

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-013-08 改 01
提出年月日	2022年10月7日

VI-3-別添 1-8 海水ストレーナの強度計算書

2022年10月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
3.4 許容限界	8
3.5 評価方法	9
4. 評価条件	10
5. 強度評価結果	11

## 1. 概要

本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉補機海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ（以下「海水ストレーナ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、海水ストレーナの海水中の固形物を除去する機能を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえて、海水ストレーナの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

### 2.1 位置

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、海水ストレーナは、屋外の取水槽循環水ポンプエリアに設置する。取水槽循環水ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

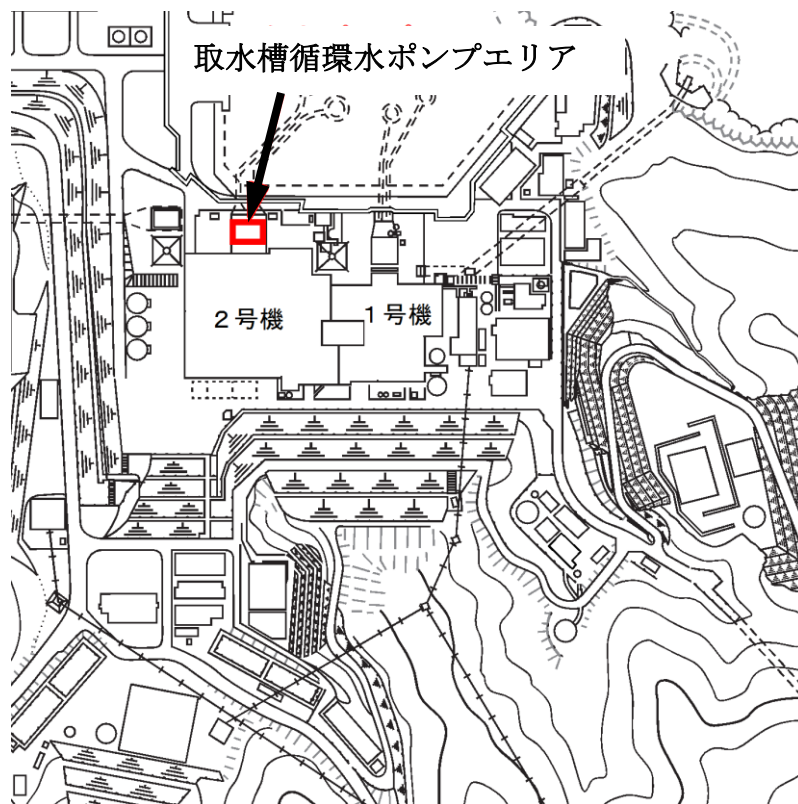


図2-1 取水槽循環水ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、海水ストレーナの構造を設定する。

海水ストレーナは、胴及び支持脚が鋳物一体となった円筒形の容器を組み合わせた構造とし、支持脚を基礎に基礎ボルトで固定する。海水ストレーナの概略構造図を図 2-2 に示す。

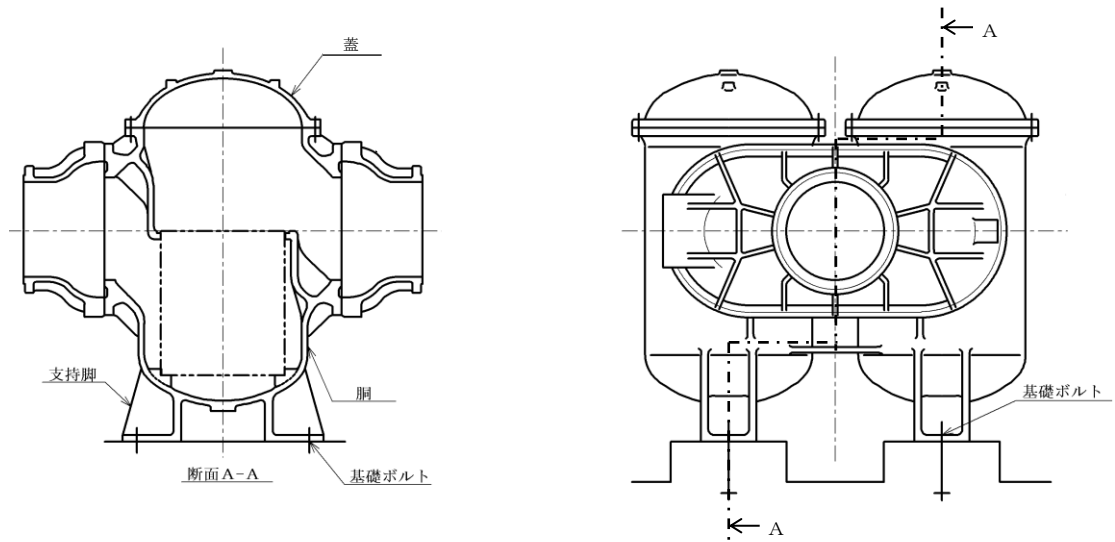


図2-2 海水ストレーナの概略構造図

## 2.3 評価方針

海水ストレーナの強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえて、海水ストレーナの評価対象部位に生じる応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す条件を用いて計算し、その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

