

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-19-0179_改0
提出年月日	2021年6月4日

VI-2-9-4-1 ダウンカマの耐震性についての計算書

2021年6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	11
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2 許容応力	11
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
4.2.4 設計荷重	20
4.3 解析モデル及び諸元	23
4.4 固有周期	26
4.5 設計用地震力	43
4.6 計算方法	63
4.6.1 応力評価点	63
4.6.2 応力計算方法	66
4.7 計算条件	67
4.8 応力の評価	67
5. 評価結果	68
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	68
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	74
6. 参照図書	80

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、ダウンコマ及びベントヘッダ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。

ダウンコマ及びベントヘッダは、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ダウンコマ及びベントヘッダの評価は、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)及び(2)）による。（以下「既工認」という。）

2. 一般事項

2.1 構造計画

ダウンコマ及びベントヘッダの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
<p>基礎・支持構造</p> <p>ダウンカマ及びベンツダは、サブレーションベント管及びベンツノズルを介してドライウエルに支持される。</p> <p>鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ベンツ管、ベンツノズル及びドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>主体構造</p> <p>ダウンカマは外径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の鋼製管状構造物であり, ベントヘッドに接続する。ベンツヘッドは内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物を円環状に 16 本接合した構造物である。各接合部近傍にはベンツヘッドサポートを備える。</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

ダウンカマ及びベントヘッダの応力評価は、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。

ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

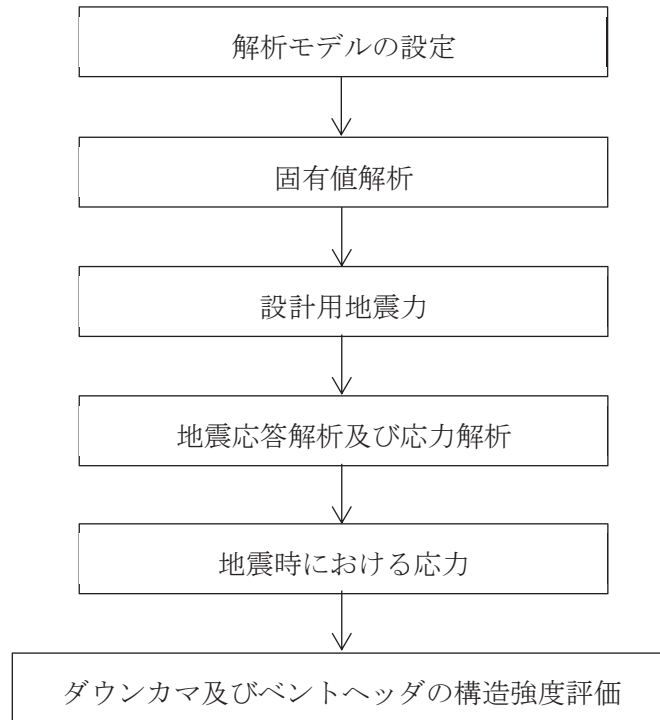


図 2-1 ダウンカマ及びベントヘッダの耐震評価フロー

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。）
- (5) 鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
D_i	直径 ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
E	縦弾性係数	MPa
f_b	許容曲げ応力度	MPa
f_c	許容圧縮応力度	MPa
f_p	許容支圧応力度	MPa
f_s	許容せん断応力度	MPa
f_t	許容引張応力度	MPa
F	許容応力度の基準値	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
ℓ_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重, 曲げモーメント	—, N・mm
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)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力, 軸力	—, N
P_{SAL}	圧力 (SA 後長期 (L) 圧力)	kPa
P_{SALL}	圧力 (SA 後長期 (LL) 圧力)	kPa
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	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S'_ℓ	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
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℃における設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T	温度	℃

記号	記号の説明	単位
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	°C
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に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

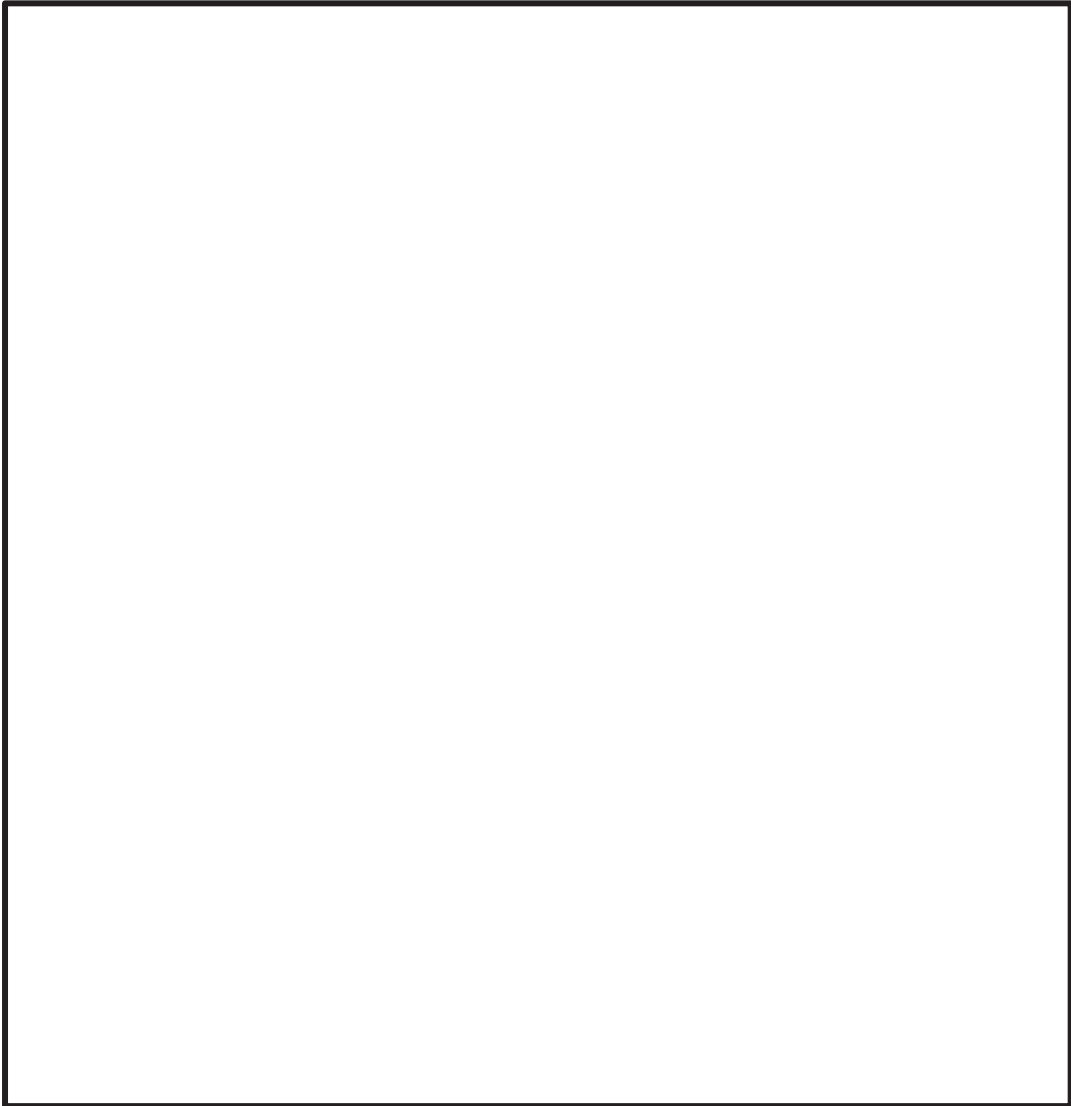
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	°C	—	—	整数位 ^{*1}
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位

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

ダウンカマ及びベントヘッダの形状及び主要寸法を図 3-1～図 3-4 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。



① ダウンカマ

② ベントヘッダ

③ ベントヘッダリング

④ ダウンカマリング

$D_1 =$

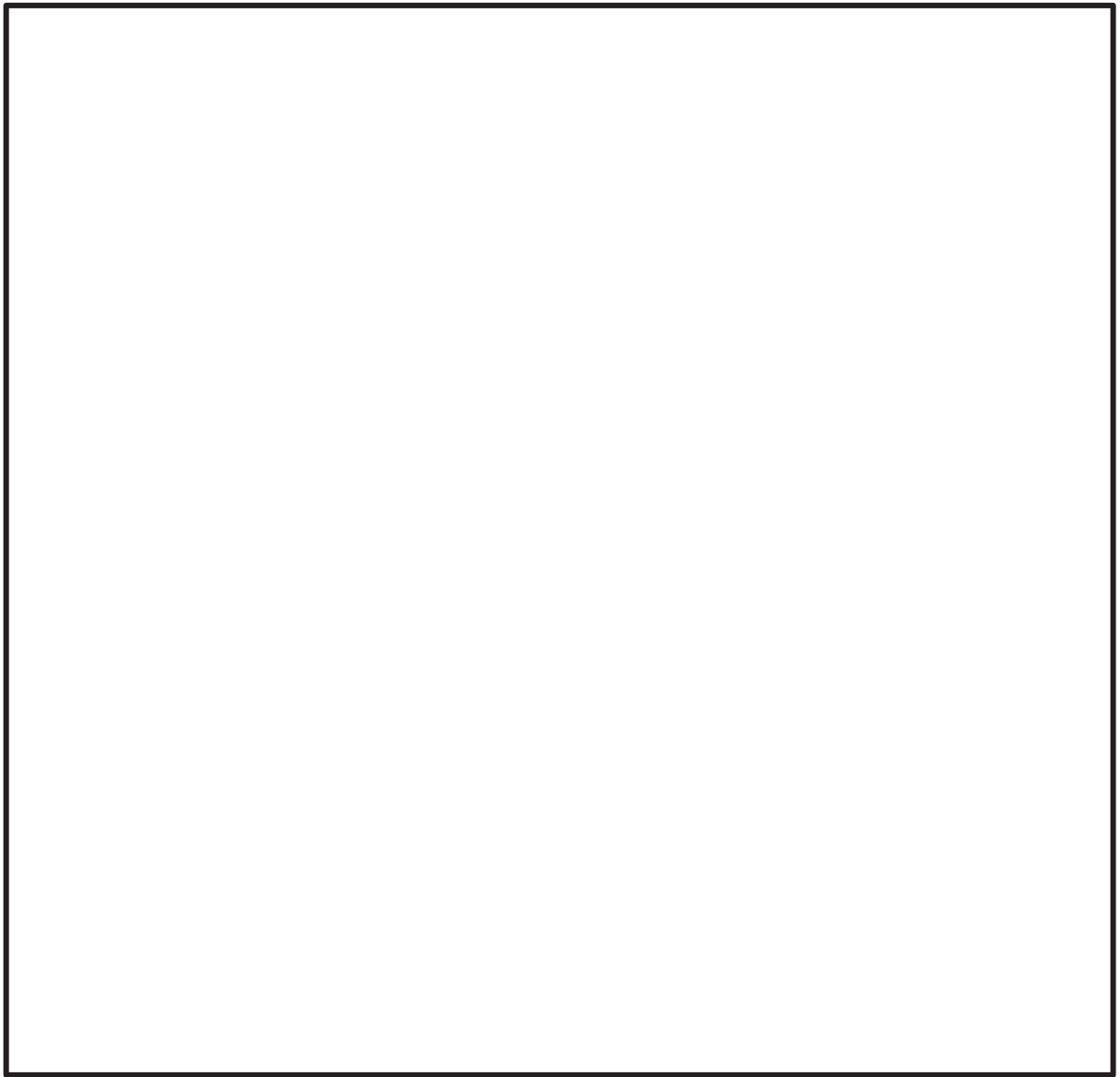
$t_1 =$

$l_1 =$

$l_2 =$

(単位：mm)

