

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 441-改 1
提出年月日	平成 30 年 7 月 10 日

V-2-6-7-6 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ
の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	2
3. 耐震評価箇所	3
4. 地震応答解析及び応力評価	3
4.1 基本方針	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.3 設計用地震力	6
4.4 解析モデル及び諸元	7
4.5 固有値解析	7
4.6 応力評価方法	7
5. 機能維持評価	9
5.1 機能維持評価方法	9
6. 評価結果	10
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	

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、統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ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。

なお、統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナは、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

衛星アンテナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの構造計画

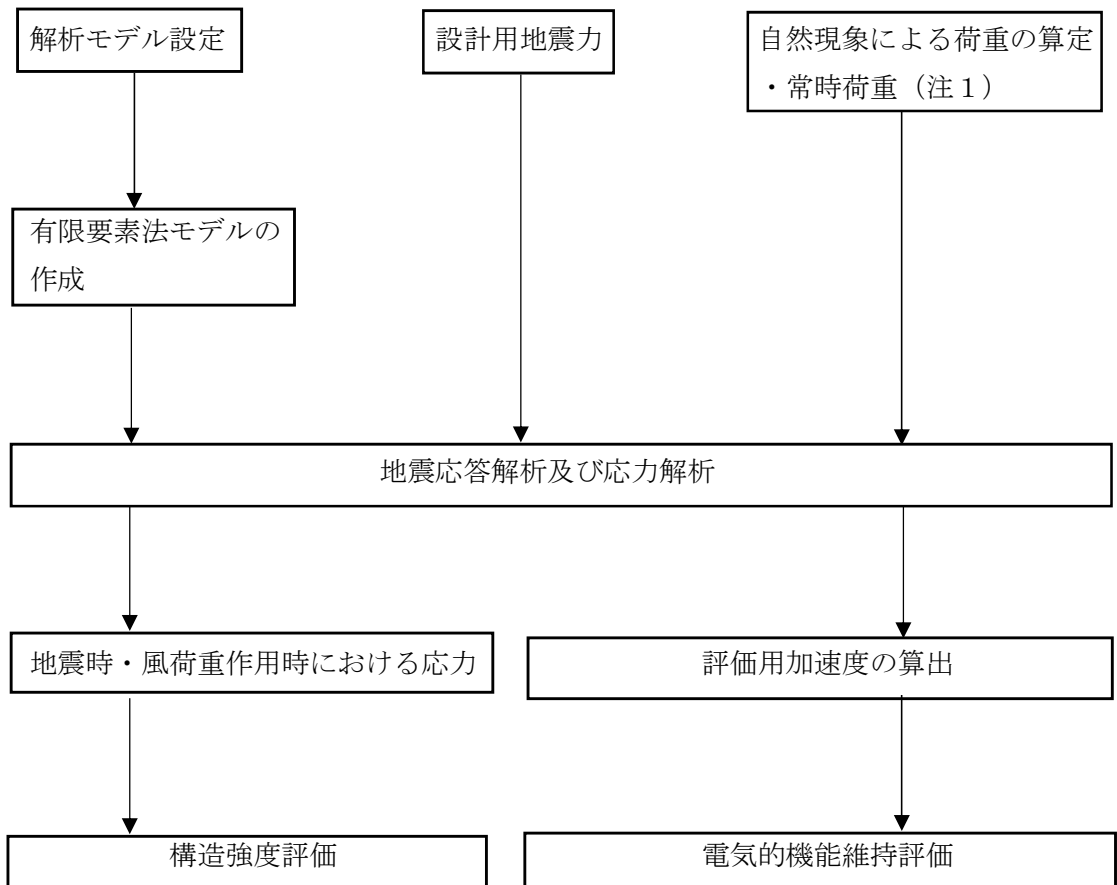
機器名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ	アンテナ（注）	衛星アンテナをボルトにて架台に固定する。架台は基礎ボルトにて屋上面に固定する。	

（注）機能維持評価を行う，ODU（送受信装置）を実装

2.2 評価方針

衛星アンテナの応力評価は、資料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 構造の説明」にて示す統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの機能維持評価は、資料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、「5. 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、「6. 評価結果」に示す。

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価フローを図2-1に示す。



(注1) 常時荷重は、自重、風荷重を考慮するものとする。また、上面積は小さく、積雪荷重はわずかであるため、積雪荷重を含めない。

図2-1 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震評価は、耐震評価上厳しい基礎ボルト、ステー、アーム、架台を選定して実施する。(但し、固有値解析の結果、20Hz 以上の場合は、評価部位は基礎ボルトのみとする。)

