

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-20-0155_改2
提出年月日	2021年10月26日

#### VI-3-3-6-1-1-4 ドライウェルベント開口部の強度計算書

02 ⑤ VI-3-3-6-1-1-4 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	4
3. 評価部位	5
4. 強度評価	7
4.1 強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力	7
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	7
4.2.4 設計荷重	10
4.3 計算方法	11
4.3.1 応力評価点	11
4.3.2 解析モデル及び諸元	12
4.3.3 応力計算方法	17
4.4 計算条件	17
4.5 応力の評価	17
5. 評価結果	18
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18
6. 参照図書	20

## 1. 概要

本計算書は、ドライウェルベント開口部の強度計算書である。

ドライウェルベント開口部は、設計基準対象施設のドライウェルベント開口部を重大事故等クラス 2 容器として兼用する機器である。

以下、重大事故等クラス 2 容器として、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-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき、ドライウェルベント開口部の強度評価を示す。

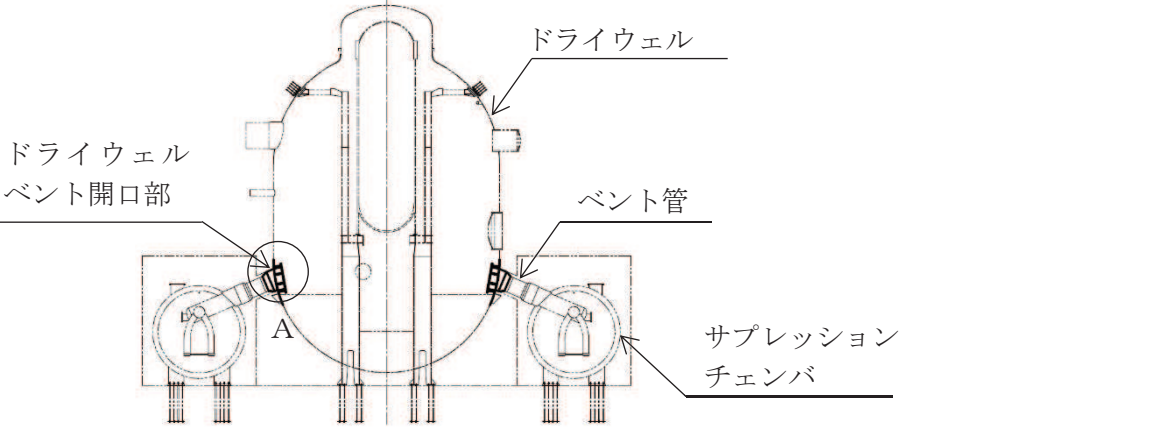
なお、本計算書においては、重大事故等時における荷重に対して、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書 (1)）（以下「既工認」という。）に示す手法に従い強度評価を行う。

