

3.1.1 核分裂生成物の放出量

(1) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」と同様の方法で評価する。

破損する燃料体数の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 構内用輸送容器の取り扱い作業に際し、構内用輸送容器が落下して、構内用輸送容器に収納された燃料集合体が破損するものと仮定する。
- b. 落下による燃料集合体の破損体数は、構内用輸送容器の収納体数7体とする。

(2) 評価条件

核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力2483MW（定格出力の約105%）で2000日運転を行った9×9燃料集合体について行う。
- b. 燃料集合体の冷却期間は365日とする。
- c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が構内用輸送容器内に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス(Kr-85)及びよう素(I-129)それぞれ30%とする。
- d. 放出された希ガスは、全量が構内用輸送容器から大気中へ移行するものとする。
- e. 放出されたよう素は、全量が構内用輸送容器から大気中へ移行するものとし、構内用輸送容器に内包する水による除去は無いものとする。

(3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表6の通りである。

表6 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー0.5MeV換算値) 大気放出量	約 1.6×10^{12} Bq
よう素(I-131等価量(小児実効))大気放出量	約 8.6×10^8 Bq
よう素(I-131等価量(成人実効))大気放出量	約 3.3×10^9 Bq

3.1.2 線量当量の評価

(1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 敷地境界外の地表空气中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度 (χ/Q) は設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値 $2.0 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ を適用する。
- b. 敷地境界外の希ガスによる γ 線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量 (D/Q) は設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値 $2.4 \times 10^{-10} \text{ Gy/Bq}$ を適用する。

(2) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」ならびに「4.1.1 原子炉冷却材喪失」と同様の方法で評価する。

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量 H_I (Sv) は、(1)式で計算する。

$$H_I = R \cdot H_\infty \cdot \chi / Q \cdot Q_I \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

R : 呼吸率 (m^3/s) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。
(小児 : $0.31 \text{ m}^3/\text{h}$, 成人 : $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$)

H_∞ : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量
(小児 : $1.6 \times 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$, 成人 : $2.0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$)

χ / Q : 相対濃度 (s/m^3)

Q_I : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)

希ガスの γ 線外部被ばくによる実効線量 H_γ (Sv) は、(2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

K : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 (1 Sv/Gy)

D / Q : 相対線量 (Gy/Bq)

Q_{γ} : 希ガスの大気放出量 (Bq) (γ 線実効エネルギー0.5MeV換算値)

また、希ガスの β 線外部被ばくによる実効線量 H_{β} (Sv) は、(3)式で計算する。

$$H_{\beta} = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_{\beta} \cdot E_{\beta} \cdot W_{TS} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

χ / Q : 相対濃度 (s/m³)

Q_{β} : 希ガスの大気放出量 (Bq)

E_{β} : β 線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV Kr-85実効エネルギー)

W_{TS} : 皮膚の組織荷重係数はICRP Publ. 60の値を用いる。(0.01)

(3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表7の通りである。

表7 構内用輸送容器の落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 1.7×10^{-3} mSv	約 1.9×10^{-3} mSv

4. 2号機燃料取扱設備の耐震クラスについて

2. 燃料取扱設備クレーンの使用済燃料プールへの落下、ならびに3. 構内用輸送容器の落下の被ばく評価に示すとおり、地震の影響により燃料取扱設備が破損したと想定した場合の公衆への被ばく影響は5mSv未満である。

以上より、2号機燃料取扱設備の耐震クラスはBクラスと考えられるが、運転できないことによるリスク低減活動への影響を考慮し、耐震クラスはB+クラスと考える。

5. 補足説明資料

別添1 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における使用済燃料プールのプール水全喪失時の影響評価に対する補足説明

別添2 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における燃料破損時の被ばく評価に対する補足説明

別添1 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における
使用済燃料プールのプール水全喪失時の影響評価に対する補足説明

1. 目的

V 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における2.1. 「使用済燃料プールライナーの破損による線量の上昇(シナリオ①)」の2号機使用済燃料プールのプール水全喪失時のスカイシャイン線, 直接線による敷地境界へ与える線量影響評価では, 6号機の解析結果を基に評価をしており, 6号機の解析条件を示す。

2. 解析条件

(1) 使用済燃料の解析条件は以下の通り。

- a. 使用済燃料の体数は1456体とする。
- b. 使用済燃料の燃焼度は保守的に最高燃焼度 51GWd/tとする。
- c. 使用済燃料の冷却期間は冷却期間が最も短い使用済燃料の冷却期間とし, 9.9年とする。
- d. ORIGEN2.2により使用済燃料の線源強度を計算し, この線源強度を用いてMCNP5-1.60により線量率を解析する。

(2) 制御棒の解析条件は以下の通り。

- a. 制御棒の本数は27本(ハンガーラック装荷本数)とする。
- b. 制御棒の照射量は保守的に最大照射量 4.9snvtとする。
- c. 制御棒の冷却期間は冷却期間が最も短い制御棒の冷却期間とし, 13.8年とする。
- d. ORIGEN2.2により制御棒の線源強度を計算し, この線源強度を用いてMCNP5-1.60により線量率を解析する。

3. 解析結果

2号機原子炉建屋から敷地境界までの距離は約900mであることから, 6号機原子炉建屋から900m地点における線量率を表1に示す。

表1 6号機解析結果

	使用済燃料[mSv/h]	制御棒[mSv/h]	合計[mSv/h]
900m 地点	約 2.3×10^{-5}	約 9.0×10^{-5}	約 1.2×10^{-4}

別添 2 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における
燃料破損時の被ばく評価に対する補足説明

V 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における被ばく評価は、福島第一原子力発電所2号機の「原子炉設置変更許可申請書 添付書類十 3. 事故解析 3. 4. 3 燃料集合体の落下」を基に評価している。

V 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」では、2.2にて燃料取扱設備クレーンが使用済燃料プールに落下し、燃料が破損するシナリオと、3.1にて構内用輸送容器が地上に落下し、燃料が破損するシナリオについて燃料破損の評価をしているが、同等の評価であることから前者について設置許可からの変更点を説明する。

V 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>2.2 使用済燃料プール内の燃料破損による核分裂生成物の放出（シナリオ②）</p> <p>2.2.1 核分裂生成物の放出量</p> <p>(1) 評価方法</p> <p>破損する燃料体数の評価は、次の仮定に基づいて行う。</p> <p>a. 燃料取扱設備に搭載しているクレーンが地震の影響により根元の旋回部から折損し、保守的にクレーンが使用済燃料プールの使用済燃料貯蔵ラック上に落下するものと仮定する。</p> <p>b. 使用済燃料プールの西側から20列目までの使用済燃料全てが破損すると仮定し、落下による燃料集合体の破損体数は449体とする。（図2参照）</p> <p>(2) 評価条件</p> <p>核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。</p> <p>a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力2483MW（定格出力の約105%）で2000日運転を行った9×9燃料集合体について行う。</p> <p>b. 燃料集合体の冷却期間は365日とする。</p> <p>c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス(Kr-85)及びヨウ素(I-129)それぞれ30%とする。</p> <p>d. 放出された希ガスは、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとする。</p> <p>e. 放出されたヨウ素は、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとするが、同時に水位低下が起こることを想定するため保守的に水による除去は無いものとする。</p>	<p>(1) 評価するシナリオの違いとそれに伴い破損する燃料体数の違い（設置許可は2.3体相当以下）</p> <p>(2) 設定する条件の違い</p> <p>b. 冷却期間を実際の取り出し時期とすると被ばく評価結果は低くなるが、基準5mSvと比べて大きくないため、保守的に他の実施計画の評価と合わせた（設置許可は1日）</p> <p>c. 十分に冷却した燃料で短半減期核種が減衰し長半減期核種のギャップへの放出割合が大きくなることから、ギャップ放出割合を30%※とした。（設置許可は希ガス10%、ヨウ素5%） ※（独）原子力安全基盤機構「平成18年度高燃焼度9×9型燃料信頼性実証成果報告書（総合評価編）」図3.10.1、図3.10.1.2にて、FPガス放出率は最大25%程度</p> <p>d, e. 評価シナリオで保守的に水がなくなると仮定しているため、ヨウ素の水による除染係数は考慮しておらず、大気にそのまま放出されるとしている（設置許可は除染係数500、非常用ガス処理系を考慮）</p>

V 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>(3) 評価結果</p> <p>上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表4の通りである。</p> <p>2.2.2 線量当量の評価</p> <p>(1) 評価の前提</p> <p>大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。</p> <p>a. 敷地境界外の地表空気中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度 (χ/Q) は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値 $2.0 \times 10^{-5} \text{s/m}^3$ を適用する。</p> <p>b. 敷地境界外の希ガスによるγ線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量 (D/Q) は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値 $2.4 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}$ を適用する。</p>	<p>(1) 設置許可と同等だが、以下を見直し。</p> <p>相対濃度 (χ/Q)、相対線量 (D/Q):</p> <p>燃料集合体の落下ではなく保守的に主蒸気管破断の地上放出の値を適用(設置許可は $\chi/Q = 5.6 \times 10^{-6} \text{s/m}^3$, $D/Q = 1.5 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}$)</p>

V 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>(2) 評価方法</p> <p>敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。</p> <p>よう素の内部被ばくによる実効線量H_1 (Sv) は、(1)式で計算する。</p> $H_1 = R \cdot H_\infty \cdot \chi / Q \cdot Q_1 \cdots \cdots \cdots (1)$ <p>ここで、</p> <p>R : 呼吸率 (m³/s) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当りに換算して用いる。 (小児 : 0.31m³/h, 成人 : 1.2m³/h)</p> <p>H_∞ : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量 (小児 : 1.6×10⁻⁷Sv/Bq, 成人 : 2.0×10⁻⁸Sv/Bq)</p> <p>χ / Q : 相対濃度 (s/m³)</p> <p>Q_1 : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)</p> <p>希ガスのγ線外部被ばくによる実効線量H_γ (Sv) は、(2)式で計算する。</p> $H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (2)$ <p>ここで、</p> <p>K : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 (1Sv/Gy)</p> <p>D / Q : 相対線量 (Gy/Bq)</p> <p>Q_γ : 希ガスの大気放出量 (Bq) (γ線実効エネルギー=0.5MeV 換算値)</p>	<p>(2) 呼吸率 :</p> <p>原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の値とした (設置許可は ICRP Publ. 23(1974))</p> <p>よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量 :</p> <p>ICRP Publ. 71(1995) の値とした (設置許可は ICRP Publ. 30(1978))</p>

V 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>また、希ガスのβ線外部被ばくによる実効線量H_{β} (Sv) は、(3)式で計算する。</p> $H_{\beta} = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_{\beta} \cdot E_{\beta} \cdot W_{TS} \dots \dots \dots (3)$ <p>ここで、</p> <p>χ / Q : 相対濃度 (s/m³)</p> <p>Q_{β} : 希ガスの大気放出量 (Bq)</p> <p>E_{β} : β線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV)</p> <p>W_{TS} : 皮膚の組織荷重係数はICRP Publ.60の値を用いる。(0.01)</p> <p>(3) 評価結果</p> <p>上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表5の通りである。</p>	<p>設置許可 添付書類十 4. 重大事故及び仮想事故 4. 1. 1 原子炉冷却材喪失におけるβ線による全身に対する線量(4-3)式を用いて評価。ただし、β線による外部被ばくによる実効線量を求めるため、原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」より、皮膚に対する組織荷重係数を乗じて算出した。(設置許可は等価線量の計算式)</p>

VI 燃料取扱設備の耐震性についての計算書

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、輸送容器一次蓋を取り扱うジブクレーン、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)

