

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6添-2-050 改0
提出年月日	2023年12月13日

#### VI-2-11-2-2-4 換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算書

KG ① VI-2-11-2-2-4 R0

2023年12月

東京電力ホールディングス株式会社

- (1) 換気空調系ダクト防護壁 (タービン建屋)
- (2) 換気空調系ダクト防護壁 (コントロール建屋)

(1) 換気空調系ダクト防護壁（タービン建屋）

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
2.6 計算精度と数値の丸め方	11
3. 評価部位	12
4. 地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
4.2.2 許容応力	12
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	12
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	22
4.6.1 応力の計算方法	22
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
4.8.1 防護鋼板の応力評価	24
4.8.2 架構の応力評価	24
4.8.3 アンカボルトの評価	25
5. 評価結果	26
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26

## 1. 概要

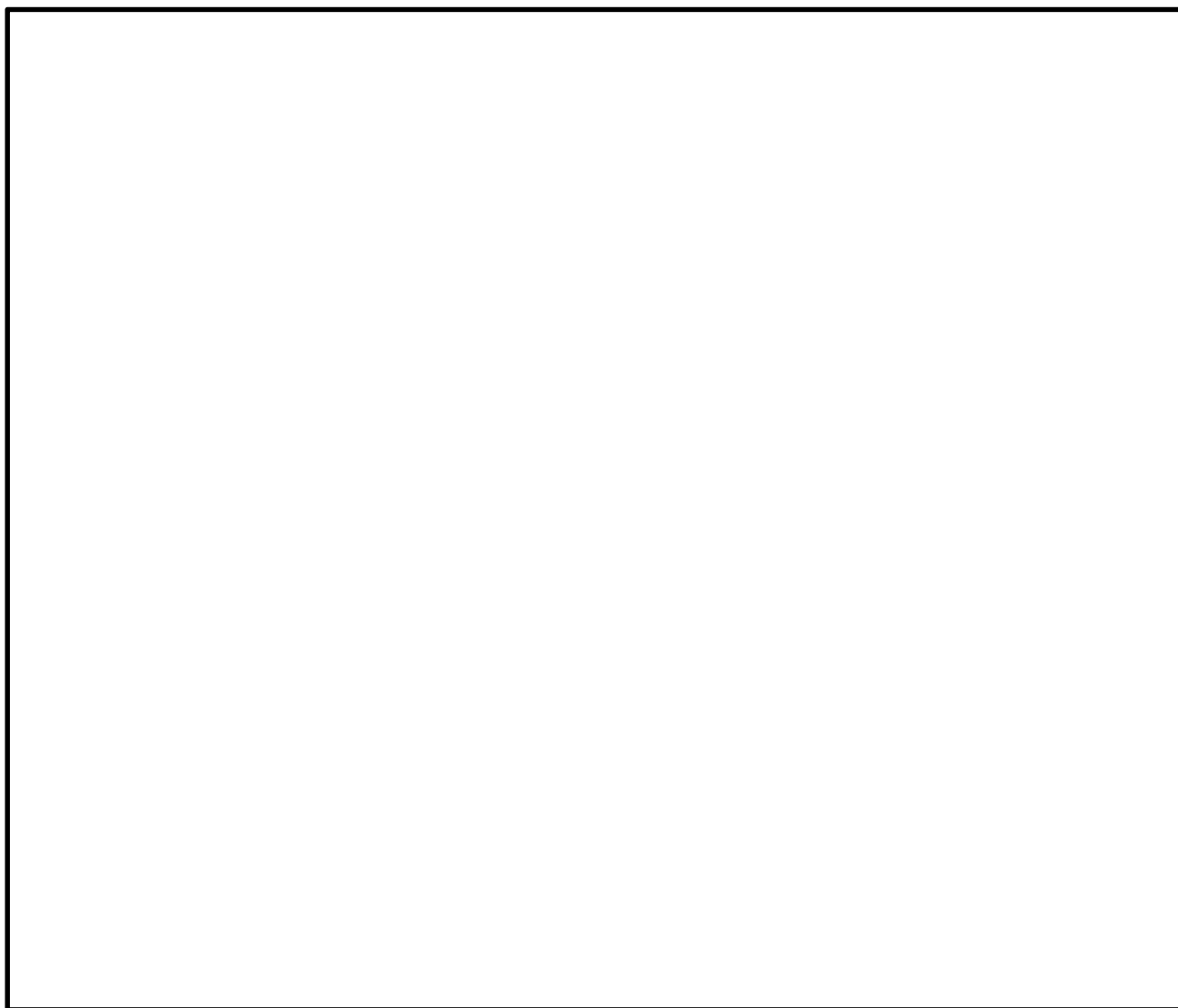
本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、**下位クラス施設である**換気空調系ダクト防護壁**（Cクラス施設）**が**基準地震動 $S_s$ による地震力**に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス**施設**である海水熱交換器区域換気空調系ダクト等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

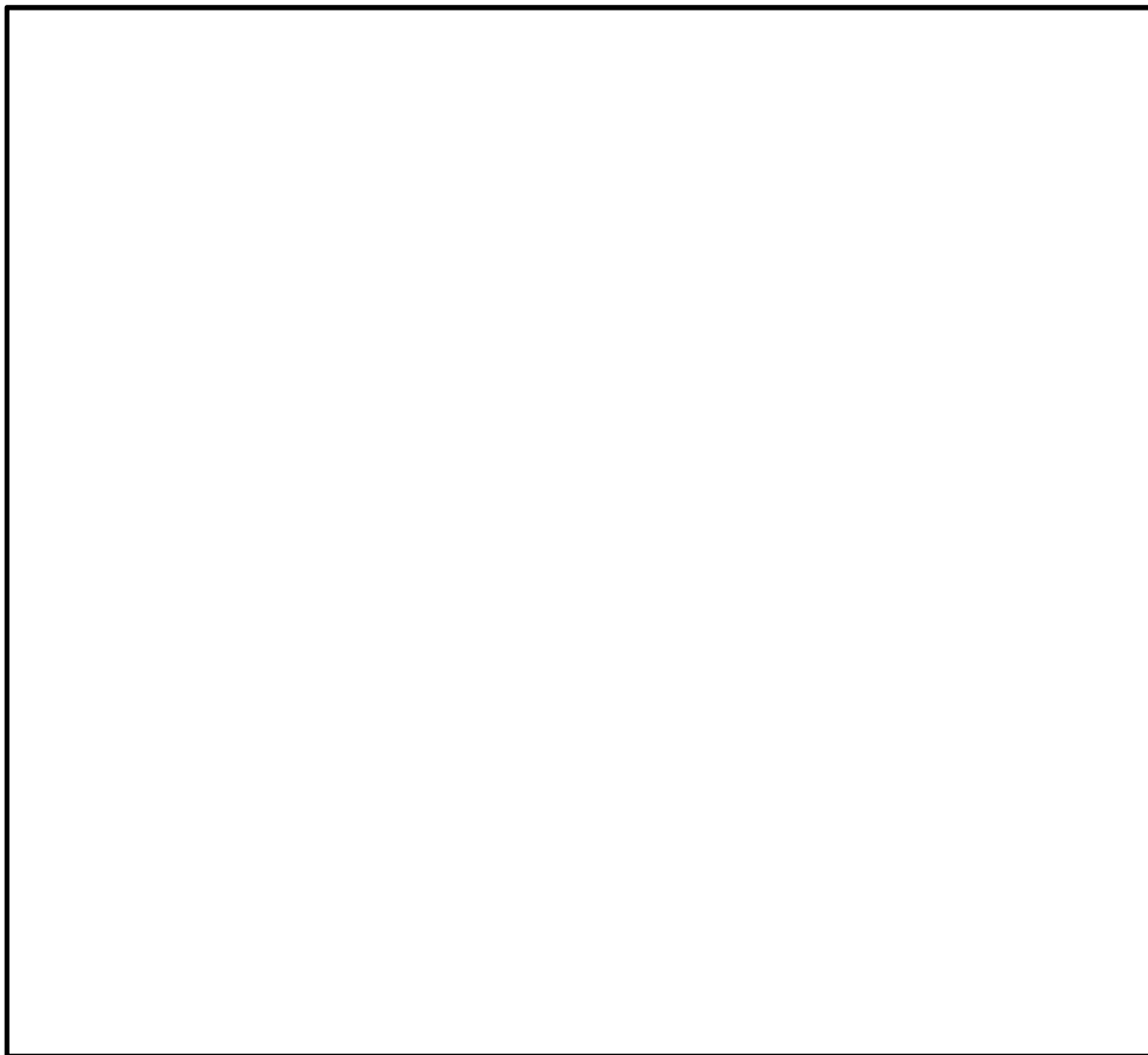
換気空調系ダクト防護壁の設置位置を図 2-1 に示す。

換気空調系ダクト防護壁は、上位クラス施設である海水熱交換器区域換気空調系ダクト等の上部に設置されており、落下時に海水熱交換器区域換気空調系ダクト等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



