

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-補-E-19-0600-40-59_改1
提出年月日	2021年11月11日

補足-600-40-59 燃料交換機及びチャンネル着脱機の吊具荷重算出時
における吊荷位置選定の考え方

1. はじめに

燃料交換機及び燃料チャンネル着脱機（以下「対象設備」という。）は、下部に設置された上位クラス施設である使用済燃料プール、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目的として、基準地震動 S_s に対する耐震性を評価しており、その結果を添付書類「VI-2-11-2-9 燃料交換機の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-11-2-14 燃料チャンネル着脱機の耐震性についての計算書」に示している。

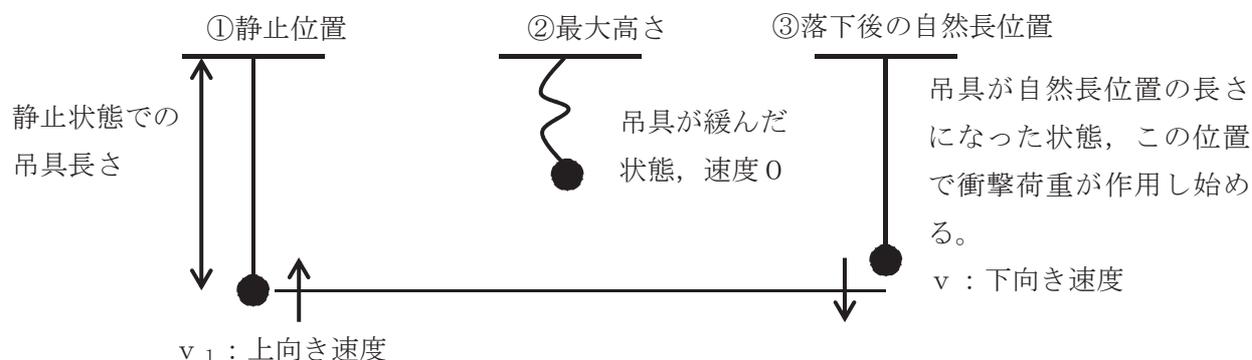
これらの対象設備では、耐震計算書において吊具に発生する荷重を算出しているが、吊荷位置によって吊具荷重が変動するため、吊具荷重算出時における吊荷位置選定の考え方について、本資料に整理するものである。

2. 吊具荷重の算出方法

対象設備の耐震計算書に示すとおり、吊具の荷重算出は対象設備本体の鉛直方向固有周期及び吊荷の固有周期に対応した震度を用いて速度を算出し、吊具に作用する衝撃荷重を求めている。荷重の算出手順を以下に示す。

2.1 吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は、図1に示すように、鉛直方向に浮き上がり再び自然長位置に戻った瞬間から、吊具の衝撃荷重を与える。



○ 下向き速度 v

②, ③まではエネルギー保存則より

下向き速度 v は

$$v < v_1$$

となるが、保守的に

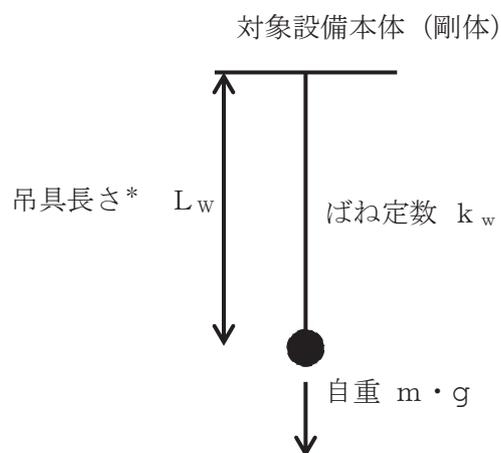
$$v = v_1$$

として評価を行う。

図1 吊荷の浮上りの様子

2.2 吊荷の固有周期

図 2 に示すとおり，対象設備本体を剛体としたときの吊荷の固有周期 T_w を算出する。



注記*：燃料交換機においてはワイヤロープ長さ，
燃料チャンネル着脱機においてはチェーン長さをいう

$$\text{固有周期：} \quad T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k_w}}$$

