

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-2-051 改0
提出年月日	2023年12月13日

VI-2-11-2-2-5 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震性についての
計算書

KG ① VI-2-11-2-2-5 R0

2023年12月

東京電力ホールディングス株式会社

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	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	20
4.6.1 応力の計算方法	20
4.7 計算条件	22
4.8 応力の評価	22
4.8.1 防護鋼板の応力評価	22
4.8.2 架構の応力評価	22
4.8.3 アンカボルトの評価	23
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	24

1. 概要

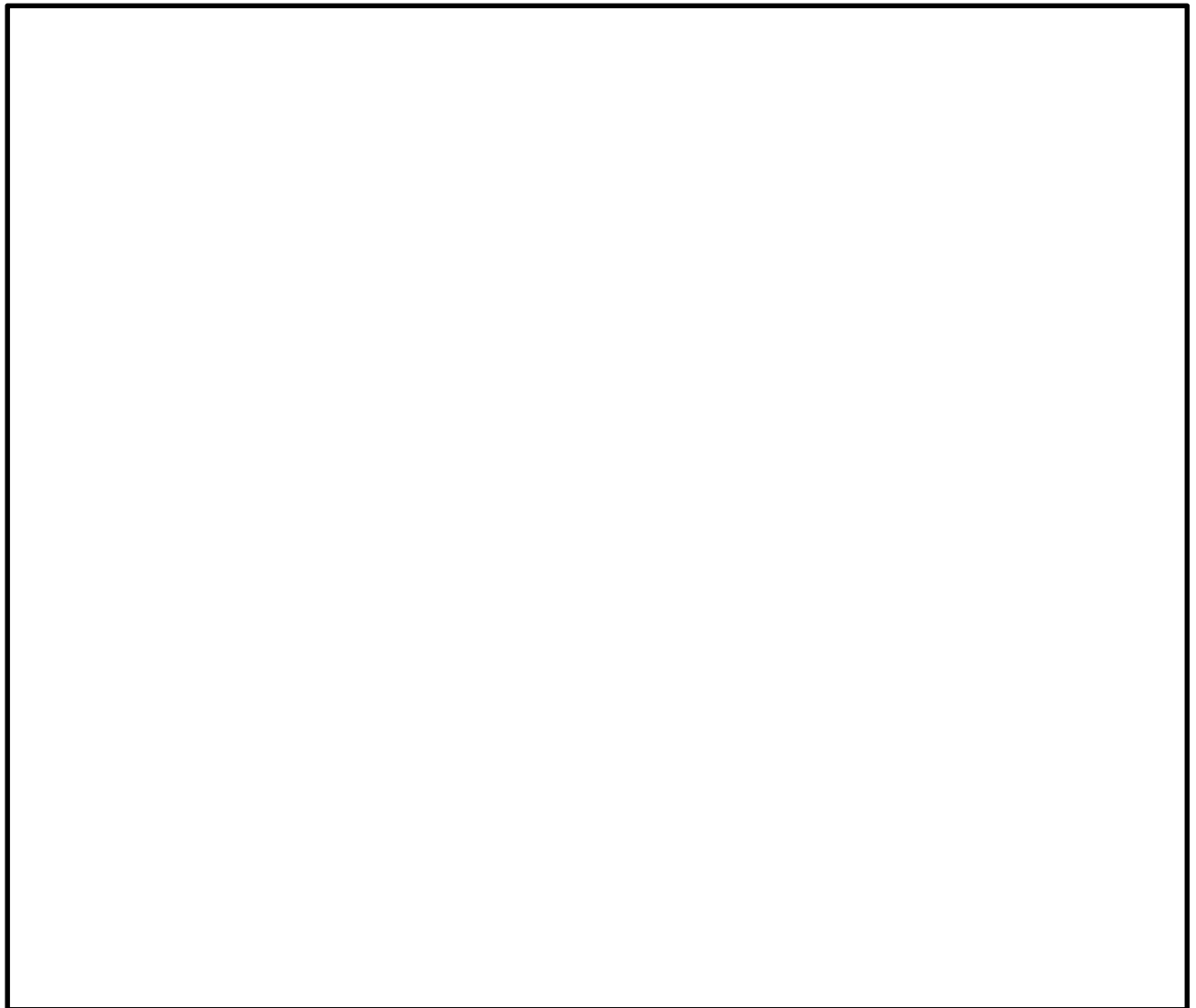
本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、**下位クラス施設である**原子炉補機冷却海水系配管防護壁**(Cクラス施設)**が**基準地震動 S_s による地震力**に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス**施設**である原子炉補機冷却海水系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の設置位置を図2-1に示す。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁は、上位クラス施設である原子炉補機冷却海水系配管の上部に設置されており、落下時に原子炉補機冷却海水系配管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 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の設置位置図

