

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-18改04
提出年月日	2023 年 3 月 24 日

VI-2-11-2-7-3 チャンネル着脱装置の耐震性についての計算書

2023 年 3 月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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	1
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	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	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	28
4.8 応力及び荷重の評価	28
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、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、下位クラス施設であるチャンネル着脱装置（以下「着脱装置」という。）（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、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。

2. 一般事項

2.1 配置概要

着脱装置は、原子炉建物 4 階に設置されている。着脱装置は、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燃料プールの壁面に設置されていることから、地震時に本機器が落下した場合は、燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

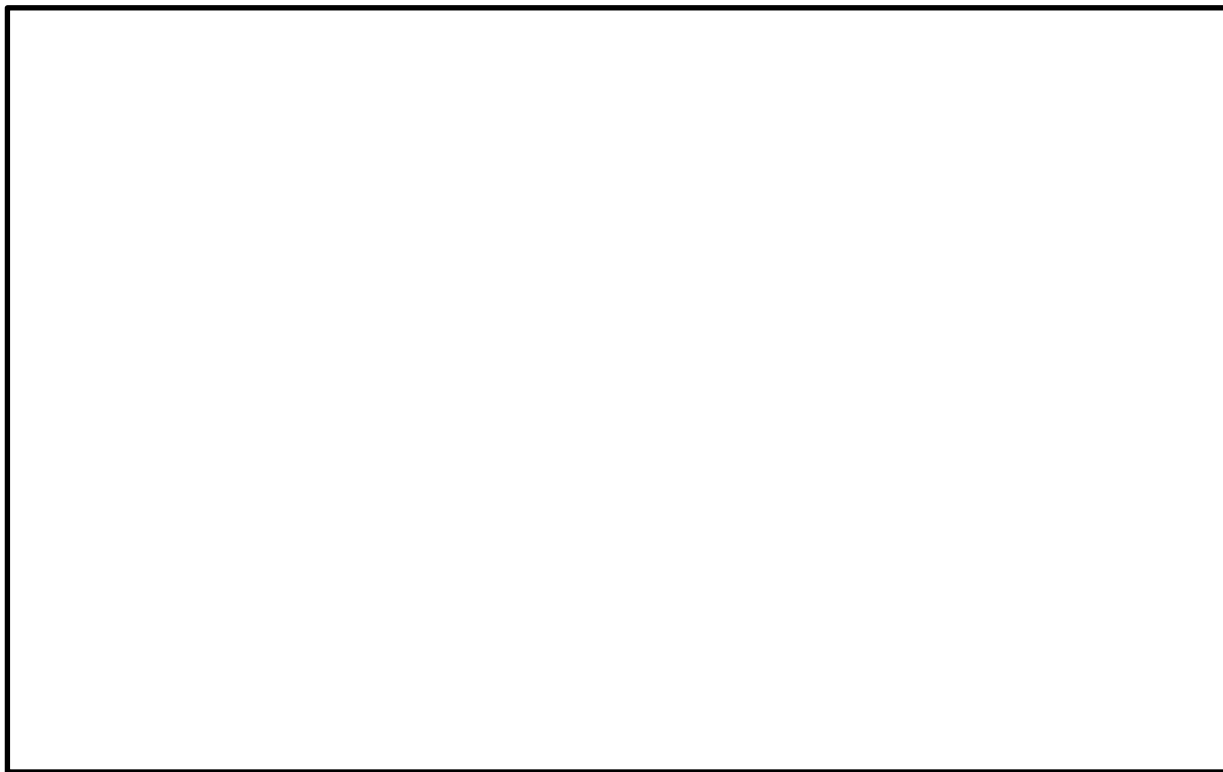


図 2-1 チャンネル着脱装置と燃料プール等の位置関係図

2.2 構造計画

着脱装置の構造計画を表 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	
ガイドレールは燃料プール壁面の金物に差し込まれており，上部に固定ボルトで取り付けられる。	燃料昇降式(カートがガイドレールに支持され，ローラチェーンを介して上下する昇降装置。)	

2.3 評価方針

着脱装置の応力評価は、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」にて示す着脱装置の部位を踏まえ、「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。

