

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2
提出年月日	平成30年 9月 12日

V-2-3-4-2-4 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
2.2.2	運転状態Ⅲ	9
2.2.3	運転状態Ⅳ	9
2.2.4	試験状態	9
2.3	重大事故等時の条件	9
2.4	材料	9
2.5	物性値	9
2.6	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
2.7	許容限界	10
2.8	溶接部の継手効率	10
2.9	荷重の組合せと応力評価	10
2.10	応力の記号と方向	10
3.	外荷重の条件	11
3.1	計算方法	11
3.2	解析モデル及び諸元	11
3.3	死荷重	11
3.4	地震荷重	11
3.4.1	固有周期	11
3.4.2	設計用地震力	11
3.4.3	地震荷重の算出結果	11
4.	応力解析	12
4.1	応力解析の手順	12
4.1.1	荷重条件	12
4.1.2	応力計算と応力の分類	12
4.2	応力計算	13
4.2.1	内圧による応力	13

4.2.2	外荷重による応力	14
4.2.3	計算結果	14
4.3	応力の評価	15
4.3.1	主応力	15
4.3.2	応力強さ	15
4.4	応力強さの評価	15
4.4.1	一次一般膜応力強さの評価	15
4.4.2	一次膜+一次曲げ応力強さの評価	15
4.4.3	一次+二次応力強さの評価	15
5.	繰返し荷重の評価	16
5.1	設計・建設規格 PVB-3140 についての検討	16
5.2	疲労解析	17
6.	引用文献	18

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	6
図 2-1	運転条件	19
図 3-1	解析モデル	31
図 3-2	振動モード	35
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	各許容応力状態における内圧	23
表 2-2	材料の分類	23
表 2-3	応力計算に使用する材料の物性値	23
表 2-4	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	24
表 2-5	荷重の組合せ及び許容応力状態	25
表 2-6	許容限界	27
表 2-7	荷重の組合せ	30
表 3-1	節点座標	32
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	33
表 3-3	外荷重	34
表 3-4	固有周期	35
表 3-5	設計用地震力	36
表 4-1	断面性状	37
表 4-2	応力の計算結果	38
表 4-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	40
表 4-4	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	41
表 4-5	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	42

1. 概要

本計算書は、添付書類「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、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。

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 ²
D _i	内径	mm
D _o	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 ⁴
F _L	軸力	N
F _s	せん断力	N
M	曲げモーメント	N・mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _L	一次局部膜応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S	10 ¹¹ 回に対応する許容繰返しピーク応力強さ	MPa
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	—
S ₁₂	主応力差σ ₁ －σ ₂	MPa
S ₂₃	主応力差σ ₂ －σ ₃	MPa
S ₃₁	主応力差σ ₃ －σ ₁	MPa
S _a	許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計応力強さ	MPa
S _n ^{#1}	許容応力状態Ⅲ _A Sのうち地震荷重S _d *のみによる一次＋二次応力の 応力差最大範囲	MPa
S _n ^{#2}	許容応力状態Ⅳ _A Sのうち地震荷重S _s のみによる一次＋二次応力の 応力差最大範囲	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
S _y	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
ν	ポアソン比	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{tl}	せん断応力	MPa

1.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (2) 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)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 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) (以下「設計・建設規格」という。)

