

資料 5 - 4 潮位観測システム (防護用) の耐震計算書

目 次

	頁
1. 概要	T4-添5-4-1
2. 潮位計（1号機）	T4-添5-4-2
2.1 基本方針	T4-添5-4-2
2.2 耐震評価箇所	T4-添5-4-8
2.3 地震応答解析	T4-添5-4-9
2.4 応力評価	T4-添5-4-21
2.5 機能維持評価	T4-添5-4-29
2.6 評価結果	T4-添5-4-30
3. 潮位計（2号機）	T4-添5-4-32
3.1 基本方針	T4-添5-4-32
3.2 耐震評価箇所	T4-添5-4-38
3.3 地震応答解析	T4-添5-4-39
3.4 応力評価	T4-添5-4-53
3.5 機能維持評価	T4-添5-4-61
3.6 評価結果	T4-添5-4-62
4. 潮位計（3, 4号機）	T4-添5-4-64
4.1 基本方針	T4-添5-4-64
4.2 耐震評価箇所	T4-添5-4-70
4.3 地震応答解析	T4-添5-4-71
4.4 応力評価	T4-添5-4-81
4.5 機能維持評価	T4-添5-4-89
4.6 評価結果	T4-添5-4-90
5. 監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）	T4-添5-4-93
5.1 基本方針	T4-添5-4-93
5.2 耐震評価箇所	T4-添5-4-95
5.3 固有値解析	T4-添5-4-95
5.4 応力評価	T4-添5-4-96

5.5	機能維持評価	T4-添5-4-103
5.6	評価結果	T4-添5-4-104
6.	監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）	T4-添5-4-106
6.1	基本方針	T4-添5-4-106
6.2	耐震評価箇所	T4-添5-4-108
6.3	固有値解析	T4-添5-4-108
6.4	応力評価	T4-添5-4-109
6.5	機能維持評価	T4-添5-4-116
6.6	評価結果	T4-添5-4-117
7.	衛星電話機（津波防護用）	T4-添5-4-119
7.1	基本方針	T4-添5-4-119
7.2	耐震評価箇所	T4-添5-4-121
7.3	固有値解析	T4-添5-4-121
7.4	応力評価	T4-添5-4-122
7.5	機能維持評価	T4-添5-4-128
7.6	評価結果	T4-添5-4-128
8.	中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）	T4-添5-4-130
8.1	基本方針	T4-添5-4-130
8.2	耐震評価箇所	T4-添5-4-132
8.3	固有値解析	T4-添5-4-132
8.4	応力評価	T4-添5-4-133
8.5	機能維持評価	T4-添5-4-144
8.6	評価結果	T4-添5-4-145
9.	中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）	T4-添5-4-148
9.1	基本方針	T4-添5-4-148
9.2	耐震評価箇所	T4-添5-4-150
9.3	固有値解析	T4-添5-4-150
9.4	応力評価	T4-添5-4-151
9.5	機能維持評価	T4-添5-4-157
9.6	評価結果	T4-添5-4-157

1. 概要

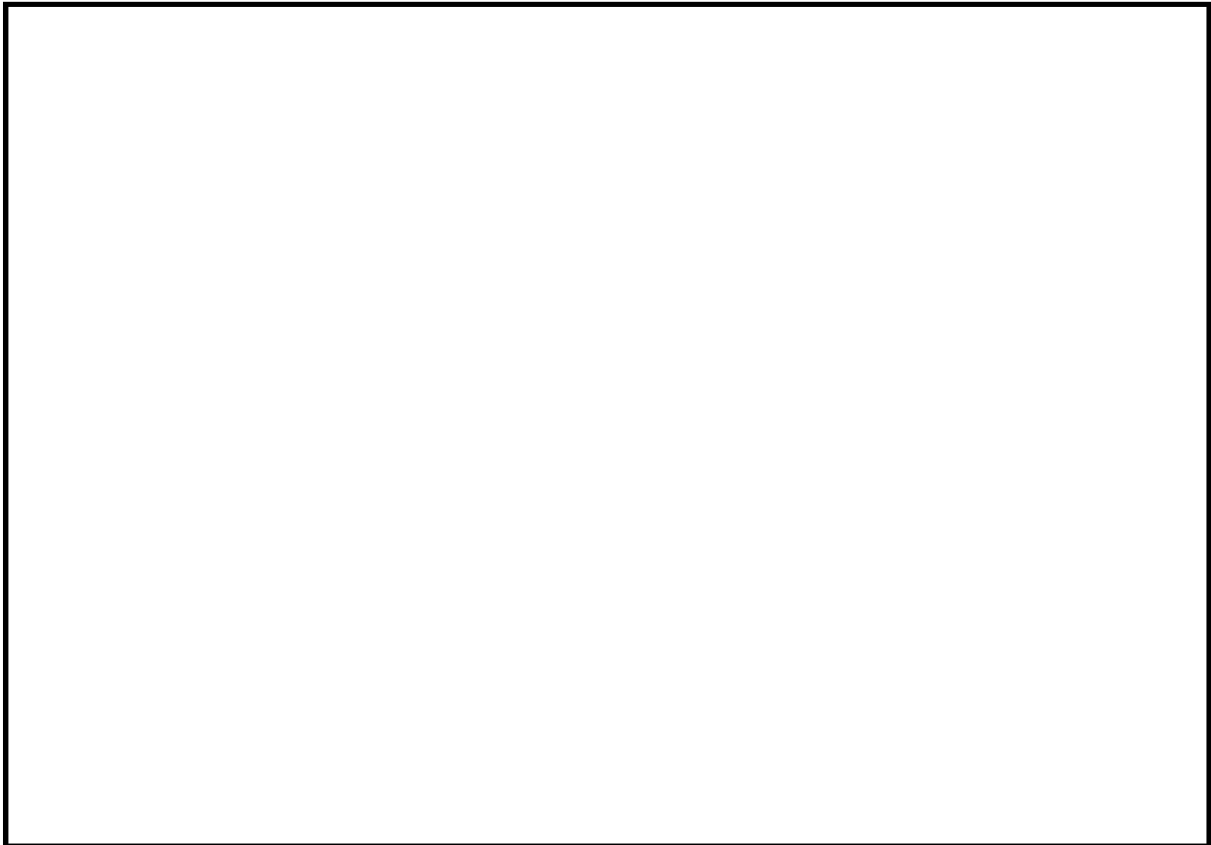
本資料は、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震設計の基本方針」に従い、浸水防護施設（外郭浸水防護設備）のうち、潮位観測システム（防護用）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は潮位観測システム（防護用）の地震応答解析、応力評価及び機能維持評価により行う。

2. 潮位計（1号機）

2.1 基本方針

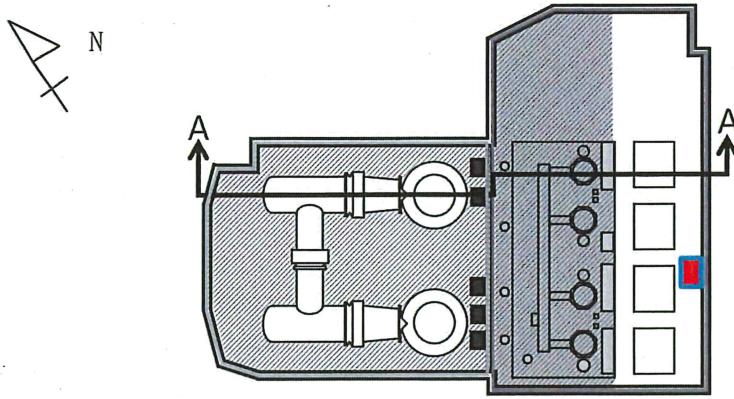
2.1.1 構造の説明

潮位計（1号機）は、1号機海水ポンプ室に潮位計設置用の潮位計取付架台を設置し、その上部に取り付ける。潮位計（1号機）の配置図を第2-1図に示す。

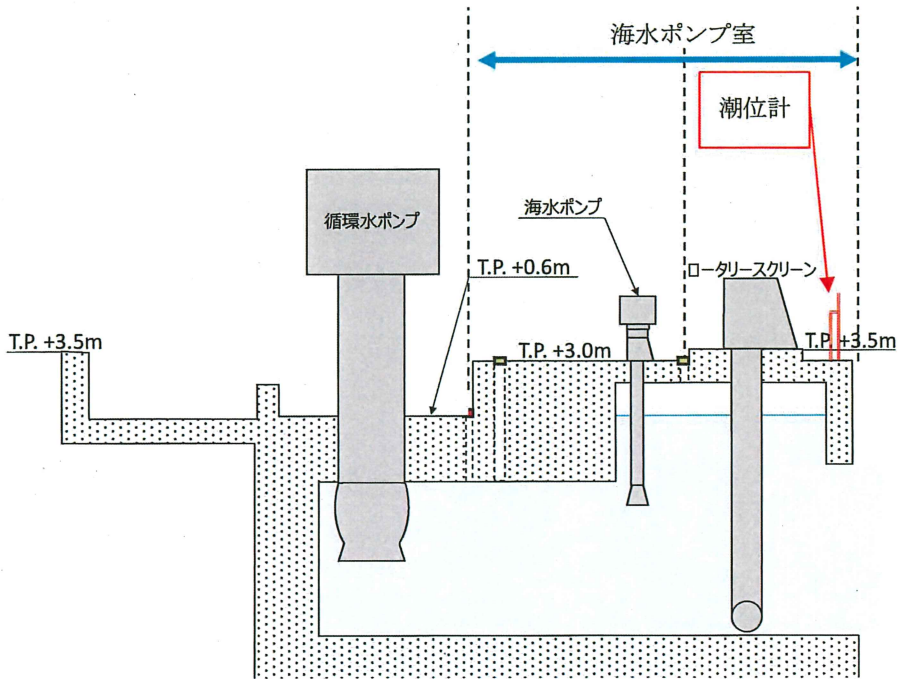


第2-1図 潮位計（1号機）配置図（敷地全体）

潮位計（1号機）は、除塵装置であるロータリースクリーンの上流側に設置する。第2-2図に1号機海水ポンプ室の平面図及び断面図を示す。



1号機海水ポンプ室平面図

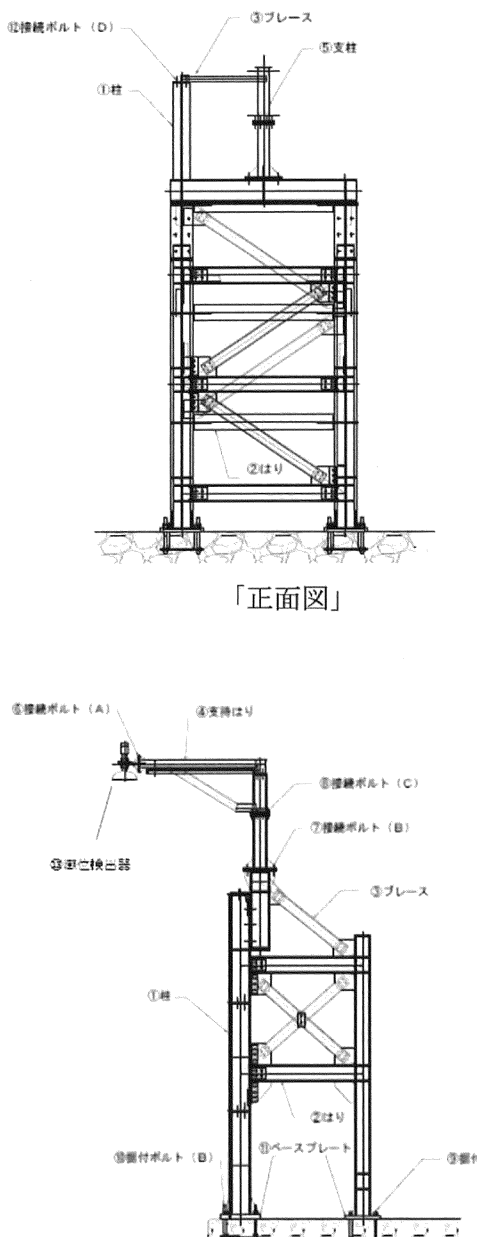


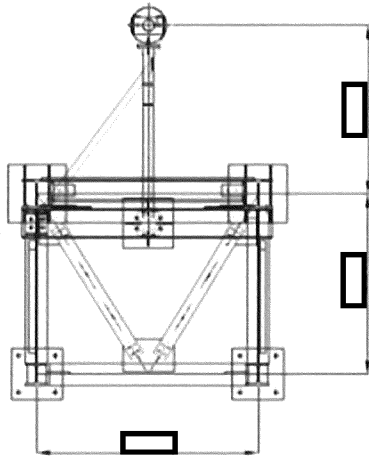
1号機海水ポンプ室 A-A断面図

第2-2図 1号機海水ポンプ室平面図及び断面図

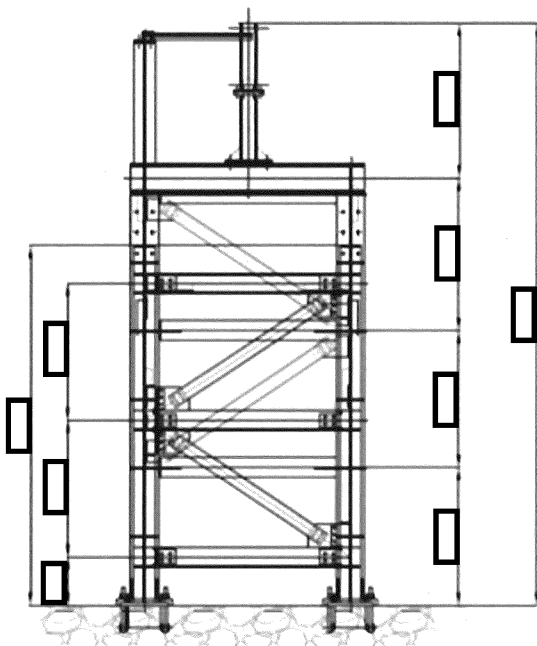
資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」にて設定した機器の支持方針に基づき設計した潮位計（1号機）の構造計画を第2-1表に示す。潮位計（1号機）は、非接触式の潮位検出器本体を取り付ける取付架台からなり、取付架台は据付ボルトにより床面に据え付けられる。潮位計（1号機）の構造概要図を第2-3図に示す。

第2-1表 潮位計（1号機）の構造計画

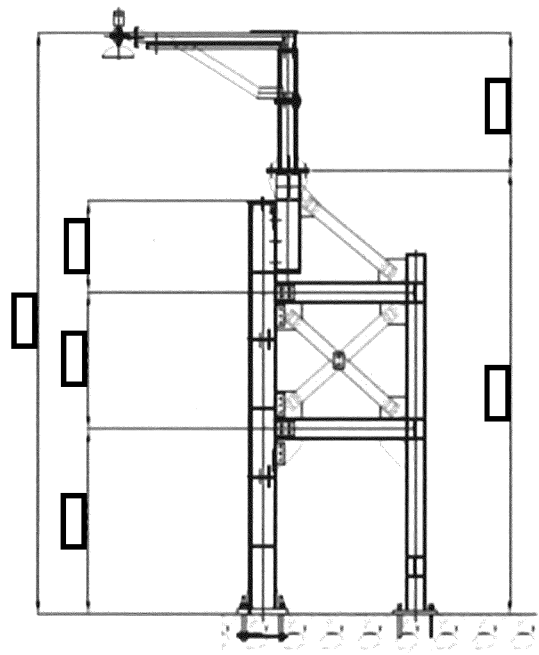
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
潮位計 (1号機)	潮位計本体である非接触式潮位検出器、検出器の取付架台により構成する。	潮位検出器は、取付架台に接続ボルトで固定する。取付架台は据付ボルトにより1号機海水ポンプ室床面に固定する。	 <p>「正面図」</p> <p>「側面図」</p>



「上面図」



「正面図」



「側面図」

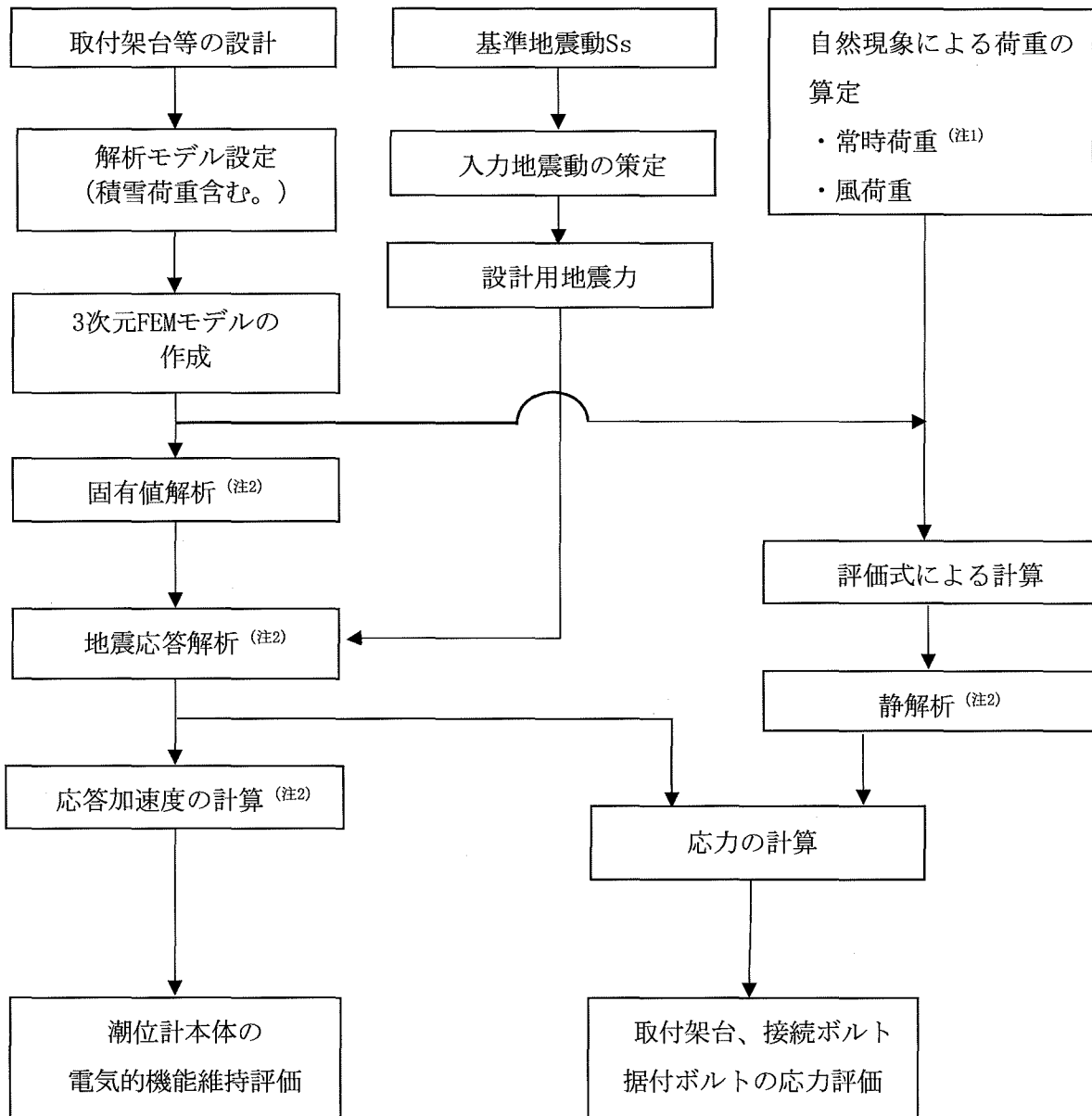
(単位：mm)

第2-3図 潮位計（1号機）の構造概要図

2.1.2 評価方針

潮位計（1号機）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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 構造の説明」にて示す潮位計（1号機）の部位を踏まえ「2.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「2.3 地震応答解析」で算定した荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「2.4 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、潮位計（1号機）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「2.5 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「2.6 評価結果」に示す。

潮位計（1号機）の耐震評価フローを第2-4図に示す。



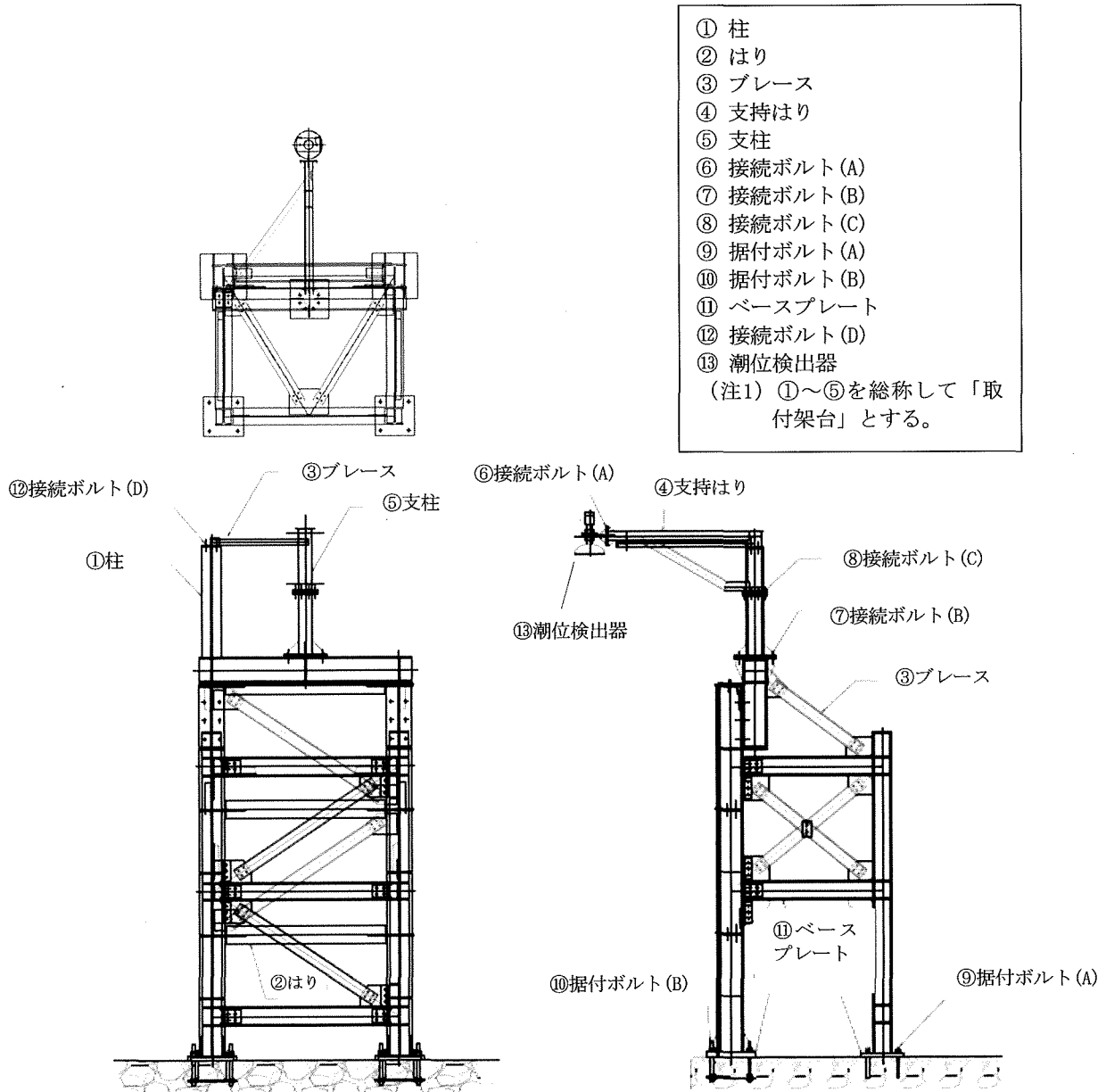
(注1) 常時荷重は、自重及び積雪重量を考慮し解析モデルに含むものとする。

(注2) 解析コードは、「MSC NASTRAN ver2008.0.0」を使用する。

第2-4図 潮位計（1号機）の耐震評価フロー

2.2 耐震評価箇所

潮位計（1号機）の耐震評価は、1号機海水ポンプ室頂版が、基準地震動 S_s による耐震評価（平成28年6月10日付け原規規発第1606104号にて認可された工事計画の資料13-17-11「非常用取水設備の耐震計算書」）にて、概ね弾性範囲内であることが確認されていることから、取付架台、据付ボルト、接続ボルト及び潮位検出器を選定して実施する。潮位計（1号機）の評価箇所については、第2-5図に示す。



図中の①～⑫は応力評価箇所を、⑬は機能維持評価箇所を示す。

第2-5図 潮位計（1号機）の耐震評価箇所

2.3 地震応答解析

潮位計（1号機）の固有振動数、荷重、応力及び潮位検出器の機能維持評価に用いる応答加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

2.3.1 基本方針

- (1) 固有振動数及び荷重を求めるため、取付架台のうち柱、はり、ブレース及び支持はりをはり要素で、ベースプレートをシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルによる固有値解析を行い、固有振動数が30Hz以下であることが確認されたため（第2-5表）、基準地震動（Ss波）によるスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRAN ver2008.0.0を使用する。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN ver2008.0.0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。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.3.2 設計用地震力

潮位計（1号機）の耐震計算に用いる入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震設計の基本方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第2-2表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第2-2表 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	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0※	Ss-1からSs-7による設計用床応答曲線の包絡曲線を用いる。なお、鉛直地震動については上下方向を考慮している。
			鉛直	1.0※	

※：「JEAG4601-1987 6章機器・配管系の耐震設計 6.5.3 設計用減衰定数 (P561)」

2.3.3 解析モデル及び諸元

(1) モデル化の基本方針

潮位計（1号機）の取付架台は、潮位検出器を取り付ける架台を支持構造物と考え、その強度部材の耐震健全性確認を主たる目的としてモデル化を行う。解析モデルの対象は取付架台であり、取付架台設置位置から潮位検出器までの支持構造物の強度部材をモデル化する。

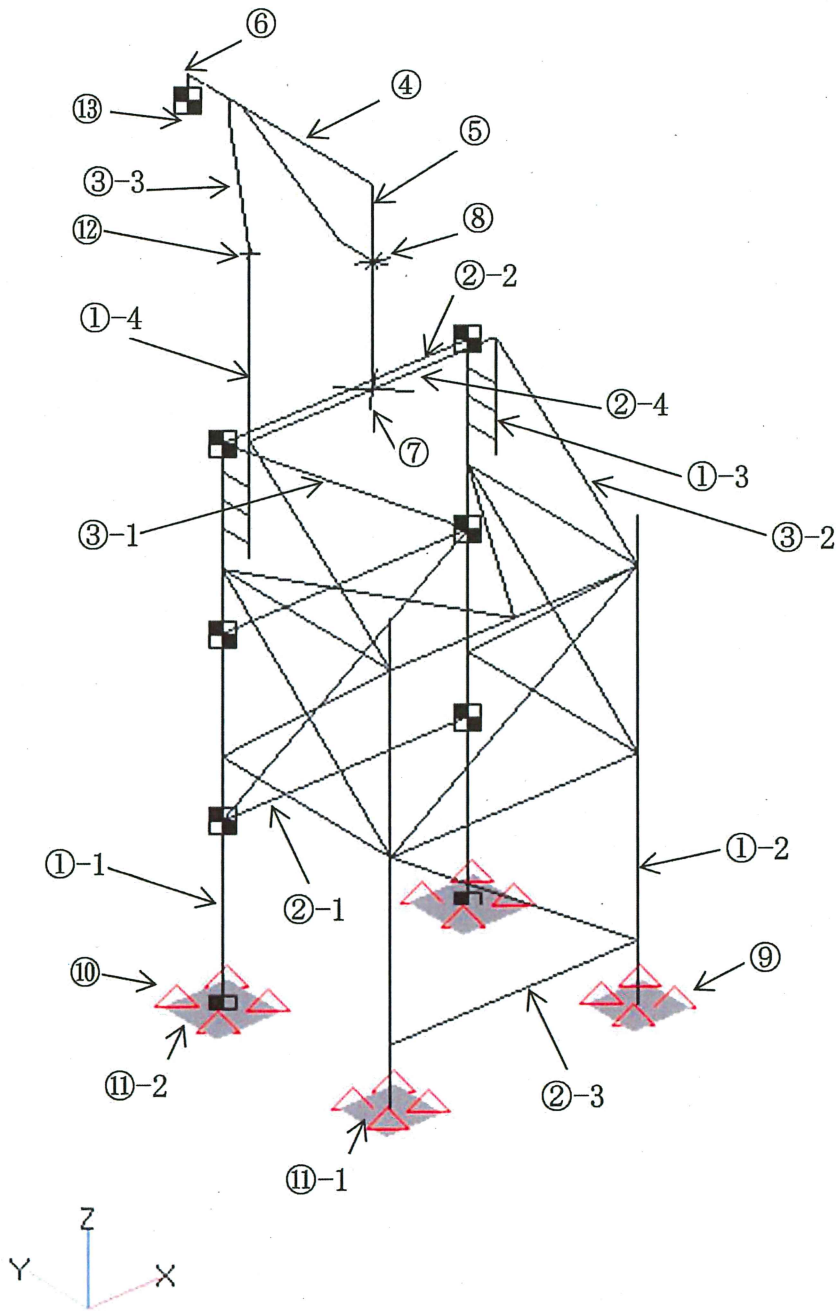
(2) 解析モデル化方法

潮位計取付架台の解析モデルを第2-6図に示す。解析モデルは、取付架台のうち柱、はり、ブレース及び支持はりをはり要素で、ベースプレートをシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルとする。また、潮位検出器及び付属品は集中質量要素でモデル化し、取付架台に剛体要素で完全接続する。

拘束条件は、据付ボルト（A）及び据付ボルト（B）の位置でピン固定として設定した。

設備諸元を第2-3表、使用要素及び拘束・境界条件を第2-4表に示す。なお、解析モデルの要素数、節点は以下のとおりである。

- ・要素数：380
- ・節点数：408



■ : 質量要素

番号は、潮位計（1号機）の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

第2-6図 解析モデル

第2-3表 設備諸元 (1/2)

材質	①柱、②はり、③ブレース			
	④支持はり			
	⑤支柱			
	⑥接続ボルト(A)			
	⑦接続ボルト(B)			
	⑧接続ボルト(C)			
	⑫接続ボルト(D)			
	⑨据付ボルト(A)			
	⑩据付ボルト(B)			
	⑪ベースプレート			
	縦弾性係数			
ポアソン比				

※ : JSME S NC1-2005/2007

第2-3表 設備諸元 (2/2)

寸法	①柱	①-1			
		①-2			
		①-3			
		①-4			
	②はり	②-1			
		②-2			
		②-3			
		②-4			
	③ブレース	③-1			
		③-2			
		③-3			
	④支持はり				
	⑤支柱				
	⑥接続ボルト(A)				
	⑦接続ボルト(B)				
	⑧接続ボルト(C)				
	⑫接続ボルト(D)				
	⑨据付ボルト(A)				
	⑩据付ボルト(B)				
⑪ベースプレート	⑪-1				
	⑪-2				
重量	⑬潮位計 (1号機)				
	取付架台等				

