

2022年5月16日

リサイクル燃料貯蔵株式会社

ヒアリング時のコメント回答について

当社 設工認（分割第2回）変更申請に係るヒアリング（33）（2022年4月28日実施）においてコメントがあった事項について、別紙のとおり回答いたします。

なお、本資料の内容は補足説明資料に反映し、使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の計画の認可申請補正申請時に改めて提出します。

<別紙>

別紙1：金属キャスク下部トラニオンの耐震評価について

別紙2：仮想的大規模津波に対する貯蔵架台の影響評価について

以上

金属キャスク下部トラニオンの耐震評価について

項目	コメント内容
耐震 (第7条)	<ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの下部トラニオンの耐震評価について、トラニオンにおける加わる荷重の分散（90度方向の評価における、垂直方向のトラニオンの考慮）の妥当性を説明すること。 ・水平2方向の地震力のうち大きい方の地震力を一つのトラニオンが負担した場合の評価を示すこと。 ・本評価では地震力を90°方向に作用させて評価しているが、この評価が保守的であることを示すこと。

(回 答)

90度方向の評価における下部トラニオンに作用する荷重の計算モデルを図1に示す。金属キャスクは地震力による荷重によって金属キャスク底面の支点回りに変位する。変位量は支点からの距離に比例するので、それぞれの下部トラニオンに作用する荷重も支点からの距離に比例するとして荷重の分散を考慮し、支点回りのモーメントのつり合い式を用いて下部トラニオンに生じる最大荷重を評価している。

また、支点より金属キャスク中心側に位置するトラニオン（図1の①、②）は鉛直上側、支点より外側に位置する下部トラニオン（図1の③）は鉛直下側に変位する。図2に示すように、下部トラニオンの固縛装置はトラニオン上側にトラニオン固定金具を配置しているので、下部トラニオンが鉛直下側に変位する場合には荷重を支えないと考え、下部トラニオン3つ（①：1個、②：2個）に荷重が作用するとして評価している。

なお、水平2方向の地震力を考慮して支点が図1の位置からずれた場合は、支点と最大荷重が生じるトラニオン（①）との距離が短くなることで、最大荷重が低下する。さらに180度方向に支点が移動すると下部トラニオン4つ（①：1個、②：2個、③1個）に荷重が作用することとなりより非安全側の評価となる。

以上より、下部トラニオンに加わる荷重の分散の考え方は妥当である。

ヒアリング冒頭では図1下図のイメージで下部トラニオン①にのみ荷重が加わるものとして説明してしまっていたが、RFS設工認においては上記の通り荷重の分散を考慮している。下部トラニオン①にのみ荷重が加わると仮定した場合の評価について（1）式で計算し、結果を表1に示す。

$$\left. \begin{aligned}
 \tau &= \frac{F_m}{A} \\
 F_m &= \frac{m_2 \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_3)}{a_1}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$
 $G_2 = (1 - C_V) \cdot G$
 G_1 : 水平方向加速度 (m/s^2)
 G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)
 C_H : 水平方向設計震度
 C_V : 鉛直方向設計震度

- G : 重力加速度 (m/s²)
- h_{CG} : 金属キャスク底面から重心までの高さ
- F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重
- m₂ : 貯蔵時における金属キャスクの質量
- A : 第3-3 図の評価点①の断面積

この結果下部トラニオン②にのみ荷重が加わる場合も許容値以下であることを確認した。水平2方向を考慮しても同様となる。(添付1参照) 本評価結果は補正にて追記する。

なお, RFS 設工認における評価は, 応力算出の段階でインプット条件を保守的に設定(設計震度や寸法等の数値の切り捨て切り上げ)していること及び荷重が最大となる支点を採用していることからトラニオンの荷重の分散を考慮しても十分な保守性をもった評価となっている。

「添付5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書」第5-3 図では, 地震力をトラニオンに発生する荷重が最大となる方向(図3の90°方向)に作用させて評価している。トラニオンの荷重は図4(45°方向), 図5(90°方向)に示す計算モデルとなる。

90°方向に作用させた場合のトラニオンに発生する荷重は, 「添付5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書」(5.8)式を用いて計算する。45°方向に作用させた場合のトラニオンに発生する荷重は, (2)式を用いて計算する。計算結果を表2に示す。また90°方向が荷重が最大となることの説明として, 1°ずつ支点を変更した評価結果を添付2に示す。