着脱装置の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

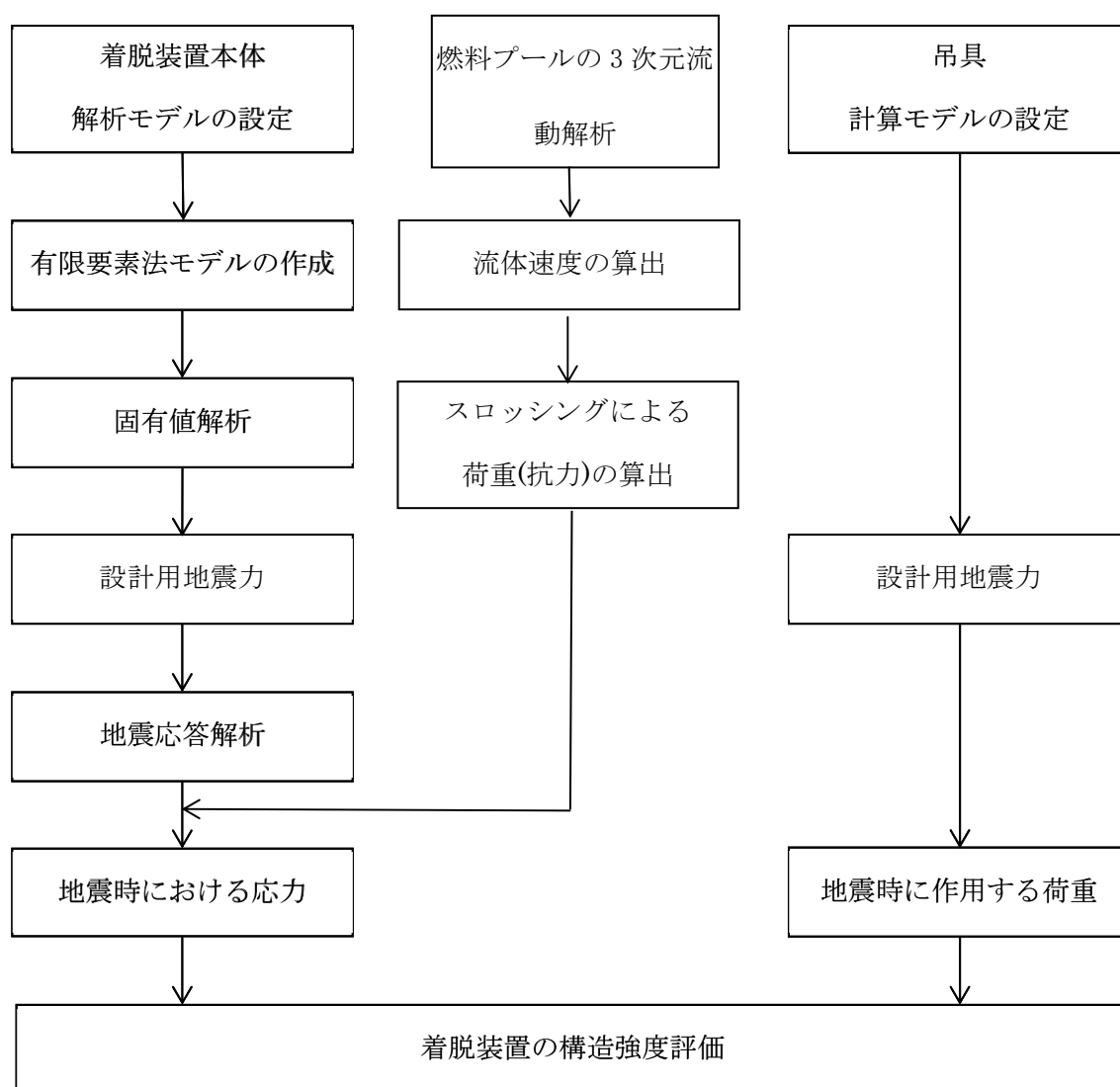


図 2-2 着脱装置の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する適用規格・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。)
- ・日本産業規格 (J I S)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.5 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{1G}	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	ローラチェーンの許容荷重	N
A_s	スロッシングによるガイドレール、カート及び燃料の投影面積	mm^2
C_d	抗力係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	ガイドレール及びカートの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{xG}	ガイドレールに作用する軸力 (x 方向)	N
F_{yG}	ガイドレールに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_{zG}	ガイドレールに作用するせん断力 (z 方向)	N
F_C	ローラ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固定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固定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固定ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
M_{xG}	ガイドレールのねじりモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{yG}	ガイドレールの曲げモーメント (y 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{zG}	ガイドレールの曲げモーメント (z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガイドレールの質量	kg
m_F	カートの質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
m_{wH}	水平方向の水の付加質量	kg
P_t	スロッシングによりガイドレール、カート及び燃料に生じる抗力	N
S_u	ガイドレール及びカート：日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017) に定める値	MPa
S_y	固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 ガイドレール及びカート：日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017) に定める値	MPa
V	固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 スロッシングによる流速	m/s

記 号	記 号 の 説 明	単 位
Z_{pG}	ガイドレールのねじり断面係数	mm^3
Z_{yG}	ガイドレールの断面係数 (y 軸)	mm^3
Z_{zG}	ガイドレールの断面係数 (z 軸)	mm^3
ν	ポアソン比	—
θ	最外郭固定ボルト角度	rad
ρ	水の比重	kg/m^3
σ_{1G}	ガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{c1G}	ガイドレールの組合せ応力	MPa
σ_{xG}	x 方向の荷重によるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{yG}	y 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{zG}	z 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{1B}	固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{xB}	x 方向の荷重による固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{yB}	y 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{zB}	z 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
τ_{1G}	ガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{xG}	x 方向のモーメントによるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{yG}	y 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{zG}	z 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa

注：記号右端添え字に_Gが付くものは，ガイドレール評価用を代表で示したものであり，カート評価用については_G→_F，固定ボルト評価用については_G→_Bに置き換える。

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 ^{*1}
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
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
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
角度		rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 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 付録材料図表及び日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017)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

着脱装置の耐震評価は、「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、着脱装置本体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、主要構造物であるガイドレール、カート、固定ボルト及び吊具（ローラチェーン）について実施する。着脱装置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) 着脱装置を構成する部材をはり要素にてモデル化した 3 次元有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析（NS 方向及び EW 方向）及び静解析（鉛直方向）を適用する。
- (2) 地震力は、着脱装置に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S 法を適用する。
- (3) 地震力及びスロッシング荷重は、ガイドレール及びカー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、強度評価において S R S S 法にて組合せる。
- (4) ガイドレールは、燃料プール壁面の固定ボルト及び金物により荷重を支持する構造であるため、該当部位の変位を拘束する。
- (5) カートに設置される燃料は、集中質量として設定する。
- (6) カートはガイドレールに対して鉛直方向にスライド可能とし、鉛直方向はローラチェーンにより支持される。
- (7) カートの位置については、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の条件に対する評価条件としてカート位置が上端及び下端について評価し、最も厳しい下端の場合について記載する。
- (8) 吊具については、ローラチェーンの鉛直方向を剛構造とみなし、鉛直方向の設計震度に対応した荷重を算出する。
- (9) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重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

