

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-20-0146_改0
提出年月日	2021年7月1日

## VI-3-別添 6-7 制御棒案内管の強度計算書

2021年7月  
東北電力株式会社

## 目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
5	特別な応力の評価	7
5.1	軸圧縮応力の評価	7
5.1.1	軸圧縮荷重	7
5.1.2	軸圧縮応力	7
5.1.3	許容軸圧縮応力	7
5.1.4	軸圧縮応力の評価	7
5.2	外圧の評価	8
5.2.1	外圧	8
5.2.2	許容外圧	8
5.2.3	外圧の評価	8

## 図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11
表 5-1	軸圧縮応力の評価のまとめ	12
表 5-2	外圧の評価のまとめ	12

## 1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の強度計算書である。

制御棒案内管は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

### 1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
D。	外径	mm
t	肉厚	mm

### 1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

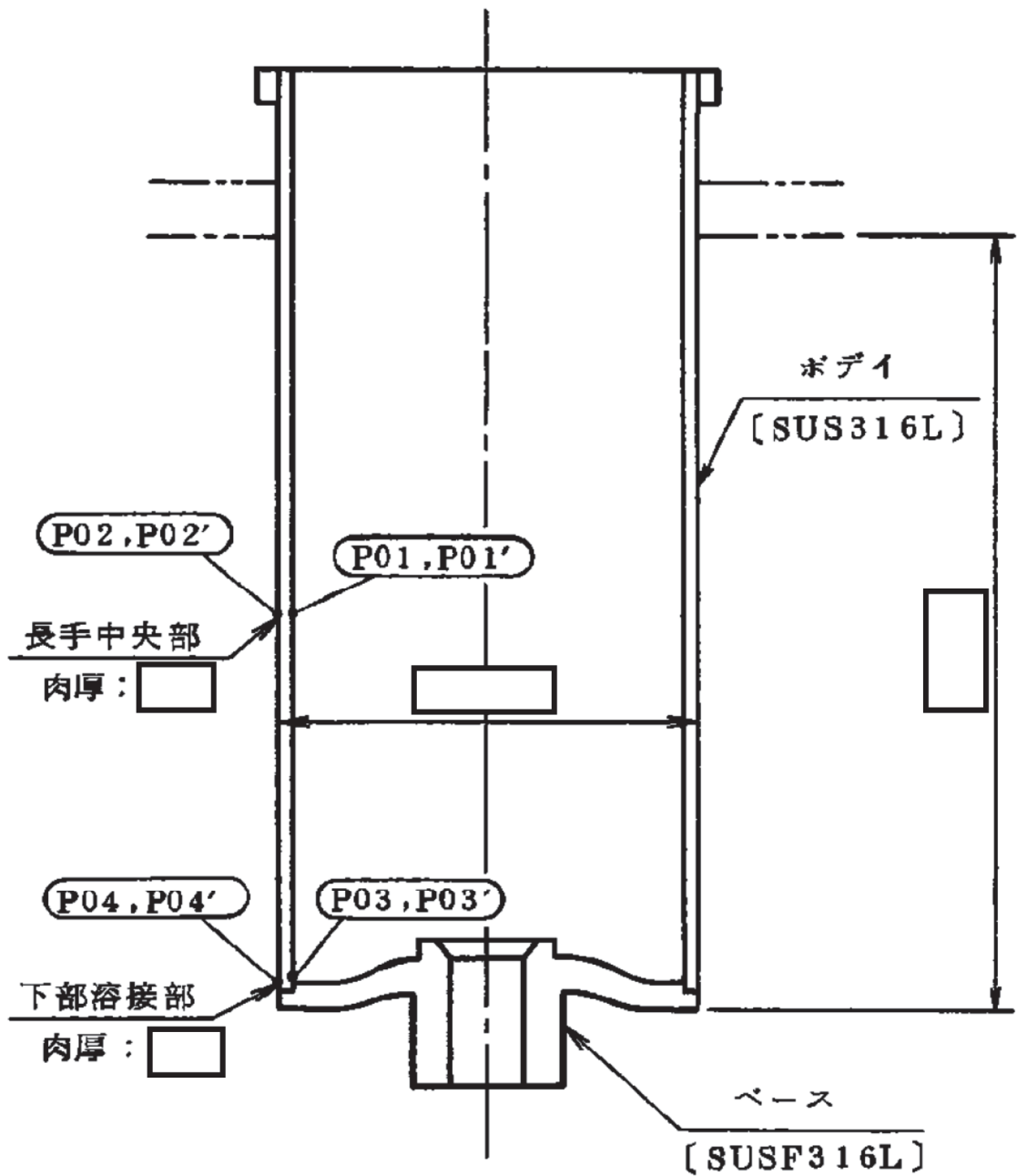
### 1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