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。

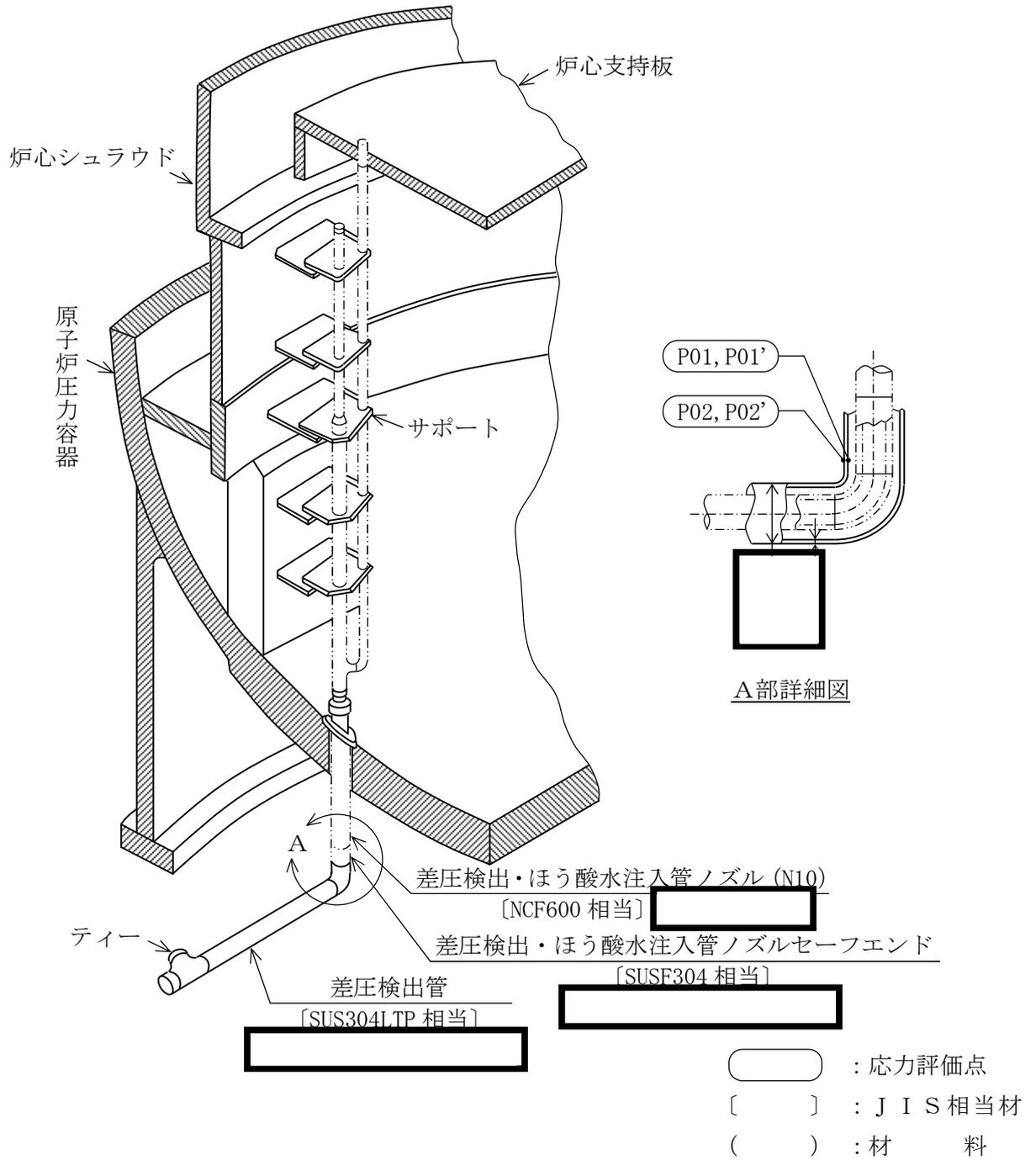


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-2 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力 状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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
差圧検出管 SUS304LTP相当	Ⅲ _A S	41	116	P01-P02	41	161	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	41	232	P01-P02	41	323	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	25	294	P01	—*	—*	—*
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	34	294	P01	—*	—*	—*

注記 *：疲労解析は、設計・建設規格 PVB-3140 により不要である。

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]
- 2.2.2 運転状態Ⅲ
- (1) スクラム(過大圧力) {スクラム過大圧力} [C22]
- (2) 冷却材再循環系仕切弁誤作動(冷状態) {冷再循環系仕切弁誤作動} [C23]
- (3) 冷却材再循環ポンプ誤起動(冷状態) {冷再循環ポンプ誤起動} [C24]
- 2.2.3 運転状態Ⅳ
- (1) 冷却材喪失事故 {冷却材喪失事故} [C25]
- 2.2.4 試験状態
- (1) 耐圧試験(最高使用圧力を超えるもの) {耐圧試験最高使用圧力を超えるもの}[C26]

各運転条件における設計上定めた原子炉圧力容器内の流体の温度、圧力の変化及びその繰返し回数を図 2-1 に示す。

また、各許容応力状態において考慮する内圧を表 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。

- 圧力条件 : 設計条件と同じ
 温度条件 : 設計条件と同じ

2.4 材料

材料は、次に示すとおりである。

パイプ : SUS304LTP 相当

2.5 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 2-2 に従って分類する。

主な温度における材料の物性値を表 2-3 に示す。

繰返し荷重の評価に使用する物性値を表 2-4 に示す。

2.6 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表 2-5 に示す。

なお、差圧検出・ほう酸水注入管は、設計・建設規格 PPB 規定の適用対象であるが、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限界を適用する。

2.7 許容限界

- (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_AS 及び許容応力状態 IV_AS 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 C）に対する許容限界を用いる。
- (3) 差圧検出・ほう酸水注入管の各運転状態の応力評価に用いる許容限界は、設計・建設規格 PVB-3110 により表 2-6 に示すとおりである。

2.8 溶接部の継手効率

差圧検出・ほう酸水注入管の応力評価点は、溶接部でないため $\eta = 1.00$ を用いる。

2.9 荷重の組合せと応力評価

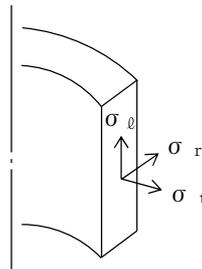
荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 2-7 に示す。表 2-7 及び本計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

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]

2.10 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。

- 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. 外荷重の条件

3.1 計算方法

材料及び形状に関するデータから、死荷重及び固有周期を求める。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。

