

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-003-04
提出年月日	2022年3月8日

VI-2-3-2-2-2 炉心シュラウドの耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-3-2-2-2 R0

2022年3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.	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	5
2.1	設計条件	5
2.2	運転条件	5
2.3	材料	5
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.5	荷重の組合せ及び応力評価	5
2.6	許容応力	5
2.7	応力の記号と方向	5
3.	応力計算	6
3.1	応力評価点	6
3.2	差圧による応力	6
3.2.1	荷重条件 (L02)	6
3.2.2	計算方法	6
3.3	外荷重による応力	7
3.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
3.3.2	計算方法	7
3.4	応力の評価	7
4.	応力強さの評価	8
4.1	一次一般膜応力強さの評価	8
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5.	特別な応力の評価	9
5.1	支圧応力の評価	9
5.1.1	支圧面積	9
5.1.2	支圧荷重	9
5.1.3	平均支圧応力	9
5.1.4	支圧応力の評価	9
5.2	座屈に対する評価	10
5.2.1	座屈評価の方法	10
5.2.2	座屈に対する評価	10

図 表 目 次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 5-1	支圧荷重の支持面	11
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14
表 5-1	支圧応力の評価	15
表 5-2	座屈に対する評価	15

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの耐震性についての計算書である。

炉心シュラウドは、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、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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、炉心シュラウドは、炉心支持構造物であるため、VI-2-3-2-2-1「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

記号の説明を「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 ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
f _b	曲げモーメントに対する座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する座屈応力	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
Z	断面係数	mm ³
α	安全率	—
δ	断面二次モーメントを定義する中立軸の図心からのずれ	mm
σ _c	平均支圧応力	MPa
σ _{ca}	許容支圧応力	MPa

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。

なお、下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は、VI-2-3-2-2-3「シュラウドサポートの耐震性についての計算書」に記載する。

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作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

