

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1030 改3
提出年月日	平成30年9月13日

V-3-9-1-4-2 原子炉格納容器貫通部ベローズの強度計算書

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 適用基準	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
3.1 形状及び主要寸法	5
3.2 材料及び縦弾性係数	6
4. 強度評価	7
4.1 疲労評価方法	7
4.2 評価条件	7
4.3 設計繰返し回数	7
4.4 ベローズの伸縮量	8
4.5 許容繰返し回数の計算	9
5. 評価結果	11

1. 概要

本計算書は、原子炉格納容器貫通部ベローズ（以下「ベローズ」という。）の強度計算書である。

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。

以下、重大事故等クラス2容器として添付書類「V-3-1-6 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」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ベローズの強度評価について示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ベローズの構造計画を表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	
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。	単層板、若しくは2層の複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>The diagram shows a cross-section of a containment structure. It features a central vertical shaft with several smaller vertical tubes branching off. The main structure is composed of multiple horizontal layers. A bellows joint, labeled 'ベローズ', is shown on the right side, connecting two sections of the structure. The top part of the structure is rounded, and the bottom part is supported by a base with four legs.</p>

2.2 評価方針

ベローズの強度評価は、添付書類「V-3-1-6 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、「4. 強度評価」に示す方法にて疲労評価することで実施する。評価結果を「5. 評価結果」に示す。

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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（日本機械学会 2007年9月）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
b	長さ	mm
c	層数	—
E	縦弾性係数	MPa
h	長さ	mm
N	設計繰返し回数	—
N _s	許容繰返し回数	—
n	2倍の波数	—
P _D	内圧	kPa
T _D	温度	℃
t	板厚	mm
δ	伸縮量	mm
σ	応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

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
面積	mm ²	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
断面係数	mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*1}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
座屈計算値	なし	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
累積疲労係数	なし	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中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

