

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-200 改0
提出年月日	平成30年3月19日

V-3-1-4-3 気水分離器及びスタンドパイプの応力計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 記号の説明	1
1.3 考慮する荷重	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 解析範囲	5
2.2 設計条件	5
2.3 運転条件	5
2.4 材料	5
2.5 物性値及び許容応力	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 熱膨張差計算	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.2.3 計算結果	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L03 及び L04)	7
4.3.2 計算方法	7
4.3.3 計算結果	7
4.4 熱膨張差による応力	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5.3 一次＋二次応力強さの評価	8
6. 繰返し荷重の評価	9
6.1 設計・建設規格 CSS-3130 についての検討	9
6.2 疲労解析	9
7. 極限解析による評価	10
7.1 荷重条件 (L02, L04, L14 及び L16)	10
7.2 計算方法	10
7.3 極限解析による評価	10

別添 1	応力計算モデルの寸法	21
別添 2	弾塑性解析モデルの寸法	22

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 4-1	応力計算モデル	11
図 7-1	弾塑性解析モデル	12
図 7-2	荷重変位線図	13
表 1-1	計算結果の概要	4
表 4-1	断面性状	14
表 4-2	機械荷重による応力の計算結果	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価方法	17
表 5-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	17
表 5-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価方法	18
表 5-4	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	18
表 5-5	一次＋二次応力強さの評価方法	19
表 5-6	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	19
表 7-1	極限解析による評価	20

1. 一般事項

本計算書は、気水分離器及びスタンドパイプの応力計算書である。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 記号の説明

添付書類「V-3-1-4-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）の 2 章による。

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
I	断面二次モーメント	mm ⁴
e	最外周スタンドパイプ曲がり部の偏芯量	mm
t	厚さ	mm

1.3 考慮する荷重

考慮した荷重は、次のとおりである。

- a. 差 圧
- b. 外荷重

各荷重の値を「応力解析の方針」の 4 章に示す。

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、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本計算書に記載している。