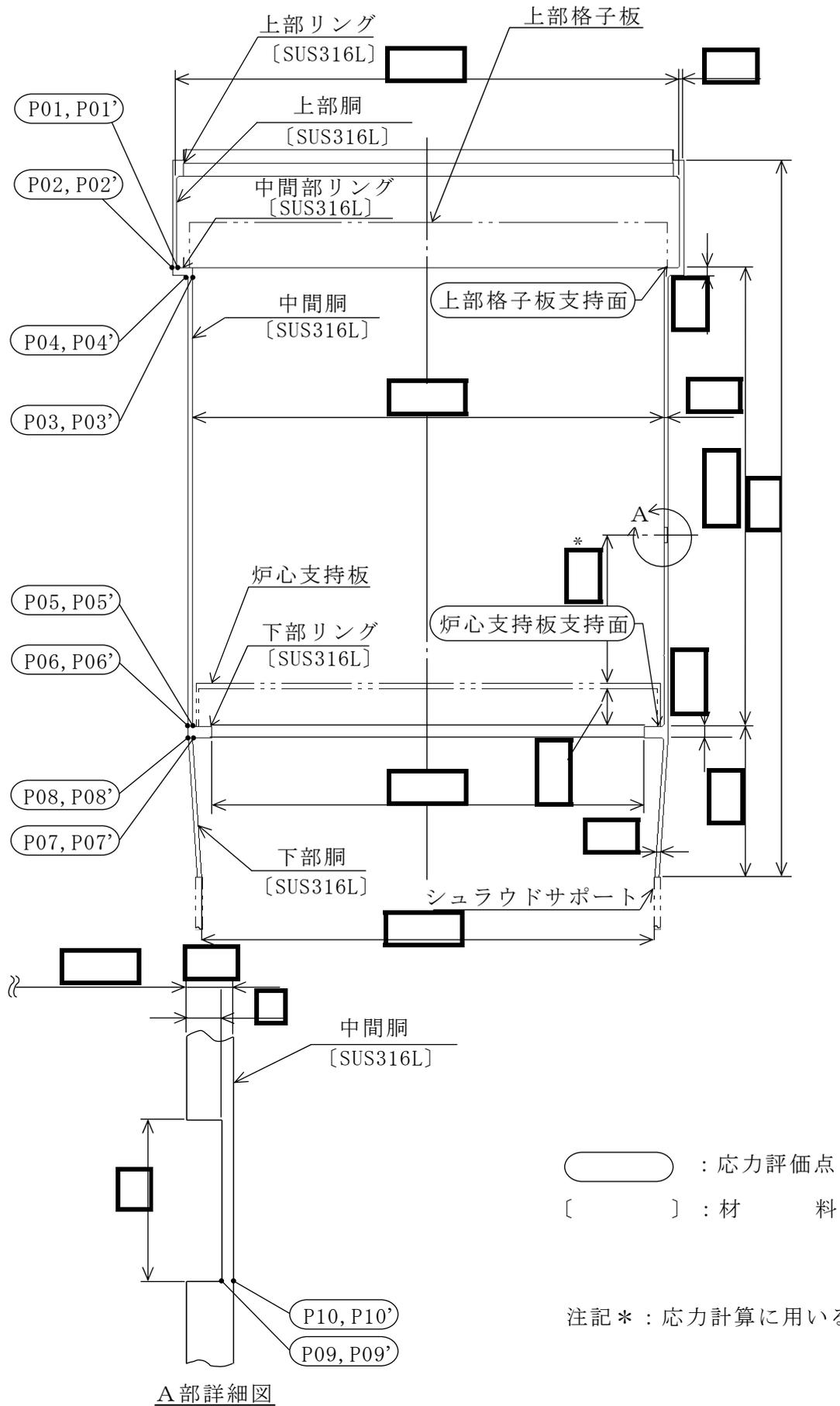


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	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
上部胴 SUS316L	Ⅲ A S	14	92*	P01'-P02'	14	139*	P01'-P02'
	Ⅳ A S	25	148*	P01'-P02'	25	222*	P01'-P02'
中間胴 SUS316L	Ⅲ A S	26	92*	P03'-P04'	26	139*	P03'-P04'
	Ⅳ A S	43	148*	P03'-P04'	43	222*	P03'-P04'
中間胴 SUS316L	Ⅲ A S	54	92*	P05'-P06'	54	139*	P05'-P06'
	Ⅳ A S	95	148*	P05'-P06'	95	222*	P05'-P06'
下部胴 SUS316L	Ⅲ A S	67	92*	P07'-P08'	67	139*	P07'-P08'
	Ⅳ A S	110	148*	P07'-P08'	110	222*	P07'-P08'
中間胴 SUS316L	Ⅲ A S	63	142	P09'-P10'	63	214	P09'-P10'
	Ⅳ A S	97	228	P09'-P10'	97	342	P09'-P10'

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	許容応力状態	支圧応力	
		平均支圧応力	許容応力
上部格子板支持面 SUS316L	Ⅲ A S	3	157
	Ⅳ A S	5	210
炉心支持板支持面 SUS316L	Ⅲ A S	1	157
	Ⅳ A S	2	210

表 1-1(3) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	座屈評価	
		座屈応力 との比	許容値
中間胴 (P09', P10') SUS316L	Ⅲ A S	0.45	1
	Ⅳ A S	0.78	1

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.5 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 4.3 節に示す。

2.6 許容応力

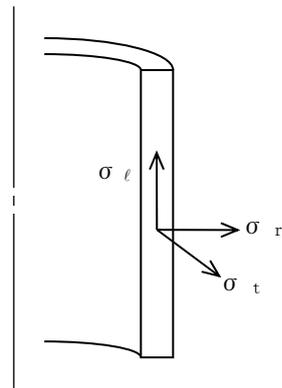
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

2.7 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。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: 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)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(2)a. に定めるとおりである。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\ell = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4 \cdot A} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$ 下記評価点以外

$$Y = \frac{D_o}{D_i + 2 \cdot d} \quad \text{ひび除去加工部 (P09, P10)}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧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。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(1)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、外荷重と各応力評価断面の断面性状により次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

ただし、ひび除去加工部 (P09, P10) については次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \left(\frac{D_o}{2} + \delta \right)$$

(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 5.1.2 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

各許容応力状態における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より、各許容応力状態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

各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋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。

