンク室	—	×		
E167	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設	ガスタービン発電 設備軽油タンク室 緊急用電気品建屋	—	×		
E168	ガスタービン発電設備燃料小出槽	SA施設	緊急用電気品 建屋	—	×		
E169	中央制御室しゃへい壁	Sクラス SA施設	C/B	—	×		

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（6/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（機器・配管）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
E170	中央制御室待避所遮蔽	SA施設	C/B	—		×	
E171	中央制御室待避所加圧設備	SA施設	C/B	—		×	
E172	緊急時対策所遮蔽	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E173	緊急時対策所非常用送風機	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E174	緊急時対策所非常用フィルタ装置	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E175	緊急時対策所加圧設備	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E176	緊急時対策所換気空調系ダクト	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E177	緊急時対策所軽油タンク	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E178	緊急時対策所燃料移送系配管	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E179	代替循環冷却ポンプ	SA施設	R/B	—		×	
E180	原子炉建屋ブローアウトパネル	SA施設	R/B	—		×	
E181	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	SA施設	R/B	—		×	
E182	直流駆動低圧注水系ポンプ	SA施設	R/B	—		×	
E183	直流駆動低圧注水系配管	SA施設	R/B	—		×	
E184	遠隔手動弁操作設備	SA施設	R/B	—		×	
E185	緊急時対策所非常用給排気配管	SA施設	緊急時対策建屋	—		×	
E186	原子炉棟換気空調系ダクト （二次格納施設バウンダリ）	Sクラス	R/B	—		×	
E187	燃料プール代替注水系配管	SA施設	R/B	—		×	
E188	燃料プールのスプレイ系配管	SA施設	R/B	—		×	
E189	原子炉補機代替冷却水系配管	SA施設	R/B	—		×	
E190	原子炉格納容器下部注水系配管	SA施設	R/B	—		×	
E191	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系配管	SA施設	R/B	—		×	
E192	代替循環冷却系配管	SA施設	R/B	—		×	
E193	可搬型窒素ガス供給系配管	SA施設	R/B	—		×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（7/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（弁）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ （○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
V001	主蒸気逃がし安全弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V002	主蒸気第一隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V003	主蒸気第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V004	主蒸気ドレンライン第一隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V005	主蒸気ドレンライン第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V006	原子炉給水逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V007	FDW第二隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V008	FDW第一隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V009	SLCタンク出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V010	SLC注入電動弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V011	RHRポンプS/C吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V012	RHRポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V013	RHR熱交換器バイパス弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V014	RHR LPCI注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V015	RHR LPCI注入試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V016	RHR熱交換器出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V017	RHR格納容器スプレイ流量調節弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V018	RHR格納容器スプレイ隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V019	RHR S/Cスプレイ隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V020	RHR停止時冷却吸込第一隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V021	RHR停止時冷却吸込第二隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V022	RHRポンプ停止時冷却吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V023	RHR停止時冷却注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V024	RHR停止時冷却試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V025	RHRヘッドスプレイ注入隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V026	RHRヘッドスプレイ注入逆止弁	Sクラス	R/B	—	×	*3	
V027	RHRポンプミニマムフロー逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V028	RHRポンプミニマムフロー弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V029	LPCSポンプS/C吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V030	LPCSポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V031	LPCS注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V032	LPCS注入ライン試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V033	LPCSポンプミニマムフロー逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V034	LPCSポンプミニマムフロー弁	Sクラス	R/B	—	×		
V035	HPCSポンプCST吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（8/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（弁）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
V036	HPCSポンプCST吸込逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V037	HPCS注入隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V038	HPCS注入ライン試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V039	HPCSポンプS/C吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V040	HPCSポンプS/C吸込逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V041	HPCSポンプCST側ミニマムフロー第一弁	Sクラス	R/B	—	×		
V042	HPCSポンプS/C側ミニマムフロー弁	Sクラス	R/B	—	×		
V043	RCICポンプCST吸込弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V044	RCICポンプCST吸込逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V045	RCIC注入弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V046	RCIC注入ライン試験可能逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V047	RCICポンプS/C吸込弁	Sクラス	R/B	—	×		
V048	RCICポンプS/C吸込逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V049	RCICタービン入口蒸気ライン第一隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V050	RCICタービン入口蒸気ライン第二隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V051	RCICタービン止め弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V052	RCICタービン排気ライン逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V053	RCICタービン排気ライン隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V054	RCICポンプミニマムフロー逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V055	RCICポンプミニマムフロー弁	Sクラス	R/B	—	×		
V056	RCIC冷却水ライン止め弁	Sクラス	R/B	—	×		
V057	RCIC冷却水ライン圧力調整弁	Sクラス	R/B	—	×		
V058	RCIC真空ポンプ吐出ライン逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V059	RCIC真空ポンプ吐出ライン隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V060	CUW入ロライン第一隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V061	CUW入ロライン第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V062	CUW注入ライン逆止弁	Sクラス	R/B	—	×		
V063	FPC燃料プール再循環逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V064	FPC燃料プール注入逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○		
				燃料交換機	○		
V065	D/W LCWサンプ第一隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V066	D/W LCWサンプ第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V067	D/W HCWサンプ第一隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V068	D/W HCWサンプ第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V069	FPMUW燃料プール注入弁	Sクラス	R/B	—	×		

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（9/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（弁）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
V070	HNCW供給ライン第二隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V071	HNCW戻りライン第一隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V072	HNCW戻りライン第二隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V073	中央制御室給気冷却コイル温度調節弁	Sクラス	R/B	—		×	
V074	HECW往還差圧調節弁	Sクラス	R/B	—		×	
V075	計測制御電源室給気冷却コイル温度調節弁	Sクラス	R/B	—		×	
V076	原子炉補機室給気冷却コイル温度調節弁	Sクラス	R/B	—		×	
V077	RCWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V078	RCW熱交換器冷却水出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V079	RCW冷却水供給温度熱交換器調節弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V080	RCW冷却水供給温度調節弁後弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V081	RCW冷却水供給温度ポンプ調節弁	Sクラス	R/B	—		×	
V082	RHR熱交換器冷却水出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V083	RCWサージタンク非常用補給水弁	Sクラス	R/B	—		×	
V084	非常用D/G冷却水出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V085	RCW常用冷却水緊急しゃ断弁	Sクラス	R/B	—		×	
V086	RCW常用冷却水供給側分離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V087	RCW常用冷却水戻り側分離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V088	RCW常用冷却水戻り側逆止弁	Sクラス	R/B	—		×	
V089	RCW供給側第二隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V090	RCW供給側第一隔離逆止弁	Sクラス	R/B	—		×	
V091	RCW戻り側第一隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V092	RCW戻り側第二隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V093	原子炉補機冷却海水系ストレーナ旋回弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V094	RSWストレーナブロー弁	Sクラス	R/B	—		×	
V095	HPCWサージタンク非常用補給水弁	Sクラス	R/B	—		×	
V096	HPIN非常用窒素ガス入口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V097	HPIN常用非常用窒素ガス連絡弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V098	非常用ガス処理系入口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V099	非常用ガス処理系空気乾燥装置入口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V100	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—		×	
V101	ページ用空気供給側隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V102	D/Wページ用入口隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V103	S/Cページ用入口隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	
V104	格納容器外真空逃がし逆止隔離弁	Sクラス	R/B	—		×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（10/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（弁）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）		備考
					損傷・転倒・落下		
V105	格納容器外真空逃がし隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V106	補給用窒素ガス供給側第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V107	D/W補給用窒素ガス供給用第一隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V108	S/C補給用窒素ガス供給用第一隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V109	パージ用窒素ガス供給側第二隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V110	D/Wベント用出入口隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V111	ベント用SGTS側隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V112	ベント用HVAC側隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V113	S/Cベント用出入口隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V114	D/Wベント用出入口隔離弁バイパス弁	Sクラス	R/B	—	×		
V115	S/Cベント用出入口隔離弁バイパス弁	Sクラス	R/B	—	×		
V116	PCV耐圧強化ベント用連絡配管隔離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V117	PCV耐圧強化ベント用連絡配管止め弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V118	FCS入口隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V119	FCS出口隔離弁	Sクラス	R/B	—	×		
V120	RCICタービン入口蒸気ドレンライン第一弁	Sクラス	R/B	—	×		
V121	RHRヘッドスプレイライン洗浄流量調節弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V122	RHR B系格納容器冷却ライン洗浄流量調節弁	SA施設	R/B	—	×		
V123	原子炉再循環ポンプ吐出弁	Sクラス	R/B	—	×		
V124	RHR試験用調整弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×		
V125	CRD復水入口弁	SA施設	R/B	—	×		
V126	MUWCサンプリング取出止め弁	SA施設	R/B	—	×		
V127	復水貯蔵タンク常用，非常用給水管連絡ライン止め弁	SA施設	R/B	—	×		
V128	FPMUWポンプ吸込弁	SA施設	R/B	—	×		
V129	復水貯蔵タンク常用，非常用給水管連絡ライン逆止弁	SA施設	R/B	—	×		
V130	R/B 1F 緊急時隔離弁	SA施設	R/B	—	×		
V131	緊急時原子炉北側外部注水入口弁	SA施設	R/B	—	×		
V132	T/B 緊急時隔離弁	SA施設	R/B	—	×		
V133	緊急時原子炉東側外部注水入口弁	SA施設	R/B	—	×		
V134	FCVSベントライン隔離弁	SA施設	R/B	—	×		
V135	FCVS窒素供給ライン止め弁	SA施設	R/B	—	×		
V136	FCVS側PSA窒素供給ライン元弁	SA施設	R/B	—	×		
V137	S/C側PSA窒素供給ライン第一隔離弁	SA施設	R/B	—	×		
V138	FPC熱交換器入口弁	SA施設	R/B	—	×		
V139	FPCろ過脱塩装置バイパス弁	SA施設	R/B	—	×		

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼす
おそれのある下位クラス施設（11/18）

整理 番号	建屋内上位クラス施設（弁）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
					損傷・転倒・落下	
V140	FPCろ過脱塩装置出口弁	SA施設	R/B	—	×	
V141	FPCろ過脱塩装置入口第一弁	SA施設	R/B	—	×	
V142	FPCろ過脱塩装置入口第二弁	SA施設	R/B	—	×	
V143	中央制御室換気空調系ダンパ	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
V144	HPAC注入弁	SA施設	R/B	—	×	
V145	HPACタービン止め弁	SA施設	R/B	—	×	
V146	RCIC蒸気供給ライン分離弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
V147	FPC熱交換器冷却水出口弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
V148	HECW冷凍機冷却水圧力調節弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
V149	RCW代替冷却システム用電動仕切弁	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
V150	FCVS排水移送ライン第二隔離弁	SA施設	R/B	—	×	
V151	FCVS排水移送ライン第一隔離弁	SA施設	R/B	—	×	
V152	原子炉格納容器下部注水用復水流量調整 弁	SA施設	R/B	—	×	
V153	原子炉格納容器下部注水用復水仕切弁	SA施設	R/B	—	×	
V154	代替制御棒挿入機能用電磁弁	SA施設	R/B	—	×	
V155	HPAC蒸気供給ライン分離弁	SA施設	R/B	—	×	
V156	代替HPIN窒素排気出口弁	SA施設	R/B	—	×	
V157	代替HPIN第一隔離弁	SA施設	R/B	—	×	
V158	DCLIポンプ吸込弁	SA施設	R/B	—	×	
V159	DCLI注入流量調整弁	SA施設	R/B	—	×	
V160	R/B B1F 緊急時隔離弁	SA施設	R/B	—	×	
V161	RCW代替冷却水不要負荷分離弁	SA施設	R/B	—	×	
V162	RHR格納容器代替スプレイ注入元弁	SA施設	R/B	—	×	
V163	代替循環冷却ポンプ吸込弁	SA施設	R/B	—	×	
V164	代替循環冷却ポンプ流量調整弁	SA施設	R/B	—	×	
V165	代替循環冷却ポンプバイパス弁	SA施設	R/B	—	×	
V166	RHR MUWC連絡第一弁	SA施設	R/B	—	×	
V167	RHR MUWC連絡第二弁	SA施設	R/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（12/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（電気盤等）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ （○：有，×：無）	備考
					損傷・転倒・落下	
B001	460V制御建屋モータコントロールセンタ	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
B002	125V蓄電池	Sクラス SA施設	C/B R/B	—	×	
B003	125V直流受電パワーセンタ	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
B004	125V充電器盤	Sクラス SA施設	C/B R/B	—	×	
B005	125V直流主母線盤	Sクラス SA施設	C/B R/B	—	×	
B006	125V直流分電盤	Sクラス SA施設	C/B R/B	—	×	
B007	無停電交流電源用静止型無停電電源装置	Sクラス	C/B	—	×	
B008	交流120V無停電交流分電盤	Sクラス	C/B	—	×	
B009	中央制御室用電源切替盤	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
B010	中央制御室120V交流分電盤	Sクラス SA施設	C/B	—	×	
B011	6.9kVメタクラ	Sクラス SA施設	R/B 緊急用電気品 建屋 緊急時対策建屋	—	×	
B012	460Vパワーセンタ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B013	460V原子炉建屋モータコントロールセンタ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B014	125V直流RCICモータコントロールセンタ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B015	高圧炉心スプレイ系120V交流分電盤2H	Sクラス	R/B	—	×	
B016	原子炉冷却制御盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B017	原子炉制御盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B018	原子炉補機制御盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B019	原子炉保護系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B020	原子炉保護系試験盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B021	原子炉系プロセス計装盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B022	残留熱除去系（A）・低圧炉心スプレイ系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B023	残留熱除去系（B・C）盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B024	高圧炉心スプレイ系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B025	原子炉隔離時冷却系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B026	格納容器第一隔離弁盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B027	格納容器第二隔離弁盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B028	自動減圧系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B029	FPC・FPMUW・SLC・MUWC・MUWP・FW制御盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B030	トリップチャンネル盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B031	FCS・SGTS盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B032	サブプレッションプール水温度記録監視盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B033	格納容器計装配管隔離弁盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B034	所内補機制御盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B035	タービン発電機制御盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（13/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（電気盤等）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ （○：有，×：無）	備考
					損傷・転倒・落下	
B036	所内電源制御盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B037	非常用換気空調系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B038	HPCS系非常用換気空調系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B039	RCW・RSW盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B040	RCICタービン制御盤	Sクラス	C/B	—	×	
B041	漏えい検出系盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B042	計算機バッファ補助リレー盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B043	M/C補助継電器盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B044	AM制御盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B045	中央制御室外原子炉停止装置盤	Sクラス	C/B	耐火隔壁	○	
B046	FCS SCR盤	Sクラス	R/B	—	×	
B047	中央制御室端子盤	Sクラス	C/B	—	×	
B048	非常用ディーゼル発電機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B049	非常用ディーゼル発電機補機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B050	非常用ディーゼル発電機シリコン整流器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B051	非常用ディーゼル発電機界磁調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B052	非常用ディーゼル発電機自動電圧調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B053	非常用ディーゼル発電機 NGR盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B054	非常用ディーゼル発電機 SCT盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B055	非常用ディーゼル発電機 PPT盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B056	非常用ディーゼル発電機 PT-CT盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B057	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B058	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機補機制御盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B059	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機シリコン整流器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B060	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機界磁調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B061	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機自動電圧調整器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B062	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 NGR盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B063	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 SCT盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B064	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 PPT盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B065	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 PT-CT盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B066	スクラム電磁弁ヒューズ盤	Sクラス	R/B	—	×	
B067	PLRポンプ停止検出用不足電圧継電器盤	Sクラス	R/B	—	×	
B068	換気空調補機非常用冷却水系冷凍機制御盤	Sクラス	R/B	—	×	
B069	HPCS交流分電盤2H用変圧器	Sクラス	R/B	—	×	
B070	動力変圧器	Sクラス SA施設	R/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（14/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（電気盤等）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ（○：有，×：無）	備考
					損傷・転倒・落下	
B071	起動領域モニタ・安全系プロセス放射線モニタ盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B072	出力領域モニタ盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B073	出力領域モニタ補助盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B074	TIP制御盤	Sクラス	C/B	中央制御室天井照明	○	
B075	格納容器内雰囲気モニタ盤	Sクラス SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B076	SRNM前置増幅器盤	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
B077	安全系プロセス放射線モニタ多重伝送現場盤	Sクラス	R/B	—	×	
B078	RSS盤用変圧器	Sクラス	C/B	—	×	
B079	125V代替蓄電池	SA施設	C/B	—	×	
B080	125V代替充電器盤	SA施設	C/B	—	×	
B081	ガスタービン発電機接続盤	SA施設	緊急用電気品 建屋	—	×	
B082	250V蓄電池	SA施設	C/B	—	×	
B083	代替原子炉再循環ポンプトリップ遮断器	SA施設	C/B	—	×	
B084	HPAC制御盤	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B085	代替注水制御盤	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B086	DCLI制御盤	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B087	フィルタベント系制御盤	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B088	250V充電器盤	SA施設	C/B	—	×	
B089	125V直流電源切替盤	SA施設	R/B	—	×	
B090	460V原子炉建屋交流電源切替盤	SA施設	R/B	—	×	
B091	250V直流主母線盤	SA施設	C/B	—	×	
B092	緊急用電源切替操作盤	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
B093	ガスタービン発電設備制御盤	SA施設	緊急用電気品 建屋	—	×	
B094	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ接続盤	SA施設	緊急用電気品 建屋	—	×	
B095	モータコントロールセンタ（緊急時対策所用）	SA施設	緊急時対策所	—	×	
B096	105V交流電源切替盤（緊急時対策所用）	SA施設	緊急時対策所	—	×	
B097	105V交流分電盤（緊急時対策所用）	SA施設	緊急時対策所	—	×	
B098	120V交流分電盤（緊急時対策所用）	SA施設	緊急時対策所	—	×	
B099	210V交流分電盤（緊急時対策所用）	SA施設	緊急時対策所	—	×	
B100	125V直流主母線盤（緊急時対策所用）	SA施設	緊急時対策所	—	×	
B101	250V直流受電パワーセンタ	SA施設	C/B	—	×	
B102	120V原子炉建屋交流電源切替盤	SA施設	C/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（15/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（計装）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ	備考
					（○：有，×：無） 損傷・転倒・落下	
I001	低圧炉心スプレイ系計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I002	原子炉系（広域水位）計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	耐火隔壁	○	
I003	原子炉系（狭域水位）計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	耐火隔壁	○	
I004	ドライウェル圧力計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I005	ジェットポンプ計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I006	高圧炉心スプレイ系計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I007	主蒸気流量計装ラック	Sクラス	R/B	—	×	
I008	RHR-RCICエルボメータ計装ラック	Sクラス	R/B	—	×	
I009	RCICポンプ計器架台	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I010	原子炉隔離時冷却系タービン計装ラック	Sクラス	R/B	—	×	
I011	残留熱除去系計装ラック	Sクラス SA施設	R/B	耐火隔壁	○	
I012	RHR C系計器架台	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I013	RCW系統流量計器架台	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I014	RCW常用系入口流量計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I015	HPCWポンプ計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I016	RCICタービン排気ダイアフラム圧力Ⅱ系計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I017	CRDスクラム排出容器水位計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I018	S/C圧力，S/C-R/B差圧計器架台	Sクラス	R/B	耐火隔壁	○	
I019	ほう酸水注入系計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I020	RCICタービン計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I021	原子炉圧力(SA)	SA施設	R/B	—	×	
I022	原子炉水位(SA広帯域)	SA施設	R/B	—	×	
I023	原子炉水位(SA燃料域)	SA施設	R/B	—	×	
I024	原子炉圧力容器温度	SA施設	R/B	—	×	
I025	サブプレッションプール水温度	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I026	サブプレッションプール水位	Sクラス	R/B	—	×	
I027	圧力抑制室水位	Sクラス SA施設	R/B	耐火隔壁	○	
I028	原子炉建屋外気間差圧	Sクラス	R/B	—	×	
I029	格納容器内雰囲気モニタサンプリングラック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I030	格納容器内雰囲気モニタ校正ラック	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I031	格納容器内雰囲気モニタヒータ制御盤	Sクラス	R/B	—	×	
I032	格納容器内雰囲気気水素濃度	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I033	格納容器内雰囲気気酸素濃度	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I034	格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W)	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I035	格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C)	Sクラス SA施設	R/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（16/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（計装）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ	備考
					（○：有，×：無） 損傷・転倒・落下	
I036	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
I037	SLCポンプ潤滑油圧力	Sクラス	R/B	—	×	
I038	RCWサージタンク水位	Sクラス	R/B	耐火隔壁	○	
I039	RCWサージタンク降水管水位	Sクラス	R/B	—	×	
I040	HPCWサージタンク水位	Sクラス	R/B	—	×	
I041	HPCWサージタンク降水管水位	Sクラス	R/B	—	×	
I042	RSWストレーナ差圧	Sクラス	R/B	—	×	
I043	SGTSトレイン出口流量	Sクラス	R/B	—	×	
I044	フィルタ装置チャコールエアフィルタ入口温度	Sクラス	R/B	—	×	
I045	フィルタ装置チャコールエアフィルタ温度	Sクラス	R/B	—	×	
I046	フィルタ装置チャコールエアフィルタ出口温度	Sクラス	R/B	—	×	
I047	非常用D/G計装ラック	Sクラス	R/B	—	×	
I048	非常用D/G二次冷却水差圧計器架台	Sクラス	R/B	—	×	
I049	HPCS D/G計装ラック	Sクラス	R/B	—	×	
I050	燃料デイトタンク油面	Sクラス	R/B	—	×	
I051	オイルパン油面	Sクラス	R/B	—	×	
I052	D/G室温度	Sクラス	R/B	—	×	
I053	D/G速度	Sクラス	R/B	—	×	
I054	RCW冷却水供給温度	Sクラス	R/B	—	×	
I055	FCS入口ガス流量	Sクラス	R/B	—	×	
I056	FCSブロワ入口圧力	Sクラス	R/B	—	×	
I057	FCSブロワ入口流量	Sクラス	R/B	—	×	
I058	FCSブロワ入口温度	Sクラス	R/B	—	×	
I059	FCS加熱管内ガス温度	Sクラス	R/B	—	×	
I060	FCS加熱管出口ガス温度	Sクラス	R/B	—	×	
I061	FCS加熱管表面温度	Sクラス	R/B	—	×	
I062	FCS再結合器表面温度	Sクラス	R/B	—	×	
I063	FCS冷却器出口ガス温度	Sクラス	R/B	—	×	
I064	HECW冷水往還差圧	Sクラス	R/B	—	×	
I065	HECW冷水還温度	Sクラス	R/B	—	×	
I066	HECW冷凍機冷水出口流量	Sクラス	R/B	—	×	
I067	原子炉補機室給気温度	Sクラス	R/B	—	×	
I068	R/B主蒸気管漏えい検出(周囲温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I069	R/B主蒸気管漏えい検出(給気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I070	R/B主蒸気管漏えい検出(排気温度)	Sクラス	R/B	—	×	

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（17/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（計装）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ	備考
					（○：有，×：無） 損傷・転倒・落下	
I071	RHR熱交室漏えい検出(周囲温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I072	RHRポンプ室漏えい検出(周囲温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I073	RHR熱交室漏えい検出(給気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I074	RHRポンプ室漏えい検出(給気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I075	RHR熱交室漏えい検出(排気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I076	RHRポンプ室漏えい検出(排気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I077	RCIC機器室漏えい検出(周囲温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I078	RCIC機器室漏えい検出(給気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I079	RCIC機器室漏えい検出(排気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I080	CUW非再生熱交室漏えい検出(周囲温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I081	CUW再生熱交室漏えい検出(周囲温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I082	CUW非再生熱交室漏えい検出(給気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I083	CUW再生熱交室漏えい検出(給気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I084	CUW非再生熱交室漏えい検出(排気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I085	CUW再生熱交室漏えい検出(排気温度)	Sクラス	R/B	—	×	
I086	計測制御電源室給気温度	Sクラス	C/B	—	×	
I087	中央制御室還気温度	Sクラス	C/B	—	×	
I088	格納容器内雰囲気モニタブリアンプ収納箱	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I089	高圧代替注水系ポンプ出口流量	SA施設	R/B	—	×	
I090	高圧代替注水系ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	—	×	
I091	残留熱除去系洗浄ライン流量	SA施設	R/B	—	×	
I092	残留熱除去系熱交換器入口温度	SA施設	R/B	—	×	
I093	残留熱除去系熱交換器出口温度	SA施設	R/B	—	×	
I094	ほう酸水注入系ポンプ出口圧力	Sクラス	R/B	ほう酸水注入系テスト タンク	○	
I095	原子炉格納容器下部注水流量	SA施設	R/B	—	×	
I096	原子炉格納容器代替スプレイ流量	SA施設	R/B	—	×	
I097	ドライウェル温度	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I098	圧力抑制室内空気温度	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I099	圧力抑制室圧力	SA施設	R/B	—	×	
I100	原子炉格納容器下部水位	SA施設	R/B	CRD自動交換機	○	
I101	ドライウェル水位	SA施設	R/B	—	×	
I102	格納容器内水素濃度（D/W）	SA施設	R/B	—	×	
I103	格納容器内水素濃度（S/C）	SA施設	R/B	—	×	
I104	起動領域モニタ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	*1
I105	出力領域モニタ	Sクラス SA施設	R/B	—	×	*1

第 6.3-1 表 女川 2 号機 建屋内上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を及ぼすおそれのある下位クラス施設（18/18）

整理番号	建屋内上位クラス施設（計装）	区分	設置建屋	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	波及的影響のおそれ	備考
					（○：有，×：無） 損傷・転倒・落下	
I106	フィルタ装置入口圧力（広帯域）	SA施設	R/B	—	×	
I107	フィルタ装置出口圧力（広帯域）	SA施設	R/B	—	×	
I108	フィルタ装置水位（広帯域）	SA施設	R/B	—	×	
I109	フィルタ装置水温度	SA施設	R/B	—	×	
I110	フィルタ装置出口水素濃度	SA施設	R/B	—	×	
I111	フィルタ装置出口放射線モニタ	SA施設	R/B	—	×	
I112	残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量	SA施設	R/B	—	×	
I113	原子炉建屋内水素濃度	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
I114	使用済燃料プール水位／温度	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
				燃料交換機	○	
I115	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量，低線量）	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
I116	使用済燃料プール監視カメラ	SA施設	R/B	原子炉建屋クレーン	○	
I117	差圧計	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
			緊急時対策建屋	—	×	
I118	安全パラメータ表示システム（SPDS）	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
			緊急時対策建屋	—	×	
I119	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	SA施設	緊急時対策建屋	—	×	
I120	データ伝送設備	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
			緊急時対策建屋	—	×	
I121	データ表示装置	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
I122	代替循環冷却ポンプ出口流量	SA施設	R/B	—	×	
I123	代替循環冷却ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	—	×	
I124	HPIN ADS入口圧力	Sクラス SA施設	R/B	—	×	
I125	直流駆動低圧注水系ポンプ出口流量	SA施設	R/B	—	×	
I126	直流駆動低圧注水系ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	—	×	
I127	原子炉格納容器下部温度	SA施設	R/B	CRD自動交換機	○	
I128	耐圧強化ベント系放射線モニタ	SA施設	R/B	—	×	
I129	代替HPIN窒素ガス供給止め弁入口圧力	SA施設	R/B	—	×	
I130	復水移送ポンプ出口圧力	SA施設	R/B	—	×	
I131	無線連絡設備（固定型）	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
			緊急時対策建屋	—	×	
I132	衛星電話設備（固定型）	SA施設	C/B	中央制御室天井照明	○	
			緊急時対策建屋	—	×	

- *1 機器の内部に設置された内部構造物のため机上検討のみ
- *2 大型施設のため小型の仮置物品や照明等の影響を受けないため机上検討のみ
- *3 狭暗部に設置される施設のため机上検討のみ
- *4 プール内に設置された施設のため机上検討のみ
- *5 地下に設置される又はコンクリート埋設施設のため机上検討のみ

第 6.3-2 表 女川 2 号機 建屋内施設の損傷、転倒、落下等の影響に対する評価結果 (2/6)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
使用済燃料プール 使用済燃料貯蔵ラック 制御棒・破損燃料貯蔵ラック 燃料プール冷却浄化系配管 スキマサージタンク FPC 燃料プール注入逆止弁 使用済燃料プール水位/温度	燃料交換機	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、燃料交換機が転倒及び落下しないことを確認した。	「VI-2-11-2-9 燃料交換機の耐震性についての計算書」及び「補足-600-29 燃料交換機の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照
使用済燃料貯蔵ラック	制御棒貯蔵ハンガ	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、制御棒貯蔵ハンガが転倒しないことを確認した。	「VI-2-11-2-14 制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書」及び「補足-600-31 制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照
使用済燃料貯蔵ラック	制御棒貯蔵ラック	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、制御棒貯蔵ラックが転倒しないことを確認した。	VI-2-11-2-13 「制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書」及び「補足-600-30 制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照
	燃料チャネル着脱機	燃料チャネル着脱機が損傷及び転倒した場合でも衝突によって使用済燃料貯蔵ラックの構造健全性に影響を及ぼさないことを確認した。	添付資料 10 (追而)

第 6.3-2 表 女川 2 号機 建屋内施設の損傷，転倒，落下等の影響に対する評価結果（4/6）

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
<p>サブレンジョンプール水温度 記録監視盤 格納容器計装配管隔離弁盤 所内補機制御盤 タービン発電機制御盤 所内電源制御盤 非常用換気空調系盤 HPCS 系非常用換気空調系盤 RCW・RSW 盤 漏えい検出系盤 計算機バツプア補助リレー盤 M/C 補助継電器盤 AM 制御盤 起動領域モニタ・安全系プロセス放射線モニタ盤 出力領域モニタ盤 出力領域モニタ補助盤 TIP 制御盤 格納容器内雰囲気モニタ盤 HPAC 制御盤 代替注水制御盤 DCLI 制御盤</p>	<p>中央制御室天井照明</p>	<p>基準地震動 S s による構造健全性評価により，中央制御室天井照明が落下しないことを確認した。なお，耐震性の確認においては，天井部材だけではなく天井内部の排煙ダクトなどの波及的影響を及ぼすおそれのある設備も含めて中央制御室天井照明として耐震性を確認した。</p>	<p>「VI-2-11-2-7 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書」 参照</p>

第 6.3-2 表 女川 2 号機 建屋内施設の損傷、転倒、落下等の影響に対する評価結果 (5/6)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
フィルタバント系制御盤 緊急用電源切替操作盤 差圧計 安全パラメータ表示システム (SPDS) データ伝送設備 データ表示装置 無線連絡設備 (固定型) 衛星電話設備 (固定型)	中央制御室天井照明	基準地震動 S s による構造健全性評価により、中央制御室天井照明が落下しないことを確認した。なお、耐震性の確認においては、天井部材だけではなく天井内部の排煙ダクトなどの波及的影響を及ぼすおそれのある設備も含めて中央制御室天井照明として耐震性を確認した。	「VI-2-11-2-7 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書」参照
ほう酸水注入系ポンプ出口圧力	ほう酸水注入系テストタンク	基準地震動 S s による構造健全性評価により、ほう酸水注入系テストタンクが損傷及び転倒しないことを確認した。	「VI-2-11-2-6 ほう酸水注入系テストタンクの耐震性についての計算書」参照
中央制御室外原子炉停止装置盤 原子炉系 (広域水位) 計装ラック 原子炉系 (狭域水位) 計装ラック 残留熱除去系計装ラック S/C 圧力, S/C-R/B 差圧計器架台 圧力抑制室水位 RCW サージタンク水位	耐火隔壁	基準地震動 S s による構造健全性評価により、耐火隔壁が損傷及び転倒しないことを確認した。	「VI-2-11-2-12 耐火隔壁の耐震性についての計算書」参照

第 6.3-2 表 女川 2 号機 建屋内施設の損傷、転倒、落下等の影響に対する評価結果 (6/6)

建屋内上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
原子炉格納容器下部水位 原子炉格納容器下部温度	CRD 自動交換機	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、CRD 自動交換機が転倒及び落下しないことを確認した。	「VI-2-11-2-22 CRD 自動交換機の耐震性についての計算書」及び「補足-600-37 CRD 自動交換機の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照

6.4 建屋外における施設の損傷、転倒、落下等による影響検討結果

6.4.1 抽出手順

机上検討及び現地調査を基に、建屋外上位クラス施設及び建屋外上位クラス施設の間接支持構造物である建物・構築物に対して、損傷、転倒、落下等により影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出する。

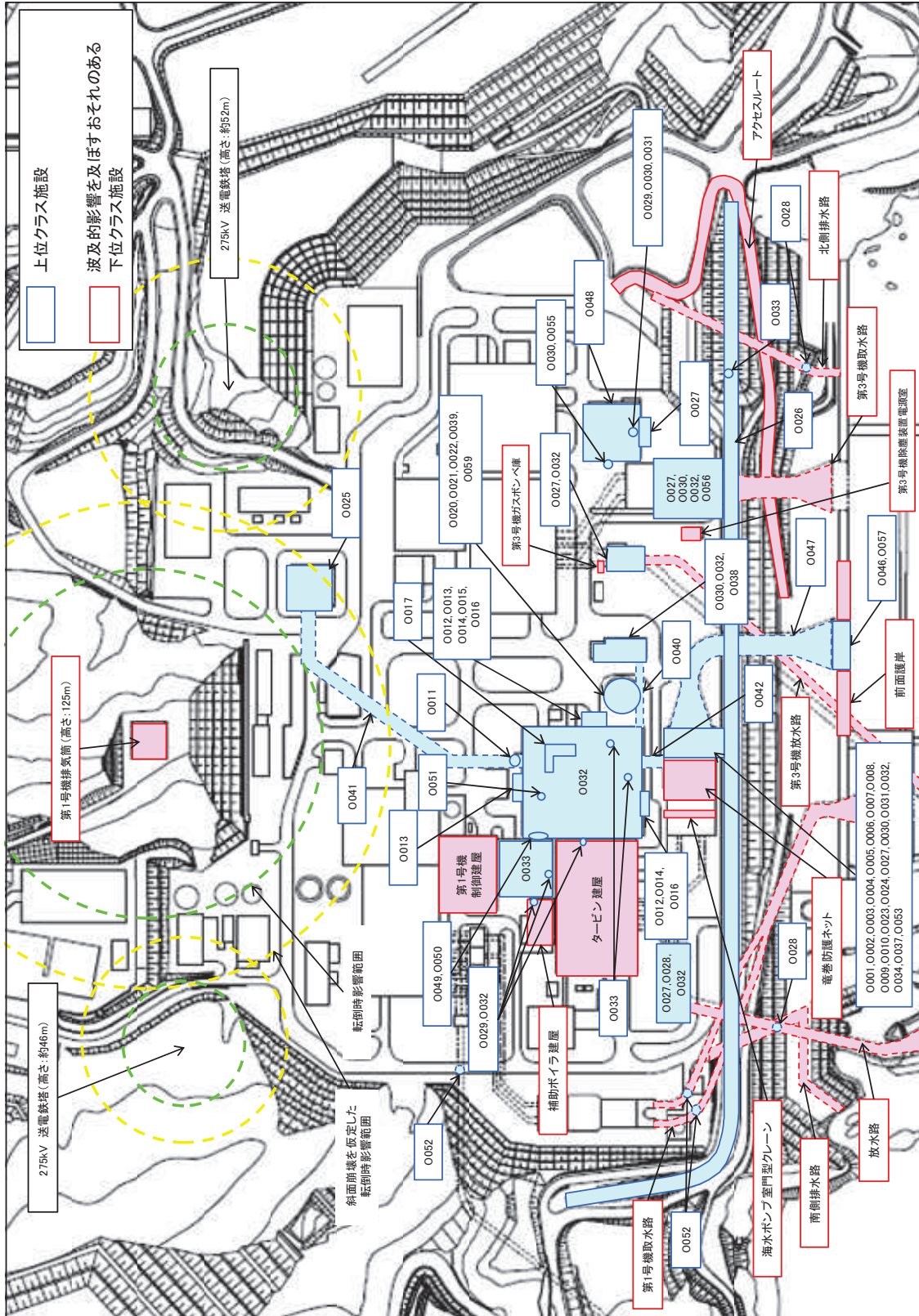
6.4.2 下位クラス施設の抽出結果

第 5.4-1 図のフローの a に基づいて、波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した結果を第 6.4-1 図、第 6.4-2 図、第 6.4-3 図及び第 6.4-1 表に示す。

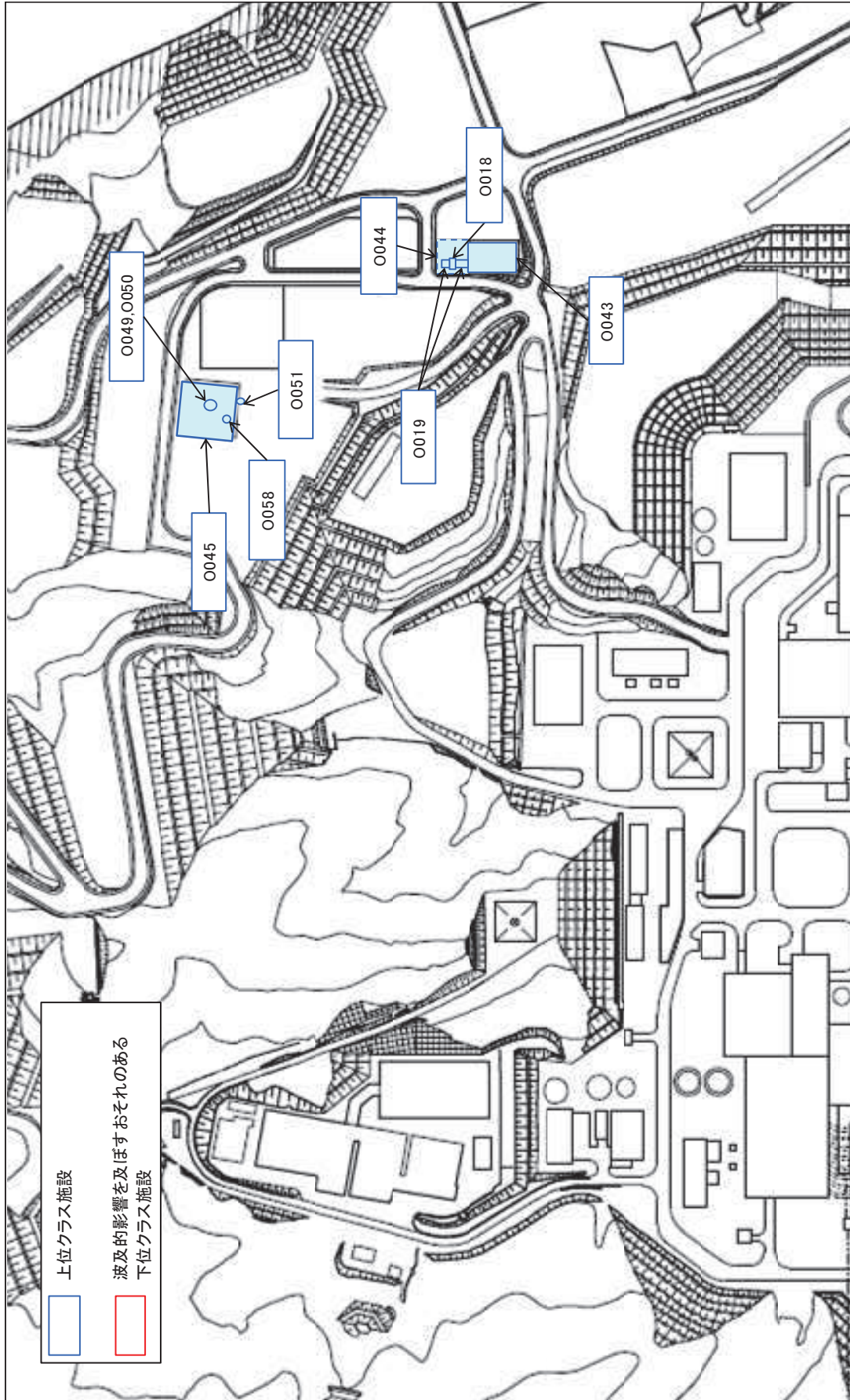
なお、液状化による影響のうち側方流動については、O.P.+14.8m 盤では地表面が傾斜していないことから、上位クラス施設へ影響を及ぼさない。また、高台側には下位クラス施設が存在せず、海側の下位クラス施設は前面護岸を除き、液状化対象層に接していない（岩盤やセメント改良土に囲まれている）ため、上位クラス施設へ影響を及ぼさない。前面護岸については、次項 6.4.3 において、評価結果を示す。その他の液状化の影響として浮き上がりについては、設計用地下水位を設定した評価結果を示す。

6.4.3 耐震評価結果

6.4.2 項で抽出した建屋外下位クラス施設の評価結果について、第 6.4-2 表に示す。



第 6. 4-1 図 女川 2 号機 損傷、転倒、落下等に係る建屋外上位クラス施設配置図



第 6.4-2 図 女川 2 号機 損傷，転倒，落下等に係る建屋外上位クラス施設配置図（高台側）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



第6.4-3 図 女川2号機 損傷，転倒，落下等に係る建屋外上位クラス施設配置図（海水ポンプ室）

第 6.4-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設（1/3）

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
0001	原子炉補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0002	原子炉補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0003	RSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0004	RSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0005	RSWポンプ吐出連絡管止め弁	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0006	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0007	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系スト レーナ	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0008	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0009	HPSWポンプ吐出逆止弁	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0010	HPSWポンプ吐出弁	Sクラス SA施設	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0011	非常用ガス処理系配管	Sクラス SA施設	—	×	
0012	原子炉格納容器下部注水系配管	SA施設	—	×	
0013	原子炉補機代替冷却水系配管	SA施設	—	×	
0014	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系配管	SA施設	—	×	
0015	可搬型窒素ガス供給系配管	SA施設	—	×	
0016	燃料プール代替注水系配管	SA施設	—	×	
0017	原子炉格納容器フィルタベント系配管	SA施設	—	×	
0018	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	SA施設	—	×	
0019	ガスタービン発電設備燃料移送系配管	SA施設	—	×	
0020	復水貯蔵タンク外部注水入口弁	SA施設	—	×	
0021	復水貯蔵タンク	SA施設	—	×	
0022	復水貯蔵タンク水位計器架台	SA施設	—	×	
0023	RSWポンプ出口圧力計器架台	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	

第 6.4-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設（2/3）

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
0024	HPSWポンプ出口圧力計器架台	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0025	排気筒	Sクラス SA施設	第1号機排気筒	○	
0026	防潮堤	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			第1号機取水路	○	
			放水路	○	
			第3号機取水路	○	
			第3号機放水路	○	
			北側排水路	○	
			南側排水路	○	
			アクセスルート (防潮堤(盛土堤防))	○	
0027	防潮壁	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			放水路	○	
			第3号機放水路	○	
			タービン建屋	○	
			第3号機ガスボンベ庫	○	
			第3号機除塵装置電源室	○	
0028	逆流防止設備	Sクラス	タービン建屋	○	
0029	水密扉	Sクラス	—	×	
0030	浸水防止蓋	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
0031	逆止弁付ファンネル	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0032	貫通部止水処置	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
			タービン建屋	○	
0033	津波監視カメラ	Sクラス	—	×	
0034	取水ビット水位計	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
			竜巻防護ネット	○	
0035	原子炉建屋	Sクラス 間接支持構造物 SA施設	タービン建屋	○	
0036	制御建屋	間接支持構造物	タービン建屋	○	
			補助ボイラー建屋	○	
			第1号機制御建屋	○	
0037	海水ポンプ室	屋外重要土木構造物 間接支持構造物 SA施設	—	×	

第 6.4-1 表 女川 2 号機 建屋外上位クラス施設へ波及的影響（損傷，転倒，落下等）を
及ぼすおそれのある下位クラス施設（3/3）

整理 番号	建屋外上位クラス施設	区分	波及的影響を及ぼすおそれ のある下位クラス施設	波及的影響のおそれ (○：有，×：無)	備考
				損傷・転倒・落下	
0038	軽油タンク室	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	*1
0039	復水貯蔵タンク基礎	SA施設間接支持構造物	—	×	*1
0040	軽油タンク連絡ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	*1
0041	排気筒連絡ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	*1
0042	原子炉機器冷却海水配管ダクト	屋外重要土木構造物 間接支持構造物	—	×	*1
0043	緊急用電気品建屋	SA施設間接支持構造物	—	×	
0044	ガスタービン発電設備軽油タンク室	SA施設間接支持構造物	—	×	
0045	緊急時対策建屋	SA施設間接支持構造物	—	×	
0046	取水口	屋外重要土木構造物 SA施設	前面護岸	○	*1
0047	取水路	屋外重要土木構造物 SA施設	—	×	*1
0048	第3号機海水熱交換器建屋	間接支持構造物	—	×	
0049	無線連絡設備（屋外アンテナ）	SA施設	—	×	
0050	衛星電話設備（屋外アンテナ）	SA施設	—	×	
0051	無線通信装置	SA施設	—	×	
0052	取放水路流路縮小工	Sクラス	—	×	
0053	浸水防止壁	Sクラス	海水ポンプ室門型クレーン	○	
0054	揚水井戸	間接支持構造物	—	×	
0055	第3号機補機冷却海水系放水ピット	間接支持構造物	—	×	
0056	第3号機海水ポンプ室	間接支持構造物	—	×	
0057	貯留堰	Sクラス SA施設	前面護岸	○	*1
0058	衛星通信装置	SA施設	—	×	
0059	復水貯蔵タンク水位	Sクラス	—	×	

*1 地下に設置される又はコンクリート埋設施設のため机上検討のみ

第 6.4-2 表 女川 2 号機 建屋外施設の損傷、転倒、落下等の影響に対する評価結果 (1/6)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水系配管 RSW ポンプ吐出逆止弁 RSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ吐出連絡管止め弁 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系トレーナ HPSW ポンプ吐出逆止弁 HPSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ出口圧力計器架台 HPSW ポンプ出口圧力計器架台 防潮堤 防潮壁 浸水防止蓋 逆止弁付ファンネル 貫通部止水処置 取水ピット水位計 浸水防止壁	海水ポンプ室門型クレーン	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、海水ポンプ室門型クレーンが転倒及び落下しないことを確認した。 また、海水ポンプ室門型クレーン及び上位クラス施設は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書」及び「補足-600-27 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照

第 6.4-2 表 女川 2 号機 建屋外施設の損傷，転倒，落下等の影響に対する評価結果 (2/6)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水系配管 RSW ポンプ吐出逆止弁 RSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ吐出連絡管止め弁 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系トレーナ HPSW ポンプ吐出逆止弁 HPSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ出口圧力計器架台 HPSW ポンプ出口圧力計器架台 逆止弁付フアンネル 貫通部止水処置 取水ピット水位計	竜巻防護ネット	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により，竜巻防護ネットが損傷及び落下しないことを確認した。 また，竜巻防護ネット及び上位クラス施設は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。	「VI-2-11-2-2 竜巻防護ネットの耐震性についての計算書」及び「補足-600-12 竜巻防護ネットの耐震耐震構造設計（支承構造）についての補足説明資料」参照

第 6.4-2 表 女川 2 号機 建屋外施設の損傷、転倒、落下等の影響に対する評価結果 (3/6)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
防潮堤	第 1 号機取水路	<p>基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、第 1 号機取水路が損傷しないことを確認した。</p> <p>なお、第 1 号機取水路（トンネル部）については、C_H 級の硬質な岩盤に設置されたトンネルであり、構造物上面から杭下端までの離隔が十分確保されていることから、損傷等による防潮堤への影響はない。</p>	<p>「VI-2-11-2-17 第 1 号機取水路の耐震性についての計算書」、添付資料 7 及び「補足-600-33 第 1 号機取水路の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照</p>
防潮堤 防潮壁（放水立坑）	放水路	<p>C_H 級の硬質な岩盤に設置されたトンネルであり、構造物上面から杭下端までの離隔が十分確保されていることから、損傷等による防潮堤及び防潮壁への影響はない。</p>	添付資料 7 参照
防潮堤	第 3 号機取水路	<p>基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により、第 3 号機取水路が損傷しないことを確認した。</p>	<p>VI-2-11-2-18 「第 3 号機取水路の耐震性についての計算書」及び「補足-600-34 第 3 号機取水路の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照</p>
防潮堤 防潮壁（第 3 号機放水立坑）	第 3 号機放水路	<p>C_H 級の硬質な岩盤に設置されたトンネルであり、構造物上面から杭下端までの離隔が十分確保されていることから、損傷等による防潮堤及び防潮壁への影響はない。</p>	添付資料 7 参照

第 6.4-2 表 女川 2 号機 建屋外施設の損傷、転倒、落下等の影響に対する評価結果 (4/6)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
防潮堤	北側排水路	基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、北側排水路が損傷しないことを確認した。	「VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書」及び「補足-600-35 北側排水路の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照
防潮堤	南側排水路	C _M 級の硬質な岩盤及びMMR内に設置された高密度ポリエチレン製波付管による排水路であり、南側排水路が損傷した場合でも周辺のMMRの応力状態には影響せず、防潮堤への影響はない。	—
防潮堤	アクセスルート (防潮堤 (盛土堤防))	アクセスルート (防潮堤 (盛土堤防)) と上位クラス施設である防潮堤 (盛土堤防) を一体とした構造での基準地震動 S s に対する構造健全性評価により、アクセスルート (防潮堤 (盛土堤防)) が損傷しないことを確認した。	「VI-2-11-2-20 アクセスルート (防潮堤 (盛土堤防)) の耐震性についての計算書」及び「補足-600-36 アクセスルート (防潮堤 (盛土堤防)) の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照

第 6.4-2 表 女川 2 号機 建屋外施設の損傷，転倒，落下等の影響に対する評価結果 (5/6)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
防潮壁 逆流防止設備 貫通部止水処置 原子炉建屋 制御建屋	タービン建屋	<p>基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により，タービン建屋が上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。</p> <p>また，タービン建屋及び上位クラス施設は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。</p>	<p>VI-2-11-2-3 「タービン建屋の耐震性についての計算書」及び添付資料 3 参照</p>
防潮壁	第 3 号機ガスボンベ庫 第 3 号機除塵装置電源室	<p>下位クラス施設が地震により損傷，転倒し防潮壁へ衝突した場合でも，防潮壁の構造健全性に影響がないことを確認した。</p>	添付資料 8 参照
制御建屋	補助ボイラー建屋	<p>基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により，補助ボイラー建屋が上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。</p> <p>また，補助ボイラー建屋及び上位クラス施設は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。</p>	<p>「VI-2-11-2-4 補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書」及び添付資料 3 参照</p>
制御建屋	第 1 号機制御建屋	<p>基準地震動 S_s に対する構造健全性評価により，第 1 号機制御建屋が上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。</p> <p>また，第 1 号機制御建屋及び上位クラス施設は周辺斜面からの影響を受けない十分な離隔距離を保持していることを確認した。</p>	<p>「VI-2-11-2-5 第 1 号機制御建屋の耐震性についての計算書」及び添付資料 3 参照</p>

第 6.4-2 表 女川 2 号機 建屋外施設の損傷，転倒，落下等の影響に対する評価結果 (6/6)

建屋外上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	評価結果	備考
排気筒	第 1 号機排気筒	<p>基準地震動 S s に対する構造健全性評価により，第 1 号機排気筒が上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。</p> <p>また，基準地震動 S s に対する斜面の安定性評価により，斜面が崩壊しないことを確認した。</p>	<p>「VI-2-11-2-15 第 1 号機排気筒の耐震性についての計算書」及び添付資料 3 参照</p>
取水口 貯留堰	前面護岸	<p>取水口の側面（護岸背面）を地盤改良しているが，非改良部の土砂が流出しても取水口が閉塞しないことを確認した。</p> <p>地盤改良（高圧噴射攪拌工法）は根入れされており，地震時の安定性が確保されている。</p> <p>地盤改良（置換工）の地震時の安定性について確認した。</p>	<p>VI-2-11-2-16 「前面護岸の耐震性についての計算書」，添付資料 6 及び「補足-600-32 前面護岸の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照</p>

波及的影響評価に係る現地調査の実施要領

波及的影響評価に係る現地調査を実施する際に策定した実施要領について、その内容を抜粋して以下に示す。

1. 目的

建屋内外の上位クラス施設への下位クラス施設の波及的影響の調査のため、現地調査を実施し、上位クラス施設周辺の下位クラス施設の位置、構造、影響防止措置等の状況を確認し、下位クラス施設による波及的影響の可能性について調査する。

2. 実施方法

2.1 調査対象施設

以下に示す上位クラス施設を現地調査の対象とする。

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震 S クラス施設（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を含む。）
- (2) 重大事故等対処施設のうち、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

なお、狭暗部、内部構造物等機器の内部、コンクリート埋設、地下、高所、高線量区域及び水中については、現地調査が困難であるが、狭暗部（原子炉圧力容器支持構造物等）については、外部から閉ざされた区域にあり、元々 S クラス施設しかないこと、内部構造物等機器の内部（原子炉圧力容器内部構造物等）は全体が上位クラス施設であること、コンクリート埋設、地下については、周囲に波及的影響を及ぼすものはないことから、これらの箇所に設置されている上位クラス施設に対する波及的影響はないと判断する。

高所については、施設下方から周辺機器の位置関係を俯瞰的に見ることで波及的影響の有無を確認する。

水中については、対象上位クラス施設として使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック、制御棒・破損燃料貯蔵ラック等が該当するが、使用済燃料プール内に設置されている下位クラス施設は設計図書類で網羅的に確認できることから、現地調査では使用済燃料貯蔵プール等の上部を俯瞰的に見ることで波及的影響の有無を確認する。

ケーブルについては、各階の天井付近等の高所に設置することで下位クラス施設の損傷・転倒・落下による波及的影響を考慮した配置としていることから、高所のケーブルについて波及的影響はないと判断する。

2.2 現地調査にて確認する検討事象

別記 2 に記載された事項に基づく検討事象と現地調査による確認項目との対応を添付 1-1 表に示す。

添付 1-1 表 検討事象と現地調査による確認項目

調査対象施設	建屋外施設		接続部 (建屋内外)	建屋内施設
	別記 2①	別記 2④	別記 2②	別記 2③
現地調査による 確認項目	×*1	○	×*2	○

*1 不等沈下又は相対変位の観点として、上位クラス施設の建物・構築物と下位クラス施設の位置関係が机上検討で確認したとおりであることを現地で確認する。

*2 接続部については、系統図等により網羅的に確認可能であり、プラント建設時及び改造工事の際は、施工に伴う確認、系統図作成時における現場確認、使用前検査、試運転等から接続部が設計図書どおりであることを確認していることから、接続部の波及的影響については、机上検討により評価対象の抽出を実施し、その後、机上検討で調査した情報が現場の状況と相違ないことを現地で確認する。

3. 調査要員

調査要員の要件は、以下のとおりとする。

- (1) 女川原子力発電所の耐震設計、構造設計又は機械・電気計装設計等に関する専門的な知識・技能及び経験を有する者。
- (2) 女川原子力発電所の保守業務等に従事し、施設の構造、機能及び特性等に関する専門的な知識・技能及び経験を有する者。

上記(1)または(2)の要件に該当する者の複数名でチームを編成し、現地調査を実施する。

4. 現地調査実施日

平成 26 年 2 月 18 日 ～ 平成 28 年 6 月 17 日

5. 調査方法

5.1 調査手順

調査対象施設についての、別紙に例示する「プラントウォークダウン・チェックシート」に従い、周辺の下位クラス施設の位置、構造及び影響防止措置（落下防止措置、固縛措置等）等の状況から、波及的影響を及ぼすおそれの有無を確認する。なお、建屋内及び建屋外のチェックシートについては内容が同一であることから建屋内チェックシートを代表として例示している。

5.2 確認項目及び判断基準

各確認項目に対する波及的影響のおそれの有無の判断基準を添付 1-2 表に示す。

なお、対象となる上位クラス施設に対して、下位クラス施設が明らかに影響を及ぼさない程度の大きさ、重量等である場合（小口径配管、照明器具等）は、影響なしと判断する。

添付 1-2 表 確認項目及び判断基準

確認項目	判断基準
○B, Cクラス施設等との十分な離隔距離をとる等により、当該設備に与える影響はない。	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺のB, Cクラス施設の転倒・落下を想定した場合にも、上位クラス施設に衝突しないだけの離隔距離をとって配置・保管されていること。 ・影響の有無の判断にあたっては、上位クラス施設とB, Cクラス施設が2mの離隔を有していることを目安とするが、B, Cクラス施設の設置高さや位置関係で状況が変化することから、調査メンバー2人以上で協議の上、判断すること。 ・十分な離隔距離がとられていない下位クラス施設がある場合は、当該設備の設置状況や設備種類、設備重量等を勘案し調査メンバー2人以上で協議の上、判断すること。また、本内容は所見に記録する。
○周辺に作業用ホイスﾄ・レール、グレーチング、手すりがある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<ul style="list-style-type: none"> ・作業用ホイスﾄ・レール、グレーチング、手すり等については、離隔距離が十分でない場合は、適切な落下防止措置等が講じられていること。 ・離隔距離をとっていても地震により移動する可能性があるもの（チェンブロック等）は、移動の影響を防止する措置が講じられていること。
○周辺に仮置き機器がある場合、固縛措置等により、当該設備に与える影響はない。	<ul style="list-style-type: none"> ・仮置き機器について、離隔距離が十分でない場合は、固縛等により落下防止又は移動防止措置が講じられていること。
○上部に照明器具がある場合、落下防止措置等により、当該設備に与える影響はない。	<ul style="list-style-type: none"> ・照明器具について、離隔距離が十分でない場合は、適切な落下防止措置が講じられていること。

女川2号機 プラントウォークダウン・チェックシート<建屋内>

実施日：平成 年 月 日

実施者： _____

【施設情報】

機器名称： _____

機器ID： _____

建屋： _____

床EL： _____

区画： _____

(記号の説明) Y: YES、N: NO、H: 持ち帰り検討、N/A: 対象外

波及的影響について		Y	N	H	N/A
1	建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等によるSクラス設備への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	B、Cクラス施設等との十分な離隔距離を取る等により、当該設備に影響を与えない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	周辺に影響を及ぼし得る揚重機器、レール、グレーチング、手すり等がある場合、転倒及び落下等により当該設備に影響を与えない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-3	周辺に仮置き機器（点検用資機材を含む）がある場合、固縛措置等により、当該設備に影響を与えない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-4	上部に照明器具、天井・壁の簡易建築材がある場合、落下防止措置等により、当該設備に影響を与えない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-5	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sクラス施設の健全性について		Y	N	H	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部付近に外見上の異常(ボルトの緩み、腐食・き裂等)はない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

所見（機器周辺の状況についての記載）

波及的影響評価に係る現地調査記録

女川2号機 プラントウォークダウン・チェックシート<建屋内>

実施日：平成 26年11月 5日

実施者：_____

【施設情報】

機器名称：ほう酸水注入系ポンプ出口圧力

機器ID：C41-PT005

建屋：R/B

床EL：2F

区画：_____

(記号の説明) Y: YES、N: NO、H: 持ち帰り検討、N/A: 対象外

波及的影響について		Y	N	H	N/A
1	建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒及び落下等によるSクラス設備への影響はない。	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-1	B、Cクラス施設等との十分な離隔距離を取る等により、当該設備に影響を与えない。	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-2	周辺に影響を及ぼし得る揚重機器、レール、グレーチング、手すり等がある場合、転倒及び落下等により当該設備に影響を与えない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-3	周辺に仮置き機器（点検用資機材を含む）がある場合、固縛措置等により、当該設備に影響を与えない。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1-4	上部に照明器具、天井・壁の簡易建築材がある場合、落下防止措置等により、当該設備に影響を与えない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1-5	その他（ ）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Sクラス施設の健全性について		Y	N	H	N/A
1	対象機器と支持構造物との接合部付近に外見上の異常(ボルトの緩み、腐食・き裂等)はない。	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

所見（機器周辺の状況についての記載）

① SLCテストタンク

現場状況写真 等



原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (1/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 I					
1	宮城県沖 (女川)	8・16宮城地震による女川原子力発電所全プラント 停止について	1号炉 2号炉 3号炉	地震の影響で以下の軽微な被害が発生した。 ・主変圧器、起動用変圧器の選圧弁動作 ・サイトバンク建屋プールに水銀灯落下 (b) 女川2号炉 ・主変圧器、起動用変圧器、補助ボイラー変圧器(A)(B)の選圧弁動作 (c) 女川3号炉 ・原子炉建屋内見学者用ギャラリー室のガラスのひび ・主変圧器の選圧弁動作 (d) その他構内 ・環境放射能測定センターの希硫酸(5%濃度)貯蔵施設が漏えいおよび奇性ソーダの一部滴下 ・建屋エレベータ停止 ・排気筒航空障害灯レンズカバー破損 ・構内道路アスファルト亀裂・波うち・段差発生	I, III, VI
2	中越沖 (柏崎)	HTR-3B火災発生	3号炉	地震の影響により基礎面の沈下量に差が発生したため、ダクトがブッキング障害に接触し、その衝撃等で障害が破損して変圧器内 部の絶縁油が噴出した。絶縁油の噴出の後、約1,000℃以上のアーーク放電が発生したため、漏油した絶縁油に引火したことにより二 次側接続母線部ダクト内で火災が発生した。	I
3		スタックへのダクト配管ズレ	1号炉	地震の影響によって主排気ダクト周辺及びダクト基礎部に地盤沈下が発生し、それに伴う相対変位によって、主排気ダクトにズレ (ペロロースの変形)が生じた。	I
4		スタックへのダクト配管ズレ	2号炉		
5	中越沖 (柏崎)	スタックへのダクト配管ズレ	3号炉		
6		スタックへのダクト配管ズレ	4号炉		
7		スタックと主排気ダクトカバーのゆがみ確認	5号炉		
8	中越沖 (柏崎)	C/S B5F浸水及びMUCW全停	1号炉	地震による建屋周辺の地盤沈下等の要因により、地中埋設の消火配管に局所的に大きな変位が生じ機械式継手(ねじ込み式継手 やかアップリング継手等)が損傷し漏水した。この漏水が原因で1号炉原子炉複合建屋(管理区域)地下S階(意地下階)全棟にわたり 深さ約40cm浸水し、廃棄物処理系の電気品、計装品及びタンク類が水没した。水没が原因でMUCWGが全停する他、制御盤において 「制御電源喪失」警報が発生した。	I
9	中越沖 (柏崎)	軽油タンクB前の消火配管破断し水漏れ	1号炉	不等沈下により消火配管が破断し、漏水及び消火系設備の機能喪失に至った。なお、当該不等沈下は液状化による影響を否定で きない。	I
10	中越沖 (柏崎)	1S/B北側屋外消火配管が破断し漏水	その他		
11	中越沖 (柏崎)	消火設備4箇所配管損傷・漏水	その他		
12	中越沖 (柏崎)	軽油タンク前他屋外消火配管が破断し漏水	その他		
13	中越沖 (柏崎)	K3励磁用変圧器基礎ホルト切断・相非分割母線 沈下有り	3号炉	地震により主変圧器およびE×T基礎ポルトが切断した。また、NPB基礎が地震の影響により沈下した。	I, III
14	中越沖 (柏崎)	500kV新新編線2Lしゃ断器付近のエアリーク	その他	地震により当該回線の現場操作盤の基礎が地盤沈下で傾斜したため、空気配管に応力がかかりコネクタ部より空気漏れが発生し た。	I
15	中越沖 (柏崎)	取水設備スクリーン洗浄ポンプ吐出フランジ連続 滴下・配管サポート変形	5号炉	地震の影響によって地盤が変形し、当該設備の配管及びサポートの変形が発生した。	I

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 IV：周辺斜面の崩壊 V：使用済燃料ピットロッキングによる溢水 VI：その他(地震の揺れに
よる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (2/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号機	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
16	中越沖 (柏崎)	RW/B R/W制御室制御盤各系制御電源喪失	RW設備	地震による建屋周辺の地盤沈下等の要因により、地中埋設の消火配管に局所的に大きな変位が生じ機構式継手(ねじ込み式継手やカプリング継手等)が損傷し漏水した。この漏水が原因で1号機原子炉複合建屋(管理区域)地下5階(最地下階)全域にわたって深さ約40cm浸水し、廃棄物処理系の電気品、計装品及びタンク類が水没した。水没が原因でMUWVGが全停する他、制御盤において「制御電源喪失」警報が発生した。	I
17	中越沖 (柏崎)	1号機 変圧器防油堤の沈下・傾き、コンクリートのひび割れ・はく離、目地部の開き	1号機	変圧器防油堤に以下の損傷が確認された。	I
18	中越沖 (柏崎)	2号機 変圧器防油堤の沈下、横ズレ	2号機	変圧器防油堤の沈下・傾き、コンクリートのひび割れ・はく離、目地部の開き	I
19	中越沖 (柏崎)	3号機 変圧器防油堤のひび割れ、段差	3号機	変圧器防油堤の沈下、横ずれ	I
20	中越沖 (柏崎)	4号機 変圧器防油堤の沈下、大きな傾斜(一部目地部の開き)	4号機	変圧器防油堤のひび割れ、段差発生	I
21	中越沖 (柏崎)	5号機 変圧器防油堤のひび割れ	5号機	変圧器防油堤の沈下、大きな傾斜(一部目地部の開き)	I
22	中越沖 (柏崎)	7号機 変圧器防油堤の沈下、外側への開き、目地部のズレ、目地部の開き、目地部の段差	7号機	変圧器防油堤版底部のひび割れ、目地部の開き、陥没	I
23	駿河湾 (浜岡)	取水槽まわりの地盤沈下等	1号機	変圧器防油堤の沈下、外側への開き、目地部のずれ、開き、段差発生	I
24	駿河湾 (浜岡)	道路および法面のひび割れ	その他	取水槽まわりに地盤沈下(30m×20m、最大15cm程度)、隆起(35m×15m、最大20cm程度)および法面波打(30m×5m、最大10cm程度)が発生した。 地震の影響により以下の事象が発生した。 ①5号昇降台道路き裂 ②片平山周辺よう壁目開き、道路き裂 ③平場ヤード舗装地き裂 ④5号放水口モータ室東側よう壁(ブロック積み)き裂 ⑤固体廃棄物貯蔵庫(第2棟)周辺よう壁(ブロック積み)および道路のき裂 ⑥発電所東側品控ヤード舗装き裂 ⑦発電所東側海岸道路き裂	I, IV
25	駿河湾 (浜岡)	御前崎漁港の当社専用岸壁に段差(40cm×2cm、最大3cm程度の段差)	その他	地震の影響により、御前崎港の専用岸壁に段差(40m×2cm、最大3cm程度の段差)が発生した。	I
26	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋の東側屋外エリアの地盤沈下	5号機	地震の影響により、タービン建屋の東側屋外エリアに地盤沈下(15m×15m、10cm程度)が発生した。	I
27	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	ランドリー-ボイラ重油タンク油漏れ	—	地震の影響により、ランドリー-ボイラ重油タンク基礎が沈下したことによって接続配管ユニオン部から重油が漏えいした。	I

地震被害発生要因： I：地震の不平等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 IV：周辺斜面の崩壊 V：使用済燃料ピットロッキングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (3/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因Ⅱ					
28	中越沖 (柏崎)	柏崎刈羽原子力発電所1、3号炉における排気筒 モニタサンプリングラインの損傷について	1号炉 3号炉	・3号炉主排気筒放射線モニタサンプリング配管において、塩害により配管が腐食し強度が低下していたところに、地震による力が加わり、周辺配管に幅約4mm(最大)、長さ約5cmの損傷が1箇所発生した。 ・1号炉主排気筒放射線モニタサンプリング配管において、地震の影響でモニタ建屋と配管の相対位置がズレたことにより、放射能濃度を測定した後の気体を主排気筒に戻す配管の接続部にズレが発生した。	Ⅱ, Ⅲ
29	中越沖 (柏崎)	固体廃棄物貯蔵庫 地下1階管理棟-第1棟接続部 通路部付近漏水	その他	地震により固体廃棄物貯蔵庫のエキスパンジョンとドレンピットが破損したため、固体廃棄物貯蔵庫の第1棟と管理棟の境界に湧水(雨水)が発生した。	Ⅱ, Ⅲ
30	駿河湾 (浜岡)	補助建屋東側雨樋の亀裂	5号炉	地震による揺れ方からの違いから、補助建屋と風除室上で固定されている補助建屋東側雨樋に亀裂(5箇所)が生じた。	Ⅱ
31	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	4号機主排気ダクトからの漏えいについて	4号炉	地震発生時に3、4号炉コントロール建屋と3、4号炉サービス建屋間に一時的なズレが生じたため、建屋境界部に設置された主排気ダクトの支持脚溶接部へ局所的に大きな応力が発生しひびびが生じた。	Ⅱ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建築物の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットロスロッキングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (4/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事例および発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因Ⅲ					
32	宮城東沖 (女川)	8・16宮城地震による女川原子力発電所全プラント 停止について	1号炉 2号炉 3号炉	地震の影響で以下の軽微な被害が発生した。 (a) 女川1号炉 ・主変圧器、起動用変圧器の避圧弁動作 ・サイホンカ建屋プールに水銀灯落下 (b) 女川2号炉 ・主変圧器、起動用変圧器、補助ボイラ変圧器(A)(B)の避圧弁動作 (c) 女川3号炉 ・原子炉建屋内見学者用ギャラリ一室のガラスのひび ・主変圧器の避圧弁動作 (d) その他構内 ・環状放射能測定センターの希硫酸(5%濃度)貯蔵施設が漏えいおよび苛性ソーダの一部滴下 ・建屋エレベータ停止 ・排気筒航空障害灯レンズカバー破損 ・構内道路アスファルト亀裂・波うち・段差発生	I, Ⅲ, VI
33	能登半島沖 (志賀)	能登半島地震に伴う水銀灯の落下	1号炉 2号炉	1号炉タービン建屋運転階の水銀灯および2号炉原子炉建屋運転階の水銀灯が落下した。	Ⅲ
34	能登半島沖 (志賀)	能登半島地震に伴う低圧タービン組み立て中の タービンロータの位置ずれ	2号炉	地震の影響で低圧タービンの動翼に微かな接痕が複数発生した。	Ⅲ
35	中越沖 (柏崎)	T/Bブローアウトパネル破損	2号炉		
36	中越沖 (柏崎)	R/Bブローアウトパネル破損	3号炉	地震の影響によりブローアウトパネルを固定する止め板が変形し外れたため、3号炉原子炉建屋のブローアウトパネルが外れた。ま た、3号炉および2号炉のタービン建屋についても、ブローアウトパネルが外れた。	Ⅲ
37	中越沖 (柏崎)	T/B海側・山側ブローアウトパネル外れ・脱落	3号炉		
38	中越沖 (柏崎)	R/B使用済燃料プール内ワーキングテーパー燃 料上に落下	4号炉		
39	中越沖 (柏崎)	R/B使用済燃料プール内ワーキングテーパーが ライク上(燃料あり)に落下	7号炉	地震の影響により、4号炉および7号炉の使用済燃料貯蔵プール内に取り付けられている水中作業台が外れ、使用済み燃料上に 落下する事象が発生した。また、6号炉水中作業台が固定位置から外れ、ワイヤーにより支持されている状態となった。	Ⅲ
40	中越沖 (柏崎)	6号炉 使用済燃料プール内の水中作業台の固 定位置からはずれ	6号炉		
41	中越沖 (柏崎)	C/SB1F D/G-A北側付近「RW固化エリア」 厚SI-15Dから漏水	1号炉	不等沈下に伴う屋外消防配管の損傷により発生した水が、電線管貫通孔より流入したことで非常用ディーゼル発電機(A)電気品室 に漏水した。	Ⅲ
42	中越沖 (柏崎)	各サービス建屋退域モニタ故障について	1号炉 2号炉 3号炉 4号炉 5号炉 6号炉 7号炉	地震の影響で、各サービス建屋退域モニタで検出器のスレ(検出器の飛び出し)、駆動部故障が発生した。	Ⅲ
43	中越沖 (柏崎)	固体廃棄物貯蔵庫内のドラム缶数百本が転倒し、 内数十本のドラム缶の蓋が開いていることを確認	その他	地震の影響により固体廃棄物貯蔵庫第二棟内において、ドラム缶100本程度が転倒し、内数本のドラム缶の蓋が開放する事象が発 生した。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットロッキングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れに
よる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (5/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
44	中越沖 (柏崎)	R/Bオベフロ R/B天井クレーンユニバーサルジョイントに破損確認	6号炉	走行車輪にブレーキが掛かった状態で、地震により強制的にクレーンの走行方向(東西方向)の力が発生したため、走行車輪と電動機の間に位置するユニバーサルジョイントに過大なトルクが発生し、クロスピンが破損する事象が発生した。	Ⅲ
45	中越沖 (柏崎)	3号炉原子炉建屋地下2階SLC系注入ライン配管(格納容器外側貫通部)板金保温へこみについて	3号炉	3号炉SLC系注入ライン配管(格納容器外側貫通部)の近傍に置いてあったISU用RPV模擬ノズルが、地震により移動し当該配管に接触したため、板金保温材にへこみが発生した。	Ⅲ
46	中越沖 (柏崎)	7号原子炉ウエルライナーからの漏洩について	7号炉	7号炉の原子炉ウエルライナーにつながる配管のレベル計内に水が溜まる事象が発生した。当該のウエルライナーには、溶接の溶け込み不足と考えられる未溶着部があり、さらには建設時に溶接溶融部を平滑化するためにグラインダで除去していたため、残存板厚が薄くなっていた。そこで地震によりスロットプラグが接触したため、過大な荷重がかかり貫通、漏えいした。	Ⅲ, VI
47	中越沖 (柏崎)	3号炉原子炉圧力容器遮へい体の地震による移動について	3号炉	【N12C】スライド式プラグが保温材に接触した事象 スライド式プラグが正傾位置にある状態で取付けられず、ストッパー機能が働かなかった。その結果、スライド式プラグが地震によってRPV側へ移動後、Δの字状態に傾いたことにより保温材に接触して保温材を变形させた。 【N12D】積上式プラグが水位計装配管に接触した事象 スライド式プラグのストッパーが取付けられておらず、N12Cと同様にストッパー機能が働いていなかったことによりスライド式プラグが地震によりRPV側へ移動した。その結果、積上式プラグの押えがなくなると、地震により積上式プラグが左側へ崩れ、水位計装配管への接触に至った。	Ⅲ, VI
48	中越沖 (柏崎)	柏崎刈羽原子力発電所1、3号炉における排気筒モニタサンプリングラインの損傷について	1号炉 3号炉	-3号炉主排気筒放射線モニタサンプリング配管において、塩害により配管が腐食し強度が低下していたところに、地震による力が加わり、吸込側配管に幅約4mm(最大)、長さ約5cmの損傷が1箇所発生した。 ・1号炉主排気筒放射線モニタサンプリング配管において、地震の影響でモニタ建屋と配管の相対位置がズレたことにより、放射能濃度を測定した後の気体を主排気筒に戻す配管の接続部にズレが発生した。	Ⅱ, Ⅲ
49	中越沖 (柏崎)	所内変圧器1Aと相分継母線のずれによる基礎ボルトの切断	1号炉	地震による振動により所内変圧器1Aが揺動したため基礎ボルトが破断した。	Ⅲ
50	中越沖 (柏崎)	励磁変圧器からの油漏れ及び基礎ベースからのズレ	1号炉	地震による振動により、一次プッシング母線が破損し絶縁油が漏えいした。また同様に地震による振動により、基礎ベースから変圧器本体がずれる事象が発生した。	Ⅲ
51	中越沖 (柏崎)	主変圧器基礎ボルト折損及びクローラー母管と本体間からの油リーク	2号炉	地震による振動により、主変圧器基礎ボルト折損およびクローラー母管と本体間が破損し油が流出した。	Ⅲ
52	中越沖 (柏崎)	励磁用変圧器基礎部・バスダクト横ずれ	2号炉	地震による振動により、励磁用変圧器の基礎部およびバスダクトに横ずれが発生した。	Ⅲ
53	中越沖 (柏崎)	K3励磁用変圧器基礎ボルト切断・相分分割母線沈下有り	3号炉	地震により、主変圧器およびExTr基礎ボルトが切断した。また、NPB基礎が地震の影響により沈下した。	Ⅰ, Ⅲ
54	中越沖 (柏崎)	No.4号過水タンク配管破断	5号炉	地震の振動により、タンク配管の伸縮継手部が損傷し、No.4号過水タンクより漏えいが発生した。	Ⅲ
55	中越沖 (柏崎)	T/B復水器水室B1-B2連絡弁フランジ部漏えい、エキスパンション亀裂	4号炉	地震の振動により、復水器水室間に過大な変位が生じ、伸縮継手が損傷した。	Ⅲ
56	中越沖 (柏崎)	500KV南新高線2L黒相プッシング油漏れによる南新高線2L停止	その他	地震発生時に送電線引込架線が上下に振れたことで、プッシング端子部に応力が発生し、フランジ面が変形したため漏油が発生した。	Ⅲ
57	中越沖 (柏崎)	Hx/B B1F FP-40ラインから漏水	2号炉	地震の振動により、熱交換器建屋の消火配管引き込み前ラバーブーツが損傷し、雨水の流入が発生した。	Ⅲ
58	中越沖 (柏崎)	荒浜側避雷鉄塔の斜材が5本破断	その他	地震の振動により、避雷鉄塔の斜材が破断した。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる損傷 Ⅳ：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 Ⅴ：使用済燃料ピットロスランピングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (6/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
59	中越沖 (柏崎)	事務本館常用電源断、緊急時対策室電源等は非 常用電源より供給	その他	地震の影響により、常用系の高圧受変電とチャネルベースを止めているボルトが切断し、高圧受変電盤が移動したため常用系 電源が断となり非常用電源に切替わった。	Ⅲ
60	中越沖 (柏崎)	ヤード T/BサブドレンNo. 8 流入水油混入およ びK1~4 放水庭に微量の油膜確認について	1号炉	地震による振動で変圧器防油堤が損傷したことにより、変圧器から漏洩した絶縁油が損傷部から土壌を経由してサブドレンに流入し た。	Ⅲ
61	中越沖 (柏崎)	スクリーン起動不可	2号炉	地震により、ケーブルトレドレン内においてケーブルトレイが脱落した。この影響でケーブールが損傷し地絡したため、取水装置スクリーン 洗浄ポンプが起動不可となった。	Ⅲ
62	中越沖 (柏崎)	K1 S/B環境ミニコン県テレメータ等伝送不能	その他	地震時の振動により、中央処理装置とディスプレイを繋ぐケーブールコネクタに接触不良が発生し、中央処理装置が停止(フリーズ)し たことから、県テレメータ、インターネットホーメーページへのデータ伝送処理ができなくなった。また、インターネット伝送に関しては、 地震時に当システムインターネットサーバ、所内LANがいずれも停止したこと、公開WEBサーバまでの連携がとれず伝送され なかった。	Ⅲ
63	中越沖 (柏崎)	重油タンク防油堤での目地の開き(貫通)	その他	地震の影響により、重油タンク防油堤に目地の開き(貫通)が発生した。	Ⅲ
64	中越沖 (柏崎)	重油タンク用泡消火設備の現場盤損傷	その他	地震の影響により、重油タンク泡消火設備の現場盤(盤BOX)と支柱との接合部分に破断が発生した。	Ⅲ
65	中越沖 (柏崎)	Ax/B B1F 北西側壁面亀裂部より雨水漏えい	その他	地震の影響により、連絡通路が建屋と衝突したこと、コンクリートが損傷し建屋の壁面に亀裂が生じた。また、この亀裂から雨水が 流入した。	Ⅲ
66	中越沖 (柏崎)	固体廃棄物貯蔵庫 地下1階管理棟-第1棟接続部 通路部付近漏水	その他	地震により固体廃棄物貯蔵庫のエキストラパンジョンとドレンピットが破損したため、固体廃棄物貯蔵庫の第1棟と管理棟の境界に湧水 (雨水)が発生した。	Ⅱ, Ⅲ
67	中越沖 (柏崎)	C/B 2F 中操天井の地震による陥落・ひび割れ・ 非常灯ずれ、点検口開放を確認について	7号炉	地震の振動により、7号炉中操において飾り照明の落下、天井化粧板の脱落・ひび、非常灯ズレ、点検口開放が発生した。	Ⅲ
68	中越沖 (柏崎)	R/B オペフロ スタッドテンションナール除染バン内油漏 れ・油圧制御ホース切断について	4号炉	RPVヘッド着脱機に配置されている4つのスタッドテンションナールが地震により振られ、そのうちの1つのスタッドテンションナールと構造フ レームとの間に油圧ホースが挟まれ切断されたため、約200リットルの油圧作動用の油漏れが発生した。	Ⅲ
69	中越沖 (柏崎)	R/B 2F南東壁(SFP側)よりの水漏れ	7号炉	・原子炉建屋管理区域域内2階のエレベータ付近の壁面(厚さ約2mの鉄筋コンクリート)の継ぎ目部に生じた微細なひび(幅約0.1mm 程度、長さ約3.5m程度)から、水のじみが発生し水たまりが生じた。 ・原子炉建屋3階北側の床面コンクリート継ぎ目部(約1cm)にわずかな水のしみ出しが発生した。 [No.46、7号原子炉ウエルライナーからの漏洩について]によるものか、使用済燃料プール等からの地震時スロッシングを起因とする 漏水であるのか原因は特定できなかった。	ⅢまたはV
70	中越沖 (柏崎)	R/B 3FIS試験片室前壁からの水漏れ	7号炉	ⅢまたはV	ⅢまたはV
71	中越沖 (柏崎)	平均出力領域モニタ制御盤の電源装置の位置ず れについて	4号炉	中央制御室内にある平均出力領域モニタおよび制御棒引抜監視装置の電源装置が、正掲の位置から取り出し方向に数cmずれて いることを確認した。長期使用による板バネの経年変化により、板バネ押え力が低下したことに加え、地震により当該電源装置に加 わる地震水水平力が、質量に比例して他の電源装置より大きく寄与したため、当該電源装置に位置ずれが生じた。	Ⅲ
72	中越沖 (柏崎)	原子炉建屋 原子炉ウエルライニング面(ウエルカ バー着座面)のすり傷について	7号炉	地震の影響により、原子炉ウエルカババーが動いたためウエルカババー着座面のほぼ全周にすり傷が確認された。	Ⅲ
73	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋1階(放射線管理区域外)の扉の開閉 不能	1号炉	地震の影響により、当該扉を開閉した際、扉枠が干渉して閉止不能となった。	Ⅲ
74	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋1階(放射線管理区域域内)の扉金具の 落下(1箇所)	1号炉	地震の影響により、ドアクローザー付属の温度ヒューズが破損した。	Ⅲ
75	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋2階(放射線管理区域域内)コンクリート 片(縦指大)確認	2号炉	地震の影響により、タービン建屋側躯体とタービン建屋ペダスタル駆体間の境界部表面のコンクリートが損傷し、コンクリート片(縦指 大)が落下した。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる損傷 Ⅳ：周辺斜面の崩壊・転倒、落下等 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れに
よる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (7/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事例および発生要因の概要	地震被害 発生要因
76	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバナー固定金具の外れ	2号炉	地震の影響により、原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバナー固定金具の一部が外れた。	Ⅲ
77	駿河湾 (浜岡)	源水タンクまわりの構内配電線電柱の支線外れ(1箇所)	その他	構内配電線電柱の支線と支線アンカーを接続するターンバックルに、地震による応力が加わったことでターンバックルが破損し、支線が外れた。	Ⅲ
78	駿河湾 (浜岡)	275kV開閉所壁面の鉄骨耐火被覆材のひび割れ	その他	275kV開閉所壁面の鉄骨耐火被覆材に、地震の影響によるひび割れを確認した。	Ⅲ
79	駿河湾 (浜岡)	275kV開閉所内の構内放送用スピーカーの脱落	その他	275kV開閉所内に設置してある構内放送用スピーカーが、地震の影響により脱落した。	Ⅲ
80	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機の排気消音器の吸音材カバナー固定金具の外れおよび台座シール材の劣化	3号炉	地震の影響により、原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバナー固定金具の一部が外れた。また、非常用ディーゼル発電機(B)の排気消音器台座シール材に塩害環境腐食と地震の揺れによる影響での劣化を確認した。	Ⅲ、Ⅵ
81	駿河湾 (浜岡)	タービン系配管の保温材のずれ	4号炉	地震の影響でタービン系配管の保温材にずれが発生した。	Ⅲ
82	駿河湾 (浜岡)	低圧タービン軸の接触痕	4号炉	地震の影響により、低圧タービン(A)～(C)軸の6箇所に軸受油切り部との接触痕を確認した。	Ⅲ
83	駿河湾 (浜岡)	組合せ中間弁(C)室内の間仕切板の脱落	4号炉	地震の影響により、組合せ中間弁(C)室内に取り付けてあった金属製の仕切板の一部(約20cm×約20cm)が脱落した。	Ⅲ
84	駿河湾 (浜岡)	発電機励磁電源用バスダクト支持部材の接続板の亀裂	4号炉	地震の影響により、発電機励磁電源用バスダクトの支持部材とバスダクトをつなぐ接続板に亀裂(最大長さ約7mm)が発生した。	Ⅲ
85	駿河湾 (浜岡)	空調ダクトからの空気の微少な漏れ	4号炉	地震の影響により、空調ダクト(フランジ部)からの空気の微少な漏れが発生した。	Ⅲ
86	駿河湾 (浜岡)	発電機ブランチホルダの接触痕について	4号炉	地震の影響により、発電機ブランチホルダの一部に軽微な接触痕およびコレクタリング表面に茶色の変色が発生した。	Ⅲ
87	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバナー固定金具等の外れ	4号炉	原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバナー固定金具の一部が外れ、一部のカバナーにずれが発生した。塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響が原因である。	Ⅲ、Ⅵ
88	駿河湾 (浜岡)	主タービンスラスト軸受摩擦トリップ警報点灯	5号炉	地震の発生によりタービンがトリップした。当該タービンの地震被害は以下のとおり。 ・中間軸受箱に過大な力が掛かり、中間軸受箱取付ボルトが損傷した。 ・中間軸受箱取付ボルトが損傷したことにより、中間軸受箱が上下に揺動し、中間軸受箱の軸方向固定キーが傾くとともに、キー溝が変形した。 ・中間軸受箱の揺動により、中間軸受箱内に設置されているスラスト軸受も揺動し、タービンロータの軸方向移動が発生したこと、および低圧内部車室のスラストキーの一部の変形により、低圧内部車室がサポートライナー上を軸方向に移動し、動翼(回転体)とダイヤフラム(静止体)の接触およびロータと油切り等の接触が発生した。 ・中間軸受箱の揺動およびタービンロータの軸方向移動により、スラスト保護装置が動作し、「主タービンスラスト軸受摩擦トリップ」信号によりタービントリップした。	Ⅲ
89	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋3階タービンスラスト装置まわりのデッキプレート取り付け用ネジ折損	5号炉	地震の影響により、タービンスラスト保護装置まわりの作業床用デッキプレートの取り付け用ネジ(直径7mm)24本が折損した。	Ⅲ
90	駿河湾 (浜岡)	発電機回転数検出装置の摺動痕	5号炉	地震の影響により、発電機回転数検出装置歯車と検出器が接触し検出器に摺動痕が残った。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等地面による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットロスラングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (8/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
91	駿河湾 (浜岡)	原子炉格納容器的機器搬入口遮へい扉の固定金具破損	5号炉	地震の影響により、原子炉格納容器的機器搬入口に設置している金属製造へい扉の固定用金具アンカー部(床面)が破損し、固定金具が \sim 3cm程度の浮きが発生した。	III
92	駿河湾 (浜岡)	No.3脱塩水タンク基礎部の防食テープの剥れ	5号炉	地震によりタンク端部が一時的に浮上り、一部の防食テープが剥離しタンク底板下部に潜り込む事象が発生した。	III
93	駿河湾 (浜岡)	タービン振動位相角計の損傷	5号炉	地震の揺れによりローターが振動位相角計の先端に接触したため、位相角計の先端が欠損した。	III
94	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋2階(放射線管理区域内)東側壁面の仕上げモルタルの剥がれと浮き(30cm×5cm程度)	5号炉	原子炉建屋2階(放射線管理区域内)東側壁面の仕上げモルタルに地震の影響による剥がれと浮きが発生した。	III
95	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋2階(放射線管理区域内)高圧第2ヒータまわり床面に、配管貫通部に詰められていた仕上げモルタルの一部の剥がれ(5cm×5cm程度)	5号炉	地震の影響により、主タービン潤滑油配管とタービン建屋の貫通部の穴仕舞部の仕上げモルタルの表面に剥がれが発生した。	III
96	駿河湾 (浜岡)	化学分析室内の放射能測定装置の固定ボルトの浮き上がり	5号炉	地震の影響により、化学分析室内に設置している放射能測定装置(波高分析装置)の固定用アンカーボルトに浮き上がりが発生した。	III
97	駿河湾 (浜岡)	発電機ブラシホルダ等の接触痕について	5号炉	地震の影響により、発電機ブラシホルダの一部に軽微な接触痕およびコレクタリング表面に茶色の変色が発生した。	III
98	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋内の蛍光灯不点について	5号炉	地震によって、蛍光管とソケット部の接触不良が発生しタービン建屋(放射線管理区域内)の蛍光灯が約30灯不点となった。	III
99	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具等の外れ	5号炉	原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部が外れ、一部のカバーにずれが発生した。塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響が原因である。	III、VI
100	駿河湾 (浜岡)	タービン建屋内でのビス(5個)の発見	5号炉	地震の影響により、照明器具用電線管つなぎ部固定用や配管保温材の外表板用のビスが落下した。	III
101	駿河湾 (浜岡)	変圧器消火配管建屋貫通部のシール材の一部損傷	5号炉	地震の影響により、屋外連絡ダクト貫通部付近の変圧器消火配管貫通部シール材の一部が損傷し、フランジ部からの微少なリーク(1滴/2滴)が発生した。	III
102	駿河湾 (浜岡)	原子炉格納容器内の点検結果	5号炉	地震の影響による以下の痕跡を確認した。 ・主蒸気逃し安全弁排気管のバネ式支持構造物の動作(摺動痕) ・作業用ターンテーブルの車輪位置ずれ ・空調ダクト接続部の位置ずれ	III
103	駿河湾 (浜岡)	発電機固定子固定キーの隙間の拡大	5号炉	発電機固定子に地震の影響による以下の痕跡を確認した。 ・固定子底部の中央に挿入されている固定キーの両サイドの隙間が拡大 ・ベースボルトの一部の塗装が剥離 ・固定キーに軽微な傷 ・発電機本体胴部およびベースにへこみ、段差の発生	III

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる損傷 IV：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 V：使用済燃料ピットロスランピングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (9/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
104	駿河湾 (浜岡)	タービン開放点検の結果	5号炉	地震の発生によりタービンがトリップした。当該タービンの地震被害は以下のとおり。 ・中間軸受箱に過大な力が掛かり、中間軸受箱取付ボルトが損傷した。 ・中間軸受箱取付ボルトが損傷したことにより、中間軸受箱が上下に揺動し、中間軸受箱が変形した。 ・中間軸受箱の揺動により、中間軸受箱内に設置されているスラスト軸受も揺動し、タービンロータの軸方向移動が発生したこと、および低圧内部車室のスラストキー部分の変形により、低圧内部車室がサポートライナー上を軸方向に移動し、動翼(回転体)とダイヤフラム(静止体)の接触およびローターと油切り等の接触が発生した。 ・中間軸受箱の揺動およびタービンロータの軸方向移動により、スラスト保護装置が動作し、「主タービンスラスト軸受摩耗トリップ」信号によりタービンがトリップした。	III
105	駿河湾 (浜岡)	主要変圧器上部グレーチングと相分離母線箱との接触痕	5号炉	主要変圧器用の相分離母線箱(以下、「IPB」という)3箇所に、地震の影響によってIPB点検用グレーチングの手すりボルト部分と接触し接触痕が残った。	III
106	駿河湾 (浜岡)	原子炉格納容器内作業用ターナーテーブルの点検結果	5号炉	作業用ターナーテーブルに地震の影響による以下の状況を確認した。 ・車輪カバーの一部割れ ・回転角検出装置の歯車レールから歯車の外れ	III
107	駿河湾 (浜岡)	原子炉機器冷却水系の配管および支持構造物の揺動痕	5号炉	原子炉機器冷却水系の配管および支持構造物に、地震の影響による揺動痕(塗装の剥離)を15箇所確認した。	III
108	駿河湾 (浜岡)	タービン駆動給水ポンプベータベース部のライナーシム変形	5号炉	地震の影響によって、タービン駆動給水ポンプ(A)(B)ポンプのベータベース部に取り付けられているライナーシムに変形が発生した。	III
109	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋内の主蒸気系配管、給水系配管および配管支持構造物の点検結果	5号炉	主蒸気系配管と給水系配管について地震の影響による以下の状況を確認した。 ・配管支持構造物4箇所について、配管自重受け部にわずかに隙間が発生 ・給水系配管の壁貫通部2箇所について、養生用のラバーブーツと保温外装板に一部ずれが発生 ・主蒸気系配管の配管ラグ2箇所に揺動痕を確認	III
110	駿河湾 (浜岡)	発電機シールリング油切りの揺動痕	5号炉	発電機軸の軸受部に地震の影響による以下の状況を確認した。 ・第10軸受のシールリング油切りと発電機ローターに、接触と推定される揺動痕を確認。 ・第9軸受についても、第10軸受と同様、シールリング油切りと発電機ローターに軽微な揺動痕を確認。	III
111	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	原子炉格納容器機器ハッチ遮へい扉止め金具破損	—	原子炉格納容器機器ハッチ遮へい扉の止め金具(スライド固定)が地震の影響で破損した。	III
112	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	格納容器雰囲気計測系サンプル 昇圧ポンプB異音	—	地震の影響により、格納容器雰囲気計測系2系列のうち、サンプル昇圧ポンプBについてモータとサンプルポンプに芯ずれが起こり異音が発生した。	III
113	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	使用済燃料プール小ゲート取付けボルトの位置ズレ	—	地震の影響により、使用済燃料プール小ゲートの取付けボルトにずれが発生した。	III
114	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	地震による水処理建屋構造材の損傷	—	地震の影響により、建物のブレース(筋交い)の多くが切断した。	III

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる損傷 Ⅳ：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 Ⅴ：使用済燃料ピットロスロッキングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (10/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
115	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	津波による取水口電気室建屋の損傷	—	地震・津波により、取水口電気室の建具(窓、シャッター)に割れ・歪みが発生した。	Ⅲ、Ⅵ
116	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	原子炉建屋天井クレーンの走行用車輪受部の一部損傷について	—	地震により、車輪軸受に亀裂等が発生し、その後、当該の天井クレーンを使用したことで、クレーンの自重により損傷に至った。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットシロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (11/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因IV					
117	中越沖 (柏崎)	土捨て場一部舗装(北側斜面)等	その他	地震の振動により、土捨て場北側斜面の一部に崩落が発生した。	下線は要因IV相当箇所 IV
118	中越沖 (柏崎)	開閉所東側法面一部滑り出し	その他	地震の振動により、開閉所東側法面が一部滑り出し約10cmのひび割れが発生した。	IV
119	駿河湾 (浜岡)	取水槽まわりの地盤沈下等	1号炉	取水槽まわりに地盤沈下(30m×20m、最大15cm程度)、隆起(35m×15m、最大20cm程度)および法面波打(30m×5m、最大10cm程度)が発生した。	I, IV
120	駿河湾 (浜岡)	道路および法面のひび割れ	その他	地震の影響により以下の事象が発生した。 ①5号見晴台道路き裂 ②片平山周辺よう壁目開き、道路き裂 ③平場ヤード舗装他き裂 ④5号放水口モニタ室東側よう壁(ブロック積み)き裂 ⑤固体廃棄物貯蔵庫(第2棟)周辺よう壁(ブロック積み)および道路のき裂 ⑥発電所東側点検ヤード舗装き裂 ⑦発電所東側海岸道路き裂	I, IV

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる損傷 IV：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (12/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事例および発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因 V					
121	中越沖 (柏崎)	R/B3階、中3階の非管理区域への放射能含む水の漏えい、海への放射能放出	6号炉	使用済燃料プール水が非管理区域へ流出した。事象のメカニズムは以下。 ・使用済燃料プール水が地震によるスロッシングによりR/B4Fフロア床面に溢れ出した。 ・溢れ出した水は床面に設置している燃料交換機給電ボックスへ流入した。 ・密閉性が保たれていないべきである給電ボックス内電線貫通部のシール部に、設計上の考慮不足あるいは施工不良により生じたと考えられる隙間ができていたため、隙間を通り電線管の中へ流入した。 ・当該電線管はR/B非管理区域へ通じていることから、電線管へ流入した水は非管理区域へと流出した。 ・R/B3階(非管理区域)床面にたまった水は、同床面の排水口を通じて非放射能排水収集タンクに流入した後、排水ポンプにより、ポンプ出口配管の接続先である放水口を経由して海に放出された。	V, VI
122		R/B 3Fオパフロ全域水浸し	1号炉		
123		R/B使用済燃料プール水飛散	2号炉		
124		R/Bオパフロ床への使用済燃料プール水飛散	3号炉		
125	中越沖 (柏崎)	R/B使用済燃料プール水散逸によるR/Bオパフロ水浸し・SFP湿漏不可視	4号炉		V
126		R/Bオパフロほぼ全域への使用済み燃料プール水飛散	5号炉	地震によるスロッシングにより、放射性物質を含む使用済燃料プール水がオパフロに溢水した。	
127		R/B(管理)オパフロほぼ全域への使用済燃料プール水飛散	6号炉		
128		R/B4Fオパフロ全域水たまり有り	7号炉		
129	中越沖 (柏崎)	1号炉使用済燃料プールの水位低による運転上制限の逸脱及び復帰	1号炉		
130	中越沖 (柏崎)	2号炉使用済燃料プールの水位低による運転上制限の逸脱及び復帰	2号炉	地震によるスロッシングにより、使用済燃料プール水が原子炉建屋オベレテーティングフロアへ溢れたため、使用済燃料プール水位が低下したことから、運転上の制限からの逸脱を言及した。	V
131	中越沖 (柏崎)	3号炉使用済燃料プールの水位低による運転上制限の逸脱及び復帰	3号炉		
132	中越沖 (柏崎)	R/B2F南東壁(SFP側)よりの水漏れ	7号炉	・原子炉建屋管理区域内2階のエレベータ付近の壁面(厚さ約2mmの鉄筋コンクリート)の継ぎ目部に生じた微細なひび(幅約0.1mm程度、長さ約3.5m程度)から、水のにじみが生じ水たまりが生じた。 ・原子炉建屋3階北側の床面コンクリート継ぎ目部(約1cm)にわずかな水のしみ出しが発生した。 [No.46 7号原子炉ウエルライナーからの漏洩について]によるものか、使用済燃料プール等からの地震時スロッシングを起因とする溢水であるのか原因は特定できなかった。	ⅢまたはⅤ
133	中越沖 (柏崎)	R/B3FIS試験片室前壁からの水漏れ	7号炉		ⅢまたはⅤ
134	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	東海第二発電所 使用済燃料プール水飛散	—	使用済燃料貯蔵プールのスロッシングにより、プール水が使用済燃料貯蔵プール壁面上部換気口へ浸入し、格納容器電気ペネトレーションボックスに浸入したことで絶縁低下を引き起こし、制御棒位置指示表示の不良を引き起こした。	V
135	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	使用済燃料プール水のスロッシングによる溢水	—	地震によるスロッシングにより、放射性物質を含む使用済燃料プール水が溢水した。	V

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (13/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
地震被害発生要因VI					
136	宮城県沖 (女川)	8・16宮城地震による女川原子力発電所全プラント停止について	1号炉 2号炉 3号炉	地震の影響で以下の軽微な被害が発生した。 (a) 女川1号炉 ・主変圧器、起動用変圧器の遮圧弁動作 ・サイトハンカ建屋プールに水銀灯落下 (b) 女川2号炉 ・主変圧器、起動用変圧器、補助ボイラー変圧器(A)(B)の遮圧弁動作 (c) 女川3号炉 ・原子炉建屋内見学者用ギヤラリー室のガラスのひび ・主変圧器の遮圧弁動作 (d) その他構内 ・環境放射線測定センターの希硫酸(5%濃度)貯蔵施設が漏えいおよび奇特性ノイズの一部滴下 ・建屋エレベータ停止 ・排気筒航空障害灯レンズカバー破損 ・構内道路アスファルト亀裂・湧ち・段差発生	I, III, VI
137	能登半島沖 (志賀)	能登半島地震観測データ波形記録の一部消失について	1号炉	短時間に多くの余震を連続して収録したこと、収録装置内のICメモリーカード容量が少なかったことから、新たな余震記録によりデータが上書きされたため、一部余震の記録が消失した。	VI
138	中越沖 (柏崎)	R/B3階、中3階の非管理区域への放射能含む水の漏えい、海への放射能放出	6号炉	使用済燃料プール水が非管理区域へ流出した。事象のメカニズムは以下。 ・使用済燃料プール水が地震によるスロッシングによりR/B4フロア床面に溢れ出した。 ・溢れ出した水は床面に設置している燃料交換機給電ボックスへ流入した。 ・密閉性が保たれているべきである給電ボックス内電線貫通部のシール部に、設計上の考慮不足あるいは施工不良により生じたと考えられる隙間ができていたため、隙間を通り電線管の中へ流入した。 ・当該電線管はR/B非管理区域へ通じていることから、電線管へ流入した水は非管理区域へと流出した。 ・R/B3階(非管理区域)床面にたまった水は、同床面の排水口を通じて非放射性排水収集タンクに流入した後、排水ポンプにより、ポンプ出口配管の接続先である放水口を経由して海に放出された。	V, VI
139	中越沖 (柏崎)	地震記録装置データ上書き	その他	短時間に多くの余震が連続して発生したこと、地震時の通信回線が輻輳したため転送するのに時間がかかっていたことにより、新たな余震記録により本震記録が上書きされたため本震データが消失した。	VI
140	中越沖 (柏崎)	T/B RFP-T主油タンク(B)タンク室床に油たまり	2号炉	地震の影響により1号炉電源(M/C 1SB-1)がトリップしたこと、同電源より受電している2号炉電源(M/C 2B-1)が喪失した。そのため、負荷であるRFP-T(B)油ポンプスターボンプの電源が喪失し、油清浄機への戻り油がなくなり、RFP-T(B)油タンクの油面が上昇してオーバーフローした。	VI
141	中越沖 (柏崎)	6号炉R/Bより海に放出された放射線量の評価・通報連絡の遅延	6号炉	漏水の試料を分析室へ持ち込み際の識別が明確でなかったため、採取箇所と分析結果を分類することができず、放射能有の特定が遅れ、加えて原子炉建屋非放射性ストームドレンサンポンプの起動阻止が遅れたため、サンプに流入した放射能を含む水が発電所外に放出された。	VI
142	中越沖 (柏崎)	主排気筒の定期測定(1回/週)においてヨウ素及び粒子状放射性物質(クロム51, コバルト60)の後出しについて	7号炉	原子炉の自動停止後の操作過程において、タービングラウンド蒸気排風機の手動停止操作が遅れたことで、復水器内に滞留していた放射性ヨウ素及び粒子状放射性物質が、タービングラウンド蒸気排風機により吸引され、排気筒を経て放出された。	VI
143	中越沖 (柏崎)	7号原子炉ウエルライナーからの漏洩について	7号炉	7号炉の原子炉ウエルライナーにつながる配管のレベル計内に水が溜まる事象が発生した。当該のウエルライナーには、溶接の溶け込み不足と考えられる未溶着部があり、さらに建設時に溶接溶融り部を平滑化するためにグラインダで除去していたため、残存部が選んできたこと、そこで地震によりスロットプラグが接触したため、過大な荷重がかかり貫通、漏えいした。	III, VI

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 IV：周辺斜面の崩壊 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (14/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
144	中越沖 (柏崎)	3号炉原子炉圧力容器遮へい体の地震による移動について	3号炉	【N12C】スライド式プラグが保温材に接触した事象 スライド式プラグが正規位置にある状態で取付けられおらず、ストッパー機能が動かかなかった。その結果、スライド式プラグが地震によってRPV側へ移動後、ハの字状態に開いたことにより保温材に接触して保温材を歪形させた。 【N12D】積上式プラグが水位計装配管に接触した事象 スライド式プラグのストッパーが取付けられておらず、N12Cと同様にストッパー機能が働いていなかったことによりスライド式プラグが地震によりRPV側へ移動した。その結果、積上式プラグの押さえがなくなると、地震により積上式プラグが左側へ崩れ、水位計装配管への接触に至った。	Ⅲ、Ⅴ
145	中越沖 (柏崎)	低起動変圧器3SB「放圧装置動作」及び放圧装置油リーク	3号炉	地震により低起動変圧器3SB本体が揺れて、放圧装置が動作したため噴油した。	Ⅵ
146	中越沖 (柏崎)	低起動変圧器6SB放圧装置油リークによる低起動変圧器6SB停止	6号炉	地震により低起動変圧器6SB本体が揺れて、放圧弁が動作したため油がリークした。	Ⅵ
147	中越沖 (柏崎)	R/B 1F北西側二重扉電源喪失のため内外開放中	1号炉	メカ式のリレーの駆動作によりM/C1SB-1が停止したこと、およびMCC1SA-1-1盤に建屋内に漏洩した水がかかり停止したことにより二重扉電源が2系統停止したため、二重扉が動作不能となった。	Ⅵ
148	中越沖 (柏崎)	R/Bオベフロ 原子炉ウエル内バルクヘッド上に赤靴を確認	1号炉	原子炉ウエル内のバルクヘッド上においてO靴1個を発見した。ウエル開口部付近にあったO靴が、使用済燃料プール及び原子炉ウエルから地震のスロッシングにより溢れた水が原子炉ウエルに戻る際に、その流れにさらわれ落下したものである。	Ⅴ、Ⅵ
149	中越沖 (柏崎)	「6号炉の放射性物質の漏えいについて」川における海に放出された放射能量の訂正について	6号炉	放水口を経由して海に放出された水の放射線量を算定する際の計算に誤りがあった。	Ⅵ
150	中越沖 (柏崎)	T/B B2F T/BHCWサンプ(B)・LPOP(A)～(C)室内水流入	1号炉	1号タービン建屋～海水熱交換器建屋補助ボイラ建屋等で発生した漏水が当該トレンチ近傍のファンネルへ大量に流入し、目詰まりを起こしたことにより、このファンネルより設置高の低い高電導度廃液サンプから溢水した。	Ⅵ
151	中越沖 (柏崎)	T/B T/B B1F(管)南側壁上部5m(ヤードHTr奥ノセグ室)より雨水流入	3号炉	タービン建屋に隣接したピットに水がけがたまり、電線管貫通部を通過してタービン建屋内に水が流入した。	Ⅵ
152	中越沖 (柏崎)	5号炉 燃料取替機荷重異常発生に伴う自動除外	5号炉	1体の燃料集合体が正しい姿勢位置である燃料支持金具から外れていることを確認した。これは、燃料装荷時の燃料交換機の設定座標が適切ではなかったこと、燃料集合体の下降速度が十分減速されていないことから燃料集合体の下部先端が燃料支持金具の外側に乗り上げた状態で装荷され、その後、地震により燃料支持金具からさらさら外れたものである。	Ⅵ
153	駿河湾 (浜岡)	廃棄物減容処理建屋「復水バッチタンク水位高高」警報点灯	2号炉	地震により廃棄物減容処理建屋に設置している復水バッチタンク水位が変動し、一時的にタンクへの補給が必要な水位を検出し、補給水系統からタンクへの自動補給が行われたことにより水位が上昇したため、水位高警報が点灯した。	Ⅵ
154	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋3階(放射線管理区域内)燃料プール冷却浄化系ポンプ室の放射線モニタ指示の上昇	2号炉	地震の揺れにより、燃料集合体表面の放射性物質を含んだ鉄錆等がプール水に遊離したため、放射線モニタの指示が上昇した。	Ⅵ
155	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機の排気消音器の吸音材カバハ一部固定金具の外れおよび台座シール材の劣化	3号炉	地震の影響により、原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバハ一部固定金具の一部が外れた。また、非常用ディーゼル発電機(B)の排気消音器台座シール材に塩害環境腐蝕と地震の揺れによる影響での劣化を確認した。	Ⅲ、Ⅴ
156	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバハ一部固定金具等の外れ	4号炉	原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(A)排気消音器の吸音材カバハ一部固定金具の一部が外れ、一部のカバハにずれが発生した。塩害環境による固定金具の腐蝕と地震の揺れによる影響が原因である。	Ⅲ、Ⅴ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等低下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる損傷 Ⅳ：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (15/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
157	駿河湾 (浜岡)	補助変圧器過電流トリップ	5号炉	地震の振動でトリップ接点が開触したことにより、保護継電器が誤動作した。	VI
158	駿河湾 (浜岡)	制御棒駆動機構モータ制御ユニットの故障警報点灯について	5号炉	他事象の影響により、予備電源側供給となっていた計測制御系定電圧定周波数電源装置が、電源元である補助変圧器のトリップにより瞬時電圧低下となり、制御棒駆動機構モータ制御装置が一時停止したことで「RC&S軽故障(モータ制御ユニット故障)」警報が点灯した。	VI
159	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋管理区域区分の変更	5号炉	燃料交換エリア床面の放射性物質の密度を測定したところ、 $7Bq/cm^2$ であり、事業者管理値 $4Bq/cm^2$ を超過したため管理区分を変更した。原因は、原子炉建屋5階オベフロ高所に蓄積していた放射性物質が地震の揺れで落下し、原子炉建屋全体に拡散したためである。	VI
160	駿河湾 (浜岡)	計測制御系定電圧定周波数電源装置のインバーター過電流による電源切替(通常→予備)	5号炉	地震時に所内電源電圧が上昇したことにより、装置への交流入力電圧上昇が発生したため予備電源へ切り替った。	VI
161	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋5階(放射線管理区域内)燃料交換エリア換気放射線モニタ指示の一時的な上昇	5号炉	地震の揺れにより燃料集合体表面の放射性物質を含んだ鉄錆等が、プール水に遊離しプール表面からの放射線線量率が上昇したため、燃料交換エリア換気放射線モニタの警報が点灯した。	VI
162	駿河湾 (浜岡)	燃料プール水の放射能の上昇	5号炉	燃料プール水の放射能が通常値の50倍程度に上昇した。原因は他事象(No.188)と同様。	VI
163	駿河湾 (浜岡)	原子炉建屋3階(放射線管理区域内)燃料プール冷却浄化系ポンプ室の放射線モニタ指示の上昇	5号炉	燃料プール冷却浄化系ポンプ室の放射線モニタの指示が上昇した。原因は他事象(No.188)と同様。	VI
164	駿河湾 (浜岡)	非常用ガス処理系(B)放射線モニタ下限点灯	5号炉	地震発生時に補助変圧器トリップに伴う電圧の一時的な低下により、モニタ指示値が一時的に低下したため下限が点灯した。	VI
165	駿河湾 (浜岡)	非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具等の外れ	5号炉	原子炉建屋屋上(放射線管理区域外)に設置している非常用ディーゼル発電機(B)排気消音器の吸音材カバー固定金具の一部が外れ、一部のカバーにずれが発生した。塩害環境による固定金具の腐食と地震の揺れによる影響が原因である。	III、VI
166	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	非常用ディーゼル発電機2C用海水ポンプの自動停止について	—	取水口の南北に配置されている海水ポンプ槽のうち、北側のポンプ槽への津波による海水浸入のため、非常用ディーゼル発電機2C用海水ポンプ電動機が水没し自動停止したことから、DG2Cが使用不能となった。	VI
167	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	125V蓄電池2B室における溢水について	—	地震に伴う非常用系電源の停電により開となった実験室サンプポンプシール水電磁弁から消火水が供給され続け当該サンプに流入したこと、また、停電により当該サンプの制御電源が喪失したことからサンプ水位高信号が発信されたこと、さらに、当該ファンネルを閉止していたゴム栓が外れたこと、当該サンプとの僅かな水頭差によりサンプ内を満たした水がファンネル側に逆流したため、ドレンファンネルから床面へ溢水した。	VI
168	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	東海第二発電所 固体廃棄物貯蔵用サイトバンカプール水飛散	—	廃棄物処理建屋固体廃棄物貯蔵用サイトバンカプール廻りにプール水が溢水した。	VI
169	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	D/W床及び機器ドレンサンプレベルスイッチの地絡	—	地震により原子炉自動停止および格納容器隔離をしている状態で、格納容器内の機器ドレンサンプおよび床ドレンサンプレベルスイッチが被水したため、当該サンプレベルスイッチ回路で地絡が発生した。	VI
170	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	T/B機器ドレンサンプBからの水漏れ	—	タービン建屋機器ドレンサンプ(B)電源が喪失した状態で、電源給水ポンプシール水が流入したことから、水漏れが発生した。	VI
171	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	主変圧器、起動変圧器(2A、2B)放圧管からの絶縁油漏えい	—	地震により主変圧器および起動変圧器(2A、2B)内の絶縁油の油面が変動したことから、放圧管より絶縁油が漏えいした。	VI

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる損傷 Ⅳ：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 Ⅴ：使用済燃料ピットロスロッキングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等)

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (16/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	炉号	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
172	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	津波による屋外機器の被水(安重設備以外)	—	津波によりCWP潤滑水ポンプ等の、多数の屋外設備が被水した。	VI
173	東北地方 太平洋沖地震 (東海第二)	津波による取水口電気室建屋の損傷	—	地震・津波により、取水口電気室の建屋(窓・シャッター)に割れ・歪みが発生した。	III, VI
174	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	R/B LCWサンプのオーバーフロー	1号炉	LCWサンプからオーバーフローし、サンプピット内に漏えいした。	VI
175	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	R/B SDサンプのオーバーフロー	1号炉	SDサンプからオーバーフローし、原子炉建屋B2Fへ漏えいした。	VI
176	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	R/B LCWサンプのオーバーフロー	2号炉	LCWサンプからオーバーフローし、サンプピット内に漏えいした。	VI
177	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	T/B LCWサンプのオーバーフロー	2号炉	LCWサンプからオーバーフローし、サンプピット内に漏えいした。	VI
178	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	R/B SDサンプのオーバーフロー	3号炉	SDサンプからオーバーフローし、原子炉建屋B2Fへ漏えいした。	VI
179	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	T/B LCWサンプのオーバーフロー	4号炉	LCWサンプからオーバーフローし、サンプピット内に漏えいした。	VI
180	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	サイトハンカ貯蔵プールのスロッシングによる溢水	—	地震によるスロッシングにより、放射性物質を含む使用済燃料プール水が溢水した。	VI
181	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	電源盤の浸水による機能喪失	1号炉	海水が電源盤の内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより電源供給が不能となった。	VI
182	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	制御盤の浸水による機能喪失	1号炉	海水が制御盤の内部へ海水が浸水し機能喪失した。	VI
183	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	各種ポンプモーターの浸水による機能喪失	1号炉	各種ポンプのモーターの内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより使用不能となった。	VI
184	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	ディーゼル発電機の浸水による機能喪失	1号炉	ディーゼル発電機や機関付属機器の内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより使用不能となった。	VI
185	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	電源盤の浸水による機能喪失	2号炉	海水が電源盤の内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより電源供給が不能となった。	VI

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 IV：周辺斜面の崩壊 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他（地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等）

原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (17/17)

No.	対象地震 (発電所)	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害 発生要因
186	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	各種ポンプモーターの浸水による機能喪失	2号炉	各種ポンプのモーターの内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより使用不能となった。	VI
187	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	電源盤の浸水による機能喪失	3号炉	海水が電源盤の内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより電源供給が不能となった。	VI
188	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	各種ポンプモーターの浸水による機能喪失	3号炉	各種ポンプのモーターの内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより使用不能となった。	VI
189	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	電源盤の浸水による機能喪失	4号炉	海水が電源盤の内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより電源供給が不能となった。	VI
190	東北地方 太平洋沖地震 (福島第二)	各種ポンプモーターの浸水による機能喪失	4号炉	各種ポンプのモーターの内部へ海水が浸水し絶縁抵抗が低下したことにより使用不能となった。	VI

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他（地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等）

東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (1/4)

No.	地震被害発生要因Ⅲ	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害発生要因Ⅲ相当箇所
1	タービン建屋地下1階高圧電源盤火災		1号炉	高圧電源盤(6-1A)内のしゃ断器(吊り下げ設置型)が、地震による振動で大きく揺れたため、当該しゃ断器の断路部が破損し、高圧電源盤内で周囲の構造物と接触して短絡等が生じ、これに伴い発生した火花により、高圧電源盤内のケーブルの絶縁被覆が溶け、発煙が発生した。	Ⅲ
2	燃料交換機入出力装置の破損		1号炉	燃料交換機入出力装置内の表示装置およびキーボード(各運転状態表示、手順タータの入力および編集作業)が地震の影響によりラックから落下し故障した。	Ⅲ
3	主蒸気逃がし安全弁(C) 位置検出スイッチの接点不良		1号炉	地震の揺れにより、主蒸気逃がし安全弁(C)の位置検出スイッチが正常位置から下方へ僅かにズレたため、開閉ランプに表示不良が発生した。	Ⅲ
4	制御棒駆動系ハウジング支持金具サポーターのずれ		1号炉 2号炉 3号炉	地震の影響により、制御棒駆動機構ハウジングのハウジング支持金具(グリッド)に、1号炉で1カ所、2号炉で2カ所、3号炉で1カ所のずれが発生した。	Ⅲ
5	原子炉格納容器内遮へい扉 留め具の外れ		1号炉	地震の揺れにより、原子炉格納容器内原子炉遮へい壁開口部扉と押さえ板が接触し、遮へい材カーテンの押さえ板が1箇所変形した。	Ⅲ
6	天井クレーン運転席鋼材等の損傷		1号炉 2号炉	地震の影響により、原子炉建屋天井クレーンの運転席周りの鋼材溶接部の一部に損傷が発生した。	Ⅲ
7	高圧電源盤しゃ断器の投入不可		1号炉	高圧電源盤内に設置しているしゃ断器が地震の振動により傾き、投入スイッチを入切するためのインターロックローラーが正常位置から外れたため投入不可となった。	Ⅲ
8	女川原子力発電所1号炉 原子炉建屋天井クレーン走行部の損傷について		1号炉	地震の影響で原子炉建屋天井クレーンの軸受つばね部が損傷し、その破片が軸受コロに挟まれた状態で走行したことにより、軸受に大きな荷重が付加されたことで軸受が損傷し、走行部内部の隙間から油受けに落下した。	Ⅲ
9	蒸気タービン中間軸受基礎部の損傷		2号炉	地震の揺れにより、蒸気タービン主軸が移動したことで中間軸受箱およびソールプレート(中間軸受箱を設置する平板)に力が加わり、ソールプレートが動いたことで基礎部に損傷が発生した。	Ⅲ
10	起動用変圧器放熱器油漏れ		2号炉	地震の影響により、起動用変圧器放熱器に数ミリ程度のき裂が発生し絶縁油が漏れた。	Ⅲ
11	原子炉格納容器内遮へい扉 留め具の変形		2号炉 3号炉	地震の影響により、2号炉原子炉格納容器内原子炉遮へい壁の開口部扉2箇所の留め具計3箇所に変形が発生した。また、3号炉原子炉格納容器内原子炉遮へい壁の開口部扉4箇所の留め具計5箇所に変形が発生した。地震の揺れにより留め具のパートとスターが接触し、スター一部が損傷したものである。	Ⅲ
12	地下1階電動ステッパバック遮へい扉の施設装置の破損		2号炉	地震の影響により、原子炉建屋地下1階にある電動ステッパバック遮へい扉の施設装置が破損した。	Ⅲ
13	補助ボイラー(A)蒸気だめ基礎部の損傷		2号炉	補助ボイラー(A)蒸気だめに地震による荷重が加わり、当該機器がわずかに移動したことで基礎部に損傷が発生した。	Ⅲ
14	蒸気タービン中間軸受箱の基礎ボルト曲がり		2号炉	地震の揺れにより、蒸気タービン主軸が移動したことで中間軸受箱およびソールプレート(中間軸受箱を設置する平板)に力が加わり、ソールプレートを固定している基礎ボルトに曲がりが生じた。	Ⅲ
15	2号機タービン建屋外壁のひび割れ		2号炉	2号機タービン建屋外壁の塗装面に21本のひび割れ(幅最大約0.7mm、長さ最大約8m)が発生した。	Ⅲ
16	2号機蒸気タービン動翼の損傷		2号炉	動翼と静翼に接触により、軽微な損傷が発生した。	Ⅲ
17	蒸気タービン中間軸受箱の浮き上がり		3号炉	地震の揺れにより、蒸気タービン主軸が移動し中間軸受箱に力が加わったことで、タービン中間軸受箱に浮き上がりおよび締付けボルトの変形が発生した。	Ⅲ
18	使用済燃料プールにおけるゲート押さえの脱落		3号炉	地震の影響により、使用済燃料プールゲート(No.1およびNo.2)において、プールゲートを固定しているゲート押さえ金具計4箇のうち3箇のスイングボルトが緩み外れた。	Ⅲ
19	天井クレーン走行部等のすり傷		3号炉	原子炉建屋天井クレーン走行レール上の車輪が地震の影響で揺れたことにより、走行レールと走行車輪との接触面に局部的なすり傷が発生した。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 Ⅳ：周辺斜面の崩壊 Ⅴ：使用済燃料ピットロスシンクによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (2/4)

No.	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害発生要因
20	燃料交換機制御室内の地上操作装置落下	3号炉	燃料交換機制御室内の地上操作装置が、地震の影響により机上から床面に落下し、端子部が破損した。	Ⅲ
21	燃料交換機の配線ケーブルの脱落	3号炉	燃料交換機ブリッジ給電装置のうち、ケーブル支持具が地震の揺れによってガイドレールから脱落した。	Ⅲ
22	使用済燃料キャスクヒットにおけるゲート押さえの一部脱落	3号炉	地震の影響により、キャスクヒットゲートにおいて、ゲートを固定しているゲート押さえ金具2個のスイングボルトが緩み外れた。	Ⅲ
23	3号機蒸気タービン動翼の損傷	3号炉	動翼と静翼に接触により、軽微な損傷が発生した。	Ⅲ
24	社鹿1号線避雷器の損傷	その他	地震の影響により、社鹿1号線避雷器の一部に損傷が発生した。	Ⅲ
25	当社モニタリングステーション(4局)の停電および伝送回線停止に伴う欠測	その他	地震・津波の影響により、社鹿半島周辺の配電設備および伝送回線が損壊したため、モニタリングステーション(4局)が欠測した。	Ⅲ、Ⅵ
26	モニタリングポスト(チャンネル6)番号変換器の故障に伴う指示不良	その他	地震の影響でモニタリングポストNo. 6現地局舎内の測定装置から伝送装置間のケーブルコネクタのロック部分が破損し、ケーブルコネクタが緩んだため指示不良が発生した。	Ⅲ
27	社鹿幹線2号線避雷器の一部損傷	その他	地震の影響により社鹿幹線2号線避雷器一部に損傷が発生した。	Ⅲ
28	固体廃棄物貯蔵所コンクリート壁の剥離	その他	固体廃棄物貯蔵所の壁および天井は、伸縮継手により構造的に分離していたが、床には伸縮継手がなく、一体構造となっていたことから、壁および天井と床と地震による揺れ方の違いが生じ損壊した。また、床の損傷は基礎部にも及んでおり、この損傷が波及的に拡大したことで壁にも損傷が発生した。	Ⅲ

地震被害発生要因：Ⅰ：地震の不等沈下による損傷 Ⅱ：建物間の相対変位による損傷 Ⅲ：地震の揺れによる損傷 Ⅳ：周辺斜面の崩壊・転倒・落下等 Ⅴ：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 Ⅵ：その他(地震の揺れによる響き発生等、施設の損傷を伴わないⅠ～Ⅴ以外の要因等)

東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (3/4)

No.	地震被害発生要因VI	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害発生要因
29	屋外重油タンクの倒壊		1号炉	津波の影響により、1号炉補助ボイラー用の重油貯蔵タンクの倒壊、重油移送ポンプの浸水、油の輸送管の損傷が発生した。	下線は要因VI相当箇所 VI
30	非常用ディーゼル発電機(A)界磁回路の損傷		1号炉	非常用ディーゼル発電機(A)について以下の事象を確認した。 ・メタラ6-1Aで発生した火災の影響で同期検出継電器と接続している制御ケーブルが溶損し地絡が発生した。 ・地絡の影響でDG(A)しゃ断器が自動投入され界磁過電圧が発生した。 ・この界磁過電圧によりバリスタおよび電線の損傷、ダイオードの短絡が発生した。	VI
31	1,2,3号炉放水口モニターの津波による浸水および破損		1号炉 2号炉 3号炉	津波により建屋内に設置の測定・データ伝送設備が、水没・破損した。	VI
32	母運しゃ断器の制御電源喪失		1号炉	火災が発生した高圧電源盤の制御電源回路の溶接による地絡や短絡の影響により、制御電源回路が接続されている当該しゃ断器用制御電源回路の電圧が変動したことで、リレーが動作し「制御電源喪失」警報が発生した。	VI
33	変圧器選圧弁の油面変動に伴う動作		1号炉	3月11日の地震で1号主変圧器3箇所、1号起動変圧器2箇所の選圧弁が動作した。また、4月7日の余震により、1号主変圧器2箇所、1号所内変圧器1箇所の選圧弁が動作した。選圧弁が動作した原因は、地震の揺れにより変圧器内の絶縁油の油面が変動し、内部圧力が上昇したことによる。	VI
34	ほう酸水貯蔵タンク水位指示回路不良		1号炉	1号炉高圧電源盤の火災に伴う地絡電流が、水位発電器内部の部品(基板)を経由して電源ヒューズを断線させたため電源が無くなり、ほう酸水貯蔵タンク水位指示計がダウンスケールした。	VI
35	125V直流主母線盤の地絡(計2件発見)		1号炉	以下の負荷において地絡が発生した。 1. BOPアナナシエータ盤 2. 所内補機補助盤 3. 原子炉アナナシエータ盤 4. CWPポンプ移動装置制御 5. 発電機変圧器保護(共通) 上記負荷は、いずれも火災により焼損したM/C6-1Aと配線接続されているため、火災により配線が地絡したものである。	VI
36	1号機放水口モニター(試験運用機)の津波による浸水および破損		1号炉	津波により建屋内に設置の測定・データ伝送設備が、水没・破損した。	VI
37	原子炉補機冷却水系熱交換器(B)室、高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器室および海水ポンプ室への浸水		2号炉	津波の影響により海水ポンプ室から海水が浸入し、RCW熱交換器(B)室、HPCW熱交換器室等が浸水した。その結果、RCWポンプ(B)、(D)およびHPCWポンプが浸水の影響で自動停止し、続いて冷却水の供給がなくなったD/G(B)、D/G(H)が自動停止した。	VI
38	125V直流主母線盤の地絡		2号炉	以下の負荷において地絡警報が発生した。 1. 原子炉補機冷却水系/原子炉補機冷却海水系(B)制御回路 2. 非放射性ドレン移送系故障表示回路 3. 除塵装置制御回路 4. 放射性ドレン移送系サンプレベルスイッチ故障検出回路 1~3項は津波により設備が水没したことが原因である。4項については、地震に関係のない一過性の事象である。	VI
39	変圧器選圧弁の油面変動に伴う動作(計7件発見)		2号炉	3月11日の地震により主変圧器4箇所、起動変圧器1箇所、所内変圧器1箇所、補助ボイラー用変圧器2箇所の選圧弁が動作した。また、4月7日の余震により主変圧器3箇所、起動変圧器1箇所、補助ボイラー用変圧器2箇所、励磁電源変圧器1箇所の選圧弁が動作した。選圧弁が動作した原因は、地震の揺れにより変圧器内の絶縁油の油面が変動し、内部圧力が上昇したため。	VI
40	高圧炉心スプレイ系圧力抑制室吸込弁 自動での全開動作不能		3号炉	地震の影響による圧力抑制室の一時的な水位変動により、「HPCS圧力抑制室水位高」警報が発生したため、本来であれば、高圧炉心スプレイ系圧力抑制室吸込弁(以下当該弁)が自動で全開となるが、開度80%で動作が停止した。これは地震により当該弁の開閉指示を行うスイッチ等が振動動作したものである。	VI

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる施設の損傷、転倒、落下等 IV：周辺斜面の崩壊 V：使用済燃料ピットストロッキングによる溢水 VI：その他(地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI~V以外の要因等)

東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所における地震被害事例の要因整理 (4/4)

No.	件名	号炉	地震被害事象および発生要因の概要	地震被害発生要因
41	変圧器避圧弁の油面変動に伴う動作	3号炉	3月11日の地震により主変圧器6箇所の変圧弁が動作した。また、4月7日の余震により、主変圧器4箇所、所内変圧器1箇所の避圧弁が動作した。避圧弁が動作した原因は、地震の揺れにより変圧器内の絶縁油の油面が変動し、内部圧力が上昇したため。	VI
42	燃料取替エリア放射線モニタ(A)記録計の指示不良	3号炉	燃料取替エリア放射線モニタ(A)指示値に一時的な変動が確認されたが、装置に異常はなかったため、当該記録計の指示不良である。	VI
43	125V直流主母線盤の地絡(計4件発見)	3号炉	以下の負荷において地絡警報が発生した。 1. 高圧復水ポンプ(A)制御回路 2. 高圧復水ポンプ(B)制御回路 3. 除塵装置制御回路 1、2項の地絡は一過性の事象である。また、3項の地絡は除塵装置制御盤が津波により水没したことが原因である。	VI
44	当社モニタリングステーション(4局)の停電および伝送回線停止に伴う欠測	その他	地震・津波の影響により、杜鹿半島周辺の配電設備および伝送回線が損壊したため、モニタリングステーション(4局)が欠測した。	III, VI
45	海水温度モニタリング装置の津波による破損に伴う全局欠測	その他	津波により、取放水口付近に設置している海水温度モニタリング装置が水没したため、データ伝送設備が破損しデータが欠測した。	VI

地震被害発生要因： I：地震の不等沈下による損傷 II：建物間の相対変位による損傷 III：地震の揺れによる施設の損傷・転倒・落下等 IV：周辺斜面の崩壊 V：使用済燃料ピットスロッシングによる溢水 VI：その他（地震の揺れによる警報発生等、施設の損傷を伴わないI～V以外の要因等）

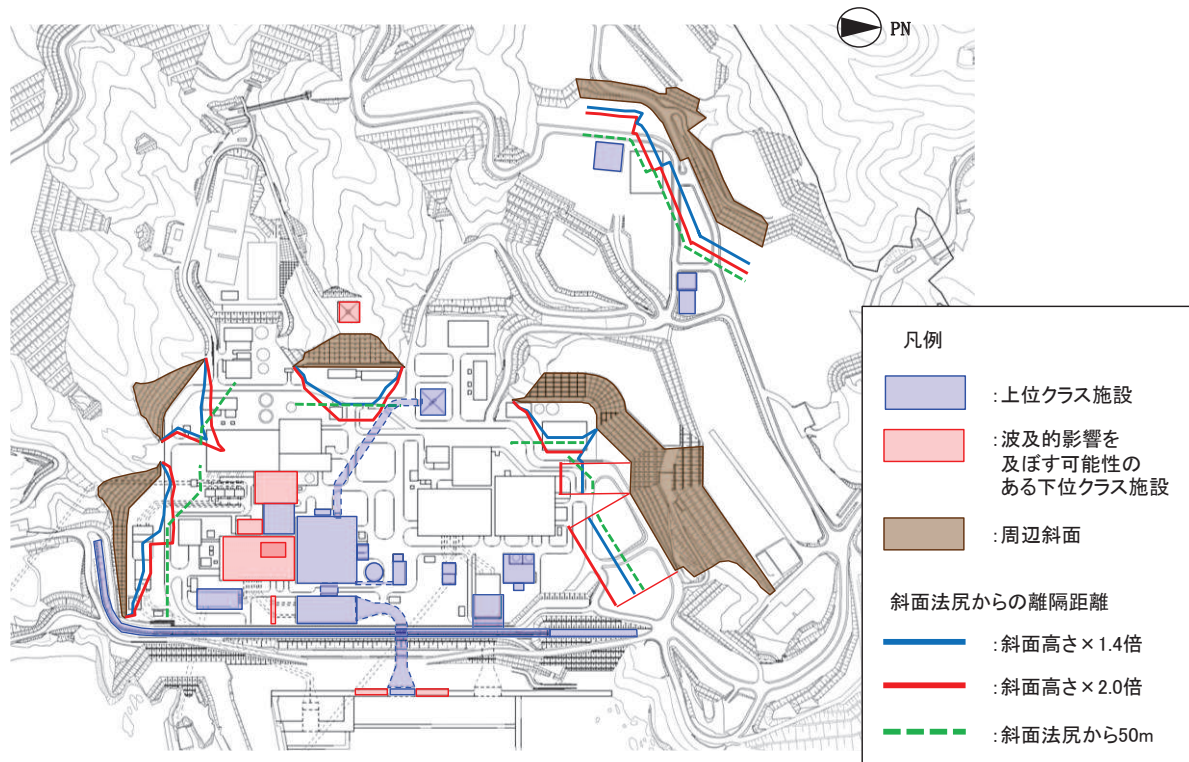
周辺斜面の崩壊等による上位クラス施設への影響

1. 周辺斜面からの離隔距離

「上位クラス施設」及び「上位クラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設」について、周辺斜面の崩壊等による影響について検討した。なお、下位クラス施設については、「6. 下位クラス施設の検討結果」に基づき抽出された施設とする。

上位クラス施設と周辺斜面との離隔距離を考慮して、耐震評価の対象とすべき斜面のスクリーニングを行う。離隔距離を考慮するに当たっては、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」、「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術」及び「宅地防災マニュアルの解説」を参考とし、上位クラス施設と周辺斜面との離隔距離が、「斜面高さの1.4倍若しくは50m」又は「斜面高さの2倍（上限50m）」が確保されていれば、評価対象斜面ではないと評価する。

添付 3-1 図に示す敷地平面図のとおり、「上位クラス施設」及び「上位クラス施設へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設」と周辺斜面には、十分な離隔が確保されており、敷地内には評価対象となる斜面はない。よって、周辺斜面の崩壊等により、上位クラス施設の安全機能が損なわれることはない。

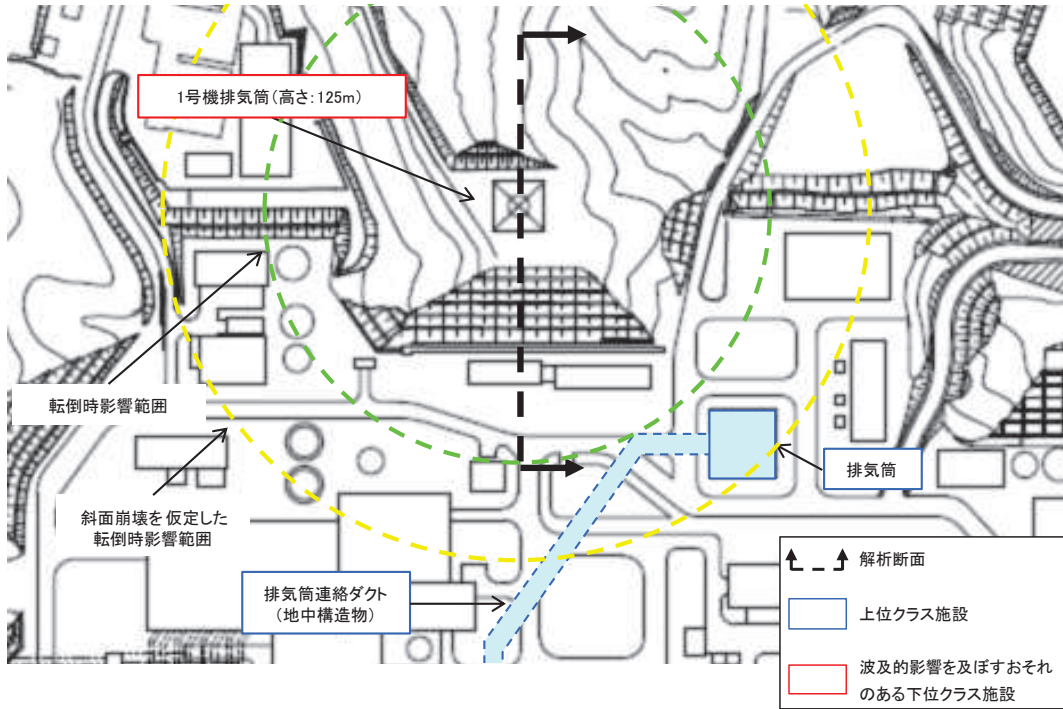


添付 3-1 図 敷地平面図

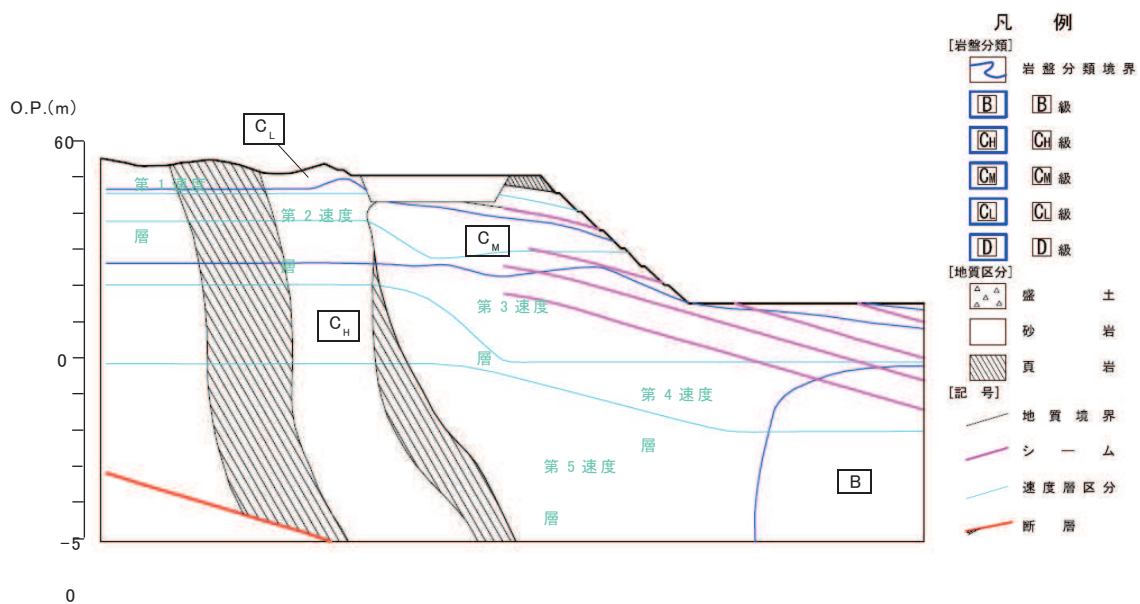
2. 第 1 号機排気筒下斜面の安定性評価

第 1 号機排気筒下斜面の崩壊を仮定した場合，転倒時の影響範囲が排気筒まで到達することから，基準地震動 S_s に対する当該斜面の安定性を確認する。

評価対象とする斜面の断面位置を添付 3-2 図に，地質断面図を添付 3-3 図に示す。斜面の安定性については，基準地震動 S_s に基づく二次元有限要素法解析を行い，算定されるすべり安全率が 1.2 を上回ることを確認する。

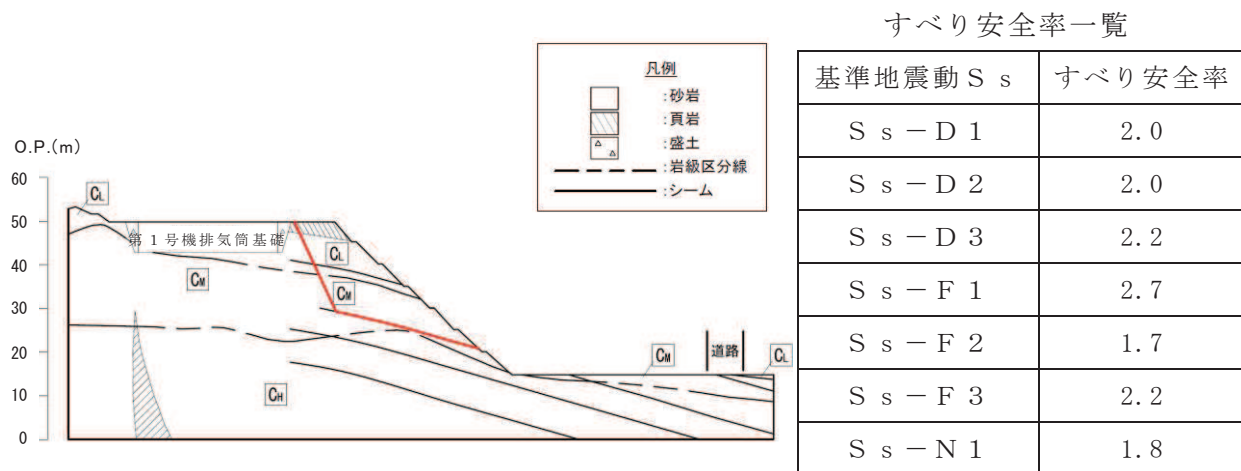


添付 3-2 図 評価断面位置



添付 3-3 図 地質断面図

評価結果を添付 3-4 図に示す。すべり安全率は 1.2 以上を確保しており，斜面の安定性を確認した。



添付 3-4 図 すべり安定性評価結果

上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について

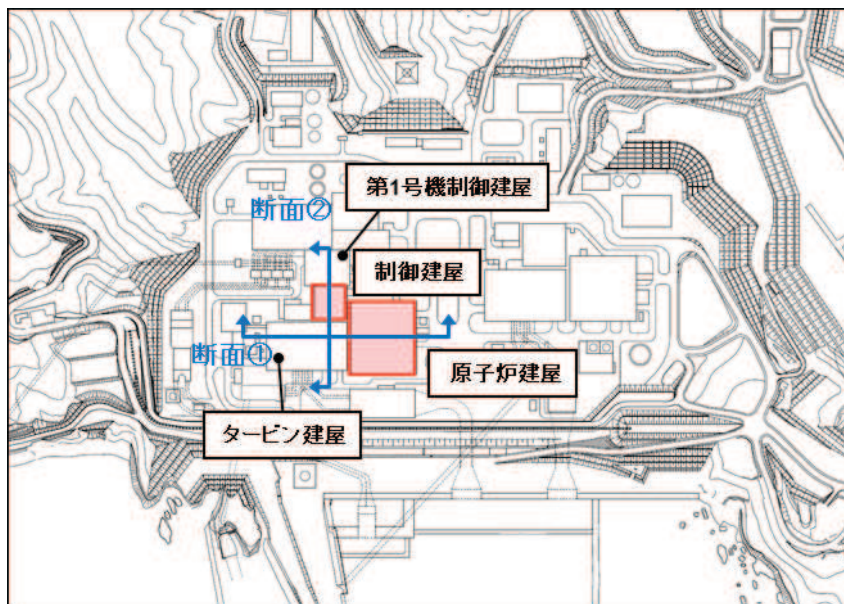
本資料では、女川原子力発電所第2号機において、上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤の状況について確認を行う。

発電所敷地内における下位クラス施設の配置を添付 4-1 図に、各下位クラス施設の接地状況を添付 4-2 図～添付 4-4 図に示す。

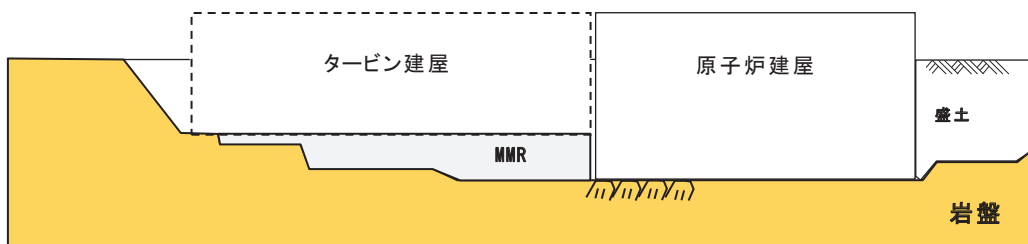
タービン建屋については、添付 4-2 図及び添付 4-3 図より、MMR を介して原子炉建屋及び制御建屋と連続した岩盤に支持されていることを確認した。

補助ボイラー建屋については、添付 4-4 図により、MMR を介して制御建屋と連続した岩盤に支持されていることを確認した。

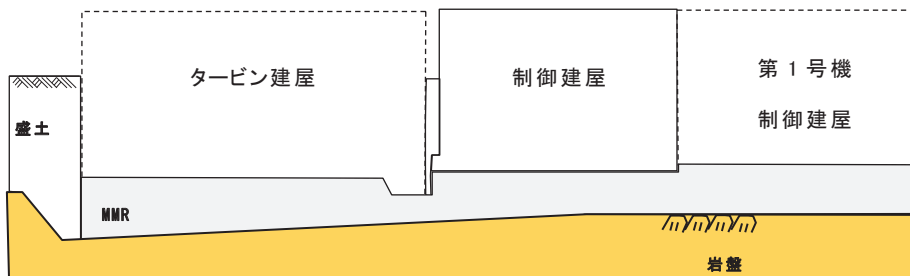
第1号機制御建屋については、添付 4-3 図より、MMR を介して制御建屋と連続した岩盤に支持されていることを確認した。



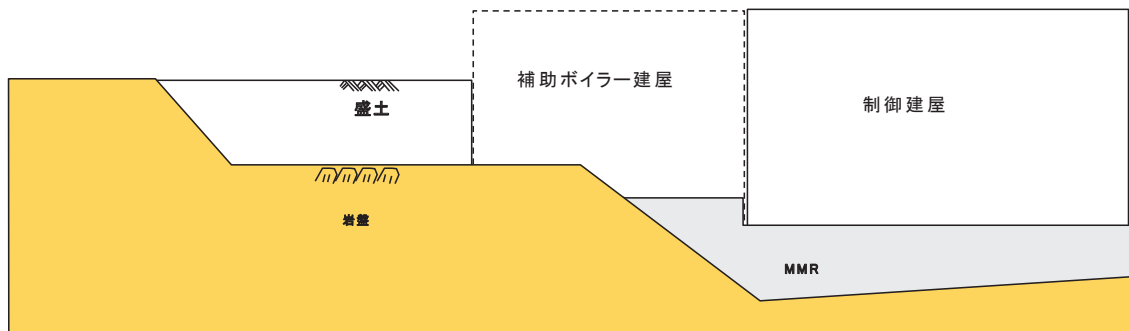
添付 4-1 図 女川原子力発電所 建屋外下位クラス施設配置図



添付 4-2 図 タービン建屋の接地状況 (第 1 図 断面①)



添付 4-3 図 タービン建屋及び第 1 号機制御建屋の接地状況 (第 1 図 断面②)



添付 4-4 図 補助ボイラー建屋の接地状況 (第 1 図 断面③)

設置予定施設及び撤去予定施設に対する波及的影響評価の考え方について

施設を設置する際に、既設下位クラス施設から受ける波及的影響及び既設上位クラス施設に与える波及的影響評価については、以下のとおり実施するものとする。また、撤去予定の施設に対する波及的影響評価の考え方についても以下に示す。

1. 設置予定施設に対する波及的影響評価について

1.1 設置予定施設が上位クラス施設の場合

設置予定施設が上位クラス施設の場合には、当該施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設を抽出した上で、影響評価を実施する。抽出された下位クラス施設については「5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法」に基づき、相対変位又は不等沈下による影響、接続部における影響、建屋内及び建屋外における損傷、転倒、落下等による影響の観点から、設置予定施設が機能を損なうおそれの有無を確認する。

その結果、設置予定施設が波及的影響により機能を損なうおそれがある場合には、設置予定施設に対しての配置の見直し、構造変更等の設計の見直しを行う。設置予定施設の設計にて波及的影響を回避できない場合には、波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設に対して、配置の見直しや耐震性の確保もしくは上位クラス施設への影響確認を行う。

1.2 設置予定施設が下位クラス施設の場合

設置予定施設が下位クラス施設の場合には、1 項と同様の観点から当該施設が既設上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれの有無を確認する。

その結果、波及的影響を及ぼすおそれのある施設については、配置の見直しや耐震性の確保もしくは上位クラス施設への影響確認を行う。

1.3 設置予定の個別設備の対応方針

設置予定施設として以下を例示するが、波及的影響の対応方針としては上記方針に従って設計するものである。

1.3.1 高圧代替注水系設備

高圧代替注水系設備は、上位クラス施設（重要 SA 施設）として設置するものであり、上記 1 項に基づき当該施設周辺に設置されている下位クラス施設が波及的影響を及ぼすおそれのない設計とする。

1.3.2 竜巻防護施設

竜巻防護施設は、下位クラス施設として設置する設備であり、周囲に上位クラス施設が設置されている場合には、1.2 項に基づき評価を行った上で必要に応じて対策を実施する。

1.3.3 火災防護設備

火災防護設備は、下位クラス施設として設置する設備であり、周囲に上位クラス施設が設置されている場合においては 1.2 項に基づき評価を行った上で必要に応じて対策を実施する。

2. 撤去予定施設に対する波及的影響評価について

今後、撤去する予定の施設については、撤去計画が女川 2 号機の再起動前までの場合には、撤去を前提として波及的影響評価を実施した。

2.1 第 3 号機海水ポンプ室門型クレーン

第 3 号機海水ポンプ室門型クレーンについては、防潮壁等に波及的影響を及ぼすおそれのある施設であることから再起動前までに撤去を行うこととした。したがって、第 3 号機海水ポンプ室門型クレーンは撤去を前提として波及的影響評価を実施した。

原子炉補機冷却海水系通水機能への下位クラス施設の
波及的影響の検討について

1. 評価方針

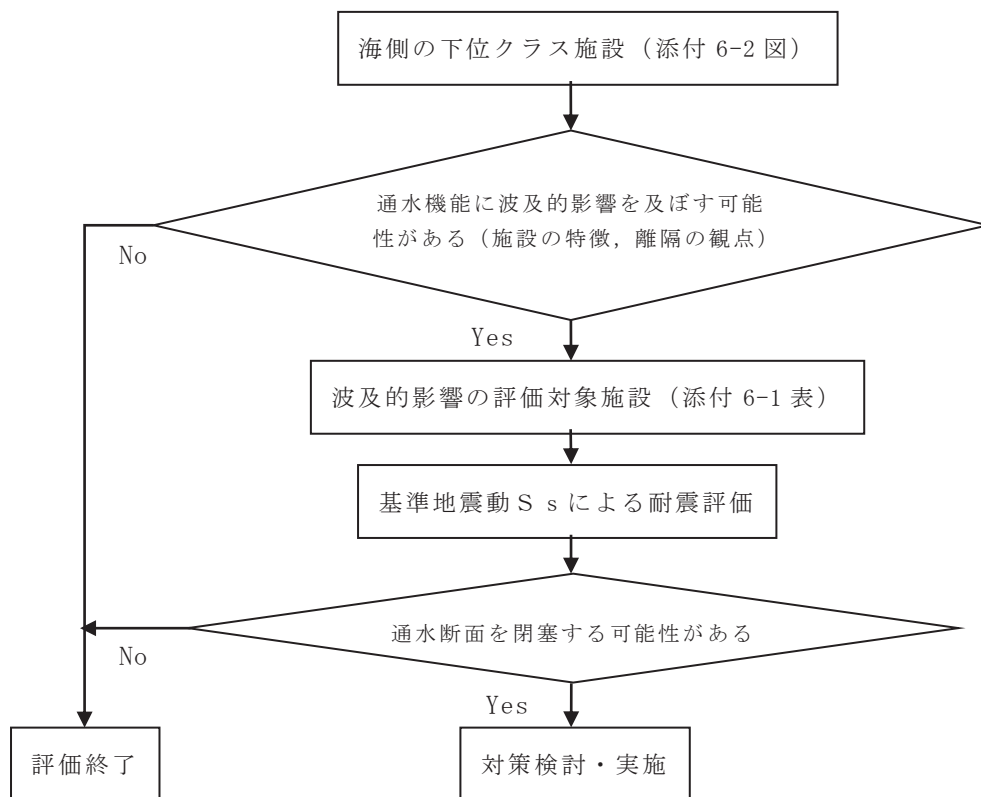
原子炉補機冷却海水系の通水機能が周辺の下位クラス施設の波及的影響によって損なわれることがないことについて、下位クラス施設の特徴や耐震性を考慮して検討を実施する。

なお、通水機能への波及的影響については、地震力による下位クラス施設の崩壊や変形等により、通水断面を閉塞するような事象を想定する。

2. 評価対象施設

原子炉補機冷却海水を通水する屋外重要土木構造物（取水口、取水路、海水ポンプ室、原子炉機器冷却海水配管ダクト）並びに海水ポンプ及び配管については、基準地震動 S_s による耐震性を確認していることから、取水口よりも海側の施設について、通水機能に影響を及ぼす可能性のある施設を抽出する。

通水機能に影響を及ぼす可能性のある下位クラス施設の抽出及び評価フローを添付 6-1 図に示す。



添付 6-1 図 通水機能に影響を及ぼす可能性のある下位クラス施設の
抽出及び評価フロー

海側の下位クラス施設の配置図を添付 6-2 図に、評価対象施設のスクリーニング結果を添付 6-1 表に示す。

このうち、東防波堤及び北防波堤については、標準断面図を添付 6-3 図及び添付 6-4 図にそれぞれ示すとおり、重量物から構成されており、取水口からの離隔も十分あることから、地震等により崩壊しても通水断面の閉塞は生じない。

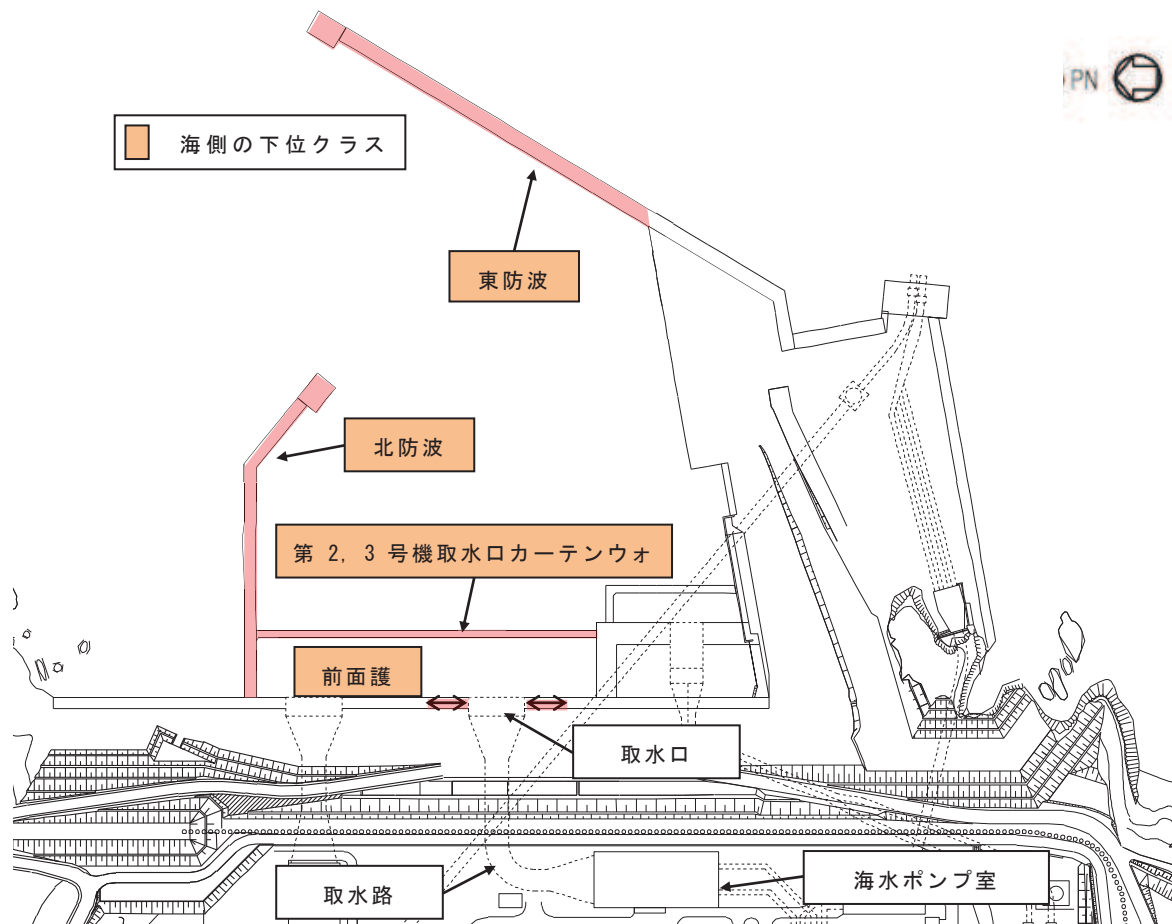
カーテンウォールについては、取水口との位置関係を添付 6-5 図に、構造図を添付 6-6 図に示すとおり、土圧の影響がなく地震力の影響を受けにくい構造であり、かつ取水口と十分な離隔を有すること、カーテンウォールの構成部材（PC 版、鋼材等）は重量物であることから、カーテンウォールの部材損壊による通水断面の閉塞は生じない。

取水口周辺の前面護岸はタイロッド式矢板護岸であるが、取水口の側面（護岸背面）は地盤改良（高圧噴射攪拌工法及び置換工）している。前面護岸の平面図を添付 6-7 図に、前面護岸の断面図を添付 6-8 図及び添付 6-9 図に示す。

護岸の崩壊による通水断面の閉塞の可能性について、地盤改良体と土砂部について、それぞれ検討する。まず、地盤改良体については、基準地震動 S_s に対する安定性評価により、地震時の安定性を確認する。

土砂部については、添付 6-8 図に示すとおり、取水口側面土砂部①と取水口側面土砂部②の 2 か所に未固結の土砂部が存在する。このうち、取水口側面土砂部②については、重量の大きな捨て石が主体であり、崩壊したとしても、取水口までは土砂の高さ以上の水平離隔距離があるため、取水口まで土砂は到達せず、通水断面の閉塞は生じない。

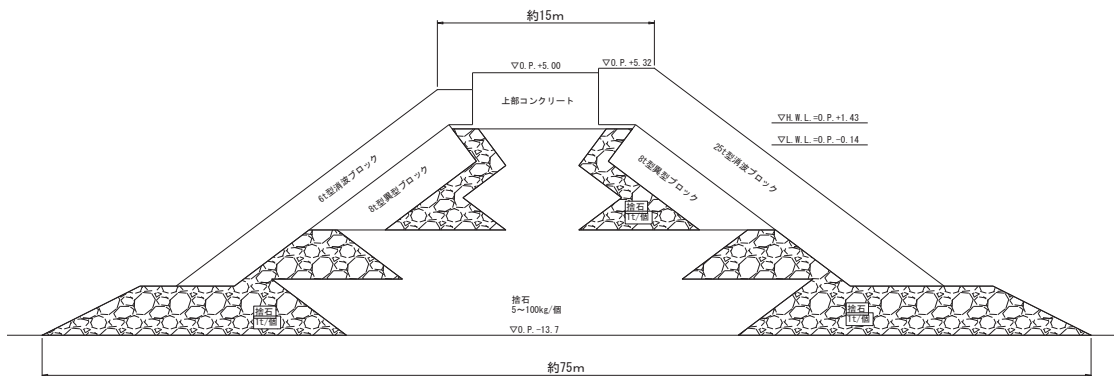
取水口側面土砂部①については、土砂が鋼矢板の隙間から流出し取水口前面に堆積（約 284m^3 ）すると仮定した場合、朔望平均干潮位（L. W. L.） $0. \text{P.} -0.14\text{m}$ に対して、堆積した土砂の天端は $0. \text{P.} -2.19\text{m}$ となり、添付 6-10 図に示すとおり通水断面は確保できる。



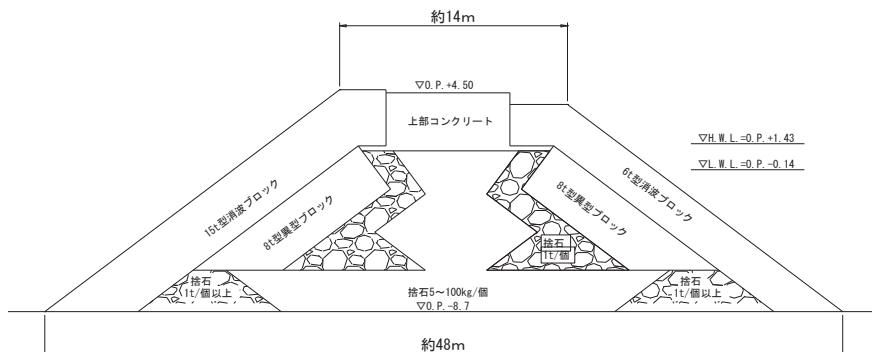
添付 6-2 図 海側の下位クラス施設配置図

添付 6-1 表 評価対象施設のスクリーニング結果

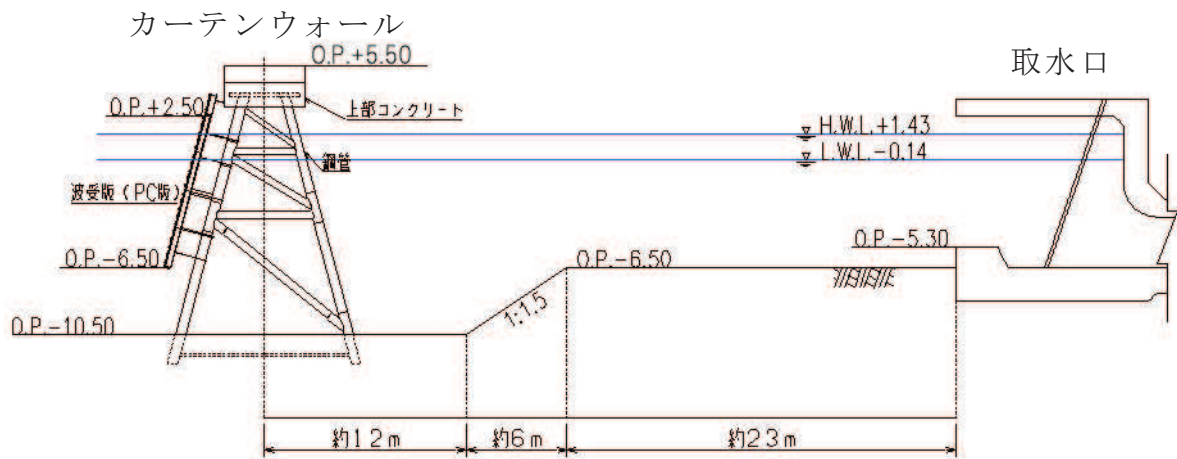
施設	施設の特徴及び配置の観点からの評価	対象
東防波堤, 北防波堤	・構成部材が重量物であり, かつ取水口とは十分な離隔を有する。	×
第 2, 3 号機取水口 カーテンウォール	・構成部材が重量物であり, かつ取水口とは十分な離隔を有する。	×
前面護岸	・取水口の側面の土砂は, 流出しても通水断面は閉塞しない。 ・地盤改良体は, 基準地震動 S_s に対する安定性評価により, 地震時の安定性を確認する。	○



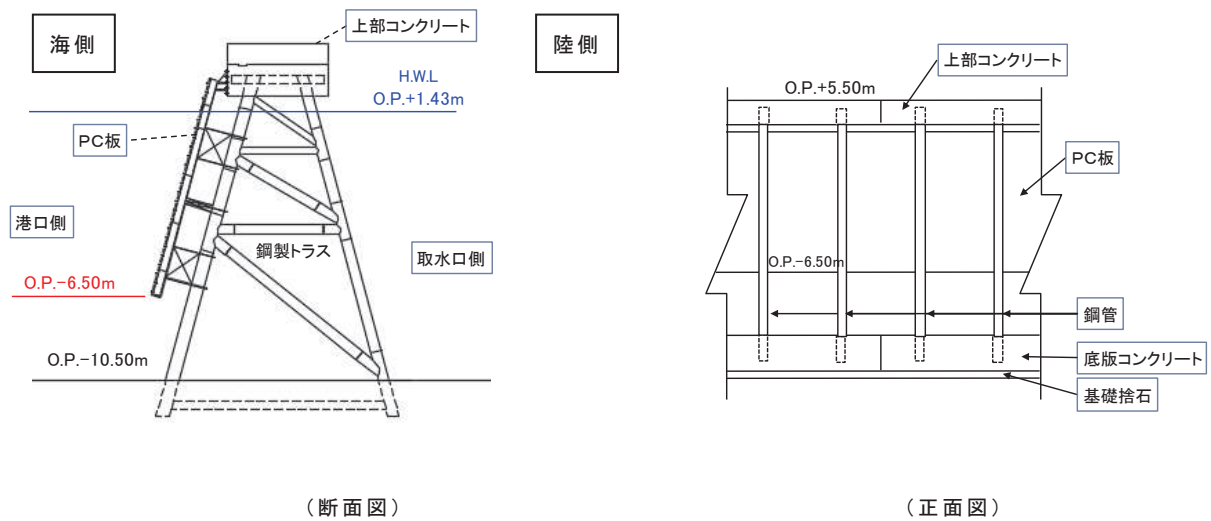
添付 6-3 図 東防波堤標準断面図



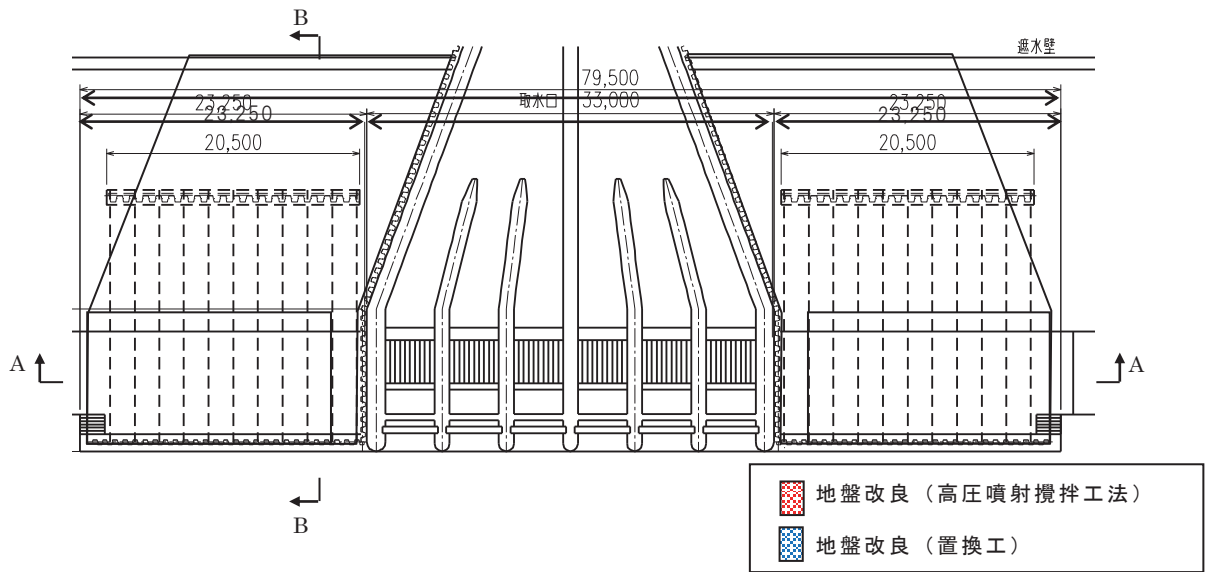
添付 6-4 図 北防波堤標準断面図



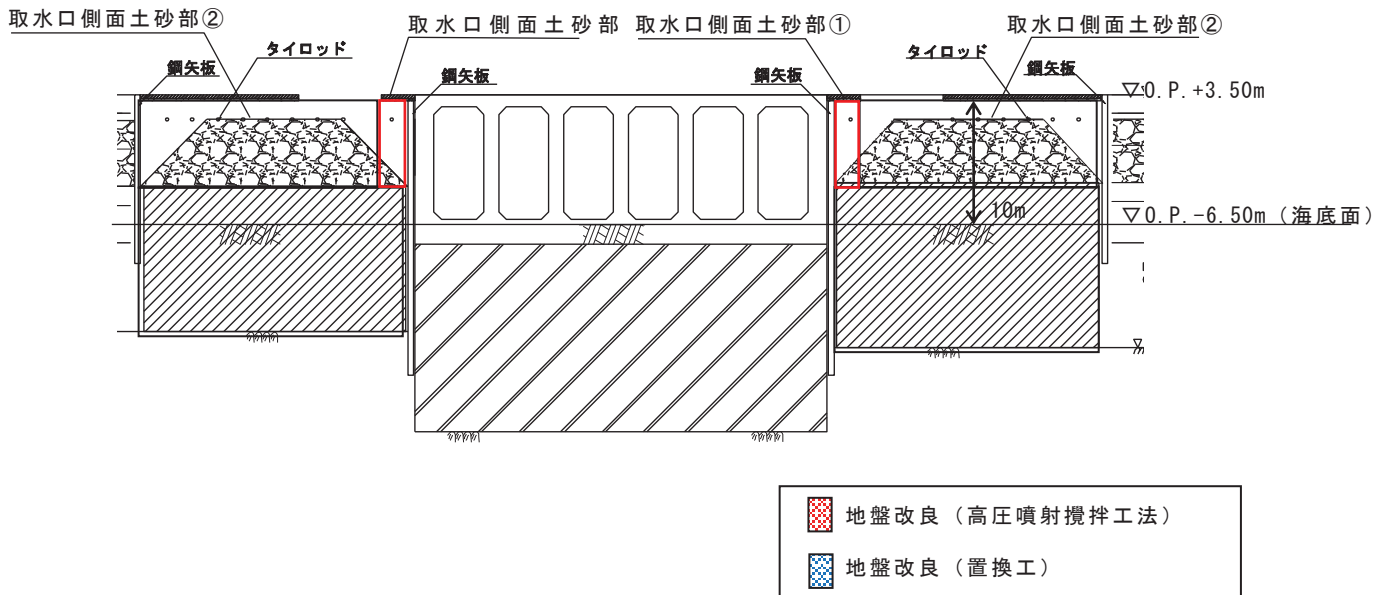
添付 6-5 図 カーテンウォールと取水口の位置関係図 (縦断面図)



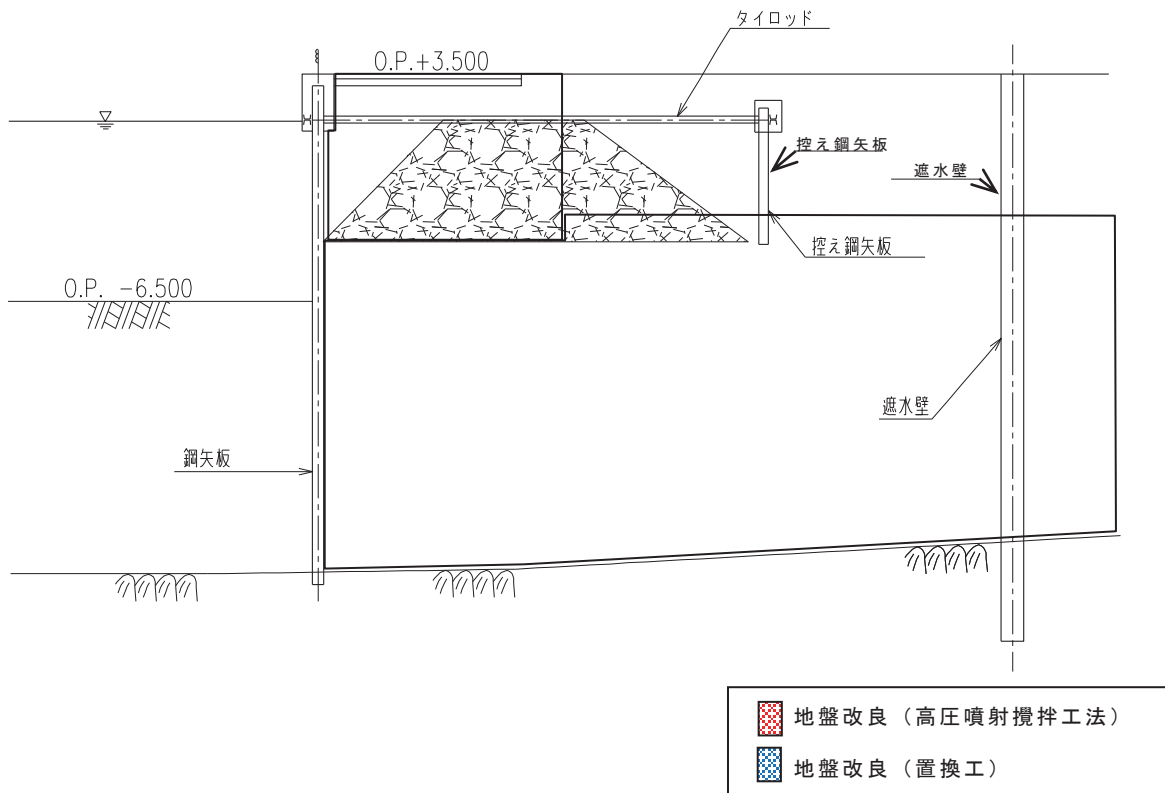
添付 6-6 図 カーテンウォール構造図



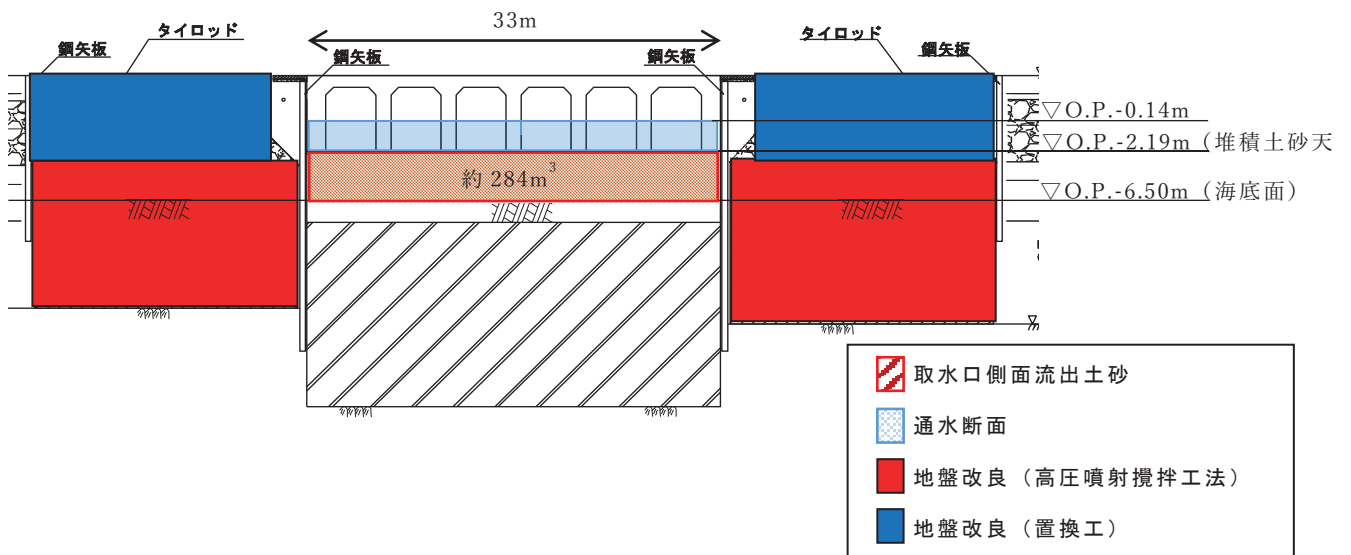
添付 6-7 図 前面護岸の平面図



添付 6-8 図 前面護岸の断面図 (A-A 断面)



添付 6-9 図 前面護岸の断面図 (B-B 断面)



添付 6-10 図 取水口側面土砂堆積図

防潮堤・防潮壁への下位クラス施設の波及的影響の検討について

1. 評価方針

防潮堤及び防潮壁へ波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち、6.4項にて、損傷等による影響なし（スクリーニング）とした施設について、設置状況及び建屋外上位クラスである防潮堤・防潮壁との離隔の確認を行う。

2. 評価対象施設

評価対象となる下位クラス施設を添付 7-1 表に示す。

添付 7-1 表 評価対象下位クラス施設

建屋外上位クラス	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	下位クラス施設構造形式
防潮堤	第 1 号機取水路（トンネル部）	岩盤トンネル （鉄筋コンクリート造）
防潮堤 防潮壁（放水立坑）	放水路	岩盤トンネル （鉄筋コンクリート造）
防潮堤 防潮壁（第 3 号機放水立坑）	第 3 号機放水路	岩盤トンネル （鉄筋コンクリート造）

3. 防潮堤及び防潮壁と下位クラス施設の離隔について

トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説（平成 8 年，土木学会）によると，添付 7-2 表のとおり道路トンネルの地山分類に応じた，掘削時の応力解放に伴う緩み高さが示されている。岩盤トンネルである第 1 号機取水路，第 2・3 号機放水路は，山岳工法（NATM）により施工されていることから，上記トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説の地山分類を適用し，女川原子力発電所における岩盤分類（添付 7-3 表，添付 7-4 表）に照らし合わせると， C_H 級岩盤が地山分類「B」， C_M 級岩盤が地山分類「C」に該当する。

添付 7-2 表によると，地山分類「B」では，緩み高さが 1.5～3.0m，地山分類「C」では，緩み高さが 2.0～4.0m である。下位クラス施設の損傷により掘削時の応力解放と同様の事象が想定されるが，上記緩み高さ分の離隔を確保されている場合は，上方に設置されている防潮堤・防潮壁への波及的影響を及ぼすおそれはない。

添付 7-1 表で示した下位クラス施設は， C_H 級及び C_M 級岩盤に設置されていることから，防潮堤及び防潮壁の離隔については，上記緩み高さを包絡して，4.0m 以上であることを確認する。

添付 7-2 表 地山分類 (トンネル標準示方書 [山岳工法編] 抜)

付表 4 地山分類

地山等級	地山判定基準			地山判定基準		
	(1) 弾性波速度 (V _p , km/s)	(2) 地山強度比	(3) ホーリングコア	(4) 地質状態	(5) 観察	(6) 掘削後の状態
A	1.0 ~ 2.0	5.0 ~ 6.0	コアの状態 コア採取率は、おおむね90%以上で完全な柱状を呈し、ほは20cm以上の長さを有する、細片はほとんど含まない状態のもの。	(地質調査の成果または掘削面の状態) ・岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し、割れ目がほとんどなく連続して安定している。 ・水による劣化はない。	ハンマー打撃による割れ方 ハンマーが跳ね返る、強く叩いてかろうじて割れ、新鮮な面で見られる。	切羽の自立性 ・自立状態は非常によく、長期に経むことはない、微小
B	2.0 ~ 3.0	4.0 ~ 5.0	コア採取率は、おおむね70%以上で大岩片状~短柱状~棒状を示し、コアの長さがおおむね10~20cmであるが、5cm前後のものもみられる。	岩質は新鮮で堅硬であるが割れ目は比較的少ない。劣化はかたまり堅硬であっても風化地帯のたわみ多少を呈し、割れ目があらかた認められる。 岩質は堅硬であるが層状をなす岩層理あるいは片理が認められ、その面に沿って割れやすいもの、水による劣化はない。 風化地帯を受けて岩石に変質を起しているもので、岩質が多少軟らかくなる。 岩質は比較的堅硬であっても亀裂が細く入っている、その間隙には薄い粘土が挟在するもの。 層理の顕著な岩で非常に層割れしやすいもの、幅の狭い小断層を挟むもの、水による劣化は少ない。	ハンマーで強く叩けば割れるがほとんどが亀裂あるいは節理等に沿って比較的大きく割れる。 ハンマーで容易に割れる。 亀裂面等に沿って比較的小片に割れ、むしろ亀裂以外の面では割ることが困難である。	・ 亀裂面は自立する。 ・ 剥離面は天端付近で肌落ちし、先受け支保工が必要となる地山。 ・ 掘み高さ2.0~4.0m
C	3.0 ~ 4.0	3.0 ~ 4.0	コア採取率は、40~70%で亀裂が多く、また砕けやすいために小さくなり、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの、原形復元困難~不可能。	著しい風化作用を受け、一部にはすでに土壌化した部分が見られ、中に多少硬い部分が残っている程度に軟弱で脆いもの、割れ目がきわめて多いもので亀裂以外のいかなる部分からでも容易に割ることができもの。 粘土のあまり進んでいない破砕帯、粘性土と細片状の岩片の混合した状態になった、幾分硬い所も含まれているもの、土砂、崖壁等、水により脆弱が軟弱化する場合はD _{II}	ハンマーで容易に崩れる。 ハンマーで容易に崩れる。 ハンマーの先が突き刺さる。	・ 鏡面は自立する。 ・ 剥離面は発破後ただちにクワン部に吹付けられ、掘み高さ2.0~4.0m
D	4.0 ~ 5.0	2.0 ~ 3.0	コア採取率は低下し、おおむね40%以下となることが多く、コアは細片状となるが、時には角礫まじり砂状あるいは粘土状となるもの。	著しい風化作用を受け、一部にはすでに土壌化した部分が見られ、中に多少硬い部分が残っている程度に軟弱で脆いもの、割れ目がきわめて多いもので亀裂以外のいかなる部分からでも容易に割ることができもの。 粘土のあまり進んでいない破砕帯、粘性土と細片状の岩片の混合した状態になった、幾分硬い所も含まれているもの、土砂、崖壁等、水により脆弱が軟弱化する場合はD _{II}	ハンマーで容易に崩れる。 ハンマーで容易に崩れる。 ハンマーの先が突き刺さる。	・ 鏡面は自立する。 ・ 剥離面は天端付近で肌落ちし、先受け支保工が必要となる地山。 ・ 掘み高さ2.0~4.0m
E	5.0 ~ 6.0	1.0 ~ 2.0	コア採取率は低下し、おおむね40%以下となることが多く、コアは細片状となるが、時には角礫まじり砂状あるいは粘土状となるもの。	著しい風化作用を受け、一部にはすでに土壌化した部分が見られ、中に多少硬い部分が残っている程度に軟弱で脆いもの、割れ目がきわめて多いもので亀裂以外のいかなる部分からでも容易に割ることができもの。 粘土のあまり進んでいない破砕帯、粘性土と細片状の岩片の混合した状態になった、幾分硬い所も含まれているもの、土砂、崖壁等、水により脆弱が軟弱化する場合はD _{II}	ハンマーで容易に崩れる。 ハンマーで容易に崩れる。 ハンマーの先が突き刺さる。	・ 鏡面は自立する。 ・ 剥離面は天端付近で肌落ちし、先受け支保工が必要となる地山。 ・ 掘み高さ2.0~4.0m

— : 第 7-3, 4 表 C₁ 級
— : 第 7-3, 4 表 C₂ 級
 岩盤との対応
— : 第 7-3, 4 表 C₁ 級
— : 第 7-3, 4 表 C₂ 級
 岩盤との対応

添付資料 7

注: 1) 岩種 a: 変成岩 (二枚岩, 石英片岩, 珪質石英片岩, 石英片岩, 緑色片岩, 片麻岩, 乾紋岩, ホルンフェルス等)
 深成岩 (凝りい岩, 橄欖岩等)
 b: 古生層および中生層 (粘板岩, 砂岩および礫岩, 砂岩, 頁岩, 珪岩, 頁岩, 珪岩, 頁岩, 頁岩, 頁岩, 頁岩)
 c: 火山岩 (石英粗面岩, 安山岩, 玄武岩等)
 深成岩 (花崗岩, 石英斑岩, 閃綠岩等)
 2) ホーリングコアの状態, RQD, 亀裂間隔は、岩種 a, b, c, d₁ に適用する。
 d: 第三紀層および下部洪積層 (泥岩, 頁岩, 珪質頁岩, 砂岩および礫岩, 凝灰岩, 凝灰角礫岩等)
 ただし、新鮮な岩石試料の一軸圧縮強度 (q_n) 200kgf/cm² を基準として、d₁, d₂ に細分する。
 d₁: q_n ≥ 200kgf/cm²
 d₂: q_n < 200kgf/cm²
 e: 上部洪積層 (ロームおよび粘土, 火山砕屑物, 沖積層 (崖壁, 表土等))

添付 7-3 表 女川原子力発電所の岩盤分類（ボーリングコアの岩級区分）

■ コアの風化度区分基準

区分	特徴
1	新鮮
2	かなり新鮮
3	中程度風化
4	かなり風化
5	強風化粘土状

■ コア形状区分基準



区分	特徴	
A	長柱状	20cm以上のコア
B	短柱状	5～20cmのコア
C	岩片状	3～5cmのコア
D	細片状	3cm以下のコア
E	土砂状, 粘土状	

■ コアの岩級区分基準

		コアの風化度区分				
		1	2	3	4	5
コアの 形状 区分	A	B'	C _H '	C _M '	C _L '	D'
	B	C _H '	C _H '	C _M '	C _L '	D'
	C	C _H '	C _H '	C _M '	C _L '	D'
	D	C _M '	C _M '	C _L '	C _L '	D'
	E	—	—	—	C _L '	D'

添付 7-4 表 女川原子力発電所の岩盤分類（試掘坑内の岩級区分）

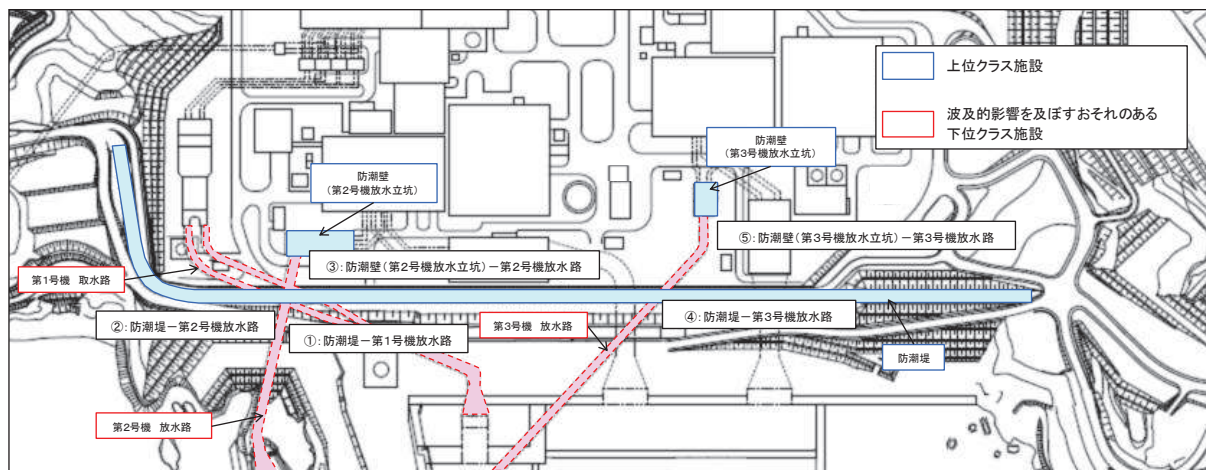
	砂岩 及び ひん岩	頁 岩
B"級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に新鮮で、暗灰色～暗青灰色を呈する。 割れ目間隔20cm程度以上である。 ハンマーの強打で割れ、澄んだ金属音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に新鮮で、黒～暗灰色を呈する。 割れ目間隔20cm程度以上である。 ハンマーの強打で割れ、澄んだ金属音を発する。
C _H "級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的にわずかに風化をうけ、暗灰～黄褐色を呈する。 岩芯が新鮮な青灰色部を含む。長石類が黄褐色に風化汚染されている。 割れ目間隔は、主として5～20cm程度である。 ハンマーの強打で割れ、やや濁った金属音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 割れ目沿いにわずかに風化汚染をうけ、黒～暗灰色を呈する。砂質ラミナにわずかに褐色汚染が認められることがある。岩片角はナイフで削れる。 割れ目間隔は主として5～20cm程度である。 ハンマーの強打～中打で割れ、やや濁った金属音を発する。
C _M "級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に風化をうけ、淡黄褐～黄褐色を呈する。指先の摩擦で粒子がほとんど分離しないものから、岩片を指圧で割れるものまでである。 割れ目間隔は、主として3～10cm程度である。 ハンマーの中打で割れ、濁った音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 風化による脱色化が認められ、割れ目沿いは褐色に風化し暗灰～褐色を呈する。岩片はナイフで容易に削れる。 割れ目間隔は主として3～10cm程度である。 ハンマーの中～軽打で割れ目沿いに剥離する。濁った音を発する。
C _L "級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に強く風化をうけ、黄褐色～褐色を呈する。強い指圧で岩片をすりつぶすことができる。 割れ目間隔は、主として3cm程度以下、又は破砕部沿いに認められる割れ目の密集部。 ハンマーの軽打で容易に岩片上となり、低い濁った音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に強く風化をうけ、灰褐色、又は、脱色して灰白色を呈する。表面が爪で削れ、強い指圧で岩片状に割ることができる。 割れ目間隔は主として3cm程度以下、又は、破砕部沿いに認められる割れ目の密集部。 ハンマーの軽打で容易に細片状となり、低い濁った音を発する。
D"級	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に著しく風化し、黄灰色～黄褐色を呈する。指圧で容易に岩片をすりつぶすことができる。 割れ目は不鮮明なものが多い。 ハンマーの軽打でくぼみを生じ、著しく低い濁った音を発する。 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に著しく風化し、脱色して灰白色を呈する。 指圧で岩片をすりつぶすことができる。 ハンマーの軽打でくぼみを生じ、著しく低い濁った音を発する。

	: 第 7-2 表地山分類「B」との対応
	: 第 7-2 表地山分類「C」との対応

4. 下位クラス施設の配置及び防潮堤・防潮壁との離隔について

下位クラスの施設の配置を添付 7-1 図，防潮堤・防潮壁と下位クラス施設の離隔を添付 7-5 表に示す。

添付 7-5 表より，防潮堤・防潮壁と下位クラス施設は，4.0m以上の十分な離隔が確保されていることから，下位クラス施設の損傷に起因する岩盤の緩みによって，上位クラスである防潮堤・防潮壁への波及的影響を及ぼすおそれはない。



添付 7-1 図 評価対象下位クラス施設配置図

添付 7-5 表 防潮堤・防潮壁と下位クラス施設の離隔

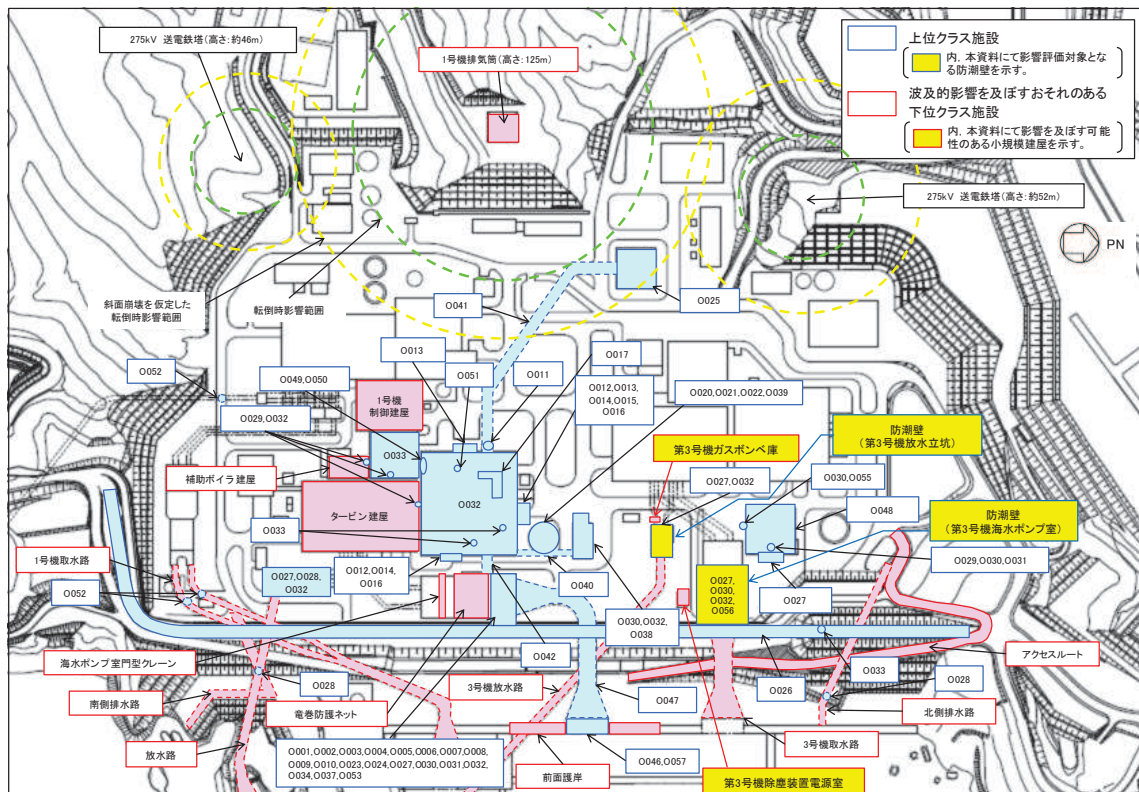
番号 (添付 7-1 図)	建屋外上位クラス	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設	上位クラスと下位クラスの離隔
①	防潮堤	第 1 号機取水路 (トンネル部)	約 4.4~4.7m
②	防潮堤	放水路	約 16.5m
③	防潮壁 (放水立坑)	放水路	約 20.6m
④	防潮堤	第 3 号機放水路	約 28.5m
⑤	防潮壁 (第 3 号機放水立坑)	第 3 号機放水路	約 17.9m

小規模建屋の上位クラス施設への波及的影響の検討について

1. 概要

第3号機除塵装置電源室及び第3号機ガスポンベ庫（以下、「小規模建屋」という。）は、第3号機海水ポンプ室及び第3号機放水立坑の周囲に設置する防潮壁（上位クラス施設）に対して、地震時に波及的影響を及ぼす可能性があることから、建屋の転倒時に防潮壁の健全性が損なわれないことを確認する。

