

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2
提出年月日	平成30年9月6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
3. 計算条件	6
3.1 形状及び主要寸法	6
3.2 評価範囲	7
3.3 材料	7
3.4 荷重の組合せ及び許容限界	7
4. 荷重条件	9
4.1 評価条件	9
5. 応力計算	10
5.1 応力計算方法	10
5.2 応力算出に係る構成部材	10
5.3 ドライウェルフランジ及びボルトの計算応力	11
6. 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記載する。

## 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>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 2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度」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、圧力の条件による応力等が許容限界に収まることを、「5. 応力計算」にて示す方法にて確認することで実施する。

## 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 2007年9月）
- (2) 日本工業規格 J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—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
$H_b$	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
$h_b$	ボルト穴の中心円から $H_b$ 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	—
$M_b$	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

### 3. 計算条件

#### 3.1 形状及び主要寸法

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。

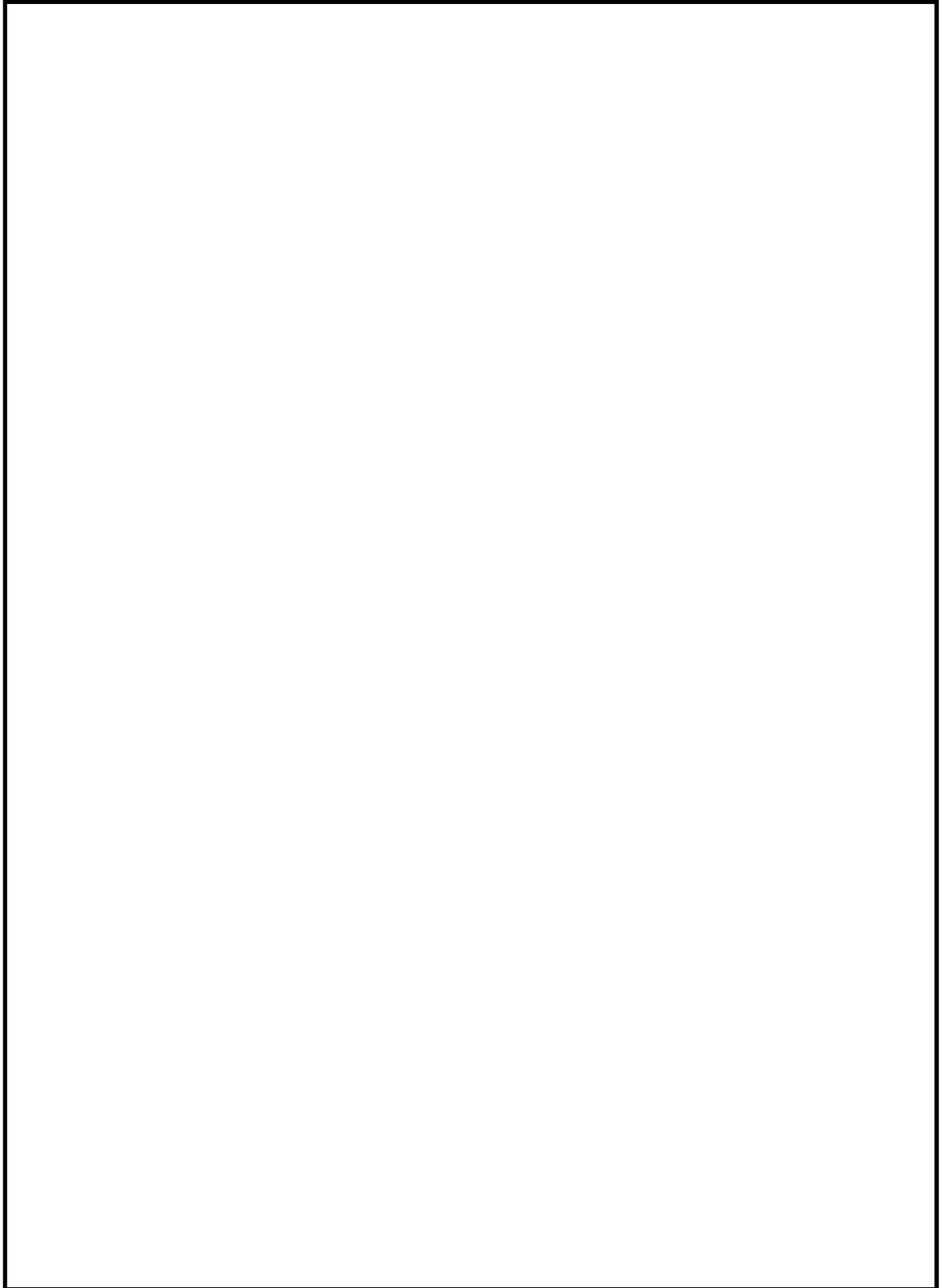


図 3-1 ドライウェルフランジ部の形状及び主要寸法



### 3.2 評価範囲

本計算書における評価範囲は、ドライウェルフランジ及びボルトとする。

### 3.3 材料

使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。

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: 1em; vertical-align: middle;"></span>	SGV480*
ボルト	SNCM439 相当 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 1em; vertical-align: middle;"></span>	

注記 \* : 新 JIS を示す。

### 3.4 荷重の組合せ及び許容限界

ドライウェルフランジ部に対する荷重の組合せ及び供用状態を表 3-2 に、供用状態に対する許容限界を表 3-3 及び表 3-4、許容応力を表 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-2 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	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 (EとしてDの許容限界を用いる)

D : 死荷重

$P_{SA}$  : 運転状態 V における圧力荷重

表 3-3 許容限界(ボルトを除く)

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 (EとしてDの許容 限界を用いる)	$D + P_{SA}$	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

表 3-4 許容限界(ボルト)

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 (EとしてDの許容 限界を用いる)	$D + P_{SA}$	$2/3 S_u$	$1.5 \times 2/3 S_u$

表3-5 許容応力 (重大事故等対処設備)

(単位 : MPa)

材料	供用状態	許容応力	
		一次応力	
		$P_m$	$P_L + P_b$
SGV480	E	281	422

表3-6 ボルトの許容応力 (重大事故等対処設備)

(単位 : MPa)

材料	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
SNM439	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. 荷重条件

##### 4.1 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

## 5. 応力計算

### 5.1 応力計算方法

ドライウエ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。

### 5.2 応力算出に係る構成部材

#### 5.2.1 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  $A_b$

$$A_b = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 =$$

#### 5.2.2 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  $b$

$$b_o = \frac{(w+T)}{2} =$$

$$b_{omax} = \frac{(w+N)}{4} =$$

$$b_{omax} < b_o \text{ なので } b_o = b_{omax} =$$

$$b_o > 6.35 \text{ mm の場合 } b =$$

### 5.3 ドライウェルフランジ及びボルトの計算応力

#### 5.3.1 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

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

#### 5.3.2 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

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

#### 5.3.3 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

$$M_0=M_D+M_T+M_G$$

#### 5.3.4 ボルトに作用する荷重

$$W = \frac{M_0}{h_D} \boxed{\phantom{0000000000}}$$

#### 5.3.5 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

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

6. 評価結果

6.1 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及びボルトの応力評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

評価結果に示すように、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 6-1, 表 6-2 に示す。

表 3-2 に示す荷重の組合せについて記載している。

表 6-1 ドライウェル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 6-2 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
SNCM439	平均引張応力強さ	$\sigma_b$	247	576