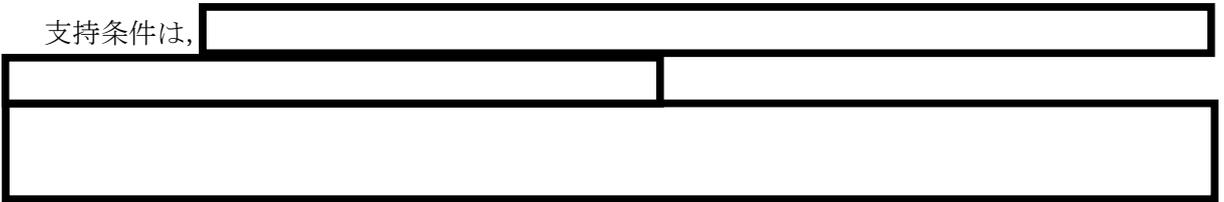
以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

3.2 解析モデル及び諸元

本機器の形状を図 1-1 に示し、解析モデルを図 3-1 に示す。

また、各節点の座標及び解析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、



3.3 死荷重

差圧検出・ほう酸水注入管の評価に用いる死荷重を表 3-3 に示す。

3.4 地震荷重

3.4.1 固有周期

差圧検出・ほう酸水注入管の固有周期を表 3-4 に、振動モード図を図 3-2 に示す。

3.4.2 設計用地震力

「弾性設計用地震力 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「V-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉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」及び「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 3-5 に示す。

3.4.3 地震荷重の算出結果

図 3-1 に示す解析モデルに 3.4.2 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 3-3 に示す。

4. 応力解析

4.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

4.1.1 荷重条件

荷重条件は2章及び3章に示す。

4.1.2 応力計算と応力の分類

(1) 応力計算の方法

- a. 応力計算は荷重の種類ごとに行う。荷重として与えられるものは次の2つである。
 - (a) 内圧
 - (b) 外荷重

- b. 解析する箇所の形状は、次の方針に従ってモデル化する。
 - (a) 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。

4.2 応力計算

4.2.1 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転条件における内圧の変化を図 2-1 に示す。

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。各許容応力状態において考慮する内圧を表 2-1 に示す。

(2) 計算方法

a. 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。

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

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

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

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

なお、各応力評価点での D_o 、 t は表 4-1 に示す。

b. 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。

4.2.2 外荷重による応力

(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 3-3 に示す。

(2) 計算方法

a. 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。

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

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

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

b. 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。

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

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

c. 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。

4.2.3 計算結果

応力評価点での応力を分類して表 4-2 に示す。

4.3 応力の評価

4.3.1 主応力

4.2 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 σ_t , σ_l , σ_r , τ_{tl} , τ_{lr} , τ_{rt} の 6 成分をもつが、主応力 σ は、引用文献(1)の 1.3.6 項により、次式を満足する 3 根 σ_1 , σ_2 , σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ & - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 \\ & - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

4.3.2 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 応力強さの評価

4.4.1 一次一般膜応力強さ

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-3 に示す。

表 4-3 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、2.7 節に示す許容限界を満足する。

4.4.2 一次膜+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まとめて、表 4-4 に示す。

表 4-4 より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、2.7 節に示す許容値を満足する。

4.4.3 一次+二次応力強さの評価

各許容応力状態における評価をまとめて、表 4-5 に示す。

表 4-5 より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、2.7 節に示す許容限界を満足する。

5. 繰返し荷重の評価

差圧検出・ほう酸水注入管はクラス1管であるため、運転状態Ⅰ及びⅡ並びに許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASによる繰返し荷重に対し評価を実施する。

5.1 設計・建設規格 PVB-3140 についての検討

差圧検出・ほう酸水注入管について、設計・建設規格 PVB-3140 により疲労解析が不要となることを以下に示す。

なお、物性値 S_m 及び S の値は、表 2-4 による。

(1) 設計・建設規格 PVB-3140 (1) (大気圧ー運転圧力ー大気圧の変動)

大気圧ー運転圧力ー大気圧の変動を生じる回数： N'

耐圧試験、最高使用圧力以下 (C02)

起動・停止 (スクラム逃がし安全弁誤作動を含む。)

(C03, C04, C13~C17, C21)

合 計	$N' =$ 回
-----	---

許容繰返し回数： N

$3 \cdot S_m = 294$ MPa に対応する許容繰返し回数 (N) は、設計・建設規格 表 添付 4-2-2 より、

$$N = 78102 \text{ 回}$$

したがって、 $N' < N$ であり、条件を満足する。

(2) 設計・建設規格 PVB-3140 (2) (起動時、停止時及び耐圧試験時等を除く供用状態A及びBの圧力変動)

著しい圧力変動： ΔP_1 (設計・建設規格 PVB-3140 (2) a. の A_{m1} に対応)

$$\Delta P_1 = \frac{1}{3} \times \text{最高使用圧力} \times \frac{S}{S_m}$$

$$= \text{} \text{ MPa}$$

運転時の圧力変動が ΔP_1 を超えるものは、著しい圧力変動を生じるものとする。

著しい圧力変動を生じる回数： N'