防潮壁と小規模建屋の全体位置図を添付 8-1 図に示す。



添付 8-1 図 全体位置図

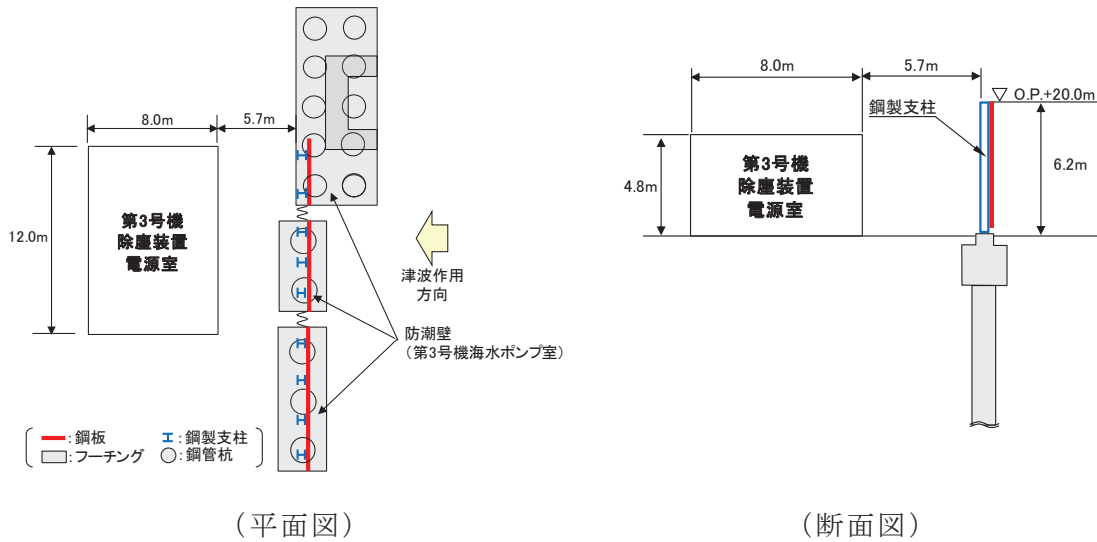
2. 小規模建屋の諸元

小規模建屋の諸元を添付 8-1 表に，各建屋と防潮壁の平面配置を添付 8-2 図，添付 8-3 図に示す。

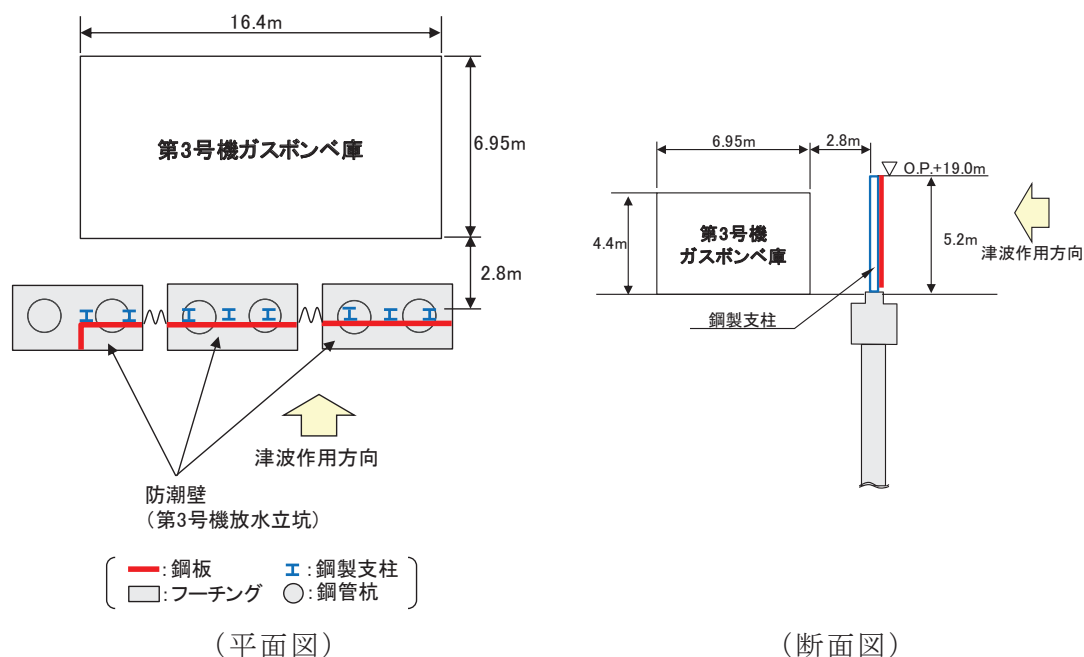
添付 8-1 表 防潮壁に対して波及的影響を及ぼす可能性のある
小規模建屋の諸元

小規模建屋	近接する 防潮壁	建屋諸元			単位幅当たりの 建屋重量 (kN/m)
		重量 (kN)	高さ (m)	幅 (m)	
第 3 号機 除塵装置 電源室	防潮壁 (第 3 号機海 水ポンプ室)*	1,582	4.8	12.0	131.9
第 3 号機 ガスボンベ庫	防潮壁 (第 3 号機放 水立坑)	1,500	4.4	16.4	91.5

注記*：防潮壁（第 3 号機海水ポンプ室）と第 3 号機除塵装置電源室間は，
建屋高さ以上の離隔が確保される計画だが，保守的に評価対象と
する。



添付 8-2 図 小規模建屋（第 3 号機除塵装置電源室）及び防潮壁の平面図・断面図



添付 8-3 図 小規模建屋（第 3 号機ガスポンベ庫）及び防潮壁の平面図・断面図

3. 評価方針

影響評価は、小規模建屋が地震によって健全性を失い、隣接する防潮壁へ転倒した場合の防潮壁への影響を確認する。

小規模建屋が隣接する防潮壁は鋼製遮水壁（鋼板）形式であり、その構造上、小規模建屋が転倒した際には鋼製支柱（津波作用方向の反対側）にもたれ掛かる状態となるため、鋼製支柱を評価対象とする。また、鋼製支柱の変形に応じて、津波作用側に取りつく鋼板に対しても、変形が生じることから、鋼板についても評価対象とする。

よって、建屋による転倒荷重を受けた場合の鋼製支柱及び鋼板の曲げ・せん断変形に対する健全性確認を行う。

なお、地震時応答のピークと建屋の転倒荷重の作用が同時に起こる可能性は低いと考えられるが、保守的に重畳した場合を想定して評価する。

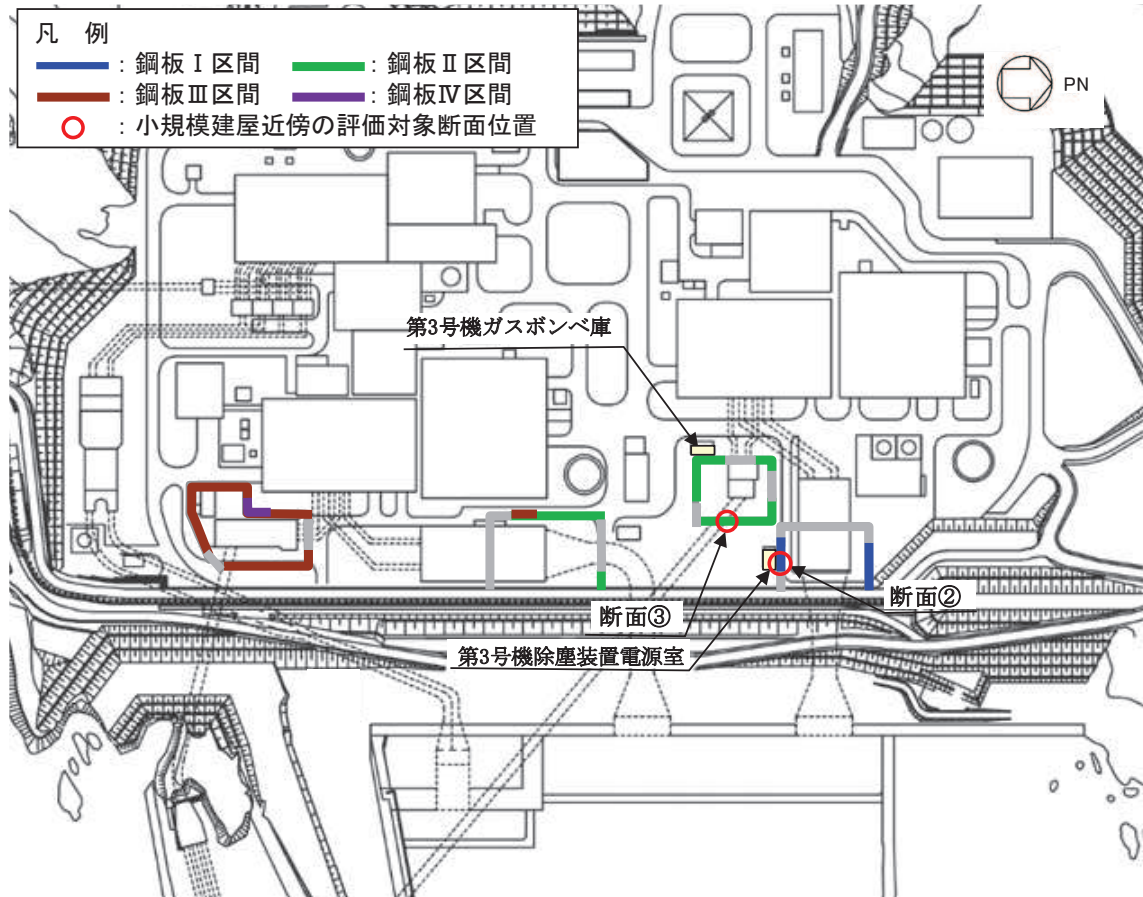
4. 評価対象部位

評価対象部位である鋼製支柱及び鋼板における、建屋衝突を想定した場合の変形モードは、地震時と同様な変形モードとなることから、影響評価は、添付書類「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」において、耐震評価の観点で選定した評価対象断面の中から、今回の建屋の衝突が想定される範囲と鋼製支柱他の上部工の仕様が同一となる断面を選定する。

第 3 号機除塵装置電源室に対しては、建屋が作用する断面と同仕様である鋼製遮水壁（鋼板）I 区間の評価対象断面のうち近接する断面②を、第 3 号機ガスポンベ庫に

対しては建屋が作用する断面と同仕様であるⅡ区間の評価対象断面である断面③を影響評価断面とする。

各建屋と防潮壁の影響評価断面の位置関係を添付 8-4 図に示す。



<各区間の諸元>

区間	天端高さ (m)	鋼管杭 (SM570)		鋼製支柱 (SM570)	鋼製支柱 (H-458)
		杭径 (mm)	杭板厚 (mm)	板厚 (mm)	
Ⅰ区間	O.P.+20.0	Φ 1,500	23	16	SM490
			30		
Ⅱ区間	O.P.+19.0	Φ 1,500	37	20	SM570
Ⅲ区間	O.P.+19.0		25		
Ⅳ区間	O.P.+19.0	Φ 1,200	20	16	SM570

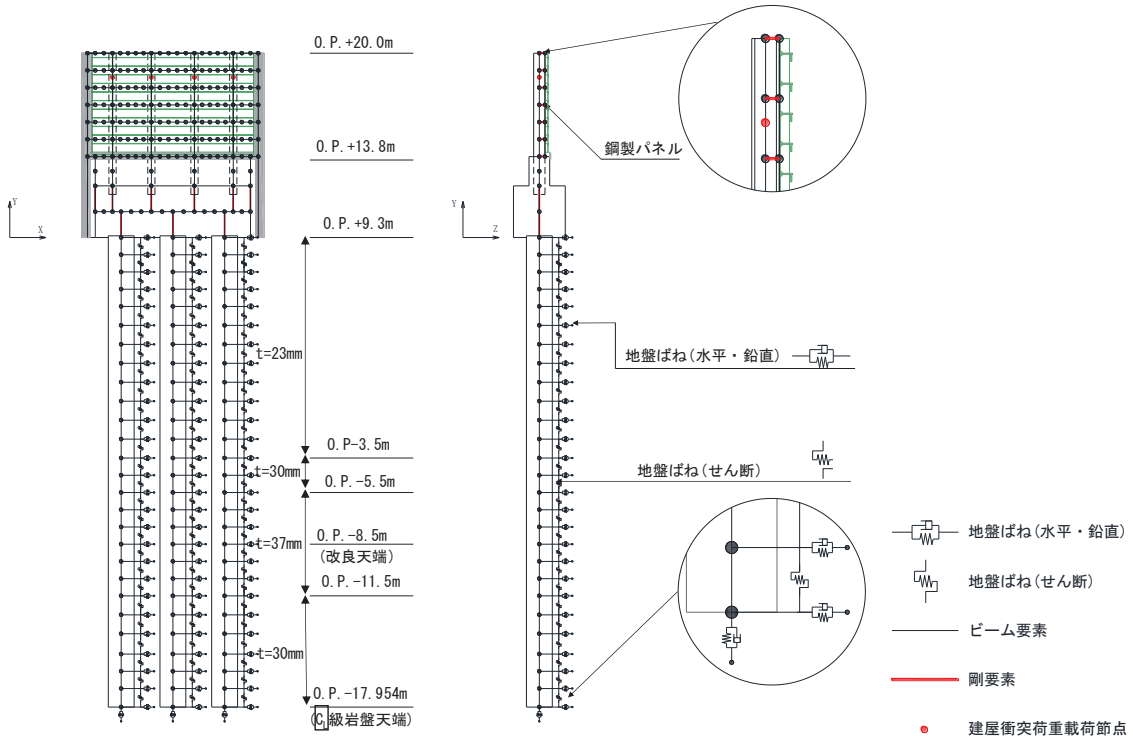
添付 8-4 図 影響評価に用いる断面位置と各建屋の位置関係

5. 評価条件

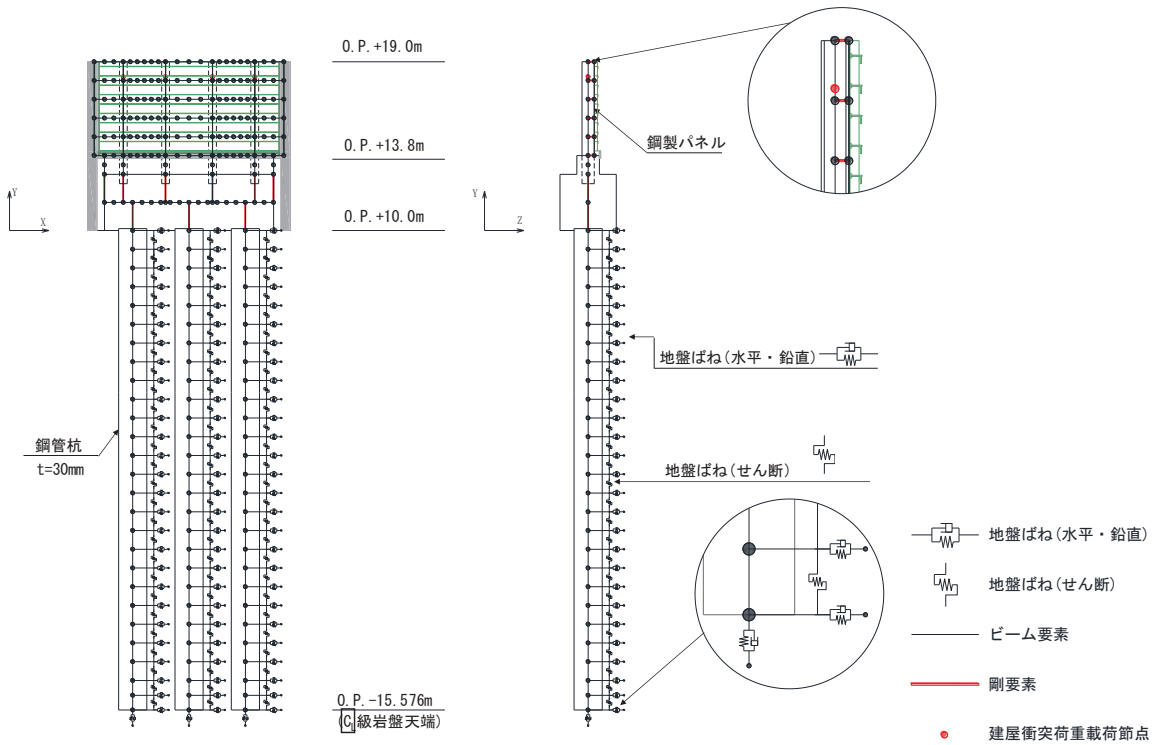
(1) 解析条件

解析モデル及び諸元並びに許容限界等は、「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」の「3.5 解析モデル及び諸元」，「3.7 許容限界」と同様とする。

各断面の解析モデルを添付 8-5 図に示す。



添付 8-5(1) 図 鋼製遮水壁（鋼板）の解析モデル（断面②）



添付 8-5(2) 図 鋼製遮水壁（鋼板）の解析モデル（断面③）

(2) 照査方法

(1) に示す解析モデルを用い、建屋転倒荷重を用いた静的解析を行い、求めた応力と地震時の発生応力の合成応力に対して、評価対象部材が許容限界以下であることを確認する。

地震時の発生応力は、添付書類「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」における全地震波ケースの中の最大値として、以下に示す検討ケースの値を用いる。

(鋼製支柱)

曲げ軸力

- ・断面②「 $S_s - N_1$ (++)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」
- ・断面③「 $S_s - N_1$ (-+)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」

せん断力照査

- ・断面②「 $S_s - N_1$ (++)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」
- ・断面③「 $S_s - N_1$ (-+)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮し

ないケース」

(鋼板)

曲げ軸力

- ・断面②「 $S_s - N1$ (++)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」
- ・断面③「 $S_s - N1$ (-+)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」

せん断力照査

- ・断面②「 $S_s - N1$ (++)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」
- ・断面③「 $S_s - N1$ (-+)，解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しないケース」

(3) 作用荷重

影響確認は、基準地震動 S_s 時における地表面の最大応答加速度応答値を参考に、保守的に加速度 $1G$ かつ水平方向に建屋の高さ位置で、防潮壁に荷重が作用すると想定する。

添付 8-2 表に影響評価に用いる建屋の作用荷重を示す。

添付 8-2 表 影響評価に用いる建屋の作用荷重

評価対象 建屋	評価 断面	地表面最大応答 加速度*1 (cm/s^2)	単位幅当り の作用荷重*2 (kN/m)	支柱スパン長*3 (1本当たりの 荷重最大分担幅) (m)	最大作用 荷重 ($\text{kN}/\text{本}$)
第3号機除塵 装置電源室	断面 ②	572.9	131.9	2.675	352.9
第3号機ガス ボンベ庫	断面 ③	590.5	91.5	2.550	233.4

注記*1：基準地震動 S_s (全7波) における最大応答加速度

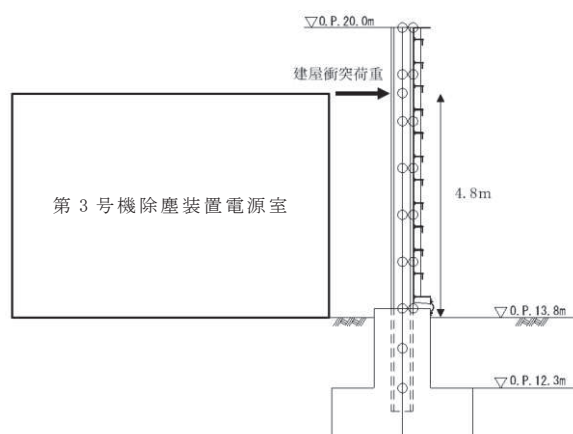
*2：各建屋の単位幅あたりの重量 (設計水平震度 $1G$ ($\times 980.665\text{cm}/\text{sec}^2$) として算定)

*3：実際の配置状況から想定される鋼製支柱の最大スパン長

(4) 解析ケース

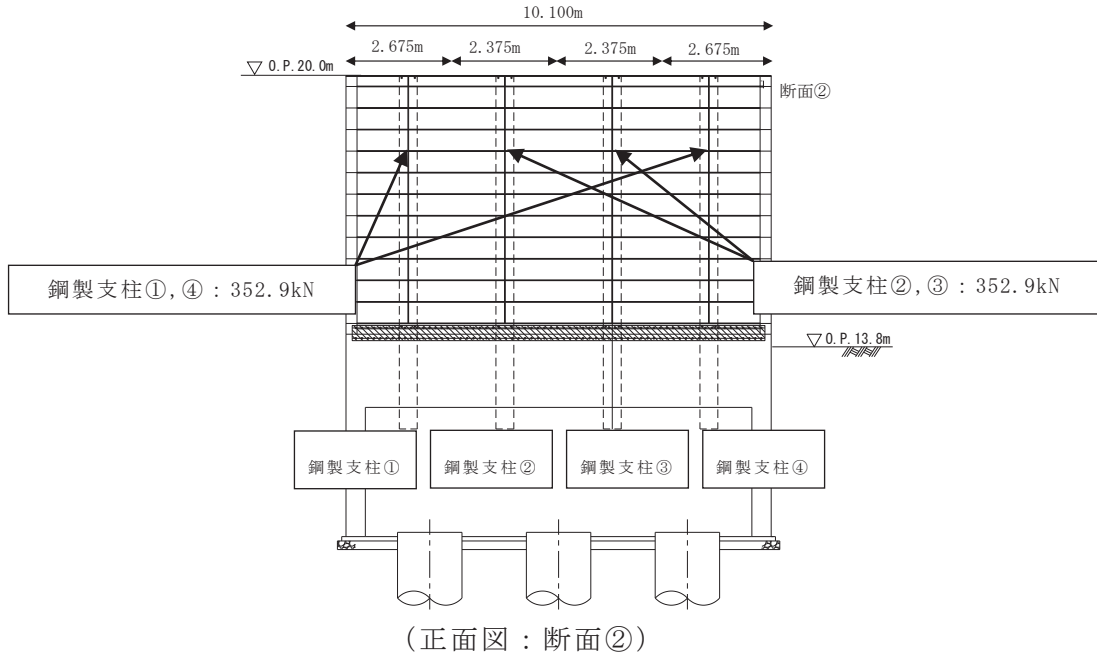
小規模建屋の衝突荷重については、建屋天端高さの鋼製支柱節点に添付 8-2 表に示す最大作用荷重を作用させる。载荷パターンは、配置状況を踏まえ鋼製支柱の全数に最大作用荷重を作用させるケース 1 と、端部の鋼製支柱のみに荷重が作用することによる鋼板の水平曲げの影響を確認することを目的に、端部の鋼製支柱 1 本のみに最大作用荷重を作用させるケース 2 の合計 2 ケースを実施する。

第 3 号機除塵装置電源室の荷重の作用イメージ図を添付 8-6 図に、第 3 号機ガスボンベ庫の荷重の作用イメージ図を添付 8-7 図に示す。

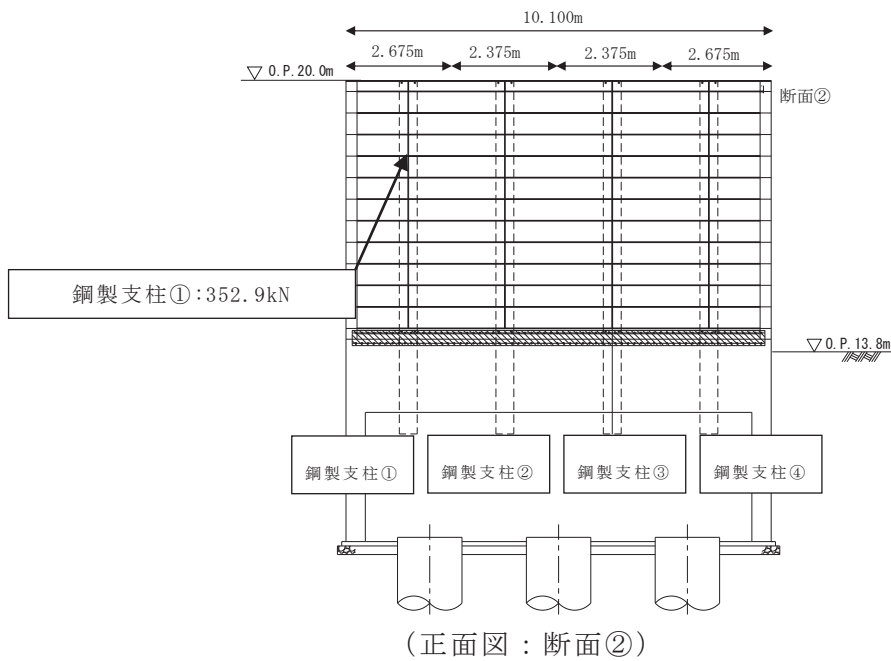


(断面図：断面②)

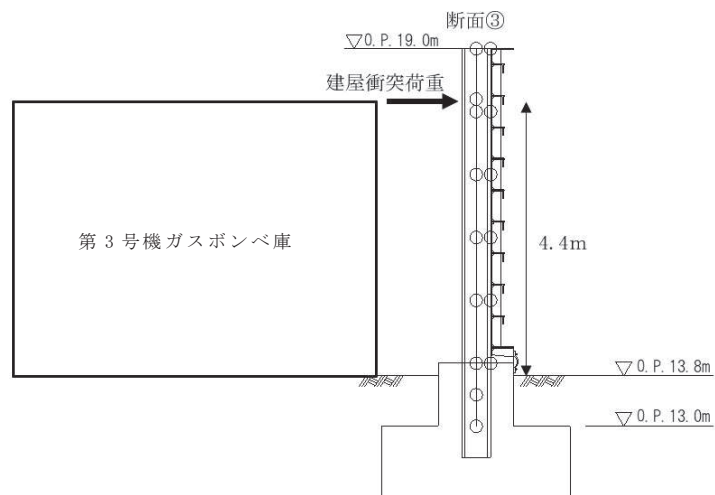
添付 8-6(1) 図 第 3 号機除塵装置電源室による鋼製遮水壁（鋼板）の
解析モデルへの载荷イメージ図



添付 8-6(2)図 第 3 号機除塵装置電源室による鋼製遮水壁（鋼板）の
解析モデルへの荷重イメージ図
(ケース 1：鋼製支柱全数に荷重を作用)

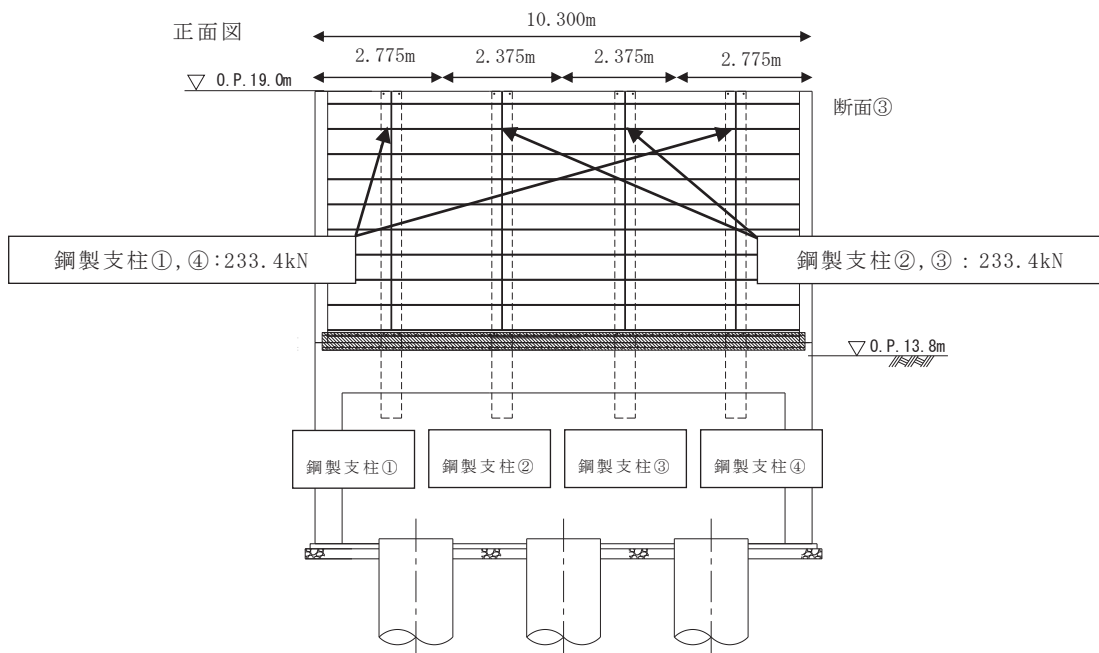


添付 8-6(3)図 第 3 号機除塵装置電源室による鋼製遮水壁（鋼板）の
解析モデルへの荷重イメージ図
(ケース 2：端部の鋼製支柱のみに荷重を作用)



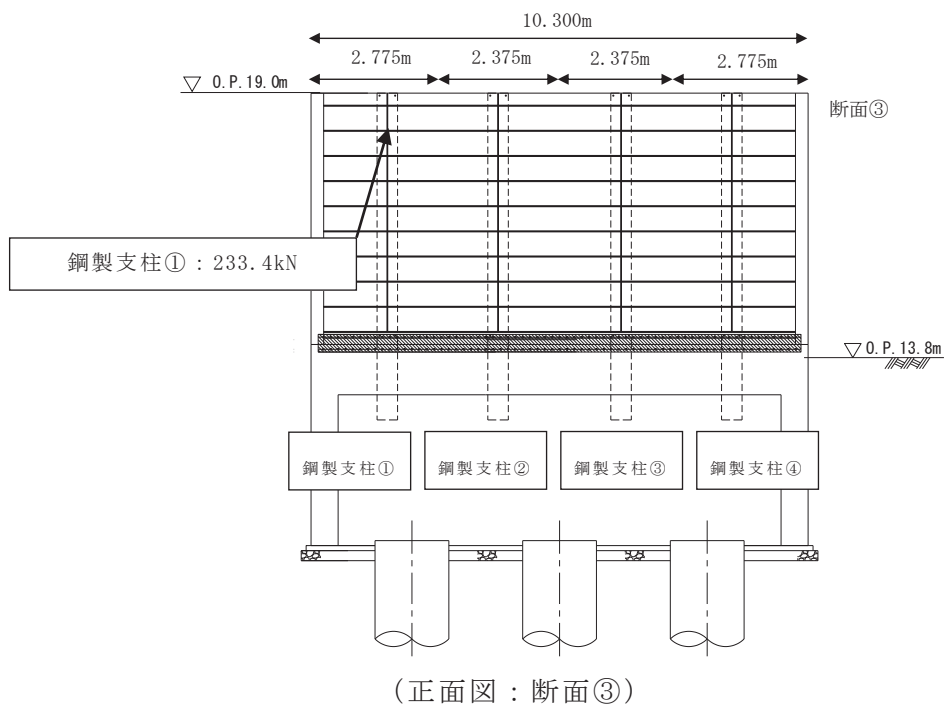
(断面図：断面③)

添付 8-7(1) 図 第 3 号機ガスポンベ庫による鋼製遮水壁（鋼板）の
解析モデルへの荷重イメージ図



(正面図：断面③)

添付 8-7(2) 図 第 3 号機ガスポンベ庫による鋼製遮水壁（鋼板）の
解析モデルへの荷重イメージ図
(ケース 1：鋼製支柱全数に荷重を作用)



添付 8-7(3) 図 第 3 号機ガスボンベ庫による鋼製遮水壁（鋼板）の
 解析モデルへの荷重イメージ図
 （ケース 2：端部の鋼製支柱のみに荷重を作用）

8.5 評価結果

建屋転倒荷重を鋼製支柱全数に考慮した場合（ケース1）及び端部の鋼製支柱1本に考慮した場合（ケース2）における，各部位の照査結果として，第3号機除塵装置電源室による断面②への影響についての照査値を添付8-3表～添付8-4表に，第3号機ガスボンベ庫による断面③への影響についての照査値を添付8-5表～添付8-6表に示す。

いずれの建屋においても，建屋が転倒し防潮壁側に荷重が作用した場合でも，防潮壁への影響が想定される部位が許容限界以下となり，防潮壁の健全性が損なわれなことを確認した。

添付 8-3(1)表 断面②における建屋荷重（第 3 号機除塵装置電源室）を
鋼製支柱全数に考慮した場合（ケース 1）の照査値
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力		応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	1086	2195	175	277	0.64
	基準地震動 S s 時	447	940	73		0.27
	上記荷重を合成	1533	3135	248		0.90
鋼板	建屋転倒荷重作用時	My:5 Mz:30	62	69	345	0.20
	基準地震動 S s 時	My:8 Mz:13	25	33		0.10
	上記荷重を合成	My:13 Mz:43	87	102		0.30

添付 8-3(2)表 断面②における建屋荷重（第 3 号機除塵装置電源室）を
鋼製支柱全数に考慮した場合（ケース 1）の照査値
（せん断破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力	応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		せん断力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	351	33	157	0.22
	基準地震動 S s 時	189	18		0.12
	上記荷重を合成	540	51		0.33
鋼板	建屋転倒荷重作用時	Sy:123 Sz:3	10	217	0.05
	基準地震動 S s 時	Sy:54 Sz:15	7		0.04
	上記荷重を合成	Sy:177 Sz:18	17		0.08

添付 8-4(1)表 断面②における建屋荷重（第 3 号機除塵装置電源室）を
 端部の鋼製支柱 1 本に考慮した場合（ケース 2）の照査値
 （曲げ・軸力系の破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力		応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	785	1652	128	277	0.46
	基準地震動 S s 時	447	940	73		0.27
	上記荷重を合成	1232	2592	201		0.73
鋼板	建屋転倒荷重作用時	My:46 Mz:2	15	83	345	0.25
	基準地震動 S s 時	My:8 Mz:13	25	33		0.10
	上記荷重を合成	My:54 Mz:15	40	116		0.34

添付 8-4(2)表 断面②における建屋荷重（第 3 号機除塵装置電源室）を
 端部の鋼製支柱 1 本に考慮した場合（ケース 2）の照査値
 （せん断破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力		応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		せん断力 (kN)				
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	282		27	157	0.18
	基準地震動 S s 時	189		18		0.12
	上記荷重を合成	471		45		0.29
鋼板	建屋転倒荷重作用時	Sy:96 Sz:35		12	217	0.06
	基準地震動 S s 時	Sy:54 Sz:15		7		0.04
	上記荷重を合成	Sy:150 Sz:50		19		0.09

添付 8-5(1)表 断面③における建屋荷重（第 3 号機ガスボンベ庫）を
鋼製支柱全数に考慮した場合（ケース 1）の照査値
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力		応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	663	1330	107	277	0.39
	基準地震動 S s 時	271	559	44		0.16
	上記荷重を合成	934	1889	151		0.55
鋼板	建屋転倒荷重作用時	My:1 Mz:16	33	36	345	0.11
	基準地震動 S s 時	My:8 Mz:8	14	22		0.07
	上記荷重を合成	My:9 Mz:24	47	58		0.17

添付 8-5(2)表 断面③における建屋荷重（第 3 号機ガスボンベ庫）を
鋼製支柱全数に考慮した場合（ケース 1）の照査値
（せん断破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力	応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		せん断力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	233	22	157	0.15
	基準地震動 S s 時	137	13		0.09
	上記荷重を合成	370	35		0.23
鋼板	建屋転倒荷重作用時	Sy:61 Sz:2	5	217	0.03
	基準地震動 S s 時	Sy:31 Sz:12	4		0.02
	上記荷重を合成	Sy:92 Sz:14	9		0.05

添付 8-6(1)表 断面③における建屋荷重（第 3 号機ガスボンベ庫）を
端部の鋼製支柱 1 本に考慮した場合（ケース 2）の照査値
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力		応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	509	1070	83	277	0.30
	基準地震動 S s 時	271	559	44		0.16
	上記荷重を合成	780	1629	127		0.46
鋼板	建屋転倒荷重作用時	My:33 Mz:2	15	60	345	0.18
	基準地震動 S s 時	My:8 Mz:8	14	22		0.07
	上記荷重を合成	My:41 Mz:10	29	82		0.24

添付 8-6(2)表 断面③における建屋荷重（第 3 号機ガスボンベ庫）を
端部の鋼製支柱 1 本に考慮した場合（ケース 2）の照査値
（せん断破壊に対する照査値）

部位	項目	発生断面力	応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
		せん断力 (kN)			
鋼製 支柱	建屋転倒荷重作用時	208	20	157	0.13
	基準地震動 S s 時	137	13		0.09
	上記荷重を合成	345	33		0.22
鋼板	建屋転倒荷重作用時	Sy:40 Sz:22	8	217	0.04
	基準地震動 S s 時	Sy:31 Sz:12	4		0.02
	上記荷重を合成	Sy:71 Sz:34	12		0.06

以上

下位クラス施設の損傷による機械的荷重等の影響について

1. はじめに

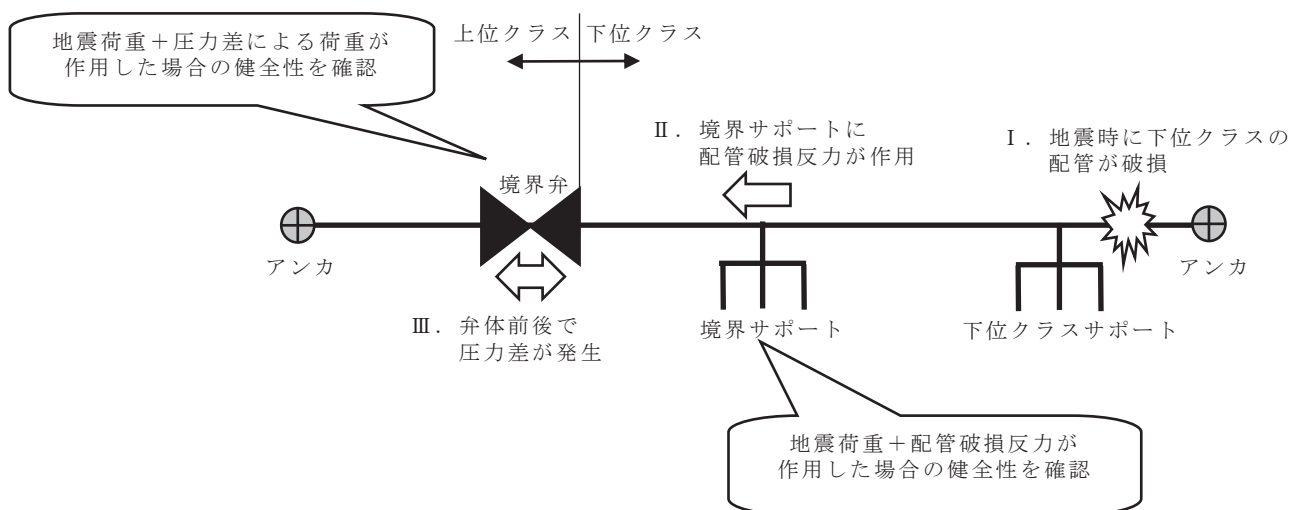
下位クラス機器が損傷した場合の上位クラス機器への波及的影響については、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響がないこと及び建屋内外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による上位クラス施設への影響がないことを確認している。本資料では、下位クラス施設の損傷を想定する場合の機械的荷重及び破断時の環境に及ぼす影響について検討する。

2. 機械的荷重の影響

2.1 検討方針

耐震評価においては、地震時に発生する機械的荷重を考慮した評価を実施している。耐震計算書における機械的荷重の設定よりも評価上保守的な条件として、下位クラス配管の破損を仮定した場合においても、上位クラス配管と接続される下位クラス配管について、境界サポート及び境界弁が強度上問題ないことを確認する。

具体的には、上位クラスの機器・配管系に要求される支持機能、隔離機能への影響確認として、境界サポートに対して配管破損による反力（以下「配管破損反力」という。）を踏まえた構造強度評価を実施するとともに、境界弁に対して配管破損時に弁体前後に生じる圧力差による荷重を踏まえた構造強度評価を実施する。添付 9-1 図に検討方針の概念図を示す。



添付 9-1 図 概念図

添付 9-2 図に下位クラス施設の損傷に伴う機械的荷重の影響検討フローを示す。上位クラス配管の境界サポート及び境界弁に対しては、下記①～③の評価により下位クラス配管破損時の荷重に対する検討を実施する。

- ①下位クラス配管及びサポートが基準地震動 S_s により破損しないことを確認することで、破損時の荷重が発生しないことを確認する。
- ②基準地震動 S_s による地震荷重＋配管破損反力が作用した場合でも境界サポートが健全であることを確認する。
- ③基準地震動 S_s による地震荷重＋圧力差が作用した場合でも境界弁が健全であることを確認する。

②の評価において、地震による下位クラス配管の破損を想定する箇所は、下位クラス配管の耐震重要度分類に応じた耐震性評価における最小裕度部位とする。

既往知見*において、許容応力の 4 倍以上となる条件の加振試験を実施した場合であっても配管の崩壊現象やき裂貫通は生じず、配管本体に過大応答が発生するような試験体を用いた場合にのみ、振動台加振限界相当の条件による繰返し加振によってき裂貫通が生じたことが確認されている。また、影響検討対象（2.2 項にて後述）の下位側の耐震重要度分類は全て B クラスであり、基準地震動 S_s の 1/4 程度である $1/2 S_d$ に対して設計されている。以上より、B クラス配管において基準地震動 S_s 地震発生時に崩壊現象やき裂貫通は生じないと考えられるが、貫通クラックを仮定した評価を実施する。

貫通クラックの面積は「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（原子力規制委員会，令和 2 年 3 月 31 日改訂）」（以下「溢水ガイド」という。）を参考に $1/2D$ （配管内径） $\times 1/2t$ （配管肉厚）として算定する。

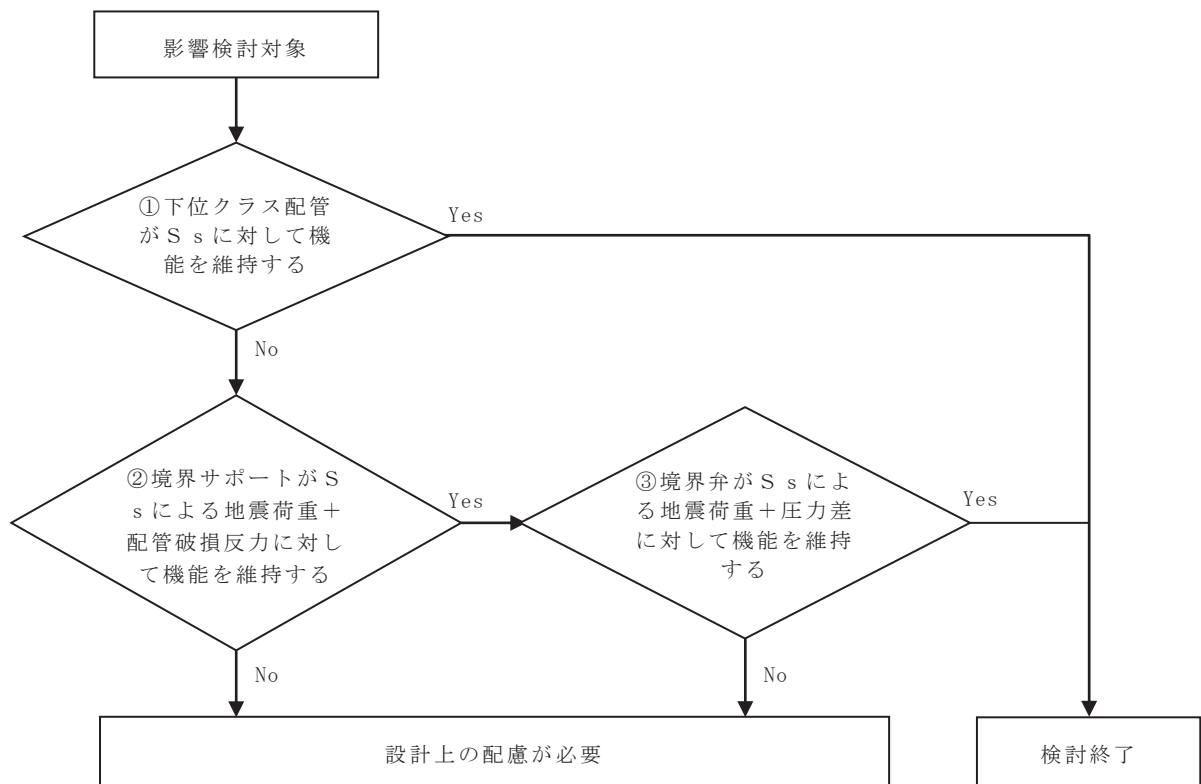
なお、基準地震動 S_s による地震力が作用した場合、規格・基準に基づく許容値を下回る下位クラスサポートや、許容値を上回るもののある程度の拘束効果が期待できる下位クラスサポートがあると想定されるが、配管破損反力を算定する際は、下位クラスサポートによる拘束が無い状態を仮定する。

*：「平成 14 年度 原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 その 1 配管系終局強度（（財）原子力発電技術機構，平成 15 年 3 月）」の実規模配管系試験

③の検討を実施する系統の境界弁に対して、地震時における弁の隔離機能に対する健全性評価を行う。具体的には、配管破損時に弁体前後に生じる圧力差による荷重を考慮して、地震力と組み合わせた強度評価を実施し、地震時に下位クラス配管

破損を想定した場合でも境界弁の構造強度に問題がないことを確認する。

弁体の構造強度評価は、添付書類「VI-3-2-3 クラス 1 弁の強度計算方法」に記載されるとおり、発電用原子力設備規格（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）VVB-3380 の解説式を適用しているが、VVB-3380 の解説式は強度+地震を同時に評価する規格式ではないことから、VVB-3380 の解説式を準用し、最高使用圧力（P）の項を評価用圧力（ $P' = P$ （最高使用圧力）+W（地震荷重により弁体に加わる圧力））として評価を実施する。



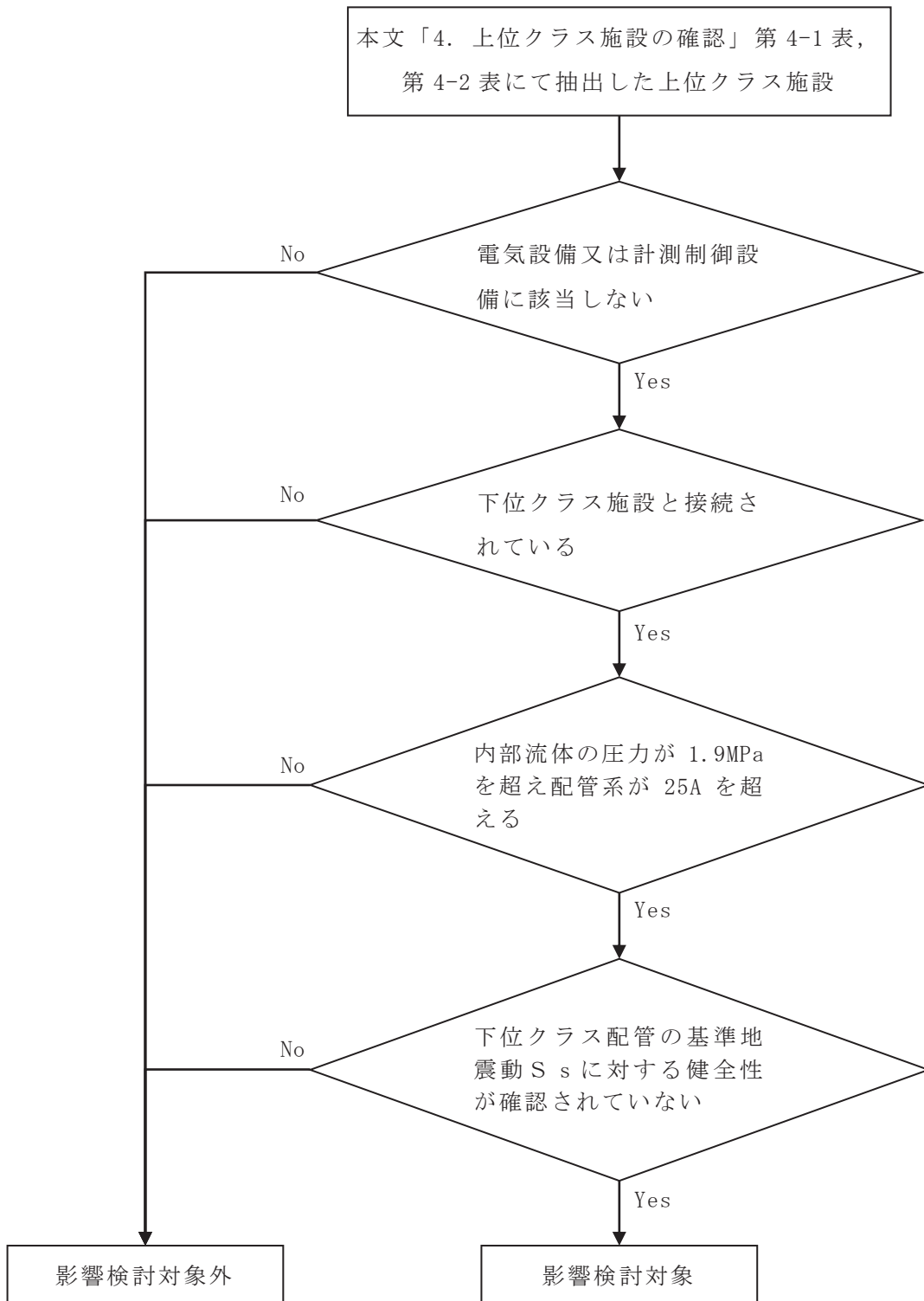
添付 9-2 図 下位クラス施設損傷に伴う機械的荷重の影響検討フロー

2.2 影響検討対象

影響検討対象の抽出は添付 9-3 図に示すフローに基づき行い, 具体的には本文「4. 上位クラス施設の確認」第 4-1 表, 第 4-2 表にて抽出した上位クラス施設を対象として以下のとおり行っている。

- ・電気設備及び計測制御設備は, その破損により有意な機械的荷重が発生しないと考えられることから, 影響検討の対象外とする。
- ・下位クラス施設との接続部がある機器・配管系を抽出する。
- ・上位クラスに接続される下位クラス配管部について, 破損により生じる荷重と相関関係がある圧力が大きいものかつ配管径が大きいものを抽出する。ここで, 圧力及び配管径は, 溢水ガイドの高エネルギー配管の分類を参考に 1.9MPa を超える且つ 25A を超えるものとする。
- ・添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書」において, 下位クラス配管の基準地震動 S_s に対する健全性が確認されているものは影響検討対象から除外する。

影響検討対象の抽出結果を添付 9-1 表に示す。影響検討対象として, 添付 9-2 図の検討フローにおける①の対象は抽出されず, ②, ③を適用する主蒸気系配管のみが選定されている。



添付 9-3 図 影響検討対象の抽出フロー

添付 9-1 表 影響検討対象

No	系統	境界弁	圧力 (MPa)	口径 (A)	検討内容
1	主蒸気系	B21-F003A, B, C, D	8.62	600	②③

注：主配管を代表して示す。

2.3 評価結果

添付 9-1 表で検討内容②③にて示した主蒸気系配管の評価結果を示す。

配管モデルを添付 9-4 図に示す。4 つの境界弁は同一モデル上に存在し、境界サポートはそれぞれ 4 つの境界弁から耐震 B クラス側で、最も境界弁に近いアンカサポートである。なお、境界弁である原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までは、耐震 B クラスではあるが、弾性設計用地震動 S_d に対し破損しない設計としている。

(1) 境界サポートの評価

a. 破損を想定する箇所の特定

配管解析に用いた設計条件を添付 9-2 表に、設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を添付 9-3 表に示す。なお、設計用床応答曲線は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

添付 9-2 表 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)
8.62	302	762.0	60.0
		711.2	34.6
		609.6	31.0
		590.0	44.2
		558.8	28.6
		530.0	37.2
		508.0	28.6
		508.0	26.2
		480.0	58.2
		406.4	21.4
		350.0	33.15
		318.5	17.4

添付 9-3 表 設計用床応答曲線

建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
原子炉建屋	O.P. +22.50	3.0
	O.P. +15.00	
	O.P. +6.00	
タービン建屋	O.P. +24.80	
	O.P. +15.00	
	O.P. +7.60	
T/G ペデスタル	O.P. +22.75	
	O.P. +13.75	

注：上記設計用床応答曲線を包絡している

1/2 S d に対する評価結果を添付 9-4 表に示す。地震時に破損を想定する箇所として、評価範囲の疲労累積係数が最大となっている評価点 R04（蒸気加減弁 (3) 出口と配管との溶接線、添付 9-4 図参照）とした。

添付 9-4 表 1/2 S d に対する評価結果

評価点	一次応力			一次+二次応力			疲労評価
	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係 数
R04	116	198	1.70	189	396	2.09	0.7357

注：疲労累積係数が最も大きい評価部位を記載

添付 9-4 図 主蒸気系配管モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 貫通クラックの面積の算定

貫通クラックの面積 A は溢水ガイドを参考に下記のとおり算定した。

$$A = 1/2D \times 1/2t$$

$$= 1/2 \times (609.6 - 31.0 \times 2) \times 1/2 \times 31.0 \doteq 4244 \text{ (mm}^2\text{)}$$

D : 配管内径 (mm)

t : 配管肉厚 (mm)

注 : 破損を想定した箇所の値を使用

c. 貫通クラックによる荷重の算定

貫通クラックによる荷重 F は「design basis for protection of light water nuclear power plants against the effects of postulated pipe rupture ANSI/ANS-58.2-1988」を参考に下記のとおり算定した。

$$F = DLF \times C_T \times P \times A$$

$$= 2 \times 1.26 \times 8.62 \times 4244 \doteq 93 \times 10^3 \text{ (N)}$$

DLF : ダイナミックロードファクタ (=2*)

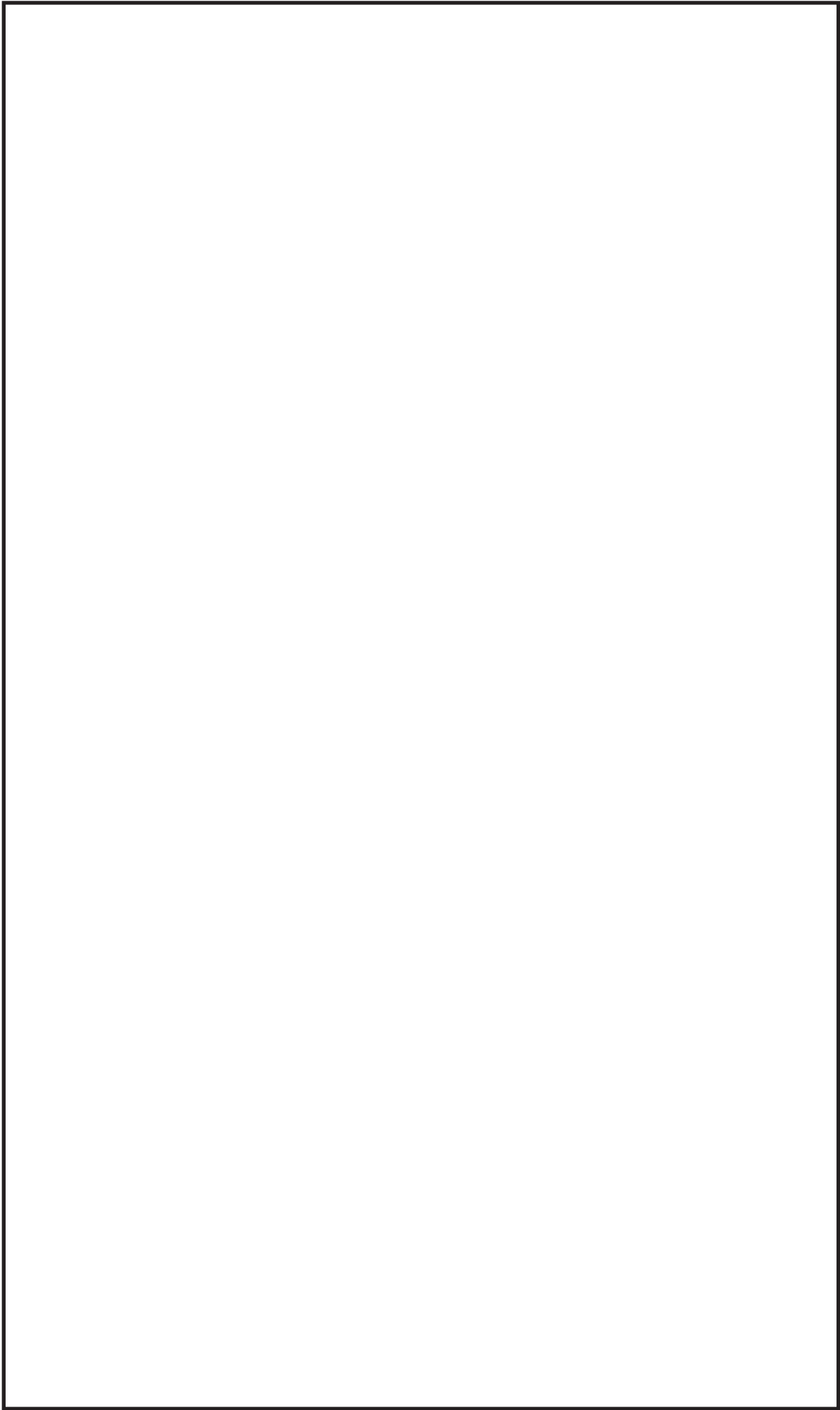
C_T : 定常スラスト係数 (=1.26*)

P : 最高使用圧力 (MPa)

注記* : 「design basis for protection of light water nuclear power plants against the effects of postulated pipe rupture ANSI/ANS-58.2-1988」より

d. 配管破損反力の算定

配管破損反力を算定するために使用した配管モデルを添付 9-5 図に示す。下位クラスサポートについては、保守的に拘束が無い状態を仮定するため、配管モデルから削除している。破損を想定する箇所に貫通クラックによる荷重 F を X 方向, Y 方向, Z 方向にそれぞれ载荷し、境界サポート及び配管貫通部の配管破損反力を算定した。添付 9-5 表に基準地震動 S_s による地震荷重等と配管破損反力を合計した最大値を示す。



添付 9-5 図 主蒸気系配管モデル（下位クラスサポートなし）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

添付 9-5 表 境界サポートの荷重

支持構造物番号	反力 (kN)			モーメント (kN・m)		
	F _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z
MS-001-43	133	70	463	1251	1135	302
MS-002-43	121	64	423	1202	1107	384
MS-003-49	115	63	427	1164	1128	400
MS-004-46	145	68	476	1158	1243	254

注：座標軸は添付 9-5 図に示す。

e. 配管破損反力を踏まえた評価

境界サポート及び配管貫通部について、地震荷重+配管破損反力に対する評価結果を添付 9-6 表に示す。全て計算値が許容値以下であり、地震荷重+配管破損反力に対して健全であることを確認した。なお、既往知見より、B クラス配管において基準地震動 S_s 地震発生時に崩壊現象やき裂貫通は生じないと考えられるが、保守的に貫通クラックを仮定した評価を実施していることから境界サポートの許容応力には Su 値を採用した。

添付 9-6 表 境界サポートの評価結果

種類	型式	応力分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
アンカ	架構	組合せ	155	391	2.52

注：最も裕度が小さい評価部位を記載

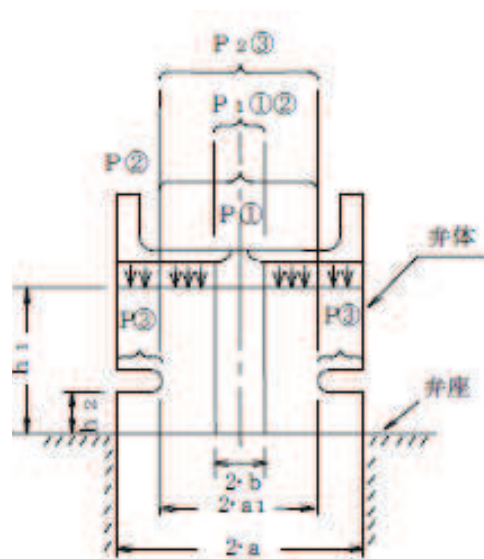
(2) 境界弁の評価

主蒸気系配管の境界弁 (B21-F003A, B, C, D) の評価結果を添付 9-7 表に示す。弁体の評価は添付書類「VI-3-2-3 クラス 1 弁の強度計算方法」を準用する。最高使用圧力の項 [P] は、強度+地震を同時に評価する式ではないことから、評価用圧力 [P' = P(最高使用圧力) + W (地震荷重により弁体に加わる圧力)] として評価を実施した。

$\sigma_D \leq 1.5 \cdot S_m$ であり弁体強度は十分である。

添付 9-7 表 弁体の評価結果

材料	SFVC2B
形式	G2
P (MPa)	8.62
P' (MPa)	
P ₁ (N)	2.641×10^5
P ₂ (N)	—
h ₁ (mm)	
h ₂ (mm)	
a (mm)	
a ₁ (mm)	
b (mm)	
M (kg)	470
r (mm)	
α_1 (G)	15.0
計算応力 σ_D (MPa)	107
許容応力 $1.5 \cdot S_m$ (MPa)	188



(「VI-3-2-3 クラス 1 弁の強度計算方法」より抜粋)

評価用圧力 P' は以下のとおり

$$\begin{aligned}
 P' &= P + W \\
 &= P + \frac{M \times g \times \alpha_1}{\pi \times r^2} \\
 &= 8.62 + \frac{470 \times 9.80665 \times 15.0}{\pi \times \boxed{}} = \boxed{}
 \end{aligned}$$

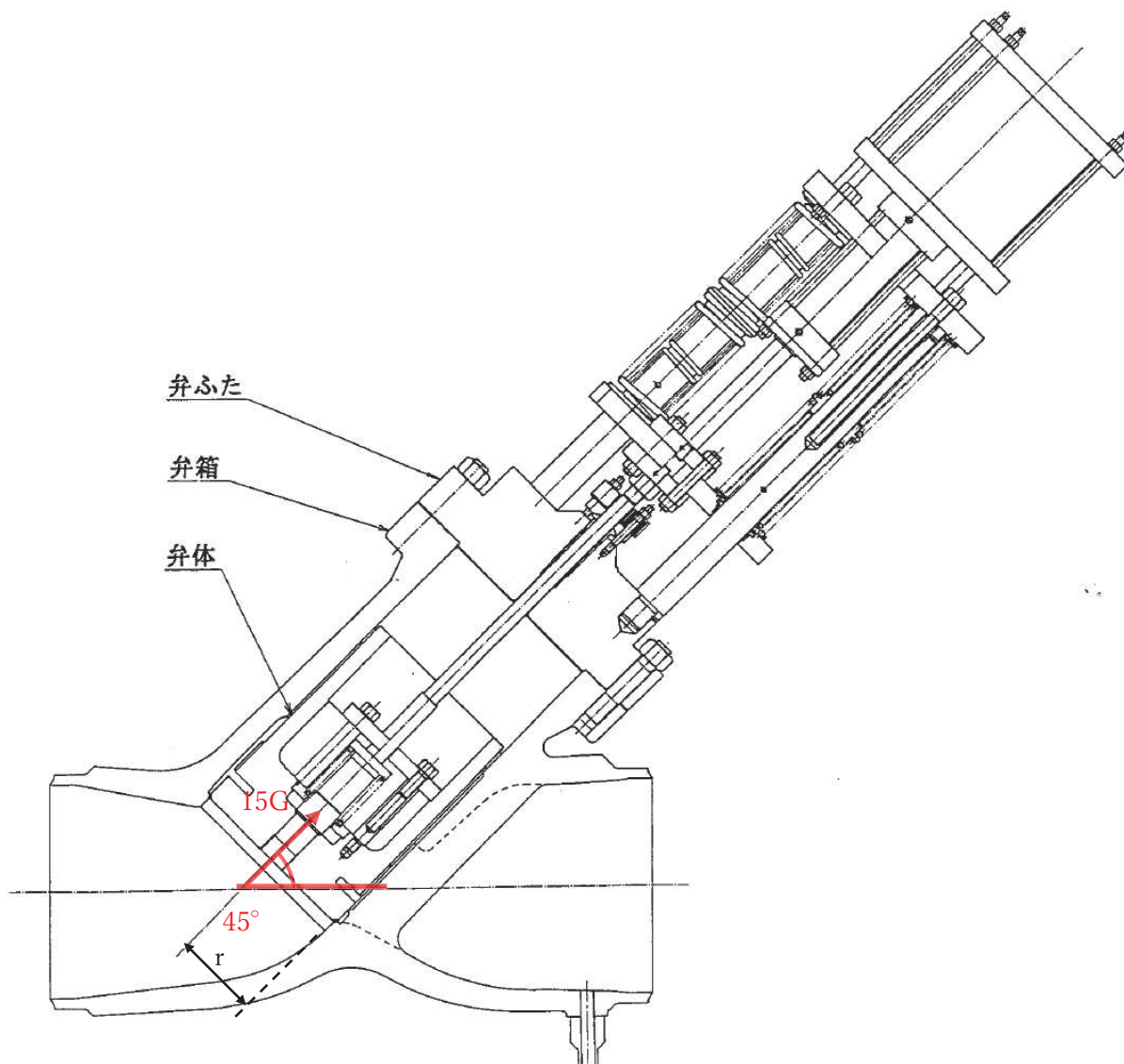
ここで、添付書類「VI-3-2-3 クラス 1 弁の強度計算方法」に記載のない記号の説明を下記に示す。

- M : 弁体の質量 (kg)
- r : 弁体の半径 (mm)
- α_1 : 評価用応答加速度 (G)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

構造図を添付 9-6 図に示す。弁体は 45° の角度で設置されていることから、評価用応答加速度は水平方向と鉛直方向を合成した値とする。弁体に考慮する評価用応答加速度は、添付 9-8 表のとおり、基準地震動 S_s による応答加速度を上回る値として機能確認済加速度を用いた。

なお、女川原子力発電所第 2 号機において主蒸気隔離弁に適用する機能確認済加速度は合成加速度で $15G$ としており、詳細は補足説明資料「補足-600-14-1 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）」に示す。



添付 9-6 図 主蒸気系境界弁構造図

添付 9-8 表 各弁に対する応答加速度と機能確認済加速度

弁番号	水平・鉛直合成値	
	応答加速度 (G)	機能確認済加速度 (G)
B21-F003A	13.7	15.0
B21-F003B	13.7	15.0
B21-F003C	14.6	15.0
B21-F003D	14.9	15.0

3. 環境に及ぼす影響

下位クラス設備が損傷した場合に環境に及ぼす影響として内部流体の流出に伴う環境温度への影響が考えられることから、2 項での検討内容を参考に環境温度の変化が上位クラス設備へ及ぼす影響について検討する。

配管破断発生時に環境温度に影響を及ぼす高エネルギー配管のうち、地震時に損傷の可能性のある配管については 2 項で検討されている境界弁「B21-F003A, B, C, D」より下流の「主蒸気系配管」となる。損傷可能性のある主蒸気系配管ラインが設置されている範囲のうち、上位クラス設備（機器配管系は主蒸気系の最高使用温度で設計されているため除外）が設置されているエリアは MS トンネル室となる。

MS トンネル室に設置されている上位クラス設備は漏えい検出系の温度計となるが、本温度計は主蒸気系配管の破断又は漏えいを検知し、MS ラインの隔離信号を発することを目的とした設備であるため、高温蒸気環境（171℃）への耐性を有する計器を使用しており、配管破断によって機能に影響を及ぼすおそれはない。

4. まとめ

地震により下位クラス配管の破損を仮定した場合における、上位クラス配管と下位クラス配管の境界サポート及び境界弁の影響及び上位クラス設備への環境温度変化の影響について検討した結果、上位クラス施設へ影響がないことを確認した。

下位クラス配管の損傷形態の検討について

1. 概要

上位クラス施設と下位クラス施設の接続部における波及的影響の検討においては、下位クラス配管の損傷形態である破損と閉塞のうち、破損に対して検討することとしている。

そこで、接続部の影響検討において、閉塞事象を検討対象外と判断するに至った検討内容について以下に示すものである。

2. 閉塞事象に対する検討

2.1 閉塞事象の発生要因について

地震時の閉塞事象発生要因として以下の2ケースが考えられる。

- ①地震時慣性力によって、上位クラス施設と接続している下位クラス配管（以下「対象下位クラス配管」という。）が軸直交方向に大きな荷重を受けることによって大きく折れ曲がり流路を完全に遮断するケース
- ②地震時に対象下位クラス配管の周辺にある他の下位クラス施設が、損傷、転倒及び落下することによって、対象下位クラス配管に衝突し、対象下位クラス配管の流路を完全に遮断するケース

地震発生時に、これら2つの発生要因によって、閉塞が発生する可能性について検討した結果を2.2項に示す。

2.2 閉塞事象発生有無の検討について

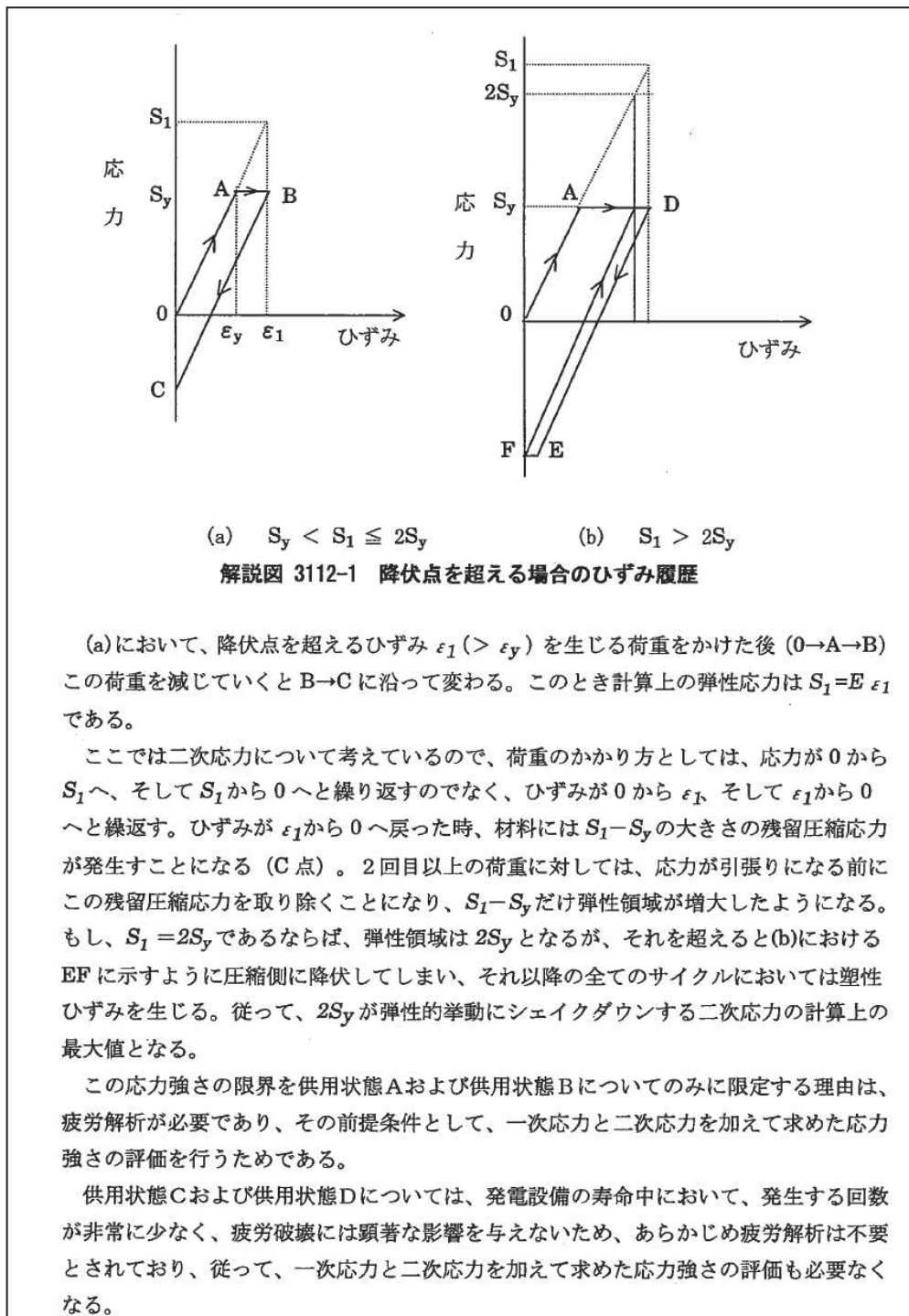
2.1項の発生要因2ケースに対して、地震時に実際に発生する可能性を以下のとおり検討した。

(1) 地震時慣性力による閉塞

地震荷重は一定の方向に大きな荷重が負荷し続けるものではなく、荷重が負荷する方向を交互に変えながら発生する交番荷重であることから、弾性応答範囲を超えた場合、鋼製材料の履歴減衰による応答低減が期待できる。また、材料のシェイクダウン*により地震時はおおむね弾性的な挙動となることを踏まえると、配管が折れ曲がり完全閉塞するような状況は考え難い。

また、既往研究¹⁾において配管が有する安全余裕の検証として、配管の各種試験が実施されている。この中で配管の損傷形態として、塑性崩壊、座屈及び疲労破壊について検討がなされた結果、応力が集中する箇所が発生する疲労き裂（ラケット変形を伴う低サイクル疲労）が主たる損傷形態であり、閉塞による損傷は確認されていない。

*: 鋼製材料は降伏応力を超過する応力を受けた場合、塑性変形が発生するものの、その後は再び弾性的な挙動を繰り返す。この特性のことをシェイクダウンという。以下に設計建設規格に記載されているシェイクダウンの解説を引用する。



(出典) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)

(2) 周辺の下位クラス施設の影響による閉塞

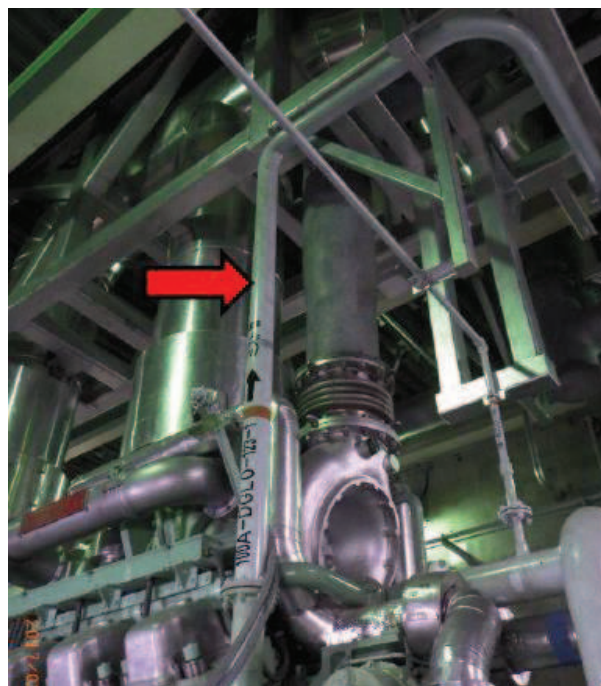
机上検討で抽出した、上位クラス施設と隔離されずに接続されている下位クラス配管について参考 1-1 表に示す。机上検討においては、参考 1-1 表に示す対象配管の周辺に設置された他の下位クラス施設の損傷、転倒及び落下の影響による閉塞事象が否定できないことから、施設の設置状況を調査し閉塞事象の可能性の有無を確認するため、現場調査を実施した。

参考 1-1 表 上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラス施設

対象設備	設置場所
非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル機関ミスト管*	原子炉建屋
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関ミスト管	原子炉建屋
燃料デイトンクミスト管	原子炉建屋
潤滑油サンプタンクミスト管*	原子炉建屋

* 現地工事養生等があったことから、今後、詳細調査を追加実施する

現場調査の結果、調査対象の下位クラス配管に対して、周辺の下位クラス施設の損傷、転倒、落下等によって波及的影響（閉塞）を及ぼすおそれがないことを確認した。調査時の写真記録について参考 1-1 図に一例を示す。



(a) 燃料デイトンク (A) ミスト管

(b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 ミスト

参考 1-1 図 現場調査記録

3. まとめ

対象下位クラス配管について、地震時慣性力による閉塞と周辺の下位クラス施設の影響による閉塞が発生する可能性を検討した結果、いずれの閉塞事象も発生しないことが確認できた。したがって、上位クラス施設と接続する下位クラス配管の損傷形態としては破損に対して検討する。

4. 参考文献

- 1) 平成 15 年度 原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 配管系終局強度
(平成 16 年 6 月 (独) 原子力安全基盤機構)

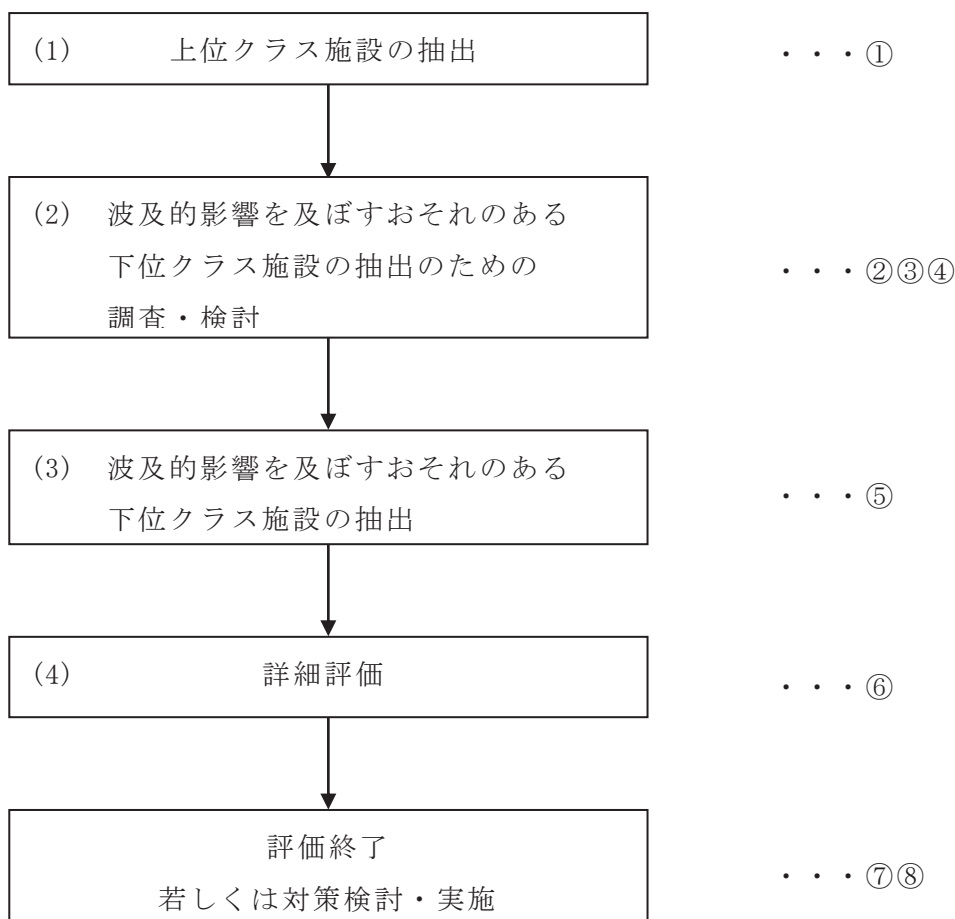
設置変更許可時からの相違点について

1. 概要

本補足説明資料では、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出及びその影響評価内容について整理しているが、発電用原子炉設置変更申請（東北電原技第3号）に係る審査資料「02-NP-0272 設計基準対象施設について」の「第4条 地震による損傷の防止」の「別紙-2 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討」（以下「設置変更許可」という。）から設計進捗により変更となった箇所があるため、設置変更許可との相違点を整理した。

2. 設置変更許可時からの変更箇所

波及的影響に係る概略検討フローを図1に示す。フローの(1)～(4)に基づき設置変更許可との相違点があるかを確認した。



①～⑧の数字は補足説明資料本文の第2.1-1図中の①～⑧に対応する。

図1 波及的影響に係る概略検討フロー

- (1) 上位クラス施設の抽出
抽出結果に係る相違点を表 1 に示す。
- (2) 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出のための調査・検討
抽出のための調査・検討方法については変更無し。
- (3) 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出
抽出結果に係る相違点を表 2-1, 2-2 に示す。
- (4) 詳細評価
評価結果については耐震計算書及び補足説明資料の添付資料 4～11 にて説明する。

なお、下位クラス施設の抽出及びその影響評価に係わらない施設名称の変更や記載する施設の統合等に伴う相違点については参考として表 3 に示す。

3. 先行プラントとの相違点

波及的影響を及ぼすおそれがある下位クラス施設として、耐震計算書の対象となる設備について先行プラント（柏崎刈羽 7 号機）と女川 2 号機を比較した結果を表 4 に示す。先行プラントと女川で設備の設計方針や配置等が類似している、原子炉建屋クレーンや燃料交換機などが共通的に対象として選定されていることを確認した。一方で、竜巻防護対策などはプラント特有な設備が多く、プラントごとに対象設備が異なることを確認した。

表 1 上位クラス施設の抽出結果に係る相違点 (1/4)

整理番号*1	上位クラス施設		変更理由	該当ページ*2
	変更前 (設置変更許可時)	変更後		
0015	—	可搬型窒素ガス供給系配管	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P12
0016	—	燃料プール代替注水系配管	同上	P12
0058	—	衛星通信装置	同上	P13
0059	—	復水貯蔵タンク水位	同上	P13
E168	—	ガスタービン発電設備燃料小出槽	同上	P15
E176	—	緊急時対策所換気空調系ダクト	同上	P16
E187	—	燃料プール代替注水系配管	同上	P16
E188	—	燃料プールスプレイ系配管	同上	P16
E189	—	原子炉補機代替冷却水系配管	同上	P16
E190	—	原子炉格納容器下部注水系配管	同上	P16
E191	—	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系配管	同上	P16
E192	—	代替循環冷却系配管	同上	P16
V137	PSA 窒素供給ライン元弁	—	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う削除	P18
V151	RHR ヘッドスプレイライン洗浄流量調節弁	—	同上	P18
V154	—	代替制御棒挿入機能用電磁弁	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P18
V155	—	HPAC 蒸気供給ライン分離弁	同上	P18
V156	—	代替 HP IN 窒素排気出口弁	同上	P18
V157	—	代替 HP IN 第一隔離弁	同上	P18

表 1 上位クラス施設の抽出結果に係る相違点 (2/4)

整理番号*1	上位クラス施設		変更理由	該当ページ*2
	変更前 (設置変更許可時)	変更後		
V158	—	DCLI ポンプ吸込弁	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P18
V159	—	DCLI 注入流量調整弁	同上	P18
V160	—	R/B BIF 緊急時隔離弁	同上	P18
V161	—	RCW 代替冷却水不要負荷分離弁	同上	P18
V162	—	RHR 格納容器代替スプレイ注入元弁	同上	P18
V163	—	代替循環冷却ポンプ吸込弁	同上	P18
V164	—	代替循環冷却ポンプ流量調整弁	同上	P18
V165	—	代替循環冷却ポンプバイパス弁	同上	P18
V166	—	RHR MUWC 連絡第一弁	同上	P18
V167	—	RHR MUWC 連絡第二弁	同上	P18
V167	—	RHR MUWC 連絡第二弁	同上	P18
B011	重要計器監視用 125V 直流分電盤 2	—	撤去に伴い、削除	P18
B083	—	代替原子炉再循環ポンプトリップ遮断器	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P19
B084	—	HPAC 制御盤	同上	P19
B085	—	代替注水制御盤	同上	P19
B086	—	DCLI 制御盤	同上	P19
B087	—	フィルタベント系制御盤	同上	P19
B088	—	250V 充電器盤	同上	P19

表 1 上位クラス施設の抽出結果に係る相違点 (3/4)

整理番号*1	上位クラス施設		変更理由	該当ページ*2
	変更前 (設置変更許可時)	変更後		
B089	—	125V 直流電源切替盤	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P19
B090	—	460V 原子炉建屋交流電源切替盤	同上	P19
B091	—	250V 直流主母線盤	同上	P19
B092	—	緊急用電源切替操作盤	同上	P19
B093	—	ガスタービン発電設備制御盤	同上	P19
B094	—	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ 接続盤	同上	P19
B095	—	モータコントローラセンタ (緊急時対策 所用)	同上	P19
B096	—	105V 交流電源切替盤 (緊急時対策所用)	同上	P19
B097	—	105V 交流分電盤 (緊急時対策所用)	同上	P19
B098	—	120V 交流分電盤 (緊急時対策所用)	同上	P19
B099	—	210V 交流分電盤 (緊急時対策所用)	同上	P19
B100	—	125V 直流主母線盤 (緊急時対策所用)	同上	P19
B101	—	250V 直流受電パワースェンタ	同上	P19
B102	—	120V 原子炉建屋交流電源切替盤	同上	P20
I002	原子炉冷却材浄化系計装ラック	—	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う削除	P20
I021	—	原子炉圧力 (SA)	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P20
I022	—	原子炉水位 (SA 広帯域)	同上	P20
I023	—	原子炉水位 (SA 燃料域)	同上	P20

表 1 上位クラス施設の抽出結果に係る相違点 (4/4)

整理番号*1	上位クラス施設		変更理由	該当ページ*2
	変更前 (設置変更許可時)	変更後		
I090	—	高圧代替注水系ポンプ出口圧力	設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P20
I092	—	残留熱除去系熱交換器入口温度	同上	P21
I093	—	残留熱除去系熱交換器出口温度	同上	P21
I099	—	圧力抑制室圧力	同上	P21
I123	—	代替循環冷却ポンプ出口圧力	同上	P21
I126	—	直流駆動低圧注水系ポンプ出口圧力	同上	P21
I130	—	復水移送ポンプ出口圧力	同上	P21

注記 *1: 整理番号は基本的に変更後の番号 (「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」で定義された番号) を記載する。変更前しかない場合は変更前の番号 (設置変更許可で定義された番号) を記載する。

*2: 「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」の該当ページを示す。

表 2-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出結果に係る相違点
(建屋内及び建屋外における下位クラス施設の損傷、転倒、落下等による影響)

整理 番号	上位クラス施設	波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設		変更理由	該当 ページ*
		変更前 (設置変更許可時)	変更後		
I100	原子炉格納容器下部水位	—	CRD 自動交換機	上位クラス施設の設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P118
I127	原子炉格納容器下部温度	—	—	—	—
0027	防潮壁	—	—	—	—
0030	浸水防止蓋	—	—	—	—
0032	貫通部止水処置	—	—	—	—
0048	3 号機海水熱交換器建屋	3 号機海水ポンプ室門型クレーン	—	下位クラス施設の撤去に伴い削除	P127
0055	3 号機補機冷却海水系放水ピット	—	第 3 号機ガスボンベ庫 第 3 号機除塵装置電源室	下位クラス施設の設計進捗 (設計及び配置の確定) に伴う追加	P13
0027	防潮壁	—	—	—	—

注記 * : ページ番号は、対象の下位クラス施設が変更前の場合は変更前の番号 (設置変更許可で定義された番号) を、対象の下位クラス施設が変更後の場合は変更後の番号 (「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」で定義された番号) を記載する。

表 2-2 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の抽出結果に係る相違点
(上位クラス施設と下位クラス施設の接続部における相互影響)

整理番号	変更前		変更後		変更理由	該当ページ*
	上位クラス施設	接続する下位クラス施設	上位クラス施設	接続する下位クラス施設		
E043	制御駆動機構	制御棒引抜配管	—	—	制御棒引抜配管の耐震クラス見直し (Bクラス→Sクラス) に伴い削除	P51
E176	—	—	緊急時対策所軽油タンク	ミス管	上位クラス施設の設計進捗(系統設計の確定)に伴う追加	P56
E179	—	—	代替循環冷却ポンプ	ブラケットドレンライン メカニカルシールライン メカニカルシールライン	同上	P56
E182	—	—	直流駆動低圧注水系ポンプ	メカニカルシールライン メカニカルシールライン	同上	P56

注記 * : ページ番号は、「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」で定義された番号を記載する。

表 3 施設名称の変更や記載する施設の統合等に伴う相違点 (1/3)

上位クラス施設		変更後	変更理由	該当ページ ^{*3}
整理番号 ^{*1}	変更前 (設置変更許可時)	整理番号 ^{*2}		
0012	復水補給水系配管	0012	原子炉格納容器下部注水系配管	工事計画認可申請名称への変更 P12
0013	原子炉補機冷却水系配管	0013	原子炉補機代替冷却水系配管	同上 P12
0014	残留熱除去系配管	0014	原子炉格納容器代替スプレイ冷却系配管	同上 P12
0047	トランシーバ屋外アンテナ	0049	無線連絡設備 (屋外アンテナ)	同上 P12
0048	衛星電話屋外アンテナ	0050	衛星電話設備 (屋外アンテナ)	同上 P12
I040	RCIC タービン蒸気加減弁電油変換器			
I041	RCIC タービン蒸気加減弁開度			
I042	RCIC タービン回転数	E028	原子炉隔離時冷却系ポンプ	
I043	RCIC タービンメカニカルトリップ用	E029	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	機器付きの計装品であることから設置している機器と統合 P14
I044	RCIC タービン主蒸気止め弁全閉表示用	E030	原子炉隔離時冷却系配管	
I045	RCIC 非常トリップ装置 & 非常調速機作動表示用			
—	—	E097	非常用ディーゼル発電設備清水冷却器	記載追加 P15
—	—	E113	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備清水冷却器	同上 P15
E155	高圧代替注水系ポンプ	E157	高圧代替注水系タービンポンプ	工事計画認可申請名称への変更 P15
E163	ガスタービン発電機	E165	ガスタービン発電設備機関・発電機	同上 P15

表 3 施設名称の変更や記載する施設の統合等に伴う相違点 (2/3)

上位クラス施設				変更理由	該当ページ ^{*3}
整理番号 ^{*1}	変更前 (設置変更許可時)	整理番号 ^{*2}	変更後		
E167	中央制御室遮蔽壁	E169	中央制御室しゃへい壁	工事計画認可申請名称への変更	P15
I097	LPCS ポンプ出口流量	I001	低圧炉心スプレレイ系計装ラック	当該計器を設置している計装ラックに変更	P20
I096	HPCS ポンプ出口流量	I006	高圧炉心スプレレイ系計装ラック	同上	P20
I1010	原子炉隔離時冷却系ポンプ計装ラック	I009	RCIC ポンプ計器架台	設計図書に記載の名称に変更	P20
I098	RHR ポンプ出口流量	I012	RHR C 系計器架台	当該計器を設置している架台名称に変更	P20
I030	格納容器内雰囲気モニタ電磁弁				
I031	CAMS S/C サンプルガス温度	I034	格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W)	対象施設名称を統合	P20
I032	CAMS D/W サンプルガス温度	I035	格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C)		
I033	CAMS γ線検出器 D/W				
I034	CAMS γ線検出器 S/C				
I058	機関付清水ポンプ出口圧力				
I059	機関出口デューゼル冷却水温度				
I060	機関入口潤滑油圧力	I047	非常用 D/G 計装ラック	当該計器を設置している計装ラック等の名称に変更	P20
I061	潤滑油ブライミングポンプ入口温度	I048	非常用 D/G 二次冷却水差圧計器架台		
I065	RCW 差圧	I049	HPCS D/G 計装ラック		
I066	HPCW 差圧				
—	—	I068	R/B 主蒸気管漏えい検出 (周囲温度)	記載追加	P20
—	—	I069	R/B 主蒸気管漏えい検出 (給気温度)	同上	P20

表 3 施設名称の変更や記載する施設の統合等に伴う相違点 (3/3)

上位クラス施設		変更理由	該当ページ ^{*3}
変更前 (設置変更許可時)	変更後		
整理番号 ^{*1}	整理番号 ^{*2}		
—	I070 R/B 主蒸気管漏えい検出 (排気温度)	記載追加	P20
—	I080 CUW 非再生熱交室漏えい検出 (周囲温度)	同上	P20
—	I081 CUW 再生熱交室漏えい検出 (周囲温度)	同上	P20
—	I082 CUW 非再生熱交室漏えい検出 (給気温度)	同上	P20
—	I083 CUW 再生熱交室漏えい検出 (給気温度)	同上	P20
—	I084 CUW 非再生熱交室漏えい検出 (排気温度)	同上	P20
—	I085 CUW 再生熱交室漏えい検出 (排気温度)	同上	P20
I093	I088 格納容器内雰囲気モニタプリアンプ収納箱	設計図書に記載の名称に変更	P20
I109	I105 局部出力領域モニタ	工事計画認可申請名称への変更	P21
I129	I124 高圧窒素ガス供給系 ADS 入口圧力	設計図書に記載の名称に変更	P21
I131	I129 代替高圧窒素ガス供給系窒素ガス供給止め弁入口圧力	同上	P21
I122	I131 無線連絡設備 (固定型)	対象施設名称を統合	P21
I134	I132 衛星電話設備 (屋外アンテナ)		
I136	I132 衛星電話設備 (屋外アンテナ)		
I123	I132 衛星電話		
I135	I132 衛星電話設備		
I137	I132 衛星電話設備 (屋外アンテナ)		

注記 *1：変更前の番号 (設置変更許可で定義された番号) を記載する。

*2：変更後の番号 (「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」で定義された番号) を記載する。

*3：「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」の該当ページを示す。

表 4 先行プラント（柏崎刈羽 7 号機）との波及的影響評価対象設備の相違点（1/2）

波及的影響を及ぼすおそれがある施設として耐震計算書の対象となる施設		差異理由
先行プラント（柏崎刈羽 7 号機）	女川 2 号機	
サービス建屋	—	女川 2 号機にサービス建屋はないため
—	タービン建屋	女川 2 号機特有の対象施設のため
—	補助ボイラー建屋	同上
—	第 1 号機制御建屋	同上
—	第 1 号機排気筒	同上
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ防護板	—	柏崎刈羽 7 号機特有の対象施設のため
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板	—	同上
竜巻防護鋼製フード	—	同上
—	海水ポンプ室門型クレーン	女川 2 号機特有の対象施設のため
—	竜巻防護ネット	同上
—	第 1 号機取水路	同上
—	第 3 号機取水路	同上
—	北側排水路	同上
—	アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））	同上
—	前面護岸	同上
原子炉遮蔽壁	原子炉しゃへい壁	—
原子炉建屋クレーン	原子炉建屋クレーン	—
燃料取替機	燃料交換機	—

表 4 先行プラント（柏崎刈羽 7 号機）との波及的影響評価対象設備の相違点（2/2）

波及的影響を及ぼすおそれがある施設として耐震計算書の対象となる施設		差異理由
先行プラント（柏崎刈羽 7 号機）	女川 2 号機	
原子炉ウエル遮蔽プラグ	原子炉ウエルカバー	—
中央制御室天井照明	中央制御室天井照明	—
耐火隔壁	耐火隔壁	—
原子炉補機冷却海水系配管防護壁	—	柏崎刈羽 7 号機特有の対象施設のため
換気空調系ダクト防護壁	—	同上
—	制御棒貯蔵ハンガ	女川 2 号機特有の対象施設のため
—	制御棒貯蔵ラック	同上
—	ほう酸水注入系テスタタンク	同上
—	CRD 自動交換機	同上

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-19-0600-6_改0
提出年月日	2021年1月25日

補足-600-6 設計用床応答曲線の作成方法

2021年1月
東北電力株式会社

目次

1. 概要.....	1
2. 設計用床応答曲線の作成方法.....	1
2.1 基本方針.....	1
2.2 地震応答解析の実施.....	2
2.3 応答スペクトルの作成.....	5
2.4 機器の固有周期のずれ等の影響.....	5
2.5 材料物性の不確かさ等の影響の考慮.....	5

1. 概要

機器・配管系の評価においては、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示すとおり、設計用床応答曲線を用いる。

ここで、設計用床応答曲線は、その作成過程において、応答スペクトルの拡幅や複数の応答スペクトルの包絡等の処理を行うことで、材料物性の不確かさ等が機器・配管系の評価に及ぼす影響を予め織り込めるように配慮して作成するものである。

本資料は、設計用床応答曲線の作成方法について説明するものである。ここで、設計用床応答曲線を作成する建物・構築物を表 1-1 に整理する。

表 1-1 設計用床応答曲線を作成する建物・構築物等

分類	施設名称
建物・構築物	原子炉建屋 制御建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋 大型機器系（原子炉本体の基礎等） 炉内構築物系（原子炉压力容器内部構築物等）
土木構築物	復水貯蔵タンク基礎 海水ポンプ室 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） 軽油タンク室 軽油タンク室（H） ガスタービン発電設備軽油タンク室 軽油タンク連絡ダクト 排気筒基礎 排気筒連絡ダクト

2. 設計用床応答曲線の作成方法

2.1 基本方針

設計用床応答曲線の作成方法の全体像は、図 2-1 に示すとおりである。以降、2.2 項から 2.5 項で各項目の詳細な説明を行う。ここで、本資料では、標準物性の解析を「基本ケース」、材料物性の不確かさ等を考慮したケースを「不確かさケース」として扱う。

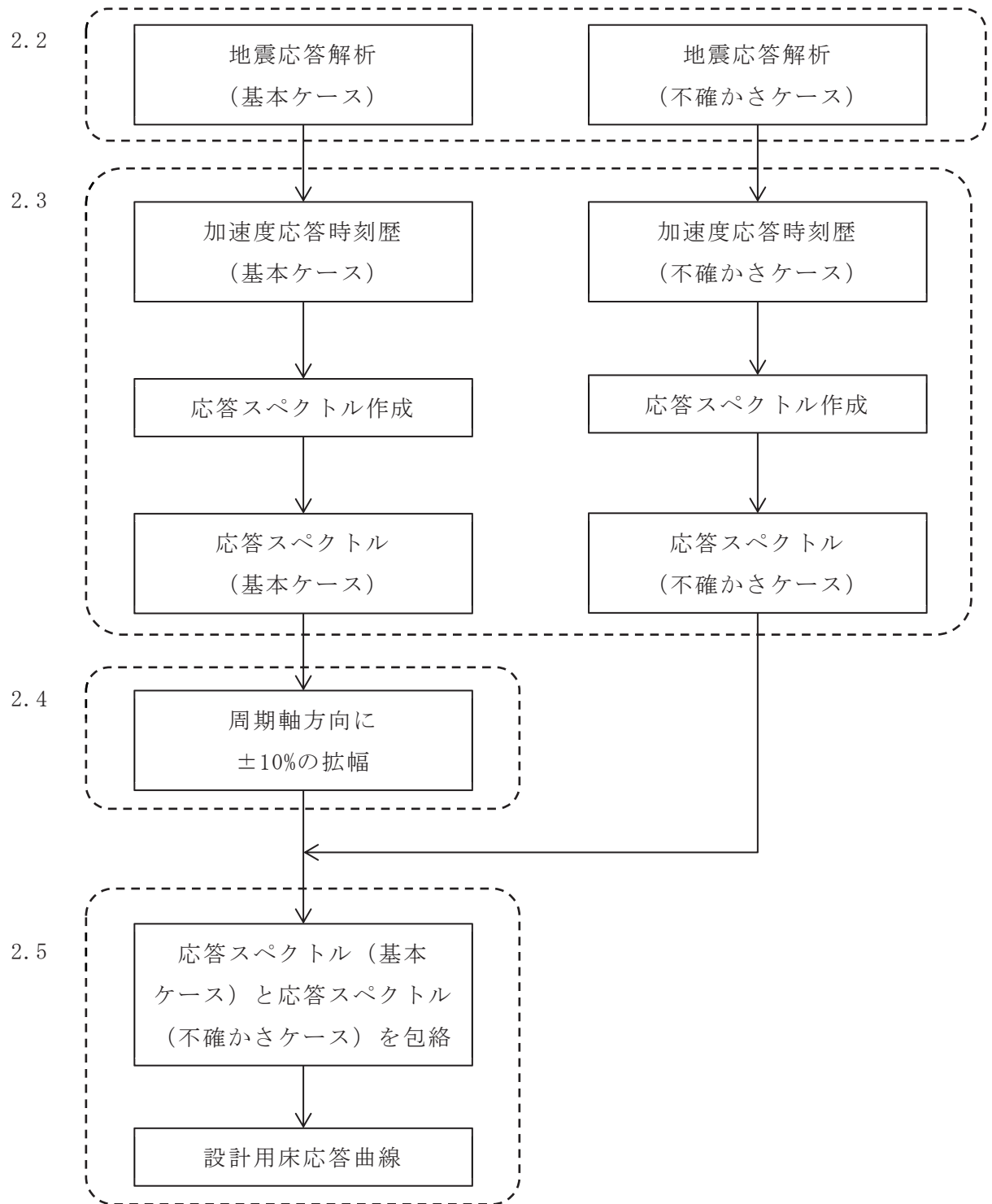


図 2-1 設計用床応答曲線の作成方法

2.2 地震応答解析の実施

地震応答解析は、表 2-2 及び表 2-3 の解析ケースで実施する。なお、表 2-2 及び表 2-3 は、各施設の地震応答計算書に記載される解析ケースを整理したものである。

表 2-2 地震応答解析を実施する解析ケースの整理（建物・構築物）

施設 名称	地震応答計算書の添付書類番号	不確かさケース						
		基本ケース ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
原子炉建屋	VI-2-2-1	○	○	○	○	○	○	○
制御建屋	VI-2-2-3	○	○	○	○	○	○	○
緊急用電気品建屋	VI-2-2-21	○	○	○	○	○	○	○
緊急時対策建屋	VI-2-2-23	○	○	○	○	○	○	○
第3号機海水熱交換器建屋*	VI-2-2-29	○	○	○	○	○	○	○
大型機器系	VI-2-3-2	○	○	○	○	○	○	○
炉内構築物系	VI-2-3-2	○	○	○	○	○	○	○

注記*：今回工認においては、評価対象が剛である設備のみであり、床応答曲線を適用しないことから、最大応答加速度のみ整理

表 2-3 地震応答解析を実施する解析ケースの整理（土木構造物）

施設		基本ケース			不確かさケース		
		ケース 1 標準モデル ・標準地盤	ケース 2 標準モデル ・地盤物性+ σ	ケース 3 標準モデル ・地盤物性- σ	ケース 4 コックリート実強度 ・標準地盤		
名称	地震応答計算書の添付書類番号						
復水貯蔵タンク基礎	VI-2-2-5	○	○	○	○	○	
海水ポンプ室	VI-2-2-7	○	○	○	○	○	
第 3 号機海水ポンプ室*	VI-2-2-9	○	○	○	○	○	
原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）	VI-2-2-11	○	○	○	○	○	
軽油タンク室	VI-2-2-13	○	○	○	○	○	
軽油タンク室（H）	VI-2-2-15	○	○	○	○	○	
ガスタービン発電設備軽油タンク室	VI-2-2-17	○	○	○	○	○	
軽油タンク連絡ダクト	VI-2-2-19	○	○	○	○	○	
排気筒基礎	VI-2-2-25	○	○	○	○	○	
排気筒連絡ダクト	VI-2-2-27	○	○	○	○	○	

注記*：今回工認においては，評価対象が剛である設備のみであり，床応答曲線を適用しないことから，最大応答加速度のみ整理

2.3 応答スペクトルの作成

2.2項で示した地震応答解析（基本ケース及び不確かさケース）から得られる加速度応答時刻歴を入力波として、応答スペクトルを作成する。以降、本資料では、基本ケースの地震応答解析に基づく応答スペクトルを「応答スペクトル（基本ケース）」、不確かさケースの地震応答解析に基づく応答スペクトルを「応答スペクトル（不確かさケース）」という。

2.4 機器の固有周期のずれ等の影響

2.3項で作成した応答スペクトル（基本ケース）に対して、J E A G 4 6 0 1 -1987を参照し、機器の固有周期のずれや地盤物性、建屋剛性、地盤ばね定数の算出式、減衰定数、模擬地震波の位相特性等といった因子の変動に伴う応答スペクトルの変動の影響をカバーすることを目的として、周期軸方向に±10%拡幅することとする（図2-2）。

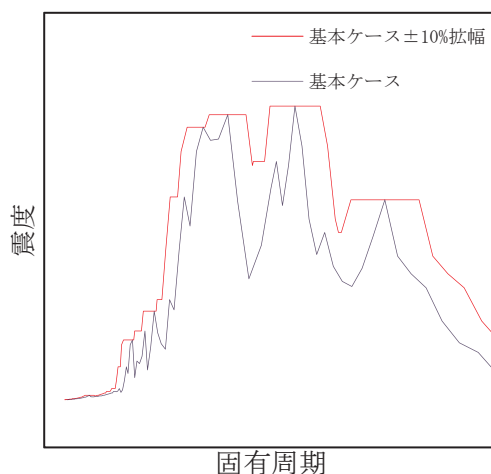


図 2-2 機器の固有周期のずれ等の影響を考慮した応答スペクトル

2.5 材料物性の不確かさ等の影響の考慮

2.4項で作成したものと、2.3項で作成した応答スペクトル（不確かさケース）を包絡させることにより、材料物性の不確かさ等の影響について配慮を行い、これを設計用床応答曲線とする（図2-3）。

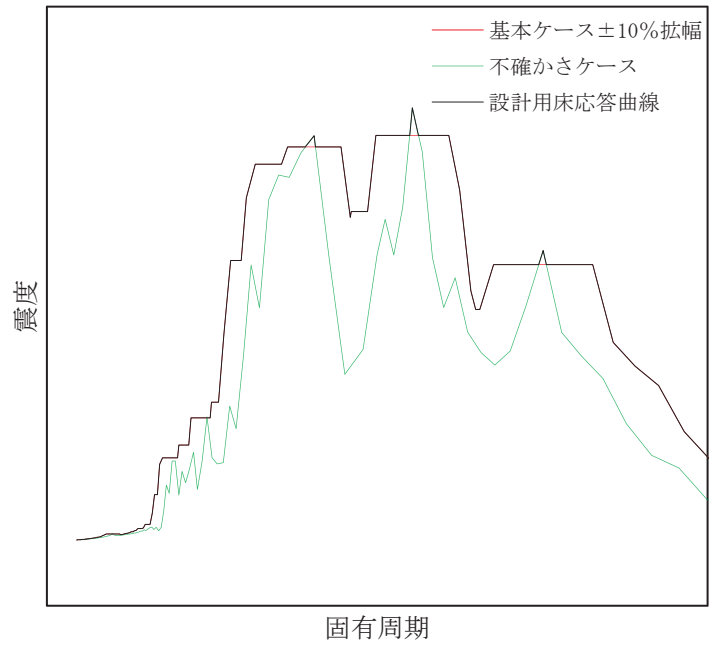


図 2-3 材料物性の不確かさ等の影響を考慮した応答スペクトル

本資料のうち、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-19-0600-7_改0
提出年月日	2021年4月15日

補足-600-7 機器・配管系の耐震設計における
剛柔判定を行う固有周期について

目 次

1. 剛柔判定を行う固有周期の考え方.....	1
2. 剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法.....	2
3. 実機に対する適用性.....	3
4. 剛柔判定及び打切り振動数に係る検討.....	10

1. 剛柔判定を行う固有周期の考え方

機器・配管系の耐震設計では、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d に対して動的解析を行い水平及び鉛直方向の動的地震力を定める。その機器・配管系が柔構造と判断される場合には、動的解析により地震力を算定し、剛構造と判断される場合には、機器・配管系の設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を震度 (1.2ZPA) とした静的解析により地震力を算定する。

ここで、剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲の概要を図 1 に示す。剛柔判定の固有周期は、地震動による応答増幅が大きくなる建物・構築物の卓越周期から十分離隔した位置に設定し、動的解析の適用要否の決定に用いている。なお、この考え方は、J E A G 4 6 0 1 - 1970 に示されている。

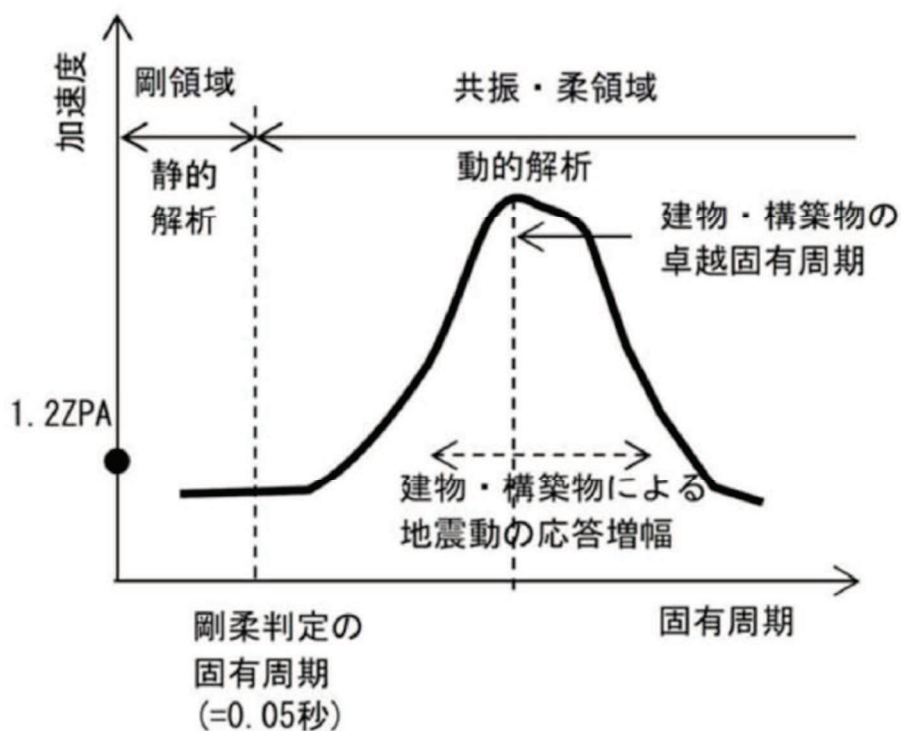


図 1 剛柔判定の固有周期と動的解析の適用範囲 (概略図)

2. 剛柔判定を行う固有周期と地震力の算定法

J E A G 4 6 0 1 -1987 の抜粋を図 2 に示す。機器・配管系の剛柔判定については、J E A G 4 6 0 1 -1987 に例示されているとおり、機器・配管系の 1 次固有周期が 0.05 秒以下の場合には剛構造、0.05 秒を超える場合には柔構造とする。この方針は、既工認と同じである。

機器・配管系の耐震設計では、剛柔判定の固有周期 0.05 秒を超える場合は地震応答を動的解析により行い、0.05 秒以下の地震応答は動的解析を行うのに代えて静的解析を行う。

6.4.3 動的地震力の概要

機器・配管系の耐震設計に用いる動的地震力は、重要性の高い As クラス機器の地震力を基本に定めるものである。本項では、その概要を示し、地震力算定の詳細は「6.5 地震応答解析」に述べることとする。

(1) As 及び A クラス機器

A クラス機器に関しては、基準地震動 S_1 に対し動的解析（地盤－建屋－機器連成の解析あるいは据付位置における設計用床応答スペクトルを用いた解析等）により算定される水平地震力を適用する。A クラス機器の中で特に重要な As クラス機器に関しては、さらに基準地震動 S_2 に対し動的解析によって得られる水平地震力をも適用する。ただし、その機器が剛構造と判断される場合（例えば機器の 1 次固有振動数が 20Hz 以上、あるいは、設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い固有振動数を有する場合）には、その機器の据付位置における建物の応答加速度を基に定まる震度により地震力を算定する。なお、As、A クラスの機器については鉛直地震力をも考慮し、基準地震動の最大加速度を 1/2 とした鉛直震度（高さ方向については一定とする）より求まる鉛直地震力を水平地震力と同時に不利な方向で組合せる。

図 2 J E A G 4 6 0 1 -1987 (抜粋)

3. 実機に対する適用性

J E A G 4 6 0 1 -1987 の記載は、水平方向の動的解析への適用として剛柔判定の固有周期 0.05 秒の考え方を示したものである。新規制基準においては、鉛直方向についても水平方向と同様に動的な扱いとするため、鉛直方向も含め剛柔判定の固有周期 0.05 秒が地震力算定に適用可能であることを検討した。本検討に際して参照した J E A G 4 6 0 1 -1970 の抜粋を図 3 に示す。J E A G 4 6 0 1 -1970 には建物・構築物の卓越固有周期の $1/2$ を剛柔判定の固有周期とするとの考え方が示されており、原子力発電所の建物・構築物の卓越周期は一般に、0.1~0.5 秒(2~10Hz)であることを考慮して、0.05 秒を剛柔判定の固有周期とすれば十分であると記載されている。

女川原子力発電所第 2 号機の原子炉建屋地震応答解析モデルに基づく、水平方向及び鉛直方向における固有周期を表 1 及び表 2 並びに図 4~図 6 に示す。建屋の卓越固有周期は水平方向は 0.2 秒以上、鉛直方向は 0.1 秒以上であり、剛柔判定の固有周期 0.05 秒は、原子炉建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔（卓越固有周期の $1/2$ 以下）をもって設定されている。

加速度応答スペクトルを図 7 に、変位応答スペクトルを図 8 に示す。加速度応答スペクトルでは 0.05 秒未満で一定の加速度値を有するが、変位応答スペクトルにおいては固有周期 0.05 秒で概ね収斂している。

上記の検討結果より、既工認と同じ剛柔判定の固有周期 0.05 秒は、建屋の卓越固有周期に対して十分な離隔をもっており、女川原子力発電所第 2 号機の水平及び鉛直方向の地震力算定に適用可能であることを確認した。

原子力発電所の場合について一般的にみると、地盤の卓越振動数、構築物の固有振動数をあわせ考えて、2～10 Hz が取付け点の卓越振動数域すなわち床応答曲線が持ち上る領域と考えられる。したがって動特性がまったく不明な場合には一応これより共振領域としては1～20 Hz を考えれば一応十分であろう。

そこで固有振動数の評価に当たって重要なことは、対象となっている機械系が固有振動数解析を必要とする範囲にあるか否かを判定することである。明らかに20 Hz よりはるかに高い固有振動数を有すると推定される対象につき、多くの計算を行なう必要はない。その推定は在来の経験であってもよし、対象物あるいはそれと類似な機器についての試験の結果であってもよい。この試験もたとえば簡単に木槌でたたいてみるといったことであってよいのである。ときには、これによって支持金具の不完全さなどを見出すことができる。

図3 J E A G 4 6 0 1 -1970 (抜粋)

表1 原子炉建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果 (水平方向)

次数	NS 方向		EW 方向	
	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
1次	0.237	4.21	0.230	4.36
2次	0.123	8.12	0.125	8.01

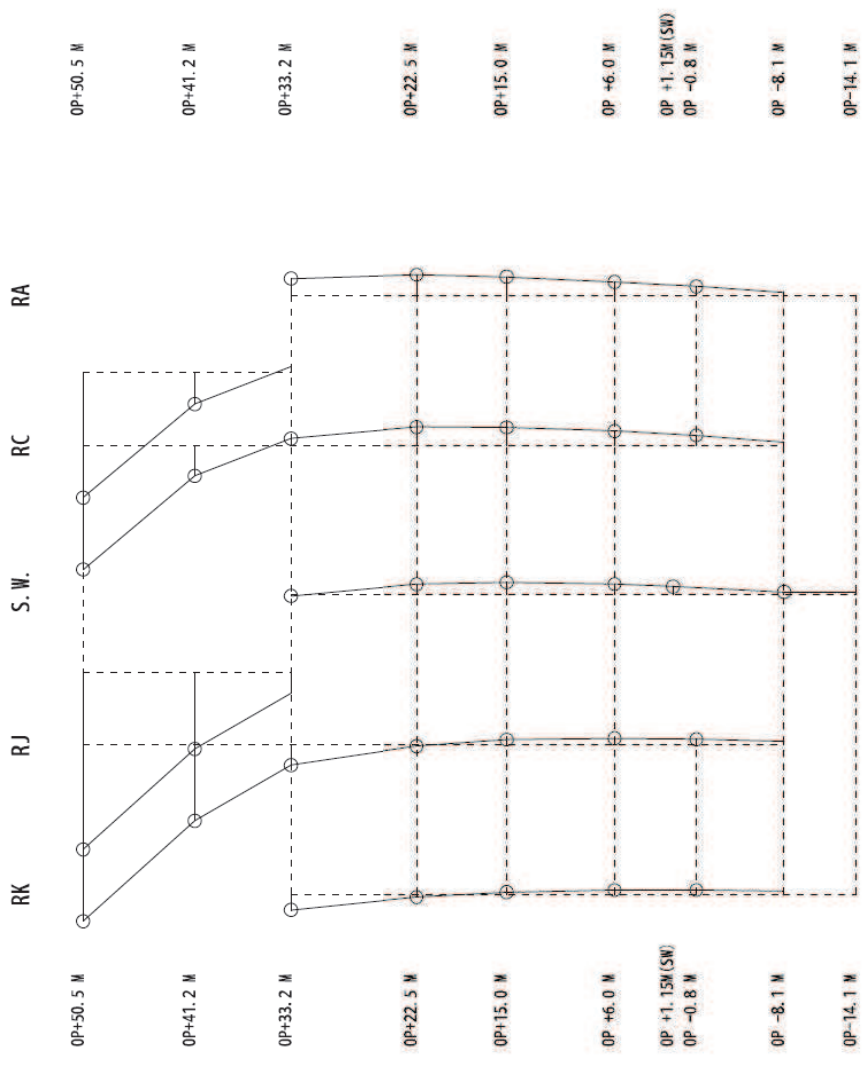
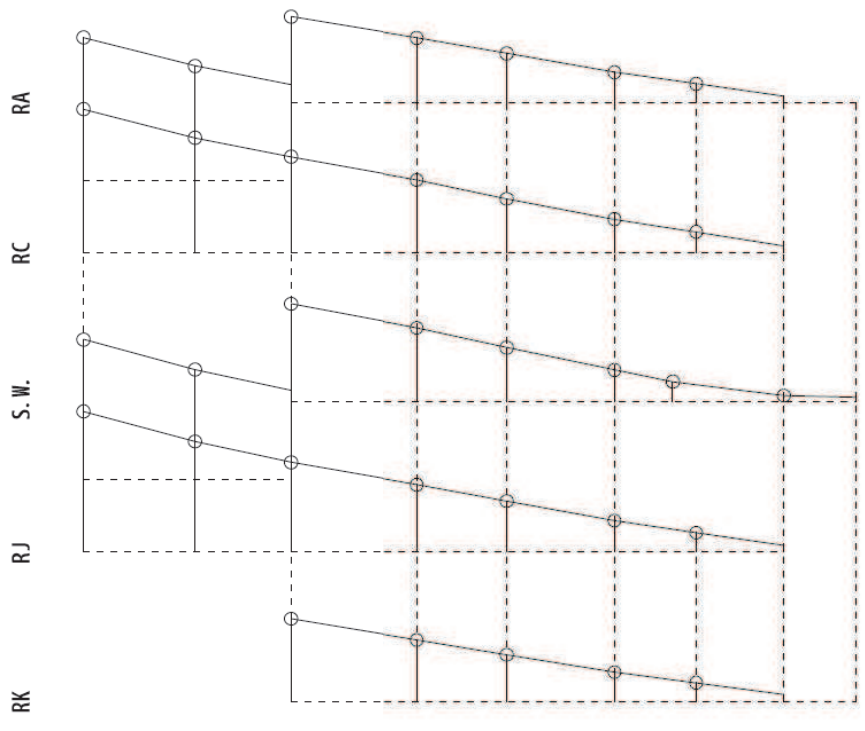
表2 原子炉建屋地震応答解析モデルの固有値解析結果 (鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
2次*	0.100	9.96

※：屋根トラス部が卓越するモード除く

固有周期 0.237 s
固有振動数 4.21 Hz
刺激係数 2.203

固有周期 0.123 s
固有振動数 8.12 Hz
刺激係数 2.718

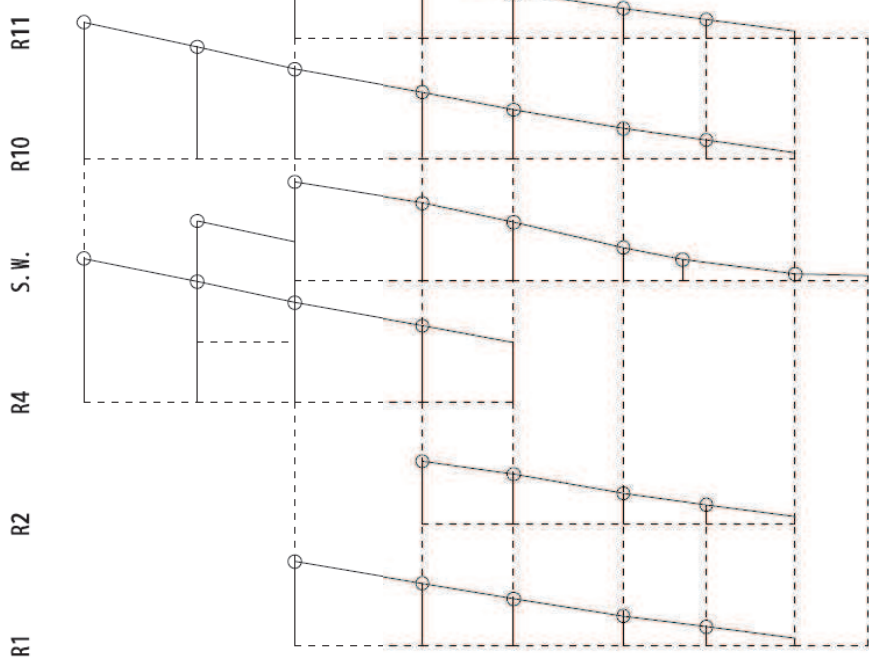


1次モード

2次モード

図4 刺激関数図 (NS 方向)

固有周期 0.230 s
固有振動数 4.36 Hz
刺激係数 2.179



固有周期 0.125 s
固有振動数 8.01 Hz
刺激係数 1.925

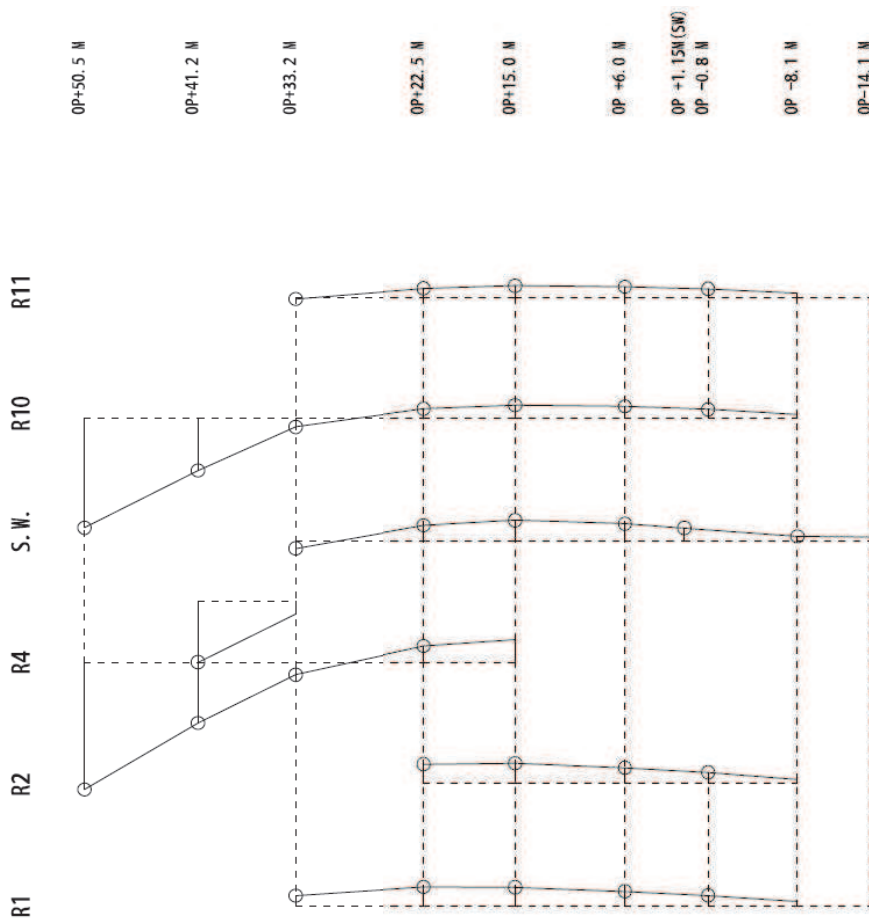
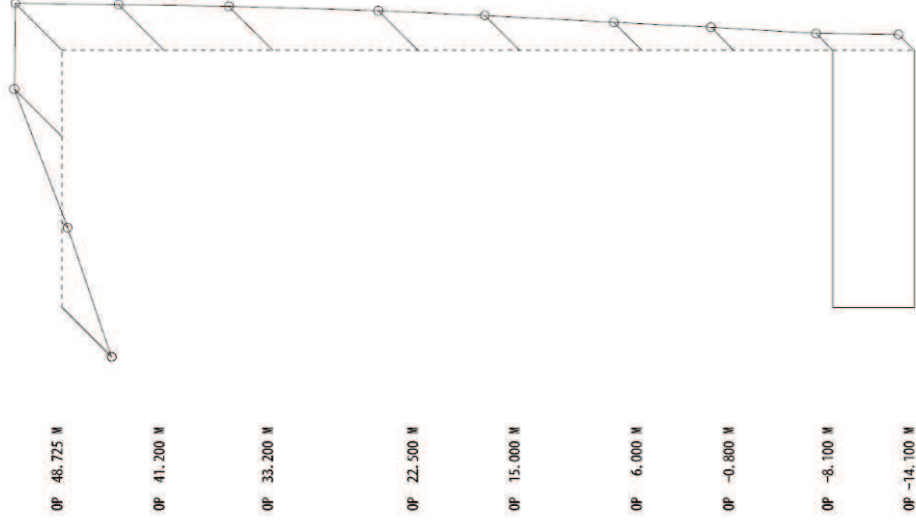


図5 刺激関数図 (EW 方向)

固有周期 0.100 s
 固有振動数 9.96 Hz
 刺激係数 1.586



2次モード

図6 刺激関数図 (鉛直方向)

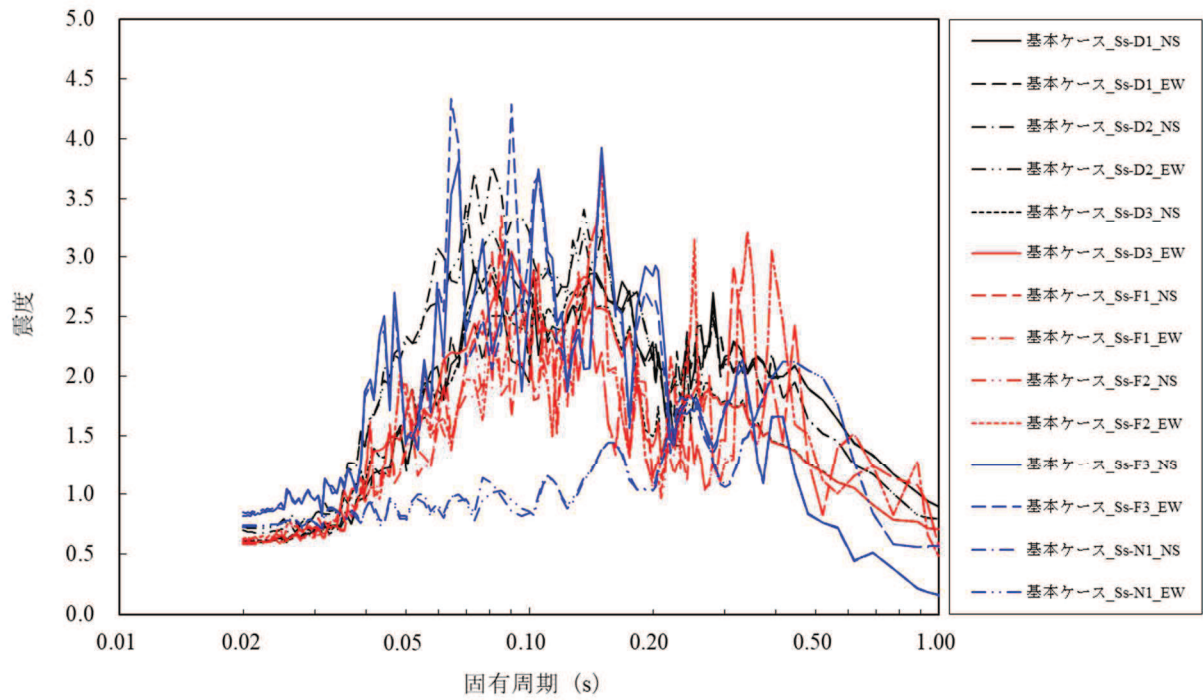


図 7-1 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

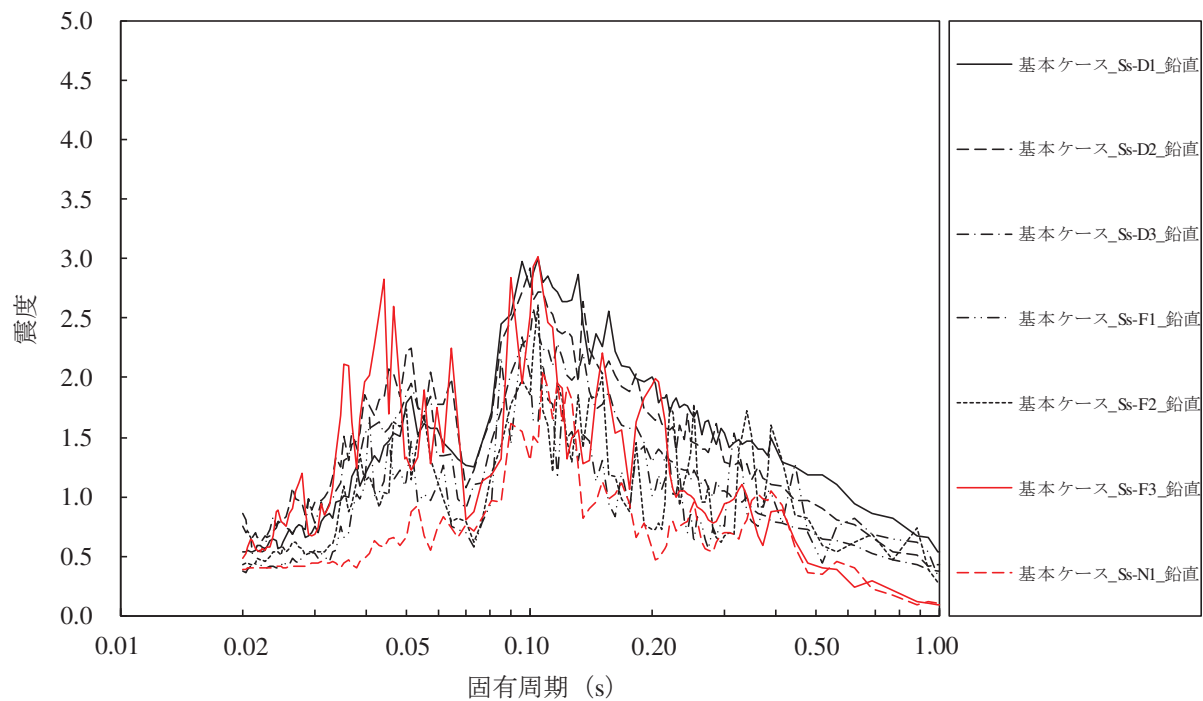


図 7-2 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

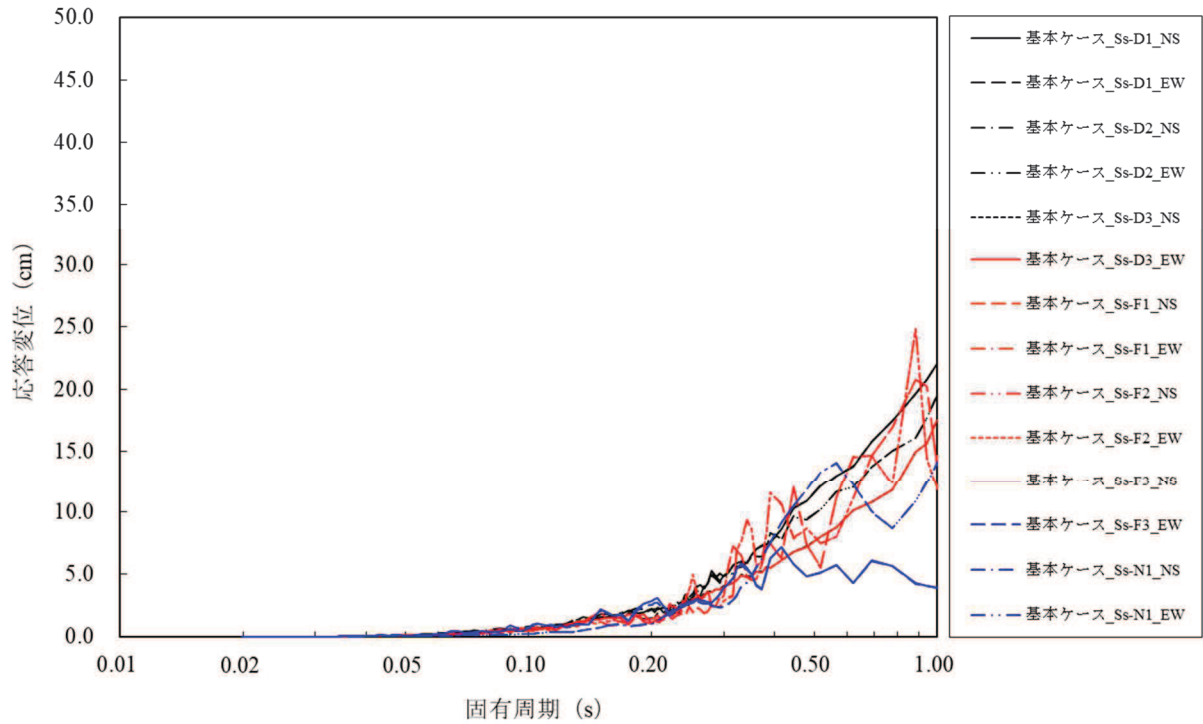


図 8-1 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の変位応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

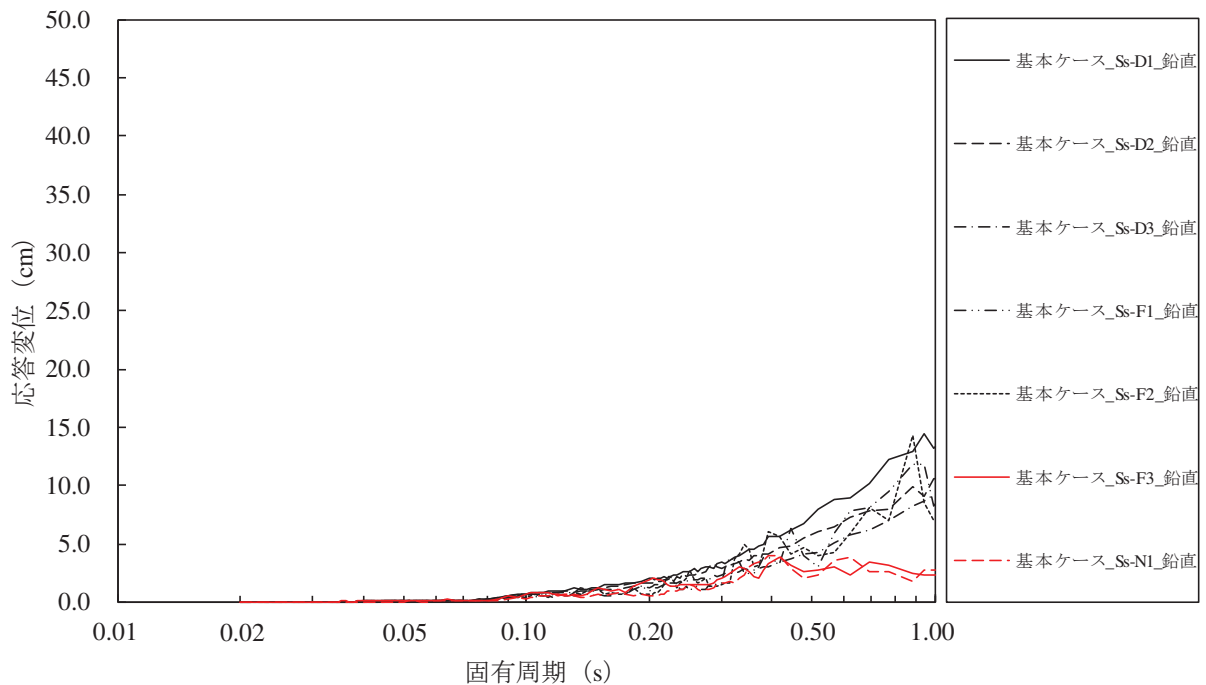


図 8-2 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の変位応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

4. 剛柔判定及び打切り振動数に係る検討

(1) 剛柔判断の閾値を 0.05 秒とすることに関する知見

地震動の高振動数領域においては地震力が短い周期で交番することから地震による変位やエネルギーが小さくなる傾向があり、設備の損傷の観点からは影響は小さいと考えられることから、0.05 秒を剛柔判断の閾値としている。この地震動の高振動数領域が設備の損傷に与える影響は小さいとの考え方は、米国における地震時の点検・再起動等においても取り入れられている。

地震動の 0.1 秒以下の高振動数領域が設備の損傷に与える影響は小さいと考えられている知見を以下に記載する。

- a. J E A G 4 6 0 1 -1987 版で機器が剛構造と判断される場合の例示として、1 次固有振数が 20Hz 以上、あるいは、設計用床応答スペクトルの卓越する領域より高い振動数を有する場合を掲示している。また、J E A G 4 6 0 1 -1970 では、一般的なものとして、2~10Hz が取付け点の卓越振動数域と考えられ、共振領域としては 1~20Hz を考えれば十分であろうとしている。

J E A G 4 6 0 1 -1987 における剛柔判断の固有振動数 20Hz 以上の考え方は、水平方向の動的解析への適用として示したものであるが、鉛直方向においても J E A G 4 6 0 1 -1970 の考え方にに基づき、原子炉建屋の卓越固有周期が剛柔判断の固有周期 0.05 秒に対して、十分な離隔を有することを確認している。また、構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトルにおける 0.1 秒での応答について概ね収斂していることを確認している。

- b. 過去に、観測された地震動が 0.1 秒以下の周期領域のみで設計時の想定を超えた原子力発電所では被害の発生が無い。

【周期 0.1 秒以下で設計時の想定を超える地震動が観測された原子力発電所】

女川原子力発電所（2005 年宮城県沖地震，平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震）

米国 Perry 原子力発電所（1986 年 Leroy 地震）※

米国 Summer 原子力発電所（1978 年小規模地震多数）※

※出典：EPRI 1988.7 A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake

- c. 気象庁の震度階：近地地震などでは短周期成分が多く含まれており、日本では経験的に地振動と破壊の状態との関係を震度で示している。気象庁震度階の元となっている計測震度では、周期 0.1 秒よりも短周期側の地震動成分をフィルタでカットしている。

- d. 米国の規格： 地震後の対応に関する米国の規格：Nuclear Plant Response to an Earthquake (ANSI/ANS-2.23-2002) では、観測された地震が設計用の地震動を超えたか否かの判定 (OBE Exceedance Criteria) で、応答スペクトルで 0.1 秒以下の周期帯について考慮外としている。本規格では、CAV (Cumulative Absolute Velocity) という指標を導入して観測された地震動の有効性 (構造物の破壊に対する影響度) を判定している。

原波形と 0.1 秒のフィルタを掛けた波形について各々 CAV を算出し、その比を地震による影響の程度を示す震度 (米国では修正メルカリ震度を使用している) に対してプロットすると、破損が生じるといわれる修正メルカリ震度 VII 程度以上で安定し、0.1 秒のフィルタを掛けた波形が破損との関係をより良く表している。

- e. 米国電力研究所の調査※： 10Hz を超える振動数領域における高加速度振動による設備の影響について調査を行い、一部の設備を除き影響は無視できると結論付けている。

固有振動数が低い設備は高振動数領域の加速度には影響を受けず、また、固有振動数が高い設備についても、高振動数領域における加速度では変位や応力が小さくなるため、高振動数領域で SSE (Safety Shutdown Earthquake) を超える地震動に見舞われた米国内の発電所 (上記 b. の発電所) において、設備に影響が無かったことも紹介されている。

※出典： EPRI 2006.12 Program on Criterion Technology Innovation: The Effects of High-Frequency Ground Motion on Structures, Components, and Equipment in Nuclear Power Plants

- f. 建築構造学大系振動理論： 振動理論 (大崎著) によると、速度応答スペクトルに関して系に与える最大のエネルギーと密接な関係があると述べられている。最大相対変位に角振動数を乗じたものが速度応答スペクトルとなるため、単位質量あたりの最大エネルギーは、速度応答スペクトルで表すことができる。よって、速度応答スペクトルは構造物に対して固有周期に応じて与える一種のエネルギースペクトルであると解釈することが出来る。

なお、b. ～d. についての情報は、一般社団法人日本原子力技術協会 (現一般社団法人原子力安全推進協会) 地震後の機器健全性評価ガイドライン (平成 24 年 3 月) にまとめて記述されている。

<http://www.gengikyo.jp/archive/pdf/JANTI-SANE-G1.pdf>

(2) 変位応答スペクトルを踏まえた剛柔判定の検討

女川原子力発電所第2号機の原子炉压力容器（O.P. 28.600m）における基準地震動 S_s による加速度応答スペクトルを図9に示す。また、同様に変位応答スペクトルを図10に示す。

加速度応答スペクトルでは0.05秒未満で一定の加速度値を有するが、構造強度の評価に直接かかわる変位応答スペクトル*の卓越周期に対し、剛柔判定の固有周期0.05秒は、十分な離隔をもって設定されていることが分かる。

*： 機器・配管系の動的解析に適用されるスペクトルモーダル解析（J E A G 4 6 0 1 -1987 P565, 567）では、加速度応答スペクトルから各モードに対応する応答変位を求め、この応答変位に剛性を乗じて部材力（曲げモーメント、せん断力等）を算出している。

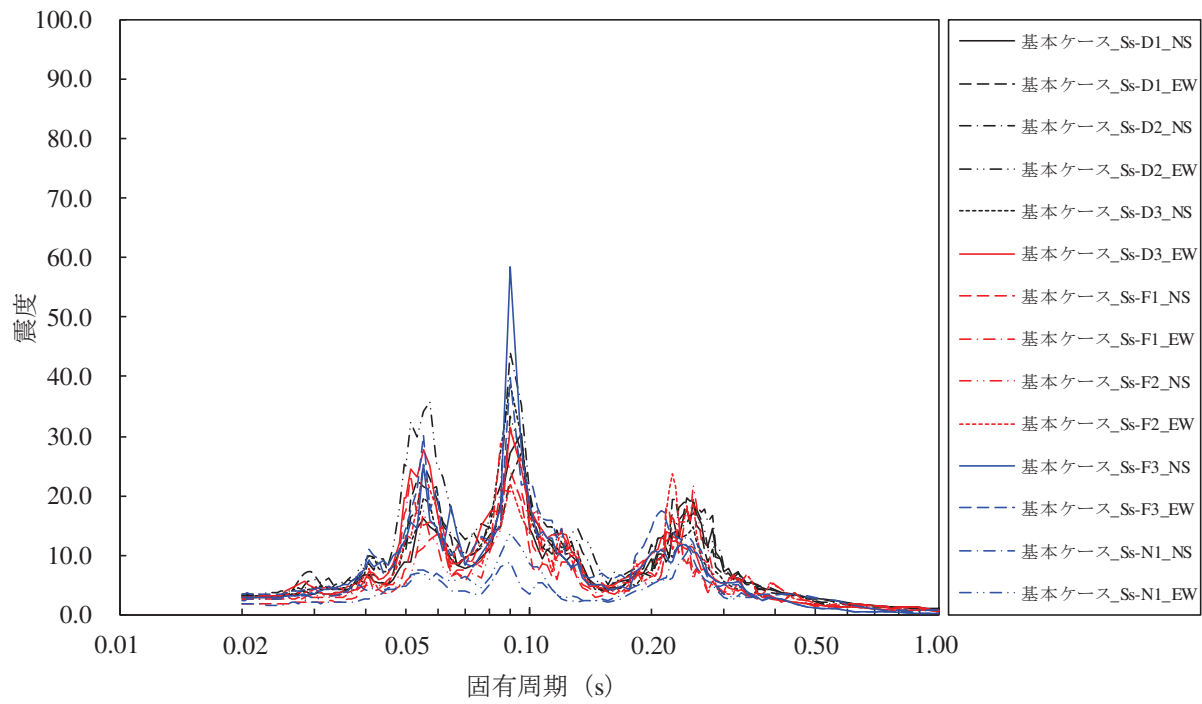


図 9-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

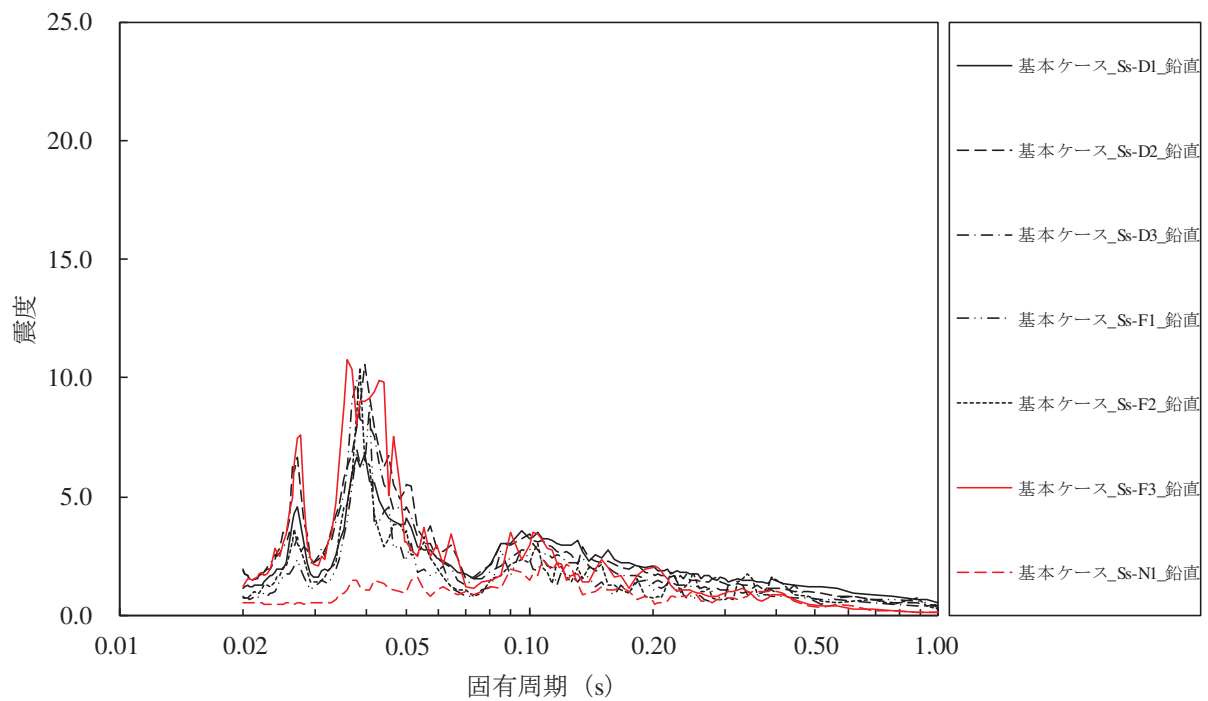


図 9-2 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

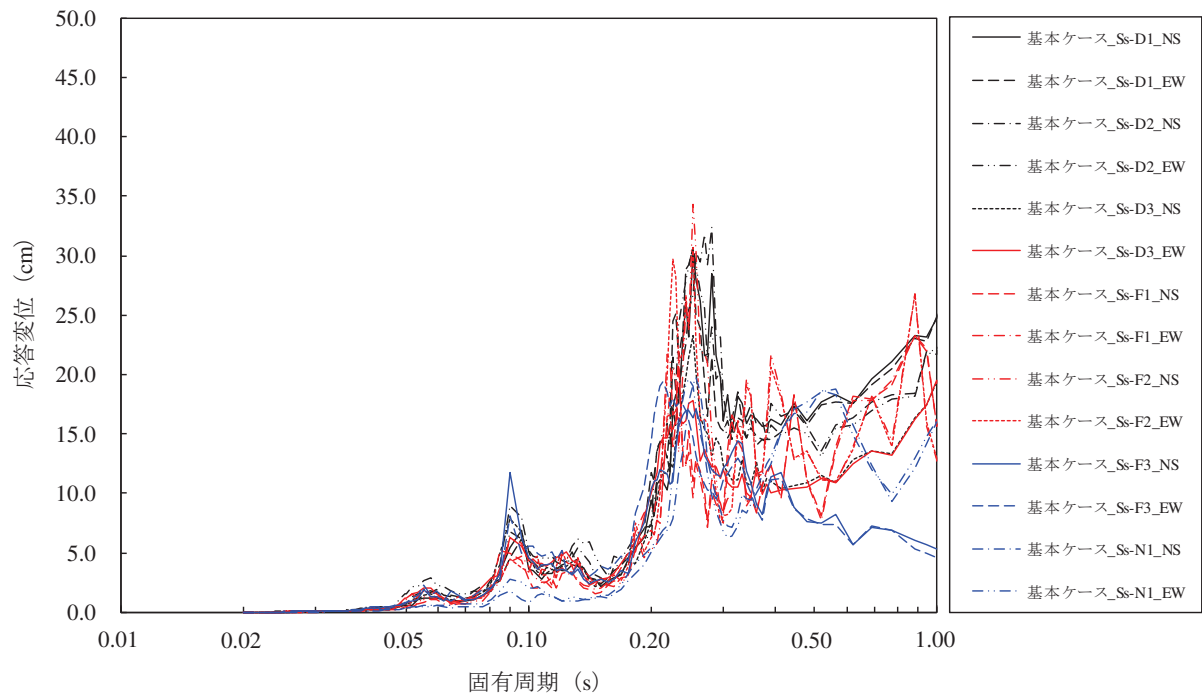


図 10-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の変位応答ペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%)

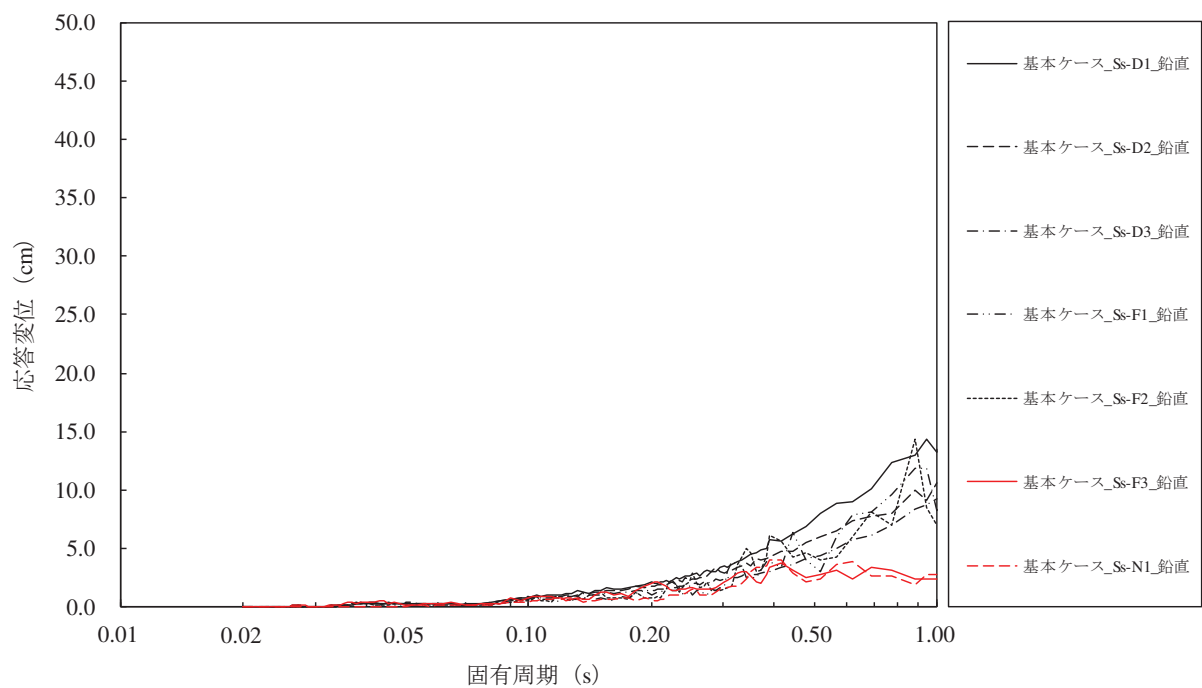


図 10-2 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の変位応答ペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%)

(3) 動的解析法の妥当性確認

本項では現行の動的解析法が、構造強度設計を行う上で妥当であること、すなわち、変位応答スペクトルをベースに設定した剛柔判定の固有周期が耐震設計を行う上で妥当性を有していることを確認する。なお、弁の動的機能維持評価に適用する加速度値の算定方法については、「補足-600-14-2 弁の動的機能維持評価について」に示す。

a. 検討対象設備

検討対象設備は、20Hz 近傍に卓越する応答に対する検討を行う観点から 20Hz 近傍に卓越する応答を有する設計用床応答曲線を適用する設備を選定する。また、設計用床応答曲線を 20Hz までを使用していることを踏まえて、1 次固有振動数が 20Hz 近傍に有する設備を選定する。

(a) 20Hz 近傍に卓越する応答を有する設計用床応答曲線を適用する設備

耐震評価対象設備が最も多い原子炉建屋及び原子炉圧力容器等の大型機器類を代表として、以下の地震応答について確認した。加速度応答スペクトルを添付図 1~4、最大応答加速度 (1.2ZPA) を添付表 1, 2 に示す。

- ・原子炉建屋
- ・原子炉圧力容器
- ・原子炉格納容器
- ・原子炉しゃへい壁
- ・原子炉本体の基礎

添付図 1~4 より、水平及び鉛直方向ともに高振動数領域 (50Hz) へ向かうにつれて加速度値は低下傾向にあるものの、20Hz 近傍で応答が卓越している質点が複数あることが分かる。

そこで、各加速度応答スペクトルの結果から、20Hz 近傍で最も加速度値が大きい原子炉圧力容器 O. P. 28. 600 (水平方向) 及び原子炉しゃへい壁 O. P. 21. 550 (鉛直方向) の設計用床応答曲線を適用するもののうち、一次応力の裕度が最も小さい残留熱除去系配管 (モデル No. RHR-004, No. RHR-005) を対象として検討する。

なお、原子炉圧力容器 (水平方向) 及び原子炉しゃへい壁 (鉛直方向) の設計用床応答曲線を適用し耐震評価を実施する設備を表 3 に示す。

表3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (1/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	一次固有周期 (s)
主蒸気系配管 (MS-001)		
主蒸気系配管 (MS-002)		
主蒸気系配管 (MS-003)		
主蒸気系配管 (MS-004)		
原子炉再循環系配管 (PLR-001)		
原子炉再循環系配管 (PLR-002)		
復水給水系配管 (FDW-001)		
残留熱除去系配管 (RHR-001)		
残留熱除去系配管 (RHR-002)		
残留熱除去系配管 (RHR-003)		
残留熱除去系配管 (RHR-004)		
残留熱除去系配管 (RHR-005)		
高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-001)		
低圧炉心スプレイ系配管 (LPCS-001)		
原子炉冷却材浄化系配管 (CUW-001)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (2/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	一次固有周期 (s)
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-004-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-005-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-006-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-2)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-003-3)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-017-3)		
放射性ドレン移送系配管 (RD-001)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表3 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (3/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	一次固有周期 (s)
放射性ドレン移送系配管 (RD-002)		
ほう酸水注入系配管 (SLC-003)		
ほう酸水注入系配管 (SLC-004)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-01A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-02A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-03A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-04A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-05A)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-06A)		

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 原子炉圧力容器等の設計用床応答曲線を適用する設備 (4/4)

設備名称 (モデル No.)	評価に適用する設計用 床応答曲線の作成位置	一次固有周期 (s)
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN1014)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN1033)		
高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN2033)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 1次固有振動数が20Hz近傍に有する設備

20Hz近傍に1次固有振動数を有する設備を選定する。20Hz近傍に1次固有振動数を有する配管系として、1次として□(Hz)、2次として□(Hz)の振動モードを有する制御棒駆動水圧系配管(モデルNo. CRD-007-3)を選定する。なお、CRD-007-3は原子炉格納容器内に設置された配管系であり、原子炉本体の基礎 O.P. 4.950~7.040 と制御棒駆動機構ハウジング O.P. 3.258 の設計用床応答を適用する設備となっている。

b. 確認方法

図11に検討における地震応答解析で考慮する固有振動数領域を示す。本検討は、50Hzの領域まで作成した検討用の床応答曲線を適用した地震応答解析結果を用いて行う。

また、従来の耐震設計で適用している20Hzまでの領域を考慮した地震応答解析結果と比較する。

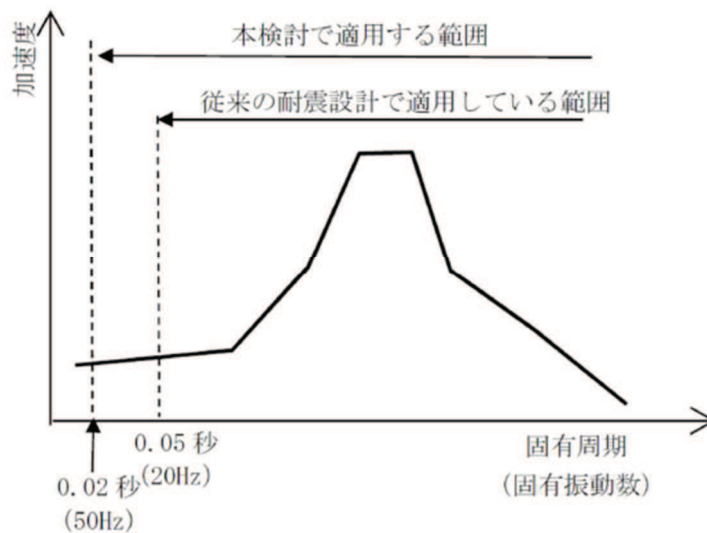


図11 地震応答解析で考慮する固有振動数領域

c. 検討用床応答曲線

地震応答解析に適用する検討用床応答曲線を図12~図13に示す。剛領域の設備応答の影響を確認する観点から、固有周期0.02秒(50Hz)まで作成するとともに、設計用床応答曲線と同様に基本ケースについては周期軸方向に10%拡幅する。また、検討用床応答曲線の固有周期の計算間隔は、表4に示す計算間隔を用いる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

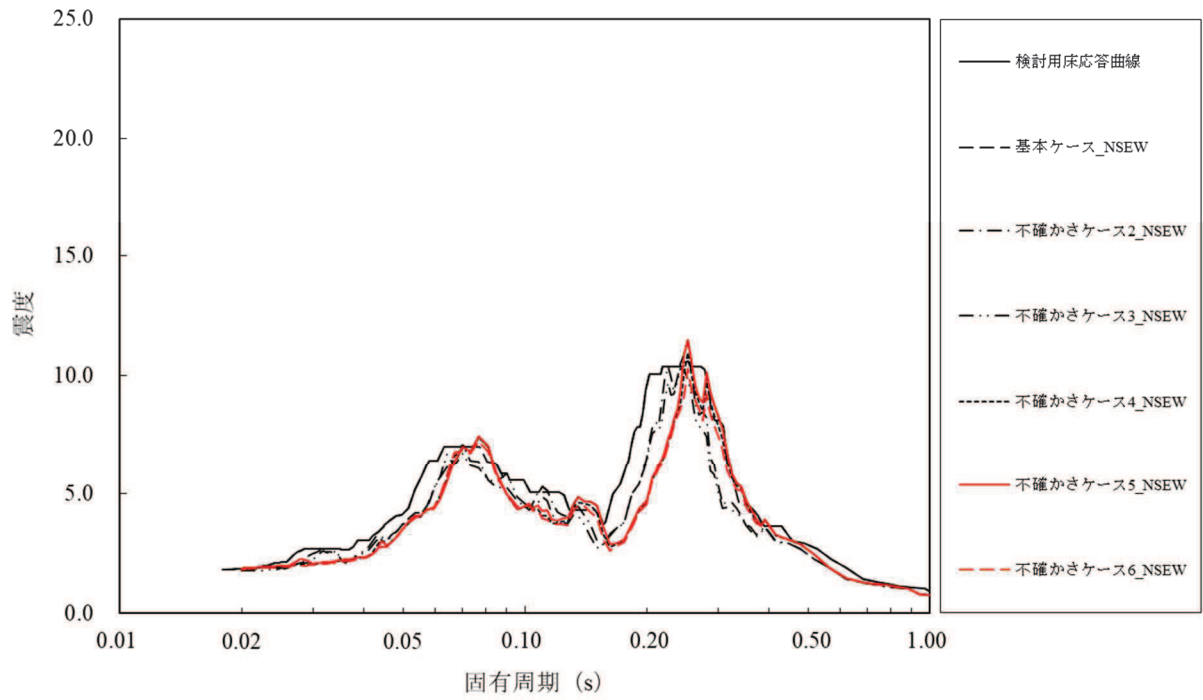


図 12-1 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（O.P. 22.500m，水平方向，減衰定数 2.5%）

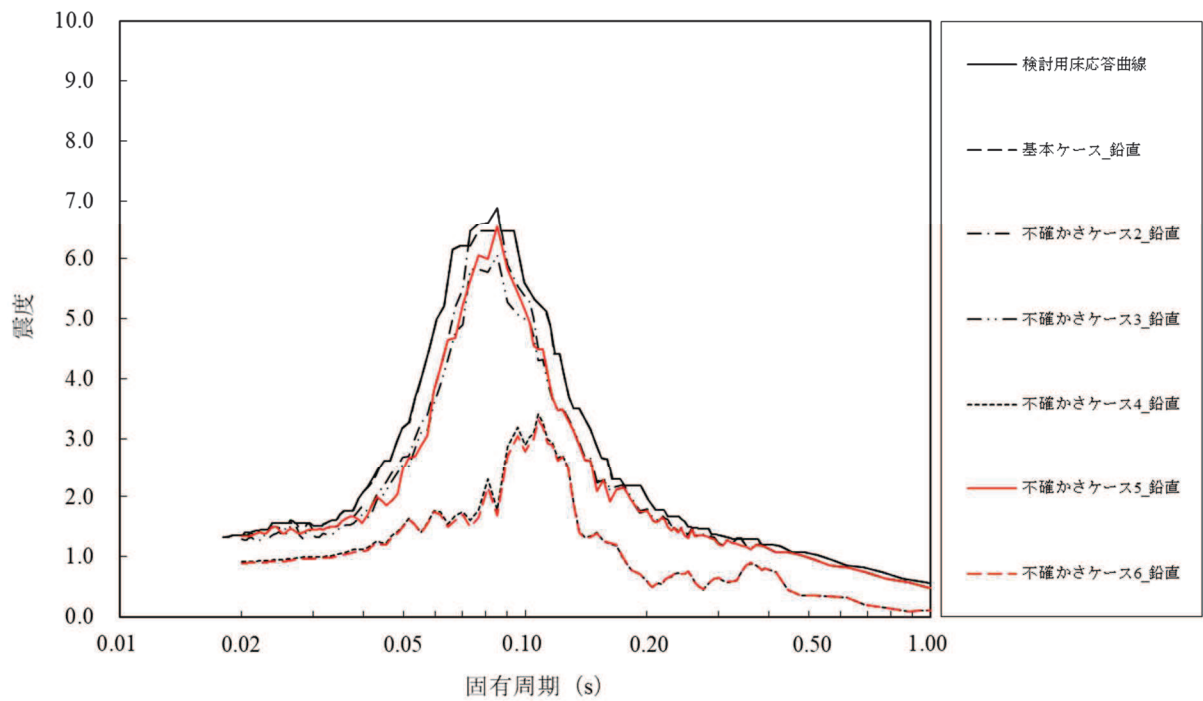


図 12-2 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（O.P. 22.500m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

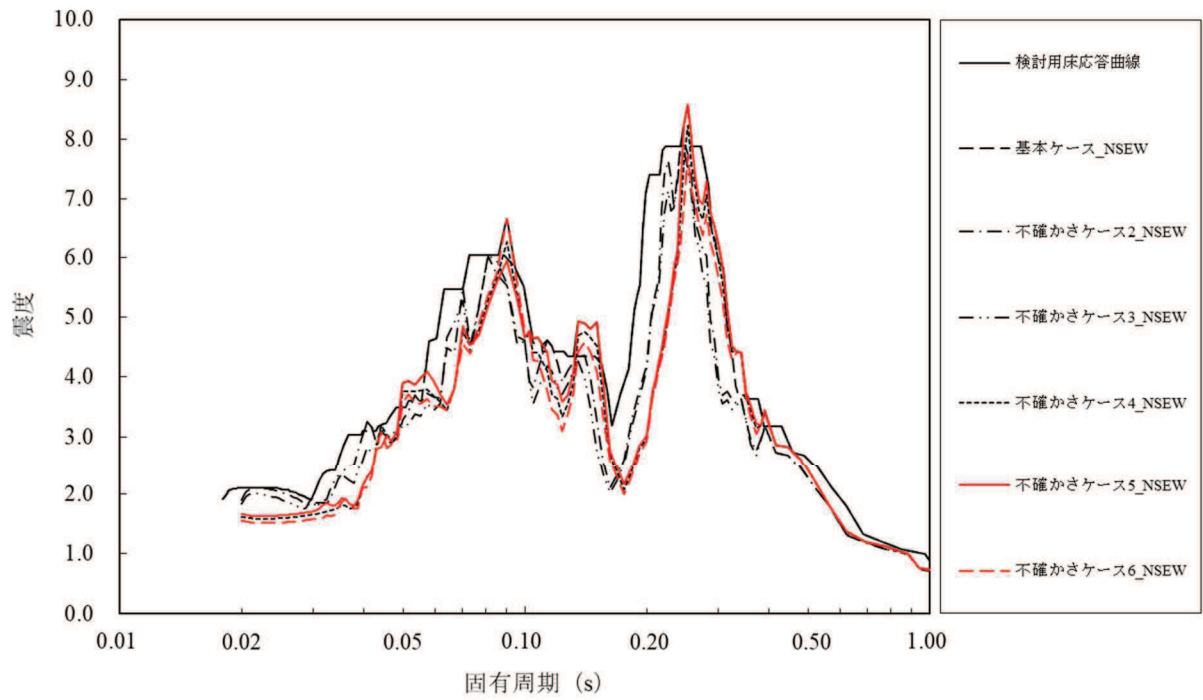


図 12-3 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（O.P. 15.000m，水平方向，減衰定数 2.5%）

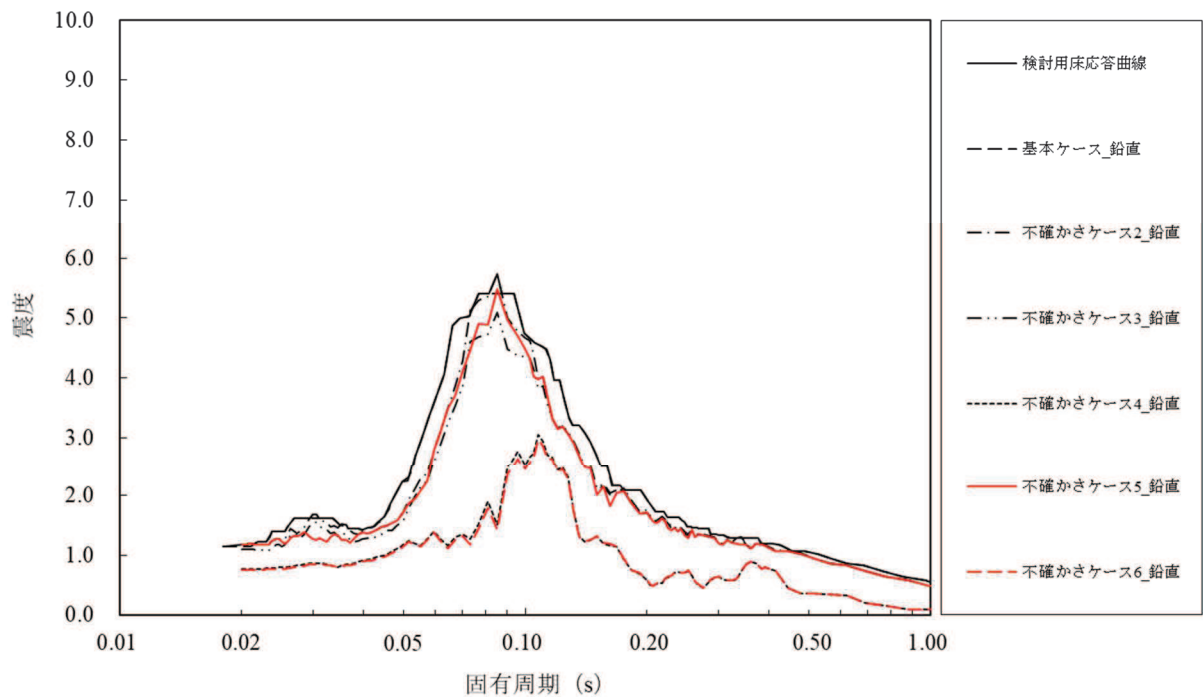


図 12-4 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉建屋（O.P. 15.000m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

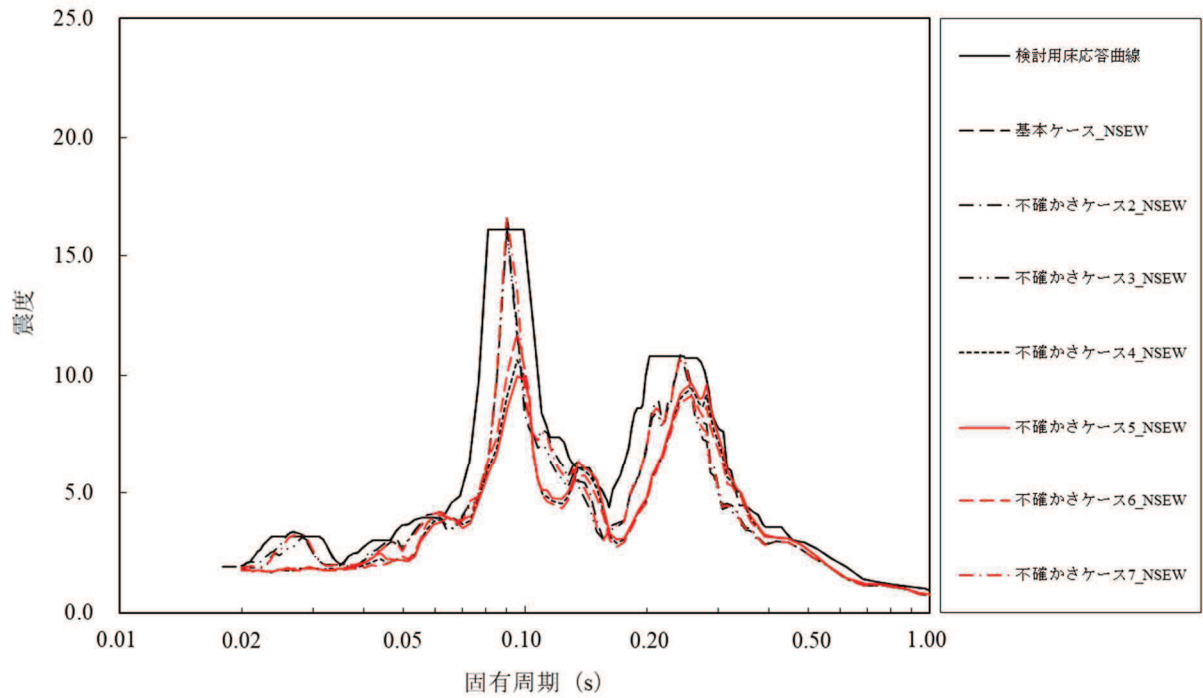


図 12-5 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（O.P. 21.550m，水平方向，減衰定数 2.5%）

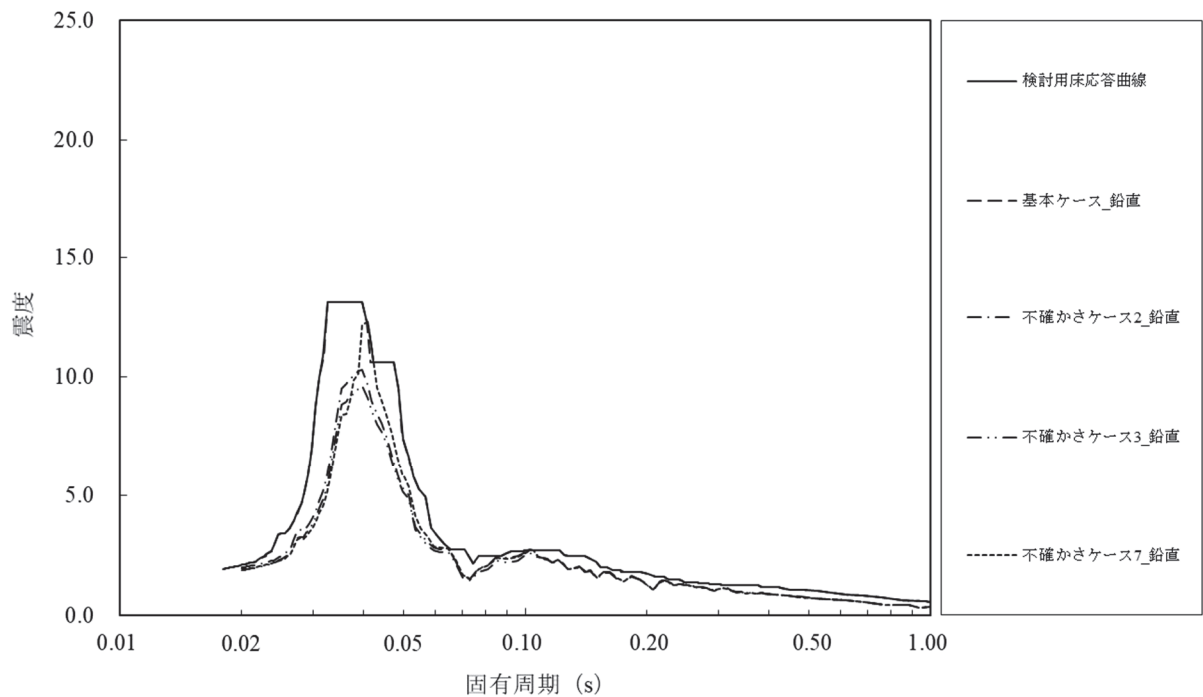


図 12-6 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（O.P. 21.550m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

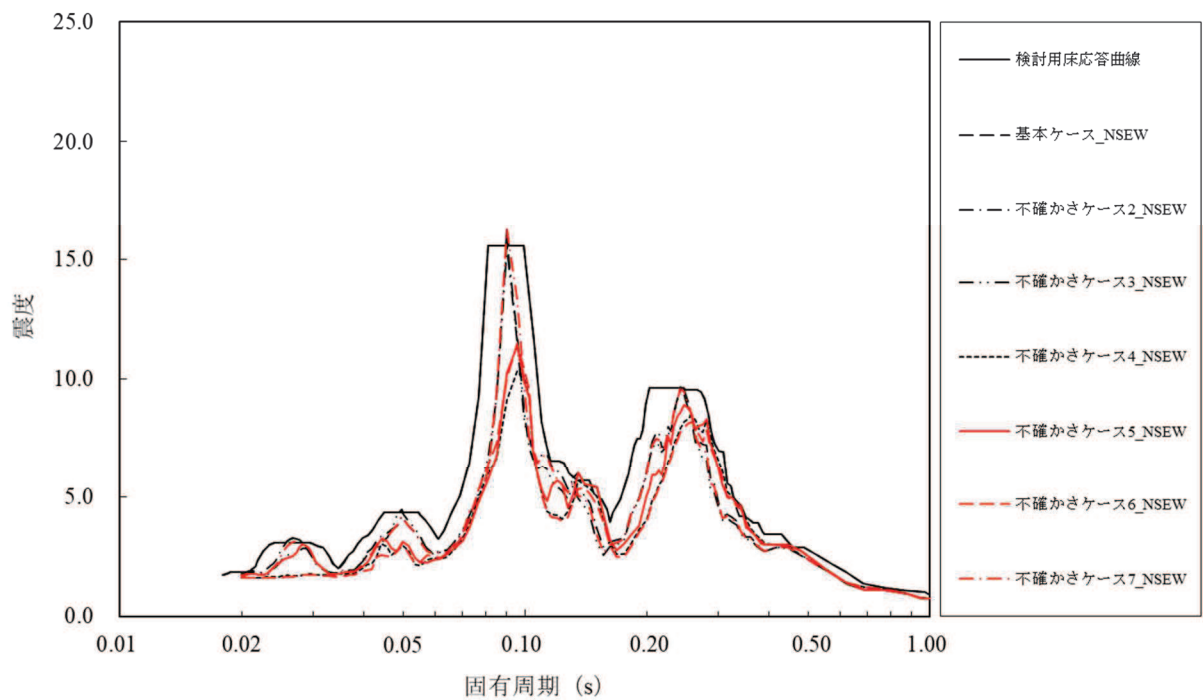


図 12-7 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（O.P. 18.790m，水平方向，減衰定数 2.5%）

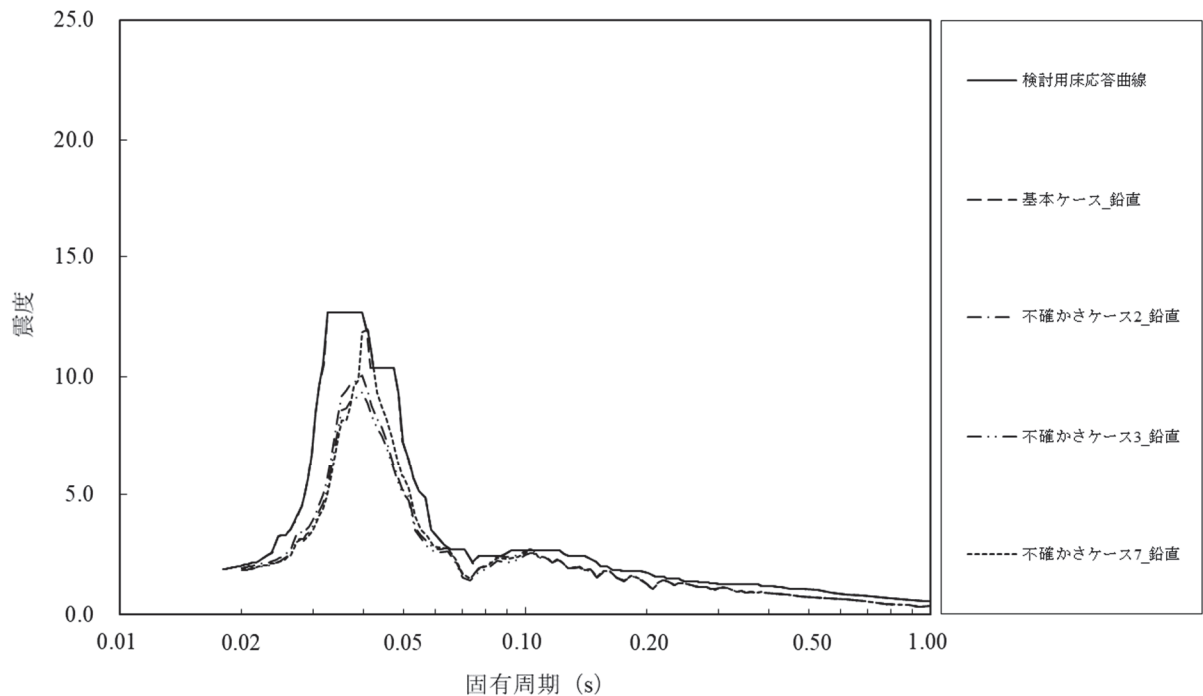


図 12-8 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（O.P. 18.790m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

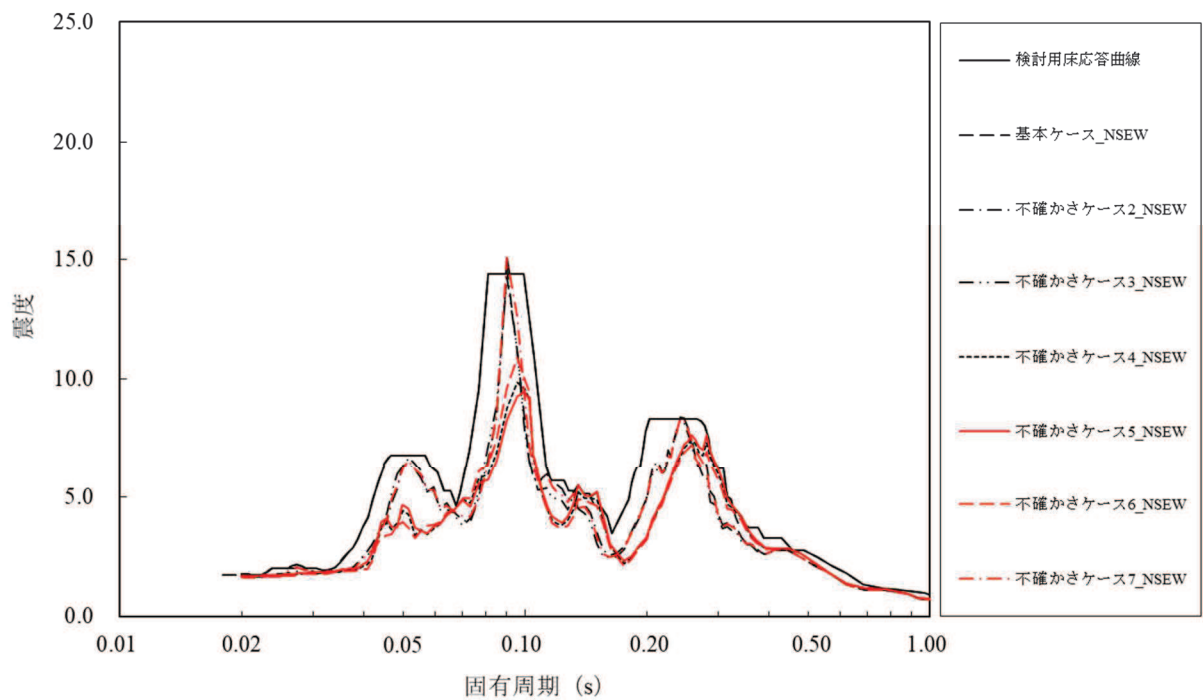


図 12-9 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（O.P. 15.950m，水平方向，減衰定数 2.5%）

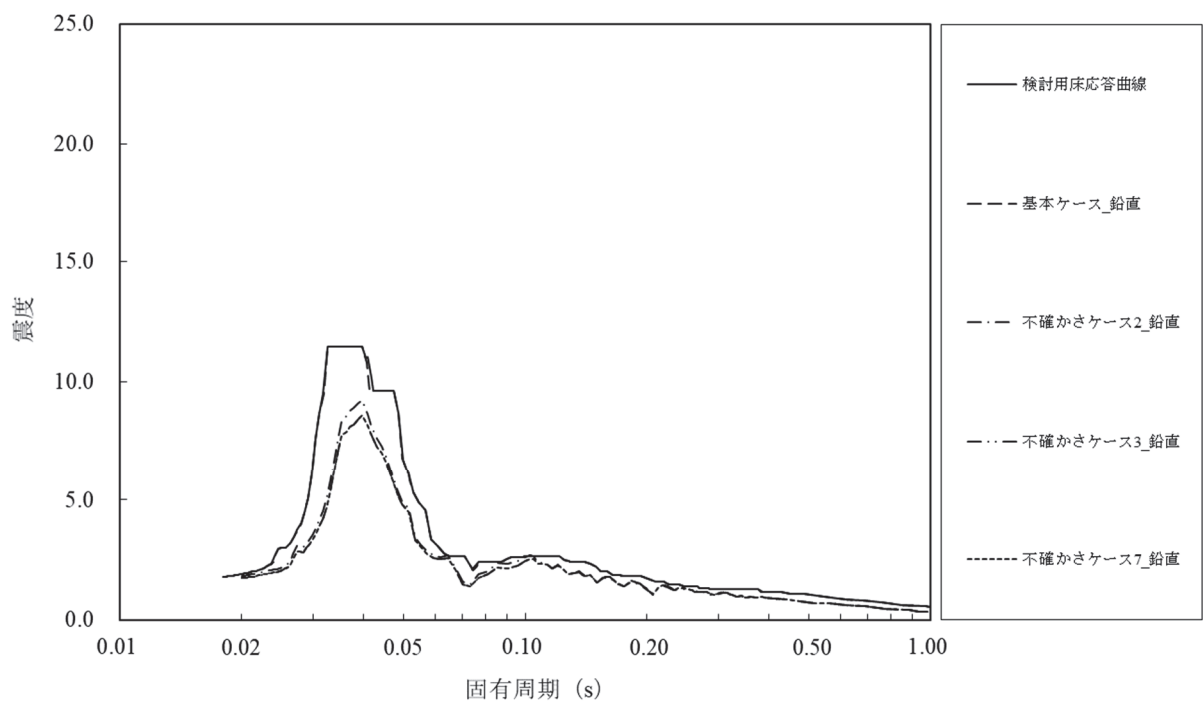


図 12-10 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004）
原子炉しゃへい壁（O.P. 15.950m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

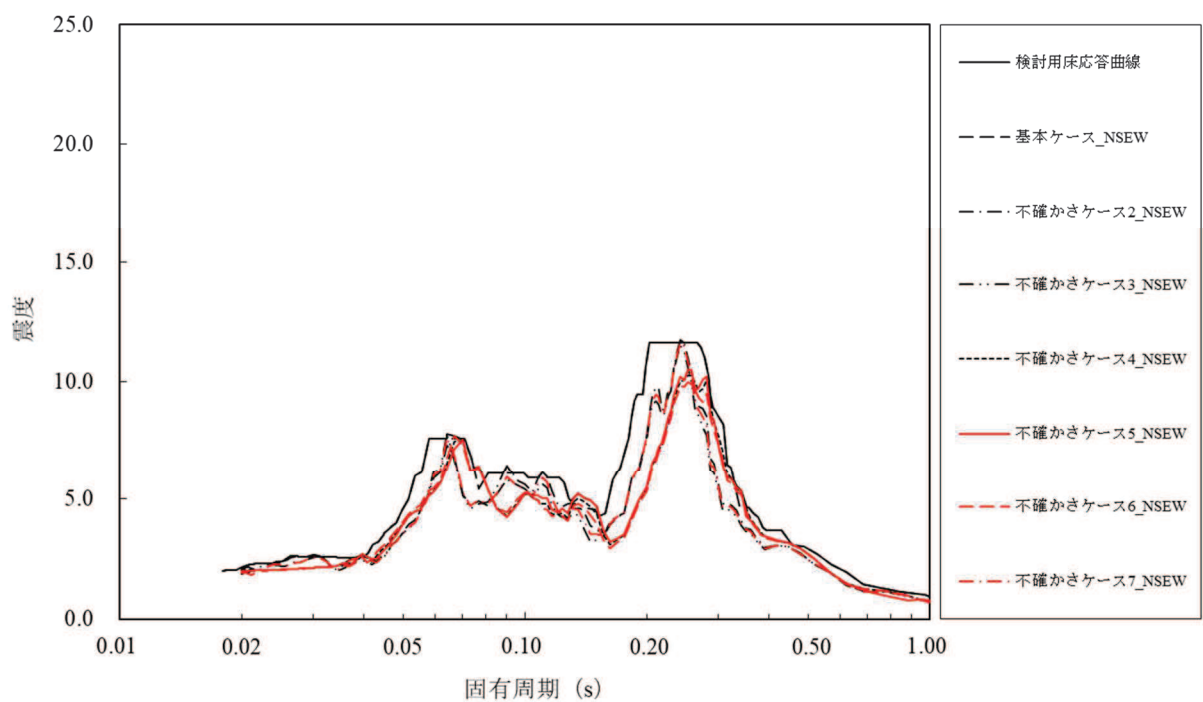


図 12-11 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004，RHR-005）
原子炉格納容器（O.P. 25.858m，水平方向，減衰定数 2.5%）

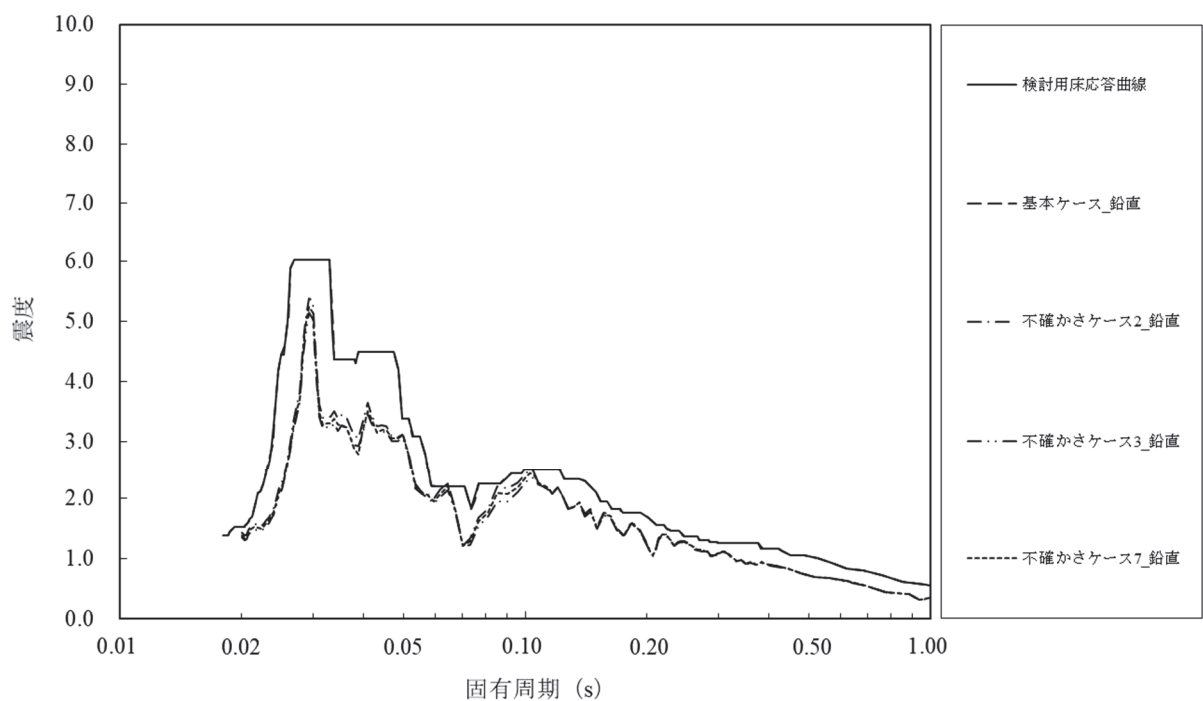


図 12-12 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-004，RHR-005）
原子炉格納容器（O.P. 25.858m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

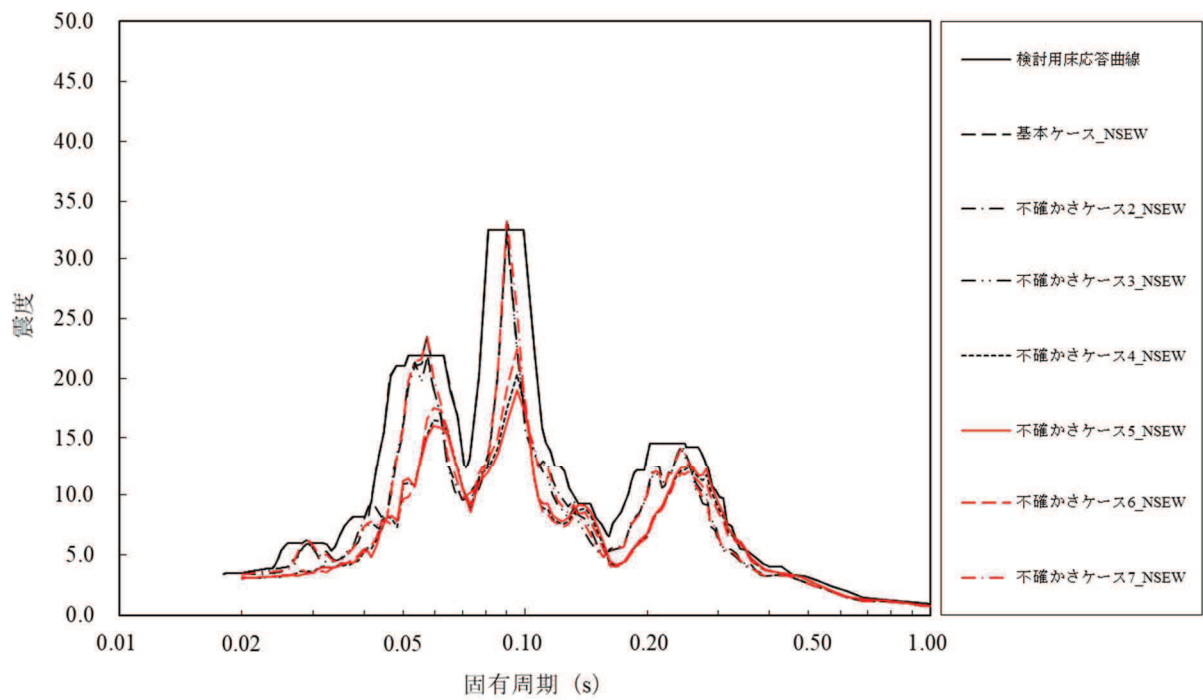


図 12-13 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-005）
原子炉压力容器（O.P. 28.600m，水平方向，減衰定数 2.5%）

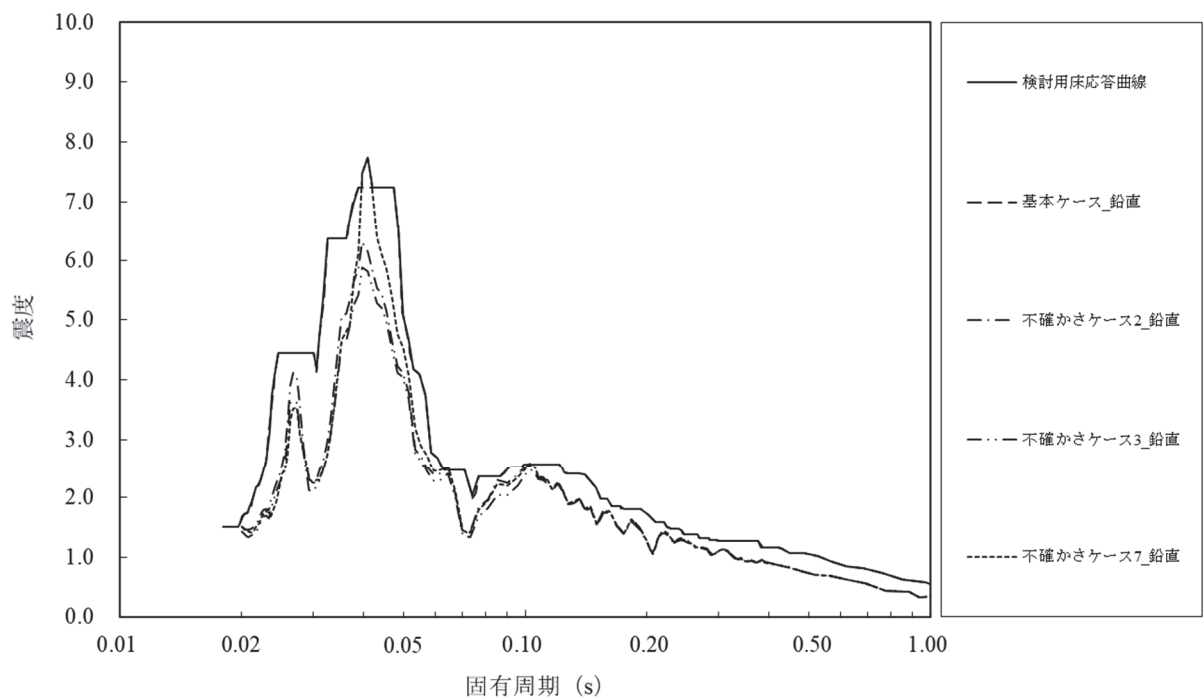


図 12-14 検討用床応答曲線（残留熱除去系配管用，RHR-005）
原子炉压力容器（O.P. 28.600m，鉛直方向，減衰定数 2.5%）

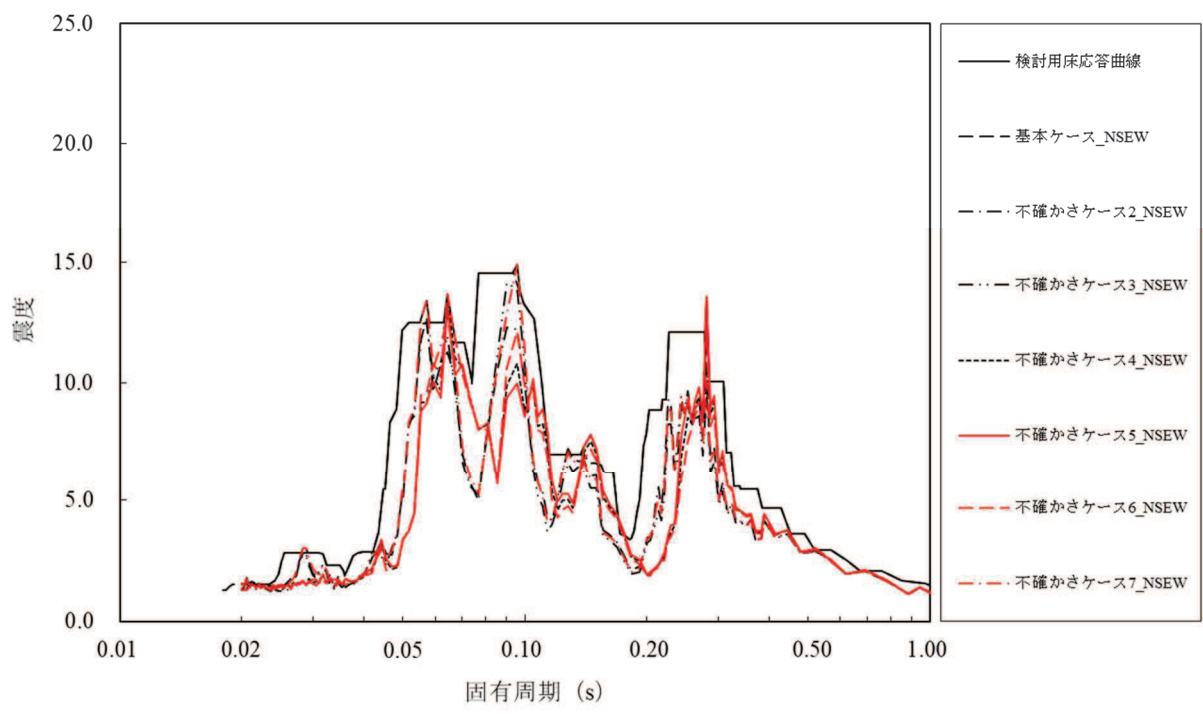


図 13-1 検討用床応答曲線 (制御棒駆動水圧系配管用, CRD-007-3)
 原子炉本体の基礎 (O.P. 7.040m, 水平方向, 減衰定数 0.5%)