着脱装置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

着脱装置の許容応力は，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及び許容荷重評価条件

着脱装置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 4-6 に示す。

着脱装置の使用材料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	チャンネル 着脱装置	B	— *1	$D + P_D + M_D + S_S$ *2	$IV_A S$

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：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

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
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱装置	—	— *1	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ *2	$V_A S$ ($V_A S$ 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：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価））

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	組合せ	引張り	せん断
IV _A S					
V _A S (V _A Sとして、IV _A Sの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 (℃)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ガイドレール		周囲環境温度	66	—			
カート		周囲環境温度	66	—			
固定ボルト		周囲環境温度	66	—			

注記＊： J I S H 4 1 0 0 相当

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 (℃)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ローラチェーン		周囲環境温度	66			

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)
ガイドレール		周囲環境温度	100	—			
カート		周囲環境温度	100	—			
固定ボルト		周囲環境温度	100	—			

注記＊： J I S H 4 1 0 0 相当

表 4-7 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

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

4.3 解析モデル及び諸元

着脱装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデル概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【チャンネル着脱装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ガイドレール及びカートをはり要素でモデル化した FEMモデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、固定ボルト部を完全拘束とする。また、金物については、水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向を拘束する。ローラチェーンはループ状になっており、ガイドレールの上部及び下部に取り付けられたスプロケットにより回転及び停止する。ローラチェーンの回転によってカートは鉛直方向に昇降し、ローラチェーンの停止によってカートの鉛直方向は固定される。よって、カートのローラチェーン取付け部の鉛直方向を拘束する。
- (3) 結合条件は、カート及びガイドレール間の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向のみを結合する。なお、固定ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 解析コードは「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。
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、VI-5 「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (5) 質量には着脱装置自身の質量、燃料の質量及び水の付加質量*を考慮し、着脱装置自身の質量及び水の付加質量については、フレーム全長に渡って、等分布に与える。燃料（水の付加質量を含む）については、カートの上下位置に集中質量として与える。

注記*：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

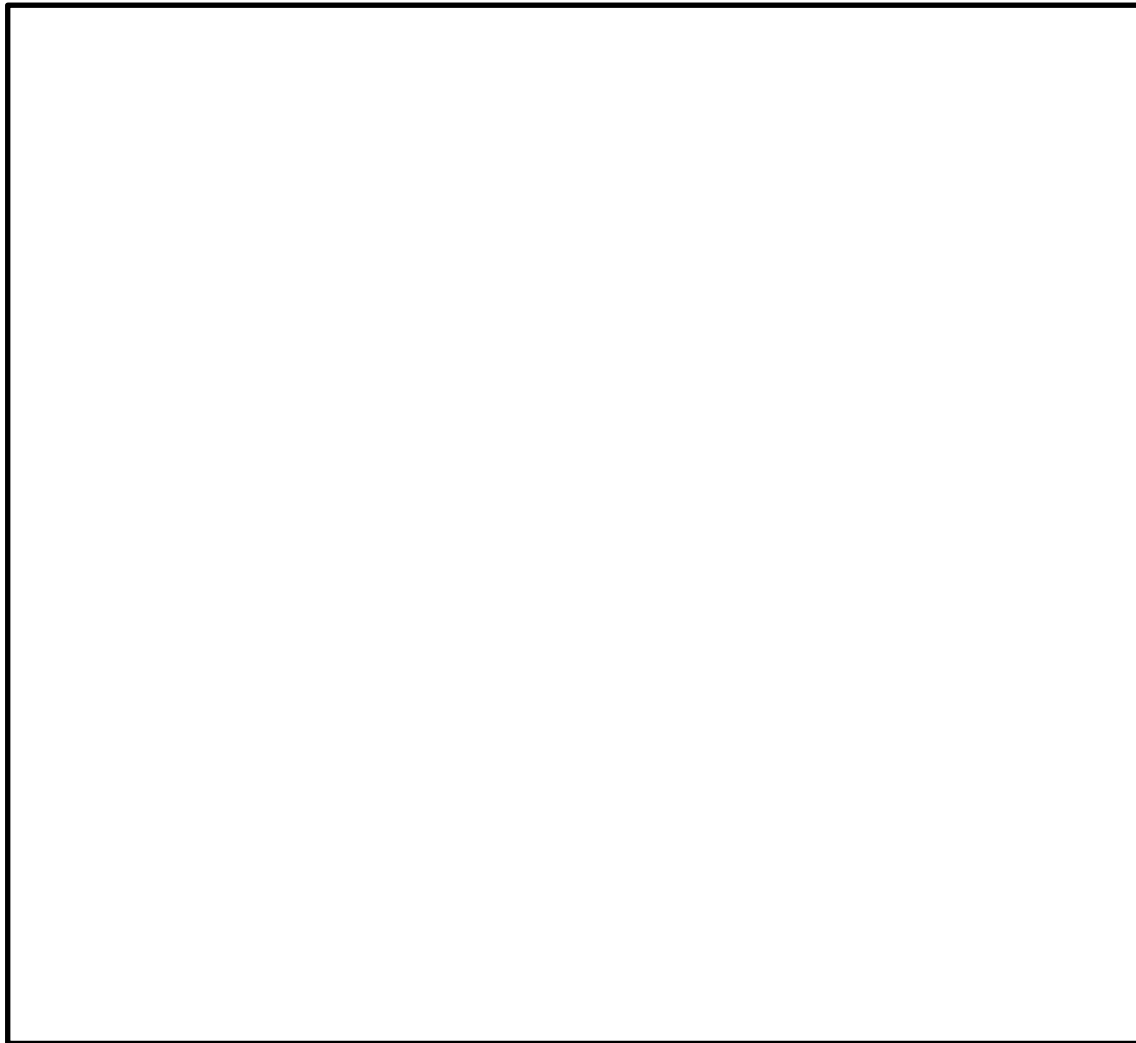


図 4-1 解析モデル

表 4-8 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	ガイドレール	—		
	カート	—		
	固定ボルト	—		
	ローラチェーン	—		
質量	ガイドレール	m_G		
	カート	m_F		
温度条件 (周囲環境温度, 設計基準対象施設)		—	℃	66
温度条件 (周囲環境温度, 重大事故等対処設備)		—	℃	100
縦弾性係数	ガイドレール	E		
	カート	E		
ポアソン比		ν		
要素数		—		
節点数		—		

