

本資料のうち、枠囲みの内容は  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-573 改1
提出年月日	平成30年7月30日

## V-2-11-2-1 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 適用基準	4
2.5 記号の説明	5
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	11
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	40
4.8 応力の評価	41
5. 評価結果	42
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	42
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	42

## 1. 概要

本計算書は、「V-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使用済燃料プール、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。その耐震評価は燃料取替機の固有値解析、地震応答解析により行う。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

燃料取替機は原子炉建屋原子炉棟 6 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。

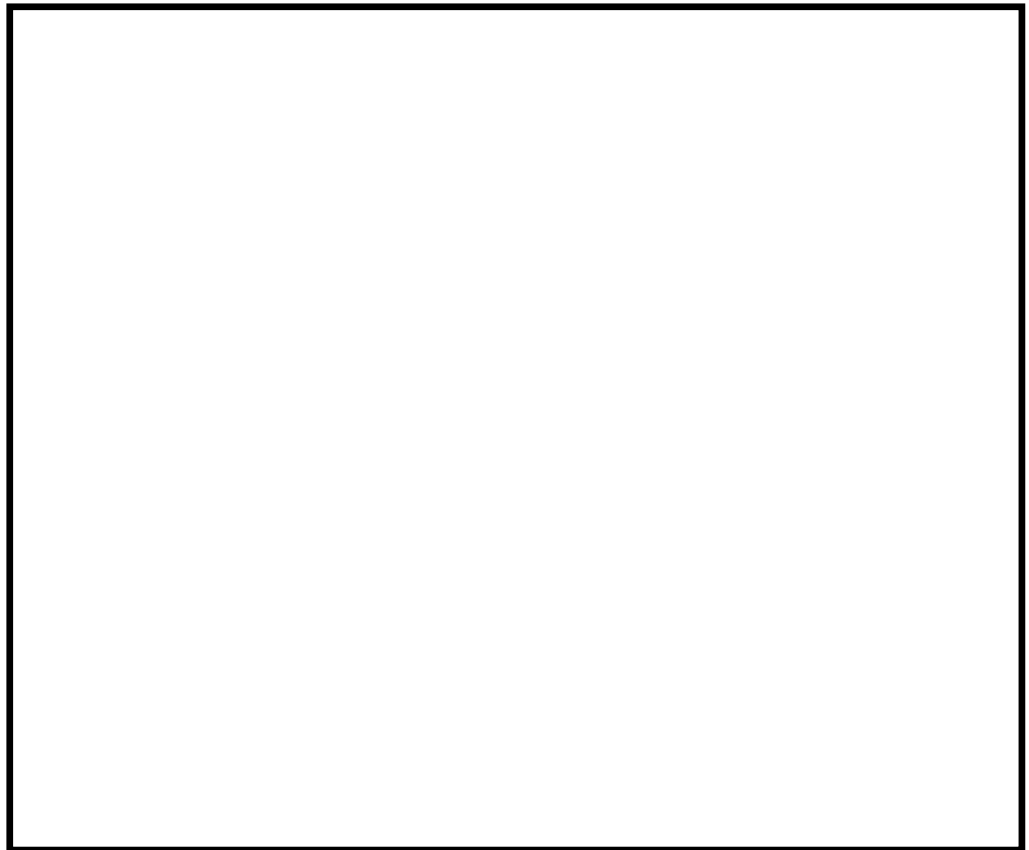


図 2-1 燃料取替機の位置関係図

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

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
燃料取替機	<p>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。</p> <p>ブリッジ及びトロリは各々脱線防止ラグを備えている。</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</p>	

### 2.3 評価方針

燃料取替機の応力評価は、V-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」で計算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、「4.1 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。

燃料取替機の耐震評価フローを図2-2に示す。

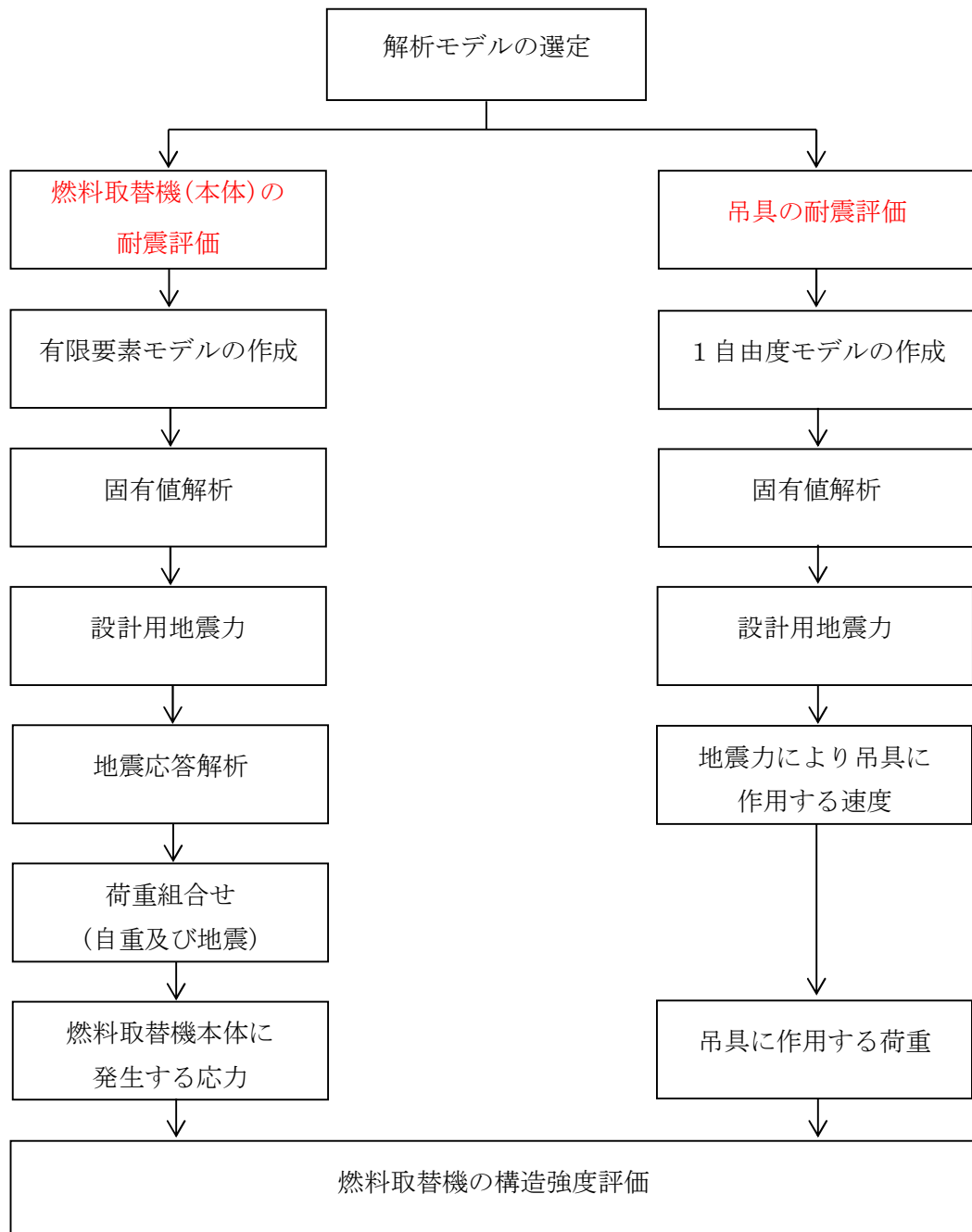


図2-2 燃料取替機の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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, J E A G 4 6 0 1 －1987及びJ E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気  
協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））  
J S M E S N C 1 －2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（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
$A_{1F}$	ギャラリ二階の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{3B}$	走行レールC部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{4B}$	走行レールD部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{bB}$	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト1本の断面積	$\text{mm}^2$
$A_w$	ワイヤロープ1本の断面積	$\text{mm}^2$
$a_{1B}$	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
$a_{3B}$	走行レールC部の厚み	mm
$a_{4B}$	走行レールD部の厚み	mm
$b_{1B}$	負担力 $F_{HB}$ に対するブリッジ脱線防止ラグの負担長さ	mm
$b_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグの走行レール面接触長さ	mm
$b_{3B}$	負担力 $F_{vb}$ に対する走行レール頭部の負担長さ	mm
$b_{4B}$	負担力 $F_{HB}$ に対する走行レールウェブの負担長さ	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	—
$D$	死荷重	N
$d_{1B}$	ブリッジ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
$F_{HB}$	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1ヶ所に作用する水平力	N
$F_{vB}$	ブリッジ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
$F_{vT}$	トロリ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
$F_{vb}$	ブリッジ脱線防止ラグ1個に作用する鉛直力	N
$F_{vt}$	トロリ脱線防止ラグ1個に作用する鉛直力	N
$F_x$	ギャラリ二階に作用する軸力	N
$F_y$	ギャラリ二階に作用するせん断力 (y 方向)	N
$F_z$	ギャラリ二階に作用するせん断力 (z 方向)	N
$F$	吊荷の浮上が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本あたりに発生する支持荷重	N