4. 地震応答解析及び応力評価

固有値、応力及び荷重を算出するための地震応答解析について以下に示す。

4.1 基本方針

- (1) 固有値を求めるため、衛星アンテナをはり要素及びシェル要素によりモデル化した 3 次元 FEMモデルまたはソリッドモデルにより固有値解析を行い、固有値解析の結果 20Hz 以上である場合は最大床応答加速度の 1.2 倍を用いた静解析を、20Hz 未満である場合はスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) 解析コードは、「ABAQUS 6.12-1」を使用する。なお、評価に用いる「ABAQUS 6.12-1」の検証及び妥当性確認などの概要については、付録 15「計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。
- (3) 境界条件は、基礎ボルト固定部を完全固定とする、なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) ODU（電源部含む）は、取り付け位置に質量要素として付加する。
- (5) 許容応力について J S M E S N C 1-2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、少数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの使用材料の許容応力のうち常設重大事故等緩和設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	その他	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ	常設重大事故防止設備及び重大事故緩和設備以外の重大事故等対処設備	-*2	$D + P_D + M_D + S_S + P_K^{*3}$	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S + P_K$	V_{AS} (V_{AS} として、 IV_{AS} の許容限界を用いる)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S + P_K$ 」の評価に包絡される場合は，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等対処設備）

許容 応力状態	許容限界 (ボルト等以外)				許容限界 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A Sとして, IV _A Sの許容限界 を用いる)						

注：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。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

基礎ボルト

材質	雰囲気温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _y (RT)(MPa)	S _u (MPa)
SUS304	40	205	205	520

注：後述する固有値解析の結果，20Hz 以上であることから，ステー，アーム，架台の使用材料については省略

4.3 設計用地震力

耐震計算における入力地震力には、資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表 4-4 に示す条件を用いて作成した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は、JEAG4601-1987 の「ポンプ・ファン等の機械装置」に準じ、1.0%とする。

表 4-4 設計用地震力

地震動	設置場所 及び床面 高さ (m)	設計用床応答曲線		備考
		建屋及び 高さ (m)	方向	
基準 地震動 S _s	緊急時 対策所建 屋 EL. 51.0	緊急時 対策所建 屋 EL. 51.0	水平	水平方向，鉛直方向ともにS _s 8波を 包絡した値を用いる。
			鉛直	

4.4 解析モデル及び諸元

解析モデルは、統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナをはり要素及びシェル要素にてモデル化した、3次元FEMモデルまたはソリッドモデルとする。解析モデルを図4-1に、解析モデルの諸元を表4-5に示す。

