

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-1024 改3
提出年月日	平成30年9月13日

### V-3-9-1-1-3 ドライウェルフランジ部の強度計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 強度評価	7
4.1 強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容限界	7
4.3 計算方法	10
5. 評価結果	13
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	13

## 1. 概要

本計算書は、原子炉格納容器ドライウエルのフランジ部（以下「ドライウエルフランジ部」という。）の強度計算書である。

ドライウエルフランジ部は、原子炉格納容器のトップヘッドとドライウエル本体（胴）を接続するための部材であることから、設計基準対象施設の原子炉格納容器と同様に重大事故等クラス2容器として兼用する機器である。

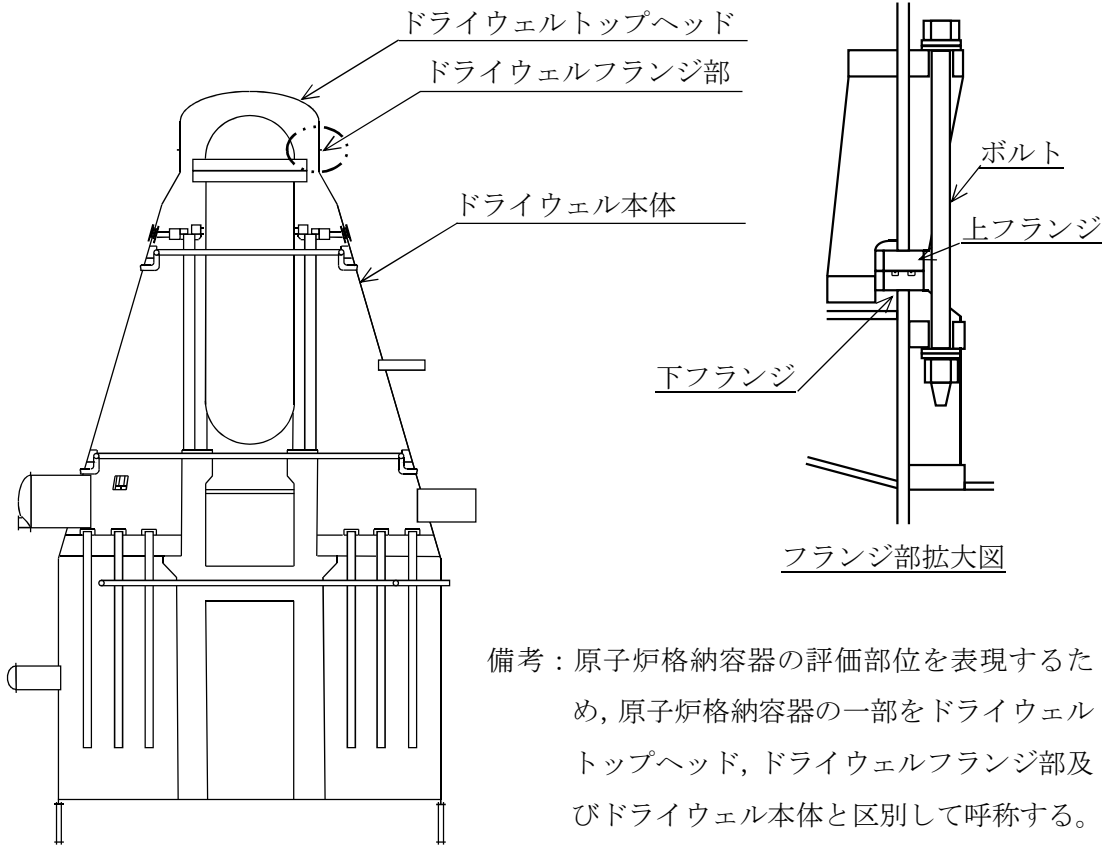
以下、重大事故等クラス2容器として添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ドライウエルフランジ部の強度評価について示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ドライウエルフランジ部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 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>ドライウェルトップヘッドは、ドライウェルフランジ部でボルトによりドライウェル本体に締結される。</p>	<p>上フランジ，下フランジ及び96本のボルトにより構成され，フランジ部のガスケットを押圧し，封止機能を得る鋼製構造物である。</p>	 <p>ドライウェルトップヘッド ドライウェルフランジ部 ドライウェル本体</p> <p>ボルト 上フランジ 下フランジ</p> <p>フランジ部拡大図</p> <p>原子炉格納容器</p> <p>備考：原子炉格納容器の評価部位を表現するため，原子炉格納容器の一部をドライウェルトップヘッド，ドライウェルフランジ部及びドライウェル本体と区別して呼称する。</p>