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-9、振動モード図を図 4-2～図 4-6 に示す。水平方向の固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向の固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-9 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			N S 方向	E W 方向	鉛直方向

注記＊：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

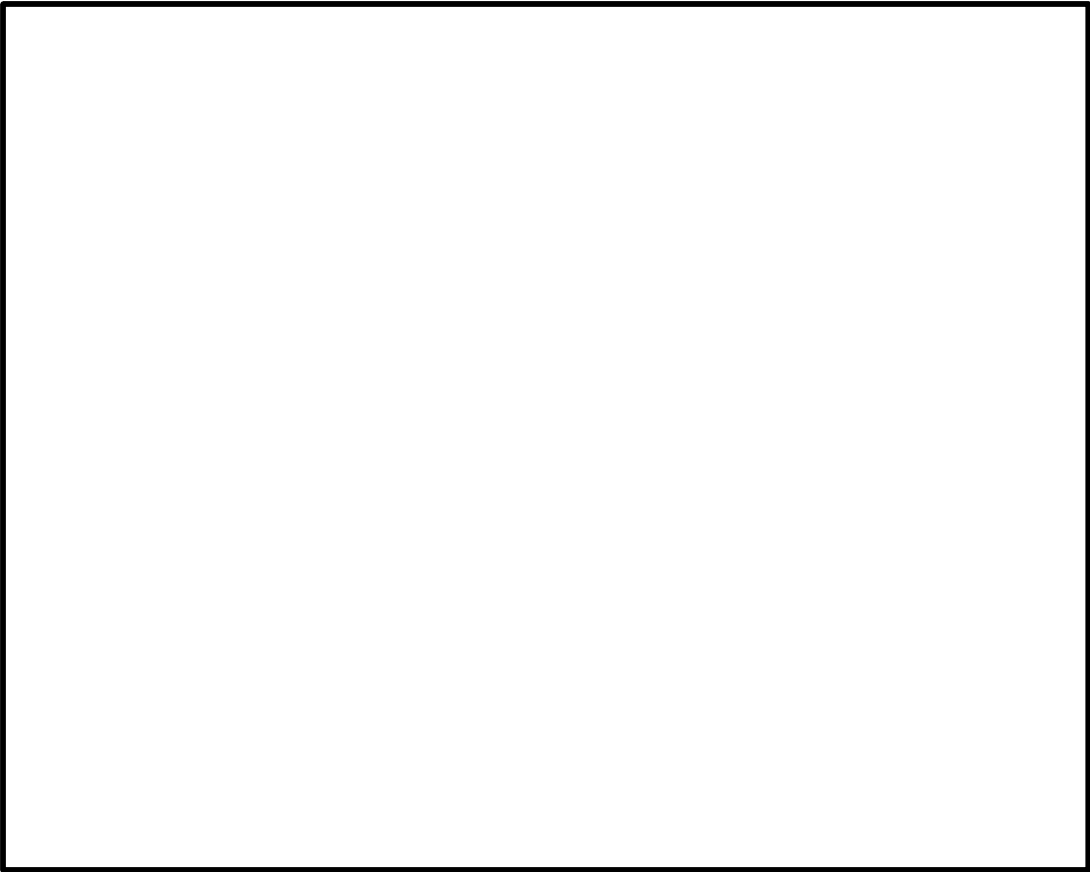


図 4-2 振動モード図（1 次）

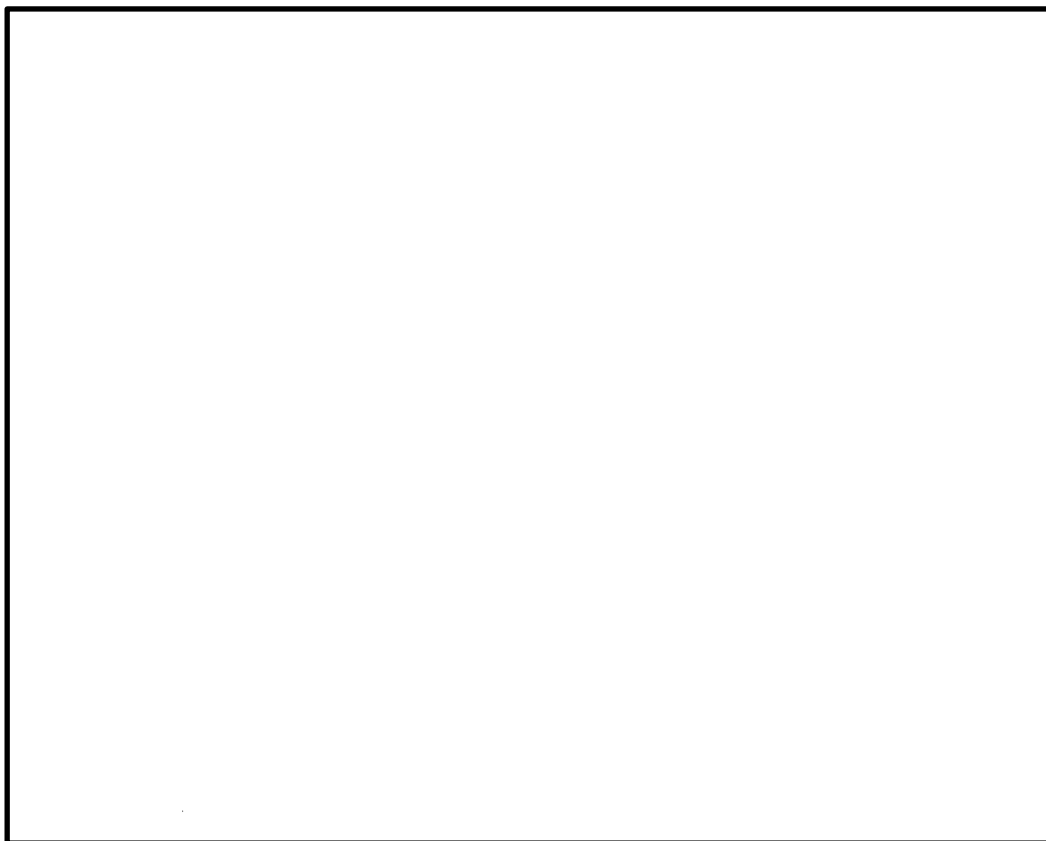


図 4-3 振動モード図 (2 次)



図 4-4 振動モード図 (3 次)

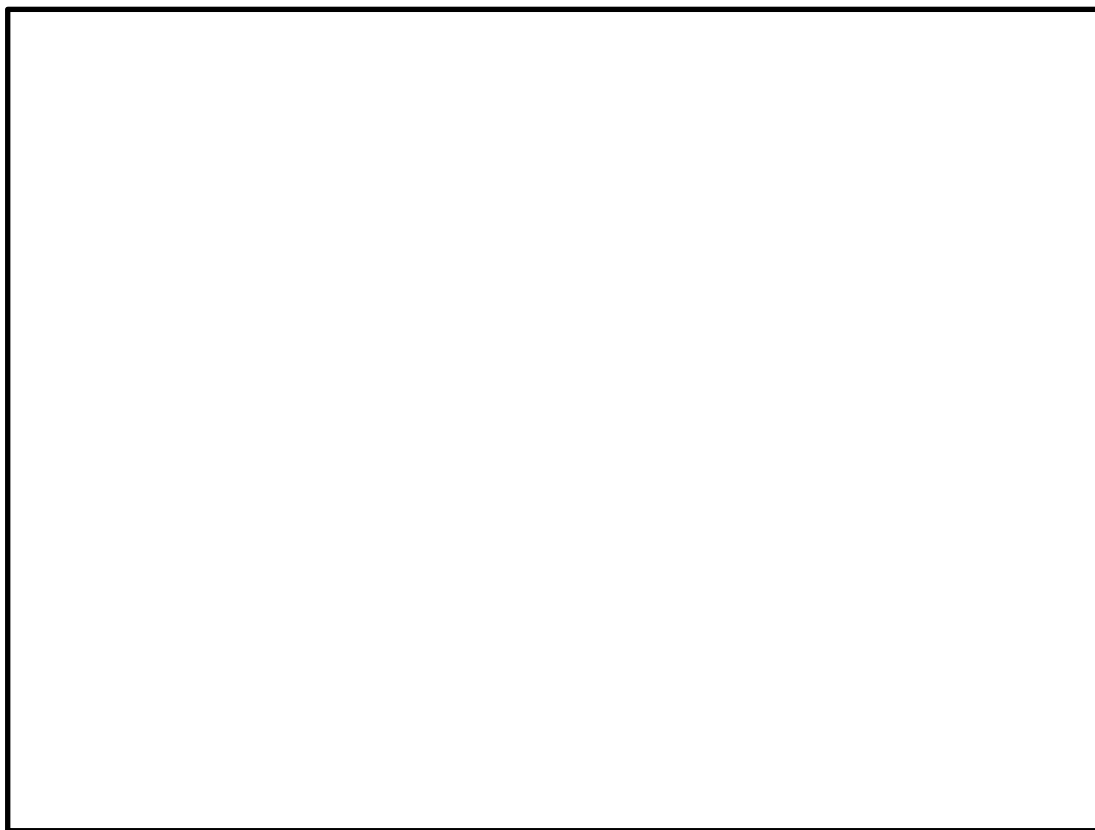


図 4-5 振動モード図 (4 次)