## 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

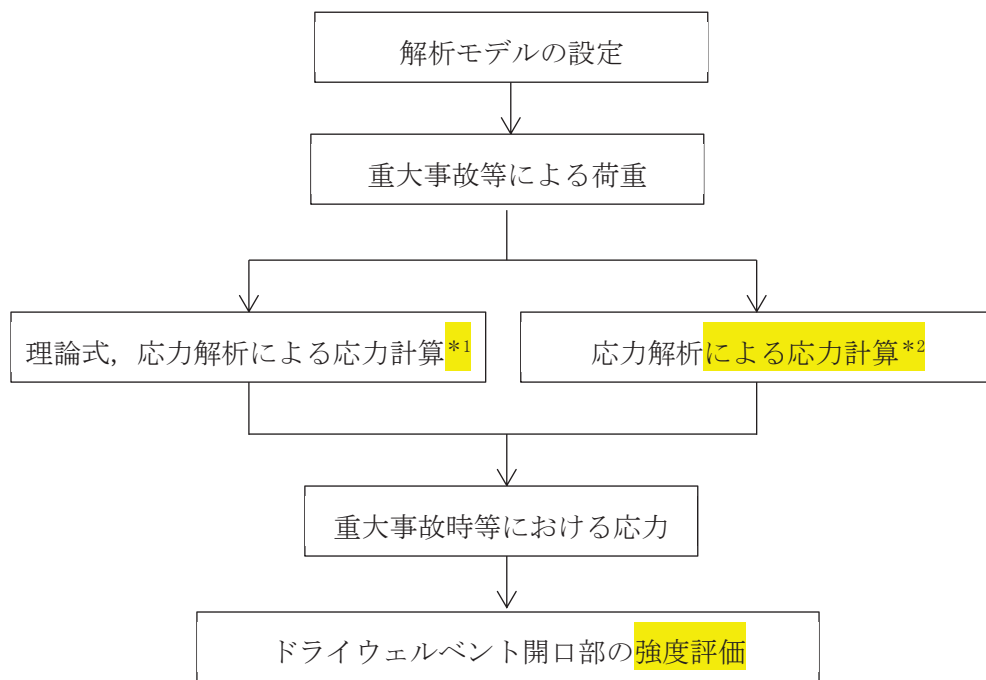
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ドライウェルベント開口部を構成するベントノズルは、ドライウェルに支持され、ベント管と接続する。また、ドライウェルベント開口部はドライウェルに接続するリブを介してジェットデフレクタが接続されている。</p> <p>ドライウェルベント開口部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ドライウェルを介して原子炉建屋に伝達される。</p>	<p>ドライウェルベント開口部を構成するベントノズルは、内径 <input type="text"/> mm 及び板厚 <input type="text"/> mm の円筒に小径側内径 <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 style="text-align: center;">概略構造図</p>  <p style="text-align: center;">原子炉格納容器断面図</p> <div style="border: 2px solid black; height: 250px; width: 100%; margin-top: 20px;"></div> <p style="text-align: center;">A部詳細 (ドライウェルベント開口部)</p>

2

## 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-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」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おいて重大事故等時における温度、圧力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 強度評価」にて示す方法で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強度評価フローを図 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）に対する応力評価

\*2：応力評価点 P1（ベントノズル円すい部）に対する応力評価

図 2-1 ドライウェルベント開口部の強度評価フロー

## 2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
$D_i$	直径 ( $i = 1, 2, 3 \dots$ )	mm
E	縦弾性係数	MPa
$\ell_i$	長さ ( $i = 1, 2, 3 \dots$ )	mm
$M_i$	曲げモーメント ( $i = 1, 2$ )	N・mm
$M_{SA}$	機械的荷重 (SA 短期機械的荷重)	—
P	圧力, 軸力	—, N
$P_{SA}$	圧力 (SA 短期圧力)	kPa
R	半径	mm
S	設計許容応力	MPa
$S_u$	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	温度	°C
$\nu$	ポアソン比	—
$t_i$	厚さ ( $i = 1, 2, 3 \dots$ )	mm
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