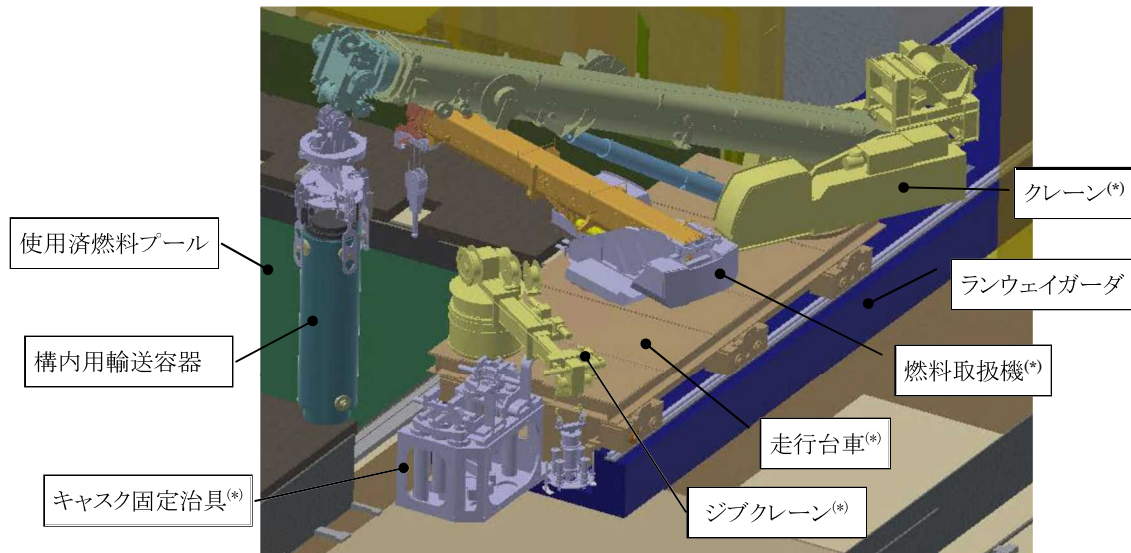


図 1 燃料取扱設備 構造概要(*が本書の評価対象機器)

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。地震力の組合せについては、2乗和平方根法を用いて算出する。

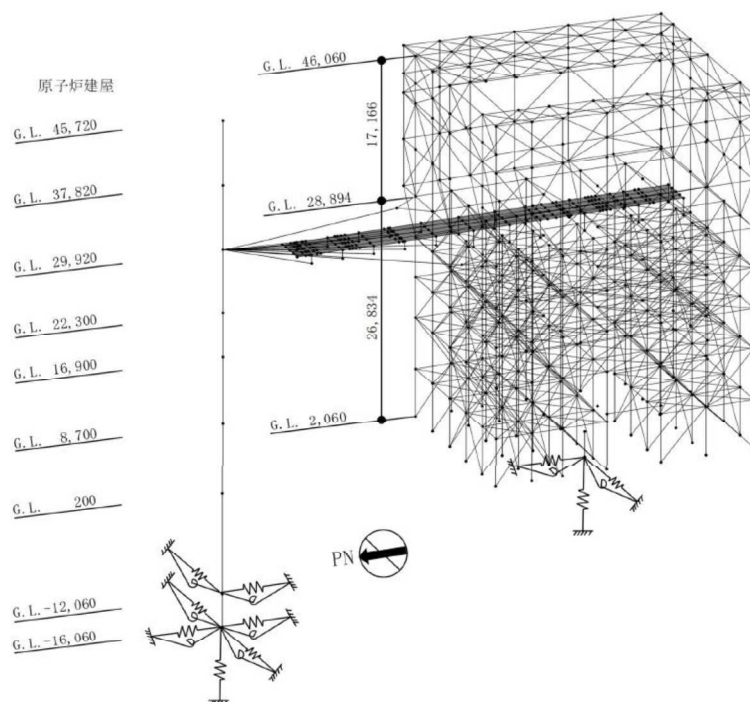


図 2 地震応答解析モデル

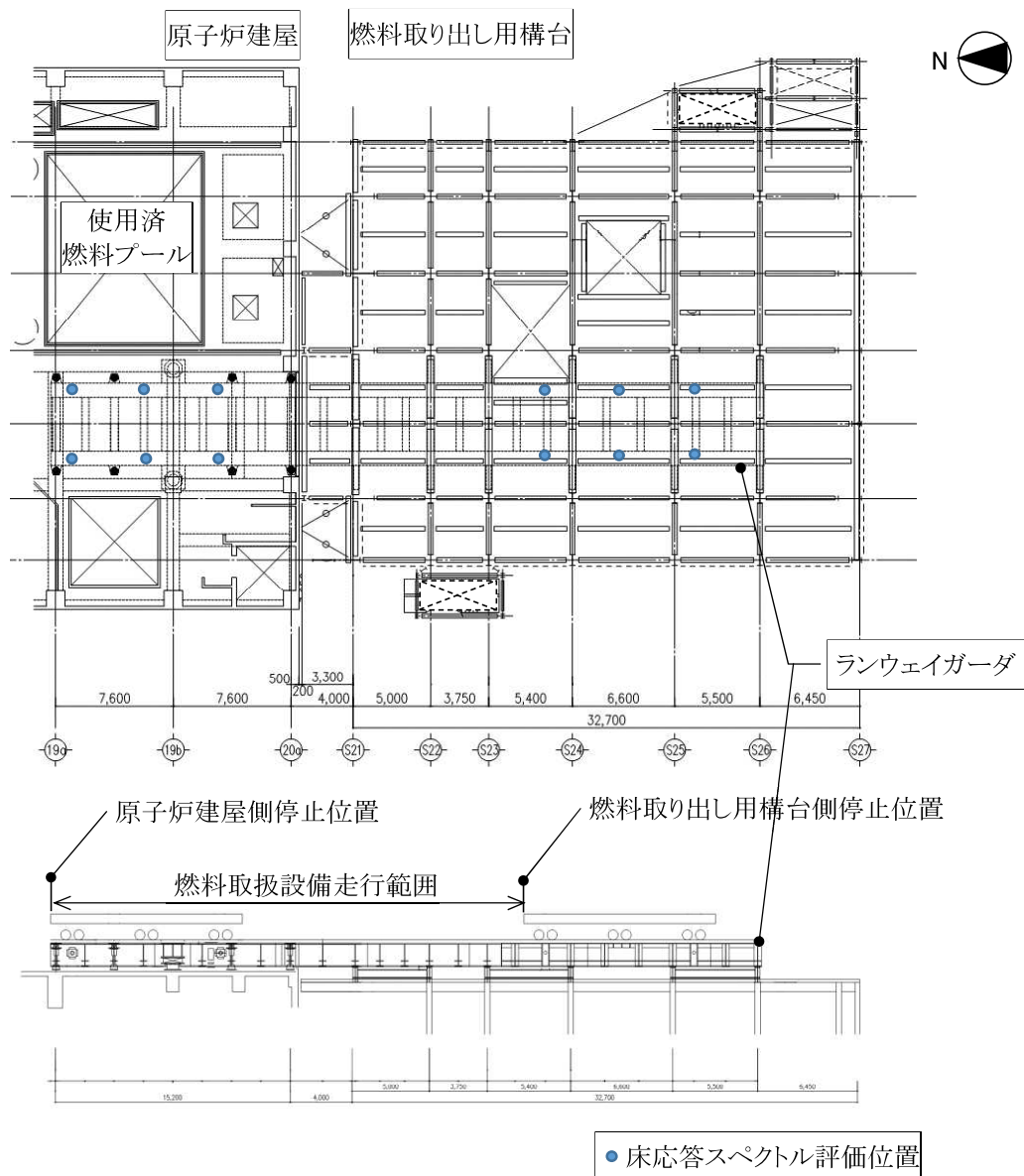


図 3 床応答スペクトル 評価位置

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。
- (4) 地震力はランウェイガードと取り合う走行台車部の車輪位置から, 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)に伝達し, 燃料取扱機(旋回体)の旋回輪軸受取付ボルトを介して, 旋回体部のブーム及びブーム根元支持ピンへ伝達される。上記の荷重伝達経路を考慮し, 燃料取扱機(旋回体)として, ブーム, ブーム根元支持ピン, 旋回輪軸受取付ボルトを評価対象部位とする。

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

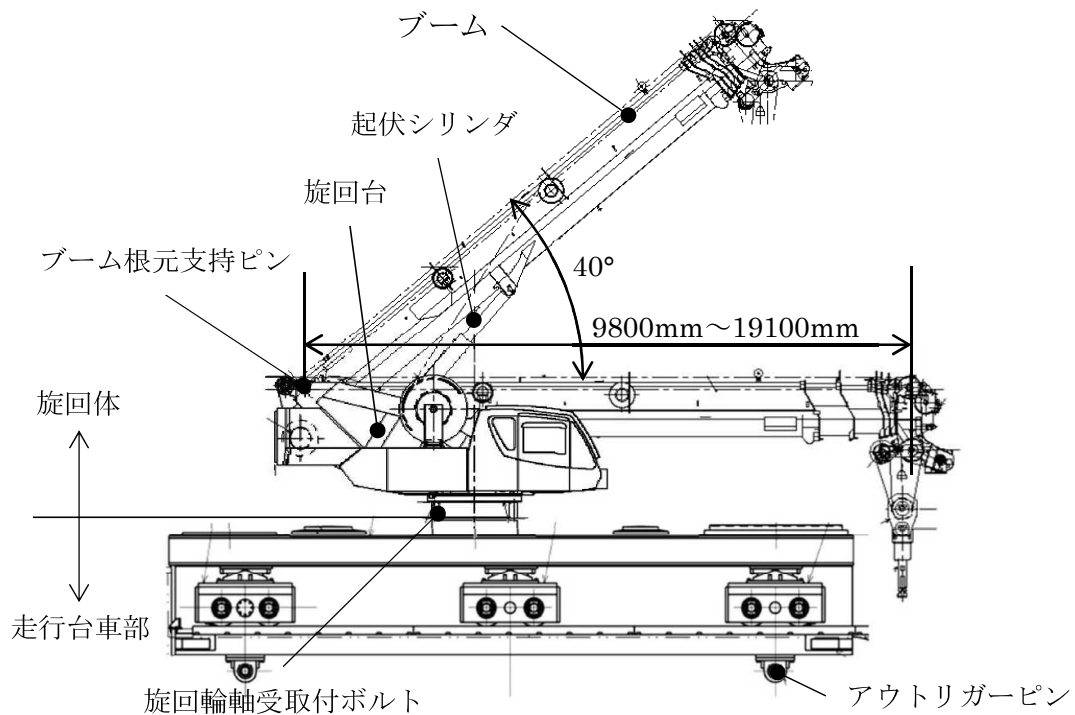


図 4 燃料取扱機 構造概要

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) ブームごとに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。

