

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0455_改4
提出年月日	2021年11月9日

VI-2-11-2-14 燃料チャンネル着脱機の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-14 R3
O2

2021年11月

東北電力株式会社

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	7
4.	地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2	許容応力	8
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	8
4.3	解析モデル及び諸元	13
4.4	固有周期	15
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
4.6.2	荷重の計算方法	23
4.7	計算条件	28
4.8	応力及び荷重の評価	28
4.8.1	フレーム、バックプレート及び可動台の応力評価	28
4.8.2	カーブ上面固定ボルト及びバックプレート押えボルトの応力評価	28
4.8.3	吊具の荷重評価	29
5.	評価結果	29
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

本計算書は、添付書類「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チャンネル着脱機（以下「着脱機」という。）（Bクラスの施設）が上位クラス施設と同じ運転状態において基準地震動 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ラック（Sクラスの施設及び重大事故等対処設備）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

着脱機は、原子炉建屋の使用済燃料プール内に2台設置されている。着脱機は、図2-1の位置関係に示すように、上位クラスの施設である使用済燃料貯蔵ラックの近傍に設置されていることから、転倒又は落下により、使用済燃料貯蔵ラックに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

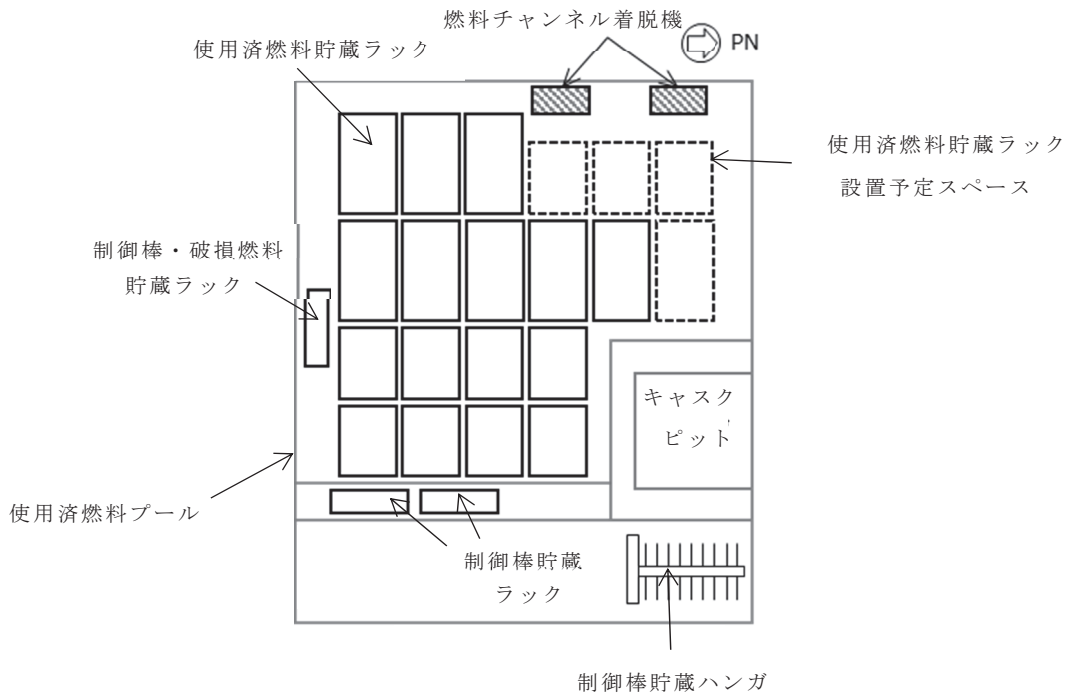


図 2-1 燃料チャンネル着脱機と使用済燃料プール等の位置関係図

2.2 構造計画

着脱機の構造計画を表 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>フレームに溶接されたサポートブラケットが使用済燃料プール壁面の埋込金物に溶接されたサポートラグに差し込まれている。 バックプレートはカーブ上面固定ボルトによりカーブ上部と、バックプレート押えボルトによりプール壁面上部に取り付けられる。</p>	<p>着脱機本体は可動台、フレーム及びバックプレートで構成されており、フレームとバックプレートは溶接により固定されている。可動台はフレームに支持され吊具（チェーン）を介して上下する。</p>		
		<p>(単位：mm)</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

着脱機の応力評価は、添付資料「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Sクラスの施設及び重大事故等対処設備と同じ運転状態における、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」にて示す着脱機の部位を踏まえ「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。結果確認を「5. 評価結果」に示す。