タービン建屋 T.M.S.L. 12.3m

図 2-1 (1/2) 換気空調系ダクト防護壁の設置位置図



タービン建屋 T.M.S.L. 30.9m

図 2-1 (2/2) 換気空調系ダクト防護壁の設置位置図

## 2.2 構造計画

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 (1/2) 構造計画

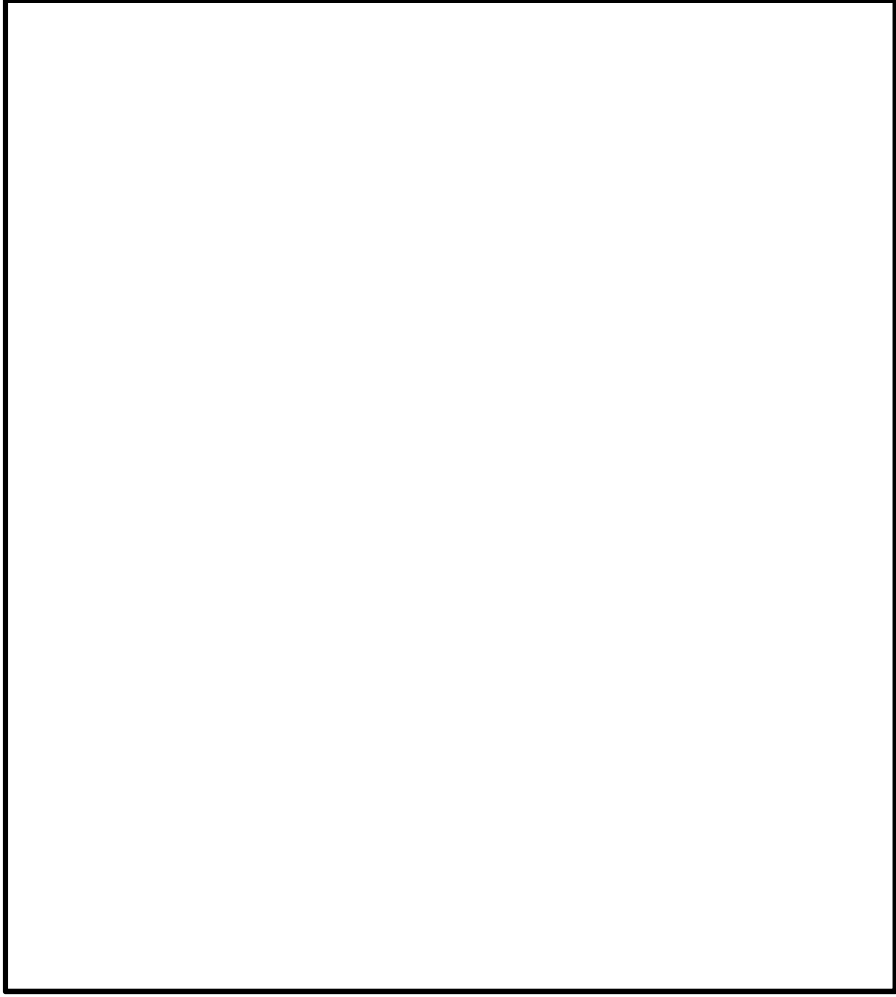

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。</p>	<p>防護鋼板及び架構により構成する。</p>	



表 2-1 (2/2) 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	
(単位：mm)		

換気空調系ダクト防護壁 (No. 55)

### 2.3 評価方針

換気空調系ダクト防護壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す換気空調系ダクト防護壁の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フローを図2-2に示す。

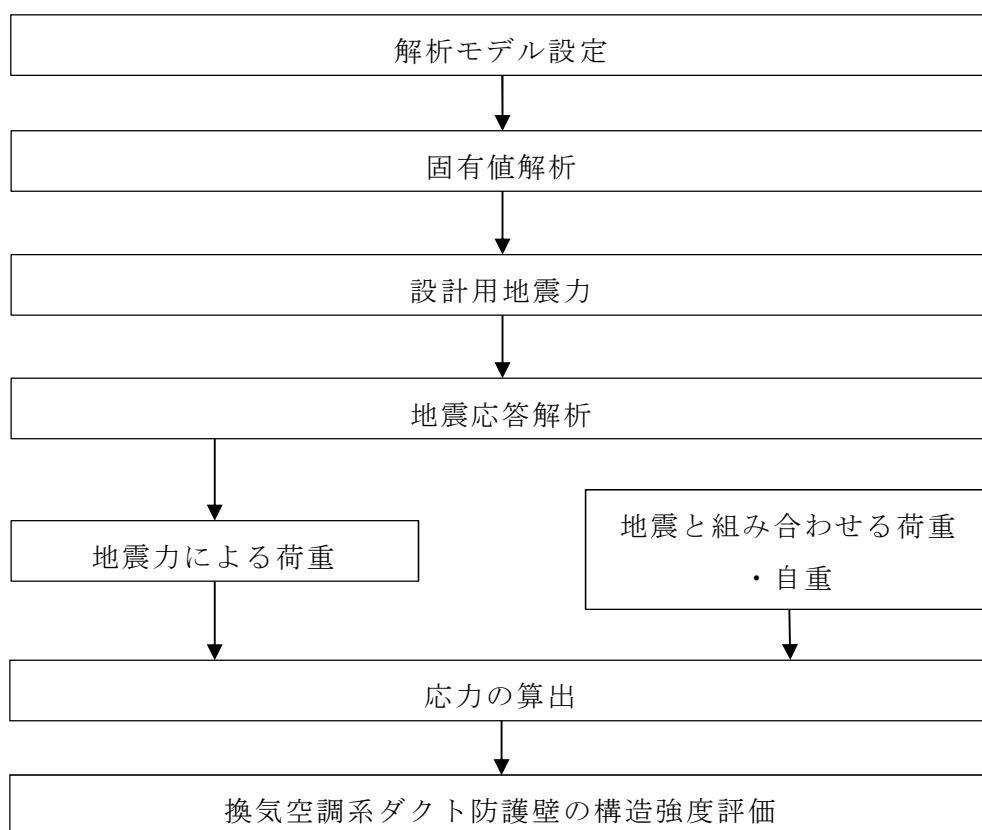


図2-2 換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・  
補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電  
気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下  
「設計・建設規格」という。)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 2010年改定)

## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$s_{c a}$	接着系アンカボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A$	架構の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{q c}$	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	$\text{mm}^2$
$A_{s y}$	架構のせん断断面積 (y 軸)	$\text{mm}^2$
$A_{s z}$	架構のせん断断面積 (z 軸)	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	接着系アンカボルトの径	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
$f_b$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_c$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_s$	架構の許容せん断応力	MPa
$f_t$	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
$i$	断面二次半径	mm
$\ell_k$	座屈長さ	mm
$J$	架構の極断面係数	$\text{mm}^3$
$j_x$	脚部の応力中心間距離 (x 軸)	mm
$j_y$	脚部の応力中心間距離 (y 軸)	mm
$L$	アンカボルト中心と架構の離隔距離	mm
$L_{c e}$	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
$L_e$	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
$M_x$	架構の曲げモーメント (x 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_y$	架構の曲げモーメント (y 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_z$	架構の曲げモーメント (z 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{b x}$	脚部の曲げモーメント (x 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{b y}$	脚部の曲げモーメント (y 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{b z}$	脚部のねじりモーメント (z 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
X, Y, Z	絶対(節点)座標軸	—
x, y, z	局所(要素)座標軸	—
Z <sub>y</sub>	架構の断面係数(y軸)	mm <sup>3</sup>
Z <sub>z</sub>	架構の断面係数(z軸)	mm <sup>3</sup>
Λ	架構の限界細長比	—
λ	架構の有効細長比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ	防護鋼板のミーゼス応力	MPa
n <sub>fx</sub>	引張偶力を受けるアンカボルトの本数(x軸)	—
n <sub>fy</sub>	引張偶力を受けるアンカボルトの本数(y軸)	—
N <sub>c</sub>	架構の軸力(圧縮)	N
N <sub>t</sub>	架構の軸力(引張り)	N
R <sub>x</sub>	ベースプレート部の荷重(x軸)	N
R <sub>y</sub>	ベースプレート部の荷重(y軸)	N
R <sub>z</sub>	ベースプレート部の荷重(z軸)	N
p	接着系アンカボルト1本当当たりの引張力	N
p <sub>a</sub>	接着系アンカボルト1本当当たりの許容引張力	N
p <sub>a1</sub>	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当当たりの許容引張応力	N
p <sub>a3</sub>	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
$q$	接着系アンカボルト1本当たりのせん断力	N
$q_a$	接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$q_{a1}$	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$q_{a2}$	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$q_{a3}$	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
$Q_y$	架構のせん断力 (y 軸)	N
$Q_z$	架構のせん断力 (z 軸)	N
$\phi_1$	低減係数 長期：2/3 短期：1.0	—
$\phi_2$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\phi_3$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\alpha_n$	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数 (n = 1, 2, 3)	—
$c_n$	へりあき及びボルトピッチの1/2 (n = 1, 2, 3)	—
$c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
$c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
$s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
$s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
$\sigma_b$	架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{by}$	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
$\sigma_{bz}$	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
$\sigma_c$	架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_t$	架構に生じる引張応力	MPa
$\tau_a$	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
$\tau_{bavg}$	ボルトの基本平均付着強度	MPa
$\tau_k$	架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau_y$	架構に生じるせん断応力 (y 軸)	MPa
$\tau_z$	架構に生じるせん断応力 (z 軸)	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

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

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

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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 位を切捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、落下により、海水熱交換器区域換気空調系ダクト等が損傷することを防止するため、防護鋼板、架構及びアンカボルトについて実施する。換気空調系ダクト防護壁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. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 換気空調系ダクト防護壁の架構は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、換気空調系ダクト防護壁に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用するものとする。また、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せには、S R S S 法を適用する。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、方向毎に卓越振動モードにおける固有振動数が 20Hz 以上の場合は剛構造として 1.2ZPA の加速度を静的に作用させた静的解析を行い、20Hz 未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析及び 1.2ZPA の加速度を静的に作用させた静的解析を行う。
- (4) 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

換気空調系ダクト防護壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

換気空調系ダクト防護壁の許容応力は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4-3 に示す。

アンカボルトの許容応力は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010 年改定）」に基づき、算出したものを許容応力とする。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

換気空調系ダクト防護壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。



表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-2 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
その他	換気空調系ダクト防護壁	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-3 許容応力 (その他支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>*1,*2</sup> (ボルト等以外)			
	一次応力			
IV <sub>A</sub> S	引張り	せん断	圧縮	曲げ
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	40				
防護鋼板	SS400		40	—			—
架構	SM490A		40	—			—
	SS400		40	—			—

表 4-5 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 (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	40				
防護鋼板	SS400		40	—			—
架構	SM490A		40	—			—
	SS400		40	—			—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

換気空調系ダクト防護壁の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 換気空調系ダクト防護壁を構成する架構をはり要素、防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、架構の床への取付部を完全固定とする。なお、アンカボルト部は剛体として評価する。
- (3) 解析コード「NX NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