以上から, 90°方向に作用させた場合のトラニオンに発生する荷重の値がもっとも大きく保守的な評価となる。

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_3)}{2 \cdot \left(a_1 + \frac{a_2^2}{a_1} \right)} \quad \dots \dots \dots (2) \text{ 式}$$

ここで, G₁ = C_H · G G₂ = (1 - C_V) · G

G₁ : 水平方向加速度

G₂ : 鉛直方向加速度

C_H : 水平方向設計震度

C_V : 鉛直方向設計震度

G : 重力加速度

h_{CG} : 金属キャスク底面から重心までの高さ

a₁ : 支点Oから固縛装置②のトラニオン固定金具中心までの距離

a₂ : 支点Oから固縛装置③のトラニオン固定金具中心までの距離

a₃ : 支点Oから金属キャスク中心までの距離

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重

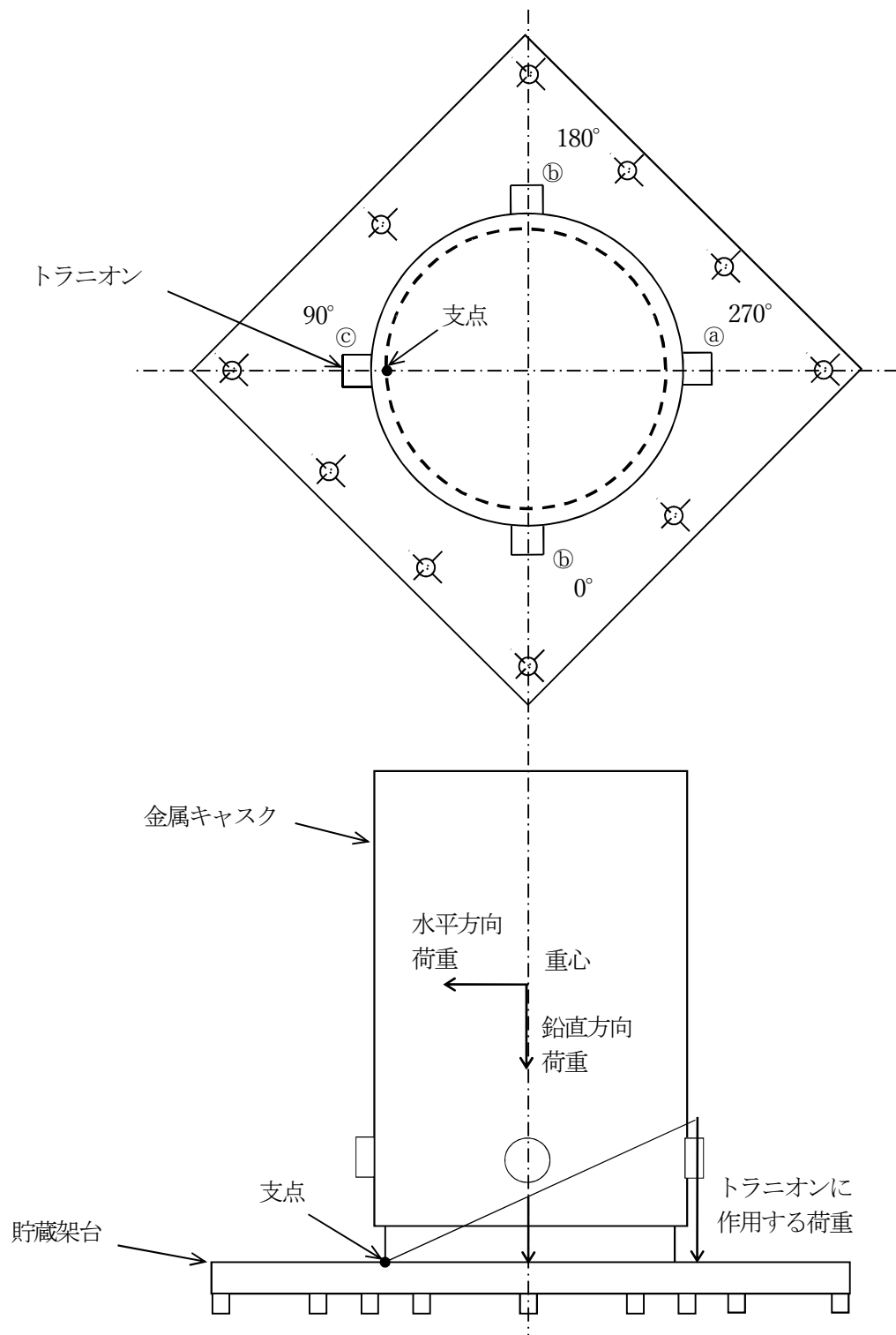
m₂ : 貯蔵時における金属キャスクの質量

A : 2.2.2(1)b. (a)と同じ

表1 荷重の分散を考慮しない場合のトラニオンに発生する荷重（代表）※

部位	応力の種類		計算値	評価点 (面)	許容応力	裕度
下部トラニオン	一次応力	せん断応力	121	②	341	2.81
		曲げ応力	287	②	591	2.59
		垂直応力とせん断応力の組合せ	356	②	591	1.66
トラニオン 固定金具	一次応力	せん断応力	69	②	341	4.92
		曲げ応力	560	②	591	1.05
		組合せ	572	②	591	1.03
トラニオン 固定ボルト	—	引張応力	432	③	478	1.10

