

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-992 改0
提出年月日	平成30年8月7日

V-2-3-4-3-4 差圧検出・ほう酸水注入管（ティーよりN10ノズル  
までの外管）の耐震性についての計算書



## 目次

1.	概要	1
1.1	構造の説明	1
1.2	記号の説明	3
1.3	適用基準	5
1.4	形状・寸法・材料	5
1.5	解析範囲	5
1.6	計算結果の概要	5
2.	計算条件	8
2.1	設計条件	8
2.2	運転条件	8
2.2.1	運転状態Ⅰ及びⅡ	8
2.3	重大事故等時の条件	9
2.4	荷重の組合せと応力評価	9
2.5	材料	10
2.6	物性値	10
2.7	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
2.8	許容応力	10
2.9	応力の記号と方向	11
3.	耐震計算	12
3.1	計算方法	12
3.2	形状・寸法	12
3.3	固有周期	13
3.4	地震荷重	13
3.4.1	設計用地震力	13
3.4.2	算出結果	13
4.	応力解析の手順	14
4.1	解析手順の概要	14
4.2	荷重条件の選定	14
4.3	応力計算と応力の分類	14
4.3.1	応力計算の方法	14
4.3.2	応力の分類	14
4.4	応力の評価	14
4.4.1	主応力	14
4.4.2	応力強さ	14
4.4.3	一次応力強さ	15
4.4.4	一次＋二次応力強さ	15



5. 応力計算	16
5.1 応力評価点	16
5.2 内圧による応力	16
5.2.1 荷重条件 (L01)	16
5.2.2 計算方法	16
5.3 外荷重による応力	17
5.3.1 荷重条件 (L04, L14, L15, L16 及び L17)	17
5.3.2 計算方法	17
6. 応力強さの評価	18
6.1 一次一般膜応力強さの評価	18
6.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	18
6.3 一次＋二次応力強さの評価	18
7. 引用文献	19



## 図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	6
図 3-1	計算モデル	20
図 4-1	応力解析の手順	21
表 1-1	差圧検出・ほう酸水注入管の構造計画	2
表 1-2	計算結果の概要	7
表 2-1	外荷重	22
表 2-2	荷重の組合せ	23
表 2-3	材料の分類	24
表 2-4	応力計算に使用する材料の物性値	25
表 2-5	荷重の組合せ及び許容応力状態	26
表 2-6	許容応力（クラス 1 容器及び重大事故等クラス 2 容器）	27
表 2-7	許容応力	28
表 3-1	節点座標	32
表 3-2	計算モデルのデータ諸元	33
表 3-3	計算結果（固有周期）	34
表 4-1	応力の分類	35
表 5-1	断面性状	36
表 6-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	37
表 6-2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	38
表 6-3	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	39



## 1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、差圧検出・ほう酸水注入管（ティーより N10 ノズルまでの外管）（以下「差圧検出・ほう酸水注入管」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

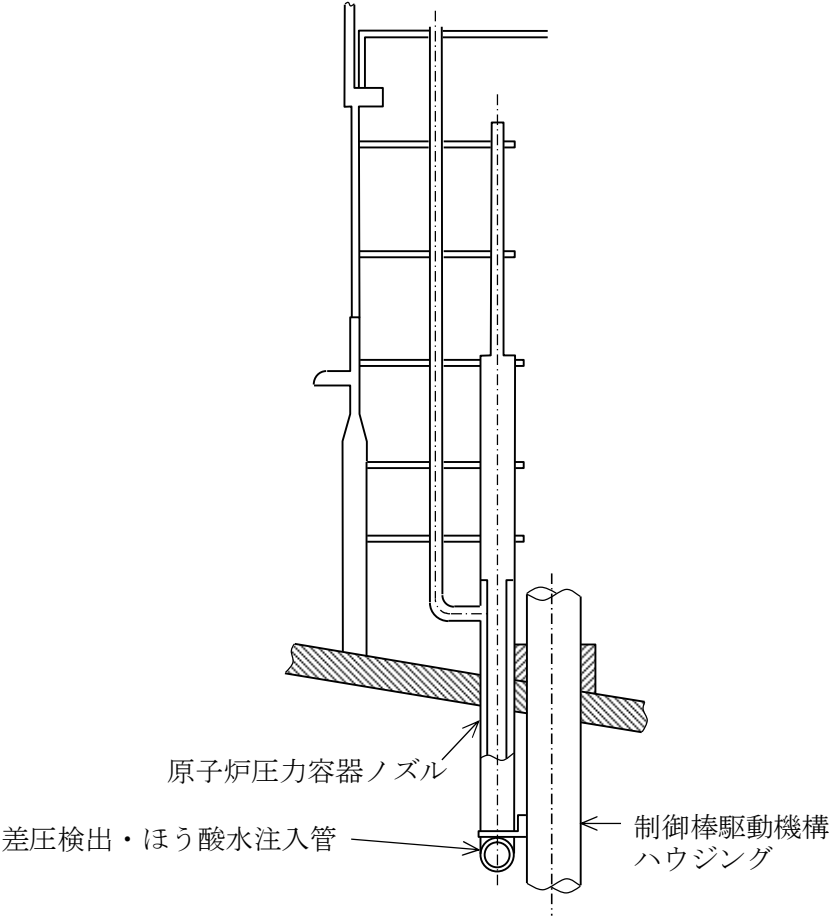
差圧検出・ほう酸水注入管は設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた構造強度評価を示す。