第2-4表 使用要素及び拘束・境界条件

部位名		要素	拘束・境界条件
取付架台	機器／支持はり	剛体要素	
	支持はり	はり要素	
	柱	はり要素／ シェル要素	
	ブレース	はり要素	

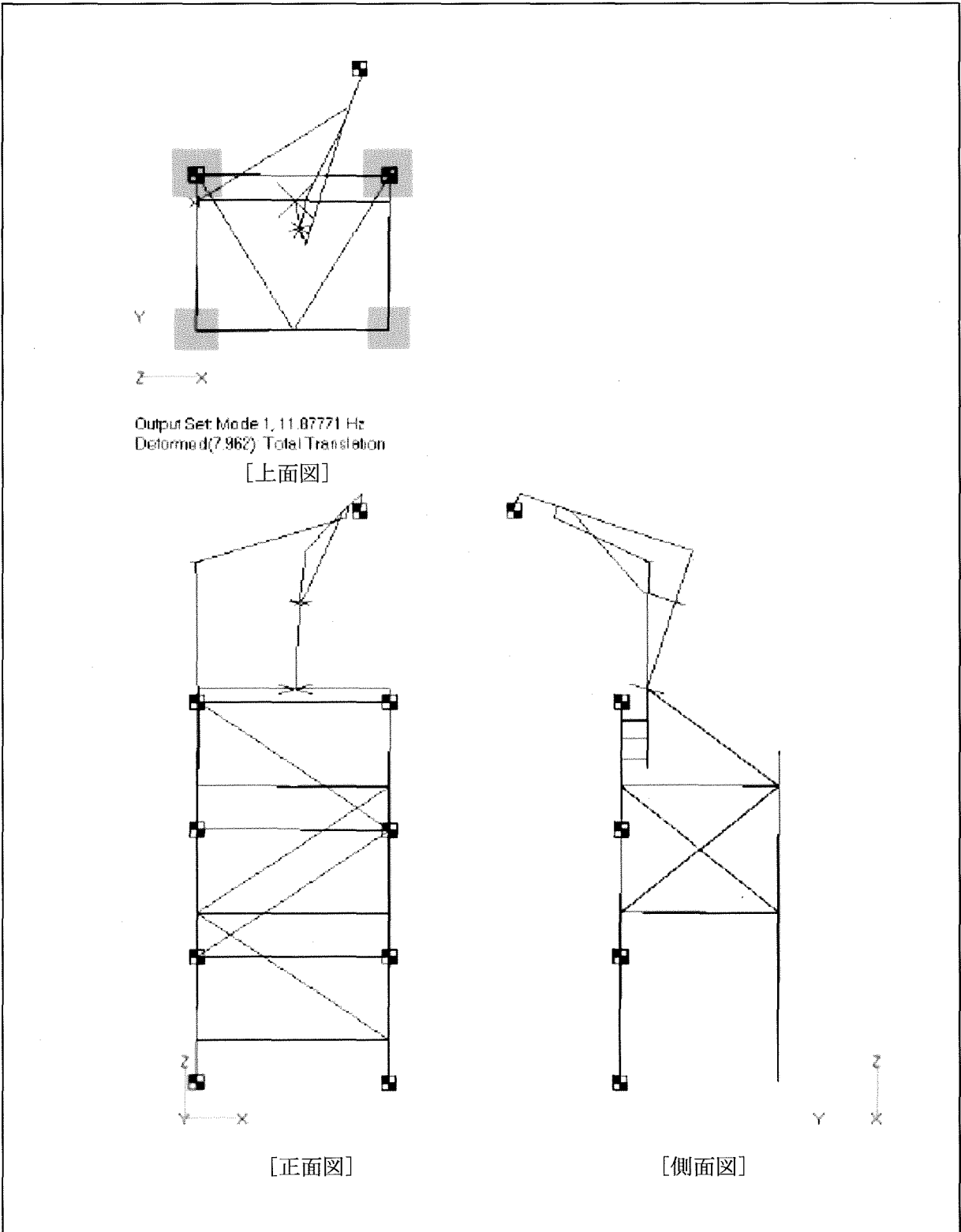
2.3.4 応答解析結果

2.3.4.1 固有値

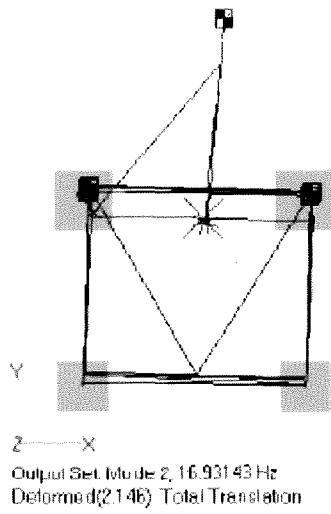
固有振動数を第2-5表に、各振動モード図を第2-7図に示す。

第2-5表 潮位計（1号機）固有振動数

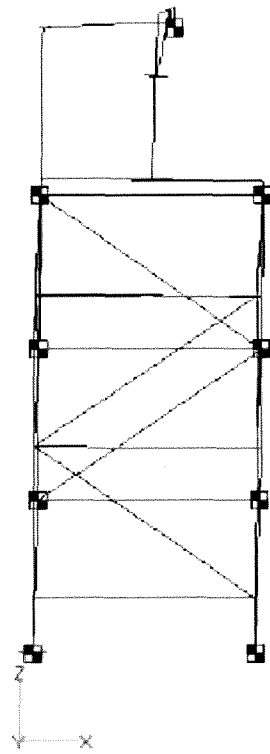
モード 番号	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1					
2					
3					
4					



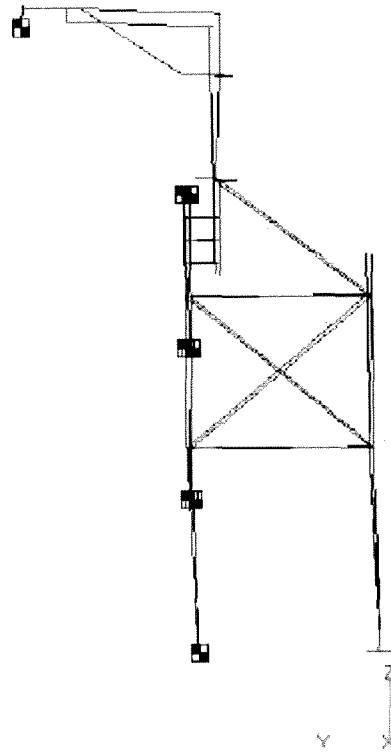
第2-7図(1/4) 振動モード図(11.9Hz)



[上面図]

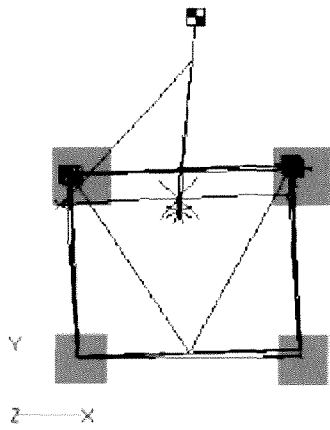


[正面図]



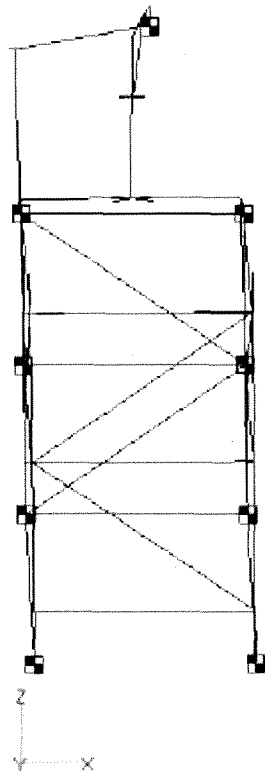
[側面図]

第2-7図(2/4) 振動モード図(16.9Hz)

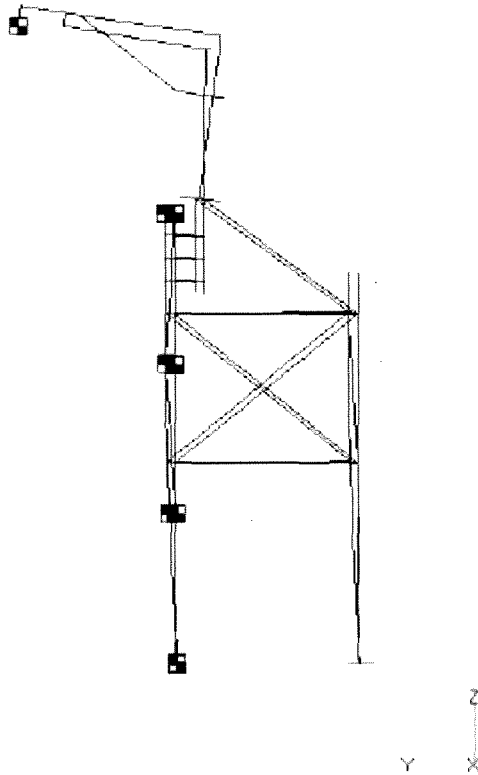


Output Set Mode 3, 18.49613 Hz
 Deformed(2.216) Total Translation

[上面図]

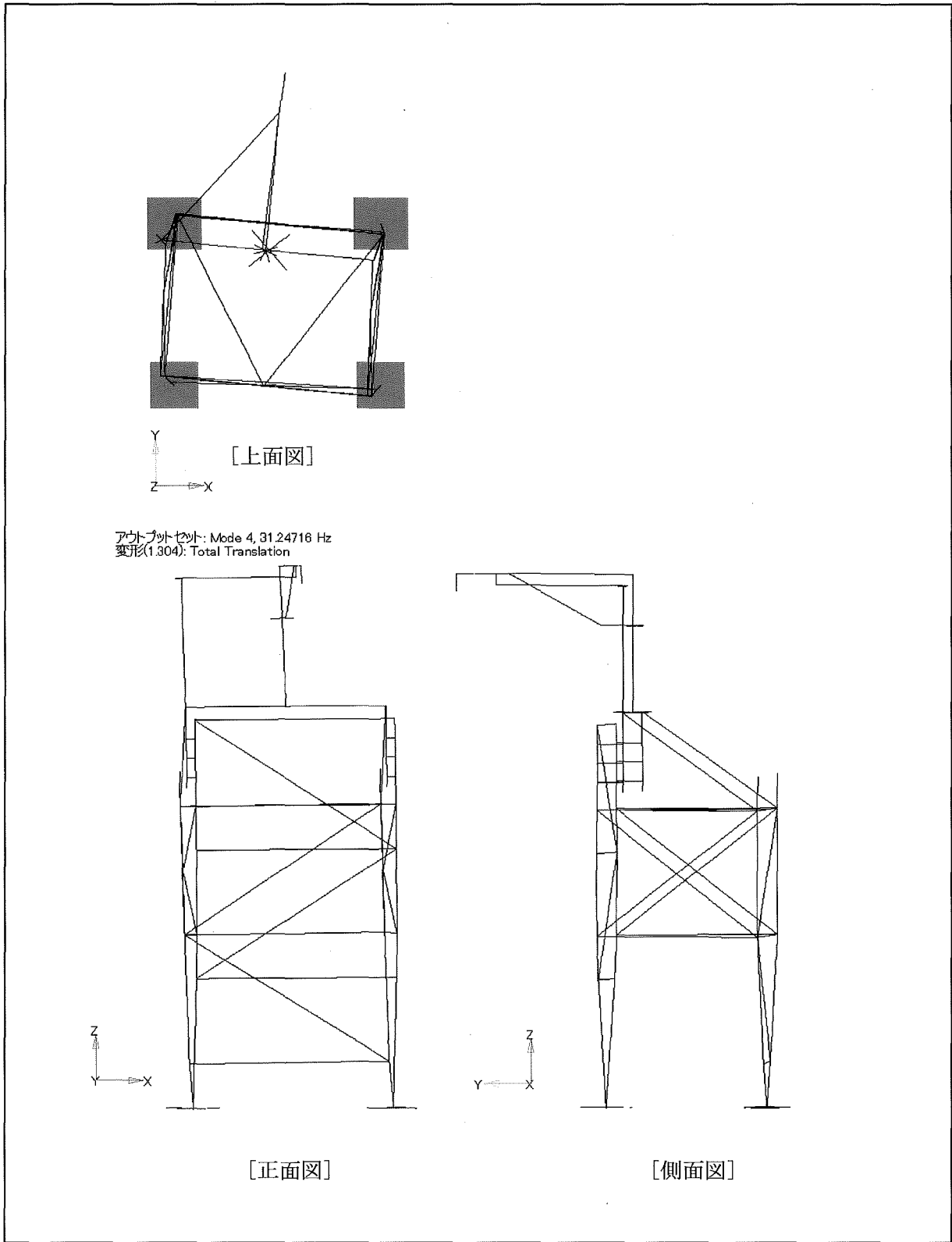


[正面図]



[側面図]

第2-7図(3/4) 振動モード図(18.5Hz)



第2-7図(4/4) 振動モード図(31.2Hz)

2.4 応力評価

2.4.1 基本方針

- (1) 各部材の発生応力と許容応力を比較し、発生応力に対して、許容応力の裕度が1以上であることを確認する。
- (2) 応力評価については、「2.3 地震応答解析」と併せて、取付架台のうち、柱、はり、ブレース及び支持はりをはり要素で、ベースプレートをシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルによるスペクトルモーダル解析を適用し実施する。
- (3) 許容応力について、JSME S NC1-2005/2007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温度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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

潮位計（1号機）の荷重の組合せ及び許容応力状態を第2-6表に示す。また、潮位計（1号機）は風荷重の影響を受けやすい構造であると考えられるため、風荷重の組合せを考慮する。

第2-6表 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^(注1)	許容応力状態
浸水防護施設	津波防護施設	潮位計 (1号機)	S	$D+S_s+P_s+P_D+M_D+P_k$ ^(注2)	Ⅲ _A S ^(注3)

(注1) 組合せ応力に対しても評価を行う。

(注2) D : 死荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

P_s : 積雪荷重

P_D : 地震と組み合わせプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D : 地震と組み合わせプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

P_k : 風荷重

(注3) 基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、潮位測定が可能であり津波監視機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

2.4.2.2 許容応力

潮位計（1号機）の評価に用いる許容応力を第2-7表に示す。

第2-7表 潮位計（1号機）の許容応力

許容応力状態	許 容 限 界 (ボルト以外)				許 容 限 界 (ボルト)	
	一 次 応 力				一 次 応 力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S ^(注1)	$1.5f_t$ ^(注2)	$1.5f_s$ ^(注3)	$1.5f_c$ ^(注4)	$1.5f_b$ ^(注5)	$1.5f_t$ ^(注2)	$1.5f_s$ ^(注3)

(注1) 基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、潮位測定が可能であり津波監視機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

(注2) f_t : 許容引張応力及び組合せ応力

(注3) f_s : 許容せん断応力

(注4) f_c : 許容圧縮応力

(注5) f_b : 許容曲げ応力

2.4.2.3 使用材料の許容応力

潮位計（1号機）の評価に用いる各評価部位の使用材料の温度及び許容応力を第2-8表に示す。

第2-8表 使用材料の許容応力

評価部位	温度条件 ※1 (°C)	材料	Sy (MPa)	Su (MPa)	F ※2 (MPa)
柱					
はり					
ブレース					
支持はり					
支柱					
接続ボルト(A)					
接続ボルト(B)					
接続ボルト(C)					
接続ボルト(D)					
据付ボルト(A)					
据付ボルト(B)					
ベースプレート					

※1：資料3「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」

※2：JSME S NC1-2005/2007

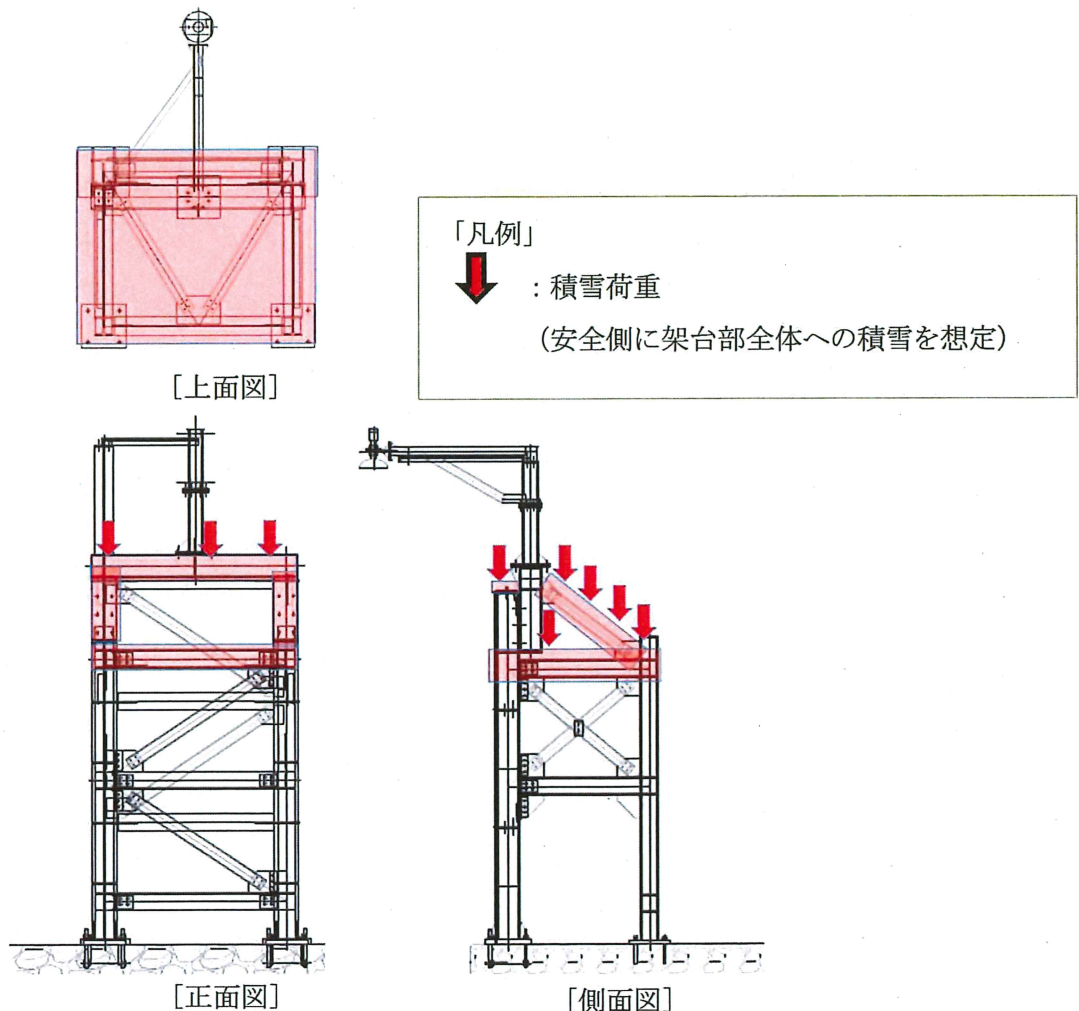
2.4.2.4 自重及び荷重

(1) 死荷重 (D)

死荷重Dとして自重を考慮する。死荷重については、潮位計（1号機）の構成部材である取付架台及びボルト類の重量に、付属品の重量並びに潮位検出器の重量を加算したものをを用いる。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重 P_s は、100cmの積雪量を想定し、重量として自重に加えて計算に用いる。積雪箇所としては、第2-8図に示すとおり架台上面を想定する。積雪重量を自重に加算する際は、積雪を積雪箇所に均等に分布させる。積雪荷重の算出については次式を用いる。第2-9表に積雪荷重の算出条件を、第2-10表に自重等と算出した積雪重量を示す。



第2-8図 積雪箇所

$$P_s = \frac{0.35 \cdot W_s \cdot A_v \cdot d}{g}$$

P_s : 積雪荷重(kg)

W_s : 1cm 当たり積雪荷重(N/m²)

A_v : 積雪面積(m²)

d : 積雪高さ(cm)

g : 重力加速度(m/s²)

第2-9表 積雪荷重の算出条件

積雪箇所	1cm当たりの 積雪荷重 W_s (N/m ²)	積雪面積 A_v (m ²)	積雪高さ d (cm)	重力加速度 g (m/s ²)
取付架台				

第2-10表 自重等と算出した積雪重量

項目	重量(kg)	合計(kg)
取付架台等		
潮位検出器		
取付架台への積雪		

(3) 風荷重(P_k)

地震荷重と組み合わせる風荷重 P_k については、資料2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち資料2-1-1「耐震設計上重要な設備を設置する施設に対する自然現象等への配慮に関する基本方針」に準じて、風速32m/sを使用し、架台の形状を踏まえ架台に作用する風圧力を算出する。第2-11表に速度圧及び風圧力の算出結果、第2-12表に風荷重の算出条件、第2-9図に解析モデル図を示す。

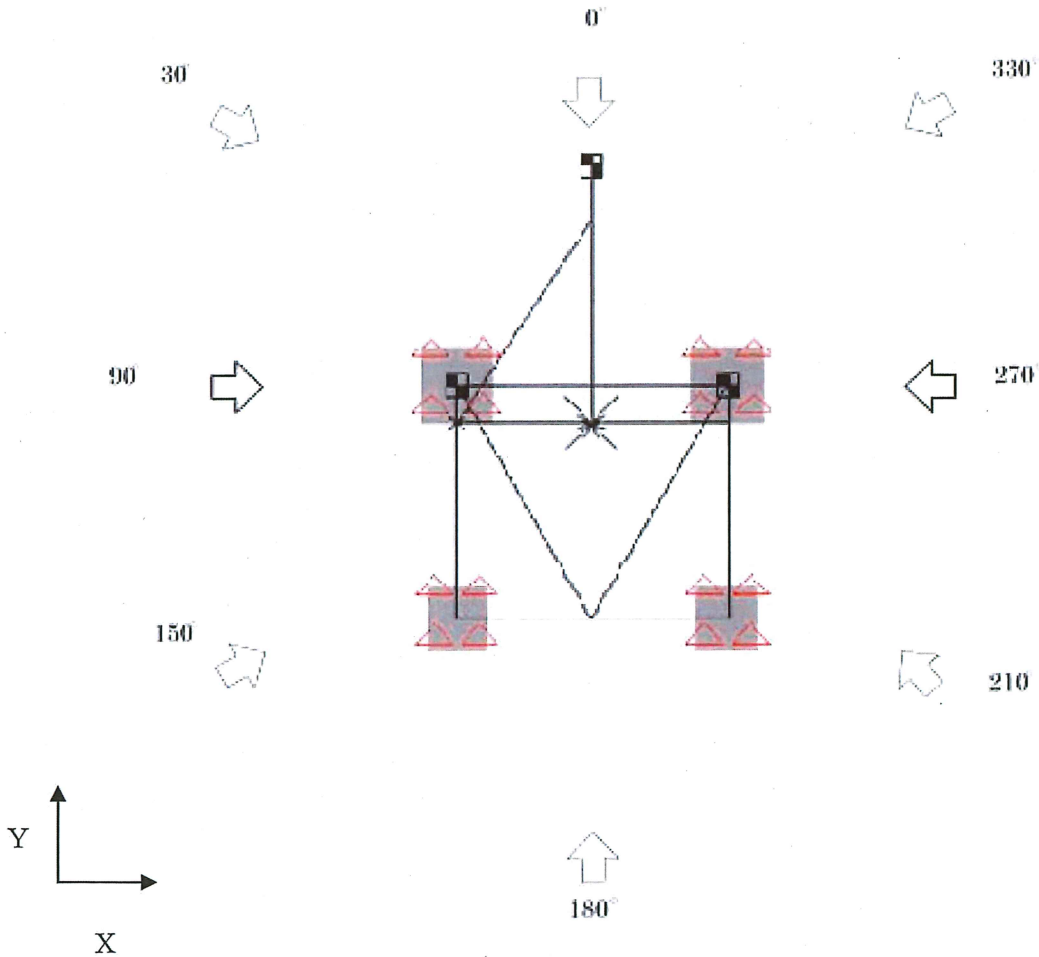
第2-11表 速度圧及び風圧力

作用する部位	速度圧 (N/m^2)	風圧力 (N/m^2)
取付架台		

第2-12表 風荷重の算出条件

対象	基準風速 V_0 (m/s)	地表面粗区分	潮位計高さ (m)	風力係数 C_f
潮位計 (1号機)				

※ 建築基準法及び同施行令



第2-9図 風荷重の解析モデル図

2.4.3 応力評価方法

応力評価方法については、以下のとおり行う。

- (1) 取付架台の応力評価については、地震応答解析から得られた応力算出結果と自重、風荷重により静解析にて得られた応力を絶対値和して評価する。地震力については、水平及び鉛直の二乗和平方根(SRSS)法を用いる。

$$| \text{死荷重 (積雪荷重含む)} + \text{風圧力に伴う応力又は荷重} | + \sqrt{|\text{水平地震力}|^2 + |\text{鉛直地震力}|^2} \quad ※$$

※：JEAG4601-1987

- (2) 接続ボルト及び据付ボルトについては、FEM解析結果から得られるボルト1本あたりに作用する最大荷重より以下の式を用いて応力を算出する。第2-13表に各ボルトに発生する最大荷重を示す。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_t}{A}$$

F_t ：ボルト1本あたりに作用する引張力

A ：ボルト断面積

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_s}{A}$$

F_s ：ボルト1本あたりに作用するせん断力

A ：ボルト断面積

第2-13表 各ボルト1本あたりに作用する最大荷重

評価部位	引張力 F_t (N)	せん断力 F_s (N)	断面積 A (mm ²)
接続ボルト(A)	[Blank Box]	[Blank Box]	[Blank Box]
接続ボルト(B)			
接続ボルト(C)			
接続ボルト(D)			
据付ボルト(A)			
据付ボルト(B)			

応力評価においては、引張応力の最大値 σ_b を求め、引張応力の許容値で評価する。
また、せん断応力の最大値 τ_b を求め、せん断応力の許容値で評価する。

さらに、引張応力の最大値 σ_b については、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 f_{ts} に対する評価を行うものとする。

ここで、

$$f_{ts} = 1.4 (1.5f_t) - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq 1.5f_t$$

2.5 機能維持評価

潮位計（1号機）は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

2.5.1 機能維持評価方法

潮位検出器取付位置の応答加速度が、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、検出器単体の正弦波加振試験（掃引試験及び連続試験）において、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第2-14表に示す。なお、加振試験においては、加振後に入出力特性を確認し、許容精度内であることを確認することに加え、外観に損傷のないことを確認し、潮位検出器本体の電氣的機能維持を確認する。

第2-14表 機能維持確認済加速度

評価部位	方向	機能維持確認済加速度 (G) (注1)
潮位検出器	水平	□
	鉛直	

(注1) $G=9.80665(m/s^2)$

2.6 評価結果

潮位計（1号機）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第2-15表に示す。

第2-15表 潮位計（1号機）の基準地震動 S_s による評価結果（ $D+S_s+P_s+P_D+M_D+P_k$ ）

部位	材料	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付架台 ①～③ (支持はり、支柱除く)			
取付架台 ④、⑤ (支持はり、支柱)			
接続ボルト (A) ⑥			
接続ボルト (B) ⑦			
接続ボルト (C) ⑧			
接続ボルト (D) ⑫			
据付ボルト (A) ⑨、⑪			
据付ボルト (B) ⑩、⑬			

番号は、潮位計（1号機）の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

(注1) 曲げモーメントを受ける組合せ応力は、許容応力に対する比を示す。

(2) 機能維持確認結果

機能維持評価結果を第2-16表に示す。

第2-16表 潮位検出器の機能維持評価結果

方向	評価加速度 (G) (注1)	確認済加速度 (G) (注1)
水平		
鉛直		

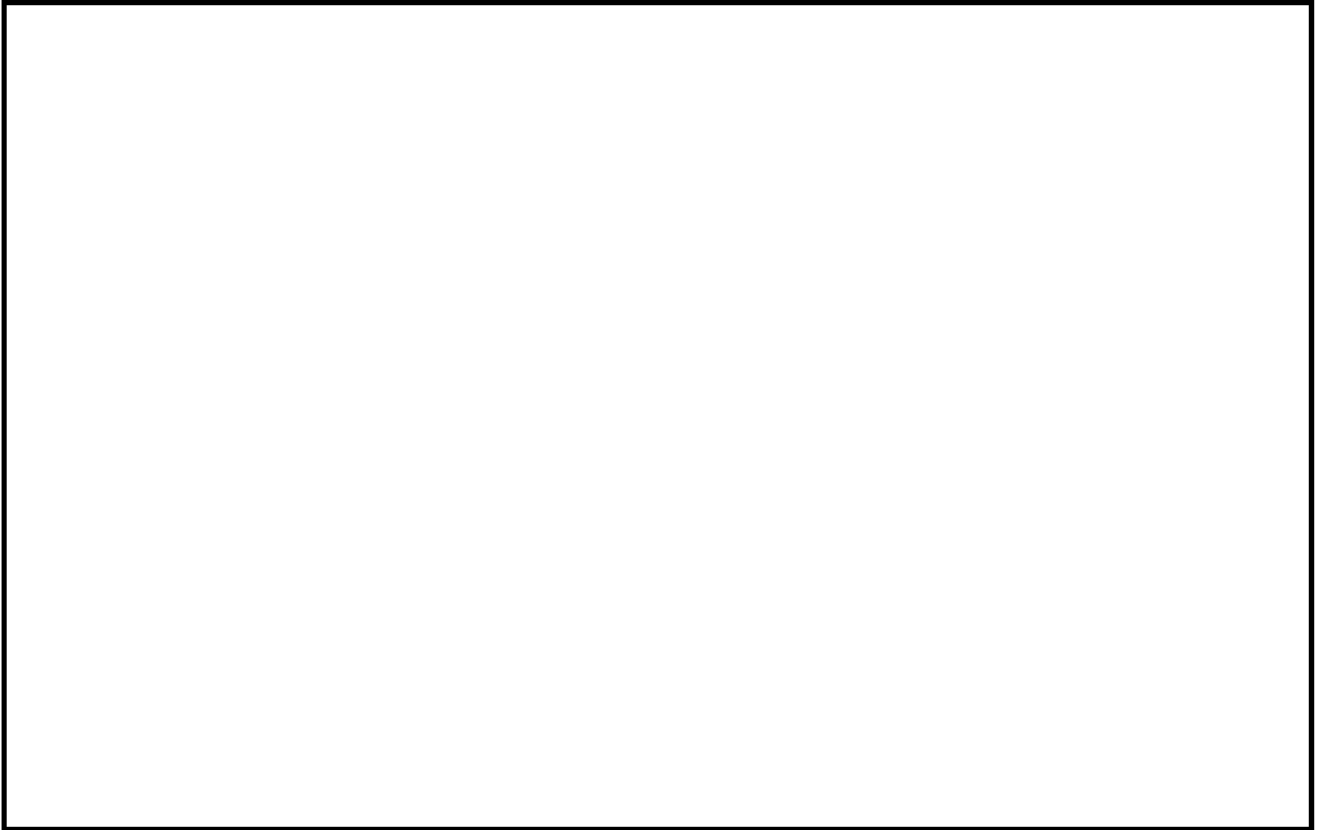
(注1) $G=9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

3. 潮位計（2号機）

3.1 基本方針

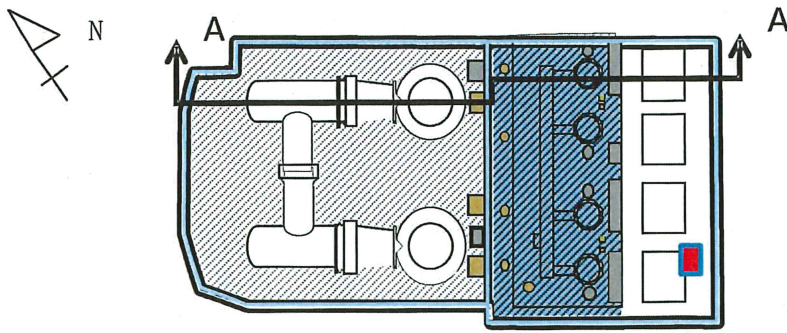
3.1.1 構造の説明

潮位計（2号機）は、2号機海水ポンプ室に潮位計設置用の潮位計取付架台を設置し、その上部に取り付ける。潮位計（2号機）の配置図を第3-1図に示す。

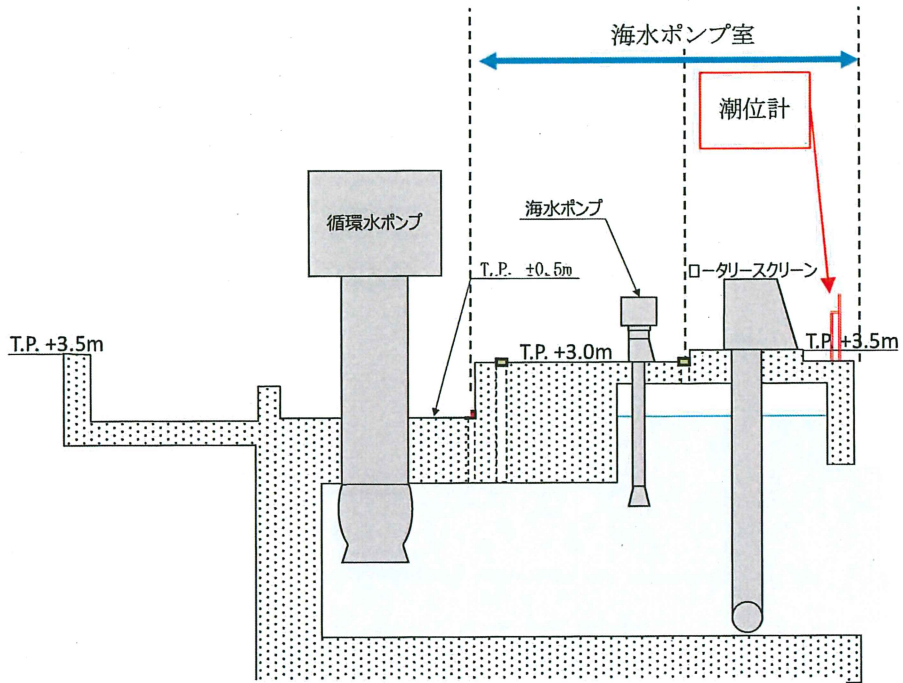


第3-1図 潮位計（2号機）配置図（敷地全体）

潮位計（2号機）は、除塵装置であるロータリースクリーンの上流側に設置する。第3-2図に2号機海水ポンプ室の平面図及び断面図を示す。



2号機海水ポンプ室平面図

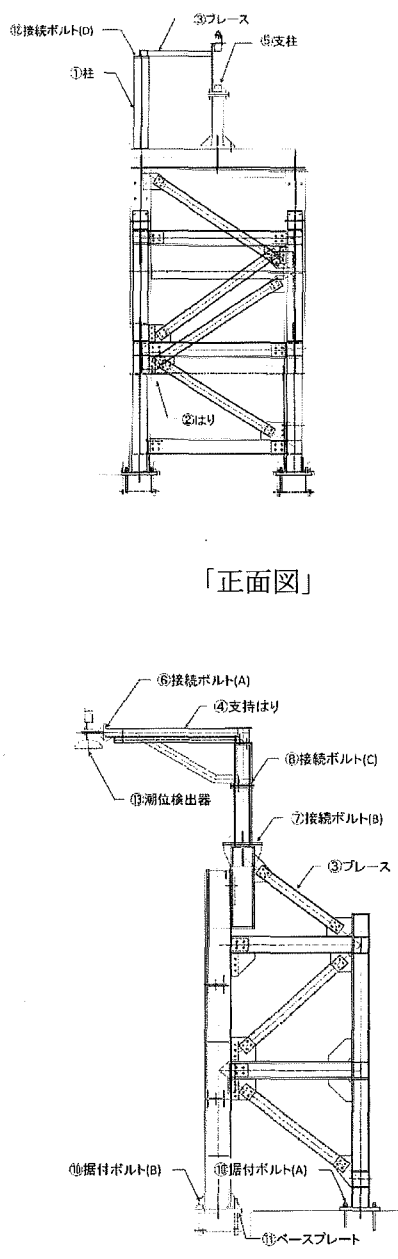


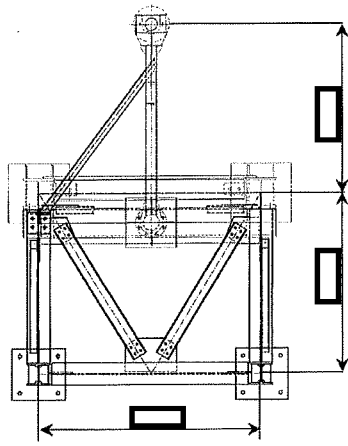
2号機海水ポンプ室 A-A断面図

第3-2図 2号機海水ポンプ室平面図及び断面図

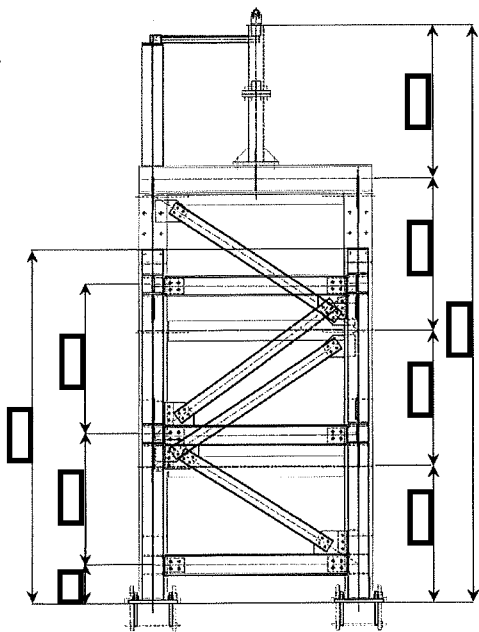
資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」にて設定した機器の支持方針に基づき設計した潮位計（2号機）の構造計画を第3-1表に示す。潮位計（2号機）は、非接触式の潮位検出器本体を取り付ける取付架台からなり、取付架台は据付ボルトにより床面に据え付けられる。潮位計（2号機）の構造概要図を第3-3図に示す。