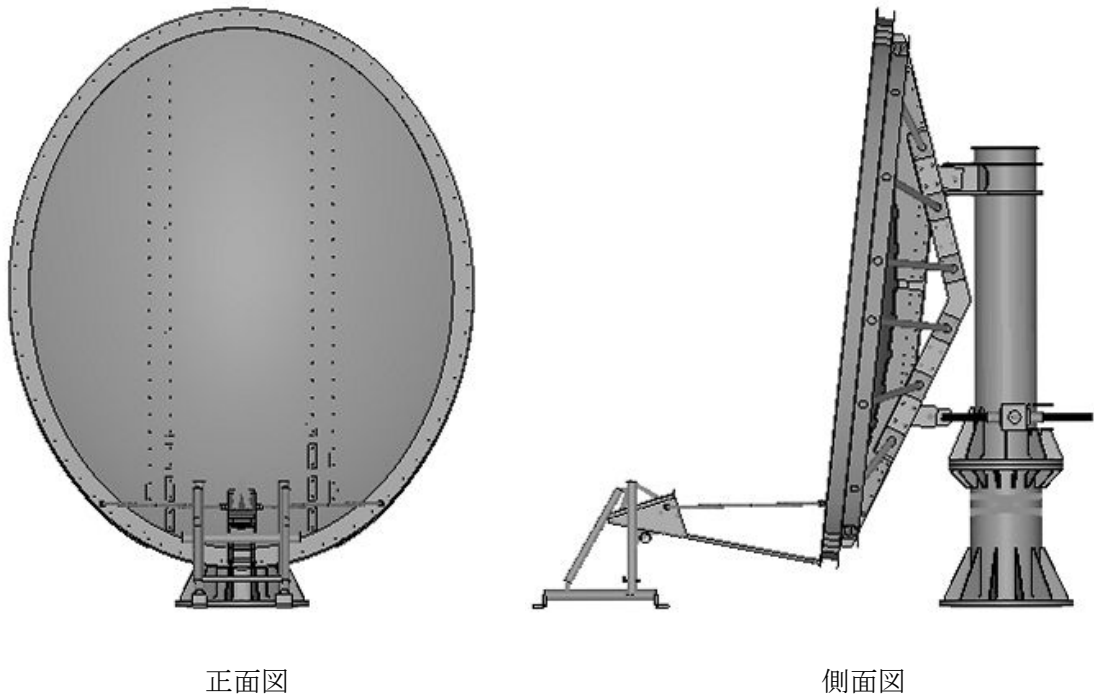


図 4-1 解析モデル図

表 4-5 解析モデルの諸元

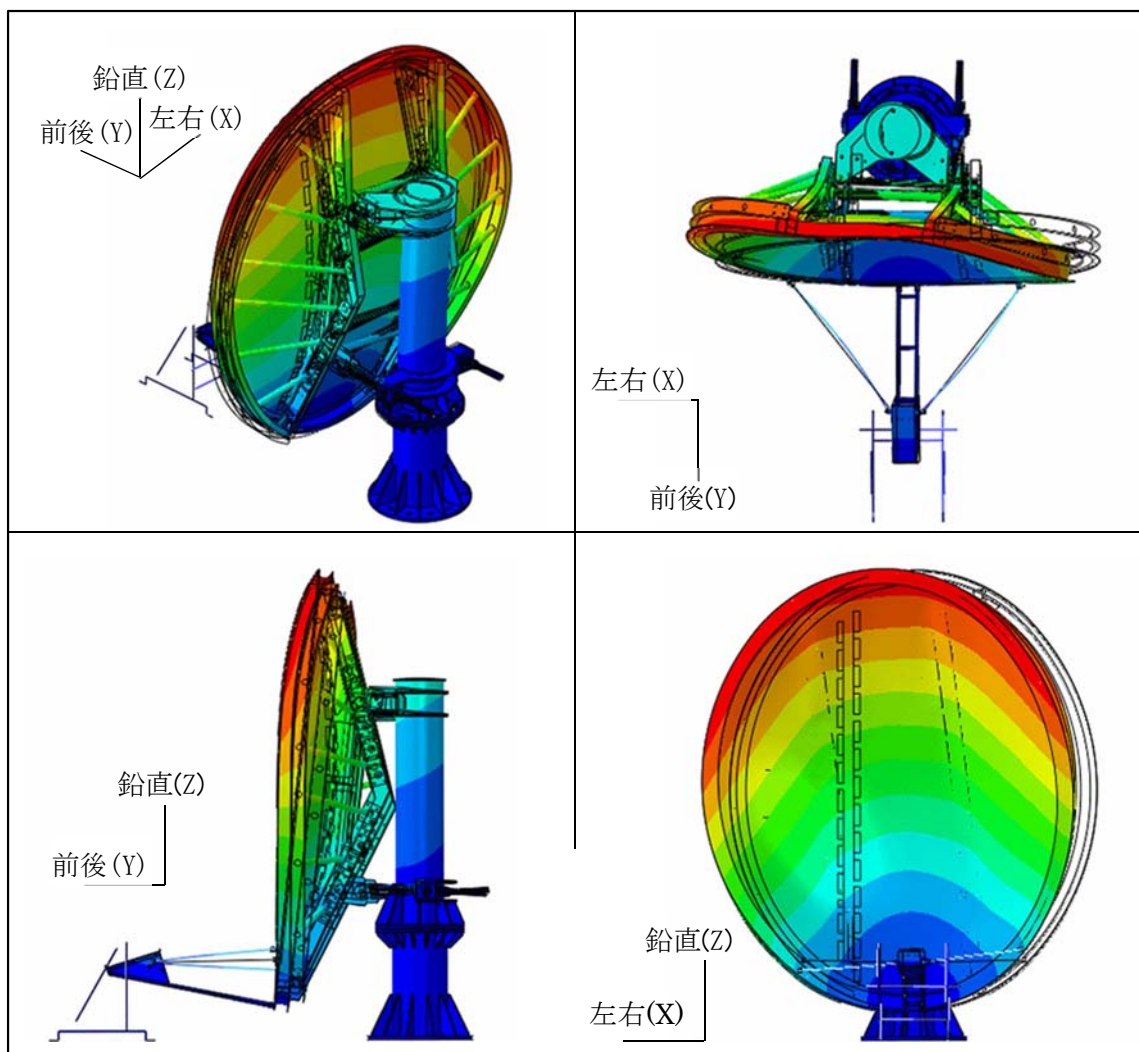
項目	記号	単位	入力値	
材質	—	—	SS400 (16mm 以下)	
	—	—	SS400 (25mm 以下)	
	—	—	STK400	
	—	—	A5052P-H34	
	—	—	A6063S-T5	
	—	—	SUS304	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40	
縦弾性係数	SS400/STK400	E	MPa	2.05×10^5
	A5052P-H34	E	MPa	7.0×10^4
	A6063S-T5	E	MPa	7.0×10^4
	SUS304	E	MPa	1.93×10^5
密度	SS400/STK400	V	kg/mm ³	7.87×10^{-6}
	A5052P-H34	V	kg/mm ³	2.7×10^{-6}
	A6063S-T5	V	kg/mm ³	2.7×10^{-6}
	SUS304	V	kg/mm ³	8.03×10^{-6}