### 1.1 構造の説明

差圧検出・ほう酸水注入管の構造計画を表 1-1 に示す。



表 1-1 差圧検出・ほう酸水注入管の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉圧力容器ノズルに溶接され，制御棒駆動機構ハウジングにＵボルトにて支持される。	差圧検出管が外管，ほう酸水注入管が内管の二重構造となっている。	 <p>原子炉圧力容器ノズル</p> <p>差圧検出・ほう酸水注入管</p> <p>制御棒駆動機構ハウジング</p>



## 1.2 記号の説明

本計算書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に別途記載ある場合は、この限りではない。

記号	記 号 の 説 明	単 位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
D <sub>i</sub>	内径	mm
D <sub>o</sub>	外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	ピーク応力	MPa
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
F <sub>L</sub>	軸力	N
F <sub>S</sub>	せん断力	N
M	曲げモーメント	N・mm
P <sub>b</sub>	一次曲げ応力	MPa
P <sub>L</sub>	一次局部膜応力	MPa
P <sub>m</sub>	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S	10 <sup>11</sup> 回に対応する許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	—
S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>12</sub>	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S <sub>23</sub>	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S <sub>31</sub>	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S <sub>a</sub>	許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>m</sub>	設計応力強さ	MPa
S <sub>n</sub> <sup>#1</sup>	許容応力状態ⅢA Sのうち地震荷重 S <sub>d</sub> *のみによる一次＋二次応力の 応力差最大範囲	MPa
S <sub>n</sub> <sup>#2</sup>	許容応力状態ⅣA Sのうち地震荷重 S <sub>s</sub> のみによる一次＋二次応力の 応力差最大範囲	MPa
S <sub>u</sub>	設計引張強さ	MPa
S <sub>y</sub>	設計降伏点	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm



記号	記 号 の 説 明	単 位
$t$	厚さ	mm
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_1$	主応力	MPa
$\sigma_2$	主応力	MPa
$\sigma_3$	主応力	MPa
$\sigma_\ell$	軸方向応力	MPa
$\sigma_r$	半径方向応力	MPa
$\sigma_t$	周方向応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
$\tau_{rt}$	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa



### 1.3 適用基準

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）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補－1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年）を適用する。