## 2.2 評価方針

ドライウェルフランジ部の応力評価は、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」に基づき「2.1 構造計画」に示すドライウェルフランジ及びボルトについて、供用状態Eにおける温度、圧力の条件により評価部位に作用する荷重で発生する応力等が許容限界に収まることを、「4. 強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。評価結果を「5. 応力計算」に示す。

ドライウェルフランジ部の強度評価フローを図 2-1 に示す。

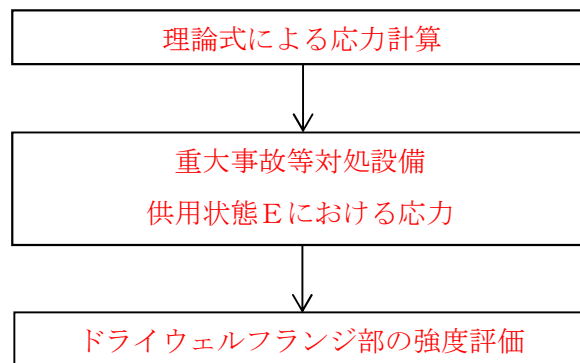


図 2-1 ドライウェルフランジ部の強度評価フロー

## 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (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 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7（日本機械学会）
- (2) 日本工業規格 J I S B 8 2 6 5（2003）「压力容器の構造—一般事項」

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの有効断面積	$\text{mm}^2$
B	原子炉格納容器胴の内径	mm
b	ガスケット座の基本幅	mm
C	ボルト円直径	mm
d	係数, シャフト径	—, mm
F	係数	—
f	係数	—
G	ガスケット円直径	mm
g	板厚	mm
H	内圧によってフランジに作用する荷重	N
$H_D$	内圧によってフランジの内径面に作用する荷重	N
$H_T$	内圧によって, フランジに作用する荷重とフランジの内径面に作用する荷重の差	N
$H_G$	ガスケット荷重	N
$h_D$	ボルト穴の中心円から $H_D$ の作用点までの半径方向の距離	mm
$h_T$	ボルト穴の中心円から $H_T$ の作用点までの半径方向の距離	mm
$h_G$	ボルト穴の中心円から $H_G$ の作用点までの半径方向の距離	mm
$h_0$	係数	—
K	係数	—
L	係数	—
$M_D$	内圧によってフランジ内径面に加わる荷重によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_T$	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重の差によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_G$	ガスケット荷重によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_0$	内圧荷重とガスケット荷重によるモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m	ガスケット係数	—
N	ガスケット接触面の幅	mm
n	ボルト数	—
P	内圧	MPa
$P_D$	内圧	kPa
T	係数, ガスケットの厚さ	—, mm
$T_D$	温度	$^{\circ}\text{C}$
t	長さ	mm
$t \cdot e$	係数	—
U	係数	—
V	係数	—
W	ボルトに作用する荷重	N

記号	記号の説明	単位
w	シート面の接触幅	mm
Y	係数	—
y	最小設計締付圧力	N/mm <sup>2</sup>
Z	係数	—
$\sigma_H$	フランジの軸方向応力	MPa
$\sigma_R$	フランジの径方向応力	MPa
$\sigma_T$	フランジの周方向応力	MPa
$\sigma_b$	ボルトの引張応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* <sup>1</sup>
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* <sup>1</sup>
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* <sup>1</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* <sup>1</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
座屈計算値	なし	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
累積疲労係数	なし	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位
許容応力* <sup>2</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 \*1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ドライウェルフランジ部の形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