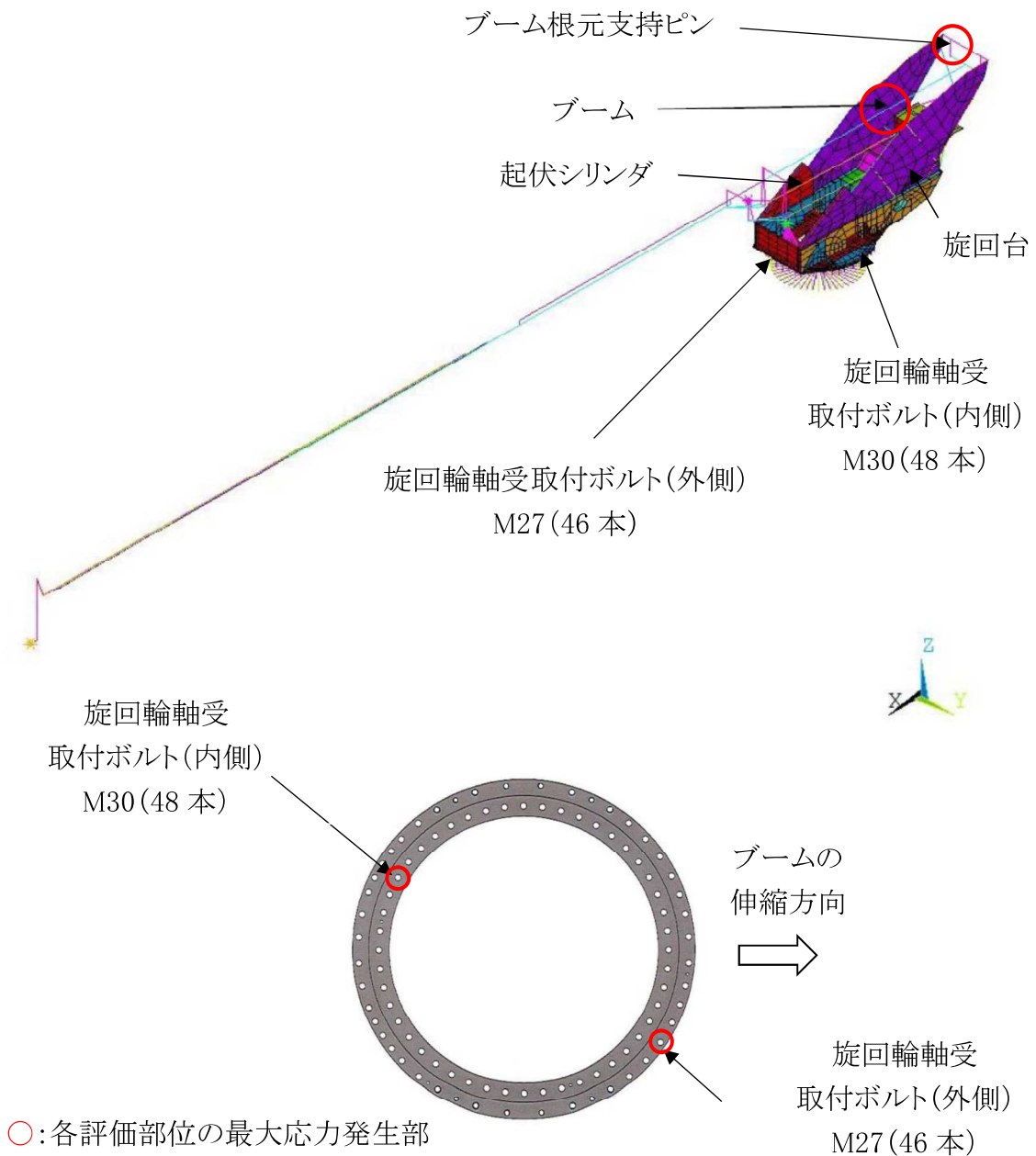


図 5 燃料取扱機(旋回体) 計算モデル

2.1.3 計算

燃料取扱機の固有周期は水平 1.6s, 上下 1.0s となる。

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。

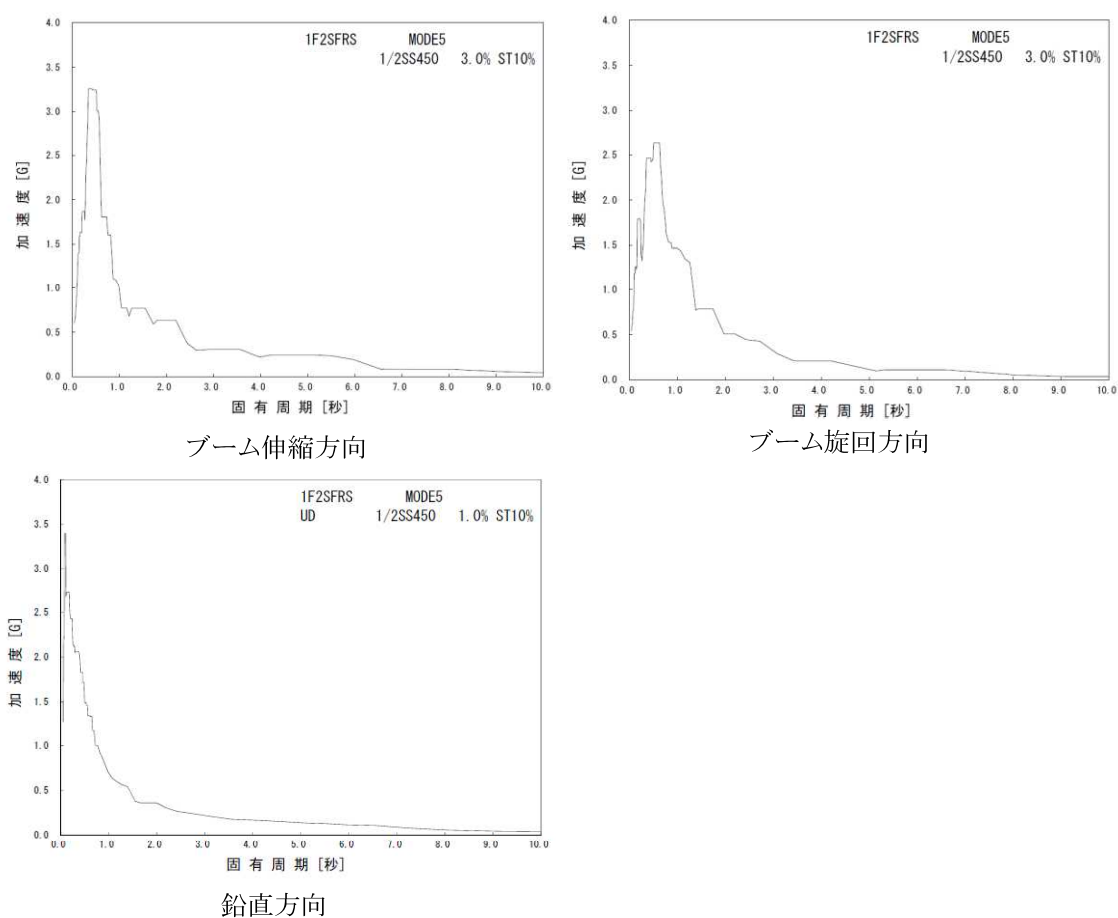


図 6 設計用床応答スペクトル(燃料取扱状態)

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 /WEL-TEN980E	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. 数値計算

各要素に生じる力、モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め、各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

4.1. 燃料取扱機(旋回体)の計算過程を示す。

4.1.1 ブームの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 115(\text{MPa})$$

$$P_{t1}:\text{ブームに作用する軸方向引張力} \quad 2.036 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_1:\text{ブームの断面積} \quad 1.779 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = 15(\text{MPa})$$

$$P_{ty1}:\text{ブームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 6.088 \times 10^4(\text{N})$$

$$P_{tz1}:\text{ブームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 1.341 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_1:\text{ブームの当該断面の断面積} \quad 1.779 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

$$T_1:\text{ブームに作用する捩じりモーメント} \quad 2.069 \times 10^7(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i1}:\text{ブームの当該断面の内側境界断面積} \quad 6.321 \times 10^5(\text{mm}^2)$$

$$t_1:\text{ブームの当該断面の最小板厚} \quad 5(\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 355(\text{MPa})$$

$$M_{y1}:\text{ブームに作用する Y 軸周りモーメント} \quad 1.170 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1}:\text{ブームに作用する Z 軸周りモーメント} \quad 3.925 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$H_{z1}:\text{ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ} \quad 499(\text{mm})$$

$$B_{y1}:\text{ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ} \quad 362(\text{mm})$$

$$I_{yy1}:\text{ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント} \quad 2.250 \times 10^9(\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1}:\text{ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント} \quad 1.490 \times 10^9(\text{mm}^4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = 471(\text{MPa})$$

4.1.2 ブーム根元支持ピンの強度検討

(1) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{\tau x2} + P_{\tau z2})/A_2 = 153(\text{MPa})$$

$$P_{\tau x2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力} \quad 1.323 \times 10^6(\text{N})$$

$$P_{\tau z2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力} \quad 1.316 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_2: \text{ブーム根元支持ピンの断面積} \quad 9503(\text{mm}^2)$$

(2) 曲げ応力

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

$$P_{\tau x2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力} \quad 1.323 \times 10^6(\text{N})$$

$$P_{\tau z2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力} \quad 1.316 \times 10^5(\text{N})$$

$$B_2: \text{ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離} \quad 10(\text{mm})$$

$$D_2: \text{ブーム根元支持ピンの外径} \quad 110(\text{mm})$$

$$I_2: \text{ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント} \quad 7.187 \times 10^6(\text{mm}^4)$$

(3) 組合せ応力

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

4.1.3 旋回輪軸受取付ボルト(内側)の強度検討

(1) 引張応力

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

$$P_{t3}: \text{取付ボルトに作用する引張力} \quad 1.045 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_3: \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 561(\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

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

$$P_{\tau 3}: \text{取付ボルトに作用するせん断力} \quad 1.996 \times 10^4(\text{N})$$

$$A_3: \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 561(\text{mm}^2)$$

$$\tau_{b3}: \text{振じりモーメントによるせん断応力} \quad 17(\text{MPa})$$

4.1.4 旋回輪軸受取付ボルト(外側)の強度検討

(1) 引張応力

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

$$P_{t4}: \text{取付ボルトに作用する引張力} \quad 1.085 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_4: \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 459(\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau4}/A_4 + \tau_{b4} = 66(\text{MPa})$$

$$P_{\tau4}: \text{取付ボルトに作用するせん断力} \quad 2.987 \times 10^4(\text{N})$$

$$A_4: \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 459(\text{mm}^2)$$

$$\tau_{b4}: \text{捩じりモーメントによるせん断応力} \quad 1(\text{MPa})$$

5. 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 /WEL-TEN980E	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。
- (5) 地震力はランウェイガードと取り合う走行台車部の車輪位置から, 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)に伝達し, クレーンの旋回輪軸受取付ボルトを介して, 旋回体部のブーム及びブーム根元支持ピンへ伝達される。上記の荷重伝達経路を考慮し, クレーン(旋回体)として, ブーム, ブーム根元支持ピン, 旋回輪軸受取付ボルトを評価対象部位とする。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) 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

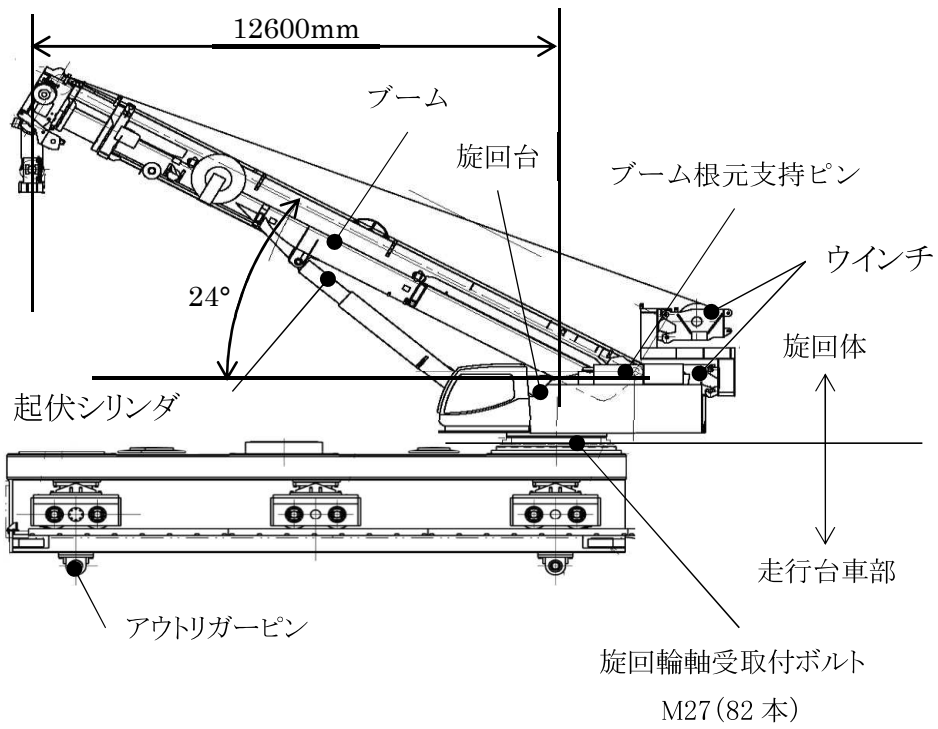


図 7 クレーン 構造概要(原子炉建屋側)