第3-1表 潮位計（2号機）の構造計画

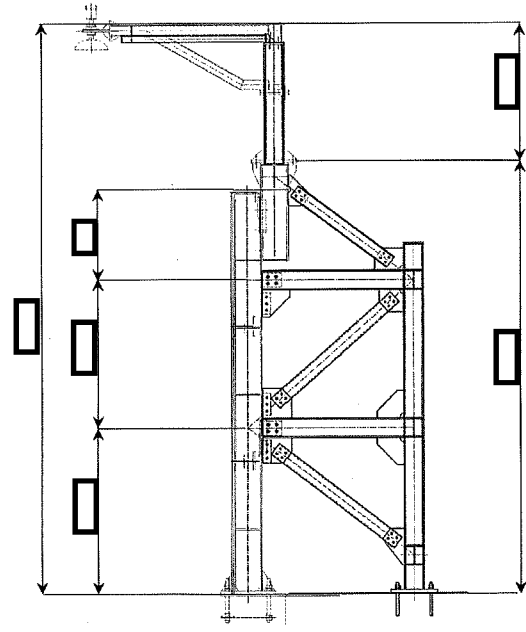
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
潮位計 (2号機)	潮位計本体である非接触式潮位検出器、検出器の取付架台により構成する。	潮位検出器は、取付架台に接続ボルトで固定する。 取付架台は据付ボルトにより2号機海水ポンプ室床面に固定する。	 <p>「正面図」</p> <p>「側面図」</p>



「上面図」



「正面図」



「側面図」

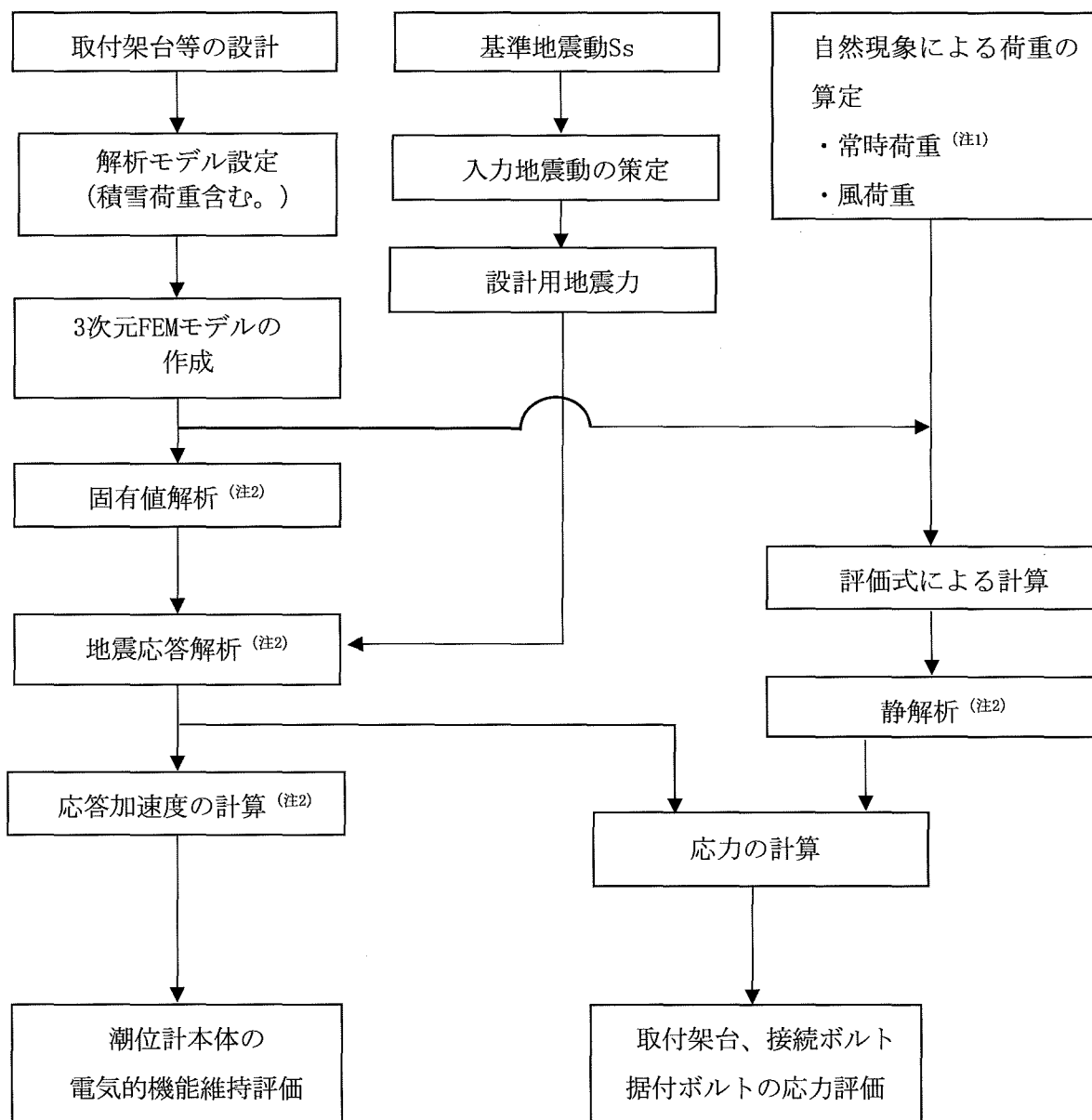
(単位：mm)

第3-3図 潮位計（2号機）の構造概要図

3.1.2 評価方針

潮位計（2号機）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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 構造の説明」にて示す潮位計（2号機）の部位を踏まえ「3.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「3.3 地震応答解析」で算定した荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「3.4 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、潮位計（2号機）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「3.5 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「3.6 評価結果」に示す。

潮位計（2号機）の耐震評価フローを第3-4図に示す。



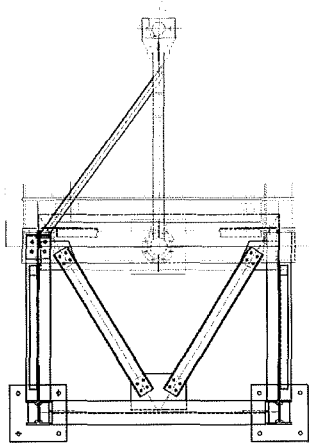
(注1) 常時荷重は、自重及び積雪重量を考慮し解析モデルに含むものとする。

(注2) 解析コードは、「MSC NASTRAN ver2008.0.0」を使用する。

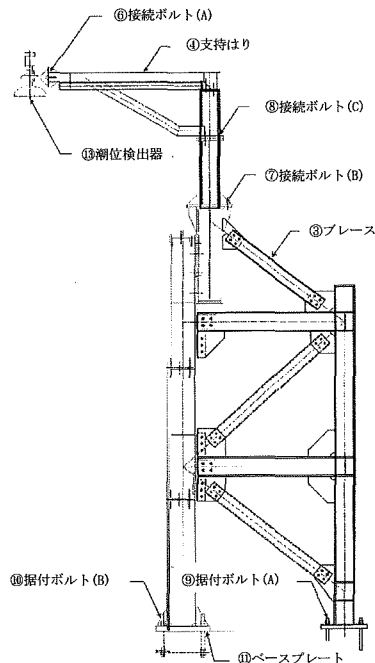
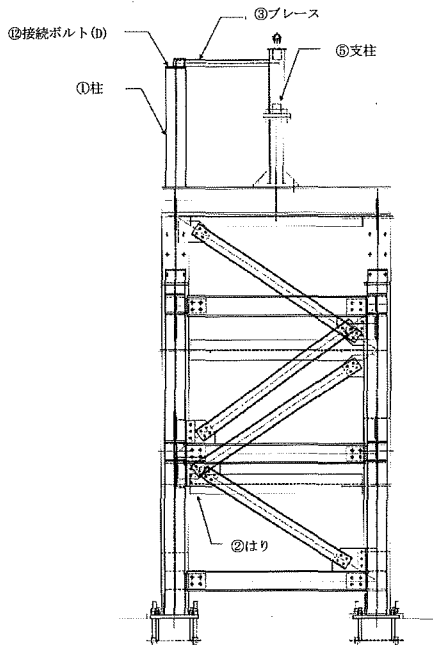
第3-4図 潮位計（2号機）の耐震評価フロー

3.2 耐震評価箇所

潮位計（2号機）の耐震評価は、海水ポンプ室頂版が、基準地震動Ssによる耐震評価（平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-17-11「非常用取水設備の耐震計算書」）にて、概ね弾性範囲内であることが確認されていることから、取付架台、据付ボルト、接続ボルト及び潮位検出器を選定して実施する。潮位計（2号機）の評価箇所については、第3-5図に示す。



- ① 柱
 - ② はり
 - ③ ブレース
 - ④ 支持はり
 - ⑤ 支柱
 - ⑥ 接続ボルト(A)
 - ⑦ 接続ボルト(B)
 - ⑧ 接続ボルト(C)
 - ⑨ 据付ボルト(A)
 - ⑩ 据付ボルト(B)
 - ⑪ ベースプレート
 - ⑫ 接続ボルト(D)
 - ⑬ 潮位検出器
- (注1) ①～⑤を総称して「取付架台」とする。



図中の①～⑫は応力評価箇所を、⑬は機能維持評価箇所を示す。

第3-5図 潮位計（2号機）の耐震評価箇所

3.3 地震応答解析

潮位計（2号機）の固有振動数、荷重、応力及び潮位検出器の機能維持評価に用いる応答加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

3.3.1 基本方針

- (1) 固有振動数及び荷重を求めるため、取付架台のうち柱、はり、ブレース及び支持はりをはり要素で、ベースプレートをシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルによる固有値解析を行い、固有振動数が30Hz以下であることが確認されたため（第3-5表）、基準地震動（Ss波）によるスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRAN ver2008.0.0を使用する。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN ver2008.0.0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。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.3.2 設計用地震力

潮位計（2号機）の耐震計算に用いる入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震設計の基本方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第3-2表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第3-2表 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	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0*	Ss-1からSs-7による設計用床応答曲線の包絡曲線を用いる。なお、鉛直地震動については上下方向を考慮している。
			鉛直	1.0*	

※：「JEAG4601-1987 6章機器・配管系の耐震設計 6.5.3 設計用減衰定数 (P561)」

3.3.3 解析モデル及び諸元

(1) モデル化の基本方針

潮位計（2号機）の取付架台は、潮位検出器を取り付ける架台を支持構造物と考え、その強度部材の耐震健全性確認を主たる目的としてモデル化を行う。解析モデルの対象は取付架台であり、取付架台設置位置から潮位検出器までの支持構造物の強度部材をモデル化する。

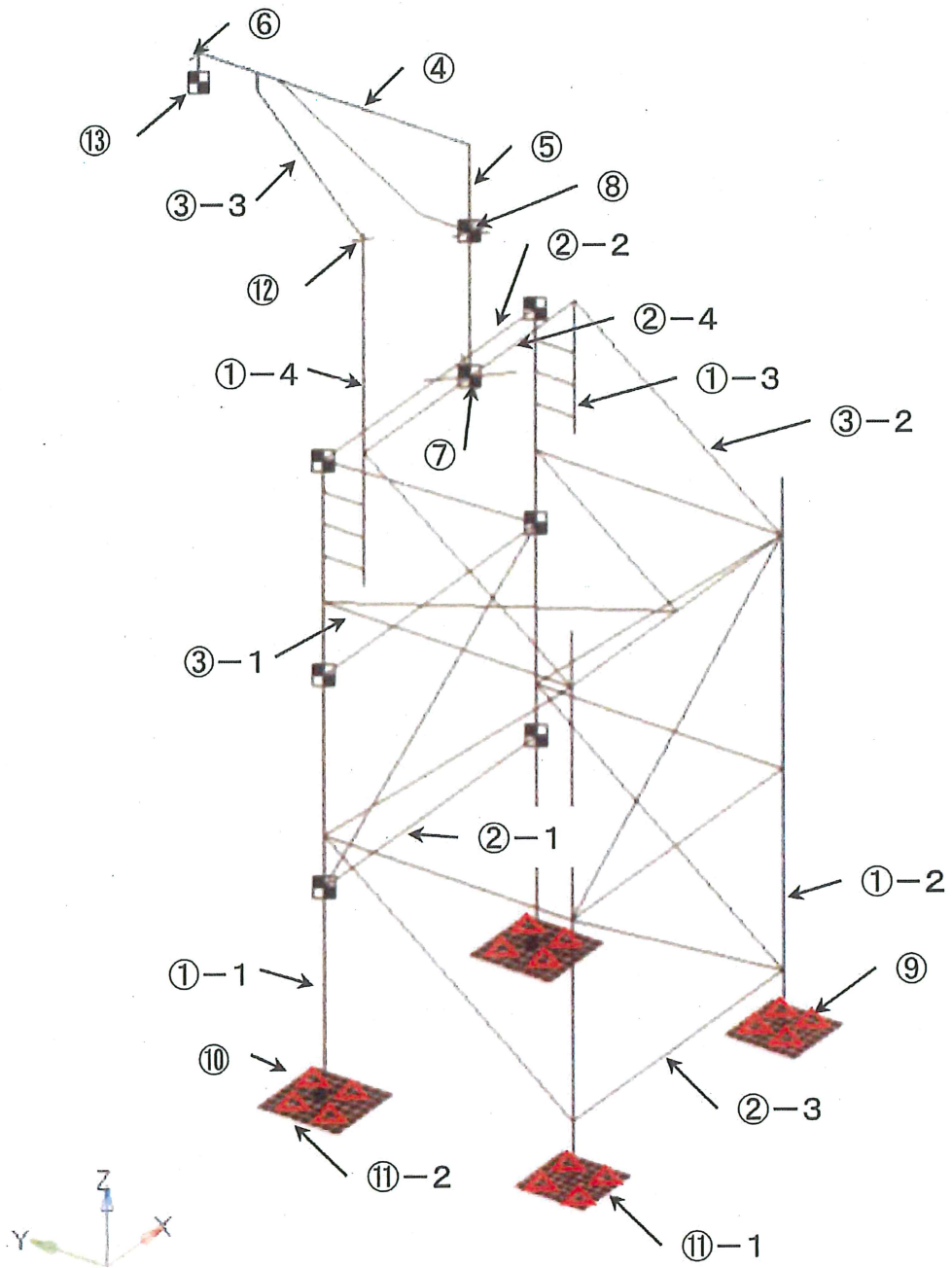
(2) 解析モデル化方法

潮位計取付架台の解析モデルを第3-6図に示す。解析モデルは、取付架台のうち柱、はり、ブレース及び支持はりをはり要素で、ベースプレートをシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルとする。また、潮位検出器及び付属品は集中質量要素でモデル化し、取付架台に剛体要素で完全接続する。

拘束条件は、据付ボルト（A）及び据付ボルト（B）の位置でピン固定として設定した。

設備諸元を第3-3表、使用要素及び拘束・境界条件を第3-4表に示す。なお、解析モデルの要素数、節点は以下のとおりである。

- ・要素数：420
- ・節点数：447



■ : 質量要素

番号は、潮位計（2号機）の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

第3-6図 解析モデル

第3-3表 設備諸元 (1/2)

材質	①柱、②はり、③ブレース			
	④支持はり			
	⑤支柱			
	⑥接続ボルト(A)			
	⑦接続ボルト(B)			
	⑧接続ボルト(C)			
	⑫接続ボルト(D)			
	⑨据付ボルト(A)			
	⑩据付ボルト(B)			
	⑪ベースプレート			
	縦弾性係数			
ポアソン比				

※：JSME S NC1-2012

第3-3表 設備諸元 (2/2)

寸法	①柱	①-1			
		①-2			
		①-3			
		①-4			
	②はり	②-1			
		②-2			
		②-3			
		②-4			
	③ブレース	③-1			
		③-2			
		③-3			
	④支持はり				
	⑤支柱				
	⑥接続ボルト(A)				
	⑦接続ボルト(B)				
	⑧接続ボルト(C)				
	⑫接続ボルト(D)				
	⑨据付ボルト(A)				
	⑩据付ボルト(B)				
⑪ベースプレート	⑪-1				
	⑪-2				
重量	⑬潮位計 (2号機)				
	取付架台等				

第3-4表 使用要素及び拘束・境界条件

部位名		要素	拘束・境界条件
取付架台	機器／支持はり	剛体要素	
	支持はり	はり要素	
	柱	はり要素／ シェル要素	
	ブレース	はり要素	

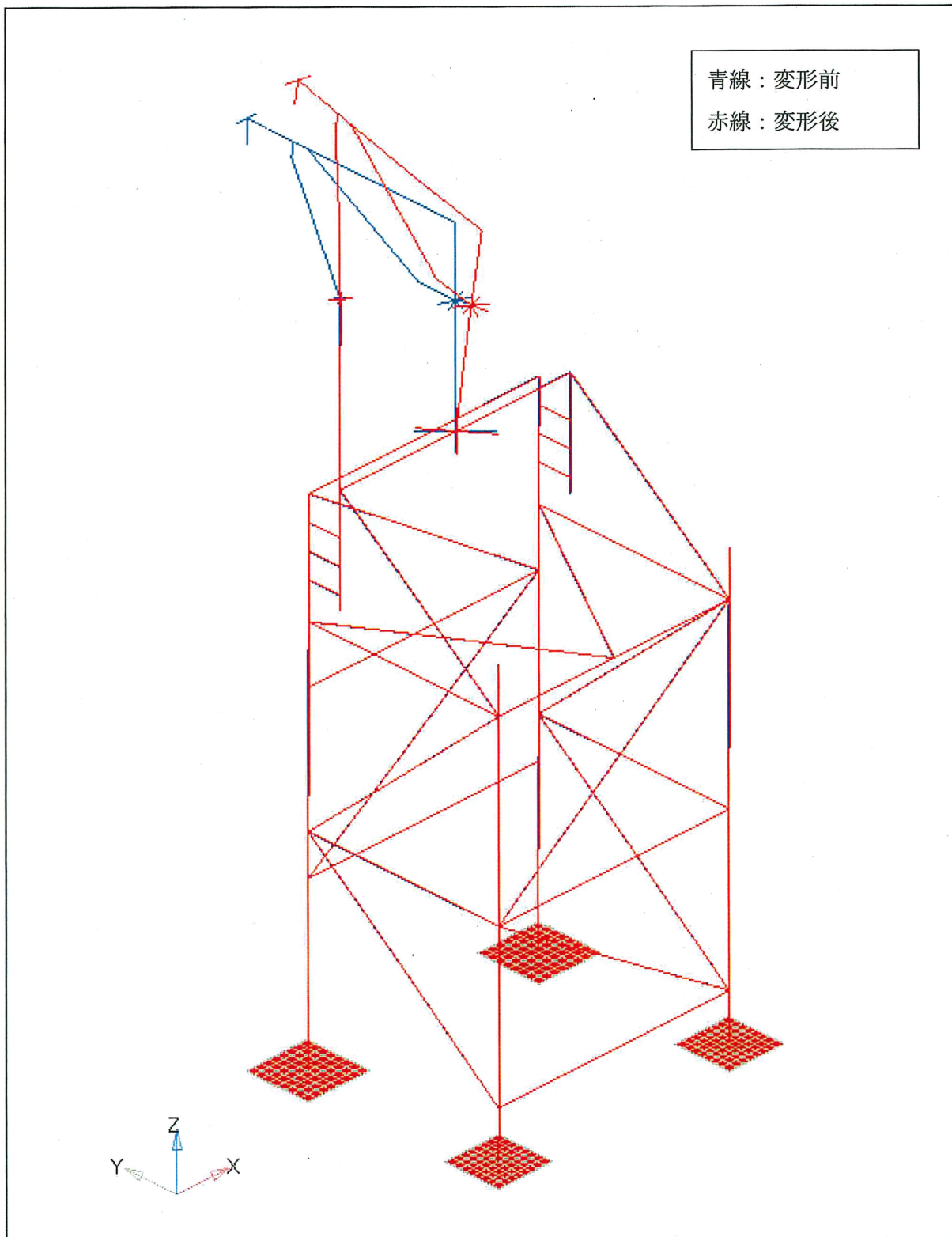
3.3.4 応答解析結果

3.3.4.1 固有値

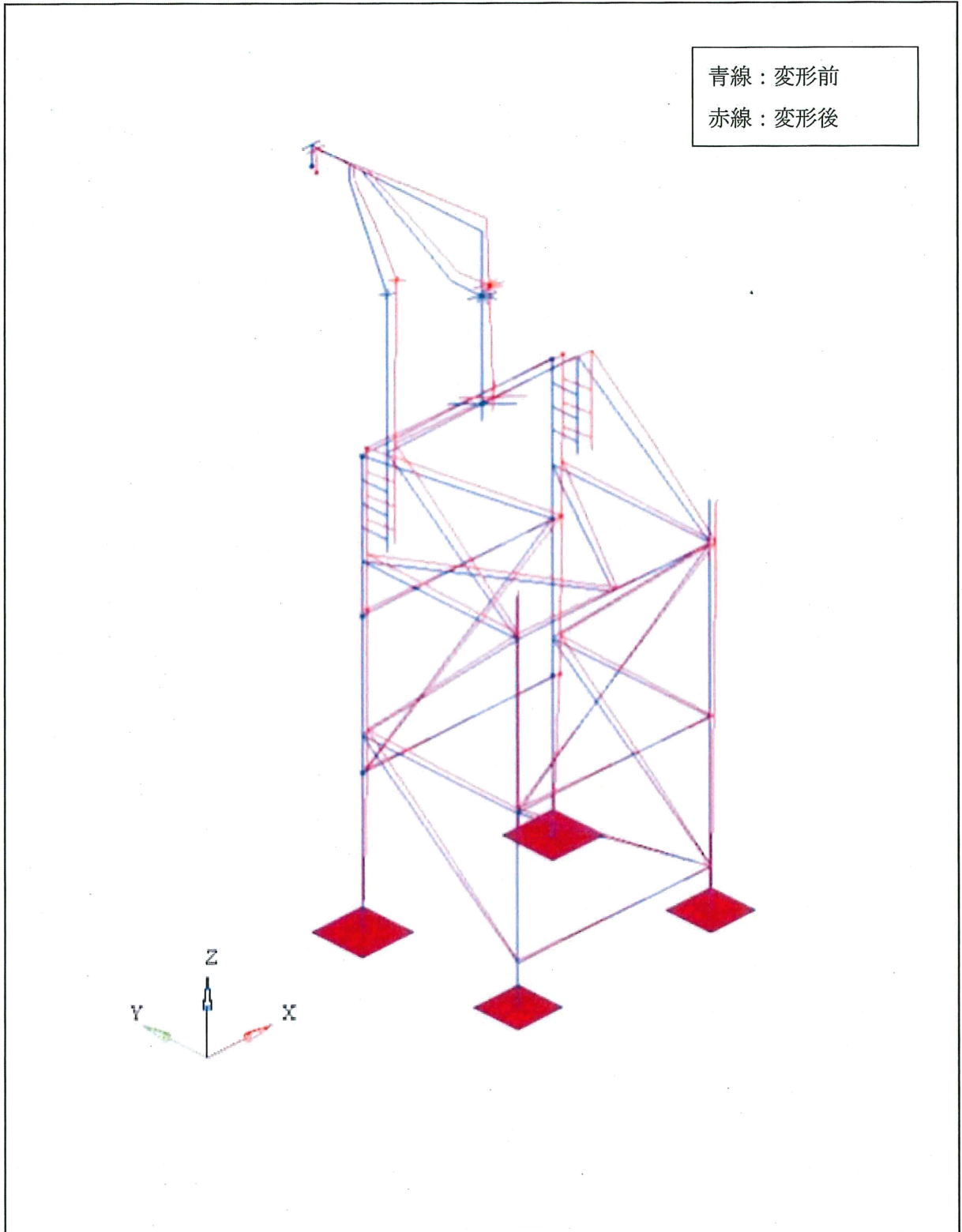
固有振動数を第3-5表に、各振動モード図を第3-7図に示す。

第3-5表 潮位計（2号機）固有振動数

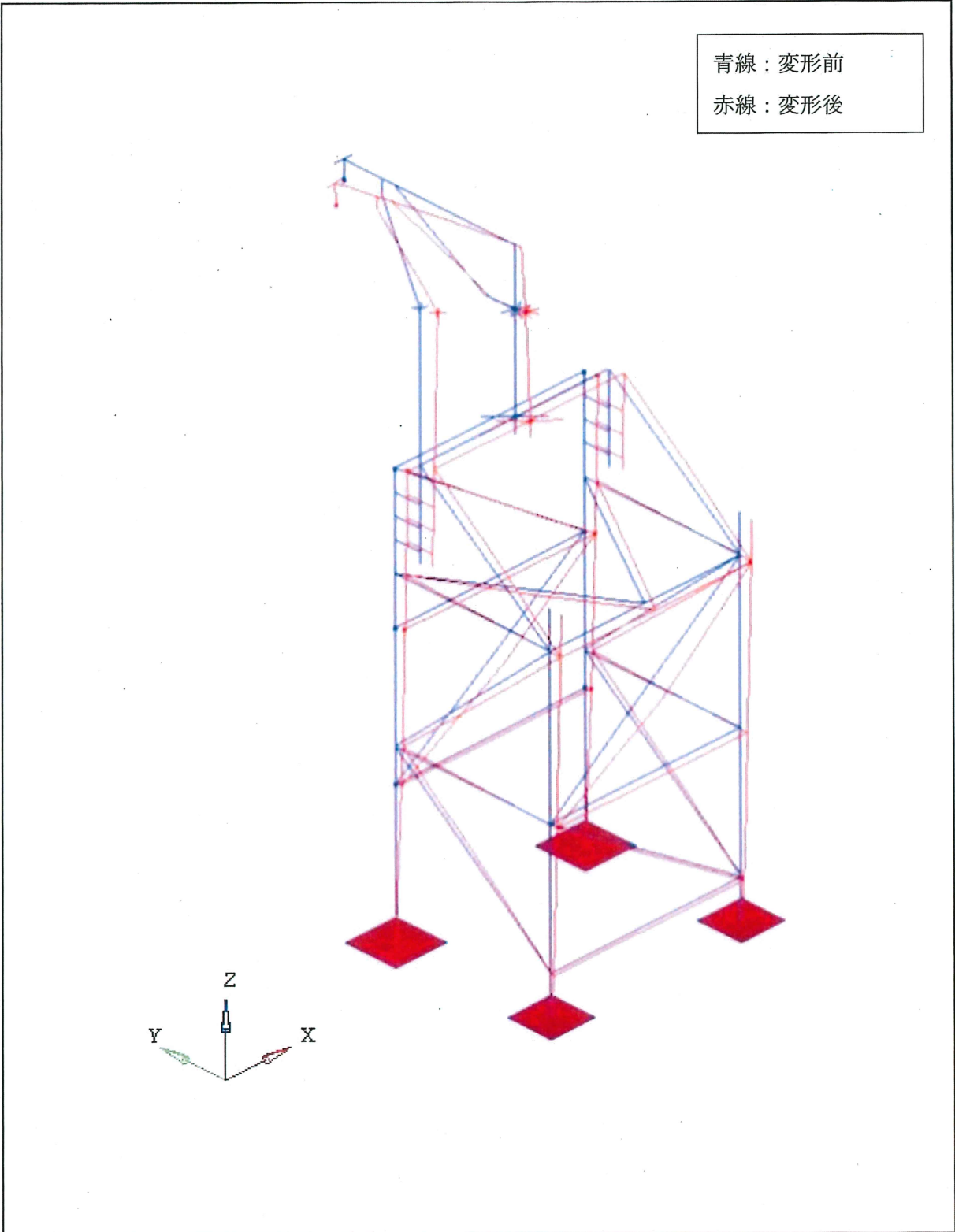
モード 番号	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1					
2					
3					
4					
5					
6					



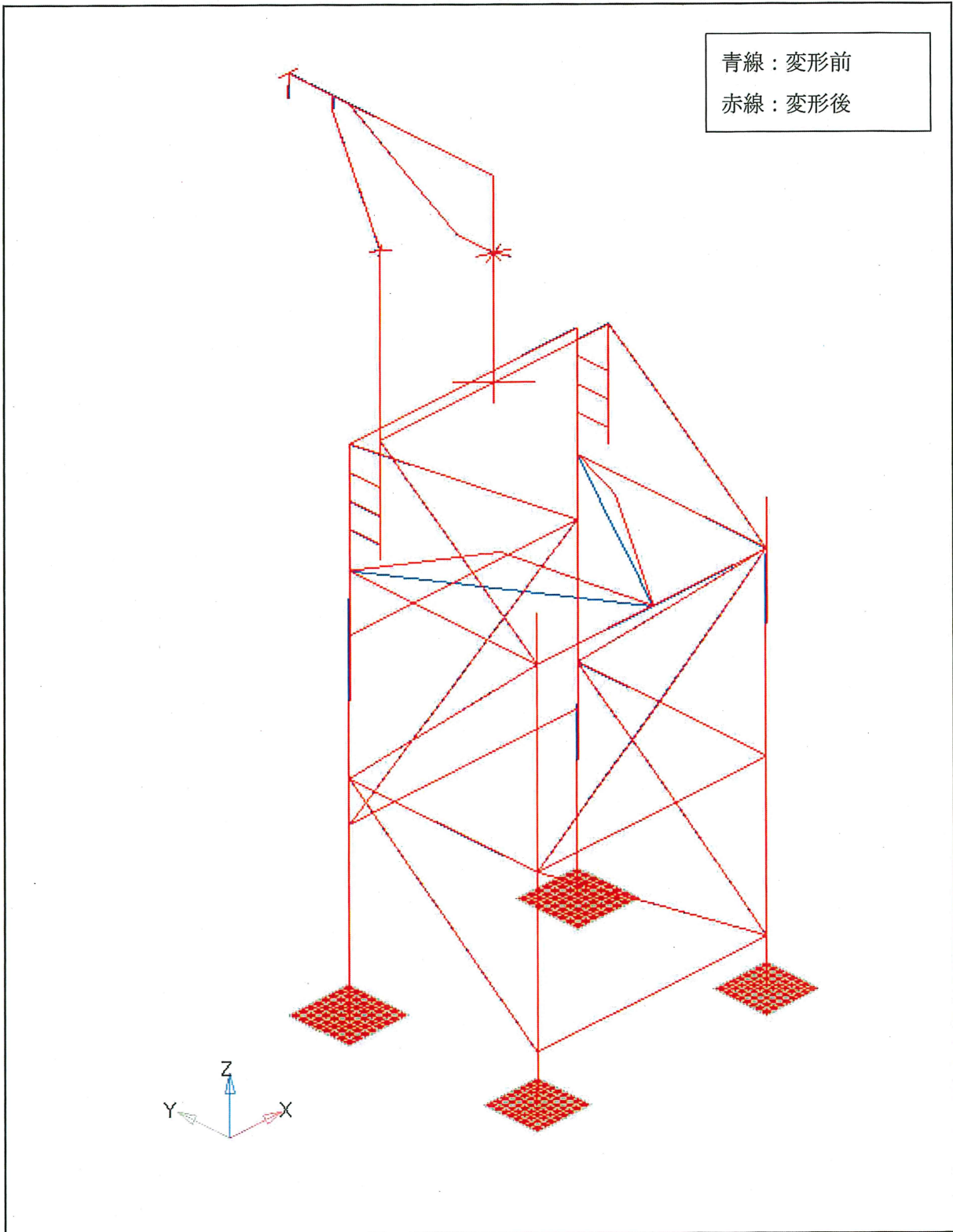
第3-7図(1/6) 振動モード図(8.7Hz)



