

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-2-042-9-1 改3
提出年月日	2020年8月20日

V-2-10-2-4-4(1) 津波監視カメラの耐震性についての計算書

K7 ① V-2-10-2-4-4(1) R1

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

(1) 津波監視カメラの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	9
4.3 固有値解析結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 評価結果	22
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	22

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、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及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

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および電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

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

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視カメラは、カメラ架台に監視カメラ取付ボルトにより固定され、カメラ架台は取付ボルトにより7号機主排気筒支柱材に固定される。	監視カメラ	<p>【津波監視カメラ】</p> <p>(正面方向)</p> <p>280</p> <p>446</p> <p>監視カメラ</p> <p>監視カメラ取付ボルト</p> <p>カメラ架台</p> <p>(側面方向)</p> <p>2147</p> <p>取付ボルト</p> <p>1665</p> <p>7号主排気筒 支柱材</p> <p>カメラ架台</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

津波監視カメラの応力評価は、V-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 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「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、「5. 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、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 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「7. 評価結果」に示す。

津波監視カメラの耐震評価フローを図2-1に示す。

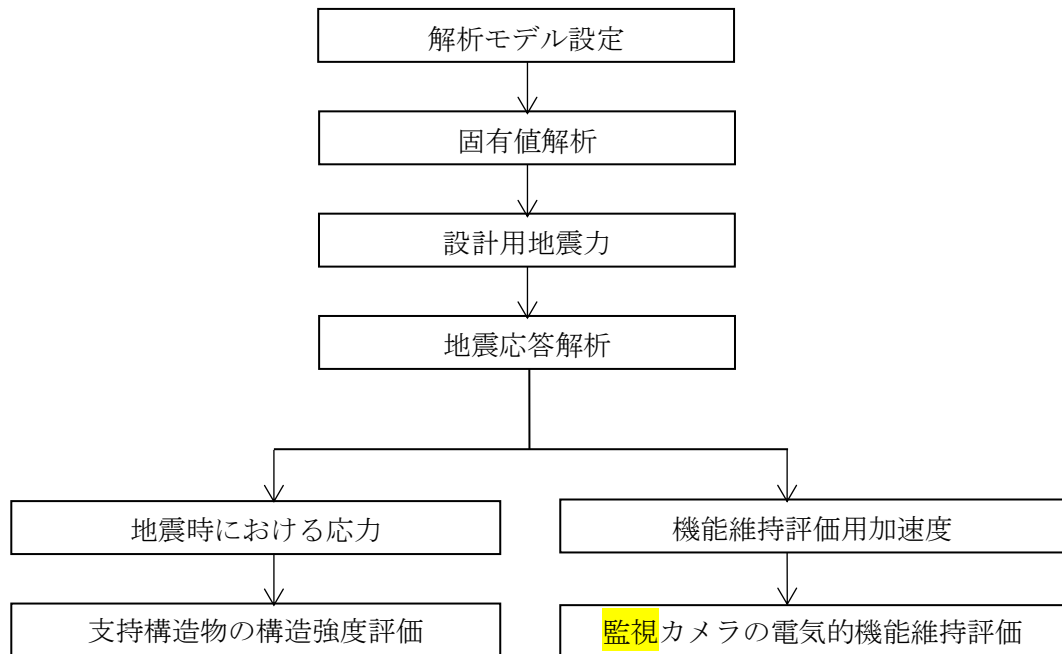


図2-1 津波監視カメラの耐震評価フロー

2.3 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）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定）
- ・建築物荷重指針・同解説 （(社) 日本建築学会，2015 改定）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C f	風力係数	—