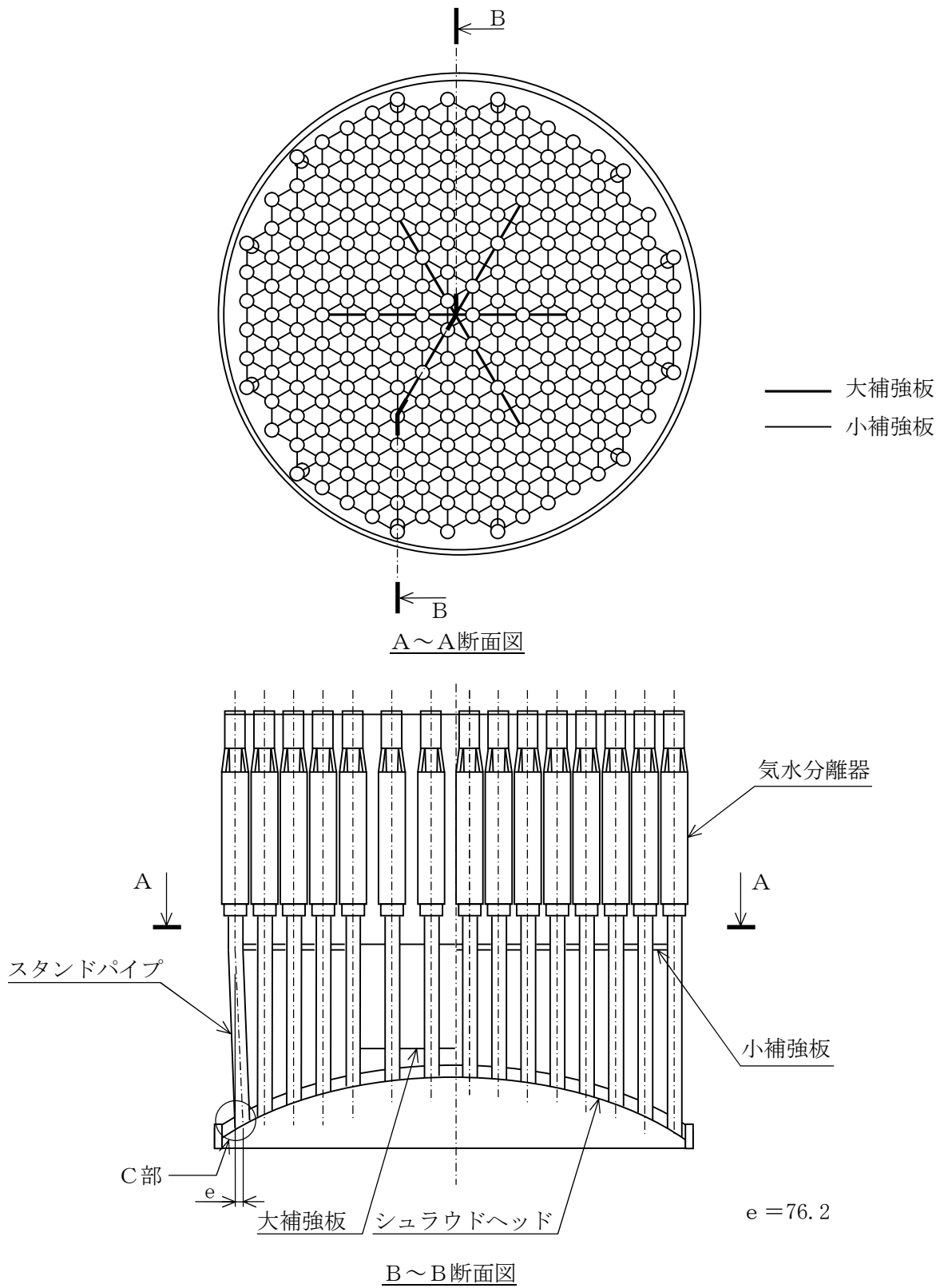
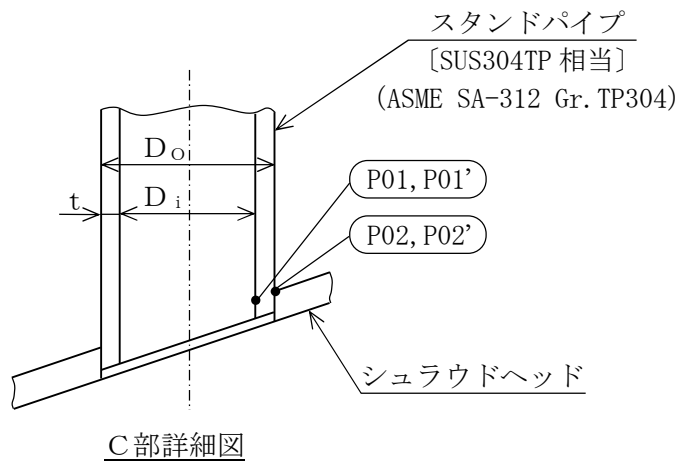


図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



- | | | | |
|-----|-------------|----------------|------|
| ○ | : 応力評価点 | $D_o = 168.3$ | (外径) |
| [] | : J I S 相当材 | $D_i = 154.08$ | (内径) |
| () | : 材 料 | $t = 7.11$ | (厚さ) |

図 1-1(2) 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

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価点	疲労累 積係数	許容値	応力 評価点
スタンド パイプ SUS304TP	設計条件	2	68	P01-P02	3	103	P01'-P02'	—	—	—	—	—	—
	C	2	102	P01-P02	3	154	P01'-P02'	—	—	—	—	—	—
	D	3	156	P01-P02	4	235	P01'-P02'	—	—	—	—	—	—
	A, B	—	—	—	—	—	—	4	208	P02'	—*	—*	—*

注記 * : 疲労解析は、設計・建設規格 CSS-3130 により不要である。

4

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	鉛直力V (kN)		水平力H (kN)		モーメントM (kN・m)	
		地震荷重	許容荷重	地震荷重	許容荷重	地震荷重	許容荷重
スタンド パイプ SUS304TP	Ⅲ _A S	335	371	2300	2540	6560	7260
	Ⅳ _A S	614	626	3460	3530	9870	10000

2. 計算条件

2.1 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

2.2 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.3 運転条件

考慮した運転条件とその回数を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 物性値及び許容応力

物性値及び許容応力は、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節による。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.7 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

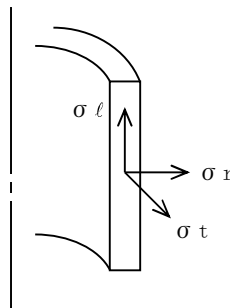
応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