記号	記号の説明	単位
$g$	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フック根元部から $F_{vb}$ 作用点までの距離	mm
$h_{3B}$	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 ( $F_{vb}$ ) から C 部までの距離 (長さ)	mm
$h_{4B}$	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 ( $F_{HB}$ ) から 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
$L_{3B}$	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
$L_{4B}$	走行レール端面から走行レール中心までの距離	mm
$L_w$	ワイヤロープ長さ	mm
$M_d$	機械的荷重 (DB)	N
$M_{SAD}$	機械的荷重 (SA)	N
$M_x$	ギャラリ二階のねじりモーメント	N・mm
$M_y$	ギャラリ二階の y 軸周り曲げモーメント	N・mm
$M_z$	ギャラリ二階の z 軸周り曲げモーメント	N・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
$M_{3B}$	負担力 $F_{vb}$ による走行レール C 部の曲げモーメント	N・mm
$M_{4B}$	負担力 $F_{HB}$ による走行レール D 部の曲げモーメント	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	—
$n_w$	ワイヤロープ本数	—
$P_d$	最高使用圧力による荷重 (DB)	N
$P_{SAD}$	設計圧力による荷重 (SA)	N
$P_1$	地震力によりブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重	N
～		
$P_8$		
$P_9$	地震力によりトロリに加わる荷重	N
～		
$P_{12}$		
$S_s$	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
$T_w$	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



記号	記号の説明	単位
$V_1$	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 (設計基準対象施設)	mm <sup>3</sup>
$Z_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数 (設計基準対象施設)	mm <sup>3</sup>
$Z_{3B}$	走行レールC部の断面係数 (設計基準対象施設)	mm <sup>3</sup>
$Z_{4B}$	走行レールD部の断面係数 (設計基準対象施設)	mm <sup>3</sup>
$Z_{p1B}$	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面係数 (重大事故等対処設備)	mm <sup>3</sup>
$Z_{p2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数 (重大事故等対処設備)	mm <sup>3</sup>
$Z_{p3B}$	走行レールC部の断面係数 (重大事故等対処設備)	mm <sup>3</sup>
$Z_{p4B}$	走行レールD部の断面係数 (重大事故等対処設備)	mm <sup>3</sup>
$Z_p$	ギャラリ二階のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	ギャラリ二階の y 軸周り断面係数 (設計基準対象施設)	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	ギャラリ二階の z 軸周り断面係数 (設計基準対象施設)	mm <sup>3</sup>
$Z_{py}$	ギャラリ二階の y 軸周り断面係数 (重大事故等対処設備)	mm <sup>3</sup>
$Z_{pz}$	ギャラリ二階の z 軸周り断面係数 (重大事故等対処設備)	mm <sup>3</sup>
$\sigma_{1F}$	ギャラリ二階の曲げ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{3B}$	走行レールC部の曲げ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{4B}$	走行レールD部の曲げ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{p1F}$	ギャラリ二階の曲げ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{p1B}$	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{p2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{p3B}$	走行レールC部の曲げ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{p4B}$	走行レールD部の曲げ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{c1F}$	ギャラリ二階の組合せ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{c1B}$	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{c2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{c3B}$	走行レールC部の組合せ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{c4B}$	走行レールD部の組合せ応力 (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{pc1F}$	ギャラリ二階の組合せ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{pc1B}$	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{pc2B}$	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{pc3B}$	走行レールC部の組合せ応力 (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{pc4B}$	走行レールD部の組合せ応力 (重大事故等対処設備)	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_x$	ギャラリ二階の曲げ応力成分 (x 方向)	MPa
$\sigma_y$	ギャラリ二階の曲げ応力成分 (y 方向) (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_z$	ギャラリ二階の曲げ応力成分 (z 方向) (設計基準対象施設)	MPa
$\sigma_{py}$	ギャラリ二階の曲げ応力成分 (y 方向) (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_{pz}$	ギャラリ二階の曲げ応力成分 (z 方向) (重大事故等対処設備)	MPa
$\sigma_m$	先端金具の引張り応力	MPa
$\tau_{1F}$	ギャラリ二階のせん断応力	MPa
$\tau_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部のせん断応力	MPa
$\tau_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部のせん断応力	MPa
$\tau_{3B}$	走行レール C 部のせん断応力	MPa
$\tau_{4B}$	走行レール D 部のせん断応力	MPa
$\tau_{bB}$	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa
$\tau_x$	ギャラリ二階のせん断応力成分 (x 方向)	MPa
$\tau_y$	ギャラリ二階のせん断応力成分 (y 方向)	MPa
$\tau_z$	ギャラリ二階のせん断応力成分 (z 方向)	MPa
$\mu$	最大静止摩擦係数	—

注1:「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格(設計・建設規格 J S M E S N C 1 - 2005(2007年追補版含む。)) (日本機械学会 2007年9月)をいう。

注2:記号右端添え字に<sub>B</sub>又は<sub>b</sub>が付くものは、ブリッジ脱線防止ラグ及び走行レール評価用を代表で示したものであり、評価中のトロリ脱線防止ラグ及び横行レールについては<sub>B</sub>→<sub>T</sub>又は<sub>b</sub>→<sub>t</sub>に置き換えるものとする。

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は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 <sup>2</sup>	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。

\*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

評価部位は、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、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）を選定する。

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用強度評価方法

(1) 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に乗っているので地震時、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  $\mu$  とすれば、水平力は鉛直方向荷重  $\times \mu \times$   $\times$  鉛直方向荷重  $\times$  ある。

(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、各々ブリッジ脱線防止ラグ及びトロリ脱線防止ラグによって荷重を支持する。

(3) 構造概要図を図4-1に示す。

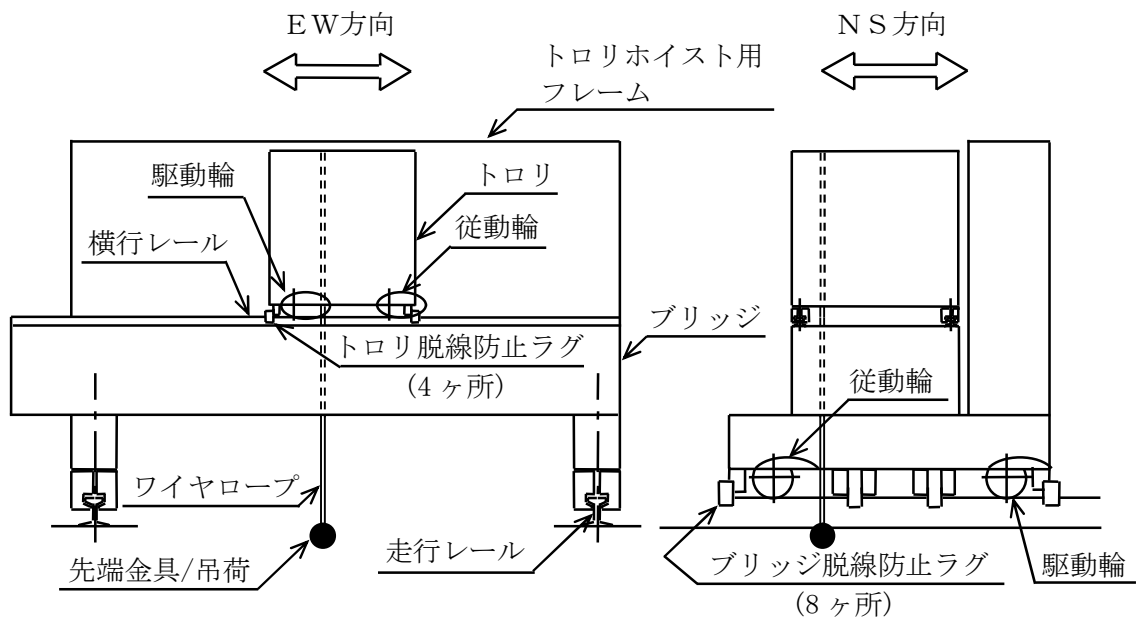


図 4-1 構造概要図

## (4) 評価ケース

以下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 2 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	
評価ケース No.		1	2
トロリ位置	中央	●	—
	端部	—	●*

注記 \* : 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吊荷の落下評価は対象外とする。

## 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

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を表 4-4 に示す。

## 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料取替機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 4-5 に、重大事故等対処設備に用いるものを第 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	—*1	$D + P_d + M_d + S_s$	$IV_A S$

\*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。

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	—	—*1	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ( $V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。)

\*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。

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支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	組合せ
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_t^*$
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして、IV <sub>A</sub> Sの許 容限界を用いる)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_t^*$

\*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。

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
燃料取替機 構造物フレーム		周囲環境温度		—	234	394	—
ブリッジ脱線防止ラグ 本体		周囲環境温度		—	211	394	—
ブリッジ脱線防止ラグ 取付ボルト		周囲環境温度		—	211	394	—
トロリ脱線防止ラグ 本体		周囲環境温度		—	211	394	—
トロリ脱線防止ラグ 取付ボルト		周囲環境温度		—	211	394	—
走行レール		周囲環境温度		—	—	1080	—
横行レール		周囲環境温度		—	—	690	—
先端金具		周囲環境温度		—	—	378	—



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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	
燃料取替機 構造物フレーム		周囲環境温度		—	196	373	—
ブリッジ脱線防止ラグ 本体		周囲環境温度		—	194	373	—
ブリッジ脱線防止ラグ 取付ボルト		周囲環境温度		—	194	373	—
トロリ脱線防止ラグ 本体		周囲環境温度		—	194	373	—
トロリ脱線防止ラグ 取付ボルト		周囲環境温度		—	194	373	—
走行レール		周囲環境温度		—	—	1080	—
横行レール		周囲環境温度		—	—	690	—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