5.2 座屈に対する評価

5.2.1 座屈評価の方法

各許容応力状態において、軸圧縮応力の座屈応力（ f_c ）に対する比と曲げ応力の座屈応力（ f_b ）に対する比の和が1以下であることを示す。

ひび除去加工部（P09'，P10'）の座屈に対する評価は次式による。

$$\frac{\alpha \cdot \left(\frac{V}{A}\right)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot \left(\frac{M}{Z}\right)}{f_b} \leq 1$$

ここで、

$$Z = \frac{I}{\left(\frac{D_o}{2} + \delta\right)}$$

なお、 α 、 f_c 、 f_b は、「応力解析の方針」の参照図書(2)a.より以下の値である。

$$\alpha = 1.21$$

$$f_c = 106 \text{ MPa}$$

$$f_b = 116 \text{ MPa}$$

評価においては、軸圧縮荷重に対して死荷重及び地震荷重による鉛直力を、曲げモーメントに対して地震荷重によるモーメントを考慮する。ただし、炉心支持構造物差圧による軸方向応力は引張応力であるため、保守的に考慮しない。それぞれの荷重を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

5.2.2 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を、表5-2に示す。

表5-2より、各許容応力状態の軸圧縮荷重及び曲げモーメントは、ひび除去加工部（P09'，P10'）において座屈に対する評価式を満足する。

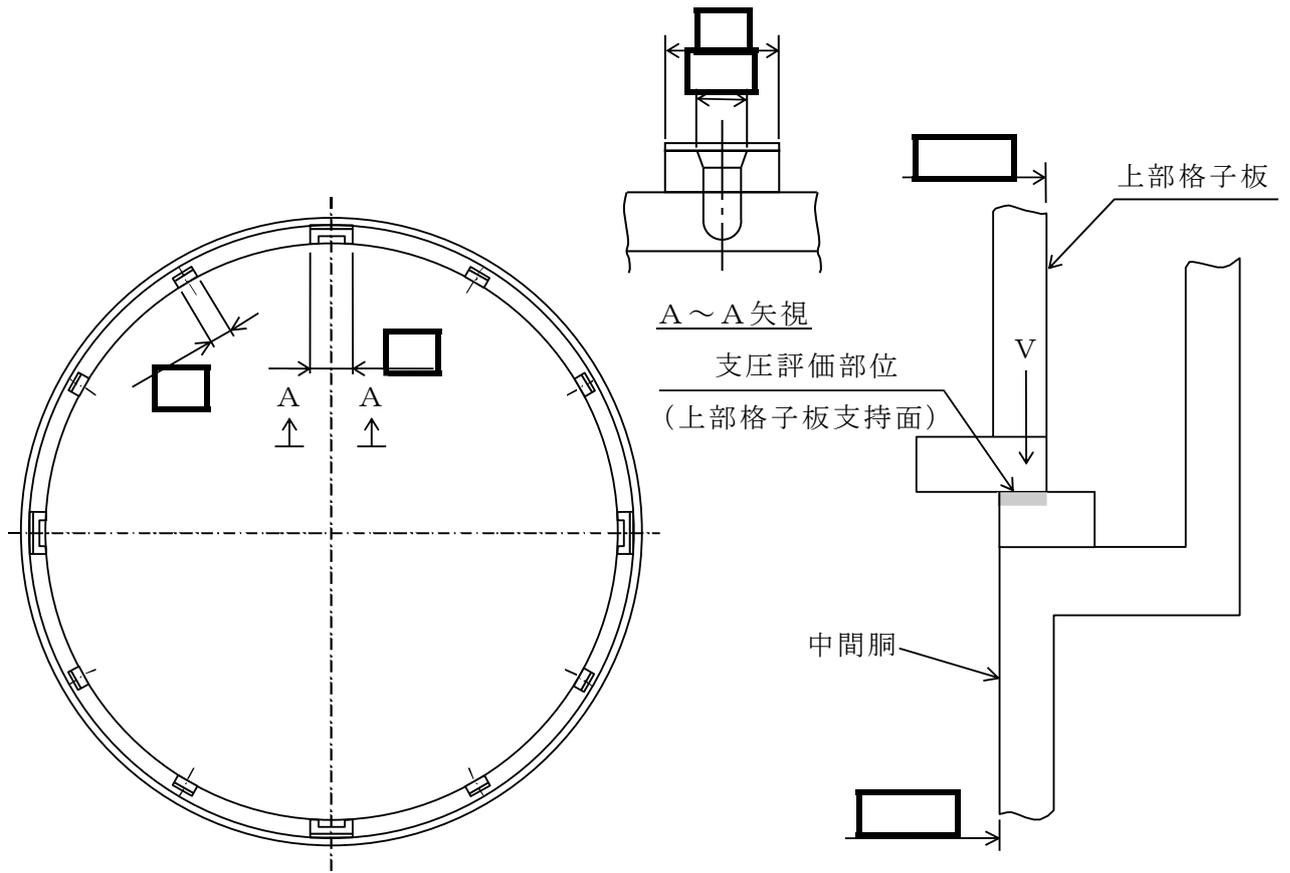


図5-1(1) 支圧荷重の支持面（上部格子板）（単位：mm）

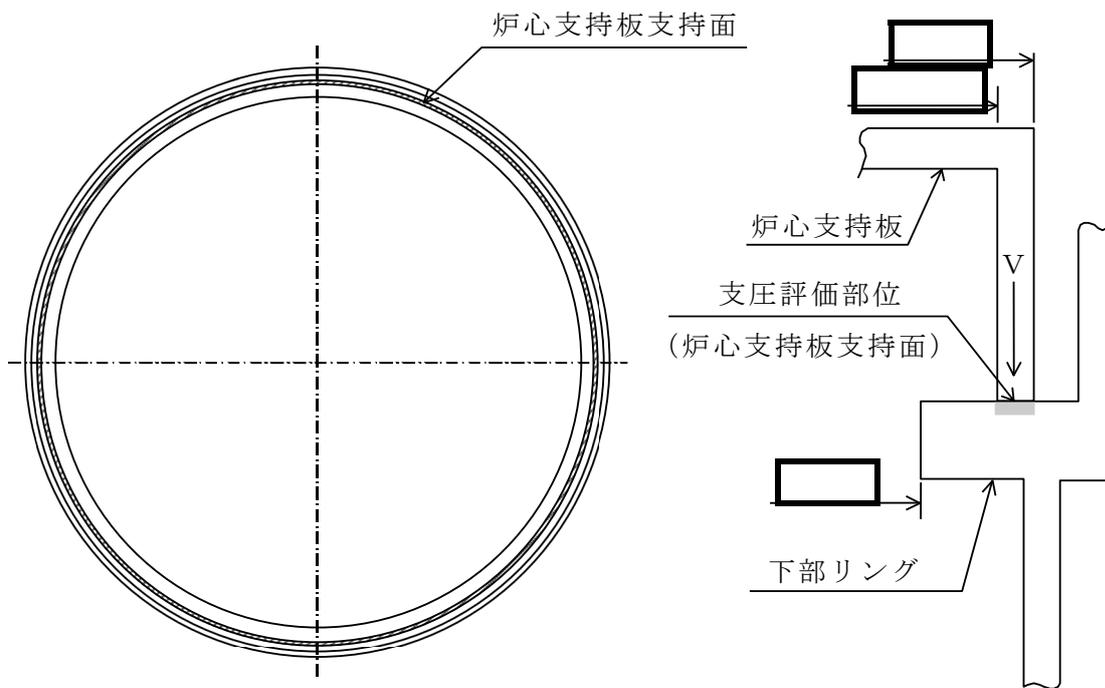
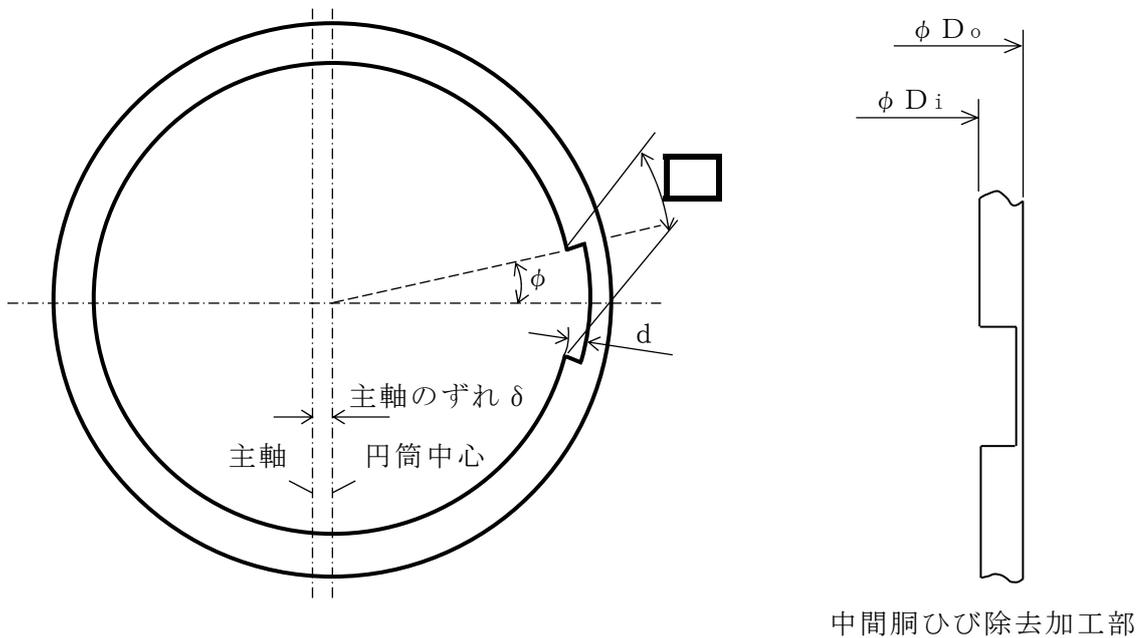