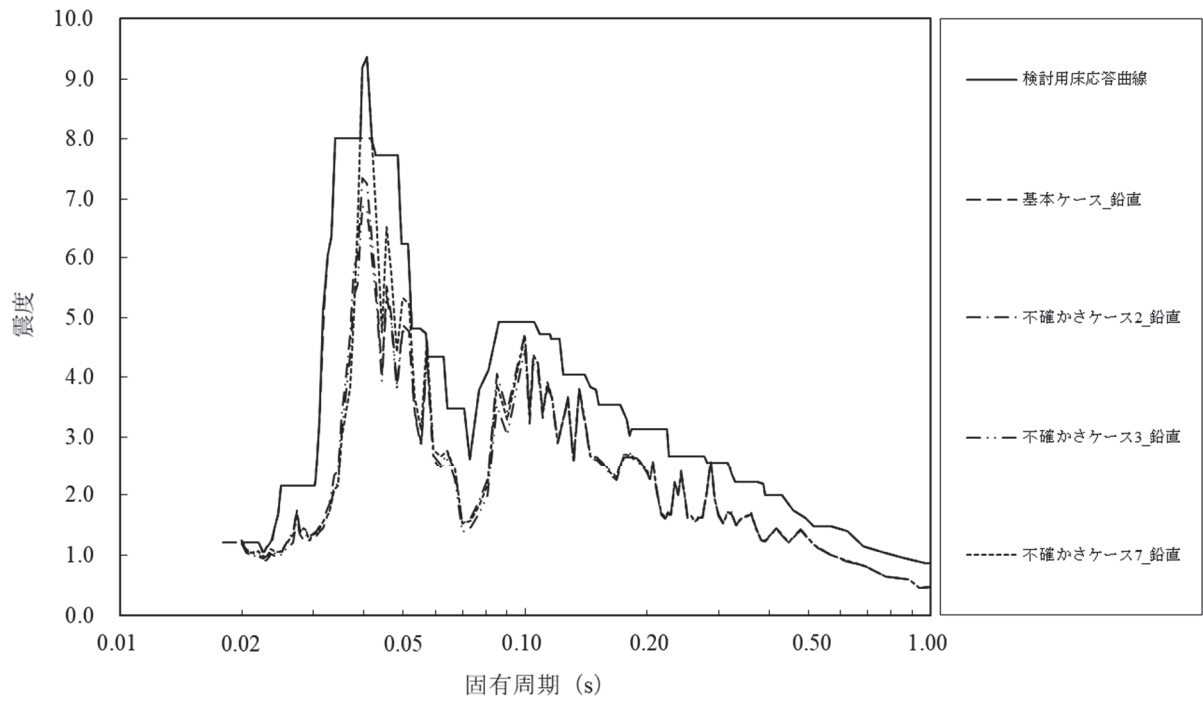


図 13-2 検討用床応答曲線 (制御棒駆動水圧系配管用, CRD-007-3)
 原子炉本体の基礎 (O.P. 7.040m, 鉛直方向, 減衰定数 0.5%)

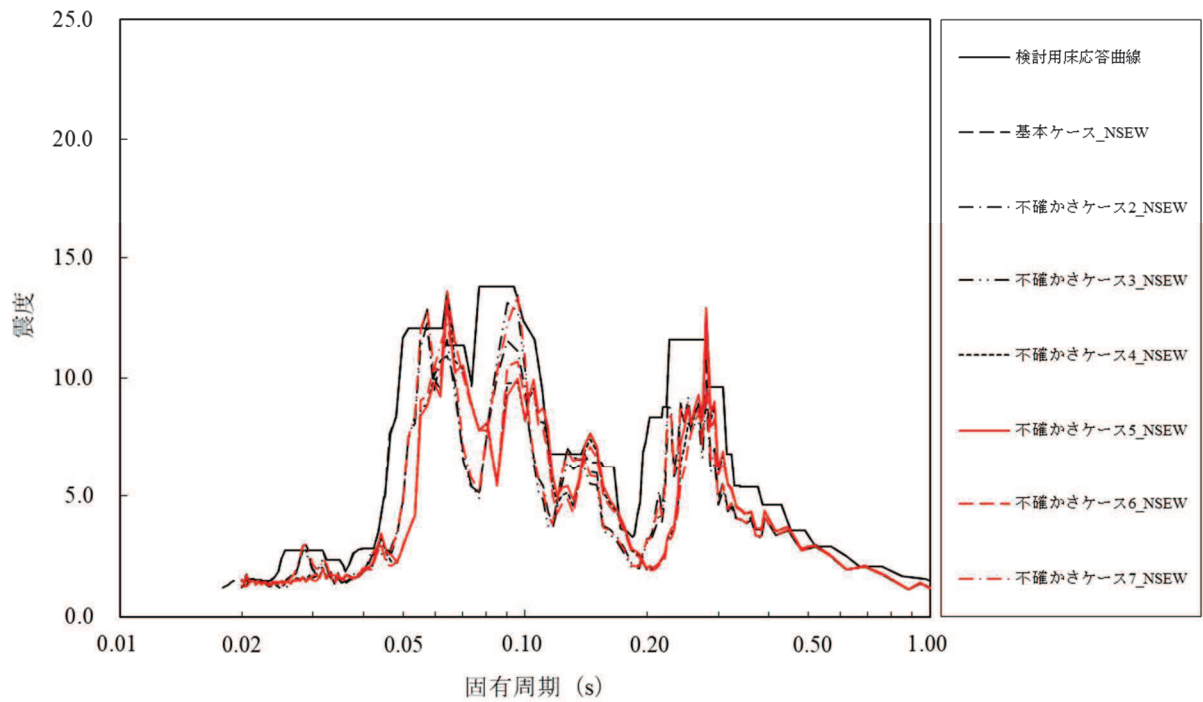


図 13-3 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m，水平方向，減衰定数 0.5%）

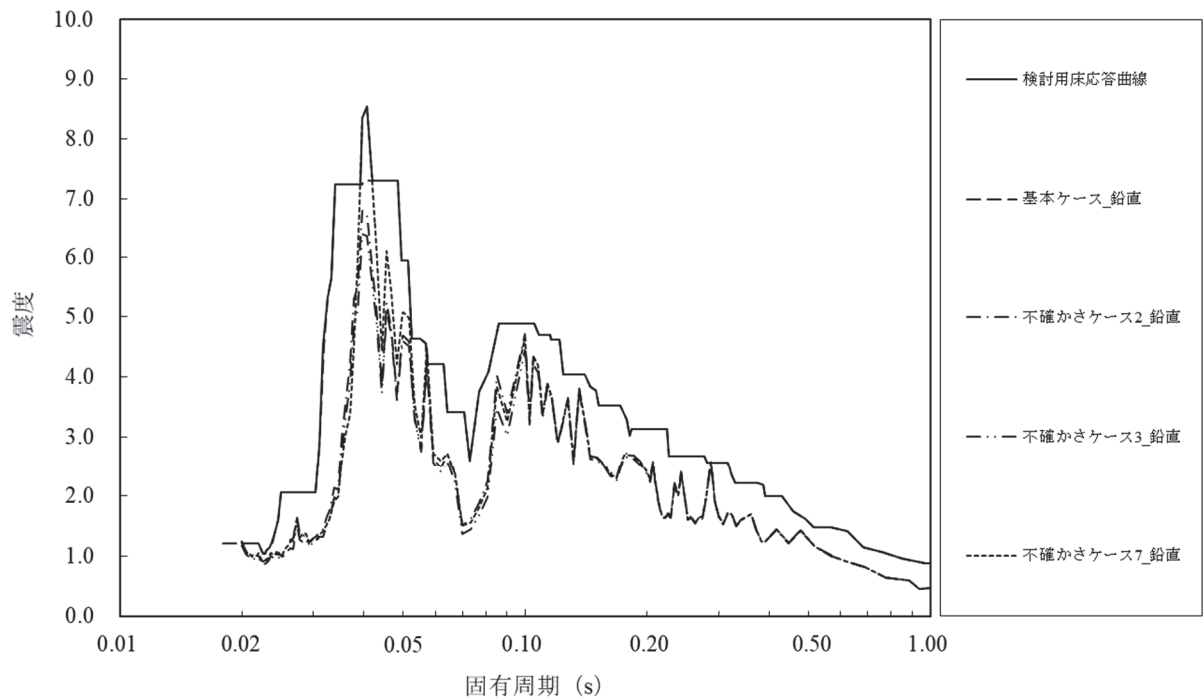


図 13-4 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 6.240m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

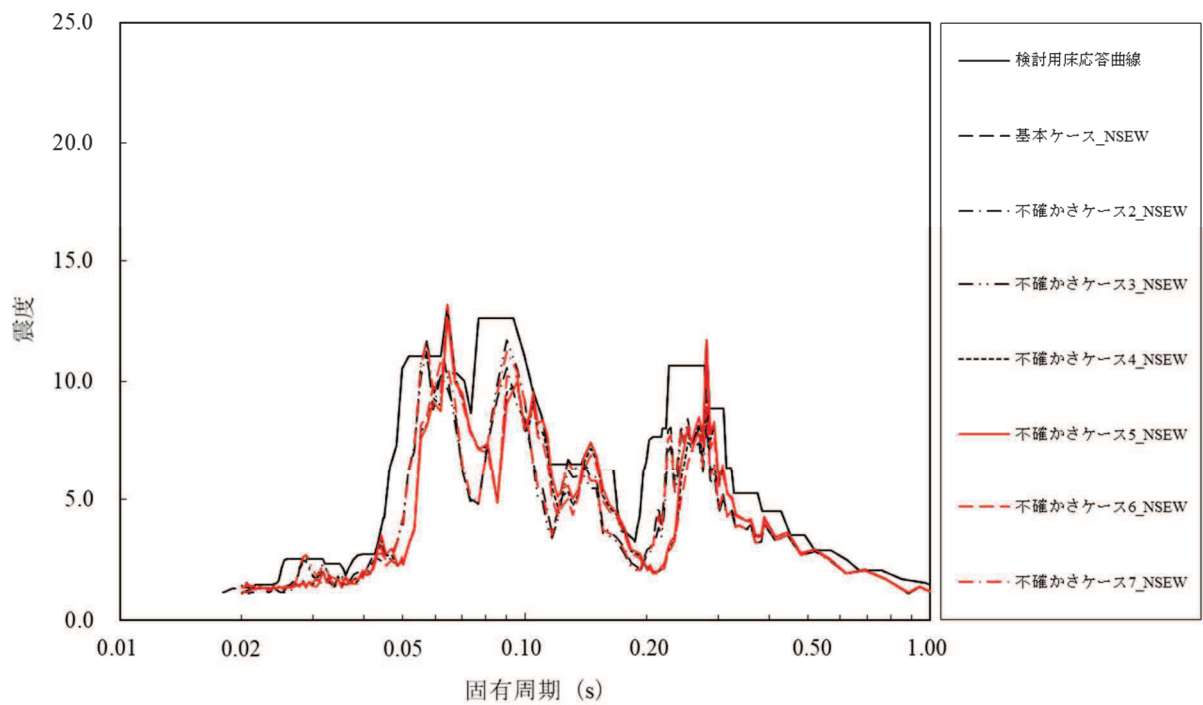


図 13-5 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m，水平方向，減衰定数 0.5%）

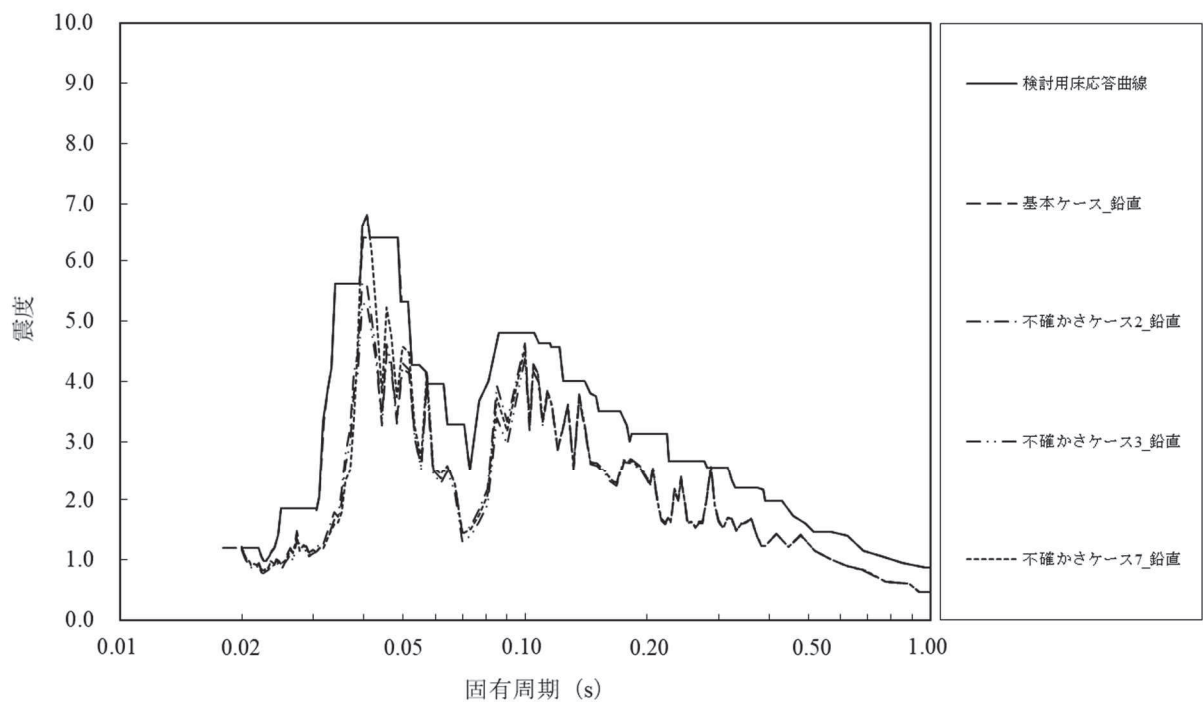


図 13-6 検討用床応答曲線（制御棒駆動水圧系配管用，CRD-007-3）
原子炉本体の基礎（O.P. 4.950m，鉛直方向，減衰定数 0.5%）

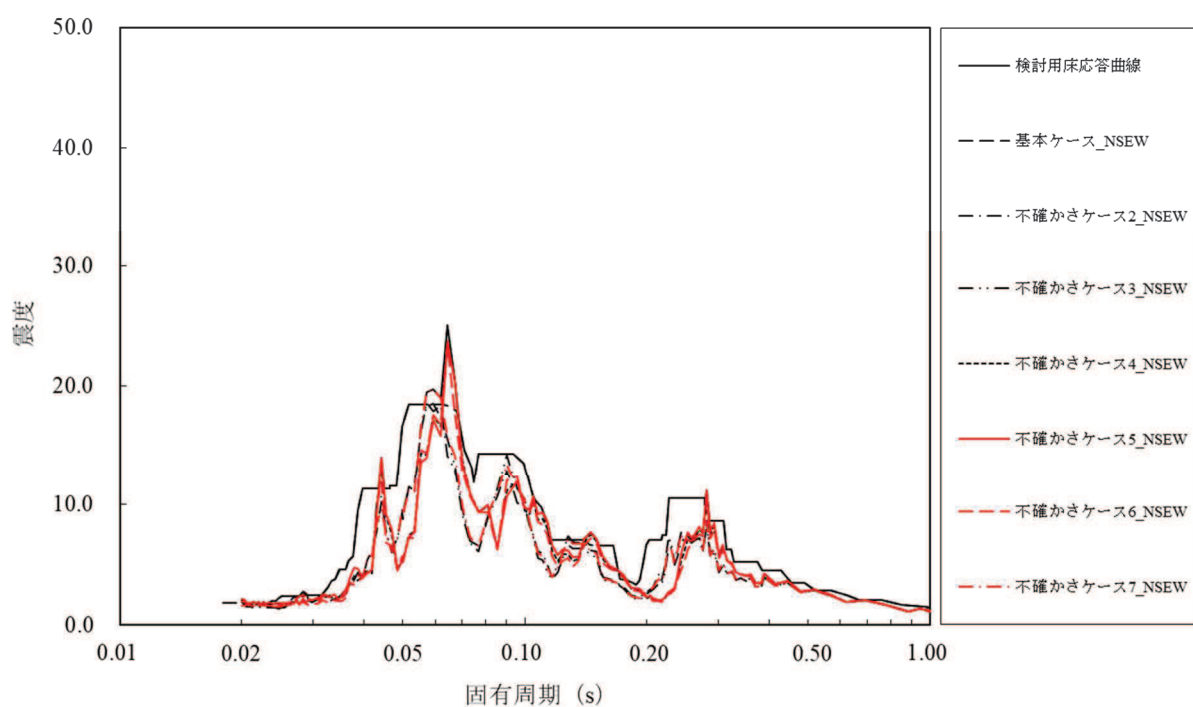


図 13-7 検討用床応答曲線 (制御棒駆動水圧系配管用, CRD-007-3)
 制御棒駆動機構ハウジング (O.P. 3.258m, 水平方向, 減衰定数 0.5%)

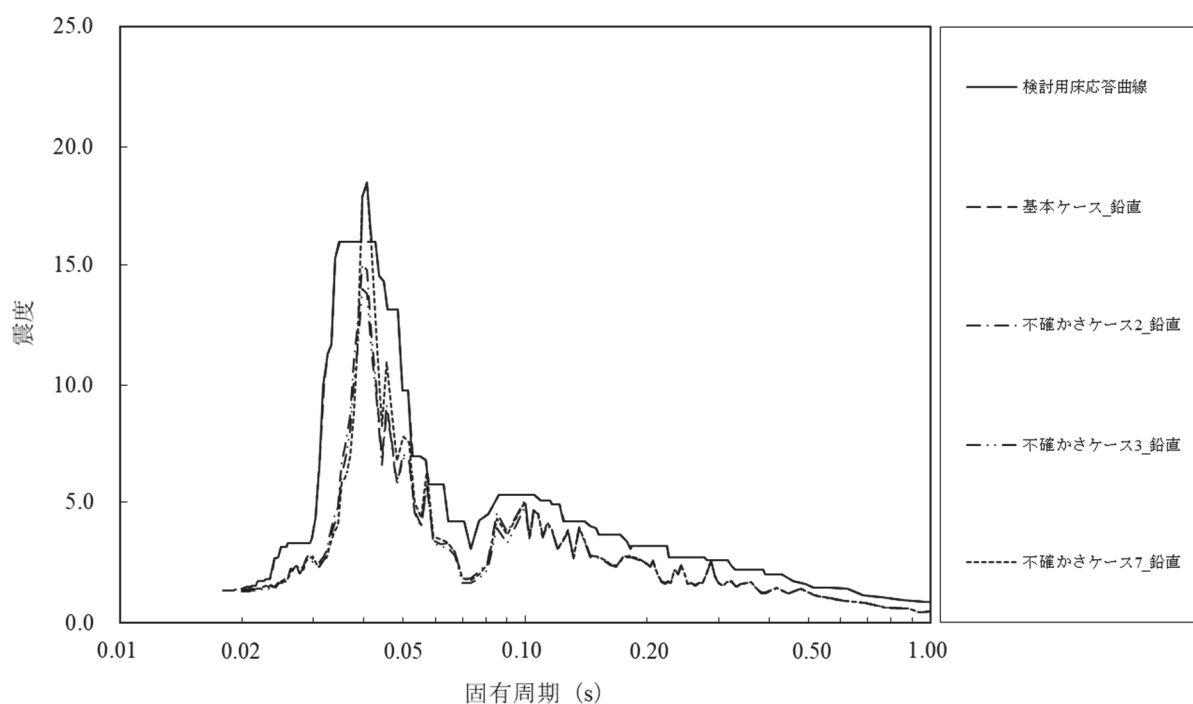


図 13-8 検討用床応答曲線 (制御棒駆動水圧系配管用, CRD-007-3)
 制御棒駆動機構ハウジング (O.P. 3.258m, 鉛直方向, 減衰定数 0.5%)

表 4 固有周期の計算間隔

固有周期 (s)	計算間隔 ($\Delta\omega$: rad/s)
0.02~0.1	4.0
0.1~0.2	1.5
0.2~0.39	0.5
0.39~0.94	1.0
0.94~1.0	0.38

d. 検討対象設備の主要諸元，解析モデル

検討対象設備として残留熱除去系配管及び制御棒駆動水圧系配管の主要仕様，解析モデル図，固有振動数及び刺激係数，主要次数のモード図を示す。

(a) 残留熱除去系配管（RHR-004）

残留熱除去系配管の主要仕様を表5に，解析モデル図を図14に，固有振動数及び刺激係数を表6に，主要次数のモード図を図15に示す。

表5 残留熱除去系配管（RHR-004）の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	8.62
最高使用温度 (℃)	302
外径 (mm)	114.3
厚さ (mm)	11.1
材料	STS410

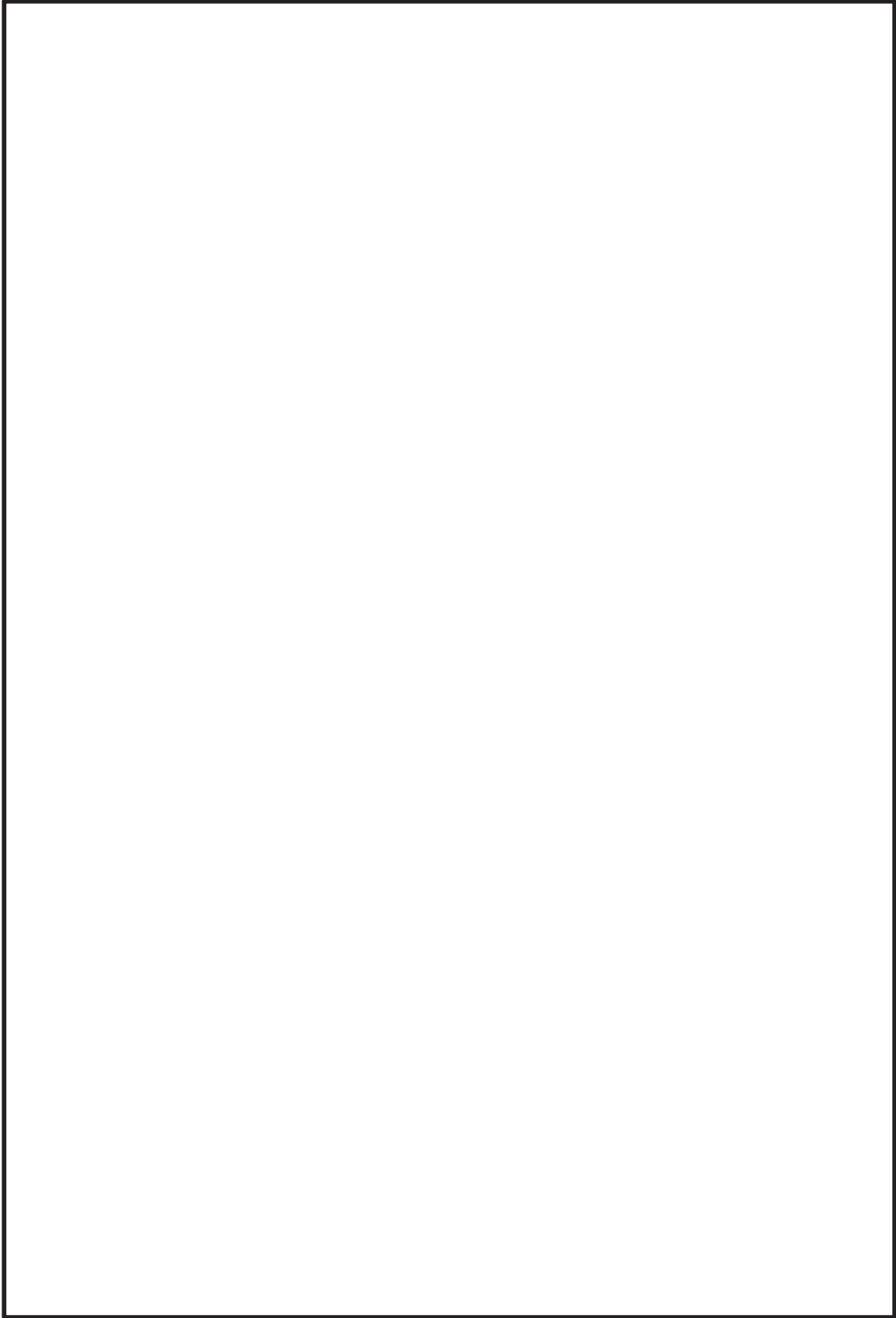


図 14 残留熱除去系配管 (RHR-004) の解析モデル図

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 残留熱除去系配管 (RHR-004) の固有振動数及び刺激係数

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

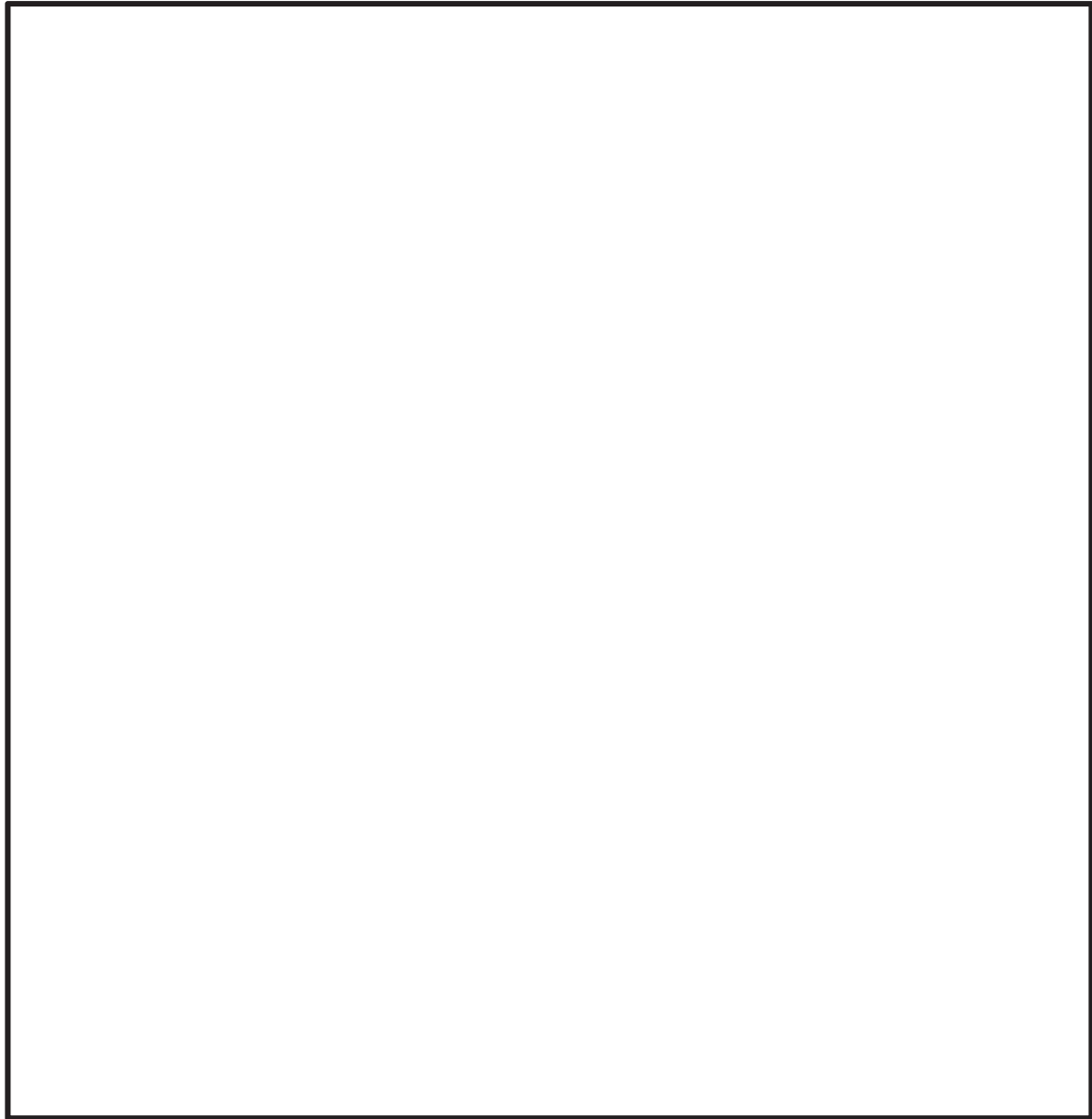


図 15-1 残留熱除去系配管 (RHR-004) のモード図 (1 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

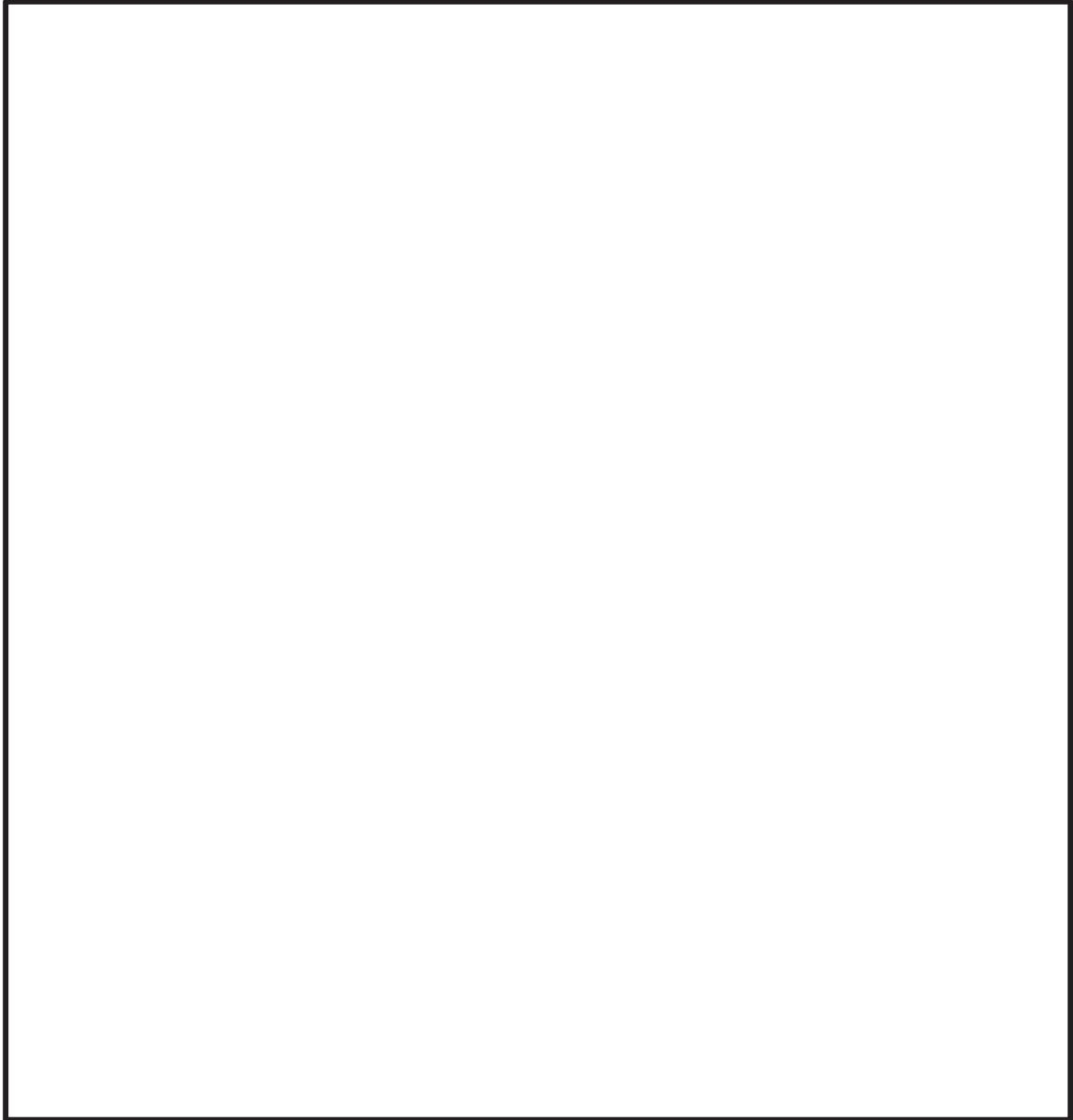


図 15-2 残留熱除去系配管 (RHR-004) のモード図 (2 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

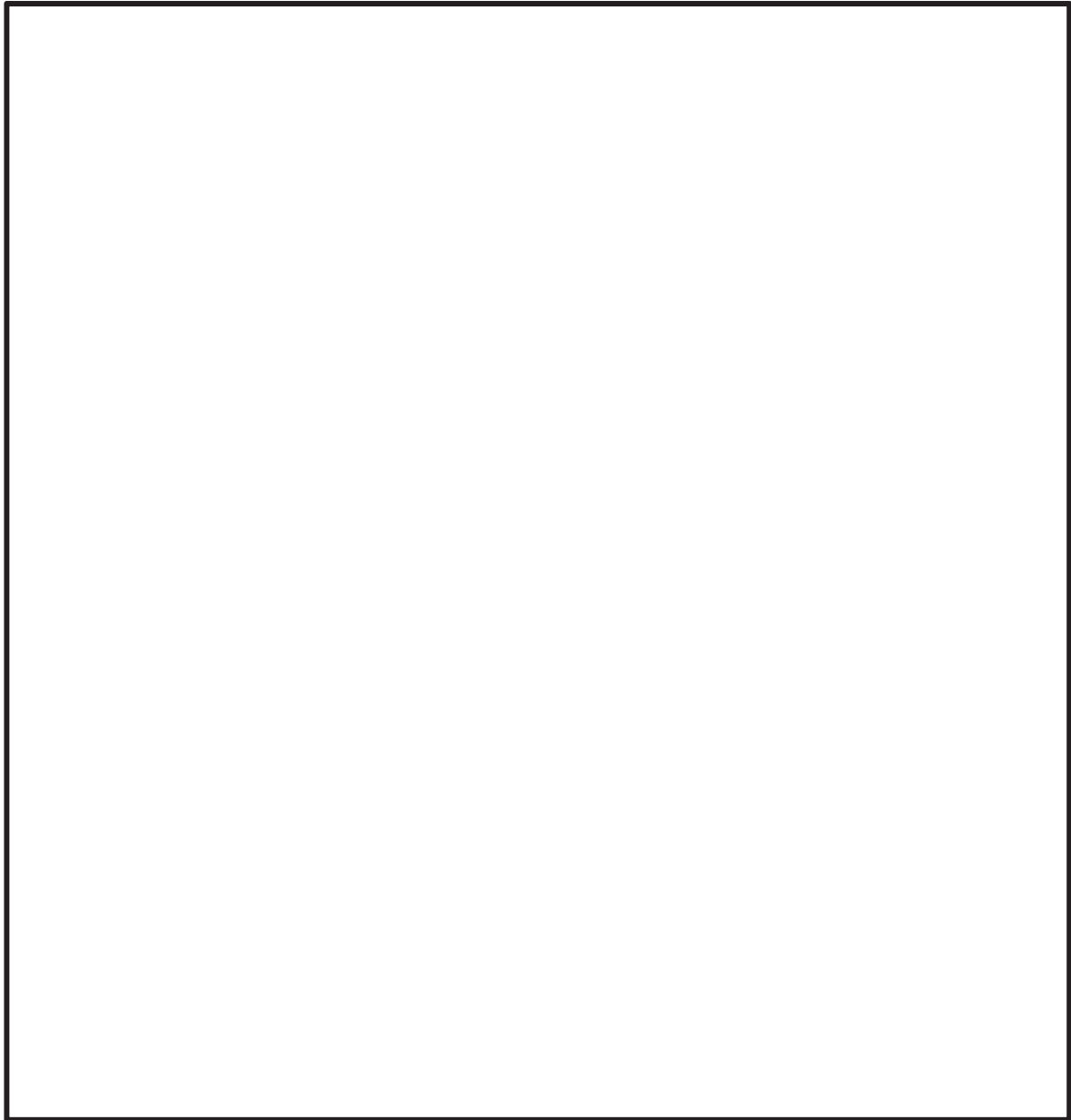


図 15-3 残留熱除去系配管 (RHR-004) のモード図 (3 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 残留熱除去系配管 (RHR-005)

残留熱除去系配管の主要仕様を表7に、解析モデル図を図16に、固有振動数及び刺激係数を表8に、主要次数のモード図を図17に示す。

表7 残留熱除去系配管 (RHR-005) の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	8.62
最高使用温度 (°C)	302
外径 (mm)	114.3
厚さ (mm)	11.1
材料	STS410

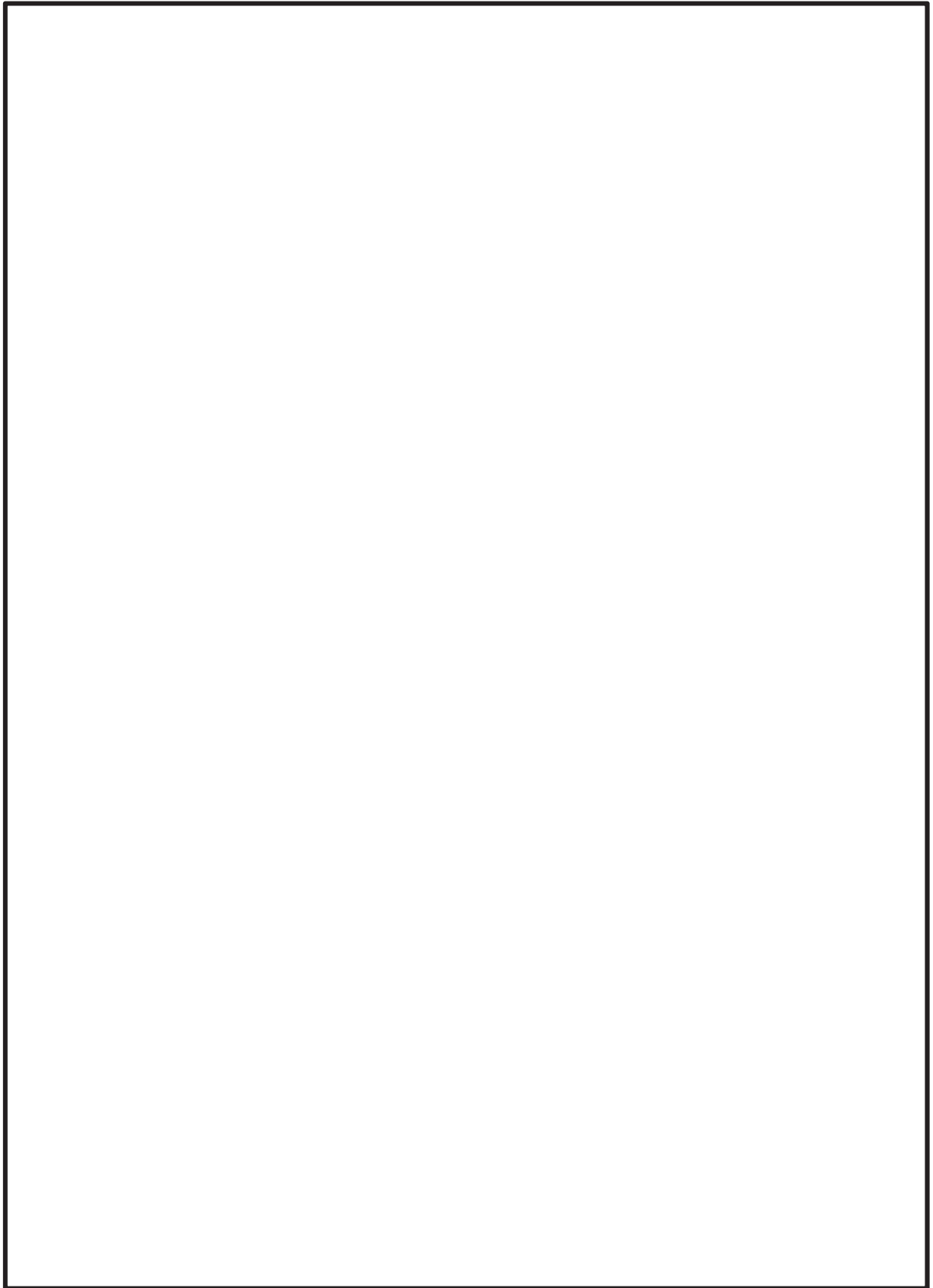


図 16 残留熱除去系配管（RHR-005）の解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 8 残留熱除去系配管 (RHR-005) の固有振動数及び刺激係数

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

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

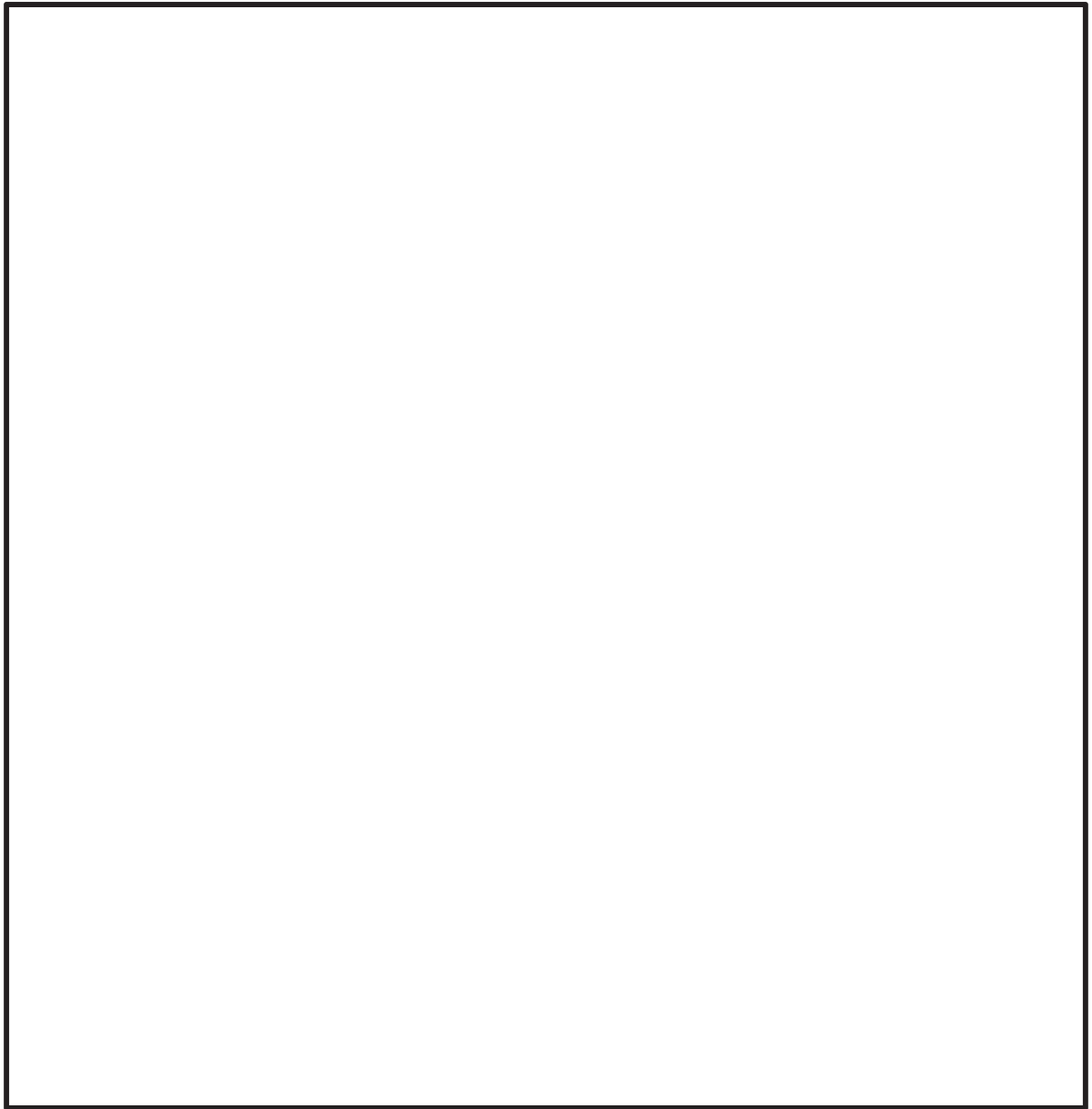


図 17-1 残留熱除去系配管 (RHR-005) のモード図 (1 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

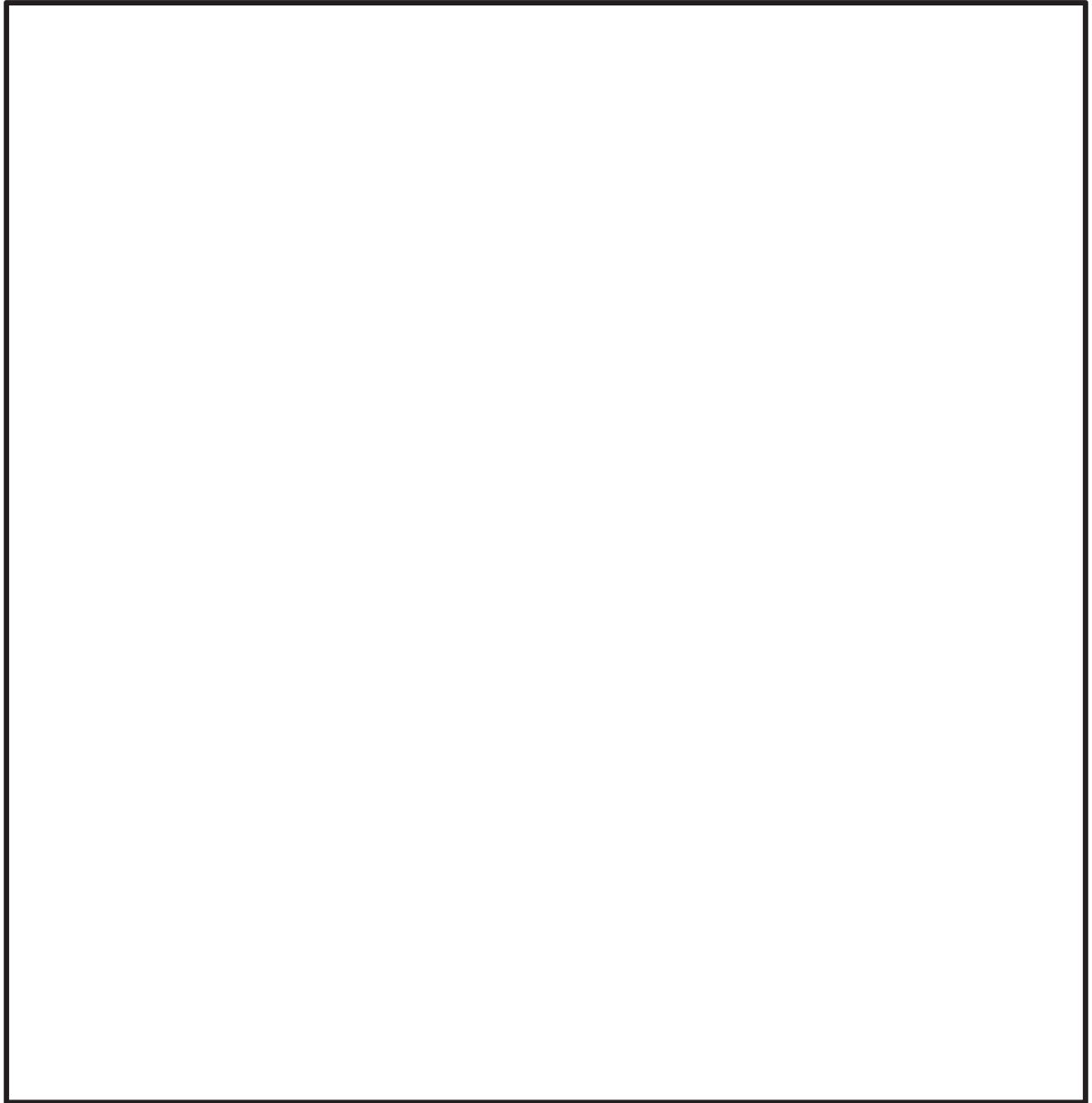


図 17-2 残留熱除去系配管 (RHR-005) のモード図 (2次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

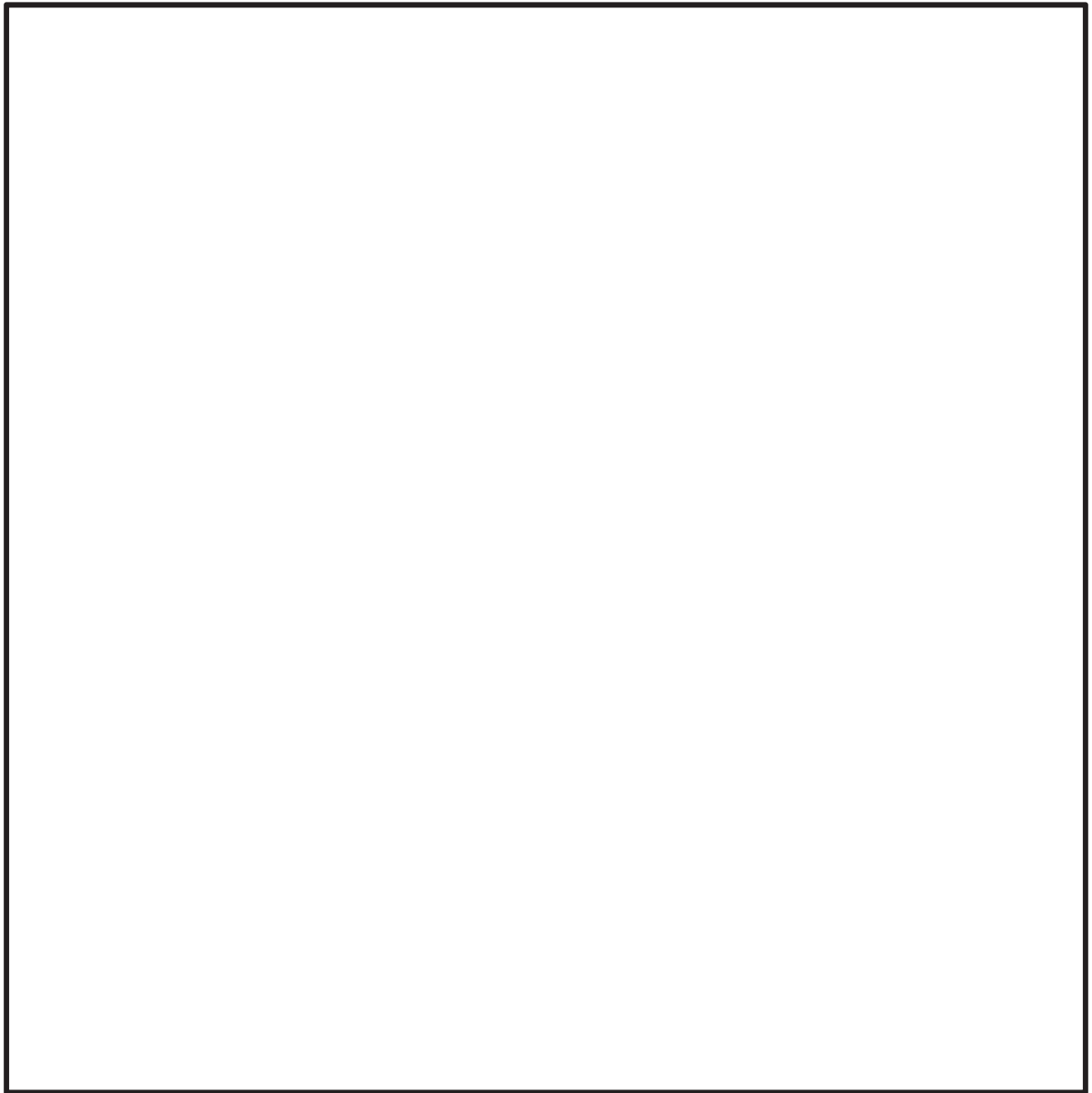


図 17-3 残留熱除去系配管 (RHR-005) のモード図 (3 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)

制御棒駆動水圧系配管の主要仕様を表9に、解析モデル図を図18に、固有振動数及び刺激係数を表10に、主要次数のモード図を図19に示す。

表 9 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の主要仕様

項目	主要仕様
最高使用圧力 (MPa)	13.83
最高使用温度 (°C)	66
外径 (mm)	34.0
厚さ (mm)	4.5
材料	SUS316LTP

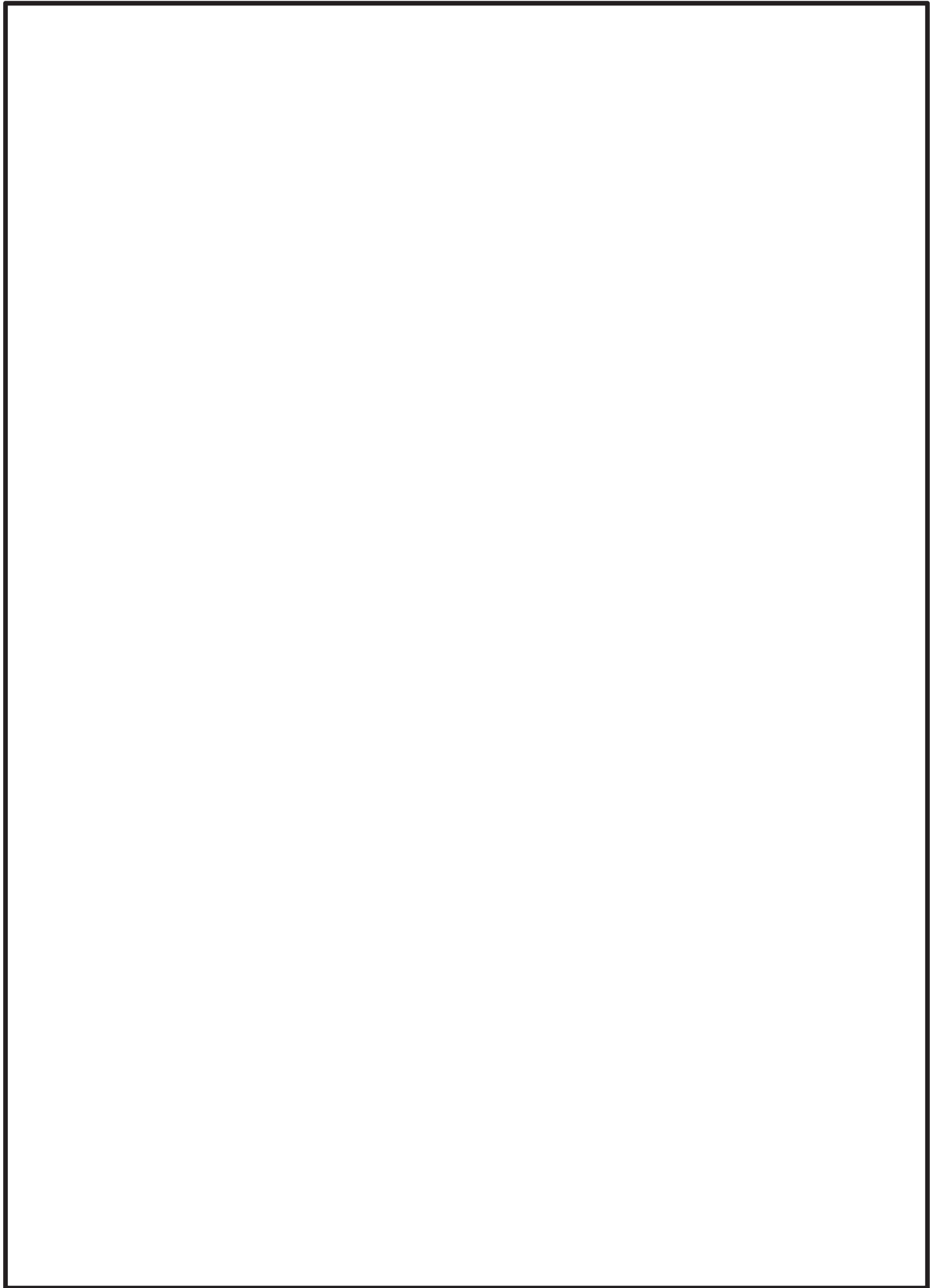


図 18 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の解析モデル図

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 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の固有振動数及び刺激係数

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺 激 係 数 *			設 計 震 度		
						水 平 方 向		鉛 直 方 向
			X 方 向	Y 方 向	Z 方 向	X 方 向	Z 方 向	Y 方 向

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

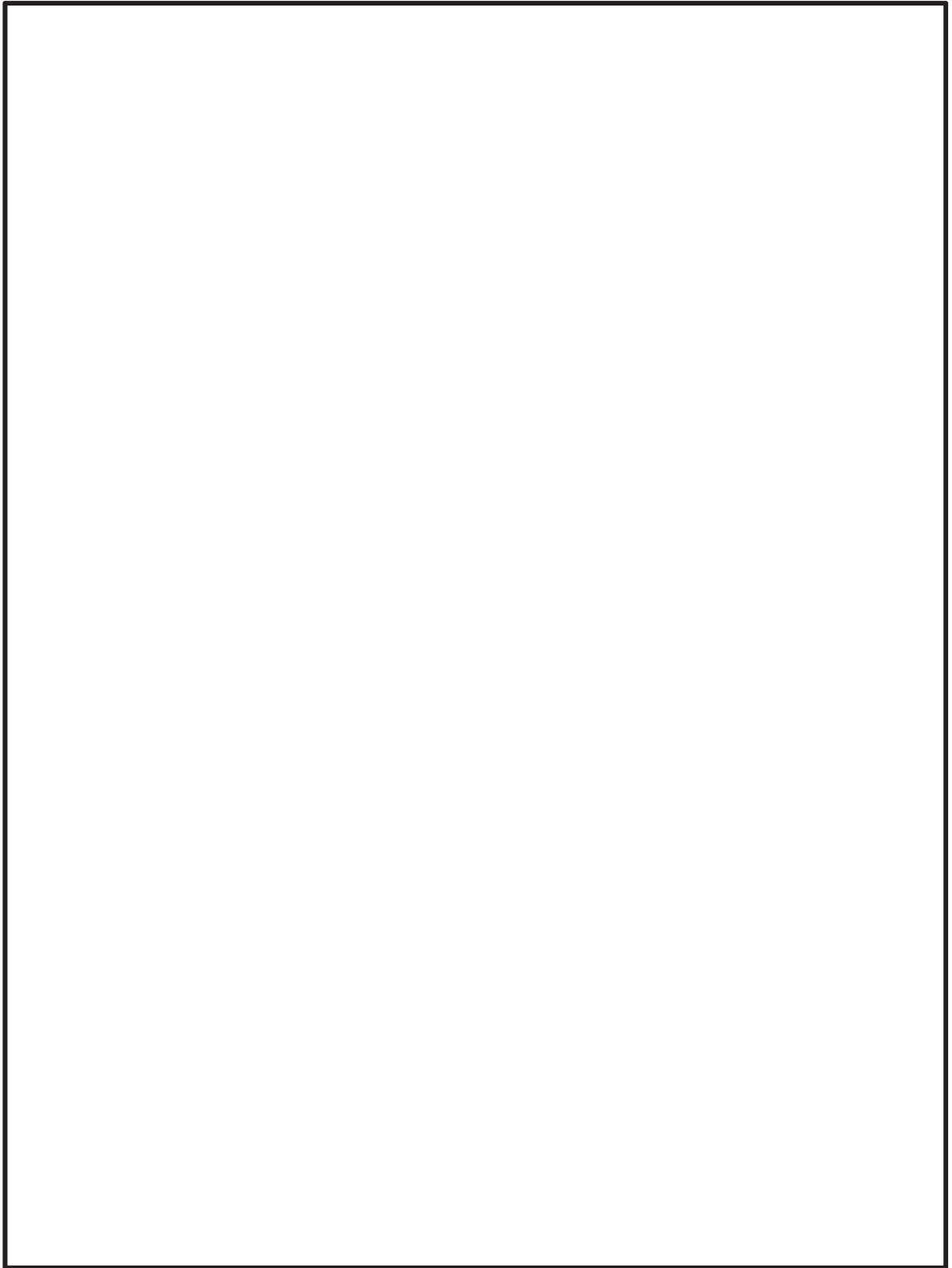


図 19-1 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (1次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

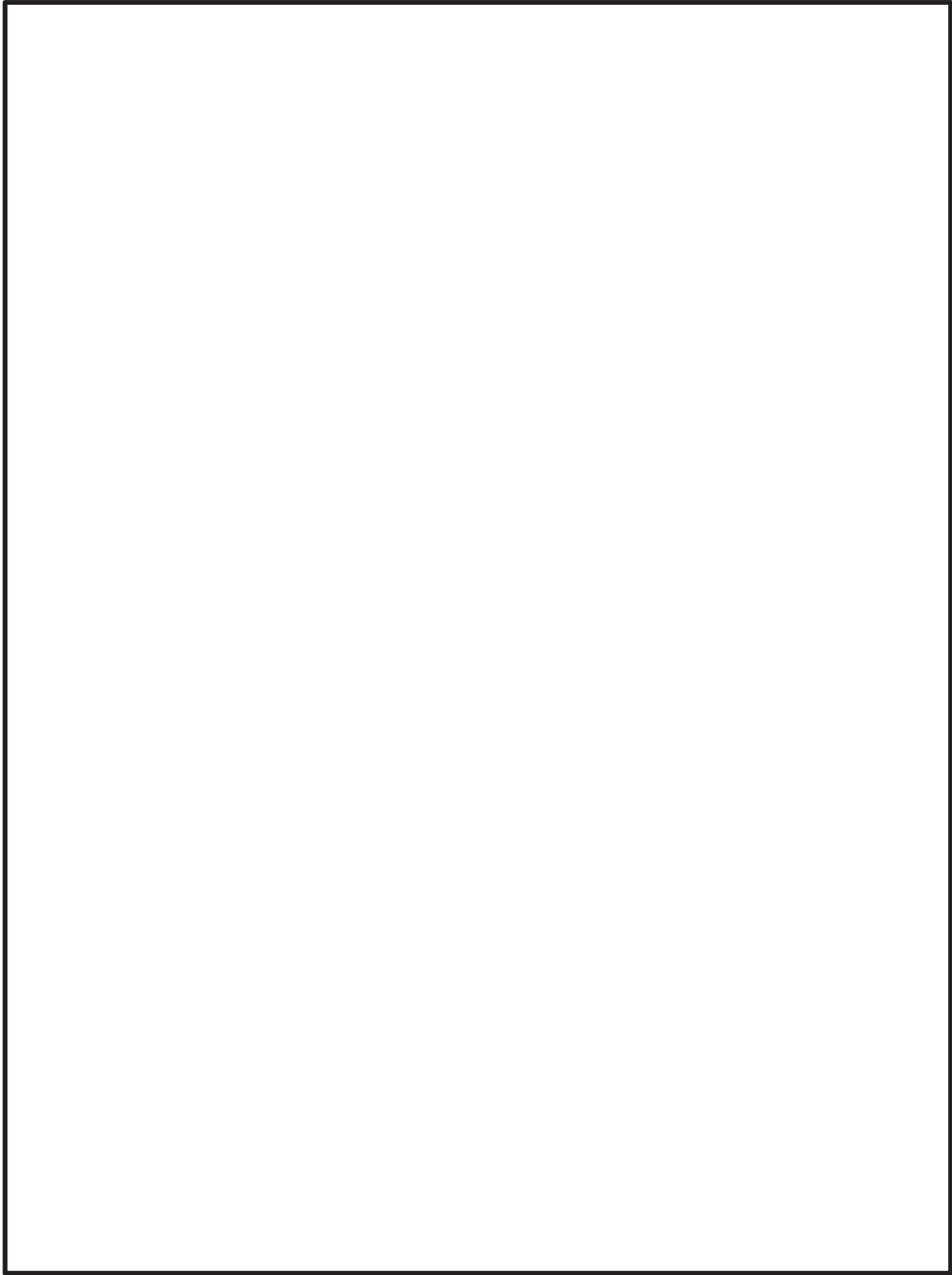


図 19-2 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (2次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

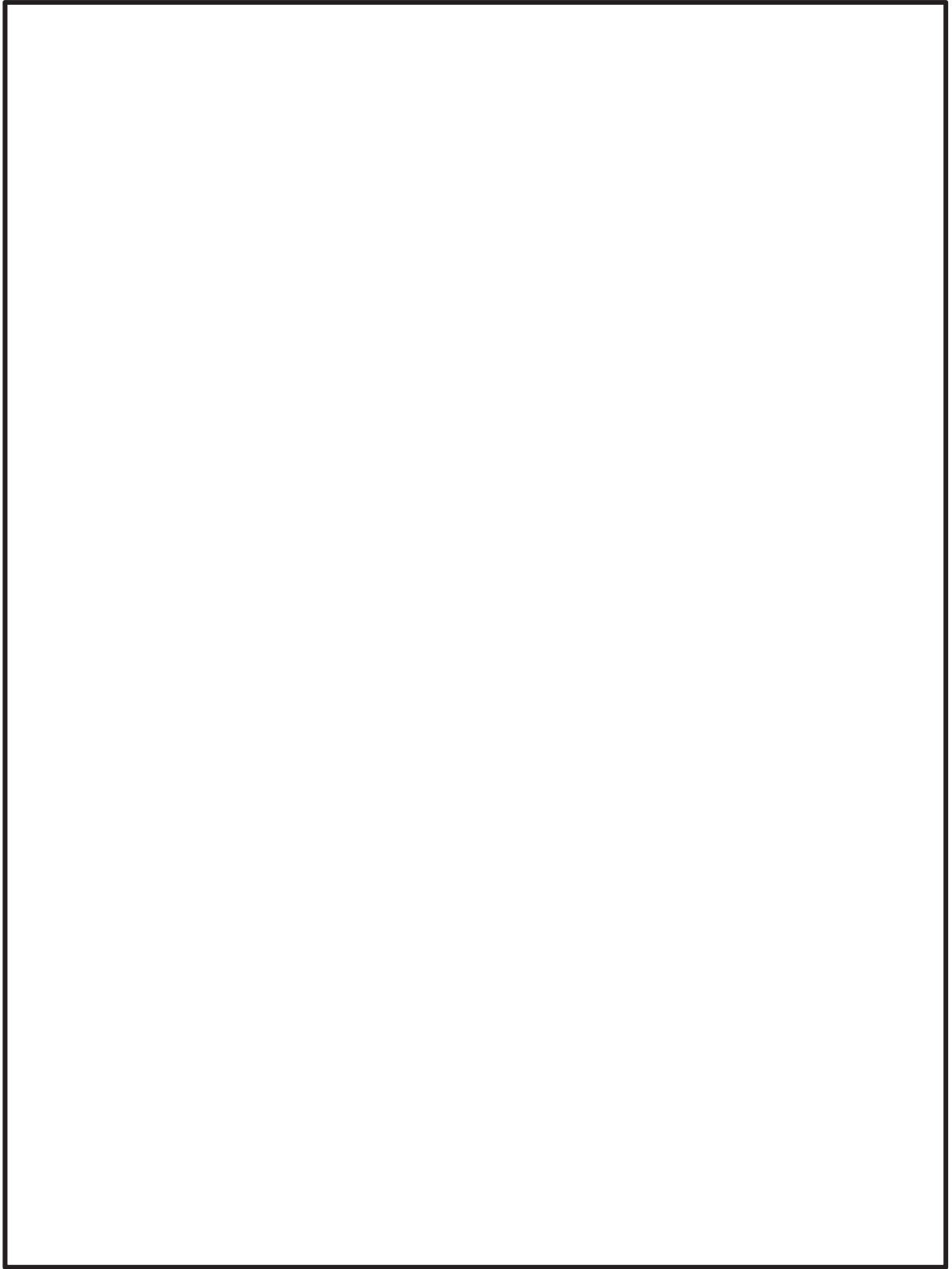


図 19-3 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) のモード図 (3 次)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

e. 解析結果

設計用床応答曲線を用いた地震応答解析結果，検討用床応答曲線を用いた地震応答解析結果及び静的解析結果を示す。

(a) 残留熱除去系配管 (RHR-004)

評価結果を表 11 に示すとともに，最大応力発生部位を図 20 に示す。現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 141MPa に対して，検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 142MPa であり，応力値は増加したものの，その増加は僅かであることが確認された。

表 11 残留熱除去系配管 (RHR-004) の評価結果

		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	141	366
	静的解析 (1.2ZPA)	73	
	包絡値	141	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	142	366

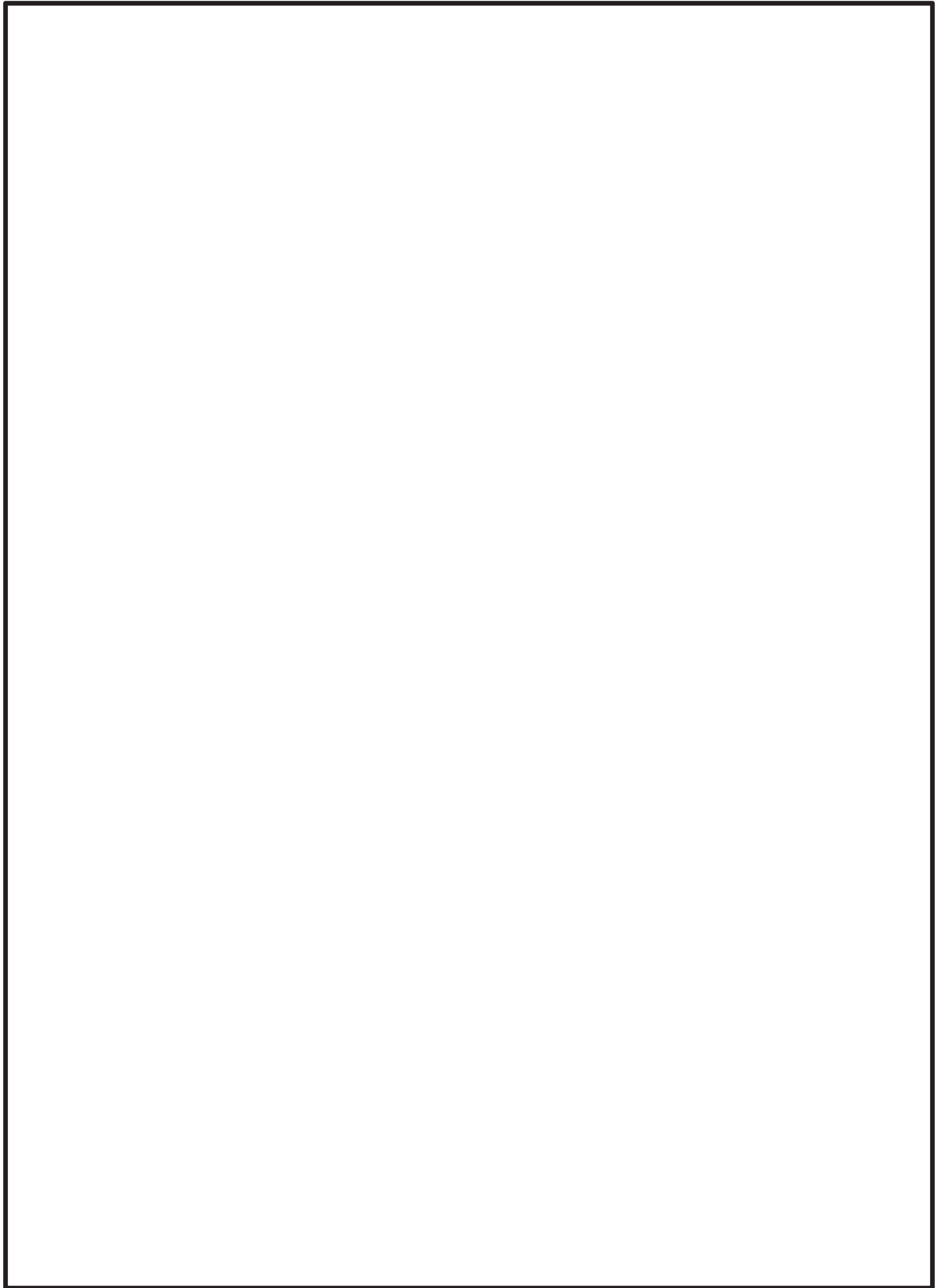


図 20 残留熱除去系配管 (RHR-004) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 残留熱除去系配管 (RHR-005)

評価結果を表 12 に示すとともに、最大応力発生部位を図 21 に示す。現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 197MPa に対して、検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 206MPa であり、応力値は増加したものの、その増加は僅かであることが確認された。

表 12 残留熱除去系配管 (RHR-005) の評価結果

		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	197	366
	静的解析 (1.2ZPA)	97	
	包絡値	197	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	206	366

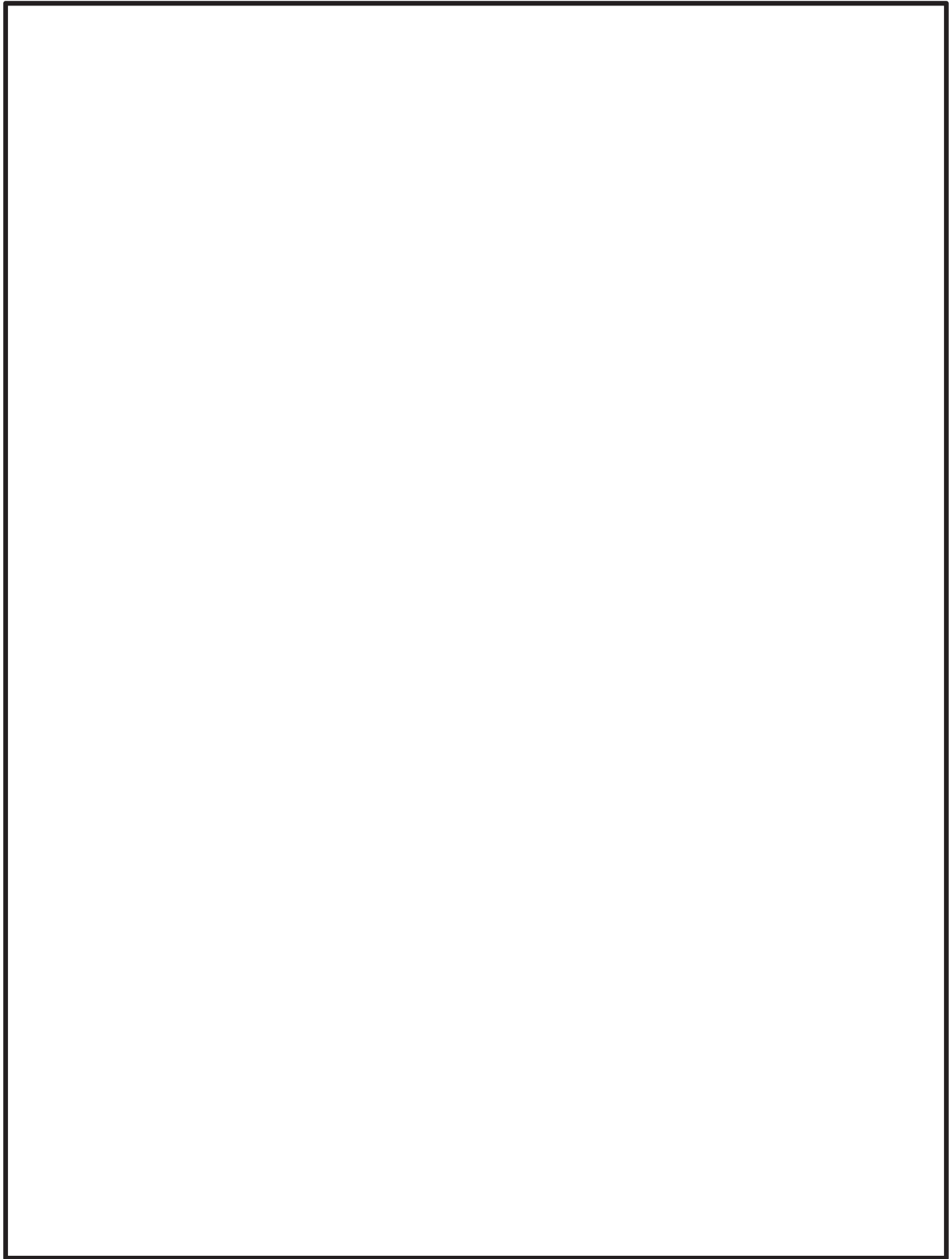


図 21 残留熱除去系配管 (RHR-005) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)

評価結果を表 13 に示すとともに、最大応力発生部位を図 22 に示す。現行の手法である設計用床応答曲線を用いた 20Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果 179MPa に対して、検討用床応答曲線を用いて 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果は 187MPa であり、応力値は増加したものの、その増加は僅かであることが確認された。

表 13 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の評価結果

		一次応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
現行の手法による評価結果	20Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (設計用床応答曲線)	179	413
	静的解析 (1.2ZPA)	51	
	包絡値	179	
妥当性検討用	50Hz までの領域を考慮した 地震応答解析結果 (検討用床応答曲線)	187	413

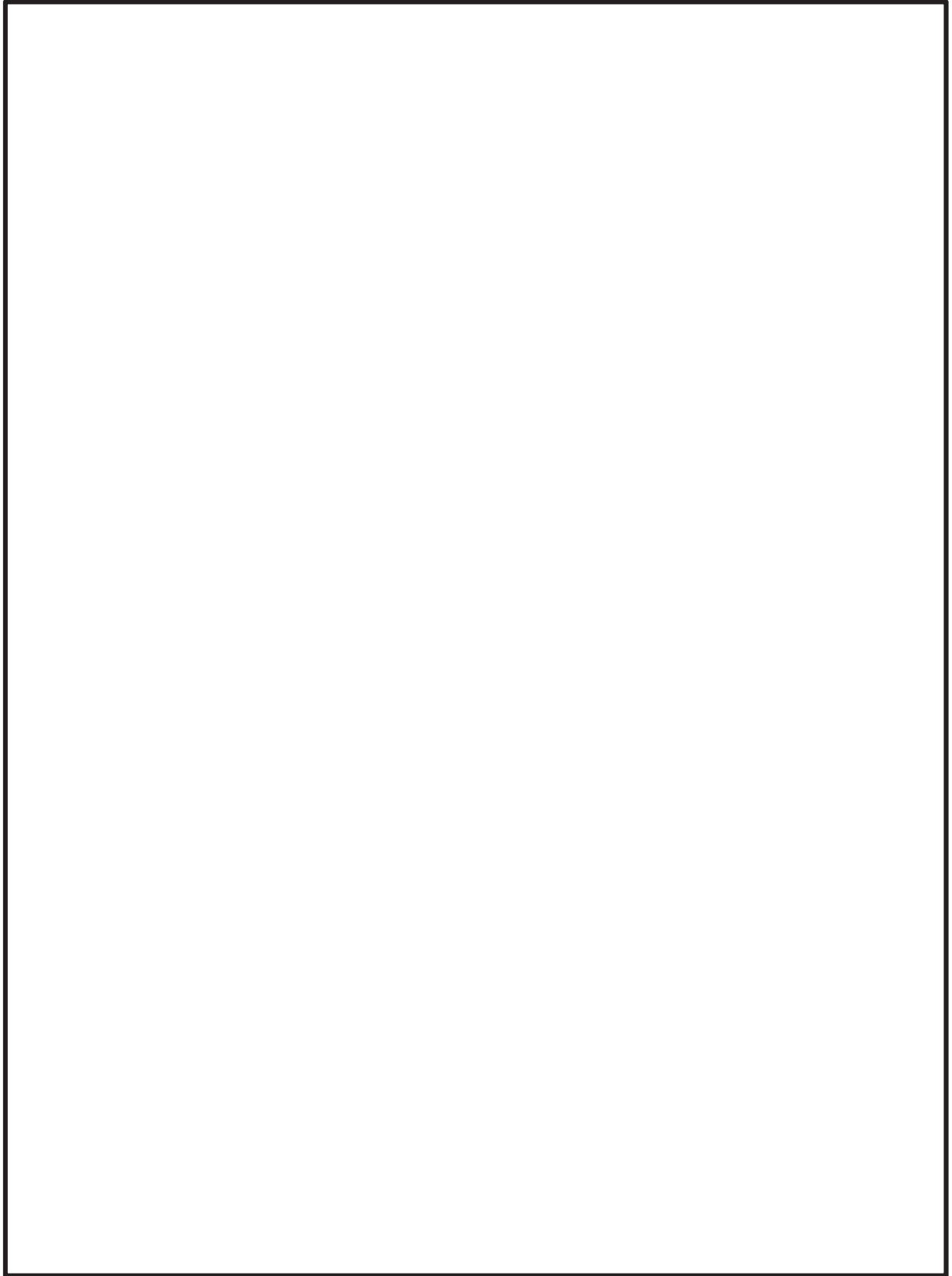


図 22 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) の最大応力発生部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

以上のとおり、残留熱除去系配管及び制御棒駆動水圧系配管ともに現行の手法による評価結果に対して、妥当性検討として実施した 50Hz までの領域を考慮した地震応答解析結果による応力値の増加は僅か、若しくは同等であることを確認した。

応力値の増加が僅かである理由としては、図 10 の変位応答スペクトルで示したように、高振動数側では応答変位が小さく、機器に発生する応力への寄与は、低振動数側と比較しても相対的に小さくなるため、20Hz 未満の振動数領域での応力が支配的となり、20Hz 以上の振動数領域を考慮しても有意な応力の上昇が現れなかったものと考えられる。

(4) まとめ

現行手法の妥当性検討として、20Hz 近傍に卓越する応答を有する床応答スペクトルを適用する残留熱除去系配管及び 20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する制御棒駆動水圧系配管を対象に地震応答解析を実施した（表 14 参照）。

表 14 妥当性検討に用いた対象設備

対象設備	選定理由
残留熱除去系配管 (RHR-004)	鉛直方向で 20Hz 近傍の加速度が最も大きい原子炉しゃへい壁の設計用床応答曲線を適用し評価する設備のうち、一次応力の裕度が最も小さい設備として選定した。
残留熱除去系配管 (RHR-005)	水平方向で 20Hz 近傍の加速度が最も大きい原子炉压力容器の設計用床応答曲線を適用し評価する設備のうち、一次応力の裕度が最も小さい設備として選定した。
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)	20Hz 近傍に 1 次固有振動数を有する設備として選定した。1次固有振動数 <input type="text"/> (Hz), 2次固有振動数 <input type="text"/> (Hz) であり、現行手法では 1 次固有振動数のみ考慮される。

解析結果のまとめを表 15 に示す。

残留熱除去系配管 (RHR-004) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1～9 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、10 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

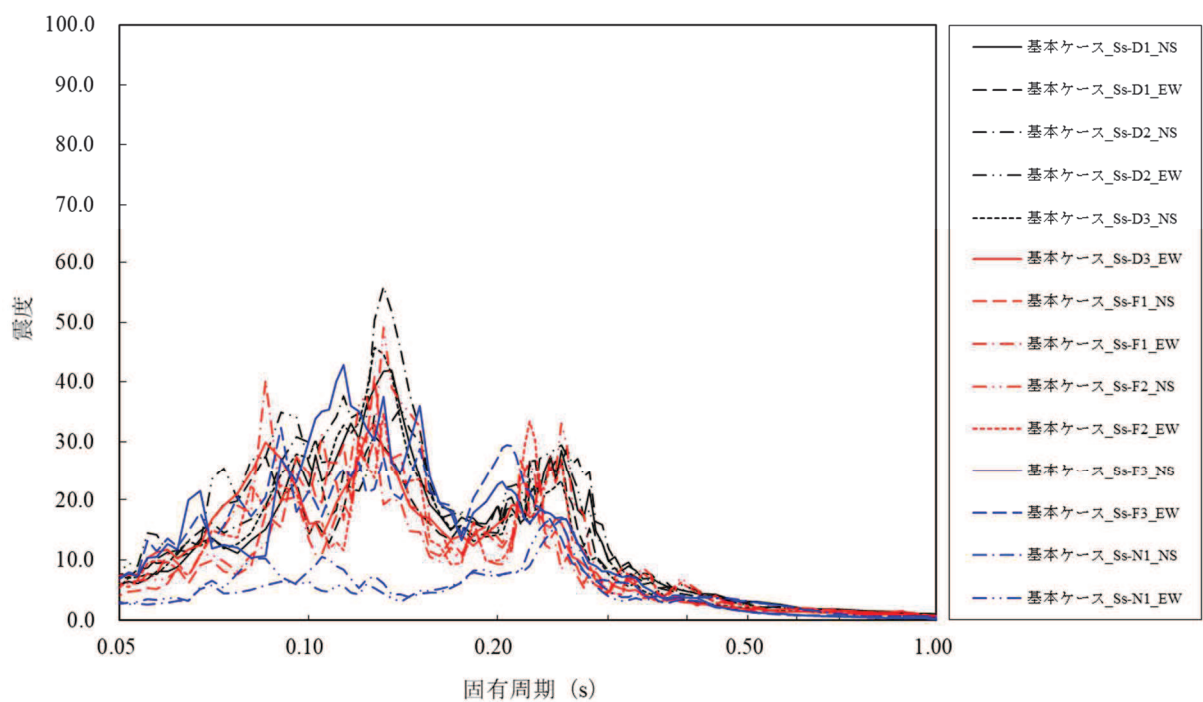
残留熱除去系配管 (RHR-005) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1～2 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、3 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3) は、現行手法による発生応力に対して、妥当性検討による発生応力の増加が確認されたものの、増分は僅かであった。これは、1 次の固有振動数 (20Hz 未満) での応答の配管に発生する応力への寄与が、2 次以降の固有振動数での応答に対して相対的に大きいことによるものと考えられる。

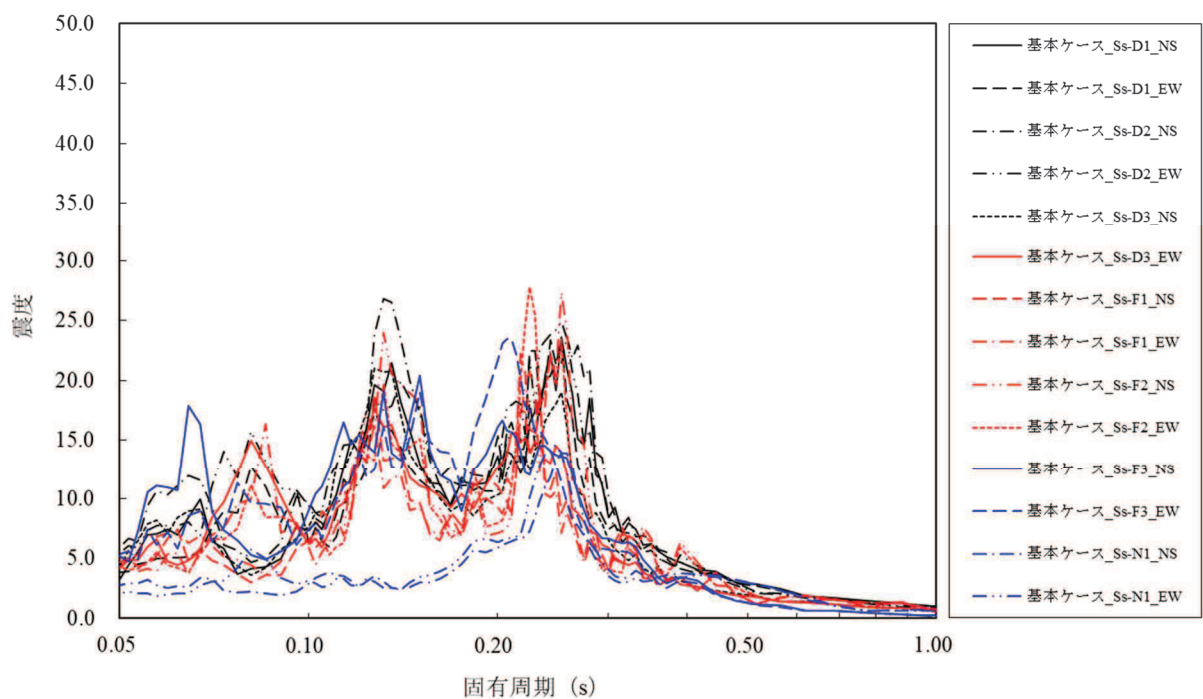
以上のとおり，剛柔判定の固有周期を 20Hz とし，現行手法で解析を実施することは，耐震設計を行う上で妥当であると考ええる。

表 15 現行手法及び妥当性検討の評価結果まとめ

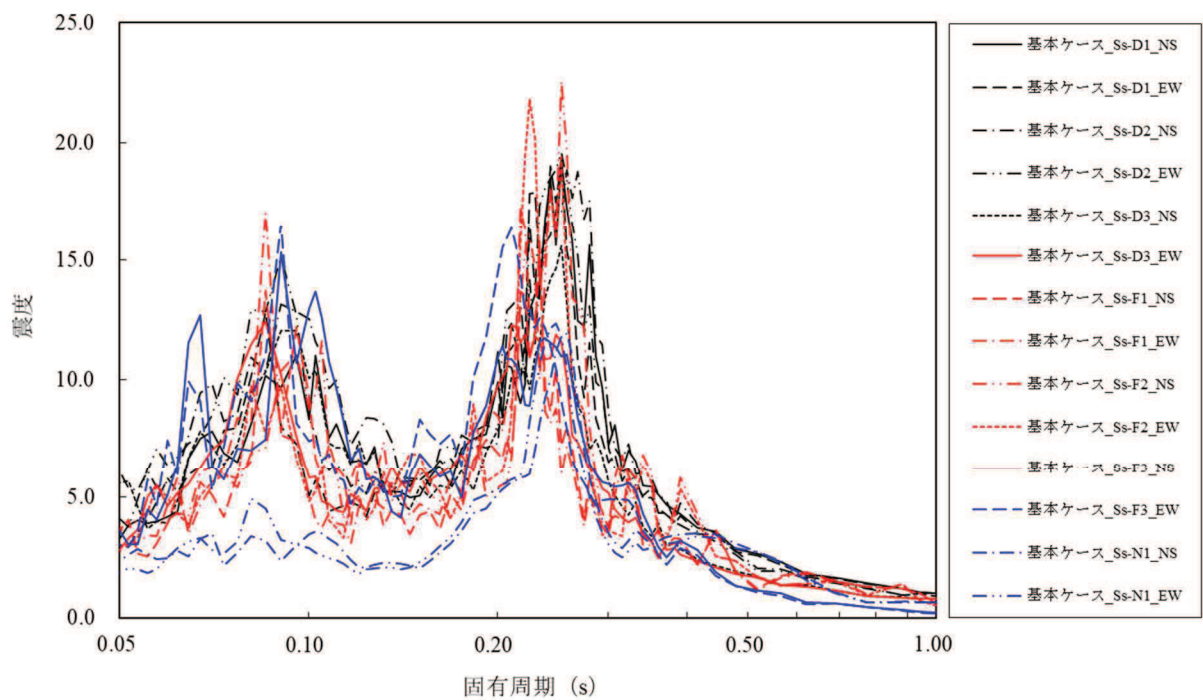
対象設備	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	現行手法	妥当性検討	
残留熱除去系配管 (RHR-004)	141 〔動的解析：141〕 〔静的解析：73〕	142	366
残留熱除去系配管 (RHR-005)	197 〔動的解析：197〕 〔静的解析：97〕	206	366
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-007-3)	179 〔動的解析：179〕 〔静的解析：51〕	187	413



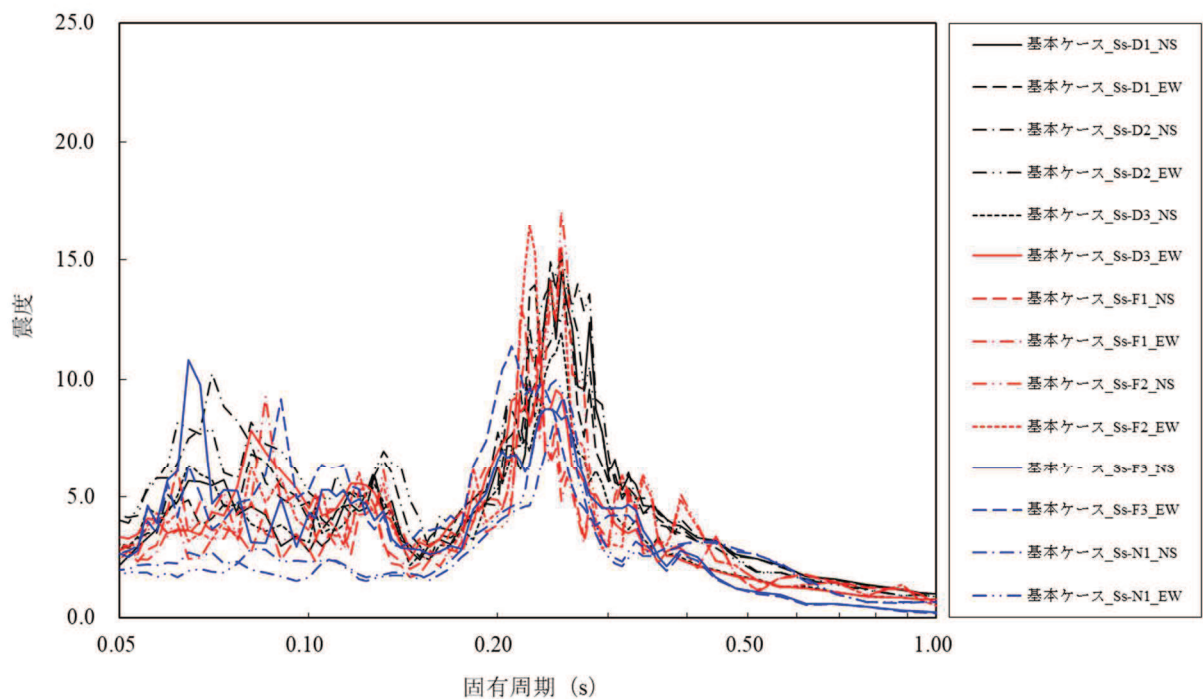
添付図 1-1 原子炉建屋 (O.P. 50.500m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



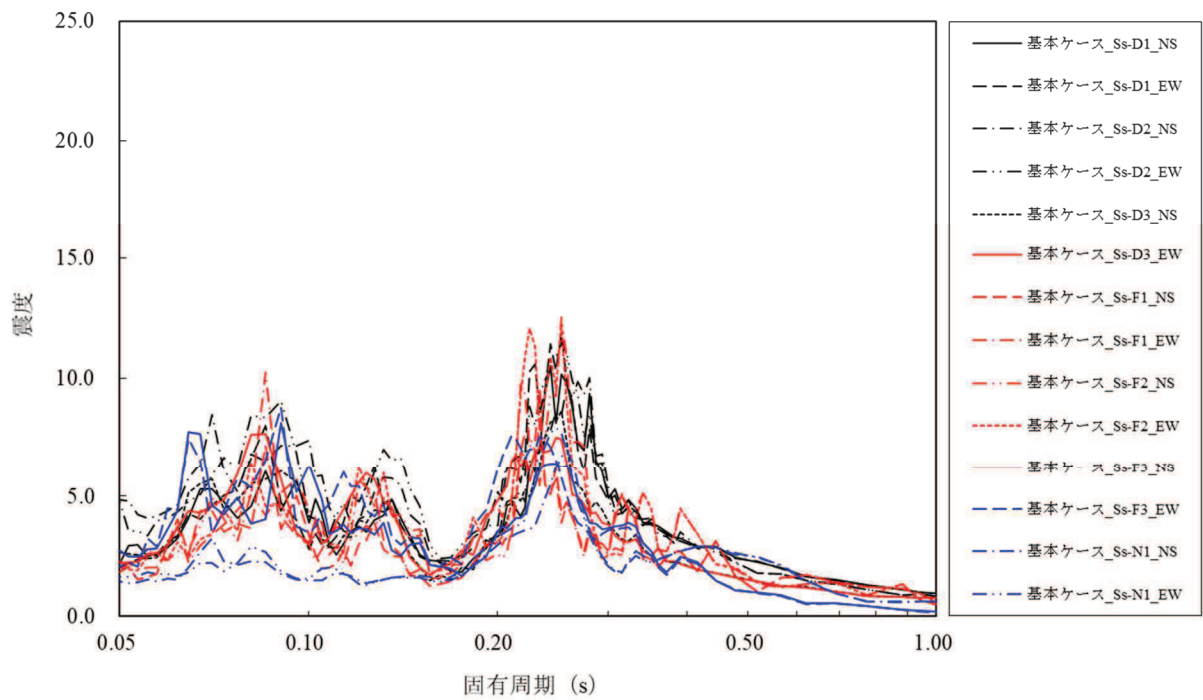
添付図 1-2 原子炉建屋 (O.P. 41.200m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



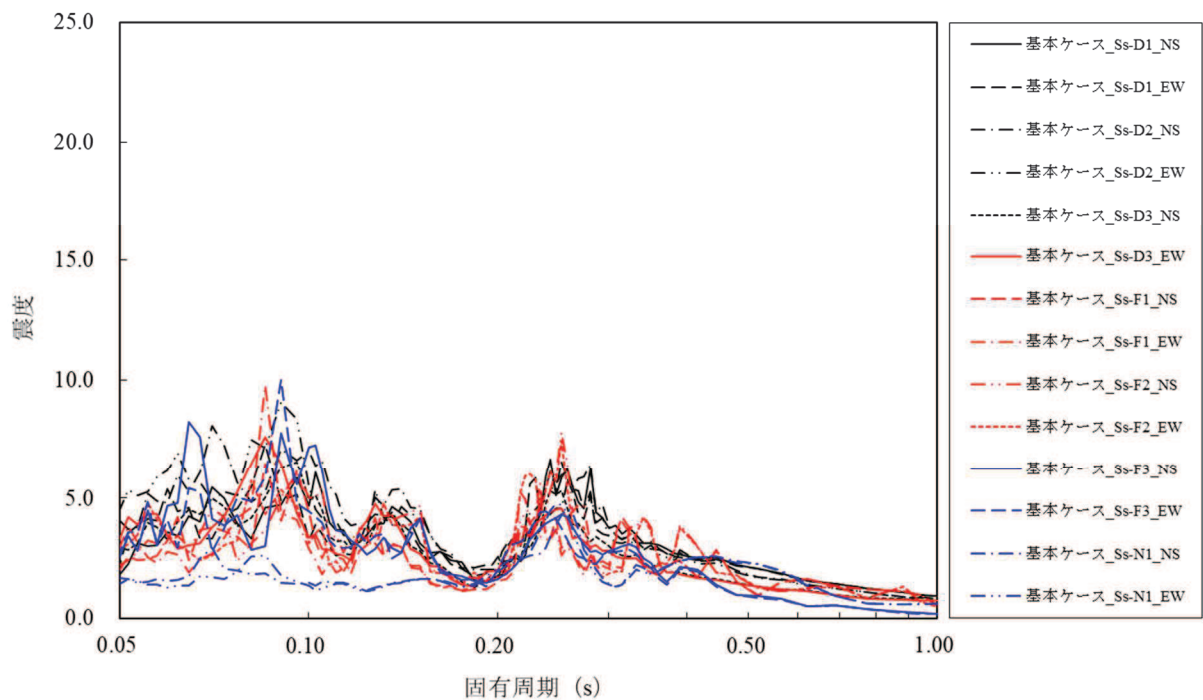
添付図 1-3 原子炉建屋 (O.P. 33.200m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



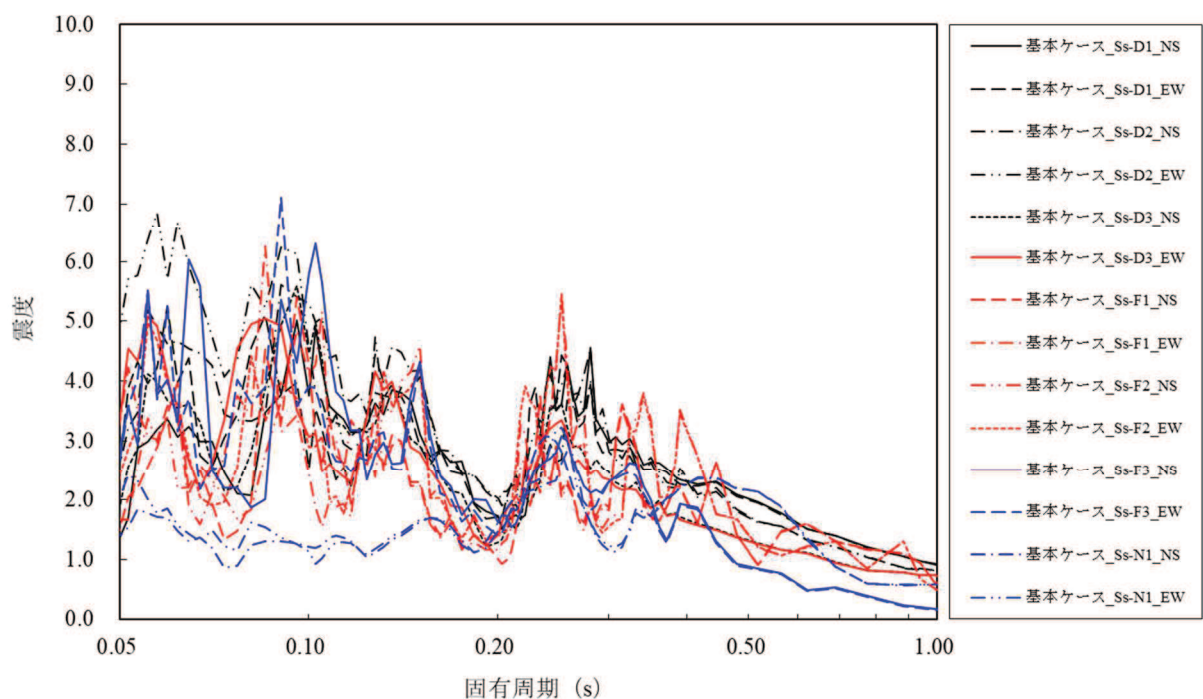
添付図 1-4 原子炉建屋 (O.P. 22.500m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



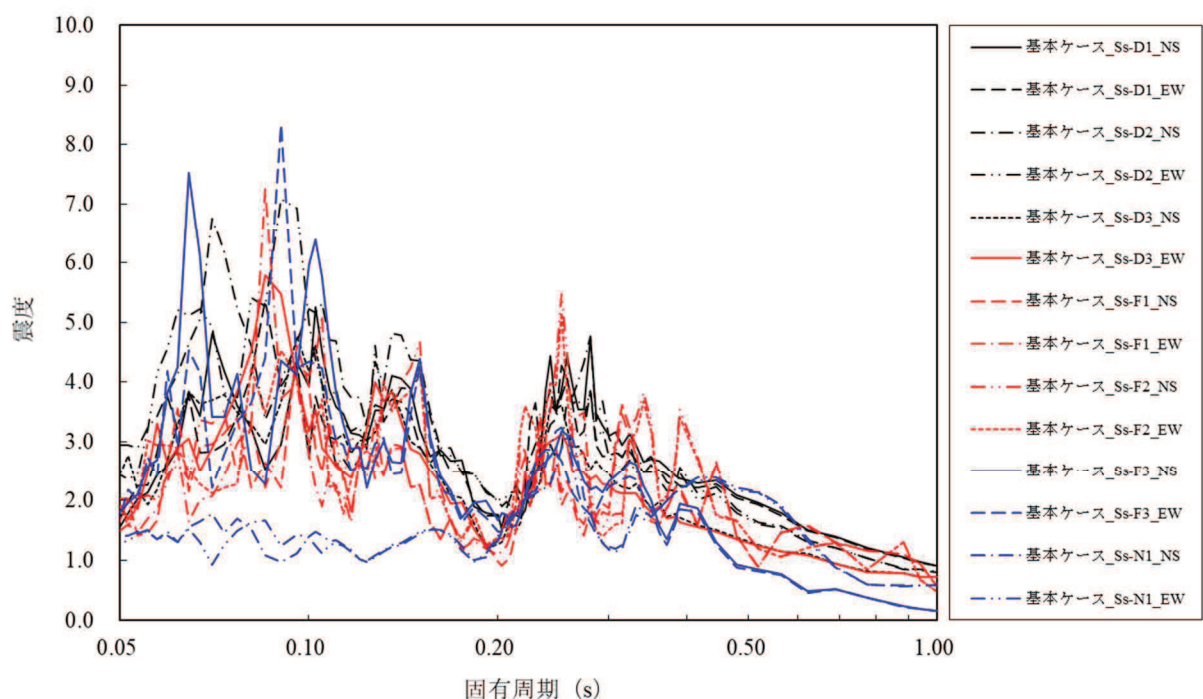
添付図 1-5 原子炉建屋 (O.P. 15.000m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



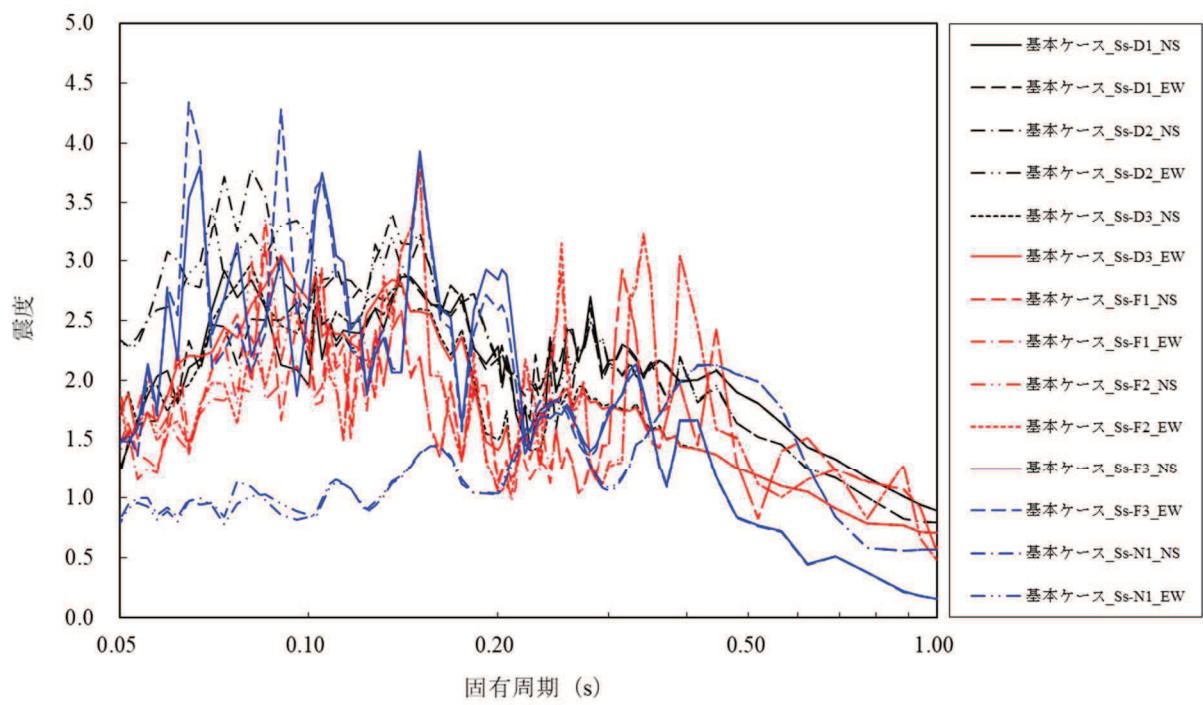
添付図 1-6 原子炉建屋 (O.P. 6.000m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



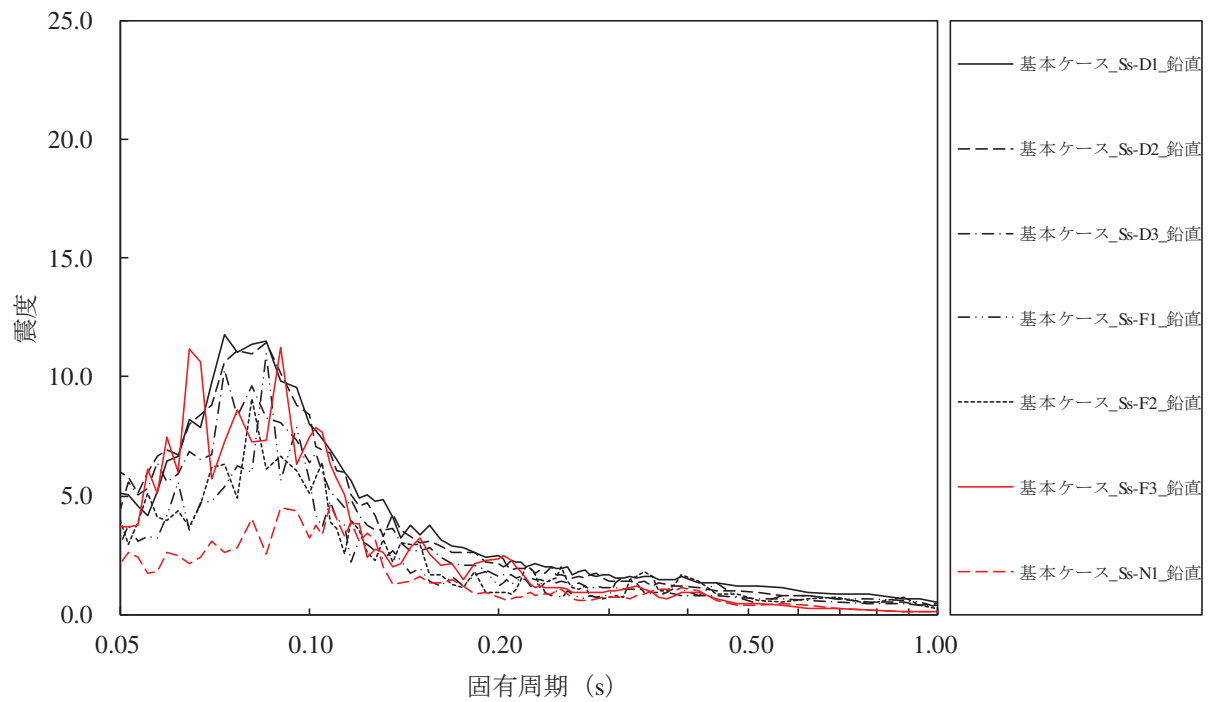
添付図 1-7 原子炉建屋 (O.P. 1.150m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



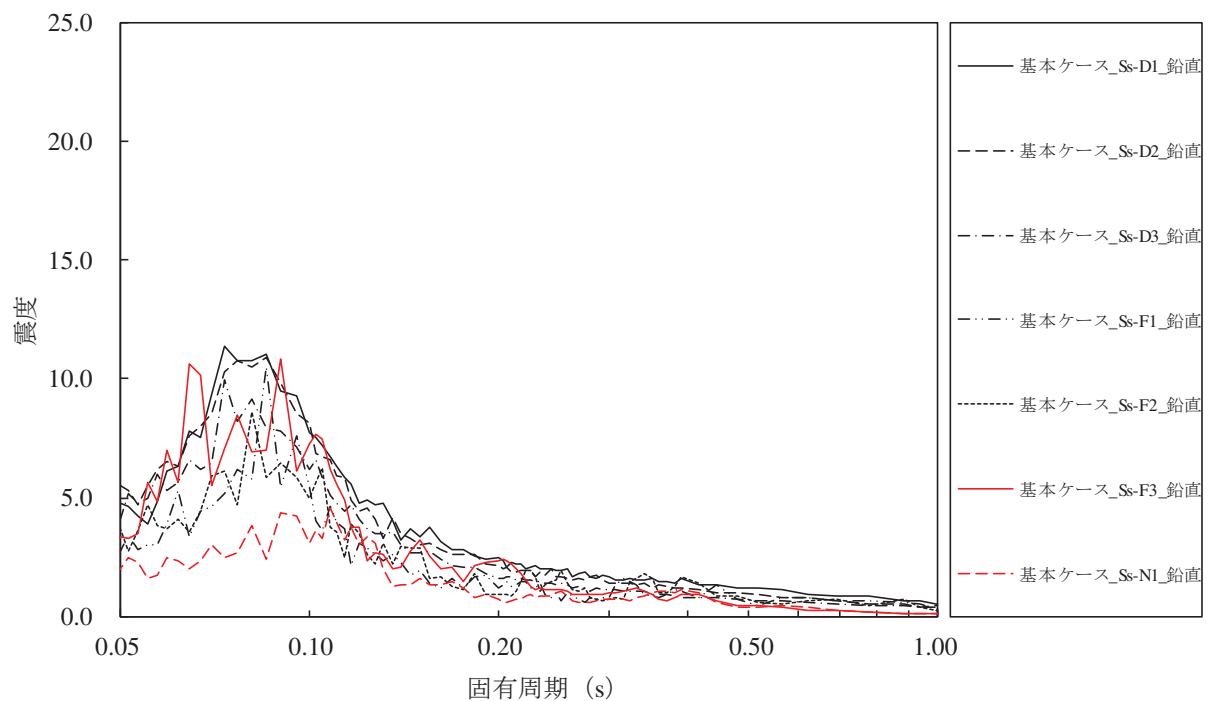
添付図 1-8 原子炉建屋 (O.P. -0.800m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



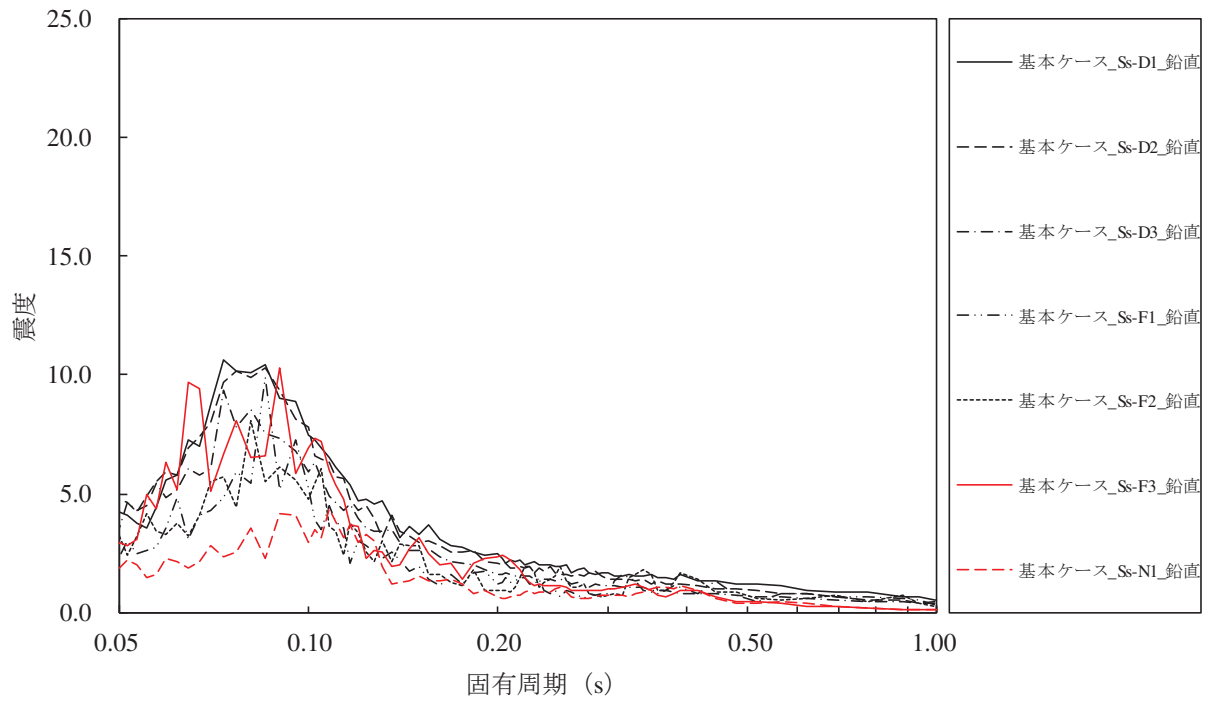
添付図 1-9 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



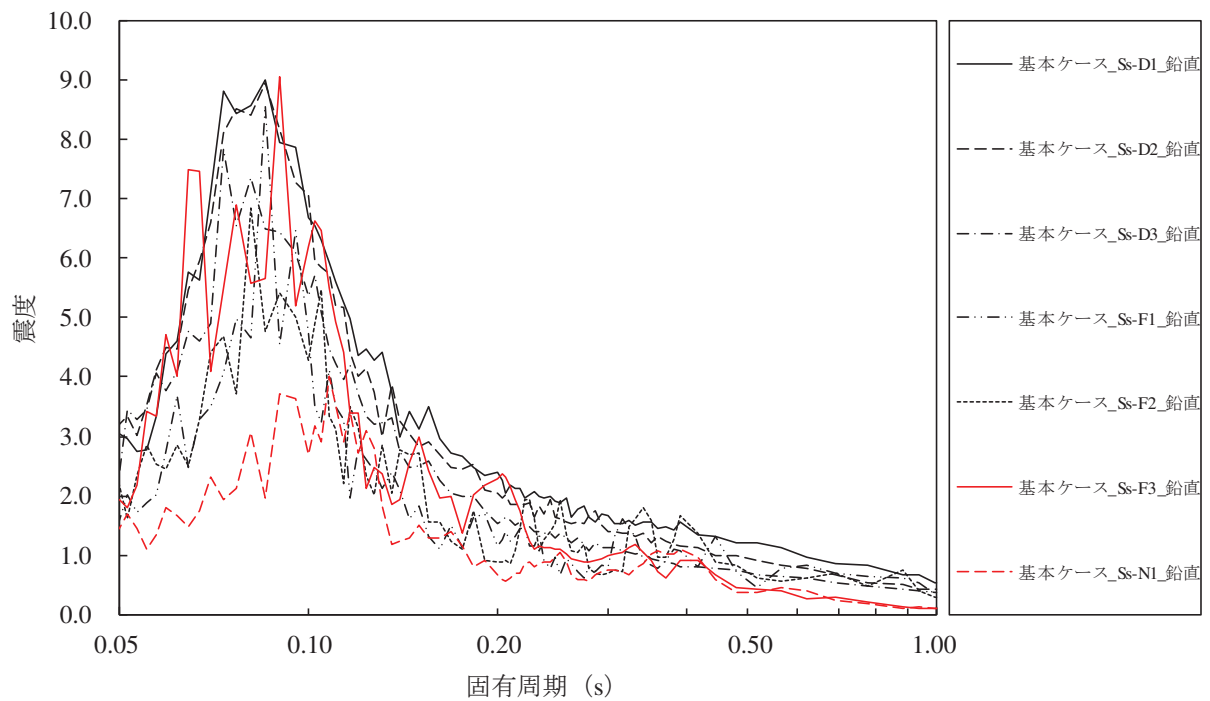
添付図 2-1 原子炉建屋 (O.P. 48.725m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



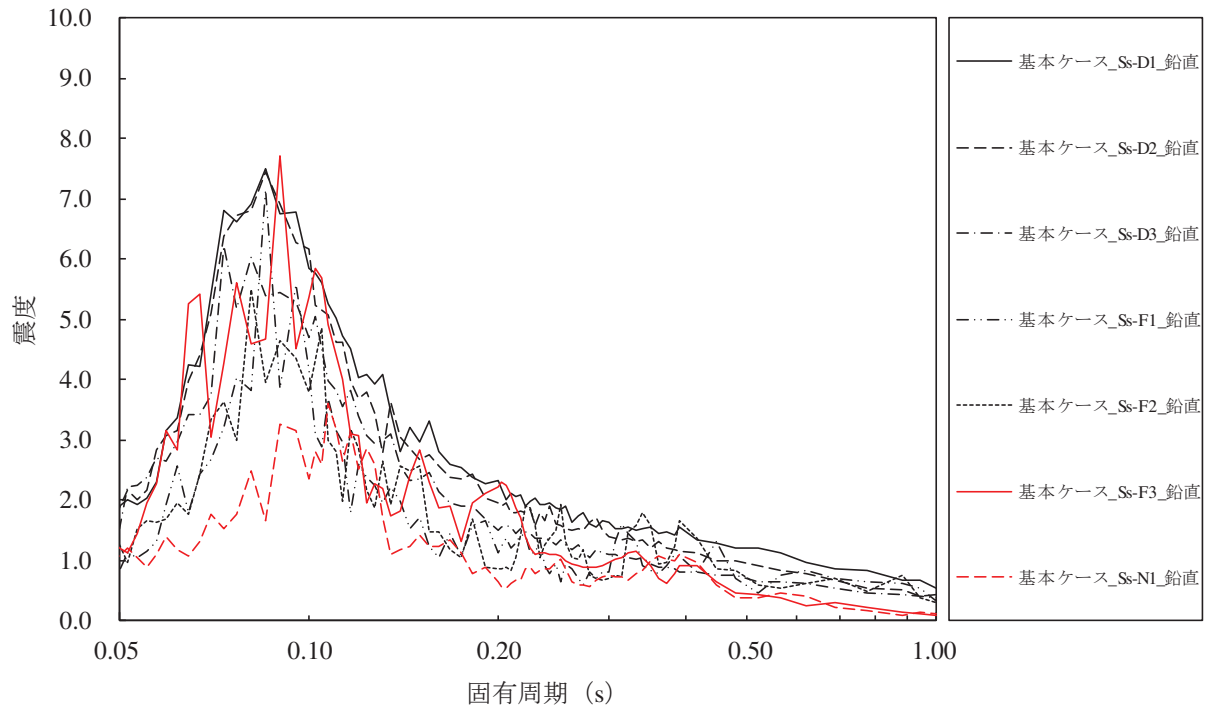
添付図 2-2 原子炉建屋 (O.P. 41.200m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



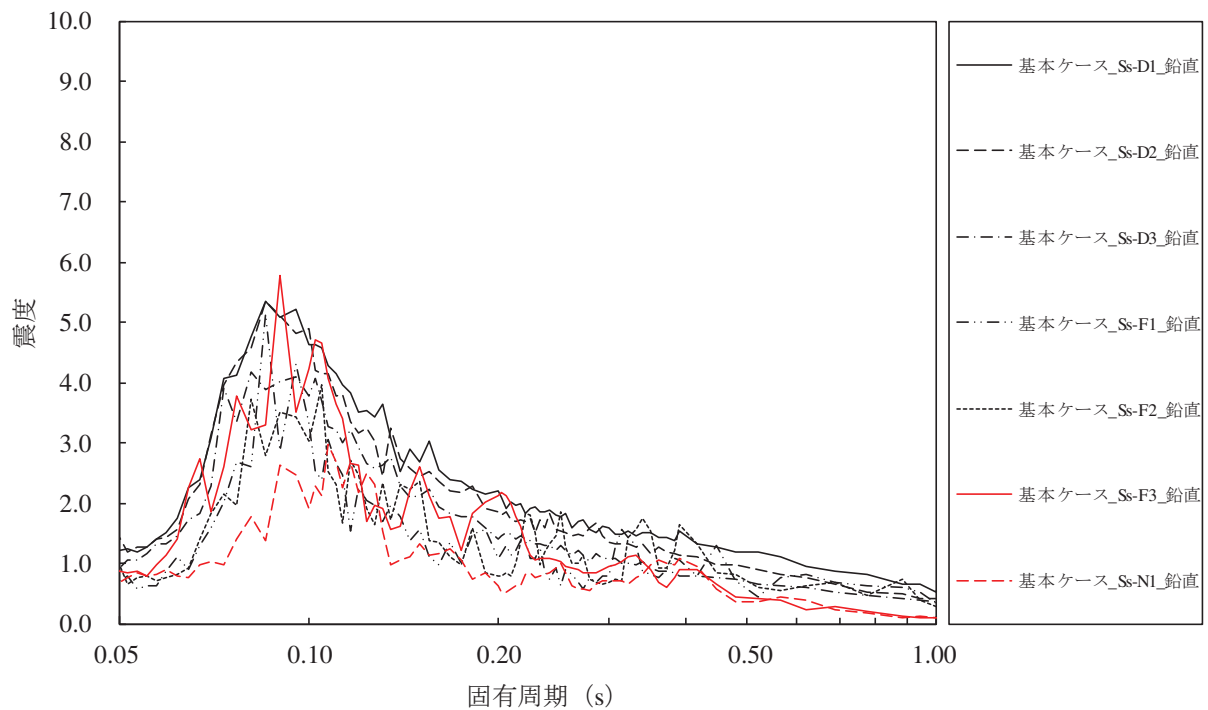
添付図 2-3 原子炉建屋 (O.P. 33.200m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



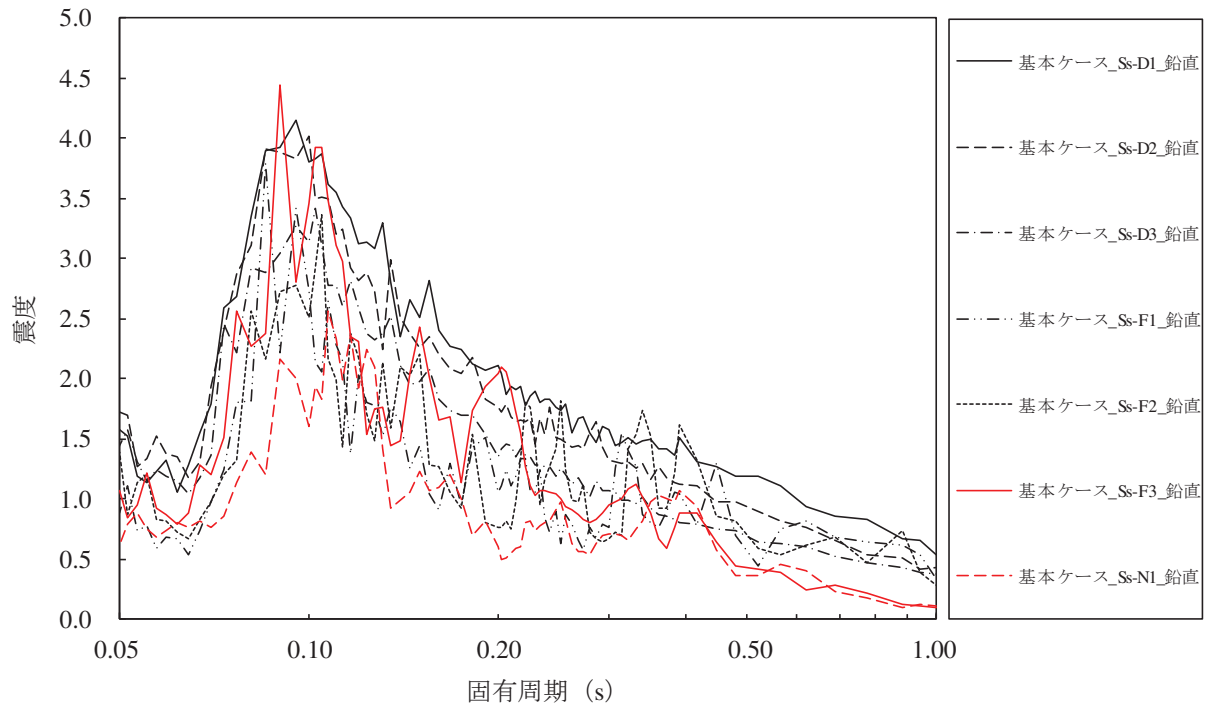
添付図 2-4 原子炉建屋 (O.P. 22.500m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



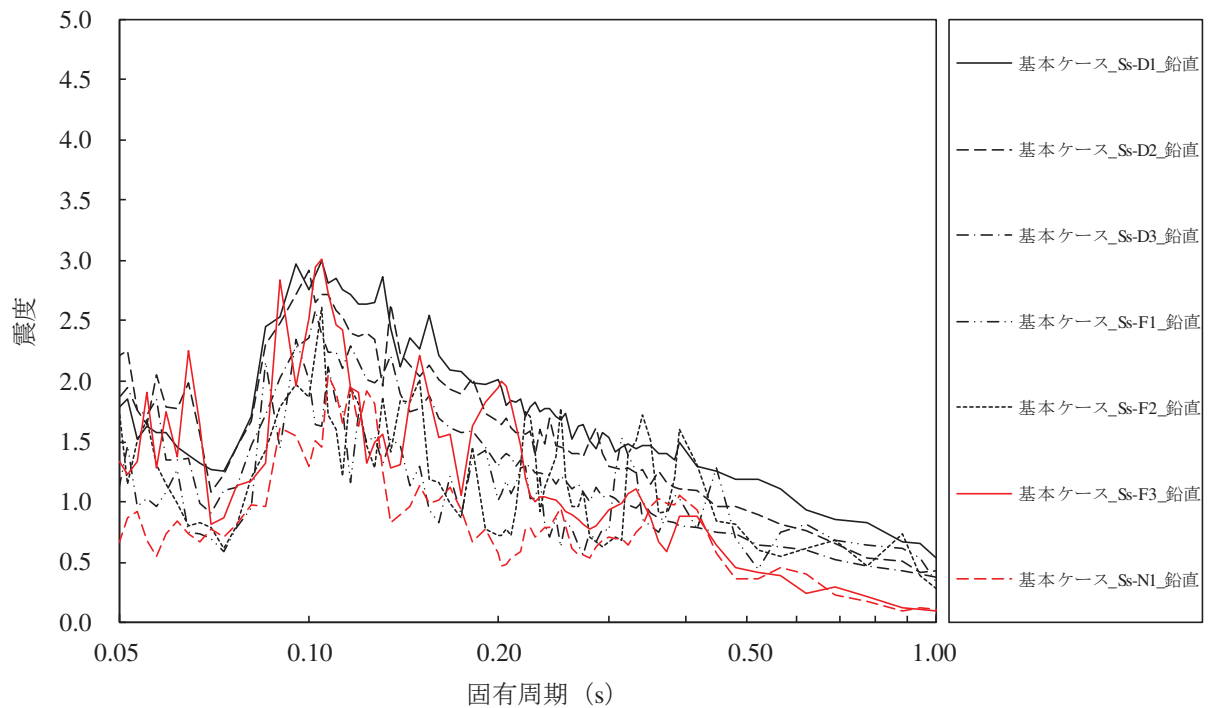
添付図 2-5 原子炉建屋 (O.P. 15.000m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



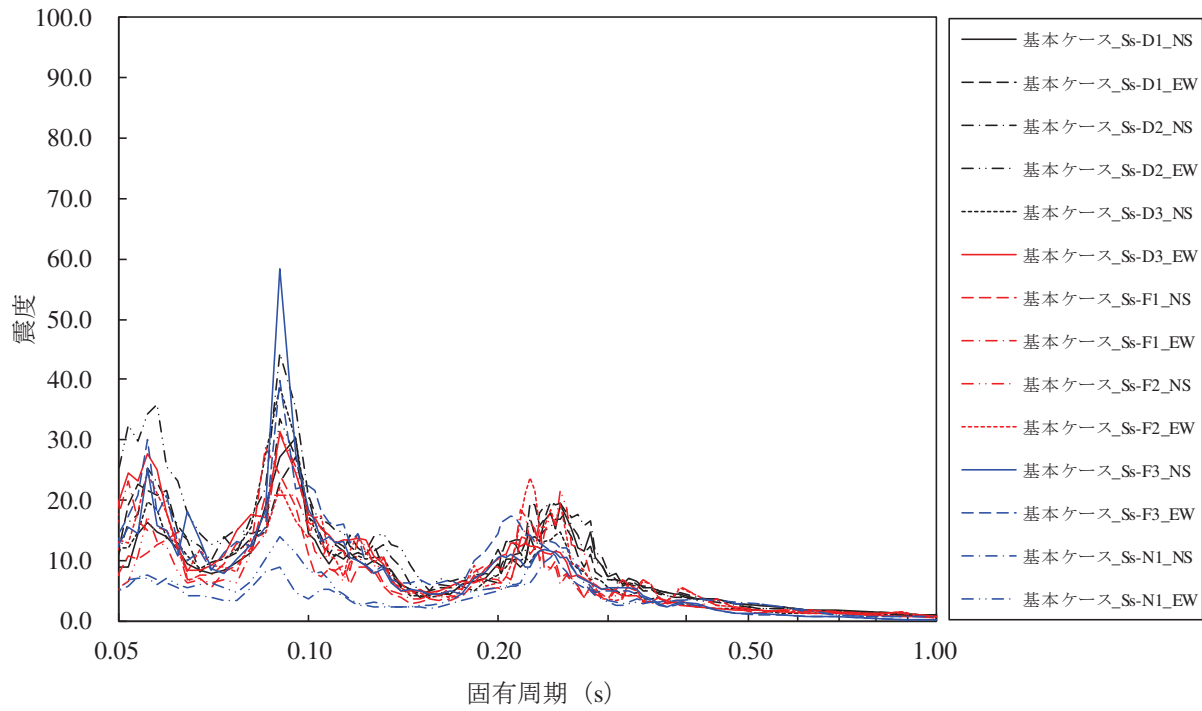
添付図 2-6 原子炉建屋 (O.P. 6.000m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



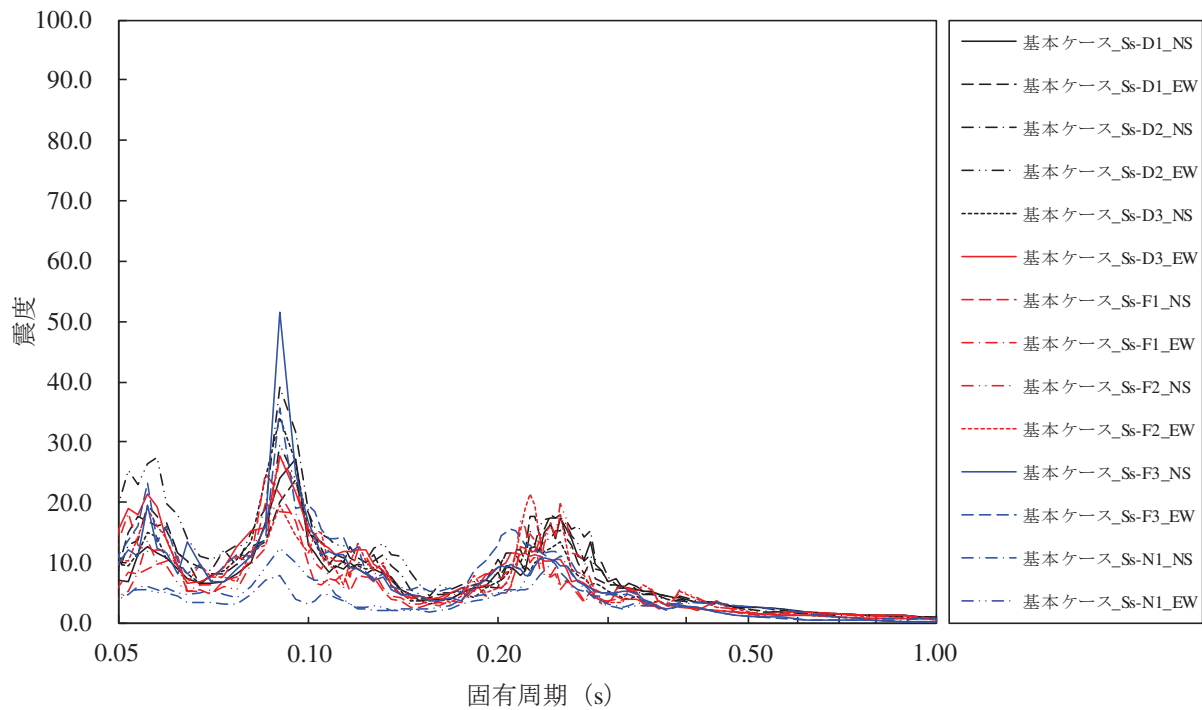
添付図 2-7 原子炉建屋 (O.P. -0.800m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



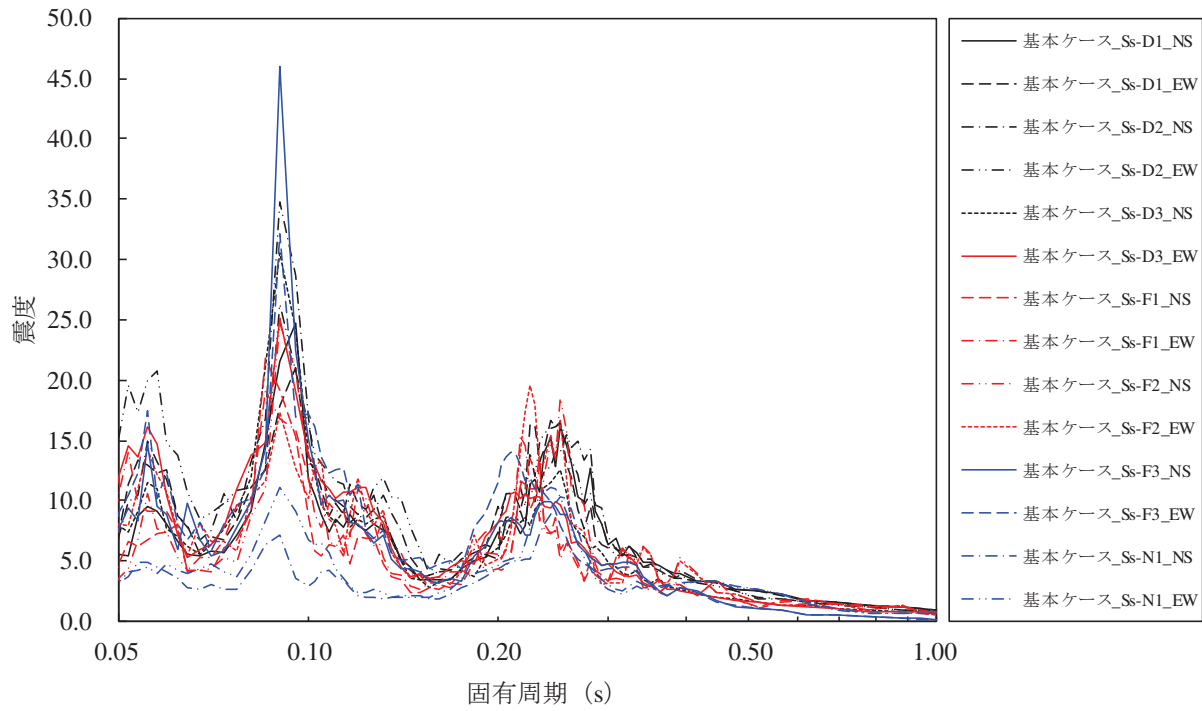
添付図 2-8 原子炉建屋 (O.P. -8.100m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



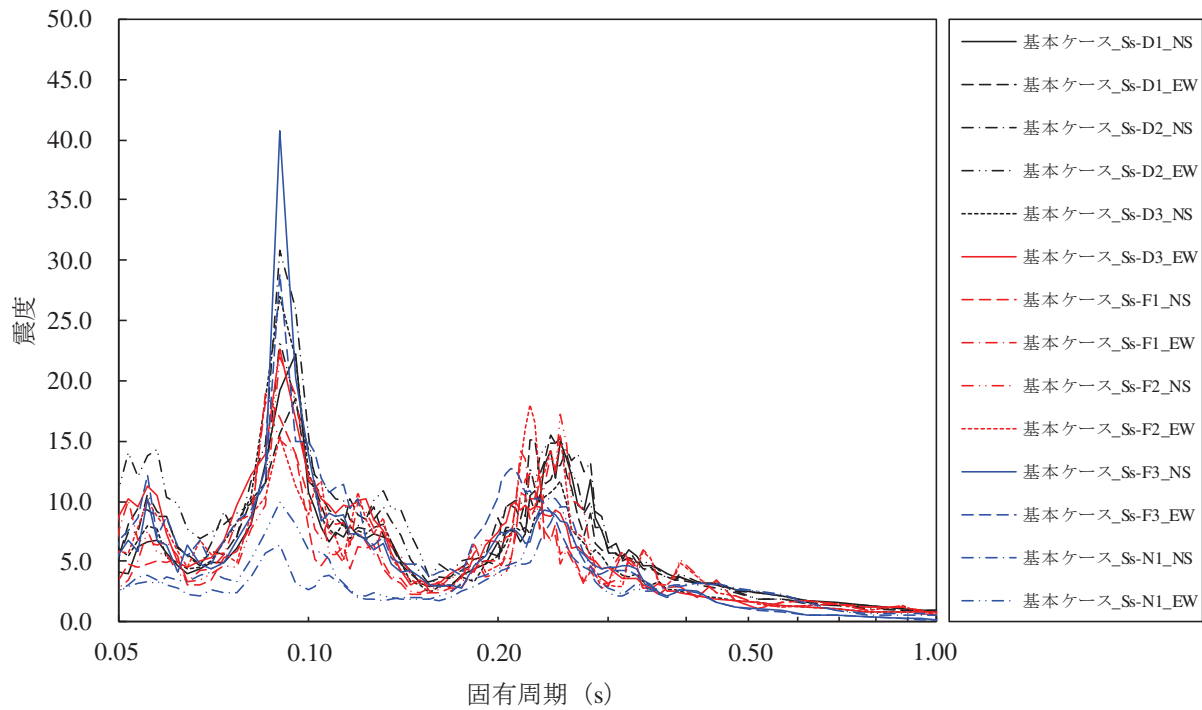
添付図 3-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル
 (水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



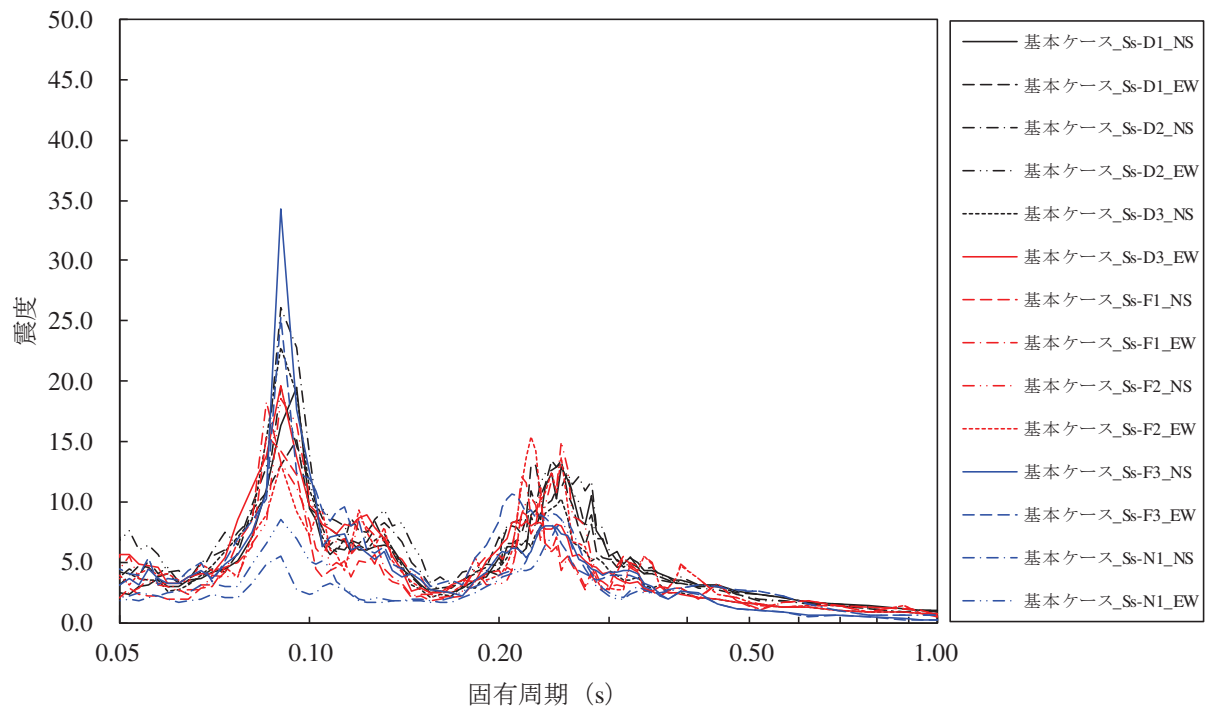
添付図 3-2 原子炉压力容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル
 (水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



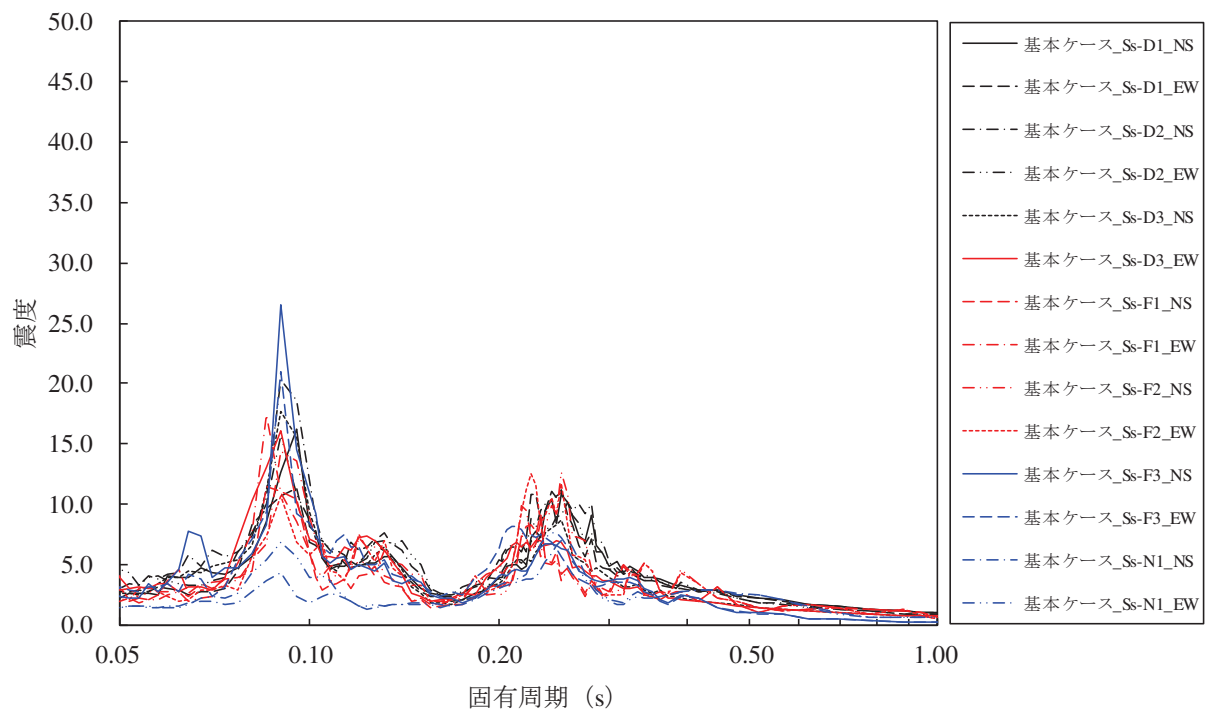
添付図 3-3 原子炉压力容器 (O.P. 23.667m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



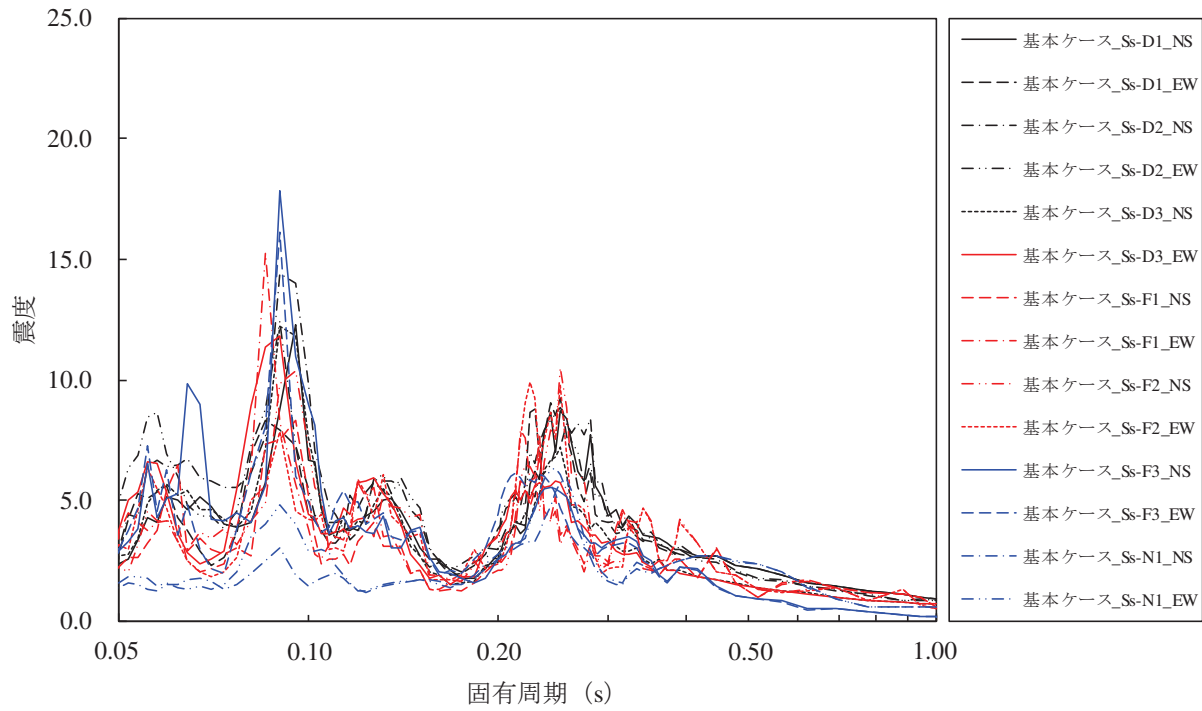
添付図 3-4 原子炉压力容器 (O.P. 21.770m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



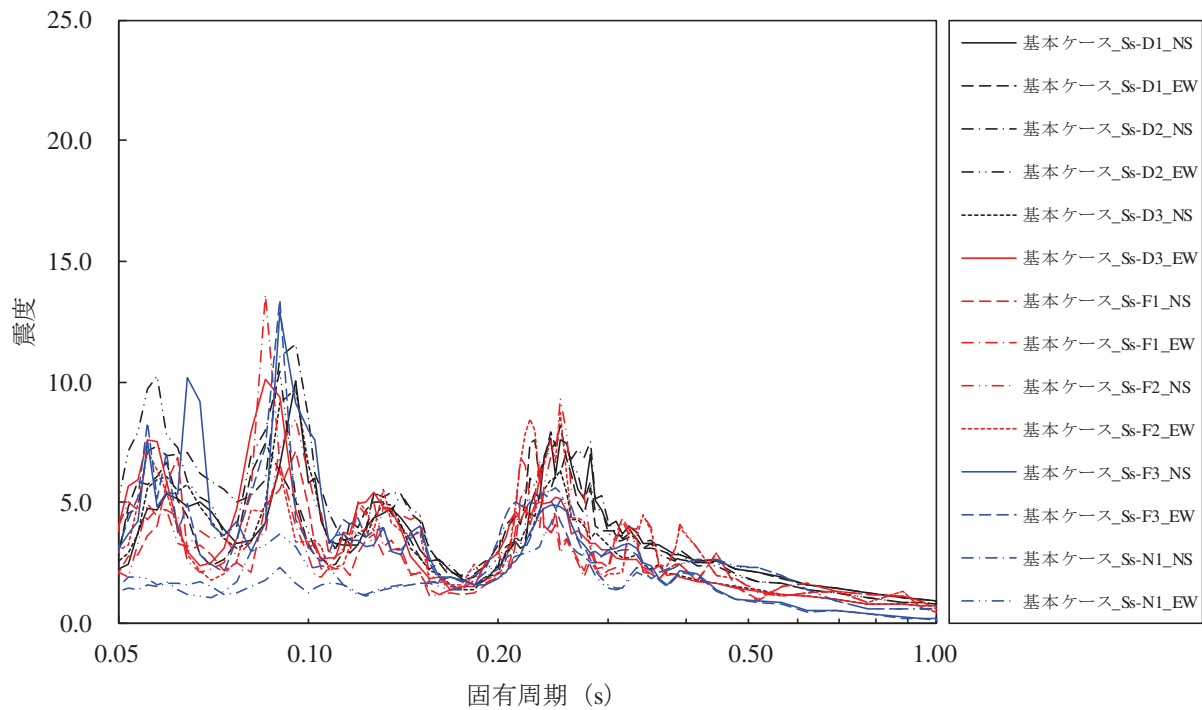
添付図 3-5 原子炉压力容器 (O.P. 18.417m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



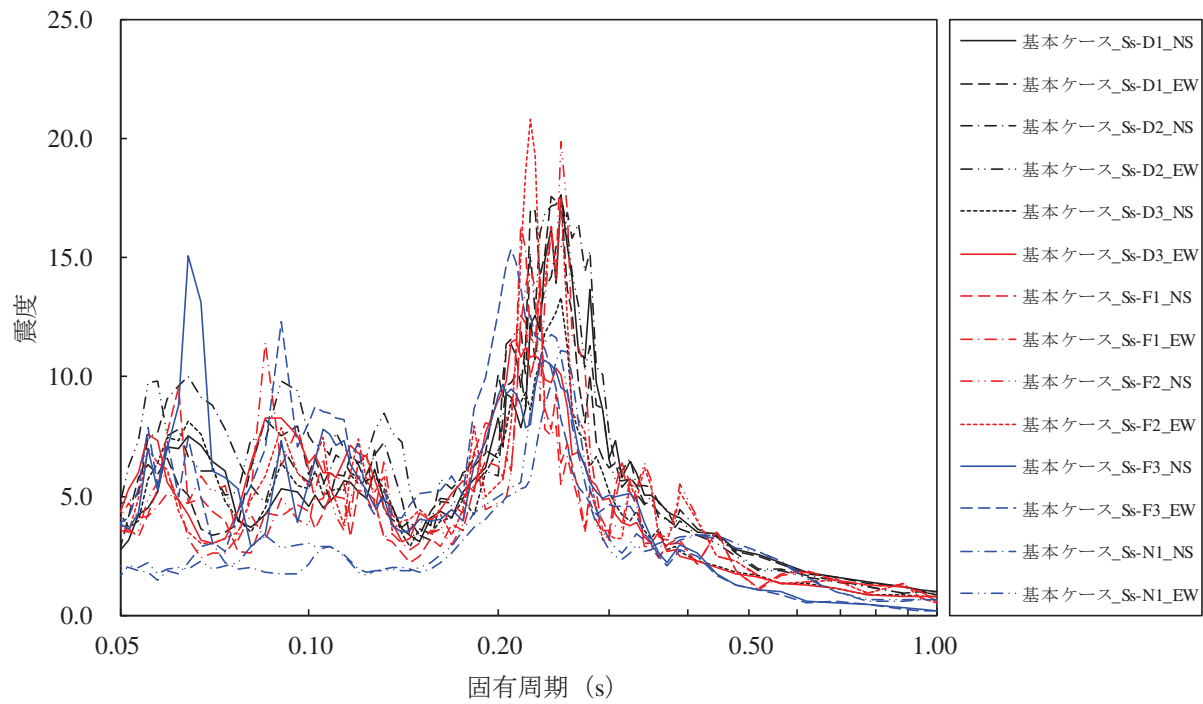
添付図 3-6 原子炉压力容器 (O.P. 14.776m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



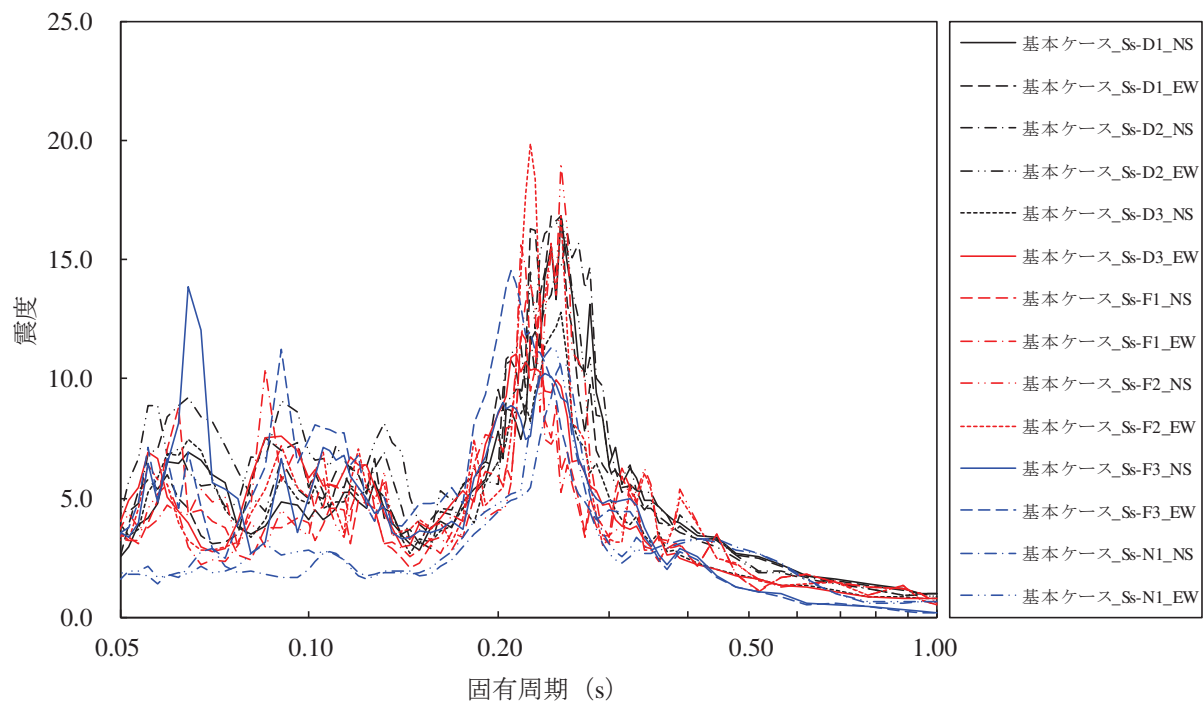
添付図 3-7 原子炉压力容器 (O.P. 11.310m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



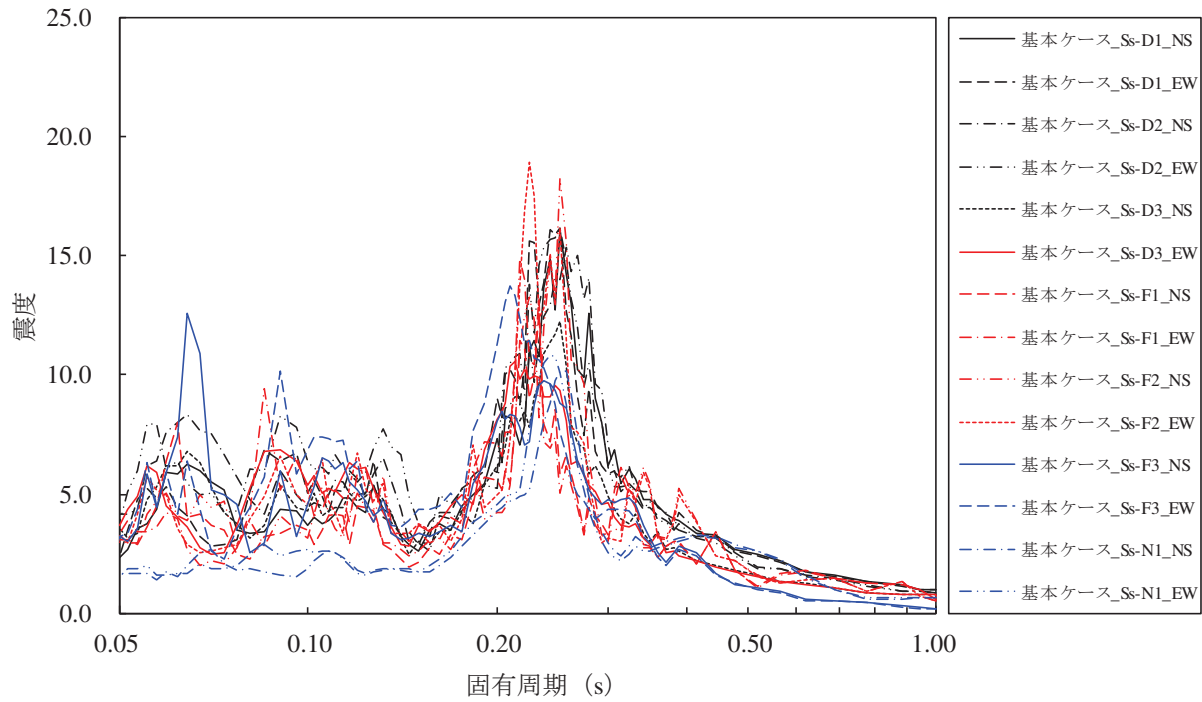
添付図 3-8 原子炉压力容器 (O.P. 9.334m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



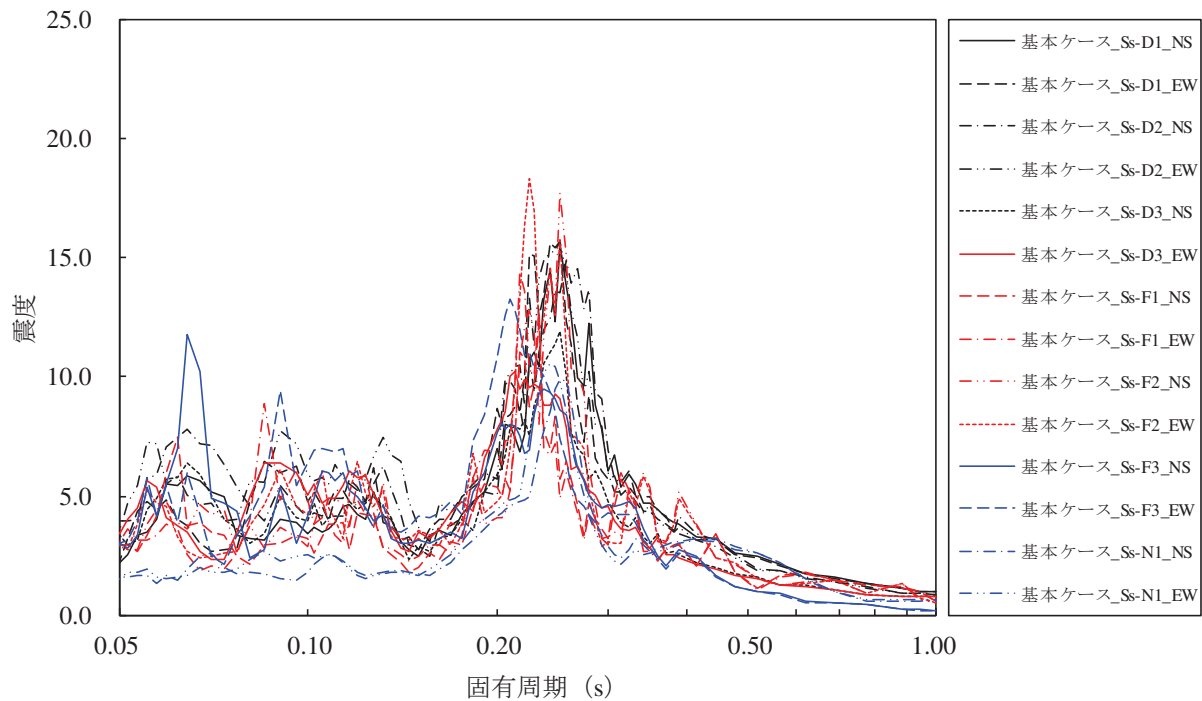
添付図 3-9 原子炉格納容器 (O.P. 30.300m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



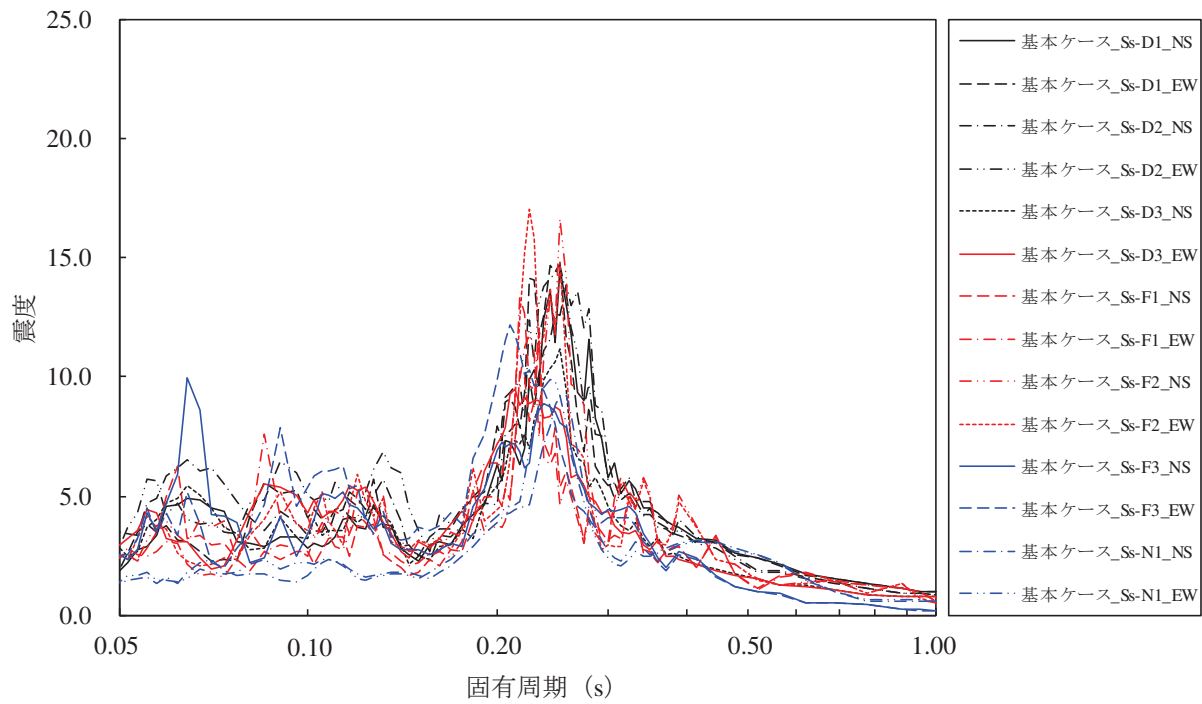
添付図 3-10 原子炉格納容器 (O.P. 27.995m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



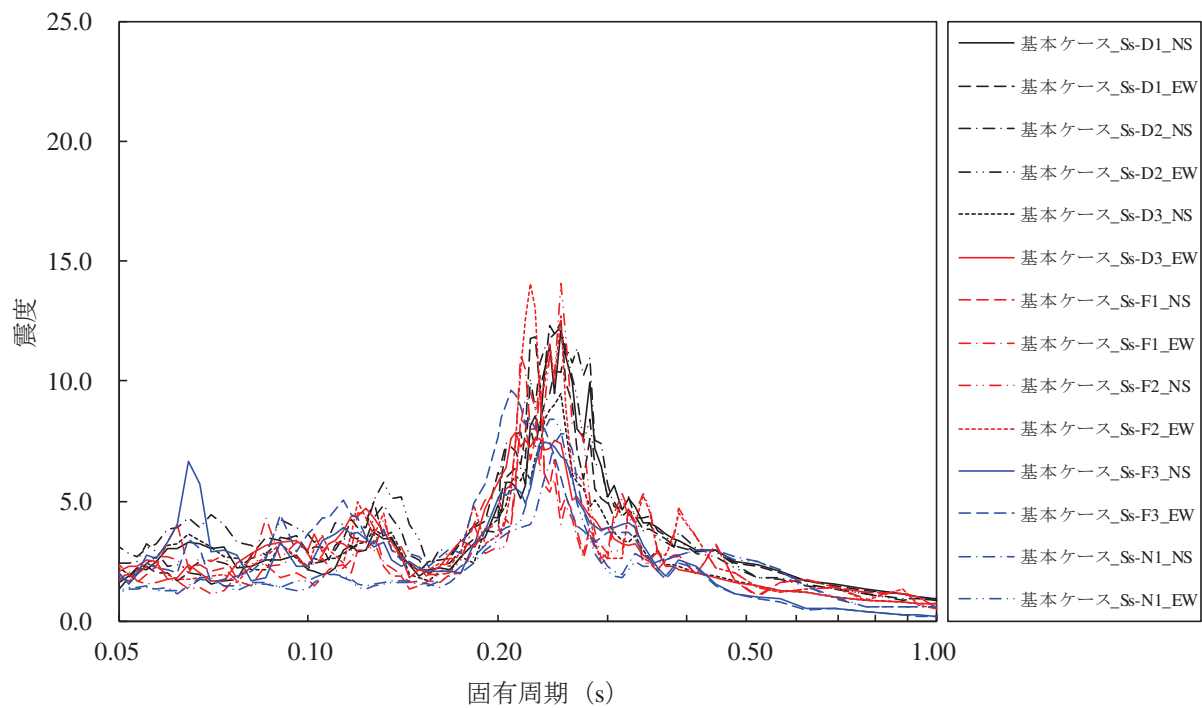
添付図 3-11 原子炉格納容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



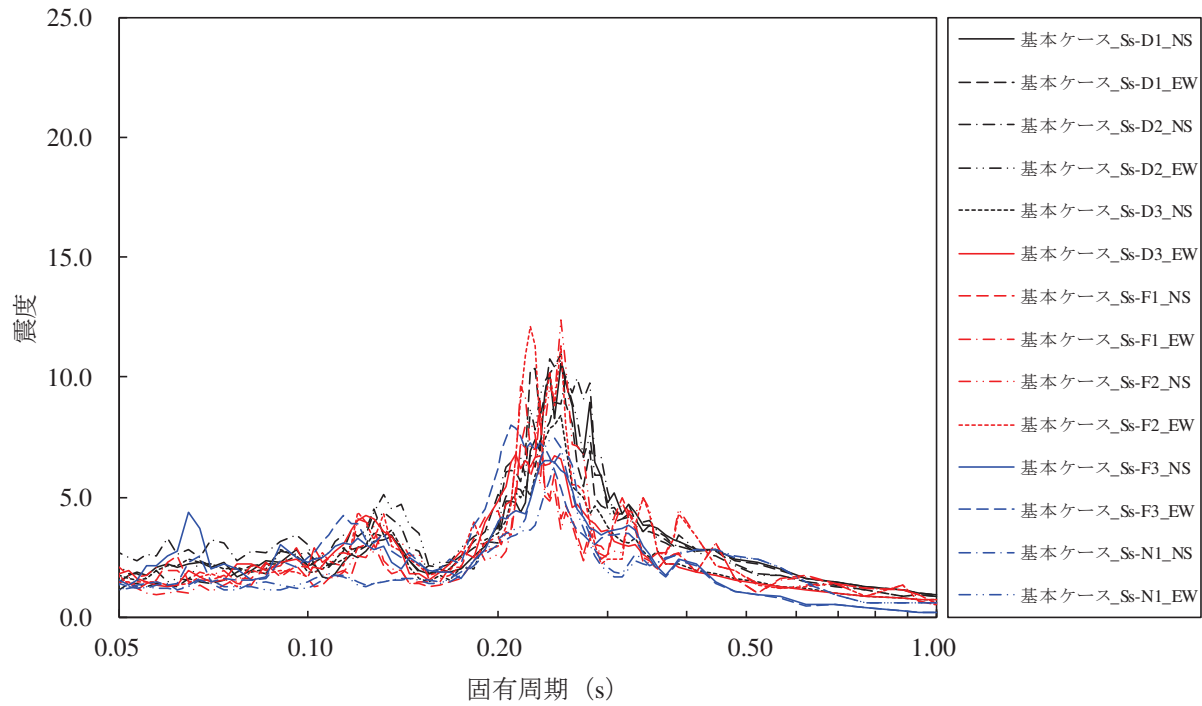
添付図 3-12 原子炉格納容器 (O.P. 24.464m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



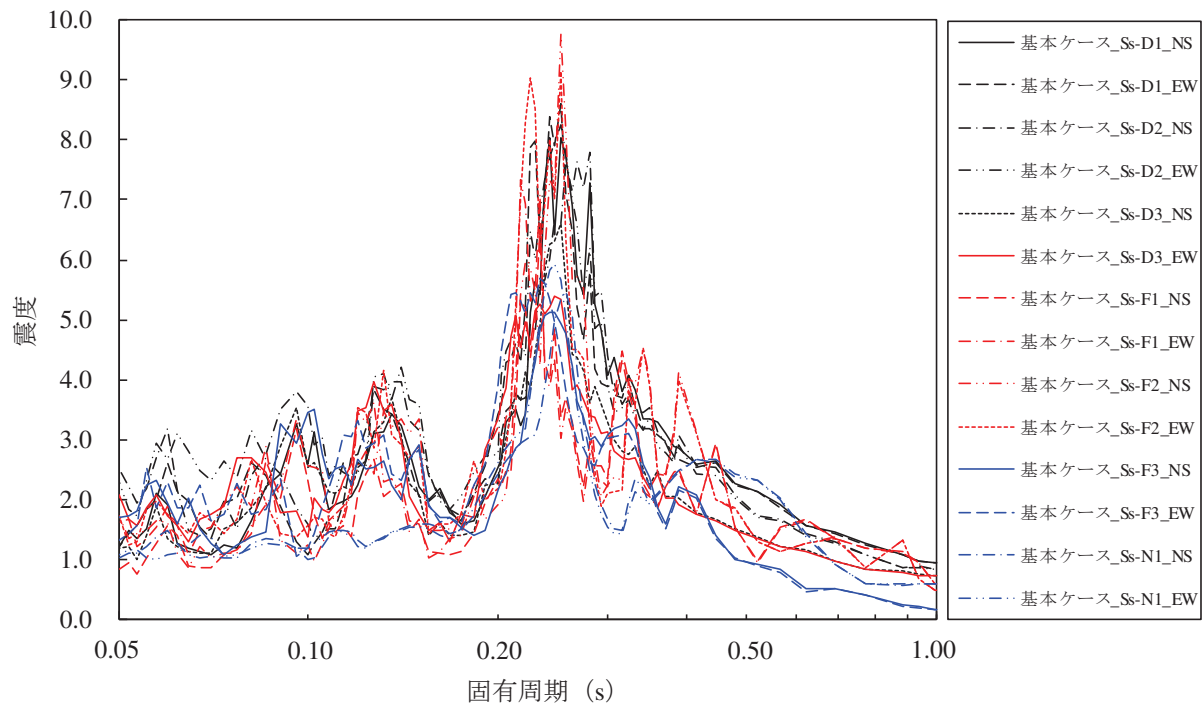
添付図 3-13 原子炉格納容器 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



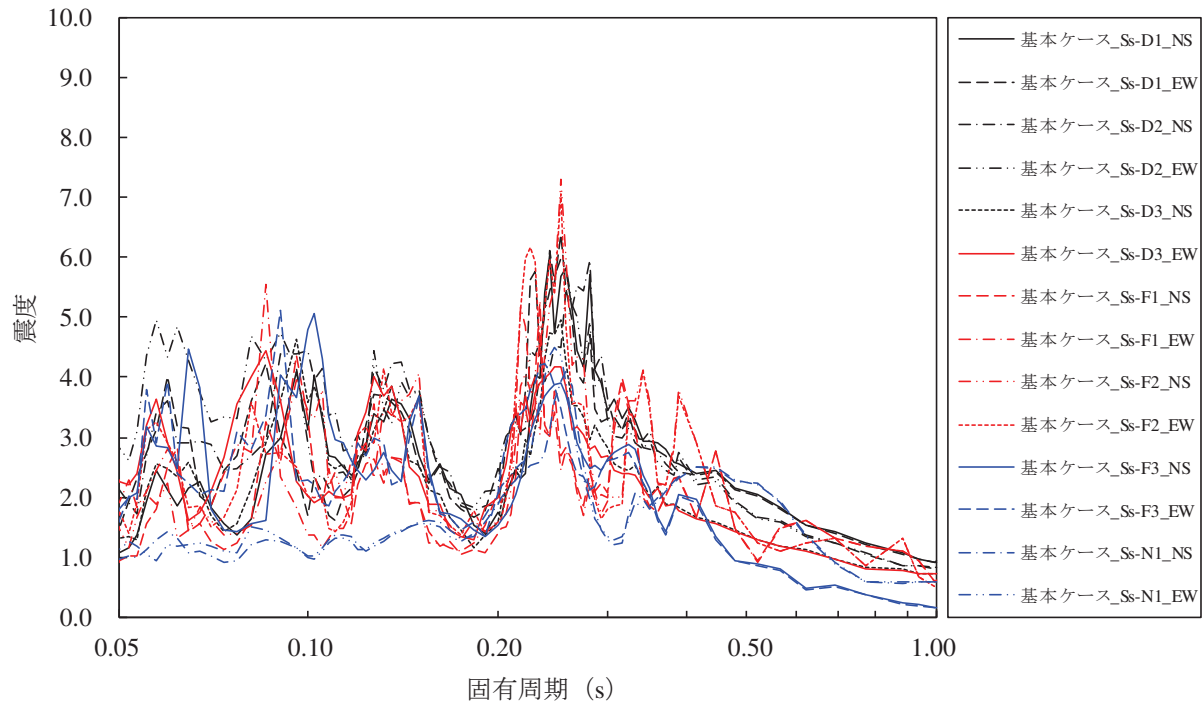
添付図 3-14 原子炉格納容器 (O.P. 17.150m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



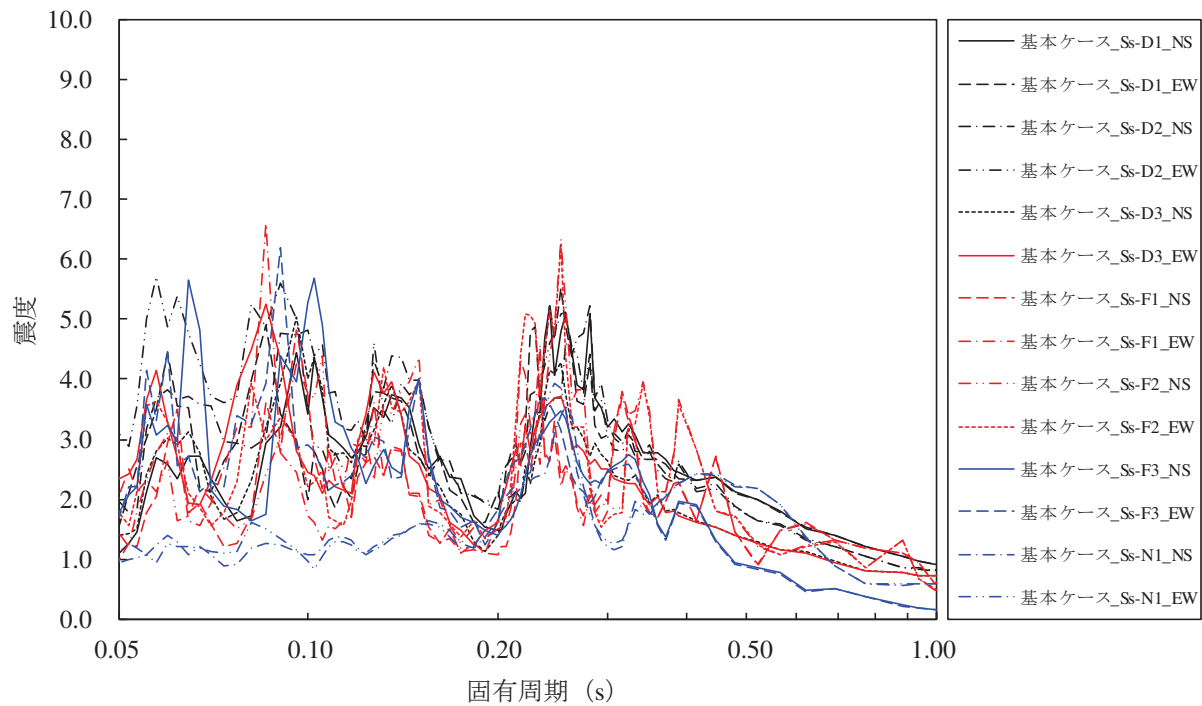
添付図 3-15 原子炉格納容器 (O. P. 14.295m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



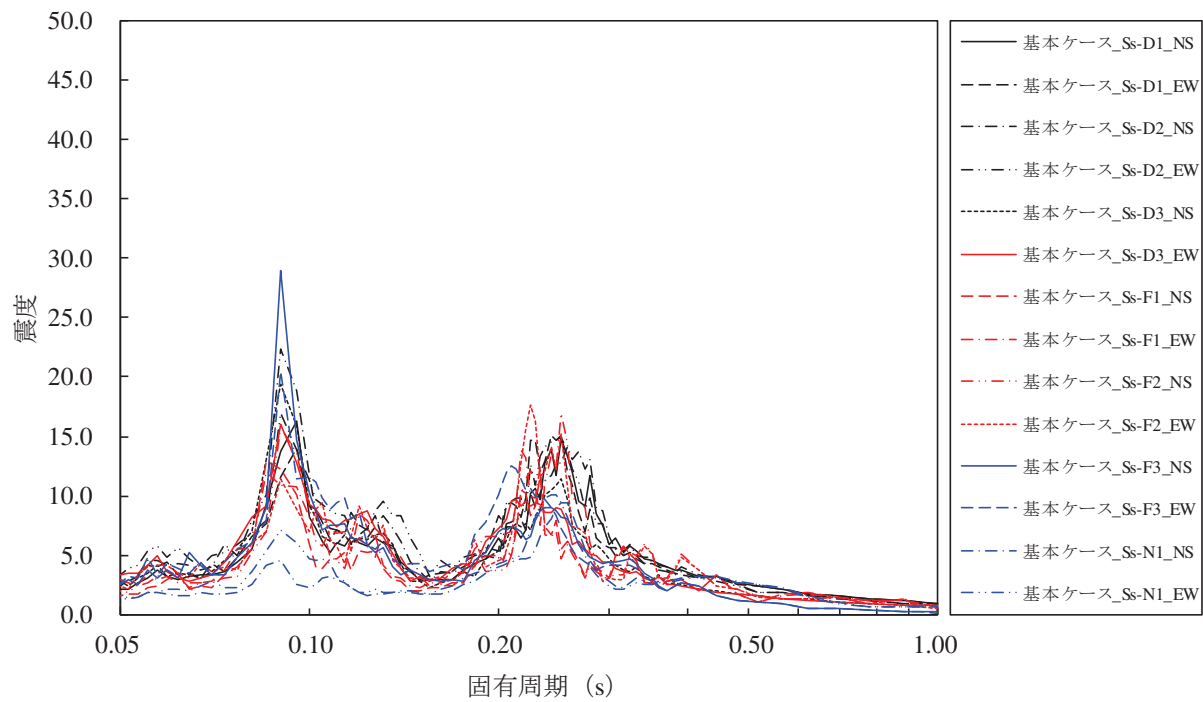
添付図 3-16 原子炉格納容器 (O. P. 9.448m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



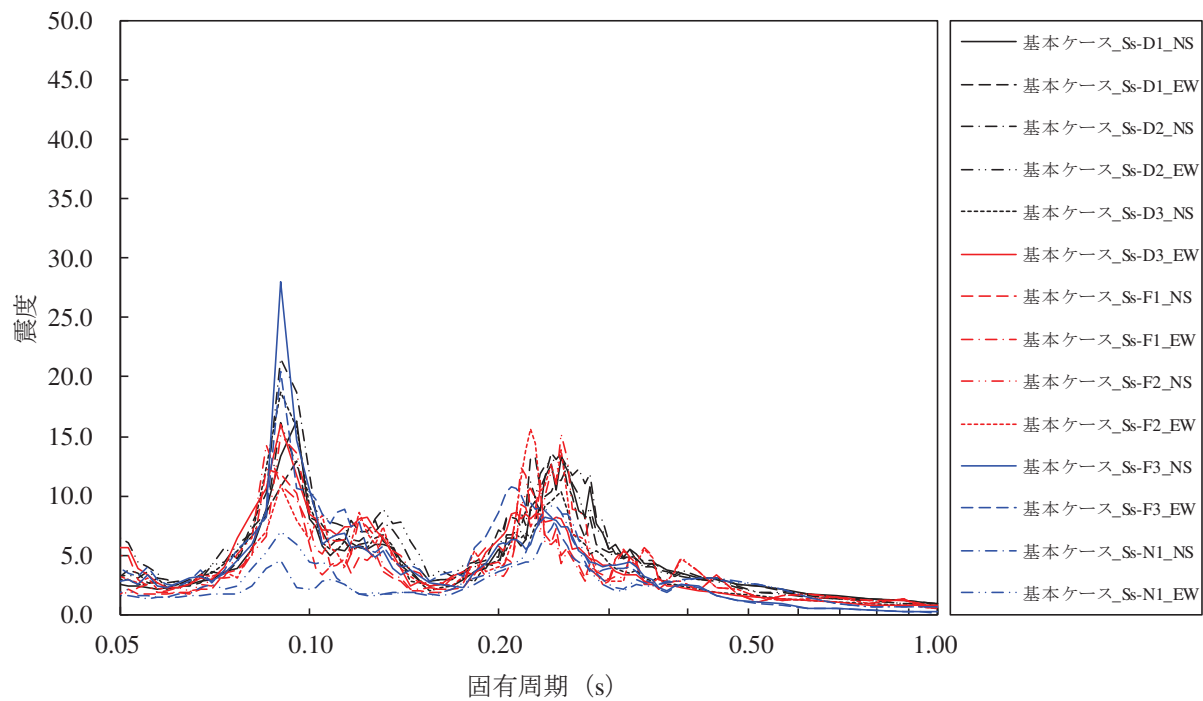
添付図 3-17 原子炉格納容器 (O.P. 4.600m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



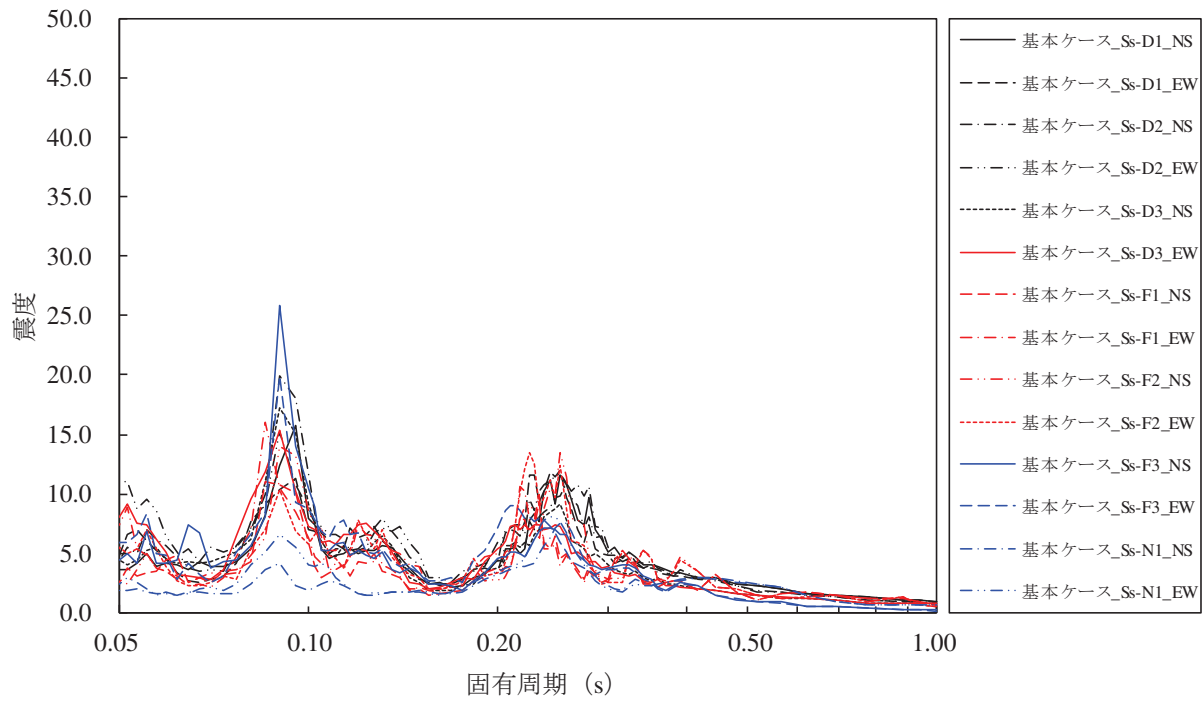
添付図 3-18 原子炉格納容器 (O.P. 2.600m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



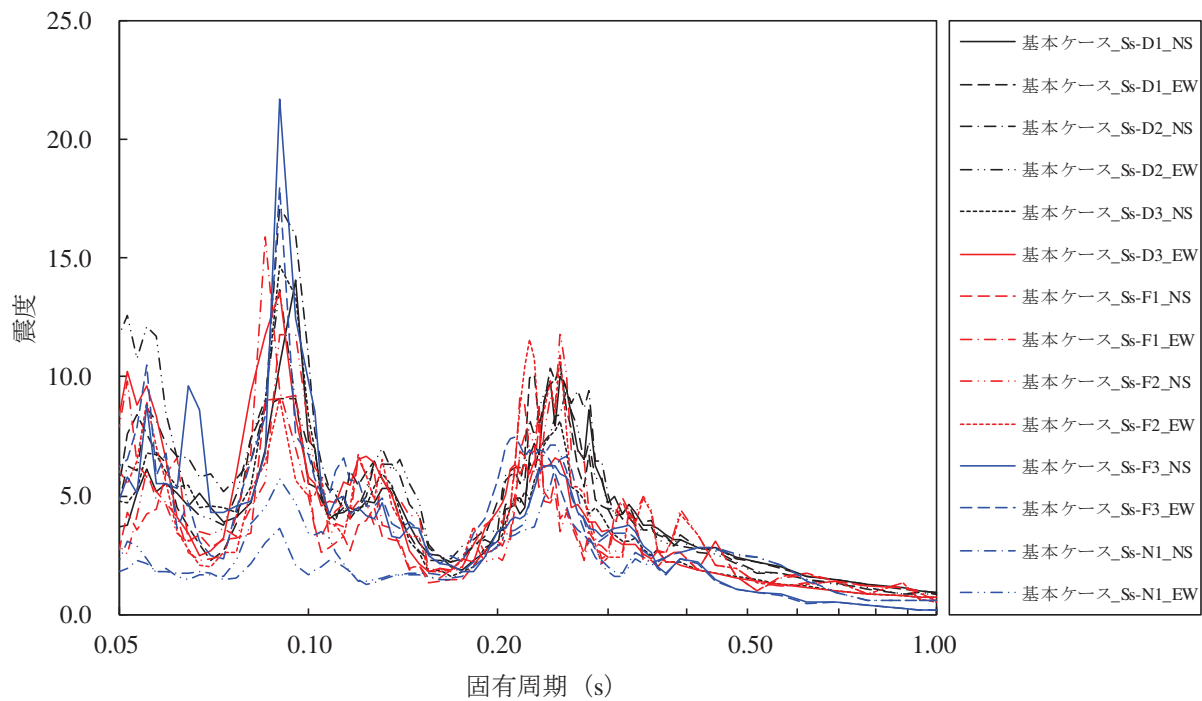
添付図 3-19 原子炉しゃへい壁 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



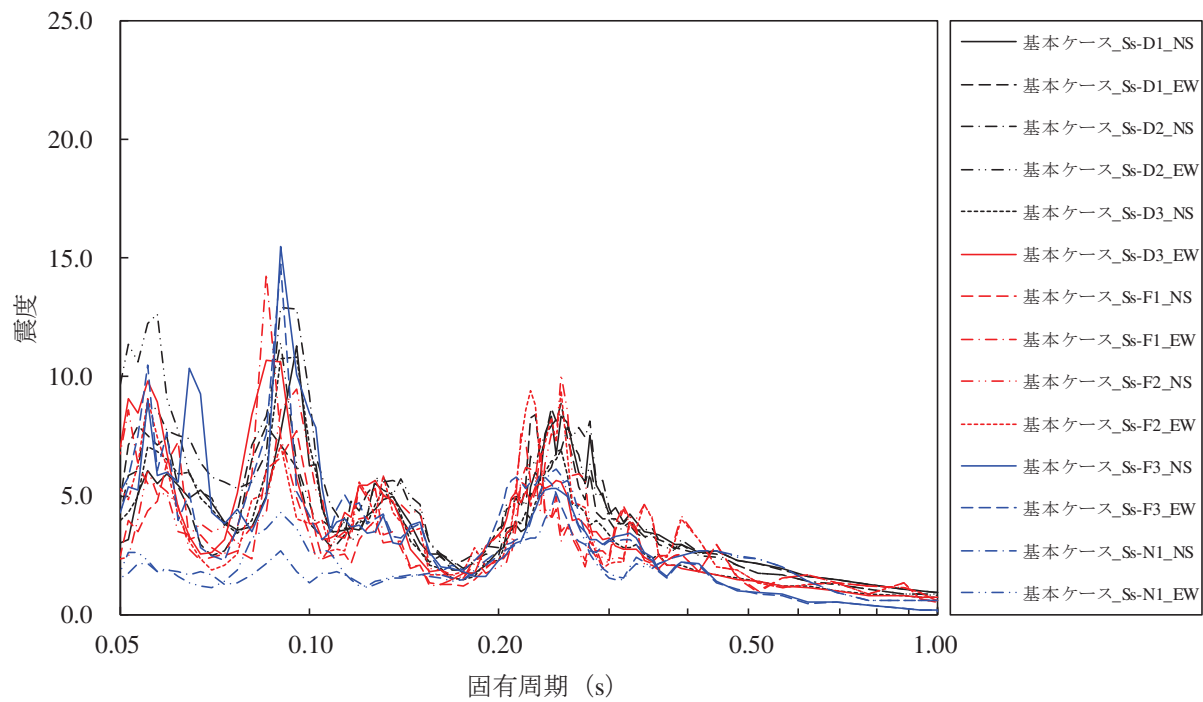
添付図 3-20 原子炉しゃへい壁 (O.P. 18.790m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



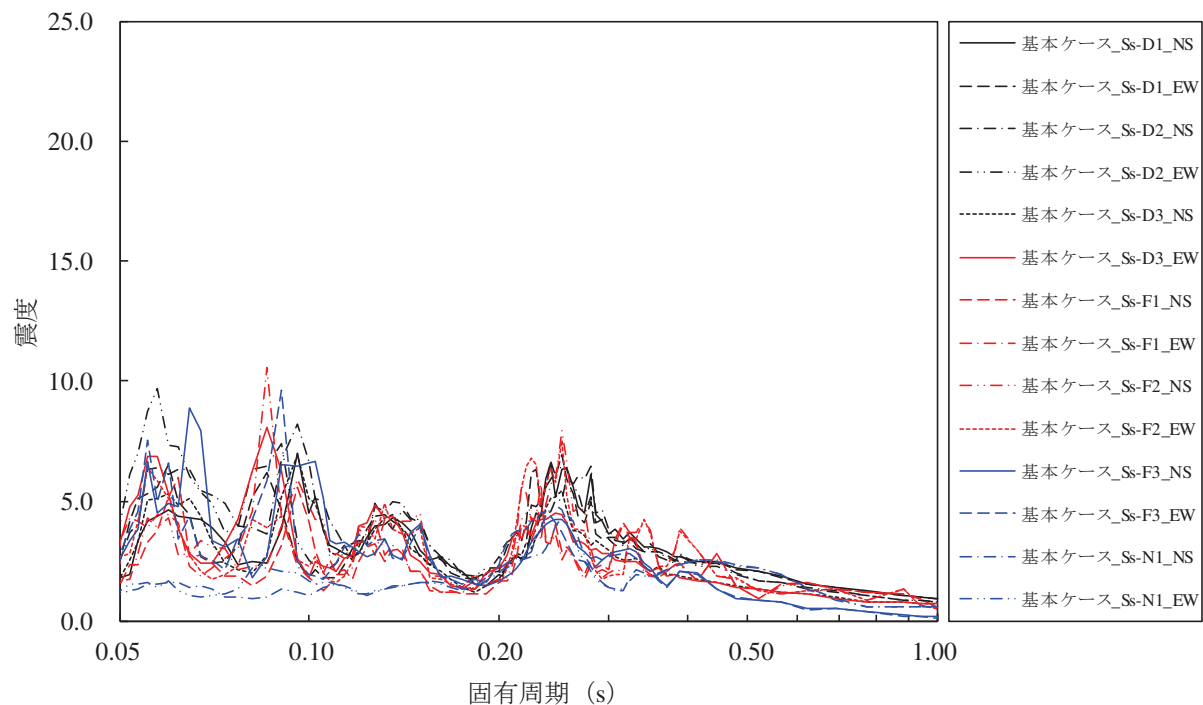
添付図 3-21 原子炉しゃへい壁 (O.P. 15.950m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



