

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

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

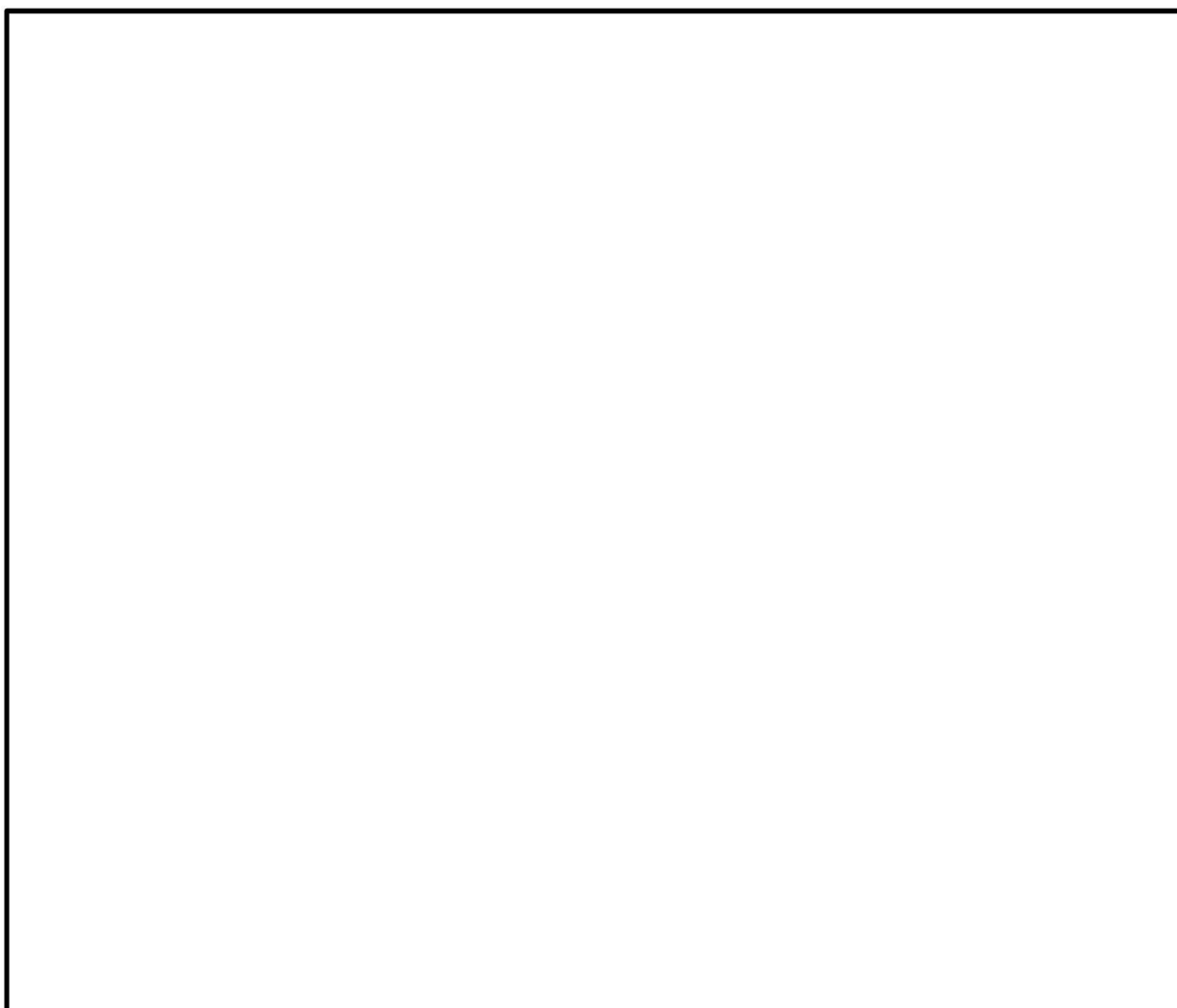
本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、原子炉補機冷却海水系配管防護壁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである原子炉補機冷却海水系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

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。

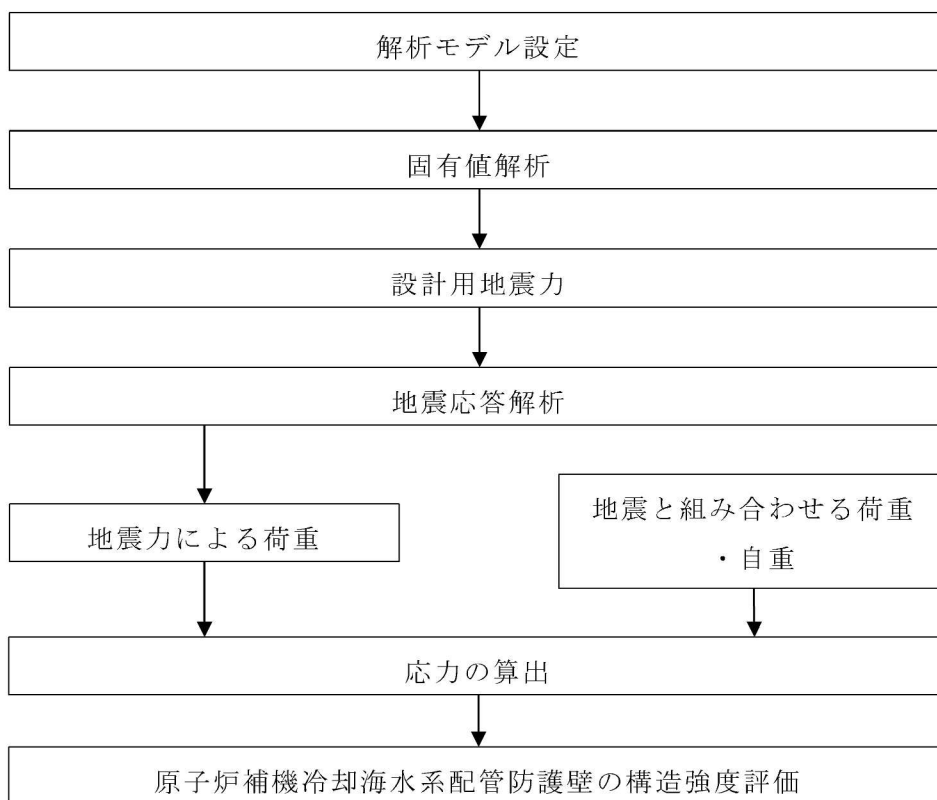


図2-2 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震評価フロー

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 (R T)	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 _{f x}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（x軸）	—
n _{f y}	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し、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (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_{AS}

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_{AS}

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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
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 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
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。

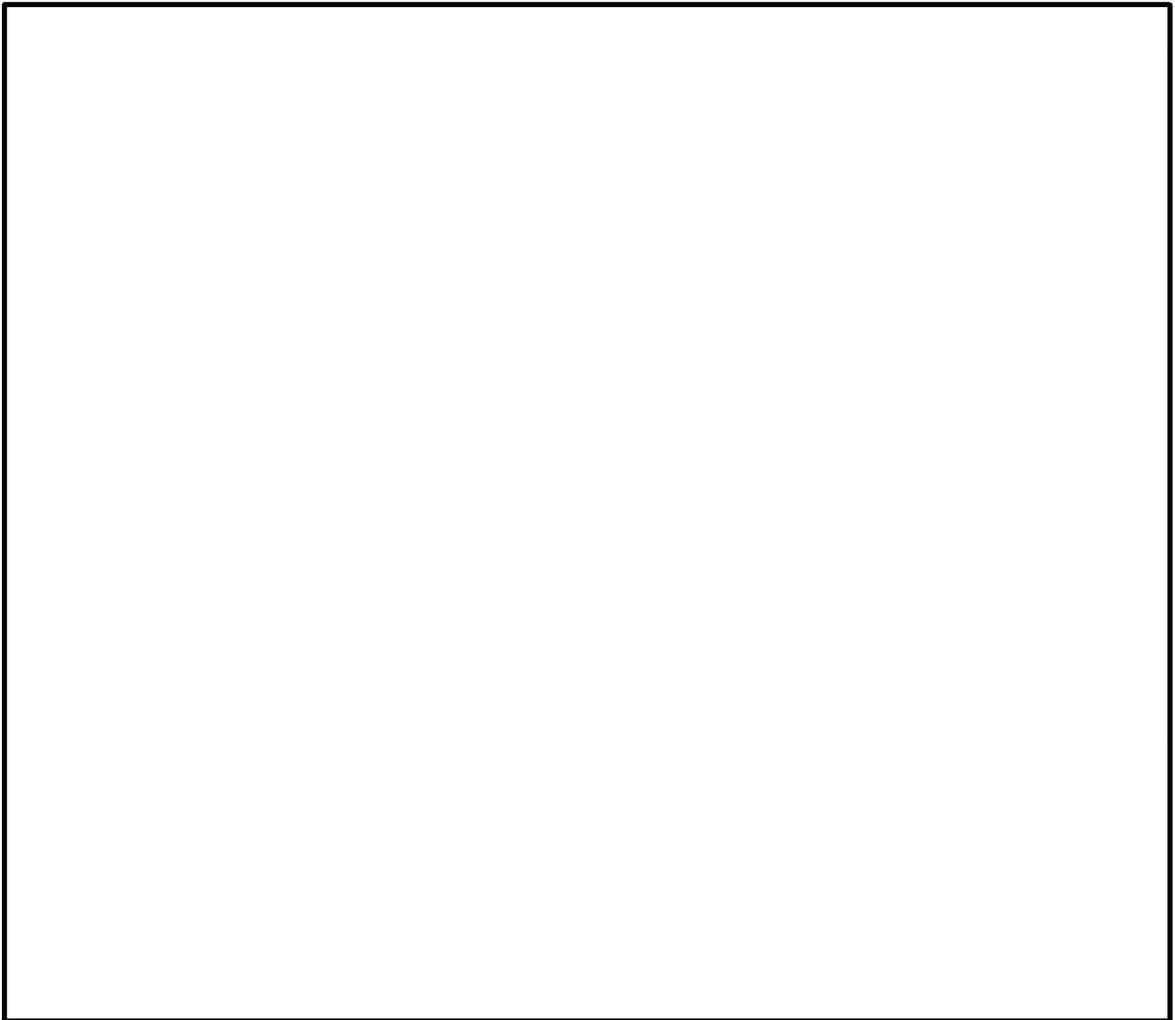


図4-1 原子炉補機冷却海水系配管防護壁の解析モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6に、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。

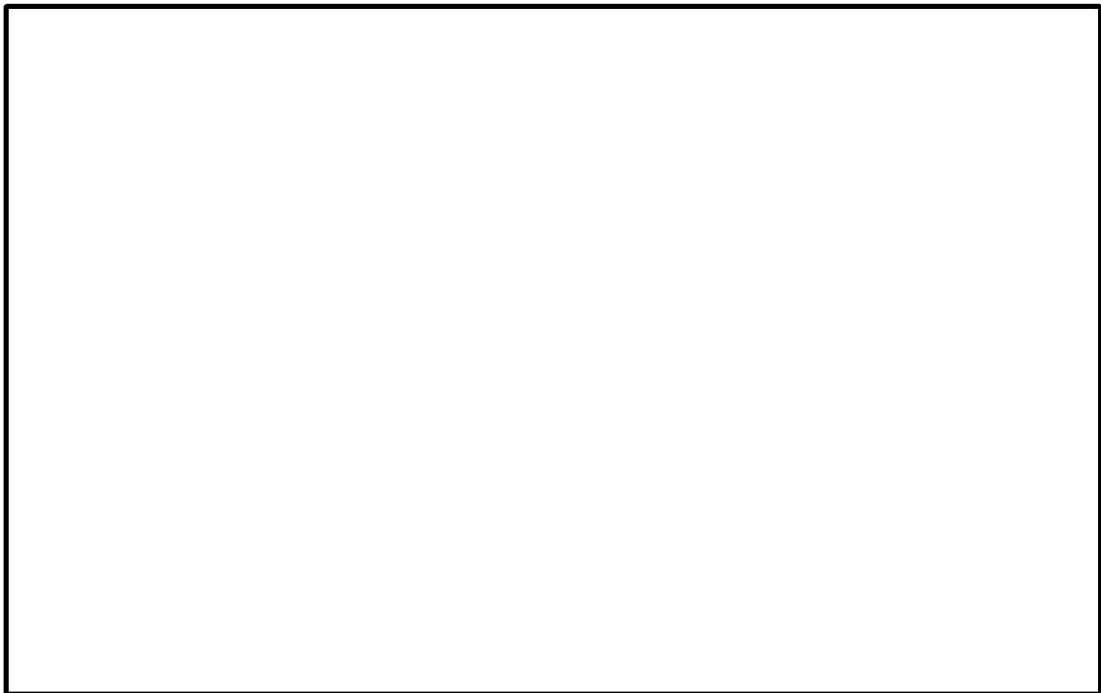


図4-2 (1/5) 振動モード図 (1次モード 水平方向 0.077s)

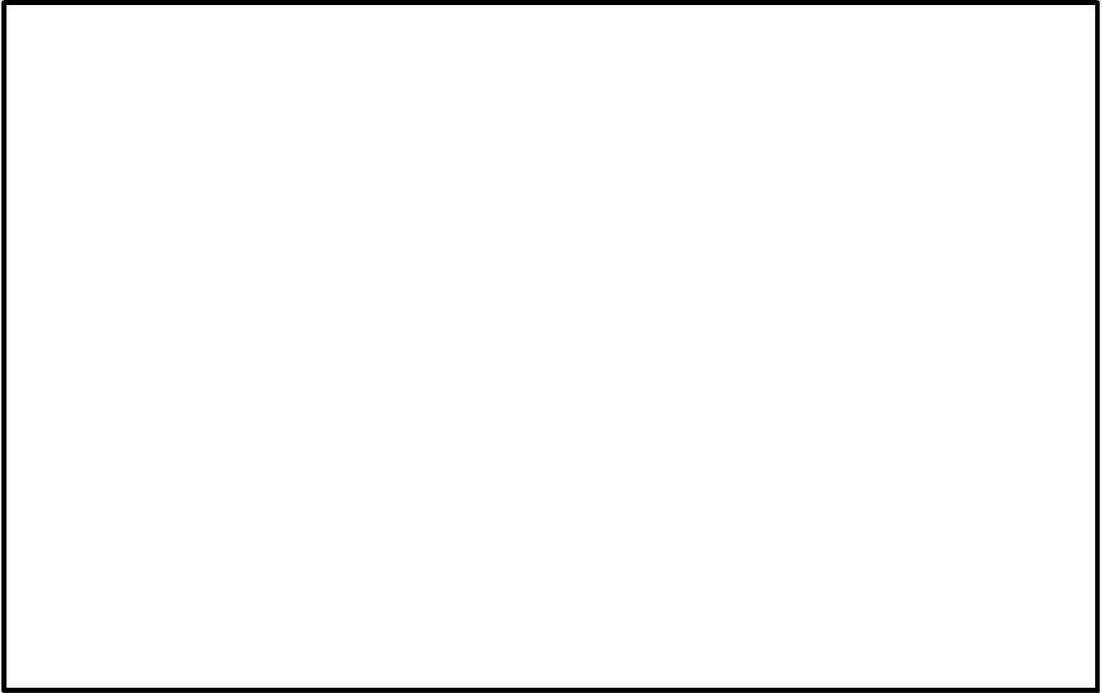


図 4-2 (2/5) 振動モード図 (2 次モード 鉛直方向 0.063s)

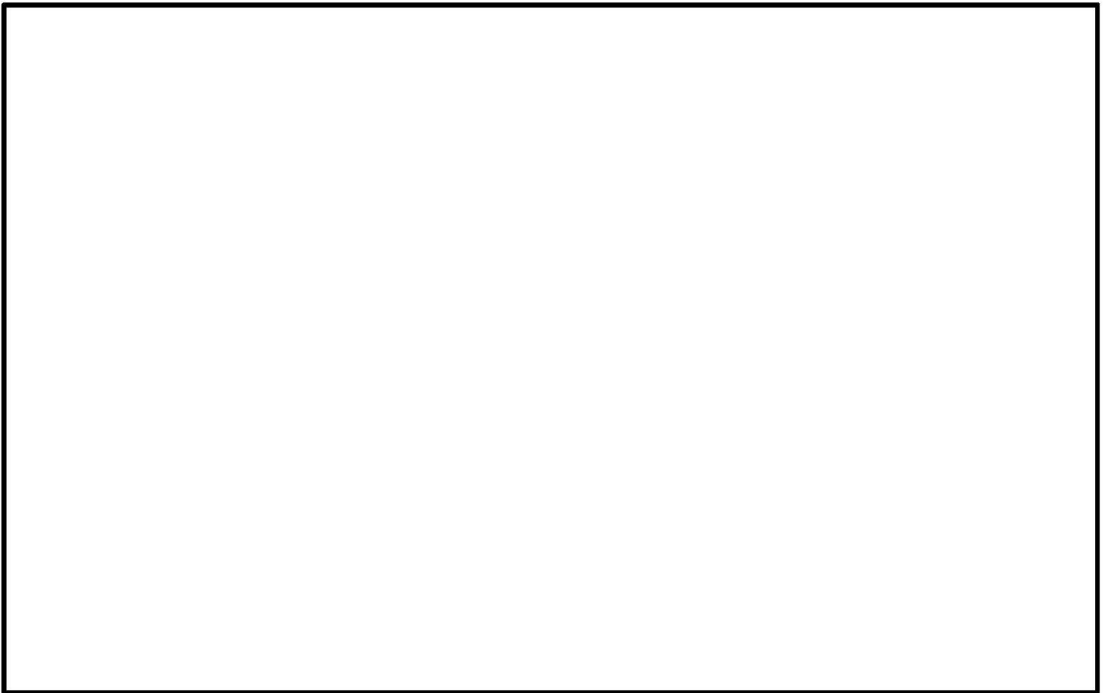


図 4-2 (3/5) 振動モード図 (3 次モード 水平方向 0.061s)



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

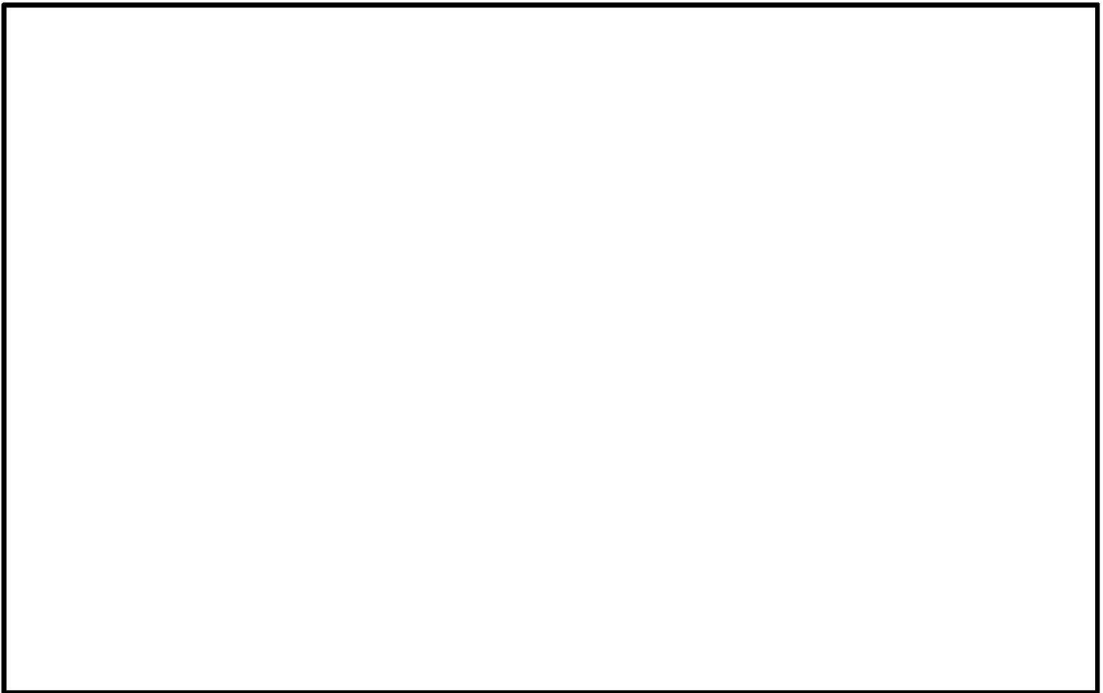


図 4-2 (5/5) 振動モード図 (5次モード 水平方向 0.060s)

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（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：S sに基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

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（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：S_sに基づく設計用最大応答加速度より求めた震度を示す。

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、

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

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

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

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、

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

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

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

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

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

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、設計用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*1)	0.077	0.05 以下	C _H =1.76 又は*2	C _V =1.02	—	40

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値。

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	s c a (mm ²)	n	n _{ix}	n _{iy}	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 (リップ)	SS400					—	—
架構	SS400					—	—
アンカボルト	SS400			—	—		

材料	E (MPa)	ν	ℓ_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_{b_x}	M_{b_y}	M_{b_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。

1.3.6 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。



VI-2-11-2-2-6 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震性についての
計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	7
2.5	記号の説明	8
3.	固有振動数及び設計用地震力	10
3.1	固有振動数の計算方法	10
3.1.1	解析モデルの設定	10
3.1.2	記号の説明	12
3.1.3	固有振動数の算出方法	12
3.2	固有振動数の計算条件	13
3.3	固有振動数の計算結果	13
3.4	設計用地震力	14
4.	耐震評価方法	15
4.1	評価対象部位	15
4.1.1	扉部の評価対象部位	15
4.1.2	鋼板部の評価対象部位	15
4.2	荷重及び荷重の組合せ	16
4.2.1	荷重の組合せ	16
4.2.2	荷重	16
4.3	許容限界	17
4.3.1	扉部	17
4.3.2	鋼板部	18
4.4	評価方法	19
4.4.1	扉部の応力算定	19
4.4.2	扉部の断面検定	25
4.4.3	鋼板部の応力算定	29
4.4.4	鋼板部の断面検定	34
4.5	評価条件	36
5.	評価結果	38

1. 概要

本資料は、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見学者ギャラリー室竜巻防護扉が設計用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、上位クラス施設である原子炉建屋エアロックに対して、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

見学者ギャラリー室竜巻防護扉は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉建屋エアロックの南側に設置されており、転倒時に原子炉建屋エアロックに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

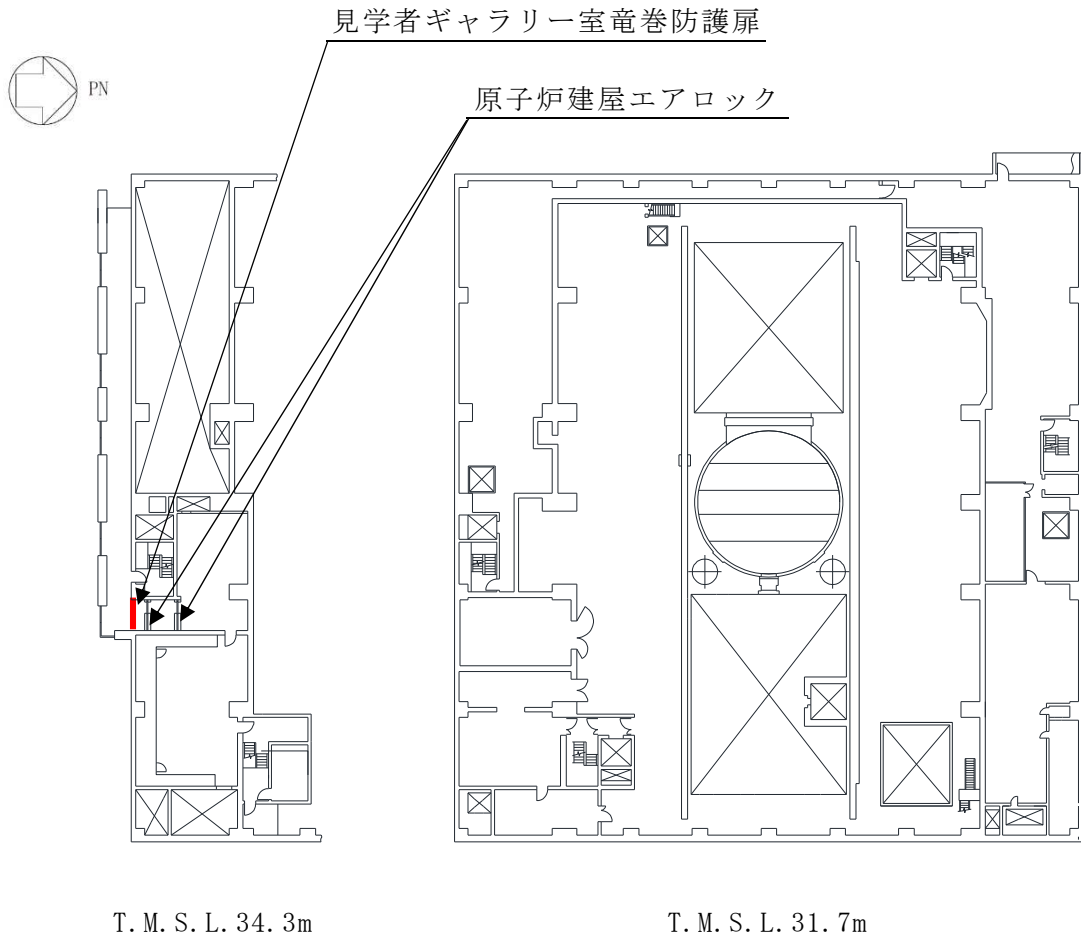


図 2-1 見学者ギャラリー室竜巻防護扉と原子炉建屋エアロックの位置関係図

2.2 構造計画

表 2-1 に見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造計画を示す。見学者ギャラリー室竜巻防護扉は、原子炉建屋エアロック (T.M.S.L. 34.3m) の南側に設置され、扉部と鋼板部から構成される。

それぞれの部位について構造計画を表 2-1 に、使用材料を表 2-2 に示す。

扉部は、片開き型の鋼製扉とし表側鋼板の背面に芯材を配した構造である。また、アンカーボルトによって躯体に固定された扉枠に対し、ヒンジ及び締付装置によって扉本体を扉枠に固定することで支持する構造とする。

鋼板部は、鋼製板、芯材 (水平材、鉛直材)、枠材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより躯体と枠材を固定する構造とする。

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-1 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉部は、扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、ヒンジ及び締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p> <p>鋼板部は、鋼製板を芯材 (水平材、鉛直材) が支持し、枠材で固定するものとし、枠材をアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>扉部は、片開き型の鋼製扉とし、鋼製の表側鋼板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p> <p>鋼板部は、鋼製板、芯材 (水平材、鉛直材)、枠材及びアンカーボルトにて構成する。</p>	<p>図 2-2</p>

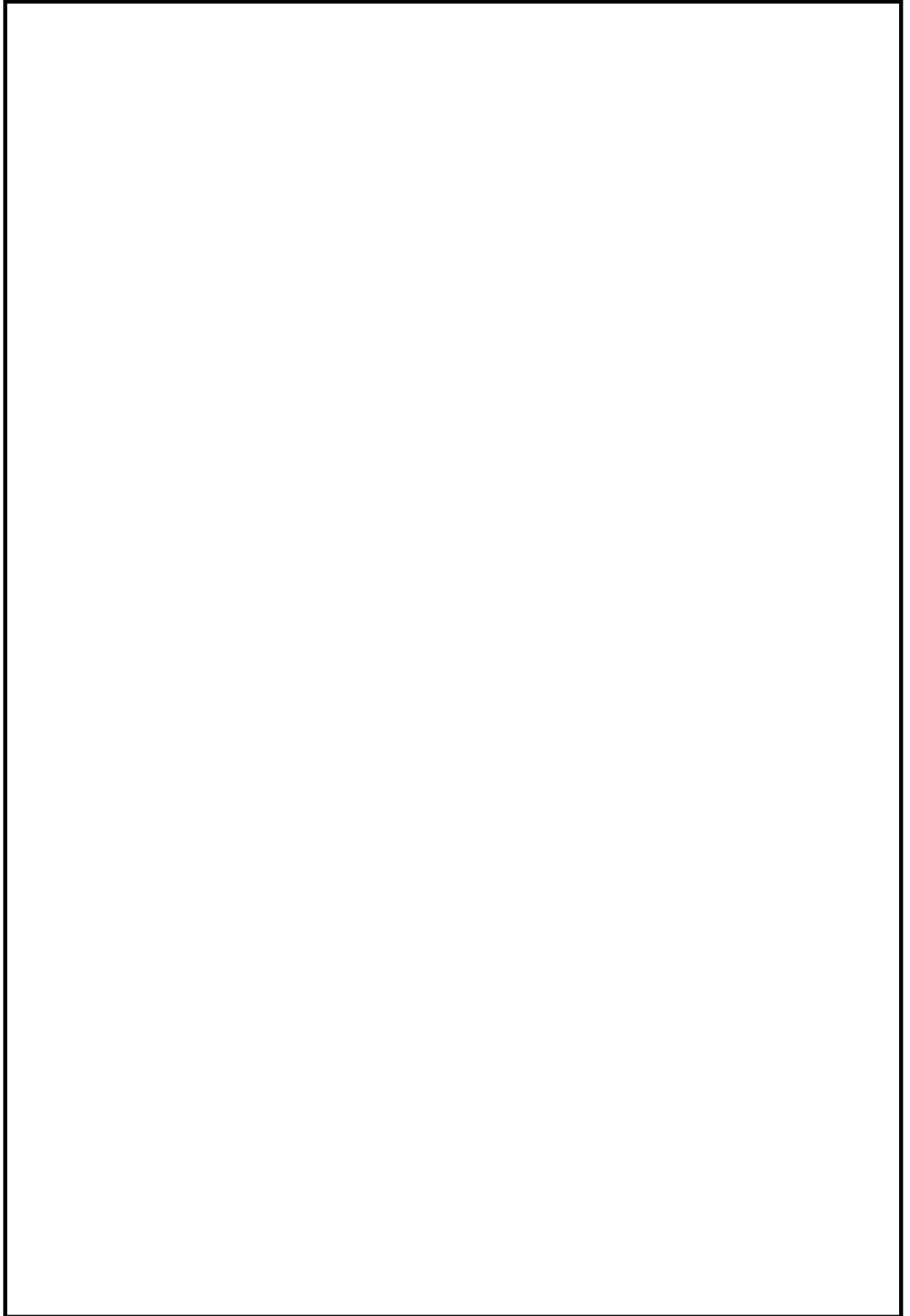


図 2-2 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の概略構造図

表 2-2 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の使用材料

評価対象部位		材質	仕様	
扉部	表側鋼板			
	芯材			
	ヒンジ			ヒンジ板
				ヒンジピン
				ヒンジボルト
	アンカーボルト			
鋼板部	鋼製板			
	芯材			
	アンカーボルト			

2.3 評価方針

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の応力評価は、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」の「3. 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」に示す見学者ギャラリー室竜巻防護扉の部位を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する部位において、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が評価基準値内に収まることを、「4. 耐震評価方法」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。地震荷重の設定については、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いる。

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

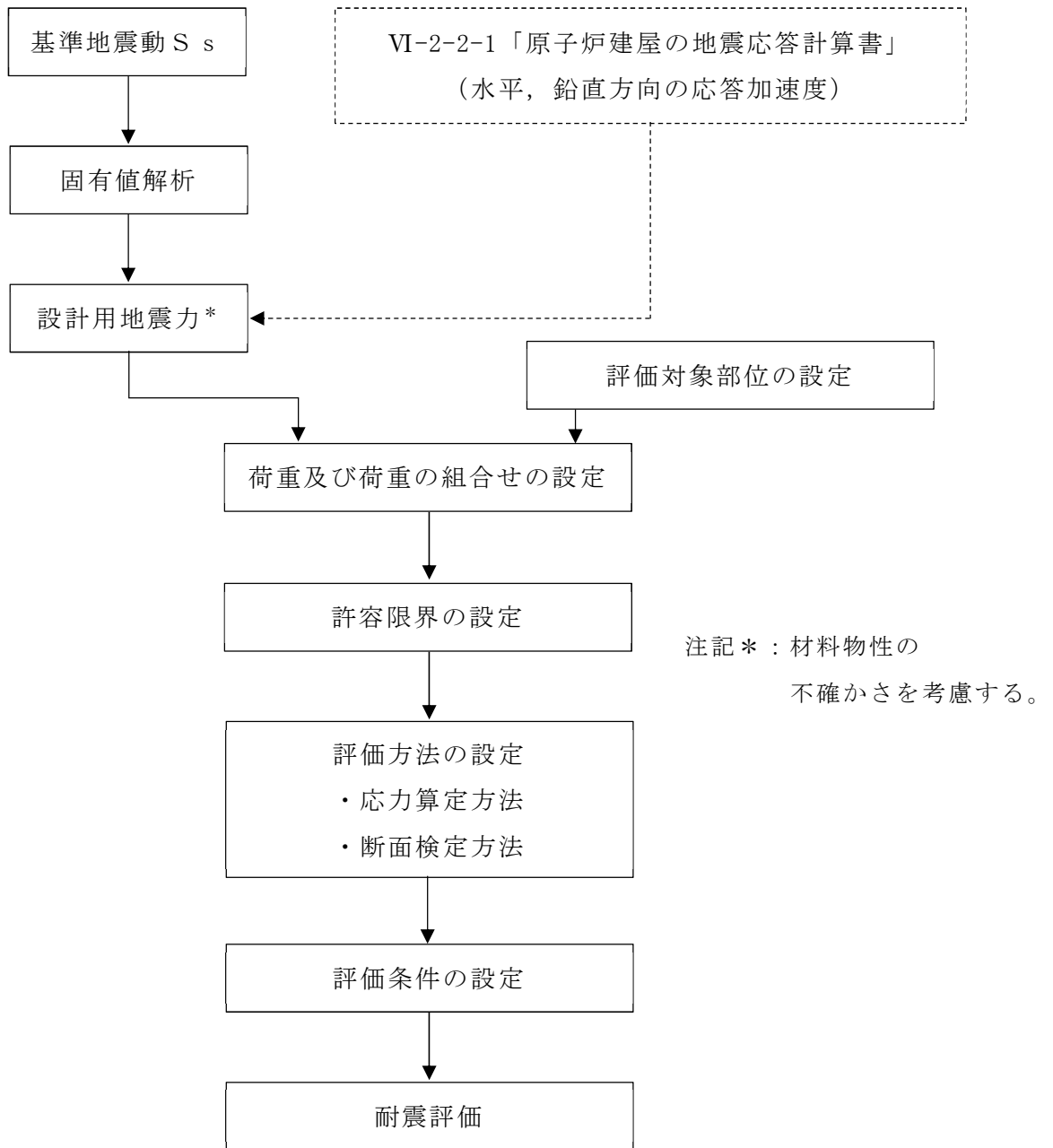


図 2-3 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
(以下「S規準」という。)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 日本産業規格 (J I S)
- ・ 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)

2.5 記号の説明

扉部の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に、鋼板部の耐震評価に用いる記号を表 2-4 に示す。

表 2-3 扉部の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
w_{ss}	kN/m	表側鋼板又は芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重
W_1	kN	スラスト荷重
G_1	kN	扉の重量
w_a	kN	扉枠の重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
F_1	kN	転倒力
F_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだ転倒力
L_1	mm	表側鋼板の長辺長さ
L_2	mm	表側鋼板の短辺長さ
L_3	mm	芯材の全長
L_4	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_5	mm	ヒンジ芯間距離
L_6	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
L_7	mm	ヒンジ板と受板間距離
L_D	mm	扉の幅
H_D	mm	扉の高さ
B	mm	芯材の負担幅
M	kN・m	曲げモーメント
T	kN	引張力
Q	kN	せん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
n_2	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数
σ	N/mm ²	曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
T_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力
Q_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

表 2-4 鋼板部の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_H	kN	設計用水平地震力
k_H	—	水平震度
$w_{s s}$	kN/m	鋼製板又は芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
G_2	kN	鋼板部の重量
$w h'$	kN/m	鋼板部にかかる水平荷重
L_8	mm	鋼製板の短辺長さ
L_9	mm	評価の対象とする鋼製板の短辺長さ
L_{10}	mm	芯材の負担幅
L_{11}	mm	芯材全長
H	mm	鋼製板の高さ
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
n_3	本	アンカーボルトの本数
σ	N/mm ²	曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
T_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力
Q_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の計算方法

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を求める。扉部と鋼板部の芯材の固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

扉部は，表側鋼板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに，ヒンジ及び締付装置部により扉と扉枠を固定する構造であることから，扉閉止時については両端固定はりに，扉開放時についてはヒンジ，自由端はりに単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

鋼板部は，鋼製板及び芯材の組合せにより剛な断面を有している構造であることから，両端固定はりに単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材（鉛直材）の長さは鋼製板の高さとする。図 3-1 に解析モデルを示す。

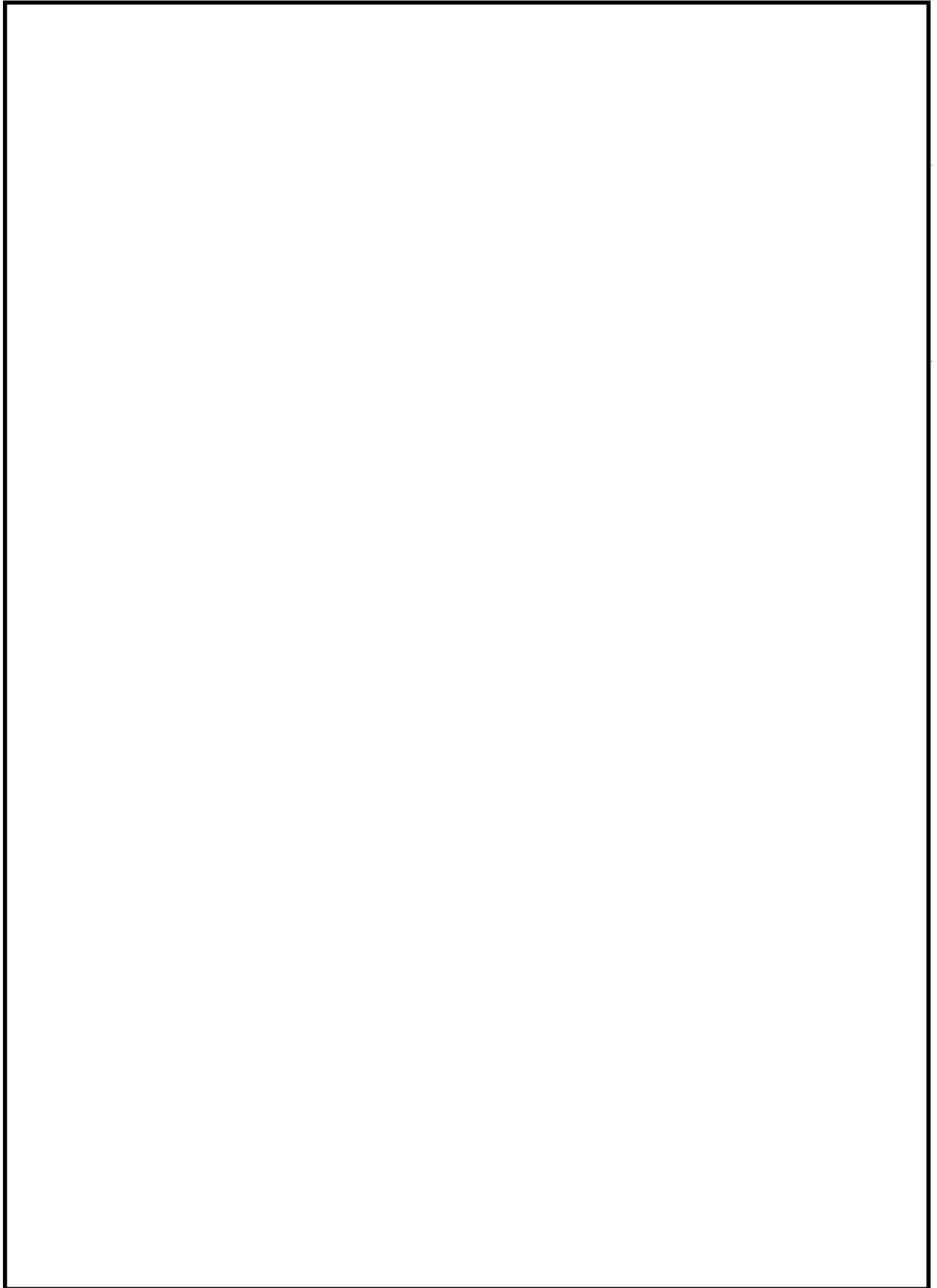


図 3-1 見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有値解析モデル

3.1.2 記号の説明

固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面 2 次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。ここで、固有振動数は水平方向（扉部及び鋼板部の面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉部及び鋼板部の面内方向）については、鉛直方向の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。モデル化の対象は、扉部の芯材及び、鋼板部の芯材（鉛直材）とする。

(1) 扉部（扉閉止時）、鋼板部

両端固定はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \cdot 10^6}{m}}$$

(2) 扉部（扉開放時）

扉開放時において扉部は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないことから、本評価においては芯材が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ、自由端はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \cdot 10^6}{m}}$$

3.2 固有振動数の計算条件

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

評価部位	長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
扉部				
鋼板部				

3.3 固有振動数の計算結果

見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の計算結果

評価部位	固有振動数 f (Hz)
扉部 (閉止時)	
扉部 (開放時)	
鋼板部	

3.4 設計用地震力

「3. 固有振動数及び設計用地震力」に示したとおり，見学者ギャラリー室竜巻防護扉の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，見学者ギャラリー室竜巻防護扉の耐震評価で用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてVI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」によることとし，耐震評価で用いる設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 設計震度

名称	基準地震動 S_s の設計震度	
	水平震度*	鉛直震度
見学者ギャラリー室 竜巻防護扉	1.35	0.994

注記*：NS 方向と EW 方向の大きい方を採用する。

4. 耐震評価方法

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示す見学者ギャラリー室竜巻防護扉の構造上の特徴を踏まえ扉部と鋼板部に分けて選定する。

4.1.1 扉部の評価対象部位

基準地震動 S_s による地震荷重により扉部に生じる慣性力は、表側鋼板、芯材、ヒンジ（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及び締付装置部から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達される。ここで、締付装置部は損傷しても見学者ギャラリー室竜巻防護扉が転倒しないこと、扉枠はアンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落しないことから、評価対象部位を表側鋼板、芯材、ヒンジ及びアンカーボルトとする。また、アンカーボルトに発生する応力が最大となる状態で評価を行うことを考慮し、扉が 0° 、 90° 又は 180° の開閉状態における評価を行うとともに、地震荷重の作用により応力が集中する扉の状態を踏まえ、ヒンジ側アンカーボルトを評価対象とする。

4.1.2 鋼板部の評価対象部位

鋼板部の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、鋼製板及び芯材（水平材、鉛直材）から枠材及びアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼製板、芯材（鉛直材）及びアンカーボルトとする。

なお、芯材（水平材、鉛直材）及び枠材については、材質と断面形状が同一であるため、地震荷重の負担面積が最も大きい芯材（鉛直材）を評価対象とする。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

見学者ギャラリー一室竜巻防護扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動による地震荷重 (kN)

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として見学者ギャラリー一室竜巻防護扉の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設計した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

4.3 許容限界

4.3.1 扉部

(1) 表側鋼板，芯材，ヒンジ

鋼材の許容応力度は，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」に記載の許容限界に基づき，表4-1のとおり設定する。

表4-1 鋼材の短期許容応力度

材質*1	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135
	215	124
	345	199
	651	375

注記*1：許容応力度を決定する場合の基準値Fは，日本産業規格（J I S）に基づく。

*2：tは板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は，「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容応力を表4-2に示す。

評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表4-2 アンカーボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
	40.6	40.3

4.3.2 鋼板部

(1) 鋼製板，芯材（鉛直材）

鋼材の許容応力度は，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」に記載の許容限界に基づき，表 4-3 のとおり設定する。

表 4-3 鋼材の短期許容応力度

材質*1	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
	235	135

注記*1：許容応力度を決定する場合の基準値 F は，日本産業規格（J I S）に基づく。

*2：t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は，「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容応力を表 4-4 に示す。

評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 アンカーボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
	39.3	26.5

4.4 評価方法

4.4.1 扉部の応力算定

自重，地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける表側鋼板，芯材に生じる曲げ応力，せん断応力，ヒンジに生じる曲げ応力，せん断応力並びにアンカーボルトに生じる引張力，せん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力，引張力を次式により算定する。

(1) 表側鋼板

表側鋼板に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。表側鋼板に作用する荷重の例を図 4-1 に示す。

$$M = w_{ss} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

M : 表側鋼板の最大曲げモーメント (kN・m)

w_{ss} : 表側鋼板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 表側鋼板の短辺長さ (mm)

ここで， $w_{ss} = S_s / (L_1 \cdot 10^{-3})$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN) ($= G_1 \cdot k_H$)

L_1 : 表側鋼板の長辺長さ (mm)

G_1 : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度



図 4-1 表側鋼板に作用する荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。
 芯材に作用する荷重の例を図 4-2 に示す。

$$M = w_{ss} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

$$Q = w_{ss} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

ここで，

$$w_{ss} = S_s \cdot B / (L_D \cdot H_D \cdot 10^{-3})$$

w_{ss} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN) ($= G_1 \cdot k_H$)

G_1 : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

B : 芯材の負担幅 (mm)

L_D : 扉の幅 (mm)

H_D : 扉の高さ (mm)

L_3 : 芯材全長 (mm)

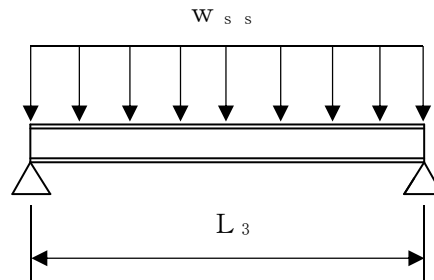


図 4-2 芯材に作用する荷重の例

(3) ヒンジ

ヒンジは、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ここで、扉の重量は2箇所のヒンジで支持することから、ヒンジに生じる転倒力には、扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジに生じる荷重の例を図4-3に示す。

$$W_1 = G_1 + k_{UD} \cdot G_1$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_4 / L_5 + k_H \cdot G_1 / 2$$

- W_1 : スラスト荷重 (kN)
- G_1 : 扉重量 (kN)
- k_H : 水平震度
- k_{UD} : 鉛直震度
- F_1 : 転倒力 (kN)
- L_4 : 扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)
- L_5 : ヒンジ芯間距離 (mm)

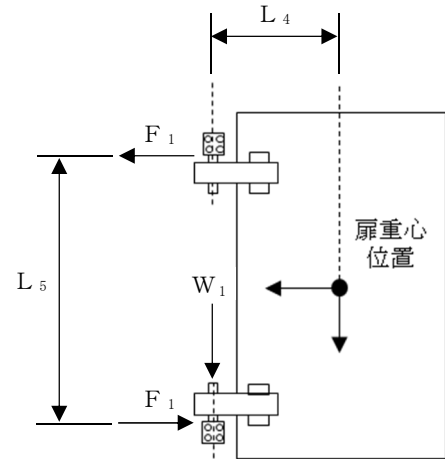


図4-3 ヒンジに生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図4-4に示す。

$$M = W_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

M : ヒンジ板の最大曲げモーメント (kN・m)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_6 : ヒンジ板の2軸間距離 (mm)

$$Q = W_1$$

Q : ヒンジ板の最大せん断力 (kN)