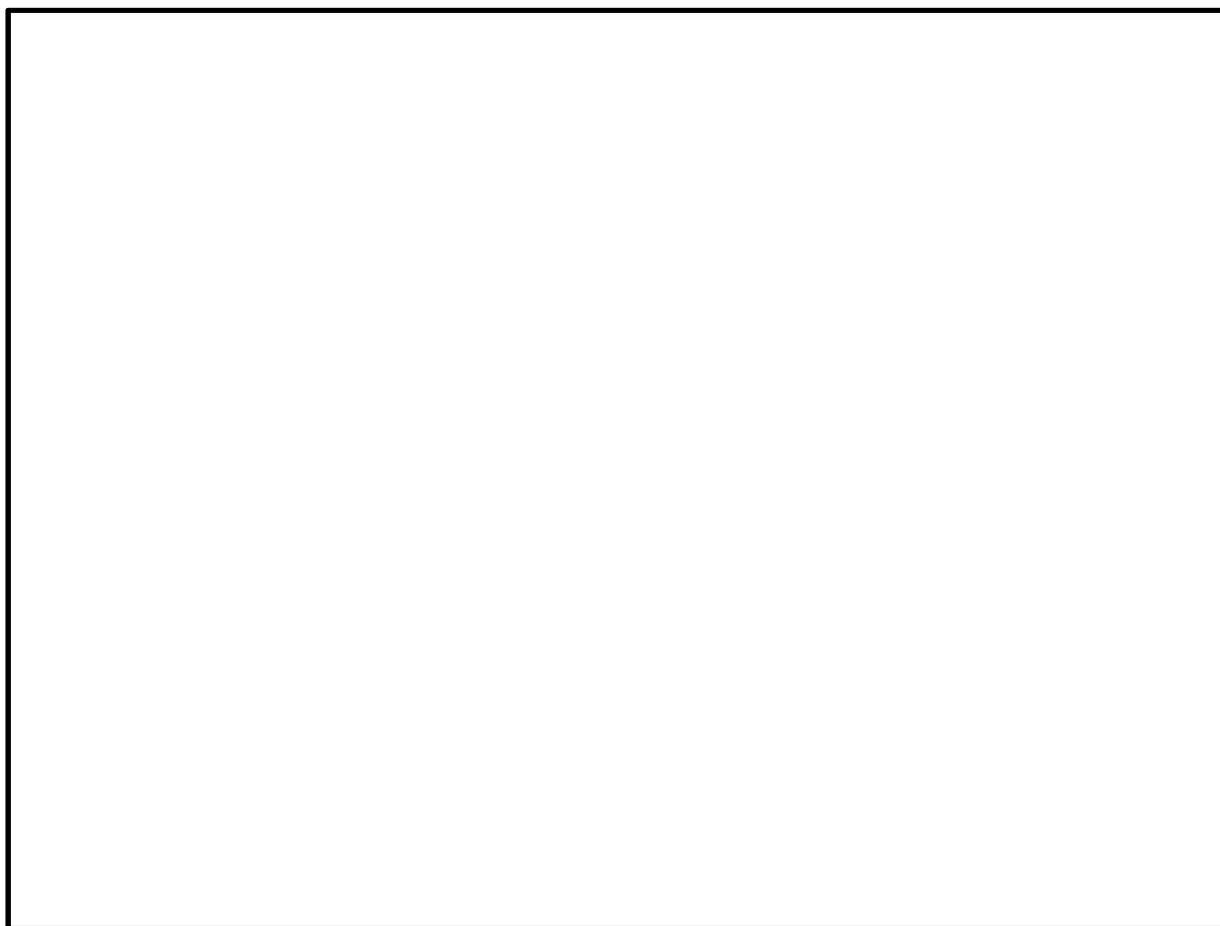


図 4-1 (1/2) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) の解析モデル

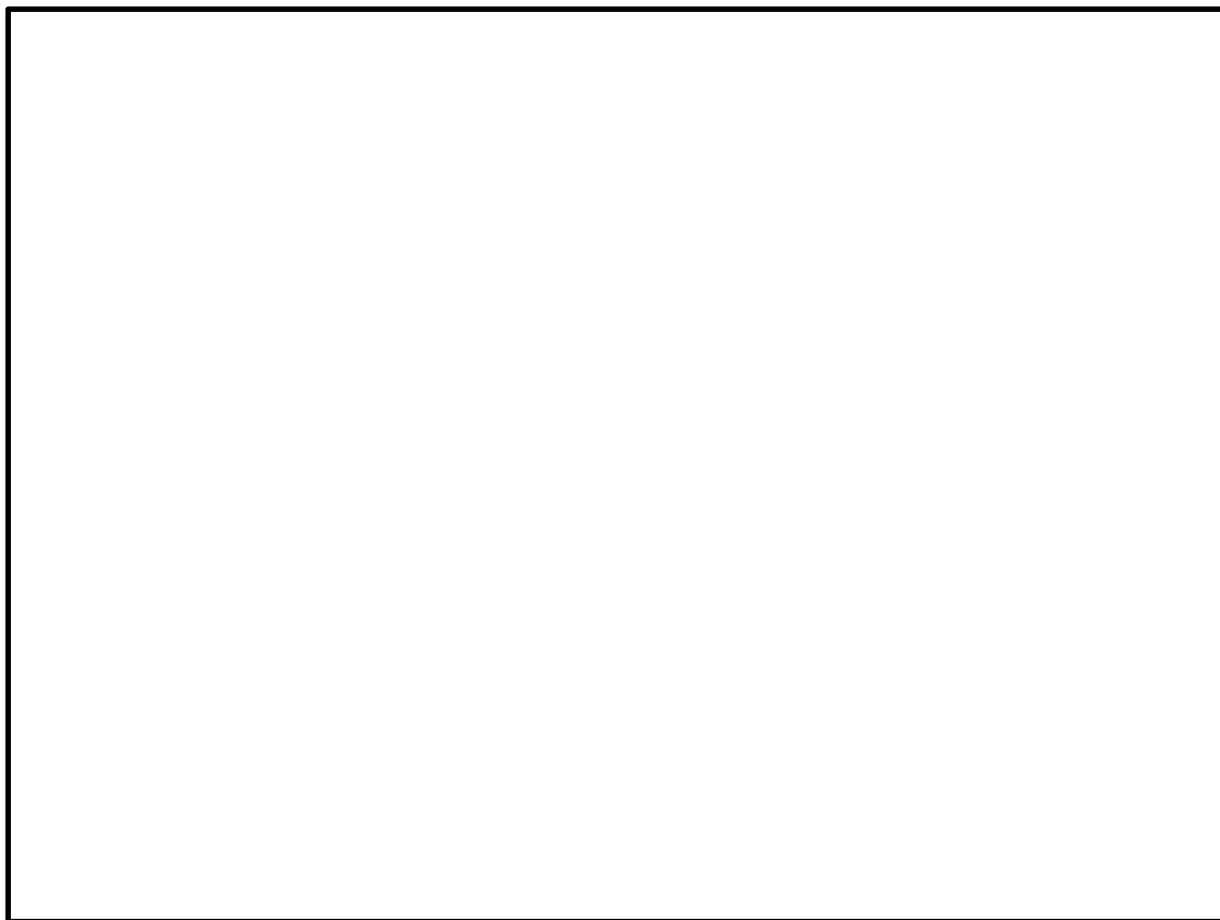


図 4-1 (2/2) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の解析モデル

#### 4.4 固有周期

各換気空調系ダクト防護壁の固有値解析の結果を表 4-6, 振動モード図を図 4-2 に示す。

換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) の固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の水平方向は, 2 次で卓越し, 固有周期は 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。鉛直方向は, 1 次モードで卓越し, 固有周期が柔な領域にあることから, 柔であることを確認した。

表 4-6 (1/2) 固有値解析結果 (No. 50)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1	水平	0.031	—	—	—
2	鉛直	0.025	—	—	—



図4-2 (1/4) 振動モード図 (No. 50) (1次モード 水平方向 0.031s)

表 4-6 (2/2) 固有値解析結果 (No. 55)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数*
			X方向	Y方向	
1	鉛直	0.051	—	—	0.901
2	水平	0.045	—	—	—

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

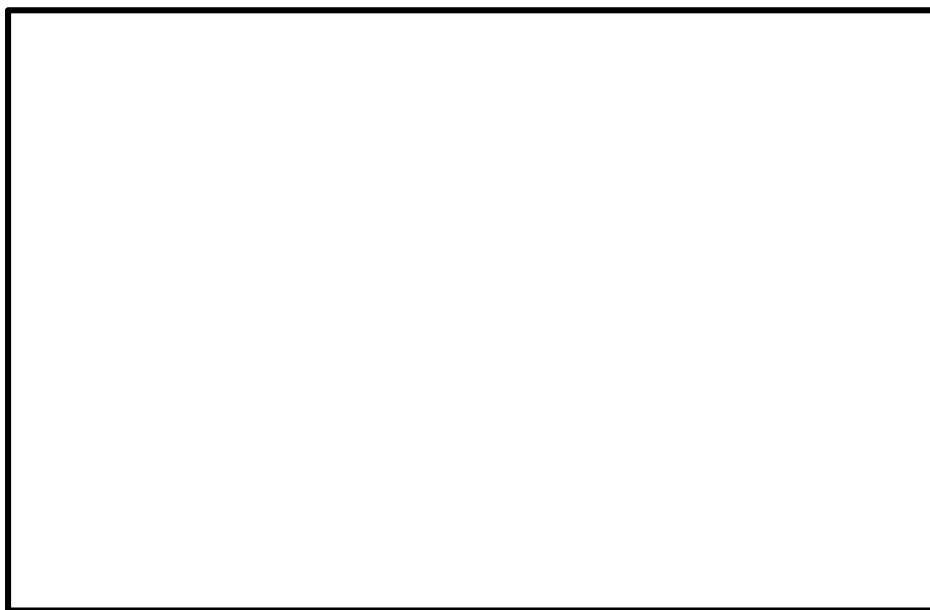


図 4-2 (2/2) 振動モード図 (No. 55) (1次モード 鉛直方向 0.051s)

#### 4.5 設計用地震力

換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) の評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に、換気空調系ダクト防護壁 (No. 55) の評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-7 換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6号機タービン建屋 T. M. S. L. 25.8	0.031	0.025	$C_H = 1.86^*$	$C_V = 1.06^*$

注記\* : 設計用最大応答加速度 I (基準地震動  $S_s$ )

表 4-8 換気空調系ダクト防護壁 (No. 50) 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)		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6号機タービン建屋 T. M. S. L. 25.8	0.031	0.025	$C_H = 1.86^*$	$C_V = 1.06^*$

注記\* : 設計用最大応答加速度 I (基準地震動  $S_s$ )



表 4-9 換気空調系ダクト防護壁 (No.55) 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所及び床面高さ (m)		6号機タービン建屋 T.M.S.L. 12.3		
固有周期 (s)		水平 : 0.05以下 鉛直 : 0.051 <sup>*1</sup>		
減衰定数 (%)		水平 : — 鉛直 : 1.0		
地震力		基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度 <sup>*2</sup>
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.051	—	—	1.47
2次 <sup>*3</sup>	0.045	—	—	—
動的地震力 <sup>*4</sup>		1.35	1.35	0.96

