

2号機燃料取扱設備の設置について

2022年5月24日（第36回）



東京電力ホールディングス株式会社

燃料取扱設備の耐震性についての計算書

※本計算書の数値は、2号機燃料取扱設備に関する実施計画申請書の説明を行うためご提示する暫定値である。なお、正式な数値については実施計画補正申請迄に本計算書に反映する。

I. 燃料取扱設備に係る耐震設計の基本方針

1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

設備名	耐震 クラス別
燃料取扱設備	B+

燃料取扱設備は、燃料取扱機及びクレーンによる揚重作業時、原子炉建屋側または燃料取り出し用構台側の所定の停止位置にて 4 本のアウトリガーピンを介してランウェイガーダに固定し、原子炉建屋側では燃料取扱及び輸送容器取扱作業を、燃料取り出し用構台側では輸送容器取扱作業を行う。また、アウトリガーピンによる固定解除後、ランウェイガーダに設置する走行レール上を走行し、原子炉建屋と燃料取り出し用構台間を移動する。

2. 構造設計

(1) 構造概要

燃料取扱設備は、構内用輸送容器(以下、輸送容器)を取り扱うクレーン、燃料を取り扱う燃料取扱機、輸送容器を積載し転倒を防止するキャスク固定治具、それらを支持する走行台車から構成される。(図 1 参照)

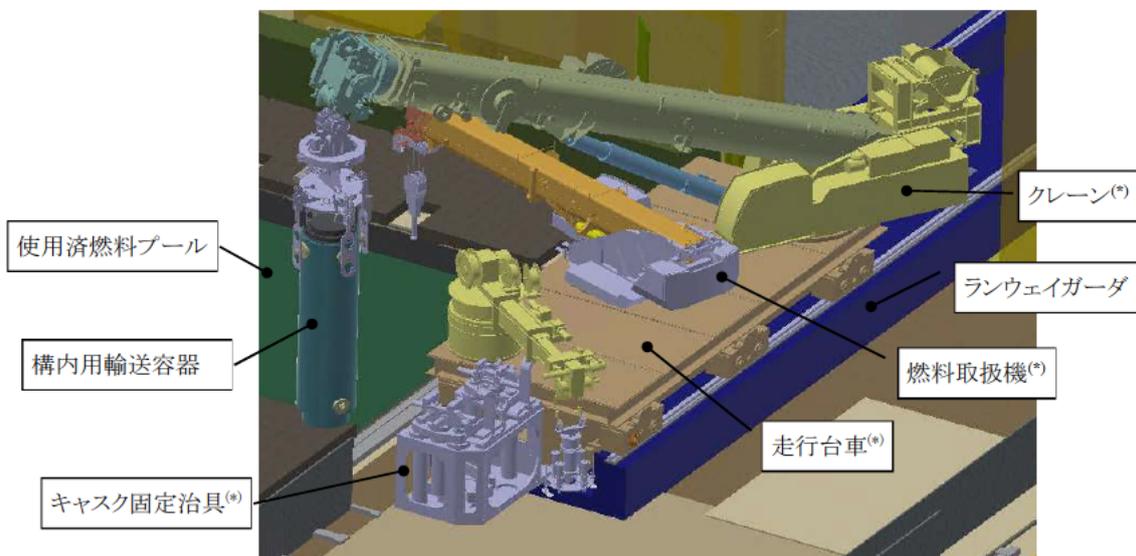


図 1 燃料取扱設備 構造概要(*が本書の評価対象機器)

3. 評価に適用する確認用地震動

使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラックへの波及的影響がないことを確認するための地震動として、1/2Ss450 を適用する。

4. 設計用地震力

4.1. 設計用床応答スペクトル

- (1) 床応答スペクトルは、原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデル(図 2 参照)に対して、 $1/2Ss450$ を用いた時刻歴応答解析を行い、ランウェイガーダ上の走行台車部車輪位置(原子炉建屋側、燃料取り出し用構台側停止位置につき 6 箇所、図 3 参照)での加速度応答時刻歴を求める。時刻歴応答解析においては、入力方向(+NS+EW+UD)、ランウェイガーダに負荷する荷重(燃料取扱状態、輸送容器取扱状態、輸送容器固定状態)の組合せを考慮する。
- (2) (1)で求めた各走行台車部車輪位置での加速度応答時刻歴を入力として、1 自由度系の床応答スペクトルを求める。
- (3) (2)で求めた床応答スペクトル 6 点を包絡する床応答スペクトルを求める。
- (4) (3)で求めた床応答スペクトルに対し、周期方向に $\pm 10\%$ の拡幅を行い設計用床応答スペクトルとする。
- (5) 走行台車部は剛構造を有しており(IV章参照)、応答増幅は極めて小さいと考えられることから、走行台車部に搭載される燃料取扱機(旋回体)、クレーン(旋回体)、キャスク固定治具の耐震性は上記床応答スペクトルを用いて評価する。
- (6) 各機器の耐震性の評価においては、水平 2 方向と鉛直方向の地震力が同時に負荷されるものとする。