### (1) 構造強度評価の方針

海水ストレーナの構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-3 に示す。

- ・海水ストレーナに対して、設計竜巻による荷重に常時作用する荷重を加えた応力が許容限界以下であることを確認する。
- ・部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。
- ・設計竜巻による荷重は、水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等であるため、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）、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）及び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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いて算出する。
- ・許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

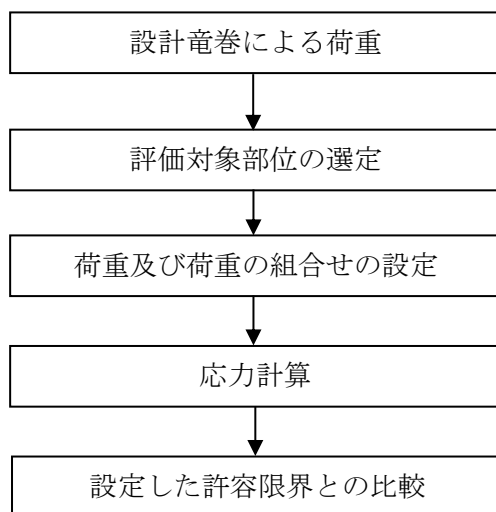


図2-3 海水ストレーナの構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
- ・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  
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・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（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「J S M E」という。）

## 3. 強度評価方法

## 3.1 記号の定義

## (1) 構造強度評価の記号の定義

海水ストレーナの構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	基礎ボルトの軸断面積
C	-	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	基礎ボルト呼び径
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>b</sub>	N	基礎ボルトに対する引張力
f <sub>s</sub>	MPa	J S M E SSB-3131により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f <sub>t</sub>	MPa	J S M E SSB-3131により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	-	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h	mm	ストレーナ重心高さ
H	N	自重
l	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
m	kg	容器の有効運転質量
N	-	基礎ボルトの本数
n <sub>f</sub>	-	引張力を受ける基礎ボルトの本数
Q <sub>b</sub>	N	基礎ボルトに対するせん断力
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
S <sub>u</sub>	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5 表 9 にて規定される設計引張強さ
S <sub>y</sub>	MPa	J S M E 付録材料図表 Part5 表 8 にて規定される設計降伏点
W <sub>P</sub>	N	設計竜巻による気圧差による荷重
W <sub>T1</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T1</sub> = W <sub>P</sub> )
W <sub>T2</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T2</sub> = W <sub>W</sub> + 0.5W <sub>P</sub> + W <sub>M</sub> )
W <sub>W</sub>	N	設計竜巻による風圧力による荷重
ΔP <sub>max</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の最大気圧低下量
σ <sub>b</sub>	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

### 3.2 評価対象部位

海水ストレーナの評価対象部位は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に従い、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、選定する。

#### (1) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、胴及び支持脚を介して、基礎ボルトに作用する。海水ストレーナの転倒により、海水ストレーナの海水中の固形物を除去する機能に与える影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、胴及び支持脚と比較し断面積が小さく、発生応力が大きくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

なお、海水ストレーナの蓋はドーム型形状であること、かつ受圧面積も小さいため設計竜巻の影響は小さいことから、蓋取付ボルトは評価対象部位として選定しない。

海水ストレーナの構造強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

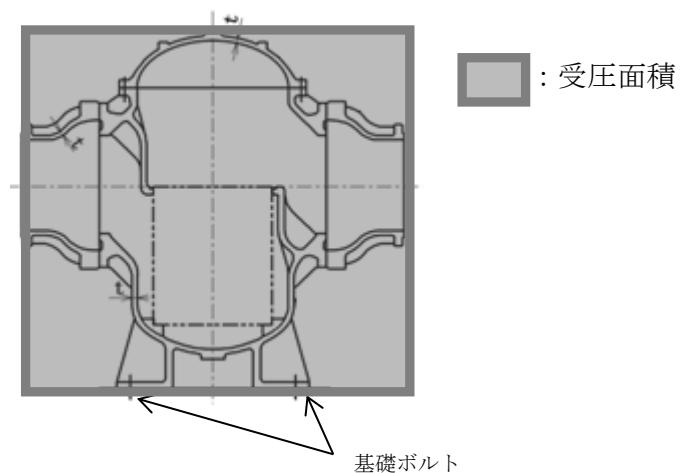


図3-1 海水ストレーナの構造強度評価の評価対象部位



### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、自重を考慮する。

自重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

##### (b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。海水ストレーナは取水槽循環水ポンプエリア天端に設置する竜巻防護鋼板より、防護する設計とすることから、海水ストレーナに対して飛来物の衝突は考慮しないが、保守的に風圧力は考慮することとする。

##### (イ) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度評価の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

##### (ロ) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度評価の方針」の「4.1(3)c.(b) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

##### (ハ) 荷重の組合せ

設計竜巻による荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度評価の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、海水ストレーナの評価対象部位ごとに設定する。なお、評価対象部位は基礎ボルトであり、気圧差による荷重は発生しないため、複合荷重の選定において、 $W_{T2}$ としては気圧差を考慮するが、 $W_{T1}$ の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p$$

