

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-工-B-08-0001_改2
提出年月日	2021年10月5日

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

02 ③ VI-2-9-2-1-2 R0

2021年10月
東北電力株式会社

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
2.4	記号の説明	4
2.5	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	6
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2	許容応力	9
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4	設計荷重	14
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	21
4.5	設計用地震力	27
4.6	計算方法	29
4.6.1	応力評価点	29
4.6.2	応力計算方法	31
4.7	計算条件	31
4.8	応力の評価	31
5.	評価結果	32
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	32
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	39
6.	参照図書	44

1. 概要

本計算書は、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」及び「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、サブプレッションチェンバ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。

サブプレッションチェンバは、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるサブプレッションチェンバの評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブプレッションチェンバの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

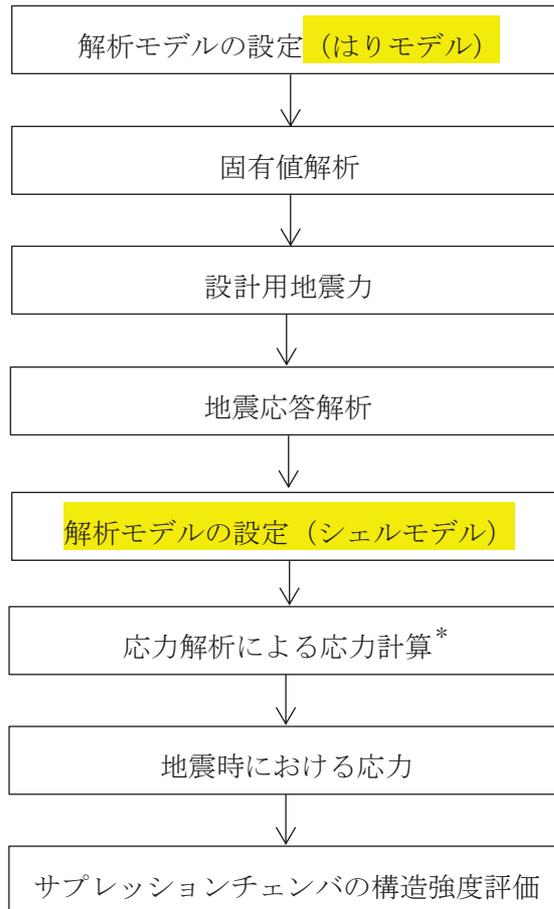
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サブプレシジョンチェンバは、ボックスサポートにより拘束支持された円環状の円筒構造であり、地震荷重はボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。</p> <p>サブプレシジョンチェンバは、ドライウエルとベント管を介して接続されているが、ベント管のベント管パローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による揺れは、原子炉建屋基礎版上からボックスサポートを介しサブプレシジョンチェンバに入力される。</p>	<p>サブプレシジョンチェンバは、内部水を有した16セグメントの円筒形で構成される円環状の構成構造物である。円筒洞内部に強め輪を備える。</p>	<p>サブプレシジョンチェンバ</p> <p>強め輪</p> <p>B部</p> <p>原子炉建屋</p> <p>ボックスサポート</p> <p>A-Aから見る</p> <p>B部詳細</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバの応力評価は、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」及び「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

サブプレッションチェンバの耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記*：スロッシング荷重を考慮

図 2-1 サブプレッションチェンバの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1 ・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (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
D	死荷重	—
D_1	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
ℓ_i	長さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA 後長期 (L) 機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA 後長期 (LL) 機械的荷重)	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
R_1	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
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	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_1	厚さ	mm
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
θ_1	角度	°
ν	ポアソン比	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

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

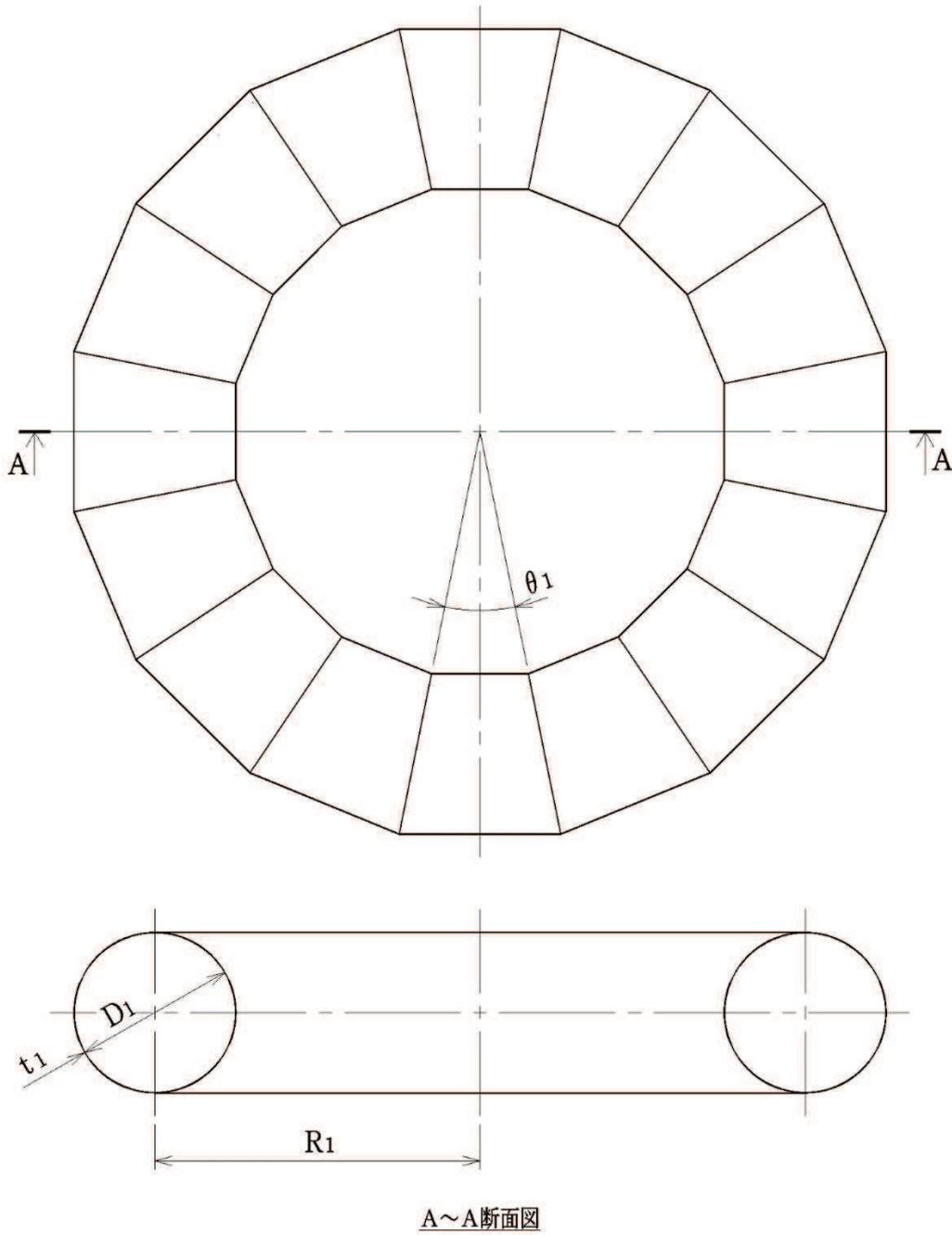
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁
密度	kg/m ³	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁
長さ	mm	—	—	整数位
角度	°	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*2}