図 3-1 ダウンカマの形状及び主要寸法



$D_2 =$

$t_2 =$

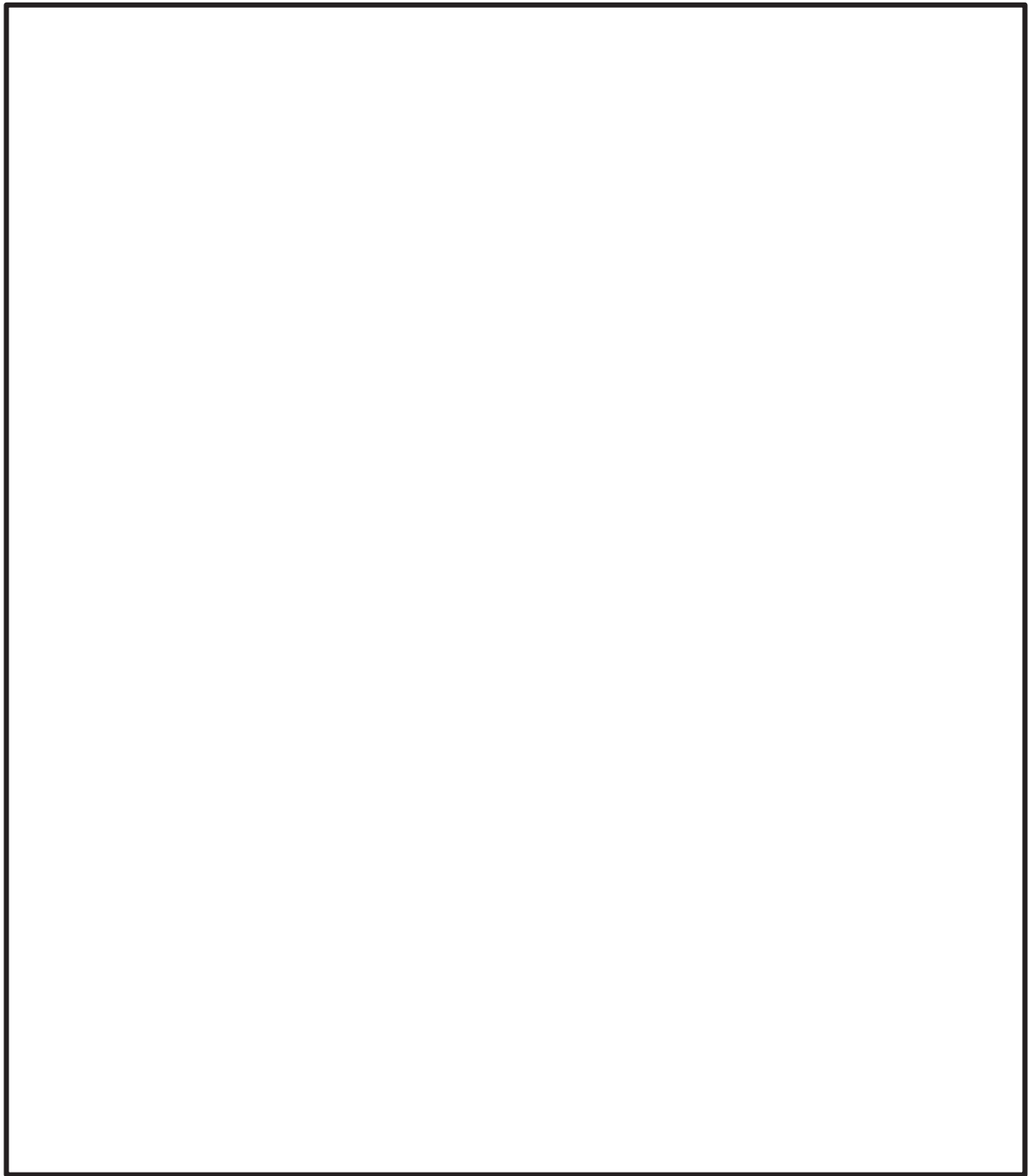
$l_3 =$

$l_4 =$

$l_5 =$

(単位：mm)

図 3-2 ベントヘッダの形状及び主要寸法



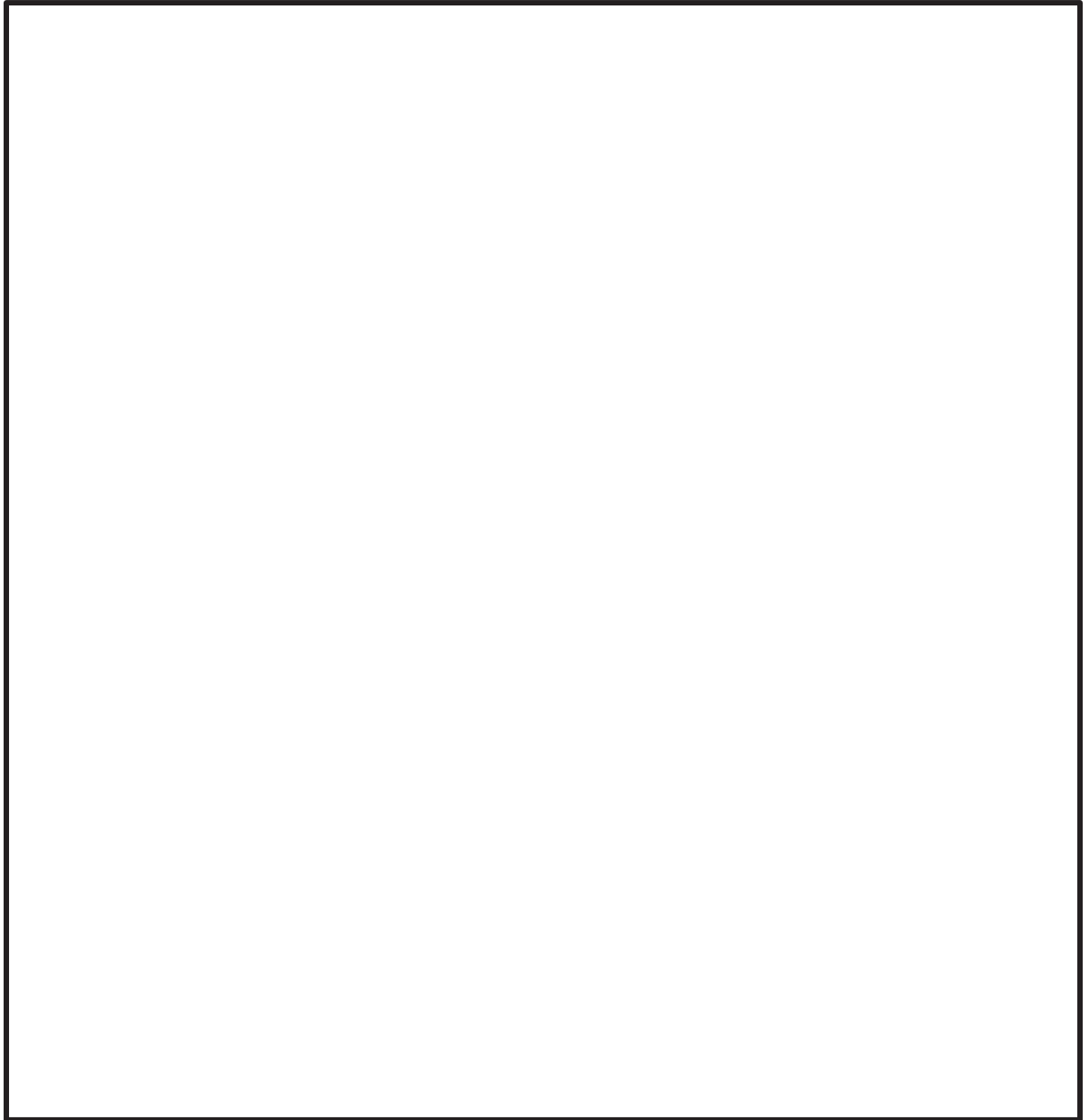
$D_3 =$

$t_3 =$

$l_6 =$
 $l_7 =$
 $l_8 =$
 $l_{14} =$
 $l_{15} =$

(単位：mm)

図 3-3 ベントヘッダサポートの形状及び主要寸法



$D_4 =$
 $D_5 =$
 $D_6 =$
 $D_7 =$

$t_4 =$
 $t_5 =$

$l_9 =$
 $l_{10} =$
 $l_{11} =$
 $l_{12} =$
 $l_{13} =$
 $l_{16} =$

(単位 : mm)

図 3-4 ベントヘッドサポートのピン及びエンドプレートの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料
ダウンカメラ	SGV480
ベントヘッダ	SGV480
ベントヘッダサポート（下側）	
ベントヘッダサポート（上側）	
ピン（下側）	
ピン（上側）	
エンドプレート（下側）	
エンドプレート（上側）	

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) ダウンカム及びベントヘッドは、サブプレッションチェンバ内に設置され、ベント管及びベントノズルを介してドライウエルに支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重はベント管、ベントノズル及びドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。

