

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-19-0178_改4
提出年月日	2021年11月9日

VI-2-9-2-1-4 ドライウェルベント開口部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
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	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	12
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	23
4.6.1 応力評価点	23
4.6.2 応力計算方法	24
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
5. 評価結果	25
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	29
6. 参照図書	32

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、ドライウェルベント開口部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。

ドライウェルベント開口部は、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。

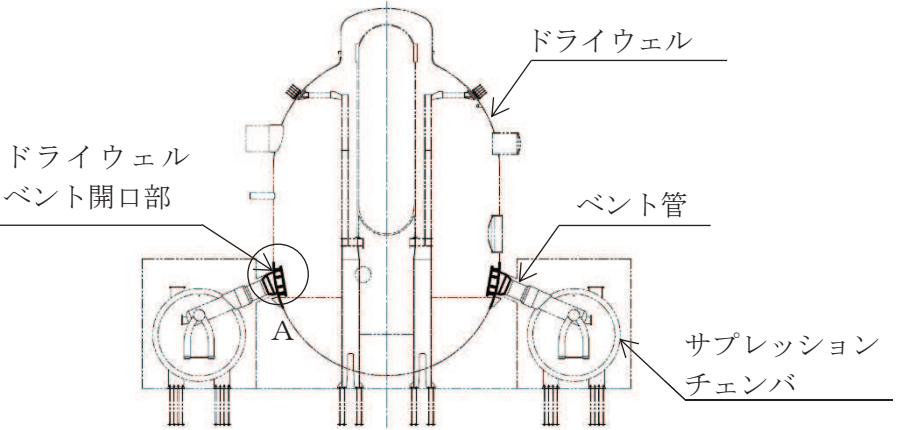
なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるドライウェルベント開口部の評価は、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウェルベント開口部の構造計画を表 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>ドライウェルベント開口部を構成するベントノズルは、ドライウェルに支持され、ベント管と接続する。また、ドライウェルベント開口部はドライウェルに接続するリブを介してジェットデフレクタが接続されている。</p> <p>ドライウェルベント開口部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ドライウェルベント開口部を構成するベントノズルは、内径 <input type="text"/> mm 及び板厚 <input type="text"/> mm の円筒に小径側内径 <input type="text"/> mm 及び板厚 <input type="text"/> mm の円すいを接続した構造物である。</p>	<p>概略構造図</p>  <p>原子炉格納容器断面図</p> <div style="border: 2px solid black; height: 250px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div> <p>A部詳細 (ドライウェルベント開口部)</p>

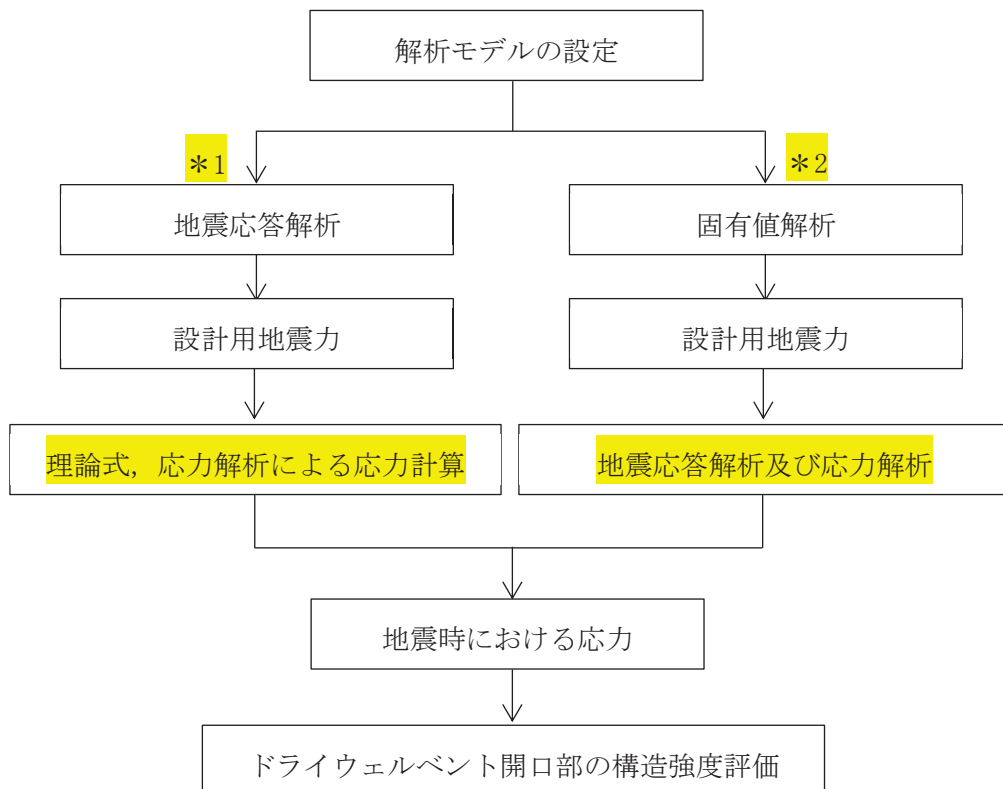
(単位：mm)

