

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-19-0080_改1
提出年月日	2021年10月8日

VI-2-4-2-3 制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

02 ③ VI-2-4-2-3 R0

2021年10月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.3 設計用地震力	18
5.4 計算方法	20
5.4.1 ラック部材の応力	20
5.4.2 ラック基礎ボルトの応力	22
5.4.3 支持ビーム部材の応力	24
5.4.4 支持ビーム基礎ボルトの応力	26
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
5.6.1 部材の応力評価	28
5.6.2 基礎ボルトの応力評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 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-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）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説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表 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>ラックは、たて置ラック式でベースが使用済燃料プールの底に基礎ボルトを介して固定され、さらに、側壁から支持ビームを介して支持される。</p> <p>底部基礎ボルトは使用済燃料プール床のネジ座に締結され、ネジ座にはネジ棒及びターンバックルを介して埋込ボルトが接続される。</p> <p>支持ビーム基礎ボルトは使用済燃料プール壁のネジ座に締結され、ネジ座には埋込ボルトが接続される。</p> <p>なお、ネジ座、ネジ棒、ターンバックル及び埋込ボルトは、使用済燃料プール床及び壁のコンクリートに埋込まれている。</p>	<p>アルミニウム合金製筒型枠組構造。</p> <p>ラックには破損燃料貯蔵コンテナに入った破損燃料及び制御棒が貯蔵される。</p>	

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.1 構造強度上の制限」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、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4 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、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

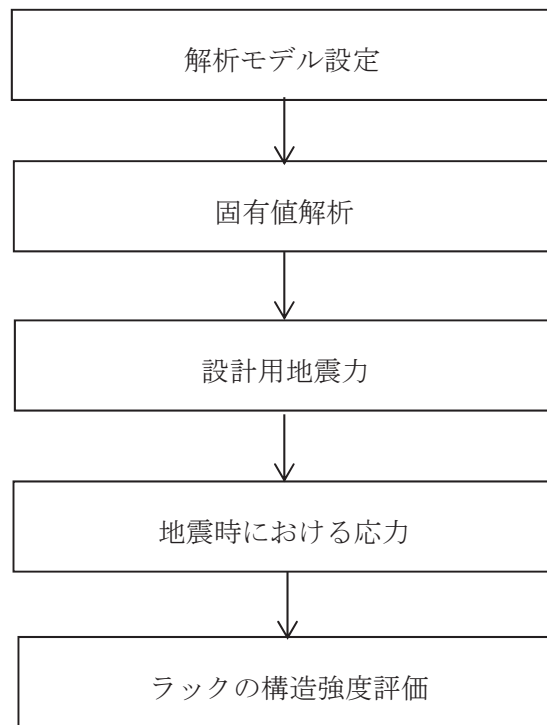


図 2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 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。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ラック部材の断面積	mm ²
A _B	支持ビームの断面積	mm ²
A _i	ラック部材のせん断断面積	mm ²
A _{S i}	ラックベースのせん断断面積	mm ²
A _{BH} , A _{BV}	支持ビームのせん断断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	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-3121.1 又は SSB-3131 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 _a	ラックに働く軸力	N
F _{BH i} , F _{BV i}	支持ビームに働くせん断力	N
F _{E i}	支持ビームに働く軸力	N
F _i	ラックに働くせん断力	N
F _{SB}	ラック支持部に働くせん断力	N
F _{SC}	ラック底部に働くせん断力	N
f _j	ラック基礎ボルトに働く引張力 (1本当たり)	N
f _s	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (g=9.80665)	m/s ²
G	せん断弾性係数	MPa
h ₁	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ	mm
h ₂	破損燃料貯蔵時のラック重心より支持点までの高さ	mm
h ₃	支持ビーム中心からラック支持点までの高さ	mm
I _i	ラックの断面二次モーメント	mm ⁴
I _{S i}	ラックベースの断面二次モーメント	mm ⁴
L _j	各質点間の距離	mm
ℓ _{gB}	支持ビーム当板端から重心までの距離	mm
ℓ _{g i}	ラックベース端から重心までの距離	mm
ℓ _j	ラックベース端から基礎ボルトまでの距離	mm
M _{BH i} , M _{BV i}	支持ビームに働くモーメント	N・mm
M _i	ラックに働くモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{SB}	ラック重心位置に働くモーメント	N・mm
M_{SC}	ベース底部に働くモーメント	N・mm
m	破損燃料貯蔵時のラック全質量	kg
m_B	支持ビームの質量	kg
m_C	破損燃料コンテナの質量	kg
m_F	破損燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_W	ラックに含まれる水の質量	kg
m_{jH}, m_{jV}	各質点の質量	kg
N_{pm}	支持ビーム基礎ボルトに働く最大引張力 (1本当たり)	N
n_B	支持ビーム基礎ボルトの全本数	—
n_R	ラック基礎ボルトの全本数	—
n_j	各部の基礎ボルトの本数	—
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
Z_{BH}, Z_{BV}	支持ビーム部材の断面係数	mm ³
Z_i	ラック部材の断面係数	mm ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{ft}	部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	部材に生じるせん断応力	MPa

注1: $A_i, A_{Si}, F_{BHi}, F_{BVi}, F_{Ei}, F_i, I_i, I_{Si}, \varrho_{gi}, M_{BHi}, M_{BVi}, M_i$ 及び
 Z_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = N : NS$ (短辺) 方向

$i = E : EW$ (長辺) 方向

注2: f_j, ϱ_j 及び n_j の添字 j はボルトの列番号を示すものとする。

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
設計震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	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}
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}
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中間における設計引張強さ及び設計降伏点は、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

ラックの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるラック本体、支持ビーム本体、ラック基礎ボルト及び支持ビーム基礎ボルトについて実施する。

ラック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. 固有周期

4.1 固有値解析方法

ラックの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) ラックの短辺方向，長辺方向及び鉛直方向の各々について，「4.2 解析モデル及び諸元」に示す1次元多質点系モデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図 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【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) ラックの短辺方向及び長辺方向については，ラック自身の質量，ラックに含まれる水の質量及び水の付加質量*は，ラック全高にわたって均等となるよう，各要素の長さ按比例して，各質点に振り分ける。また，破損燃料の質量及び破損燃料貯蔵コンテナの質量は，重心位置に加える。
- (2) ラックの鉛直方向について，ラック自身の質量は，ラック全高にわたって均等となるよう，各要素の長さ按比例して，各質点に振り分ける。また，破損燃料の質量，破損燃料貯蔵コンテナの質量，ラックに含まれる水の質量及び水の付加質量*は，ラックベース上面位置に加える。
- (3) ラック部材及びラックベース部材の断面性能としては，せん断断面積及び断面二次モーメントを考慮するものとする。
- (4) 拘束条件としては，ベース底部で燃料プール床に完全に固定されているものとする。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。また，短辺方向については，支持ビームにより上部がピン支持されているものとする。
- (5) 解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，固有値を求める。なお，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。

