

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1 |
| 提出年月日 | 平成30年8月23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. 構造説明 | 2 |
| 2.1 構造計画 | 2 |
| 2.2 評価方針 | 3 |
| 3. 形状及び主要寸法 | 4 |
| 4. 設計条件 | 5 |
| 4.1 設計荷重 | 5 |
| 4.2 材料及び許容応力 | 6 |
| 5. 応力計算 | 9 |
| 5.1 応力評価点 | 9 |
| 5.2 応力計算方法 | 10 |
| 6. 評価結果 | 12 |

1. 概要

本計算書は、「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。その耐震評価はCRDハウジング支持金具の応力評価により行う。

CRDハウジング支持金具は設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に分類され、以下、基準地震動の策定に伴う耐震評価を行う。

2. 構造説明

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。

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>・制御棒駆動機構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>・制御棒駆動機構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>CRDハウジング支持金具</p> |

2.2 評価方針

CRDハウジング支持金具は、原子炉圧力容器附属構造物として地震荷重に対する機能維持評価を行う。なお、強度評価部位はレストレントビーム及びレストレントビームボルトとする。

また、設計荷重として、地震時の鉛直荷重、水平地震荷重とし、発生応力が許容応力を下回ることにより、地震荷重に対する機能維持を確認する。許容応力は、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 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月）による。

