

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-011-21改01
提出年月日	2023年3月15日

VI-2-10-2-17 津波監視カメラの耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-10-2-17 R0

2023年3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.	2号機排気筒津波監視カメラ	2
2.1	一般事項	2
2.1.1	構造計画	2
2.1.2	評価方針	4
2.1.3	適用規格・基準等	5
2.1.4	記号の説明	5
2.1.5	計算精度と数値の丸め方	7
2.2	評価部位	8
2.3	地震応答解析及び構造強度評価	8
2.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
2.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
2.3.3	解析モデル及び諸元	12
2.3.4	固有周期	13
2.3.5	設計用地震力	14
2.3.6	応力の計算方法	15
2.3.7	計算条件	17
2.3.8	応力の評価	17
2.4	機能維持評価	19
2.4.1	電氣的機能維持評価方法	19
2.5	評価結果	19
2.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	19
3.	3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ	25
3.1	一般事項	25
3.1.1	構造計画	25
3.1.2	評価方針	27
3.1.3	適用規格・基準等	28
3.1.4	記号の説明	28
3.1.5	計算精度と数値の丸め方	31
3.2	評価部位	32
3.3	地震応答解析及び構造強度評価	32
3.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	32
3.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	32
3.3.3	解析モデル及び諸元	36
3.3.4	固有周期	37
3.3.5	設計用地震力	38
3.3.6	応力の計算方法	39

3.3.7	計算条件	42
3.3.8	応力の評価	42
3.4	機能維持評価	44
3.4.1	電氣的機能維持評価方法	44
3.5	評価結果	44
3.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	44
4.	3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ	51
4.1	一般事項	51
4.1.1	構造計画	51
4.1.2	評価方針	53
4.1.3	適用規格・基準等	54
4.1.4	記号の説明	54
4.1.5	計算精度と数値の丸め方	57
4.2	評価部位	58
4.3	地震応答解析及び構造強度評価	58
4.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	58
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	58
4.3.3	解析モデル及び諸元	62
4.3.4	固有周期	63
4.3.5	設計用地震力	64
4.3.6	応力の計算方法	65
4.3.7	計算条件	68
4.3.8	応力の評価	68
4.4	機能維持評価	70
4.4.1	電氣的機能維持評価方法	70
4.5	評価結果	70
4.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	70

1. 概要

本計算書は、VI-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、津波監視カメラが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

津波監視カメラは、2号機排気筒津波監視カメラ、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ及び3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの3式を設置する。津波監視カメラの配置図を図1-1に示す。本計算書は各津波監視カメラの評価結果を示す。

津波監視カメラは、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構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

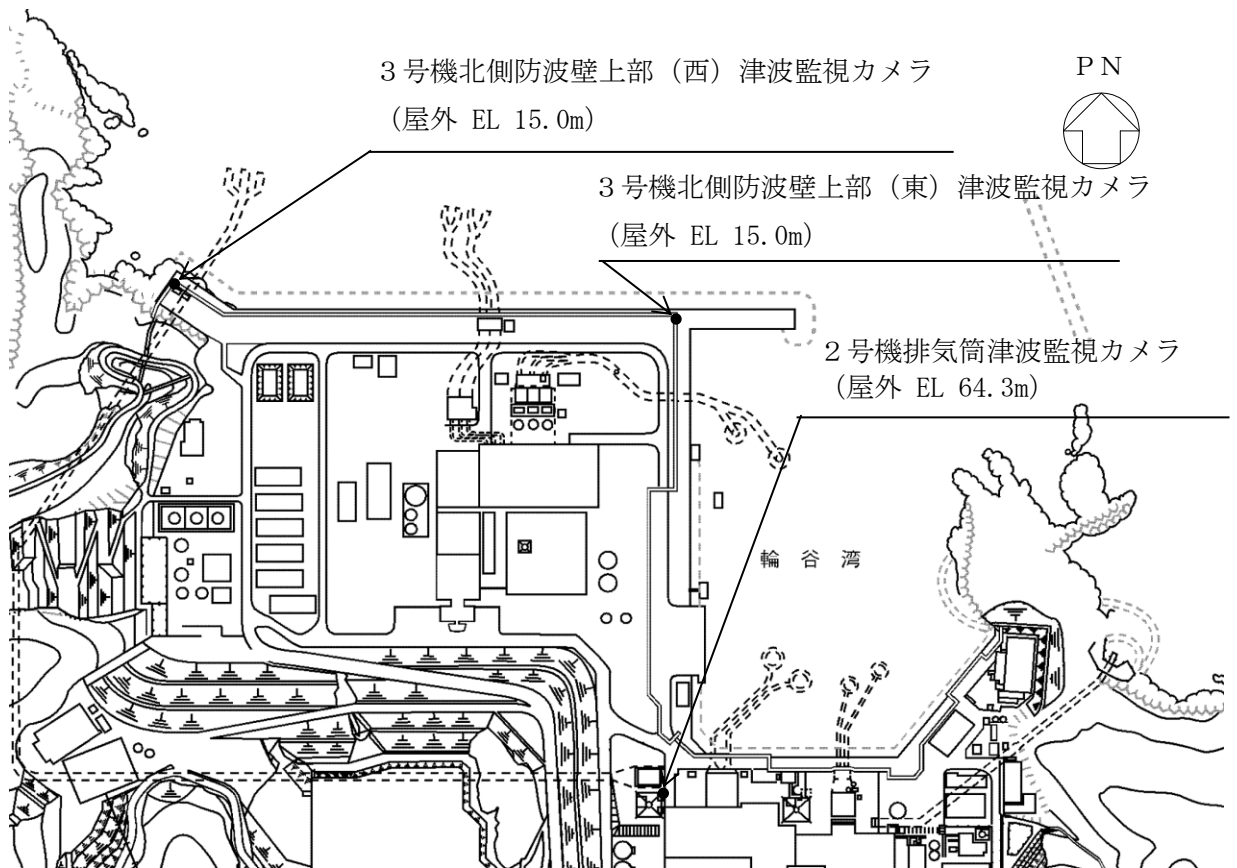


図1-1 津波監視カメラ配置図

2. 2号機排気筒津波監視カメラ

2.1 一般事項

2.1.1 構造計画

2号機排気筒津波監視カメラの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画（2号機排気筒津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は排気筒支柱材に溶接により固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(平面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.1.2 評価方針

2号機排気筒津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「2.2 評価部位」にて設定する箇所において、「2.3.3 解析モデル及び諸元」及び「2.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5 評価結果」に示す。