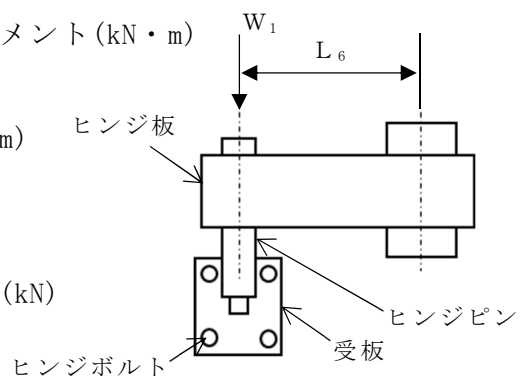


図4-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図4-5に示す。

$$M = F_1 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$$

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント (kN・m)

F_1 : 転倒力 (kN)

L_7 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

$$Q = F_1$$

Q : ヒンジピンの最大せん断力 (kN)

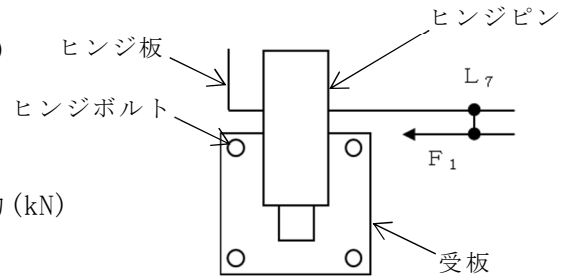


図4-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図4-6に示す。

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 / n_1)^2}$$

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数 (本)

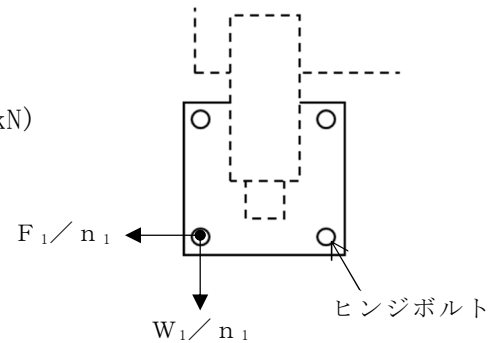


図4-6 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、「4.1.1 扉部の評価対象部位」に基づき、地震荷重を考慮する場合はヒンジ側のアンカーボルトで荷重を負担するものとして算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲は図4-7に示すとおり、転倒力が作用するヒンジ付近に限定し、扉枠の慣性力は扉枠全体の重量の1/2を評価において考慮する。また、扉の開放角度ごとの荷重の作用状況を図4-8に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a / 2$$

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(kN)

F_1 : 転倒力(kN)

k_H : 水平震度

w_a : 扉枠の重量(kN)

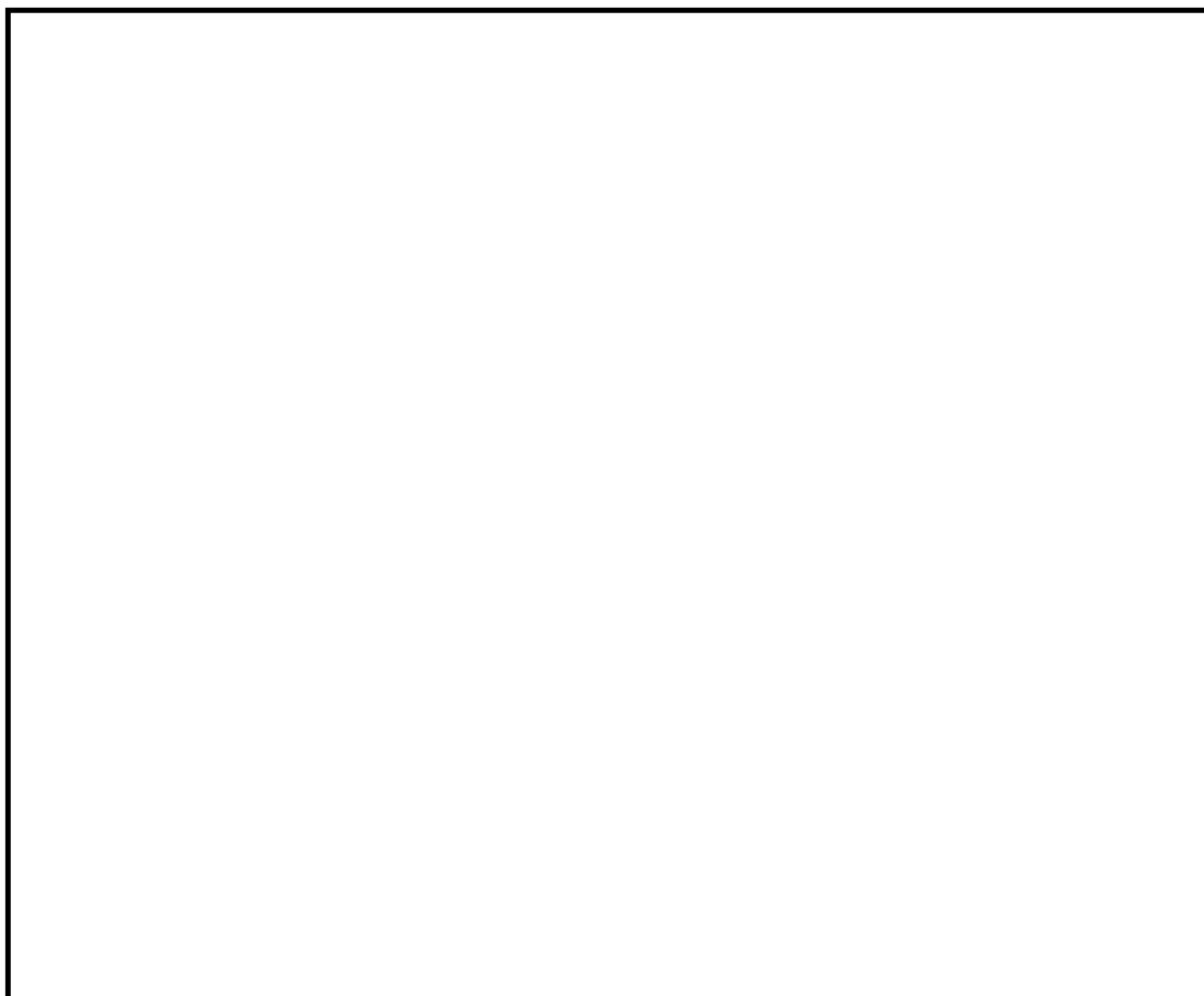


図4-7 地震荷重を考慮する場合のヒンジ側アンカーボルトに生じる荷重の例

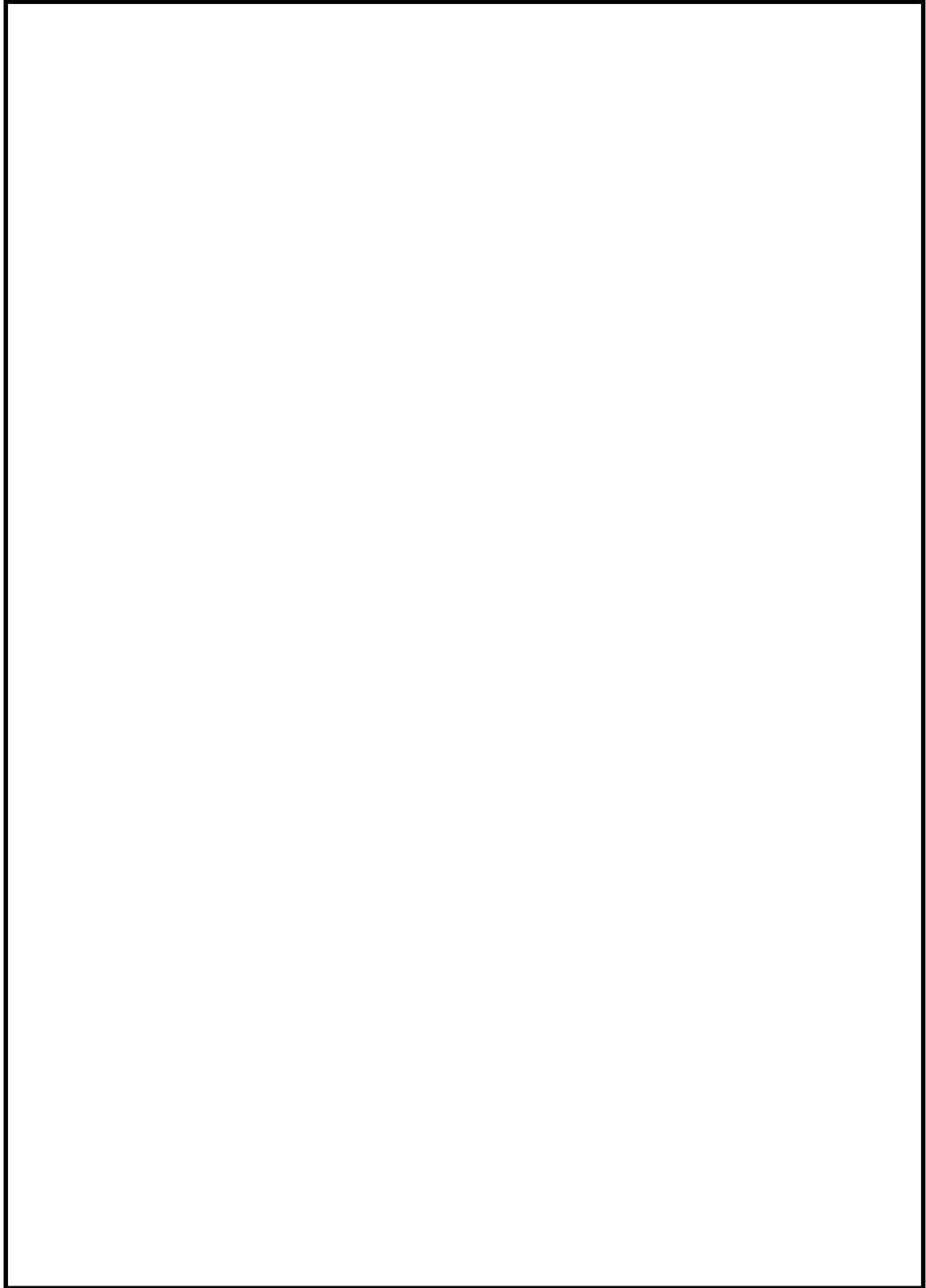


図 4-8 扉の開放角度別の荷重の作用状況

4.4.2 扉部の断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(1) 表側鋼板

表側鋼板に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 表側鋼板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 表側鋼板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 表側鋼板の断面係数 (mm³)

(2) 芯材

a. 芯材に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) ヒンジ

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規
準」に基づく次式により算定し，ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを
確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで，

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : ヒンジ板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジ板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : ヒンジ板の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ板の最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで，

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : ヒンジピンの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : ヒンジピンの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジピンの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し，ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : ヒンジボルトの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を算定し，アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで， $T_d = F_{1a} / n_2$

T_d : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

n_2 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで， $Q_d = F_{1a} / n_2$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

n_2 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

4.4.3 鋼板部の応力算定

自重，地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける鋼製板，芯材に生じる曲げ応力，せん断応力，並びにアンカーボルトに生じるせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力を次式により算定する。

鋼板部に生じる力の概念図を図 4-9 に示す。

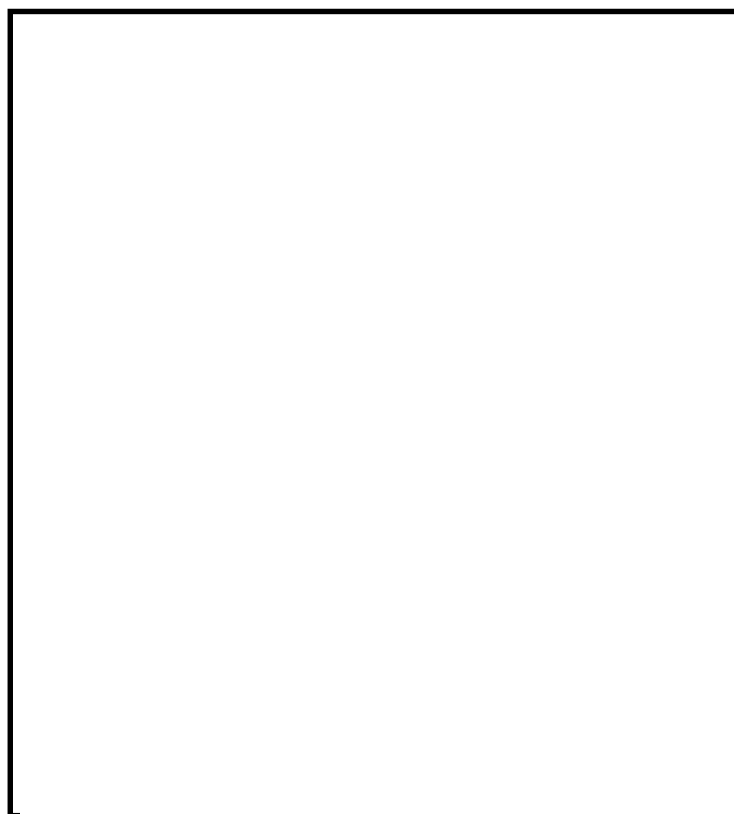


図 4-9 地震時の鋼板部に生じる力の概念図

(1) 鋼製板

図 4-10 に示すとおり，鋼製板が荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

a. 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G_2 \cdot k_H$$

ここで，

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G_2 : 鋼板部の重量 (kN)

k_H : 水平震度

b. 鋼製板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{s_s}

$$w_{s_s} = S_s / (L_8 \cdot 10^{-3})$$

ここで，

w_{s_s} : 鋼製板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_8 : 鋼製板の短辺長さ (mm)

c. 鋼製板に作用する曲げモーメント M

$$M = w_{s_s} \cdot (L_9 \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで，

M : 鋼製板に作用する曲げモーメント (kN・m)

w_{s_s} : 鋼製板に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_9 : 評価の対象とする鋼製板の短辺長さ (mm)



図 4-10 評価の対象とする鋼製板

(2) 芯材

芯材の支持条件は両端単純支持とする。図 4-11 に評価の対象とする芯材を示す。

a. 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G_2 \cdot k_H$$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G_2 : 鋼板部の重量 (kN)

k_H : 水平震度

b. 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{s_s}

$$w_{s_s} = S_s \cdot L_{10} / (L_8 \cdot L_{11} \cdot 10^{-3})$$

w_{s_s} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_8 : 鋼製板の短辺長さ (mm)

L_{10} : 芯材の負担幅 (mm)

L_{11} : 芯材全長 (mm)

c. 芯材に作用する曲げモーメント M

$$M = w_{s_s} \cdot (L_{11} \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

w_{s_s} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_{11} : 芯材全長 (mm)

d. 芯材に作用するせん断力 Q

$$Q = w_{s_s} \cdot (L_{11} \cdot 10^{-3}) / 2$$

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

w_{s_s} : 芯材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (kN/m)

L_{11} : 芯材全長 (mm)

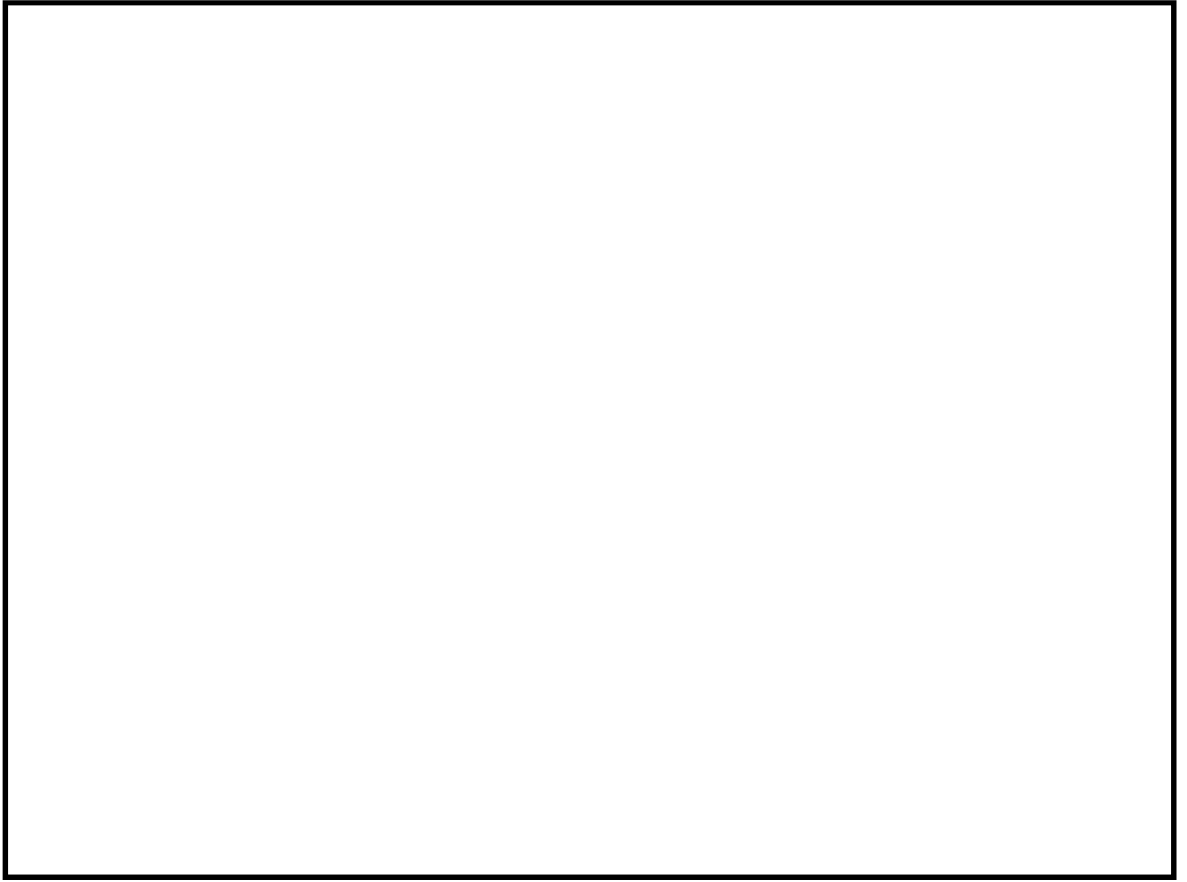


図 4-11 評価の対象とする芯材

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、次式により算定する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲及びアンカーボルトに生じる荷重を図 4-12 に示す。

$$F_H = k_H \cdot G_2$$

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

k_H : 水平震度

G_2 : 鋼板部の重量 (kN)

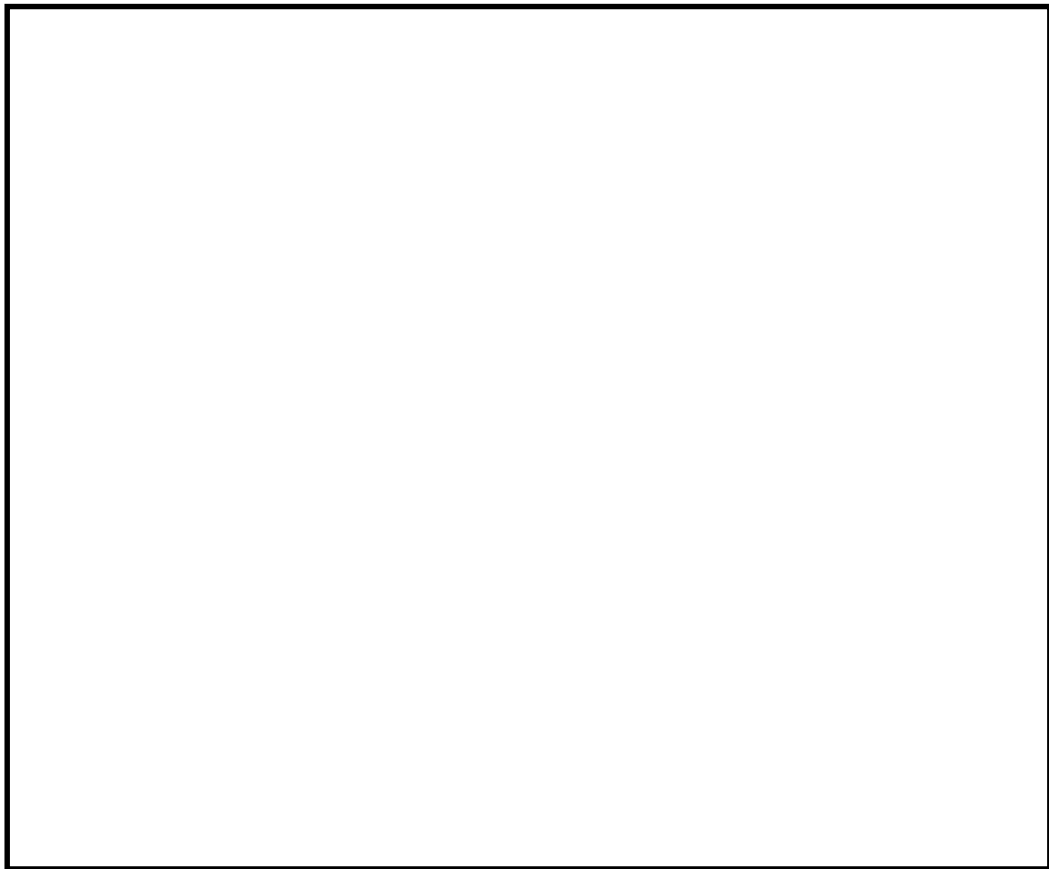


図 4-12 アンカーボルトに生じる荷重

4.4.4 鋼板部の断面検定

(1) 鋼製板

鋼製板に作用する曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 鋼製板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 鋼製板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 鋼製板の断面係数 (mm³)

(2) 芯材

a. 芯材に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を算定し，アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで，

$$T_d = F_H / n_3$$

T_d : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

n_3 : アンカーボルトの本数 (本)

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで，

$$Q_d = F_H / n_3$$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

n_3 : アンカーボルトの本数 (本)

4.5 評価条件

見学者ギャラリー室竜巻防護扉のうち、扉部の耐震評価に用いる入力値を表 4-3 に、鋼板部の耐震評価に用いる入力値を表 4-4 に示す。

表 4-3 扉部の耐震評価に用いる入力値

対象部位		記号	単位	定義	入力値
共通		G_1	kN	扉の重量	
		L_4	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	
		L_5	mm	ヒンジ芯間距離	
		W_1	kN	スラスト荷重	
		F_1	kN	転倒力	
表側鋼板		L_1	mm	表側鋼板の長辺長さ	
		L_2	mm	表側鋼板の短辺長さ	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
芯材		L_3	mm	芯材の全長	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
ヒンジ	ヒンジ板	L_6	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
	ヒンジピン	L_7	mm	ヒンジ板と受板間距離	
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	
		τ	N/mm ²	せん断応力度	
	アンカーボルト		w_a	kN	
		n_2	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	
		T_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	
		Q_d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	
		T_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	
		Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	

表 4-4 鋼板部の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Z	mm ³ /m	鋼製板の断面係数	
H	mm	鋼製板の高さ	
n ₃	本	アンカーボルトの本数	
G ₂	kN	鋼板部の重量	
T _d	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	
Q _d	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	
T _a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	
Q _a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	
L ₈	mm	鋼製板の短辺長さ	
L ₉	mm	評価の対象とする鋼製板の短辺長さ	
L ₁₀	mm	芯材の負担幅	
L ₁₁	mm	芯材全長	

5. 評価結果

扉部の耐震評価結果を表 5-1 に、鋼板部の耐震評価結果を表 5-2 に示す。評価対象部位に生じる応力度又は荷重が許容限界を超えず、見学者ギャラリー室竜巻防護扉が上位クラス施設である原子炉建屋エアロックに対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5-1 扉部の耐震評価結果

評価対象部位		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
表側鋼板	曲げ	3.37	235	0.02
芯材 ^{*1}	曲げ	8.33	235	0.04
ヒンジ	ヒンジ板	組合せ	22.4	0.11
	ヒンジピン	組合せ	110	0.32
	ヒンジボルト	せん断	35.9	0.10
アンカーボルト ^{*2}		せん断	40.3	0.12

注記*1 : 曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

*2 : 単位を kN とする。なお、引張及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

表 5-2 鋼板部の耐震評価結果

評価対象部位		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
鋼製板	曲げ	3.91	235	0.02
芯材 ^{*1}	曲げ	6.55	235	0.03
アンカーボルト ^{*2}		せん断	26.5	0.05

注記*1 : 曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

*2 : 単位を kN とする。なお、引張及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。

VI-2-11-2-2-7 竜巻防護ネットの耐震性についての計算書

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	19
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 架構の応力評価	22
4.8.2 アンカボルトの評価	23
5. 評価結果	24
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	24

1. 概要

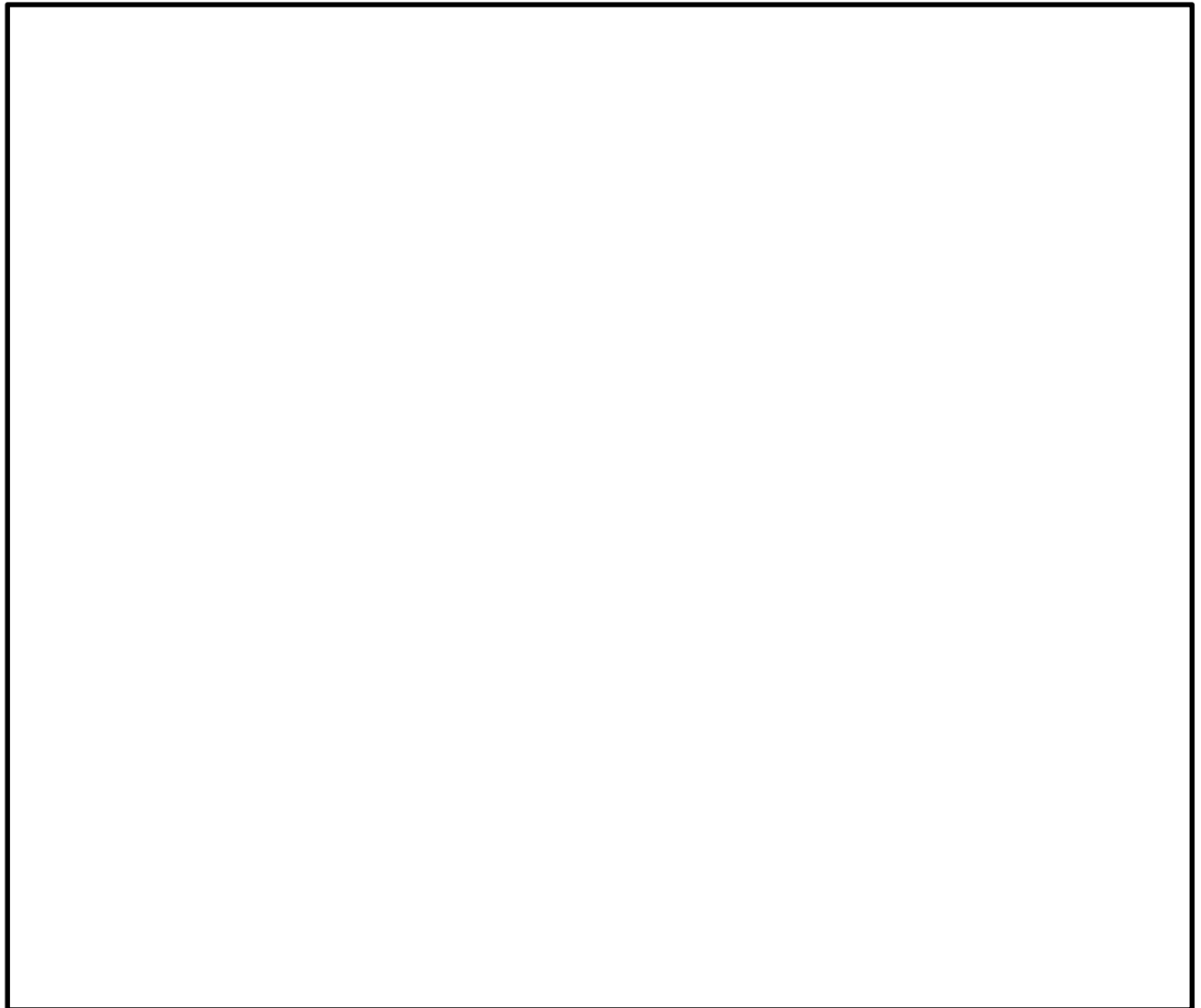
本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、竜巻防護ネットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである燃料プール冷却浄化系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

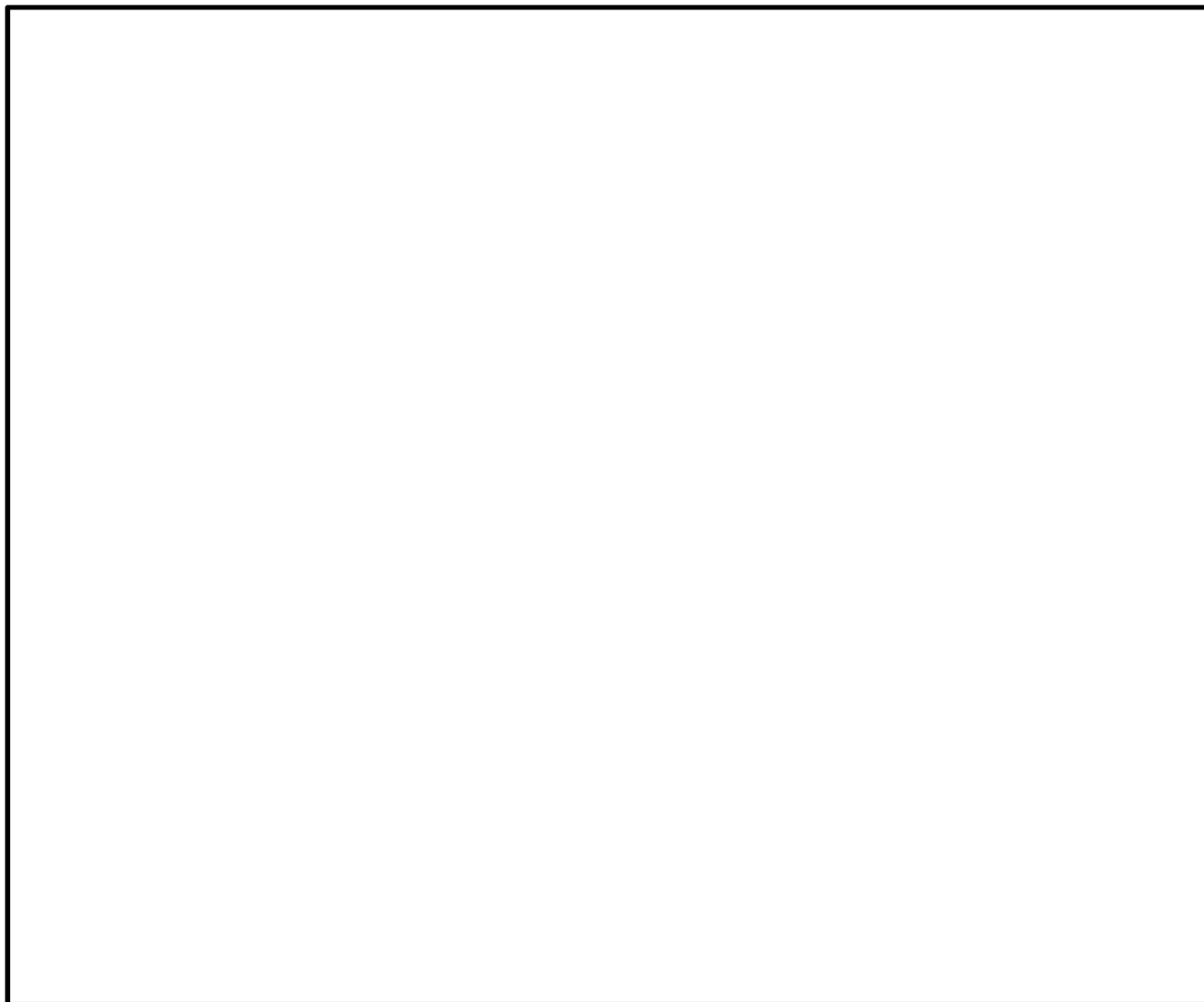
竜巻防護ネットの設置位置を図 2-1 に示す。

竜巻防護ネットは、上位クラス施設である燃料プール冷却浄化系配管の上部に設置されており、落下時に燃料プール冷却浄化系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5m

図 2-1 (1/2) 竜巻防護ネットの設置位置図



原子炉建屋 T. M. S. L. 31. 7m

図 2-1 (2/2) 竜巻防護ネットの設置位置図

2.2 構造計画

竜巻防護ネットの構造計画を表 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>竜巻防護ネットは、アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定される。</p>	<p>防護ネット及び架構により構成する。</p>	<div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p> <p style="text-align: center;">竜巻防護ネット (No. 29)</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	
<p>竜巻防護ネットは、アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定される。</p>	<p>防護ネット及び架構により構成する。</p>	<div style="border: 2px solid black; height: 500px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p> <p style="text-align: center;">竜巻防護ネット (No. 38)</p>

2.3 評価方針

竜巻防護ネットの応力評価は、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」にて示す竜巻防護ネットの部位を踏まえ、「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。

竜巻防護ネットの耐震評価フローを図2-2に示す。

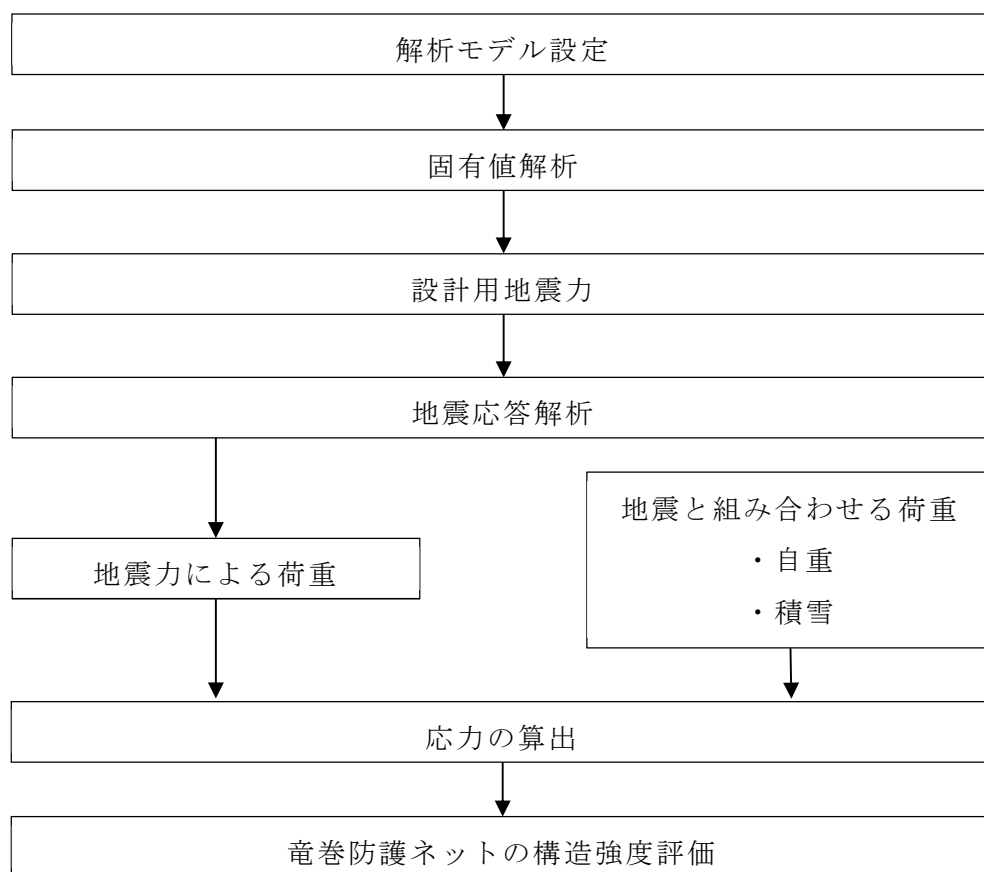


図2-2 竜巻防護ネットの耐震評価フロー

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_y	脚部の応力中心間距離 (y 軸)	mm
j_z	脚部の応力中心間距離 (z 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)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{b x}$	脚部のねじりモーメント (x 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{b y}$	脚部の曲げモーメント (y 軸)	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$M_{b z}$	脚部の曲げモーメント (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
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°C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	—
n_{fy}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（ y 軸）	—
n_{fz}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（ z 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

竜巻防護ネットの耐震評価は、「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、燃料プール冷却浄化系配管が損傷することを防止するため、架構及びアンカボルトについて実施する。竜巻防護ネット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) 竜巻防護ネットの架構は、アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定されるものとする。
- (2) 地震力は、竜巻防護ネット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し、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

竜巻防護ネットの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

竜巻防護ネットの許容応力は、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 4-2 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

竜巻防護ネットの使用材料の許容応力評価条件を表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	竜巻防護ネット	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_s$	IV_{AS}

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 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 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
架構	SM490A [Redacted]	周囲環境温度	40	—	[Redacted]	[Redacted]	—
	SS400 [Redacted]	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400 [Redacted]	周囲環境温度	40	—			—

4.3 解析モデル及び諸元

竜巻防護ネットの解析モデルを図 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【竜巻防護ネットの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 竜巻防護ネットを構成する架構をはり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。

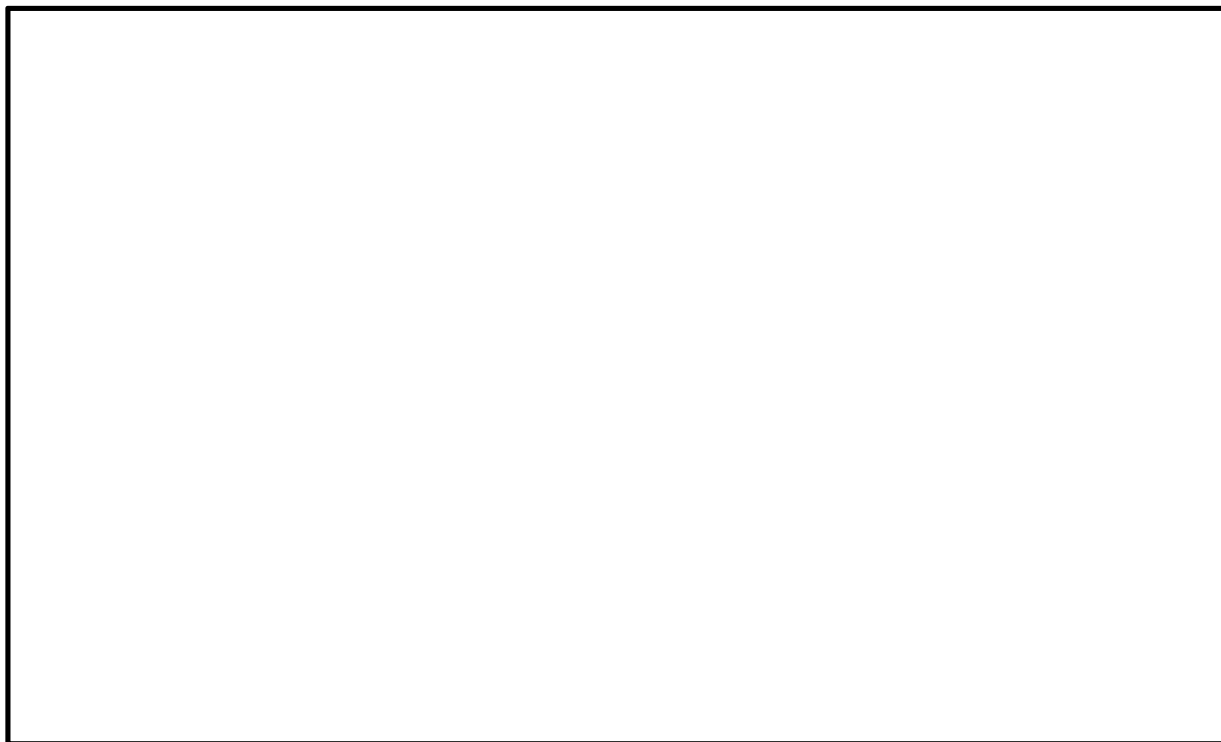


図 4-1 (1/2) 竜巻防護ネット (No. 29) の解析モデル

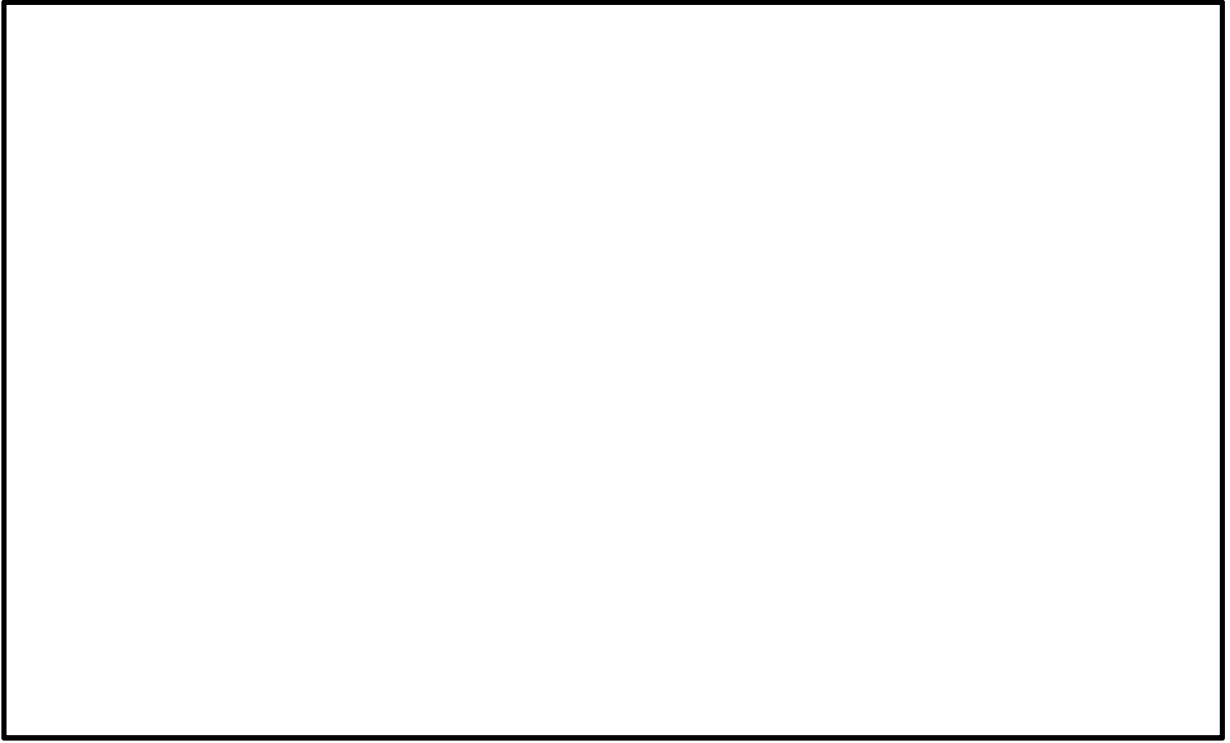


図 4-1 (2/2) 竜巻防護ネット (No. 38) の解析モデル

4.4 固有周期

各竜巻防護ネットの固有値解析の結果を表 4-4 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 4-4 (1/2) 固有値解析結果 (No. 29)

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	0.033	—	—	—
7	鉛直	0.015	—	—	—

表 4-4 (2/2) 固有値解析結果 (No. 38)

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	0.028	—	—	—
8	鉛直	0.012	—	—	—

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 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 4-5 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
29	6号機原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5 (T.M.S.L. 31.7*)	0.033	0.015	$C_H = 1.37$	$C_V = 1.16$
38	6号機原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7 (T.M.S.L. 38.2*)	0.028	0.012	$C_H = 1.62$	$C_V = 1.20$

注記*：基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) 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。

(2) 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_x} 及び曲げモーメント M_{b_y} , M_{b_z} により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_x / n + M_{b_y} / (j_y \cdot n_{f_y}) + M_{b_z} / (j_z \cdot n_{f_z})$$

b. せん断荷重

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

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【竜巻防護ネット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 架構の応力評価

4.6.1(1)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、

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

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

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

4.8.2 アンカボルトの評価

4.6.1(2)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 重大事故等対処設備としての評価結果

竜巻防護ネットの重大事故等対処設備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，設計用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。

【竜巻防護ネットの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	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		
竜巻防護ネット (No. 29)	C	原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5 (T.M.S.L. 31.7*)	0.033	0.015	C _H =1.37	C _V =1.16	—	40
竜巻防護ネット (No. 38)	C	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7 (T.M.S.L. 38.2*)	0.028	0.012	C _H =1.62	C _V =1.20	—	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

機器名称	m (kg)	d (mm)	$\sigma_c a$ (mm ²)	n	n _{iy}	n _{iz}	L	j _y	j _z
竜巻防護ネット (No. 29)									
竜巻防護ネット (No. 38)									

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	P _a (N)	q _a (N)
架構	SM490A					—	—
	SS400					—	—
アンカボルト	SS400			—	—		

No.	材料	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
29	SS400	202000					11204
	SS400	202000					11408
38	SS400	202000					11204
	SS400	202000					11406

26

	No. 29			No. 38		
	要素番号			要素番号		
	11011	11204	11408	11011	11204	11406
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 架構の荷重

(単位：N)

No.	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
29	11011	—				
	11204	—				
	11408	—				
38	11011	—				
	11204	—				
	11406	—				

注：添字 y , z は要素に与えられた座標軸。

1.3.2 架構のモーメント

(単位：N・mm)

No.	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
29	11011	—			
	11204	—			
	11408	—			
38	11011	—			
	11204	—			
	11406	—			

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸。

1.3.3 アンカボルトの荷重

(単位：N)

No.	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
29	—	11011			
38	—	11011			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.4 脚部のモーメント

(単位：N・mm)

No.	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
29	—	11011			
38	—	11011			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸。

1.3.5 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
29	—	11011		
38	—	11011		

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

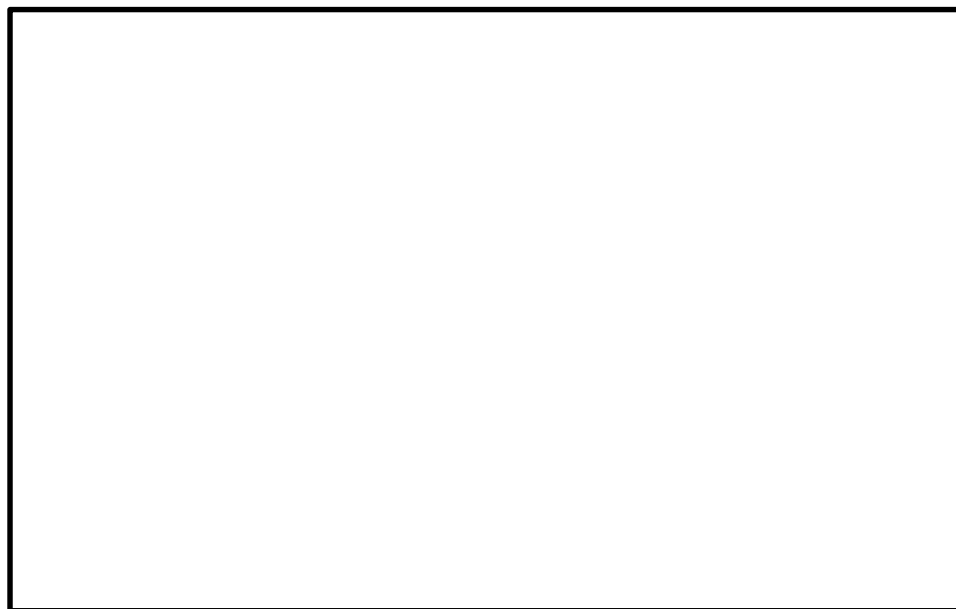
No.	モード	方向	固有周期
29	1	水平	0.033
	7	鉛直	0.015
38	1	水平	0.028
	8	鉛直	0.012

