

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-781 改2
提出年月日	平成30年9月6日

V-2-3-4-3-3 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性について  
の計算書

## 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	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
3. 計算条件	5
3.1 形状及び主要寸法	5
3.2 材料	5
3.3 荷重の組み合わせ及び許容限界	5
4. 荷重条件	6
4.1 設計条件	6
5. 応力計算	10
5.1 応力評価点	10
5.2 応力計算方法	11
6. 評価結果	13

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、制御棒駆動機構ハウジング（以下「CRDハウジング」という）支持金具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。

CRDハウジング支持金具は設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての耐震評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

CRDハウジング支持金具の構造計画を表 2-1 に示す。

2.

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>・CRDハウジング支持金具は原子炉本体の基礎に支持される。</p>	<p>・CRDハウジング支持金具は鋼製の支持構造物である。</p> <p>・制御棒駆動機構ハウジングが完全に破断またはフランジボルトが破断した場合に、制御棒を含めた駆動機構全体の落下を制限する。</p> <p>・制御棒駆動機構ハウジングの地震時横揺れを防止する。</p>	<p>The diagram illustrates the structural components of the reactor. On the left is a vertical cross-section showing the CRD housing (CRDハウジング) at the top, supported by the reactor core base (原子炉本体基礎). Below this is a restraint beam (レストレイントビーム) and the control rod drive mechanism housing (制御棒駆動機構ハウジング). On the right is a top-down view of the CRD housing, showing its complex, stepped structure. Labels with arrows point to the CRD housing, reactor core base, restraint beam, and control rod drive mechanism housing.</p>

## 2.2 評価方針

CRDハウジング支持金具は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重、荷重の組合せ及びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すCRDハウジング支持金具の部位を踏まえ「5.1 応力評価点」にて設定する箇所において、「4.1 設計条件」で算出した荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5.2 応力計算方法」にて示す方法にて確認する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

## 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (2) 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 (日本電気協会)
- (3) 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 (日本電気協会)
- (4) 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 2007年9月) (以下「設計・建設規格」という。)

## 2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	長さ, ボルト断面積	mm, mm <sup>2</sup>
B	長さ	mm
C	長さ	mm
C <sub>H</sub>	水平震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直震度	—
D	直径, ボルト呼び径	mm
d	ボルト呼び径	mm
F	基準応力, 荷重	MPa, N
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力	MPa
f <sub>p</sub>	許容支圧応力	MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力	MPa
f <sub>t</sub>	許容引張応力	MPa
H	水平方向地震荷重	N
ℓ	長さ	mm
L	長さ	mm
M <sub>H</sub>	水平方向地震による曲げモーメント	N・mm
M <sub>V</sub>	鉛直方向地震による曲げモーメント	N・mm
n	ボルト本数	—
S <sub>d</sub> *	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> により定まる地震力又は静的地震力	—
S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub> により定まる地震力	—
S <sub>yd</sub>	最高使用温度における材料の設計降伏点	MPa
S <sub>yt</sub>	試験温度における材料の設計降伏点	MPa
T <sub>L</sub>	荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重	N
W <sub>D</sub>	死荷重	N
w <sub>D</sub>	死荷重による等分布荷重	N/mm
w <sub>H</sub>	水平方向地震による等分布荷重	N/mm
w <sub>V</sub>	鉛直方向地震による等分布荷重	N/mm
Z <sub>H</sub>	断面係数	mm <sup>3</sup>
Z <sub>V</sub>	断面係数	mm <sup>3</sup>
σ <sub>b</sub>	曲げ応力	MPa
σ <sub>t</sub>	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