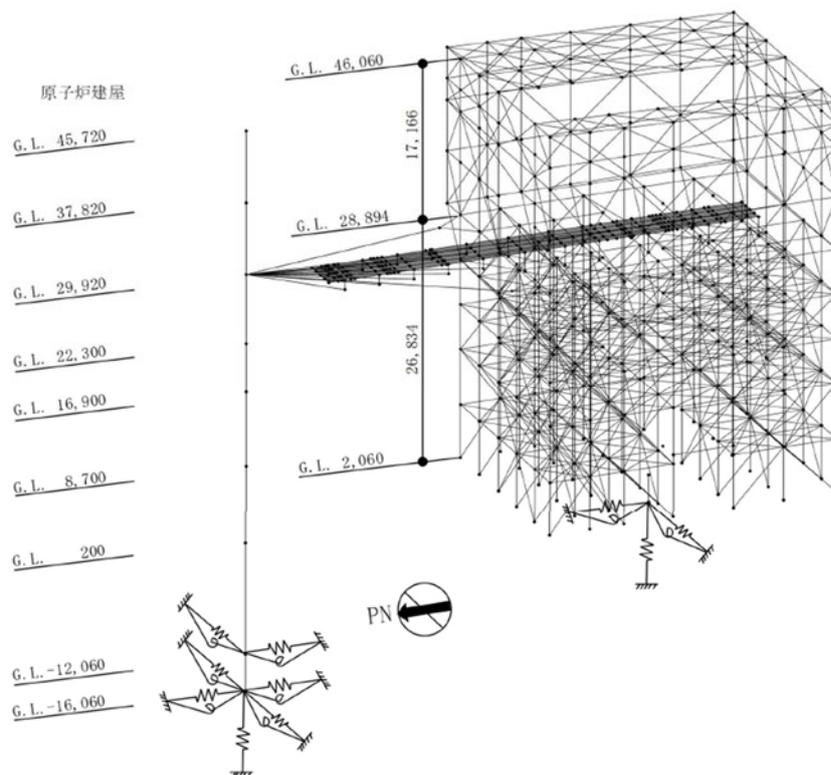


図 2 地震応答解析モデル

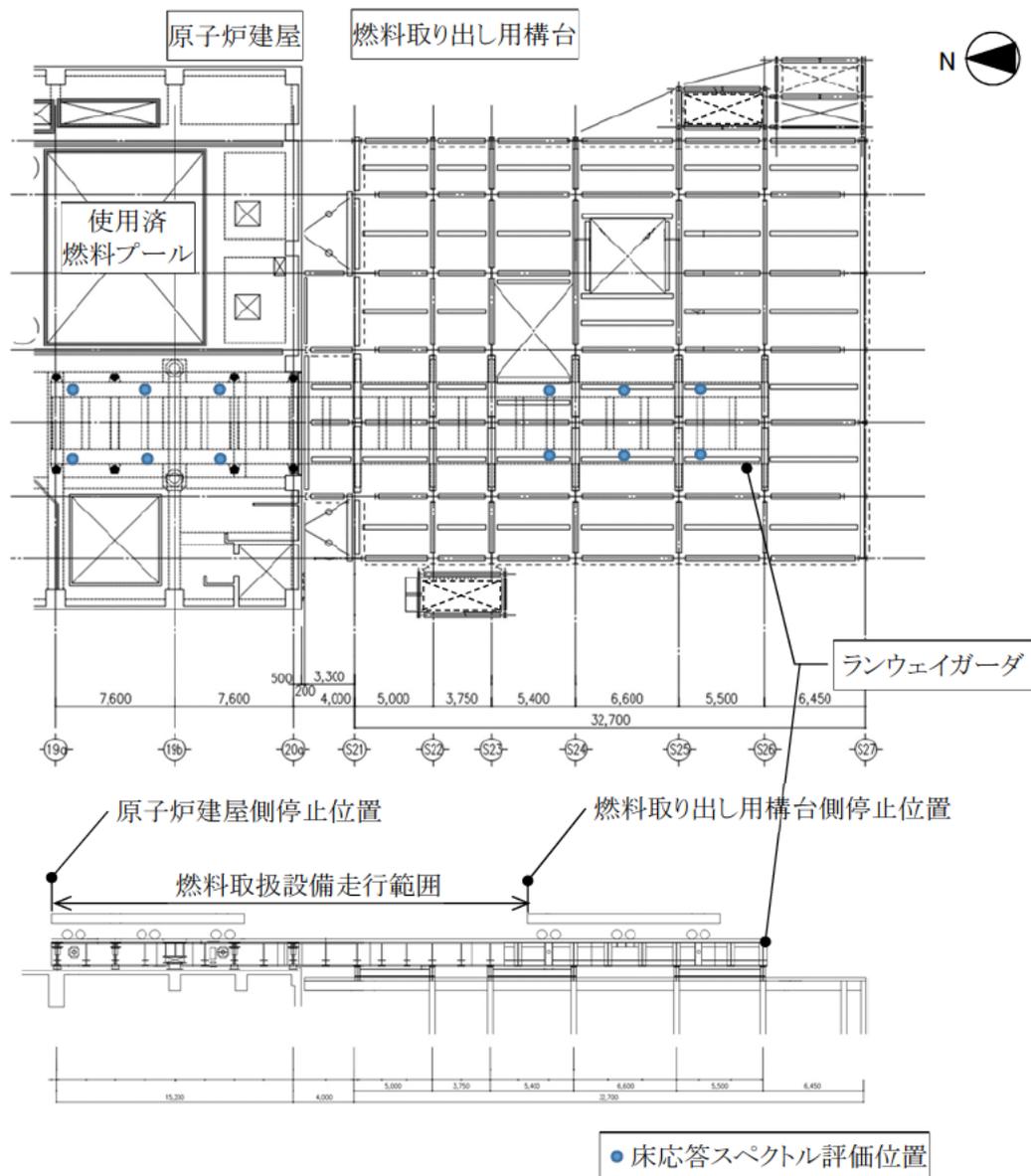


図 3 床応答スペクトル 評価位置

4.2. 剛構造の機器に適用する設計地震力

走行台車部のように評価対象機器が剛構造の場合は、各地震動、入力方向、ランウェイガーダに負荷する荷重条件においてランウェイガーダの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置、または、燃料取り出し用構台側燃料取扱設備停止位置から得られる最大床応答加速度の 1.2 倍の加速度を地震力とする。

5. 荷重の組合せ, 応力算定及び許容応力

記号の説明

D : 死荷重

1/2Ss450 : 1/2Ss450 地震動により求まる地震力

1.5f_t : 許容引張応力

ボルト以外の支持構造物に対しては設計・建設規格 SSB-3121.3, ボルト材
に対しては設計・建設規格 SSB-3133 により規定される値

1.5f_s : 許容せん断応力

同上

1.5f_p : 許容支圧応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f_b : 許容曲げ応力

同上

荷重の組合せ	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト等)	
	1 次応力				1 次応力	
	引張	せん断	支圧	曲げ	引張	せん断
D+1/2Ss450	1.5f _t	1.5f _s	1.5f _p	1.5f _b	1.5f _t	1.5f _s

注) 組合せ応力についても評価する。

II. 燃料取扱機(旋回体)の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書は燃料取扱機(旋回体)の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱機(旋回体)の耐震性の評価は評価姿勢, 荷重条件ともに最も厳しい条件となる燃料取扱状態で代表する。
- (2) 燃料取扱機(旋回体)は, 走行台車上面に旋回輪軸受取付ボルトで固定する。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし, ブーム伸縮方向, ブーム旋回方向の地震力が燃料取扱機(旋回体)に同時に作用するものとする。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) 燃料取扱機(旋回体)の重量として自重及び定格荷重を考慮する。燃料取扱機(旋回体)の重量を表 1 及び構造概要を図 4 に示す。
- (2) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車部で支持する。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)の重量には, 定格荷重を考慮する。

表 1 燃料取扱機(旋回体)の重量

名称	重量(t)
燃料取扱機(旋回体)	22.5
定格荷重	1

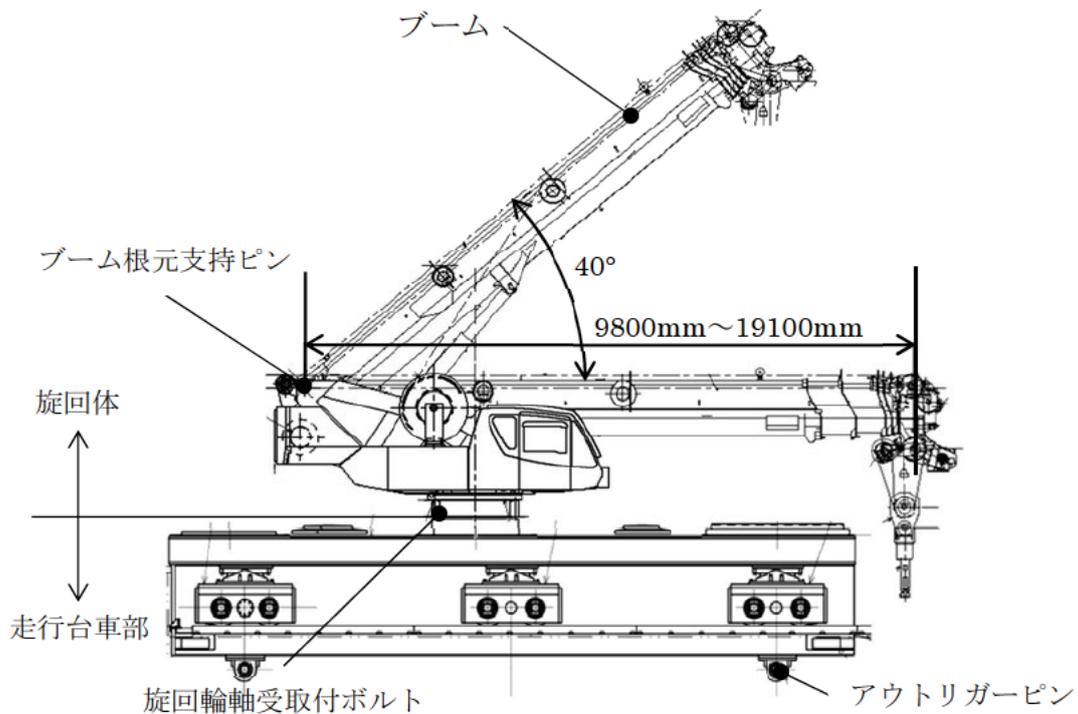


図 4 燃料取扱機 構造概要

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 5 に示す。

- (1) ブームは断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化する。
- (2) ブーム根元支持ピン及び旋回輪軸受取付ボルトははり要素でモデル化する。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)は燃料取扱時にブーム長さ, 起伏角を変化させるため, 起伏角度 0° でのブーム長さ(9.8m, 16.64m, 19.1m)の影響, ブーム長さ 9.8m での起伏角度(0° , 40°)の影響を確認し, 裕度が最も小さい姿勢となるブーム長さ 19.1m, 起伏角 0° を代表姿勢とした。