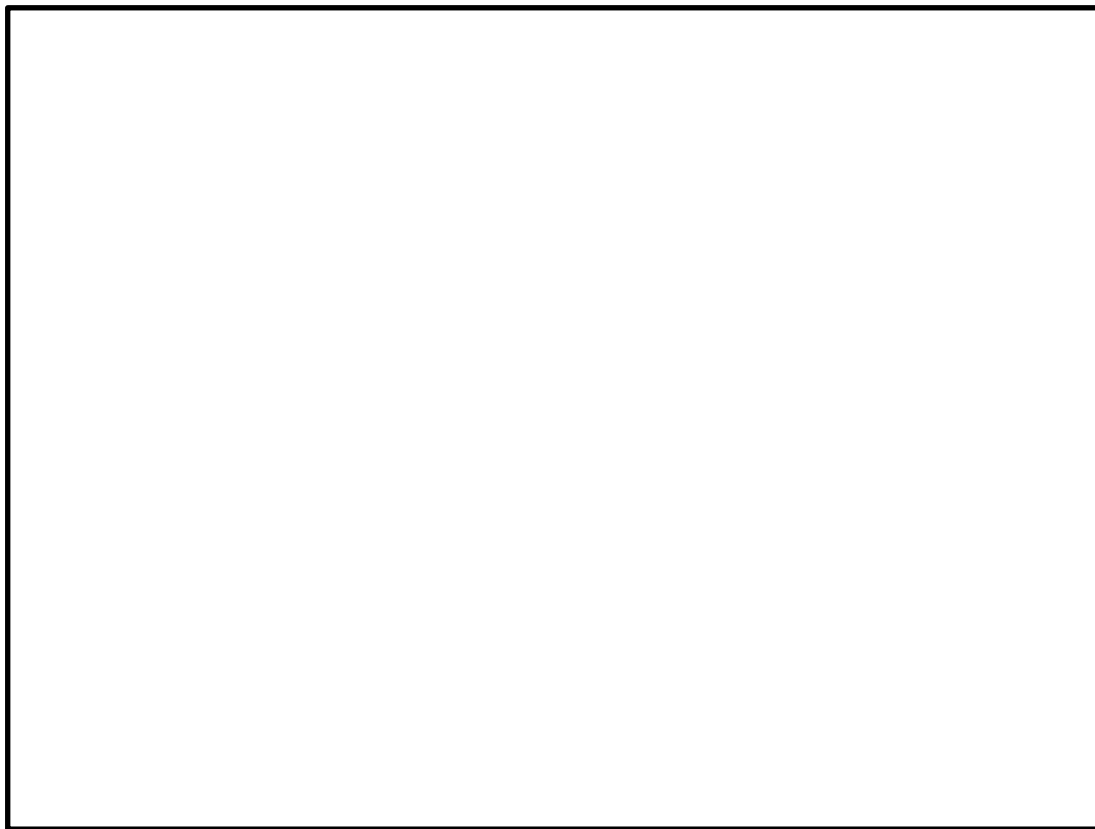


図 4-6 振動モード図 (5 次)

4.5 設計用地震力

耐震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「設計用床応答スペクトルの作成方針」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)		原子炉建物 EL 42.8* ¹		
減衰定数(%)		水平：2.0* ² 鉛直：－		
地震力		基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：全体的にボルト締結による構造であるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づきボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s ）により得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）

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)		原子炉建物 EL 42.8* ¹		
減衰定数(%)		水平：2.0* ² 鉛直：－		
地震力		基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：全体的にボルト締結による構造であるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づきボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお，0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) ガイドレールの応力

ガイドレールに加わる荷重は，図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて，スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し，スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は，並進力 F_{xG} ， F_{yG} ， F_{zG} ，モーメント力 M_{xG} ， M_{yG} ， M_{zG} 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。

$$\sigma_{xG} = \frac{F_{xG}}{A_{1G}}, \quad \sigma_{yG} = \frac{M_{yG}}{Z_{yG}}, \quad \sigma_{zG} = \frac{M_{zG}}{Z_{zG}} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_{xG} = \frac{M_{xG}}{Z_{pG}}, \quad \tau_{yG} = \frac{F_{yG}}{A_{1G}}, \quad \tau_{zG} = \frac{F_{zG}}{A_{1G}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1G} = |\sigma_{xG}| + |\sigma_{yG}| + |\sigma_{zG}| \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1G} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xG}| + |\tau_{yG}|)^2 + |\tau_{zG}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yG}|^2 + (|\tau_{xG}| + |\tau_{zG}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1G} = \sqrt{\sigma_{1G}^2 + 3 \cdot \tau_{1G}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

(2) カートの応力

カートに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xF} , F_{yF} , F_{zF} , モーメント力 M_{xF} , M_{yF} , M_{zF} 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。

$$\sigma_{xF} = \frac{F_{xF}}{A_{1F}}, \quad \sigma_{yF} = \frac{M_{yF}}{Z_{yF}}, \quad \sigma_{zF} = \frac{M_{zF}}{Z_{zF}} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

$$\tau_{xF} = \frac{M_{xF}}{Z_{pF}}, \quad \tau_{yF} = \frac{F_{yF}}{A_{1F}}, \quad \tau_{zF} = \frac{F_{zF}}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = |\sigma_{xF}| + |\sigma_{yF}| + |\sigma_{zF}| \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xF}| + |\tau_{yF}|)^2 + |\tau_{zF}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yF}|^2 + (|\tau_{xF}| + |\tau_{zF}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.9)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.10)$$

(3) 固定ボルトの応力

固定ボルトに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xB} , F_{yB} , F_{zB} , モーメント力 M_{xB} , M_{yB} , M_{zB} 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。

$$\sigma_{xB} = \frac{F_{xB}}{A_{1B}}, \quad \sigma_{yB} = \frac{M_{yB}}{Z_{yB}}, \quad \sigma_{zB} = \frac{M_{zB}}{Z_{zB}} \quad \dots \quad (4.6.1.11)$$

$$\tau_{xB} = \frac{M_{xB}}{Z_{pB}}, \quad \tau_{yB} = \frac{F_{yB}}{A_{1B}}, \quad \tau_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.1.12)$$

b. 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = |\sigma_{xB}| + |\sigma_{yB}| + |\sigma_{zB}| \quad \dots \quad (4.6.1.13)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \sqrt{(\tau_{yB} + \tau_{xB} \cdot \sin \theta)^2 + (\tau_{zB} + \tau_{xB} \cdot \cos \theta)^2} \quad \dots \quad (4.6.1.14)$$