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。また、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。

上記に基づいた計算モデルを図4-2に示す。

材料諸元を表4-7及び表4-8に示す。

表4-7 材料諸元 (材質, 縦弾性係数)

部材		使用材料	縦弾性係数 (MPa)
燃料取替機構造物フレーム			
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体	
		取付ボルト	
トロリ	脱線防止ラグ	本体	
		取付ボルト	
走行レール			
横行レール			
ワイヤロープ			
先端金具			

表4-8 材料諸元 (死荷重)

ブリッジ質量		kg
トロリ質量		kg
ホイスト定格荷重 (質量)		kg

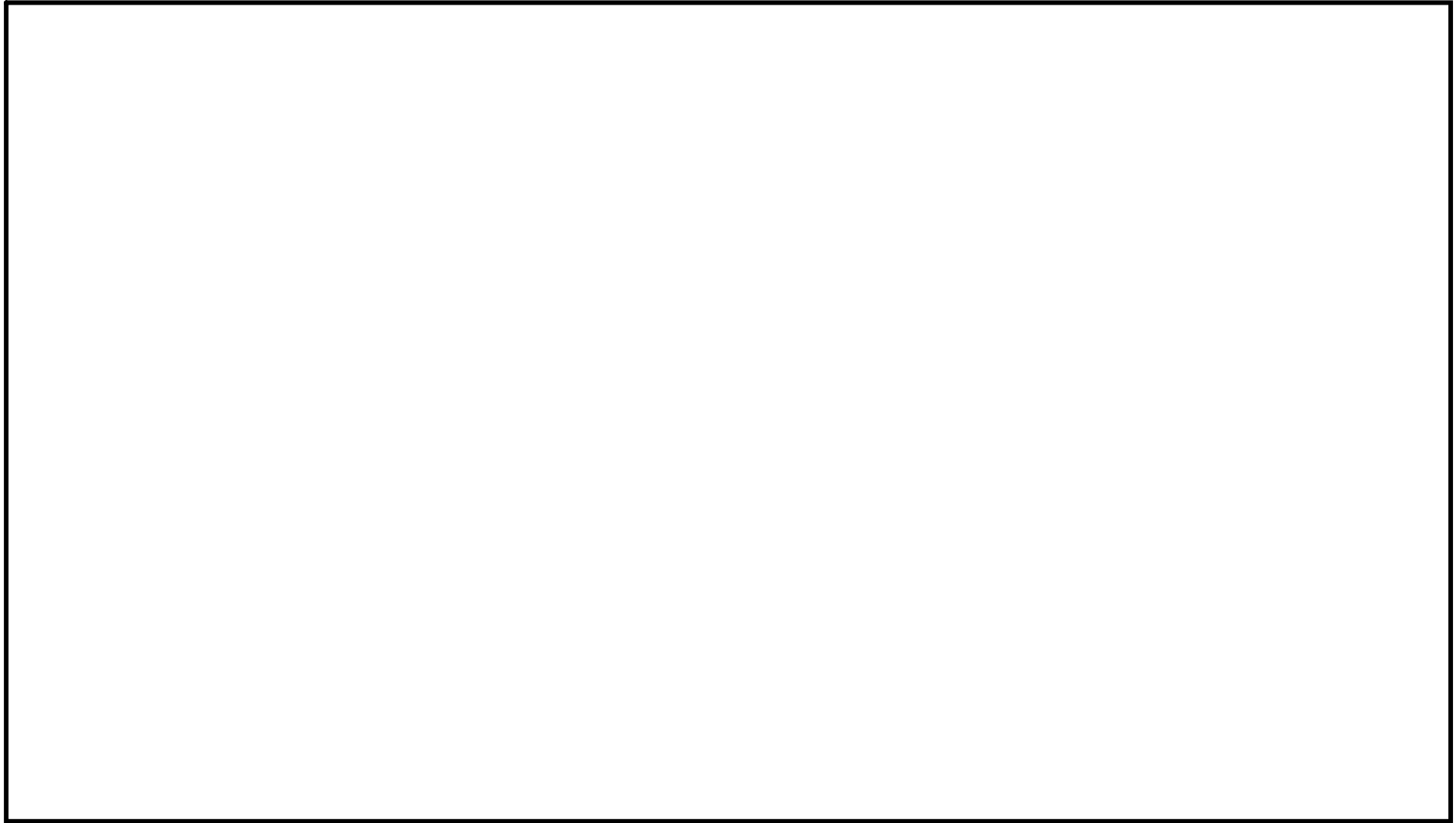


図 4-2 燃料取替機計算モデル

#### 4.4 固有周期

固有周期及び応力計算に用いる荷重は、計算機コード「SAP-IV」を用いて求める。なお、評価に用いる計算機コード「SAP-IV」の検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。

固有周期を表 4-9 に示す。また、振動モード図を図 4-3 及び、図 4-4 に示す。

表 4-9(1) 固有周期 (トロリ位置 中央)

			固有周期 (s)	設計震度
水平方向	ブリッジ	NS 方向		0.15*
		EW 方向		1.41
	トロリ	NS 方向		0.15*
		EW 方向		0.15*
鉛直方向				3.67

注記 \* : 最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

表 4-9(1) 固有周期 (トロリ位置 端部)

			固有周期 (s)	設計震度
水平方向	ブリッジ	NS 方向		0.15*
		EW 方向		1.39
	トロリ	NS 方向		0.15*
		EW 方向		0.15*
鉛直方向				3.90