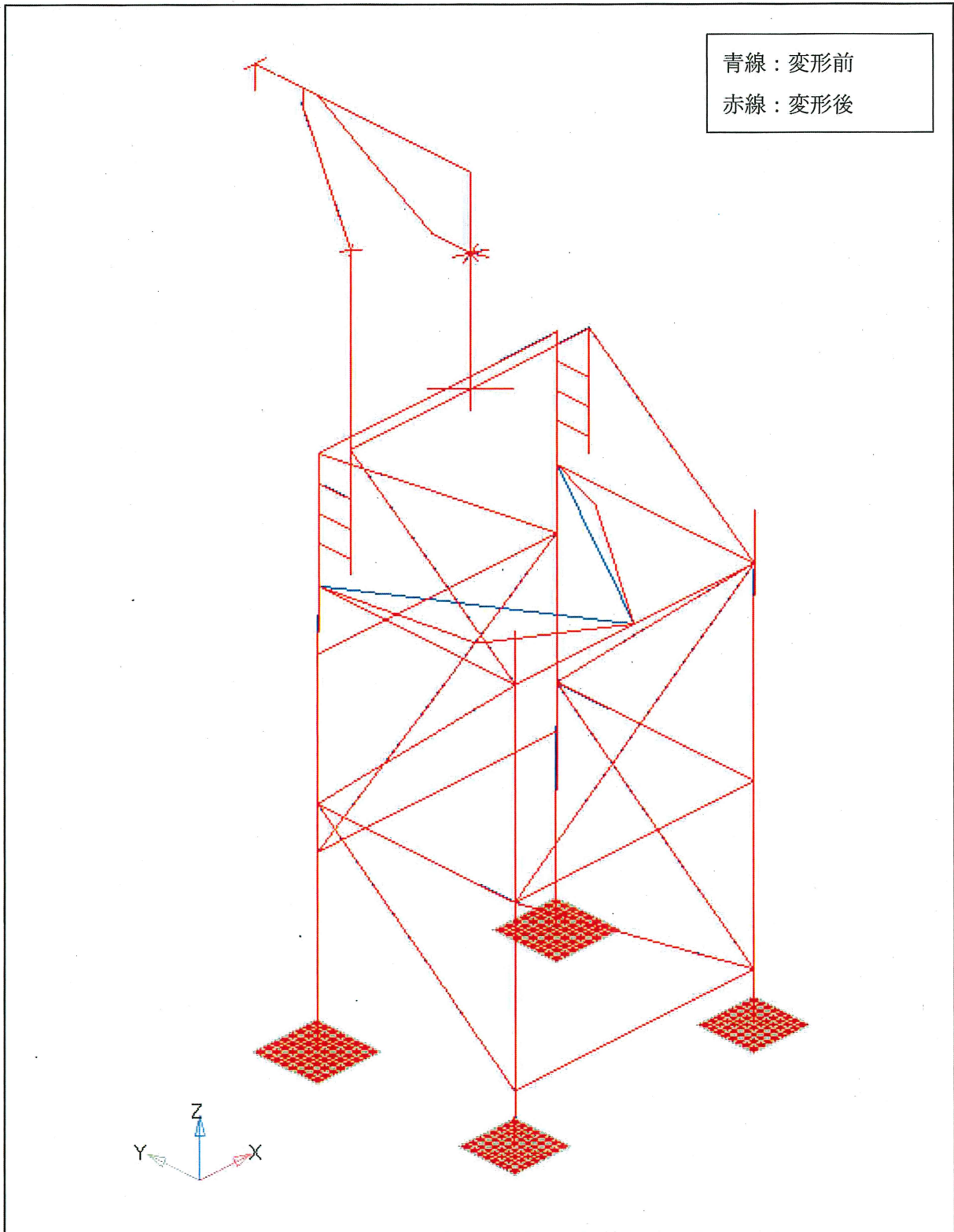
第3-7図(2/6) 振動モード図(16.5Hz)



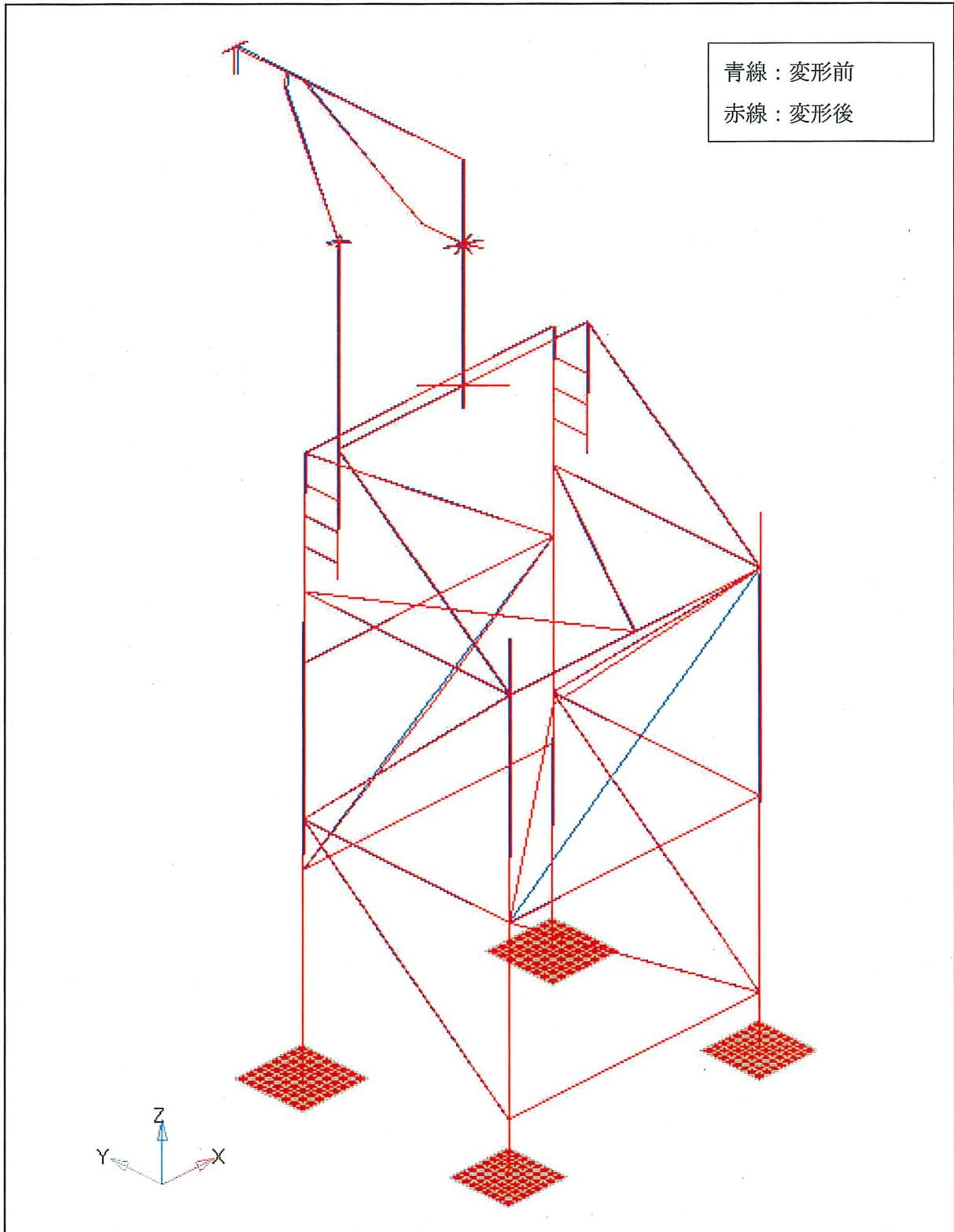
第3-7図(3/6) 振動モード図(20.4Hz)



第3-7図(4/6) 振動モード図(24.7Hz)



第3-7図(5/6) 振動モード図(24.9Hz)



第3-7図(6/6) 振動モード図(30.5Hz)

3.4 応力評価

3.4.1 基本方針

- (1) 各部材の発生応力と許容応力を比較し、発生応力に対して、許容応力の裕度が1以上であることを確認する。
- (2) 応力評価については、「3.3 地震応答解析」と併せて、取付架台のうち、柱、はり、ブレース及び支持はりをはり要素で、ベースプレートをシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルによるスペクトルモーダル解析を適用し実施する。
- (3) 許容応力について、JSME S NC1-2012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温度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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

潮位計（2号機）の荷重の組合せ及び許容応力状態を第3-6表に示す。また、潮位計（2号機）は風荷重の影響を受けやすい構造であると考えられるため、風荷重の組合せを考慮する。

第3-6表 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^(注1)	許容応力状態
浸水防護施設	津波防護施設	潮位計 (2号機)	S	$D+S_s+P_s+P_D+M_D+P_k$ ^(注2)	Ⅲ _A S ^(注3)

(注1) 組合せ応力に対しても評価を行う。

(注2) D：死荷重

S_s ：基準地震動 S_s により定まる地震力

P_s ：積雪荷重

P_D ：地震と組み合わせずプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D ：地震と組み合わせずプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

P_k ：風荷重

(注3) 基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、潮位測定が可能であり津波監視機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

3.4.2.2 許容応力

潮位計（2号機）の評価に用いる許容応力を第3-7表に示す。

第3-7表 潮位計（2号機）の許容応力

許容応力状態	許 容 限 界 (ボルト以外)				許 容 限 界 (ボルト)	
	一 次 応 力				一 次 応 力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S ^(注1)	$1.5f_t$ ^(注2)	$1.5f_s$ ^(注3)	$1.5f_c$ ^(注4)	$1.5f_b$ ^(注5)	$1.5f_t$ ^(注2)	$1.5f_s$ ^(注3)

(注1) 基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、潮位測定が可能であり津波監視機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

(注2) f_t : 許容引張応力及び組合せ応力

(注3) f_s : 許容せん断応力

(注4) f_c : 許容圧縮応力

(注5) f_b : 許容曲げ応力

3.4.2.3 使用材料の許容応力

潮位計（2号機）の評価に用いる各評価部位の使用材料の温度及び許容応力を第3-8表に示す。

第3-8表 使用材料の許容応力

評価部位	温度条件 ※ ¹ (°C)	材料	Sy (MPa)	Su (MPa)	F ※ ² (MPa)
柱					
はり					
ブレース					
支持はり					
支柱					
接続ボルト(A)					
接続ボルト(B)					
接続ボルト(C)					
接続ボルト(D)					
据付ボルト(A)					
据付ボルト(B)					
ベースプレート					

※1：資料3「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」

※2：JSME S NC1-2012

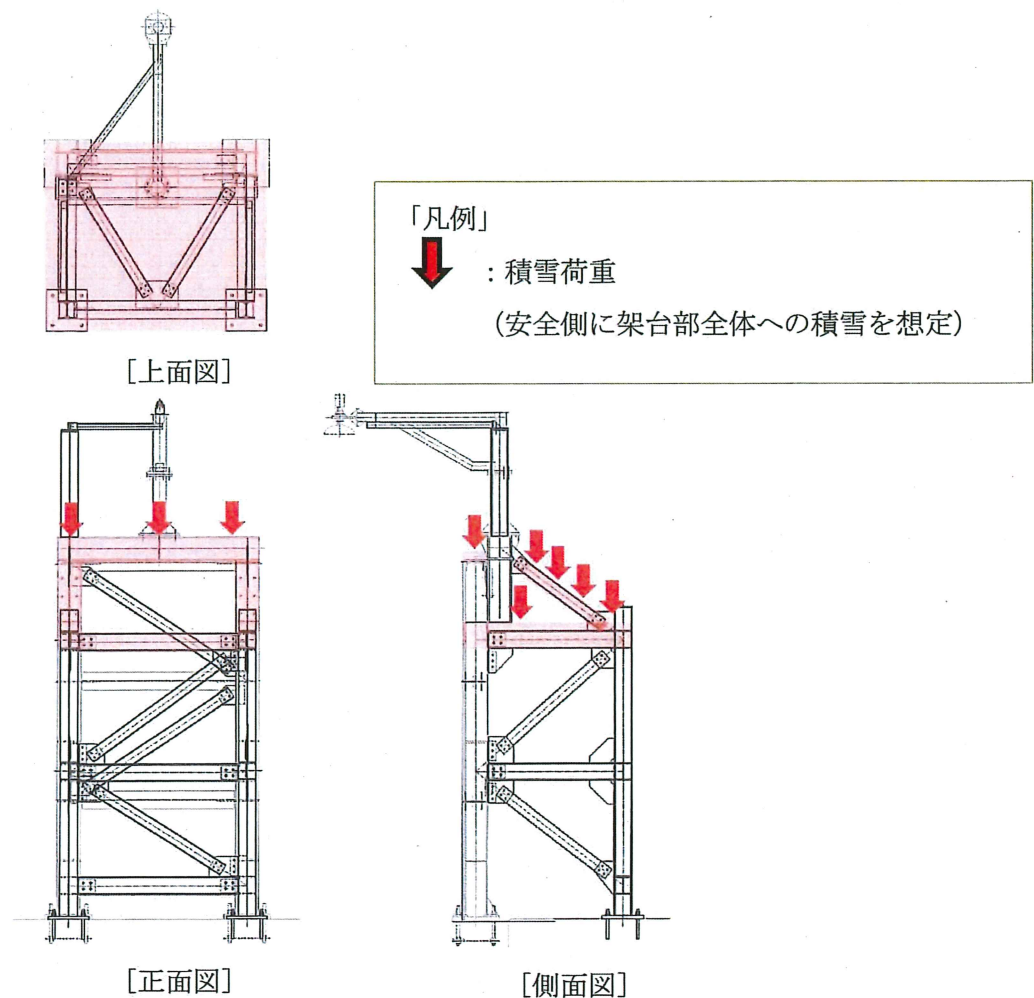
3.4.2.4 自重及び荷重

(1) 死荷重 (D)

死荷重Dとして自重を考慮する。死荷重については、潮位計（2号機）の構成部材である取付架台及びボルト類の重量に、付属品の重量並びに潮位検出器の重量を加算したものをを用いる。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重 P_s は、100cmの積雪量を想定し、重量として自重に加えて計算に用いる。積雪箇所としては、第3-8図に示すとおり架台上面を想定する。積雪重量を自重に加算する際は、積雪を積雪箇所に均等に分布させる。積雪荷重の算出については次式を用いる。第3-9表に積雪荷重の算出条件を、第3-10表に自重等と算出した積雪重量を示す。



第3-8図 積雪箇所

$$P_s = \frac{0.35 \cdot W_s \cdot A_v \cdot d}{g}$$

P_s : 積雪荷重(kg)

W_s : 1cm 当たり積雪荷重(N/m²)

A_v : 積雪面積(m²)

d : 積雪高さ(cm)

g : 重力加速度(m/s²)

第3-9表 積雪荷重の算出条件

積雪箇所	1cm当たりの 積雪荷重 W_s (N/m ²)	積雪面積 A_v (m ²)	積雪高さ d (cm)	重力加速度 g (m/s ²)
取付架台				

第3-10表 自重等と算出した積雪重量

項目	重量(kg)	合計(kg)
取付架台等		
潮位検出器		
取付架台への積雪		

(3) 風荷重(P_k)

地震荷重と組み合わせる風荷重 P_k については、資料2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち資料2-1-1「耐震設計上重要な設備を設置する施設に対する自然現象等への配慮に関する基本方針」に準じて、風速32m/sを使用し、架台の形状を踏まえ架台に作用する風圧力を算出する。第3-11表に速度圧及び風圧力の算出結果、第3-12表に風荷重の算出条件、第3-9図に解析モデル図を示す。

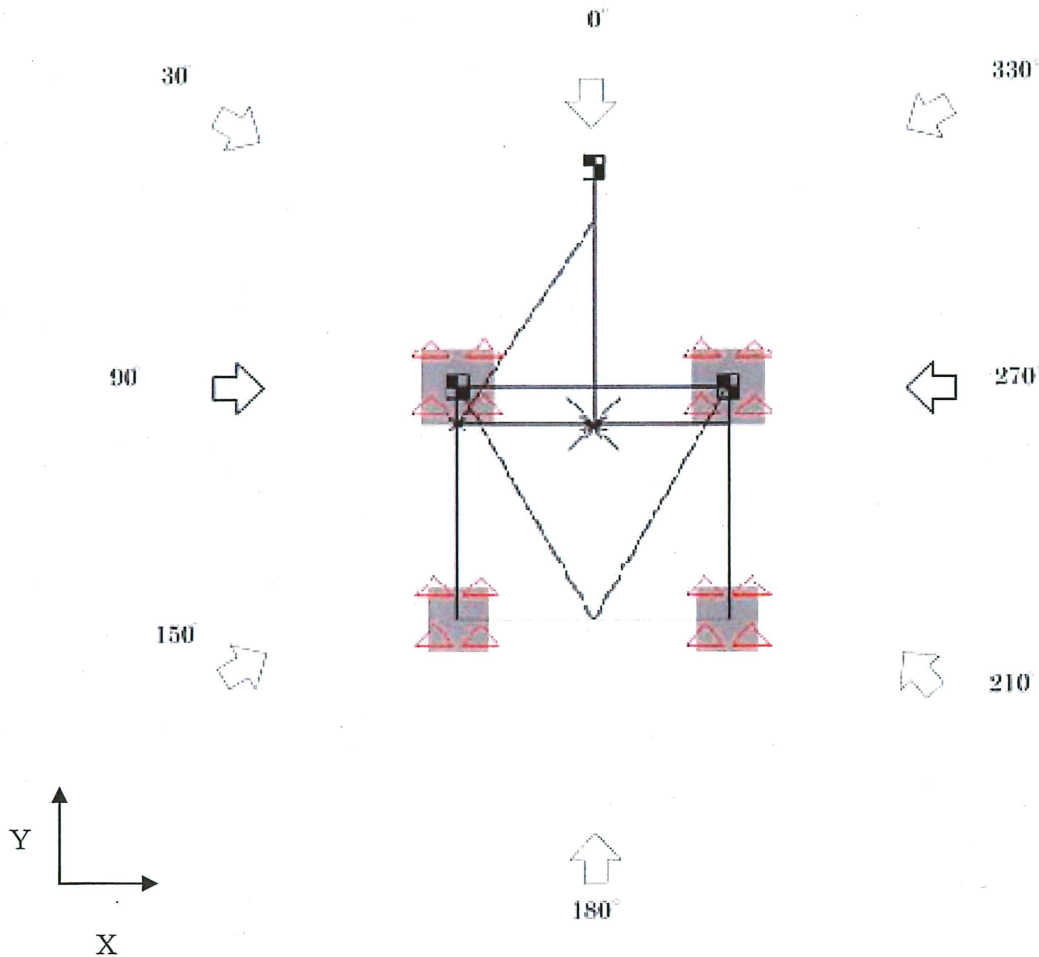
第3-11表 速度圧及び風圧力

作用する部位	速度圧 (N/m^2)	風圧力 (N/m^2)
取付架台		

第3-12表 風荷重の算出条件

対象	基準風速 V_0 (m/s)	地表面粗区分	潮位計高さ (m)	風力係数 C_f
潮位計 (2号機)				

※建築基準法及び同施行令



第3-9図 風荷重の解析モデル図

3.4.3 応力評価方法

応力評価方法については、以下のとおり行う。

- (1) 取付架台の応力評価については、地震応答解析から得られた応力算出結果と自重、風荷重により静解析にて得られた応力を絶対値和して評価する。地震力については、水平及び鉛直の二乗和平方根(SRSS)法を用いる。

$$| \text{死荷重 (積雪荷重含む)} + \text{風圧力に伴う応力又は荷重} | + \sqrt{|\text{水平地震力}|^2 + |\text{鉛直地震力}|^2} \quad ※$$

※：JEAG4601-1987

- (2) 接続ボルト及び据付ボルトについては、FEM解析結果から得られるボルト1本当たりに作用する最大荷重より以下の式を用いて応力を算出する。第3-13表に各ボルトに発生する最大荷重を示す。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_t}{A}$$

F_t ：ボルト1本当たりに作用する引張力

A ：ボルト断面積

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_s}{A}$$

F_s ：ボルト1本当たりに作用するせん断力

A ：ボルト断面積

第3-13表 各ボルト1本当たりに作用する最大荷重

評価部位	引張力 F_t (N)	せん断力 F_s (N)	断面積 A (mm ²)
接続ボルト (A)			
接続ボルト (B)			
接続ボルト (C)			
接続ボルト (D)			
据付ボルト (A)			
据付ボルト (B)			

応力評価においては、引張応力の最大値 σ_b を求め、引張応力の許容値で評価する。
また、せん断応力の最大値 τ_b を求め、せん断応力の許容値で評価する。

さらに、引張応力の最大値 σ_b については、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 f_{ts} に対する評価を行うものとする。

ここで、

$$f_{ts} = 1.4 (1.5f_t) - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq 1.5f_t$$

3.5 機能維持評価

潮位計（2号機）は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

3.5.1 機能維持評価方法

潮位検出器取付位置の応答加速度が、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、検出器単体の正弦波加振試験（掃引試験及び連続試験）において、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第3-14表に示す。なお、加振試験においては、加振後に入出力特性を確認し、許容精度内であることを確認することに加え、外観に損傷のないことを確認し、潮位検出器本体の電氣的機能維持を確認する。

第3-14表 機能維持確認済加速度

評価部位	方向	機能維持確認済加速度 (G) (注1)
潮位検出器	水平	□
	鉛直	

(注1) $G=9.80665 (m/s^2)$

3.6 評価結果

潮位計（2号機）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動Ssに対する評価

基準地震動Ssに対する応力評価結果を第3-15表に示す。

第3-15表 潮位計（2号機）の基準地震動Ssによる評価結果（D+Ss+Ps+Pd+Md+Pk）

部位	材料	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付架台 ①～④ (支持はり、支柱除く)			
取付架台 ⑤ (支柱)			
接続ボルト (A) ⑥			
接続ボルト (B) ⑦			
接続ボルト (C) ⑧			
接続ボルト (D) ⑫			
据付ボルト (A) ⑨、⑪			
据付ボルト (B) ⑩、⑬			

番号は、潮位計（2号機）の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

(注1) 曲げモーメントを受ける組合せ応力は、許容応力に対する比を示す。

(2) 機能維持確認結果

機能維持評価結果を第3-16表に示す。

第3-16表 潮位検出器の機能維持評価結果

方向	評価加速度 (G) (注1)	確認済加速度 (G) (注1)
水平	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	
鉛直		

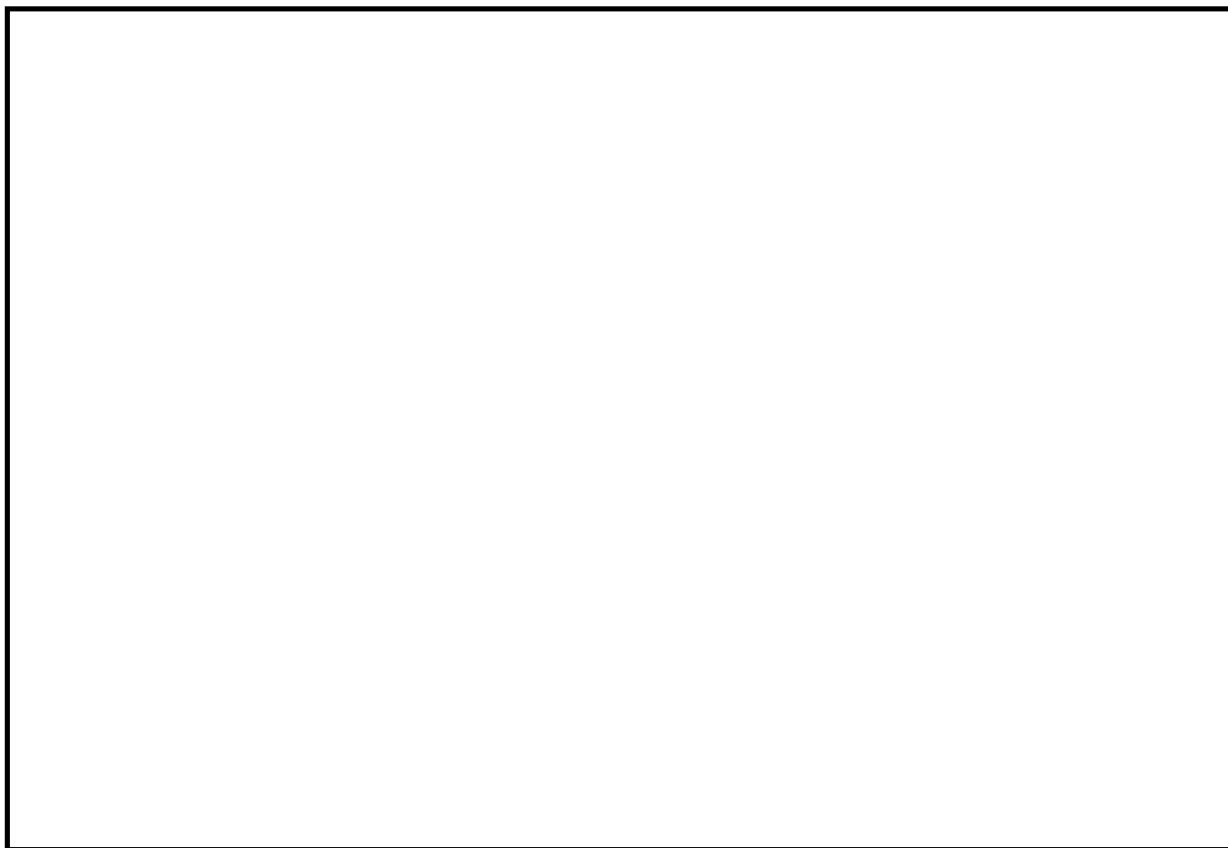
(注1) $G=9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

4. 潮位計（3，4号機）

4.1 基本方針

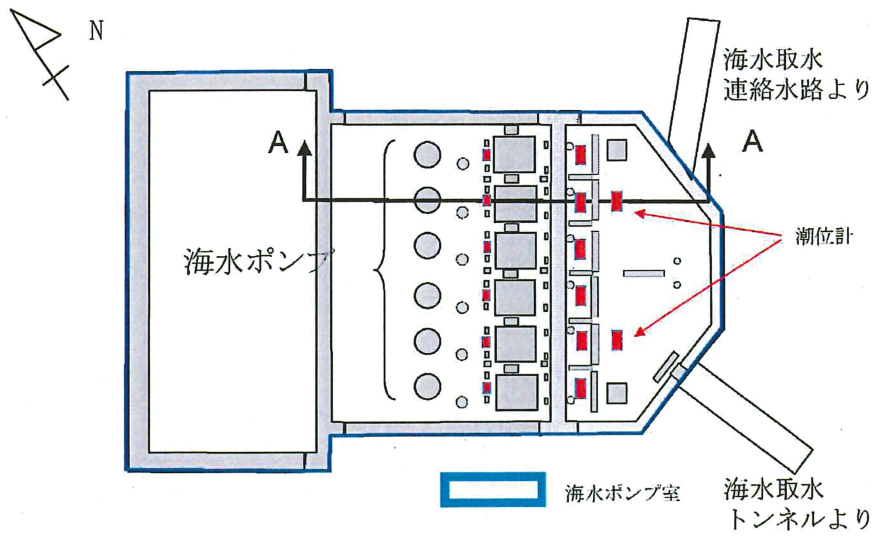
4.1.1 構造の説明

潮位計（3，4号機）は、3，4号機海水ポンプ室に潮位計設置用の潮位計取付架台を設置し、その上部に取り付ける。潮位計（3，4号機）の配置図を第4-1図に示す。

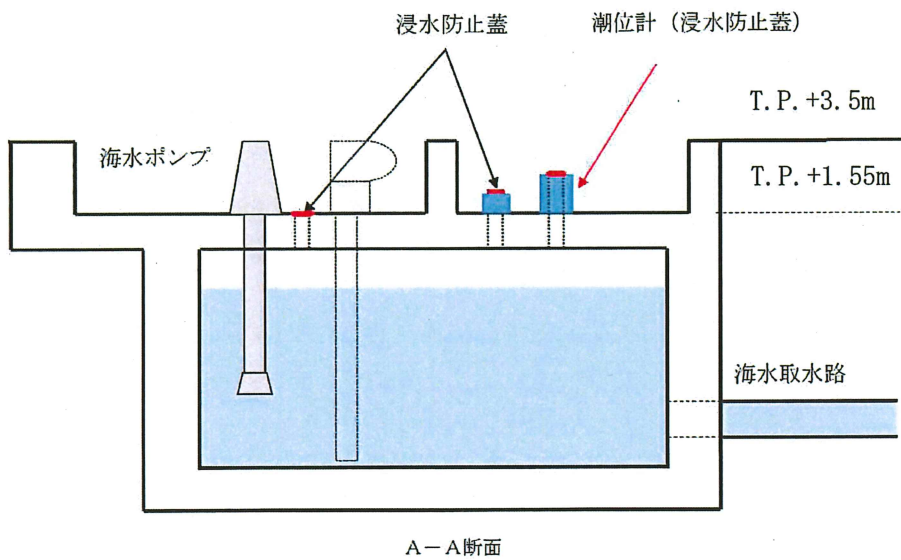


第4-1図 潮位計（3，4号機）配置図（敷地全体）

潮位計（3，4号機）は、除塵装置であるロータリースクリーンの上流側に設置する。第4-2図に3，4号機海水ポンプ室の平面図及び断面図を示す。



3, 4号機海水ポンプ室平面図



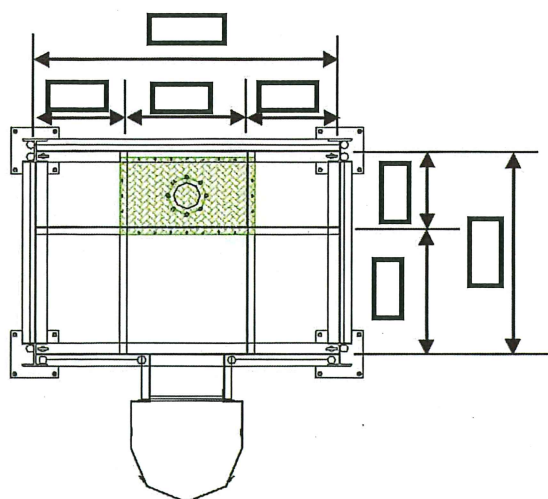
3, 4号機海水ポンプ室断面図

第4-2図 3, 4号機海水ポンプ室平面図及び断面図

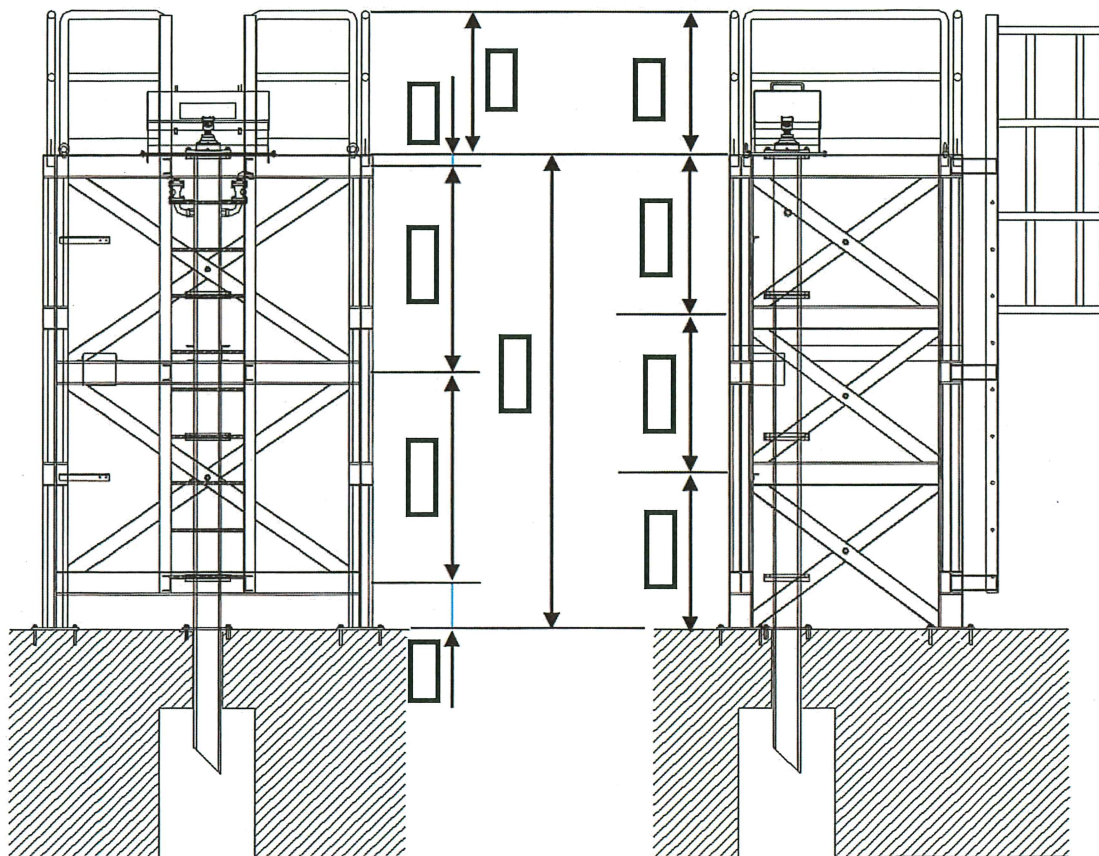
資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」にて設定した機器の支持方針に基づき設計した潮位計（3，4号機）の構造計画を第4-1表に示す。潮位計（3，4号機）は、超音波式の潮位検出器本体を取り付ける取付架台（潮位計測のためのガイドパイプ含む。）からなり、取付架台は据付ボルトにより床面に据え付けられる。潮位計（3，4号機）の構造概要図を第4-3図に示す。