注記*：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質量

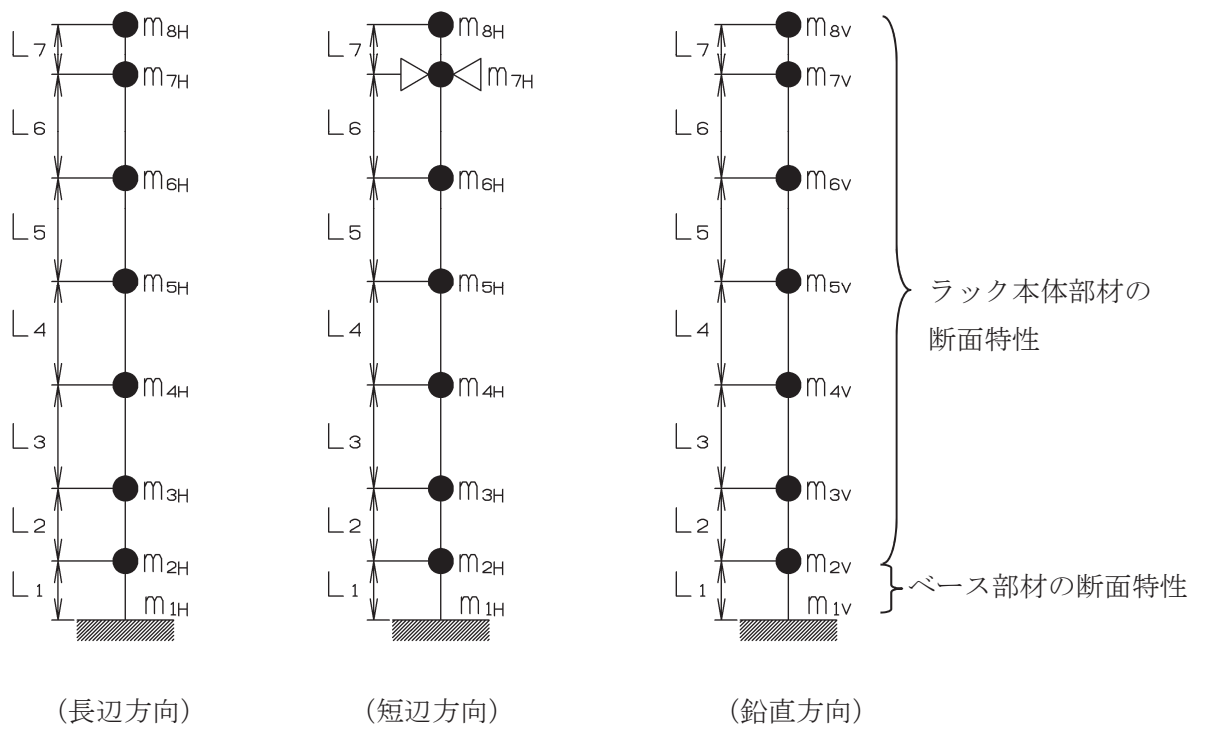


図 4-1 解析モデル図

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、各モードにおける固有ベクトルの大きさを示した振動モード図を図 4-2～図 4-5 に示す。

S 次モードの刺激係数 β_s は (4.1) 式により算出される。なお、固有ベクトル $\{\phi_s\}$ は (4.2) 式のように質量マトリックス [M] で正規化した値を用いる。

$$\beta_s = \frac{\{\phi_s\}^T [M] \{1\}}{\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\}} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\} = 1 \dots\dots\dots (4.2)$$

表 4-1 固有周期

方向		モード	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	
水平方向	NS方向	1次	[Redacted]	—	—	—
	EW方向	1次		2.779	0.000	0.000
		2次		—	—	—
鉛直方向		1次	—	—	—	

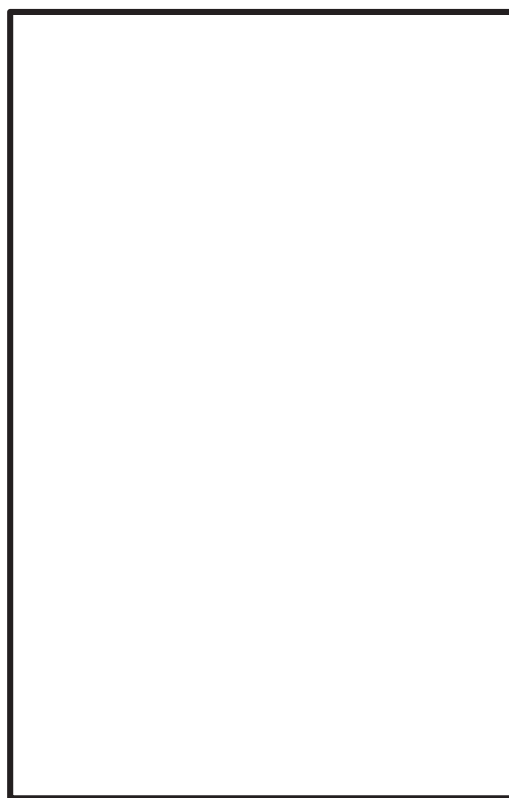


図 4-2 振動モード (1 次モード NS方向 [Redacted] s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

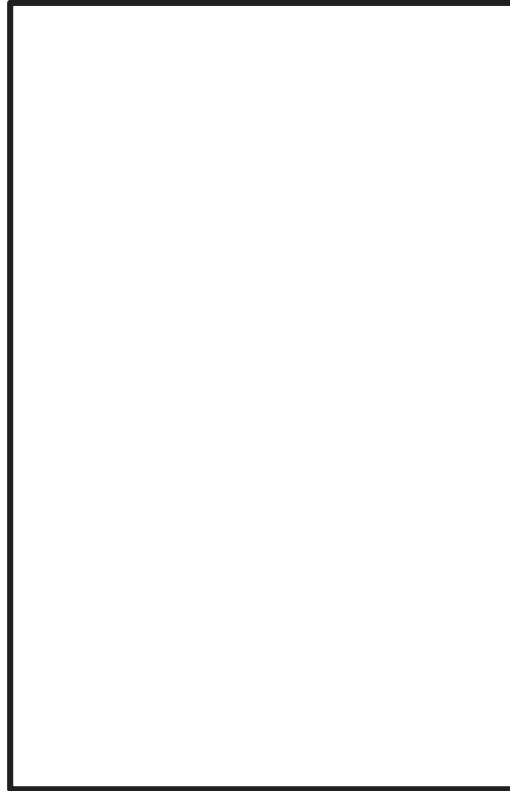


図 4-3 振動モード (1 次モード EW方向 [] s)