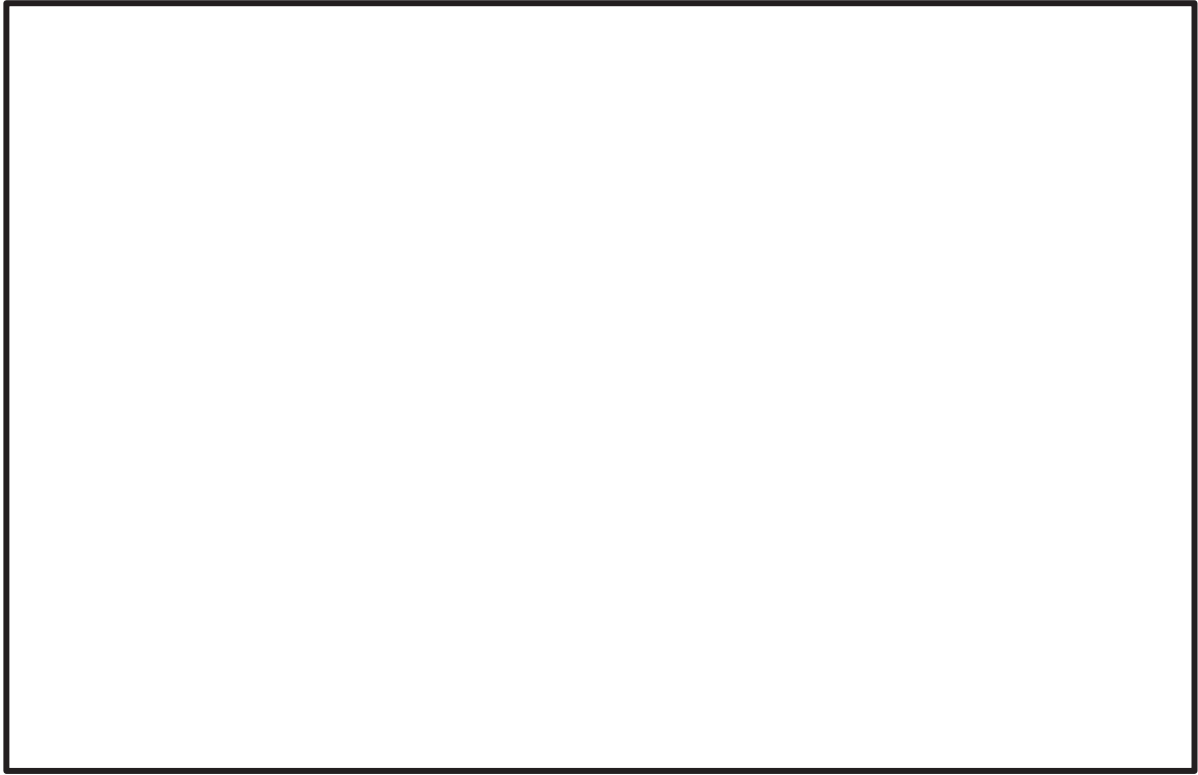
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位 <sup>*2</sup>
許容応力 <sup>*1</sup>	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*2</sup>

注記\*1：告示第501号別表に記載された温度の中間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第2位を切り捨て，小数点以下第1位までの値として算出する。得られた値をSI単位に換算し，SI単位に換算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。

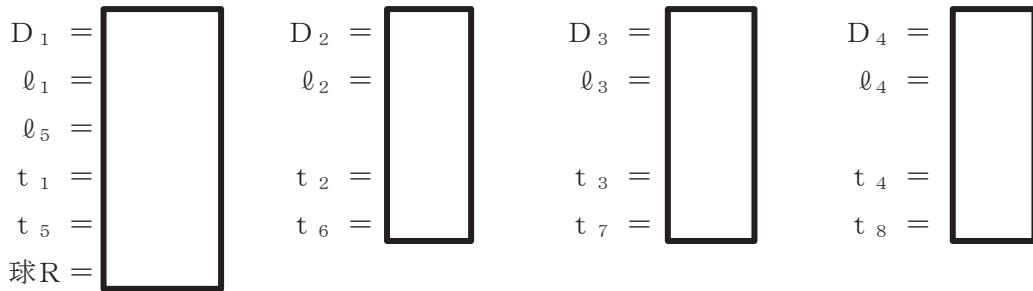
\*2：設計上定める値が小数点以下第1位の場合，小数点以下第1位表示とする。

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

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
ベントノズル	<div data-bbox="986 331 1078 425" style="border: 2px solid black; width: 58px; height: 42px; margin: auto;"></div>
補強板	<div data-bbox="986 376 1078 425" style="border: 2px solid black; width: 58px; height: 22px; margin: auto;"></div>