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

3. 評価部位

サプレッションチェンバの形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

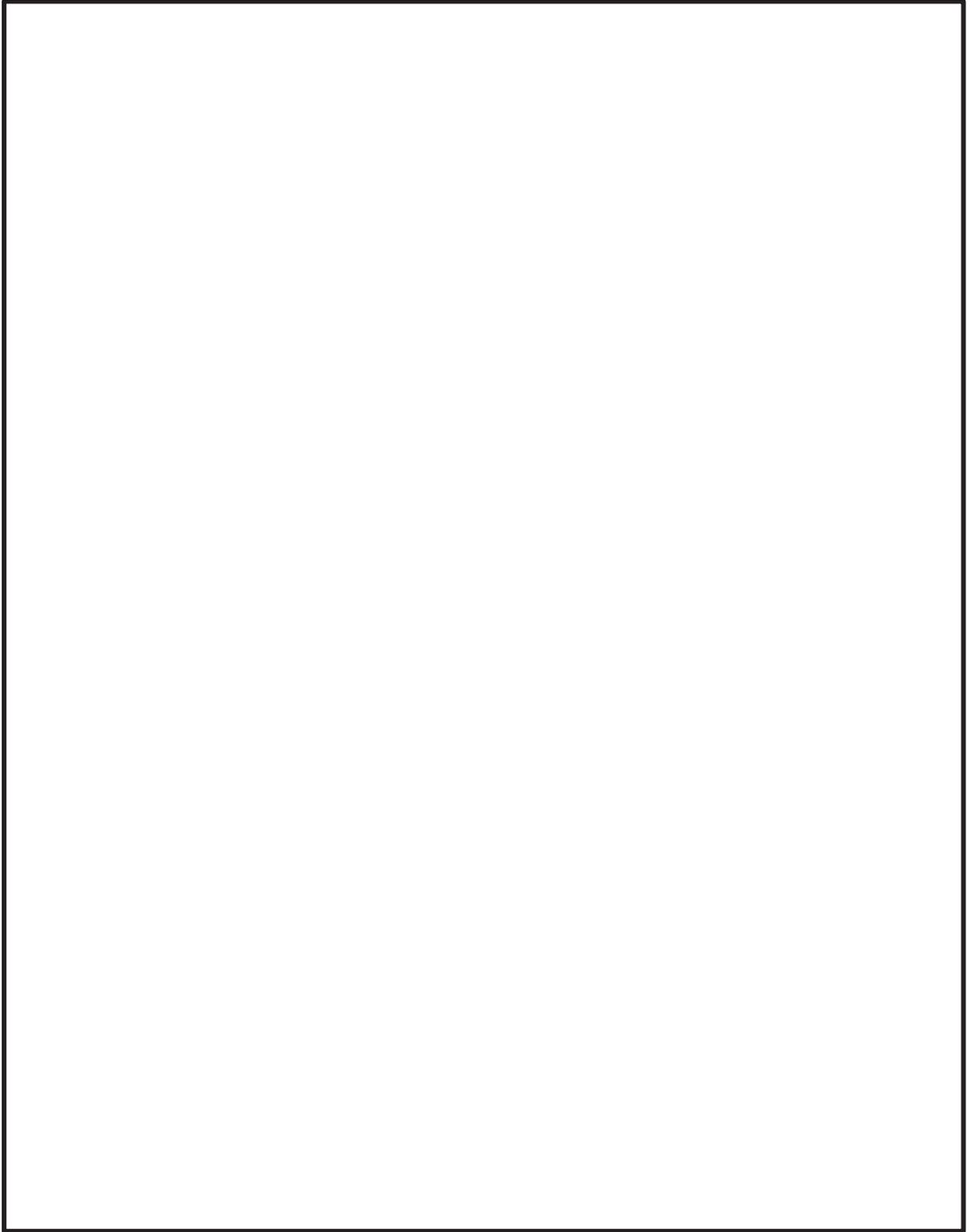


$D_1 =$ $R_1 =$ $t_1 =$ $\theta_1 =$

(単位：mm)

図 3-1 サプレッションチェンバの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- ① サプレッションチェンバ
- ② 強め輪
- ③ 強め輪補強
- ④ 連結板
- ⑤ 補強パッド
- ⑥ 補強リブ

$l_1 =$ $l_2 =$ $l_3 =$ $t_1 =$

(単位：mm)

図 3-2 サプレッションチェンバ強め輪の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
サプレッションチェンバ	SGV480	

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) サプレッションチェンバは、ボックスサポートにより拘束支持された円環状の円筒構造であり、地震荷重はボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。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であり、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。

サプレッションチェンバに作用する地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」から求められる水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき、スペクトルモーダル解析を用いて算出する。サプレッションチェンバの耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、構造強度評価を行う。また、重大事故等対処設備としての評価においては、重大事故等時における水頭圧を考慮する。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
 (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

サプレッションチェンバ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。

詳細な荷重の組合せは、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」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

サプレッションチェンバ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 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ ^{*1}	許容応力状態
原子炉格納 施設	原子炉格納 容器	S	クラスMC 容器	D + P + M + S d [*]	III _A S
				(9)	
				(10) ^{*3}	
				(13)	
				D + P + M + S s	IV _A S
				D + P _L + M _L + S d ^{*2}	IV _A S
				(14)	
				(16)	

注記*1：() 内は添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-6の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

*3：運転状態Iによる燃料交換時の活荷重は、サブレシヨンチェンバに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対応設備）

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 ^{*2}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サブレシジョン チェンバ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$ ^{*3}	V_{AS} ^{*4}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$	V_{AS} ^{*4}

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

*2：（ ）内は添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧及び最高温度との組合せを考慮する。

*4： V_{AS} としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

表4-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	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、AS S及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}	$3 \cdot S^{*1}$ S d又はS s地震動のみによる 応力振幅について評価する。	^{*2, *3} S d又はS s地震動のみによる 疲労解析を行い、運転状態 I, IIにおける疲労累積係数との和 が1.0以下であること。
IV _{AS}	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な 部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただ し、ASS及びHNAについては、構造上 の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい 方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値 ^{*4}		
V _{AS} ^{*5}				

注記*1：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

*2：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S d又はS s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*3：運転状態 I, IIにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値 (α)を用いる。

*5：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	104				
サンプルシヨウチエンバ	SGV480		104	131	237	430	—

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）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境 温度	178*1				
サンプルシヨウチエンバ	SGV480		178*1	131	228	422	—
			111*2	131	236	429	—

注記*1：SA 後長期 (L) のサブプレシヨウチエンバ温度を考慮する。

*2：SA 後長期 (LL) のサブプレシヨウチエンバ温度を考慮する。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び水力学
的動荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	104℃

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の
自重を死荷重とする。

死荷重	4.2×10^6 kg
-----	----------------------

c. 冷却材喪失事故時荷重

事故時圧力は，冷却材喪失事故後の最大内圧とする。

最大内圧	206 kPa
------	---------

d. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体が T-クエンチャからサプレッションプール水
中に放出される際，サプレッションチェンバに圧力振動荷重が作用する。

最大正圧	<input type="text"/> kPa
最大負圧	<input type="text"/> kPa

e. 水位

水位	O. P. -3800mm
----	---------------

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	640kPa (SA 後長期 (L))
内圧 P_{SALL}	427kPa (SA 後長期 (LL))
温度 T_{SAL}	178℃ (SA 後長期 (L))
温度 T_{SALL}	111℃ (SA 後長期 (LL))

