

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-993 改2
提出年月日	平成30年 9月12日

V-3-3-2-2 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）の応力計算書

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	4
1.4	形状・寸法・材料	4
1.5	解析範囲	4
1.6	計算結果の概要	4
2.	計算条件	7
2.1	設計条件	7
2.2	重大事故等時の条件	7
2.3	材料	7
2.4	物性値	7
2.5	荷重の組合せ及び供用状態	7
2.6	許容限界	7
2.7	荷重の組合せと応力評価	8
2.8	溶接部の継手効率	8
2.9	応力の方向と記号	8
3.	外荷重の条件	9
3.1	死荷重	9
4.	応力解析	9
4.1	応力解析の手順	9
4.1.1	荷重条件	9
4.1.2	応力計算と応力の分類	9
4.2	応力計算	10
4.2.1	内圧による応力	10
4.2.2	外荷重による応力	11
4.3	応力強さの評価	11
4.3.1	主応力	11
4.3.2	応力強さ	12
4.3.3	一次一般膜応力強さの評価	12
4.3.4	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	12
5.	引用文献	13

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5
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	6
表 2-1	材料の分類	14
表 2-2	荷重の組合せ及び供用状態	14
表 2-3	許容限界	15
表 2-4	荷重の組合せ	16
表 4-1	断面性状	16
表 4-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	17
表 4-3	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」に基づいて、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。）の応力計算を行う。

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	
<p>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。</p>	<p>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>	<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
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
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm
t	厚さ	mm
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