2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価フローを図2-1に示す。

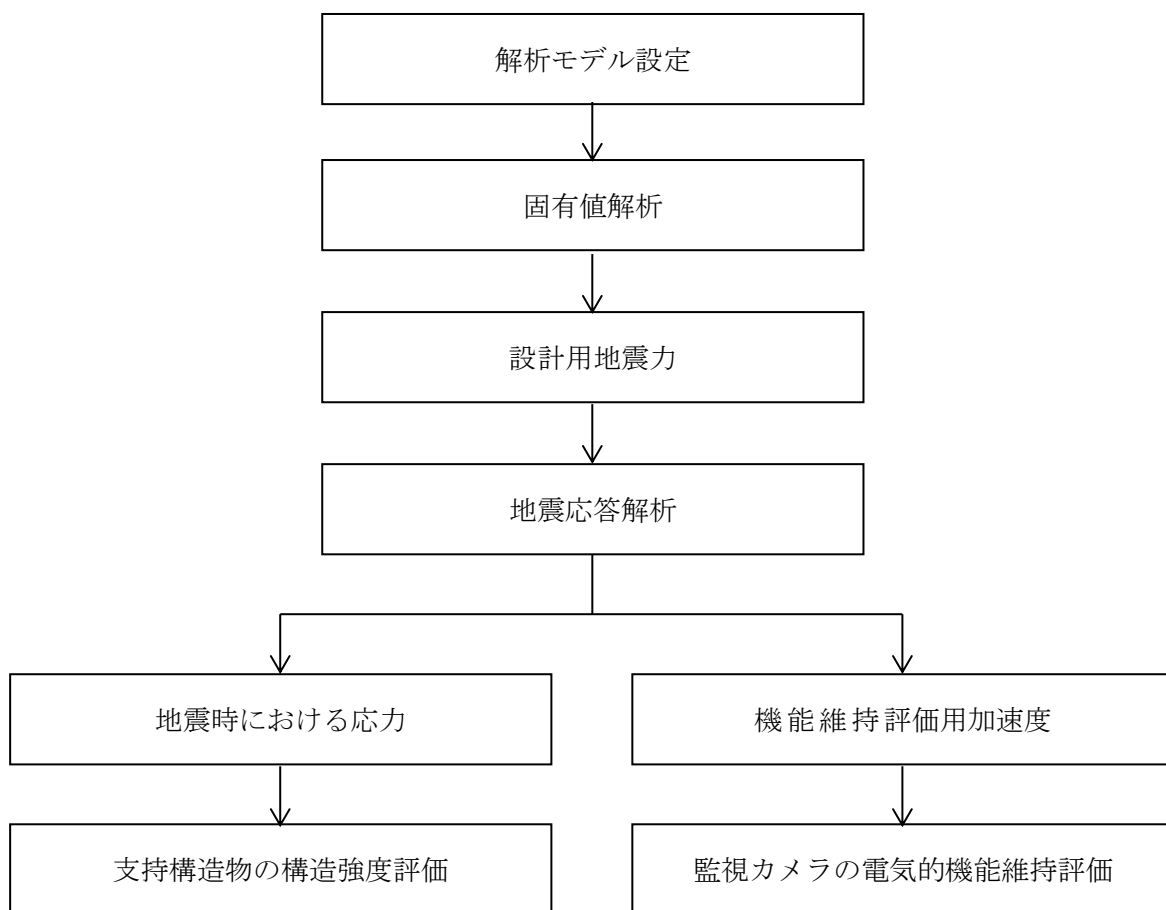


図2-1 2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価フロー

2.1.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・建築基準法・同施行令

2.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{e y} , A _{e z}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{e y w} , A _{e z w}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _o	取付ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{x b}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{y b} , F _{z b}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{s w}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o b}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s b}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
i	断面二次半径	mm
I _y , I _z	架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I _{y w} , I _{z w}	架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴

記号	記号の説明	単位
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm^4
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	架台の質量 (監視カメラ含む)	kg
M_x	架台のねじりモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y, M_z	架台の曲げモーメント (y, z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n	取付ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm^3
Z_y, Z_z	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm^3
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm^3
Z_{yw}, Z_{zw}	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm^3
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げモーメントにより発生するせん断応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる据付面に対して鉛直下向き方向に発生するせん断応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fw}	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる据付面に対して鉛直上向き方向に発生するせん断応力	MPa
σ_{tb}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	架台溶接部に生じる据付面に対して水平方向に発生するせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

2.2 評価部位

2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価は、「2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部及びカメラ取付ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.3 地震応答解析及び構造強度評価

2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 2号機排気筒津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、2号機排気筒津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

2号機排気筒津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-3 に示す。

(2) 許容応力

2号機排気筒津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

2号機排気筒津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速 30m/s を使用し、2号機排気筒津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 2-6 に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、2号機排気筒津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表2-7に示す。

表 2-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	せん断		引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_s$		$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：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。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
津波監視カメラ架台 (C125×65×6)	SS400	周囲環境温度	50	—			—
津波監視カメラ架台 溶接部	SS400	周囲環境温度	50	—			—
津波監視カメラ 取付ボルト	SS400	周囲環境温度	50	—			—

表 2-6 基準速度圧

(単位 : N/m²)

作用する部位	基準速度圧
2号機排気筒津波監視カメラ	1.801×10 ³

表 2-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位 : N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
2号機排気筒津波監視カメラ	2.000×10 ³

2.3.3 解析モデル及び諸元

2号機排気筒津波監視カメラの解析モデルを図 2-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 2号機排気筒津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。
- (2) 2号機排気筒津波監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとし、取付プレートと内挿拘束要素で結合する。カメラ取付ボルトははり要素でモデル化する。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の溶接部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

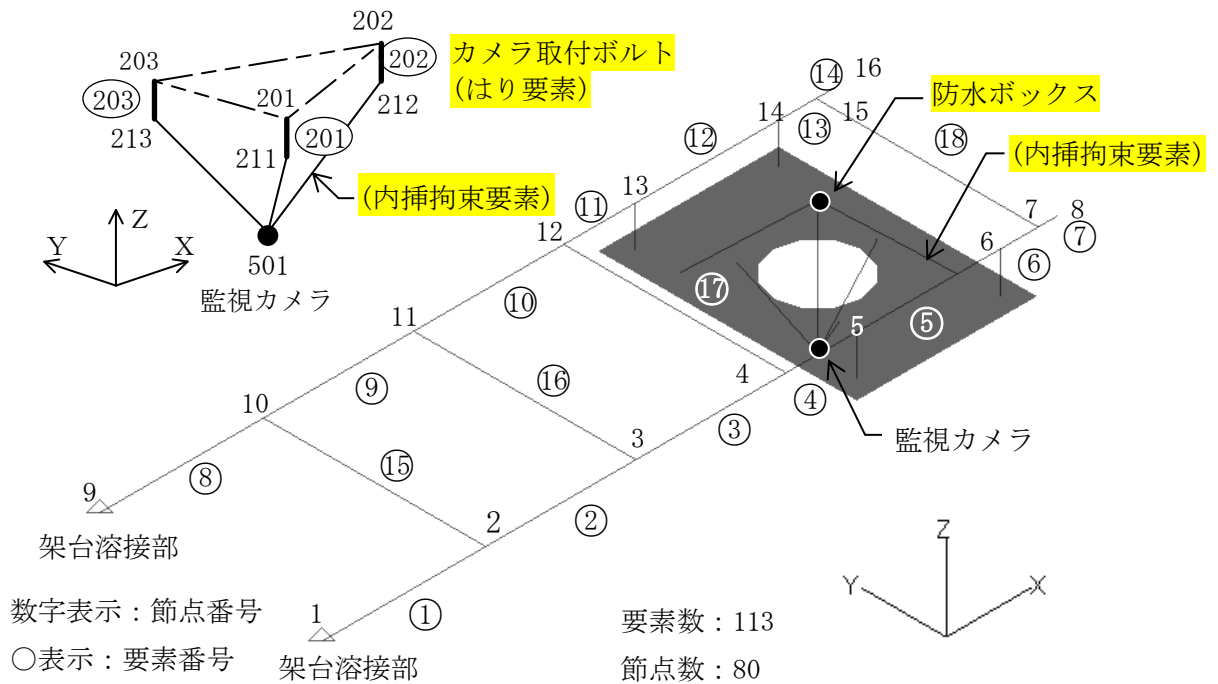


図 2-2 2号機排気筒津波監視カメラ解析モデル

2.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2-8, 振動モード図を図 2-3 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 2-8 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
2号機排気筒 津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—



