

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-009-19
提出年月日	2022年12月12日

VI-3-3-7-1-19 配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの強度計算書

S2 補 VI-3-3-7-1-19 R0

2022年12月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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	4
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	5
3. 評価部位	6
3.1 形状及び主要寸法	6
3.2 材料及び縦弾性係数	7
4. 構造強度評価	8
4.1 疲労評価方法	8
4.2 評価条件	8
4.3 設計繰返し回数	9
4.4 ベローズの全伸縮量	10
4.5 許容繰返し回数の計算	11
5. 評価結果	14
6. 参照図書	15

1. 概要

本計算書は、原子炉格納容器配管貫通部ベローズ（以下「配管貫通部ベローズ」という。）及びベント管ベローズの強度計算書である。

配管貫通部ベローズは、原子炉格納容器の配管貫通部に設けられており、設計基準対象施設の原子炉格納容器と同様に重大事故等クラス2容器として兼用する機器である。また、ベント管ベローズは、設計基準対象施設のベント管ベローズ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、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、配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズ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及び重大事故等時を踏まえた評価条件に対して、昭和59年9月17日付け59資庁第8283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。）に示す手法に従い構造強度評価を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

配管貫通部ベローズの構造計画を表2-1に、ベント管ベローズの構造計画を表2-2に示す。

表 2-1 配管貫通部ベローズの構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>配管貫通部ベローズは、原子炉格納容器配管貫通部の一部に設けられる。</p>	<p>単層板からなる断面蛇腹形状のステンレス製構造物である。</p>	

表 2-2 ベント管ベローズの構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ベント管ベローズは、一端をベント管に、他端をサプレッションチェンバに支持される。ベント管ベローズは、ドライウェルとサプレッションチェンバとの相対変位を吸収するために設けられたものである。</p>	<p>ベント管ベローズは、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm のベローズを2本直列に連結した構造であり、ベローズには補強リングが取り付けられている。</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの評価は、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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において各評価条件に対する設計繰返し回数と許容繰返し回数の比をそれぞれ加えた値（疲労累積係数）が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に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。

配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの構造強度評価フローを図2-1に示す。

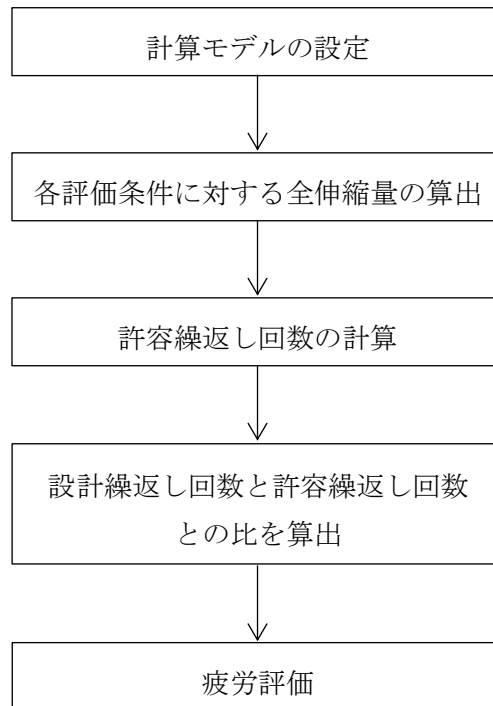


図2-1 配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの構造強度評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・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。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（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
b	ベローズの波のピッチの2分の1	mm
c	ベローズの層数	—
E	縦弾性係数	MPa
h	ベローズの波の高さ	mm
N _i	設計繰返し回数 (i = 1, 2, 3)	—
N _s	許容繰返し回数	—
N _{si}	許容繰返し回数 (i = 1, 2, 3)	—
n	ベローズの波数の2倍の値	—
P	圧力	MPa
P _D	圧力 (最高使用圧力)	MPa
P _{SA}	圧力 (SA後圧力)	MPa
T _O	温度 (通常運転時)	℃
T _D	温度 (最高使用温度)	℃
T _{SA}	温度 (SA後温度)	℃
t	厚さ	mm
δ	全伸縮量	mm
σ	応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

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
圧力	MPa	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
全伸縮量	mm	1の位	切上げ	整数位
許容繰返し回数	—	有効数字5桁目	切捨て	有効数字4桁
疲労累積係数	—	有効数字4桁目	切上げ	有効数字3桁