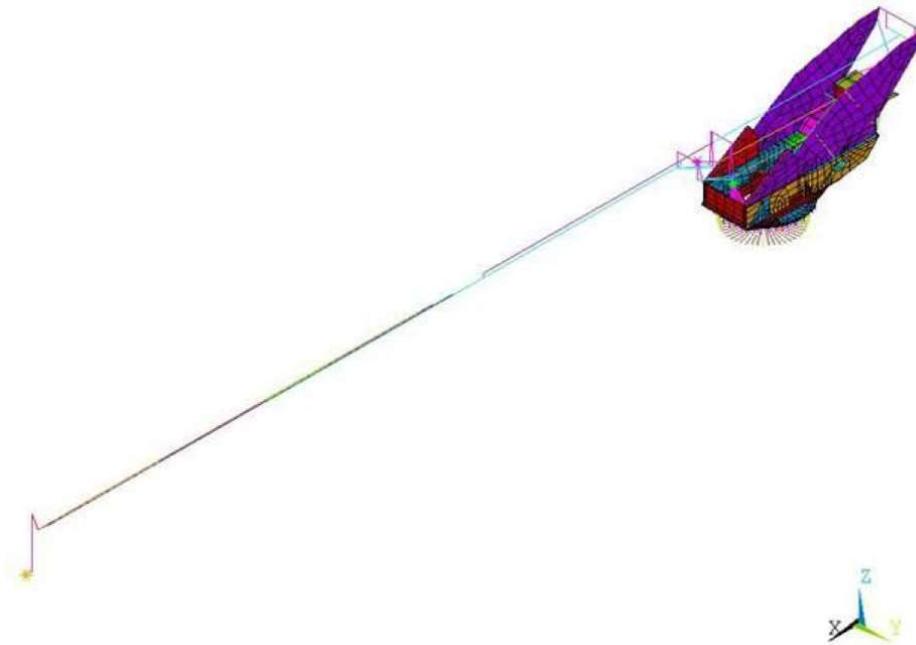


図 5 燃料取扱機(旋回体) 計算モデル

2.1.3 計算

計算には計算機(計算機コード ANSYS)を用いた。

2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では、1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)を原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルへ入力し得られる加速度応答時刻歴から求めた設計用床応答スペクトルを用いる。ランウェイガーダへの負荷荷重は、燃料取扱状態として燃料取扱設備重量及び燃料取扱機定格荷重を考慮した。床応答スペクトルの減衰定数は、燃料取扱機の振動特性から水平 3%、鉛直 1%を適用した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 6 に示す。

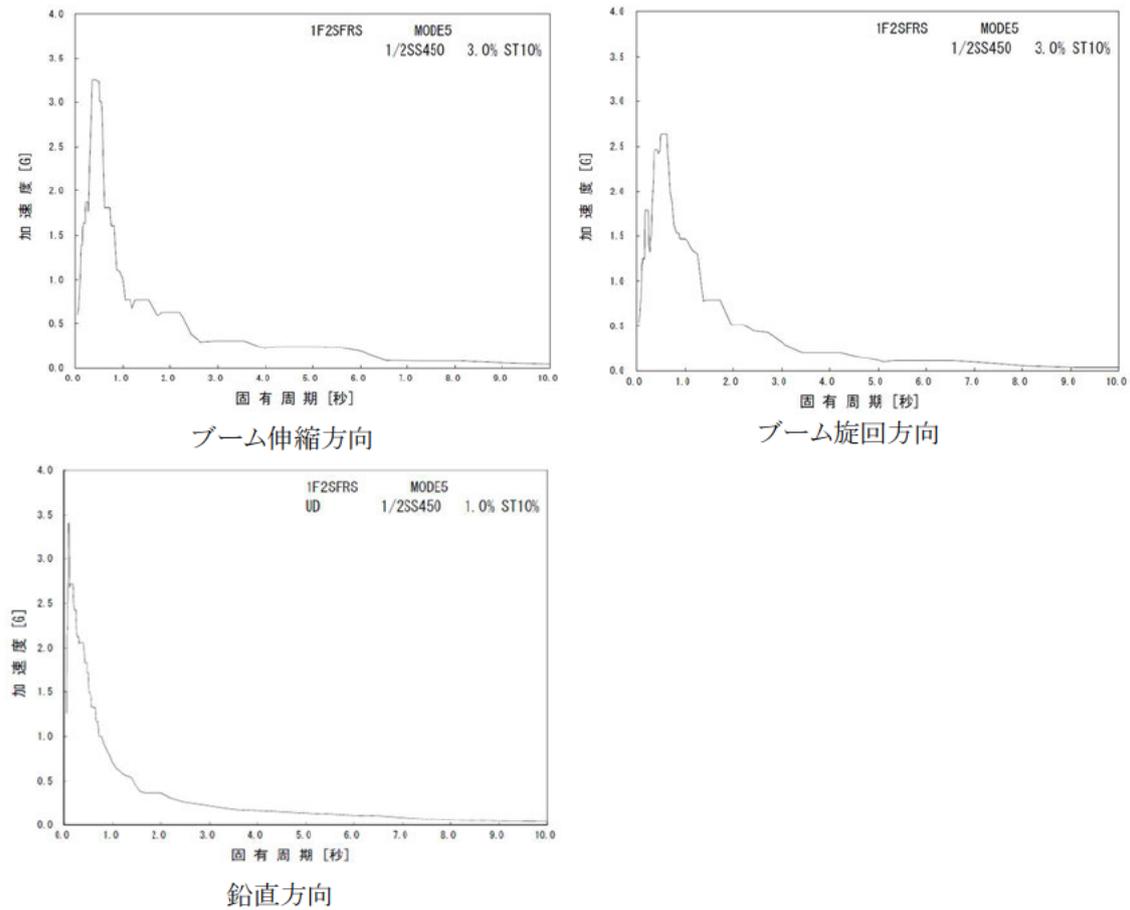


図 6 設計用床応答スペクトル(燃料取扱状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 2 に示す。

表 2 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE	引張	686
		せん断	396
		曲げ	686
		組合せ	686
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	917
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		せん断	529
		引張	917
		せん断	529

4. 結論

算出応力は、表 3 に示すように、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 3 算出応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE	引張	686	115
		せん断	396	15
		曲げ	686	355
		組合せ	686	471
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460	153
		曲げ	1088	112
		組合せ	798	288
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	917	187
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		せん断	529	53
		引張	917	237
		せん断	529	66