スクラムタービントリップ (C10)

スクラムその他のスクラム (C11)

スクラム原子炉給水ポンプ停止 (C20)

合 計	 回
-----	--

N' に対応する許容圧力変動： ΔP_2 (設計・建設規格 PVB-3140 (2) b. の A_{m2} に対応)

$$\Delta P_2 = \frac{1}{3} \times \text{最高使用圧力} \times \frac{S_a}{S_m}$$

$$= \text{} \text{ MPa}$$

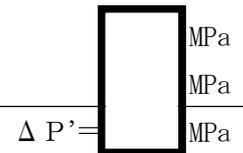
ここで、 S_a は設計・建設規格 表 添付 4-2-2 に示された 回に対する値である。

運転時における圧力変動の全振幅： $\Delta P'$

最大（スクラム原子炉給水ポンプ停止（C20））

最小（スクラム原子炉給水ポンプ停止（C20））

差



したがって、 $\Delta P' < \Delta P_2$ であり条件を満足する。

- (3) 設計・建設規格 PVB-3140(3)（起動時及び停止時の温度差）

管の内面は領域Cに接し、管の外表面は原子炉压力容器下部鏡板と下部鏡板保温材との間に位置しており、管の外表面の熱伝達率は非常に低くなっている。

さらに、管の板厚が薄いため起動時及び停止時における管の内面及び外表面の温度は、領域Cの温度とほぼ等しくなり、管の内面と外表面における温度差は無視できる。

- (4) 設計・建設規格 PVB-3140(4)（起動時及び停止時を除く供用状態A及びBの温度差変動）

前項(3)で述べた理由から、起動・停止を除く供用状態A及びBにおいても、管の内面と外表面における温度差変動は無視できる。

- (5) 設計・建設規格 PVB-3140(5)（異なる材料よりなる部分の温度変動）

差圧検出・ほう酸水注入管には、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。

- (6) 設計・建設規格 PVB-3140(6)（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(1)の応力評価点 P01 での一次＋二次応力に注目する。

$\Delta \sigma =$ MPa

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

- (7) 検討結果

以上(1)から(6)より差圧検出・ほう酸水注入管は、設計・建設規格 PVB-3140 の要求をすべて満足している。

5.2 疲労解析

5.1 節に示すように、差圧検出・ほう酸水注入管は、疲労解析は不要である。

6. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α 3 (日本機械学会)

運転状態 運転条件	I 及び II																	III			IV	試験状態				
	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26
運転名称	ボルト 締付け	耐圧試験 最高使用 圧力以下	昇温	起動 タービン 起動	夜間 低出力 運転 (出力 75%)	週末 低出力 運転 (出力 50%)	制御棒 パターン 変更	給水加熱機能喪失 発電機 トリップ	給水加熱 器部分 バイパス	スクラム タービン トリップ	その他の スクラム	定格 出力 運転	タービン 停止	高温 待機	停止 冷却	容器 満水	満水後 冷却	ボルト 取外し	燃料 交換	スクラム 原子炉給水ポンプ停止	逃がし 安全弁 誤作動	過大圧力	冷却材 再循環系 仕切弁 誤作動 (冷状態)	冷却材 再循環 ポンプ 誤起動 (冷状態)	冷却材 喪失事故	耐圧試験 最高使用 圧力を超 えるもの