注：本計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

### 1.4 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。

### 1.5 解析範囲

応力計算は、図1-1に示す応力評価点について行う。

### 1.6 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-2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。



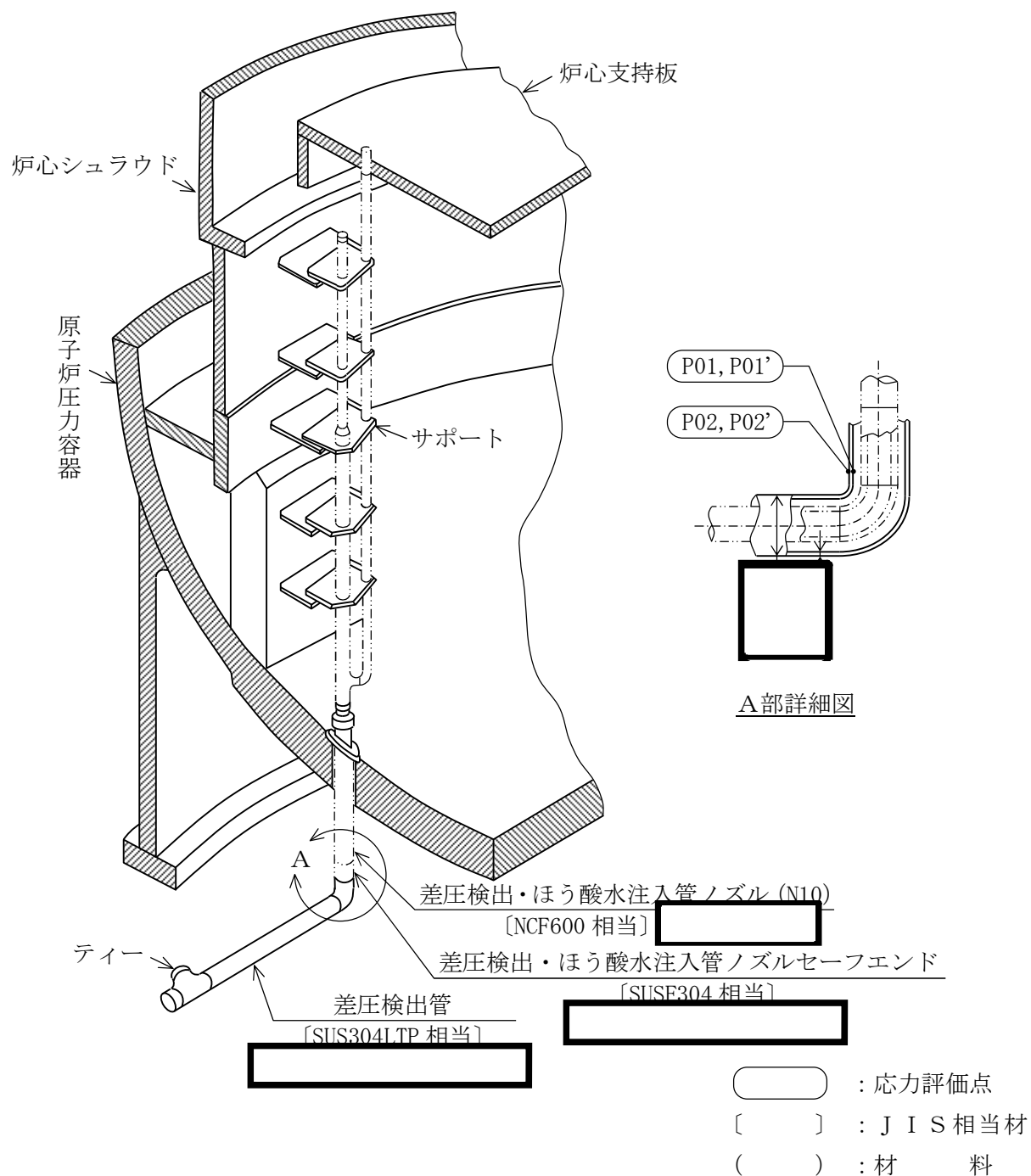


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)



表 1－2 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力 (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力 (MPa)			一次＋二次応力 (MPa)		
		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
差圧検出管 SUS304LTP	Ⅲ <sub>A</sub> S	41	116	P01-P02	41	161	P01-P02	－	－	－
	Ⅳ <sub>A</sub> S	41	232	P01-P02	41	323	P01-P02	－	－	－
	Ⅲ <sub>A</sub> S	－	－	－	－	－	－	25	294	P01
	Ⅳ <sub>A</sub> S	－	－	－	－	－	－	34	294	P01



## 2. 計算条件

差圧検出・ほう酸水注入管は、以下の荷重条件に耐えるように設計する。

機器の応力解析には本章に示す荷重を考慮する。

### 2.1 設計条件

原子炉压力容器の最高使用圧力 : 8.62 MPa

最高使用温度 : 302 °C

### 2.2 運転条件

運転条件及び記号は、次のとおりである。また、これらの記号を解析及び評価に用いる場合において、同一事象内に複数の解析時点がある場合は、記号に小番号を付して使用する。

[例 C03-01, C03-02]

なお、本計算書においては、{ }内の名称を用いる。

計算書では以下に示す運転条件のうち、一次応力強さの評価については、各供用状態（許容応力状態）を定義する各運転状態のうち、最も厳しい運転条件について選定し、一次＋二次応力強さの評価には、圧力変動、温度変動等を考慮して、最も厳しい運転条件を選定し使用する。

#### 2.2.1 運転状態Ⅰ及びⅡ

(1) ボルト締付け	{ボルト締付け}	[C01]
(2) 耐圧試験（最高使用圧力以下）	{耐圧試験最高使用圧力以下}	[C02]
(3) 起動（昇温）	{起動昇温}	[C03]
(4) 起動（タービン起動）	{起動タービン起動}	[C04]
(5) 夜間低出力運転（出力 75 %）	{夜間低出力運転出力 75 %}	[C05]
(6) 週末低出力運転（出力 50 %）	{週末低出力運転出力 50 %}	[C06]
(7) 制御棒パターン変更	{制御棒パターン変更}	[C07]
(8) 給水加熱機能喪失（発電機トリップ）	{発電機トリップ}	[C08]
(9) 給水加熱機能喪失（給水加熱器部分バイパス）	{給水加熱器部分バイパス}	[C09]
(10) スクラム（タービントリップ）	{スクラムタービントリップ}	[C10]
(11) スクラム（その他のスクラム）	{スクラムその他のスクラム}	[C11]
(12) 定格出力運転	{定格出力運転}	[C12]
(13) 停止（タービン停止）	{停止タービン停止}	[C13]
(14) 停止（高温待機）	{停止高温待機}	[C14]
(15) 停止（冷却）	{停止冷却}	[C15]
(16) 停止（容器満水）	{停止容器満水}	[C16]
(17) 停止（満水後冷却）	{停止満水後冷却}	[C17]
(18) ボルト取外し	{ボルト取外し}	[C18]
(19) 燃料交換	{燃料交換}	[C19]
(20) スクラム（原子炉給水ポンプ停止）	{スクラム原子炉給水ポンプ停止}	[C20]