注記\*1 : 1次固有周期について記載。

\*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 I (基準地震動 S s) より得られる震度を示す。

\*3 : 固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

\*4 : 設計用最大応答加速度 I (基準地震動 S s) を示す。

表 4-10 換気空調系ダクト防護壁 (No.55) 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)		6号機タービン建屋 T.M.S.L. 12.3		
固有周期 (s)		水平 : 0.05以下 鉛直 : 0.051 <sup>*1</sup>		
減衰定数 (%)		水平 : — 鉛直 : 1.0		
地震力		基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度 <sup>*2</sup>
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.051	—	—	1.47
2次 <sup>*3</sup>	0.045	—	—	—
動的地震力 <sup>*4</sup>		1.35	1.35	0.96

注記\*1 : 1次固有周期について記載。

\*2 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 I (基準地震動 S s) より得られる震度を示す。

\*3 : 固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

\*4 : 設計用最大応答加速度 I (基準地震動 S s) を示す。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素でのミーゼス応力 $\sigma$ とする。

#### (2) 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 $N_t$ 、 $N_c$ 、せん断力 $Q_y$ 、 $Q_z$ 及び曲げモーメント $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ により各応力を次のように求める。

##### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

##### b. せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}} + \frac{M_x}{J}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}} + \frac{M_x}{J}$$

##### c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}$$

$$\sigma_{b_y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b_z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

##### d. 組合せ応力

###### (a) 圧縮又は引張り+曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合は $\sigma_c$ を $-\sigma_t$ に、 $f_c^*$ を $f_b^*$ とする。

###### (b) 圧縮又は引張り+曲げ+せん断

$$\max\left(\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}, \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}\right)$$

引張軸力の場合は $\sigma_c$ を $\sigma_t$ とする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は、解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端に生じる荷重  $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 、ねじりモーメント  $M_{bz}$  及び曲げモーメント  $M_{bx}$ 、 $M_{by}$  により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_z / n + M_{bx} / (j_x \cdot n_{fx}) + M_{by} / (j_y \cdot n_{fy})$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} + M_{bz} / (L \cdot n)$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 $f_t$ 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は $f_t$ 以下、又は、応力比の場合は1以下であること。

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

ただし、

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

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

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

### 4.8.3 アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重  $p$  及びせん断荷重  $q$  が許容値以下であること。また、引張応力比とせん断応力比の二乗和が1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との 組合せの場合
許容引張力 $p_a$	$\min(p_{a1}, p_{a3})$
許容せん断力 $q_a$	$\min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

$$\alpha_n = 0.5 \cdot \left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

なお、 $(c_n/L_e) \geq 1.0$  の場合は、 $(c_n/L_e) = 1.0$ 、 $L_e \geq 10d$  の場合は、 $L_e = 10d$  とする。

ボルトの基本平均付着強度  $\tau_{bavg}$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、カプセル方式・有機系の  $10 \cdot \sqrt{F_c/21}$  とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さ $L_e$ は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geq \frac{s \sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

換気空調系ダクト防護壁 (No. 50, No. 55) の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、**基準地震動 $S_s$** に対して十分な構造強度を有していること**により、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないこと**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。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため、記載を省略する。

【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	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		
換気空調系ダクト防護壁 (No. 50)	C	タービン建屋 T. M. S. L. 25. 8	0. 031	0. 025	C <sub>H</sub> =1. 86* <sup>1</sup>	C <sub>V</sub> =1. 06* <sup>1</sup>	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No. 55)	C	タービン建屋 T. M. S. L. 12. 3	0. 05 以下	0. 051	C <sub>H</sub> =1. 35* <sup>1</sup>	C <sub>V</sub> =0. 96* <sup>1</sup> 又は* <sup>2</sup>	—	40

注記\*1：設計用最大心管加速度 I (基準地震動 S<sub>s</sub>)

\*2：設計用床応答曲線 I (基準地震動 S<sub>s</sub>) から得られる値。

1.2 機器要目

機器名称	m (kg)	d (mm)	s. a (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>rx</sub>	n <sub>ry</sub>	L	j <sub>x</sub>	j <sub>y</sub>
換気空調系ダクト防護壁 (No. 50)									
換気空調系ダクト防護壁 (No. 55)									

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	P <sub>a</sub> (N)	q <sub>a</sub> (N)
防護鋼板	SS400					—	—
架構	SM490A					—	—
アンカボルト	SS400						

No.	材料	E (MPa)	$\nu'$	$\rho_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$	要素番号
50	SM490A	202000					11012, 13001
55	SM490A	202000					11020, 13001

	No. 50	No. 55
	要素番号	要素番号
	11012, 13001	11020, 13001
材料		
A (mm <sup>2</sup> )		
A <sub>s y</sub> (mm <sup>2</sup> )		
A <sub>s z</sub> (mm <sup>2</sup> )		
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )		
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )		
J (mm <sup>3</sup> )		



1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の応力 (単位: MPa)

No.	要素番号	節点番号	$\sigma$	
			基準地震動 S s	
50	407359	-		
55	401037	-		

1.3.2 架構の荷重

No.	要素番号	節点番号	(単位: N)		
			N <sub>t</sub> 基準地震動 S s	N <sub>c</sub> 基準地震動 S s	Q <sub>y</sub> 基準地震動 S s
50	11012	-			
	13001	-			
55	11020	-			
	13001	-			

注: 添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構のモーメント

No.	要素番号	節点番号	(単位: N・mm)		
			M <sub>x</sub> 基準地震動 S s	M <sub>y</sub> 基準地震動 S s	M <sub>z</sub> 基準地震動 S s
50	11012	-			
	13001	-			
55	11020	-			
	13001	-			

注: 添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 アンカボルトの荷重 (単位：N)

No.	要素番号	節点番号	R (単位：N)		
			R <sub>x</sub> 基準地震動 S <sub>s</sub>	R <sub>y</sub> 基準地震動 S <sub>s</sub>	R <sub>z</sub> 基準地震動 S <sub>s</sub>
50	—	2			
	—	4			
55	—	2			
	—	4			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.5 脚部のモーメント (単位：N・mm)

No.	要素番号	節点番号	M (単位：N・mm)		
			M <sub>b x</sub> 基準地震動 S <sub>s</sub>	M <sub>b y</sub> 基準地震動 S <sub>s</sub>	M <sub>b z</sub> 基準地震動 S <sub>s</sub>
50	—	2			
	—	4			
55	—	2			
	—	4			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.6 アンカボルトに作用する力 (単位：N)

No.	要素番号	節点番号	P		q	
			基準地震動 S s		基準地震動 S s	
50	-	2				
	-	4				
55	-	2				
	-	4				

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

No.	モード	方向	固有周期
50	1	水平	0.031
	2	鉛直	0.025
55	1	鉛直	0.051
	2	水平	0.045

(単位：MPa)

1.4.2 応力	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考	
						算出応力	許容応力		
No. 50	防護鋼板	SS400	組合せ	407359	-				
			引張り	13001	-				
			圧縮	13001	-				
			せん断	13001	-				
		SM490A	曲げ	11012	-				
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11012	-			単位：なし	
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11012	-				
			引張り	-	4			単位：N	
		アンカボルト	SS400	せん断	-		2		単位：N
				組合せ (引張り+せん断)	-		4		単位：なし

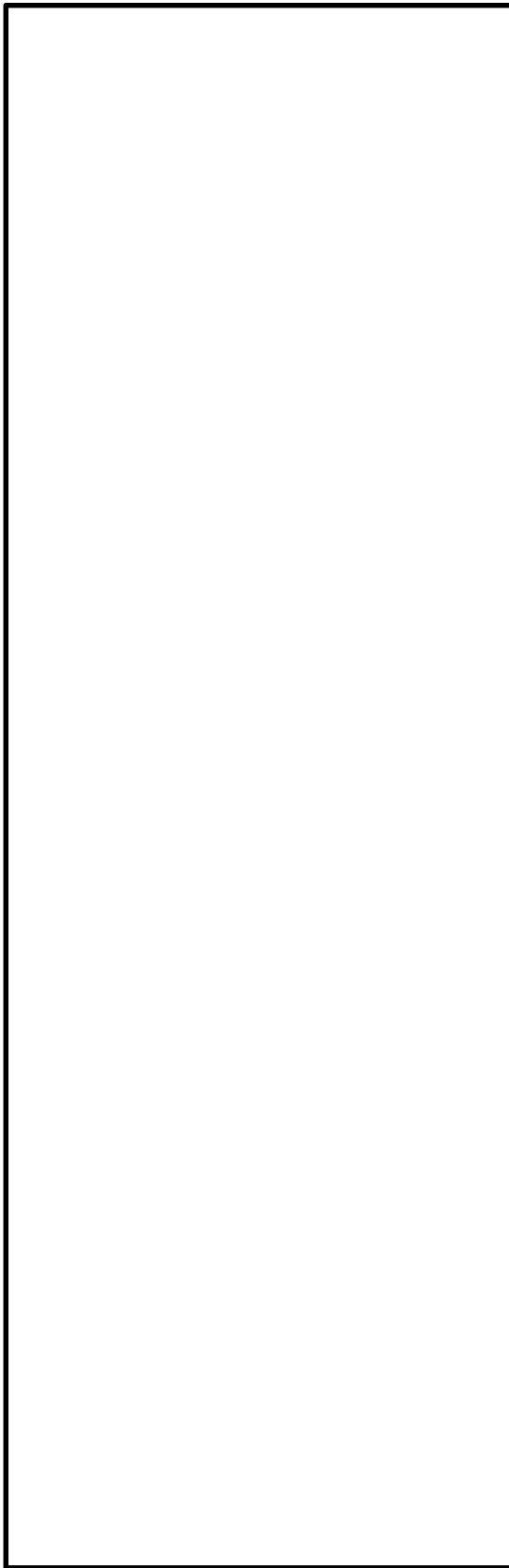
すべて許容応力以下である。



(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No. 55	防護鋼板	SS400	組合せ	401037	-	[Redacted]		
			引張り	13001	-			
			圧縮	13001	-			
			せん断	13001	-			
			曲げ	11020	-			
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11020	-			単位：なし
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11020	-			
			引張り	-	4			単位：N
			せん断	-	2			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	-	4			単位：なし

すべて許容応力以下である。



(2) 換気空調系ダクト防護壁 (コントロール建屋)