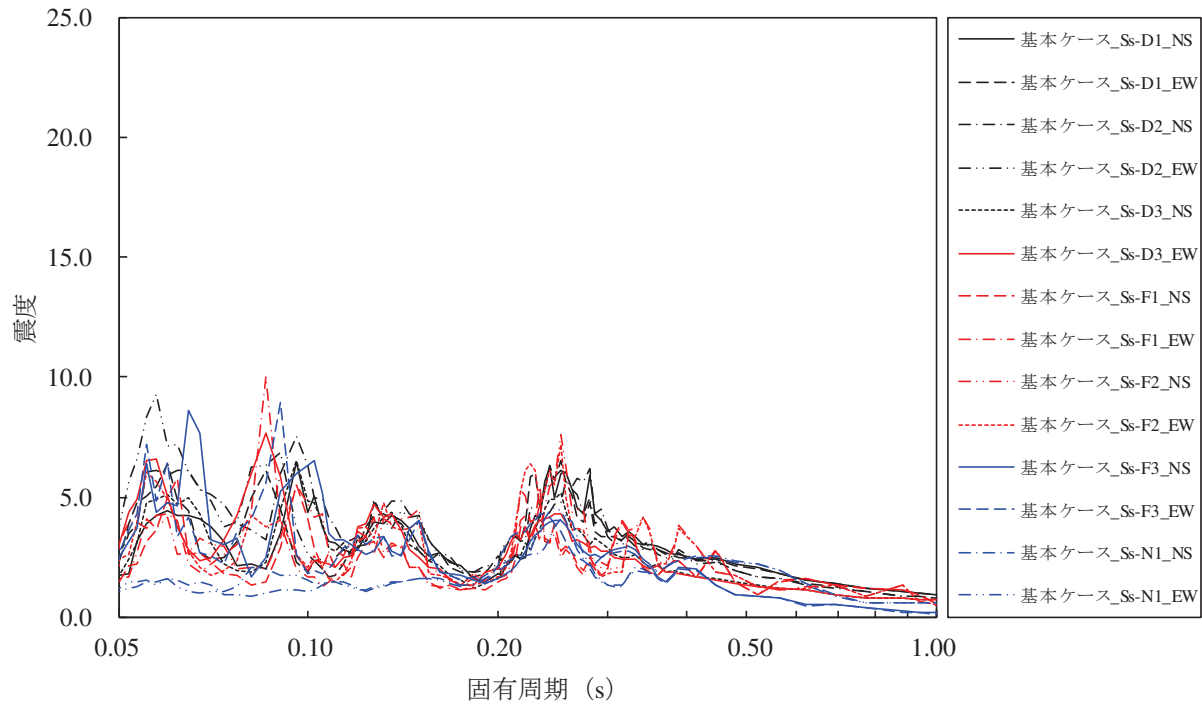
添付図 3-22 原子炉しゃへい壁 (O.P. 13.400m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



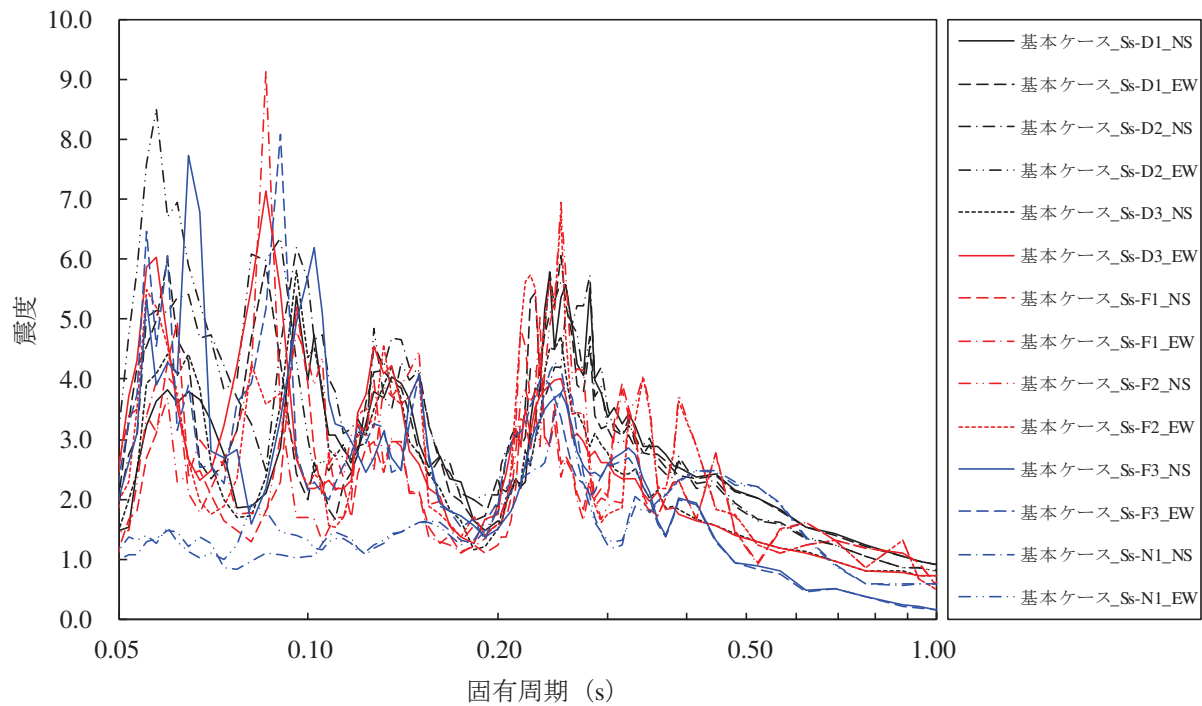
添付図 3-23 原子炉しゃへい壁 (O.P. 10.600m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



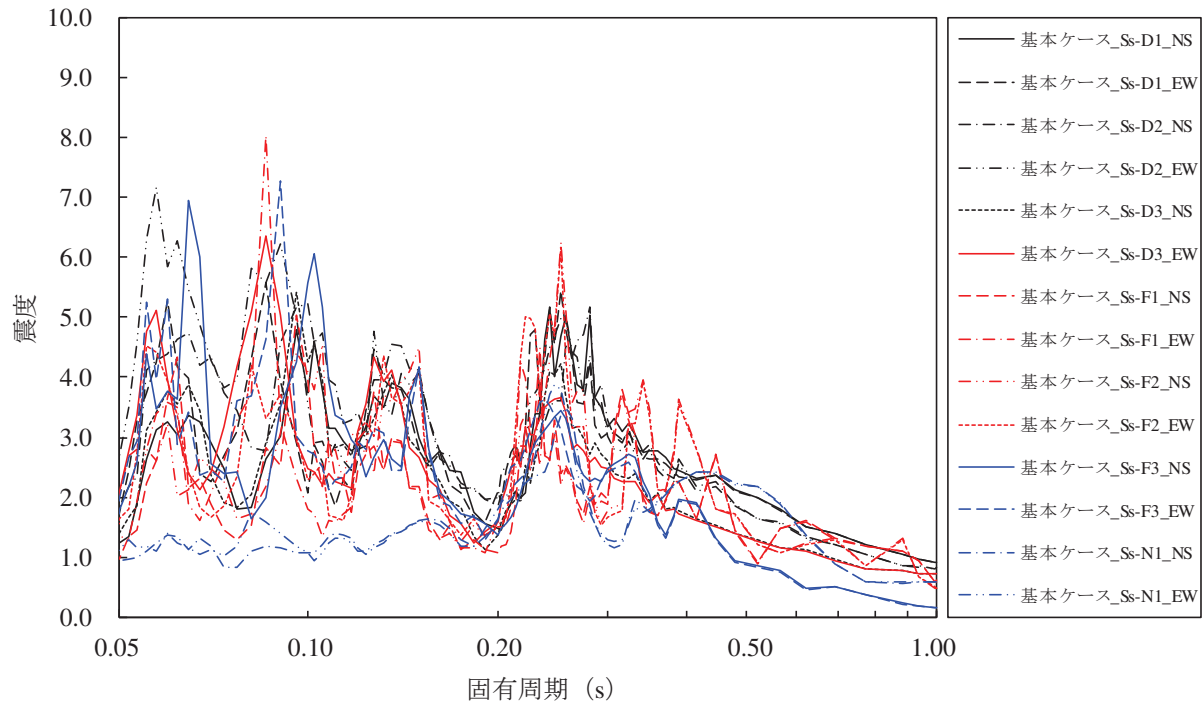
添付図 3-24 原子炉本体の基礎 (O.P. 7.040m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



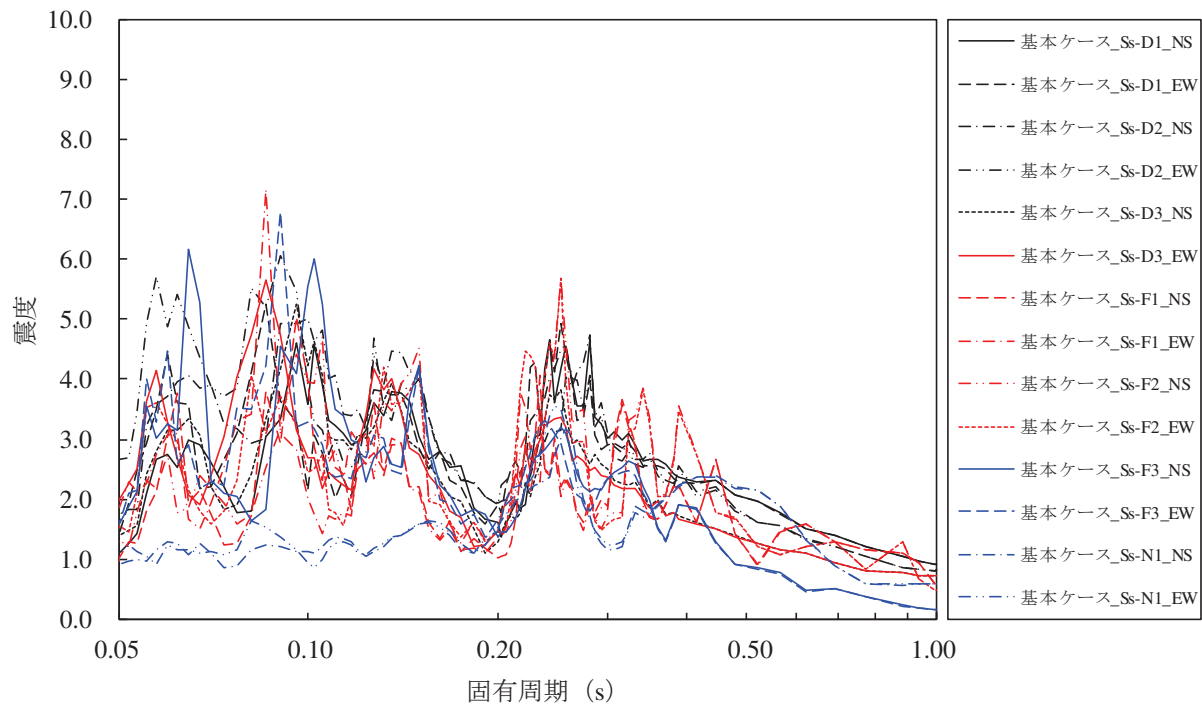
添付図 3-25 原子炉本体の基礎 (O.P. 6.240m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



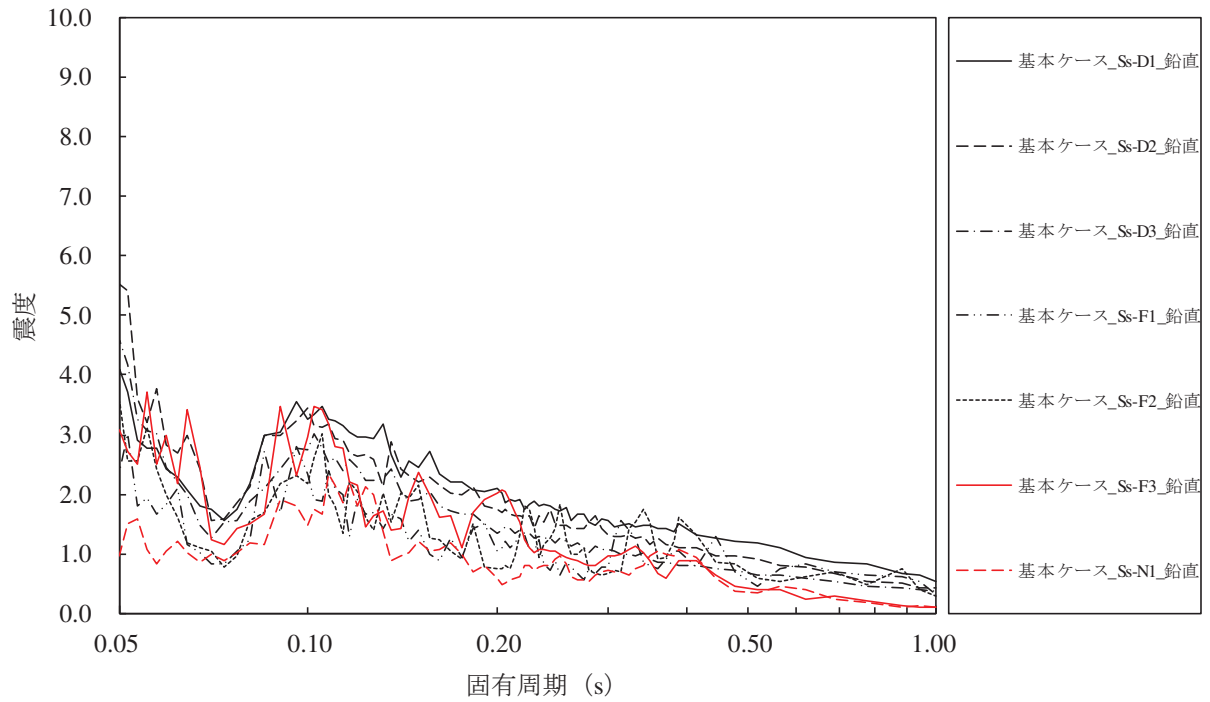
添付図 3-26 原子炉本体の基礎 (O.P. 4.950m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



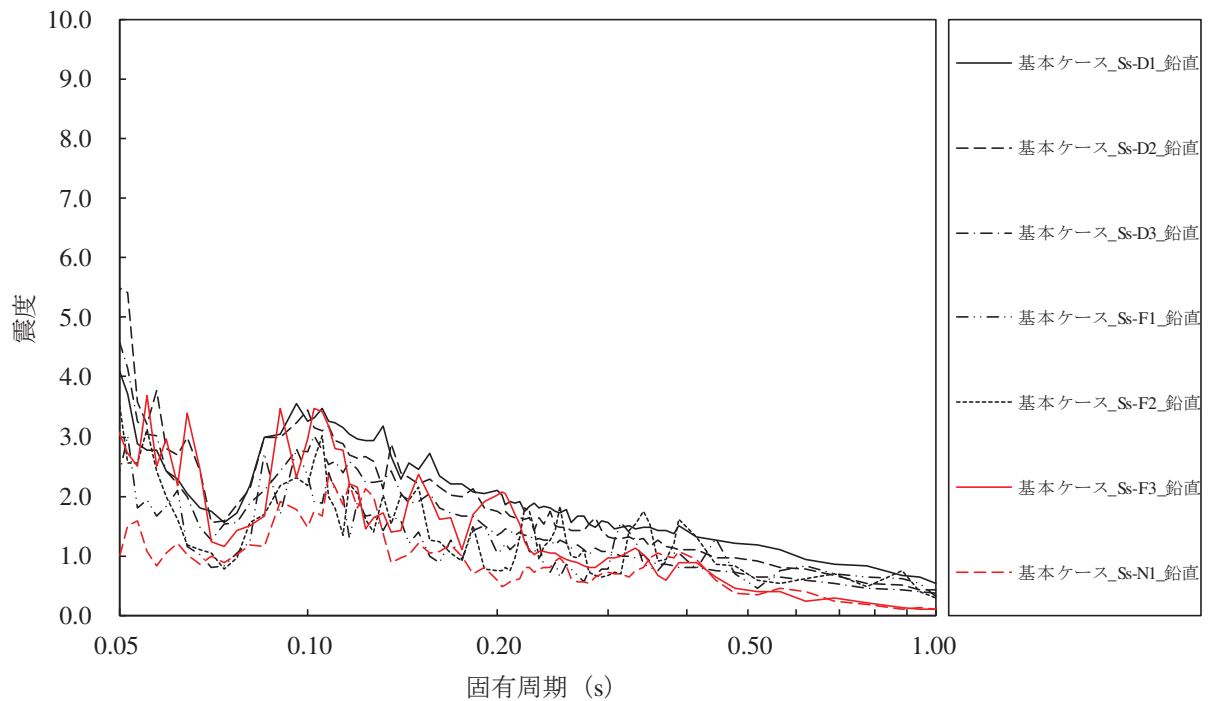
添付図 3-27 原子炉本体の基礎 (O.P. 3.050m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



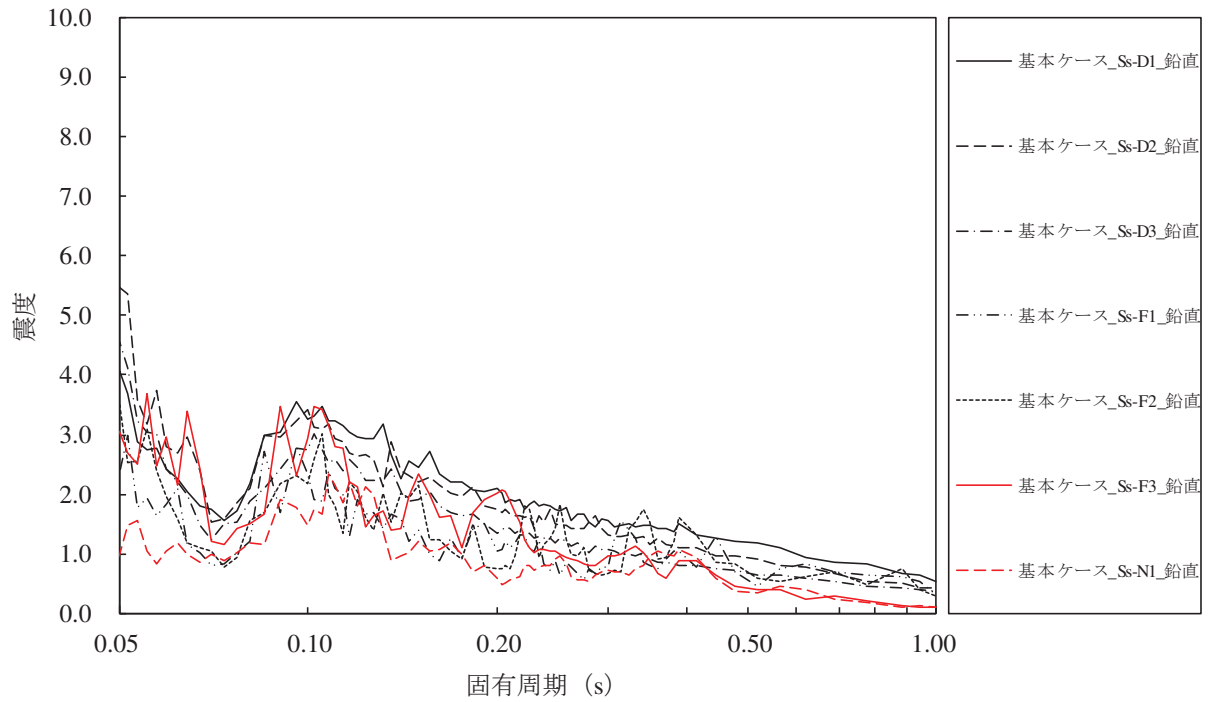
添付図 3-28 原子炉本体の基礎 (O.P. 1.150m) の加速度応答スペクトル
(水平方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



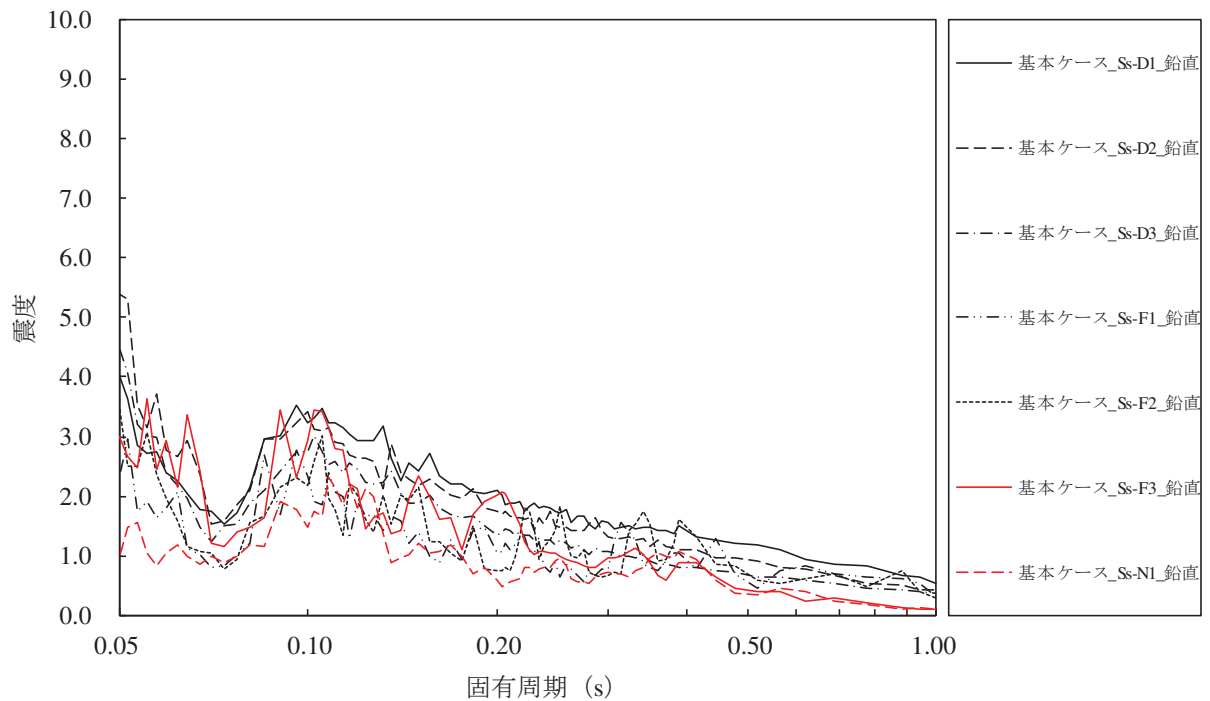
添付図 4-1 原子炉压力容器 (O.P. 28.600m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



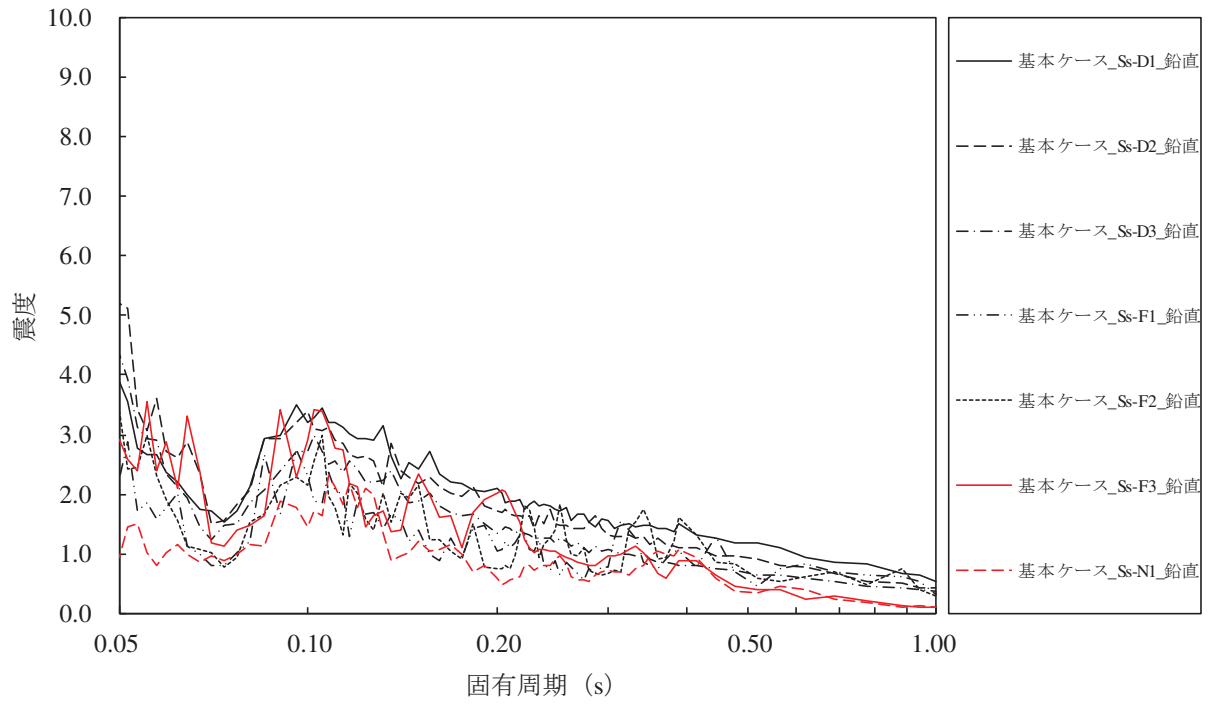
添付図 4-2 原子炉压力容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



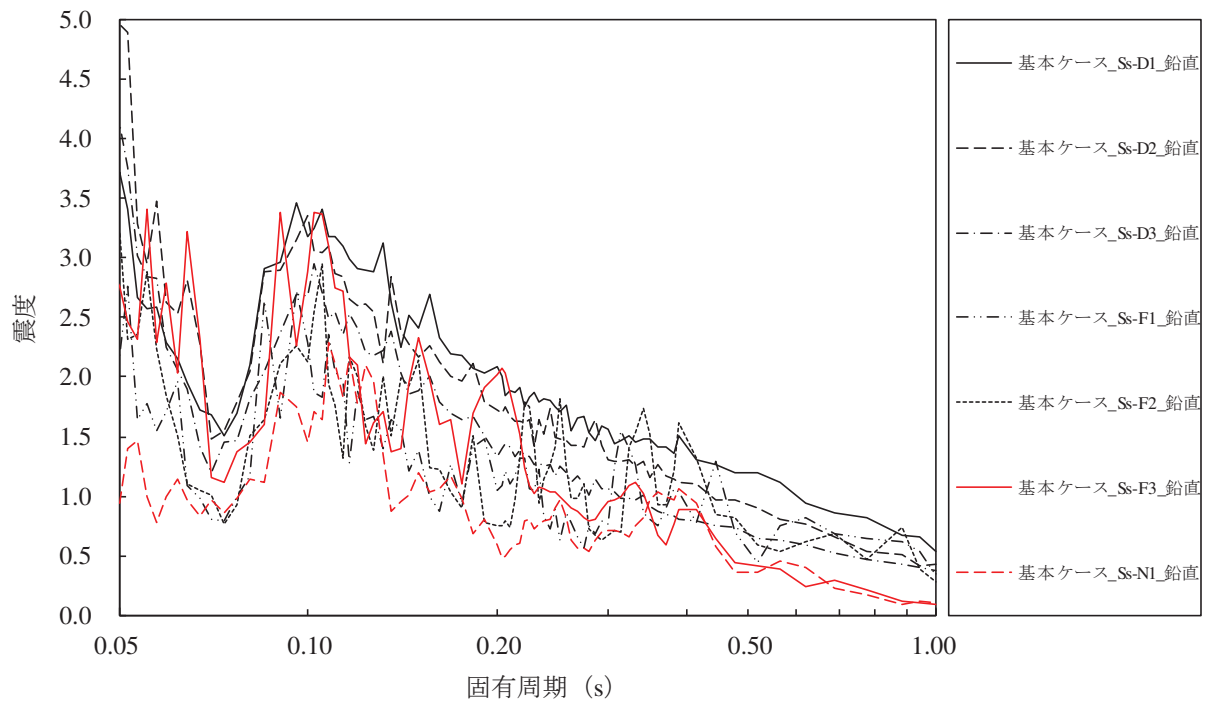
添付図 4-3 原子炉压力容器 (O.P. 23.667m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



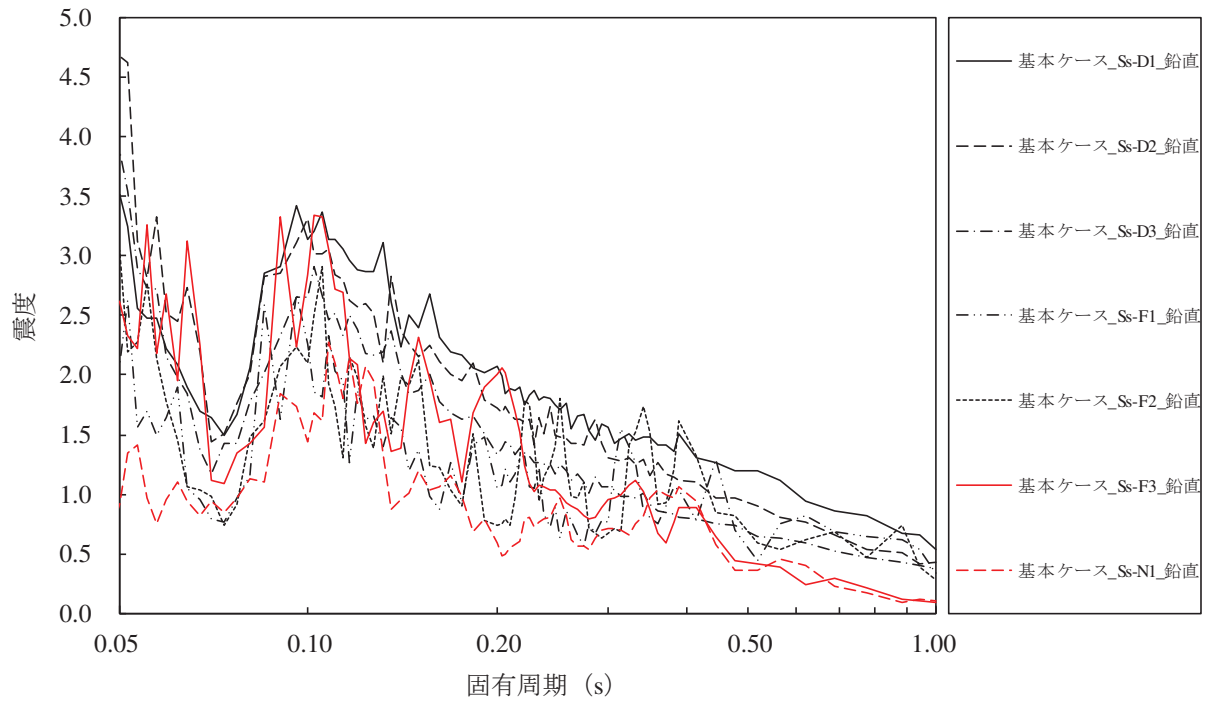
添付図 4-4 原子炉压力容器 (O.P. 21.770m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



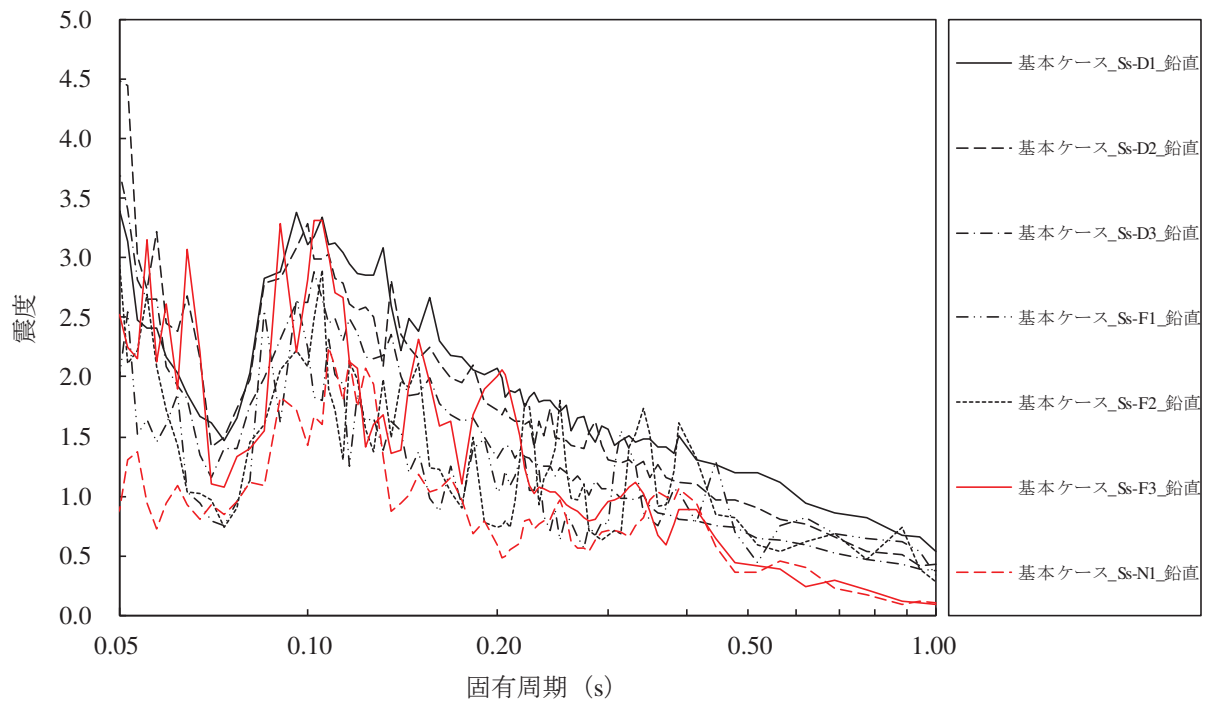
添付図 4-5 原子炉压力容器 (O.P. 18.417m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



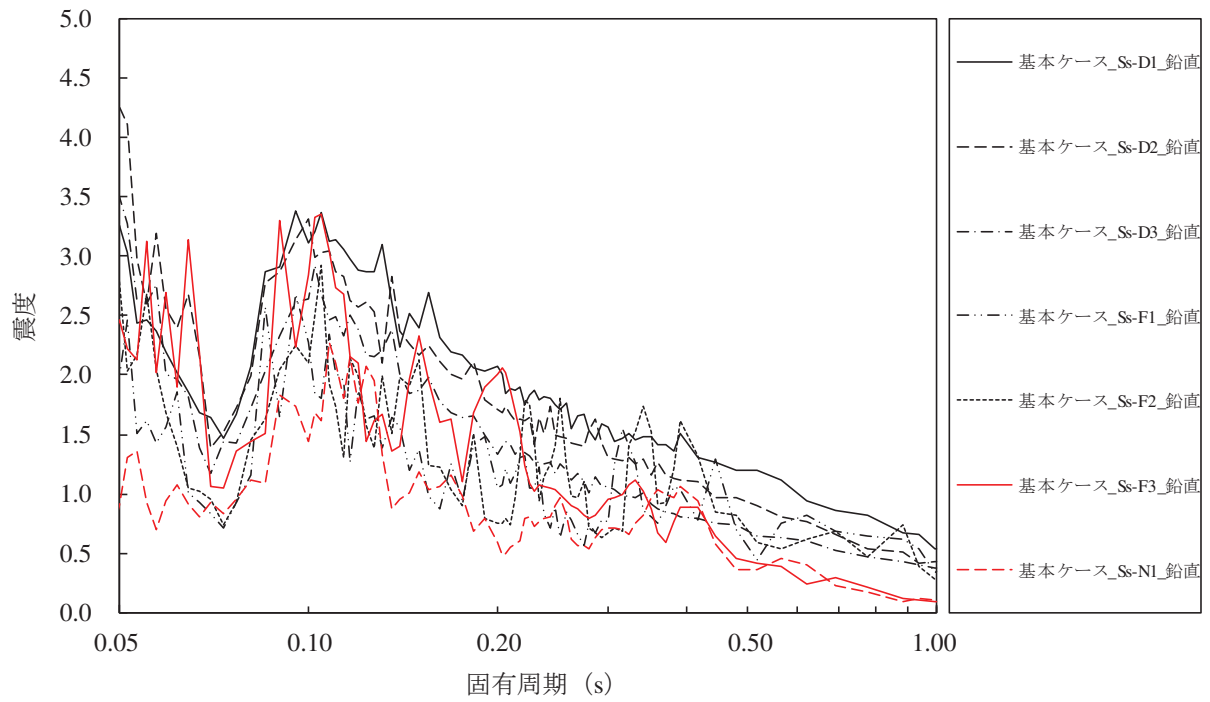
添付図 4-6 原子炉压力容器 (O.P. 14.776m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



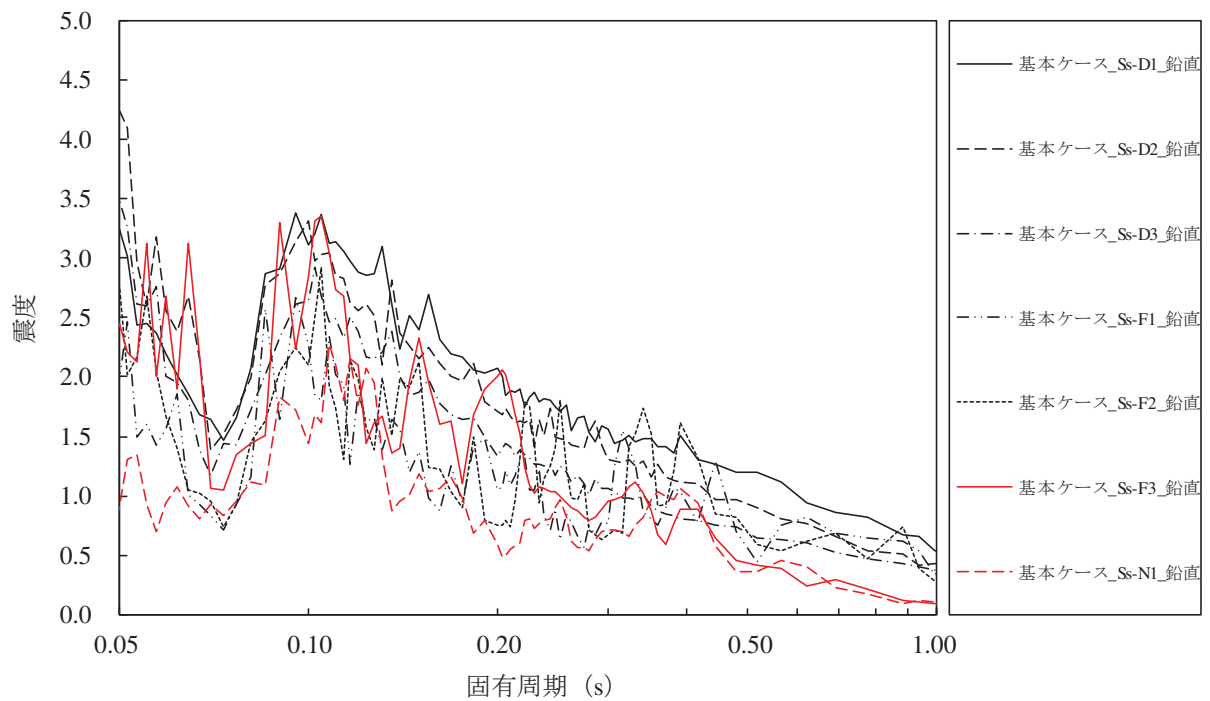
添付図 4-7 原子炉压力容器 (O.P. 11.310m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



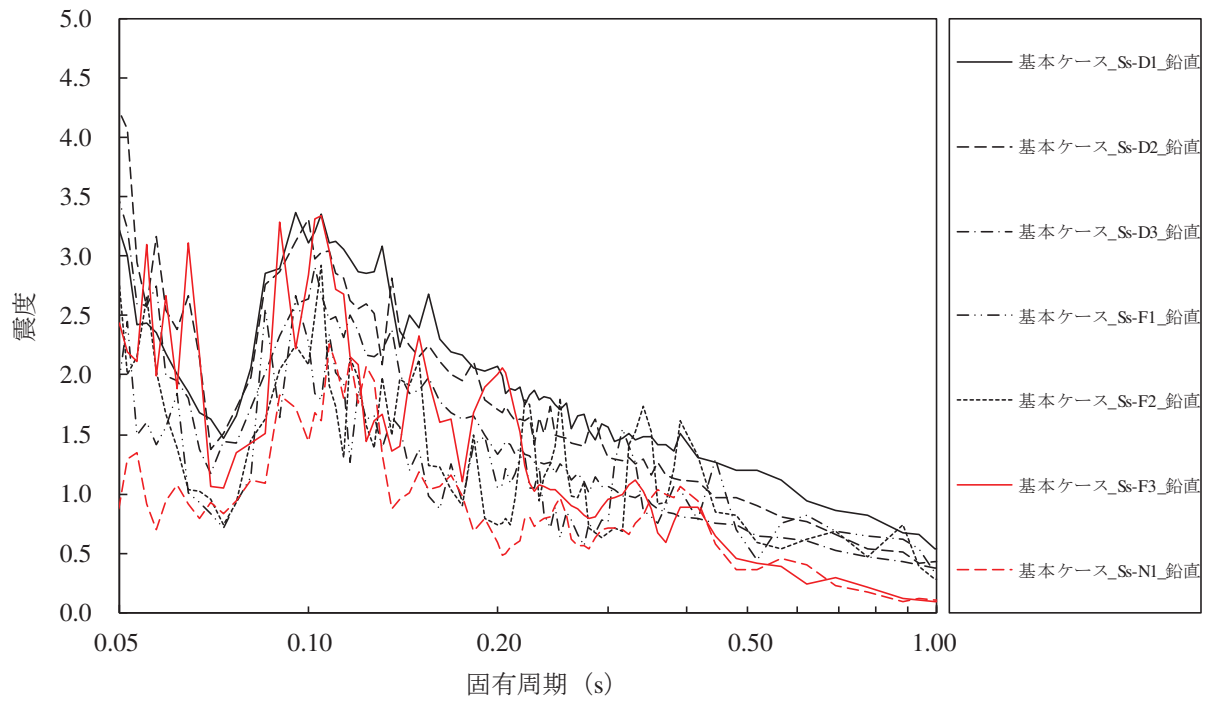
添付図 4-8 原子炉压力容器 (O.P. 9.334m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



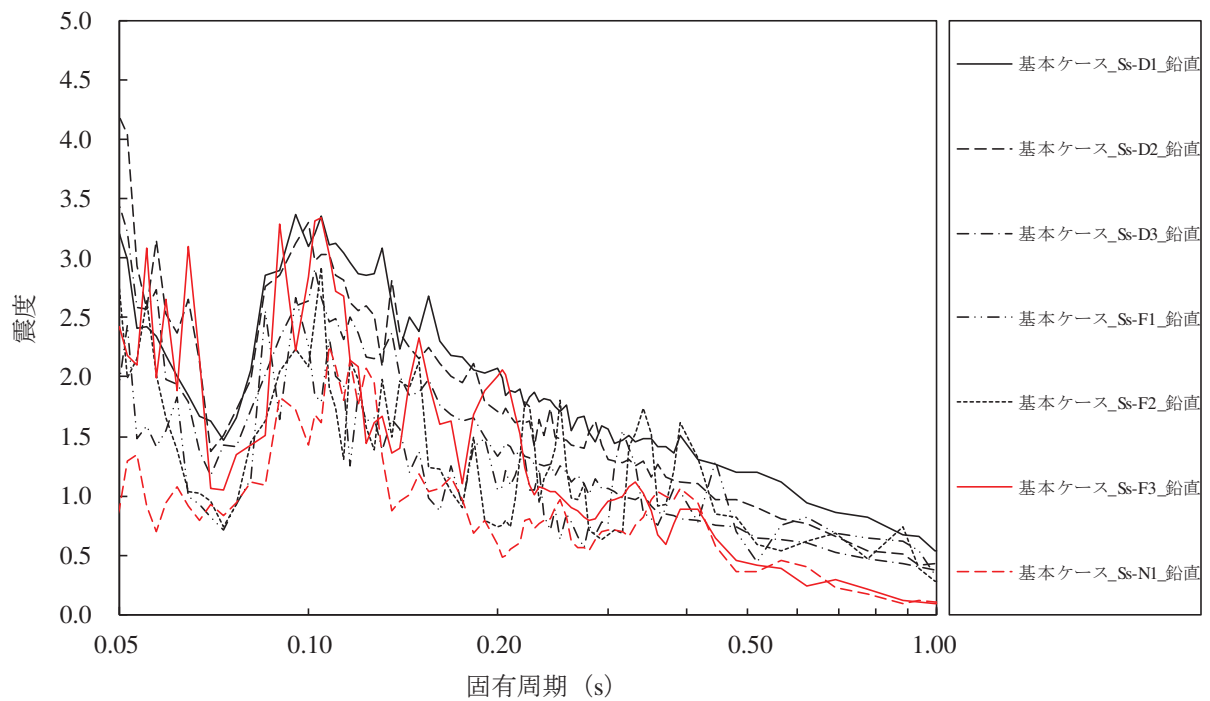
添付図 4-9 原子炉格納容器 (O.P. 30.300m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



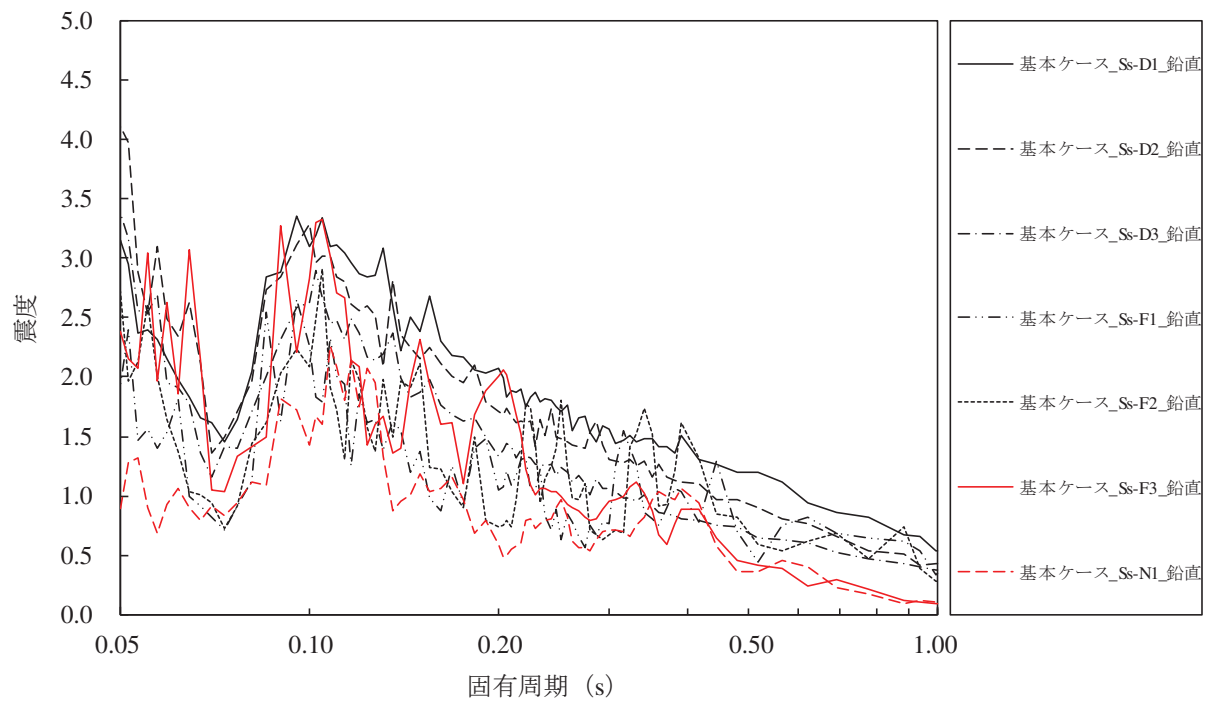
添付図 4-10 原子炉格納容器 (O.P. 27.995m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



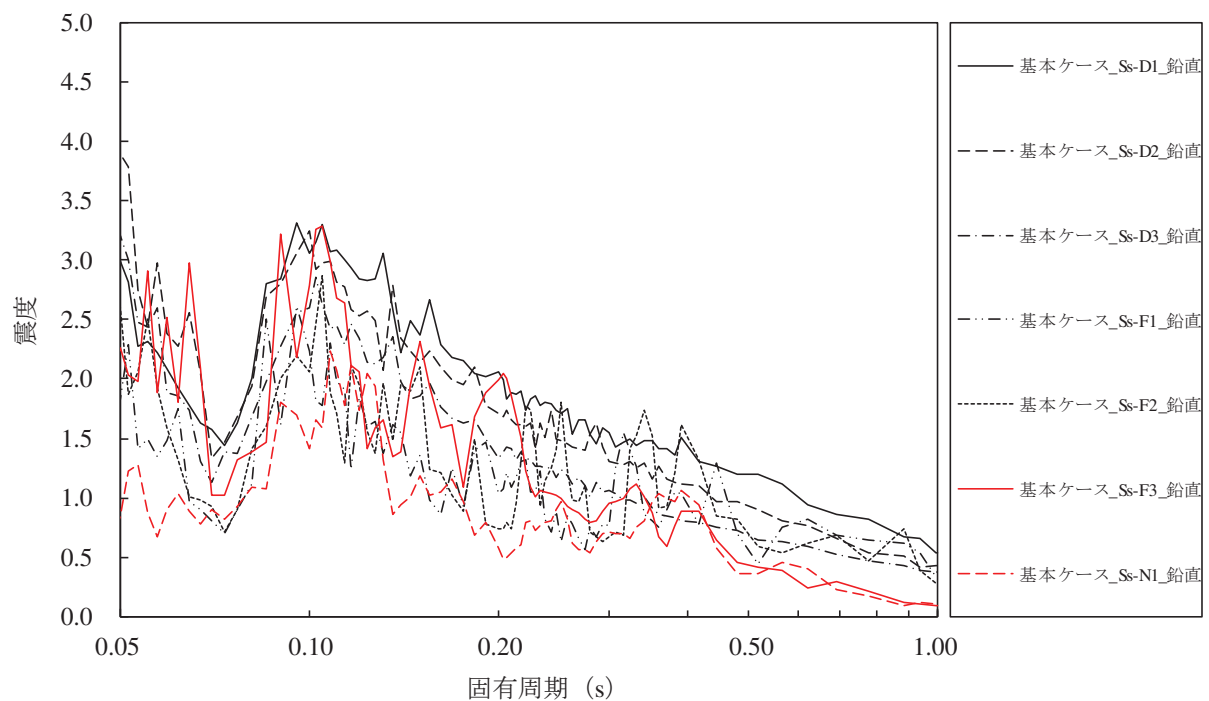
添付図 4-11 原子炉格納容器 (O.P. 25.858m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



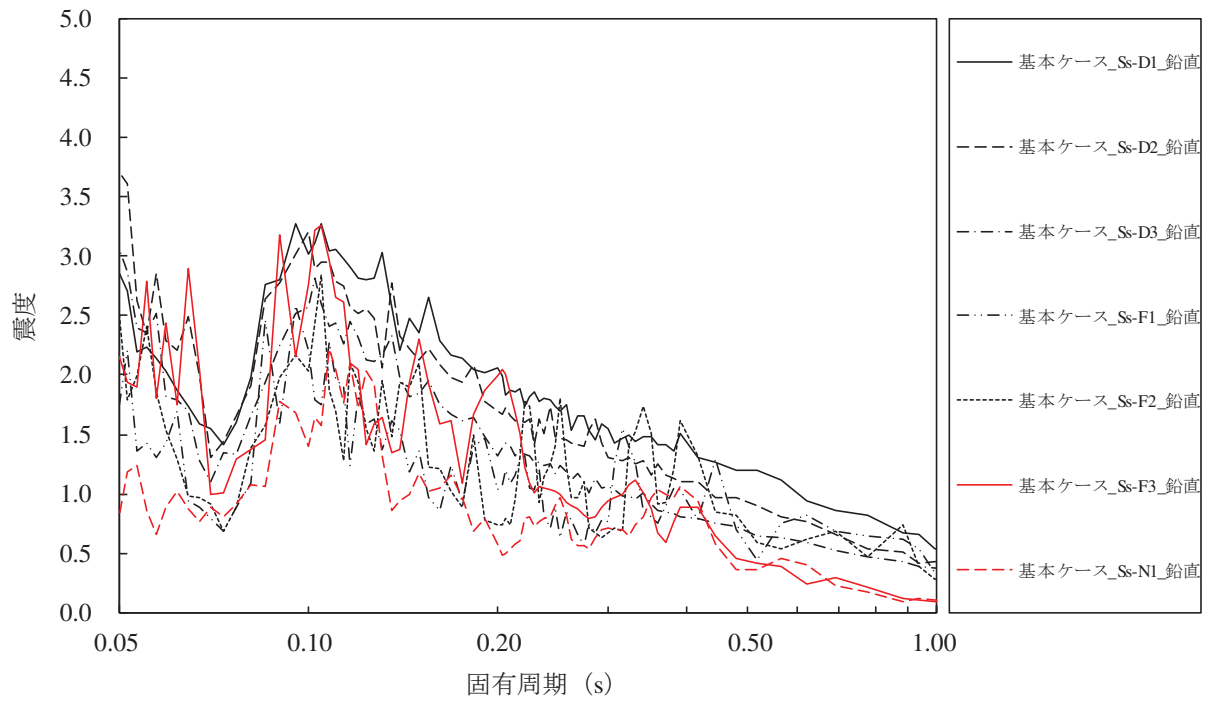
添付図 4-12 原子炉格納容器 (O.P. 24.464m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



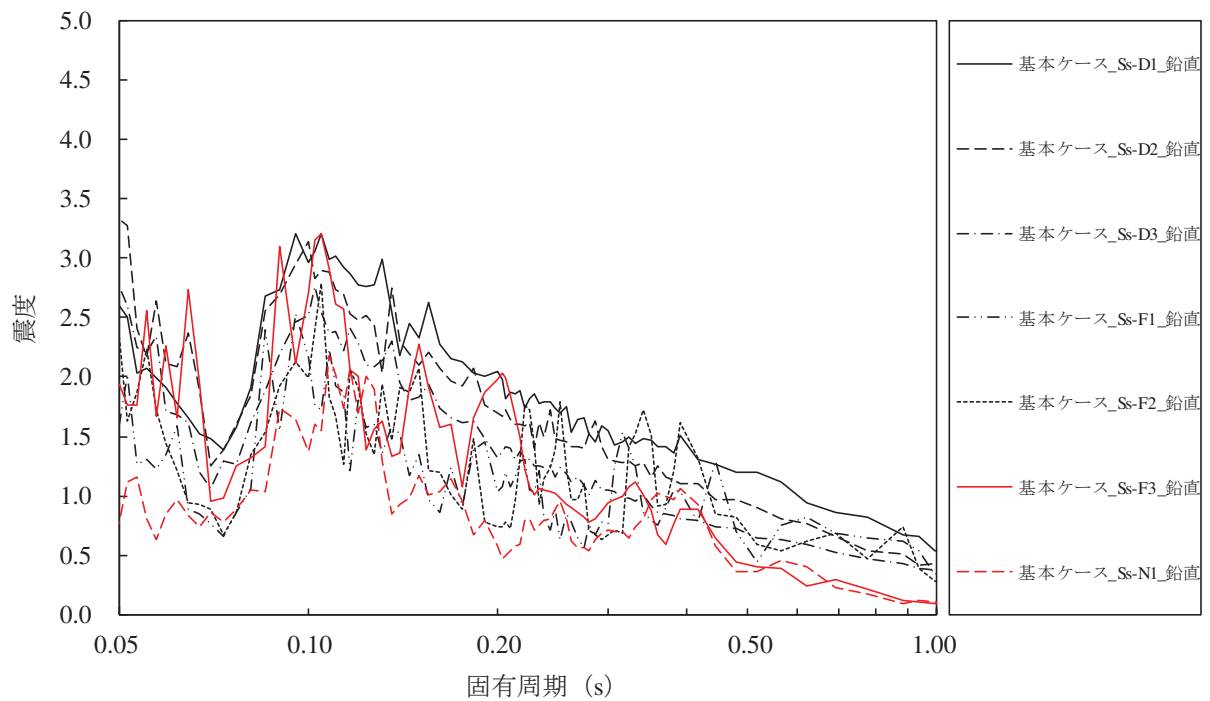
添付図 4-13 原子炉格納容器 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



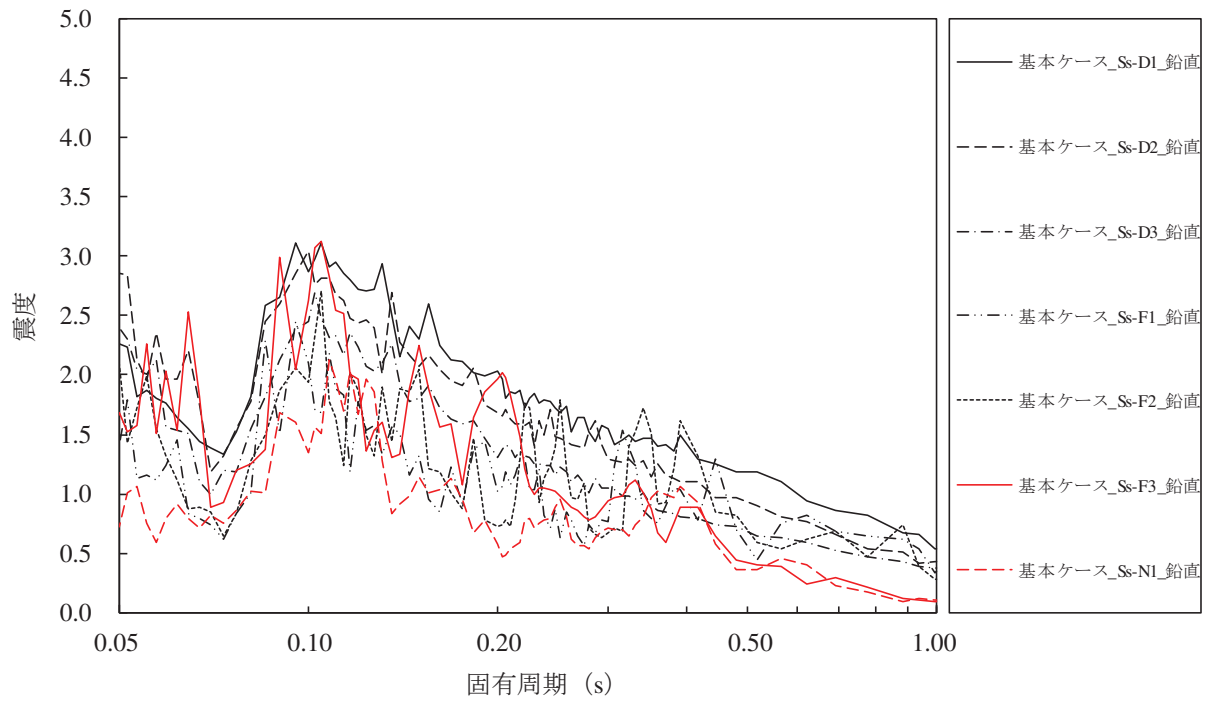
添付図 4-14 原子炉格納容器 (O.P. 17.150m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



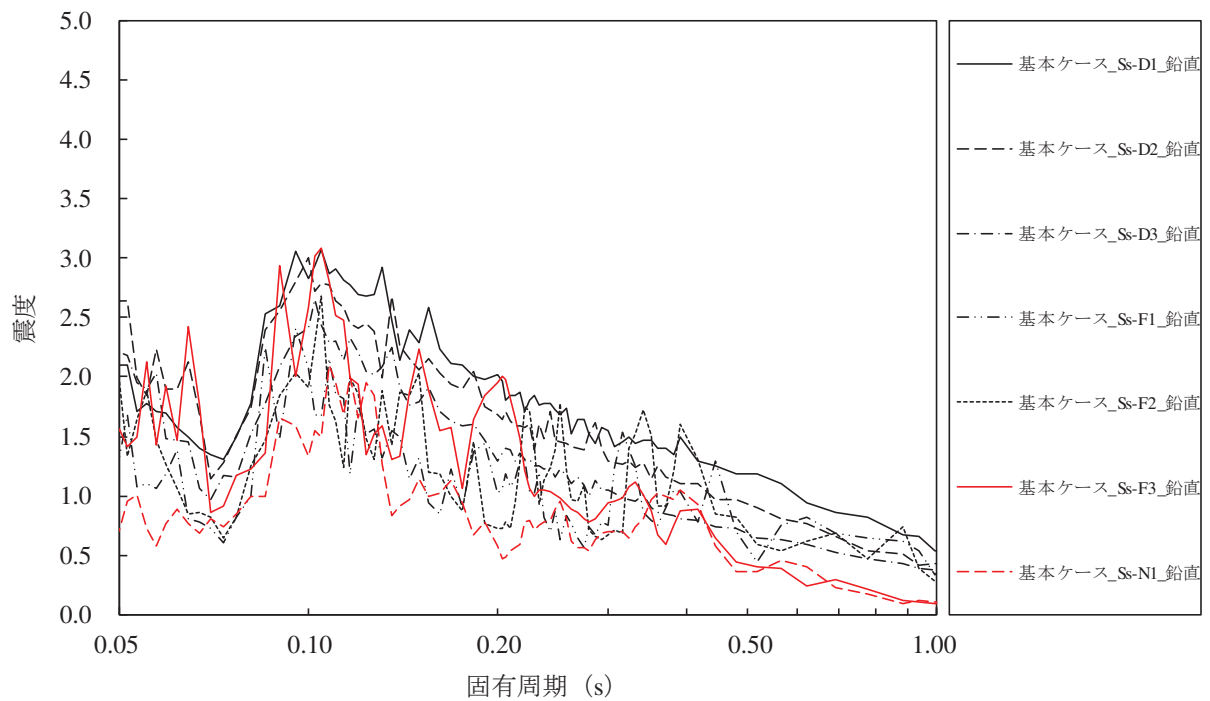
添付図 4-15 原子炉格納容器 (O. P. 14.295m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



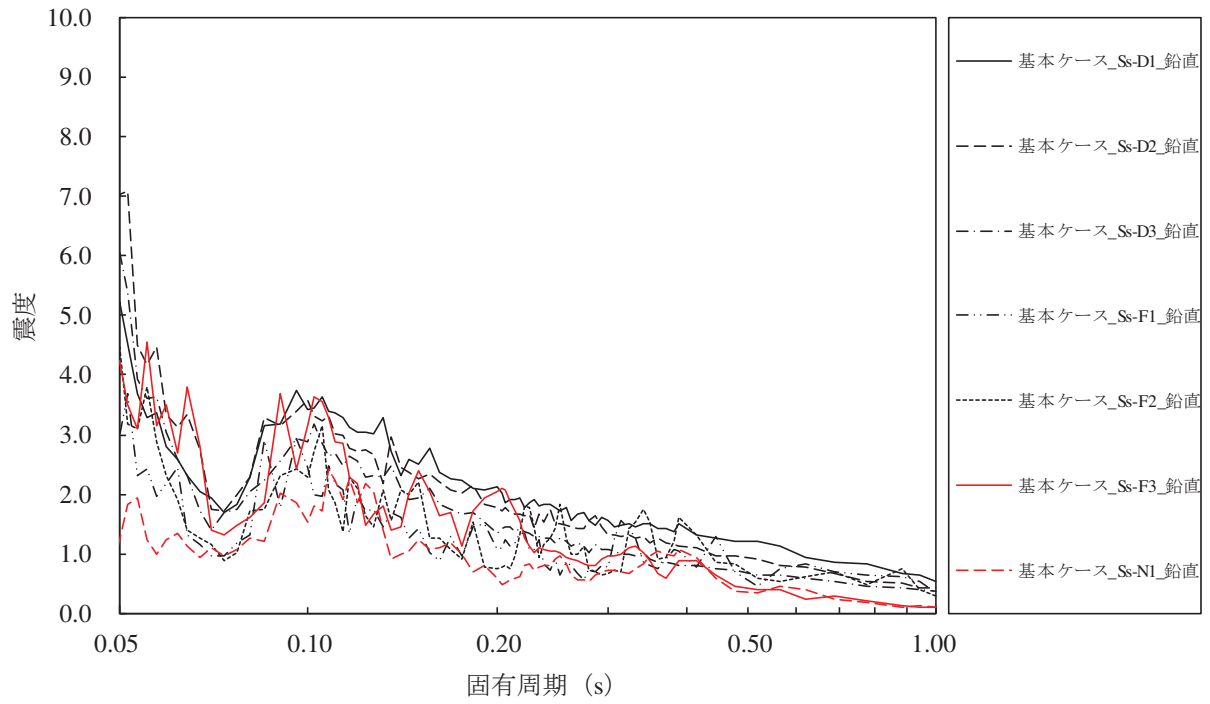
添付図 4-16 原子炉格納容器 (O. P. 9.448m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



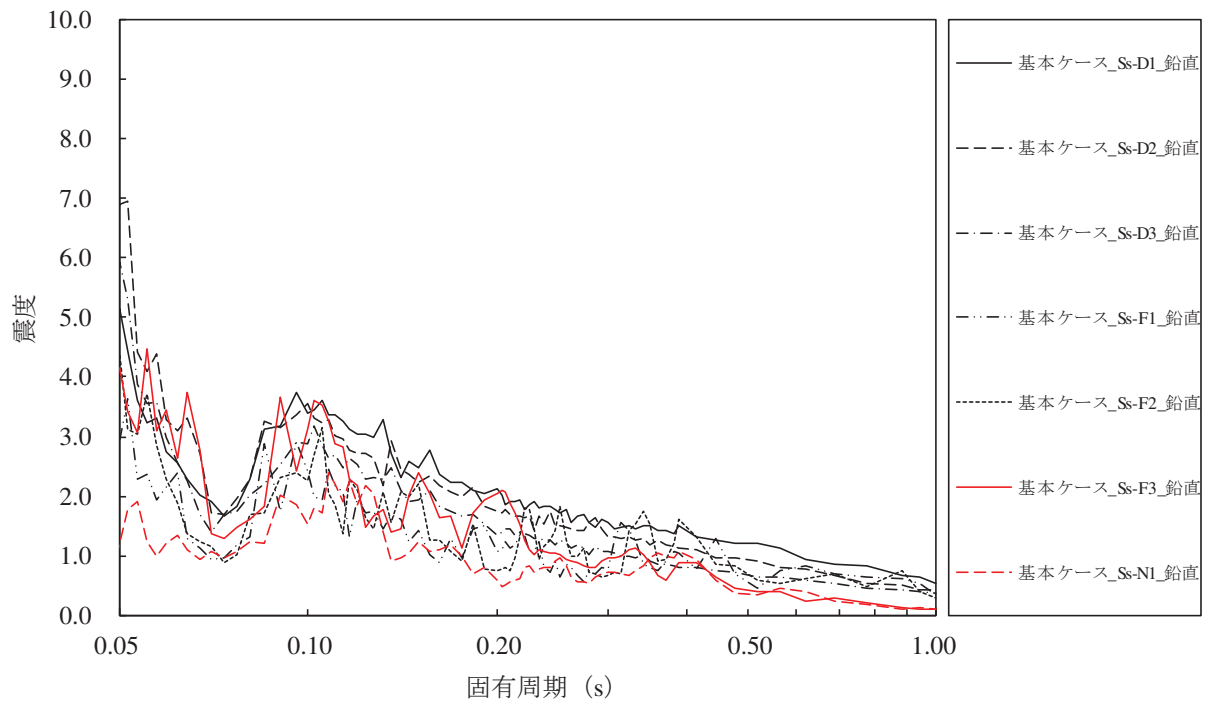
添付図 4-17 原子炉格納容器 (O.P. 4.600m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



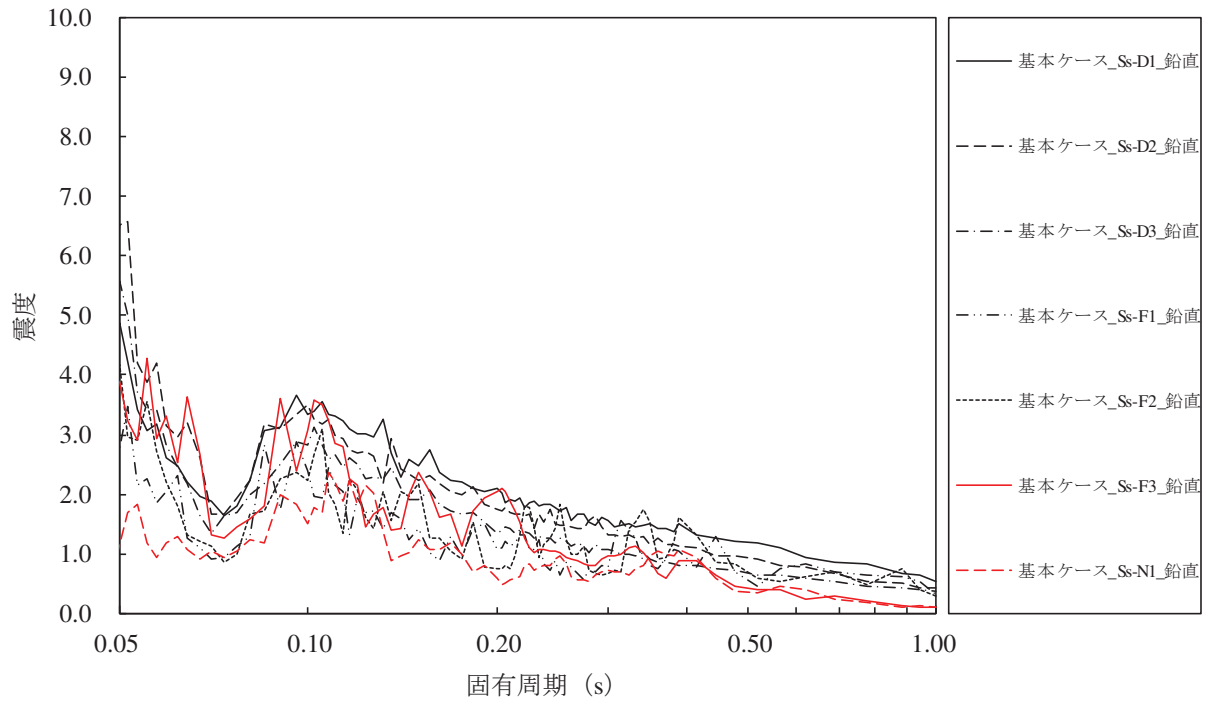
添付図 4-18 原子炉格納容器 (O.P. 2.600m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



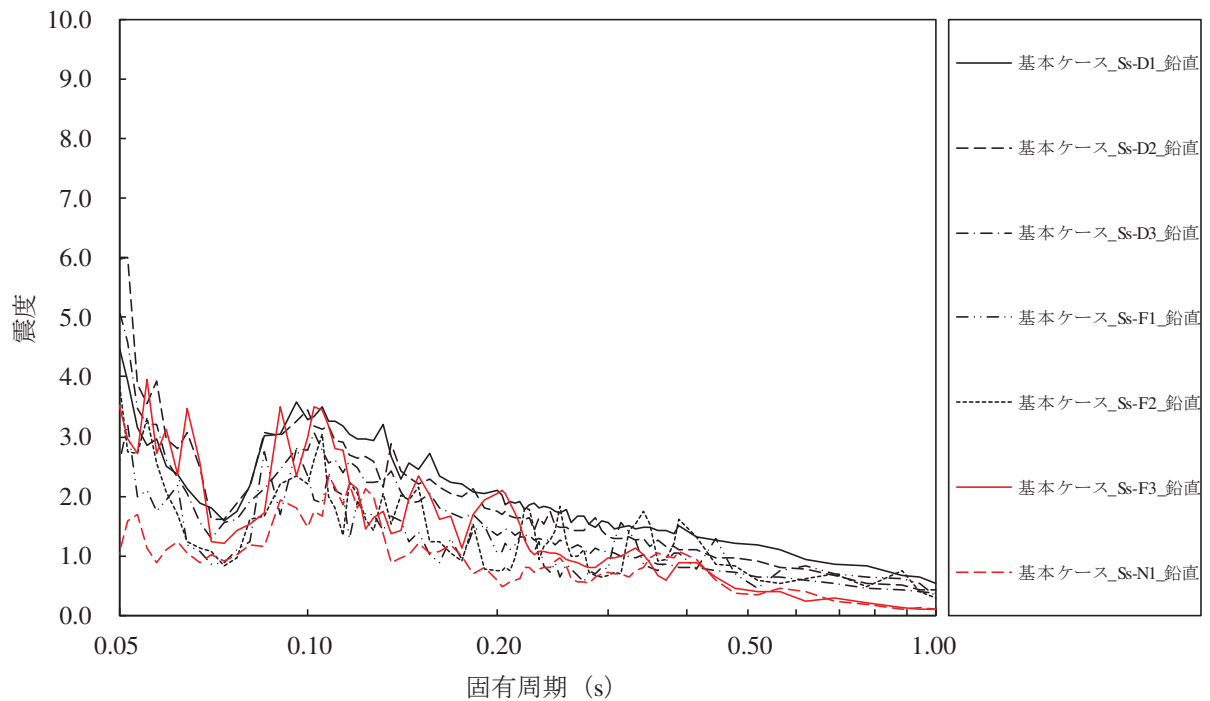
添付図 4-19 原子炉しゃへい壁 (O.P. 21.550m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



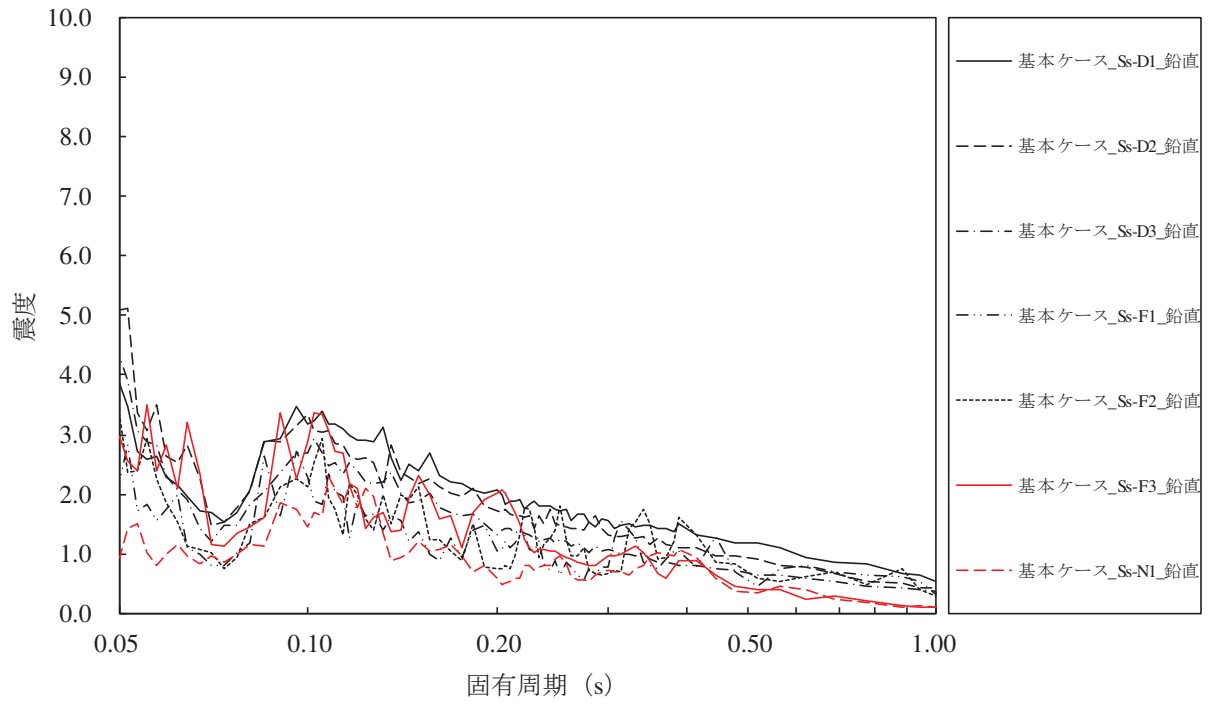
添付図 4-20 原子炉しゃへい壁 (O.P. 18.790m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



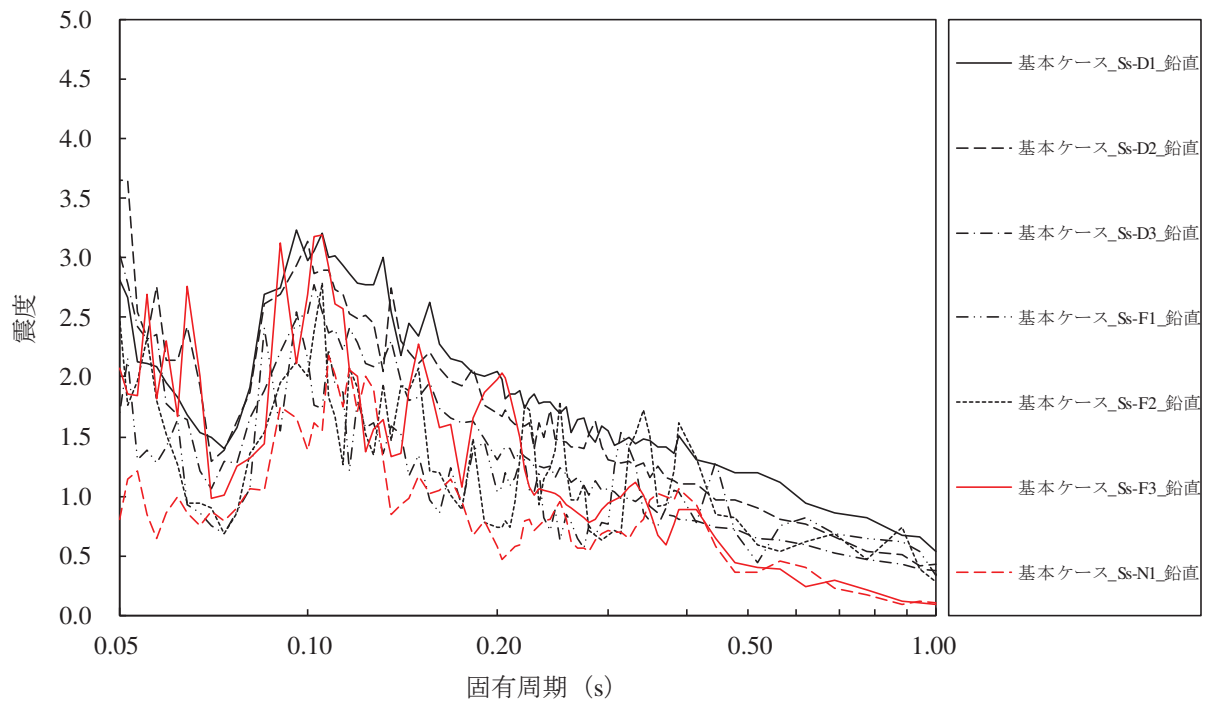
添付図 4-21 原子炉しゃへい壁 (O.P. 15.950m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



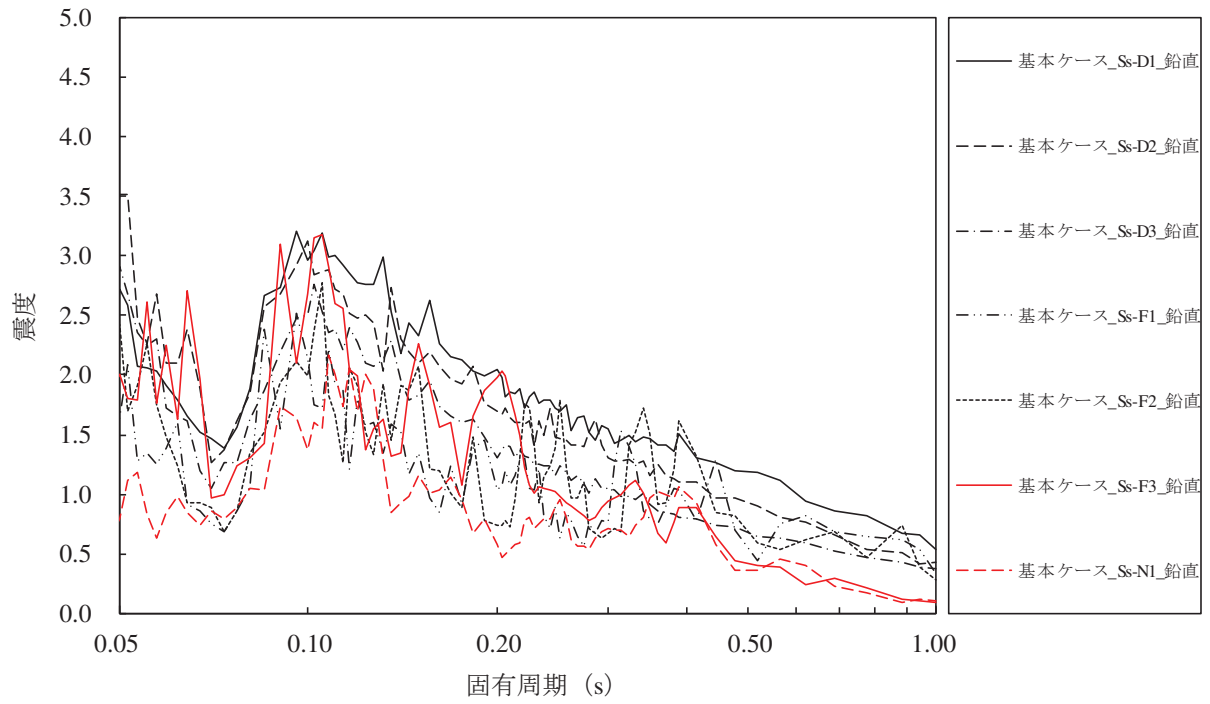
添付図 4-22 原子炉しゃへい壁 (O.P. 13.400m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



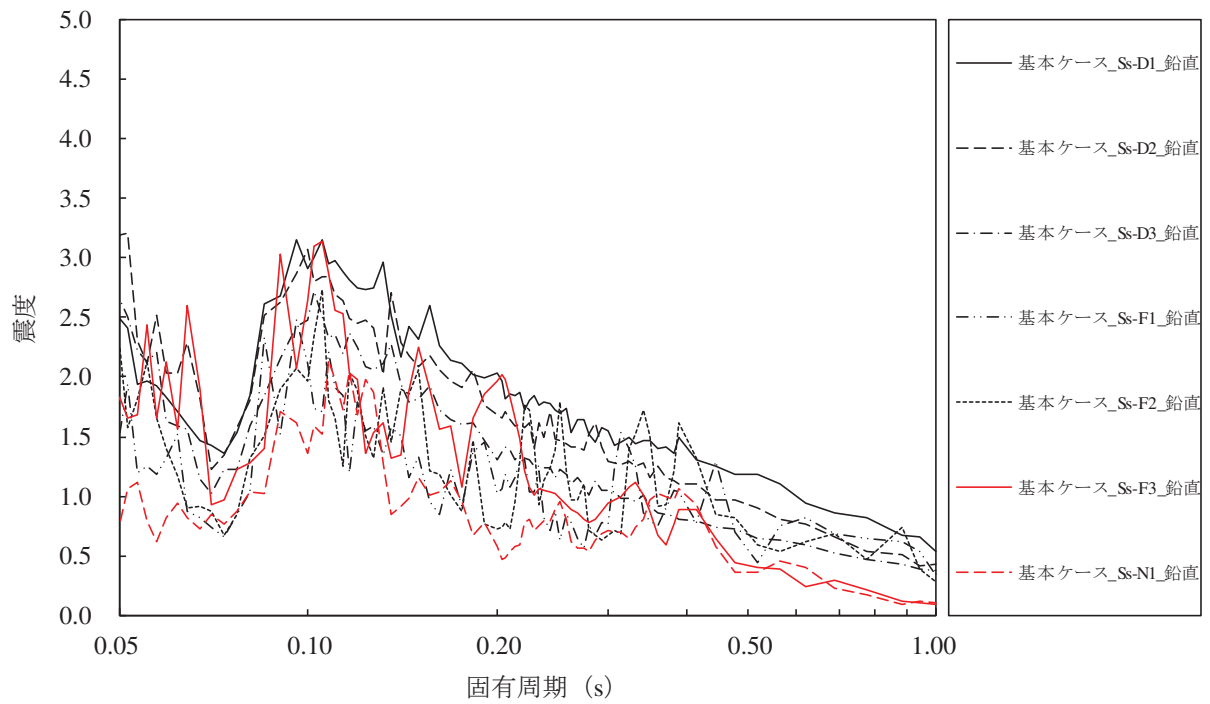
添付図 4-23 原子炉しゃへい壁 (O.P. 10.600m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



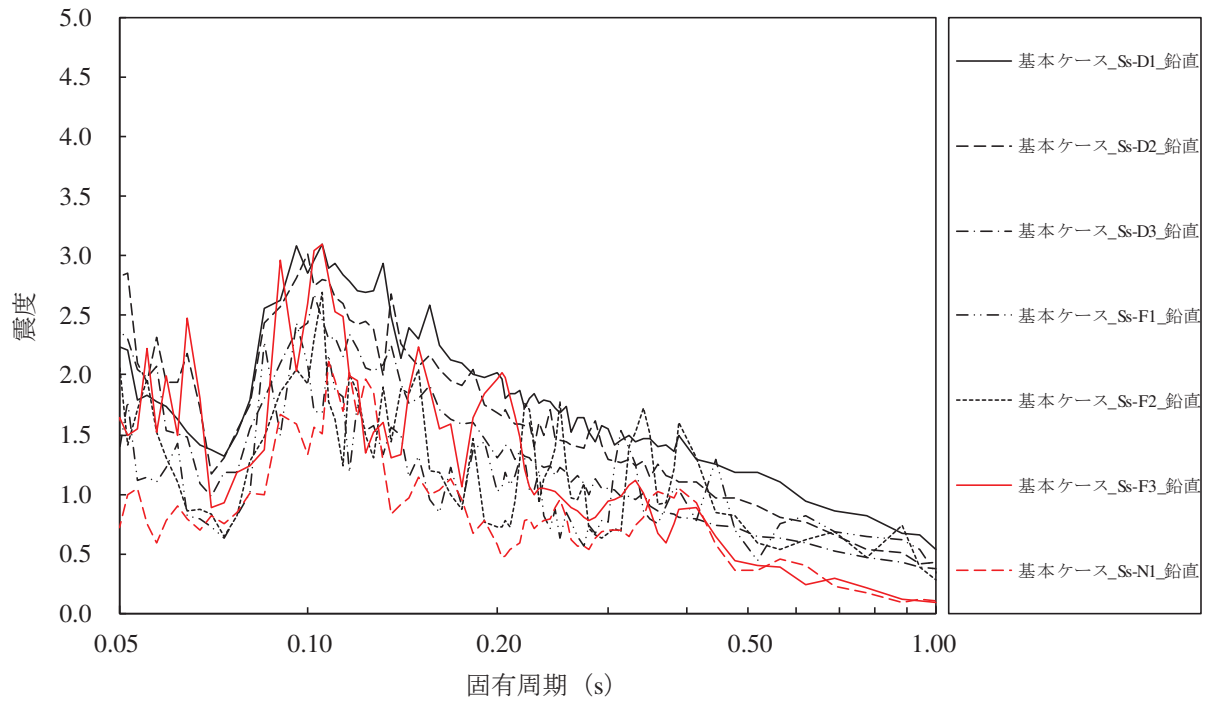
添付図 4-24 原子炉本体の基礎 (O.P. 7.040m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



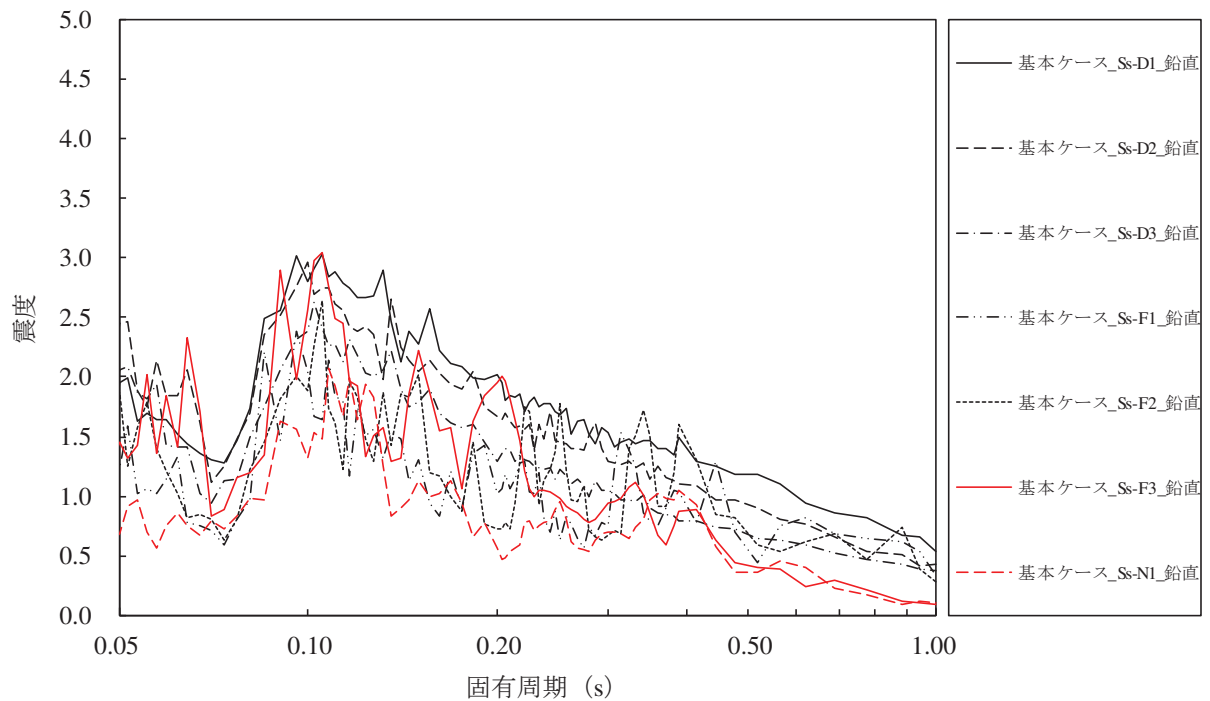
添付図 4-25 原子炉本体の基礎 (O.P. 6.240m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 4-26 原子炉本体の基礎 (O.P. 4.950m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 4-27 原子炉本体の基礎 (O.P. 3.050m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)



添付図 4-28 原子炉本体の基礎 (O.P. 1.150m) の加速度応答スペクトル
(鉛直方向, 減衰定数 1.0%, 基本ケース)

添付表 1-1 原子炉建屋の最大応答加速度 (水平方向, 1.2ZPA)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) $\times 1.2$													
		Ss-D1		Ss-D2		Ss-D3		Ss-F1		Ss-F2		Ss-F3		Ss-N1	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉建屋	50.500	5.37	4.38	5.66	4.78	5.17	4.39	3.54	3.77	5.19	4.22	6.21	4.82	2.65	2.49
	41.200	2.61	2.59	3.07	2.90	2.47	2.42	2.05	2.52	2.84	2.56	3.15	2.95	2.14	2.14
	33.200	2.36	2.15	2.44	2.38	2.53	2.19	1.53	1.62	2.18	2.25	2.02	2.06	1.88	1.90
	22.500	1.53	1.61	2.09	2.06	1.45	1.86	1.17	1.18	1.48	1.56	1.30	1.43	1.63	1.57
	15.000	1.19	1.60	1.57	1.67	1.17	1.97	0.97	1.04	1.14	1.64	1.26	1.31	1.55	1.54
	6.000	1.00	1.08	1.55	1.44	1.06	1.05	0.92	0.87	1.16	1.10	1.27	1.06	1.20	1.15
	1.150	0.83	0.86	1.01	1.20	0.96	0.90	0.83	0.82	1.03	0.87	1.25	1.07	1.11	1.18
	-0.800	0.87	0.78	1.16	1.18	0.94	0.89	0.87	0.72	0.89	0.91	1.28	0.95	1.11	1.09
-8.100	0.69	0.66	0.75	0.79	0.71	0.69	0.70	0.67	0.74	0.75	0.91	0.93	0.82	0.80	

添付表 1-2 原子炉建屋の最大応答加速度 (鉛直方向, 1.2ZPA)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) $\times 1.2$													
		Ss-D1		Ss-D2		Ss-D3		Ss-F1		Ss-F2		Ss-F3		Ss-N1	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉建屋	48.725	1.84	1.90	1.90	1.90	2.03	2.03	1.00	1.00	1.13	1.13	1.52	1.52	1.15	1.15
	41.200	1.78	1.75	1.75	1.75	1.84	1.84	0.93	0.93	1.06	1.06	1.38	1.38	1.11	1.11
	33.200	1.69	1.66	1.66	1.66	1.63	1.63	0.83	0.83	0.96	0.96	1.22	1.22	1.05	1.05
	22.500	1.50	1.46	1.46	1.46	1.29	1.29	0.67	0.67	0.79	0.79	0.95	0.95	0.92	0.92
	15.000	1.32	1.19	1.19	1.19	0.95	0.95	0.56	0.56	0.67	0.67	0.79	0.79	0.79	0.79
	6.000	1.06	0.90	0.90	0.90	0.71	0.71	0.48	0.48	0.58	0.58	0.62	0.62	0.60	0.60
	-0.800	0.86	0.74	0.74	0.74	0.60	0.60	0.43	0.43	0.53	0.53	0.50	0.50	0.51	0.51
	-8.100	0.62	0.66	0.66	0.66	0.53	0.53	0.44	0.44	0.48	0.48	0.51	0.51	0.46	0.46

添付表 2-1 原子炉压力容器, 原子炉しゃへい壁, 原子炉本体の基礎及び
原子炉格納容器の最大応答加速度 (水平方向, 1.2ZPA)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) $\times 1.2$													
		Ss-D1		Ss-D2		Ss-D3		Ss-F1		Ss-F2		Ss-F3		Ss-N1	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
原子炉 压力容器	28.600	3.48	3.36	3.63	3.88	3.56	3.33	2.13	2.91	2.98	3.21	3.16	3.82	2.02	2.22
	25.858	3.05	2.90	3.20	3.22	3.20	2.85	1.82	2.51	2.62	2.81	2.70	3.26	1.88	1.94
	23.667	2.70	2.68	2.85	2.78	2.93	2.51	1.58	2.19	2.34	2.49	2.37	2.81	1.78	1.76
	21.770	2.38	2.47	2.53	2.45	2.68	2.24	1.42	1.89	2.07	2.21	2.08	2.39	1.71	1.59
	18.417	2.08	2.23	2.11	2.24	2.32	1.85	1.26	1.51	1.71	1.86	1.72	1.88	1.65	1.52
	14.776	1.82	1.99	1.67	1.96	1.81	1.65	1.29	1.35	1.44	1.53	1.64	1.52	1.51	1.42
	11.310	1.54	1.62	1.40	1.51	1.36	1.35	1.23	1.25	1.21	1.28	1.64	1.21	1.32	1.35
	9.334	1.39	1.39	1.25	1.29	1.23	1.21	1.16	1.13	1.17	1.18	1.58	1.25	1.22	1.25
原子炉 本体の基礎	7.040	1.22	1.16	1.13	1.23	1.08	1.14	1.00	0.97	1.07	0.99	1.37	1.19	1.12	1.14
	6.240	1.17	1.11	1.09	1.22	1.06	1.06	0.97	0.91	1.05	0.94	1.35	1.17	1.09	1.09
	4.950	1.11	1.03	1.04	1.19	0.99	1.00	0.91	0.86	1.01	0.87	1.28	1.14	1.03	1.05
	3.050	1.00	0.94	0.98	1.13	0.94	0.88	0.85	0.79	0.99	0.83	1.24	1.08	0.99	1.06
	1.150	0.88	0.85	0.92	1.07	0.89	0.86	0.82	0.74	0.98	0.82	1.21	1.01	0.96	1.00
原子炉 しゃへい壁	21.550	1.98	2.11	2.04	2.02	2.28	1.97	1.22	1.42	1.65	1.88	1.58	1.70	1.61	1.58
	18.790	1.86	1.99	1.90	1.79	2.00	1.67	1.19	1.38	1.51	1.87	1.53	1.64	1.58	1.55
	15.950	1.75	1.95	1.76	1.79	1.72	1.59	1.23	1.40	1.47	1.82	1.41	1.60	1.55	1.49
	13.400	1.72	1.85	1.57	1.70	1.42	1.53	1.22	1.38	1.38	1.62	1.40	1.42	1.47	1.39
	10.600	1.53	1.55	1.41	1.48	1.25	1.35	1.15	1.24	1.26	1.31	1.42	1.36	1.30	1.31
原子炉 格納容器	30.300	1.88	2.01	2.32	2.27	2.08	2.38	1.34	1.33	1.71	1.90	1.77	1.72	1.59	1.71
	27.995	1.77	1.90	2.20	2.14	1.96	2.25	1.29	1.28	1.59	1.81	1.64	1.64	1.56	1.67
	25.858	1.67	1.80	2.08	2.01	1.83	2.11	1.24	1.23	1.51	1.72	1.51	1.57	1.52	1.62
	24.464	1.61	1.73	2.00	1.92	1.74	2.03	1.21	1.20	1.46	1.67	1.43	1.51	1.50	1.59
	21.550	1.52	1.61	1.81	1.73	1.56	1.84	1.13	1.13	1.36	1.56	1.25	1.38	1.44	1.52
	17.150	1.26	1.41	1.43	1.51	1.28	1.46	1.00	1.00	1.19	1.38	1.15	1.15	1.36	1.38
	14.295	1.15	1.37	1.19	1.32	1.11	1.28	0.90	0.92	1.09	1.24	1.11	0.99	1.31	1.30
	9.448	1.04	1.22	1.01	0.99	0.88	1.09	0.75	0.80	0.92	1.04	1.03	0.92	1.20	1.20
	4.600	0.94	0.93	0.90	1.06	0.81	0.82	0.77	0.78	0.97	0.85	1.07	1.00	1.06	1.09
	2.600	0.90	0.89	0.93	1.08	0.85	0.85	0.80	0.77	0.98	0.81	1.16	1.03	1.01	1.03

添付表 2-2 原子炉压力容器, 原子炉しゃへい壁, 原子炉本体の基礎及び
原子炉格納容器の最大応答加速度 (鉛直方向, 1.2ZPA)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) $\times 1.2$						
		Ss-D1	Ss-D2	Ss-D3	Ss-F1	Ss-F2	Ss-F3	Ss-N1
原子炉 压力容器	28.600	1.09	1.36	1.30	0.74	0.74	1.23	0.54
	25.858	1.09	1.35	1.30	0.74	0.74	1.22	0.54
	23.667	1.08	1.34	1.28	0.73	0.74	1.21	0.54
	21.770	1.07	1.33	1.24	0.71	0.72	1.18	0.54
	18.417	1.04	1.29	1.15	0.68	0.70	1.12	0.53
	14.776	1.02	1.26	1.05	0.64	0.67	1.03	0.53
	11.310	0.99	1.21	0.93	0.61	0.64	0.95	0.52
9.334	0.96	1.18	0.87	0.60	0.62	0.90	0.52	
原子炉 本体の基礎	7.040	0.77	0.92	0.72	0.53	0.57	0.78	0.50
	6.240	0.74	0.89	0.70	0.52	0.56	0.75	0.50
	4.950	0.68	0.81	0.64	0.50	0.54	0.68	0.49
	3.050	0.62	0.74	0.57	0.48	0.52	0.61	0.48
	1.150	0.62	0.68	0.54	0.46	0.49	0.54	0.47
原子炉 しゃへい壁	21.550	1.38	1.88	1.57	0.98	1.01	1.77	0.55
	18.790	1.36	1.84	1.51	0.97	0.99	1.71	0.55
	15.950	1.30	1.73	1.39	0.92	0.93	1.59	0.54
	13.400	1.19	1.54	1.23	0.84	0.83	1.42	0.54
	10.600	1.04	1.29	1.04	0.72	0.68	1.18	0.53
原子炉 格納容器	30.300	0.90	1.15	1.06	0.60	0.68	0.80	0.54
	27.995	0.90	1.13	1.06	0.60	0.68	0.80	0.54
	25.858	0.88	1.12	1.05	0.59	0.68	0.80	0.54
	24.464	0.87	1.10	1.04	0.58	0.68	0.80	0.54
	21.550	0.86	1.06	1.01	0.57	0.67	0.79	0.54
	17.150	0.82	0.99	0.90	0.53	0.64	0.75	0.53
	14.295	0.78	0.94	0.84	0.51	0.62	0.71	0.53
	9.448	0.71	0.86	0.75	0.47	0.58	0.65	0.52
	4.600	0.66	0.77	0.63	0.46	0.53	0.59	0.50
2.600	0.64	0.73	0.58	0.46	0.51	0.56	0.48	

本資料のうち、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-19-0600-9_改1
提出年月日	2021年 2月5日

補足-600-9 耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認
について

2021年 2月

東北電力株式会社

女川原子力発電所第2号機耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

(目次)

1. はじめに.....	1
2. 女川原子力発電所第2号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数.....	2
3. 一律に設定する等価繰返し回数について.....	5
(1) 算出方法.....	5
(2) 一律に設定する等価繰返し回数の算出パラメータの設定の考え方.....	13
(3) 算出結果.....	21
(4) 結果まとめ.....	22
4. 個別に設定する等価繰返し回数について	
5. まとめ.....	23

別紙 1	地震応答解析モデルにおける等価繰返し回数の算出点
別紙 2	地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較
別紙 3	減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較
別紙 4	設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較
別紙 5	等価繰返し回数の算出における材料物性の不確かさ等の影響検討
別紙 6	基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果
別紙 7	弾性設計用地震動 S_d に対する等価繰返し回数算出結果
別紙 8	ピーク応力の算出方法
別紙 9	疲労評価の対象設備及び評価部位のピーク応力
別紙 10	疲労累積係数の評価基準値に対する東北地方太平洋沖地震等の影響
別紙 11	等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方
別紙 12	ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方
別紙 13	ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係
別紙 14	弾性設計用地震動 S_d による疲労評価の省略
別紙 15	等価繰返し回数算出プログラム
別紙 16	多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法
別紙 17	時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算定した場合との比較検討

: 今回提出範囲

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機の今回工認における耐震評価の疲労評価は、J E A G 4 6 0 1 -1987(以下「J E A G 4 6 0 1」という。)記載の手順*¹に従い、等価繰返し回数を用いた評価を行っている。疲労評価は、応力振幅と繰返し回数の情報が必要となるため、本来は設備の応力時刻歴が必要となるが、最大応力値のみを用いて安全側に疲労累積係数UFを評価できるように等価繰返し回数を設定することで、評価の簡便化を図っている。添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の通り、女川原子力発電所第2号機の疲労評価に用いる等価繰返し回数は、一律に設定する値(S_s:340回, S_d:590回)又は個別に設定する値を用いている。

なお、既工認の等価繰返し回数は、OBE*²地震1回当たりの繰返し回数を10回として、プラントライフ中5回発生すると仮定し、余裕をみて6回起きた場合の60回という米国プラントでの設計の考え方を踏襲し設定している。

本図書では、疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定について説明する。

注記*1: J E A G 4 6 0 1 p574より抜粋

疲れ解析は、1次+2次+ピーク応力より疲れ累積係数を求めて評価するが、この手法には、地震動の等価繰返し回数を用いる方法あるいは機器の時刻歴応答から応力振幅の大きさの頻度分布を直接求める方法がある。

なお、地震動の等価繰返し数を求める場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられている。

ここで「疲れ累積係数」とは、各応力サイクルにおける実際の繰返し回数と繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数との比をすべての応力サイクルについて加えたものをいう。

注記*2: OBE(Operating basis earthquake ground motion) は、プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE地震を超過する地震発生時には、プラント停止要求がある。

2. 女川原子力発電所第2号機の耐震評価における疲労評価と等価繰返し回数

女川原子力発電所第2号機の耐震評価における疲労評価は、J E A G 4 6 0 1記載の手順のうち、等価繰返し回数を用いた評価を採用している。等価繰返し回数はピーク応力法による算出結果に基づき、一律に設定する値又は個別に設定する値を用いている。

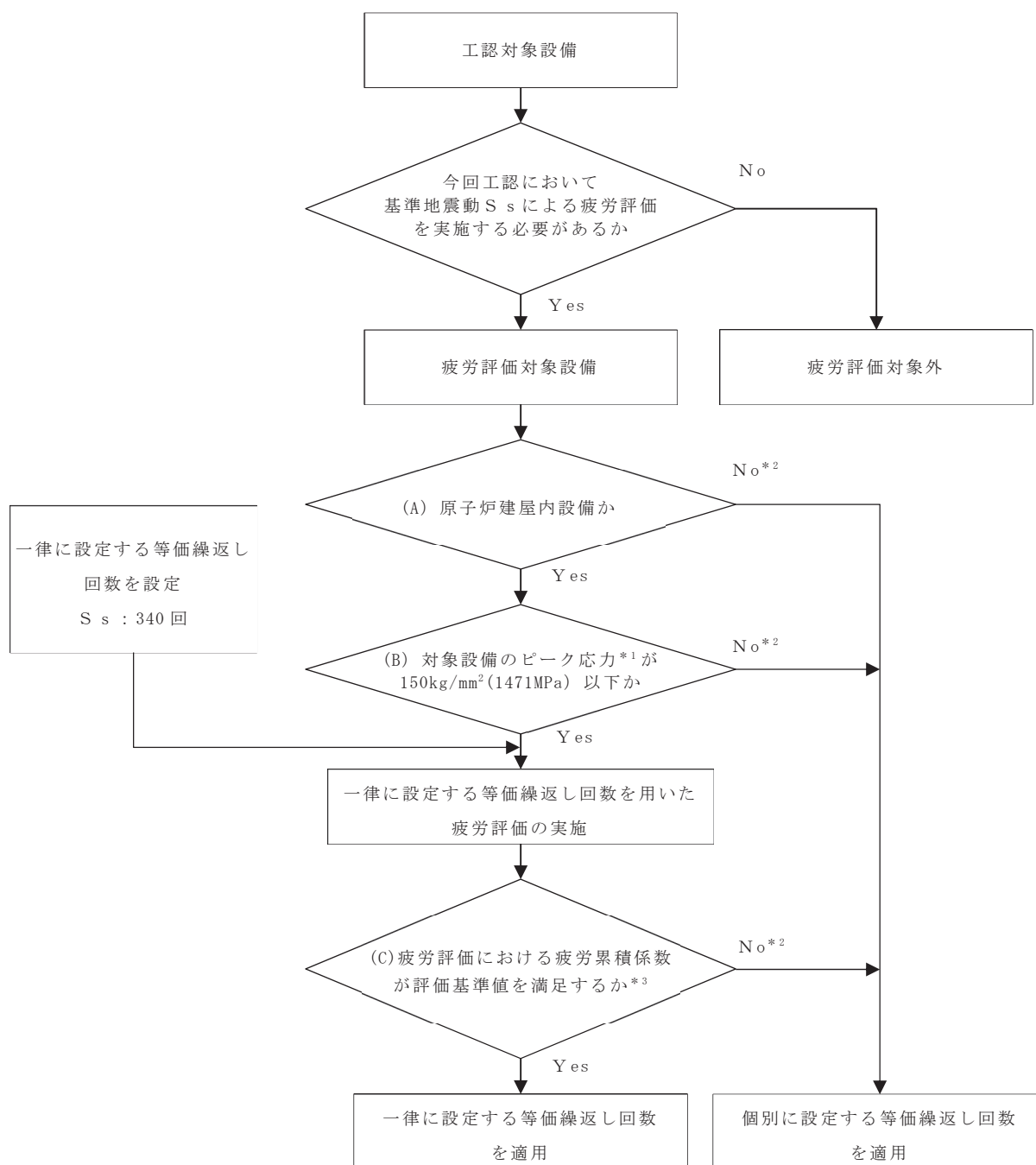
ここで、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の疲労評価に用いる等価繰返し回数について、一律に設定する値又は個別に設定する値の使い分けの考え方を記載するとともに、使い分けのフローを図 2-1 及び図 2-2 に示す。なお、疲労評価対象設備は、工認耐震計算書対象とする設備・部位のうち、疲労評価を実施するものとしている。

(1) 基準地震動 S_s の疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定

- 一律に設定する等価繰返し回数は、原子炉建屋内に設置された疲労評価対象設備に用いることとし、原子炉建屋以外に設置された疲労評価対象設備については、個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-1 の(A))
- 一律に設定する等価繰返し回数は、疲労評価対象設備に発生するピーク応力(別紙 8 参照)が $150\text{kg}/\text{mm}^2$ (1471MPa)以下となる場合とし、 $150\text{kg}/\text{mm}^2$ (1471MPa)を超える場合は、個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-1 の(B))
- 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価における疲労累積係数が評価基準値を満足しない場合は、個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-1 の(C))

(2) 弾性設計用地震動 S_d の疲労評価に用いる等価繰返し回数の設定

- 一律に設定する等価繰返し回数は、原子炉建屋内に設置された疲労評価対象設備に用いることとし、原子炉建屋以外に設置される疲労評価対象設備については、個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-2 の(A))
- 一律に設定する等価繰返し回数は、疲労評価対象設備に発生するピーク応力が、 $150\text{kg}/\text{mm}^2$ (1471MPa)に $S_d - D1, D2, D3, F1, F2, F3$ 及び $N1$ (以下「 S_d 7 波」という。)/ $S_s - D1, D2, D3, F1, F2, F3$ 及び $N1$ (以下「 S_s 7 波」という。)の応答比を乗じた値以下となる場合とし、ピーク応力がこの値を超える場合は、個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-2 の(B))
- 一律に設定する等価繰返し回数を用いた疲労評価における疲労累積係数が評価基準値を満足しない場合は、個別に設定する等価繰返し回数を用いる。(図 2-2 の(C))

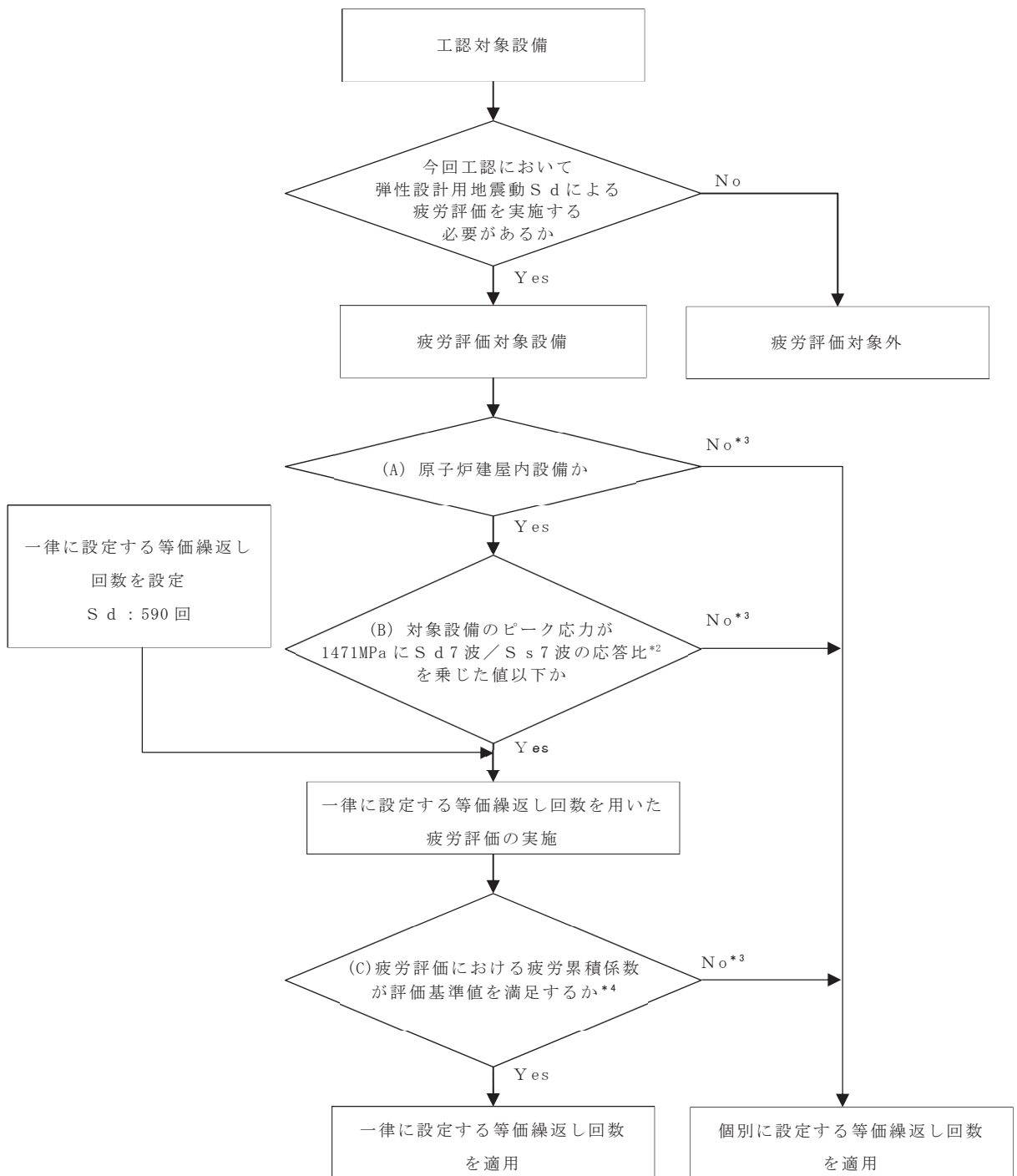


注記*1：疲労評価対象設備のピーク応力は、別紙9参照。

*2：該当する疲労評価対象設備は4. 参照。

*3：東北地方太平洋沖地震等の地震による設備への疲労影響は、十分に小さいことを確認しているが、評価基準値に対して余裕があることにも留意する。(別紙10参照)

図 2-1 基準地震動 S s の疲労評価に用いる等価繰返し回数の分類



注記*1：疲労評価対象設備のピーク応力は、別紙9参照。

*2：応答比の設定方法については、3.(1)③参照。

*3：該当する疲労評価対象設備は4.参照。

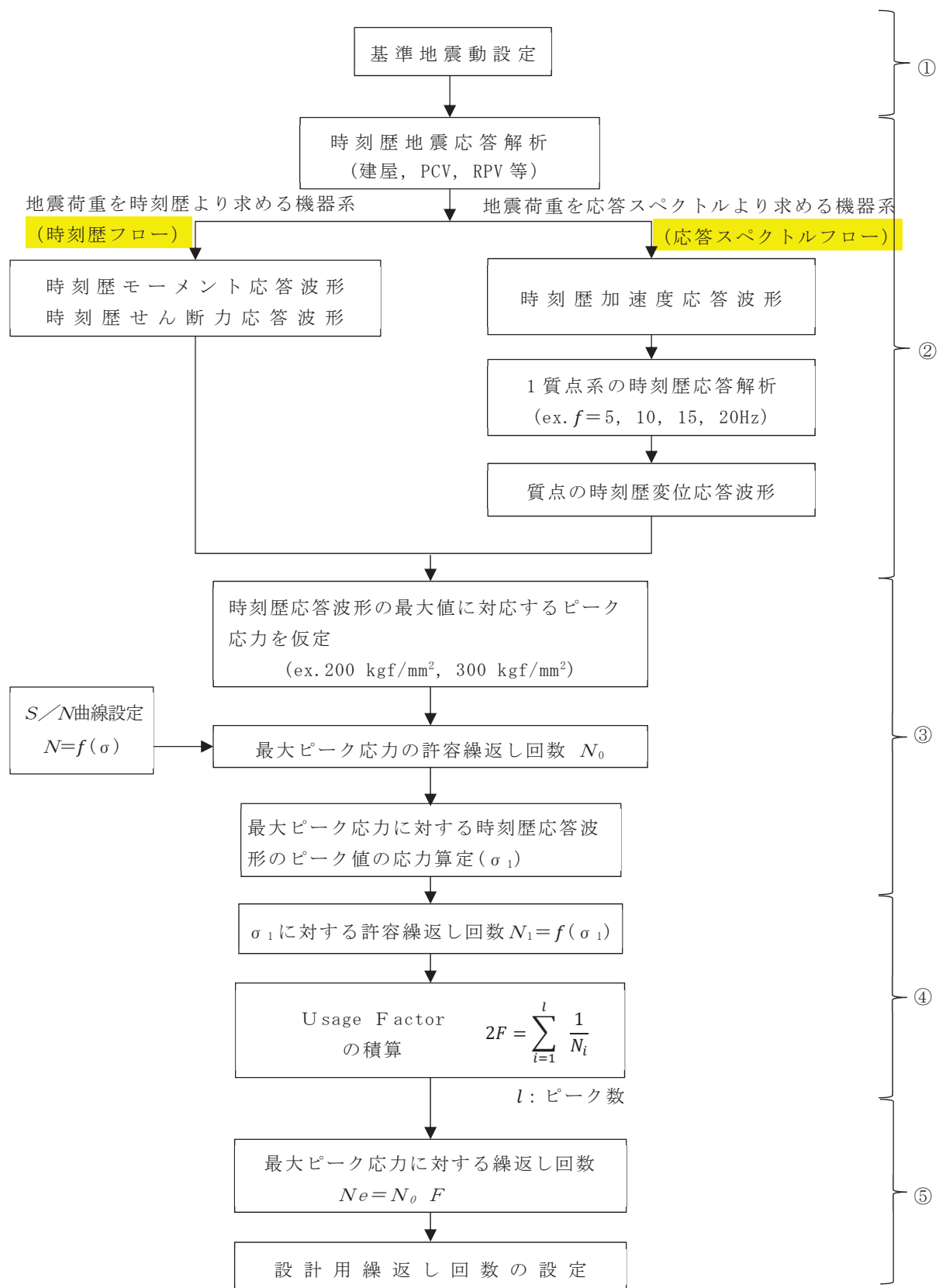
*4：東北地方太平洋沖地震等の地震による設備への疲労影響は、十分に小さいことを確認しているが、評価基準値に対して余裕があることにも留意する。(別紙10参照)

図 2-2 弾性設計用地震動 S d の疲労評価に用いる等価繰返し回数の分類

3. 一律に設定する等価繰返し回数について

(1) 算出方法

女川原子力発電所第2号機の一律に設定する等価繰返し回数の算出方法について J E A G 4 6 0 1 記載のピーク応力法による算出フロー(図 3-1, 以下「J E A G フロー」という。)に基づき説明する。また, 「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」, 建設時及び今回工認における一律に設定する等価繰返し回数の算出方法の比較を表 3-1 に示す。



(J E A G 4 6 0 1 p576 に加筆)

図 3-1 ピーク応力法による算出フロー

表 3-1 昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書及び女川原子力発電所第 2 号機の
一律に設定する等価繰返し回数算出条件の比較

		女川原子力発電所第 2 号機	
		建設時	今回工認
		昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書(標準化報告書)	建設時における等価繰返し回数
対象設備		原子炉圧力容器スカーポート	原子炉建屋に設置された設備
算出方法		時刻歴解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法(J E A G 4 6 0 1 における左側のフロー)	建屋床応答を入力とした 1 質点系による応答時刻歴を用いた算出方法(J E A G 4 6 0 1 における右側のフロー)
回数算出に用いている応答時刻歴波	波形	時刻歴モーメント波形	加速度応答時刻歴波形
	時刻歴最大値(設備の最大ピーク応力)	5 種類のピーク応力(最大 300kg/mm ²)	S s : 150kg/mm ² (1471MPa) S d : 150kg/mm ² (1471MPa) × S d 7 波 / S s 7 波の応答比
対象建屋・床		代表設備の設置床面	原子炉建屋モデル； 設備を有する床面(質点)
固有周期		時刻歴解析結果より直接算定	対象設備の固有周期でなく、 全固有周期
減衰定数		報告書に言及なし	0.5%
設計 経 労線図		代表設備材料の線図を使用	同左
各方向の算出結果の組合せ		報告書に言及なし	同左
材料物性の不確かさ等の考慮		あり	あり (建屋初期剛性, 地盤物性)

① 地震動の設定

基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対し以下を考慮して設定する。

(a) 基準地震動 S_s に対する考慮

- ・米国の知見(NUREG-0800 に定められた Standard Review Plan 3.7.3 Rev. 4) を参考に、基準地震動 S_s に加え、弾性設計用地震動 S_d の $1/3$ 倍の地震動 5 回分を考慮する。(別紙 11 参照)

(b) 弾性設計用地震動 S_d に対する考慮

- ・基準地震動 S_s に比べ発生頻度が多いことを踏まえ、設計上の配慮として弾性設計用地震動 S_d 2 回分を考慮する。

なお、基準地震動 S_s に加える弾性設計用地震動 S_d の $1/3$ 倍の地震動 5 回分の考慮方法は、以下の a～e の手順とする。

手順 a : S_s 1 回分の地震動に対する等価繰返し回数を算出

手順 b : S_s 1 回分と $1/3 S_d$ 1 回分を繋げた地震動の等価繰返し回数を算出

手順 c : [b-a] より、 $1/3 S_d$ 1 回分の地震動に対する等価繰返し回数を算出

手順 d : [c×5] より、 $1/3 S_d$ 5 回分の地震動に対する等価繰返し回数を算出

手順 e : [a+d] より、基準地震動 S_s の疲労評価に用いる一律の等価繰返し回数を設定

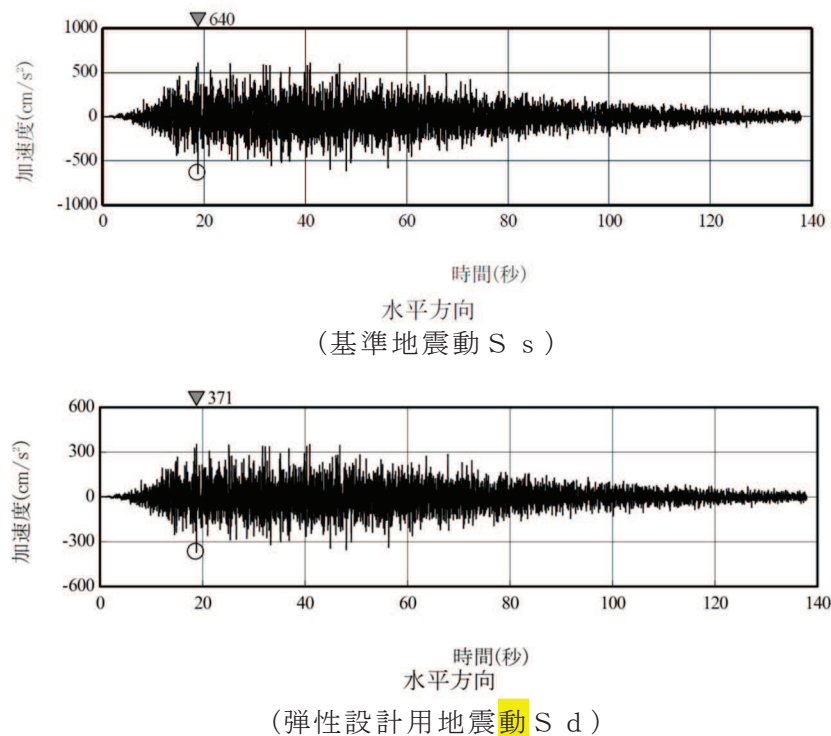


図 3-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d
($S_s - D 1$ 及び $S_d - D 1$, 水平方向)

② 時刻歴波形の設定

等価繰返し回数の算出に用いる時刻歴波形は、地震荷重を時刻歴より求める機器系の場合(図 3-1 左側のフロー(時刻歴フロー))と、地震荷重を応答スペクトルより求める機器系の場合(図 3-1 右側のフロー(以下「応答スペクトルフロー」という。))の 2 種類の方法があるが、今回工認の一律に設定する等価繰返し回数設定では、いずれの機器系に対しても、応答スペクトルフローを用いる。なお、時刻歴フロー(せん断、モーメント、軸力)を用いた等価繰返し回数が応答スペクトルフローよりも小さいことを確認している。(別紙 17 参照)

応答スペクトルフローでは、時刻歴地震応答解析(建屋地震応答解析又は建屋-機器連成解析)の結果から算出される時刻歴加速度応答波形を入力とした、振動数 f の 1 質点系の時刻歴加速度応答波形を求める。この時刻歴加速度応答波形は、固有振動数全て(1~20Hz)に対して算出する。

ここで、J E A G フローは、1 質点系の時刻歴変位応答波形を求めるフローであるが、1 質点系の時刻歴変位応答波形と時刻歴加速度応答波形の関係は、位相が異なるが同等の波形となることから、女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の算出に当たっては時刻歴加速度応答波形を求める。

③ 時刻歴ピーク応力値の設定

疲労評価対象設備に発生するピーク応力の最大値を J E A G フロー②で求めた時刻歴加速度応答波形の最大値とすることで、応力の時刻歴波形を作成する。J E A G フロー③の「時刻歴応答波形の最大値に対応するピーク応力を仮定」とは、個々の疲労評価対象設備のピーク応力でなく、全ての疲労評価対象設備のピーク応力の最大値を時刻歴応答波形の最大値とすることに対応している。

- (a) 基準地震動 S_s に対する疲労評価の等価繰返し回数設定に用いるピーク応力は、1471MPa*を用いることとし、疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa を超える場合は個別に設定する。

注記* : 「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にて十分とされている値(150kg/mm²)を単位換算した値。

- (b) 弾性設計用地震動 S_d に対する疲労評価の等価繰返し回数設定に用いるピーク応力は、1471MPa に S_d 7 波 / S_s 7 波の応答比を乗じた値を用いることとし、疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa に S_d 7 波 / S_s 7 波の応答比を乗じた値を超える場合は個別に設定する。ここで S_d 7 波 / S_s 7 波の応答比は、以下の手順にて設定する。

【手順 1】 各方向 (EW, NS, UD) の原子炉建屋地震応答解析モデルにより、弾性設計用地震動 S d 7 波及び基準地震動 S s 7 波に対する地震応答解析を行う。

【手順 2】 各方向の原子炉建屋地震応答解析モデルの各質点位置における最大加速度の比率を地震動毎に求め、各質点位置における最大加速度比を整理する。(表 3-2, 図 3-3 参照)

【手順 3】 原子炉建屋地震応答解析モデルの各質点位置における比率のうち、最大の比率を S d 7 波 / S s 7 波の応答比とする。なお、S d 7 波 / S s 7 波の応答比は、各方向で設定する。

表 3-2 各質点位置における応答比の算出

質点	方向	S d に対する原子炉建屋地震応答解析モデルの最大加速度			S s に対する原子炉建屋地震応答解析モデルの最大加速度			各地震動に対する最大加速度比 (S d 最大加速度 / S s 最大加速度) の最大値	各質点位置における応答比 *
		S d-D1	...	S d-N1	S s-D1	...	S s-N1	Max (S d 7 波最大加速度 / S s 7 波最大加速度)	
A	EW	CH _{S d-D1A(EW)}	...	CH _{S d-N1A(EW)}	CH _{S s-D1A(EW)}	...	CH _{S s-N1A(EW)}	Max (CH _{S d-D1A(EW)} / CH _{S s-D1A(EW)} , ~, CH _{S d-N1A(EW)} / CH _{S s-N1A(EW)})	R _{A(EW)}
	NS	CH _{S d-D1A(NS)}	...	CH _{S d-N1A(NS)}	CH _{S s-D1A(NS)}	...	CH _{S s-N1A(NS)}	Max (CH _{S d-D1A(NS)} / CH _{S s-D1A(NS)} , ~, CH _{S d-N1A(NS)} / CH _{S s-N1A(NS)})	R _{A(NS)}
	UD	CH _{S d-D1A(UD)}	...	CH _{S d-N1A(UD)}	CH _{S s-D1A(UD)}	...	CH _{S s-N1A(UD)}	Max (CH _{S d-D1A(UD)} / CH _{S s-D1A(UD)} , ~, CH _{S d-N1A(UD)} / CH _{S s-N1A(UD)})	R _{A(UD)}
B	EW	CH _{S d-D1B(EW)}	...	CH _{S d-N1B(EW)}	CH _{S s-D1B(EW)}	...	CH _{S s-N1B(EW)}	Max (CH _{S d-D1B(EW)} / CH _{S s-D1B(EW)} , ~, CH _{S d-N1B(EW)} / CH _{S s-N1B(EW)})	R _{B(EW)}
	NS	CH _{S d-D1B(NS)}	...	CH _{S d-N1B(NS)}	CH _{S s-D1B(NS)}	...	CH _{S s-N1B(NS)}	Max (CH _{S d-D1B(NS)} / CH _{S s-D1B(NS)} , ~, CH _{S d-N1B(NS)} / CH _{S s-N1B(NS)})	R _{B(NS)}
	UD	CH _{S d-D1B(UD)}	...	CH _{S d-N1B(UD)}	CH _{S s-D1B(UD)}	...	CH _{S s-N1B(UD)}	Max (CH _{S d-D1B(UD)} / CH _{S s-D1B(UD)} , ~, CH _{S d-N1B(UD)} / CH _{S s-N1B(UD)})	R _{B(UD)}
...	
i	EW	CH _{S d-D1i(EW)}	...	CH _{S d-N1i(EW)}	CH _{S s-D1i(EW)}	...	CH _{S s-N1i(EW)}	Max (CH _{S d-D1i(EW)} / CH _{S s-D1i(EW)} , ~, CH _{S d-N1i(EW)} / CH _{S s-N1i(EW)})	R _{i(EW)}
	NS	CH _{S d-D1i(NS)}	...	CH _{S d-N1i(NS)}	CH _{S s-D1i(NS)}	...	CH _{S s-N1i(NS)}	Max (CH _{S d-D1i(NS)} / CH _{S s-D1i(NS)} , ~, CH _{S d-N1i(NS)} / CH _{S s-N1i(NS)})	R _{i(NS)}
	UD	CH _{S d-D1i(UD)}	...	CH _{S d-N1i(UD)}	CH _{S s-D1i(UD)}	...	CH _{S s-N1i(UD)}	Max (CH _{S d-D1i(UD)} / CH _{S s-D1i(UD)} , ~, CH _{S d-N1i(UD)} / CH _{S s-N1i(UD)})	R _{i(UD)}

注記* : S d 7 波 / S s 7 波の応答比

EW 方向 : Max (R_{A(EW)}, R_{B(EW)}, ..., R_{i(EW)})

NS 方向 : Max (R_{A(NS)}, R_{B(NS)}, ..., R_{i(NS)})

UD 方向 : Max (R_{A(UD)}, R_{B(UD)}, ..., R_{i(UD)})

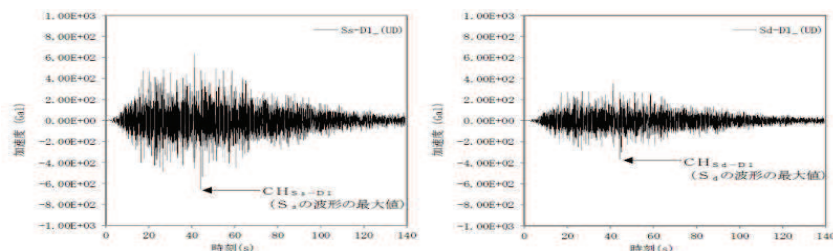
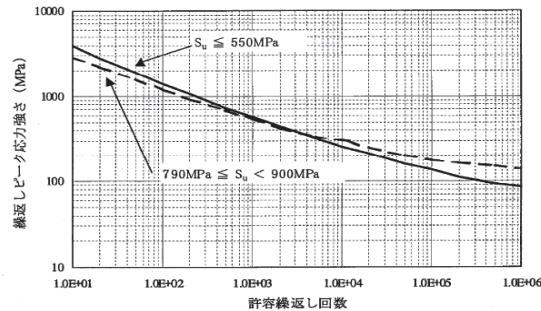


図 3-3 時刻歴加速度応答波形の最大値の例

④ 疲労累積係数 UF (Usage Factor) の算出

図 3-4 に示す発電用原子力設備規格 設計・建設規格(以下「J S M E 設計・建設規格」という。)に記載される設計疲労線図を用い、応力の時刻歴応答波形に対して各時刻歴振幅に対する許容繰返し回数を算出する。なお、時刻歴振幅とそれが何回繰返されるか(ピークのサイクル数)の算出方法はレインフロー法を用いる(別紙 12 参照)。



(J S M E 設計・建設規格より抜粋)

図 3-4 炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図

応力の時刻歴応答波形の振幅に対する許容繰返し回数と、ピークのサイクル数から、UF を算出する。

$$2UF = \frac{n_0}{N_0} + \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots$$

n_i : 各ピークのサイクル数

N_i : 各ピークに対する許容繰返し回数

⑤ 等価繰返し回数 N_e の算出

J E A G フロー④で算出した UF と、J E A G フロー③より求められる最大ピーク応力に対する許容繰返し回数 N_0 から、下式により、等価繰返し回数 N_e を求める。

$$N_e = N_0 \times UF$$

以上の J E A G フロー①～⑤を踏まえ、女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の算出方法を図 3-5 に示す。

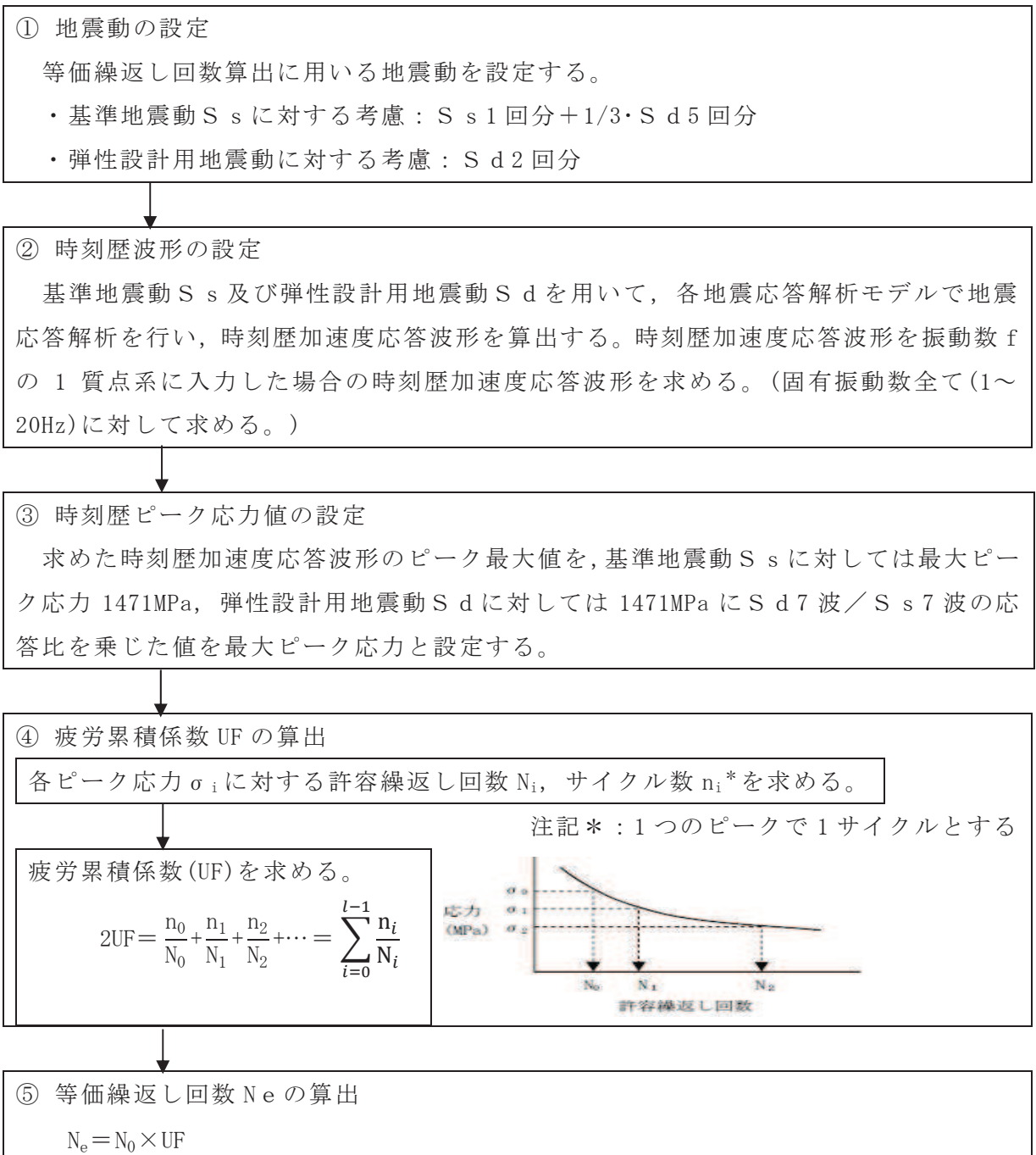


図 3-5 等価繰返し回数の算出方法

(2) 一律に設定する等価繰返し回数の算出パラメータの設定の考え方

等価繰返し回数の算出パラメータとしては、以下のパラメータがあり、一律に設定する等価繰返し回数の検討に用いるパラメータが適切であることを確認する。

- a. ピーク応力
- b. 固有周期
- c. 対象床面(質点)
- d. 地震動
- e. 減衰定数
- f. 設計疲労線図
- g. 材料物性の不確かさ等の考慮

a. ピーク応力

「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど等価繰返し回数が大きくなる傾向となることが確認されている。その傾向の計算例を別紙 13 に示す。当該報告書の中でピーク応力の設定値として十分とされている値(150kg/mm²)*を参考に、一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては、当該の値を単位換算した 1471MPa を用いる。

ピーク応力の設定の適切性の確認は、各疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa に包絡されることを確認する必要がある。水平 2 方向と鉛直方向の地震力の組合せの影響を確認する設備については、水平 2 方向と鉛直方向の地震力の組合せた場合のピーク応力についても考慮する。

なお、疲労評価対象設備のピーク応力が 1471MPa を超える場合は、個別に等価繰返し回数の設定を行う。

また、弾性設計用地震動 S_d に対して用いるピーク応力は、1471MPa に S_d 7 波 / S_s 7 波の応答比を乗じた値とし、疲労評価対象設備がそれを超える場合は個別に等価繰返し回数を設定する。

注記* : 「昭和 55 年度耐震設計の標準化に関する報告書」での整理。

現在用いられている材料において RPV 本体の材料である SQV2A 及び SFVV3 の一次+二次応力に対する許容値が最も高く、その値は $3 S_m = 56.4 \text{kg/mm}^2$ となる。応力集中係数の最大値 5 とすればピーク応力の値としては片振幅に対して、 $56.4 \times 5 \div 2 = 141 \text{kg/mm}^2$ となることから、最大ピーク応力としては、150kg/mm² まで考慮すれば十分としている。

b. 固有周期

今回工認では、全周期帯(0.05s~1.00s)で算出し、一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては、算出した等価繰返し回数のうち最大の等価繰返し回数を用いる。実際の設備は、特定の固有周期を有していることから、当該疲労評価対象設備の等価繰返し回数は、実際にそれ以下の回数となり、安全側の設定となる。固有周期と等価繰返し回数の関係について図 3-6 に示す。なお、等価繰返し回数算出における固有周期の算出刻みは表 3-3 に示す。

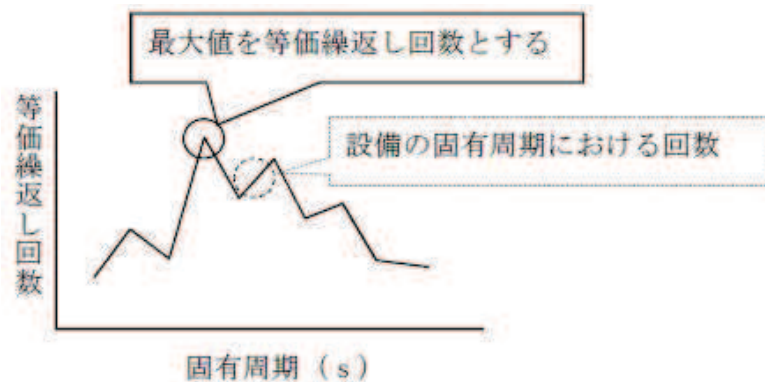


図 3-6 固有周期と等価繰返し回数の関係 (イメージ)

表 3-3 等価繰返し回数算出における固有周期の算出刻み

固有周期 (s)	算出刻み (s)
0.05~0.1	0.002
0.1~0.2	0.005
0.2~0.3	0.01
0.3~0.4	0.02
0.4~0.7	0.05
0.7~1.0	0.1

c. 対象床面(質点)

等価繰返し回数を算出する床面(質点)は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」で設備設計に用いる床応答曲線を算出する全ての床面(質点)のうち設備を有する床面(質点)及び添付書類「VI-2-3-2 炉心, 原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」で設備設計に用いる荷重及び床応答曲線を算出する全ての床面(質点)のうち疲労評価を実施する設備を有する床面(質点)とし(別紙 1 参照), 一律に設定する等価繰返し回数設定に当たっては、算出した等価繰返し回数の包絡値を用いる。

d. 地震動

女川原子力発電所第 2 号機における基準地震動は S s 7 波及び弾性設計用地震動は S d 7 波がある。

基準地震動 S s 7 波をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙 2 に、等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表 3-4 に示す。表 3-4 の結果から、S s -D 1 による等価繰返し回数が最も多く算出されることを確認した。これは、地震動の特徴（主要動の継続時間が長い、大きい加速度が繰返し入力される（図 3-7～図 3-13 参照））ことによるものであり、他の地震応答解析モデルにおいても同様の傾向を示すと考えられる。したがって、一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては、S s -D 1 及び S d -D 1 の地震動を用いる。

表 3-4 地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

算出条件				各基準地震動 S s に対する等価繰返し回数(最大回数)						
解析モデル	減衰定数(%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	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
原子炉建屋地震応答解析モデル	0.5	炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼	基本ケース							

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

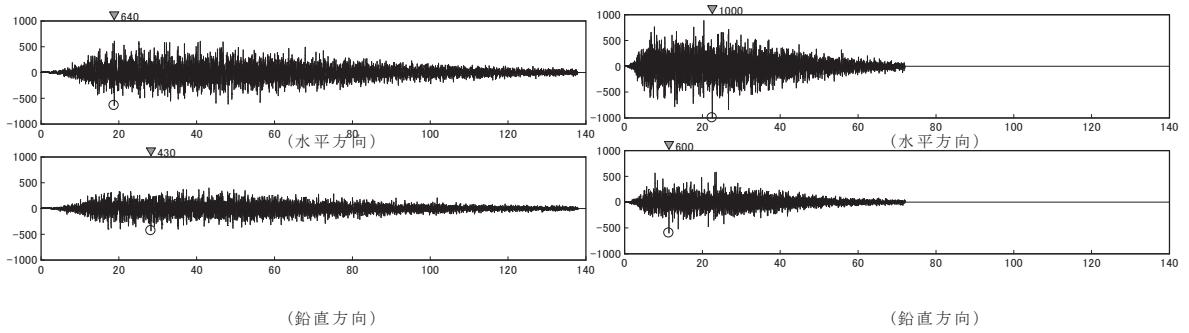


図 3-7 基準地震動 S s - D 1 の加速度時刻歴

図 3-8 基準地震動 S s - D 2 の加速度時刻歴

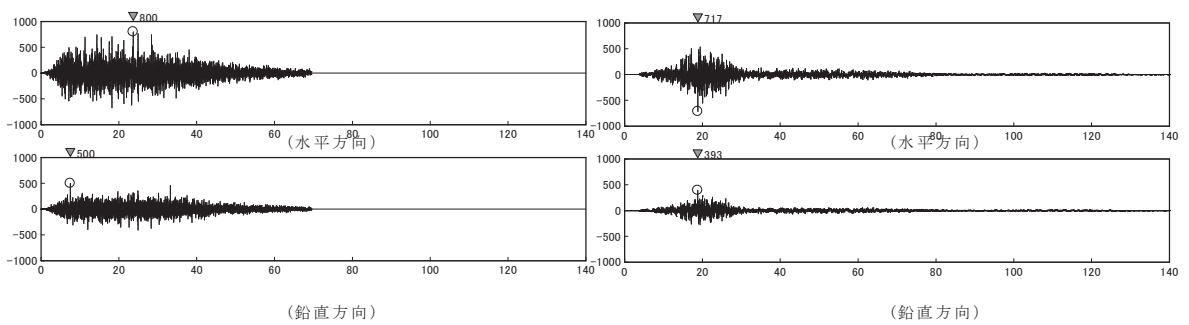


図 3-9 基準地震動 S s - D 3 の加速度時刻歴

図 3-10 基準地震動 S s - F 1 の加速度時刻歴

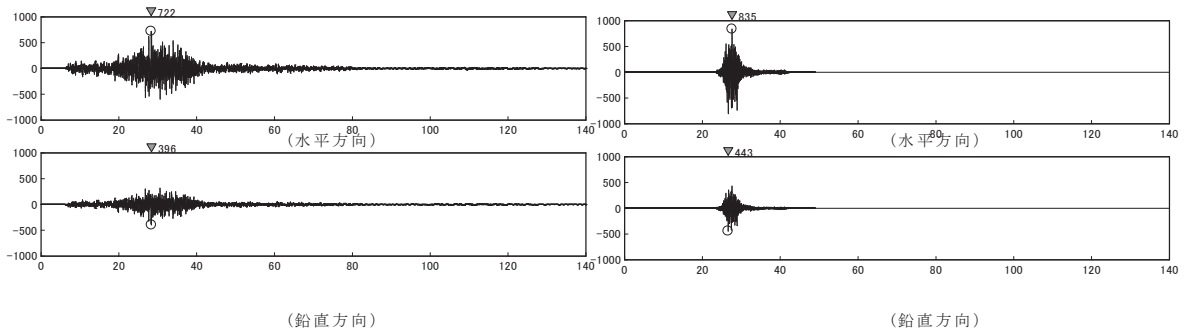


図 3-11 基準地震動 S s - F 2 の加速度時刻歴

図 3-12 基準地震動 S s - F 3 の加速度時刻歴

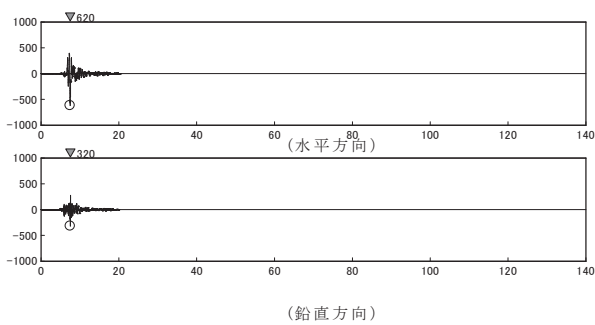


図 3-13 基準地震動 S s - N 1 の加速度時刻歴

e. 減衰定数

応答スペクトルフローでの算出に用いる 1 質点系の時刻歴応答解析の減衰定数について、減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙 3 に、等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表 3-5 に示す。表 3-5 の結果から、減衰定数が小さいほど等価繰返し回数が多く算出される傾向にあることを確認した。

機器・配管系の評価に適用される最小の減衰定数は、0.5%であることから、一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては、0.5%の減衰定数を用いる。

表 3-5 減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

算出条件				各減衰定数に対する等価繰返し回数(最大回数)					
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
原子炉建屋地震応答解析モデル	S s - D 1	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース						

f. 設計疲労線図

J S M E 設計・建設規格に記載される「炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼」及び「オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金」を用いて、設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙 4 に、等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表 3-6 に示す。表 3-6 の結果から、「炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼」を用いる場合の等価繰返し回数が多く算出されることを確認した。

したがって、一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては、「炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼」を用いる。

表 3-6 設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

算出条件				各設計疲労線図に対する等価繰返し回数(最大回数)	
解析モデル	地震動	減衰定数(%)	材料物性の不確かさ等	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金
原子炉建屋地震応答解析モデル	S s - D 1	0.5	基本ケース		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

g. 材料物性の不確かさ等の考慮

添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」にて材料物性の不確かさ等を適切に考慮する方針としていることから、今回工認の等価繰返し回数についても、算出に用いる地震応答解析モデルの材料物性の不確かさ等による影響を考慮する。

考慮にあたっては、基準地震動 S_s における基本ケースの地震応答解析による結果から等価繰返し回数の算出に支配的となる地震動、減衰定数及び設計疲労線図を特定し、特定した地震動、減衰定数及び設計疲労線図を用いて原子炉建屋地震応答解析モデルにおける材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースでの等価繰返し回数を算出した後、算出結果を踏まえて安全側に設定を行う。具体的なフローを図 3-14 に示す。

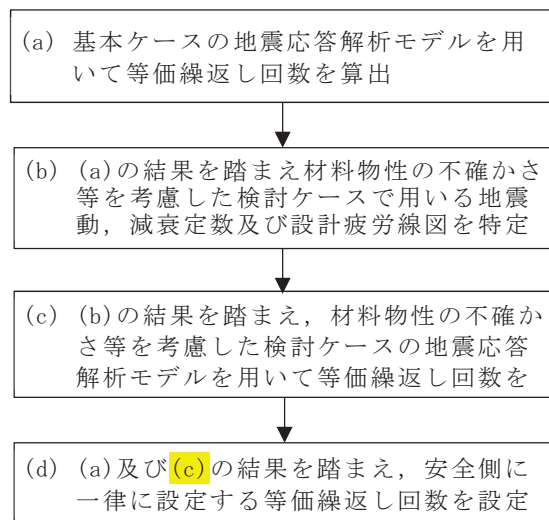


図 3-14 一律に設定する等価繰返し回数設定に対する材料物性の不確かさ等の考慮フロー

3. (2)d. , 3. (2)e. 及び 3. (2)f. の結果を踏まえ、等価繰返し回数の算出パラメータとして、地震動を「 $S_s - D 1$ 」、減衰定数を「0.5%」及び設計疲労線図を「炭素鋼、低合金鋼および高張力鋼」とした条件における材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果を別紙 5 に、最大回数を整理した結果を表 3-7 に示す。表 3-7 の通り、材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケース(表 3-8)での等価繰返し回数への影響は 1%程度で影響軽微であるため、一律に設定する等価繰返し回数算出に当たっては、「ケース 1」(以下、「基本ケース」という。)を用いて検討する。なお、女川原子力発電所第 2 号機の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は、最終段階での取り扱いとして安全側に設定する。

表 3-7 材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

算出条件				各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数(最大回数)*					
解析モデル	地震動	減衰定数(%)	設計疲労線図	基本 ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼						

注記* : ()内の数字は基本ケースにおける等価繰返し回数に対する各ケースの等価繰返し回数の比率を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-8 原子炉建屋地震応答解析モデルにおける材料物性の不確かさを考慮した検討ケース

検討ケース	建屋初期剛性	地盤物性	
		入力地震動	底面地盤ばね
基本ケース	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正*	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900m/s	標準地盤
ケース 2	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900+100m/s	標準地盤+ σ
ケース 3	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900-100m/s	標準地盤- σ
ケース 4	基本ケースの 0.78 倍	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900m/s	標準地盤
ケース 5	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900+100m/s	標準地盤+ σ
ケース 6	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900-100m/s	標準地盤- σ

注記*：コンクリート強度は設計基準強度とし、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地上 3 階及びクレーン階：NS 方向 0.30, EW 方向 0.50, 地下 3 階から地上 2 階：NS 方向 0.75, EW 方向 0.80）を適用して初期剛性を設定する。

(3) 算出結果

(2)で整理した算出パラメータを用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する各地震応答解析モデルに対する等価繰返し回数の最大回数を整理した結果を表 3-9 及び表 3-10 に示し、その詳細内訳を別紙 6 及び別紙 7 に示す。

基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数は、大型機器系地震応答解析モデル UD 方向での 回が最大であった。また、弾性設計用地震動 S_d に対する等価繰返し回数は、炉内構造物系地震応答解析モデル NS 方向での 回が最大であった。

なお、女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数が比較的他プラントよりも多い理由は、基準地震動 S_s ($S_s - D1$) の主要動の継続時間が長いことに起因するものと考えられる。

表 3-9 基準地震動 S_s に対する最大等価繰返し回数

算出条件					方向別最大回数		最大回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	方向	回数	
大型機器系地震応答解析モデル	$S_s - D1 + 1/3 S_d - D1 \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼 および高張力鋼	基本ケース	EW	<input type="text"/>	
					NS		
					UD		
炉内構造物系地震応答解析モデル	$S_s - D1 + 1/3 S_d - D1 \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼 および高張力鋼	基本ケース	EW		
					NS		
					UD		
原子炉建屋地震応答解析モデル	$S_s - D1 + 1/3 S_d - D1 \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼 および高張力鋼	基本ケース	EW		
					NS		
					UD		

表 3-10 弾性設計用地震動 S_d に対する最大等価繰返し回数

算出条件					方向別最大回数		最大回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	方向	回数	
大型機器系地震応答解析モデル	$S_d - D1 \times 2$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼 および高張力鋼	基本ケース	EW	<input type="text"/>	
					NS		
					UD		
炉内構造物系地震応答解析モデル	$S_d - D1 \times 2$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼 および高張力鋼	基本ケース	EW		
					NS		
					UD		
原子炉建屋地震応答解析モデル	$S_d - D1 \times 2$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼 および高張力鋼	基本ケース	EW		
					NS		
					UD		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 結果まとめ

a. 基準地震動 S_s の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数

- ・原子炉建屋(大型機器系地震応答解析モデル, 炉内構造物系地震応答解析モデル及び原子炉建屋地震応答解析モデル) を対象とし, 等価繰返し回数を算出した。
- ・等価繰返し回数の算出パラメータのうち, 地震動, 減衰定数及び設計疲労線図について, 「 $S_s - D1$ 」, 「0.5%」及び「炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼」の条件が安全側の設定であることを確認した。
- ・基準地震動 S_s に弾性設計用地震動 S_d の 1/3 倍の地震動 5 回分を考慮し, 安全側に設定した算出パラメータで等価繰返し回数を算出した結果, 最大等価繰返し回数は 回であることを確認した。
- ・原子炉建屋モデル地震応答解析モデルに対し材料物性の不確かさ等の影響確認を行った結果, 基本ケースによる等価繰返し回数に対する影響は 1 % 程度であり, 影響は軽微であることを確認した。

以上のことから, 女川原子力発電所第 2 号機における基準地震動 S_s の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は, 安全側に 340 回を設定する。

b. 弾性設計用地震動 S_d の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数

- ・弾性設計用地震動 S_d 2 回分を考慮し, 基準地震動 S_s で確認した安全側となる算出パラメータで等価繰返し回数を算出した結果, 最大等価繰返し回数は 回であることを確認した。
- ・基準地震動 S_s に対する原子炉建屋モデル地震応答解析モデルの結果から, 材料物性の不確かさ等の影響は軽微であることを確認した。

以上のことから, 女川原子力発電所第 2 号機における弾性設計用地震動 S_d の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は, 安全側に 590 回を設定する。

5. まとめ

女川原子力発電所第 2 号機の疲労評価に用いる等価繰返し回数は，J E A G 4 6 0 1 -1987 記載の手順及び等価繰返し回数算出に影響するパラメータを保守的に設定した算出結果を踏まえ，基準地震動 S_s の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数を 340 回及び弾性設計用地震動 S_d の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数を 590 回に設定する。

(別紙)

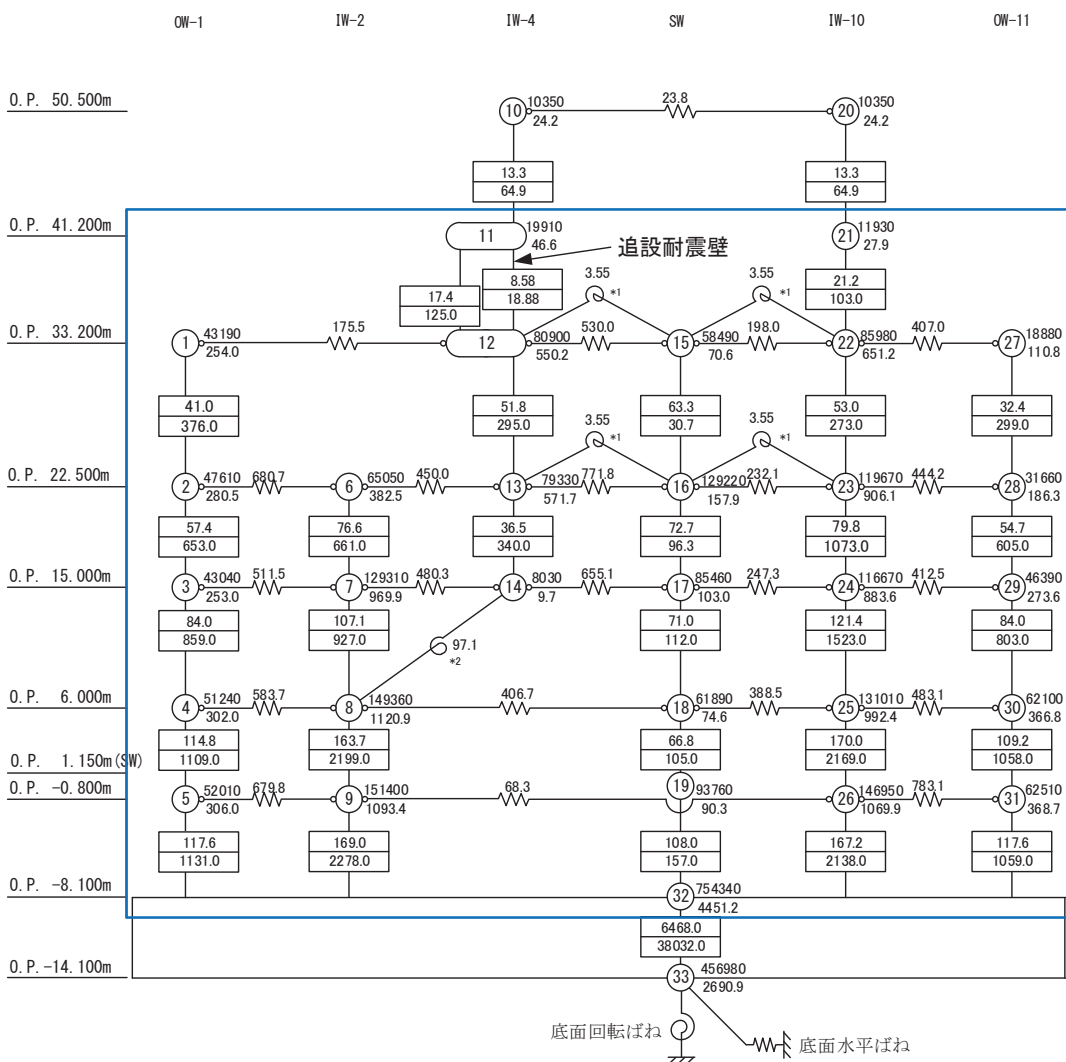
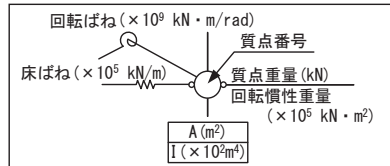
- 別紙 1 地震応答解析モデルにおける等価繰返し回数の算出点
- 別紙 2 地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較
- 別紙 3 減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較
- 別紙 4 設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較
- 別紙 5 等価繰返し回数の算出における材料物性の不確かさ等の影響検討
- 別紙 6 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果
- 別紙 7 弾性設計用地震動 S_d に対する等価繰返し回数算出結果
- 別紙 8 ピーク応力の算出方法
- 別紙 9 疲労評価の対象設備及び評価部位のピーク応力
- 別紙 10 疲労累積係数の評価基準値に対する東北地方太平洋沖地震等の影響
- 別紙 11 等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方
- 別紙 12 ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方
- 別紙 13 ピーク応力の大きさと等価繰返し回数の関係
- 別紙 14 弾性設計用地震動 S_d による疲労評価の省略
- 別紙 15 等価繰返し回数算出プログラム
- 別紙 16 多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法
- 別紙 17 時刻歴応答波形(荷重)から直接等価繰返し回数を算定した場合との比較検討

地震応答解析モデルにおける等価繰返し回数の算出点



: 算出質点 (設備を有する質点)

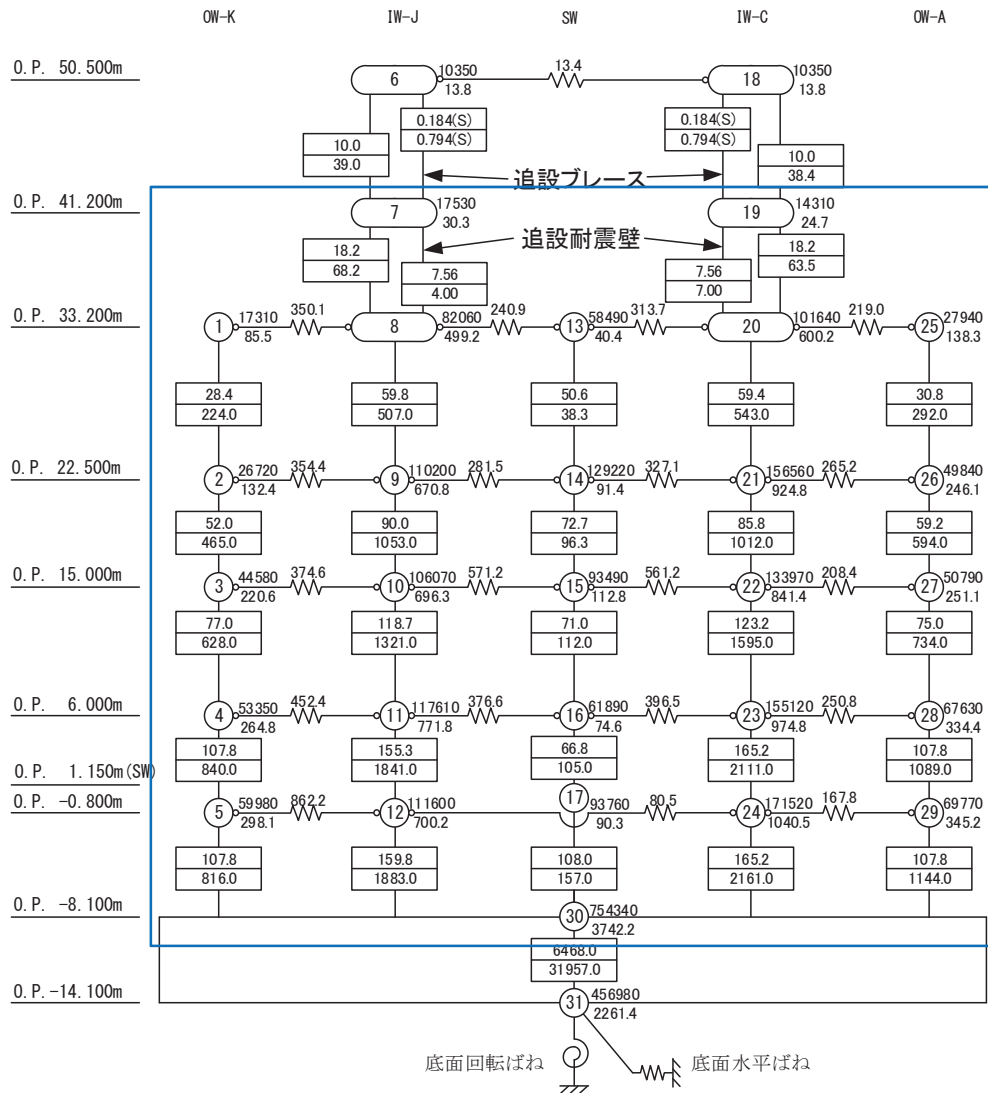
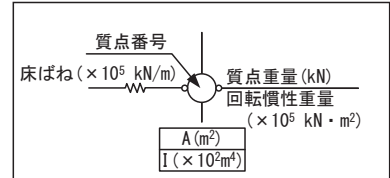
$E_c = 2.12 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
 $1.32 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (燃料取替床上部)
 $2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (追設耐震壁)
 $G_c = 9.10 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
 $5.69 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ (燃料取替床上部)
 $1.05 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (追設耐震壁)



別図 1-1 原子炉建屋地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点 (水平方向(EW方向))

: 算出点 (設備を有する質点)

$E_c = 1.99 \times 10^4$	N/mm ²
7.94×10^3	N/mm ² (燃料取替床上部)
2.52×10^4	N/mm ² (追設耐震壁)
$G_c = 8.53 \times 10^3$	N/mm ²
3.41×10^3	N/mm ² (燃料取替床上部)
1.05×10^4	N/mm ² (追設耐震壁)
$E_s = 2.05 \times 10^5$	N/mm ² (追設ブレース)
$G_s = 7.90 \times 10^4$	N/mm ² (追設ブレース)

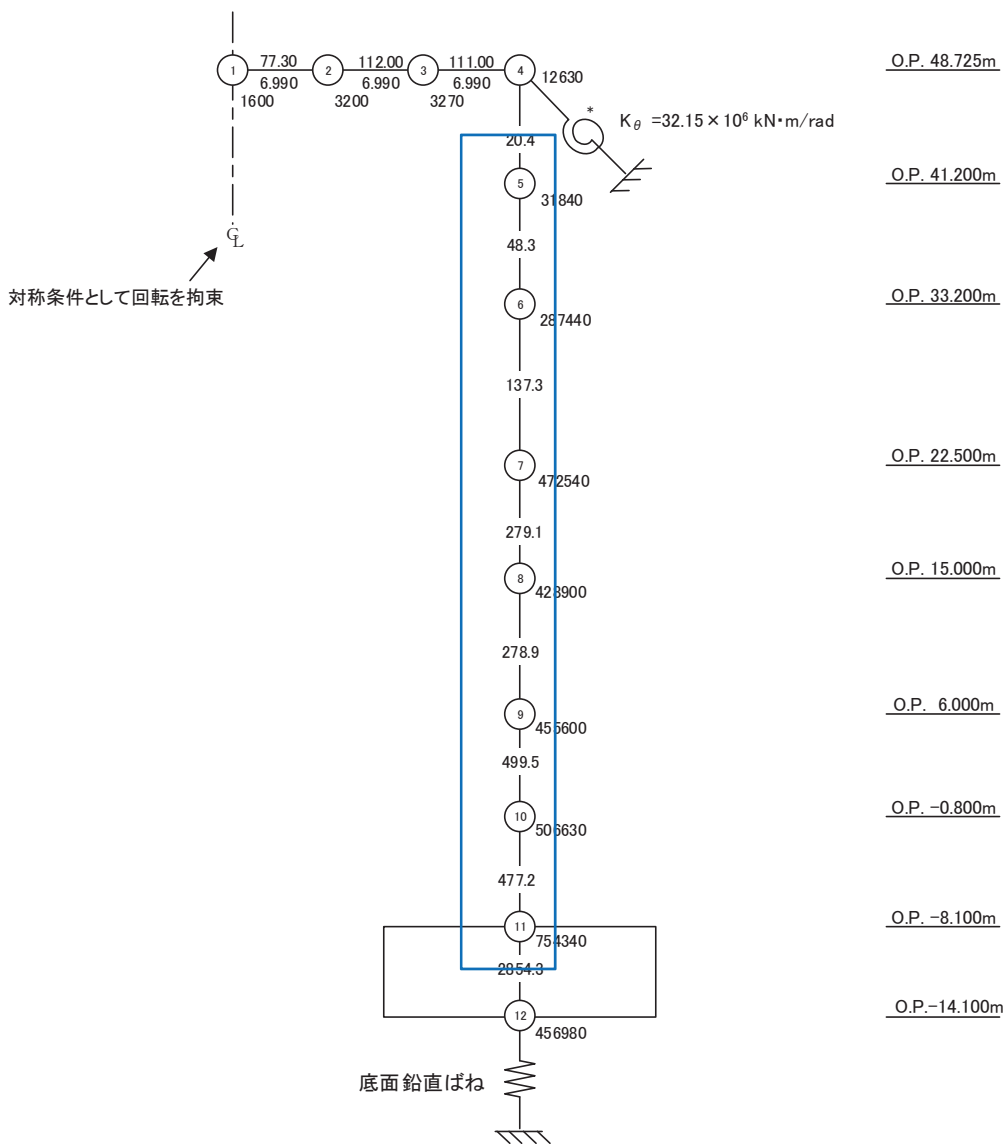
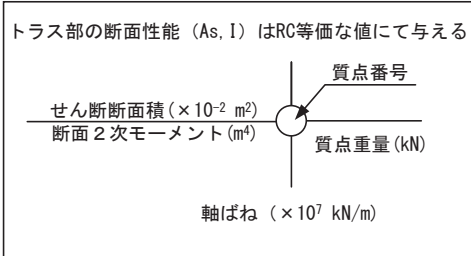


別図 1-2 原子炉建屋地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点 (水平方向 (NS 方向))

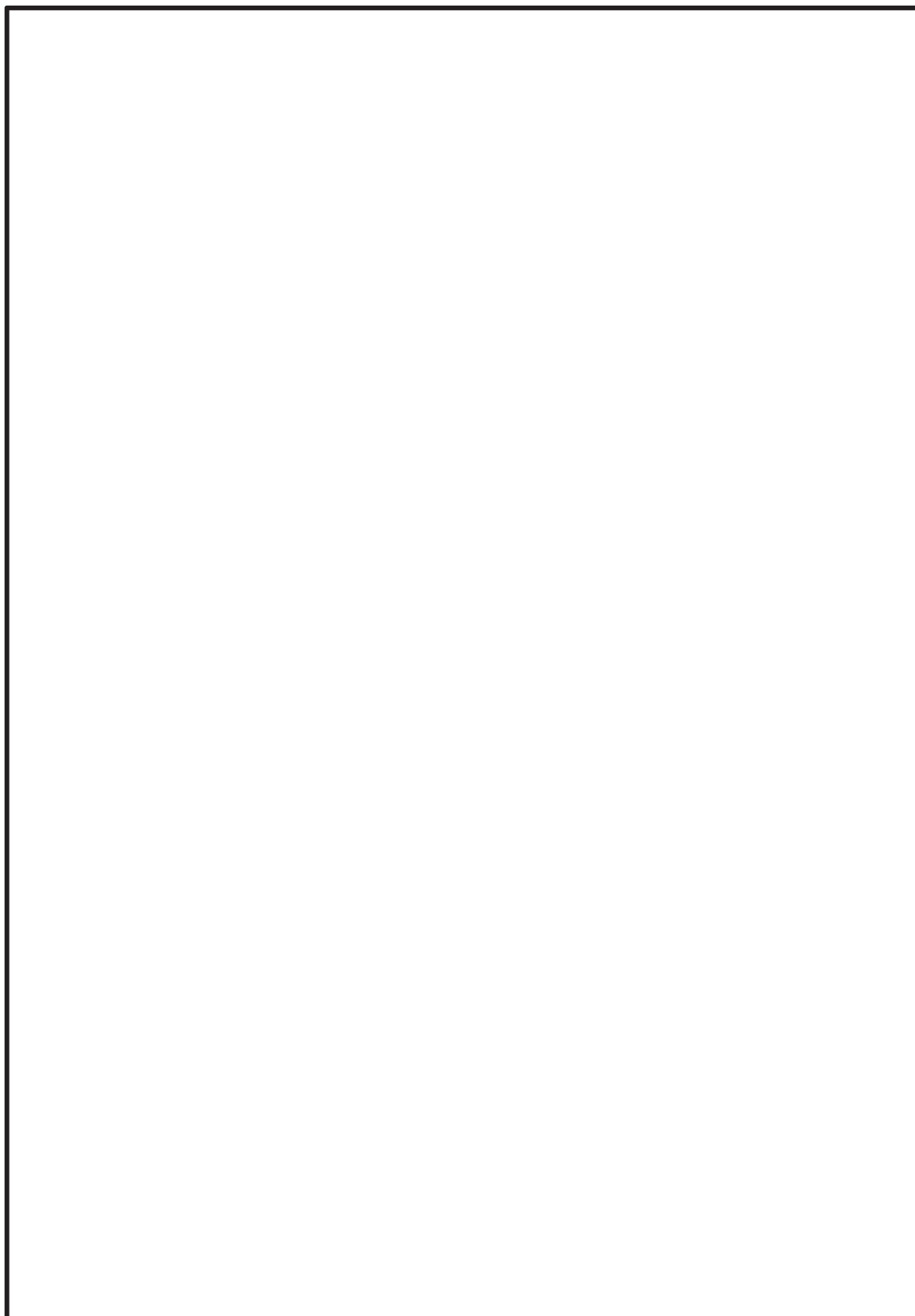
: 算出点 (設備を有する質点)

$$E_c = 2.65 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

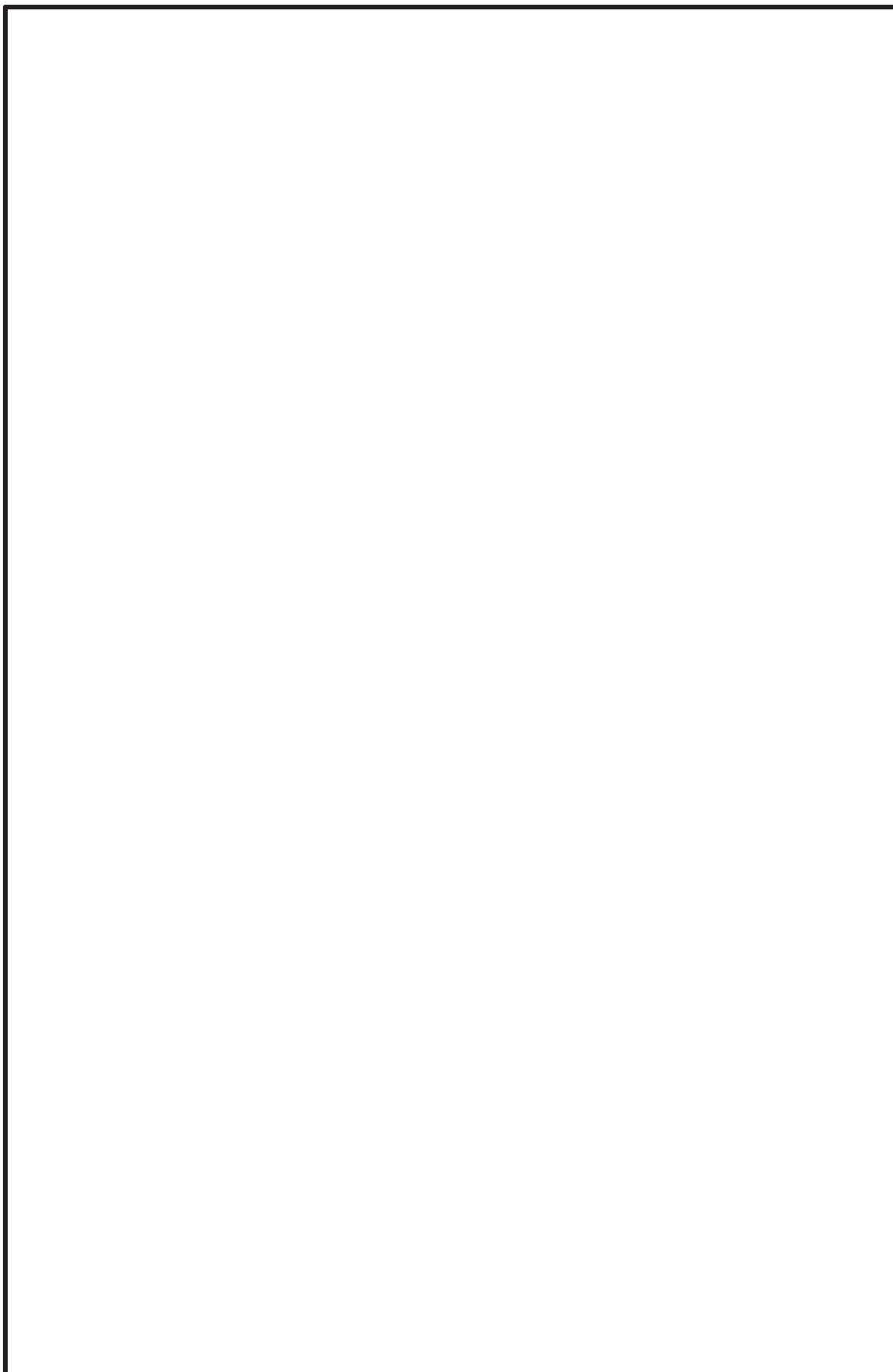
$$G_c = 1.14 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$



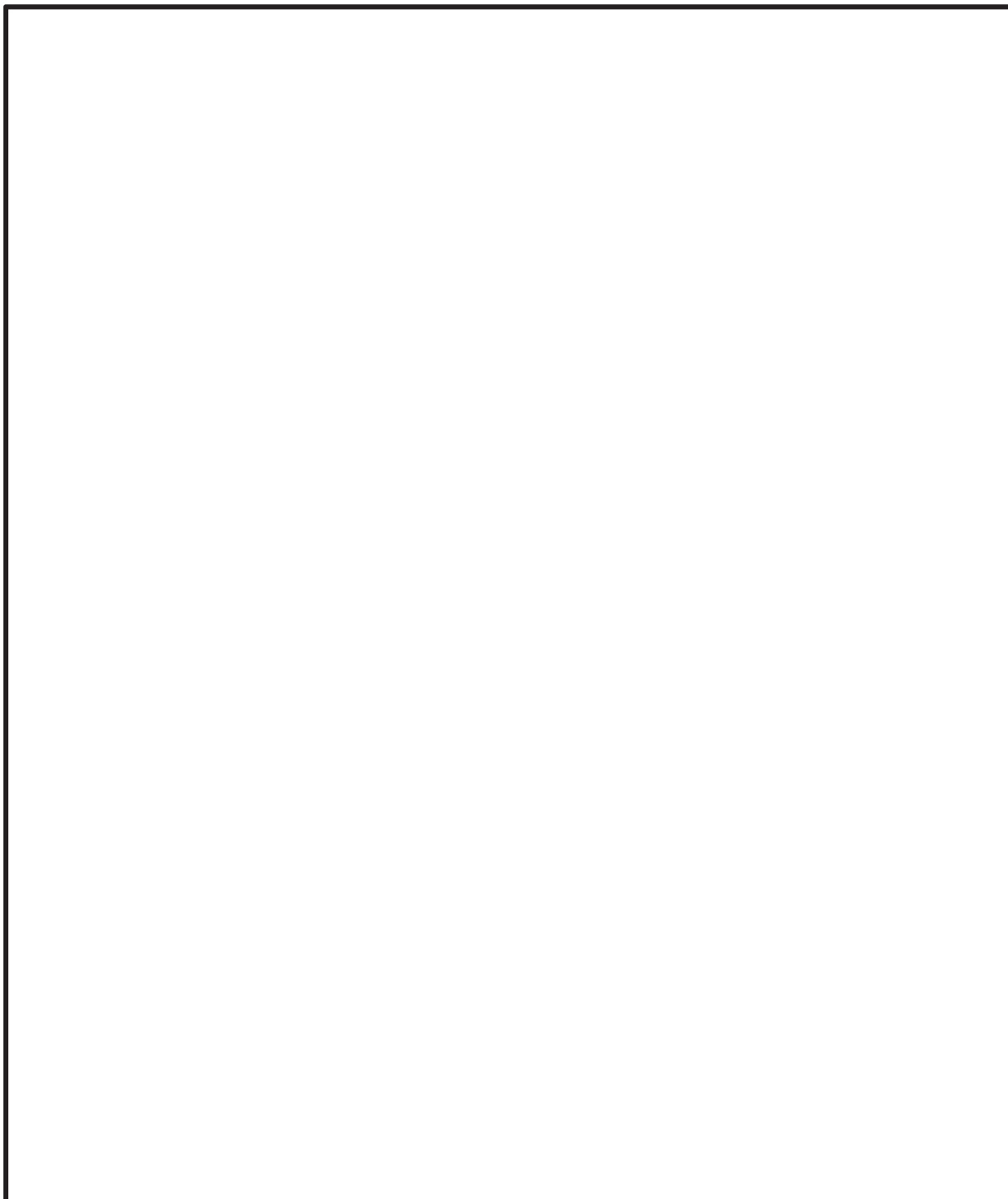
別図 1-3 原子炉建屋地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点 (鉛直方向)



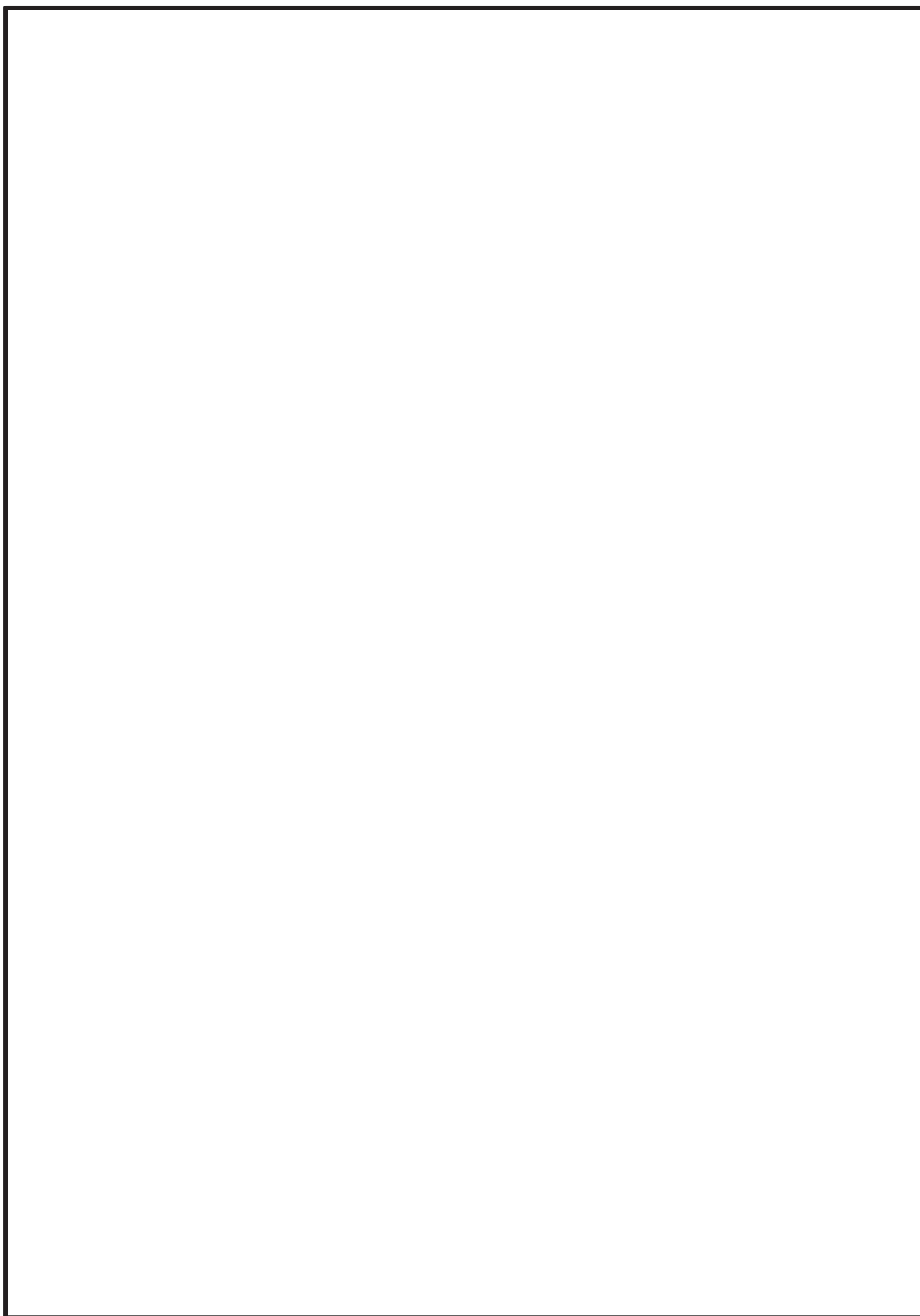
別図 1-4 大型機器系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(水平方向(EW 方向))



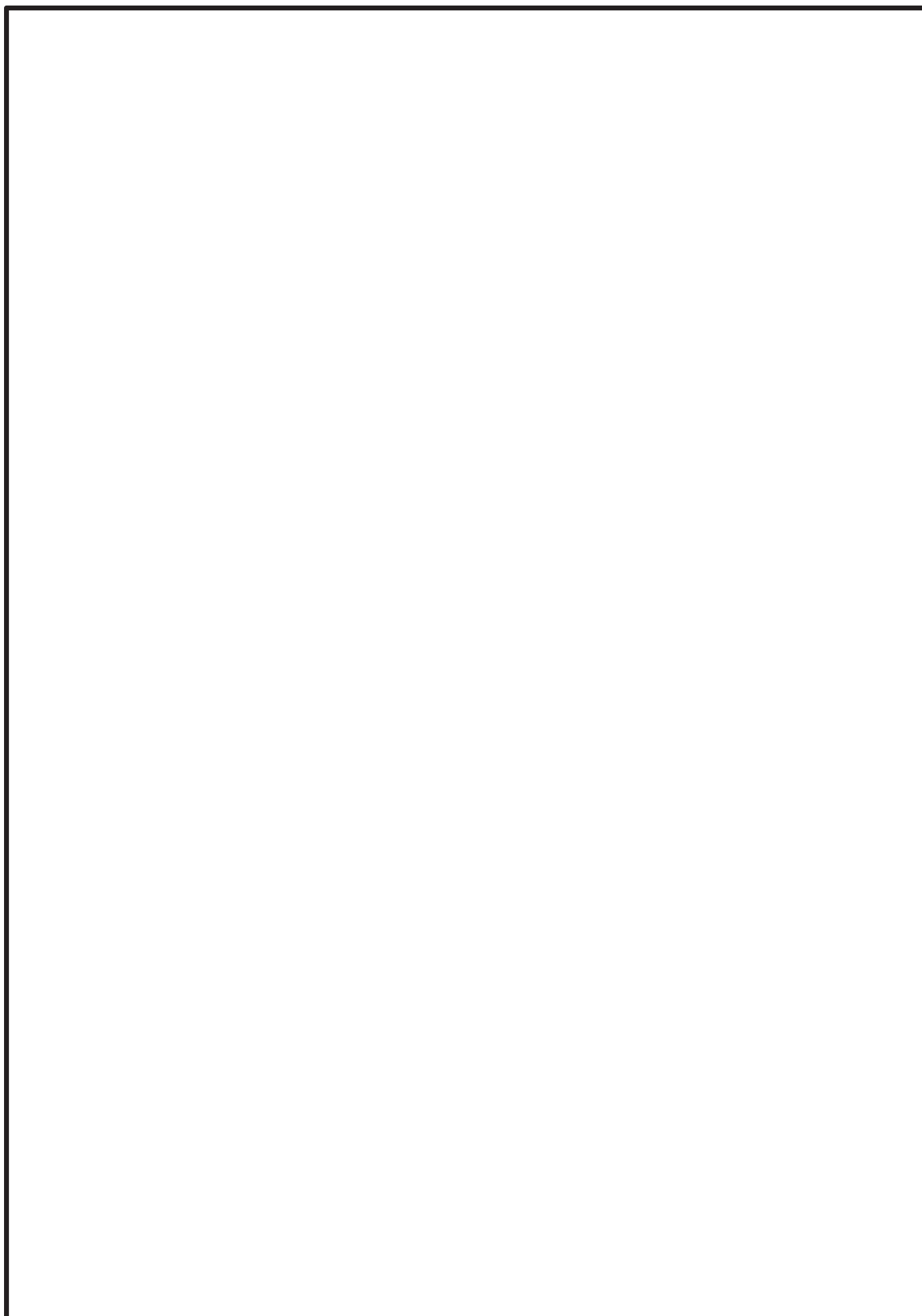
別図 1-5 大型機器系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(水平方向(NS 方向))



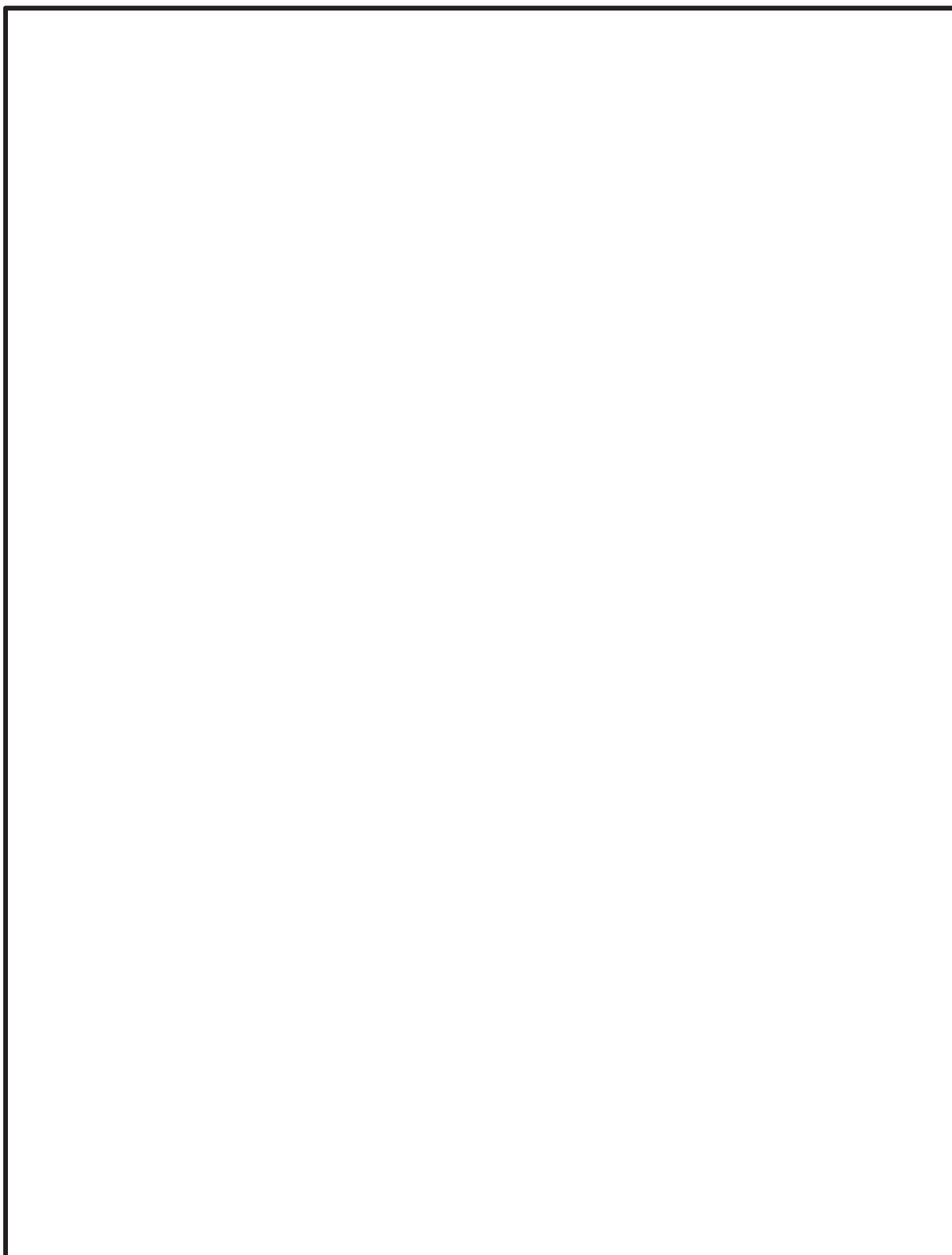
別図 1-6 大型機器系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(鉛直方向)



別図 1-7 炉内構造物系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(水平方向(EW 方向))



別図 1-8 炉内構造物系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(水平方向(NS 方向))



別図 1-9 炉内構造物系地震応答解析モデルの等価繰返し回数の算出点
(鉛直方向)

地震動をパラメータとした等価繰返し回数の比較

別表 2-1 地震動をパラメータとした等価繰返し回数算出結果 (EW 方向)

算出条件						各基準地震動 S _s に対する等価繰返し回数						
解析モデル	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	O. P. (m)	質点*	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -
						D 1	D 2	D 3	F 1	F 2	F 3	N 1
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	41.200	11							
					21							
				33.200	1							
					12							
					15							
					22							
					27							
					2							
				22.500	6							
					13							
					16							
					23							
					28							
					3							
				15.000	7							
					14							
					17							
					24							
					29							
					4							
				6.000	8							
					18							
					25							
					30							
				-0.800	5							
					9							
					19							
					26							
				-8.100	31							
					32							

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 2-2 地震動をパラメータとした等価繰返し回数算出結果 (NS 方向)

算出条件						各基準地震動 S _s に対する等価繰返し回数						
解析モデル	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の 不確かさ等	O. P. (m)	質点*	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -	S _s -
						D 1	D 2	D 3	F 1	F 2	F 3	N 1
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	0.5		基本ケース	41.200	7							
					19							
				33.200	1							
					8							
					13							
					20							
					25							
				22.500	2							
					9							
					14							
					21							
					26							
				15.000	3							
					10							
					15							
					22							
					27							
				6.000	4							
					11							
					16							
					23							
					28							
				-0.800	5							
					12							
					17							
					24							
				-8.100	29							
					30							

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 2-3 地震動をパラメータとした等価繰返し回数算出結果 (UD 方向)

算出条件						各基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数						
解析モデル	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の 不確かさ等	O.P. (m)	質点*	$S_s -$ 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
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	41.200	5							
				33.200	6							
				22.500	7							
				15.000	8							
				6.000	9							
				-0.800	10							
				-8.100	11							

注記* : 設備を有する質点

減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の比較

別表 3-1 減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果 (EW 方向)

解析モデル	地震動	算出条件				各減衰定数に対する等価繰返し回数						
		設計疲労線図	材料物性の 不確かさ等	0. P. (m)	質点*	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1		炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	41.200	11						
						21						
					33.200	1						
						12						
						15						
						22						
						27						
						2						
					22.500	6						
						13						
						16						
						23						
						28						
						3						
					15.000	7						
						14						
						17						
						24						
						29						
						4						
					6.000	8						
						18						
						25						
						30						
						5						
					-0.800	9						
						19						
						26						
						31						
					-8.100	32						

注記* : 設備を有する質点

別表 3-2 減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果 (NS 方向)

算出条件						各減衰定数に対する等価繰返し回数					
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	O. P. (m)	質点*	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1		基本ケース	41.200	7						
					19						
				33.200	1						
					8						
					13						
					20						
					25						
				22.500	2						
					9						
					14						
					21						
					26						
				15.000	3						
					10						
					15						
					22						
					27						
				6.000	4						
					11						
					16						
					23						
					28						
				-0.800	5						
					12						
					17						
					24						
					29						
				-8.100	30						

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 3-3 減衰定数をパラメータとした等価繰返し回数の算出結果 (UD 方向)

算出条件						各減衰定数に対する等価繰返し回数					
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	O. P. (m)	質点*	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	41.200	5						
				33.200	6						
				22.500	7						
				15.000	8						
				6.000	9						
				-0.800	10						
				-8.100	11						

注記* : 設備を有する質点

設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数の比較

別表 4-1 設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数算出結果 (EW 方向)

算出条件					各設計疲労線図に対する等価繰返し回数		
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	材料物性の不確かさ等	0. P. (m)	質点 *	炭素鋼, 低合金鋼 および高張力鋼	オーステナイト系 ステンレス鋼および 高ニッケル合金
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	基本ケース	41.200	11		
					21		
				33.200	1		
					12		
					15		
					22		
					27		
				22.500	2		
					6		
					13		
					16		
					23		
					28		
				15.000	3		
					7		
					14		
					17		
					24		
				6.000	4		
					8		
					18		
					25		
				-0.800	30		
					5		
					9		
					19		
				-8.100	26		
					31		
					32		

注記* : 設備を有する質点

別表 4-2 設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数算出結果 (NS 方向)