4.5 固有値解析

固有値解析の結果を表 4-6 に、振動モード図を図 4-2、図 4-3 及び図 4-4 に示す。

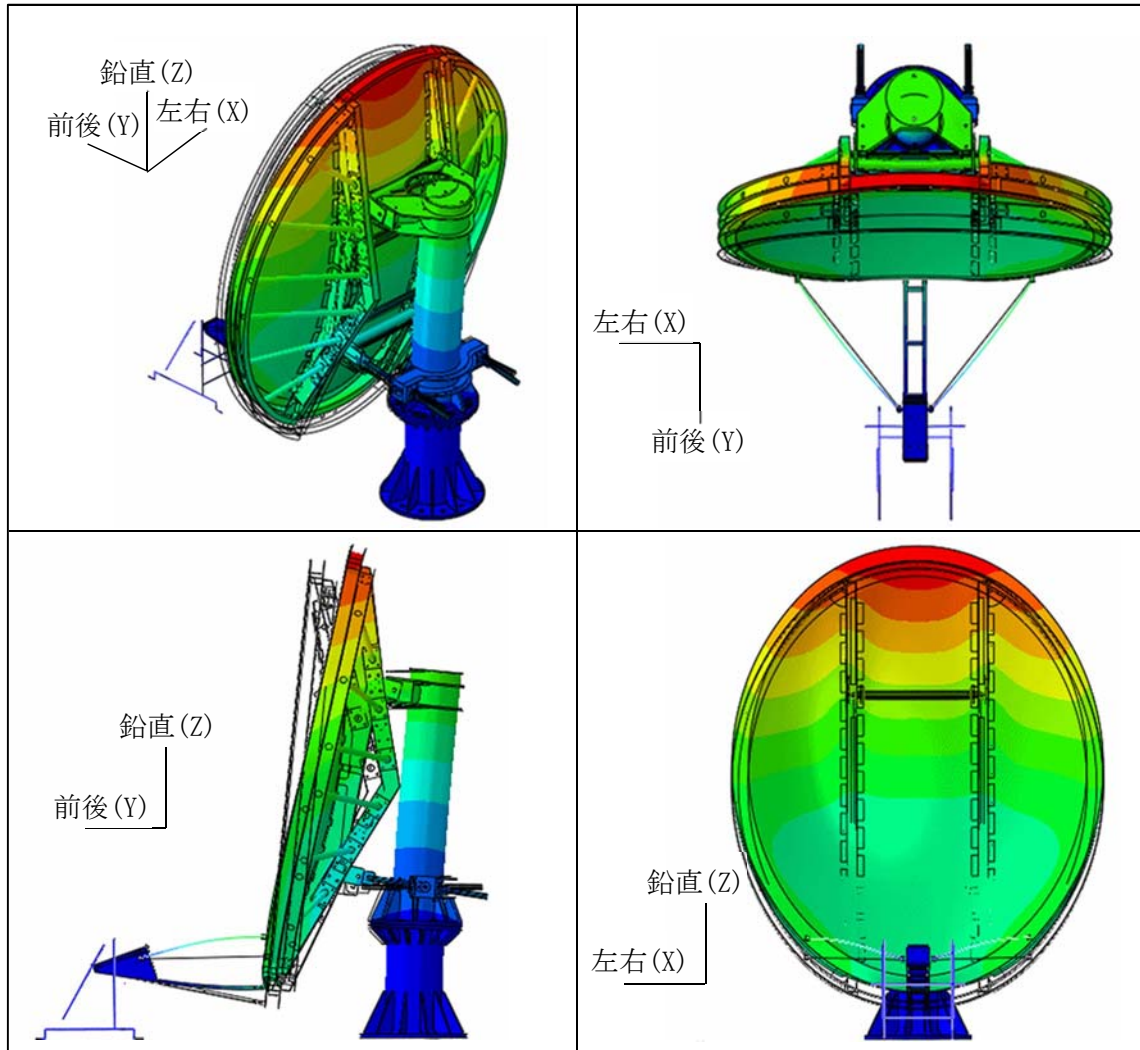
表 4-6 固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数			卓越方向
		左右方向(X)	前後方向(Y)	鉛直方向(Z)	
1	23.0	0.525	0.000	0.000	左右(X)
2	28.8	-0.001	-0.552	0.249	前後(Y)
6	50.6	0.000	0.414	0.367	鉛直(Z)