CH	水平方向設計震度	—
Cv	鉛直方向設計震度	—
d s	積雪の垂直堆積量	cm
F b	取付ボルトに作用する引張力	N
f s t	引張力を同時に受ける取付ボルトの許容せん断応力	N/mm ²
f s o	取付ボルトの短期許容せん断応力度	N/mm ²
f t s	引張力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	N/mm ²
f t o	取付ボルトの短期許容引張応力度	N/mm ²
N	基礎部に作用する引張力	kN
n	取付ボルトの本数	—
P1	カメラ架台固定荷重	kN/m
P2	カメラ本体固定荷重	kN
Q b	取付ボルトに作用するせん断力	kN
Q h b	基礎部に作用するせん断力 (Y方向)	kN
Q v b	基礎部に作用するせん断力 (Z方向)	kN
T o	取付ボルトの設計ボルト張力	kN
σ b	取付ボルトに作用する引張応力	N/mm ²
q	風荷重の速度圧	N/m ²
τ b	取付ボルトに作用するせん断応力	N/mm ²
ρ s	積雪の単位荷重	N/m ² /cm
θ	作用力の角度	°
σ t	鋼材に作用する引張応力	N/mm ²
σ b h	鋼材に作用する曲げ応力 (Y方向)	N/mm ²
σ b v	鋼材に作用する曲げ応力 (Z方向)	N/mm ²
τ h	鋼材に作用するせん断応力 (Y方向)	N/mm ²
τ v	鋼材に作用するせん断応力 (Z方向)	N/mm ²
A	鋼材の断面積	mm ²
A e	鋼材の引張軸力時有効断面積	mm ²
A h	鋼材のせん断有効断面積 (Y方向)	mm ²
A v	鋼材のせん断有効断面積 (Z方向)	mm ²
Z h	鋼材の断面係数 (Y方向)	mm ³
Z v	鋼材の断面係数 (Z方向)	mm ³

記号	記号の説明	単位
N_t	鋼材に作用する最大引張軸力	kN
M_h	鋼材に作用する最大曲げモーメント (Z軸周り)	kN・m
M_v	鋼材に作用する最大曲げモーメント (Y軸周り)	kN・m
Q_{hw}	鋼材に作用するせん断力 (Y方向)	kN
Q_{vw}	鋼材に作用するせん断力 (Z方向)	kN
f_t	鋼材の許容引張応力度	N/mm ²
f_b	鋼材の許容曲げ断応力度	N/mm ²
f_s	鋼材の許容せん断応力度	N/mm ²
E	縦弾性係数	N/mm ²
ν	ポアソン比	—
I	断面二次モーメント	mm ⁴

2.5 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 に示すとおりとする。

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	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	N/mm ²	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	N/mm ²	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：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

3. 評価部位

津波監視カメラの耐震評価は、「5.1 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取付ボルト、カメラ架台について実施する。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。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

津波監視カメラの固有値解析方法を以下に示す。

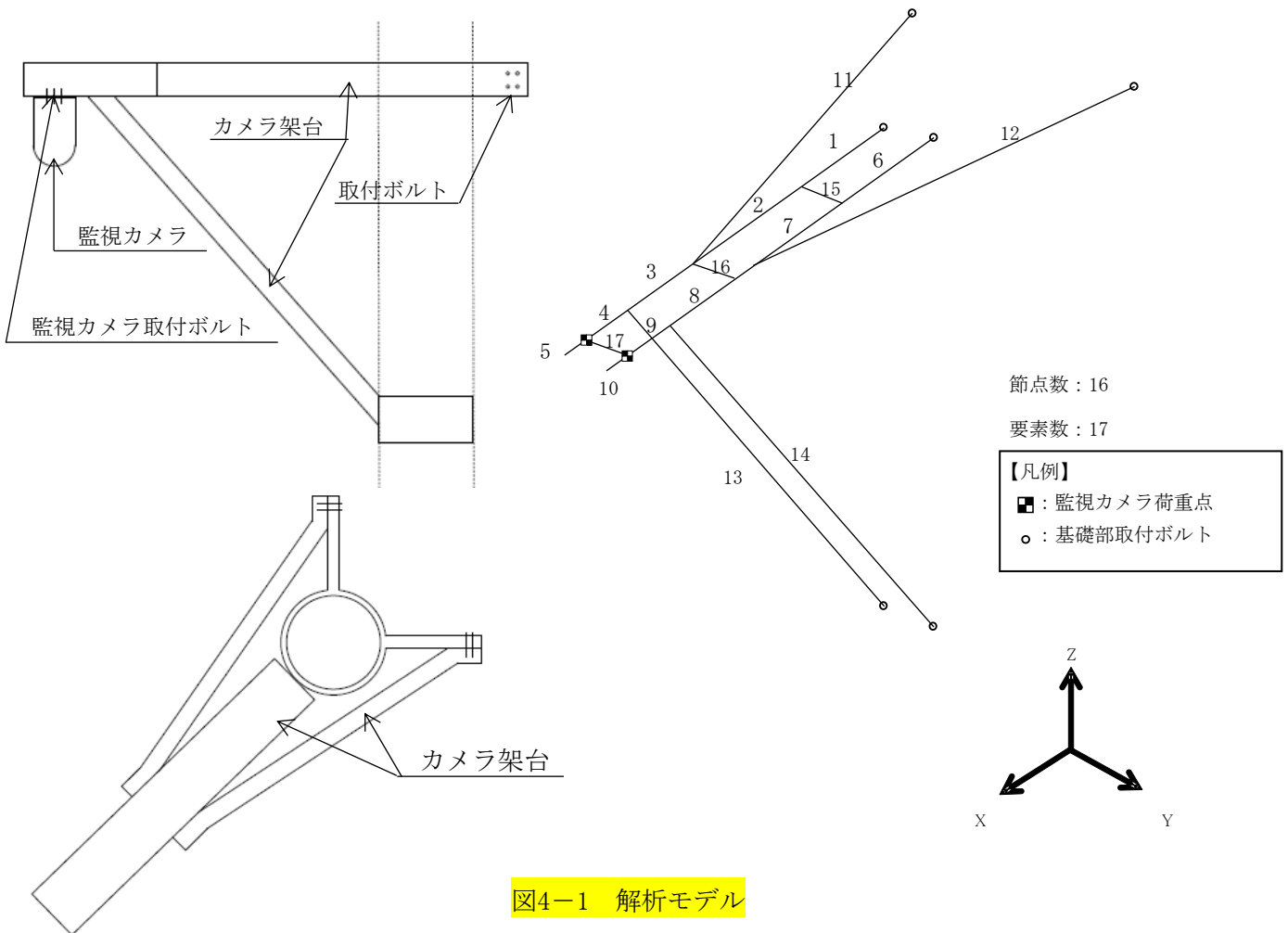
- (1) 津波監視カメラは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

