

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-999 改3
提出年月日	平成30年9月12日

V-2-3-4-3-8 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）  
の耐震性についての計算書

## 目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	適用基準	1
1.3	形状・寸法・材料	1
1.4	解析範囲	1
1.5	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	設計条件	4
2.2	運転条件	4
2.3	重大事故等時の条件	4
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5	材料	4
2.6	物性値	4
2.7	荷重の組合せと応力評価	4
2.8	許容限界	4
2.9	応力の記号と方向	4
3.	外荷重の条件	5
3.1	計算方法	5
3.2	解析モデル及び諸元	5
3.3	死荷重	5
3.4	地震荷重	5
3.4.1	固有周期	5
3.4.2	設計用地震力	5
3.4.3	地震荷重の算出結果	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
4.3	外荷重による応力	7
4.3.1	荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2	計算方法	7
4.4	応力の評価	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

## 図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	節点座標	10
表 3-2	解析モデルのデータ諸元	11
表 3-3	固有周期	12
表 3-4	設計用地震力	13
表 3-5	残留熱除去系配管外荷重	14
表 4-1	断面性状	15
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17

## 1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）（以下「残留熱除去系配管」という。）の耐震性についての計算書である。

残留熱除去系配管は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「V-2-3-4-3-1 原子炉压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。）に基づくものとする。

### 1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の2章に示す。

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
A	断面積	mm <sup>2</sup>
D <sub>i</sub>	内径	mm
D <sub>o</sub>	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
t	厚さ	mm