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 地震応答解析及び構造強度評価	11
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2 許容応力	11
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	22
4.6.1 応力の計算方法	22
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
4.8.1 防護鋼板の応力評価	24
4.8.2 架構の応力評価	24
4.8.3 アンカボルトの評価	25
5. 評価結果	26
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、**下位クラス施設である**換気空調系ダクト防護壁**(Cクラス施設)**が**基準地震動 $S_s$ による地震力**に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス**施設**であるコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

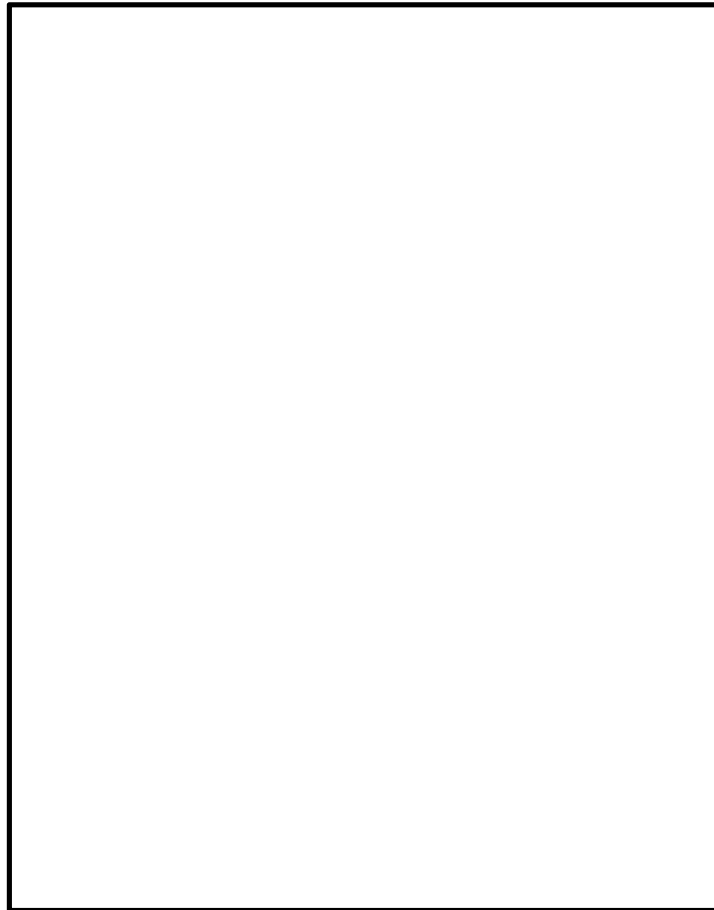


## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

換気空調系ダクト防護壁の設置位置を図 2-1 に示す。

換気空調系ダクト防護壁は、上位クラス施設であるコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等の上部に設置されており、落下時にコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1m

図 2-1 換気空調系ダクト防護壁の設置位置図

### 2.2 構造計画

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 (1/2) 構造計画

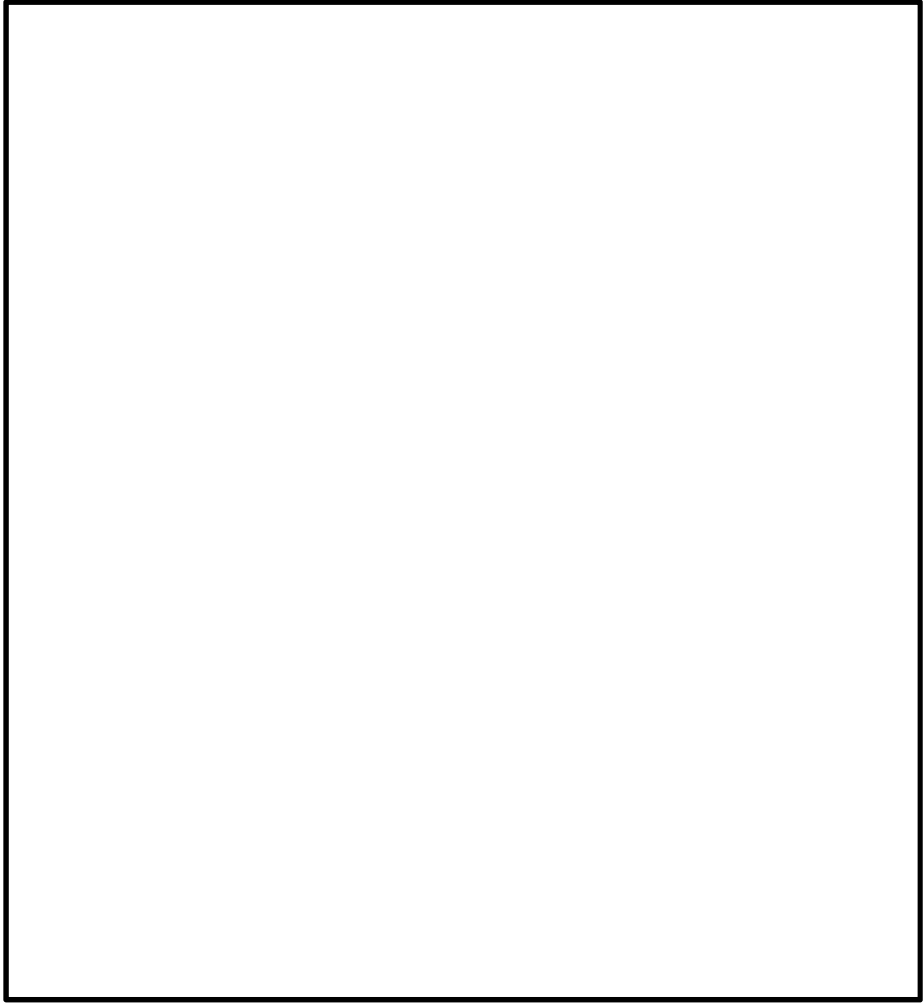
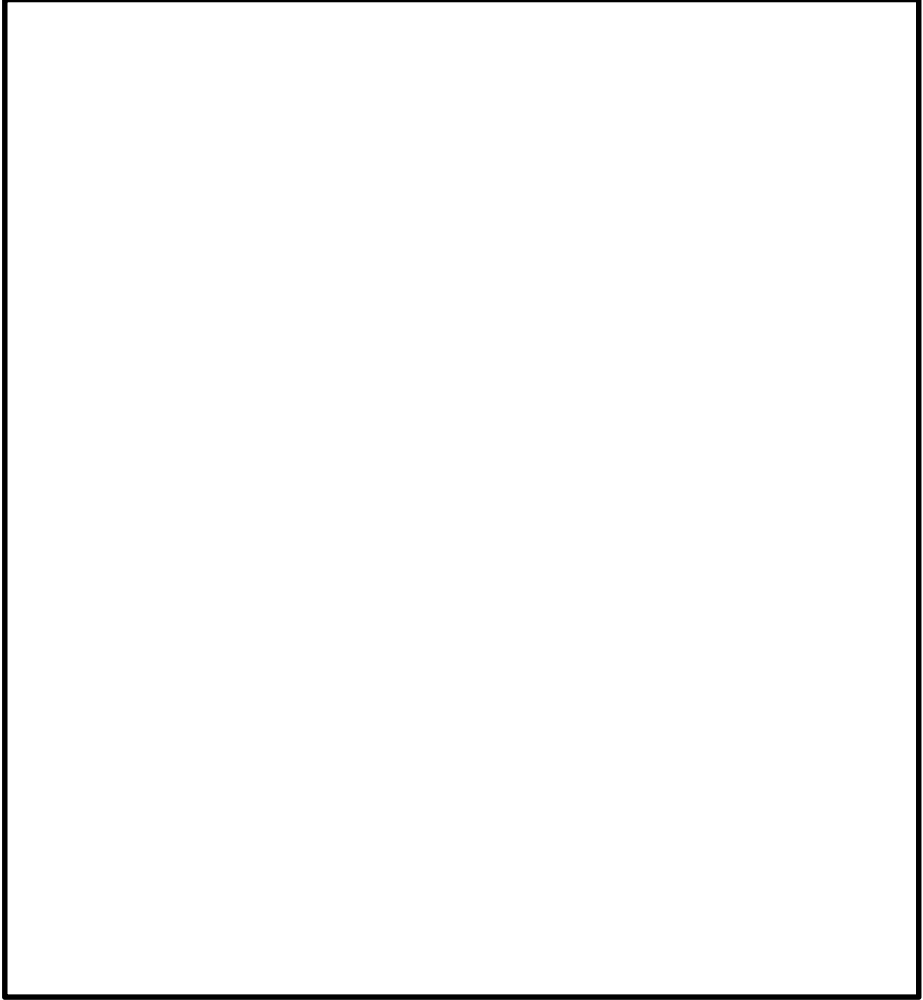
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	

表 2-1 (2/2) 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	

### 2.3 評価方針

換気空調系ダクト防護壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す換気空調系ダクト防護壁の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

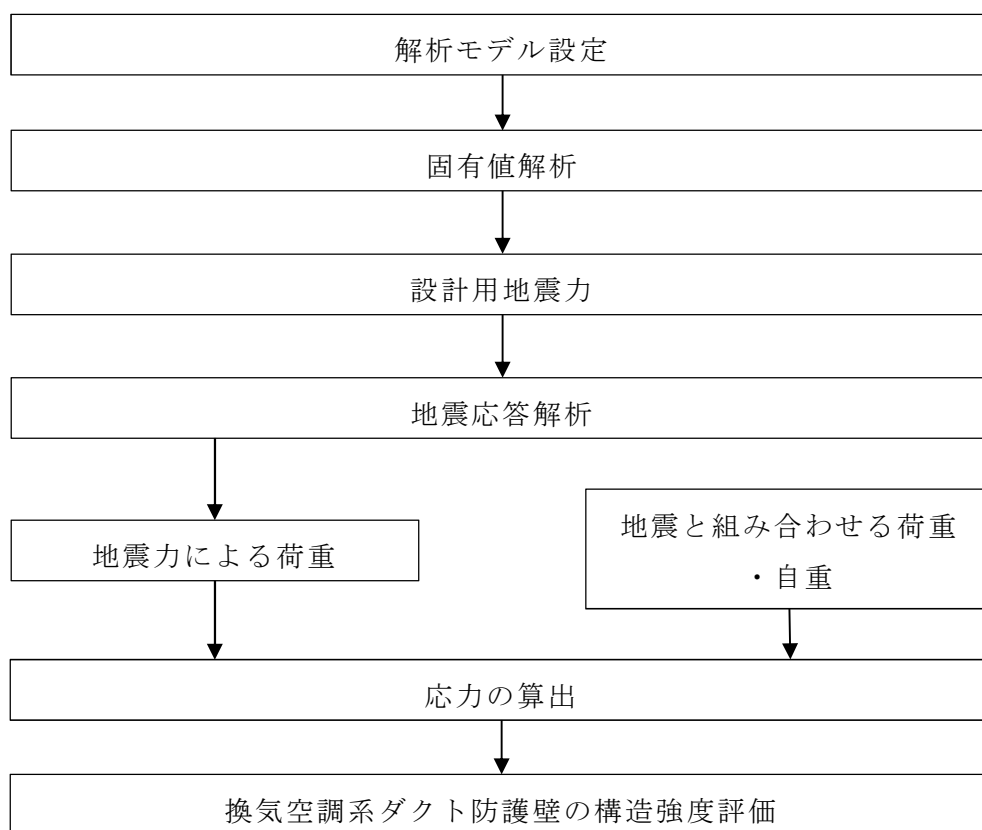


図 2-2 換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 2010年改定)

## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$s_c a$	接着系アンカボルトの断面積	mm <sup>2</sup>
A	架構の断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{qc}$	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm <sup>2</sup>
$A_s$	鋼板の単位長さ当たりの断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{sy}$	架構のせん断断面積 (y 軸)	mm <sup>2</sup>
$A_{sz}$	架構のせん断断面積 (z 軸)	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
$F_{sx}$	防護鋼板の膜力 (x 軸)	N
$F_{sy}$	防護鋼板の膜力 (y 軸)	N
$F_{sxy}$	防護鋼板のせん断力	N
$f_b$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_c$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_s$	架構の許容せん断応力	MPa
$f_t$	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
$\ell_k$	座屈長さ	mm
$L_{ce}$	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
$L_e$	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
$M_y$	架構の曲げモーメント (y 軸)	N・mm
$M_z$	架構の曲げモーメント (z 軸)	N・mm
$M_{sx}$	防護鋼板の曲げモーメント (x 軸)	N・mm
$M_{sy}$	防護鋼板の曲げモーメント (y 軸)	N・mm
$M_{sxy}$	防護鋼板のねじりモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
$m$	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
$n$	架構と床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待するアンカボルトの本数	—
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
$X, Y, Z$	絶対（節点）座標軸	—
$x, y, z$	局所（要素）座標軸	—
$Z_b$	鋼板の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	架構の断面係数（y軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	架構の断面係数（z軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_t$	鋼板のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	架構の限界細長比	—
$\lambda$	架構の有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	防護鋼板の組合せ応力	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	互いに直交する垂直応力	MPa
$N_c$	架構の軸力（圧縮）	N
$N_t$	架構の軸力（引張り）	N
$R_x$	ベースプレート部の反力（x軸）	N
$R_y$	ベースプレート部の反力（y軸）	N
$R_z$	ベースプレート部の反力（z軸）	N
$p$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの引張力	N
$p_a$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容引張力	N
$p_{a1}$	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1 本当当たりの許容引張応力	N
$p_{a3}$	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボル ト1本当当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
$q$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトのせん断力	N
$q_a$	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容せん断力	N
$q_{a1}$	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当当たりの許容せん断力	N
$q_{a2}$	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当当たりの許容せん断力	N
$q_{a3}$	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当当たりの許容せん断力	N
$Q_y$	架構のせん断力 (y 軸)	N
$Q_z$	架構のせん断力 (z 軸)	N
$\phi_1$	低減係数 長期：2/3 短期：1.0	—
$\phi_2$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\phi_3$	低減係数 長期：1/3 短期：2/3	—
$\alpha_n$	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数 (n = 1, 2, 3)	—
$c_n$	へりあき及びボルトピッチの1/2 (n = 1, 2, 3)	—
$c_{\sigma_{qa}}$	コンクリートの支圧強度	MPa
$c_{\sigma_t}$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
$s_{\sigma_{pa}}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
$s_{\sigma_{qa}}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
$\sigma_b$	架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{by}$	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
$\sigma_{bz}$	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
$\sigma_c$	架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_t$	架構に生じる引張応力	MPa
$\tau$	防護鋼板に生じるせん断応力	MPa
$\tau_a$	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
$\tau_{bavg}$	ボルトの基本平均付着強度	MPa
$\tau_k$	架構に生じるせん断応力	MPa
$\tau_y$	架構に生じるせん断応力 (y 軸)	MPa
$\tau_z$	架構に生じるせん断応力 (z 軸)	MPa



## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

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

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

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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 位を切捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、落下により、コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等が損傷することを防止するため、防護鋼板、架構及びアンカボルトについて実施する。換気空調系ダクト防護壁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. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 換気空調系ダクト防護壁の架構は、アンカボルトにより建屋躯体である床に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、換気空調系ダクト防護壁に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用するものとする。また、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せには、S R S S 法を適用する。
- (3) 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

換気空調系ダクト防護壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

換気空調系ダクト防護壁の許容応力は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4-3 に示す。

アンカボルトの許容応力は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010 年改定）」に基づき、算出したものを許容応力とする。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

換気空調系ダクト防護壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-2 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
その他	換気空調系ダクト防護壁	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$IV_A S$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4-3 許容応力 (その他支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>*1,*2</sup> (ボルト等以外)			
	一次応力			
IV <sub>A</sub> S	引張り	せん断	圧縮	曲げ
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		温度条件 (°C)	温度条件 (°C)				
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

表 4-5 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		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		温度条件 (°C)	温度条件 (°C)				
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

換気空調系ダクト防護壁の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 換気空調系ダクト防護壁を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。
- (2) 拘束条件として，基礎部の各軸方向を固定する。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。
- (3) 解析コード「NX NASTRAN」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 4-1 (1/3) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 11) の解析モデル