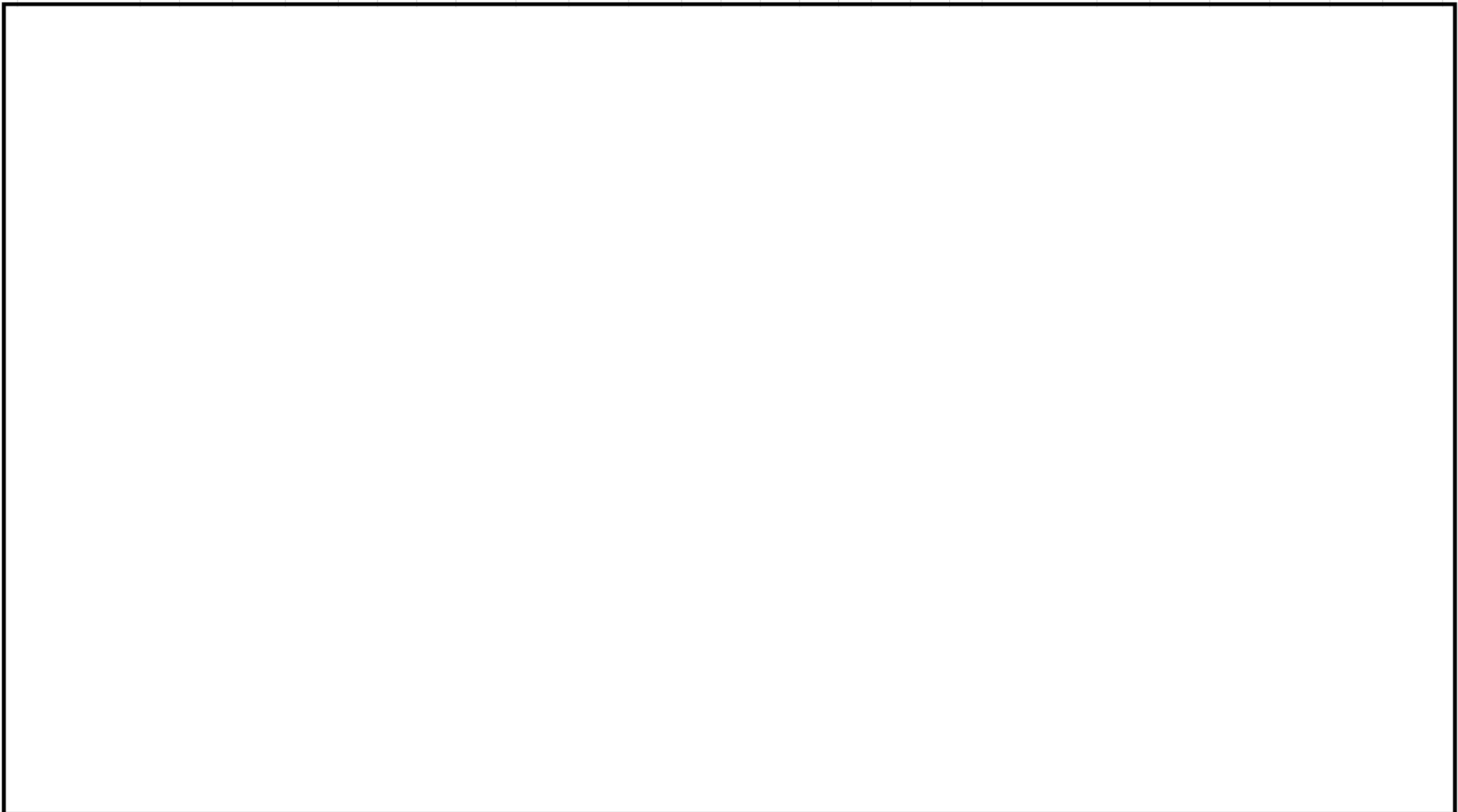


図2-1(1) 運転条件 (原子炉圧力容器)

図 2-1(1) 運転条件 (原子炉压力容器) (続)