σ_t : 周方向応力

σ_l : 軸方向応力

σ_r : 半径方向応力

τ_{lr} : せん断応力



3. 熱膨張差計算

気水分離器及びスタンドパイプは、すべて同一領域（領域A）内にあること、また、薄肉構造で材料の異なる部分はないため温度差は無視し得る。

また、気水分離器及びスタンドパイプにおいて、支持点あるいは拘束点の相対変位は生じないので、熱膨張差計算は不要である。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1(1)及び(2)に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

なお、応力計算は評価上厳しくなる最外周スタンドパイプについて行う。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各供用状態での応力は、比例計算により求める。

4.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{45} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{45}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{45}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{45}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(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) 一次＋二次応力

差圧によって生じる形状の不連続の効果を含む一次＋二次応力の計算は、計算機コード「ABAQUS」を用いて行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を、図 4-1 に示す。

4.2.3 計算結果

各応力評価点での応力を分類して、表 4-2 に示す。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L03 及び L04)

気水分離器及びスタンドパイプに働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

4.3.2 計算方法

シュラウドヘッドに据え付けられている 225 本の気水分離器及びスタンドパイプは、お互いに大補強板及び小補強板でつなぎとめられているが、この大補強板及び小補強板の剛性は無視するという仮定の下に、計算を行う。

(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。

$$\sigma_{\ell} = -\frac{1}{225} \cdot \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = -\frac{1}{225} \cdot \frac{V}{A} \pm \frac{1}{225} \cdot \frac{V \cdot e \cdot D_o}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

(3) 一次＋二次応力

外荷重による一次＋二次応力の計算は、計算機コード「ABAQUS」を用いて行う。応力計算のモデル及び仮定した境界条件を、図 4-1 に示す。

4.3.3 計算結果

各応力評価点での応力を分類して、表 4-2 に示す。

4.4 熱膨張差による応力

3 章で述べたように気水分離器及びスタンドパイプの熱膨張差による応力は発生しない。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

一次一般膜応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-1 に示す。各供用状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各供用状態の一次一般膜応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-3 に示す。各供用状態における評価をまとめて、表 5-4 に示す。

表 5-4 より、各供用状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

5.3 一次＋二次応力強さの評価

一次＋二次応力強さの評価に用いる荷重の組合せを表 5-5 に示す。供用状態 A 及び B における評価をまとめて、表 5-6 に示す。

表 5-6 より、すべての応力評価点において、一次＋二次応力の応力差最大範囲は $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ 以下であり、設計・建設規格 CSS-3112 を満足する。

6. 繰返し荷重の評価

6.1 設計・建設規格 CSS-3130 についての検討

気水分離器及びスタンドパイプについて、設計・建設規格 CSS-3130 により疲労解析が不要となることを以下の(1)から(4)に示す。

なお、物性値 E 、 α 及び S の値は、「応力解析の方針」表 3-3 による。

(1) 設計・建設規格 CSS-3130 (1) 及び CSS-3130 (2)

3 章で述べたように、気水分離器及びスタンドパイプの温度差は無視し得るので、設計・建設規格 CSS-3130 (1) 及び CSS-3130 (2) の検討は不要である。

(2) 設計・建設規格 CSS-3130 (3) (異なる材料よりなる部分の温度変動)

気水分離器及びスタンドパイプには、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料よりなる部分は存在しない。

(3) 設計・建設規格 CSS-3130 (4) (機械的荷重変動)

機械的荷重により生じる応力の全振幅が、荷重変動回数 10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さを超えないことを確認する。

10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さ： $S = 94 \text{ MPa}$

機械的荷重変動による応力の全振幅： $\Delta \sigma$

表 4-2 (2) の応力評価点 P02' での一次+二次応力に注目する。

$\Delta \sigma = 3 \text{ MPa}$

したがって、 $S > \Delta \sigma$ であり、条件を満足する。

(4) 検討結果

以上(1)から(3)より気水分離器及びスタンドパイプは、設計・建設規格 CSS-3130 の要求をすべて満足している。

6.2 疲労解析

6.1 節に示すように、気水分離器及びスタンドパイプは、疲労解析は不要である。

7. 極限解析による評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASに対して、設計・建設規格 CSS-3160 に従い極限解析による評価を行う。