注記*：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。

3. 評価部位

3.1 形状及び主要寸法

配管貫通部ベローズの形状を図 3-1 に、ベント管ベローズの形状を図 3-2 に示し、ベローズの主要寸法を表 3-1 に示す。

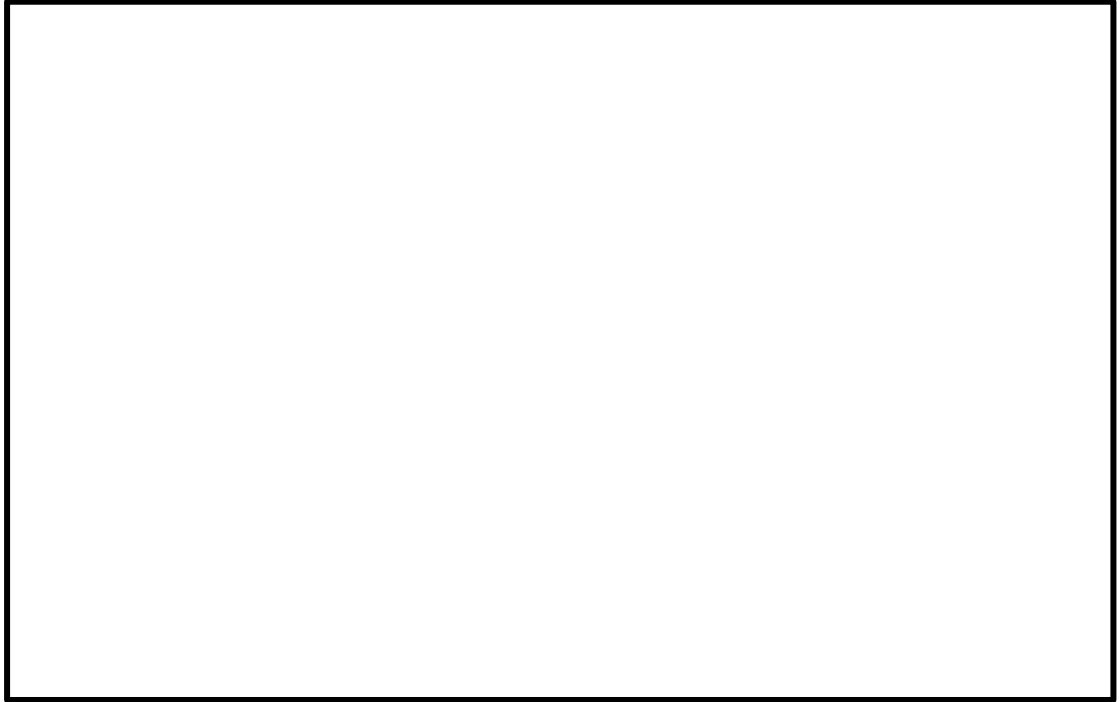


図 3-1 配管貫通部ベローズの形状

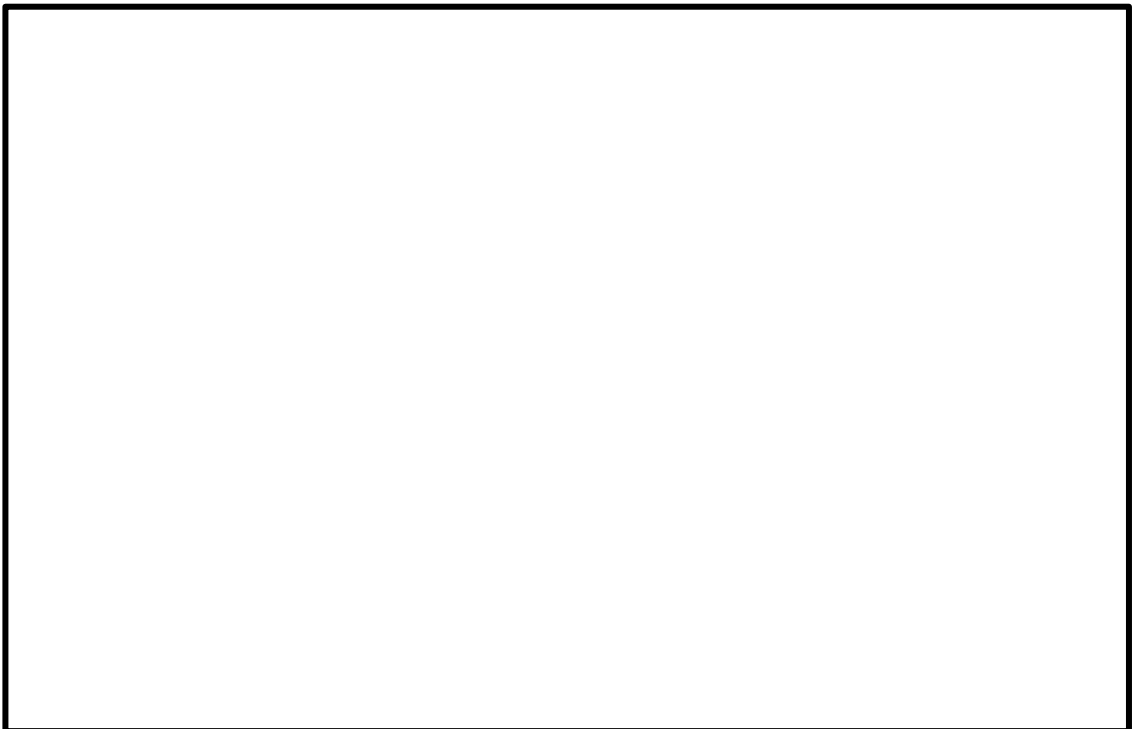


図 3-2 ベント管ベローズの形状

表 3-1 ベローズの主要寸法

種類	貫通部番号	形状				
		b (mm)	h (mm)	t (mm)	n	c
配 管 貫 通 部 ベ ロ ー ズ	X-10A, B, C, D					
	X-11					
	X-12A, B					
	X-31A, B, C					
	X-32A, B					
	X-33					
	X-34					
	X-35					
	X-38					
	X-39					
	X-50					
ベント管ベローズ						

3.2 材料及び縦弾性係数

(1) 材料

ベローズ SUS304

(2) 縦弾性係数

縦弾性係数 E
 1.92×10^5 MPa (57°C)
 1.84×10^5 MPa (171°C)
 1.83×10^5 MPa (200°C)

4. 構造強度評価

4.1 疲労評価方法

- (1) 設計繰返し回数が、設計・建設規格 PVE-3800 より算出した許容繰返し回数を超えないことを確認する。
- (2) 設計繰返し回数は、通常状態、設計状態（地震時含む）及び重大事故条件の3種類であるため、設計繰返し回数と許容繰返し回数の比をそれぞれ加えた値（疲労累積係数）が許容値である1以下となることを確認する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。

4.2 評価条件

- (1) 設計基準対象施設としての圧力及び温度

設計基準対象施設としての圧力及び温度は、既工認からの変更はなく、次のとおりである。

通常運転温度	T_o	57 °C
最高使用圧力	P_D	0.427 MPa
最高使用温度	T_D	171 °C

- (2) 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。