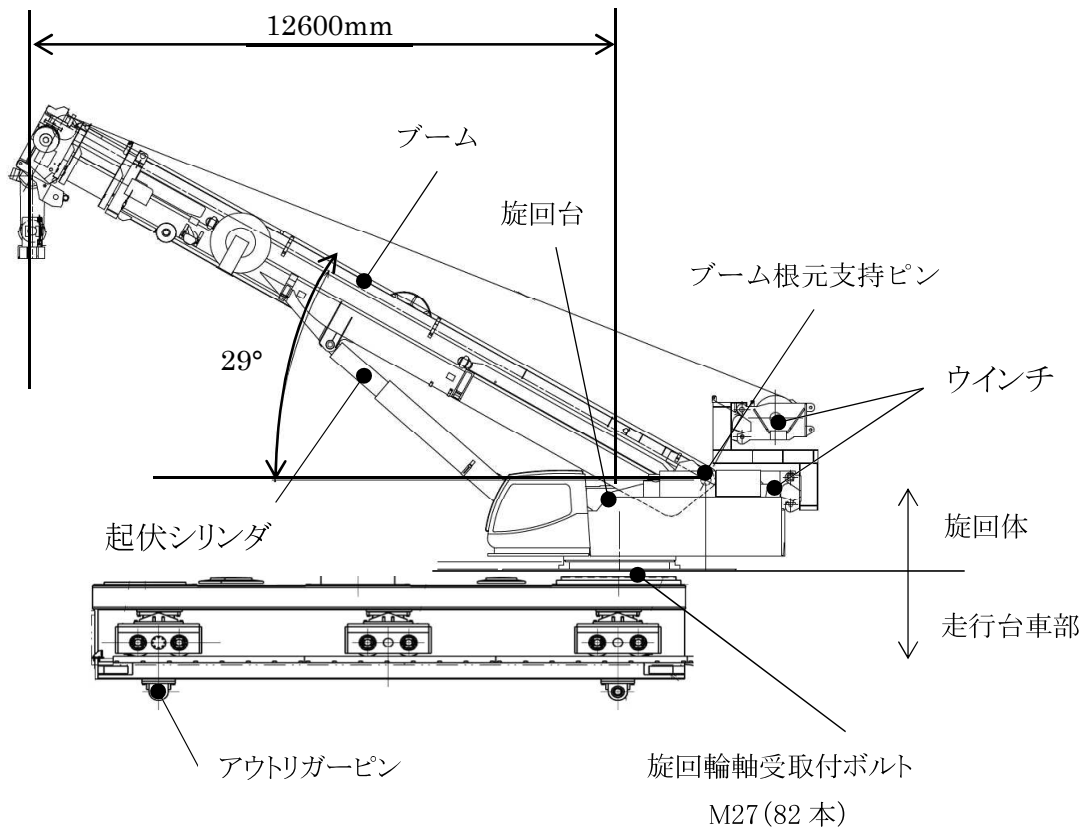
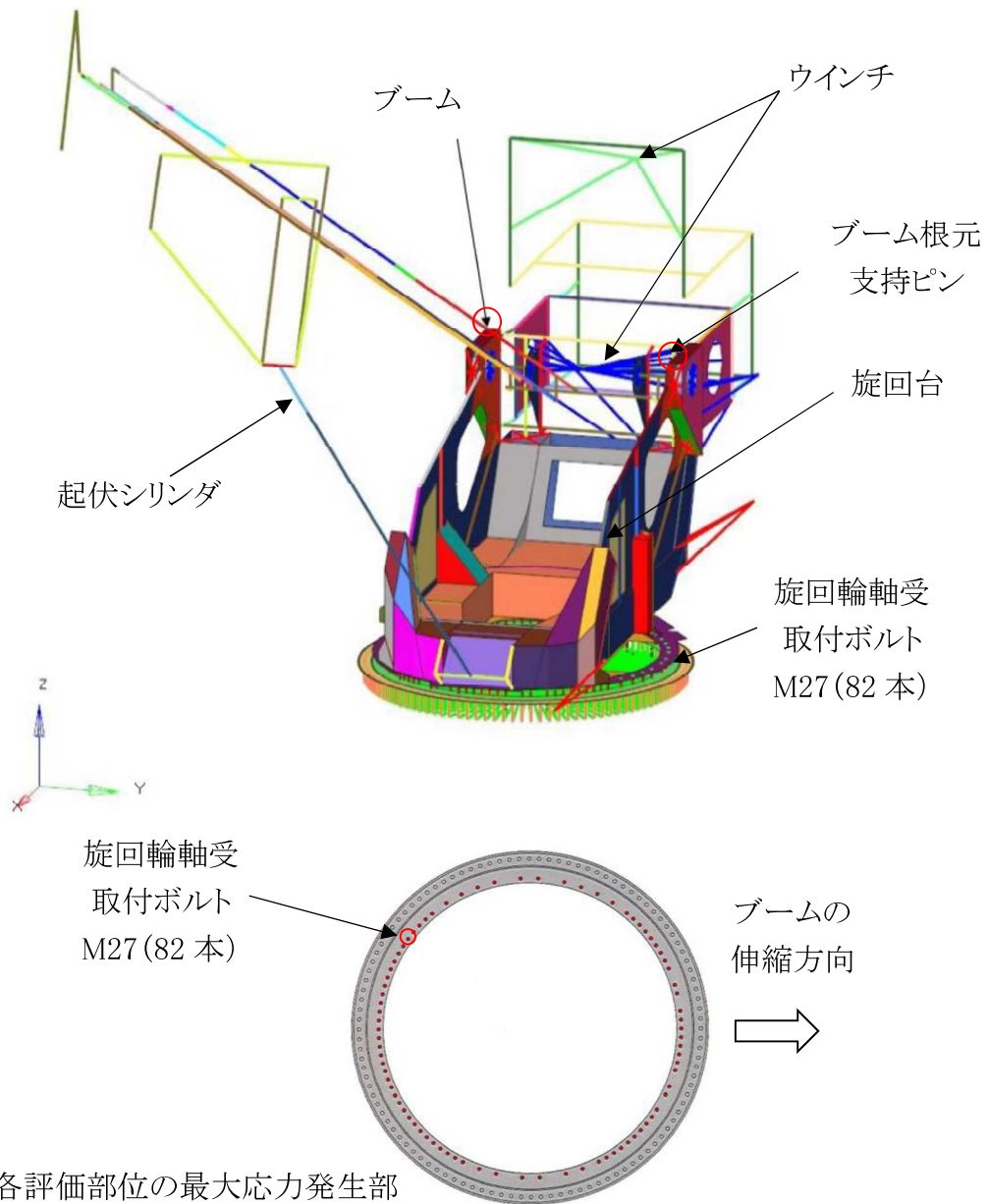


図 8 クレーン 構造概要(燃料取り出し用構台側)

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) ブームごとに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。
- (4) 旋回輪軸受取付ボルトは、内側 82 本, 外側 108 本であるため、内側を代表して評価する。



2.1.3 計算

クレーンの固有周期は水平 1.0s, 上下 1.0s となる。

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。ランウェイガードへの負荷荷重は、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。

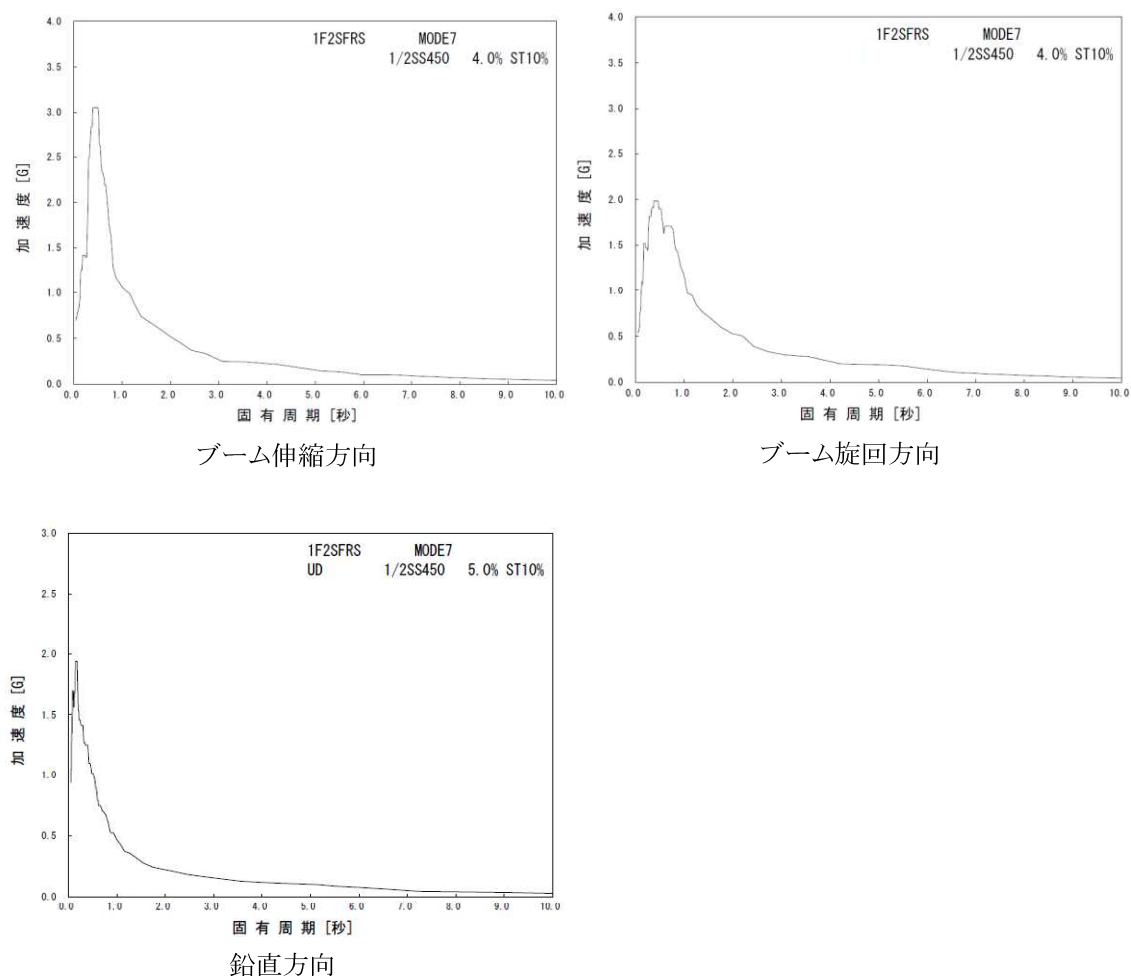


図 10 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態, 原子炉建屋側)

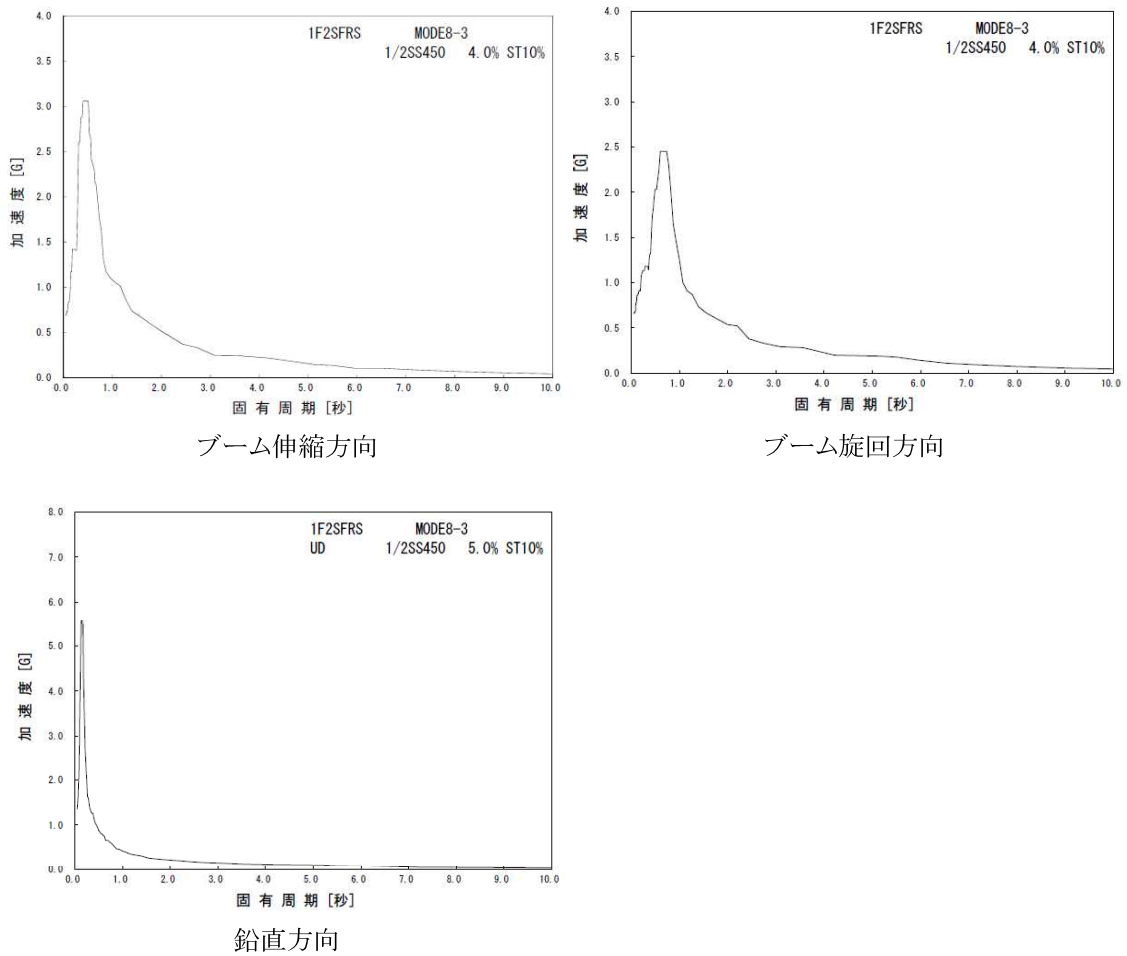


図 11 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態, 燃料取り出し用構台側)