※：設工認申請書添付 5-3-1 第5-20 表における裕度が少ない部位を代表して記載する。



①, ②, ③ : 固縛装置番号

図1 トラニオンに作用する荷重の計算モデル

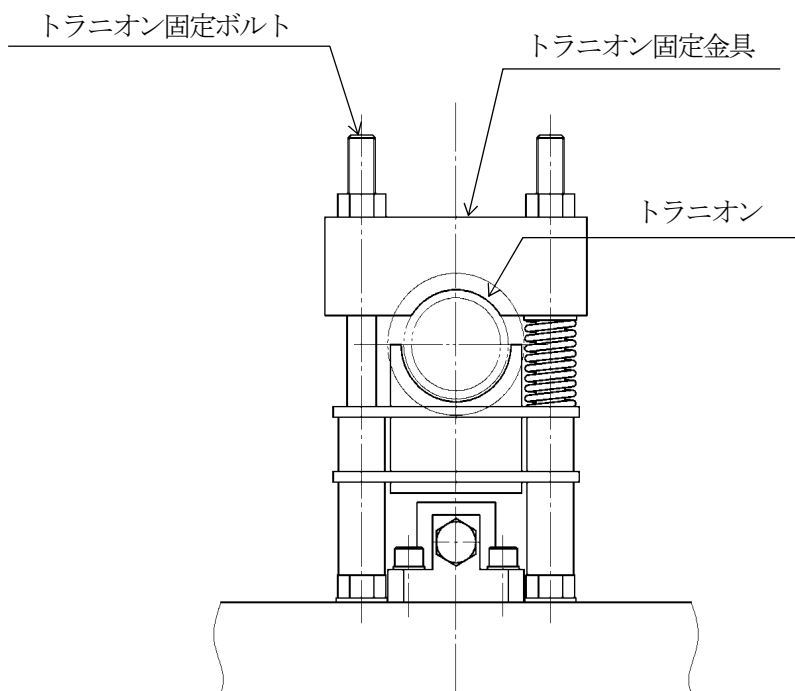


図2 トラニオン固縛装置

表2 トラニオンに発生する荷重

荷重作用方向	トラニオンに作用する荷重(N)