ガイドレールの最大応力発生部材を図 4-1 の㉑ , カートの最大応力発生部位を図 4-1 の㉒ に示す。

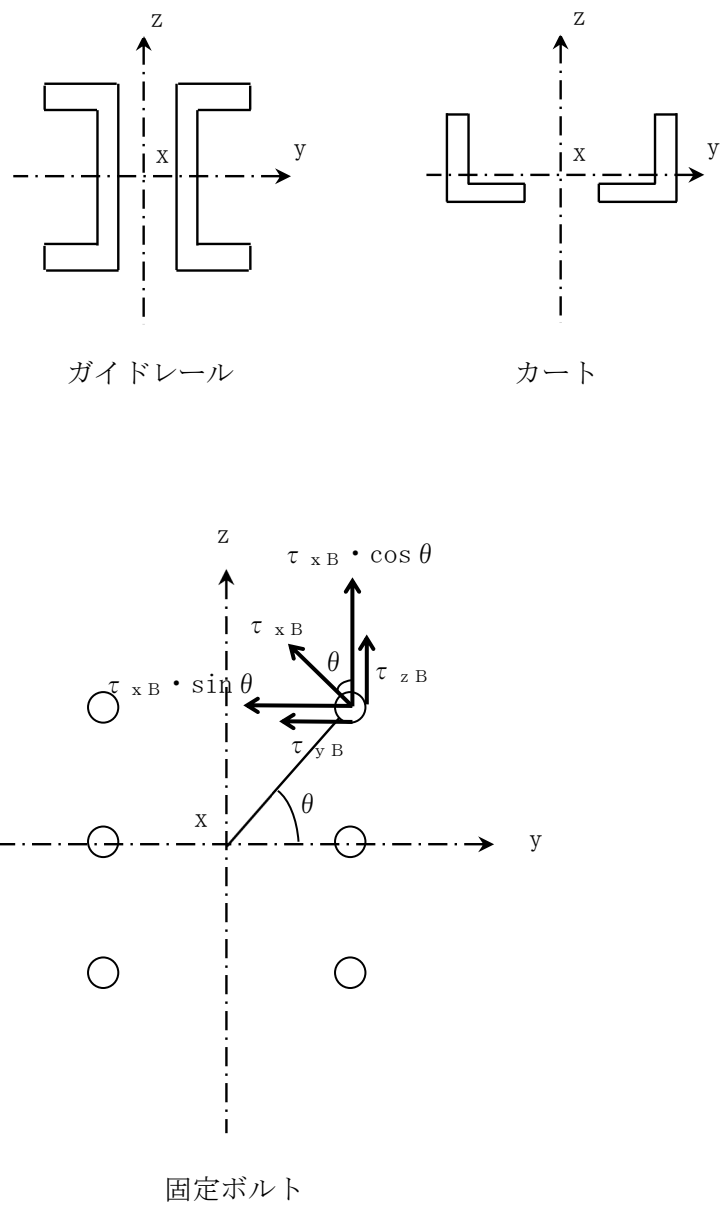
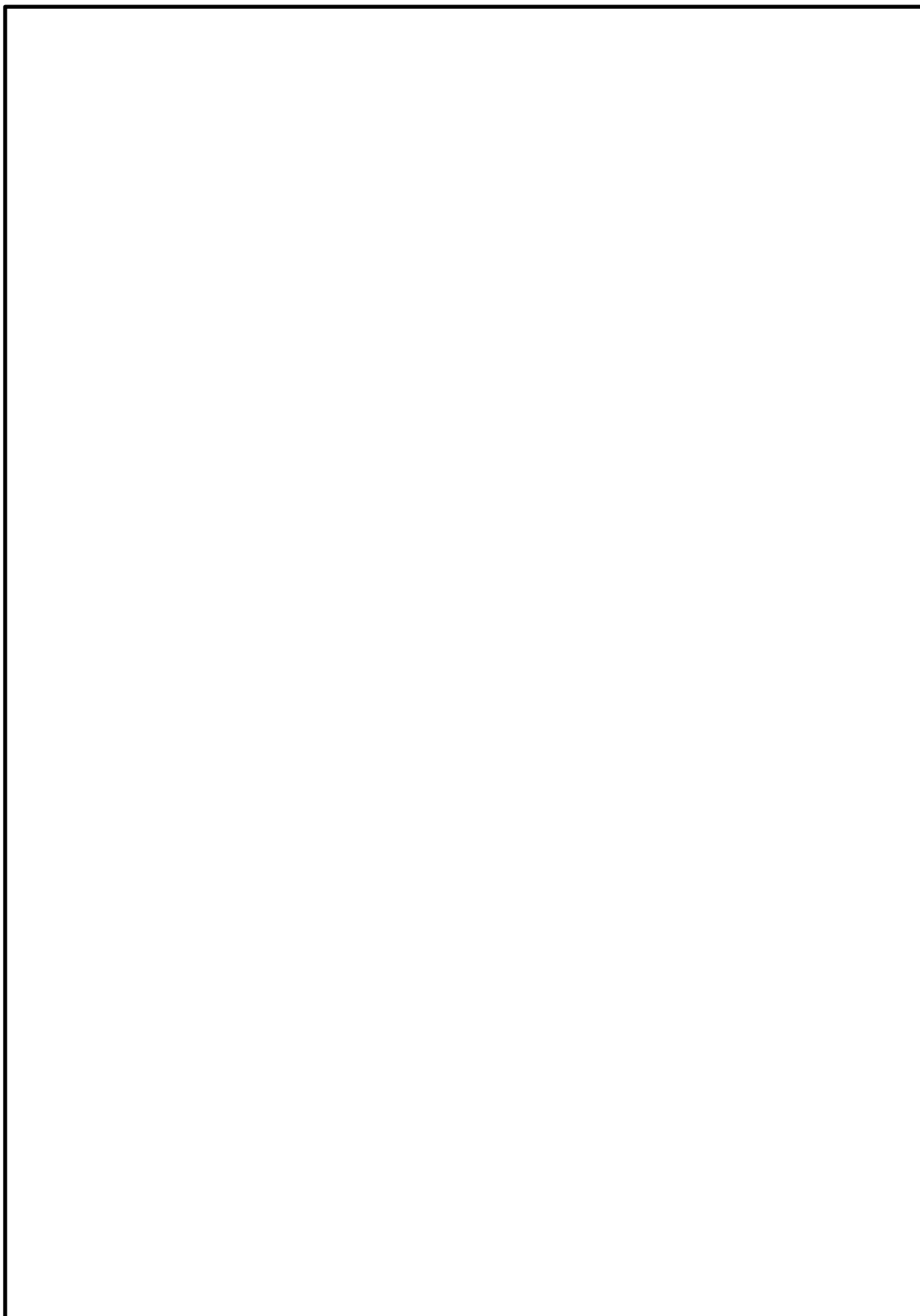