7.1 荷重条件 (L02, L04, L14 及び L16)

気水分離器及びスタンドパイプに働く差圧及び外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

7.2 計算方法

弾塑性解析は、計算機コード「ABAQUS」を用いて行う。

弾塑性解析のモデル及び仮定した境界条件を、図 7-1 に示す。

7.3 極限解析による評価

許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける荷重変位線図を図 7-2 に、極限解析による評価結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 より、許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおける地震荷重は許容荷重以下であり、設計・建設規格 CSS-3160 を満足する。

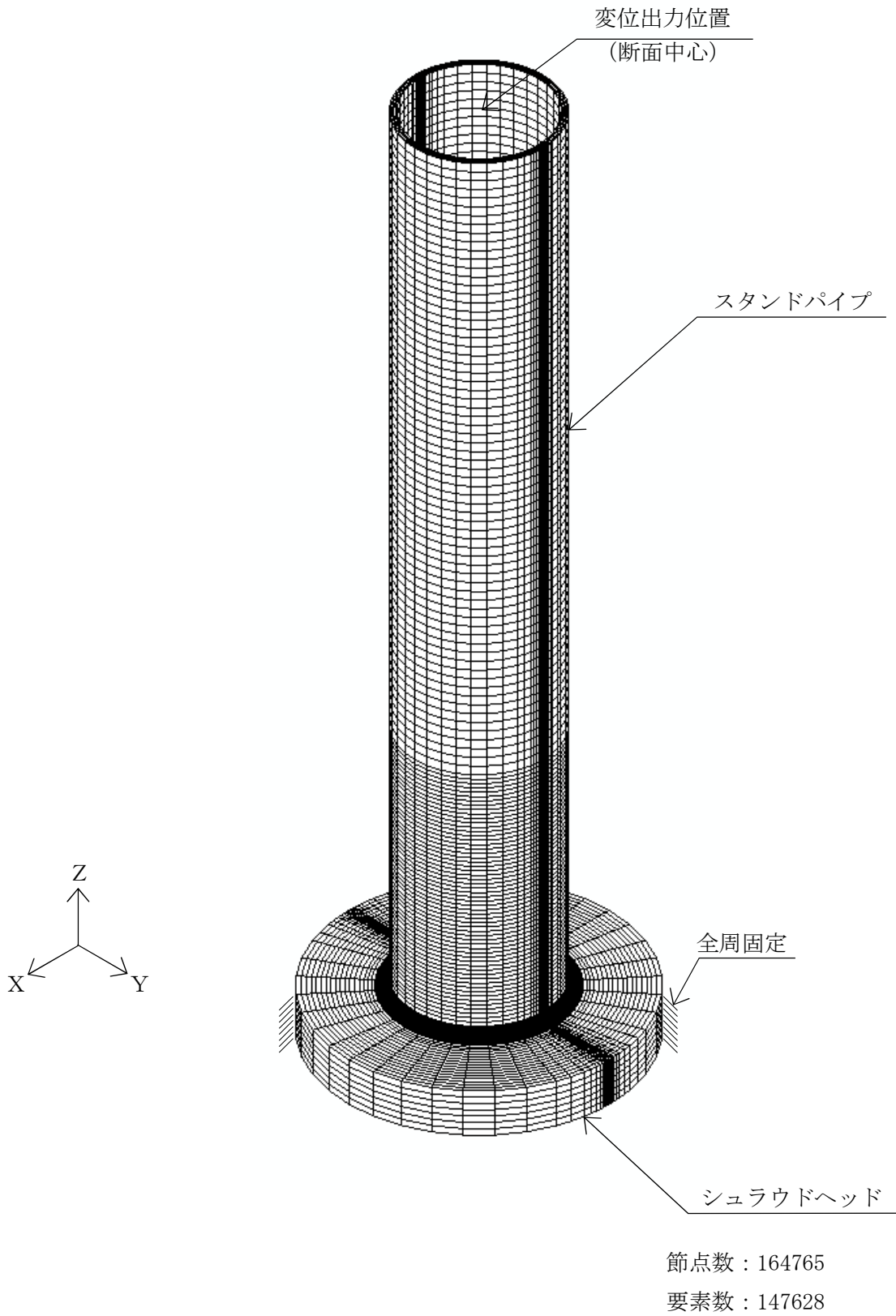


図 7-1 弾塑性解析モデル

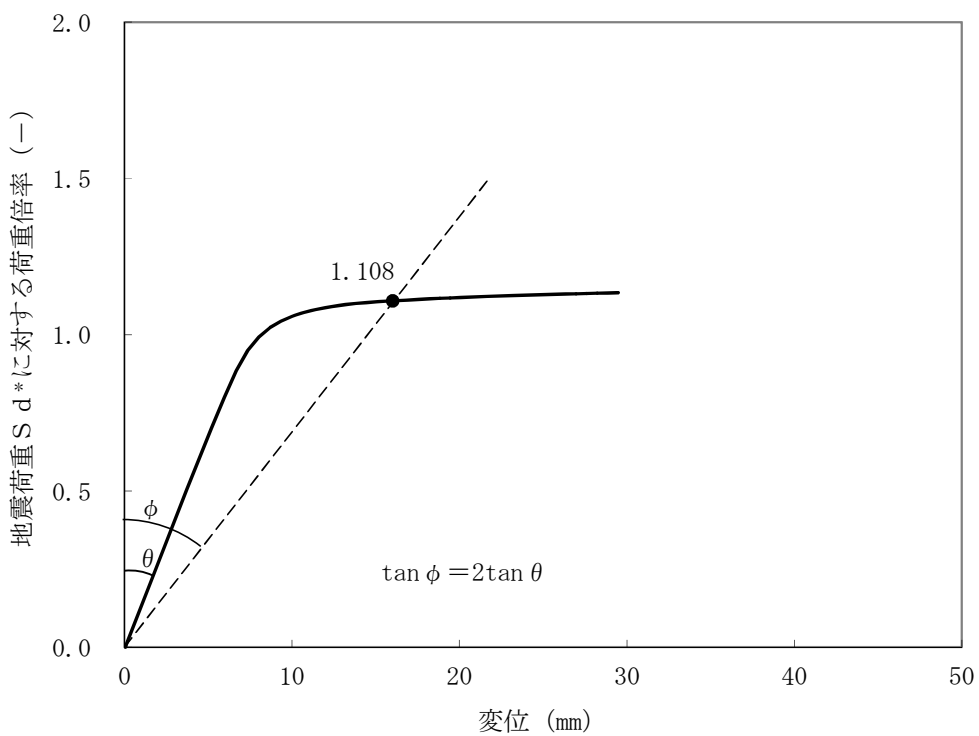


図 7-2(1) 荷重変位線図 (許容応力状態ⅢA S)