ダウンカム及びベントヘッドの耐震評価として、添付書類「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧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」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。

- (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

ダウンカム及びベントヘッド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

ダウンカム及びベントヘッドの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3～表 4-5 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

ダウンカム及びベントヘッド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 4-6 及び表 4-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9 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	ダウンカマ	S	クラス2管	D + P _D + M _D + S _d [*]	III _{AS}			
				D + P _D + M _D + S _s	IV _{AS}			
	ベントヘッド 圧力低減設備 その他の安全設備	S	クラス2容器	D + P _D + M _D + S _d [*]	III _{AS}			
				D + P _D + M _D + S _s	IV _{AS}			
				ベントヘッドサポー ト, ピン及びビエント プレート	— ^{*3}	建物・ 構築物	D + P _D + M _D + S _d [*]	III _{AS} ^{*4} <短期>
							D + P _D + M _D + S _s	IV _{AS} ^{*4} <短期>

注記*1：() は添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設的设计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：運転状態 I による燃料交換時の活荷重はダウンカマ及びベントヘッド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。

*3：スクラス相当として評価する。

*4：鋼構造設計規準によるため、< >内の許容応力状態を適用する。

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 ^{*2}	許容応力状態
原子炉格納施設	ダウンカマ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S d	V _{AS} ^{*3}
				D + P _{SALL} + M _{SALL} + S s	V _{AS} ^{*3}
圧力低減設備 その他の安全設備	バントヘッド	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	V _{AS} ^{*3}
				D + P _{SALL} + M _{SALL} + S s	V _{AS} ^{*3}
	バントヘッドサポ ート, ピン及びエ ンドプレート	— ^{*6}	建物・ 構築物	D + P _{SAL} + M _{SAL} + S d	V _{AS} ^{*3} <短期> ^{*7}
				D + P _{SALL} + M _{SALL} + S s	V _{AS} ^{*3} <短期> ^{*7}

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：V_{AS} としてIV_{AS} の許容限界を用いる。

*4：SA 後長期 (L) の最高内圧 (差圧) との組合せを考慮する。

*5：SA 後長期 (LL) の内圧 (差圧) との組合せを考慮する。

*6：S クラス相当として評価する。

*7：鋼構造設計規程によるため、< > 内の許容応力状態を適用する。

表4-3 クラス2管及び重大事故等クラス2管の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _{AS}	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ^{*1} ただし、 $AS S$ 及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし、 $AS S$ 及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。		^{*2}
Ⅳ _{AS}	$0.6 \cdot S_u$ ^{*1}	左欄の1.5倍の値		
V_{AS} ^{*3}				

注記*1：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_{AS}の一次一般膜応力の許容値 (S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、 $AS S$ 及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方)の 0.8 倍の値とする。

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

*3： V_{AS} としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表4-4 クラス2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、ASS及びHNAに ついては上記の値と1.2・Sの うち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 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。	*1
IV _{AS}	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _{AS} *2				

注記*1：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

*2：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

表4-5 ベントヘッドサポート、ピン及びエンドプレートの許容応力度

許容応力状態	引張／ 組合せ	せん断	圧縮	曲げ	支圧
短期	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$

表 4-6 ダウンカマ及びベントヘッドの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)
		周囲環境温度	171				
ダウンカマ	SGV480	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベントヘッド	SGV480	周囲環境温度	171	—	229	423	—

表 4-7 ベントヘッドサポート、ピン及びエンドプレートの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	F (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ベントヘッドサポート				
ピン				
エンドプレート				

表 4-8 ダウンカム及びベントヘッド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)
		周囲環境温度	178 ^{*1}				
ダウンカム	SGV480	周囲環境温度	178 ^{*1}	—	228	422	—
		周囲環境温度	111 ^{*2}	—	236	429	—
ベントヘッド	SGV480	周囲環境温度	178 ^{*1}	—	228	422	—
		周囲環境温度	111 ^{*2}	—	236	429	—

注記*1：SA 後長期 (L) のドライウェル温度を考慮する。

*2：SA 後長期 (LL) のドライウェル温度を考慮する。

表 4-9 ベントヘッドサポート、ピン及びエンドプレートの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	F (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ベントヘッドサポート				
ピン				
エンドプレート				

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，最高使用圧力及び最高使用温度は，既工認（参照図書(1)及び(2)）からの変更はなく，次のとおりである。

また，ベントヘッドサポート反力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

ベント管，ベントヘッド，ダウンカメラ及び真空破壊装置等の自重を死荷重とする。

死荷重 N

c. 水力的動的荷重

チャギング荷重は次のとおりである。

横方向荷重 N

(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（差圧） P_{SAL}	35kPa（SA 後長期（L））
内圧（差圧） P_{SALL}	35kPa（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））

b. 水力的動的荷重

重大事故等対処設備としてのチャギング荷重は N となり，設計基準対象施設としての荷重に包絡されるため，(1)の値とする。

c. ベントヘッドサポート反力

重大事故等対処設備としてのベントヘッドサポート反力を表 4-12 及び表 4-13 に示す。

表 4-10 ベントヘッドサポート（下側）反力（設計基準対象施設）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
最高使用圧力（内圧）	1.187	0.1120
ベント系死荷重	-0.2931	0.03929
ベント系 S d * 地震荷重	±1.825	18.57
ベント系 S s 地震荷重	±1.651	14.48

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-11 ベントヘッドサポート（上側）反力（設計基準対象施設）

荷重名称 \ 成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
最高使用圧力（内圧）	-1.040	0.9815
ベント系死荷重	0.2450	0.1518
ベント系 S d * 地震荷重	±1.565	50.88
ベント系 S s 地震荷重	±1.403	39.54

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-12 ベントヘッドサポート（下側）反力（重大事故等対処設備）

荷重名称	成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
内圧（差圧）（SA 後長期（L））		0.09186	0.01180
内圧（差圧）（SA 後長期（LL））		0.09379	0.01088
ベント系死荷重（SA 後長期（L）及び（LL））		-0.2931	0.03929
ベント系 S d 地震荷重（SA 後長期（L））		±2.688	29.41
ベント系 S s 地震荷重（SA 後長期（LL））		±3.394	30.06
チャギング荷重（SA 後長期（L））		±0.07218	3.025

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

表 4-13 ベントヘッドサポート（上側）反力（重大事故等対処設備）

荷重名称	成分	軸力* P (×10 ⁵ N)	曲げモーメント M (×10 ⁵ N・mm)
内圧（差圧）（SA 後長期（L））		-0.08042	0.1276
内圧（差圧）（SA 後長期（LL））		-0.08211	0.1110
ベント系死荷重（SA 後長期（L）及び（LL））		0.2450	0.1518
ベント系 S d 地震荷重（SA 後長期（L））		±2.306	75.39
ベント系 S s 地震荷重（SA 後長期（LL））		±2.885	84.96
チャギング荷重（SA 後長期（L））		±0.06181	15.75

注記*：正符号は引張，負符号は圧縮荷重とする。

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、ベント管、ベントヘッド及びダウンカム質量並びにサプレッションチェンバ内部水の影響を考慮して固有値解析及び地震による応力解析（スペクトルモーダル解析）を実施する。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ベント管、ベントヘッド及びダウンカムは、その径に対して板厚が比較的薄く、また、各機器の挙動が相互に影響し合うことを考慮し、各部位の発生応力を詳細にみるため、ベント系全体をシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。また、各所の補強部材のうち、ベント管ガセット、ベントヘッドリング及びダウンカムリング等の板材はシェル要素によりモデル化し、筋交い、下部支持サポート及びベントヘッドサポート等の棒材は、はり要素によりモデル化する。解析モデルを図 4-1 に、機器の諸元を表 4-14 に示す。
- b. 拘束条件は、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ強め輪の結合部の
[redacted]
[redacted] なお、ベントヘッドサポートとサプレッション
チェンバ強め輪は [redacted] また、ベン
ト管とドライウエルの結合部の
[redacted]
[redacted] 各結合部のばね定数は、結合部の形状に応じて
算出する。
- c. サプレッションチェンバ内部水の影響を考慮するため、ダウンカマの内包する水の質量及び水中振動に伴い各部に作用する付加質量を没水部範囲に付加する。水中振動に伴い各部に作用する付加質量は、没水する各部の形状を考慮して算出する。
- d. 解析コードは「ANSYS」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。

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての評価は、ベント管、ベントヘッド及びダウンカム質量並びにサプレッションチェンバ内部水の影響を考慮して固有値解析及び地震による応力解析（スペクトルモーダル解析）を実施する。重大事故等時の解析モデルは、設計基準対象施設と同じとする。機器の諸元を表 4-14 に示す。