算出条件						各設計疲労線図に対する等価繰返し回数	
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	材料物性の不確かさ等	0. P. (m)	質点*	炭素鋼, 低合金鋼 および高張力鋼	オーステナイト系 ステンレス鋼および 高ニッケル合金
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	基本ケース	41.200	7		
					19		
				33.200	1		
					8		
					13		
					20		
					25		
				22.500	2		
					9		
					14		
					21		
					26		
				15.000	3		
					10		
					15		
					22		
					27		
				6.000	4		
					11		
					16		
					23		
					28		
				-0.800	5		
					12		
					17		
					24		
				-8.100	29		
					30		

注記* : 設備を有する質点

別表 4-3 設計疲労線図をパラメータとした等価繰返し回数算出結果 (UD 方向)

算出条件						各設計疲労線図に対する等価繰返し回数	
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	材料物性の不確かさ等	0. P. (m)	質点*	炭素鋼, 低合金鋼 および高張力鋼	オーステナイト系 ステンレス鋼および 高ニッケル合金
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	基本ケース	41.200	5		
				33.200	6		
				22.500	7		
				15.000	8		
				6.000	9		
				-0.800	10		
				-8.100	11		

注記* : 設備を有する質点

等価繰返し回数の算出における材料物性の不確かさ等の影響検討

1. はじめに

女川原子力発電所第 2 号機の耐震設計において、材料物性の不確かさ等を適切に考慮する方針としていることから、本資料において、等価繰返し回数算出に係る材料物性の不確かさ等による影響検討を実施した。

2. 材料物性の不確かさ等を考慮した場合の等価繰返し回数の算出条件

原子炉建屋地震応答解析モデルにおける建屋剛性及び地盤物性を考慮した場合の等価繰返し回数を算出する。別表 5-1 に等価繰返し回数の算出条件を示す。

別表 5-1 等価繰返し回数の算出条件

解析モデル	材料物性の不確かさ等*	地震動	固有周期	減衰定数	設計疲労線図
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	基本ケース	S s - D 1	全周期帯	0.5%	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼
	ケース 2				
	ケース 3				
	ケース 4				
	ケース 5				
	ケース 6				

注記*：材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースの条件は、本文表 3-8 参照。

3. 算出結果及びまとめ

材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の最大回数を別表 5-2 に、それらの詳細内訳を別表 5-3～別表 5-5 に示す。材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースでの等価繰返し回数への増加影響は 1%程度で影響軽微であるため、女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数算出に当たっては、基本ケースを用いて検討する。なお、女川原子力発電所第 2 号機の疲労評価に用いる一律に設定する等価繰返し回数は、最終段階での取り扱いとして安全側に設定する。

別表 5-2 材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の比較結果

解析モデル	算出条件			各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数(最大回数)*					
	地震動	減衰定数(%)	設計疲労線図	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼						

注記*：()内の数字は基本ケースにおける等価繰返し回数に対する各ケースの等価繰返し回数の比率を示す。

別表 5-3 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 of 算出結果 (EW 方向)

算出条件		各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数									
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	O.P. (m)	賃点*	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	41.200	11						
					21						
					1						
					12						
					15						
					22						
					27						
					2						
					6						
					13						
					16						
					23						
					28						
					3						
					7						
					14						
					17						
					24						
					29						
					4						
					8						
					18						
					25						
					30						
					5						
					9						
					19						
					26						
					31						
					32						

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-4 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 of 算出結果 (NS 方向)

算出条件		各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数									
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	O.P. (m)	質点*	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 合金鋼 および 高張力鋼	41.200	7	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
					19						
					1						
					8						
					13						
					20						
					25						
					2						
					9						
					14						
					21						
					26						
					3						
					10						
					15						
					22						
					27						
					4						
					11						
					16						
					23						
					28						
					5						
					12						
					17						
					24						
					29						
					30						

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 5-5 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 of 算出結果 (UD 方向)

解析モデル		算出条件				各材料物性の不確かさを等価繰返し回数					
地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	O. P. (m)	質点*	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	
原子炉建屋 地震応答解析 モデル	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	41.200	5							
			33.200	6							
			22.500	7							
			15.000	8							
			6.000	9							
			-0.800	10							
			-8.100	11							

注記*：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデル
における材料物性の不確かさ等の影響検討

1. はじめに

本資料では，原子炉建屋地震応答解析モデルと同様，大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルについての等価繰返し回数算出に係る材料物性の不確かさ等による影響検討を行った結果を示す。

2. 材料物性の不確かさ等を考慮した場合の等価繰返し回数の算出条件

等価繰返し回数の算出条件を別表 5-6 に，材料物性の不確かさ等を考慮した検討ケースの条件を別表 5-7 に示す。

別表 5-6 等価繰返し回数の算出条件

解析モデル	材料物性の不確かさ等	地震動	減衰定数	設計疲労線図
大型機器系 地震応答解析 モデル	基本ケース	S s - D 1	0.5%	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼
	ケース 2			
	ケース 3			
	ケース 4			
	ケース 5			
	ケース 6			
	ケース 7			
炉内構造物系 地震応答解析 モデル	基本ケース	S s - D 1	0.5%	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼
	ケース 2			
	ケース 3			
	ケース 4			
	ケース 5			
	ケース 6			
	ケース 7			

別表 5-7 建屋-機器連成解析において材料物性の不確かさを考慮する検討ケース

検討ケース	建屋初期剛性	地盤物性		原子炉本体の基礎 の初期剛性
		入力地震動	底面地盤ばね	
基本ケース	2011年3月11日東北地方太平洋 沖地震の観測記録を用いたシミュ レーション解析により補正*	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900m/s	標準地盤	コンクリート強度：設計基準強度 初期剛性低下：考慮しない
ケース 2	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900+100m/s	標準地盤+ σ	同上
ケース 3	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900-100m/s	標準地盤- σ	同上
ケース 4	基本ケースの 0.78 倍	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900m/s	標準地盤	同上
ケース 5	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900+100m/s	標準地盤+ σ	同上
ケース 6	同上	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900-100m/s	標準地盤- σ	同上
ケース 7	2011年3月11日東北地方太平洋 沖地震の観測記録を用いたシミュ レーション解析により補正*	表層上部：非線形性を考慮 表層下部：Vs 900m/s	標準地盤	コンクリート強度：設計基準強度 初期剛性低下：原子炉建屋地下部 と同様の初期剛性低下を考慮

注記*：コンクリート強度は設計基準強度とし、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す原子炉建屋の耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数（地上3階及びクレーン階：NS方向0.30, EW方向0.50, 地下3階から地上2階：NS方向0.75, EW方向0.80）を適用して初期剛性を設定する。

3. 算出結果及びまとめ

材料物性の不確かさ等をパラメータとした等価繰返し回数の最大回数を別表 5-8 に、それらの詳細内訳を別表 5-9～別表 5-14 に示す。大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルにおける材料物性の不確かさ等の増加影響はないことを確認した。

別表 5-8 材料物性の不確かさ等をパラメータ等価繰返し回数の比較結果

算出条件				各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数（最大回数）*						
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
大型機器系地震応答解析モデル	S s — D 1	0.5	低合金鋼および高張力鋼							
炉内構造物系地震応答解析モデル	S s — D 1	0.5	低合金鋼および高張力鋼							

注記*：()内の数字は基本ケースにおける等価繰返し回数に対する各ケースの等価繰返し回数の比率を示す。

別表 5-9 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 の算出結果 (大型機器系, EW 方向)

算出条件		各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数											
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	機器	O.P. (m)	質点 *	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	原子炉 压力容器	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]
				原子炉 本体基礎									
				原子炉 遮蔽壁									
				原子炉 格納容器									

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 5-10 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 of 算出結果 (大型機器系, NS 方向)

算出条件		各材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数											
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	機器	O.P. (m)	質点*	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	原子炉 圧力容器	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]
				原子炉 本体基礎									
				原子炉 遮蔽壁									
				原子炉 格納容器									

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 5-11 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 of 算出結果 (大型機器系, UD 方向)

算出条件					材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数								
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	機器	0.P. (m)	質点*	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	原子炉圧力容器									
				原子炉本体基礎									
				原子炉遮蔽壁									
				原子炉格納容器									

注記*: 疲労評価対象設備を有する質点

別表 5-12 材料物性の不確かさをパラメータとした等価繰返し回数 (炉内構造物系, EW 方向)

算出条件		材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数											
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	機器	0. P. (m)	質点 *	基本ケー ス	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
炉内構造物系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 合金鋼 および 高張力鋼	炉心 シユラウド 制御棒 駆動機構 ハウジング 燃料集合体									

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 5-13 材料物性の不確かさをパラメータ等価繰返し回数(炉内構造物系, NS 方向)

算出条件		材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数											
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	機器	0.P. (m)	質点 *	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
炉内構造物系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	炉心 シュラウド									
				制御棒 駆動機構 ハウジング									
				燃料集合体									

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 5-14 材料物性の不確かさをパラメータ等価繰返し回数(炉内構造物系, UD 方向)

算出条件		材料物性の不確かさ等の等価繰返し回数											
解析モデル	地震動	減衰定数(%)	設計疲労線図	機器	O.P. (m)	質点 *	基本ケース	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6	ケース 7
炉内構造物系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	0.5	炭素鋼, 合金鋼 および 高張力鋼	炉心 シュラウド 制御棒 駆動機構 ハウジング 制御棒案内管									

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点の回数を算出。

基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果

別表 6-1 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果 (大型機器系, EW 方向)

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
大型機器系 地震応答解析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d - D$ 1×5 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	原子炉 圧力容器			
					原子炉 本体基礎			
					原子炉 遮蔽壁			
					原子炉 格納容器			

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-2 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（大型機器系，NS 方向）

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	質点*	
大型機器系 地震応答解 析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d -$ $D 1 \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低合 金鋼および高 張力鋼	基本ケース	原子炉圧力 容器			
					原子炉本体 基礎			
					原子炉 遮蔽壁			
					原子炉 格納容器			

注記*：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-3 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（大型機器系，UD 方向）

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数(%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
大型機器系 地震応答解析 モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d - D$ 1×5 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	原子炉圧力容器			
					原子炉本体基礎			
					原子炉遮蔽壁			
					原子炉格納容器			

注記*：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-4 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（炉内構造物系，EW 方向）

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	質点*	
炉内構造物系地震応答解析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d - D$ 1×5 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	炉心シュラウド			
					制御棒駆動機構ハウジング			
					燃料集合体			

注記*：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-5 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（炉内構造物系，NS 方向）

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	質点*	
炉内構造物系地震応答解析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d -$ $D1 \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	炉心シュラウド			
					制御棒駆動機構ハウジング			
					燃料集合体			

注記*：疲労評価対象設備を有する質点

別表 6-6 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（炉内構造物系，UD 方向）

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	質点*	
炉内構造物系地震応答解析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d - D$ 1×5 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	炉心シュラウド			
					制御棒駆動機構ハウジング			

注記*：疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-7 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（原子炉建屋，EW 方向）

算出条件							等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	O.P. (m)	質点*	
原子炉建屋 地震応答解 析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d$ $- D 1 \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低 合金鋼およ び高張力鋼	基本ケース	41.200	11	
						21	
					33.200	1	
						12	
						15	
						22	
						27	
						2	
					22.500	6	
						13	
						16	
						23	
						28	
						3	
					15.000	7	
						14	
						17	
						24	
						29	
						4	
					6.000	8	
						18	
						25	
						30	
						5	
					-0.800	9	
						19	
						26	
						31	
					-8.100	32	

注記*：設備を有する質点の回数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-8 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（原子炉建屋，NS 方向）

算出条件							等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	O.P. (m)	質点*	
原子炉建屋地震応答解析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d - D$ 1×5 回	0.5	炭素鋼，低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	41.200	7	
						19	
					33.200	1	
						8	
						13	
						20	
						25	
					22.500	2	
						9	
						14	
						21	
						26	
					15.000	3	
						10	
						15	
						22	
						27	
					6.000	4	
						11	
						16	
						23	
						28	
					-0.800	5	
						12	
						17	
						24	
					-8.100	29	
						30	

注記*：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 6-9 基準地震動 S_s に対する等価繰返し回数算出結果（原子炉建屋，UD 方向）

算出条件							等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	O.P. (m)	質点*	
原子炉建屋 地震応答解 析モデル	$S_s - D$ $1+1/3 S_d$ $- D \times 5$ 回	0.5	炭素鋼，低 合金鋼およ び高張力鋼	基本ケース	41.200	5	
					33.200	6	
					22.500	7	
					15.000	8	
					6.000	9	
					-0.800	10	
					-8.100	11	

注記*：設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果

別表 7-1 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(大型機器系, EW 方向)

解析モデル	地震動	算出条件					等価繰返し回数
		減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
大型機器系地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	原子炉圧力容器		
					原子炉本体基礎		
					原子炉遮蔽壁		
					原子炉格納容器		

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 7-2 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(大型機器系, NS 方向)

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
大型機器系 地震応答解 析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低 合金鋼およ び高張力鋼	基本ケース	原子炉圧力 容器			
					原子炉本体 基礎			
					原子炉遮蔽 壁			
					原子炉格納 容器			

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 7-3 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(大型機器系, UD 方向)

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
大型機器系 地震応答解 析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低 合金鋼およ び高張力鋼	基本ケース	原子炉圧力 容器			
					原子炉本体 基礎			
					原子炉遮蔽 壁			
					原子炉格納 容器			

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 7-4 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(炉内構造物系, EW 方向)

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	炉心シュラウド			
					制御棒駆動機構ハウジング			
					燃料集合体			

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 7-5 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(炉内構造物系, NS 方向)

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	炉心シュラウド			
					制御棒駆動機構 ハウジング			
					燃料集合体			

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 7-6 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(炉内構造物系, UD 方向)

算出条件								等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O. P. (m)	質点*	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	炉心シュラウド			
					制御棒駆動機構ハウジング			

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

別表 7-7 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(原子炉建屋, EW 方向)

算出条件							等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	0. P. (m)	質点*	
原子炉建屋地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼 および高 張力鋼	基本ケー ス	41.200	11	
						21	
					33.200	1	
						12	
						15	
						22	
						27	
						28	
					22.500	2	
						6	
						13	
						16	
						23	
						28	
					15.000	3	
						7	
						14	
						17	
						24	
						29	
					6.000	4	
						8	
						18	
						25	
						30	
					-0.800	5	
						9	
						19	
						26	
					-8.100	31	
						32	

注記* : 疲労評価対象設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-8 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(原子炉建屋, NS 方向)

解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	算出条件				等価繰返し回数
			設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	0. P. (m)	質点*	
原子炉建屋地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	41.200	7	
						19	
					33.200	1	
						8	
						13	
						20	
						25	
					22.500	2	
						9	
						14	
						21	
						26	
					15.000	3	
						10	
						15	
						22	
						27	
					6.000	4	
						11	
						16	
						23	
						28	
					-0.800	5	
						12	
						17	
						24	
						29	
					-8.100	30	

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 7-9 弾性設計用地震動 S d に対する等価繰返し回数算出結果
(原子炉建屋, UD 方向)

算出条件							等価繰返し回数
解析モデル	地震動	減衰定数 (%)	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	0. P. (m)	質点*	
原子炉建屋地震応答解析モデル	S d - D 1×2 回	0.5	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼	基本ケース	41.200	5	
					33.200	6	
					22.500	7	
					15.000	8	
					6.000	9	
					-0.800	10	
					-8.100	11	

注記* : 設備を有する質点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

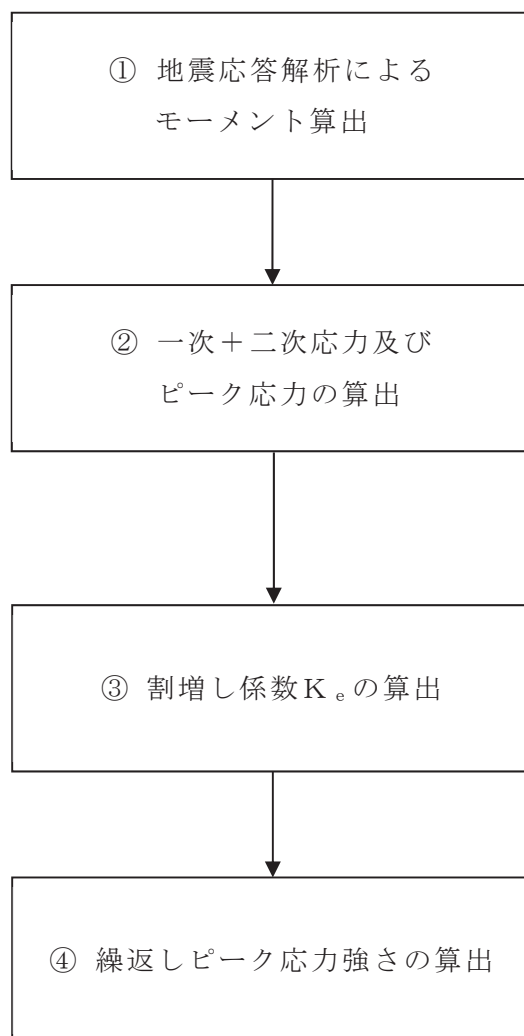
ピーク応力の算出方法

1. はじめに

本資料では、疲労評価に用いる地震時のピーク応力の算出方法について、クラス1管のうち原子炉冷却材浄化系配管(配管解析モデル CUW-001)を代表設備として説明する。

2. ピーク応力の算出方法

2.1 ピーク応力の算出フロー



別図 8-1 地震時のピーク応力算出フロー

2.1 ピーク応力の算出方法

① 地震応答解析によるモーメント算出

CUW-001 の地震応答解析 (3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析) を実施し、CUW-001 に生じるモーメントを算出する。この地震応答解析から得られたモーメントを別表 8-1 に示す。

別表 8-1 地震応答解析から得られたモーメント (N・mm)

	M_X^*	M_Y^*	M_Z^*
慣性力			
相対変位			

注記*：添え字の X は EW 方向， Y は UD 方向及び Z は NS 方向を示す。

② 一次＋二次応力及びピーク応力の算出

表 1 に示すモーメントにより算出した一次＋二次応力 S_n 及びピーク応力 S_p は以下による。(J E A G 4 6 0 1-1987(6.6.2-22), (6.6.2-25))

$$S_n = \frac{C_2 \cdot M_{iS}}{Z_i}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (MPa)}$$

$$S_p = \frac{K_2 \cdot C_2 \times M_{iS}}{Z_i}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (MPa)}$$

一次＋二次応力及びピーク応力の算出で用いている記号は以下の通り。

S_n : 一次＋二次応力 (MPa)

S_p : ピーク応力 (MPa)

K_2, C_2 : 応力係数 (設計・建設規格 2005/2007PPB-3812.4)

M_{iS} : 表 1 より生じるモーメントの全振幅 (モーメントの各方向のモーメントの SRSS) (N・mm)

Z_i : 管の断面係数 (mm^3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

疲労累積係数の評価基準値に対する東北地方太平洋沖地震等の影響

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機については、東北地方太平洋沖地震等（3.11地震及び4.7地震）に対する地震後の設備健全性確認を行い、地震による設備への疲労影響が十分に小さいことを確認している。なお、今回工認において設備の疲労評価を実施する場合には、地震を受けたことを踏まえ、疲労累積係数の評価結果が評価基準値に対して余裕があることに留意することとしている。本資料では、その留意事項の考え方を整理する。

2. 東北地方太平洋沖地震等に対する疲労影響の評価結果

疲労影響が大きいと考えられる配管等を対象設備として、東北地方太平洋沖地震（以下、「3.11地震」という。）及び2011年4月7日宮城県沖の地震（以下、「4.7地震」という。）に対する疲労評価の結果（疲労累積係数）*を別表10-1に示す。

3.11地震及び4.7地震による疲労累積係数の合計値は、いずれの設備に対しても十分に小さく、最大でも0.01にも満たない結果である。これは、疲労累積係数の評価基準値となる1.0に対しても1%にも満たない。

注記*：補足説明資料「600-2 耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について」参照。

別表 10-1 3.11地震及び4.7地震による疲労累積係数

対象設備	評価用地震動	地震による疲労累積係数[-]	合計[-]
給水系配管*1	3.11地震	0.0001	0.0002
	4.7地震	0.0001	
残留熱除去系配管*2	3.11地震	0.0027	0.0036
	4.7地震	0.0009	
原子炉補機冷却海水系配管*3	3.11地震	0.0008	0.0014
	4.7地震	0.0006	
給水ノズル*4	3.11地震	0.0002	0.0019
	4.7地震	0.0017	
ベント管ベローズ*5	3.11地震	0.0002	0.0004
	4.7地震	0.0002	

注記*1：運転状態Ⅰ又は運転状態Ⅱによる疲労累積係数が最大であるクラス1配管モデル

*2：地震荷重のみによる疲労累積係数が最大であるクラス1配管モデル

*3：相対変位による疲労が大きいと考えられるR/B-海水ポンプ室間の渡り配管のうち1次+2次応力の裕度最小配管モデル

*4：地震荷重のみによる疲労累積係数が最大のノズル

*5：構造強度評価において、疲労評価を実施するベローズ

3. 疲労評価における留意事項

上記 2 のとおり，3.11 地震及び 4.7 地震に対する設備の疲労影響は十分に小さく，設計事項への反映は必要ないと考えられるが，疲労評価における留意事項として，疲労累積係数の評価結果が評価基準値 1.0 に近接して満足する場合(判断目安:0.99 を超える)には，該当する評価設備に対する評価手法の見直し，より裕度を持つような改造設計等を実施し，3.11 地震及び 4.7 地震を考慮しても影響がないことを確認する。

等価繰返し回数の算出に用いる地震動の考え方

1. はじめに

今回工認の基準地震動 S_s の等価繰返し回数の算出に用いる地震動は、基準地震動 S_s に加え、弾性設計用地震動 S_d を $1/3$ 倍した地震動 5 回分を追加している。本資料ではこの考え方を示す。

2. 米国における等価繰返し回数の考え方について

米国における等価繰返し回数設定に係る基準要求を別紙 11 別添 1 に示す。別紙 11 別添 1 に示す通り、NUREG-0800 に定められた Standard Review Plan 3.7.3 Rev.4 では、プラント供用期間中に、SSE*¹地震 1 回 + OBE*²地震 5 回を想定した疲労評価を行うよう要求がある。その際の繰返し回数としては各々の地震イベントで最低 10 回を考慮するよう要求がある (OBE 地震が SSE 地震の $1/3$ 以下に設定される場合は、OBE 地震による設計評価は不要となるが、OBE 地震による疲労評価は実施する必要がある。その場合、プラント供用期間中に想定される地震として SSE 地震 2 回を考慮する。これは SSE 地震 1 回 + OBE 地震 5 回と等価である。SSE 地震 1 回で最大振幅が 10 回繰り返すものとする)。

注記*1：SSE (Safe-shutdown earthquake ground motion) は、その事象の発生時及び発生後において、原子力プラントが安全停止状態を達成し、維持することが可能とする地震レベル。安全設計に係る SSC (建屋、システム、機器) は SSE により機能喪失が生じないように設計することが求められる。

*2：OBE (Operating basis earthquake ground motion) は、プラント運転中に起こりうる地震レベル。OBE 地震を超過する地震発生時には、プラント停止要求がある。

3. 今回工認の等価繰返し回数の算出に用いる地震動について

今回工認における等価繰返し回数の保守性の確保にあたり、基準地震動 S_s に対して地震動を追加する。ここで追加する地震動として、2. の考え方を参考に OBE 地震相当の地震動 5 回分を考える。

OBE 地震に相当する地震動は、J E A G 4 6 0 1・補-1984 にある地震動 S_0 (地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動) が相当すると考えられる (別紙 11 別添 2 参照)。J E A G 4 6 0 1・補-1984 においては、この地震動 S_0 は S_1 地震動の $1/3$ 倍程度の大きさとされていることから、 S_1 地震動を弾性設計用地震動 S_d に読替え弾性設計用地震動 S_d を $1/3$ 倍した地震動を用いる。なお、別表 11-1 の通り、弾性設計用地震動 S_d の $1/3$ 倍の加速度は、原子炉非常停止信号である地震加速度大の設定値に対して鉛直方向でほぼ同等、水平方向でやや小さい。女川原子力発電所第 2 号機では、鉛直方向の地震加速度で地震スクラムが生じていることを踏まえれば、弾性設計用地震動 S_d

の 1/3 倍の地震動は、プラント停止要求のある OBE 地震相当と考えて問題ないと考える。

別表 11-1 地震加速度大設定値及び弾性設計用地震動 S d の 1/3 の比較

O. P. (m)	地震加速度大設定値 (gal)		(1/3) × S d 最大応答加速度 (gal)	
	水平	鉛直	水平	鉛直
-8.100	200	100	131	108

以上より、米国 S R P の考え方 (SSE 地震 : 1 回分 + OBE 地震 5 回分を考慮して疲労評価) を参考として、基準地震動 S s 1 回分に対し、弾性設計用地震動 S d の 1/3 倍の地震動 5 回分を考慮した地震動を用いて、等価繰返し回数を設定する。

等価繰返し回数に係る米国基準の整理

米国基準	地震発生回数及び応力振幅回数に関する考え方	
	要求	解釈
10CFR50 Appendix S 米国連邦法であり、 行政法の一つ。 10CFRは、エネルギー 行政に係る事項を定 めている。	<p>①SSE地震は、その事象の発生時ならび発生 後において、原子力プラントが安全停止に 係るSSCs(建屋、システム、機器)は SSEにより機能喪失が生じないよう設計す ること。</p> <p>②OBE地震は、プラント運転中に起こりうる 地震レベル。OBE地震を超過する地震事象 の発生時には、プラント停止要求がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • SSE地震、OBE地震が定 義されているが、その発 生回数の規定はない。 • OBE地震では、プラント は運転継続する。 (②)
SRP3.7.3 NUREG-0800に よって定められる、 NRC許認可活動にお ける審査方針を示し たもの。 当該章は、機器設計 について定める章。	<p>①プラント供用期間中、少なくとも“SSE地震 1イベント+OBE地震5イベント”の発生を 想定する規定がある。地震1イベント当 り最低10回の応力振幅を考慮する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 地震事象としてSSE地震 1回と、OBE地震5回を 考慮した疲労評価の実 施要求がある。(①)
ASME	<p>①ASMEはDesign Specificationで与えられ た設計条件に従い、設計・評価を行う手法を 定めた民間規定であることから、地震回数、 地震強度に対する要求は無い。</p> <p>②一方、Service Level A, Bの過渡事象に対 する、疲労評価を実施し、疲労累積係数UF が1以下となることを求めている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • OBE地震はService Level Bに区分される (SRP3.9.3)ことから、 他の過渡事象と同列に 並べて、疲労評価を実施 する。

電氣技術指針
原子力編

原子力発電所耐震設計技術指針

重要度分類・許容応力編

JEAG 4601・補-1984

Ⅳ 地震動 S_0 に対する耐震評価

1. 概 要

発電用原子力設備の耐震 A_0 及び A クラスの機器、配管の耐震設計においては、耐震設計審査指針に規定された基準地震動 S_1 、 S_2 に加え、地震動が発生した後の運転継続の観点から決められた地震動 S_0 の導入が原子力安全評価特別委員会許容応力分科会にて提案された。なお、本件に関しては、今後とも検討が必要と考えられる。

ここで、地震動 S_0 の大きさとしては、これを上回らない地震動が発生した場合であっても検査することなく運転継続できる値を設定するとしている。

また、地震動 S_0 に対する耐震評価が必要な場合の許容限界としては、これ以下の地震動が発生しても原子炉を停止することなく運転を継続してゆくこととなるので、告示で規定された運転状態Ⅰ、Ⅱに対する許容応力を限度とすることを原則としている。

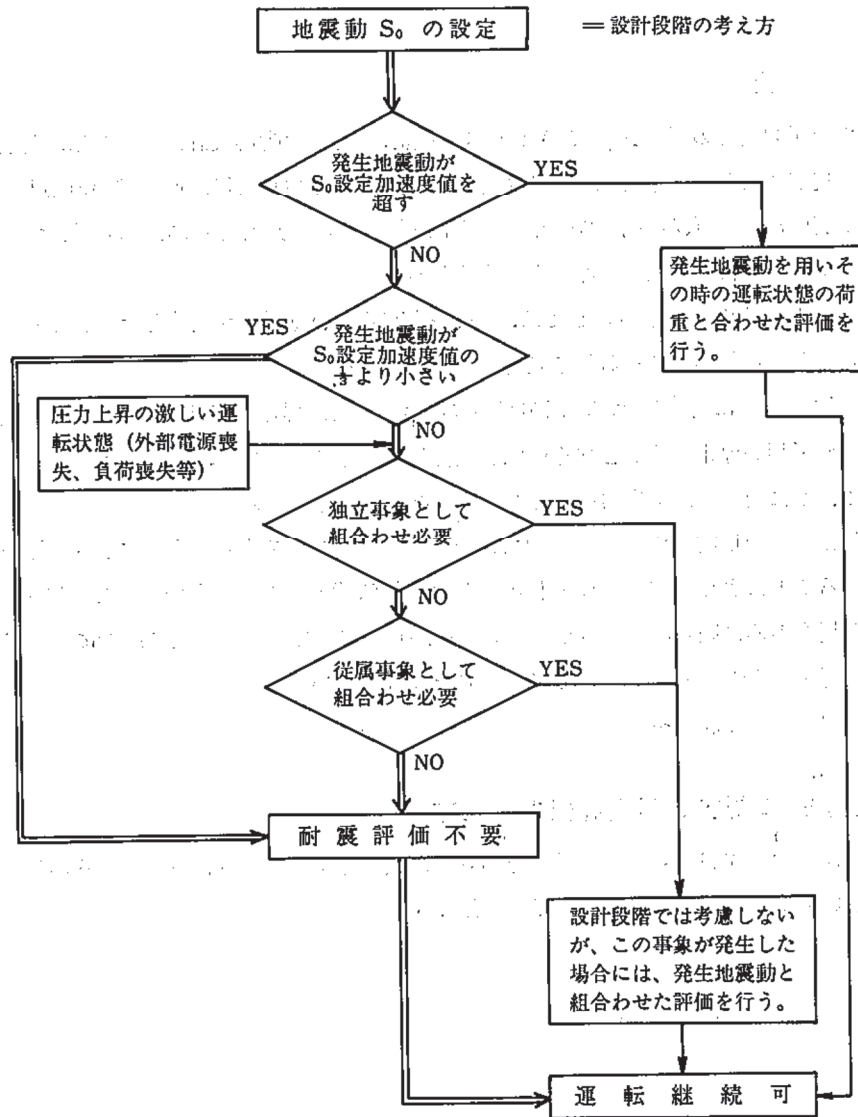
本資料は、この地震動 S_0 についての考え方をまとめたものであり、その大きさを適切な大きさに決めることにより、地震動 S_0 と他の厳しい運転状態の荷重の組合わさった事象が、実際に発生した場合のみに限り評価を行うことをあらかじめ決めておけば、設計段階における地震動 S_0 に対する評価は原則として不要であることを述べている。

次の2項以降にその詳細を示す。

2. 地震動 S_0 に対する耐震評価の考え方

地震動 S_0 については図Ⅳ-1に示すとおりその大きさが次のように決められる場合には設計段階においては耐震評価は原則として不要となる。

図IV-1 地震動 S_0 に対する検討



(1) 地震動 S_0 の大きさ

地震動 S_0 の加速度値は、建築基準法施行令（昭和34年政令第344号）に示された水平震度（水平震度 C_H と略記する）に相当する基準地震動の加速度値と設計に用いる同一地点における複数の基準地震動 S_1 のうち最も大きい最大加速度の $1/n$ の値の小さい方の値とする。

n は今後とも検討が必要であるが、3.に示すように現在の耐震設件上の余裕から考えて、 $n = 3$ とする。

(2) 理 由

a. 地震動 S_0 の加速度値を水平震度 C_H に相当する基準地震動の加速度値以下と決めれば従属事象として外部電源喪失, 負荷喪失等は一応起りえないと考えられる。

(添付 1 参照)

b. 地震動 S_0 を上記の値より大きい値に決めても水平震度 C_H 相当の地震の発生時には, プラントの安全機能の確認を要求される可能性が大きい。

c. また, 地震動 S_0 の加速度値を基準地震動 S_1 の最大加速度値の $1/n$ 以下としなければ, 地震動 S_0 による応力が最高使用圧力と運転状態(圧力上昇の激しい運転状態を除く)の圧力による応力状態の差の裕度の中に入り, かつ疲労についても余裕があるという 3. の説明が成り立たない。

(3) 実際の地震動 S_0 の加速度値の決め方に関する考え方

サイトにおける水平震度 C_H 相当の基準地震動は, 50~60gal 程度と考えられる。また, 最大加速度値が比較的小さいサイトでは基準地震動 S_1 として 180 gal となるが, $n=3$ の場合でも $S_0=180/3=60$ gal となる。これから地震動 S_0 の加速度値として全国一律に基準地震動として 60gal 等を決めておくことが望ましい。

3. 耐震 A_s 及びAクラス機器の地震動 S_0 に対する強度の検討

(1) 序

本章では, 耐震 A_s 及びAクラス機器に地震動 S_0 による荷重が加わる場合に発生する応力を基準地震動 S_1, S_2 による荷重が加わった場合のものと比較検討することにより, 地震動 S_0 を基準地震動 S_1 の何分の1かのある程度以下に適切に設定すれば, 基準地震動 S_1, S_2 に対し耐震設計を行っている機器では地震動 S_0 については設計段階における評価は不要であることを示している。

(2) 1次応力について

a. 耐圧部の場合

地震動 S_0 は, 基準地震動 S_1 若しくは基準地震動 S_2 と異なり, プラント寿命中に, 幾度か生じると考えられる地震動であり, したがって, 通常運転時に地震動 S_0 が生じた場合の応力は, 設計条件の許容応力以下であることが望ましいわけであるが, それでも, 地震動 S_0 による応力が常に加わっているわけではない。

一方, 最高使用圧力は, 耐圧部材にとって, まず第一に考慮しなければならない荷重であり, これによって生じる応力は設計条件の許容応力以下であることが要求される。しかしながら, 最高使用圧力が生ずるのは短時間の過渡状態などのごく一時期のみであり, 通常運転時の圧力は, 最高使用圧力より低い値となっているのがふつうである。

したがって, 地震動 S_0 による応力, 最高使用圧力による応力, 及び通常運転圧力による応力について, 次のような二つの組合せを検討すればよいと考えられる。

(ケース 1) 最高使用圧力による応力 \leq 設計条件の許容応力

(ケース 2) 通常運転圧力による応力

通常運転圧力による応力 + 地震動 S_0 による応力 \leq 設計条件の許容応力
したがって、次式が満されるならば、地震動 S_0 は考慮しなくてもよいといえることができる。

$$\text{最高使用圧力による応力} \geq \text{通常運転圧力による応力} + \text{地震動 } S_0 \text{ による応力} \quad \text{①}$$

以下の検討においては、1次一般膜応力によって1次応力を代表させ、また、板厚方向の応力は無視し、円周方向応力 σ_t 、軸方向応力 σ_l のみを考え、以下の記号を用いる。

- ② P_D = 最高使用圧力 (kg/mm²) R_i = 容器の半径 (mm)
- P^* = 通常運転時圧力 (kg/mm²) t = 容器の板厚 (mm)
- σ_{t1} = P_D による円周方向応力 (kg/mm²)
- σ_{t2} = P^* による円周方向応力 (kg/mm²)
- σ_{l1} = P_D による軸方向応力 (kg/mm²)
- σ_{l2} = P^* による軸方向応力 (kg/mm²)
- σ_{l3} = 地震動 S_0 による軸方向応力 (kg/mm²)

(a) 円筒形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと、

$$\sigma_{t1} \geq \sigma_{l2} + \sigma_{l3} \quad \text{③}$$

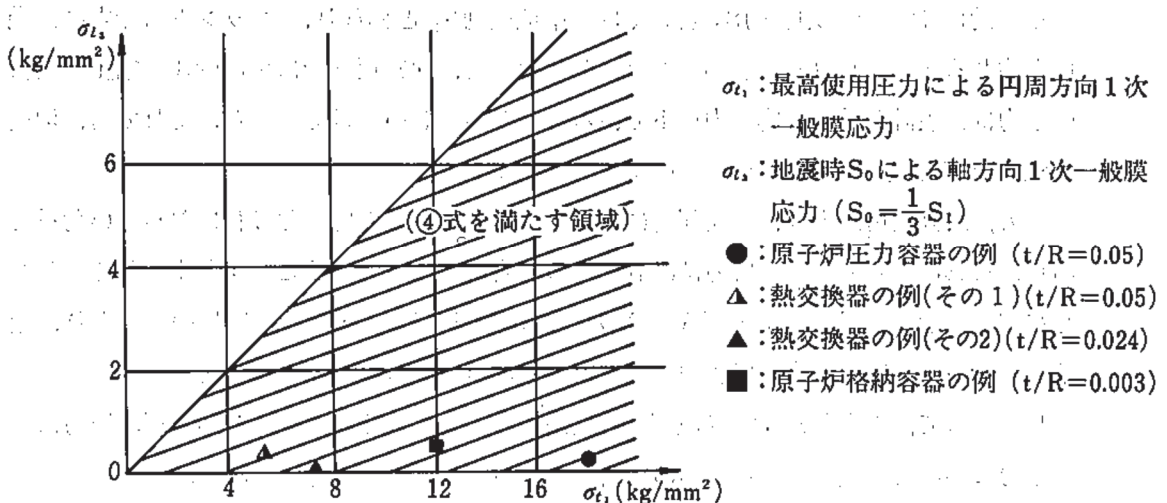
当該容器の1次一般膜応力について③式が満されていれば地震動 S_0 の考慮は不要となる。

さらに、 $P_D = P^*$ と仮定しても③式において $\sigma_{l2} = 0.5 \sigma_{t1}$ となるので、③式は

$$\sigma_{t1} \geq 2 \sigma_{l3} \quad \text{④}$$

④式を図IV-2に示す。

図IV-2 円筒形の耐圧部について地震動 S_0 考慮の要否を検討する図



図IV-2には、実際の原子力発電用機器のいくつかの例が示されている。

この例から明らかなように実際には、④式は、十分な余裕をもって満されている。また、薄肉の(t/Rの小さな)機器ほど④式に対する制限が厳しい傾向がある。

したがって、あるプラントの耐震A₀及びAクラス機器について地震動S₀を設計上考慮しなくてもよいことを示すには、そのプラントの耐震A₀及びAクラス機器のうち、t/Rの小さな順に2, 3の機器について、図IV-2の斜線部にあることを確認すれば十分であると考えられる。

(b) 球形の耐圧部

①式を②の記号を用いて書き直すと、

$$\sigma_{t1} \geq \sigma_{t2} + \sigma_{t3} \dots\dots\dots ⑤$$

原子力発電所において、球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合は極めてまれである。したがって、球形の耐圧部に大きな地震荷重が加わる場合には、その機器について、⑤式の成立をチェックすればよい。

b. 非耐圧部の場合

非耐圧部においては耐震設計によって板厚が決定される場合が多い。この場合には、I_AとⅢ_ASの1次応力の許容値の比率を考へてみる必要がある。表IV-1はいくつかの機器の代表的な材料について、この比率を検討したものである。

表IV-1 地震動S₀に対する許容値(設計条件・I_A)と
基準地震動S₁に対する許容値(Ⅲ_AS)の比較

	材 質	I _A の1次応力の 許容値 ①	Ⅲ _A Sの1次応力の許容値 ②	比 率 ②/①
第1種容器	S Q V 2 A	Pm : S _m = 18.8	Pm : Min (S _y , $\frac{2}{3}$ S _u) = 35.0	1.86
第2種容器	S G V 49	Pm : S = 13.4	Pm : Min (S _y , 0.6 S _u) = 27.0	2.01
第3種容器	STPL 39	Pm : S = 9.8	Pm : Min (S _y , 0.6 S _u) = 21.0	2.14
第1種支持 構 造 物	—	f _t	1.5 f _t	1.5

表IV-1から明らかなように、基準地震動S₁に対する1次応力の許容値は、地震動S₀に対する許容値のせいぜい2倍強であるため、基準地震動S₁の大きさが地震動S₀の大きさの3倍以上であるとすると基準地震動S₁が設計に対して支配的である。

(3) 疲労について

a. 疲労については、応力値の違いによる許容繰返し回数の差と共に、地震動そのものの回数差も考へなければならぬ。

表IV-2は、告示の設計疲労線図をもとに作成したものであるが、地震動S₀が、基準地震動S₁の $\frac{1}{3}$ 程度であれば、基準地震動S₁による応力(これは、1次+2次+ピーク応

力値で片振幅40 kg/mmにも達するのは極めてまれなケースである。)に対する許容繰返し回数は、地震動 S₀ に対する許容繰返し回数に対し、はるかに支配的なことがわかる。

表IV-2 基準地震動 S₁ 地震動 S₀ による応力の許容繰返し回数の比較
(基準地震動 S₁ : 地震動 S₀ = 3 : 1 のとき)

ケース	基準地震動 S ₁		地震動 S ₀		$\frac{N_0}{N_1}$	
	応力 (kg/mm ²)	許容繰返し回数, N ₁	応力 (kg/mm ²)	許容繰返し回数, N ₀		
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2 × 10 ²	33.3	5 × 10 ³	25
	2	80	4 × 10 ²	36.7	9 × 10 ³	23
	3	60	9 × 10 ²	20	2.8 × 10 ⁴	31
	4	40	2.5 × 10 ³	13.3	10 ⁵	40
オーステナイト系 ステンレス鋼	5	100	4 × 10 ²	33.3	2.8 × 10 ⁴	70
	6	80	8.5 × 10 ²	26.7	8 × 10 ⁴	94
	7	60	2.2 × 10 ³	20	5 × 10 ⁵	227
	8	40	1.3 × 10 ⁴	13.3	∞	∞

参考 (基準地震動 S₁ : 地震動 S₀ = 5 : 1 のとき)

ケース	基準地震動 S ₁		地震動 S ₀		$\frac{N_0}{N_1}$	
	応力 (kg/mm ²)	許容繰返し回数, N ₁	応力 (kg/mm ²)	許容繰返し回数, N ₀		
炭素鋼 低合金鋼	1	100	2 × 10 ²	20	2.8 × 10 ⁴	140
	2	80	4 × 10 ²	16	7 × 10 ⁴	175
	3	60	9 × 10 ²	12	2 × 10 ⁵	222
	4	40	2.5 × 10 ³	8	10 ⁶	400
オーステナイト系 ステンレス鋼	5	100	4 × 10 ²	20	5 × 10 ⁵	1250
	6	80	8.5 × 10 ²	16	∞	∞
	7	60	2.2 × 10 ³	12	∞	∞
	8	40	1.3 × 10 ⁴	8	∞	∞

注：“∞”は、告示の設計疲労線図では算定できないことを示す。

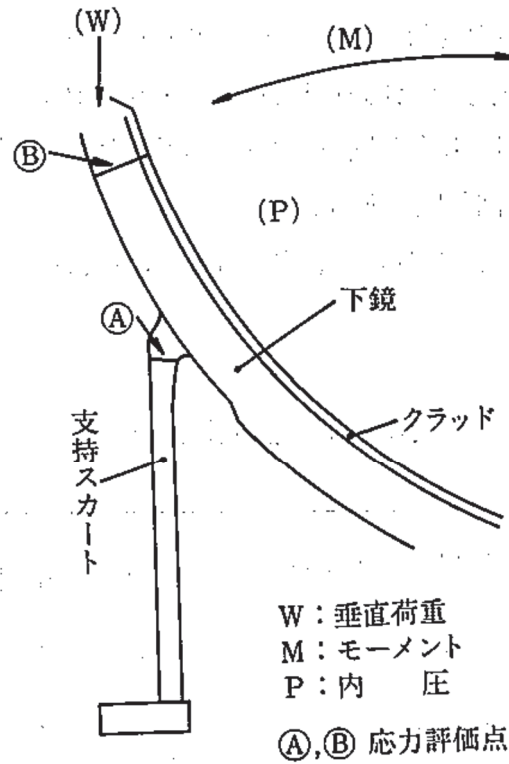
b. 地震動 S₀ による荷重と過渡状態の応力との重ね合わせの影響

a. においては、地震動 S₀ を単独に考慮した場合について述べたが、ここでは過渡状態と組合せる場合について述べる。

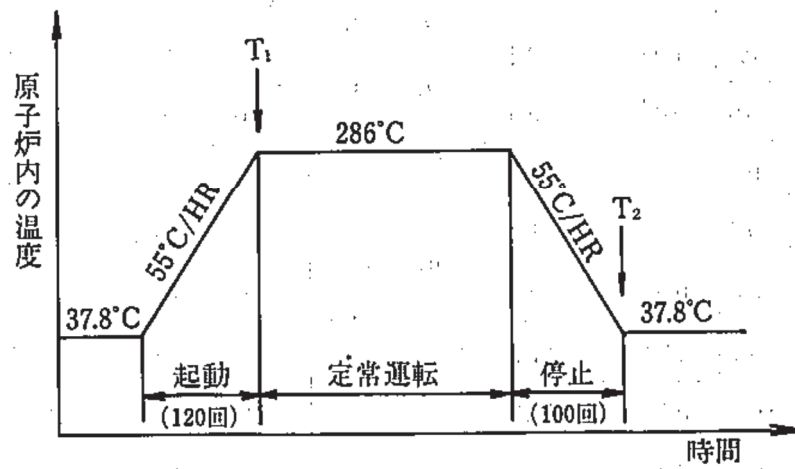
代表例として、原子炉压力容器スカート部を考える。

図IV-3にスカート部の図を、図IV-4に考慮した過渡状態を示す。

図IV-3 支持スカート及び下鏡



図IV-4 熱サイクル (T_1 , T_2 : 熱応力計算をする時間)



表IV-3に応力計算結果を示す。ただし、表IV-3の中の③項は、基準地震動 S_1 による応力である。表IV-3から、過渡状態における応力は、熱応力が支配的であることがわかる。

今、表IV-3を参考にして、次のようなケースを考える。

(a) 地震を除いた応力変動値…………… 0 ~ 30 kg/mm²…………… 120 回

(b) (a)に地震動 S_0 を加えた応力変動値…………… 0 ~ 31 kg/mm²…………… 120 回

ケース(a)に対する許容くり返し回数とケース(b)に対する許容くり返し回数にはほとんど差はなく、共に 5×10^4 回程度である。

したがって、過渡状態と地震動 S_0 を重ね合わせた場合にも、一般には地震動 S_0 の影響は小さいと考えられる。

表IV-3 応力計算結果

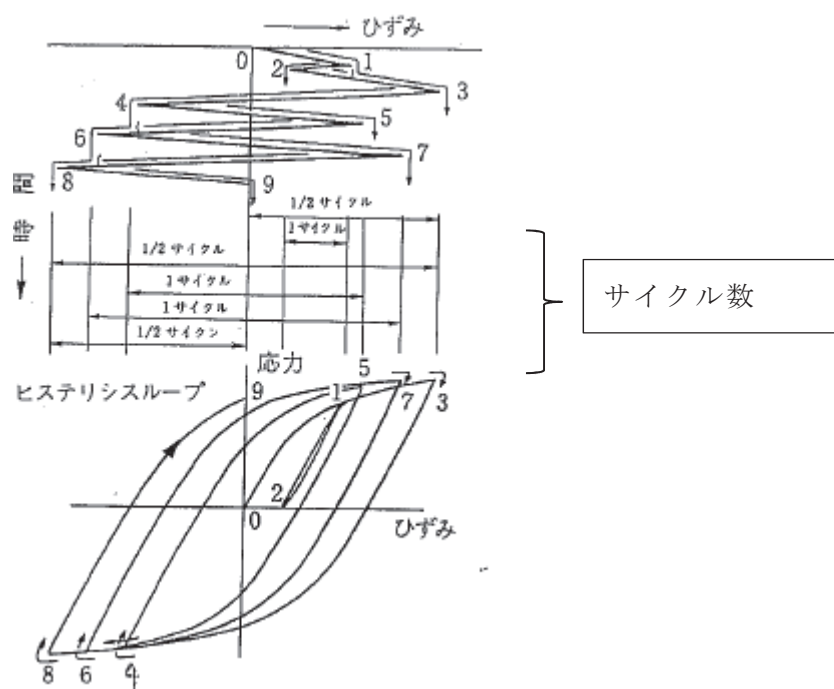
(単位: kg/mm²)

応力 評価点 (注)		機械的荷重による応力					熱荷重による応力		(1次+2次応力)合計		
		P	W	M	合計	平均	T ₁	T ₂	C ₁ = T ₁ + P + W + M	C ₂ = T ₂ + W + M	
		①	②	③	④ = ① + ② + ③	⑤	⑥	⑦	⑧ = ④ + ⑥	⑨ = ② + ③ + ⑦	
A	内側	σ_t	4.0	-0.2	-0.6	3.2	$\sigma_t = 4.5$ $\sigma_l = -3.9$ $\sigma_r = 0.0$	-0.8	-3.8	-2.4	-4.6
		σ_l	-4.3	-0.8	-5.0	-10.1		-28.0	11.0	-38.1	5.2
		σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
	外側	σ_t	6.0	-0.2	0.6	6.4		17.0	-9.8	23.4	-9.4
		σ_l	4.3	-0.9	-1.0	2.4		28.0	-11.0	30.4	-12.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
B	内側	σ_t	12.1	-0.1	-0.2	11.8	$\sigma_t = 11.8$ $\sigma_l = 11.2$ $\sigma_r = -0.5$	-2.0	2.0	9.8	1.7
		σ_l	12.1	-0.4	-0.5	11.2		-2.0	2.0	9.2	1.1
		σ_r	-0.9	0.0	0.0	-0.9		0.0	0.0	-0.9	0.0
	外側	σ_t	12.0	-0.1	-0.2	11.7		2.0	-2.0	13.7	-2.3
		σ_l	12.0	-0.4	-0.5	11.1		2.0	-2.0	13.1	-2.9
		σ_r	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.1	0.0

注: σ_t : 円周方向応力
 σ_l : 軸方向応力
 σ_r : 半径方向応力

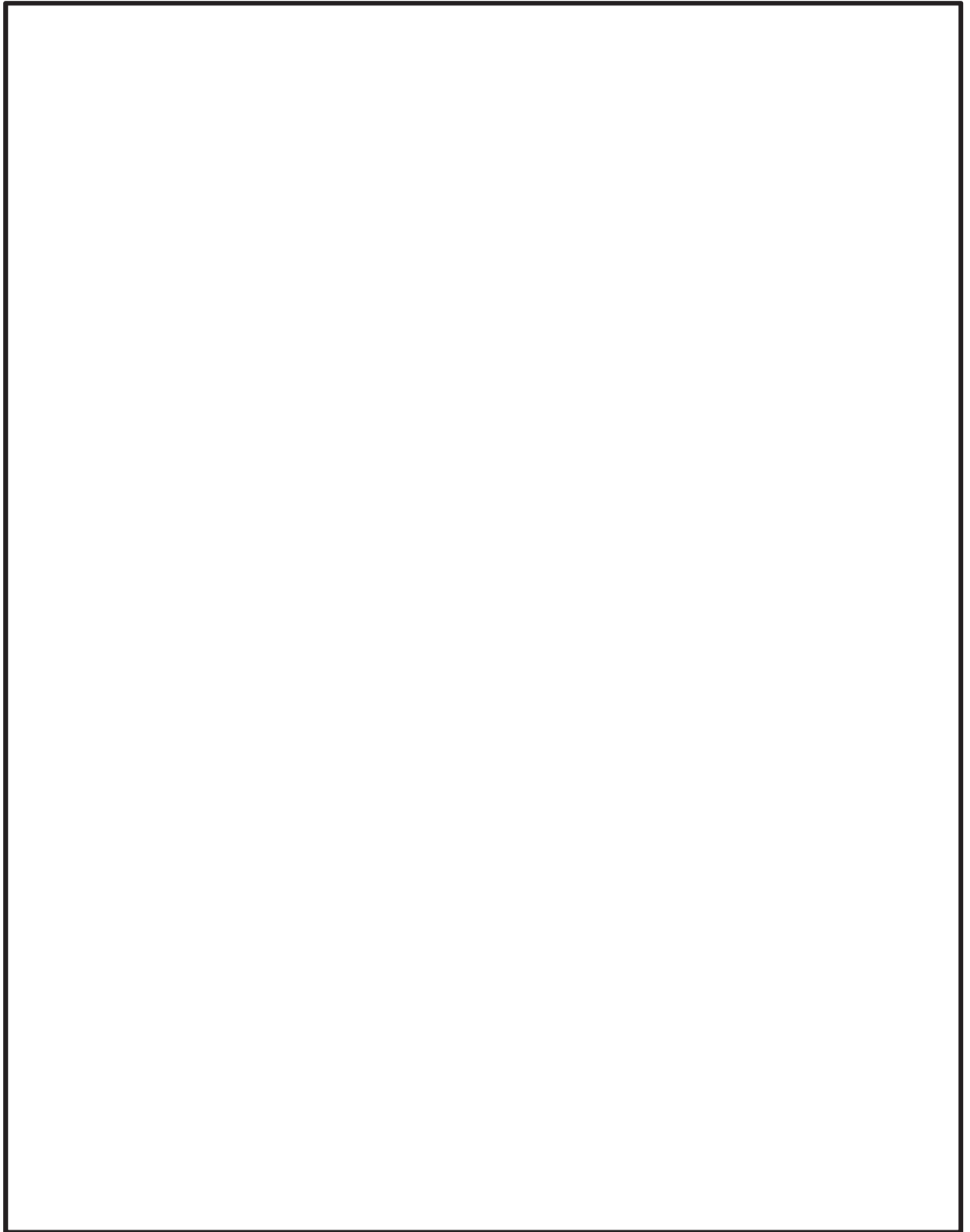
ピーク応力法における各ピークのサイクル数の求め方

女川原子力発電所第 2 号機のピーク応力法における各ピーク点のサイクル数についてはレインフロー法にて求める。別図 12-1 に示す通り、実際の材料挙動に着目し、片振りとなるピーク点については 0.5、両振りとなるピーク点については 1 と割り当てている。なお、このサイクル数のカウント方法は、疲労設計において、材料の応力-ひずみ挙動との対応が良いことから一般的に用いられている手法である(別紙 12 別添 1 参照。)

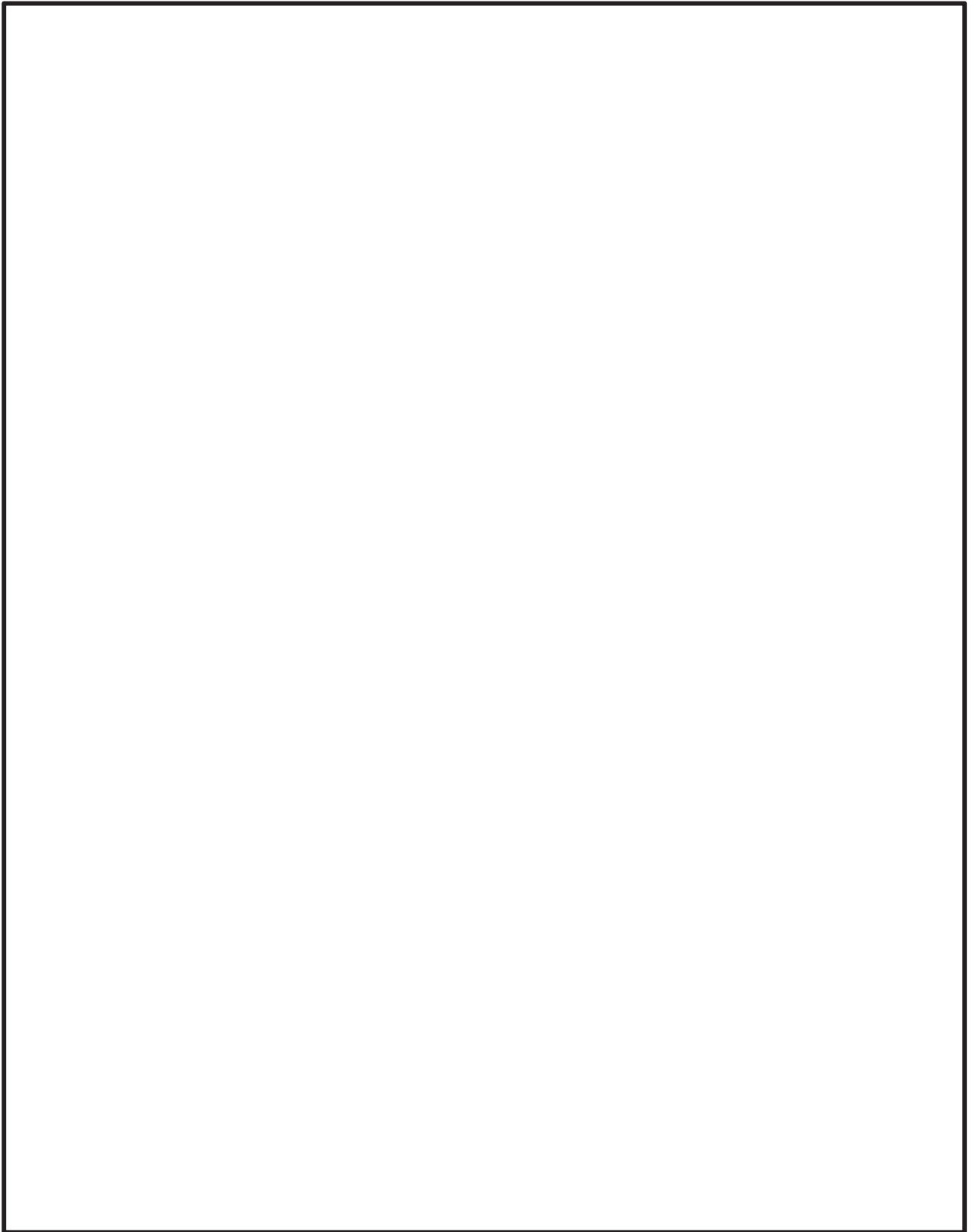


別図 12-1 レインフロー法の概要

(「疲労設計便覧」より参照(別紙 12 別添 1 参照。))



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

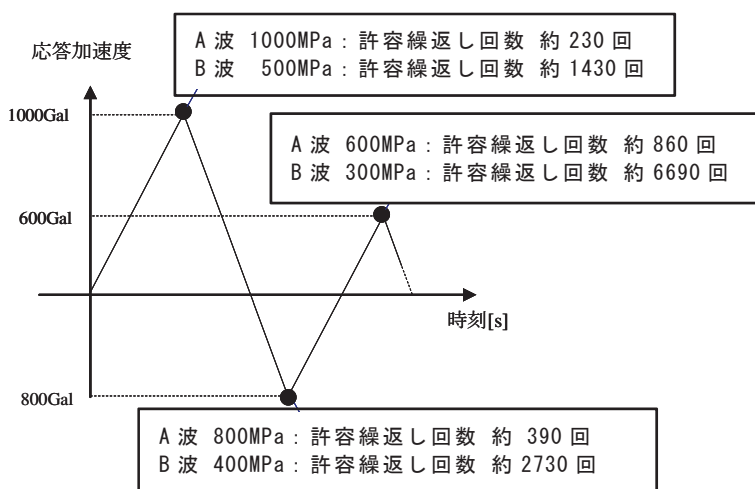


枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ピーク応力の大きさと等価繰返し回数との関係

「昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書」にてピーク応力の設定値が高くなるほど回数が大きくなる傾向となることが確認されている。本資料ではピーク応力を大きく設定することで、等価繰返し回数が大きく算出され、保守的な設定になることを簡単な例により説明する。

例として、別図 13-1 に示す応答波形を仮定する。

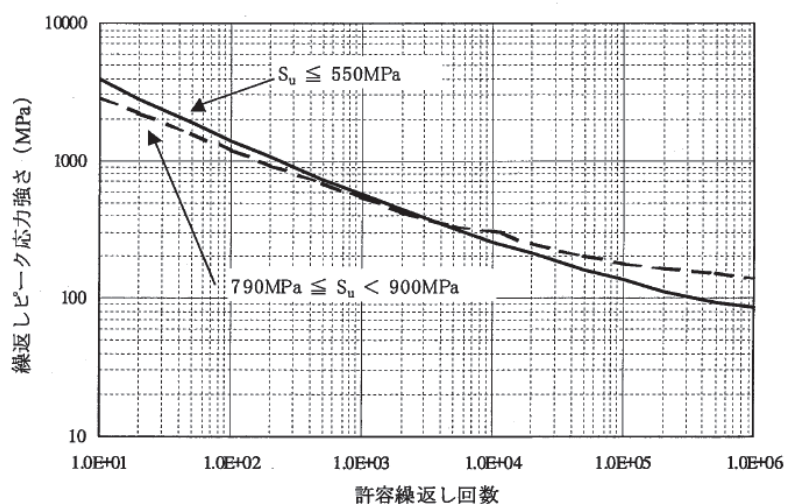


別図 13-1 1 質点系の時刻歴応答波形

また、大小 2 つの応答波形について、応答振幅が 2 対 1 の関係であると仮定し、以下に示す最大ピーク応力を仮定し、それぞれの等価繰返し回数を算出する。なお、別図 13-1 の各ピーク応力は 1 質点系の応答波形に線形比例で設定した。

- ・ A 波：地震動に対する最大ピーク応力 1000MPa
- ・ B 波：地震動に対する最大ピーク応力 500MPa

各ピークにおける許容繰返し回数は、別図 13-2 に示す炭素鋼の設計疲労線図にて算出し、その結果を別図 13-1 に併せて示す。



(J S M E 設計・建設規格より抜粋)

別図 13-2 設計疲労線図

これにより、算出した等価繰返し回数は以下の関係となる。

$$\begin{aligned} \text{A 波の地震動の等価繰返し回数} &: \left(\frac{1}{230} + \frac{1}{390} + \frac{1}{860} \right) \times 230 = 1.86 \text{ 回} \\ \text{B 波の地震動の等価繰返し回数} &: \left(\frac{1}{1430} + \frac{1}{2730} + \frac{1}{6990} \right) \times 1430 = 1.74 \text{ 回} \end{aligned}$$

上記の結果を比較すると、各ピーク応力における許容繰返し回数の差が等価繰返し回数に影響するため、A 波の等価繰返し回数が大きくなることが分かる。その許容繰返し回数の差は、別図 13-2 に示す通り、ピーク応力が小さくなるにつれて、設計疲労線図の勾配が緩やかになっているため、ピーク応力が低減するほど許容繰返し回数の増加の割合が大きくなっていることによるものである。

以上より、ピーク応力を大きく設定することは、等価繰返し回数が大きく算出されるため、保守的な設定であると言える。

弾性設計用地震動 S d による疲労評価の省略

1. はじめに

今回工認では、基準地震動 S s (以下、S s という。)に対する構造強度評価において、発生応力が弾性設計用地震動 S d (以下、S d という。)に対する評価基準値を満足する場合、S d に対する応力評価を省略すること*としている。また、S d に対する疲労評価については、S s に対する疲労評価に S d の等価繰返し回数を考慮することで、S d に対するピーク応力を用いた疲労評価を省略することとしている。

本資料では、上記のうち S d に対するピーク応力を用いた疲労評価の省略 (S d による疲労評価の省略) の考え方及び妥当性について説明するものである。

注記*：補足説明資料「600-2 耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について」参照。

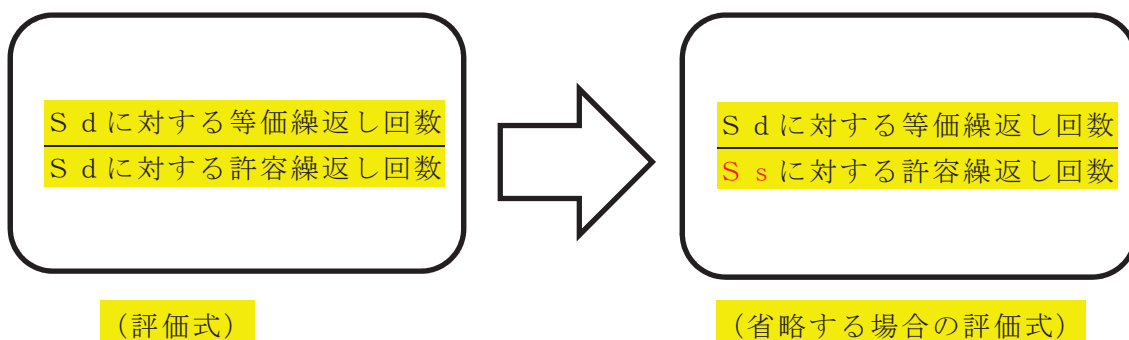
2. S d による疲労評価省略の考え方及び妥当性

各設備に対する疲労評価は、応力評価から求められるピーク応力と J S M E 設計・建設規格の設計疲労線図から許容繰返し回数を読み取り、等価繰返し回数と許容繰返し回数の比により地震に対する疲労累積係数を算定する。(下式参照)

$$\text{疲労累積係数}^* = \frac{\text{等価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}} \leq 1.0 \dots \dots \dots (1)$$

注記*：地震動のみによる疲労評価の例

弾性設計用地震動 S d に対する疲労累積係数については、上記 (1) 式において分子を「S d に対する等価繰返し回数」、分母を「S d に対する許容繰返し回数」とするものであるが、今回工認における「弾性設計用地震動 S d による疲労評価の省略」においては、分母に「S s に対する等価繰返し回数」を用いる。(別図 14-1 参照)



別図 14-1 弾性設計用地震動 S d の疲労評価を省略する場合の疲労累積係数の評価式

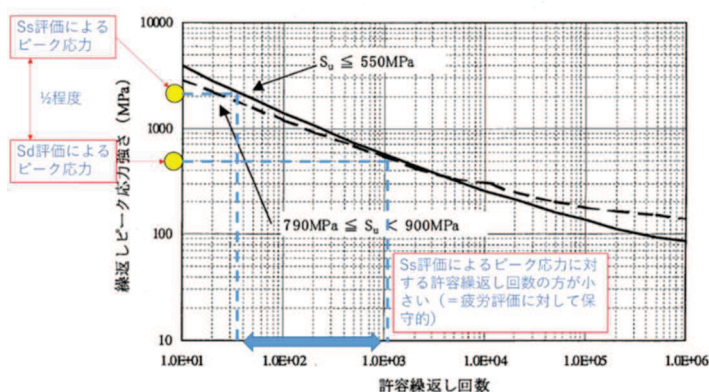
ここで、許容繰返し回数及び等価繰返し回数について、S s に対する回数と S d に対する回数の関係性について、以下の通り整理される。

【等価繰返し回数 (分子)】

等価繰返し回数 (分子) について、通常の評価式と同様、弾性設計用地震動 S d の疲労評価を省略する場合も「S d に対する等価繰返し回数」を用いるため、差異はない。

【許容繰返し回数 (分母)】

許容繰返し回数 (分母) について、「S s に対する許容繰返し回数」と「S d に対する許容繰返し回数」を用いる場合では、「S s に対する許容繰返し回数」の方が小さくなる。これは、許容繰返し回数は設計疲労線図におけるピーク応力と許容繰返し回数の関係によるもので、弾性設計用地震動 S d に比べ基準地震動 S s の地震加速度が大きくピーク応力も大きくなることを踏まえると、別図 14-2 のとおり許容繰返し回数は小さくなるためである。



(J S M E 設計・建設規格に加筆)

別図 14-2 ピーク応力の違いによる許容繰返し回数の関係

弾性設計用地震動 S_d の疲労評価を省略する場合、疲労累積係数の評価式(1)の内、分子は変わらず分母が小さくなるため、疲労累積係数は大きくなる。そのため、疲労評価は疲労累積が大きいほど評価が厳しくなり、疲労累積係数が大きくなり、評価が保守的になる。

以上より、今回工認における弾性設計用地震動 S_d による疲労評価の省略は妥当である。

3. S_d に対する疲労評価方法の分類

S_d に対する疲労評価方法は、許容繰返し回数の設定に用いるピーク応力、適用する等価繰返し回数によって、4 ケースに分類される。このうち、 S_d による疲労評価を省略できるのは、ケース 1 及びケース 2 となる。

なお、 S_d による疲労評価が省略可能な場合（ケース 1、ケース 2）であっても、疲労評価する場合（ケース 3、ケース 4）もある。

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
許容繰返し回数 の設定	S_s によるピーク応力	S_s によるピーク応力	S_d によるピーク応力	S_d によるピーク応力
適用する 等価繰返し回数	S_d に対する一律に設定する等価繰返し回数	S_d に対する個別に設定する等価繰返し回数	S_d に対する一律に設定する等価繰返し回数	S_d に対する個別設定する等価繰返し回数
S_d による 疲労評価の省略	○	○	×	×

等価繰返し回数算出プログラム

1. はじめに

今回工認における等価繰返し回数算出において使用した計算機プログラム(解析コード)について説明する。

女川原子力発電所第 2 号機の等価繰返し回数の算出において、「ECN_P」を使用しており、解析コードの概要を以降に記載する。

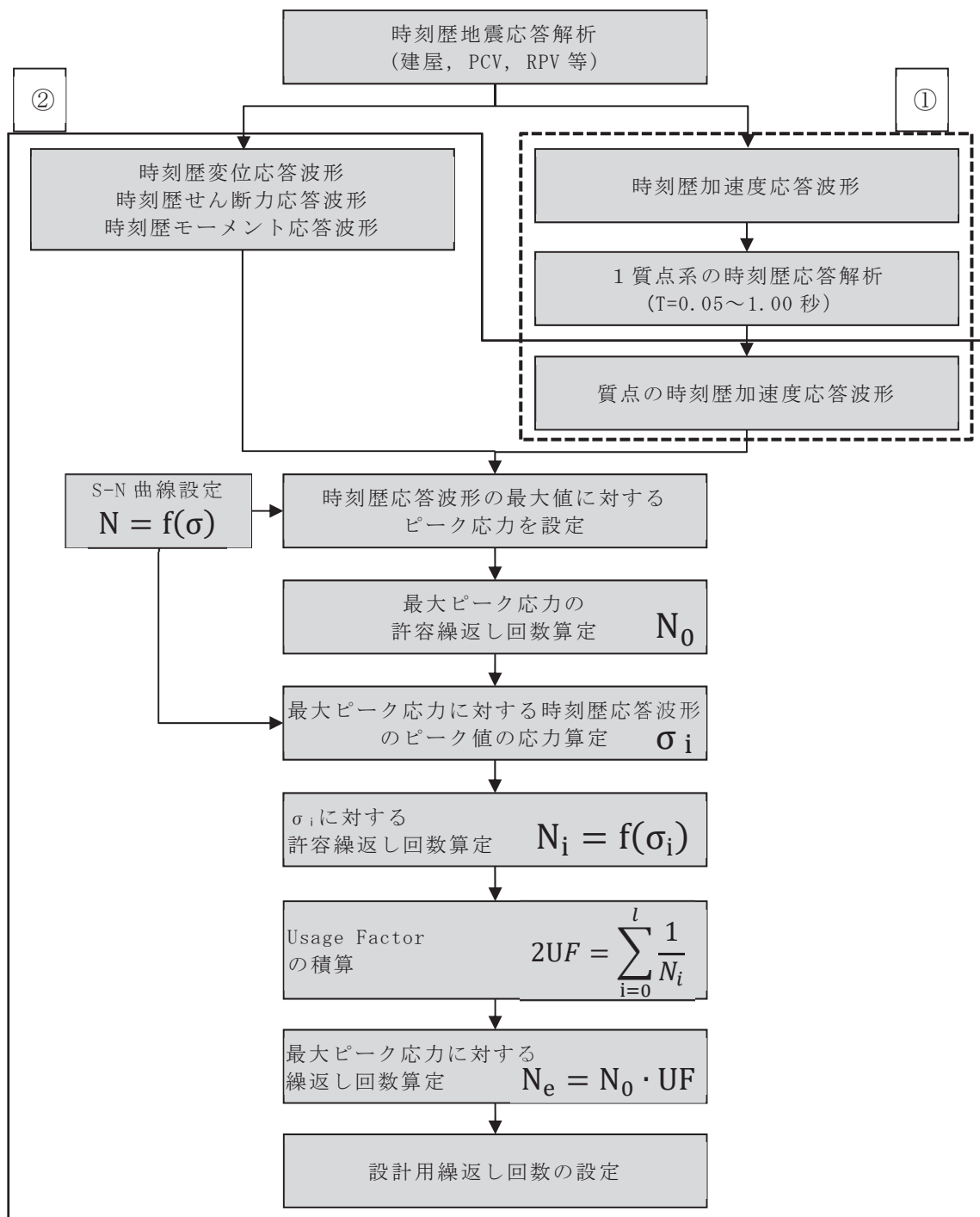
2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ECN_P
使用目的	地震等価繰返し回数の算出
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	2018 年, 2020 年
使用したバージョン	Ver1.04, Ver1.05
コードの概要	一般的に疲労評価にて使用されるレインフロー法を用いて時刻歴波形に対する地震等価繰返し回数を算出する解析コードである。また、時刻歴波形より応答スペクトルを計算する機能についても統合したシステムである。
検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで算出した地震等価繰返し回数と、手計算で計算した値が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にて用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・算出方法は J E A G 4 6 0 1 記載の設計用地震等価繰返し回数の設定(ピーク応力法) のフローに従っており、妥当性に問題はない。

3. 解析コード(ECN_P)における等価繰返し回数算出機能の検証

3.1 概要

本工事計画認可申請書において使用した解析コード「ECN_P」(以下、「本解析コード」という。)を用いて得られた計算結果の妥当性を確認し、本解析コードの検証を行うものである。本解析コードを用いた、等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法)を別図 15-1 に示す。



別図 15-1 等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法)

3.2 解析コードの検証

(1) 検証の概要

本解析コードと手計算により算出した等価繰返し回数の比較をすることにより、解析コードの検証を行った。

(2) 検証ケース

図 2 に示す時刻歴データを入力地震動として、本解析コードを用いて等価繰返し回数を計算する。等価繰返し回数算出において、別図 15-1 に示す等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法)の①, ②の計算を行っているが、①の時刻歴加速度応答波形による 1 質点系の時刻歴応答解析は、「CHERRY」(他プラントにて工認実績を有するプログラム)の設計用床応答曲線作成機能と同モジュールを使用している。

時刻歴加速度応答波形による 1 質点系の時刻歴応答解析後の処理は②と同じであるため、本検証では、②の計算結果と手計算により算出した等価繰返し回数の比較を行う。検証に用いる入力地震波を別図 15-2 に示す。



別図 15-2 入力地震波

(3) 算出条件

J E A G 4 6 0 1 記載の等価繰返し回数算出フロー(ピーク応力法)のうち時刻歴波形に対する等価繰返し回数を算出する。算出条件を別表 15-1 に、使用する設計疲労線図の材料データを別表 15-2 に示す。

別表 15-1 算出条件

設定項目	算出条件
設計疲労線図	炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼 ($S_u \leq 550\text{MPa}$)
最大ピーク応力	1471MPa

別表 15-2 設計疲労線図 材料データ

許容繰返し回数 (回)	繰返しピーク応力強さ (MPa)
10	3999
20	2827
50	1896
100	1413
200	1069
500	724
1000	572
2000	441
5000	331
10000	262
12000	248
20000	214
50000	159
100000	138
200000	114
500000	93
1000000	86

(4) 計算結果の比較

本解析コード及び手計算で計算した等価繰返し回数 N_e を別表 15-3 に示す。そのうち、応力に対する許容繰返し回数 N_i は J S M E 設計・建設規格に記載の補間方法を用いて算出した。また、 N_0 は N_i における最大ピーク応力である。

手計算による σ_i に対する許容繰返し回数 N_i の計算結果を別表 15-4, 手計算による疲労累積係数 UF の計算結果を別表 15-5 に示す。

(5) 検証結果

別表 15-3 に示す等価繰返し回数の比較結果の通り、両者は一致しており、本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

別表 15-3 本解析コード及び手計算による等価繰返し回数の計算結果

No.	項目	「ECN_P」による 計算結果	手計算による 計算結果
1	Usage Factor UF(合計値)		
2	最大ピーク応力の許容繰返し回数 N_0 (回) (最大ピーク応力 1471MPa)		
3	地震等価繰返し回数 N_e (回) ($N_e = N_0 \times UF$)		

注記*：本解析コードでは、整数に切り上げた数値が出力される。

別表 15-4 手計算による σ_i に対する許容繰返し回数 N_i の計算結果

ピーク点		ピーク応力 (MPa)	最大ピーク応力に対する 時刻歴応答波形の ピーク応力 σ_i (MPa)	σ_i に対する 許容繰返し回数 N_i (回) *
START	END			
①	①			
①	②			
②	③			
④	⑤			
⑤	⑤'			
⑥	⑦			
⑦	⑦'			
⑧	⑨			
⑨	⑨'			
⑩	⑪			
⑪	⑪'			
⑬	⑭			
⑭	⑮			
⑮	⑮'			
⑯	⑰			
⑱	⑱'			
⑳	㉑			

注記*：設計疲労線図における繰返しピーク応力強さは、極大値と極小値の差を2分の1としたものであることから、許容繰返し回数を読み取る際は、ピーク応力を2分の1した値における許容繰返し回数を読み取った。

別表 15-5 手計算による疲労累積係数 UF の計算結果

ピーク点		σ_i に対する 許容繰返し回数 N_i (回)	Usage Factor F ($=0.5/N_i$)
START	END		
①	②		
②	③		
③	④		
④	⑤		
⑤	⑤'		
⑥	⑦		
⑦	⑦'		
⑧	⑨		
⑨	⑨'		
⑩	⑪		
⑪	⑪'		
⑬	⑭		
⑭	⑭'		
⑮	⑯		
⑯	⑯'		
⑰	⑱		

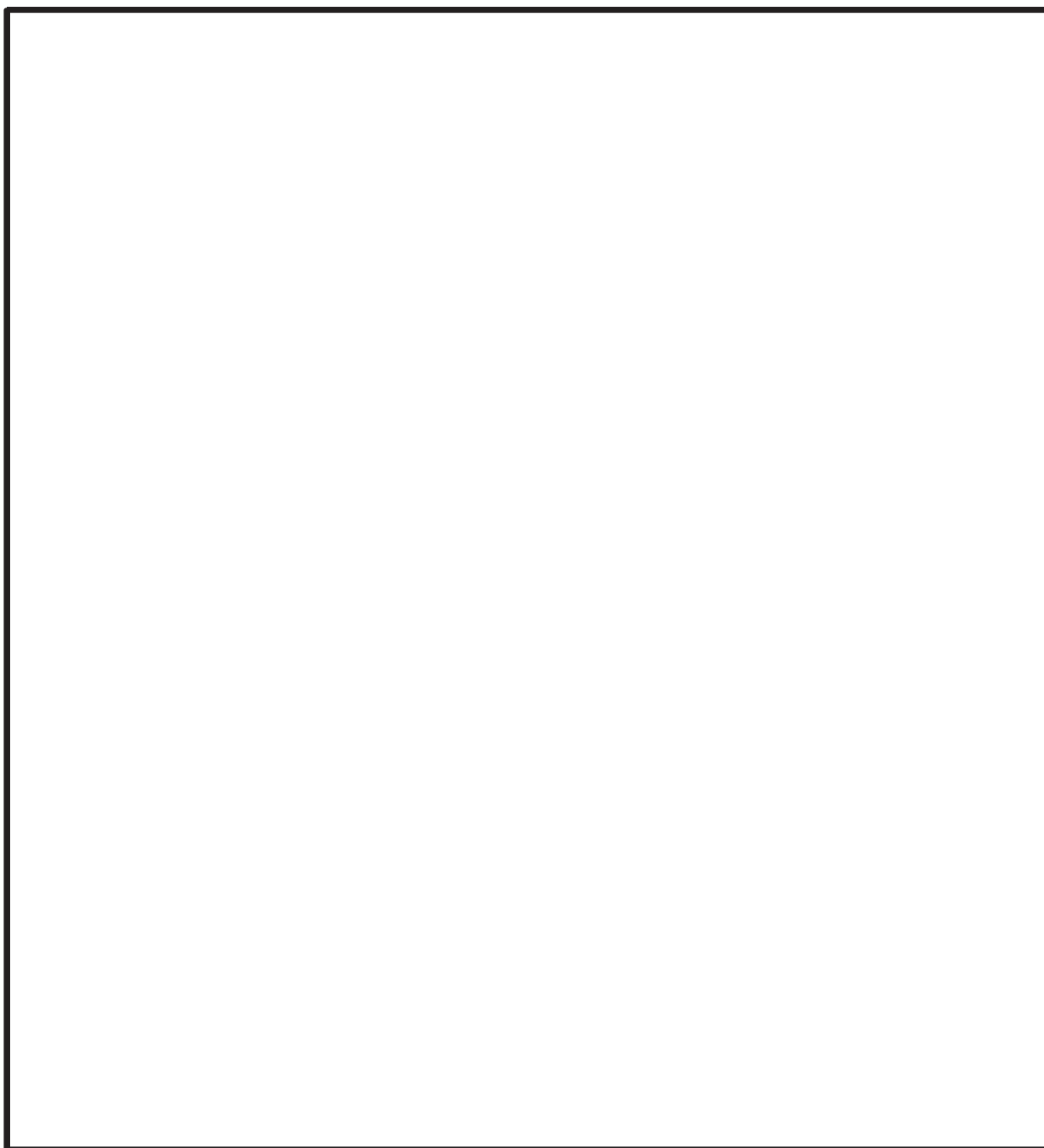


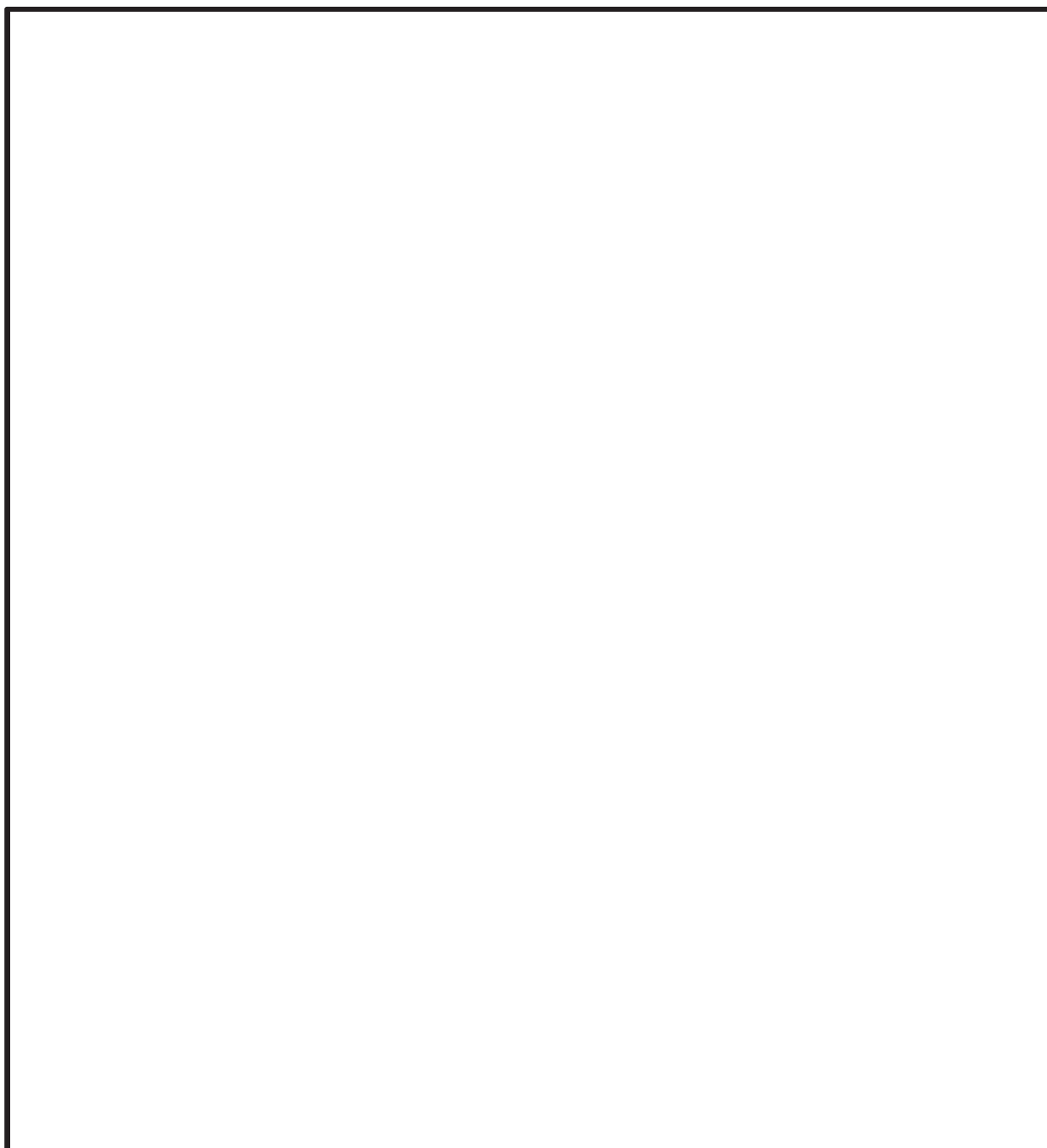
合計値 : 1.4322E-02

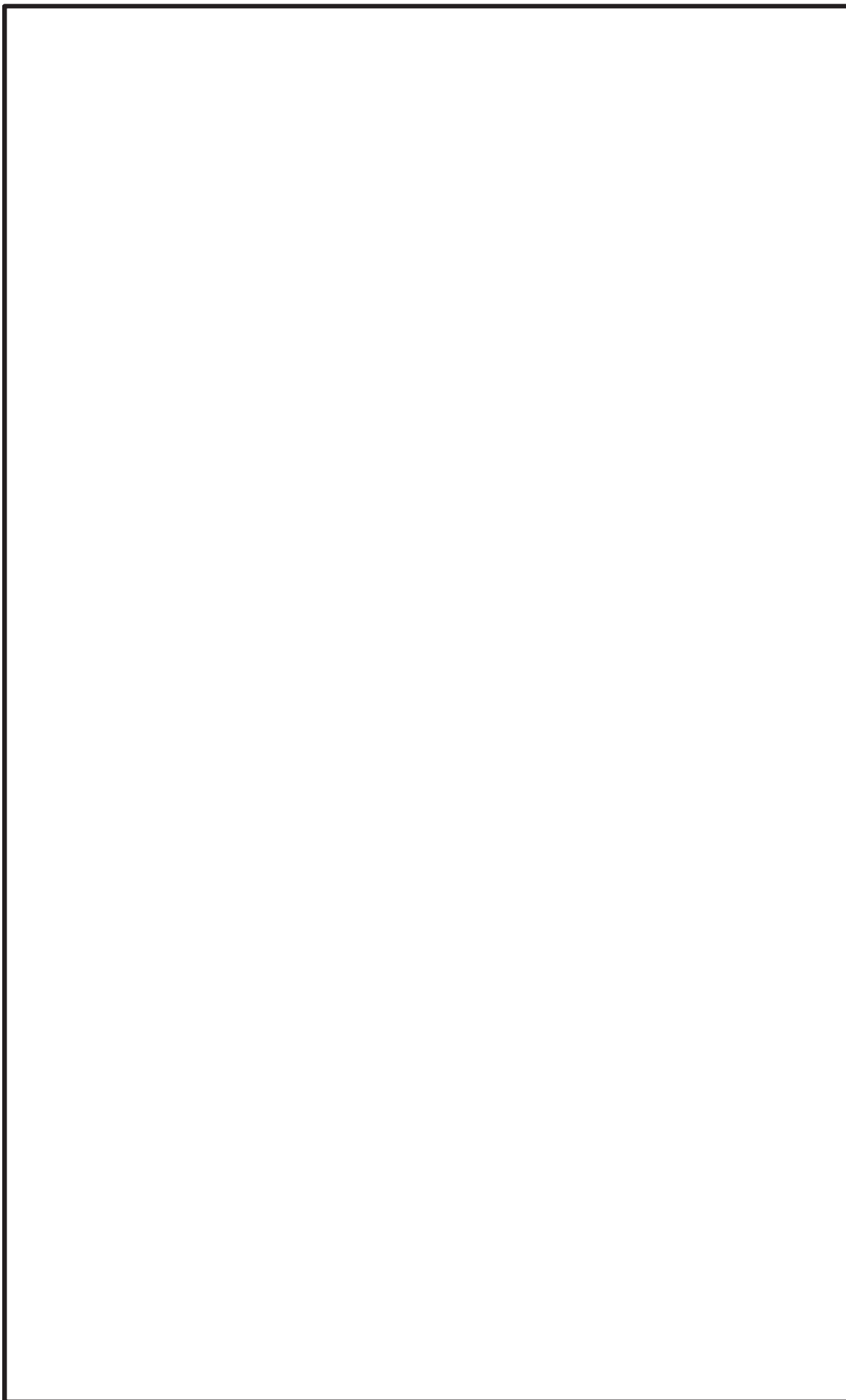
多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法

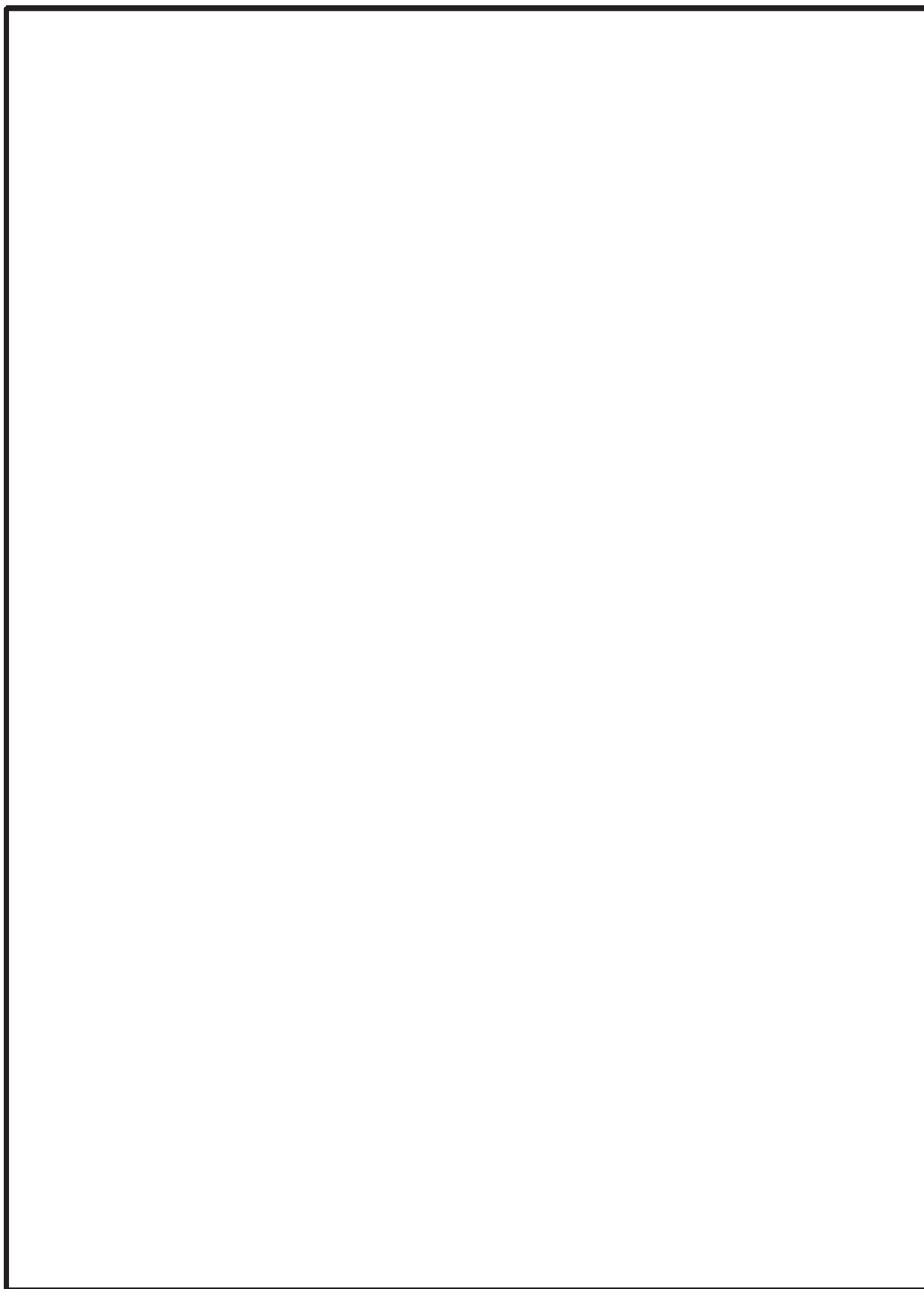
1. はじめに

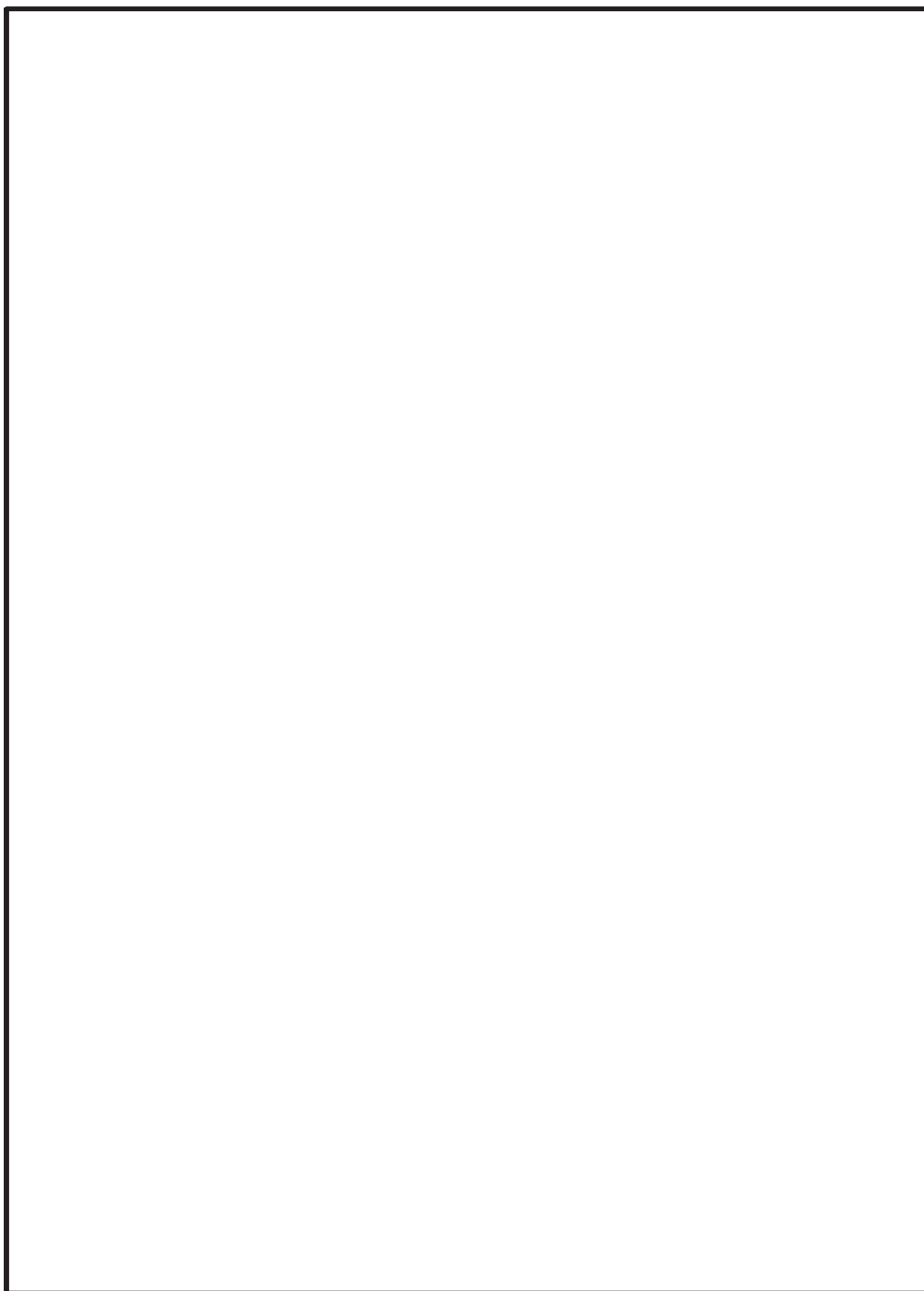
本資料は、多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法についてまとめたものである。本内容は、2項にて電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価方法に関する研究」（平成29年3月）における検討内容を示し、3項にて女川原子力発電所第2号機において多方向入力時に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることが妥当であることを示すものである。

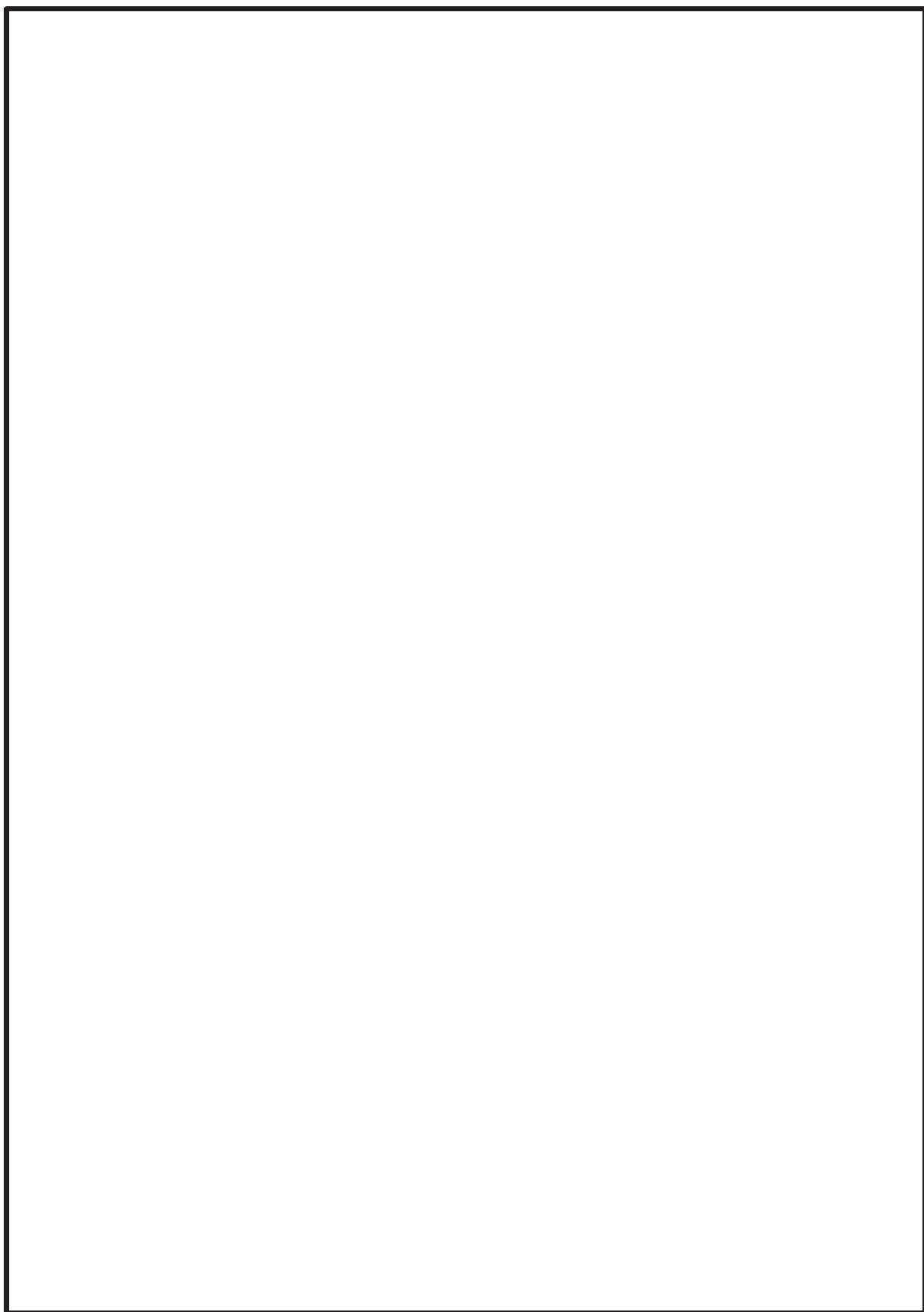


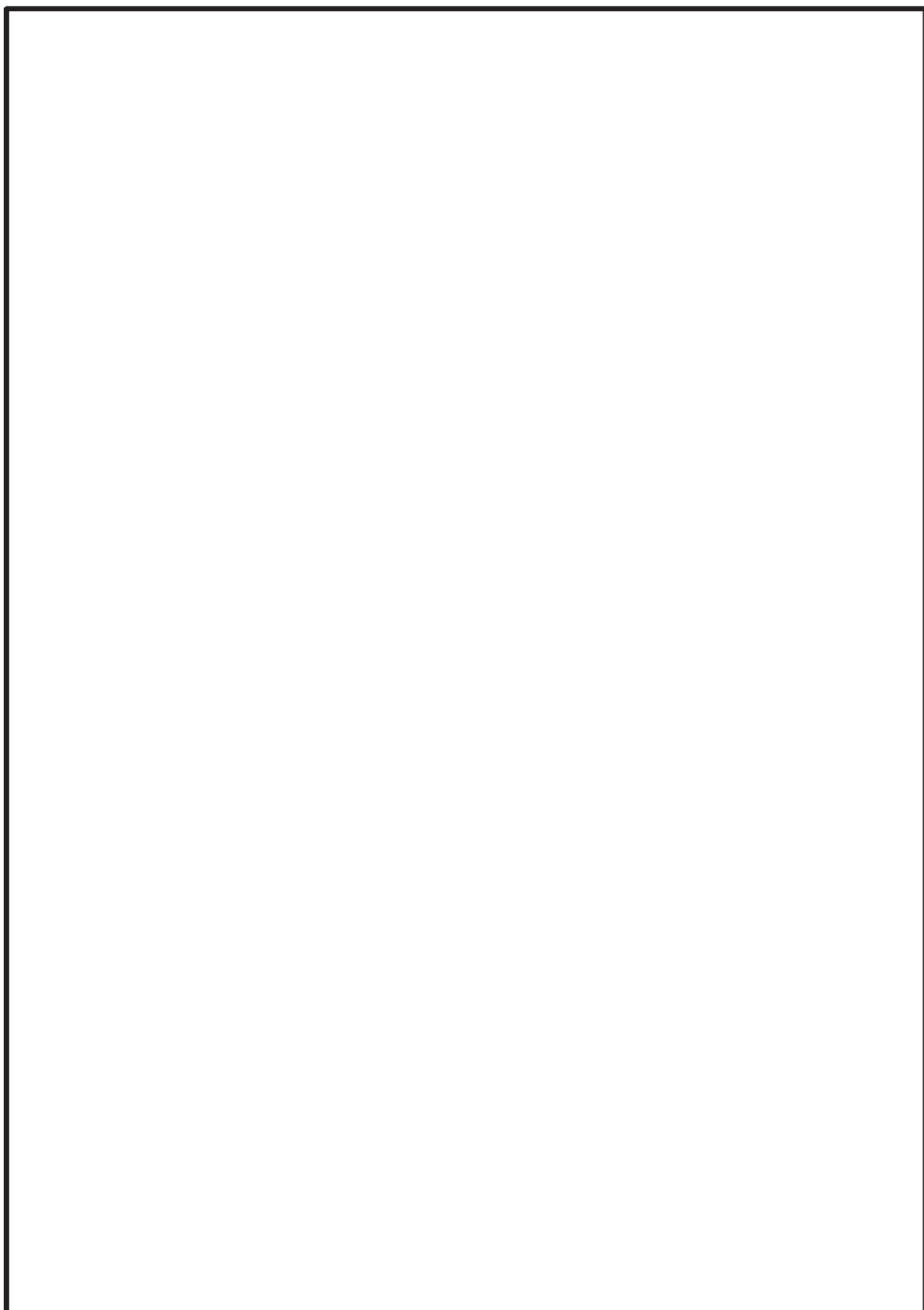


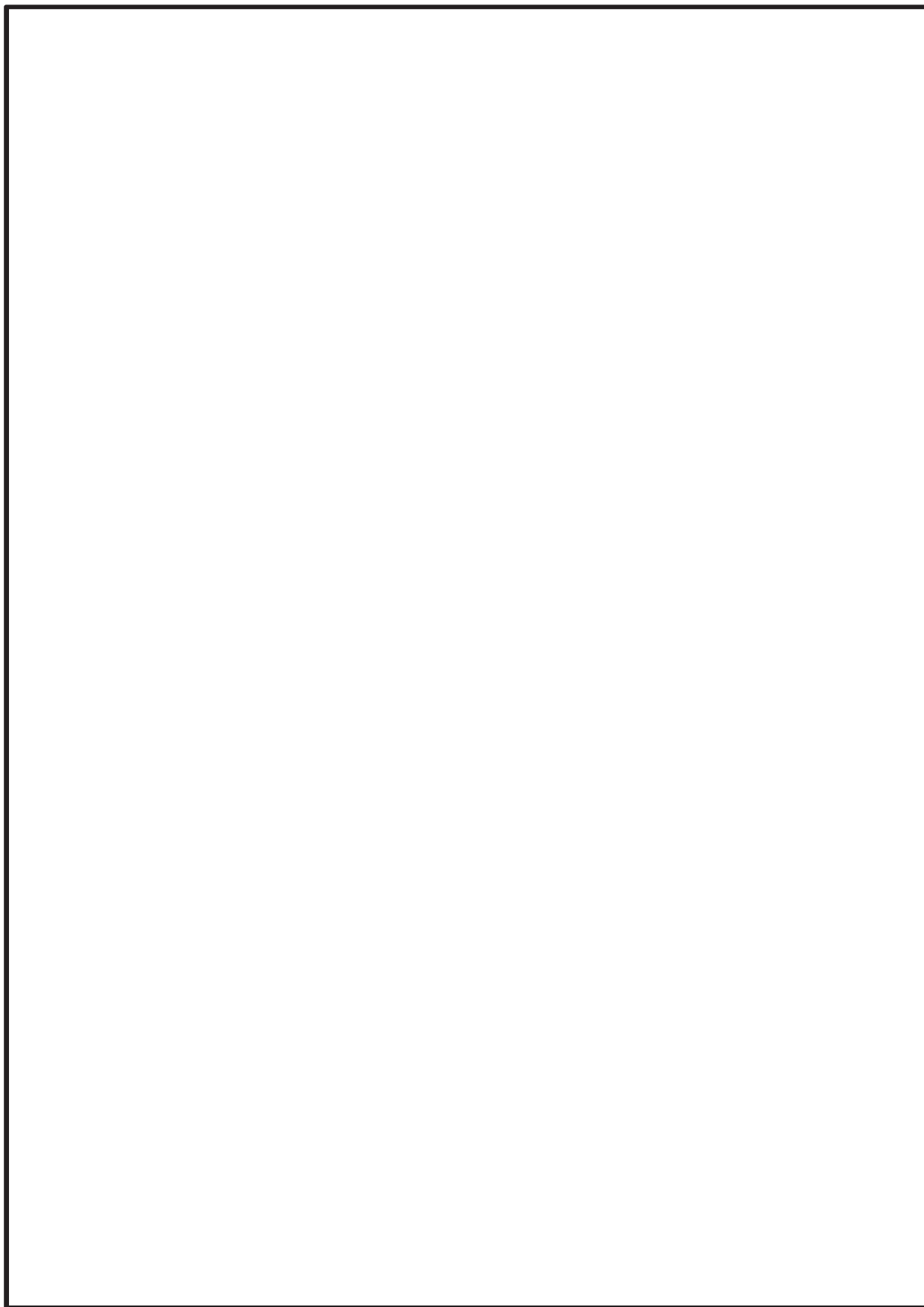


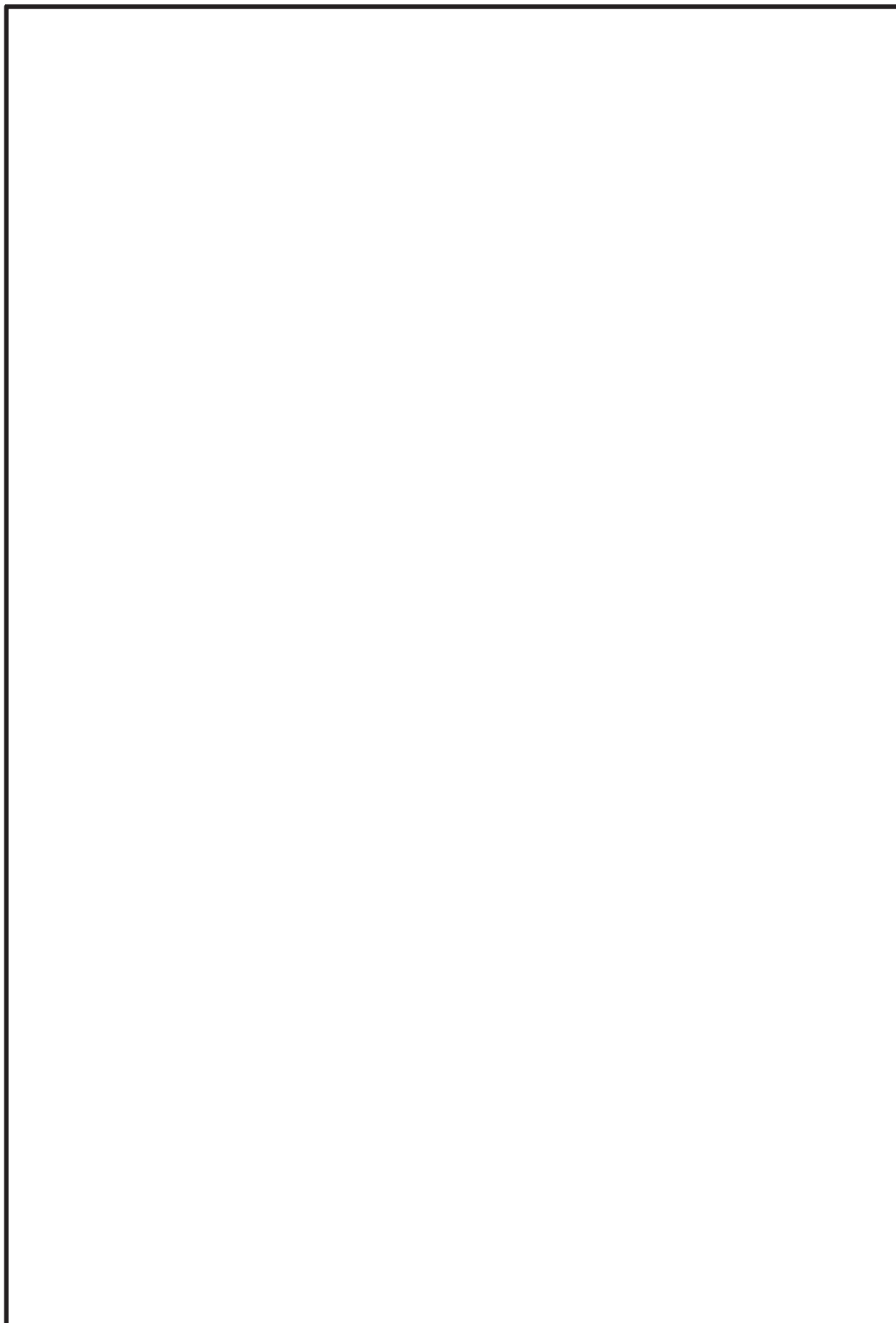


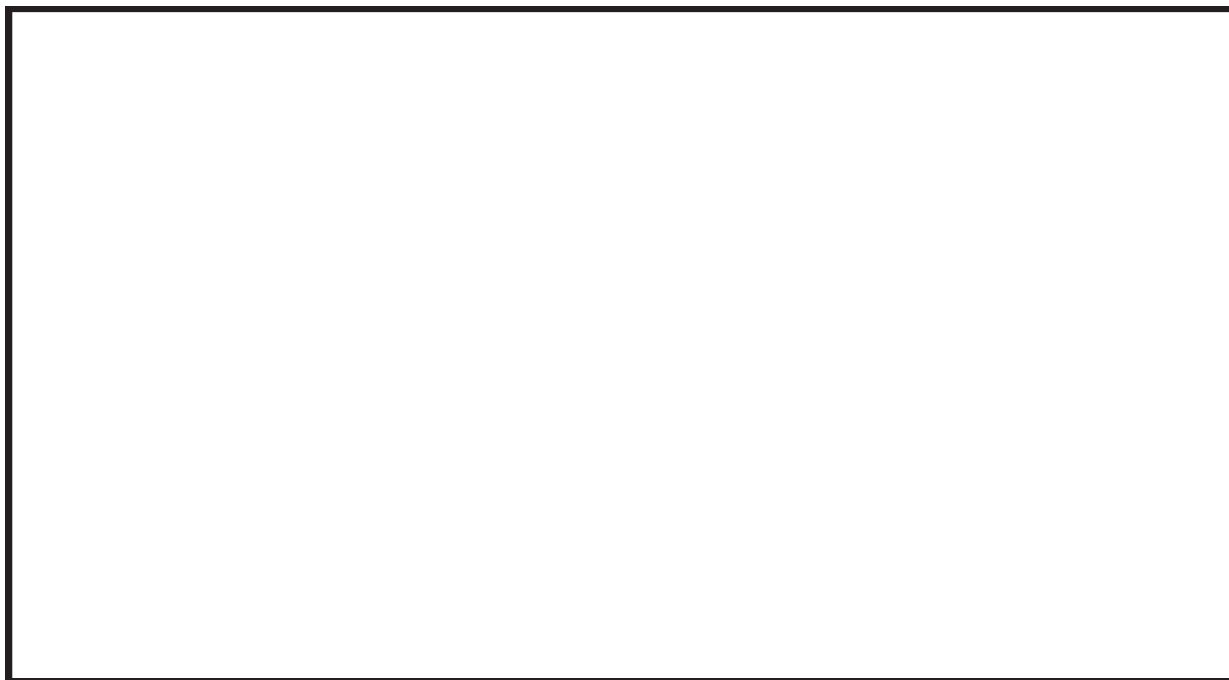




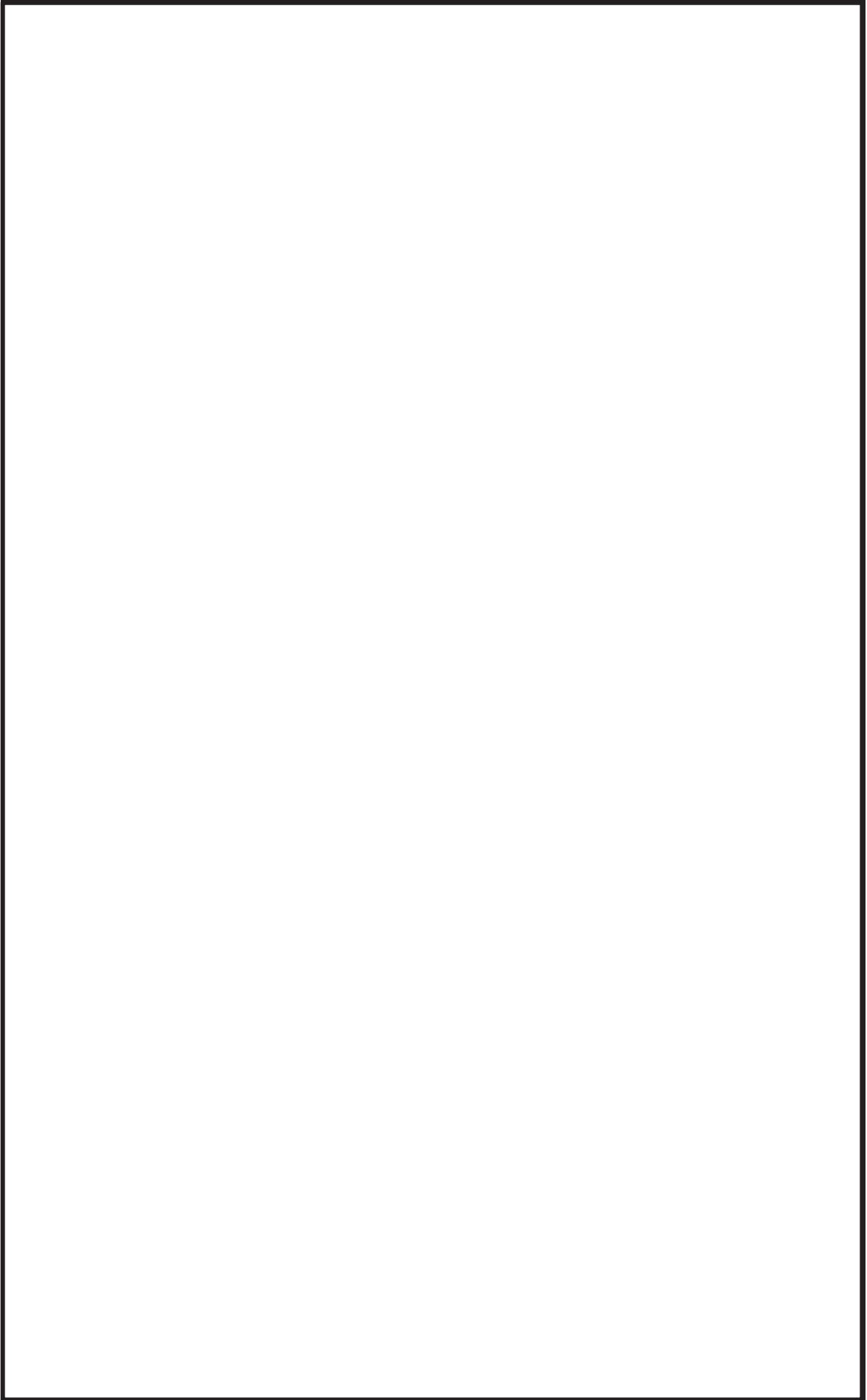


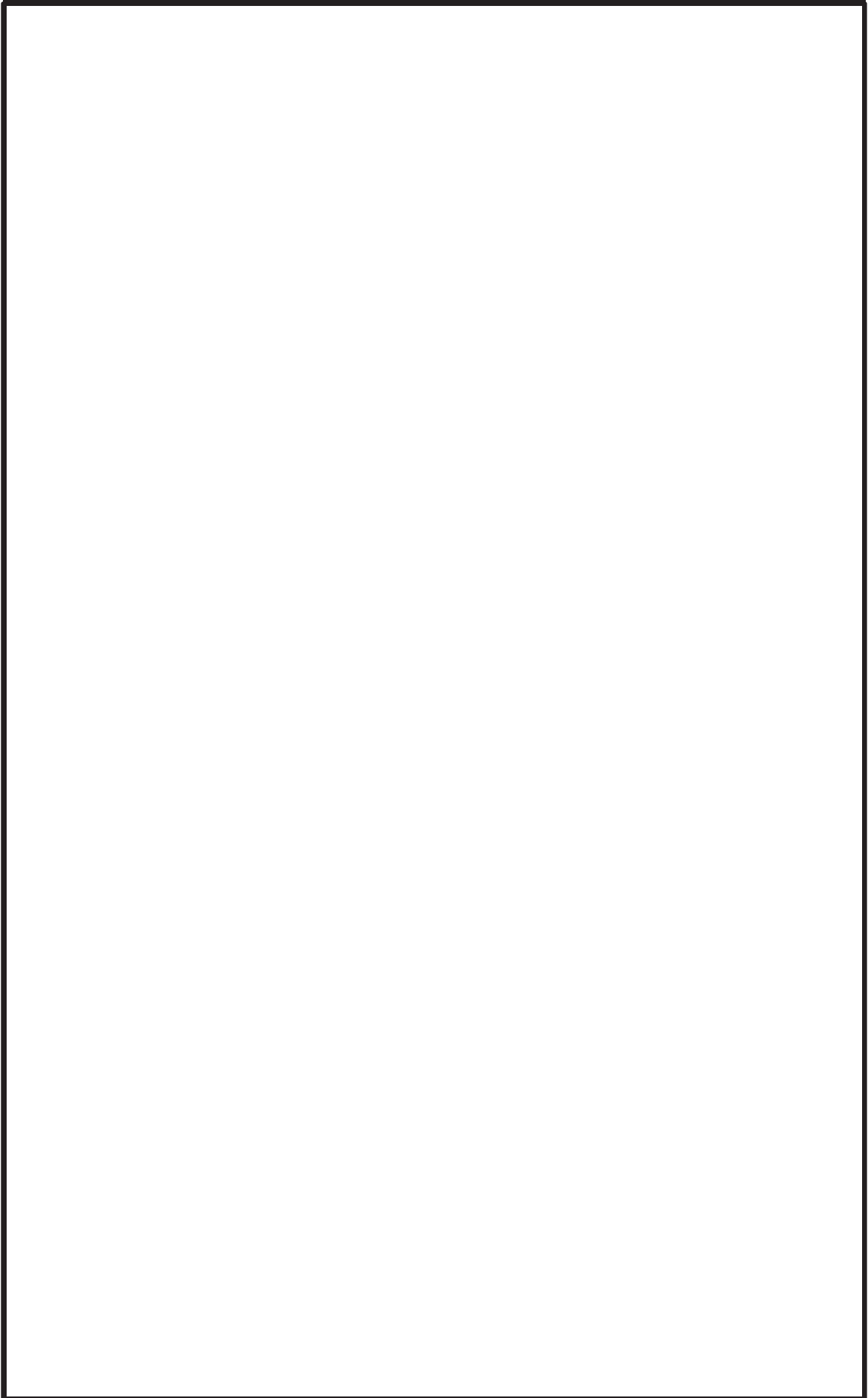






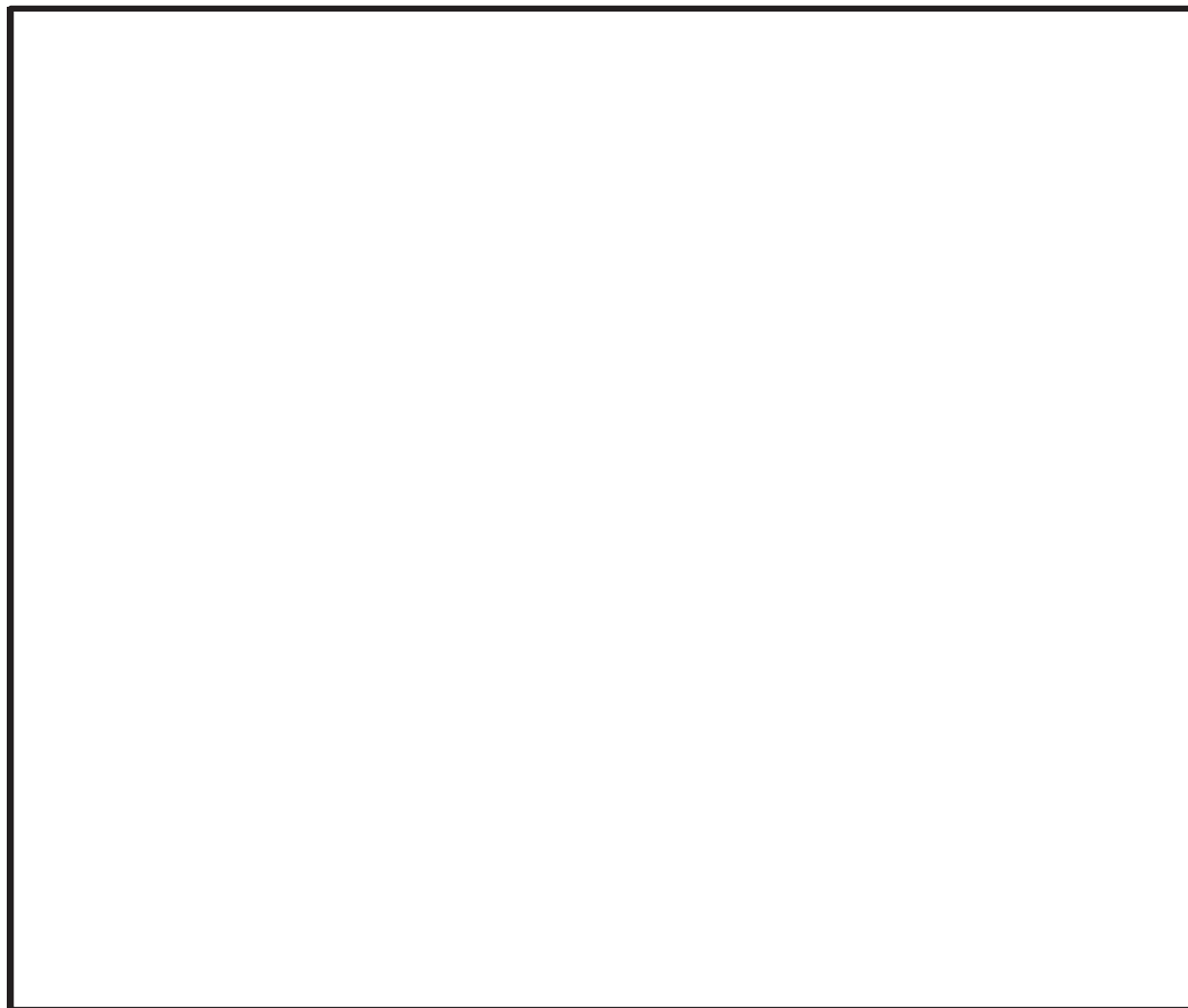
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



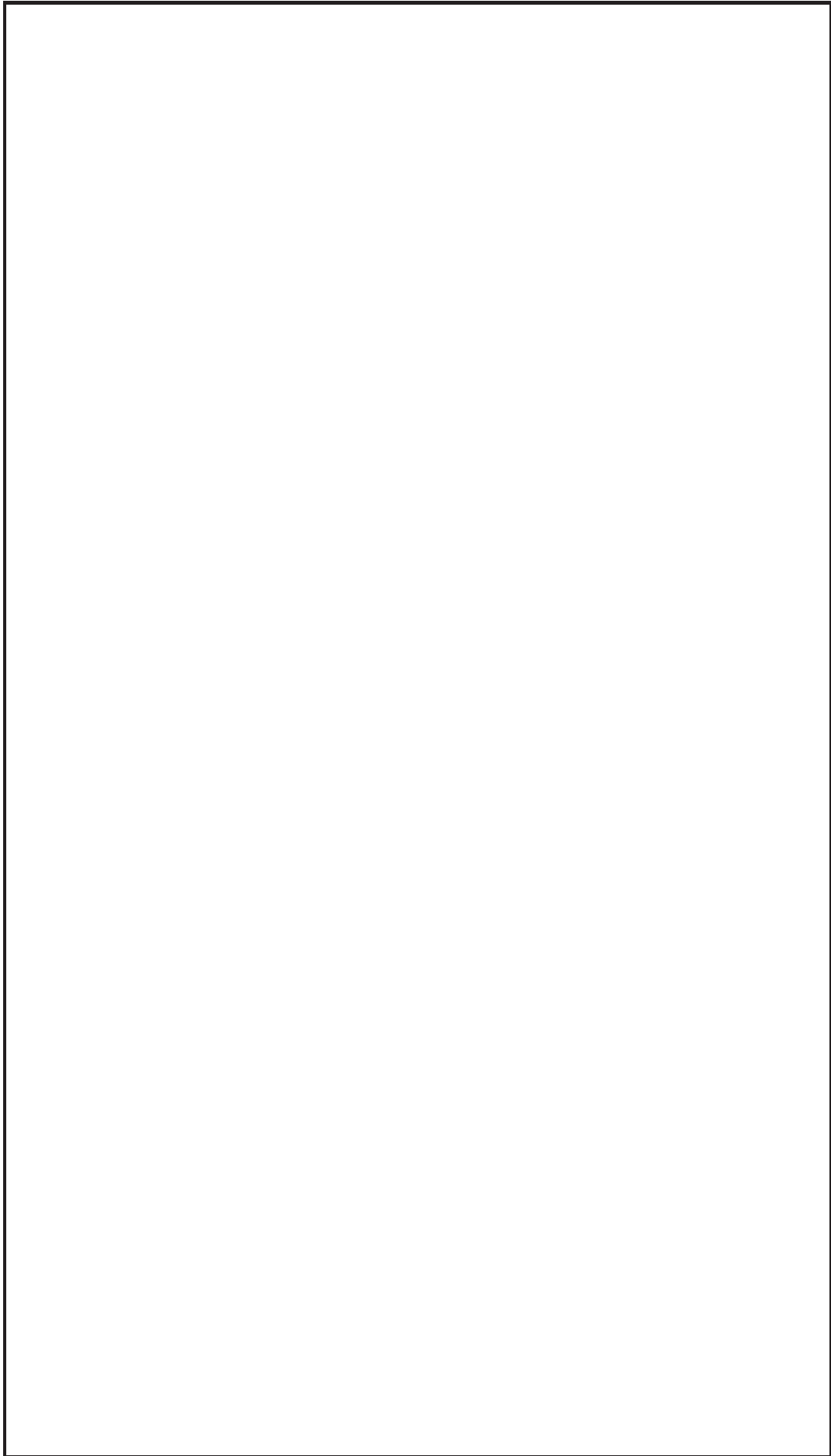


3 女川原子力発電所第 2 号機における多方向入力を対象とした等価繰返し回数算出方法について

2.2.2 項において 2 方向同時入力の結果について纏めているが、下記理由により 3 方向同時入力に対しても同様に各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当であることが言える。



以上のことから、女川原子力発電所第 2 号機においても、各方向の等価繰返し回数の最大値を用いることは妥当である。



時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算定した場合との比較検討

1. はじめに

J E A G 4 6 0 1 におけるフローには分岐があり，地震荷重が時刻歴より求める機器系（時刻歴応答解析から算出される時刻歴応答波形（荷重）を用いる場合）（時刻歴フロー）と，地震荷重を応答スペクトルより求める機器系（建屋応答に基づく 1 質点系応答解析により算定した時刻歴変位波形を用いる場合）（応答スペクトルフロー）が示されている。今回の女川原子力発電所第 2 号機における一律に設定する地震時等価繰返し回数の設定においては，応答スペクトルフローにて検討することとしている。

なお，時刻歴フローで等価繰返し回数を算定することは可能であるが，これらの荷重は特定の設備のみ使用されるものであることから，今回の等価繰返し回数設定においては，応答スペクトルフローを用いている。

本資料では，J E A G 4 6 0 1 の時刻歴フローである時刻歴応答解析から算出される時刻歴応答波形（荷重）を等価繰返し回数の算定に用いる場合においても，今回の等価繰返し回数 340 回の設定に問題がないことを確認する。

2. 時刻歴フローを用いた等価繰返し回数

2.1 対象設備

女川原子力発電所第 2 号機における大型機器系地震応答解析モデル及び炉内構造物系地震応答解析モデルの各機器に対して，時刻歴応答波形（荷重）から直接等価繰返し回数を算定する。

2.2 検討内容

2.1 の対象設備に対し，建屋－大型機器系連成解析により得られた荷重（せん断，モーメント，軸力）時刻歴に基づき算出する。なお，等価繰返し回数の算出の際は $150\text{kg}/\text{mm}^2$ （1471MPa）を用いる。

2.3 検討結果

時刻歴応答波形（荷重）における等価繰返し回数の算出結果を別表 17-2～別表 17-11 に，最大回数を整理した結果を別表 17-1 に示す。別表 17-1 の結果から，時刻歴フローにおける等価繰返し回数は応答スペクトルフローにおける等価繰返し回数に比べ小さいことを確認した。

以上より，一律に設定した等価繰返し回数設定に応答スペクトルフローにて検討することは問題ないと考えられる。

別表 17-1 応答スペクトルフローと時刻歴フローから求めた最大等価繰返し回数の比較

解析モデル	時刻歴フロー		応答スペクトル フロー	最大回数の比率 (時刻歴フロー/ 応答スペクトルフロー)
	荷重	最大回数	最大回数	
大型機器系 地震応答解析 モデル	せん断			
	モーメント			
	軸力			
炉内構造物系 地震応答解析 モデル	せん断			
	モーメント			
	軸力			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-2 大型機器系地震応答解析モデル（せん断力（EW 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	原子炉 圧力容器		
				原子炉 本体基礎		
				原子炉 遮蔽壁		
				原子炉 格納容器		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-3 大型機器系地震応答解析モデル（せん断力（NS 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	原子炉 圧力容器		
				原子炉 本体基礎		
				原子炉 遮蔽壁		
				原子炉 格納容器		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-4 大型機器系地震応答解析モデル（モーメント（EW 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	原子炉 圧力容器		
				原子炉 本体基礎		
				原子炉 遮蔽壁		
				原子炉 格納容器		

別表 17-5 大型機器系地震応答解析モデル（モーメント（NS 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	原子炉 圧力容器		
				原子炉 本体基礎		
				原子炉 遮蔽壁		
				原子炉 格納容器		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-6 大型機器系地震応答解析モデル（軸力）

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
大型機器系 地震応答解析 モデル	S s - D 1	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	原子炉 圧力容器		
				原子炉 本体基礎		
				原子炉 遮蔽壁		
				原子炉 格納容器		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-7 炉内構造物系地震応答解析モデル（せん断力（EW 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S s - D 1	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	炉心 シュラウド		
				制御棒 駆動機構 ハウジング		
				制御棒案内管		
				燃料集合体		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-8 炉内構造物系地震応答解析モデル（せん断力（NS 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S s - D 1	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	炉心 シュラウド		
				制御棒 駆動機構 ハウジング		
				制御棒案内管		
				燃料集合体		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-9 炉内構造物系地震応答解析モデル（モーメント（EW 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S s - D 1	炭素鋼, 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	炉心 シュラウド		
				制御棒 駆動機構 ハウジング		
				制御棒案内管		
				燃料集合体		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-10 炉内構造物系地震応答解析モデル（モーメント（NS 方向））

算出条件						等価繰返し回数
解析モデル	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S s - D 1	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	炉心 シュラウド		
				制御棒 駆動機構 ハウジング		
				制御棒案内管		
				燃料集合体		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別表 17-11 炉内構造物系地震応答解析モデル（軸力）

解析モデル	算出条件					等価繰返し回数
	地震動	設計疲労線図	材料物性の不確かさ等	機器	O.P. (m)	
炉内構造物系地震応答解析モデル	S s - D 1	炭素鋼， 低合金鋼 および 高張力鋼	基本ケース	炉心 シュラウド		
				制御棒 駆動機構 ハウジング		
				制御棒案内管		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

本資料のうち、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-19-0600-10_改2
提出年月日	2021年2月25日

補足-600-10 機電設備の耐震計算書の作成について

2021年2月
東北電力株式会社

目 次

1. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. 基本方針	1
4. 機電設備耐震計算書の分類と構成について	2
5. 耐震計算書記載注意事項	3
5.1 耐震計算書の全般的な注意事項	3
5.2 耐震計算書の各項目の注意事項	3
5.2.1 「①概要」について	3
5.2.2 「②一般事項」について	4
5.2.3 「③評価部位」について	5
5.2.4 「④固有周期」について	5
5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」について	7
5.2.6 「⑥構造強度評価」について	8
5.2.7 「⑦構造強度評価」について	8
5.2.8 「⑧機能維持評価」について	8
5.2.9 「⑨機能維持評価」について	9
5.2.10 「⑩評価結果」について	9

- 添付資料-1 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「横軸ポンプ」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-2 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「容器」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-3 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-4 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「盤」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-5 機能維持評価で詳細検討を実施する場合
- 添付資料-6 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-7-1 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-1パターン「解析」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-7-2 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-2パターン「手計算」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-8 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Dパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-9 機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
(Eパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-10 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「管」の耐震計算書記載例)

1. 目的

新規制基準を適用するに当たり、建設時の工事計画認可申請等既工認と比べて耐震計算を必要とする設備の種類・数が増加し、これに伴い、記載内容も既工認の記載事項には収まらない多様なものとなった。本資料「機電設備の耐震計算書の作成について」は、耐震計算書を地震応答解析及び応力評価手法等による分類を行い、それぞれの分類において耐震計算書の構成・記載程度について整理することで、耐震計算書の品質向上に資するものである。

本資料は、耐震計算書作成の手引きとして使用するものであり、設備や評価手法の独自性を踏まえて、本資料と異なる記載を妨げるものではない。

2. 適用範囲

本資料は、女川原子力発電所第2号機の工事計画認可申請における添付書類のうち「VI-2 耐震性に関する説明書」及び「VI-2-別添」の機電設備に適用するものとする。

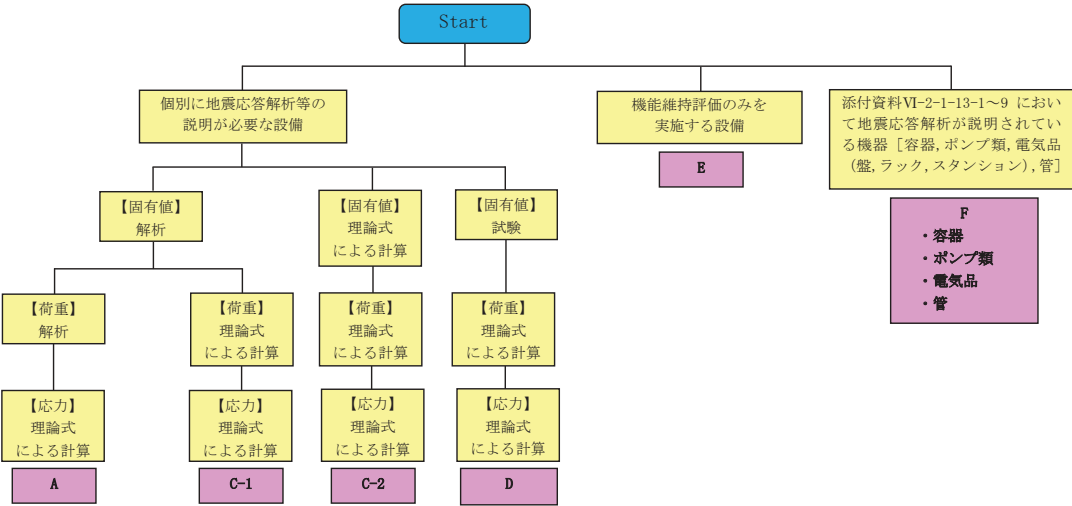
3. 基本方針

耐震計算書の品質向上のため、耐震計算書は評価手法に基づき体系的に分類し、同じ分類に属する耐震計算書においては章構成、内容、用語等をできるだけ統一的な記載とする。具体的には以下の方針に基づいて本資料を作成し、本資料を耐震計算書の記載の手引きとして活用する。

- ・耐震計算書を分類し、分類ごとに章構成をできるだけ統一する。
- ・分類に当たっては耐震計算書分類のフロー図を作成し、これに基づき耐震計算書を分類する。
- ・分類は地震応答解析、応力評価方法等により分類する。

4. 機電設備耐震計算書の分類と構成について

図 4-1 に機電設備耐震計算書の分類と各分類の構成を示す。



パターン	A [添付資料-6 参照]	C-1 [添付資料-7-1 参照]	C-2 [添付資料-7-2 参照]	D [添付資料-8 参照]	E [添付資料-9 参照]
該当設備 (例)	水圧制御ユニットなど	ドライウェル温度など	中央制御室再循環フィルタ装置など	安全パラメータ表示システム (SPDS)無線通信アンテナなど	测温抵抗体 (温度計) など
計算書 ^{※5} 構成 (目次)	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用規格・基準等 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 地震応答解析及び構造強度評価方法 4.1 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 4.3 解析モデル及び諸元 4.4 固有周期 4.5 設計用地震力*2 4.6 計算方法 4.7 計算条件 4.8 応力の評価 5. 機能維持評価*2, *3・・・・・・・・⑥ 5.1 (動的 or 電氣的) 機能維持評価方法 5.2 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用規格・基準等 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.1 固有値解析方法 4.2 解析モデル及び諸元 4.3 固有値解析結果 5. 構造強度評価・・・・・・・・・・⑥ 5.1 構造強度評価方法 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 5.3 設計用地震力*2 5.4 計算方法 5.5 計算条件 5.6 応力の評価 6. 機能維持評価*2, *3・・・・・・・・⑧ 6.1 (動的 or 電氣的) 機能維持評価方法 7. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用規格・基準等 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.1 固有周期の計算方法 4.2 固有周期の計算条件 4.3 固有周期の計算結果 5. 構造強度評価・・・・・・・・・・⑥ 5.1 構造強度評価方法 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 5.3 設計用地震力*2 5.4 計算方法 5.5 計算条件 5.6 応力の評価 6. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用規格・基準等 2.5 記号の説明 2.6 計算精度と数値の丸め方 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 固有周期・・・・・・・・・・④ 4.1 基本方針 4.2 固有周期の確認方法 4.3 固有周期の確認結果 5. 構造強度評価・・・・・・・・・・⑥ 5.1 構造強度評価方法 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 5.3 設計用地震力*2 5.4 計算方法 5.5 計算条件 5.6 応力の評価 6. 機能維持評価*2, *3・・・・・・・・⑧ 6.1 (動的 or 電氣的) 機能維持評価方法 7. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 評価方針 2.4 適用規格・基準等 3. 評価部位・・・・・・・・・・③ 4. 機能維持評価*2, *3・・・・・・・・⑧ 4.1 機能維持評価用加速度 4.2 機能確認加速度 5. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果
パターン	F (横軸ポンプ類) [添付資料-1 参照]	F (容器) [添付資料-2 参照]	F (たて軸ポンプ類) [添付資料-3 参照]	F (電気品) (盤, ラック, スタンション) [添付資料-4 参照]	F (管) [添付資料-10 参照]
該当設備 (例)	ほう酸水注入ポンプなど	非常用ディーゼル発電機空気だめなど	残留熱除去系ポンプなど	無停電交流電源用静止形無停電電源装置など	配管
計算書 ^{※5} 構成 (目次)	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用規格・基準等*1 3. 固有周期 3.1 固有周期の計算 4. 構造強度評価・・・・・・・・・・⑦ 4.1 構造強度評価方法 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 4.3 計算条件 4. 機能維持評価*3・・・・・・・・・・⑧ 4.1 動的機能維持評価方法 5. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用規格・基準等*1 3. 固有周期 3.1 固有周期の計算 4. 構造強度評価・・・・・・・・・・⑦ 4.1 構造強度評価方法 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 4.3 計算条件 5. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用規格・基準等*1 3. 固有周期 3.1 固有周期の算出方法 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3.3 解析モデル及び諸元 3.4 固有周期 3.5 設計用地震力 3.6 計算条件 4. 機能維持評価*3・・・・・・・・・・⑧ 4.1 動的機能維持評価方法 5. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2. 一般事項・・・・・・・・・・② 2.1 配置概要*1 2.2 構造計画 2.3 適用規格・基準等*1 3. 固有周期 3.1 固有周期の算出方法 3.2 荷重の組合せ及び許容応力 3.3 設計条件 3.4 材料及び許容応力 3.5 設計用地震力 4. 解析結果及び評価 4.1 固有周期及び設計震度 4.2 評価結果 5. 機能維持評価*4・・・・・・・・・・⑧ 5.1 電氣的機能維持評価方法 6. 評価結果*4・・・・・・・・・・⑩ 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	1. 概要・・・・・・・・・・① 2.1 概略系統図及び鳥瞰図 2.2 鳥瞰図 3. 計算条件 3.1 計算方法 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態 3.3 設計条件 3.4 材料及び許容応力 3.5 設計用地震力 4. 解析結果及び評価 4.1 固有周期及び設計震度 4.2 評価結果

*1: 波及的影響を及ぼすおそれのある施設のみ記載。
 *2: 動的又は電氣的機能維持評価が必要な設備のみ記載。
 *3: 機能維持評価で詳細評価が必要な場合 (機能確認加速度を超えた場合) の記載は添付資料-5を参照する。
 *4: 設計基準対象施設単独又は重大事故等対処設備単独の場合は該当する項目のみ記載する。
 *5: 各計算書の目次は、「補足-100-1 工認本文および添付書類の作成要領」に従った章構成とする。

図 4-1 機電設備耐震計算書の分類と各分類の構成

図 4-1 は各耐震計算書の第 1 章「概要」から最終章「評価結果」に至るまでの基本的な章構成、主な記載内容を示している。フローパターンは A～F (B を除く) の種類があり、各耐震計算書は概ねこれらのフローパターンに分類することができるような記載とする。設備の特性上、特殊な評価が必要な場合でフローパターンに分類することができなくても本資料の目的を踏まえ、記載の品質向上を図る。

5. 耐震計算書記載注意事項

以降は、女川原子力発電所第 2 号機の耐震計算書（機電分）（以下「耐震計算書」という。）における記載項目、様式及び耐震計算書作成上の注意事項について整理し、耐震計算書の作成上の注意事項としてまとめたものである。

なお、具体的な記載例は添付資料に示す。

5.1 耐震計算書の全般的な注意事項

○評価手法について

- ・自プラント既工認の記載内容から変更がある場合は、その内容が分かるように記載する。自社他プラントや既往研究の評価手法を引用する場合は、参照する工認書類等を記載する。なお、他社プラント工認で適用実績がある評価手法を用いる場合においても、自社として初めての適用となる場合は内容を省略せずに記載する。
- ・評価手法が既工認の記載事項から変更がなく、詳細な記載を省略する場合は、参照する工認書類等を記載する。

○評価対象（機器及び部位）、評価内容について

- ・複数の評価対象に対して代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。
- ・評価を省略する場合は、その理由を記載する（変更がない、他で包含されているなど）。
- ・評価に当たり必要となる記号及び数値を記載する。

○耐震計算書中で「設備分類」として、設計基準拡張設備の記載が必要な場合、次のような設備名及び略称記載をする。

- ・設備名：常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）
- ・略称：常設／防止（DB 拡張）、常設／緩和（DB 拡張）

5.2 耐震計算書の各項目の注意事項

5.2.1 「①概要」について

「概要」は「目的」、「評価の概要」、「設計基準対象施設としての重要度分類」、「重大事故等対処設備としての設備区分」等を記載することを目的としている。

- ・各計算書に記載する「概要」は評価目的（「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能維持を有していることを説明するものである。」、「基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認するものである。」等）を明確にし「評価結果」の

章においては評価目的に対応した結論(「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。」「十分な構造強度及び止水性を有していることを確認した。」「波及的影響を及ぼさないことを確認した。」等)を記載する。

- ・機能維持評価について詳細評価する場合はその旨を記載する。
- ・関連する上位文書があれば記載する。
- ・添付書類「VI-2-1-13 計算書作成の方法」(以下「基本方針(添付書類)」という。)を呼び込む設備の計算書(容器, ポンプ類, 電気品)については基本方針(添付書類)のフォーマットが使用できることについて構造上等からの適用性根拠を記載する。

例) ~〇〇ポンプは横軸ポンプであり~

- ・計算書の対象となる機器の名称が系統名や設備名を含まない場合には、「概要」の初出箇所ですら系統名や設備名を補うことで対象を明確にする。 —

例) 空気だめ → 非常用ディーゼル発電設備の空気だめ

ドレンタンク → 格納容器圧力逃がし装置のドレンタンク

5.2.2 「②一般事項」について

「一般事項」においては「配置概要(波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備のみ記載)」、「構造計画」、「評価方針」、「適用規格・基準等」、「記号の説明」、「計算精度と数値の丸め方」を記載することを目的としている。

基本方針(添付書類)を呼び込む設備の耐震計算書においては、基本方針(添付書類)に記載している項目を耐震計算書に記載する必要はない(以降の頁についても同様に基本方針に記載されている項目を耐震計算書に記載する必要はない)。ただし、波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で基本方針(添付書類)に記載されていない「適用規格・基準等」がある場合は記載する。

- ・「配置概要」では各設備の設置箇所を説明する。
- ・「構造計画」では、「計画の概要」及び「概略構造図」により、「主体構造」から「支持構造物」、据付部(ボルト, 溶接部)に至るまでの荷重伝播経路を説明する。
- ・「構造計画」では、「主体構造」を要目表の表現で記載する場合、必要に応じて耐震計算書のパターンの表現(横軸ポンプ, スカート支持たて置円筒容器など)を含む表現を()付で記載する。
- ・「構造計画」では、「計画の概要」と「概略構造図」の説明においては用語を統一する(以降の頁についても同様に用語の整合性をとること)。
- ・「構造計画」では、据付ボルトが後施工の場合は「概略構造図」においてアンカの種類(メカニカルアンカ, ケミカルアンカ)を記載する。
- ・「構造計画」では、支持部が溶接の場合は溶接であることが分かるように「概略構造図」において溶接線を記載する。
- ・「評価方針」では、「構造強度は応力等が許容限界以内であること」、「機能維持確認は機

能確認済加速度以下であること」等のような方法で確認するかを記載する。

- ・「評価方針」では、原則として耐震評価フロー図を記載する（評価手法が既工認の記載事項から変更がなく、詳細な記載を省略とした場合は省略可）。
- ・「評価方針」では、耐震評価フロー図を用いて、固有周期を求めた後に設計用地震力を定めることを示す。
- ・「評価方針」では、ポンプ振動等を考慮する必要がある設備の場合は耐震評価フローにおいて「機械的荷重」の項目を記載する。
- ・「評価方針」では、屋外設備などの自然現象による荷重を考慮する必要がある設備の場合は耐震評価フローにおいてその旨の項目及び考え方の注記を記載する。

例)

追加項目：自然現象による荷重の算定・常時荷重

考え方：常時荷重は、自重、風荷重を考慮するものとする。また、上面面積は小さく、積雪荷重はわずかであるため、積雪荷重を含めない。

- ・「適用規格・基準等」では、計算書において準拠する規格及び基準について具体的な規格番号、名称、及び制定又は改訂年度も含め記載する。
- ・「記号の説明」では、「記号」、「記号の説明」、「単位」を記載する。
- ・「計算精度と数値の丸め方」では、「数値の種類」、「単位」、「処理桁」、「処理方法」、「表示桁」を記載する。

5.2.3 「③評価部位」について

耐震評価を行う部位を記載することを目的としている。

- ・5.2.2「②一般事項」の「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
- ・複数の評価対象に対して代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

5.2.4 「④固有周期」について

固有周期の求め方及び固有周期を記載することを目的としている。

- ・解析モデルを用いて固有周期を算出する場合（C-1 他）において、「固有値解析方法」「解析モデル及び諸元」、「固有値解析結果」を記載する。
 - －「固有値解析方法」では、適用する解析モデル（3次元 FEM モデル等）、使用する要素（板要素、はり要素等）を記載する。
 - －「解析モデル及び諸元」では、内装品・取付け器具がある場合の解析モデル上での扱い（質量や重心位置等の計算条件）を記載する。
 - －「解析モデル及び諸元」では、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は「基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と記載する。
 - －「解析モデル及び諸元」では、解析モデル図、解析モデルの諸元を記載する。解析モ

モデル図は、必要に応じ、どの部分のモデルかを示す。対称性等を考慮した部分モデル（1/2モデル等）は考え方を記載する。諸元は、解析モデルの要素数、節点数、拘束条件（完全固定、並進方向固定／自由、回転方向固定／自由、ピン支持等）を含め記載する。物性値（縦弾性係数、ポアソン比等）はモデル化した材料が複数あればそれぞれに記載する。（ボルトをモデル化しているなら、ボルトの物性値を記載する。）

- 「解析モデル及び諸元」では、最後の記載項目として、解析に用いる計算機プログラムを記載する。
- 「固有値解析結果」では、固有周期を記載するとともに、柔構造の場合はその振動モード図及び刺激係数（刺激係数の正規化方法を含む）を記載する。振動モード図は、最大で3次モードまでを、又は、各方向の卓越モードを代表として記載する。
- ・ 評価対象の設備が流体中に設置される場合には、流体による付加質量（機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量）を考慮することを記載する。
- ・ 理論式を用いて固有値を求める場合（C-2）において、「固有周期の計算方法」、「固有周期の計算条件」、「固有周期の計算結果」を記載する。
- 「固有周期の計算方法」では、解析適用する解析モデル（1質点系モデル等）、解析モデル図、計算式を記載する。
- 「固有周期の計算条件」では、各項目に対する記号、単位及び数値等を記載する。
- ・ 固有周期を振動試験等で求める場合（D）において、「基本方針」、「固有周期の確認方法」、「固有周期の確認結果」を記載する。
- 「基本方針」では、試験名称（振動台を用いた加振試験又は打診試験（自由振動試験））を記載する。

例)

計器スタンションの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

【類似品の結果を流用する場合の記載例】

計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性をもつ計器スタンションに対する振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」について

地震応答解析，構造強度評価の方法及びそれらに使用する解析手法および解析条件を記載することを目的としている。

- 下記の項目を記載する。
 - 地震応答解析及び構造強度評価方法
 - 荷重の組合せ及び許容応力
 - 解析モデル及び諸元
 - 固有周期
 - 設計用地震力
 - 計算方法
 - 計算条件
 - 応力の評価
- 「地震応答解析及び構造強度評価方法」には以下について記載する。
 - 適用する解析モデル（3次元 FEM モデル等），使用する要素（板要素，はり要素等）を記載する。
 - 公称値を使用する旨を記載する。
 - 内装品・取付け器具がある場合，解析モデル上での扱い（質量や重心位置等の計算条件）を記載する。
 - 基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は，「基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と記載する。
- 「解析モデル及び諸元」では，解析モデル図，解析モデルの諸元を記載する。解析モデル図は，必要に応じ，どの部分のモデルかを示す。対称性等を考慮した部分モデル（1/2モデル等）は考え方を記載する。諸元は，解析モデルの要素数，節点数，拘束条件（完全固定，並進方向固定／自由，回転方向固定／自由，ピン支持等）を含め記載する。物性値（縦弾性係数，ポアソン比等）はモデル化した材料が複数あればそれぞれに記載する。（ボルトをモデル化しているなら，ボルトの物性値を記載する。）また，最後の記載項目として，解析に用いる計算機プログラムを記載する。
- 固有値解析を実施する場合は，固有周期を記載するとともに，柔構造の場合はその振動モード図及び刺激係数（刺激係数の正規化方法を含む）を記載する。振動モード図は，最大で3次モードまでを，又は，各方向の卓越モードを代表として記載する。
- 動的解析を実施する場合は，評価に用いる具体的な解析手法（スペクトルモーダル解析法，時刻歴応答解析法）を記載する。
- 評価対象の設備が流体中に設置される場合には，流体による付加質量（機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量）を考慮することを記載する。また，必要に応じて，排除水体积質量（流体－機器の相互作用による応答低減効果を模擬した質量）を考慮することを記載する。
- 建屋壁により支持される機器，建屋中間階に設置される機器の設計用地震力は，当該機の設置される上下階のいずれか大きい方を用いることを基本とする。

- ・応力の評価に使用する解析の結果を記載する（応力計算式を用いて手計算できる程度）。
- ・許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.6 「⑥構造強度評価」について

応力評価の方法，応力評価に使用する条件を記載することを目的としている。

- ・下記の項目を必要に応じて記載する。
 - 構造強度評価方法
 - 荷重の組合せ及び許容応力
 - 設計用地震力
 - 計算方法
 - 計算条件
 - 応力の評価
- ・記載時の注意事項については 5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。

5.2.7 「⑦構造強度評価」について

応力評価の方法，応力評価に使用する条件を記載することを目的としている。

- ・下記の項目を記載する。手計算で計算するものは，計算に用いる全ての記号の値を記載する（本文中又は計算結果の表中に記載）。
 - 構造強度評価方法
 - 荷重の組合せ及び許容応力
 - 計算条件
- ・基本方針（添付書類）を呼び込む設備の計算書（容器，ポンプ類，電気品）については評価に使用する基本方針（添付書類）を記載する。
- ・その他の記載時の注意事項については 5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。
- ・耐震クラスが S クラスのもので，基準地震動 S_s で許容応力状態 III_AS の評価をし，弾性設計用地震動 S_d での評価を省略する場合は，その旨を記載する。

5.2.8 「⑧機能維持評価」について

機能維持評価の方法（詳細評価を含む）について記載することを目的としている。

- ・機能維持評価用加速度*と機能確認済加速度との比較評価を実施し，必要に応じて J E A G 4 6 0 1 に記載の詳細評価を実施する。
 - ・J E A G 4 6 0 1 の詳細評価を実施する場合，評価項目ごとに個別の評価書として章の構成を行い必要な内容を記載する。
 - ・機能維持評価方法の説明が必要な場合の記載は添付資料-5 を参考とする。
- 注記*：用語は，「評価用加速度」ではなく，「機能維持評価用加速度」とする。

5.2.9 「⑨機能維持評価」について

機能維持評価（機能確認済加速度と比較）のみ確認する設備の機能維持評価の方法及び条件について記載することを目的としている。

- ・「機能維持評価用加速度*」では，機能維持評価用加速度の根拠等を記載する。
- ・「機能確認済加速度」では，加振試験に用いる加速度，加振試験の条件等を記載する。

注記*：用語は，「評価用加速度」ではなく，「機能維持評価用加速度」とする。

5.2.10 「⑩評価結果」について

設計基準対象施設としての評価結果，重大事故等対処設備としての評価結果を記載することを目的としている。

- ・評価結果においては「①概要」に記載の評価目的に対応した結論を記載すること。

例)

「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。」

「十分な構造強度及び止水性を有していることを確認した。」

「波及的影響を及ぼさないことを確認した。」

添付資料-1:「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「横軸ポンプ」の耐震計算書記載例)

VI-〇-〇-〇 〇〇〇ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要.....	1
2. 一般事項.....	1
2.1 構造計画.....	1
3. 構造強度評価.....	3
3.1 構造強度評価方法.....	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力.....	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態.....	3
3.2.2 許容応力.....	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件.....	3
3.3 計算条件.....	3
4. 機能維持評価.....	7
4.1 動的機能維持評価方法.....	7
5. 評価結果.....	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果.....	8

↑

・ DB+SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、〇〇〇ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB+SA の場合の記載例を示す。
[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれ該当する項目のみ記載する。]

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、
「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用規格・基準等」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>往復形 (往復形横軸ポンプ) ↑</p>	
<p>機器の具体的な構造や型式、据付方法が分かるような説明を記載する。</p>		

(単位：mm)

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇系統	〇〇設備	S	クラス2ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*：クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇系統	〇〇ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限 界を用いる。)

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

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

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

該当する設備分類のみ記載する。

- DB+SA の場合を示す。
- DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 支持構造物）
- SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

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

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	引張り	せん断
III _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
IV _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _{AS}		

(V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。)

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

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

- DB+SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)				S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度	最高使用温度	周囲環境温度			
基礎ボルト	○○○* (mm < 径 ≦ mm)							
ポンプ取付ボルト								
原動機取付ボルト								
減速機取付ボルト								

注記* : ○○○○相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は、設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)				S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	最高使用温度	最高使用温度	周囲環境温度			
基礎ボルト	○○○* (mm < 径 ≦ mm)							
ポンプ取付ボルト								
原動機取付ボルト								
減速機取付ボルト								

注記* : ○○○○相当

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

〇〇〇ポンプの動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

〇〇〇ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

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

機種	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形〇〇〇〇 ポンプ	水平方向	
		鉛直方向	
原動機	横形〇〇〇〇 電動機	水平方向	
		鉛直方向	

基準レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	掘付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○ポンプ	S	○○○建屋 O.P. (O.P.)	-*2	-*2	-*3	-*3	C _H =	C _V =	C _p =		

注記 *1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：Ⅲ_{A,S}については、基準地震動 S_s で評価する。

Ⅲ_{A,S}の評価を S_s で実施した場合は、震度に「-」を付記し、注記を以下のとおり書き換える。

注記*3：Ⅲ_{A,S}については、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	θ _{1,i} ^{*1} (mm)	θ _{2,i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} ¹ (mm ²)	n _i	n _{f,i} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)					(M)			ボルト径を記載する。
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)			厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。
原動機取付ボルト (i=3)					(M)			
減速機取付ボルト (i=4)					(M)			

部材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	転倒方向 基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	*3 (mm<径≤mm)	*3 (mm<径≤mm)			-		-
ポンプ取付ボルト (i=2)	*2 (mm<径≤mm)	*2 (mm<径≤mm)			-		-
原動機取付ボルト (i=3)	*2 (mm<径≤mm)	*2 (mm<径≤mm)			-		-
減速機取付ボルト (i=4)	*3 (mm<径≤mm)	*3 (mm<径≤mm)			-		-

M_pが生じない場合は「-」とする。

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
*2：最高使用温度で算出
*3：周囲環境温度で算出

Ⅲ_{A,S}の評価を S_s で実施する場合は「-」とする。

予想最大回転幅 (μm)	回転速度 (rpm)
H _p =	N =

III_sの評価をS_sで実施した場合は、1.3項の算出値に「-*」を付記し、注記を以下のとおり記載する。
 注記*：III_sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	-*		-*	
ポンプ取付ボルト (i=2)	-*		-*	
原動機取付ボルト (i=3)	-*		-*	
減速機取付ボルト (i=4)	-*		-*	

注記*：III_sについては、基準地震動S_sで評価する。

III_sの評価をS_sで実施した場合は、算出応力は基準地震動S_sによる算出値を「○○^{MPa}」と記載し、注記を以下のとおりとする。
 注記*2：基準地震動S_sによる算出値

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} = f_{ts1}$	$f_{ts1} = \sigma_{b1}$	$\sigma_{b1} = f_{ts1}$	$f_{ts1} = \sigma_{b1}$
		せん断	$\tau_{b1} = f_{sb1}$	$f_{sb1} = \tau_{b1}$	$\tau_{b1} = f_{sb1}$	$f_{sb1} = \tau_{b1}$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$	$f_{ts2} = \sigma_{b2}$	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$	$f_{ts2} = \sigma_{b2}$
		せん断	$\tau_{b2} = f_{sb2}$	$f_{sb2} = \tau_{b2}$	$\tau_{b2} = f_{sb2}$	$f_{sb2} = \tau_{b2}$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3} = f_{ts3}$	$f_{ts3} = \sigma_{b3}$	$\sigma_{b3} = f_{ts3}$	$f_{ts3} = \sigma_{b3}$
		せん断	$\tau_{b3} = f_{sb3}$	$f_{sb3} = \tau_{b3}$	$\tau_{b3} = f_{sb3}$	$f_{sb3} = \tau_{b3}$
減速機取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4} = f_{ts4}$	$f_{ts4} = \sigma_{b4}$	$\sigma_{b4} = f_{ts4}$	$f_{ts4} = \sigma_{b4}$
		せん断	$\tau_{b4} = f_{sb4}$	$f_{sb4} = \tau_{b4}$	$\tau_{b4} = f_{sb4}$	$f_{sb4} = \tau_{b4}$

すべて許容応力以下である。

注記*1： $f_{tsi} = \text{Min}[4 \cdot f_{t0i} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ より算出

*2：基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

ポンプ	機能維持評価用加速度*		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
原動機			

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
 ※：機能維持評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

【SA 単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。ただし、章番を1とする。

【○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○ポンプ		○○○建屋 (O.P.) (O.P.)	—*2	—*2	—	—	C _H =	C _V =	C _p =	—	—

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期が十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

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

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

部材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	軸方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	*3 (mm<径≤mm)	*3 (mm<径≤mm)	—	—	—	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	*2 (mm<径≤mm)	*2 (mm<径≤mm)	—	—	—	—	—
原動機取付ボルト (i=3)	*2 (mm<径≤mm)	*2 (mm<径≤mm)	—	—	—	—	—
減速機取付ボルト (i=4)	*3 (mm<径≤mm)	*3 (mm<径≤mm)	—	—	—	—	—

M_pが生じない場合は「—」とする。

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

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

予想最大回転幅 (μm)	回転速度 (rpm)
H _p =	N =

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b,i}		Q _{b,i}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	-	-	-	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	-	-	-	-
原動機取付ボルト (i=3)	-	-	-	-
減速機取付ボルト (i=4)	-	-	-	-

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	-	-	$f_{ts1} =$	*
		せん断	-	-	$f_{sb1} =$	
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	-	-	$f_{ts2} =$	*
		せん断	-	-	$f_{sb2} =$	
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	-	-	$f_{ts3} =$	*
		せん断	-	-	$f_{sb3} =$	
減速機取付ボルト (i=4)		引張り	-	-	$f_{ts4} =$	*
		せん断	-	-	$f_{sb4} =$	

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

2.4.2 動時機能の評価結果

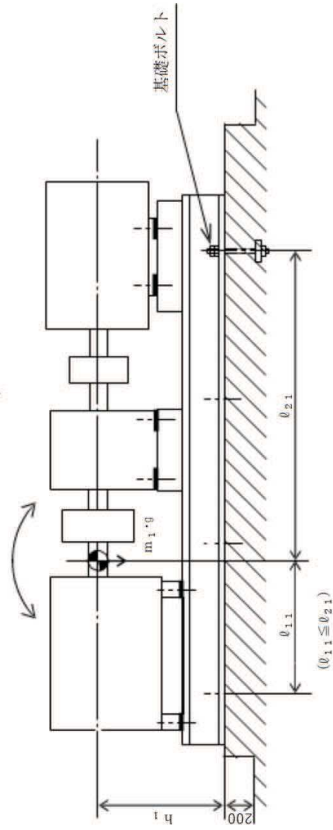
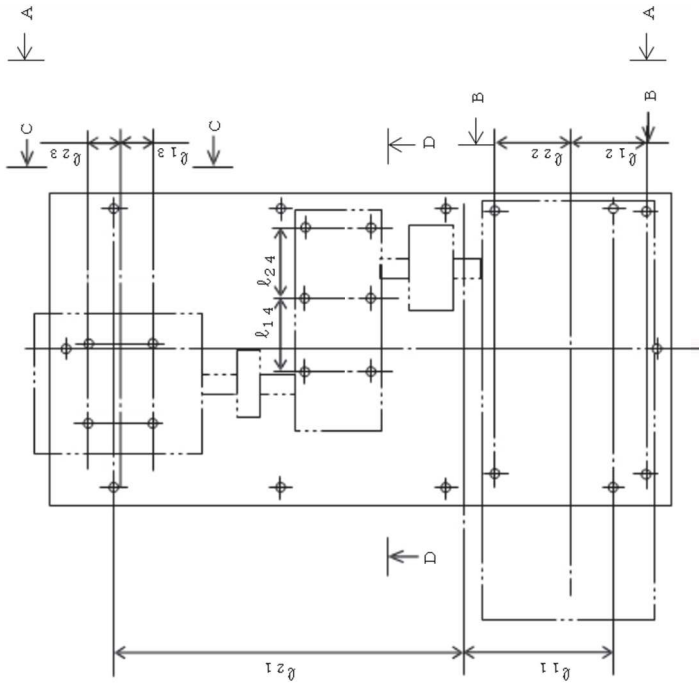
(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

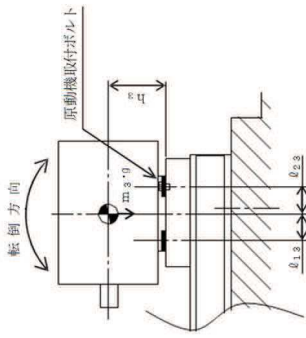
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
 ※：機能維持評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

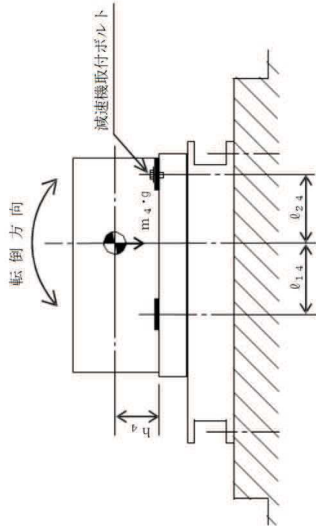


A ~ A 矢視図
(基礎ボルト)

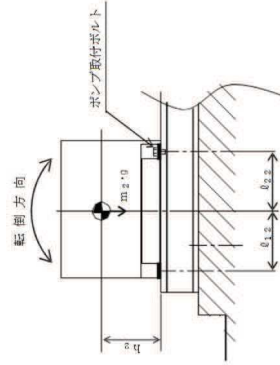
本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
なお、DB+SA の場合は、SA の結果表の最終ページに記載するものとする。



C ~ C 矢視図
(原動機取付ボルト)



D ~ D 矢視図
(減速機取付ボルト)



B ~ B 矢視図
(ポンプ取付ボルト)

添付資料-2 : 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「容器」の耐震計算書記載例)

VI-〇-〇-〇 〇〇〇〇空気だめの耐震性についての計算書

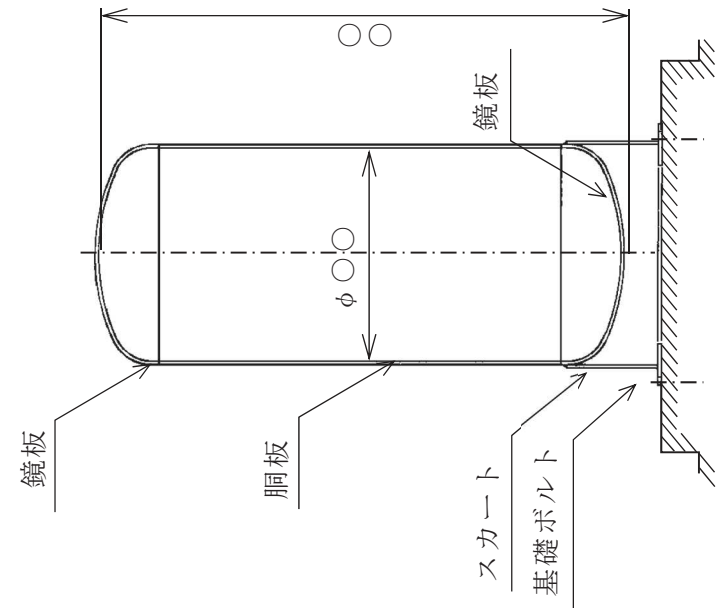
目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
4.2.2 許容応力	3
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
4.3 計算条件	3
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

↑

・DB+SA の場合の記載例を示す。
[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>胴をスカートで支持し、スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>たて置円筒形（上面及び下面に鏡板を有するスカート支持たて置円筒形容器）</p>	 <p>鏡板</p> <p>胴板</p> <p>鏡板</p> <p>スカート</p> <p>基礎ボルト</p>
<p>機器の具体的な構造や型式，据付方法が分かるような説明を記載する。</p>		<p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇空気だめの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇空気だめの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

〇〇〇〇空気だめの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

〇〇〇〇空気だめの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇空気だめの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

・ DB+SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備 〇〇〇〇空気だめ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備 〇〇〇〇空気だめ	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	重大事故等*2 クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} としてV _{AS} の許容限界を用 いる。)

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

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

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

該当する設備分類のみ記載する。

- ・ DB+SA の場合を示す。
- ・ DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2，3 容器）
- ・ SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 容器）とする。

表 4-3 許容応力（クラス 2，3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

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

注記*1：座屈による評価は，クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

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

・ DB+SA の場合は，V_{AS} を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

- DB+SA の場合を示す。
- DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2, 3 容器）
- SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 容器）とする。

表 4-4 許容応力（クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
III _{AS}	引張り	せん断
	1.5・f _t	1.5・f _s
IV _{AS}	1.5・f _t *	1.5・f _s *
	V _{AS}	

(V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。)

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

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

- DB + SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施する場合は追記する。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

III.Sの評価をS_sで実施した場合は、震度に「-」*2)を付記し、注記を以下のとおり書き換える。
 注記*2: III.Sについては、基準地震動S_sで評価する。

【○○○○空気だめの耐震注記についての計算結果】

- 設計基準対象施設
- 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
○○○○空気だめ	S	○○建屋 O.P. (O.P.)			-*2)	-*2)	C _H =	C _V =		

注記*1: 基準レベルを示す。
 *2: III.Sについては、基準地震動S_sで評価する。

基準レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
 例: 基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2 機器要目

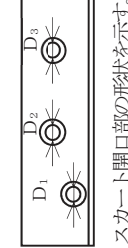
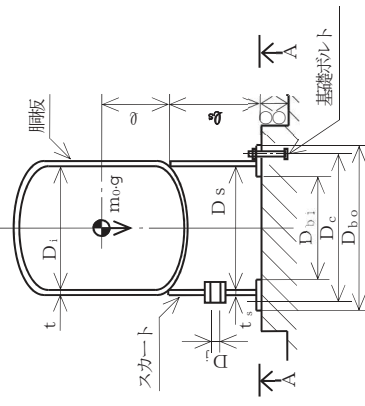
m ₀ (kg)	m _e (kg)	D ₁ (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
		D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s (mm)	n	D _c (mm)	D _{b0} (mm)	
D _{b1} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	

S _y (同板) (MPa)	S _u (同板) (MPa)	S (同板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	-	*2	[厚さ ≤ mm]	[厚さ ≤ mm]	
S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)			
*2	*2					

注記*1: 最高使用温度で算出
 *2: 周囲環境温度で算出
 厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。



スカート開口部の形状を示す。

ボルト径を記載する。

本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。なお、DB+SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

III_{AS}の評価をS_sで実施した場合は、1.3項の算出値に「-」を付記し、注記を以下のとおり記載する。
 注記*：III_{AS}については、基準地震動S_sで評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般動応力

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	-
運転時質量による引張応力	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 2} =$	-
鉛直方向地震による引張応力	-	$\sigma_{x 5} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	-
空質量による圧縮応力	-	$\sigma_{x 3} =$	-	-	$\sigma_{x 3} =$	-
鉛直方向地震による圧縮応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-
水平方向地震による応力	-	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	-	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi} =$	-	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{xt} =$	-
	圧縮側	$\sigma_{\phi} =$	-	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{xc} =$	-
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0,t} =$	-	$\sigma_{0,t} =$	-	-
	圧縮	-	-	-	-	-

(単位：MPa)

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	-
鉛直方向地震による圧縮応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-
水平方向地震による応力	-	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	-	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} =$	-	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	-
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	-	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	-
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2,t} =$	-	$\sigma_{2,t} =$	-	-
	圧縮	$\sigma_{2,c} =$	-	$\sigma_{2,c} =$	-	-

(単位：MPa)

1.3.2 スカートに生じる応力

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s 3} =$		$\sigma_{s 3} =$	
水平方向地震	$\sigma_{s 2} =$		$\sigma_{s 2} =$	
による応力	$\tau_s =$	$\tau_s =$	$\tau_s =$	$\tau_s =$

(単位：MPa)

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
$\sigma_b =$	$\tau_b =$	$\sigma_b =$	$\tau_b =$

(単位：MPa)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

III_sSの評価をS_sで実施した場合は、算出応力は基準地震動S_sによる算出値を「〇〇*2」と記載し、注記を以下のとおりとする。
注記*2：基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次十二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		組合せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
スカート		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_s + \sigma_{s,b})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s,2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_s + \sigma_{s,b})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s,2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_s + \sigma_{s,b})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s,2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s,2}}{f_b} \leq 1$
			(無次元)	(無次元)		
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ *1	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ *1
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

注記*1 $\sqrt{f_{ts}} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$ より算出

*2：基準地震動S_sによる算出値

すべて許容応力以下である。

【SA 単独の場合】

本フオーマットを使用する。ただし、章番を1とする。

【○○○○空気のための耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対策設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び寸法面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		最高使用圧力 (MPa)		最高使用温度 (°C)		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
○○○○空気ため	常設/防止 (OB 拡張)	○○建屋 O.P. * (O.P.)									
	常設/緩和 (OB 拡張)										

固有周期が、0.05s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。
*○：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

注記*：基準レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D ₁ (mm)	t	D _s (mm)	t _s (mm)	E	E _s (MPa)	G	G _s (MPa)
∅	∅ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b0} (mm)	
D _{b1} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)					
	(M)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度					

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	—	*2	*2	—	
			(厚さ ≤ mm)	(厚さ ≤ mm)		

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	
(mm < 径 ≤ mm)	(mm < 径 ≤ mm)		

注記*1：最高使用温度で算出

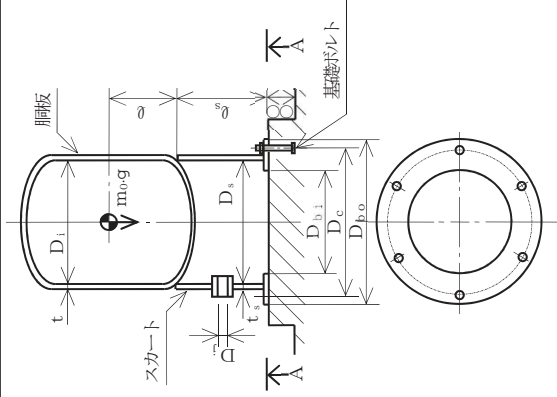
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

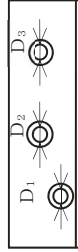
オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

基準レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用



A~A'断面図



スカート開口部の形状を示す。

ボルト径を記載する。

本図は、原則として「機器要目」の箇所記載するものとする。ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。なお、DB+SA の場合は、SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般動応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	$\sigma_{\phi 1}$	$\sigma_{x 1}$
運転時質量による引張応力	—	—	—	$\sigma_{x 2}$
鉛直方向地震による引張応力	—	—	$\sigma_{\phi 2}$	$\sigma_{x 5}$
空質量による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{x 3}$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{x 6}$
水平方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{x 4}$
応力の和	引張側	—	σ_{ϕ}	$\sigma_{x t}$
	圧縮側	—	σ_{ϕ}	$\sigma_{x c}$
組合せ応力	引張り	—	$\sigma_{0 t}$	—
	圧縮	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	$\sigma_{\phi 2}$	$\sigma_{x 5}$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{x 6}$
水平方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{x 4}$
応力の和	—	—	$\sigma_{2\phi}$	$\sigma_{2x t}$
	—	—	$\sigma_{2\phi}$	$\sigma_{2x c}$
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	$\sigma_{2 t}$	—
	圧縮	—	$\sigma_{2 c}$	—

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s 1}$	σ_s
鉛直方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s 3}$	σ_s
水平方向地震	—	—	$\sigma_{s 2}$	σ_s
による応力	—	—	τ_s	—

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
引張応力	—	—	σ_b	—
せん断応力	—	—	—	τ_b

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	-	-	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次十二次	-	-	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		組合せ	-	-	$\sigma_s =$	$f_t =$
スカート		圧縮と曲げの組合せ	-	-	$\frac{\eta \cdot (\sigma_s + \sigma_b)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_s}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	-	-	(無次元)	
基礎ボルト		引張り	-	-	$\sigma_b =$	$f_{t,s} = *$
		せん断	-	-	$\tau_b =$	$f_{s,b} =$

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

すべて許容応力以下である。

添付資料-3 : 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例)

VI-○-○-○ ○○○ポンプの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、〇〇〇ポンプは、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプと類似の構造であるため、添付書類「VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB+SA の場合の記載例を示す。

[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれ該当する項目のみ記載する。]

2.1 配置概要

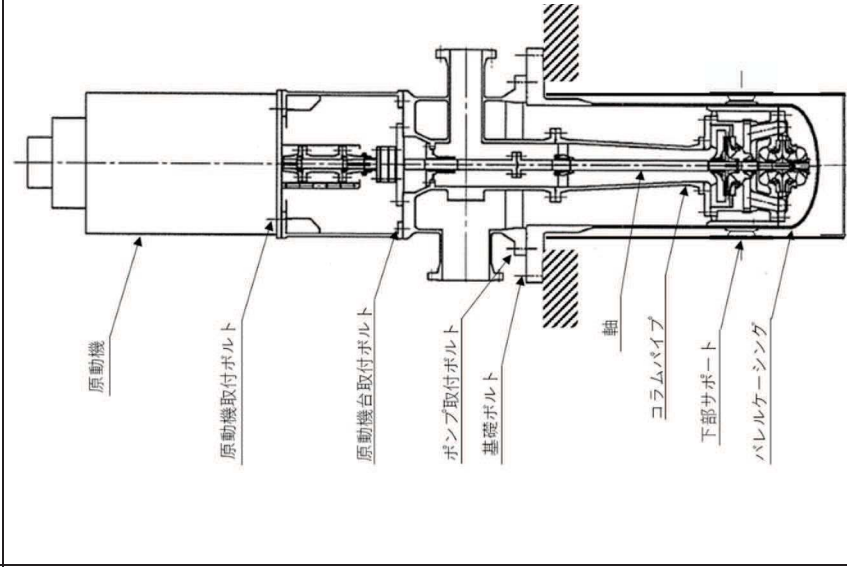
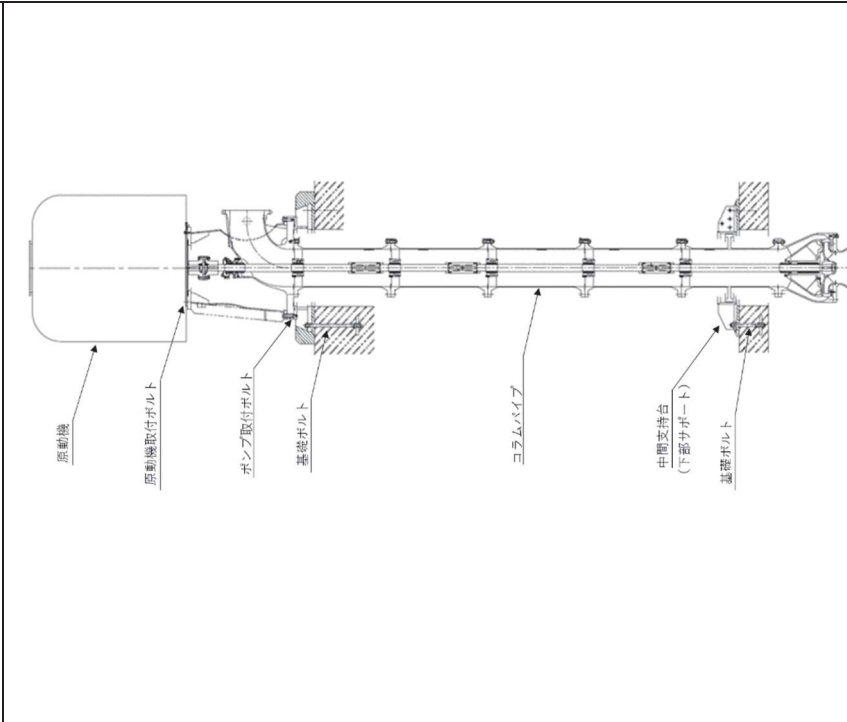
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、

「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用規格・基準等」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p> <p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>主体構造</p> <p>ピットバレル形（ピットバレル型たて軸ポンプ）</p> <p>ターボ形（ターボ型たて軸ポンプ（海水ポンプ））</p>		
<p>機器の具体的な構造や型式、据付方法が分かるような説明を記載する。</p>	<p>↑</p>	<p>【ピットバレル形たて軸ポンプ】</p>	<p>【ターボ形たて軸ポンプ（海水ポンプ）】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇ポンプの構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

〇〇〇ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

・ DB+SA の場合の記載例を示す。

[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備	S	クラス2ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}

注記*：クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として Ⅳ _{AS} の許容限界 を用いる。)

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

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

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

該当する設備分類のみ記載する。

- DB+SA の場合を示す。
- DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2, 3 ポンプ）
- SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 ポンプ）とする。

表 3-3 許容応力（クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ）

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

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

- DB+SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされれている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

- DB+SA の場合を示す。
- DB 単独の場合は，許容応力（クラス 2, 3 支持構造物）
- SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

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

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

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

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

- DB+SA の場合は，V_AS を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
バレルケーシング	○○ (mm < 厚さ ≤ mm)	最高使用温度	—			—
コラムパイプ	○○ (mm < 厚さ ≤ mm)	最高使用温度	—			—
基礎ボルト	○○* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度	—			—
ポンプ取付ボルト	○○* (mm < 径 ≤ mm)	最高使用温度	—			—
原動機台取付ボルト	○○* (mm < 径 ≤ mm)	最高使用温度	—			—
原動機取付ボルト	○○* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度	—			—

注記* : ○○○○相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は、設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS以外の規格に基づき材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	最高使用温度				
バレルケーシング	○○ (mm<厚さ≦ mm)			—			—
コラムパイプ	○○ (mm<厚さ≦ mm)			—			—
基礎ボルト	○○* (mm<径≦ mm)			—			—
ポンプ取付ボルト	○○* (mm<径≦ mm)			—			—
原動機台取付ボルト	○○* (mm<径≦ mm)			—			—
原動機取付ボルト	○○* (mm<径≦ mm)			—			—

注記*：○○○○相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

3.3 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【〇〇〇ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。解析コードは、「〇〇〇」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に、振動モード図を図 3-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			X	Y	
1 次	水平方向				
...	鉛直方向				
n 次	水平方向				
n+1 次	水平方向		-	-	-

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

適用する刺激係数について記載する。固有周期が 0.05 秒以下となる方向については「-」とする。

n 次までは固有周期が 0.050s より長いモード、n + 1 次は固有周期が 0.050 s 以下のモードを示す。

柔構造の場合は、振動モード図を記載する。

図 3-1 振動モード（1 次モード 水平方向 〇.〇〇 s）

3.5 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 に示す。

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

表 3-8 設計用地震力

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		減衰定数 (%)	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
〇〇建屋 O.P. *1 (O.P.)			$C_H =$ 又は*2	$C_V =$	$C_H =$ 又は*3	$C_V =$		

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

適用する減衰定数について記載する。固有周期が 0.05 以下となる方向については「-」とする。

III_{AS} の評価を S_s で実施する場合、表中は「-*2」とし、*2 は「 III_{AS} については、基準地震動 S_s で評価する」と書き替える。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。

例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

表 3-8 設計用地震力

据付場所及び床面高さ (m)		○○建屋 0.P. ○○* ¹ (0.P. ○○)					
固有周期 (s) * ²		水平 :		鉛直 :			
減衰定数 (%)		水平 :		鉛直 :			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 * ³		応答鉛直震度 * ³	応答水平震度 * ⁴		応答鉛直震度 * ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次							
.....							
n 次							
n+1 次							
動的地震力 * ⁵							
静的地震力 * ⁶							

注記 *1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載。

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

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

*5 : S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度 (1.2・ZPA) より定めた震度を示す。

*6 : 静的震度 (3.6・C_i 及び 1.2・C_v) を示す。

n 次までは固有周期が 0.050s より長いモード、n+1 次は固有周期が 0.050s 以下のモードを示す。

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施した場合は、震度に「-*³」を付記し、注記を以下のとおり書き換える。
注記 *3 : Ⅲ_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

柔なポンプの場合は本表を用いる。

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

〇〇〇ポンプの地震後の動的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

〇〇〇ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	〇〇〇〇 ポンプ	水平方向	
		鉛直方向	
原動機	立形〇〇〇〇 軸受電動機	水平方向	
		鉛直方向	

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

III,Sの評価をS_sで実施した場合は、震度に「—*2」を付記し、注記を以下のとおり書き換える。
注記*2：III,Sについては、基準地震動S_sで評価する。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば区別せず、最高使用圧力を記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境		最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			鉛直方向	設計震度	温度	吸込側
○○○○ポンプ		○○建屋 O.P. (O.P.)			水平方向 設計震度 C _H = 又は*2	鉛直方向 設計震度 C _V = 又は*2	水平方向 設計震度 C _H = 又は*3	鉛直方向 設計震度 C _V = 又は*3	C _p =					

注記*1：基準床レベルを示す。
*2：弾性設計用地震動S_dに基づく設計用床応答曲線より得られる値
*3：基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線より得られる値

1.2 機器要目
(1) ボルト
基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				—	*2 (径≤mm)	*2 (径≤mm)		
ポンプ取付ボルト (i=2)			(M)					*1 (径≤mm)	*1 (径≤mm)		
原動機台取付ボルト (i=3)			(M)					*1 (径≤mm)	*1 (径≤mm)		
原動機取付ボルト (i=4)			(M)					*2 (径≤mm)	*2 (径≤mm)		

注記*1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

ボルト径を記載する。

M_pが生じない場合は“—”とする。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。
(バレルケーシング、コラムパイプについても同様とする。)

(2) バレルケーシング、コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—*	*	*		
コラムパイプ	—*	*	*		

注記*：最高使用温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

H _p (μm)	N (rpm)
---------------------	---------

III_s の評価を S_s で実施した場合は、1.3 項の算出値に「-＊」を付記し、注記を以下のとおり記載する。
 注記＊：III_s については、基準地震動 S_s で評価する。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b<i>i</i>} (N)		Q _{b<i>i</i>} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

(2) パレルケーシング、コラムパイプに作用する力
 (単位：N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
パレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	固有周期
水平 1 次	T _{H1} =
鉛直 1 次	T _{V1} = 0.05 以下

III_s の評価を S_s で実施した場合は、算出応力は基準地震動 S_s による算出値を「○○＊」と記載し、注記を以下のとおりとする。
 注記＊○：基準地震動 S_s による算出値

1.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	σ _{b1} =	f _{ts1} = *1	σ _{b1} =	f _{ts1} = *1
		せん断	τ _{b1} =	f _{sb1} =	τ _{b1} =	f _{sb1} =
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	σ _{b2} =	f _{ts2} = *1	σ _{b2} =	f _{ts2} = *1
		せん断	τ _{b2} =	f _{sb2} =	τ _{b2} =	f _{sb2} =
原動機台取付ボルト (i=3)		引張り	σ _{b3} =	f _{ts3} = *1	σ _{b3} =	f _{ts3} = *1
		せん断	τ _{b3} =	f _{sb3} =	τ _{b3} =	f _{sb3} =
原動機取付ボルト (i=4)		引張り	σ _{b4} =	f _{ts4} = *1	σ _{b4} =	f _{ts4} = *1
		せん断	τ _{b4} =	f _{sb4} =	τ _{b4} =	f _{sb4} =

すべて許容応力以下である。

注記＊1：f_{ts*i*} = Min[1.4・f_{ti-1.6}・τ_{bi}・f_{ts*i*}]より算出

*2：基準地震動 S_s による算出値

1.4.3 パレルケーシング、コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	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
パレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ =	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ =
		基準地震動 S _s	σ =	基準地震動 S _s	σ =
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ =	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	σ =
		基準地震動 S _s	σ =	基準地震動 S _s	σ =

すべて許容応力以下である。

注記＊：基準地震動 S_s による算出値

1.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

・水平方向は、ポンプにあつてはコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度のどちらか大きい方を記載する。
 ・鉛直方向は、設計用最大応答加速度を記載する。

注記*：基準地震動 S s により定まる応答加速度を設定する。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（1.0・ZPA）を設定する。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度 \leq 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
 ※：機能維持評価用加速度 $>$ 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

○ 2 ○ ○ VI-○○-○○-○ R 0

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

【SA 単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。ただし、章番号を1.とする。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向				吸入側	吐出側
○○○○ポンプ		○○建屋 O.P. (O.P.)											