第4-1表 潮位計（3，4号機）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
潮位計 (3, 4号機)	潮位計本体である非接触式潮位検出器、検出器の取付架台により構成する。	潮位検出器は、取付架台に接続ボルトで固定する。 取付架台は据付ボルトにより3, 4号機海水ポンプ室床面に固定する。	<p>※①～⑦，⑬，⑭を総称して「取付架台」とする</p>



上面図



正面図

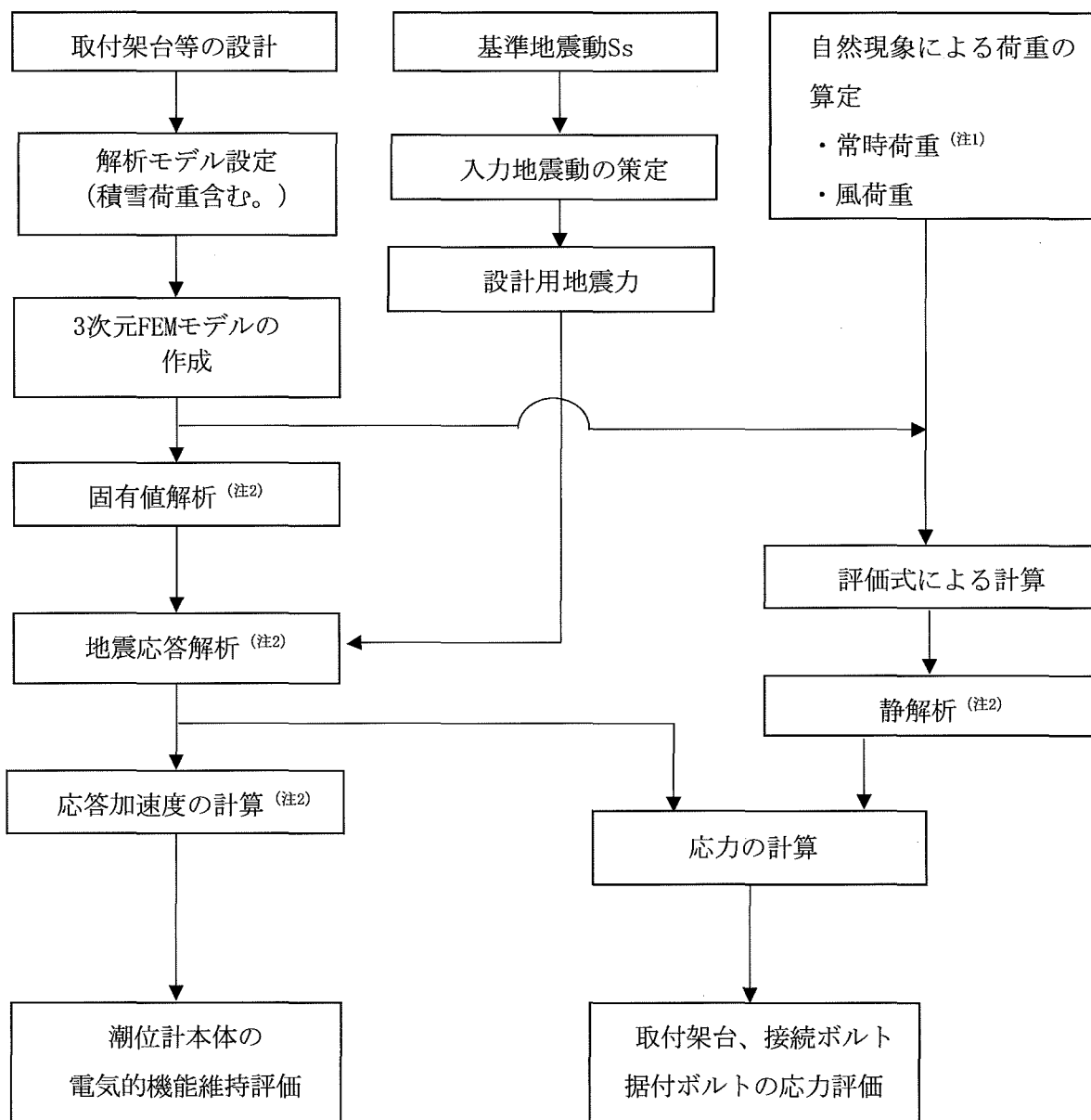
側面図 (単位: mm)

第4-3図 潮位計 (3, 4号機) の構造概要図

4.1.2 評価方針

潮位計（3，4号機）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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 構造の説明」にて示す潮位計（3，4号機）の部位を踏まえ「4.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「4.3 地震応答解析」で算定した荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「4.4 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、潮位計（3，4号機）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「4.5 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「4.6 評価結果」に示す。

潮位計（3，4号機）の耐震評価フローを第4-4図に示す。



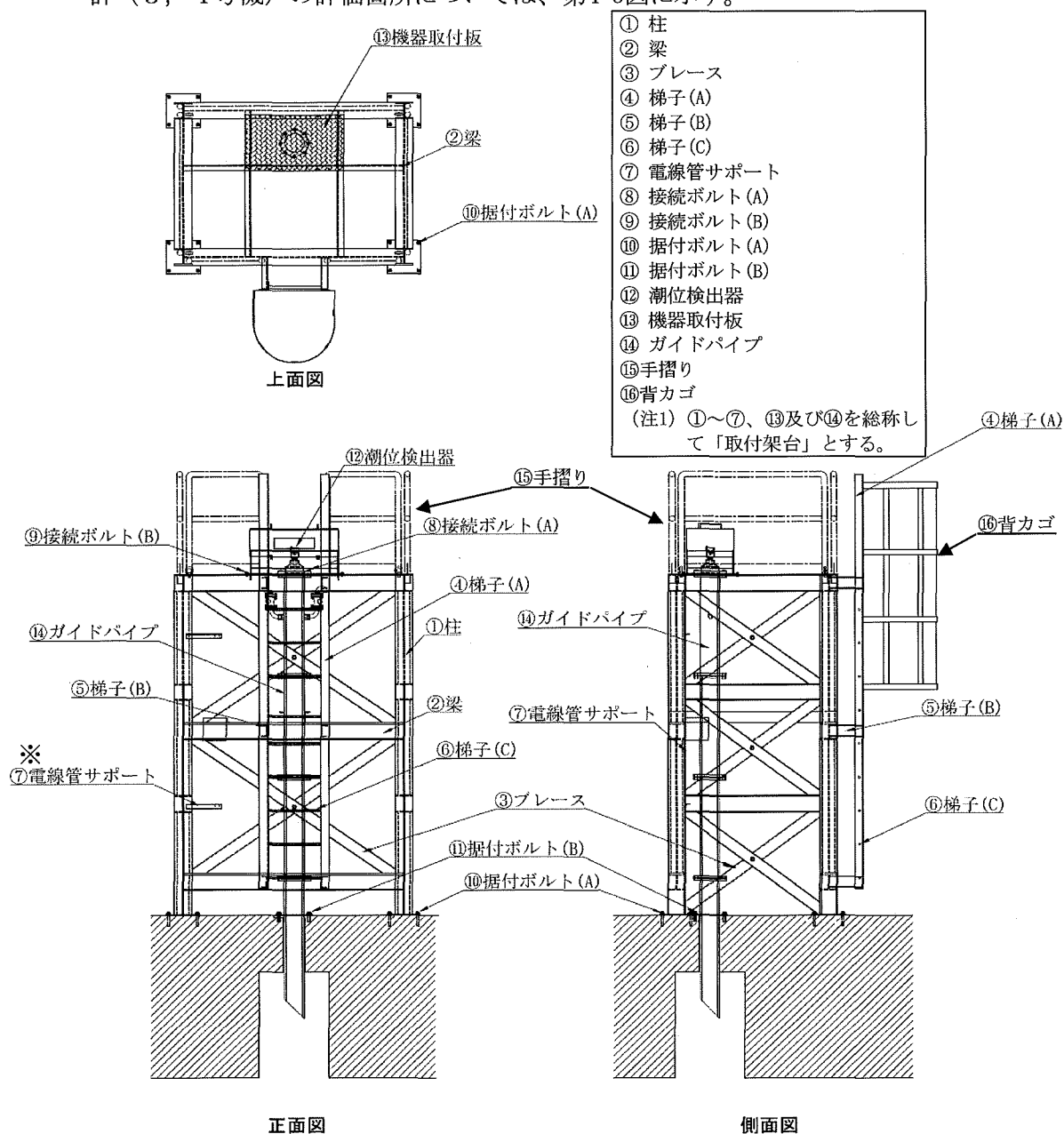
(注1) 常時荷重は、自重及び積雪重量を考慮し解析モデルに含むものとする。

(注2) 解析コードは、「MSC NASTRAN ver2008.0.0」を使用する。

第4-4図 潮位計（3，4号機）の耐震評価フロー

4.2 耐震評価箇所

潮位計（3，4号機）の耐震評価は、海水ポンプ室頂版が、基準地震動Ssによる耐震評価（平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-17-11「非常用取水設備の耐震計算書」）にて、概ね弾性範囲内であることが確認されていることから、取付架台、据付ボルト、接続ボルト及び潮位検出器を選定して実施する。潮位計（3，4号機）の評価箇所については、第4-5図に示す。



図中の①～⑪、⑬及び⑭は応力評価箇所を、⑫は機能維持評価箇所を示す。

※：3号機側と4号機側（3号機設備であるが設置場所が4号機であるため、識別するための名称である）の潮位計取付架台構造は、⑦電線管サポートの配置を除き同じである。

第4-5図 潮位計（3，4号機）の耐震評価箇所

4.3 地震応答解析

潮位計（3，4号機）の固有振動数、荷重、応力及び潮位検出器の機能維持評価に用いる応答加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

4.3.1 基本方針

- (1) 固有振動数及び荷重を求めるため、取付架台のうち柱、梁、ブレース、梯子、電線管サポート及びガイドパイプをはり要素で、機器取付板をシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルによる固有値解析を行い、固有振動数が30Hz以上であることが確認済みであるため（第4-5表、第4-6表）、最大床応答加速度の1.2倍を用いた静解析を実施する。
- (2) 解析コードはMSC NASTRAN ver2008.0.0を使用する。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRAN ver2008.0.0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。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.3.2 設計用地震力

潮位計（3，4号機）の耐震計算に用いる入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震設計の基本方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第4-2表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第4-2表 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	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0※	Ss-1からSs-7による設計用床応答曲線の包絡曲線を用いる。なお、鉛直地震動については上下方向を考慮している。
			鉛直	1.0※	

※：JEAG4601 1987

4.3.3 解析モデル及び諸元

(1) モデル化の基本方針

潮位計（3，4号機）の取付架台は、潮位検出器を取り付ける架台を支持構造物と考え、その強度部材の耐震健全性確認を主たる目的としてモデル化を行う。解析モデルの対象は取付架台であり、取付架台設置位置から潮位検出器までの支持構造物の強度部材をモデル化する。

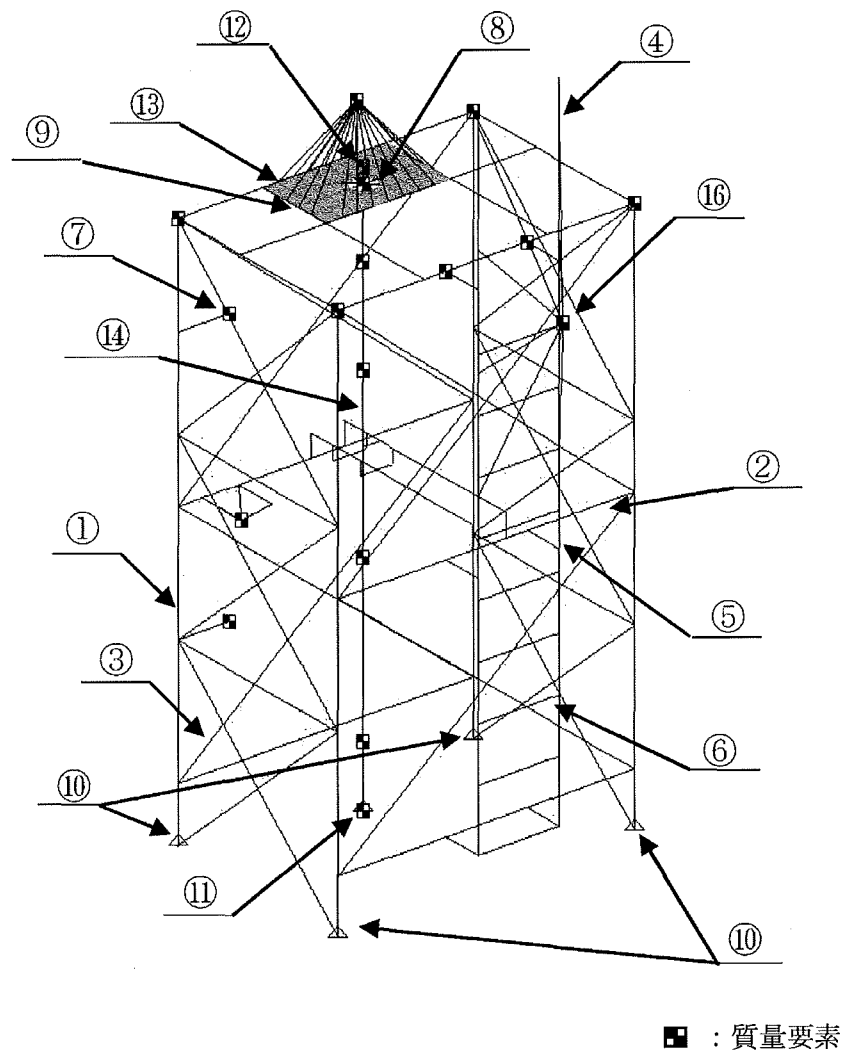
(2) 解析モデル化方法

潮位計取付架台の解析モデルを第4-6図に示す。解析モデルは、取付架台のうち柱、梁、ブレース、梯子、電線管サポート及びガイドパイプをはり要素で、機器取付板をシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルとする。また、潮位検出器、背カゴ等の付属品は集中質量要素でモデル化し、取付架台に剛体要素で完全接続する。

拘束条件は、機器取付板及びガイドパイプの接続ボルト位置で水平XY方向、鉛直Z方向を拘束、ガイドパイプと梁の接触位置で水平方向XY方向を拘束、据付ボルト(A)及び据付ボルト(B)の位置で完全固定として設定した。

設備諸元を第4-3表、使用要素及び拘束・境界条件を第4-4表に示す。なお、解析モデルの要素数、節点は以下のとおりである。

- ・要素数：354
- ・節点数：310



番号は、潮位計（3，4号機）の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

第4-6図 解析モデル

第4-3表 設備諸元

材質	①柱、②梁、③ブレース	
	⑦電線管サポート	
	④⑤⑥梯子(A, B, C)	
	⑧接続ボルト(A)	
	⑨接続ボルト(B)	
	⑩据付ボルト(A)	
	⑪据付ボルト(B)	
⑭ガイドパイプ		
縦弾性係数		
ポアソン比		
寸法	①柱、②梁	
	③ブレース	
	⑦電線管サポート	
	④梯子(A)	
	⑤梯子(B)	
	⑥梯子(C)	
	⑧接続ボルト(A)	
	⑨接続ボルト(B)	
	⑩据付ボルト(A)	
	⑪据付ボルト(B)	
	⑭ガイドパイプ	
	重量	取付架台等
潮位検出器		

※：JSME S NC1-2005/2007

第4-4表 使用要素及び拘束・境界条件

部位名		要素	拘束・境界条件
取付架台	機器取付板／ ガイドパイプ	シェル要素／ はり要素	
	ガイドパイプ	はり要素	
	柱	はり要素	

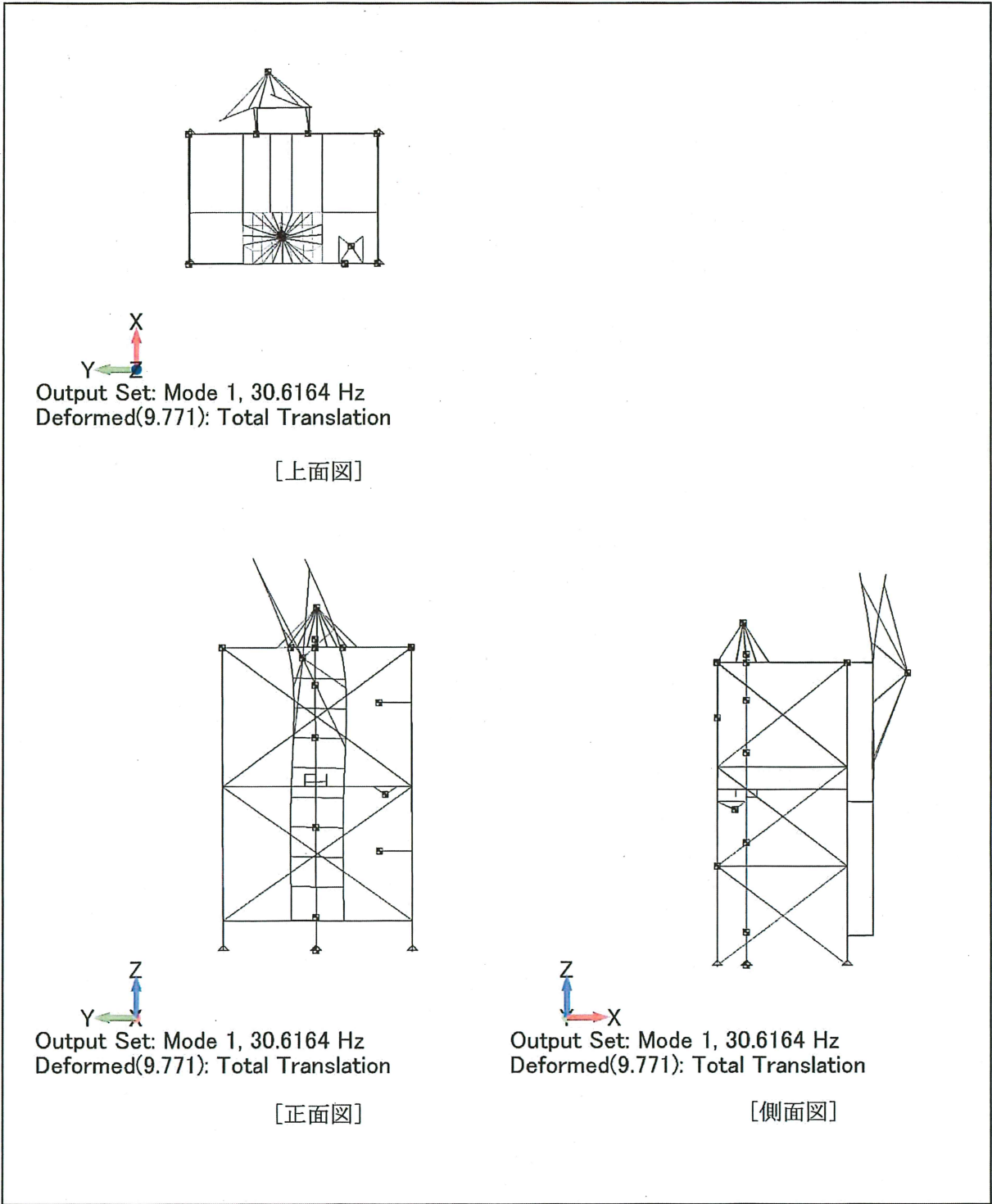
4.3.4 応答解析結果

4.3.4.1 固有値

固有振動数を第4-5表及び第4-6表に、1次モード図を第4-7図及び第4-8図に示す。

第4-5表 潮位計（3，4号機）（3号機側）固有振動数

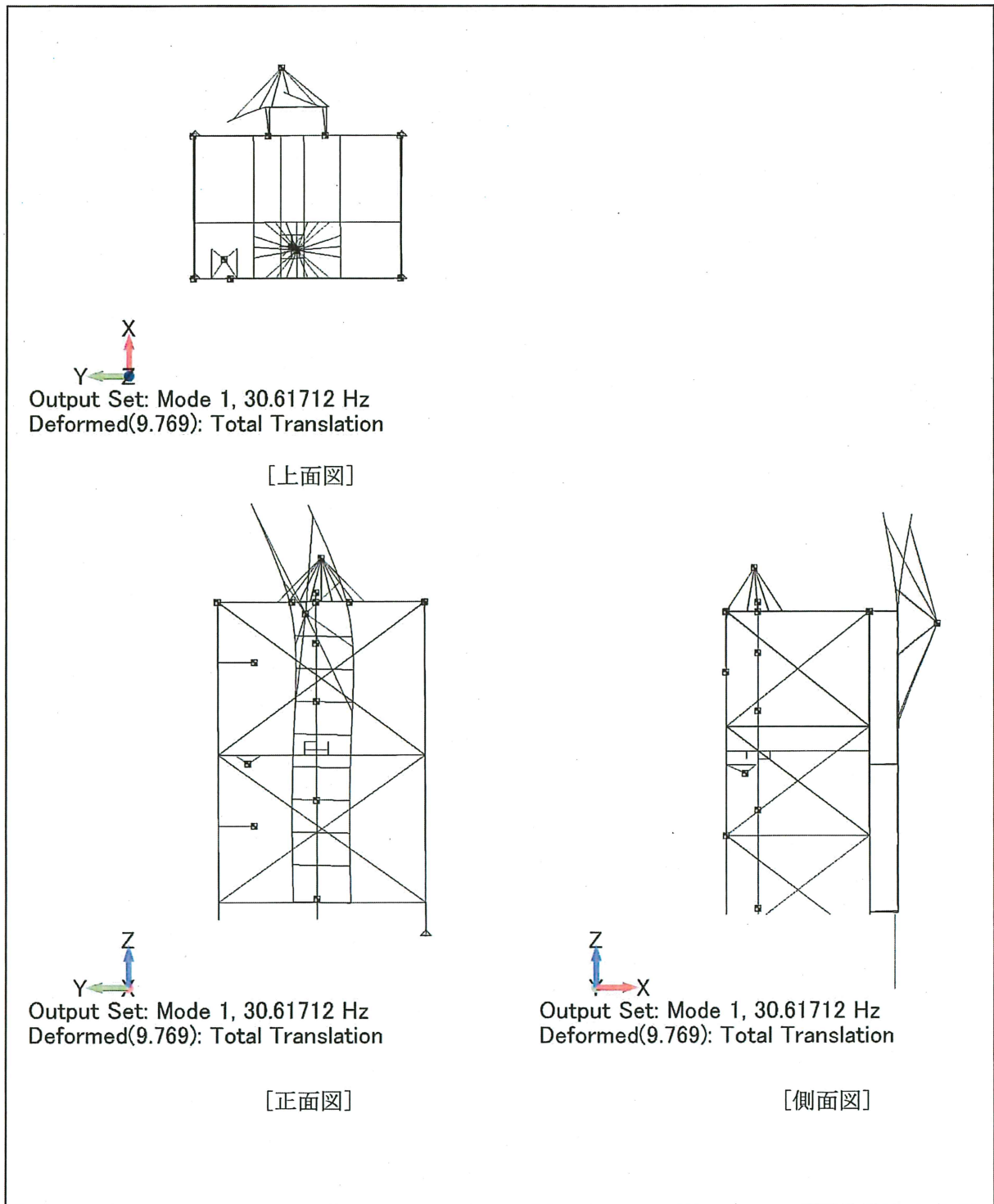
モード 番号	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1					



第4-7図 振動モード図(30.6Hz)

第4-6表 潮位計（3, 4号機）（4号機側）固有振動数

モード 番号	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1					



第4-8図 振動モード図(30.6Hz)

4.4 応力評価

4.4.1 基本方針

- (1) 各部材の発生応力と許容応力を比較し、発生応力に対して、許容応力の裕度が1以上であることを確認する。
- (2) 応力評価については、「4.3 地震応答解析」と併せて、取付架台のうち、柱、梁、ブレース、梯子、電線管サポート及びガイドパイプをはり要素で、機器取付板をシェル要素でモデル化した3次元FEMモデルによる静解析を適用し実施する。
- (3) 許容応力について、JSME S NC1-2005/2007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温度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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

4.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

潮位計（3，4号機）の荷重の組合せ及び許容応力状態を第4-7表に示す。また、潮位計（3，4号機）は風荷重の影響を受けやすい構造であると考えられるため、風荷重の組合せを考慮する。

第4-7表 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^(注1)	許容応力状態
浸水防護施設	津波防護施設	潮位計 (3，4号機)	S	$D+S_s+P_s+P_D+M_D+P_k$ ^(注2)	Ⅲ _A S ^(注3)

(注1) 組合せ応力に対しても評価を行う。

(注2) D：死荷重

S_s ：基準地震動 S_s により定まる地震力

P_s ：積雪荷重

P_D ：地震と組み合わせずプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D ：地震と組み合わせずプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

P_k ：風荷重

(注3) 基準地震動 S_s により定まる地震力が作用した後においても、潮位測定が可能であり津波監視機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

4.4.2.2 許容応力

潮位計（3，4号機）の評価に用いる許容応力を第4-8表に示す。

第4-8表 潮位計（3，4号機）の許容応力

許容応力状態	許 容 限 界 (ボルト以外)				許 容 限 界 (ボルト)	
	一 次 応 力				一 次 応 力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S (注1)	1.5f _t (注2)	1.5f _s (注3)	1.5f _c (注4)	1.5f _b (注5)	1.5f _t (注2)	1.5f _s (注3)

(注1) 基準地震動S_sにより定まる地震力が作用した後においても、潮位測定が可能であり津波監視機能を維持する設計とすることから許容応力状態をⅢ_ASとする。

(注2) f_t : 許容引張応力及び組合せ応力

(注3) f_s : 許容せん断応力

(注4) f_c : 許容圧縮応力

(注5) f_b : 許容曲げ応力

4.4.2.3 使用材料の許容応力

潮位計（3，4号機）の評価に用いる各評価部位の使用材料の温度及び許容応力を第4-9表に示す。

第4-9表 使用材料の許容応力

評価部位	温度条件 ※ ¹ (°C)	材料	Sy (MPa)	Su (MPa)	F ※ ² (MPa)
柱、梁、ブレース、 電線管サポート、 梯子(A, B, C)、 接続ボルト(B)、 据付ボルト(A)					
据付ボルト(B)					
接続ボルト(A)、 ガイドパイプ					

※1：資料3「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」

※2：JSME S NC1-2005/2007

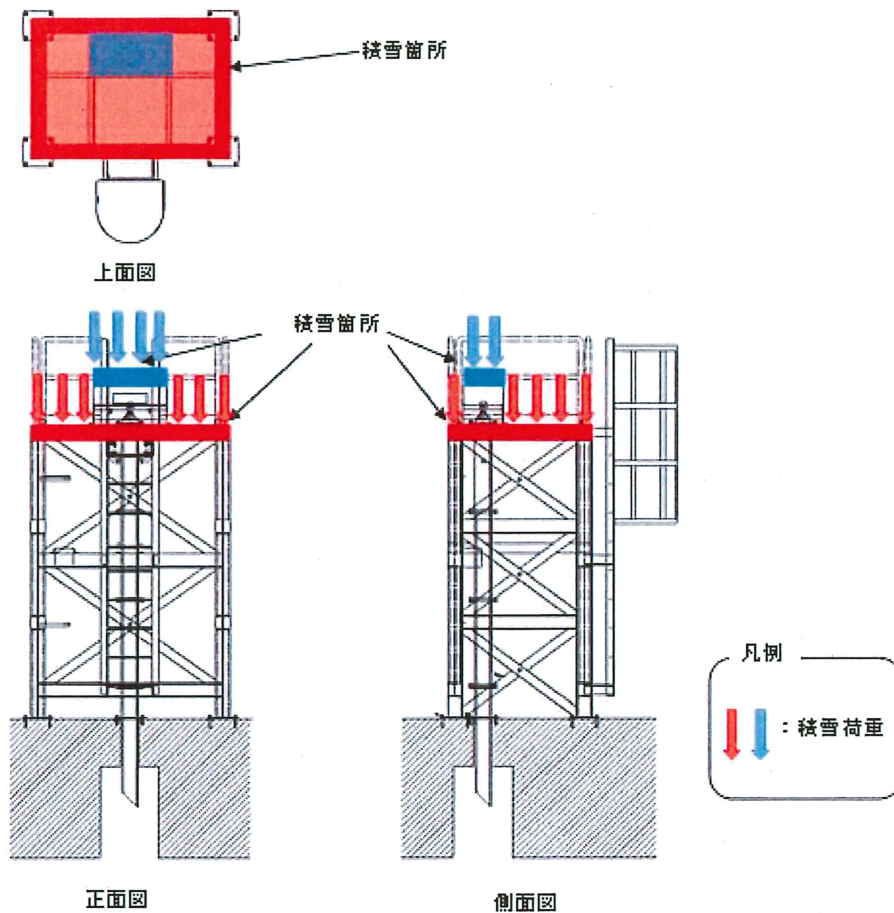
4.4.2.4 自重及び荷重

(1) 死荷重(D)

死荷重Dとして自重を考慮する。死荷重については、潮位計（3，4号機）の構成部材である取付架台及びボルト類の重量に、手摺りや背カゴ等の付属品の重量並びに潮位検出器の重量を加算したものをを用いる。

(2) 積雪荷重 (Ps)

積雪荷重Psは、100cmの積雪量を想定し、重量として自重に加えて計算に用いる。積雪箇所としては、第4-9図に示すとおり架台上面を想定する。積雪重量を自重に加算する際は、積雪を積雪箇所に均等に分布させる。積雪荷重の算出については次式を用いる。第4-10表に積雪荷重の算出条件を、第4-11表に自重等と算出した積雪重量を示す。



第4-9図 積雪箇所

$$P_s = \frac{0.35 \cdot W_s \cdot A_v \cdot d}{g}$$

P_s : 積雪荷重 (kg)

W_s : 1cm あたり積雪荷重 (N/m²)

A_v : 積雪面積 (m²)

d : 積雪高さ (cm)

g : 重力加速度 (m/s²)

第4-10表 積雪荷重の算出条件

積雪箇所	1cmあたりの積雪荷重 W_s (N/m ²)	積雪面積 A_v (m ²)	積雪高さ d (cm)	重力加速度 g (m/s ²)
取付架台				

第4-11表 自重等と算出した積雪重量

項目	重量 (kg)	合計 (kg)
取付架台等		
潮位検出器		
取付架台への積雪		

(3) 風荷重(P_k)

地震荷重と組み合わせる風荷重 P_k については、資料2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち資料2-1-1「耐震設計上重要な設備を設置する施設に対する自然現象等への配慮に関する基本方針」に準じて、風速32m/sを使用し、架台の形状を踏まえ架台に作用する風圧力を算出する。第4-12表に速度圧及び風圧力の算出結果、第4-13表に風荷重の算出条件、第4-10図に解析モデル図を示す。

