

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-003-16改03
提出年月日	2023年2月22日

VI-2-3-3-2-5 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーよりN11ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書

2023年2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.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	構造計画	2
2.2	評価方針	4
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	形状・寸法・材料	5
2.6	解析範囲	5
2.7	計算結果の概要	5
3.	計算条件	8
3.1	設計条件	8
3.2	運転条件	8
3.3	外荷重条件	8
3.4	材料	8
3.5	物性値	8
3.6	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.7	荷重の組合せ	8
3.8	許容応力	8
4.	外荷重の条件	9
4.1	計算方法	9
4.2	解析モデル	9
4.3	設計震度	9
4.4	計算結果	9
4.4.1	固有周期	9
4.4.2	死荷重及び地震荷重	10
5.	応力計算	11
5.1	応力評価点	11
5.2	内圧による応力	11
5.2.1	荷重条件 (L01)	11
5.2.2	計算方法	11
5.3	外荷重による応力	11
5.3.1	荷重条件 (L04, L14, L15, L16 及び L17)	11
5.3.2	計算方法	11
5.4	応力の評価	11

6. 応力強さの評価	12
6.1 一次一般膜応力強さの評価	12
6.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	12
6.3 一次＋二次応力強さの評価	12
7. 繰返し荷重の評価	13
7.1 疲労解析	13
7.1.1 疲労累積係数	13
8. 参照図書	14

## 図 表 目 次

図 2-1	差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フロー	4
図 2-2	形状・寸法・材料・応力評価点	6
図 4-1	解析モデル	15
表 2-1	差圧検出・ほう酸水注入系配管の構造計画	3
表 2-2	計算結果の概要	7
表 4-1	外荷重	16
表 5-1	応力集中係数	17
表 6-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	18
表 6-2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	19
表 6-3	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	20
表 7-1	疲労累積係数	21
表 7-2	疲労累積係数の評価のまとめ	22

## 1. 概要

本計算書は、VI-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・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）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・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）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。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）は、クラス 1 配管であるが、設計・建設規格 PPB-1210 の規定により、クラス 1 容器の規定である設計・建設規格 PVB-3110 を適用し、VI-2-3-3-1-1「原子炉压力容器の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

注：本計算書においては、昭和60年12月25日付け60資庁第11431号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）を「既工認」という。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

差圧検出・ほう酸水注入系配管の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 差圧検出・ほう酸水注入系配管の構造計画

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>制御棒駆動機構ハウジング</p> <p>Uボルト</p> <p>差圧検出・ほう酸水注入系配管</p>

## 2.2 評価方針

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の構造強度評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」及び「応力解析の方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「2.1 構造計画」にて示す差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の部位を踏まえ「2.6 解析範囲」にて設定する箇所において、「4. 外荷重の条件」にて設定した荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「応力解析の方針」にて示す方法にて確認することで実施する。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

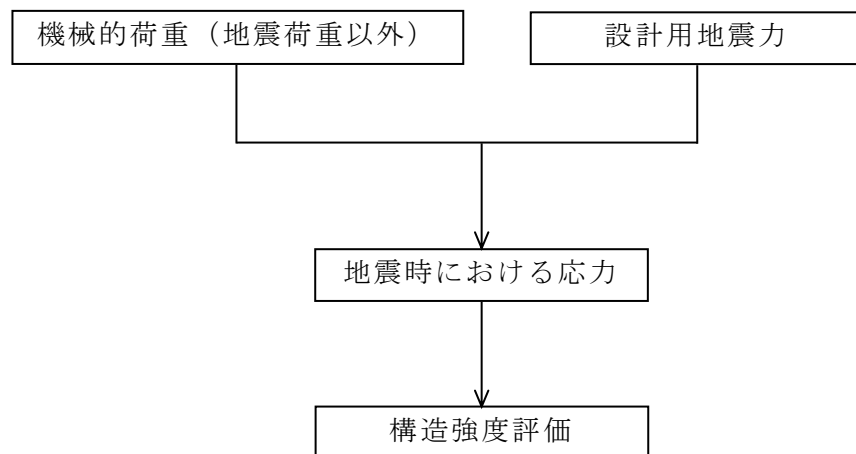


図 2-1 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フロー

## 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・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（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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。