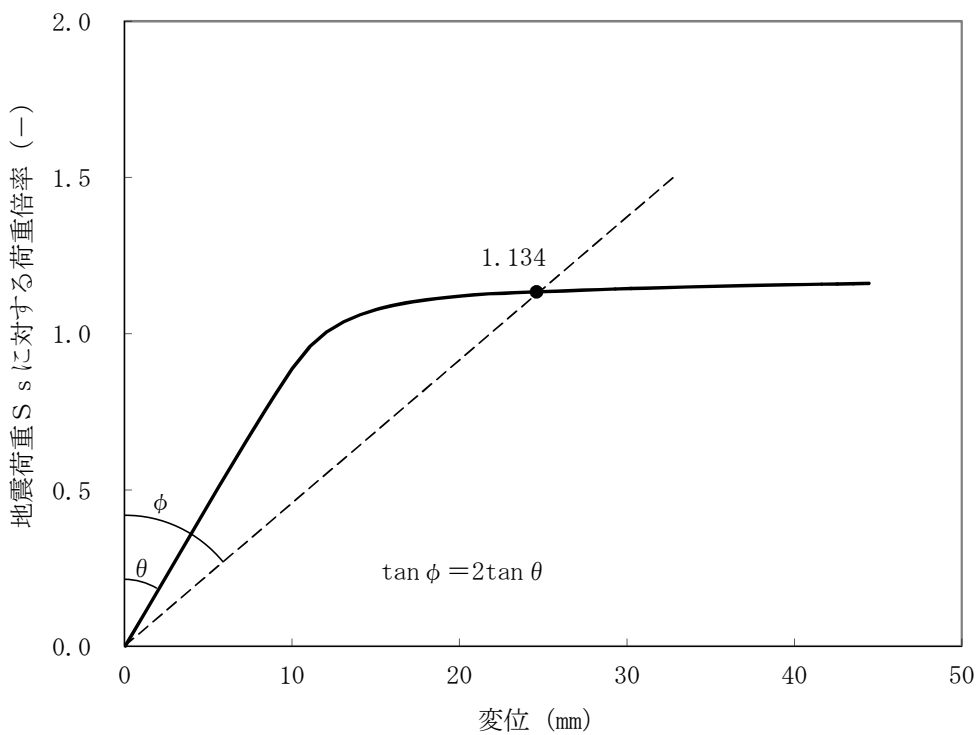


図 7-2(2) 荷重変位線図 (許容応力状態ⅣA S)

表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	e (mm)
P01, P02	7.11	168.3	3.600×10 ³	1.172×10 ⁷	76.2

表 4-2(1) 機械荷重による応力の計算結果

応力評価点-P01, P02

(単位: MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜 + 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次 + 二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
		P01 P02	P01 P02	P01	P02
L02 差圧	σ_t	1	1	1	0
	σ_l	1	1	2	-1
	σ_r	0	0	0	0
	τ_{lr}	0	0	0	0
L03 設計機械的荷重	σ_l	-1	1	—	—
L04 死荷重	σ_t	0	0	0	0
	σ_l	-1	1	0	1
	σ_r	0	0	0	0
	τ_{lr}	0	0	0	0

表 4-2(2) 機械荷重による応力の計算結果
 応力評価点-P01', P02'

(単位: MPa)

下記の荷重 による応力	分類	一次一般 膜応力 (P_m)	一次一般膜 + 一次曲げ応力 ($P_m + P_b$)	一次 + 二次応力 ($P_m + P_b + Q$)	
		応力 評価点 P01' P02'	P01' P02'	P01'	P02'
L02 差圧	σ_t	1	1	1	0
	σ_l	1	1	2	-1
	σ_r	0	0	0	0
	τ_{lr}	0	0	0	0
L03 設計機械的荷重	σ_l	-1	-2	—	—
L04 死荷重	σ_t	0	0	0	-1
	σ_l	-1	-2	-1	-3
	σ_r	0	0	0	-1
	τ_{lr}	0	0	0	1

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価方法

荷重	設計条件	供用状態 C	供用状態 D
L02* 差圧	1.000 (0.10)	1.000 (0.10)	2.000 (0.20)
L03 設計機械的荷重	1.000	—	—
L04 死荷重	—	1.000	1.000
許容値	「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節による。		

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2 : 表 4-2 に示す応力に対する荷重値を 1.0 とした場合の荷重の比例数を表中に示す。

表 5-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力 評価面	設計条件		供用状態 C		供用状態 D	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	2	68	2	102	3	156
P01' P02'	2	68	2	102	3	156

表 5-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法

荷重	設計条件	供用状態C	供用状態D
L02* 差圧	1.000 (0.10)	1.000 (0.10)	2.000 (0.20)
L03 設計機械的荷重	1.000	—	—
L04 死荷重	—	1.000	1.000
許容値	「応力解析の方針」の 3.6 節及び 3.7 節による。		

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注 1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の 4 章に示す。

注 2 : 表 4-2 に示す応力に対する荷重値を 1.0 とした場合の荷重の比例数を表中に示す。

表 5-4 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	設計条件		供用状態C		供用状態D	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	2	103	2	154	3	235
P01' P02'	3	103	3	154	4	235

表 5-5 一次+二次応力強さの評価方法

供用状態A及びB		
荷重	C03-01 起動昇温	C12-01 定格出力運転
L02* 差圧	0.000 (0.00)	1.000 (0.10)
L04 死荷重	1.000	1.000

注記 * : () 内は圧力の値 (MPa) を示す。

注1 : 荷重条件は, 「応力解析の方針」の4章に示す。

注2 : 表4-2に示す応力に対する荷重値を1.0とした場合の荷重の比例数を表中に示す。

表 5-6 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_m + P_b + Q$)		
	S_n^{*1}	$S_n'^{*2}$	許容値 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$
P01	2	—	208
P01'	2	—	208
P02	1	—	208
P02'	4	—	208