1.4.2 応力

(単位：MPa)

No. 29	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. 29	架構	SS400	引張り	11408	—				
			圧縮	11408	—				
		SM490A	せん断	11011	—				
		SS400	曲げ	11204	—				
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11204	—				単位：なし
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11204	—				
	アンカボルト	SS400	引張り	—	11011				単位：N
せん断			—	11011	単位：N				
組合せ (引張り+せん断)			—	11011	単位：なし				

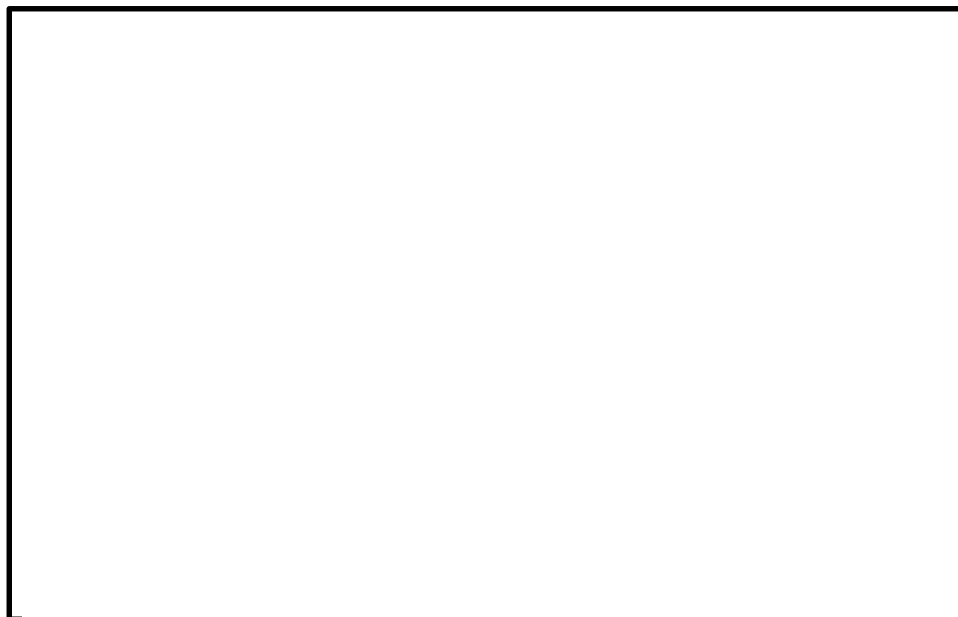
30 すべて許容応力以下である。



(単位：MPa)

No. 38	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. 38	架構	SS400	引張り	11406	—				
			圧縮	11406	—				
		SM490A	せん断	11011	—				
		SS400	曲げ	11204	—				
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	11204	—				
			組合せ (圧縮又は引張り+曲げ+せん断)	11204	—				
	アンカボルト	SS400	引張り	—	11011				単位：N
			せん断	—	11011				単位：N
			組合せ (引張り+せん断)	—	11011				単位：なし

31 すべて許容応力以下である。



VI-2-11-2-3 中央制御室天井照明の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	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状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	20
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	23
4.6.1 応力の計算方法	23
4.7 計算条件	25
4.8 応力の評価	26
4.8.1 天井はりからレースウェイまでの応力評価	26
4.8.2 M10 灯具取付ボルトの応力評価	27
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本資料は、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、下位クラス設備である中央制御室天井照明が設計用地震動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中央運転監視盤、運転監視補助盤（以下「主盤等」という。）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

中央制御室天井照明は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である主盤等の上部に設置されており、落下時に主盤等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

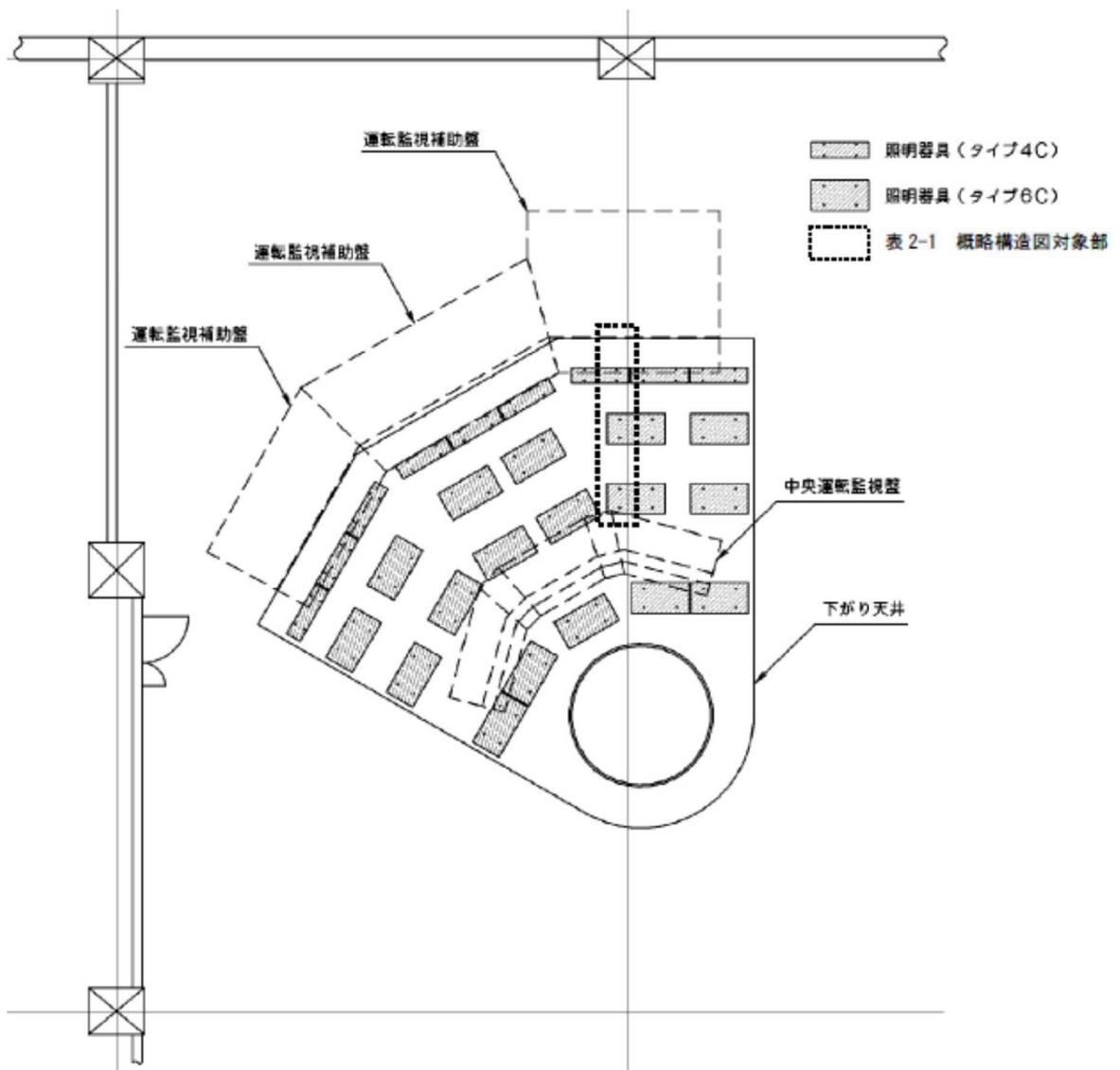


図2-1 中央制御室天井照明と主盤等の位置関係図

2.2 構造計画

中央制御室天井照明の構造計画を表 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	
中央制御室天井照明は、コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1m の天井はりにボックス鋼 A～F, レースウェイ G, M10 灯具取付ボルトを介して接続されている。	吊り下げ型の照明装置	

2.3 評価方針

中央制御室天井照明の応力評価は、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」の「3. 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」にて示す中央制御室天井照明の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において「4.4 固有周期」に示す固有振動数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、「4.6 計算方法」に示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

中央制御室天井照明の耐震評価フローを図2-2に示す。

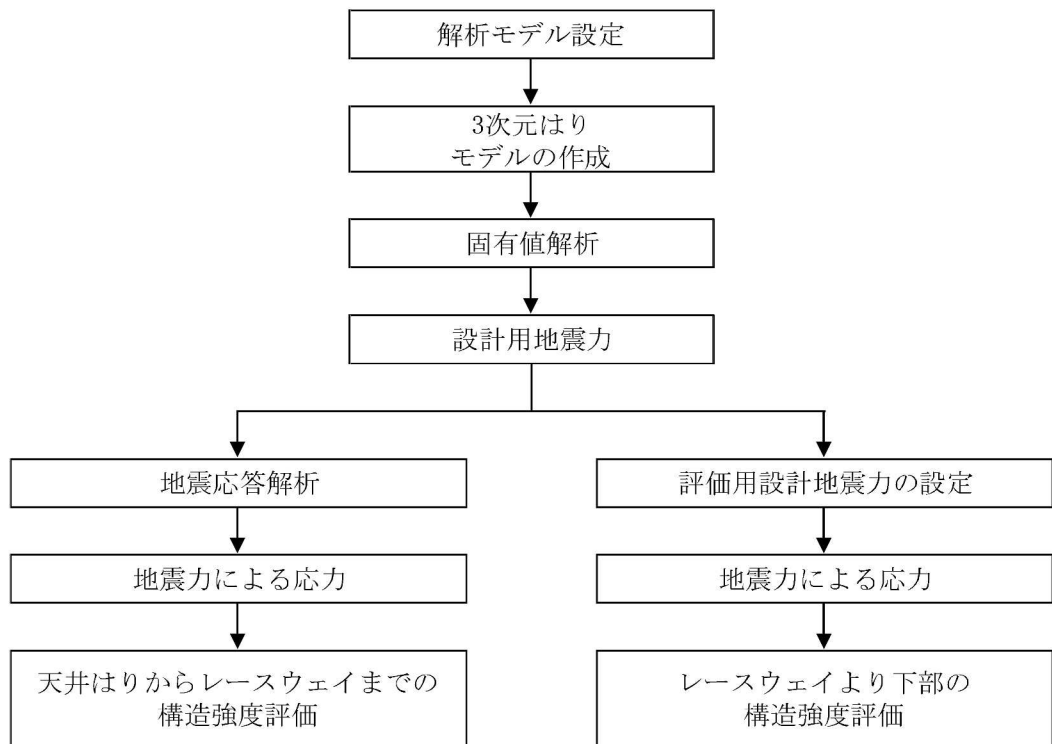


図2-2 中央制御室天井照明の耐震評価フロー

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 ((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。)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_2	R_2 軸方向のせん断断面積	mm^2
A_3	R_3 軸方向のせん断断面積	mm^2
A_f	圧縮フランジの断面積	mm^2
$A_{\text{rea}1}$	部材断面積	mm^2
$A_{\text{rea}2}$	M10 灯具取付ボルト断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_t	許容組合せ応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける M10 灯具取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける M10 灯具取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける M10 灯具取付ボルトの許容引張応力	MPa
h	はりのせい	mm
i	断面二次半径	mm
I_2	R_2 軸まわりの断面二次モーメント	mm^4
I_3	R_3 軸まわりの断面二次モーメント	mm^4
ℓ_b	圧縮フランジの支点間距離	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	質量	kg
M_1	R_1 軸まわりのねじりモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_2	R_2 軸まわりの曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_3	R_3 軸まわりの曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
n	照明器具当りの M10 灯具取付ボルト本数	本
F_{R1}	R_1 軸方向の力 (軸力)	N
F_{R2}	R_2 軸方向の力 (せん断)	N
F_{R3}	R_3 軸方向の力 (せん断)	N
W	M10 灯具取付ボルト 1 本あたりにかかる荷重	N/本
Z_2	R_2 軸まわりの断面係数	mm^3
Z_3	R_3 軸まわりの断面係数	mm^3
Z_{P2}	R_2 軸方向の応力を組合せる際の R_1 軸まわりのねじり断面係数	mm^3
Z_{P3}	R_3 軸方向の応力を組合せる際の R_1 軸まわりのねじり断面係数	mm^3

記号	記号の説明	単位
λ	圧縮材の有効細長比	—
Λ	限界細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
ρ_b	一次応力評価における曲げ応力	MPa
ρ_c	一次応力評価における圧縮応力	MPa
ρ_m	一次応力評価における組合せ応力	MPa
ρ_s	一次応力評価におけるせん断応力	MPa
σ	M10 灯具取付けボルトの一次応力評価における引張応力	MPa
σ_{b2}	R ₂ 軸まわりの発生曲げ応力	MPa
σ_{b3}	R ₃ 軸まわりの発生曲げ応力	MPa
σ_c	発生圧縮応力	MPa
τ	M10 灯具取付けボルトの一次応力評価におけるせん断応力	MPa
τ_2	R ₂ 軸方向の発生せん断応力	MPa
τ_3	R ₃ 軸方向の発生せん断応力	MPa
τ_{P2}	τ_2 と組合わせる時の R ₁ 軸まわりの発生せん断応力 (ねじり)	MPa
τ_{P3}	τ_3 と組合わせる時の R ₁ 軸まわりの発生せん断応力 (ねじり)	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	mm	—	—	整数位*2
断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	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となる場合は、小数点以下を含む表示とする。

*2：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。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

中央制御室天井照明は、ボックス鋼A～F、レースウェイG、M10 灯具取付ボルトを介して建屋躯体部から吊り下げる構造となっている。よって、中央制御室天井照明が落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、ボックス鋼、レースウェイ、M10 灯具取付ボルトについて実施する。

耐震評価部位について、応力解析での耐震評価部位は、図 3-1 に示すボックス鋼 A～F、レースウェイ G とする。

レースウェイより下部の耐震評価応力計算での評価対象部位は、図 3-1 に示す M10 灯具取付ボルトとする。

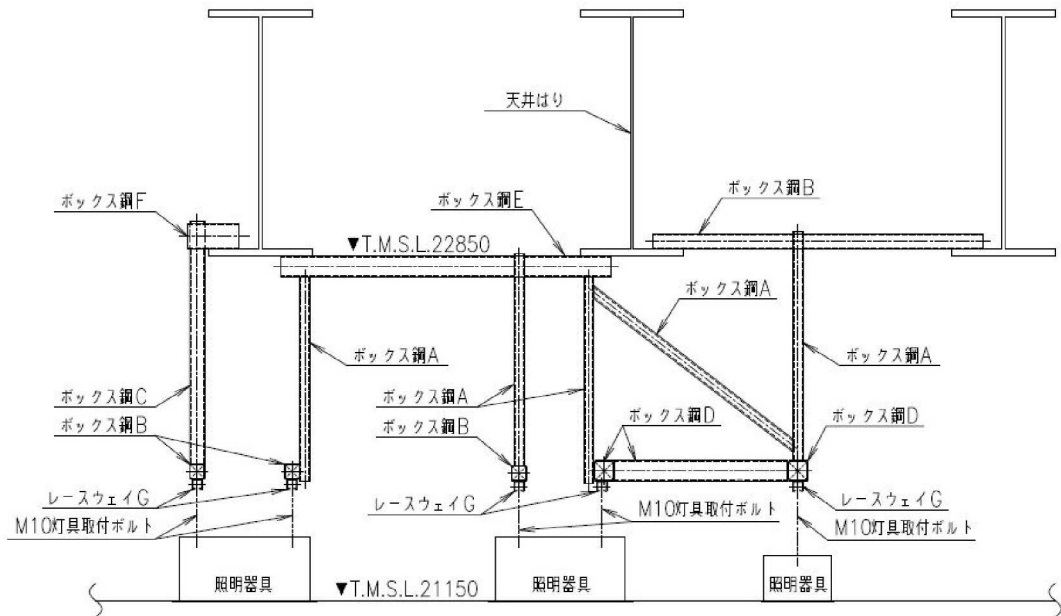


図 3-1 中央制御室天井照明器具の耐震評価部位

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) 中央制御室天井照明は、コントロール建屋躯体天井はりにボックス鋼，レースウェイ，M10 灯具取付ボルトを介して設置されている。
- (2) 中央制御室天井照明の質量には，耐震評価部位である M10 灯具取付ボルトに加えて照明器具及び電路類等の質量を考慮する。
- (3) 地震力は，固有値解析結果を踏まえて設定するものとする。
- (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

中央制御室天井照明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

中央制御室天井照明の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室天井照明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	その他	中央制御室 天井照明	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	その他	中央制御室 天井照明	—	—*1	$D + P_D + M_D + S_s$ *2	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界を 用いる。)

注記*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。

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

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)			許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力			一次応力	
	せん断	圧縮	曲げ	引張り	せん断
IVAS					
VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用い る。)	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	26				
ボックス鋼 A		周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 B		周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 C		周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 D		周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 E		周囲環境温度	26	—	245	400	—
ボックス鋼 F		周囲環境温度	26	—	245	400	—
レースウェイ G		周囲環境温度	26	—	245	400	—
M10 灯具取付ボルト		周囲環境温度	26	—	235	400	—

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50				
ボックス鋼 A		周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 B		周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 C		周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 D		周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 E		周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 F		周囲環境温度	50	—	234	394	—
レースウェイ G		周囲環境温度	50	—	241	394	—
M10 灯具取付ボルト		周囲環境温度	50	—	231	394	—

4.3 解析モデル及び諸元

中央制御室天井照明の解析モデルを図4-1, 図4-2に示す。

- (1) 解析モデルの諸元のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-6に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-7に示す。また, 断面性能を表4-8に示す。
- (2) 解析モデルは, 各部材を表4-9に示す要素を用いてモデル化する。なお, モデル化は部材の中心で行うものとする。
- (3) 各部材の拘束条件及び接合条件を以下に示す。
なお, M10 灯具取付ボルトは剛体として評価する。
 - ・コントロール建屋躯体天井はりボックス鋼 : 完全拘束
 - ・ボックス鋼とボックス鋼 : 完全拘束又はピン拘束
 - ・ボックス鋼と直下に並行しているレースウェイ : 完全拘束
- (4) 計算機コードは「NX NASTRAN」を使用し, 固有値と各要素に発生する応力を求める。なお, 評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については, 別紙「計算機コード(解析コード)の概要」に示す。

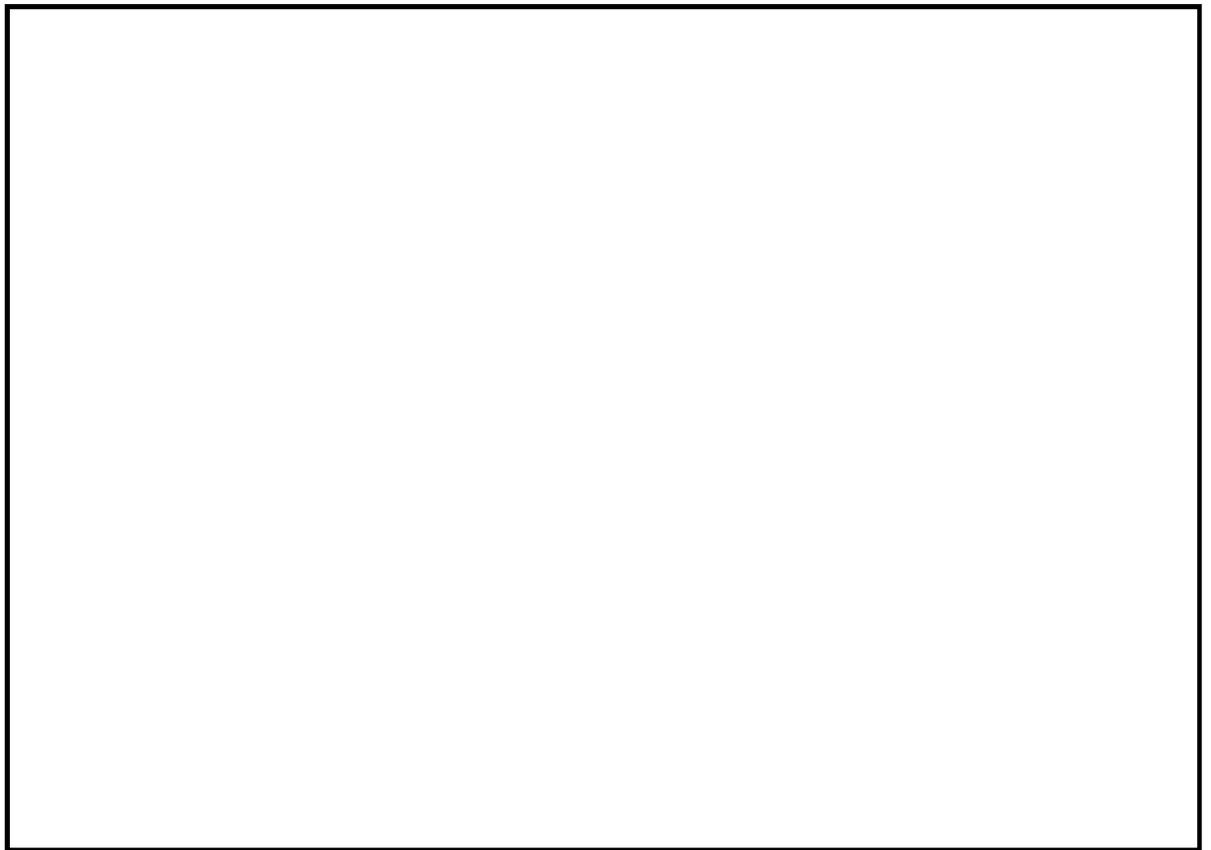


図4-1 中央制御室天井照明の解析モデル(1)

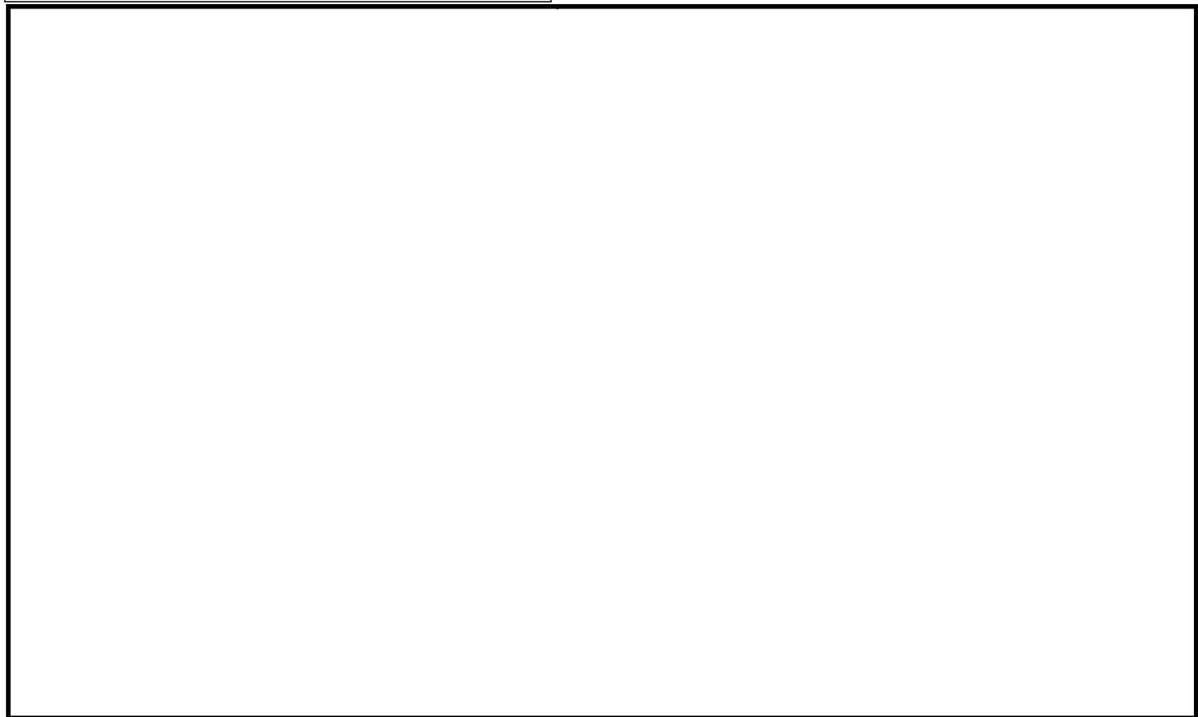
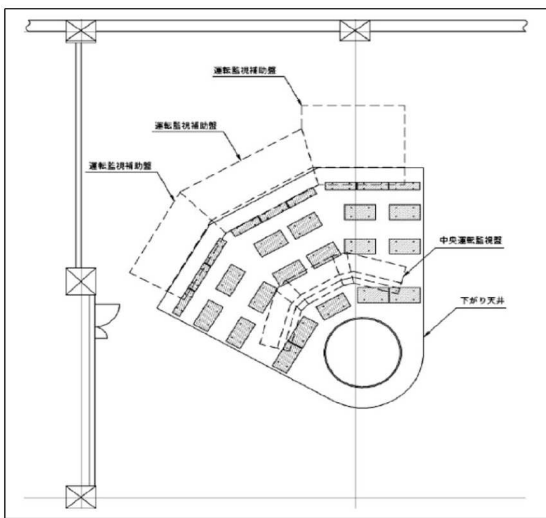


図 4-2 中央制御室天井照明の解析モデル(2)

表 4-6 解析モデル諸元 (設計基準対象施設)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	26
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	

表 4-7 解析モデル諸元 (重大事故等対処設備)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	

表 4-8 断面性能

計算手法	部位	使用鋼材	断面性能									
			断面積		せん断断面積		断面係数		ねじり断面係数		断面二次モーメント	
			Area1 (mm ²)	Area2 (mm ²)	A ₂ (mm ²)	A ₃ (mm ²)	Z ₂ (mm ³)	Z ₃ (mm ³)	Z _{p2} (mm ³)	Z _{p3} (mm ³)	I ₂ (mm ⁴)	I ₃ (mm ⁴)
応力解析	ボックス鋼 A											
	ボックス鋼 B											
	ボックス鋼 C											
	ボックス鋼 D											
	ボックス鋼 E											
	ボックス鋼 F											
	レースウェイ G											
応力計算	M10 灯具取付ボルト	タイプ 4C	—		—	—	—	—	—	—	—	
		タイプ 6C	—		—	—	—	—	—	—	—	

表 4-9 使用要素

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
ボックス鋼 A				単位：mm
ボックス鋼 B				単位：mm
ボックス鋼 C				単位：mm
ボックス鋼 D				単位：mm

K6 ① VI-2-11-2-3 R0

K6 ① VI-2-11-2-3 R0

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
ボックス鋼 E				単位：mm
ボックス鋼 F				単位：mm
レースウェイ G				単位：mm
M10 灯具取付 ボルト				質量のみ考慮
照明器具	—	—	—	質量のみ考慮

4.4 固有周期

固有値解析結果を表 4-10 及び表 4-11 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 4-10 固有値解析結果（設計基準対象施設）

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次	水平		—	—	—

表 4-11 固有値解析結果（重大事故等対処設備）

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次	水平		—	—	—

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-12 及び表 4-13 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 4-12 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)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
コントロール建屋 T. M. S. L. 24. 100*			—	—	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$

注記*：基準床レベルを示す。

表 4-13 設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
コントロール建屋 T. M. S. L. 24. 100*			—	—	$C_H=1.88$	$C_V=1.15$

注記*：基準床レベルを示す。

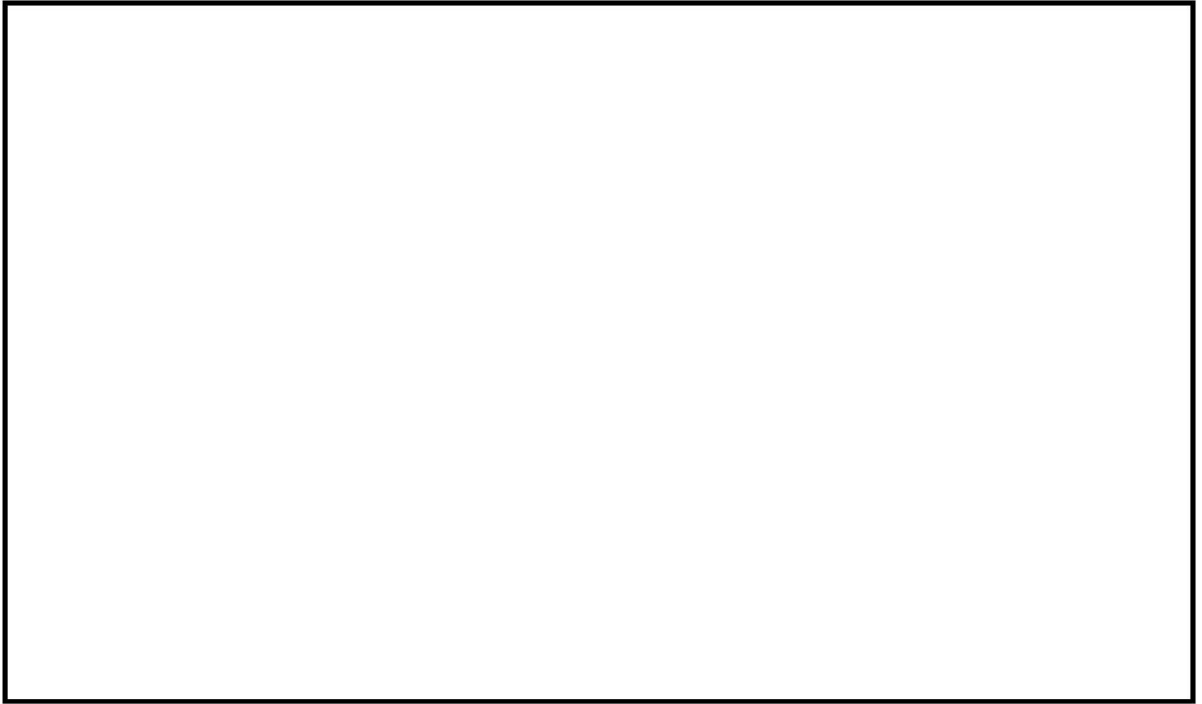


図 4-9 解析モデルに対する建屋からの地震力の伝搬イメージ

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 天井はりからボックス鋼，レースウェイまでの応力

解析による計算で得られる各要素端での圧縮応力，せん断力及び曲げ応力より各応力を次のように求める。

なお， R_2 方向， R_3 方向はそれぞれ表4-9の使用断面に示す方向とする。 R_1 方向は表4-9の使用断面に鉛直方向である。

(1) 圧縮応力

$$\rho_c = |\sigma_c| \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$(a) \sigma_c = F_{R1} / A_{rea1}$$

(2) せん断応力

$$\rho_s = \text{MAX}(\tau_2 + \tau_{P2}, \tau_3 + \tau_{P3}) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$(a) R_2 \text{方向} \quad \tau_2 = F_{R2} / A_2$$

$$(b) R_3 \text{方向} \quad \tau_3 = F_{R3} / A_3$$

$$(c) \text{ねじり} \quad R_2 \text{方向} \quad \tau_{P2} = M_1 / Z_{P2}$$

$$R_3 \text{方向} \quad \tau_{P3} = M_1 / Z_{P3}$$

(3) 曲げ応力

$$\rho_b = \sigma_{b2} + \sigma_{b3} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

$$(a) \sigma_{b2} = M_2 / Z_2$$

$$(b) \sigma_{b3} = M_3 / Z_3$$

(4) 組合せ応力

$$\rho_m = \sqrt{(\rho_c + \rho_b)^2 + 3\rho_s^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

4.6.1.2 M10 灯具取付ボルトの応力

M10 灯具取付ボルトに生じる応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

(1) 引張応力

$$\sigma = \frac{W \cdot (1 + C_V)}{A_{rea2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \frac{\sqrt{2} \cdot W \cdot C_H}{A_{rea2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重は、以下の表 4-14 に示す。また、M10 灯具取付ボルトの応力計算に使用する条件を表 4-15 に示す。

表 4-14 各部品の質量一覧

部材	使用鋼材	質量及び単位質量	物量	質量(kg)	
ボックス鋼 A		kg/m		m	
ボックス鋼 B		kg/m			m
ボックス鋼 C		kg/m			m
ボックス鋼 D		kg/m			m
ボックス鋼 E		kg/m			m
ボックス鋼 F		kg/m			m
レースウェイ G		kg/m			m
照明器具	タイプ 4C	kg/灯	灯		
	タイプ 6C	kg/灯	灯		
電線管類	電線管, 電線付属品, 電線	kg	式		
その他サポート材	付属品	kg	式		
合計					

表 4-15 M10 灯具取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値
M10 灯具取付ボルト 1 本当たりの荷重	W	N/本	(タイプ 4C) (タイプ 6C)
M10 灯具取付ボルトの断面積	Area ²	mm ²	
設計水平震度 (設計基準対象施設)	C _H	—	1.88
設計水平震度 (重大事故等対処設備)	C _H	—	1.88
設計鉛直震度 (設計基準対象施設)	C _V	—	1.15
設計鉛直震度 (重大事故等対処設備)	C _V	—	1.15

4.8 応力の評価

4.8.1 天井はりからレースウェイまでの応力評価

4.6.1.1 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。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容圧縮応力 f_c	(1) 有効細長比 \leq 限界細長比 $\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$ (2) 有効細長比 $>$ 限界細長比 $0.277 \cdot F^* \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
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	$\text{MIN} \left(\frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{\ell_b \cdot h} \cdot 1.5, \frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5 \right)$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

4.8.2 M10 灯具取付ボルトの応力評価

4.6.1.2 項で求めた M10 灯具取付ボルトの引張応力 σ は次式より求めた許容引張応力 $f_{t s}$ 以下であること。ただし、 $f_{t o}$ は下表による。

$$f_{t s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau, f_{t o}] \cdots \cdots \cdots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b}$ 以下であること。ただし、 $f_{s b}$ は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t o}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室天井照明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、設計用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。

また、許容応力に対する算出応力の割合が最も大きい箇所（裕度最小箇所）を図 5-1 に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室天井照明の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

また、許容応力に対する算出応力の割合が最も大きい箇所（裕度最小箇所）を図 5-2 に示す。

【中央制御室天井照明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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
中央制御室天井照明	C	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.100*			—	—	C _H =1.88	C _V =1.15	26

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 結論

1.2.1 応力

(単位：MPa)

部材	材料	使用鋼材	応力分類	基準地震動 S _s									
				算出応力	許容応力								
ボックス鋼A	[Redacted]	[Redacted]	圧縮	[Redacted]	[Redacted]								
			せん断										
			曲げ										
			組合せ										
ボックス鋼B			[Redacted]			[Redacted]	圧縮	[Redacted]	[Redacted]				
							せん断						
							曲げ						
							組合せ						
ボックス鋼C							[Redacted]			[Redacted]	圧縮	[Redacted]	[Redacted]
											せん断		
											曲げ		
											組合せ		
ボックス鋼D	[Redacted]	[Redacted]		圧縮	[Redacted]						[Redacted]		
				せん断									
				曲げ									
				組合せ									
ボックス鋼E			[Redacted]	[Redacted]		圧縮		[Redacted]	[Redacted]				
						せん断							
						曲げ							
						組合せ							
ボックス鋼F						[Redacted]	[Redacted]			圧縮		[Redacted]	[Redacted]
										せん断			
										曲げ			
										組合せ			
レースウェイG	[Redacted]	[Redacted]			圧縮					[Redacted]	[Redacted]		
					せん断								
					曲げ								
					組合せ								
M10 灯具取付ボルト			[Redacted]	タイプ 4C	引張			[Redacted]	[Redacted]				
				タイプ 6C	せん断								
					引張								
				せん断									

すべて許容応力以下である。

注記 *1：絶対値を記載

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$

K6 ① VI-2-11-2-3 R0

K6 ① VI-2-11-2-3 R0

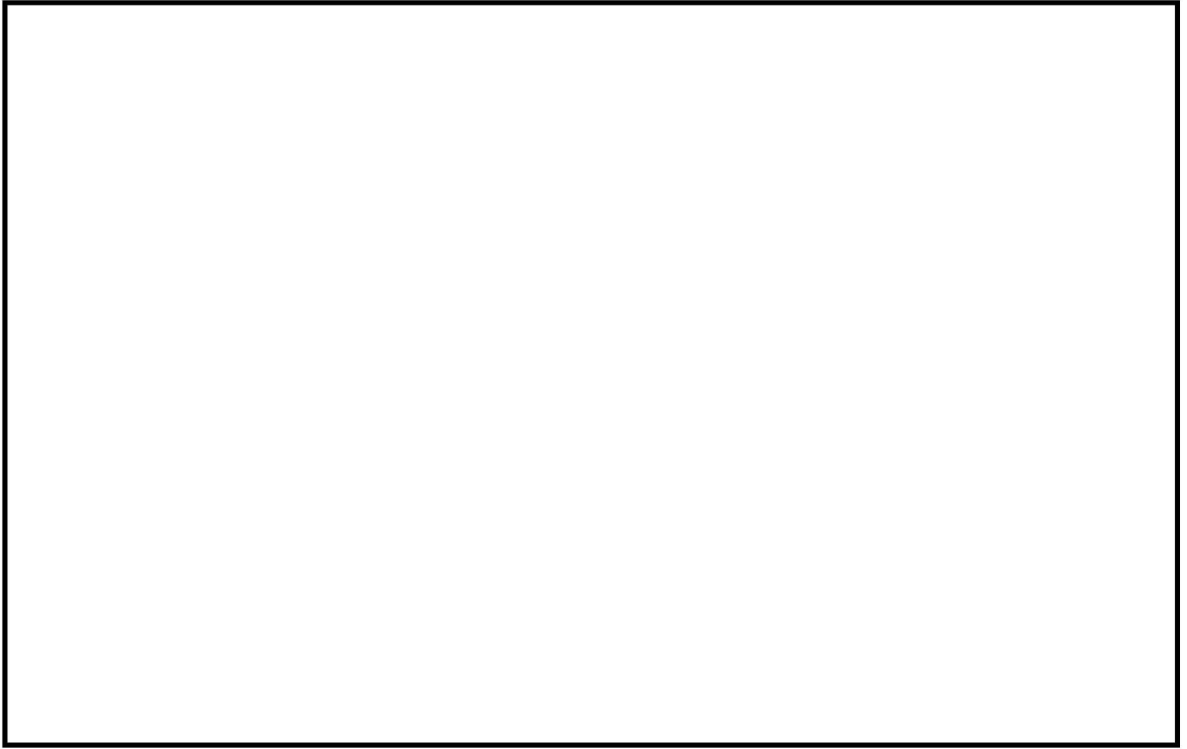


図 5-1 裕度最小箇所（設計基準対象施設）

【中央制御室天井照明の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
中央制御室天井照明	—	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.100*			—	—	C _H =1.88	C _V =1.15	50

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 結論

2.2.1 応力

(単位：MPa)

部材	材料	使用鋼材	応力分類	基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力
ボックス鋼A			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ		
ボックス鋼B			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ		
ボックス鋼C			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ		
ボックス鋼D			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ		
ボックス鋼E	圧縮				
	せん断				
	曲げ				
	組合せ				
ボックス鋼F	圧縮				
	せん断				
	曲げ				
	組合せ				
レースウェイG	圧縮				
	せん断				
	曲げ				
	組合せ				
M10 灯具取付ボルト		タイプ 4C	引張り		
			せん断		
		タイプ 6C	引張り		
			せん断		

すべて許容応力以下である。

注記 *1：絶対値を記載

*2： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$

K6 ① VI-2-11-2-3 R0

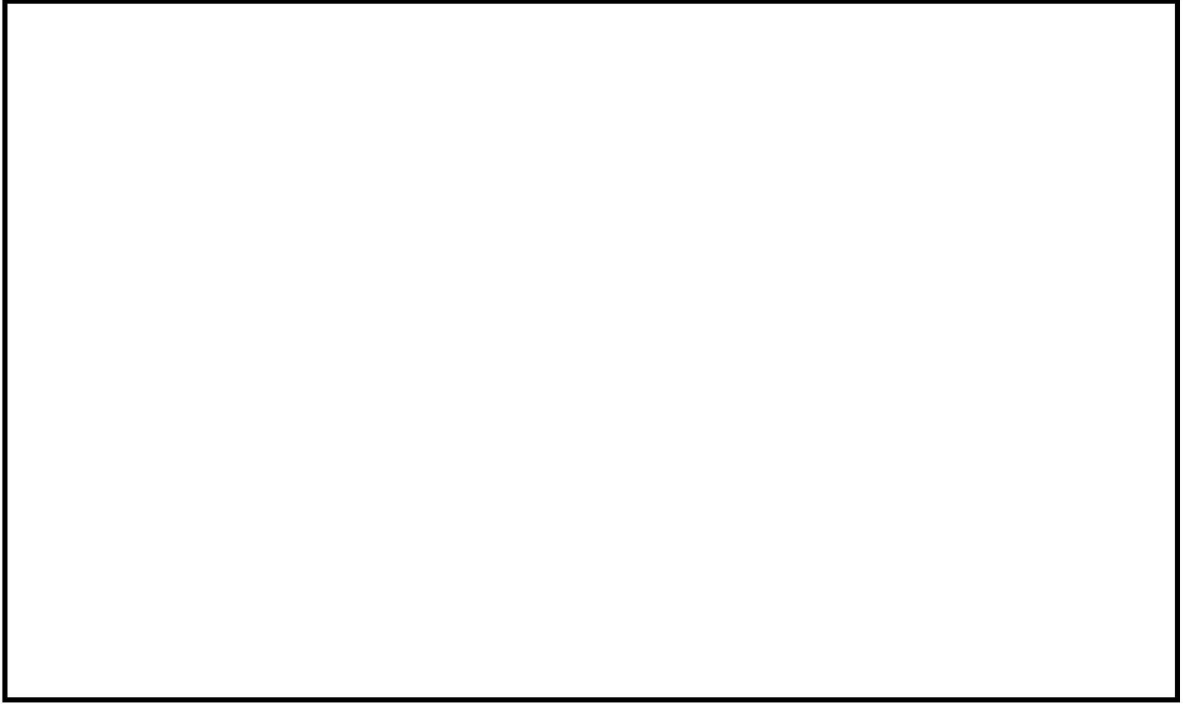


図 5-2 裕度最小箇所（重大事故等対処設備）

VI-2-11-2-4 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	01
2. 一般事項	01
2.1 配置概要	01
2.2 構造計画	02
2.3 評価方針	03
2.4 適用規格・基準等	04
2.5 記号の説明	05
2.6 計算精度と数値の丸め方	07
3. 評価部位	07
4. 地震応答解析及び構造強度評価	08
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	08
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及び許容荷重評価条件	10
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	27
4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法	27
4.6.2 脱線防止ラグの応力の計算方法	31
4.6.3 トロリストッパの応力の計算方法	32
4.6.4 浮上り量の計算方法	33
4.6.5 吊具の荷重計算方法	33
4.7 計算条件	33
4.8 応力の評価	34
4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価	34
4.8.2 脱線防止ラグの応力評価	34
4.8.3 トロリストッパの応力評価	34
4.8.4 浮上り量の評価	35
4.8.5 吊具の評価	35
5. 評価結果	36
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	36
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36
6. 引用文献	36
付録1 時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討	43

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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である原子炉建屋クレーン（Bクラス施設）が基準地震動 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使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、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

原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋4階に設置される。原子炉建屋クレーンは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料貯蔵プール上に移動可能であることから、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料貯蔵プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

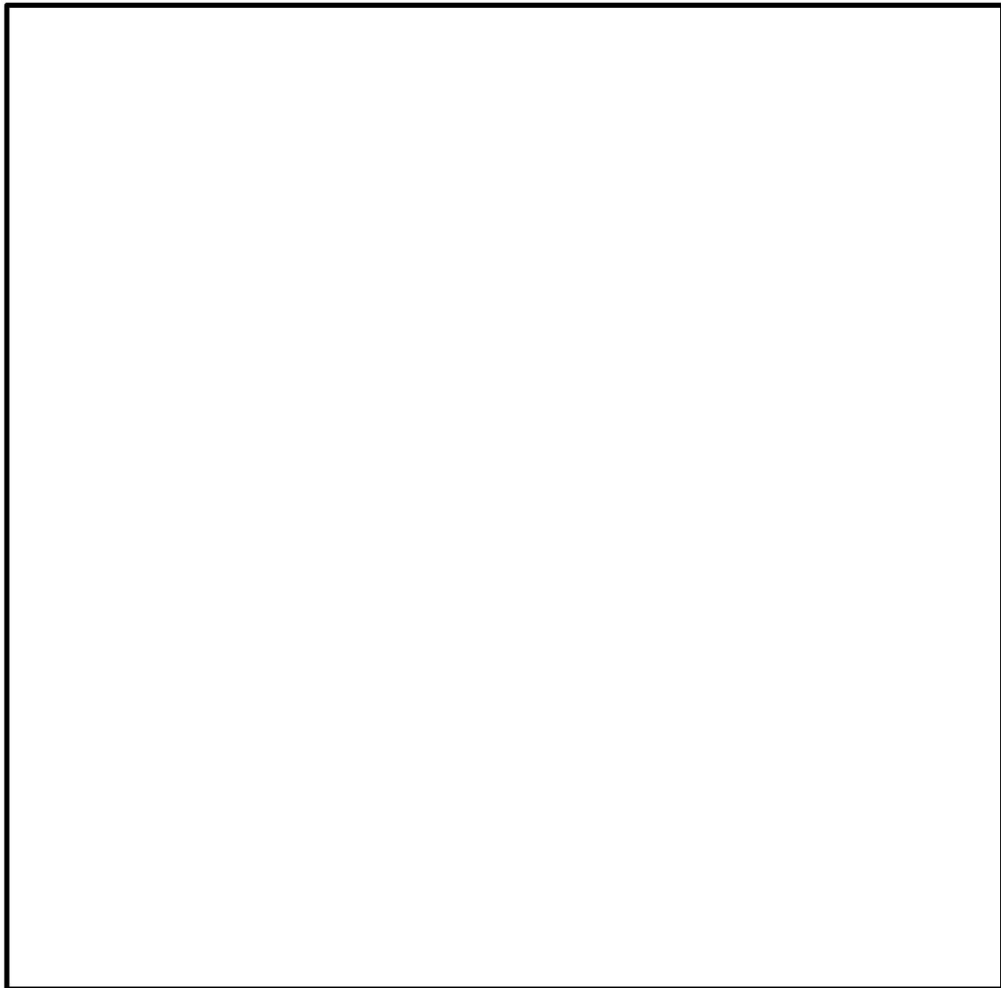


図 2-1 原子炉建屋クレーンの位置関係図

2.2 構造計画

原子炉建屋クレーンの構造計画を表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	
<p>原子炉建屋4階のクレーンガーダ上に設けた走行レール上をクレーン本体ガーダが走行し、クレーン本体ガーダ上部の横行レール上をトロリが横行する。クレーン本体ガーダは脱線防止ラグ、トロリはトロリストッパを走行部付近に備えており、各々浮き上がり代を設けた(鉛直方向の浮き上がりを拘束しない)構造である。</p> <p>また、吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ及びフックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。</p>	<p>クレーン本体ガーダ トロリ</p>	