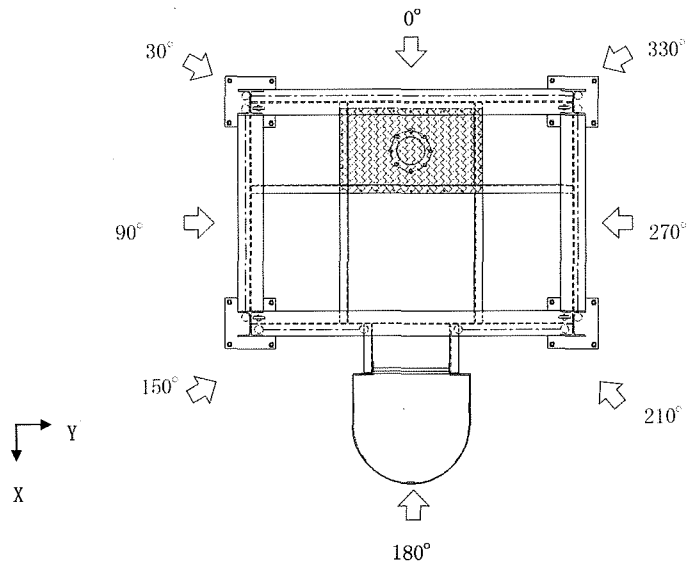
第4-12表 速度圧及び風圧力

作用する部位	速度圧 (N/m ²)	風圧力 (N/m ²)
取付架台		

第4-13表 風荷重の算出条件

対象	基準風速 V ₀ (m/s)	地表面粗区分	潮位計高さ(m)	風力係数C _f
潮位計 (3, 4号機)				

※ 建築基準法及び同施行令



第4-10図 風荷重の解析モデル図

4.4.3 応力評価方法

応力評価方法については、以下のとおり行う。

- (1) 取付架台の応力評価については、地震応答解析から得られた応力算出結果と自重、風荷重により静解析にて得られた応力を絶対値和して評価する。地震力については、水平及び鉛直の二乗和平方根(SRSS)法を用いる。

$$| \text{死荷重 (積雪荷重含む)} + \text{風圧力に伴う応力又は荷重} | + \sqrt{|\text{水平地震力}|^2 + |\text{鉛直地震力}|^2} \quad ※$$

※：JEAG4601-1987

- (2) 接続ボルト及び据付ボルトについては、FEM解析結果から得られるボルト1本あたりに作用する最大荷重より以下の式を用いて応力を算出する。第4-14表に各ボルトに発生する最大荷重を示す。

a. 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_t}{A}$$

F_t ：ボルト1本あたりに作用する引張力

A ：ボルト断面積

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_s}{A}$$

F_s ：ボルト1本あたりに作用するせん断力

A ：ボルト断面積

第4-14表(1/2) 各ボルト1本あたりに作用する最大荷重 (3号機側)

評価部位	引張力 F_t (N)	せん断力 F_s (N)	断面積 A (mm^2)
接続ボルト(A)			
接続ボルト(B)			
据付ボルト(A)			
据付ボルト(B)			

第4-14表(2/2) 各ボルト1本あたりに作用する最大荷重(4号機側)

評価部位	引張力 F_t (N)	せん断力 F_s (N)	断面積 A (mm^2)
接続ボルト(A)			
接続ボルト(B)			
据付ボルト(A)			
据付ボルト(B)			

応力評価においては、引張応力の最大値 σ_b を求め、引張応力の許容値で評価する。
また、せん断応力の最大値 τ_b を求め、せん断応力の許容値で評価する。

さらに、引張応力の最大値 σ_b については、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 f_{ts} に対する評価を行うものとする。

ここで、

$$f_{ts} = 1.4(1.5f_t) - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq 1.5f_t$$

4.5 機能維持評価

潮位計(3, 4号機)は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

4.5.1 機能維持評価方法

潮位検出器取付位置の応答加速度が、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、検出器単体の正弦波加振試験(掃引試験及び連続試験)において、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第4-15表に示す。なお、加振試験においては、加振後に入出力特性を確認し、許容精度内であることを確認することに加え、外観に損傷のないことを確認し、潮位検出器本体の電氣的機能維持を確認する。

第4-15表 機能維持確認済加速度

評価部位	方向	機能維持確認済加速度 (G) (注1)
潮位検出器	水平	
	鉛直	

(注1) $G=9.80665(\text{m/s}^2)$

4.6 評価結果

潮位計（3，4号機）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動Ssに対する評価

基準地震動Ssに対する応力評価結果を第4-16表に示す。

第4-16表 (1/2) 潮位計（3，4号機）（3号機側）基準地震動Ssによる評価結果
(D+Ss+Ps+Pd+Md+Pk)

部位	材料	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付架台 (ガイドパイプ除く) ①～⑦、⑬			
取付架台 (ガイドパイプ) ⑭			
接続ボルト(A) ⑧			
接続ボルト(B) ⑨			
据付ボルト(A) ⑩			
据付ボルト(B) ⑪			

番号は、潮位計（3，4号機）の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

(注1) 曲げモーメントを受ける組合せ応力は、許容応力に対する比を示す。

第4-16表 (2/2) 潮位計 (3, 4号機) (4号機側) 基準地震動 S_s による評価結果
($D+S_s+P_s+P_b+M_b+P_k$)

部位	材料	最大発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付架台 (ガイドパイプ除く) ①～⑦、⑬			
取付架台 (ガイドパイプ) ⑭			
接続ボルト(A) ⑧			
接続ボルト(B) ⑨			
据付ボルト(A) ⑩			
据付ボルト(B) ⑪			

番号は、潮位計 (3, 4号機) の耐震評価箇所の評価箇所番号を示す。

(注1) 曲げモーメントを受ける組合せ応力は、許容応力に対する比を示す。

(2) 機能維持確認結果

機能維持評価結果を第4-17表に示す。

第4-17表 潮位検出器の機能維持評価結果

方向	評価加速度 (G) (注1)	確認済加速度 (G) (注1)
水平		
鉛直		

(注1) $G=9.80665(m/s^2)$

5. 監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）

5.1 基本方針

5.1.1 構造の説明

資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の構造計画を第5-1表に示す。

第5-1表 監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の構造計画

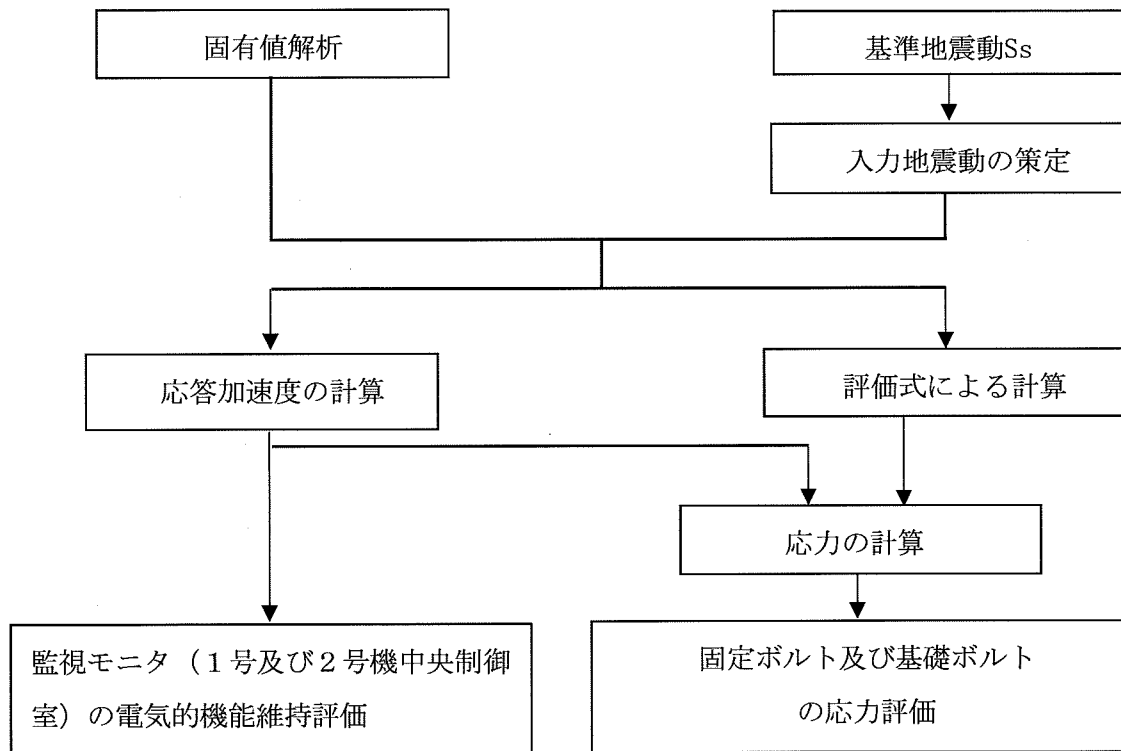
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）	垂直自立型 ^(注1)	監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）をデスク上に設置する。 デスクはベースプレートに、固定ボルト及び基礎ボルトにて固定する。 ベースプレートは基礎ボルトにて床に固定する。	

(注1) 機能維持評価を行うサーバーを内装するデスク。

5.1.2 評価方針

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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、「5.1.1 構造の説明」にて示す監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の部位を踏まえ、「5.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「5.3 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5.4 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、監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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、「5.5 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「5.6 評価結果」に示す。

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の耐震評価フローを第5-1図に示す。



第5-1図 監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の耐震評価フロー

5.2 耐震評価箇所

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる固定ボルト及び基礎ボルトを選定して実施する。監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の耐震評価箇所については、第5-1表の説明図に示す。

5.3 固有値解析

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の固有振動数算定方法について以下に示す。

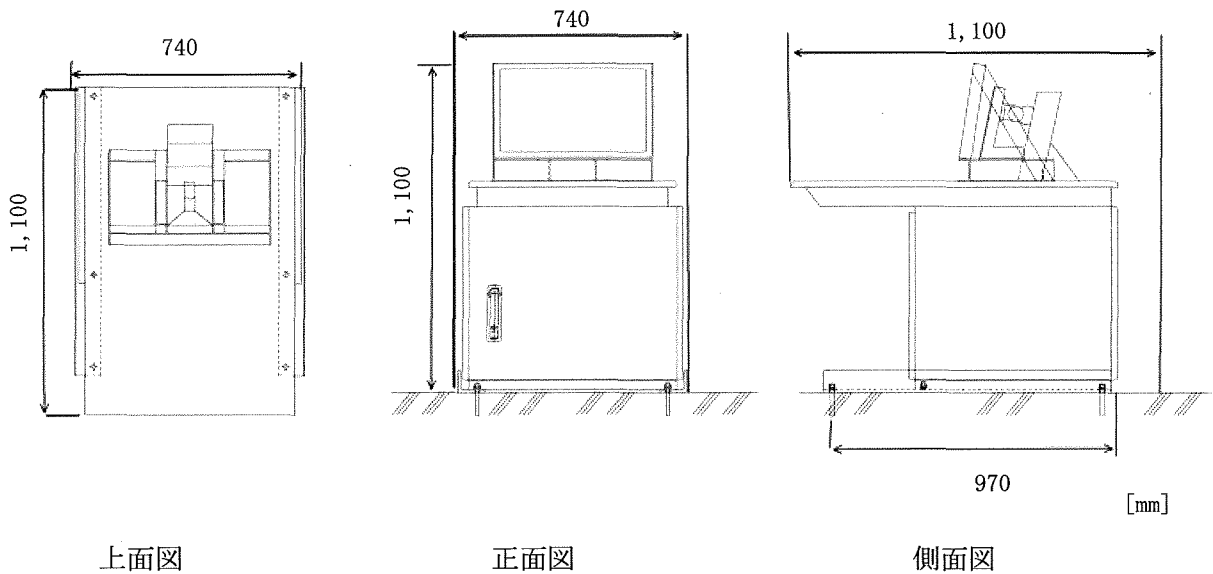
5.3.1 基本方針

ランダム振動試験にて監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の固有振動数を求める。

5.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて0.5～50Hz、0.1Gで掃引し、監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の応答を測定する。

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の外形図を第5-2図に示す。



第5-2図 監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）外形図

5.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の固有振動数（Hz）	
水平	
鉛直	

5.4 応力評価

5.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力についてJSME S NC1-2012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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の荷重の組合せ及び許容応力状態を第5-2表に示す。

5.4.2.2 許容応力

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の許容応力を第5-3表に示す。

5.4.2.3 使用材料の許容応力

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の使用材料の許容応力のうち評価に用いるものを第5-4表に示す。

第5-2表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防護施設	津波防護施設	(注1) 監視モニタ (1号及び2号機中央制御室)	S	D+P _D +M _D +S _S	III _A S

(注1) 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。

第5-3表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^(注1)	
	(ボルト)	
	一次応力	
	引張	せん断
III _A S	1.5f _t	1.5f _s

(注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。

第5-4表 使用材料の許容応力

評価部位	材質	温度条件* (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト					
固定ボルト					

※：資料3「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」

5.4.3 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震設計の基本方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第5-5表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第5-5表 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	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0 ※	水平方向はSs-1からSs-7並びに各々のX方向及びY方向の包絡曲線を用いる。 鉛直方向はSs-1からSs-7の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0 ※	

※：「JEAG4601-1987 6章機器・配管系の耐震設計 6.5.3 設計用減衰定数（P561）」

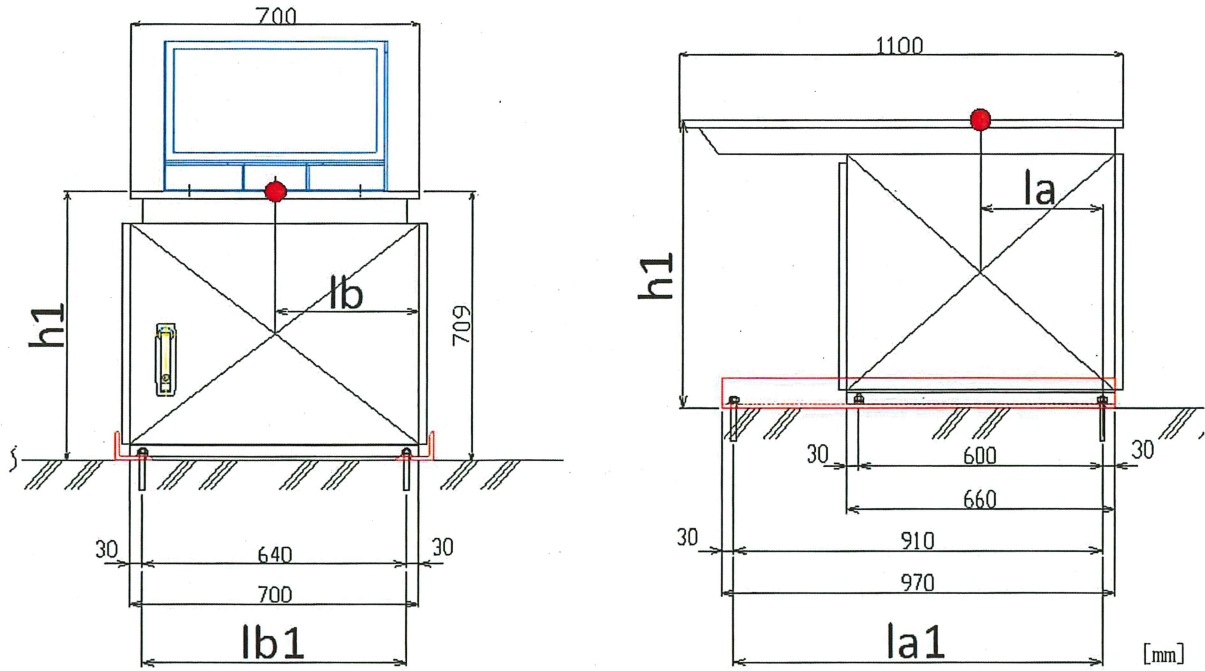
5.4.4 応力評価方法

5.4.4.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
W_1	機器質量	kg
n_{a1}	各列のボルト本数 (前後方向)	本
n_{b1}	各列のボルト本数 (左右方向)	本
N_1	ボルト総数	本
d_1	ボルト呼び径	mm
S_1	ボルト断面積	mm ²
α_H	水平震度	—
α_V	鉛直震度	—
g	重力加速度	m/s ²
l_a	支点より機器重心までの水平距離 (前後方向)	mm
l_b	支点より機器重心までの水平距離 (左右方向)	mm
h_1	床面より機器重心までの鉛直距離	mm
l_{a1}	支点よりのボルト間距離 (前後方向)	mm
l_{b1}	支点よりのボルト間距離 (左右方向)	mm

5.4.4.2 応力計算

応力計算に用いるモデルを第5-3図に示す。



第5-3図 応力計算に用いるモデル

(1) 基礎ボルト

a. 前後方向

- ・引張応力 $\sigma_{a\max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_a \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_a)}{S_1 n_{a1} l_{a1}} = \sigma_{a\max}$$

- ・せん断応力 τ_a の算出

$$\tau_a = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

b. 左右方向

- ・引張応力 $\sigma_{b\max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{b1} l_{b1} n_{b1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_b \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{b1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_b)}{S_1 n_{b1} l_{b1}} = \sigma_{b\max}$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

(2) 固定ボルト

a. 前後方向

・引張応力 $\sigma_{a \max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_a \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_a)}{S_1 n_{a1} l_{a1}} = \sigma_{a \max}$$

・せん断応力 τ_a の算出

$$\tau_a = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

b. 左右方向

・引張応力 $\sigma_{b \max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{b1} l_{b1} n_{b1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_b \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{b1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_b)}{S_1 n_{b1} l_{b1}} = \sigma_{b \max}$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

5.4.5 応力評価条件

5.4.5.1 ボルトの応力評価条件

(1) 機器関係

項目	記号	単位	入力値
機器質量	W_1	kg	
重力加速度	g	m/s ²	
支点より機器重心までの水平距離（前後方向）	l_a	mm	
支点より機器重心までの水平距離（左右方向）	l_b	mm	
床面より機器重心までの鉛直距離	h_1	mm	
支点よりのボルト間距離（前後方向）	l_{a1}	mm	
支点よりのボルト間距離（左右方向）	l_{b1}	mm	

(2) ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
ボルト呼び径	d_1	mm	
ボルト断面積	S_1	mm ²	
各列のボルト本数（前後方向）	n_{a1}	本	
各列のボルト本数（左右方向）	n_{b1}	本	
ボルト総数	N_1	本	

(3) 評価用加速度

項目	記号	評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	α_H	<input type="text"/>
鉛直	α_V	

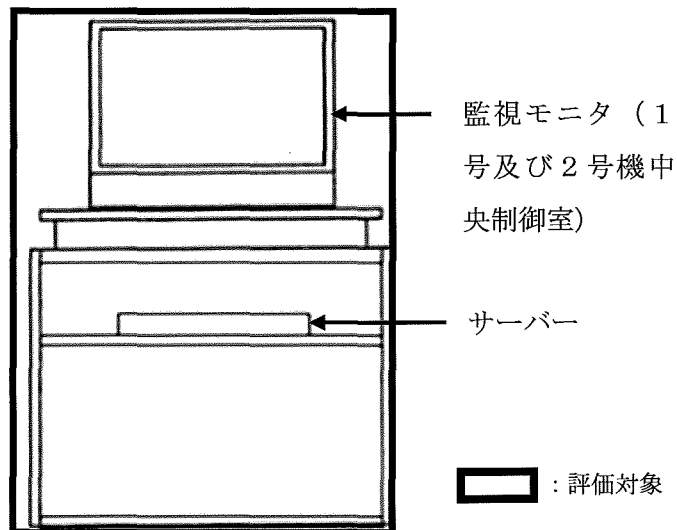
(注1) 固有振動数の計算結果より、固有振動数に対する設計用床応答曲線の読取り値を使用する。

5.5 機能維持評価

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）は、地震時及び地震後に電気的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

5.5.1 機能維持評価方法

機能維持評価方法は、デスクに器具を実装した状態により、対象機器設置床における基準地震動（Ss-1～Ss-7）に対する時刻歴応答加速度の最大床応答加速度を上回る加速度にて加振試験を行い、加振試験後に電気的機能が維持されていることを確認する。また、評価する器具の実装図を第5-4図に示す。



第5-4図 器具の実装図

5.6 評価結果

監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、監視モニタ（1号及び2号機中央制御室）の評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動S_sに対して電気的機能を維持されることを確認した。

基準地震動S_sに対する応力評価結果を第5-6表に示す。また、電気的機能維持確認結果を第5-7表に示す。

第5-6表 基準地震動S_sによる評価結果

評価対象設備			評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
浸水防護 施設	津波防護 施設	監視モニタ (1号及び 2号機中央 制御室)	基礎ボルト	引張	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				せん断	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				組合せ	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
			固定ボルト	引張	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				せん断	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				組合せ	前後+鉛直		
					左右+鉛直		

第5-7表 電氣的機能維持評価結果

評価対象設備			加速度 確認 部位	加振 方向		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
						評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
浸水防護 施設	津波防護 施設	監視モニ タ（1号 及び2号 機中央制 御室）	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

評価対象設備			加速度 確認 部位	加振 方向		Ss-6 (EW)	Ss-6 (NS)	Ss-7	機能 確認済 加速度 (9.8m/s^2)	詳細 評価
						評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
浸水防護 施設	津波防護 施設	監視モニ タ（1号 及び2号 機中央制 御室）	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

6. 監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）

6.1 基本方針

6.1.1 構造の説明

資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管の耐震支持方針について」にて設定した電気計測制御装置の支持方針に基づき設計した監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の構造計画を第6-1表に示す。

第6-1表 監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の構造計画

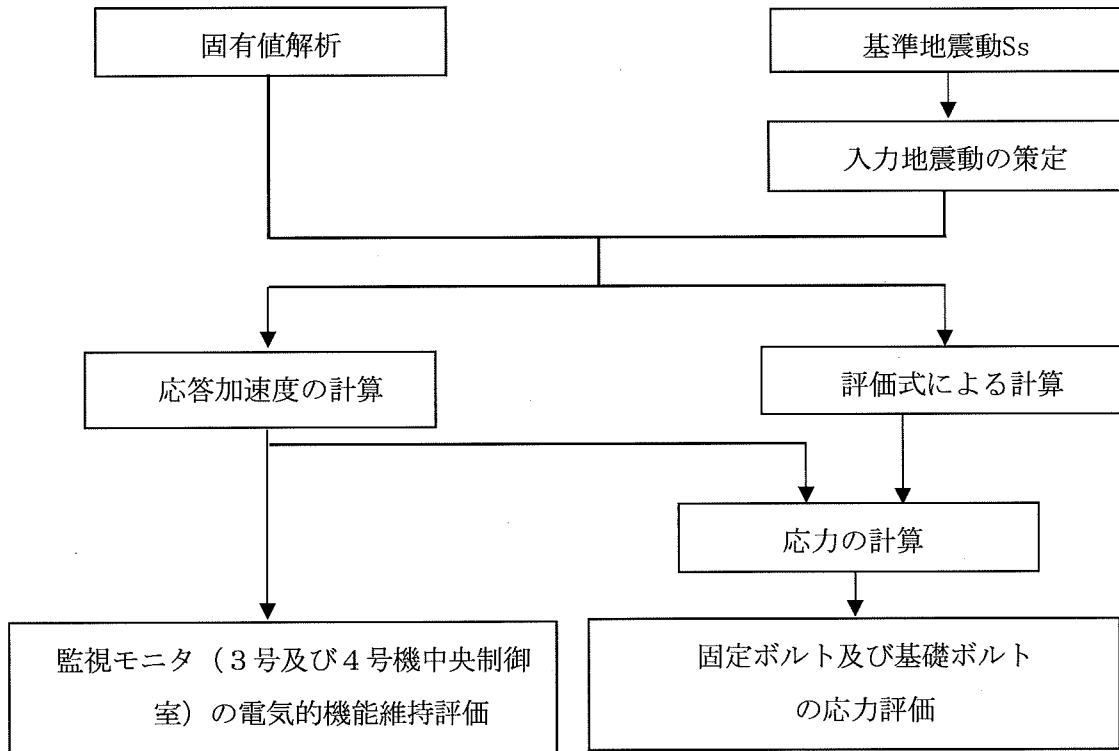
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）	垂直自立型 ^(注1)	監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）をデスク上に設置する。 デスクはベースプレートに、固定ボルト及び基礎ボルトにて固定する。ベースプレートは基礎ボルトにて床に固定する。	

(注1) 機能維持評価を行うサーバーを内装するデスク。

6.1.2 評価方針

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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、「6.1.1 構造の説明」にて示す中央制御室モニタの部位を踏まえ、「6.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「6.3 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「6.4 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、監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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、「6.5 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「6.6 評価結果」に示す。

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の耐震評価フローを第6-1図に示す。



第6-1図 監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の耐震評価フロー

6.2 耐震評価箇所

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる固定ボルト及び基礎ボルトを選定して実施する。監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の耐震評価箇所については、第6-1表の説明図に示す。

6.3 固有値解析

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の固有振動数算定方法について以下に示す。

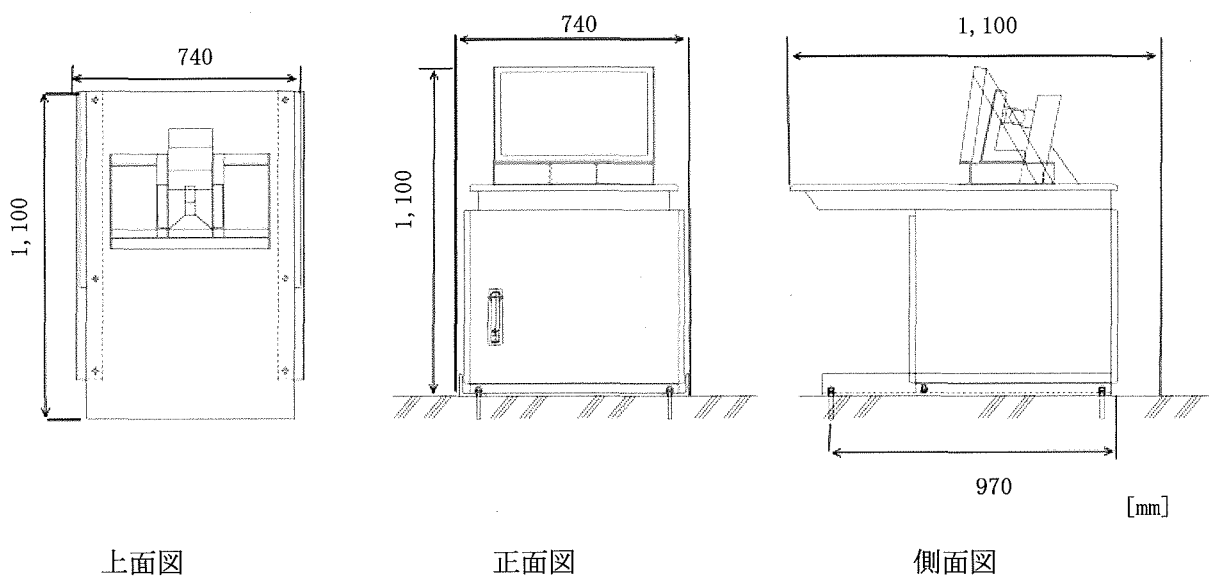
6.3.1 基本方針

ランダム振動試験にて中央制御室モニタの固有振動数を求める。

6.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて0.5～50Hz、0.1Gで掃引し、中央制御室モニタの応答を測定する。

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の外形図を第6-2図に示す。



第6-2図 監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）外形図

6.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の固有振動数（Hz）	
水平	□
鉛直	□

6.4 応力評価

6.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力についてJSME S NC1-2012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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

6.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

6.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処施設の評価に用いるものを第6-2表に示す。

6.4.2.2 許容応力

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の許容応力を第6-3表に示す。

6.4.2.3 使用材料の許容応力

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の使用材料の許容応力のうち評価に用いるものを第6-4表に示す。

第6-2表 荷重の組合せ及び許容応力

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防護施設	津波防護施設	(注1) 監視モニタ (3号及び4 号機中央制御 室)	S	D+P _D +M _D +S _s	III _A S

(注1) 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。

第6-3表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^(注1)	
	(ボルト)	
	一次応力	
	引張	せん断
III _A S	1.5f _t	1.5f _s

(注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。

第6-4表 使用材料の許容応力

評価部位	材質	温度条件* (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト					
固定ボルト					

※：資料3「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」

6.4.3 設計用地震力

耐震計算に用いる入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震設計の基本方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第6-5表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第6-5表 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	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0 ※	水平方向はSs-1からSs-7並びに各々のX方向及びY方向の包絡曲線を用いる。 鉛直方向はSs-1からSs-7の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0 ※	

※：「JEAG4601-1987 6章機器・配管系の耐震設計 6.5.3 設計用減衰定数 (P561)」

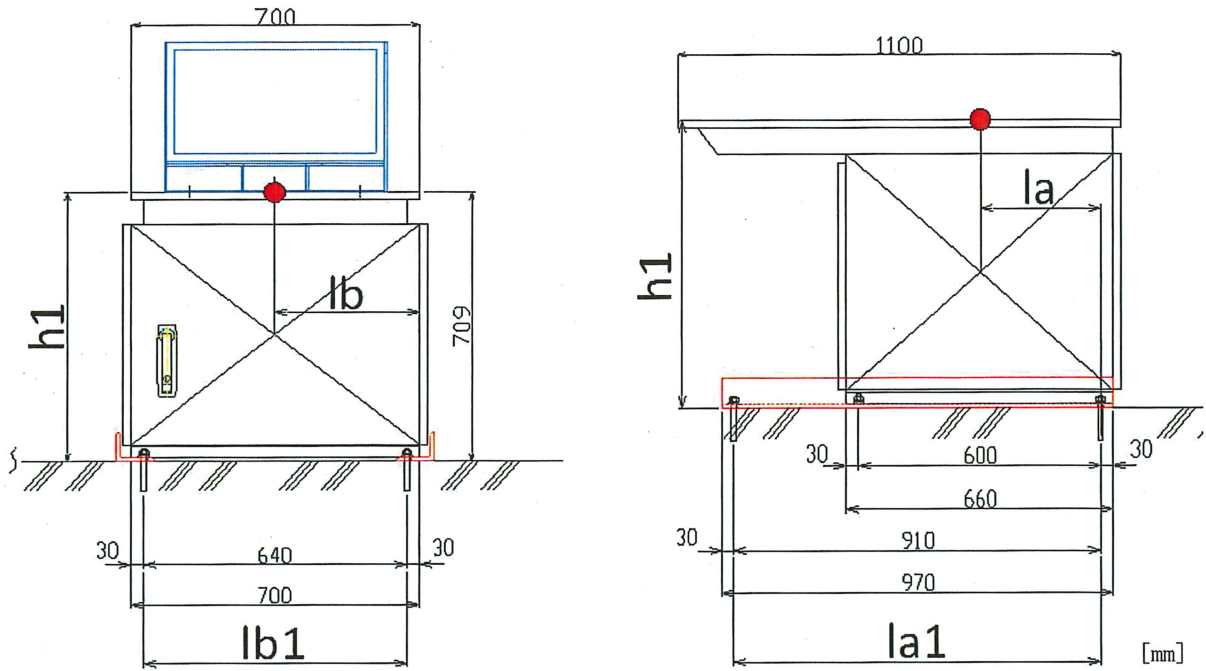
6.4.4 応力評価方法

6.4.4.1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
W_1	機器質量	kg
n_{a1}	各列のボルト本数 (前後方向)	本
n_{b1}	各列のボルト本数 (左右方向)	本
N_1	ボルト総数	本
d_1	ボルト呼び径	mm
S_1	ボルト断面積	mm ²
α_H	水平震度	—
α_V	鉛直震度	—
g	重力加速度	m/s ²
l_a	支点より機器重心までの水平距離 (前後方向)	mm
l_b	支点より機器重心までの水平距離 (左右方向)	mm
h_1	床面より機器重心までの鉛直距離	mm
l_{a1}	支点よりのボルト間距離 (前後方向)	mm
l_{b1}	支点よりのボルト間距離 (左右方向)	mm

6.4.4.2 応力計算

応力計算に用いるモデルを第6-3図に示す。



第6-3図 応力計算に用いるモデル

(1) 基礎ボルト

a. 前後方向

・引張応力 $\sigma_{a\max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_a \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_a)}{S_1 n_{a1} l_{a1}} = \sigma_{a\max}$$

・せん断応力 τ_a の算出

$$\tau_a = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

b. 左右方向

・引張応力 $\sigma_{b\max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{b1} l_{b1} n_{b1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_b \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{b1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_b)}{S_1 n_{b1} l_{b1}} = \sigma_{b\max}$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

(2) 固定ボルト

a. 前後方向

・引張応力 $\sigma_{a\max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{a1} l_{a1} n_{a1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_a \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{a1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_a)}{S_1 n_{a1} l_{a1}} = \sigma_{a\max}$$

・せん断応力 τ_a の算出

$$\tau_a = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

b. 左右方向

・引張応力 $\sigma_{b\max}$ の算出

モーメントの釣合式より、

$$\sigma_{b1} l_{b1} n_{b1} S_1 = W_1 g \alpha_H h_1 - W_1 g (1 - \alpha_V) l_b \quad \dots \textcircled{1}$$

式①より、

$$\sigma_{b1} = \frac{W_1 g (\alpha_H h_1 - (1 - \alpha_V) l_b)}{S_1 n_{b1} l_{b1}} = \sigma_{b\max}$$

・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

6.4.5 応力評価条件

6.4.5.1 ボルトの応力評価条件

(1) 機器関係

項目	記号	単位	入力値
機器質量	W_1	kg	
重力加速度	g	m/s ²	
支点より機器重心までの水平距離（前後方向）	l_a	mm	
支点より機器重心までの水平距離（左右方向）	l_b	mm	
床面より機器重心までの鉛直距離	h_1	mm	
支点よりのボルト間距離（前後方向）	l_{a1}	mm	
支点よりのボルト間距離（左右方向）	l_{b1}	mm	