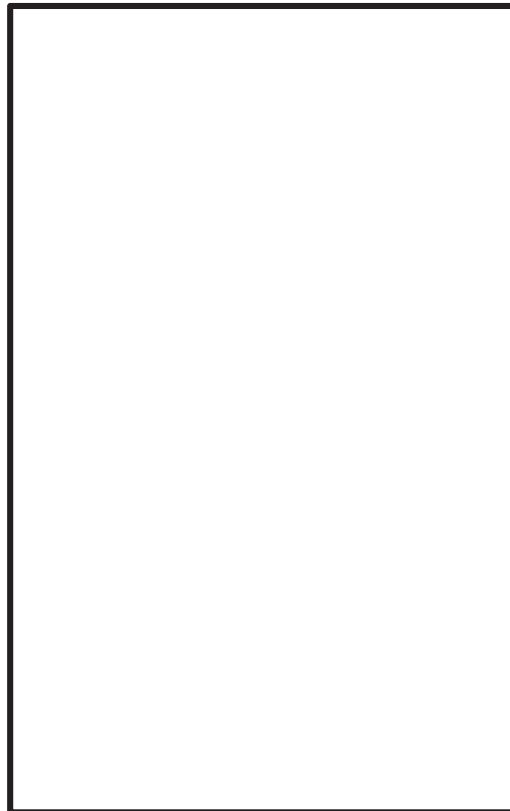


図 4-4 振動モード (2 次モード EW方向 [] s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 4-5 振動モード (1次モード 鉛直方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) ラックは、原子炉建屋の使用済燃料プールの底部 (O.P. 21.38m) に基礎ボルトで固定され、さらに、支持ビームにより短辺方向の上部を支持されるものとする。
- (2) ラックの質量には、破損燃料と破損燃料コンテナ 10 本の質量、ラックの自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び水の付加質量を考慮する。
- (3) 地震力は、ラックに対して水平方向から作用するものとする。
ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
また、鉛直方向地震力は、水平方向地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。
- (4) ラックの構造概要図を図 5-1 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

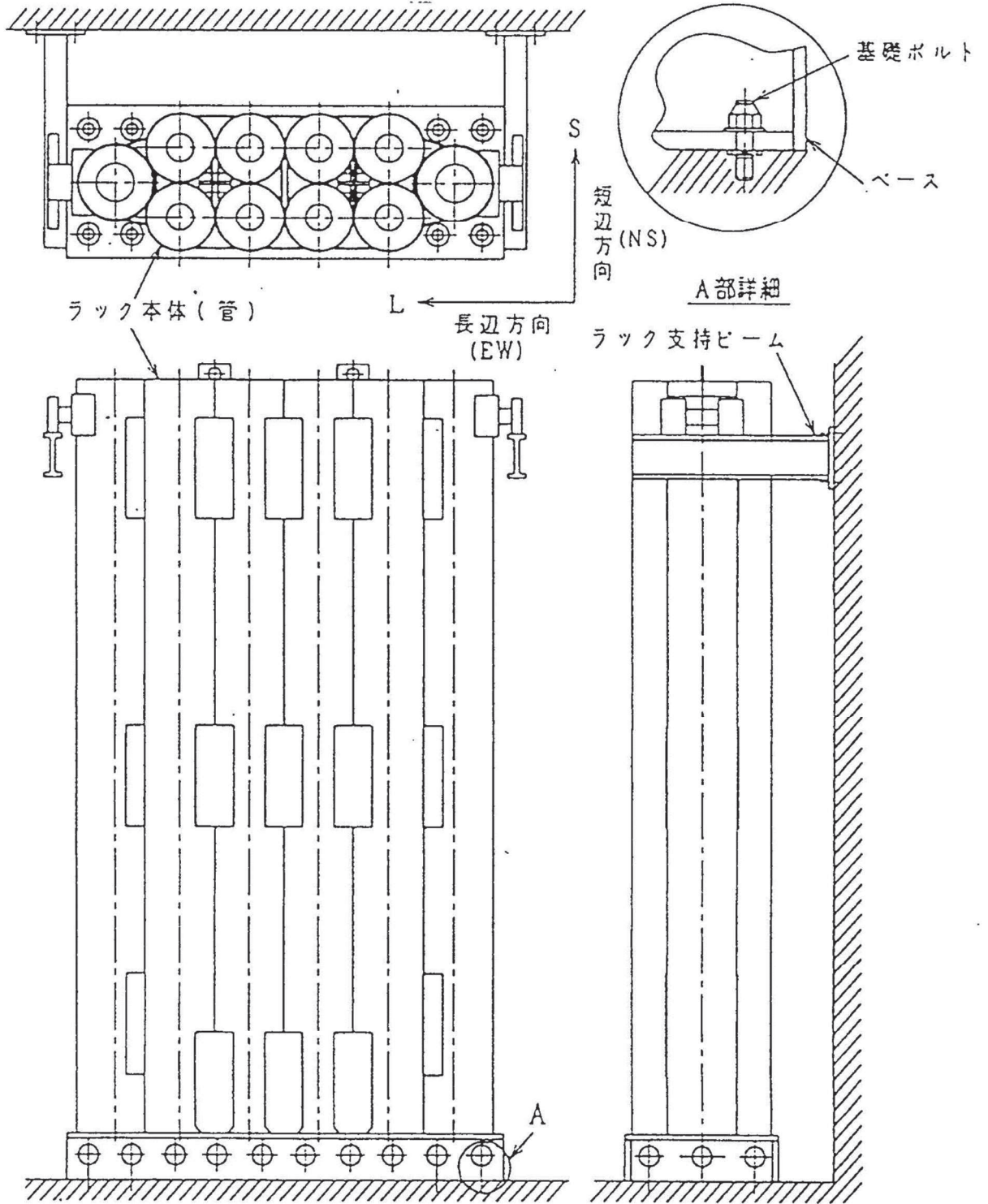


図 5-1 構造概要図

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラック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 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、添付資料「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラック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 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 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	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒・ 破損燃料 貯蔵ラック	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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：S_sとの組み合わせ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

表 5-2 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*1	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	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒・ 破損燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	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：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等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。

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

表 5-3 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	
	引張り	せん断	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 5-4 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 *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
ラック本体 (管)	A6063TE-T5	最高使用温度	66	—			
支持ビーム本体	SUS304	最高使用温度	66	—			
ラック基礎ボルト		最高使用温度	66	—			
支持ビーム基礎ボルト		最高使用温度	66	—			

注記*1：最高使用温度 (66°C) で算出

*2：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点 (0.2%耐力) の値を使用する。

表 5-5 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 *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
ラック本体 (管)	A6063TE-T5	最高使用温度	100	—			
支持ビーム本体	SUS304	最高使用温度	100	—			
ラック基礎ボルト		最高使用温度	100	—			
支持ビーム基礎ボルト		最高使用温度	100	—			