貯蔵架台対角方向(90° 方向)	1.33×10^6
貯蔵架台対辺方向(45° 方向)	1.10×10^6

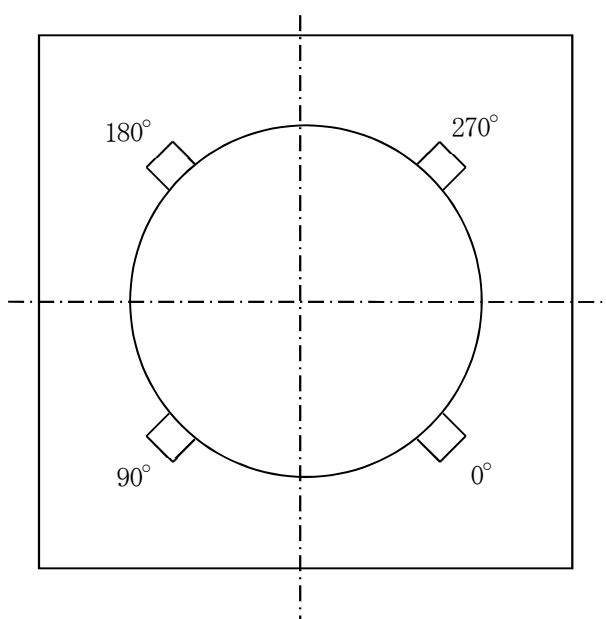


図3 評価モデルの角度

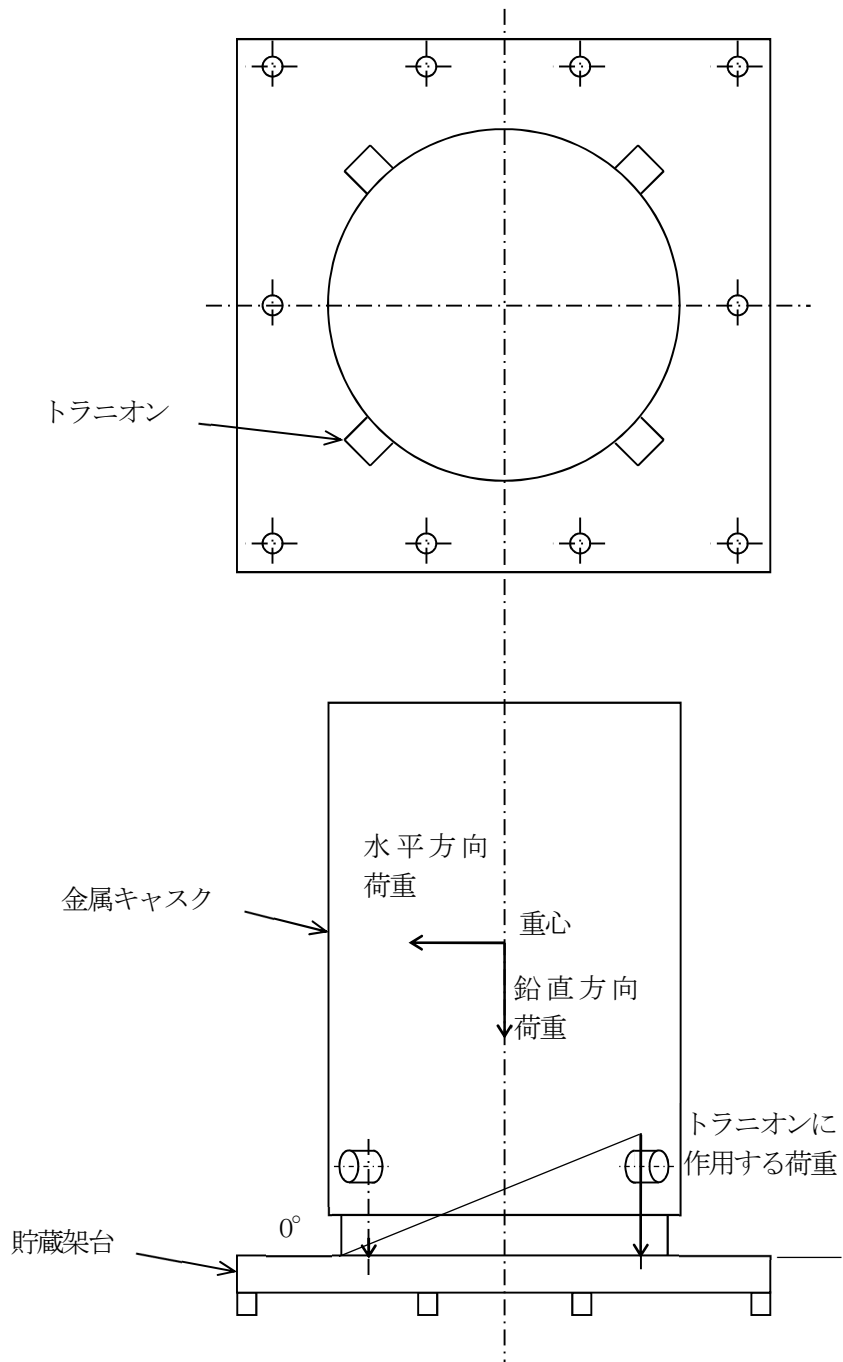


図4 地震時に作用する荷重の計算モデル
(水平加速度が貯蔵架台対辺方向 (45° 方向) の場合)