K6 ① VI-2-11-2-2-4(2) R0

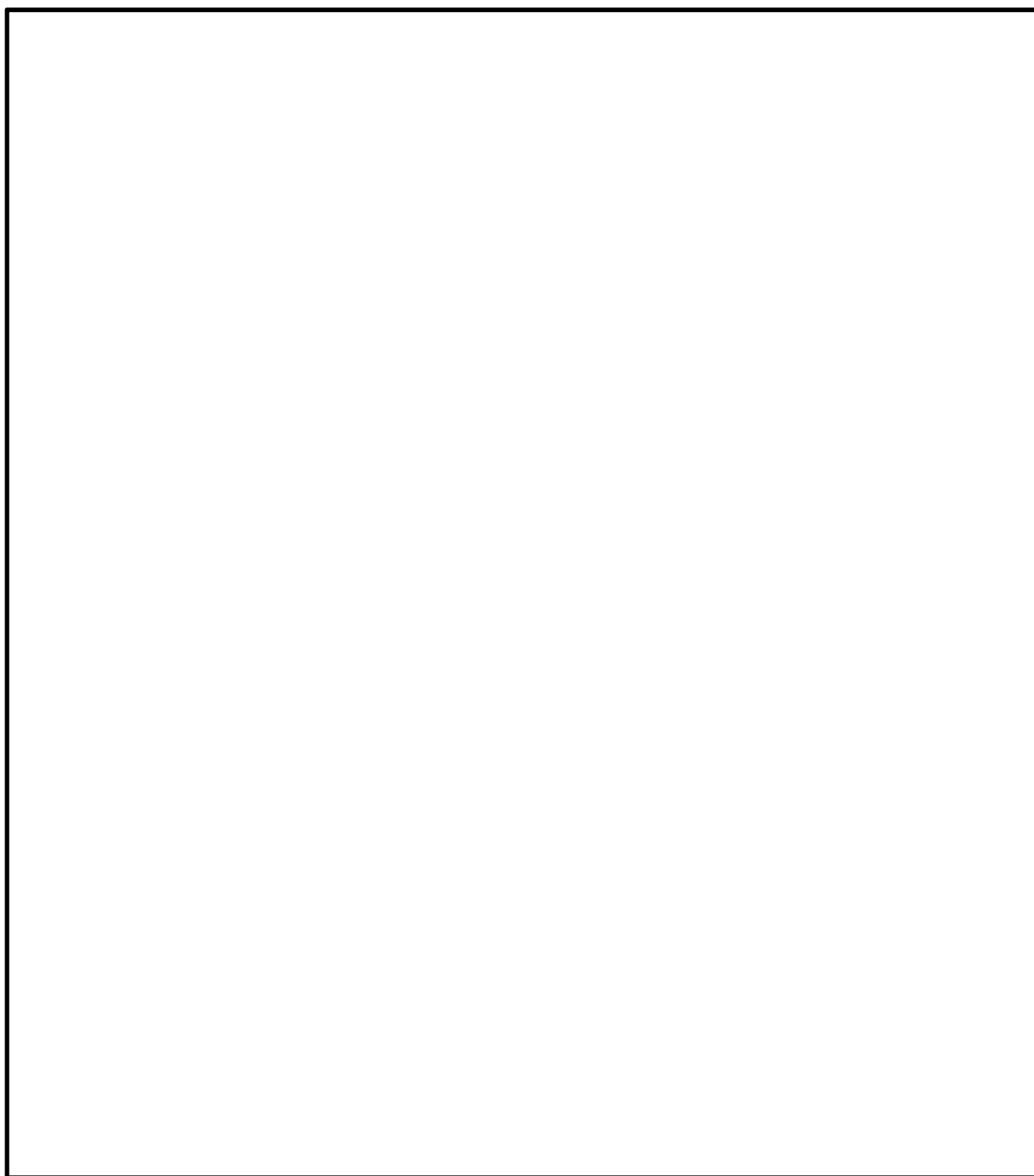


図 4-1 (2/3) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(A)) の解析モデル

K6 ① VI-2-11-2-2-4(2) R0

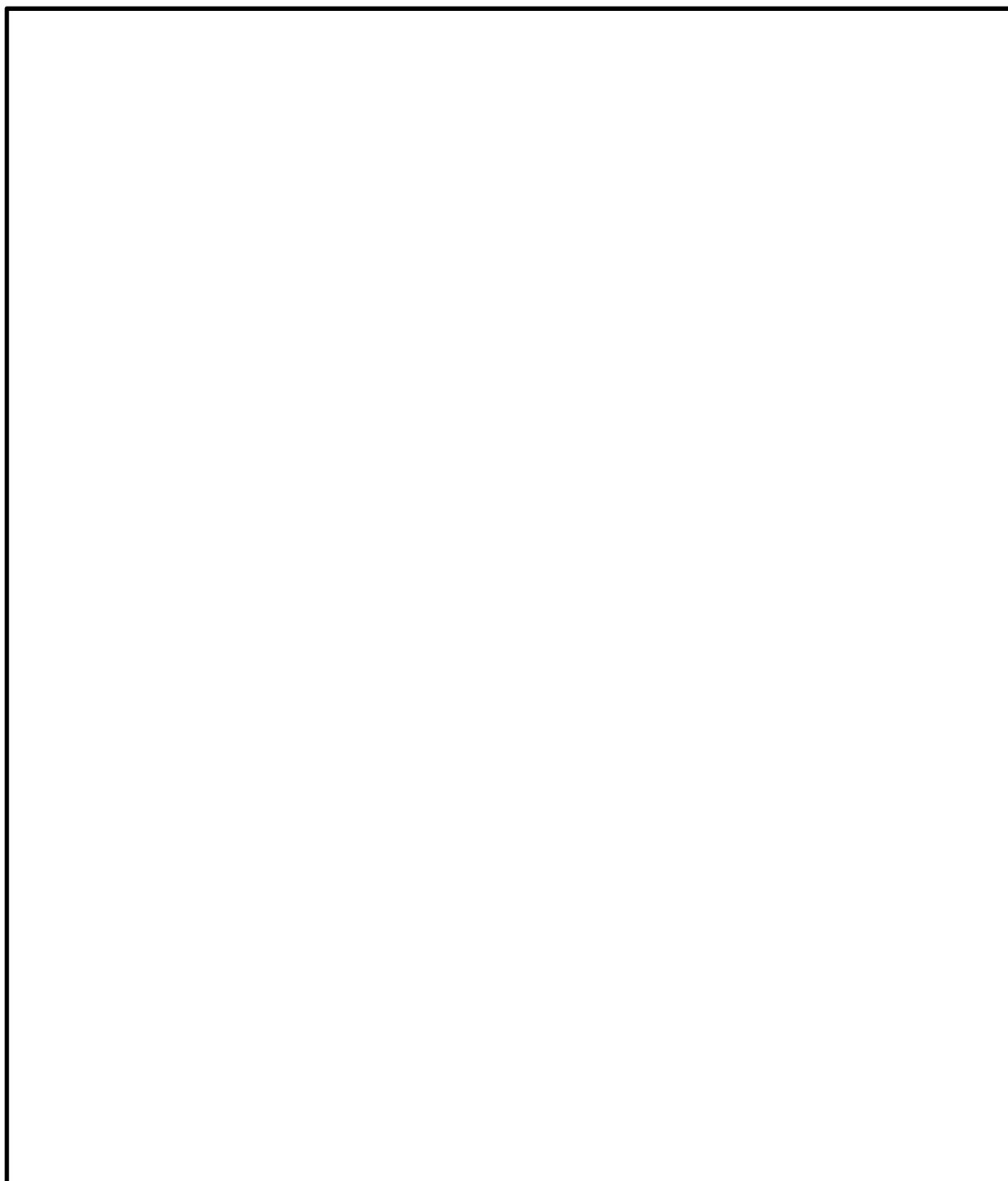


図 4-1 (3/3) 換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(B)) の解析モデル



#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6, 振動モード図を図 4-2 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

表 4-6 (1/3) 固有値解析結果 (No. 11)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1	水平	0.038	—	—	—
4	鉛直	0.010	—	—	—

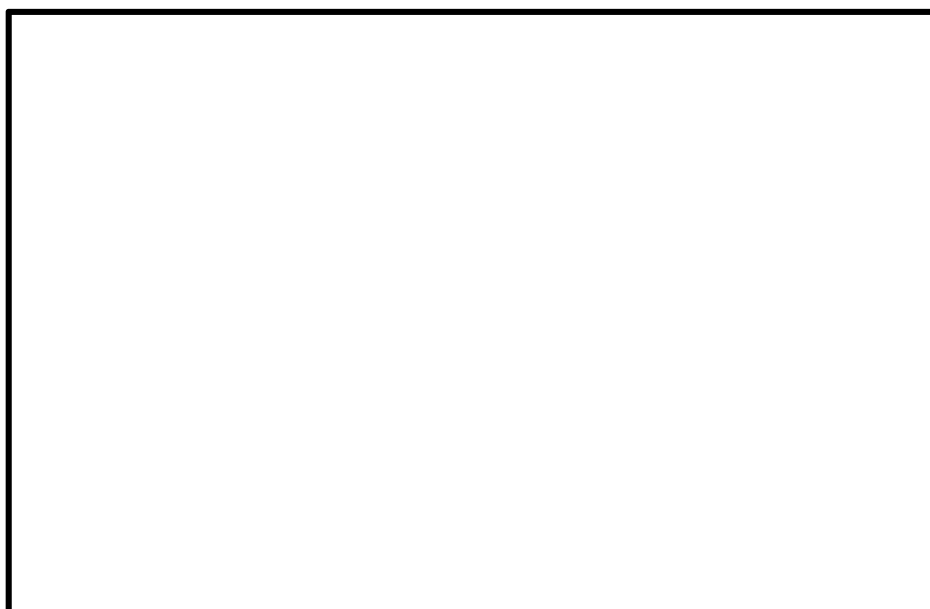


図4-2 (1/3) 振動モード図 (No. 11) (1次モード 水平方向 0.038s)

表 4-6 (2/3) 固有値解析結果 (No. 12(A))

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.028	—	—	—
8	鉛直	0.006	—	—	—

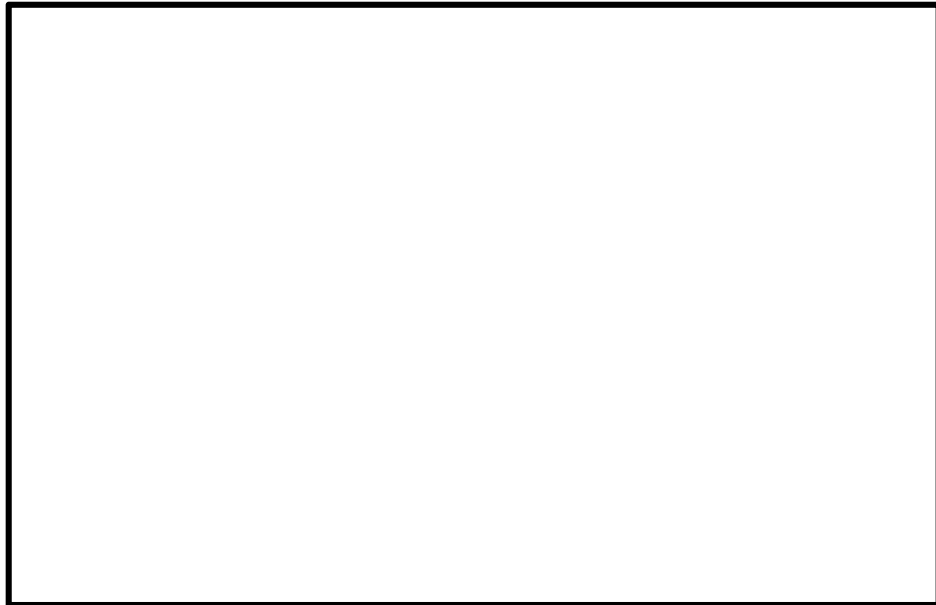


図4-2 (2/3) 振動モード図 (No. 12(A)) (1次モード 水平方向 0.028s)

K6 ① VI-2-11-2-2-4(2) R0

表 4-6 (3/3) 固有値解析結果 (No. 12(B))

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1	水平	0.034	—	—	—
21	鉛直	0.005	—	—	—

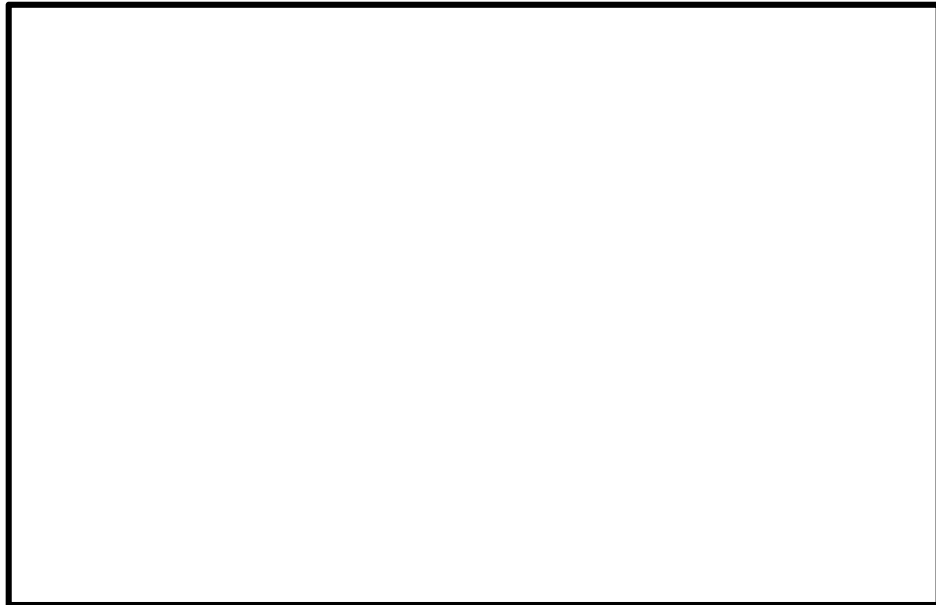


図4-2 (3/3) 振動モード図 (No. 12(B)) (1次モード 水平方向 0.034s)

K6 ① VI-2-11-2-2-4(2) R0

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

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

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

No.	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
11	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.038	0.010	$C_H = 1.88^*$	$C_V = 1.15^*$
12(A)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.028	0.006	$C_H = 1.88^*$	$C_V = 1.15^*$
12(B)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.034	0.005	$C_H = 1.88^*$	$C_V = 1.15^*$

注記\*：設計用最大応答加速度 I（基準地震動  $S_s$ ）

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

No.	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
11	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.038	0.010	$C_H = 1.88^*$	$C_V = 1.15^*$
12(A)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.028	0.006	$C_H = 1.88^*$	$C_V = 1.15^*$
12(B)	6, 7号機 コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1	0.034	0.005	$C_H = 1.88^*$	$C_V = 1.15^*$