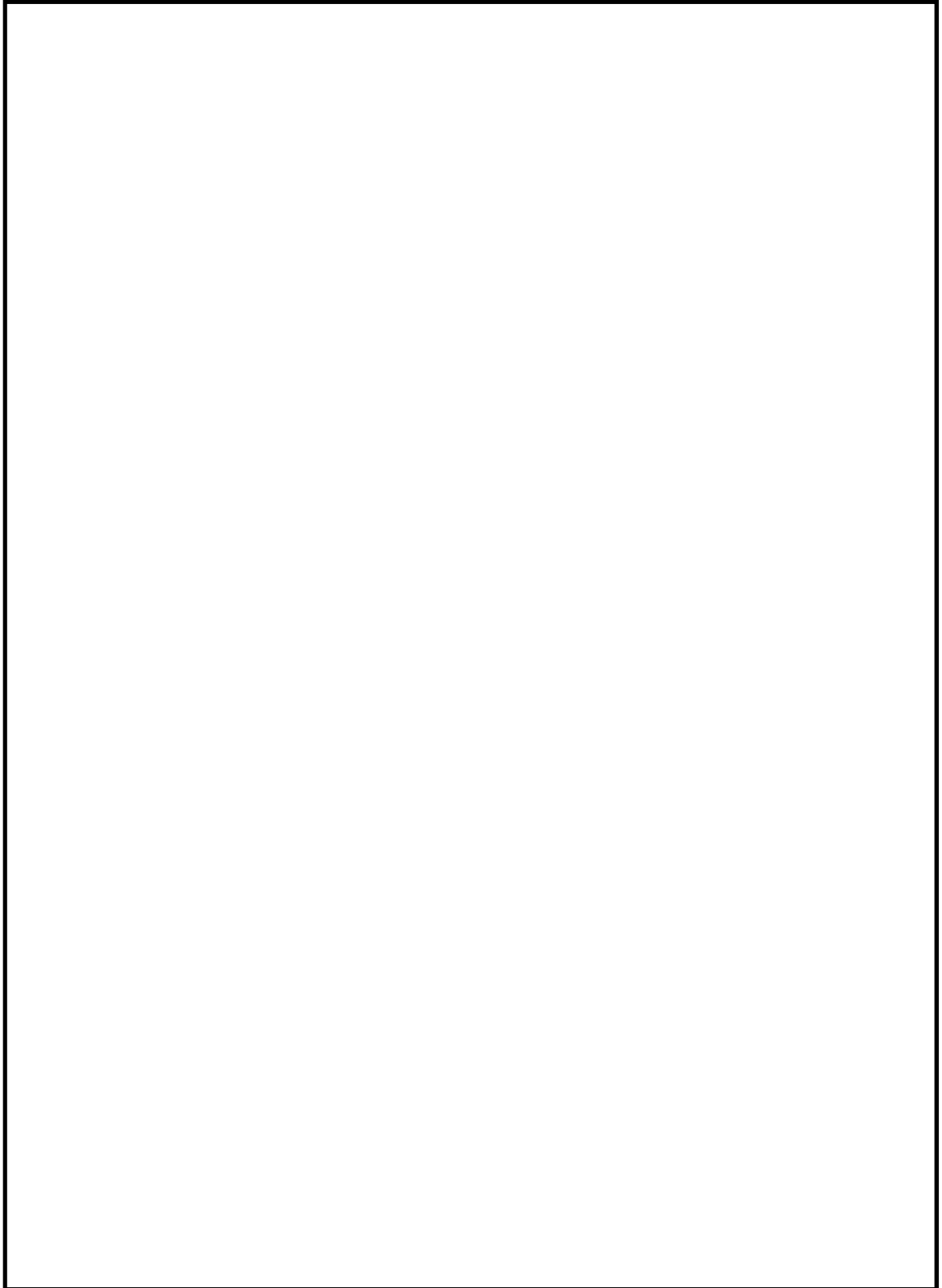


図 3-1 ドライウェルフランジ部の形状及び主要寸法



表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49 相当 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	SGV480*
ボルト	SNCM439 相当 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	

注記 \* : 新 JIS を示す。

#### 4. 強度評価

##### 4.1 強度評価方法

ドライウェルフランジ部の応力計算は、設計・建設規格 PVE-3700 を適用し、J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」に基づいて行う。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容限界

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び共用状態

ドライウェルフランジ部の荷重の組合せ及び共用状態を表 4-1 に示す。詳細な荷重の組合せは、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組合せる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

###### 4.2.2 許容限界

ドライウェルフランジ部の許容限界を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウェルフランジ部の許容応力評価条件として重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。また、使用材料のうち、重大事故等対処設備の評価に用いる許容応力を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表4-1 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	荷重の組合せ	供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウェルフランジ部	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA}$	$E^*$

D : 死荷重

$P_{SA}$  : 運転状態Vにおける圧力荷重

\* : 供用状態Eとして、供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-2 フランジの許容限界

供用状態	荷重の組合せ	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
$E^*$	$D + P_{SA}$	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

\* : 供用状態Eとして、供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-3 ボルトの許容限界

供用状態	荷重の組合せ	平均引張応力	平均引張応力+曲げ応力
$E^*$	$D + P_{SA}$	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

\* : 供用状態Eとして、供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

材料	温度条件 (°C)		$S_u$ (MPa)
SGV480	周辺環境温度	200	422
SNCM439	周辺環境温度	200	865

表4-5 フランジの許容応力（重大事故等対処設備）

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	供用状態	許容応力	
			一次応力	
			$P_m$	$P_L + P_b$
SGV480	200	E	281	422

表4-6 ボルトの許容応力（重大事故等対処設備）

(単位：MPa)