### 3. 計算条件

#### 3.1 形状及び主要寸法

CRDハウジング支持金具各部の形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

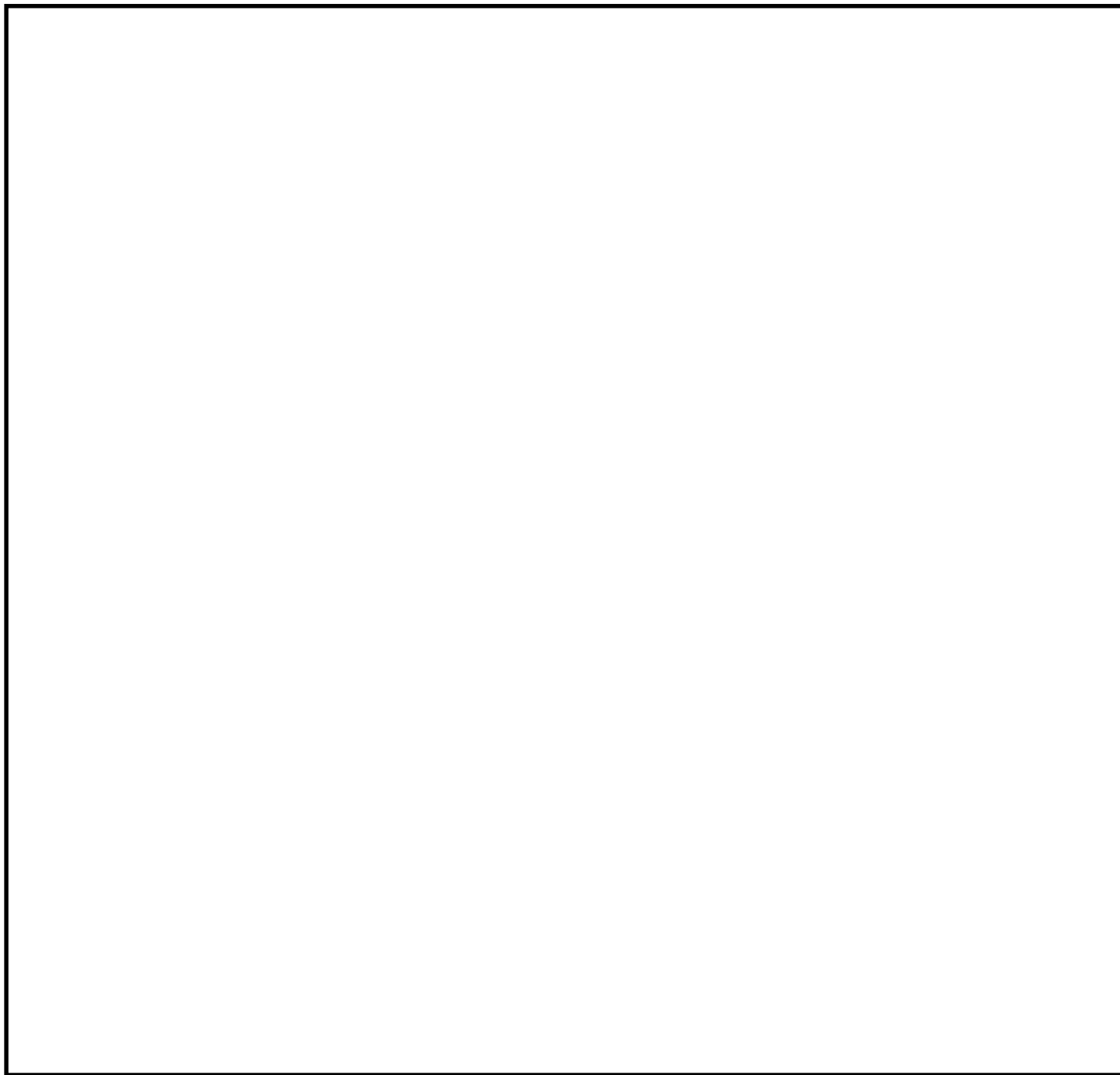


図 3-1 CRDハウジング支持金具の形状及び主要寸法 (単位 : mm)