3.1 形状及び主要寸法

ベローズの形状を図 3-1 に、ベローズの主要寸法を表 3-1 に示す。

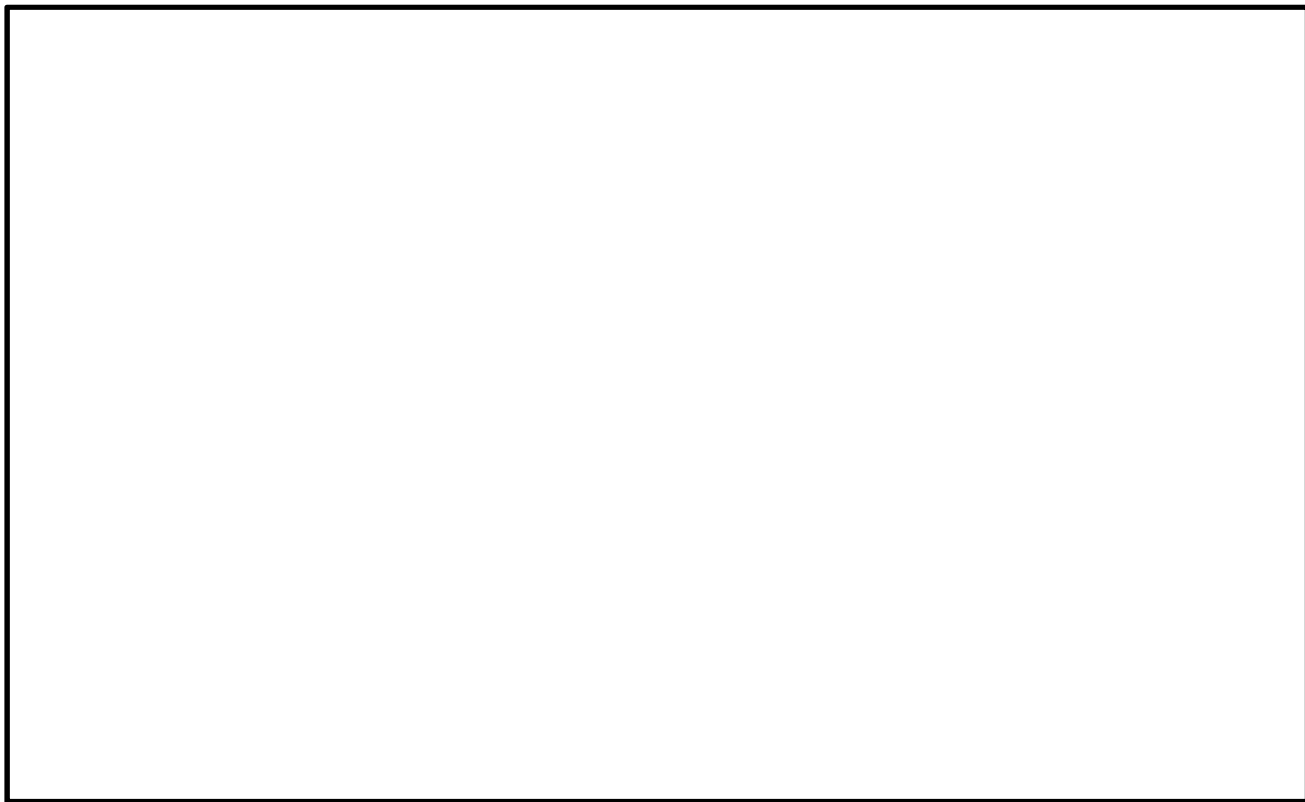


図 3-1 ベローズの形状

表 3-1 ベローズの主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	形 状				
	b *	h *	t *	n *	c *

注記*：記号の説明は、図 3-1 参照

NT2 補① V-3-9-1-4-2 R3

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 (66°C)

1.84×10^5 MPa (171°C)

1.83×10^5 MPa (200°C)

4. 強度評価

4.1 疲労評価方法

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。

設計繰返し回数は、通常運転時、設計基準事故時（地震時含む）及び重大事故等時の3種類であるため、設計繰返し回数と許容繰返し回数との比をそれぞれ加えた値が1以下であることを確認する。

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

通常運転温度	T_o	66°C
最高使用圧力	P_D	310 kPa
最高使用温度	T_D	171 °C

(2) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

内圧	P_{SA}	620 kPa
温度	T_{SA}	200 °C

(3) 地震伸縮量

ベローズの地震伸縮量 δ を表 4-1 に示す。表 4-1 に示す伸縮量（基準地震動 S_s ）は、添付書類「V-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器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」により計算された原子炉格納容器と原子炉建屋の相対変位に基づき、全ての貫通部を包絡する値を用いる。

表 4-1 地震伸縮量（基準地震動 S_s ）

（単位：mm）

δ_x	δ_y	δ_z

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

（単位：回）

通常運転 N_1	設計条件 N_2	重大事故条件 N_3

4.4 ベローズの伸縮量

ベローズの全伸縮量 δ を表 4-3 に示す。

表 4-3 ベローズの全伸縮量

(単位：mm)

貫通部番号	全伸縮量 δ		
	通常運転	設計条件	重大事故条件

NT2 補① V-3-9-1-4-2 R3

全伸縮量 δ は、次の計算式より計算した値

$$\delta = \delta_x + \frac{D_m \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2}}{A}$$

ここに、

- D_m : ベローズ平均径 (mm)
- A : ベローズ間距離 (mm)
- δ_x : 貫通部軸方向の変位量 (mm)
- δ_y, δ_z : 互いに直交する貫通部軸直角方向の変位量 (mm)

4.5 許容繰返し回数の計算

ここでは、貫通部番号 X-2 の設計条件についての計算例を示し、他は計算結果を表 4-4 に示す。

許容繰返し回数 N_s

$$N_s = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5} = \left(\frac{11031}{983} \right)^{3.5} = 4.733 \times 10^3 \text{ 回}$$