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 死荷重

サプレッションチェンバ、ボックスサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 6.77×10^6 kg

c. 水力的動荷重

重大事故等対処設備としての水力的動荷重は、以下のとおりである。

サプレッションチェンバに対して、低流量蒸気凝縮時に以下に示す蒸気凝縮振動（チャギング）荷重が作用する。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

d. 水位

重大事故等対処設備における水位は、以下のとおりとする。

水位 O. P. -1514mm

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、以下の 3 つの解析モデルを用いる。サブプレッションチェンバ全体はりモデルとサブプレッションチェンバ部分シェルモデルに大別され、前者は地震応答解析及び死荷重による変位の算出に用いるモデル、後者は応力解析に用いるモデルである。さらに、サブプレッションチェンバ部分シェルモデルにおいては、拘束条件や境界条件を変更した 2 つの解析モデルを用いる。解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。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。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. スペクトルモーダル解析及びサブプレッションチェンバ部分シェルモデルに与える強制変位の計算は、サブプレッションチェンバ全体をはり要素にモデル化したモデルを用いて行う。解析モデルを図 4-1 に、諸元を表 4-6 に示す。サブプレッションチェンバ、ボックスサポートをはり要素で、フランジプレート、基礎ボルトをばね要素でモデル化する。なお、ボックスサポート等はサブプレッションチェンバと一体構造であることから、サブプレッションチェンバに加えてモデル化を行う。サブプレッションチェンバの内部水は、仮想質量法により算定し、NASTRAN の機能である Guyan 縮約法を用いて本モデルのサブプレッションチェンバの各質点に縮約し、付加する。ボックスサポート下端は、
- b. 圧力による応力は、サブプレッションチェンバを構成する円筒のうち 2 個をシェル要素にモデル化した部分シェルモデルにより計算する。解析モデルを図 4-2、図 4-4 に、諸元を表 4-6 に示す。円筒部の端面を また、ボックスサポート下端を、
- c. 死荷重、スロッシング荷重及び地震荷重による応力は、サブプレッションチェンバを構成する円筒のうち 2 個をシェル要素にモデル化した部分シェルモデルにより計算する。解析モデルを図 4-3、図 4-4 に、諸元を表 4-6 に示す。円筒部端面の各節点を また、ボックスサポート下端に対し、

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等時のサブプレッションチェンバの解析モデルは、

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

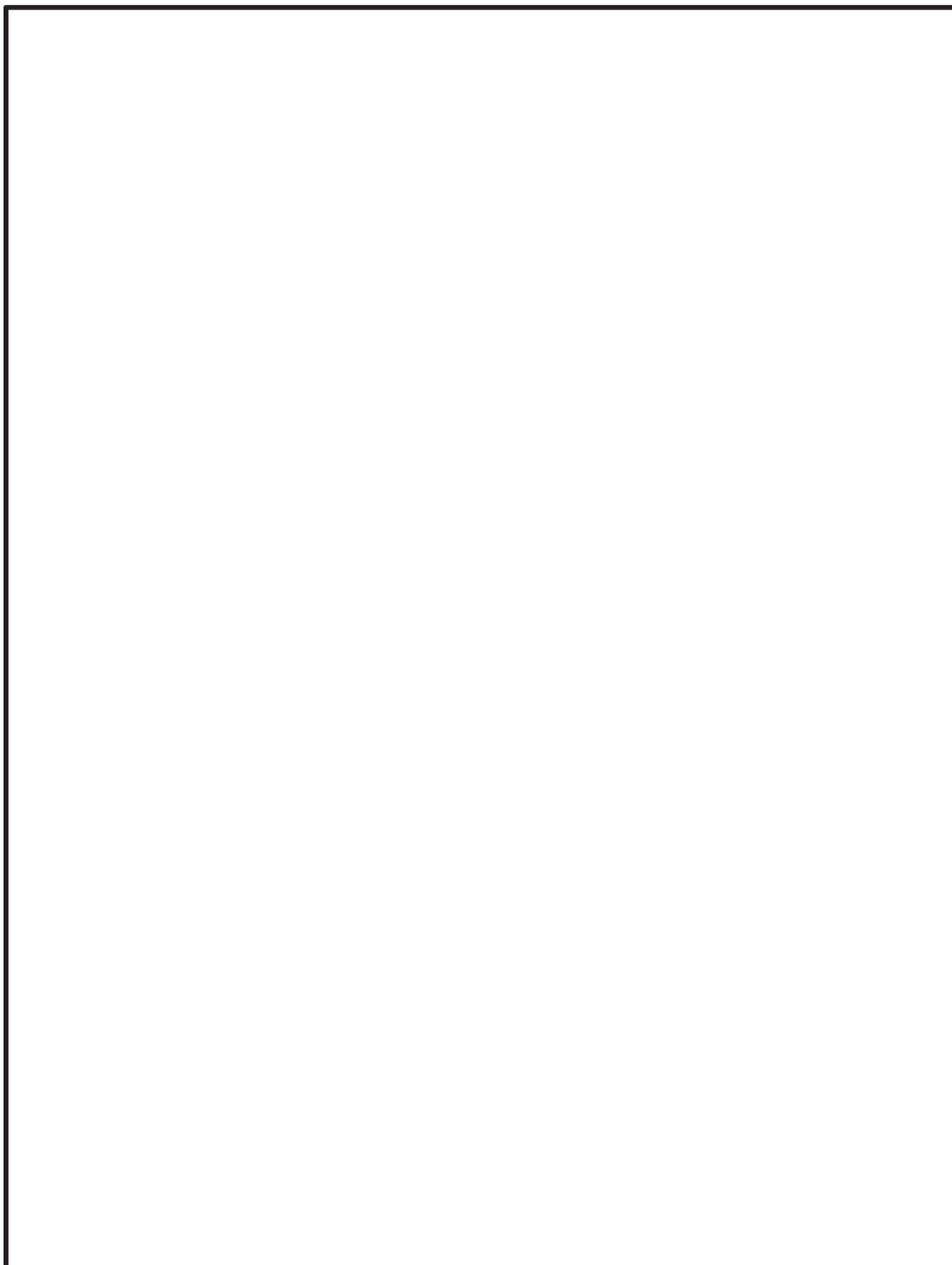


図 4-1 解析モデル サプレッションチェーン全体はりモデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