図 2-3 2号機排気筒津波監視カメラ振動モード (1次モード □方向 □s)

2.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 2-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排気筒 EL 64.3 (EL 62.2~69.5* ¹)			—	—	C _H =2.05* ²	C _V =1.66* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s）

2.3.6 応力の計算方法

(1) 架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力，圧縮応力

$$\sigma_t = \sigma_c = \frac{|F_x|}{A} \quad (2.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (2.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (2.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力（垂直+せん断）

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (2.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力（圧縮+曲げ）

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力（引張+曲げ）

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.6)$$

(2) 架台溶接部の応力

架台の固定端において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- a. 据付面に対して鉛直上向き及び下向き方向に発生するせん断応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (2.3.6.7)$$

- b. 据付面に対して水平方向に発生するせん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (2.3.6.8)$$

- c. 曲げモーメントにより発生するせん断応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (2.3.6.9)$$

- d. せん断応力

- (a) せん断応力（鉛直上向き＋水平）

据付面に対して鉛直上向きに発生する応力と水平方向に発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_{fw} = \sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \leq f_{sw} \quad (2.3.6.10)$$

- (b) せん断応力（鉛直下向き＋曲げ）

据付面に対して鉛直下向きに発生する応力と曲げモーメントにより発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{cw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.11)$$

- (c) せん断応力（鉛直上向き＋曲げ）

据付面に対して鉛直上向きに発生する応力と曲げモーメントにより発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{tw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.12)$$

- (3) 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} 、せん断力 F_{yb} 、 F_{zb} より、引張応力とせん断応力について計算する。

- a. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{xb}}{A_b} \quad (2.3.6.13)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (2.3.6.14)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{yb}^2 + F_{zb}^2}}{A_b} \quad (2.3.6.15)$$

2.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.3.8 応力の評価

(1) 架台の応力評価

2.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(2.3.6.5)式、(2.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\theta_k}{i} \quad (2.3.8.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \quad (2.3.8.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad (2.3.8.3)$$

(2) 架台溶接部の応力評価

2.3.6(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(2.3.6.11)式、(2.3.6.12)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) 取付ボルトの応力評価

2.3.6(3)a.項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{tb} は、下記の f_{tsb} 以下であること。ただし f_{tob} は下表による。

$$f_{tsb} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tob} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{tob}] \quad (2.3.8.4)$$

2.3.6(3)項で求めたせん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tob}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.4 機能維持評価

2.4.1 電氣的機能維持評価方法

2号機排気筒津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

2号機排気筒津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表2-10に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

2.5 評価結果

2.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

2号機排気筒津波監視カメラ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。

発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2号機排気筒 津波監視カメラ	S	排気筒 EL 64.3 (EL 62.2~69.5*1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =2.05*2	C _V =1.66*2	50

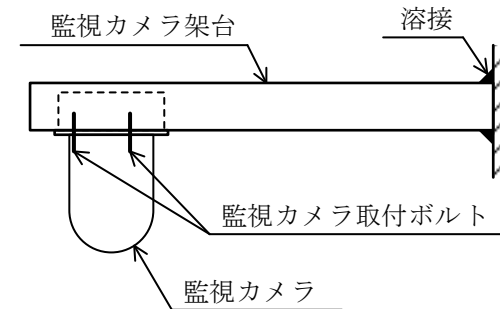
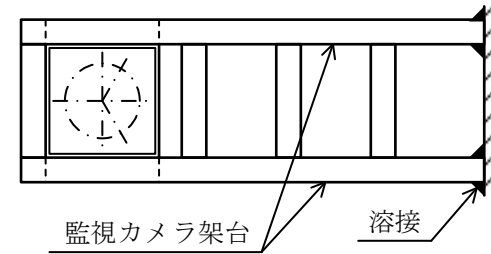
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m (kg)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
津波監視カメラ 架台	<input type="text"/>	—	—	—	—
津波監視カメラ 取付ボルト	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3	3

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (C125×65×6)	SS400	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
津波監視カメラ 架台溶接部	SS400	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
津波監視カメラ 取付ボルト	SS400	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>



材料	E (MPa)	ν	\varnothing_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SS400 (架台)	201000	0.3				

		要素番号	
		1~14, 18	1, 8
材料		架台 (C125×65×6) SS400	架台溶接部 SS400
断面積	A (w) (mm ²)		
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)		
	I _z (w) (mm ⁴)		
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)		
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)		
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)		
	A _{e z} (w) (mm ²)		
断面係数	Z _y (w) (mm ³)		
	Z _z (w) (mm ³)		

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
1	1						
4	4						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S _s	
					算出応力	許容応力
架台	SS400	引張	1	1	$\sigma_t = 4$	$f_t = \square$
		圧縮	1	1	$\sigma_c = 4^{*1}$	$f_c = \square$
		せん断	4	4	$\tau = 7$	$f_s = \square$
		曲げ	1	1	$\sigma_b = \square$	$f_b = \square$
		組合せ (垂直+せん断)	1	1	$\sigma_f = \square$	$f_t = \square$
		組合せ (圧縮+曲げ)	1	1	\square	1
		組合せ (引張+曲げ)	1	1	0.204	1
架台溶接部	SS400	せん断 (鉛直上向き)	-	1	$\sigma_{tw} = \square$	$f_{sw} = \square$
		せん断 (鉛直下向き)	-	1	$\sigma_{cw} = \square$	$f_{sw} = \square$
		せん断 (水平)	-	1	$\tau_w = \square$	$f_{sw} = \square$
		せん断 (曲げ)	-	1	$\sigma_{bw} = \square$	$f_{sw} = \square$
		せん断 (鉛直上向き+水平)	-	1	$\sigma_{fw} = \square$	$f_{sw} = \square$
		せん断 (鉛直下向き+曲げ)	-	1	\square	1
		せん断 (鉛直上向き+曲げ)	-	1	\square	1
取付ボルト	SS400	引張	201	201	$\sigma_{tb} = \square$	$f_{tsb} = \square$
		せん断	201	201	$\tau_b = \square$	$f_{sb} = \square$

すべて許容応力以下である。

注記*1：絶対値を記載

$$*2: f_{tsb} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tob} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{tob}]$$

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	1.71	
	鉛直方向	1.38	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

3. 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ

3.1 一般事項

3.1.1 構造計画

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの構造計画を表3-1に示す。

表 3-1 構造計画（3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは，津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され，津波監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルトにより固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(側面図) (平面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

3.1.2 評価方針

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「3.2 評価部位」にて設定する箇所において、「3.3.3 解析モデル及び諸元」及び「3.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「3.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.5 評価結果」に示す。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価フローを図3-1に示す。