### 1.2 適用基準

適用基準は、「応力解析の方針」の1.3節に示す。

### 1.3 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。

### 1.4 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

### 1.5 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。

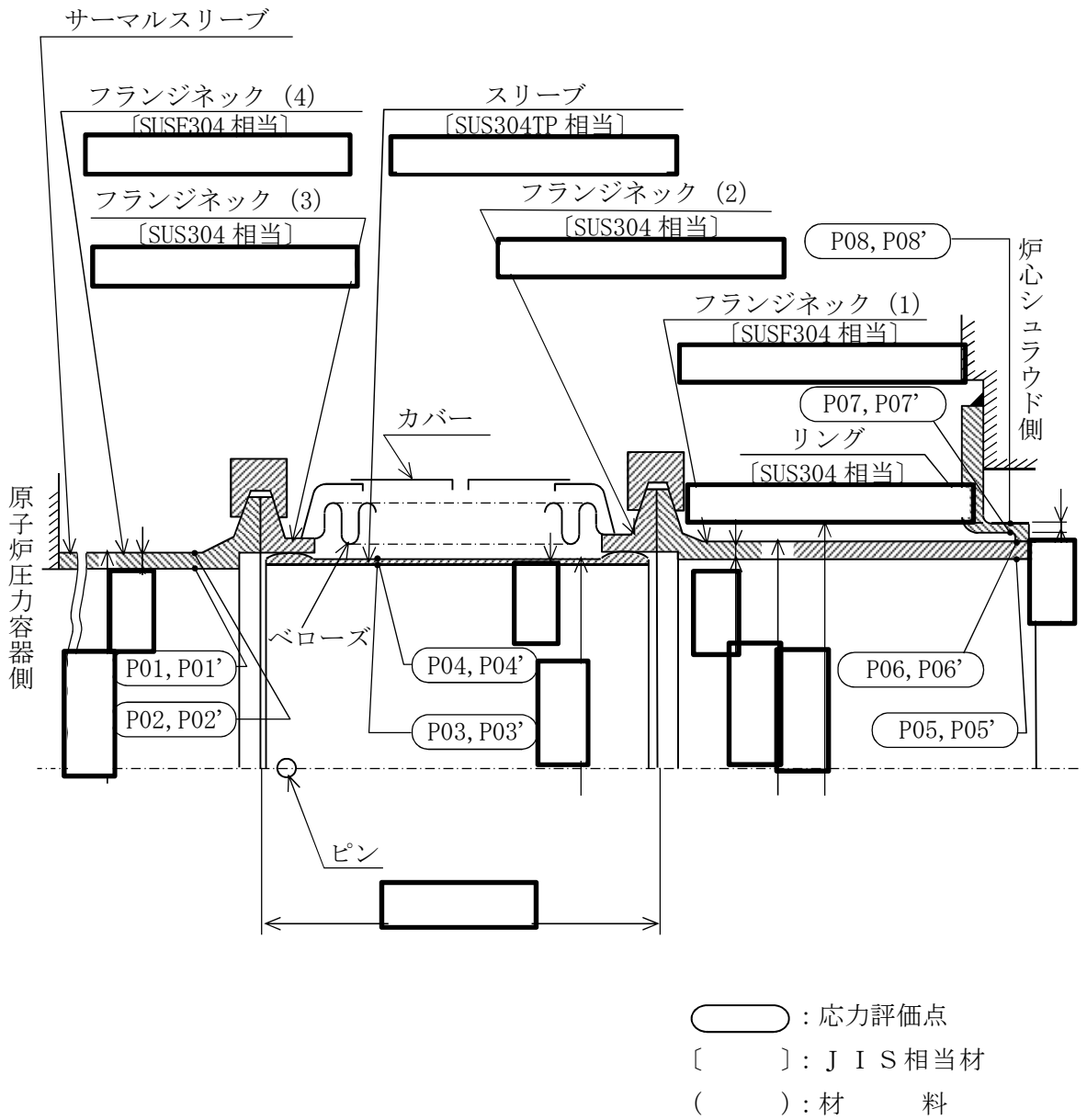


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 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)			一次一般膜+一次曲げ応力強さ (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
フランジネック (4) SUSF304	Ⅲ <sub>A</sub> S	1	111	P01-P02	1	167	P01-P02
	Ⅳ <sub>A</sub> S	1	169	P01-P02	1	254	P01-P02
スリーブ SUS304TP	Ⅲ <sub>A</sub> S	4	172	P03-P04	4	258	P03-P04
	Ⅳ <sub>A</sub> S	4	260	P03-P04	4	391	P03-P04
フランジネック (1) SUSF304	Ⅲ <sub>A</sub> S	2	68	P05-P06	2	103	P05-P06
	Ⅳ <sub>A</sub> S	2	104	P05-P06	2	156	P05-P06
リング SUS304	Ⅲ <sub>A</sub> S	4	172	P07-P08	4	258	P07-P08
	Ⅳ <sub>A</sub> S	5	260	P07-P08	5	391	P07-P08

## 2. 計算条件

### 2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

### 2.2 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。

### 2.3 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

### 2.4 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、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

### 2.5 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

### 2.6 物性値

物性値は、「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

### 2.7 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価は、「応力解析の方針」の 4.5 節に示す。

### 2.8 許容限界

許容限界は、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す。

### 2.9 応力の記号と方向

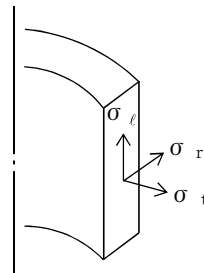
応力の記号と方向は、以下のとおりとする。

$\sigma_t$  : 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. 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、3.2 節に示す  でモデル化した残留熱除去系配管の FEMモデルにより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。ここで、残留熱除去系配管の質量は、炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の全質量と比して小さいことから、これらとの連成系としては考えず、これらの構造物の地震応答解析により得られた 3.4.2 項に示す設計震度を入力加速度とする。

以上の計算は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて行う。

#### 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

を考慮する。

#### 3.3 死荷重

残留熱除去系配管の評価に用いる死荷重を表 3-5 に示す。

#### 3.4 地震荷重

##### 3.4.1 固有周期

残留熱除去系配管の固有値解析の結果を表 3-3 に示す。

1 次モードは鉛直方向に卓越し、固有周期が 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。また、水平方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

##### 3.4.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動  $S_d$  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」に基づき設定する。

評価に用いる設計用地震力を表 3-4 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、残留熱除去系配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 3-5 に示す。

## 4. 応力計算

### 4.1 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 4-1 に示す。

### 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 章の図 4-1 に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、比例計算により求める。

#### 4.2.2 計算方法

##### (1) 一次一般膜応力

差圧  $P_{135}$  による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{135}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{135}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{135}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