III. クレーン(旋回体)の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書はクレーン(旋回体)の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) 輸送容器取扱状態以外ではクレーン(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上にないことから, クレーン(旋回体)の耐震性の評価は評価姿勢, 荷重条件ともに最も厳しい条件となる輸送容器取扱状態で代表する。
- (2) クレーン(旋回体)は, 走行台車上面に旋回輪軸受取付ボルトで固定する。
- (3) クレーン(旋回体)には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし, ブーム伸縮方向, ブーム旋回方向の地震力がクレーン(旋回体)に対して同時に作用するものとする。
- (4) クレーン(旋回体)の評価は原子炉建屋側及び燃料取り出し用構台側での輸送容器取扱姿勢にて行う。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) クレーン(旋回体)の重量として自重及び定格荷重を考慮する。クレーン(旋回体)の重量を表 4 に示す。
- (2) クレーン(旋回体)の原子炉建屋側での評価姿勢を図 7 に, 燃料取り出し用構台側での評価姿勢を図 8 に示す。
- (3) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車部で支持する。

表 4 クレーンの重量

名称	重量(t)
クレーン(旋回体)	54
定格荷重	47

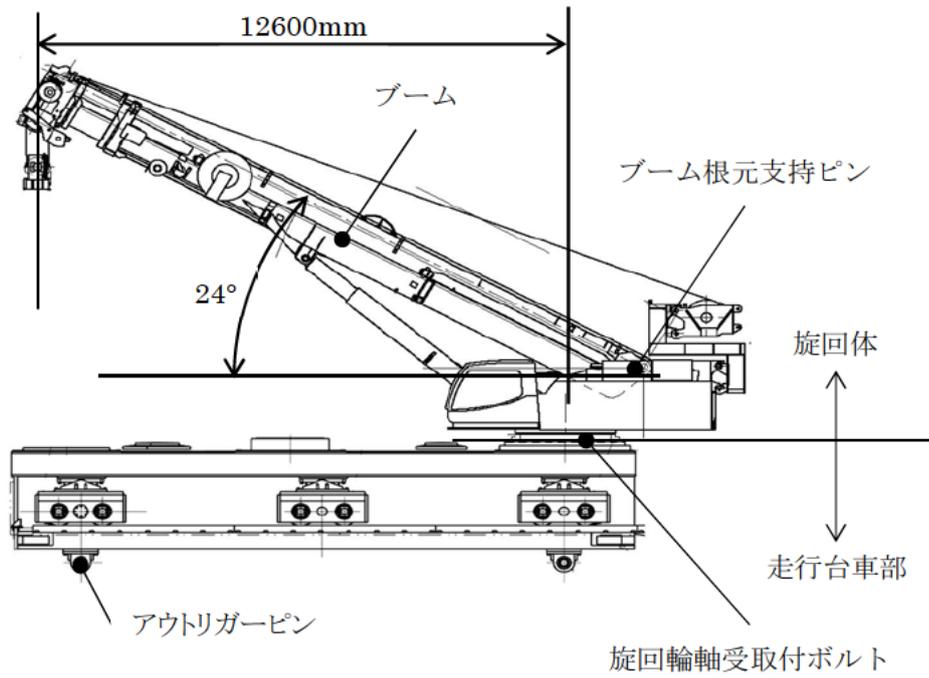


図 7 クレーン 構造概要(原子炉建屋側)

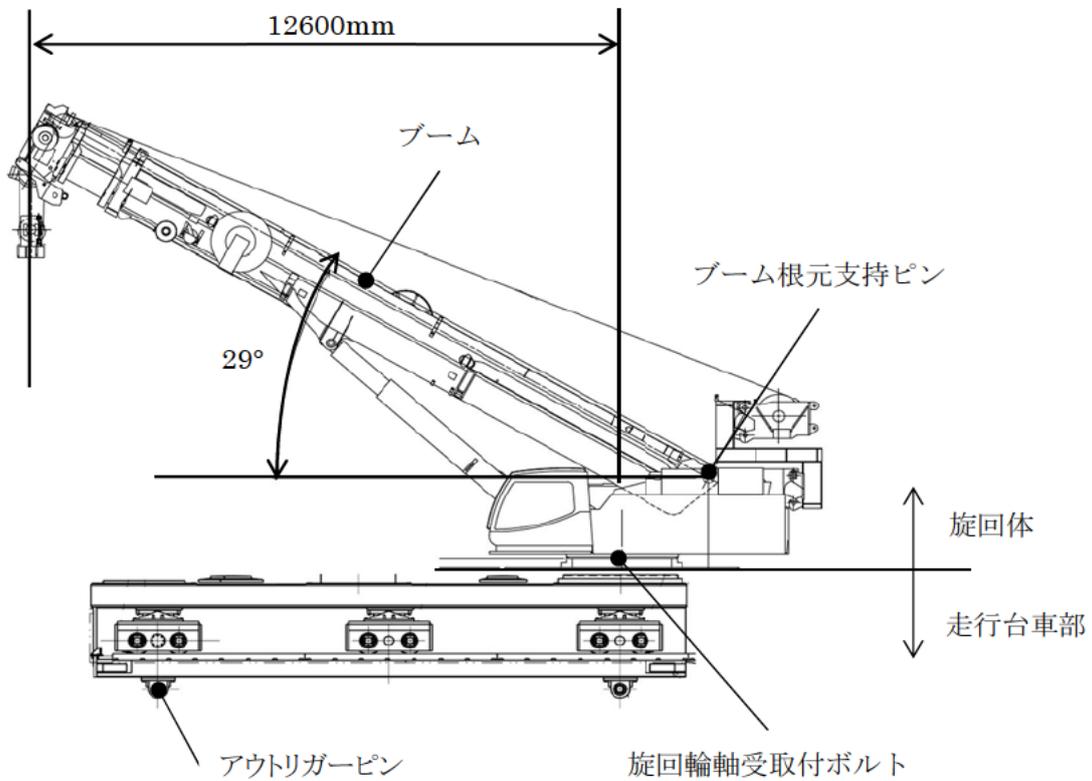


図 8 クレーン 構造概要(燃料取り出し用構台側)

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 9 に示す。

- (1) ブームは断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化する。
- (2) ブーム根元支持ピン及び旋回輪軸受取付ボルトははり要素でモデル化する。
- (3) クレーンは輸送容器取扱時の姿勢である旋回半径 12.6m, 起伏角 24° または起伏角 29° とする。

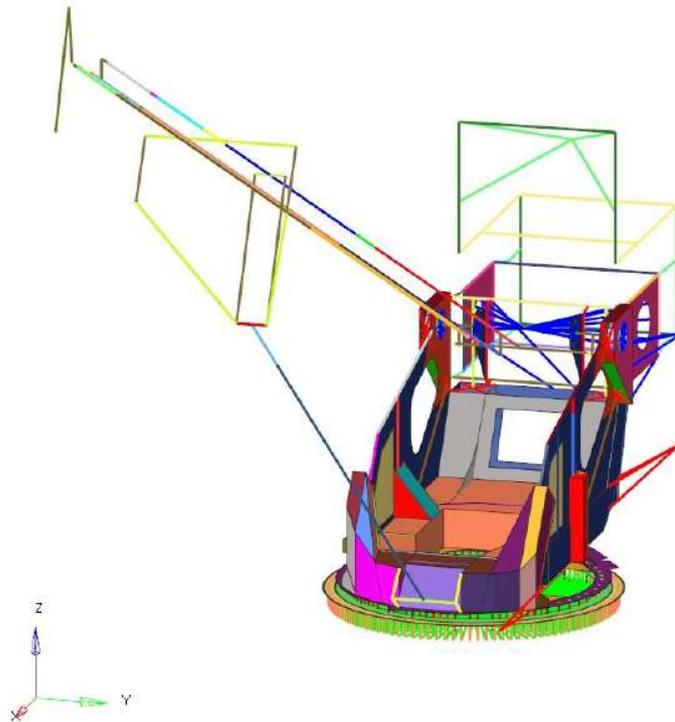


図 9 クレーン(旋回体) 計算モデル

2.1.3 計算

計算には計算機(計算機コード ANSYS)を用いた。

2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では、1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)を原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルへ入力し得られる加速度応答時刻歴から求めた設計用床応答スペクトルを用いる。ランウェイガーダへの負荷荷重は、輸送容器取扱状態として燃料取扱設備重量及びクレーン定格荷重を考慮した。床応答スペクトルの減衰定数は、クレーンの振動特性から水平 4%、鉛直 5%を適用した。本評価で用いる原子炉建屋側の設計用床応答スペクトルを図 10 に、燃料取り出し用構台側の設計用床応答スペクトルを図 11 に示す。