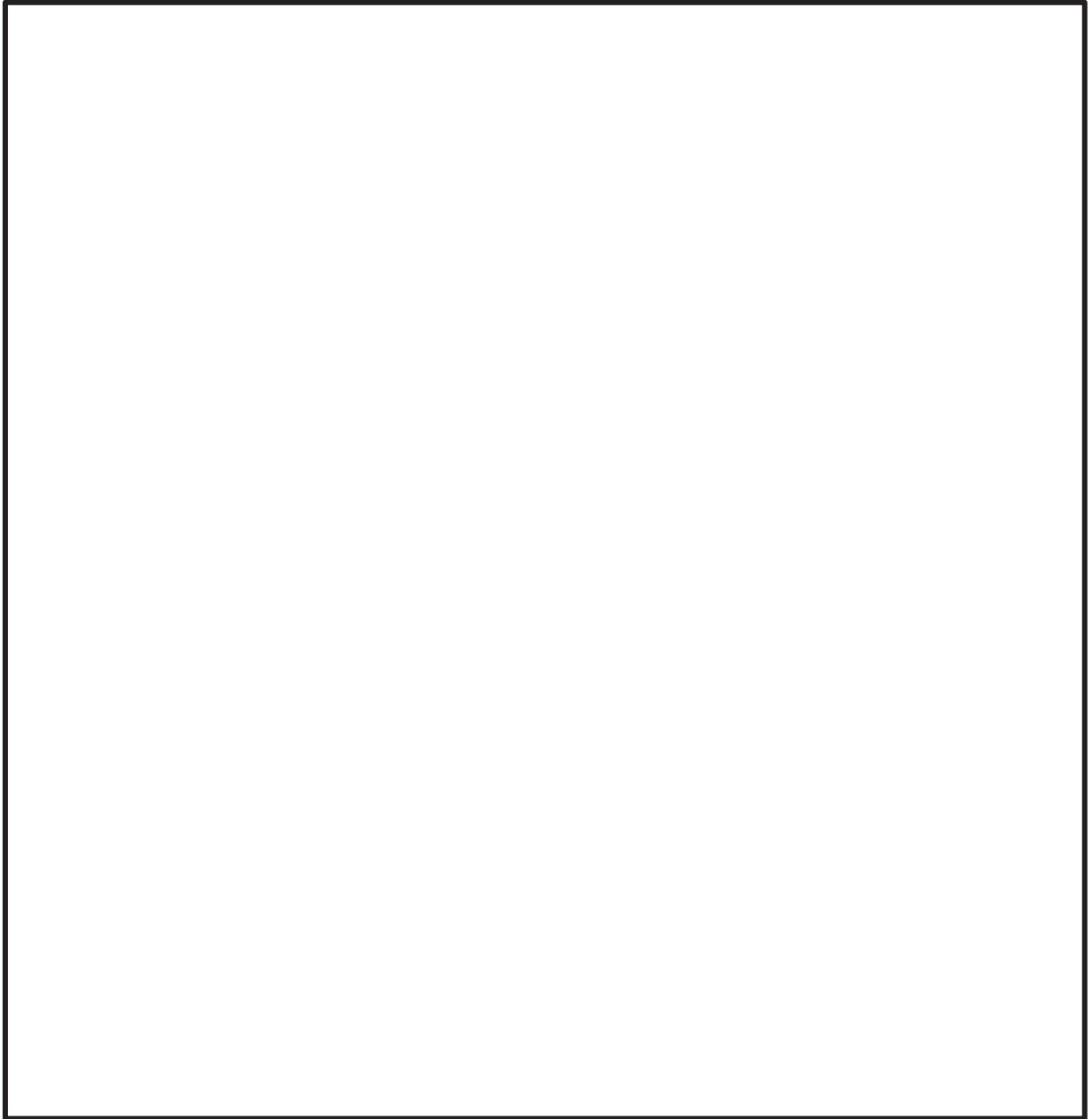


図 4-1 解析モデル

表 4-14 機器諸元

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	—	ton/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	—		
要素数	—	—		
節点数	—	—		

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設の固有周期は、「4.2.4 設計荷重」に示す最高使用温度及びサブプレッションチェンバ内部水の影響を考慮し、図 4-1 に示す解析モデルにより算出する。固有周期を表 4-15 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-2 にそれぞれ示す。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 4-15 固有周期（設計基準対象施設）（その 1）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				
18次				
19次				
20次				
21次				
22次				
23次				
24次				
25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。

表 4-15 固有周期（設計基準対象施設）（その 2）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
26次				
27次				
28次				
29次				
30次				
31次				
32次				
33次				
34次				
35次				
36次				
37次				
38次				
39次				
40次				
41次				
42次				
43次				
44次				
45次				
46次				
47次				
48次				
49次				
50次				
51次				
52次				
53次				
54次				
55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。

表 4-15 固有周期（設計基準対象施設）（その 3）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
56次				
57次				
58次				
59次				
60次				
61次				
62次				
63次				
64次				
65次				
66次				
67次				
68次				
69次				
70次				
71次				
72次				
73次				
74次				
75次				
76次				
77次				
78次				
79次				
80次				
81次				
82次				
83次				
84次				
85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。

表 4-15 固有周期（設計基準対象施設）（その 4）

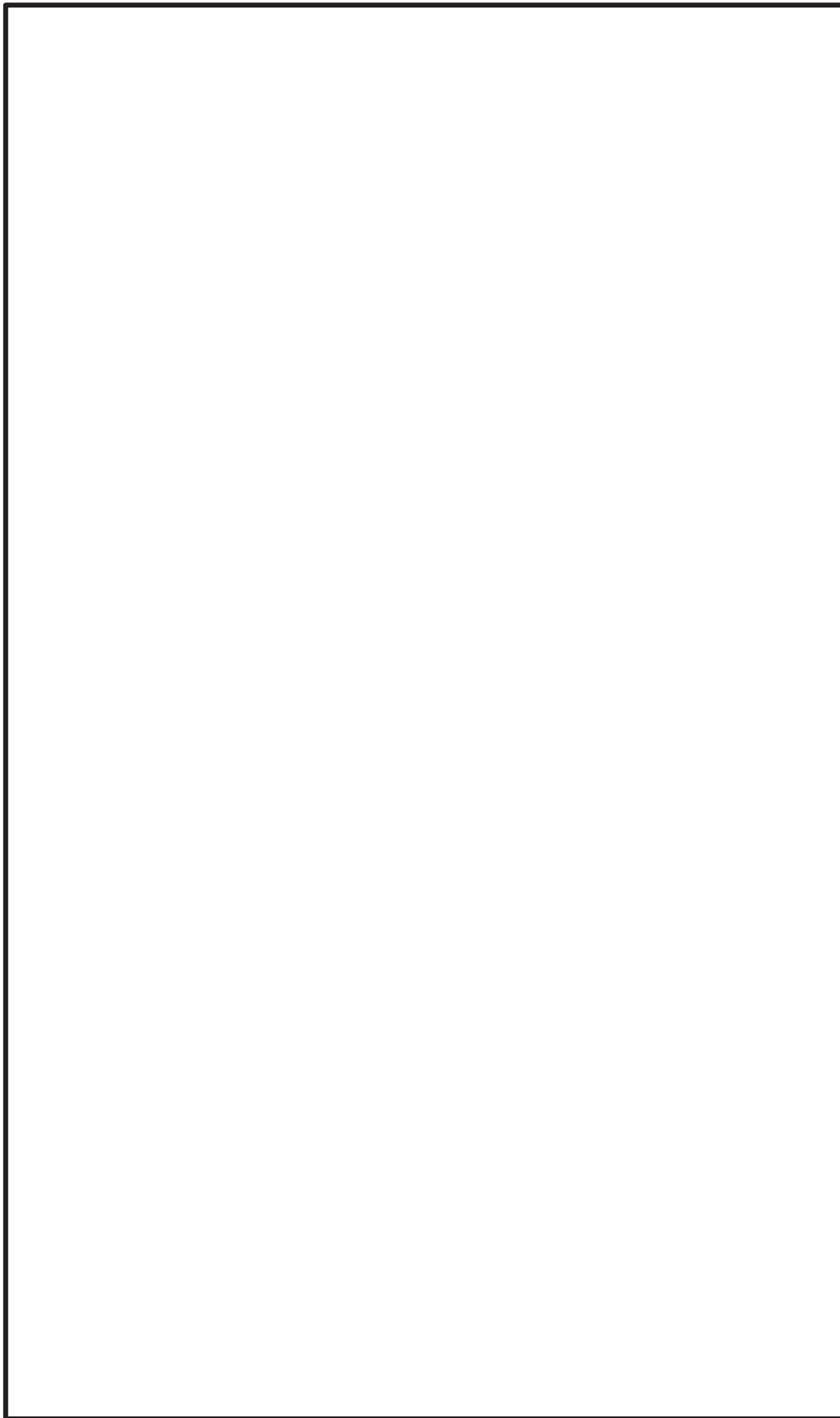
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
86 次				
87 次				
88 次				
89 次				
90 次				
91 次				
92 次				
93 次				
94 次				
95 次				
96 次				
97 次				
98 次				
99 次				
100 次				
101 次				
102 次				
103 次				
104 次				
105 次				
106 次				
107 次				
108 次				
109 次				
110 次				
111 次				
112 次				
113 次				
114 次				
115 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。

表 4-15 固有周期（設計基準対象施設）（その 5）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
116 次				
117 次				
118 次				
119 次				
120 次				
121 次				
122 次				
123 次				
124 次				
125 次				
126 次				
127 次				
128 次				
129 次				
130 次				
131 次				
132 次				
133 次				
134 次				
135 次				
136 次				

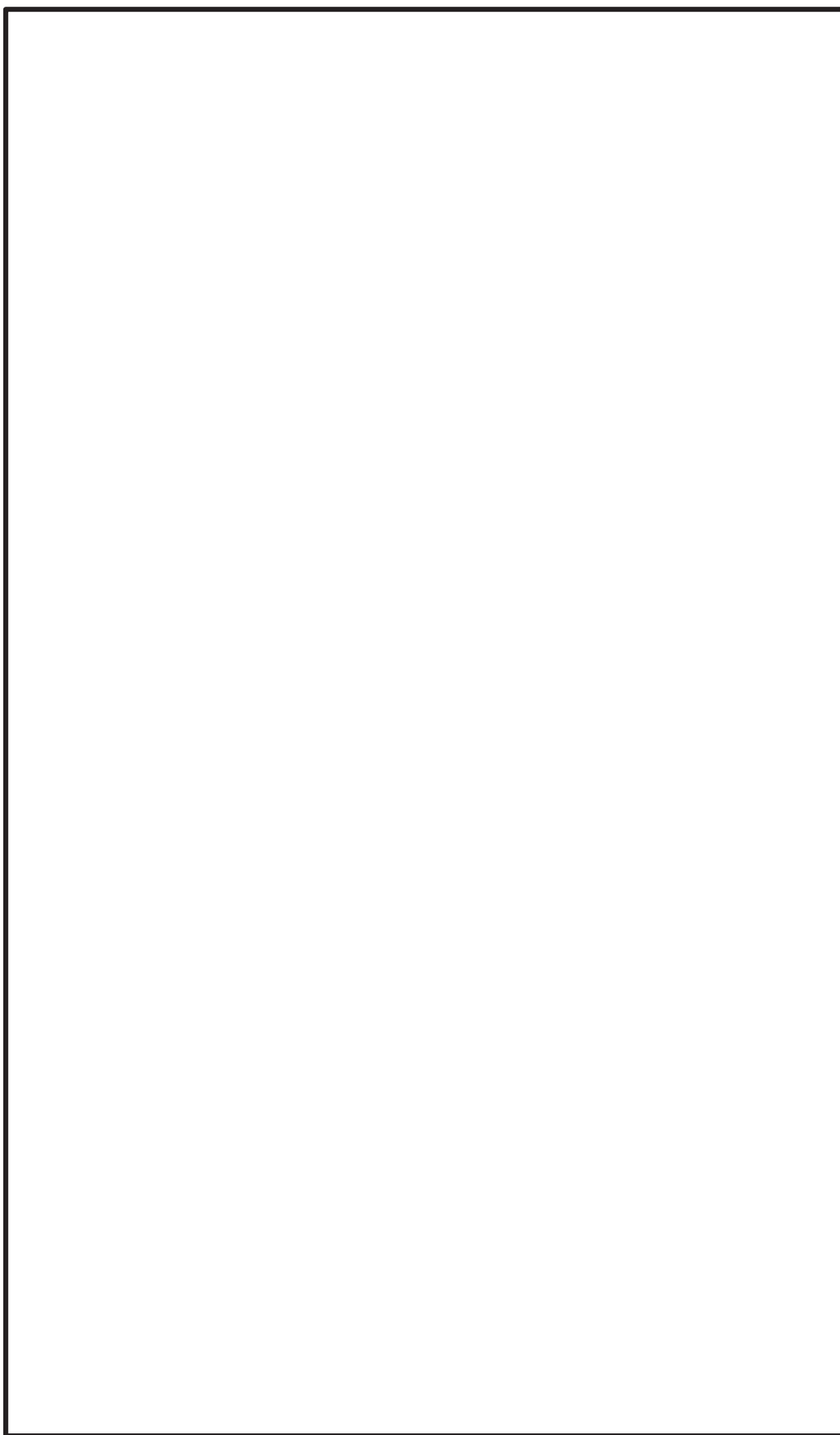
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