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)
基礎ボルト (i = 1)			(M)				—	*2 (径 ≤ mm)	*2 (径 ≤ mm)	—	—
ポンプ取付ボルト (i = 2)			(M)					*1 (径 ≤ mm)	*1 (径 ≤ mm)	—	—
原動機台取付ボルト (i = 3)			(M)					*1 (径 ≤ mm)	*1 (径 ≤ mm)	—	—
原動機取付ボルト (i = 4)			(M)					*2 (径 ≤ mm)	*2 (径 ≤ mm)	—	—

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

M_pが生じない場合は「—」とする。

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

H _P (μm)	N (rpm)

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は「—」とする。

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	* (mm < 厚さ ≤ mm)	*		
コラムパイプ	—	* (mm < 厚さ ≤ mm)	*		

注記*：最高使用温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。
(バレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b,i} (N)		Q _{b,i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	-	-	-	-	-	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	-	-	-	-	-	-
原動機台取付ボルト (i=3)	-	-	-	-	-	-
原動機取付ボルト (i=4)	-	-	-	-	-	-

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		
2次		

(2) バレルケーシング、コラムパイプに作用する力
(単位：N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	-	-
コラムパイプ	-	-

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	-	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	-	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	-	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	-	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機台取付ボルト (i=3)		引張り	-	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	-	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機取付ボルト (i=4)		引張り	-	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	-	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

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

2.4.3 バレルケーシング、コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	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
バレルケーシング		-	$\sigma =$	-	$Sa =$
コラムパイプ		-	$\sigma =$	-	$Sa =$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

- ・水平方向は、ポンプにあってはコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度
又は設計用最大応答加速度のどちらか大きい方を記載する。
- ・鉛直方向は、設計用最大応答加速度を記載する。

注記*：基準地震動Ssにより定まる応答加速度を設定する。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度
又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
※：機能維持評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

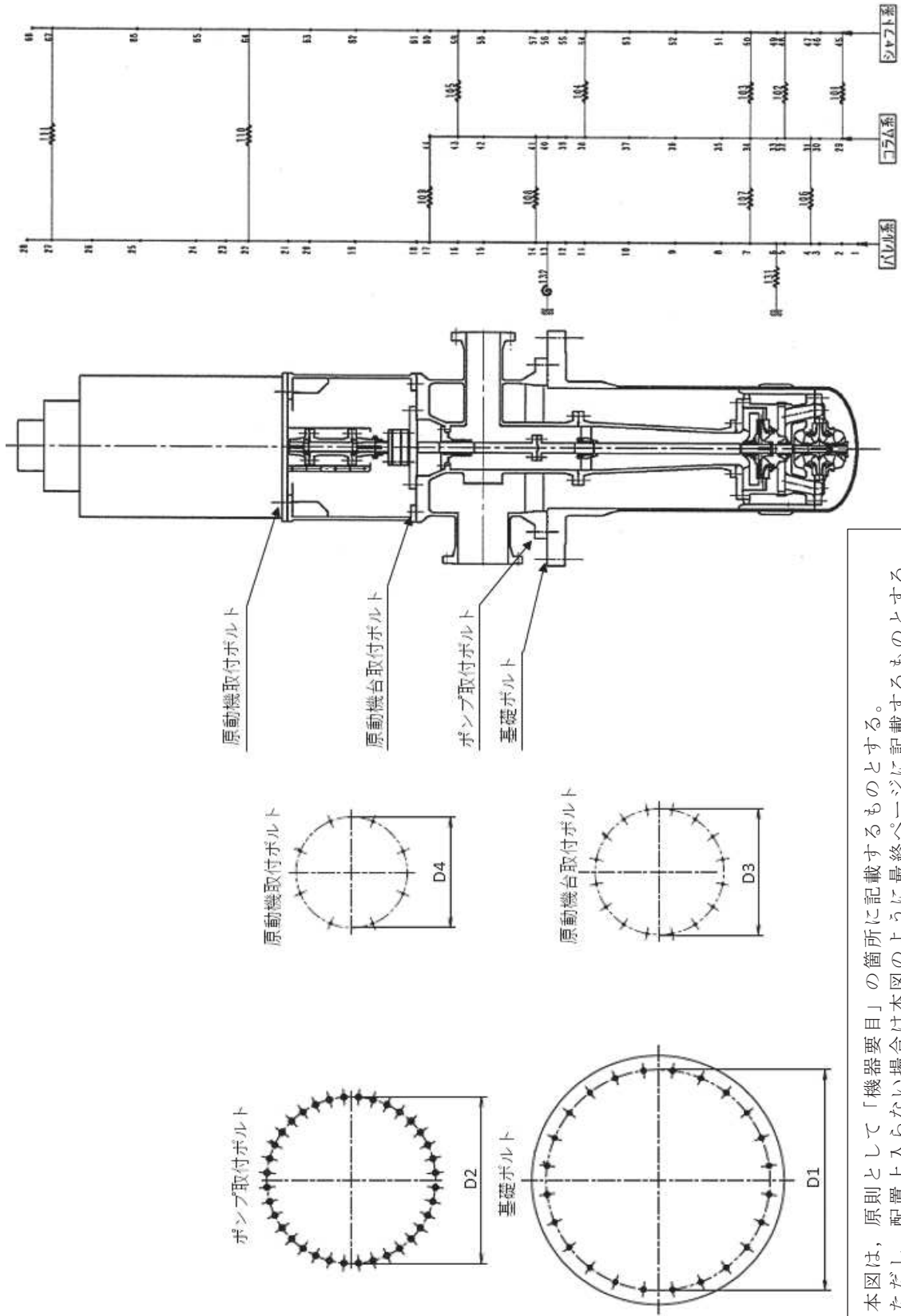
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度(°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比(-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
 なお、DB+SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-4：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「盤」の耐震計算書記載例)

VI-○-○-○ ○○○○盤の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
3.	固有周期	3
3.1	固有周期の算出方法	3
4.	構造強度評価	4
4.1	構造強度評価方法	4
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2	許容応力	4
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	4
4.3	計算条件	4
5.	機能維持評価	8
5.1	電氣的機能維持評価方法	8
6.	評価結果	9
6.1	設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2	重大事故等対処設備としての評価結果	9

↑

・ DB+SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

主体構造について
基本方針に記載の形状 + (盤を構成する部材等, 具体的に記載する。)

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図																	
基礎・支持構造	主体構造	正面 (横)	側面 (たて)																
<p>〇〇〇〇盤は, 基礎に埋め込まれた後打ち金物で固定されたチャンネルベースに, 取付ボルトで設置する。</p>	<p>直立形 / 壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型 / 壁掛形の盤) / ベンチ形 (鋼材及び鋼板を組み合わせたベンチ形の操作卓)</p>																		
<p>標準的な基礎・支持構造の分類 (実機ベースで記載)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ベンチ形・直立形 (埋込金物 + 取付ボルト) の場合に取付ボルトで設置する。 ⇒ 評価対象: 取付ボルト ・ベンチ形・直立形 (基礎ボルト + 取付ボルト) の場合に取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは後打ち金物と基礎ボルトにて基礎に固定する。 ⇒ 評価対象: 基礎ボルト及び取付ボルト ・壁掛形 (埋込金物 + 取付ボルト) の場合に取付ボルトで設置する。 ⇒ 評価対象: 取付ボルト ・壁掛形 (基礎ボルト + 取付ボルト) の場合に取付ボルトにてチャンネルベースに取付ボルトで固定する。チャンネルベースは壁に基礎ボルトで固定する。 ⇒ 評価対象: 基礎ボルト及び取付ボルト 	<p>〇〇〇〇盤は, 基礎に埋め込まれたチャンネルベースに, 取付ボルトで設置する。</p>	<table border="1"> <tr> <td>ケミカルアンカ</td> <td>〇〇盤</td> <td>〇〇盤</td> <td>〇〇盤</td> </tr> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>(単位: mm)</p>	ケミカルアンカ	〇〇盤	〇〇盤	〇〇盤	たて				横				高さ				<p>【後施工アンカの場合】 基礎ボルトが後施工の場合は, アンカの種類 (メカニカルアンカ又はケミカルアンカ) を記載する。</p> <p>・盤の外形寸法を記載 (表記はサイズ違いが複数ある場合)。</p>
ケミカルアンカ	〇〇盤	〇〇盤	〇〇盤																
たて																			
横																			
高さ																			

固有周期の記載については、加振試験（掃引試験）、打振試験（自由振動試験）にて求める場合、構造が同様な他計器の結果から判断する場合のいずれかを記載する。



3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

振動試験装置により固有振動数（共振振動数）を測定する。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期（単位：s）

水平方向	鉛直方向

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出方法

プラスチックハンマ等により当該装置に振動を与え、自由減衰振動を振動計により記録解析し、共振振動数を算出する。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期（単位：s）

水平方向	鉛直方向

3. 固有周期

〇〇〇〇盤の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤（加振試験 or 打振試験）の測定結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛とする。固有周期を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期（単位：s）

水平方向	鉛直方向

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III_{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇〇盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

該当する設備分類のみ記載する。

・DB+SA の場合を示す。
 ・DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
 ・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

・DB+SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)
基礎ボルト (i=1)	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度			-
取付ボルト (i=2)	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度			-

注記*：〇〇〇〇相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)
基礎ボルト (i=1)	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度			-
取付ボルト (i=2)	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度			-

注記*：〇〇〇〇相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇盤の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

〇〇〇〇盤に設置される検出器の機能維持確認済加速度は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の盤単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇盤	水平方向	
	鉛直方向	

加振試験を根拠として、電氣的機能維持評価を示す場合、加振試験の概要が分かるよう記載する。

【フオーマット I 直立形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【0000盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

- 同様の構造の盤で確認している場合 (盤等の電気計装品)
- 加振試験及び固有値解析にて柔な領域に固有周期が無いことを確認した設備
- JEAG 等, 文献において十分に剛であることが明確な場合
- 構造等から技術的に剛であることが判断できる場合
- 加振試験, 打振試験, 固有値解析, 理論式による算出を実施している場合

(例)

0.05 以下	0.05 以下
-	-
0.031	0.015

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
0000盤	S	0.P. (O.P.) ○○建屋			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: III_{A,S} については, 基準地震動 S_s で評価する。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は, 設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例: 基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

III_{A,S} の評価を S_s で実施した場合は, 震度に「-」を付記し, 注記を以下のとおり書き換える。
注記*2: III_{A,S} については, 基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	θ _{1i} *1 (mm)	θ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *1
基礎ボルト (i=1)	*2				(M)			
取付ボルト (i=2)	*2				(M)			

ボルト径を記載する。

厚さ, 径等による強度区分がある場合は, 該当する強度区分を記載する。

部材	S _{v,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
	(厚さ ≤ mm)	(厚さ ≤ mm)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)		(厚さ ≤ mm)				
取付ボルト (i=2)		(厚さ ≤ mm)				

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

*2: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

III_{A,S} の評価を S_s で実施する場合は「-」とする。

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施した場合は、1.3項の算出値に「-＊」を付記し、注記を以下のとおり記載する。
 注記＊：Ⅲ_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施した場合は、算出出力は基準地震動S_sによる算出値を「○○＊2」と記載し、注記を以下のとおりとする。
 注記＊2：基準地震動S_sによる算出値

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *1	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *1
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *1	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *1
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記＊1： $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 4.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

＊2：基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
○○○○盤	水平方向		
	鉛直方向		

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

- ・同様の構造の盤で確認している場合（盤等の電気計装品）
- ・加振試験及び固有値解析にて柔な領域に固有周期が無いことを確認した設備
- ・JEAG等、文献において十分に剛であることが明確な場合
- ・構造等から技術的に剛であることが判断できる場合
- ・加振試験、打振試験、固有値解析、理論式による算出を実施している場合

(例)

0.05以下	0.05以下
—	—
0.031	0.015

【SA 単独の場合】
本ソフトウェアを使用する。ただし、章番を 1. とする。

【フオーマット II 直立形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】
【0000盤の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備
2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
0000盤		0000建屋* O.P. (O.P.)			—	—	C _H =	C _V =	

注記*：基準床レベルを示す。
基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	θ _{1i} *1 (mm)	θ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *1
基礎ボルト (i=1)		*2			(M)			
取付ボルト (i=2)		*2			(M)			

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

部材	S _{yⁱ} (MPa)	S _{uⁱ} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
	(厚さ ≤ mm)	(厚さ ≤ mm)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	(厚さ ≤ mm)	(厚さ ≤ mm)	—		—	
取付ボルト (i=2)	(厚さ ≤ mm)	(厚さ ≤ mm)	—		—	

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

*2：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

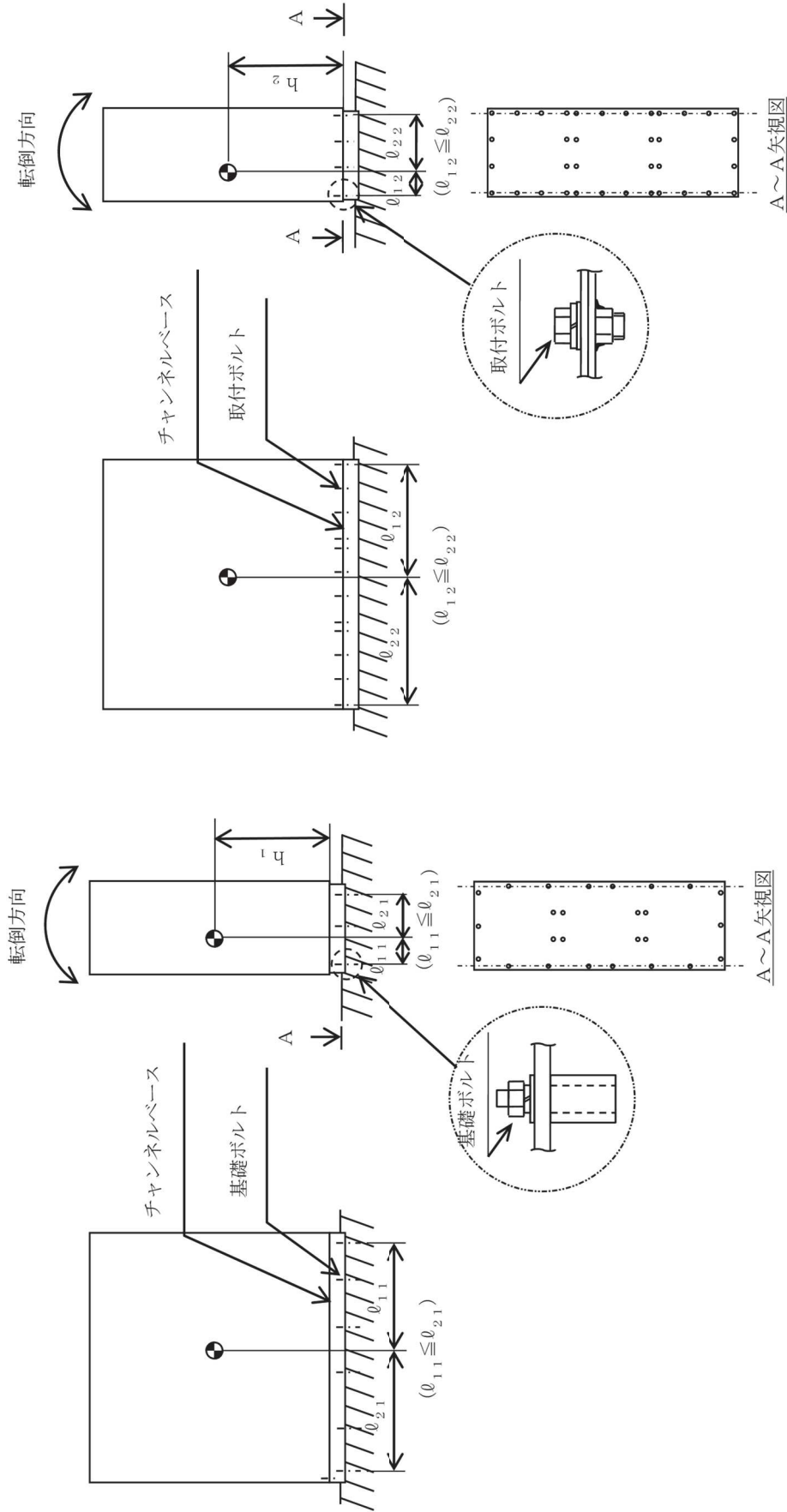
すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認加速度
○○○○盤	水平方向		
	鉛直方向		

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



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
 なお、DB+SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-5：機能維持評価で詳細検討を実施する場合
(機能維持評価用加速度 > 機能確認済加速度)

VI-〇-〇-〇 〇〇〇〇ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
3.	構造強度評価	3
3.1	構造強度評価方法	3
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2	許容応力	3
3.2.3	使用材料の許容応力評価条件	3
3.3	計算条件	3
4.	機能維持評価	7
4.1	基本方針	7
4.2	ポンプの動的機能維持評価	8
4.2.1	評価対象部位	8
4.2.2	評価基準値	8
4.2.3	記号の説明	9
4.2.4	評価方法	10
4.3	原動機の動的機能維持評価	12
4.3.1	評価対象部位	12
4.3.2	評価基準値	12
4.3.3	記号の説明	13
4.3.4	評価方法	14
5.	評価結果	16
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	16
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	16

・DB+SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

機能維持評価で詳細評価が必要な場合は、目次構成に本項目を追加するものとする。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>往復形 (横形3連往復式横軸ポンプ) ↑</p> <div data-bbox="667 1413 847 1787" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>機器の具体的な構造や型式、据付方法が分かるような説明を記載する。</p> </div>	<p>The diagram shows a cross-section of a pump assembly. From left to right, it consists of a pump (ポンプ), a pump base (ポンプベース), a reduction gear (減速機), and a prime mover (原動機). The pump and pump base are connected to the reduction gear, which is connected to the prime mover. The pump base is mounted on a foundation (基礎) using pump mounting bolts (ポンプ取付ボルト). The reduction gear is mounted on the foundation using reduction gear mounting bolts (減速機取付ボルト). The prime mover is mounted on the foundation using prime mover mounting bolts (原動機取付ボルト). The foundation is secured with foundation bolts (基礎ボルト). Dimensions are indicated with circles (○○○).</p>

(単位：mm)

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備	S	クラス2ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*：クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇〇ポンプ	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限 界を用いる。)

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

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

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

該当する設備分類のみ記載する。

・DB+SA の場合を示す。
 ・DB 単独の場合は，許容応力（クラス2，3 支持構造物）
 ・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス2 支持構造物）とする。

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

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

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

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

・DB+SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

表3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		
		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—
ポンプ取付ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—
原動機取付ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—
減速機取付ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—

注記* : 〇〇〇〇相当

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

表3-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		
		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—
ポンプ取付ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—
原動機取付ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—
減速機取付ボルト	〇〇* (mm < 径 ≤ mm)			—

注記* : 〇〇〇〇相当

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

〇〇〇〇ポンプは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の往復動式ポンプであり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度（1.0ZPA）を設定する。

(1) 原動機は横形ころがり軸受電動機であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されている往復動式ポンプ及び原動機の機能確認済加速度を適用する。

本項目は原動機の機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることがない場合に記載する。原動機も機能確認済加速度を上回る場合は(1)を削除し、4.1基本方針に記載する「〇〇〇〇ポンプは、」を「〇〇〇〇ポンプ及び原動機は、」に修正する。

評価に用いる機能維持評価用加速度について記載する。

4.2 ポンプの動的機能維持評価

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の往復動式ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト，ポンプ本体取付ボルト，減速機取付ボルト
- b. コネクティングロッド軸受
- c. クランク軸
- d. クランク軸受
- e. 動弁機構及び弁シート面
- f. 減速機軸受
- g. 減速機軸
- h. 減速機歯車
- i. 軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

このうち「a. 基礎ボルト，ポンプ本体取付ボルト，減速機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。また、「g. 減速機軸」及び「h. 減速機歯車」は一体構造となっているため、弱部となる歯車の強度評価に軸の強度評価も含め評価している。

以上より、本計算書においては、コネクティングロッド軸受，クランク軸，クランク軸受，動弁機構及び弁シート面，減速機軸受，減速機軸（歯車）及び軸継手（原動機～減速機～ポンプ）を評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

クランク軸の許容応力は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。また、コネクティングロッド軸受，クランク軸受，減速機軸受，動弁機構及び弁シート面についてはメーカ規定の許容値を，減速機軸（歯車）については，許容面圧を，軸継手については，変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位ごとの評価基準値を記載する。

J E A G 4 6 0 1 で規定している評価対象部位を全て記載し，評価対象外として整理した部位がある場合は，その理由を記載する。

（例）「○. 軸継手」は，軸受がボールベアリングでありサイドスラスト荷重が発生しない構造であるため，評価対象外とする。

4.2.3 記号の説明

〇〇〇〇ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表4-1に示す。

表4-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F _R	クランク軸に生じるラジアル荷重	
Q _{CS}	クランク軸に生じるスラスト荷重	
F _B	大端部, 小端部及びクロスヘッドガイド部の軸受に生じる荷重	
A _{LB}	コネクティングロッド大端部軸受の投影面積	
A _{SB}	コネクティングロッド小端部軸受の投影面積	
A _{CB}	クロスヘッドガイド部軸受の投影面積	
P _{LB}	大端部軸受面圧	
P _{SB}	小端部軸受面圧	
P _{CB}	クロスヘッドガイド部軸受面圧	

ポンプの詳細評価に使用する記号の説明を記載する。

4.2.4 評価方法

(1) コネクティングロッド軸受

各軸受に地震力が作用することにより発生する面圧を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

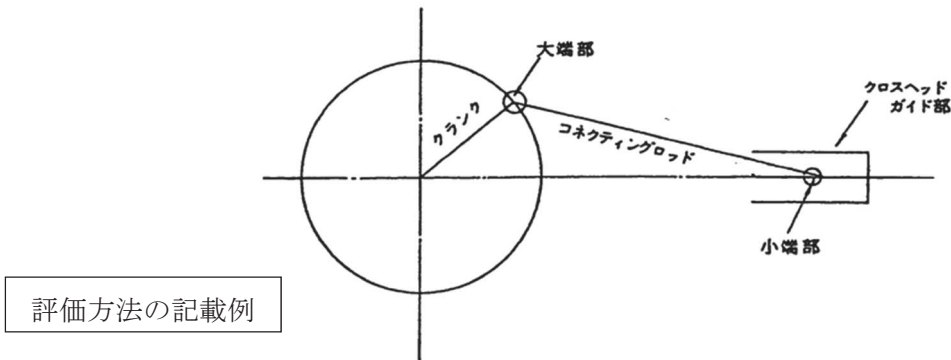


図 4-1 コネクティングロッド軸受の計算モデル

各軸受に生じる面圧は次式で求める。

大端部軸受面圧 $P_{LB} = \frac{F_B}{A_{LB}} \dots \dots \dots (4.2.4.1)$

小端部軸受面圧 $P_{SB} = \frac{F_B}{A_{SB}} \dots \dots \dots (4.2.4.2)$

クロスヘッドガイド部軸受面圧 $P_{CB} = \frac{F_B}{A_{CB}} \dots \dots \dots (4.2.4.3)$

ここで、各軸受に生じる荷重 F_B は

$$F_B = \sqrt{F_R^2 + Q_{CS}^2} \dots \dots \dots (4.2.4.4)$$

RO
0
VI
0
0
2
0

4.3 原動機の動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレーム及び軸継手を評価対象部位とする。なお、軸継手においては、ポンプの動的機能維持評価に含まれている。

4.3.2 評価基準値

固定子、軸（回転子）、端子箱及びモータフレームの許容応力は、クラス2ポンプの許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランス及び軸継手については、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位ごとの評価基準を記載する。

J E A G 4 6 0 1 で規定している評価対象部位を全て記載し、評価対象外の部位がある場合は、その理由を記載する。

4.3.3 記号の説明

○○○○ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-2に示す。

表4-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
	<div data-bbox="592 669 1190 810" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;">原動機の詳細評価に使用する記号の説明を記載する。</div>	

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

評価モデル及び評価式等を記載する。

(2) 軸（回転子）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3) 端子箱

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4) 軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6) モータフレーム

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7) 軸継手

軸継手（原動機～減速機）の評価は、4.2.4(7)のポンプの動的機能維持評価に含まれている。

原動機の機能維持評価で詳細評価が不要な場合の記載例

4.3 原動機の動的機能維持評価

〇〇〇〇ポンプ用原動機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-3に示す。

表4-3 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	〇〇〇〇電動機	水平方向	
		鉛直方向	

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

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

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施する場合は追記する。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

動的機能維持の詳細評価が
必要な場合のみ本項目を追加する。

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
○○○○ポンプ	S	○○建屋 O.P. (O.P.)	—*2	—*2	C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	C _P =		

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

III_ASの評価を S_s で実施した場合は、震度に「—*3」を付記し、注記を以下のとおり書き換える。

注記*3: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

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

ボルト径を記載する。

部材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i = 1)	○○*3 (mm < 径 ≤ mm)	○○*3 (mm < 径 ≤ mm)					
ポンプ取付ボルト (i = 2)	○○*2 (mm < 径 ≤ mm)	○○*2 (mm < 径 ≤ mm)					
原動機取付ボルト (i = 3)	○○*2 (mm < 径 ≤ mm)	○○*2 (mm < 径 ≤ mm)					
減速機取付ボルト (i = 4)	○○*3 (mm < 径 ≤ mm)	○○*3 (mm < 径 ≤ mm)					

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

M_Pが生じない場合は” — ” とする。

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

*2: 最高使用温度で算出。

*3: 周囲環境温度で算出。

III_ASの評価を S_s で実施する場合は「—」とする。

予想最大振幅 (μm)	回転速度 (ポンプ) (rpm)	回転速度 (原動機) (rpm)
----------------	---------------------	---------------------

III_ASの評価をS_sで実施した場合は、1.1.3項の算出値に「-」を付記し、注記を以下のとおり記載する。

注記*：III_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				
減速機取付ボルト (i=4)				

注記*：III_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

III_ASの評価をS_sで実施した場合は、算出応力は基準地震動S_sによる算出値を「○○*」と記載し、注記を以下のとおりとする。
注記*2：基準地震動S_sによる算出値

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *1	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *1
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *1	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *1
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$ *1	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$ *1
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$ *1	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$ *1
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

注記*1： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0i}, 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t0i}]$ により算出

*2：基準地震動S_sによる算出値

すべて許容応力以下である。

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

機器名称	形式	定格容量 (m³/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	往復動式ポンプ		〇〇建屋 O.P. (O.P.)	—*2	—*2	C _H =	C _V =	C _P =		

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

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用原動機	〇〇〇〇電動機		〇〇建屋 O.P. (O.P.)	—*2	—*2	C _H =	C _V =	C _P =		

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

1.2.2 機器要目

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

動的機能維持の詳細評価が必要な機器要目を記載する。

		機能維持評価用加速度* (×9.8m/s²)	
ポンプ	水平方向		機能確認済加速度
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。
原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

原動機について、機能確認済加速度を超えていない時は、「原動機は、機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。」と記載する。

- 1.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価
- 1.2.3.2.1 代表評価項目の評価
 - 基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、減速機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。
 - 1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価
 - 1.2.3.2.2.1 コネクティングロッド軸受の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
コネクティングロッド大端部		
コネクティングロッド小端部		
クロスヘッドガイド部		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 クラシク軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
クラシク軸		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3 クラシク軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側		
反軸継手側		

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.4 動弁機構及び弁シート面の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
弁シート面		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.5 減速機軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
入力軸軸受		
中間軸軸受		
出力軸軸受		

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.6 減速機軸 (歯車) の評価 (単位：N)

評価部位	歯車の曲げ強さ		歯車の面圧強さ	
	発生荷重	許容荷重	発生荷重	許容荷重
1 段目 (入力側)	小歯車			
	大歯車			
2 段目 (出力側)	小歯車			
	大歯車			

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.7 軸継手の評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
減速機～ポンプ間		
減速機～原動機間		

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

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

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸 (回転子)		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り		
	せん断		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側		
反軸継手側		

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス		

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
モータフレーム	引張り		
	せん断		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.7 軸継手の評価
 原動機軸継手の評価は、「1.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。

【SA 単独の場合】
本ソフトウェアを使用する。ただし、章番を 1. とする。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価 ← 動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度			
○○○○ポンプ	常設耐震/防止	○○建屋 0.P. *1 (0.P.)	—*2	—*2	—	—	C _H =	C _V =	C _P =			

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (0.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.1.2 機器要目

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

ボルト径を記載する。

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	○○*3 (mm<径≤mm)	○○*3 (mm<径≤mm)	—	—	—		
ポンプ取付ボルト (i=2)	○○*2 (mm<径≤mm)	○○*2 (mm<径≤mm)	—	—	—		
原動機取付ボルト (i=3)	○○*2 (mm<径≤mm)	○○*2 (mm<径≤mm)	—	—	—		
減速機取付ボルト (i=4)	○○*3 (mm<径≤mm)	○○*3 (mm<径≤mm)	—	—	—		

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

M_pが生じない場合は”-”とする。

予想最大振幅 (μm)	回転速度 (ポンプ) (rpm)	回転速度 (原動機) (rpm)

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

*2：最高使用温度で算出。

*3：周囲環境温度で算出。

2.1.3 計算数値
2.1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i = 2)	—		—	
原動機取付ボルト (i = 3)	—		—	
減速機取付ボルト (i = 4)	—		—	

2.1.4 結論
2.1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i = 1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト (i = 2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト (i = 3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト (i = 4)		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

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

すべて許容応力以下である。

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

基準レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
○○○○ポンプ	往復動式ポンプ		○○○建屋 O.P. (O.P.)	水平方向 鉛直方向 —*2	水平方向設計震度 C _H =	鉛直方向設計震度 C _V =	C _P =		

注記*1: 基準レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
○○○○ポンプ用原動機	○○電動機		○○○建屋 O.P. (O.P.)	—*2	—*2	C _H =	C _V =	C _P =		

注記*1: 基準レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2.2 機器要目

動的機能維持の詳細評価が必要な機器要目を記載する。

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

ポンプ	機能維持評価用加速度*		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記*: 基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。

ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。
原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

原動機について、機能確認済加速度を超えていない時は、「原動機は、機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。」と記載する。

2.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

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

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 コネクティングロッド軸受の評価

評価部位	発生応力	許容応力
コネクティングロッド大端部		
コネクティングロッド小端部		
クロスヘッドガイド部		

(単位: MPa)

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 クランク軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
クランク軸		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3 クランク軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側		
反軸継手側		

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.4 動弁機構及び弁シート面の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
弁シート面		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.5 減速機軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
入力軸軸受		
中間軸軸受		
出力軸軸受		

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.6 減速機軸（歯車）の評価 (単位：N)

評価部位	歯車の曲げ強さ		歯車の面圧強さ	
	発生荷重	許容荷重	発生荷重	許容荷重
1 段目（入力側）	小歯車			
	大歯車			
2 段目（出力側）	小歯車			
	大歯車			

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.7 軸継手の評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
減速機～ポンプ間		
減速機～原動機間		

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価
 2.2.3.3.1 代表評価項目の評価
 原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価 (単位：MPa)

2.2.3.3.2.1 固定子の評価

評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
軸 (回転子)		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り		
	せん断		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側		
反軸継手側		

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

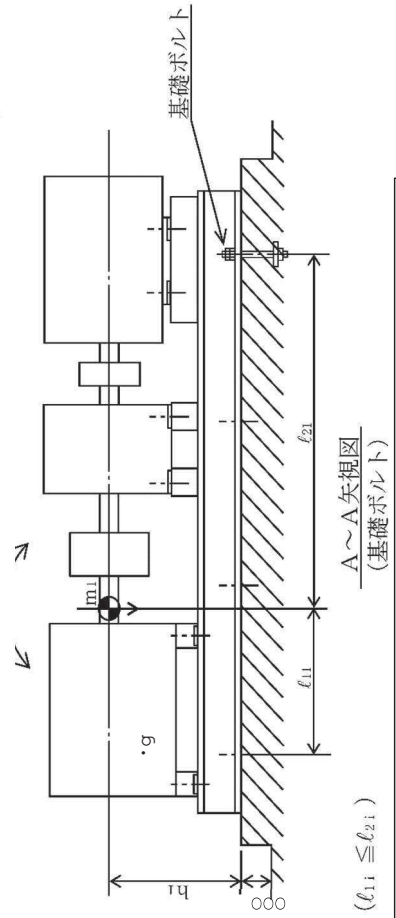
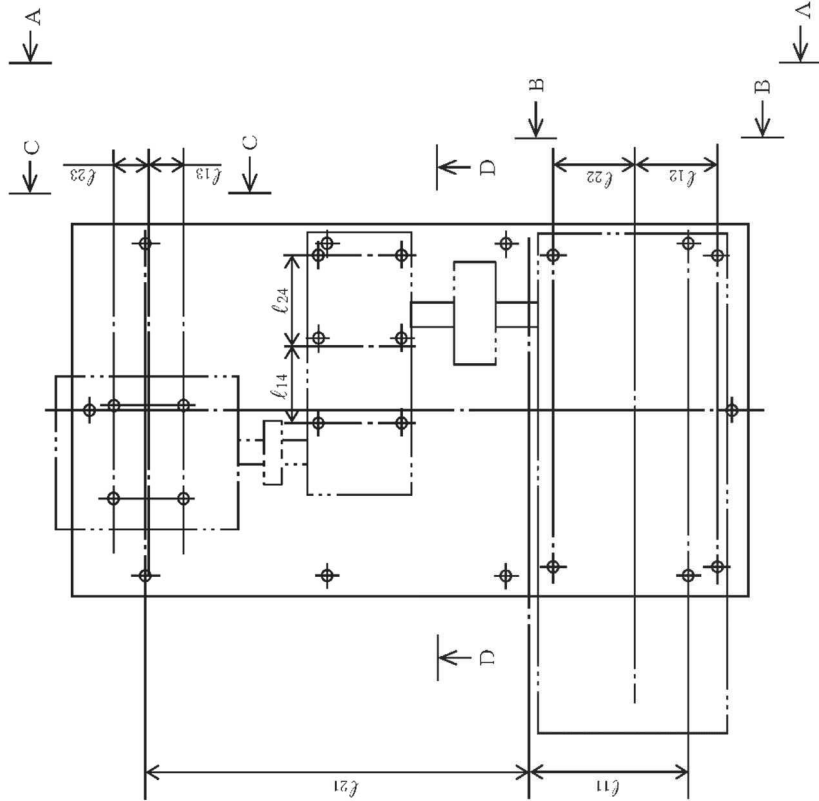
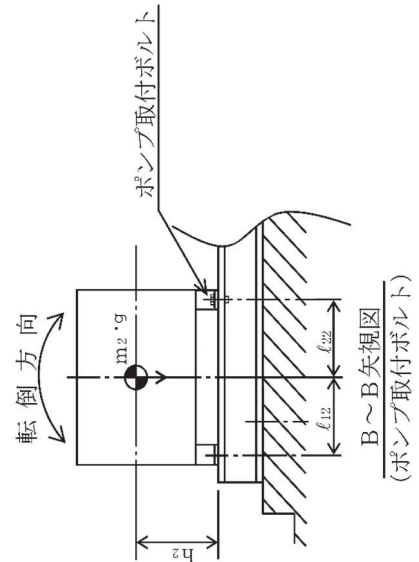
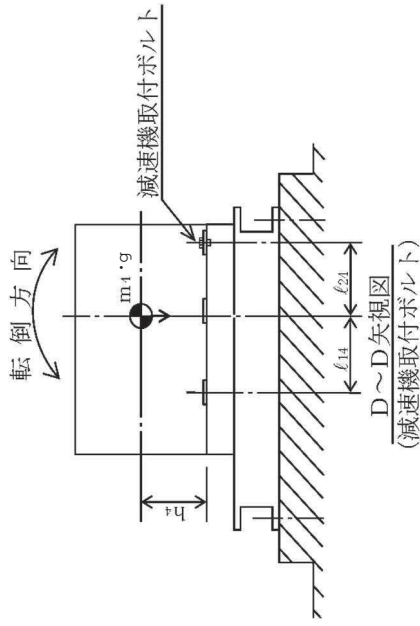
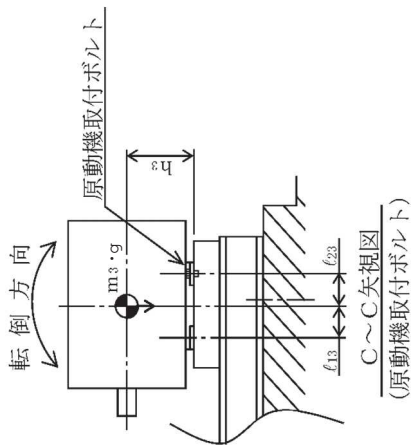
評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス すべて許容変位量以下である。		

2.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	発生応力	許容応力
モータフレーム	引張り		
	せん断		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.7 軸継手の評価
 原動機軸継手の評価は、「2.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
 なお、DB+SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-6：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(A パターンの耐震計算書記載例)

VI-○-○-○ ○○○○の耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB+SA の場合の記載例を示す。

[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

↑
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、
「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 評価方針」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>〇〇〇〇のフレームは、十分剛な支持架構に取り付ボルトにより固定されている。</p>	<p>配管ユニット、計装ユニット等の構成部品がフレームに取り付けられた構造。</p> <p style="text-align: center;">↑</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>機器の具体的な構造や型式、据付方法が分かるような説明を記載する。</p> </div>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図とする。

2.2 評価方針

〇〇〇〇の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す〇〇〇〇の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、〇〇の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇及び〇〇の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

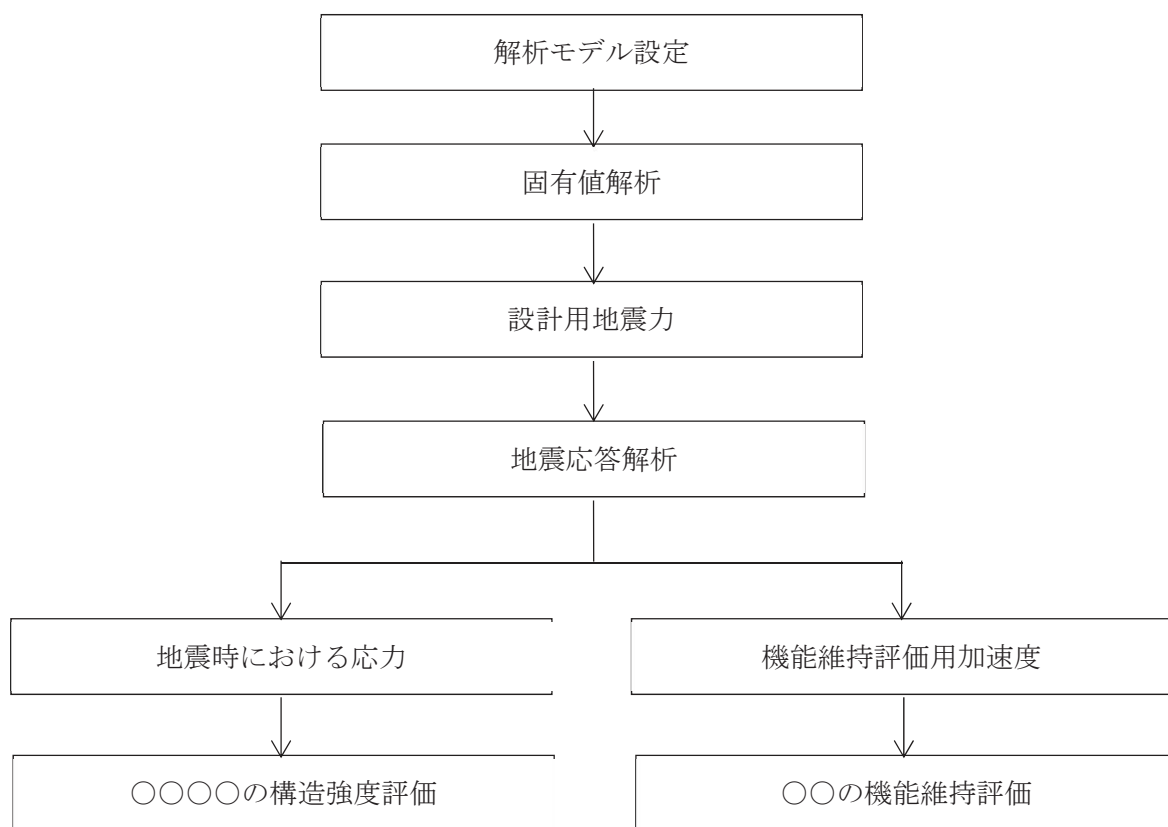


図 2-1 〇〇〇〇及び〇〇の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・
補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm^2
A_{b1}	フレームを床に取付けるボルトの軸断面積	mm^2
A_{b2}	フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの軸断面積	mm^2
A_{b3}	フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_{o1}	フレームを床に取付けるボルトの呼び径	mm
d_{o2}	フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの呼び径	mm
d_{o3}	フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$F_{b\bullet}$	節点●の取付ボルトに作用する引張力	N
F_x	フレームの軸力 (x 方向)	N
F_y	フレームのせん断力 (y 方向)	N
F_z	フレームのせん断力 (z 方向)	N
f_b	フレームの許容曲げ応力	MPa
f_c	フレームの許容圧縮応力	MPa
f_s	フレーム又はボルト等の許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	フレーム又はボルト等の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ_1	フレームを床に取付けるボルト間の X 軸方向の取付距離	mm
ℓ_2	フレームの上端を支持架構に取付けるボルト間の Z 軸方向の取付距離	mm
ℓ_3	フレームの上端を支持架構に取付けるボルト間の Y 軸方向の取付距離	mm
ℓ_4	フレームの中間を支持架構に取付けるボルトとサポート端との Z 軸方向の距離	mm
ℓ_5	フレームの中間を支持架構に取付けるボルトとサポート端との Y 軸方向の距離	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm

記号	記号の説明	単位
M_x	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M_y	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M_z	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m	〇〇〇〇解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
N_1	フレームを床に取付けるボルトの本数	—
N_2	フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの本数	—
N_3	フレームの中間を支持架構に取付けるボルトの本数	—
$Q_{b\bullet}$	節点●の取付ボルトに作用するせん断力	N
r	フレームパイプの外半径	mm
$R_{\bullet}, R'_{\bullet}, R''_{\bullet}$	節点●の取付ボルトに作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	フレームのねじり断面係数	mm ³
Z_y	フレームの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z_z	フレームの断面係数 (z 軸)	mm ³
Λ	フレームの限界細長比	—
λ	フレームの有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_f	フレームに生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb\bullet}$	節点●の取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b\bullet}$	節点●の取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

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

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

*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

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

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

3. 評価部位

〇〇〇〇の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるフレーム及び取付ボルトについて実施する。なお、〇〇〇〇は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム及び取付ボルトが健全であれば〇〇〇〇機能を維持できるため、フレーム及び取付ボルトを評価対象とする。〇〇〇〇の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 〇〇〇〇のフレームは、十分剛な壁及び床に取付ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 〇〇〇〇の質量には、フレーム自身の質量のほか、〇〇、〇〇及び〇〇の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、〇〇〇〇に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

〇〇〇〇の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

〇〇〇〇の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

・ DB+SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備	S	クラス2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III_{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇設備	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界 を用いる。)

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

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

該当する設備分類のみ記載する。

- DB+SA の場合を示す。
- DB 単独の場合は，許容応力（クラス2，3 支持構造物）
- SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス2 支持構造物）とする。

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

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)
		一次応力
	組合せ	引張り
III _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$
IV _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s$
V _{AS}		$1.5 \cdot f_s^*$

(V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。)

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

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

- DB+SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)				
		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	
フレーム	○○○○ (厚さ > mm)	—			—	
		—			—	
		—			—	
取付ボルト	○○○○* (mm < 径 ≤ mm)	—			—	
		—			—	
		—			—	

注記*：○○○○相当

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)				
		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	
フレーム	○○○○ (厚さ > mm)	—			—	
		—			—	
		—			—	
取付ボルト	○○○○* (mm < 径 ≤ mm)	—			—	
		—			—	
		—			—	

注記*：○○○○相当

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

4.3 解析モデル及び諸元

〇〇〇〇の解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (記載例)
- (1) 〇〇〇〇のフレームをはり要素でモデル化した FEM モデルを用いる。
 - (2) 解析モデル各節点の質量は，〇〇弁，〇〇弁，〇〇部品等であり，実際の位置を考慮して付加する。

(3) 拘束条件は，フレームの壁及び床への取付部を固定とする。

【(3) 拘束条件として，基礎部の〇〇方向を固定する。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。】

- (4) 解析コードは「〇〇〇」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。

拘束条件(基礎(据付)ボルト含む。)を記載する。
なお，基礎(据付)ボルト部をモデル化していない場合は
「なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

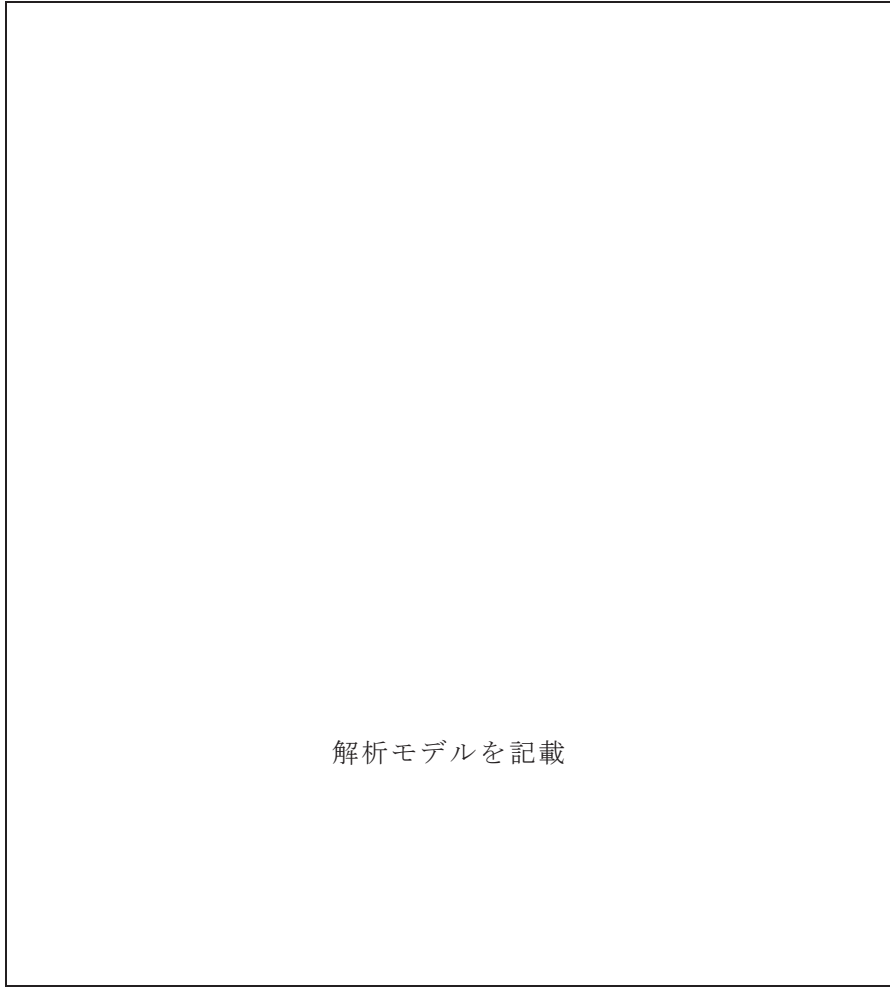


図 4-1 ○○○○解析モデル (単位 : mm)

適用する刺激係数について記載する。固有周期が 0.05 秒以下となる方向については「-」とする。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-6 固有値解析結果

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

適用する刺激係数について記載する。固有周期が 0.05 秒以下となる方向については「-」とする。

柔構造の場合は、振動モード図を記載する。

柔構造の場合は、適用する刺激係数の正規化方法についての注記を記載する。
 (記載例) 注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有値ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

柔な場合、添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 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。

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
〇〇建屋 O.P. * (O.P.)			$C_H =$ 又は *2	$C_V =$	$C_H =$ 又は *3	$C_V =$

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

III_{AS} の評価を S_s で実施する場合は、表中は「-*2」とし、*2 は「 III_{AS} については、基準地震動 S_s で評価する。」と書き替える。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例: 基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
〇〇建屋 O.P. *1 (O.P.)			-	-	$C_H =$ 又は *2	$C_V =$

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例: 基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

4.6.1.2 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

4.6.1.2.1 〇〇〇を床に取付けるボルトの応力

〇〇〇を床に取付けるボルトの概要を図 4-2 に示す。

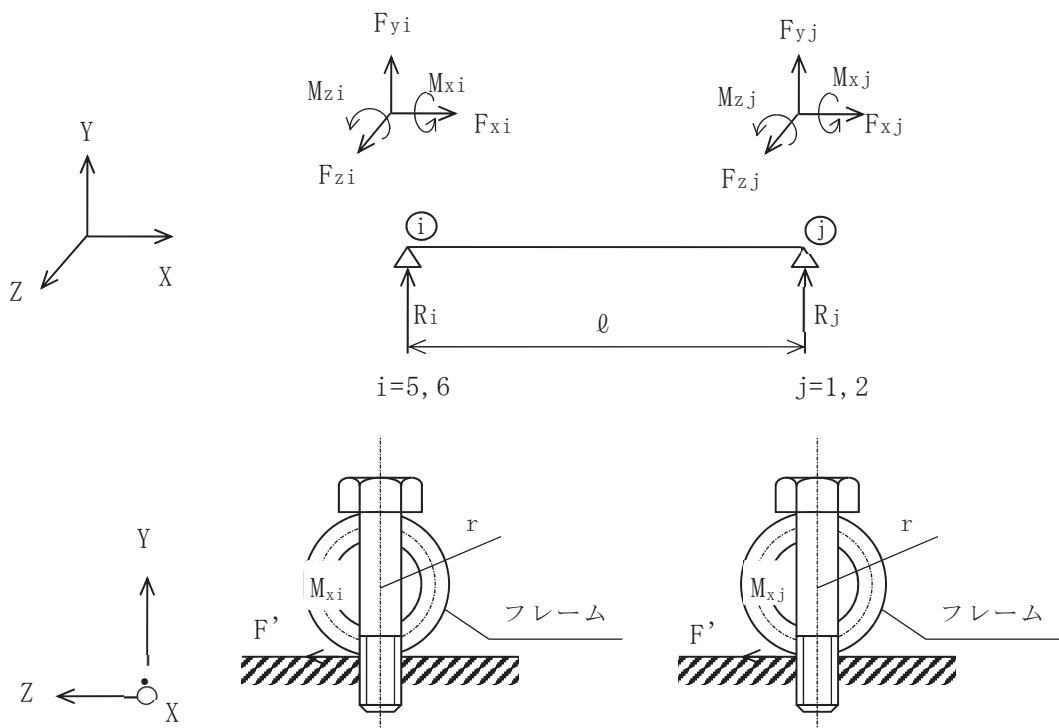


図 4-2 〇〇〇〇の取付ボルトに作用する力とモーメント

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張応力は、図 4-2 に示すフレームの節点 i 及び節点 j (ここで、 (i, j) の組合せは $(5, 1)$ 及び $(6, 2)$) での軸力とモーメントを考慮して計算する。

a. 引張力

$$F_{b i} = |F_{y i}| + \frac{|M_{z i}| + |M_{z j}|}{l} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$F_{b j} = |F_{y j}| + \frac{|M_{z i}| + |M_{z j}|}{l} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

4.6.1.2.2 フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの応力

フレームの上端を支持架構に取付けるボルトの概要を図 4-3 に示す。

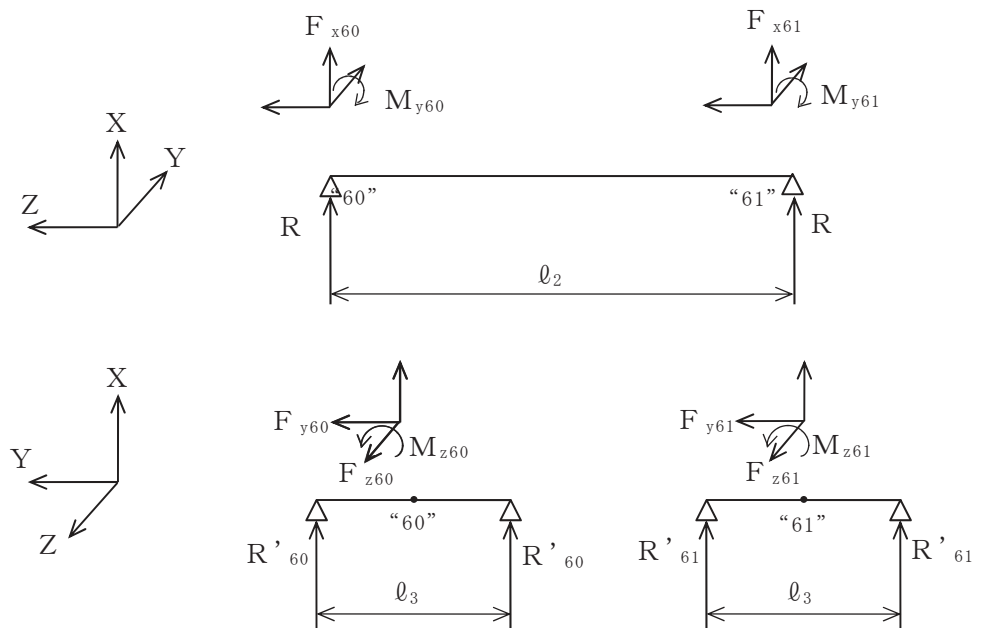


図 4-3 フレームの上端を支持架構に取付けるボルトに作用する力とモーメント

(1) 引張応力

図 4-3 において節点 60 及び節点 61 での反力は

$$R_{60} = |F_{x60}| + \frac{M_{y61}}{l_2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.1)$$

$$R_{61} = |F_{x61}| + \frac{M_{y60}}{l_2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.2)$$

また、実際の取付ボルトの取付状態を考慮して、 M_{z60} 及び M_{z61} による反力は

$$R'_{60} = \frac{|M_{z60}|}{l_3} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.3)$$

$$R'_{61} = \frac{|M_{z61}|}{l_3} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.4)$$

したがって、取付ボルトに作用する反力は

$$R''_{60} = \frac{|R_{60}|}{2} + |R'_{60}| \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.5)$$

$$R''_{61} = \frac{|R_{61}|}{2} + |R'_{61}| \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.6)$$

よって、取付ボルトの引張応力は

$$\sigma_{tb60} = \frac{R''_{60}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.7)$$

$$\sigma_{tb61} = \frac{R''_{61}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.8)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o2}^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.9)$$

(2) せん断応力

図 4-3 において節点 60 及び節点 61 でのせん断力は

$$Q_{b60} = \sqrt{|F_{y60}|^2 + |F_{z60}|^2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.10)$$

$$Q_{b61} = \sqrt{|F_{y61}|^2 + |F_{z61}|^2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.11)$$

よって、取付ボルトのせん断応力は

$$\tau_{b60} = \frac{F_{s60}}{2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.12)$$

$$\tau_{b61} = \frac{F_{s61}}{2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2.13)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b2} は、(4.6.1.2.2.9)式による。

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1.2項で求めた取付ボルトの引張応力は、次式より求めた許容引張応力 $f_{t s}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t o}$ は下表による。

$$f_{t s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}] \quad \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 $f_{s b}$ 以下であること。

ただし、 $f_{s b}$ は下表による。

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施する場合は追記する。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇の重大事故時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【0000の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

機器名称 0000	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m) 原子炉建屋 (O.P.) *1	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度 C _H = *2	鉛直方向 設計震度 C _V = *2	水平方向 設計震度 C _H =	鉛直方向 設計震度 C _V =		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

III_AS の評価を S_s で実施した場合は、震度に「- *2」を付記し、注記を以下のとおり書き換える。

注記*2：III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

固有周期が、0.05s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

*○：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線から得られる値

*○：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

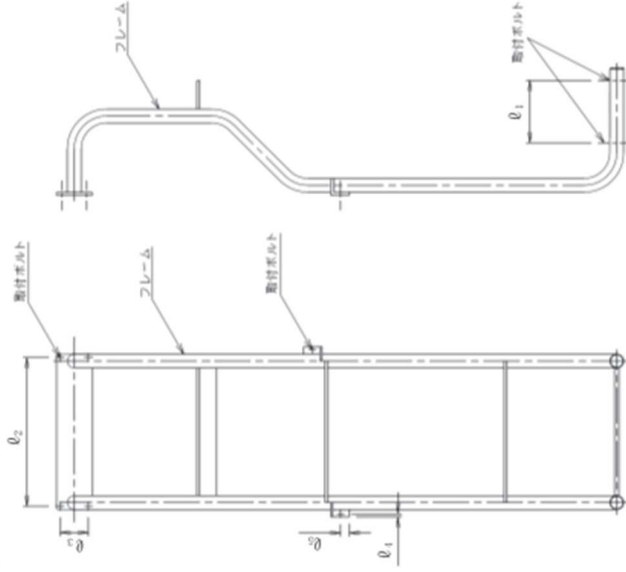
1.2 機器要目

m (kg)	N ₁ (→)	N ₂ (→)	N ₃ (→)	N ₄ (→)	N ₅ (→)	θ ₁ (mm)	θ ₂ (mm)	θ ₃ (mm)	θ ₄ (mm)	θ ₅ (mm)
--------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	A _{b1} (mm ²)	A _{b2} (mm ²)	A _{b3} (mm ²)	r (mm)
------------------------	------------------------	------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	-----------

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム	(厚さ ≤ mm)				
取付ボルト	(厚さ ≤ mm) (mm ≤ 径 ≤ mm)				

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。なお、DB+SA の場合は、SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

III_AS の評価を S_s で実施した場合は、1.3 項の算出値に「-＊」を付記し、注記を以下のとおり記載する。
 注記＊：III_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重

要素 番号	節点 番号	F _x		F _y		F _z		(単位：N)
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	

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

1.3.2 フレームのモーメント

要素 番号	節点 番号	M _x		M _y		M _z		(単位：N・m)
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	

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

III_{AS}の評価をS_sで実施した場合は、1.3項の算出値に「一*」を付記し、注記を以下のとおり記載する。
 注記*：III_{AS}については、基準地震動S_sで評価する。

1.3.3 取付ボルトの荷重 (単位：N)

要素 番号	節点 番号	F _x		F _y		F _z	
		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s

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

1.3.4 取付ボルトのモーメント (単位：N・m)

要素 番号	節点 番号	M _x		M _y		M _z	
		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s

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

1.3.5 取付ボルトに作用する力 (単位：N)

要素 番号	節点 番号	F _b		Q _b	
		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	方向	固有周期

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	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
フレーム		引張り			$\sigma_t = f_t =$	$f_t =$	$\sigma_t =$	$f_t =$
		圧縮			$\sigma_c =$ *1	$f_c =$	$\sigma_c =$	$f_c =$ *1
		せん断			$\tau =$	$f_s =$	$\tau =$	$f_s =$
		曲げ			$\sigma_b =$	$f_b =$	$\sigma_b =$	$f_b =$
		組合せ			$\sigma_f =$	$f_f =$	$\sigma_f =$	$f_f =$
		引張り			$\sigma_t =$	$f_t =$	$\sigma_t =$	$f_t =$
		圧縮			$\sigma_c =$ *1	$f_c =$	$\sigma_c =$	$f_c =$ *1
		せん断			$\tau =$	$f_s =$	$\tau =$	$f_s =$
		曲げ			$\sigma_b =$	$f_b =$	$\sigma_b =$	$f_b =$
		組合せ			$\sigma_f =$	$f_f =$	$\sigma_f =$	$f_f =$
取付ボルト		引張り			$\sigma_{tb} =$	$f_{ts} =$ *2	$\sigma_{tb} =$	$f_{ts} =$ *2
		せん断			$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施した場合は、算出応力は基準地震動 S_s による算出値を「○○*3」と記載し、注記を以下のとおりとする。
注記*3：基準地震動 S_s による算出値

注記*1：絶対値を記載
*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau, f_{t0}]$ にて算出
*3：基準地震動 S_s による算出値

すべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
○○○系○○弁	水平方向		
	鉛直方向		

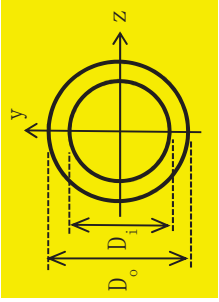
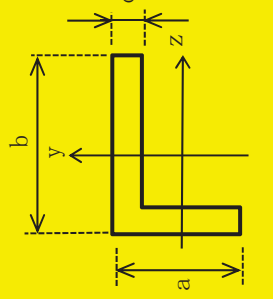
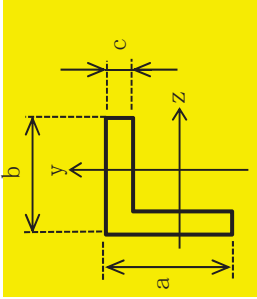
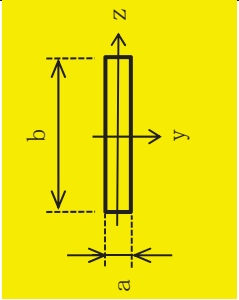
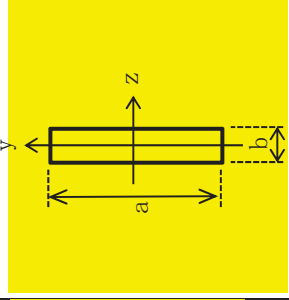
注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
※：機能維持評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

材料	E (MPa)	ν	θ_k (mm)	i (mm)	λ	Δ	ν'
						*1	
						*2	
						*1	
						*2	

注記*1：弾性設計用地震動 S d又は静的震度による荷重との組合せの場合

*2：基準地震動 S sによる荷重との組合せの場合

材料							
要素番号	0, 0, 0~00, 0~00		00~00	0, 00	00~00		00~00
A (mm ²)							
Z _y (mm ³)							
Z _z (mm ³)							
Z _p (mm ³)							
断面形状							$a = 0000$ $b = 0$
寸法 (mm)	$D_o = 00.0$ $D_i = 00.0$	$a = 00$ $b = 0000$ $c = 00$	$a = 00$ $b = 00$ $c = 0$	$a = 0$ $b = 00$			

【SA 単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を1.とする。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、
 設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
 例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

2. 重大事故等対処設備
 2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
0000		00建屋 * (O.P.)				—	—	C _H = C _V =			

注記*：基準床レベルを示す。

ボルト径を記載する。

2.2 機器要目

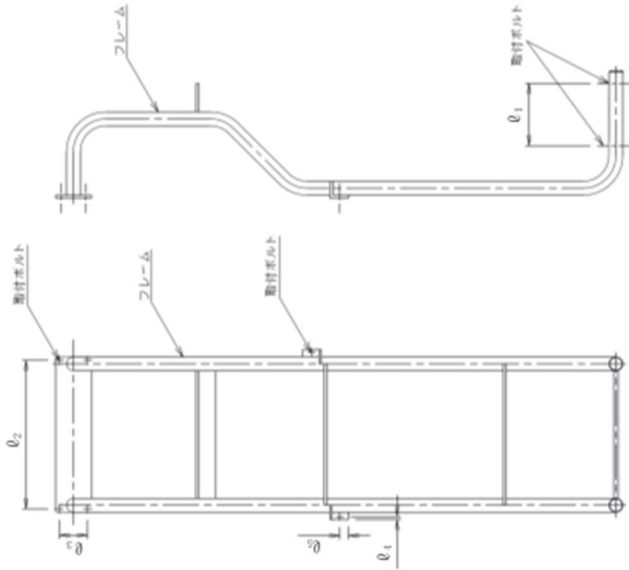
m (kg)	N ₁ (→)	N ₂ (→)	N ₃ (→)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	φ ₃ (mm)	φ ₄ (mm)	φ ₅ (mm)

d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d ₃ (mm)	A _{b1} (mm ²)	A _{b2} (mm ²)	A _{b3} (mm ²)	r (mm)
(M)	(M)	(M)				

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム	(厚さ ≤ mm)				
取付ボルト	(厚さ ≤ mm) (mm ≤ 径 ≤ mm)				

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。
 *○：基準地震動 S s に基づく設計用床応答曲線から得られる値



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
 なお、DB+SA の場合は、SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

2.3 計算数値

2.3.1 フレームの荷重

(単位：N)

要素 番号	節点 番号	F _x		F _y		F _z	
		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
		-		-		-	
		-		-		-	
		-		-		-	
		-		-		-	

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

2.3.2 フレームのモーメント

(単位：N・m)

要素 番号	節点 番号	M _x		M _y		M _z	
		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
		-		-		-	
		-		-		-	
		-		-		-	
		-		-		-	

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

2.3.3 取付ボルトの荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	F _x		F _y		F _z	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
		-		-		-	

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

2.3.4 取付ボルトのモーメント (単位：N・m)

要素番号	節点番号	M _x		M _y		M _z	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
		-		-		-	

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

2.3.5 取付ボルトに作用する力 (単位：N)

要素番号	節点番号	F _b		Q _b	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
		-		-	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期

(単位：MPa)

2.4.2 応力

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	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
フレーム		引張り			-	-	$\sigma_t =$	$f_t =$
		圧縮			-	-	$\sigma_c =$	$f_c =$
		せん断			-	-	$\tau =$	$f_s =$
		曲げ			-	-	$\sigma_b =$	$f_b =$
		組合せ			-	-	$\sigma_f =$	$f_t =$
		引張り			-	-	$\sigma_t =$	$f_t =$
		圧縮			-	-	$\sigma_c =$	$f_c =$
		せん断			-	-	$\tau =$	$f_s =$
		曲げ			-	-	$\sigma_b =$	$f_b =$
		組合せ			-	-	$\sigma_f =$	$f_t =$
		引張り			-	-	$\sigma_{tb} =$	$f_{ts} =$
		せん断			-	-	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記*1：絶対値を記載

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_o}]$ にて算出

2.4.3 動的機能の評価結果

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

〇〇〇系〇〇弁	機能維持評価用加速度*		機能確認済加速度
	水平方向		
鉛直方向			

注記*：基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。

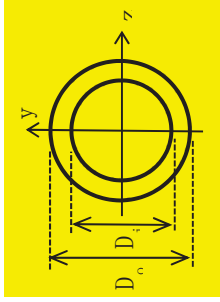
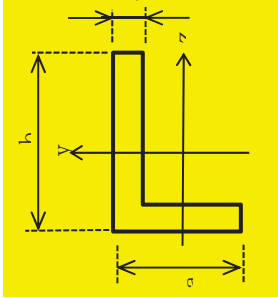
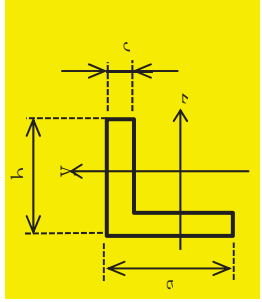
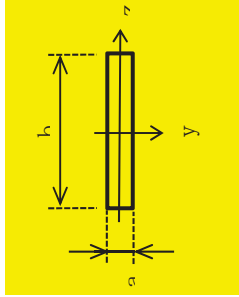
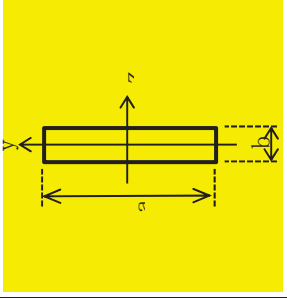
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持評価用加速度 \leq 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
 ※：機能維持評価用加速度 $>$ 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

材料	E (MPa)	ν	\varnothing_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν'
						*1	
						*2	
						*1	
						*2	

注記*1: 弾性設計用地震動S d又は静的震度による荷重との組合せの場合

*2: 基準地震動S sによる荷重との組合せの場合

材料							
要素番号	0, 0, 0~00, 0~00		00~00	0, 00	00~00		
A (mm ²)							
Z _y (mm ³)							
Z _z (mm ³)							
Z _p (mm ³)							
断面形状							
寸法 (mm)	D _o = 00, 0 D _i = 00, 0	a = 00 b = 0000 c = 000	a = 00 b = 00 c = 00	a = 00 b = 00 c = 00	a = 0 b = 000	a = 0000 b = 0	

添付資料-7-1：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-1 パターン「解析」の耐震計算書記載例)

VI-〇-〇-〇 〇〇〇〇放射線モニタの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	7
4.	固有周期	8
4.1	固有値解析方法	8
4.2	解析モデル及び諸元	8
4.3	固有値解析結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容応力	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.3	設計用地震力	14
5.4	計算方法	15
5.4.1	応力の計算方法	15
5.5	計算条件	18
5.5.1	ボルトの応力計算条件	18
5.6	応力の評価	18
5.6.1	ボルトの応力評価	18
6.	機能維持評価	19
6.1	電氣的機能維持評価方法	19
7.	評価結果	20
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	20

- ↑
- DB+SA の場合
 - 7.1 設計基準対象施設としての評価結果
 - 7.2 重大事故等対処設備としての評価結果
 - DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

1. 概要

本計算書は、添付資料「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、〇〇〇〇放射線モニタが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇放射線モニタは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇放射線モニタの構造計画を表 2-1 に示す。

・DB+SA の場合

〇〇〇は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

・DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
 波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
 その場合は、目次にも本項目を記載する。

↑

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 評価方針」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器スタ ンションに取付ボルト により固定される。 計器スタンション は、基礎ボルトにより 床に設置する。</p>	<p>床面に設置された計 器スタンションに、検 出器（電離箱）を取付 ボルトにより固定す る構造。</p>	<p>【後施工アンカの場合】 基礎ボルトが後施工の場合は、ア ンカの種類（メカニカルアンカ又 はケミカルアンカ）を記載する。</p> <p>↑</p> <p>機器の具体的な構造や 型式、据付方法が分かる ような説明を記載する。</p> <p>(単位：mm)</p>

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 (f_s を1.5倍した値又は f_s^* を1.5倍した値)	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を1.5倍した値又は f_t^* を1.5倍した値)	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項 (1) ~ (5) のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、○○○○放射線モニタに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

○○○○放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち **重大事故等対処設備** の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

・ DB+SA の場合
 ○○○○放射線モニタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 ○-○ に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 ○-○ に示す。
 ・ DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

5.2.2 許容応力

○○○○放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-1 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

○○○○放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち **重大事故等対処設備** の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

・ DB+SA の場合
 ○○○○放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 ○-○ に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 ○-○ に示す。
 ・ DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇〇放射線モニタ	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

↑
該当する設備分類のみ記載する。

・DB+SA の場合，以下を上記 SA の前に追加する。

表 5-〇 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ		許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇〇放射線モニタ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III_{AS}	
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

- DB+SA の場合
許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）とする。
- DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

• DB+SA の場合，以下をIV_{AS}の前に追加する。

III _{AS}	1.5・f _t	1.5・f _s
-------------------	--------------------	--------------------

• DB+SA の場合
 本表の前に DB の条件である「表 5-0 使用材料の許容応力条件 (設計基準対象施設)」を追加する。
 • DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

施設時の材料記号と、設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は、設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	○○* (mm < 径 ≤ mm)	周囲環境温度				-

注記* : ○○○○相当

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

柔な場合、添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付資料「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。

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
○○建屋 0.P.○○* ¹ (0.P.○○)			—	—	$C_H =$ 又は* ²	$C_V =$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

据付場所の床面高さとして設備が設置されている高さが異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (0.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

- DB+SA の場合
本表の前に DB の条件である「表 5-○ 設計用地震力（設計基準対象施設）」を追加する。
- DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【○○○○放射線モニタの耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

ただし、 f_{t0} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}] \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

ただし、 f_{sb} は下表による。

・ SA 単独の場合

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{t0}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

・ DB+SA 又は DB 単独の場合

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{t0}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇放射線モニタの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

〇〇〇〇放射線モニタの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

↑機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇放射線モニタ	水平方向	
	鉛直方向	

加振試験を根拠として、電氣的機能維持評価を示す場合、加振試験の概要が分かるよう記載する。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇放射線モニタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

・DB+SA の場合
 「7.1 設計基準対象施設としての評価結果」，
 「7.2 重大事故等対処施設としての評価結果」とする。

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお，弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

III_AS の評価を S_s で実施する場合は追記する。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。

【DB + SA の場合】
本ページの前に「1. 設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。
その場合、本表は「2. 重大事故等対処設備」となる。

固有周期が、0.05s を超え柔構造となった場合は、
注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。
*○：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

【○○○○放射線モニタの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
○○○○放射線 モニタ	常設/緩和	○○○建屋 0.P.* (O.P.)			—	—	$C_H =$	$C_V =$	

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	θ_1^* (mm)	θ_2^* (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*
基礎ボルト					(M)			

据付場所の床面高さや設備が設置されている高さが異なる場合は、
設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

ボルト径を記載する。

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	(厚さ > mm)	(厚さ > mm)			—	

注記*：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	—	—	—

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
○○○○放射線モニタ	水平方向		
	鉛直方向		

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

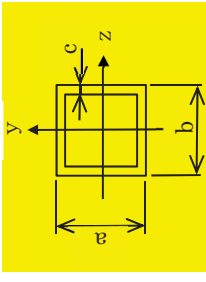
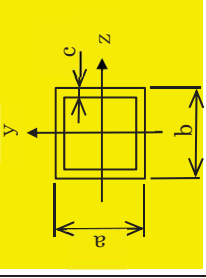
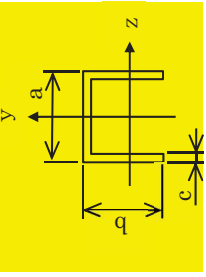
1.5 その他の機器要目

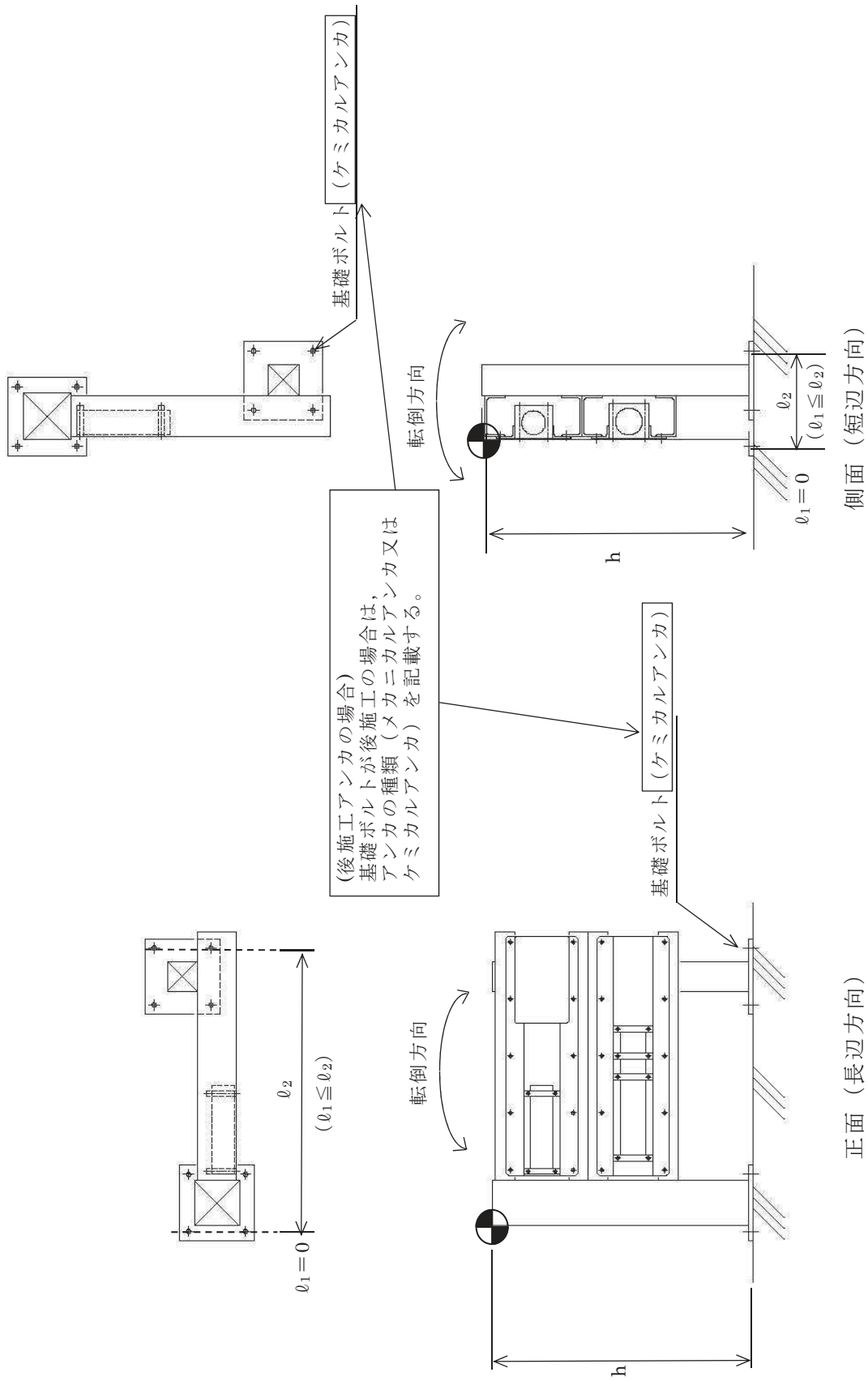
(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	-	-	
質量	m _a	kg	
	m _b	kg	
温度条件 (零囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	-	
要素数	-	個	
節点数	-	個	

解析に使用する諸元を記載する。
物性値（縦弾性係数等）はモデル化した材料が複数あればそれぞれごとに記載する。
（ボルトをモデル化している場合、ボルトの物性値を記載する。）

(2) 部材の機器要目

材料	○	○	○~○
対象要素			
A (mm ²)			
I _y (mm ⁴)			
I _z (mm ⁴)			
I _p (mm ⁴)			
断面形状 (mm)	 <p>○○×○○×○ (a×b×c)</p>	 <p>○○×○○×○ (a×b×c)</p>	 <p>○○×○○×○ (a×b×c)</p>



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお、DB+SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-7-2：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-2 パターン「手計算」の耐震計算書記載例)

VI-〇-〇-〇 〇〇〇〇フィルタ装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.5.1 ボルトの応力計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20

6. 機能維持評価	21
6.1 動的機能維持評価方法	21

6. 評価結果	22
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	22

• DB+SA の場合の記載例を示す。
[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

• 動的機能維持評価が必要な場合の記載例を示す。
その場合、「7. 評価結果」と続く。

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、〇〇〇〇フィルタ装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇フィルタ装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇フィルタ装置の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB+SA の場合の記載例を示す。
[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 評価方針」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>〇〇〇〇ファイル装置は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造。</p>	
<p>機器の具体的な構造や型式, 据付方法が分かるような説明を記載する。</p>		

動的機能維持評価が必要な設備については、構造強度評価の記載の後に、以下の記載を追加し、フロー図は以下に置きかえる。

また、〇〇〇〇の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

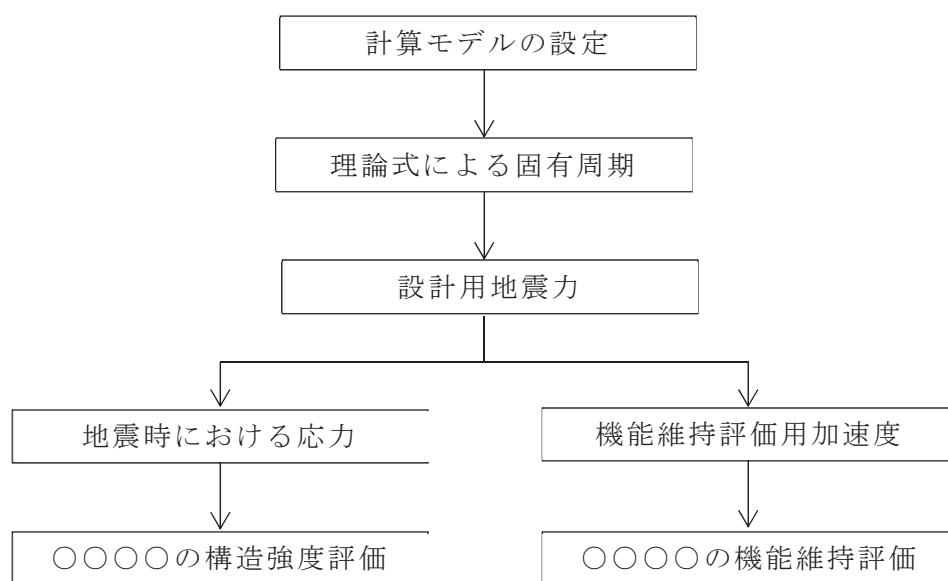


図 2-1 〇〇〇〇の耐震評価フロー

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm ²
A_e	最小有効せん断断面積	mm ²
A	断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*： $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

〇〇〇〇フィルタ装置の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。〇〇〇〇フィルタ装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇〇フィルタ装置	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}
				$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇〇フィルタ装置	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の許容限界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

該当する設備分類のみ記載する。

- DB+SA の場合を示す。
- DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
- SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

↑ (V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。)

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

*2：当該の応力が生じている場合及び他の場合で代表可能である場合は評価を省略する。

- DB+SA の場合は，V_{AS}を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	○○* (mm<径≤mm)	周囲環境温度			—

注記*：○○○○相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS以外の規格に基づく材料を用いる場合は、材料記号の後に「*」を記載し、注記にJIS規格における相当材料の記号を記載する。

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	○○* (mm<径≤mm)	周囲環境温度			—

注記*：○○○○相当

施設時の材料記号と、設計・建設規格におけるJIS材料記号が異なる場合は、設計・建設規格におけるJIS記号を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

柔な場合、添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 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。

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
〇〇建屋 O.P. *1 (O.P.)			C _H = 又は*2	C _V =	C _H = 又は*3	C _V =

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

*3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施する場合、表中は「-*2」とし、*2 は「Ⅲ_AS については、基準地震動 S_s で評価する」と書き替える。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
〇〇建屋 O.P. *1 (O.P.)			—	—	C _H = 又は*2	C _V =

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 上の基礎台に設置されている設備に適用

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

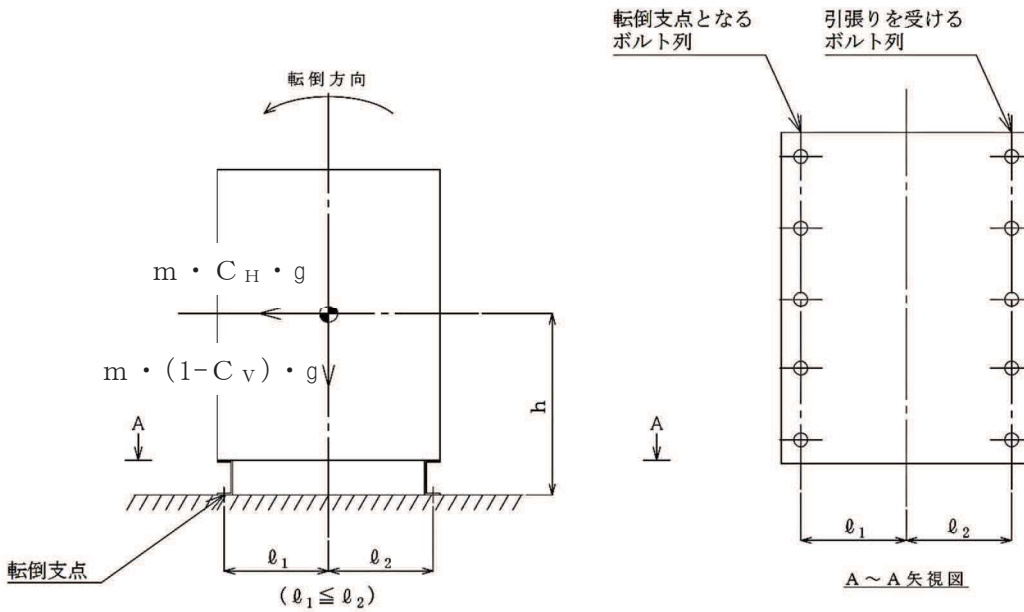


図 5-1(1) 計算モデル

(短辺方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

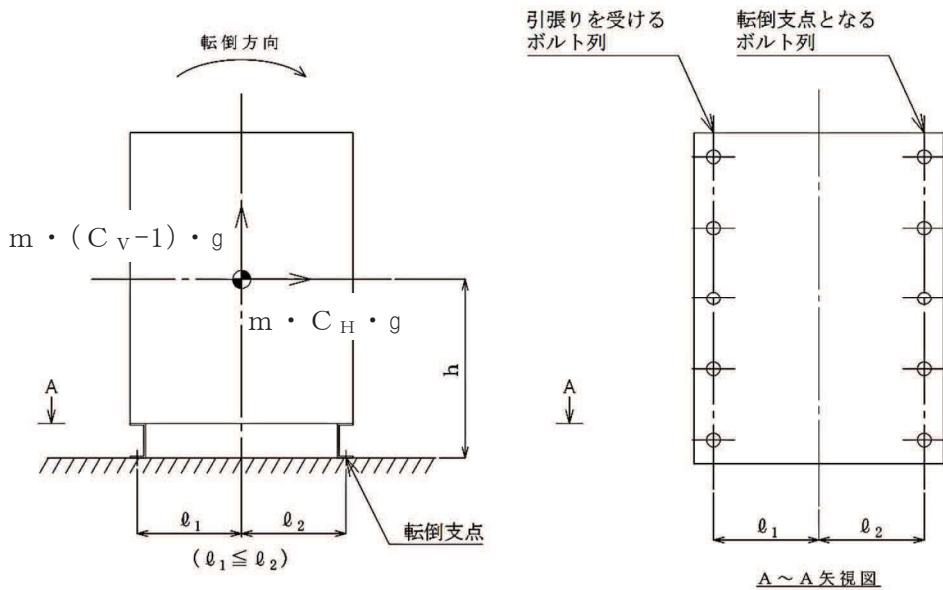


図 5-1(2) 計算モデル

(短辺方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

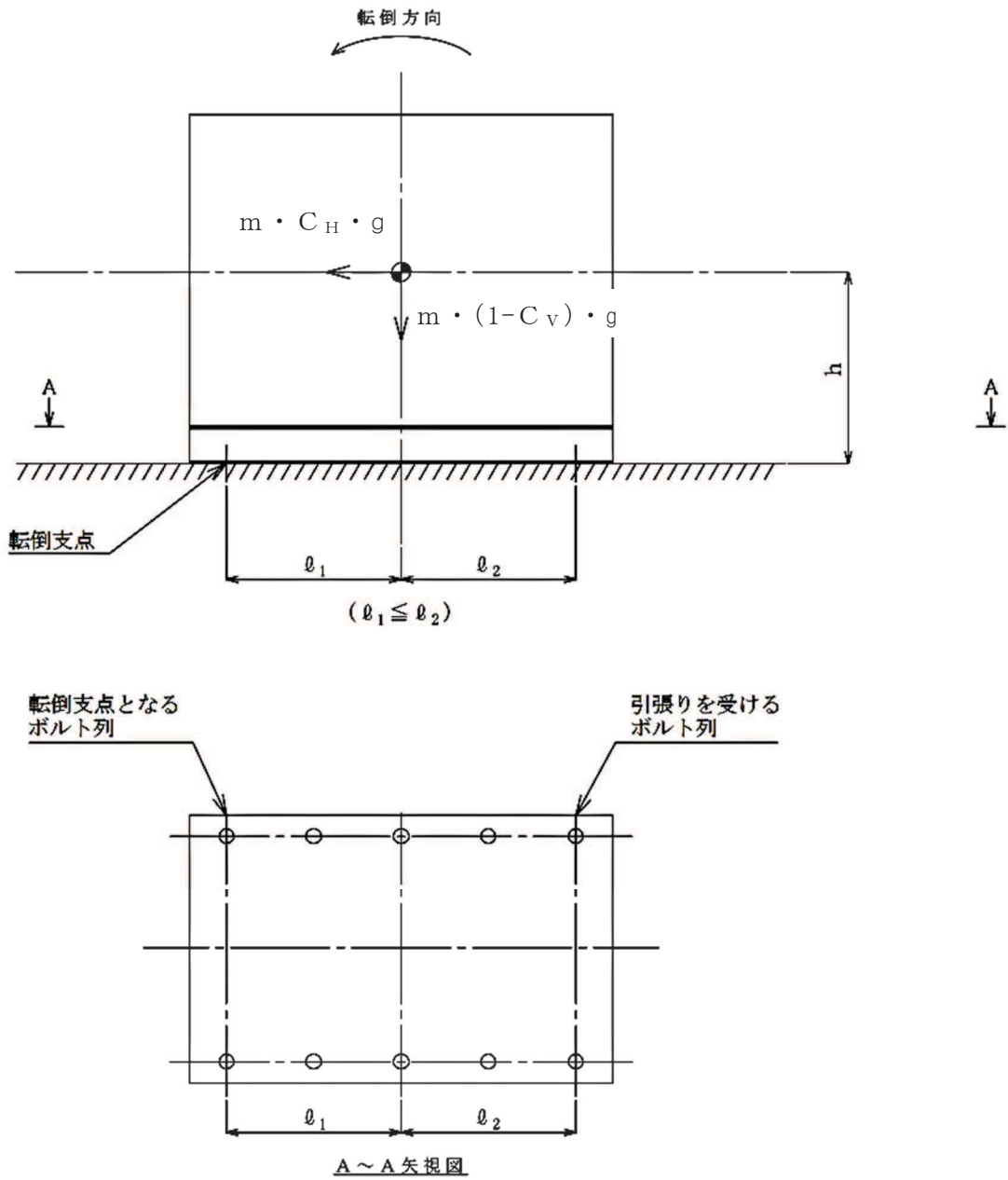


図 5-2(1) 計算モデル
 (長辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

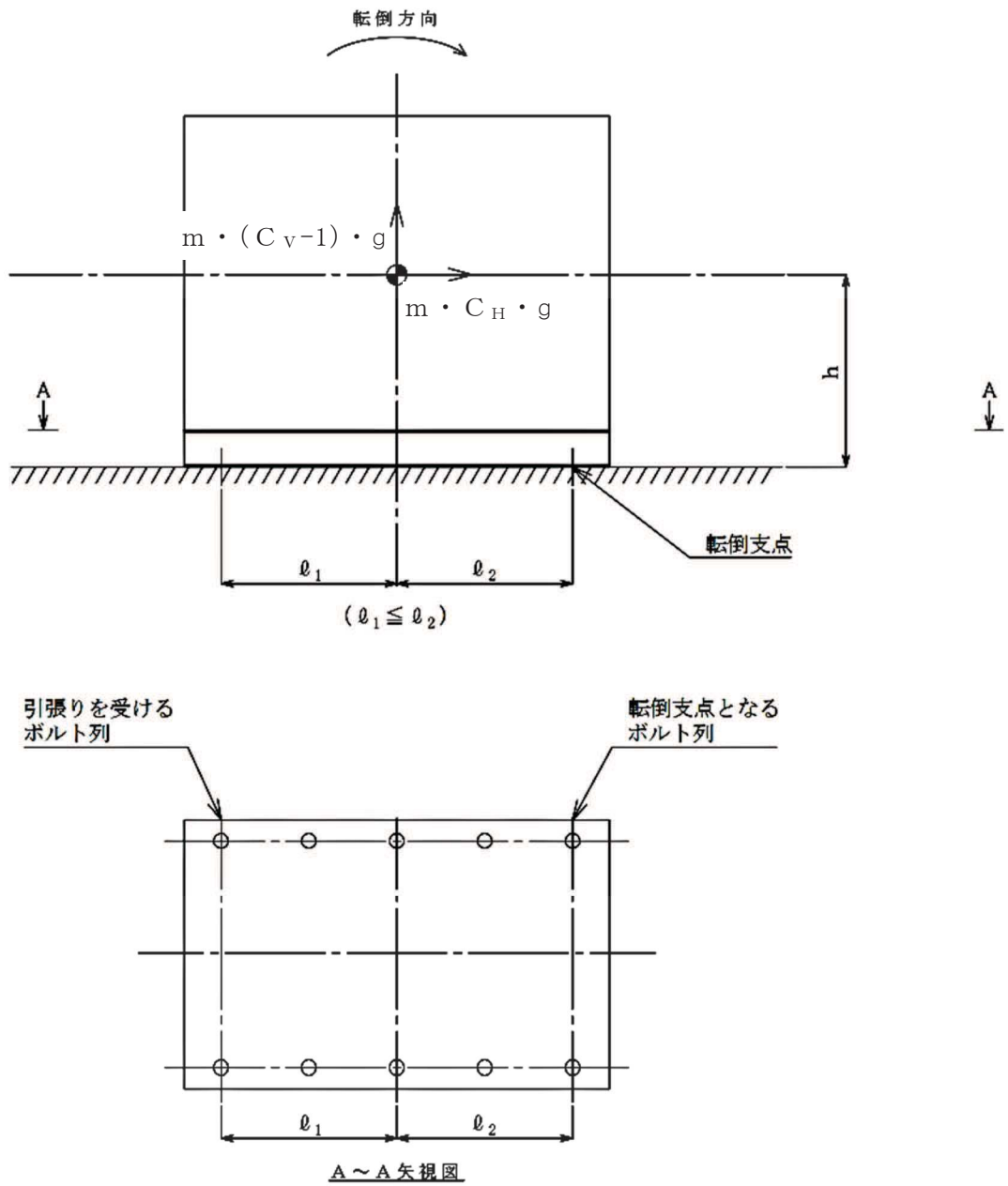


図 5-2(2) 計算モデル
 (長辺方向転倒-2 (1 - C_v) < 0 の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

計算モデル図 5-1(1) 及び図 5-2(1) の場合の引張力 $((1 - C_v) \geq 0$ の場合)

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図 5-1(2) 及び図 5-2(2) の場合の引張力 $((1 - C_v) < 0$ の場合)

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

g

b. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to} \right] \cdots \cdots \cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

ただし、 f_{sb} は下表による。

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

III_sの評価をS_sで実施した場合は、震度に「-^{*2}」を付記し、注記を以下のとおり書き換える。
 注記*2: III_sについては、基準地震動S_sで評価する。

固有周期が、0.05sを超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。
 *○: 弾性設計用地震動S_dに基づく設計用床応答曲線から得られる値。
 *○: 基準地震動S_sに基づく設計用床応答曲線から得られる値。

【○○○○フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
- 1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向		
○○○○フィルタ装置	S	○○建屋 O.P. ^{*1} (O.P.)			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向		
					- ^{*2}	- ^{*2}	C _H =	C _V =		

注記*1: 基準レベルを示す。

*2: III_sについては、基準地震動S_sで評価する。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さ異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
 例: 基礎台高さが500mm以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	θ ₁ ^{*1} (mm)	θ ₂ ^{*1} (mm)	n	n _r ^{*1}
基礎ボルト			(M)				

ボルト径を記載する。

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト		○○ (_mm<径≤_mm)	○○ (_mm<径≤_mm)				

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

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

*2: 周囲環境温度で算出。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)	A (mm ²)
^{*2}	^{*2}			

III_sの評価をS_sで実施した場合は、1.3項の算出値に「-＊」を付し、注記を以下のとおり記載する。
 注記＊：III_sについては、基準地震動S_sで評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト				

(単位：N)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

III_sの評価をS_sで実施した場合は、算出応力は基準地震動S_sによる算出値を「○○＊」と記載し、注記を以下のとおりとする。
 注記＊2：基準地震動S_sによる算出値

1.4.2 ボルトの応力

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ ＊1	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ ＊1
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

注記＊1： $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ により算出

＊2：基準地震動S_sによる算出値

動的機能維持評価が必要な機器の場合は本表を追加する。

1.4.3 動的機能の評価結果

○○○	機能維持許容平均加速度		機能確認済加速度	
	水平方向	鉛直方向	機能維持許容平均加速度＊	機能確認済加速度

(×9.8 m/s²)

注記＊：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持許容平均加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

「機能維持許容平均加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
 ※：機能維持許容平均加速度 > 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。

【SA 単独の場合】

本ソフトウェアを使用する。ただし、章番を1とする。

【○○○○ファイルタ装置の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
○○○○ファイルタ装置	常設耐震/防止 常設/緩和	○○建屋 O.P.* (O.P.)			—	—	C _H =	C _V =		

固有周期が、0.05s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。
*○：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値。

注記*：基準レベルを示す。
据付場所の床面高さや設備が設置されている高さが異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

ボルト径を記載する。

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	φ ₁ *1 (mm)	φ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト			(M)				

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト		○○ (mm < 径 ≤ mm)	○○ (mm < 径 ≤ mm)			—	

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。
*2：周囲環境温度で算出。

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)	A (mm ²)
*2	*2			

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

注記*： $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$ により算出

すべて許容応力以下である。

動的機能維持評価が必要な機器の場合は本表を追加する。

2.4.3 動的機能の評価結果

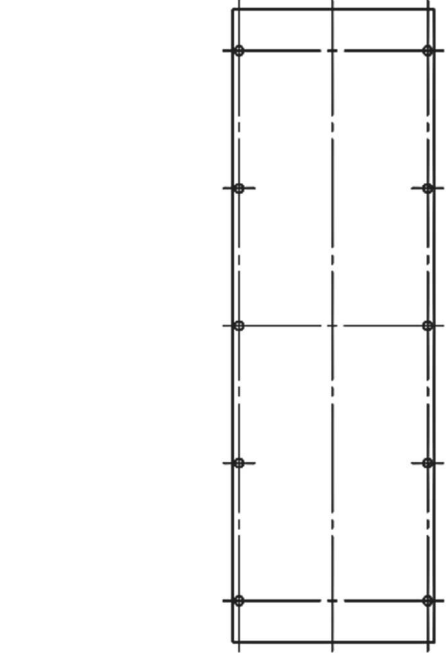
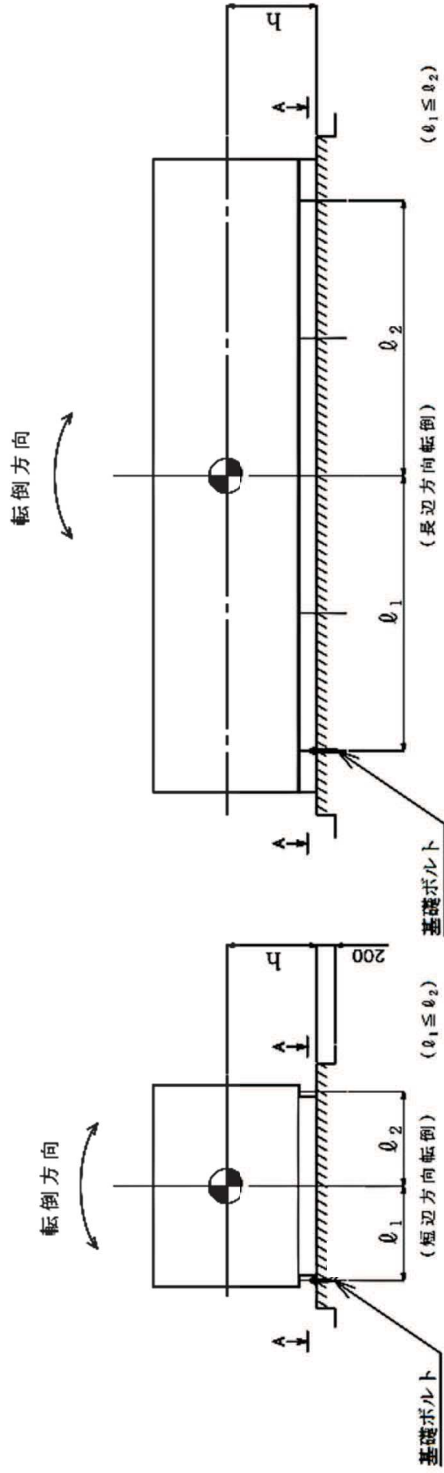
($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

○○○	機能維持評価用加速度*		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	

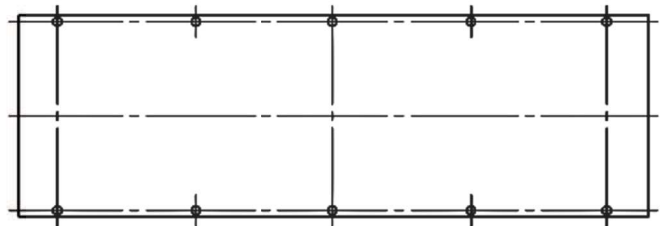
注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

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

「機能維持評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了。
 ※：機能維持評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、詳細評価を追加する。



A~A 矢視図



A~A 矢視図

本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
 なお、DB+SA の場合は、SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-8：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(D パターンの耐震計算書記載例)

VI-〇-〇-〇 〇〇〇アンテナの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇アンテナが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇アンテナは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇アンテナの構造計画を表 2-1 に示す。

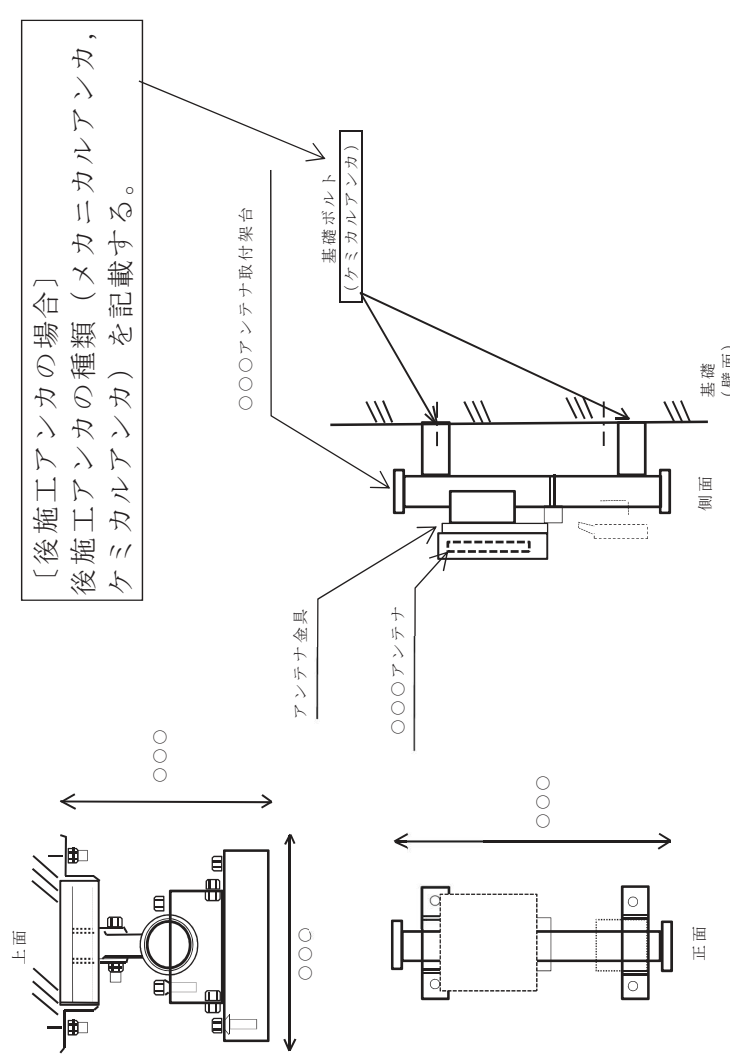
- ・ SA 単独の場合の記載例を示す。
- ・ DB+SA 又は DB 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 評価方針」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p>	<p>主体構造</p>	<p>【○○○アンテナ】</p> 	<p>（単位：mm）</p>
<p>○○○アンテナは、基礎（壁面）に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>○○○アンテナ取付架台を壁面に設置し、その架台に○○○アンテナをアンテナ金具を介して設置する構造</p>	<p>機器の具体的な構造や型式、据付方法が分かるような説明を記載する。</p>	

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容及びフロー図にする。

2.2 評価方針

〇〇〇アンテナの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す〇〇〇アンテナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、〇〇〇アンテナの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

〇〇〇アンテナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

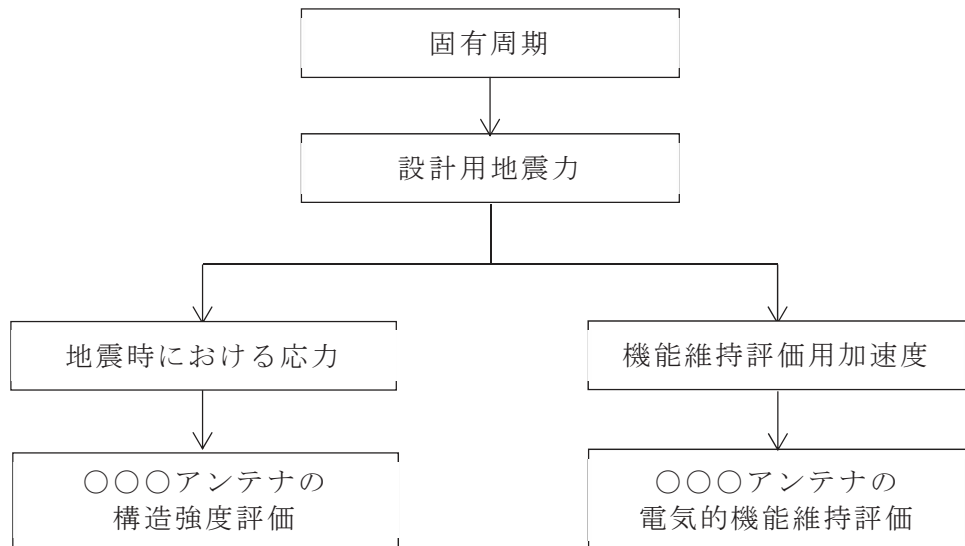


図 2-1 〇〇〇アンテナの耐震評価フロー

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	〇〇〇アンテナ取付架台の断面積	mm ²
A _b	ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F _{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形)	N
F _{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形)	N
f _{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₁	取付面から重心までの距離	mm
h ₂	取付面から重心までの距離 (壁掛型)	mm
h _a	取付面からアンテナ先端までの距離 (壁掛型)	mm
l ₁	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l ₂	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l ₃	重心と下側ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
l _a	側面 (左右) ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
l _b	上下ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
m	〇〇〇アンテナの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n _f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n _{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向) (壁掛形)	—
n _{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (正面方向) (壁掛形)	—
P _k	風荷重	N
P _s	積雪荷重	N
Q _b	ボルトに作用するせん断力	N
Q _{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型)	N
Q _{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型)	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa

3. 評価部位

〇〇〇アンテナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、**耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。**

〇〇〇アンテナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4. 固有周期

4.1 基本方針

〇〇〇アンテナの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 （単位：s）

水平方向	
鉛直方向	

【固有周期を「**振動**試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。】

4.1 基本方針

〇〇〇アンテナの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により当該装置に振動を与え、自由減衰振動を振動計により記録解析し、共振振動数を算出する。〇〇〇アンテナの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-〇に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 〇〇〇アンテナの質量は、重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は、〇〇〇アンテナに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 〇〇〇アンテナは基礎ボルトで基礎（壁面）に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、図5-1及び図5-2における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 〇〇〇アンテナの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算書に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇アンテナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

〇〇〇アンテナの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

〇〇〇アンテナの使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-3に示す。

・DB+SAの場合

〇〇〇アンテナの荷重の組合せ及び許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

5.2.4 風荷重

風荷重は、風速〇〇m/sを使用し、〇〇〇アンテナの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表5-4に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は、単位荷重〇〇N/cm/m²*を使用し、〇〇〇アンテナの形状を踏まえ、作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表5-5に示す。

注記*：積雪量〇〇cmごとに1m²あたり〇〇〇Nであることを示す。

屋外設備で、風及び積雪を考慮する必要がない場合は、記載を省略する。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇設備 〇〇〇アンテナ	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S + P_K + P_S$ *3	IV _{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S + P_K + P_S$	V _{AS} (V _{AS} として IV _{AS} の許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

該当する設備分類のみ記載する。

• DB+SA の場合，以下を上記 SA の前に追加

• DB 単独の場合，以下を使用

表 5-0 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ		許容応力状態
〇〇施設	〇〇〇設備 〇〇〇アンテナ	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^* + P_K + P_S$	III _{AS}	
				$D + P_D + M_D + S_S + P_K + P_S$	IV _{AS}	

注記*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

• DB+SA の場合は、許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）とする。
 • DB 単独または SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

DB+SA の場合は、以下をIV_{AS}の前に追加する。

III _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
-------------------	-----------------	-----------------

施設時の材料記号と，設計・建設規格における JIS 材料記号が異なる場合は，設計・建設規格における JIS 記号を記載する。

- DB+SA の場合は，本表の前に DB の条件である「表 5-0 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）」を追加する。
- DB 単独または SA 単独の場合は，それぞれの該当する表のみ記載する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		温度条件	周囲環境温度			
基礎ボルト	○○○○* (○○mm<径△○○mm)					—

注記*：○○○○相当

厚さ，径等による強度区分がある場合には，該当する強度区分を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

JIS 以外の規格に基づく材料を用いる場合は，材料記号の後に「*」を記載し，注記に JIS 規格における相当材料の記号を記載する。

表 5-4 基準速度圧 (単位：N)

使用する部位	基準速度圧
○○○○用アンテナ取付架台	

表 5-5 積雪荷重 (単位：N)

使用する部位	積雪荷重
○○○○用アンテナ取付架台	

屋外設備で，風及び積雪を考慮する必要がない場合は，記載を省略する。

柔な場合、添付資料-3「たて軸ポンプの耐震計算書記載例」を参考に記載する。

5.3 設計用地震力

「基準値震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

表 5-6 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		基準値震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
○○建屋 O.P. *1 (O.P.)			—	—	$C_H =$ 又は *2	$C_V =$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

固有周期が、0.05 s を超え柔構造となった場合は、注記符号を付記し、設計用震度について注記で説明する。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
 例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

- ・ DB+SA の場合は、本表の前に DB の条件である「表 5-○ 設計地震力（設計基準対象施設）」を追加する。
- ・ DB 単独または SA 単独の場合は、それぞれの該当する表のみ記載する。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot C_H \cdot \dots \cdot \dots \cdot (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot (1 + C_V) \cdot \dots \cdot \dots \cdot (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + P_K}{n \cdot A_b} \cdot \dots \cdot \dots \cdot (5.4.1.1.9)$$

RO
VI-
O
O2

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇アンテナの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

〇〇〇アンテナの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の方針」に基づき、同形式の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
〇〇〇アンテナ (〇〇建屋側)	水平方向	
	鉛直方向	

加振試験を根拠として、電氣的機能維持評価を示す場合、加振試験の概要が分かるよう記載する。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
 発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

・DB+SA の場合

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇アンテナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。
 なお，弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており，基準地震動 S_s による発生値が，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

Ⅲ_AS の評価を S_s で実施する場合は追記する。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇アンテナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【DB+SA の場合】
本ページの前に「1. 設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。

【SA 単独の場合】
本ソフトウェアを使用

【○○○アンテナの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	
○○○アンテナ (○○建屋側)	常設 / 緩和	○○建屋 O.P. (O.P.)			—	—			C _H =	C _V =

注記*：基準床レベルを示す。

基準床レベルと設備が設置されている高さが異なる場合は、設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	h _a (mm)	h ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト							(M)				ボルト径を記載する。

部材	S _v (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	○○ (mm < 径 ≤ mm)	○○ (mm < 径 ≤ mm)	—		—	転倒方向が同じ場合でも、セルを一つにしない。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

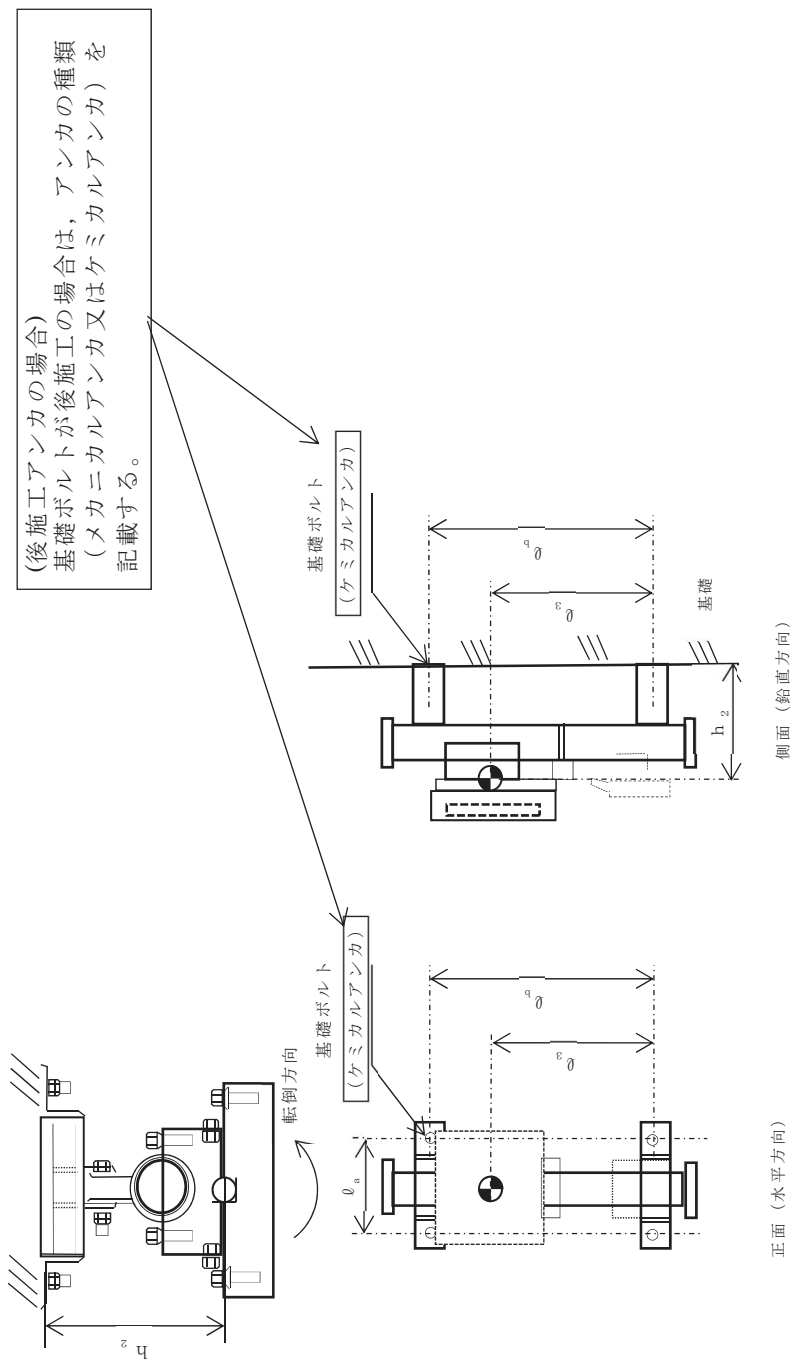
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
〇〇〇アンテナ (〇〇建屋側)	水平方向		
	鉛直方向		

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



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし、配置上入らない場合は最終ページに記載するものとする。
なお、DB+SA の場合は、SA の結果表の最終ページに記載するものとする。

添付資料-9：機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
(E パターンの耐震計算書記載例)

VI-○-○-○ ○○○○温度の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要.....	1
2. 一般事項.....	1
2.1 構造計画.....	1
2.2 評価方針.....	3
2.3 適用規格・基準等.....	3
3. 評価部位.....	3
4. 機能維持評価.....	4
4.1 機能維持評価用加速度.....	4
4.2 機能確認済加速度.....	5
5. 評価結果.....	6
5.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	6
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果.....	6

• DB+SA の場合の記載例を示す。

[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇温度は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇温度の構造計画を表 2-1 に示す。

・ DB+SA の場合の記載例を示す。
[DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

2.1 配置概要
波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。
波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。
その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、
「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 評価方針」と続く。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>検出器は、袋ナットにて、○○○○系管に溶接される。</p>	<p>主体構造</p> <p>検出器は、○○○○系管に溶接された保護管に袋ナットで固定される構造。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>機器の具体的な構造や型式, 据付方法が分かるような説明を記載する。</p> </div>	

2.2 評価方針

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

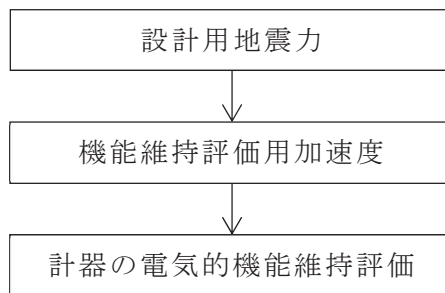


図 2-1 〇〇〇〇温度の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)

3. 評価部位

〇〇〇〇温度は、〇〇〇〇系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、〇〇〇〇系管が支持している。〇〇〇〇系管の構造強度評価は、添付書類「VI-0-0-0-0 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、〇〇〇〇系管の地震応答解析結果を用いた〇〇〇〇温度の電氣的機能維持評価について示す。

4. 機能維持評価

〇〇〇〇温度の電氣的機能維持に評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価用加速度

〇〇〇〇温度は〇〇〇〇系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度又は添付書類「V-0-0-0-0-0 管の耐震性についての計算書」に示す〇〇〇〇設備の地震応答解析で評価した〇〇〇〇温度取付部の配管に生じる応答加速度のいずれか大きい値とする。機能維持評価用加速度を表 4-1 に示す。

機能維持評価用加速度について、どのような値を用いるか記載する。

表 4-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持評価用加速度
〇〇〇〇温度	〇〇建屋 O.P. * (O.P.)	水平方向	
		鉛直方向	

注記 * : 基準床レベルを示す。

据付場所の床面高さと設備が設置されている高さが異なる場合は、設備設置場所のレベルとして (O.P.) を追加する。
例：基礎台高さが 500mm 以上の基礎台に設置されている設備に適用

4.2 機能確認済加速度

〇〇〇〇温度の機能維持確認済加速度は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の盤単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した器具の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇温度	水平方向	
	鉛直方向	

加振試験を根拠として、電気的機能維持評価を示す場合、加振試験の概要が分かるよう記載する。

- ・DB+SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

【○○○○温度の耐震性についての計算結果】

- 設計基準対象施設
- 電気的機能維持の評価結果

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度 (×9.8m/s ²)
○○○○温度	水平方向		
	鉛直方向		

評価に用いる加速度を記載する。

注記*：基準地震動 S_s により定まる評価部位における応答加速度又は 1.0・ZPA のいずれか大きい値とする。

機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

機能維持評価用加速度として、設計用最大応答加速度以外を用いる場合には、注記を記載する。
 また、使用する設計用最大応答加速度 (1.0・ZPA または 1.2・ZPA) を記載する。

- 重大事故等対処設備
- 電気的機能維持の評価結果

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度 (×9.8m/s ²)
○○○○温度	水平方向		
	鉛直方向		

評価に用いる加速度を記載する。

注記*：基準地震動 S_s により定まる評価部位における応答加速度又は 1.0・ZPA のいずれか大きい値とする。

機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

機能維持評価用加速度として、設計用最大応答加速度以外を用いる場合には、注記を記載する。
 また、使用する設計用最大応答加速度 (1.0・ZPA または 1.2・ZPA) を記載する。

添付資料-10 : 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(F パターン「管」の耐震計算書記載例)

VI-○-○-○ 管の耐震性についての計算書 (系統名称)

設計基準対象施設

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価ごとに中表紙を作成する。

02 0 VI-00-00-0(設) R0

図書番号に、設計基準対象施設は「(設)」を、
重大事故等対処設備は「(重)」を記載する。

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力	12
3.5 設計用地震力	13
4. 解析結果及び評価	14
4.1 固有周期及び設計震度	14
4.2 評価結果	20
4.2.1 管の応力評価結果	20
4.2.2 支持構造物評価結果	23
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	24
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	25

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、〇〇系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

当該システムの配管モデル数を記載する。

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全〇モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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




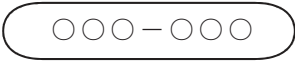

(3) 弁

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

2. 概要系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

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

図示


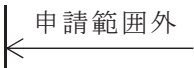
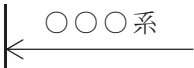


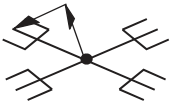
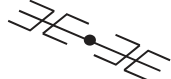

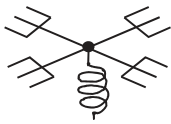
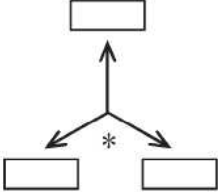


屋外を含む2つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。

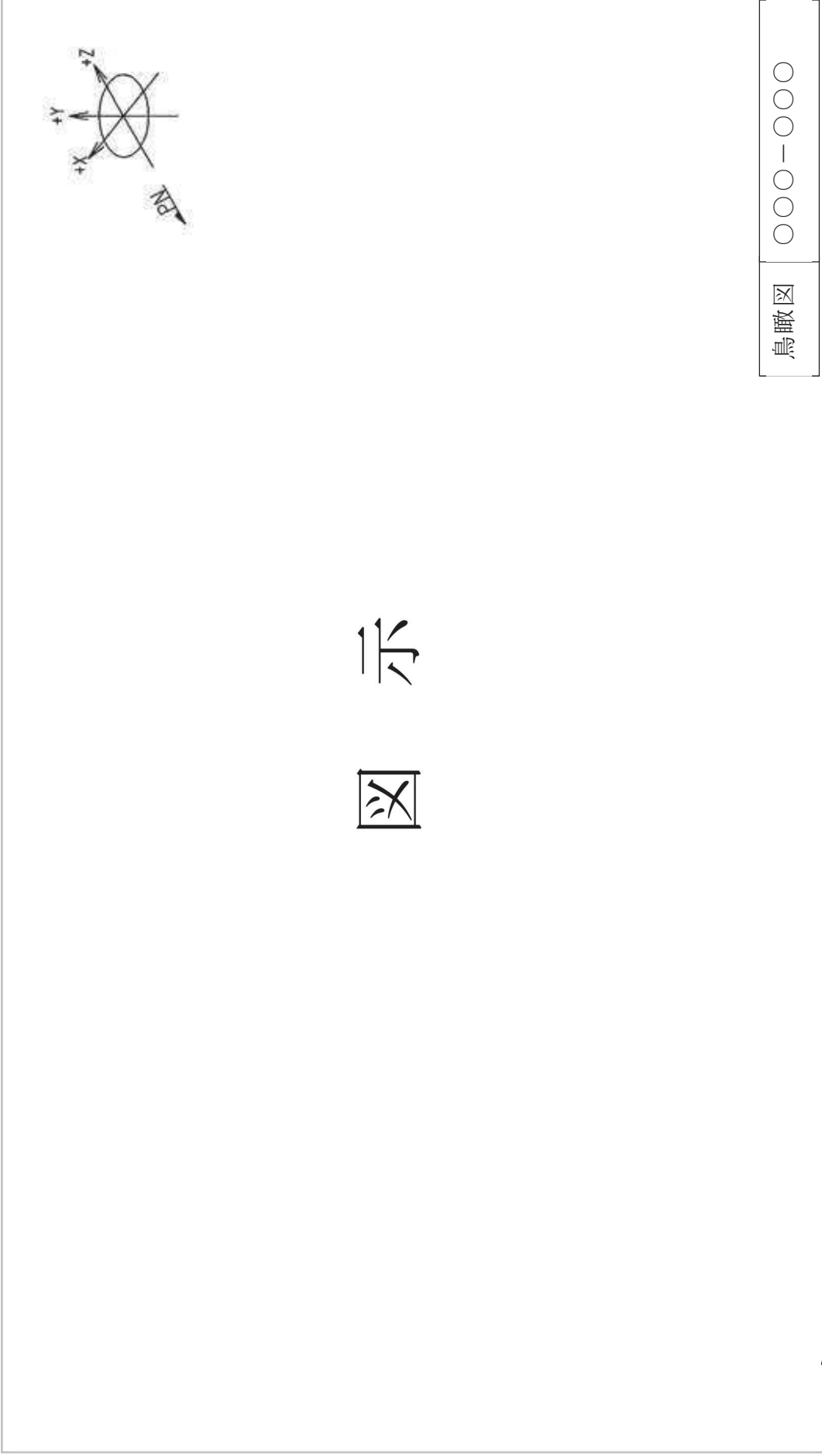
○○○○○○○○系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量 (mm) (* は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，<input type="text"/> 内に 変位量を記載する。)</p>

図示



屋外を含む2つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「〇〇〇」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

重大事故等対処設備の評価時のみ記載する。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2,3	許容応力状態
				-				
				-				

注記 *1: D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2: 運転状態の添字 Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*3: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

該当するもののみ記載する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 ○○○-○○○

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 ○○○-○○○

管名称	対応する評価点

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

配管の質量は、配管自体、管内流体、フランジ及び保温等の配管に付加される質量を含む。

弁部の質量を下表に示す。

弁○

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

弁の質量は、弁自体、管内流体及び保温等の弁に付加される重量を含む。

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h

評価に使用しない許容応力については「-」を記載する。

3.5 設計用地震力

本計画書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)

配管系が設置されているレベルを包絡する設計用床応答曲線を用いる場合は、用いるすべての標高を記載する。

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 ○○○-○○○

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
...							
8次							
n次							
n+1次*2		—	—	—	—	—	—
動的震度*3							
静的震度*4					—	—	—

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

*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

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

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

n次までは固有周期が0.050sより長いモード，n+1次は固有周期が0.050s以下のモードを示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 000-0000

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
...				
8次				
n次				

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



刺激係数の算出方法を記載する。

代表的振動モード図

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

代表的振動モード図(1次)

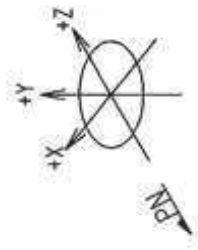


図 示

鳥瞰図



代表的振動モード図(2次)

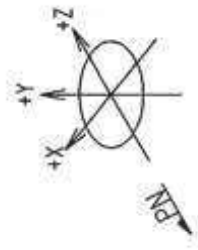
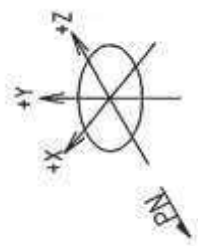


図 示

鳥瞰図

○○○-○○○

代表的振動モード図(3次)



図示

鳥瞰図

〇〇〇-〇〇〇

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数
					一次応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 2.25・Sm 3・Sm	ねじり応力 St(Sd) St(Ss)	許容応力 0.55・Sm 0.73・Sm	許容応力	一次+二次応力 Sn(Sd) Sn(Ss)	
	III _A S			Spr m(S d)			—	—	—	—	—
	III _A S			S t(S d)		—	—	—	—	—	—
	III _A S			S n(S d)		—	—	—	—	—	—
	III _A S			U+U S d		—	—	—	—	—	—
	IV _A S			S p r m(S s)		—	—	—	—	—	—
	IV _A S			S t(S s)		—	—	—	—	—	—
	IV _A S			S n(S s)		—	—	—	—	—	—
	IV _A S			U+U S s		—	—	—	—	—	—

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

**印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

該当する場合に記載する。

一次+二次応力が3 Sm以下の場合は「—」を記載する。

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

鳥瞰図番号

評価点	一次応力評価 (MPa)			許容応力
	ねじり応力 St (Sd) St (Ss)	許容応力 0.55・Sm 0.73・Sm	曲げとねじり応力 St + Sb (Sd) St + Sb (Ss)	
				1. 8・Sm 2. 4・Sm

本表はねじり+曲げ応力評価結果を示すものである。

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	最大 応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9Su	計算応力 Sn(Sd) Sn(Ss)	許容応力 2·Sy 2·Sy	
	III _A S		Spr m (S d)					
	III _A S		Sn (S d)	-				-
	IV _A S		Spr m (S s)					-
	IV _A S		Sn (S s)	-				-

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

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

一次+二次応力が2Sy以下の場合は「-」を記載する。

該当する場合に記載する。

許容応力状態IV_ASにおいて一次+二次応力評価の計算応力が許容応力以下の場合には記載しない。
 許容応力状態IV_ASにおいて一次+二次応力評価の計算応力が許容応力を上回る場合は、III_ASにおける一次+二次応力評価結果を記載し、計算応力が許容応力を上回る場合は疲労評価結果を記載する。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

対象がない場合は、「-」を記載する。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
			添付書類「VI-2-1-1 2-1 配管及び支持構 造物の耐震計算につ いて」参照			

III_AS, IV_AS の評価結果のうち、
裕度最小の結果を記載する。

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果				
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)		
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z					

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

対象がない場合は、「-」を記載する。

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

* 応答加速度は、打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

評価対象がある場合に記載する。

機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は構造強度評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお、構造強度評価を要しない場合は「-」と記載する。

要求機能は、弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s) : 基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの。
- α (S d) : 弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの。
- β (S s) : 基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの。
- β (S d) : 弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

評価クラス毎に記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス〇管) ←

No.	配管モデル	許容応力状態 IV _A S																
		許容応力状態 III _A S				一次応力				一次+二次応力*				疲労評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労係数

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

重大事故等対処設備

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価ごとに中表紙を作成する。

図書番号に，設計基準対象施設は「(設)」を，重大事故等対処設備は「(重)」を記載する。

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力	12
3.5 設計用地震力	13
4. 解析結果及び評価	14
4.1 固有周期及び設計震度	14
4.2 評価結果	20
4.2.1 管の応力評価結果	20
4.2.2 支持構造物評価結果	23
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	24
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	25

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、〇〇系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

当該システムの配管モデル数を記載する。

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全〇モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

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

2. 概要系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



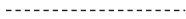
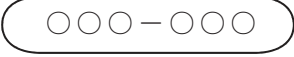

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

図 示


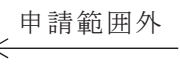
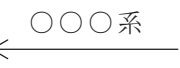


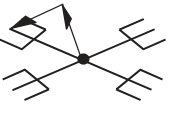
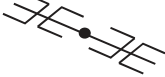

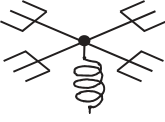
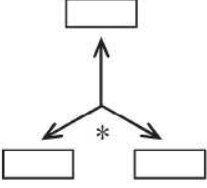


屋外を含む2つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。

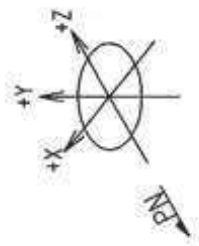
○○○○○○○○系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記 号	内 容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質 点</p>
	<p>ア ン カ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，<input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

図示



鳥瞰図

000-0000

屋外を含む2つ以上の建屋を渡る配管については建屋境界を記載する。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「〇〇〇」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

重大事故等対処設備は「-」を記載。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
						-		
						-		

該当する設備分類のみ記載する。

注記 *1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/防止(拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張), 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設/緩和(拡張)」は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)を示す。

*3: 運転状態の添字 Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 VASは許容応力状態 IVASの許容限界を使用し, 許容応力状態 IVASとして評価を実施する。

重大事故等対処設備の評価時のみ記載する。

該当するもののみ記載する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 ○ ○ ○ - ○ ○ ○

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 ○○○-○○○

管名称	対応する評価点

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 ○○○-○○○

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

配管の質量は、配管自体、管内流体、フランジ及び保温等の配管に付加される質量を含む。

弁部の質量を下表に示す。

弁○

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

弁の質量は、弁自体、管内流体及び保温等の弁に付加される重量を含む。

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h

評価に使用しない許容応力については「-」を記載する。

3.5 設計用地震力

本計画書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)

配管系が設置されているレベルを包絡する設計用床応答曲線を用いる場合は、用いるすべての標高を記載する。

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 000-0000

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1		応答鉛直震度*1	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次		-	-	-			
2次		-	-	-			
3次		-	-	-			
...		-	-	-			
8次		-	-	-			
n次		-	-	-			
$n+1$ 次*2		-	-	-	-	-	-
動的震度*3		-	-	-			
静的震度*4		-	-	-	-	-	-

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

*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

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

*4：3.6C_I及び1.2C_vより定めた震度を示す。

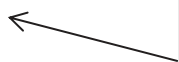
n次までは固有周期が0.050sより長いモード，n+1次は固有周期が0.050s以下のモードを示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 000-0000

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
...				
8次				
n次				

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

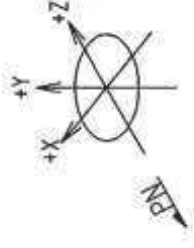


刺激係数の算出方法を記載する。

代表的振動モード図

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

代表的振動モード図(1次)



図示

鳥瞰図

○○○-○○○

○ 2 ○ VI-○-○-○(重) R 0

代表的振動モード図(2次)

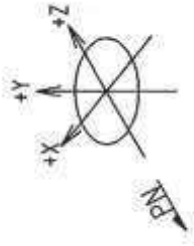


図 示

鳥瞰図

○○○-○○○

代表的振動モード図(3次)



図示

鳥瞰図

○○○-○○○

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲労累積係数 U+U S s
					一次応力 S p r m (S s)	許容応力 3・S m	ねじり応力 S t (S s)	許容応力 0.73・S m	一次+二次応 S n (S s)	許容応力 3・S m	
	V A S			S p r m (S s)			—	—	—	—	—
	V A S			S t (S s)	—	—	—	—	—	—	—
	V A S			S n (S s)	—	—	—	—	—	—	—
	V A S			U+U S s	—	—	—	—	—	—	—

*印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。
 **印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

一次+二次応力が3 S m以下の場合は「—」を記載する。

該当する場合に記載する。

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

鳥瞰図番号

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力 $S_t (S_s)$	許容応力 $0.73 \cdot S_m$	曲げとねじり応力 $S_t + S_b (S_s)$	許容応力 $2.4 \cdot S_m$

注：本表はねじり+曲げ応力評価結果を示すものである。

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm (S s)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn (S s)	許容応力 2・Sy	
	VAS		Spr m (S s)			—	—	—
	VAS		Sn (S s)	—	—	—	—	—

*印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

該当する場合に記載する。

一次+二次応力が2 Sy以下の場合は「—」を記載する。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

対象がない場合は、「-」を記載する。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
			添付書類「VI-2-1-1 2-1 配管及び支持構 造物の耐震計算につ いて」参照			

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果				
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)		
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z					

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

対象がない場合は、「-」を記載する。

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

* 応答加速度は、打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。

評価対象がある場合に記載する。

機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は構造強度評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお、構造強度評価を要しない場合は「-」と記載する。

要求機能は、弁に要求される機能に応じて以下を記載する。
 α (S s) : 基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの。
 α (S d) : 弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの。
 β (S s) : 基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの。
 β (S d) : 弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの。

本資料のうち、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-19-0600-11_改5
提出年月日	2021年4月9日

補足-600-11 サプレッションチェンバの耐震評価における内部水質の考え方の変更等についての
補足説明資料

目次

1. はじめに	1
2. サプレッションチェンバ及びボックスサポートについて	4
2.1 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造	4
2.2 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策.....	8
2.2.1 耐震補強対策の目的.....	8
2.2.2 耐震補強対策の内容.....	8
3. サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価	13
3.1 評価手順	13
3.2 地震応答解析	16
3.2.1 基本方針	16
3.2.2 地震応答解析モデル.....	16
3.3 応力解析	19
3.3.1 基本方針	19
3.3.2 応力評価点.....	19
3.3.3 応力解析方法.....	23
3.4 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違	24
4. 地震応答解析の詳細.....	28
4.1 地震応答解析モデル.....	28
4.1.1 サプレッションチェンバ内部水の有効質量算定	28
4.1.2 地震応答解析モデルにおける有効質量の設定	31
4.1.3 サプレッションチェンバ本体のモデル化	35
4.1.4 ボックスサポート取付部のばね剛性の算定	36
4.1.5 ボックスサポートのモデル化.....	39
4.2 地震応答解析モデル（3次元はりモデル）の妥当性確認	47
4.2.1 妥当性の確認方針（妥当性確認の着眼点）	47
4.2.2 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）	49
4.2.3 3次元シェルモデルと3次元はりモデルのモデル化の比較.....	50
4.2.4 妥当性確認結果.....	52
4.3 地震応答解析に係る検討.....	66
4.4 スロッシング荷重.....	70
5. 応力解析の詳細	72
5.1 応力評価フロー	72
5.2 応力評価点	73
5.2.1 サプレッションチェンバの応力評価点	73

5.2.2	ボックスサポートの応力評価点	75
5.3	応力解析モデル	77
5.3.1	サプレッションチェンバの応力解析モデル	77
5.3.2	フランジプレート（外側）の応力解析モデル	78
5.4	応力評価	79
5.4.1	サプレッションチェンバの応力評価	79
5.4.2	ボックスサポートの応力評価	81
6.	サプレッションチェンバ等の耐震評価における不確かさの考慮及び保守性	82
7.	サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価結果	84
8.	まとめ	88

別紙1 有効質量の適用およびその妥当性検証

別紙2 サプレッションチェンバ内部水の地震応答解析モデルへの縮約方法及びその妥当性確認結果

別紙3 地震応答解析モデルに対するバルジングの影響検討

別紙4 サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性の設定

別紙5 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の設定

別紙6 スロッシング荷重の算定方法

別紙7 計算機コード（NASTRAN, OpenFOAM）の概要

別紙8 有効質量の概要

別紙9 規格類における有効質量の適用例

別紙10 サプレッションチェンバの水位条件

別紙11 地震時におけるトーラス型容器内部水の有効質量に係る研究の概要

別紙12 有効質量比に対するスロッシング影響

別紙13 振動試験の振動試験の有効質量比

別紙14 有効質量比に対する入力地震動の影響

別紙15 サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重及び有効質量の影響評価

別紙16 規格基準における有効質量比との比較

別紙17 原子炉建屋基礎版上における地震応答を用いる妥当性

別紙18 ボックスサポートの耐震評価における応力算出方法の考え方

別紙19 サプレッションチェンバ内の耐震補強対策等による有効性評価等への影響

1. はじめに

本書は、女川原子力発電所第2号機（以下、女川2号機という。）の工事計画認可申請書添付資料「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」及び「VI-2-9-2-1-5 ボックスサポートの耐震性についての計算書」における耐震評価手法についてまとめた資料である。

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価では、サプレッションチェンバ本体とそれを支持するボックスサポートを模擬した地震応答解析モデルを用いて地震荷重を算定し、それらに基づき、各部の構造強度評価を行うことで、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震性を評価するものである。

女川2号機の既工認及び今回工認における動的地震力及び静的地震力に対する耐震評価フローを図1-1, 1-2, 1-3, 1-4に示す。

女川2号機の既工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価は、簡便な扱いとして、サプレッションチェンバ内部水を含めたサプレッションチェンバ全体を剛と見做し、3次元はりモデルを用いた静的解析によりサプレッションチェンバの地震応答解析を実施していた。

今回工認においては、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細な地震応答解析を実施するため、より現実に近いサプレッションチェンバの内部水の挙動を考慮して内部水質量を従来の固定質量から有効質量へ変更すること*、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析については、既工認における解析モデルの精緻化及び詳細化を図り、サプレッションチェンバ本体に加えてボックスサポート等を考慮した3次元はりモデルによる動的解析（スペクトルモーダル解析）を適用することとした。なお、サプレッションチェンバ内部水質量の扱いを有効質量としたことに伴い、サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重を流体解析にて算定することとした。

また、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価にあたっては、サプレッションチェンバとボックスサポートの取付部にばね剛性を模擬し考慮すること等に加えて、耐震性の向上を目的としたサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容を反映し、より詳細に評価を実施する。

なお、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に3次元はりモデルを適用するにあたっては、妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による地震応答解析結果との比較検討を行い、耐震評価において考慮すべき振動モードが3次元はりモデルにて表現できていること等を確認している。

注記*：女川原子力発電所第2号炉審査資料「女川原子力発電所2号炉 設計基準対象施設について

4条 地震による損傷の防止 別紙—4 サプレッションチェンバ内部水質量の考え方の変更について」（02-NP-0272(改114)（令和2年2月7日））参照

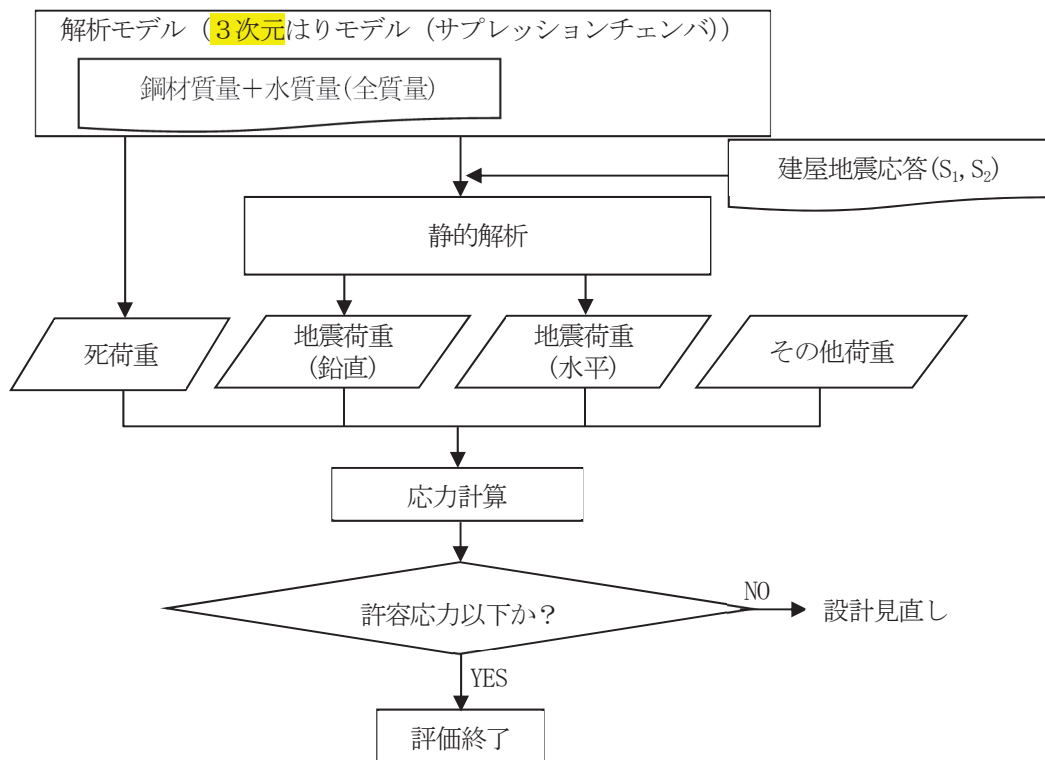


図 1-1 既工認におけるサプレッションチェンバの動的地震力による耐震評価フロー

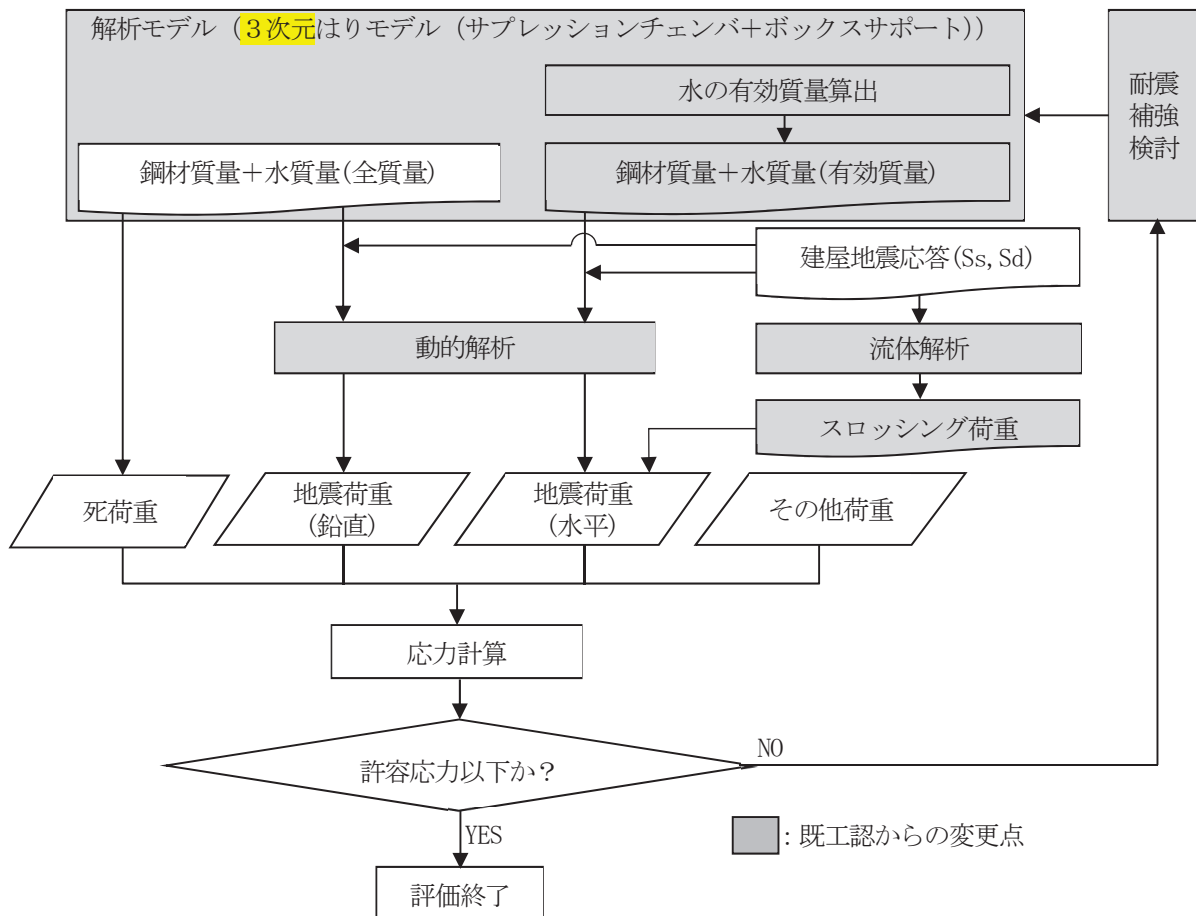


図 1-2 今回工認におけるサプレッションチェンバの動的地震力による耐震評価フロー

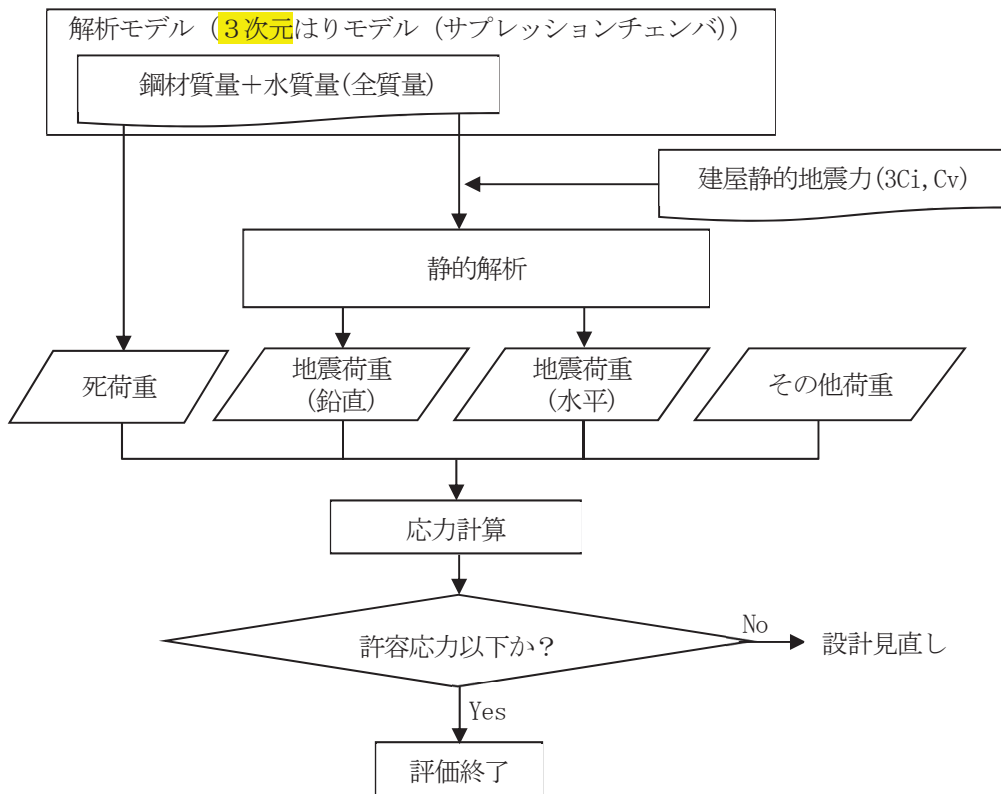


図 1-3 既工認におけるサプレッションチェンバの静的地震力による耐震評価フロー

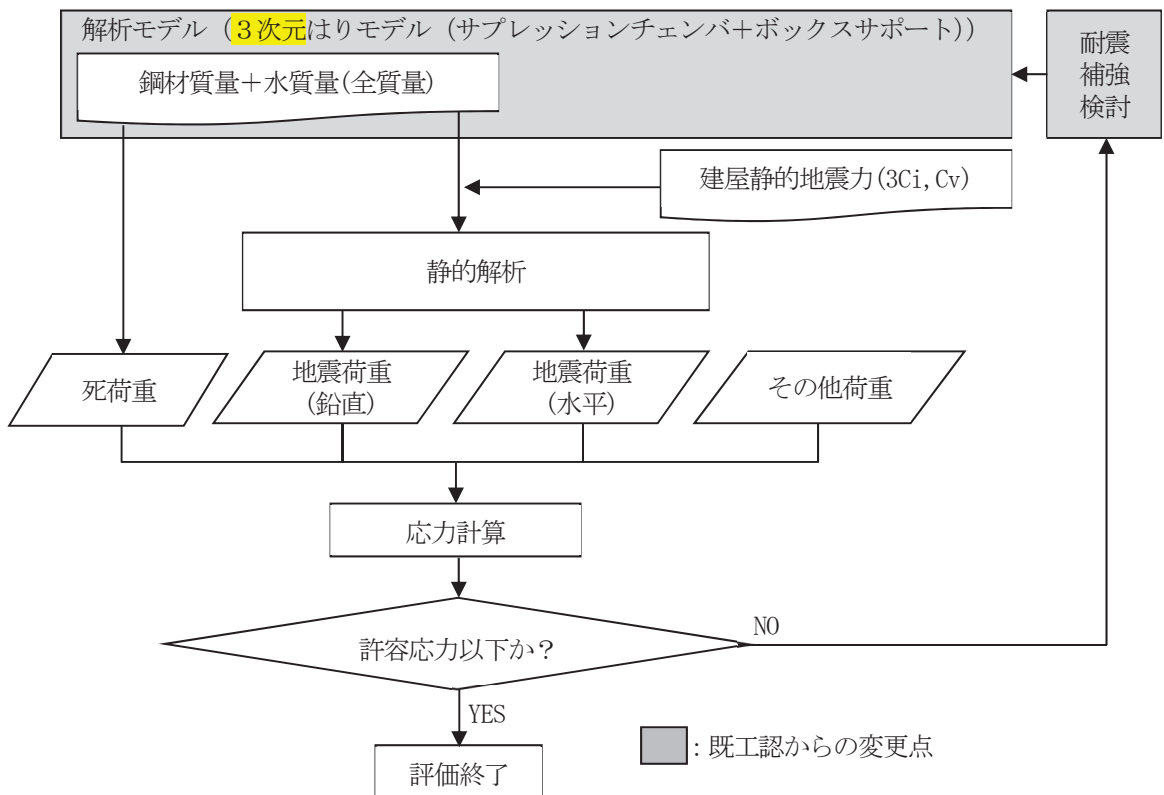


図 1-4 今回工認におけるサプレッションチェンバの静的地震力による耐震評価フロー

2. サプレッションチェンバ及びボックスサポートについて

2.1 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造

女川2号機のサプレッションチェンバ及びボックスサポート構造概要図を図2.1-1に、ボックスサポート構造詳細図を図2.1-2に、サプレッションチェンバ断面概要図を図2.1-3に、サプレッションチェンバ諸元を表2.1-1に示す。

サプレッションチェンバは、大円が直径 \square mm、小円が直径 \square mm、板厚 \square mm、16セグメントの円筒を繋ぎ合わせた円環形状（トーラス状）の構造物である。また、各セグメントの継ぎ目部（以下、「胴エビ継手部」という）には箱状の支持構造物であるボックスサポートが大円の内側及び外側それぞれに16箇所計32箇所に取り付けられており、それらが基礎ボルトを介して原子炉建屋基礎版上（O.P. -8, 100mm）に自立している。ボックスサポートは、サプレッションチェンバ（大円）の半径方向の熱膨張を吸収する目的で可動し、周方向に地震荷重を原子炉建屋基礎版に伝達させる構造となっている。サプレッションチェンバは、ドライウェルとベント管を介して接続されているが、ベント管のベント管ベローズにより振動が伝達しない構造としており、地震による揺れは、原子建屋基礎版上からボックスサポートを介しサプレッションチェンバに入力される（別紙17）。

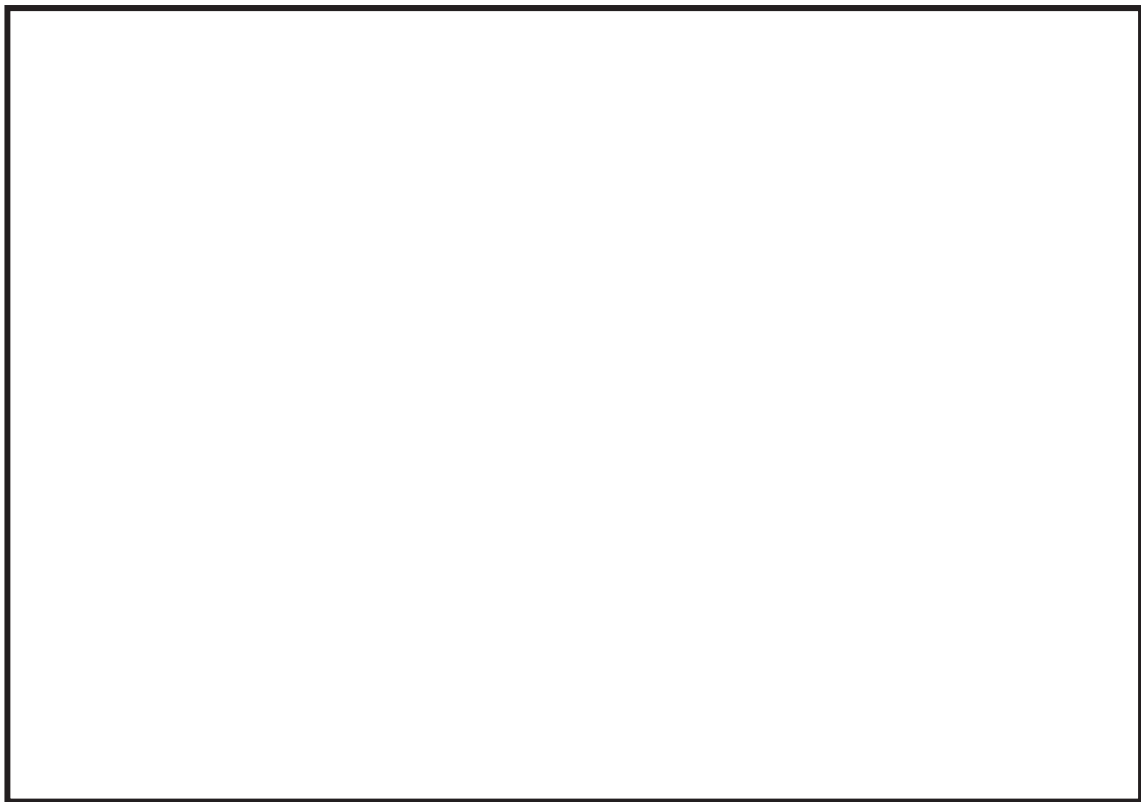
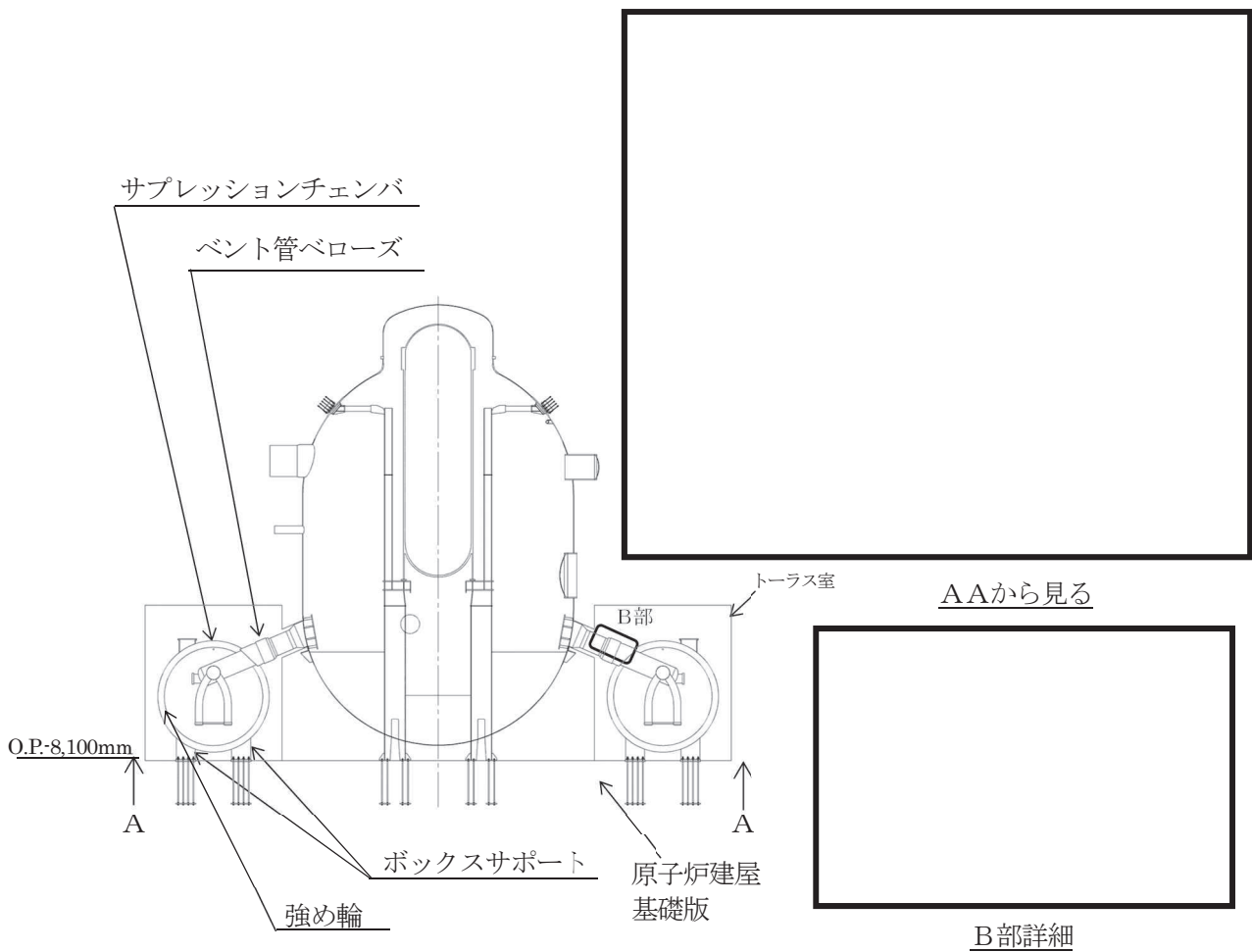


図 2. 1-1 サプレッションチェンバ及びボックスサポート構造概要図

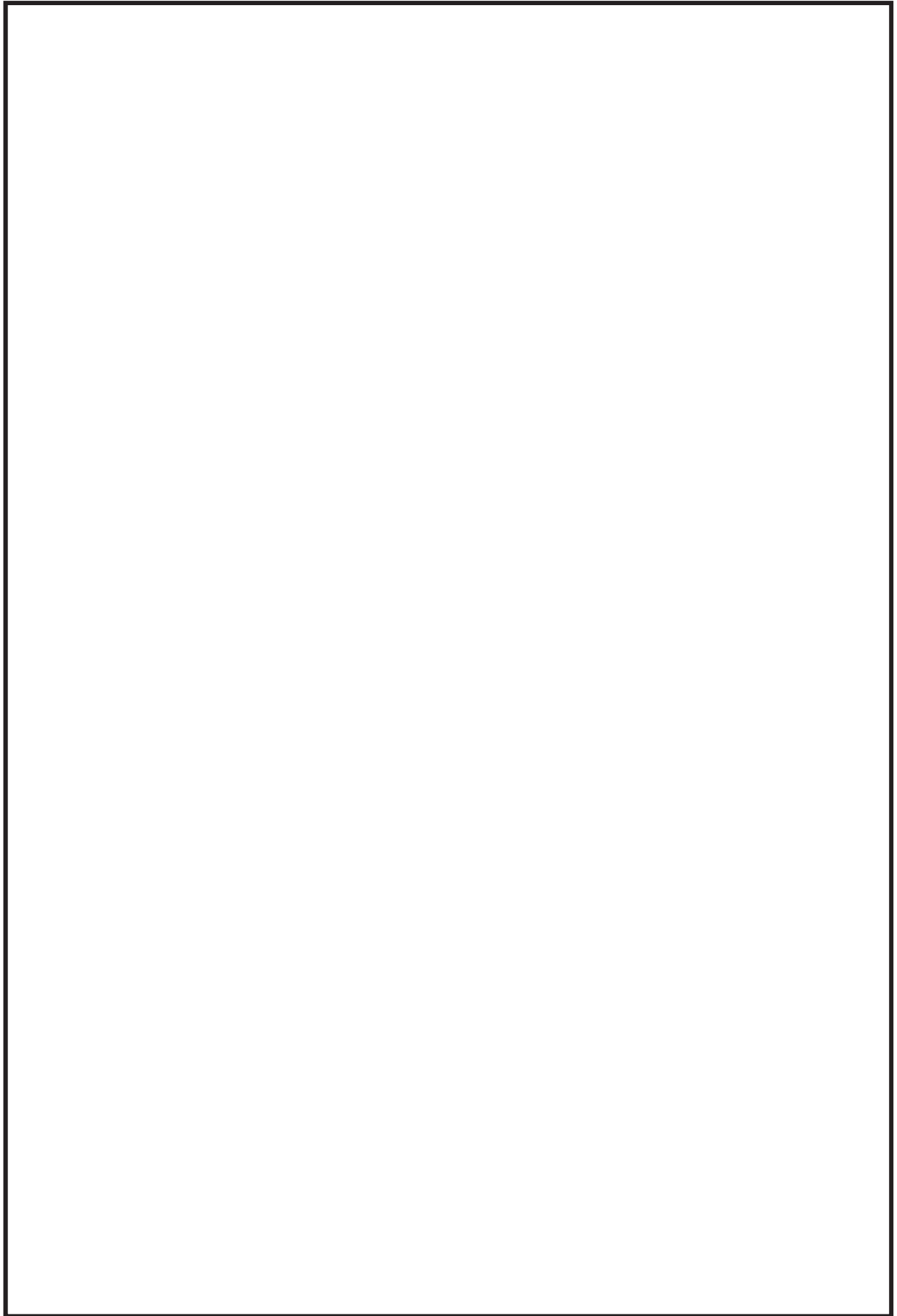


図 2.1-2 ボックスサポート構造詳細図

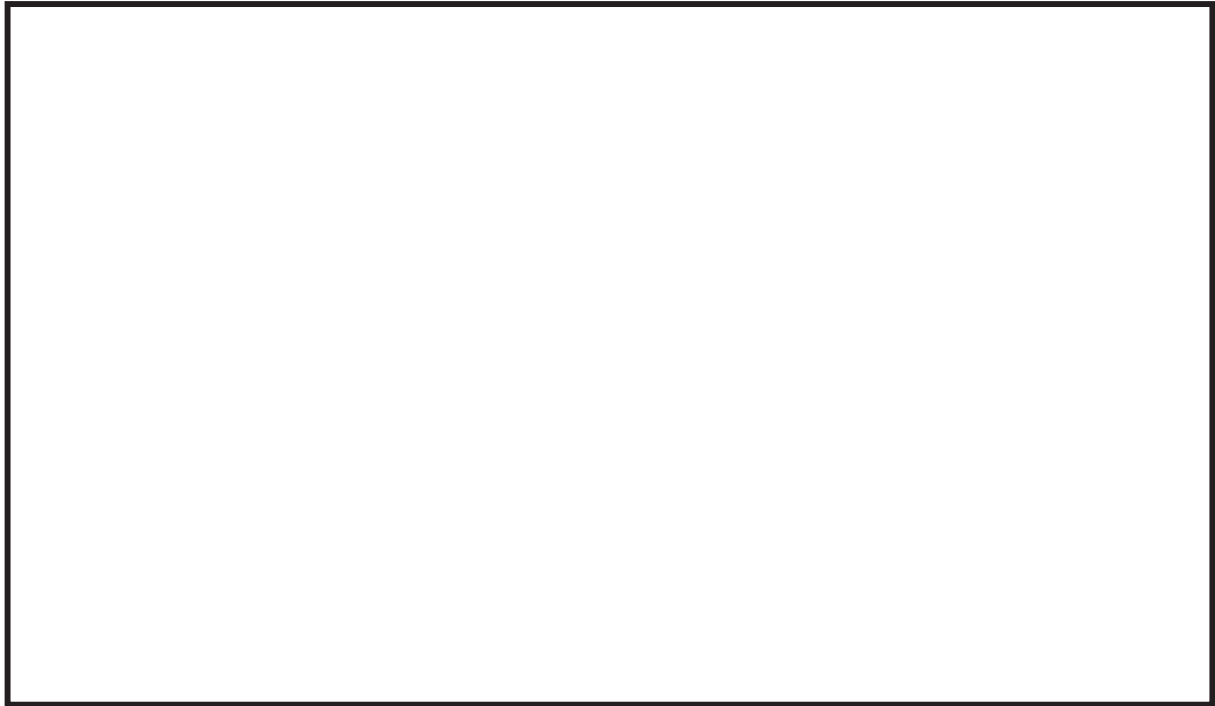


図 2.1-3 サプレッションチェンバ断面概要図

表 2.1-1 サプレッションチェンバ諸元

項目		内容	備考
耐震クラス		Sクラス	設計基準対象施設
設備分類		常設耐震重要重大事故防止設備 常設重要重大事故緩和設備	重大事故等対処設備
設置建屋		原子炉建屋	
設置高さ		O.P. -8, 100	原子炉建屋基礎版上
主要寸法	D		記号は図 2.1-1 に示す
	λ		
	t		
	θ		
サプレッション チェンバ質量 (内部水及びボックス サポート含む)		約 4,200 ton	通常運転水位における質量
		約 6,770 ton	耐震解析用重大事故等時水位* における質量
内部水質量		約 2,900 ton	通常運転水位における質量
		約 5,470 ton	耐震解析用重大事故等時水位* における質量

注記* 重大事故等時水位よりも高い水位（真空破壊装置下端位置）

2.2 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策

2.2.1 耐震補強対策の目的

今回工認においては、重大事故等時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、女川2号機のサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震性を向上させるための補強対策として、サプレッションチェンバの強め輪及びボックスサポート取付部、ボックスサポートの脚部及び基礎部に補強部材を追加する。

2.2.2 耐震補強対策の内容

(1) サプレッションチェンバ及びボックスサポート取付部

サプレッションチェンバ及びボックスサポート取付部の耐震補強対策前後の比較表を表 2.2-1 及び表 2.2-2、耐震補強対策後の詳細構造図を図 2.2-1 に示す。

サプレッションチェンバの小円については、建設時より、断面変形を抑制する設計のためサプレッションチェンバ内部に強め輪が設置されているが、強め輪を拡張する補強部材及び強め輪間の連結板を追加する耐震補強対策を実施し、強め輪の剛性を向上させることによって小円の断面変形を更に抑制する。【強め輪 64 枚中の 32 枚（胴エビ継手部）】なお、耐震補強対策の範囲は、サプレッションチェンバ内の設備（サプレッションチェンバスプレイ管、主蒸気逃がし安全弁排気配管）との干渉及びサプレッションチェンバ下部の強め輪補強が応力に与える影響が小さいことを踏まえて設定している（図 2.2-2 参照）。

サプレッションチェンバの内側及び外側ボックスサポート取付部（P9、P10）に対する応力低減を目的として、ボックスサポート取付部周辺にパッド及び補強リブを追加する。【ボックスサポート取付部：32ヶ所】なお、外側ボックスサポート取付部よりも内側ボックスサポート取付部の地震荷重が大きいため、内側ボックスサポート取付部のパッドの幅を大きく設計している。

サプレッションチェンバ内の耐震補強対策等による部材の追加によってサプレッションチェンバ空間部体積及び水量が変化するため、有効性評価等に与える影響について確認し、有効性評価等で用いられている評価条件が確保されることを確認した。併せて、耐震補強対策等による部材の追加によってLOCA時等の水温や内部水の流動に与える影響について考察し、影響がほとんどないことを確認した。（別紙19）。

(2) ボックスサポート

ボックスサポートの耐震補強対策前後の比較表を表 2.2-3、耐震補強対策後の詳細構造図を図 2.2-3 に示す。

ボックスサポートのシヤラグ取付部（P4）及びシヤコネクタ取付部（P8）に対する応力低減を目的として、ベースプレート外側（周方向）に新設ベースプレート、新設シヤコネクタ及び新設シヤラグを追加する。また、ボックスサポートのフランジプレート（P6）及びベースプレート（P7）に対する応力低減を目的として、ボックスサポートのボックスプレートに追加リブを追加する。【ボックスサポート：32ヶ所】

表 2.2-1 サプレッションチェンバの耐震補強対策前後比較表

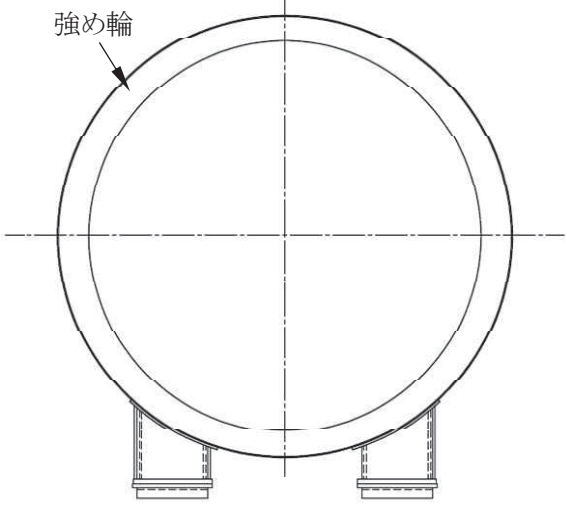
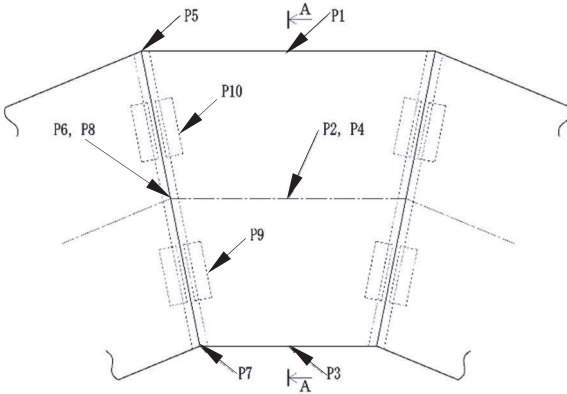
	補強前（小円断面）	補強後（小円断面）
概略構造		

表 2.2-2 ボックスサポート取付部の耐震補強対策前後比較表

	補強前（ボックスサポート取付部）	補強後（ボックスサポート取付部）
概略構造	<p>*P1～P10 は既工認における応力評価点</p> 	

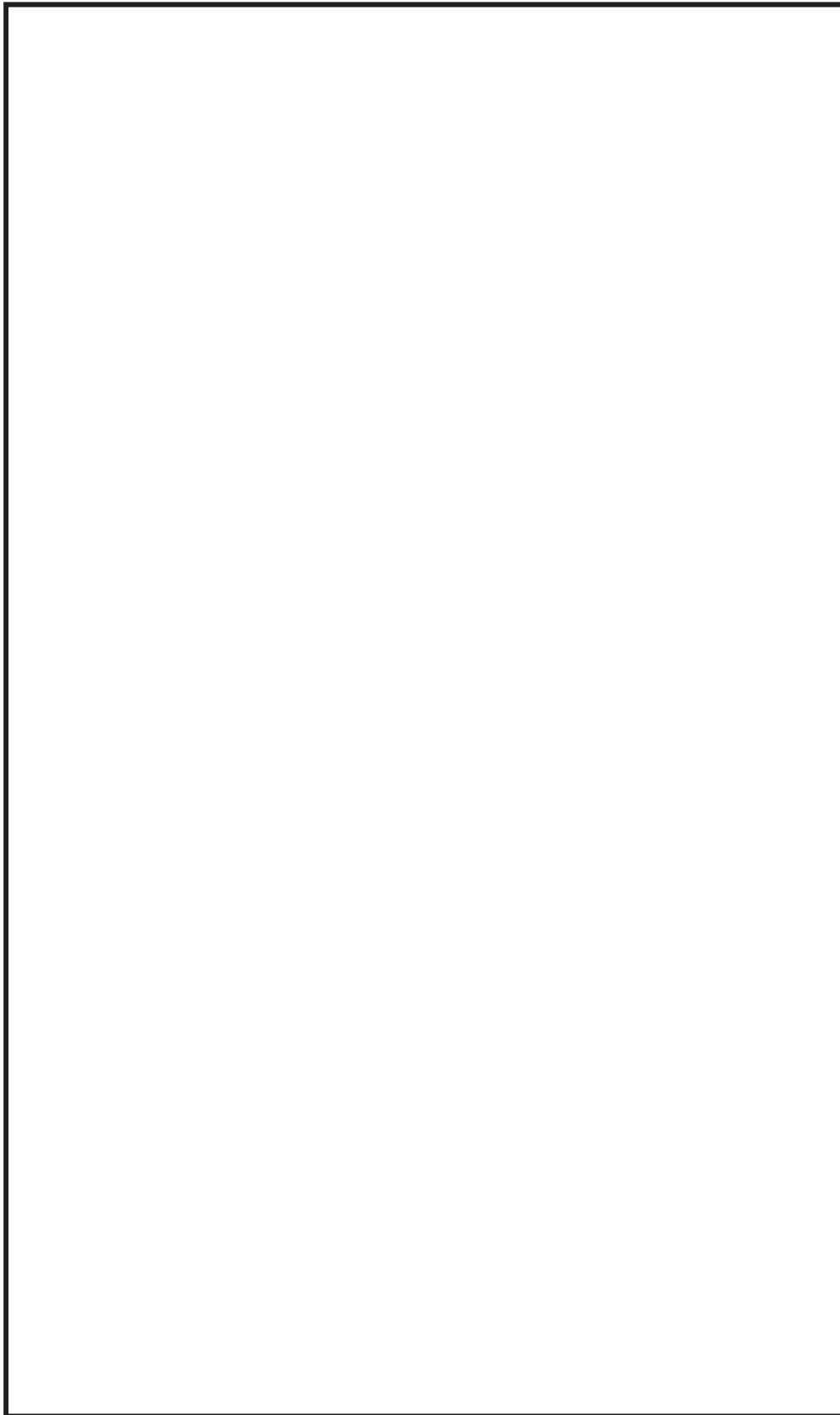
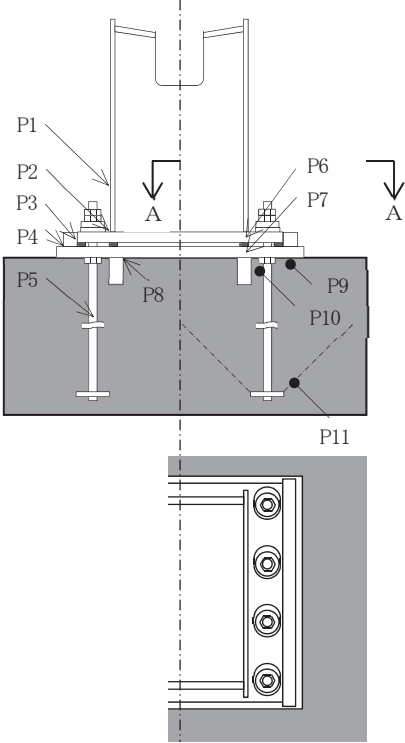
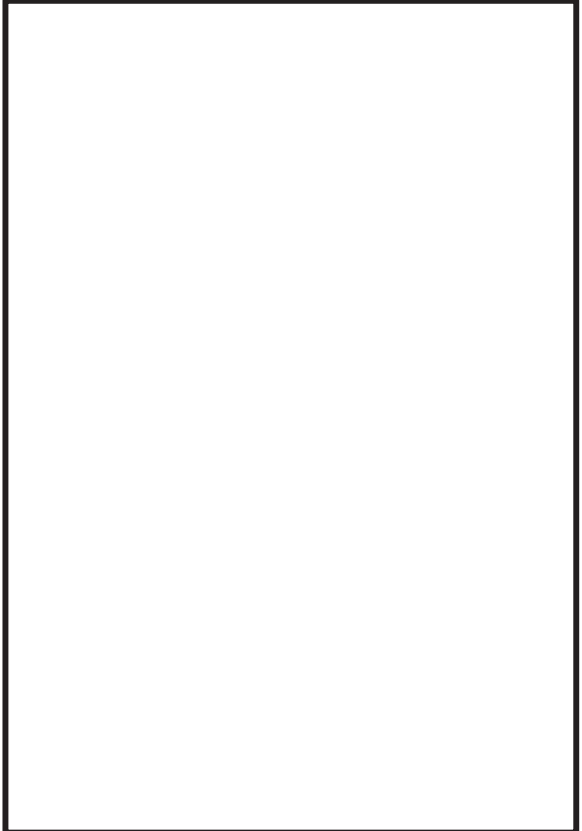


図 2. 2-1 サプレッションチェンバ及びボックスサポート取付部の耐震補強対策後詳細構造図



図 2.2-2 強め輪の補強範囲とサブプレッションチェンバ内の設備との関係

表 2.2-3 ボックスサポート耐震補強対策前後比較表

	補強前	補強後
概略構造	<p>*P1～P11 は既工認における応力評価点</p>  <p style="text-align: center;">A - A 断面</p>	<p>■ : 補強部材</p> 

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

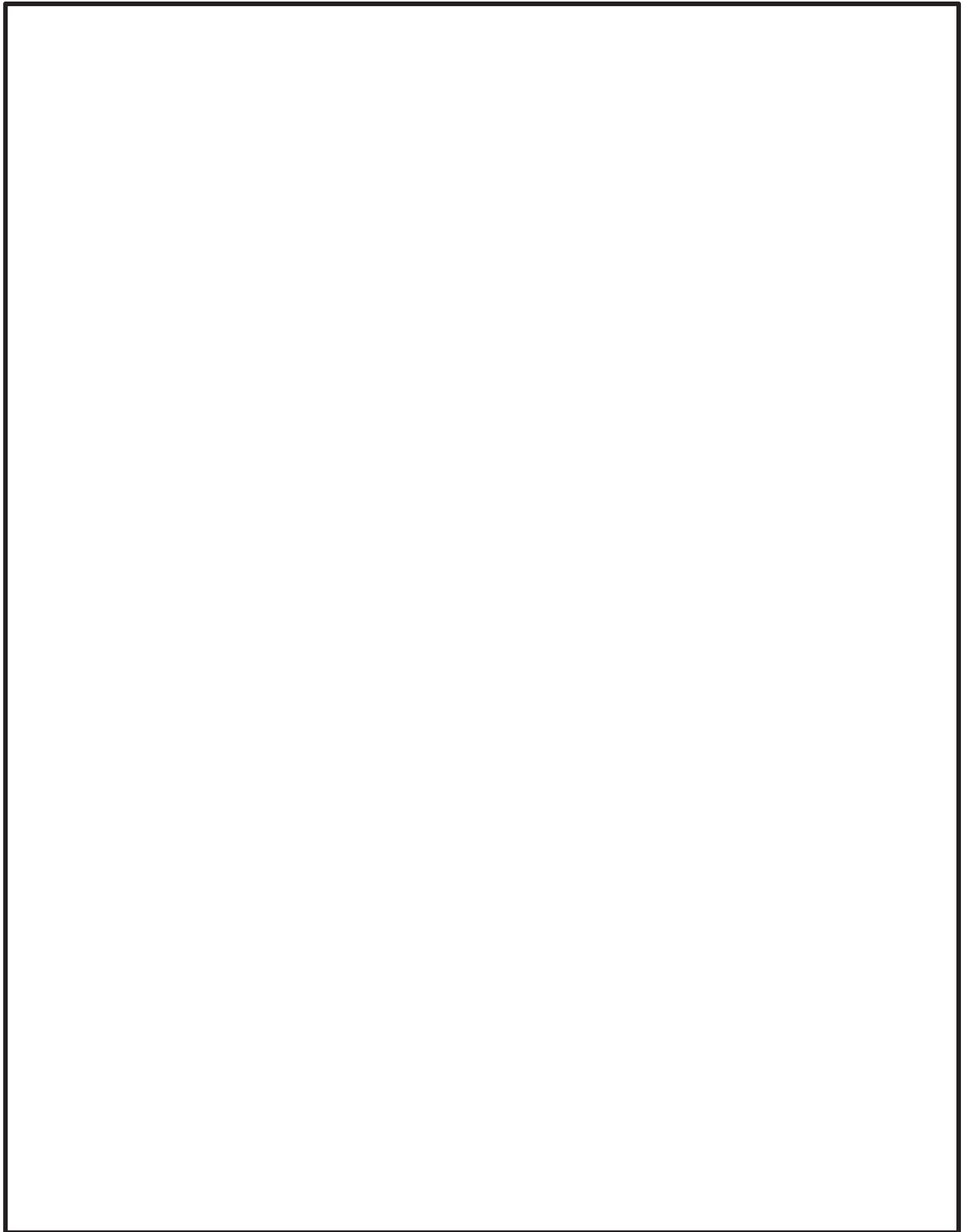


図 2.2-3 ボックスサポートの耐震補強対策後詳細構造図

3. サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価

3.1 評価手順

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価に係る評価手順は、表 3.1-1 のとおり、地震応答解析及び応力解析に大別される。

地震応答解析では、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造特性、サプレッションチェンバ内部水の流体特性等を考慮し、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル（3次元はりモデル）を設定し、固有値解析及び地震応答解析（スペクトルモーダル解析）を実施し、地震時における荷重等を算定する。なお、スロッシング荷重については、地震時のサプレッションチェンバ内部水の挙動を考慮し、流体解析にて算定する。

応力解析では、地震応答解析にて算定した地震時における荷重等を用いて、サプレッションチェンバ及びボックスサポートのシェルモデルを用いた FEM 解析による応力解析、評価断面の形状から公式等による手計算等によって各応力評価点の応力を算定する。

なお、表 3.1-1 には、設置許可審査にて詳細設計段階で説明することとした項目（設置許可からの申送り事項）及び詳細設計の進捗を踏まえた説明する項目を示す。

: 詳細設計段階で説明することとした項目 (設置許可からの申送り事項)
 : 詳細設計の進捗を踏まえた説明項目

表 3.1-1 評価手順 (1/2)

評価手順	主な詳細設計項目	今回工認における補足説明の内容
<p>耐震評価</p> <p>地震応答解析モデルの設定 (3次元はりモデル)</p>	<p>耐震補強対策</p> <p>サブレシジョンチェンバ内部部の有効質量のモデル化</p> <p>サブレシジョンチェンバ本体のモデル化</p> <p>ボックスサポート取付部のモデル化</p> <p>ボックスサポートのモデル化</p>	<p>耐震補強対策の内容 本文：2.2.2 参照</p> <p>有効質量の算定及びモデル化 本文：4.1.1, 4.1.2 参照 別紙：別紙1,2 参照</p> <p>バルジングの影響検討 本文：4.1.3 参照 別紙：別紙3 参照</p> <p>ばね剛性の設定 本文：4.1.4 参照 別紙：別紙4 参照</p> <p>ボックスサポートの剛性の詳細化，基礎ボルトのモデル化 本文：4.1.5 参照</p>
<p>固有値解析の実施</p>	<p>設計用床応答曲線</p> <p>動的解析</p>	<p>はりモデルの妥当性検討 (シエールモデルとの応答比較) 本文：4.2 参照</p> <p>有効質量算定解析コート間の差異影響 本文：4.3 参照</p> <p>スペクトルモデル解析の適用 (高振動数の考慮確認) 本文：4.3 参照</p>
<p>地震応答解析の実施 (スペクトルモデル解析)</p> <p>地震時における荷重等の算定</p>	<p>スロッシング荷重</p>	<p>流体解析によるスロッシング荷重算定 本文：4.4 参照 別紙：別紙6 参照</p>
<p>応力解析へ</p>		

地震応答解析

表 3.1-1 評価手順 (2/2)

: 詳細設計段階で説明することとした項目 (設置許可からの申送り事項)
 : 詳細設計の進捗を踏まえた説明項目

	評価手順	主な詳細設計項目	今回工認における補足説明の内容
応力解析	<pre> graph TD Start([地震応答解析より]) --> Step1[応力評価点の設定] Step1 --> Decision{応力解析を実施するか?} Decision -- YES --> Step2[応力解析モデルの作成 (シェルモデル)] Decision -- NO --> Step3[公式等による評価] Step2 --> Step4[応力解析による評価] Step3 --> Step5[個別詳細評価が必要な場合] Step5 --> Step6[個別詳細評価] Step4 --> Step6 Step6 --> End[] </pre>	<p>サブレスジョンメンバの解析結果及びボックスサポート荷重伝達経路の考慮</p> <p>サブレスジョンメンバ及びボックスサポートのモデル化</p> <p>FEM解析</p> <p>フランジプレート (外側) のモデル化</p> <p>FEM解析</p>	<p>応力評価点の検討 本文：5.2 参照</p> <p>モデル化方針 本文：5.3.1 参照</p> <p>サブレスジョンメンバの応力評価 本文：5.4.1 参照</p> <p>モデル化方針 本文：5.3.2 参照</p> <p>ボックスサポートの応力評価 本文：5.4.2 参照</p>

3.2 地震応答解析

3.2.1 基本方針

既工認では、簡便な扱いとして、サプレッションチェンバ内部水を含めたサプレッションチェンバ全体を剛と見做し、静的に地震応答解析を実施していたが、今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析では、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、より現実に近いサプレッションチェンバの内部水の挙動を考慮して内部水質量を従来の固定質量から有効質量へ変更すること、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析として、女川2号機と同型炉で既工認実績のある動的解析（3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析）を適用し、地震時における荷重を算出する。なお、スロッシング荷重については、地震時のサプレッションチェンバ内部水の挙動を考慮し、流体解析にて算定する。

また、地震応答解析モデルの設定にあたっては、サプレッションチェンバとボックスサポートの取付部に剛性を模擬したばね要素を考慮すること等に加えて、耐震性の向上を目的としたサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容を反映し、より詳細にサプレッションチェンバとボックスサポートの耐震評価を実施する。

なお、地震応答解析に適用する3次元はりモデルの妥当性確認として、3次元シェルモデルを用いた地震応答解析との比較検討を行い、耐震評価において考慮すべき振動モードが3次元はりモデルにて表現できていること等を確認する。

3.2.2 地震応答解析モデル

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に適用する3次元はりモデルについて、図3.2-1に示す。

設置許可からの申送り事項、詳細設計段階における進捗等を踏まえ、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの3次元はりモデルの設定にあたっての主な考慮事項を以下に示す。なお、詳細検討内容については、4項に示す。

(1) サプレッションチェンバ内部水に対する有効質量

サプレッションチェンバ内部水に対する有効質量は、NASTRANの仮想質量法を用いて、サプレッションチェンバの内面圧力（水平及び鉛直方向の圧力）から各方向の有効質量を算出する。また、算出された有効質量の3次元はりモデルへの設定は、NASTRANの機能（Guyan縮約法）を用いて、サプレッションチェンバの各質点に縮約し、付加する。

なお、サプレッションチェンバ内部水の有効質量の妥当性検証として、実機を縮小した試験体を用いた振動試験及び流体解析により算出した有効質量と比較・検証を行う。

(2) サプレッションチェンバ本体のバルジングに対する影響

サプレッションチェンバ及びボックスサポートを構成する各部材の剛性、質量、サプレッション

チェンバ内部水等を適切に考慮し、はり要素でモデル化する。

一方、内部水を有する薄肉円筒容器（たて置円筒容器）の円筒壁面が変形振動（バルジング）することの既往知見に対して、既工認におけるサブプレッションチェンバ本体（小円）の耐震設計では、強め輪によりサブプレッションチェンバ本体（小円）の断面変形を抑制する設計としている。ただし、今回工認では、重大事故等時のサブプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、強め輪の剛性を更に向上させる耐震補強対策を実施することによって、サブプレッションチェンバ本体（小円）の断面変形を更に抑制する設計とする。

また、サブプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルの設定にあたっては、より詳細に地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素を3次元はりモデルに付加する。

(3) ボックスサポート取付部の影響

既工認におけるボックスサポート取付部の耐震設計では、当該部における局部変形を防止するため、サブプレッションチェンバ内部に強め輪を設置するとともに、ボックスサポートは当て板を介してサブプレッションチェンバに取り付けられていることから、ボックスサポート取付部の剛性を簡便に剛として扱っていた。今回工認では、重大事故等時のサブプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、ボックスサポート取付部の影響を含め、より詳細な地震応答を把握するため、シェルモデルとはりモデルを用いた解析からボックスサポート取付部のばね剛性を各々算定し、そのばね剛性の差をばね要素として地震応答解析モデル（3次元はりモデル）に設定することで、はりモデルで考慮されないボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮する。

(4) ボックスサポートの剛性の詳細化及び基礎ボルト等の扱い

既工認におけるサブプレッションチェンバのモデル化では、十分に剛性が高いことから []
[]
[] に考慮して
いた。今回工認では、より詳細な地震応答を把握するため、シェルモデルを用いた解析からボックスサポートの剛性を算定し、地震応答解析モデルに考慮する。

また、ボックスサポートの基礎ボルトに負荷される地震荷重をより詳細に評価するため、基礎ボルトを剛ばね要素として、地震応答解析モデルに考慮する。

また、ボックスサポートは、サブプレッションチェンバ本体（大円）の半径方向に対する熱膨張を吸収する可動構造であることから、地震応答解析モデルにおけるボックスサポート下端の境界条件は、サブプレッションチェンバ本体（大円）の周方向に固定、半径方向に自由とする。

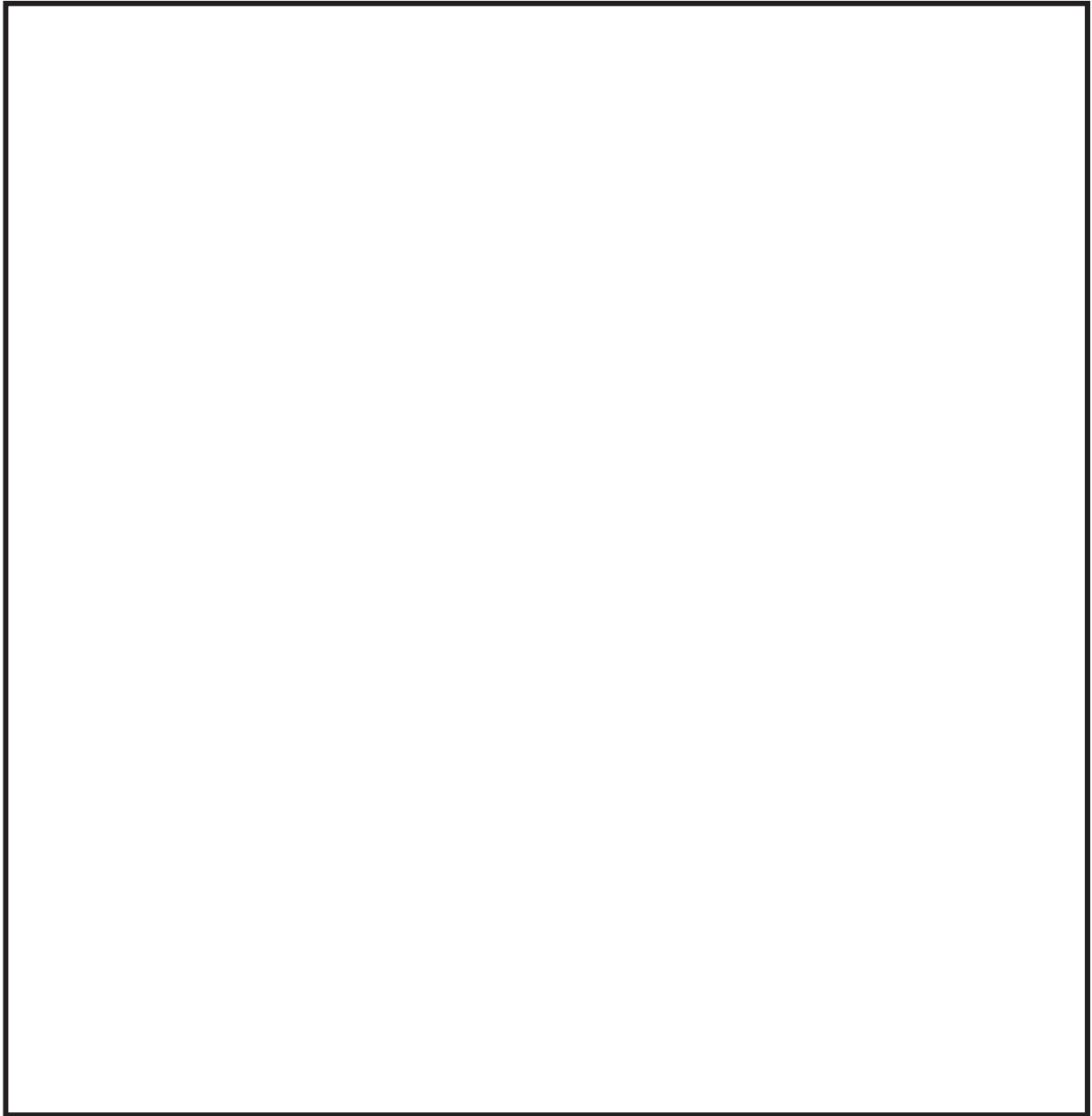


図 3.2-1 サプレッションチェーン及びボックスサポートの地震応答解析モデル (3次元はりモデル)

3.3 応力解析

3.3.1 基本方針

今回工認のサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価における応力評価では、重大事故等時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等に加えて、耐震性の向上を目的としたサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容も踏まえ、構成部材の形状、断面性能及び荷重伝達等を考慮して応力評価点及び応力解析方法を設定し、応力評価を行う。なお、詳細検討内容については、5.項に示す。

3.3.2 応力評価点

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの応力評価点を表 3.3-1、図 3.3-1、表 3.3-2、図 3.3-2 に示す。

表 3.3-1 サプレッションチェンバの応力評価点

評価設備	応力評価点番号	応力評価点	既工認	今回工認
サプレッション チェンバ	P1	胴中央部外側	○	○
	P2	胴中央部底部	○	○
	P3	胴中央部内側	○	○
	P4	胴中央部頂部	○	○
	P5	胴エビ継手部外側	○	○
	P6	胴エビ継手部底部	○	○
	P7	胴エビ継手部内側	○	○
	P8	胴エビ継手部頂部	○	○
	P9	内側ボックスサポート取付部	○	○*
	P10	外側ボックスサポート取付部	○	○*

注記*：耐震補強対策を考慮して評価断面位置を変更する

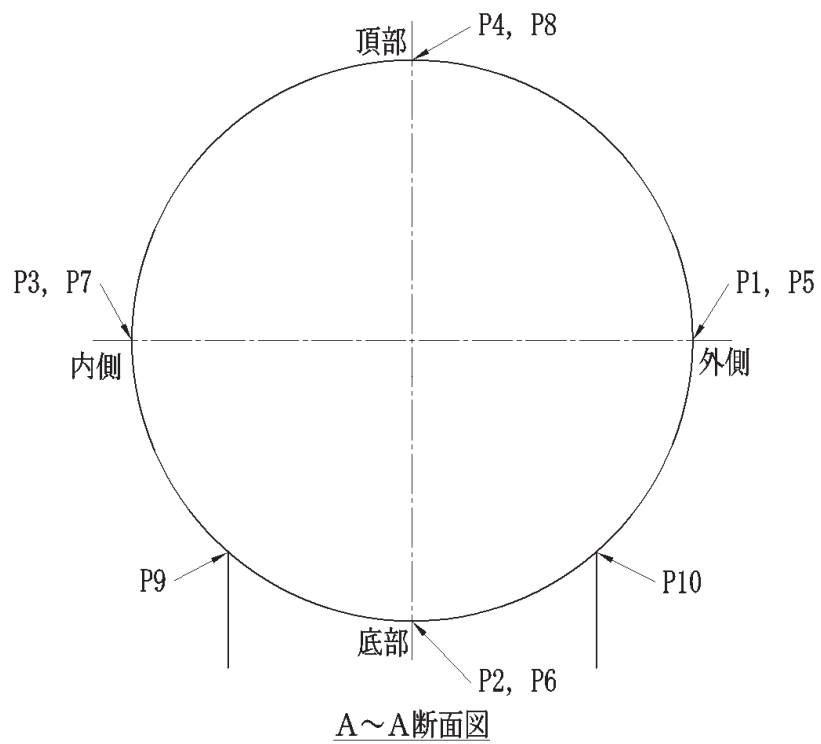
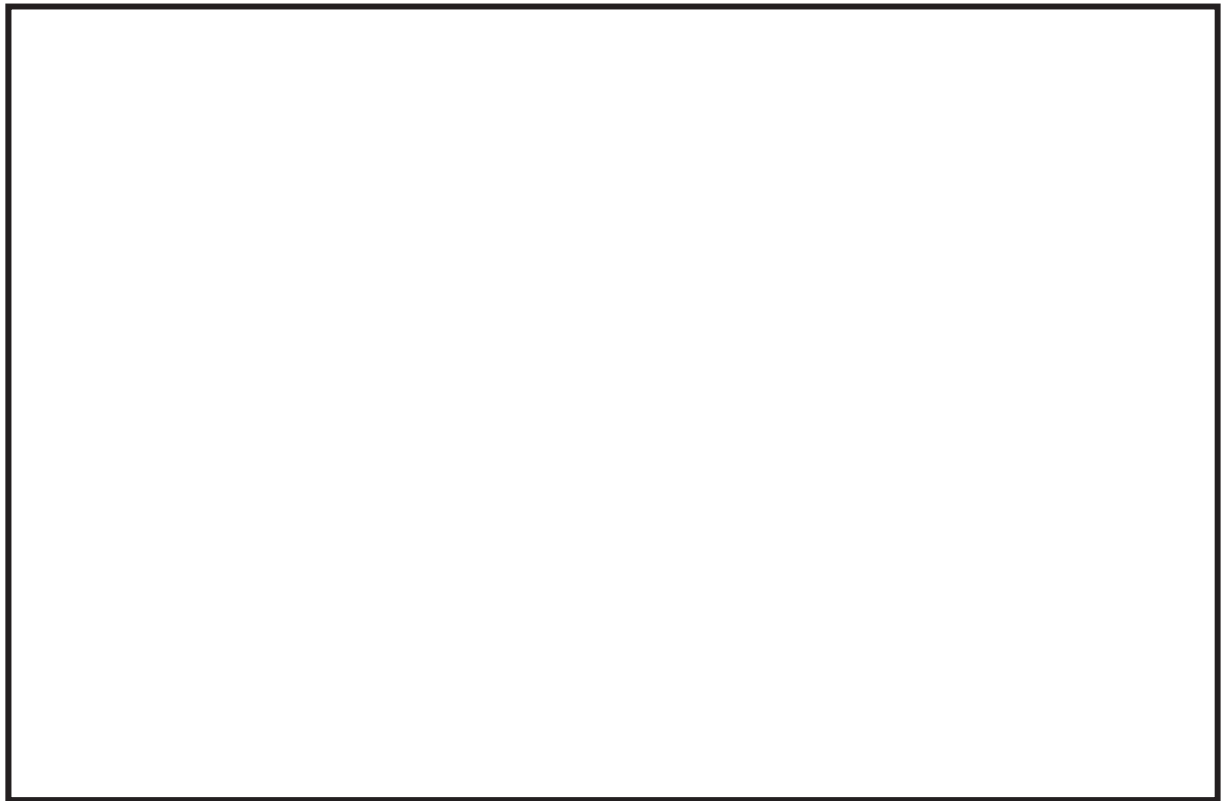


図 3.3-1 サプレッションチェンバの応力評価点

表 3.3-2 ボックスサポートの応力評価点

評価設備	応力評価 点番号	応力評価点	既工認	今回工認
ボックス サポート	P1	ボックスプレート	○	○
	P2	ボックスプレート取付部	○	○
	P2'	ボックスプレート（上側）取付部	—	○
	P3	フランジプレートとシヤラグ接触部	○	○
	P4	シヤラグ取付部	○	○
	P5	基礎ボルト	○	○
	P6	フランジプレート	○	○
	P6'	フランジプレート（外側）	—	○
	P7	ベースプレート	○	○*
	P8	シヤコネクタ（外側）取付部	○	○*
	P9	コンクリート（ベースプレート下面）	○	○
	P10	コンクリート（シヤコネクタ（外側）側面）	○	○*
P11	コンクリート（シヤプレート上面）	○	○	
P12	パッド取付部	—	○	