注記 \* : 最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

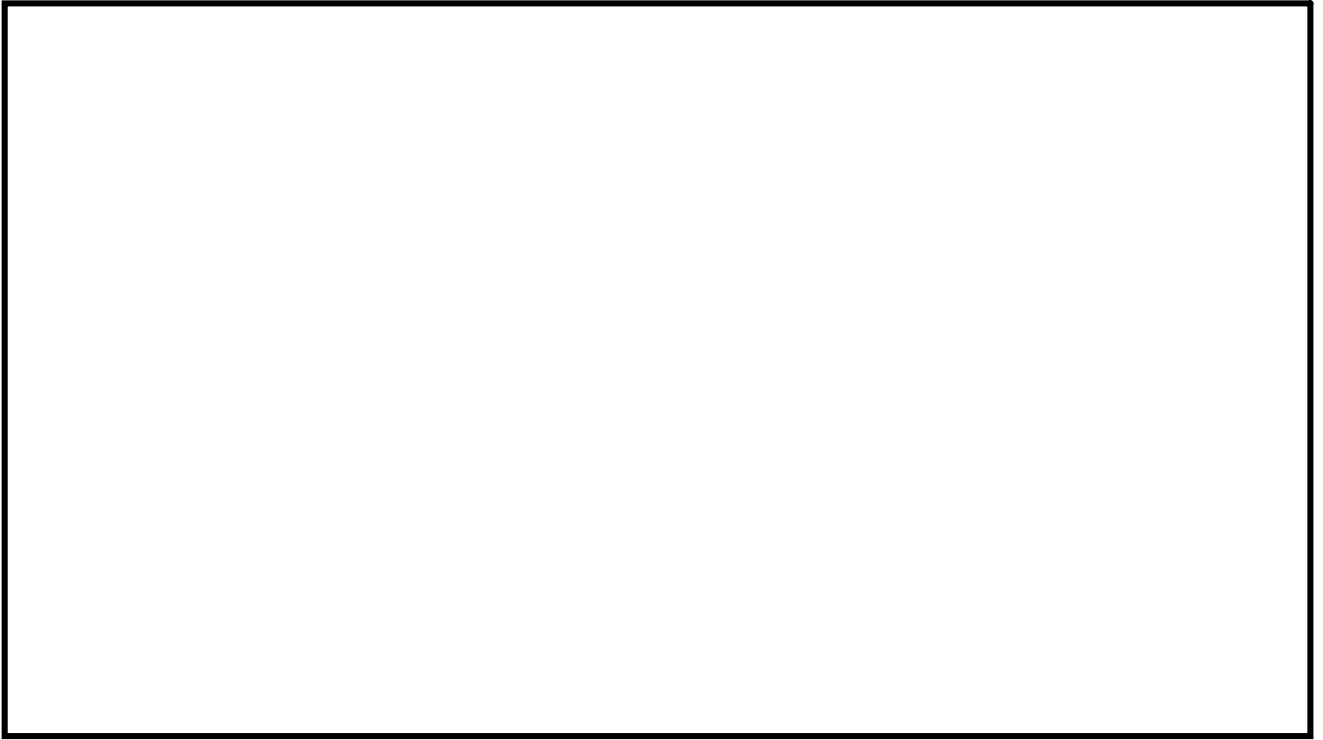


図 4-3 トロリ位置が中央の場合における振動モード図

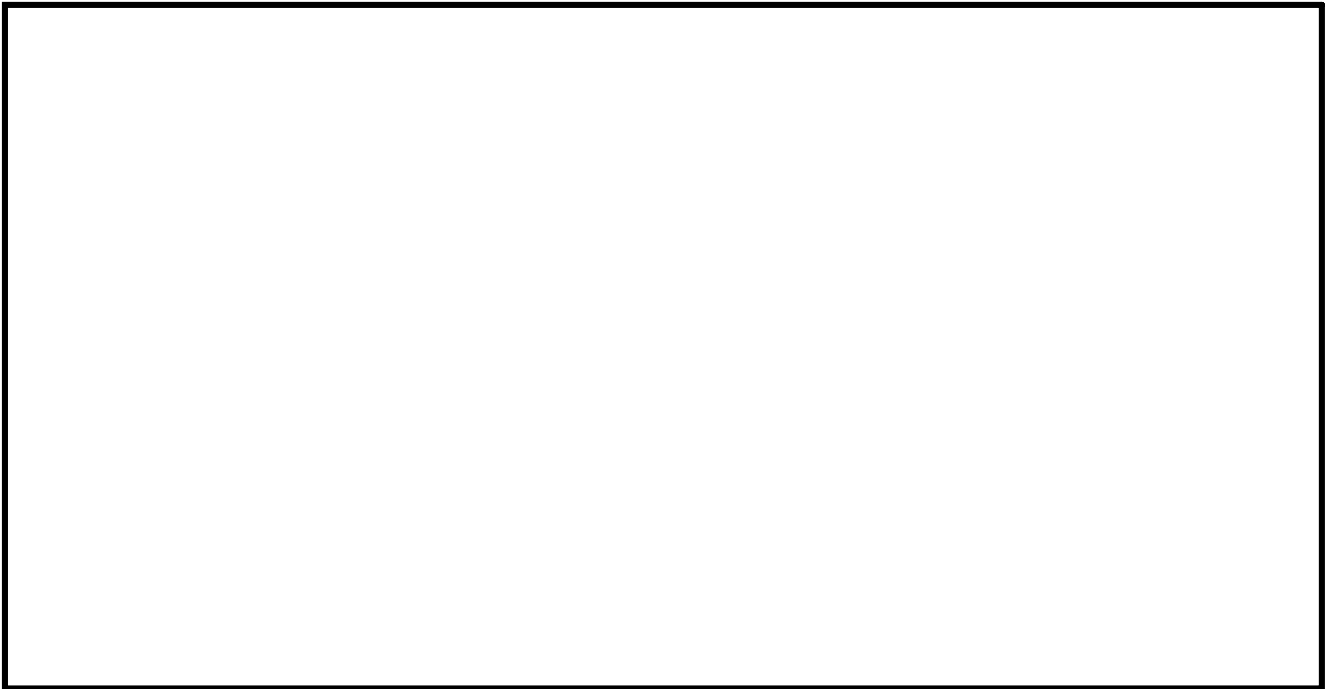


図 4-4 トロリ位置が端部の場合における振動モード図

4.5 設計用地震力

設計基準対象施設及び、重大事故等対処設備の設計用地震力を表 4-10 及び、表 4-11 に示す。基準地震動  $S_s$  による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。また、減衰定数は「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-10 設計用地震力 (設計基準対象施設)

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 $S_s$				減衰定数 (%)		
		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	鉛直方向
B	原子炉建屋 EL. 46.5 <sup>*1</sup>			ブリッジ		トロリ			3.67 <sup>*2*4</sup>	2.0
				NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向			
				$C_{H2}=0.15^{*3}$	$C_{H1}=1.41^{*2*4}$	$C_{H2}=0.15^{*3}$	$C_{H2}=0.15^{*3}$			

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：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。

\*5：( ) 外は燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合、( ) 内は燃料取替機のトロリ位置が中央にある場合。

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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 $S_s$				減衰定数 (%)		
		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	鉛直方向
—	原子炉建屋 EL. 46.5 <sup>*1</sup>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	ブリッジ		トロリ			3.90 <sup>*3</sup>	2.0
				NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向			
				$C_{H2}=0.15^{*2}$	$C_{H1}=1.39^{*3}$	$C_{H2}=0.15^{*2}$	$C_{H2}=0.15^{*2}$			

注記 \*1：基準床レベルを示す。

\*2：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。

\*3：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。

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（ギャラリ二階）の応力

ギャラリ二階の応力を図4-5を用いて計算する。負担力は、並進力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、モーメント力  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  とする。

(a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{1F}}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_p}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A_{1F}}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{1F}}, \quad \sigma_{py} = \frac{M_y}{Z_{py}}, \quad \sigma_{pz} = \frac{M_z}{Z_{pz}} \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

(b) 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

$$\sigma_{p1F} = \sigma_x + \sigma_{py} + \sigma_{pz} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

(c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

$$\sigma_{pc1F} = \sqrt{\sigma_{p1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

燃料取替機構造物フレームの最大応力発生部材を図4-2の①に示す。

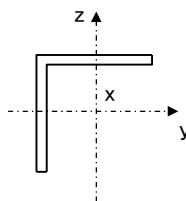


図4-5 ギャラリ二階



#### 4.6.2 脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力

##### (1) 計算方法（ブリッジ）

ブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_1 \sim P_8$ ）は，スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

##### 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。負担力は， $P_1 \sim P_8$  の平均の値を  $F_{HB}$ ，及び  $F_{VB}$  とする。

鉛直力  $F_{VB}$  はラグー組（2 個）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。

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

断面係数は次式となる。

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

$$Z_{p1B} = \frac{a_{1B}^2 \cdot b_{1B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = \frac{F_{Vb}}{A_{1B}} + \frac{M_{1B}}{Z_{1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

$$\sigma_{p1B} = \frac{F_{Vb}}{A_{1B}} + \frac{M_{1B}}{Z_{p1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.7)$$

##### ・ B 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2B} = F_{Vb} \cdot h_{2B} \dots \dots \dots (4.6.2.8)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2B} = \frac{a_{2B}^2 \cdot b_{2B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.9)$$

$$Z_{p2B} = \frac{a_{2B}^2 \cdot b_{2B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.10)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2B} = \frac{M_{2B}}{Z_{2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.11)$$

$$\sigma_{p2B} = \frac{M_{2B}}{Z_{p2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.12)$$

(b) せん断応力

・ A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \dots \dots \dots (4.6.2.13)$$

負担力  $F_{HB}$  によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \frac{F_{HB}}{A_{1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.14)$$

・ B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2B} = a_{2B} \cdot b_{2B} \dots \dots \dots (4.6.2.15)$$

負担力  $F_{Vb}$  によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2B} = \frac{F_{Vb}}{A_{2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.16)$$

(c) 組合せ応力

・ A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1B} = \sqrt{\sigma_{1B}^2 + 3 \cdot \tau_{1B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.17)$$

$$\sigma_{pc1B} = \sqrt{\sigma_{p1B}^2 + 3 \cdot \tau_{1B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.18)$$

・ B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2B} = \sqrt{\sigma_{2B}^2 + 3 \cdot \tau_{2B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.19)$$

$$\sigma_{pc2B} = \sqrt{\sigma_{p2B}^2 + 3 \cdot \tau_{2B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.20)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{bB} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1B}^2 \dots \dots \dots (4.6.2.21)$$

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。

$$\tau_{bB} = \frac{\sqrt{F_{HB}^2 + F_{vb}^2}}{2 \cdot n_{1B} \cdot A_{bB}} \dots \dots \dots (4.6.2.22)$$

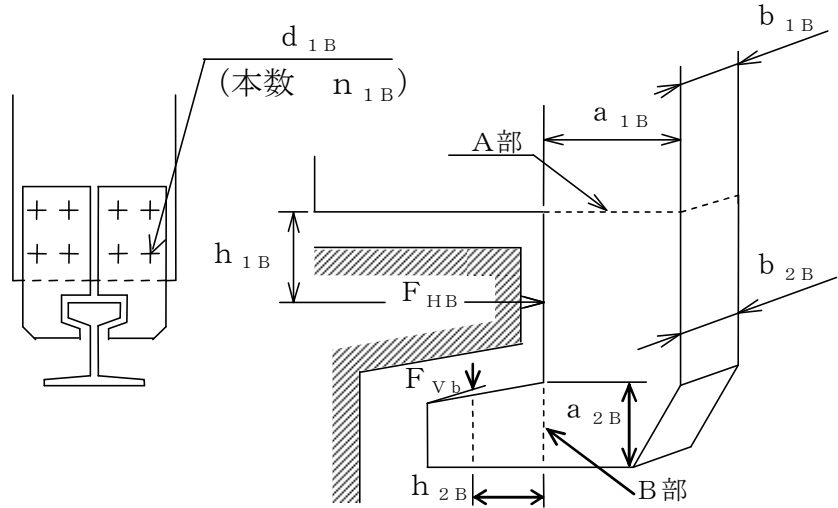


図4-6 ブリッジ脱線防止ラグ

b. 走行レールの応力

走行レールの応力評価は4.6.2(1)a項で求めた荷重(P<sub>1</sub>～P<sub>8</sub>)の平均の値をF<sub>HB</sub>、及びF<sub>vb</sub>とする。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する鉛直力F<sub>vb</sub>は図4-7(BV)に示す斜線部のように走行レールに分散する。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する水平力F<sub>HB</sub>は図4-7(BH)に示す斜線部のように走行レールに分散する。