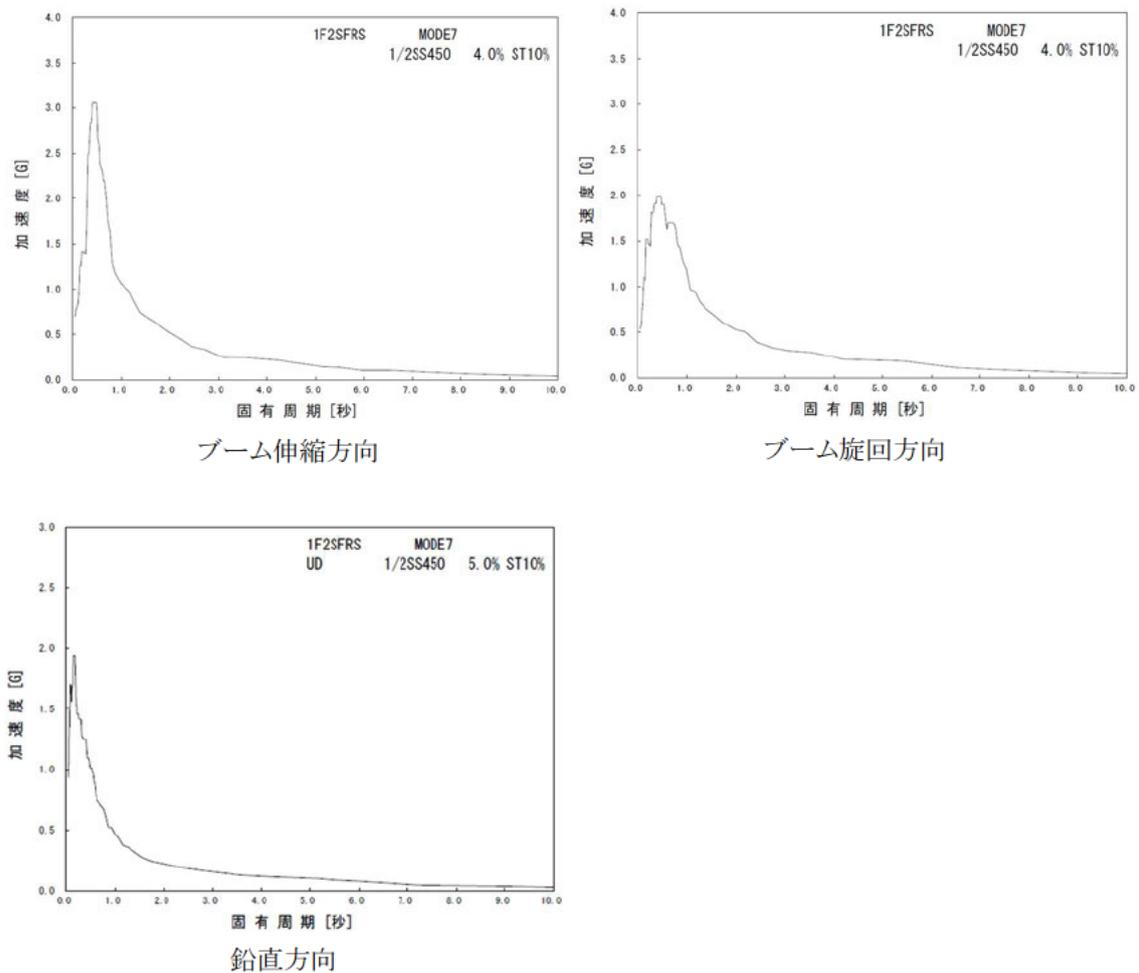


図 10 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態, 原子炉建屋側)

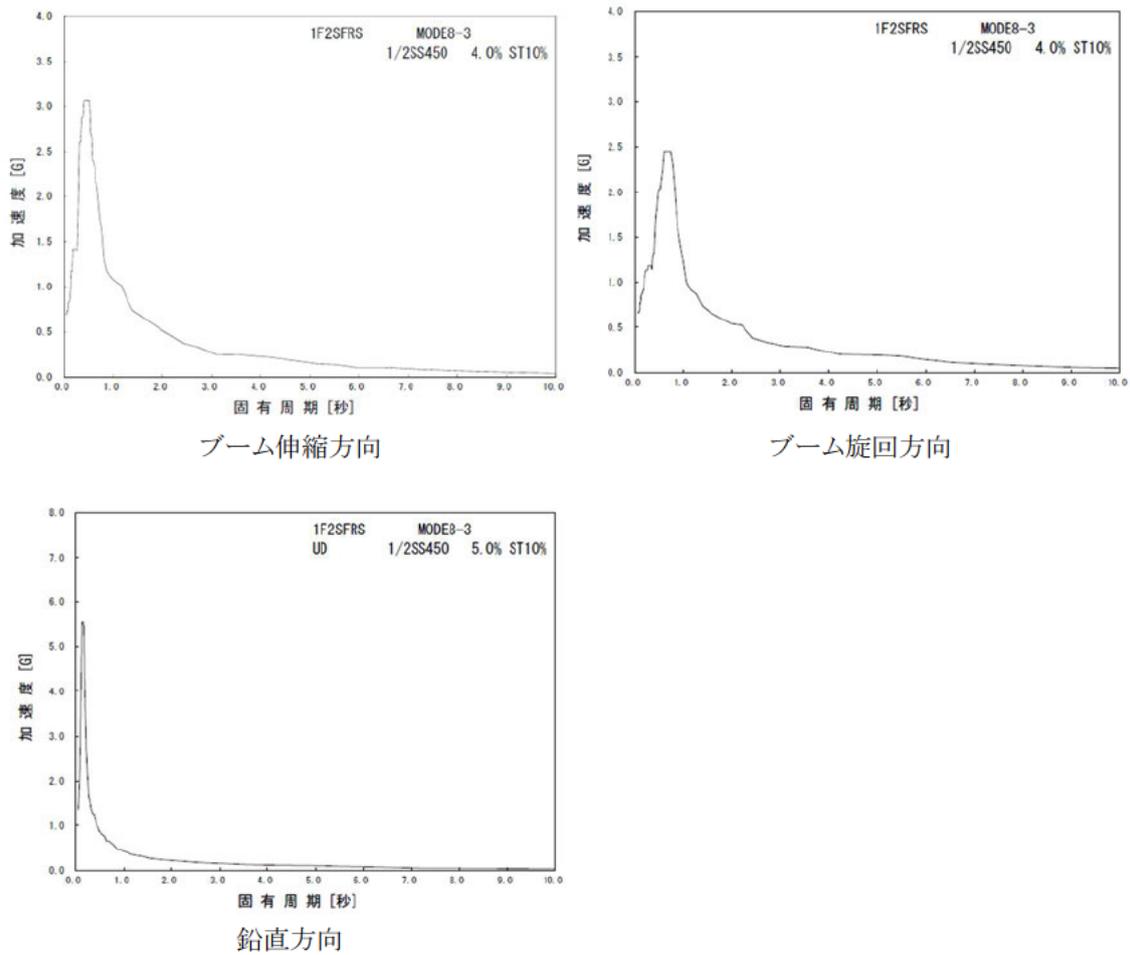


図 11 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態, 燃料取り出し用構台側)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 5 に示す。