(単位：m)

2.3 評価方針

原子炉建屋クレーンの応力評価は、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、「2.2 構造計画」にて示す原子炉建屋クレーンの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」により算出した基準地震動 S_s による荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉建屋クレーンの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

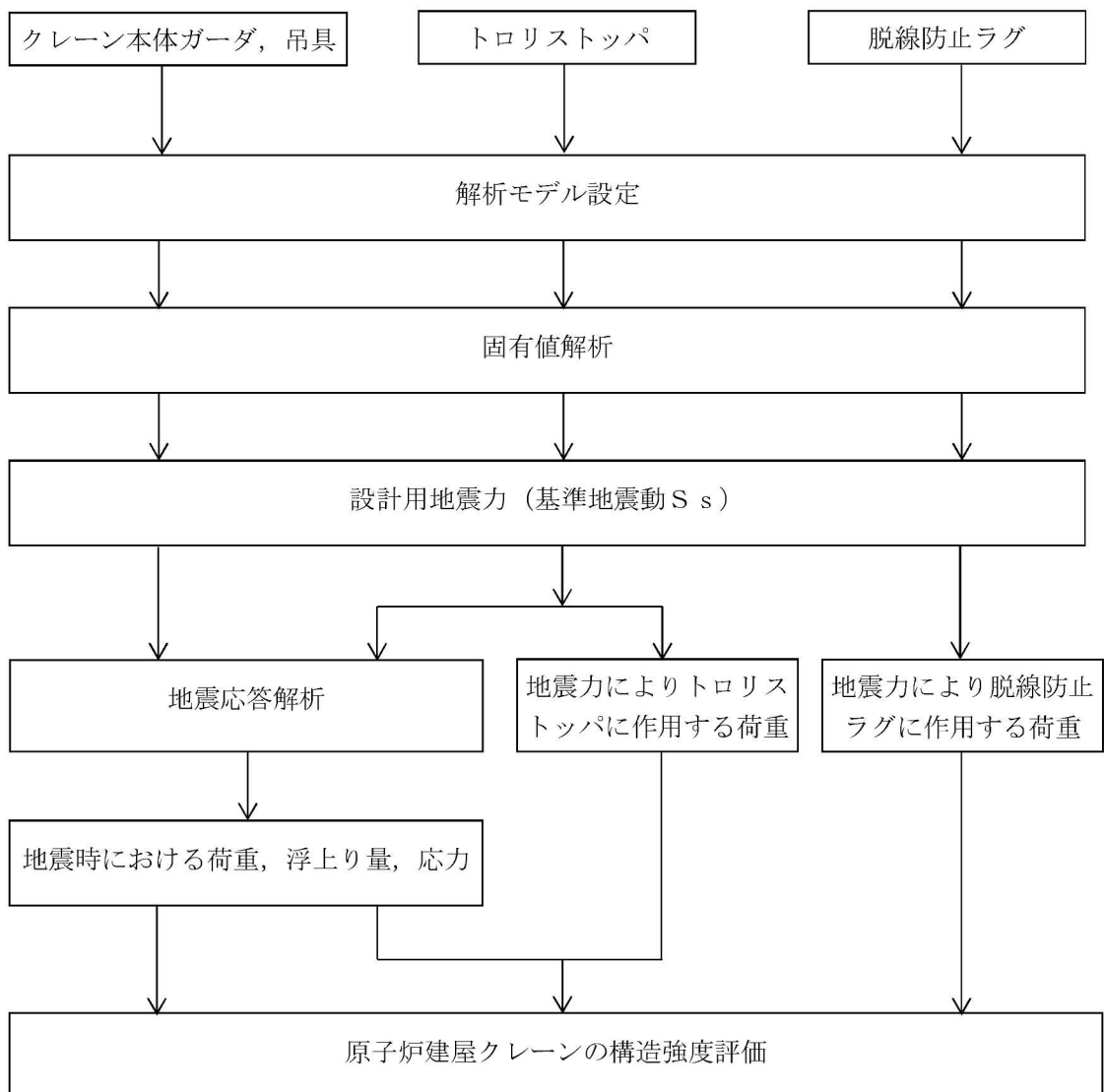


図 2-2 原子炉建屋クレーンの耐震評価フロー

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。)
- ・クレーン構造規格 (平成 15 年 12 月 19 日厚生労働省告示 399 号)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	脱線防止ラグの断面積	mm^2
A_2	トロリストッパの断面積	mm^2
A_V	ガーダ端部の主桁及び補桁の断面積	mm^2
C_H	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度 (EW 方向)	—
C_{H1}	水平方向設計震度 (NS 方向)	—
D	死荷重	N
E_G	クレーン本体ガーダの縦弾性係数	MPa
E_W	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_1	脱線防止ラグ 1 個あたりに作用する力	N
F_2	トロリストッパ 1 個あたりに作用する力	N
f_c	脱線防止ラグの許容圧縮応力	MPa
f_{c1}	トロリストッパの許容圧縮応力	MPa
f_s	ガーダ端部の許容せん断応力	MPa
f_t	ガーダ中央部の許容引張応力	MPa
f_{w1}	吊具 (ワイヤロープ) の許容荷重	N
f_{w2}	吊具 (フック) の許容荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_g	ガーダの許容浮上り量	mm
H_t	トロリの許容浮上り量	mm
h_g	ガーダの浮上り量	mm
h_t	トロリの浮上り量	mm
l_1	脱線防止ラグ鉛直材の長さ	mm
l_2	脱線防止ラグ水平材の長さ	mm
l_3	トロリストッパ鉛直材の長さ	mm
l_4	トロリストッパ水平材の長さ	mm
M_D	機械的荷重 (設計基準対象施設)	N
M_H	ガーダ中央部の水平曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{SAD}	機械的荷重 (重大事故等対処設備)	N
M_V	ガーダ中央部の鉛直曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガーダ部全質量 (サドル及びロッカービーム含む。)	kg
m_m	主巻定格荷重 (質量)	kg
m_t	トロリ質量 (ワイヤロープ及びフック含む。)	kg
P_D	最高使用圧力による荷重 (設計基準対象施設)	N

記号	記号の説明	単位
P_{SAD}	設計圧力による荷重（重大事故等対処設備）	N
P_W	吊具（ワイヤロープ及びフック）に加わる荷重	N
Q	ガーダ端部のせん断力	N
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_1	脱線防止ラグ鉛直材の板厚	mm
t_2	脱線防止ラグ水平材の板厚	mm
t_3	脱線防止ラグ水平材の板厚	mm
t_4	トロリストッパ鉛直材の板厚	mm
t_5	トロリストッパ水平材の板厚	mm
Z_X	ガーダ中央部のX軸に関する断面係数	mm^3
Z_Y	ガーダ中央部のY軸に関する断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
Σm	クレーン総質量 ($m_t + m_G$)	kg
σ_c	脱線防止ラグの圧縮応力	MPa
σ_{c1}	トロリストッパの圧縮応力	MPa
σ_{Ht}	M_{II} によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_t	ガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_{vt}	M_V によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
τ	ガーダ端部のせん断応力	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 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位 ^{*1}
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}
	厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：最大静止摩擦係数より求めた震度は、小数点以下第 3 位表示となる場合がある。

*2：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。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉建屋クレーンの耐震評価は、「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、クレーン及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、クレーン本体ガーダ、脱線防止ラグ、トロリストッパ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）について実施する。原子炉建屋クレーン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) 構造概要

図4-1に構造概要図を示す。

耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

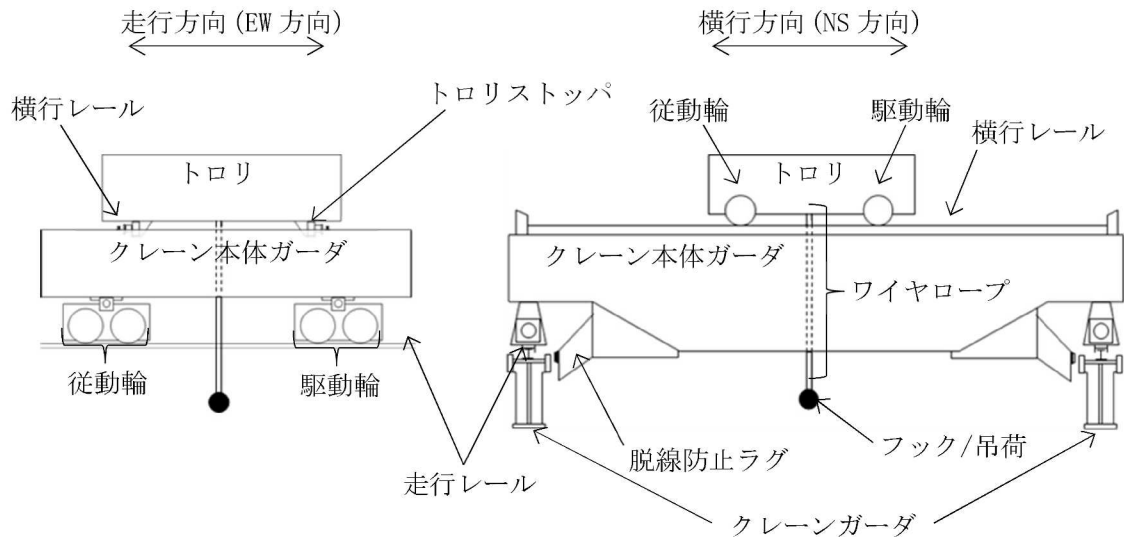


図4-1 構造概要図

(2) 走行方向 (EW方向) 水平力

- a. クレーンは、クレーン本体ガーダ及びクレーン本体ガーダを介してトロリが走行レール上に載っている構造で建屋とは固定されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向 (EW方向) に加えられた場合、すべりが生じる。このため、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は8個であり、そのうちの4個は駆動輪、他の4個が従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- d. 従動輪は、回転部分が連結されていないため、駆動輪のみで水平力を受ける。
- e. トロリは、走行方向 (EW 方向) 水平力が横行レールに対して直角方向であり、トロリがトロリストoppaで拘束されているため、水平力がクレーン本体ガーダに作用する。

(3) 横行方向 (NS 方向) 水平力

a. ガーダ関係

横行方向 (NS 方向) は、走行レールに対して直角方向であり、ガーダが脱線防止ラグで拘束されているため、水平力がガーダに作用する。

b. トロリ関係

- (a) トロリはガーダ上の横行レール上に載っている構造で、ガーダとは拘束されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合、すべりが生じる。このため、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) トロリの横行車輪は4個であり、そのうちの2個は駆動輪、他の2個は従動輪である。
- (c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- (d) トロリの従動輪は、回転部分が連結されていないので、駆動輪のみで水平力を受ける。

(4) 鉛直方向（UD方向）

クレーン及びトロリは、レール上にあり、鉛直下向き方向には建屋により支持される。鉛直上向き方向には固定されていないため、鉛直方向（UD方向）には浮上りを考慮する。

(5) 評価ケース

表4-1に示すケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対しては、クレーンの運転状態と待機状態を想定しケース1~3について、重大事故等対処設備はクレーンの待機状態を想定しケース3について評価する。

表4-1 評価ケース

評価対象		クレーン本体ガーダ, 浮上り量, 吊具		
		1	2	3
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●*	—	—
	端部	—	●*	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

注記*：吊荷については、落下評価も実施する。

(6) 地震力

地震力は、原子炉建屋クレーン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し、「基準地震動 S_s」を用いる。クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガーダ及びトロリの浮上り量については、時刻歴加速度波による評価を実施する。また、脱線防止ラグ、トロリストoppaについては、設計用地震力による評価を実施する。

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

原子炉建屋クレーン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4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉建屋クレーンの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

原子炉建屋クレーンの使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重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4-5及び表4-6に、重大事故等対処設備に用いるものを表4-7に示す。

表 4-2 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
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建屋 クレーン	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 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
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建屋 クレーン	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界 を用いる。)

注記*：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。

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	圧縮
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$
VAS (VASとして、IVASの許容限界を用いる。)			

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 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	309	480	—
	ガーダ 端部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	309	480	—
脱線防止ラグ			周囲環境温度	50	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	50	—			—

表 4-6 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	1.596×10 ⁶	12.82	2.047×10 ⁷
フック		周囲環境温度	50	1.471×10 ⁶	11.90	1.751×10 ⁷

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	100	—	283	441	—
	ガーダ 端部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	100	—	283	441	—
脱線防止ラグ			周囲環境温度	100	—			—
トロリストップ			周囲環境温度	100	—			—

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建屋クレーンの解析モデルを図4-3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【原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) クレーンは、はり要素を用いた有限要素モデルとし、クレーンの質量としてガーダ部、トロリ及び吊荷を考慮する。
- (2) 地震応答解析に用いる減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向ともに2.0%を用いる。
- (3) クレーンと車輪部については、4.1(1)項にて示したクレーンの構造の特徴を踏まえて、解析の入力条件を以下のとおり設定する。

a. クレーンのすべりを考慮した水平力の設定

最大静止摩擦係数以上の力が加われば、車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで、最大静止摩擦係数を $\mu=0.3$ とし、クレーン各構造部材に発生する水平力は、走行車輪の数と駆動輪の数との関係から以下に示す式から求める。

クレーン本体ガーダの走行方向（EW方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{4}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

トロリの走行方向（NS方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{4} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

b. 浮上りによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は、引用文献(1)の試験にて得られた反発係数 e から換算した減衰比 h として、を用いる。反発係数 e と減衰比 h との関係式は次式に、関係図を図4-2に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

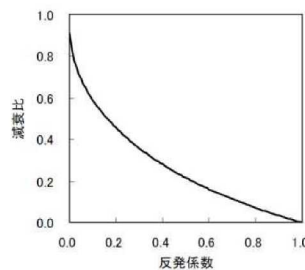


図4-2 反発係数と減衰比の関係

- (4) 固有値解析及び地震応答解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。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。

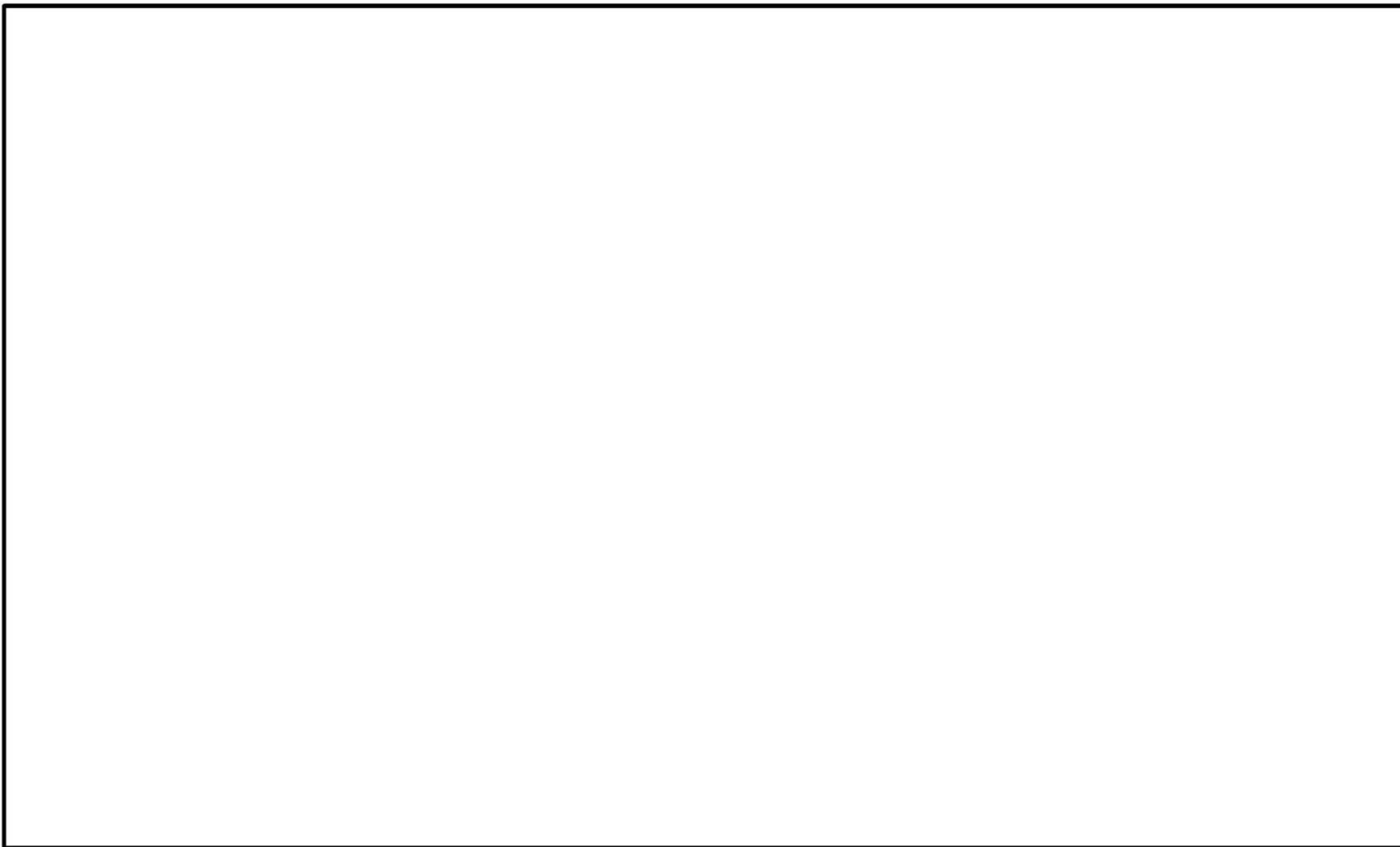


図4-3 原子炉建屋クレーン解析モデル（トロリ中央位置モデル）

4.4 固有周期

脱線防止ラグへの荷重算出に用いる設計震度を算定するために、クレーン横行方向 (NS 方向) が卓越する 1 次固有周期を求める。設計基準対象施設としての検討ケース時における固有周期を表 4-8 に、重大事故等対象設備としての検討ケース時における固有周期を表 4-9 に示す。また、振動モード図について図 4-4 及び図 4-5 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 4-8 設計基準対象施設の検討ケース時の固有周期

方向	固有周期 (s)
横行方向 (NS 方向)	T=0.040

表 4-9 重大事故等対象設備の検討ケース時の固有周期

方向	固有周期 (s)
横行方向 (NS 方向)	T=0.043

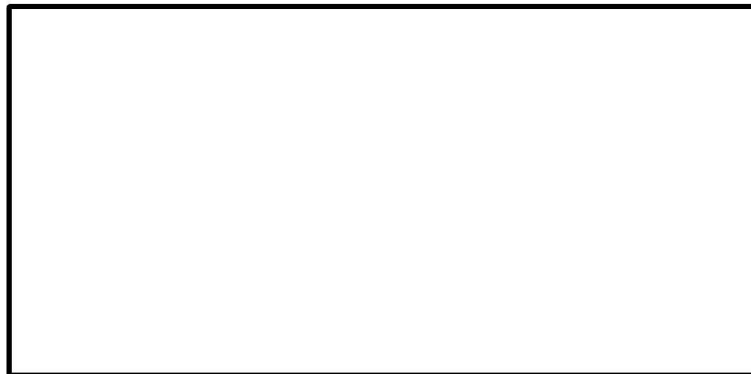


図 4-4 設計基準対象施設の検討ケース時の振動モード図

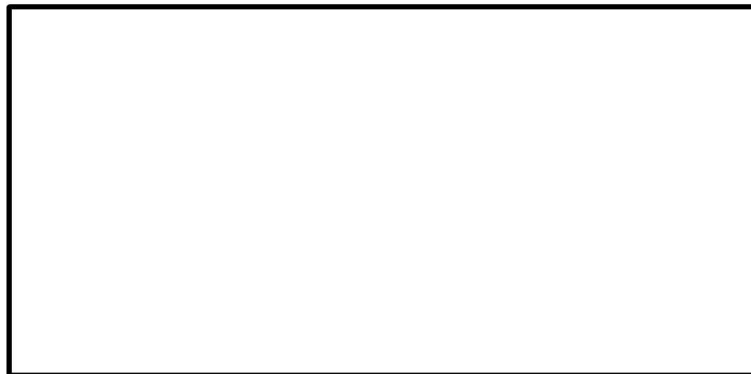


図 4-5 重大事故等対象設備の検討ケース時の振動モード図

4.5 設計用地震力

脱線防止ラグ及びトロリストoppaの評価に用いる設計用地震力を表4-10及び表4-11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4-10 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 (UD方 向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)		走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)	
原子炉建屋 T.M.S.L. 39.7* ¹	—* ²	0.040* ³	—* ²	C _H =0.15* ⁴	C _{H1} =1.71* ⁵	—* ⁶

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

*3：固有値解析より0.05秒以下であり剛であることを確認した。

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度。トロリストoppaの評価に適用する。

*5：脱線防止ラグの評価に適用する。

*6：鉛直方向の設計震度は使用しないため、「—」と記載する。

表4-11 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 (UD方 向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)		走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)	
原子炉建屋 T.M.S.L. 39.7* ¹	—* ²	0.043* ³	—* ²	C _H =0.15* ⁴	C _{H1} =1.71* ⁵	—* ⁶

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

*3：固有値解析より0.05秒以下であり剛であることを確認した。

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度。トロリストoppaの評価に適用する。

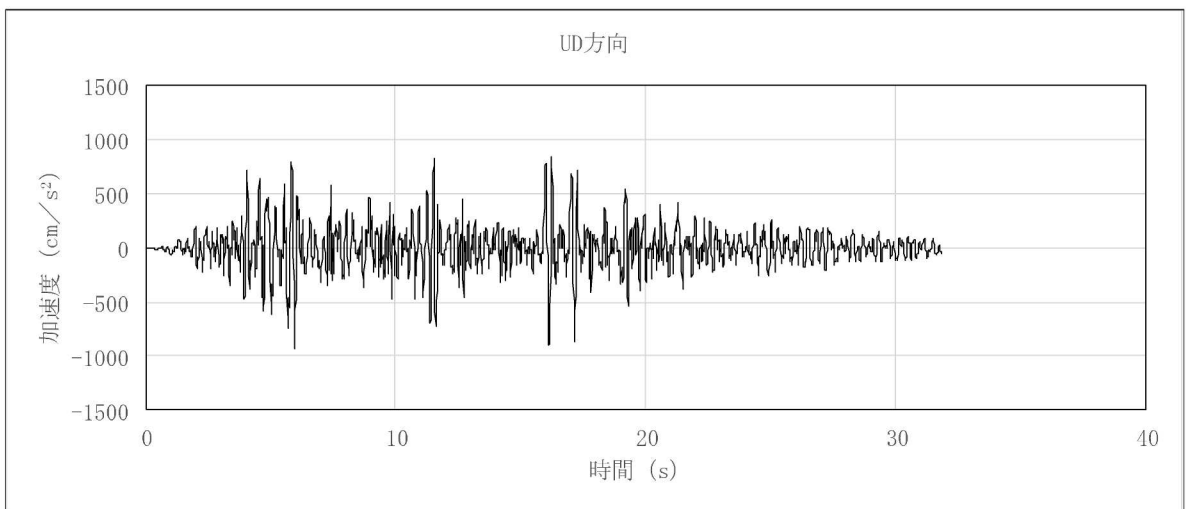
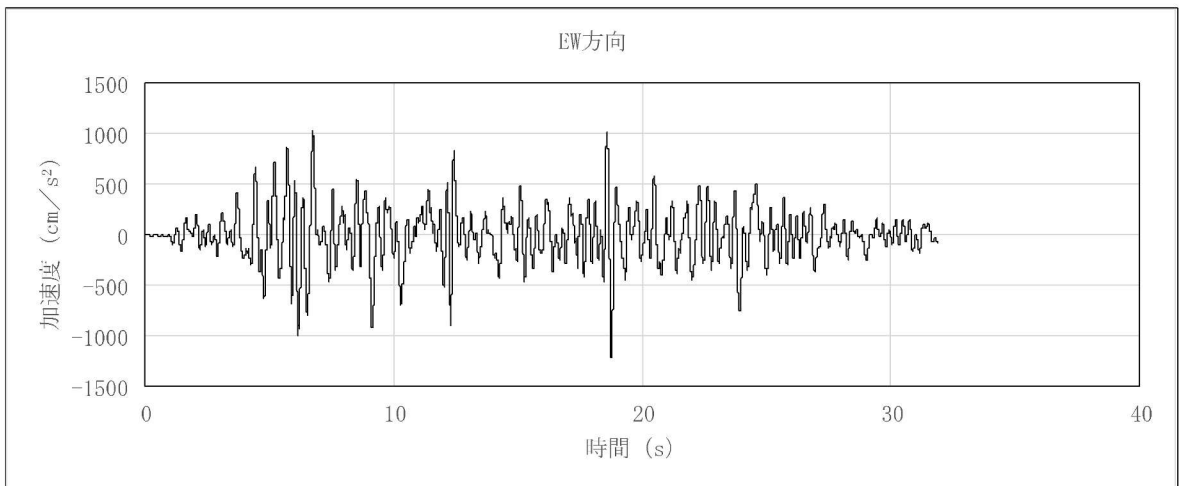
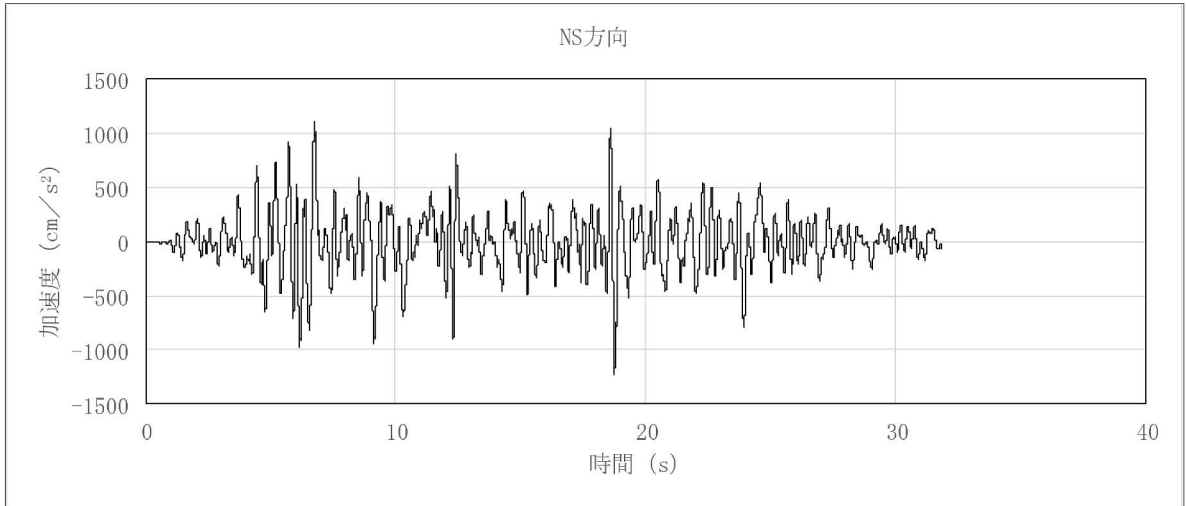
*5：脱線防止ラグの評価に適用する。

*6：鉛直方向の設計震度は使用しないため、「—」と記載する。

クレーン本体ガード及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガード及びトロリの浮上り量に対する地震応答解析は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」で得られる原子炉建屋T.M.S.L. 39.7mの時刻歴加速度波を入力とし、水平2方向と鉛直方向地震力の同時入力により解析を実施する。時刻歴加速度波形を次頁以降の(1)～(8)に示す。

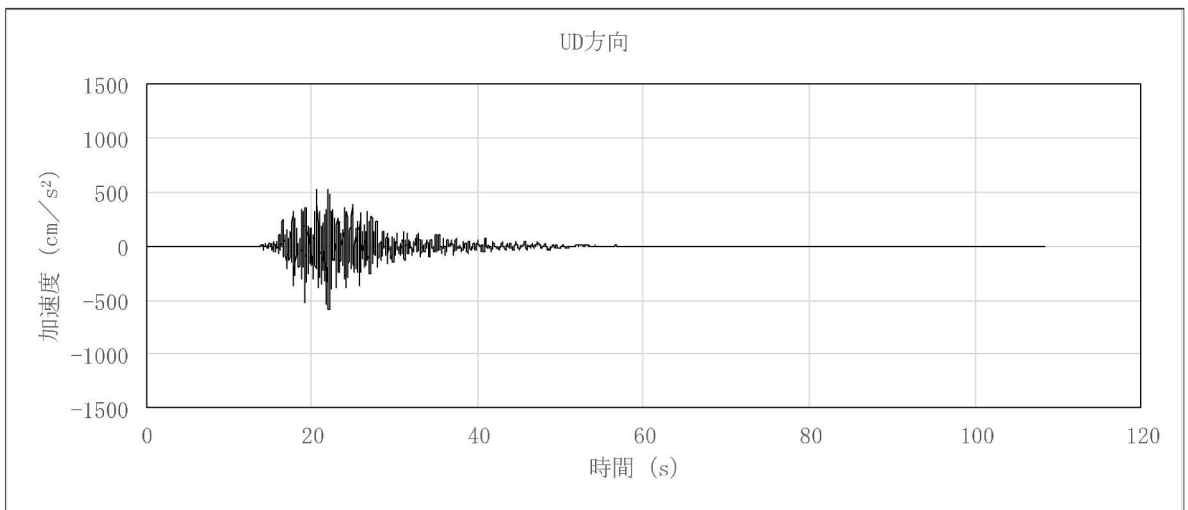
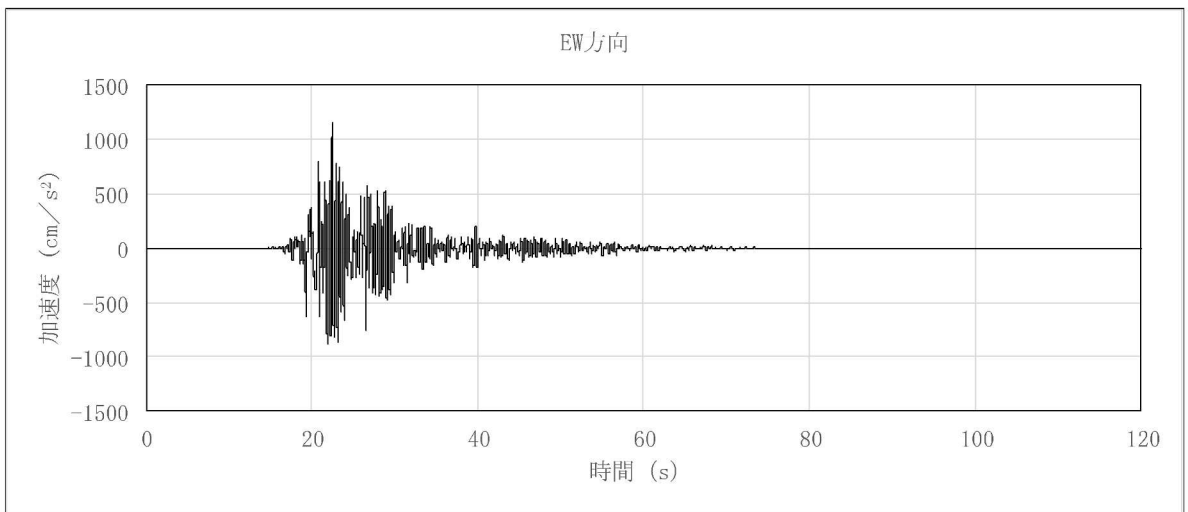
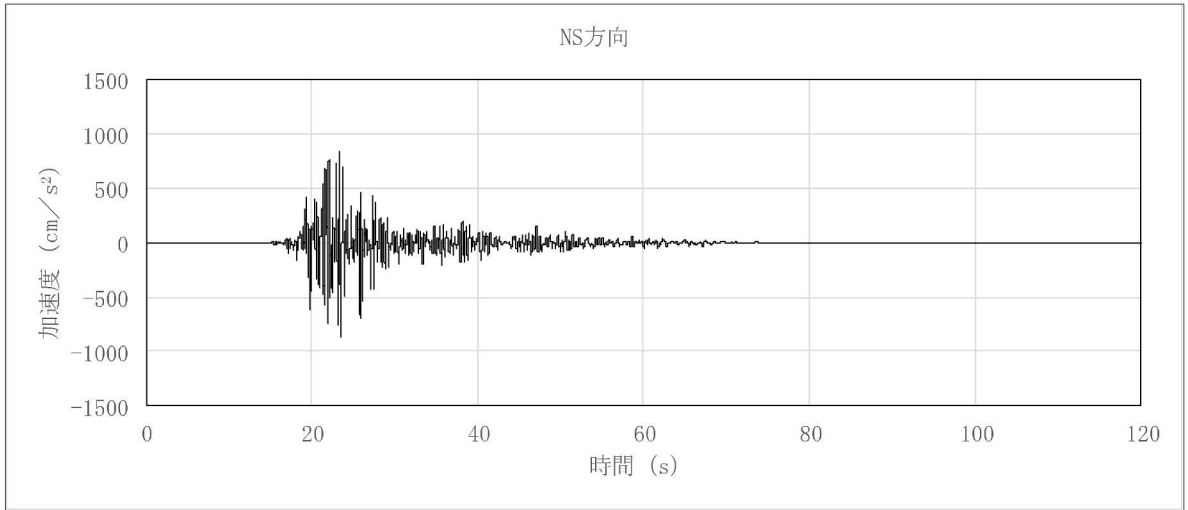
(1) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-1



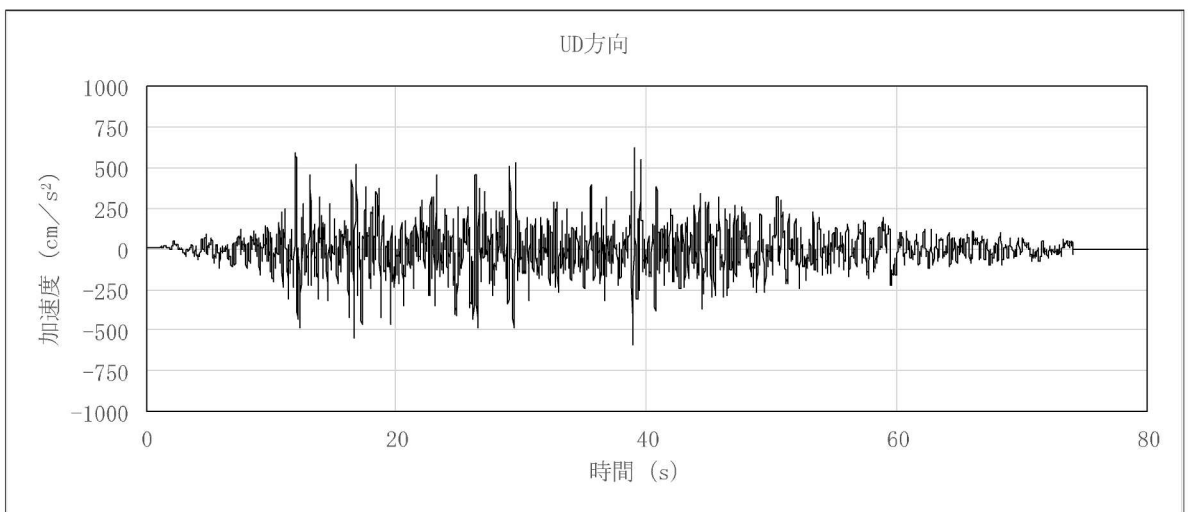
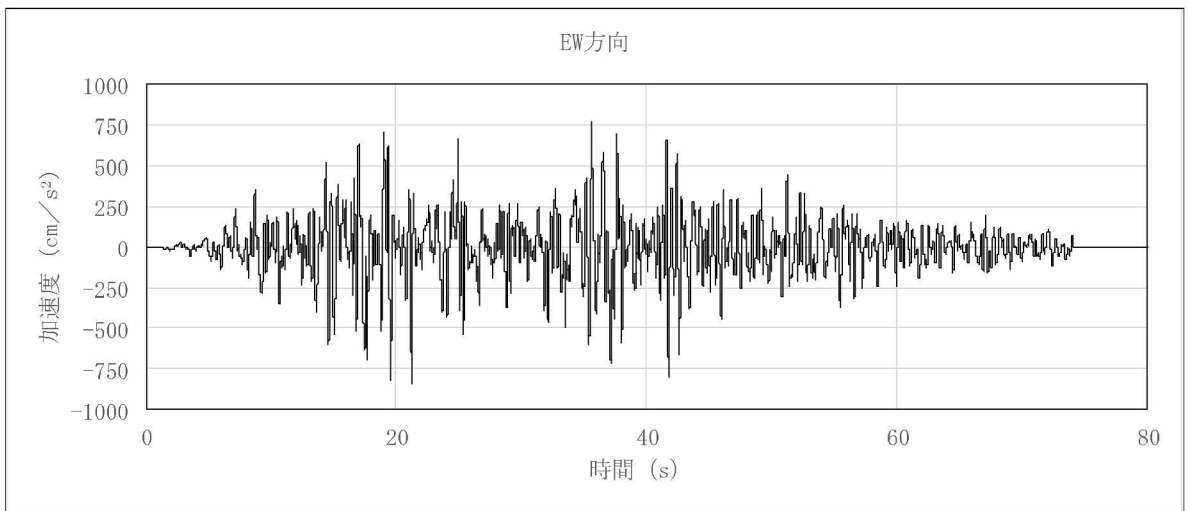
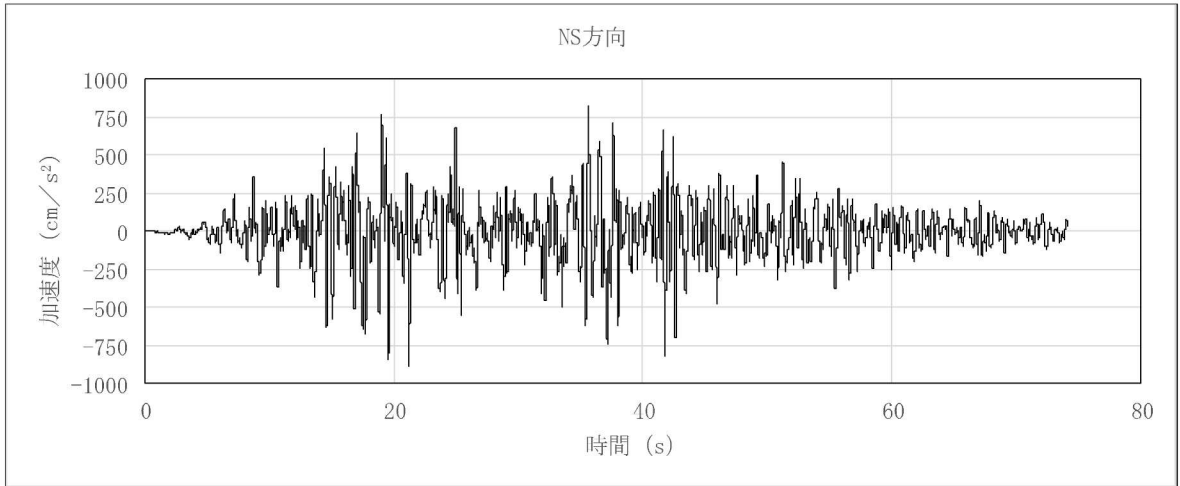
(2) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-2



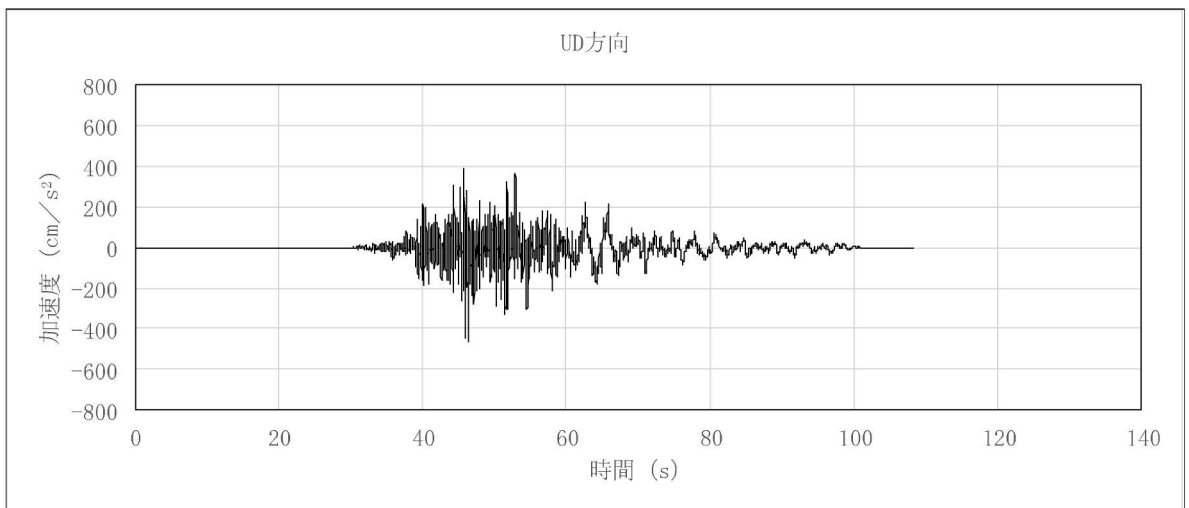
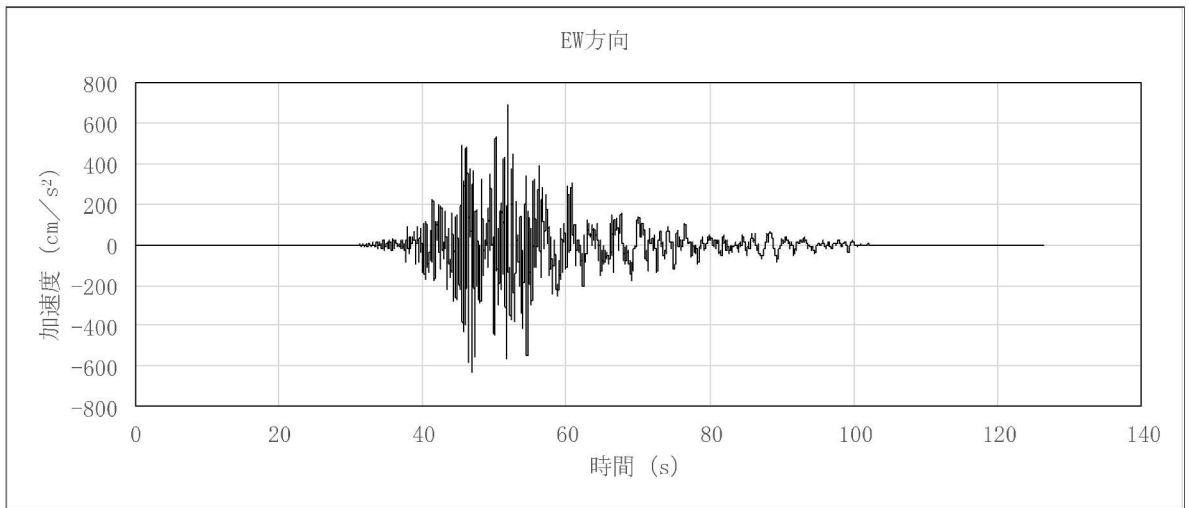
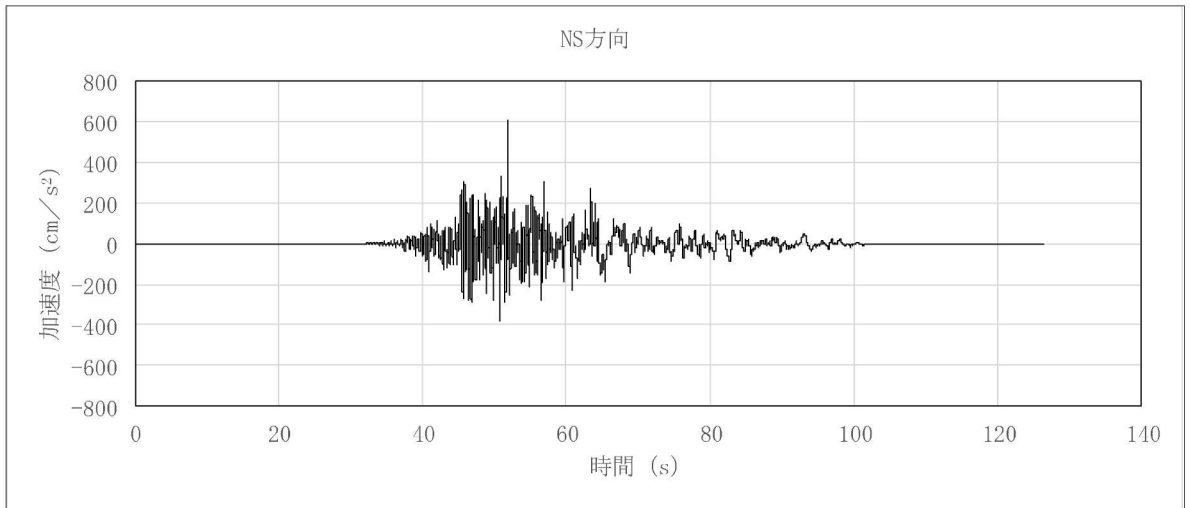
(3) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-3