1次モード

図 4-2 振動モード図 (設計基準対象施設) (その1)

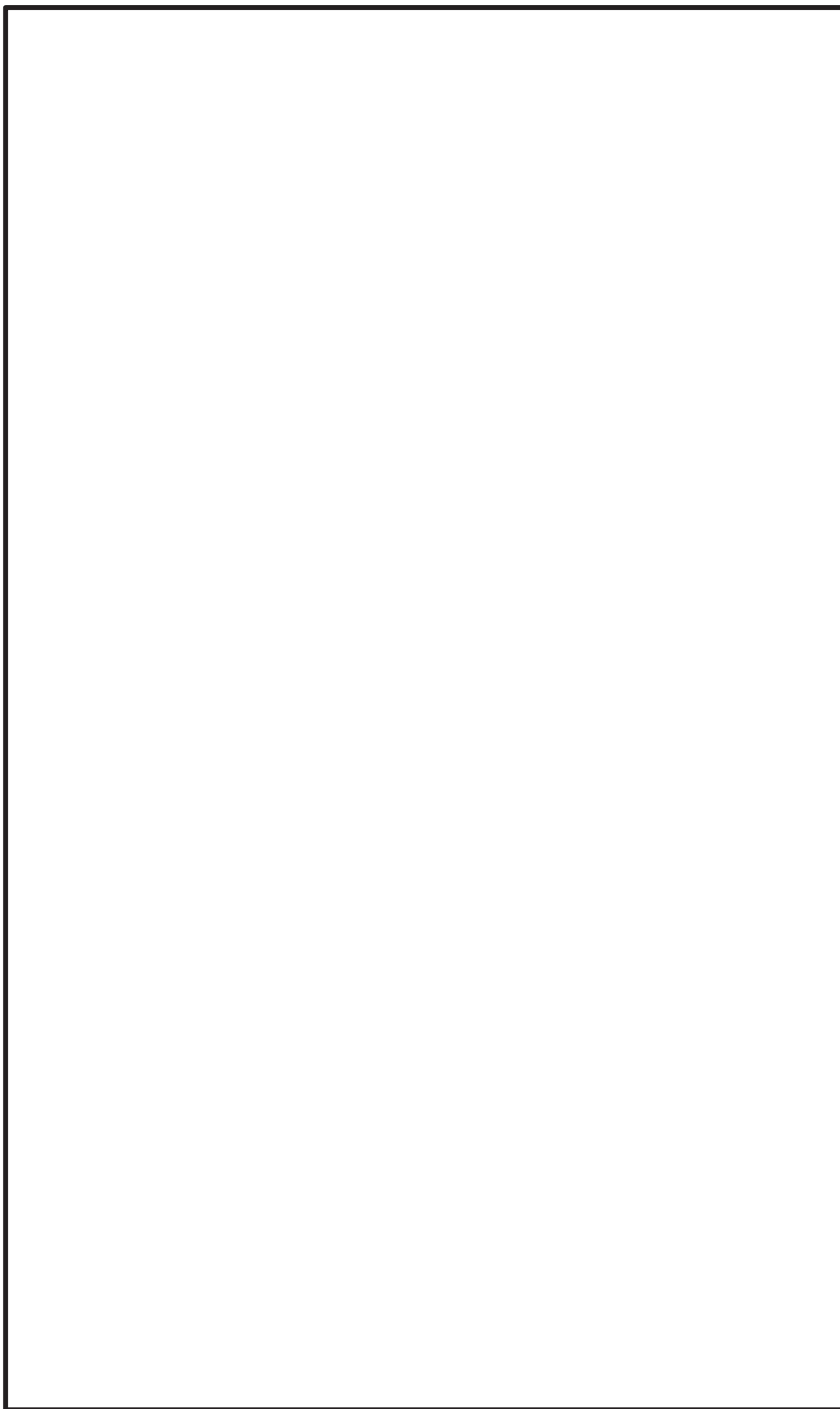
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



2次モード

図 4-2 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。



3次モード

図 4-2 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

重大事故等対処設備の固有周期は、「4.2.4 設計荷重」に示す評価温度及びサプレッションチェンバ内部水の影響を考慮し、図 4-1 に示す解析モデルにより算出する。固有周期を表 4-16 に、振動モード図を 3 次まで代表して図 4-3 にそれぞれ示す。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 4-16 固有周期（重大事故等対処設備）（その 1）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				
18次				
19次				
20次				
21次				
22次				
23次				
24次				
25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。

表 4-16 固有周期（重大事故等対処設備）（その 2）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
26次				
27次				
28次				
29次				
30次				
31次				
32次				
33次				
34次				
35次				
36次				
37次				
38次				
39次				
40次				
41次				
42次				
43次				
44次				
45次				
46次				
47次				
48次				
49次				
50次				
51次				
52次				
53次				
54次				
55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。

表 4-16 固有周期（重大事故等対処設備）（その 3）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
56次				
57次				
58次				
59次				
60次				
61次				
62次				
63次				
64次				
65次				
66次				
67次				
68次				
69次				
70次				
71次				
72次				
73次				
74次				
75次				
76次				
77次				
78次				
79次				
80次				
81次				
82次				
83次				
84次				
85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。

表 4-16 固有周期（重大事故等対処設備）（その 4）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
86次				
87次				
88次				
89次				
90次				
91次				
92次				
93次				
94次				
95次				
96次				
97次				
98次				
99次				
100次				
101次				
102次				
103次				
104次				
105次				
106次				
107次				
108次				
109次				
110次				
111次				
112次				
113次				
114次				
115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。

表 4-16 固有周期（重大事故等対処設備）（その 5）

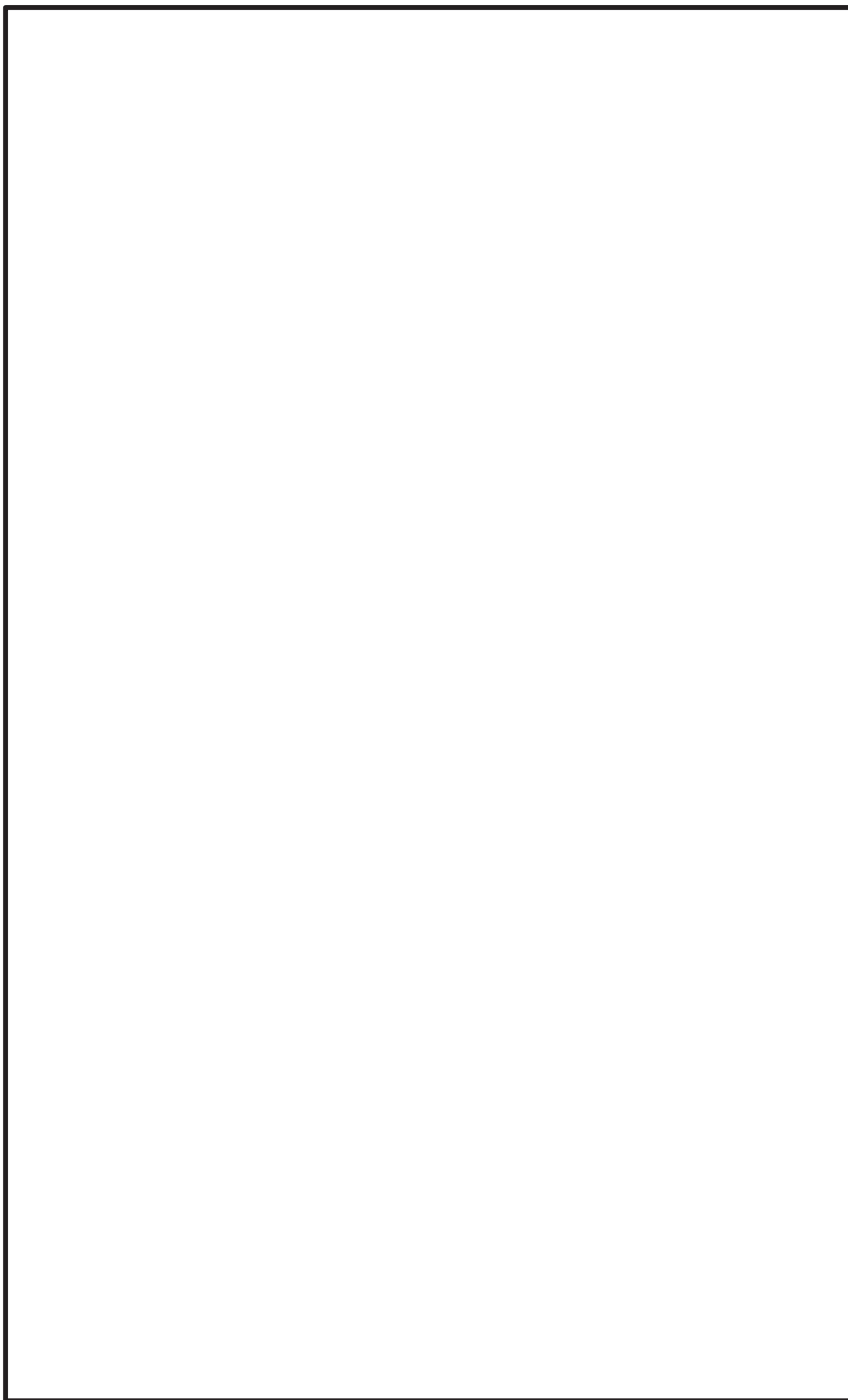
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
116 次				
117 次				
118 次				
119 次				
120 次				
121 次				
122 次				
123 次				
124 次				
125 次				
126 次				
127 次				
128 次				
129 次				
130 次				
131 次				
132 次				
133 次				
134 次				
135 次				
136 次				
137 次				
138 次				
139 次				
140 次				
141 次				
142 次				
143 次				
144 次				
145 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。