##### (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。

### 4.3 外荷重による応力

#### 4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

残留熱除去系配管に働く外荷重を表 3-5 示す。

#### 4.3.2 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。

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

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

ここで、
$$r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$$

##### (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。

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

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

### 4.4 応力の評価

各応力評価点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 5.4 節に示す。

## 5. 応力強さの評価

### 5.1 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まとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 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 節に示す許容値を満足する。

### 5.2 一次一般膜+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 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

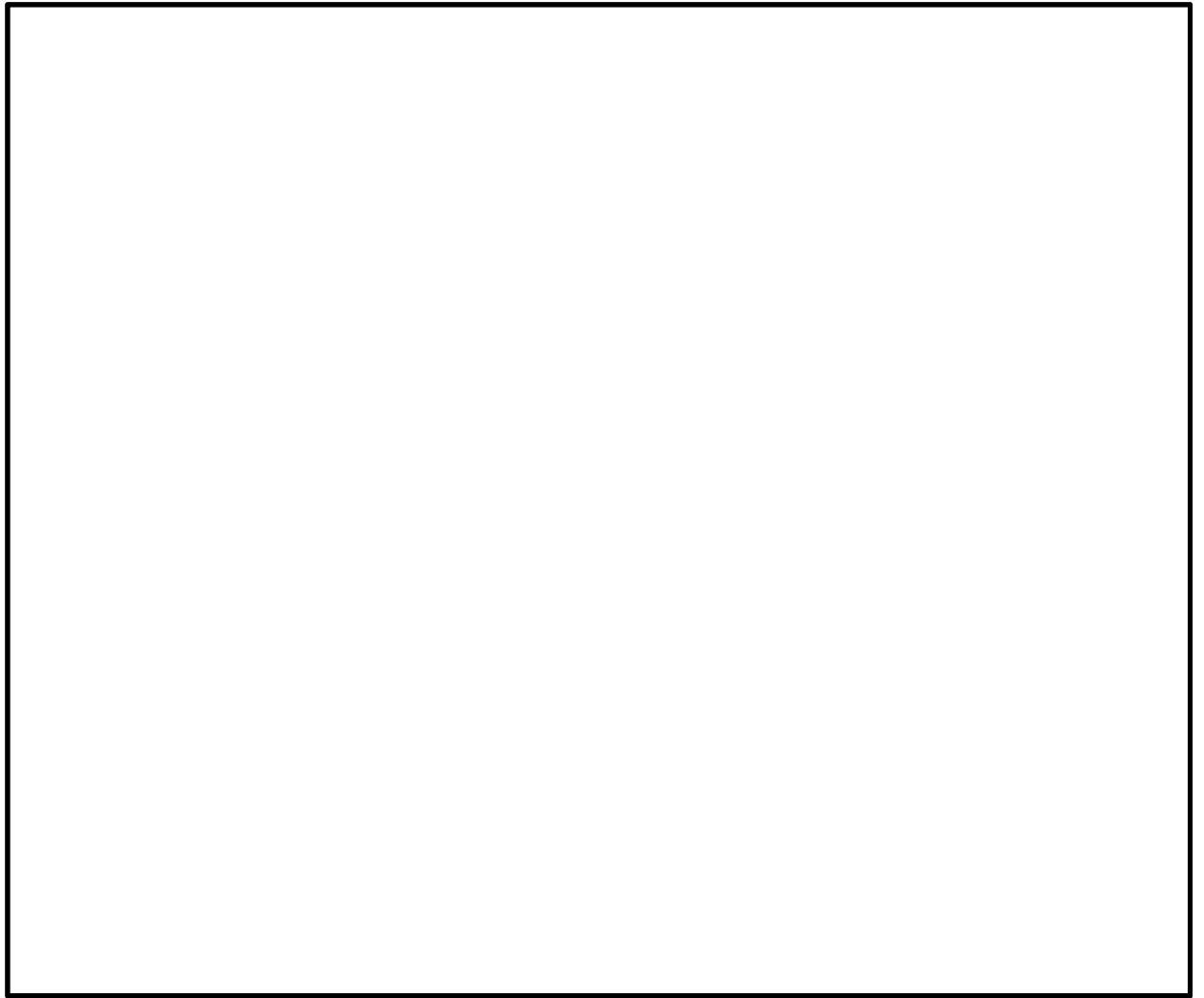


図 3-1 解析モデル

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			

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 <sup>3</sup> )
	外径	厚さ			
1~10					
10~13					
13~17					
17~20					
20~21					
21~22					