着脱機の耐震評価フローを図2-2に示す。

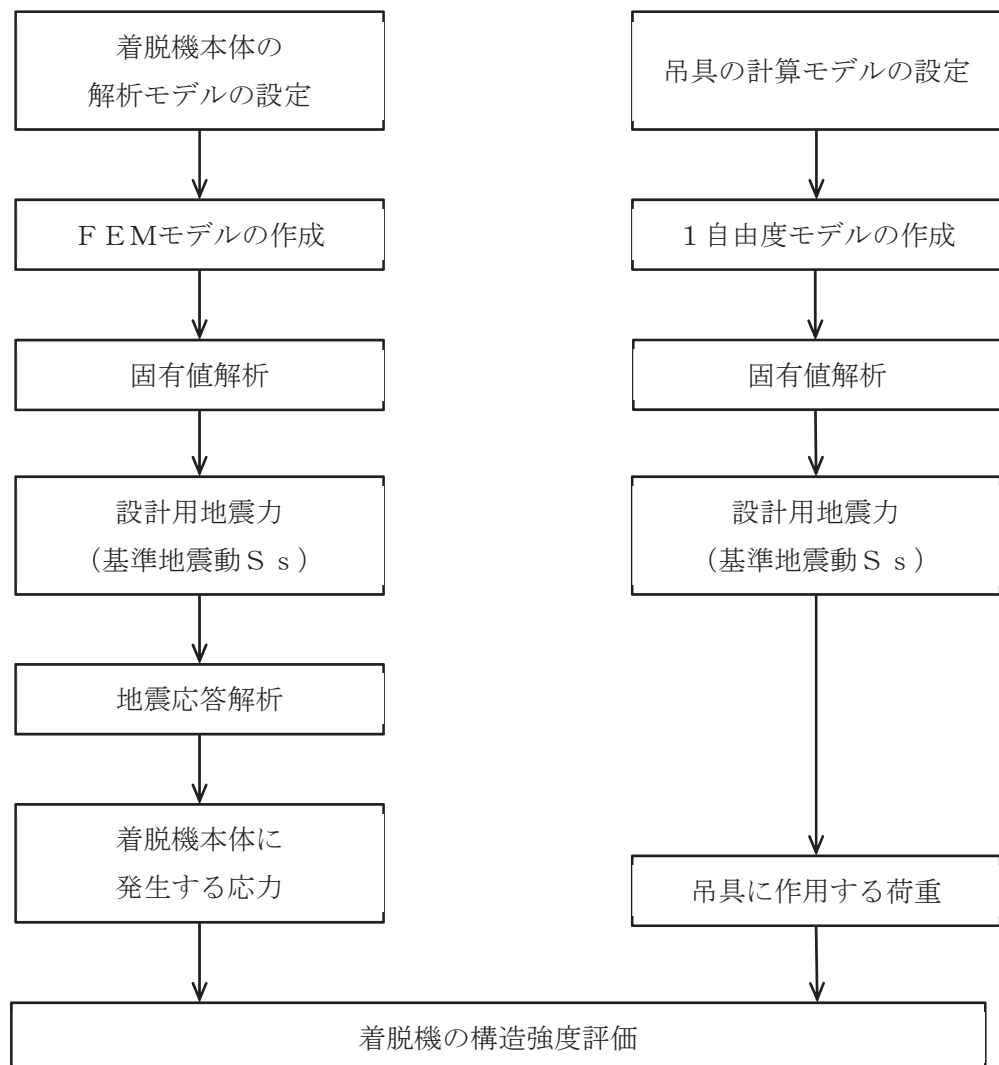


図2-2 着脱機の耐震評価フロー

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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 日本産業規格 (J I S)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1F}	フレームの断面積	mm^2
A_{yF}	せん断断面積 (y 方向)	mm^2
A_{zF}	せん断断面積 (z 方向)	mm^2
A_L	チェーンの許容荷重	N
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	フレーム及び可動台の縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{xF}	フレームに作用する軸力	N
F_{yF}	フレームに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_{zF}	フレームに作用するせん断力 (z 方向)	N
F_C	チェーンに作用する荷重	N
f_s	許容せん断応力	MPa
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_t	許容引張応力	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
M_{xF}	フレームのねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{yF}	フレームの y 軸周り曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{zF}	フレームの z 軸周り曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_F	フレームの質量	kg
m_K	可動台の質量	kg
m_m	吊荷 (可動台及び燃料) の質量	kg
m_{wH}	水平方向の水の付加質量	kg
m_{wN}	鉛直方向の水の付加質量	kg
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
K_F	フレームのねじり応力係数	mm^{-3}
Z_{yF}	フレームの y 軸周り断面係数	mm^3
Z_{zF}	フレームの z 軸周り断面係数	mm^3

記号	記号の説明	単位
ν	ポアソン比	—
σ_{tF}	フレームの全引張応力	MPa
σ_{c1F}	フレームの組合せ応力	MPa
σ_{xF}	x方向の荷重によるフレームの引張応力	MPa
σ_{bF}	曲げモーメントによる応力	MPa
τ_{tF}	フレームの全せん断応力	MPa
τ_{1F}	フレームのせん断応力	MPa
τ_{2F}	フレームのねじりモーメントによるせん断応力	MPa
V_1	吊荷の最大速度	mm/s
V_2	着脱機の最大速度	mm/s
k_W	吊具のばね定数	N・mm
T_W	吊荷の固有周期	s
T_f	着脱機鉛直方向の固有周期	s
L_W	吊荷荷重算出に使用するチェーン長さ	mm
a_w	吊荷の固有周期において基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線により得られる震度	—

注：記号右端添え字にFが付くものは、フレーム評価用を代表で示したもので、バックプレート評価用についてはF→P、可動台評価用についてはF→K、カーブ上面固定ボルト評価用についてはF→Bに、バックプレート押えボルト評価用についてはF→Dに置き換える。

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 に示す通りとする。

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* ²
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
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3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	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位* ³

注記*1： 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*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

着脱機の耐震評価は、「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、着脱機及び吊荷（可動台及び燃料）の転倒、落下により、使用済燃料貯蔵ラックが損傷することを防止するために、着脱機本体（フレーム、バックプレート、可動台、カーブ上面固定ボルト、バックプレート押えボルト）及び吊具（チェーン）について実施する。着脱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) 着脱機本体の応答解析には、はり要素を用いた3次元有限要素法モデルによる静解析を行う。
- (2) 地震力は、着脱機本体（フレーム、バックプレート及び可動台）に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において組合せるものとする。
- (3) フレーム及びバックプレートは、使用済燃料プールのカーブ上面固定ボルト、バックプレート押えボルト及びサポートブラケットにより荷重を支持する構造であるため、該当部位の拘束条件を設定する。
- (4) 可動台に搭載される燃料は、集中質量として設定する。
- (5) 可動台はチェーンにより保持されフレームに沿って鉛直方向に昇降するため、可動台の位置について評価条件として新燃料搬入位置、常用上限及び常用下限を選定し、それぞれの評価部位に対して最も厳しい評価条件を適用する。
- (6) 吊具については、鉛直方向の地震力により発生する荷重に対して評価を行う。
- (7) 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

着脱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 4-1 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

着脱機の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 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

着脱機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 4-6 に示す。

着脱機の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 4-7 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	燃料チャンネル 着脱機	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 4-2 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	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	燃料チャンネル 着脱機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ 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 4-3 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*2 (ボルト等)	
	一次応力			一次応力	
	引張	せん断	組合せ	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *	1.5・f _t *	1.5・f _t *	1.5・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 4-4 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)
		フレーム		周囲環境温度	66	—	
バックプレート	周囲環境温度	50		—			
可動台	周囲環境温度	66		—			
カーブ上面固定ボルト	周囲環境温度	50		—			
バックプレート 押えボルト	周囲環境温度	50		—			

表 4-5 使用材料の許容荷重評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
チェーン		周囲環境温度	66			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		フレーム		周囲環境温度	100	—	
バックプレート	周囲環境温度	100		—			
可動台	周囲環境温度	100		—			
カーブ上面固定ボルト	周囲環境温度	100		—			
バックプレート 押えボルト	周囲環境温度	100		—			