### 3.2 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
レストレントビーム	SM41B	SM400B*
レストレントビーム結合ボルト	F10T	

注記 \* : 新 JIS を示す。

### 3.3 荷重の組合せ及び許容限界

地震荷重との組合せの評価として、荷重の組合せ及び許容応力状態を表 3-2 に示す。許容応力状態に対する許容限界について表 3-3 に、各材料の許容応力状態に対する許容限界を表 3-4 に示す。

表3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 付属構造 物	CRDハ ウジング 支持金具	S	-*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

[記号の説明]

$P_D$  : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重各許容応力状態における外圧

$D$  : 死荷重

$M_D$  : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

$S_d^*$  : 弾性設計用地震動  $S_d$  により定まる地震力又は静的地震力

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  により定まる地震力

注記 \* : 耐震 S クラス設備の直接支持構造物として、その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を適用する。



表3-3 許容限界（その他の支持構造物）

（設計基準対象施設）

許容応力 状 態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
	一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈*5	引張	せん断	
Ⅲ <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub>	1.5・f <sub>s</sub>	1.5・f <sub>c</sub>	1.5・f <sub>b</sub>	1.5・f <sub>p</sub>	3・f <sub>t</sub>	3・f <sub>s</sub> *6	3・f <sub>b</sub> *7	1.5・f <sub>p</sub> *8	1.5・f <sub>b</sub> , 1.5・f <sub>s</sub> *7, *8	1.5・f <sub>t</sub>	1.5・f <sub>s</sub>	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$
Ⅳ <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *	1.5・f <sub>c</sub> *	1.5・f <sub>b</sub> *	1.5・f <sub>p</sub> *	S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみに よる応力振幅について評価 する。			1.5・f <sub>p</sub> *8	又は 1.5・f <sub>c</sub>	1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

4

注記\*1：「鋼構造設計規準 SI 単位版」（2002年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

\*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

\*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を一次引張応力に対しては f<sub>t</sub>，一次せん断応力に対しては f<sub>s</sub>として，またⅣ<sub>A</sub>S→Ⅲ<sub>A</sub>Sとして応力評価を行う。

\*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5・f<sub>s</sub>とする。

\*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f<sub>b</sub>とする。

\*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表3-4 許容応力状態に対する許容応力

(単位：MPa)

材料	許容応力 状態	基準応力 F	許容応力		
			引張応力	曲げ応力	せん断応力
SM400B	Ⅲ <sub>A</sub> S	201	—	201	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	241	—	241	—
F10T	Ⅲ <sub>A</sub> S	700	525*	—	404
	Ⅳ <sub>A</sub> S	700	394*	—	404

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

#### 4. 荷重条件

##### 4.1 設計荷重

###### (1) 死荷重

レストレントビームの死荷重 $W_D$

--

###### (2) 地震荷重

CRDハウジング支持金具に加わる地震荷重について、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」において計算された計算結果を用いる。

レストレントビームの弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力及び基準地震動 $S_s$ による水平方向地震荷重を表 4-1 に，レストレントビームの設計震度を表 4-2 に示す。

表 4-1 弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的地震力及び基準地震動 $S_s$ による水平方向地震荷重

地震荷重	$S_d^*$	$S_s$
水平方向地震荷重 $H$ (N)		

表 4-2 設計震度

方向	$S_d^*$	$S_s$
鉛直方向 $C_V$		

5. 応力計算

5.1 応力評価点

CRDハウジング支持金具の耐震評価は、「5.2 応力計算方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるレストレントビーム一般部、端部及びレストレントビーム結合ボルトについて実施する。

応力評価点を表 5-1 及び図 5-1 に示す。

表 5-1 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
A	レストレントビーム一般部*
B	レストレントビーム端部*
C	レストレントビーム結合ボルト