(21) スクラム(逃がし安全弁誤作動) {スクラム逃がし安全弁誤作動} [C21]

各運転条件における外荷重を表 2-1 に示す。

### 2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：設計条件と同じ

圧力条件：設計条件と同じ

### 2.4 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 2-2 に示す。表 2-2 及び本計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

荷重	記号
(1) 原子炉圧力容器の内圧	[L01]
(2) 死荷重（機器の自重により生じる荷重）	[L04]
(3) 機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_d^*$ （一次荷重）	[L14]
(4) 機器の拘束点の地震時の相対変位による地震荷重 $S_d^*$ （二次荷重）	[L15]
(5) 機器の地震時の慣性力による地震荷重 $S_s$ （一次荷重）	[L16]
(6) 機器の拘束点の地震時の相対変位による地震荷重 $S_s$ （二次荷重）	[L17]



## 2.5 材料

材料は、次に示すとおりである。

パイプ：SUS304LTP 相当

## 2.6 物性値

応力計算及び繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値は、以下のとおりである。

- (1) 縦弾性係数  $E$  は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に定められたものによる。
- (2) 繰返し荷重の評価に使用する物性値は、運転温度  °C：定格出力運転時の蒸気温度) に対する値を用いる。
- (3) 材料は、表 2-3 に従って分類する。  
主な温度における材料の物性値を表 2-4 に示す。

## 2.7 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は、表 2-5 に示すとおりである。また、許容応力状態Ⅲ A S，Ⅳ A S 及びⅤ A S で考慮する荷重は、2.1 節，2.2 節及び 2.3 節に示すとおりである。

## 2.8 許容応力

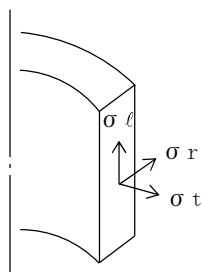
- (1) 設計応力強さ  $S_m$ ，設計降伏点  $S_y$  及び設計引張強さ  $S_u$  は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1，表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 許容応力状態Ⅲ A S 及び許容応力状態Ⅳ A S の一次応力評価には、各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：301 °C）に対する許容応力を用いる。
- (3) 差圧検出・ほう酸水注入管の各  状態の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格 PVB-3110 により表 2-6 及び表 2-7 に示すとおりである。



## 2.9 応力の記号と方向

応力の記号と方向は，以下のとおりとする。

- $\sigma_t$  : 周方向応力
- $\sigma_\ell$  : 軸方向応力
- $\sigma_r$  : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$  : せん断応力





### 3. 耐震計算

#### 3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、固有周期を求める。さらに、入力加速度に対する各節点の軸力、せん断力及びモーメントの最大値を求める。

以上の計算は、計算機コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については「V-5-1 計算機プログラム（解析コードの概要）」に示す。

#### 3.2 形状・寸法

本機器の形状を図 1-1 に示し、計算モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び計算モデルのデータ諸元を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

支持条件は、

とする。



### 3.3 固有周期

差圧検出・ほう酸水注入管(ティーより N10 ノズルまでの外管)の固有周期を表 3-3 に示す。

### 3.4 地震荷重

#### 3.4.1 設計用地震力

3.3 節にて算出した固有周期に基づき設計用地震力を設定する。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度
基準地震動 $S_s$	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度	据付位置における 設計用床応答スペクトル より算定される震度

#### 3.4.2 地震荷重

図 3-1 に示す計算モデルに 3.3 節で設定した地震力を入力することにより差圧検出・ほう酸水注入管の評価位置に発生する荷重を地震荷重とする。算出された地震荷重を表 2-1 に示す。



#### 4. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

##### 4.1 解析手順の概要

解析手順の概要を図4-1に示す。本図において、内圧による応力とその他の荷重による応力の計算で考慮する荷重を「機械荷重」という。

##### 4.2 荷重条件の選定

応力解析においては、2章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。

##### 4.3 応力計算と応力の分類

###### 4.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、2.4節に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) 構造の不連続を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点（面）を選ぶ。なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて〔例 P01' 〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。

