

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0387_改0
提出年月日	2021年7月16日

VI-2-6-7-5 安全パラメータ表示システム（SPDS）無線通信用アンテナの耐震性についての計算書

○ 2 ③ VI-2-6-7-5 R 1

2021年7月
東北電力株式会社

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	6
3.	評価部位	7
4.	固有周期	7
4.1	基本方針	7
4.2	固有周期の確認方法	7
4.3	固有周期の確認結果	7
5.	構造強度評価	8
5.1	構造強度評価方法	8
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2	許容応力	8
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
5.2.4	風荷重	8
5.2.5	積雪荷重	8
5.3	設計用地震力	12
5.4	計算方法	13
5.4.1	応力の計算方法	13
5.5	計算条件	16
5.5.1	ボルトの応力計算条件	16
5.6	応力の評価	17
5.6.1	ボルトの応力評価	17
6.	機能維持評価	18
6.1	電氣的機能維持評価方法	18
7.	評価結果	19
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、添付書類「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、安全パラメータ表示システム（SPDS）無線通信用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。

無線通信用アンテナは、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。

なお、構造強度評価については、無線通信用アンテナの基礎ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については評価用加速度が最大となる器具を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）（代表）	5. 構造強度評価	表 2-1 構造計画
無線通信用アンテナ（緊急時対策建屋側）		

2. 一般事項

2.1 構造計画

無線通信用アンテナの構造計画を表 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	
無線通信用アンテナは、アンテナ金具で無線通信用アンテナ取付架台に設置する。無線通信用アンテナ取付架台は基礎（壁面）に基礎ボルトで設置する。	無線通信用アンテナ（無線通信用アンテナ取付架台を壁面に設置し、その架台に無線通信用アンテナをアンテナ金具を介して設置する構造）	

(単位：mm)

2.2 評価方針

無線通信用アンテナの応力評価は、添付書類「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 構造計画」にて示す無線通信用アンテナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認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、無線通信用アンテナの機能維持評価は、添付書類「VI-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。

無線通信用アンテナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

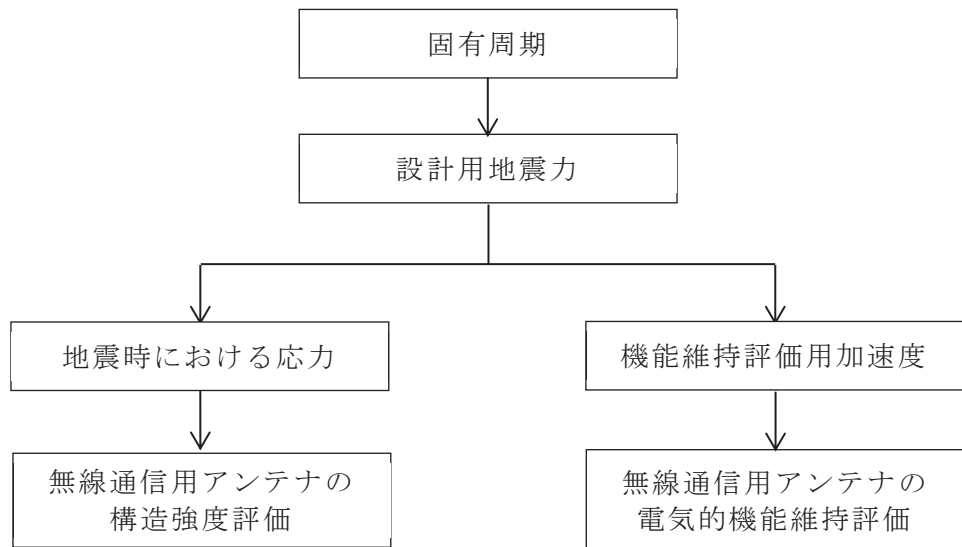


図 2-1 無線通信用アンテナの耐震評価フロー

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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	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	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	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	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_2	取付面から重心までの距離 (壁掛型)	mm
h_a	取付面からアンテナ先端までの距離 (壁掛型)	mm
l_3	重心と下側ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
l_a	側面 (左右) ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
l_b	上下ボルト間の距離 (壁掛型)	mm
m	無線通信用アンテナの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fv}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向) (壁掛形)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (正面方向) (壁掛形)	—
P_k	風荷重	N
P_s	積雪荷重	N
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型)	N
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
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
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	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中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. 評価部位

無線通信用アンテナの耐震評価は、「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基礎ボルトについて実施する。

無線通信用アンテナ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 基本方針

無線通信用アンテナの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。測定の結果、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 固有周期 (単位：s)

水平方向	0.05 以下
鉛直方向	0.05 以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 無線通信用アンテナの質量は、重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は、無線通信用アンテナに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 無線通信用アンテナは基礎ボルトで基礎（壁面）に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、図 5-1 及び図 5-2 における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 無線通信用アンテナの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算書に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