表 4-16 固有周期（重大事故等対処設備）（その 6）

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
146次				
147次				
148次				
149次				

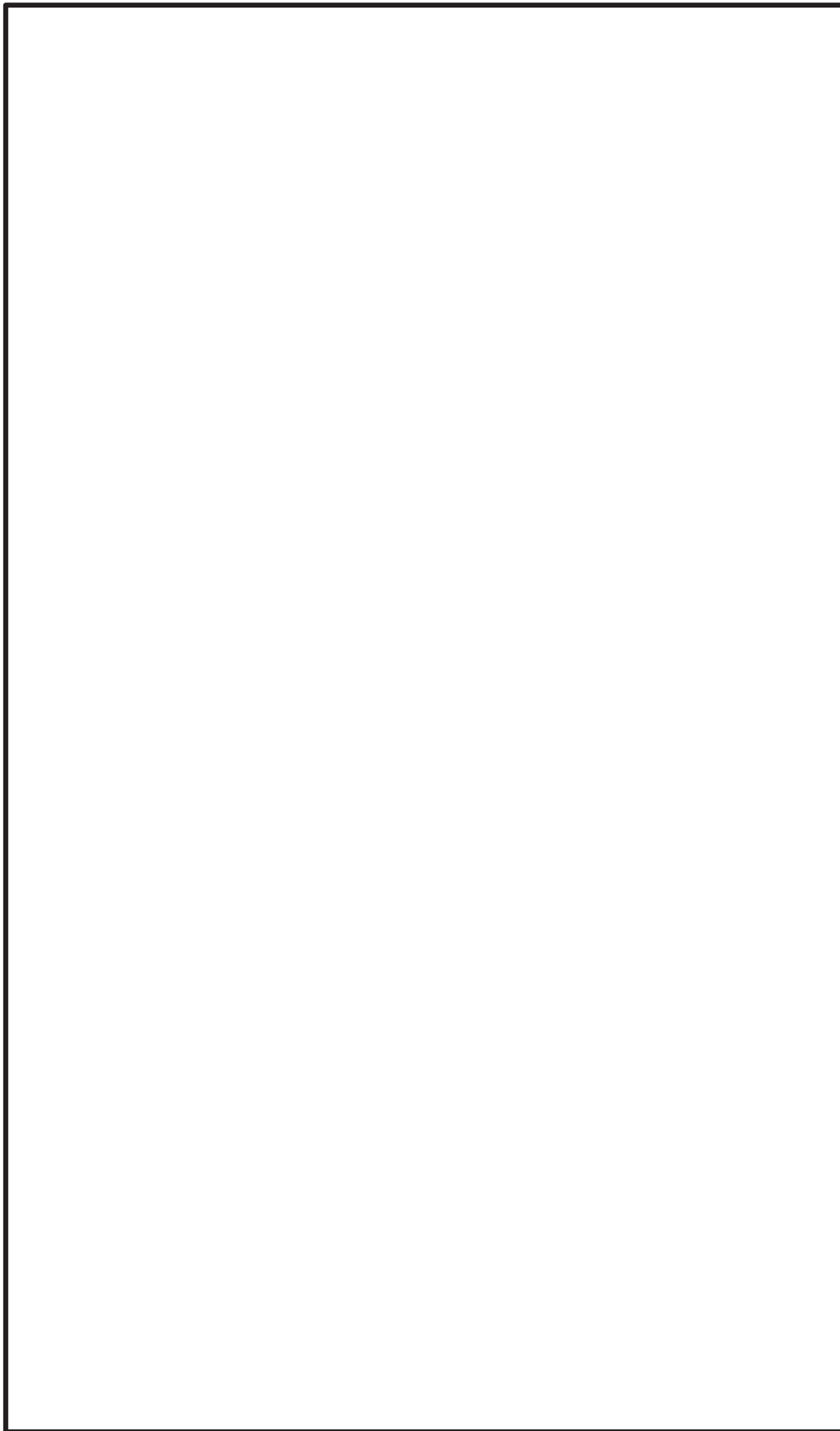
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



1次モード

図 4-3 振動モード図 (重大事故等対処設備) (その 1)

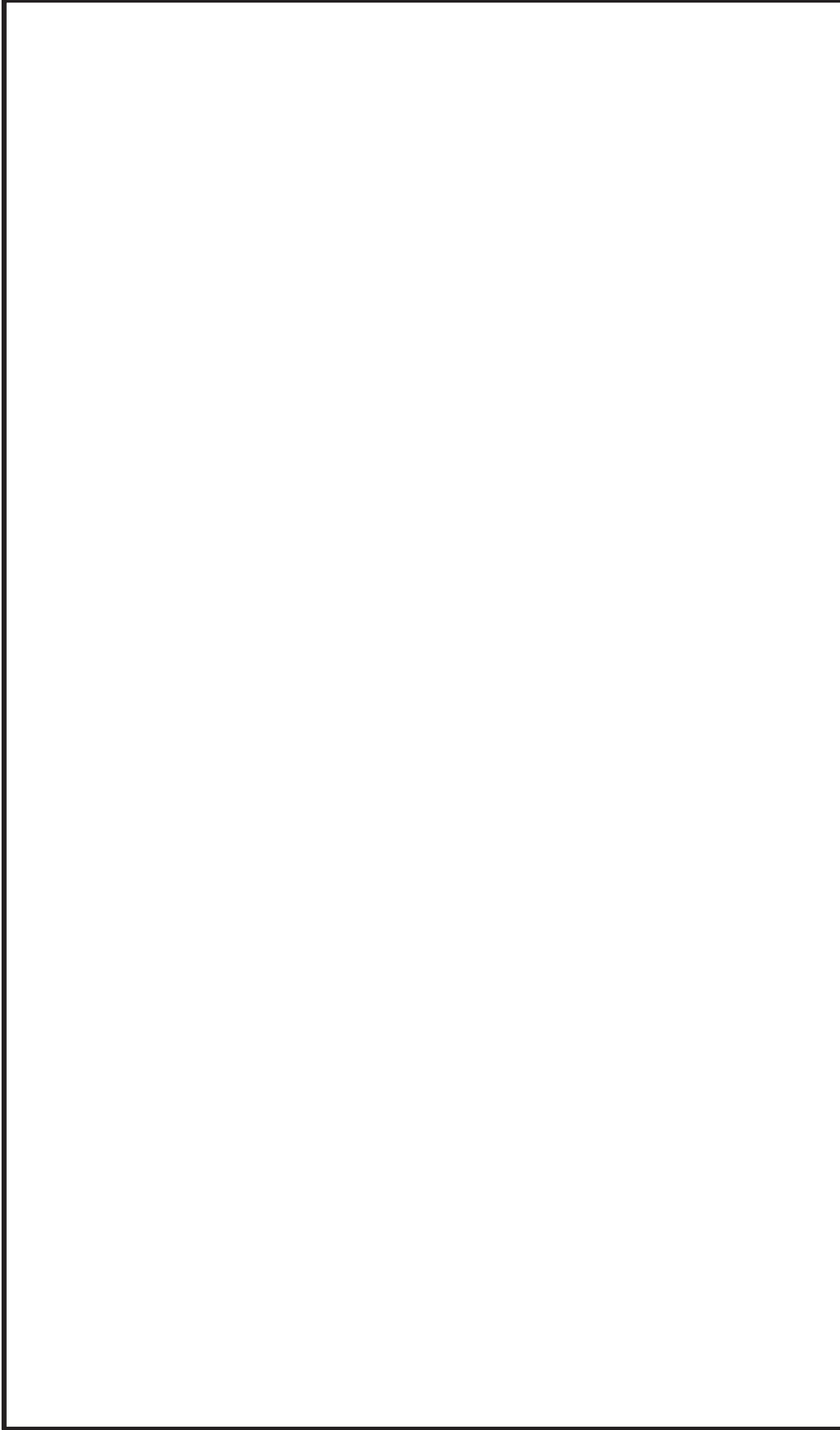
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



2次モード

図 4-3 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。



3次モード

図 4-3 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 4-17 及び表 4-18 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-2-3-2 炉心，原子炉圧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」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 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 1）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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	0.293						
2次	0.144						
3次	0.144						
4次	0.131						
5次	0.131						
6次	0.124						
7次	0.124						
8次	0.119						
9次	0.113						
10次	0.097						
11次	0.089						
12次	0.089						
13次	0.086						
14次	0.086						
15次	0.080						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 2）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
16次	0.080						
17次	0.079						
18次	0.079						
19次	0.079						
20次	0.079						
21次	0.079						
22次	0.079						
23次	0.079						
24次	0.079						
25次	0.079						
26次	0.079						
27次	0.079						
28次	0.079						
29次	0.079						
30次	0.079						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 3）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
31次	0.079						
32次	0.079						
33次	0.079						
34次	0.079						
35次	0.079						
36次	0.079						
37次	0.079						
38次	0.079						
39次	0.079						
40次	0.079						
41次	0.079						
42次	0.079						
43次	0.079						
44次	0.079						
45次	0.078						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 4）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
46次	0.078						
47次	0.077						
48次	0.077						
49次	0.074						
50次	0.074						
51次	0.074						
52次	0.074						
53次	0.074						
54次	0.074						
55次	0.074						
56次	0.074						
57次	0.074						
58次	0.074						
59次	0.074						
60次	0.074						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 5）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
61次	0.074						
62次	0.074						
63次	0.074						
64次	0.074						
65次	0.074						
66次	0.074						
67次	0.074						
68次	0.074						
69次	0.074						
70次	0.074						
71次	0.074						
72次	0.074						
73次	0.074						
74次	0.074						
75次	0.074						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 6）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
76次	0.074						
77次	0.074						
78次	0.073						
79次	0.073						
80次	0.073						
81次	0.070						
82次	0.070						
83次	0.068						
84次	0.064						
85次	0.064						
86次	0.064						
87次	0.064						
88次	0.064						
89次	0.064						
90次	0.064						