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

ドライウェルベント開口部の応力評価は、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。

ドライウェルベント開口部の耐震評価フローを図 2-1 に示す。



注記*1：応力評価点 P2（ドライウェルベント開口部）の耐震評価フローを示す。

*2：応力評価点 P1（ベントノズル円すい部）の耐震評価フローを示す。

図 2-1 ドライウェルベント開口部の耐震評価フロー

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
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
ℓ_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重	—
M_i	曲げモーメント ($i = 1, 2$)	N・mm
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, 軸力	—, N
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	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℃における設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T	温度	℃
T_{SAL}	温度 (SA 後長期 (L) 温度)	℃
T_{SALL}	温度 (SA 後長期 (LL) 温度)	℃
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

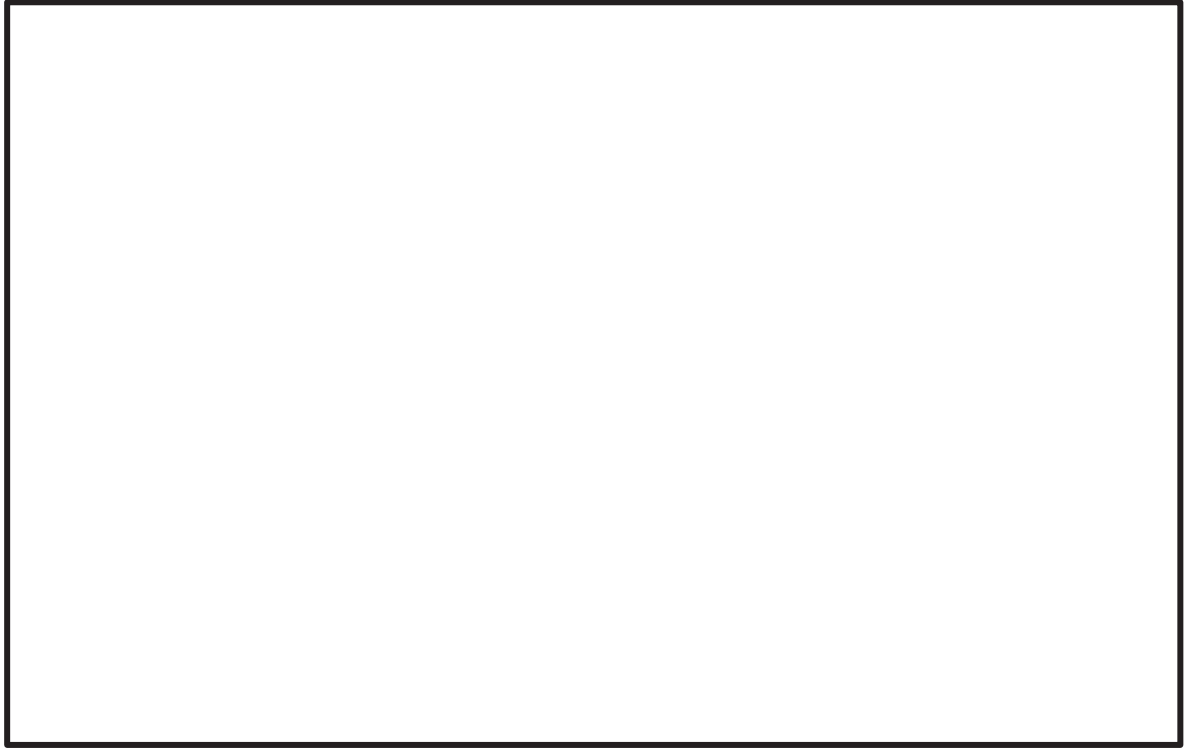
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位 ^{*1}
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
質量	kg	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁

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。

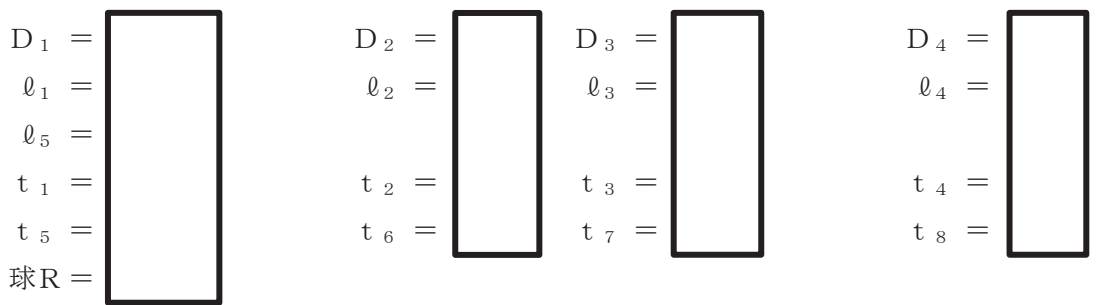
*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ドライウェルベント開口部の形状及び主要寸法を図 3-1 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。



- | | |
|-------------|--------------|
| ① ベントノズル部 | ② ベントノズル円すい部 |
| ③ ベント管 | ④ 補強板 |
| ⑤ ジェットデフレクタ | ⑥ リブ |
| ⑦ 補強リブ | ⑧ 補強パッド |



(単位：mm)

図 3-1 ドライウェルベント開口部の形状及び主要寸法

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料
ベントノズル	
補強板	

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) ドライウェルベント開口部は、ベントノズル円すい部が原子炉格納容器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、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。

ドライウェルベント開口部に作用する地震力は、ドライウェルから作用する地震力とベント系から作用する地震力があり、前者は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」及び「VI-2-3-2 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」で計算された応答加速度及び荷重を用い、後者は添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。ドライウェルベント開口部の耐震評価として、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。

- (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

ドライウェルベント開口部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

ドライウェルベント開口部の許容応力は、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

ドライウェルベント開口部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	ドライウエルベント開口部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d [*]	(9)	Ⅲ _A S
						(10)	
					(13) ^{*2}		
						(15) ^{*3}	
					D + P + M + S _s	(11)	Ⅳ _A S
						(12)	
						(14) ^{*2}	
					D + P _L + M _L + S _d [*]	(16) ^{*4}	Ⅳ _A S

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：逃がし安全弁作動時荷重はドライウエルベント開口部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：冷却材喪失事故後10⁻¹年後の圧力を考慮する。

*4：冷却材喪失事故時の最大内圧を考慮する。

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	原子炉格納容器	ドライウエルベント開口部	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 (L)-1)	V _A S ^{*3}
					D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s	(V (LL)-1)	V _A S ^{*3}

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。

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、A S S及びH N Aについては、1.2・Sとする。	左欄のα倍の値 ^{*4}		*2, *3
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、A S S及びH N A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}	3・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。	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。
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。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)
ベントノズル		周囲環境 温度	171				—
補強板		周囲環境 温度	171				—

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)
ベントノズル		周囲環境 温度	178/111 (200) *				—
補強板		周囲環境 温度	178/111 (200) *				—

注記* : 重大事故等時の評価温度として、保守的に限界温度を適用する。

4.2.4 設計荷重

ドライウェルベント開口部に対する設計荷重を以下に示すものとし、ベントノズルに対する設計荷重は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示す。

(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，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書（1））からの変更はなく，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
外圧	13.7kPa
温度	171℃

b. 死荷重

ドライウェルベント開口部の応力評価点より上部のドライウェル及び付属物の自重を死荷重とする。

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。

サプレッションチェンバ内のベント管内圧	157kPa
サプレッションチェンバ外のベント管内圧	324kPa

d. ベント系から加わる荷重

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重は，添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」の解析に基づき設定する。

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-6 に示す。

(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，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」に従い，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))

b. 死荷重

ドライウェルベント開口部の応力評価点より上部のドライウェル及び付属物の自重を死荷重とする。

c. ベント系から加わる荷重

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」の解析に基づき設定する。

ベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-7 に示す。

表 4-6 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに加わる荷重
(設計基準対象施設)

荷重*1	軸力*2 P (N)	曲げモーメント*2 M ₁ (N・mm)	曲げモーメント*2 M ₂ (N・mm)
最高使用圧力 (外圧)			
ベント系死荷重			
事故時圧力			

注記*1：地震荷重によりベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-13 に示す。

*2：符号は、図 4-2 に示す荷重の方向を正符号とし、その逆方向を負符号とする。

表 4-7 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに加わる荷重
(重大事故等対処設備)

荷重*1	軸力*2 P (N)	曲げモーメント*2 M ₁ (N・mm)	曲げモーメント*2 M ₂ (N・mm)
ベント系圧力 (SA 後長期 (L))			
ベント系圧力 (SA 後長期 (LL))			
ベント系死荷重			

注記*1：地震荷重によりベント系からドライウェルベント開口部に加わる荷重を表 4-14 に示す。

*2：符号は、図 4-2 に示す荷重の方向を正符号とし、その逆方向を負符号とする。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) ドライウェルベント開口部