注記 *1
*2



注 1
注 2
注 3
注 4
注 5
注 6



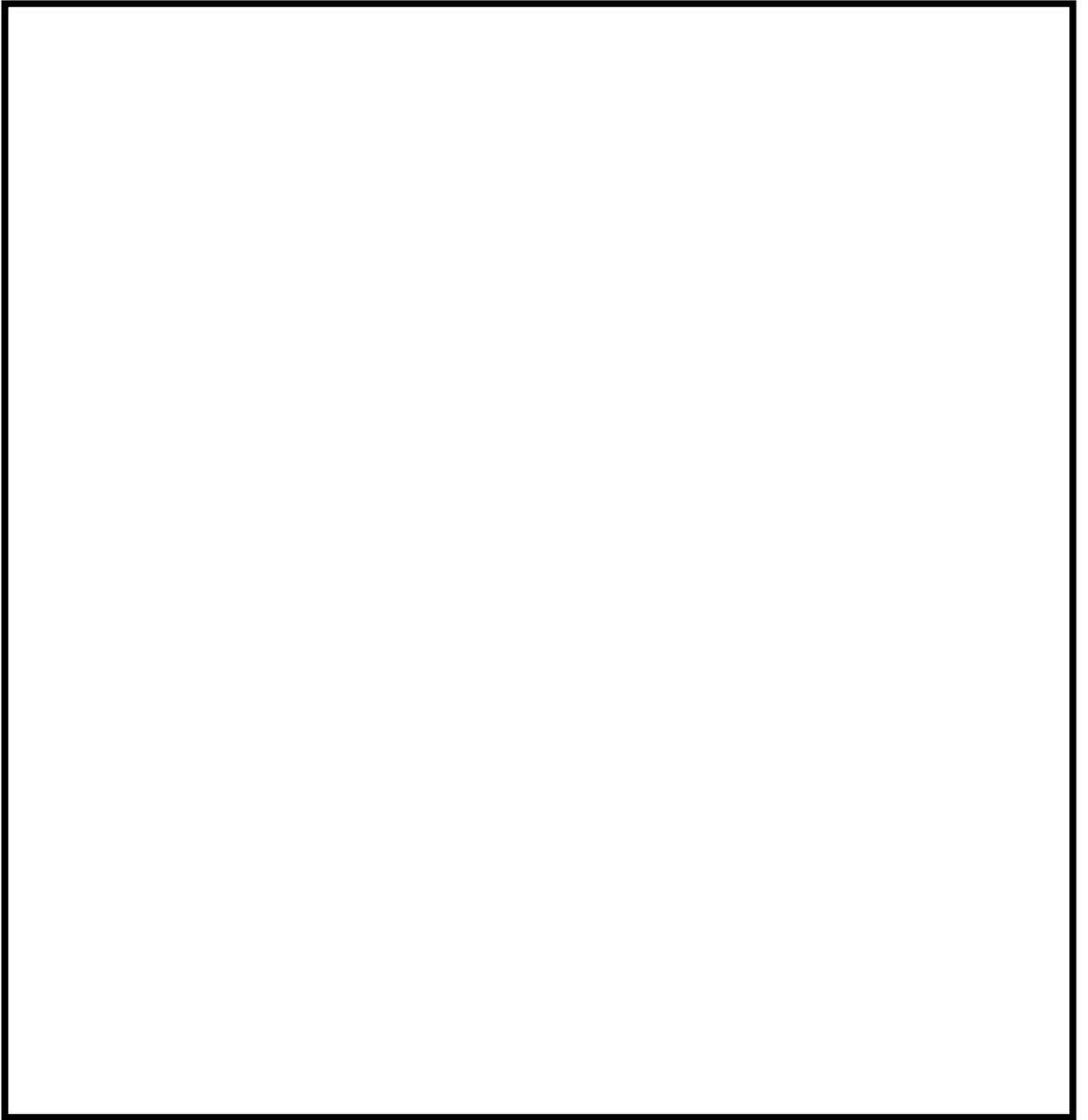


図 2-1(2) 運転条件 (原子炉压力容器内領域図)



注記 *1 :

*2 :

注 1 :

注 2 :

図 2-1(3) 運転条件 (差圧検出・ほう酸水注入管)

表 2-1 各許容応力状態における内圧

(単位：MPa)

許容応力状態	内圧
Ⅲ _A S	
Ⅳ _A S	

表 2-2 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
	SUSF304 相当
	SUS304LTP 相当
高ニッケル合金	NCF600 相当

注：以降，材料は新 J I S 相当材で記す。

表 2-3 応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E × 10 ⁵ (MPa)	ν
SUS304TP SUSF304 SUS304LTP			
NCF600			

表 2-4 繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	S_m (MPa)	S (MPa)
SUS304LTP	98	94

注：

S_m ：運転温度 に対する設計応力強さ

S：設計・建設規格 表 添付 4-2-2 の曲線 C に示された 10^{11} 回に対応する繰返しピーク応力強さ

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	S	クラス 1 配管*	$P + D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$P + D + S_s$	Ⅳ _A 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 * : 設計・建設規格 PPB 規定の適用対象であるが、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限界を適用する。

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*1	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 压力容器 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 クラス 2 配管*2	$P_{SAL} + D + S_d^{**4}$	$V_A S^{*3}$
					$P_{SALL} + D + S_s^{*4}$	

[記号の説明]

- P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重
- 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 : クラス 1 容器の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3 : $V_A S$ として, $IV_A S$ 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 $V_A S$ 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 $V_A S$ 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(1) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次一般膜応力強さ (P _m)	
		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
許容応力状態			
温度 (°C)			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	116	232
許容応力強さの算出式		$1.2 \cdot S_m$	$\text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$

表 2-6(2) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次膜+一次曲げ応力強さ ($P_L + P_b$)	
供用状態 (許容応力状態)		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度 (°C)			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	161	323
許容応力強さの算出式		$\alpha \cdot 1.2 \cdot S_m$	$\alpha \cdot \text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$

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、 $\alpha = 1.392$ の場合の値を示す。

表 2-6(3) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類		一次+二次応力強さ ($P_L + P_b + Q$)	
許容応力状態		Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
温度 (°C)			
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 2-7 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 _A S	L01+L04+L14	P_m $P_L + P_b$
	L14+L15	$P_L + P_b + Q$
許容応力状態Ⅳ _A S	L01+L04+L16	P_m $P_L + P_b$
	L16+L17	$P_L + P_b + Q$

