

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-779 改2
提出年月日	平成30年8月23日

V-2-3-4-3-2 原子炉格納容器スタビライザ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	7
5. 応力計算	8
5.1 応力評価点	8
5.2 応力計算方法	9
6. 評価結果	11

1. 概要

本計算書は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の検討方針」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、原子炉格納容器スタビライザ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。その耐震評価は原子炉格納容器スタビライザの応力評価により行う。

原子炉格納容器スタビライザ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示す。

2. 構造説明

2.1 構造計画

原子炉格納容器スタビライザの構造計画を表 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	
原子炉遮蔽壁に溶接される。	原子炉遮蔽壁外周に □ 等間隔に配置されている。	

2.2 評価方針

原子炉格納容器スタビライザの応力評価は，東海第二発電所 昭和 50 年 10 月 6 日付け 50 資庁第 8314 号（既工認）にて認可された実績のある手法を適用する。

3. 形状及び主要寸法

原子炉格納容器スタビライザの形状及び主要寸法を図 3-1 に示す。

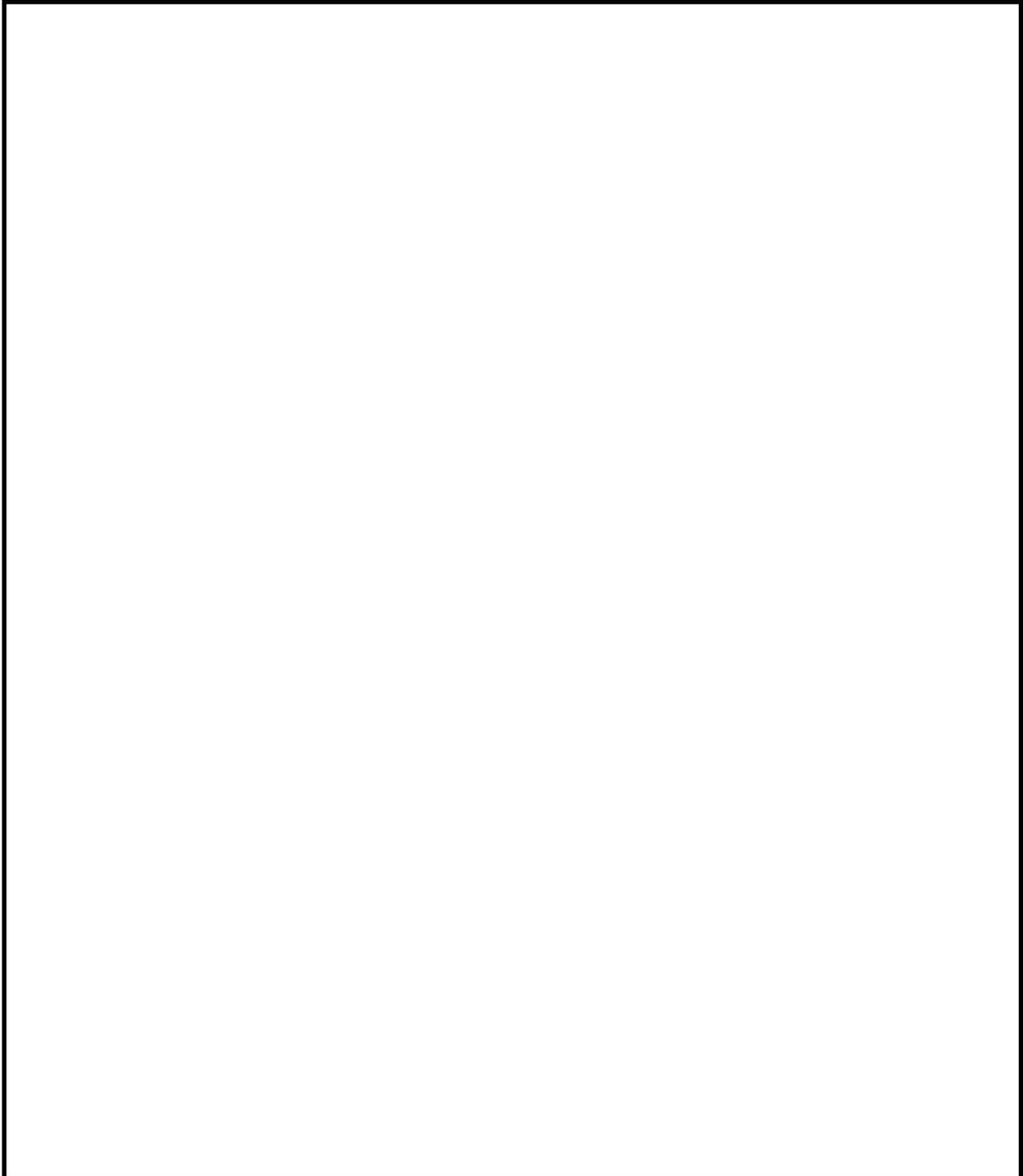


図 3-1 原子炉格納容器スタビライザの形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 設計条件

4.1 設計荷重

- (1) 最高使用温度 T_D 171 °C
- (2) 死荷重 W_D 2.618×10^4 N
- (3) 地震荷重

スタビライザの設計震度について、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した応答スペクトルの作成方針に基づき、作成した設計用床応答曲線を用いる。スタビライザに加わる鉛直方向設計震度を表 4-1 に、水平方向地震荷重を表 4-2 に示す。