## 2.4 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
F	軸力	N
S	せん断力	N
T	ねじりモーメント	N・m
M	曲げモーメント	N・m
K <sub>n</sub>	引張りに対する応力集中係数	—
K <sub>b</sub>	曲げに対する応力集中係数	—

## 2.5 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2-2に示す。

## 2.6 解析範囲

解析範囲を図2-2に示す。

## 2.7 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-2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。

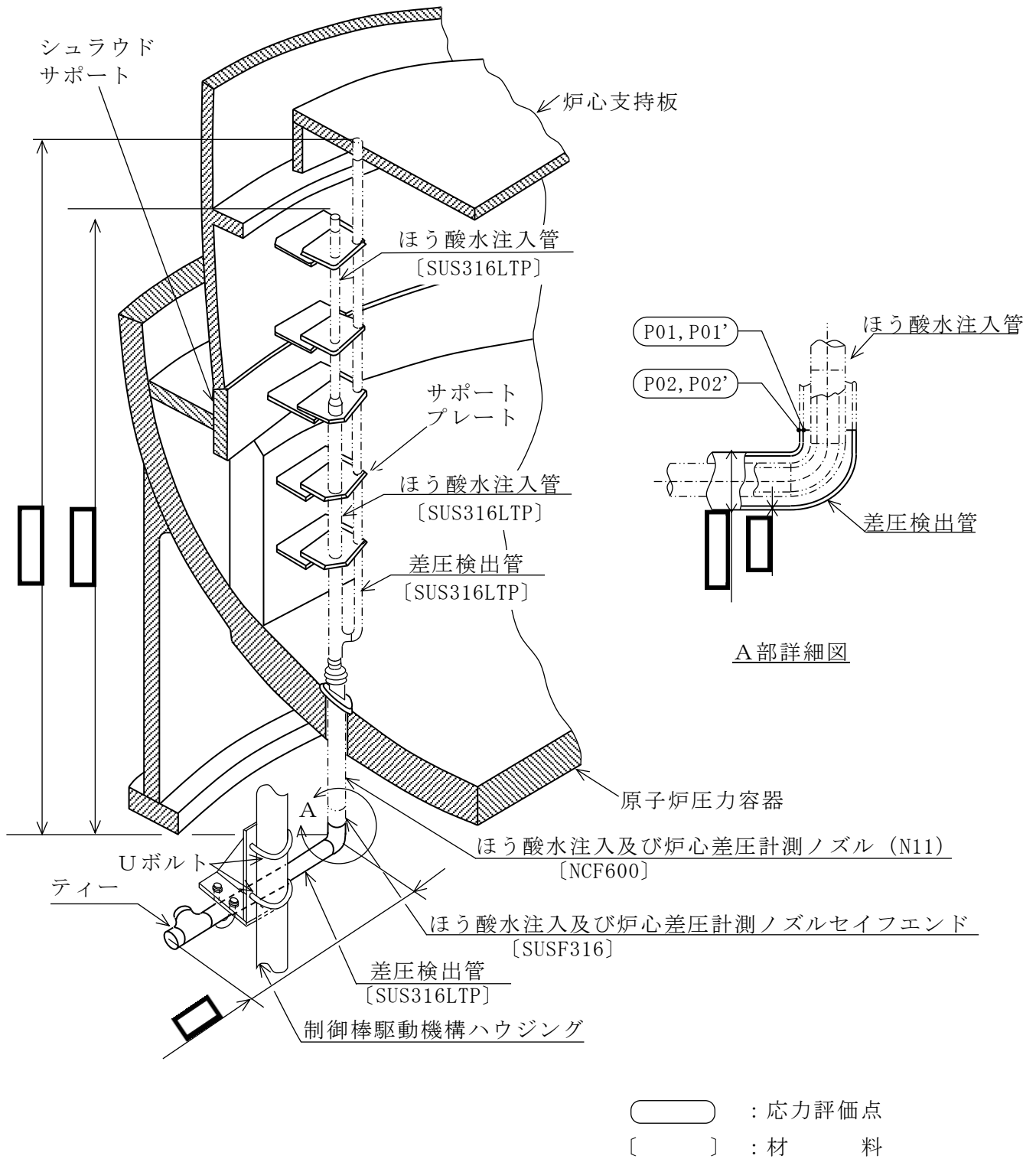


図 2-2 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 2-2 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 (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力 (MPa)			一次＋二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
差圧検出管 SUS316LTP	Ⅲ A S	42	114	P01-P02	43	159	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ A S	45	228	P01-P02	58	318	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	89	288	P01	0.043	1	P01
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	233	288	P01			