津波監視カメラの解析モデルを図4-1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【津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK1) の耐震性についての計算結果】、【津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK2) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 監視カメラの質量は、設置位置に質点質量として考慮する。
- (2) 拘束条件として、津波監視カメラ架台と主排気筒との接続位置の節点の並進方向及び図4-1に示すZ軸周りの回転方向を拘束する。なお、取付ボルトは剛体として評価する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 計算機プログラムは「NX NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる計算機プログラムの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

K7 ① V-2-10-4-4(1) R0



4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

対象計器	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	
U51-ITV- No. STACK1	1次	水平		—	—	—
U51-ITV- No. STACK2	1次	水平		—	—	—

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は津波監視カメラに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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5-1に示す。

なお、津波監視カメラはV-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」に基づき、自然条件として積雪荷重及び保守的に風荷重を考慮する。

5.2.2 許容応力

津波監視カメラの許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうちの評価に用いるものを表5-3に示す。

表 5-1 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	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	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 5-2 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	
	引張り	せん断	曲げ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 5-3 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	許容限界 (N/mm ²) *1		
		引張り	せん断	曲げ
取付ボルト	F8T	375*2	180*2	—
カメラ架台	SN490B	325*2	187*2	325*2

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：鋼構造設計規準・同解説「許容応力度設計法」に基づく値。

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	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
津波監視カメラ (U51-ITV- No. STACK1)	主排気筒 T. M. S. L. 76. 660 (T. M. S. L. 80. 000*)	□	0. 05 以下	—	—	C _H =6. 89	C _V =1. 82
津波監視カメラ (U51-ITV- No. STACK2)	主排気筒 T. M. S. L. 76. 660 (T. M. S. L. 80. 000*)	□	0. 05 以下	—	—	C _H =6. 89	C _V =1. 82

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、三次元はりモデルによる個別解析から取付ボルト部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

取付ボルトに作用する引張力 F_b 及びせん断力 Q_b は次式より求める。

$$F_b = N \cdot \sin \theta + Q_{hb} \cdot \sin(90 - \theta) \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$Q_b = \sqrt{(N \cdot \cos \theta + Q_{hb} \cdot \cos(90 - \theta))^2 + Q_{vb}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、 N 、 Q_{hb} 及び Q_{vb} は基礎部に作用する力であり解析により求まる。作用角度は図 5-1 に示す通りである。