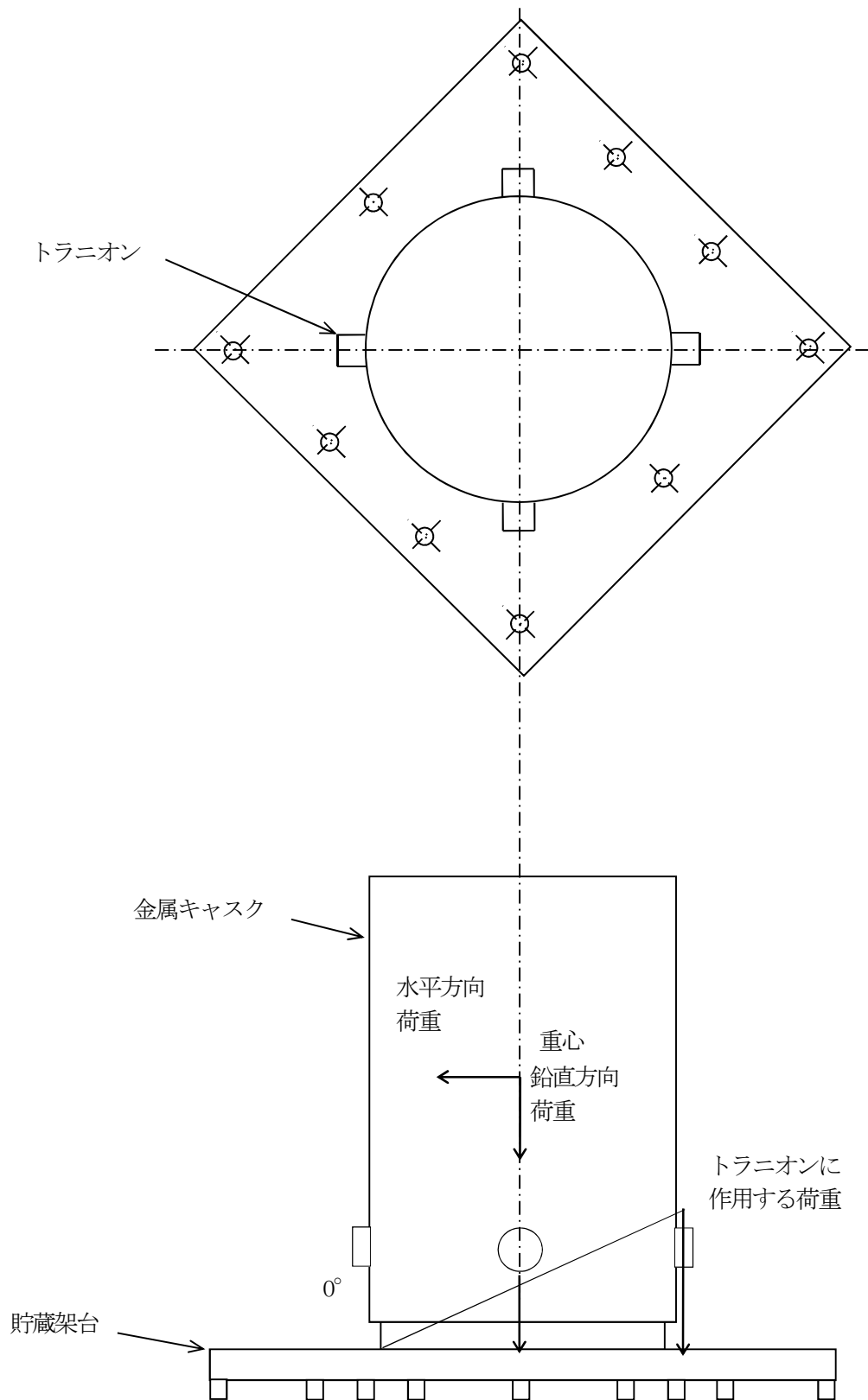


図5 地震時に作用する荷重の計算モデル
 (水平加速度が貯蔵架台対角方向 (90° 方向) の場合)

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価について

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価は「添付5-3-1 金属キャスクの耐震性に関する計算書（BWR用大型キャスク（タイプ2A）」第5-5図 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フローに従い実施する。このフローにおいて、各評価部位の応力分類もしくは応力種類における許容値に対する計算値の裕度が1.5以下の設備（部位）は詳細評価を実施こととなっており、トラニオン固定金具及びトラニオン固定ボルトは詳細評価対象となる。