注記*1 : ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, 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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 7）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
91次	0.064						
92次	0.064						
93次	0.064						
94次	0.064						
95次	0.064						
96次	0.064						
97次	0.064						
98次	0.064						
99次	0.064						
100次	0.063						
101次	0.063						
102次	0.063						
103次	0.062						
104次	0.062						
105次	0.062						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 8）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
106次	0.062						
107次	0.062						
108次	0.062						
109次	0.062						
110次	0.062						
111次	0.061						
112次	0.061						
113次	0.061						
114次	0.061						
115次	0.061						
116次	0.061						
117次	0.060						
118次	0.058						
119次	0.058						
120次	0.058						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-17 設計用地震力（設計基準対象施設）（その 9）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
121次	0.058						
122次	0.058						
123次	0.058						
124次	0.058						
125次	0.058						
126次	0.057						
127次	0.057						
128次	0.057						
129次	0.056						
130次	0.056						
131次	0.054						
132次	0.054						
133次	0.053						
134次	0.052						
135次	0.052						
136次 ^{*4}	0.049						
動的地震力 ^{*5}							
静的地震力 ^{*6}							

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッダ及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

*4：135次までは固有周期が 0.050s より長いモード，136次は固有周期 0.050s 以下のモードを示す。

*5：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。

*6：静的震度（3.6・C_i及び1.2・C_v）を示す。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 1）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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	0.364						
2次	0.172						
3次	0.172						
4次	0.154						
5次	0.154						
6次	0.147						
7次	0.147						
8次	0.142						
9次	0.125						
10次	0.111						
11次	0.103						
12次	0.103						
13次	0.098						
14次	0.098						
15次	0.090						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 2）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
16次	0.090						
17次	0.086						
18次	0.086						
19次	0.086						
20次	0.086						
21次	0.086						
22次	0.086						
23次	0.085						
24次	0.085						
25次	0.085						
26次	0.085						
27次	0.085						
28次	0.085						
29次	0.085						
30次	0.085						

注記*1 : ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, 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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 3）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
31次	0.085						
32次	0.085						
33次	0.085						
34次	0.085						
35次	0.085						
36次	0.085						
37次	0.085						
38次	0.085						
39次	0.085						
40次	0.085						
41次	0.085						
42次	0.085						
43次	0.085						
44次	0.085						
45次	0.085						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 4）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
46次	0.085						
47次	0.085						
48次	0.085						
49次	0.081						
50次	0.081						
51次	0.080						
52次	0.080						
53次	0.080						
54次	0.080						
55次	0.080						
56次	0.080						
57次	0.080						
58次	0.080						
59次	0.080						
60次	0.080						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 5）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0.P.2.60 ^{*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
61次	0.080						
62次	0.080						
63次	0.080						
64次	0.080						
65次	0.080						
66次	0.080						
67次	0.080						
68次	0.080						
69次	0.080						
70次	0.080						
71次	0.080						
72次	0.080						
73次	0.080						
74次	0.080						
75次	0.080						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0.P.2.60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 6）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
76次	0.080						
77次	0.080						
78次	0.080						
79次	0.080						
80次	0.079						
81次	0.079						
82次	0.079						
83次	0.079						
84次	0.074						
85次	0.074						
86次	0.074						
87次	0.074						
88次	0.074						
89次	0.074						
90次	0.074						

注記*1 : ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, 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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 7）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
91次	0.074						
92次	0.074						
93次	0.074						
94次	0.074						
95次	0.074						
96次	0.074						
97次	0.074						
98次	0.074						
99次	0.074						
100次	0.073						
101次	0.073						
102次	0.072						
103次	0.072						
104次	0.072						
105次	0.072						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 8）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
106次	0.072						
107次	0.072						
108次	0.072						
109次	0.072						
110次	0.072						
111次	0.071						
112次	0.071						
113次	0.071						
114次	0.071						
115次	0.070						
116次	0.070						
117次	0.070						
118次	0.067						
119次	0.067						
120次	0.067						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 9）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
121 次	0.067						
122 次	0.067						
123 次	0.067						
124 次	0.067						
125 次	0.067						
126 次	0.066						
127 次	0.066						
128 次	0.066						
129 次	0.066						
130 次	0.066						
131 次	0.064						
132 次	0.064						
133 次	0.063						
134 次	0.062						
135 次	0.062						

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）（その 10）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 0. P. 2. 60 ^{*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
136 次	0.059						
137 次	0.058						
138 次	0.057						
139 次	0.057						
140 次	0.055						
141 次	0.055						
142 次	0.054						
143 次	0.054						
144 次	0.054						
145 次	0.052						
146 次	0.051						
147 次	0.051						
148 次	0.050						
149 次 ^{*4}	0.049						
動的地震力 ^{*5}							
静的地震力 ^{*6}							

注記*1：ベント管が設置される原子炉格納容器 0. P. 2. 60m の床応答スペクトルを適用する。

*2：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，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の減衰定数を用いる。

*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。

*4：148 次までは固有周期が 0.050s より長いモード，149 次は固有周期 0.050s 以下のモードを示す。

*5：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。

*6：静的震度 ($3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$) を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ダウンカマ及びベントヘッダの応力評価点を表 4-19, 図 4-4 及び図 4-5 に示す。応力評価点 P1~P4 の応力は, 図 4-1 に示す解析モデルを用いて計算する。応力評価点 P5~P10 の応力は, ベントヘッダサポートを構成する部材の形状及び応力レベルを考慮し, 発生応力が大きくなる部位を選定する。

表 4-19 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	ダウンカマ (一般部)
P2 ^{*1}	ダウンカマ (一般部以外)
P3	ベントヘッダ (一般部)
P4 ^{*2}	ベントヘッダ (一般部以外)
P5	ベントヘッダサポート (下側)
P6	ピン (下側)
P7	エンドプレート (下側)
P8	ベントヘッダサポート (上側)
P9	ピン (上側)
P10	エンドプレート (上側)

注記*1: 既工認 (参照図書 (1)) の応力評価点 P1~P3 を包絡する。ベントヘッダとダウンカマの接続部及びダウンカマとダウンカマリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

*2: 既工認 (参照図書 (2)) の応力評価点 P2~P5 を包絡する。ベントヘッダとダウンカマの接続部, ベントヘッダとベントヘッダサポートリングの接続部及びベントヘッダとベントヘッダリングの接続部を含む範囲の最大応力を評価する。