ドライウェルベント開口部に対する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は、ベント系から加わる荷重を考慮して応力解析を行う。応力解析に対してはシェルモデルを用いる。なお、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用いる解析モデルは、表 4-8 に示す機器諸元が異なるのみで、形状、拘束条件及び境界条件の違いはない。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ドライウェルベント開口部は、ベント系 3 次元シェルはりモデルからの反力を精緻に評価するため、3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図 4-1～図 4-5 に、機器の諸元について表 4-8 に示す。
- b. モデル化の範囲は、作用する荷重を考慮し構造的に対称となる全体の 1/2 とし、上端はドライウェルベント開口部より十分離れたドライウェル円筒部上端、下端はコンクリート埋設境界となるサンドクッション下端とする。ベント系から加わる荷重によってドライウェルベント開口部に生じる応力への影響の観点から、ドライウェルベント開口部近傍のジェットデフレクタ、リブ、補強リブ及び補強パッドもモデル化する。
- c. 拘束条件は、
- d. 荷重の作用点は、
で結合する。
- e. 解析コードは「MSC NASTRAN」及び「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) ベントノズル

ベントノズルに対する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は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

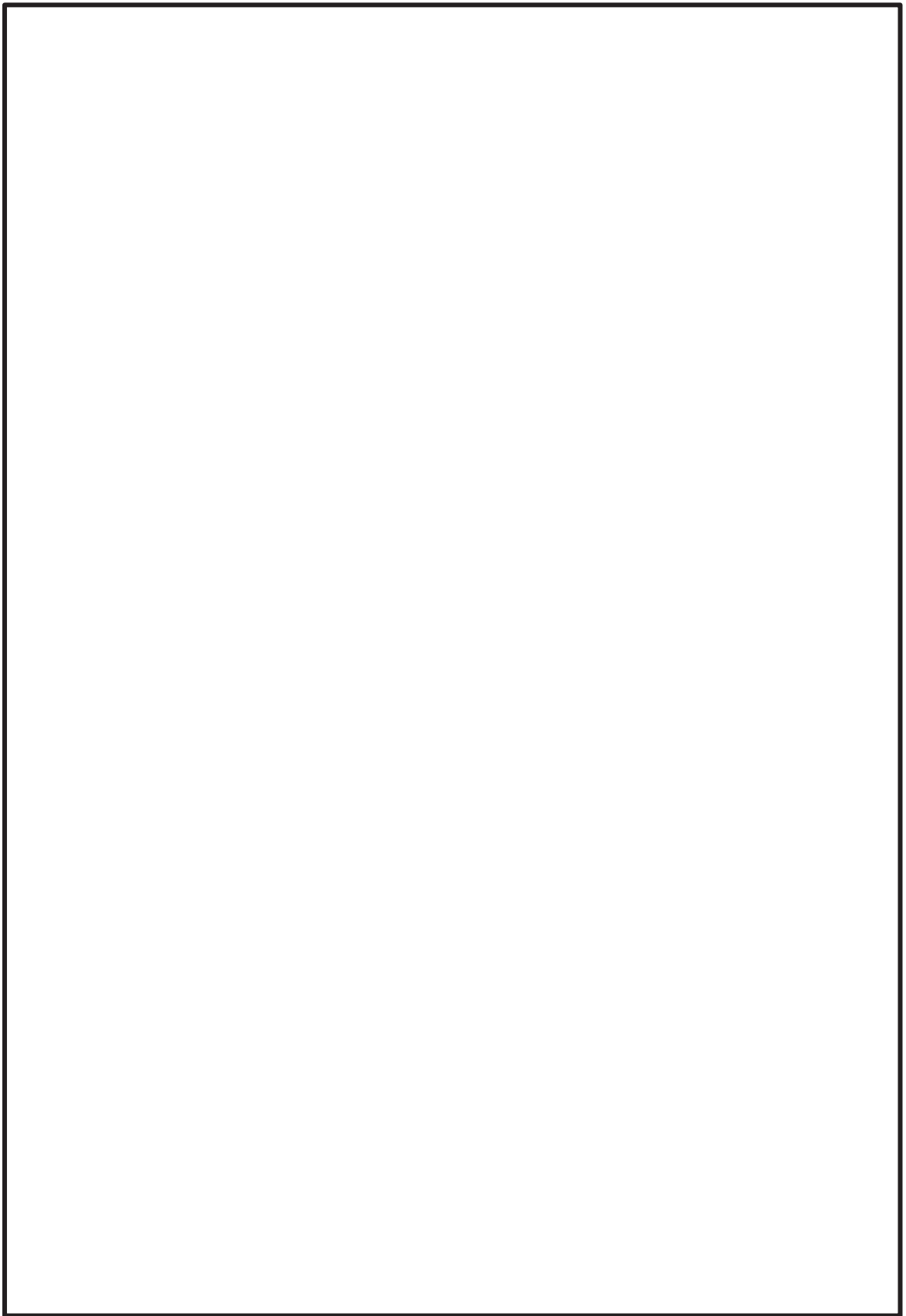


図 4-1 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (全体)