建屋の最大加速度（1.2ZPA）に対して組合せ係数法を採用すると、以下の表の通り水平2方向を考慮した設計震度は1.39となり、既往の設計震度（1.40）に包絡され、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより設備が有する耐震性に影響がないことを確認した。

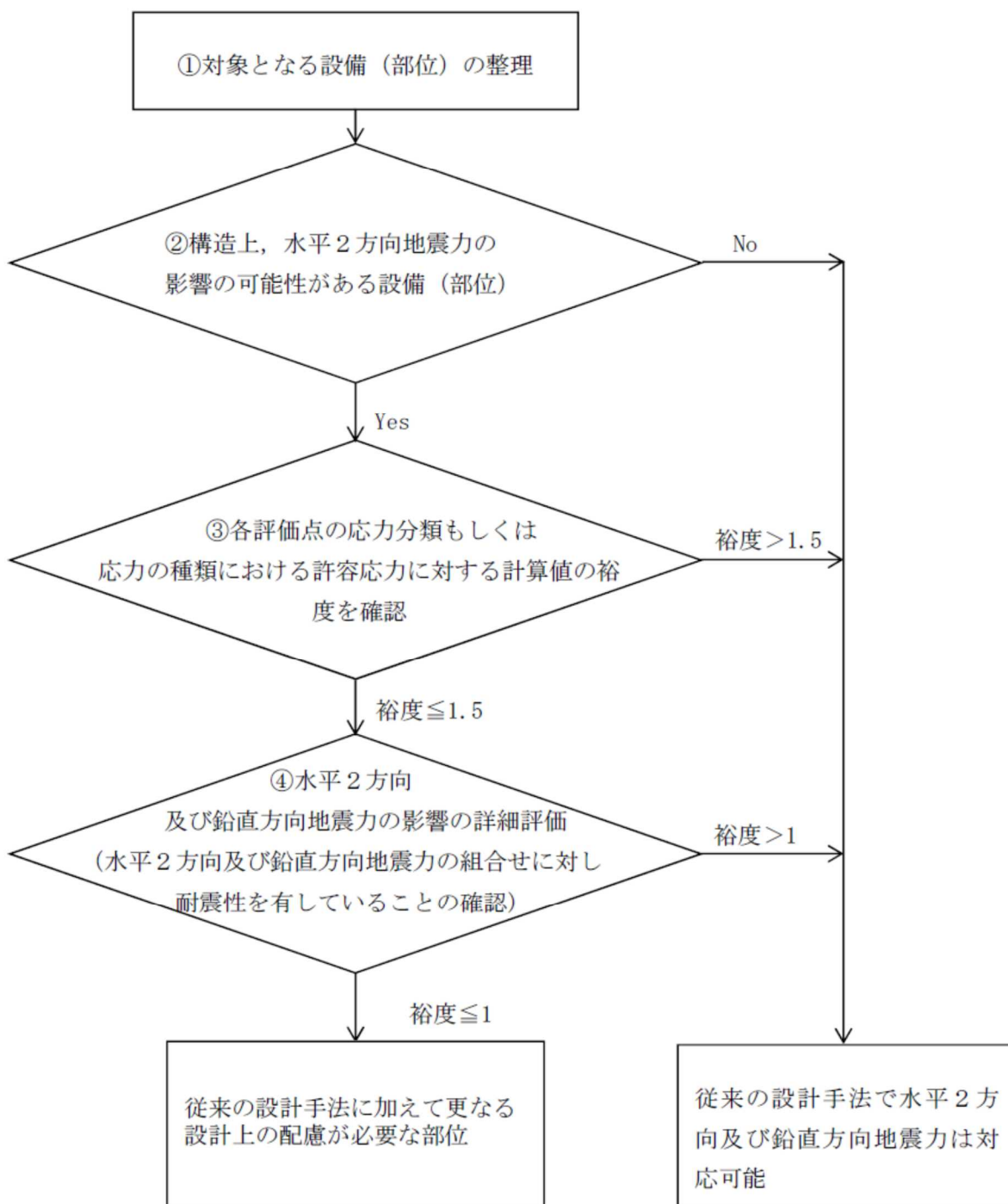
なお本詳細評価の内容についても設工認申請書及び補足説明資料（設2-補-013-04）に追加する。