## 4. 強度評価

### 4.1 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の強度評価として、添付書類「VI-3-3-6-2-5 ベント管の強度計算書」に示す解析モデルを用いて強度評価を行う。

- (2) 強度評価に用いる寸法は、公称値とする。

### 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

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、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 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-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき表 4-2 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、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 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	機器等の区分	荷重の組合せ <sup>*1</sup>		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウェルベント開口部	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	(V(S)-1) (V(S)-2) <sup>*2</sup>	重大事故等時 <sup>*3</sup>

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3-7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ェルベント開口部に作用しないことからV(S)-1の荷重の組合せに包絡されるため、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

\*3：重大事故等時としてIV<sub>A</sub>の許容限界を用いる。

表4-2 許容応力（第2種容器）

許容応力状態 \ 応力分類	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
重大事故等時 <sup>*</sup>	運転状態IVの許容応力である $2/3 \cdot S_u$ とする。ただし、ASS及びHNAについては、 $2.4 \cdot S$ と $2/3 \cdot S_u$ の小さい方とする。	左欄の1.5倍の値

注記\*：重大事故時としてIV<sub>A</sub>の許容限界を用いる。

表4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ベントノズル	[Redacted]	周囲環境温度	200	—	—	[Redacted]	—
補強板		周囲環境温度	200	—	—		—

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-3-3-6-2-5 ベント管の強度計算書」に示す。

(1) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 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 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、以下のとおりとする。

内圧 $P_{SA}$	854kPa (SA 短期)
温度 $T_{SA}$	200℃ (SA 短期)

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-3-3-6-2-5 ベント管の強度計算書」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 4-4 に示す。

表 4-4 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	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)
限界圧力 (内圧)			
ベント系死荷重			

注記\*：符号は、図 4-3 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 計算方法

#### 4.3.1 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 4-5 及び図 4-1 に示す。

表 4-5 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1 <sup>*1</sup>	ベントノズル円すい部
P2 <sup>*2</sup>	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 4-1 ドライウェルベント開口部の応力評価点

#### 4.3.2 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の解析モデルを図 4-2～図 4-6 に、機器の諸元を表 4-6 に示す。

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。
- 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

ベントノズルの評価は、添付書類「VI-3-3-6-2-5 ベント管の強度計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