表 5 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875
		せん断	505
		曲げ	875
		組合せ	875
ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303
		曲げ	525
		組合せ	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917

4. 結論

算出応力は、表 6 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 6 算出応力の評価

評価位置	部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
原子炉 建屋側	ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875	
			せん断	505	
			曲げ	875	
			組合せ	875	
	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303	
			曲げ	525	
			組合せ	525	
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917		
燃料取 り出し用 構台側	ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875	
			せん断	505	
			曲げ	875	
			組合せ	875	
	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303	
			曲げ	525	
			組合せ	525	
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917		

IV. 燃料取扱機／クレーン(走行台車部)の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本書は燃料取扱機及びクレーンを構成する走行台車部の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱設備全体が使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認するため、燃料取扱状態、輸送容器取扱状態について評価を行う。
- (2) 走行台車部は走行レール上を走行し、燃料取扱時及び輸送容器取扱時、輸送容器固定状態ではアウトリガーピンによりランウェイガーダに固定されるものとする。
- (3) 走行台車部には水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとする。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) 走行台車部の重量として自重及び搭載機器を考慮する。走行台車部の重量を表 7 に示す。
- (2) 走行台車部の自重及び搭載機器に作用する地震力は、搭載機器を支持する構造物フレームからアウトリガーピン及び転倒防止ラグを介してランウェイガーダに支持される。このとき、アウトリガーピンは走行台車の走行方向である水平(NS)方向及び鉛直(UD)方向の荷重を、転倒防止ラグは水平(EW)方向の荷重を伝達する。

表 7 走行台車部の重量

名称	重量(t)	各状態において追加で考慮する重量
走行台車部	153.6	—
燃料取扱機(旋回体)	22.5	燃料取扱状態において定格荷重(1t)を考慮
クレーン(旋回体)	54	輸送容器取扱において定格荷重(47t)を考慮
キャスク固定治具	28	—

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 12 に示す。

- (1) 走行台車部の計算モデルは、H 形又は箱型断面を有する構造物フレームにより構成される。

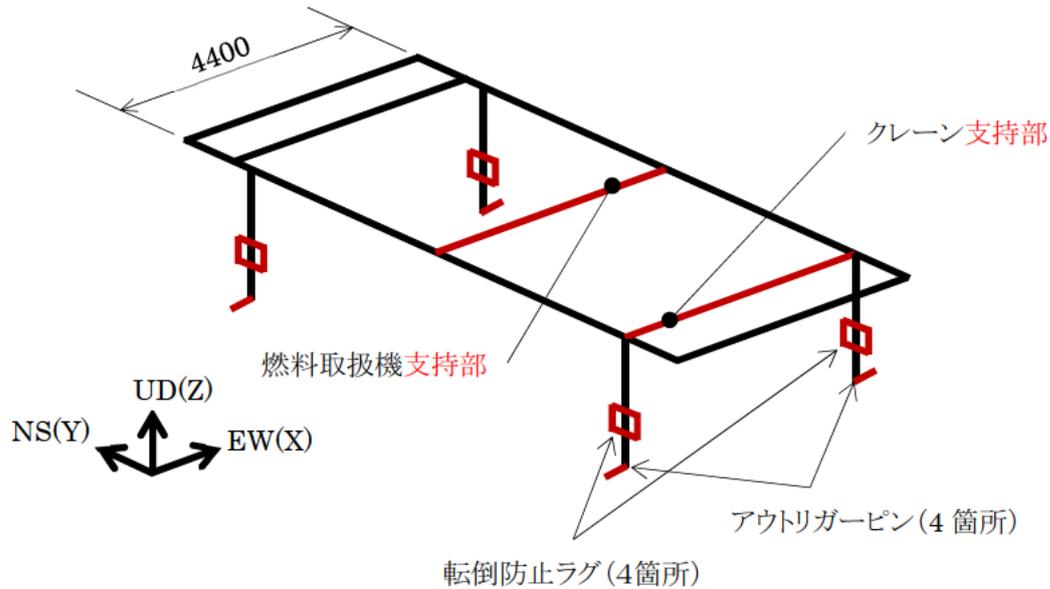


図 12 走行台車 計算モデル

2.1.3 計算

燃料取扱機及びクレーンを支持する構造物フレームの固有周期を次式により求める。

$$T = 2L^2/\pi \cdot \sqrt{w/1000EI}$$

T :固有周期

L :はりの長さ

w :単位長さ当りのはりの重量

E :はりの縦弾性係数

I :はりの断面二次モーメント

2.2. 計算に用いる入力地震動

構造物フレームの固有周期は水平方向、鉛直方向ともに0.01s以下であり、剛構造と考えられるため、各状態におけるランウェイガーダへの負荷荷重を考慮し、ランウェイガーダの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置から得られる最大応答加速度の1.2倍の加速度を用いて設計用震度とする。

表 8 適用する地震動

	燃料取扱機 支持部	クレーン支持部	
	原子炉 建屋側	原子炉 建屋側	燃料取り出し用 構台側
NS 方向	0.83	0.83	0.81
EW 方向	0.67	0.66	0.81
鉛直方向	0.74	0.77	1.47

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 9 に示す。

表 9 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
転倒防止ラグ	SM490B	支圧	977

4. 結論

算出応力は、表 10 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 10 算定応力の評価
(燃料取扱状態, 輸送容器取扱状態)

部位	評価位置	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力(MPa)	
					燃料取扱状態	輸送容器取扱状態
構造物フレーム (燃料取扱機支持部)	原子炉 建屋側	SM490B	引張	343		
			せん断	198		
			曲げ	343		
			組合せ	343		
構造物フレーム (クレーン支持部)	原子炉 建屋側	SM490B	引張	343		
			せん断	198		
			曲げ	343		
			組合せ	343		
	燃料取り出し用 構台側		引張	343		
			せん断	198		
			曲げ	343		
			組合せ	343		
アウトリガーピン	原子炉 建屋側	SNB23-1	せん断	460		
			曲げ	1088		
			組合せ	798		
	燃料取り出し用 構台側		せん断	460		
			曲げ	1088		
			組合せ	798		
転倒防止ラグ	原子炉 建屋側	SM490B	支圧	977		
	燃料取り出し用 構台側					

V. キャスク固定治具の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書はキャスク固定治具の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) キャスク固定治具に積載する輸送容器が転倒して使用済燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認するため、輸送容器積載時の評価を行う。設計床応答スペクトルは加速度応答のより大きいランウェイガード先端側を含む走行台車車輪位置 6 点を包絡したものを使用する。
- (2) キャスク固定治具には水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとする。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) キャスク固定治具の重量として自重及び搭載機器(輸送容器)を考慮する。キャスク固定治具の重量を表 11 に、構造概要を図 13 に示す。
- (2) キャスク固定治具取付ボルトは剛な走行台車に支持されているものとする。
- (3) キャスク固定治具取付ボルトにせん断力が生じないように、走行台車接続部に発生するせん断力は構造物フレームで支持する構造とする。