表 4-7 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対象施設）

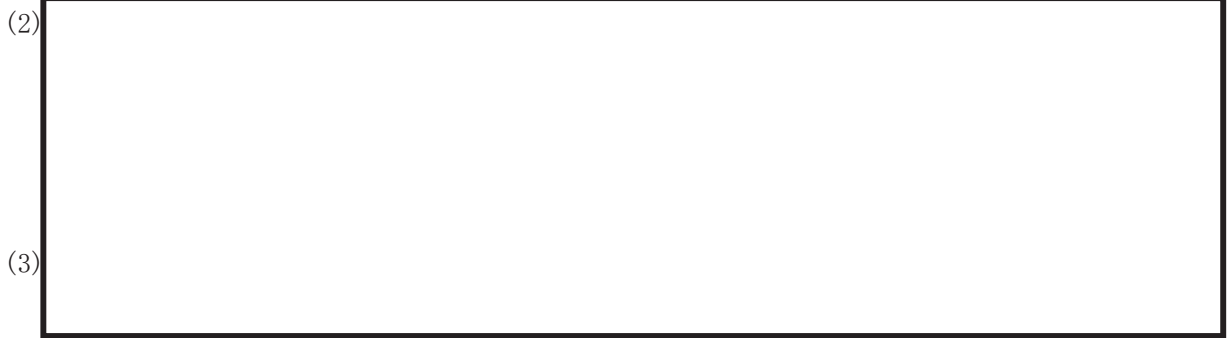
評価部材	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
		チェーン		周囲環境温度	100	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 解析モデル及び諸元

着脱機の解析モデルを図 4-1 に、解析モデル概要を以下に示す。また、機器諸元を【着脱機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 着脱機本体（フレーム、バックプレート及び可動台）をはり要素でモデル化した有限要素法モデルとする。なお、チェーンはモデル化を行わず質量をチェーンが接続する操作台の質点に付与する。



- (4) 鉛直方向の解析にあたっては、可動台の質量はフレーム上部の質点に付与する。
 (5) 質量には着脱機自身の質量，燃料の質量並びに水の付加質量を考慮する。
 (6) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し，固有値及び荷重を求める。

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，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 4-1 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。また、振動モード図を図 4-2～図 4-7 に示す。全ての可動台位置において固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-8 固有値解析結果

可動台位置	モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数*1		
				水平方向 (EW)	水平方向 (NS)	鉛直方向
新燃料搬入 位置	1 次	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]	[Blank]
	2 次					
常用上限	1 次					
	2 次					
常用下限	1 次					
	2 次					

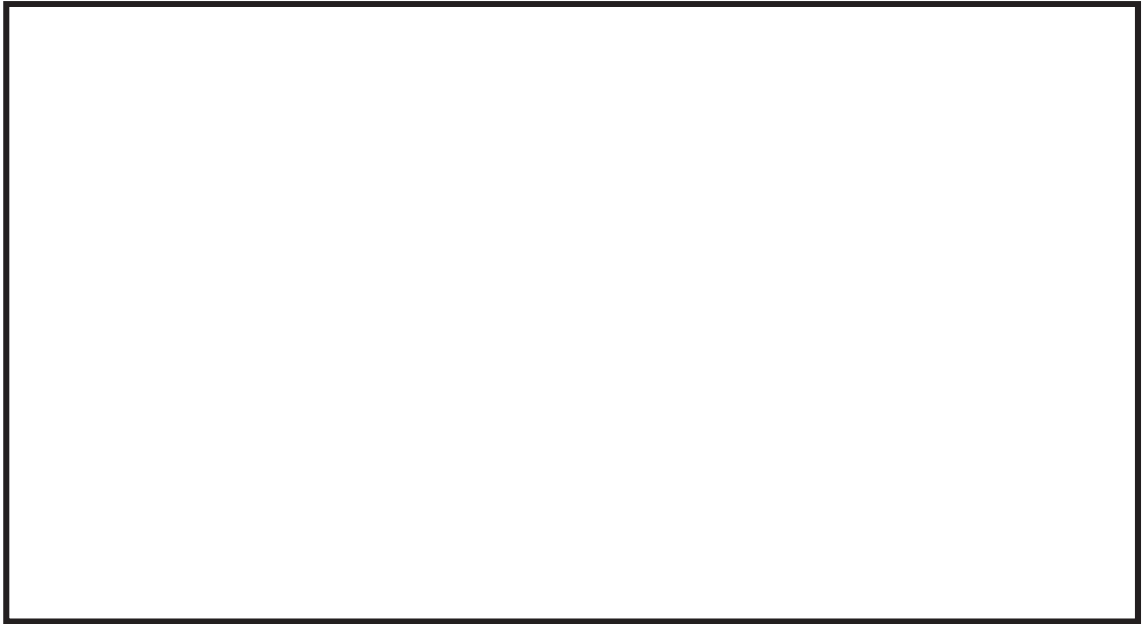
注記*1：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