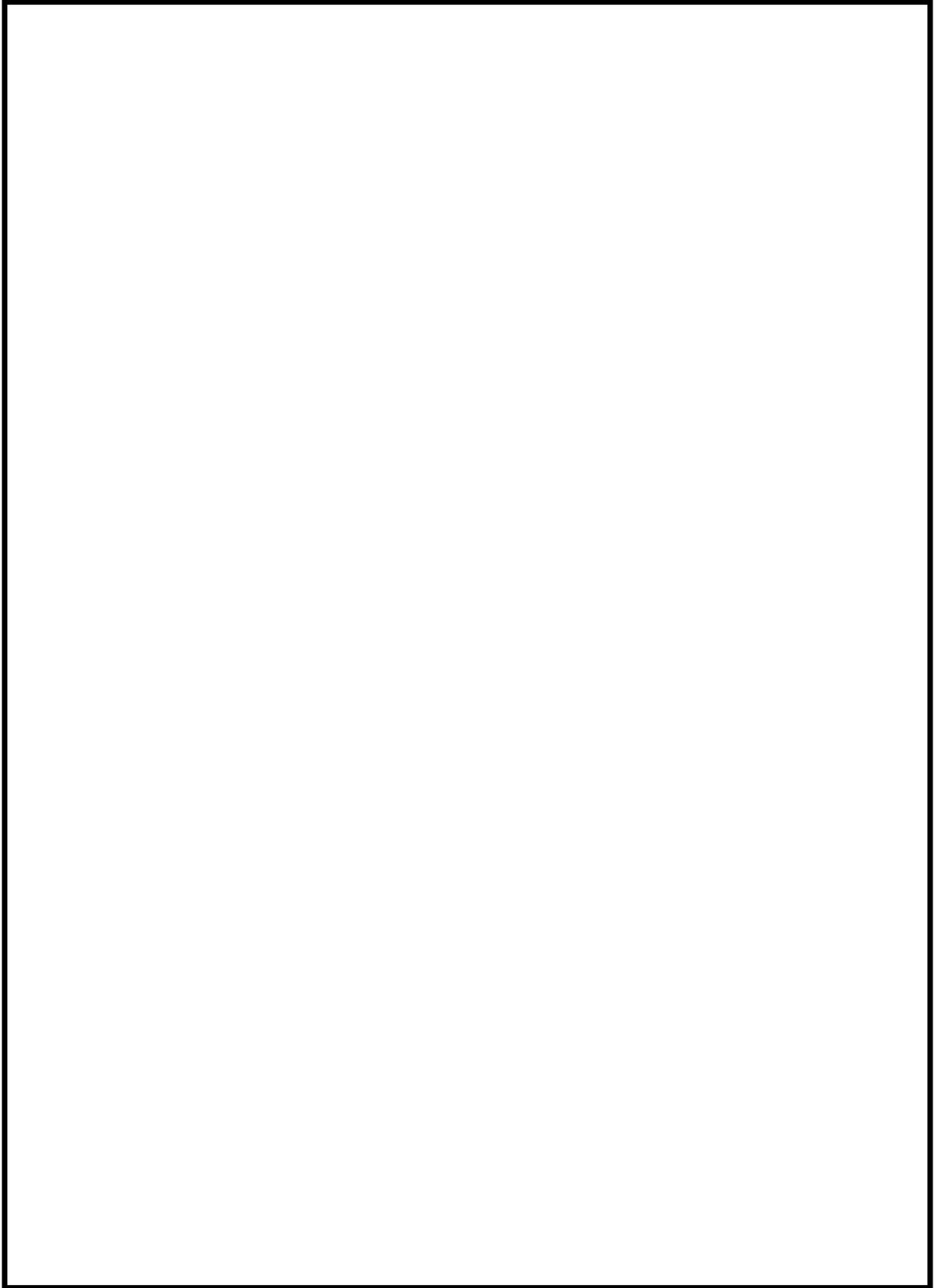


図 3-1 解析モデル

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 解析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 ³)
	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 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，配管の地震時の慣性力による反力を示す。

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 2.9 節による。

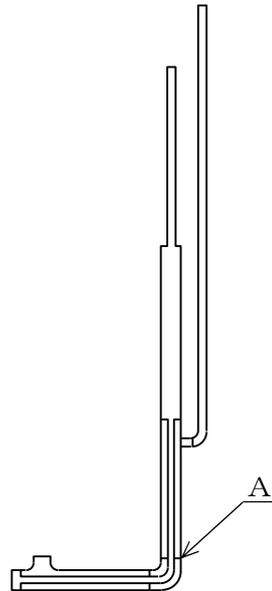
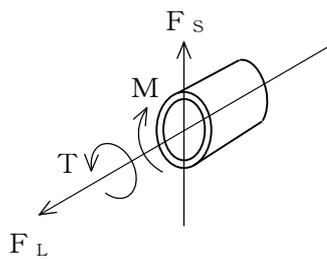