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. 数値計算

各要素に生じる力、モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め、各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

4.1. 原子炉建屋側でのクレーン(旋回体)の計算過程を示す。

4.1.1 ブームの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 108(\text{MPa})$$

$$P_{t1}:\text{ブームに作用する軸方向引張力} \quad 4.370 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_1:\text{ブームの断面積} \quad 4.051 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 297(\text{MPa})$$

$$M_{y1}:\text{ブームに作用する Y 軸周りモーメント} \quad 2.137 \times 10^9(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$M_{z1}:\text{ブームに作用する Z 軸周りモーメント} \quad 1.896 \times 10^9(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$H_{z1}:\text{ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ} \quad 754(\text{mm})$$

$$B_{y1}:\text{ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ} \quad 660(\text{mm})$$

$$I_{yy1}:\text{ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント} \quad 9.160 \times 10^9(\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1}:\text{ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント} \quad 1.040 \times 10^{10}(\text{mm}^4)$$

(3) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = 18(\text{MPa})$$

$$P_{ty1}:\text{ブームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 2.002 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{tz1}:\text{ブームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 2.171 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_1:\text{ブームの当該断面の断面積} \quad 4.051 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

$$T_1:\text{ブームに作用する捩じりモーメント} \quad 1.541 \times 10^8(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$A_{i1}:\text{ブームの当該断面の内側境界断面積} \quad 1.450 \times 10^6(\text{mm}^2)$$

$$t_1:\text{ブームの当該断面の最小板厚} \quad 7(\text{mm})$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = 407(\text{MPa})$$

4.1.2 ブーム根元支持ピンの強度検討

(1) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = 58(\text{MPa})$$

$$P_{tx2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力} \quad 1.978 \times 10^6(\text{N})$$

$$P_{tz2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力} \quad 6.923 \times 10^5(\text{N})$$

$$B_2: \text{ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離} \quad 10(\text{mm})$$

$$D_2: \text{ブーム根元支持ピンの外径} \quad 160(\text{mm})$$

$$I_2: \text{ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント} \quad 2.895 \times 10^7(\text{mm}^4)$$

(2) せん断応力

$$\tau_2 = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} / A_2 = 153(\text{MPa})$$

$$P_{tx2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力} \quad 1.978 \times 10^6(\text{N})$$

$$P_{tz2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力} \quad 6.923 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_2: \text{ブーム根元支持ピンの断面積} \quad 1.374 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = 272(\text{MPa})$$

4.1.3 旋回輪軸受取付ボルトの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3} / A_3 = 815(\text{MPa})$$

$$P_{t3}: \text{取付ボルトに作用する引張力} \quad 3.740 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_3: \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 459(\text{mm}^2)$$

4.2. 燃料取り出し用構台側でのクレーン(旋回体)の計算過程を示す。

4.2.1 ブームの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 96(\text{MPa})$$

$$P_{t1}:\text{ブームに作用する軸方向引張力} \quad 3.868 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_1:\text{ブームの断面積} \quad 4.051 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 277(\text{MPa})$$

$$M_{y1}:\text{ブームに作用する Y 軸周りモーメント} \quad 1.918 \times 10^9(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$M_{z1}:\text{ブームに作用する Z 軸周りモーメント} \quad 1.871 \times 10^9(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$H_{z1}:\text{ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ} \quad 754(\text{mm})$$

$$B_{y1}:\text{ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ} \quad 660(\text{mm})$$

$$I_{yy1}:\text{ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント} \quad 9.160 \times 10^9(\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1}:\text{ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント} \quad 1.040 \times 10^{10}(\text{mm}^4)$$

(3) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = 17(\text{MPa})$$

$$P_{ty1}:\text{ブームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 1.921 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{tz1}:\text{ブームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 2.396 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_1:\text{ブームの当該断面の断面積} \quad 4.051 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

$$T_1:\text{ブームに作用する捩じりモーメント} \quad 1.231 \times 10^8(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$A_{i1}:\text{ブームの当該断面の内側境界断面積} \quad 1.450 \times 10^6(\text{mm}^2)$$

$$t_1:\text{ブームの当該断面の最小板厚} \quad 7(\text{mm})$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = 375(\text{MPa})$$

4.2.2 ブーム根元支持ピンの強度検討

(1) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = 54(\text{MPa})$$

$$P_{tx2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力} \quad 1.728 \times 10^6(\text{N})$$

$$P_{tz2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力} \quad 8.799 \times 10^5(\text{N})$$

$$B_2: \text{ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離} \quad 10(\text{mm})$$

$$D_2: \text{ブーム根元支持ピンの外径} \quad 160(\text{mm})$$

$$I_2: \text{ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント} \quad 2.895 \times 10^7(\text{mm}^4)$$

(2) せん断応力

$$\tau_2 = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} / A_2 = 142(\text{MPa})$$

$$P_{tx2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力} \quad 1.728 \times 10^6(\text{N})$$

$$P_{tz2}: \text{ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力} \quad 8.799 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_2: \text{ブーム根元支持ピンの断面積} \quad 1.374 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = 252(\text{MPa})$$

4.2.3 旋回輪軸受取付ボルトの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3} / A_3 = 830(\text{MPa})$$

$$P_{t3}: \text{取付ボルトに作用する引張力} \quad 3.806 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_3: \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 459(\text{mm}^2)$$

5. 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	108
			せん断	505	18
			曲げ	875	297
			組合せ	875	407
	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303	153
			曲げ	525	58
			組合せ	525	272
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917	815	
燃料取 り出し用 構台側	ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875	96
			せん断	505	17
			曲げ	875	277
			組合せ	875	375
	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303	142
			曲げ	525	54
			組合せ	525	252
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917	830	

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。
- (4) 地震力はランウェイガーダと取り合う走行台車部の車輪位置から、走行台車部の構造物フレーム、アウトリガーピン及び転倒防止ラグに伝達される。また、搭載機器からの反力を走行台車部の構造物フレーム、アウトリガーピン及び転倒防止ラグで支持する。上記の荷重伝達経路を考慮し、走行台車部として、構造物フレーム、アウトリガーピン及び転倒防止ラグを評価対象部位とする。

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。走行台車部の構造概要を図 12 に、走行台車部及び搭載機器の重量を表 7 に示す。
- (2) 走行台車部の自重及び搭載機器に作用する鉛直方向の地震力は、搭載機器を支持する構造物フレーム及び車輪を介してランウェイガーダに支持される。地震による水平力(NS 方向)及び転倒力はアウトリガーピン、地震による水平力(EW 方向)は転倒防止ラグを介してランウェイガーダに支持される。

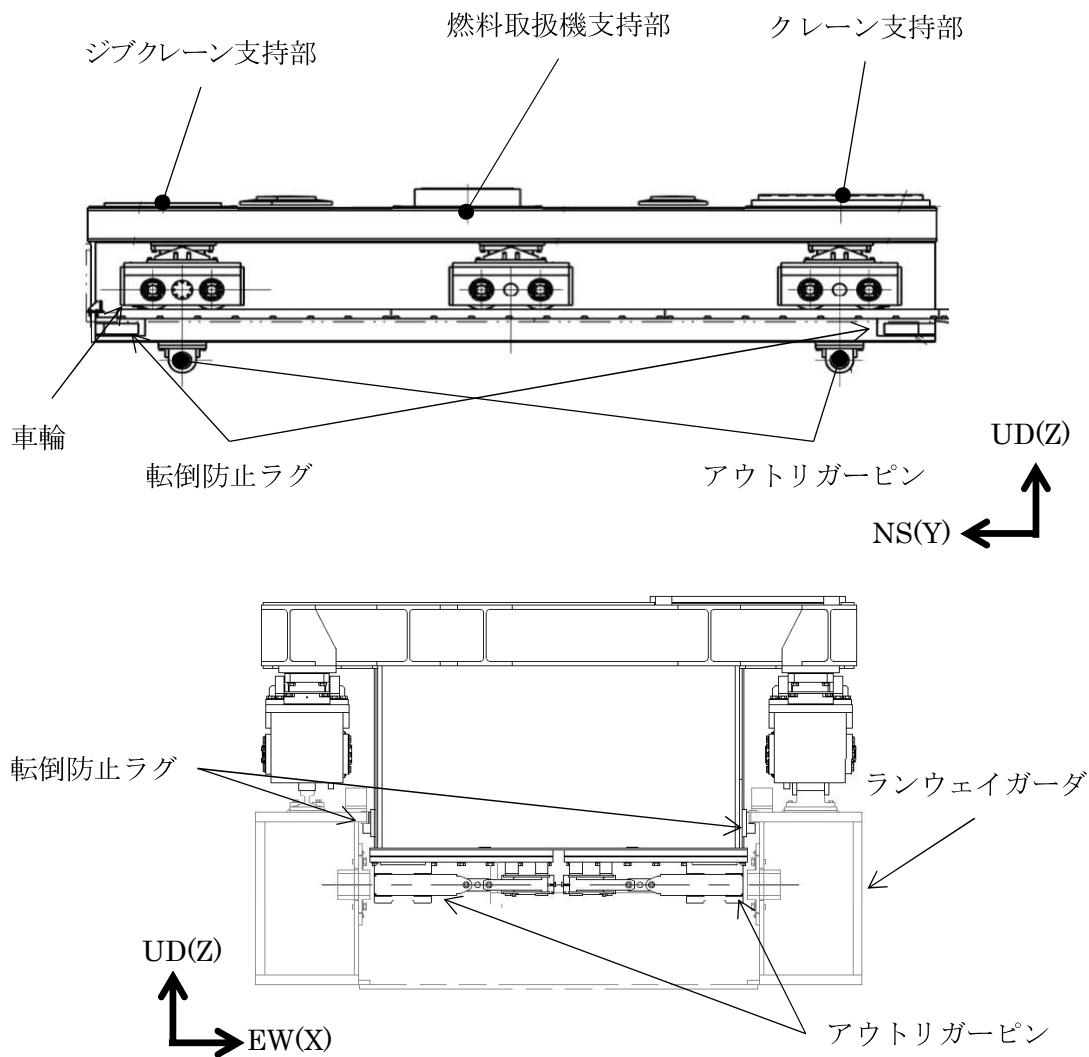


図 12 走行台車 構造概要

表 7 走行台車部及び搭載機器の重量

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 13 に示す。

- (1) 走行台車部の各搭載機器の支持部は、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、車輪にて支持される構造となっているため、両端支持梁として搭載機器の支持部ごとに評価を行う。走行台車部にかかる水平力 (EW 方向) は転倒防止ラグにて支持されるため、走行台車は水平方向にも十分剛である。また、アウトリガーピン支持部及び転倒防止ラグ支持部は地震力を支持する構造を有するが走行台車部の剛性には影響しない。
- (2) クレーン、燃料取扱機の自重及び耐震計算の結果反力として生じる地震力、モーメントは旋回輪軸受取付ボルト穴ピッチ円の中心位置で各支持部へ伝達させる。