全体図

拡大図

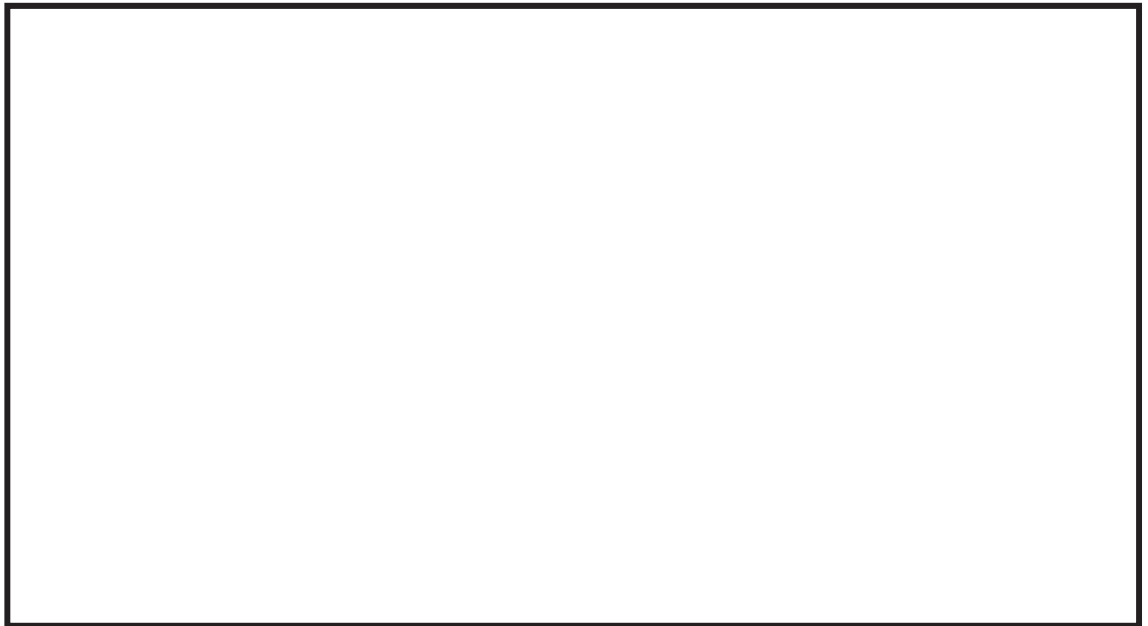
図 4-2 新燃料搬入位置 1 次モード



全体図

拡大図

図 4-3 新燃料搬入位置 2次モード



全体図

拡大図

図 4-4 常用上限 1次モード

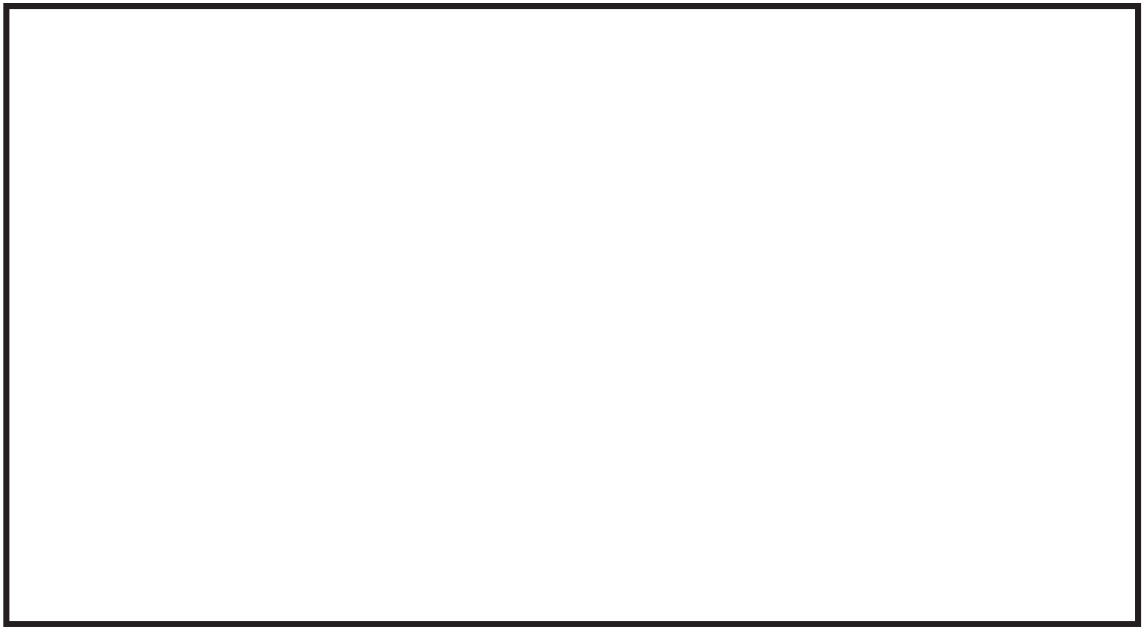
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



全体図

拡大図

図 4-5 常用上限 2次モード



全体図

拡大図

図 4-6 常用下限 1次モード

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



全体図

拡大図

図 4-7 常用下限 2次モード

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5 設計用地震力

水平方向の基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す作成方法に基づき EW 方向及び NS 方向について個別に策定する。なお、鉛直方向の基準地震動 S_s による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に記載の設計震度を適用する。

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

表 4-9 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
					EW 方向	NS 方向	
原子炉 建屋 O.P. 33.2			—	—	$C_H = 2.40$	$C_H = 2.65$	$C_V = 1.77$

注記*1：基準床レベルを示す。

表 4-10 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)		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
					EW 方向	NS 方向	
原子炉 建屋 O.P. 33.2			—	—	$C_H = 2.40$	$C_H = 2.65$	$C_V = 1.77$

注記*1：基準床レベルを示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) フレームの応力

a. 全引張応力 σ_{tF} の算出

(a) 引張力 F_{xF} による引張応力 σ_{xF}

$$\sigma_{xF} = F_{xF} / A_{1F} \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$

(b) 曲げモーメント M_{zF} , M_{yF} による応力 σ_{bF}

$$\sigma_{bF} = M_{zF} / Z_{zF} + M_{yF} / Z_{yF} \dots \dots \dots (4.6.1.2)$$

(c) 全引張応力 σ_{tF}

$$\sigma_{tF} = \sigma_{xF} + \sigma_{bF} \dots \dots \dots (4.6.1.3)$$

b. 全せん断応力 τ_{tF} の算出

(a) せん断力 F_{zF} , F_{yF} によるせん断応力 τ_{1F}

$$\tau_{1F} = \sqrt{(F_{zF} / A_{zF})^2 + (F_{yF} / A_{yF})^2} \dots \dots \dots (4.6.1.4)$$

(b) ねじりモーメント M_{xF} によるせん断応力 τ_{2F}

$$\tau_{2F} = K_F \times M_{xF} \dots \dots \dots (4.6.1.5)$$

(c) 全せん断応力 τ_{tF}

$$\tau_{tF} = \tau_{1F} + \tau_{2F} \dots \dots \dots (4.6.1.6)$$

c. 組合せ応力 σ_{c1F}

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

(2) バックプレートの応力

a. 全引張応力 σ_{tP} の算出

(a) 引張力 F_{xP} による引張応力 σ_{xP}

$$\sigma_{xP} = F_{xP} / A_{1P} \dots \dots \dots (4.6.1.8)$$

(b) 曲げモーメント M_{zP} , M_{yP} による応力 σ_{bP}

$$\sigma_{bP} = M_{zP} / Z_{zP} + M_{yP} / Z_{yP} \dots \dots \dots (4.6.1.9)$$

(c) 全引張応力 σ_{tP}

$$\sigma_{tP} = \sigma_{xP} + \sigma_{bP} \dots \dots \dots (4.6.1.10)$$

b. 全せん断応力 τ_{tP} の算出

(a) せん断力 F_{zP} , F_{yP} によるせん断応力 τ_{1P}

$$\tau_{1P} = \sqrt{\left(F_{zP} / A_{zP}\right)^2 + \left(F_{yP} / A_{yP}\right)^2} \dots \dots \dots (4.6.1.11)$$

(b) ねじりモーメント M_{xP} によるせん断応力 τ_{2P}

$$\tau_{2P} = K_P \times M_{xP} \dots \dots \dots (4.6.1.12)$$

(c) 全せん断応力 τ_{tP}

$$\tau_{tP} = \tau_{1P} + \tau_{2P} \dots \dots \dots (4.6.1.13)$$

c. 組合せ応力 σ_{c1P}

$$\sigma_{c1P} = \sqrt{\sigma_{tP}^2 + 3\left(\tau_{1P} + \tau_{2P}\right)^2} \dots \dots \dots (4.6.1.14)$$