図 4-7 部材断面

注： x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

4.6.2 荷重の計算方法



4.6.3 スロッシング荷重（抗力）の計算方法

- (1) スロッシングによる荷重（抗力）の算出については、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」2.3「地震起因による溢水」に示す基準地震動 S_s （ S_s-D ）による燃料プールの3次元流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データより水平方向における水深ごとの最大流速を用い、ガイドレール、カート及び燃料に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編（2007）より 2.0 とする。

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

4.7 計算条件

耐震解析に用いる自重（着脱装置）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【着脱装置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 ガイドレール及びカートの応力評価

4.6.1 項で求めたガイドレール及びカートの各応力が下表で定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 固定ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた固定ボルトの引張応力 σ_{1B} 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。

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

せん断応力 τ_{1B} は、せん断力のみを受ける固定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_{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 項で求めたローラ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

着脱装置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

着脱装置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。

【チャンネル着脱装置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 (℃)	周囲環境 温度 (℃)
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル 着脱装置	B	原子炉建物 EL 42.8 ^{*1}							—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）により得られる震度

1.2 機器要目

m _G (kg)	m _F (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (kg)		E (MPa)	ν	A _L （ローラチェーン） (N)
			NS 方向	EW 方向			

部材	A _{1G} (mm ²)	Z _{pG} (mm ³)	Z _{yG} (mm ³)	Z _{zG} (mm ³)
ガイドレール				

部材	A_{1F} (mm ²)	Z_{pF} (mm ³)	Z_{yF} (mm ³)	Z_{zF} (mm ³)
カート				

部材	A_{1B} (mm ²)	Z_{pB} (mm ³)	Z_{yB} (mm ³)	Z_{zB} (mm ³)	θ (rad)
固定ボルト					

部材	材料	S_y (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

1.3 計算数値

1.3.1 ガイドレール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 G (N)	F y G (N)	F z G (N)	M x G (N・mm)	M y G (N・mm)	M z G (N・mm)
ガイドレール						

1.3.2 カ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 x F (N)	F y F (N)	F z F (N)	M x F (N・mm)	M y F (N・mm)	M z F (N・mm)
カート						

1.3.3 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)
固定ボルト						

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位 : s)

方向	固有周期

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
ガイドレール		曲げ	$\sigma_{1G} = 120$	$f_t = 184$
		せん断	$\tau_{1G} = 3$	$f_s = 106$
		組合せ	$\sigma_{c1G} = 120$	$f_t = 184$
カート		曲げ	$\sigma_{1F} = 87$	$f_t = 105$
		せん断	$\tau_{1F} = 2$	$f_s = 60$
		組合せ	$\sigma_{c1F} = 87$	$f_t = 105$
固定ボルト		引張り	$\sigma_{1B} = 330$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_{1B} = 14$	$f_{sb} = 349$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出
 すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	基準地震動 S_s	
			算出荷重	許容荷重
ローラチェーン		吊荷荷重	$F_C = 1.652 \times 10^4$	$A_L = 4.020 \times 10^4$

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			最高使用 温度 (℃)	周囲環境 温度 (℃)
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル 着脱装置	—	原子炉建物 EL 42.8* ¹							—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）により得られる震度

2.2 機器要目

m _G (kg)	m _F (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (kg)		E (MPa)	ν	A _L (ローラチェーン) (N)
			NS 方向	EW 方向			

部材	A _{1G} (mm ²)	Z _{pG} (mm ³)	Z _{yG} (mm ³)	Z _{zG} (mm ³)
ガイドレール				

部材	A_{1F} (mm ²)	Z_{pF} (mm ³)	Z_{yF} (mm ³)	Z_{zF} (mm ³)
カート				

部材	A_{1B} (mm ²)	Z_{pB} (mm ³)	Z_{yB} (mm ³)	Z_{zB} (mm ³)	θ (rad)
固定ボルト					

部材	材料	S_y (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
ガイドレール					
カート					
固定ボルト					

2.3 計算数値

2.3.1 ガイドレール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_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

2.3.2 カ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_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

2.3.3 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)
固定ボルト						

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位 : s)

方向	固有周期

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
ガイドレール		曲げ	$\sigma_{1G} = 120$	$f_t = 182$
		せん断	$\tau_{1G} = 3$	$f_s = 105$
		組合せ	$\sigma_{c1G} = 120$	$f_t = 182$
カート		曲げ	$\sigma_{1F} = 87$	$f_t = 103$
		せん断	$\tau_{1F} = 2$	$f_s = 59$
		組合せ	$\sigma_{c1F} = 87$	$f_t = 103$
固定ボルト		引張り	$\sigma_{1B} = 330$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	$\tau_{1B} = 14$	$f_{sb} = 341$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出
 すべて許容応力以下である。

2.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	基準地震動 S_s	
			算出荷重	許容荷重
ローラチェーン		吊荷荷重	$F_C = 1.652 \times 10^4$	$A_L = 4.020 \times 10^4$

すべて許容荷重以下である。