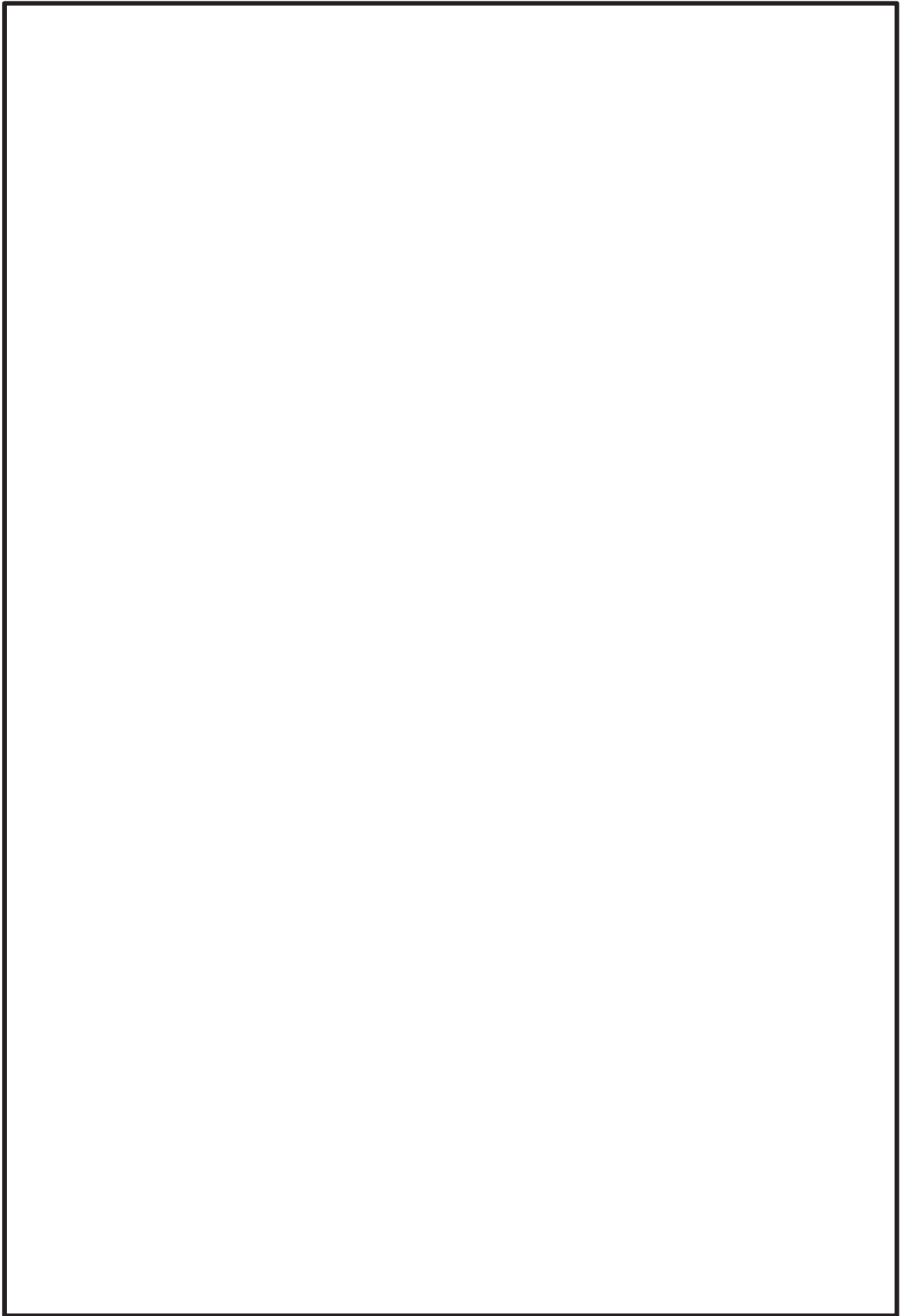


図 4-2 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (全体)