注記\*：設計用最大応答加速度 I（基準地震動  $S_s$ ）

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素での膜力 $F_{s x}$ 、 $F_{s y}$ 、せん断力 $F_{s x y}$ 、曲げモーメント $M_{s x}$ 、 $M_{s y}$ 及びねじりモーメント $M_{s x y}$ により組合せ応力を次のように求める。

##### a. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau^2}$$

ここで、

$$\sigma_x = \frac{F_{s x}}{A_s} \pm \frac{M_{s x}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{s y}}{A_s} \pm \frac{M_{s y}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{s x y}}{A_s} \pm \frac{M_{s x y}}{Z_t}$$

#### (2) 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 $N_t$ 、 $N_c$ 、せん断力 $Q_y$ 、 $Q_z$ 及び曲げモーメント $M_y$ 、 $M_z$ により各応力を次のように求める。

##### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

##### b. せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s z}}$$

##### c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{b y} + \sigma_{b z}$$

$$\sigma_{b y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d. 組合せ応力

(a) 圧縮+曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

(b) 引張り+曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b^*}\right)$$

(c) 曲げ+せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}}{1.5 \cdot f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合は  $\sigma_c$  を  $\sigma_t$  とする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は、解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力  $R_x$ 、 $R_y$  及び  $R_z$  により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_x$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}$$

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 $f_t$ 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は1以下であること。

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

ただし、

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

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

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

### 4.8.3 アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重  $p$  及びせん断荷重  $q$  が許容値以下であること。また、引張応力比とせん断応力比の二乗和が 1 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との 組合せの場合
許容引張力 $p_a$	$\min(p_{a1}, p_{a3}) \cdot n_f$
許容せん断力 $q_a$	$\min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}) \cdot n$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

$$\alpha_n = 0.5 \cdot \left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

なお、 $(c_n/L_e) \geq 1.0$  の場合は、 $(c_n/L_e) = 1.0$ 、 $L_e \geq 10d$  の場合は、 $L_e = 10d$  とする。

ボルトの基本平均付着強度  $\tau_{bavg}$  は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、カプセル方式・有機系の  $10 \cdot \sqrt{F_c/21}$  とする。



短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さ $L_e$ は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geq \frac{s \sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

換気空調系ダクト防護壁 (No. 11, No. 12 (A), No. 12 (B)) の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、**基準地震動 $S_s$** に対して十分な構造強度を有していること**により、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないこと**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。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため、記載を省略する。

【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	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		
換気空調系ダクト防護壁 (No. 11)	C	コントロール建屋 T. M. S. L. 24. 1	0. 038	0. 010	C <sub>H</sub> =1. 88*	C <sub>V</sub> =1. 15*	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(A))	C	コントロール建屋 T. M. S. L. 24. 1	0. 028	0. 006	C <sub>H</sub> =1. 88*	C <sub>V</sub> =1. 15*	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No. 12(B))	C	コントロール建屋 T. M. S. L. 24. 1	0. 034	0. 005	C <sub>H</sub> =1. 88*	C <sub>V</sub> =1. 15*	—	40

注記\* : 設計用最大応答加速度 I (基準地震動 S s)

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	s e a (mm <sup>2</sup> )	n		n i	
			No. 11	No. 12(A)	No. 11	No. 12(A)
No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)	No. 11	No. 12(B)	No. 11	No. 12(B)

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	P <sub>a</sub> (N)		q <sub>a</sub> (N)		
						No. 11	No. 12(A)	No. 12(B)	No. 11	No. 12(A)
防護鋼板	SUS304					—	—	—	—	—
架構	SUS304					—	—	—	—	—
アンカボルト	SUS304									

No.	材料	E (MPa)	$\nu'$	$\rho_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$	要素番号
11	SUS304	194000					8, 24
12 (A)	SUS304	194000			76		
12 (B)	SUS304	194000			38		

	No. 11	No. 12 (A)	No. 12 (B)
	要素番号	要素番号	要素番号
	8, 24	76	38
材料			
A (mm <sup>2</sup> )			
Z y (mm <sup>3</sup> )			
Z z (mm <sup>3</sup> )			

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の荷重

No.	要素 番号	節点 番号	(単位：N)		
			$F_{sx}$ 基準地震動 $S_s$	$F_{sy}$ 基準地震動 $S_s$	$F_{sxy}$ 基準地震動 $S_s$
11	978	—			
12(A)	399	—			
12(B)	1150	—			

注：添字  $x$ ,  $y$  は要素に与えられた座標軸。

1.3.2 鋼板のモーメント

No.	要素 番号	節点 番号	(単位：N・mm)		
			$M_{sx}$ 基準地震動 $S_s$	$M_{sy}$ 基準地震動 $S_s$	$M_{sxy}$ 基準地震動 $S_s$
11	978	—			
12(A)	399	—			
12(B)	1150	—			

注：添字  $x$ ,  $y$  は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構の荷重 (単位：N)

No.	要素 番号	節点 番号	N <sub>t</sub>			N <sub>c</sub>			Q <sub>y</sub>			Q <sub>z</sub>		
			基準地震動 S <sub>s</sub>			基準地震動 S <sub>s</sub>			基準地震動 S <sub>s</sub>			基準地震動 S <sub>s</sub>		
11	8	—	[Redacted Content]											
	24	—												
	63	—												
12(A)	76	—												
	122	—												
12(B)	38	—												
	260	—												

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 架構のモーメント (単位：N・mm)

No.	要素 番号	節点 番号	M <sub>y</sub>			M <sub>z</sub>		
			基準地震動 S <sub>s</sub>			基準地震動 S <sub>s</sub>		
11	8	—	[Redacted Content]					
	24	—						
	63	—						
12(A)	76	—						
	122	—						
12(B)	38	—						
	260	—						

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.5 アンカボルトの荷重 (単位：N)

No.	要素番号	節点番号	R <sub>x</sub>		R <sub>y</sub>		R <sub>z</sub>	
			基準地震動 S <sub>s</sub>		基準地震動 S <sub>s</sub>		基準地震動 S <sub>s</sub>	
11	-	4						
12(A)	-	31						
12(B)	-	3						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.6 アンカボルトに作用する力 (単位：N)

No.	要素番号	節点番号	P		q	
			基準地震動 S <sub>s</sub>		基準地震動 S <sub>s</sub>	
11	-	4				
12(A)	-	31				
12(B)	-	3				

1.4 結論

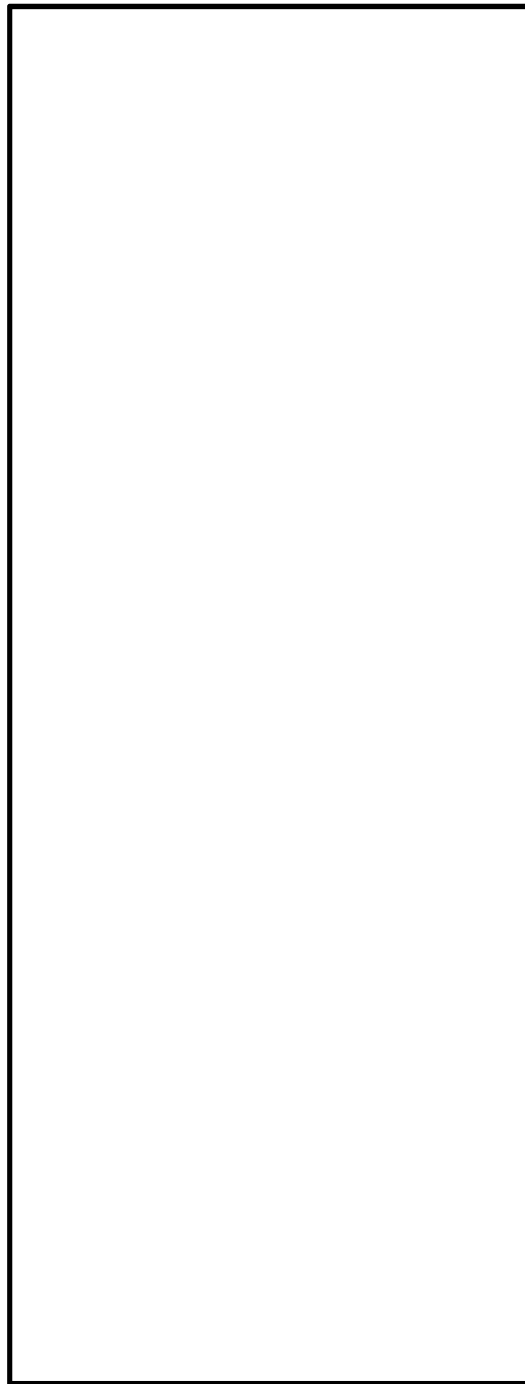
1.4.1 固有周期 (単位：s)

No.	モード	方向	固有周期
11	1	水平	0.038
	4	鉛直	0.010
12(A)	1	水平	0.028
	8	鉛直	0.006
12(B)	1	水平	0.034
	21	鉛直	0.005

(単位：MPa)

1.4.2 応力	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No.11	防護鋼板	SUS304	組合せ	978	—	[Redacted]		
			引張り	8	—			
			圧縮	8	—			
			せん断	63	—			
			曲げ	24	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	8	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	24	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	8	—			単位：なし
			引張り	—	4			単位：N
			せん断	—	4			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	4			単位：なし

すべて許容応力以下である。



(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No. 12 (A)	防護鋼板	SUS304	組合せ	399	—	[Redacted]		
			引張り	76	—			
			圧縮	76	—			
			せん断	122	—			
			曲げ	76	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	76	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	76	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	76	—			単位：なし
			引張り	—	31			単位：N
			せん断	—	31			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	31			単位：なし

すべて許容応力以下である。



(単位：MPa)

	部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s		備考
						算出応力	許容応力	
No. 12 (B)	防護鋼板	SUS304	組合せ	1150	—	[Redacted]		
			引張り	38	—			
			圧縮	38	—			
			せん断	260	—			
			曲げ	38	—			
			組合せ (圧縮+曲げ)	38	—			単位：なし
			組合せ (引張り+曲げ)	38	—			単位：なし
			組合せ (曲げ+せん断)	38	—			単位：なし
			引張り	—	3			単位：N
			せん断	—	3			単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	3			単位：なし

すべて許容応力以下である。