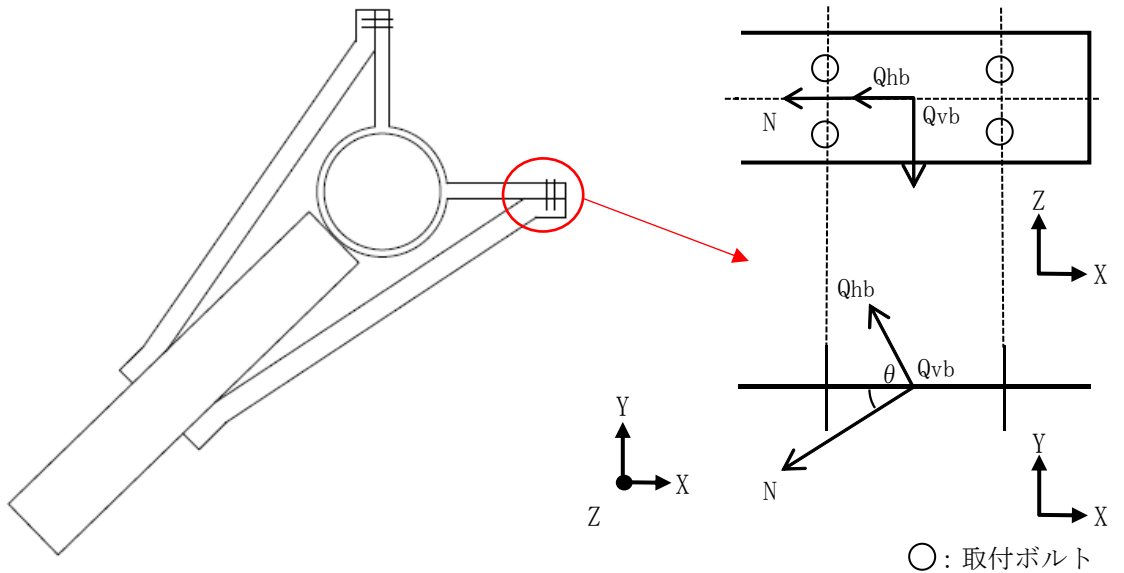


図 5-1 計算モデル (取付ボルト)

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b 及びせん断応力 τ_b は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

(1) 引張応力

取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.5.1.1.5)$$

(2) せん断応力

取付ボルトのせん断応力 τ_b は鋼構造設計基準より求めた高力ボルトの許容せん断応力 f_{st} 以下であること。

$$f_{st} = f_{so} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_b \cdot A_b}{T_o}\right) \dots\dots\dots (5.5.1.1.6)$$

5.4.1.2 カメラ架台の計算方法

カメラ架台は、三次元はりモデルによる個別解析からカメラ架台の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