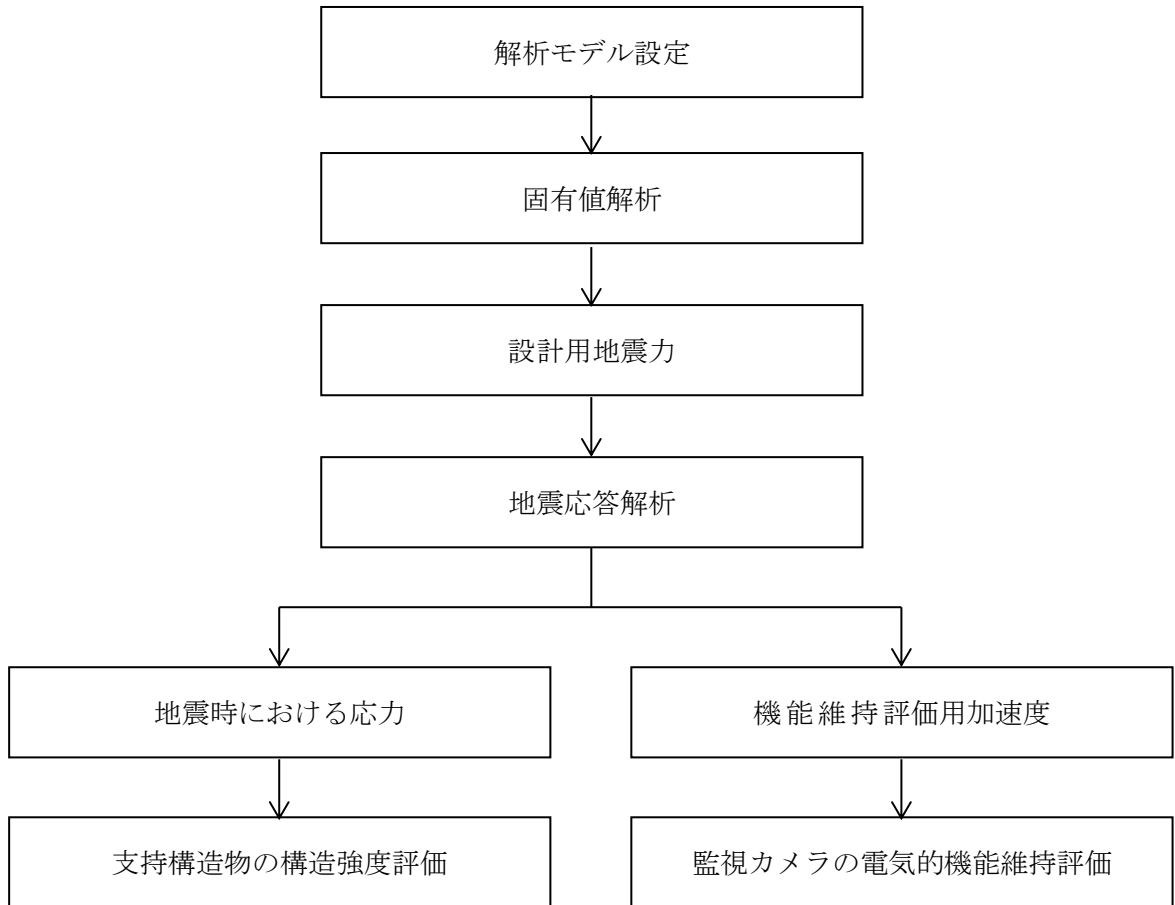


図3-1 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価フロー

3.1.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・建築基準法・同施行令

3.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積*	mm ²
a	基礎ボルトの間隔 (y 方向)	mm
b	基礎ボルトの間隔 (z 方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _{oi}	ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f _{tobi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f _{tsbi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) *	MPa
i	断面二次半径	mm

記号	記号の説明	単位
I_y, I_z	架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	架台の質量 (監視カメラ含む)	kg
M_x	架台のねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M_y, M_z	架台の曲げモーメント (y, z 軸)	N・mm
n_i	ボルトの本数*	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
S_b	基礎ボルトのせん断力	N
T	基礎ボルトの引張力	N
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	架台溶接部の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げモーメントにより発生するせん断応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる据付面に対して鉛直下向き方向に発生するせん断応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fw}	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる据付面に対して鉛直上向き方向に発生するせん断応力	MPa
σ_{tbi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_w	架台溶接部に生じる据付面に対して水平方向に発生するせん断応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 i の意味は以下のとおりとする。

i = 1 : 取付ボルト

i = 2 : 基礎ボルト

3.1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 3-2 に示すとおりである。

表 3-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3.2 評価部位

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価は、「3.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部、津波監視カメラ取付ボルト及び津波監視カメラ架台基礎ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表3-1の概略構造図に示す。

3.3 地震応答解析及び構造強度評価

3.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-3に示す。

(2) 許容応力

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-4に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-5に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表3-6に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表3-7に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	せん断		引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_s$		$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：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。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
津波監視カメラ架台 (B300×300×9)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 (C130×65×6)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 溶接部	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205

表 3-6 基準速度圧

(単位: N/m²)

作用する部位	基準速度圧
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	1.346×10 ³

表 3-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位: N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	2.000×10 ³

3.3.3 解析モデル及び諸元

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの解析モデルを図3-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとし、取付プレートと内挿拘束要素で結合する。カメラ取付ボルトははり要素でモデル化する。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の基礎部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

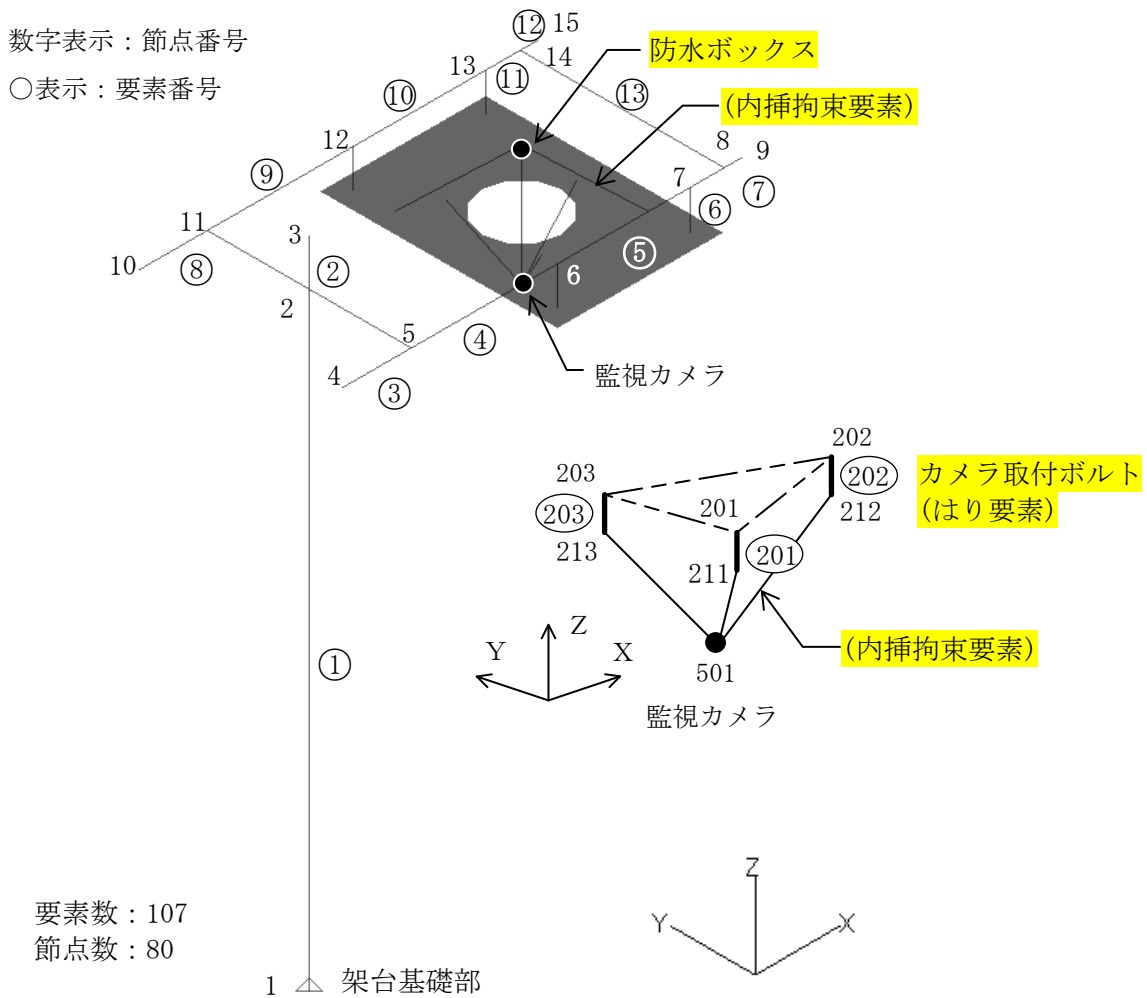


図3-2 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ解析モデル

3.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-8, 振動モード図を図 3-3 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 3-8 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
3号機北側防波壁上部(東)津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—