圧力	P_{SA}	0.853 MPa
温度	T_{SA}	200 °C

- (3) 地震伸縮量

配管貫通部ベローズの地震伸縮量及びベント管ベローズの地震伸縮量を表 4-1 に示す。表 4-1 に示す伸縮量（基準地震動 S_s ）のうち、配管貫通部ベローズについては、VI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」により計算されたドライウェルと原子炉建物の相対変位又はこれを上回る相対変位に基づき、すべての配管貫通部を包絡する値を用いる。また、ベント管ベローズについては、VI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」により計算されたドライウェルと原子炉建物基礎スラブの相対変位又はこれを上回る相対変位と、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」により計算されたサプレッションチェンバと原子炉建物基礎スラブの相対変位又はこれを上回る相対変位に基づき計算されたベント管ベローズ位置での相対変位を用いる。

表 4-1 地震伸縮量（基準地震動 S_s ）

（単位：mm）

種類	貫通部番号	地震伸縮量
配 管 貫 通 部 ベ ロ ー ズ	X-10A, B, C, D	
	X-11	
	X-12A, B	
	X-31A, B, C	
	X-32A, B	
	X-33	
	X-34	
	X-35	
	X-38	
	X-39	
	X-50	
ベント管ベローズ		

4.3 設計繰返し回数

設計繰返し回数 N を表 4-2 に示す。

表 4-2 設計繰返し回数

通常状態 N_1	設計状態 N_2	重大事故条件 N_3

4.4 ベローズの全伸縮量

配管貫通部ベローズの全伸縮量 δ を表 4-3 に、ベント管ベローズの全伸縮量 δ を表 4-4 に示す。なお、通常状態の全伸縮量については、既工認からの変更はない。

表 4-3 配管貫通部ベローズの全伸縮量

(単位：mm)

貫通部番号	全伸縮量 δ		
	通常状態	設計状態	重大事故条件
X-10A, B, C, D			
X-11			
X-12A, B			
X-31A, B, C			
X-32A, B			
X-33			
X-34			
X-35			
X-38			
X-39			
X-50			

表 4-4 ベント管ベローズの全伸縮量

(単位：mm)