###### 4.3.2 応力の分類

応力の計算結果は、表4-1の応力の分類方法に従って分類し、計算を行う。

##### 4.4 応力の評価

###### 4.4.1 主応力

4.3節で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に  $\sigma_t$ ,  $\sigma_\ell$ ,  $\sigma_r$ ,  $\tau_{t\ell}$ ,  $\tau_{\ell r}$ ,  $\tau_{rt}$  の6成分をもつが、主応力  $\sigma$  は、

引用文献(1)の1.3.6項により、次式を満足する3根  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  として計算する。

$$\begin{aligned} &\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ &\quad - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 \\ &\quad - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

###### 4.4.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$



$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

#### 4.4.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおいて生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の応力強さが，2.8節に示す許容値を満足することを示す。

#### 4.4.4 一次＋二次応力強さ

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sにおいて生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲（ $S_n^{\#1}$ ， $S_n^{\#2}$ ）が，2.8節に示す許容値を満足することを示す。



## 5. 応力計算

### 5.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また，各応力評価点の断面性状を表 5-1 に示す。

### 5.2 内圧による応力

#### 5.2.1 荷重条件 (L01)

各運転条件における内圧に対し評価を実施する。

計算は，最高使用圧力に対して行い，各許容応力状態での応力は，比例計算により求める。

#### 5.2.2 計算方法

##### (1) 一次一般膜応力

内圧  $P$  による一次一般膜応力は，次式で求める。

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

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

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

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

##### (2) 一次膜＋一次曲げ応力

内圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって，一次膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。



### 5.3 外荷重による応力

#### 5.3.1 荷重条件 (L04, L14, L15, L16 及び L17)

差圧検出・ほう酸水注入管に働く外荷重を表 2-1 に示す。

#### 5.3.2 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。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

$$\text{ここで, } r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

##### (2) 一次膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次膜＋一次曲げ応力は，次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

##### (3) 一次＋二次応力

地震荷重  $S_d^*$  (二次荷重) 及び地震荷重  $S_s$  (二次荷重) による二次応力は，一次膜＋一次曲げ応力と同じ式により求める。その他の外荷重による二次応力は存在しない。



## 6. 応力強さの評価

### 6.1 一次一般膜応力強さの評価

一次一般膜応力強さの評価結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜応力強さは、2.8 節に示す許容値を満足する。

### 6.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

一次膜＋一次曲げ応力強さの評価結果を表 6-2 に示す。

表 6-2 より、各供用状態（許容応力状態）の一次膜＋一次曲げ応力強さは、2.8 節に示す許容値を満足する。

### 6.3 一次＋二次応力強さの評価

一次＋二次応力強さの評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-3 より、すべての応力評価点において、 $S_n^{\#1}$  及び  $S_n^{\#2}$  は  $3 \cdot S_m$  以下であり、許容値を満足する。