注記*：耐震補強対策を考慮して評価断面位置を変更する

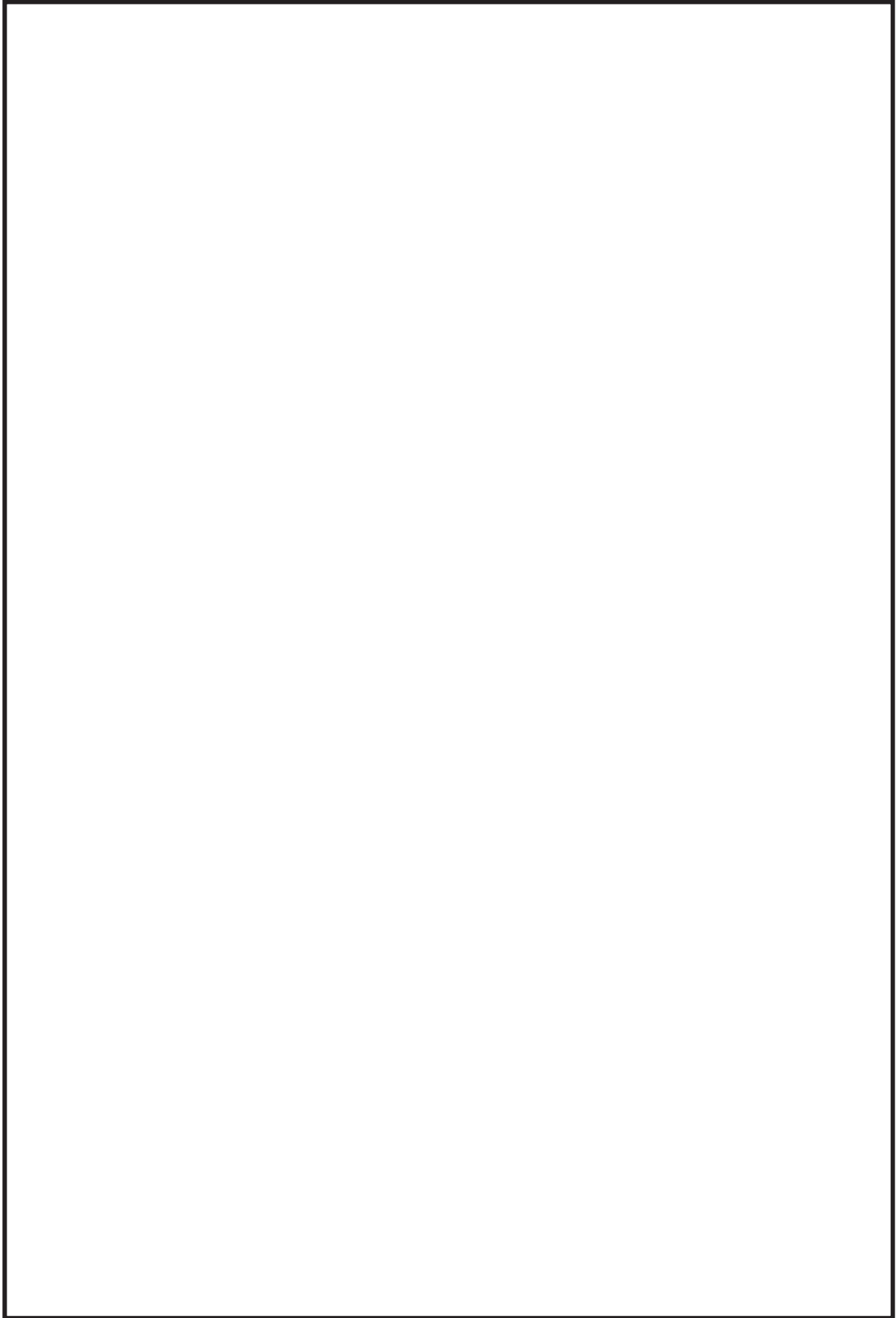


図 3.3-2 ボックスサポートの応力評価点

3.3.3 応力解析方法

(1) 公式等による手計算を用いた応力評価

既工認におけるサプレッションチェンバ（ボックスサポート取付部除く）の応力評価は、サプレッションチェンバをはり要素でモデル化し、サプレッションチェンバ設置床の最大応答加速度に対する静的解析によって得られた地震荷重及び評価断面の形状等から、公式等による手計算によって応力を算出していた。また、ボックスサポートは、手計算により算出したボックスサポート1個当たりの地震荷重及び評価断面等の形状から公式等による手計算によって応力を算出していた。

今回工認におけるサプレッションチェンバの応力評価は、動的解析(3次元はりモデルによるスペクトルモーダル解析)から算出された地震荷重等を用いて、応力解析モデルを用いた応力評価を行い、ボックスサポートの応力評価は、動的解析(3次元はりモデルによるスペクトルモーダル解析)から算出された地震荷重等を用いて、既工認同様、公式等による手計算によって応力を算出する。

なお、ボックスサポートのうち、公式等による評価が許容応力を満足せず、個別に詳細評価が必要となったフランジプレート（外側）の応力評価については、ボックスサポートの耐震補強対策として設置した追加リブによる拘束効果を考慮し、より詳細に応力を評価するため、フランジプレート周りをシェル要素でモデル化し、FEM解析による応力解析を行う。

(2) 応力解析モデルを用いたFEM解析による応力評価

既工認におけるボックスサポート取付部の応力評価は、内側と外側のボックスサポート(1組)とその両側にあるサプレッションチェンバ(胴部)をシェル要素でモデル化し、ボックスサポート下端位置等に静的解析で算出された地震荷重等を入力し、FEM解析による応力解析を行っていた。

今回工認では、重大事故等時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、サプレッションチェンバ及びボックスサポートに負荷される局所的な応力をより詳細に評価するため、シェル要素でモデル化し、ボックスサポート取付部に加えて、サプレッションチェンバについてもFEM解析による応力解析を行う。

応力解析モデルは、ボックスサポート取付部のばね剛性の算定に用いたモデルと同等の解析モデルを適用する。また、地震応答解析で算出された地震荷重等の応力解析モデルへの入力値は、応力評価点の変形を適切に模擬するように地震応答変位を用いて設定する。

3.4 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違

既工認と今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価手法について比較・整理した結果を表 3.4-1 に示す。また、既工認におけるサプレッションチェンバの地震応答解析モデルを図 3.4-1 に、ボックスサポートの荷重算定方法について図 3.4-2 に示す。



図 3.4-1 既工認におけるサプレッションチェンバの地震応答解析モデル

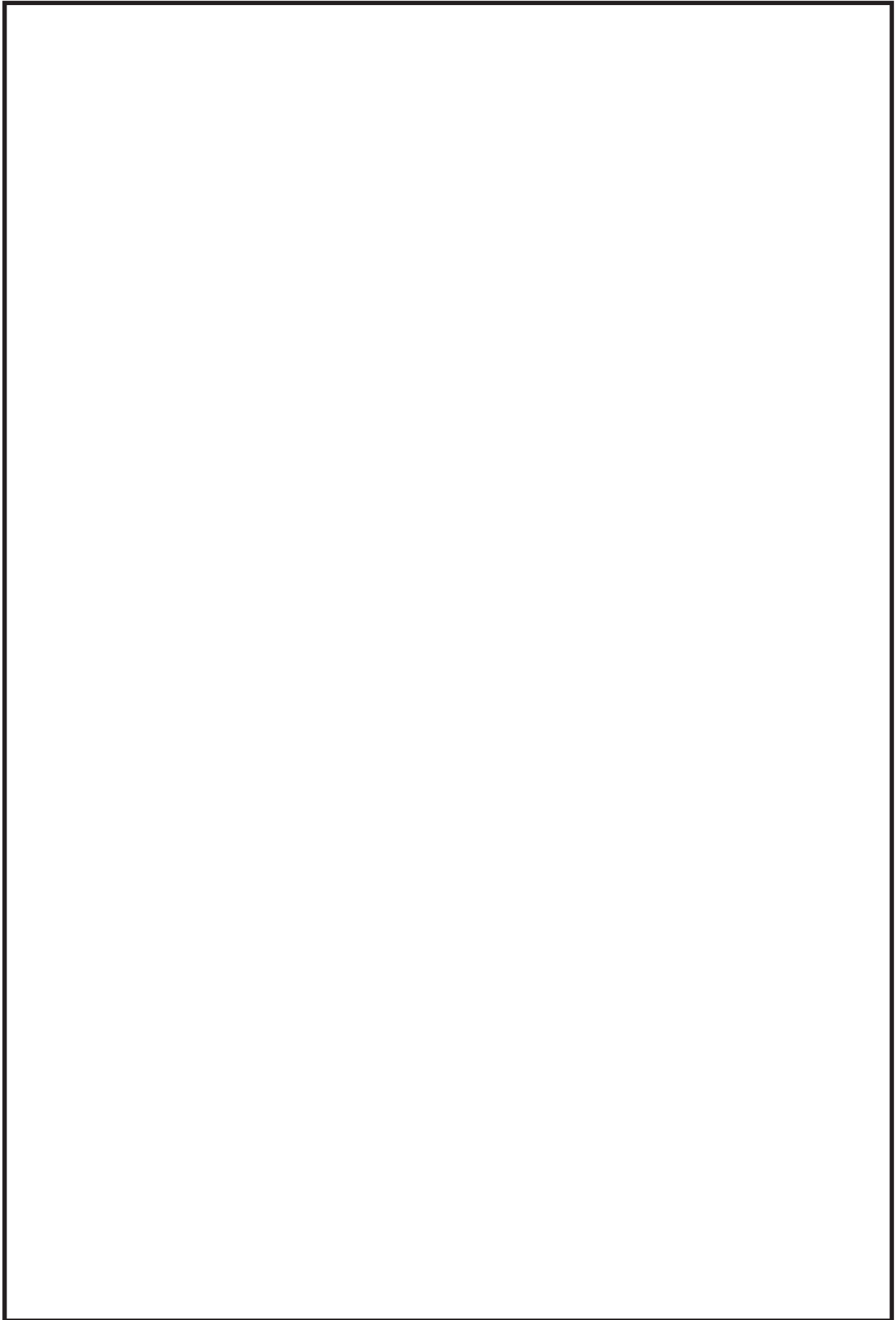


図 3.4-2 ボックスサポートの荷重算定方法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3. 4-1 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違 (1/2)

設備	解析種別	応力評価点	既工認		今回工認		変更理由
			解析手法	解析モデル	解析手法	解析モデル	
サブレスシオンチェンバ	地震 応答 解析	全応力評価点	設置床の最大応答加速度 による静的解析	3次元はりモデル (サブレスシオンチェンバ全体 を考慮)	動的解析 (スペクトルモード解析)	3次元はりモデル*1 (サブレスシオンチェンバ全体 を考慮)	重大事故等時のサブレスシオンチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、解析手法及び解析モデルを詳細化した。
			公式等による評価	-	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレスシオンチェンバ本体 とボックスサポータ () を考慮)	胴エビ継手部と合わせて、より詳細な応力を考慮することとした。
	応力 解析	胴エビ継手部外側 胴エビ継手部底面 胴エビ継手部内側 胴エビ継手部頂部	公式等による評価	-	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレスシオンチェンバ本体 とボックスサポータ () を考慮)	胴エビ継手部近傍にはボックスサポータが取り付けられているため、より詳細に局部的な応力を考慮することとした。
			FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレスシオンチェンバ本体 とボックスサポータ () を考慮)	地震応答解析モデルに考慮したボックスサポータ取付部の非剛性算定用のシェルモデルを応力解析モデルとした。()から ()とした。)		
	P9 P10	内側ボックス サポータ取付部 外側ボックス サポータ取付部	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレスシオンチェンバ本体 とボックスサポータ () を考慮)	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレスシオンチェンバ本体 とボックスサポータ () を考慮)	

注記*：①サブレスシオンチェンバ内部水に対する有効質量の適用、②ボックスサポータ取付部には非剛性を考慮、③ボックスサポータの剛性の詳細化及び基礎ボルトのモデル化

表 3.4-1 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違 (2/2)

設備	解析 種別	応力評価点	既工認		今回工認		変更理由
			解析手法	解析モデル	解析手法	解析モデル	
ボックス サポート	地震 応答 解析	全応力評価点	設置床の最大応答加速度 による静的解析	—	動的解析 (スベクトルモデル解析)	3次元はりモデル*1 (サブプレッショントラクションモデルを考慮)	重大事故等時のサブプレッショントラクションの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基礎地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、解析手法及び解析モデルを詳細化した。
		P1 P2 P4 P6	ボックスプレート 取付部 シヤラグ取付部 フランジプレート	公式等による評価	—	—	評価断面として補強対策で設置した [] を考慮した。
	P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	—*2	—*2	公式等による評価	—	応力評価点として、P2 (ボックスプレート取付部；下側) に加えて、P2' (上側) を新たに設定した。
	P3 P9	フランジプレート とシヤラグ接触部 コンクリート (ベ ースプレート下 面)	公式等による評価	—	公式等による評価	—	—
	P5	基礎ボルト	公式等による評価	—	公式等による評価	—	—
	P6'	フランジプレート (外側)	—*2	—*2	公式等による評価又は FEM 解析	3次元シェルモデル (3辺拘束範囲をモデル化)	応力評価点として、補強対策で設置した [] の拘束効果を考慮し、新たにP6' (外側) を設定した。
	P7	ベースプレート (外側)	公式等による評価	—	公式等による評価	—	補強対策として追設した追加リブを考慮し、フランジプレート端部位置のベースプレートを応力評価点とした。
	P8 P10	シヤコネクタ (外 側) 取付部 コンクリート (シ ヤコネクタ (外 側) 側面)	公式等による評価	—	公式等による評価 (評価断面の変更)	—	補強対策として追設した [] を応力評価点とした。
	P11	コンクリート (シ ヤプレート上面)	公式等による評価	—	公式等による評価	—	—
	P12	パッド取付部	—*2	—*2	公式等による評価	—	P2 (ボックスプレート取付部) を代表応力評価点としていたが、新たにP12を応力評価点に設定した。

注記*1：①サブプレッショントラクション内部水に対する有効質量の適用、②ボックスサポート取付部にばね剛性を考慮、③ボックスサポートの剛性の詳細化及び基礎ボルトのモデル化

*2：既工認では、応力評価点としていない。

4. 地震応答解析の詳細

4.1 地震応答解析モデル

4.1.1 サプレッションチェンバ内部水の有効質量算定

(1) 有効質量算定の考え方

有効質量については、他産業の球形タンクや円筒タンク等の容器の耐震設計に一般的に用いられている考え方である。また、有効質量は、容器の内部水が自由表面を有する場合、水平方向の揺れによる動液圧分布を考慮して、地震荷重として付加される容器の内部水の質量として設定される。この有効質量は、容器の形状と水位が既知であれば、汎用構造解析プログラム NASTRAN の仮想質量法を用いて算出することができる。

女川2号機の今回工認において、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に用いるサプレッションチェンバ内部水の有効質量算定フローを図4.1-1に示す。

地震応答解析に用いる有効質量は、実機のサプレッションチェンバに対してシェル要素で有効質量算定用解析モデルを作成し、サプレッションチェンバ内部水の水位を設定（流体部分と構造の接水面設定）した上で、応答解析（仮想質量法）にて、サプレッションチェンバ（各要素）の内面圧力（水平方向の圧力及び鉛直方向の圧力）から各方向の有効質量を算定する。

また、NASTRANによる有効質量の算定手法については、サプレッションチェンバが円環形状容器であることを考慮し、実機を縮小した試験体を用いた振動試験及び流体解析により算出した有効質量と比較・検証によりその妥当性を確認している。

有効質量の適用及びその妥当性に係る検討結果の詳細については、別紙1に示す。

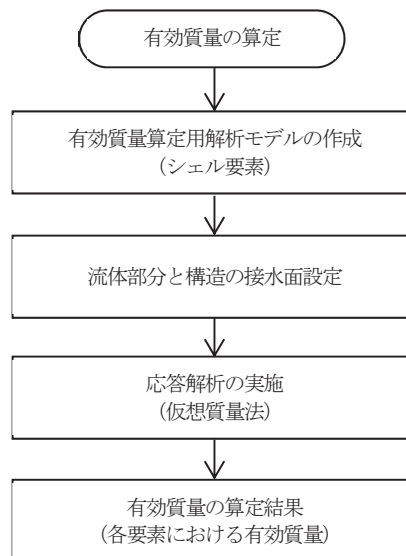


図4.1-1 有効質量算定フロー

(2) 有効質量の解析モデル

サプレッションチェンバ内部水の有効質量を算定するための解析モデルを図 4.1-2 に示す。

解析モデルは、サプレッションチェンバ（強め輪を含む）の寸法、剛性を模擬したシェル要素とし、サプレッションチェンバ内部水の水位を設定する。なお、サプレッションチェンバ内部水の有効質量を算定するための解析モデルの作成にあたっては、有効質量が解析対象の容器形状及び水位に係る情報のみがあれば算定可能であることから、有効質量算定に関係のないボックスサポートを模擬していない。

サプレッションチェンバ内部水の水位は、図 4.1-3 に示すとおり、通常運転水位及び耐震解析用重大事故等時水位を考慮して 2 ケースを設定する。なお、耐震解析用重大事故等時水位は、重大事故後の状態で弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震力と組み合わせる水位である（別紙 10）。

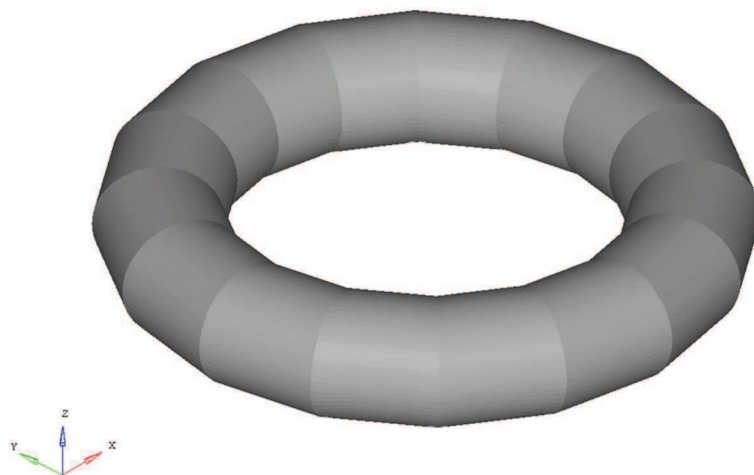


図 4.1-2 有効質量算定用解析モデル

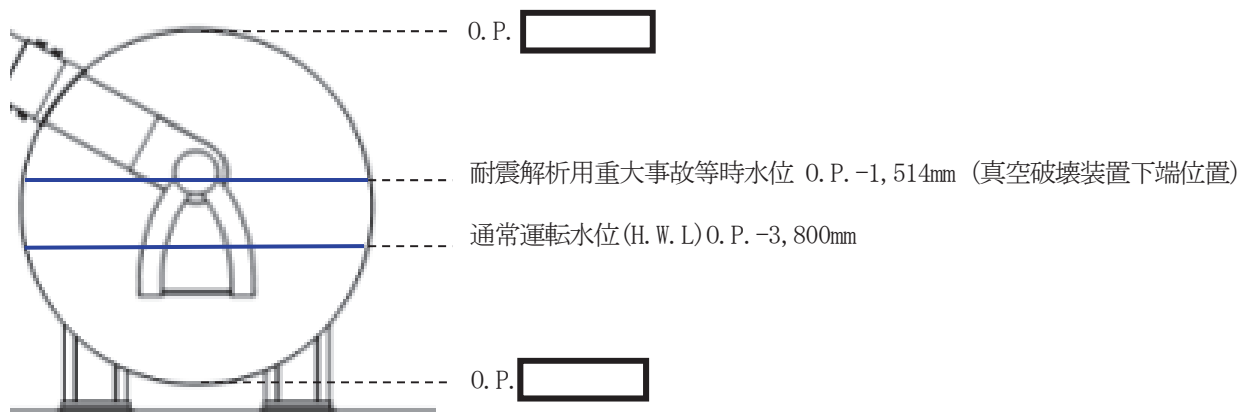


図 4.1-3 サプレッションチェンバ内部水の設定水位

(3) 有効質量の解析結果

仮想質量法によるサプレッションチェンバ内部水の有効質量の算定結果を表 4.1-1 に示す。ここで、算出結果として示している有効質量比の値は、内部水全質量に対する水平方向の有効質量の割合を表す。なお、実際の地震応答解析モデルにおける有効質量は、仮想質量法を用いて設定する。詳細な設定方法については、4.1.2 項に示す。

また、有効質量を算定する解析プログラムによる比較として、汎用流体解析コード OpenFOAM（流体解析）による算定結果も示す。各水位において仮想質量法と流体解析により算出した有効質量比は概ね一致しているが、仮想質量法により算出した方がやや大きい傾向があり、有効質量としては保守側の値となっている。

表 4.1-1 サプレッションチェンバ内部水の有効質量比算定結果

水位	解析手法	
	仮想質量法	流体解析*
通常運転水位(H. W. L)	0.24	0.22
耐震解析用重大事故等時水位	0.33	0.32

注記*：スロッシングの卓越周期帯で応答加速度が大きいS s-D 1を用いた算定結果

4.1.2 地震応答解析モデルにおける有効質量の設定

仮想質量法で算定したサプレッションチェンバ内部水の有効質量について、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルへの設定フローを図 4.1-4 に示す。

仮想質量法により算定したサプレッションチェンバ内部水の有効質量は、NASTRAN の機能である Guyan 縮約法を用いてサプレッションチェンバ (3 次元はりモデル) の各質点に縮約し、付加する。なお、NASTRAN の機能である縮約とは、一般に膨大な数のデータを扱う有限要素法などの解析において、行列の大きさ (次元) を小さくする解析上のテクニックとして用いられるものである。

有効質量算定用解析モデル (シェル要素) で算出されたサプレッションチェンバ各要素の有効質量は、その有効質量及び位置 (高さ) を考慮し、地震応答解析モデル (はり要素) のサプレッションチェンバ各質点に対する有効質量 (並進質量及び回転質量) として設定される。

今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルを図 4.1-5 に示す。また、地震応答解析モデルの各質点に設定される有効質量について、耐震解析用重大事故時水位を代表として、水平 (X 方向) 方向及び鉛直 (Z 方向) 方向の有効質量 (並進質量及び回転質量) を表 4.1-2 及び表 4.1-3 に示す。

水平 (X 方向) のうち並進 (X 方向) の質量の総和が有効質量であり、鉛直 (Z 方向) 方向の並進 (Z 方向) の質量の総和が全質量を表し、その有効質量比は 0.33 と表 4.1-1 と一致しており、適切に縮約されていることを確認した。なお、サプレッションチェンバの強め輪補強対策に係る詳細設計段階の検討結果の反映により、内部水から容器に加わる荷重が増加することで、設置許可時よりも有効質量比が増加している。

サプレッションチェンバ内部水の地震応答解析モデルへの設定方法に係る詳細及び NASTRAN の機能である Guyan 縮約法の妥当性については、別紙 2 に示す。

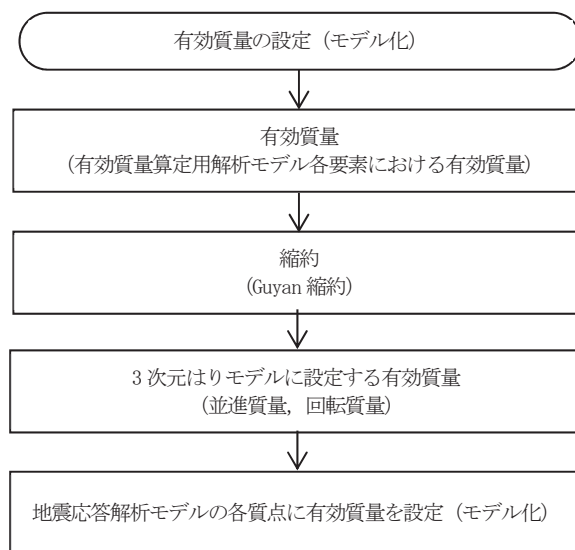


図 4.1-4 有効質量の地震応答解析モデルへの設定フロー

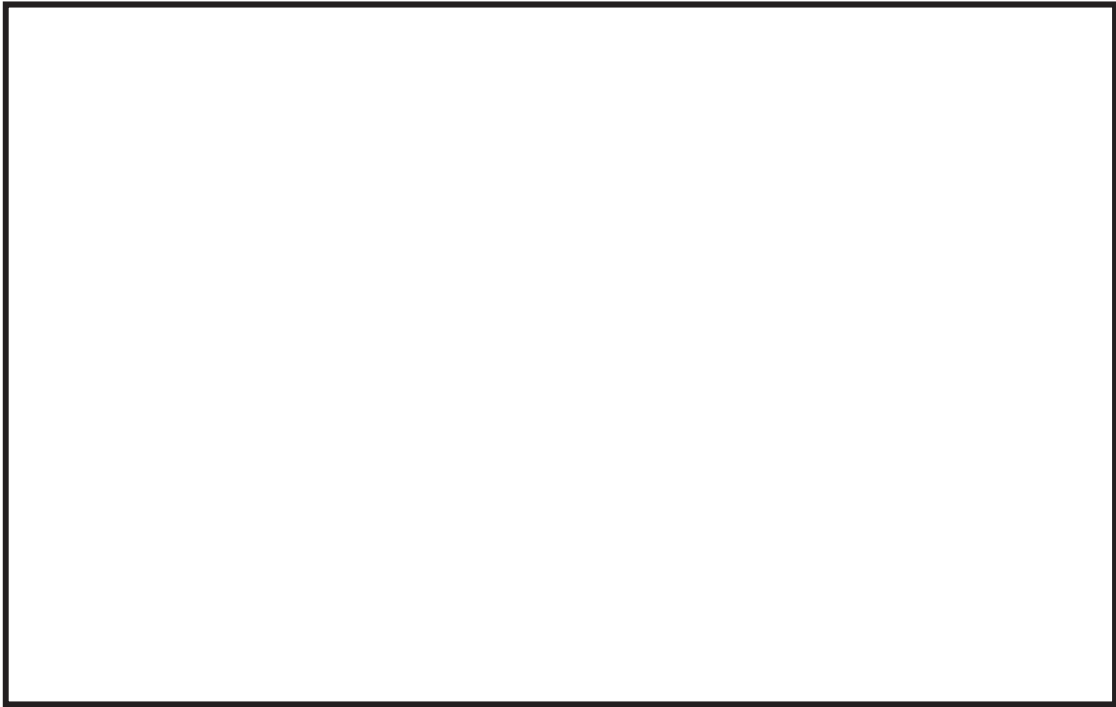


図 4.1-5 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル

表 4.1-2 有効質量の設定（耐震解析用重大事故等時水位, X 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	m_x ($\times 10^3$ kg)	m_y ($\times 10^3$ kg)	m_z ($\times 10^3$ kg)	Rm_x ($\times 10^3$ kg・m)	Rm_y ($\times 10^3$ kg・m)	Rm_z ($\times 10^3$ kg・m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
合計						

表 4.1-3 有効質量の設定（耐震解析用重大事故等時水位，Z 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	m_x ($\times 10^3$ kg)	m_y ($\times 10^3$ kg)	m_z ($\times 10^3$ kg)	Rm_x ($\times 10^3$ kg・m)	Rm_y ($\times 10^3$ kg・m)	Rm_z ($\times 10^3$ kg・m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
合計						

4.1.3 サプレッションチェンバ本体のモデル化

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に適用する解析モデル設定にあたっては、サプレッションチェンバ及びボックスサポートを構成する各部材の剛性及び質量、サプレッションチェンバ内部水等を適切に考慮することとしている。

サプレッションチェンバ本体（小円）については、建設時にサプレッションチェンバ内部に設置した強め輪（64 枚）によって断面変形を抑制する設計としているため、はり要素でモデル化しているが、バルジングに係る既往知見を踏まえ、サプレッションチェンバに対するバルジング*の影響検討を行い、地震応答解析にあたってサプレッションチェンバ本体をはり要素でモデル化することの適用性を検討した。

影響検討の結果、サプレッションチェンバ内部に設置された強め輪の効果によって、サプレッションチェンバ本体（小円）の剛性が向上し、変形が抑制されるため、地震による発生応力が低減されることを確認した。また、強め輪の効果によって、サプレッションチェンバのオーバル振動（花びら状の変形等の小円の複雑な断面変形を伴う振動モード）の影響を十分に抑制できることを確認したことから、サプレッションチェンバ本体をはり要素でモデル化することの適用性があると判断した。

よって、サプレッションチェンバ本体のモデル化は、サプレッションチェンバ本体の小円断面中心位置に円筒断面の理論式により算定した剛性を考慮したはり要素でモデル化し、その剛性は既工認と同様とする（表 4.1-4 参照）。

ただし、今回工認では、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、サプレッションチェンバ本体小円の断面変形を更に抑制するため、強め輪（32 枚）の補強対策を実施する。

また、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルの設定にあたっては、より詳細に地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素を 3 次元はりモデルに付加する。

なお、強め輪の補強対策については、サプレッションチェンバ本体のはり要素（曲げせん断はり要素）ではなく、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）算定に用いる 3 次元シェルモデルに考慮しているため、そのばね要素に補強の効果が考慮される。

地震応答解析モデルに対するバルジングの影響検討結果の詳細については、別紙 3 に示す。

注記*：内部水を有する容器の振動特性に係る既往知見として、地震の揺れに伴うスロッシングの他、特に薄肉円筒容器であるたて置円筒容器の振動モードについては、バルジング（ビーム振動及びオーバル振動に分類される）が生じることが知られている。

表 4.1-4 サプレッションチェンバ本体のモデル化諸元

部材	材質	部材長 (mm)	質量 (10kg)	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん 断断面積 (mm ²)	縦弾性 係数 (MPa)	ポアソン 比 (-)
サプレ ション チェン バ	SGV49							

注記*：3次元はりモデルにおけるサプレッションチェンバの全長を表す。

4.1.4 ボックスサポート取付部のばね剛性の算定

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルについては、サプレッションチェンバとボックスサポートをはり要素でモデル化し、サプレッションチェンバのボックスサポート取付部については、より詳細な地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素でモデル化する。

サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性算定フローを図 4.1-6 に示す。

サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性算定に当たっては、その複雑な変形様態に対応するため、実機のサプレッションチェンバ及びボックスサポートを模擬したシェルモデルを用いるとともに、はりモデルで表現している剛性との重複を排除するため、はりモデルを用いてばね剛性（並進、回転の各3方向）を算定し、算定されたばね剛性（並進、回転の各3方向）をサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルに考慮する。

ばね剛性算定方法の詳細については、別紙4に示す。

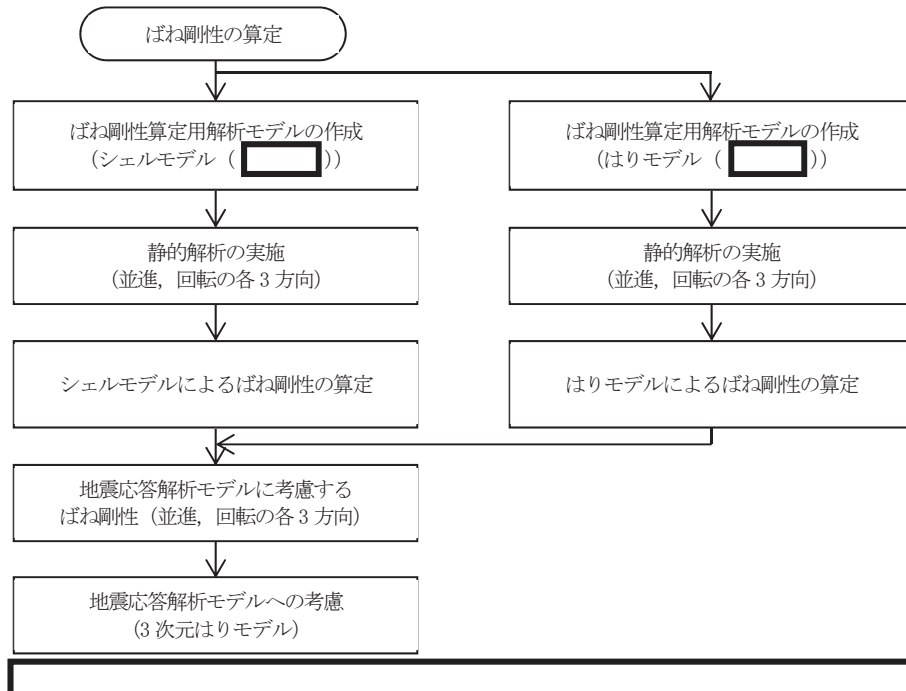


図 4.1-6 ボックスサポート取付部のばね剛性算定フロー

(1) ばね剛性算定用解析モデル（シェルモデル）

サブプレッションチェンバには、16 セグメントの円筒の継ぎ目部（胴エビ継手部）にボックスサポートがサブプレッションチェンバ大円の内側と外側に 1 組配置されている対称構造であることから、ばね剛性算定用解析モデルのモデル化範囲は、
，シェル要素でモデル化する。ばね剛性算定用解析モデルを図 4.1-7 に示す。



図 4.1-7 ばね剛性算定用解析モデル（シェルモデル）

(2) ばね剛性算定用解析モデル（はりモデル）

シェルモデルと同様の範囲について、はり要素によるばね剛性算定用解析モデルを図 4.1-8 に示す。



図 4.1-8 ばね剛性算定用解析モデル（はりモデル）

(3) 地震応答解析モデルに考慮するばね剛性

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に考慮するボックスサポート取付部のばね剛性を表 4.1-5、地震応答解析モデルを図 4.1-9 に示す。ボックスサポート取付部のばね剛性については、地震応答解析モデル（3次元はりモデル）のボックスサポート上端位置に並進3方向、回転3方向を設定する。

表 4.1-5 ボックスサポート取付部のばね剛性

考慮する方向		ばね剛性	
		内側	外側
並進	大円半径方向 (N/mm)		
	大円周方向 (N/mm)		
	上下方向 (N/mm)		
回転	大円半径軸回り (N・mm/rad)		
	大円円周軸回り (N・mm/rad)		
	上下軸回り (N・mm/rad)		

注記* :

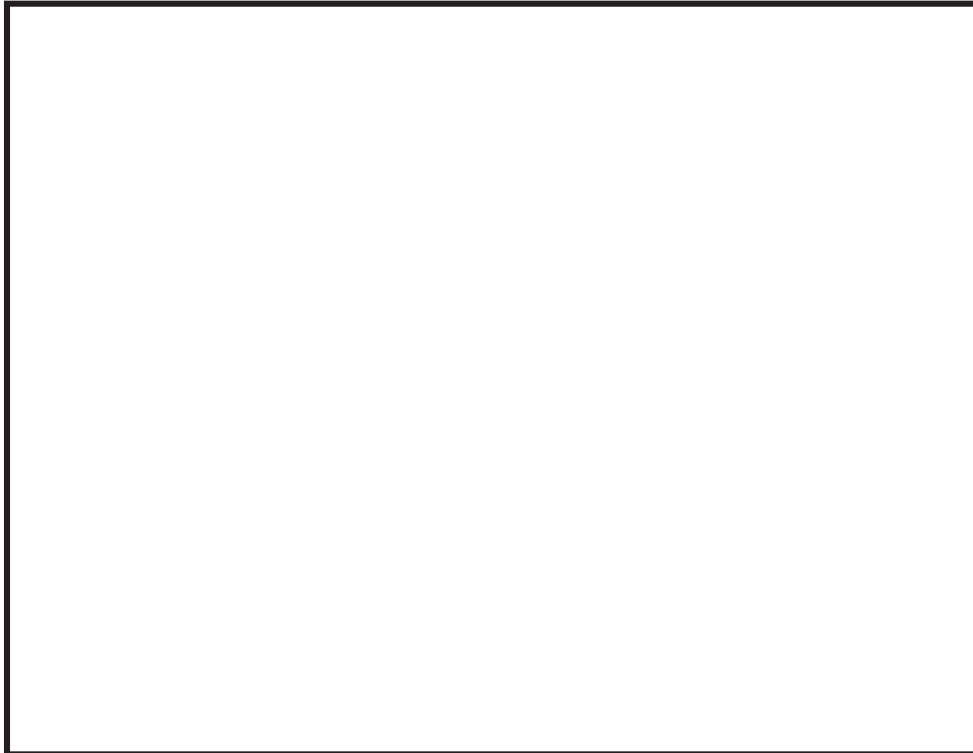


図 4.1-9 地震応答解析モデル（ばね剛性考慮）

4.1.5 ボックスサポートのモデル化

(1) ボックスサポート本体のモデル化の考え方

既工認におけるサプレッションチェンバのモデル化では、
に考慮していた。

今回工認では、
としてモデル化を行った。算定用の3次元シェルモデル図を図4.1-10及びボックスサポートのモデル化諸元を表4.1-6に、フランジプレートのばね剛性を表4.1-7に示す。

ボックスサポートの剛性は、断面積、せん断断面積及び断面二次モーメントについて、それぞれ以下のように算出した。

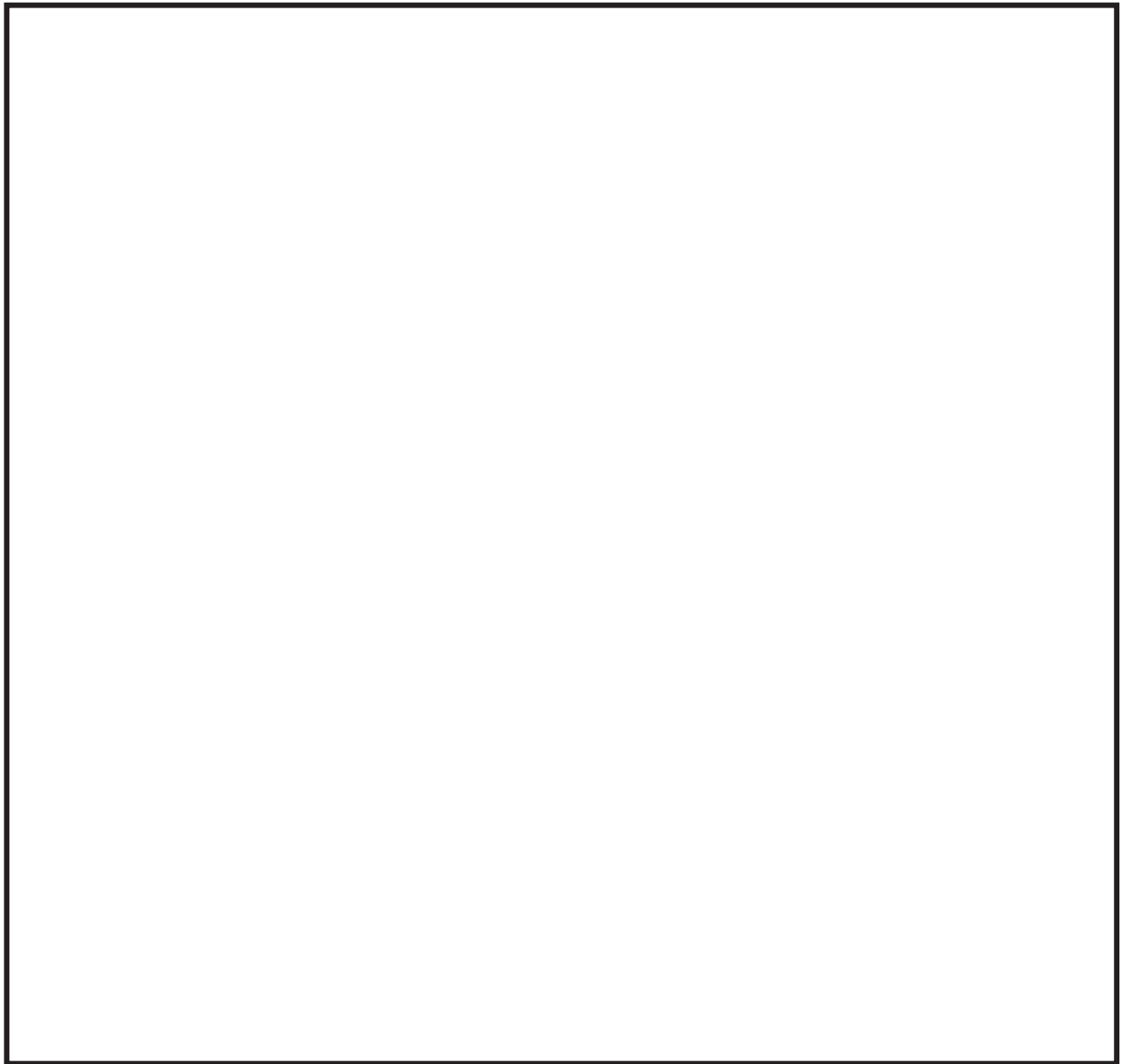


図 4.1-10  算定用の3次元シェルモデル図

表 4.1-6 ボックスサポートのモデル化諸元

部材	材質	部材長 (mm)	質量 (10 ⁻³ kg)	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)		有効せん断 断面積 (mm ²)		縦弾性 係数 (MPa)	ポア ソン比 (-)
					大円半 径方向	大円円 周方向	大円半 径方向	大円円 周方向		
ボックス サポート	SM41B									

注記* : サプレッションチェーンバ本体側に考慮。

表 4.1-7 フランジプレートのモデル化諸元

部材	ばね剛性 (N/mm)
フランジプレート	

(2) 基礎ボルトのモデル化の考え方

既工認におけるボックスサポートの基礎ボルトの地震荷重は、サプレッションチェンバの静的評価により求めたボックスサポートの反力を用いて、公式等による簡便な評価としてボックスサポート1か所あたりの力のつり合い（圧縮及び引張）から算出している。

一方、より現実に近いボックスサポートの基礎ボルトの荷重状態としては、サプレッションチェンバに取り付けられるボックスサポートの全ての基礎ボルトがつり合っているものと考えられる。ここで、図4.1-11に示す振動モードを想定した場合、ボックスサポートの位置（図中の①及び②）によって、各ボックスサポートの荷重状態が異なるため、各ボックスサポートにおける各基礎ボルトの荷重分配割合も異なると考えられることから、今回工認においては、より現実に近い挙動を詳細に考慮するため、図4.1-12のとおりボックスサポート1か所につき8本の基礎ボルトを剛ばね要素としてモデル化する。

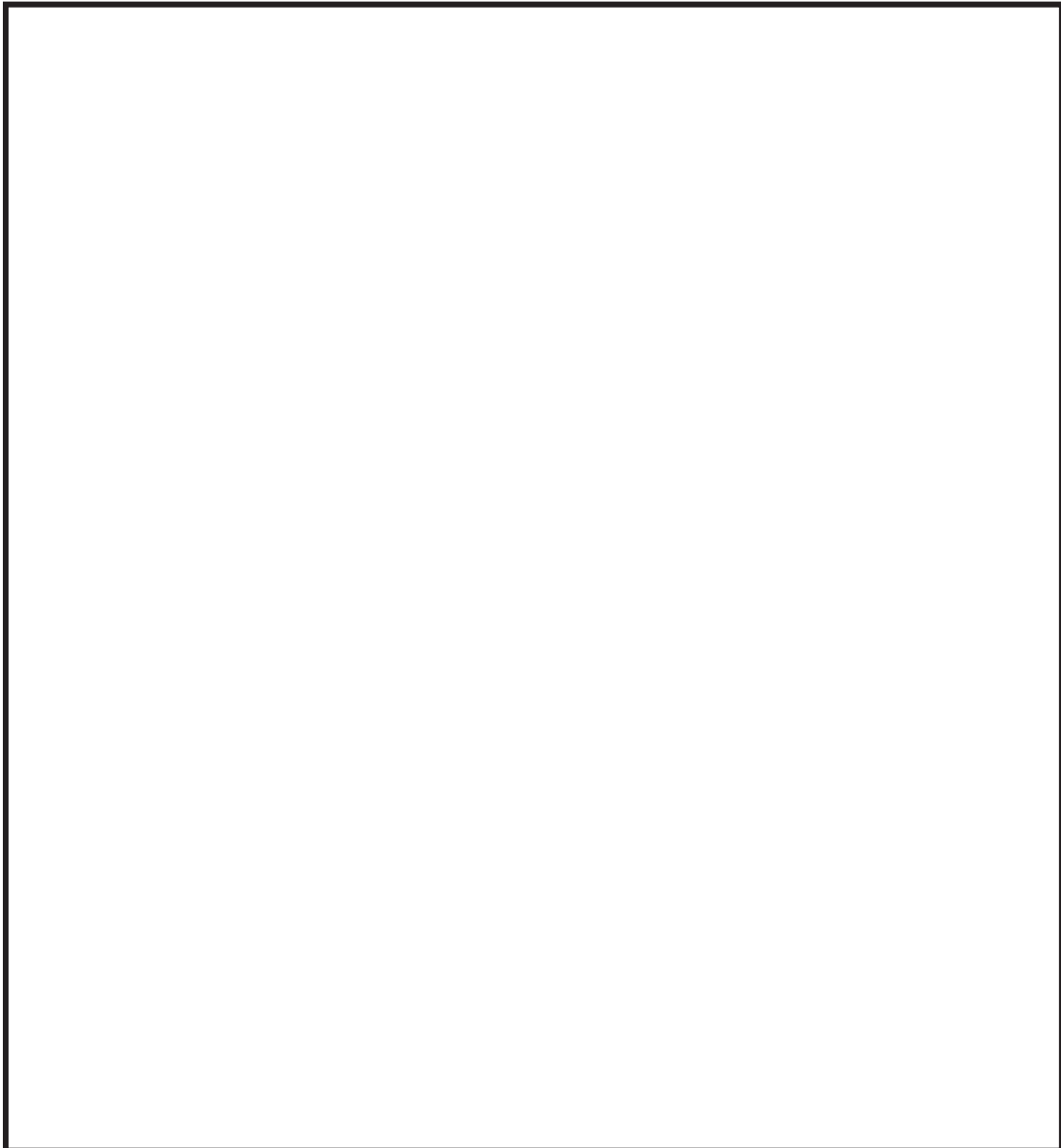


図4.1-11 荷重イメージ

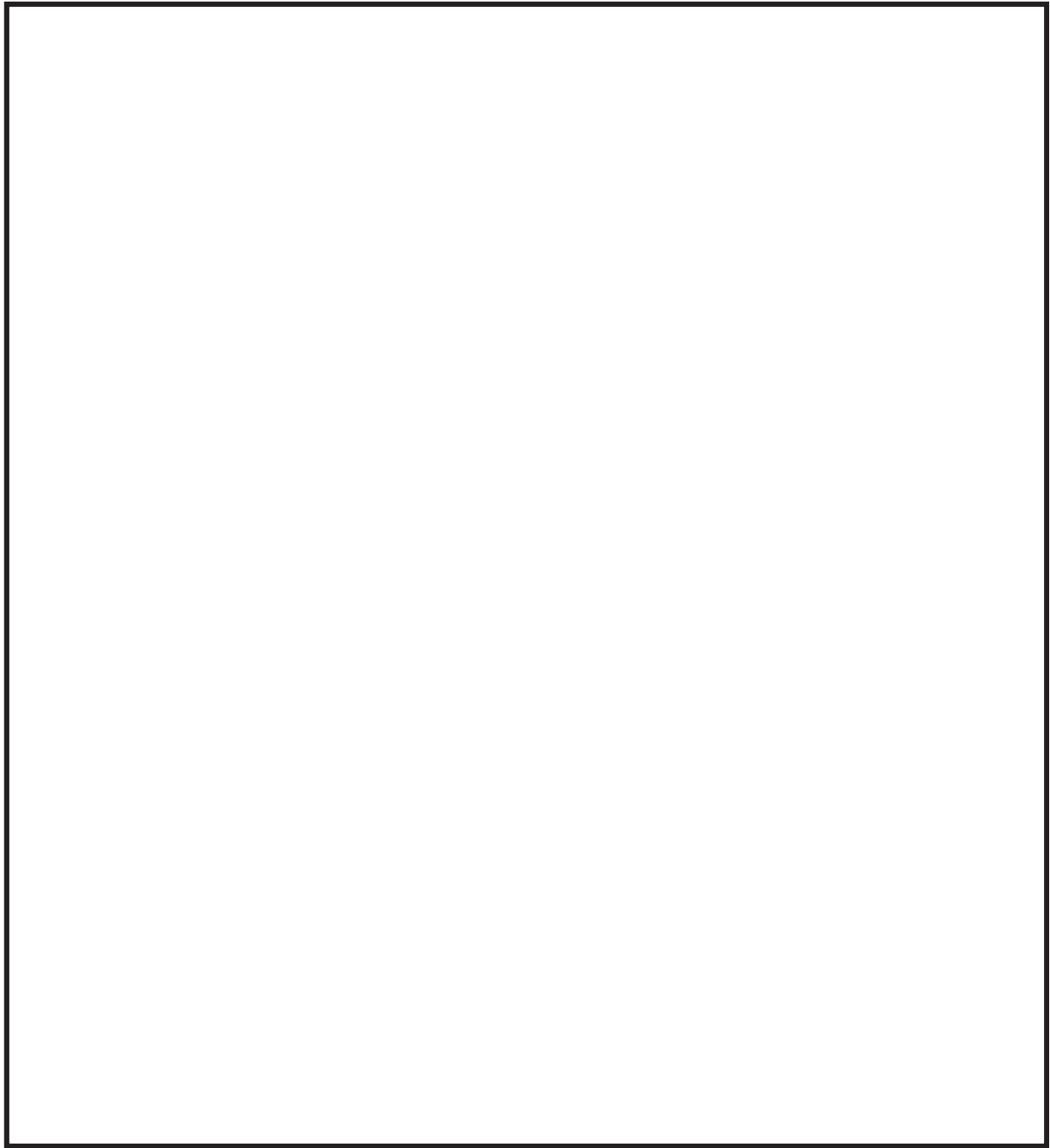


図 4.1-12 ボックスサポートの解析モデル

(3) ボックスサポート（基礎ボルト含む）モデル化

ボックスサポート周りのモデル化に当たっては、

[Redacted]

[Redacted]と結合している。

また、

[Redacted]

と結合している。

なお、ボックスサポートの基礎ボルトをモデル化したことによる地震応答解析モデルへの影響については、基礎ボルトのモデル化の有無による固有周期を確認した結果、表 4.1-8 のとおり振動性状に与える影響がないことを確認している。




ボックスサポートの解析モデルの境界条件及び解析モデル図を表 4.1-9 及び図 4.1-13 に、今回工認の地震応答解析モデルと影響確認に用いた地震応答解析モデルとの比較を表 4.1-10 に示す。解析モデルの違いは、今回工認の地震応答解析モデルでは基礎ボルト下端位置の境界条件を固定、影響確認に用いた解析モデルでは基礎ボルト上端位置（フランジプレートの剛性を考慮）の境界条件を固定していることである。

表 4.1-8 基礎ボルトのモデル化有無による固有周期比較

耐震評価として 考慮すべき振動モード*	固有周期 (s)	
	基礎ボルトモデル有り	基礎ボルトモデル無し
3次		
4次		
5次		
6次		
7次		
10次		

注記*： 4.2.3における「耐震評価として考慮すべき振動モード」と対応。

表 4.1-9 ボックスサポートの解析モデルの境界条件

位置	境界条件
	
	

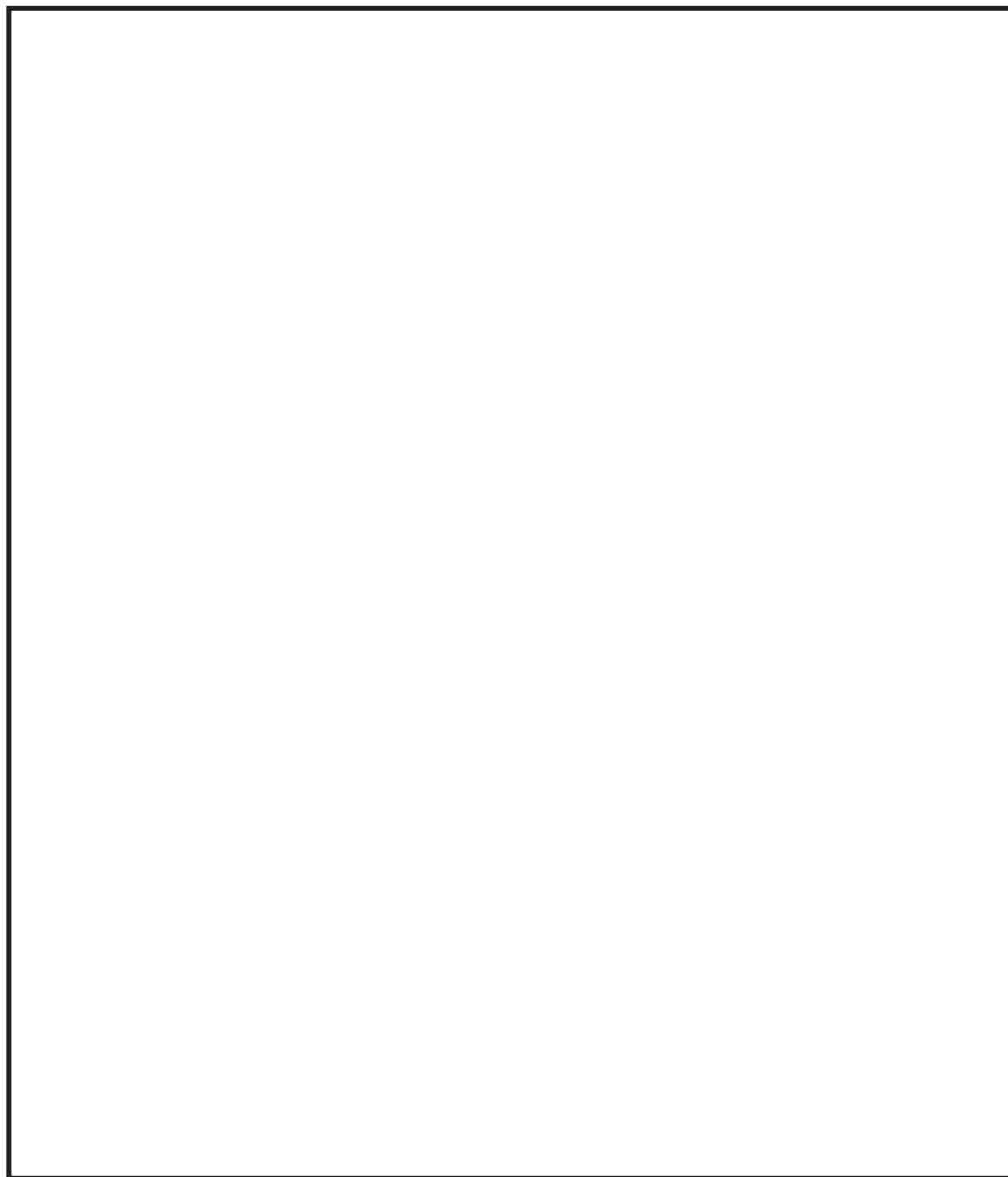


図 4.1-13 ボックスサポートの解析モデル

表 4. 1-10 今回工認の地震応答解析モデルと影響確認に用いた地震応答解析モデルとの比較

	実機地震応答解析モデル	影響確認に用いた地震応答解析モデル
境界条件		
モデル図 ボックス サポート 部詳細		

4.2 地震応答解析モデル（3次元はりモデル）の妥当性確認

4.2.1 妥当性の確認方針（妥当性確認の着眼点）

4.1項では、今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に適用する3次元はりモデルの設定について、サプレッションチェンバ内部水を有効質量として扱うこと、サプレッションチェンバ本体のモデル化及びサプレッションチェンバとボックスサポートの取付部にばね剛性を考慮すること等の考え方を示した。

本項では、上記を踏まえて設定したサプレッションチェンバ及びボックスサポートの3次元はりモデルを地震応答解析に適用することの妥当性について確認する。妥当性確認にあたっては、サプレッションチェンバ（強め輪を含む）及びボックスサポートをシェル要素でモデル化した妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による地震応答解析を実施し、3次元はりモデルを用いた地震応答解析結果との比較を行う。図4.2-1にサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル（3次元はりモデル）に対する妥当性確認フローを示すとともに、妥当性確認における着眼点を以下に示す。

着眼点(1) 固有値解析による振動モード、それらの固有値、刺激係数を比較し、妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の解析結果から耐震評価として考慮すべきと確認された振動モード（変形方向）が3次元はりモデルにて表現できていること。ここで、耐震評価として考慮すべき振動モードとは、各応力評価点における発生応力に有意に影響する振動モード。また、それらの固有値の違いについては、工学的な判断目安として設計用床応答曲線として設定される10%振幅を考慮し、10%以内であることとした。

着眼点(2) 地震応答解析（スペクトルモーダル解析）による応力評価部位毎（サプレッションチェンバ胴中央部、胴エビ継ぎ手部、ボックスサポート取付部及びボックスサポート）に許容値に対する発生応力の割合がシェルモデルと3次元はりモデルで概ね一致していること。

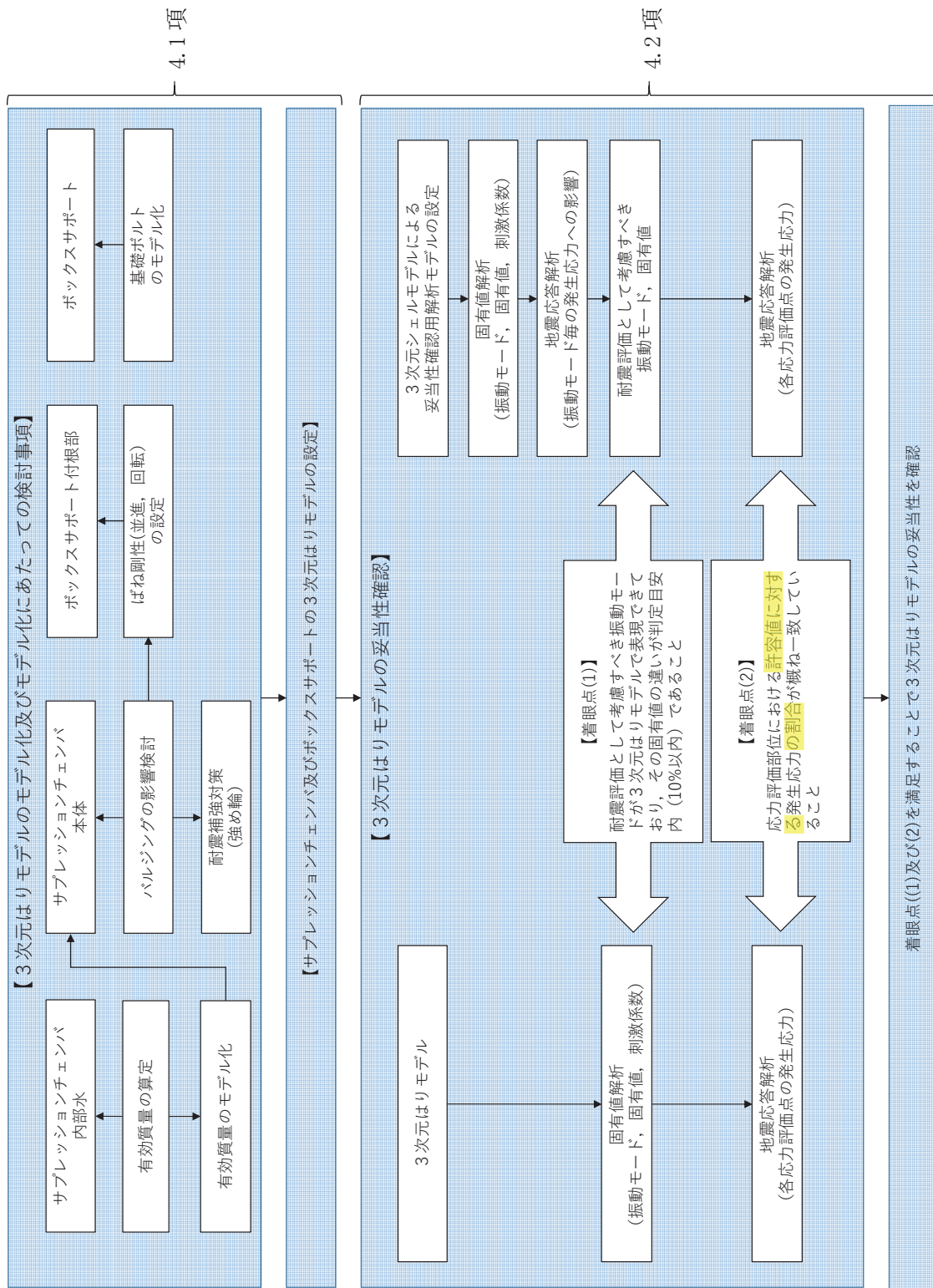


図 4.2-1 3次元はりモデル設定及び妥当性検証フロー

4.2.2 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）

妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）として、サプレッションチェンバ本体（強め輪を含む）及びボックスサポートをシェル要素としてモデル化し、サプレッションチェンバ本体のシェル要素に、4.1.1項と同様にNASTRANの仮想質量法により算定した有効質量を各シェル要素に考慮する。有効質量算定における水位条件は、耐震解析用重大事故等時水位を代表とした。妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）のモデル諸元及び解析モデル図を表4.2-1及び図4.2-2に示す。なお、解析モデルの設定に係るの詳細については、別紙5に示す。

表 4.2-1 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）のモデル諸元

項目		内容
モデル要素数		
モデル化	鋼製部	シェル要素：サプレッションチェンバ本体，強め輪（耐震補強対策含む），ボックスサポート（耐震補強対策含む） 剛ばね要素：基礎ボルト
	内部水	<ul style="list-style-type: none"> 耐震解析用重大事故等時水位（O. P. -1514mm） NASTRANの仮想質量法を適用

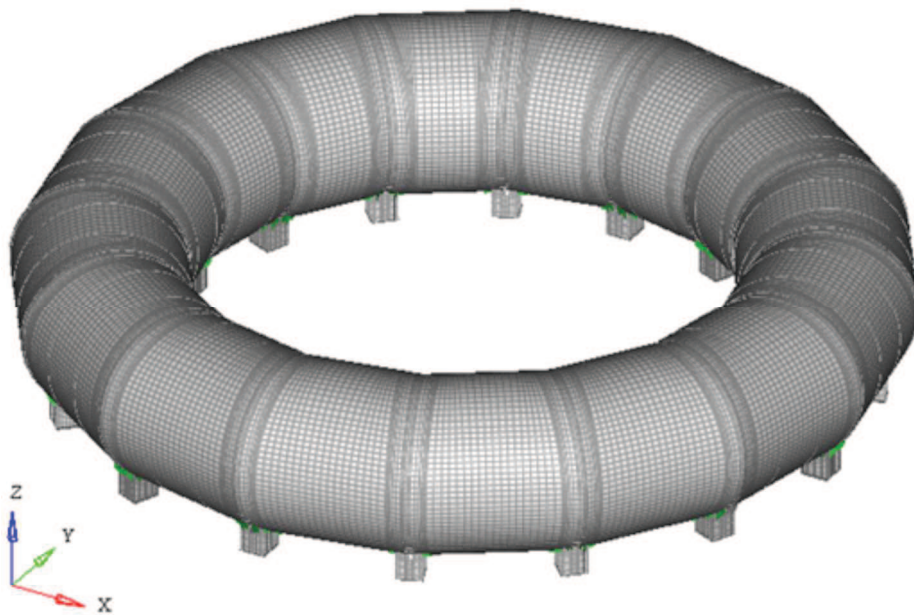


図 4.2-2 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）図

4.2.3 3次元はりモデルと妥当性確認用解析モデルとのモデル化の差異

3次元はりモデルと妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の差異及びその妥当性について整理した結果を表4.2-2に示す。

表 4. 2-2 3 次元はりモデルと妥当性確認用モデルのモデル化の差異及びその妥当性

項目	3 次元はりモデル	妥当性確認用モデル (3次元シェルモデル)	モデル化の差異及びその妥当性
有効質量のモデル化	NASTRAN の仮想質量法により算出し、NASTRAN の機能である Guyan 縮約を用いてはりモデルに付与。	NASTRAN の仮想質量法により算出し、その値をシェル要素に考慮。	有効質量の算定方法は同じである。3次元はりモデルにおける有効質量のモデル化は、Guyan 縮約を用いてモデル化しており、Guyan 縮約を用いたモデル化については、別紙2において円筒容器を用いた理論式及び有効質量の妥当性検証に用いた振動試験との対比により妥当性を確認している。
サブレーションベンチンバ本体のモデル化	材料物性と円筒断面の理論式により算定した剛性を考慮したはり要素でモデル化。	材料物性及び実機構造を模擬したシェル要素でモデル化。	3次元はりモデルにおけるサブレーションベンチンバ本体のモデル化は、平面保持を仮定した理論式によるものである。平面保持の仮定については、強め輪によって断面変形を抑制する設計としており、別紙3において強め輪の効果によって花びら状の変形等の小円の複雑な断面変形を伴う振動モードの影響を十分抑制出来ていることを確認している。なお、ボックスササポート取付部のばね剛性にその並進変形に対する剛性も含めて考慮することで適切にモデル化している。
ボックスササポート取付部のばね剛性	実機構造を模擬したばね剛性算定用の3次元シェルモデル等を用いてサブレーションベンチンバのボックスササポート取付部のばね剛性を算定し、ばね要素としてモデル化。	材料物性及び実機構造を模擬したシェル要素でモデル化。	3次元はりモデルにおけるボックスササポート取付部のばね剛性は、モデル化の要素が異なるものの、着目している剛性は、妥当性確認用モデルと同じである。
ボックスササポートのモデル化	実機構造を模擬したばね剛性算定用の3次元シェルモデル等を用いてサブレーションベンチンバのボックスササポート取付部のばね剛性を算定し、ばね要素としてモデル化。	材料物性及び実機構造を模擬したシェル要素でモデル化。また、基礎ボルトは、剛ばね要素としてモデル化。	ボックスササポート等の剛性は、モデル化の要素が異なるものの、着目している剛性は、妥当性確認用モデルと同じである。

4.2.4 妥当性確認結果

(1) 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による解析結果

妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）を用いた固有値解析結果として、各振動モードに対する固有周期、刺激係数を表 4.2-3 に示す。

(2) 耐震評価として考慮すべき振動モードの確認結果

表 4.2-3 に示す振動モード毎の発生応力への影響を検討するため、各振動モードの刺激係数の値に着目して、各振動モードを3グループに分類した。

グループA：刺激係数が2桁オーダーの値である振動モード

グループB：刺激係数が1桁オーダーの値である振動モード

グループC：刺激係数が1未満の値である振動モード

次に、妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）を用いたサプレッションチェンバの地震応答解析結果として、グループAの振動モード（3次、4次、5次、10次、11次、12次）による発生応力、グループAに対してグループBの振動モード（22次、23次、24次、25次、38次、39次）を加えた振動モードによる発生応力を表 4.2-4 に示す。

グループAの振動モードによる発生応力に対するグループA及びBの振動モードによる発生応力の比率は、最大でも1.001（0.1%）であり、グループBの振動モードによる発生応力への影響はないことを確認した。また、グループCの振動モードについても発生応力への影響もないと判断できる。

したがって、耐震評価として考慮すべき振動モードは、グループAに分類された振動モード（3次、4次、5次、10次、11次、12次）である。

(3) 3次元はりモデルと妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）との比較

a. 着眼点(1)

3次元はりモデルを用いた固有値解析結果として、振動モード、固有周期及び刺激係数を表 4.2-5 に示す。また、3次元はりモデルの振動モードについて、妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）で確認された耐震評価として考慮すべき振動モードと比較結果を表 4.2-6 に示す。

3次元はりモデルによる振動モードと妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の振動モードは、概ね同様な変形傾向を示しており、また、それら振動モードの固有周期の違いは、全て判定目安（10%以内）にあり、主要な振動モードである水平方向（3次）で9.3%、鉛直方向（5次）で9.6%となることを確認した。

b. 着眼点(2)

3次元はりモデル及び妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）を用いたサプレッションチェンバの応力評価点における応力評価結果を表 4.2-7 及び図 4.2-3 に示す。

サプレッションチェンバの構造特徴を踏まえ、応力評価部位を胴中央部、胴エビ継手部及び

ボックスサポート取付部の分類で確認した場合、3次元はりモデル及び妥当性確認用解析モデル(3次元シェルモデル)による発生応力は、応力評価部位によって大小関係は異なるものの、構造的に類似する胴中央部(P1, P2, P3, P4)、胴エビ継手部(P5, P6, P7, P8)及びボックスサポート取付部(P9, P10)の各分類において許容応力に対する発生応力の割合は同程度である。さらに、耐震評価で最も重要となる最大応力発生部位であるボックスサポート取付部に対して、3次元はりモデルが妥当性確認用解析モデル(3次元シェルモデル)を用いた応力評価の発生応力が概ね一致しており、その最大応力は、3次元はりモデルによる外側ボックスサポート取付部(P10)であることを確認した。

また、3次元はりモデル及び妥当性確認用解析モデル(3次元シェルモデル)の荷重を用いたボックスサポート応力評価結果を表4.2-8及び図4.2-4に示す。3次元はりモデル及び妥当性確認用解析モデル(3次元シェルモデル)による発生応力は、応力評価部位によって大小関係は異なるものの、3次元はりモデルの発生応力と妥当性確認用解析モデル(3次元シェルモデル)の発生応力の差は小さく、ボックスサポートの発生応力は概ね一致している。

(4) 3次元はりモデルの妥当性確認結果

上記確認により、3次元はりモデルを用いた地震応答解析は、耐震評価として考慮すべき振動モードを表現できていること、応力評価部位における発生応力の傾向が概ね一致していることから、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析として、3次元はりモデルを用いることは妥当であると判断した。

表 4.2-3 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）を用いた固有値解析結果

振動モード	固有周期 (s)	刺激係数* ¹ (-)			刺激係数の値に着目したグループ* ²
		X	Y	Z	
1* ³	0.110	0.03	0.03	0.00	C
2* ³	0.110	0.01	0.00	0.00	C
3	0.107	43.21	19.85	0.01	A
4	0.107	19.85	43.21	0.00	A
5	0.094	0.02	0.01	36.58	A
6	0.082	0.00	0.00	0.00	C
7	0.082	0.01	0.00	0.00	C
8	0.080	0.04	0.01	0.00	C
9	0.080	0.01	0.00	0.00	C
10	0.076	20.27	3.92	0.02	A
11	0.076	3.91	20.27	0.00	A
12	0.069	0.01	0.00	34.92	A
13	0.066	0.00	0.00	0.02	C
14	0.066	0.00	0.00	0.01	C
15	0.058	0.00	0.00	0.00	C
16	0.058	0.00	0.00	0.00	C
17	0.056	0.00	0.01	0.00	C
18	0.056	0.00	0.00	0.00	C
19	0.056	0.00	0.00	0.00	C
20	0.051	0.01	0.00	0.00	C
21	0.051	0.02	0.03	0.00	C
22	0.051	0.53	1.42	0.00	B
23	0.051	1.35	0.53	0.00	B
24	0.051	6.30	4.49	0.00	B
25	0.051	4.49	6.29	0.00	B
26	0.050	0.20	0.02	0.00	C
27	0.050	0.08	0.14	0.00	C
28	0.050	0.01	0.06	0.39	C
29	0.050	0.10	0.20	0.00	C
30	0.050	0.18	0.07	0.01	C
31	0.050	0.13	0.08	0.00	C
32	0.050	0.11	0.04	0.00	C
33	0.050	0.04	0.18	0.01	C
34	0.050	0.14	0.07	0.00	C
35	0.050	0.08	0.15	0.00	C
36	0.050	0.47	0.08	0.00	C
37	0.050	0.09	0.45	0.00	C
38	0.050	4.01	7.86	0.00	B
39	0.050	7.86	4.00	0.00	B

注記*1：質量による正規化

*2：刺激係数が2桁オーダーの振動モード（グループA）、1桁オーダーの振動モード（グループB）、それ以外の振動モード（グループC）と整理

*3：解析対象物が対称な構造物の場合に、解析上現れるモードであって地震時（方向性（水平、鉛直）のある加速度）には励起されないモードである。

表 4.2-4 各振動モードの応力への寄与率

応力	箇所	方位	①グループAの振動モードによる発生応力 (MPa)	②グループA, Bの振動モードによる発生応力 (MPa)	発生応力の割合 ②/①	
サブプレッジョンチエンバ	P1	胴中央部	外側	198.9	198.9	1.0000
	P2		底部	127.1	127.2	1.0008
	P3		内側	101.9	102.0	1.0010
	P4		頂部	44.2	44.2	1.0000
	P5	胴エビ継部	外側	192.0	192.0	1.0000
	P6		底部	163.6	163.6	1.0000
	P7		内側	130.0	130.1	1.0008
	P8		頂部	102.8	102.9	1.0010
	P9	内側ボックスサポート取付部		328.1	328.2	1.0003
	P10	外側ボックスサポート取付部		289.9	290.1	1.0007

表 4.2-5 3次元はりモデルを用いた固有値解析結果

振動 モード	固有周期 (s)	刺激係数*1 (-)		
		X	Y	Z
1*2	0.104	0.00	0.00	0.00
2*2	0.104	0.00	0.00	0.00
3	0.097	0.14	44.74	0.00
4	0.097	-44.74	0.14	0.00
5	0.085	0.00	0.00	82.02
6	0.076	-27.56	2.52	0.00
7	0.076	2.52	27.56	0.00
8	0.069	0.00	0.00	0.00
9	0.069	0.00	0.00	0.00
10	0.068	0.00	0.00	8.25
11	0.066	0.00	0.00	0.00
12	0.066	0.00	0.00	0.00
13	0.051	0.00	0.00	0.00
14	0.051	0.00	0.00	0.00
15	0.047	0.00	0.00	0.00
16	0.047	0.00	0.00	0.00

注記*1：質量による正規化

*2：解析対象物が対称な構造物の場合に、解析上現れるモードであって地震時（方向性（水平、鉛直）のある加速度）には励起されないモードである。

表 4.2-6 「耐震評価として考慮すべき振動モード」による固有値解析結果 (1/6)

振動モード (固有周期)	① 妥当性確認用解析モデル (3次元シェルモデル) 黒線：変形前	振動モード (固有周期)	② 3次元はりモデル 青線：変形前	固有値 の比較 (②/①)

表 4.2-6 「耐震評価として考慮すべき振動モード」による固有値解析結果 (2/6)

① 妥当性確認用解析モデル (3次元シェルモデル)		② 3次元はりモデル		固有値 の比較 (②/①)
振動モード (固有周期)	黒線：変形前	振動モード (固有周期)	青線：変形前	

表 4.2-6 「耐震評価として考慮すべき振動モード」による固有値解析結果 (3/6)

① 妥当性確認用解析モデル (3次元シェルモデル)		② 3次元はりモデル		固有値 の比較 (②/①)
振動モード (固有周期)	黒線：変形前	振動モード (固有周期)	青線：変形前	

表 4.2-6 「耐震評価として考慮すべき振動モード」による固有値解析結果 (4/6)

① 妥当性確認用解析モデル (3次元シェルモデル)	② 3次元はりモデル		固有値の比較 (②/①)
振動モード (固有周期)	黒線：変形前	振動モード (固有周期) 青線：変形前	

表 4.2-6 「耐震評価として考慮すべき振動モード」による固有値解析結果 (5/6)

振動モード (固有周期)	① 妥当性確認用解析モデル (3次元シェルモデル) 黒線：変形前	振動モード (固有周期)	② 3次元はりモデル 青線：変形前	固有値 の比較 (②/①)

表 4.2-6 「耐震評価として考慮すべき振動モード」による固有値解析結果 (6/6)

① 妥当性確認用解析モデル (3次元シェルモデル)		② 3次元はりモデル		固有値 の比較 (②/①)
振動モード (固有周期)	黒線：変形前	振動モード (固有周 期)	青線：変形前	

表 4.2-7 3次元はりモデルと妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による
サプレッションチェンバの応力比較結果

応力評価点	箇所	方位	①3次元はりモデルによる応力評価結果 (MPa)	②3次元シェルモデルによる応力評価結果 (MPa)	③許容応力 (MPa)	①/②	③/①
P1	胴中央部	外側	166	199	393	0.83	2.36
P2		底部	106	127	393	0.83	3.70
P3		内側	136	102	393	1.33	2.88
P4		頂部	78	45	393	1.73	5.03
P5	胴エビ継手部	外側	162	192	393	0.84	2.42
P6		底部	104	164	393	0.63	3.77
P7		内側	152	130	393	1.17	2.58
P8		頂部	92	103	393	0.89	4.27
P9	内側ボックスサポート取付部		300	328	393	0.91	1.31
P10	外側ボックスサポート取付部		330	290	393	1.14	1.19

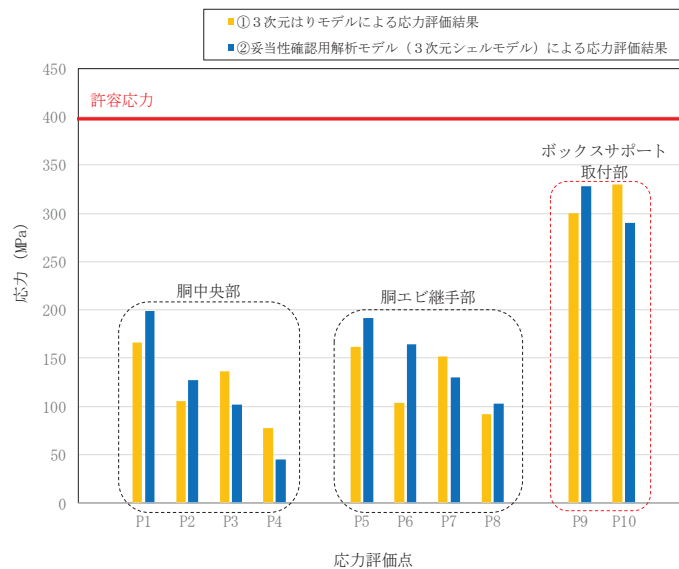


図 4.2-3 3次元はりモデルと3次元シェルモデルによるサプレッションチェンバの応力比較結果

表 4.2-8 3次元はりモデルと妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による
ボックスサポートの応力比較結果

応力 評価 点	箇所	①3次元 はりモデル による応力 評価結果 (MPa)	②3次元 シェルモデ ルによる応 力評価結果 (MPa)	③許容応力 (MPa)	①/②	③/①
P1	ボックスプレート (一次+二次応力)	314	244		1.29	
P2	ボックスプレート 取付部 (一次+二次応力)	284	242		1.17	
P2'	ボックスプレート (上側) 取付部 (一次+二次応力)	88	80		1.10	
P3	フランジプレートとシ ヤラグ接触部 (一次+二次応力)	63	58		1.09	
P4	シヤラグ取付部 (一次+二次応力)	94	86		1.09	
P5	基礎ボルト (引張応力)	404	446		0.91	
P6	フランジプレート (一次+二次応力)	267	253		1.06	
P6'	フランジプレート (外側) (一次+二次応力)	168	185		0.91	
P7	ベースプレート (一次+二次応力)	148	137		1.08	
P8	シヤコネクタ (外側) 取付部 (一次+二次応力)	46	42		1.10	
P9	コンクリート (ベース プレート下面) (圧縮応力)	10.65	10.17		1.05	
P10	コンクリート (シヤコ ネクタ (外側) 側面) (圧縮応力)	21.10	19.28		1.09	
P11	コンクリート (シヤプレート上面) せん断応力	0.80	0.88	0.91		
P12	パッド取付部 (一次+二次応力)	72	66	1.09		

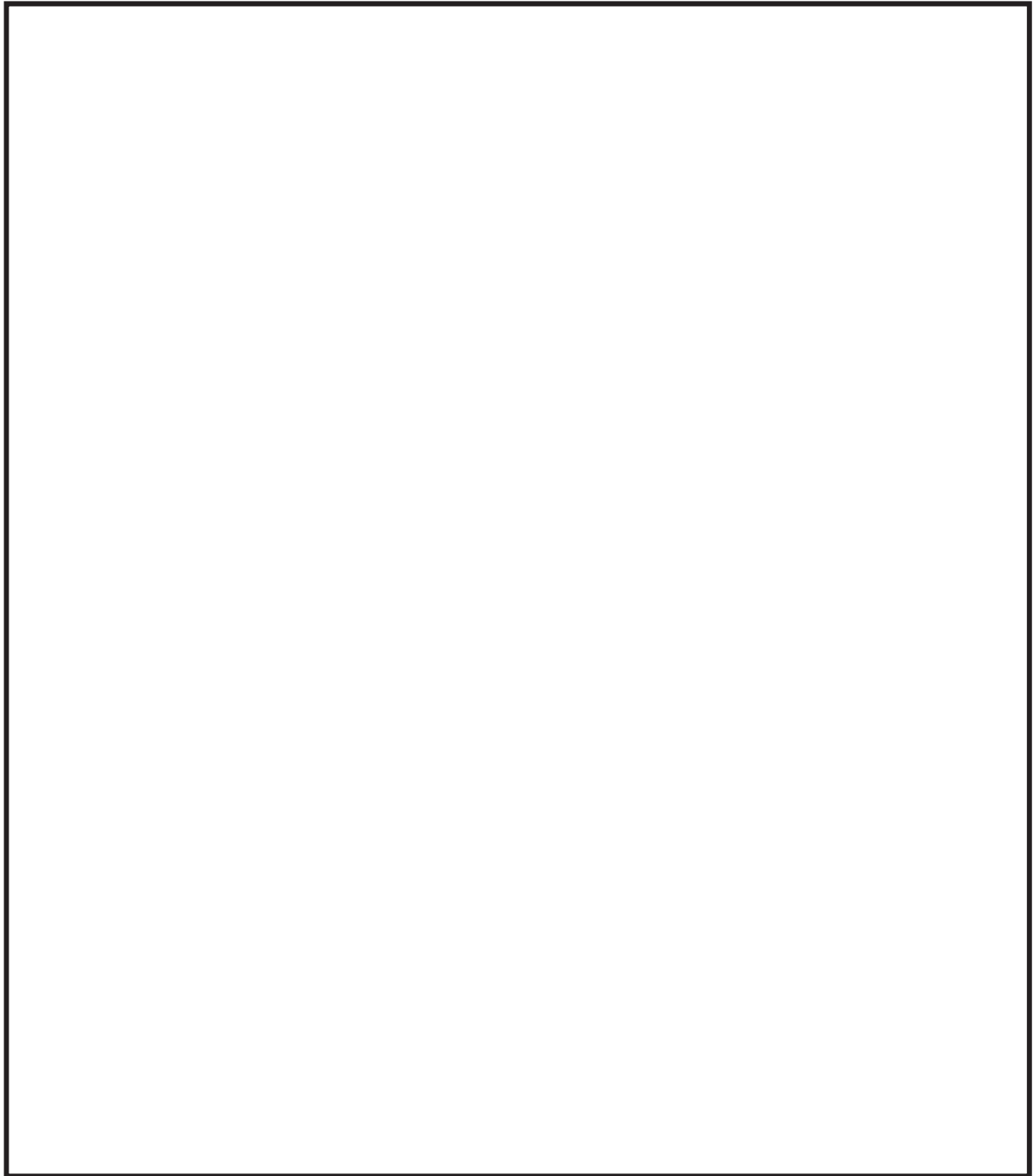


図 4.2-4 3次元はりモデルと妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による
ボックスサポートの応力比較結果

4.3 地震応答解析に係る検討

地震応答解析では、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造特性、サプレッションチェンバ内部水の流体特性等を考慮し、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル(3次元はりモデル)を設定し、スペクトルモーダル解析を実施して地震時の荷重を算定する。なお、3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析については、女川2号機と同型炉のサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析として、既工認実績のある手法である。

本項では、地震応答解析に関連して、以下の影響検討を実施した。

(1) 有効質量算出法の違いによる有効質量の差異による影響

4.1.1項におけるサプレッションチェンバ内部水の有効質量の算定結果では、NASTRANの仮想質量法と汎用流体解析コードOpenFOAMによる流体解析により算出した有効質量比は概ね一致しているが、仮想質量法により算出した方がやや大きい傾向があり、有効質量としては保守側の値となっていることを確認している。

サプレッションチェンバ内部水の有効質量は、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの固有値に関連することから、耐震評価に用いる地震荷重としての保守性の観点から、解析手法間(仮想質量法と流体解析)の差異による固有値と設計用床応答スペクトルの関係を図4.3-1に示す。設計用床応答スペクトルは、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」によるものである。

4.4.1項で算定した仮想質量法の有効質量比(0.33)及び流体解析の有効質量比(0.32)の関係(仮想質量法>流体解析)から、流体解析の場合における主要な振動モードの固有周期は、仮想質量法と比較して短周期に5%程度短くなるものの、設計用床応答スペクトルと固有周期との関係から、有効質量算出法の違いによって応答加速度が変わらないことから、有効質量算出法の違いによる地震応答解析への影響はほとんどないことを確認した。

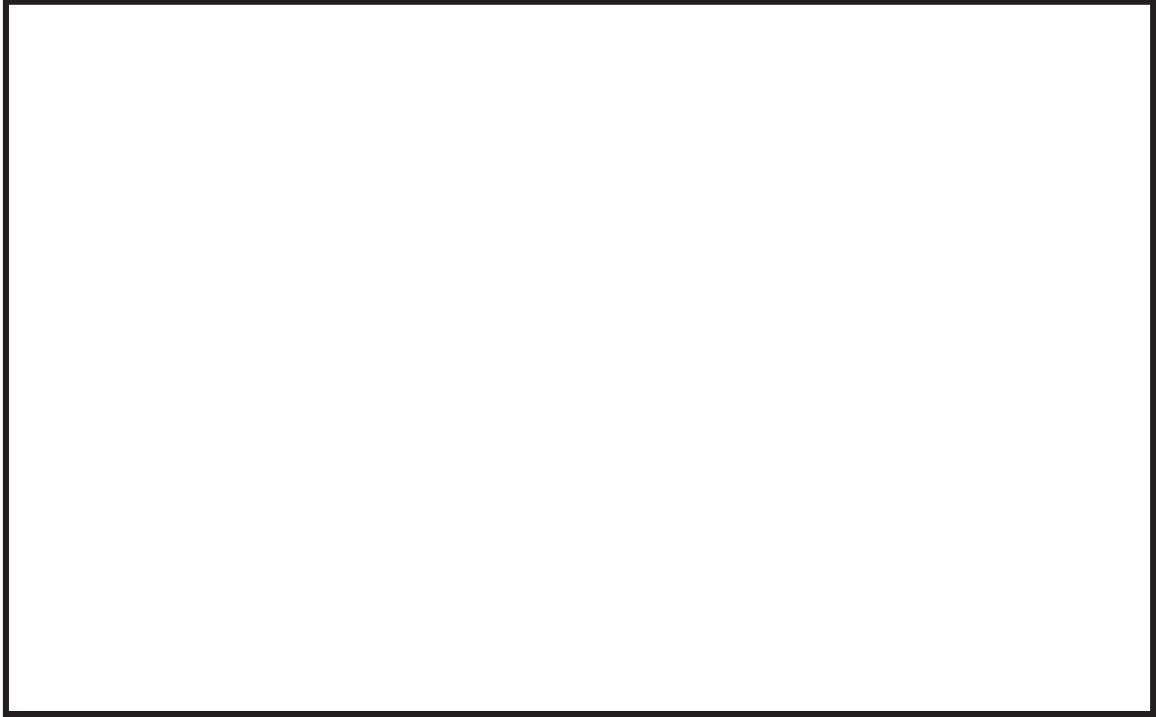


図 4.3-1 設計用床応答スペクトルと固有周期の比較

(2) スペクトルモーダル解析における高振動数領域の影響

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析における動的解析では、スペクトルモーダル解析を適用し、配管等に対する地震応答解析同様、打ち切り振動数を 20Hz としている。

スペクトルモーダル解析を適用するに当たって高振動数領域の影響を確認するため、地震応答解析における打ち切り振動数を 50Hz とし、重大事故等対処設備としてのサプレッションチェンバ及びボックスサポートの中で比較的耐震裕度が少ない部位を代表として応力評価を実施した。地震応答解析に用いた床応答スペクトルを図 4.3-2 に、応力評価結果を表 4.3-1 に、固有周期の一覧を表 4.3-2 に示す。本検討に用いた床応答スペクトルは、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」の作成方針に基づき 0.02 秒 (50Hz) までの床応答スペクトルを作成したものである。

地震応答解析における打ち切り振動数を 50Hz とした場合、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの代表応力評価点に対する算出応力は、打ち切り振動数を 20Hz としている場合に対してほとんど増加しない結果となった。これは、高振動領域における応答加速度と刺激係数が比較的小さいことから、高振動数領域の応答影響がなかったものである。

したがって、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析における動的解析として高振動数領域の応答によるスペクトルモーダル解析への影響がないことを確認した。

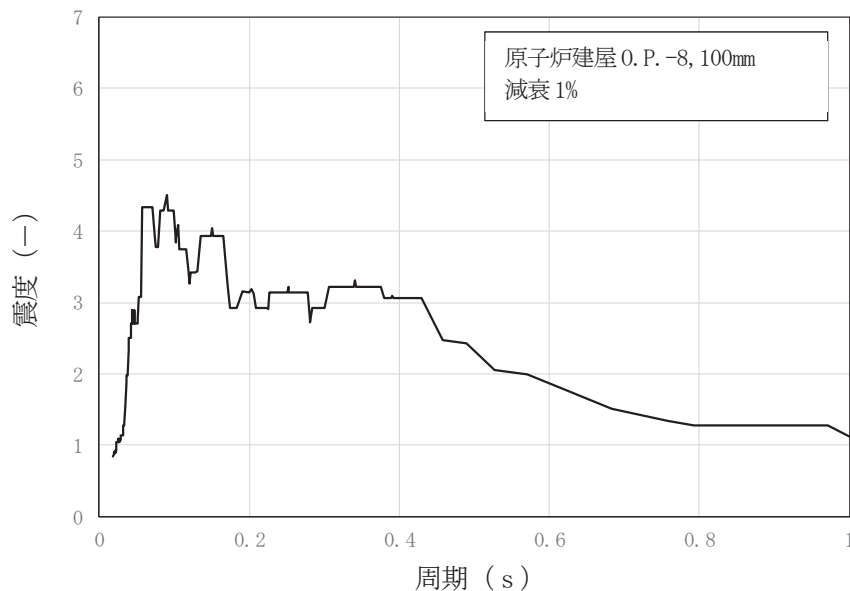


図 4.3-2 床応答スペクトル(高振動数領域を考慮 (0.02~1 秒))

表 4. 3-1 応力評価結果

応力評価点	応力分類	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
		~20Hz	~50Hz	
胴中央部外側 (P1)	一次一般膜応力	204	204	257
胴エビ継手部外側 (P5)	一次+二次応力	162	162	393
外側ボックスサポート取付部 (P10)	一次+二次応力	330	330	393
ボックスプレート (上側) 取付部 (P2')	一次+二次応力 (せん断)	88	88	

表 4. 3-2 固有周期一覧表

振動モード	固有周期 (s)	刺激係数* (-)		
		X	Y	Z
1	0.104	0.00	0.00	0.00
2	0.104	0.00	0.00	0.00
3	0.097	0.14	44.74	0.00
4	0.097	-44.74	0.14	0.00
5	0.085	0.00	0.00	82.02
6	0.076	-27.56	2.52	0.00
7	0.076	2.52	27.56	0.00
8	0.069	0.00	0.00	0.00
9	0.069	0.00	0.00	0.00
10	0.068	0.00	0.00	8.25
11	0.066	0.00	0.00	0.00
12	0.066	0.00	0.00	0.00
13	0.051	0.00	0.00	0.00
14	0.051	0.00	0.00	0.00
15	0.047	0.00	0.00	0.00
16	0.047	0.00	0.00	0.00
17	0.039	0.00	0.00	0.00
18	0.039	0.00	0.00	0.00
19	0.035	0.00	0.00	0.00
20	0.035	0.00	0.00	0.00
21	0.034	0.00	0.00	0.00
22	0.030	0.00	0.00	0.00
23	0.030	0.00	0.00	0.00
24	0.028	0.00	0.00	0.00
25	0.028	0.00	0.00	0.00
26	0.026	-18.12	1.26	0.00
27	0.026	1.26	18.12	0.00
28	0.024	0.00	0.00	0.00
29	0.024	0.00	0.00	0.00
30	0.023	0.00	0.00	0.00
31	0.023	0.00	0.00	0.00
32	0.020	0.00	0.00	0.00
33	0.020	0.00	0.00	0.00

注記* : 質量による正規化

4.4 スロッシング荷重

既工認では、サブプレッションチェンバ内部水全体を剛体としていたため、水平方向の地震荷重に含まれる扱いとしていたが、今回工認では、サブプレッションチェンバ内部水を有効質量として水平方向の地震荷重を算出するため、スロッシング荷重については、地震時のサブプレッションチェンバ内部水の挙動を考慮し、汎用流体解析コード OpenFOAM を用いた流体解析により算定する。スロッシング荷重算定フローを図 4.4-1 に示す。

流体解析に用いる解析モデルは、図 4.4-2 のとおり、サブプレッションチェンバ（強め輪を含む）及び主要な内部構造物をモデル化し、サブプレッションチェンバ内部水の水位条件は、有効質量の算定と同様、通常運転水位及び耐震解析用重大事故等時水位とした。また、地震動の入力条件は、スロッシングの固有周期帯の応答加速度が比較的大きく、継続時間の長い $S_s - D1$ を用いた。流体解析では、サブプレッションチェンバ内部水の有効質量による荷重（サブプレッションチェンバと一体となって振動することによる荷重）とスロッシング荷重の総和として荷重が算定されるため、有効質量による荷重を差し引くことによってスロッシング荷重を算定する。サブプレッションチェンバ内部水のスロッシング荷重算定の詳細については、別紙 6 に示す。

流体解析に基づき算出したスロッシング最大荷重を表 4.4-1 に示す。

今回工認のサブプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価において、地震時における荷重として考慮するスロッシング荷重については、設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価に関係なく、スロッシング現象の不確かさに対する保守性等を考慮し、耐震解析用重大事故時水位条件に対するスロッシング最大荷重に余裕を加味した耐震評価用スロッシング荷重 ($4.00 \times 10^3 \text{kN}$) を用いることとした。また、水平 2 方向の検討に当たっては、それぞれの方向に耐震評価用スロッシング荷重を考慮する。

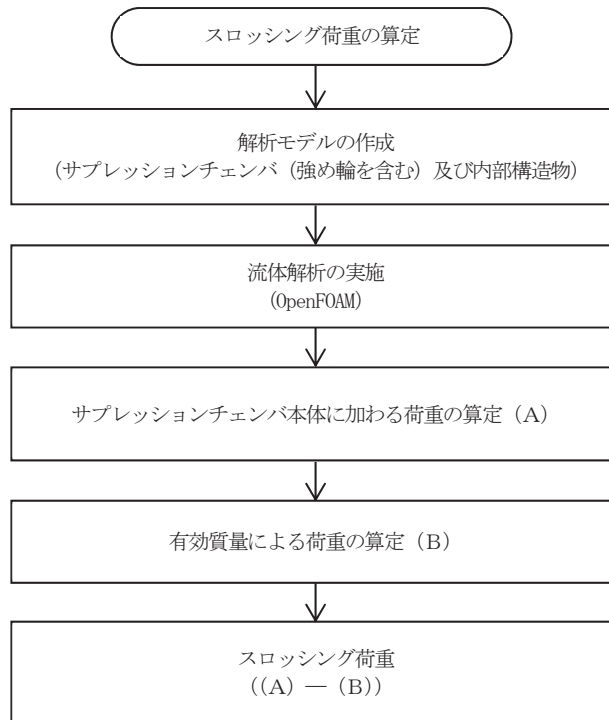


図 4. 4-1 スロッシング荷重算定フロー

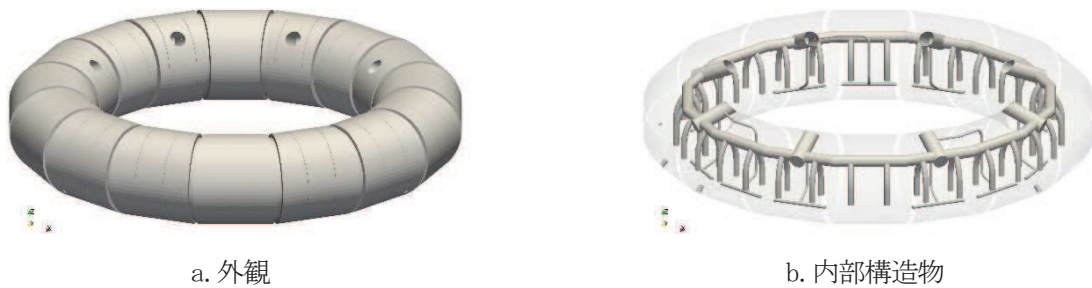


図 4. 4-2 流体解析モデル

表 4. 4-1 流体解析結果及び耐震評価用スロッシング荷重

水位条件	流体解析結果	耐震評価用 スロッシング荷重	備考
通常運転水位	$2.50 \times 10^3 \text{kN}$	$4.00 \times 10^3 \text{kN}$	設計基準対象施設 としての評価
耐震解析用重大事故等時水位 (真空破壊装置下端水位)	$3.21 \times 10^3 \text{kN}$		重大事故等対処設備 としての評価

5. 応力解析の詳細

5.1 応力評価フロー

応力解析は、応力評価点毎に FEM 解析による応力評価又は公式等による評価を実施する。応力評価フローを図 5.1-1 に示す。

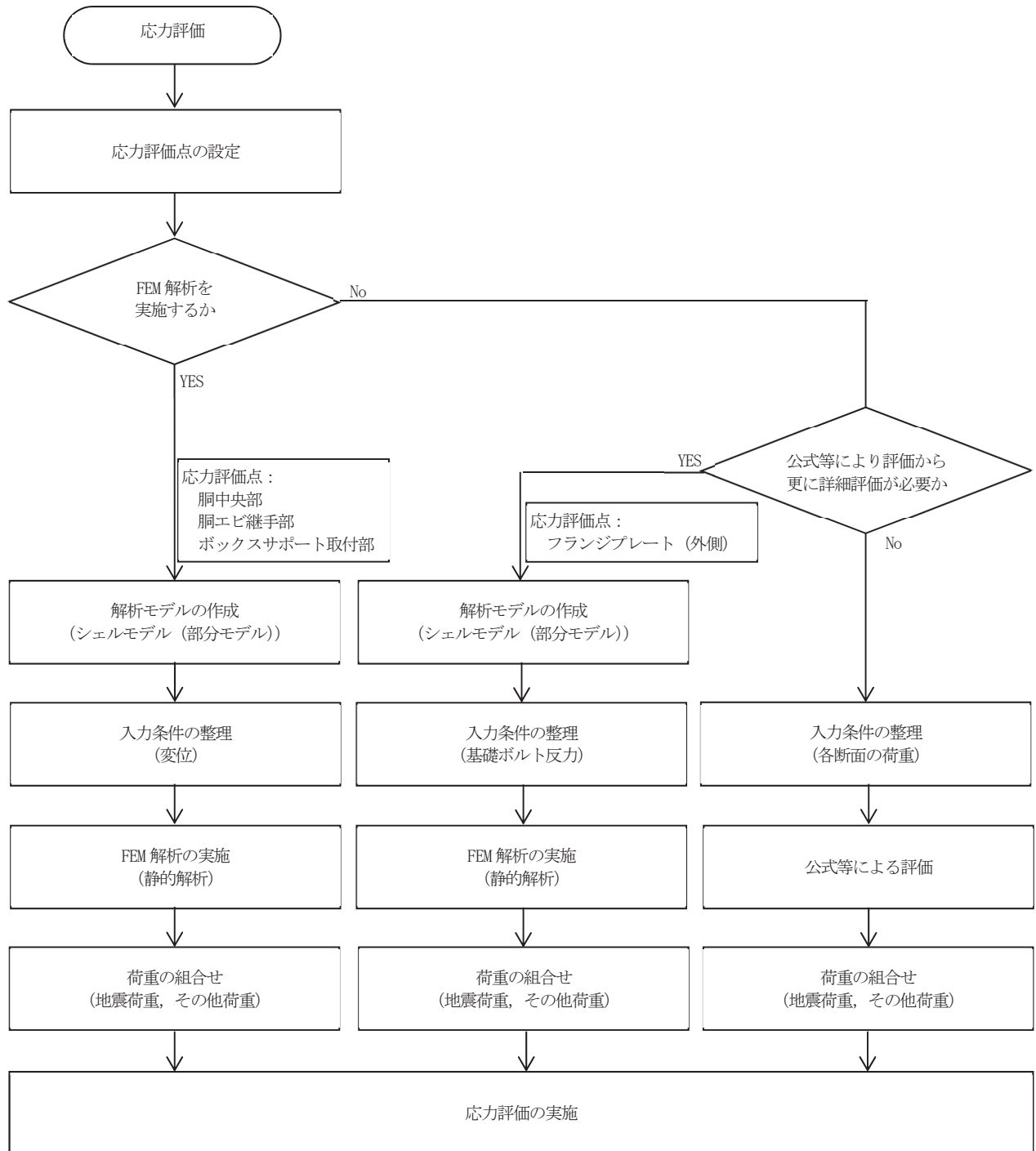


図 5.1-1 応力評価フロー

5.2 応力評価点

サプレッションチェンバ及びボックスサポートについては、耐震性の向上を目的としたサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容を踏まえ、構成部材の形状、断面性能及び地震荷重の伝達経路等を加味し、今回工認におけるボックスサポートの応力評価点について検討した。

5.2.1 サプレッションチェンバの応力評価点

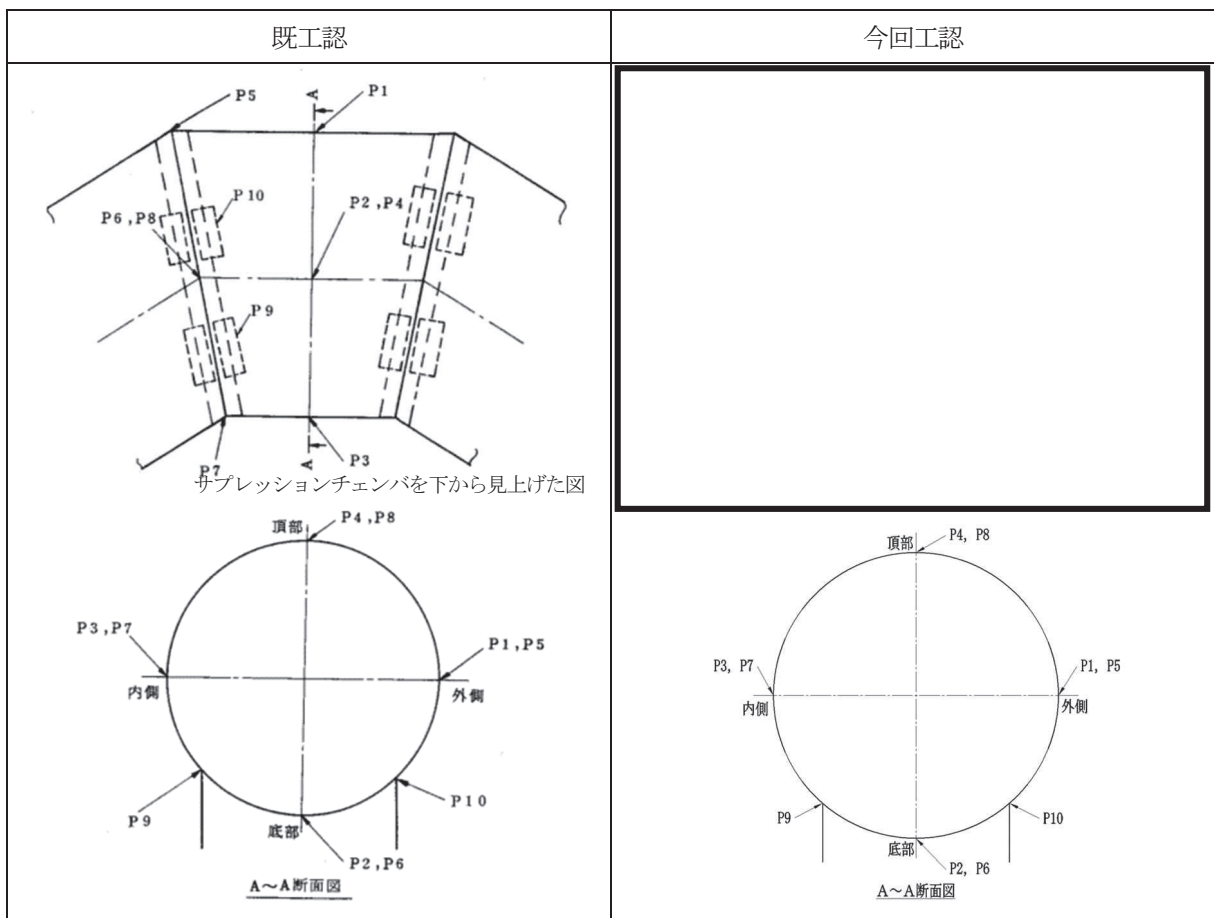
既工認及び今回工認における応力評価点を表 5.2-1 及び表 5.2-2 に示す。応力評価点 P9 及び P10(内側及び外側ボックスサポート取付部)については、今回工認における耐震補強対策による効果を踏まえ追加したパッド部の評価点を見直した。

表 5.2-1 サプレッションチェンバの応力評価点

応力評価点番号	応力評価点	評価対象		応力評価方法	発生応力の低減に寄与する補強部材
		既工認	今回工認		
P1	胴中央部外側	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P2	胴中央部底部	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P3	胴中央部内側	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P4	胴中央部頂部	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P5	胴エビ継手部外側	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P6	胴エビ継手部底部	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P7	胴エビ継手部内側	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P8	胴エビ継手部頂部	○	○	FEM モデルを用いた静的解析	
P9	内側ボックスサポート取付部	○	○*	FEM モデルを用いた静的解析	
P10	外側ボックスサポート取付部	○	○*	FEM モデルを用いた静的解析	

注記*：耐震補強対策を考慮して評価断面位置を変更する

表 5.2-2 サプレッションチェンバの応力評価点



5.2.2 ボックスサポートの応力評価点

既工認及び今回工認における応力評価部位を表 5.2-3, 応力評価点を表 5.2-4 に示す。

応力評価点 P6 (フランジプレート ; ボックスプレート取付部) については, 耐震補強対策として取り付ける [] による拘束効果を考慮し, 新たに応力評価点 P6' (フランジプレート (外側) : []) を設定するとともに, 当該部位の応力状態をより詳細に把握するため, 個別の詳細評価としてフランジプレートをシェル要素でモデル化し, 追加リブによる拘束効果を反映した FEM 解析による応力評価についても実施する。

応力評価点 P8 (シヤコネクタ (外側) 取付部) 及び P10 (コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面) については, 保守的な扱いとして, 既設シヤコネクタによる荷重分担は期待せずに [] のみで荷重を受けるものとして応力評価を実施する。

応力評価点 P2' (ボックスプレート (上側) 取付部) 及び P12 (パッド取付部) については, サプレッションチェンバとボックスサポートの取付部の応力状態を確認するため, 新たに応力評価点として設定し, 応力評価を実施する。なお, 既工認におけるこれらの応力評価点は, 応力評価点 P2 (ボックスプレート取付部) で代表させていたものである。

表 5.2-3 ボックスサポートの応力評価点

応力評価点番号	応力評価点	評価対象		応力評価方法	発生応力の低減に寄与する補強部材
		既工認	今回工認		
P1	ボックスプレート	○	○	公式等による評価	
P2	ボックスプレート取付部	○	○	公式等による評価	
P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	—	○	公式等による評価	
P3	フランジプレートとシヤラグ接触部	○	○	公式等による評価	
P4	シヤラグ取付部	○	○	公式等による評価	
P5	基礎ボルト	○	○	公式等による評価	
P6	フランジプレート	○	○	公式等による評価	
P6'	フランジプレート (外側)	—	○	公式等による評価 又はFEMモデルを用いた静的解析	
P7	ベースプレート (外側)	○	○*	公式等による評価	
P8	シヤコネクタ (外側) 取付部	○	○*	公式等による評価	
P9	コンクリート (ベースプレート下面)	○	○	公式等による評価	
P10	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)	○	○*	公式等による評価	
P11	コンクリート (シヤプレート上面)	○	○	公式等による評価	
P12	パッド取付部	—	○	公式等による評価	

注記*：耐震補強対策を考慮して評価断面位置を変更する。

表 5.2-4 ボックスサポートの応力評価点

既工認	今回工認

5.3 応力解析モデル

5.3.1 サプレッションチェンバの応力解析モデル

サプレッションチェンバ（胴中央部，胴エビ継手部及びボックスサポート取付部）の応力評価に用いる応力解析モデルは，サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルにおけるばね剛性算定に用いた 3 次元シェルモデルと同等であり，耐震補強対策における追加パッド及び追加リブをより詳細に反映している。

応力解析モデルを，図 5.3-1 に示す。

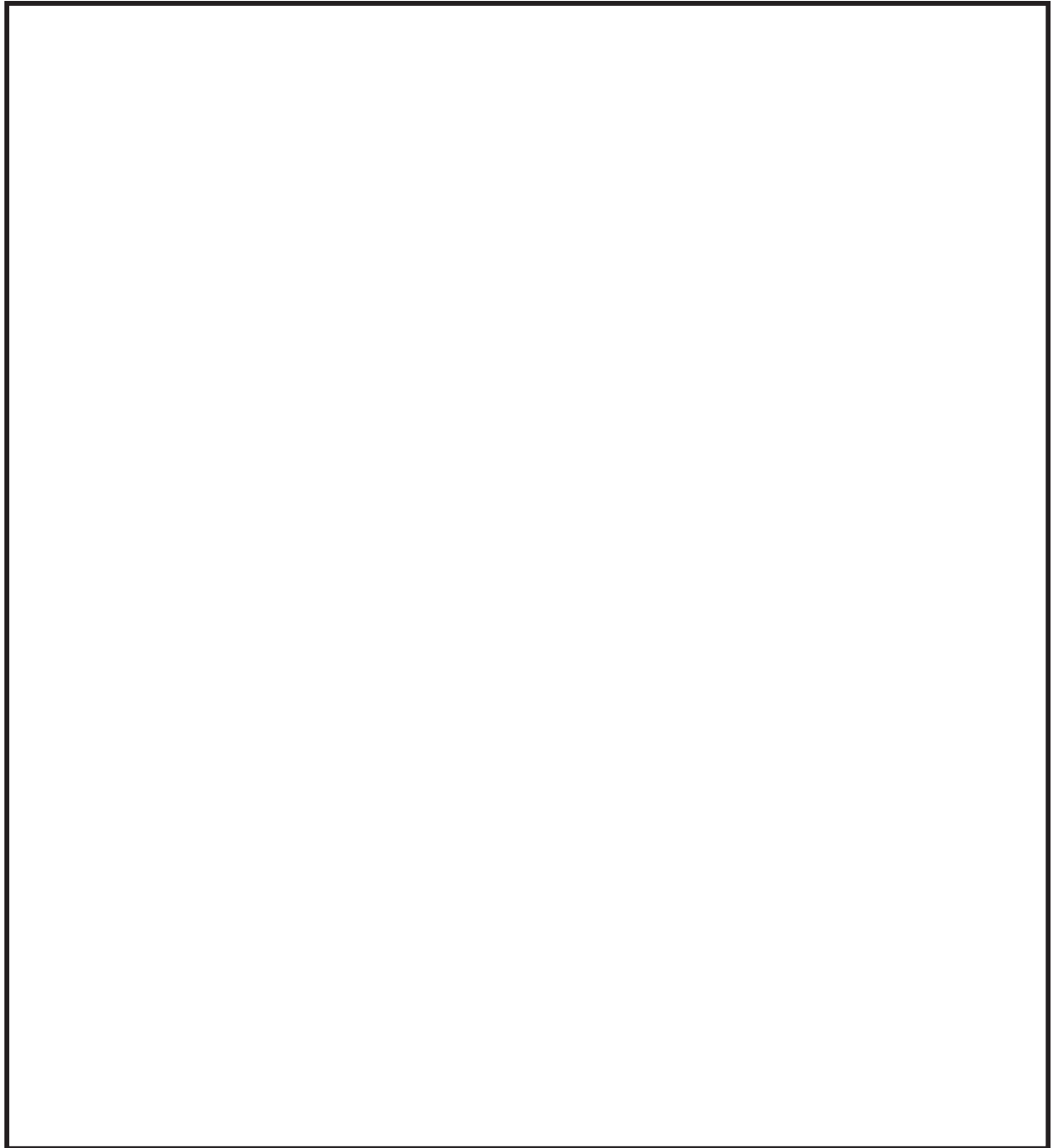


図 5.3-1 応力解析モデル

5.3.2 フランジプレート（外側）の応力解析モデル

フランジプレート（外側）の応力評価に用いる応力解析モデルは、ボックスプレート、フランジプレート及び追加リブの接続部における拘束条件等を考慮し、シェル要素でモデル化する。フランジプレート（外側）の構造図及び応力解析モデル（モデルイメージ含む）を図 5.3-2 及び図 5.3-3 に示す。

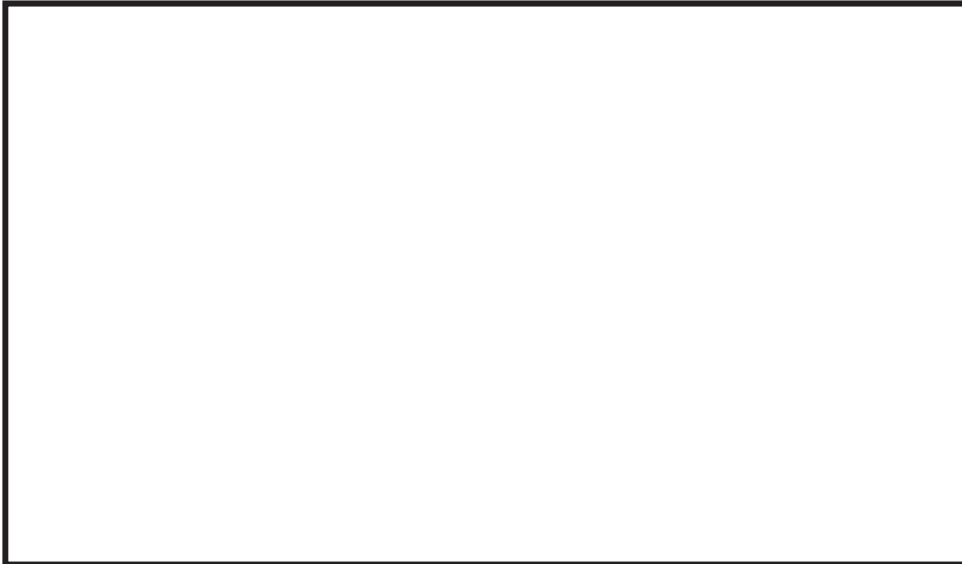


図 5.3-2 フランジプレート（外側）の構造図

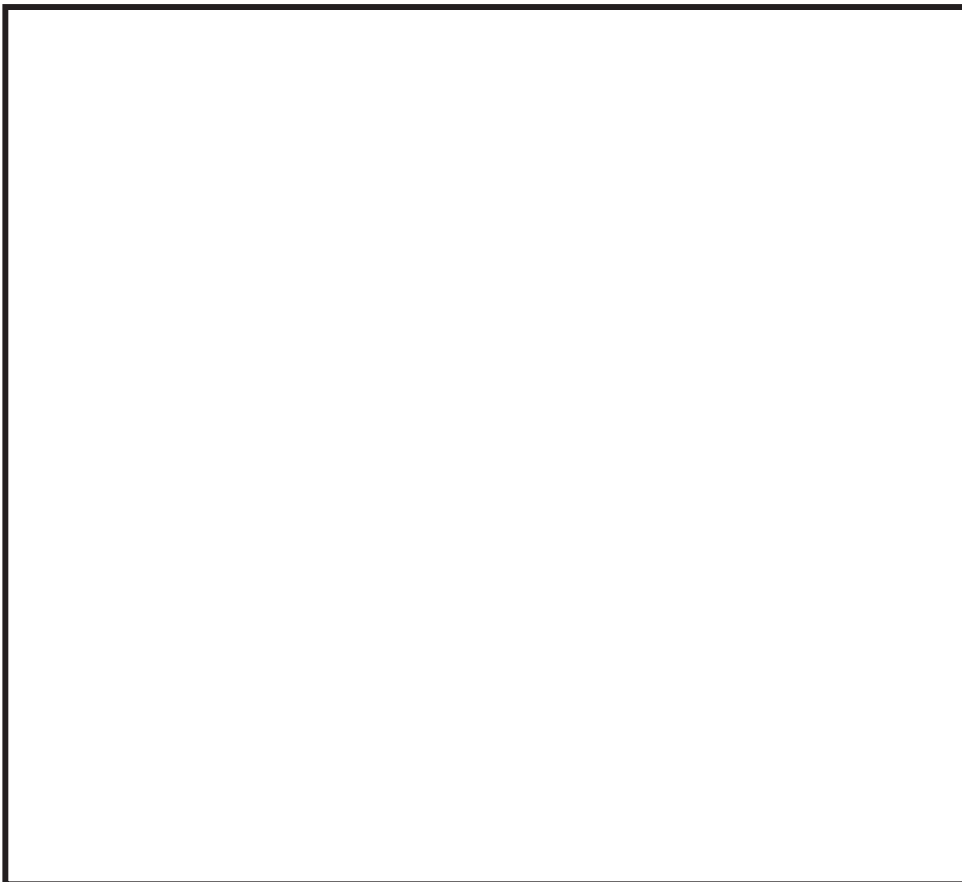


図 5.3-3 フランジプレート（外側）の応力解析モデル

5.4 応力評価

5.4.1 サプレッションチェンバの応力評価

サプレッションチェンバは、応力解析による応力評価を行う。

応力解析による応力評価は、地震応答解析から算定求められる地震荷重（変位）を応力解析モデルに入力し、FEM解析（静的解析）により各応力評価点の応力を算定する。応力評価の詳細応力評価は、工事計画認可申請書添付資料「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載している。なお、既工認のボックスサポート取付部の応力評価では

は、基礎ボルトによる拘束効果が適切に考慮できないことが分かった（ボックスサポートが実態とは異なる極端な変形となる）。今回工認では、

ここで、既工認と今回工認との地震荷重（変位）入力の概念図を図 5.4-1 に、サプレッションチェンバの地震応答解析における地震荷重（変位）の抽出点を図 5.4-2 に、サプレッションチェンバの 3次元 FEM 解析モデルの解析条件を図 5.4-3 に示す。

図 5.4-1 既工認と今回工認との地震荷重（変位）入力の概念図



図 5.4-2 地震応答解析における変位抽出点



図 5.4-3 サプレッションチェンバの 3次元 FEM 解析モデル解析条件

5.4.2 ボックスサポートの応力評価

ボックスサポートは、公式等による応力評価又は応力解析（フランジプレート（外側））による応力評価を行う（別紙18）。

公式等による応力評価は、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析（3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析）から算定された地震荷重及び構造部材の形状、断面性能等を踏まえて応力を算定する。また、応力解析による応力評価は、地震応答解析から算定求められる地震荷重をフランジプレート（外側）に対する応力解析モデルを入力し、FEM解析（静的解析）により応力を算定する。

応力評価の詳細については、工事計画認可申請書添付資料「VI-2-9-2-1-5 ボックスサポートの耐震性についての計算書」に記載している。

ボックスサポートの地震応答解析における荷重抽出点を図 5.4-4 に、フランジプレート（外側）の3次元FEM解析モデル解析条件を図 5.4-5 に示す。



図 5.4-4 地震応答解析における荷重抽出点



図 5.4-5 フランジプレート外側の3次元FEM解析モデル解析条件

6. サプレッションチェンバ等の耐震評価における不確かさの考慮及び保守性

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価の既工認からの変更に関する不確かさ・保守性の配慮について、地震応答解析から応力解析に至る評価手順に沿って整理したものを表 6-1 に示す。

地震応答解析においては、サプレッションチェンバ内部水の扱いとして有効質量を適用したこと、ボックスサポート取付部にばね剛性を考慮したこと等による解析モデルの詳細化を行うとともに、解析モデルの詳細化に伴う動的解析として 3 次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析を採用した。

有効質量の適用については、サプレッションチェンバ内部水の有効質量を保守側に算定する解析方法を採用しており、保守性を含めてサプレッションチェンバ内部水の挙動をより詳細に考慮している。また、解析モデルの詳細化にあたって、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造を解析モデルに変換する部分については、特段の不確かさはなく、前述までの説明のとおり、実機のサプレッションチェンバ及びボックスサポートの主要な振動モードをよく再現できる解析モデルとなっている。

動的解析方法については、配管等の他機器、女川 2 号機と同型炉のサプレッションチェンバ及びボックスサポートにて既工認実績のあるスペクトルモーダル解析であり、建屋応答の不確かさも包絡した設計用床応答曲線を用いることによって、他機器と同様の保守性が確保される。なお、床応答スペクトルの周期方向±10%拡幅によって、有効質量の不確かさによる固有周期への影響も配慮できる。

また、サプレッションチェンバ内部水質量の扱いとして有効質量を適用したことに伴い、サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重を新たに考慮することとした。スロッシング荷重については、サプレッションチェンバ内部水の条件、地震動等の他、スロッシング現象の不確かさを考慮し、耐震評価用スロッシング荷重を保守的に設定している。

応力解析については、いずれも、解析の精緻化であり、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造を解析モデルに変換する部分については、特段の不確かさはなく、地震応答解析と相まって、他機器と同様の保守性が確保されるものと考えられる。

以上のことから、今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価については、既工認からの地震応答解析及び応力解析に係る変更を考慮しても、保守性が確保されているものと判断できる。

表 6-1 今回工認の変更点に係る不確かさ・保守性の配慮

今回工認での変更点		不確かさの要素	既工認	保守性の考慮方法
解析モデル	内部水質量	有効質量に起因する荷重、固有周期	本来は流動挙動するサブプレシジョンチエンバ内部水を剛体として扱うことで、保守的な荷重が算出される。	サブプレシジョンチエンバ内部水を有効質量として考慮することで、内部水質量による荷重が詳細化される。振動試験等により有効質量が保守側に算出されることが確認されたNASTRANの仮想質量法を用いて有効質量を算定することで保守性が確保される。有効質量の算定方法に起因する固有周期の変動については、周期方向±10%拡幅した床応答スペクトルを用いることで配慮できる。なお、設計用床応答スペクトルと固有周期との関係から、有効質量算出法の違いによって応答加速度が変わらないことから、地震応答解析結果への影響はほとんどないと考えらえる。
	構造部分	なし	サブプレシジョンチエンバをばり要素にてモデル化。構造の解析モデルへの変換にあたり特段の保守性の考慮なし。	サブプレシジョンチエンバ及びボックスササポートをばり要素によるモデル化にあたり、ボックスササポート取付部にばね剛性を考慮し、ボックスササポートの剛性の詳細化及び基礎ボルトをモデル化することにより、詳細に地震応答を把握する。構造の解析モデルへの変換にあたり特段の保守性の考慮なし。
解析方法	入力地震動等の不確かさ	なし	簡便な扱いとして、サブプレシジョンチエンバ全体を剛と見做し、静的解析を適用。	サブプレシジョンチエンバ内部水の増加、解析モデルの詳細化を踏まえた固有周期を考慮し、動的解析（スペクトルモーダル解析）を適用。配管等の他機器と同様、建屋応答の不確かさも包絡した設計用床応答曲線を用いることで保守性が確保される。
	スロッシング荷重	スロッシング現象の不確かさ	内部水質量の扱い(剛体)に含まれる。	地震荷重としては地震動 $S_s - F - 3$ が最も厳しい地震動であるが、スロッシングに対して最も厳しい地震動 $S_s - DI$ を用いて、設計基準及び重大事故等での水位条件で流体解析を行っている。最大荷重を算出し、その包絡値に余裕を加味して耐震評価用スロッシング荷重を設定している。また、地震荷重の最大発生時刻とスロッシング荷重の最大発生時刻が異なると考えられるが、発生時刻によらず、最大地震荷重と組み合わせることで保守性が確保される。
応力解析	ボックスササポート取付部(胴中央部、胴エビ継手部含む)	なし	ボックスササポートと隣接するサブプレシジョンチエンバ()をシェル要素でモデル化し、地震荷重等を解析モデルに入力した静的解析を実施。特段の保守性の考慮なし。	地震応答解析モデルに考慮したボックスササポート取付部のばね剛性算定用のシェルモデルを応力解析モデルとし、地震荷重等を解析モデルに入力した静的解析を行うことで、より詳細に応力解析を実施した。構造をより詳細にモデル化したものであり、特段の保守性の考慮なし。
	ボックスササポートフランジプレート	なし	公式等による応力評価を実施。特段の保守性への考慮なし。	耐震補強対策()により、フランジプレート境界条件を見直し、FEM解析を用いてより詳細に応力解析を実施した。構造をより詳細にモデル化したものであり、特段の保守性の考慮なし。
	ボックスササポート基礎ボルト	なし	簡便に一つのボックスササポート内の力つりあい式による計算を実施。特段の保守性の配慮なし。	地震応答解析モデルに基礎ボルトを組み込むことで、サブプレシジョンチエンバ全体の力のつり合いに基づき基礎ボルトの応力を算出した。構造をより詳細にモデル化したものであり、特段の保守性の考慮なし。

7. サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価結果

設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としてのサプレッションチェンバの応力評価結果を表 7-1、ボックスサポートの応力評価結果を表 7-2 に示す。いずれの応力評価結果も算出応力が許容応力を満足することを確認した。なお、本評価は、水平 2 方向の地震荷重の組合せを考慮としており、サプレッションチェンバの算出応力は、原子炉格納容器に対する規格基準要求に基づき応力強さである。

なお、サプレッションチェンバの外側ボックスサポート取付部 (P10) の一次+二次応力評価結果は、許容応力と接近しており、余裕が小さくなっているが、原子炉格納容器に対する規格基準要求に従えば、仮に一次+二次応力が許容応力を満足しない場合であっても、疲労評価が認められていることから、更に裕度があると考えられる。

また、ボックスサポートのコンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面) (P10) の応力評価結果は、許容応力と接近しており、余裕が小さくなっているが、実際のシヤコネクタ (外側) 側面のコンクリートにおける荷重伝達としては、図 7-1 のとおり、圧縮 (既設工認と同様な扱い) ではなく、支圧のような広がりを持った荷重伝達であることから、これを考慮した評価結果 (表 7-3) は、十分裕度があることを確認した。

表 7-1 サプレッションチェンバの応力評価結果

応力評価点番号	応力評価点	応力分類	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			算出応力	許容応力	裕度 (許容応力/算出応力)	算出応力	許容応力*	裕度 (許容応力/算出応力)
			MPa	MPa		MPa	MPa	
P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	56	258	4.60	204	257	1.25
		一次膜応力+一次曲げ応力	56	387	6.91	204	386	1.89
		一次+二次応力	88	393	4.46	166	393	2.36
P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	51	258	5.05	172	257	1.49
		一次膜応力+一次曲げ応力	51	387	7.58	172	386	2.24
		一次+二次応力	54	393	7.27	106	393	3.70
P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	48	258	5.37	189	257	1.35
		一次膜応力+一次曲げ応力	48	387	8.06	189	386	2.04
		一次+二次応力	70	393	5.61	136	393	2.88
P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	25	258	10.32	160	257	1.60
		一次膜応力+一次曲げ応力	25	387	15.48	160	386	2.41
		一次+二次応力	40	393	9.82	78	393	5.03
P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	39	387	9.92	116	386	3.32
		一次+二次応力	86	393	4.56	162	393	2.42
P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	85	387	4.55	106	386	3.64
		一次+二次応力	56	393	7.01	104	393	3.77
P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	46	387	8.41	157	386	2.45
		一次+二次応力	78	393	5.03	152	393	2.58
P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	28	387	13.82	112	386	3.44
		一次+二次応力	48	393	8.18	92	393	4.27
P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	116	387	3.33	204	386	1.89
		一次+二次応力	158	393	2.48	300	393	1.31
P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	387	3.07	262	386	1.47
		一次+二次応力	180	393	2.18	330	393	1.19

注記*：添付書類は、保守的に 200℃で実施しているが、本資料では、機能維持の基本方針に従った許容応力としている。

表 7-2 ボックスサポートの応力評価結果

応力評価 点番号	応力評価点	応力分類	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			算出応力	許容応力	裕度	算出応力	許容応力*1	裕度
			MPa	MPa	(許容応力/ 算出応力)	MPa	MPa	(許容応力/ 算出応力)
P1	ボックスプレート	一次応力 (組合せ)	104			167		
		一次応力+二次応力 (組合せ)	181			314		
P2	ボックスプレート 取付部	一次応力 (組合せ)	95			155		
		一次応力+二次応力 (組合せ)	169			284		
P2'	ボックスプレート (上側) 取付部	一次応力 (組合せ)	55			87		
		一次応力+二次応力 (せん断)	51			88		
P3	フランジプレートと シヤラグ接触部	一次応力 (支圧)	37			63		
		一次応力+二次応力 (支圧)	37			63		
P4	シヤラグ取付部	一次応力 (組合せ)	71			123		
		一次応力+二次応力 (座屈)	55			94		
P5	基礎ボルト	引張応力	267			404		
P6	フランジプレート	一次応力 (組合せ) (ボルト反力側)	74			112		
		一次応力 (組合せ) (コンクリート反力側)	95			158		
		一次応力+二次応力 (組合せ)	160			267		
P6' *2	フランジプレート (外側)	一次応力 (組合せ)	152			174		
		一次応力+二次応力 (座屈)	149			168		
P7	ベースプレート	一次応力 (組合せ)	89			154		
		一次応力+二次応力 (座屈)	86			148		
P8	シヤコネクタ (外側) 取付部	一次応力 (組合せ)	63			108		
		一次応力+二次応力 (せん断)	27			46		
P9	コンクリート (ベー スプレート下面)	圧縮応力	6.17			10.65		
P10	コンクリート (シヤ コネクタ (外側) 側 面)	圧縮応力	12.21			21.10		
P11	コンクリート (シヤ プレート上面)	せん断応力	0.53			0.80		
P12	パッド取付部	一次応力 (組合せ)	45			71		
		一次応力+二次応力 (せん断)	42			72		

注記*1：添付書類は、保守的に 200℃で実施しているが、本資料では、機能維持の基本方針に従った許容応力としている。

*2：設計基準対象施設の評価は公式による手計算、重大事故等対処設備の評価は FEM より応力を算出している。

表 7-3 荷重伝達の広がり を考慮した評価

応力評価点		運転状態	算出応力 (MPa)	工認計算書記載値		追加検討結果	
				応力分類	許容応力 (MPa)	応力分類	許容応力 (MPa)
P10	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)	V _A S	21.10	圧縮		支圧	

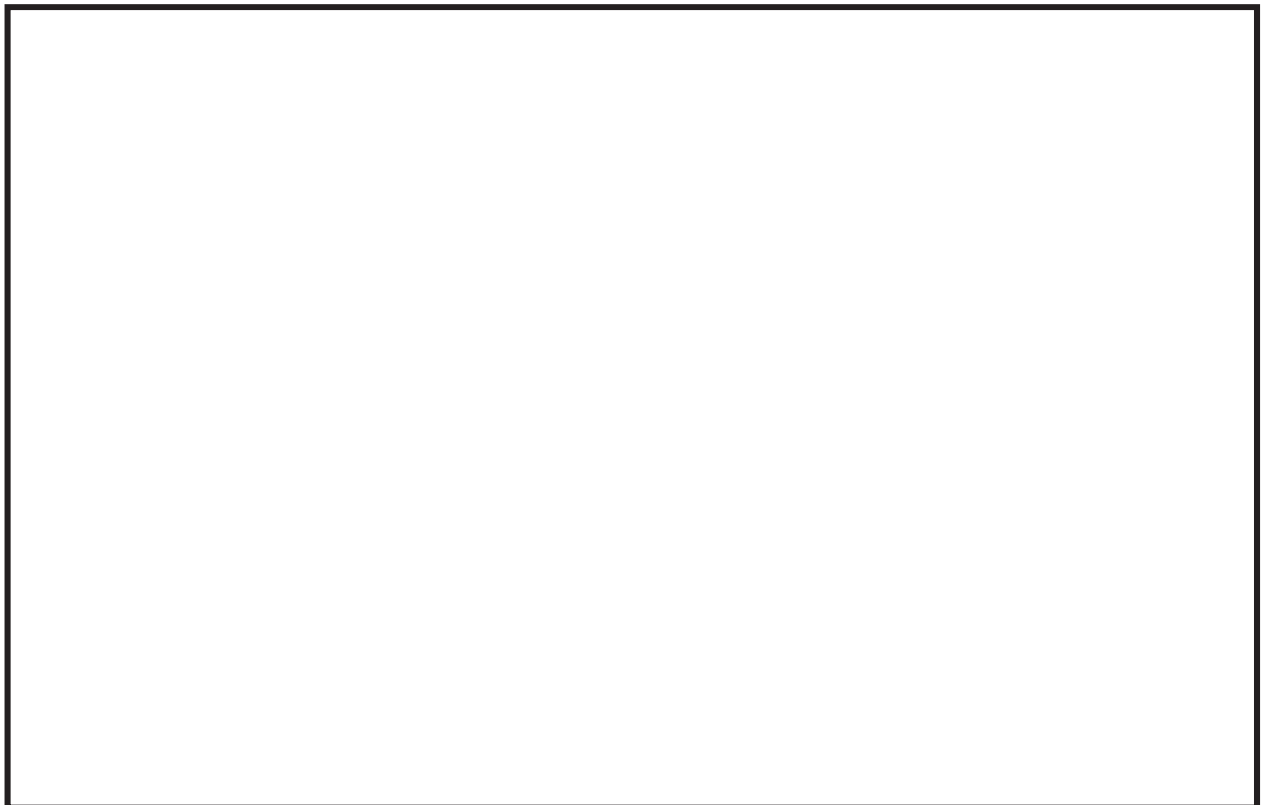


図 7-1 荷重伝達のイメージ

8. まとめ

女川2号機におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価では、サプレッションチェンバ本体とそれを支持するボックスサポートを模擬した地震応答解析モデルを用いて地震荷重を算定し、それらに基づき、各部の構造強度評価を行うことで、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震性を確認する。

今回工認においては、既工認からの変更点として、重大事故等時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細な地震応答解析を実施するため、サプレッションチェンバの内部水質量の扱いとして有効質量を適用すること、サプレッションチェンバとボックスサポートの取付部にばね剛性を考慮すること等に加えて、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策を考慮した3次元はりモデルを作成し、スペクトルモーダル解析を実施する。なお、有効質量を適用したことに伴い、サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重を流体解析にて評価する。

また、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの評価対象部位については、耐震補強対策も踏まえ、構成部材の形状及び荷重伝達等を考慮して設定するとともに、より詳細な応力解析を実施するための応力解析モデル等を用いた応力評価を実施する。

以上の地震応答解析及び応力解析に関連する種々の検討を実施して適用性、妥当性を確認するとともに、女川2号機のサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震性を確認した。

有効質量の適用およびその妥当性検証

1. 有効質量の適用

女川2号機のサプレッションチェンバの耐震評価に当たっては、内部水質量として有効質量を適用することとし、有効質量は、汎用構造解析プログラムNASTRANを用いた仮想質量法（以下、仮想質量法という。）（別紙7参照）にて算出する。

有効質量とは、容器内で内容液が自由表面を有する場合、容器の振動方向に対する実際に地震荷重として付加される質量のことであり、全質量とは異なった値となることが知られている（別紙8参照）。

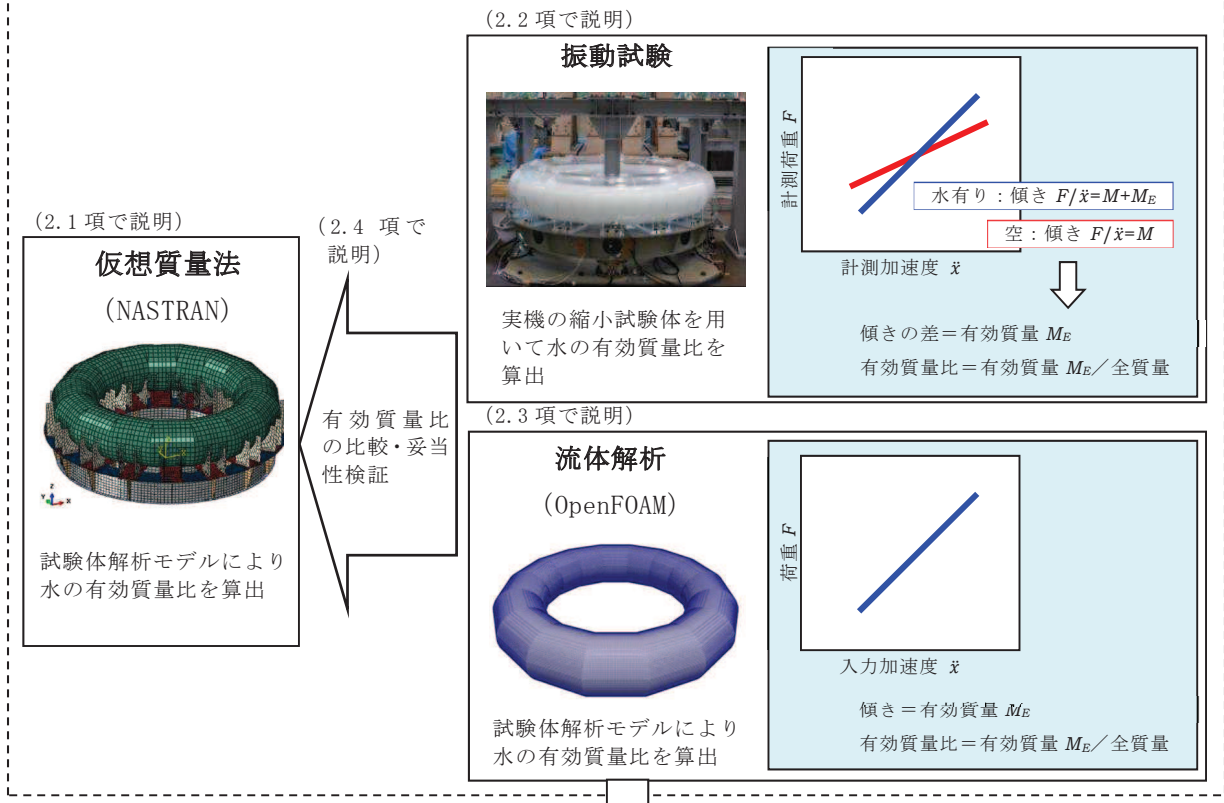
有効質量は、他産業の耐震設計において一般的に取り入れられている考え方である（別紙9参照）。

円環形状容器であるサプレッションチェンバの有効質量の算出に仮想質量法を用いるため、その妥当性検証として、サプレッションチェンバの内部構造物を除いた円環形状容器のモデルに対して仮想質量法にて有効質量を求め、実機を縮小模擬した試験体（前述の仮想質量法に用いる解析モデルと同様）を用いた振動試験及び流体解析（汎用流体解析コードOpenFOAM（別紙7参照））により算出した有効質量と比較、検証を行う。（2項にて説明）

女川2号機のサプレッションチェンバの耐震評価に用いる有効質量は、先に検証した仮想質量法により算出した値に対して、内部構造物を含む解析モデルに対する流体解析により算出した値と比較、検証した上で、解析プログラム間の値の差異や試験結果との差異等を踏まえて仮想質量法で算出された値の保守性を検討し、設定する。（3項にて説明）

仮想質量法によるサプレッションチェンバ内部水の有効質量算出の妥当性検証及び女川2号機サプレッションチェンバの耐震評価に用いる有効質量の設定の流れを図1に示す。なお、有効質量の評価においては、内部水の全質量に対する有効質量の割合（以下「有効質量比」という。）を用いる。

【円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証】



【耐震評価に用いる有効質量の設定】

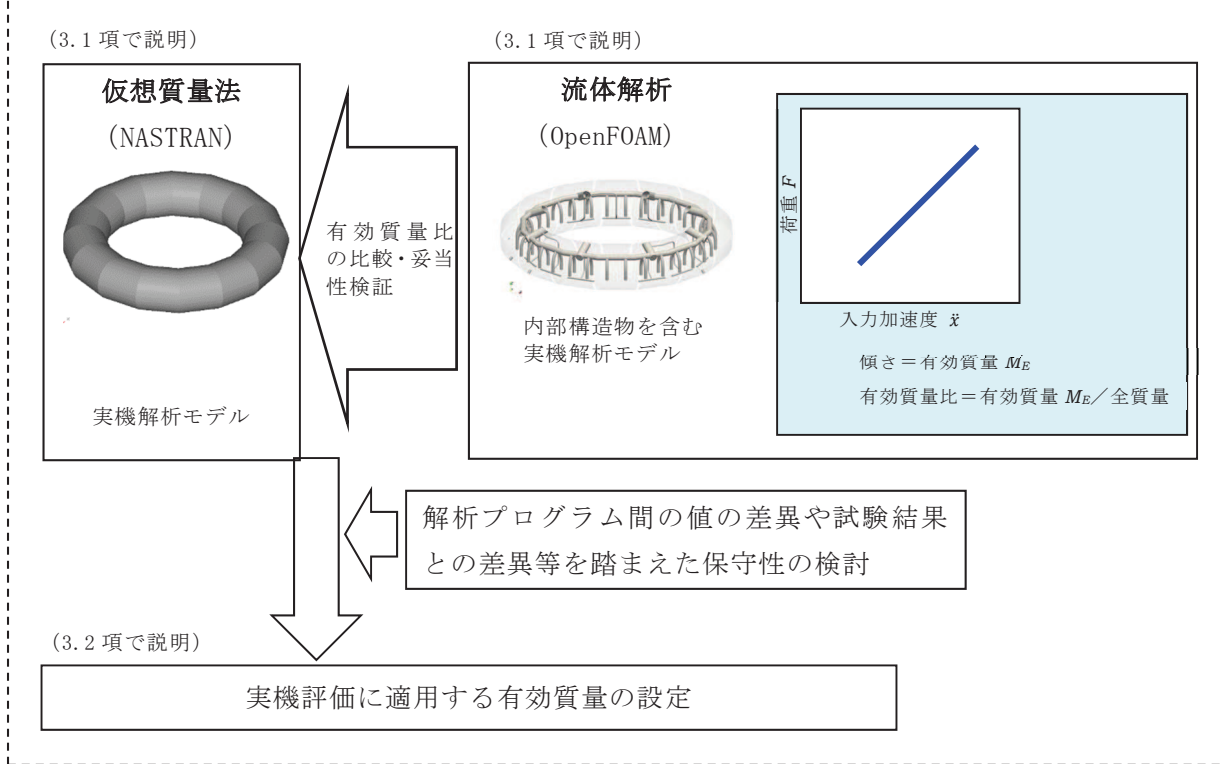


図1 仮想質量法によるサプレッションチェンバ内部水の有効質量算出の妥当性検証及び女川2号機のサプレッションチェンバの耐震評価に用いる有効質量の設定の流れ

2. 円環形状容器の有効質量算出の妥当性検証

円環形状容器の有効質量算出に仮想質量法を用いることの妥当性検証として、振動試験及び流体解析により算出した有効質量比と比較する。

2.1 仮想質量法による試験体解析モデルの有効質量比の算出

振動試験に用いた試験体の構造解析モデルを作成し、仮想質量法により有効質量比を算出する。

円環形状容器の内部水の有効質量は、仮想質量法で算出可能であり、入力波によらず、容器の構造（形状及び寸法）と内部水の水位により有効質量が定まる。また、仮想質量法では、内部水のスロッシングを評価しないため、スロッシング荷重は考慮されない。

2.1.1 検討対象

女川2号機のサブプレッションチェンバを対象とし、仮想質量法による有効質量算出の妥当性検証のために実施する振動試験と同様(2.2.1項参照)に実機サブプレッションチェンバを縮小模擬した円環形状とする（実機寸法の約1/25）。

2.1.2 解析モデル

振動試験に用いた試験体及び架台をもとにシェル要素で作成した構造解析モデルを図2に示す。水位は、実機サブプレッションチェンバの運転状態を考慮し、4段階（低、中、高、高高）（別紙10参照）を設定する。

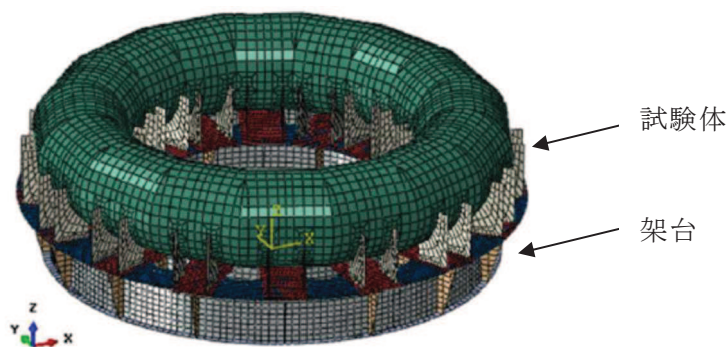


図2 構造解析モデル（試験体解析モデル）

2.1.3 解析結果

仮想質量法による有効質量及び有効質量比の算出結果を表1に示す。有効質量比は水位とともに増加する傾向が確認された。

表1 仮想質量法による有効質量及び有効質量比の算出結果

水位*1	水の全質量 M_W [kg]	水の有効質量*2 M_E [kg]	有効質量比 M_E/M_W [-]	備考
低 (146mm)	189.2	28.6	0.15	通常運転水位
中 (203mm)	292.4	64.4	0.22	
高 (259mm)	389.7	115.1	0.30	真空破壊装置上端水位*3
高高 (325mm)	486.4	199.3	0.41	

注記 *1：試験体底面からの高さ (2.2.3 項参照)

*2：各シェル要素で得られた有効質量の合算値

*3：重大事故等時水位より高い水位

2.2 振動試験による有効質量比の確認

円環形状容器の内部水の有効質量算出に仮想質量法を用いることの妥当性を検証するため、実機を縮小模擬した円環形状容器の試験体を用いて振動試験を行い、試験データから有効質量比を算出したうえで、仮想質量法による有効質量比との比較を行う (別紙11参照)。

2.2.1 試験体

試験体の寸法は、女川2号機のサプレッションチェンバの実機寸法の約1/25に設定し、材質は内部水の挙動を確認するためアクリルとした。試験体と実機との相似比を表2に示す。なお、解析手法の検証という目的を踏まえ、内部水の流動現象を単純化させるため、強め輪やダウンコマ等の内部構造物は、試験体に模擬していない。

振動台上に試験体を支持する架台を設け、架台の脚部には水平及び鉛直方向の反力を測定可能な分力計を4台設置した。架台は、内部水からの荷重を分力計に確実に伝達させるため強固なものとし、ボックスサポートは模擬していない。試験装置の概要を図3に、写真を図4に示す。

表2 試験体と実機との相似比

物理量	相似比*1	設定値
長さ	1/L	1/24.7
加速度	1/1	1
時間	1/√L	1/√24.7

注記 *1：Lは実機と試験体の縮尺比 (L = 9,400/380 = 24.7)

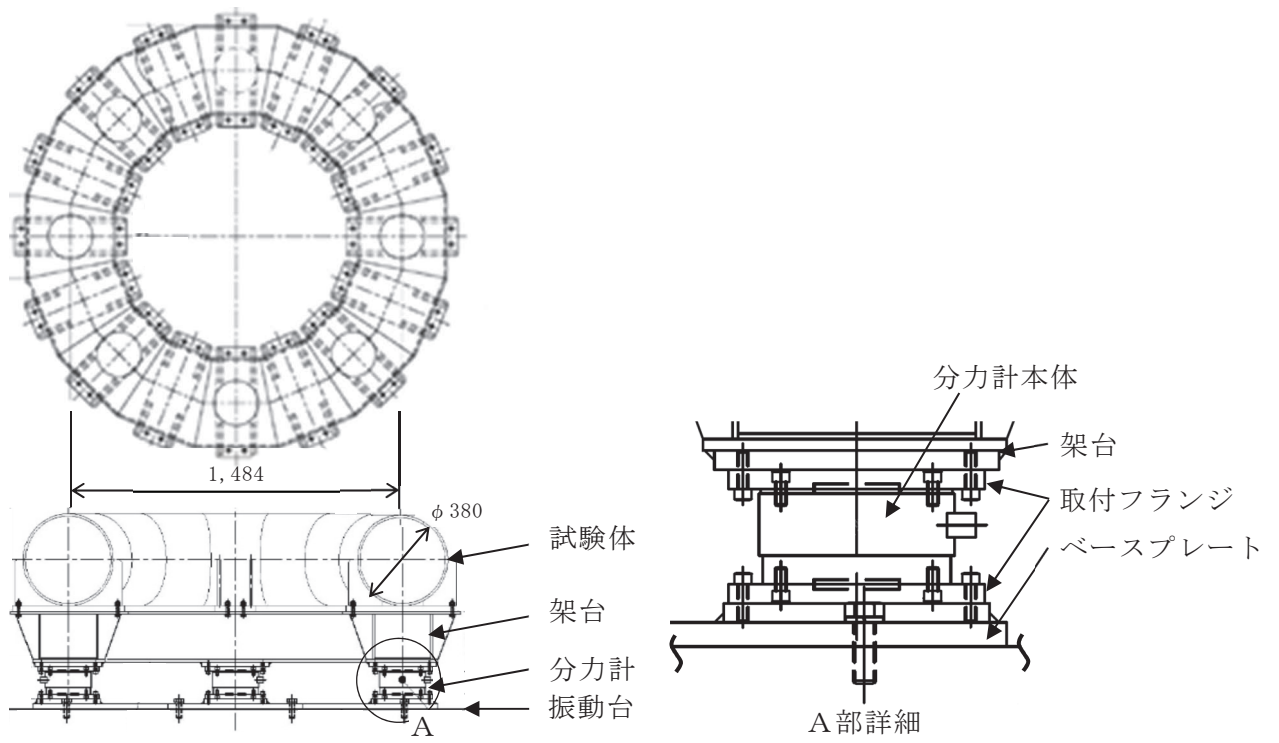


図3 試験装置の概要

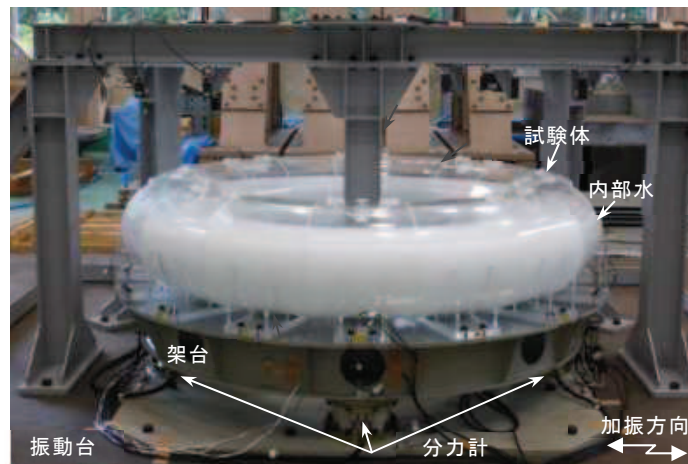


図4 試験装置の写真

2.2.2 計測項目及び計測機器設置

計測項目を表3に示す。これらのうち内部水の有効質量を評価する上で重要な計測項目は振動台上の加速度，試験体への入力となる架台上の加速度及び反力である。計測機器設置位置を図5に示す。

表3 計測項目

計測項目	計測機器	位置	計測チャンネル数 (設置位置)
反力	分力計	架台下方	3成分(X, Y, Z) : 4 (0°, 90°, 180°, 270°)
加速度	加速度計	振動台上	X成分 : 2 (0°, 180°) Y成分 : 2 (90°, 270°) Z成分 : 4 (0°, 90°, 180°, 270°)
		架台下端	X成分 : 2 (0°, 180°) Y成分 : 2 (90°, 270°) Z成分 : 4 (0°, 90°, 180°, 270°)
		試験体下端	X成分 : 4 (0°, 45°, 135°, 180°) Y成分 : 4 (45°, 90°, 135°, 270°) Z成分 : 6 (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 270°)

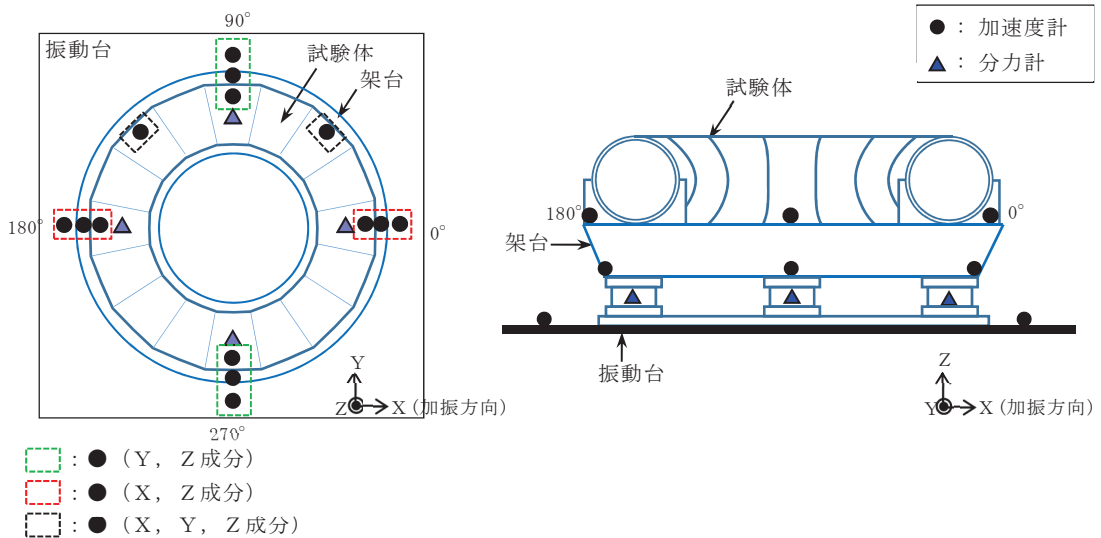


図5 計測機器設置位置

2.2.3 試験条件

(1) 入力波条件

振動台への入力波は、女川 2 号機のサプレッションチェンバ設置床（原子炉建屋基礎版上）における基準地震動 S_s 相当*の応答加速度時刻歴波を、表 2 に示した相似比で時間軸を圧縮している。また、振動台の加振限界振動数以上の成分については、応答加速度時刻歴波の圧縮時に 7.5Hz ローパスフィルタ処理（時間軸圧縮後約 38Hz）を実施している。なお、圧縮後の応答加速度時刻歴波には、試験体のスロッシング周期成分が含まれる。

加振方向は水平 1 方向とし、入力倍率は、上記の応答加速度時刻歴波の 0.5 倍、1.0 倍及び 1.5 倍の 3 ケースとする。サプレッションチェンバ設置床における基準地震動 S_s 相当の応答加速度時刻歴波形及び応答加速度スペクトルを図 6 及び図 8、振動台への入力波に対するものを図 7 及び図 9 に示す。

注記 *：平成 25 年 12 月設置変更許可申請時基準地震動 S_s のうち試験体内部水のスロッシングの卓越周期帯で応答加速度が大きい S_s-2 を採用

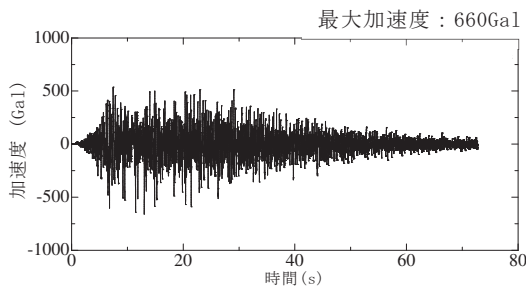


図 6 基準地震動 S_s 相当の
応答加速度時刻歴波形

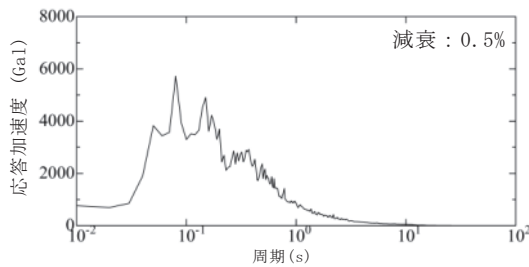


図 8 基準地震動 S_s 相当の
応答加速度スペクトル

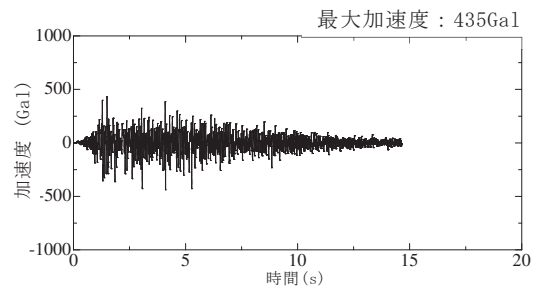


図 7 振動台入力加速度時刻歴
波形(相似則適用)

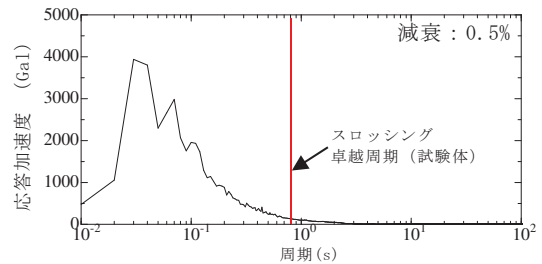
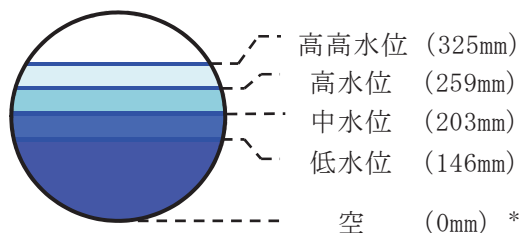


図 9 振動台入力応答加速度
スペクトル(相似則適用)

(2) 水位条件

試験水位レベルは、水を入れない空、低、中、高、高高の計 5 ケースとする（図 10）。試験回数は 1 ケースにつき 3 回以上実施する。



*：括弧内は試験体
底面からの高さ

図10 試験水位レベル

(3) 温度条件

今回実施した振動試験については、以下の検討を踏まえ、常温下で実施している。

① サプレッションチェンバの耐震評価において考慮する運転状態（重大事故等時の荷重の組合せについては、「重大事故等対処設備について（補足説明資料） 39条 地震による損傷の防止 39-4 重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」にて説明）

- ・ サプレッションチェンバの耐震評価は、設計基準事故時及び重大事故等時ともに、事故の発生確率、継続時間及び地震の年超過確率を踏まえ、地震荷重と事故時の荷重の組合せを考慮するため、今回実施した振動試験の温度条件（水温）は、基準地震動 S_s と荷重の組合せが必要となる運転状態を考慮
- ・ 設計基準事故時は、基準地震動 S_s との組合せは不要であるため、温度条件は通常運転状態（飽和温度以下）
- ・ 重大事故等時は、事象発生後 2×10^{-1} 年以降の荷重と基準地震動 S_s との組合せとなるため、温度条件は飽和温度以下（沸騰状態ではない）

② 水温による有効質量比への影響

- ・ 有効質量に関連する内部水の質量は、密度の関数であり、水温が飽和温度以下では温度変化に対する影響は小さい

なお、サプレッションチェンバの耐震評価における地震応答解析及び応力評価に用いる部材温度は、運転状態を考慮した温度条件を用いる。

2.2.4 有効質量比の算出方法

本試験から得られる計測荷重 F と架台上の計測加速度（＝試験体への入力加速度） \ddot{x} との関係は、運動方程式から下式で表される。

$$F = (M + M_E)\ddot{x}$$

ここで、

M ：試験体（構造体）の質量

M_E ：内部水の有効質量

上式のとおり、試験体（構造体）の質量と内部水の有効質量の合計値は、計測加速度に対する計測荷重の比として表されることから、水有りの試験結果及び空の試験結果の計測加速度と計測荷重の関係から回帰直線の傾きを求め、両者の回帰直線の傾きの差から内部水の有効質量が算出される（図 11 参照）。

なお、有効質量の算出においては、計測荷重 F について 2Hz のハイパスフィルター処理を行い、スロッシング周期成分を取り除いている（別紙 12 参照）。

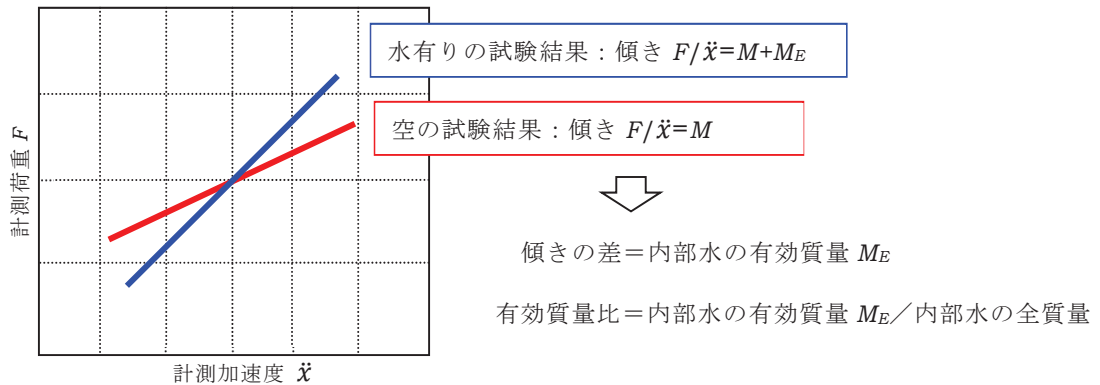


図 11 内部水の有効質量 M_E 及び有効質量比の算出方法

2.2.5 有効質量比の算出結果

1.0 倍入力、低水位の試験ケースにおける計測荷重の時刻歴を図 12 に、架台上の計測加速度に対する荷重をプロットしたものを図 13 に、各ケースの試験結果から算出した有効質量比を表 4 及び図 14 に示す。なお、各ケースの試験結果は、再現性があり、ばらつきがほとんどないことを確認している（別紙 13 参照）。

また、図 15 に示す計測荷重 F のフーリエスペクトルから、約 0.8 秒（実機寸法では約 4 秒）にピークを確認したことから、振動試験においてスロッシングによる荷重が発生している。

各ケースの試験結果から、水位の増加に伴い有効質量比も増加すること、入力倍率の違いによる有効質量比の差は小さいことを確認した。

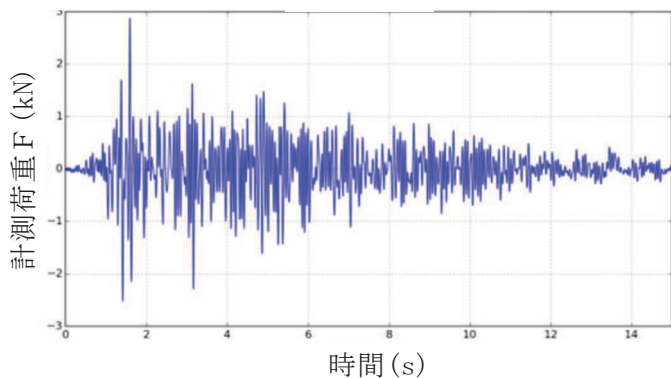


図 12 計測荷重の時刻歴

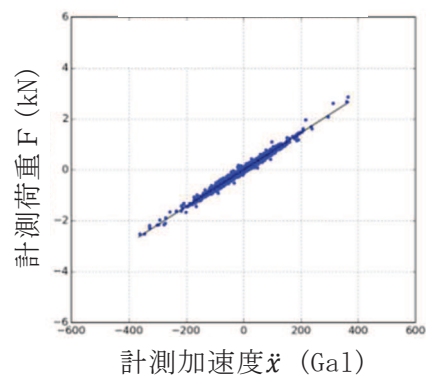


図 13 計測加速度と計測荷重の関係

表 4 試験結果から算出した有効質量比

水位	入力倍率*		
	0.5 倍	1.0 倍	1.5 倍
低 (146mm)	0.14 (0.0061)	0.12 (0.0237)	0.14 (0.0138)
中 (203mm)	0.20 (0.0050)	0.21 (0.0077)	0.21 (0.0066)
高 (259mm)	0.28 (0.0027)	0.28 (0.0015)	0.29 (0.0035)
高高 (325mm)	0.41 (0.0025)	0.42 (0.0032)	0.41 (0.0041)

注記 * : 括弧内は, 複数回実施した試験結果から得られた有効質量比の標準偏差

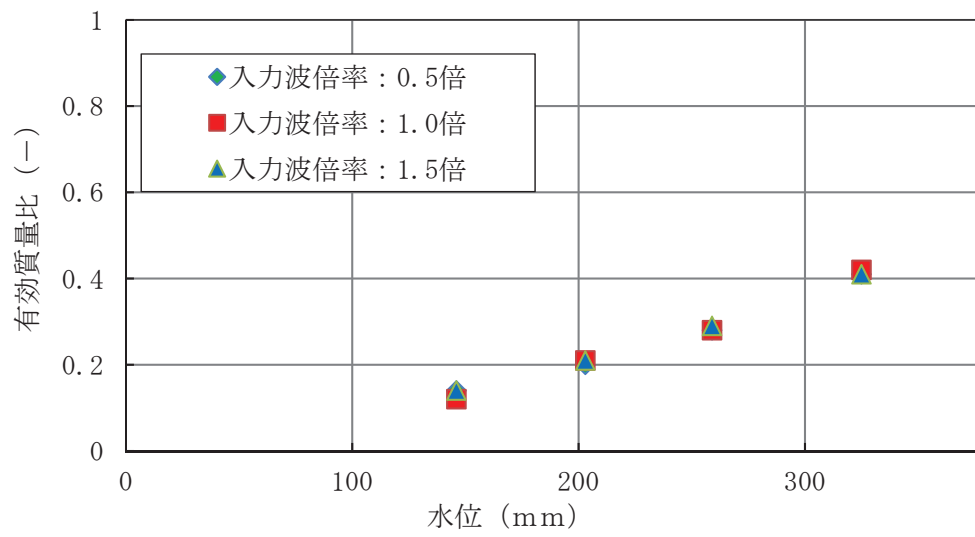


図 14 振動試験における水位と有効質量比の関係

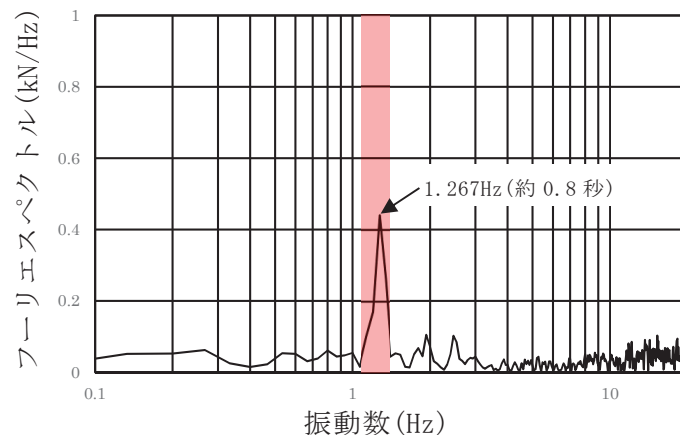


図 15 計測荷重のフーリエスペクトル (低水位, 入力倍率 1.0 倍)

2.3 流体解析による試験体解析モデルの有効質量比の算出

円環形状容器の内部水の有効質量算出に仮想質量法を用いることの妥当性を検証するため、振動試験に加えて、振動試験に用いた試験体の流体解析モデルを作成し、流体解析により有効質量比を算出する。

2.3.1 解析モデル

振動試験にて用いた試験体をもとに作成した流体解析モデルを図 16 に示す。



図 16 流体解析モデル（試験体解析モデル）

2.3.2 解析条件

流体解析に用いる入力波は、振動試験で計測された試験体への入力波（架台上で計測された加速度時刻歴波）とする。水位は、代表として低水位及び高水位とする。

2.3.3 有効質量比の算出方法

流体解析から得られる荷重 F 、入力加速度 \ddot{x} 及び内部水の有効質量 M_E との関係は、運動方程式から下式で表される。

$$F = M_E \cdot \ddot{x}$$

上式のとおり、内部水の有効質量 M_E は、入力加速度 \ddot{x} と流体解析から得られる荷重 F の関係から回帰直線の傾きから有効質量が算出される（図 17 参照）。

なお、有効質量比の算出においては、荷重時刻歴波形について 2Hz のハイパスフィルター処理を行い、スロッシング周期成分を取り除いている。

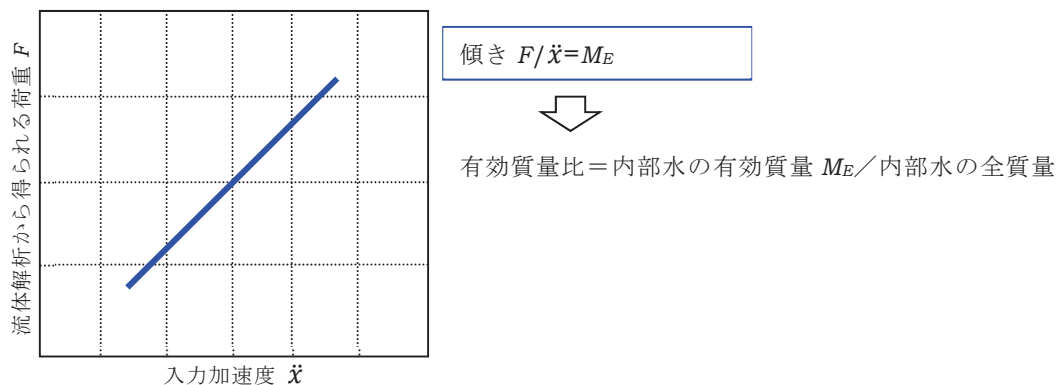


図 17 内部水の有効質量 M_E 及び有効質量比の算出方法

2.3.4 解析結果及び有効質量比の確認

1.0 倍入力，低水位の解析条件に対して流体解析により算出した荷重時刻歴を図 18 に，入力加速度に対する荷重をプロットしたものを図 19 に示す。また，図 19 の入力加速度と荷重の関係から回帰直線の傾きを求め，内部水の有効質量比を算出した結果を表 5 に示す。

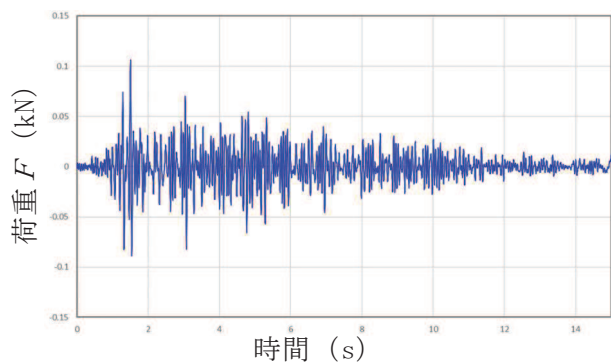


図 18 荷重時刻歴

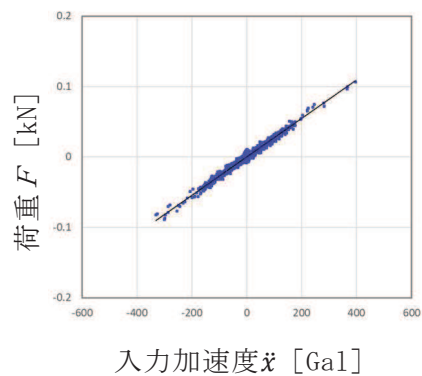


図 19 入力加速度と荷重の関係

表 5 流体解析により算出した有効質量比

水位	有効質量比[-]
低 (146mm)	0.14
高 (259mm)	0.28

2.4 妥当性検証

上記2.1項～2.3項で得られた有効質量比を比較し、仮想質量法で算出した円環形状容器の内部水の有効質量比の妥当性を検証する。

2.1項～2.3項に示した仮想質量法、振動試験及び流体解析により算出した有効質量比を整理して表6及び図20に示す。

入力波の特性に関係なく、容器の形状及び水位により有効質量比が定まる仮想質量法により算出した有効質量比に対し（別紙14参照）、内部水の流動を直接考慮した振動試験及び流体解析から算出した有効質量比が同等であることを確認したことから、仮想質量法により算出される有効質量比は妥当であると考えられる。

また、有効質量比は、振動試験の結果から再現性があり、ばらつきがほとんどないことを確認した。

表 6 各方法による有効質量比の評価結果

水位	仮想質量法	振動試験*	流体解析
低 (146mm)	0.15	0.12	0.14
中 (203mm)	0.22	0.21	
高 (259mm)	0.30	0.28	0.28
高高 (325mm)	0.41	0.42	

注記*：入力倍率 1.0 倍ケースの値

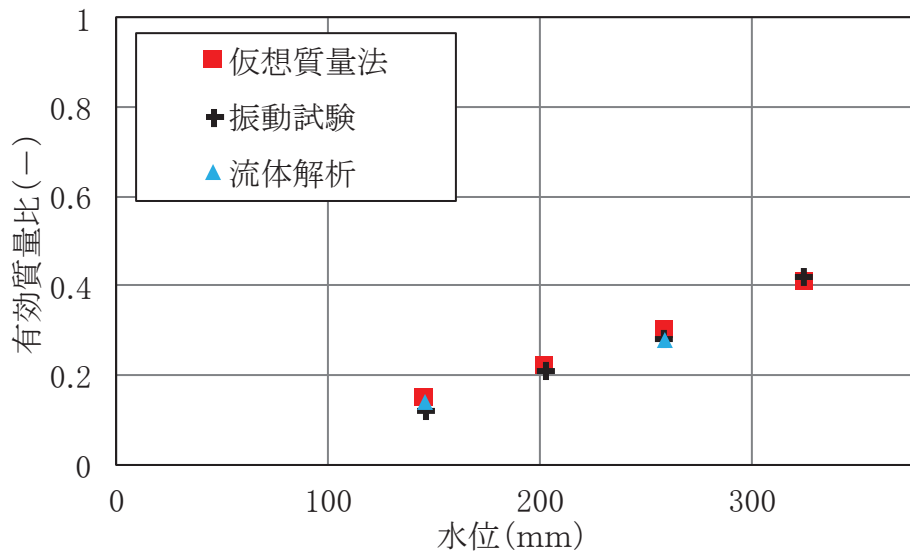


図 20 各手法の有効質量比の評価結果

3. 耐震評価に用いる有効質量の設定

女川2号機の実機評価に適用する有効質量は、実機解析モデルに対する仮想質量法と内部構造物を含む実機解析モデルに対する流体解析による有効質量比を比較し、その妥当性を検証した上で、解析プログラム間の値の差異や試験結果との差異等を踏まえて仮想質量法で算出された値の保守性を検討し、設定する。

3.1 仮想質量法による実機の有効質量比の算出

2項により妥当性を確認した仮想質量法を用いて、女川2号機の実機解析モデルにより有効質量比を算出する。

3.1.1 仮想質量法に用いる実機解析モデル

仮想質量法に用いる実機解析モデルを図 21 に示す。

女川 2 号機の実機解析モデルは、サプレッションチェンバ（強め輪を含む）の寸法、剛性を模擬したシェル要素とし、内部水の水位を設定する。なお、本解析モデルは、サプレッションチェンバの内部水の有効質量の算出に用いるものであり、ボックスサポートは模擬していない。

内部水の水位は、図 22 に示すとおり、通常運転水位及び重大事故等時水位より高い水位（真空破壊装置下端水位）（以下、「耐震解析用重大事故等時水位」という。）の 2 ケースとする。

なお、重大事故等時水位は、重大事故後の状態で弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震力と組み合わせる水位である。

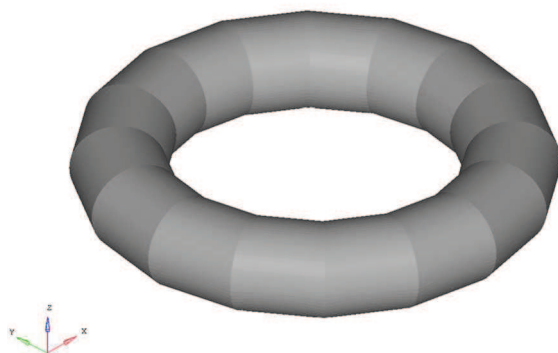


図 21 仮想質量法に用いる実機解析モデル

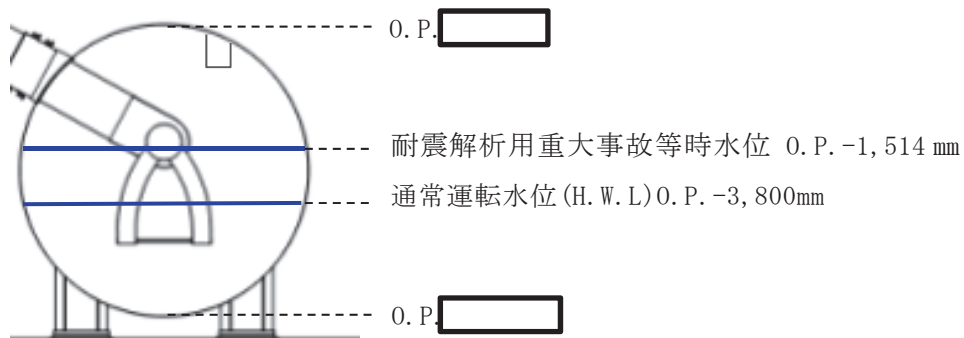


図22 解析水位ケース

3.1.2 流体解析による実機の有効質量比の算出

仮想質量法の実機解析の妥当性を検証するため、女川2号機の主要な内部構造物をモデル化した実機解析モデルを用いて流体解析により有効質量比を算出し、仮想質量法の有効質量比と比較する。

流体解析に用いる女川2号機の実機解析モデルの水位条件は、仮想質量法と同じである(図23)。また、入力地震動は、基準地震動 S_s の特徴を踏まえ、スロッシングの卓越周期帯の応答加速度が比較的大きく、継続時間が長い S_s-D1 を用いた(別紙15参照)。

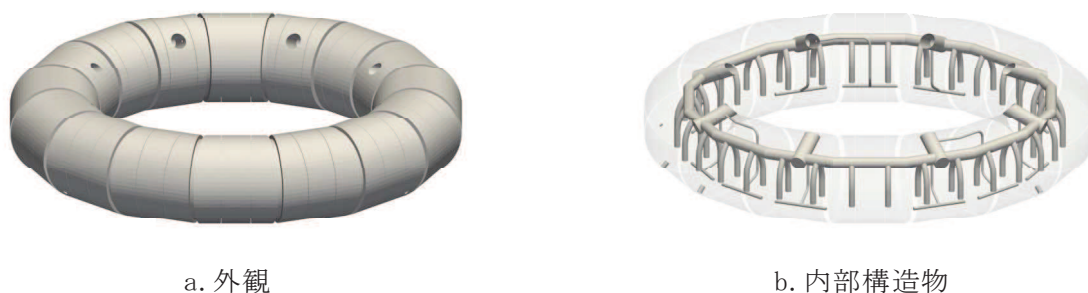


図23 流体解析に用いる実機解析モデル

3.1.3 解析結果

仮想質量法及び流体解析による女川2号機の実機サプレッションチェンバ内部水の有効質量比の算出結果を表7に示す。有効質量比は、各水位において仮想質量法により算出した有効質量比の方がやや大きい値となっている。この差異は、有効質量比の算出において、容器の形状と水位から一義的に求まる(内部水の流動を考慮しない)仮想質量法に対し、流体解析では内部水の流動が考慮されることから、液面変動による効果によりこの様な傾向となるものと推定される。また、本傾向は、2.4項に示す仮想質量法の妥当性検証における仮想質量法の有効質量比と振動試験及び流体解析の有効質量比の比較結果と整合している。

なお、仮想質量法による実機解析モデルの有効質量比に対する試験体解析モデルの有効質量比の差は、強め輪の有無によるものであり、内部水の断面積に対する強め輪の面積の割合が大きいほど、大きくなると考えられる。そのため、耐震解析用重大事故等時水位に対して通常運転水位の試験体解析モデルに対する実機解析モデルの有効質量比の増加割合が大きくなると考えられる。

表 7 女川 2 号機の実機有効質量比算出結果

水位	実機解析モデル		試験体解析モデル
	仮想質量法	流体解析	仮想質量法
		S s - D 1	
通常運転水位 (H. W. L)	0. 24	0. 22	0. 15
耐震解析用重大事故等時水位	0. 33	0. 32	0. 30

3. 2 不確かさを踏まえた耐震評価用の有効質量の設定

女川2号機の実機評価に適用する有効質量の設定に当たり、仮想質量法に対する流体解析及び振動試験の値の差異等を踏まえ、仮想質量法で算出された値の保守性を検討し、女川2号機の実機評価に適用する有効質量を設定する。

試験体モデルに対しては、表 6 のとおり、仮想質量法、振動試験及び流体解析により算出した有効質量比は同等であり、おおむね仮想質量法の値が保守的な傾向を示す。また、有効質量比は、振動試験の結果から、再現性があり、ほとんどばらつきがなく算出できることを確認した。

実機解析モデルに対しては、表 7 のとおり、仮想質量法により算出される有効質量比は、内部水の流動による有効質量比の低減が反映されないため、流体解析により算出される有効質量比よりも保守的な値となっている。

また、容器構造設計指針・同解説に記載されている球形タンク及び円筒タンクの有効質量比に対して、仮想質量法を用いて有効質量比の確認解析を実施したところ、いずれのタンクに対しても有効質量比がほぼ一致している、又は仮想質量法の値が保守的な傾向となっている（別紙 16 参照）。

したがって、女川 2 号機の地震応答解析に考慮する有効質量は、仮想質量法により算出される有効質量比が、他評価手法及び容器構造設計指針に対して一致もしくはおおむね保守的な傾向（有効質量比が大きくなる）を示すことから、仮想質量法により算出される有効質量を適用する。

なお、評価手法の違い（仮想質量法と流体解析）による有効質量比の差異によって、サプレッションチェンバの固有周期が変動するため、工認段階においては、耐震評価に用いる床応答スペクトルとの関係にも配慮し、地震荷重を算出する。

サプレッションチェンバ内部水の地震応答解析モデルへの縮約方法及びその妥当性

1. 概要

今回工認に用いる女川 2 号炉のサプレッションチェンバ地震応答解析モデル（はり要素を用いた 3 次元多質点モデル）における内部水の有効質量は、NASTRAN を用いた仮想質量法（以下、仮想質量法という。）（シェル要素を用いた実機解析モデル）により算出される各要素の有効質量及びその位置（高さ）を考慮し、地震応答解析モデルの各質点に縮約して設定する。

本資料では、その縮約方法の考え方及びその妥当性について説明する。

2. 縮約

縮約とは、膨大な数のデータを扱う有限要素法などの解析において、行列の大きさ（次元）を小さくする解析上のテクニックであり、その手法として、Guyan の縮約法（Guyan's Reduction）が広く一般的に使われている。

サプレッションチェンバの内部水に対する有効質量を地震応答解析モデルに設定するに当たり、この手法を用いて、仮想質量法により算出されるサプレッションチェンバシェルの各要素の有効質量及びその位置（高さ）を、地震応答解析モデルの各質点に縮約する（図 1 参照）。

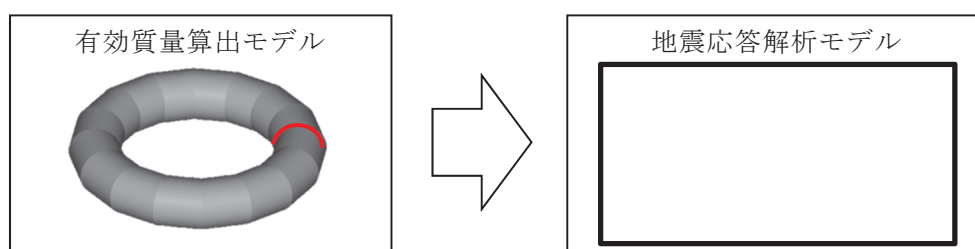


図 1 有効質量の縮約

3. 地震応答解析モデルへの縮約方法

3.1 地震応答解析モデルへの縮約方法の考え方

仮想質量法により算出されるサプレッションチェンバシェルの各要素の有効質量及びその位置（高さ）を、地震応答解析モデルのサプレッションチェンバの各質点に縮約する方法（Guyan の縮約法）のイメージを図 2 に示す。

① 仮想質量法から算出されるサプレッションチェンバの内部水の有効質量

仮想質量法ではサプレッションチェンバシェルの各要素に対する内部水の有効質量が算出されており、解析モデルの一断面を考えた場合、有効質量算出モデルの 1 要素における有効質量 m_i は、水平方向及び鉛直方向の有効質量（ m_{xi} , m_{zi} ）に分解できる。

なお、水平方向の有効質量 m_{xi} をサプレッションチェンバ全体に積分するとサプレッションチェンバの内部水に対する有効質量と一致し、また、鉛直方向の有効質量 m_{zi} をサプレッションチェンバ全体に積分した場合、サプレッションチェンバシェルの底面圧

力による荷重と一致する。

② 地震応答解析モデルのはり要素（1 質点）への縮約（1 要素の有効質量）

上記①で示した水平方向及び鉛直方向の有効質量（ m_{xi} , m_{zi} ），その位置（高さ）を考慮し，それらが地震応答解析モデルのはり要素（1 質点）における慣性力及び回転慣性力が等価となるように，並進質量（ m_x , m_z ）及び回転質量（ Rm_x , Rm_z ）を設定する。

なお，回転質量 Rm_z は，サプレッションチェンバシエルの底面圧力によるモーメントとして考慮される。

③ 地震応答解析モデルのはり要素（1 質点）への縮約（全要素の有効質量）

仮想質量法により算出されるサプレッションチェンバシエル全要素の有効質量に対して，上記②の考え方を 3 次元の位置関係を考慮して展開し，地震応答解析モデルのはり要素（1 質点）における並進質量（ m_x , m_y , m_z ）及び回転質量（ Rm_x , Rm_y , Rm_z ）に縮約する。

④ 地震応答解析モデル（全質点）における有効質量の設定

地震応答解析モデルにおけるはり要素の全質点に対して，上記③の考え方を展開し，並進質量（ m_x , m_y , m_z ）及び回転質量（ Rm_x , Rm_y , Rm_z ）が設定される。



図 2 Guyan の縮約法のイメージ

3.2 地震応答解析モデルへ縮約される有効質量及びその妥当性

今回工認に用いるサブプレッションチェンバの地震応答解析モデルを図3に示す。また、通常運転水位条件による水平（X方向）及び鉛直（Z方向）方向の地震応答解析モデルの各質点位置に縮約される有効質量を表1及び表2、重大事故等時水位条件によるものを表3及び表4に示し、今回工認に用いるサブプレッションチェンバの地震応答解析モデルに設定する有効質量（並進質量及び回転質量）が有する意味合いを重大事故等時水位条件のものを用いて以下に示す。

(1) 並進質量

- X方向の各質点の並進質量 m_x の合計値 kg は、サブプレッションチェンバ内部水の有効質量を表し、Z方向の各質点の並進質量 m_z の合計値 kg は、サブプレッションチェンバ内部水の全質量を表すことから、有効質量比は、0.33（=) となる。
- この有効質量比は、本文表 4.1-1 における仮想質量法による実機解析モデル（重大事故等時水位）の有効質量比 0.33 と一致する。
- X方向の並進質量 m_x は、X軸方向（質点 1, 17）がY軸方向（質点 9, 25）よりも質量が集中する傾向があり、流体解析コード OpenFOAM による圧力分布（別紙 4 図 3.2-1 参照）とも整合している。
- X方向の並進質量 m_y , m_z 及びZ方向の並進質量 m_x , m_y は、サブプレッションチェンバの容器形状（軸対称）に応じた分布となっており、それぞれの合計値は 0 となる。

(2) 回転質量

- X方向の各質点の回転質量 Rm_y は、サブプレッションチェンバの容器内面に加わる圧力（各シェル要素のX方向成分及びZ方向成分）を各質点位置にオフセットした場合の等価な回転慣性力を表している。
- 各質点での回転質量 Rm_y は、サブプレッションチェンバの容器中心位置（はりモデルの質点位置）を基準としているため、回転質量が負の場合は容器中心位置よりも高い位置に、回転質量が正の場合は容器中心位置よりも低い位置に内部水の等価高さがあるとみなすことができる（円筒容器に対する検討結果は、「4.1.2 妥当性確認結果」参照）。
- 今回の地震応答解析モデルにおけるX方向の各質点位置の回転質量の合計値は正であるため、サブプレッションチェンバ内部水の有効質量の等価高さは、容器中心位置よりも高い位置にあることを表している。
- X方向の有効質量（並進質量 m_x ）の合計値 kg とX方向の回転質量 Rm_y の合計値 kg・m から、サブプレッションチェンバ内部水全体を簡便に一質点とした場合の等価高さは、サブプレッションチェンバの容器中心位置（はりモデルの質点位置）から約 m 高い位置にあると算出される。
- これは、内部水の重心位置（容器中心位置から下方に約 m の位置）よりも高く、Housner 理論による底面圧力を考慮した円筒容器の評価式における容器水位に対する容器半径が比較的大きい場合の傾向とも整合する。
- X方向の回転質量 Rm_x , Rm_z 及びZ方向の回転質量 Rm_x , Rm_y , Rm_z は、隣り合う質点の関係

として回転質量の増減が現れるが、これは質点位置の容器形状の違い（直管部：偶数の質点，接続部：奇数の質点）によるものであり，容器形状が軸対称であるため，それぞれの合計値は，ほぼ0となる。



図3 サプレッションチェンバ地震応答解析モデル

表 1 縮約した有効質量（通常運転水位，X 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	m_x ($\times 10^3$ kg)	m_y ($\times 10^3$ kg)	m_z ($\times 10^3$ kg)	Rm_x ($\times 10^3$ kg · m)	Rm_y ($\times 10^3$ kg · m)	Rm_z ($\times 10^3$ kg · m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
合計						

表 2 縮約した有効質量（通常運転水位，Z 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	m_x ($\times 10^3$ kg)	m_y ($\times 10^3$ kg)	m_z ($\times 10^3$ kg)	Rm_x ($\times 10^3$ kg・m)	Rm_y ($\times 10^3$ kg・m)	Rm_z ($\times 10^3$ kg・m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
合計						

表 3 縮約した有効質量（重大事故等時水位，X 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	m_x ($\times 10^3$ kg)	m_y ($\times 10^3$ kg)	m_z ($\times 10^3$ kg)	Rm_x ($\times 10^3$ kg · m)	Rm_y ($\times 10^3$ kg · m)	Rm_z ($\times 10^3$ kg · m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
合計						

表 4 縮約した有効質量（重大事故等時水位，Z 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	m_x ($\times 10^3$ kg)	m_y ($\times 10^3$ kg)	m_z ($\times 10^3$ kg)	Rm_x ($\times 10^3$ kg · m)	Rm_y ($\times 10^3$ kg · m)	Rm_z ($\times 10^3$ kg · m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
合計						

4. Guyan の縮約法の妥当性確認

4.1 自由表面を有する円筒容器評価モデルを用いた妥当性確認

4.1.1 妥当性確認方針

NASTRAN による Guyan の縮約法の妥当性確認にあたっては、計算を簡単にするため、自由表面を有する円筒容器評価モデル(1 質点系)(質量位置の上下方向のオフセットの検討)として、NASTRAN の Guyan の縮約法(容器の重心位置に縮約)と NASTRAN を用いて FEM から直接的に求めた質点位置(有効質量に対する等価高さ)における有効質量、地震荷重及び回転質量を比較する。

また、参考として、Housner 理論による方法で求めた有効質量及び地震荷重も比較する。ここで、上記 3 つの手法による水平反力及び回転モーメントは、NASTRAN を用いて水平 1G 負荷による静的解析で算出している。

Housner 理論による方法では、容器半径に対する水位によって評価式が異なることから、容器半径と水位の関係を考慮した 2 つの評価モデルに対して妥当性検討を実施する。

(1) 評価モデル

評価は、ケース 1 として容器半径に対して水位が高いケース（水位/容器半径 >1.5 ）、ケース 2 として容器半径に対して水位が低いケース（水位/容器半径 ≤ 1.5 ）と容器半径に対して水位が低いケース（ケース 2）の 2 ケース実施する。

それぞれの評価モデルを図 4, 5, 評価モデルの諸元を表 5, 6 に示す

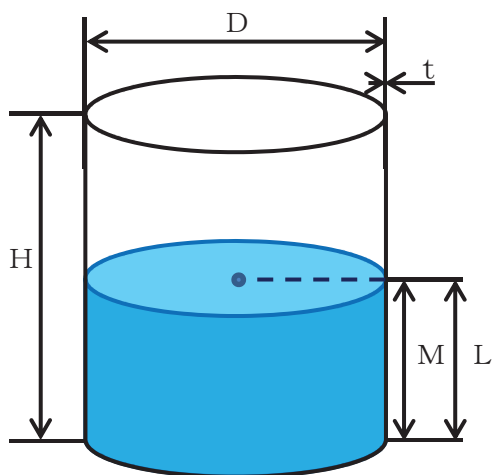


図 4 評価モデル（ケース 1）

表 5 評価モデル（ケース 1）の諸元

部位	寸法
容器直径 D	1000mm
容器板厚 t	50mm
容器高さ H	2000mm
容器重心高さ M	1000mm
水位 L	1000mm
水の密度 ρ	10^{-6}kg/mm^3
水位/容器半径	2.0

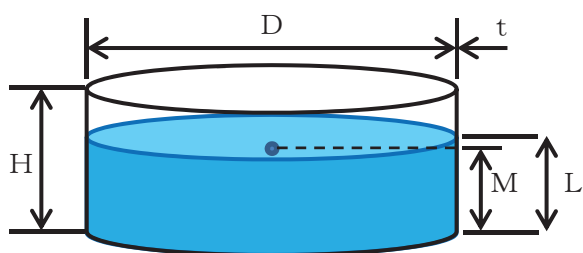


図 5 評価モデル（ケース 2）

表 6 評価モデル（ケース 2）の諸元

部位	寸法
容器直径 D	4000mm
容器板厚 t	50mm
容器高さ H	1000mm
容器重心高さ M	500mm
水位 L	600mm
水の密度 ρ	10^{-6}kg/mm^3
水位/容器半径	0.3

(2) 解析モデル

NASTRAN の評価に用いる解析モデルを図 6, 7 に示す。

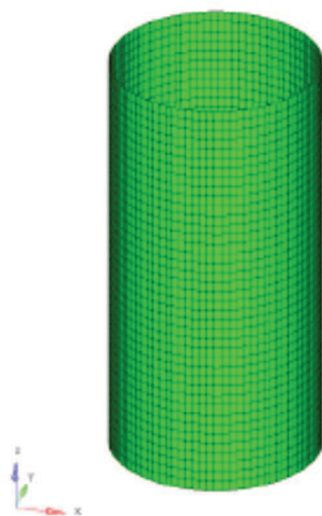


図 6 NASTRAN 解析モデル (ケース 1)

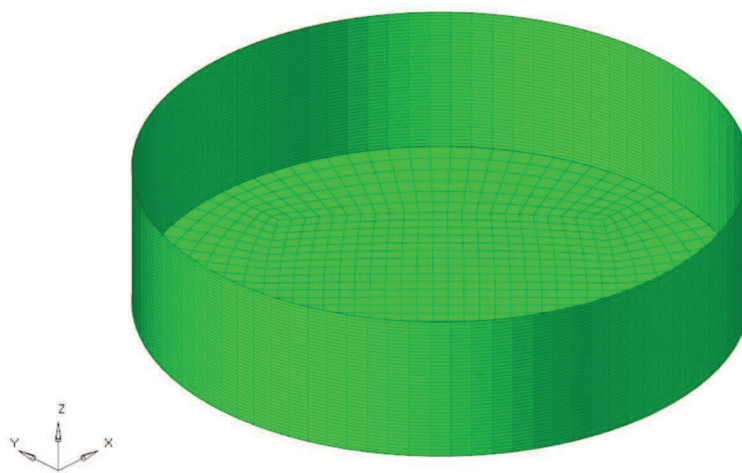


図 7 NASTRAN 解析モデル (ケース 2)

(3) 検討条件

検討条件を表 7, 検討モデルのイメージを図 8 に示す。

表 7 検討条件

検討条件	検討モデル	
	容器のモデル化	内部水のモデル化
Guyan 縮約	1 質点系モデル	Guyan の縮約法により容器の質点位置に有効質量を付加
直接的評価	1 質点系モデル	NASTRAN を用いて FEM から直接的に求めた等価高さ*に有効質量を付加
Housner 理論	1 質点系モデル	Housner 理論に基づく有効質量に対する等価高さ*に有効質量を付加

注記* : Housner 理論による底面圧力を考慮した評価式を用いて等価高さを算出

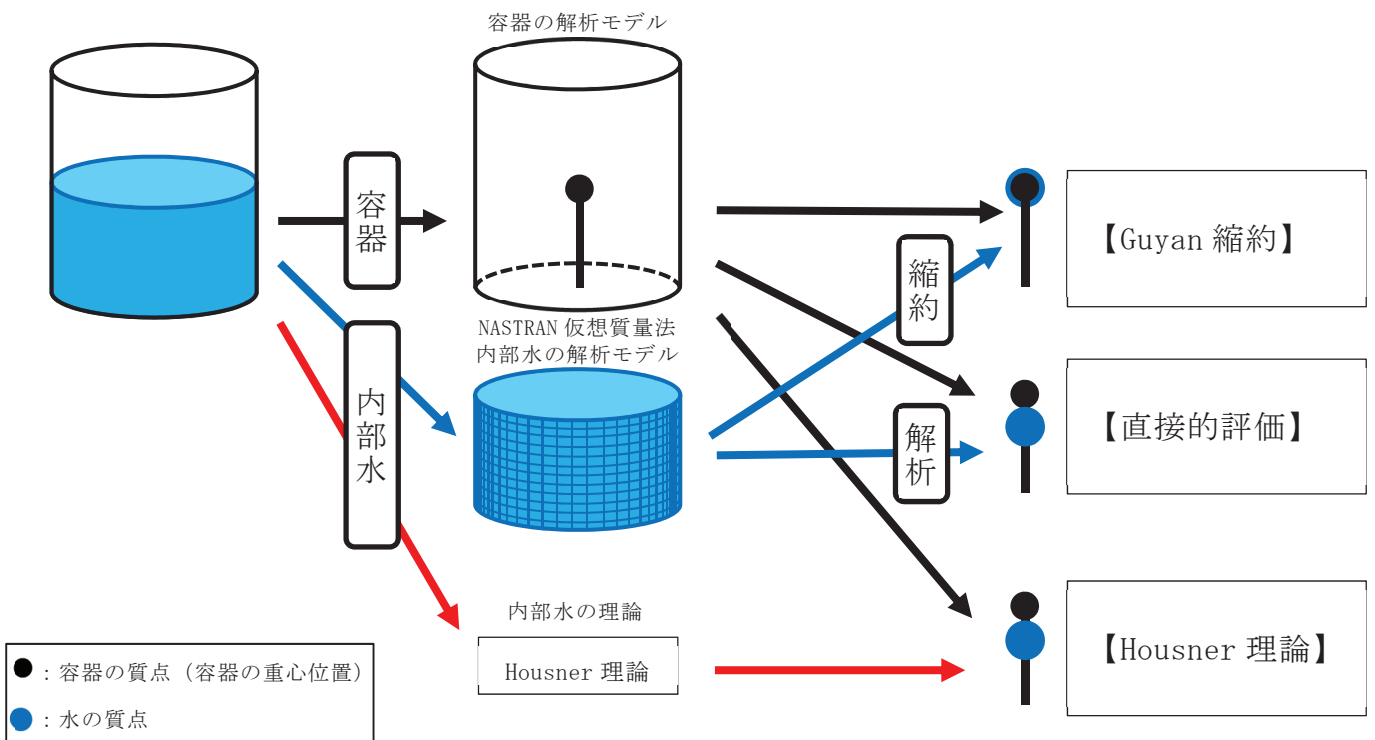


図 8 妥当性確認に用いる検討モデルのイメージ

4.1.2 妥当性確認結果

NASTRAN の Guyan の縮約法と直接的評価による単位加速度 1G に対する有効質量，地震荷重及び回転質量を表 8，9，有効質量に対する水平反力等のイメージを図 9，10 に示す。比較結果から NASTRAN の Guyan の縮約法と直接的評価の有効質量，地震荷重及び回転質量は一致しており，NASTRAN の Guyan の縮約法が妥当であることを確認した。なお，容器重心位置と内部水の有効質量の等価高さの関係（オフセット方向）が回転質量の符号に考慮され，容器重心位置よりも内部水の有効質量の等価高さが低い場合（ケース 1）は負の回転質量となるが，容器重心位置よりも内部水の有効質量の等価高さが高い場合（ケース 2）は正の回転質量となる。

なお，Housner 理論による有効質量及び地震荷重も NASTRAN の Guyan の縮約法による有効質量及び地震荷重とほぼ一致していることを確認した。

表 8 Guyan による縮約法の妥当性確認結果（ケース 1）

	有効質量 (kg)	等価高さ (mm)	地震荷重 (1G)		回転質量 (kg・m)
			水平反力 (N)	回転モーメント (N・mm)	
Guyan 縮約	603.591	—	3.010×10^4	2.714×10^7	-302.613^{*1}
直接的評価	603.591	498.646	3.010×10^4	2.714×10^7	-302.613^{*2}
Housner 理論	614^{*3}	506^{*3}	3.021×10^4	2.723×10^7	—

注記*1：Guyan の縮約法後の水の質量マトリクスにおける回転質量の値

*2：直接的評価から求めた有効質量及び等価高さにより算定（図 9 参照）

*3：評価式については，補足 1 参照

表 9 Guyan による縮約法の妥当性確認結果（ケース 2）

	有効質量 (kg)	等価高さ (mm)	地震荷重 (1G)		回転質量 (kg・m)
			水平反力 (N)	回転モーメント (N・mm)	
Guyan 縮約	1236.927	—	6.050×10^4	4.467×10^7	1469.936^{*1}
直接的評価	1236.926	1688.378	6.050×10^4	4.467×10^7	1469.936^{*2}
Housner 理論	1306^{*3}	1657^{*3}	6.118×10^4	4.541×10^7	—

注記*1：Guyan の縮約法後の水の質量マトリクスにおける回転質量の値

*2：直接的評価から求めた有効質量及び等価高さにより算定（図 10 参照）

*3：評価式については，補足 2 参照

- : 内部水質量
- : 容器質量 (容器重心位置)
- ➡ : 水平反力
- ↻ : 回転モーメント
- ↻ : 回転質量

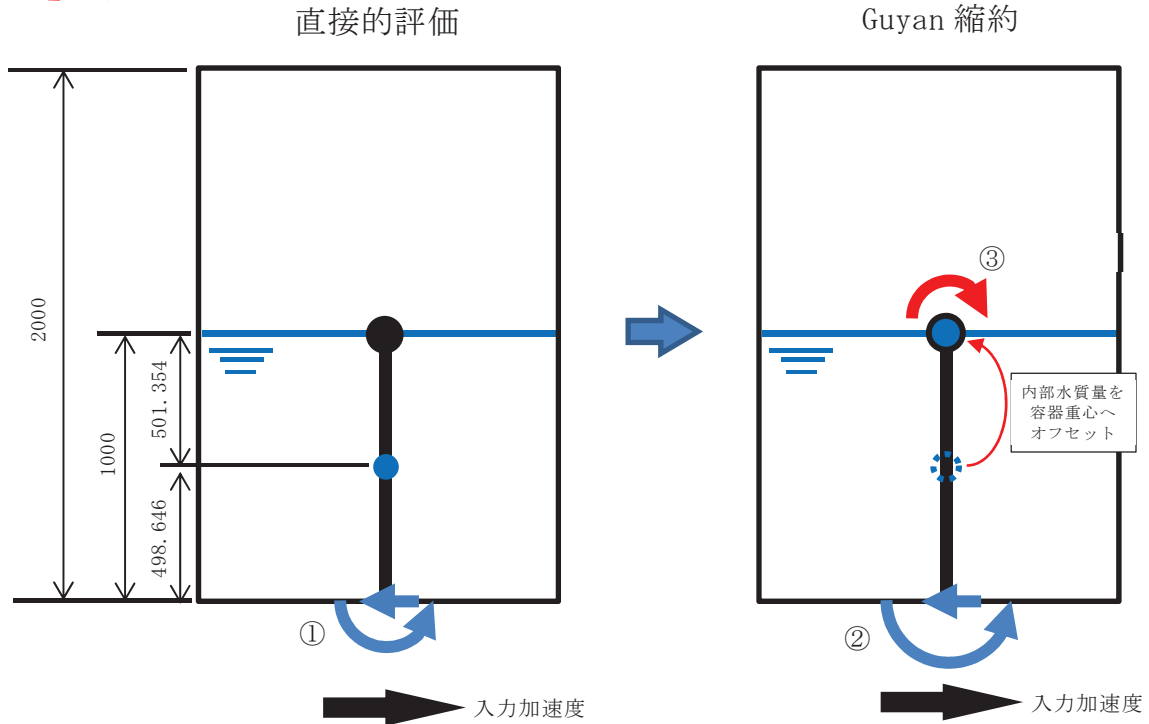


図9 有効質量に対する水平反力等のイメージ

<回転質量の算出 (ケース1)>

直接的評価による有効質量及び等価高さから回転質量を算出し、Guyan 縮約から求めた回転質量と比較する。

① 直接的評価による有効質量及び等価高さから容器底部での回転モーメントを算出。
 $603.591 \times 0.498646 \times 9.80665 = 2,951.588 (\text{N} \cdot \text{m})$

② 直接的評価による有効質量を容器重心位置 (Guyan 縮約による内部水質量の縮約位置) にオフセットし、容器底部での回転モーメントを算出。
 $603.591 \times 1 \times 9.80665 = 5,919.206 (\text{N} \cdot \text{m})$

③ ①と②の回転モーメントの差を重力加速度で除した値が回転質量となる。
 $(2,951.588 - 5,919.206) / 9.80665 = -302.613 (\text{kg} \cdot \text{m})$

上記回転質量 $-302.613 (\text{kg} \cdot \text{m})$ は、Guyan 縮約から求めた回転質量 $-302.613 (\text{kg} \cdot \text{m})$ と一致するため、内部水を Guyan の縮約によりはりモデルへ縮約する手法は、妥当である。

- : 内部水質量
- : 容器質量 (容器重心位置)
- ➡ : 水平反力
- ↻ : 回転モーメント
- ↻ : 回転質量

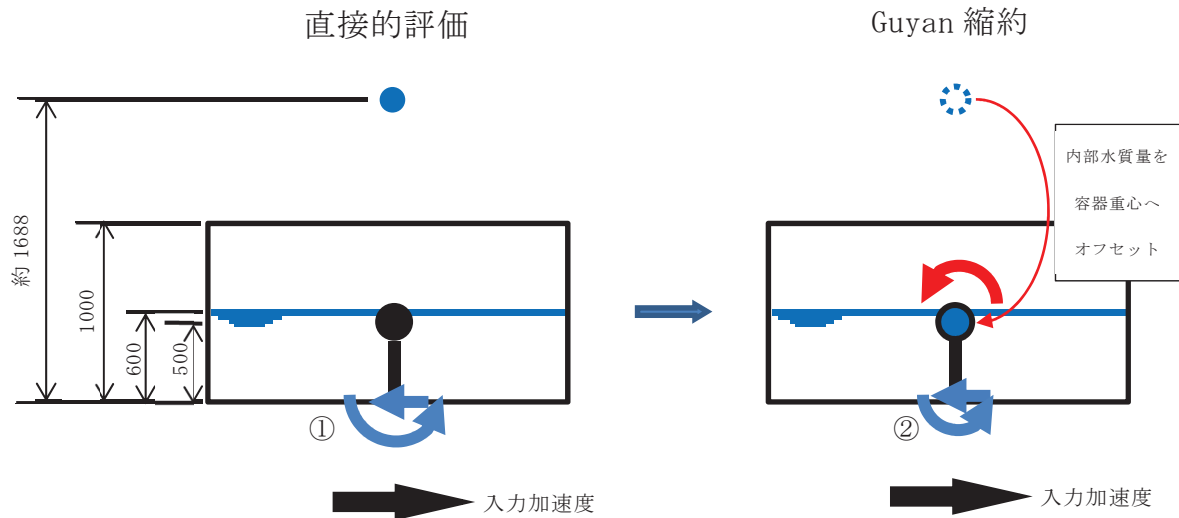


図 10 有効質量に対する水平反力等のイメージ

<回転質量の算出 (ケース 2) >

直接的评价による有効質量及び等価高さから回転質量を算出し、Guyan 縮約から求めた回転質量と比較する。

- ④ 直接的评价による有効質量及び等価高さから容器底部での回転モーメントを算出。

$$1236.926 \times 1.688378 \times 9.80665 = 20,480.195 (\text{N} \cdot \text{m})$$

- ⑤ 直接的评价による有効質量を容器重心位置 (Guyan 縮約による内部水質量の縮約位置) にオフセットし、容器底部での回転モーメントを算出。

$$1236.926 \times 0.5 \times 9.80665 = 6,065.050 (\text{N} \cdot \text{m})$$

- ⑥ ①と②の回転モーメントの差を重力加速度で除した値が回転質量となる。

$$(20,480.195 - 6,065.050) / 9.80665 = 1469.936 (\text{kg} \cdot \text{m})$$

上記回転質量 1469.936 (kg・m) は、Guyan 縮約から求めた回転質量 1469.936 (kg・m) と一致するため、内部水を Guyan の縮約によりはりモデルへ縮約する手法は、妥当である。

< 補足 1 >

Housner 理論による水の有効質量及び等価高さ (ケース 1)

Housner の論文^[1]による手法を用いて、円筒タンクに対する水の有効質量及び等価高さについて算出する。

(1) 評価モデル

評価諸元を表 1、円筒タンクの概要図を図 1 に示す。

水位と容器半径の比が $h/R=1000/500=2>1.5$ であるため、Housner^[1]の論文 (6.5) の評価式から、 $h' = 1.5R$ とおき、 h' より浅い部分と深い部分に分けて計算を行う。

表 1 評価諸元

	記号	値	単位
タンク半径	R	500	mm
タンク底面から液面までの高さ	h	1000	mm
1.5R (水面～ h')	h'	750	mm
h' より深い部分の高さ (h' ～底面)	$h-h'$	250	mm
高さ h' の流体質量	$W_0(h')$	589 ($\pi \times R^2 \times h'$) × 水密度*	kg

注記* : 水の密度は $1 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ とする。

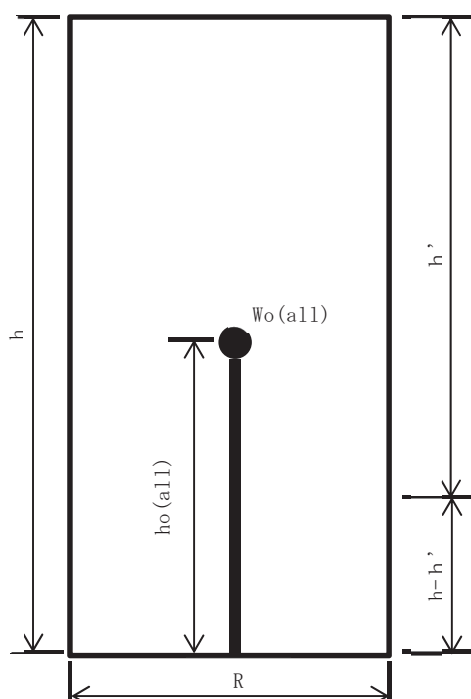


図 1 円筒タンク概要図

参考文献 [1] : Housner, G. W. : Nuclear Reactors And Earthquakes, TID Rep. 7024, 1963.