注記 \* : 曲げ荷重が支配的となるため、曲げ応力のみの評価とする。

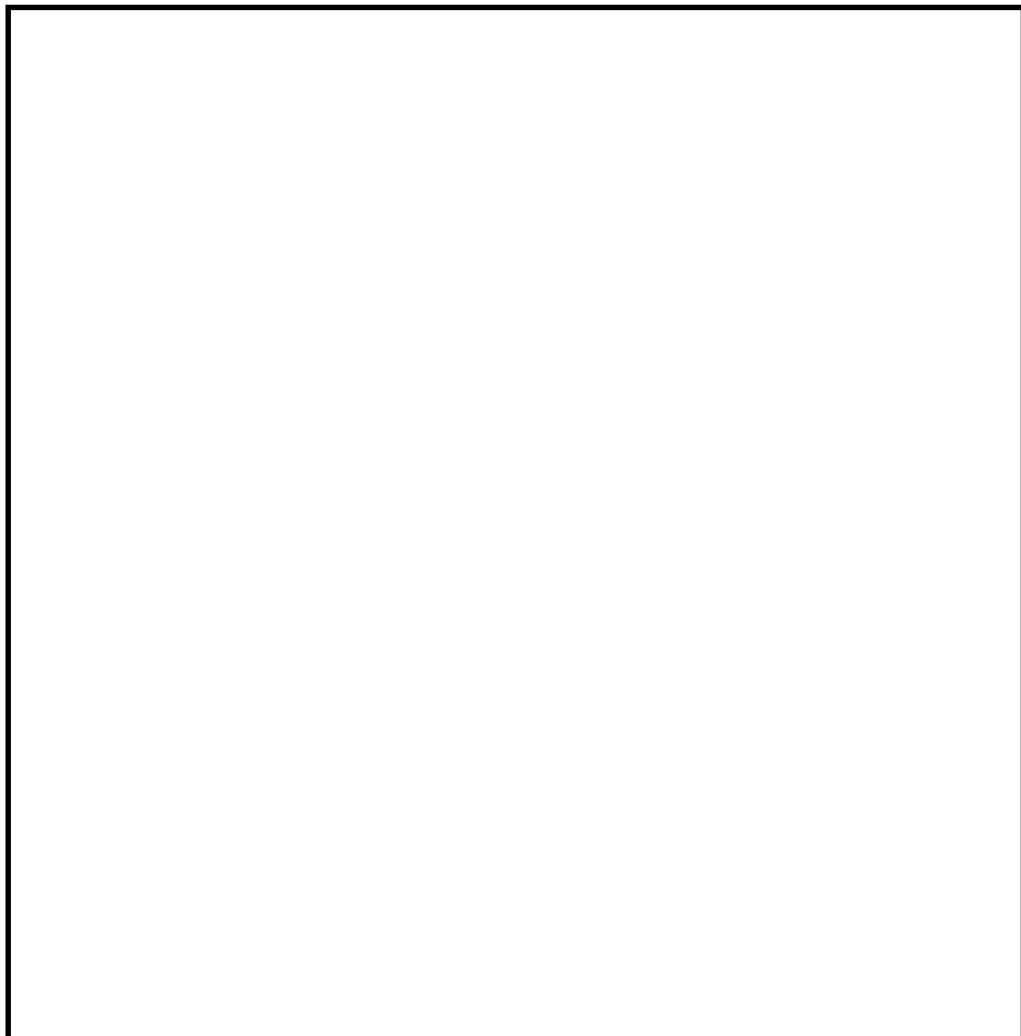


図 5-1 応力評価点 (単位 : mm)

## 5.2 応力計算方法

4章で示した荷重によりレストレントビームに生じる応力は、次式により計算する。

### (1) 荷重

図 5-2 に示す両端支持ばりとして計算する。自重による鉛直荷重も考慮する。

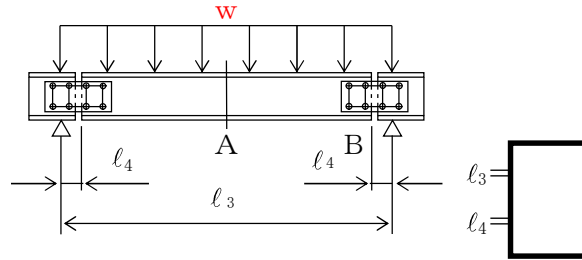


図 5-2 計算モデル (単位 : mm)