## 7. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編  $\alpha$  3 (日本機械学会)



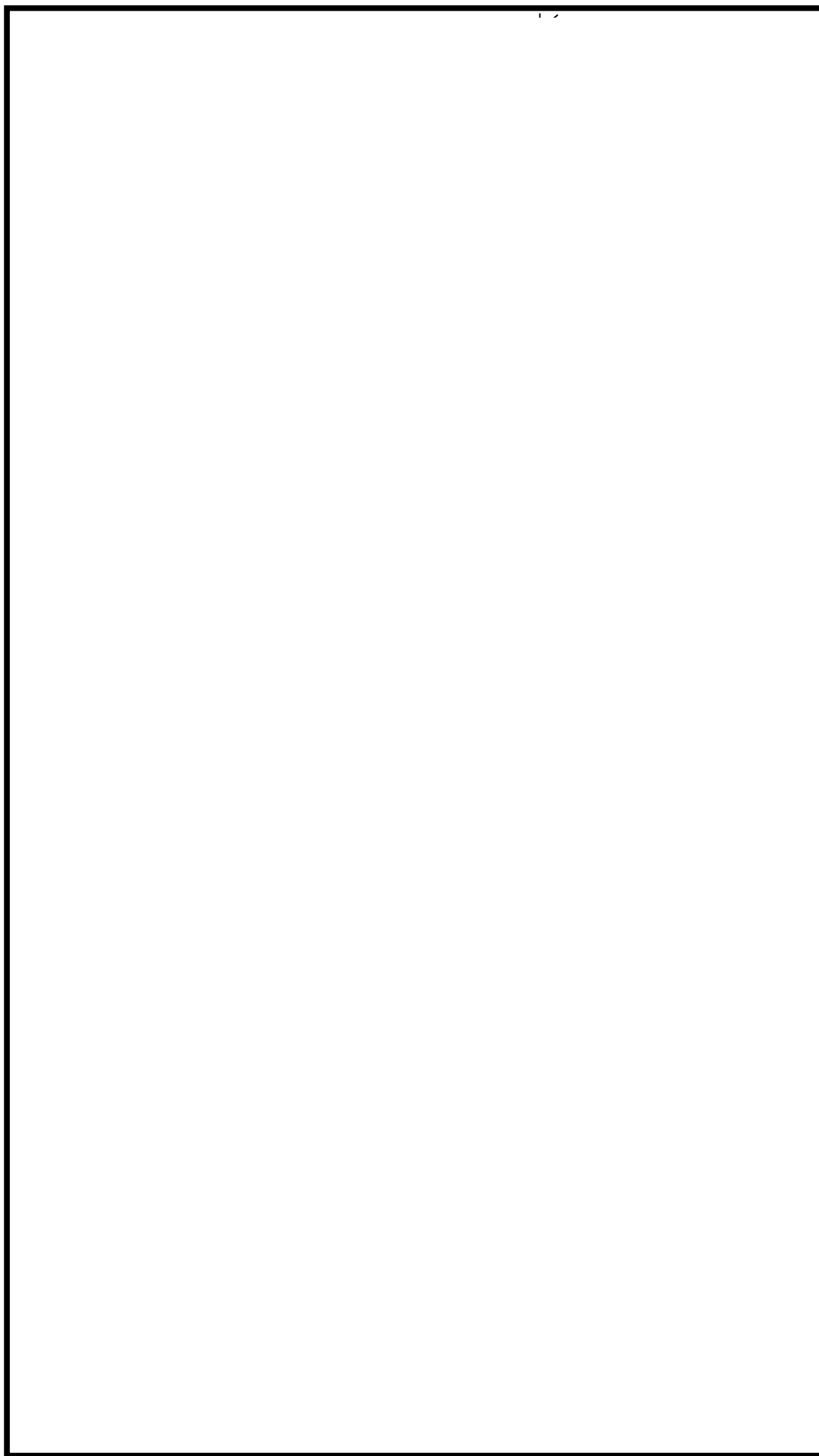
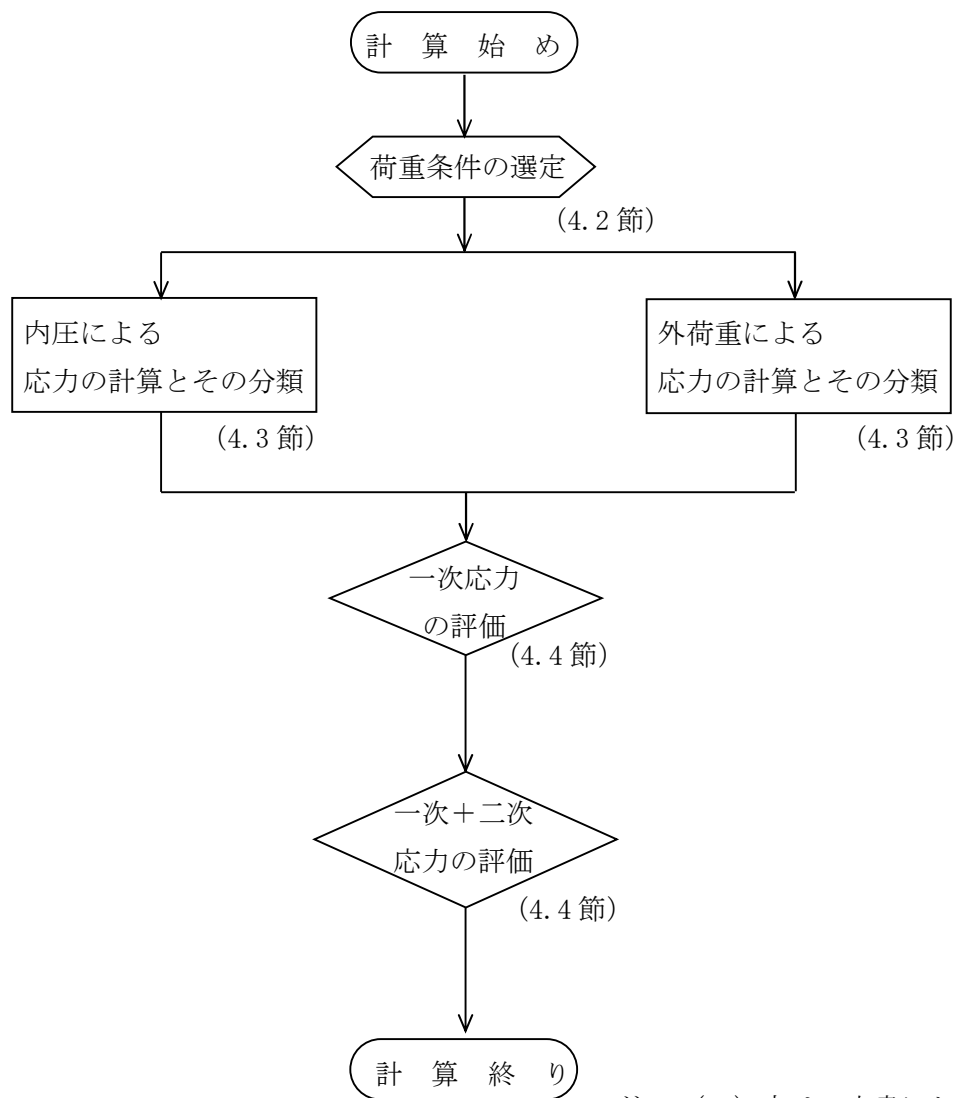