ここに、 σ は次の計算式より計算した値

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

$$= \boxed{} = 983 \text{ MPa}$$

設計繰返し回数と許容繰返し回数の比

$$\frac{N}{N_s} = \boxed{\phantom{6.34 \times 10^{-2}}} = 6.34 \times 10^{-2}$$

表 4-4 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	N_{S1}	$\frac{N_1}{N_{S1}}$	N_{S2}	$\frac{N_2}{N_{S2}}$	N_{S3}	$\frac{N_3}{N_{S3}}$
		4.99×10^{-3}		6.34×10^{-2}		4.33×10^{-4}
		1.83×10^{-3}		4.69×10^{-2}		2.87×10^{-4}
		1.83×10^{-3}		4.69×10^{-2}		2.87×10^{-4}
		1.83×10^{-3}		4.69×10^{-2}		2.87×10^{-4}
		1.83×10^{-3}		4.69×10^{-2}		2.87×10^{-4}
		2.78×10^{-3}		2.14×10^{-1}		1.13×10^{-3}
		1.22×10^{-3}		4.17×10^{-2}		2.41×10^{-4}
		1.22×10^{-3}		4.17×10^{-2}		2.41×10^{-4}
		1.52×10^{-3}		4.20×10^{-2}		2.70×10^{-4}
		1.52×10^{-3}		5.26×10^{-2}		3.25×10^{-4}
		1.52×10^{-3}		5.26×10^{-2}		3.25×10^{-4}
		1.52×10^{-3}		4.20×10^{-2}		2.70×10^{-4}
		3.32×10^{-3}		1.13×10^{-1}		5.72×10^{-4}
		3.32×10^{-3}		1.13×10^{-1}		5.72×10^{-4}
		4.99×10^{-3}		6.34×10^{-2}		4.33×10^{-4}
		4.99×10^{-3}		6.34×10^{-2}		4.33×10^{-4}
		3.73×10^{-3}		2.52×10^{-2}		1.62×10^{-4}

NT2 補① V-3-9-1-4-2 R3

5. 評価結果

ベローズの重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。

通常運転，設計条件，重大事故条件の設計繰返し回数と許容繰返し回数との比をそれぞれ加えた値は評価基準値を満足している。

表 5-1 評価結果

評価部位	$\frac{N_1}{N_{s1}}$	$\frac{N_2}{N_{s2}}$	$\frac{N_3}{N_{s3}}$	$\frac{N_1}{N_{s1}} + \frac{N_2}{N_{s2}} + \frac{N_3}{N_{s3}}$	評価基準値	判定
	4.99×10^{-3}	6.34×10^{-2}	4.33×10^{-4}	6.89×10^{-2}	1	○
	1.83×10^{-3}	4.69×10^{-2}	2.87×10^{-4}	4.91×10^{-2}	1	○
	1.83×10^{-3}	4.69×10^{-2}	2.87×10^{-4}	4.91×10^{-2}	1	○
	1.83×10^{-3}	4.69×10^{-2}	2.87×10^{-4}	4.91×10^{-2}	1	○
	1.83×10^{-3}	4.69×10^{-2}	2.87×10^{-4}	4.91×10^{-2}	1	○
	2.78×10^{-3}	2.14×10^{-1}	1.13×10^{-3}	2.18×10^{-1}	1	○
	1.22×10^{-3}	4.17×10^{-2}	2.41×10^{-4}	4.32×10^{-2}	1	○
	1.22×10^{-3}	4.17×10^{-2}	2.41×10^{-4}	4.32×10^{-2}	1	○
	1.52×10^{-3}	4.20×10^{-2}	2.70×10^{-4}	4.38×10^{-2}	1	○
	1.52×10^{-3}	5.26×10^{-2}	3.25×10^{-4}	5.45×10^{-2}	1	○
	1.52×10^{-3}	5.26×10^{-2}	3.25×10^{-4}	5.45×10^{-2}	1	○
	1.52×10^{-3}	4.20×10^{-2}	2.70×10^{-4}	4.38×10^{-2}	1	○
	3.32×10^{-3}	1.13×10^{-1}	5.72×10^{-4}	1.17×10^{-1}	1	○
	3.32×10^{-3}	1.13×10^{-1}	5.72×10^{-4}	1.17×10^{-1}	1	○
	4.99×10^{-3}	6.34×10^{-2}	4.33×10^{-4}	6.89×10^{-2}	1	○
	4.99×10^{-3}	6.34×10^{-2}	4.33×10^{-4}	6.89×10^{-2}	1	○
	3.73×10^{-3}	2.52×10^{-2}	1.62×10^{-4}	2.91×10^{-2}	1	○