注記*1：最高使用温度 (100°C) で算出

*2：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点 (0.2%耐力) の値を使用する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「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」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 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 O.P. 33.20* ¹ O.P. 22.50* ² (O.P. 21.38)			
固有周期(s)					
減衰定数(%)		NS : - EW : 1.0* ⁵ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
方向	固有周期(s)	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		4.09* ⁴	-* ⁴	6.21	-
		-* ⁴	-* ⁴	-	-
	動的地震力	1.13* ⁴	0.91* ⁴	2.12	1.56
	静的地震力	0.92* ⁴	0.29* ⁴	-	-

注記*1 : NS方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*2 : EW方向及び鉛直方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*3 : 固有値解析により、0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

*4 : III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

*5 : 溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 5-7 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 0.P. 33.20* ¹ 0.P. 22.50* ² (0.P. 21.38)			
固有周期(s)					
減衰定数(%)		NS : - EW : 1.0* ⁴ 鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
方向	固有周期(s)	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		-	-	6.21	-
		-	-	-	-
	動的地震力	-	-	2.12	1.56
	静的地震力	-	-	-	-

注記*1 : NS方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*2 : EW方向及び鉛直方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*3 : 固有値解析により, 0.05秒以下であり, 剛であることを確認した。

*4 : 溶接構造物に適応される減衰定数の値

5.4 計算方法

5.4.1 ラック部材の応力

地震時にラック底部に働くせん断力 F_E 、 F_{SC} 、ラック支持部に働くせん断力 F_{SB} 、ラック底部に働くモーメント M_E 、 M_{SC} 、ラック重心位置に働くモーメント M_{SB} 及びラックに働く軸力 F_a が、図5-1のように負荷されるものとして、ラック部材の応力を求める。

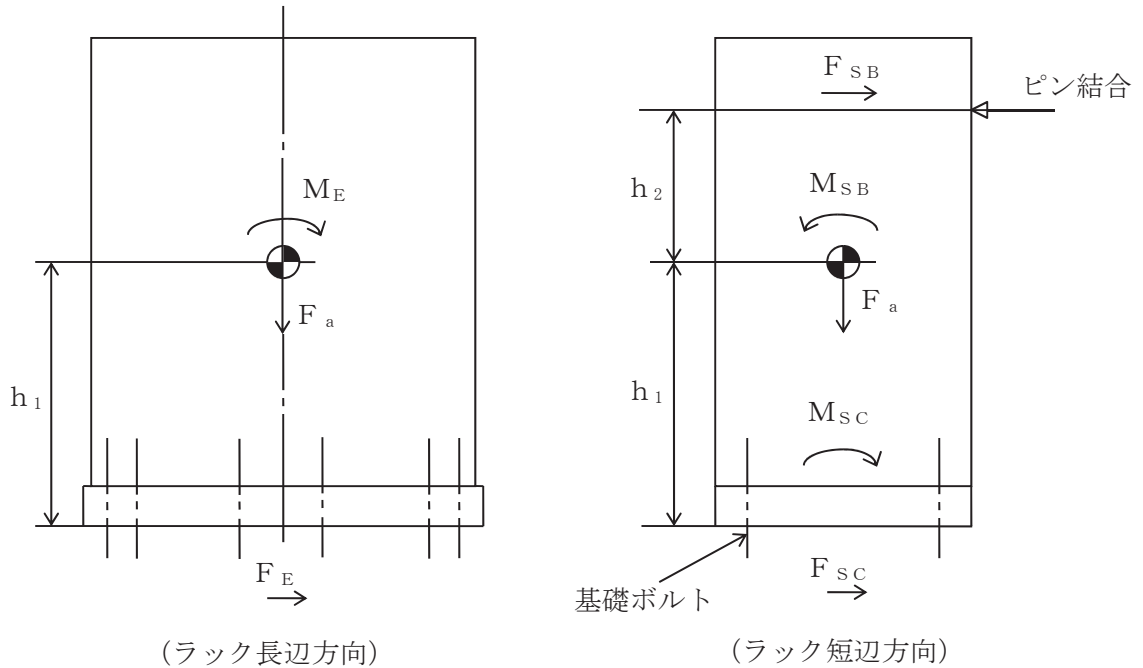


図5-1 荷重状態

ラック全質量 m は(5.1)式により求める。

$$m = m_R + m_C + m_F + m_W \quad \dots \quad (5.1)$$

(1) 引張応力

ラックに働く軸力 F_a 及びラックに働くモーメント M_i により、ラック部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(5.2)式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_a}{A} + \frac{M_i}{Z_i} \quad \dots \quad (5.2)$$

ここで、ラックに働く軸力 F_a 及びラックに働くモーメント M_i は、(5.3)、(5.4)、(5.5)、(5.6)及び(5.7)式より求める。

$$F_a = (1 + C_V) \cdot m \cdot g \quad \dots \quad (5.3)$$

$$M_N = \text{Max}(M_{SB}, M_{SC}) \quad \dots \quad (5.4)$$

$$M_{SB} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1^2 \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (2 \cdot h_1 + 3 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.5)$$

$$M_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^2} \cdot (h_1 + 2 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.6)$$

$$M_E = F_E \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.7)$$

(2) せん断応力

せん断力 F_i により，ラック部材に生じるせん断応力 τ_f は，(5.8)式より求める。

$$\tau_f = \frac{F_i}{A_i} \dots\dots\dots (5.8)$$

ここで，ラック部材に働くせん断力 F_i は，(5.9)，(5.10)，(5.11)，(5.12)式より求める。

$$F_N = \text{Max}(F_{SB}, F_{SC}) \dots\dots\dots (5.9)$$

$$F_{SB} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1^2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (2 \cdot h_1 + 3 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.10)$$

$$F_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (3 \cdot h_1^2 + 6 \cdot h_1 \cdot h_2 + 2 \cdot h_2^2) \dots\dots\dots (5.11)$$

$$F_E = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.12)$$

(3) 組合せ応力

ラック部材に生じる組合せ応力 σ_{fa} は，(5.13)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \dots\dots\dots (5.13)$$