(2) ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
ボルト呼び径	d_1	mm	
ボルト断面積	S_1	mm ²	
各列のボルト本数（前後方向）	n_{a1}	本	
各列のボルト本数（左右方向）	n_{b1}	本	
ボルト総数	N_1	本	

(3) 評価用加速度

項目	記号	評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	α_H	<input type="text"/>
鉛直	α_V	

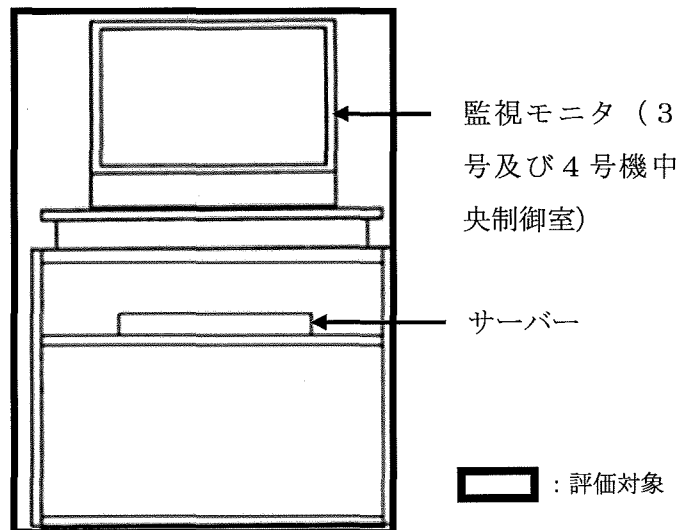
(注1) 固有振動数の計算結果より、固有振動数に対する設計用床応答曲線の読取り値を使用する。

6.5 機能維持評価

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）は、地震時及び地震後に電気的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その維持がされていることを示す。

6.5.1 機能維持評価方法

機能維持評価方法は、デスクに器具を実装した状態により、対象機器設置床における基準地震動（ $S_s-1\sim S_s-7$ ）に対する時刻歴応答加速度の最大床応答加速度を上回る加速度にて加振試験を行い、加振試験後に電気的機能が維持されていることを確認する。また、評価する器具の実装図を第6-4図に示す。



第6-4図 器具の実装図

6.6 評価結果

監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、監視モニタ（3号及び4号機中央制御室）の評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動S_sに対して電気的機能を維持されることを確認した。

基準地震動S_sに対する応力評価結果を第6-6表に示す。また、電気的機能維持確認結果を第6-7表に示す。

第6-6表 基準地震動S_sによる評価結果

評価対象設備			評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
浸水防護 施設	津波防護 施設	監視モニタ (3号及び 4号機中央 制御室)	基礎ボルト	引張	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				せん断	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				組合せ	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
			固定ボルト	引張	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				せん断	前後+鉛直		
					左右+鉛直		
				組合せ	前後+鉛直		
					左右+鉛直		

第6-7表 電氣的機能維持評価結果

評価対象設備			加速度 確認 部位	加振 方向		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
						評価用 加速度 (9.8m/s ²)	評価用 加速度 (9.8m/s ²)	評価用 加速度 (9.8m/s ²)	評価用 加速度 (9.8m/s ²)	評価用 加速度 (9.8m/s ²)
浸水防 護施設	津波防護 施設	監視モニ タ (3号 及び4号 機中央制 御室)	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

評価対象設備			加速度 確認 部位	加振 方向		Ss-6 (EW)	Ss-6 (NS)	Ss-7	機能 確認済 加速度 (9.8m/s ²)	詳細 評価
						評価用 加速度 (9.8m/s ²)	評価用 加速度 (9.8m/s ²)	評価用 加速度 (9.8m/s ²)		
浸水防 護施設	津波防護 施設	監視モニ タ (3号 及び4号 機中央制 御室)	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

7. 衛星電話機（津波防護用）

7.1 基本方針

7.1.1 構造の説明

資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」にて設定した支持方針に基づき設計した衛星電話機（津波防護用）の構造計画を第7-1表に示す。

第7-1表 衛星電話機（津波防護用）の構造計画

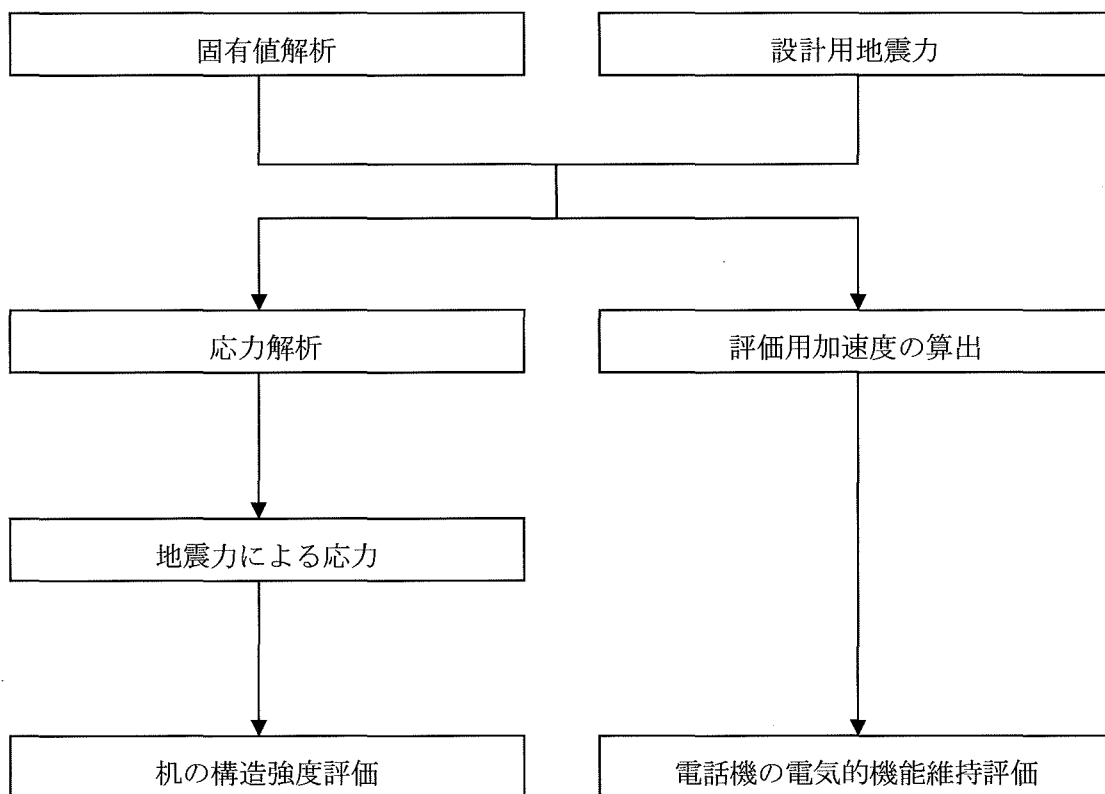
設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
衛星電話機 (津波防護用)	垂直自立型 (注1)	電話機を固縛用バンド及び粘着固定シートにて机の上に固定する。 また、机は基礎ボルトにて基礎に据付する。	<p>固縛用バンド及び粘着固定シートで固定</p> <p>電話機</p> <p>机</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト(ケミカルアンカ)</p>

(注1) 機能維持評価を行う電話機を置く机。

7.1.2 評価方針

衛星電話機（津波防護用）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5.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、「7.1.1 構造の説明」にて示す衛星電話機（津波防護用）の部位を踏まえ、「7.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「7.3 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「7.4 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、衛星電話機（津波防護用）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5.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、「7.5 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「7.6 評価結果」に示す。

衛星電話機（津波防護用）の耐震評価フローを第7-1図に示す。



第7-1図 衛星電話機（津波防護用）の耐震評価フロー

7.2 耐震評価箇所

衛星電話機（津波防護用）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトを選定して実施する。衛星電話機（津波防護用）の耐震評価箇所については、第7-1表の説明図に示す。

7.3 固有値解析

衛星電話機（津波防護用）の固有振動数算定方法について以下に示す。

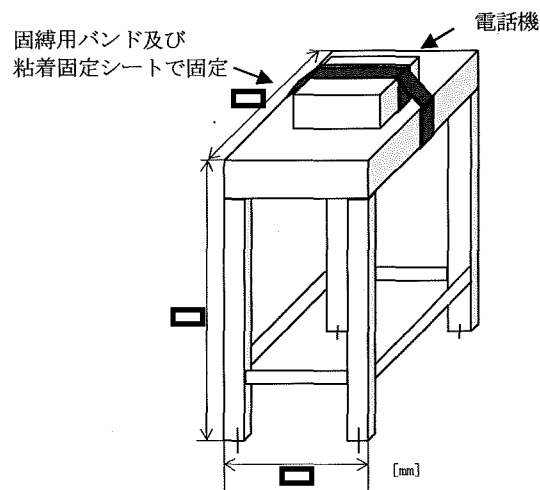
7.3.1 基本方針

ランダム振動試験にて電話機の固有振動数を求める。

7.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて0.5～50Hz 加速度0.1Gで掃引し、電話機の応答を測定する。

衛星電話機（津波防護用）の据付状態を第7-2図に示す。



第7-2図 衛星電話機（津波防護用）据付状態図

7.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

固有振動数 (Hz)	
水平	
鉛直	

7.4 応力評価

7.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、電話機の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力についてはJSME S NC1-2012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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

7.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

7.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

衛星電話機（津波防護用）の荷重の組合せ及び許容応力状態について、評価に用いるものを第7-2表に示す。

7.4.2.2 許容応力

衛星電話機（津波防護用）の許容応力を第7-3表に示す。

7.4.2.3 使用材料の許容応力

衛星電話機（津波防護用）の使用材料の許容応力の評価に用いるものを第7-4表に示す。

第7-2表 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
浸水防護 施設	外郭浸 水防護 設備	(注1) 衛星電話機 (津波防護用)	S	—	D+P _D +M _D +S _s	Ⅲ _{AS}

(注1) 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。

第7-3表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） (注1)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _{AS}	$1.5f_t$	$1.5f_s$

(注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。

第7-4表 使用材料の許容応力

材質	評価温度 (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)
SS400 (t ≤ 16)				

7.4.3 設計用地震力

耐震計算における入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震の基本方針」の「3.2設計用地震力」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表7-5表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第7-5表 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
		建物及び 高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0	水平方向はSs-1～Ss-7のX方向及びY方向の包絡曲線を用いる。 鉛直方向Ss-1～Ss-7の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0	
			水平	1.0	
			鉛直	1.0	

7.4.4 応力評価方法

7.4.4.1 記号の説明

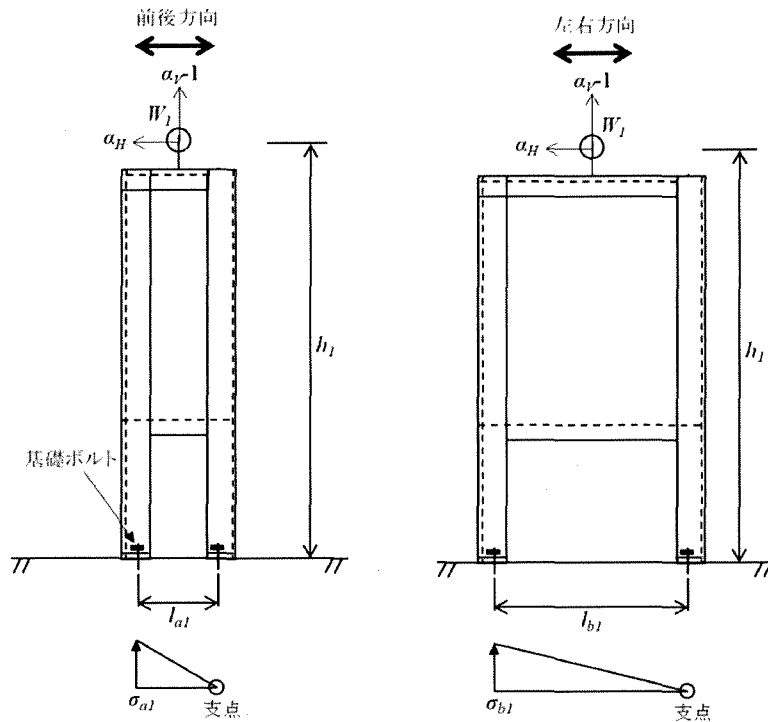
記号	記号の説明	単位
W_1	機器質量	kg
n_{a1}	各列の基礎ボルト本数 (前後方向)	本
n_{b1}	各列の基礎ボルト本数 (左右方向)	本
N_1	基礎ボルト総数	本
d_1	基礎ボルト呼び径	mm
S_1	基礎ボルト断面積	mm ²
α_H	水平震度	—
α_V	鉛直震度	—
g	重力加速度	m/s ²
h_1	床面より機器重心までの鉛直距離	mm
l_{a1}	支点よりの基礎ボルト間距離 (前後方向)	mm
l_{b1}	支点よりの基礎ボルト間距離 (左右方向)	mm
σ_{a1}	基礎ボルトにかかる引張応力 (鉛直+前後方向)	MPa
σ_{b1}	基礎ボルトにかかる引張応力 (鉛直+左右方向)	MPa
σ_{c1}	基礎ボルトにかかる引張応力 (鉛直+前後+左右方向)	MPa
τ_a	基礎ボルトにかかるせん断応力 (鉛直+前後方向)	MPa
τ_b	基礎ボルトにかかるせん断応力 (鉛直+左右方向)	MPa
τ_c	基礎ボルトにかかるせん断応力 (鉛直+前後+左右方向)	MPa

7.4.4.2 応力計算

計算式については、材料力学公式等に則り以下のとおりとする。

(1) 基礎ボルト

以下の応力計算モデルにて応力を計算する。



a. 鉛直+前後+左右方向

・引張応力

引張応力 σ_{c1} の算出

$$\sigma_{c1} = \frac{W_1 g a_H h_1}{S_1 n_{a1} l_{a1}} + \frac{W_1 g a_H h_1}{S_1 n_{b1} l_{b1}} + \frac{W_1 g (a_V - 1)}{S_1 N_1}$$

・せん断応力 τ_c の算出

$$\tau_c = \sqrt{\tau_a^2 + \tau_b^2} = \sqrt{\left(\frac{W_1 g a_H}{N_1 S_1}\right)^2 + \left(\frac{W_1 g a_H}{N_1 S_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{2} W_1 g a_H}{N_1 S_1}$$

7.4.5 応力評価条件

7.4.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

(1) 機器関係

項目	記号	単位	入力値
機器質量	W	kg	
重力加速度	g	m/s ²	
支点よりのボルト間距離 (前後方向)	l_{a1}	mm	
支点よりのボルト間距離 (左右方向)	l_{b1}	mm	
床面より機器重心までの鉛直距離	h_1	mm	
支点よりのボルト間距離 (水平方向)	l_b	mm	

(2) ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
ボルト呼び径	d	mm	
ボルト断面積	S	mm ²	
各列のボルト本数 (前後方向)	n_{a1}	本	
各列のボルト本数 (左右方向)	n_{b1}	本	
ボルト総数	N_1	本	

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (1・2号機) (×9.8m/s ²)	設計用加速度 (3・4号機) (×9.8m/s ²)
水平	α_H		
鉛直	α_V		

(注1) 固有値解析結果より、固有振動数が30Hz以上であることを確認したため、設計用加速度には最大床応答加速度の1.2倍を使用する

7.5 機能維持評価

衛星電話機（津波防護用）は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

7.5.1 機能維持評価方法

機能維持評価は、実際の設置状態を模擬した状態により、対象機器設置床における基準地震動（Ss-1～Ss-7）に対する時刻歴応答加速度の最大床応答加速度を上回る加速度にて加振試験を行い、加振試験後に電氣的機能が維持されていることを通信試験により確認する。

7.6 評価結果

7.6.1 評価結果

衛星電話機（津波防護用）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、衛星電話機（津波防護用）の評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動Ssに対して電氣的機能が維持されることを確認した。

基準地震動Ssに対する応力評価結果を第7-6表に示す。また、電氣的機能維持確認結果を第7-7表に示す。

第7-6表 基準地震動Ssに対する評価結果（D+Pd+Md+Ss）（1・2号機）

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
					MPa	MPa
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	衛星電話機（津波防護用）	基礎ボルト	引張		
				せん断		
				組合せ		

(注1) 引張応力（ σ_{bt} ）とせん断応力（ τ_{bs} ）との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t)$ とする。

基準地震動Ssに対する評価結果（D+Pd+Md+Ss）（3・4号機）

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
					MPa	MPa
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	衛星電話機（津波防護用）	基礎ボルト	引張		
				せん断		
				組合せ		

(注1) 引張応力（ σ_{bt} ）とせん断応力（ τ_{bs} ）との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t)$ とする。

第7-7表 電気の機能維持評価結果

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)
浸水 防護 施設	外郭浸水 防護設備	衛星電話機 (津波防護用)	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-6 (EW)	Ss-6 (NS)	Ss-7	機能 確認済 加速度 (×9.8m/s ²)	詳細評価
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)		
浸水 防護 施設	外郭浸水 防護設備	衛星電話機 (津波防護用)	加振台	水平	X					—
					Y					
				鉛直	Z					

※ 評価用加速度については、1・2号機及び3・4号機のいずれか高い値を記載

8. 中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）

8.1 基本方針

8.1.1 構造の説明

資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」設定した支持方針に基づき設計した中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の構造計画を第8-1表に示す。

第8-1表 中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の構造計画

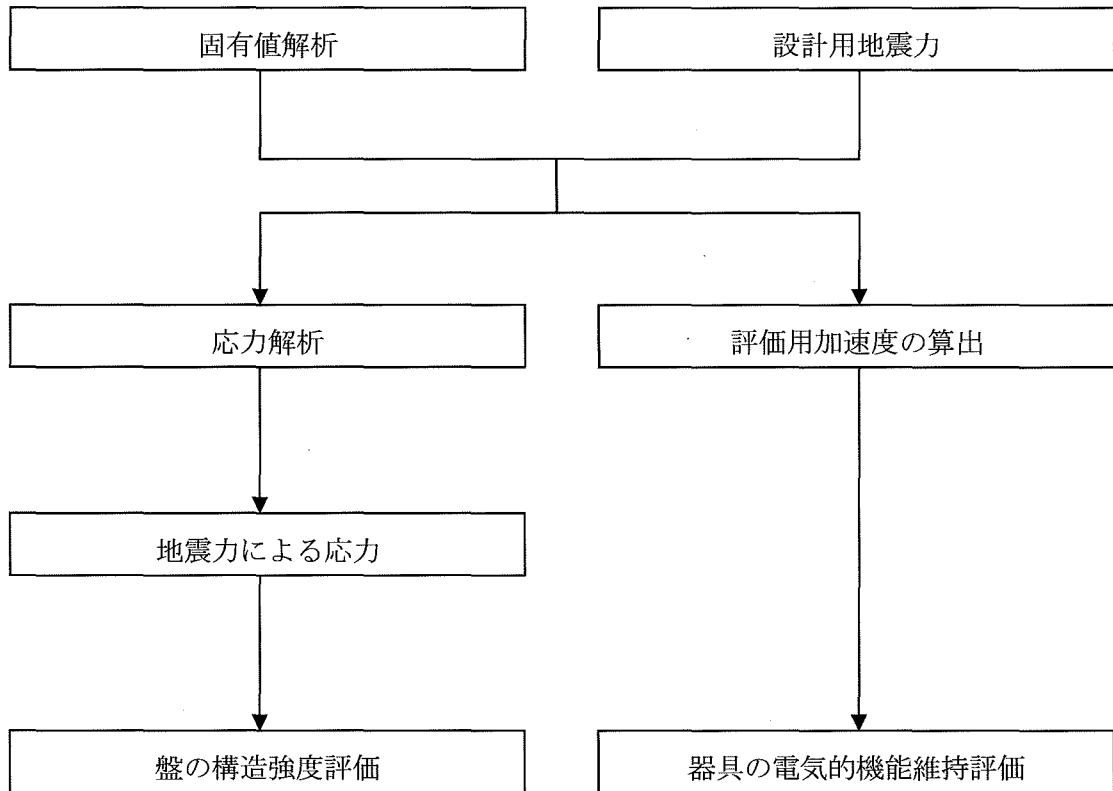
機器名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
中央制御室用 衛星設備収容架 (津波防護用)	垂直自立型 ^(注1)	盤を取付ボルトにてチャンネルベースに取り付ける。 また、チャンネルベースを基礎ボルトにて基礎に据え付ける。	

(注1) 機能維持評価を行う、通信制御装置及び端末を内装する盤。

8.1.2 評価方針

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5.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、「8.1.1 構造の説明」にて示す中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の部位を踏まえ、「8.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「8.3 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「8.4 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、中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5.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、「8.5 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「8.6 評価結果」に示す。

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の耐震評価フローを第8-1図に示す。



第8-1図 中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の耐震評価フロー

8.2 耐震評価箇所

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる取付ボルト及び基礎ボルトを対象に選定する。中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の耐震評価箇所については、第8-1表の説明図に示す。

8.3 固有値解析

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の固有振動数算定方法について以下に示す。

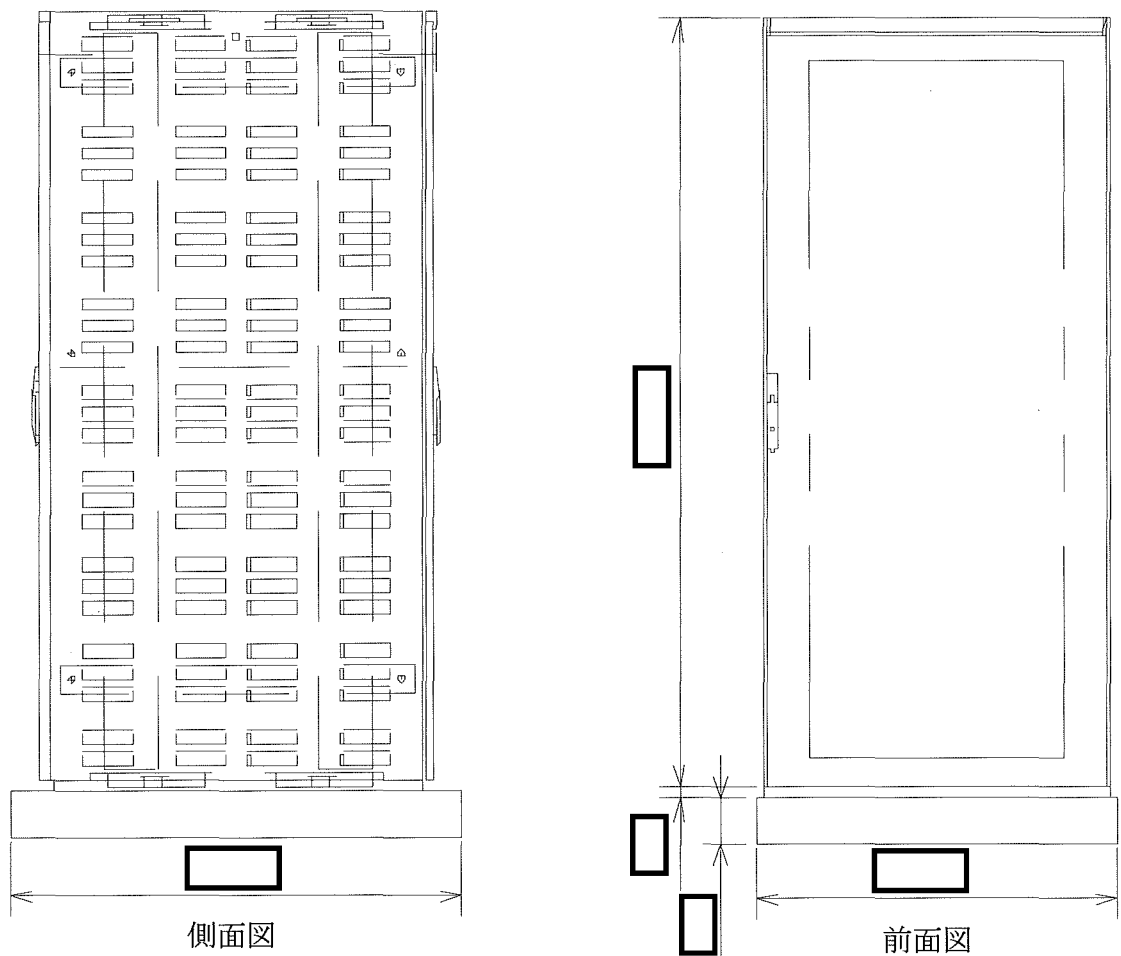
8.3.1 基本方針

ランダム振動試験にて盤の固有振動数を求める。

8.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて0.5～50Hz 加速度0.1Gで加振し、盤の応答を測定する。

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の外形図を第8-2図に示す。



(単位：mm)

第8-2図 中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用） 外形図

8.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

	盤の固有振動数 (Hz) (1・2号機)	盤の固有振動数 (Hz) (3・4号機)
水平		
鉛直		

8.4 応力評価

8.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力についてはJSME S NC1-2012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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

8.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

8.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の荷重の組合せ及び許容応力状態について、評価に用いるものを第8-2表に示す。

8.4.2.2 許容応力

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の許容応力を第8-3表に示す。

8.4.2.3 使用材料の許容応力

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の使用材料の許容応力の評価に用いるものを第8-4表に示す。

第8-2表 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	(注1) 中央制御室用 衛星設備収容架	S	—	D+Pd+Md+Ss	ⅢAS

(注1) 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。

第8-3表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） ^(注2)	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢAS	$1.5f_t$	$1.5f_s$

(注2) 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。

第8-4表 使用材料の許容応力

材質	評価温度 (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)
SS400 ($t \leq 16$)				

8.4.3 設計用地震力

耐震計算における入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震の基本方針」の「3.2設計用地震力」にて設定した床応答の作成方針に基づき、第8-5表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第8-5表 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
		建物 及び高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0	水平方向はSs-1～Ss-7のX方向及びY方向の包絡曲線を用いる。 鉛直方向はSs-1～Ss-7の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0	
			水平	1.0	
			鉛直	1.0	

8.4.4 応力評価方法

8.4.4.1 記号の説明

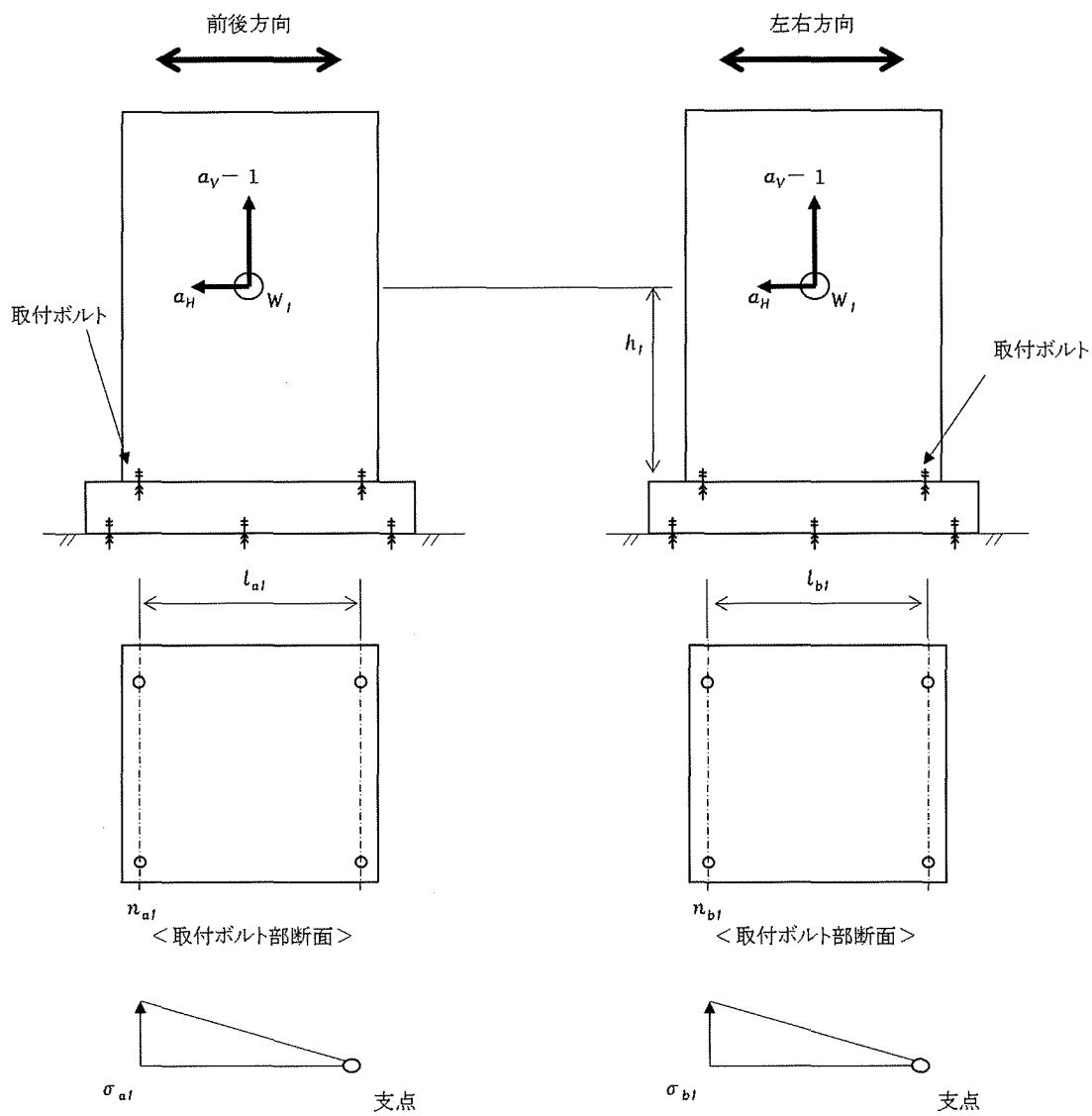
記号	記号の説明	単位
W_1	機器質量	kg
n_{a1}	各列の取付ボルト本数（前後方向）	本
n_{b1}	各列の取付ボルト本数（左右方向）	本
N_1	取付ボルト総数	本
d_1	取付ボルト呼び径	mm
S_1	取付ボルト断面積	mm ²
α_H	水平震度	—
α_V	鉛直震度	—
g	重力加速度	m/s ²
h_1	床面より機器重心までの鉛直距離	mm
l_{a1}	支点よりの取付ボルト間距離（前後方向）	mm
l_{b1}	支点よりの取付ボルト間距離（左右方向）	mm
σ_{a1}	各ボルトにかかる引張応力（前後方向）	MPa
σ_{b1}	各ボルトにかかる引張応力（左右方向）	MPa
σ_{amax}	最大引張応力（前後方向）	MPa
σ_{bmax}	最大引張応力（左右方向）	MPa
τ_a	取付ボルトにかかるせん断応力（前後方向）	MPa
τ_b	取付ボルトにかかるせん断応力（左右方向）	MPa
W_2	機器質量	kg
n_{c1}	各列の基礎ボルト本数（前後方向）	本
n_{d1}	各列の基礎ボルト本数（左右方向）	本
N_2	基礎ボルト総数	本
d_2	基礎ボルト呼び径	mm
S_2	基礎ボルト断面積	mm ²
h_2	床面より機器重心までの鉛直距離	mm
l_{c1}	支点よりの基礎ボルト間距離（前後方向）	mm
l_{d1}	支点よりの基礎ボルト間距離（左右方向）	mm
l_{c2}	支点よりの基礎ボルト間距離（前後方向）	mm
l_{d2}	支点よりの基礎ボルト間距離（左右方向）	mm
σ_{c1}	基礎ボルトにかかる引張応力（前後方向）	MPa
σ_{d1}	基礎ボルトにかかる引張応力（左右方向）	MPa
σ_{c2}	基礎ボルトにかかる引張応力（前後方向）	MPa
σ_{d2}	基礎ボルトにかかる引張応力（左右方向）	MPa
σ_{cmax}	最大引張応力（前後方向）	MPa
σ_{dmax}	最大引張応力（左右方向）	MPa
τ_c	基礎ボルトにかかるせん断応力（前後方向）	MPa
τ_d	基礎ボルトにかかるせん断応力（左右方向）	MPa

8.4.4.2 応力計算

計算式については、材料力学公式等に則り以下のとおりとする。

(1) 取付ボルト

以下の応力計算モデルにて応力を計算する。



a. 前後方向

- ・引張応力 σ_{amax} の算出

$$\sigma_{amax} = \frac{W_1 g \alpha_H h_1}{S_1 n_{a1} l_{a1}} + \frac{W_1 g (\alpha_v - 1)}{S_1 N_1}$$