(3) 可動台の応力

a. 全引張応力 σ_{tK} の算出

(a) 引張力 F_{xK} による引張応力 σ_{xK}

$$\sigma_{xK} = F_{xK} / A_{1K} \dots \dots \dots (4.6.1.15)$$

(b) 曲げモーメント M_{zK} , M_{yK} による応力 σ_{bK}

$$\sigma_{bK} = M_{zK} / Z_{zK} + M_{yK} / Z_{yK} \dots \dots \dots (4.6.1.16)$$

(c) 全引張応力 σ_{tK}

$$\sigma_{tK} = \sigma_{xK} + \sigma_{bK} \dots \dots \dots (4.6.1.17)$$

b. 全せん断応力 τ_{tK} の算出

(a) せん断力 F_{zK} , F_{yK} によるせん断応力 τ_{1K}

$$\tau_{1K} = \sqrt{\left(F_{zK} / A_{zK}\right)^2 + \left(F_{yK} / A_{yK}\right)^2} \dots \dots \dots (4.6.1.18)$$

(b) ねじりモーメント M_{xK} によるせん断応力 τ_{2K}

$$\tau_{2K} = K_K \times M_{xK} \dots \dots \dots (4.6.1.19)$$

(c) 全せん断応力 τ_{tK}

$$\tau_{tK} = \tau_{1K} + \tau_{2K} \dots \dots \dots (4.6.1.20)$$

c. 組合せ応力 σ_{c1K}

$$\sigma_{c1K} = \sqrt{\sigma_{tK}^2 + 3(\tau_{1K} + \tau_{2K})^2} \dots \dots \dots (4.6.1.21)$$

(4) カーブ上面固定ボルトの応力

a. 全引張応力 σ_{tB} の算出

(a) 引張力 F_{xB} による引張応力 σ_{xB} の算出

$$\sigma_{xB} = F_{xB} / A_{1B} \dots \dots \dots (4.6.1.22)$$

(b) 曲げモーメント M_{zB} , M_{yB} による応力 σ_{bB}

$$\sigma_{bB} = M_{zB} / Z_{zB} + M_{yB} / Z_{yB} \dots \dots \dots (4.6.1.23)$$

(c) 全引張応力 σ_{tB}

$$\sigma_{tB} = \sigma_{xB} + \sigma_{bB} \dots \dots \dots (4.6.1.24)$$

b. せん断力 F_{zB} , F_{yB} によるせん断応力 τ_{1B} の算出

$$\tau_{1B} = \sqrt{(F_{zB} / A_{1B})^2 + (F_{yB} / A_{1B})^2} \dots \dots (4.6.1.25)$$

(5) バックプレート押えボルトの応力

a. 全引張応力 σ_{tD} の算出

(a) 引張力 F_{xD} による引張応力 σ_{xD} の算出

$$\sigma_{xD} = F_{xD} / A_{1D} \dots \dots \dots (4.6.1.26)$$

(b) 曲げモーメント M_{zD} , M_{yD} による応力 σ_{bD}

$$\sigma_{bD} = M_{zD} / Z_{zD} + M_{yD} / Z_{yD} \dots \dots \dots (4.6.1.27)$$

(c) 全引張応力 σ_{tD}

$$\sigma_{tD} = \sigma_{xD} + \sigma_{bD} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.28)$$

b. せん断力 F_{zD} , F_{yD} によるせん断応力 τ_{1D} の算出

$$\tau_{1D} = \sqrt{\left(F_{zD}/A_{1D}\right)^2 + \left(F_{yD}/A_{1D}\right)^2} \quad \dots \dots (4.6.1.29)$$

4.6.2 荷重の計算方法

(1) 吊具に作用する荷重

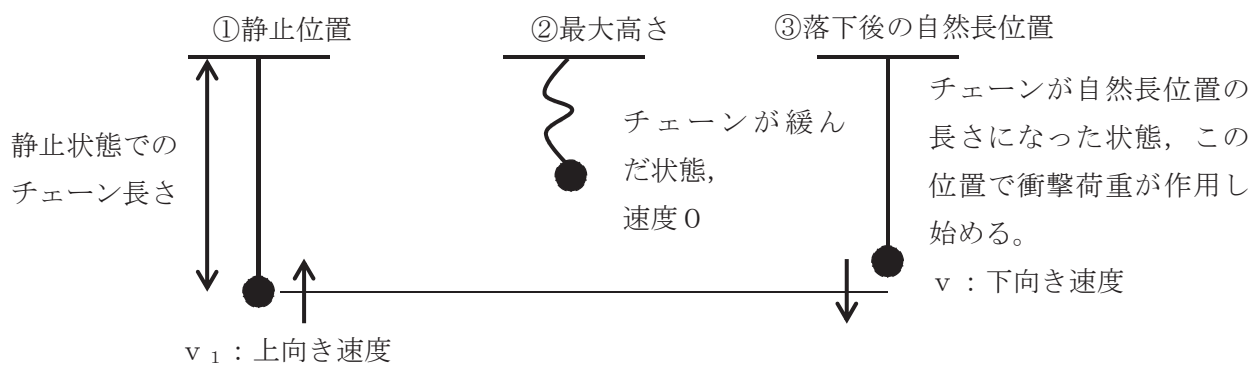
着脱機の吊荷荷重を受ける部位として、損傷・破断により吊荷（可動台及び燃料）の落下に至る可能性がある吊具（チェーン）を評価対象とする。

チェーンの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷に作用する地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、固有周期 T_w において基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線により得られる値を適用する。減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数である % を適用する。
- ・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。
- ・可動台及び吊荷の速度算出に当たっては、可動台、吊荷質量及びチェーン長さの評価条件を、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 チェーン長さは、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。評価に当たっては、チェーン長さに応じて吊荷の固有周期が変化するため、吊具に作用する荷重を求める際に用いる設計用床応答曲線より、震度が最大となる固有周期に相当する吊荷位置（チェーン長さ：）での評価を行う。
 - ② 吊荷の質量は、燃料及び可動台の質量ならびに水の付加質量とする。
- ・チェーンの荷重は、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、着脱機を4.5項で設定した設計用震度をもとに、吊荷が一度浮き上がって落下したときの衝撃荷重を算出する。
- ・着脱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着脱機速度を、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。

(2) 吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は、図 4-8 に示すように、鉛直方向に浮き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