5.4.2 ラック基礎ボルトの応力

地震時にラックベース底部に働くせん断力 F_i 及びモーメント M_i が、図5-2のように負荷されるものとしてラック基礎ボルトの応力を求める。

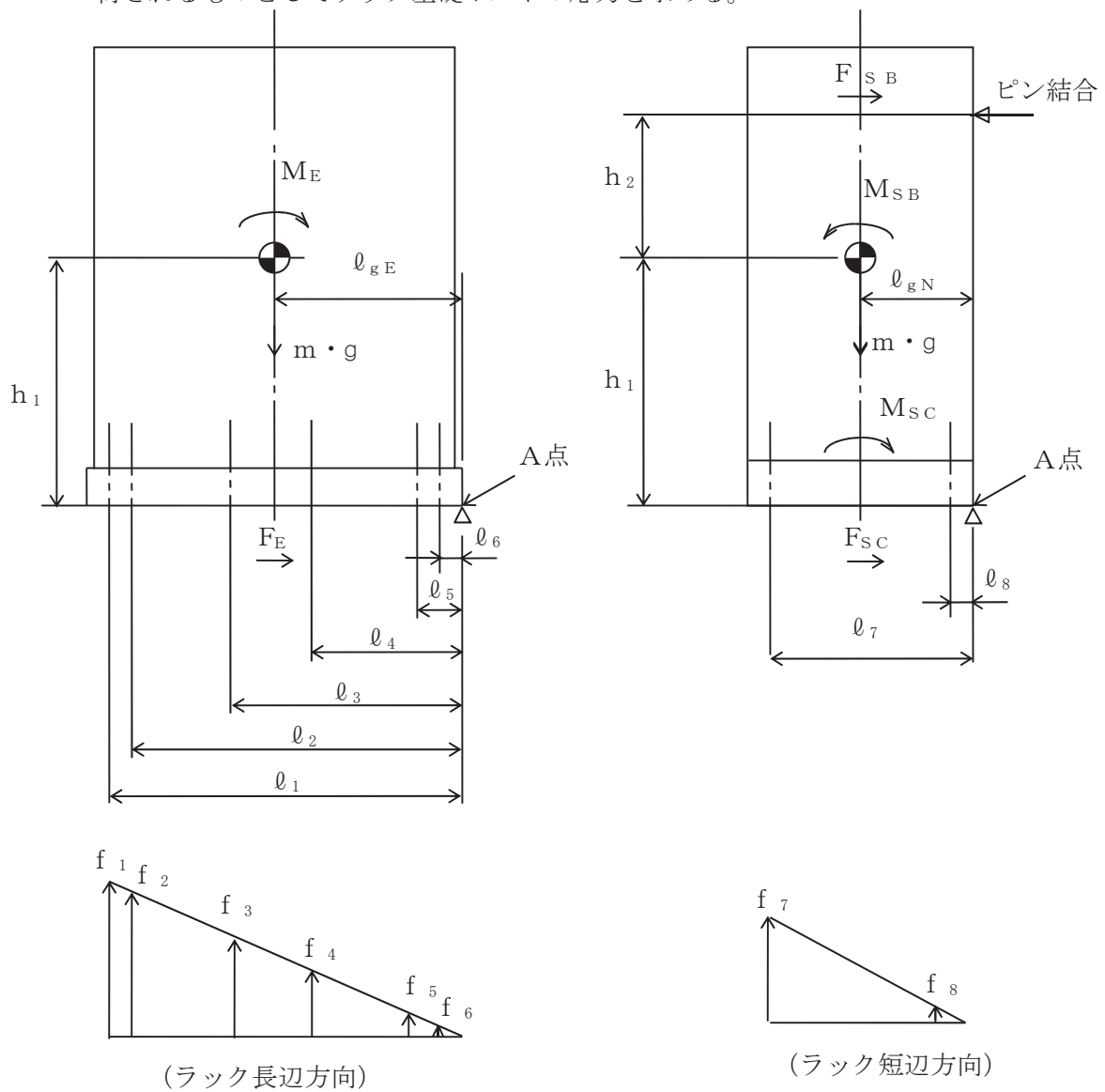


図 5-2 荷重状態

(1) 引張応力

図 5-2 においてラックの長辺方向を例にとり A 点まわりのモーメントの釣合いによりラック基礎ボルト 1 本あたりに働く引張力 f_j を求める。

$f_1 > f_2 > \dots > f_6$ の関係にあるので f_1 のみを求める。

$$f_1 = \frac{\ell_1 \cdot \left\{ \sqrt{M_E^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gE})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gE} \right\}}{n_1 \cdot \ell_1^2 + n_2 \cdot \ell_2^2 + \dots + n_5 \cdot \ell_5^2 + n_6 \cdot \ell_6^2} \dots \dots \dots (5.14)$$

引張力 f_1 によりラック基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(5.15)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_1}{A_b} \dots\dots\dots (5.15)$$

ここで、ラックに働くモーメント M_i は、(5.16)及び(5.17)式より求める。

$$M_N = M_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^2} \cdot (h_1 + 2 \cdot h_2) \dots\dots\dots (5.16)$$

$$M_E = F_E \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.17)$$

ただし、 f_1 の値が負のときは基礎ボルトに引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力 F_i により、ラック基礎ボルトに生じるせん断力 τ_b は、(5.18)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_i}{n_R \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.18)$$

ラックに働くせん断力 F_i は、(5.19)及び(5.20)式より求める。

$$F_N = F_{SC} = \frac{m \cdot C_H \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot (h_1 + h_2)^3} \cdot (3 \cdot h_1^2 + 6 \cdot h_1 \cdot h_2 + 2 \cdot h_2^2) \dots\dots (5.19)$$

$$F_E = C_H \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.20)$$

5.4.3 支持ビーム部材の応力

地震時に、支持ビーム部材に働く軸力 F_{Ei} 、せん断力 F_{BHi} 、 F_{BVi} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} が、図5-3に示すように負荷されるものとして支持ビーム部材の応力を求める。