(2) 有効質量の算出

以下①～③式により、有効質量 $W_o(\text{all})$ を算出する。なお、タンク重量は含まないものとする。

$$W_o(h') = \frac{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)}{\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)} Wh' \quad \text{①}$$
$$= 418 \text{ kg}$$

$$W_o(h-h') = \pi \times R^2 \times (h-h') \times \rho \quad \text{②}$$
$$= 196 \text{ kg}$$

$$W_o(\text{all}) = W_o(h') + W_o(h-h') \quad \text{③}$$
$$= 418 + 196$$
$$= 614 \text{ kg}$$

(3) 等価高さの算出

以下④～⑥式により、等価高さ $h_o(\text{all})$ を算出する。

$$h_o(h') = (h-h') + \frac{h'}{8} \left\{ \frac{4}{\frac{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)}{\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)} - 1} \right\} \quad \text{④}$$
$$= 685 \text{ mm}$$

$$h_o(h-h') = \frac{h-h'}{2} \quad \text{⑤}$$
$$= 125 \text{ mm}$$

$$h_o(\text{all}) = \frac{W_o(h') \times h_o(h') + W_o(h-h') \times h_o(h-h')}{W_o(\text{all})} \quad \text{⑥}$$
$$= \frac{418 \times 685 + 196 \times 125}{614}$$
$$= 506 \text{ mm}$$

(4) 算出結果

(2), (3)の算出結果を表2に示す。

表 2 Housner の式で算出した水の有効質量及び等価高さ

	記号	値	単位
水の有効質量	Wo(all)	614	kg
水の等価高さ	ho(all)	506	mm

<補足 2 >

Housner 理論による水の有効質量及び等価高さ（ケース 2）

Housner の論文^[1]による手法を用いて、円筒タンクに対する水の有効質量及び等価高さについて算出する。

(1) 評価モデル

評価諸元を表 1、円筒タンクの概要図を図 1 に示す。

水位と容器半径の比が $h/R=600/2000=0.3 < 1.5$ であるため、Housner^[1]の論文（6.4）の評価式を用いて計算を行う。

表 1 評価諸元

	記号	値	単位
タンク半径	R	2000	mm
タンク底面から液面までの高さ	h	600	mm
高さ h_0 の流体質量	W_0	7540 ($\pi \times R^2 \times h'$) \times 水密度*	kg

注記*：水の密度は $1 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ とする。

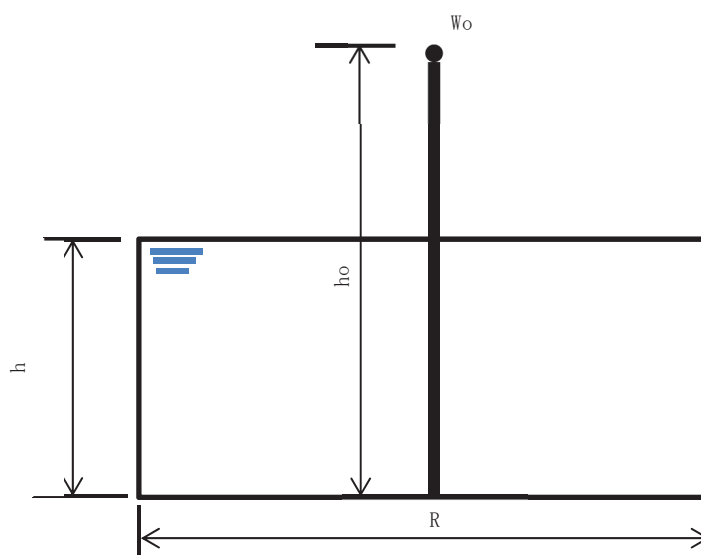


図 1 円筒タンク概要図

参考文献 [1] : Housner, G. W. : Nuclear Reactors And Earthquakes, TID Rep. 7024, 1963.

(2) 有効質量の算出

下式により、有効質量 W_o を算出する。なお、タンク重量は含まないものとする。

$$W_o = \frac{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)}{\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)} W$$
$$= 1306 \text{ kg}$$

(3) 等価高さの算出

下式により、等価高さ h_o を算出する。

$$h_o = \frac{h}{8} \left\{ \frac{4}{\frac{\tanh\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)}{\left(\sqrt{3}\frac{R}{h}\right)} - 1} \right\}$$
$$= 1657 \text{ mm}$$

(4) 算出結果

(2), (3)の算出結果を表2に示す。

表2 Housnerの式で算出した水の有効質量及び等価高さ

	記号	値	単位
水の有効質量	W_o	1306	kg
水の等価高さ	h_o	1657	mm

4.2 振動試験データを用いた妥当性確認

4.2.1 妥当性確認方針

サプレッションチェンバの地震応答解析モデルにおいては、内部水の等価高さを適切に考慮するため、NASTRANの機能であるGuyan縮約法により縮約した有効質量を3次元はりモデルの質点位置に設定しており、NASTRANのGuyan縮約法を用いて縮約した水平方向の有効質量については、「3. 地震応答解析モデルへの設定方法」にて、Guyan縮約法を適用していない仮想質量法（3次元シェルモデル）から算出した水平方向の有効質量と同等であることを確認している。

また、「4.1 自由表面を有する円筒容器評価モデルを用いた妥当性確認」にて、円筒容器におけるGuyan縮約法を用いて縮約した質量（有効質量及び回転質量）及びそれによる地震荷重について、3次元シェルモデル及び理論的に求めた質量（有効質量及び回転質量）及び地震荷重と同等であることを確認している。

ここで、円筒容器等をモデル化する手法として用いられるHousner理論における円筒容器等の評価式では、有効質量及び等価高さを以下のとおり算定している。

- ① 有効質量は、水平方向の加速度による内部水から受ける容器側面圧力（水平方向の圧力）から算定
- ② 等価高さは、上記①の有効質量と容器側面圧力（水平方向の圧力）による回転モーメントから算定
- ③ 容器半径に対して水位が低い場合の等価高さは、上記②に加えて、底面圧力（鉛直方向の圧力）による回転モーメントから算定される高さを加算

上記③における等価高さの取り扱い及び「3.2 地震応答解析モデルへ設定する有効質量」における等価高さが内部水の重心位置よりも高いことを考慮すると、サプレッションチェンバ内部水から受ける容器側面圧力（水平方向の圧力）に加えて底面圧力（鉛直方向の圧力）を把握することは重要である。

今回工認に用いる地震応答解析モデルでは、仮想質量法を用いて容器（各要素）の内面圧力（水平方向の圧力、鉛直方向の圧力）から各方向の有効質量を算定しており、これらはGuyan縮約法を用いてサプレッションチェンバのはりモデルの質点位置に縮約される。このため、鉛直方向の圧力に着目して、振動試験を模擬したNASTRAN（3次元シェルモデル）の鉛直荷重を確認し、振動試験の鉛直荷重との比較によりNASTRANによる鉛直方向の圧力の妥当性確認する。また、円環形状容器に対するGuyan縮約法の妥当性も確認するため、振動試験を模擬したNASTRAN（3次元はりモデル：Guyan縮約法を適用）による鉛直荷重を確認し、NASTRAN（3次元シェルモデル）及び振動試験の鉛直荷重と比較する。なお、本検討の目的について、表10のとおり整理した。

表 10 本検討の目的

比較対象	3次元シェルモデル /振動試験	3次元シェルモデル /3次元はりモデル	3次元はりモデル /振動試験
検討目的	鉛直方向の圧力 の妥当性確認	Guyan 縮約法 の妥当性確認	鉛直方向の圧力 及び Guyan 縮約法 の妥当性確認

(1) 解析モデル

振動試験データを用いた検討を行うため、解析モデルは、実機を縮小模擬した振動試験体とし（図 11）、3次元シェルおよび3次元はりにてモデル化した（図 12 及び図 13）。振動試験体のモデル化に当たっては、振動試験体及び架台は、設計図面をベースとしてモデル化を行い、減衰定数は、JEAG4601 に記載の溶接構造物に対する設計用減衰定数 1% を適用した。

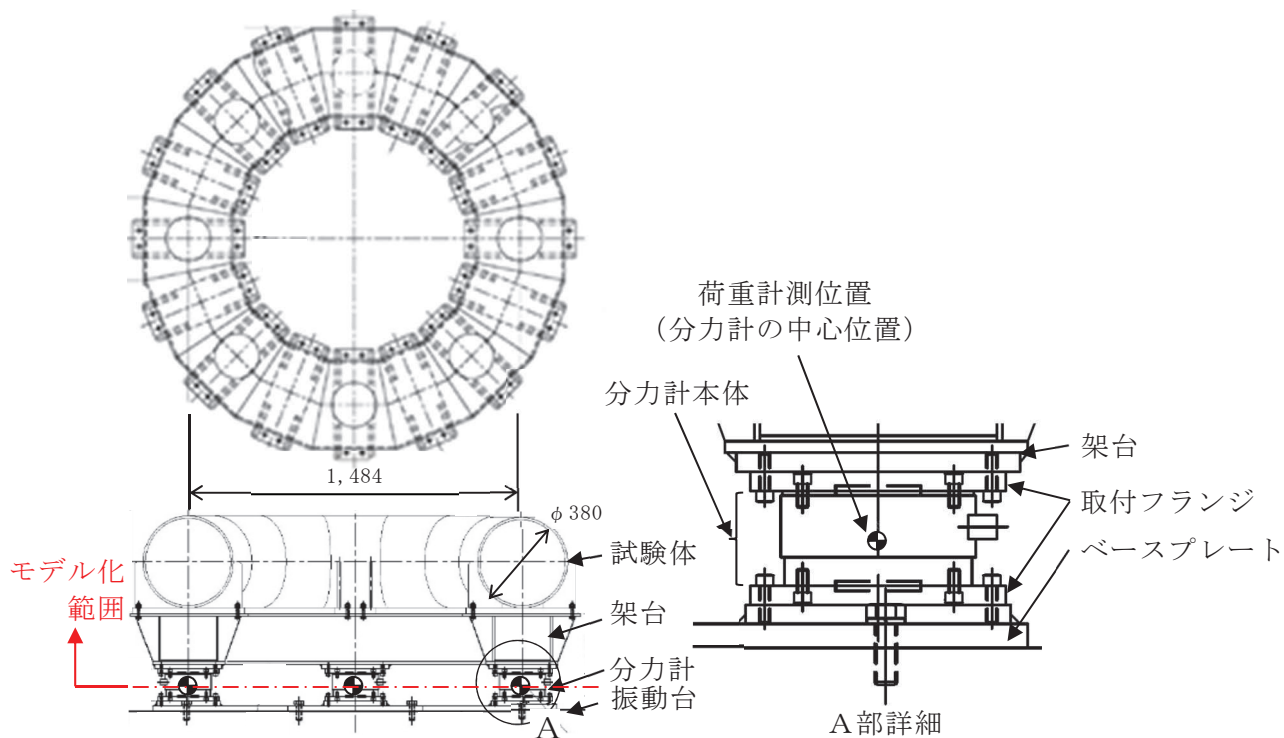


図 11 モデル化範囲

① 3次元シェルモデル

仮想質量法で算定した有効質量を試験体のシェル要素に付加した 3次元シェルモデル

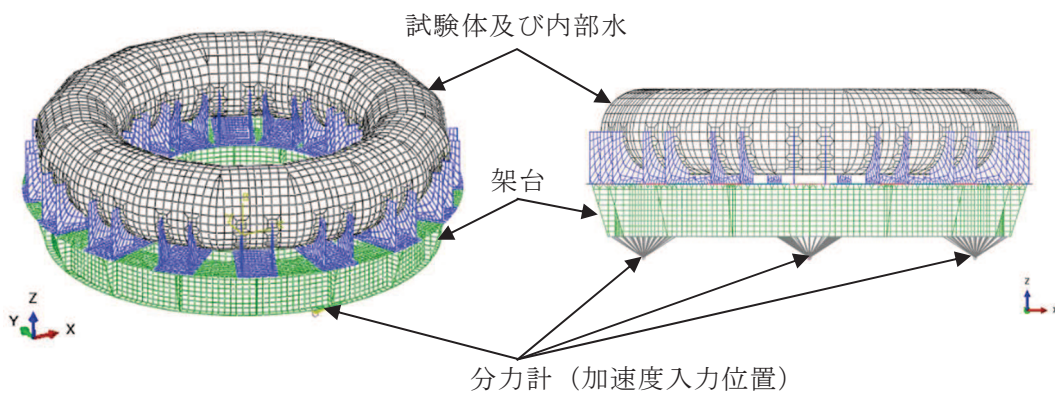


図 12 3次元シェルモデル

② 3次元はりモデル

仮想質量法で算定した有効質量を Guyan 縮約法を用いて試験体のはり要素に付加した 3次元はりモデル（今回工認におけるサプレッションチェンバの地震応答解析モデル設定と同様）

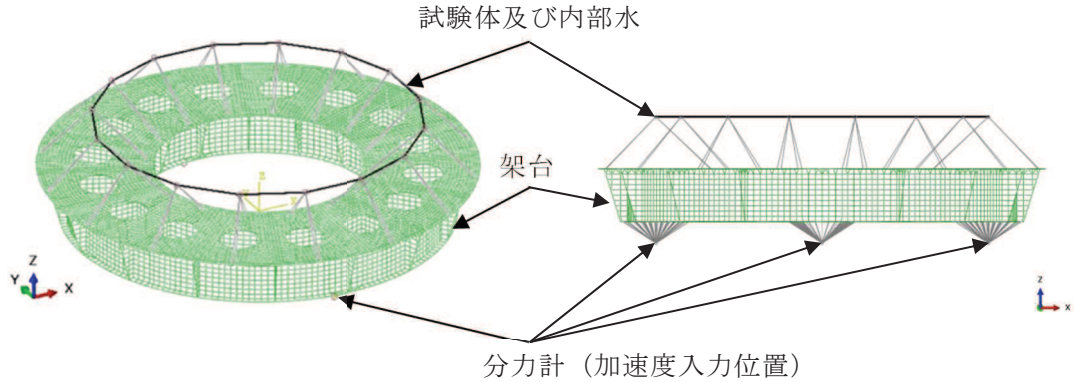


図 13 3次元はりモデル

(2) 解析条件

地震応答解析条件を表 11 に示す。

表 11 解析条件

項目		内容	
解析モデル		3次元シェルモデル	3次元はりモデル
モデル	試験体	シェル要素	はり要素
	架台	シェル要素	
	分力計	剛体要素 荷重計測位置（分力計の中心位置）～架台	
内部水の有効質量の算定方法		NASTRAN の仮想質量法により有効質量を算定	
内部水の有効質量のモデル化		試験体のシェル要素に付加	Guyan 縮約法を用いて試験体のはり要素に付加
減衰定数		1%（振動試験体，架台）	
境界条件		試験体と架台，架台と分力計：剛結合	
水位		高水位	
入力加速度		架台下端の加速度時刻歴 水平方向：0°，180° 鉛直方向：0°，90°，180°，270°	
加速度入力位置		分力計の荷重計測位置（4箇所）	
解析コード		NASTRAN	

(3) 入力加速度及び荷重比較対象

荷重計測位置よりも低い位置である振動台上で計測された加速度を用いて地震応答解析を行った結果、振動試験における試験体下端で計測された加速度よりも地震応答解析での試験体下端の加速度が小さいことを確認した。また、振動試験で計測した最大加速度及び加速度フーリエスペクトル比は、振動台上から架台下端、試験台上へ地震動が伝達するに従い増加しており、振動台上から架台下端までの増加が大きい（表 12、図 14）。この要因は、分力計の剛性に起因する共振（100Hz 付近）等による影響と考えられる。

今回の検討では、容器の内部水による底面圧力（鉛直方向の圧力）の妥当性確認を目的としているため、簡便な扱いとして、分力計のモデル化は行わず、分力計による応答増幅が含まれる架台下端で計測された水平及び鉛直方向の加速度を用いて多入力時刻歴応答解析を行う。なお、多入力時刻歴応答解析とすることで、鉛直方向のロッキング成分が模擬される。

地震応答解析における荷重の比較対象は、水平方向（X 方向）の加振に伴う内部水の有効質量による鉛直荷重は、加振直交方向（Y 方向）を軸として、加振方向（X 方向）に設置された分力計に作用するため、加振方向の分力計の荷重とした（図 15）。

表 12 最大加速度の比較

最大加速度 (Gal)			最大加速度比 (-)	
振動台上	架台下端	試験体下端	架台下端 / 振動台上	試験体下端 / 振動台上
433	469	483	1.08	1.12

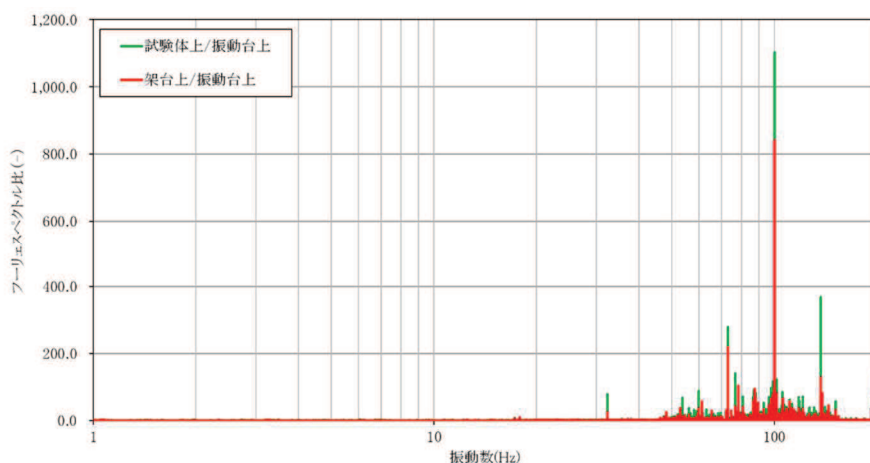


図 14 各計測位置における計測加速度のフーリエスペクトル比

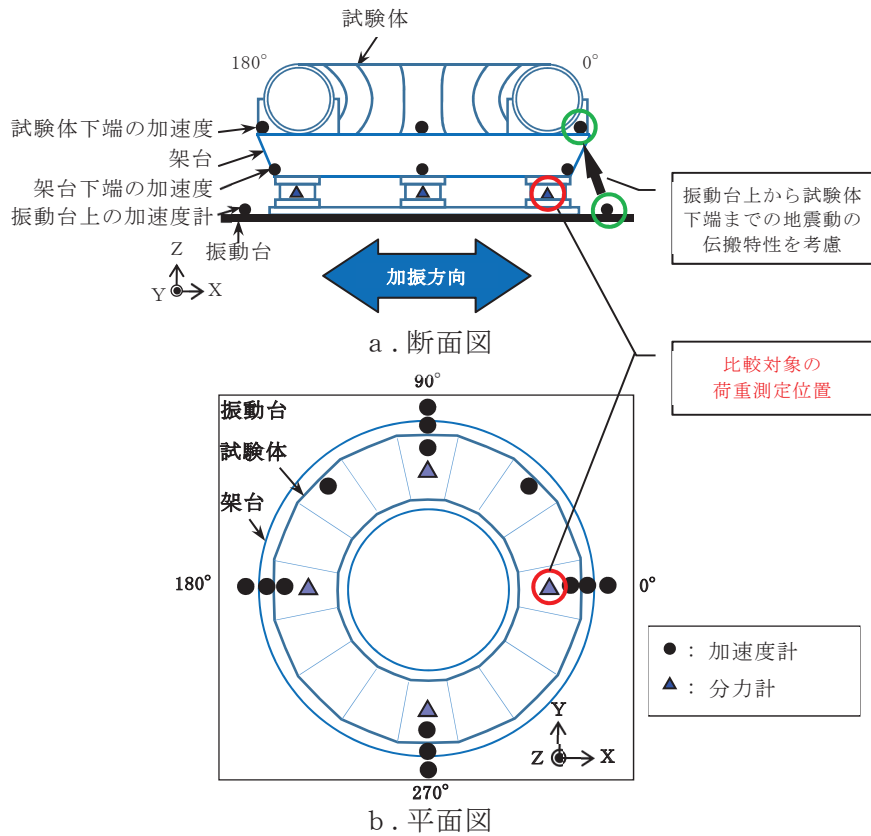


図 15 荷重の比較位置

4.2.2 解析結果

(1) 試験体下端の加速度時刻歴

振動試験で計測された試験体下端の加速度時刻歴, 3次元シェルモデル及び3次元はりモデルによる試験体下端の水平加速度時刻歴及び鉛直加速度時刻歴の比較を図16及び図17に示す。

比較の結果, 3次元シェルモデル及び3次元はりモデルにて解析した試験体下端の加速度時刻歴は, 振動試験で計測された試験体下端の加速度時刻歴とおおむね一致していることを確認した。

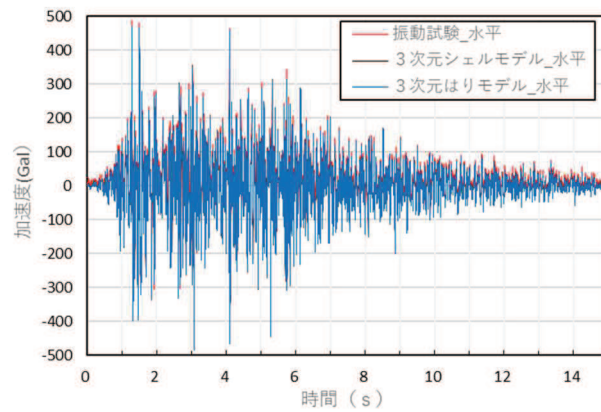
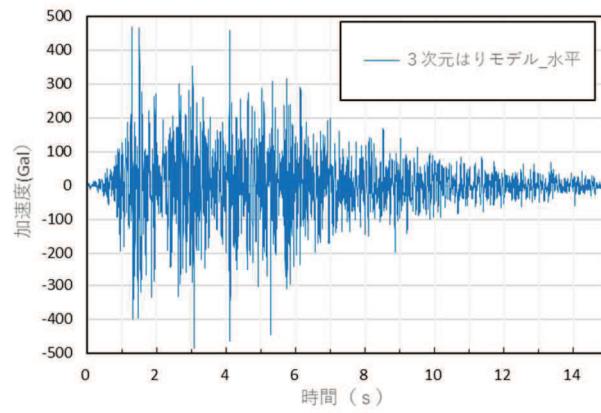
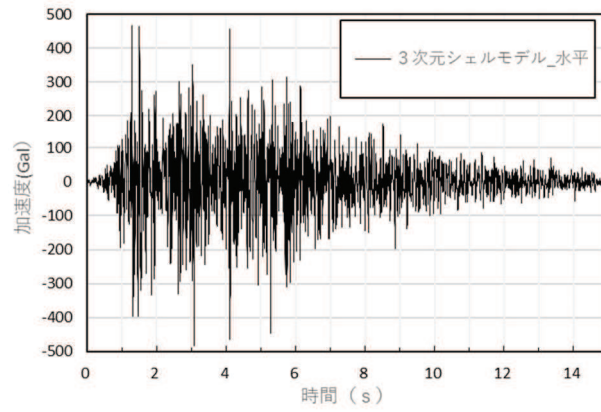
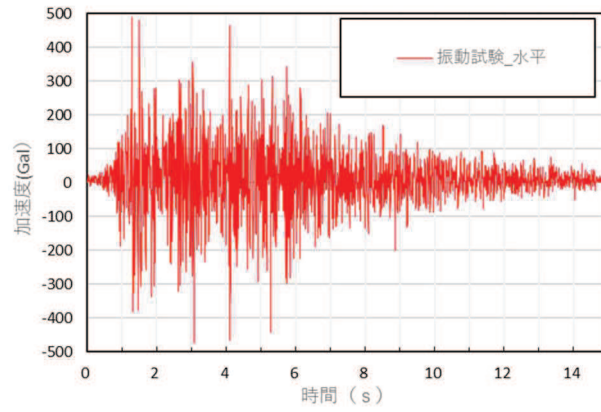


図 16 試験体下端の水平加速度時刻歴 (X 方向) の比較
別紙 2-27

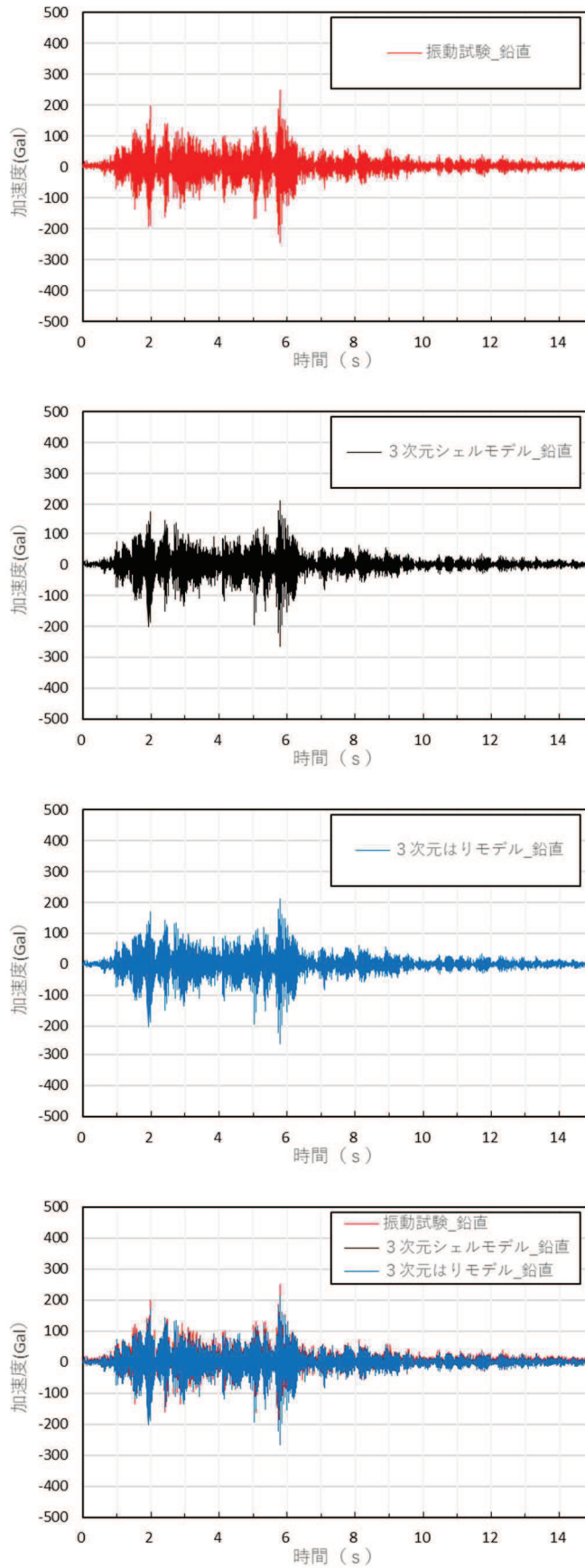


図 17 試験体下端の鉛直加速度時刻歴 (Z 方向) の比較
別紙 2-28

(2) 荷重時刻歴

NASTRAN で算定した有効質量を試験体のシェル要素に付加した 3 次元シェルモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴，振動試験で計測された水平及び鉛直荷重時刻歴の比較結果を図 18 と図 19 に示す。

3 次元シェルモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴は，振動試験で計測された水平及び鉛直荷重時刻歴とおおむね一致している。

3 次元シェルモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴，NASTRAN で算定した有効質量を Guyan 縮約法を用いて試験体のはり要素に付加した 3 次元はりモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴の比較結果を図 19 と図 20 に示す。

3 次元シェルモデルと 3 次元はりモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴の解析結果は，よく一致している。

3 次元はりモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴，振動試験で計測された水平及び鉛直荷重時刻歴の比較結果を図 21 と図 22 に示す。

3 次元はりモデルによる水平及び鉛直荷重時刻歴の解析結果は，3 次元シェルモデルと同様に振動試験で得られた水平及び鉛直荷重時刻歴とおおむね一致している。

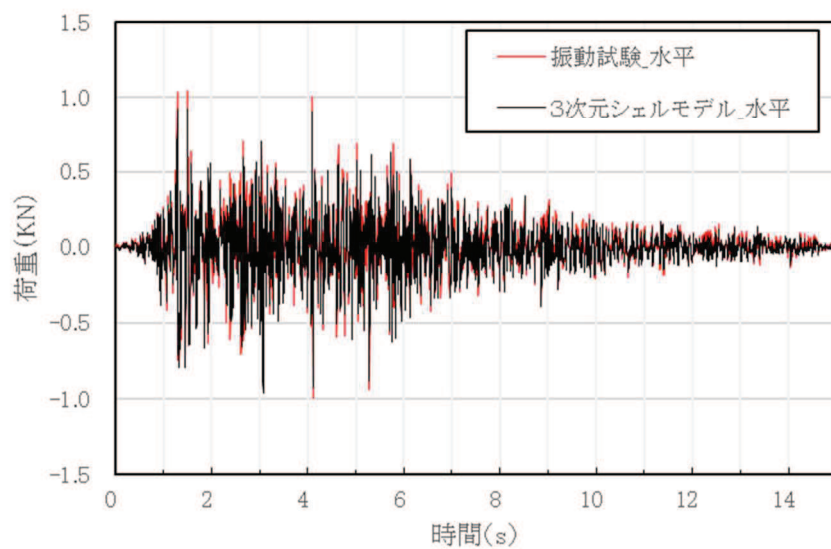
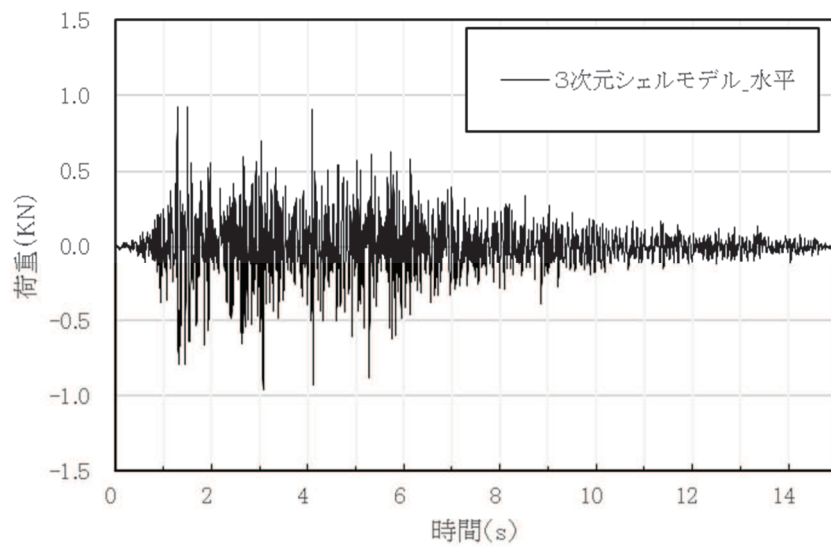
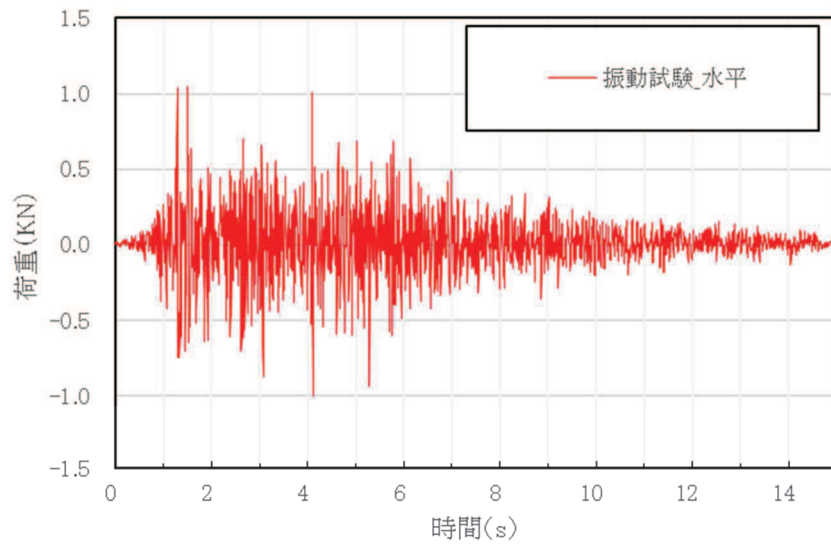


図 18 水平荷重時刻歴 (X 方向) の比較
(振動試験, 3次元シェルモデル)

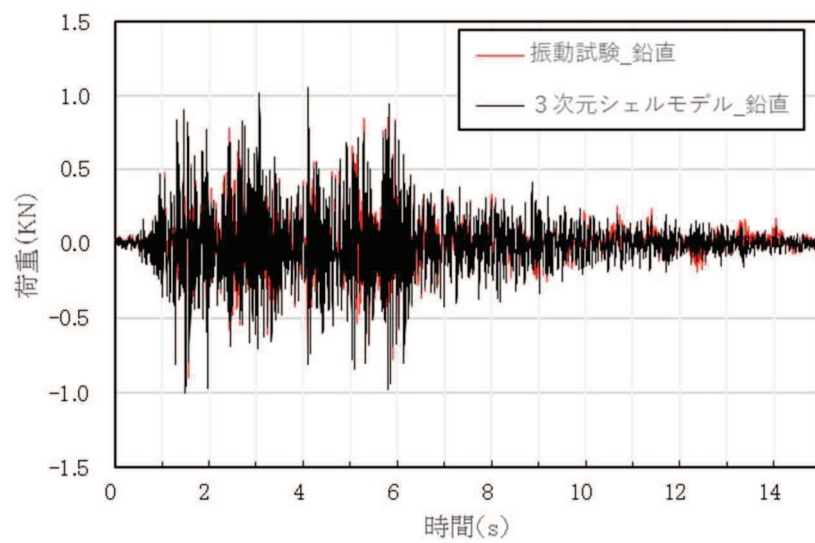
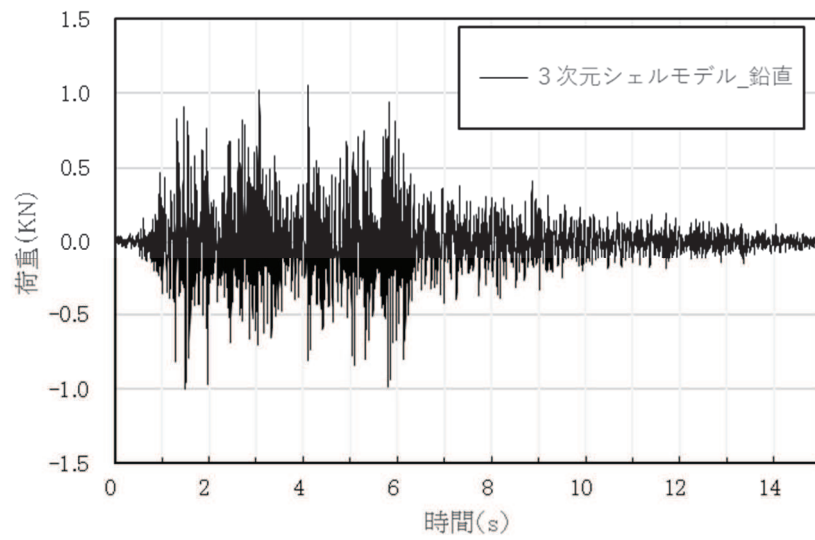
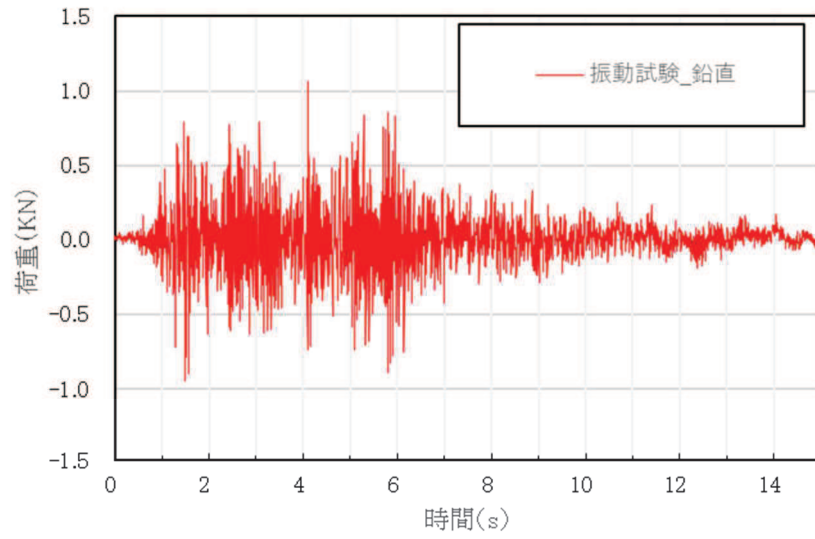


図 19 鉛直荷重時刻歴 (Z 方向) の比較
(振動試験, 3次元シェルモデル)

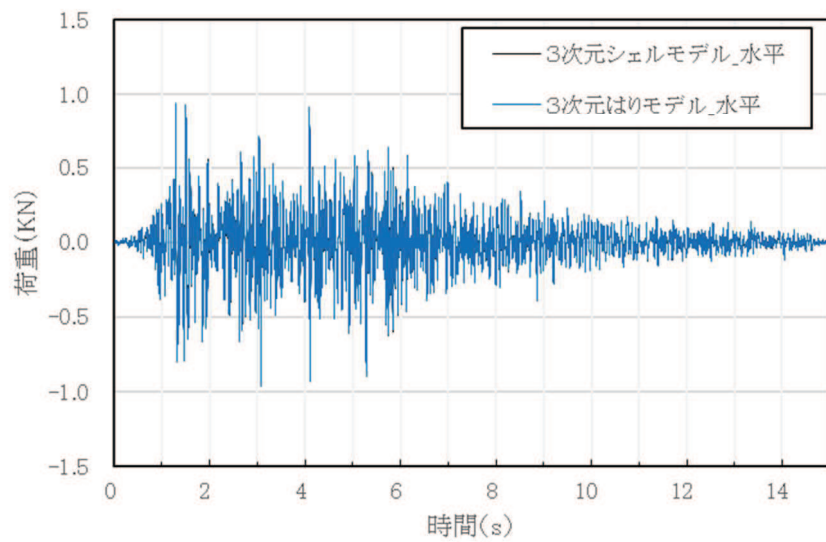
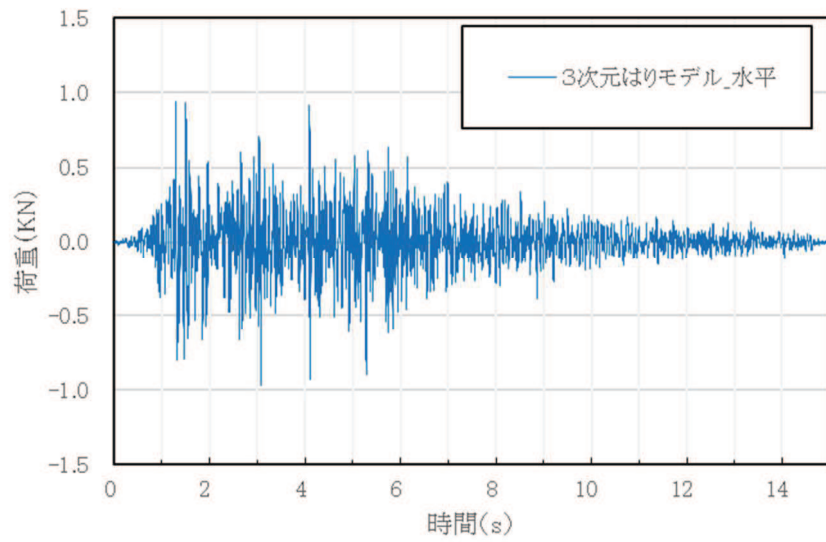
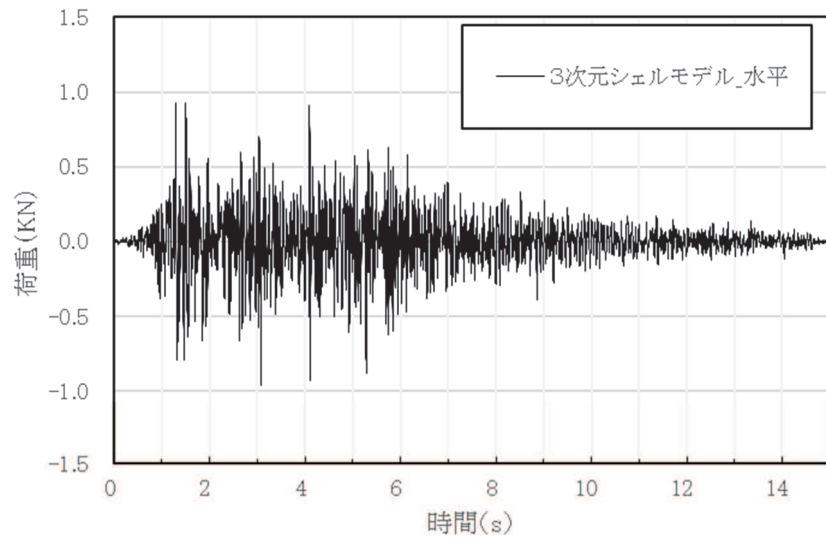


図 20 水平荷重時刻歴 (X 方向) の比較
 (3次元シェルモデル, 3次元はりモデル)
 別紙 2-32

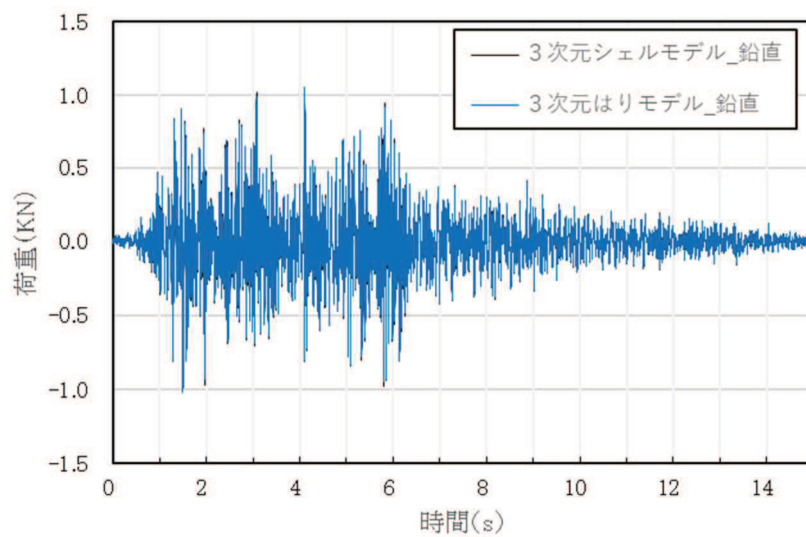
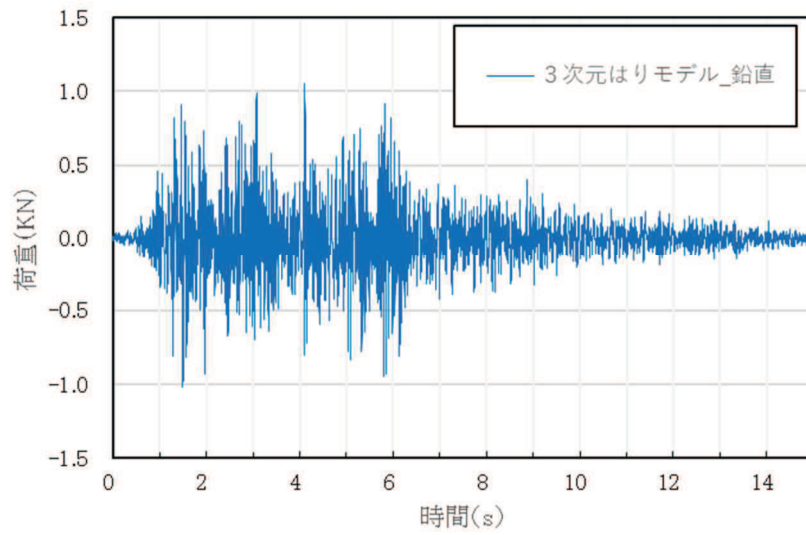
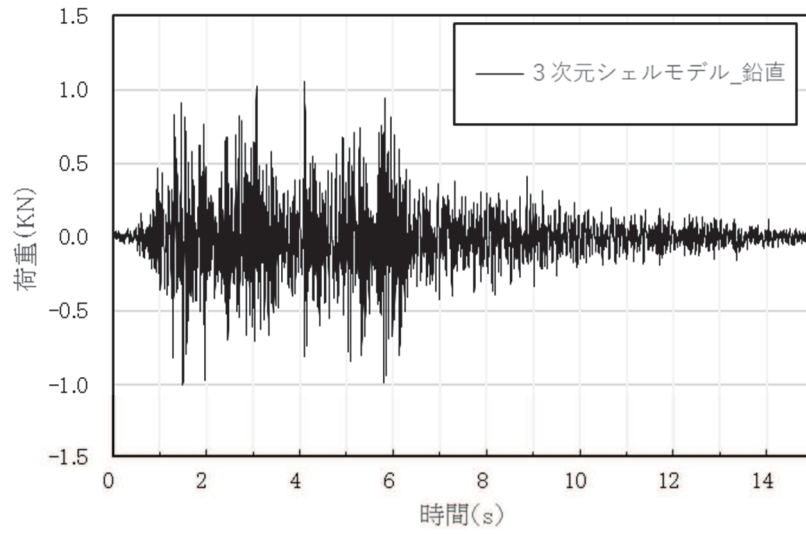


図 21 鉛直荷重時刻歴 (Z 方向) の比較
 (3次元シェルモデル, 3次元はりモデル)
 別紙 2-33

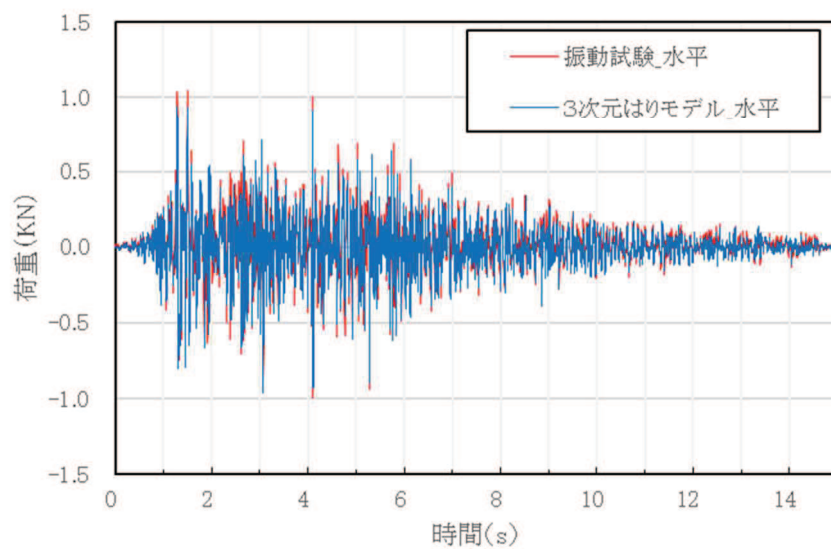
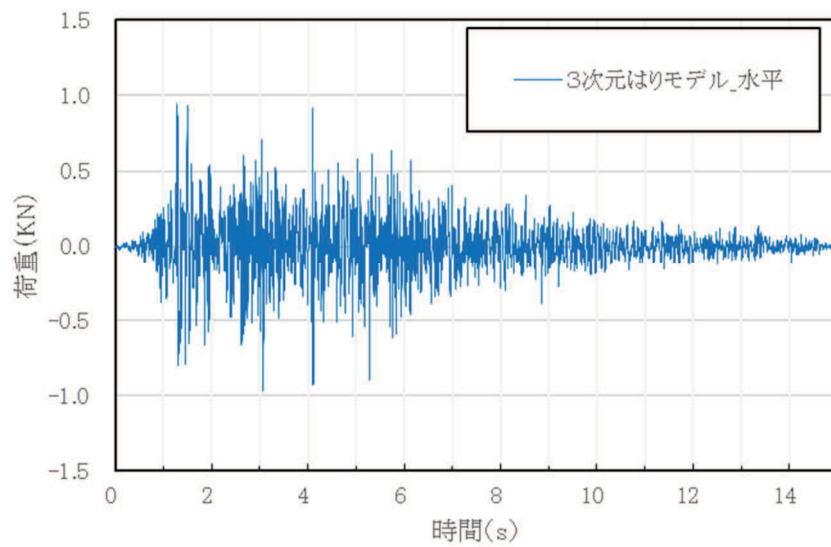
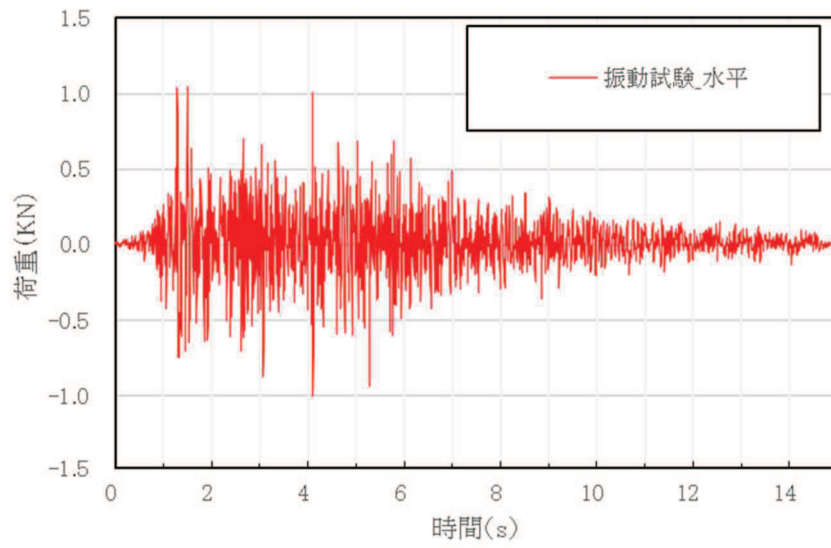


図 22 水平荷重時刻歴 (X 方向) の比較
(振動試験, 3次元はりモデル)

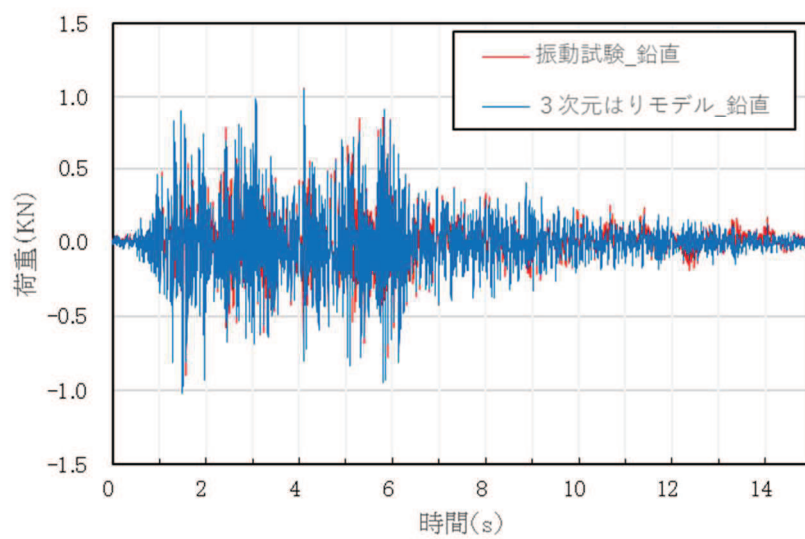
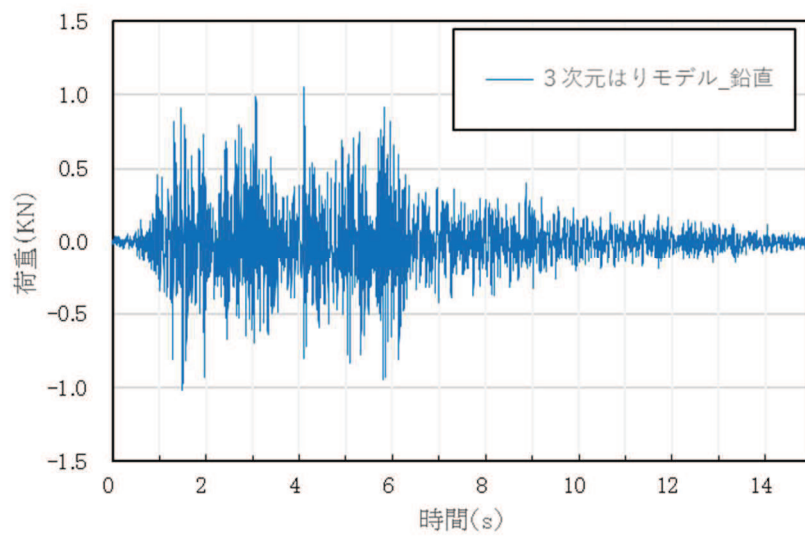
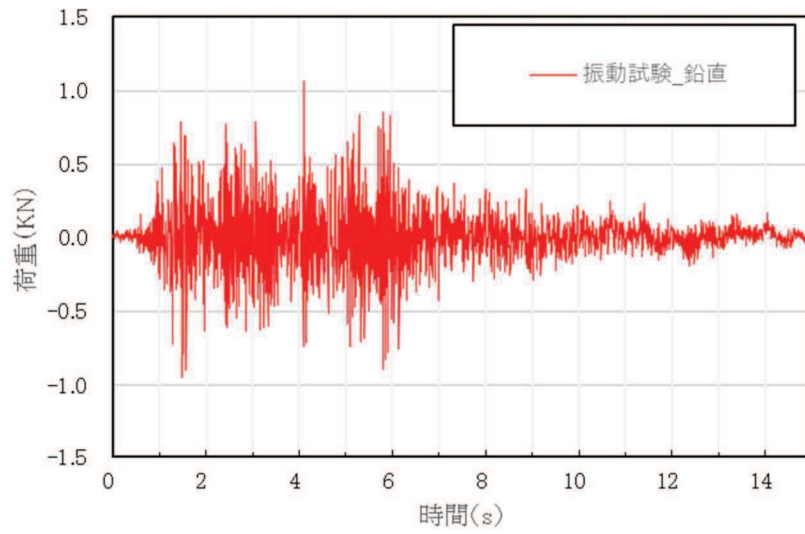


図 23 鉛直荷重時刻歴 (Z 方向) の比較
(振動試験, 3次元はりモデル)

(3) 最大荷重

振動試験で計測された水平荷重及び鉛直荷重の最大値、3次元シェルモデル及び3次元はりモデルによる水平荷重及び鉛直荷重の最大値の比較結果を表11に示す。

振動試験で計測された荷重の最大値に対して3次元シェルモデル及び3次元はりモデルによる荷重の最大値は、水平及び鉛直方向ともにおおむね一致している。また、3次元シェルモデル及び3次元はりモデルによる荷重の最大値は、水平及び鉛直方向ともによく一致している。

ここで、水平方向の荷重の最大値について、地震応答解析（3次元シェルモデル及び3次元はりモデル）が振動試験よりも僅かに小さくなった要因は、振動試験ではスロッシング荷重も含んでいることに対して、地震応答解析はスロッシング荷重を含まず、有効質量による地震荷重のみを評価するためと考えられる。なお、実機の耐震評価では、個別にスロッシング荷重を算出し、地震応答解析に考慮するため、これは実機の耐震評価に影響を与えるものではない。

表13 最大荷重の比較

		①振動試験	②3次元 シェルモデル	③3次元 はりモデル	荷重比		
					②／①	③／①	③／②
最大 荷重 (kN)	水平方向 (X方向)	1.05	0.97	0.97	0.92	0.92	1.00
	鉛直方向 (Z方向)	1.07	1.06	1.06	0.99	0.99	1.00

4.2.3 妥当性確認結果

4.2.2の解析結果から、振動試験と3次元シェルモデルの荷重時刻歴がよく一致しており、最大荷重もおおむね一致していることから、NASTRANによる鉛直方向の圧力は、妥当であることを確認した。また、3次元シェルモデルと3次元はりモデルの荷重時刻歴及び最大荷重がよく一致していることから、サプレッションチェンバに対する耐震評価におけるNASTRANのGuyan縮約法は、妥当であることを確認した。さらに、振動試験と3次元はりモデルの荷重時刻歴がよく一致しており、最大荷重もおおむね一致していることから、NASTRANによる鉛直方向の圧力及びGuyan縮約法は、妥当であることを確認した。

地震応答解析モデルに対するバルジングの影響検討

1. 概要

今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析では、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、他の設備を含めた豊富な適用実績があり、女川2号機と同型炉で既に認可実績のある3次元はりモデルによる動的解析（スペクトルモーダル解析等）を適用する。

本資料では、内部水を有する容器の振動特性に係る既往知見を踏まえ、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析において、サプレッションチェンバ本体をはり要素にてモデル化することの適用性を説明する。

2. 既往知見と耐震設計の考え方

内部水を有する容器の振動特性に係る既往知見として、地震の揺れに伴うスロッシングの他、特に薄肉円筒容器であるたて置円筒容器の振動モードについては、バルジング（ビーム振動及びオーバル振動に分類される）が生じることが知られている。^{*1}

一方、サプレッションチェンバは、トーラス形状容器であり、明確な変形モードの分類・定義を確認できなかったことから、本資料では、表1のとおりたて置円筒容器の振動モードで定義されているバルジングのうちビーム振動及びオーバル振動の分類を参照した。

サプレッションチェンバの耐震設計では、このバルジングに対して、サプレッションチェンバ本体（大円）のビーム振動については、3次元はりモデルを用いた地震応答解析により地震荷重を考慮し、サプレッションチェンバ本体（小円）のオーバル振動については、サプレッションチェンバ内部に設置した64枚の強め輪により断面変形を抑制する設計としている。

また、サプレッションチェンバ内部水のスロッシングについては、地震によるスロッシング荷重を流体解析にて考慮する設計である。（表1、図1参照）

*1 振動試験による円筒形貯水タンクの耐震性評価—動液圧分布の入力加速度依存性について—, INSS JOURNAL, Vol.11, pp.117-128(2004)

表 1 各振動モードに対するサプレッションチェンバの耐震設計

振動モード		振動の特徴	サプレッションチェンバの耐震設計
バルジ ング	ビーム 振動	タンクがあたかも梁 のように振動	サプレッションチェンバ（大円）について、サ プレッションチェンバ内部水を有効質量とし て付加し、3次元はりモデルを用いた地震応答 解析にて地震荷重を評価する。
	オーバル 振動	タンク壁面が花びら 状に変形する振動	サプレッションチェンバ内部に設置した強め 輪（合計 64 枚）にて、サプレッションチェンバ （小円）の断面変形を抑制する。
スロッシング		大きな液面変動を伴 い揺動	地震によるスロッシング荷重を評価する。



図 1 サプレッションチェンバ断面図

3. バルジングに対する影響検討

3.1 検討方針

前項で既往知見を踏まえた振動モードの分類の整理結果を参考に、サブプレッションチェンバの容器構造、強め輪及び内部水がビーム振動及びオーバル振動に与える影響を検討する。

影響検討では、サブプレッションチェンバの断面を簡便に横置円筒容器に模擬した3次元シェルモデルを用いて、サブプレッションチェンバ内部水に対する圧力分布の特徴を考慮した上で、応答解析を行い、振動モード、強め輪の効果及び内部水の影響を定量的に評価する。

3.2 影響検討モデル

地震時のサブプレッションチェンバ内部水の圧力分布は、汎用流体解析コード OpenFOAM で算出した圧力コンター図によれば、各セグメントの範囲で極端な圧力変動が認められないことから、1ベイにおける内部水の圧力による振動影響を考慮することで、サブプレッションチェンバ全体のオーバル振動の傾向を把握できると考えられる。(図2参照)

このため、影響検討に用いるサブプレッションチェンバのモデル化範囲は、評価対象(1ベイ)に両側の1ベイを加えた3ベイの横置円筒容器として、モデル境界部の影響を除外し、シェル要素でモデル化する。(図3, 図4, 図5参照)

なお、強め輪は、建設時の設置条件にてモデル化した。

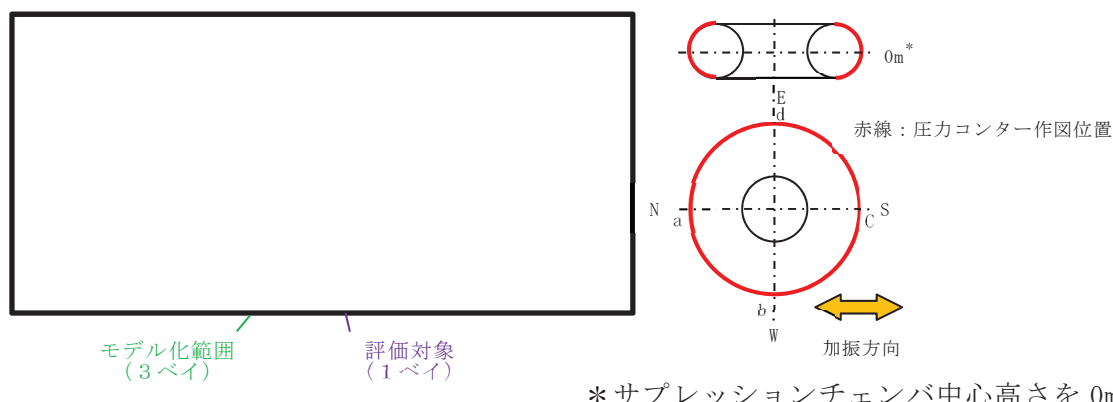


図2 サプレッションチェンバの圧力コンター図*2

(耐震解析用重大事故等水位, $S_s - D1$ (水平方向), 最大圧力発生時点)

*2 女川原子力発電所第2号炉審査資料「女川原子力発電所2号炉 設計基準対象施設について 4条 地震による損傷の防止 別紙—4 サプレッションチェンバ内部水質量の考え方の変更について 参考7 参考7-7図」(02-NP-0272(改114)(令和2年2月7日))を引用



図3 サプレッションチェンバ断面図（平面）

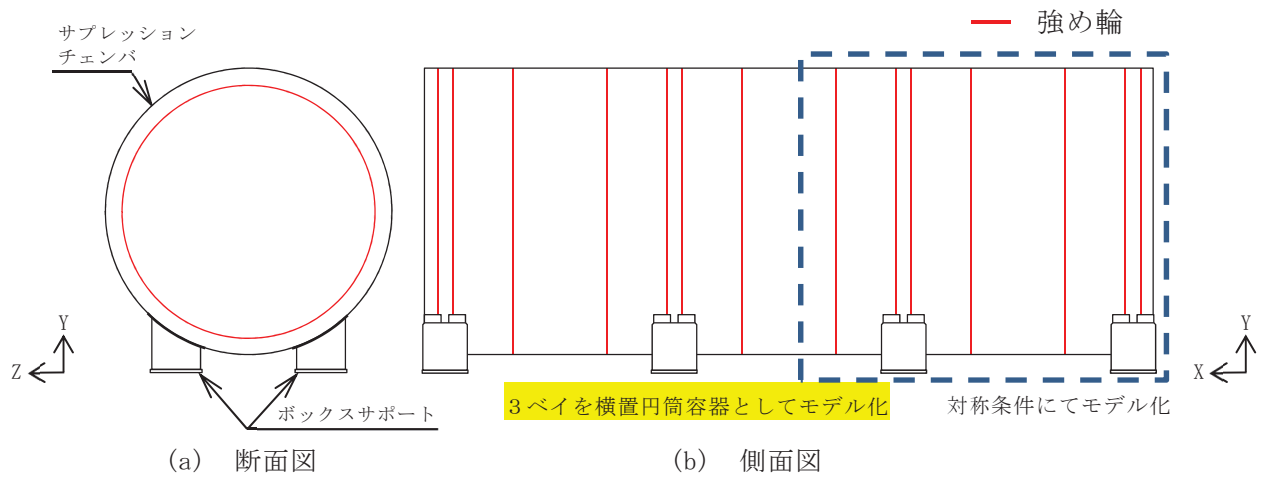


図4 解析モデル概要図

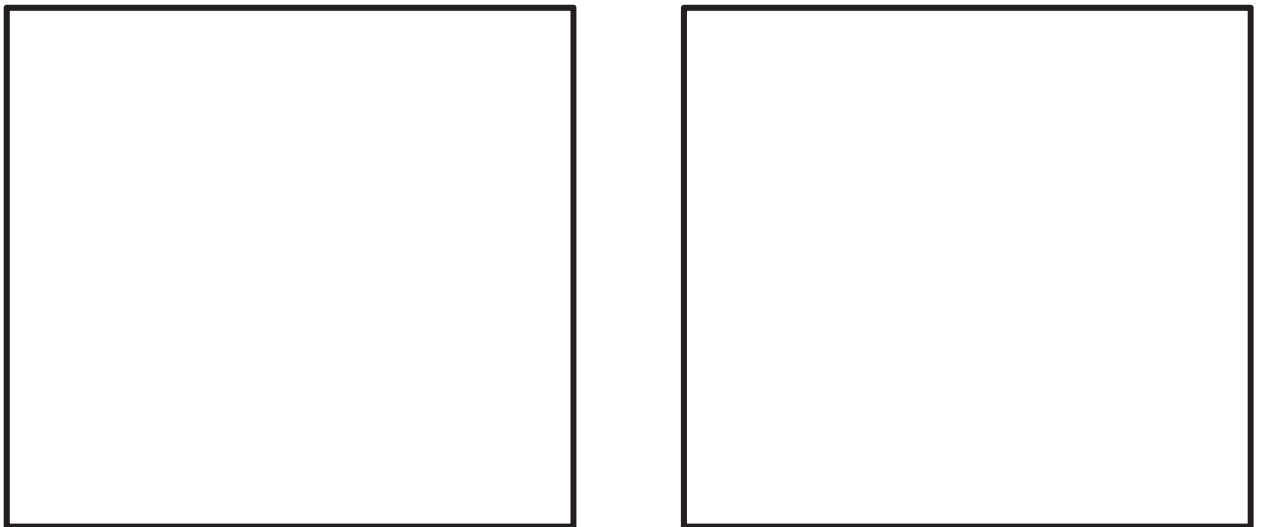


図5 解析モデル図（3ベイを横置円筒容器として対称条件にてモデル化）

3.3 影響検討

影響検討は、強め輪及び内部水の有無をパラメータとして、表2に示す4つの検討ケースとする。なお、内部水の扱いは、サプレッションチェンバの地震応答解析と同様、NASTRANにより有効質量を算出し、NASTRANの機能を用いてシェル要素に付加する。なお、強め輪は建設時の設置条件にてモデル化した。

各検討ケースに対する固有値解析により振動特性を確認するとともに、入力特性による影響を除外するため全周期帯で1Gの応答加速度(1Gフラットスペクトル)を用いたスペクトルモーダル解析によりオーバル振動(花びら状の変形)が応力に与える影響を確認する。

表2 バルジングに対する影響検討

検討 ケース	モデル化条件				解析方法	検討内容
	サプレッション チェンバ	ボックス サポート	強め輪	内部水 (有効質量)		
1	3ベイを横置円筒形容器として3次元シェル要素でモデル化	実機 模擬	なし	なし	<ul style="list-style-type: none"> 応答解析は、NASTRANを用いたスペクトルモーダル解析を実施 内部水の有効質量はNASTRANの仮想質量法により算出 	横置円筒容器の振動モードを確認する
2			あり模擬	なし		ケース1との比較により、強め輪の効果を確認する
3			なし	考慮		ケース1との比較により、内部水の影響を確認する
4			あり模擬	考慮		振動モード、強め輪の効果及び内部水の影響を確認する

3.4 影響検討結果

3.4.1 振動特性

各検討ケースに対する固有値の解析結果について、低次の振動モード（1次～3次）、オーバル振動（花びら状の変形）及びその固有振動数を表3に示す。

各検討ケースにおける低次の振動モードは、強め輪及び内部水の有無によらず、各検討ケースともに同様な傾向にある。

強め輪の効果については、検討ケース1と検討ケース2、検討ケース3と検討ケース4の比較において、強め輪がある場合の低次モードの固有振動数は、内部水の有無によらず、強め輪がない場合に比べて20倍程度高い傾向となっている。また、強め輪がある場合は、その効果によってオーバル振動（花びら状の変形）が高次モード（20Hz以上）まで発生していない。一方、強め輪がない場合は、花びら状の変形モードは認められなかったが、大きな応力を発生させる振動モードが数多く発生している。

内部水の影響については、検討ケース1と検討ケース3、検討ケース2と検討ケース4の比較において、内部水の影響によって低次モードの固有振動数は、強め輪の有無によらず、内部水がない場合よりも低くなり、花びら状に変形する振動モードでは、容器下部に変形が集中する傾向にある。

なお、表3の振動モード図は振動特性を把握するため大きな倍率表示としているが、最大変位を100mmとした検討ケース4の振動モード図を表4に示す。強め輪の効果によって、円筒部の変形が抑制されていることが分かる。

3.4.2 発生応力

各検討ケースに対して水平方向に1Gフラットスペクトルを入力したスペクトルモデル解析による発生応力と鉛直方向に1Gフラットスペクトルを入力したスペクトルモデル解析による発生応力を表5に示す。

強め輪がない場合（検討ケース1及び3）の応力評価については、オーバル振動（花びら状の変形）が30Hz～40Hz（おおむね100次のモードまで確認）までに確認されなかったため、モードの組合せを30Hz～40Hzまでを考慮した。また、強め輪がある場合（検討ケース2及び4）の応力評価では、モードの組合せを20Hzまでとする場合及びオーバル振動（花びら状の変形）を含む振動数までとする場合を考慮した。

発生応力の評価結果、強め輪がない場合は、内部水の有無によらず、水平及び鉛直方向ともに高い応力が発生している。

一方、強め輪がある場合には、内部水の有無によらず、強め輪の効果によって水平及び鉛直方向の発生応力が大幅に低減する傾向が確認される。また、オーバル振動（花びら状の変形）を含む振動数までのモードを組み合わせた場合にも、強め輪の効果によって、水平及び鉛直方向の発生応力が増加しないことが確認された。更に、表6に示す通り、成分別応力（周方向応力、軸方向応力、せん断応力）の通り、各方向の応力割合がほとんど変わらないことから、強め輪の効果で全体的な変形が抑制されることにより発生応力が大幅に低減する傾向となったと考えられる。

表7に示す通り、最大応力発生部位は、ボックスサポート取付部であり、その最大応力を踏まえると、支配的な振動モードは、1次モード（水平）及び2次モード（鉛直）であ

り，小円断面内における変形（3次モード）による応力への寄与は小さい。最大応力発生部位がボックスサポート取付部となる結果は，本文 4.2.4 に示すシェルモデルとの傾向と一致している。また，表 5 のモデル化条件で強め輪がある評価結果に着目した場合オーバル振動を含まない場合（0～20Hz）とオーバル振動を含む場合（0～30 or 40Hz（100次モード程度まで考慮））の発生応力が同等であることから，オーバル振動が発生応力に与える影響が小さいことを確認した。

表 3 振動特性の比較結果

検討ケース		1*1	2*1	3*1	4*2
モデル化条件	強め輪	なし	あり	なし	あり
	内部水	なし	なし	考慮	考慮
振動モード 固有振動数	1次モード				
	2次モード				
	3次モード				
	オーバール振動 (花びら状の変形)				

注記*1：各モード図は、最大変位を 1m として示し、着色は変位コンターを表す。

表 4 振動モード図（検討ケース 4）

加振方向	振動モード図（最大変位 100mm*）		
	鳥瞰図		断面図
	着色：変位コンター	青色：変形前 赤色：変形後	青色：変形前 赤色：変形後
1次			
2次			
3次			

注記*：水平方向の1Gフラットスペクトルを用いた応答変位が40mm程度であることを踏まえ、最大変位を100mmとして表記した。

表 5 発生応力の比較結果

検討ケース		1	2	3	4	
モデル化条件	強め輪	なし	あり	なし	あり	
	内部水	なし	なし	考慮	考慮	
発生応力*1 【MPa】	水平方向	0~20Hz*2	1767	36	5104	105
		0~*2,3	1767	36	5104	105
	鉛直方向	0~20Hz*2	445	10	2129	46
		0~*2,3	445	10	2129	46

*1 1Gフラットスペクトルを用いたスペクトルモーダル解析によるミーゼス応力

*2 応力算出時に考慮する振動数の範囲

*3 強め輪がある場合：オーバル振動（花びら状の変形）を含む振動数（40Hz）

（内部水なし： Hz， 内部水考慮： Hz）

強め輪がない場合：内部水考慮：30Hz，内部水なし：40Hz

表 6 最大発生応力の成分別応力

検討ケース	3				4			
加振方向	強め輪モデル化無し				強め輪モデル化有り			
	ミーゼス応力 (MPa)	成分別応力 (S/C 外面)			ミーゼス応力 (MPa)	成分別応力 (S/C 外面)		
		周方向 σ_t (MPa)	軸方向 σ_l (MPa)	せん断応力 τ (MPa)		周方向 σ_t (MPa)	軸方向 σ_l (MPa)	せん断応力 τ (MPa)
水平方向	5104	5844	2297	127	105	111	40	18
鉛直方向	2129	2440	982	60	46	42	20	10

表 7 応力コンター図 (検討ケース 4)

		応力コンター図	
加振方向		水平方向の応答解析結果 (1 Gフラットスペクトルを入力)	鉛直方向の応答解析結果 (1 Gフラットスペクトルを入力)
1 次			
2 次			
3 次			

注記* : サプレッションチェーン本体の範囲

4. 地震応答解析に係るはりモデルの適用性

前項のバルジングに対する影響検討の結果、サプレッションチェンバ内部に設置された強め輪の効果により、サプレッションチェンバ本体（小円）の剛性が向上して固有振動数が高くなって変形が抑制されるため、地震による発生応力が低減されること及び1次モード（水平方向）及び2次モード（鉛直方向）が支配的な振動モードとなることを確認した。また、強め輪の効果によって、サプレッションチェンバのオーバル振動（花びら状の変形）の影響を十分に抑制できることを確認したことから、サプレッションチェンバ本体をはり要素でモデル化することの適用性があると判断した。

上記検討は、建設時の設置条件で強め輪の効果を確認したものであるが、今回工認では、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、サプレッションチェンバ本体（小円）の更なる剛性向上を目的とした強め輪の補強対策を実施する。

また、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルの設定にあたっては、より詳細に地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素を3次元はりモデルに付加する（詳細は別紙4参照）。

サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性の設定

1. はじめに

今回工認で採用したサプレッションチェンバの地震応答解析モデルは、サプレッションチェンバ本体とボックスサポートをはり要素で模擬し、サプレッションチェンバ本体とサプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性については、ばね要素で模擬することとしている。本資料は、ばね要素の剛性（ばね剛性）の設定方法についてまとめたものである。

2. ばね要素について

サプレッションチェンバは、サプレッションチェンバ大円の内側と外側で1組のボックスサポートが16組で支持する構造となっている。このボックスサポート取付部の1ベイ部分を切り出して、その構造的な質量と剛性の関係を模式的に表した図を図1に示す。

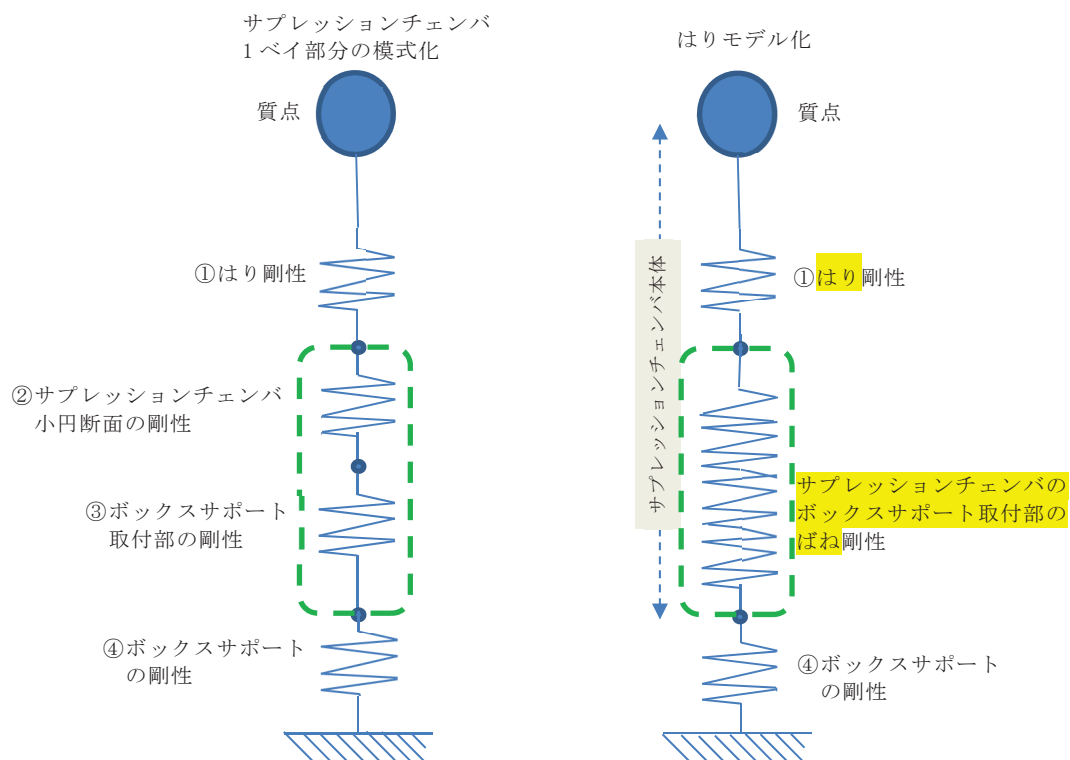


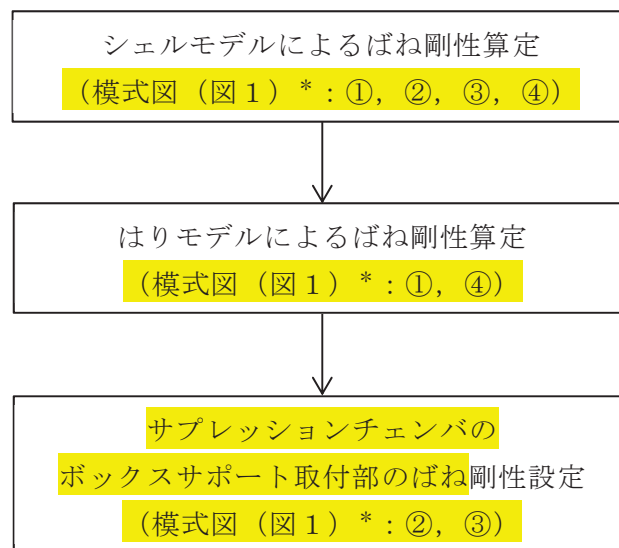
図1 サプレッションチェンバとボックスサポートの質量・剛性模式図

サプレッションチェンバの剛性は、断面変化なしの部分のはり剛性①とサプレッションチェンバ小円断面変形による剛性②に分けて考えることができる。また、サプレッションチェンバのボックスサポート取付部は、はり要素のみでモデル化することが難しい複雑な構造であり局部的に変形するため、これをサプレッションチェンバのボックスサポート取付部の剛性③とすると、サプレッションチェンバの断面変化なしの部分のはり剛性①、ボックスサポートの剛性④をはり要素とし、これを接続する部分（②及び③）をばね要素としてモデル化すれば、実際の挙動に近い地震応答値を求めることができる。サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性は、この②及び③に相当する部分を模擬することを目的としている。

なお、ボックスサポートはサプレッションチェンバの胴エビ継手部に配置されており、胴エビ継手部両側のトラス部の中心軸が交わっているため、ボックスサポート取付部のサプレッションチェンバの断面変形の態様は複雑である。このことから、ばね要素は、並進3方向及び回転3方向の合計6成分すべてについて考慮することとした。

3. サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性の設定手順

ばね剛性の設定にあたっては、サプレッションチェンバおよびボックスサポートをシェル要素でモデル化してサプレッションチェンバ及びボックスサポート全体の剛性（前述の模式図でいえば①，②，③，④）を評価し、おなじ範囲をはり要素でモデル化して評価した剛性（前述の模式図でいえば①，④）を差し引くことによって行うこととした。設定手順を図2に示す。



注記*：各番号は、以下の剛性を表すものである。

- ①はり剛性
- ②サプレッションチェンバ小円断面の剛性
- ③サプレッションチェンバのボックスサポート取付部の剛性
- ④ボックスサポートの剛性

図2 サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性の設定手順

4. シェルモデルによるばね剛性算定

(1) シェルモデルについて

評価対象となるボックスサポート1組とボックスサポートが取り付くサプレッションチェンバをモデル化するにあたり、サプレッションチェンバ円筒部16セグメントのエビ継手部にボックスサポートがサプレッションチェンバ大円の内側と外側に1組配置されている対称構造であることを踏まえ、モデル化の範囲は、評価対象のボックスサポート1組を中心として、その両側ボックスサポートまでとし、シェル要素でモデル化する。両端のエビ継手部の拘束条件は対称条件とし、評価対象ボックスサポートの両隣接ボックスサポート定着部は完全拘束条件として、評価対象のボックスサポートに与える荷重とそこから得られる変位から、ばね剛性を算定することとした。モデル図を図3に示す。

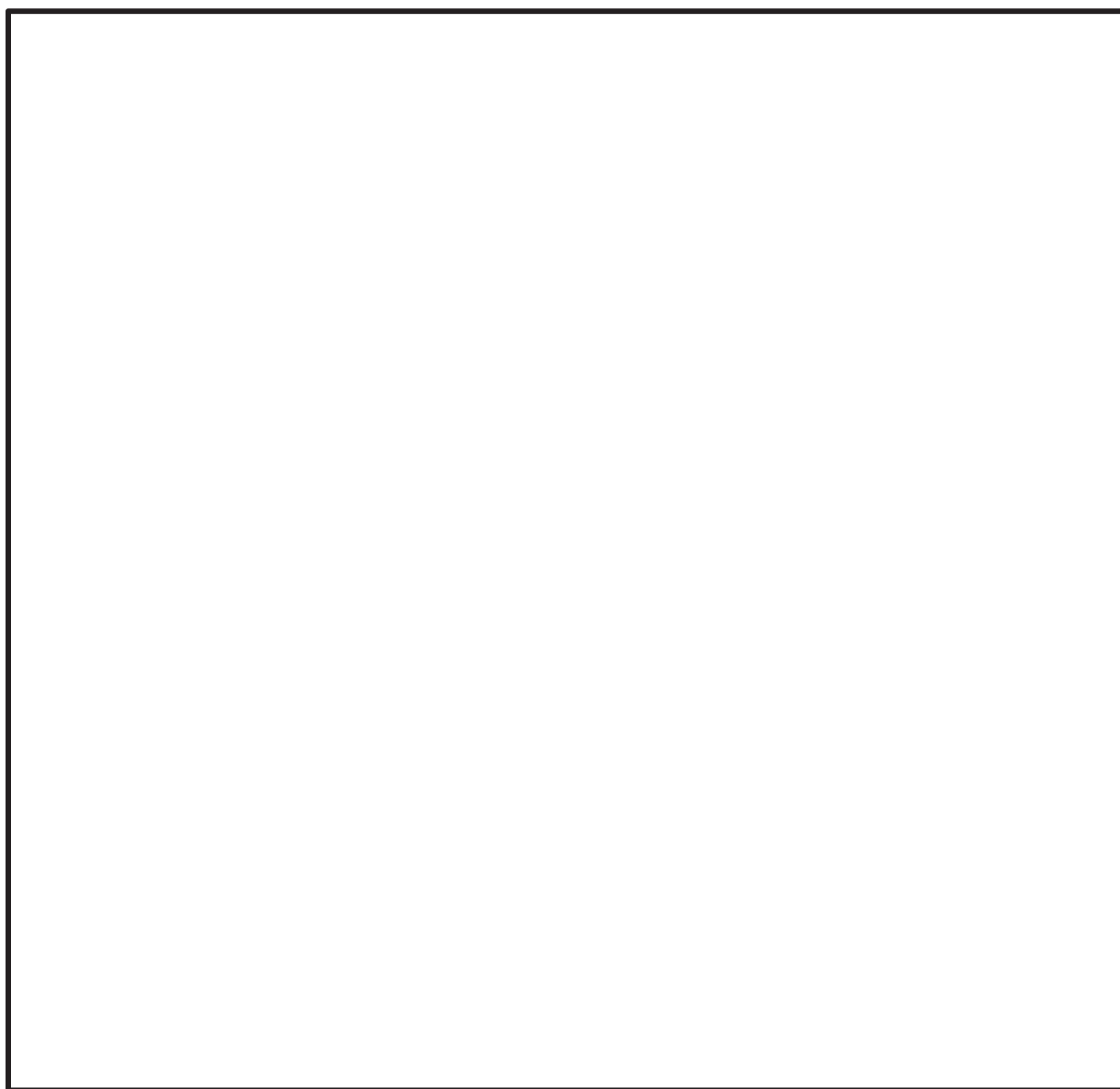


図3 サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性算定用シェルモデル

(2) ばね剛性算定方法

ばね剛性算定のための具体的な方法を以下に説明する。

まず、並進ばね剛性のうち、サプレッションチェンバ大円半径軸およびサプレッションチェンバ大円周軸の並進ばね剛性については、サプレッションチェンバ本体取付部（ボックスサポート上端面）に設定した剛体要素の中心に荷重を負荷し、得られた剛体要素四隅の変位の平均値と荷重の関係から、ばね剛性を算定した。

上下軸の並進ばね剛性及び回転ばね剛性については、ボックスサポート下端面に設定した剛体要素の中心に荷重を負荷し、上下軸の並進ばね剛性については、得られた剛体要素四隅の変位の平均値と荷重の関係から、ばね剛性を算出した。回転ばね剛性については、荷重負荷前後での荷重負荷に用いた剛体要素四隅の回転角の平均値と荷重の関係から、ばね剛性を算出した。各軸のばね剛性算出方法を図4に示す。

ばねの成分		部分シェルモデルの荷重, モーメント作用点	ばね定数の算出方法
並進	大円半径軸 (X)		
	大円円周軸 (Y)		
	上下軸 (Z)		
回転	大円半径軸回り (X)		
	大円円周軸回り (Y)		
	上下軸回り (Z)		

注記* : 並進方向 (大円半径軸及び大円円周軸) では,

図 4 シェルモデルによる各軸のばね剛性算定方法

5. はりモデルによるばね剛性算定

(1) はりモデルについて

4. で説明したシェルモデルと同じ範囲でモデル化を行った。境界条件もシェルモデルと同様とした。モデル図を図 5 に示す。

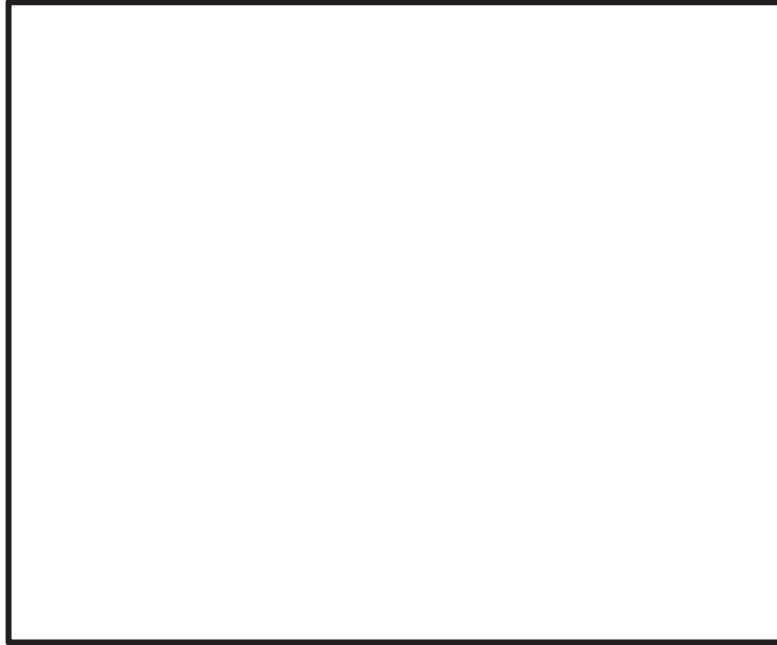


図 5 ばね剛性算定用はりモデル

(2) ばね剛性算定方法

ばね剛性算定のための具体的な方法を以下に説明する。

まず、並進ばね剛性のうち、サプレッションチェンバ大円半径軸およびサプレッションチェンバ大円周軸の並進ばね剛性については、ボックスサポート上端面（節点 ）に荷重を負荷し、変位についても荷重負荷点と同じボックスサポート上端面を用いるものとし、それら荷重と変位の関係から、ばね剛性を算定した。

上下軸の並進ばね剛性及び回転ばね剛性については、ボックスサポート下端面（節点 ）に荷重を負荷した。上下軸並進ばね剛性を変位については、荷重負荷に用いたボックスサポート下端面の変位を用いてばね剛性を算出した。回転ばね剛性については、ボックスサポートの上端面（サプレッションチェンバ取付面）の変位を用いてばね剛性を算出した。各軸のばね剛性算出方法を図 6 に示す。

ばねの成分		部分はりモデルの荷重, モーメント作用点	ばね定数の算出方法
並進	大円半径軸 (X)		
	大円円周軸 (Y)		
	上下軸 (Z)		
回転	大円半径軸回り (X)		
	大円円周軸回り (Y)		
	上下軸回り (Z)		

図6 はりモデルによる各軸のばね剛性算定方法

6. サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性設定

4. 及び 5. の方法で算定したばね剛性から、サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性（以下、 K とする）を設定した。3. で述べたとおり、シェルモデルにより算定したばね剛性（以下、 KS とする）は、 K とはりモデルにより算定したばね剛性（以下、 KB とする）を組み合わせた剛性と解釈できる。それを式で表すと以下の通りとなる。

$$\frac{1}{KS} = \frac{1}{K} + \frac{1}{KB}$$

この式から K を求めると以下の通りとなる。

$$K = \frac{KS \times KB}{KB - KS}$$

7. サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性設定結果

4. ～6. の結果を表 1 に示す。既工認実績があるサプレッションチェンバ地震応答解析モデルにおいては、サプレッションチェンバ本体をはり要素でモデル化し、ボックスサポート位置を大円半径方向を除き拘束していた。今回工認のサプレッションチェンバ地震応答解析モデルでは、表 1 のサプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性を設定することにより、従来モデルに比べ、振動モードが精緻化されたものとする。

表1 サプレッションチェーンバのボックスサポート取付部のばね剛性設定結果

ばねの方向		内側ボックスサポート 又は 外側ボックスサポート	ばね定数（並進：N/mm，回転：N・mm/rad）			
			はりモデル KB (図1 ①, ④) *1	シェルモデル KS (図1 ①, ②, ③, ④) *1	比率 KB/KS	ボックスサポート 取付部のばね剛性 K (図1 ②, ③) *1
並進	大円半径方向	内側				
		外側				
	大円円周方向	内側				
		外側				
	上下方向	内側				
		外側				
回転	大円半径軸回り	内側				
		外側				
	大円円周軸回り	内側				
		外側				
	上下軸回り	内側				
		外側				

注記 *1：各番号は、以下の剛性を表すものである。

①はり剛性

②サプレッションチェーンバ小円断面の剛性

③サプレッションチェーンバのボックスサポート取付部の剛性

④ボックスサポートの剛性

*2：式に則り K を算出すると、 という値となるが、これは、当該ばねについては、KB と KS との比率が約 であり、両者が同等の値となっているため、誤差によって生じているものである。当該ばねについては、はりモデルでもばね剛性が表現できているものと判断し、解析の設定としては とした。

8. まとめ

サプレッションチェンバの地震応答解析モデルについては、サプレッションチェンバ本体とボックスサポートをはり要素でモデル化し、サプレッションチェンバのボックスサポート取付部にばね剛性をモデル化することとした。サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性の設定に当たっては、その複雑な変形様態に対応するため、シェルモデルとはりモデルを活用して、ばね剛性を設定した。サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性を設定することにより、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルが、従来と比較し、より精緻に振動モードを再現できるようになった。

(補足)

ばね算定用解析モデルのモデル化範囲について

今回サブプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性を設定するにあたり、シェルモデル及びはりモデルを用いた。評価対象ボックスサポートに荷重を加えて変形を起こさせることでサブプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性を算定するが、荷重負荷点と解析モデルの境界条件が近いと、算定しようとしているサブプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性に対して、境界条件の影響が及ぶ懸念がある。そのため、モデル化の範囲は、境界条件の影響が及ばない範囲として、評価対象ボックスサポートとその隣接ボックスサポートまでをモデル化することとした。ばね剛性算定解析の変形コンター図を図1に示す。図のとおり、変形範囲と境界条件が離れていることがわかる。

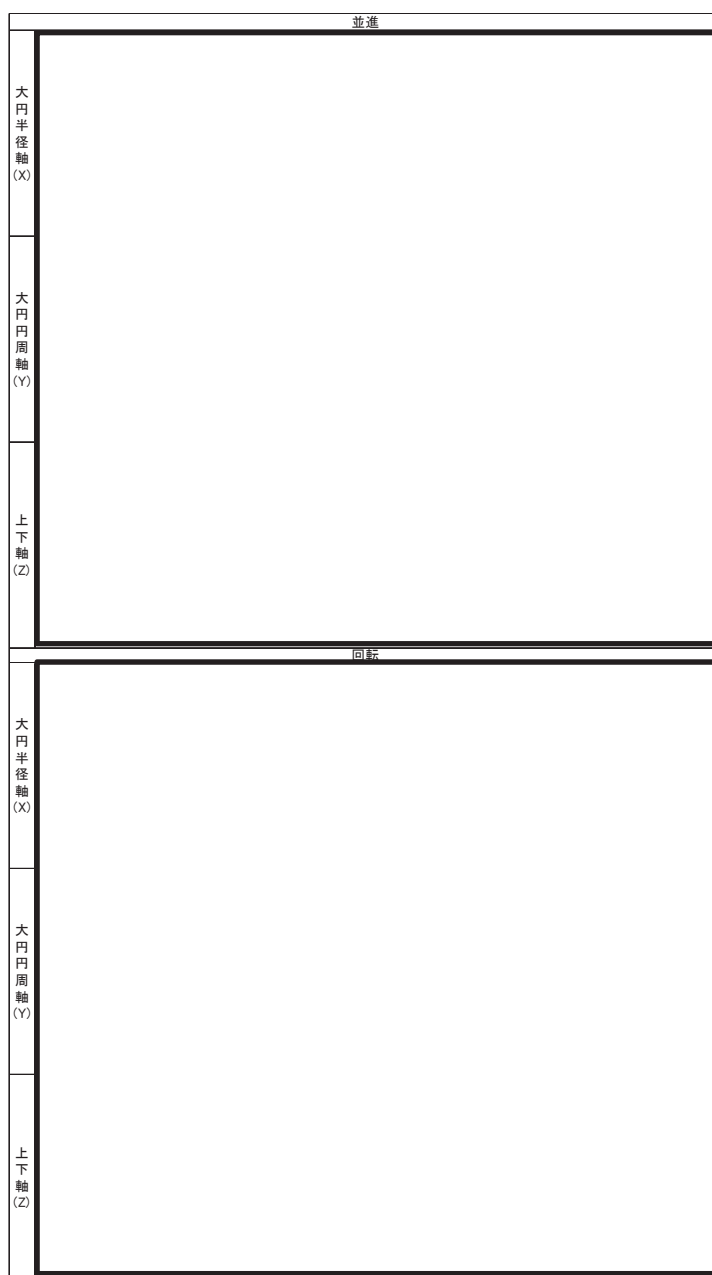


図1 ばね剛性算定解析 変形図

妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の設定

1. 概要

本資料では、3次元はりモデルの妥当性検証に用いた妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の評価条件やモデル化の詳細を示すものである。

2. 評価条件

表1 評価条件

項目		内容
モデル化	要素数	
	鋼製部	シェル要素：サプレッションチェーンバ本体，強め輪（耐震補強対策含む），ボックスサポート（耐震補強対策含む）* 剛ばね要素：基礎ボルト *内側のボックスサポートのパッド（追加（2））については，シェルのメッシュ形状に合わせて簡便にモデル化を行っている。
	内部水	・耐震解析用重大事故時水位（O.P. -1, 514mm） ・NASTRANの仮想質量法を適用（本文4.1.1項の手法と同様）
地震応答解析	解析手法	スペクトルモーダル解析
	地震力	設計用床応答曲線 （O.P. -8, 100mm，基準地震動S s 7波，材料物性の不確かさ等を考慮）*
	減衰定数	1%
応力評価		1次＋2次応力

注記*：VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針の設計用床応答曲線（図番：RB-SsH-RBB3-010）を適用

3. 解析モデル



図1 解析モデル図

4. モデル化諸元

表2 モデル化諸元

部材番号	部材	材料	質量 ($\times 10^3$ kg)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)
1	強め輪	SGV49	1300		
2	強め輪	SGV49			
3	ボックスサポート	SM41B			
4	強め輪補強	SGV480			
5	連結板	SGV480			
6	パッド	SGV49			
7	パッド(追加(1))	SGV480			
8	パッド(追加(2))	SGV480			
9	補強リブ(1)	SGV480			
10	補強リブ(2)	SGV480			
11	補強リブ(3)	SGV480			
12	サブプレッションチェーンバシエル	SGV49			
13	フランジプレート	SM41B			

5. サプレッションチェンバの構造図及び詳細モデル図

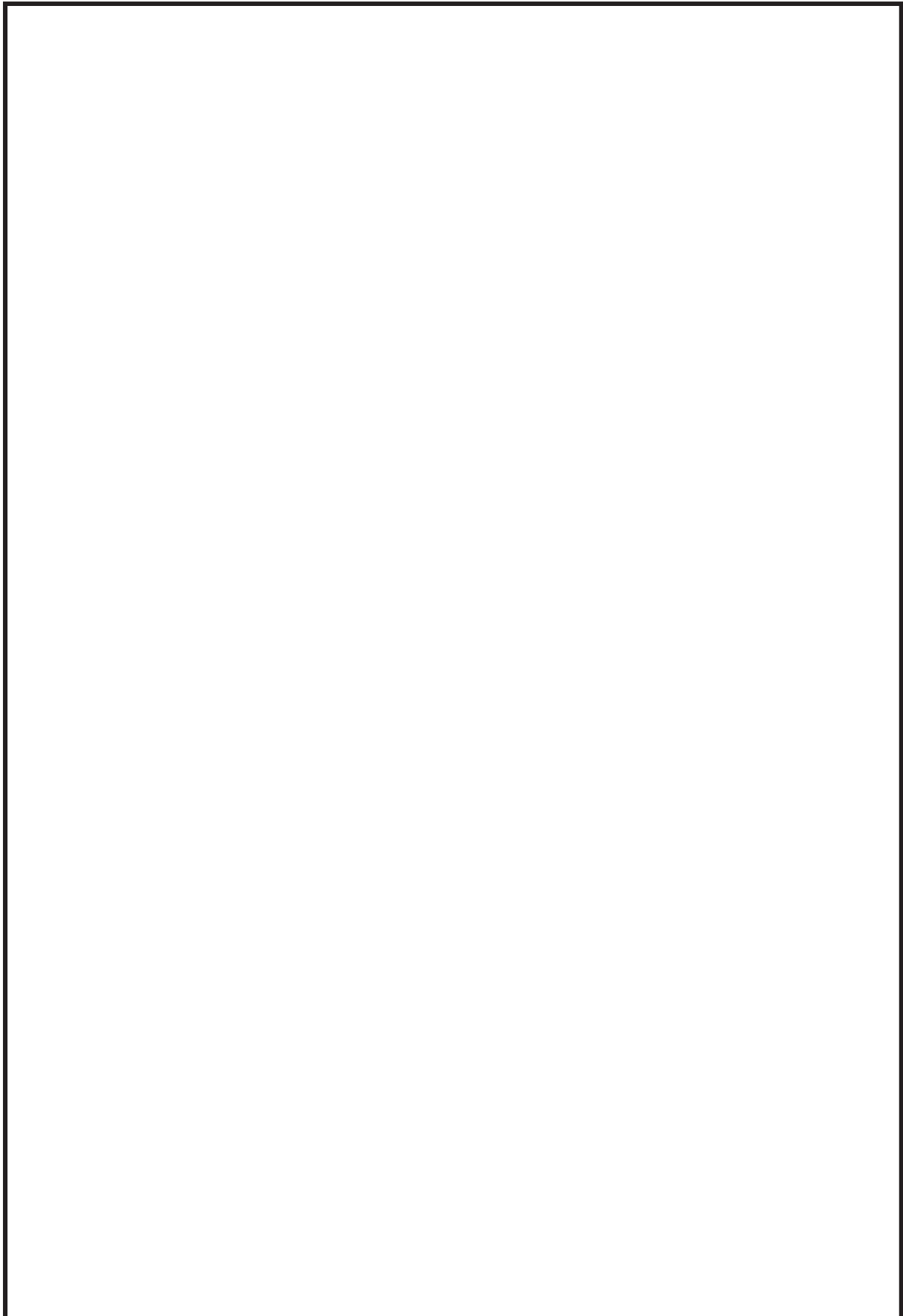


図2 サプレッションチェンバの構造図

別紙 5-3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

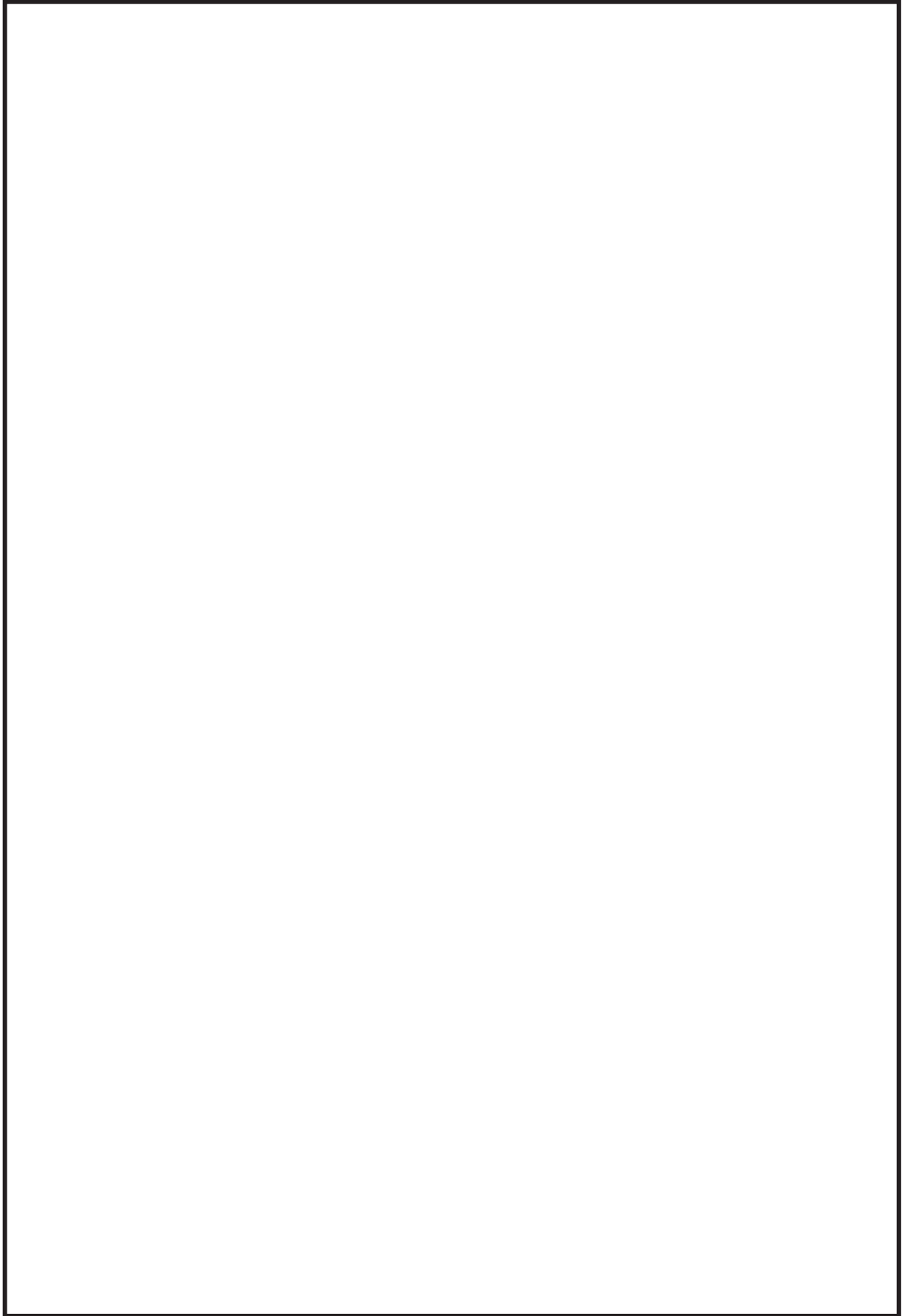


図3 サプレッションチェーンバの詳細モデル図

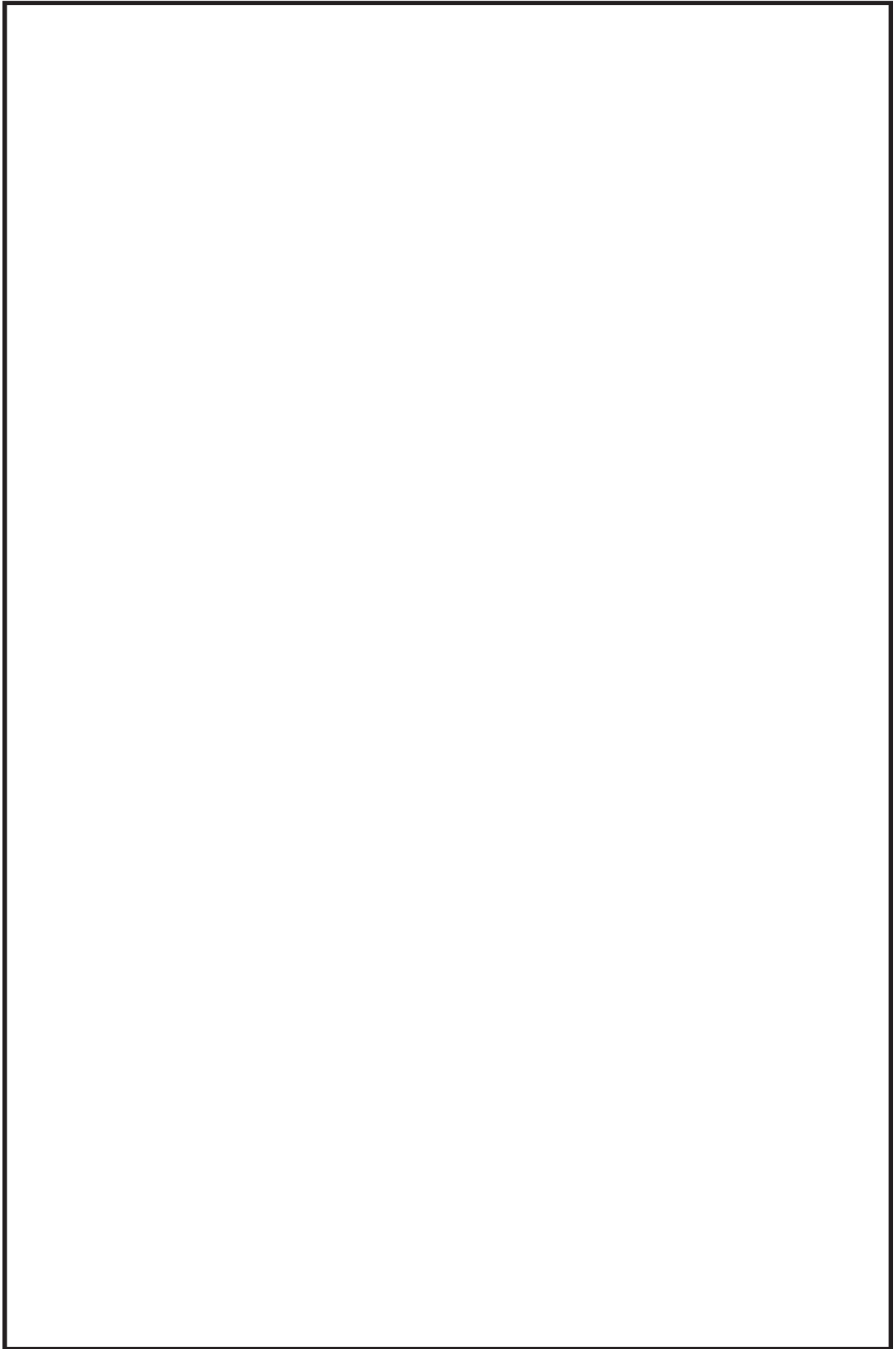


図4 ボックスサポートの詳細モデル図

サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重の算定

1. 概要

耐震評価における構造物の内部水の考え方としては、たて置円筒容器などでハウスナーの手法が一般的に採用されている。

本資料では、ハウスナーの手法^[1]の考え方をういてサプレッションチェンバの内部水の扱いについて説明する。

また、汎用流体解析コード OpenFOAM を用いたスロッシング荷重の算定方法について説明する。

2. ハウスナーの手法による内部水の考え方

たて置円筒容器の内部水の地震時の挙動の概念について、図 1 に示す。水平方向の地震動に対する内部水の挙動としては、液面表面が揺れることによるスロッシング荷重と内部水が容器と一体となって振動することによる荷重（以下、有効質量による荷重という。）の 2 つの荷重が組み合わされる。

ハウスナーの手法では、有効質量による荷重として付加される質量 M_E （有効質量）を剛体として、スロッシング荷重として付加される質量 M_i とスロッシングの固有周期を考慮したバネを容器に結合した解析モデルにて、耐震評価を行い容器に対する荷重を計算する。

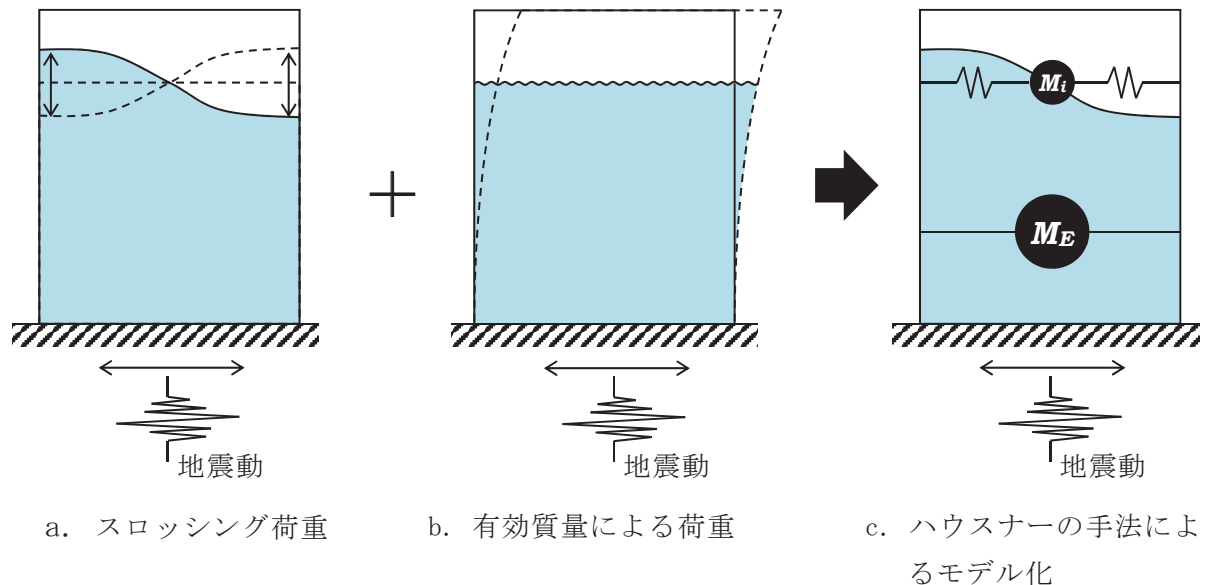


図 1 たて置円筒容器の内部水の地震時の挙動の概念

参考文献 [1] : Housner, G. W. : Nuclear Reactors And Earthquakes, TID Rep. 7024, 1963.

3. サプレッションチェンバの内部水の扱い

地震時のサプレッションチェンバに対する荷重を算出する場合のサプレッションチェンバの内部水の扱いについて、水平方向及び鉛直方向に分けて説明する。

水平方向の地震動によるサプレッションチェンバに対する地震荷重は、有効質量による荷重及びスロッシングによる荷重に分けて評価する。

有効質量による荷重は、NASTRANの仮想質量法から算出される有効質量を用いて、地震応答解析モデルに付加質量 M_E として設定し、はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析により算出する。ここで、この地震応答解析モデルでは、スロッシング荷重として付加される質量 M_i とバネは考慮しない。

一方、スロッシング荷重は、前述の地震応答解析とは別に、実機サプレッションチェンバの内部構造物及び内部水の全質量（水位）を考慮し、流体解析（汎用流体解析コード OpenFOAM）により算出する。ここで、流体解析を用いて地震時の内部水によるサプレッションチェンバに対する荷重を算出する場合、スロッシング荷重及び有効質量による荷重の総和 F として算出される。このため、荷重の総和 F から有効質量による荷重を差し引くことでスロッシング荷重を算出する。

鉛直方向の地震動によるサプレッションチェンバに対する地震荷重は、地震応答解析モデル上、内部水の全質量を考慮し、はりモデルを用いて算出する。

4. 実機スロッシング荷重の算定方法

流体解析を用いたスロッシング荷重の算出方法について、通常運転時及び重大事故等時における算定方法を説明する。

4.1 解析モデル

解析モデルを図2に、解析諸元を表1に示す。



a. 外観



b. 内部構造物

図2 解析モデル図

表1 解析諸元

項目	解析諸元
格子数	約 1200 万
格子幅	約 0.1cm～22cm

4.2 解析条件

解析条件を表 2、基準地震動 S_s におけるサブプレッションチェンバ設置床の応答加速度スペクトルを図 3 に示す。

表 2 解析条件

項目	内容
モデル化範囲	サブプレッションチェンバ内
水位	通常運転水位 (H. W. L : O. P. -3, 800) 耐震解析用重大事故等時水位 (真空破壊装置下端水位 : O. P. -1, 514) * ¹
評価用地震動	スロッシング荷重の卓越周期帯で応答加速度が大きい基準地震動 $S_s - D 1$ (水平方向と鉛直方向) * ² に対する原子炉建屋 O. P. -8. 100m における建屋床応答
解析コード	OpenFOAM Ver. 4.1 (汎用流体解析コード) VOF 法を用いた流体解析
その他	内部構造物のモデル化範囲 : 強め輪, ベントヘッダ, ダウンカマ, T-クエンチャ及びその配管, ECCS ストレーナ取付配管
解析条件	気相物性* ³ 動粘度 : $1.51 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 密度 : $1.205 \text{ kg}/\text{m}^3$ 液相物性* ³ 動粘度 : $1.0038 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 密度 : $998.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 境界条件 : 全境界面で不透過滑りなし条件

注記*1 : 重大事故等時水位よりも高い水位

*2 : 別紙 15 における地震動による影響検討結果においても $S_s - D 1$ の条件でスロッシング荷重が最大となることを確認している。

*3 : 理科年表 (20°C, 1 気圧の値)

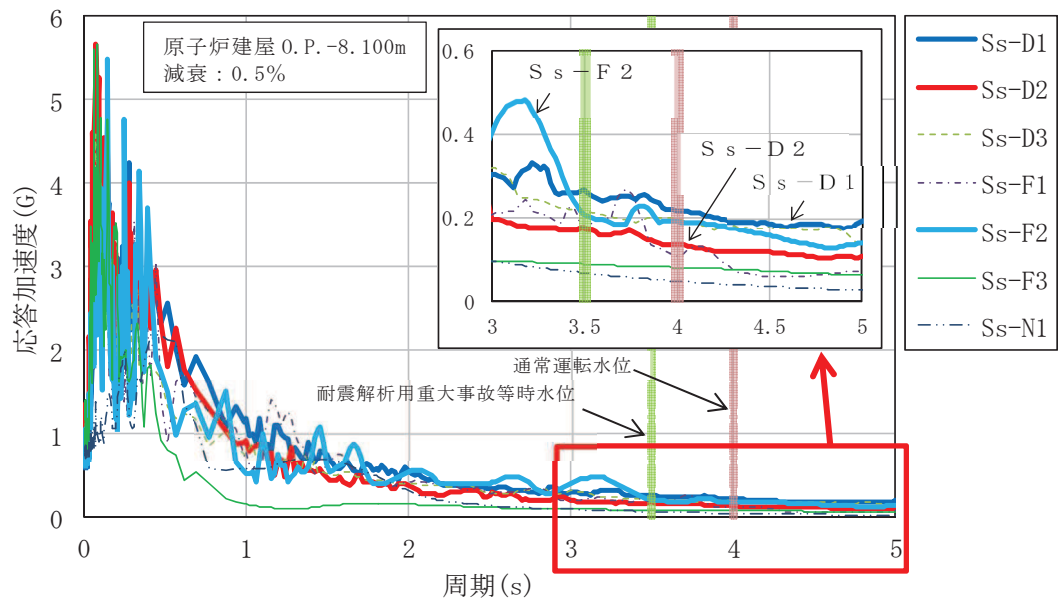


図 3 サプレッションチェンバ設置床の応答加速度スペクトル（水平方向，振幅無し）

4.3 スロッシング荷重算定

4.3.1 スロッシング荷重算定方法

流体解析で算出される荷重 F は、スロッシング荷重 F_s 及び有効質量による荷重 $M_E \cdot \ddot{x}$ の和であることから、スロッシング荷重 F_s は、下式で表される。

$$F_s = F - M_E \cdot \ddot{x}$$

ここで、

M_E : 有効質量

\ddot{x} : 入力加速度

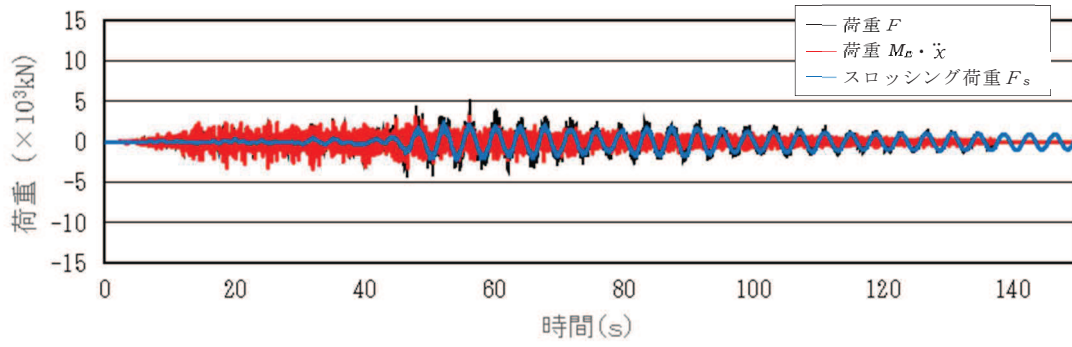
なお、有効質量の算出においては、荷重時刻歴波形について 0.4Hz のハイパスフィルター処理を行い、スロッシング荷重の卓越周期の成分を取り除いている。(流体解析による有効質量の算出方法は、別紙 1 2.2.3 参照)

4.3.2 スロッシング荷重算定結果

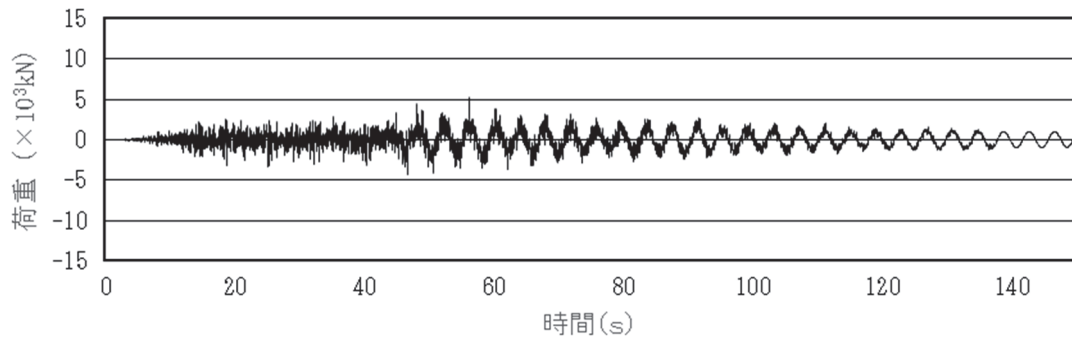
流体解析で算定した荷重 F 、有効質量による荷重 $M_E \cdot \ddot{x}$ 、スロッシング荷重 F_s の各荷重の時刻歴を図 4~5 に、スロッシング荷重による最大荷重及びスロッシング荷重算定における有効質量比を表 3 に、流体解析で算出した荷重 F のフーリエスペクトル (S s - D 1, 通常運転水位及び耐震解析用重大事故等時水位) を図 6~7 に、フーリエスペクトルから求めたスロッシングの卓越周期を表 4 に示す。また、スロッシング解析結果例 (S s - D 1, 耐震解析用重大事故等時水位, 最大荷重発生時刻付近 (52 秒時点)) を図 8 に示す。

スロッシング荷重は、耐震解析用重大事故等時水位で $3.21 \times 10^3 \text{kN}$ 、通常運転水位で $2.50 \times 10^3 \text{kN}$ となり、それらを包絡する $4.00 \times 10^3 \text{kN}$ を耐震評価で用いるスロッシング荷重とする。

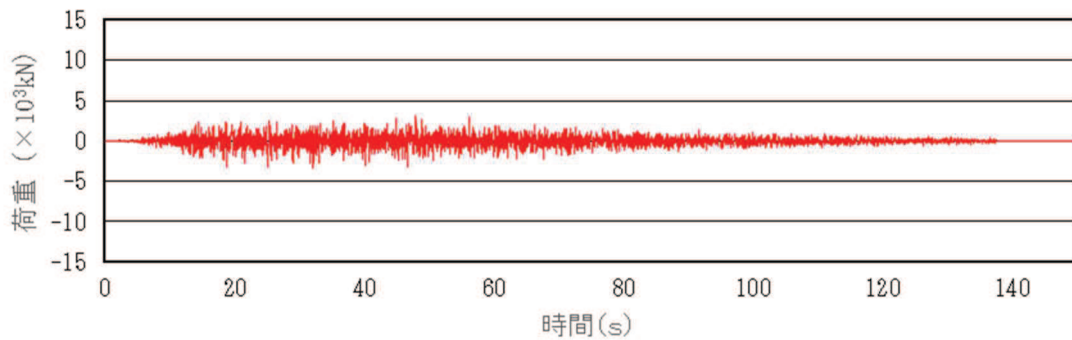
通常運転水位に対する有効質量比は仮想質量法の 0.24 に対して 0.22、耐震解析用重大事故等時水位に対する有効質量比は仮想質量法の 0.33 に対して 0.32 であり、仮想質量法の方が保守的に算定されることを確認した (別紙 1 参照)。



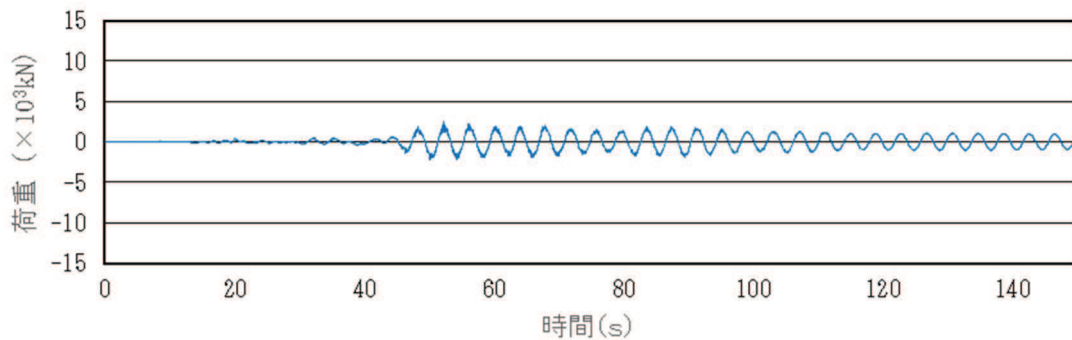
(a) 各荷重の重ねがき



(b) 荷重 F

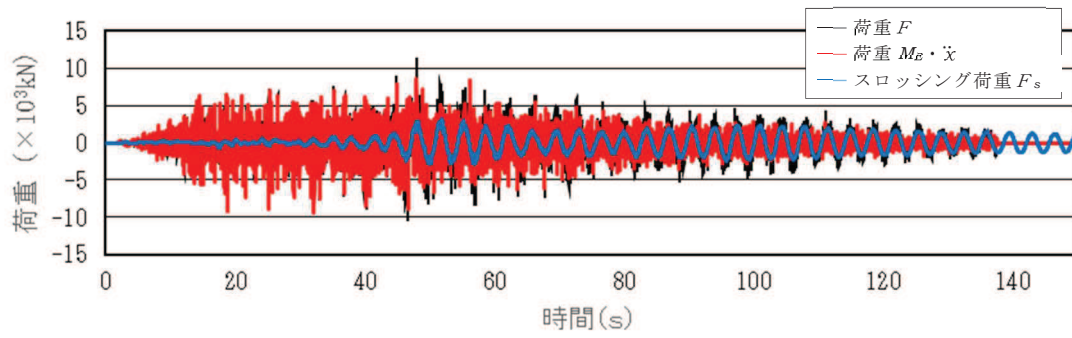


(c) 荷重 $M_E \ddot{x}$

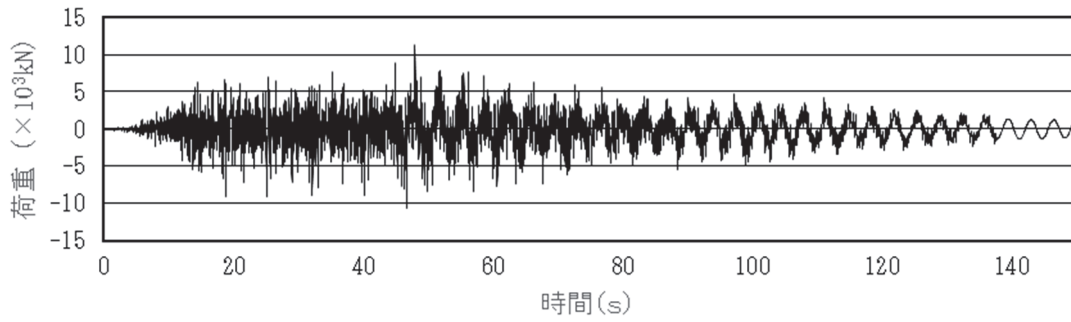


(d) スロッシング荷重 F_s

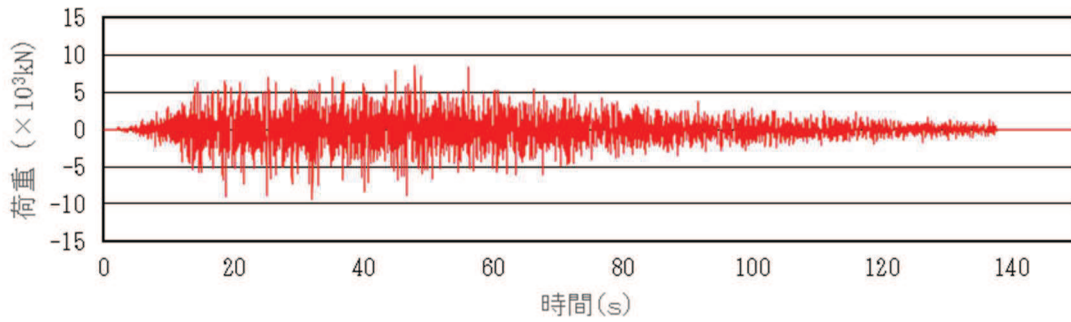
図4 各荷重の時刻歴(S s - D 1, 通常運転水位)



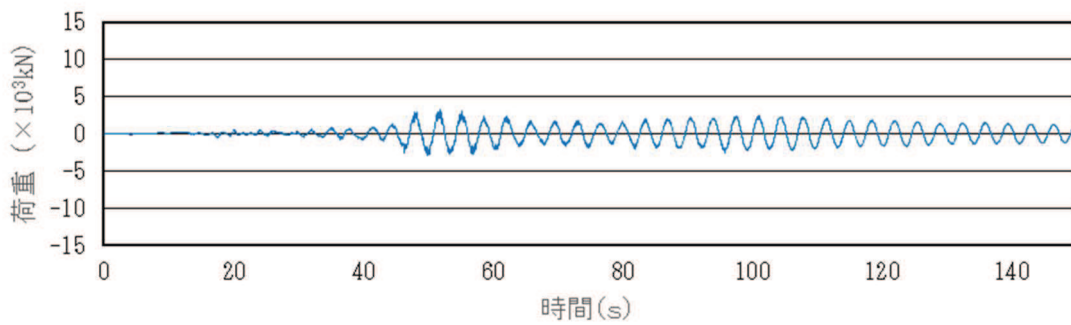
(a) 各荷重の重ねがき



(b) 荷重 F



(c) 荷重 $M_E \ddot{x}$



(d) スロッシング荷重 F_s

図5 各荷重の時刻歴 (S s - D 1, 耐震解析用重大事故等時水位)

表3 スロッシング荷重及び
スロッシング荷重算定における有効質量比

地震動	水位条件	最大荷重 (× 10 ³ kN)	有効質量比
S s - D 1	通常運転水位	2.50	0.22
S s - D 1	耐震解析用 重大事故等時水位	3.21	0.32

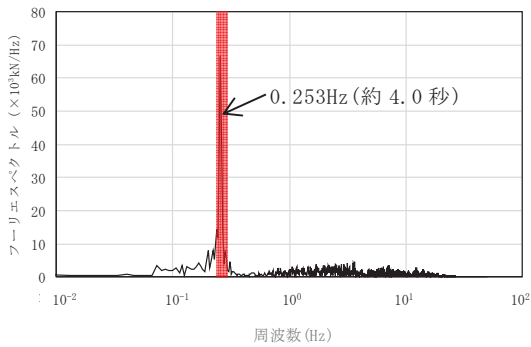


図6 フーリエスペクトル
(S s - D 1, 通常運転水位)

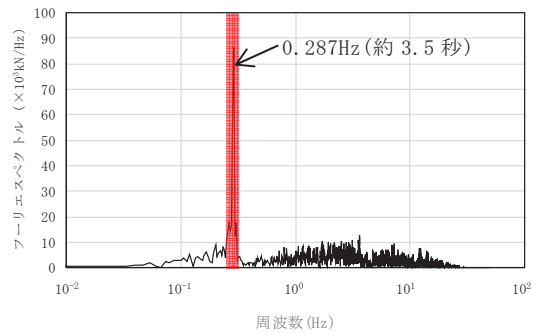
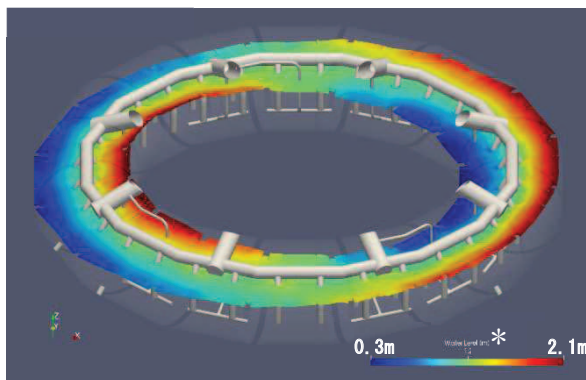


図7 フーリエスペクトル
(S s - D 1, 耐震評価用重大事故等時水位)

表4 スロッシングの卓越周期

水位条件	卓越周期 (s)
通常運転水位	約 4.0 秒
耐震解析用重大事故等時水位	約 3.5 秒



* 色の違いは、水面高さの違いを表す。
また、高さは、サプレッションチェンパ
シエル中心位置を 0mとしたものを表し
ており、初期水位は、約 1.2mである。

図8 スロッシング解析結果例
(S s - D 1, 耐震解析用重大事故等時水位, 最大荷重発生時刻付近)

計算機コード (NASTRAN, OpenFOAM) の概要

1. はじめに

本資料は、汎用解析プログラム NASTRAN 及び汎用流体解析コード OpenFOAM の解析コードについて説明するものである。

2. 使用した解析コードの概要

(1) NASTRAN

NASTRAN は、サプレッションチェンバの構造をモデル化し、構造表面（接水面）における流体-構造の運動方程式を解析する。

(2) OpenFOAM

OpenFOAM は、サプレッションチェンバ内の空間をモデル化し、流体の流れを VOF (Volume Of Fluid) 法により解析する。

(1) NASTRAN

解析コードの概要

<p>項目 \ コード名</p>	<p>MSC NASTRAN</p>
<p>使用目的</p>	<p>3次元有限要素法（シェル要素）による有効質量の算定</p>
<p>開発機関</p>	<p>MSC Software Corporation</p>
<p>開発時期</p>	<p>1971年</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>2012, 2016</p>
<p>コードの概要</p>	<p>有限要素法を用いた MSC NASTRAN は、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は 1965 年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時 NASA (The National Aeronautics and Space Administration) で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラム Nastran (NASA Structural Analysis Program) と命名され、1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation から MSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証は以下のとおり実施済みである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ サプレッションチェーンパの模擬試験体による振動試験により算定された有効質量比と NASTRAN による 3次元有限要素法（シェル要素）及び仮想質量法 (Virtual Mass Method) により算定された有効質量比が一致することを確認している。 ・ 本コードの適用条件について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 検証の体系と今回の解析体系とが同等であることから、検証の結果をもって、解析の妥当性が確認できる。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<ul style="list-style-type: none">開発機関が提示するマニュアルにより、3次元有限要素法（シェル要素）及び仮想質量法（Virtual Mass Method）による有効質量算定に本解析コードが適用できることを確認している。
---	---

1. 概要

有限要素法を用いた MSC NASTRAN は、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は 1965 年、現在の米国 MSC Software Corporation の前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者、マクニール博士とシュウェンドラー博士が、当時 NASA (The National Aeronautics and Space Administration) で行われていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参加したことに始まる。そこで作成されたプログラム Nastran (NASA Structural Analysis Program) と命名され、1971 年に The MacNeal-Schwendler Corporation から MSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。

以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また、各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。

2. 本コードの特徴

NASTRAN は、MSC Software Corporation により開発保守されている汎用構造解析コードである。原子力発電所の機器の応力評価で用いられる有限要素法による応力評価に加え、流体の入ったタンク構造や没水タービン等、接流体表面を持つ構造の振動解析で一般に広く用いられている。

また、解析における縮約処理は、膨大な数のデータを扱う有限要素法などの解析において、行列の大きさ (次元) を小さくする解析上のテクニックであり、その手法として、Guyan の縮約法 (Guyan's Reduction) が広く一般的に使われており、NASTRAN の機能として整備されている。

3. 解析理論

3.1 仮想質量法 (Virtual Mass Method)

3.1.1 理論式

本コードのうち、流体の入ったタンク構造や没水タービン等、接流体表面を持つ構造の振動解析で用いる仮想質量法の解析理論について述べる。

振動時の容器壁面に作用する圧力は、流体解析によって求められる。サプレッションチェンバのような複雑な形状に対しては、数値解析に依存することとなる。ここで使用される代表的な方法は、「速度ポテンシャル法」及び「非圧縮性粘性流体解析 (Navier-Stokes 方程式と連続式)」等による流体解析法がある。NASTRAN 仮想質量法では、前者の理想流体 (非圧縮性、非粘性、渦無し) を仮定した速度ポテンシャル法に沿う考え方が採用されている。

基礎式は、次のように連続の式及び運動方程式からなる。

$$\nabla \cdot \nabla \Phi = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\frac{1}{\rho} \nabla p + g \quad (2)$$

ここで、 t は時間、 Φ 、 v 、 p 、 g はそれぞれ流体の速度ポテンシャル、速度ベクトル、圧力、重力加速度ベクトルである。

同解析コードでは、構造体の接水面に設定した節点において、構造体の振動により発生する流体圧力と流速を算定し、接水面における流体圧力と加速度の関係式を構造体の運動方程式に流体項を加えることで、構造体と流体の運動方程式が構築される。固有値解析あるいは応答解析を実施して、振動質量を求め、これから構造体の振動質量を差し引くことで、流体の振動質量すなわち流体の有効質量が算定される。

3.1.2 解析フローチャート

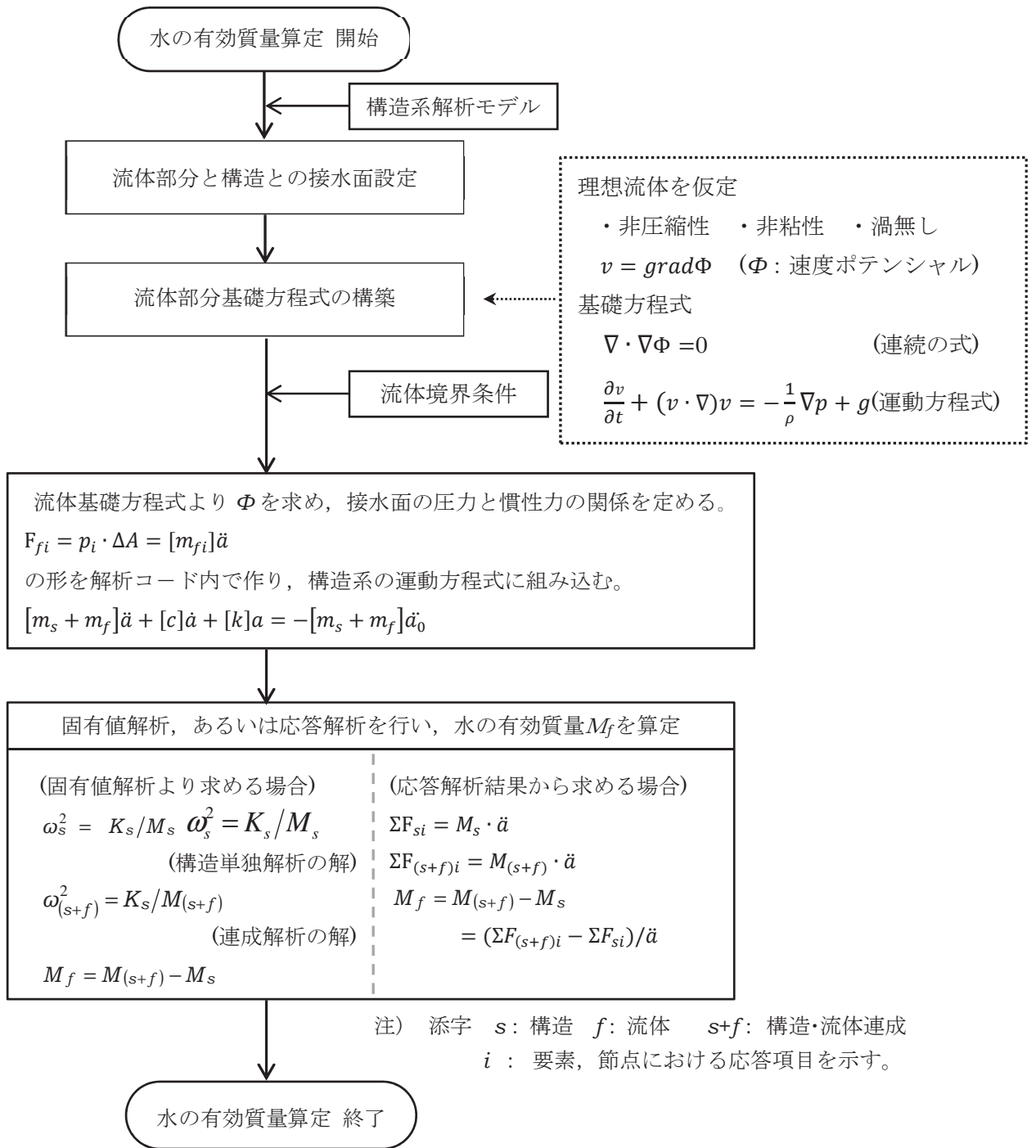


図1 NASTRAN 仮想質量法を用いたサブプレッションチェンバ内部水の有効質量算定手順

3.2 Guyan 縮約法

本コードのうち，Guyan 縮約法の解析理論について述べる。

動的問題に対する基礎方程式は，縮約を行う前に \mathbf{u}_f セットに対して組み立てられる。縮約を行う前の標準マトリクス方程式は次式の形になる。

$$\begin{bmatrix} \bar{M}_{aa} & M_{ao} \\ M_{oa} & M_{oo} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}_a \\ \ddot{\mathbf{u}}_o \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{B}_{aa} & B_{ao} \\ B_{oa} & B_{oo} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{u}}_a \\ \dot{\mathbf{u}}_o \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{K}_{aa} & K_{ao} \\ K_{oa} & K_{oo} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_a \\ \mathbf{u}_o \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{P}_a \\ P_o \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで

- $\mathbf{u}_a, \dot{\mathbf{u}}_a, \ddot{\mathbf{u}}_a$: 解析セットに残される変位，速度，加速度自由度
 $\mathbf{u}_o, \dot{\mathbf{u}}_o, \ddot{\mathbf{u}}_o$: 消去セットに入れて消去される変位，速度，加速度自由度
 \bar{P}_a, P_o : 作用荷重

フリーボディ運動は解析セットに含めなければならない。そうしなければ， K_{oo} が特異になってしまう。バーを付けた量 (\bar{P} など) は縮約の対象にならない量を示す。

静的問題では，質量と減衰効果を無視して，式(1)下段の分割行を解いて \mathbf{u}_o を計算することができる。

$$\{\mathbf{u}_o\} = -[K_{oo}^{-1}]\{[K_{oa}]\{\mathbf{u}_a\} - \{P_o\}\} \quad (2)$$

式(2)の右辺は，Guyan マトリクス G_o と静的補正変位 \mathbf{u}_o^o の2つの部分に分解して，次式で表すことができる。

$$[G_o] = -[K_{oo}^{-1}][K_{oa}] \quad (3)$$

$$\{\mathbf{u}_o^o\} = [K_{oo}^{-1}]\{P_o\} \quad (4)$$

式(2)から式(4)を式(1)上段の分割行に代入すれば厳密な静的救済の系が得られ，次式の形に縮約された静解析方程式になる。

$$[K_{aa}]\{\mathbf{u}_a\} = \{P_a\} \quad (5)$$

$$\{\mathbf{u}_o\} = [G_o]\{\mathbf{u}_a\} + \{\mathbf{u}_o^o\} \quad (6)$$

ここで，

$$[K_{aa}] = [\bar{K}_{aa}] + [K_{ao}][G_o] \quad (7)$$

$$\{P_a\} = \{\bar{P}_a\} + [G_o^T]\{P_o\} \quad (8)$$

これに対して，動解析では，ベクトル $\ddot{\mathbf{u}}_o$ と $\dot{\mathbf{u}}_o$ を近似することによって系の次数を小さくすることができる。静的マトリクス方程式から出発して縮約を行うのがよい。式(6)から次式の変換を定義する。

$$\{\mathbf{u}_f\} = \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_a \\ \mathbf{u}_o \end{Bmatrix} = [H_f]\{\mathbf{u}_f'\} \quad (9)$$

ここで,

$$\{u'_f\} = \begin{Bmatrix} u_a \\ u_o \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$$[H_f] = \begin{bmatrix} I & 0 \\ G_o & I \end{bmatrix} \quad (11)$$

ここで, u_o は, 静的変位形状に対する変位増分である。式(1)で表される系は, 精度を落とすことなく新しい座標系に変換することができる。変換された系における剛性マトリクスは次式の形になる。

$$[K'_{ff}] = \begin{bmatrix} I & G_o^T \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ao} \\ K_{oa} & K_{oo} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 \\ G_o & I \end{bmatrix} \quad (12)$$

マトリクスの乗算を行い, 式(3)を代入すると, 次式が得られる。

$$[K'_{ff}] = \begin{bmatrix} K_{aa} & 0 \\ 0 & K_{oo} \end{bmatrix} \quad (13)$$

剛性マトリクス内の連成は解除されたが, 質量と減衰マトリクスは最初の系より連成が増える結果になる。減衰マトリクスは質量マトリクスと同じ形であるから, ここでは減衰マトリクスを省略して考える。厳密な変換系は次式の形になる。

$$\begin{bmatrix} M'_{aa} & M'_{ao} \\ M'_{oa} & M'_{oo} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_a \\ \ddot{u}_o \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{aa} & 0 \\ 0 & K_{oo} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_a \\ u_o \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_a \\ P_o \end{Bmatrix} \quad (14)$$

ここで,

$$[M'_{aa}] = [M_{aa}] + [M_{ao}] [G_o] + [G_o]^T [M_{oa} + M_{oo} G_o] \quad (15)$$

$$[M'_{ao}] = [M'_{oa}] = [M_{ao}] + [G_o^T M_{oo}] \quad (16)$$

$$[M'_{oo}] = [M_{oo}] \quad (17)$$

B'_{ff} の減衰マトリクス成分は, 質量マトリクス分割と同じ形で表すことができる。マトリクスが対称変換でなくても, 上記と同じ変換を得る方法を次に紹介する。まず, 式(1)~(8)から, 縮約される加速度の影響を以下の式で見積もる。

$$\{\ddot{u}_o\} \cong [G_o] \{\ddot{u}_a\} \quad (18)$$

式(18)を式(1)下段の分割行に代入して u_o に関して解くと, 以下の近似式が得られる。

$$\{u_o\} = [K_{oo}^{-1}] \{P_o\} - [K_{oa}] \{u_a\} - [M_{oa} + M_{oo} G_o] \{\ddot{u}_a\} \quad (19)$$

K_{oa} に関する式(3)及び質量項に関する式(16)を式(19)に代入すると, 次式が得られる。

$$\{u_o\} \cong [G_o] \{u_a\} + K_{oo}^{-1} \{P_o\} - [M'_{oa}] \{\ddot{u}_a\} \quad (20)$$

式(18)と式(20)を式(1)上段の分割行に代入すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} & [\bar{M}_{aa} + M_{ao}G_o]\{\ddot{u}_a\} + [\bar{K}_{aa} + K_{ao}G_o]\{u_a\} - [K_{ao}K_{oo}^{-1}][M_{oa} + M_{oo}G_o]\{\ddot{u}_a\} \\ & = \{\bar{P}_a\} - [K_{ao}][K_{oo}^{-1}]\{P_o\} \end{aligned} \quad (21)$$

項を整理すると、式(14)～式(17)と同じ結果が得られる。

上記の縮約手順から、Guyan 変換の特長がわかる。

- 近似が導入されるのは加速度成分のみである（式(18)）。
- 縮約した系の剛性成分は厳密な内容である。
- 式(14)及び式(20)で定義される内部変位はほとんど等しい。

(2) OpenFOAM

解析コード：OpenFOAM

項目	コード名 OpenFOAM
使用目的	流体解析によるスロッシング荷重算定
開発機関	OpenCFD Ltd
開発時期	2004年
使用したバージョン	2.3, 4.1
コードの概要	<p>OpenFOAMは、偏微分方程式を数値的に解くためのライブラリとソルバ一群からなるオープンソースコードである。特に流体計算のためのソルバが充実しており、汎用流体解析コードとして使用されることが多い。基礎式は有限体積法で離散化されており各種物理量の保存特性が良く、数値安定性に優れている。加えて、非構造格子の採用による複雑境界の取り扱いが可能であることから、実用解析に向いている。世界規模のユーザーコミュニティがあり、多様な科学的・工学的分野での使用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本コードは機械、土木、建築及び気象を含めたさまざまな分野・業界で使用されている。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <p>本コードの検証は以下のとおり実施済みである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ サプレッションチェンバの模擬試験体による振動試験により算定された有効質量比とOpenFOAMにより算定された有効質量比が一致することを確認している。 ・ 流体力学分野における典型的な事象について、解析結果が理論解及び実験結果と一致することを確認している。 ・ 本コードの適用条件について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本コードは機械、土木、建築及び気象を含めたさまざまな分野で使用された実績があり、妥当性は十分に確認されている。 ・ 開発機関が提示するマニュアルにより、今回のスロッシング解析に、本コードが適用できることを確認している。 ・ 検証の体系と今回の解析体系とが同等であることから、検証の結果をもって、解析の妥当性が確認できる。

1. 概要

OpenFOAMは、偏微分方程式を数値的に解くためのライブラリとソルバー群からなるオープンソースコードである。特に流体計算のためのソルバーが充実しており、汎用流体解析コードとして使用されることが多い。基礎式は有限体積法で離散化されており各種物理量の保存特性が良く、数値安定性に優れている。加えて、非構造格子の採用による複雑境界の取り扱いが可能であることから、実用解析に向いている。世界規模のユーザーズコミュニティがあり、多様な科学的・工学的分野での使用実績がある。

2. 本コードの特徴

- (1) 本コードの主な解析機能は、以下のとおり
 - ・非圧縮性・圧縮性流れの定常・非定常解析
 - ・ニュートン・非ニュートン流体の取り扱い
 - ・熱・物質の輸送，化学反応，燃焼，粒子追跡
 - ・単相流，多相流，熱物理的状態変化，自由表面流
 - ・層流・乱流，音響，固体力学，電磁気学
- (2) ソースコードが公開されており，世界規模のユーザー・開発者のコミュニティがある
- (3) ソースコードは，オブジェクト指向で設計されており可読性・保守性に優れている
- (4) 非構造格子の採用による複雑境界の表現と格子細分化が可能である
- (5) MPI(Message Passing Interface)による並列処理に対応している

3. 解析理論

複数ある OpenFOAM ソルバーのうち，VOF (Volume Of Fluid) 法による非圧縮性の気液二相流ソルバーである interFoam の解析理論について述べる。

基礎式はアンサンブル平均を施した Navier-Stokes 方程式であり，次のように連続の式（質量保存式）(1)と運動量保存式(2)からなる。

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) = -\nabla p + \nabla \cdot (2\mu S + \tau) + \rho g + \rho f \quad (2)$$

ここで， t は時間， U ， p ， ρ ， μ はそれぞれ流体の速度ベクトル，圧力，密度，粘性係数を意味し， S と τ はそれぞれ歪み速度テンソルとレイノルズ応力を表す。 g は重力加速度ベクトルであり， f は体積力としての外力である。また，気液界面を追跡するために，VOF 値と呼ばれる液相の体積割合 α の輸送方程式を考える。

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha U) = 0 \quad (3)$$

そして，流体の密度と粘性係数は VOF 値を用いてそれぞれ次式で与える。

$$\rho = \alpha \rho_l + (1 - \alpha) \rho_g \quad (4)$$

$$\mu = \alpha \mu_l + (1 - \alpha) \mu_g \quad (5)$$

ただし、下付き添え字の l , g はそれぞれ液相, 気相を意味する。

4. 解析フローチャート

支配方程式である式(1)から式(5)は、コロケート格子を用いた有限体積法で離散化され、数値的に解かれる。流速と圧力の連成手法には非定常解を得るための予測子-修正子手法の一種である PISO 法が用いられる。

気液二相流ソルバーinterFoam の計算アルゴリズムを図 2 に示す。

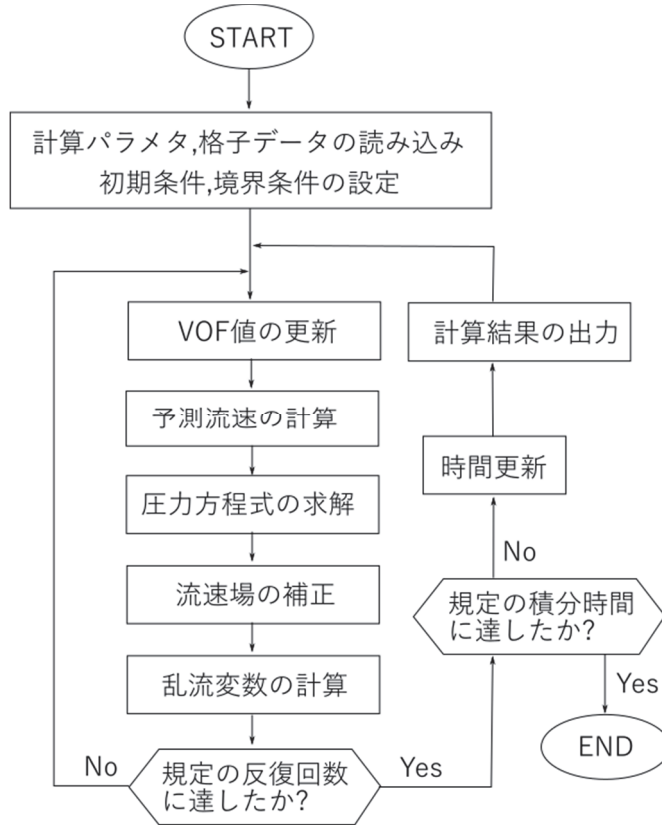


図 2 計算アルゴリズム

有効質量の概要

容器内で内容液が自由表面を有する場合、容器の振動方向に対する実際に地震荷重として付加される質量は、全質量とは異なった値となることが知られている。円筒タンクを例に有効質量の概要を説明する。

図 1 のように、直径 D の円筒タンクに液面高さ L の水が入っているとす。通常、容器内の水は自由表面を有しており、このタンクに水平方向に単位加速度を与えた場合の側板における動液圧力は、図 2 に示すように自由表面において 0 であり、深さ方向に二次曲線的な分布を生じる。一方、容器内を満水とし自由表面を無くした場合には、水全体が一体となって動くため、側板の動液圧力は高さ方向に一定となる。このように、自由表面を有する場合に側板に作用する地震荷重は、自由表面がない場合（水全体が一体に動く場合）の地震荷重に対して小さくなる。

荷重評価において、自由表面を有する内容液の加速度に対する実際に地震荷重として付加される質量を有効質量という。ここで、水的全質量に対する有効質量の比を有効質量比という。

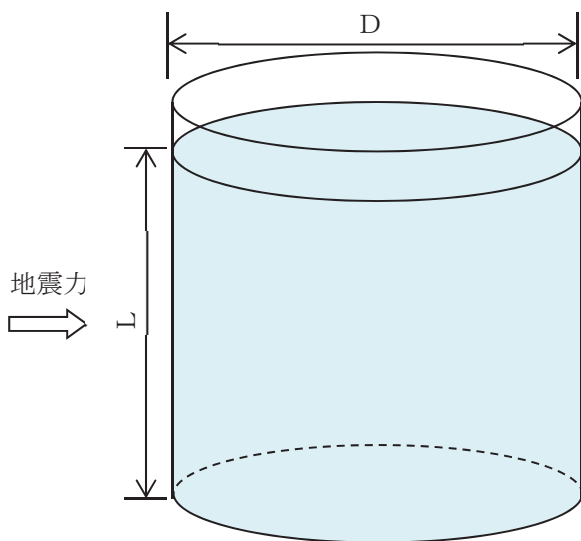


図 1 円筒タンクの内容液
(イメージ)

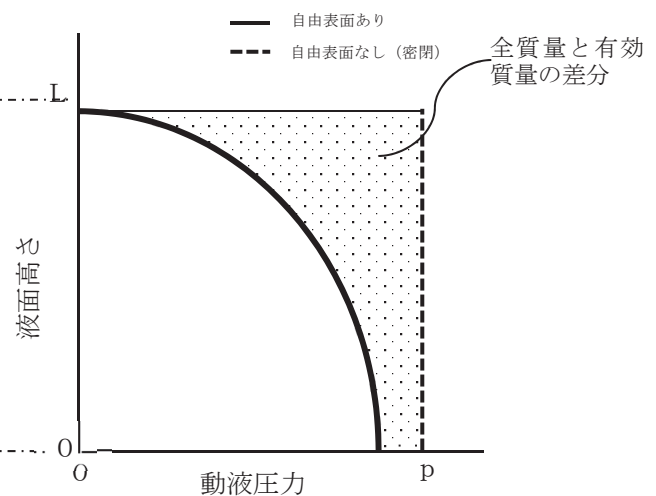


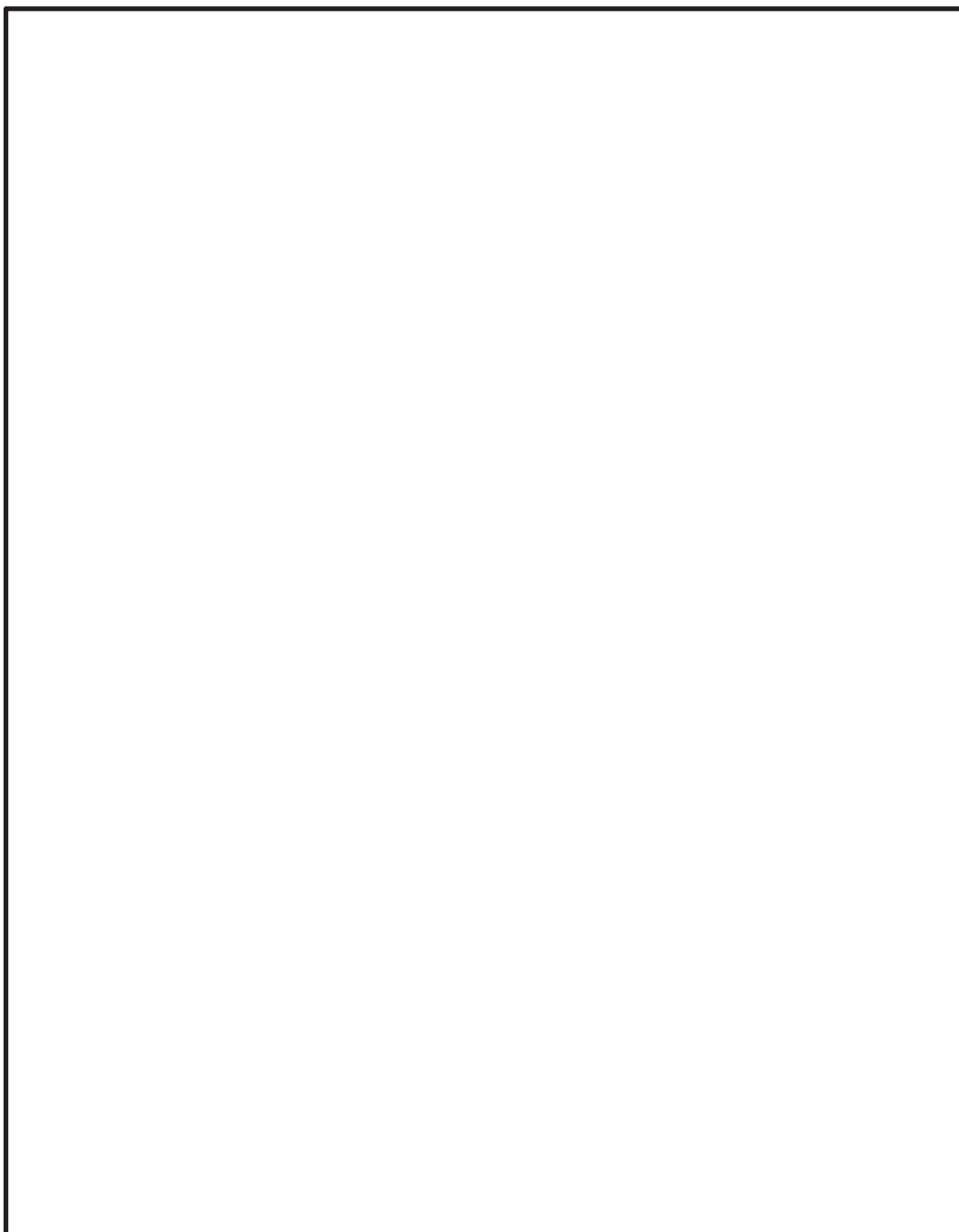
図 2 加速度に対する側板の
動液圧分布

規格類における有効質量の適用例

1. 概要

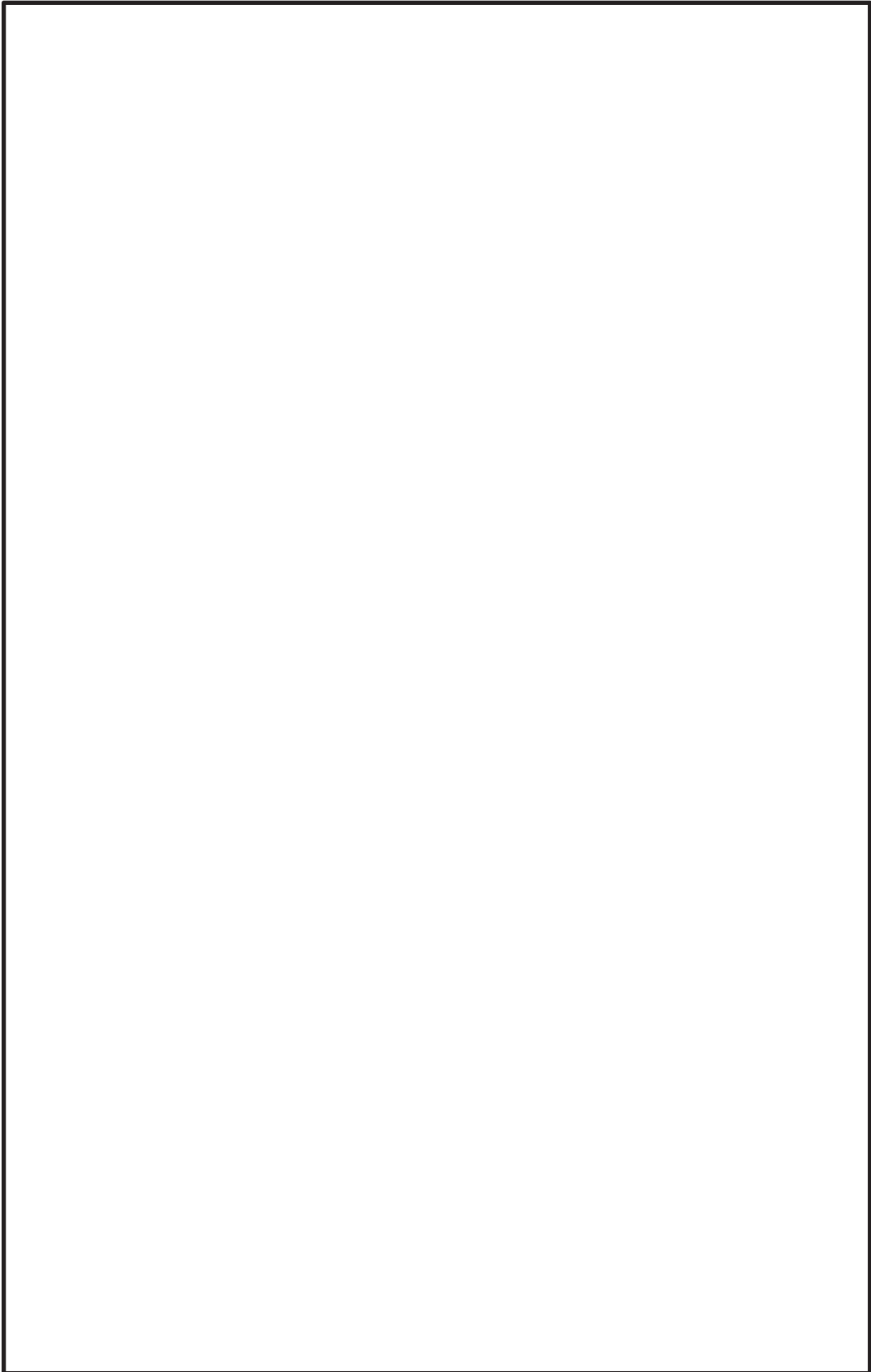
有効質量の考え方は、他産業の耐震設計において一般的に取り入れられている。その一例として「容器構造設計指針・同解説（日本建築学会）」における球形タンク及び円筒タンクの設計への適用例を示す。

(球形タンクへの適用例)



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(円筒タンクへの適用例)



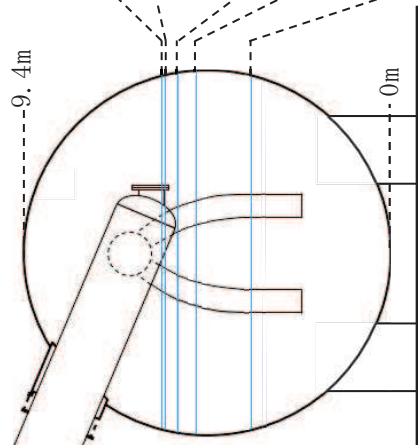
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

サプレッションチェンバの水位条件

サプレッションチェンバの水位及び振動試験水位との対応関係について図 1 に示す。なお、重大事故等時におけるサプレッションチェンバの耐震評価に用いる水位条件*の考え方については、表 1 に示す。

また、サプレッションチェンバの機能要求に係る整理結果を別添 1 に、それを踏まえた設計基準事故発生時及び重大事故等発生時のサプレッションチェンバの水位に係る整理結果を別添 2 及び別添 3 に、それぞれ示す。

注記 * : 添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」を参照



水位	位置	水位の 範囲	警報等	事故シナリオ等	試験条件 *1, *2
約 7.8m	—		—	—	高高水位 (325mm)
約 6.4m	真空破壊装 置上端位置		—	—	高水位 (259mm)
約 5.9m	真空破壊装 置下端位置		—	重大事故等時の耐震評価 (S s, S d) に用いる水位 (耐震 解析用重大事故等時水位)	—
約 5.8m	—	← →	—	格納容器過圧・過温破損 代替循環冷却系を使用できな い場合 (2Pd に到達するまでに操作 を実施しなかった場合 (大破 断 LOCA 発生時))	—
約 5.5m	真空破壊装 置下端位置 -0.4m		—	非常時操作手順書に基 づく PCV ベント実施水 位	—
約 5.0m	—		—	—	中水位 (203mm)
5m 以下	—	← →	—	格納容器過圧・過温破損 (代替循環冷却系を使用する 場合)	—
3.6m	通常運転水 位 (H. W. L)	← →	“高” 圧力抑制室水位	通常運転時の耐震評価 (S s, S d) に用いる水位	低水位 (146mm)
3.5m	通常運転水 位 (L. W. L)	← →	“低” 圧力抑制室水位	—	—

注記*1：有効質量の妥当性検証のために実施した試験の水位条件について、DB 水位条件と対応する水位（低水位（146mm）、SA 水位条件を包絡する水位（高水位）、物理現象の理解のために設定した DB 水位条件と SA 水位条件の中間水位（中水位（203mm））及び高水位を上回る水位（高高水位（325mm））を設定したものの。

*2：試験条件水位の計算例（高水位） 6.4m/9.4m×380mm（試験体直径）≒259mm

図 1 サプレッションチェンバの水位及び振動試験水位との対応関係

表 1 サプレッションチェンバの耐震評価に用いる水位条件の考え方

運転状態	荷重の組合せ	許容応力状態	想定する水位条件	水位条件の想定の方	耐震評価に用いる水位条件	耐震評価に用いる水位条件の考え方
DB	$D + P + M + S d^*$ $D + P + M + S s$	III _{AS}	3.5m (L. W. L.) ~ 3.6m (H. W. L.)	保安規定* ¹ に基づきサプレッションチェンバの水位を管理しており、運転上の制限を満足しない場合は、措置(運転上の制限内の復旧、高温・冷温停止又はスクラム)を講じることとしている。	3.6m (H. W. L.) (0. P. -3, 800mm)	耐震評価上、水位が高い方が地震時の応答が大きくなる傾向があることから、運転上の制限も踏まえ通常運転範囲の上限值(3.6m (H. W. L.))を用いる。* ²
		IV _{AS}				
		III _{AS} IV _{AS}				
SA	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$	IV _{AS} IV _{AS}	3.5m (L. W. L.) ~ 約 5.8m	運転手順に基づきサプレッションチェンバの水位を管理しており、格納容器過圧・過温破損(全事故シナケンスのうち、格納容器水位が最も厳しくなる事故シナケンスを選定)のうち以下を踏まえた水位条件 <ul style="list-style-type: none"> ・格納容器過圧・過温破損「代替循環冷却系を使用できない場合(2Pdに到達するまでに操作を実施しなかった場合(大破断LOCA発生時))」*³ 	約 5.9m (0. P. -1, 514mm)	耐震評価上、水位が高い方が地震時の応答が大きくなる傾向があることから、格納容器過圧・過温破損の水位条件を上回る条件を用いる。

注記*1：女川原子力発電所原子炉施設保安規定【第1編 運転段階の発電用原子炉施設編(2号炉および3号炉に係る保安措置)】第46条 サプレッションプールの水位(補足1参照)

*2：運転上の制限を満足しない場合は、保安規定に定める復旧時間を踏まえ、耐震評価に用いる水位条件に考慮しない。

*3：有効性評価結果を踏まえた非常時操作手順書(シビアアクシデント)「SOP」において、サプレッションチェンバの水位が通常運転水位+約2m(約5.5m)到達をもってD/W代替スプレイを停止し、PCVベントを行う手順としている。また、2Pdに達するまで操作を実施しなかった場合においても、サプレッションチェンバの水位は、約5.8mであり、耐震評価に用いる水位条件約5.9mを上回ることはない。

(記号の説明)

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせすべきプラントの運転状態(地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ, Vは除く。)における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態(地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ, Vは除く。)で設備に作用している機械的荷重
- 〔 各運転状態におけるP及びMについては, 安全側に設定された値(最高使用圧力, 設計機械荷重等)を用いてもよい。 〕
- P_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き, その後に生じている圧力荷重
- P_L^* : 冷却材喪失事故後最大内圧
- M_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き, その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- P_{SAL} : 重大事故等時の状態(運転状態Ⅴ)で長期的(長期(L))に作用する圧力荷重
- M_{SAL} : 重大事故等時の状態(運転状態Ⅴ)で長期的(長期(L))に作用する機械的荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態(運転状態Ⅴ)で長期的(長期(L))より更に長期的(長期(LL))に作用する圧力荷重
- M_{SALL} : 重大事故等時の状態(運転状態Ⅴ)で長期的(長期(L))より更に長期的(長期(LL))に作用する機械的荷重
- S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力
- S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力
- Ⅲ_AS : 発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))JSMESNC1-2005/2007)(日本機械学会2007年9月)(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

補足1 女川原子力発電所原子炉施設保安規定 抜粋

(サブレーションプールの水位)

第46条 原子炉の状態が運転、起動および高温停止において、サブレーションプールの水位は、表46-1(図46)で定める事項を運転上の制限とする。ただし、地震時を除く。

2. サブレーションプールの水位が前項で定める運転上の制限を満足していることを確認するため、次号を実施する。

(1) 発電課長は、原子炉の状態が運転、起動または高温停止において、サブレーションプールの水位を24時間に1回確認する。

3. 発電課長は、サブレーションプールの水位が第1項で定める運転上の制限を満足していないと判断した場合は、表46-2の措置を講じる。

表46-1

項目	運転上の制限
サブレーションプール水位	+5.0cm(上限値)以下 -5.0cm(下限値)以上

図46

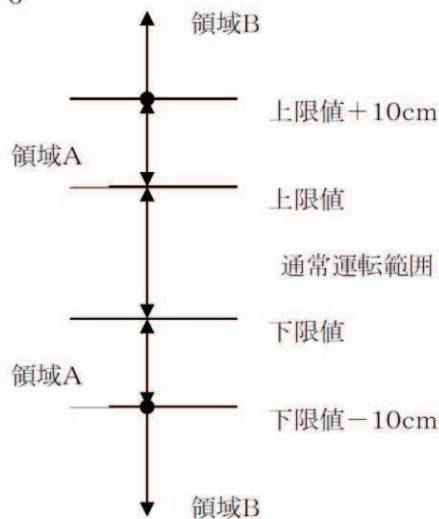


表46-2

条件	要求される措置	完了時間
A. サブレーションプールの水位が図46の領域Aの場合	A1. サブレーションプールの水位を制限値以内に復旧する。	24時間
B. 条件Aで要求される措置を完了時間内に達成できない場合	B1. 高温停止にする。 および B2. 冷温停止にする。	24時間 36時間
C. サブレーションプールの水位が図46の領域Bの場合	C1. 原子炉をスクラムする。	速やかに

注記：図46に記載の上限値は、H.W.L(3.6m)を表し、下限値は、L.W.L(3.5m)を表す。

サブプレッションチェンバの機能要求について

BWR におけるサブプレッションチェンバは、原子炉格納施設の一部を構成している。

原子炉格納施設は、原子炉冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障の際に漏えいする放射性物質が公衆に放射線障害を及ぼすおそれがない設計とする（表 1 参照）。

表 1 重要度の特に高い安全機能を有する系統の抽出結果（抜粋）

発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針				女川原子力発電所 2 号炉		
分類	定義	機能	構造物, 系統又は機器	構造物, 系統又は機器		
MS-1	1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し, 残留熱を除去し, 原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し, 敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構造物, 系統及び機器	6) 放射性物質の閉じ込め機能, 放射線の遮へい及び放出低減機能	原子炉格納容器, 原子炉格納容器隔離弁, 原子炉格納容器スプレイ冷却系, 原子炉建屋, 非常用ガス処理系, 非常用再循環ガス処理系, 可燃性ガス濃度制御系	原子炉格納容器 (格納容器本体, 貫通部, 所員用エアロック, 機器搬出入用ハッチ)		
				直接関連系 (原子炉格納容器)	ベント管	
					スプレイ管	
					真空破壊弁	
		主蒸気逃がし安全弁排気管のクエンチャ				

また, BWR における原子炉格納容器は, 圧力抑制形であり, ドライウエル, サプレッションチェンバ及び両者を接続するベント管によって構成され, 残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード) とあいまって, 「原子炉冷却材喪失」 (以下「LOCA」という。) 発生時の蒸気をベント管によってサブプレッションチェンバ内に導き凝縮することにより, 原子炉格納容器内の最大圧力を低く抑えることができる設計としている。さらに重大事故等時において, 原子炉格納容器内に蓄積した熱を格納容器ベントにより最終的な熱の逃がし場である大気へ輸送できる設計としている。加えて, LOCA 時及び主蒸気逃がし安全弁作動時において, 原子炉格納容器に生じる動荷重に耐える設計としている。

サブプレッションチェンバの機能としては, LOCA 発生時に, ベント管から導かれる蒸気を凝縮する機能に加え, 過渡事象 (Non-LOCA 発生) 時に主蒸気逃がし安全弁や原子炉隔離時冷却系等の排気管から排気される蒸気を凝縮する機能を有する。

また, 残留熱除去系 (格納容器スプレイ冷却モード) 等の水源として利用されるとともに, LOCA 発生時には格納容器スプレイ冷却等により格納容器温度及び圧力を速やかに低下させることで, 原子炉格納容器全体の漏えい率を許容値以下とする。重大事故等時には, 格納容器ベントの実施により原子炉格納容器内に蓄積した熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ輸送される。

表2 サプレッションチェンバへの冷却材の流入及び流出

起因事象	流入※		流出※	
	蒸気	水	蒸気	水
LOCA	①主蒸気逃がし安全弁排気管クエンチャ ②原子炉隔離時冷却系等の排気管 ③ベント管 (LOCA ブローダウン)	③ベント管 (炉心冠水後の冷却水, ドライウェルスプレイ水) ④サプレッションチェンバスプレイ配管 (サプレッションチェンバスプレイ水)	⑤格納容器ベント	⑥残留熱除去系ポンプ (格納容器スプレイ冷却モード) 等吸込配管
過渡事象 (Non-LOCA)	①主蒸気逃がし安全弁排気管クエンチャ ②原子炉隔離時冷却系等の排気管	③ベント管 (ドライウェルスプレイ水) ④サプレッションチェンバスプレイ配管 (サプレッションチェンバスプレイ水)	⑤格納容器ベント	⑥残留熱除去系ポンプ (格納容器スプレイ冷却モード) 等吸込配管
通常運転時	—	—	—	—

※ 各 No. については図1 と対応

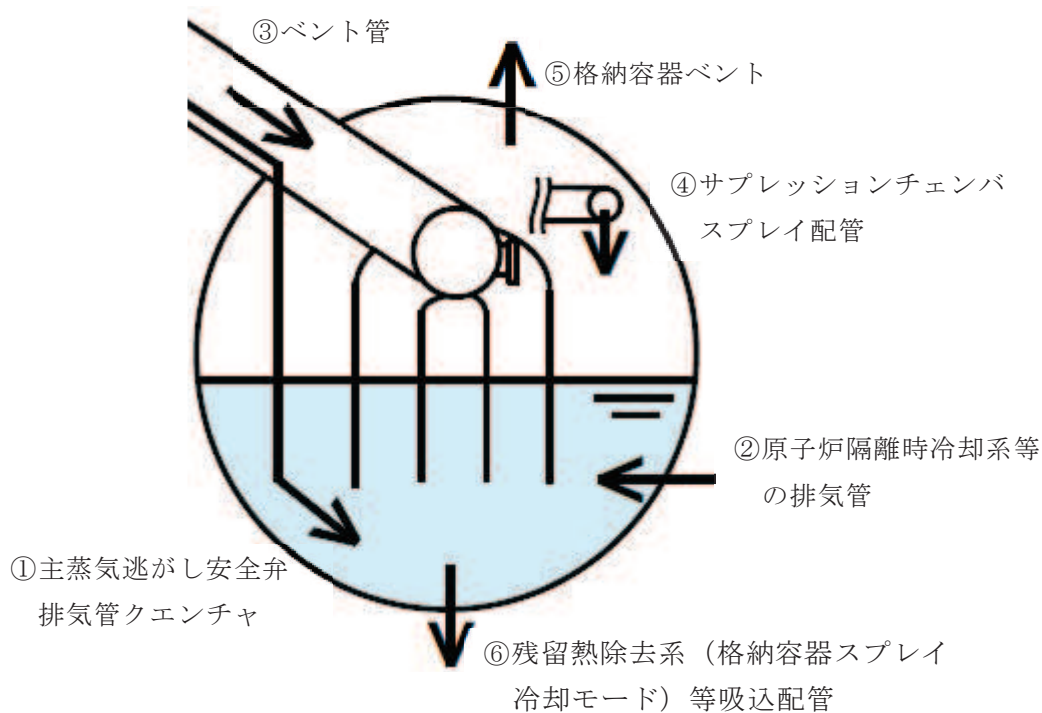


図1 サプレッションチェンバに係る冷却材の流入及び流出の概要

設計基準事故発生時のサプレッションチェンバの水位について

運転状態Ⅳで想定する設計基準事故「原子炉冷却材喪失」(以下「LOCA」という。)では、LOCA 発生後サプレッションチェンバ(内部水源)を水源とした非常用炉心冷却系による注水開始により、炉心は冠水され、冷却材は LOCA の破断口から格納容器下部及びドライウエル床を經由して、サプレッションチェンバへと流入する。

格納容器下部及びドライウエル床には、 250m^3 弱の冷却材を保有できる容量を有しており、LOCA 発生後の原子炉圧力容器より流出する冷却材量(約 200m^3)は格納容器下部及びドライウエル床に保持される。

その後、サプレッションチェンバを水源とする非常用炉心冷却系による注水が継続するため、サプレッションチェンバの水位は事象発生時の水位以下で推移することから、耐震評価においては、保安規定に基づく運転上の制限値を踏まえ、サプレッションチェンバの水位を「通常運転水位(H.W.L)(3.6m)」に設定している。

なお、非常用炉心冷却系のうち高圧炉心スプレイ系については、第一水源として復水貯蔵タンクを用いるが、サプレッションチェンバの水位が H.W.L (3.6m) に到達すると水源がサプレッションチェンバへ切り替わり、その後復水貯蔵タンク水により注水されることはない。

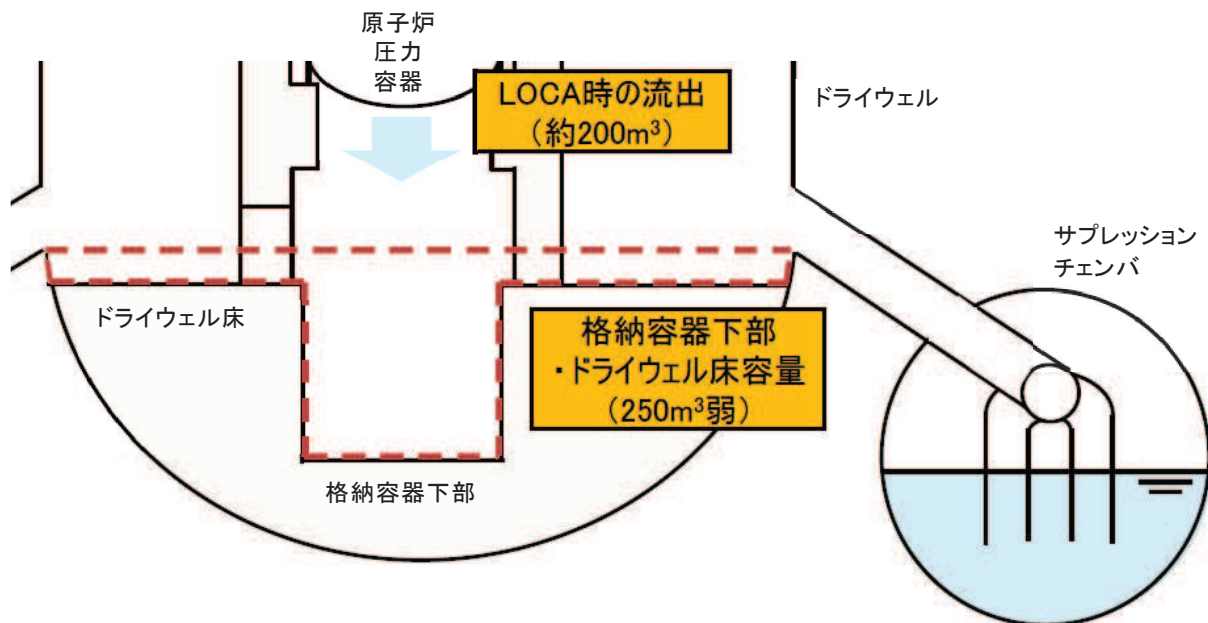


図1 LOCA 発生時の流出及び格納容器下部・ドライウエル床容量