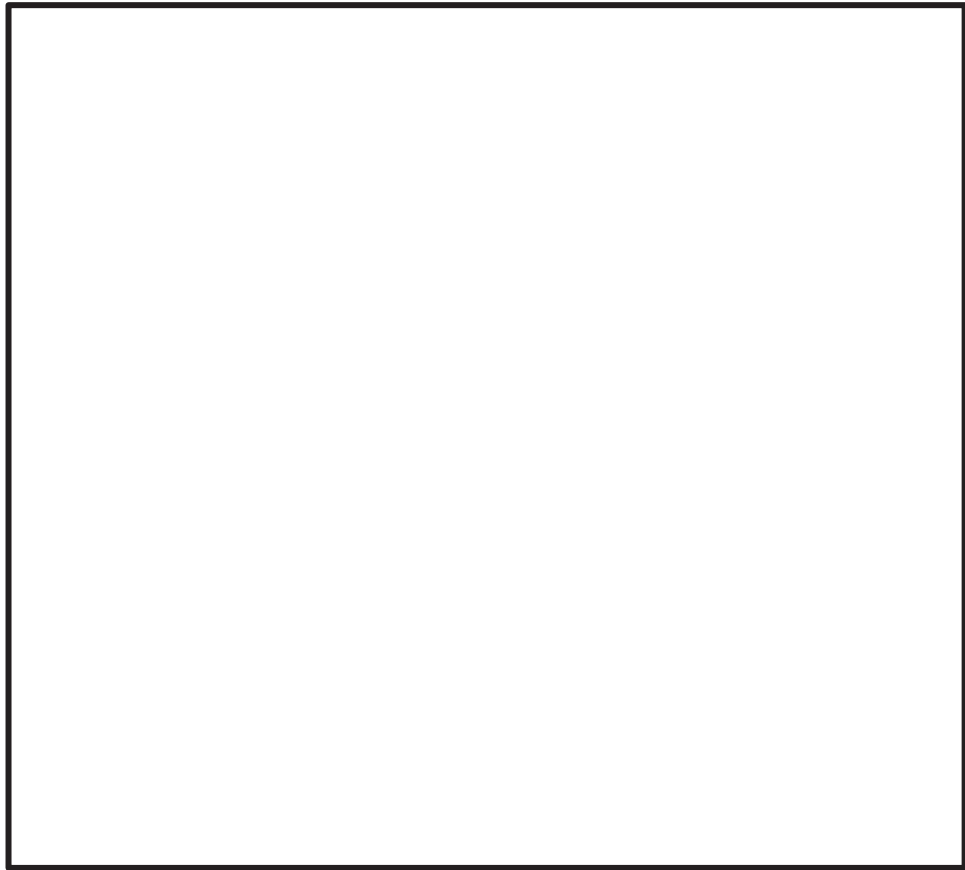


図 4-3 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (A部拡大)

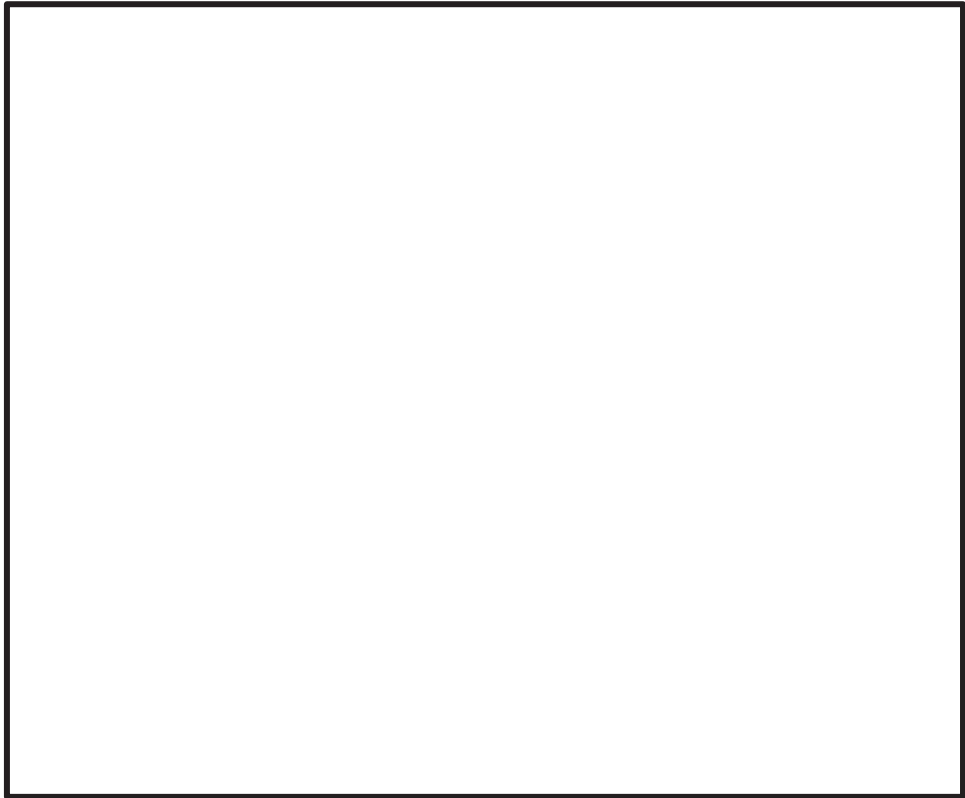


図 4-4 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (B部拡大)