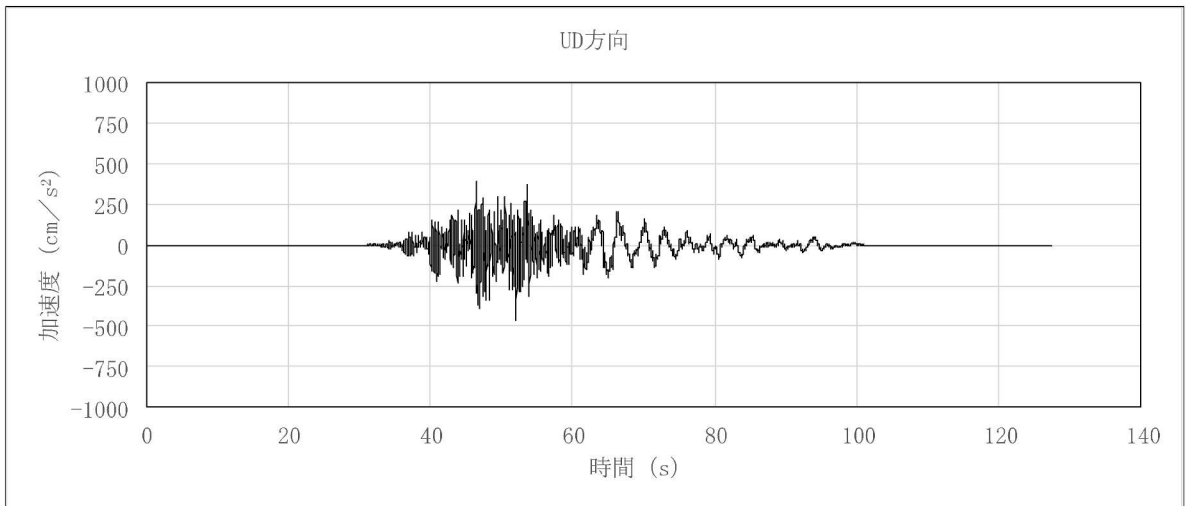
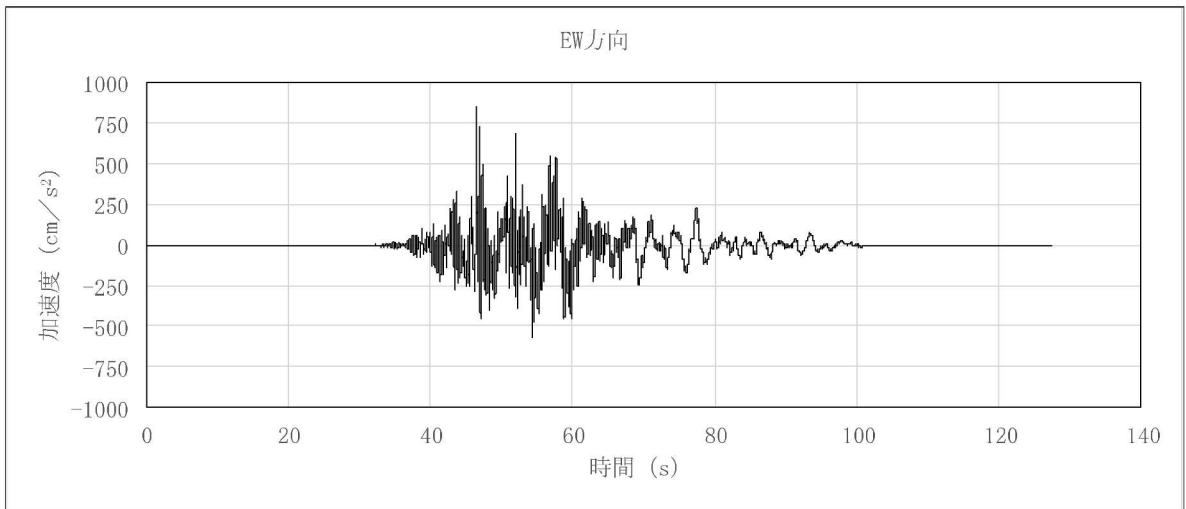
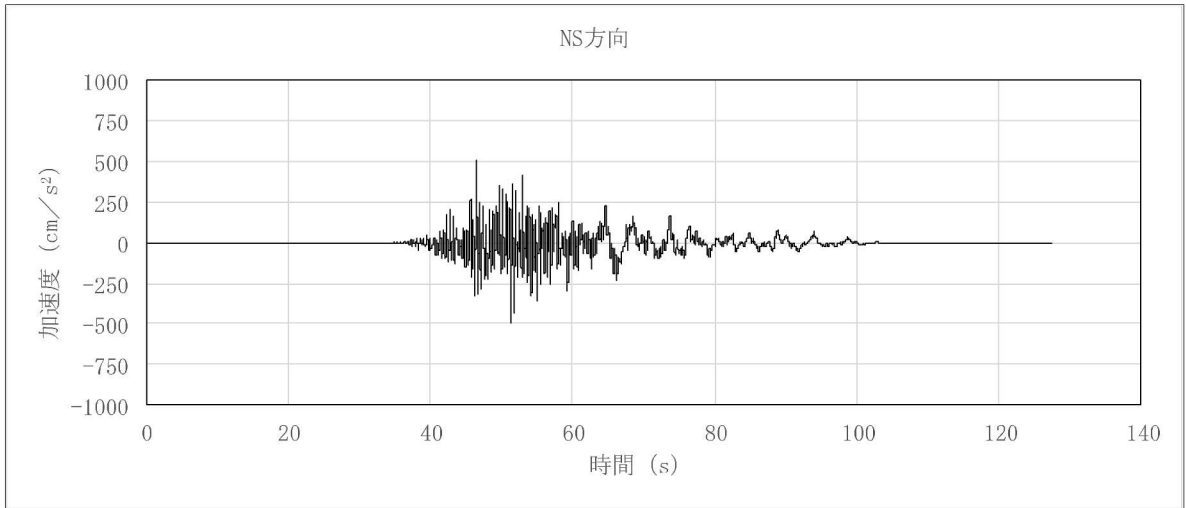
(4) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-4



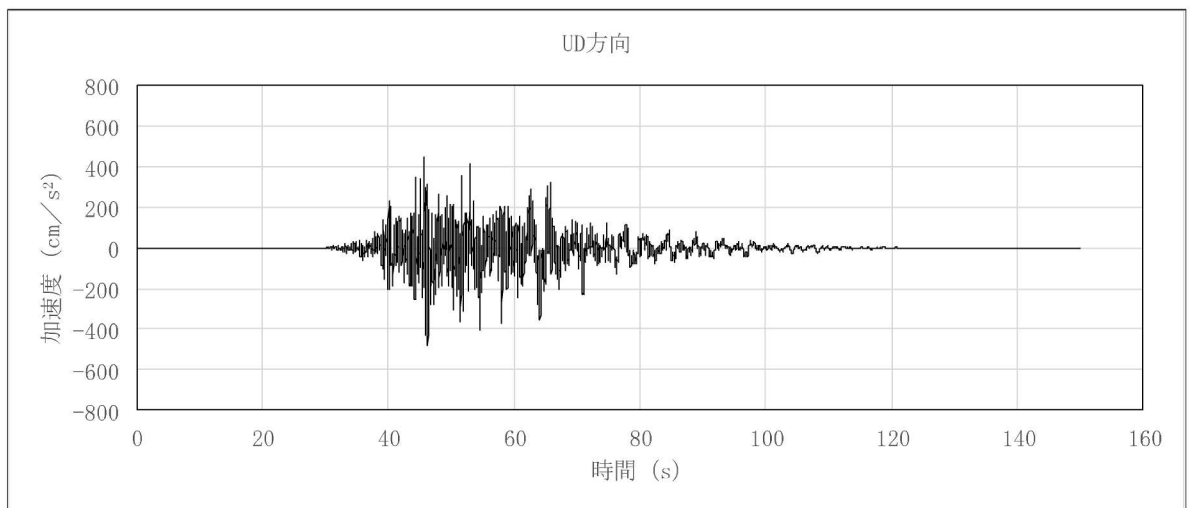
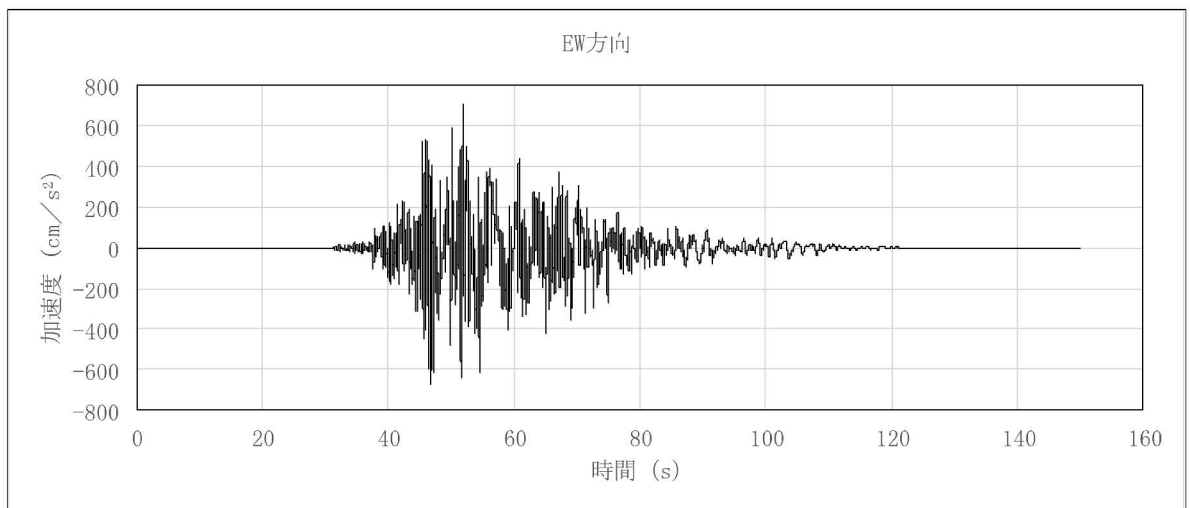
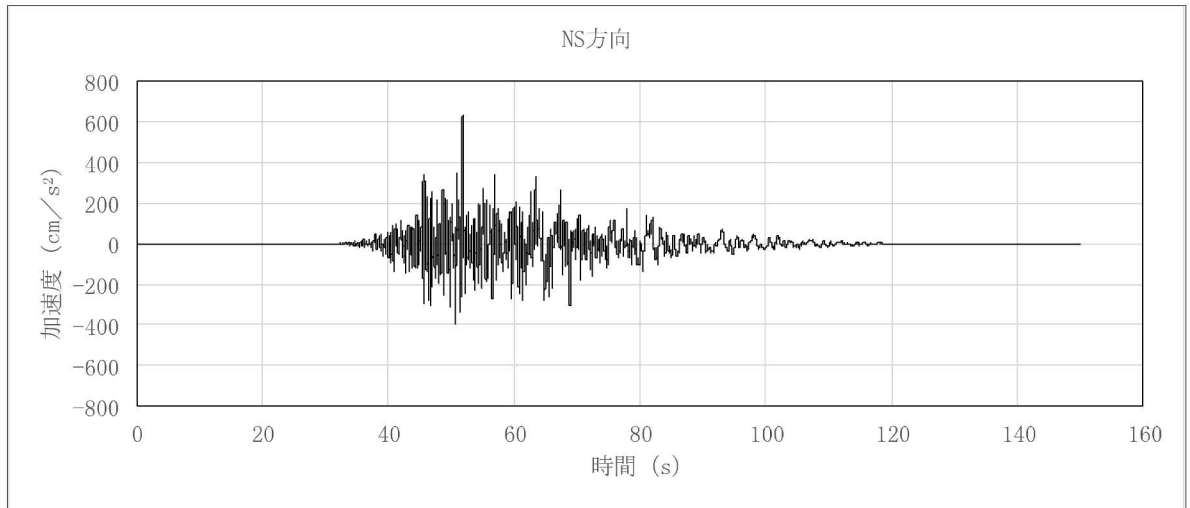
(5) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-5



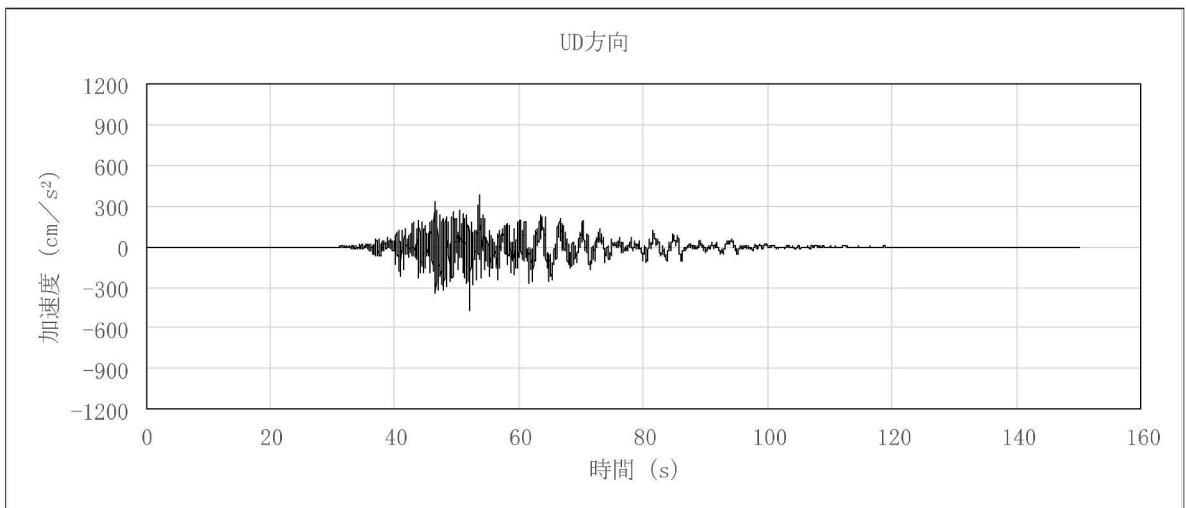
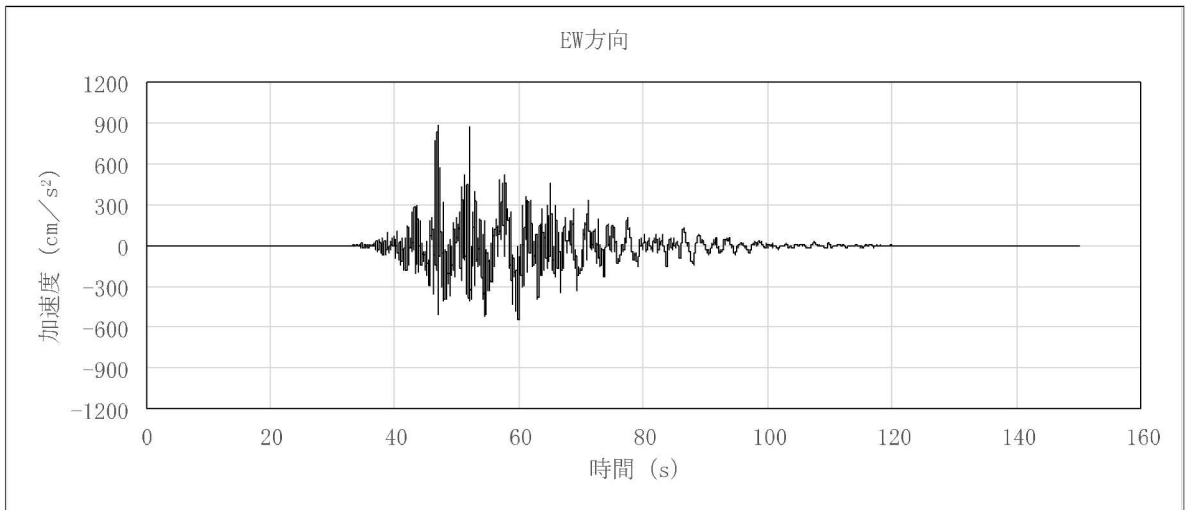
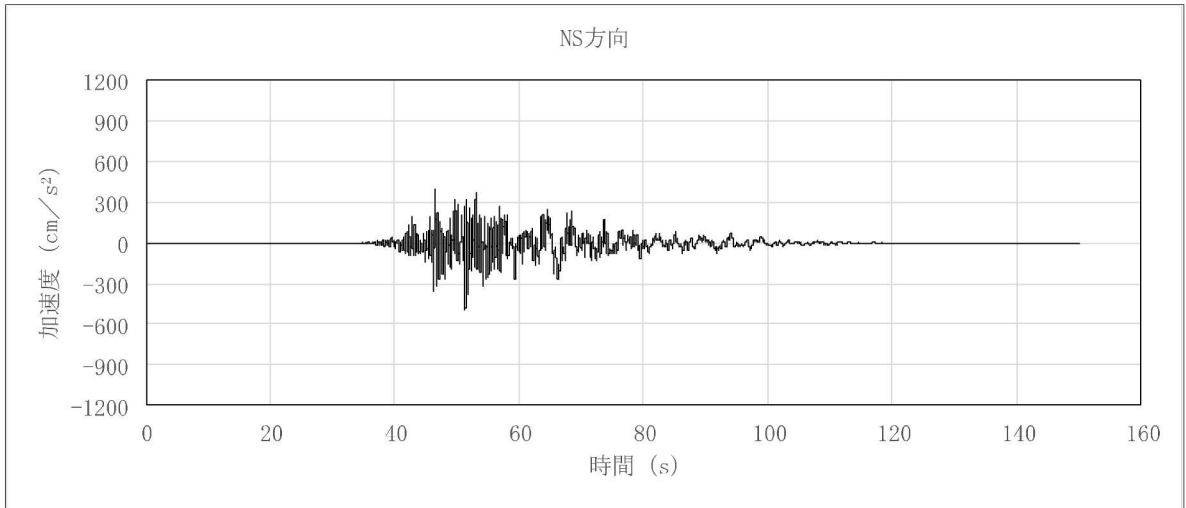
(6) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-6



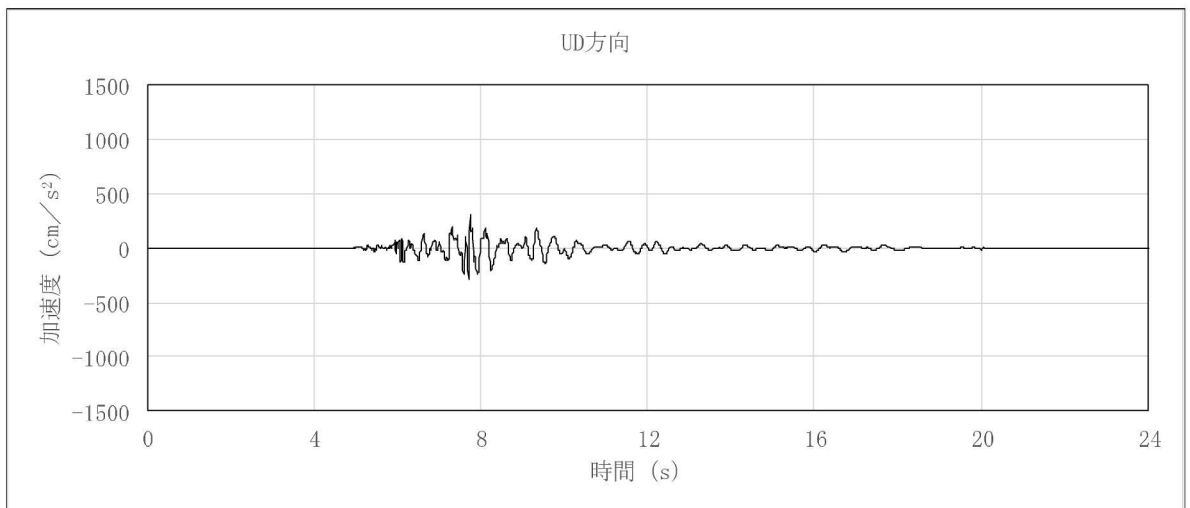
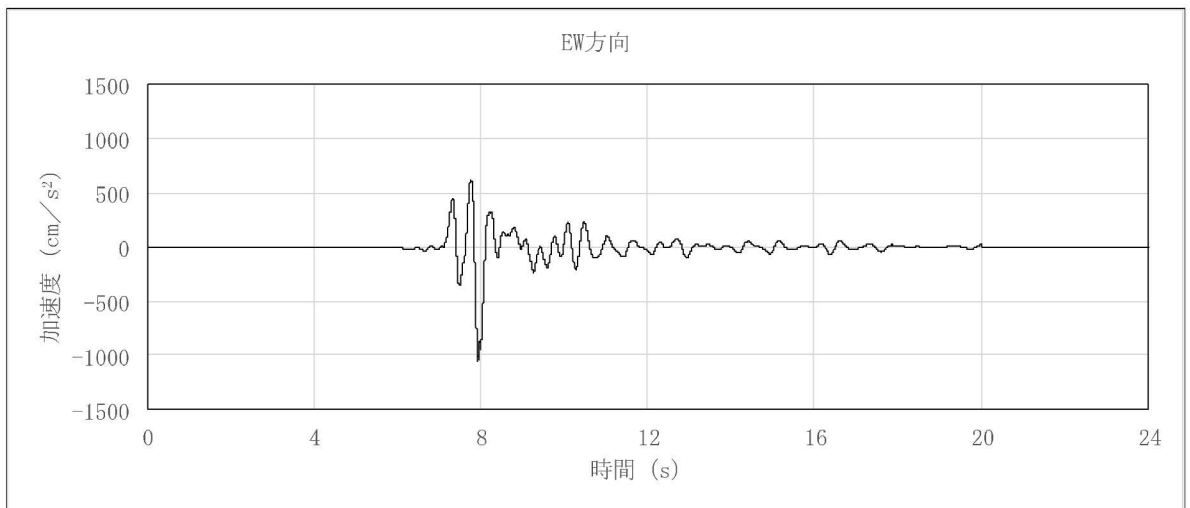
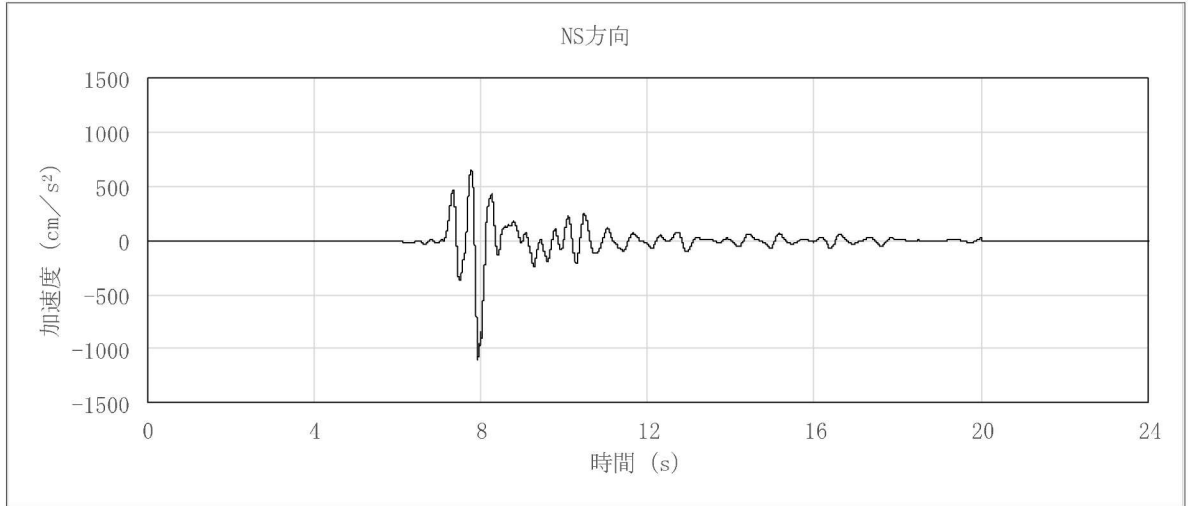
(7) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-7



(8) 原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-8



4.6 計算方法

4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法

(1) 設計荷重

ガーダに加わる荷重を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。表 4-12 に解析モデルの概要を示す。

また、本評価の時刻歴解析には、付録 1 に示す時刻歴解析の保守性を考慮する。

表 4-12 解析モデルの概要

解析モデル			
構造物	クレーン本体ガーダ		
	トロリ		
	吊具	吊荷	
		ワイヤロープ	
車輪部	クレーン本体ガーダ車輪		
	トロリ車輪		
解析モデル図			

(2) 曲げ応力

ガーダに対する最大曲げ応力を、図 4-6 を用いて計算する。

ガーダ中央部の鉛直曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_{Vt}

$$\sigma_{Vt} = \frac{M_V}{Z_X} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ガーダ中央部の水平曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_{Ht}

$$\sigma_{Ht} = \frac{M_H}{Z_Y} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_t

なお、ガーダ中央部の曲げ応力については、時刻歴解析により求まる時刻ごとの M_V と M_H から σ_{Vt} と σ_{Ht} を算出し、(4.6.1.3)式によって計算される σ_t の最大値を用いる。

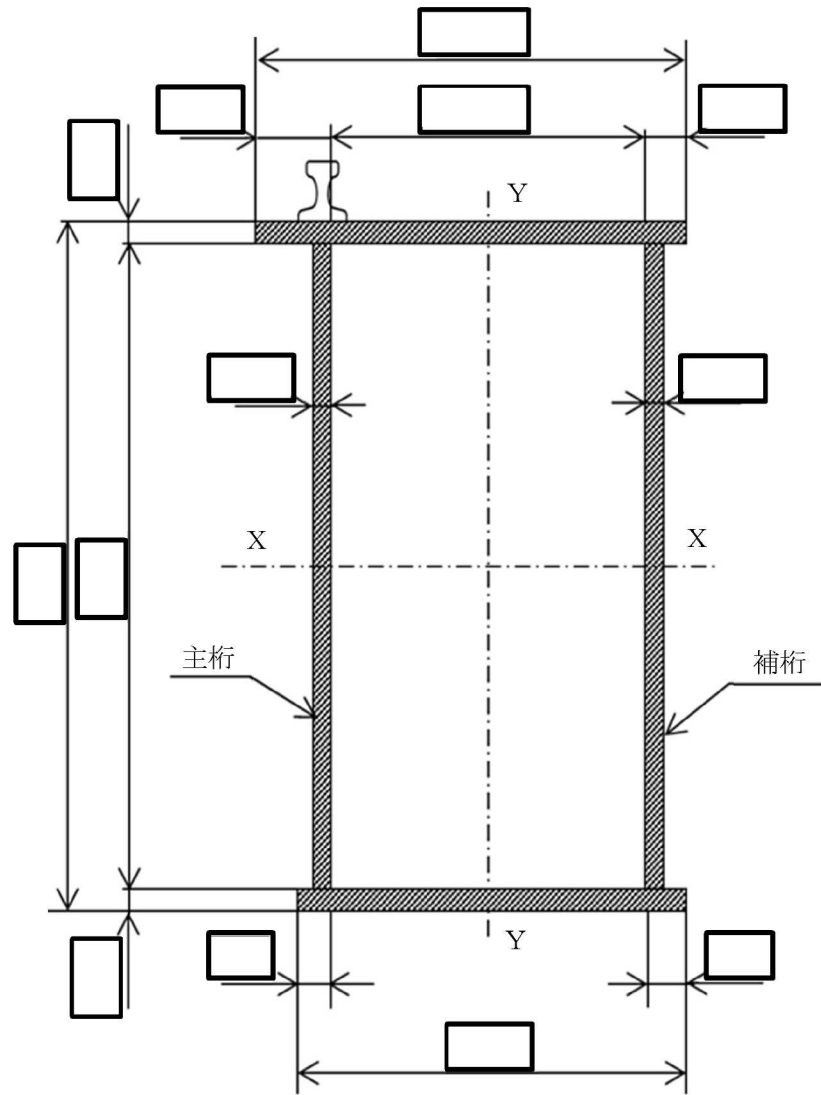
$$\sigma_t = \sigma_{Vt} + \sigma_{Ht} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(3) せん断応力

ガーダに対する最大のせん断応力を，図 4-7 を用いて計算する。

ガーダ端部のせん断応力： τ

$$\tau = \frac{Q}{A_v} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-6 ガーダ中央部詳細 (単位 : mm)

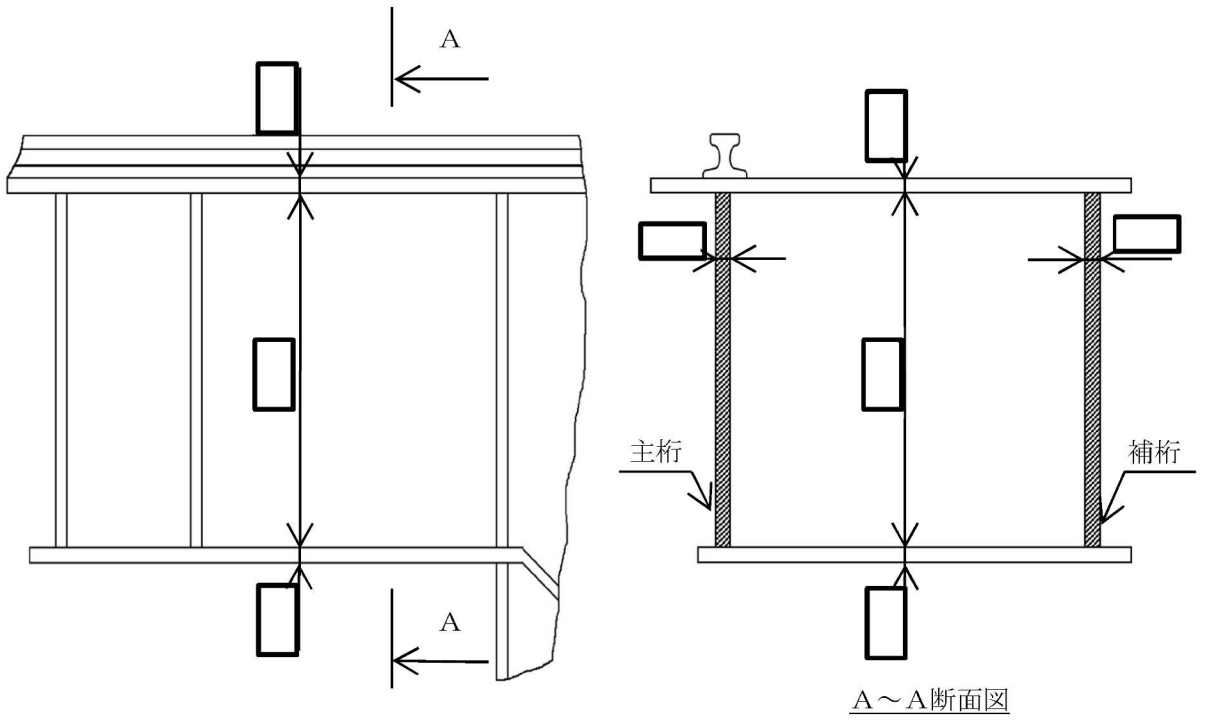
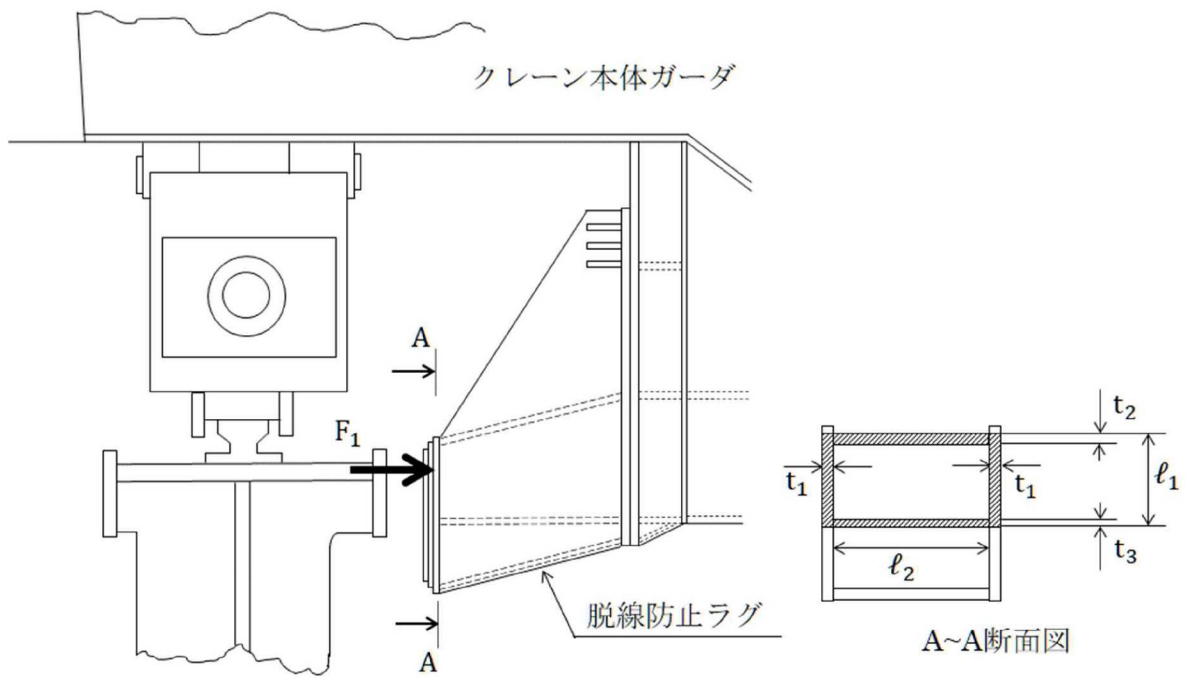


図4-7 ガーダ端部詳細 (単位：mm)

4.6.2 脱線防止ラグの応力の計算方法

脱線防止ラグには、自重及び水平方向地震（NS 方向）によって水平力が作用する。図 4-8 に脱線防止ラグの構造概要図を示す。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-8 脱線防止ラグ

脱線防止ラグに生じる応力は、自重及び水平方向地震（NS 方向）による水平力を片側にある脱線防止ラグ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

脱線防止ラグ 1 個あたりに作用する力： F_1

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \Sigma m \cdot g \cdot C_{H1} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

脱線防止ラグの断面積： A_1

$$A_1 = 2 \cdot l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_2 \cdot t_3 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

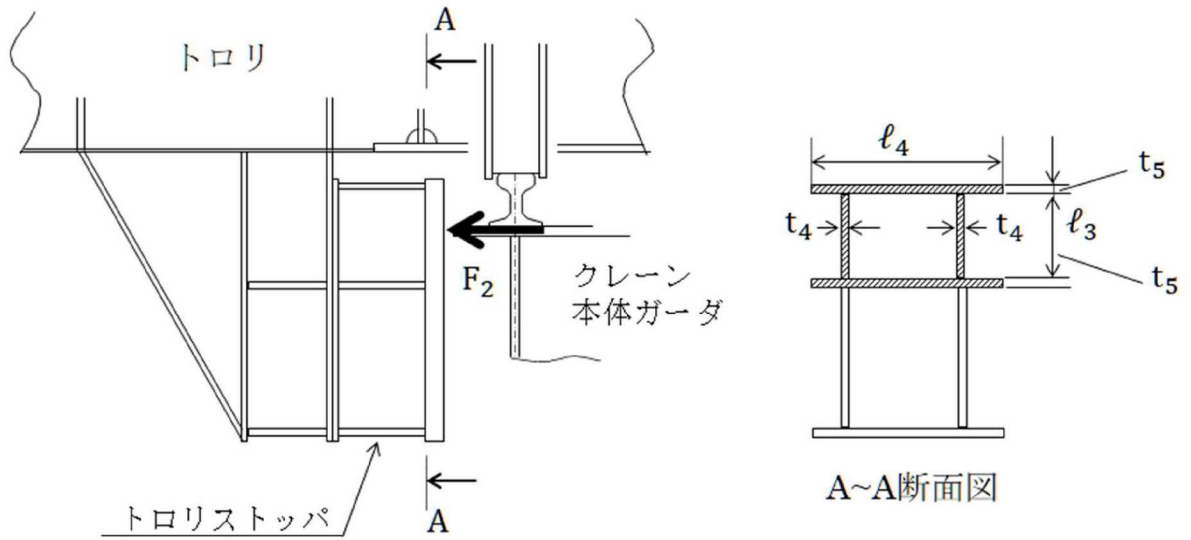
脱線防止ラグの圧縮応力： σ_c

$$\sigma_c = \frac{F_1}{A_1} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

4.6.3 トロリストップの応力の計算方法

トロリストップには、自重及び水平方向地震（EW 方向）によって水平力が作用する。

図 4-9 にトロリストップの構造概要図を示す。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-9 トロリストップ

トロリストップに生じる応力は、自重及び水平方向地震（EW 方向）による水平力を片側にあるトロリストップ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

トロリストップ 1 個あたりに作用する力： F_2

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

トロリストップの断面積： A_2

$$A_2 = 2 \cdot (\ell_3 \cdot t_4 + \ell_4 \cdot t_5) \quad \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

トロリストップの圧縮応力： σ_{c1}

$$\sigma_{c1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

4.6.4 浮上り量の計算方法

(1) クレーン本体ガーダの浮上り量

ガーダの浮上り量 h_g を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

(2) トロリの浮上り量

トロリの浮上り量 h_t を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

4.6.5 吊具の荷重計算方法

吊具に加わる荷重 P_w を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

ワイヤロープ及びフックの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷荷重を受ける部位は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ及びエコライザ（平衡装置）で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープ及びフックを評価対象とする。
- ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ（平衡装置）及びフックブロック（動滑車）の回転により、自動的に荷重を吊合い状態に保つことから、評価では 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
- ・吊荷荷重算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果よりワイヤロープの鉛直方向の荷重を抽出し、その最大値を用いるものとする。
- ・ワイヤロープは、引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し、圧縮方向の荷重を受けない設定とする。このようなモデルにて時刻歴解析を実施することで、吊荷の浮上りを含めた挙動を模擬する。
- ・吊荷の質量は、クレーンの定格質量 とする。
- ・鉛直方向の荷重を考える場合において、ワイヤロープの長さを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、ワイヤロープの長さは保守的に運用上限位置での長さを用いることとする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（クレーン本体ガーダ、吊具）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【原子炉建屋クレーン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 クレーン本体ガーダの応力評価

- 4.6.1(2)項で求めたガーダ中央部の曲げ応力 σ_t が、下記許容引張応力 f_t 以下であること。
 4.6.1(3)項で求めたガーダ端部のせん断応力 τ が、下記許容せん断応力 f_s 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との 組み合わせの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.2 脱線防止ラグの応力評価

- 4.6.2 項で求めた脱線防止ラグの圧縮応力 σ_c が、下記許容圧縮応力 f_c 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との 組み合わせの場合
許容圧縮応力 f_c	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 トロリストップの応力評価

- 4.6.3項で求めたトロリストップの圧縮応力 σ_{c1} が、下記許容圧縮応力 f_{c1} 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との 組み合わせの場合
許容圧縮応力 f_{c1}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.4 浮上り量の評価

(1) クレーン本体ガーダの浮上り量の評価

4.6.4(1)項で求めたガーダの浮上り量 h_g が、図4-10に示す許容浮上り量 H_g 以下であること。なお、 H_g は脱線防止ラグがクレーンガーダに対して全ての面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

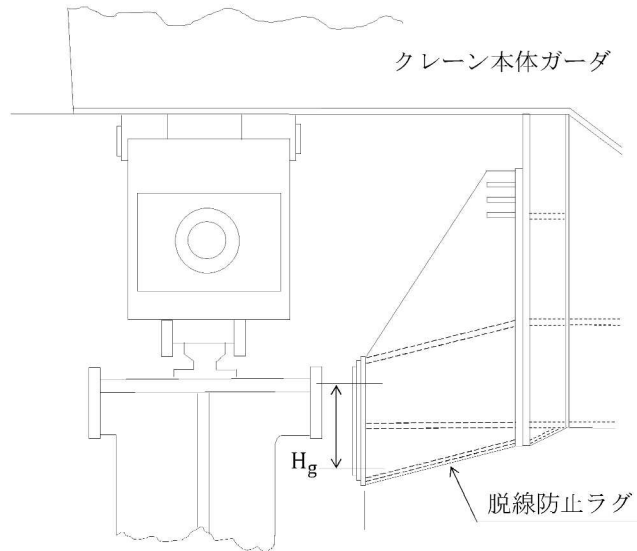


図4-10 許容浮上り量 H_g の概要図

(2) トロリの浮上り量の評価

4.6.4(2)項で求めたトロリの浮上り量 h_t が、図4-11に示す許容浮上り量 H_t 以下であること。なお、 H_t はトロリストoppaがクレーン本体ガーダに対して全ての面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

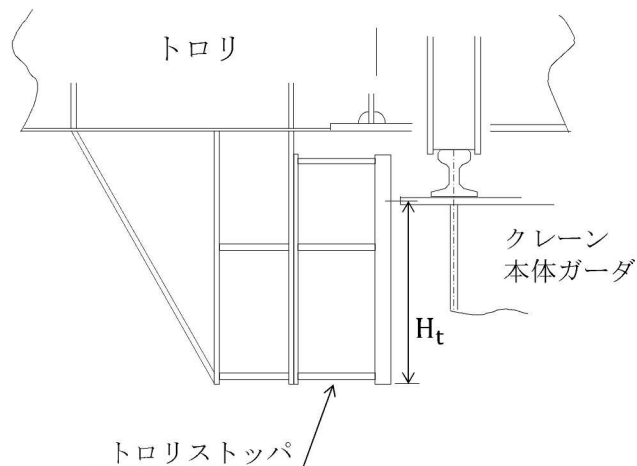


図4-11 許容浮上り量 H_t の概要図

4.8.5 吊具の評価

4.6.5項で求めた吊具の荷重 P_w が、許容荷重 f_{w1} 及び f_{w2} 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋クレーン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

重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、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。

6. 引用文献

- (1) 平成 19 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 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に関わる報告書 (08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)

【原子炉建屋クレーン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			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建屋 クレーン	B	原子炉建屋 T. M. S. L. 39.7 ^{*1}	—	0.040 ^{*2}	—	C _H =0.15 ^{*3, *4}	C _{H1} =1.71 ^{*2}	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また、脱線防止ラグの評価に適用する。

*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

1.2 機器要目

m _G (kg)	m _t (kg)	m _m (kg)	Σ m _m (kg)	M _V (N・mm)	M _H (N・mm)	Q (N)	E _G (MPa)	E _W (MPa)	ν

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	t ₄ (mm)	t ₅ (mm)

A _V (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	Z _X (mm ³)	Z _Y (mm ³)

クレーン本体ガーダ						脱線防止ラグ			トロリストッパ			吊具	
ガーダ中央部			ガーダ端部			S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	f _{W1} (N)	f _{W2} (N)
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)								
309 (16mm<厚さ ≤40mm)	480	336	309 (16mm<厚さ ≤40mm)	480	336						2.047×10 ⁷	1.751×10 ⁷	

1.3 計算数値

1.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 320$	$\tau = 85$

曲げ応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

せん断応力は、表 4-1 の評価ケース No. 2 の評価結果

1.3.2 脱線防止ラグに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
脱線防止ラグ	$\sigma_c = 145$

圧縮応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1~3 の評価結果

1.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
トロリストッパ	$\sigma_c = 3$

圧縮応力は、表 4-1 の評価ケース No. 1~3 の評価結果

1.3.4 浮上り量 (単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 166$
トロリ	$h_t = 157$

クレーン本体ガーダの浮上り量は、表 4-1 の評価ケース No. 2 の評価結果

トロリの浮上り量は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.5 吊荷荷重 (単位：N)

部材		算出荷重
吊具	ワイヤロープ	$P_w = 1.228 \times 10^7$
	フック	$P_w = 1.228 \times 10^7$

吊具は、表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.4 評価結果

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	曲げ	$\sigma_t = 320$	$f_t = 336$
	端部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	せん断	$\tau = 85$	$f_s = 193$
脱線防止ラグ			圧縮	$\sigma_c = 145$	$f_c = 275$
トロリストッパ			圧縮	$\sigma_{c1} = 3$	$f_{c1} = 275$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 166$	$H_g = 240$
トロリ	$h_l = 157$	$H_l = 460$

すべて許容浮上り量以下である。

1.4.3 吊荷荷重

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		吊荷荷重	$P_w = 1.228 \times 10^7$	$f_{w1} = 2.047 \times 10^7$
	フック		吊荷荷重	$P_w = 1.228 \times 10^7$	$f_{w2} = 1.751 \times 10^7$

すべて許容荷重以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所 及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S _s			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建屋 クレーン	—	原子炉建屋 T. M. S. L. 39.7*1	—	0.043*2	—	*3, *4 C _H =0.15	*2 C _{H1} =1.71	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また、脱線防止ラグの評価に適用する。

*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

2.2 機器要目

m _G (kg)	m _t (kg)	Σm (kg)	M _V (N・mm)	M _H (N・mm)	Q (N)	E _G (MPa)	E _W (MPa)	v

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	t ₄ (mm)	t ₅ (mm)

A _V (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	Z _X (mm ³)	Z _Y (mm ³)

クレーン本体ガーダ						脱線防止ラグ			トロリストッパ		
ガーダ中央部			ガーダ端部			S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)						
283 (16mm<厚さ ≤40mm)	441	308	283 (16mm<厚さ ≤40mm)	441	308						

2.3 計算数値

2.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位: MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 250$	$\tau = 53$

曲げ応力, せん断応力は, 表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.2 脱線防止ラグに生じる応力 (単位: MPa)

	圧縮応力
脱線防止ラグ	$\sigma_c = 145$

圧縮応力は, 表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位: MPa)

	圧縮応力
トロリストッパ	$\sigma_c = 3$

圧縮応力は, 表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.4 浮上り量 (単位: mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 104$
トロリ	$h_t = 97$

クレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量は, 表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.4 評価結果

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	曲げ	$\sigma_t = 250$	$f_t = 308$
	端部	SM490A (16mm<厚さ≤40mm)	せん断	$\tau = 53$	$f_s = 177$
脱線防止ラグ			圧縮	$\sigma_c = 145$	$f_c = 254$
トロリストッパ			圧縮	$\sigma_{c1} = 3$	$f_{c1} = 261$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 104$	$H_g = 240$
トロリ	$h_t = 97$	$H_t = 460$

すべて許容浮上り量以下である。

付録1 時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討

VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示すように、設計用床応答曲線は建屋の固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものを採用している。本評価では、設計用床応答曲線を用いない時刻歴解析手法を採用していることから、建屋の固有周期シフトに対する不確かさを考慮する必要がある。

本評価では、上記の不確かさの考慮として、固有周期シフトを考慮していない時刻歴加速度波による解析以外にASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定を参考に時刻歴加速度波を時間軸方向に床応答曲線の拡幅の考慮分として±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析で評価する。また、±10%シフトさせた設計用床応答曲線のピークにクレーンの固有周期が存在する場合は、ASMEの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。

VI-2-11-2-5 燃料取替機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
4.2.2 許容応力	14
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	14
4.3 解析モデル及び諸元	19
4.4 固有周期	21
4.5 設計用地震力	24
4.6 計算方法	26
4.6.1 燃料取替機構造物フレームの応力	26
4.6.2 ブリッジ脱線防止ラグ、ブリッジガイドフレーム及び走行レールの応力	27
4.6.3 トロリ脱線防止ラグ及び横行レールの応力	40
4.6.4 吊具の計算（ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力）	58
4.7 計算条件	63
4.8 応力の評価	63
4.8.1 燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、ブリッジガイドフレーム、走行レール及び横行レールの応力評価	63
4.8.2 脱線防止ラグ取付ボルト及びブリッジガイドフレーム取付ボルトの応力評価	63
4.8.3 先端金具の応力評価	64
4.8.4 ワイヤロープの評価	64
5. 評価結果	65
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	65
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	65

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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である燃料取替機（Bクラス施設）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである使用済燃料貯蔵プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、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

燃料取替機は原子炉建屋4階に設置される。燃料取替機は、図2-1の位置関係図に示すように、燃料交換時において、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料貯蔵プール上にて作業を実施することから、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料貯蔵プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