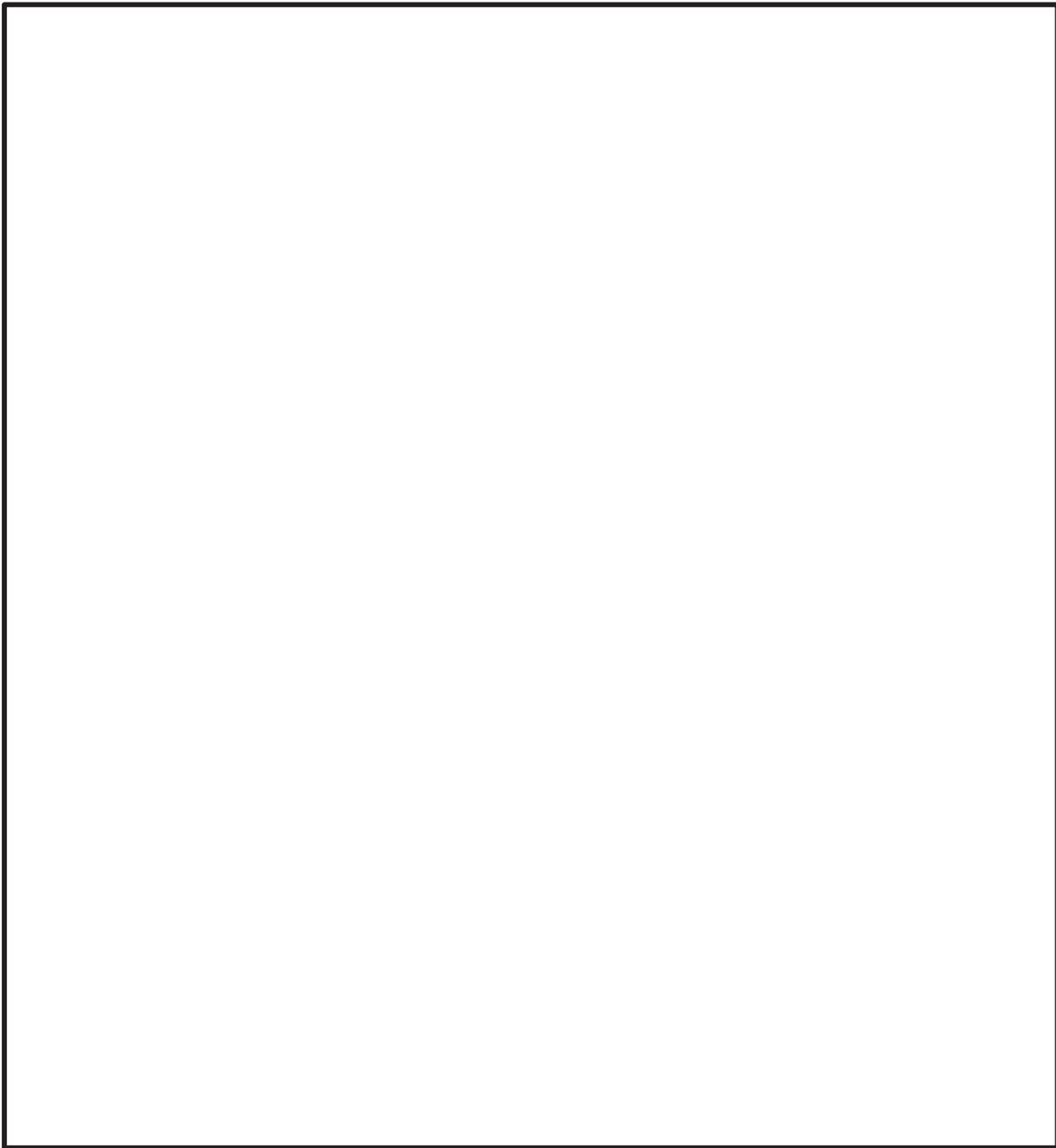


図 4-2 解析モデル サプレッションチェンバ部分シェルモデル (圧力荷重)



図 4-3 解析モデル サプレッションチェンバ部分シェルモデル (強制変位荷重)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



4-4 サプレッションチェンバ部分シェルモデルの部材名称

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-6(1) 機器諸元 (その 1)

項目	記号	単位	入力値	
			設計基準対象施設	重大事故等対処設備
材質	—	—	SGV480	
機器質量	—	Kg		
水密度	—	kg/m ³		
水位	—	mm		
温度条件	T	°C	0. P. -3800	0. P. -1514
縦弾性係数	E	MPa		
ポアソン比	ν	—		

注記*1：解析モデルの温度は，通常運転時温度と事故時温度の平均温度とする。なお，許容応力は保守的に事故時温度で算出する。

*2：解析モデルの温度は，通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお，許容応力は各運転状態の最高温度で算出する。

表 4-6(2) 機器諸元 (その 2)

項目	要素数	節点数
(1) サプレッションチェンバ全体はりモデル		
(2) サプレッションチェンバ部分シェルモデル (圧力荷重)		
(3) サプレッションチェンバ部分シェルモデル (強制変位荷重)		

4.4 固有周期

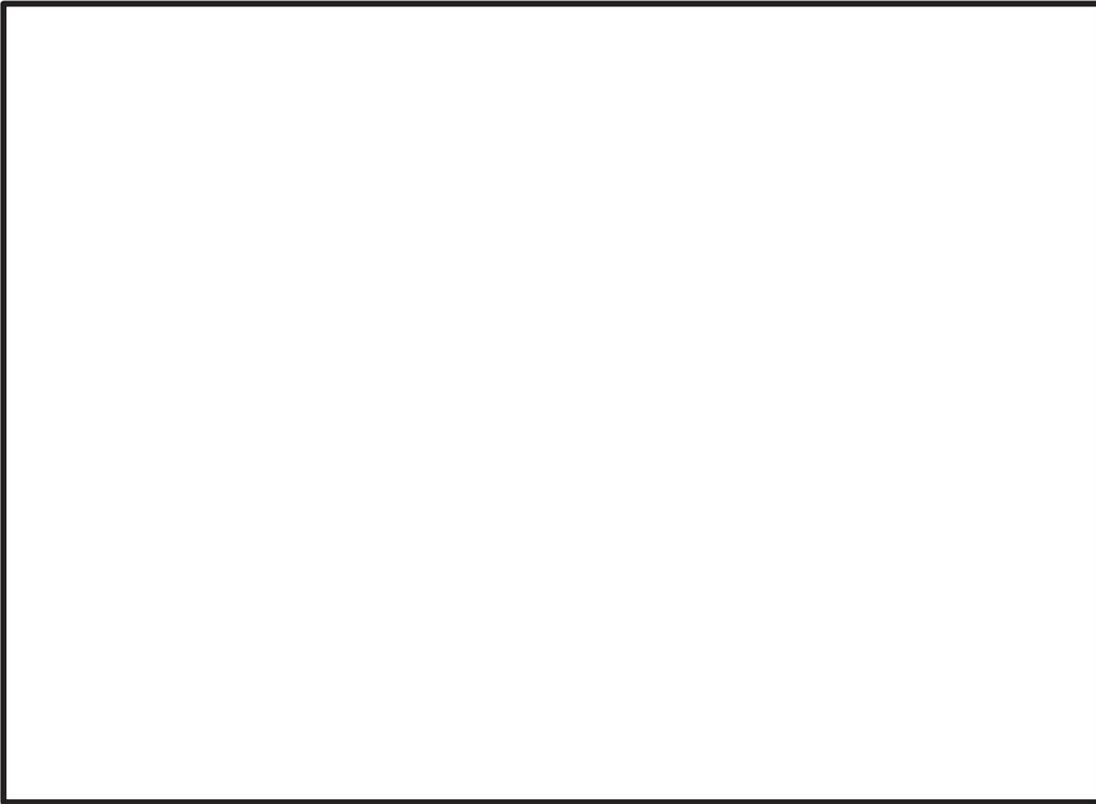
(1) 設計基準対象施設としての固有周期

固有周期は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すモデルを用いて解析により算出する。設計基準対象施設における固有周期を表 4-7 に、主要振動モード図を 3 モード代表して図 4-5 にそれぞれ示す。水平方向及び鉛直方向に対し、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 4-7 固有周期 (設計基準対象施設)