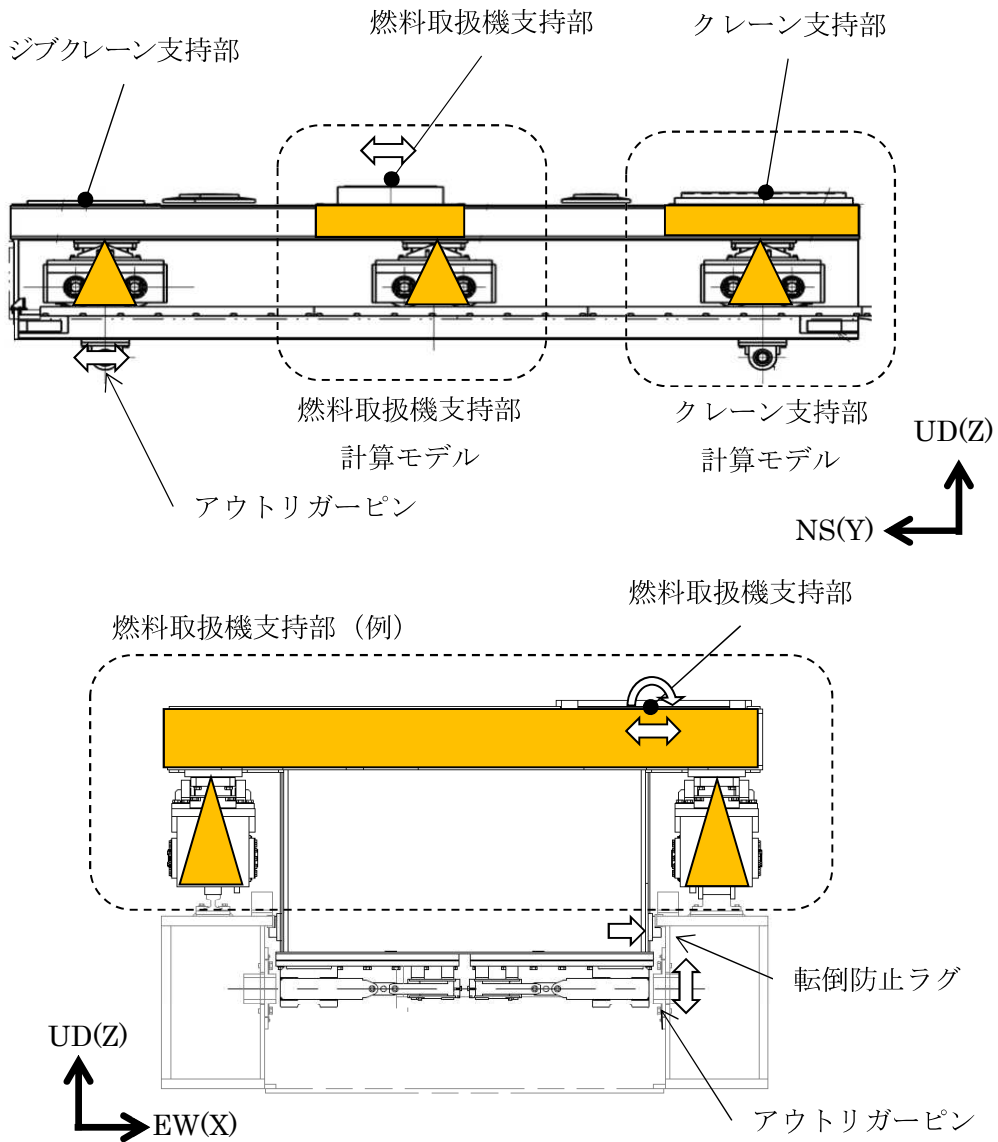


図 13 走行台車 計算モデル

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。固有周期算定に用いる値を表 8 に示す。

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

表 8 固有周期算定に用いる値

	項目	単位	燃料取扱機 支持部	クレーン 支持部
T	固有周期	s	0.01 以下	
L	はりの長さ	mm	4400	
w	単位長さ当りのはりの重量	kg/mm	1.361	1.568
E	はりの縦弾性係数	N/mm ²	201000	
I	はりの断面二次モーメント	mm ⁴	9.279E+10	1.793E+11

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 9 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 10 に示す。

表 10 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. 数値計算

4.1. 走行台車部の燃料取扱状態における各部の強度

4.1.1 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

以下の応力算定に用いる力(P_{t1} , P_{ty1} , P_{tz1})及びモーメント(T_1 , M_{y1} , M_{z1})は、燃料取扱機の耐震解析の結果から求まる燃料取扱機支持部にかかる力及びモーメント、燃料取扱機支持部の自重及び燃料取扱機支持部にかかる地震力を考慮して求めた値を用いる。

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 1(\text{MPa})$$

$$P_{t1} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 1.780 \times 10^5 (\text{N})$$

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

(2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = 10(\text{MPa})$$

$$P_{ty1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 2.588 \times 10^5 (\text{N})$$

$$P_{tz1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 4.441 \times 10^5 (\text{N})$$

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

$$T_1 : \text{構造物フレームに作用する捩じりモーメント} \quad 2.091 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

$$t_1 : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22 (\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 38(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 1.287 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 3.593 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

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

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

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

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 43(\text{MPa})$$

4.1.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

4.2.2 の評価に包絡される。

4.1.3 アウトリガーピンの強度検討

アウトリガーピンの応力算定に用いるせん断力($P_{\tau 3}$)は、走行台車にかかる地震力による転倒モーメントに加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる力、モーメントが保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) せん断応力

$$\tau_3 = P_{\tau 3} / (\pi d_3^2 / 4) = 169(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 3} : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 4.293 \times 10^6(\text{N})$$

$$d_3 : \text{ピンの外径} \quad 180(\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b3} = (P_{\tau 3} \cdot L_3 / 2) / (\pi d_3^3 / 32) = 150(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 3} : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 4.293 \times 10^6(\text{N})$$

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

$$d_3 : \text{ピンの外径} \quad 180(\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_3^2} = 329(\text{MPa})$$

4.1.4 転倒防止ラグの強度検討

転倒防止ラグの応力算定に用いる水平力(P_{p4})は、走行台車にかかる地震力に加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる水平力が保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p4} = P_{p4} / A_4 = 69(\text{MPa})$$

$$P_{p4} : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 1.362 \times 10^6(\text{N})$$

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

4.2. 原子炉建屋側での走行台車部の輸送容器取扱状態における各部の強度

4.2.1 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

4.1.1 の評価に包含される。

4.2.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

以下の応力算定に用いる力(P_{t2} , P_{ty2} , P_{tz2})及びモーメント(T_2 , M_{y2} , M_{z2})は、クレーンの耐震解析の結果から求まるクレーン支持部にかかる力及びモーメント、クレーン支持部の自重及びクレーン支持部にかかる地震力を考慮して求めた値を用いる。

(1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 2(\text{MPa})$$

$$P_{t2} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 3.172 \times 10^5 (\text{N})$$

$$A_2 : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.998 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{ty2} + P_{tz2})/A_2 + T_2/(2 \cdot A_{i2} \cdot t_2) = 40(\text{MPa})$$

$$P_{ty2} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 6.398 \times 10^5 (\text{N})$$

$$P_{tz2} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 3.219 \times 10^6 (\text{N})$$

$$A_2 : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.998 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

$$T_2 : \text{構造物フレームに作用する捩じりモーメント} \quad 1.151 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i2} : \text{構造物フレームの内側境界断面} \quad 1.273 \times 10^6 (\text{mm}^2)$$

$$t_2 : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22 (\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = M_{y2} \cdot H_{z2}/I_{yy2} + M_{z2} \cdot B_{y2}/I_{zz2} = 229(\text{MPa})$$

$$M_{y2} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 9.849 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z2} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 9.114 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

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

$$I_{yy2} : \text{構造物フレームにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 1.276 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$$

$$I_{zz2} : \text{構造物フレームにおける Z 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 1.793 \times 10^{11} (\text{mm}^4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t2} = \sqrt{(\sigma_{t2} + \sigma_{b2})^2 + 3\tau_2^2} = 242(\text{MPa})$$

4.2.3 アウトリガーピンの強度検討

アウトリガーピンの応力算定に用いるせん断力(P_{t4})は、走行台車にかかる地震力による転倒モーメントに加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる力、モーメントが保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) せん断応力

$$\tau_4 = P_{t4}/(\pi d_4^2/4) = 169(\text{MPa})$$

P_{t4} : ピンに作用するせん断力

$$4.300 \times 10^6(\text{N})$$

d_4 : ピンの外径

$$180(\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b4} = (P_{t4} \cdot L_3/2)/(\pi d_4^3/32) = 151(\text{MPa})$$

P_{t4} : ピンに作用するせん断力

$$4.300 \times 10^6(\text{N})$$

L_4 : ピンの曲げ長さ

$$40(\text{mm})$$

d_4 : ピンの外径

$$180(\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 4} = \sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3\tau_4^2} = 330(\text{MPa})$$

4.2.4 転倒防止ラグの強度検討

転倒防止ラグの応力算定に用いる水平力(P_{p5})は、走行台車にかかる地震力に加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる水平力が保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p5} = P_{p5}/A_5 = 67(\text{MPa})$$

P_{p5} : 転倒防止ラグに作用する水平力

$$1.341 \times 10^6(\text{N})$$

A_5 : 支圧面積

$$2.000 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

4.3. 燃料取り出し用構台側での走行台車部の輸送容器取扱状態における各部の強度

4.3.1 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

4.1.1 の評価に包含される。

4.3.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

以下の応力算定に用いる力($P_{t2'}$, $P_{ty2'}$, $P_{tz2'}$)及びモーメント($T_{2'}$, $M_{y2'}$, $M_{z2'}$)は、クレーンの耐震解析の結果から求まるクレーン支持部にかかる力及びモーメント、クレーン支持部の自重及びクレーン支持部にかかる地震力を考慮して求めた値を用いる。

(1) 引張応力

$$\sigma_{t2'} = P_{t2'}/A_{2'} = 3(\text{MPa})$$

$$P_{t2'} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 5.227 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_{2'} : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.998 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_{2'} = (P_{ty2'} + P_{tz2'})/A_{2'} + T_{2'}/(2 \cdot A_{i2'} \cdot t_{2'}) = 41(\text{MPa})$$

$$P_{ty2'} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 5.862 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{tz2'} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 3.073 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_{2'} : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.998 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

$$T_{2'} : \text{構造物フレームに作用する捩じりモーメント} \quad 1.237 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i2'} : \text{構造物フレームの内側境界断面} \quad 1.273 \times 10^6 (\text{mm}^2)$$

$$t_{2'} : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22 (\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2'} = M_{y2'} \cdot H_{z2'}/I_{yy2'} + M_{z2'} \cdot B_{y2'}/I_{zz2'} = 221(\text{MPa})$$

$$M_{y2'} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 9.540 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z2'} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 8.521 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

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

$$I_{yy2'} : \text{構造物フレームにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 1.276 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$$

$$I_{zz2'} : \text{構造物フレームにおける Z 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 1.793 \times 10^{11} (\text{mm}^4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t 2'} = \sqrt{(\sigma_{t 2'} + \sigma_{b 2'})^2 + 3\tau_{2'}^2} = 235(\text{MPa})$$

4.3.3 アウトリガーピンの強度検討

アウトリガーピンの応力算定に用いるせん断力($P_{\tau 4'}$)は、走行台車にかかる地震力による転倒モーメントに加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる力、モーメントが保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) せん断応力

$$\tau_{4'} = P_{\tau 4'} / (\pi d_{4'}^2 / 4) = 184(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 4'} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 4.673 \times 10^6(\text{N})$$

$$d_{4'} \quad : \text{ピンの外径} \quad 180(\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b 4'} = (P_{\tau 4'} \cdot L_{4'} / 2) / (\pi d_{4'}^3 / 32) = 164(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 4'} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 4.673 \times 10^6(\text{N})$$

$$L_{4'} \quad : \text{ピンの曲げ長さ} \quad 40(\text{mm})$$

$$d_{4'} \quad : \text{ピンの外径} \quad 180(\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 4'} = \sqrt{\sigma_{b 4'}^2 + 3\tau_{4'}^2} = 359(\text{MPa})$$