(a) 曲げ応力

・C部

幅は次式となる。

$$b_{3B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{3B} + L_{3B}) \dots \dots \dots (4.6.2.23)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3B} = F_{vb} \cdot h_{3B} \dots \dots \dots (4.6.2.24)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3B} = \frac{a_{3B}^2 \cdot b_{3B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.25)$$

$$Z_{p3B} = \frac{a_{3B}^2 \cdot b_{3B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.26)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3B} = a_{3B} \cdot b_{3B} \dots \dots \dots (4.6.2.27)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3B} = \frac{F_{HB}}{A_{3B}} + \frac{M_{3B}}{Z_{3B}} \dots\dots\dots (4.6.2.28)$$

$$\sigma_{p3B} = \frac{F_{HB}}{A_{3B}} + \frac{M_{3B}}{Z_{p3B}} \dots\dots\dots (4.6.2.29)$$

・ D部

幅は次式となる。

$$b_{4B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{4B} + L_{4B}) \dots\dots\dots (4.6.2.30)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4B} = F_{HB} \cdot h_{4B} \dots\dots\dots (4.6.2.31)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4B} = \frac{a_{4B}^2 \cdot b_{4B}}{6} \dots\dots\dots (4.6.2.32)$$

$$Z_{p4B} = \frac{a_{4B}^2 \cdot b_{4B}}{6} \dots\dots\dots (4.6.2.33)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4B} = a_{4B} \cdot b_{4B} \dots\dots\dots (4.6.2.34)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4B} = \frac{2 \cdot F_{Vb}}{A_{4B}} + \frac{M_{4B}}{Z_{4B}} \dots\dots\dots (4.6.2.35)$$

$$\sigma_{p4B} = \frac{2 \cdot F_{Vb}}{A_{4B}} + \frac{M_{4B}}{Z_{p4B}} \dots\dots\dots (4.6.2.36)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・ C部

$$\tau_{3B} = \frac{F_{Vb}}{A_{3B}} \dots\dots\dots (4.6.2.37)$$

・ D部

$$\tau_{4B} = \frac{F_{HB}}{A_{4B}} \dots\dots\dots (4.6.2.38)$$

(c) 組合せ応力

・ C部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{C3B} = \sqrt{\sigma_{3B}^2 + 3 \cdot \tau_{3B}^2} \dots\dots\dots (4.6.2.39)$$

$$\sigma_{pC3B} = \sqrt{\sigma_{p3B}^2 + 3 \cdot \tau_{3B}^2} \dots\dots\dots (4.6.2.40)$$

・ D部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{C4B} = \sqrt{\sigma_{4B}^2 + 3 \cdot \tau_{4B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.41)$$

$$\sigma_{pC4B} = \sqrt{\sigma_{p4B}^2 + 3 \cdot \tau_{4B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.42)$$

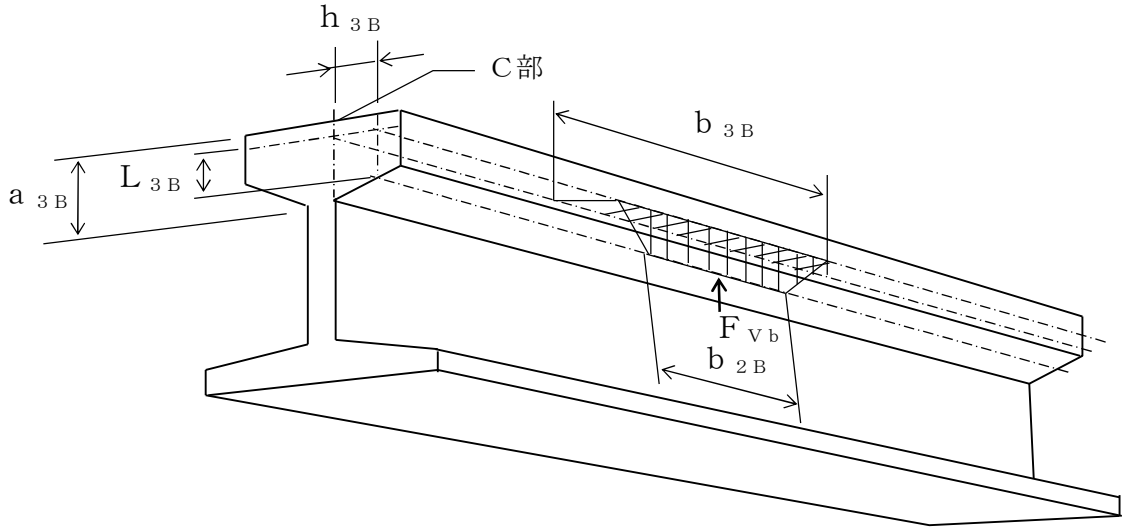


図4-7 (BV) 走行レール

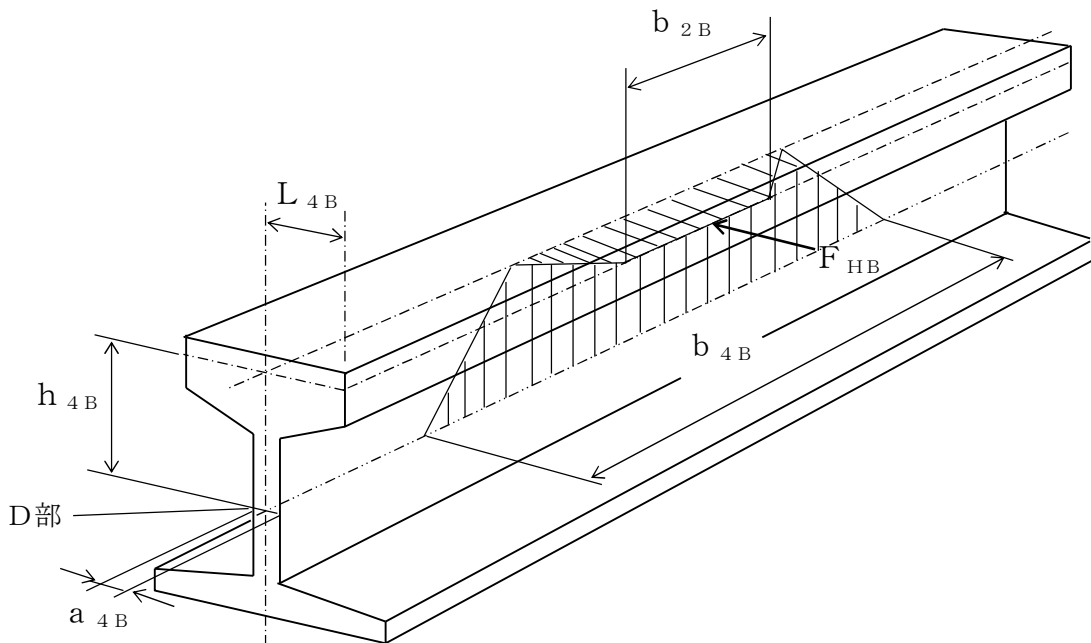


図4-7 (BH) 走行レール

(2) 計算方法（トロリ）

トロリ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_9 \sim P_{12}$ ）は、スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

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4-8を用いて計算する。負担力は、 $P_9 \sim P_{12}$ の平均の値を $F_{HT}$ 、及び $F_{VT}$ とする。

水平力 $F_{HT}$ は図4-9に示すようにトロリ脱線防止ラグに分散する。

鉛直力 $F_{VT}$ はラグー組（2個）に分散し、1個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vt} = \frac{F_{VT}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.43)$$

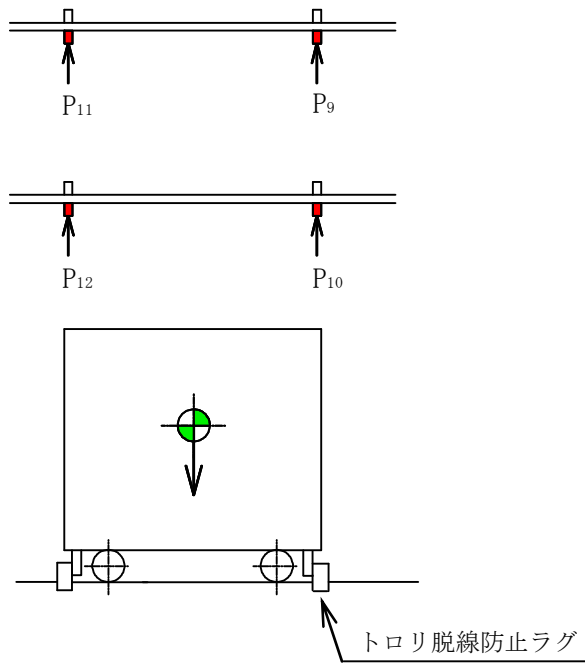


図4-8 計算モデル

(a) 曲げ応力

・ A 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1T} = F_{HT} \cdot h_{1T} + F_{Vt} \cdot \left[ h_{2T} + \frac{a_{1T}}{2} \right] \quad \dots \quad (4.6.2.44)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1T} = \frac{a_{1T}^2 \cdot b_{1T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.45)$$

$$Z_{p1T} = \frac{a_{1T}^2 \cdot b_{1T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.46)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1T} = a_{1T} \cdot b_{1T} \quad \dots \quad (4.6.2.47)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1T} = \frac{F_{Vt}}{A_{1T}} + \frac{M_{1T}}{Z_{1T}} \quad \dots \quad (4.6.2.48)$$

$$\sigma_{p1T} = \frac{F_{Vt}}{A_{1T}} + \frac{M_{1T}}{Z_{p1T}} \quad \dots \quad (4.6.2.49)$$