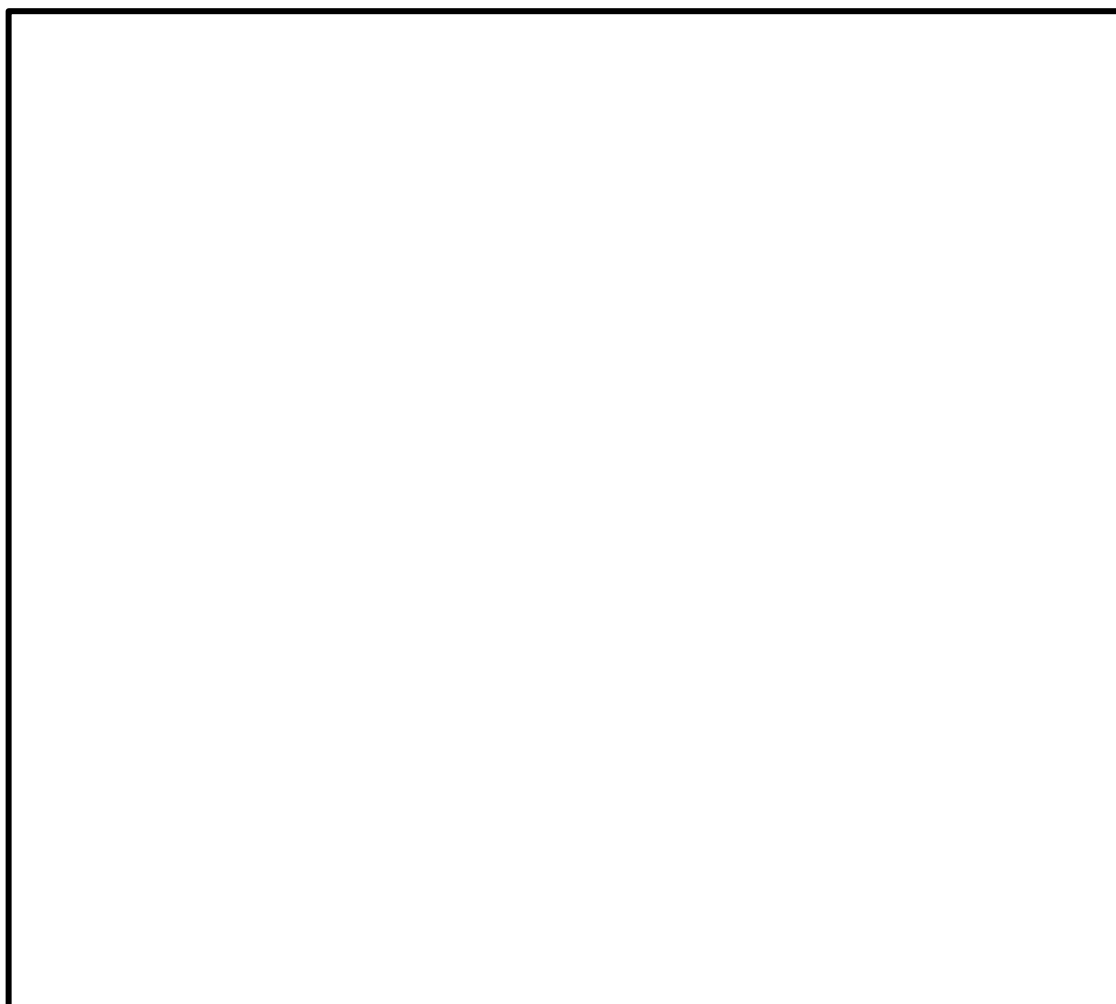


図 3-3 3号機北側防波壁上部(東)津波監視カメラ振動モード
(1次モード □方向 □s)

3.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-9 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 3-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
防波壁 (波返重力擁壁) EL 15.0 ^{*1}			—	—	$C_H=4.38^{*2}$	$C_V=3.83^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

3.3.6 応力の計算方法

(1) 架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力, 圧縮応力

$$|\sigma_t| = |\sigma_c| = \frac{|F_x|}{A} \quad (3.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (3.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (3.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力 (垂直+せん断)

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (3.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力 (引張+曲げ)

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.6)$$

(2) 架台溶接部の応力

架台溶接部において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- a. 据付面に対して鉛直上向きに発生するせん断応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (3.3.6.7)$$

- b. 据付面に対して水平方向に発生するせん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (3.3.6.8)$$

- c. 曲げモーメントにより発生するせん断応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (2.3.6.9)$$

- d. せん断応力

- (a) せん断応力（鉛直上向き＋水平）

据付面に対して鉛直上向きに発生する応力と水平方向に発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_{fw} = \sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \leq f_{sw} \quad (3.3.6.10)$$

- (b) せん断応力（鉛直下向き＋曲げ）

据付面に対して鉛直下向きに発生する応力と曲げモーメントにより発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{cw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.11)$$

- (c) せん断応力（鉛直上向き＋曲げ）

据付面に対して鉛直上向きに発生する応力と曲げモーメントにより発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{tw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.12)$$

- (3) 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} 、せん断力 F_{yb} 、 F_{zb} より、引張応力とせん断応力について計算する。

- a. 引張応力

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{xb1}}{A_{b1}} \quad (3.3.6.13)$$

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o1}^2 \quad (3.3.6.14)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{\sqrt{F_{yb1}^2 + F_{zb1}^2}}{A_{b1}} \quad (3.3.6.15)$$

(4) 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は，解析による計算で得られる架台下端の要素の軸力 F_x ，せん断力 F_y ， F_z ，ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y ， M_z から，基礎ボルトのうち引張応力とせん断応力を手計算により計算する。基礎ボルト部の概要を図 3-4 に示す。

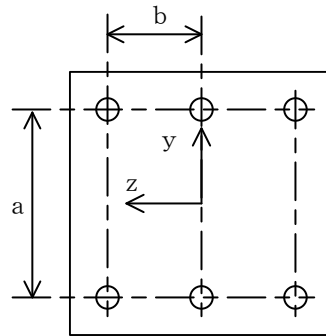


図 3-4 基礎ボルト部の概要

a. 引張応力

$$\sigma_{tb2} = \frac{T}{A_{b2}} \quad (3.3.6.16)$$

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (3.3.6.17)$$

$$T = \frac{F_x}{6} + \frac{M_y}{4b} + \frac{M_z}{3a} \quad (3.3.6.18)$$

b. せん断応力

$$\tau_{tb2} = \frac{S_b}{A_{b2}} \quad (3.3.6.19)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{F_y}{6} + \frac{b \cdot M_x}{r}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{6} + \frac{a \cdot M_x}{2r}\right)^2} \quad (3.3.6.20)$$

$$r = \frac{3}{2} \cdot a^2 + 4 \cdot b^2 \quad (3.3.6.21)$$

3.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.3.8 応力の評価

(1) 架台の応力評価

3.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(3.3.6.5)式、(3.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \tag{3.3.8.1}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \tag{3.3.8.2}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \tag{3.3.8.3}$$