表 3-4 固有周期

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次					
2 次					

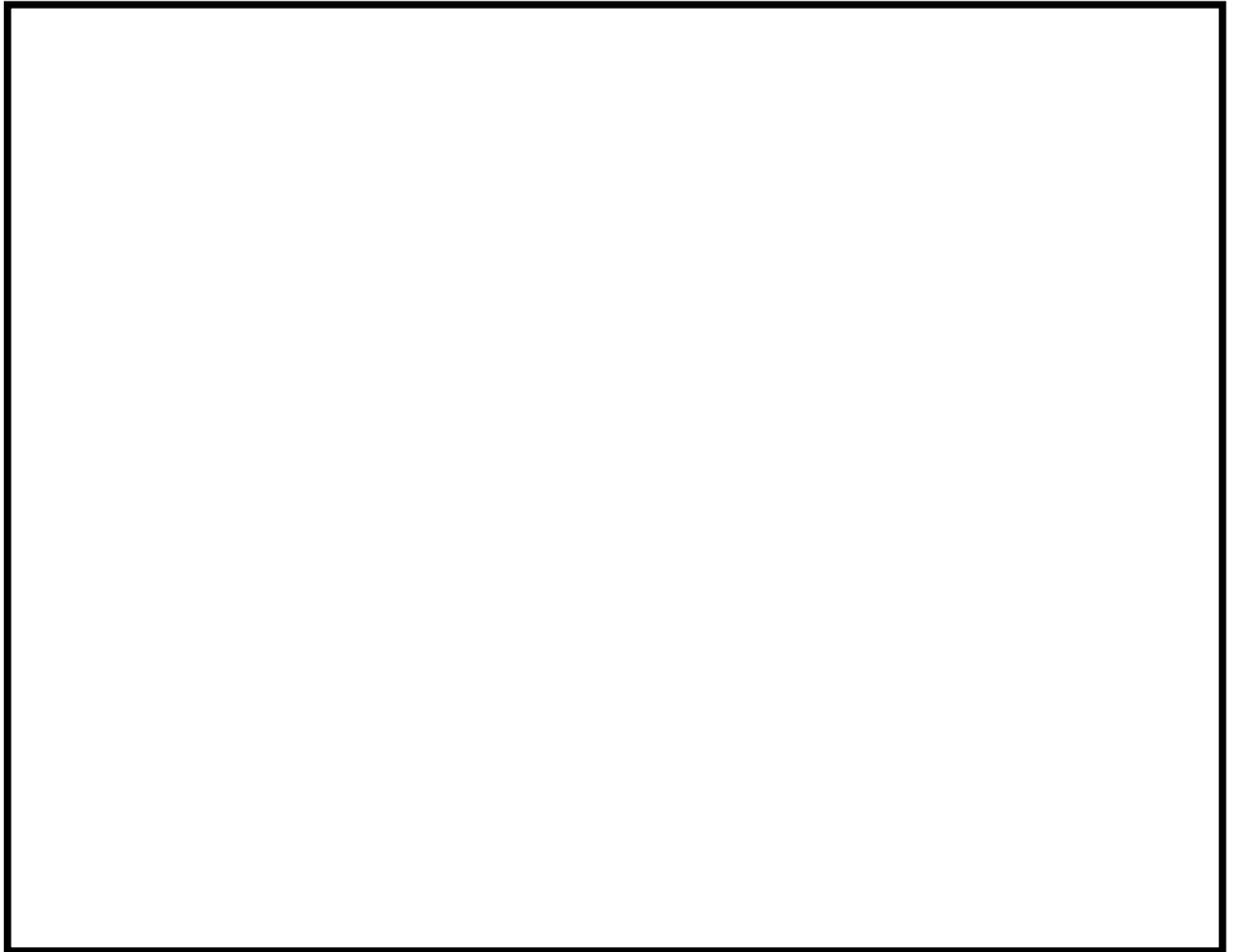


図 3-2 振動モード図 (1 次 0.054 s)

表 3-5 設計用地震力

据付場所及び設置高さ(m)	固有周期(s)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		減衰定数(%)	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
□	□	□ 又は*1	□ 又は*1	□ 又は*2	□ 又は*2	1.0*	1.0*

注記 *1：弾性設計用地震動 S_d に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*2：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				

表 4-2(1) 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)	一次膜+ 一次曲げ応力 ($P_L + P_b$)	一次+二次応力 ($P_L + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P01 P02	P01 P02	P01	P02
L01 内圧*	σ_t σ_l σ_r				
L04 死荷重	σ_l τ_{tl}				
L14 地震荷重 S_d^* (一次)	σ_l τ_{tl}				
L15 地震荷重 S_d^* (二次)	σ_l τ_{tl}				
L16 地震荷重 S_s (一次)	σ_l τ_{tl}				
L17 地震荷重 S_s (二次)	σ_l τ_{tl}				

注記 * : 最高使用圧力による計算結果であり, 各許容応力状態での応力は比例計算により求める。

表 4-2(2) 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)	一次膜+ 一次曲げ応力 ($P_L + P_b$)	一次+二次応力 ($P_L + P_b + Q$)	
	応力 評価点	P01' P02'	P01' P02'	P01'	P02'
L01 内圧*	σ_t σ_l σ_r				
L04 死荷重	σ_l τ_{tl}				
L14 地震荷重 S_d^* (一次)	σ_l τ_{tl}				
L15 地震荷重 S_d^* (二次)	σ_l τ_{tl}				
L16 地震荷重 S_s (一次)	σ_l τ_{tl}				
L17 地震荷重 S_s (二次)	σ_l τ_{tl}				

注記 * : 最高使用圧力による計算結果であり, 各許容応力状態での応力は比例計算により求める。

表 4-3 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 _A S		許容応力状態 Ⅳ _A 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 4-4 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 _A S		許容応力状態 Ⅳ _A 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 4-5 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1*1}$	$S_n^{\#2*2}$	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_AS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_ASによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。