3. 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。

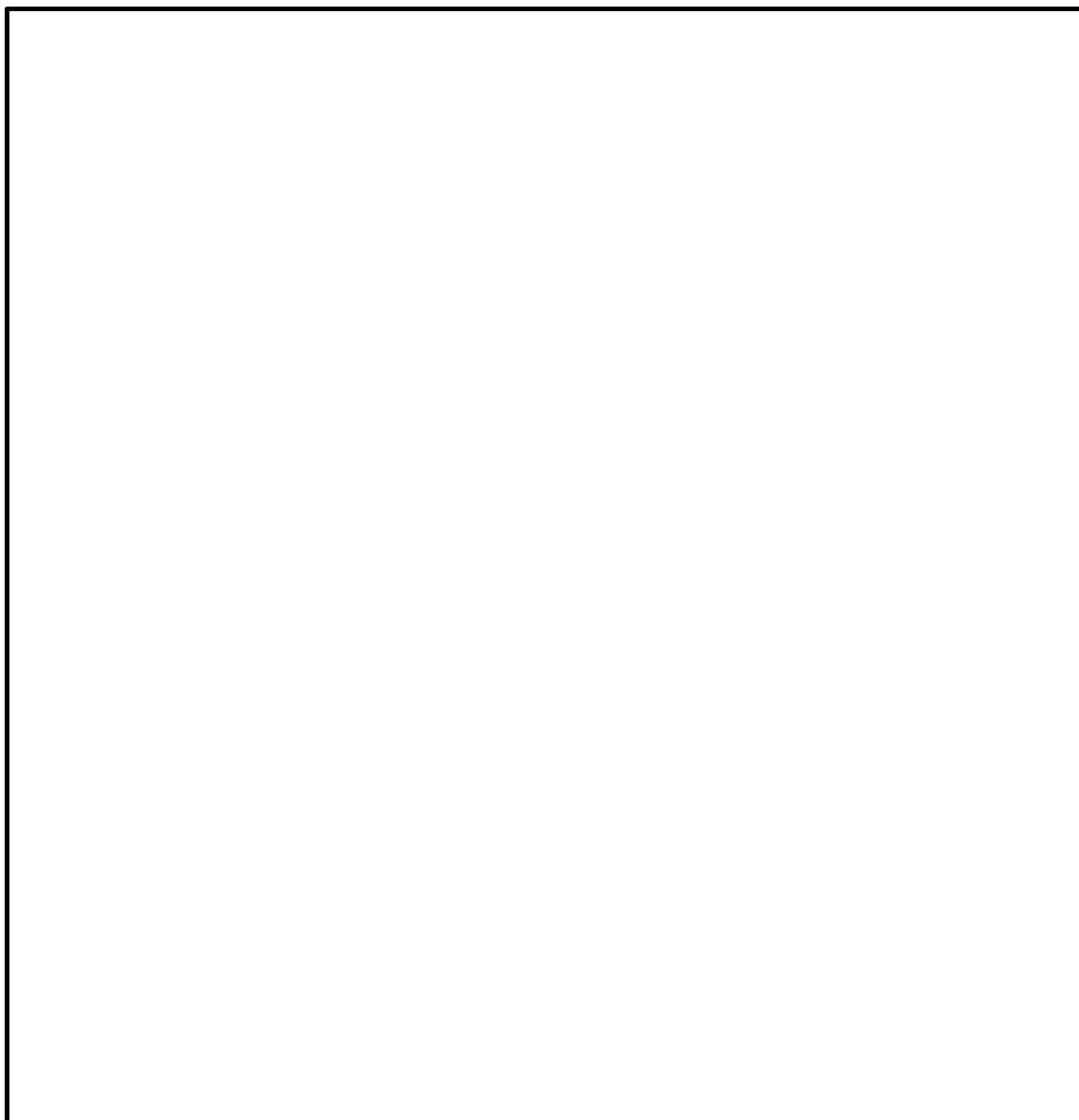


図3-1 CRDハウジング支持金具の形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 設計条件

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設計震度を表4-1に，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 によるばね反力による水平方向地震荷重を表4-2に示す。

表4-1 設計震度

| 方向 | S_d^* | S_s |
|------------|---------|-------|
| 鉛直方向 C_v | | |
| 水平方向 C_H | | |

表4-2 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 によるばね反力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 $H(N)$ | | |

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表 4-3 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 *：現行の JIS を示す。

(2) 荷重の組合せ及び許容応力

基準地震動の策定に伴う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 4-4 に示す。許容応力状態に対する許容限界について表 4-5 に、各材料の許容応力状態に対する許容応力を表 4-6 に示す。

表4-4 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 _A S |
| | | | | | $D + P_D + M_D + S_s$ | IV _A S |

表4-5 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 _A S | 1.5・f _t | 1.5・f _s | 1.5・f _c | 1.5・f _b | 1.5・f _p | 3・f _t | 3・f _s *6 | 3・f _b *7 | 1.5・f _p *8 | 1.5・f _b , 1.5・f _s *7,*8 | 1.5・f _t | 1.5・f _s | $T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$ |
| Ⅳ _A S | 1.5・f _t * | 1.5・f _s * | 1.5・f _c * | 1.5・f _b * | 1.5・f _p * | S _d 又はS _s 地震動のみに よる応力振幅について評価 する。 | | | 1.5・f _p *8 | 又は 1.5・f _c | 1.5・f _t * | 1.5・f _s * | $T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$ |

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_ASの許容応力を一次引張応力に対しては f_t，一次せん断応力に対しては f_sとして，またⅣ_AS→Ⅲ_AS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_sとする。

*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b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4-6 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 _A S | 201 | — | 201 | — |
| | Ⅳ _A S | 241 | — | 241 | — |
| F10T | Ⅲ _A S | 700 | 525 | — | 404 |
| | Ⅳ _A S | | 394 | — | 404 |