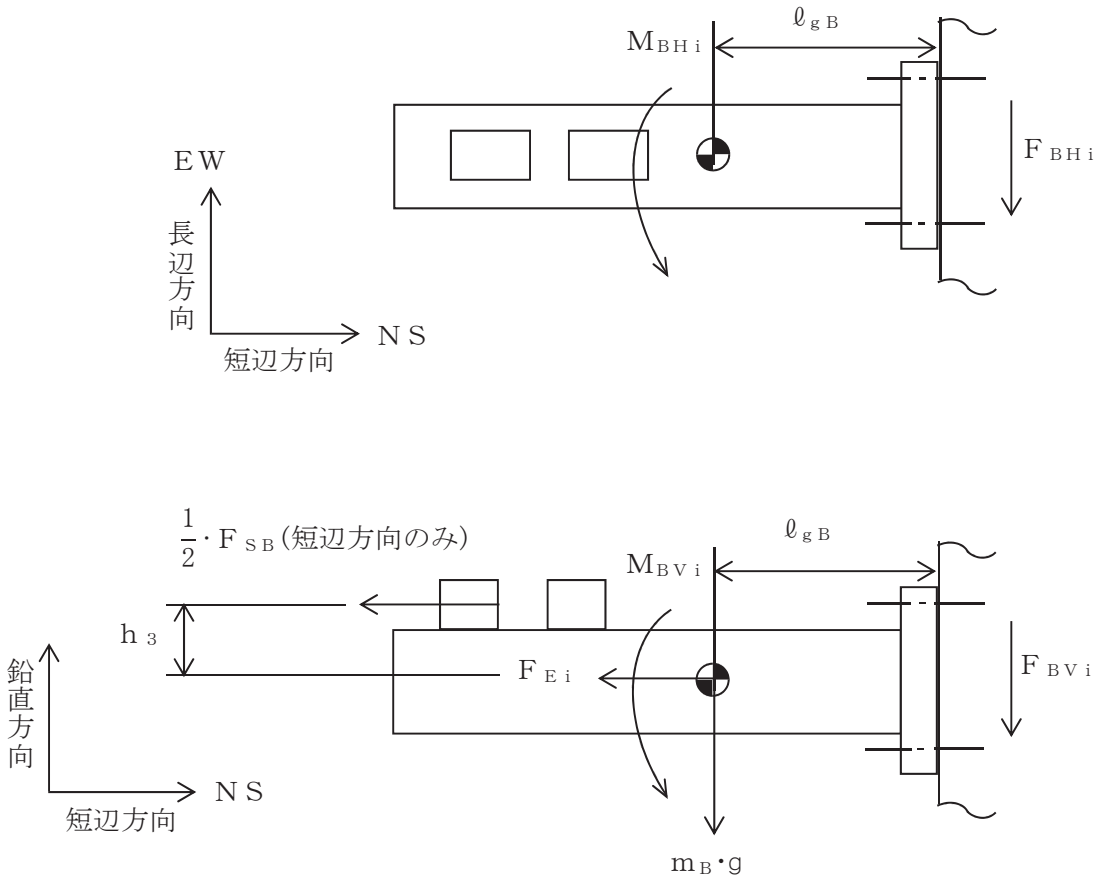


図 5-3 荷重状態

(1) 引張応力

支持ビーム部材に働く軸力 F_{Ei} 及び曲げモーメント M_{BVi} 、 M_{BHi} により支持ビーム部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(5.21)式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_{Ei}}{A_B} + \frac{M_{BHi}}{Z_{BH}} + \frac{M_{BVi}}{Z_{BV}} \dots\dots\dots (5.21)$$

ここで、支持ビーム部材に働く軸力 F_{Ei} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} を(5.22)、(5.23)、(5.24)、(5.25)、(5.26)及び(5.27)式により求める。

$$F_{EN} = \frac{1}{2} \cdot F_{SB} + C_H \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.22)$$

$$F_{EE} = 0 \dots\dots\dots (5.23)$$

$$M_{BVN} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot F_{SB} \cdot h_3\right)^2 + (C_V \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB})^2} + m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \quad \dots (5.24)$$

$$M_{BVE} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \quad \dots (5.25)$$

$$M_{BHN} = 0 \quad \dots (5.26)$$

$$M_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \quad \dots (5.27)$$

(2) せん断応力

支持ビーム部材に働くせん断力 F_{BHi} , F_{BVi} により支持ビーム部材に生じるせん断応力 τ_f は, (5.28)式より求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_{BHi}}{A_{BH}}\right)^2 + \left(\frac{F_{BVi}}{A_{BV}}\right)^2} \quad \dots (5.28)$$

支持ビーム部材に働くせん断力 F_{BHi} , F_{BVi} を (5.29), (5.30) 及び (5.31) 式により求める。

$$F_{BHN} = 0 \quad \dots (5.29)$$

$$F_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \quad \dots (5.30)$$

$$F_{BVi} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \quad \dots (5.31)$$

(3) 組合せ応力

支持ビーム部材に生じる組合せ応力 σ_{fa} は, (5.32)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \quad \dots (5.32)$$

5.4.4 支持ビーム基礎ボルトの応力

地震時に、支持ビームに働く軸力 F_{Ei} 、せん断力 F_{BHi} 、 F_{BVi} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} が、図5-4のように負荷されるものとして支持ビーム基礎ボルトの応力を求める。

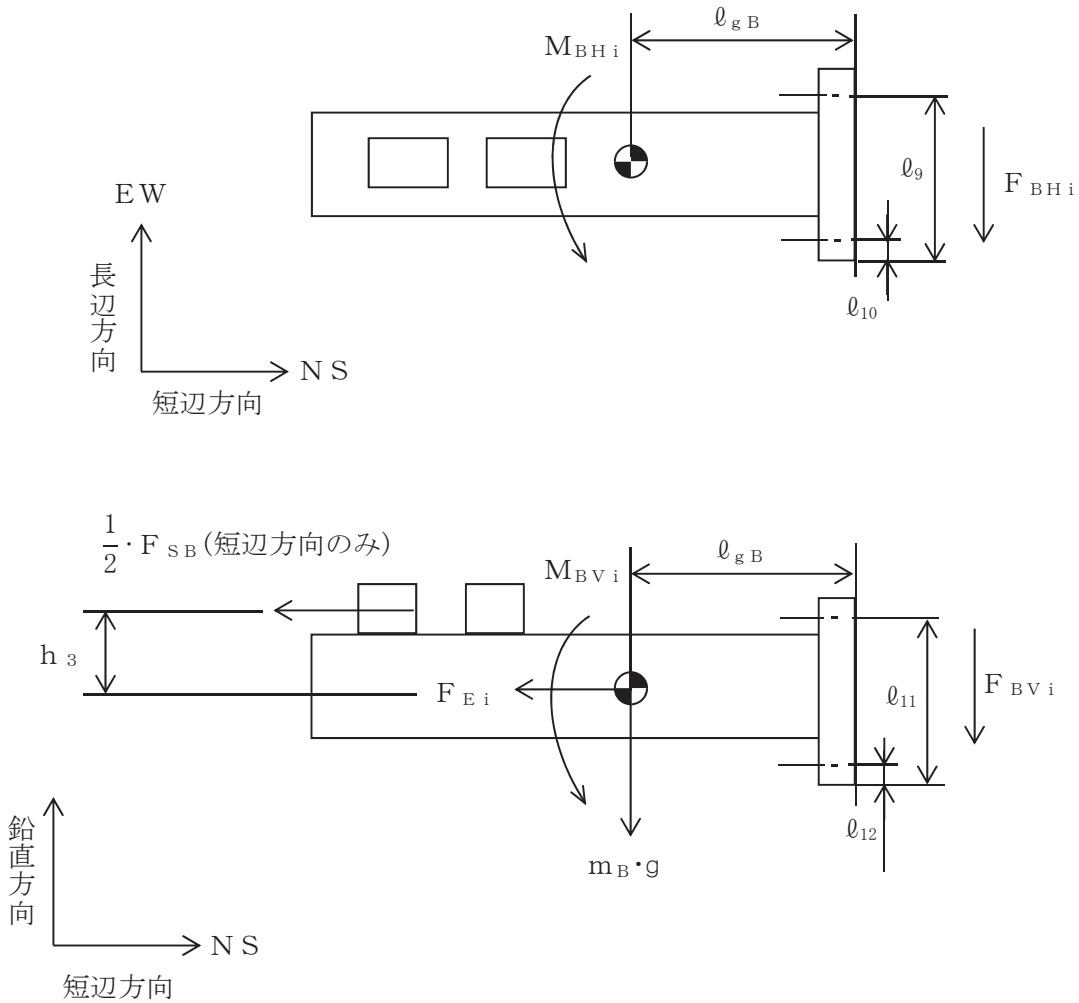


図 5-4 荷重状態

(1) 引張応力

支持ビームに働く曲げモーメント M_{BVi} 、 M_{BHi} により生じる支持ビーム基礎ボルト1本当たりの引張力 N_{pm} 及び、支持ビームに働く軸力 F_{Ei} により支持ビーム基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(5.33)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_{pm}}{A_b} + \frac{F_{Ei}}{n_B \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.33)$$