図 3-1 計算モデル





注：（ ）内は、本書において  
説明のある節の番号を示す。

図 4-1 応力解析の手順



表 2-1 外荷重

差圧検出・ほう酸水注入管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			$F_L$ (N)	$F_s$ (N)	$T$ (N・mm)	$M$ (N・mm)
L04	死荷重	A				
L14	地震荷重 $S_d^*$ (一次)	A				
L15	地震荷重 $S_d^*$ (二次)	A				
L16	地震荷重 $S_s$ (一次)	A				
L17	地震荷重 $S_s$ (二次)	A				

注 1：死荷重は全ての運転時にかかるものとする。

注 2：地震荷重（一次）とは，配管の地震時の振動による反力を示す。

注 3：地震荷重（二次）とは，配管の拘束点の地震時の相対変位に伴う反力を示す。

注 4：応力評価のための荷重の組合せ方は 2.4 節による。

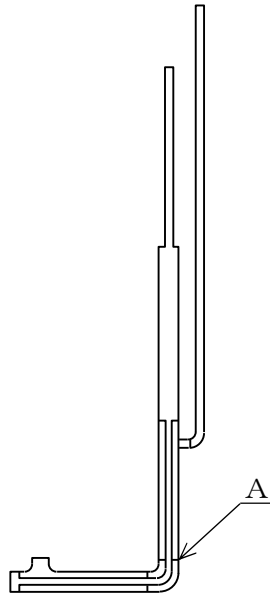
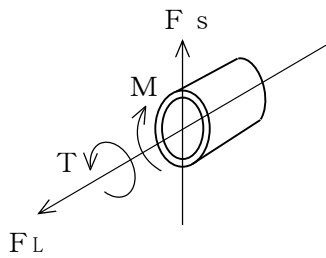




表 2-2 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	L01+L04+L14	P <sub>m</sub> P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub>
	L14+L15	P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> +Q
許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> S	L01+L04+L16	P <sub>m</sub> P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub>
	L16+L17	P <sub>L</sub> +P <sub>b</sub> +Q



表 2-3 材料の分類

種類	使用材料
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304TP 相当 <div></div>
	SUSF304 相当 <div></div>
	SUS304LTP 相当 <div></div>
高ニッケル合金	NCF600 相当 <div></div>



表 2-4 応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (℃)	E ×10 <sup>5</sup> (MPa)	ν
SUS304TP SUSF304 SUS304LTP			
NCF600			



表 2-5(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 付属 構造物	差圧検出・ほう酸水 注入管*1	S	クラス 1 配管*1	$P + D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$P + D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

[記号の説明]

P : 各運転状態における圧力

D : 死荷重

 $S_d^*$  : 弾性設計用地震動  $S_d$  により定まる地震力又は静的地震力 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  により定まる地震力

注記 \*1 : 設計・建設規格 PPB-1210 の規定により，クラス 1 容器の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。



表 2-5(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 <sup>*1</sup>	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 付属 構造物	差圧検出・ほう酸水 注入管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 <sup>*2</sup> クラス 2 配管	$P_{SAL} + D + S_d^{**4}$	$V_{AS}^{*3}$
					$P_{SALL} + D + S_s^{*4}$	

[記号の説明]

- P : 各供用状態（許容応力状態）における圧力  
 D : 死荷重  
 $S_d^*$  : 弾性設計用地震動  $S_d$  により定まる地震力又は静的地震力  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  により定まる地震力

注記 \*1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*2 : 設計・建設規格 PPC-1210 の規定により，重大事故等クラス 2 容器の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3 :  $V_{AS}$  として， $IV_{AS}$  の許容限界を用いる。

\*4 : 「 $P + D + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

注：許容応力状態  $V_{AS}$  における荷重の組合せで，重大事故後の状態における圧力荷重  $P_{SAL}$  及び  $P_{SALL}$  は，設計基準対象施設で想定される圧力と比べて小さいため，許容応力状態  $V_{AS}$  における荷重の組合せによる評価は，設計基準対象施設の評価に包絡される。