2.2 構造計画

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉補機冷却海水系配管防護壁は、アンカボルトにより建屋躯体である壁，床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> <p style="text-align: center;">原子炉補機冷却海水系配管防護壁</p>

2.3 評価方針

原子炉補機冷却海水系配管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」にて示す原子炉補機冷却海水系配管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。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震評価フローを図2-2に示す。

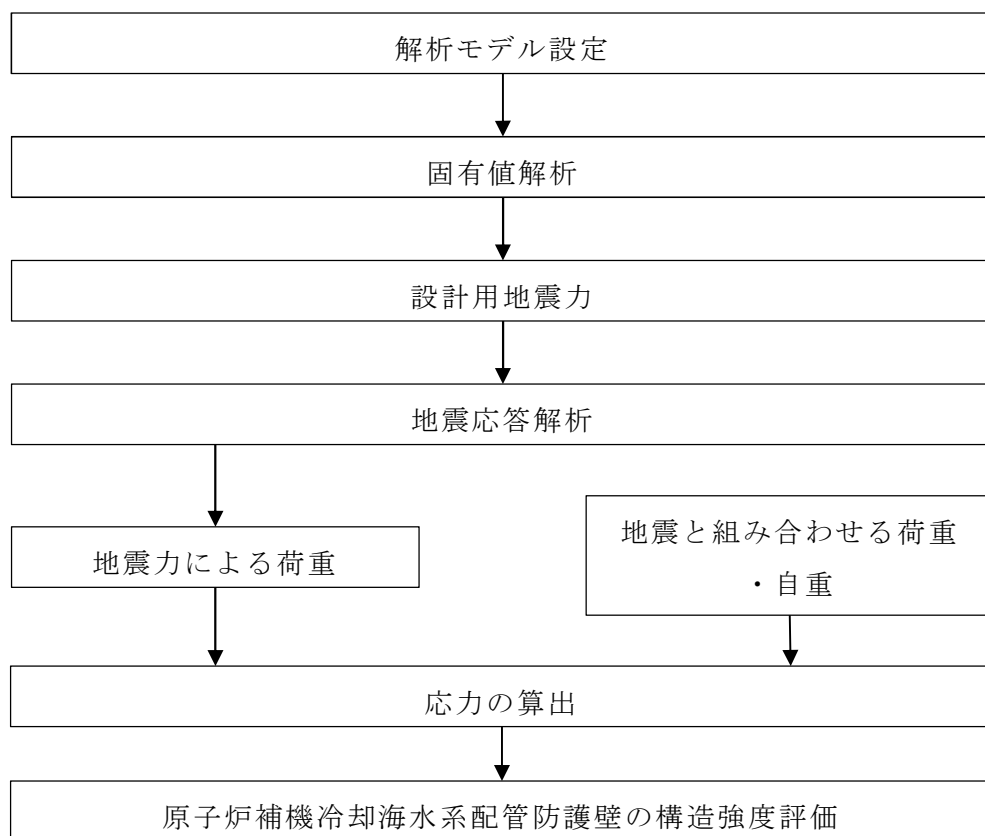


図2-2 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震評価フロー

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^2
A	架構の断面積	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	mm^2
$A_{s y}$	架構のせん断断面積 (y 軸)	mm^2
$A_{s z}$	架構のせん断断面積 (z 軸)	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
ℓ_k	座屈長さ	mm
J	架構の極断面係数	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	架構と壁及び床の取付部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 _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 _y	架構の断面係数(y軸)	mm ³
Z _z	架構の断面係数(z軸)	mm ³
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 _{fx}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数(x軸)	—
n _{fy}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数(y軸)	—
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荷重(x軸)	N
R _y	ベースプレート部の荷重(y軸)	N
R _z	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本当たりの引張力	N
p _a	接着系アンカボルト1本当たりの許容引張力	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
ϕ_1	低減係数 長期 : 2/3 短期 : 1.0	—
ϕ_2	低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3	—
ϕ_3	低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3	—
α_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
σ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
σ_{bz}	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
σ_c	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架構に生じる引張応力	MPa
τ_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
τ_{bavg}	ボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_k	架構に生じるせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じるせん断応力 (y 軸)	MPa
τ_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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*3}	四捨五入 小数点以下第1位 ^{*2}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
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 ^{*5}	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