表 4-1 鉛直方向設計震度

方向	S_d	S_s
鉛直方向 C_v	[]	

表 4-2 弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による水平方向地震荷重

(単位 : N)

地震荷重	S_d	S_s
水平方向地震荷重 W_H	[]	

a. 原子炉格納容器スタビライザ 1 本に作用する荷重

スタビライザと水平方向地震荷重の作用方向の関係を図 4-1 に示す。

水平方向地震荷重が加わる場合の各位置における荷重の分配は次式で示される。

$$W_1 = \frac{1}{4} \cdot W_H$$

$$F = F_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{W_H}{2 \sin \theta_1}$$

ここで、

$$\theta_1 = []$$

荷重の計算結果を表 4-3 に示す。

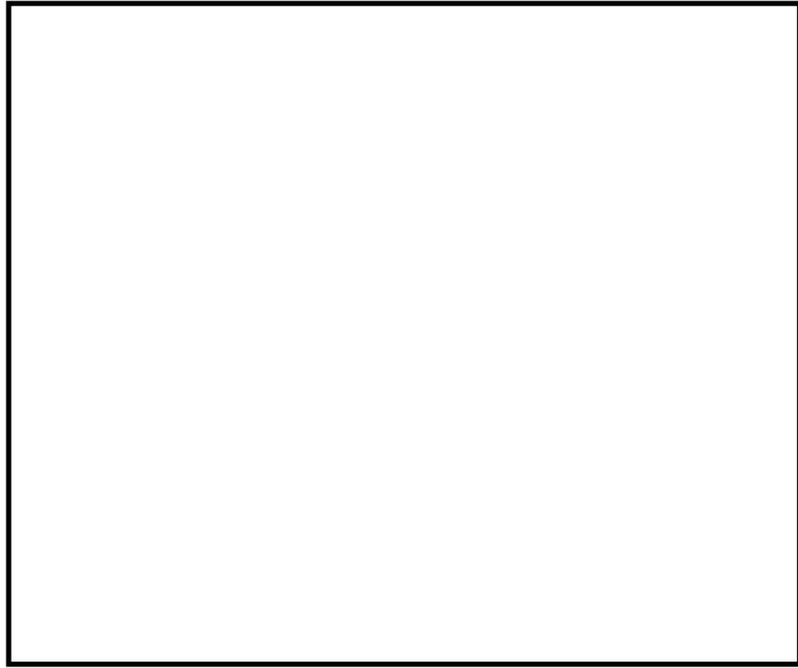


図 4-1 水平荷重の分配

表 4-3 原子炉格納容器スタビライザ 1 本に作用する荷重
(単位 : N)

荷重	S_d	S_s
F		

4.2 材料及び許容応力

(1) 材料

表4-4 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
フランジ		
トラス		
フランジボルト		

注記 * : 新 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4-5に示す。各材料の許容応力状態に対する許容応力を表4-6に、許容応力状態に対する許容限界について表4-7に示す。

表4-5 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	原子炉格納容器 スタビライザ	S	-	$D + P + M + S_d$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S

表4-6 許容応力

(単位 : MPa)

材料	許容応力状態	基準応力 F	許容応力				
			引張り f_t	曲げ f_b	せん断 f_s	圧縮 f_c	組合せ f_t
SM400B	Ⅲ _A S	176	176	-	101	-	176
	Ⅳ _A S	211	211	-	122	-	211
STKS1B	Ⅲ _A S	384	384	384	221	303	384
	Ⅳ _A S	384	384	384	221	303	384
SNB24-1	Ⅲ _A S	713	534	-	-	-	-
	Ⅳ _A S	713	534	-	-	-	-

表4-7 許容応力（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	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ ^{*6}	$3 \cdot f_b$ ^{*7}	$1.5 \cdot f_p$ ^{*8}	$1.5 \cdot f_b$ ^{*7, *8}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみに} \\ \text{よる応力振幅について評価} \\ \text{する。} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p^*$ ^{*8}	$1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

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っては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ 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

5. 応力計算

5.1 応力評価点

応力評価点を表 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
P 1	フランジとトラスの取付部
P 2	トラス
P 3	トラスと原子炉遮蔽壁との取付部
P 4	フランジボルト