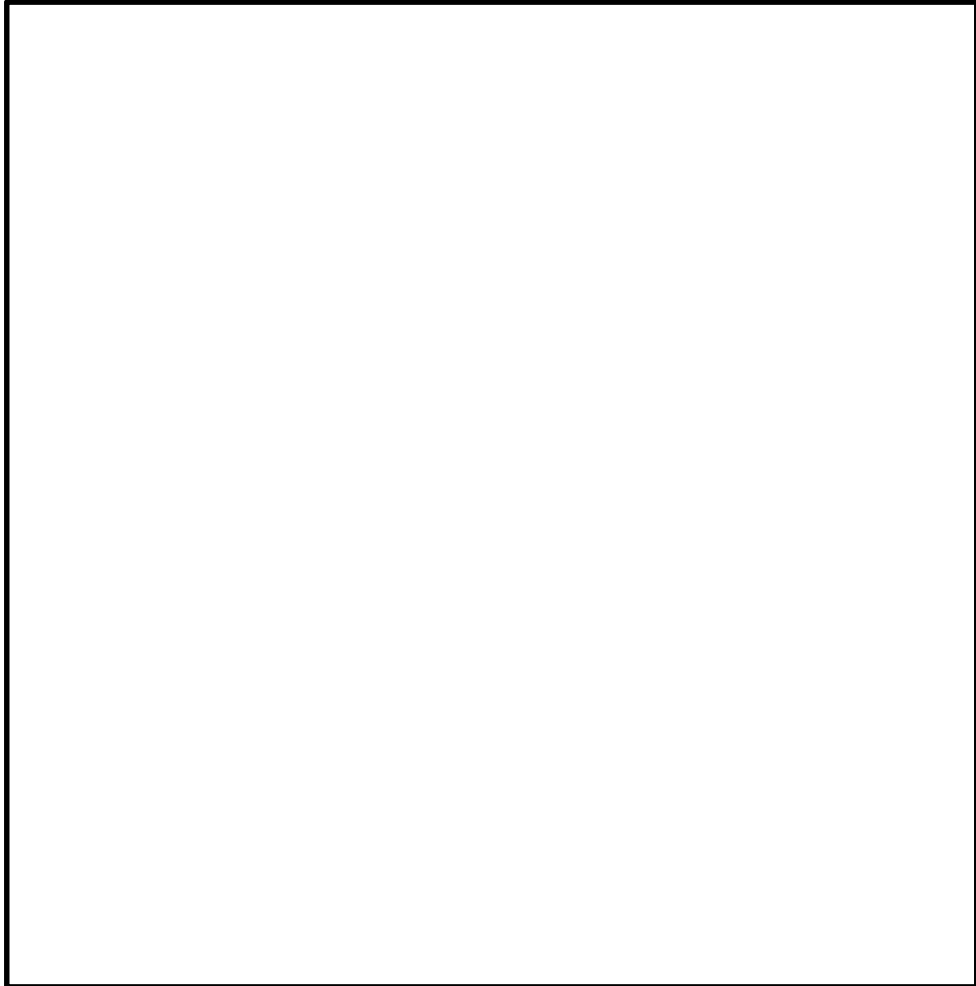


図2-1 燃料取替機と使用済燃料貯蔵プール等の位置関係

2.2 構造計画

燃料取替機の構造計画を表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	
<p>原子炉建屋4階に設けた走行レール上をブリッジが走行し、ブリッジ上部の横行レール上をトロリが横行する。ブリッジ及びトロリは走行部付近に脱線防止ラグを備えており、各々レールを抱え込む構造である。</p> <p>また吊荷はトロリに設置されたホイストからのワイヤロープ及び先端金具を介して吊上げ・吊下げ・移動を行う。</p>	<p>ブリッジ トロリ ブリッジ脱線防止ラグ ブリッジガイドフレーム トロリ脱線防止ラグ ワイヤロープ先端金具</p>	<p>横行方向 (NS方向) ↔</p> <p>走行方向 (EW方向) ↔</p> <p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

燃料取替機の応力評価は、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、「2.2 構造計画」にて示す燃料取替機の部位を踏まえ「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基準地震動 S_s による応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」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。

燃料取替機の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

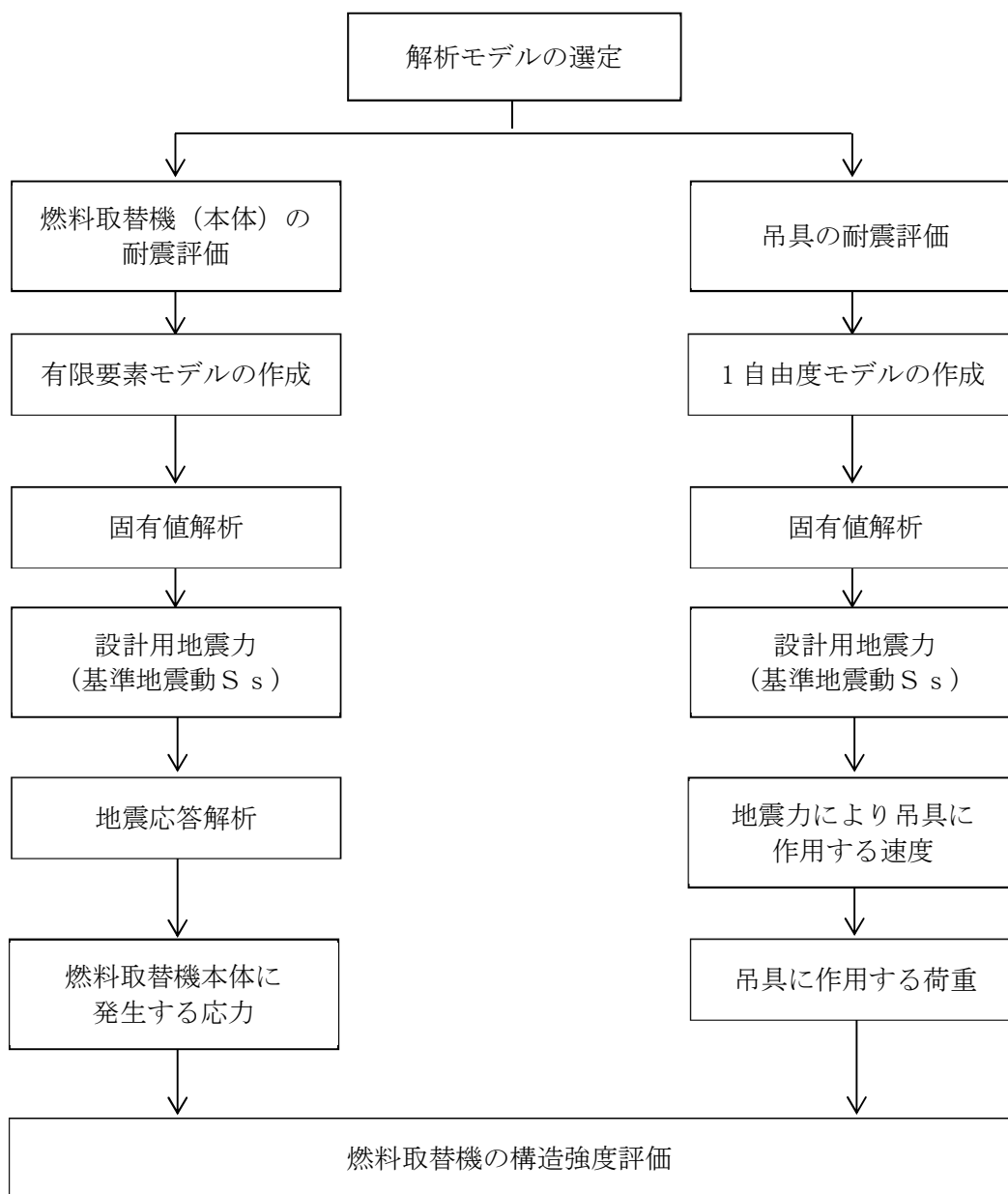


図 2-2 燃料取替機の耐震評価フロー

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。)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の断面積	mm^2
A_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の断面積	mm^2
A_{3B}	ブリッジガイドフレーム C 部の断面積	mm^2
A_{4B}	走行レール D 部の鉛直力 F_{Vb} を負担する断面積	mm^2
A_{5B}	走行レール D 部の水平力 F_{HB} を負担する断面積	mm^2
A_{6B}	走行レール E 部の水平力 F_{HB} を負担する断面積	mm^2
A_{7B}	走行レール E 部の鉛直力 F_{Vb} を負担する断面積	mm^2
A_{8B}	走行レール G 部の水平力 F_{GB} を負担する断面積	mm^2
A_{9B}	走行レール F 部の水平力 F_{GB} を負担する断面積	mm^2
$A_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ A 部の断面積	mm^2
$A_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ B 部の断面積	mm^2
$A_{4T(i)}$	横行レール C 部の鉛直力 $F_{Vt(i)}$ を負担する断面積	mm^2
$A_{5T(i)}$	横行レール C 部の水平力 $F_{HT(i)}$ を負担する断面積	mm^2
$A_{6T(i)}$	横行レール D 部の水平力 $F_{HT(i)}$ を負担する断面積	mm^2
$A_{7T(i)}$	横行レール D 部の鉛直力 $F_{Vt(i)}$ を負担する断面積	mm^2
A_{b1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本の断面積	mm^2
A_{b2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルト 1 本の断面積	mm^2
$A_{b1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本の断面積	mm^2
A_t	先端金具の断面積	mm^2
A_w	ワイヤロープ 1 本の断面積	mm^2
a_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の幅	mm
a_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の幅	mm
a_{3B}	ブリッジガイドフレーム C 部の幅	mm
a_{4B}	負担力 F_{Vb} , F_{HB} に対する走行レール D 部の厚み及び, F_{GB} に対する走行レール F 部の厚み	mm
a_{5B}	負担力 F_{Vb} , F_{HB} に対する走行レール E 部の厚み及び, F_{GB} に対する走行レール G 部の厚み	mm
$a_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ A 部の幅	mm
$a_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ B 部の幅	mm
$a_{4T(i)}$	負担力 $F_{Vt(i)}$, $F_{HT(i)}$ に対する横行レール C 部の厚み	mm
$a_{5T(i)}$	負担力 $F_{Vt(i)}$, $F_{HT(i)}$ に対する横行レール D 部の厚み	mm
b_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の走行レール面接触長さ	mm
$b_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ A 部の横行レール面接触長さ	mm
b_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の走行レール面接触長さ	mm
$b_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ B 部の横行レール面接触長さ	mm
b_{3B}	ブリッジガイドフレーム C 部の走行レール面接触長さ	mm

記号	記号の説明	単位
b_{4B}	負担力 F_{Vb} に対する走行レールD部の負担長さ	mm
b_{5B}	負担力 F_{HB} に対する走行レールD部の負担長さ	mm
b_{6B}	負担力 F_{HB} に対する走行レールE部の負担長さ	mm
b_{7B}	負担力 F_{Vb} に対する走行レールE部の負担長さ	mm
b_{8B}	負担力 F_{GB} に対する走行レールG部の負担長さ	mm
b_{9B}	負担力 F_{GB} に対する走行レールF部の負担長さ	mm
$b_{4T(i)}$	負担力 $F_{Vt(i)}$ に対する横行レールC部の負担長さ	mm
$b_{5T(i)}$	負担力 $F_{HT(i)}$ に対する横行レールC部の負担長さ	mm
$b_{6T(i)}$	負担力 $F_{HT(i)}$ に対する横行レールD部の負担長さ	mm
$b_{7T(i)}$	負担力 $F_{Vt(i)}$ に対する横行レールD部の負担長さ	mm
C_{H1}	水平方向設計震度	—
C_{H2}	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの呼び径	mm
d_{2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトの呼び径	mm
$d_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトの呼び径	mm
E	燃料取替機構造物フレームの縦弾性係数	MPa
E_w	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{b1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本にかかる引張荷重	N
F_{b2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルト 1 本にかかる引張荷重	N
$F_{b1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本にかかる引張荷重	N
F_{GB}	ブリッジガイドフレーム 1 ヶ所に作用する水平力	N
F_{HB}	ブリッジ脱線防止ラグ 1 ヶ所に作用する水平力	N
F_{HT}	トロリ脱線防止ラグ及び片爪脱線防止ラグに作用する水平力	N
$F_{HT(i)}$	トロリ脱線防止ラグ 1 ヶ所に作用する水平力	N
F_{VB}	ブリッジ脱線防止ラグ 1 ヶ所に作用する鉛直力	N
F_{VT}	トロリ脱線防止ラグ及び片爪脱線防止ラグに作用する鉛直力	N
$F_{VT(i)}$	トロリ脱線防止ラグ 1 ヶ所に作用する鉛直力	N
F_{Vb}	ブリッジ脱線防止ラグ爪 1 個に作用する鉛直力	N
$F_{Vt(i)}$	トロリ脱線防止ラグ爪 1 個に作用する鉛直力	N
F	吊荷の浮上り後の落下によりワイヤロープ、先端金具に発生する荷重	N
F_w	ワイヤロープ 1 本当たりに発生する支持荷重	N
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ根元部から F_{HB} 作用点までの距離	mm
h_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ爪根元部から F_{vb} 作用点までの距離	mm
h_{3B}	ブリッジガイドフレーム根元部から F_{GB} 作用点までの距離	mm
h_{4B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{vb}) から走行レールD部までの距離 (長さ)	mm
h_{5B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) から走行レールE部までの距離 (高さ)	mm
h_{6B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{vb}) から走行レールE部までの距離 (高さ)	mm
h_{7B}	ブリッジガイドフレーム作用点 (F_{GB}) から走行レールG部までの距離 (高さ)	mm
$h_{1T(i)}$	トロッコ脱線防止ラグ根元部から $F_{HT(i)}$ 作用点までの距離	mm
$h_{2T(i)}$	トロッコ脱線防止ラグ爪根元部から $F_{vt(i)}$ 作用点までの距離	mm
$h_{4T(i)}$	トロッコ脱線防止ラグ作用点 ($F_{vt(i)}$) から横行レールC部までの距離 (長さ)	mm
$h_{5T(i)}$	トロッコ脱線防止ラグ作用点 ($F_{HT(i)}$) から横行レールD部までの距離 (高さ)	mm
$h_{6T(i)}$	トロッコ脱線防止ラグ作用点 ($F_{vt(i)}$) から横行レールD部までの距離 (高さ)	mm
k_w	ワイヤロープのばね定数	N/mm
L_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付面からブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) までの距離 (高さ)	mm
L_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトからブリッジ脱線防止ラグ端部までの距離 (最短部)	mm
L_{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトからブリッジ脱線防止ラグ端部までの距離 (中間部)	mm
L_{4B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトからブリッジ脱線防止ラグ端部までの距離 (最長部)	mm
L_{5B}	ブリッジガイドフレーム取付面からブリッジガイドフレーム作用点 (F_{GB}) までの距離	mm
L_{6B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトからブリッジガイドフレーム端部までの距離 (最短部)	mm
L_{7B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトからブリッジガイドフレーム端部までの距離 (最長部)	mm

記号	記号の説明	単位
L_{8B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{Vb}) からブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) までの距離 (高さ)	mm
L_{9B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) から走行レールD部までの距離	mm
L_{10B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) から走行レール中心までの距離	mm
L_{11B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{Vb}) から走行レール中心までの距離	mm
L_{12B}	ブリッジガイドフレーム作用点 (F_{GB}) から走行レール中心までの距離	mm
L_{13B}	ブリッジガイドフレーム作用点 (F_{GB}) から走行レールF部までの距離	mm
$L_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付面からトロリ脱線防止ラグ作用点 ($F_{HT(i)}$) までの距離 (高さ)	mm
$L_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトからトロリ脱線防止ラグ端部までの距離 (最短部)	mm
$L_{3T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトからトロリ脱線防止ラグ端部までの距離 (最長部)	mm
$L_{4T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ作用点 ($F_{Vt(i)}$) からトロリ脱線防止ラグ作用点 ($F_{HT(i)}$) までの距離 (高さ)	mm
$L_{5T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ作用点 ($F_{HT(i)}$) から横行レールC部までの距離	mm
$L_{6T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ作用点 ($F_{HT(i)}$) から横行レール中心までの距離	mm
$L_{7T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ作用点 ($F_{Vt(i)}$) から横行レール中心までの距離	mm
L_w	ワイヤロープ長さ	mm
M_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げモーメント	N・mm
M_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げモーメント	N・mm
M_{3B}	ブリッジガイドフレームC部の曲げモーメント	N・mm
M_{4B}	負担力 F_{Vb} による走行レールD部の曲げモーメント	N・mm
M_{5B}	負担力 F_{HB} による走行レールE部の曲げモーメント	N・mm
M_{6B}	負担力 F_{GB} による走行レールG部の曲げモーメント	N・mm
$M_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグA部の曲げモーメント	N・mm
$M_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグB部の曲げモーメント	N・mm
$M_{4T(i)}$	負担力 $F_{Vt(i)}$ による横行レールC部の曲げモーメント	N・mm
$M_{5T(i)}$	負担力 $F_{HT(i)}$ による横行レールD部の曲げモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{b1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトにかかる曲げモーメント	N・mm
M_{b2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトにかかる曲げモーメント	N・mm
$M_{b1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトにかかる曲げモーメント	N・mm
m_B	ブリッジ質量	kg
m_T	トロリ質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
n_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの本数	—
n_{2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトの本数	—
$n_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトの本数	—
n_w	ワイヤロープ本数	—
$P_{1H} \sim P_{4H}$	地震力によりブリッジ脱線防止ラグに加わる水平力	N
$P_{1V} \sim P_{4V}$	地震力によりブリッジ脱線防止ラグに加わる鉛直力	N
$P_{5H} \sim P_{8H}$	地震力によりブリッジガイドフレームに加わる水平力	N
$P_{9H} \sim P_{12H}$	地震力によりトロリ脱線防止ラグに加わる水平力	N
$P_{9V} \sim P_{12V}$	地震力によりトロリ脱線防止ラグに加わる鉛直力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
T_w	ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	s
v_1	吊荷の最大速度	mm/s
v_2	トロリの最大速度	mm/s
Z_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面係数	mm ³
Z_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数	mm ³
Z_{3B}	ブリッジガイドフレームC部の断面係数	mm ³
Z_{4B}	走行レールD部の鉛直力 F_{Vb} を負担する断面係数	mm ³
Z_{5B}	走行レールE部の水平力 F_{HB} を負担する断面係数	mm ³
Z_{6B}	走行レールG部の水平力 F_{GB} を負担する断面係数	mm ³
$Z_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグA部の断面係数	mm ³
$Z_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグB部の断面係数	mm ³
$Z_{4T(i)}$	横行レールC部の鉛直力 $F_{Vt(i)}$ を負担する断面係数	mm ³
$Z_{5T(i)}$	横行レールD部の水平力 $F_{HT(i)}$ を負担する断面係数	mm ³
σ_{1F}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力	MPa
σ_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力	MPa
σ_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力	MPa
σ_{3B}	ブリッジガイドフレームC部の曲げ応力	MPa
σ_{4B}	走行レールD部の曲げ応力	MPa
σ_{5B}	走行レールE部の曲げ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{6B}	走行レールG部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグA部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグB部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{4T(i)}$	横行レールC部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{5T(i)}$	横行レールD部の曲げ応力	MPa
σ_{bt1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの引張応力	MPa
σ_{bt2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトの引張応力	MPa
$\sigma_{bt1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトの引張応力	MPa
σ_{c1F}	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力	MPa
σ_{c1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力	MPa
σ_{c2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力	MPa
σ_{c3B}	ブリッジガイドフレームC部の組合せ応力	MPa
σ_{c4B}	走行レールD部の組合せ応力	MPa
σ_{c5B}	走行レールE部の組合せ応力	MPa
σ_{c6B}	走行レールG部の組合せ応力	MPa
σ_{s1B}	走行レールF部の圧縮応力	MPa
$\sigma_{c1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグA部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{c2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグB部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{c4T(i)}$	横行レールC部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{c5T(i)}$	横行レールD部の組合せ応力	MPa
σ_{t1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の引張応力	MPa
σ_{t5B}	走行レールE部の引張応力	MPa
$\sigma_{t1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグA部の引張応力	MPa
$\sigma_{t5T(i)}$	横行レールD部の引張応力	MPa
σ_m	先端金具の引張応力	MPa
τ_{1F}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力	MPa
τ_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部のせん断応力	MPa
τ_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部のせん断応力	MPa
τ_{3B}	ブリッジガイドフレームC部のせん断応力	MPa
τ_{4B}	走行レールD部のせん断応力	MPa
τ_{5B}	走行レールE部のせん断応力	MPa
τ_{6B}	走行レールG部のせん断応力	MPa
$\tau_{1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグA部のせん断応力	MPa
$\tau_{2T(i)}$	トロリ脱線防止ラグB部のせん断応力	MPa
$\tau_{4T(i)}$	横行レールC部のせん断応力	MPa
$\tau_{5T(i)}$	横行レールD部のせん断応力	MPa
τ_b	ボルトに作用するせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{b1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa
τ_{b2B}	ブリッジガイドフレーム取付ボルトのせん断応力	MPa
$\tau_{b1T(i)}$	トロリ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa
μ	最大静止摩擦係数	—
ν	燃料取替機構造物フレームのポアソン比	—

注：トロリ脱線防止ラグ及び横行レールの評価に用いる記号の右端添字に (i) が付くものは、 $i = 1$ の場合：「トロリ脱線防止ラグ」、 $i = 2$ の場合：「トロリ片爪脱線防止ラグ」と読み替えるものとする。

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
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	厚さ	mm	—	小数点以下第1位
断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	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。また、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。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料取替機の耐震評価は、「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、燃料取替機及び吊荷の落下により、上位クラス設備が損傷することを防止するために、燃料取替機構造物フレーム、ブリッジ脱線防止ラグ、ブリッジガイドフレーム、トロリ脱線防止ラグ、走行レール、横行レール及び吊具（ワイヤロープ及び先端金具）について実施する。燃料取替機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) 構造概要図を図4-1に示す。燃料取替機のブリッジ及びトロリは、各々走行レール及び横行レール上に載っているため地震時、走行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合にすべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4個であり、そのうち各々2個は摩擦を受ける駆動輪であり、他の2個は従動輪である。

ゆえに、最大静止摩擦係数を $\mu = 0.3$ とすれば、水平力は以下のとおりとなる。

$$\text{水平力} = \text{鉛直方向荷重} \times \mu \times 2 / 4 = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

(2) ブリッジ及びトロリは、走行方向に直角な方向に対しては、ブリッジ脱線防止ラグ・ブリッジガイドフレームによって荷重を支持する。

(3) トロリは、横行方向に直角な方向に対しては、トロリ脱線防止ラグによって荷重を支持する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

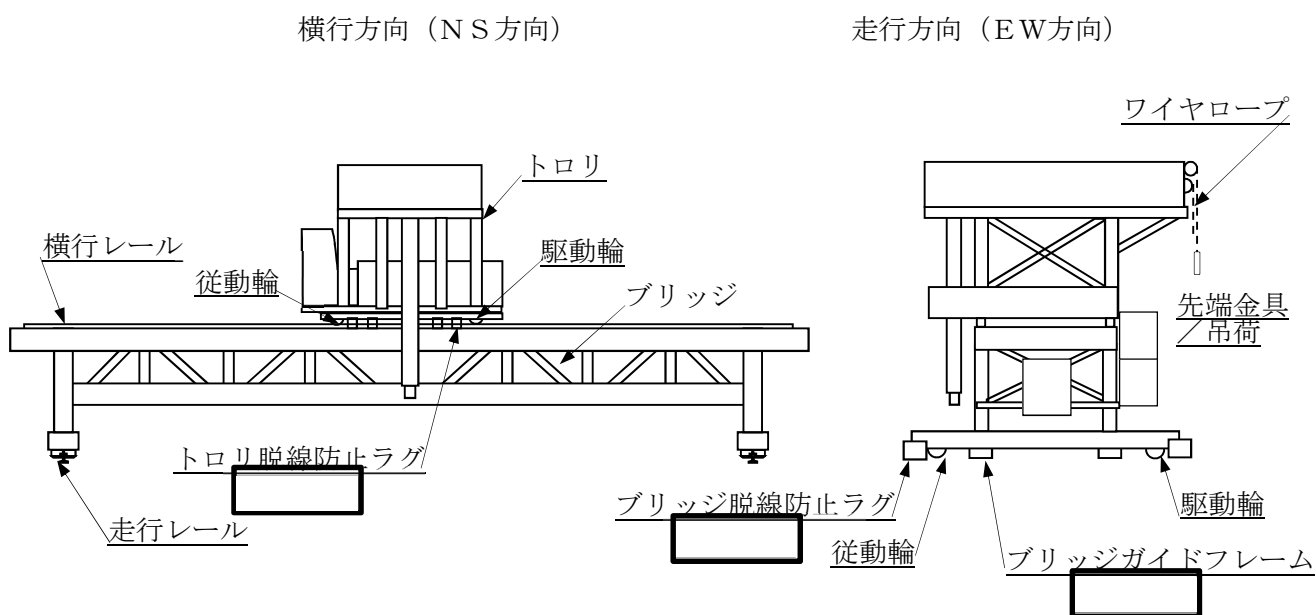


図4-1 構造概要図

(5) 評価ケース

表4-1に示す評価ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では、燃料取替機の運転状態を想定し、ケース1, 2について評価する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では、燃料取替機の待機状態を想定し、ケース3について評価する。

表4-1 評価ケース

評価対象		燃料取替機本体, 吊具		燃料取替機本体
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●	—	—
	端部	—	●	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

(6) 評価方法

燃料取替機の評価は、スペクトルモーダル解析及び静解析を用いる。

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

燃料取替機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4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2 許容応力

燃料取替機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

燃料取替機の使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重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4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表 4-2 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	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 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
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ と して, $IV_A S$ の 許容限界を用い る。)

注記*：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。

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)				許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張り	せん断	曲げ	組合せ	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A Sとして、IV _A Sの許容限界を用いる。)						

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 4-5(1) 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位			材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	50	—			—
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			
	ガイドフレーム	本体		周囲環境温度	50	—			
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			
	片爪脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			
走行レール				周囲環境温度	50	—			
横行レール				周囲環境温度	50	—			
先端金具				周囲環境温度	50	—			

注記* : の値を記載

表 4-5(2) 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ	<input type="text"/>	周囲環境温度	50	4.511×10 ³	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)		
燃料取替機構造物フレーム			周囲環境温度	100	—			—		
ブリッジ	脱線防止ラグ		本体	周囲環境温度	100			—	—	
			取付ボルト	周囲環境温度	100			—	—	
	ガイドフレーム		本体	周囲環境温度	100			—		
			取付ボルト	周囲環境温度	100			—		
トロリ	脱線防止ラグ		本体	周囲環境温度	100			—	—	
			取付ボルト	周囲環境温度	100			—	—	
	片爪脱線防止ラグ		本体	周囲環境温度	100			—	—	
			取付ボルト	周囲環境温度	100			—	—	
走行レール				周囲環境温度	100			—		—
横行レール				周囲環境温度	100			—		—

注記* : とし、設計・建設規格 付録材料図表 Patr5 表 8 及び表 9

(備考) 第 1 項 イの規程に従い、0.85 倍した値を記載。

4.3 解析モデル及び諸元

燃料取替機の解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。

また、機器諸元を本計算書の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 燃料取替機の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素を用いた有限要素モデルとする。
- (2) 燃料取替機の質量としてブリッジ、トロリの構造物及び搭載機器を考える。
- (3) 境界条件として、燃料取替機本体ブリッジ車輪／脱線防止ラグのNS方向及び鉛直方向を拘束し、EW方向へはすべる条件とする。また、ブリッジとトロリとは、3方向を拘束したモデルとする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値、荷重及び応力を求める。
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。

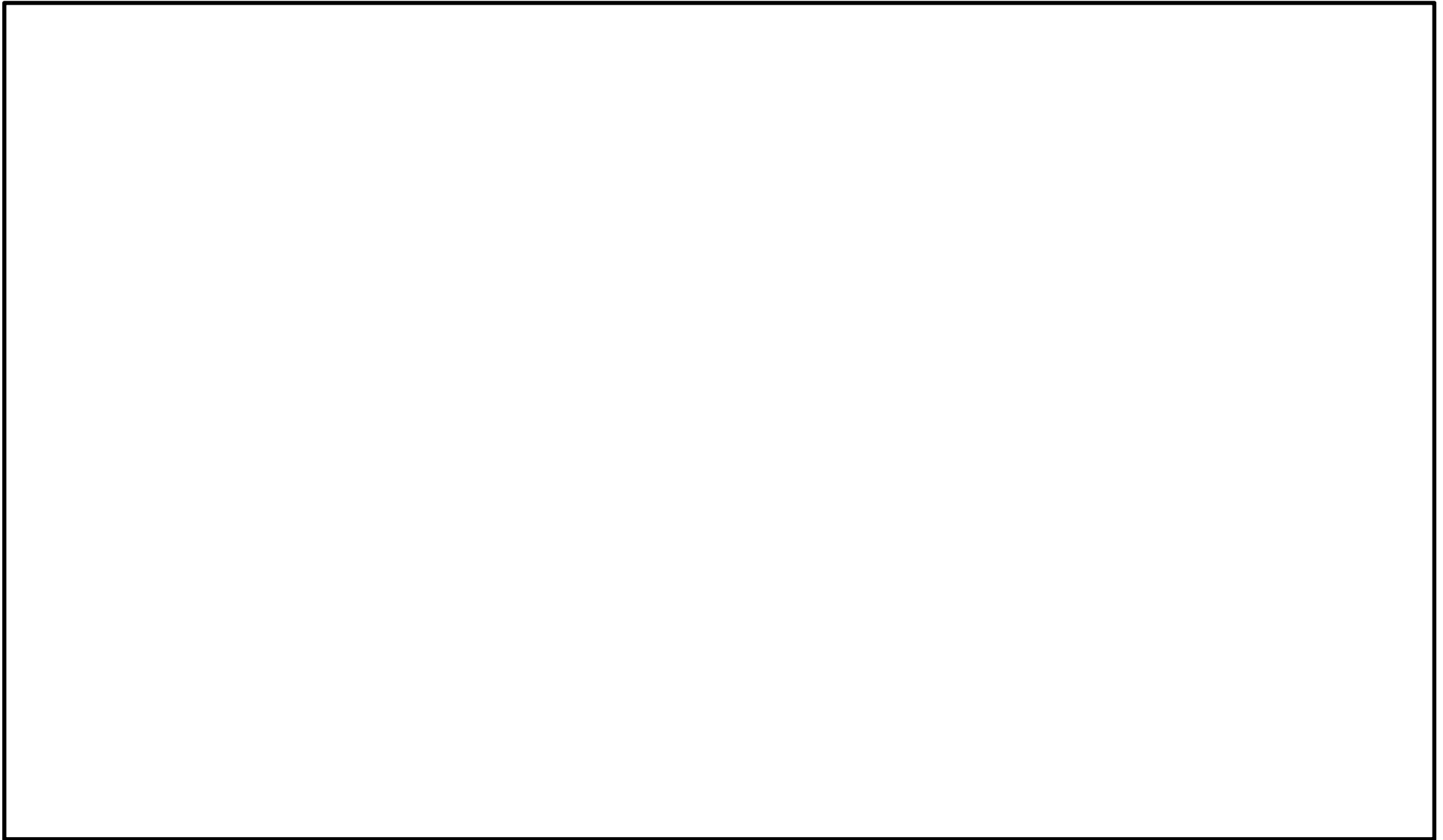


図4-2 燃料取替機計算モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-7(1)及び表4-7(2)に示す。また、振動モード図を図4-3及び図4-4に示す。

ブリッジについては走行方向（EW方向），トロリについては横行方向（NS方向）に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合にすべりを生じるが，固有値解析では，走行レール（原子炉建屋4階床）と車輪，ブリッジとトロリを結合した境界条件で解析を実施する。

表4-7(1) 固有値解析結果（トロリ位置：中央）*1

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数 *2		
			水平方向		鉛直方向
			NS方向	EW方向	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

注記*1：設計基準対象施設としての評価の場合

*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。

表4-7(2) 固有値解析結果（トロリ位置：端部）*1

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*2		
			水平方向		鉛直方向
			NS方向	EW方向	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

注記*1：重大事故等対処設備としての評価の場合

*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。

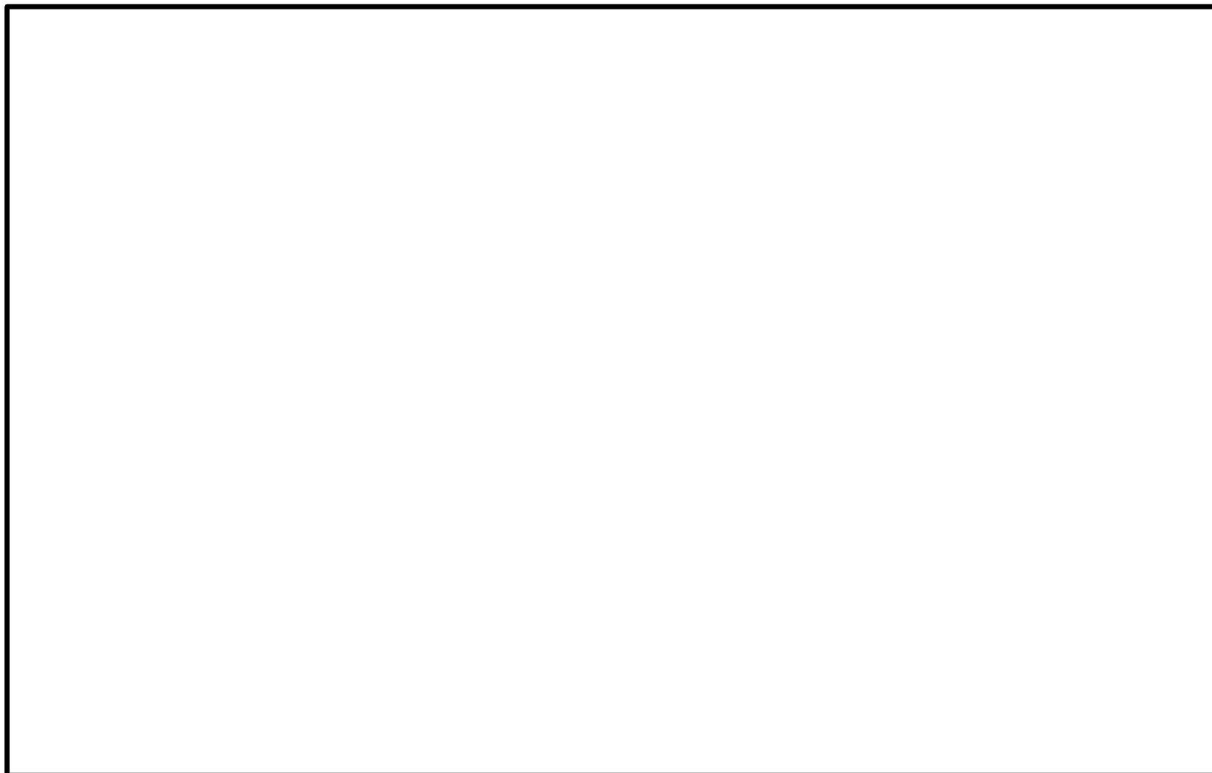


図 4-3 トロリ位置が中央の場合における振動モード図

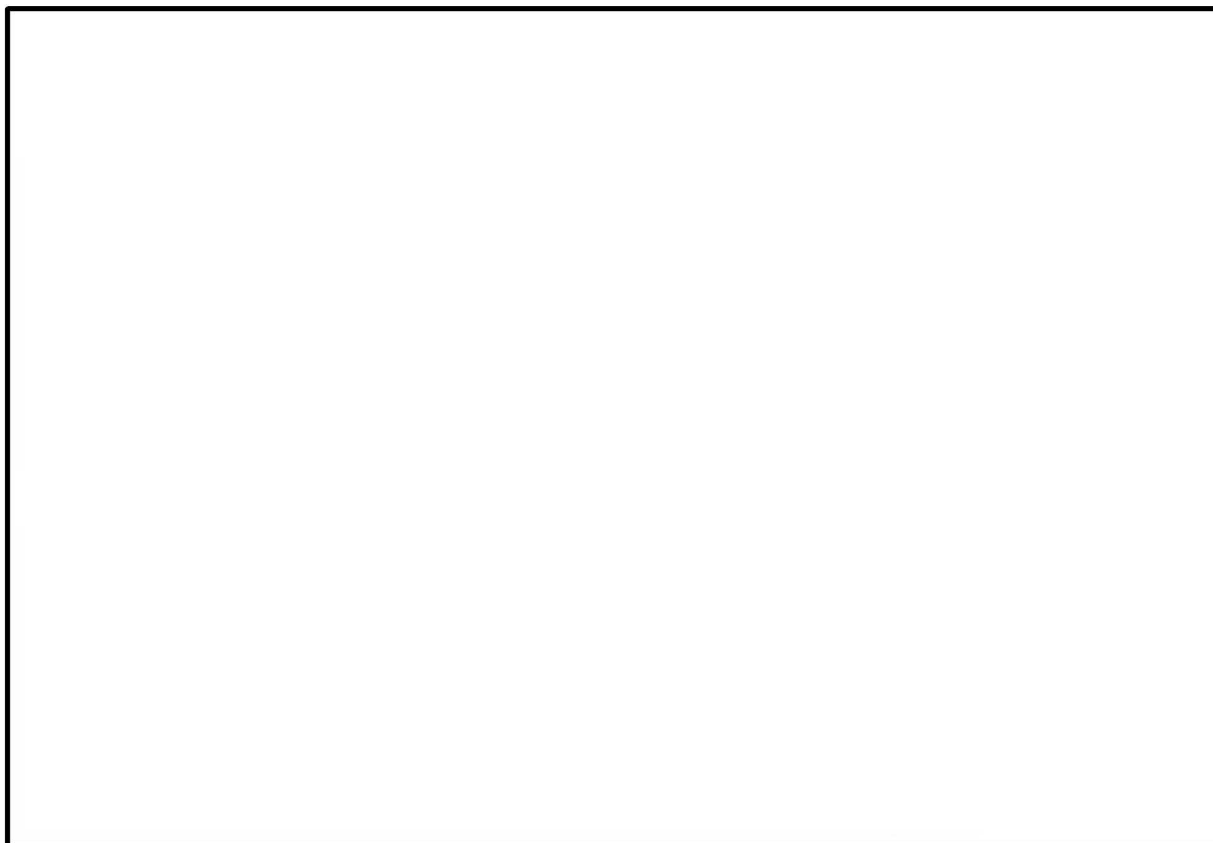


図 4-4 トロリ位置が端部の場合における振動モード図

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 4-9 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。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 4-8 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)		原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7* ¹		
固有周期(s)				
減衰定数(%)		水平：2.0 鉛直：2.0(1.5)* ³		
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* ⁴
		NS 方向* ⁴	EW 方向	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
動的地震力* ⁵		$C_{H1}=1.37$	$C_{H2}=0.15*6$	1.16

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値。

*3：()外は燃料取替機のトロリ位置が中央にある場合，()内は燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合。

*4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線 (S_s) より得られる震度を示す。

*5： S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため，最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

表 4-9 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)		原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7* ¹		
固有周期(s)		[]		
減衰定数(%)		水平：2.0 鉛直：1.5		
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* ³
		NS 方向* ³	EW 方向	
1次	[]	[]	[]	[]
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
動的地震力* ⁴		$C_{H1}=1.37$	$C_{H2}=0.15^{*5}$	1.16

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：トロリ位置が端部にある場合の値。

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

*4：S sに基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

4.6 計算方法

4.6.1 燃料取替機構造物フレームの応力

(1) 計算方法

燃料取替機構造物フレームに加わる荷重及び応力は、スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a. 燃料取替機構造物フレームの応力

(a) 組合せ応力

構造物フレームの曲げ応力を σ_{1F} ，せん断応力を τ_{1F} とすると，組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$

燃料取替機構造物フレームの最小裕度部材を図4-2の①，②に示す。
また，①，②の各断面形状を図4-5(1)，図4-5(2)に示す。

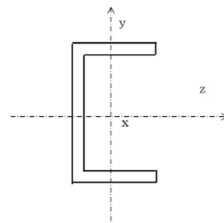


図4-5(1) ①部 ブリッジはり

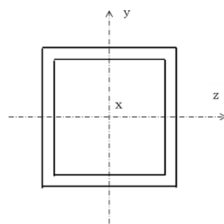


図4-5(2) ②部 トロリ2階はり

4.6.2 ブリッジ脱線防止ラグ，ブリッジガイドフレーム及び走行レールの応力

(1) 荷重の計算方法

ブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_{1H} \sim P_{4H}$ ， $P_{1V} \sim P_{4V}$ ）及び，ブリッジガイドフレームに加わる荷重（ $P_{5H} \sim P_{8H}$ ）は，スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

(2) 各部の応力

a. ブリッジ脱線防止ラグの応力

ブリッジ脱線防止ラグの応力を，図4-6を用いて計算する。脱線防止ラグ1ヶ所に作用する負担力は， F_{HB} （ $P_{1H} \sim P_{4H}$ の平均値）及び F_{VB} （ $P_{1V} \sim P_{4V}$ の平均値）とする。

鉛直力 F_{VB} は2個の爪に分散し，1個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vb} = \frac{F_{VB}}{2} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

(a) 曲げ応力

・A部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1B} = F_{HB} \cdot h_{1B} + F_{Vb} \cdot \left[h_{2B} + \frac{a_{1B}}{2} \right] \dots\dots (4.6.2.2)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1B} = \frac{a_{1B}^2 \cdot b_{1B}}{6} \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = \frac{M_{1B}}{Z_{1B}} \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

・B部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2B} = F_{Vb} \cdot h_{2B} \dots\dots\dots (4.6.2.5)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2B} = \frac{a_{2B}^2 \cdot b_{2B}}{6} \dots\dots\dots (4.6.2.6)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2B} = \frac{M_{2B}}{Z_{2B}} \dots\dots\dots (4.6.2.7)$$

(b) 引張応力

- A部

断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \quad \dots \quad (4.6.2.8)$$

したがって、引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t1B} = \frac{F_{vb}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.2.9)$$

- B部

構造上、引張応力は発生しない。

(c) せん断応力

- A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \quad \dots \quad (4.6.2.10)$$

負担力 F_{HB} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \frac{F_{HB}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.2.11)$$

- B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2B} = a_{2B} \cdot b_{2B} \quad \dots \quad (4.6.2.12)$$

負担力 F_{vb} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2B} = \frac{F_{vb}}{A_{2B}} \quad \dots \quad (4.6.2.13)$$

(d) 組合せ応力

- A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1B} = \sqrt{(\sigma_{1B} + \sigma_{t1B})^2 + 3 \cdot \tau_{1B}^2} \quad \dots \quad (4.6.2.14)$$

- B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2B} = \sqrt{\sigma_{2B}^2 + 3 \cdot \tau_{2B}^2} \quad \dots \quad (4.6.2.15)$$

(e) 取付ボルトの引張応力

ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトにかかるモーメントは次式となる。

$$M_{b1B} = F_{HB} \cdot L_{1B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.16)$$

ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト1本にかかる引張荷重は次式となる。

$$F_{b1B} = \frac{L_{4B} \cdot M_{b1B}}{(L_{2B}^2 + L_{3B}^2 + L_{4B}^2)} + \frac{F_{VB}}{n_{1B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.17)$$

引張荷重を受けるボルト1本の断面積は次式となる。

$$A_{b1B} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1B}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.18)$$

したがって、引張応力は次式となる。

$$\sigma_{bt1B} = \frac{F_{b1B}}{A_{b1B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.19)$$

(f) 取付ボルトのせん断応力

せん断力は、取付ボルト n_{1B} 本で受けるものとし、ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{b1B} = \frac{F_{HB}}{n_{1B} \cdot A_{b1B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.20)$$

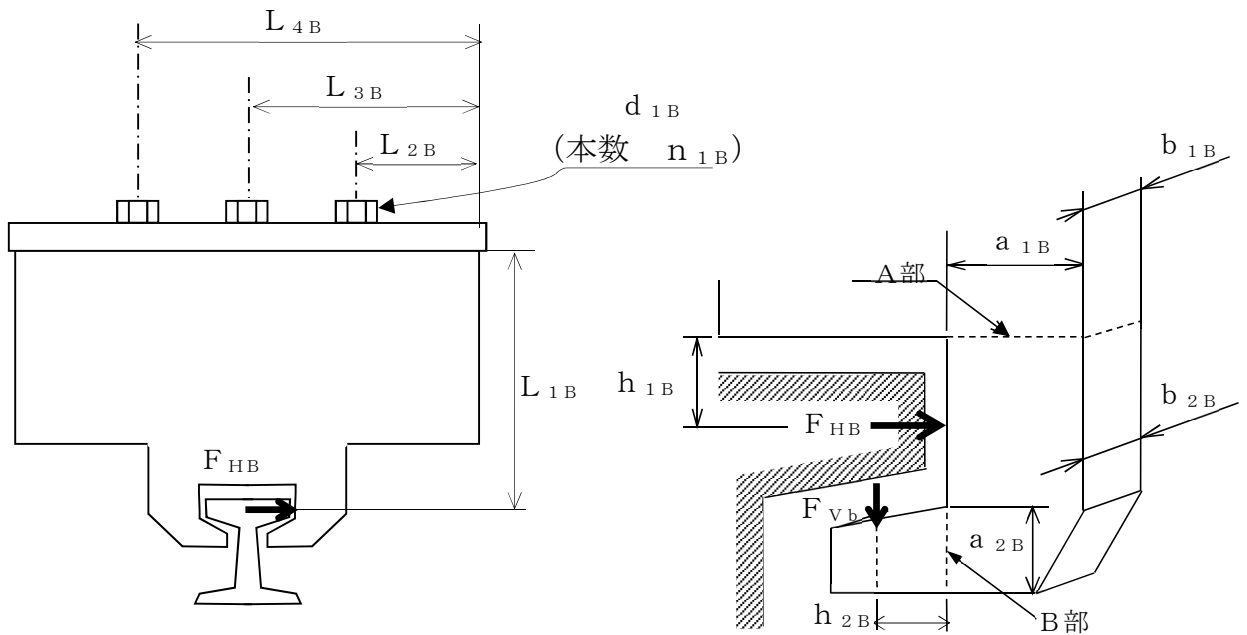


図4-6 ブリッジ脱線防止ラグ

b. ブリッジガイドフレームの応力

ブリッジガイドフレームの応力を，図 4-7 を用いて計算する。ブリッジガイドフレーム 1 個に作用する負担力を， F_{GB} ($P_{5H} \sim P_{8H}$ の平均値) とする。

(a) 曲げ応力

- ・ C 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3B} = F_{GB} \cdot h_{3B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.21)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3B} = \frac{a_{3B}^2 \cdot b_{3B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.22)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3B} = \frac{M_{3B}}{Z_{3B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.23)$$

(b) せん断応力

- ・ C 部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{3B} = a_{3B} \cdot b_{3B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.24)$$

負担力 F_{GB} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{3B} = \frac{F_{GB}}{A_{3B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.25)$$

(c) 組合せ応力

- ・ C 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3B} = \sqrt{\sigma_{3B}^2 + 3 \cdot \tau_{3B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.26)$$

(d) 取付ボルトの引張応力

ブリッジガイドフレーム取付ボルトにかかるモーメントは次式となる。

$$M_{b2B} = F_{GB} \cdot L_{5B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.27)$$

ブリッジガイドフレーム取付ボルト1本にかかる引張荷重は次式となる。

$$F_{b2B} = \frac{L_{7B} \cdot M_{b2B}}{(L_{6B}^2 + L_{7B}^2)} \dots \dots \dots (4.6.2.28)$$

引張荷重を受けるボルト1本の断面積は次式となる。

$$A_{b2B} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{2B}^2 \dots \dots \dots (4.6.2.29)$$

したがって、引張応力は次式となる。

$$\sigma_{bt2B} = \frac{F_{b2B}}{(n_{2B}/2) \cdot A_{b2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.30)$$

(e) 取付ボルトのせん断応力

せん断力は、取付ボルト n_{2B} 本で受けるものとし、ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{b2B} = \frac{F_{GB}}{n_{2B} \cdot A_{b2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.31)$$