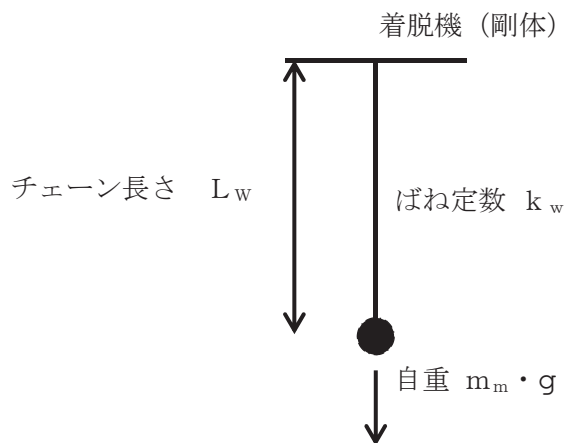
$$v = v_1$$

として評価を行う。

図 4-8 吊荷の浮上りの様子

(3) 吊荷の固有周期

図 4-9 に示すとおり，着脱機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：
$$T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_m}{k_w}} \quad \dots \quad (4.6.2.1)$$

図 4-9 吊荷の固有周期の算出

(4) 吊荷，着脱機 の速度の算出

以下の式に従い，吊荷及び着脱機に作用する最大加速度による速度を算出する。

$$v_1 = a_w \cdot g \cdot T_w / (2 \cdot \pi) \quad \dots \quad (4.6.2.2)$$

$$v_2 = C_v \cdot g \cdot T_f / (2 \cdot \pi) \quad \dots \quad (4.6.2.3)$$

(5) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり，チェーンに作用する荷重Fを算出する。

図 4-10 及び図 4-11 に示すように，チェーンの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷と着脱機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，保守的にチェーン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。

$$(\text{力積}) : \int_0^{\frac{T_w}{4}} F \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w} \right) \cdot dt \quad \dots \quad (4.6.2.4)$$

$$(\text{吊荷の運動量の変化}) : m_m \cdot (v_1 + v_2) \quad \dots \quad (4.6.2.5)$$

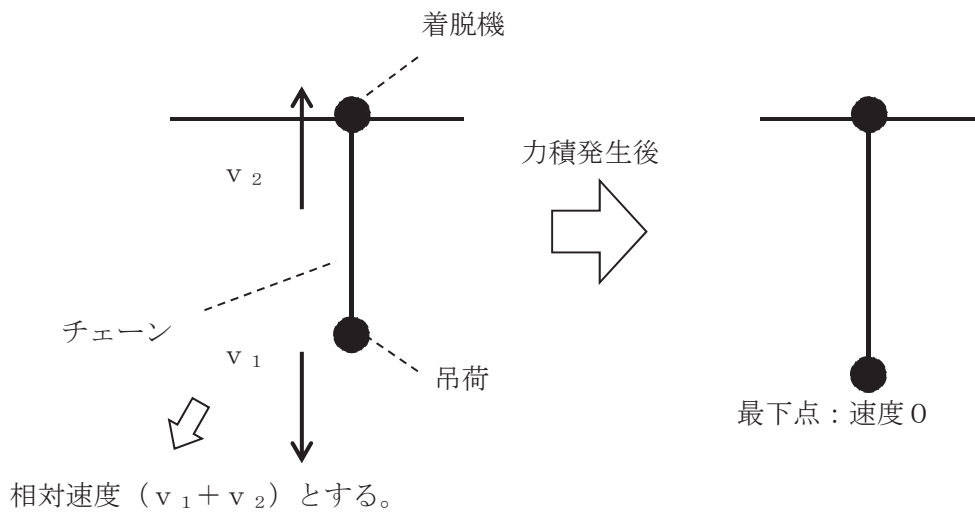


図 4-10 吊荷落下後の速度変化

吊荷の力積

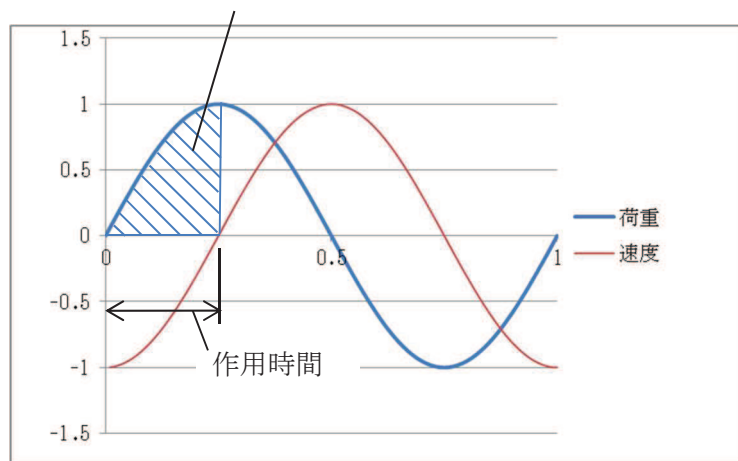


図 4-11 吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については、チェーンが完全弾性体で、吊荷と着脱機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、チェーンに作用する荷重を以下のとおり計算する。

$$F_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m_m \cdot g \quad \dots \quad (4.6.2.6)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（着脱機・吊荷）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【着脱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 応力及び荷重の評価

4.8.1 フレーム、バックプレート及び可動台の応力評価

4.6.1 項で求めたフレーム、バックプレート及び可動台の発生応力 σ_{tF} , σ_{c1F} , σ_{tP} , σ_{c1P} 及び σ_{tK} , σ_{c1K} が、許容引張応力 f_t 以下であること。また τ_{tF} , τ_{tP} 及び τ_{tK} が、許容せん断応力 f_s 以下であること。

ただし、各許容応力は下表による。

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

4.8.2 カーブ上面固定ボルト及びバックプレート押えボルトの応力評価

4.6.1 項で求めたカーブ上面固定ボルト及びバックプレート押えボルトの引張応力 σ_{tB} 及び σ_{tD} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。また、バックプレート押えボルト評価用については添え字を B→D に置き換える。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}] \dots \dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_{1B} 及び τ_{1D} は、せん断力のみを受けるカーブ上面固定ボルト及びバックプレート押えボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、各許容応力は下表による。

	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_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3 吊具の荷重評価

4.6.2 項で求めたチェーンの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

着脱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（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

着脱機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（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。

【着脱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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		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	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度		
							EW 方向	NS 方向			
燃料チャンネル着脱機	B	原子炉建屋 O.P. 33.2*1			—	—	C _H =2.40	C _H =2.65	C _V =1.77 又は*2	—	66/50

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により得られる値。吊荷の荷重算出に適用する。

1.2 機器要目

m _F (kg)	m _K (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (EW) (kg)	m _{wH} (NS) (kg)	m _{wN} (kg)	A _{1F} (mm ²)	A _{yF} (mm ²)	A _{zF} (mm ²)	K _F (mm ⁻³)	Z _{yF} (mm ³)	Z _{zF} (mm ³)