表 2-6 許容応力（クラス 1 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

状 態	許 容 応 力				
	一次一般膜応力	一次局部膜応力又は 一次膜＋一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力	純せん断応力
許容応力状態 ⅢAS	$S_y$ と $2/3 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S_m$ とする。	左欄の $\alpha$ 倍の値 <sup>*1</sup>	$3 \cdot S_m$ <sup>*2</sup>	$S_d^*$ 又は $S_s$ 地震動のみによる疲労解析を行い、供用状態A及びBにおける疲労累積係数との和を1以下とする。	$0.6 \cdot S_m$
許容応力状態 ⅣAS 許容応力状態 VAS	$2/3 \cdot S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方	左欄の $\alpha$ 倍の値 <sup>*1</sup>	$S_d^*$ 又は $S_s$ 地震動のみによる応力振幅について評価する。		$0.4 \cdot S_u$

注記 \*1： $\alpha$ は、一次局部膜応力の場合は1.5、一次膜＋一次曲げ応力の場合は純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比、又は1.5のいずれか小さい方の値とする。

\*2： $3 \cdot S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（同 PVB-3313 を除く）の簡易弾塑性解析を用いる。



表 2-7(1) 許容応力

(単位：MPa)

応 力 分 類		一次一般膜応力 (P <sub>m</sub> )	
供用状態 (許容応力状態)		Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S
温 度 (℃)			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	116	232
許容応力の算出式		1.2・S <sub>m</sub>	Min (2.4・S <sub>m</sub> , 2/3・S <sub>u</sub> )



表 2-7(2) 許容応力

(単位：MPa)

応 力 分 類		一次膜＋一次曲げ応力 (P <sub>L</sub> ＋P <sub>b</sub> )	
供用状態 (許容応力状態)		Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S
温 度 (℃)			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	161	323
許容応力の算出式		$\alpha \cdot 1.2 \cdot S_m$	$\alpha \cdot \text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$

注：α は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値とする。

本表には、α =1.392 の場合の値を示す。



表 2-7(3) 許容応力

(単位：MPa)

応 力 分 類		一次＋二次応力（ $P_L + P_b + Q$ ）	
供用状態（許容応力状態）		Ⅲ <sub>A</sub> S	Ⅳ <sub>A</sub> S
温 度（℃）			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	294	294
許容応力の算出式		$3 \cdot S_m$	$3 \cdot S_m$



表 3－1 節点座標

(単位：mm)

節点番号	座標		
	X	Y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			



表 3-2 計算モデルのデータ諸元

部材端の節点番号	断面寸法 (mm)		縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
	外径	厚さ			
1～ 2					
2～ 3					
3～ 5					
5～ 9					
9～11					
4－12, 12～19					
1－20					
20～21					
21～24					
5－25, 25～29, 29－24					



表 3-3 計算結果（固有周期）

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平（X 方向）
2 次		水平（Z 方向）



表 4-1 応力の分類

配管の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より遠い部分	内圧	一般膜応力	$P_m$
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	$P_m$ $P_b$
	不連続部又はその付近	内圧	膜応力	$P_L$
		外荷重又はモーメント	膜応力 曲げ応力	$P_L$ $P_b$
		相対変位による二次荷重	膜応力 曲げ応力	$Q$ $Q$

注：

$P_m$ ：圧力又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。

ただし、実際の応力評価では、応力評価面を、構造上の不連続部にとることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における  $P_m$  とする。

$P_b$ ：外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

$P_L$ ：圧力又は機械的荷重によって生じる局部膜応力をいう。応力評価では、応力評価面における膜応力を  $P_L$  とする。

$Q$ ：隣接部分の拘束又は自己拘束により生じる垂直応力又はせん断応力であって、崩壊荷重に影響を与えない応力をいう。



表 5－1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D <sub>o</sub> (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	I (mm <sup>4</sup> )
P01, P02				



表 6-1 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 Ⅲ <sub>A</sub> S		許容応力状態 Ⅳ <sub>A</sub> S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	41	116	41	232
P01' P02'	41	116	41	232



表 6-2 一次膜＋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 Ⅲ <sub>A</sub> S		許容応力状態 Ⅳ <sub>A</sub> S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	41	161	41	323
P01' P02'	41	161	41	323



表 6-3 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 ( $P_L + P_b + Q$ )		
応力 評価点	$S_n^{\#1*1}$	$S_n^{\#2*2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	25	34	294
P01'	25	34	294
P02	25	34	294
P02'	25	34	294

注記 \*1：  $S_n^{\#1}$  は許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。

\*2：  $S_n^{\#2}$  は許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub> Sによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。