材料	温度 (°C)	供用状態	許容応力	
			一次応力	
			平均引張応力	平均引張応力 + 曲げ応力
SNCM439	200	E	576	865*

注記 \*：曲げ応力が発生しないため評価は省略する。

4.2.4 評価条件（重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度）

- (1) 内圧  $P_D$       620 kPa
- (2) 温度  $T_D$       200 °C

### 4.3 計算方法

ドライウェルフランジ部の応力計算は、設計・建設規格 PVE-3700 を適用し、J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」に基づいて行う。

#### 4.3.1 応力算出に係る構成部材

##### 4.3.1.1 ボルト

- |               |       |  |
|---------------|-------|--|
| (1) 呼び        |       |  |
| (2) シャフト径     | d     |  |
| (3) 数量        | n     |  |
| (4) ボルトの有効断面積 | $A_b$ |  |

$$A_b = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \text{[ ] mm}^2$$

##### 4.3.1.2 ガasket

- |                 |   |                   |
|-----------------|---|-------------------|
| (1) 材料          |   | 布又は石綿を多く含まないゴムシート |
| (2) ガasket係数    | m |                   |
| (3) 最小設計締付圧力    | y |                   |
| (4) シート面の接触幅    | w |                   |
| (5) ガasket接触面の幅 | N |                   |
| (6) ガasketの厚さ   | T |                   |
| (7) ガasket座の基本幅 | b |                   |

$$b_o = \frac{(w + T)}{2} = \text{[ ] mm}$$

$$b_{o \max} = \frac{(w + N)}{4} = \text{[ ] mm}$$

$$b_{o \max} < b_o \text{ なので } b_o = b_{o \max} = \text{[ ] mm}$$

$$b_o > 6.35 \text{ mm の場合 } b = \text{[ ] mm}$$

### 4.3.2 ドライウェルフランジ部の計算応力

#### 4.3.2.1 荷重

- (1) 内圧によってフランジに作用する荷重

$$H = 0.785 \cdot G^2 \cdot P$$

- (2) 内圧によってフランジの内径面に作用する荷重

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot P$$

- (3) 内圧によって、フランジに作用する荷重とフランジの内径面に作用する荷重の差

$$H_T = H - H_D$$

- (4) ガスケット荷重

$$H_G = 2 \cdot b \times 3.14 \cdot m \cdot P \cdot (G_1 + G_2)$$

#### 4.3.2.2 長さ

- (1) ボルト穴の中心円から  $H_D$  の作用点までの半径方向の距離

$$h_D = \frac{C - (B + g_1)}{2}$$

- (2) ボルト穴の中心円から  $H_T$  の作用点までの半径方向の距離

$$h_T = \frac{C - (B + G)/2}{2}$$

- (3) ボルト穴の中心円から  $H_G$  の作用点までの半径方向の距離

$$h_G = \frac{C - (G_1 + G_2)/2}{2}$$

#### 4.3.2.3 モーメントの計算

- (1) 内圧によってフランジ内径面に加わる荷重によるモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

- (2) 内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重の差によるモーメント

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

- (3) ガスケット荷重によるモーメント

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

- (4) 内圧荷重とガスケット荷重によるモーメント

$$M_0 = M_D + M_T + M_G$$

## 4.3.2.4 ボルトに作用する荷重

$$W = \frac{M_0}{h_D} \quad \boxed{\phantom{000000}}$$

## 4.3.2.5 応力計算

(1) フランジの軸方向応力

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_0}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

(2) フランジの径方向応力

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_0}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

(3) フランジの周方向応力

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

(4) ボルトの引張応力

$$\sigma_b = \frac{W}{A_b}$$

## 4.4 応力の評価

4.3.2.5 応力計算で求めた応力は表 4-5 及び表 4-6 に記載される値以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェルフランジ部の重大事故等対処設備としての強度評価結果を以下に示す。  
 発生値は許容値を満足している。

(1) 供用状態Eに対する評価

供用状態Eに対する応力評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 フランジの供用状態Eに対する評価結果 (D + P<sub>SA</sub>)

(単位 : MPa)

材料	項目	記号	発生応力	許容値
SGV480	一次局部膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ (軸方向応力)	$\sigma_H$	185	422
	一次一般膜応力強さ (径方向応力)	$\sigma_R$	2	281
	一次一般膜応力強さ (周方向応力)	$\sigma_T$	86	281
	一次一般膜応力強さ (組合せ応力)	$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$	94	281
		$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$	136	281

表 5-2 ボルトの供用状態Eに対する評価結果 (D + P<sub>SA</sub>)

(単位 : MPa)

材料	項目	記号	発生応力	許容値
SNM439	平均引張応力強さ	$\sigma_b$	247	576