(2) 架台溶接部の応力評価

3.3.6(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(3.3.6.11)式、(3.3.6.12)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) ボルトの応力評価

3.3.6 項で求めたボルトの引張応力 σ_{tbi} は、下記の f_{tsbi} 以下であること。ただし f_{tobi} は下表による。

$$f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}] \quad (3.3.8.4)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tobi}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.4 機能維持評価

3.4.1 電氣的機能維持評価方法

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。
なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 3-10 に示す。

表 3-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
監視カメラ	水平		
	鉛直		

3.5 評価結果

3.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ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。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

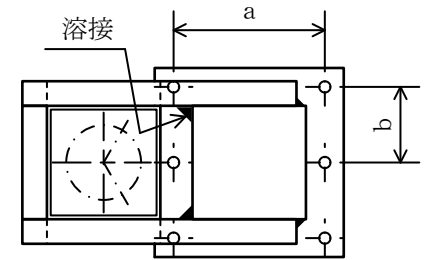
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	S	防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-	-	C _H =4.38*2	C _V =3.83*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

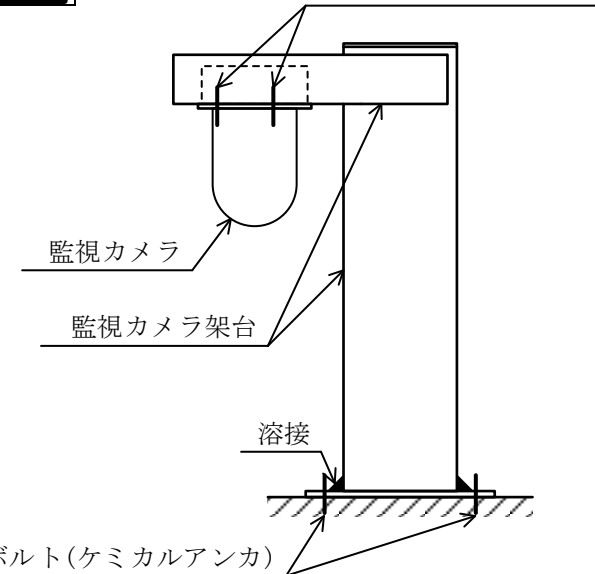
1.2 機器要目

	m (kg)	d _{o i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	a	b
津波監視カメラ 架台	<input type="text"/>	-	-	-	-	-	-
津波監視カメラ 取付ボルト	-	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3	3	-	-
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	-	<input type="text"/>	<input type="text"/>	6	6	<input type="text"/>	<input type="text"/>



監視カメラ取付ボルト

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (B300×300×9)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台 (C130×65×6)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台溶接部	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	SUS316	199	511	205	205



基礎ボルト(ケミカルアンカ)

S2 補 VI-2-10-2-17 R0

材料	E (MPa)	ν	\varnothing_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SUS316 (B300×300×9)	193000	0.3				
SUS316 (C130×65×6)	193000	0.3				

		要素番号			
		1, 2	3~13	1	4, 9, 13
材料		SUS316 (B300×300×9)	SUS316 (C130×65×6)	SUS316 溶接部(定着部)	SUS316 溶接部
断面積	A (w) (mm ²)				
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)				
	I _z (w) (mm ⁴)				
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)				
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)				
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)				
	A _{e z} (w) (mm ²)				
断面係数	Z _y (w) (mm ³)				
	Z _z (w) (mm ³)				

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
4	5						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4 基礎ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s	
					算出応力	許容応力
架台	SUS316	引張	4	5	$\sigma_t =$	$f_t = 205$
		圧縮	4	5	$\sigma_c =$	$f_c = 202$
		せん断	4	5	$\tau =$	$f_s = 118$
		曲げ	4	5	$\sigma_b =$	$f_b = 205$
		組合せ (垂直+せん断)	4	5	$\sigma_f =$	$f_t = 205$
		組合せ (圧縮+曲げ)	4	5		1
		組合せ (引張+曲げ)	4	5		1
架台溶接部	SUS316	せん断 (鉛直上向き)	-	1	$\sigma_{tw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (鉛直下向き)	-	1	$\sigma_{cw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (水平)	-	1	$\tau_w =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (曲げ)	-	1	$\sigma_{bw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (鉛直上向き+水平)	-	1	$\sigma_{fw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (鉛直下向き+曲げ)	-	1		1
		せん断 (鉛直上向き+曲げ)	-	1		1
取付ボルト	SUS316	引張	201	201	$\sigma_{tb1} =$	$f_{tsb1} = 153^{*2}$
		せん断	201	201	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} = 118$
架台 基礎ボルト	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tb2} =$	$f_{tsb2} = 123^{*2}$
		せん断	-	1	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} = 94$

すべて許容応力以下である。

注記*1 : 絶対値を記載

$$*2 : f_{tsbi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}]$$

1.4.3 電気の機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	3.30	
	鉛直方向	2.93	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

4. 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ

4.1 一般事項

4.1.1 構造計画

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの構造計画を表4-1に示す。

表 4-1 構造計画（3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルトにより固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(平面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

4.1.2 評価方針

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「4.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「4.2 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3.3 解析モデル及び諸元」及び「4.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.5 評価結果」に示す。