- ・せん断応力 τ_a の算出

$$\tau_a = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

b. 左右方向

- ・引張応力 σ_{bmax} の算出

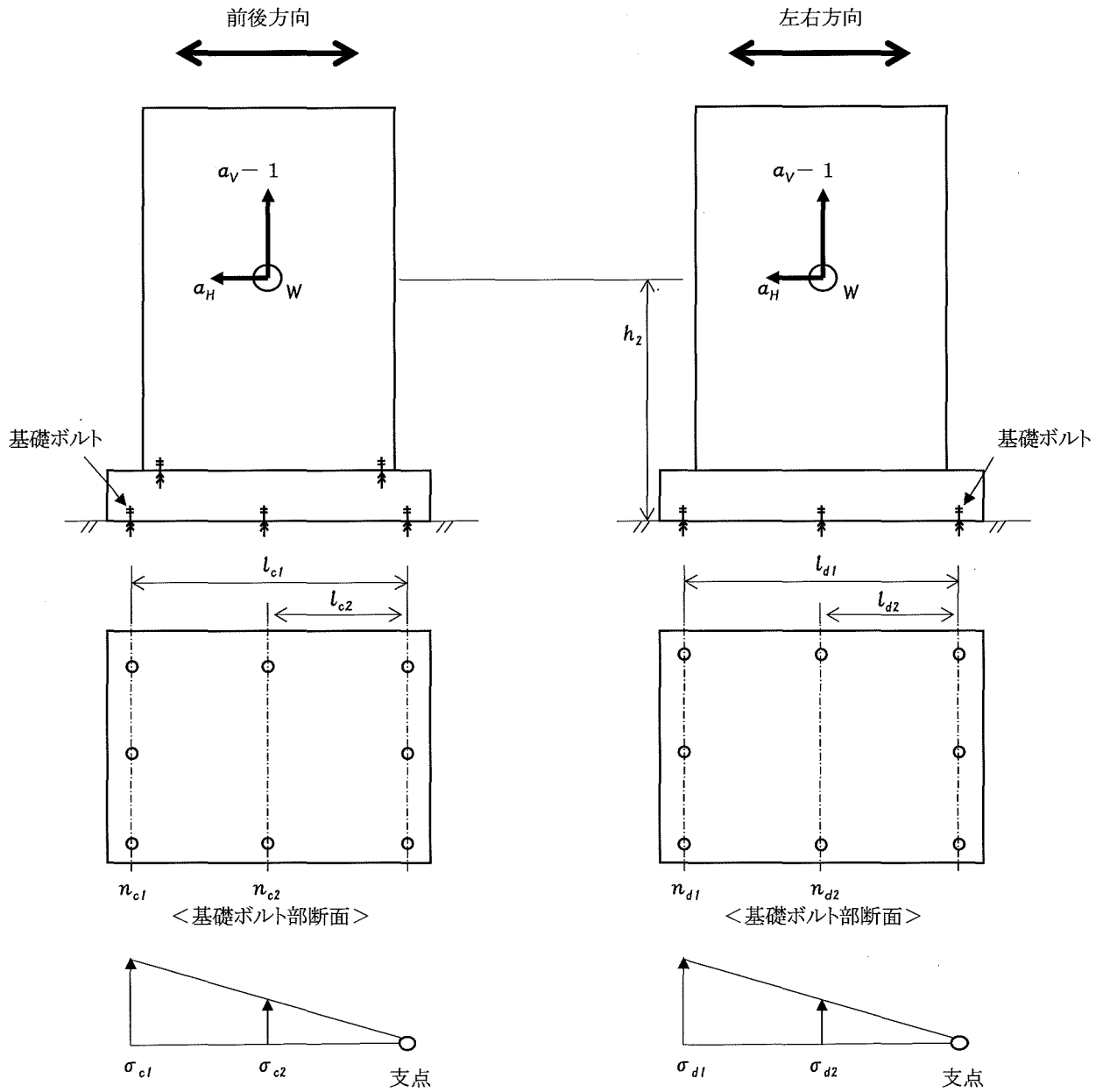
$$\sigma_{bmax} = \frac{W_1 g \alpha_H h_1}{S_1 n_{b1} l_{b1}} + \frac{W_1 g (\alpha_v - 1)}{S_1 N_1}$$

- ・せん断応力 τ_b の算出

$$\tau_b = \frac{W_1 g \alpha_H}{N_1 S_1}$$

(2) 基礎ボルト

以下の応力計算モデルにて応力を計算する。



a. 前後方向

・引張応力 σ_{cmax} の算出

$$\sigma_{cmax} = \frac{W_2 g \alpha_H h_2 l_{c1}}{S_2 (n_{c1} l_{c1}^2 + n_{c2} l_{c2}^2)} + \frac{W_2 g (\alpha_v - 1)}{S_2 N_2}$$

・せん断応力 τ_c の算出

$$\tau_c = \frac{W_2 g \alpha_H}{N_2 S_2}$$

b. 左右方向

・引張応力 σ_{dmax} の算出

$$\sigma_{dmax} = \frac{W_2 g \alpha_H h_2 l_{d1}}{S_2 (n_{d1} l_{d1}^2 + n_{d2} l_{d2}^2)} + \frac{W_2 g (\alpha_v - 1)}{S_2 N_2}$$

・せん断応力 τ_d の算出

$$\tau_d = \frac{W_2 g \alpha_H}{N_2 S_2}$$

8.4.5 応力評価条件

8.4.5.1 取付ボルトの応力評価条件

(1) 機器関係

項目	記号	単位	入力値
機器質量	W_1	kg	
重力加速度	g	m/s ²	
床面より機器重心までの鉛直距離	h_1	mm	
支点よりのボルト間距離 (前後方向)	l_{a1}	mm	
支点よりのボルト間距離 (左右方向)	l_{b1}	mm	

(2) ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
ボルト呼び径	d_1	mm	
ボルト断面積	S_1	mm ²	
各列のボルト本数 (前後方向)	n_{a1}	本	
各列のボルト本数 (左右方向)	n_{b1}	本	
ボルト総数	N_1	本	

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (1・2号機) (×9.8m/s ²)	設計用加速度 (3・4号機) (×9.8m/s ²)
水平	α_H		
鉛直	α_V		

(注1) 固有値解析結果より、固有振動数は(1・2号機)水平□Hz、鉛直□Hz、
(3・4号機) 水平□Hz、鉛直□Hzであることを確認したため、設計用加
速度はそれぞれの周波数の応答加速度と最大床加速度の1.2倍を比較し、大き
い加速度を使用する。

8.4.5.2 基礎ボルトの応力評価条件

(1) 機器関係

項目	記号	単位	入力値
機器質量	W_2	kg	
重力加速度	g	m/s ²	
床面より機器重心までの鉛直距離	h_2	mm	
支点よりのボルト間距離 (前後方向)	l_{c1}	mm	
支点よりのボルト間距離 (前後方向)	l_{c2}	mm	
支点よりのボルト間距離 (左右方向)	l_{d1}	mm	
支点よりのボルト間距離 (左右方向)	l_{d2}	mm	

(2) ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
ボルト呼び径	d_1	mm	
ボルト断面積	S_1	mm ²	
各列のボルト本数 (前後方向)	n_{c1}	本	
各列のボルト本数 (前後方向)	n_{c2}	本	
各列のボルト本数 (左右方向)	n_{d1}	本	
各列のボルト本数 (左右方向)	n_{d2}	本	
ボルト総数	N_2	本	

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (1・2号機) ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	設計用加速度 (3・4号機) ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
水平	α_H		
鉛直	α_V		

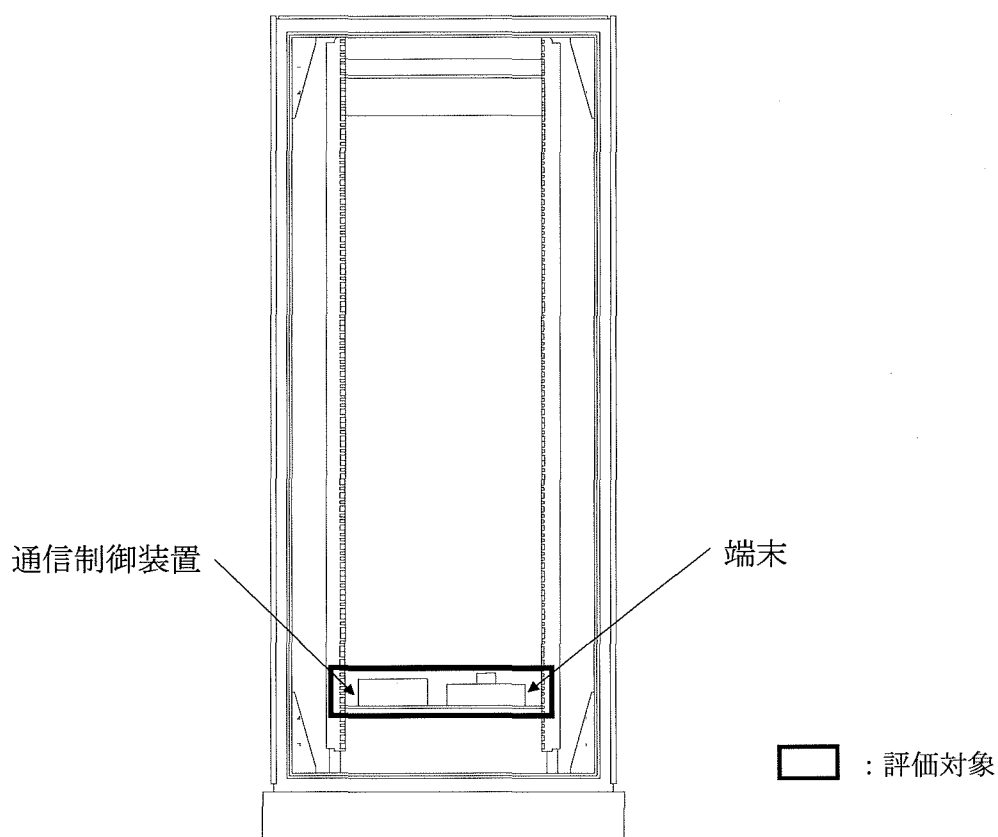
(注1) 固有値解析結果より、固有振動数は(1・2号機)水平 Hz、鉛直 Hz、
(3・4号機)水平 Hz、鉛直 Hzであることを確認したため、設計用加速度はそれぞれの周波数の応答加速度と最大床加速度の1.2倍を比較し、大きい加速度を使用する。

8.5 機能維持評価

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）内器具は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されることを示す。

8.5.1 機能維持評価方法

機能維持評価方法は、盤に器具を実装した状態により、対象機器設置床における基準地震動（Ss-1～Ss-7）に対する最大床応答加速度を上回る加速度にて加振試験を行い、加振試験後に電氣的機能が維持されていることを確認する。また、評価する器具の実装図を第8-3図に示す。



第8-3図 器具実装図

8.6 評価結果

8.6.1 評価結果

中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、中央制御室用衛星設備収容架（津波防護用）内器具の評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電気的機能を維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第8-6表に示す。また、電気的機能維持確認結果を第8-7表に示す。

第8-6表 基準地震動 S_s による評価結果 (D+P_b+M_b+S_s) (1・2号機)

評価対象設備			評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	中央制御室用衛星設備収容架(津波防護用)	取付ボルト	引張	水平+鉛直		
				せん断	水平+鉛直		
				組合せ	水平+鉛直		
			基礎ボルト	引張	水平+鉛直		
				せん断	水平+鉛直		
				組合せ	水平+鉛直		

(注1) 引張応力 (σ_{bt}) とせん断応力 (τ_{bs}) との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min} (1.4 \cdot 1.5\text{ft} - 1.6 \tau_{bs}, 1.5\text{ft})$ とする。

基準地震動 S_s による評価結果 (D+P_b+M_b+S_s) (3・4号機)

評価対象設備			評価部位	応力分類	加速度の方向	発生値	評価基準値
						MPa	MPa
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	中央制御室用衛星設備収容架(津波防護用)	取付ボルト	引張	水平+鉛直		
				せん断	水平+鉛直		
				組合せ	水平+鉛直		
			基礎ボルト	引張	水平+鉛直		
				せん断	水平+鉛直		
				組合せ	水平+鉛直		

(注1) 引張応力 (σ_{bt}) とせん断応力 (τ_{bs}) との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min} (1.4 \cdot 1.5\text{ft} - 1.6 \tau_{bs}, 1.5\text{ft})$ とする。

第8-7表 電氣的機能維持評価結果 (1・2号機)

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)
浸水 防護 施設	外郭浸 水防護 設備	中央制御室用衛 星設備収容架 (津波防護用)	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-6 (EW)	Ss-6 (NS)	Ss-7	機能 確認済 加速度 (×9.8m/s ²)	詳細評価
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)		
浸水 防護 施設	外郭浸 水防護 設備	中央制御室用衛 星設備収容架 (津波防護用)	加振台	水平	X					—
					Y					
				鉛直	Z					

電氣的機能維持評価結果（3・4号機）

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)
浸水 防護 施設	外郭浸 水防護 設備	中央制御室用衛 星設備収容架 (津波防護用)	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-6 (EW)	Ss-6 (NS)	Ss-7	機能 確認済 加速度 (×9.8m/s ²)	詳細評価
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)		
浸水 防護 施設	外郭浸 水防護 設備	中央制御室用衛 星設備収容架 (津波防護用)	加振台	水平	X				—	
					Y					
				鉛直	Z					

9. 中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）

9.1 基本方針

9.1.1 構造の説明

資料5-1「耐震設計の基本方針」の「9. 機器・配管系の支持方針について」にて設定した支持方針に基づき設計した中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の構造計画を第9-1表に示す。

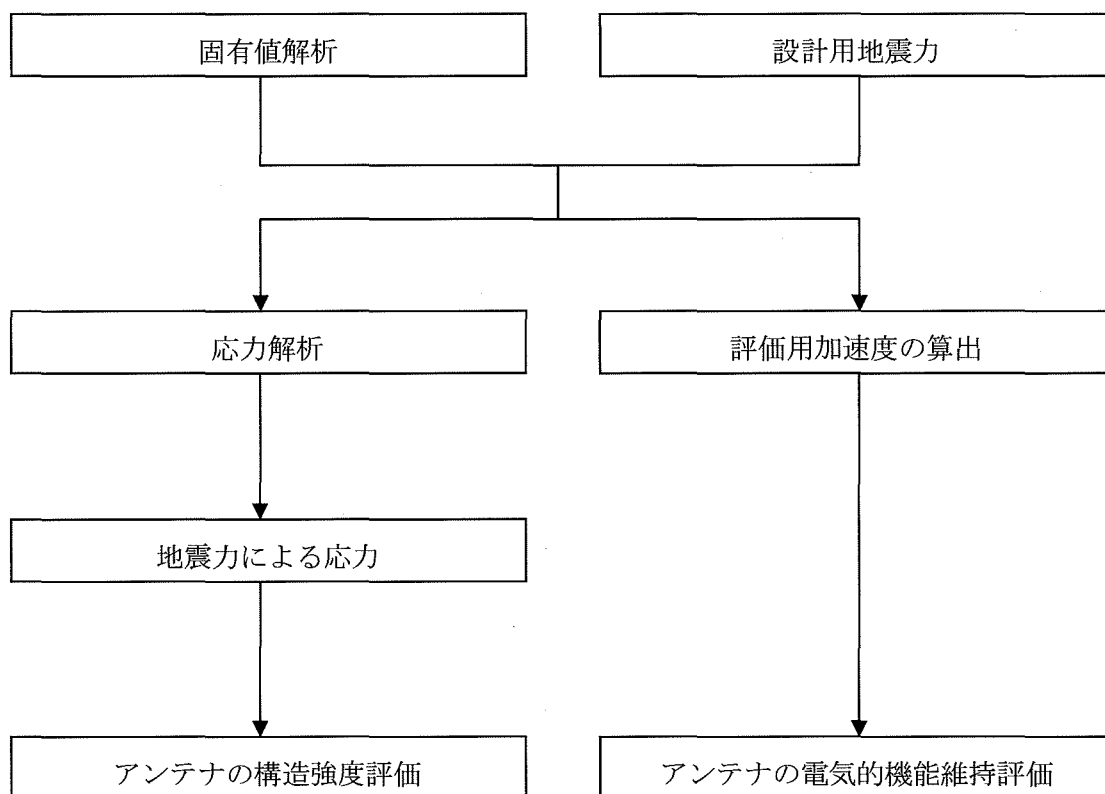
第9-1表 中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
中央制御室衛星電話用 アンテナ (津波防護用)	アンテナ	屋外衛星アンテナを専用治具で固定し、専用治具の基礎部を据付ボルトにより壁面に固定する。	

9.1.2 評価方針

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の応力評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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、「9.1.1 構造の説明」にて示す中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の部位を踏まえ、「9.2 耐震評価箇所」にて設定する箇所において、「9.3 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「9.4 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、中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の機能維持評価は、資料5-1「耐震設計の基本方針」の「5. 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、「9.5 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「9.6 評価結果」に示す。

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の耐震評価フローを第9-1図に示す。



第9-1図 中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の耐震評価フロー

9.2 耐震評価箇所

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる据付ボルトを選定して実施する。中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の耐震評価箇所については、第9-1表の説明図に示す。

9.3 固有値解析

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の固有振動数算定方法について以下に示す。

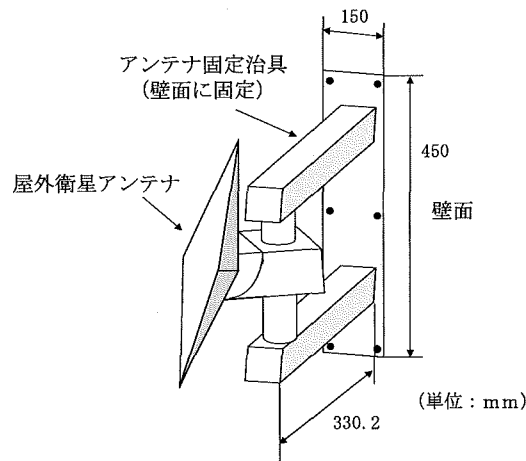
9.3.1 基本方針

ランダム振動試験にてアンテナの固有振動数を求める。

9.3.2 固有振動数の計算方法

振動試験装置にて0.5～50Hz 加速度0.1Gで掃引し、アンテナの応答を測定する。

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の据付状態を第9-2図に示す。



第9-2図 中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）据付状態図

9.3.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

固有振動数 (Hz)	
水平	
鉛直	

9.4 応力評価

9.4.1 基本方針

- (1) 耐震計算モデルは1質点系モデルとし、アンテナの重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- (2) 許容応力についてはJSME S NC1-2012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、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

9.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

9.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力応力状態

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の荷重の組合せ及び許容応力状態について、評価に用いるものを第9-2表に示す。

9.4.2.2 許容応力

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の許容応力を第9-3表に示す。

9.4.2.3 使用材料の許容応力

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の使用材料の許容応力の評価に用いるものを第9-4表に示す。

第9-2表 荷重の組合せ及び許容応力状態

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
浸水防護 施設	外郭浸 水防護 設備	(注1) 衛星電話用 アンテナ	S	—	D+Pd+Md+Ss	III _A S

(注1) 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。

第9-3表 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等） (注1)	
	一次応力	
	引張	せん断
III _A S	$1.5f_t$	$1.5f_s$

(注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。

第9-4表 使用材料の許容応力

材質	評価温度 (°C)	Sy (MPa)	Su (MPa)	F (MPa)
SUS316				

9.4.3 設計用地震力

耐震計算における入力地震力には、資料5-3「潮位観測システム（防護用）に係る耐震の基本方針」の「3.2設計用地震力」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表9-5表にて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、減衰定数は平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-6「地震応答解析の基本方針」第3-1表に記載の減衰定数を用いる。

第9-5表 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
		建物及び 高さ (m)	方向	減衰定数 (%)	
基準地震動 Ss			水平	1.0	水平方向はSs-1～Ss-7のX方向及びY方向の包絡曲線を用いる。 鉛直方向Ss-1～Ss-7の包絡曲線を用いる。
			鉛直	1.0	
			水平	1.0	
			鉛直	1.0	

9.4.4 応力評価方法

9.4.4.1 記号の説明

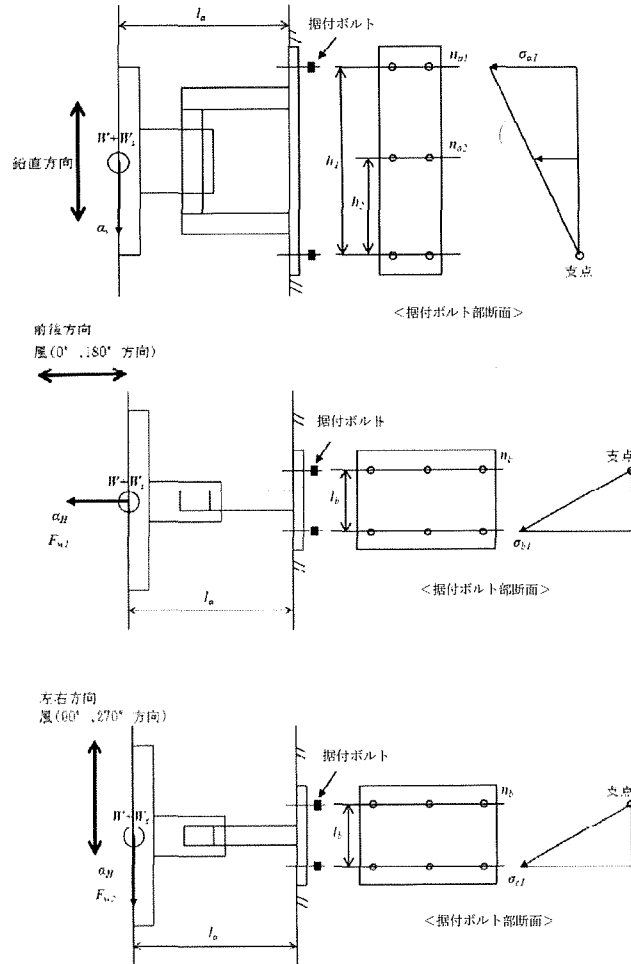
記号	記号の説明	単位
W	機器質量	kg
W_s	積雪荷重	kg
F_{w1}	風荷重 (前後方向)	N
F_{w2}	風荷重 (左右方向)	N
n_{a1}	各列のボルト本数 (鉛直方向)	本
n_{a2}	各列のボルト本数 (鉛直方向)	本
n_b	各列のボルト本数 (左右方向)	本
N	ボルト総数	本
d	ボルト呼び径	mm
S	ボルト断面積	mm ²
α_H	水平震度	—
α_V	鉛直震度	—
g	重力加速度	m/s ²
h_1	支点よりのボルト間距離 (鉛直方向)	mm
h_2	支点よりのボルト間距離 (鉛直方向)	mm
l_a	壁面より機器重心までの水平距離	mm
l_b	支点よりのボルト間距離 (前後+左右方向)	mm
σ_{a1}	据付ボルトにかかる引張応力 (鉛直方向)	MPa
σ_{b1}	据付ボルトにかかる引張応力 (前後方向)	MPa
σ_{c1}	据付ボルトにかかる引張応力 (左右方向)	MPa
σ_{f1}	据付ボルトにかかる引張応力 (鉛直+前後+左右方向)	MPa
τ_a	据付ボルトにかかるせん断応力 (鉛直方向)	MPa
τ_b	据付ボルトにかかるせん断応力 (前後方向)	MPa
τ_c	据付ボルトにかかるせん断応力 (左右方向)	MPa
τ_f	据付ボルトにかかるせん断応力 (鉛直+前後+左右方向)	MPa

9.4.4.2 応力計算

計算式については、材料力学公式等に則り以下のとおりとする。

(1) 据付ボルト

以下の応力計算モデルにて応力を計算する。



a. 鉛直+前後+左右方向

・引張応力

引張応力 σ_{f1} の算出

$$\sigma_{f1} = \frac{(W + W_s)g(a_v + 1)l_a h_1}{S(n_{a1}h_1^2 + n_{a2}h_2^2)} + \frac{(W + W_s)g a_H + F_{w1}}{NS} + \frac{(W + W_s)g a_H l_a + F_{w2} l_a}{S n_b l_b}$$

・せん断応力 τ_f の算出

$$\tau_f = \sqrt{\tau_a^2 + \tau_b^2 + \tau_c^2} = \sqrt{\left(\frac{(W + W_s)g(a_v + 1)}{NS}\right)^2 + \left(\frac{(W + W_s)g a_H + F_{w2}}{NS}\right)^2}$$

9.4.5 応力評価条件

9.4.5.1 据付ボルトの応力計算条件

(1) 機器関係

項目	記号	単位	入力値
機器質量	W	kg	
重力加速度	g	m/s ²	
支点よりのボルト間距離 (鉛直方向)	h_1	mm	
支点よりのボルト間距離 (鉛直方向)	h_2	mm	
壁面より機器重心までの水平距離 (注1)	l_a	mm	
支点よりのボルト間距離 (水平方向)	l_b	mm	

(注1) 機器重心位置は保守的に機器先端とする。

(2) ボルト関係

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
ボルト呼び径	d	mm	
ボルト断面積	S	mm ²	
各列のボルト本数 (鉛直方向)	n_{a1}	本	
各列のボルト本数 (鉛直方向)	n_{a2}	本	
各列のボルト本数 (水平方向)	n_b	本	
ボルト総数	N	本	

(3) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (1・2号機) (×9.8m/s ²)	設計用加速度 (3・4号機) (×9.8m/s ²)
水平	α_H		
鉛直	α_V		

(注1) 固有値解析結果より、固有振動数は水平 Hz、鉛直 Hzであることを確認したため、設計用加速度はそれぞれの周波数の応答加速度と最大床加速度の1.2倍を比較し、大きい加速度を使用する。

9.5 機能維持評価

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）は、地震時及び地震後に電氣的機能が要求されており、地震時及び地震後においても、その機能が維持されていることを示す。

9.5.1 機能維持評価方法

機能維持評価は、実際の設置状態を模擬した状態により、対象機器設置床における基準地震動（ $S_s-1 \sim S_s-7$ ）に対する時刻歴応答加速度の最大床応答加速度を上回る加速度にて加振試験を行い、加振試験後に電氣的機能が維持されていることを通信試験により確認する。

9.6 評価結果

9.6.1 評価結果

中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており、耐震性を有することを確認した。また、中央制御室衛星電話用アンテナ（津波防護用）の評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電氣的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を第9-6表に示す。また、電氣的機能維持確認結果を第9-7表に示す。

第9-6表 基準地震動 S_s に対する評価結果（ $D+P_D+M_D+S_s$ ）（1・2号機）

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
					MPa	MPa
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	衛星電話用アンテナ	据付ボルト	引張		
				せん断		
				組合せ		

(注1) 引張応力（ σ_{bt} ）とせん断応力（ τ_{bs} ）との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t)$ とする。

基準地震動 S_s に対する評価結果（ $D+P_D+M_D+S_s$ ）（3・4号機）

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生値	評価基準値
					MPa	MPa
浸水防護施設	外郭浸水防護設備	衛星電話用アンテナ	据付ボルト	引張		
				せん断		
				組合せ		

(注1) 引張応力（ σ_{bt} ）とせん断応力（ τ_{bs} ）との組合せ応力の評価基準値は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_{bs}, 1.5f_t)$ とする。

第9-7表 電氣的機能維持評価結果

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)
浸水 防護 施設	外郭浸水 防護設備	衛星電話用 アンテナ	加振台	水平	X					
					Y					
				鉛直	Z					

評価対象設備			加速度 確認 部位	加速度 方向		Ss-6 (EW)	Ss-6 (NS)	Ss-7	機能 確認済 加速度 (×9.8m/s ²)	詳細評価
						評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)	評価用 加速度※ (×9.8m/s ²)		
浸水 防護 施設	外郭浸水 防護設備	衛星電話用 アンテナ	加振台	水平	X					—
					Y					
				鉛直	Z					

※ 評価用加速度については、1・2号機及び3・4号機のいずれか高い値を記載

資料 5 - 5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

	頁
1. 概要	T4-添5-5-1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	T4-添5-5-1
3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	T4-添5-5-1
3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	T4-添5-5-1
3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	T4-添5-5-2
3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	T4-添5-5-2
3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	T4-添5-5-3
3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	T4-添5-5-3
4. まとめ	T4-添5-5-4

1. 概要

本資料は、資料5-1「耐震設計の基本方針」のうち「9. 耐震計算の基本方針」及び平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により、申請設備が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

高浜発電所の基準地震動 S_s-1 ～ S_s-7 について、原則としてすべての地震動を評価対象とする。ただし、各施設の評価を行う際には必要に応じてその包絡関係を確認し、代表できると判断できるものについては、個別に代表地震動を選定して評価を行うものとする。

3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

第3-1表に示すとおり、潮位観測システム（防護用）の取付部を評価対象部位とし、構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を以下の項目より検討し、影響の可能性のある部位を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響有無を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理するが、申請設備について、該当するものはなかった。

- a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの
申請設備について、該当するものはない。
- b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの
申請設備について、該当するものはない。
- c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等と言えるもの
申請設備について、該当するものはない。

- d. 従来評価において保守性を考慮しており、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても影響が軽微であるもの
申請設備について、該当するものはない。

(2) 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じ、さらに新たな応力成分が作用する可能性のある設備を抽出する。

抽出の結果、潮位観測システム（防護用）の取付部については、該当しない。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)(2)において影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮したSquare-Root-of-the-Sum-of-the-Squares（以下「非同時性を考慮したSRSS法」という。）により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。

3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料13-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の3.1.2項における建物・構築物の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

今回の工事は、建物・構築物を変更するものではないため、本検討結果への影響はない。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.1項で抽出した結果を第3-2表に示す。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

第3-2表により抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮したSRSS法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来の水平1方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平2方向及び鉛直方向の地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・ 水平各方向及び鉛直方向の地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
 - ・ 水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
 - ・ 水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- また、算出に当たっては必要に応じて以下も考慮する。
- ・ 発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

3.4項の影響評価条件により算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認する。評価した内容を以下に示し、その影響評価結果について第3-3表に示す。

(1) 潮位観測システム（防護用）（潮位計（据付ボルト））

潮位観測システムのうち潮位計（据付ボルト）は、従来設計では水平各方向の応答加速度を各周期の最大値をとるように包絡した床応答曲線を用いた地震応答解析より発生値を算定し評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、上記の発生値をSRSS法により組み合わせることで算定し、評価基準値を満足することを確認した。

4. まとめ

申請設備において、水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した結果、従来設計の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が評価基準値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としているため、従来設計の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、鉛直方向地震力による応力成分が重複されたまま水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出している等簡易的に保守側となる扱いをしている。また、従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を応答軸方向に入力している設備は上記以外にも保守側となる要因を含んでいる。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、設備が有する耐震性に影響がないことを確認した。

第3-1表 水平2方向入力の影響検討対象設備

設備	部位
潮位観測システム（防護用） 潮位計	取付架台
	接続ボルト
	据付ボルト
矩形構造の架構設備 上記以外	各部位

第3-2表 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(凡例) ○：影響の可能性あり
 △：影響軽微
 -：該当なし

(1) 構造強度評価

設備（機種）及び部位	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.1項(1)及び(2)の観点	3.1項(3)の観点	検討結果
潮位観測システム（防護用） 潮位計	○（接続ボルト 据付ボルト）	○（据付ボルト）	影響評価結果は 第3-3表参照
矩形構造の架構設備 上記以外	○	△	明確な応答軸を有している

第3-3表 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

評価対象設備		評価部位	応力分類	従来発生値	2方向想定発生値	評価基準値	備考
				MPa	MPa	MPa	
浸水防護施設	潮位観測システム（防護用） 潮位計	据付ボルト	引張				

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

	頁
1. はじめに	T4-別紙-1
2. 解析コードの概要	T4-別紙-2
2.1 MSC NASTRAN Ver.2008.0.0	T4-別紙-2

1. はじめに

本資料は、資料5「耐震性に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

2. 解析コードの概要

2.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 0

2.1.1 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 0 の概要

対象：潮位観測システム（防護用）

項目	コード名
	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 0
使用目的	3次元有限要素法（はり、シェル要素）による 固有値解析、応力解析
コードの概要	<p>有限要素法を用いたMSC NASTRANは、世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965年、現在の米国MSC Software Corporationの前身である米国The MacNeal-Schwendler Corporationの創設者、マクニール博士とシュウエンドラー博士が、当時NASA（The National Aeronautics and Space Administration）で行なわれていた、航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはNASTRAN（NASA Structural Analysis Program）と命名され、1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRANとして一般商業用にリリースされた。</p> <p>以来、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために、常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。</p>
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 0は、汎用市販コードであり、潮位観測システム（防護用）の3次元有限要素法（はり、シェル要素）による固有値解析、応力解析に使用している。</p> <p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料力学分野における一般的な知見により理論解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（シェル又ははりモデル）

による固有値解析及び応力解析（固有振動数、荷重及び応力）について理論モデルによる理論解と解析解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。

- ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

【妥当性確認(Validation)】

本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。

- ・ 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。
- ・ 本工事計画で行う解析と類似するものとして、原子力安全基盤機構が多度津工学試験所にて実施した1/3, 2サイズのBWR原子炉格納容器を対象にした耐震実証試験の再現解析においてNASTRANが使用され、振動試験結果とNASTRANの解析結果がよく一致していることを確認していることを確認している。(平成18年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 耐震基準類調査のうち耐震実証試験の解析評価に係る報告書 平成19年10月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)
- ・ 開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり、シェル要素）による固有値解析、応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。
- ・ 本工事計画で行う3次元有限要素法（はり、シェル要素）による固有値解析、応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。
- ・ 本工事計画において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。