4.3.4 転倒防止ラグの強度検討

転倒防止ラグの応力算定に用いる水平力($P_{p 5'}$)は、走行台車にかかる地震力に加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる水平力が保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p 5'} = P_{p 5'} / A_{5'} = 73(\text{MPa})$$

$$P_{p 5'} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 1.451 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_{5'} \quad : \text{支圧面積} \quad 2.000 \times 10^4(\text{mm}^2)$$

5. 結論

算出応力は、表 11 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 11 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	1	
			せん断	198	10	
			曲げ	343	38	
			組合せ	343	43	
構造物フレーム (クレーン支持部)	原子炉 建屋側	SM490B	引張	343		2
			せん断	198		40
			曲げ	343		229
			組合せ	343		242
	燃料取り出し用 構台側		引張	343		3
			せん断	198		41
			曲げ	343		221
			組合せ	343		235
アウトリガーピン	原子炉 建屋側	SNB23-1	せん断	460	169	169
			曲げ	1088	150	151
			組合せ	798	329	330
	燃料取り出し用 構台側		せん断	460		184
			曲げ	1088		164
			組合せ	798		359
転倒防止ラグ	原子炉 建屋側	SM490B	支圧	977	69	67
	燃料取り出し用 構台側					73

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ダ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 12 に、構造概要を図 14 に示す。
- (2) キャスク仮置台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) キャスク仮置台取付ボルトにせん断力が生じないよう、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 12 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

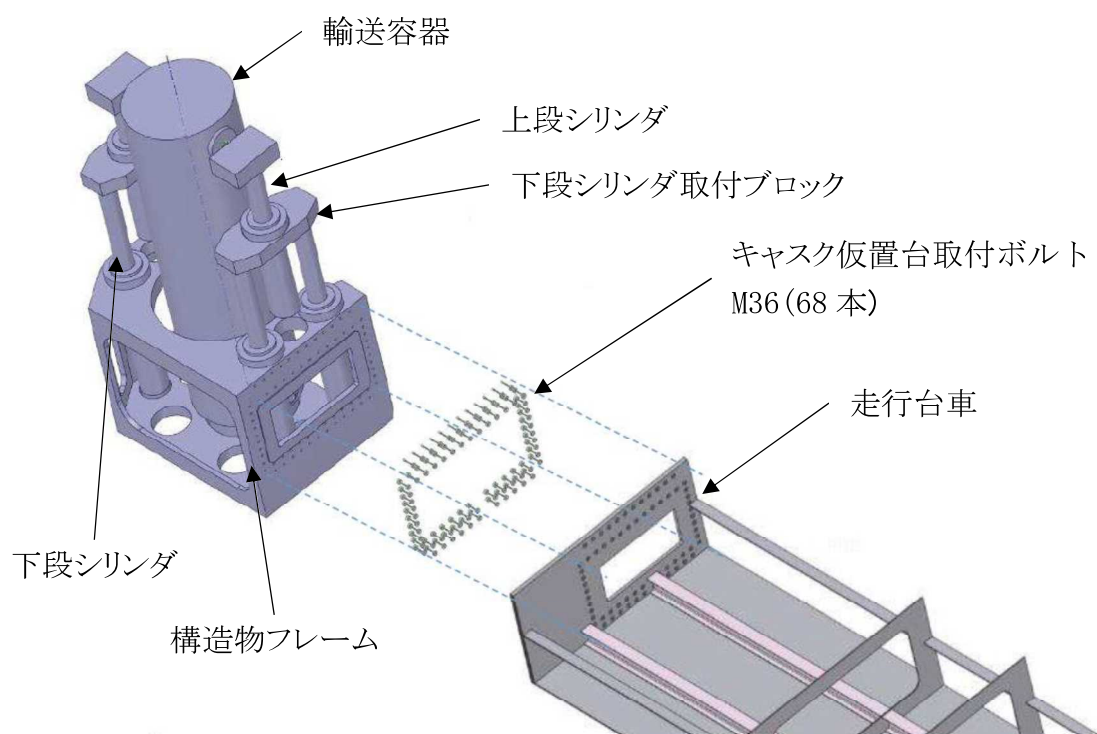


図 14 キャスク固定治具 構造概要

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 15 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。
- (2) キャスク固定治具は走行台車側面にキャスク仮置台取付ボルトで固定し、当該ボルトにせん断力がかからないよう Y 方向及び Z 方向の力を構造物フレームのインローで支持する構造を有する。モデル化では上記構造を反映した。

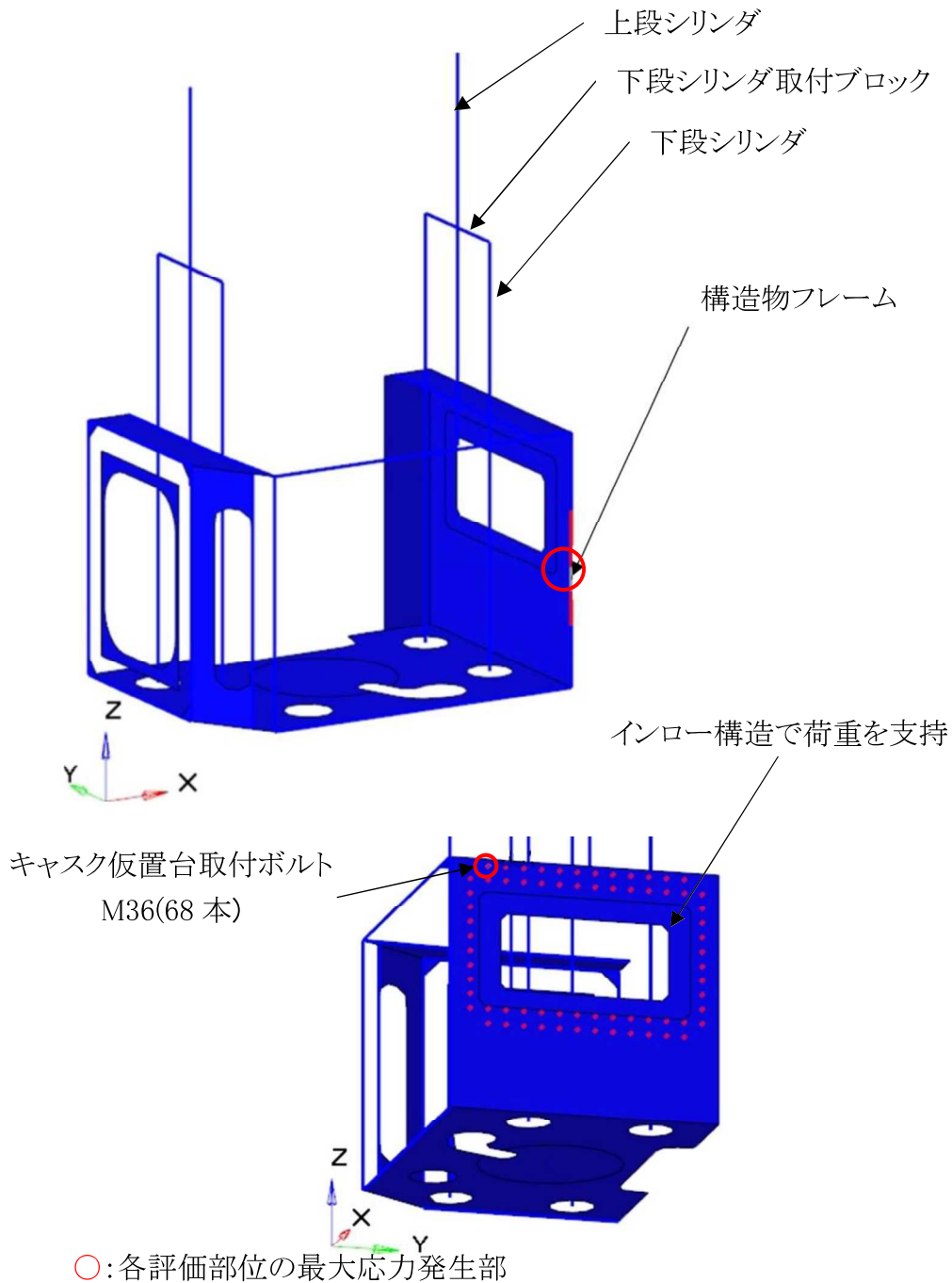


図 15 キャスク固定治具 計算モデル

2.1.3 計算

キャスク固定治具の固有周期は水平 0.2s, 上下 0.2s となる。

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 16 に示す。

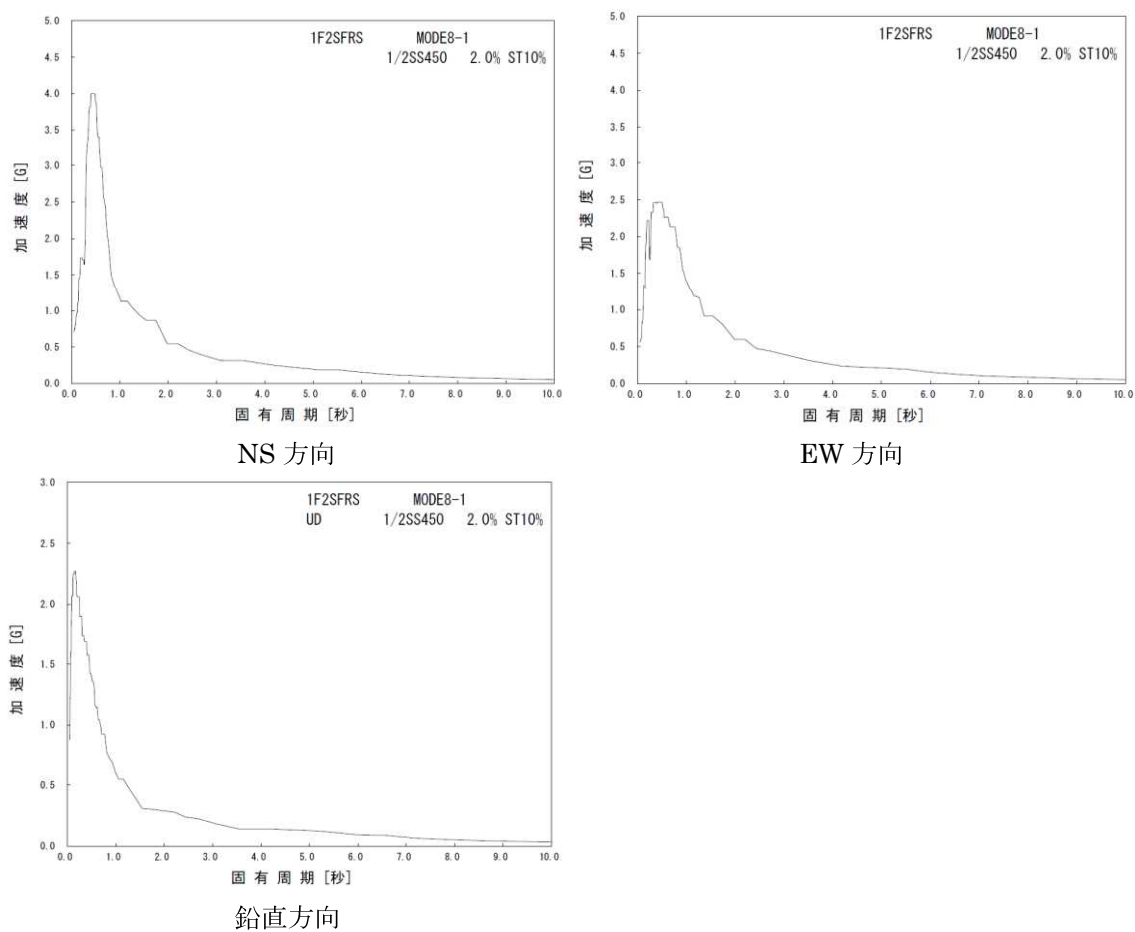


図 16 設計用床応答スペクトル(輸送容器固定状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 13 に示す。

表 13 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
キャスク仮置台取付ボルト	SNB23-1	引張	798

4. 数値計算

各要素に生じる力、モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め、各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