原子炉補機冷却海水系配管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、原子炉補機冷却海水系配管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。原子炉補機冷却海水系配管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) 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の架構は、アンカボルトにより建屋躯体である壁、床に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、原子炉補機冷却海水系配管防護壁に対して水平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

原子炉補機冷却海水系配管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

原子炉補機冷却海水系配管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

原子炉補機冷却海水系配管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	原子炉補機冷却海水系配管防護壁	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	原子炉補機冷却海水系配管防護壁	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$IV_A S$

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 ^{*1, *2} (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		(°C)					
防護鋼板	SS400 []	周囲環境温度	40	—	[]	[]	—
防護鋼板（リブ）	SS400 []	周囲環境温度	40	—			—
架構	SS400 []	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400 []	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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		(°C)					
防護鋼板	SS400 []	周囲環境温度	40	—	[]	[]	—
防護鋼板（リブ）	SS400 []	周囲環境温度	40	—			—
架構	SS400 []	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400 []	周囲環境温度	40	—			—

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉補機冷却海水系配管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【原子炉補機冷却海水系配管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) 原子炉補機冷却海水系配管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，架構の壁及び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。

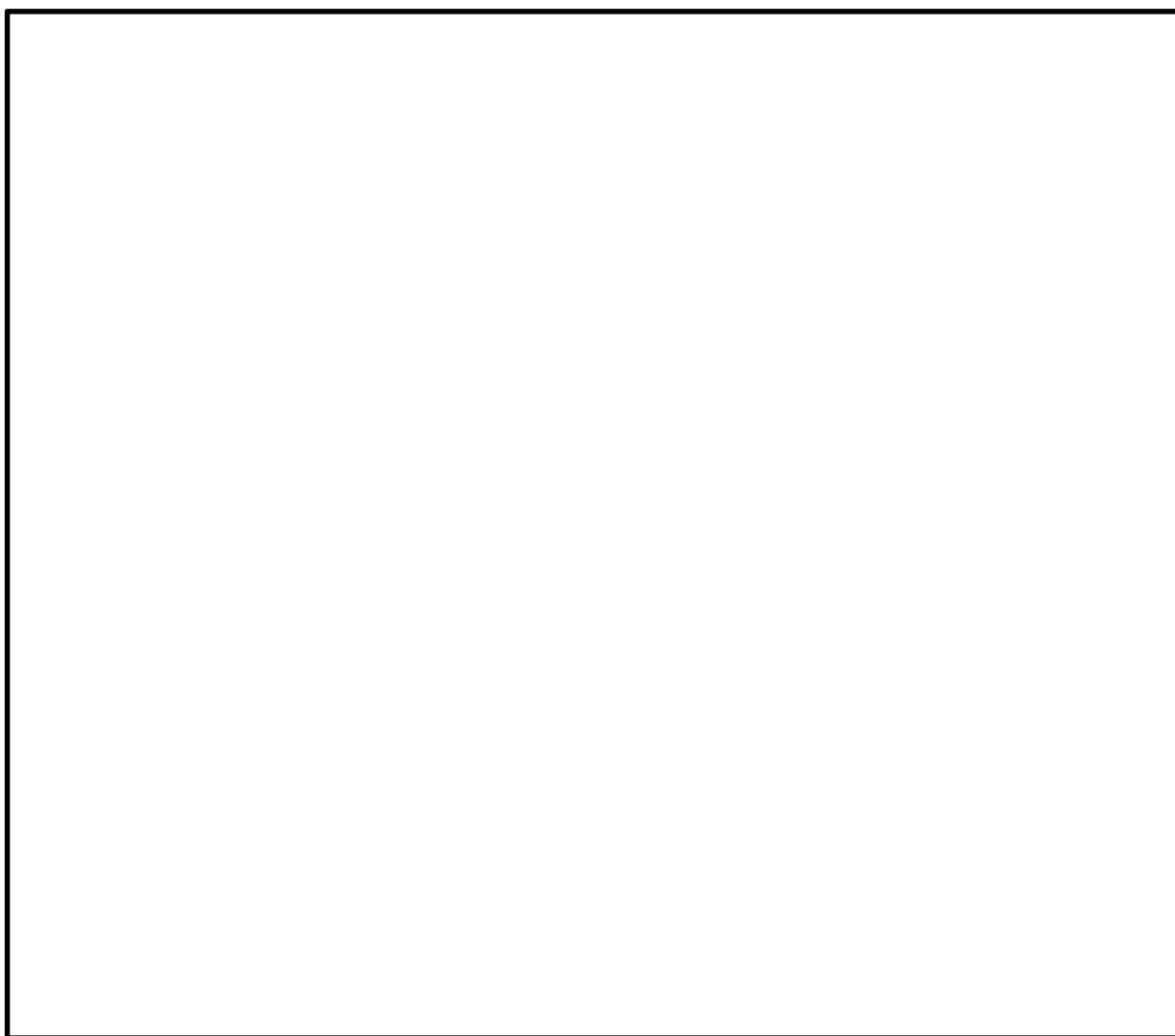


図4-1 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の解析モデル

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。

水平方向は，1次で卓越し，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。鉛直方向は，6次モードで卓越し，固有周期は0.05秒以下であり，剛であることを確認した。

表4-6 固有値解析結果

モード	卓越するモード*1	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1	水平	0.077	—	1.623	—
2	—	0.063	—	0.039	—
3	—	0.061	—	0.644	—
4	—	0.060	—	0.124	—
5	—	0.060	—	0.392	—
6	鉛直	0.049	—	—	—

注記*1：刺激係数が最大となるものを，卓越する振動モードとして選定する。

*2：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 (1/5) 振動モード図 (1次モード 水平方向 0.077s)

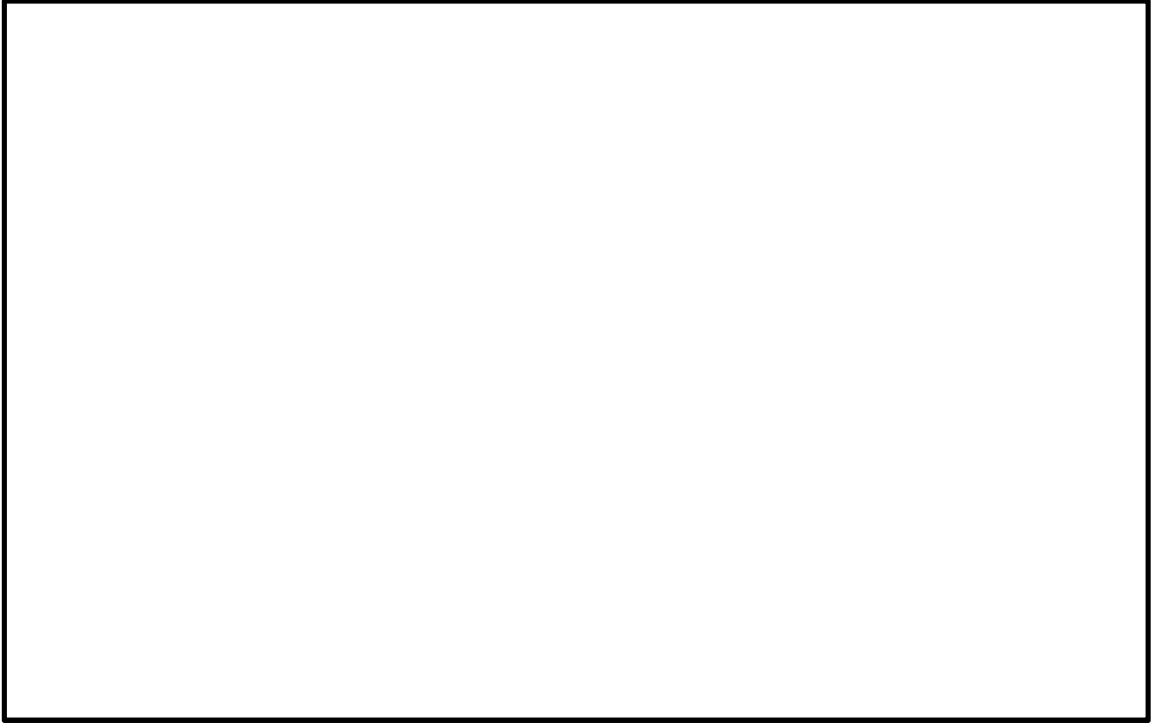


図 4-2 (2/5) 振動モード図 (2 次モード 鉛直方向 0.063s)