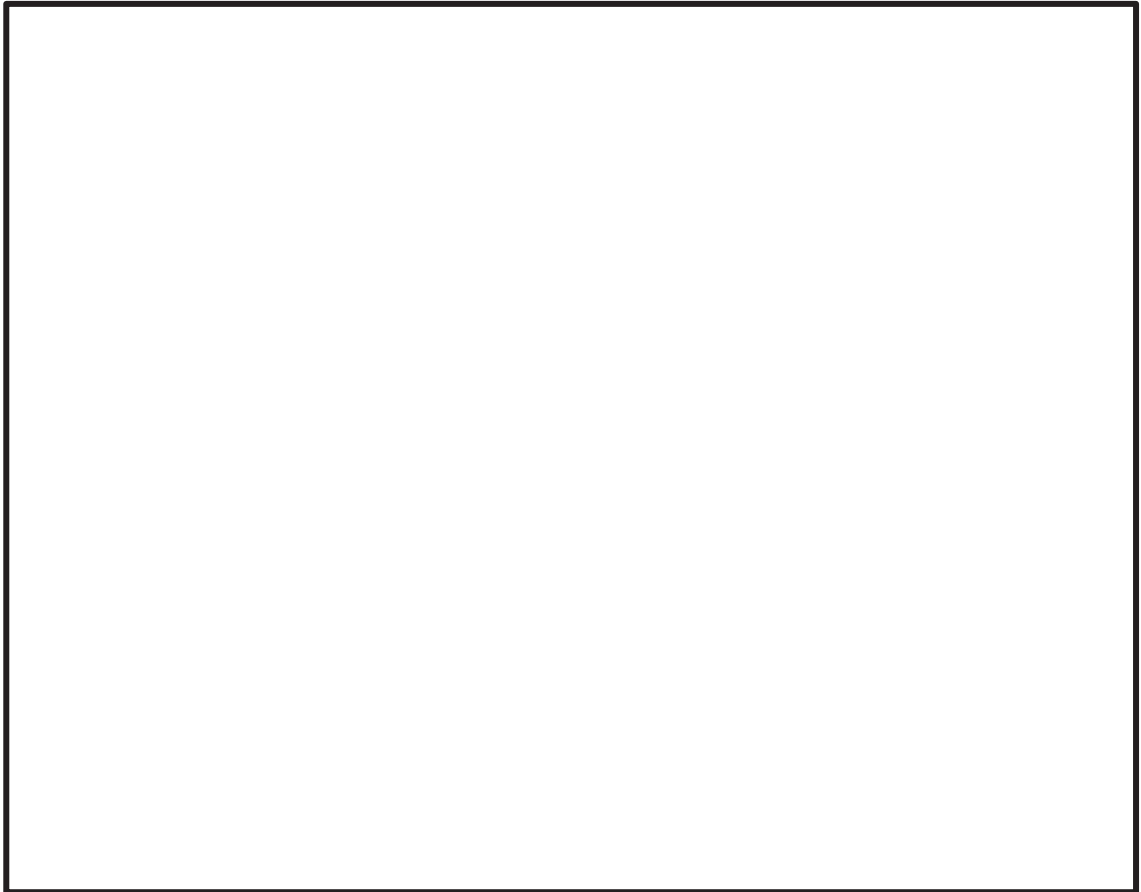


図 4-5 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (C-Cから見る)