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価フローを図4-1に示す。

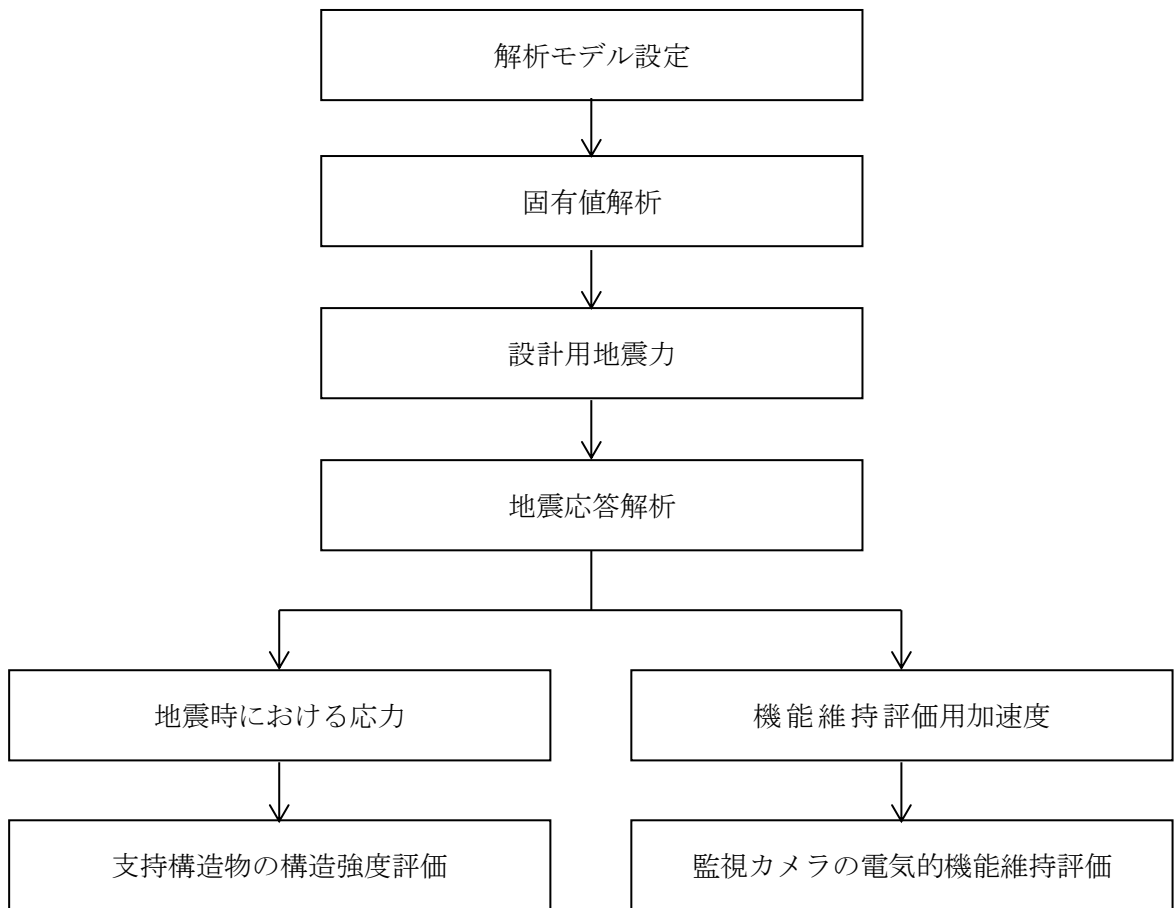


図4-1 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価フロー

4.1.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・建築基準法・同施行令

4.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積*	mm ²
a	基礎ボルトの間隔 (y 方向)	mm
b	基礎ボルトの間隔 (z 方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _{oi}	ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f _{tobi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f _{tsbi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) *	MPa
i	断面二次半径	mm

記号	記号の説明	単位
I_y, I_z	架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	架台の質量 (監視カメラ含む)	kg
M_x	架台のねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M_y, M_z	架台の曲げモーメント (y, z 軸)	N・mm
n_i	ボルトの本数*	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
S_b	基礎ボルトのせん断力	N
T	基礎ボルトの引張力	N
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	架台溶接部の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げモーメントにより発生するせん断応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる据付面に対して鉛直下向きに発生するせん断応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fw}	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる据付面に対して鉛直上向きに発生するせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tbi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	架台溶接部に生じる据付面に対して水平方向に発生するせん断 応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 i の意味は以下のとおりとする。

i = 1 : 取付ボルト

i = 2 : 基礎ボルト

4.1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

4.2 評価部位

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価は、「4.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部、津波監視カメラ取付ボルト及び津波監視カメラ架台基礎ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表4-1の概略構造図に示す。

4.3 地震応答解析及び構造強度評価

4.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-3に示す。

(2) 許容応力

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表4-6に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表4-7に示す。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	せん断		引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_s$		$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：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。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
津波監視カメラ架台 (B300×300×9)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 (C130×65×6)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 溶接部	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205

表 4-6 基準速度圧

(単位: N/m²)

作用する部位	基準速度圧
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	1.346×10 ³

表 4-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位: N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	2.000×10 ³

4.3.3 解析モデル及び諸元

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの解析モデルを図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとし、取付プレートと内挿拘束要素で結合する。カメラ取付ボルトははり要素でモデル化する。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の基礎部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

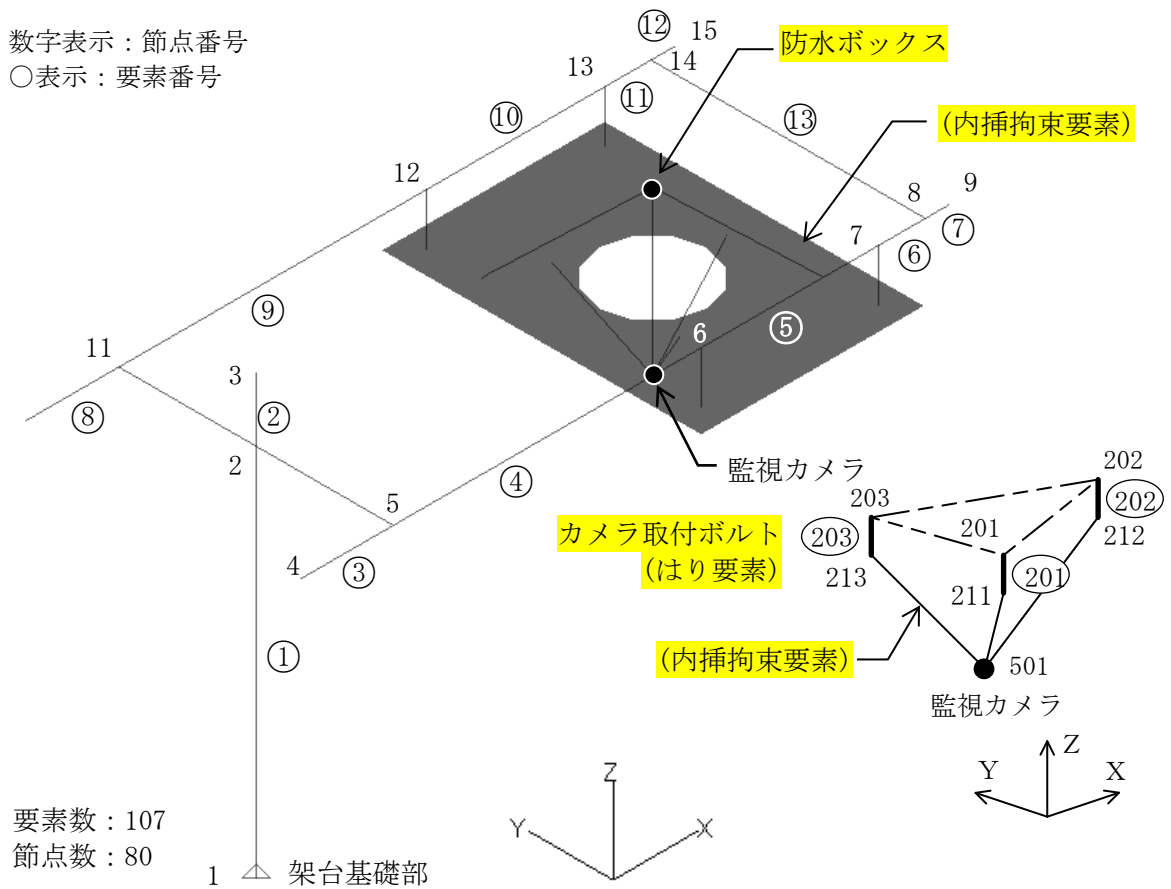


図4-2 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ解析モデル

4.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-8, 振動モード図を図 4-3 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 4-8 固有値解析結果





機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
3号機北側防波壁上部(西) 津波監視カメラ	1次			—	—	—



図 4-3 3号機北側防波壁上部(西)津波監視カメラ振動モード
(1次モード  方向  s)

4.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0 ^{*1}			—	—	$C_H=4.38^{*2}$	$C_V=3.83^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

4.3.6 応力の計算方法

(1) 架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力, 圧縮応力

$$|\sigma_t| = |\sigma_c| = \frac{|F_x|}{A} \quad (4.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (4.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (4.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力 (垂直+せん断)