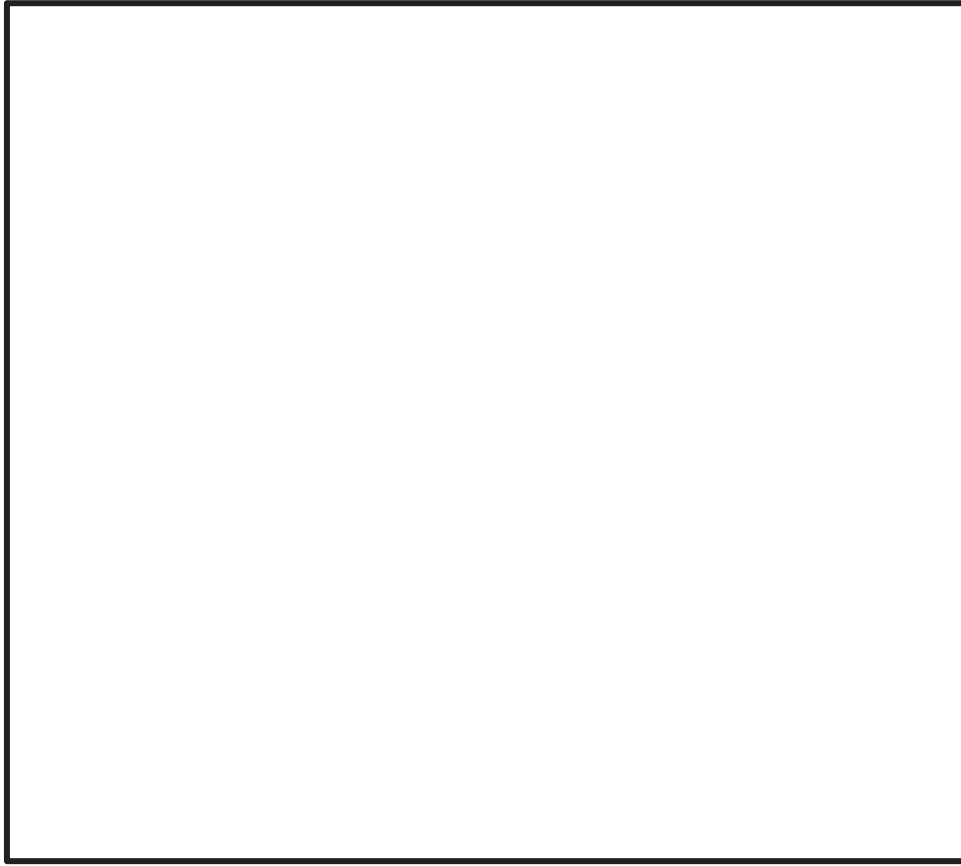


図 4-2 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (A部拡大)