・ B 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2T} = F_{Vt} \cdot h_{2T} \quad \dots \quad (4.6.2.50)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2T} = \frac{a_{2T}^2 \cdot b_{2T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.51)$$

$$Z_{p2T} = \frac{a_{2T}^2 \cdot b_{2T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.52)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2T} = \frac{M_{2T}}{Z_{2T}} \quad \dots \quad (4.6.2.53)$$

$$\sigma_{p2T} = \frac{M_{2T}}{Z_{p2T}} \quad \dots \quad (4.6.2.54)$$



(b) せん断応力

・ A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1T} = a_{1T} \cdot b_{1T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.55)$$

負担力  $F_{HT}$  によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1T} = \frac{F_{HT}}{A_{1T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.56)$$

・ B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2T} = a_{2T} \cdot b_{2T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.57)$$

負担力  $F_{Vt}$  によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2T} = \frac{F_{Vt}}{A_{2T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.58)$$

(c) 組合せ応力

・ A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1T} = \sqrt{\sigma_{1T}^2 + 3 \cdot \tau_{1T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.59)$$

$$\sigma_{pc1T} = \sqrt{\sigma_{p1T}^2 + 3 \cdot \tau_{1T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.60)$$

・ B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2T} = \sqrt{\sigma_{2T}^2 + 3 \cdot \tau_{2T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.61)$$

$$\sigma_{pc2T} = \sqrt{\sigma_{p2T}^2 + 3 \cdot \tau_{2T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.62)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{bT} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1T}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.63)$$

せん断力は、取付ボルト  $n_{1T}$  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。

$$\tau_{bT} = \frac{\sqrt{F_{HT}^2 + F_{Vt}^2}}{n_{1T} \cdot A_{bT}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.64)$$

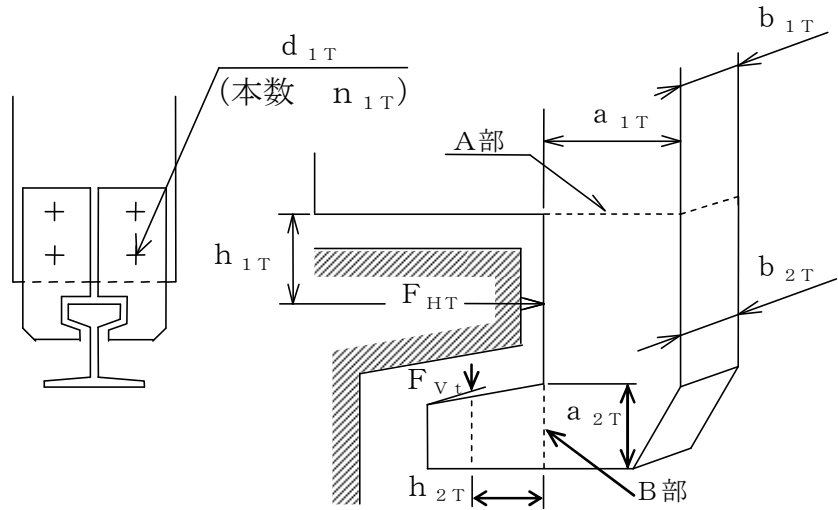


図 4-9 トロリ脱線防止ラグ

b. 横行レールの応力

横行レールの応力評価は 4.6.2(2)a 項で求めた荷重 ( $P_9 \sim P_{12}$ ) の平均の値を  $F_{HT}$ 、及び  $F_{vt}$  とする。

トロリ脱線防止ラグに作用する鉛直力  $F_{vt}$  は図 4-10 (TV) に示す斜線部のように横行レールに分散する。

トロリ脱線防止ラグに作用する水平力  $F_{HT}$  は図 4-10 (TH) に示す斜線部のように横行レールに分散する。

(a) 曲げ応力

・ C 部

幅は次式となる。

$$b_{3T} = b_{2T} + 2 \cdot (h_{3T} + L_{3T}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.65)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3T} = F_{vt} \cdot h_{3T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.66)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3T} = \frac{a_{3T}^2 \cdot b_{3T}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.67)$$

$$Z_{p3T} = \frac{a_{3T}^2 \cdot b_{3T}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.68)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3T} = a_{3T} \cdot b_{3T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.69)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3T} = \frac{F_{HT}}{A_{3T}} + \frac{M_{3T}}{Z_{3T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.70)$$

$$\sigma_{p3T} = \frac{F_{HT}}{A_{3T}} + \frac{M_{3T}}{Z_{p3T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.71)$$

・ D部

幅は次式となる。

$$b_{4T} = b_{2T} + 2 \cdot (h_{4T} + L_{4T}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.72)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4T} = F_{HT} \cdot h_{4T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.73)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4T} = \frac{a_{4T}^2 \cdot b_{4T}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.74)$$

$$Z_{p4T} = \frac{a_{4T}^2 \cdot b_{4T}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.75)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4T} = a_{4T} \cdot b_{4T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.76)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4T} = \frac{2 \cdot F_{Vt}}{A_{4T}} + \frac{M_{4T}}{Z_{4T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.77)$$

$$\sigma_{p4T} = \frac{2 \cdot F_{Vt}}{A_{4T}} + \frac{M_{4T}}{Z_{p4T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.78)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・ C部

$$\tau_{3T} = \frac{F_{Vt}}{A_{3T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.79)$$

・ D部

$$\tau_{4T} = \frac{F_{HT}}{A_{4T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.80)$$

(c) 組合せ応力

・ C 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{C3T} = \sqrt{\sigma_{3T}^2 + 3 \cdot \tau_{3T}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.81)$$

$$\sigma_{pC3T} = \sqrt{\sigma_{p3T}^2 + 3 \cdot \tau_{3T}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.82)$$

・ D 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{C4T} = \sqrt{\sigma_{4T}^2 + 3 \cdot \tau_{4T}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.83)$$

$$\sigma_{pC4T} = \sqrt{\sigma_{p4T}^2 + 3 \cdot \tau_{4T}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.84)$$