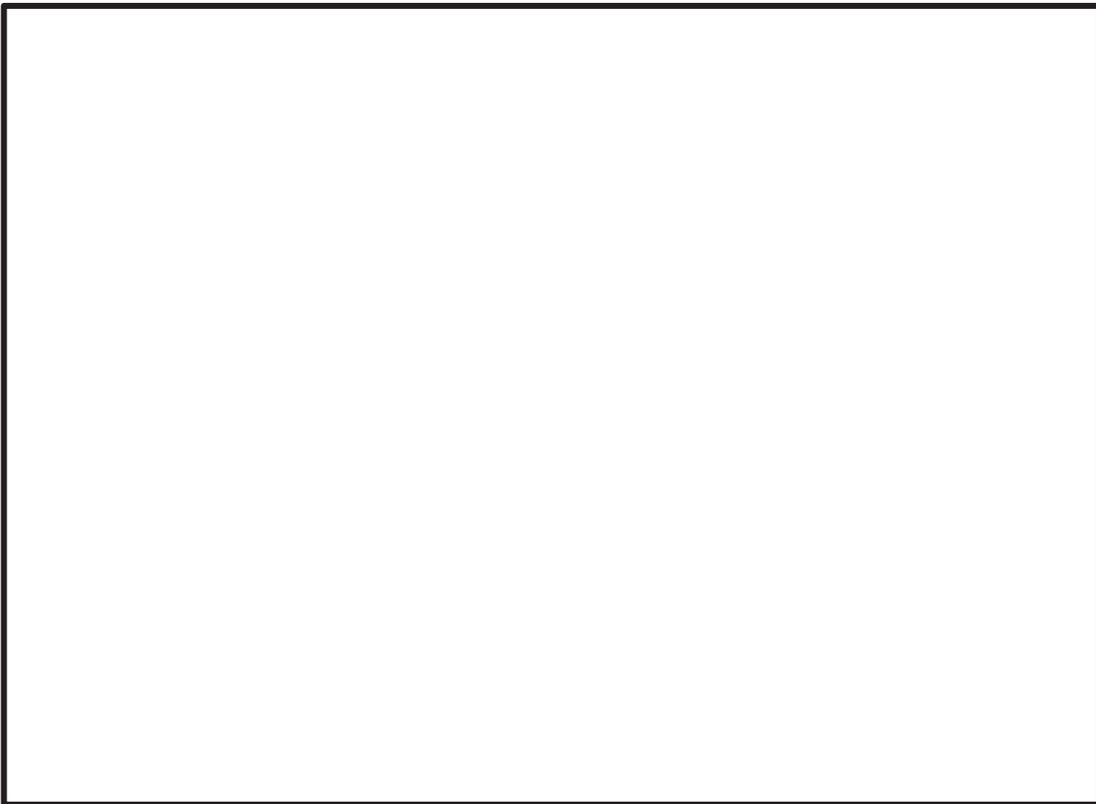
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.077			
2次	0.077			
3次	0.073			
4次	0.073			
5次	0.067			
6次	0.060			
7次	0.060			
8次	0.053			
9次	0.053			
10次	0.052			
11次	0.052			
12次	0.050			

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。



3次モード

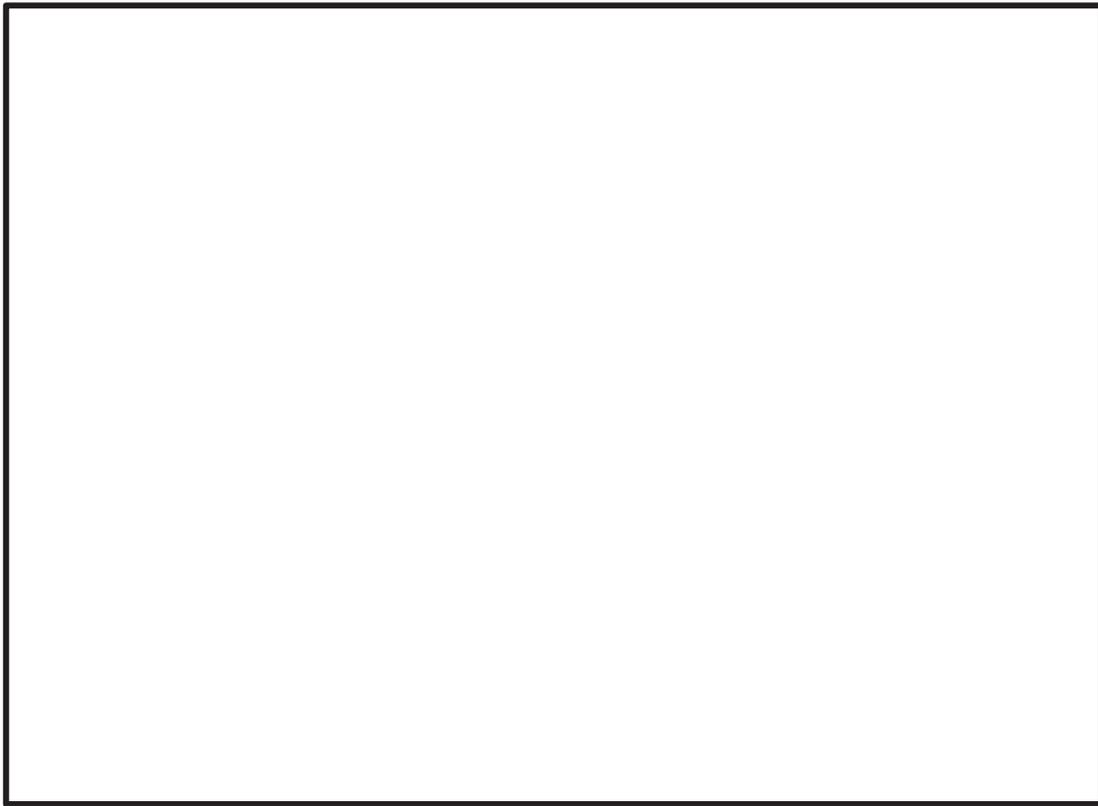
図 4-5 主要振動モード図（設計基準対象施設）（その1）



4次モード

図 4-5 主要振動モード図（設計基準対象施設）（その2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



5次モード

図 4-5 主要振動モード図（設計基準対象施設）（その3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

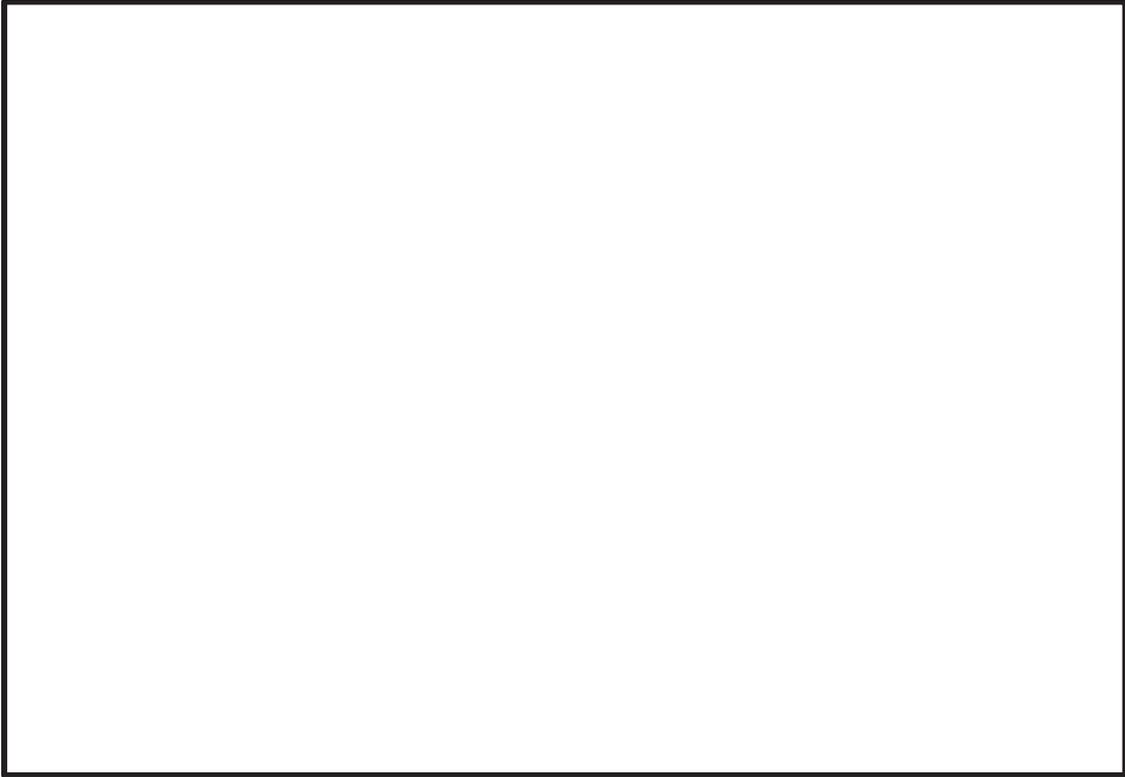
(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