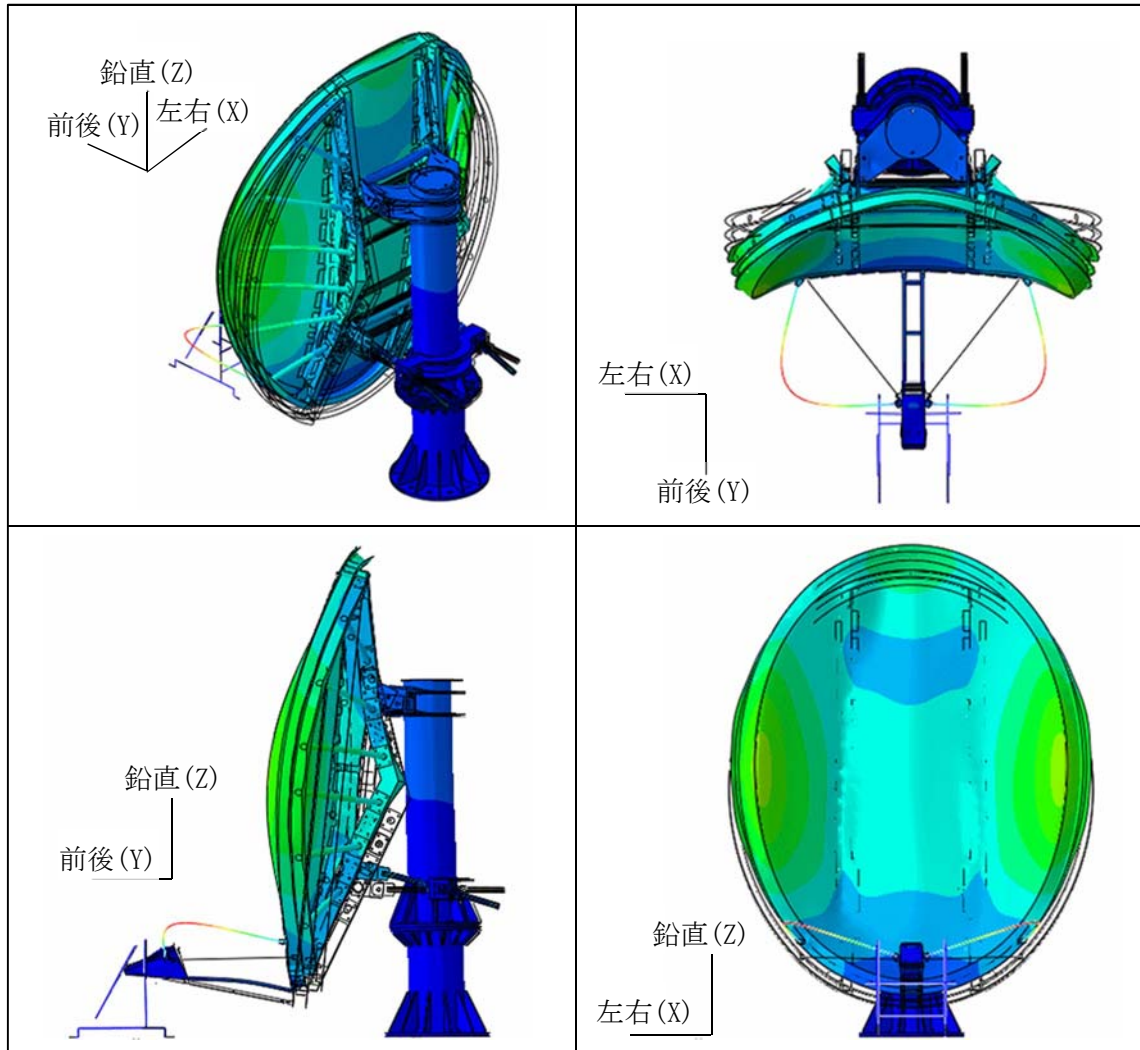
※図中の色は固有振動数モードにおける、変形の相対的な大きさを表す。(赤：変形大、青：変形小)

図 4-2 振動モード図 (23.0Hz)



※図中の色は固有振動数モードにおける，変形の相対的な大きさを表す。(赤：変形大、青：変形小)

図 4-3 振動モード図 (28.8Hz)



※図中の色は固有振動数モードにおける，変形の相対的な大きさを表す。(赤：変形大、青：変形小)

図 4-4 振動モード図 (50.6Hz)

4.6 応力評価方法

4.6.1 評価部位

固有値解析の結果 20Hz 以上であることから、評価部位は耐震評価上厳しい架台部の基礎ボルトとする。

4.6.2 許容応力

表 4-2 に記載の許容応力のうち、許容限界（ボルト等）を用いる。また、基礎ボルトの諸元は表 4-3 の値を用いる。

基礎ボルトは使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金であることから、F*値は以下の計算式により算定する。

$$F * = \text{Min}[1.35 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u, S_y (RT)] = 205.00 \text{MPa}$$