表 11 キャスク固定治具の重量

名称	重量(t)
キャスク固定治具	28
搭載機器(輸送容器)	50



図 13 キャスク固定治具 構造概要

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 14 に示す。

- (1) 輸送容器を支持する構造物フレームははり要素でモデル化する。

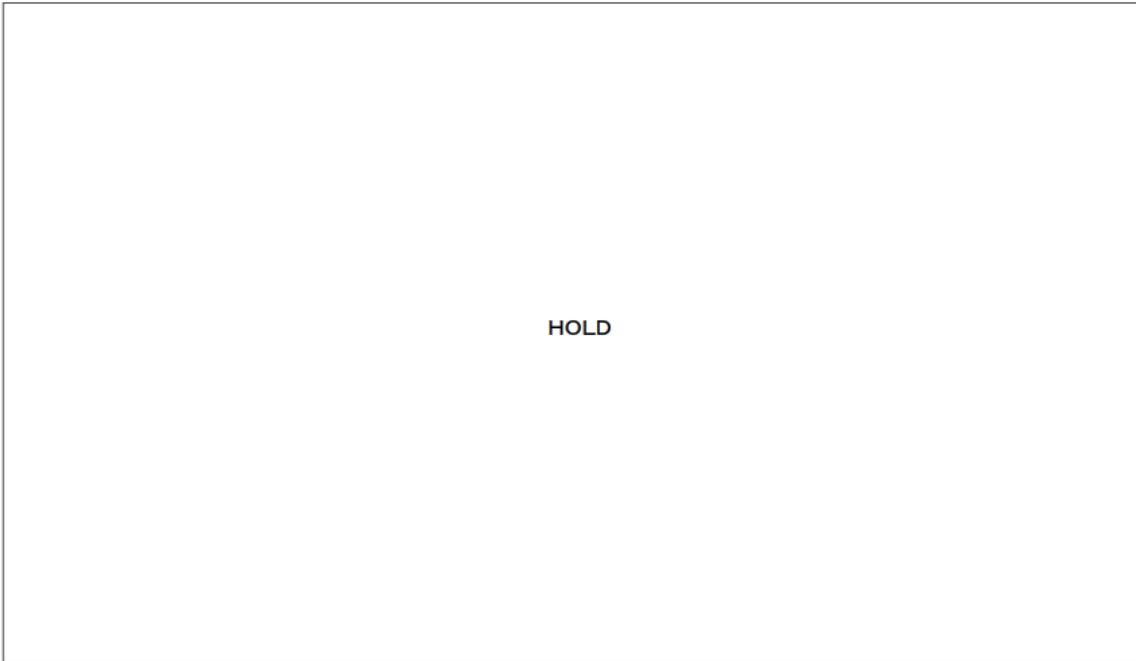


図 14 キャスク固定治具 計算モデル

2.1.3 計算

計算は計算機(計算機コード ANSYS)を用いて計算した。

2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では、1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)を原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルへ入力し得られる応答加速度時刻歴から求めた設計用床応答スペクトルを用いる。ランウェイガードへの負荷荷重は、輸送容器固定状態として燃料取扱設備重量及び輸送容器重量を考慮した。床応答スペクトルの減衰定数は、ボルト及びリベット構造物として水平 2%、鉛直 2%を適用した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 15 に示す。

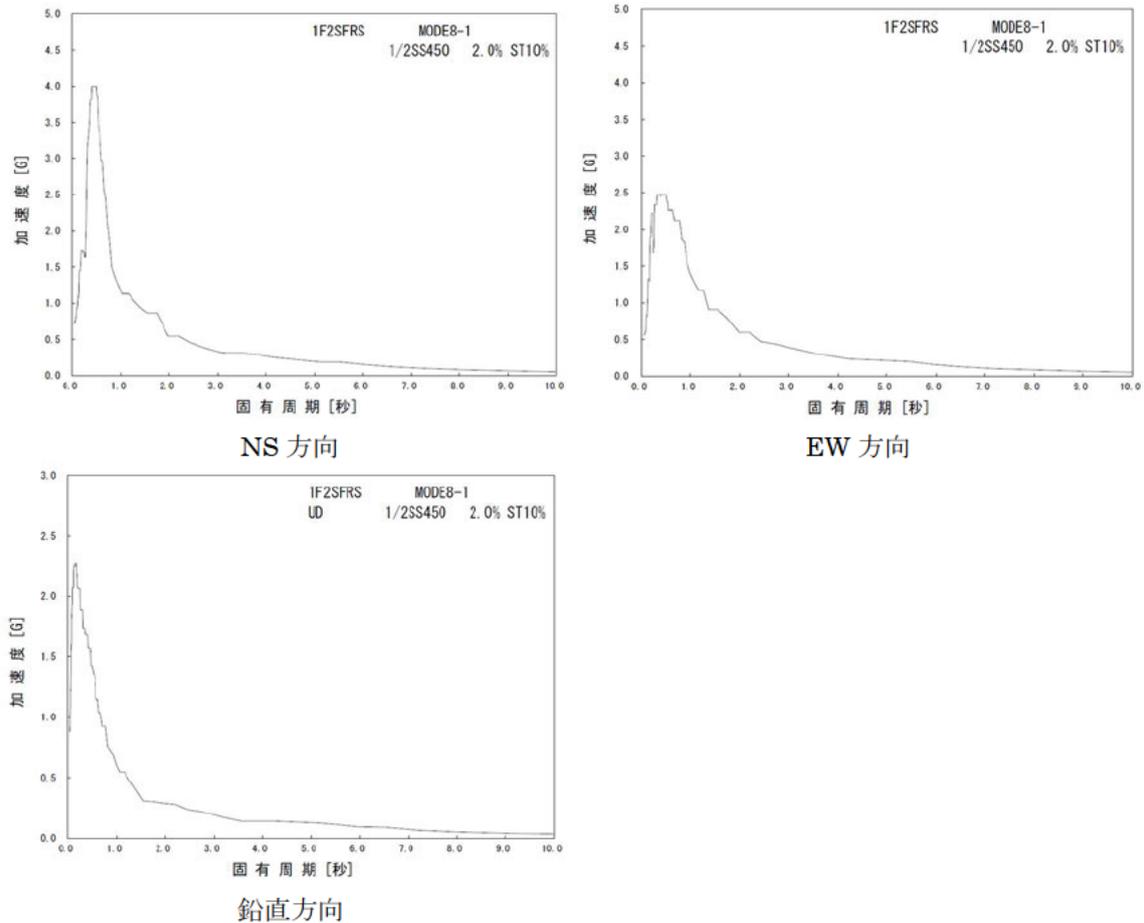


図 15 設計用床応答スペクトル(輸送容器固定状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 12 に示す。

表 12 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
キャスク固定治具取付ボルト	SNB23-1	引張	798

4. 結論

算出応力は, 表 13 に示す通り全て許容応力値以下であることを確認した。

表 13 算出応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B	引張	343	
		せん断	198	
		曲げ	343	
		組合せ	343	
キャスク固定治具取付ボルト	SNB23-1	引張	798	

A_2 :ブーム根元支持ピンの断面積

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = (P_{\tau x2} + P_{\tau z2}) \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = 112(\text{MPa})$$

$P_{\tau x2}$:ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{\tau z2}$:ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

B_2 :ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離

D_2 :ブーム根元支持ピンの外径

I_2 :ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = 288(\text{MPa})$$

1.3. 旋回輪軸受取付ボルト(内側)の強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3} / A_3 = 187(\text{MPa})$$

P_{t3} :取付ボルトに作用する引張力

A_3 :取付ボルトの有効断面積

(2) せん断応力

$$\tau_3 = P_{\tau 3} / A_3 + \tau_{b3} = 53(\text{MPa})$$

$P_{\tau 3}$:取付ボルトに作用するせん断力

A_3 :取付ボルトの有効断面積

τ_{b3} :捩じりモーメントによるせん断応力

1.4. 旋回輪軸受取付ボルト(外側)の強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t4} = P_{t4} / A_4 = 237(\text{MPa})$$

P_{t4} :取付ボルトに作用する引張力

A_4 :取付ボルトの有効断面積

(2) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau 4} / A_4 + \tau_{b4} = 66(\text{MPa})$$