固有周期は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すモデルを用いて解析により算出する。重大事故等対処設備における固有周期は表 4-8 に、主要振動モード図を 3 モード代表として図 4-6 にそれぞれ示す。水平方向及び鉛直方向に対し、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 4-8 固有周期（重大事故等対処設備）

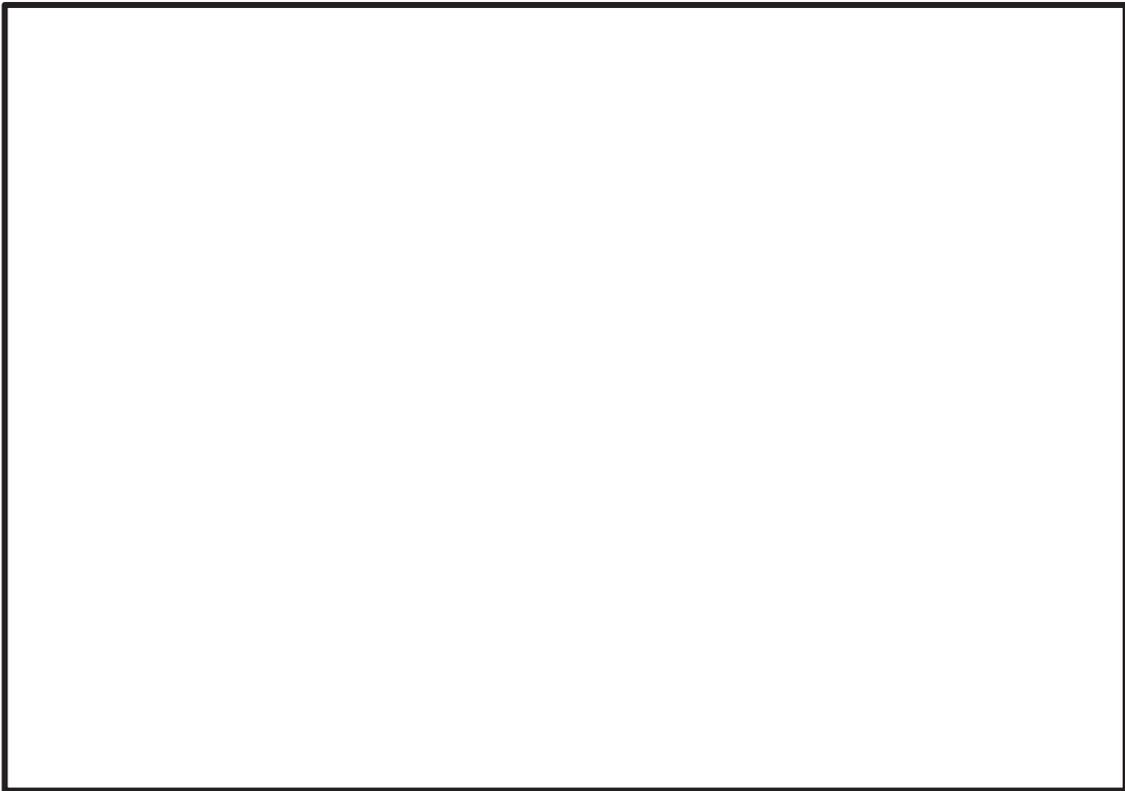
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.104			
2次	0.104			
3次	0.097			
4次	0.097			
5次	0.085			
6次	0.076			
7次	0.076			
8次	0.069			
9次	0.069			
10次	0.068			
11次	0.066			
12次	0.066			
13次	0.051			
14次	0.051			
15次	0.047			

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。



3次モード

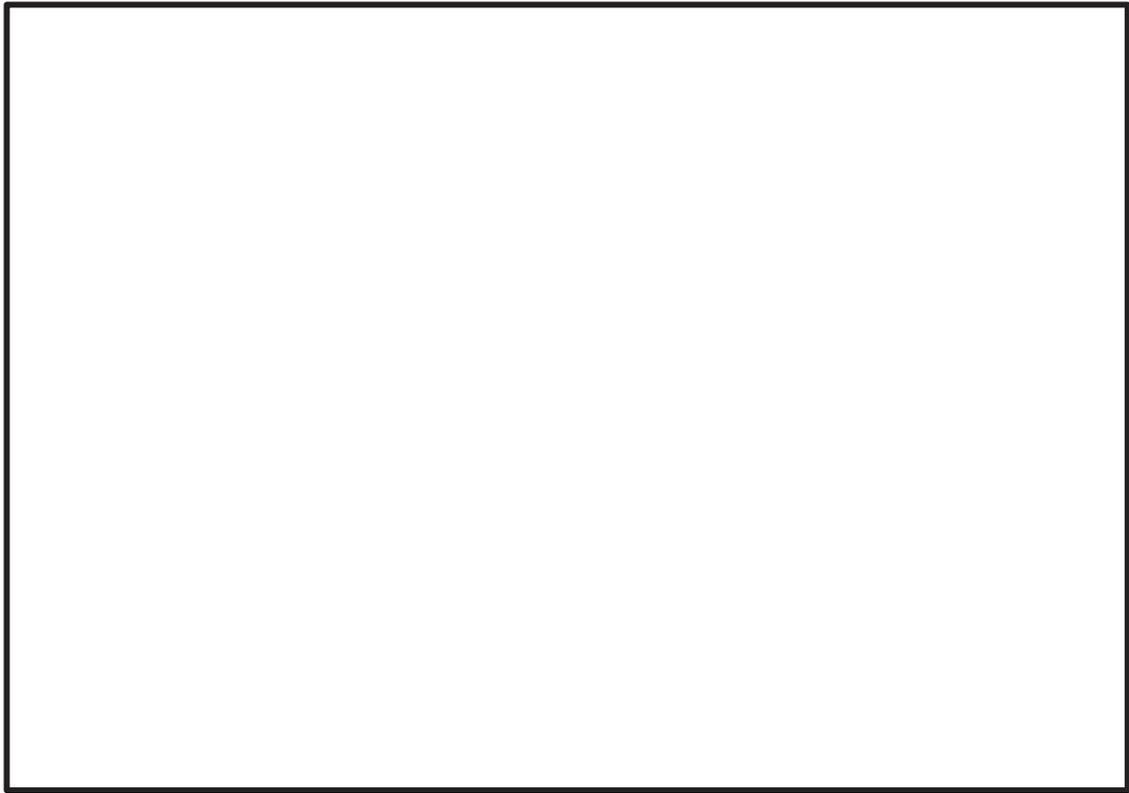
図 4-6 主要振動モード図（重大事故等対処設備）（その1）



4次モード

図 4-6 主要振動モード図（重大事故等対処設備）（その2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



5次モード

図 4-6 主要振動モード図（重大事故等対処設備）（その 3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 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。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。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建屋 O.P. -8.10 ^{*1}					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 ^{*2}		鉛直 : 1.0 ^{*2}			
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 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.077						
2次	0.077						
3次	0.073						
4次	0.073						
5次	0.067						
6次	0.060						
7次	0.060						
8次	0.053						
9次	0.053						
10次	0.052						
11次	0.052						
12次	0.050	—	—	—	—	—	—
動的地震力 ^{*4}		0.48	0.48	0.40	0.99	0.99	0.69
静的地震力 ^{*5}		0.36	0.36	0.29	—	—	—