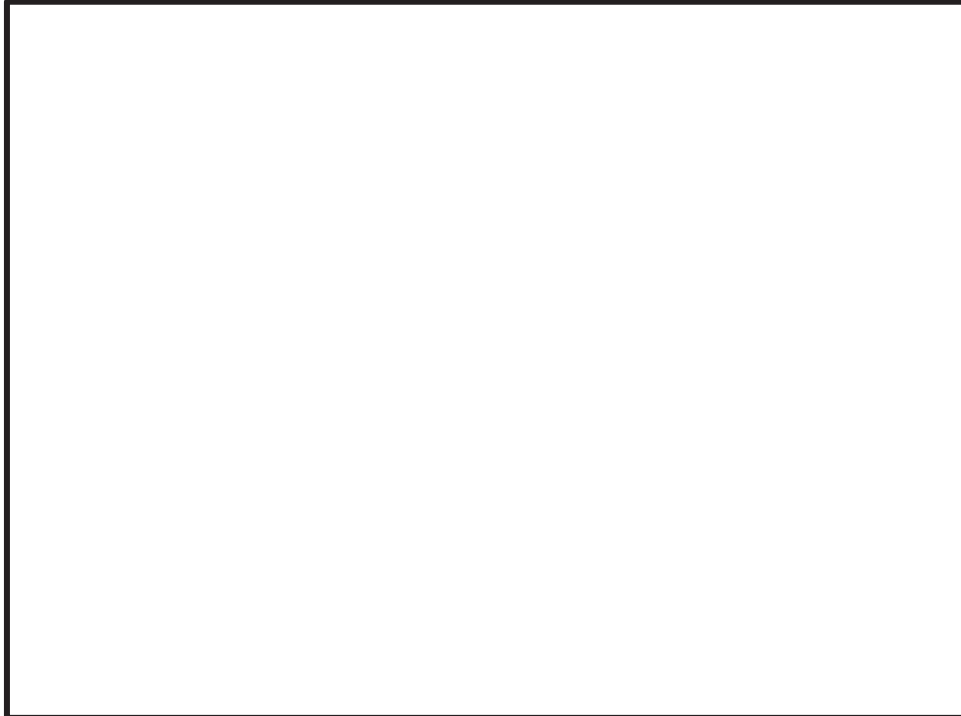


図 4-3 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (B部拡大)

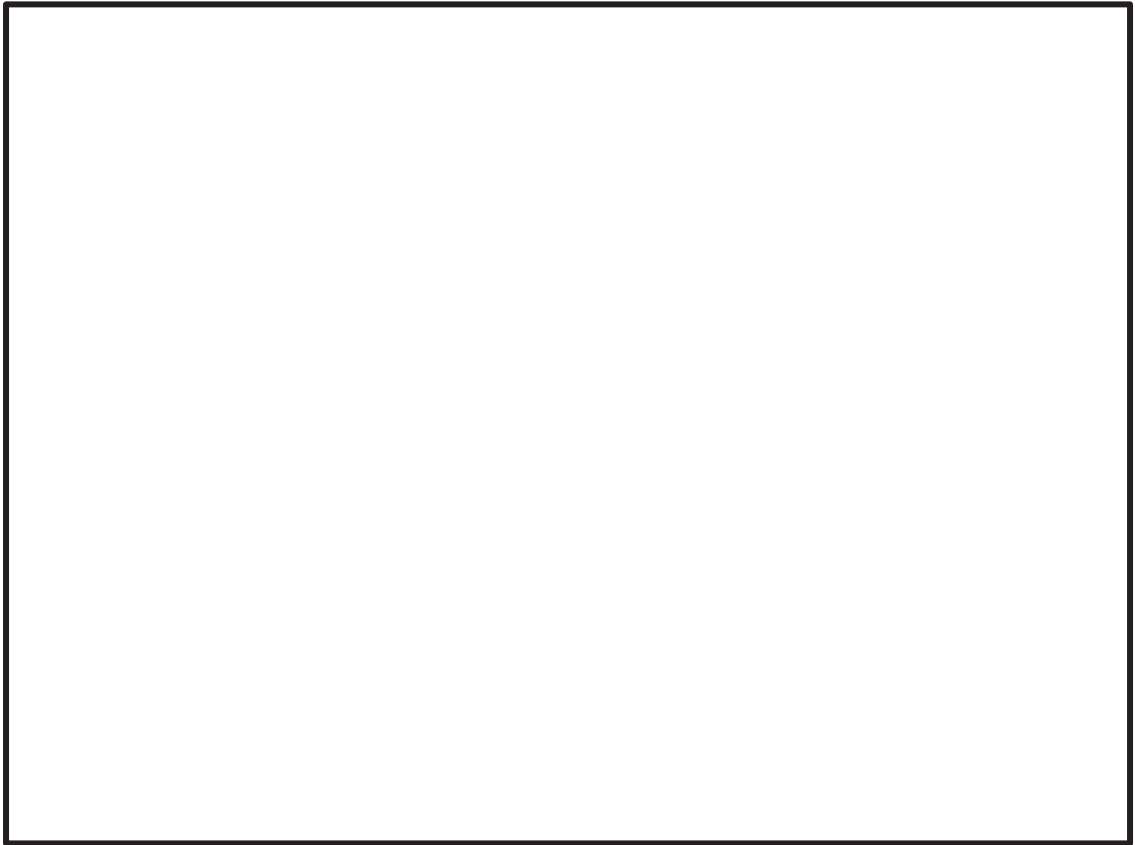


図 4-4 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (Cから見る)