許容引張応力 f_t^* (f_{t0}) の算出

$$f_t * = 1.5 \cdot \frac{F *}{2} (= f_{t0}) = 153.75$$

→ 153 MPa

許容せん断応力 f_s^* の算出

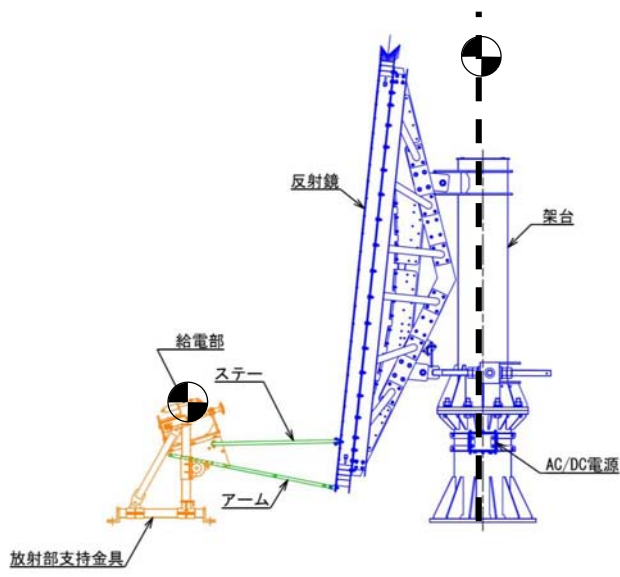
$$f_s * = 1.5 \cdot \frac{F *}{1.5 \cdot \sqrt{3}} = 118.36$$

→ 118MPa

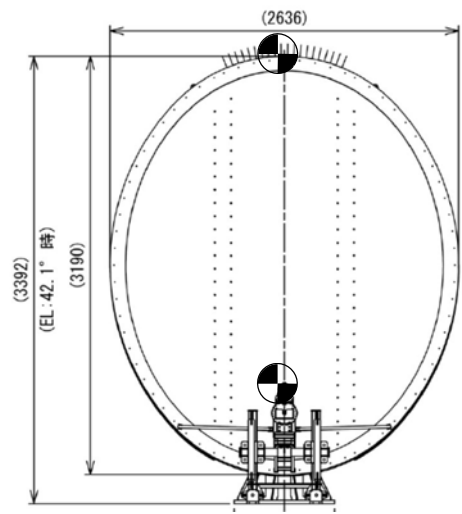
4.6.3 応力計算

基礎ボルトの応力算出条件及び概念図（図 4-5）を以下に示す。

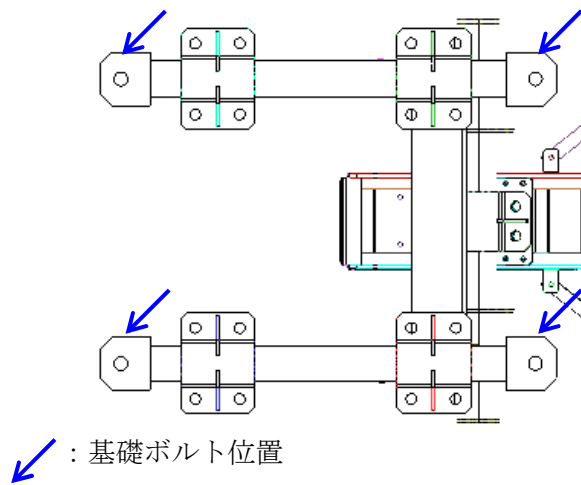
- (1)耐震計算モデルは 1 質点系モデルとする。基礎ボルトの評価において衛星アンテナを支持する架台部と ODU を支持する架台部は独立していると仮定して評価する。
- (2)衛星アンテナを支持する架台部の基礎ボルト（以下、基礎ボルト 1）の評価には架台部側の質量を、ODU を支持する架台部の基礎ボルト（以下、基礎ボルト 2）は ODU 部側の質量を考慮する。中間に位置するステー及びアームの質量は保守的に両者に考慮する。
- (3)衛星アンテナの重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (4)風荷重も地震荷重の作用点と同一点に作用するものとする。
- (5)基礎ボルト 1 は円周配置ボルトである。工事計画認可図書「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の円形配置ボルトの評価法を基本として、風荷重を考慮した評価を行う。
- (6)基礎ボルト 2 は矩形配置ボルトである。工事計画認可図書「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の矩形配置ボルトの評価法を基本として、風荷重を考慮した評価を行う。



前後方向モデル概念図 (側面図)

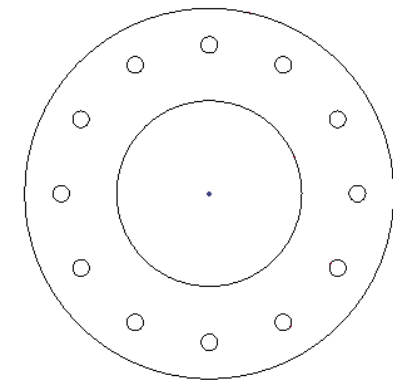


左右方向モデル概念図 (正面図)



↙ : 基礎ボルト位置

ODU を支持する架台部
基礎ボルト 2 配置図



衛星アンテナを支持する架台部
基礎ボルト 1 配置図

図 4-5 衛星アンテナの基礎ボルト配置図

4.6.3.1 基礎ボルト 1

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合条件を考慮することにより求める。

(1)引張応力

基礎ボルト 1 に生じる引張応力は次表の式にて求める。

引張応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\frac{2 \cdot F_{t1}}{t_1 \cdot D_c \cdot C_{t1}}$
左右加振時		$\frac{2 \cdot F_{t2}}{t_1 \cdot D_c \cdot C_{t2}}$

$$\ast F_{t1} = \frac{M_{s1} - (1 - C_v)m_1 \cdot g \cdot z_1 \cdot D_c}{e_1 \cdot D_c}, \quad F_{t2} = \frac{M_{s2} - (1 - C_v)m_1 \cdot g \cdot z_2 \cdot D_c}{e_2 \cdot D_c}$$