ここで，

T_w ：吊荷の固有周期

m ：吊荷の質量

k_w ：吊具のばね定数

図 2 吊荷の固有周期の算出

2.3 吊荷，対象設備本体の速度の算出

以下の式に従い，吊荷及び対象設備本体に作用する最大加速度による速度を算出する。

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

$$v_2 = a_f \cdot g \cdot T_f / (2 \cdot \pi)$$

ここで，

v_1 ：吊荷の最大速度

v_2 ：対象設備本体の最大速度

a_w ：吊荷に作用する震度

a_f ：対象設備本体に作用する震度

g ：重力加速度

T_w ：吊荷の固有周期

T_f ：対象設備本体の鉛直方向固有周期

2.4 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり、吊具に作用する荷重Fを算出する。

図3及び図4に示すように、吊具の下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷と対象設備本体の質量や固有値が異なることから v_1 と v_2 が同値にならないが、保守的に吊具の減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を1とすれば以下となる。

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

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

ここで、

F : 吊具に作用する荷重

T_w : 吊荷の固有周期

m : 吊荷の質量

v_1 : 吊荷の最大速度

v_2 : 対象設備本体の最大速度

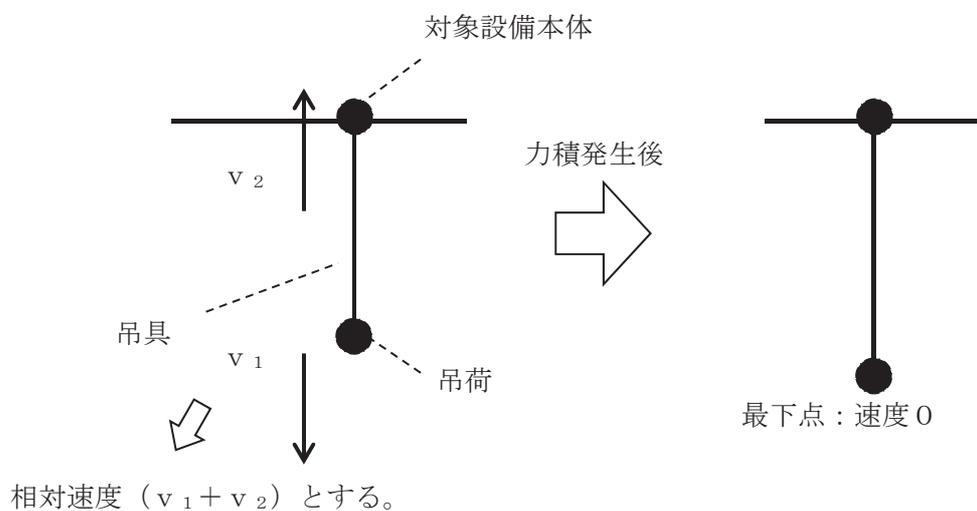


図3 吊荷落下後の速度変化

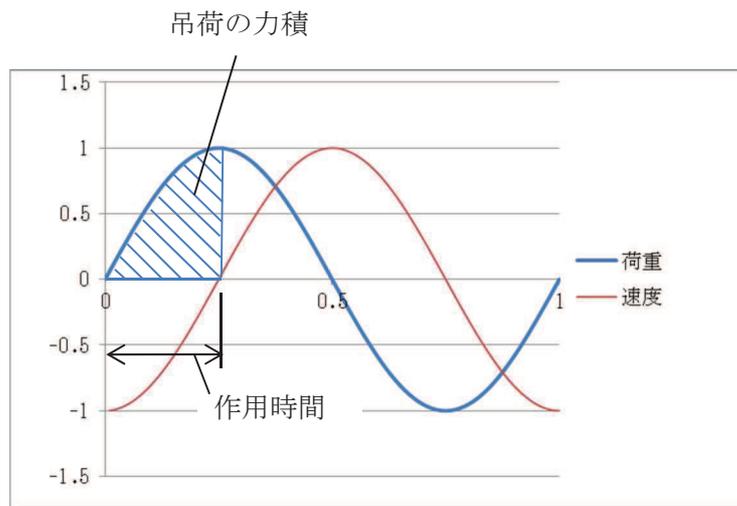


図4 吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については，吊具が完全弾性体で，吊荷と対象設備本体の運動が自由振動系であることを仮定すれば，吊荷の固有周期 T_w の4分の1となる。

以上から，運動量変化及び作用時間をもとに荷重は，自重分を追加して，吊具に作用する荷重を以下のとおり計算する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m \cdot g$$

ここで，

F : 吊具に作用する荷重

m : 吊荷の質量

v_1 : 吊荷の最大速度

v_2 : 対象設備本体の最大速度

T_w : 吊荷の固有周期

g : 重力加速度

3. 吊荷位置選定の考え方

2 項に示す方法で吊具の評価を実施するに当たり、吊具の固有周期は吊荷の位置によって変動することから、固有周期と床応答曲線の関係から評価が厳しくなるように吊荷位置をする。それぞれの対象設備における吊荷位置選定の考え方を以下に示す。