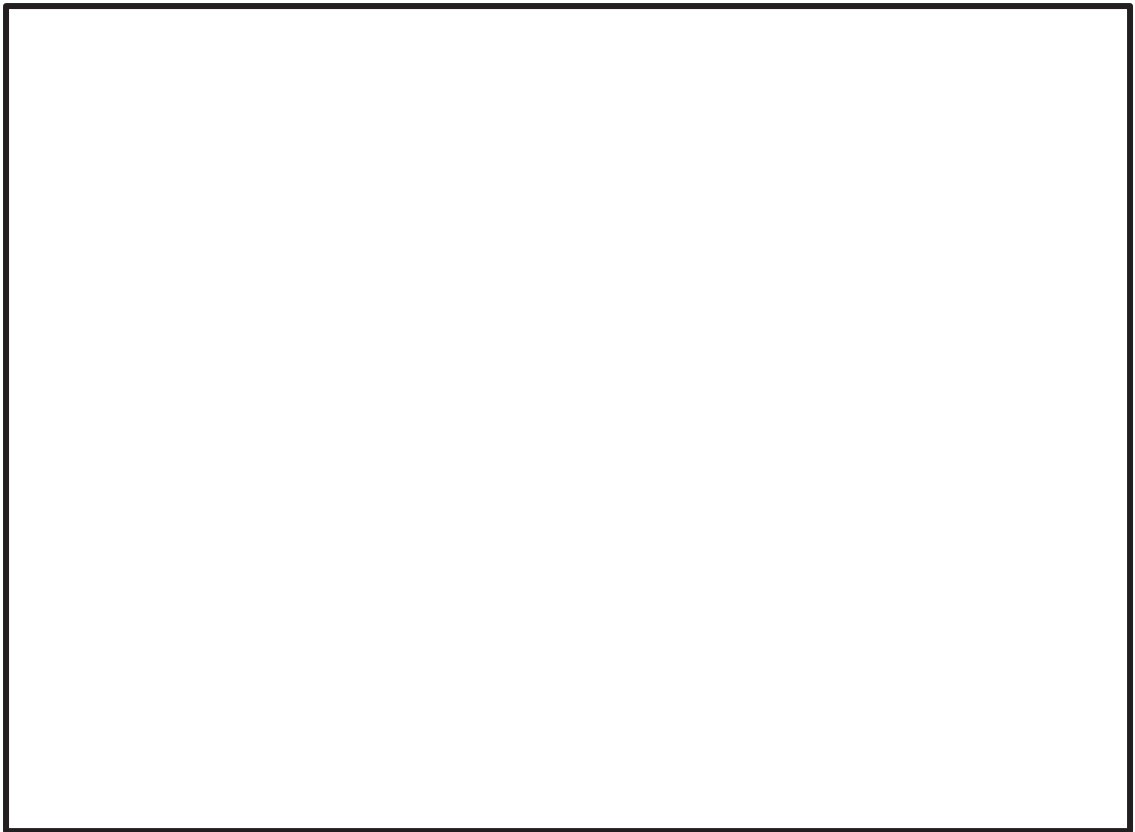


図 4-5 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (Dから見る)

表 4-8 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	補強板	—	—		
	補強パッド	—	—		
	ベントノズル	—	—		
	リブ	—	—		
	ジェットデフレクタ	—	—		
	補強リブ	—	—		
機器質量*1		—	kg		
温度条件		T	℃		
縦弾性係数		E	MPa		
ポアソン比		ν	—		
要素数		—	—		
節点数		—	—		

注記*1：ベント系全体の機器質量を示す。

*2：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。

*3：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，許容応力は保守的に限界温度で算出する。

4.4 固有周期

ドライウエルベント開口部は、ベントノズル円すい部が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、ドライウエルを介して原子炉建屋に伝達される。

ドライウエルベント開口部の耐震評価は、ドライウエルに作用する荷重とベントノズルに作用する荷重を用いて実施し、ドライウエルに作用する荷重は、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」にて原子炉格納容器の固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いて評価するため、本計算書ではドライウエルの固有周期の計算は実施しない。ベントノズルに作用する荷重は、ベント系の解析モデルから算出することから、固有周期は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

4.5 設計用地震力

ベントノズル円すい部に対する「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-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

ドライウエルからドライウエルベント開口部 1 箇所当たり^①に作用する設計用地震力を表 4-9～表 4-12 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」及び「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、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管，ベントヘッド及びダウンカマの地震応答解析で計算された，ベント系からドライウエルベント開口部 1 箇所当たり^①に作用する設計用地震力を表 4-13 及び表 4-14 に示す。

表 4-9 ドライウエルからドライウエルベント開口部 1 箇所当たり^①に作用する設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 2.60	—	—	—	C _v =0.57*	—	C _v =0.98*

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 4-10 ドライウエルからドライウエルベント開口部 1 箇所当たり^①に作用する設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉 格納容器 O.P. 2.60	—	—	—	C _v =0.57*	—	C _v =0.98*

注記*：原子炉格納容器における最大となる設計震度とする。

表 4-11 ドライウェルからドライウェルベント開口部 1 箇所当たり に作用する
設計用地震力（設計基準対象施設）*1

応力評価点*2		水平荷重 S d *		水平荷重 S s	
		せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P2	(P7)				
	(P8)				
	(P9)				