#### a. 分布荷重

(a) 死荷重  $W_D$  による等分布荷重

$$w_D = \frac{W_D}{L}$$

ここで、

$L$  : レストレントビーム全長 =

(b) 水平方向地震による等分布荷重

$$w_H = w_1$$

ここで、

$w_1$  : 水平方向地震荷重  $H$  による等分布荷重

$$w_1 = \frac{H}{l_3}$$

(c) 鉛直方向地震による等分布荷重

$$w_V = w_D \cdot (1 + C_V)$$

#### b. A点での曲げモーメント

(a) 水平方向地震によるモーメント

$$M_{HA} = \frac{w_H \cdot l_3^2}{8}$$

(b) 鉛直方向地震によるモーメント

$$M_{VA} = \frac{w_V \cdot l_3^2}{8}$$

#### c. B点での曲げモーメント

(a) 水平方向地震によるモーメント

$$M_{HB} = \frac{w_H \cdot l_4}{2} \cdot (l_3 - l_4)$$

(b) 鉛直地震によるモーメント

$$M_{VB} = \frac{w_v \cdot \ell_4}{2} \cdot (\ell_3 - \ell_4)$$

(2) 応力

a. A点での曲げ応力

$$\sigma_{bA} = \frac{M_{HA}}{Z_{HA}} + \frac{M_{VA}}{Z_{VA}}$$

ここで,

$$Z_{HA} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$Z_{VA} = \boxed{\phantom{000000}}$$

b. B点での曲げ応力

$$\sigma_{bB} = \frac{M_{HB}}{Z_{HB}} + \frac{M_{VB}}{Z_{VB}}$$

ここで,

$$Z_{HB} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$Z_{VB} = \boxed{\phantom{000000}}$$

c. ボルトの引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_1}{n_1 \cdot A}$$

ここで,

$F_1$  : ボルトの引張力

$$F_1 = w_v \cdot \ell_3$$

$d$  : ボルトの呼び径 =  $\boxed{\phantom{0000}}$

$A$  : ボルト断面積 =  $\pi/4 \cdot d^2 = \boxed{\phantom{00000000}}$

$n_1$  : 引張を受けるボルト本数 =  $\boxed{\phantom{0000}}$

d. ボルトのせん断応力

$$\tau = \frac{F_2}{n_2 \cdot A}$$

ここで,

$F_2$  : ボルトのせん断力

$$F_2 = w_H \cdot \ell_3 / 2$$

$n_2$  : せん断を受けるボルト本数 =  $\boxed{\phantom{0000}}$

## 6. 評価結果

CRDハウジング支持金具の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

### (1) 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する評価

許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する応力評価結果を表 6-1 に示す。

表 3-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_d^*$ の評価について記載している。

### (2) 許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに対する評価

許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに対する応力評価結果を表 6-2 に示す。

表 3-2 に示す荷重の組合せのうち、 $D + P_D + M_D + S_s$ の評価について記載している。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する応力評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>d</sub>\*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	備考
				発生値	許容値		
				(MPa)	(MPa)		
CRDハウジング 支持金具	A	レストレントビーム一般部	曲げ応力強さ	91	201	○	
	B	レストレントビーム端部	曲げ応力強さ	54	201	○	
	C	レストレントビーム結合ボルト	引張応力強さ	2	525	○	
			せん断応力強さ	128	404	○	



表 6-2 許容応力状態IV<sub>A</sub>Sに対する応力評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV <sub>A</sub> S		判定	備考
				発生値	許容値		
				(MPa)	(MPa)		
CRDハウジング 支持金具	A	レストレントビーム一般部	曲げ応力強さ	149	241	○	
	B	レストレントビーム端部	曲げ応力強さ	89	241	○	
	C	レストレントビーム結合ボルト	引張応力強さ	3	394	○	
			せん断応力強さ	213	404	○	