注記 *1 : S_n は供用状態A及びBによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

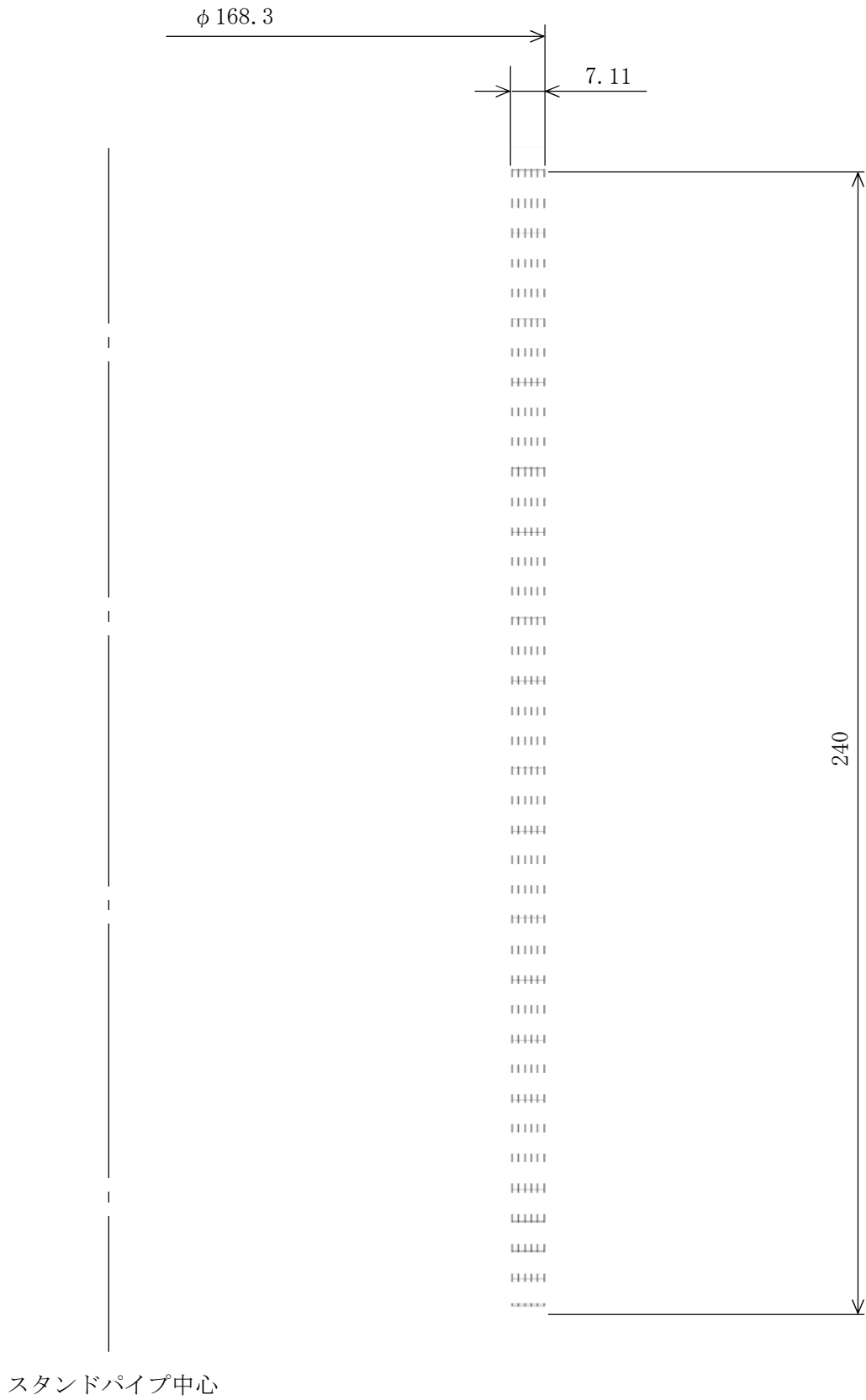
*2 : S_n' は S_n のうち熱曲げを除く一次+二次応力差の最大範囲を示す。