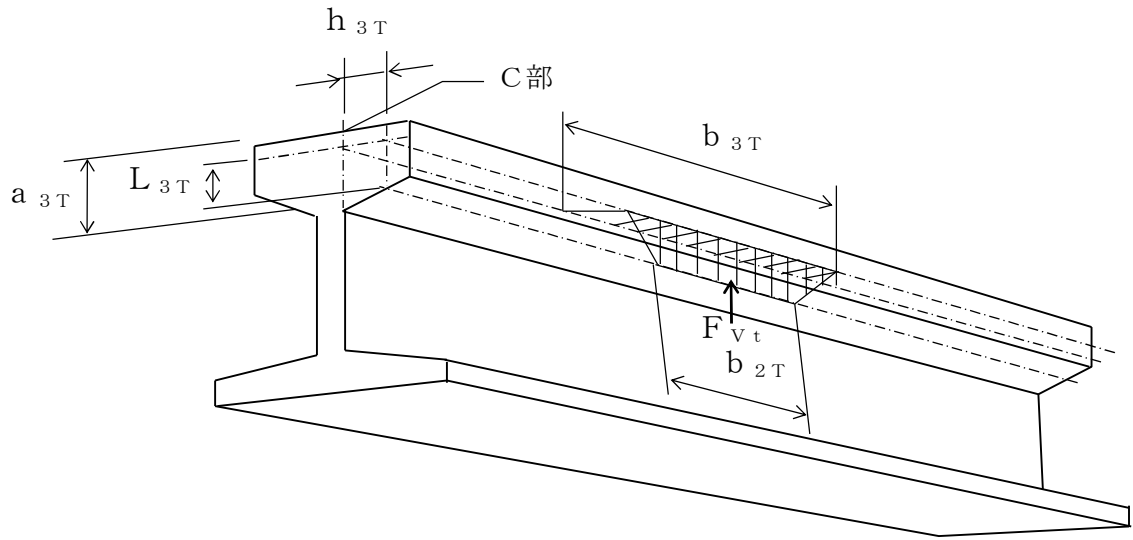


図 4-10 (TV) 横行レール

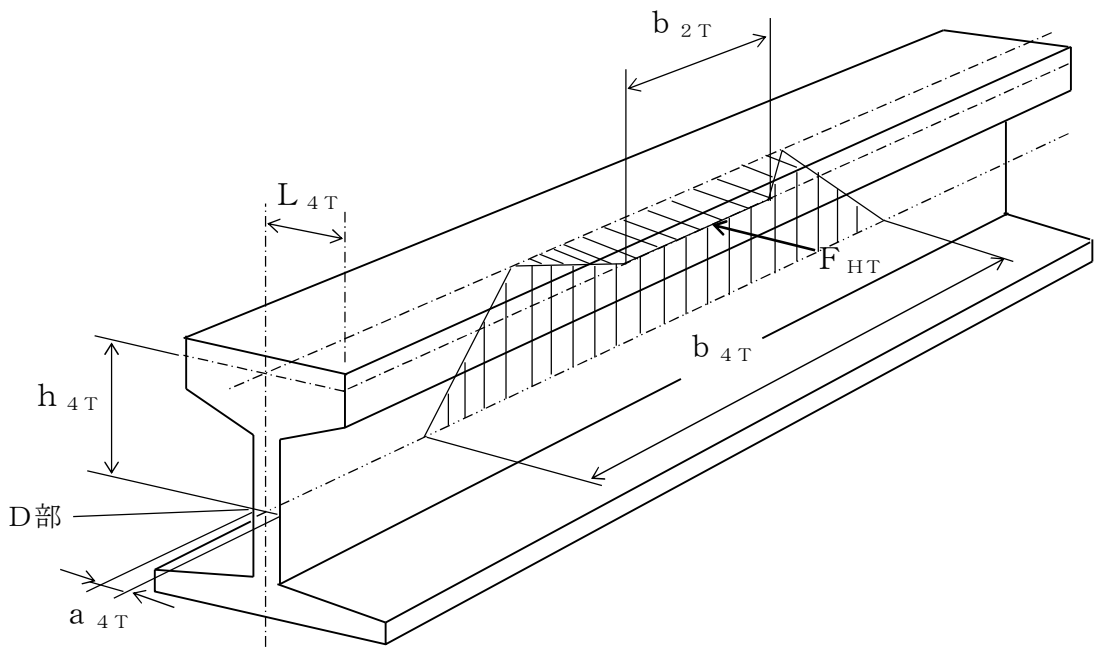


図 4-10 (TH) 横行レール

#### 4.6.3 吊具の荷重計算方法

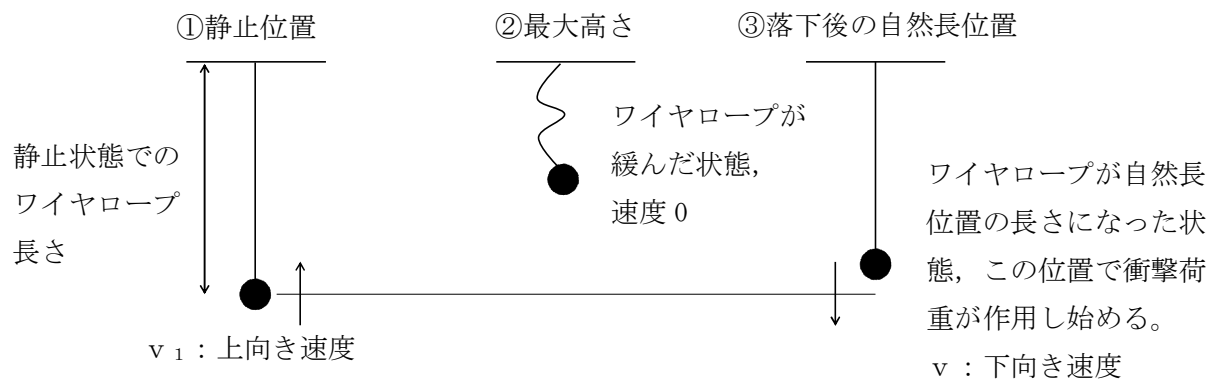
燃料取替機の吊荷荷重を受ける各部は、ブリッジ、トロリ、ワイヤロープ及び先端金具で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により即落下に至る可能性があるワイヤロープと先端金具を評価対象とする。

ワイヤロープ及び先端金具の計算にあたっては、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、評価にあたっては、気中で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あたっては、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。評価にあたって、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4.5項より求めた固有周期に対応する加速度をもとに、吊荷が一度浮上り落ちて落下した後の落下による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。

(1) 吊荷の浮上がり後の落下速度の算出

吊荷は、図 4-11 に示すように、鉛直方向に浮上が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

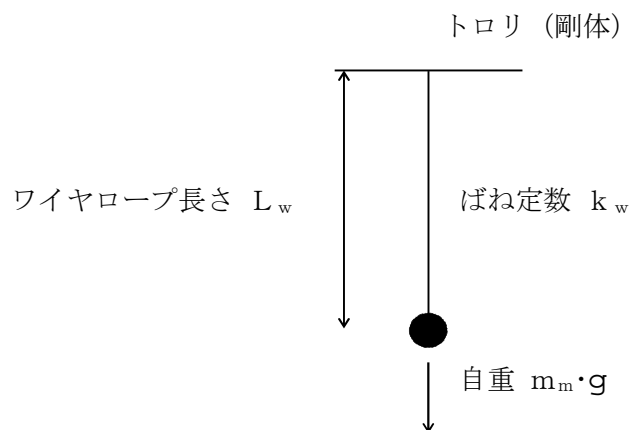
$$v = v_1$$

として評価を行う。

図 4-11 吊荷の浮上がりの様子

(2) 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。



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

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



(3) 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4-12及び図4-13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，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。

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

$$(\text{吊荷の運動量の変化}) : m_m \cdot (v_1 + v_2)$$

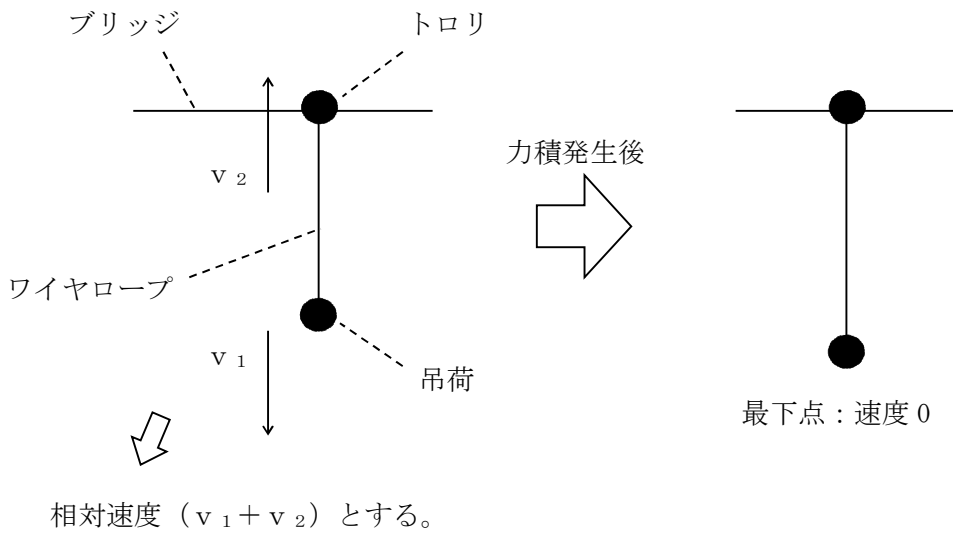


図4-12 吊荷落下後の速度変化

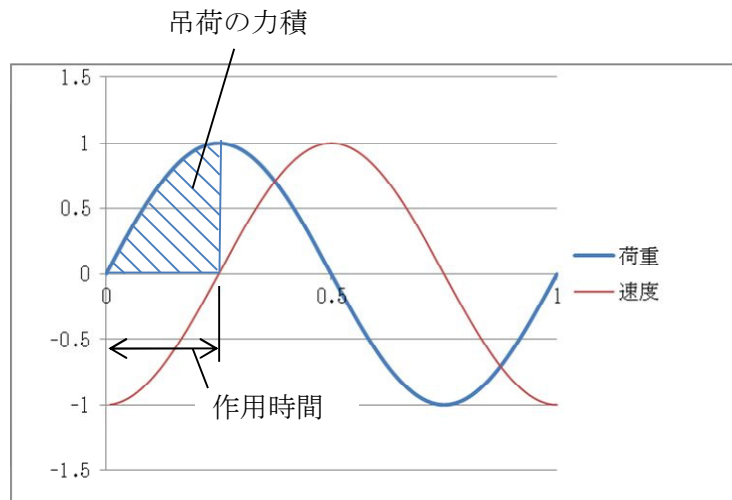


図4-13 吊荷の力積の概念図

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。

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

#### 4.6.4 吊具の応力計算方法

ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力を、図4-14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。

$$F_w = \frac{F}{n_w}$$

先端金具の応力は次式となる。

$$\sigma_m = \frac{F_w}{A_w}$$

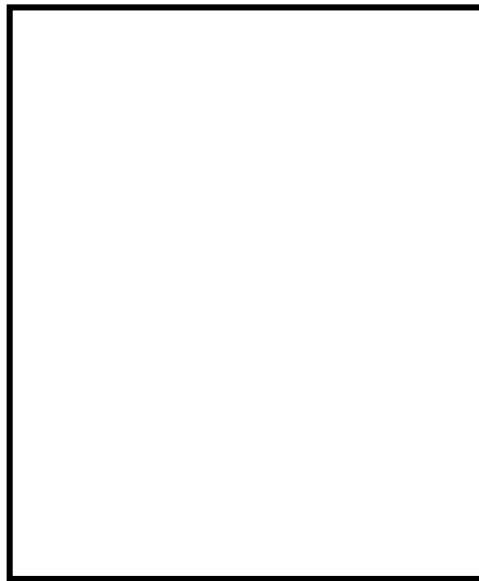


図4-14 ワイヤロープ及び先端金具

#### 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 固有周期の評価

燃料取替機は、剛構造であればその水平震度における静解析を実施し、剛構造でなければ動解析も実施する。

ただし、レールと車輪の走行方向のすべりを考慮し、ブリッジのNS方向及びトロリのNS、EW方向については、4.5項で求めた固有周期にかかわらず、4.1項で述べた最大静止摩擦係数より求めた値を水平方向設計震度とする。

##### 4.8.2 応力の評価

###### 4.8.2.1 燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、走行レール及び横行レールの応力評価

4.6.1項及び4.6.2項で求めた燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、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。