注：節点 12 に対しては、集中荷重  を付加させる。  
 節点 18 に対しては、集中荷重  を付加させる。

表 3-3 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>	鉛直

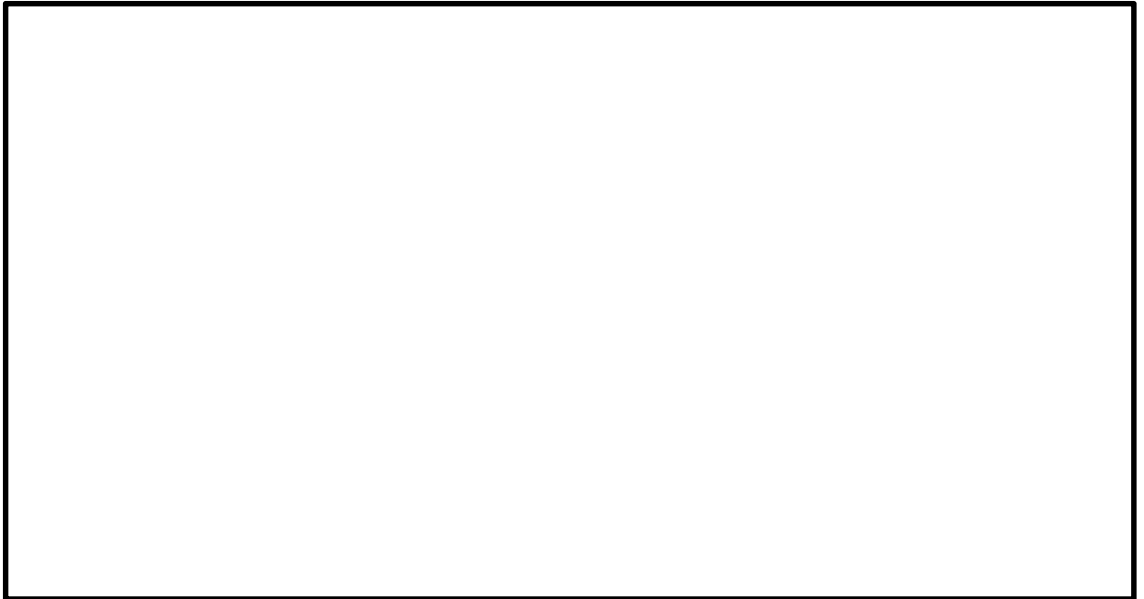


表 3-4 設計用地震力

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 $S_s$	
		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
原子炉压力容器内 EL <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 50px; height: 15px;"></span>	0.007	$C_H=1.68$	$C_V=0.77$	$C_H=2.54$	$C_V=1.42$

表 3-5 残留熱除去系配管外荷重

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・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 $S_d^*$	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 $S_s$	A				
		B				
		C				



NT2 補③ V-2-3-4-3-8 R1

表 4-1 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				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

表 5-1 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	1	111 <sup>*1</sup>	1	169 <sup>*1</sup>
P01' P02'	1	111 <sup>*1</sup>	1	169 <sup>*1</sup>
P03 P04	4	172	4	260
P03' P04'	4	172	4	260
P05 P06	2	68 <sup>*2</sup>	2	104 <sup>*2</sup>
P05' P06'	2	68 <sup>*2</sup>	2	104 <sup>*2</sup>
P07 P08	4	172	5	260
P07' P08'	4	172	4	260

注記 \*1：継手効率  を乗じた値を示す。

\*2：継手効率  を乗じた値を示す。

表 5-2 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	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	1	167* <sup>1</sup>	1
P01' P02'	1	167* <sup>1</sup>	1	254* <sup>1</sup>
P03 P04	4	258	4	391
P03' P04'	4	258	4	391
P05 P06	2	103* <sup>2</sup>	2	156* <sup>2</sup>
P05' P06'	2	103* <sup>2</sup>	2	156* <sup>2</sup>
P07 P08	4	258	5	391
P07' P08'	4	258	4	391

注記 \*1：継手効率  を乗じた値を示す。

\*2：継手効率  を乗じた値を示す。