カメラ架台に作用する力は図5-2に示す通りである。

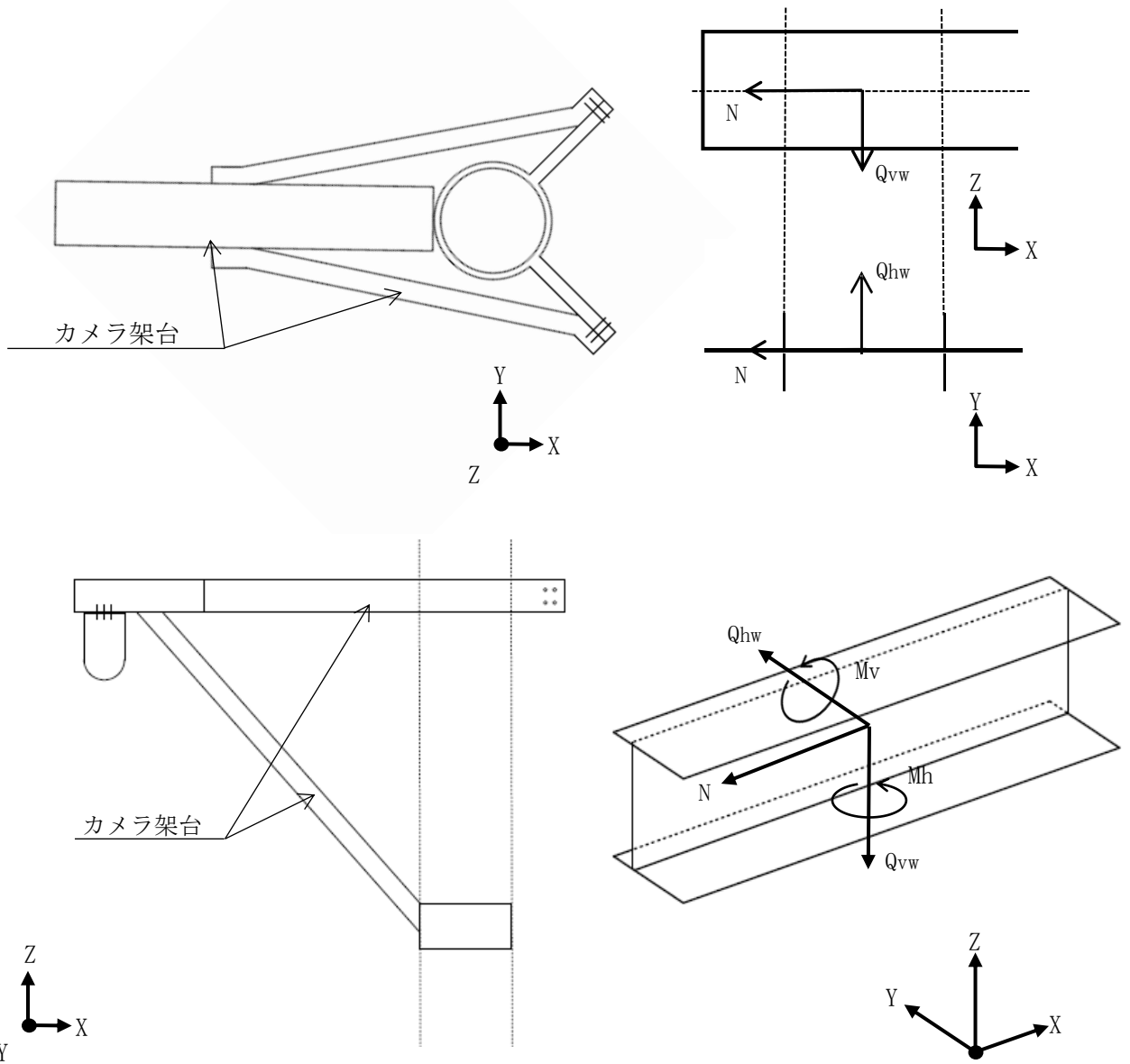


図5-2 計算モデル (カメラ架台)

カメラ架台に作用する引張応力 σ_t 、曲げ応力 σ_{bv} 、 σ_{bh} 及びせん断応力 τ_v 、 τ_h は次式より求める。

$$\sigma_t = \frac{N_t \cdot 10^3}{A_e} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$\sigma_{bv} = \frac{M_v \cdot 10^6}{Z_v} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$\sigma_{bh} = \frac{M_h \cdot 10^6}{Z_h} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

$$\tau_v = \frac{Q_{vw} \cdot 10^3}{A_v} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

$$\tau_h = \frac{Q_{hw} \cdot 10^3}{A_h} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ここで、 N_t 、 M_v 、 M_h 、 Q_{vw} 、 Q_{hw} はカメラ架台に作用する力であり解析により求まる。

(1) 引張

カメラ架台の引張応力 σ_t は鋼構造設計規準より基づく下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.6)$$

(2) 曲げ

カメラ架台の曲げ応力 σ_{bv} 、 σ_{bh} は鋼構造設計規準より基づく下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_{bv}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.7)$$

$$\frac{\sigma_{bh}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.8)$$

(3) せん断

カメラ架台のせん断応力 τ_v 、 τ_h は鋼構造設計規準より基づく下式を満足すること。

$$\frac{\tau_v}{f_s} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.9)$$

$$\frac{\tau_h}{f_s} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.10)$$

(4) 組合せ

カメラ架台の組合せ応力は鋼構造設計基準より引張り、曲げ（Y軸）、曲げ（Z軸）を組合せて下式を満足すること。

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{bh} + \sigma_{bv}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.5.1.2.11)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、表 5-5 に示す。

表 5-5 計算条件 (カメラ本体)