3.1 燃料交換機

燃料交換機においては、吊荷位置が吊上げ上端、常用上限及び燃料着床位置での検討を実施している。吊荷に作用する震度を求める際に用いる設計用床応答曲線を図 5 に、吊荷・燃料交換機本体の固有周期、震度、速度及び吊具に作用する荷重を表 1 に示す。

図 5 に示す通り震度が最大となる吊荷位置である吊上げ上端時において、表 1 に示す通り吊具に作用する荷重 F が最大となることから、添付書類「VI-2-11-2-9 燃料交換機の耐震性についての計算書」においては、吊上げ上端のケースを代表として、吊具評価結果を記載する。

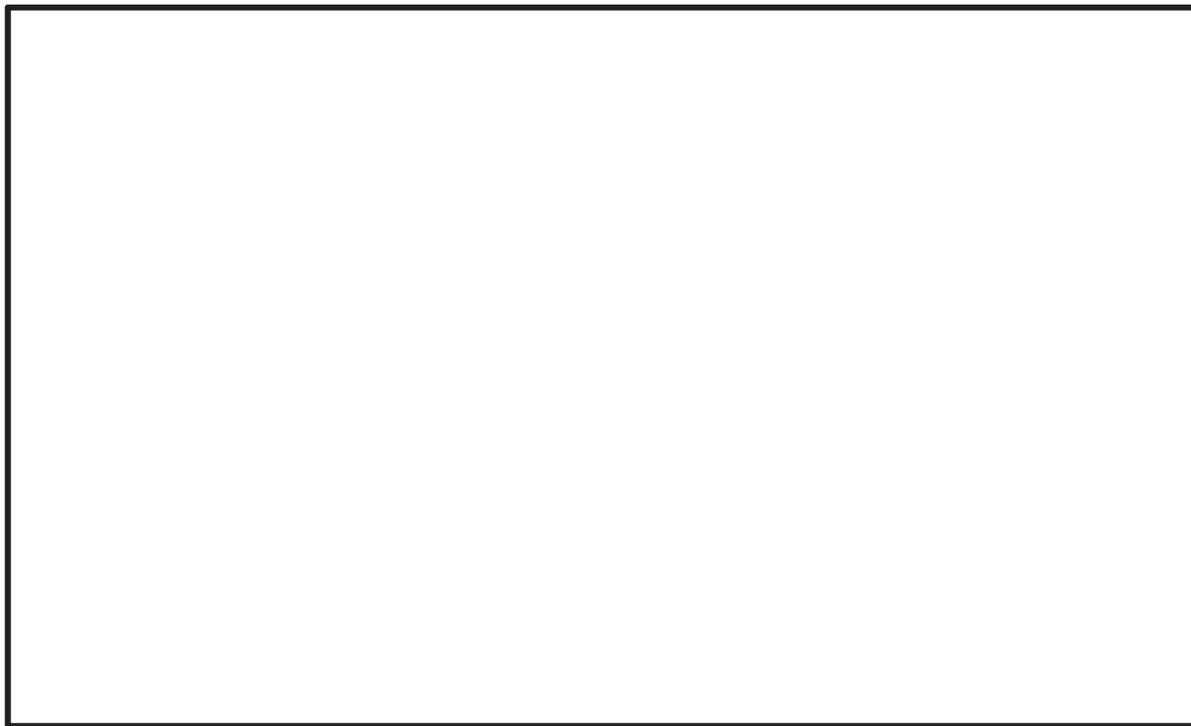


図 5 燃料交換機各吊荷位置における震度算出に用いた設計用床応答曲線

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 1 燃料交換機各吊荷位置における諸元整理表

吊荷位置	m (kg)	L_w (mm)	T_f (s)	T_w (s)	a_f (-)	a_w (-)	v_1 (mm/s)	v_2 (mm/s)	F (N)
吊上げ上端									7.311 $\times 10^4$
常用上限									5.153 $\times 10^4$
燃料着床位置									4.148 $\times 10^4$

3.2 燃料チャンネル着脱機

燃料チャンネル着脱機においては、吊荷位置が新燃料搬入位置、常用上限、常用下限での検討を実施している。また、吊具評価においては、チェーン長さに応じて吊荷の固有周期が変化するため、吊荷に作用する震度を求める際に用いる設計用床応答曲線（図 6 に示す）より、震度が最大となる固有周期に相当する評価用吊荷位置（チェーン長さ：）での評価を行う。