注記*1：既工認で用いた設計用地震力と今回工認の設計用地震力を比較し、包絡する値を用いる。

*2：応力評価点の位置は、図 4-6 参照のこと。括弧内は既工認の応力評価点を示す。

表 4-12 ドライウェルからドライウェルベント開口部 1 箇所当たり に作用する
設計用地震力（重大事故等対処設備）

応力評価点*		水平荷重 S d		水平荷重 S s	
		せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)	せん断力 ($\times 10^3$ N)	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)
P2	(P7)				
	(P8)				
	(P9)				

注記*：応力評価点の位置は、図 4-6 参照のこと。括弧内は既工認の応力評価点を示す。

表 4-13 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに作用する
設計用地震力（設計基準対象施設）

荷重*1	軸力 P (N)	曲げモーメント M ₁ (N・mm)	曲げモーメント M ₂ (N・mm)
ベント系地震荷重 S _d * *2			
ベント系地震荷重 S _s * *2			

注記*1：荷重の方向を図 4-2 に示す。

*2：鉛直方向及び水平 2 方向の地震荷重によってベント系から加わる荷重を、2 乗和平方根により組み合わせた値を示す。

表 4-14 ベント系からドライウェルベント開口部 1 箇所当たりに作用する
設計用地震力（重大事故等対処設備）

荷重*1	軸力 P (N)	曲げモーメント M ₁ (N・mm)	曲げモーメント M ₂ (N・mm)
ベント系地震荷重 S _d * *2			
ベント系地震荷重 S _s * *2			

注記*1：荷重の方向を図 4-2 に示す。

*2：鉛直方向及び水平 2 方向の地震荷重によってベント系から加わる荷重を、2 乗和平方根により組み合わせた値を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ドライウェルベント開口部の応力評価点は、ドライウェルベント開口部を構成する各部材において、発生応力が最も大きくなる箇所とする。選定した応力評価点を表 4-15 及び図 4-6 に示す。

表 4-15 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1 ^{*1}	ベントノズル円すい部
P2 ^{*2}	ドライウェルベント開口部

注記*1：ベントノズル円すい部全域のうち応力が最大となる応力評価点を示す。既工認の応力評価点 P1～P6 を包絡する。

*2：ベントノズル近傍の補強板のうち応力が最大となる応力評価点を示す。既工認の応力評価点 P7～P9 を包絡する。



図 4-6 ドライウェルベント開口部の応力評価点

4.6.2 応力計算方法

ドライウェルベント開口部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての応力計算

応力評価点 P1 の設計基準対象施設及び重大事故等対処設備における応力は、添付書類「VI-2-9-4-2 ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの解析モデルにより算出する。応力評価点 P1 の水平 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。

応力評価点 P2 は設計基準対象施設及び重大事故等対処設備におけるベント系に作用する荷重による応力とドライウェルに作用する荷重による応力を足し合わせて評価を行う。ベント系に作用する荷重による応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示すドライウェルベント開口部シェルモデルを用いて算出し、ドライウェルに作用する荷重による応力は、既工認（参照図書(1)）と同様の計算方法により発生応力を算出する。この際、圧力及び鉛直地震荷重による応力は、既工認の各荷重条件や耐震条件との比を用いて発生応力を算出する。

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 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

ドライウェルベント開口部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～表5-3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。

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

評価対象設備	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	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル ベント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜+一次曲げ応力	40		○	(9)	
			一次+二次応力	120		○	(9)	
	P2	ドライウエルベント開口部	一次膜+一次曲げ応力	109		○	(10)	
			一次+二次応力	278		○	(10)	

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

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	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル ベント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜+一次曲げ応力	59		○	(11)	
			一次+二次応力	178		○	(11)	
	P2	ドライウエルベント開口部	一次膜+一次曲げ応力	168		○	(12)	
			一次+二次応力	430		○	(12)	

表 5-3 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d^{*})

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	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル ベント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜+一次曲げ応力	60		○	(16)	
			一次+二次応力	120		○	(16)	
	P2	ドライウエルベント開口部	一次膜+一次曲げ応力	173		○	(16)	
			一次+二次応力	274		○	(16)	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェルベント開口部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 原子炉格納施設的设计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5-4及び表5-5に示す。

表 5-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$)

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		
ドライウェルベ ント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜応力+一次曲げ応力	81		○	
			一次+二次応力	95		○	
	P2	ドライウェルベント開口部	一次膜応力+一次曲げ応力	221		○	
			一次+二次応力	212		○	

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

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		
ドライウェルベ ント開口部	P1	ベントノズル円すい部	一次膜応力+一次曲げ応力	92		○	
			一次+二次応力	204		○	
	P2	ドライウェルベント開口部	一次膜応力+一次曲げ応力	261		○	
			一次+二次応力	458		○	

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-3-1-1-10 ドライウェルベント開口部の強度計算書」