無線通信用アンテナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

無線通信用アンテナの許容応力は、添付書類「VI-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

無線通信用アンテナの使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

5.2.4 風荷重

風荷重は、風速 30m/s を使用し、無線通信用アンテナの形状、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 5-4 に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は、単位荷重 20N/cm/m^2 * を使用し、無線通信用アンテナの形状を踏まえ、作用する積雪荷重を算出する。算出した積雪荷重を表 5-5 に示す。

注記*：積雪量 1cm ごとに 1m^2 あたり 20N であることを示す。

表 5-1 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*1	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	無線通信用アンテナ	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_S$ *3	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限 界を用いる。)

注記*1：「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を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力 (重大事故等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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _{AS}		
V _{AS} (V _{AS} としてIV _{AS} の 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度 40	235	400	—

表 5-4 基準速度圧 (単位：N)

使用する部位	基準速度圧
無線通信用アンテナ取付架台	255.0

表 5-5 積雪荷重 (単位：N)

使用する部位	積雪荷重
無線通信用アンテナ取付架台	119.2

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

「基準値震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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		基準値震動 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
原子炉建屋 O.P. 33.20 (O.P. 41.20*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H = 3.43$	$C_V = 1.89$

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 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

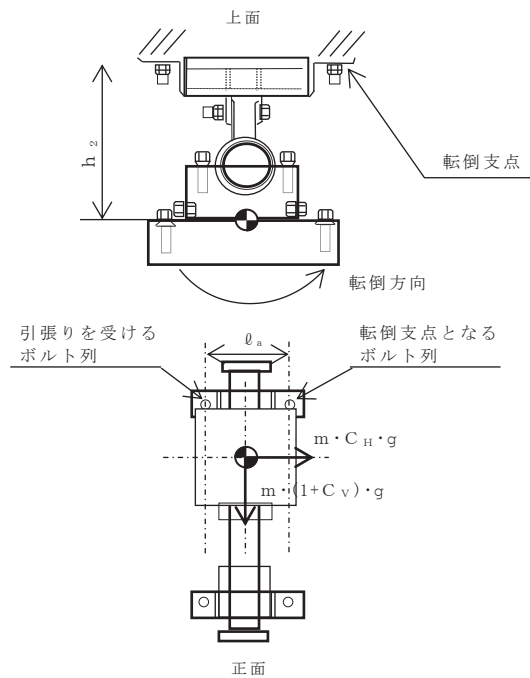


図 5-1 計算モデル（水平方向転倒）

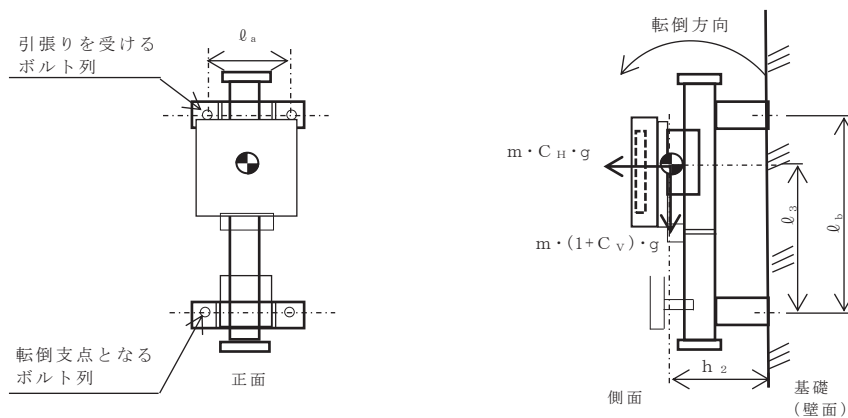


図 5-2 計算モデル（鉛直方向転倒）

(1) 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5-1及び図5-2で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

計算モデル図5-1の場合の引張力

$$F_{b1} = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot \left[\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right] + \left[\frac{P_K \cdot h_a}{n_{fH} \cdot \ell_a} \right] \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図5-2の場合の引張力

$$F_{b2} = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot \left[\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right] \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

ただし、F_bが負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力 (Q_b)

$$Q_{b1} = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot (1 + C_v) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b + P_K}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）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。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 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。

ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎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_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

無線通信用アンテナ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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」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。

無線通信用アンテナの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の方針」に基づき、同形式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器具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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
無線通信用アンテナ (原子炉建屋側)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

無線通信用アンテナの重大事故等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) 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。

【無線通信用アンテナ（原子炉建屋側）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び末端高さ (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	
無線通信用アンテナ (原子炉建屋側)	常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20 (O.P. 41.20*)	0.05 以下	0.05 以下	-	-	C _H =3.43	C _V =1.89	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	h _a (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fv}	n _{fH}
基礎ボルト		396.1	396.1						4	2	2

部 材	S _v (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	235 (16mm<径≦40mm)	400 (16mm<径≦40mm)	-	280	-	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	2.264 × 10 ³	—	2.826 × 10 ³

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ _b = 12	f _{ts} = 210*
		せん断	—	—	τ _b = 4	f _{sb} = 161

注記*：f_{ts} = Min [1.4・f_{to}, 1.6・τ_b, f_{to}] より算出
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

無線通信用アンテナ (原子炉建屋側)	機能維持評価用加速度*		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
	2.86		
	1.58		

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 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