5.2 応力計算方法

(1) フランジとトラスの取付部 (応力評価点 P 1)

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

ここで,

$$A = 4.521 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで,

$$A = 1.061 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

c. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(2) トラス (応力評価点 P 2)

a. 引張及び圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A_p} \quad (\text{引張側})$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A_p} \quad (\text{圧縮側})$$

ここで,

$$A_p = 3.588 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

b. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_p} = \frac{(1 + C_v) W_D \cdot \ell}{Z_p}$$

ここで,

$$\ell = 2745 \text{ mm}$$

$$Z_p = 2.613 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

c. せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_p} = \frac{(1 + C_v) W_D}{A_p}$$

ここで,

$$A_p = 3.588 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

d. 組合せ応力

(a) 垂直応力とせん断応力の組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{引張側})$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{圧縮側})$$

- (b) 圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

- (c) 引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

- (3) トラスと原子炉遮蔽壁との取付部 (応力評価点 P 3)

- a. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで,

$$A = 7.205 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

- b. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} = \frac{(1 + C_v) W_D}{A}$$

ここで,

$$A = 7.205 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

- c. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- (4) フランジボルト (応力評価点 P 4)

- a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

ここで,

n : フランジボルト本数 = 8 本

D : 呼び径 = 42 mm

A : 呼び径断面積 = $\pi / 4 \cdot D^2 \cdot n = 1.108 \times 10^4 \text{ mm}^2$

6. 評価結果

原子炉格納容器スタビライザの設計基準対象施設として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 + M + 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 + M + S_d の評価について記載している。

表 6-1(1) 許容応力状態IV_ASに対する応力評価結果 (D + P + M + 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)		
原子炉格納容器 スタビライザ	P 1	フランジとトラスの取付部	引張応力	125	211	○	
			せん断応力	54	122	○	
			組合せ応力	157	211	○	
	P 2	トラス	引張応力	158	384	○	
			曲げ応力	155	384	○	
			せん断応力	4	221	○	
			圧縮応力	158	303	○	
	P 3	トラスと原子炉遮蔽壁との 取付部	組合せ応力	313	384	○	
			引張応力	2	384	○	
			せん断応力	79	221	○	
	P 4	フランジボルト	引張応力	137	384	○	
			引張応力	509	534	○	

表 6-1(2) 許容応力状態IV_ASに対する応力評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		荷重	評価式*1, *2	計算値		判定	備考
原子炉格納容器 スタビライザ	P 2	トラス	圧縮力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c\sigma_b}{f_b}$	0.925	≦1	○	
				$\frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t}$	-0.008	≦1	○	
			引張力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t}$	0.816	≦1	○	
				$\frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b}$	-0.008	≦1	○	

注記 *1: 設計・建設規格 SSB-3121.1(6)項より。

*2: 記号は以下のとおり。

f_c: 許容圧縮応力

f_b: 許容曲げ応力

f_t: 許容引張応力

σ_c: 平均圧縮応力

cσ_b: 圧縮側曲げ応力

tσ_b: 引張側曲げ応力

σ_t: 平均引張応力

表 6-2(1) 許容応力状態Ⅲ_ASに対する応力評価結果 (D + P + M + 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)		
原子炉格納容器 スタビライザ	P 1	フランジとトラスの取付部	引張応力	107	176	○	
			せん断応力	46	101	○	
			組合せ応力	134	176	○	
	P 2	トラス	引張応力	135	384	○	
			曲げ応力	143	384	○	
			せん断応力	4	221	○	
			圧縮応力	135	303	○	
			組合せ応力	278	384	○	
	P 3	トラスと原子炉遮蔽壁との 取付部	引張応力	2	384	○	
			せん断応力	67	221	○	
			組合せ応力	116	384	○	
	P 4	フランジボルト	引張応力	435	534	○	

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

評価対象設備	評価部位		荷重	評価式*1, *2	計算値		判定	備考
原子炉格納容器 スタビライザ	P 2	トラス	圧縮力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_c + c\sigma_b}{f_c + f_b}$	0.818	≦1	○	
				$\frac{t\sigma_b - \sigma_c}{f_t}$	0.021	≦1	○	
			引張力と 曲げモーメント	$\frac{\sigma_t + t\sigma_b}{f_t}$	0.724	≦1	○	
				$\frac{c\sigma_b - \sigma_t}{f_b}$	0.021	≦1	○	

注記 *1: 設計・建設規格 SSB-3121.1(6)項より。

*2: 記号は以下のとおり。

f_c : 許容圧縮応力

f_b : 許容曲げ応力

f_t : 許容引張応力

σ_c : 平均圧縮応力

$c\sigma_b$: 圧縮側曲げ応力

$t\sigma_b$: 引張側曲げ応力

σ_t : 平均引張応力