項目	記号	単位	数値等
カメラ架台固定荷重	P1	kN/m	0.25
カメラ本体固定荷重	P2	kN	0.50
水平方向設計震度	C _H	-	6.89
鉛直方向設計震度	C _V	-	1.82
風荷重の速度圧	q	N/m ²	3360
風力係数	C _f	-	2.1
積雪の垂直堆積量	d _s	cm	115.4
積雪の単位荷重	ρ _s	N/m ² /cm	29.4
取付ボルトの軸断面積	A _b	mm ²	314
取付ボルトの本数	n	-	4
取付ボルトの短期許容引張応力度	f _{t o}	N/mm ²	375
取付ボルトの短期許容せん断応力度	f _{s o}	N/mm ²	180
取付ボルトの設計ボルト張力	T _o	kN	133
基礎部に作用する引張力	N	kN	108.3
基礎部に作用するせん断力 (Y 方向)	Q _{h b}	kN	3.62
基礎部に作用するせん断力 (Z 方向)	Q _{v b}	kN	2.11
作用力の角度	θ	°	35.2
鋼材の断面積	A	mm ²	2710
鋼材の引張軸力時有効断面積	A _e	mm ²	1652
鋼材のせん断有効断面積	A _v	mm ²	910
鋼材のせん断有効断面積	A _h	mm ²	1800
鋼材の断面係数 (Y 方向)	Z _h	mm ³	32006
鋼材の断面係数 (Z 方向)	Z _v	mm ³	134890
鋼材に作用する最大引張軸力	N _t	kN	108.83
鋼材に作用する最大曲げモーメント (Y 軸周り)	M _h	kN・m	3.58
鋼材に作用する最大曲げモーメント (Z 軸周り)	M _v	kN・m	0.83
鋼材に作用する最大せん断力 (Y 方向)	Q _{h w}	kN	10.09
鋼材に作用する最大せん断力 (Z 方向)	Q _{v w}	kN	4.17
鋼材の許容引張応力度	f _t	N/mm ²	325
鋼材の許容曲げ断応力度	f _b	N/mm ²	325
鋼材の許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	187

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

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V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

津波監視カメラの機能確認済加速度は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦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最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK1)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK2)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する構造強度評価

a. 取付ボルトの構造強度評価

取付ボルトの構造強度評価の結果を表 7-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、取付ボルトが構造健全性を有することを確認した。

表 7-1 基準地震動 S_s に対する評価結果

評価部位	評価応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	検定比
取付ボルト	引張り	$\sigma_b = 52$	$f_{ts} = 375^*$	0.14
	せん断	$\tau_b = 73$	$f_{st} = 157$	0.47

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

b. カメラ架台の構造強度評価

カメラ架台の構造強度評価の結果を表 7-2 に示す。発生応力が許容応力以下であることから、カメラ架台が構造健全性を有することを確認した。

表 7-2 基準地震動 S_s に対する評価結果

評価部位	応力	発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	検定比	
カメラ架台	引張り	$\sigma_t = 66$	$f_t = 325$	0.21	
	曲げ	Y方向	$\sigma_{bh} = 112$	$f_b = 325$	0.35
		Z方向	$\sigma_{bv} = 7$	$f_b = 325$	0.02
	せん断	Y方向	$\tau_h = 7$	$f_s = 187$	0.03
		Z方向	$\tau_v = 6$	$f_s = 187$	0.03
	組合せ		$\sigma_t = 66$ $\sigma_{bh} + \sigma_{bv} = 119$	$f_t = 325$ $f_b = 325$	0.57*

注記* : 組合せの検定比 = $\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{bh} + \sigma_{bv}}{f_b}$

c. その他の機器要目

(1) カメラ架台の材料物性値

項目	記号	単位	入力値
材料	—	—	SN490B
縦弾性係数	E	N/mm ²	2.05×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	17
節点数	—	個	16

(2) カメラ架台の断面性状

要素番号	項目	単位	入力値
1~17	軸断面積	mm ²	2710
	せん断断面積 (Y 方向)	mm ²	1800
	せん断断面積 (Z 方向)	mm ²	910
	断面二次モーメント (Y 軸周り)	mm ⁴	1.01×10^7
	断面二次モーメント (Z 軸周り)	mm ⁴	1.76×10^6
	ねじり剛性	mm ⁴	6.60×10^4

(2) 基準地震動 S_s に対する機能維持評価

津波監視カメラ（カメラ本体）の電氣的機能維持評価の結果を表 7-3 に示す。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から、津波監視カメラ（カメラ本体）の電氣的機能維持を確認した。

表 7-3 電氣的機能維持評価 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK1)	水平方向	5.75	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.51	<input type="text"/>
津波監視カメラ (U51-ITV-No. STACK2)	水平方向	5.75	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.51	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。