ここで、支持ビーム基礎ボルト 1 本当たりの最大引張力 N_{pm} は、(5.34) 式より求める。

$$N_{pm} = \frac{\ell_9 \cdot M_{BHi}}{n_9 \cdot \ell_9^2 + n_{10} \cdot \ell_{10}^2} + \frac{\ell_{11} \cdot M_{BVi}}{n_{11} \cdot \ell_{11}^2 + n_{12} \cdot \ell_{12}^2} \dots\dots\dots (5.34)$$

支持ビームに働く軸力 F_{Ei} 及び曲げモーメント M_{BHi} 、 M_{BVi} を(5.35)、(5.36)、(5.37)、(5.38)、(5.39) 及び(5.40) 式により求める。

$$F_{EN} = \frac{1}{2} \cdot F_{SB} + C_H \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.35)$$

$$F_{EE} = 0 \dots\dots\dots (5.36)$$

$$M_{BVN} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot F_{SB} \cdot h_3\right)^2 + (C_V \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB})^2} + m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \dots\dots (5.37)$$

$$M_{BVE} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \dots\dots\dots (5.38)$$

$$M_{BHN} = 0 \dots\dots\dots (5.39)$$

$$M_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \cdot \ell_{gB} \dots\dots\dots (5.40)$$

(2) せん断応力

支持ビームに働くせん断力 F_{BHi} 、 F_{BVi} により支持ビーム基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(5.41) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{BHi}^2 + F_{BVi}^2}}{n_B \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.41)$$

支持ビームに働くせん断力 F_{BHi} 、 F_{BVi} を(5.42)、(5.43) 及び(5.44) 式により求める。

$$F_{BHN} = 0 \dots\dots\dots (5.42)$$

$$F_{BHE} = C_H \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.43)$$

$$F_{BVi} = (1 + C_V) \cdot m_B \cdot g \dots\dots\dots (5.44)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラック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。

5.6 応力の評価

5.6.1 部材の応力評価

5.4.1 項及び 5.4.3 項で求めた各部材の引張応力 σ_{ft} 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_t 以下であること。

また、5.4.1 項及び 5.4.3 項で求めた各部材のせん断応力 τ_f が、許容せん断応力 f_s 以下であること。

ただし、 f_t 及び f_s は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5^{*1}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5^{*1}$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^{*1}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5^{*1}$

注記*1 : A6063TE-T5 の F 及び F* は、日本産業規格 JIS H4080 「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点 (0.2%耐力) の値を用いて、設計・建設規格 SSB-3121.1 及び SSB-3121.3 に準じて求める。

5.6.2 基礎ボルトの応力評価

5.4.2 項及び 5.4.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b が、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

また、5.4.2 項及び 5.4.4 項で求めた基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots \dots \dots (5.45)$$

かつ

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots \dots \dots (5.46)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラック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。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は、基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足したため、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度による発生値の算出を省略した。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラック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。

【制御棒・破損燃料貯蔵ラック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)	方向	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		最高使用圧力 (MPa)	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	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S	原子炉建屋 0.P. 33.20*1 0.P. 22.50*2 (0.P. 21.38)	N S方向	0.05 以下*3	0.05 以下*3	—*4	—*4	C _H =2.65	C _V =1.56	—	66	—
			E W方向					C _H =6.21				

注記*1： N S方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*2： E W方向及び鉛直方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*3： 固有値解析により 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

*4： III_A Sについては，基準地震動 S_s で評価する。

1.2 ラック部材の応力評価に用いる要目

m	m _C	m _F	m _R	m _w	h ₁	h ₂	A	A _N	A _E	Z _N	Z _E
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ³)	(mm ³)
							4.589×10 ⁴	2.294×10 ⁴	2.294×10 ⁴	3.885×10 ⁶	1.152×10 ⁷

材料	S _y *1	S _u *1	F	F*
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A6063TE-T5				

注記*1： JIS H4080 「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値を使用する。

1.3 ラック基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	ℓ ₈ (mm)	ℓ _{gN} (mm)	ℓ _{gE} (mm)	A _b (mm ²)	n _R (-)	n ₁ (-)	n ₂ (-)
					1639.5	1466.5	947.5	774.5	255.5	82.5	512.5	92.5	302.5	861	1.018×10 ³	12	2	2

n ₃ (-)	n ₄ (-)	n ₅ (-)	n ₆ (-)	n ₇ (-)	n ₈ (-)
2	2	2	2	6	6

材料	S _y ^{*1} (MPa)	S _y (RT) (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

1.4 支持ビーム部材及び支持ビーム基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m_B (kg)	ℓ_9 (mm)	ℓ_{10} (mm)	ℓ_{11} (mm)	ℓ_{12} (mm)	ℓ_{gB} (mm)	h_3 (mm)	A_b (mm ²)	A_B (mm ²)	A_{BH} (mm ²)	A_{BV} (mm ²)	n_B (-)	n_9 (-)	n_{10} (-)	n_{11} (-)	n_{12} (-)	Z_{BH} (mm ³)
	230	50	280	50	315		1.018×10^3	7.000×10^3	3.215×10^3	3.097×10^3	4	2	2	2	2	5.167×10^4

Z_{BV} (mm ³)
3.523×10^5

	材料	S_y^{*1} (MPa)	S_y (RT) (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
支持ビーム部材	SUS304	188	205	479	205	205
支持ビーム基礎ボルト						

注記*1：最高使用温度（66℃）で算出

1.5 その他の機器要目

E^* (MPa)	G^* (MPa)	I_N (mm ⁴)	I_E (mm ⁴)	A_N (mm ²)	A_E (mm ²)	I_{SN} (mm ⁴)	I_{SE} (mm ⁴)	A_{SN} (mm ²)	A_{SE} (mm ²)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	m_{1H} (kg)	m_{2H} (kg)
		1.073×10^9	9.485×10^9	2.294×10^4	2.294×10^4	9.494×10^9	6.194×10^{10}	1.418×10^5	1.418×10^5									

m_{3H} (kg)	m_{4H} (kg)	m_{5H} (kg)	m_{6H} (kg)	m_{7H} (kg)	m_{8H} (kg)	m_{1V} (kg)	m_{2V} (kg)	m_{3V} (kg)	m_{4V} (kg)	m_{5V} (kg)	m_{6V} (kg)	m_{7V} (kg)	m_{8V} (kg)