注記*1 : サプレッションチェンバが設置される原子炉建屋 O.P. -8.10m の床応答スペクトルを適用する。

*2 : 添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

*3 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

*4 : S_d 又は S_s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5 : 静的震度 (3.6・C_i 及び 1.2・C_v) 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 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建屋 0.P. -8.10 ^{*1}					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 ^{*2}		鉛直 : 1.0 ^{*2}			
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 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	0.104						
2次	0.104						
3次	0.097						
4次	0.097						
5次	0.085						
6次	0.076						
7次	0.076						
8次	0.069						
9次	0.069						
10次	0.068						
11次	0.066						
12次	0.066						
13次	0.051						
14次	0.051						
15次	0.047	—	—	—	—	—	—
動的地震力 ^{*4}		0.48	0.48	0.40	0.99	0.99	0.69
静的地震力 ^{*5}		0.36	0.36	0.29	—	—	—

注記*1：サプレッションチェンバが設置される原子炉建屋 0.P. -8.10m の床応答スペクトルを適用する。

*2：添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物に適用される減衰定数を用いる。

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトルより得られる震度を示す。

*4：S_d又はS_s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：静的震度 (3.6・C_i及び1.2・C_v) 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。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

サプレッションチェンバの応力評価点は、サプレッションチェンバを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-11 及び図 4-7 に示す。

表 4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
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

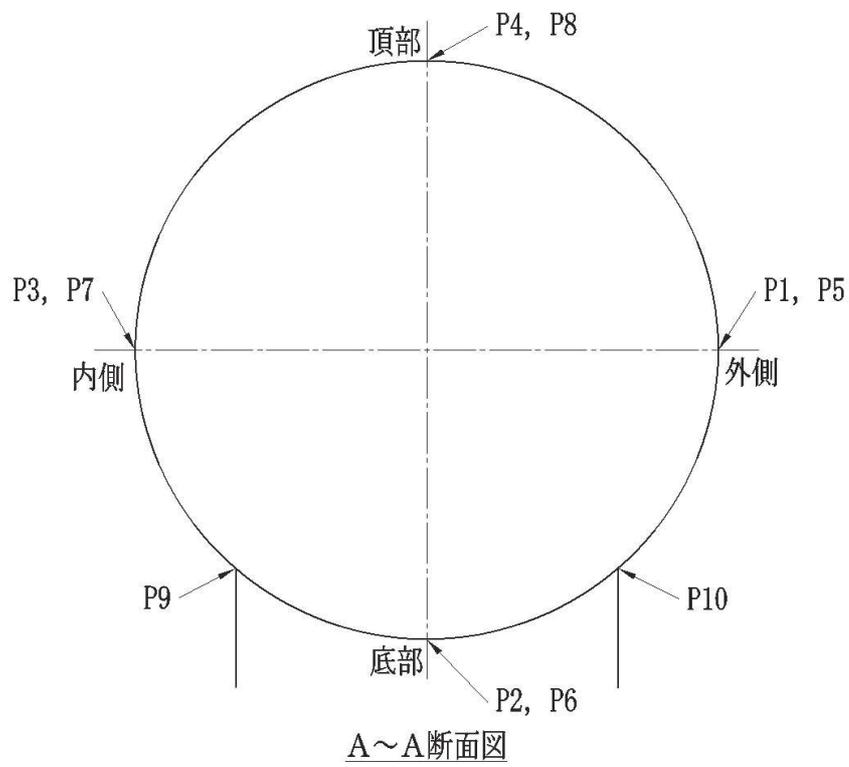
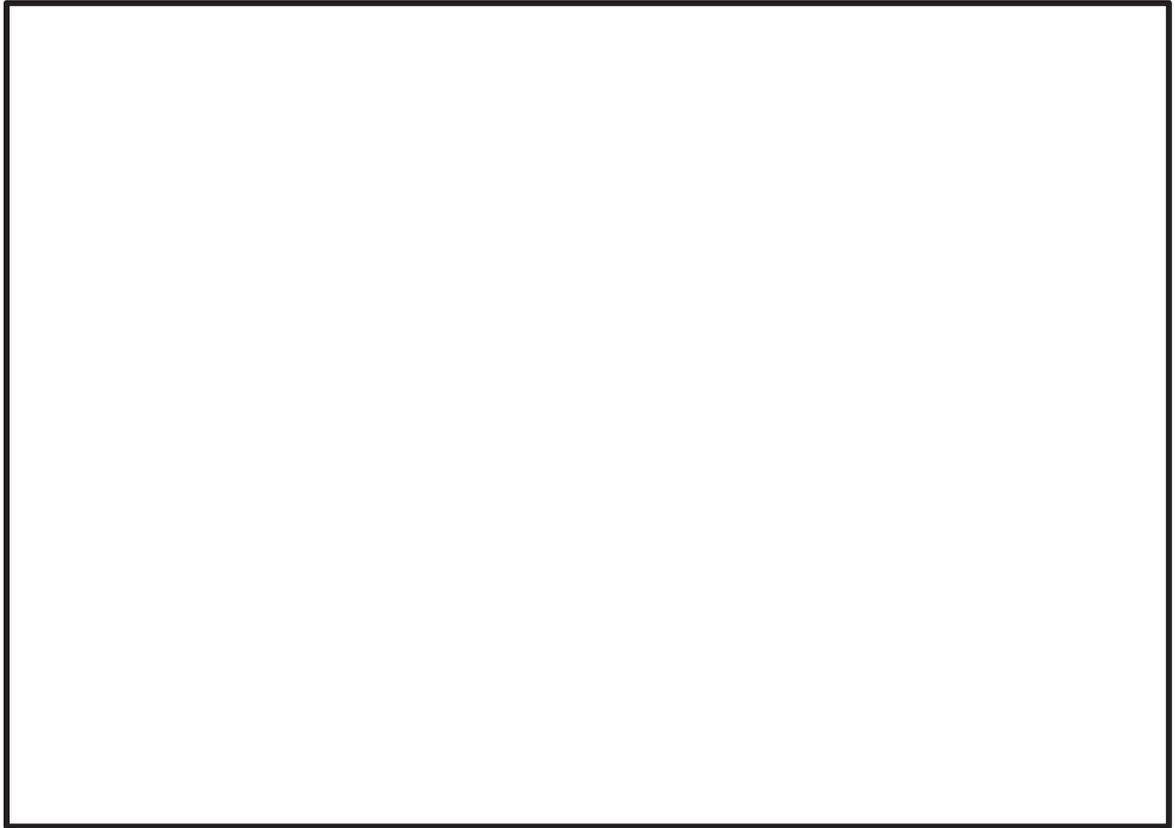


図 4-7 サプレッションチェンバの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.2 応力計算方法

サブプレッションチェンバの応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

設計基準対象施設における応力は、応力評価点 P1～P10 に対し、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すサブプレッションチェンバ部分シェルモデルにより算出する。水力学的動荷重は、参照図書(1)に示す水力学的動荷重による応力を用いる。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備における応力は、応力評価点 P1～P10 に対し、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すサブプレッションチェンバ部分シェルモデルにより算出する。水力学的動荷重は、参照図書(1)に示す水力学的動荷重による応力を用いる。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、二乗和平方根により組み合わせる。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた各応力が、表 4-3 に示す許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_mはSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

サブレーションチェンバ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。

なお、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」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次＋二次＋ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表5-1及び表5-2に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、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」における表3-6の荷重の組合せのNo.を記載する。

なお、一次膜応力＋一次曲げ応力の許容応力を求める際の形状係数 α は、応力評価上の断面である中実矩形断面の1.5を用いている。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d *) (その1)