- (1) 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。

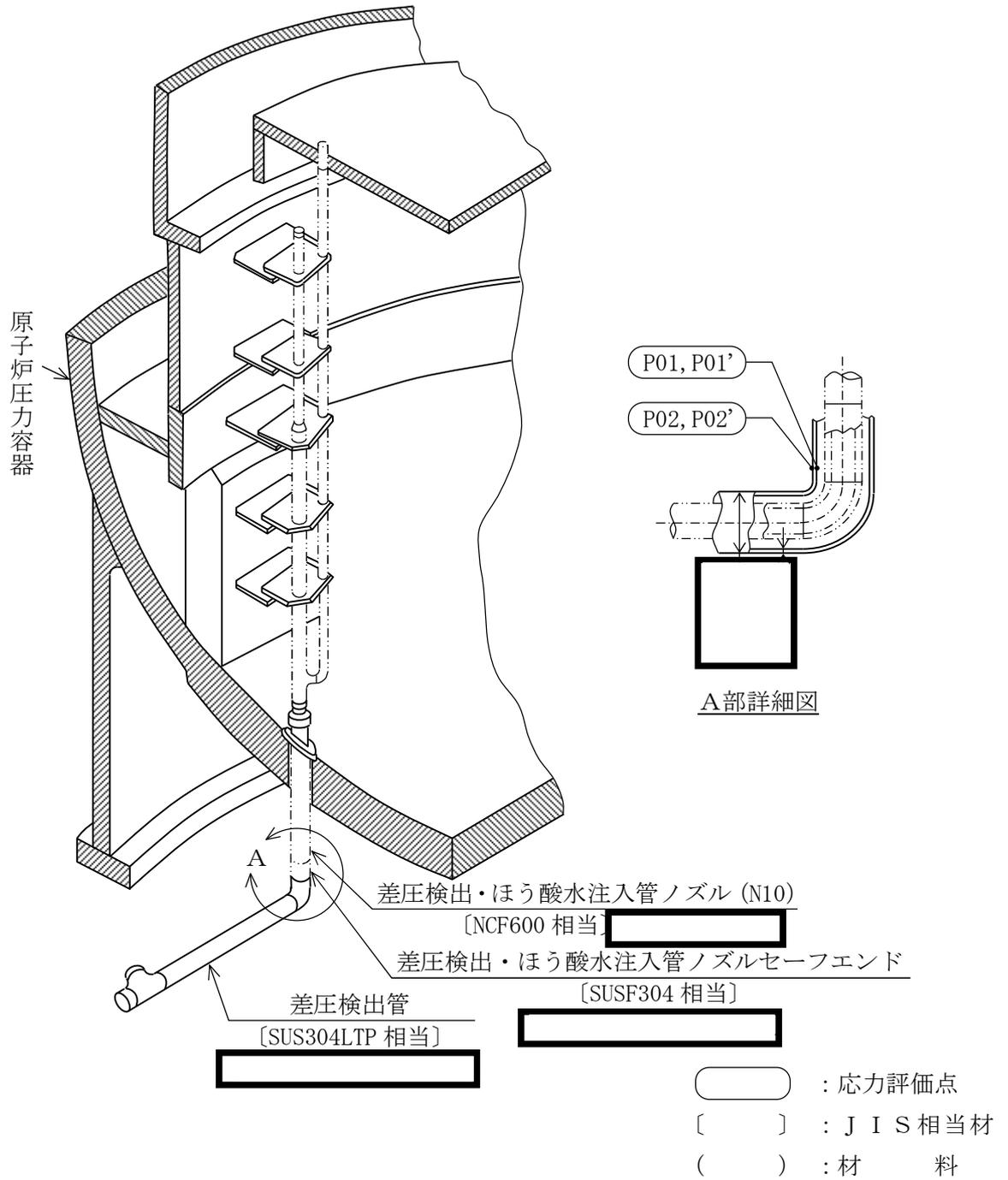


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-2 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次膜+一次曲げ応力 (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
差圧検出管 SUS304LTP相当	E	37	232	P01-P02	37	323	P01-P02

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 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。

2.3 材料

材料は、次に示すとおりである。

パイプ：SUS304LTP 相当

2.4 物性値

応力計算に使用する材料は、表2-1に従って分類する。

2.5 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態は、表2-2に示すとおりである。

なお、差圧検出・ほう酸水注入管は、重大事故等クラス2管であって設計基準対象施設でクラス1管であることから、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。

2.6 許容限界

- (1) 設計応力強さ S_m 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及び表9に定められたものを使用する。
- (2) 供用状態 E* の一次応力強さの評価には、運転状態 V における評価温度条件 (302 °C) に対する許容限界を用いる。
- (3) 差圧検出・ほう酸水注入管の重大事故等時の条件の応力強さの評価に用いる許容限界は、設計・建設規格 PVB-3110 により表2-3に示すとおりである。

注記 *：供用状態 E とは、重大事故等時の状態（運転状態 V）であり、供用状態 D を超える状態である。許容応力強さの算出式は供用状態 D と同様とする。

2.7 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 2-4 に示す。表 2-4 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]

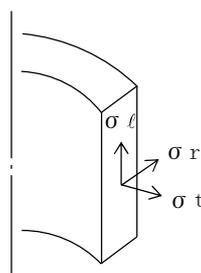
2.8 溶接部の継手効率

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 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
- τ_{tl} : せん断応力



3. 外荷重の条件

3.1 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添付書類「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」の 3.3 節に示す。

4. 応力解析

4.1 応力解析の手順

応力解析の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)

重大事故等時の条件における内圧を 2.2 節に示す。

(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。

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

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

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

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)

差圧検出・ほう酸水注入管に働く外荷重は 3.1 節に示す。

(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。

$$\sigma_l = \frac{F_L}{A}$$

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

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

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。

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

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

4.3 応力強さの評価

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。

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

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

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

4.3.3 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を表4-2に示す。

表4-2より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、2.6節に示す許容限界を満足する。

4.3.4 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4-3に示す。

表4-3より、供用状態Eの一次膜+一次曲げ応力強さは、2.6節に示す許容限界を満足する。

5. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)

表 2-1 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	SUS304LTP 相当

注：以降，材料は新 J I S 相当材で記す。

表 2-2 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	供用状態	荷重の組合せ
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	重大事故等* クラス 2 配管	E	$D + P_{SA}$

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P_{SA} : 供用状態 E における圧力

注記 * : 重大事故等クラス 2 管であって設計基準対象施設でクラス 1 管であることから，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 2-3(1) 許容限界

(単位：MPa)

応力分類	一次一般膜応力強さ (P_m)	
供用状態	E	
温度 (°C)	302	
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	232
許容応力の算出式	$\text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$	

表 2-3(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	E	
温度 (°C)	302	
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	323
許容応力の算出式	$\alpha \cdot \text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$	

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 2-4 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
供用状態E	L01+L04	P_m $P_L + P_b$

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 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	43	232
P01' P02'	43	232

表 4-3 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	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	43	323
P01' P02'	43	323