4.1. キャスク固定治具の輸送容器固定状態における各部の強度

4.1.1 構造物フレームの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 72(\text{MPa})$$

$$P_{t1} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 1.171 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_1 : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.625 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/Z_{p1} = 34(\text{MPa})$$

$$P_{ty1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 2.319 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{tz1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 2.372 \times 10^4(\text{N})$$

$$A_1 : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.625 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

$$T_1 : \text{構造物フレームに作用する捩じりモーメント} \quad 4.923 \times 10^6(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$Z_{p1} : \text{捩じり極断面係数} \quad 2.822 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1}/Z_{y1} + M_{z1}/Z_{z1} = 252(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 4.997 \times 10^6(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 1.514 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$Z_{y1} : \text{構造物フレームの当該断面の Y 軸まわりの断面係数} \quad 1.760 \times 10^5(\text{mm}^3)$$

$$Z_{z1} : \text{構造物フレームの当該断面の Z 軸まわりの断面係数} \quad 6.771 \times 10^5(\text{mm}^3)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 330(\text{MPa})$$

4.1.2 キャスク仮置台取付ボルトの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 774(\text{MPa})$$

P_{t2} :取付ボルトに作用する引張力

$$6.322 \times 10^5(\text{N})$$

A_2 :取付ボルトの有効断面積

$$817 (\text{mm}^2)$$

5. 結論

算出応力は, 表 14 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 14 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	72
		せん断	198	34
		曲げ	343	252
		組合せ	343	330
キャスク仮置台取付ボルト	SNB23-1	引張	798	774

VI. ジブクレーンの耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書はジブクレーンの耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) ジブクレーン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、輸送容器一次蓋取扱時の評価を行う。
- (2) ジブクレーンには水平 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) ジブクレーンの重量として自重及び搭載機器(一次蓋と一次蓋仮締付装置)を考慮する。ジブクレーンの重量を表 15 に、構造概要を図 17 に示す。
- (2) 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) 取付ボルトはコラム下面に取付けられるものとする。

表 15 ジブクレーンの重量

名称	重量(t)
ジブクレーン	9
搭載機器	4

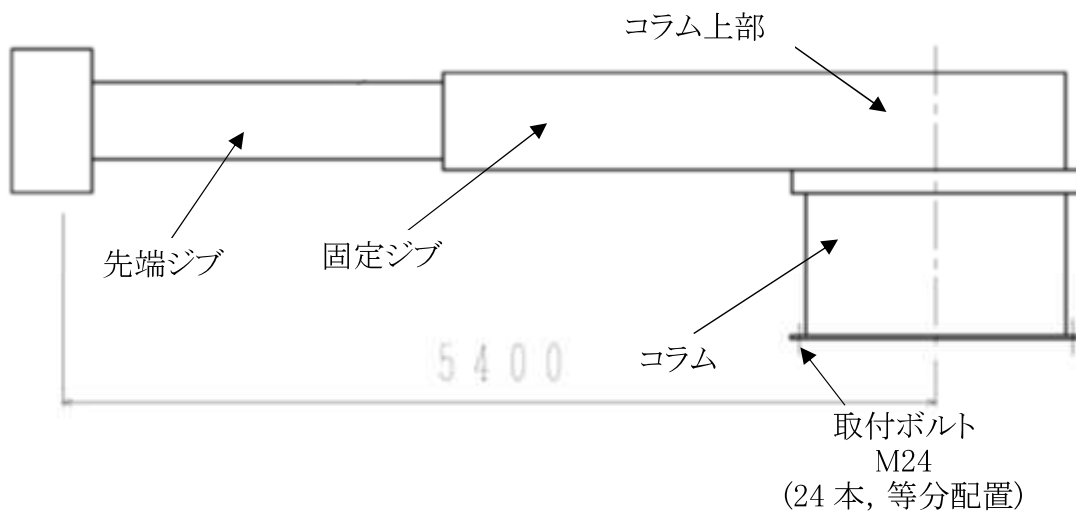


図 17 キャスク固定治具 構造概要(単位:mm)

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 18 に示す。

- (1) ジブクレーンの計算モデルは、はり要素でモデル化する。
- (2) ジブクレーンの姿勢は、先端ジブ最大長(作業半径 5.4m)とする。

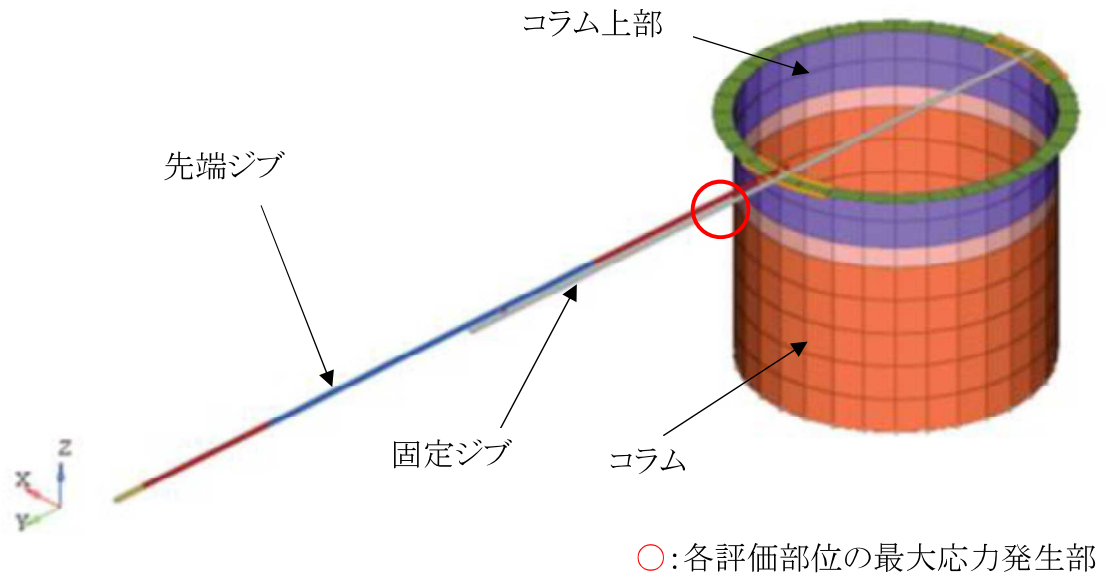


図 18 ジブクレーン 計算モデル

2.1.3 計算

ジブクレーンの固有周期は水平 0.2s, 上下 0.2s となる。

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。ランウェイガーダへの負荷荷重は、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 19 に示す。

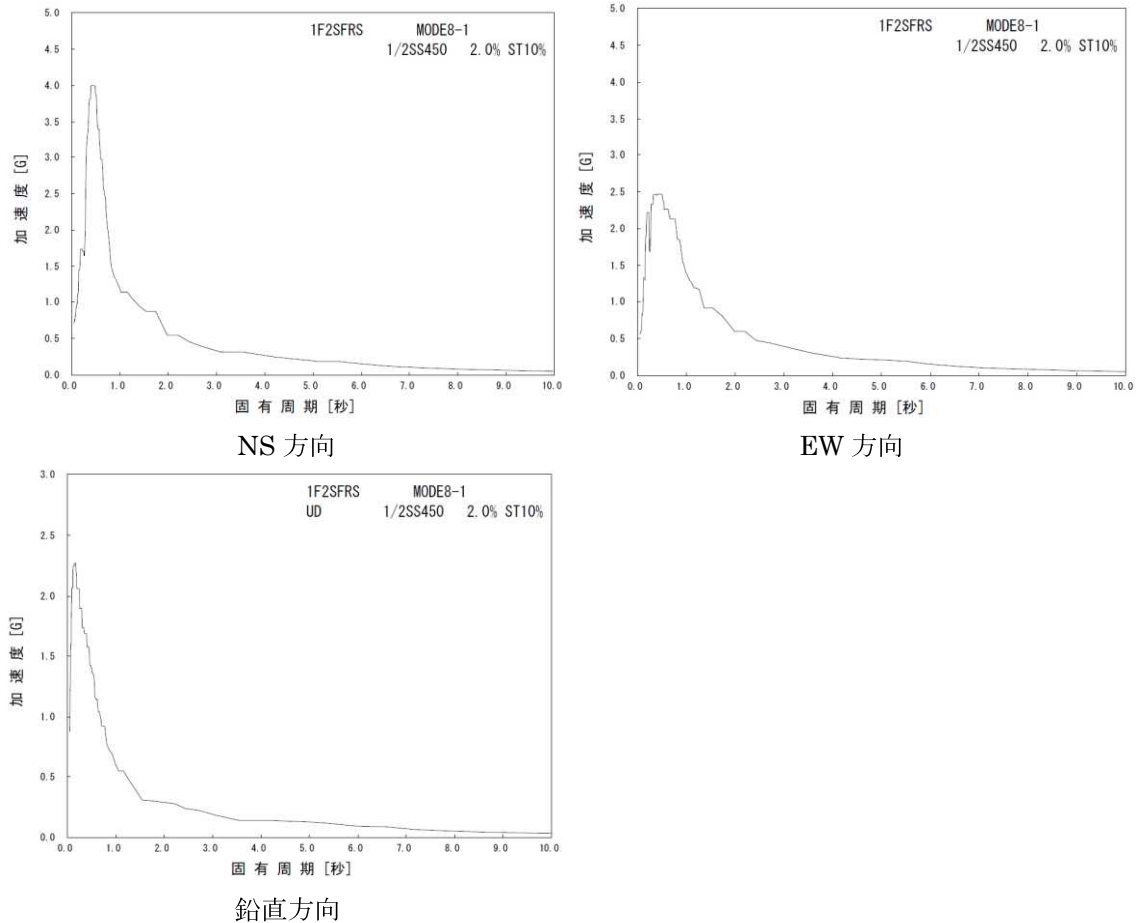


図 19 設計用床応答スペクトル(輸送容器固定状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 16 に示す。

表 16 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
先端ジブ	SM490B	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
取付ボルト	S45C	引張	399
		せん断	230
		組合せ	399

4. 数値計算

先端ジブについては、各要素に生じる力、モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め、各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

取付ボルトについては、円筒のコラムに等分配置されているため基礎ボルトの計算式を用いて計算する。(スカート支持たて置円筒形容器基礎ボルトの応力)

4.1. ジブクレーンの輸送容器固定状態における各部の強度

4.1.1 先端ジブの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 0(\text{MPa})$$

$$P_{t1} : \text{先端ジブに作用する軸方向引張力} \quad 6.661 \times 10^2(\text{N})$$

$$A_1 : \text{先端ジブの断面積} \quad 2.175 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = 21(\text{MPa})$$

$$P_{ty1} : \text{先端ジブに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 4.195 \times 10^4(\text{N})$$

$$P_{tz1} : \text{先端ジブに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 1.939 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_1 : \text{先端ジブの断面積} \quad 2.175 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

$$T_1 : \text{先端ジブに作用する捩じりモーメント} \quad 1.517 \times 10^7(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i1} : \text{先端ジブの内側境界断面} \quad 8.431 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

$$t_1 : \text{先端ジブの最小板厚} \quad 9 (\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 254(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{先端ジブに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 8.245 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{先端ジブに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 1.284 \times 10^7(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$H_{z1} : \text{先端ジブの評価断面中立軸から評価点までの Z 方向の長さ} \\ 247 (\text{mm})$$

$$B_{y1} : \text{先端ジブの評価断面中立軸から評価点までの Y 方向の長さ} \\ 191 (\text{mm})$$

$$I_{yy1} : \text{先端ジブにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント} \\ 8.407 \times 10^8 (\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1} : \text{先端ジブにおける Z 軸まわりの断面二次モーメント} \\ 2.182 \times 10^8 (\text{mm}^4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{ot1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 257(\text{MPa})$$

4.1.2 取付ボルトの強度検討

(1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 201(\text{MPa})$$

$$P_{t2} : \text{取付ボルトに作用する引張力} \quad 7.095 \times 10^4(\text{N})$$

$$A_2 : \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 353(\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_2 = P_{\tau 2}/A_2 = 33(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 2} : \text{取付ボルトに作用するせん断力} \quad 1.148 \times 10^4(\text{N})$$

$$A_2 : \text{取付ボルトの有効断面積} \quad 353(\text{mm}^2)$$

5. 結論

算出応力は, 表 17 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 17 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)
先端ジブ	SM490B	引張	343	0
		せん断	198	21
		曲げ	343	254
		組合せ	343	257
取付ボルト	S45C	引張	399	201
		せん断	230	33