A _{1K} (mm ²)	A _{yK} (mm ²)	A _{zK} (mm ²)	K _K (mm ⁻³)	Z _{yK} (mm ³)	Z _{zK} (mm ³)	A _{1B} (mm ²)	K _B (mm ⁻³)	Z _{yB} (mm ³)	Z _{zB} (mm ³)	E (MPa)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_{1P} (mm ²)	A_{yP} (mm ²)	A_{zP} (mm ²)	K_P (mm ⁻³)	Z_{yP} (mm ³)	Z_{zP} (mm ³)
--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

--	--	--	--	--	--

A_{1D} (mm ²)	K_D (mm ⁻³)	Z_{yD} (mm ³)	Z_{zD} (mm ³)	L_w (mm)
--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------

--	--	--	--	--

S_y (フレーム) (MPa)	S_u (フレーム) (MPa)	$S_y(RT)$ (フレーム) (MPa)	F^* (フレーム) (MPa)
-----------------------	-----------------------	---------------------------	-----------------------

--	--	--	--

S_y (バックプレート) (MPa)	S_u (バックプレート) (MPa)	$S_y(RT)$ (バックプレート) (MPa)	F^* (バックプレート) (MPa)
--------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------

--	--	--	--

S_y (可動台) (MPa)	S_u (可動台) (MPa)	$S_y(RT)$ (可動台) (MPa)	F^* (可動台) (MPa)
----------------------	----------------------	--------------------------	----------------------

--	--	--	--

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

S _y (カーブ上面固定ボルト) (MPa)	S _u (カーブ上面固定ボルト) (MPa)	S _y (RT) (カーブ上面固定ボルト) (MPa)	F* (カーブ上面固定ボルト) (MPa)

S _y (バックプレート 押えボルト) (MPa)	S _u (バックプレート 押えボルト) (MPa)	S _y (RT) (バックプレート 押えボルト) (MPa)	F* (バックプレート 押えボルト) (MPa)

A _L (チェーン) (N)

1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
フレーム						

1.3.2 バックプレートの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xP} (N)	F_{yP} (N)	F_{zP} (N)	M_{xP} (N・mm)	M_{yP} (N・mm)	M_{zP} (N・mm)
バックプレート						

1.3.3 可動台の荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xK} (N)	F_{yK} (N)	F_{zK} (N)	M_{xK} (N・mm)	M_{yK} (N・mm)	M_{zK} (N・mm)
可動台						

1.3.4 カーブ上面固定ボルトの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S _s					
	荷 重			モーメント		
	F _{x B} (N)	F _{y B} (N)	F _{z B} (N)	M _{x B} (N・mm)	M _{y B} (N・mm)	M _{z B} (N・mm)
カーブ上面 固定ボルト						

1.3.5 バックプレート押えボルトの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S _s					
	荷 重			モーメント		
	F _{x D} (N)	F _{y D} (N)	F _{z D} (N)	M _{x D} (N・mm)	M _{y D} (N・mm)	M _{z D} (N・mm)
バックプレート 押えボルト						

1.3.6 吊具のばね定数及び吊荷・着脱機の加速度、固有周期並びに最大速度

k _w (N/mm)	a _w (-)	T _w (s)	T _f (s)	v ₁ (mm/s)	v ₂ (mm/s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4 結論

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
フレーム		引 張 り	—	—	$\sigma_{tF} = 12$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{tF} = 52$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1F} = 91$	$f_t =$
バックプレート		引 張 り	—	—	$\sigma_{tP} = 34$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{tP} = 102$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1P} = 180$	$f_t =$
可動台		引 張 り	—	—	$\sigma_{tK} = 39$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{tK} = 20$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1K} = 52$	$f_t =$
カーブ上面 固定ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_{tB} = 38$	$f_{ts} =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1B} = 2$	$f_{sb} =$
バックプレート 押えボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_{tD} = 103$	$f_{ts} =$
	せ ん 断	—	—	$\tau_{1D} = 7$	$f_{sb} =$	

注記*1: $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出。バックプレート押えボルト評価用については添え字を B→D に置き換える。すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(単位：N)

部 材	材 料	荷 重	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 荷 重	許 容 荷 重	算 出 荷 重	許 容 荷 重
チェーン		吊荷荷重	—	—	F _C = 5.000 × 10 ⁴	A _L =

すべて許容荷重以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		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	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度		
							EW 方向	NS 方向			
燃料チャンネル着脱機	—	原子炉建屋 O. P. 33. 2*1			—	—	C _H =2. 40	C _H =2. 65	C _V =1. 77 又は*2	—	100

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により得られる値。吊荷の荷重算出に適用する。

2.2 機器要目

m _F (kg)	m _K (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (EW) (kg)	m _{wH} (NS) (kg)	m _{wN} (kg)	A _{1F} (mm ²)	A _{yF} (mm ²)	A _{zF} (mm ²)	K _F (mm ⁻³)	Z _{yF} (mm ³)	Z _{zF} (mm ³)

A _{1K} (mm ²)	A _{yK} (mm ²)	A _{zK} (mm ²)	K _K (mm ⁻³)	Z _{yK} (mm ³)	Z _{zK} (mm ³)	A _{1B} (mm ²)	K _B (mm ⁻³)	Z _{yB} (mm ³)	Z _{zB} (mm ³)	E (MPa)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

A_{1P} (mm ²)	A_{yP} (mm ²)	A_{zP} (mm ²)	K_P (mm ⁻³)	Z_{yP} (mm ³)	Z_{zP} (mm ³)

A_{1D} (mm ²)	K_D (mm ⁻³)	Z_{yD} (mm ³)	Z_{zD} (mm ³)	L_w (mm)

S_y (フレーム) (MPa)	S_u (フレーム) (MPa)	$S_y(RT)$ (フレーム) (MPa)	F^* (フレーム) (MPa)

S_y (バックプレート) (MPa)	S_u (バックプレート) (MPa)	$S_y(RT)$ (バックプレート) (MPa)	F^* (バックプレート) (MPa)

S_y (可動台) (MPa)	S_u (可動台) (MPa)	$S_y(RT)$ (可動台) (MPa)	F^* (可動台) (MPa)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

S _y (カーブ上面固定ボルト) (MPa)	S _u (カーブ上面固定ボルト) (MPa)	S _y (R T) (カーブ上面固定ボルト) (MPa)	F* (カーブ上面固定ボルト) (MPa)

S _y (バックプレート 押えボルト) (MPa)	S _u (バックプレート 押えボルト) (MPa)	S _y (R T) (バックプレート 押えボルト) (MPa)	F* (バックプレート 押えボルト) (MPa)

A _L (チェーン) (N)

2.3 計算数値

2.3.1 フレームの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
フレーム						

2.3.2 バックプレートの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xP} (N)	F_{yP} (N)	F_{zP} (N)	M_{xP} (N・mm)	M_{yP} (N・mm)	M_{zP} (N・mm)
バックプレート						