表 7-1 極限解析による評価

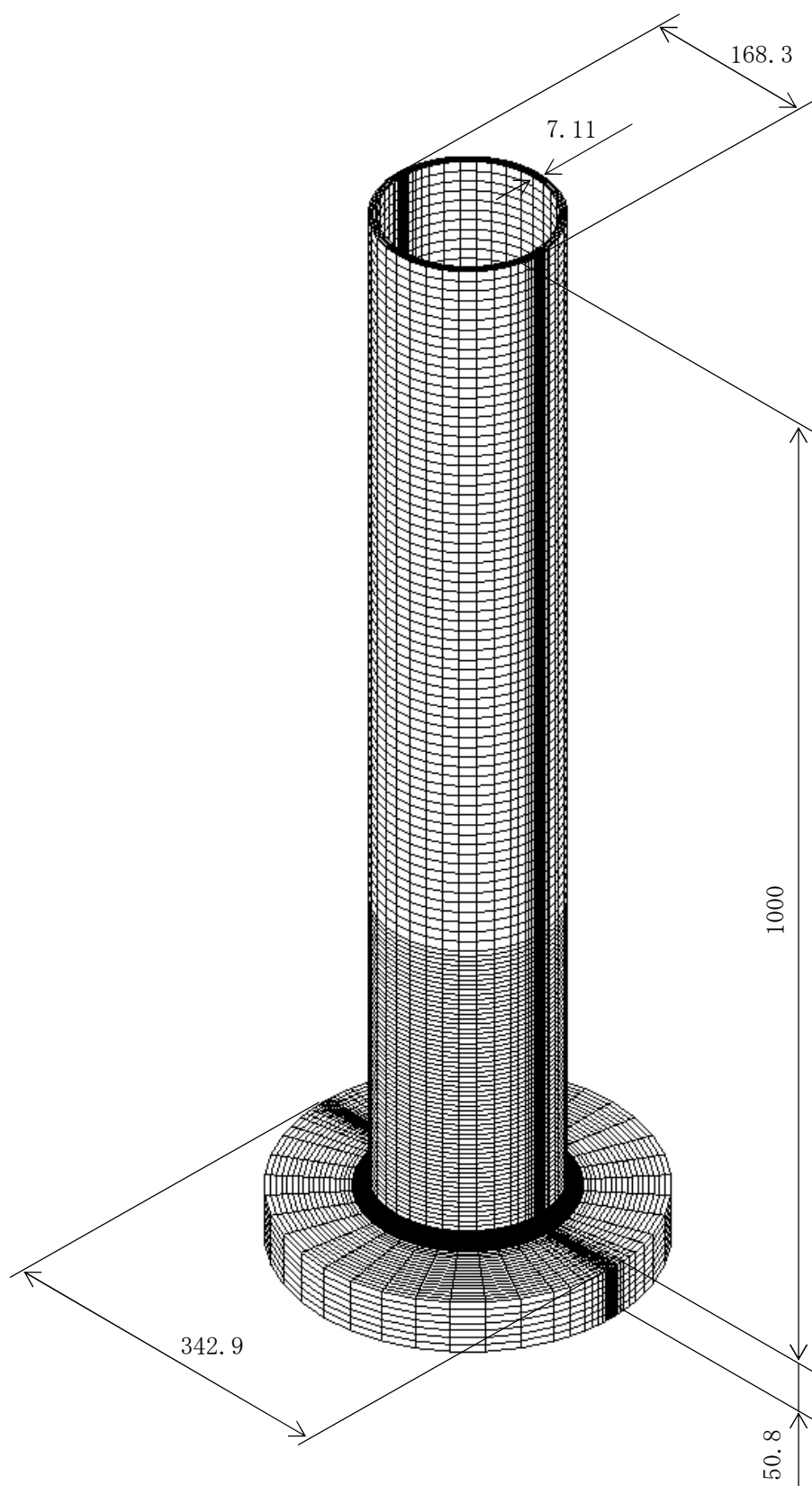
条件	鉛直力V (kN)		水平力H (kN)		モーメントM (kN・m)	
	地震荷重	許容荷重	地震荷重	許容荷重	地震荷重	許容荷重
許容応力状態Ⅲ _A S	335	371	2300	2540	6560	7260
許容応力状態Ⅳ _A S	614	626	3460	3530	9870	10000

別添1 応力計算モデルの寸法 (単位: mm)

NT2 補② V-3-1-4-3 R0



別添2 弾塑性解析モデルの寸法 (単位: mm)



NT2 補② V-3-1-4-3 ROE