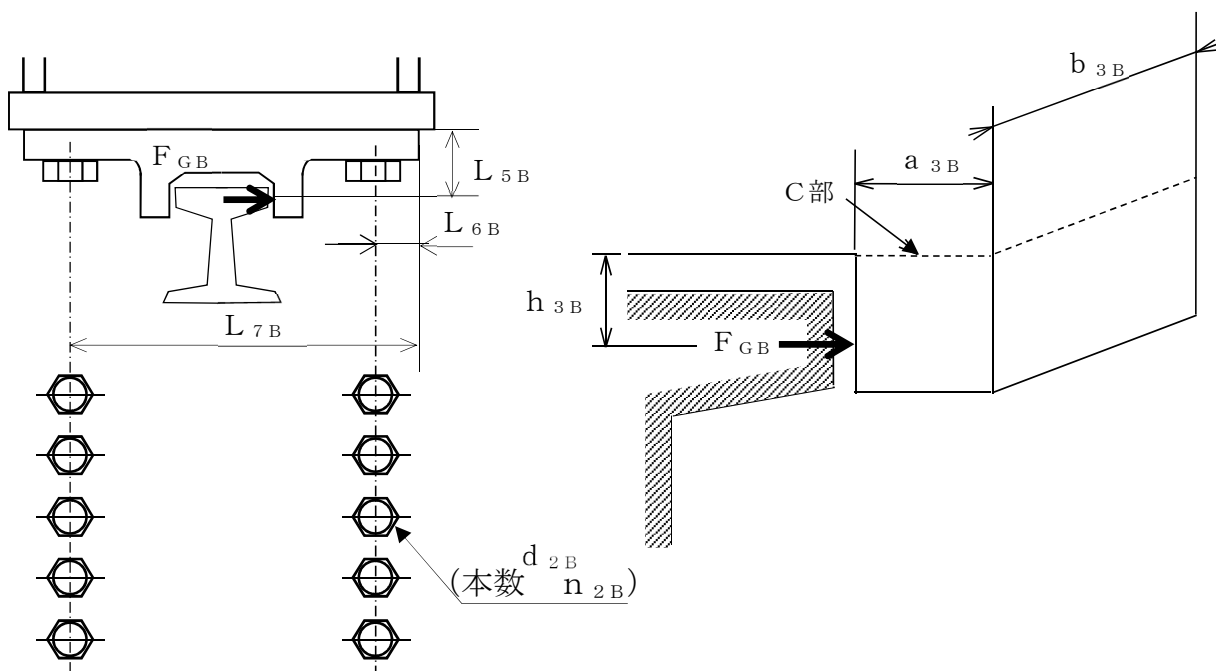


図4-7 ブリッジガイドフレーム

c. 走行レールの応力

走行レールの応力評価は 4.6.2(2)a 項で求めた荷重 ($F_{1H} \sim F_{4H}$, $F_{1V} \sim F_{4V}$) の平均の値 F_{HB} , 及び F_{VB} から求めた爪片側当たりの負担力 F_{Vb} , 4.6.2(2)b 項で求めた荷重 ($P_{5H} \sim P_{8H}$) の平均の値 F_{GB} を用いて評価する。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する鉛直力 F_{Vb} , 水平力 F_{HB} は図 4-8(1) 及び図 4-8(2) に示す斜線部のように走行レール上フランジに分散する。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する水平力 F_{HB} , 鉛直力 F_{Vb} は図 4-8(3) 及び図 4-8(4) に示す斜線部のように走行レールウェブに分散する。

ブリッジガイドフレームに作用する水平力 F_{GB} は図 4-8(5) に示す斜線部のように走行レール上フランジに, また, 図 4-8(6) に示す斜線部のように走行レールウェブに分散する。

(a) 曲げ応力 (ブリッジ脱線防止ラグ作用力)

・ D 部

鉛直力 F_{Vb} による走行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{4B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{4B} + L_{8B}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.32)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4B} = \frac{a_{4B}^2 \cdot b_{4B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.33)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4B} = F_{Vb} \cdot h_{4B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.34)$$

水平力 F_{HB} による走行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{5B} = b_{2B} + 2 \cdot L_{9B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.35)$$

断面積は次式となる。

$$A_{5B} = a_{4B} \cdot b_{5B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.36)$$

したがって, D 部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4B} = \frac{F_{HB}}{A_{5B}} + \frac{M_{4B}}{Z_{4B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.37)$$

・ E 部

鉛直力 F_{Vb} による曲げ応力は 0 である。

水平力 F_{HB} による走行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{6B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{5B} + L_{10B}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.38)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{5B} = \frac{a_{5B}^2 \cdot b_{6B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.39)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{5B} = F_{HB} \cdot h_{5B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.40)$$

したがって、E 部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{5B} = \frac{M_{5B}}{Z_{5B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.41)$$

(b) 引張応力 (ブリッジ脱線防止ラグ作用力)

・ D 部

水平力 F_{HB} 及び、鉛直力 F_{Vb} による引張応力は 0 である。

・ E 部

水平力 F_{HB} による引張応力は 0 である。

鉛直力 F_{Vb} による走行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{7B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{6B} + L_{11B}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.42)$$

断面積は次式となる。

$$A_{7B} = a_{5B} \cdot b_{7B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.43)$$

したがって、E 部に発生する引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t5B} = \frac{2 \cdot F_{Vb}}{A_{7B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.44)$$

(c) せん断応力（ブリッジ脱線防止ラグ作用力）

・ D部

水平力 F_{HB} によるせん断応力は 0 である。

鉛直力 F_{Vb} によるせん断力を走行レール上フランジで負担する断面積は次式となる。

$$A_{4B} = a_{4B} \cdot b_{4B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.45)$$

したがって、D部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{4B} = \frac{F_{Vb}}{A_{4B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.46)$$

・ E部

鉛直力 F_{Vb} によるせん断応力は 0 である。

水平力 F_{HB} によるせん断力を走行レールウェブで負担する断面積は次式となる。

$$A_{6B} = a_{5B} \cdot b_{6B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.47)$$

したがって、E部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{5B} = \frac{F_{HB}}{A_{6B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.48)$$

(d) 組合せ応力（ブリッジ脱線防止ラグ作用力）

・ D部

D部の組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4B} = \sqrt{\sigma_{4B}^2 + 3 \cdot \tau_{4B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.49)$$

・ E部

E部の組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c5B} = \sqrt{(\sigma_{5B} + \sigma_{t5B})^2 + 3 \cdot \tau_{5B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.50)$$

(e) 曲げ応力 (ブリッジガイドフレーム作用力)

・ F 部

水平力 F_{GB} による曲げ応力は 0 である。

・ G 部

水平力 F_{GB} による走行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{8B} = b_{3B} + 2 \cdot (h_{7B} + L_{12B}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.51)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{6B} = \frac{a_{5B}^2 \cdot b_{8B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.52)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{6B} = F_{GB} \cdot h_{7B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.53)$$

したがって、G 部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{6B} = \frac{M_{6B}}{Z_{6B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.54)$$

(f) せん断応力 (ブリッジガイドフレーム作用力)

・ F 部

水平力 F_{GB} によるせん断応力は 0 である。

・ G 部

水平力 F_{GB} によるせん断力を走行レールウェブで負担する断面積は次式となる。

$$A_{8B} = a_{5B} \cdot b_{8B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.55)$$

したがって、G 部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{6B} = \frac{F_{GB}}{A_{8B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.56)$$

(g) 圧縮応力 (ブリッジガイドフレーム作用力)

・ F 部

水平力 F_{GB} による走行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{9B} = b_{3B} + 2 \cdot L_{13B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.57)$$

断面積は次式となる。

$$A_{9B} = a_{4B} \cdot b_{9B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.58)$$

したがって、F 部に発生する圧縮応力は次式となる。

$$\sigma_{S1B} = \frac{F_{GB}}{A_{9B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.59)$$

・ G 部

水平力 F_{GB} による圧縮応力は 0 である。

(h) 組合せ応力 (ブリッジガイドフレーム作用力)

・ F 部

F 部に発生するのは圧縮応力のみであることから、組合せ応力の確認は不要となる。

・ G 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c6B} = \sqrt{\sigma_{6B}^2 + 3 \cdot \tau_{6B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.60)$$

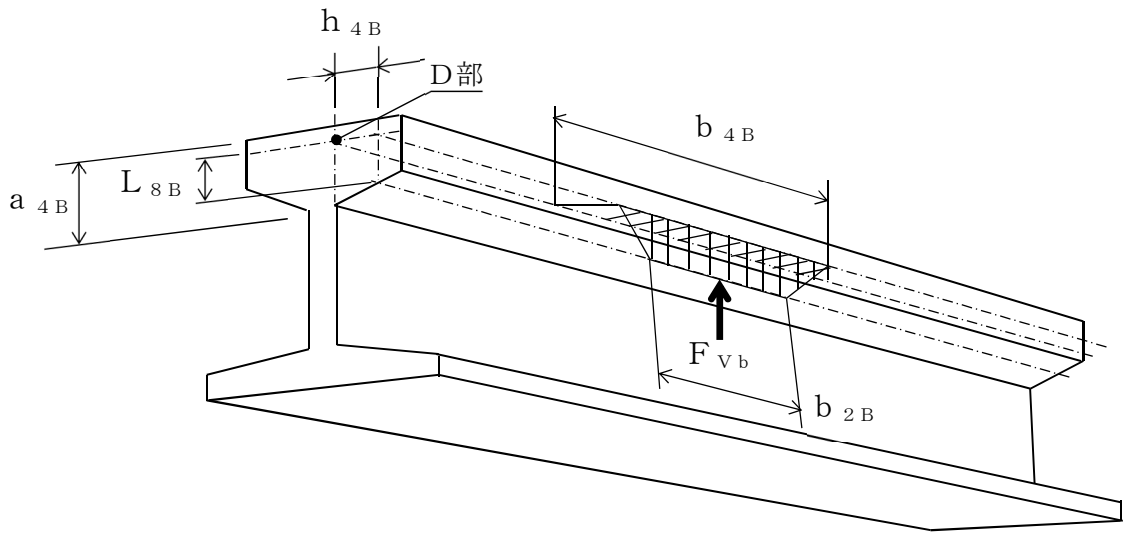


図4-8(1) 走行レール上フランジ鉛直力 (F_{vb}) 負担部位

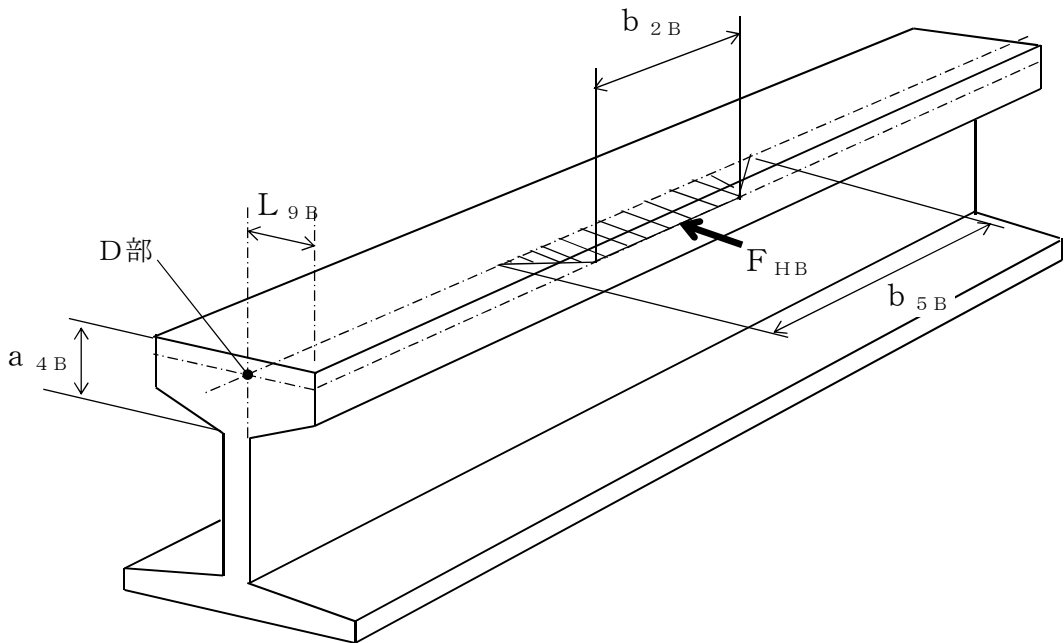


図4-8(2) 走行レール上フランジ水平力 (F_{HB}) 負担部位

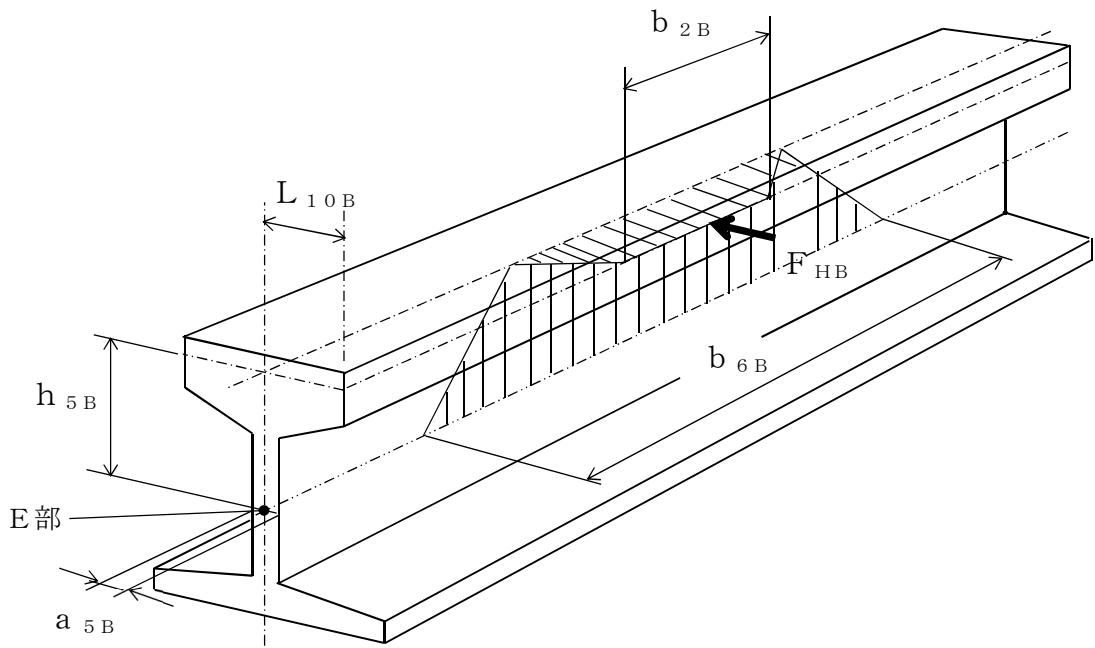


図 4-8(3) 走行レールウェブ水平力 (F_{HB}) 負担部位

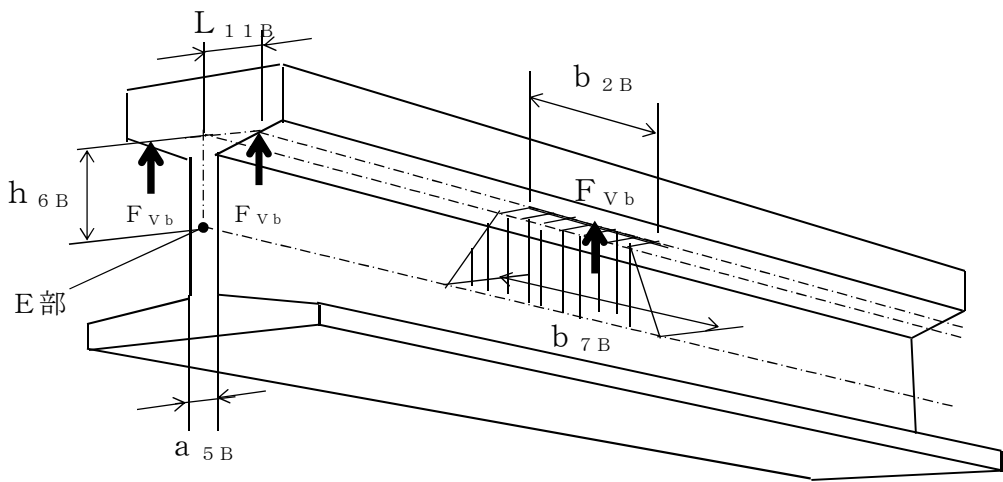


図 4-8(4) 走行レールウェブ鉛直力 (F_{vb}) 負担部位

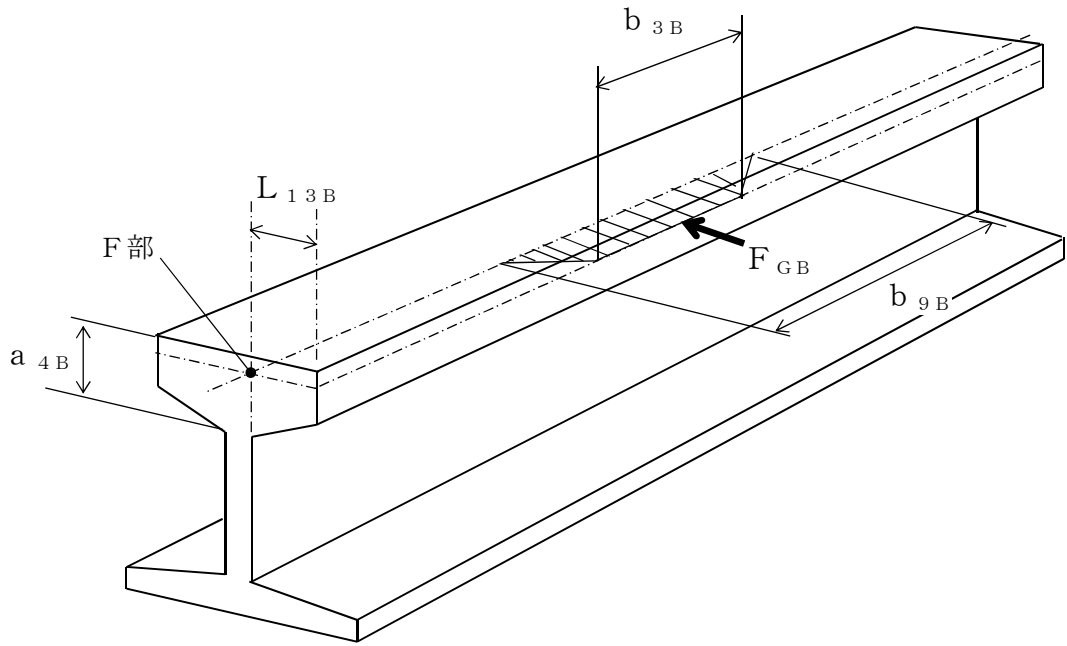


図4-8(5) 走行レール上フランジ水平力 (F_{GB}) 負担部位

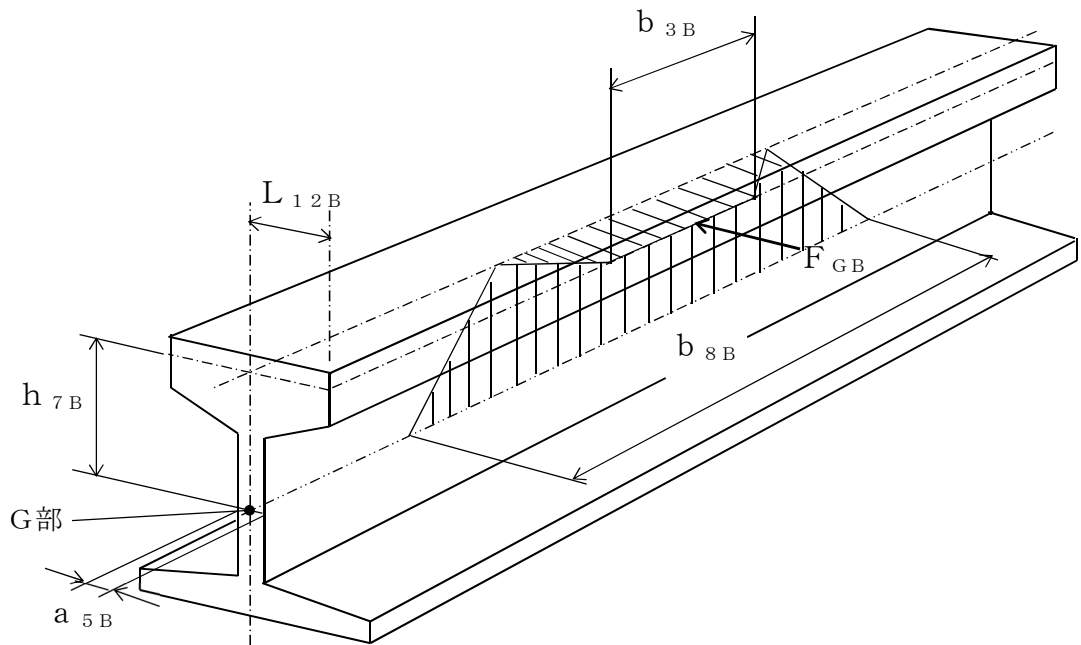


図4-8(6) 走行レールウェブ水平力 (F_{GB}) 負担部位

4.6.3 トロリ脱線防止ラグ及び横行レールの応力

(1) 荷重の計算方法

トロリ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_{9H} \sim P_{12H}$ ， $P_{9V} \sim P_{12V}$ ）は，スペクトルモード解析及び静解析により求める。

トロリ車輪近傍には，2組の脱線防止ラグが設置されている。1車輪当たりの脱線防止ラグ配置概要を図4-9に示す。

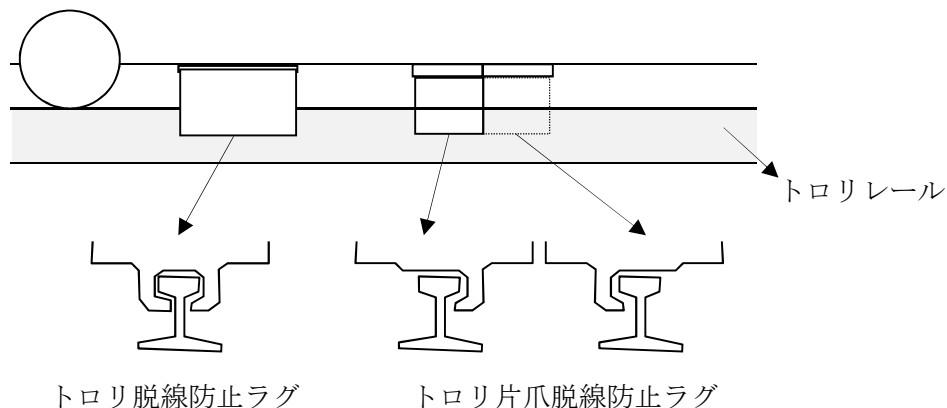


図4-9 トロリ脱線防止ラグ 配置概要

上記2組のトロリ脱線防止ラグに作用する負担力は， F_{HT} （ $P_{9H} \sim P_{12H}$ の平均値）及び， F_{VT} （ $P_{9V} \sim P_{12V}$ の平均値）とする。

水平力 F_{HT} 及び， F_{VT} は，図4-10に示すようにトロリ脱線防止ラグ及びトロリ片爪脱線防止ラグに分散される。

各脱線防止ラグの負担力は，各々のレール接触幅に比例するものとみなす。

トロリ脱線防止ラグに発生する水平力 $F_{HT(1)}$ 及び鉛直力 $F_{VT(1)}$ は，次式となる。

$$F_{HT(1)} = \frac{F_{HT} \cdot b_{1T(1)}}{b_{1T(1)} + b_{1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

$$F_{VT(1)} = \frac{F_{VT} \cdot b_{1T(1)}}{b_{1T(1)} + b_{1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.2)$$

トロリ片爪脱線防止ラグに発生する水平力 $F_{HT(2)}$ 及び鉛直力 $F_{VT(2)}$ は，次式となる。

$$F_{HT(2)} = \frac{F_{HT} \cdot b_{1T(2)}}{b_{1T(1)} + b_{1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.3)$$

$$F_{VT(2)} = \frac{F_{VT} \cdot b_{1T(2)}}{b_{1T(1)} + b_{1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.4)$$

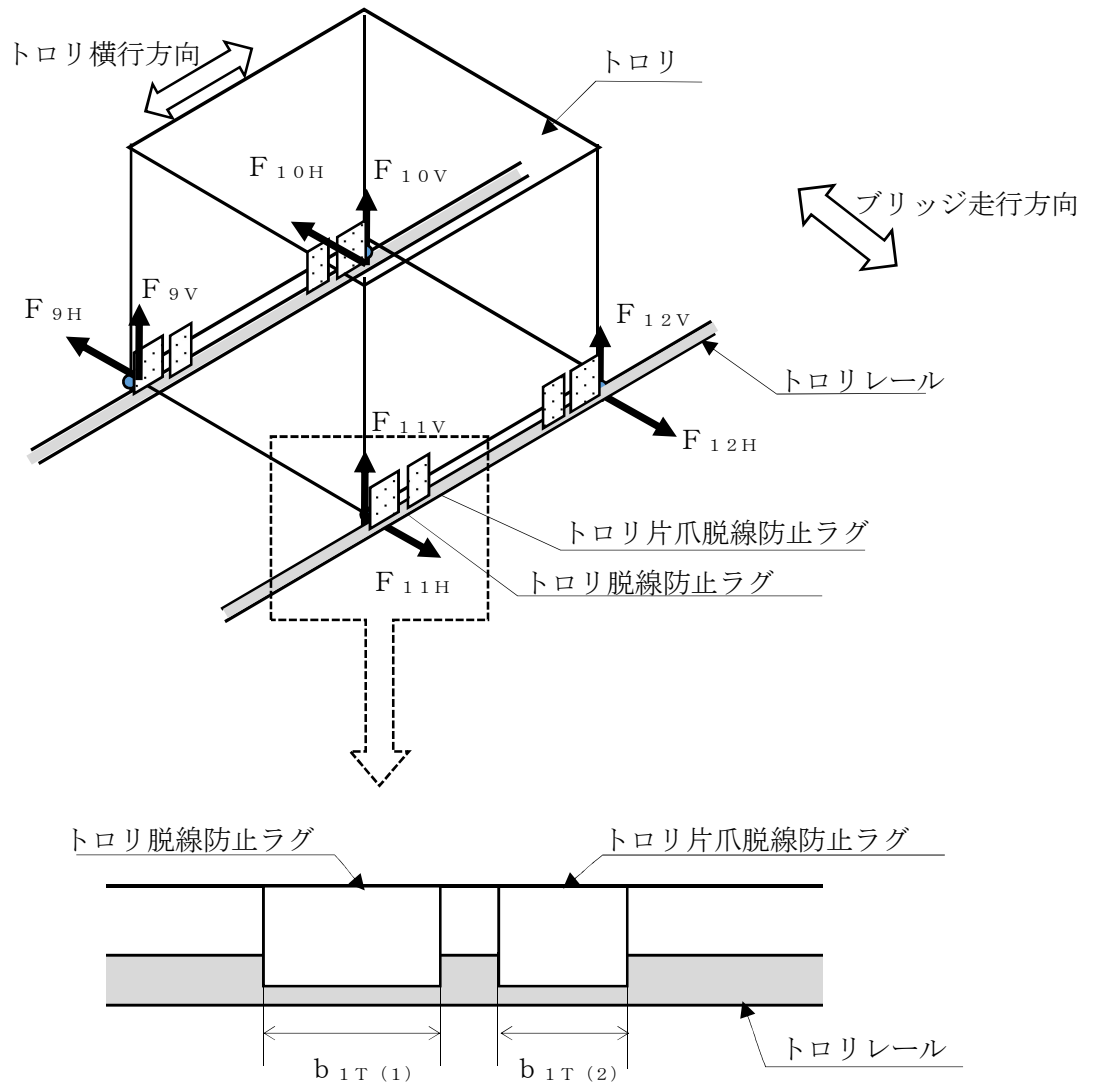


図 4-10 計算モデル

(2) 各部の応力

a. トロリ脱線防止ラグの応力

トロリ脱線防止ラグの応力を，図 4-11 を用いて計算する。

鉛直力 F_{VT} は 2 個の爪に分散し，1 個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vt(1)} = \frac{F_{VT(1)}}{2} \dots \dots \dots (4.6.3.5)$$

(a) 曲げ応力

・ A 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1T(1)} = F_{HT(1)} \cdot h_{1T(1)} + F_{Vt(1)} \cdot \left[h_{2T(1)} + \frac{a_{1T(1)}}{2} \right] \dots \dots \dots (4.6.3.6)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1T(1)} = \frac{a_{1T(1)}^2 \cdot b_{1T(1)}}{6} \dots \dots \dots (4.6.3.7)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1T(1)} = \frac{M_{1T(1)}}{Z_{1T(1)}} \dots \dots \dots (4.6.3.8)$$

・ B 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2T(1)} = F_{Vt(1)} \cdot h_{2T(1)} \dots \dots \dots (4.6.3.9)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2T(1)} = \frac{a_{2T(1)}^2 \cdot b_{2T(1)}}{6} \dots \dots \dots (4.6.3.10)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2T(1)} = \frac{M_{2T(1)}}{Z_{2T(1)}} \dots \dots \dots (4.6.3.11)$$

(b) 引張応力

- A部

断面積は次式となる。

$$A_{1T(1)} = a_{1T(1)} \cdot b_{1T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.12)$$

したがって、引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t1T(1)} = \frac{F_{vt(1)}}{A_{1T(1)}} \quad \dots \quad (4.6.3.13)$$

- B部

構造上、引張応力は発生しない。

(c) せん断応力

- A部

負担力 F_{HT} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1T(1)} = \frac{F_{HT(1)}}{A_{1T(1)}} \quad \dots \quad (4.6.3.14)$$

- B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2T(1)} = a_{2T(1)} \cdot b_{2T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.15)$$

負担力 F_{vt} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2T(1)} = \frac{F_{vt(1)}}{A_{2T(1)}} \quad \dots \quad (4.6.3.16)$$

(d) 組合せ応力

- A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1T(1)} = \sqrt{(\sigma_{1T(1)} + \sigma_{t1T(1)})^2 + 3 \cdot \tau_{1T(1)}^2} \quad \dots \quad (4.6.3.17)$$

- B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2T(1)} = \sqrt{\sigma_{2T(1)}^2 + 3 \cdot \tau_{2T(1)}^2} \quad \dots \quad (4.6.3.18)$$

(e) 取付ボルトの引張応力

取付ボルトにかかるモーメントは次式となる。

$$M_{b1T(1)} = F_{HT(1)} \cdot L_{1T(1)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.19)$$

取付ボルト 1 本にかかる引張荷重は次式となる。

$$F_{b1T(1)} = \frac{M_{b1T(1)} \cdot L_{3T(1)}}{(L_{2T(1)}^2 + L_{3T(1)}^2) \cdot n_{1T(1)} / 2} + \frac{F_{VT(1)}}{n_{1T(1)}} \quad \dots \dots (4.6.3.20)$$

引張荷重を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{b1T(1)} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1T(1)}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.3.21)$$

したがって、引張応力は次式となる。

$$\sigma_{bt1T(1)} = \frac{F_{b1T(1)}}{A_{b1T(1)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.22)$$

(f) 取付ボルトのせん断応力

せん断力は、取付ボルト $n_{1T(1)}$ 本で受けるものとし、ボルト 1 本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{b1T(1)} = \frac{F_{HT(1)}}{n_{1T(1)} \cdot A_{b1T(1)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.23)$$

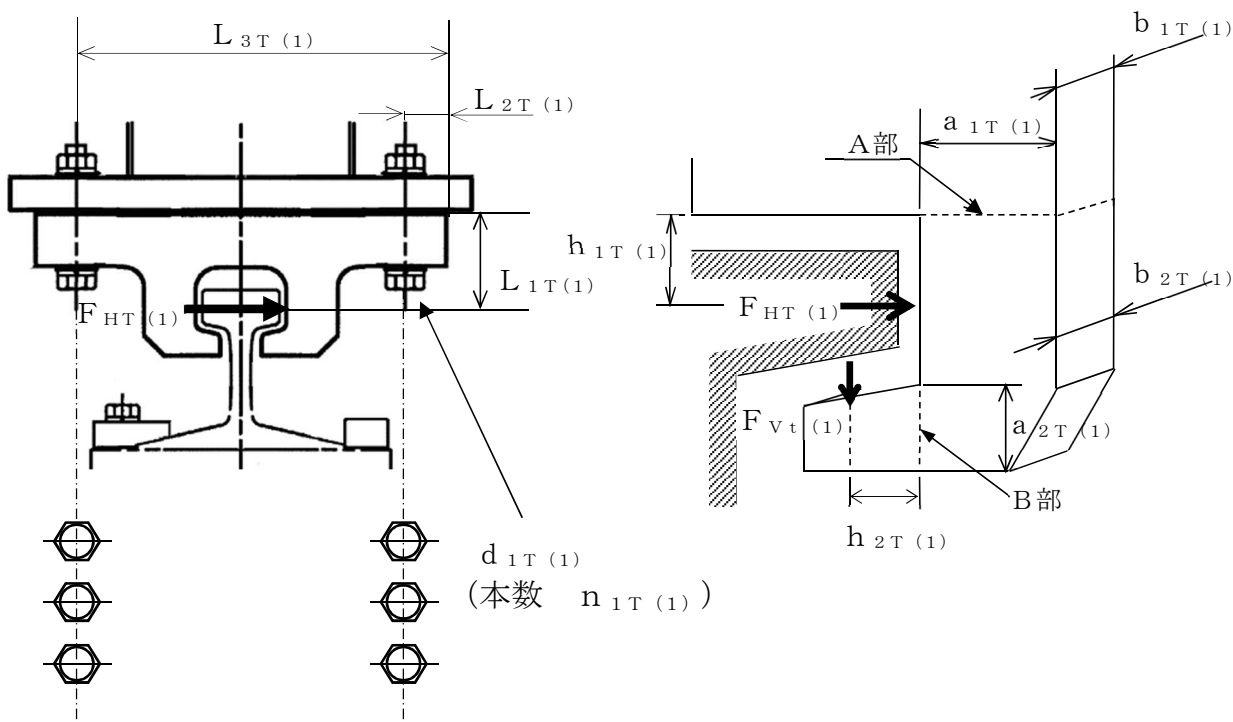


図 4-11 トロリ脱線防止ラグ

b. トロリ片爪脱線防止ラグの応力

トロリ片爪脱線防止ラグの応力を，図 4-12 を用いて計算する。

鉛直力 $F_{Vt(2)}$ は 2 個の爪に分散し，1 個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vt(2)} = \frac{F_{VT(2)}}{2} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.24)$$

(a) 曲げ応力

・ A 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1T(2)} = F_{HT(2)} \cdot h_{1T(2)} + F_{Vt(2)} \cdot \left[h_{2T(2)} + \frac{a_{1T(2)}}{2} \right] \quad \dots \dots \dots (4.6.3.25)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1T(2)} = \frac{a_{1T(2)}^2 \cdot b_{1T(2)}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.26)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1T(2)} = \frac{M_{1T(2)}}{Z_{1T(2)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.27)$$

・ B 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2T(2)} = F_{Vt(2)} \cdot h_{2T(2)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.28)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2T(2)} = \frac{a_{2T(2)}^2 \cdot b_{2T(2)}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.29)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2T(2)} = \frac{M_{2T(2)}}{Z_{2T(2)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.30)$$

(b) 引張応力

・ A 部

断面積は次式となる。

$$A_{1T(2)} = a_{1T(2)} \cdot b_{1T(2)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.31)$$

したがって，引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t1T(2)} = \frac{F_{Vt(2)}}{A_{1T(2)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.32)$$

・ B 部

構造上，引張応力は発生しない。

(c) せん断応力

・ A部

負担力 $F_{HT(2)}$ によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1T(2)} = \frac{F_{HT(2)}}{A_{1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.33)$$

・ B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2T(2)} = a_{2T(2)} \cdot b_{2T(2)} \dots \dots \dots (4.6.3.34)$$

負担力 $F_{Vt(2)}$ によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2T(2)} = \frac{F_{Vt(2)}}{A_{2T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.35)$$

(d) 組合せ応力

・ A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1T(2)} = \sqrt{(\sigma_{1T(2)} + \sigma_{t1T(2)})^2 + 3 \cdot \tau_{1T(2)}^2} \dots \dots (4.6.3.36)$$

・ B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2T(2)} = \sqrt{\sigma_{2T(2)}^2 + 3 \cdot \tau_{2T(2)}^2} \dots \dots \dots (4.6.3.37)$$

(e) 取付ボルトの引張応力

取付ボルトにかかるモーメントは次式となる。

$$M_{b1T(2)} = F_{HT(2)} \cdot L_{1T(2)} \dots \dots \dots (4.6.3.38)$$

取付ボルト 1 本にかかる引張荷重は次式となる。

$$F_{b1T(2)} = \frac{M_{b1T(2)} \cdot L_{3T(2)}}{(L_{2T(2)}^2 + L_{3T(2)}^2) \cdot n_{1T(2)} / 4} + \frac{F_{Vt(2)}}{n_{1T(2)}} \dots \dots (4.6.3.39)$$

引張荷重を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{b1T(2)} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1T(2)}^2 \dots \dots \dots (4.6.3.40)$$

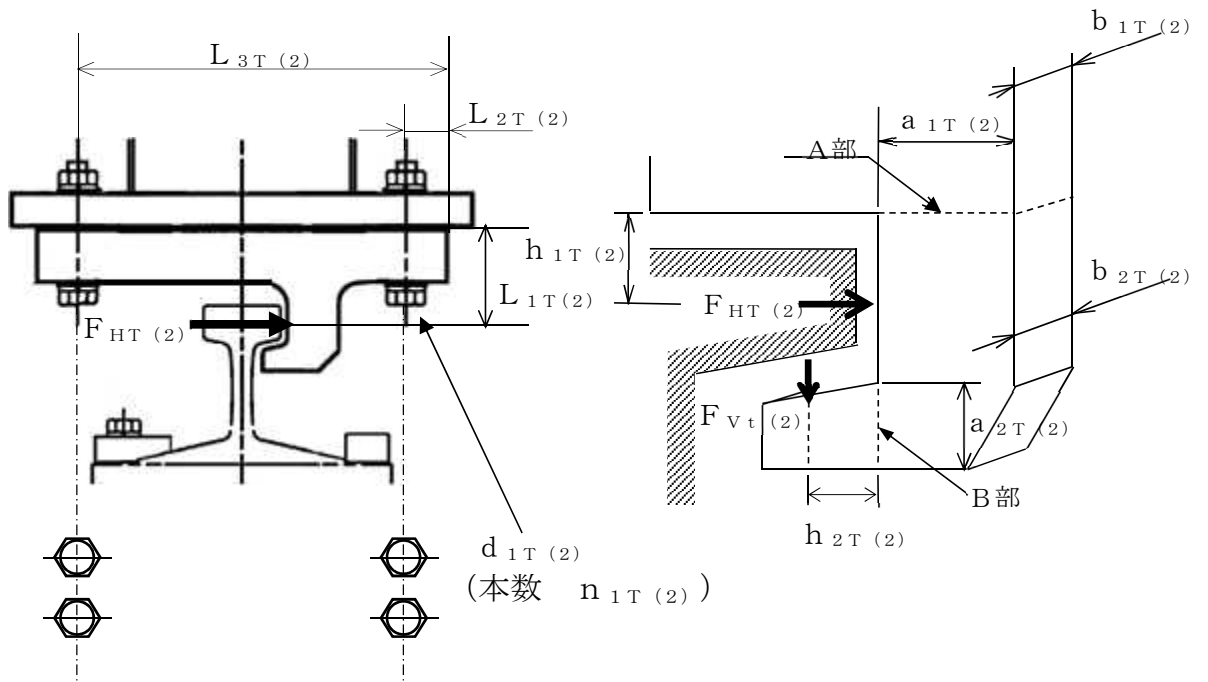
したがって、引張応力は次式となる。

$$\sigma_{bt1T(2)} = \frac{F_{b1T(2)}}{A_{b1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.41)$$

(f) 取付ボルトのせん断応力

せん断力は、取付ボルト $n_{1T(2)}$ 本で受けるものとし、ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{b1T(2)} = \frac{F_{HT(2)}}{(n_{1T(2)} / 2) \cdot A_{b1T(2)}} \dots \dots \dots (4.6.3.42)$$



K6 ① VI-2-11-2-5 R0

図4-12 トロリ片爪脱線防止ラグ

c. 横行レールの応力

トロリ脱線防止ラグに作用する鉛直力 $F_{Vt(1)}$ ，水平力 $F_{HT(1)}$ は図 4-13(1)及び図 4-13(2)に示す斜線部のように横行レール上フランジに分散する。

トロリ脱線防止ラグに作用する水平力 $F_{HT(1)}$ ，鉛直力 $F_{Vt(1)}$ は図 4-13(3)及び図 4-13(4)に示す斜線部のように横行レールウェブに分散する。

トロリ片爪脱線防止ラグに作用する鉛直力 $F_{Vt(2)}$ ，水平力 $F_{HT(2)}$ は図 4-14(1)及び図 4-14(2)に示す斜線部のように横行レール上フランジに分散する。

トロリ片爪脱線防止ラグに作用する水平力 $F_{HT(2)}$ ，鉛直力 $F_{Vt(2)}$ は図 4-14(3)及び図 4-14(4)に示す斜線部のように横行レールウェブに分散する。

(a) 曲げ応力（トロリ脱線防止ラグ作用力）

・ C 部

鉛直力 $F_{Vt(1)}$ による横行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{4T(1)} = b_{2T(1)} + 2 \cdot (h_{4T(1)} + L_{4T(1)}) \quad \dots \quad (4.6.3.43)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4T(1)} = \frac{a_{4T(1)}^2 \cdot b_{4T(1)}}{6} \quad \dots \quad (4.6.3.44)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4T(1)} = F_{Vt(1)} \cdot h_{4T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.45)$$

水平力 $F_{HT(1)}$ による横行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{5T(1)} = b_{2T(1)} + 2 \cdot L_{5T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.46)$$

断面積は次式となる。

$$A_{5T(1)} = a_{4T(1)} \cdot b_{5T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.47)$$

したがって，C部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4T(1)} = \frac{F_{HT(1)}}{A_{5T(1)}} + \frac{M_{4T(1)}}{Z_{4T(1)}} \quad \dots \quad (4.6.3.48)$$

・ D部

鉛直力 $F_{Vt(1)}$ による曲げ応力は 0 である。

水平力 $F_{HT(1)}$ による横行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{6T(1)} = b_{2T(1)} + 2 \cdot (h_{5T(1)} + L_{6T(1)}) \quad \dots \dots \dots (4.6.3.49)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{5T(1)} = \frac{a_{5T(1)}^2 \cdot b_{6T(1)}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.50)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{5T(1)} = F_{HT(1)} \cdot h_{5T(1)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.51)$$

したがって、D部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{5T(1)} = \frac{M_{5T(1)}}{Z_{5T(1)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.52)$$

(b) 引張応力 (トロリ脱線防止ラグ作用力)

・ C部

水平力 $F_{HT(1)}$ 及び、鉛直力 $F_{Vt(1)}$ による引張応力は 0 である。

・ D部

水平力 $F_{HT(1)}$ による引張応力は 0 である。

鉛直力 $F_{Vt(1)}$ による横行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{7T(1)} = b_{2T(1)} + 2 \cdot (h_{6T(1)} + L_{7T(1)}) \quad \dots \dots \dots (4.6.3.53)$$

断面積は次式となる。

$$A_{7T(1)} = a_{5T(1)} \cdot b_{7T(1)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.54)$$

したがって、D部に発生する引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t5T(1)} = \frac{2 \cdot F_{Vt(1)}}{A_{7T(1)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.55)$$

(c) せん断応力（トロリ脱線防止ラグ作用力）

・ C 部

水平力 $F_{HT(1)}$ によるせん断応力は 0 である。

鉛直力 $F_{Vt(1)}$ によるせん断力を横行レール上フランジで負担する断面積は次式となる。

$$A_{4T(1)} = a_{4T(1)} \cdot b_{4T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.56)$$

したがって、C 部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{4T(1)} = \frac{F_{Vt(1)}}{A_{4T(1)}} \quad \dots \quad (4.6.3.57)$$

・ D 部

鉛直力 $F_{Vt(1)}$ によるせん断応力は 0 である。

水平力 $F_{HT(1)}$ によるせん断力を横行レールウェブで負担する断面積は次式となる。

$$A_{6T(1)} = a_{5T(1)} \cdot b_{6T(1)} \quad \dots \quad (4.6.3.58)$$

したがって、D 部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{5T(1)} = \frac{F_{HT(1)}}{A_{6T(1)}} \quad \dots \quad (4.6.3.59)$$

(d) 組合せ応力（トロリ脱線防止ラグ作用力）

・ C 部

C 部の組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4T(1)} = \sqrt{\sigma_{4T(1)}^2 + 3 \cdot \tau_{4T(1)}^2} \quad \dots \quad (4.6.3.60)$$

・ D 部

D 部の組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c5T(1)} = \sqrt{(\sigma_{5T(1)} + \sigma_{t5T(1)})^2 + 3 \cdot \tau_{5T(1)}^2} \quad \dots \quad (4.6.3.61)$$