### 1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点  
[ ] : 材 料

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
長手中央部 SUS316L	V	7	223	P01-P02	7	335	P01-P02
下部溶接部 SUS316L	V	7	145*	P03-P04	7	217*	P03-P04

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	軸圧縮応力の評価		外圧による座屈の評価	
		軸圧縮応力	許容応力	外圧	許容外圧
長手中央部 SUS316L	V	5	94	0.25	0.77
下部溶接部 SUS316L	V	5	59*	0.25	0.63

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。

## 2 計算条件

### 2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

### 2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

### 2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

### 2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

### 2.5 許容応力

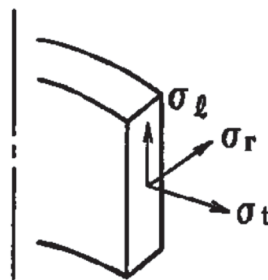
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

### 2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- $\sigma_t$  : 周方向応力
- $\sigma_l$  : 軸方向応力
- $\sigma_r$  : 半径方向応力
- $\tau_{lr}$  : せん断応力



### 3 応力計算

#### 3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

#### 3.2 差圧による応力

##### 3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

##### 3.2.2 計算方法

差圧による一次応力の計算は、計算機コード「A-SAFIA」を用いて行う。

なお、評価に用いる計算機コードの概要については、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。

#### 3.3 外荷重による応力

##### 3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

##### 3.3.2 計算方法

###### (1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = -\frac{V}{A}$$

###### (2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

#### 3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.3.2 項に定めるとおりである。



## 4 応力強さの評価

### 4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

### 4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5 特別な応力の評価

5.1 軸圧縮応力の評価

制御棒案内管に作用する鉛直荷重により生じる軸圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 軸圧縮荷重

運転状態 V における制御棒案内管に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

5.1.2 軸圧縮応力

軸圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma = \frac{V}{A}$$

5.1.3 許容軸圧縮応力

運転状態 V における許容軸圧縮応力の計算，告示第 96 条第 1 項第 1 号チを準用し手計算する。

運転状態 V における許容応力は、次のように得られる。

(単位：MPa)

部分	運転状態	許容軸圧縮応力
長手中央部	V	$\eta \cdot \text{MIN} \left( 2 \cdot S_m^{*1}, 2 \cdot B^{*2} \right) = 94$
下部溶接部	V	$\eta \cdot \text{MIN} \left( 2 \cdot S_m^{*1}, 2 \cdot B^{*3} \right) = 59$

注記\*1：運転状態 V の評価温度における

$S_m$  の値 = 93MPa

\*2：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における

B の値 = 47MPa

\*3：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における

B の値 = 46MPa

5.1.4 軸圧縮応力の評価

運転状態 V における軸圧縮応力の評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より，運転状態 V における軸圧縮応力は，許容応力を満足するため，座屈は発生しない。

## 5.2 外圧の評価

制御棒案内管に作用する外圧の評価を行う。

### 5.2.1 外圧

運転状態 V における外圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

### 5.2.2 許容外圧

運転状態 V における許容外圧の計算は、告示第 96 条第 2 項第 1 号を準用して計算する。

運転状態 V における許容外圧は、次のように得られる。

(単位：MPa)

部分	運転状態	許容外圧
長手中央部	V	$2 \cdot \left( \frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} \right) = 0.77$
下部溶接部	V	$2 \cdot \left( \frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} \right) = 0.63$

注記\*：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における B の値

長手中央部：B = 19MPa

下部溶接部：B = 17MPa

### 5.2.3 外圧の評価

運転状態 V における外圧の評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、運転状態 V における外圧は、許容外圧を満足するため、座屈は発生しない。

表 3-1 断面性状

応力評価点	$D_o$ (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )
P01, P02			
P03, P04			

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	223
P01' P02'	7	223
P03 P04	7	145*
P03' P04'	7	145*

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	335
P01' P02'	7	335
P03 P04	7	217*
P03' P04'	7	217*

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 5-1 軸圧縮応力の評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	軸圧縮応力の評価	
		軸圧縮応力	許容応力
長手中央部	V	5	94
下部溶接部	V	5	59*

注記\*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 5-2 外圧の評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	外圧による座屈の評価	
		外圧	許容外圧
長手中央部	V	0.25	0.77
下部溶接部	V	0.25	0.63