5. 応力計算

5.1 応力評価点

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ボルト |

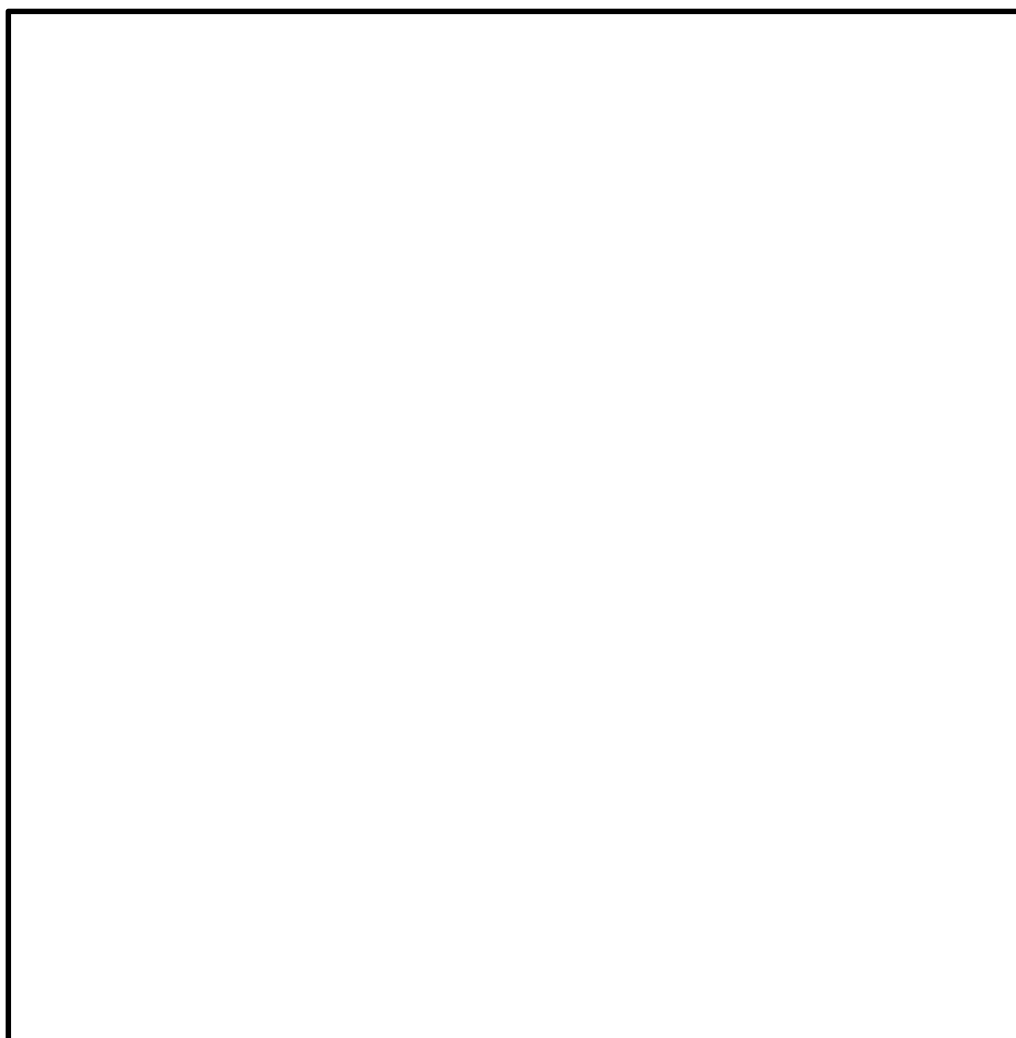


図 5-1 応力評価点 (単位: mm)

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。

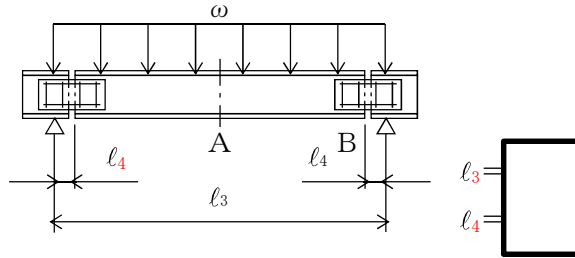


図5-2 計算モデル (単位: mm)

a. 分布荷重

(a) 死荷重 W_D による等分布荷重

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

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

$$\omega_H = \omega_1$$

ここで,

ω_1 : 水平方向地震荷重 H による等分布荷重

$$\omega_1 = \frac{H}{l_3}$$

(c) 鉛直方向地震による等分布荷重

$$\omega_V = \omega_D \cdot (1 + C_V)$$

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

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

(b) 鉛直方向地震によるモーメント

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

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

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

(b) 鉛直地震によるモーメント

$$M_{VB} = \frac{\omega_v l_4}{2} (l_3 - l_4)$$

(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,

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

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

b. B点での曲げ応力

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

ここで,

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

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

c. ボルトの引張応力

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

ここで,

F_1 : ボルトの引張力

$$F_1 = \omega_v \cdot l_3$$

d : ボルトの呼び径 = $\boxed{}$

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

n_1 : 引張を受けるボルト本数 = $\boxed{}$

d. ボルトのせん断応力

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

ここで,

F_2 : ボルトのせん断力

$$F_2 = \omega_H \cdot l_3 / 2$$

n_2 : せん断を受けるボルト本数 = $\boxed{}$

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。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅳ_ASに対する応力評価結果を表6-1に示す。

表4-4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。

(2) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価

許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果を表6-2に示す。

表4-4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。

表 6-1 許容応力状態IV_ASに対する応力評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

| 評価対象設備 | 評価部位 | | 応力分類 | IV _A S | | 判定 | 備考 |
|------------------|------|--------------|-------|-------------------|-------|----|----|
| | | | | 発生値 | 評価基準値 | | |
| | | | | (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 | 149 | 241 | ○ | |
| | B | レストレントビーム端部 | 曲げ応力 | 89 | 241 | ○ | |
| | C | レストレントビームボルト | 引張応力 | 3 | 394 | ○ | |
| | | | せん断応力 | 213 | 404 | ○ | |

表 6-2 許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*)

| 評価対象設備 | 評価部位 | | 応力分類 | Ⅲ _A S | | 判定 | 備考 |
|------------------|------|--------------|-------|------------------|-------|----|----|
| | | | | 発生値 | 評価基準値 | | |
| | | | | (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 | 91 | 201 | ○ | |
| | B | レストレントビーム端部 | 曲げ応力 | 54 | 201 | ○ | |
| | C | レストレントビームボルト | 引張応力 | 2 | 525 | ○ | |
| | | | せん断応力 | 128 | 404 | ○ | |