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (4.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力 (引張+曲げ)

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.6)$$

(2) 架台溶接部の応力

架台溶接部において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- a. 据付面に対して鉛直上向きに発生するせん断応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (4.3.6.7)$$

- b. 据付面に対して水平方向に発生するせん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (4.3.6.8)$$

- c. 曲げモーメントにより発生するせん断応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (4.3.6.9)$$

- d. せん断応力

- (a) せん断応力（鉛直上向き＋水平）

据付面に対して鉛直上向きに発生する応力と水平方向に発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_{fw} = \sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \leq f_{sw} \quad (4.3.6.10)$$

- (b) せん断応力（鉛直下向き＋曲げ）

据付面に対して鉛直下向きに発生する応力と曲げモーメントにより発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{cw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.11)$$

- (c) せん断応力（鉛直上向き＋曲げ）

据付面に対して鉛直上向きに発生する応力と曲げモーメントにより発生する応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{tw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.12)$$

- (3) 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} 、せん断力 F_{yb} 、 F_{zb} より、引張応力とせん断応力について計算する。

- a. 引張応力

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{xb1}}{A_{b1}} \quad (4.3.6.13)$$

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o1}^2 \quad (4.3.6.14)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{\sqrt{F_{yb1}^2 + F_{zb1}^2}}{A_{b1}} \quad (4.3.6.15)$$

(4) 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる架台下端の要素の軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から、基礎ボルトのうち引張応力とせん断応力を手計算により計算する。基礎ボルト部の概要を図4-4に示す。

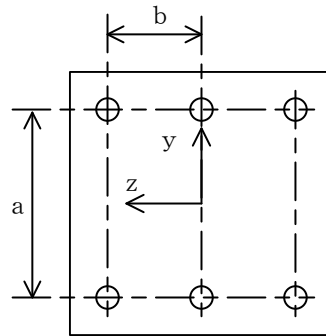


図4-4 基礎ボルト部の概要

a. 引張応力

$$\sigma_{tb2} = \frac{T}{A_{b2}} \quad (4.3.6.16)$$

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (4.3.6.17)$$

$$T = \frac{F_x}{6} + \frac{M_y}{4b} + \frac{M_z}{3a} \quad (4.3.6.18)$$

b. せん断応力

$$\tau_{tb2} = \frac{S_b}{A_{b2}} \quad (4.3.6.19)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{F_y}{6} + \frac{b \cdot M_x}{r}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{6} + \frac{a \cdot M_x}{2r}\right)^2} \quad (3.3.6.20)$$

$$r = \frac{3}{2} \cdot a^2 + 4 \cdot b^2 \quad (4.3.6.21)$$

4.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.3.8 応力の評価

(1) 架台の応力評価

4.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(4.3.6.5)式、(4.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \tag{4.3.8.1}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \tag{4.3.8.2}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \tag{4.3.8.3}$$

(2) 架台溶接部の応力評価

4.3.6(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(4.3.6.11)式、(4.3.6.12)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) ボルトの応力評価

4.3.6項で求めたボルトの引張応力 σ_{tbi} は、下記の f_{tsbi} 以下であること。ただし f_{tobi} は下表による。

$$f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}] \quad (4.3.8.4)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tobi}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.4 機能維持評価

4.4.1 電氣的機能維持評価方法

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。
なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-10に示す。

表4-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8m/s^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

4.5 評価結果

4.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ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。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

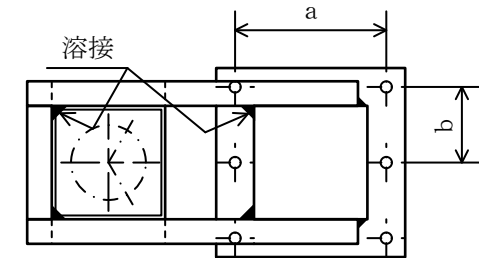
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	S	防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0 ^{*1}			—	—	C _H =4.38 ^{*2}	C _V =3.83 ^{*2}	50

注記*1：基準床レベルを示す。

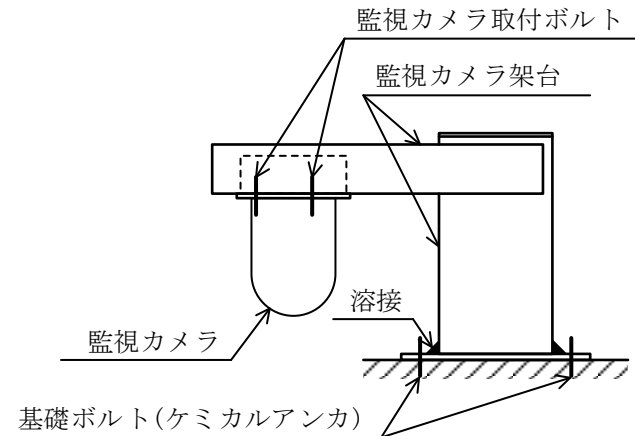
*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

	m (kg)	d _{o i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	a	b
津波監視カメラ 架台		—	—	—	—	—	—
津波監視カメラ 取付ボルト	—			3	3	—	—
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	—			6	6		



部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (B300×300×9)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台 (C130×65×6)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台溶接部	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	SUS316	199	511	205	205



S2 補 VI-2-10-2-17 R0

材料	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SUS316 (B300×300×9)	193000	0.3				
SUS316 (C130×65×6)	193000	0.3				

		要素番号				
		1, 2	3~13	1	4, 9	13
材料		SUS316 (B300×300×9)	SUS316 (C130×65×6)	SUS316 溶接部(定着部)	SUS316 溶接部	SUS316 溶接部
断面積	A (w) (mm ²)					
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)					
	I _z (w) (mm ⁴)					
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)					
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)					
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)					
	A _{e z} (w) (mm ²)					
断面係数	Z _y (w) (mm ³)					
	Z _z (w) (mm ³)					

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
4	5						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						
13	14						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4 基礎ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s	
					算出応力	許容応力
架台	SUS316	引張	4	5	$\sigma_t =$	$f_t = 205$
		圧縮	4	5	$\sigma_c =$	$f_c = 200$
		せん断	4	5	$\tau =$	$f_s = 118$
		曲げ	4	5	$\sigma_b =$	$f_b = 205$
		組合せ (垂直+せん断)	4	5	$\sigma_f =$	$f_t = 205$
		組合せ (圧縮+曲げ)	4	5		1
		組合せ (引張+曲げ)	4	5		1
架台溶接部	SUS316	せん断 (鉛直上向き)	-	1	$\sigma_{tw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (鉛直下向き)	-	1	$\sigma_{cw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (水平)	-	1	$\tau_w =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (曲げ)	13	14	$\sigma_{bw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (鉛直上向き+水平)	13	14	$\sigma_{fw} =$	$f_{sw} = 118$
		せん断 (鉛直下向き+曲げ)	13	14		1
		せん断 (鉛直上向き+曲げ)	13	14		1
取付ボルト	SUS316	引張	201	201	$\sigma_{tb1} =$	$f_{tsb1} = 153^{*2}$
		せん断	201	201	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} = 118$
架台 基礎ボルト	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tb2} =$	$f_{tsb2} = 123^{*2}$
		せん断	-	1	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} = 94$

すべて許容応力以下である。

注記*1: 絶対値を記載

$$*2: f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}]$$

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

 $(\times 9.8 \text{ m/s}^2)$

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	3.30	
	鉛直方向	2.93	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。