$P_{\tau 4}$:取付ボルトに作用するせん断力

A_4 :取付ボルトの有効断面積

τ_{b4} :捩じりモーメントによるせん断応力

II. クレーン(旋回体)

1. 各部の強度

1.1. ブームの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = \text{---}(\text{MPa})$$

P_{t1} : ブームに作用する軸方向引張力 _____ (N)

A_1 : ブームの断面積 ██████████

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = \text{---}(\text{MPa})$$

M_{y1} : ブームに作用する Y 軸周りモーメント _____ (N・m)

M_{z1} : ブームに作用する Z 軸周りモーメント _____ (N・m)

H_{z1} : ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ ██████████

B_{y1} : ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ ██████████

I_{yy1} : ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント ██████████████████

I_{zz1} : ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント ██████████████████

(3) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = \text{---}(\text{MPa})$$

P_{ty1} : ブームに作用する Y 軸方向せん断力 _____ (N)

P_{tz} : ブームに作用する Z 軸方向せん断力 _____ (N)

A_1 : ブームの当該断面の断面積 ██████████████████

T_1 : ブームに作用する捩じりモーメント _____ (N・m)

A_{i1} : ブームの当該断面の内側境界断面積 ██████████████████

t_1 : ブームの当該断面の最小板厚 ██████████

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = \text{---}(\text{MPa})$$

1.2. ブーム根元支持ピンの強度検討

(1) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \sqrt{P_{\tau x2}^2 + P_{\tau z2}^2} \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = \text{___} (\text{MPa})$$

$P_{\tau x2}$: ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力 _____ (N)

$P_{\tau z2}$: ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力 _____ (N)

B_2 : ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離 _____

D_2 : ブーム根元支持ピンの外径 _____

I_2 : ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント _____

(2) せん断応力

$$\tau_2 = \sqrt{P_{\tau x2}^2 + P_{\tau z2}^2} / A_2 = \text{___} (\text{MPa})$$

$P_{\tau x2}$: ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力 _____ (N)

$P_{\tau z2}$: ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力 _____ (N)

A_2 : ブーム根元支持ピンの断面積 _____

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = \text{___} (\text{MPa})$$

1.3. 旋回輪軸受取付ボルトの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3} / A_3 = \text{___} (\text{MPa})$$

P_{t3} : 取付ボルトに作用する引張力 _____ (N)

A_3 : 取付ボルトの有効断面積 _____

III. 燃料取扱機／クレーン(走行台車部)

1. 燃料取扱状態における各部の強度

1.1. 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = \text{---}(\text{MPa})$$

P_{t1} : 構造物フレームに作用する軸方向引張力 $\text{---}(\text{N})$

A_1 : 構造物フレームの断面積 $1.734 \times 10^5 (\text{mm}^2)$

(2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{\tau y} + P_{\tau z})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = \text{---}(\text{MPa})$$

$P_{\tau y}$: 構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力 $\text{---}(\text{N})$

$P_{\tau z}$: 構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力 $\text{---}(\text{N})$

A_1 : 構造物フレームの断面積 $1.734 \times 10^5 (\text{mm}^2)$

T_1 : 構造物フレームに作用する捩じりトルク
 $\text{---}(\text{N} \cdot \text{mm})$

A_{i1} : 構造物フレームの内側境界断面
 $9.402 \times 10^5 (\text{mm}^2)$

t_1 : 構造物フレームの最小板厚 $22 (\text{mm})$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = \text{---}(\text{MPa})$$

M_{y1} : 構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント
 $\text{---}(\text{N} \cdot \text{mm})$

M_{z1} : 構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント
 $\text{---}(\text{N} \cdot \text{mm})$

H_{z1} : 構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの Z 方向の長さ
 $288 (\text{mm})$

B_{y1} : 構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの Y 方向の長さ
 $850 (\text{mm})$

I_{yy1} : 構造物フレームにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント
 $1.074 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$

I_{zz1} : 構造物フレームにおける Z 軸まわりの断面二次モーメント
 $9.279 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = \text{---}(\text{MPa})$$

1.2. 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

クレーン(旋回体)は使用済燃料プール上から退避しており、クレーン停止中の姿勢は維持されることから、使用済燃料プールや使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼすことはない。

1.3. アウトリガーピンの強度検討

(1) せん断応力

$$\tau_3 = P_{\tau 3} / (\pi d^2 / 4) = \text{_____} (\text{MPa})$$

$$P_{\tau 3} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad \text{_____} (\text{N})$$

$$d \quad : \text{ピンの外径} \quad 180 (\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b3} = (P_{\tau 3} \cdot L_3 / 2) / (\pi d^3 / 32) = \text{_____} (\text{MPa})$$

$$P_{\tau 3} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad \text{_____} (\text{N})$$

$$L_3 \quad : \text{ピンの曲げ長さ} \quad 40 (\text{mm})$$

$$d \quad : \text{ピンの外径} \quad 180 (\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_3^2} = \text{_____} (\text{MPa})$$

1.4. 転倒防止ラグの強度検討

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p4} = P_{p4} / A_4 = \text{_____} (\text{MPa})$$

$$P_{p4} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad \text{_____} (\text{N})$$

$$A_4 \quad : \text{支圧面積} \quad 2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

2. 輸送容器取扱状態における各部の強度

2.1. 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

1.1 の評価に包含される。

2.2. 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = \text{---}(\text{MPa})$$

P_{t2} : 構造物フレームに作用する軸方向引張力 _____(N)

A_2 : 構造物フレームの断面積 1.998×10^5 (mm²)

(2) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{\tau y2} + P_{\tau z2})/A_2 + T_2/(2 \cdot A_{i2} \cdot t_2) = \text{---}(\text{MPa})$$

$P_{\tau y2}$: 構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力 _____(N)

$P_{\tau z2}$: 構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力 _____(N)

A_2 : 構造物フレームの断面積 1.998×10^5 (mm²)

T_2 : 構造物フレームに作用する捩じりトルク _____(N・mm)

A_{i2} : 構造物フレームの内側境界断面 1.273×10^6 (mm²)

t_2 : 構造物フレームの最小板厚 22 (mm)

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = M_{y2} \cdot H_{z2}/I_{yy2} + M_{z2} \cdot B_{y2}/I_{zz2} = \text{---}(\text{MPa})$$

M_{y2} : 構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント
_____ (N・mm)

M_{z2} : 構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント
_____ (N・mm)

H_{z2} : 構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの z 方向の長さ
288 (mm)

B_{y2} : 構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの y 方向の長さ
1150 (mm)

I_{yy2} : 構造物フレームにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント
 1.276×10^{10} (mm⁴)

I_{zz2} : 構造物フレームにおける Z 軸まわりの断面二次モーメント
 1.793×10^{11} (mm⁴)

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t2} = \sqrt{(\sigma_{t2} + \sigma_{b2})^2 + 3\tau_2^2} = \text{---}(\text{MPa})$$

2.3. アウトリガーピンの強度検討

(1) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau 4} / (\pi d^2 / 4) = \text{_____} (\text{MPa})$$

$P_{\tau 4}$: ピンに作用するせん断力 _____ (N)

d : ピンの外径 180 (mm)

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b4} = (P_{\tau 4} \cdot L_3 / 2) / (\pi d^3 / 32) = \text{_____} (\text{MPa})$$

$P_{\tau 4}$: ピンに作用するせん断力 _____ (N)

L_3 : ピンの曲げ長さ 40 (mm)

d : ピンの外径 180 (mm)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_4^2} = \text{_____} (\text{MPa})$$

2.4. 転倒防止ラグの強度検討

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p5} = P_{p5} / A_4 = \text{_____} (\text{MPa})$$

P_{p5} : 転倒防止ラグに作用する水平力 _____ (N)

A_4 : 支圧面積 2.000×10^4 (mm²)