(c) 運転時に作用する荷重

運転時に作用する荷重として、内包水の荷重を自重に含めて考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	原子炉補機 海水ストレーナ	基礎ボルト	① 自重 ② 風圧力による荷重 ③ 気圧差による荷重
	高圧炉心スプレイ 補機海水ストレーナ	基礎ボルト	① 自重 ② 風圧力による荷重 ③ 気圧差による荷重

3.4 許容限界

海水ストレーナの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>の許容応力を用いる。

(1) 構造強度評価の許容限界

海水ストレーナの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>から算出した以下の許容応力を許容限界とする。材料の設計降伏点はJ S M E 付録材料図表 Part5 表 8 より、設計引張強さはJ S M E 付録材料図表 Part5 表 9 により算出した値を用いる。周囲環境温度がJ S M E 付録材料図表 Part5 表 8 及び表 9 記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

海水ストレーナの構造強度評価における許容限界を表 3-3、許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 海水ストレーナの許容限界

評価対象施設	評価対象部位	許容応力状態	応力の種類	許容限界
原子炉補機海水ストレーナ	基礎ボルト	Ⅲ <sub>AS</sub>	引張	$1.5 \cdot f_t$
			せん断	$1.5 \cdot f_s$
			組合せ	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau)\}$
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	基礎ボルト	Ⅲ <sub>AS</sub>	引張	$1.5 \cdot f_t$
			せん断	$1.5 \cdot f_s$
			組合せ	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau)\}$

表 3-4 海水ストレーナの許容応力

評価対象施設	評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5・f <sub>t</sub> (MPa)	1.5・f <sub>s</sub> (MPa)
原子炉補機海水ストレーナ	基礎ボルト	SCM435	40	785	930	651	488	375
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	基礎ボルト	SCM435	40	785	930	651	488	375

### 3.5 評価方法

#### (1) 構造強度評価の評価方法

海水ストレーナの構造強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、有効運転質量を考慮した荷重が作用する1質点系モデルとして計算を行う。ここで、荷重の作用点は評価上高さの1/2より高いストレーナの重心位置とする。海水ストレーナのモデル図を図3-3に示す。

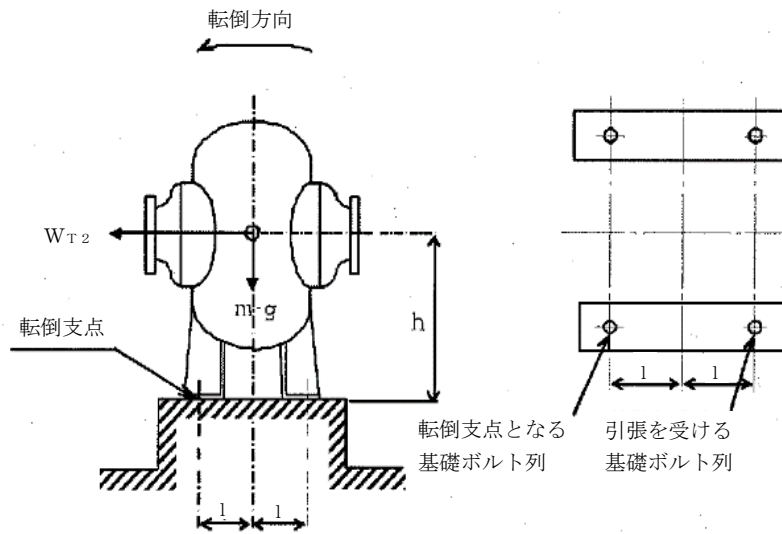


図 3-3 海水ストレーナモデル図

##### b. 計算方法

###### (a) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図3-3で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

###### イ. 引張力

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot l}{n_f \cdot 2 \cdot l}$$

ロ. 引張応力

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

ここで、基礎ボルトの軸断面積 $A_b$ は

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

(b) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

イ. せん断力

$$Q_b = W_{T2}$$

ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

#### 4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1～表4-3に示す。

表4-1 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	$\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	C (-)
5189	1.0	7500	1.226	2.4

表4-2 評価条件 (原子炉補機海水ストレーナ)

A (m <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	d (mm)	N (-)	n <sub>f</sub> (-)
		9.80665		4	2

A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	l (mm)	h (mm)	W <sub>T2</sub> (N)
			1.2608×10 <sup>5</sup>

表4-3 評価条件 (高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ)

A (m <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	d (mm)	N (-)	n <sub>f</sub> (-)
		9.80665		4	2

A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	l (mm)	h (mm)	W <sub>T2</sub> (N)
			2.5213×10 <sup>4</sup>

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価の強度評価結果

海水ストレーナの構造強度評価結果を表5-1に示す。

基礎ボルトに発生する応力は許容限界以下である。

表 5-1 評価結果（基礎ボルト）

評価対象施設	応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機 海水ストレーナ	引張	22	488
	せん断	23	375
	組合せ	22	488
高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	引張	35	488
	せん断	21	375
	組合せ	35	488