図5-1(2) 支圧荷重の支持面（炉心支持板）（単位：mm）

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)	備考
P01, P02					
P03, P04					
P05, P06					
P07, P08					
P09, P10					加工部位

注記*：断面積A及び断面二次モーメントIの算出式を以下に示す。



(1) 断面積

$$A = \frac{\pi \cdot (D_o^2 - D_i^2)}{4} - \phi \cdot (D_i \cdot d + d^2)$$

(2) 断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot (D_o^4 - D_i^4)}{64} - \frac{2 \cdot \phi + \sin 2\phi}{16} \cdot (D_i^3 \cdot d + 3 \cdot D_i^2 \cdot d^2 + 4 \cdot D_i \cdot d^3 + 2 \cdot d^4) - \delta^2 \cdot A$$

ここで、

$$\delta = \frac{1}{6} \cdot \frac{3 \cdot D_i^2 \cdot d + 6 \cdot D_i \cdot d^2 + 4 \cdot d^3}{A} \cdot \sin \phi = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{\boxed{}}{D_i} = \boxed{} \text{ rad}$$

$$d = \boxed{} \text{ mm}$$

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	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	11	92*	22	148*
P01' P02'	14	92*	25	148*
P03 P04	23	92*	39	148*
P03' P04'	26	92*	43	148*
P05 P06	50	92*	89	148*
P05' P06'	54	92*	95	148*
P07 P08	61	92*	102	148*
P07' P08'	67	92*	110	148*
P09 P10	44	142	77	228
P09' P10'	63	142	97	228

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	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	11	139*	22	222*
P01' P02'	14	139*	25	222*
P03 P04	23	139*	39	222*
P03' P04'	26	139*	43	222*
P05 P06	50	139*	89	222*
P05' P06'	54	139*	95	222*
P07 P08	61	139*	102	222*
P07' P08'	67	139*	110	222*
P09 P10	44	214	77	342
P09' P10'	63	214	97	342

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1(1) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均支圧応力	許容応力
上部格子板 支持面	Ⅲ A S	3	157
	Ⅳ A S	5	210

表 5-1(2) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均支圧応力	許容応力
炉心支持板 支持面	Ⅲ A S	1	157
	Ⅳ A S	2	210

表 5-2 座屈に対する評価

部分及び材料	許容応力状態	座屈評価	
		座屈応力 との比	許容値
中間胴 (P09', P10')	Ⅲ A S	0.45	1
	Ⅳ A S	0.78	1