2.3.3 可動台の荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xK} (N)	F_{yK} (N)	F_{zK} (N)	M_{xK} (N・mm)	M_{yK} (N・mm)	M_{zK} (N・mm)
可動台						

2.3.4 カーブ上面固定ボルトの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
カーブ上面 固定ボルト						

2.3.5 バックプレート押えボルトの荷重及びモーメント

部 材	基準地震動 S s					
	荷重			モーメント		
	F_{xD} (N)	F_{yD} (N)	F_{zD} (N)	M_{xD} (N・mm)	M_{yD} (N・mm)	M_{zD} (N・mm)
バックプレート 押えボルト						

2.3.6 吊具のばね定数及び吊荷・着脱機の加速度，固有周期並びに最大速度

k_w (N/mm)	a_w (-)	T_w (s)	T_f (s)	v_1 (mm/s)	v_2 (mm/s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 結論

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
フレーム		引 張 り	—	—	$\sigma_{tF} = 12$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{tF} = 52$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1F} = 91$	$f_t =$
バックプレート		引 張 り	—	—	$\sigma_{tP} = 34$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{tP} = 102$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1P} = 180$	$f_t =$
可動台		引 張 り	—	—	$\sigma_{tK} = 39$	$f_t =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{tK} = 20$	$f_s =$
		組 合 せ	—	—	$\sigma_{c1K} = 52$	$f_t =$
カーブ上面 固定ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_{tB} = 38$	$f_{ts} =$
		せ ん 断	—	—	$\tau_{1B} = 2$	$f_{sb} =$
バックプレート 押えボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_{tD} = 103$	$f_{ts} =$
	せ ん 断	—	—	$\tau_{1D} = 7$	$f_{sb} =$	

注記*1: $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出。バックプレート押えボルト評価用については添え字を B→D に置き換える。すべて許容応力以下である。

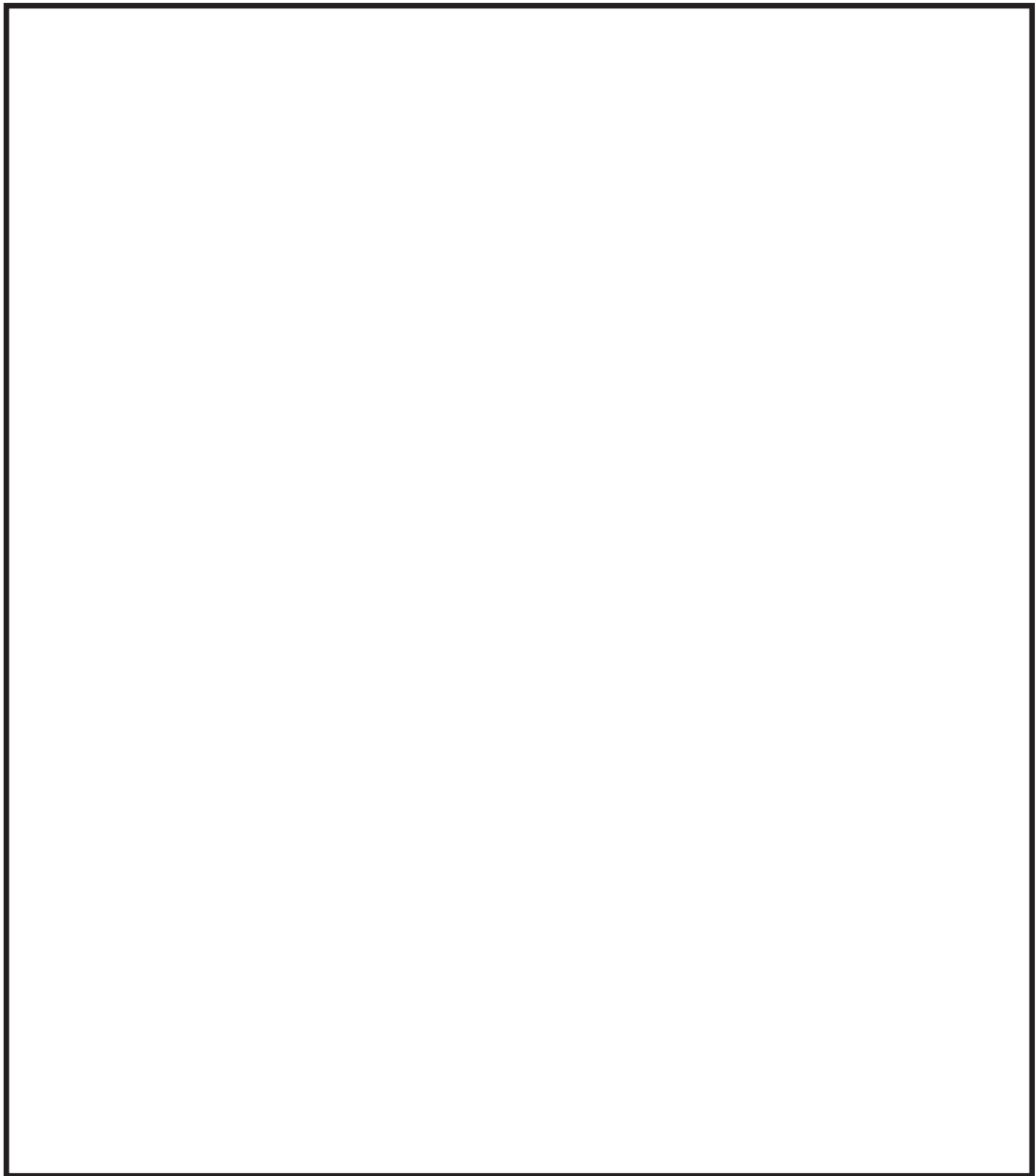
(単位：N)

部 材	材 料	荷 重	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算 出 荷 重	許 容 荷 重	算 出 荷 重	許 容 荷 重
チェーン		吊荷荷重	—	—	F _C = 5.000 × 10 ⁴	A _L =

すべて許容荷重以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. その他の機器要目
(1) 解析モデル図



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 断面性状・材料物性値

部材	要素	部材断面	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)
フレーム	a					66		0.3
可動台	b					66		0.3
操作台	c					50		0.3
操作台 (コーナープレート)	d					50		0.3
操作台 (ステー)	e					50 66		0.3

45

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材	要素	部材断面	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (-)
バックプレート (上板)	f					50		0.3
バックプレート	g					50 66		0.3
バックプレート フレーム	h					66		0.3

注：可動台-フレーム間の部材は剛体要素として設定。