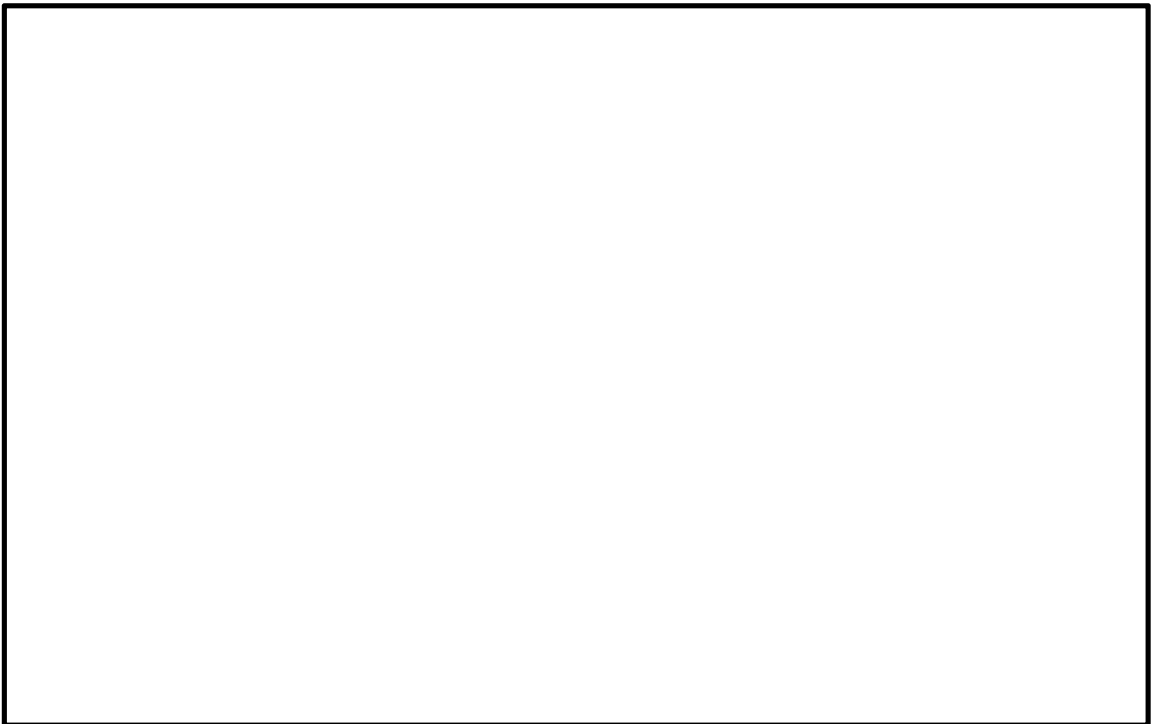


図 4-2 (3/5) 振動モード図 (3 次モード 水平方向 0.061s)