注記\*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 $S_d^*$ 又は地震荷重 $S_s$ のいずれか大きい方を加えた値である。

### 3. 計算条件

#### 3.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

#### 3.2 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。

#### 3.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

#### 3.4 材料

各部の材料を図 2-2 に示す。

#### 3.5 物性値

地震荷重による繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

#### 3.6 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「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

#### 3.7 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

#### 3.8 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.5 節に示す。

#### 4. 外荷重の条件

##### 4.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「4.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

考慮する設計用地震力は，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」及びVI-2-2-1「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本体の基礎の地震応答計算書」により求めた荷重，若しくはそれらの条件を包絡するように定めた保守的な荷重とする。

##### 4.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく参照図書(1)a.に定めるとおりである。参照図書(1)a.に定める解析モデルを図4-1に示す。

##### 4.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	炉心シュラウド (EL 19.196~21.571) 原子炉圧力容器下鏡 (EL 16.508~18.250)	
	設計震度	
地震力	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	1.41 <sup>*1</sup>	0.69 <sup>*1</sup>
基準地震動 S <sub>s</sub>	2.58 <sup>*2</sup>	1.83 <sup>*2</sup>

注記\*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）及び静的震度を上回る設計震度

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

##### 4.4 計算結果

###### 4.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく参照図書(1)a.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

モード	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
		X方向	Z方向	
1次	□	—	—	—

#### 4.4.2 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を表 4-1 に示す。

## 5. 応力計算

### 5.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 2-2 に示す。また、応力集中を生じる箇所の応力集中係数を表 5-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

### 5.2 内圧による応力

#### 5.2.1 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

#### 5.2.2 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での内圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

### 5.3 外荷重による応力

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

外荷重を表 4-1 に示す。

#### 5.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

### 5.4 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。

## 6. 応力強さの評価

### 6.1 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 6-1 に示す。

表 6-1 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 3.5 節に示す許容応力を満足する。

### 6.2 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表 6-2 に示す。

表 6-2 より，各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容応力を満足する。

### 6.3 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表 6-3 に示す。

表 6-3 より，すべての評価点において  $S_n^{\#1}$  及び  $S_n^{\#2}$  は， $3 \cdot S_m$  以下であり，「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容応力を満足する。



## 7. 繰返し荷重の評価

### 7.1 疲労解析

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

#### 7.1.1 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表 7-1 に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表 7-2 に示す。

表 7-2 より、各応力評価点において疲労累積係数は 1.0 以下であり、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

8. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
- a. IV-2-2-9 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部及びティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書
  - b. IV-3-1-3-5 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の応力計算書