なお、 F_{t1} 及び F_{t2} の算定式における M_{s1} 及び M_{s2} は、「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式より算出する。

「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$M_s = C_H \cdot m \cdot g \cdot h$	$M_s = (C_H \cdot m \cdot g + P_k) \cdot h$

記号の説明を、表 4-7 に示す。

表 4-7 記号の説明

記号	説明	単位	数値
F_{t1}, F_{t2}	基礎ボルト 1 に作用する引張力	N	—
t_1	基礎ボルト 1 の面積相当板幅	mm	4.426
D_c	基礎ボルト 1 のピッチ円直径	mm	610
C_{t1}, C_{t2}	基礎ボルト計算における係数	—	2.595
M_{s1}, M_{s2}	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm	—
C_v	鉛直方向設計震度	—	1.45
m_1	質点 1 の質量	kg	900
g	重力加速度	m/s ²	9.80665
z_1, z_2	基礎ボルト計算における係数	—	0.4527
e_1, e_2	基礎ボルト計算における係数	—	0.7775
C_H	水平方向設計震度	—	1.93
h_1	基礎から質点 1 の重心までの距離	mm	3392
P_{k11}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重 (前後方向加振時)	N	1.531450 ×10 ⁴
P_{k12}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重 (左右方向加振時)	N	5.564755 ×10 ³

(2)せん断応力

基礎ボルト 1 に生じるせん断応力は次表の式にて求める。

せん断応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\frac{C_H \cdot m_1 \cdot g + P_{k11}}{n_1 \cdot A_{b1}}$
左右加振時		$\frac{C_H \cdot m_1 \cdot g + P_{k12}}{n_1 \cdot A_{b1}}$

なお、上表の計算式は、「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式としている

「平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$\frac{C_H \cdot m \cdot g}{n \cdot A_b}$	$\frac{C_H \cdot m \cdot g + P_k}{n \cdot A_b}$

記号の説明を、表 4-8 に示す。

表 4-8 記号の説明

記号	説明	単位	数値
C_H	水平方向設計震度	—	1.93
m_1	質点 1 の質量	kg	900
g	重力加速度	m/s ²	9.80665
P_{k11}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重 (前後方向加振時)	N	1.531450 ×10 ⁴
P_{k12}	基礎ボルト 1 の評価に考慮する風荷重 (左右方向加振時)	N	5.564755 ×10 ³
n_1	基礎ボルト 1 の本数	—	12
A_{b1}	基礎ボルト 1 の軸断面積 (= $\pi d_1^2/4$)	mm ²	706.9

(3)許容応力

せん断応力を同時に受けるボルトの許容引張応力の算出式は次のとおり。

$$\text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_{b11}, f_{t0}] \text{ (前後方向加振時)}$$

$$\text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_{b12}, f_{t0}] \text{ (左右方向加振時)}$$

ここで τ_{b11} 及び τ_{b12} の値は、それぞれ(2)せん断応力で求めた前後方向加振時及び左右方向加振時の値である。

4.6.3.2 基礎ボルト 2

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

(1)引張応力

基礎ボルト 1 に生じる引張応力は次表の式にて求める。

引張応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$\frac{F_{b1}}{A_{b2}}$
左右加振時		$\frac{F_{b2}}{A_{b2}}$

$$\ast F_{b1} = \frac{(m_2 \cdot C_H \cdot g + P_{k21}) \cdot h_2 - m_2 \cdot (1 - C_v) l_2 \cdot g}{n_{f1}(l_1 + l_2)}, \quad F_{b2} = \frac{(C_H \cdot m_2 \cdot g + P_{k22}) \cdot h_2 - m_2 \cdot (1 - C_v) l_4 \cdot g}{n_{f2}(l_3 + l_4)}$$

なお、 F_{b1} 及び F_{b2} は、「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式としている。

「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_v) l_2 \cdot g}{n_f(l_1 + l_2)}$	$F_b = \frac{(m \cdot C_H \cdot g + P_k) \cdot h - m \cdot (1 - C_v) l_2 \cdot g}{n_f(l_1 + l_2)}$