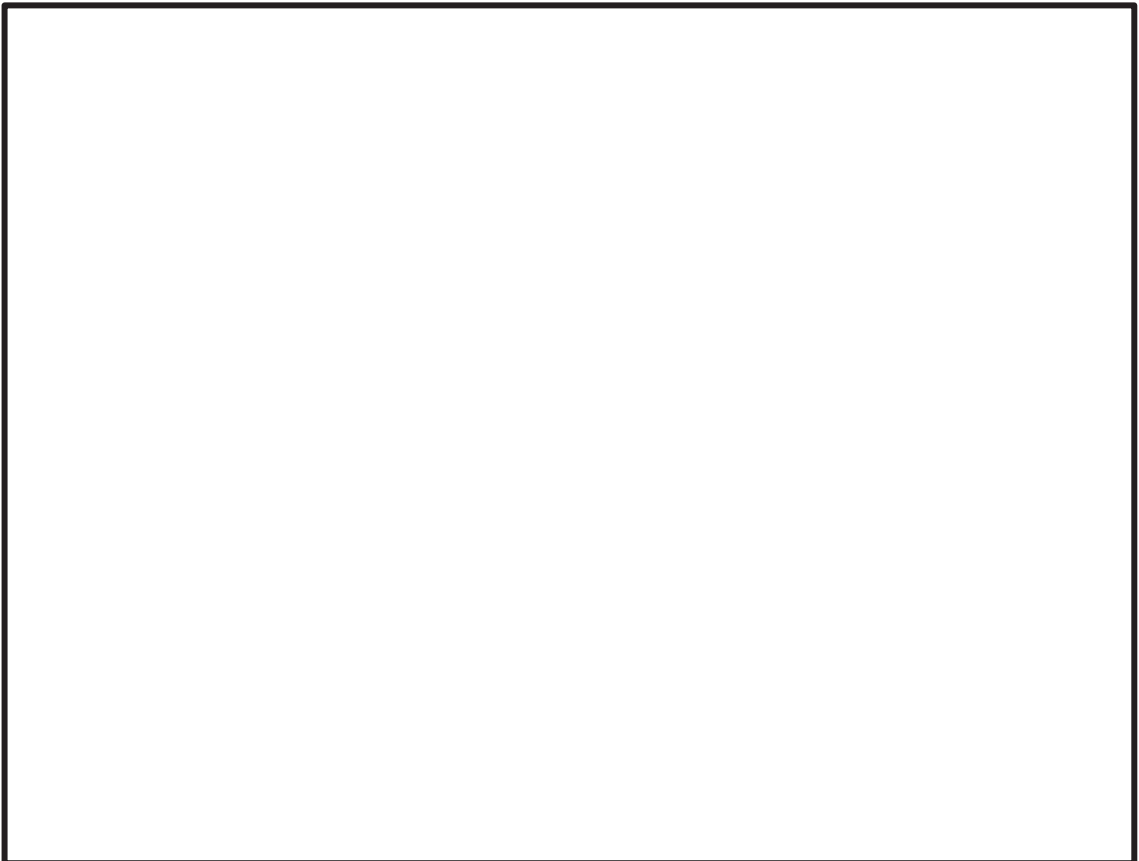


図 4-6 解析モデル ドライウェルベント開口部シェルモデル (D-Dから見る)

表 4-6 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
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 <sup>*1</sup>		—	kg	
温度条件		T	°C	
縦弾性係数		E	MPa	
ポアソン比		$\nu$	—	
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。

#### 4.3.3 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) 重大事故等対処設備としての応力計算

###### a. 応力評価点 P1

重大事故等対処設備における応力評価点 P1 の応力は、添付書類「VI-3-3-6-2-5 ベント管の強度計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの解析モデルにより算出し評価する。

###### b. 応力評価点 P2

重大事故等対処設備における応力評価点 P2 の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、「4.3.2 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、既工認の各荷重条件の比を用いて発生応力を算出し評価する。

#### 4.4 計算条件

応力評価に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す。

#### 4.5 応力の評価

「4.3 計算方法」で求めた各応力が、表 4-2 に示す許容応力以下であること。

## 5. 評価結果

### 5.1 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強度評価結果を以下に示す。発生値は許容応力を満足している。

#### (1) 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 重大事故等時に対する評価結果 (D + P<sub>SA</sub> + M<sub>SA</sub>)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	重大事故等時		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	82		○	
	P2	ドライウェルベント開口部	一次膜応力+一次曲げ応力	228		○	

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」