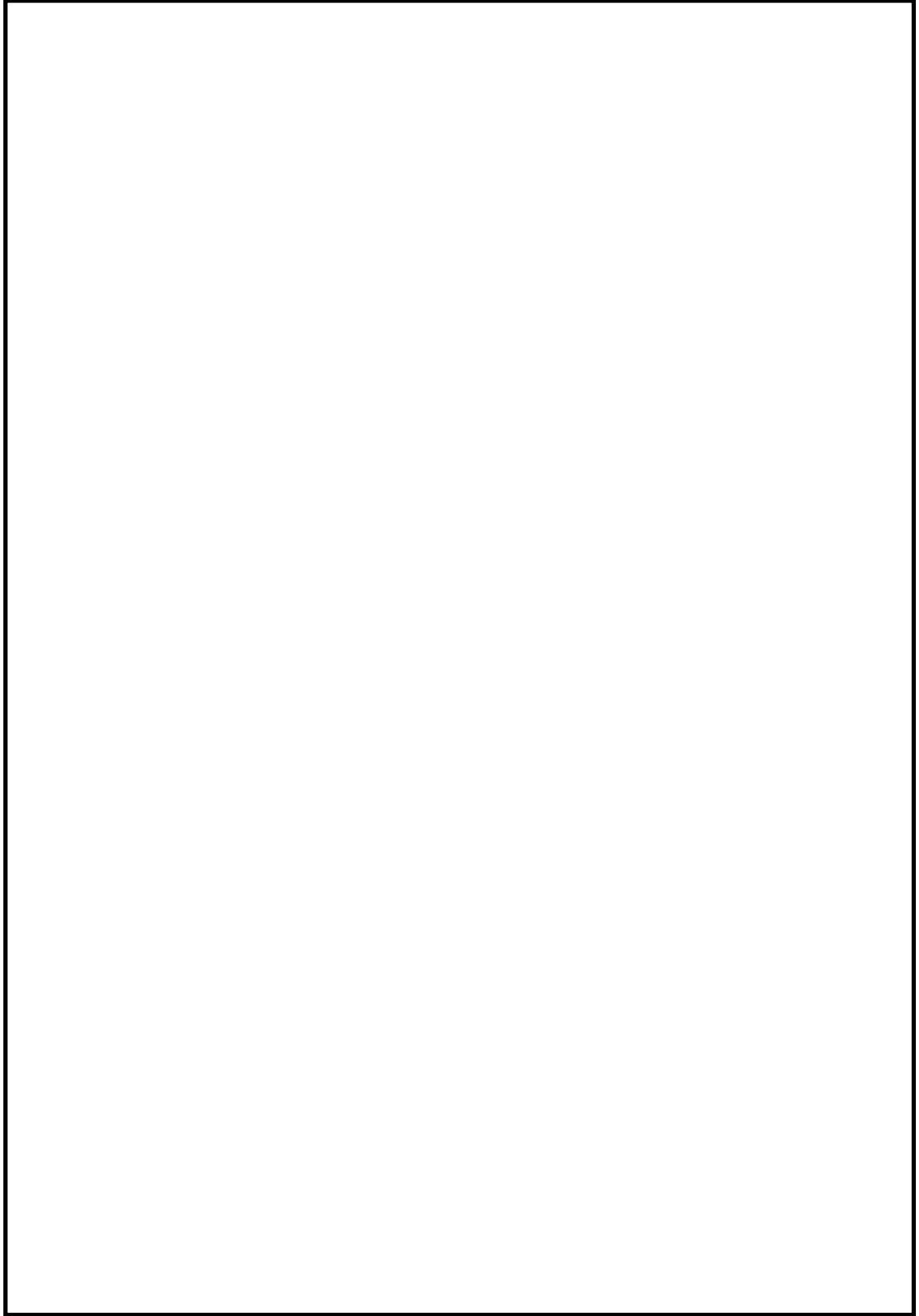


図 4-1 解析モデル

表 4-1 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 (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
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				

--	--	--	--	--	--	--

表 5-1 応力集中係数

応力評価点	$K_n$	$K_b$
P01, P02	5.0	5.0

注：設計・建設規格 PVB-3130 の規定による。

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 A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	42	114	45	228
P01' P02'	42	114	45	228

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 A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	43	159	58	318
P01' P02'	42	159	56	318

表 6-3 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ( $P_L + P_b + Q$ )		
	$S_n \#1$	$S_n \#2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	89	233	288
P01'	89	233	288
P02	89	233	288
P02'	89	233	288



表 7-1 疲労累積係数

応力評価点 — P01

材 料 — SUS316LTP

No.	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	$S_{\ell}^{*1}$ (MPa)	$S_{\ell}'^{*2}$ (MPa)	$N_a$	$N_c$	$N_c / N_a$
1	89	—	397	199	221	409360	300	0.001
疲労累積係数 $U_{Sd} =$								0.001
2	233	—	1036	518	574	3552	150	0.043
疲労累積係数 $U_{Ss} =$								0.043
疲労累積係数 $U_f = U_n^{*3} + U_{Ss} =$								0.043

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の 5.2.1 項（疲労解析）に示す。

注記\*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

\*2： $S_{\ell}$ に  $(E_0 / E)$  を乗じた値である。

$$E_0 = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}, 1.76 \times 10^5 \text{ MPa}$$

\*3：参照図書(1)b.のとおり，運転状態 I 及び II における疲労解析は不要である。

表 7-2 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	$U_n$	$U_{S_d}$	$U_{S_s}$	$U_f^{*1}$	
P01	—*2	0.001	0.043	0.043	1
P01'	—*2	0.001	0.043	0.043	1
P02	—*2	0.001	0.043	0.043	1
P02'	—*2	0.001	0.043	0.043	1

注記\*1：疲労累積係数 $U_f$ は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 $S_d^*$ 又は地震荷重 $S_s$ のいずれか大きい方を加えた値である。

\*2：参照図書(1)b.のとおり、運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労解析は不要である。