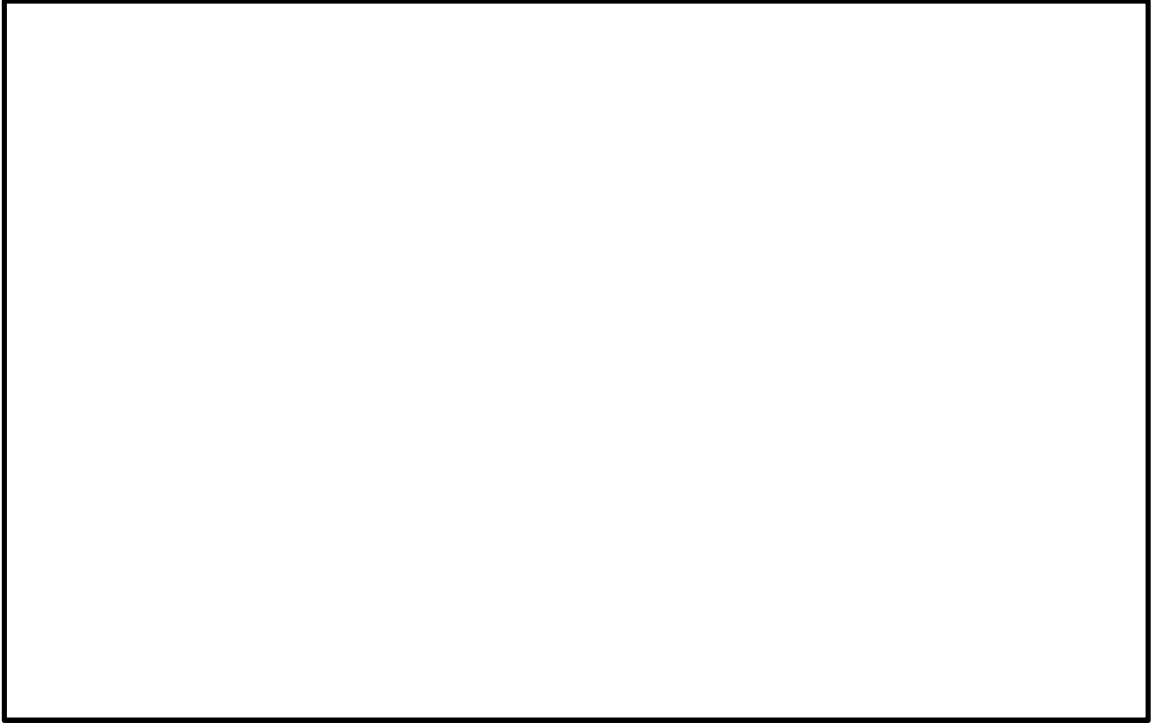


図 4-2 (4/5) 振動モード図 (4 次モード 水平方向 0.060s)

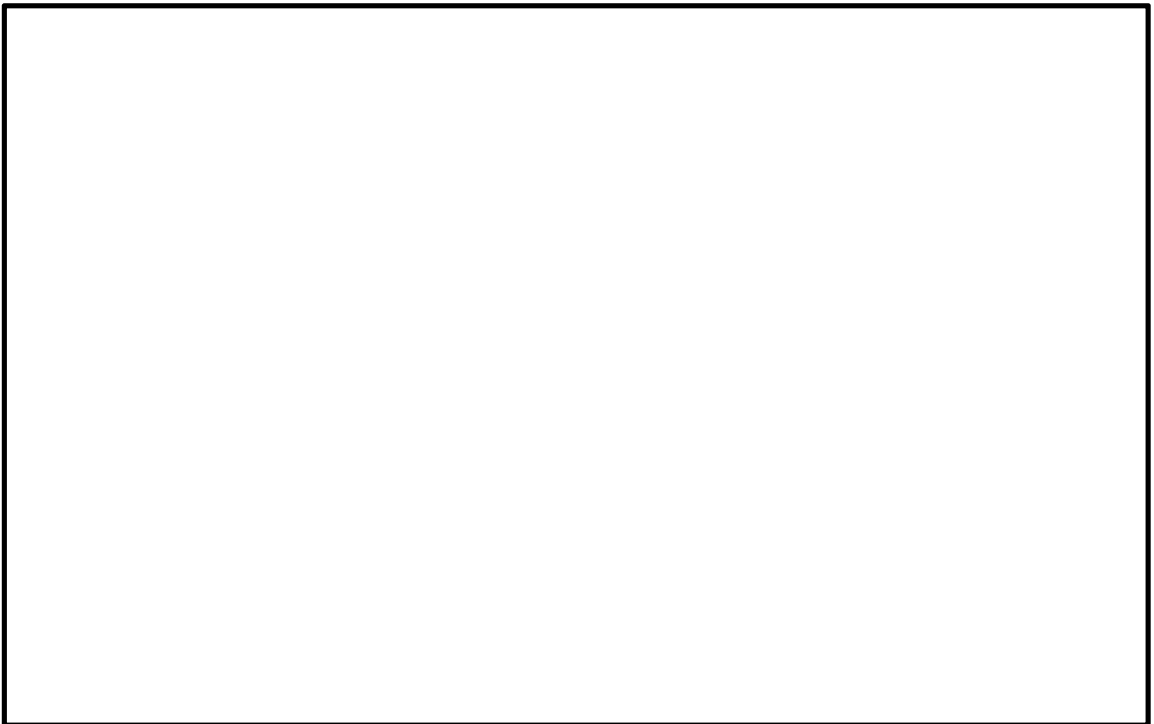


図 4-2 (5/5) 振動モード図 (5 次モード 水平方向 0.060s)