	許容曲げ応力	許容せん断応力	許容組合せ応力
計算式	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

###### 4.8.2.2 脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた脱線防止ラグ取付ボルトの応力が次式より求めた許容せん断応力以下であること。

	許容せん断応力
計算式	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

###### 4.8.2.3 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。

	許容引張応力
計算式	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

###### 4.8.2.4 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、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項以降【燃料取替機の耐震性についての計算結果】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、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項以降の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】に示す。

【燃料取替機の耐震性についての計算結果】

設計条件（設計基準対象施設）

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					
燃料取替機	B	原子炉建屋 EL. 46.5* <sup>1</sup>	□	□	ブリッジ		トロリ		3.67* <sup>2</sup> * <sup>4</sup>	□
					NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向		
					$C_{H2}=0.15^{*3}$	$C_{H1}=1.41^{*2}*4$	$C_{H2}=0.15^{*3}$	$C_{H2}=0.15^{*4}$		

注記 \*1：基準床レベルを示す。

\*2：評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値

\*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。

機器要目 (設計基準対象施設)

燃料取替機構造物フレーム, ブリッジ脱線防止ラグ, トロリ脱線防止ラグ, 走行レール, 横行レール

$m_B$ (kg)	$m_T$ (kg)	$n_{1B}$	$n_{1T}$	$E$ (MPa)

$F_x$ (N)	$F_y$ (N)	$F_z$ (N)	$M_x$ (N・mm)	$M_y$ (N・mm)	$M_z$ (N・mm)

$F_{HB}$ (N)	$F_{VB}$ (N)	$F_{HT}$ (N)	$F_{VT}$ (N)

$a_{1B}$ (mm)	$a_{2B}$ (mm)	$a_{3B}$ (mm)	$a_{4B}$ (mm)	$b_{1B}$ (mm)	$b_{2B}$ (mm)	$b_{3B}$ (mm)	$b_{4B}$ (mm)	$d_{1B}$ (mm)	$h_{1B}$ (mm)	$h_{2B}$ (mm)	$h_{3B}$ (mm)	$h_{4B}$ (mm)	$L_{3B}$ (mm)	$L_{4B}$ (mm)

$a_{1T}$ (mm)	$a_{2T}$ (mm)	$a_{3T}$ (mm)	$a_{4T}$ (mm)	$b_{1T}$ (mm)	$b_{2T}$ (mm)	$b_{3T}$ (mm)	$b_{4T}$ (mm)	$d_{1T}$ (mm)	$h_{1T}$ (mm)	$h_{2T}$ (mm)	$h_{3T}$ (mm)	$h_{4T}$ (mm)	$L_{3T}$ (mm)	$L_{4T}$ (mm)

$A_{1F}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{1B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{2B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{3B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{4B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{bB}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{1T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{2T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{3T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{4T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{bT}$ (mm <sup>2</sup> )

$Z_p$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_y$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_z$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{1B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{2B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{3B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{4B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{1T}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{2T}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{3T}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{4T}$ (mm <sup>3</sup> )

ワイヤロープ, 先端金具

$m_m$ (kg)	$T_w$ (s)	$L_w$ (mm)	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	$E_w$ (MPa)	$n_w$	$F_w$ (N)	$k_w$ (N/mm)	$v_1$ (mm/s)	$v_2$ (mm/s)

許容応力（設計基準対象施設）

燃料取替機構造物フレーム		
[Redacted]		
S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
234	394	275

注記 \* : 厚さ ≤ 16 mm

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
211 (40 mm <厚さ)	394	253	211 (40 mm <径)	394	253	211 (40 mm <厚さ)	394	253	211 (40 mm <径)	394	253

走行レール		横行レール	
S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
1080	756	690	483

先端金具 SUS304
S <sub>u</sub> (MPa)
378



許容荷重（設計基準対象施設）

ワイヤロープ
$F_w$ (N)
<input type="text"/>

結論 (設計基準対象施設)

(単位: MPa)

部材		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 $\sigma_{1F}$	216	275
			せん断 $\tau_{1F}$	3	158
			組 合 せ $\sigma_{c1F}$	217	275
ブリッジ	脱線防止ラグ	B部 □	曲 げ $\sigma_{2B}$	101	253
			せん断 $\tau_{2B}$	31	146
			組 合 せ $\sigma_{c2B}$	114	253
	取付ボルト	□	せん断 $\tau_{bB}$	64	146
トロリ	脱線防止ラグ	B部 □	曲 げ $\sigma_{2T}$	154	253
			せん断 $\tau_{2T}$	59	146
			組 合 せ $\sigma_{c2T}$	184	253
	取付ボルト	□	せん断 $\tau_{bT}$	135	146
走行レール		D部 □	曲 げ $\sigma_{4B}$	240	756
			せん断 $\tau_{4B}$	26	436
			組 合 せ $\sigma_{c4B}$	244	756
横行レール		D部 □	曲 げ $\sigma_{4T}$	428	483
			せん断 $\tau_{4T}$	17	278
			組 合 せ $\sigma_{c4T}$	428	483

すべて許容応力以下である。

(単位：N)

部材		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		支持荷重 $F_w$	29270	35900

(単位：MPa)

部材		材料	応力	算出応力	許容応力
吊具	先端金具		引張り $\sigma_m$	259	378

すべて許容応力以下である。

設計条件（重大事故等対処設備）

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	水平方向設計震度					
燃料取替機	—	原子炉建屋 EL. 46.5* <sup>1</sup>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	ブリッジ		トロリ		3.90* <sup>3</sup>	<input type="text"/>
					NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向		
					$C_{H2}=0.15^{*2}$	$C_{H1}=1.39^{*3}$	$C_{H2}=0.15^{*2}$	$C_{H2}=0.15^{*2}$		

注記 \*1：基準床レベルを示す。

\*2：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。

\*3：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。

機器要目 (重大事故等対処設備)

燃料取替機構造物フレーム, ブリッジ脱線防止ラグ, トロリ脱線防止ラグ, 走行レール, 横行レール

$m_B$ (kg)	$m_T$ (kg)	$n_{1B}$	$n_{1T}$	$E$ (MPa)	$F_x$ (N)	$F_y$ (N)	$F_z$ (N)	$M_x$ (N・mm)	$M_y$ (N・mm)	$M_z$ (N・mm)	$F_{HB}$ (N)	$F_{VB}$ (N)	$F_{HT}$ (N)	$F_{VT}$ (N)

$a_{1B}$ (mm)	$a_{2B}$ (mm)	$a_{3B}$ (mm)	$a_{4B}$ (mm)	$b_{1B}$ (mm)	$b_{2B}$ (mm)	$b_{3B}$ (mm)	$b_{4B}$ (mm)	$d_{1B}$ (mm)	$h_{1B}$ (mm)	$h_{2B}$ (mm)	$h_{3B}$ (mm)	$h_{4B}$ (mm)	$L_{3B}$ (mm)	$L_{4B}$ (mm)

$a_{1T}$ (mm)	$a_{2T}$ (mm)	$a_{3T}$ (mm)	$a_{4T}$ (mm)	$b_{1T}$ (mm)	$b_{2T}$ (mm)	$b_{3T}$ (mm)	$b_{4T}$ (mm)	$d_{1T}$ (mm)	$h_{1T}$ (mm)	$h_{2T}$ (mm)	$h_{3T}$ (mm)	$h_{4T}$ (mm)	$L_{3T}$ (mm)	$L_{4T}$ (mm)

$A_{1F}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{1B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{2B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{3B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{4B}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{bB}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{1T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{2T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{3T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{4T}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{bT}$ (mm <sup>2</sup> )

$Z_p$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{py}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{pz}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p1B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p2B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p3B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p4B}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p1T}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p2T}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p3T}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{p4T}$ (mm <sup>3</sup> )

許容応力（重大事故等対処設備）

燃料取替機構造物フレーム		
		
S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
196	373	235

注記 \* : 厚さ ≤ 16 mm

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
194 (40 mm <厚さ)	373	232	194 (40 mm <径)	373	232	194 (40 mm <厚さ)	373	232	194 (40 mm <径)	373	232

走行レール		横行レール	
S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
1080	756	690	483

結論（重大事故等対処設備）

（単位：MPa）

部材		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 $\sigma_{p1F}$	216	235
			せん断 $\tau_{1F}$	3	135
			組 合 せ $\sigma_{pc1F}$	217	235
ブリッジ	脱線防止ラグ	B部 □	曲 げ $\sigma_{p2B}$	59	232
			せん断 $\tau_{2B}$	18	134
			組 合 せ $\sigma_{pc2B}$	66	232
	取付ボルト	□	せん断 $\tau_{bB}$	32	134
トロリ	脱線防止ラグ	B部 □	曲 げ $\sigma_{p2T}$	45	232
			せん断 $\tau_{2T}$	18	134
			組 合 せ $\sigma_{pc2T}$	54	232
	取付ボルト	□	せん断 $\tau_{bT}$	50	134
走行レール		D部 □	曲 げ $\sigma_{p4B}$	118	756
			せん断 $\tau_{4B}$	13	436
			組 合 せ $\sigma_{pc4B}$	120	756
横行レール		D部 □	曲 げ $\sigma_{p4T}$	215	483
			せん断 $\tau_{4T}$	9	278
			組 合 せ $\sigma_{pc4T}$	215	483

すべて許容応力以下である。