注記*：最高使用温度（66℃）で算出。

1.6 計算数値

1.6.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
A6063TE-T5	引張り σ_{ft}	—	—	24	76
	せん断 τ_f	—	—	5	17
	組合せ σ_{fa}	—	—	26	82

1.6.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	30	29
	せん断 τ_f	—	—	1	2
	組合せ σ_{fa}	—	—	30	30

1.6.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	15	99
	せん断 τ_b	—	—	5	31

1.6.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	26	4
	せん断 τ_b	—	—	1	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.7 応力

1.7.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
A6063TE-T5	引張り	$\sigma_{ft} = 76^*$	$f_t = 108$	$\sigma_{ft} = 76$	$f_t = 108$
	せん断	$\tau_f = 17^*$	$f_s = 62$	$\tau_f = 17$	$f_s = 62$
	組合せ	$\sigma_{fa} = 82^*$	$f_t = 108$	$\sigma_{fa} = 82$	$f_t = 108$

注記*：基準地震動 S_s による算出応力の値
すべて許容応力以下である。

1.7.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
SUS304	引張り	$\sigma_{ft} = 30^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{ft} = 30$	$f_t = 205$
	せん断	$\tau_f = 1^*$	$f_s = 118$	$\tau_f = 1$	$f_s = 118$
	組合せ	$\sigma_{fa} = 30^*$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 30$	$f_t = 205$

注記*：基準地震動 S_s による算出応力の値
すべて許容応力以下である。

1.7.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	$\sigma_b = 99^{*1}$	$f_{ts} = 455^{*2}$	$\sigma_b = 99$	$f_{ts} = 455^{*2}$
	せん断	$\tau_b = 31^{*1}$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 31$	$f_{sb} = 350$

注記*1：基準地震動 S_s による算出応力の値

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

すべて許容応力以下である。

1.7.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	$\sigma_b = 26^{*1}$	$f_{ts} = 455^{*2}$	$\sigma_b = 26$	$f_{ts} = 455^{*2}$
	せん断	$\tau_b = 1^{*1}$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 350$

注記*1：基準地震動 S_s による算出応力の値

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

【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

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)	方向	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		最高使用圧力 (MPa)	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	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1 O.P. 22.50*2 (O.P. 21.38)	N S 方向	0.05 以下*3	0.05 以下*3	—	—	C _H =2.65	C _V =1.56	—	100	—
			E W 方向					C _H =6.21				

注記*1：N S 方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*2：E W 方向及び鉛直方向の設計震度に適用する基準床レベルを示す。

*3：固有値解析により 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

2.2 ラック部材の応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	A (mm ²)	A _N (mm ²)	A _E (mm ²)	Z _N (mm ³)	Z _E (mm ³)
							4.589×10 ⁴	2.294×10 ⁴	2.294×10 ⁴	3.885×10 ⁶	1.152×10 ⁷

材料	S _y *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
A6063TE-T5				

注記*1：JIS H4080「アルミニウム及びアルミニウム合金継目無管」の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値を使用する。

2.3 ラック基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _C (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	ℓ ₈ (mm)	ℓ _{gN} (mm)	ℓ _{gE} (mm)	A _b (mm ²)	n _R (-)	n ₁ (-)	n ₂ (-)
					1639.5	1466.5	947.5	774.5	255.5	82.5	512.5	92.5	302.5	861	1.018×10 ³	12	2	2

n ₃ (-)	n ₄ (-)	n ₅ (-)	n ₆ (-)	n ₇ (-)	n ₈ (-)
2	2	2	2	6	6

材料	S _y ^{*1} (MPa)	S _y (R T) (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

2.4 支持ビーム部材及び支持ビーム基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m_B (kg)	ℓ_9 (mm)	ℓ_{10} (mm)	ℓ_{11} (mm)	ℓ_{12} (mm)	ℓ_{gB} (mm)	h_3 (mm)	A_b (mm ²)	A_B (mm ²)	A_{BH} (mm ²)	A_{BV} (mm ²)	n_B (-)	n_9 (-)	n_{10} (-)	n_{11} (-)	n_{12} (-)	Z_{BH} (mm ³)
	230	50	280	50	315		1.018×10^3	7.000×10^3	3.215×10^3	3.097×10^3	4	2	2	2	2	5.167×10^4

Z_{BV} (mm ³)
3.523×10^5

	材料	S_y^{*1} (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
支持ビーム 部材	SUS304	171	205	441	—	205
支持ビーム 基礎ボルト						

注記*1：最高使用温度（100℃）で算出

38

2.5 その他の機器要目

E^* (MPa)	G^* (MPa)	I_N (mm ⁴)	I_E (mm ⁴)	A_N (mm ²)	A_E (mm ²)	I_{SN} (mm ⁴)	I_{SE} (mm ⁴)	A_{SN} (mm ²)	A_{SE} (mm ²)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	L_5 (mm)	L_6 (mm)	L_7 (mm)	m_{1H} (kg)	m_{2H} (kg)
		1.073×10^9	9.485×10^9	2.294×10^4	2.294×10^4	9.494×10^9	6.194×10^{10}	1.418×10^5	1.418×10^5									

m_{3H} (kg)	m_{4H} (kg)	m_{5H} (kg)	m_{6H} (kg)	m_{7H} (kg)	m_{8H} (kg)	m_{1V} (kg)	m_{2V} (kg)	m_{3V} (kg)	m_{4V} (kg)	m_{5V} (kg)	m_{6V} (kg)	m_{7V} (kg)	m_{8V} (kg)

注記*：最高使用温度（66℃）で算出。

2.6 計算数値

2.6.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
A6063TE-T5	引張り σ_{ft}	—	—	24	76
	せん断 τ_f	—	—	5	17
	組合せ σ_{fa}	—	—	26	82

2.6.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	30	29
	せん断 τ_f	—	—	1	2
	組合せ σ_{fa}	—	—	30	30

2.6.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	15	99
	せん断 τ_b	—	—	5	31

2.6.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
	引張り σ_b	—	—	26	4
	せん断 τ_b	—	—	1	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.7 応力

2.7.1 ラック部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
A6063TE-T5	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 76$	$f_t = 108$
	せん断	—	—	$\tau_f = 17$	$f_s = 62$
	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 82$	$f_t = 108$

すべて許容応力以下である。

2.7.2 支持ビーム部材に生じる応力

(単位：MPa)

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
SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft} = 30$	$f_t = 205$
	せん断	—	—	$\tau_f = 1$	$f_s = 118$
	組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 30$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

2.7.3 ラック基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	—	—	$\sigma_b = 99$	$f_{ts} = 444^*$
	せん断	—	—	$\tau_b = 31$	$f_{sb} = 341$

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

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。

2.7.4 支持ビーム基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

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
	引張り	—	—	$\sigma_b = 26$	$f_{ts} = 444^*$
	せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 341$

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