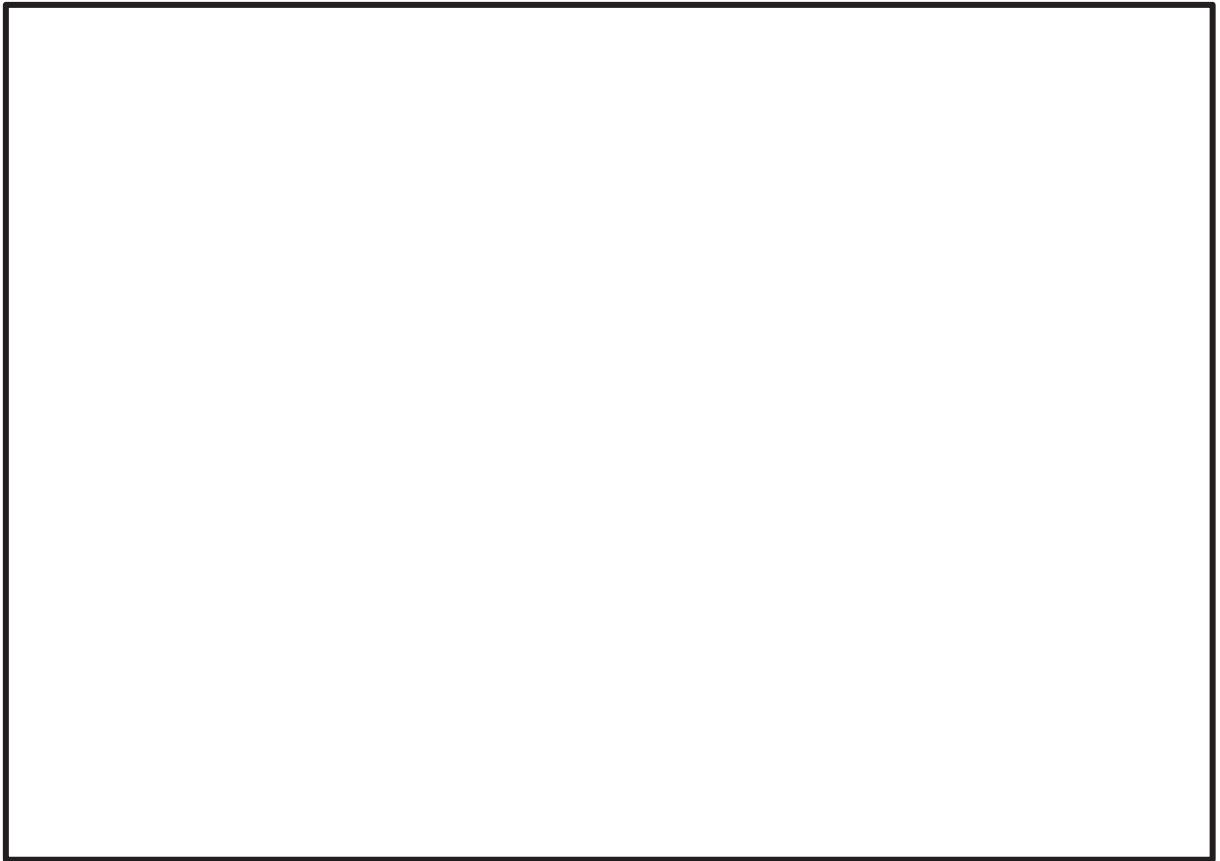


図 4-4 ダウンカマの応力評価点

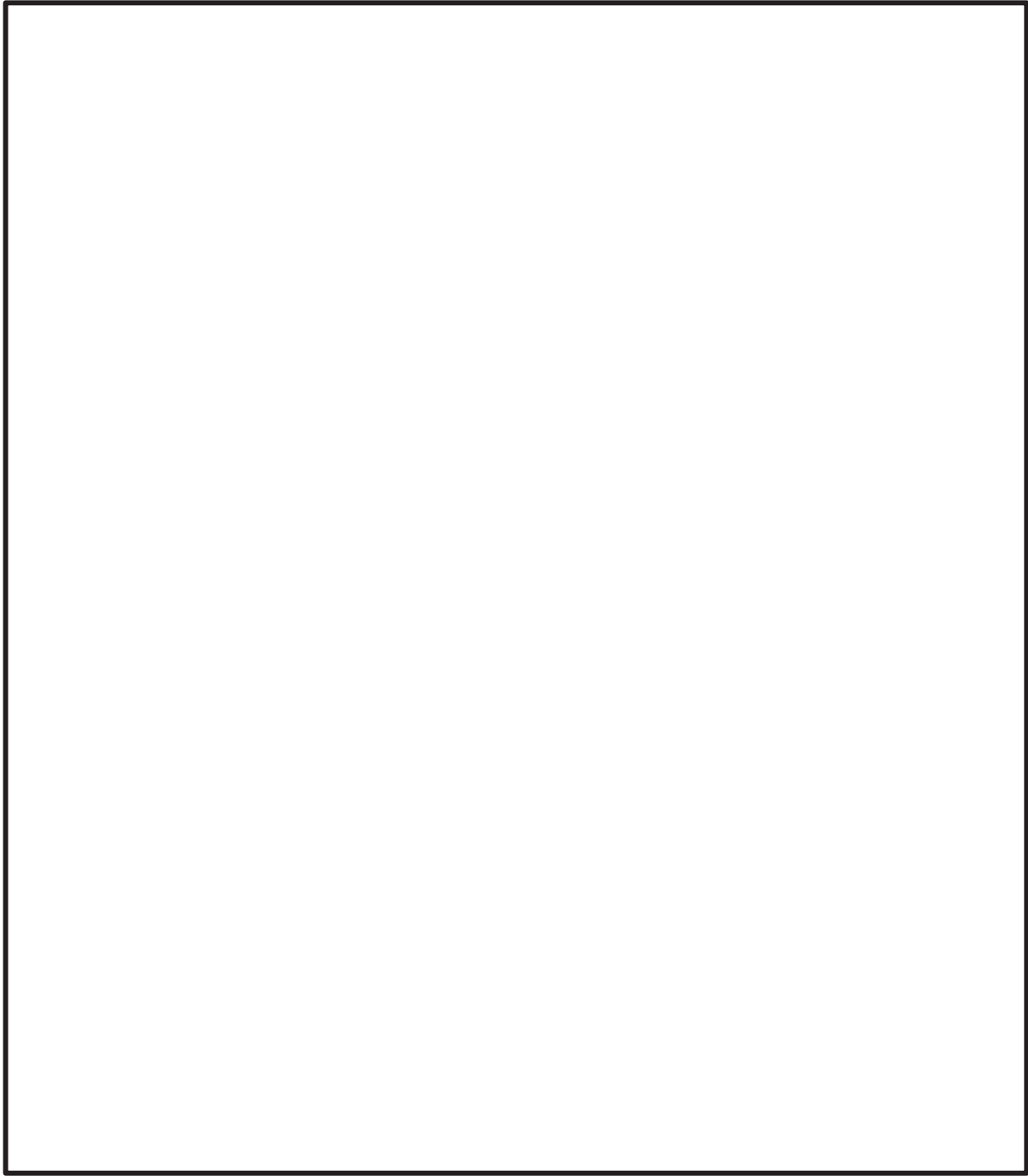


図 4-5 ベントヘッダ及びベントヘッダサポートの応力評価点

4.6.2 応力計算方法

ダウンコマ及びベントヘッダ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

設計基準対象施設としての応力評価の概要を以下に示す。

a. 応力評価点 P1～P4

応力評価点 P1～P4 の応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより算出する。

b. 応力評価点 P5～P7

応力評価点 P5～P7 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(2)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（下側）、ピン（下側）及びエンドプレート（下側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

b. 応力評価点 P8～10

応力評価点 P8～P10 の応力計算方法は、応力評価点 P5～P7 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（上側）、ピン（上側）及びエンドプレート（上側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

(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としての応力評価の概要を以下に示す。

a. 応力評価点 P1～P4

応力評価点 P1～P4 の応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより算出する。

b. 応力評価点 P5～P7

応力評価点 P5～P7 の応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(2)に示すとおりである。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（下側）、ピン（下側）及びエンドプレート（下側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

b. 応力評価点 P8～10

応力評価点 P8～P10 の応力計算方法は、応力評価点 P5～P7 と同じとする。各荷重による応力は、ベントヘッダサポート（上側）、ピン（上側）及びエンドプレート（上側）の断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法とする。

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～表 4-5 で定める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 PPB-3536 または PVB-3300 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

ダウンカマ及びベントヘッダ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表 5-1 及び表 5-2 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-3 に示す。

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

評価対象設備	評価部位	応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力	許容応力			
			MPa	MPa			
P1	ダウンカマ (一般部)	一次一般膜応力	68	229	○	(9)	
		一次膜+一次曲げ応力	68	229	○	(9)	
P2	ダウンカマ (一般部以外)	一次+二次応力	124	458	○	(9)	
		一次膜+一次曲げ応力	130	229	○	(9)	
		一次+二次応力	309	458	○	(9)	
P3	ベントヘッド (一般部)	一次一般膜応力	149	229	○	(9)	
		一次膜+一次曲げ応力	149	344	○	(9)	
P4	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次応力	224	458	○	(9)	
		一次膜+一次曲げ応力	168	344	○	(9)	
		一次+二次応力	348	458	○	(9)	

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

評価対象設備	評価部位	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			
			P5	ベントヘッドサポート (下側)			
P6	ピン (下側)	組合せ応力度	112	○	(9)		
P7	エンドプレート (下側)	組合せ応力度	150	○	(9)		
P8	ベントヘッドサポート (上側)	組合せ応力度	78	○	(9)		
P9	ピン (上側)	組合せ応力度	97	○	(9)		
P10	エンドプレート (上側)	組合せ応力度	181	○	(9)		

表 5-2 許容応力状態IV_{AS}に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
P1	ダウンカマ (一般部)	一次一般膜応力	92	253	○	(11)		
		一次膜+一次曲げ応力	92	380	○	(11)		
P2	ダウンカマ (一般部以外)	一次+二次応力	82	458	○	(11)		
		一次膜+一次曲げ応力	178	380	○	(11)		
		一次+二次応力	457	458	○	(11)		
P3	ベントヘッド (一般部)	一次一般膜応力	201	253	○	(11)		
		一次膜+一次曲げ応力	201	380	○	(11)		
P4	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次応力	177	458	○	(11)		
		一次膜+一次曲げ応力	230	380	○	(11)		
		一次+二次応力	516	458	×	(11)		

注記* : P4 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2 許容応力状態IV_{AS}に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位	応力分類	IV _{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
			算出応力	許容応力			
			MPa	MPa			
ベント ヘッド	P5	ベントヘッドサポート (下側)	62	[Redacted]	○	(11)	
	P6	ピン (下側)	106		○	(11)	
	P7	エンドプレート (下側)	137		○	(11)	
	P8	ベントヘッドサポート (上側)	69		○	(11)	
	P9	ピン (上側)	91		○	(11)	
	P10	エンドプレート (上側)	157		○	(11)	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3 許容応力状態IV_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S ₀ (MPa)	S ₀ '* (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P4	516	1.31	774	507	534	1201	340	0.284

注記* : S₀'に (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

E = 1.97×10⁵ MPa

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ダウンカメラ及びベントヘッダ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表 5-4 及び表 5-5 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-6 に示す。

表 5-4 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	評価部位	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa		
P1	ダウンカマ (一般部)	一次一般膜応力	37	253	○	
		一次膜+一次曲げ応力	37	380	○	
P2	ダウンカマ (一般部以外)	一次+二次応力	184	457	○	
		一次膜+一次曲げ応力	82	380	○	
		一次+二次応力	224	457	○	
P3	ベントヘツダ (一般部)	一次一般膜応力	89	253	○	
		一次膜+一次曲げ応力	89	380	○	
P4	ベントヘツダ (一般部以外)	一次+二次応力	331	457	○	
		一次膜+一次曲げ応力	112	380	○	
		一次+二次応力	276	457	○	

表 5-4 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	評価部位	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
ベント ヘッド	P5	ベントヘッドサポート (下側)	77		○	
	P6	ピン (下側)	107		○	
	P7	エンドプレート (下側)	169		○	
	P8	ベントヘッドサポート (上側)	100		○	
	P9	ピン (上側)	92		○	
	P10	エンドプレート (上側)	257		○	

表 5-5 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	評価部位	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力 MPa	許容応力 MPa		
P1	ダウンカマ (一般部)	一次一般膜応力	72	257	○	
		一次膜+一次曲げ応力	72	386	○	
P2	ダウンカマ (一般部以外)	一次+二次応力	176	473	○	
		一次膜+一次曲げ応力	159	386	○	
		一次+二次応力	481	473	×	*
P3	ベントヘッド (一般部)	一次一般膜応力	187	257	○	
		一次膜+一次曲げ応力	187	386	○	
P4	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次応力	379	473	○	
		一次膜+一次曲げ応力	226	386	○	
		一次+二次応力	592	473	×	*

注記* : P2 及び P4 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-5 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	評価部位	応力分類	V_{AS}		判定	備考
			算出応力	許容応力		
			MPa	MPa		
ベント ヘッド	P5	ベントヘッドサポート (下側)	86		○	
	P6	ピン (下側)	128		○	
	P7	エンドプレート (下側)	184		○	
	P8	ベントヘッドサポート (上側)	104		○	
	P9	ピン (上側)	109		○	
	P10	エンドプレート (上側)	256		○	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-6 許容応力状態 V_{AS} に対する疲労評価結果

評価部位	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_θ (MPa)	S_θ^* (MPa)	N_a (回)	N_c (回)	疲労累積係数 N_c/N_a
P2	481	1.29	818	528	559	1063	340	0.320
P4	592	1.43	888	635	672	622	340	0.547

注記* : S_θ に ($2.07 \times 10^5 / E$) を乗じた値である。

$E = 1.96 \times 10^5$ MPa

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-3-1-3-5 ダウンカマの強度計算書」
- (2) 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-3-1-3-4 ベントヘッドの強度計算書」