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。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 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 (T. M. S. L. 20.4* ¹)		
固有周期 (s)		水平 : 0.077* ² 鉛直 : 0.05以下		
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : —		
地震力		基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ³		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.077	2.73	2.73	—
2次	0.063	2.66	2.66	—
3次	0.061	2.66	2.66	—
4次	0.060	2.39	2.39	—
5次	0.060	2.39	2.39	—
6次* ⁴	0.049	—	—	—
動的地震力* ⁵		1.76	1.76	1.02

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載。

*3 : 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。

*4 : 固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

*5 : 設計用最大応答加速度 I（基準地震動 S s）を示す。

表4-8 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 (T.M.S.L. 20.4 ^{*1})		
固有周期 (s)		水平：0.077 ^{*2} 鉛直：0.05以下		
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1次	0.077	2.73	2.73	—
2次	0.063	2.66	2.66	—
3次	0.061	2.66	2.66	—
4次	0.060	2.39	2.39	—
5次	0.060	2.39	2.39	—
6次 ^{*4}	0.049	—	—	—
動的地震力 ^{*5}		1.76	1.76	1.02

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載。

*3：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。

*4：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

*5：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 σ 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 σ_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 σ_c を σ_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_{b_z} 及び曲げモーメント M_{b_x} 、 M_{b_y} により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_z / n + M_{b_x} / (j_x \cdot n_{f_x}) + M_{b_y} / (j_y \cdot n_{f_y})$$

b. せん断荷重

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

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【原子炉補機冷却海水系配管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	$\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
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、

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

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

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

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 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_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。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_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 τ_{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

原子炉補機冷却海水系配管防護壁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。

【原子炉補機冷却海水系配管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		
原子炉補機冷却海水系配管防護壁	C	タービン建屋 T. M. S. L. 12.3 (T. M. S. L. 20.4*)	0.077	0.05 以下	C _H =1.76* ² 又は* ³	C _V =1.02* ²	—	40

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 設計用最大応答加速度 I (基準地震動 S_s)

*3 : 設計用床応答曲線 I (基準地震動 S_s) から得られる値。

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	^{s e} a (mm ²)	n	n _{f x}	n _{f y}	L	j _x	j _y

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p _a (N)	q _a (N)
防護鋼板	SS400					—	—
防護鋼板 (リブ)	SS400					—	—
架構	SS400					—	—
アンカボルト	SS400					—	—

材料	E (MPa)	ν	ρ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
SS400	202000					11021, 11216

	要素番号
	11021, 11022, 11216
材料	
A (mm ²)	
A _{s y} (mm ²)	
A _{s z} (mm ²)	
Z _y (mm ³)	
Z _z (mm ³)	
J (mm ³)	

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の応力 (単位: MPa)

要素番号	節点番号	σ
		基準地震動 S s
405790	—	

1.3.2 架構の荷重 (単位: N)

要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
		基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
11021	—				
11022	—				
11216	—				

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 (単位: N・mm)

要素番号	節点番号	M_x	M_y	M_z
		基準地震動 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
11021	—			
11022	—			
11216	—			

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)

要素番号	節点番号	R_x	R_y	R_z
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
—	2			
—	6			

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)

要素番号	節点番号	M_{bx}	M_{by}	M_{bz}
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
—	2			
—	6			

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)

要素番号	節点番号	p	q
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
—	2		
—	6		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	方向	固有周期
1	水平	0.077
6	鉛直	0.049

1.4.2 応力

(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	
防護鋼板	SS400	組合せ	405790	—			
架構	SS400	引張り	11216	—			
		圧縮	11216	—			
		せん断	11022	—			
		曲げ	11021	—			
		組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11021	—		単位：なし	
		組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11021	—			
アンカボルト	SS400	引張り	—	2		単位：N	
		せん断	—	6		単位：N	
		組合せ (引張り+せん断)	—	2		単位：なし	

すべて許容応力以下である。