種類	全伸縮量 δ		
	通常状態	設計状態	重大事故条件
ベント管ベローズ			

4.5 許容繰返し回数の計算

配管貫通部ベローズとベント管ベローズの許容繰返し回数 N_s は、以下の計算式により算出する。

許容繰返し回数 N_s

$$N_s = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

ここに、 σ は次の計算式より計算した値

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h}^3} + \frac{P \cdot h}{t \cdot c} \quad (\text{調整リングが付いている場合})$$

「4.3 設計繰返し回数」にて設定した設計繰返し回数と上記により算出した許容繰返し回数の比の計算結果を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-5 配管貫通部ベローズの設計繰返し回数と許容繰返し回数の比

貫通部番号	通常状態		設計状態		重大事故条件	
	N_{S1}	$\frac{N_1}{N_{S1}}$	N_{S2}	$\frac{N_2}{N_{S2}}$	N_{S3}	$\frac{N_3}{N_{S3}}$
X-10A, B, C, D		5.30×10^{-2}		3.91×10^{-1}		5.72×10^{-4}
X-11		4.81×10^{-2}		4.43×10^{-1}		7.55×10^{-4}
X-12A, B		1.06×10^{-2}		2.31×10^{-1}		2.54×10^{-4}
X-31A, B, C		3.85×10^{-3}		2.93×10^{-1}		3.51×10^{-4}
X-32A, B		9.37×10^{-4}		1.01×10^{-1}		4.68×10^{-5}
X-33		9.37×10^{-4}		1.36×10^{-1}		4.68×10^{-5}
X-34		9.37×10^{-4}		2.31×10^{-1}		2.54×10^{-4}
X-35		9.37×10^{-4}		2.31×10^{-1}		2.54×10^{-4}
X-38		1.76×10^{-2}		6.00×10^{-1}		7.55×10^{-4}
X-39		4.25×10^{-3}		6.00×10^{-1}		7.55×10^{-4}
X-50		3.85×10^{-3}		1.79×10^{-1}		1.79×10^{-4}

表 4-6 ベント管ベローズの設計繰返し回数と許容繰返し回数の比

通常状態		設計状態		重大事故条件	
N_{S1}	$\frac{N_1}{N_{S1}}$	N_{S2}	$\frac{N_2}{N_{S2}}$	N_{S3}	$\frac{N_3}{N_{S3}}$
	8.42×10^{-5}		7.90×10^{-1}		7.75×10^{-5}

5. 評価結果

配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの重大事故等対処設備としての構造強度評価結果を以下に示す。

疲労累積係数は許容値を満足している。

表 5-1 評価結果

評価部位	$\frac{N_1}{N_{S1}}$	$\frac{N_2}{N_{S2}}$	$\frac{N_3}{N_{S3}}$	疲労累積係数 $\left(\frac{N_1}{N_{S1}} + \frac{N_2}{N_{S2}} + \frac{N_3}{N_{S3}}\right)$	許容値	判定
X-10A, B, C, D	5.30×10^{-2}	3.91×10^{-1}	5.72×10^{-4}	4.45×10^{-1}	1	○
X-11	4.81×10^{-2}	4.43×10^{-1}	7.55×10^{-4}	4.92×10^{-1}	1	○
X-12A, B	1.06×10^{-2}	2.31×10^{-1}	2.54×10^{-4}	2.42×10^{-1}	1	○
X-31A, B, C	3.85×10^{-3}	2.93×10^{-1}	3.51×10^{-4}	2.98×10^{-1}	1	○
X32A, B	9.37×10^{-4}	1.01×10^{-1}	4.68×10^{-5}	1.02×10^{-1}	1	○
X-33	9.37×10^{-4}	1.36×10^{-1}	4.68×10^{-5}	1.37×10^{-1}	1	○
X-34	9.37×10^{-4}	2.31×10^{-1}	2.54×10^{-4}	2.33×10^{-1}	1	○
X-35	9.37×10^{-4}	2.31×10^{-1}	2.54×10^{-4}	2.33×10^{-1}	1	○
X-38	1.76×10^{-2}	6.00×10^{-1}	7.55×10^{-4}	6.19×10^{-1}	1	○
X-39	4.25×10^{-3}	6.00×10^{-1}	7.55×10^{-4}	6.05×10^{-1}	1	○
X-50	3.85×10^{-3}	1.79×10^{-1}	1.79×10^{-4}	1.83×10^{-1}	1	○
ベント管 ベローズ	8.42×10^{-5}	7.90×10^{-1}	7.75×10^{-5}	7.91×10^{-1}	1	○

6. 参照図書

(1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書

IV-3-5-10 「原子炉格納容器配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの強度計算書」