評価対象設備	Ⅲ _A S	応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
P1	洞中央部外側	一次一般膜応力	36	237	○	(13)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	36	356	○	(13)	
P2	洞中央部底部	一次＋二次応力	48	393	○	(9), (13)	
		一次一般膜応力	38	237	○	(13)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	38	356	○	(13)	
		一次＋二次応力	30	393	○	(9), (13)	
P3	洞中央部内側	一次一般膜応力	32	237	○	(13)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	32	356	○	(13)	
		一次＋二次応力	38	393	○	(9), (13)	
P4	洞中央部頂部	一次一般膜応力	16	237	○	(9), (13)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	16	356	○	(9), (13)	
P5	洞エビ継手部外側	一次＋二次応力	22	393	○	(9), (13)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	24	356	○	(13)	
		一次＋二次応力	46	393	○	(9), (13)	

サブレーション
ンチエンバ

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d *) (その 2)

評価対象設備	Ⅲ _A S 応力評価点	応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考	
			算出応力 MPa	許容応力 MPa				
			P6	胴エビ継手部底部				一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力	31 42	356 393	○ ○	(13) (9), (13)		
サブレーション ンチエンバ	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力＋一次曲げ応力	19	356	○	(13)	
			一次＋二次応力	26	393	○	(9), (13)	
P9	内側ボックスサポーター取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	86	356	○	(13)		
		一次＋二次応力	86	393	○	(9), (13)		
P10	外側ボックスサポーター取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	92	356	○	(13)		
		一次＋二次応力	96	393	○	(9), (13)		

表 5-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S s) (その1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
サブレーション ンチエンバ	P1 胴中央部外側	一次一般膜応力	56	258	○	(14)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	56	387	○	(14)	
	P2 胴中央部底部	一次＋二次応力	88	393	○	(11), (14)	
		一次一般膜応力	51	258	○	(14)	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	51	387	○	(14)	
P3 胴中央部内側	一次＋二次応力	54	393	○	(11), (14)		
	一次一般膜応力	48	258	○	(14)		
	一次膜応力＋一次曲げ応力	48	387	○	(14)		
P4 胴中央部頂部	一次＋二次応力	70	393	○	(11), (14)		
	一次一般膜応力	25	258	○	(11), (14)		
	一次膜応力＋一次曲げ応力	25	387	○	(11), (14)		
P5 胴エビ継手部外側	一次＋二次応力	40	393	○	(11), (14)		
	一次膜応力＋一次曲げ応力	39	387	○	(14)		
		一次＋二次応力	86	393	○	(11), (14)	

表 5-2(1) 許容応力状態 IV_{AS} に対する評価結果 (D + P + M + S s) (その 2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV_{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
サブレーション ンチエンバ	P6 胴エビ継手底部	一次膜応力＋一次曲げ応力	85	387	○	(14)	
		一次＋二次応力	56	393	○	(11), (14)	
	P7 胴エビ継手内側	一次膜応力＋一次曲げ応力	46	387	○	(14)	
		一次＋二次応力	78	393	○	(11), (14)	
	P8 胴エビ継手頂部	一次膜応力＋一次曲げ応力	28	387	○	(14)	
		一次＋二次応力	48	393	○	(11), (14)	
	P9 内側ボックスサポーター取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	116	387	○	(14)	
		一次＋二次応力	158	393	○	(11), (14)	
	P10 外側ボックスサポーター取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	126	387	○	(14)	
		一次＋二次応力	180	393	○	(11), (14)	

表 5-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (その1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
サブレーション ンチエンバ	P1	一次一般膜応力	76	258	○	(16)	
		一次膜応力+一次曲げ応力	76	387	○	(16)	
	P2	一次+二次応力	48	393	○	(16)	
		一次一般膜応力	65	258	○	(16)	
		一次膜応力+一次曲げ応力	65	387	○	(16)	
P3	一次+二次応力	30	393	○	(16)		
	一次一般膜応力	71	258	○	(16)		
	一次膜応力+一次曲げ応力	71	387	○	(16)		
P4	一次+二次応力	38	393	○	(16)		
	一次一般膜応力	62	258	○	(16)		
P5	一次膜応力+一次曲げ応力	62	387	○	(16)		
	一次+二次応力	22	393	○	(16)		
洞エビ継手部外側	洞エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	41	387	○	(16)	
		一次+二次応力	46	393	○	(16)	

表 5-2(2) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (その2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa			
サブレーション ンチエンバ	P6 胴エビ継手底部	一次膜応力＋一次曲げ応力	38	387	○	(16)	
		一次＋二次応力	30	393	○	(16)	
	P7 胴エビ継手部内側	一次膜応力＋一次曲げ応力	58	387	○	(16)	
		一次＋二次応力	42	393	○	(16)	
	P8 胴エビ継手部頂部	一次膜応力＋一次曲げ応力	42	387	○	(16)	
		一次＋二次応力	26	393	○	(16)	
	P9 内側ボックスサポーター取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	73	387	○	(16)	
		一次＋二次応力	86	393	○	(16)	
	P10 外側ボックスサポーター取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力	76	387	○	(16)	
		一次＋二次応力	96	393	○	(16)	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバ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。

なお、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」の3.1.23項「繰り返し荷重に対する解析」に記載のとおり、地震を含む機械的荷重の繰り返しに対する規定である設計・建設規格 PVB-3140(6)を満足しているため、各許容応力状態における一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表5-3に示す。

なお、一次膜応力+一次曲げ応力の許容応力を求める際の形状係数 α は、応力評価上の断面である中実矩形断面の1.5を用いている。

表 5-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa		
サブレーション ンチエンバ	P1 胴中央部外側	一次一般膜応力	215	253	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	215	380	○	
	P2 胴中央部底部	一次+二次応力	82	393	○	
		一次一般膜応力	200	253	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	200	380	○	
		一次+二次応力	52	393	○	
	P3 胴中央部内側	一次一般膜応力	209	253	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	209	380	○	
	P4 胴中央部頂部	一次+二次応力	70	393	○	
		一次一般膜応力	193	253	○	
P5 胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	193	380	○		
	一次+二次応力	40	393	○		
		一次膜応力+一次曲げ応力	104	380	○	
		一次+二次応力	82	393	○	

表 5-3(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (その2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
サプレッション ンチエンバ	P6 胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	111	380	○	
		一次+二次応力	52	393	○	
	P7 胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	161	380	○	
		一次+二次応力	76	393	○	
	P8 胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	380	○	
		一次+二次応力	48	393	○	
	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	221	380	○	
		一次+二次応力	154	393	○	
	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	220	380	○	
		一次+二次応力	168	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 1)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
サブレーション ンチエンバ	P1 胴中央部外側	一次一般膜応力	204	257	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	204	386	○	
		一次+二次応力	166	393	○	
	P2 胴中央部底部	一次一般膜応力	172	257	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	172	386	○	
		一次+二次応力	106	393	○	
	P3 胴中央部内側	一次一般膜応力	189	257	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	189	386	○	
		一次+二次応力	136	393	○	
	P4 胴中央部頂部	一次一般膜応力	160	257	○	
		一次膜応力+一次曲げ応力	160	386	○	
		一次+二次応力	78	393	○	
	P5 胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	116	386	○	
		一次+二次応力	162	393	○	

表 5-3(2) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (その 2)

評価対象設備	応力評価点	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
サプレッション ンチエンバ	P6 胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	106	386	○	
		一次+二次応力	104	393	○	
	P7 胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	157	386	○	
		一次+二次応力	152	393	○	
	P8 胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	386	○	
		一次+二次応力	92	393	○	
	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	204	386	○	
		一次+二次応力	300	393	○	
	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	213	386	○	
		一次+二次応力	330	393	○	

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-13 サプレッションチェンバの強度計算書」