吊荷・燃料チャンネル着脱機本体の固有周期、震度、速度及び吊具に作用する荷重を表 2 に示す。

図 6 に示す通り震度が最大となる吊荷位置である評価用吊荷位置時において、表 2 に示す通り吊具に作用する荷重 F が最大となることから、添付書類「VI-2-11-2-14 燃料チャンネル着脱機の耐震性についての計算書」においては、評価用吊荷位置を代表として、吊具評価結果を記載する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

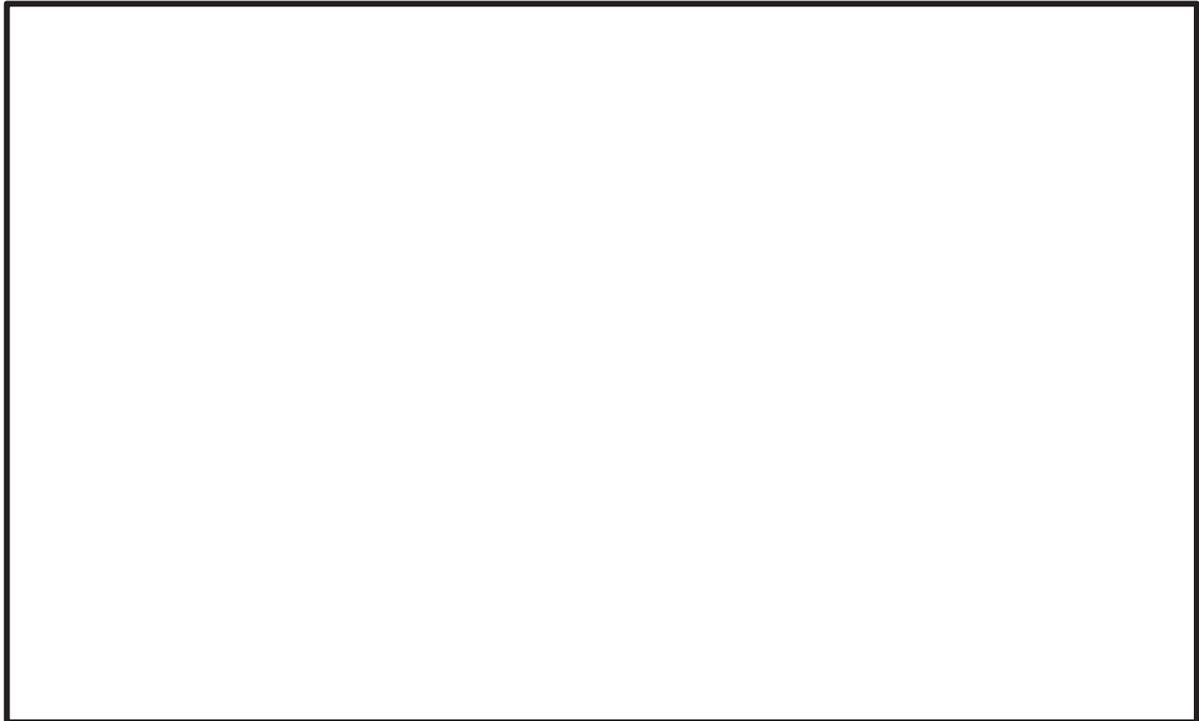


図 6 燃料チャンネル着脱機各吊荷位置における震度算出に用いた設計用床応答曲線

表 2 燃料チャンネル着脱機各吊荷位置における諸元整理表

吊荷位置	m (kg)	L_w (mm)	T_f (s)	T_w (s)	a_f (-)	a_w (-)	v_1 (mm/s)	v_2 (mm/s)	F (N)
新燃料 搬入位置					1.77^{*1}	1.77^{*1}			2.000 $\times 10^4$
評価用 吊荷位置					1.77^{*1}				5.000 $\times 10^4$
常用上限					1.77^{*1}				3.100 $\times 10^4$
常用下限					1.77^{*1}				1.800 $\times 10^4$

注記*1：燃料チャンネル着脱機本体の固有周期 T_f 及び新燃料搬入位置時の吊荷の固有周期 T_w が0.05秒以下のため原子炉建屋0.P.33.2mにおける鉛直方向の1.2ZPAを適用

*2：新燃料搬入位置及び常用上限の中間位置である事から速度の関係上より評価が厳しくなる新燃料搬入位置における固有周期を適用

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。