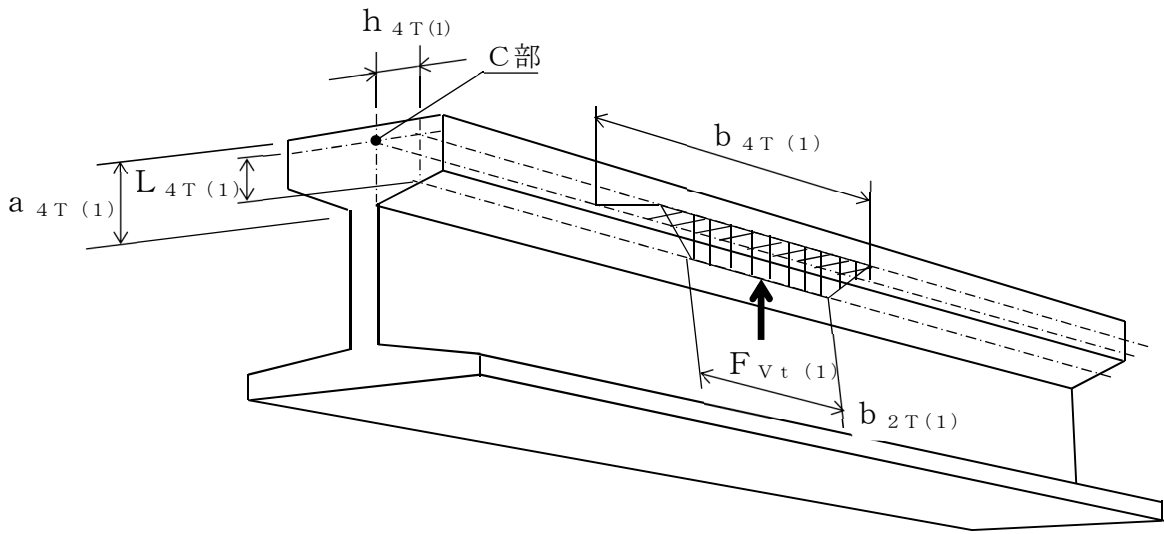


図4-13(1) トロリ脱線防止ラグ 横行レール上フランジ鉛直力 ($F_{vt(1)}$) 負担部位

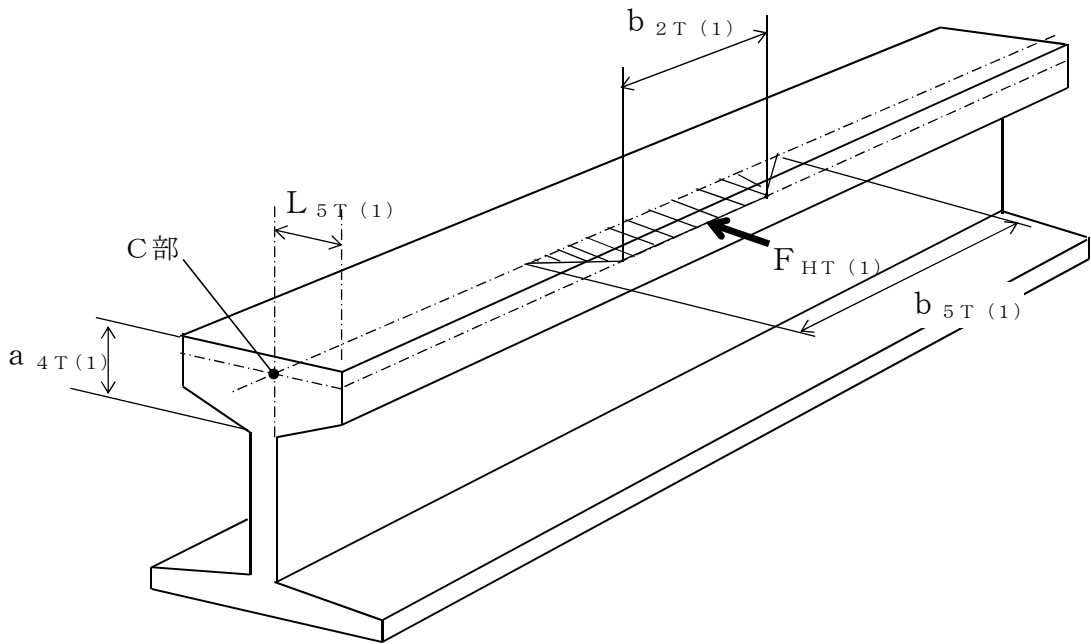


図4-13(2) トロリ脱線防止ラグ 横行レール上フランジ水平力 ($F_{HT(1)}$) 負担部位

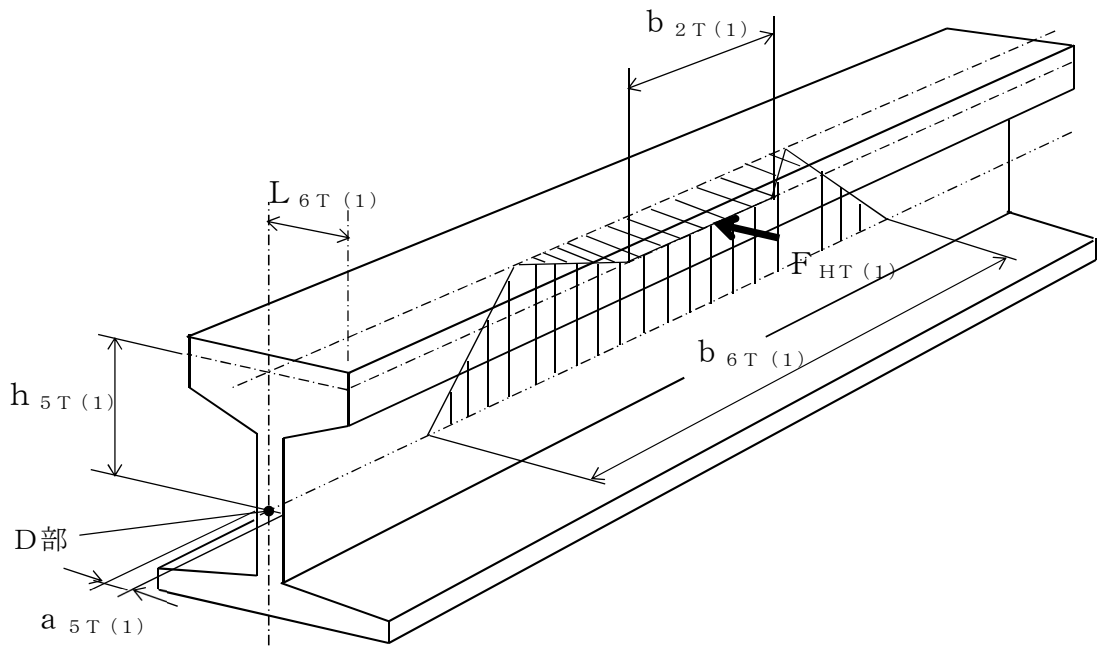


図 4-13(3) トロリ脱線防止ラグ 横行レールウェブ水平力 ($F_{HT(1)}$) 負担部位

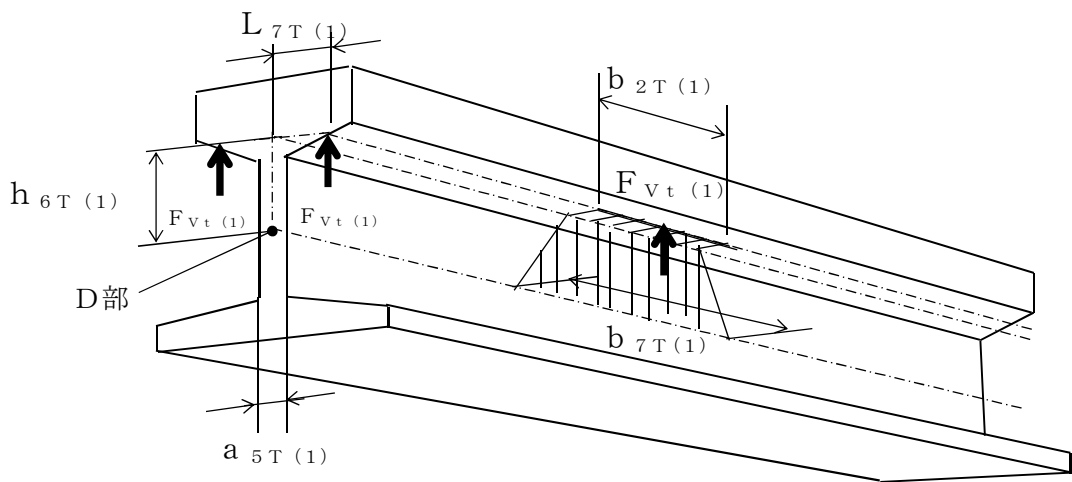


図 4-13(4) トロリ脱線防止ラグ 横行レールウェブ鉛直力 ($F_{Vt(1)}$) 負担部位

(e) 曲げ応力（トロリ片爪脱線防止ラグ作用力）

・ C 部

鉛直力 $F_{Vt(2)}$ による横行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{4T(2)} = b_{2T(2)} + 2 \cdot (h_{4T(2)} + L_{4T(2)}) \quad \dots \quad (4.6.3.62)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4T(2)} = \frac{a_{4T(2)}^2 \cdot b_{4T(2)}}{6} \quad \dots \quad (4.6.3.63)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4T(2)} = F_{Vt(2)} \cdot h_{4T(2)} \quad \dots \quad (4.6.3.64)$$

水平力 $F_{HT(2)}$ による横行レール上フランジの負担長さは次式となる。

$$b_{5T(2)} = b_{2T(2)} + 2 \cdot L_{5T(2)} \quad \dots \quad (4.6.3.65)$$

断面積は次式となる。

$$A_{5T(2)} = a_{4T(2)} \cdot b_{5T(2)} \quad \dots \quad (4.6.3.66)$$

したがって、C部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4T(2)} = \frac{F_{HT(2)}}{A_{5T(2)}} + \frac{M_{4T(2)}}{Z_{4T(2)}} \quad \dots \quad (4.6.3.67)$$

・ D 部

鉛直力 $F_{Vt(2)}$ による曲げ応力は 0 である。

水平力 $F_{HT(2)}$ による横行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{6T(2)} = b_{2T(2)} + 2 \cdot (h_{5T(2)} + L_{6T(2)}) \quad \dots \quad (4.6.3.68)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{5T(2)} = \frac{a_{5T(2)}^2 \cdot b_{6T(2)}}{6} \quad \dots \quad (4.6.3.69)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{5T(2)} = F_{HT(2)} \cdot h_{5T(2)} \quad \dots \quad (4.6.3.70)$$

したがって、D部に発生する曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{5T(2)} = \frac{M_{5T(2)}}{Z_{5T(2)}} \quad \dots \quad (4.6.3.71)$$

(f) 引張応力（トロリ片爪脱線防止ラグ作用力）

・ C 部

水平力 $F_{HT(2)}$ 及び、鉛直力 $F_{Vt(2)}$ による引張応力は 0 である。

・ D 部

水平力 $F_{HT(2)}$ による引張応力は 0 である。

鉛直力 $F_{Vt(2)}$ による横行レールウェブの負担長さは次式となる。

$$b_{7T(2)} = b_{2T(2)} + 2 \cdot (h_{6T(2)} + L_{7T(2)}) \quad \dots \dots \dots (4.6.3.72)$$

断面積は次式となる。

$$A_{7T(2)} = a_{5T(2)} \cdot b_{7T(2)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.73)$$

したがって、D 部に発生する引張応力は次式となる。

$$\sigma_{t5T(2)} = \frac{2 \cdot F_{Vt(2)}}{A_{7T(2)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.74)$$

(g) せん断応力（トロリ片爪脱線防止ラグ作用力）

・ C 部

水平力 $F_{HT(2)}$ によるせん断応力は 0 である。

鉛直力 $F_{Vt(2)}$ によるせん断力を横行レール上フランジで負担する断面積は次式となる。

$$A_{4T(2)} = a_{4T(2)} \cdot b_{4T(2)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.75)$$

したがって、C 部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{4T(2)} = \frac{F_{Vt(2)}}{A_{4T(2)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.76)$$

・ D 部

鉛直力 $F_{Vt(2)}$ によるせん断応力は 0 である。

水平力 $F_{HT(2)}$ によるせん断力を横行レールで負担する断面積は次式となる。

$$A_{6T(2)} = a_{5T(2)} \cdot b_{6T(2)} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.77)$$

したがって、D 部に発生するせん断応力は次式となる。

$$\tau_{5T(2)} = \frac{F_{HT(2)}}{A_{6T(2)}} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.78)$$

(h) 組合せ応力（トロリ片爪脱線防止ラグ作用力）

・ C部

C部の組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4T(2)} = \sqrt{\sigma_{4T(2)}^2 + 3 \cdot \tau_{4T(2)}^2} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (4.6.3.79)$$

・ D部

D部の組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c5T(2)} = \sqrt{(\sigma_{5T(2)} + \sigma_{t5T(2)})^2 + 3 \cdot \tau_{5T(2)}^2} \cdot \dots \cdot \dots \quad (4.6.3.80)$$

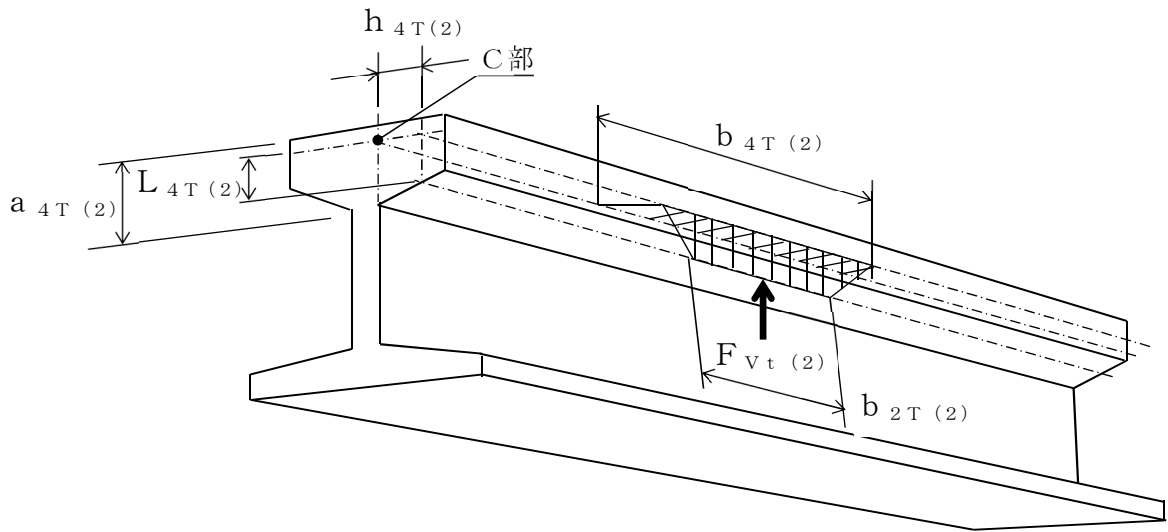


図4-14(1) トロリ片爪脱線防止ラグ 横行レール上フランジ鉛直力 ($F_{Vt(2)}$) 負担部位

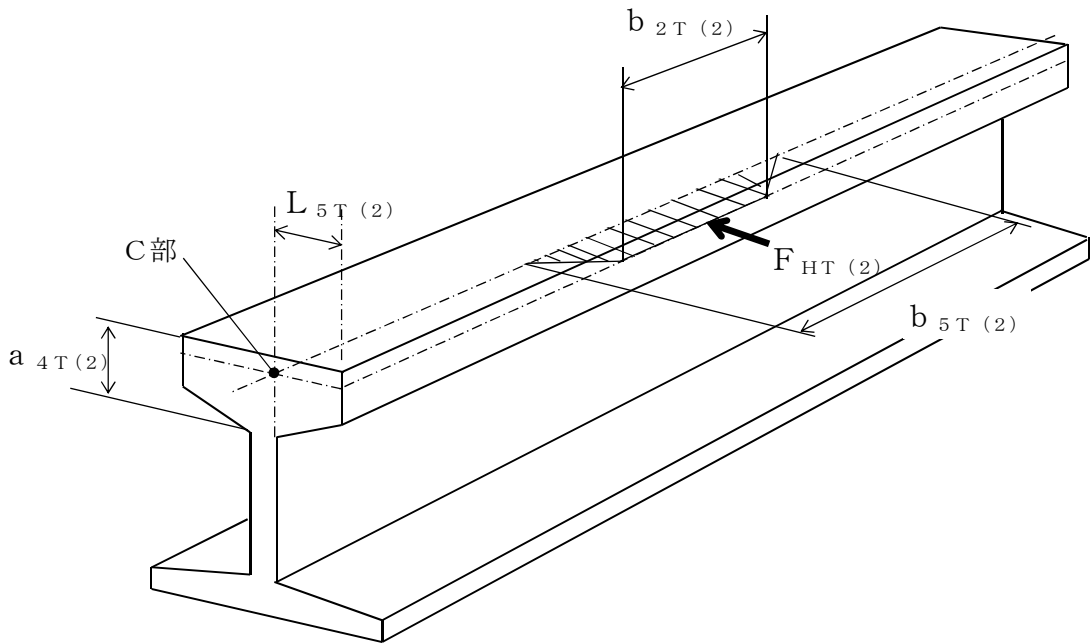


図4-14(2) トロリ片爪脱線防止ラグ 横行レール上フランジ水平力 ($F_{HT(2)}$) 負担部位

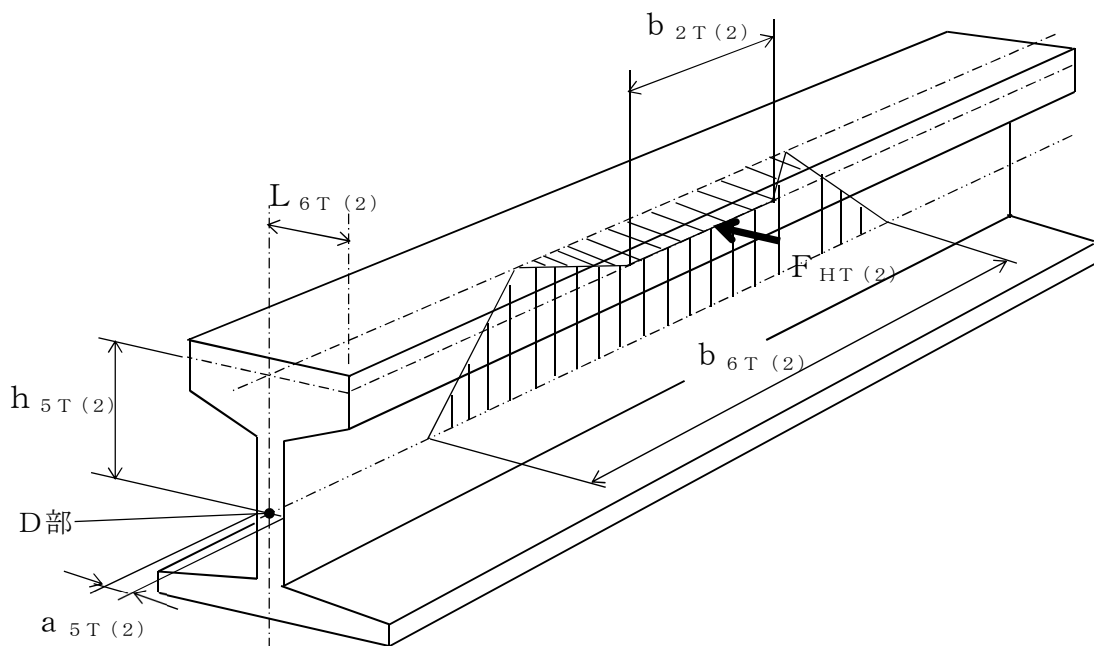


図 4-14(3) トロリ片爪脱線防止ラグ 横行レールウェブ水平力 ($F_{HT(2)}$) 負担部位

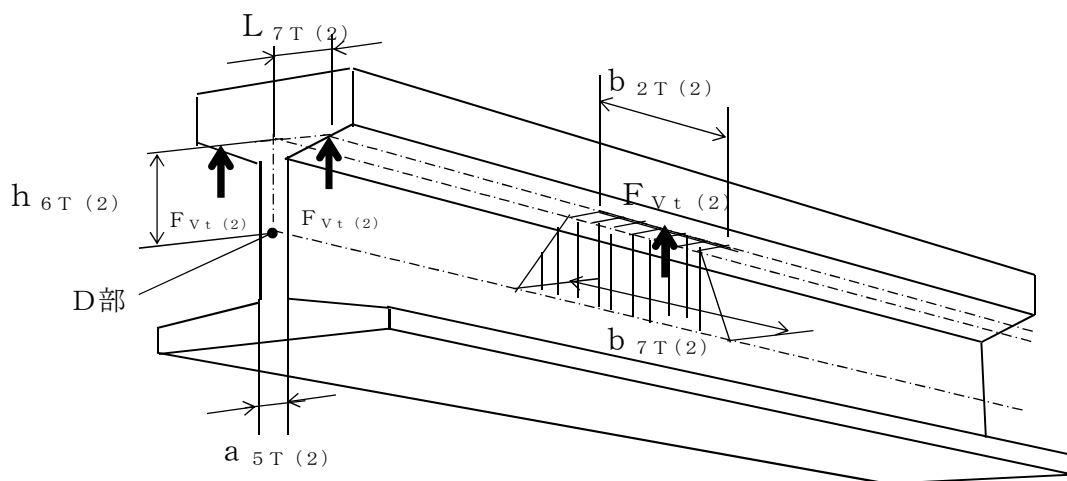


図 4-14(4) トロリ片爪脱線防止ラグ 横行レールウェブ鉛直力 ($F_{Vt(2)}$) 負担部位

4.6.4 吊具の計算（ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力）

(1) 荷重の計算方法

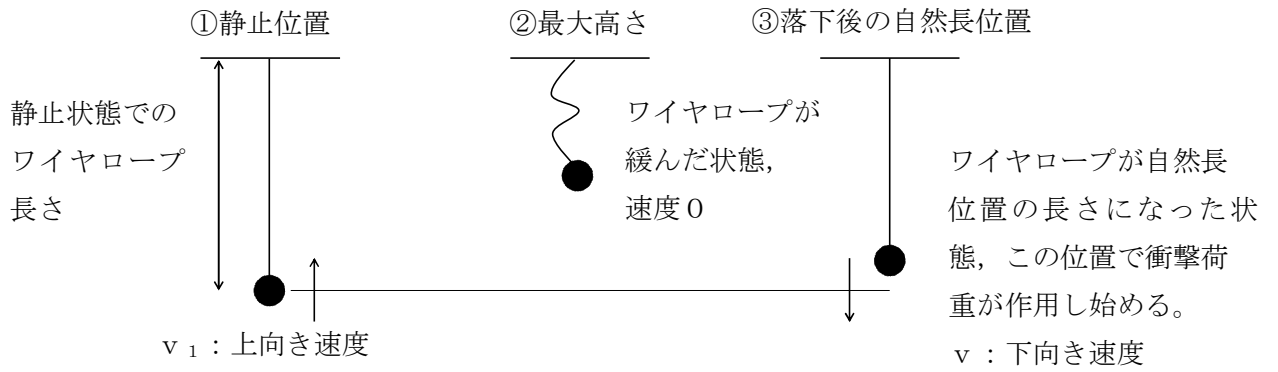
燃料取替機の吊荷荷重を受ける各部は、ブリッジ、トロリ、ワイヤロープ及び先端金具で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープと先端金具を評価対象とする。

ワイヤロープ及び先端金具の計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷は水中にあり、実際の吊下げでは水の抵抗を受けるが、評価に当たっては、気中での吊下げを想定して保守的に水の抵抗はないものとして行う。
- ・燃料取替機及び吊荷の速度算出に当たっては、燃料取替機、吊荷質量及びワイヤロープ長さの評価条件を、固有周期と床応答曲線の関係から評価が厳しくなるように設定する。
 - ① ワイヤロープ長さは、固有周期に対する床応答特性（加速度）がより厳しくなる長さとする。評価に当たって、ここでのワイヤロープ長さは吊上げ上端位置とする。
 - ② 吊荷の質量は、定格質量で評価を実施する。
- ・ワイヤロープ、先端金具の荷重は、吊荷を1自由度モデルにより求めた固有周期に対応する加速度、燃料取替機を4.4項より求めた固有周期に対応する加速度をもとに、吊荷が一度浮上って落下したときの衝撃荷重を算出する。
- ・燃料取替機と吊荷の位相差が吊荷に及ぼす影響については、吊荷とは逆位相に生じる燃料取替機を速度を、吊荷に作用する相対速度として考慮する。
- ・衝撃荷重は、吊荷が持っている運動量の保存則を考慮して算出する。
- ・水平方向地震に伴い、吊荷が振り子運動を起こして吊具に遠心力が作用するが、その影響については、軽微であることから、評価においては鉛直方向地震だけを考慮するものとする。

a. 吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は、図4-15に示すように、鉛直方向に浮上り再び自然長位置に戻った瞬間から、吊具の衝撃荷重を与える。



○下向き速度 v

②, ③まではエネルギー保存則より

下向き速度 v は

$$v < v_1$$

となるが、保守的に

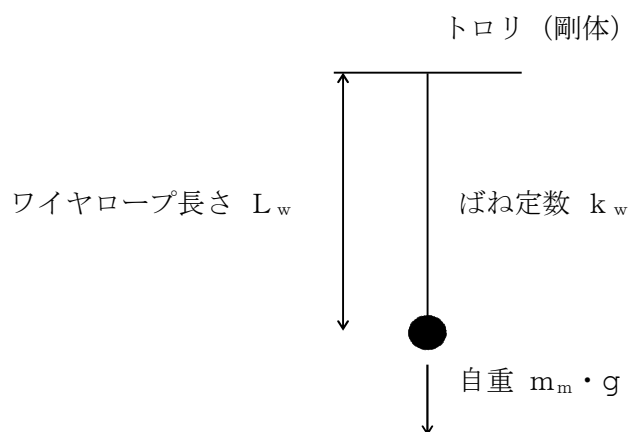
$$v = v_1$$

として評価を行う。

図4-15 吊荷の浮上りの様子

b. 吊荷の固有周期

以下のとおり，トロリを剛体としたときの吊荷の固有周期 T_w を算出する。



固有周期： $T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_m}{k_w}}$ (4.6.4.1)

ばね定数： $k_w = \frac{A_w \cdot n_w \cdot E_w}{L_w}$ (4.6.4.2)

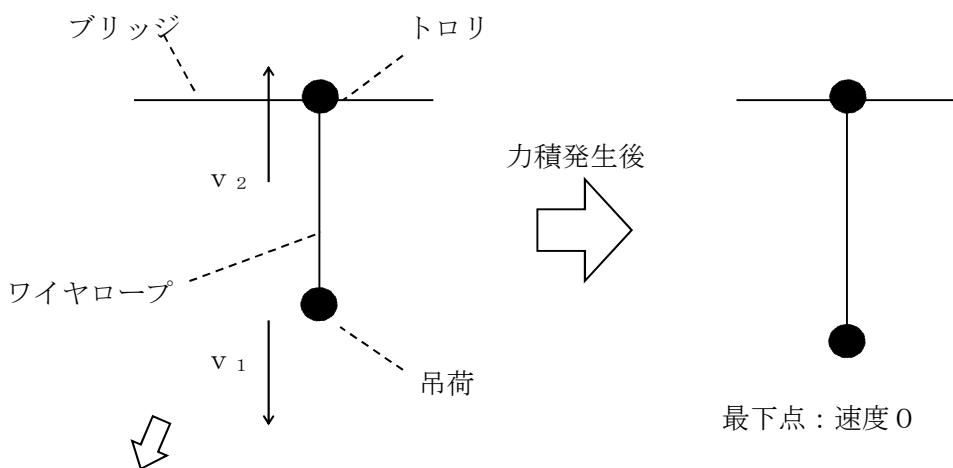
c. 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり，ワイヤロープ，先端金具に作用する荷重Fを算出する。

図4-16及び図4-17に示すように，ワイヤロープの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることから v_1 と v_2 が同値にならないが，保守的にワイヤロープの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を1とすれば以下となる。

$$(力積) : \int_0^{\frac{T_w}{4}} F \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w}\right) \cdot dt \quad \dots \dots \dots (4.6.4.3)$$

$$(吊荷の運動量の変化) : m_m \cdot (v_1 + v_2) \quad \dots \dots \dots (4.6.4.4)$$



相対速度 ($v_1 + v_2$) とする。

図4-16 吊荷落下後の速度変化

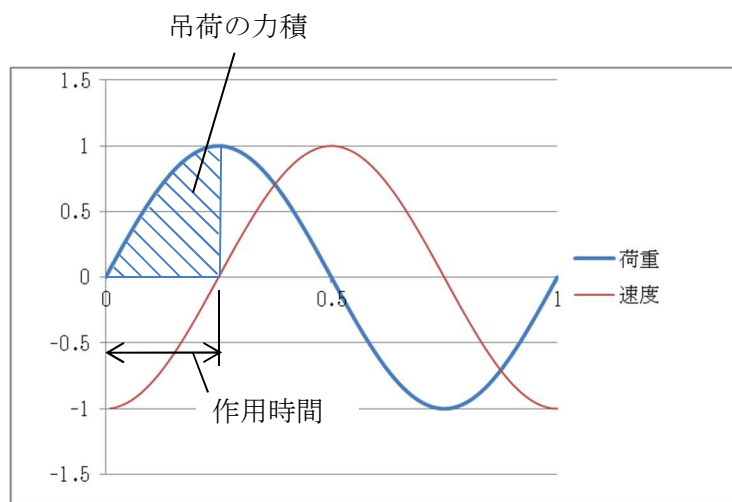


図4-17 吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については、ワイヤロープが完全弾性体で、吊荷とトロリの運動が自由振動系であることを仮定すれば、吊荷の固有周期 T_w の4分の1となる。

以上から、運動量変化及び作用時間をもとに荷重は、自重分を追加して、以下のとおり計算する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m_m \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.6.4.5)$$

(2) ワイヤロープの支持荷重

ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力を、図4-18を用いて計算する。

ワイヤロープの支持荷重は次式となる。

$$F_w = \frac{F}{n_w} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.6)$$

(3) 先端金具の応力

先端金具の応力は次式となる。

$$\sigma_m = \frac{F_w}{A_t} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.7)$$

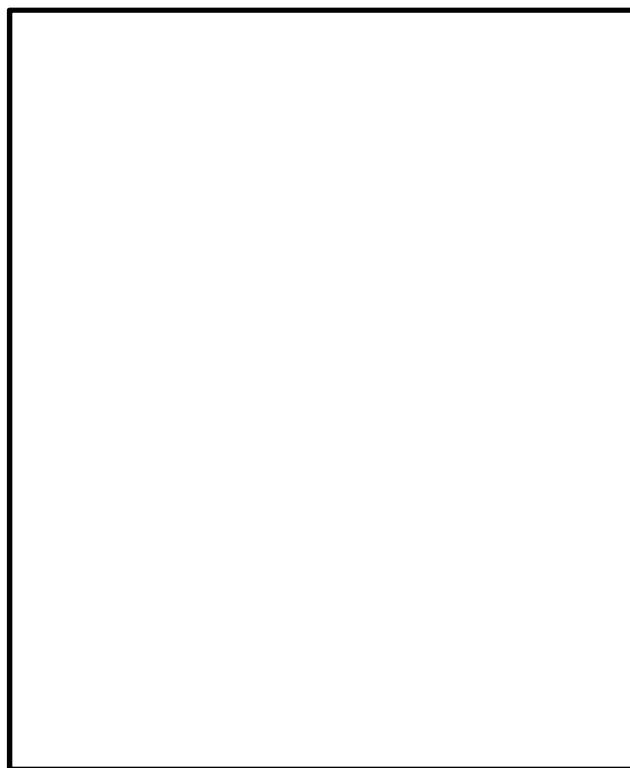


図4-18 ワイヤロープ及び先端金具

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の【燃料取替機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 燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，ブリッジガイドフレーム，走行レール及び横行レールの応力評価

4.6.1項，4.6.2項及び4.6.3項で求めた燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，ブリッジガイドフレーム，走行レール及び横行レールの各応力が次式より求めた許容応力以下であること。

ただし，許容組合せ応力は， 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
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.2 脱線防止ラグ取付ボルト及びブリッジガイドフレーム取付ボルトの応力評価

4.6.2項及び4.6.3項で求めた脱線防止ラグ取付ボルト及び，ブリッジガイドフレーム取付ボルトの引張応力は，次式より求めた許容引張応力 f_{t0} 以下であること。

ただし， f_{t0} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}] \quad \dots \dots \dots (4.8.2.1)$$

せん断応力はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

ただし， f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{t0}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3 先端金具の応力評価

4.6.4項で求めた先端金具の応力が次式より求めた許容引張応力以下であること。

	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	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

注：ここでの F^* は、設計引張強さを適用する。

4.8.4 ワイヤロープの評価

4.6.4項で求めたワイヤロープの支持荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料取替機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

重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、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。

【燃料取替機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	耐震設計上の 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			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	
燃料取替機	B	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7*1			NS方向	EW方向	C _v =1.16 又は*5	50
					C _{H1} =1.37 又は*5	C _{H2} =0.15*4		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：評価上厳しくなるトリ位置が中央にある場合の値。

*3：NS方向が卓越するモードの値。

*4：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

*5：基準地震動 S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	m_m (kg)

n_{1B} (-)	n_{2B} (-)	$n_{1T(1)}$ (-)	$n_{1T(2)}$ (-)

n_w (-)

E (MPa)	E_w (MPa)

μ (-)	ν (-)

A_{1B} (mm ²)	A_{2B} (mm ²)	A_{3B} (mm ²)	A_{4B} (mm ²)	A_{5B} (mm ²)	A_{6B} (mm ²)	A_{7B} (mm ²)	A_{8B} (mm ²)	A_{9B} (mm ²)	A_{b1B} (mm ²)	A_{b2B} (mm ²)

$A_{1T(1)}$ (mm ²)	$A_{2T(1)}$ (mm ²)	$A_{4T(1)}$ (mm ²)	$A_{5T(1)}$ (mm ²)	$A_{6T(1)}$ (mm ²)	$A_{7T(1)}$ (mm ²)	$A_{b1T(1)}$ (mm ²)	$A_{1T(2)}$ (mm ²)	$A_{2T(2)}$ (mm ²)	$A_{4T(2)}$ (mm ²)	$A_{5T(2)}$ (mm ²)	$A_{6T(2)}$ (mm ²)	$A_{7T(2)}$ (mm ²)	$A_{b1T(2)}$ (mm ²)

A_t (mm ²)	A_w (mm ²)

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	a_{5B} (mm)	$a_{1T(1)}$ (mm)	$a_{2T(1)}$ (mm)	$a_{4T(1)}$ (mm)	$a_{5T(1)}$ (mm)	$a_{1T(2)}$ (mm)	$a_{2T(2)}$ (mm)	$a_{4T(2)}$ (mm)	$a_{5T(2)}$ (mm)

b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	b_{5B} (mm)	b_{6B} (mm)	b_{7B} (mm)	b_{8B} (mm)	b_{9B} (mm)	$b_{1T(1)}$ (mm)	$b_{2T(1)}$ (mm)	$b_{4T(1)}$ (mm)	$b_{5T(1)}$ (mm)	$b_{6T(1)}$ (mm)	$b_{7T(1)}$ (mm)

$b_{1T(2)}$ (mm)	$b_{2T(2)}$ (mm)	$b_{4T(2)}$ (mm)	$b_{5T(2)}$ (mm)	$b_{6T(2)}$ (mm)	$b_{7T(2)}$ (mm)	d_{1B} (mm)	d_{2B} (mm)	$d_{1T(1)}$ (mm)	$d_{1T(2)}$ (mm)

h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	h_{5B} (mm)	h_{6B} (mm)	h_{7B} (mm)	$h_{1T(1)}$ (mm)	$h_{2T(1)}$ (mm)	$h_{4T(1)}$ (mm)	$h_{5T(1)}$ (mm)	$h_{6T(1)}$ (mm)

$h_{1T(2)}$ (mm)	$h_{2T(2)}$ (mm)	$h_{4T(2)}$ (mm)	$h_{5T(2)}$ (mm)	$h_{6T(2)}$ (mm)	L_{1B} (mm)	L_{2B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)	L_{5B} (mm)	L_{6B} (mm)	L_{7B} (mm)	L_{8B} (mm)	L_{9B} (mm)	L_{10B} (mm)	L_{11B} (mm)	L_{12B} (mm)	L_{13B} (mm)

$L_{1T(1)}$ (mm)	$L_{2T(1)}$ (mm)	$L_{3T(1)}$ (mm)	$L_{4T(1)}$ (mm)	$L_{5T(1)}$ (mm)	$L_{6T(1)}$ (mm)	$L_{7T(1)}$ (mm)	$L_{1T(2)}$ (mm)	$L_{2T(2)}$ (mm)	$L_{3T(2)}$ (mm)	$L_{4T(2)}$ (mm)	$L_{5T(2)}$ (mm)	$L_{6T(2)}$ (mm)	$L_{7T(2)}$ (mm)

L_w (mm)	Z_{1B} (mm ³)	Z_{2B} (mm ³)	Z_{3B} (mm ³)	Z_{4B} (mm ³)	Z_{5B} (mm ³)	Z_{6B} (mm ³)	$Z_{1T(1)}$ (mm ³)	$Z_{2T(1)}$ (mm ³)	$Z_{4T(1)}$ (mm ³)	$Z_{5T(1)}$ (mm ³)

$Z_{1T(2)}$ (mm ³)	$Z_{2T(2)}$ (mm ³)	$Z_{4T(2)}$ (mm ³)	$Z_{5T(2)}$ (mm ³)

燃料取替機構造物フレーム		
[]		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]		

注記* [] の値を記載

ブリッジ脱線防止ラグ						ブリッジガイドフレーム					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]			[]			[]			[]		

トロリ脱線防止ラグ						トロリ片爪脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]			[]			[]			[]		

70

走行レール		横行レール	
[]		[]	
S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]		[]	

先端金具
[]
S_u (MPa)
[]

ワイヤロープ
[]
F_w (N)
[]

1.3 計算数値

F_{b1B}	F_{b2B}	F_{GB}	F_{HB}	F_{VB}	F_{Vb}
(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)

$F_{b1T(1)}$	$F_{b1T(2)}$	F_{HT}	$F_{HT(1)}$	$F_{HT(2)}$	F_{VT}	$F_{VT(1)}$	$F_{VT(2)}$	$F_{Vt(1)}$	$F_{Vt(2)}$	F	F_w	k_w (N/mm)
(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	

M_{1B}	M_{2B}	M_{3B}	M_{4B}	M_{5B}	M_{6B}	$M_{1T(1)}$	$M_{2T(1)}$	$M_{4T(1)}$	$M_{5T(1)}$	$M_{1T(2)}$	$M_{2T(2)}$	$M_{4T(2)}$	$M_{5T(2)}$
(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)

M_{b1B}	M_{b2B}	$M_{b1T(1)}$	$M_{b1T(2)}$	T_w	v_1	v_2
(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(N·mm)	(s)	(mm/s)	(mm/s)

1.4 結論

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力	
燃料取替機構造物フレーム			曲げ σ_{1F}	210		
			せん断 τ_{1F}	17		
			組合せ σ_{c1F}	212		
ブリッジ	脱線防止ラグ		B部	曲げ σ_{2B}		47
			取付ボルト	せん断 τ_{2B}		11
				組合せ σ_{c2B}		50
	ガイドフレーム			C部		引張り σ_{bt1B}
			取付ボルト	せん断 τ_{b1B}		4
						曲げ σ_{3B}
せん断 τ_{3B}	26					
組合せ σ_{c3B}	157					
引張り σ_{bt2B}	35					
せん断 τ_{b2B}	84					

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力		
ト ロ リ	脱線防止ラグ		A部	曲げ $\sigma_{1T(1)}$	104		
				引張り $\sigma_{t1T(1)}$	11		
				せん断 $\tau_{1T(1)}$	5		
				組合せ $\sigma_{c1T(1)}$	115		
	取付ボルト		引張り $\sigma_{bt1T(1)}$	53			
			せん断 $\tau_{b1T(1)}$	10			
	片爪脱線防止ラグ		A部	曲げ $\sigma_{1T(2)}$	104		
				引張り $\sigma_{t1T(2)}$	11		
				せん断 $\tau_{1T(2)}$	5		
				組合せ $\sigma_{c1T(2)}$	115		
				取付ボルト	引張り $\sigma_{bt1T(2)}$		40
					せん断 $\tau_{b1T(2)}$		13
	走行レール		G部	曲げ σ_{6B}	171		
				せん断 τ_{6B}	17		
				組合せ σ_{c6B}	173		
	横行レール		D部	曲げ $\sigma_{5T(1)}$	88		
引張り $\sigma_{t5T(1)}$		23					
せん断 $\tau_{5T(1)}$		4					
組合せ $\sigma_{c5T(1)}$		111					

注記* : $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$
 すべて許容応力以下である。

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ	<input type="text"/>	支持荷重 F_w	3.263×10^4	<input type="text"/>

許容荷重以下である。

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
吊具	先端金具	<input type="text"/>	引張り σ_m	289	<input type="text"/>

許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s			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	
燃料取替機	—	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7*1			NS方向	EW方向	C _v =1.16 又は*4	100
					C _{H1} =1.37 又は*4	C _{H2} =0.15*3		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：NS方向が卓越するモードの値。

*3：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

*4：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

2.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)

n_{1B} (-)	n_{2B} (-)	$n_{1T(1)}$ (-)	$n_{1T(2)}$ (-)

E (MPa)

μ (-)	ν (-)

A_{1B} (mm ²)	A_{2B} (mm ²)	A_{3B} (mm ²)	A_{4B} (mm ²)	A_{5B} (mm ²)	A_{6B} (mm ²)	A_{7B} (mm ²)	A_{8B} (mm ²)	A_{9B} (mm ²)	A_{b1B} (mm ²)	A_{b2B} (mm ²)

$A_{1T(1)}$ (mm ²)	$A_{2T(1)}$ (mm ²)	$A_{4T(1)}$ (mm ²)	$A_{5T(1)}$ (mm ²)	$A_{6T(1)}$ (mm ²)	$A_{7T(1)}$ (mm ²)	$A_{b1T(1)}$ (mm ²)	$A_{1T(2)}$ (mm ²)	$A_{2T(2)}$ (mm ²)	$A_{4T(2)}$ (mm ²)	$A_{5T(2)}$ (mm ²)	$A_{6T(2)}$ (mm ²)	$A_{7T(2)}$ (mm ²)	$A_{b1T(2)}$ (mm ²)

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	a_{5B} (mm)	$a_{1T(1)}$ (mm)	$a_{2T(1)}$ (mm)	$a_{4T(1)}$ (mm)	$a_{5T(1)}$ (mm)	$a_{1T(2)}$ (mm)	$a_{2T(2)}$ (mm)	$a_{4T(2)}$ (mm)	$a_{5T(2)}$ (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)

b_{5B} (mm)	b_{6B} (mm)	b_{7B} (mm)	b_{8B} (mm)	b_{9B} (mm)	$b_{1T(1)}$ (mm)	$b_{2T(1)}$ (mm)	$b_{4T(1)}$ (mm)	$b_{5T(1)}$ (mm)	$b_{6T(1)}$ (mm)	$b_{7T(1)}$ (mm)	$b_{1T(2)}$ (mm)	$b_{2T(2)}$ (mm)	$b_{4T(2)}$ (mm)	$b_{5T(2)}$ (mm)	$b_{6T(2)}$ (mm)	$b_{7T(2)}$ (mm)

d_{1B} (mm)	d_{2B} (mm)	$d_{1T(1)}$ (mm)	$d_{1T(2)}$ (mm)

h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	h_{5B} (mm)	h_{6B} (mm)	h_{7B} (mm)	$h_{1T(1)}$ (mm)	$h_{2T(1)}$ (mm)	$h_{4T(1)}$ (mm)	$h_{5T(1)}$ (mm)	$h_{6T(1)}$ (mm)	$h_{1T(2)}$ (mm)	$h_{2T(2)}$ (mm)	$h_{4T(2)}$ (mm)	$h_{5T(2)}$ (mm)	$h_{6T(2)}$ (mm)

L_{1B} (mm)	L_{2B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)	L_{5B} (mm)	L_{6B} (mm)	L_{7B} (mm)	L_{8B} (mm)	L_{9B} (mm)	L_{10B} (mm)	L_{11B} (mm)	L_{12B} (mm)	L_{13B} (mm)

$L_{1T(1)}$ (mm)	$L_{2T(1)}$ (mm)	$L_{3T(1)}$ (mm)	$L_{4T(1)}$ (mm)	$L_{5T(1)}$ (mm)	$L_{6T(1)}$ (mm)	$L_{7T(1)}$ (mm)	$L_{1T(2)}$ (mm)	$L_{2T(2)}$ (mm)	$L_{3T(2)}$ (mm)	$L_{4T(2)}$ (mm)	$L_{5T(2)}$ (mm)	$L_{6T(2)}$ (mm)	$L_{7T(2)}$ (mm)

Z_{1B} (mm ³)	Z_{2B} (mm ³)	Z_{3B} (mm ³)	Z_{4B} (mm ³)	Z_{5B} (mm ³)	Z_{6B} (mm ³)	$Z_{1T(1)}$ (mm ³)	$Z_{2T(1)}$ (mm ³)	$Z_{4T(1)}$ (mm ³)	$Z_{5T(1)}$ (mm ³)	$Z_{1T(2)}$ (mm ³)	$Z_{2T(2)}$ (mm ³)	$Z_{4T(2)}$ (mm ³)	$Z_{5T(2)}$ (mm ³)

燃料取替機構造物フレーム		
[]		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]		

注記* : [] の値を記載

ブリッジ脱線防止ラグ						ブリッジガイドフレーム					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]			[]			[]			[]		

トロリ脱線防止ラグ						トロリ片爪脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]			[]			[]			[]		

79

走行レール		横行レール	
[]			
S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
[]			

2.3 計算数値

F_{b1B} (N)	F_{b2B} (N)	F_{GB} (N)	F_{HB} (N)	F_{VB} (N)	F_{Vb} (N)

$F_{b1T(1)}$ (N)	$F_{b1T(2)}$ (N)	F_{HT} (N)	$F_{HT(1)}$ (N)	$F_{HT(2)}$ (N)	F_{VT} (N)	$F_{VT(1)}$ (N)	$F_{VT(2)}$ (N)	$F_{Vt(1)}$ (N)	$F_{Vt(2)}$ (N)

M_{1B} (N・mm)	M_{2B} (N・mm)	M_{3B} (N・mm)	M_{4B} (N・mm)	M_{5B} (N・mm)	M_{6B} (N・mm)	$M_{1T(1)}$ (N・mm)	$M_{2T(1)}$ (N・mm)	$M_{4T(1)}$ (N・mm)	$M_{5T(1)}$ (N・mm)

$M_{1T(2)}$ (N・mm)	$M_{2T(2)}$ (N・mm)	$M_{4T(2)}$ (N・mm)	$M_{5T(2)}$ (N・mm)	M_{b1B} (N・mm)	M_{b2B} (N・mm)	$M_{b1T(1)}$ (N・mm)	$M_{b1T(2)}$ (N・mm)

2.4 結論

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力	
燃料取替機構造物フレーム			曲げ σ_{1F}	121		
			せん断 τ_{1F}	25		
			組合せ σ_{c1F}	128		
ブリッジ	脱線防止ラグ		B部	曲げ σ_{2B}		15
			取付ボルト	せん断 τ_{2B}		4
				組合せ σ_{c2B}		16
ガイドフレーム	C部		取付ボルト	引張り σ_{bt1B}		38
				せん断 τ_{b1B}		10
			取付ボルト	曲げ σ_{3B}		89
				せん断 τ_{3B}		15
		組合せ σ_{c3B}		93		
ガイドフレーム	C部	取付ボルト	引張り σ_{bt2B}	21		
			せん断 τ_{b2B}	50		

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力	
ト ロ リ	脱線防止ラグ	[材料名]	A部	曲げ $\sigma_{1T(1)}$	103	[許容値]
			取付ボルト	引張り $\sigma_{t1T(1)}$	8	
				せん断 $\tau_{1T(1)}$	8	
				組合せ $\sigma_{c1T(1)}$	110	
				引張り $\sigma_{bt1T(1)}$	44	
				せん断 $\tau_{b1T(1)}$	16	
	片爪脱線防止ラグ			A部	曲げ $\sigma_{1T(2)}$	
			取付ボルト	引張り $\sigma_{t1T(2)}$	8	
				せん断 $\tau_{1T(2)}$	8	
				組合せ $\sigma_{c1T(2)}$	110	
				引張り $\sigma_{bt1T(2)}$	36	
				せん断 $\tau_{b1T(2)}$	22	
走行レール	G部	曲げ σ_{6B}		101		
		せん断 τ_{6B}	10			
		組合せ σ_{c6B}	103			
横行レール	D部	曲げ $\sigma_{5T(1)}$	152			
		引張り $\sigma_{t5T(1)}$	16			
		せん断 $\tau_{5T(1)}$	7			
		組合せ $\sigma_{c5T(1)}$	168			

注記* : $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$

すべて許容応力以下である。