記号の説明を、表 4-9 に示す。

表 4-9 記号の説明

記号	説明	単位	数値
A_{b2}	基礎ボルト 2 の軸断面積 ($= \pi d_2^2/4$)	mm ²	314.2
m_2	質点 2 の質量	kg	86
C_H	水平方向設計震度	—	1.93
g	重力加速度	m/s ²	9.80665
P_{k21}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重 (前後方向加振時)	N	7.884587×10^2
P_{k22}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重 (左右方向加振時)	N	1.104182×10^3
h_2	基礎から質点 2 の重心までの距離	mm	888
C_v	鉛直方向設計震度	—	1.45
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向 (前後) 距離 ($l_1 \leq l_2$)	mm	528
l_4	重心と基礎ボルト間の水平方向 (左右) 距離 ($l_3 \leq l_4$)	mm	240
n_2	基礎ボルト 2 の本数	—	4
n_{f1}, n_{f2}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—	2
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向 (前後) 距離 ($l_1 \leq l_2$)	mm	172
l_3	重心と基礎ボルト間の水平方向 (左右) 距離 ($l_3 \leq l_4$)	mm	240

(2)せん断応力

基礎ボルト 1 に生じるせん断応力は次表の式にて求める。

引張応力	単位	計算式
前後加振時	MPa	$m_2 \cdot C_H \cdot g + P_{k21}$
左右加振時		$m_2 \cdot C_H \cdot g + P_{k22}$

なお、上表の計算式は、「計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」の評価式に風荷重を考慮した以下の式としている。

「計器スタンションの耐震性についての 計算書作成の基本方針」の評価式	風荷重考慮式
$m \cdot C_H \cdot g$	$m \cdot C_H \cdot g + P_k$

記号の説明を表 4-10 に示す。

表 4-10 記号の説明

記号	説明	単位	数値
m_2	質点 2 の質量	kg	86
C_H	水平方向設計震度	—	1.93
g	重力加速度	m/s ²	9.80665
P_{k21}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重 (前後方向加振時)	N	7.884587×10^2
P_{k22}	基礎ボルト 2 の評価に考慮する風荷重 (左右方向加振時)	N	1.104182×10^3

(3)許容応力

せん断応力を同時に受けるボルトの許容引張応力の算出式は次のとおり。

$$\text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_{b11}, f_{t0}] \text{ (前後方向加振時)}$$

$$\text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_{b12}, f_{t0}] \text{ (左右方向加振時)}$$

ここで τ_{b11} 及び τ_{b12} の値は、それぞれ(2)せん断応力で求めた前後方向加振時及び左右方向加振時の値である。

5. 機能維持評価

統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナは、地震後においても電氣的機能維持が要求されており、地震後においても、その機能維持がなされていることを示す。

5.1 電氣的機能維持評価方法

機能維持評価は、固有値解析の結果が 20Hz 以上であったことから、緊急時対策所屋上 (EL. 51.00m) の 1.0ZPA を用いて、評価対象器具である ODU (電源部含む) の最大加速度 (評価用加速度) を求め、機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には、ODU 単体及び ODU 電源部の正弦波加振試験 (掃引試験及びビート試験) において、通信試験により電氣的機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。また、評価する ODU 単体及び ODU 電源部の実装図を図 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

器具名称	電氣的機能維持確認済加速度 (G)		
	X (左右)	Y (前後)	Z (鉛直)
ODU	[Redacted]		
ODU 電源部			

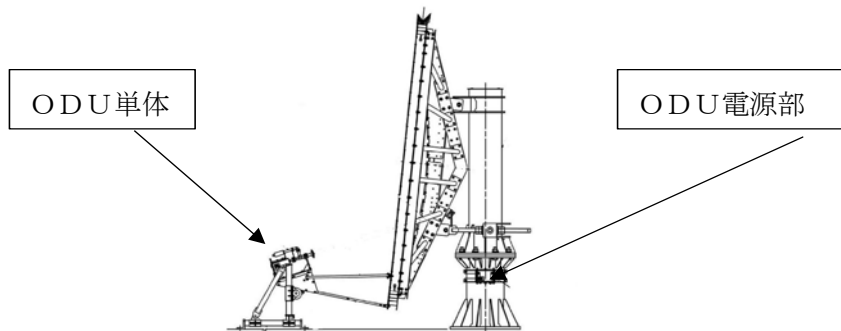


図 5-1 ODU 単体及び ODU 電源部の実装図

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

衛星アンテナの重大事故当時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容値を満足しており、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。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を表 6-1 に示す。また、電氣的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。

表 6-1 基準地震動 S_s に対する応力評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	加速度の方向	発生応力	許容応力
				MPa	MPa
衛星アンテナ	基礎ボルト 1	引張応力	前後	67	153
			左右	47	153
		せん断応力	前後	4	118
			左右	3	118
	基礎ボルト 2	引張応力	前後	6	153
			左右	9	153
		せん断応力	前後	2	118
			左右	3	118

表 6-2 電氣的機能維持評価結果（重大事故等対処施設）

評価対象 設備	評価部位	機能確認済加速度との比較			
		水平加速度 (G)		鉛直加速度 (G)	
		評価用加速度	機能確認済 加速度	評価用加速度	機能確認済 加速度
衛星 アンテナ	ODU 単体	1.61		1.21	
	ODU 電源部	1.61		1.21	