表 設計震度の比較

水平1方向設計震度				水平2方向詳細評価用設計震度		固有周期 (S)
設計用床応答曲線より算出		建屋の最大加速度より算出		設計用床応答曲線より算出	建屋の最大加速度より算出	
NS	EW	NS	EW	-	-	
1.13	1.27	1.40 (1.27) ^{※1}	1.40 (1.29) ^{※1}	1.35 ^{※2}	1.39 ^{※2}	0.080

※1：括弧内は1.2ZPAの値。設計では最大の1.2ZPAに余裕を持った保守的な震度を設定

※2：組合せ係数法（1.0：0.4：0.4）を採用し水平2方向を組み合わせた震度



第5-5図 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

トラニオンに作用する荷重の角度依存性について

45度方向から90度方向までのトラニオンに作用する最大荷重の変動を評価する。評価モデルを添付図1に示す。トラニオンに作用する最大荷重は以下の式となる。

$$F_m = \frac{m_2 \cdot (G_1 \cdot h_{CG} - G_2 \cdot a_5)}{a_1 + a_2^2 / a_1 + a_3^2 / a_1 + a_4^2 / a_1}$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 - C_V) \cdot G$$

G_1 : 水平方向加速度 (m/s^2)

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)

C_H : 水平方向設計震度 (=1.40)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.87)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s^2)

h_{CG} : 金属キャスク底面から重心までの高さ (=2672 mm)

a_1 : 支点Oから270度方向トラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

$$a_1 = 990 + 1298 \times \sin \theta$$

a_2 : 支点Oから180度方向トラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

$$a_2 = 990 + 1298 \times \cos \theta$$

a_3 : 支点Oから90度方向トラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

$$a_3 = 990 - 1298 \times \sin \theta$$

ただし、トラニオン固定金具中心が支点Oより外側の場合は $a_3 = 0$ とする。

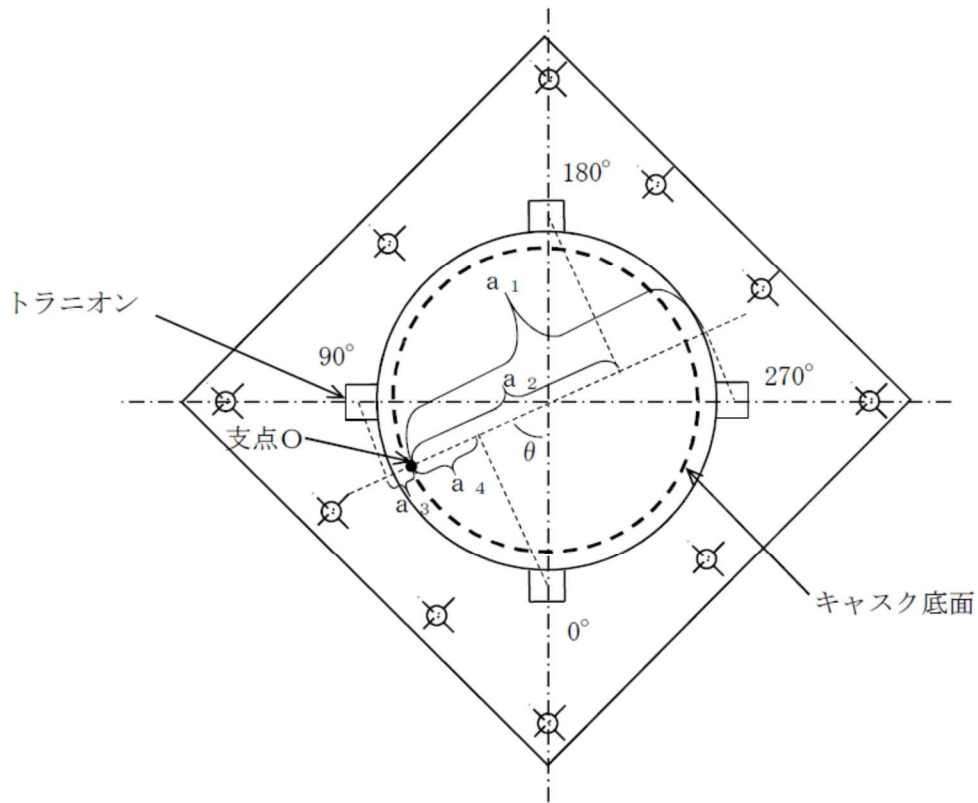
a_4 : 支点Oから0度方向トラニオン固定金具中心までの距離 (mm)

$$a_4 = 990 - 1298 \times \cos \theta$$

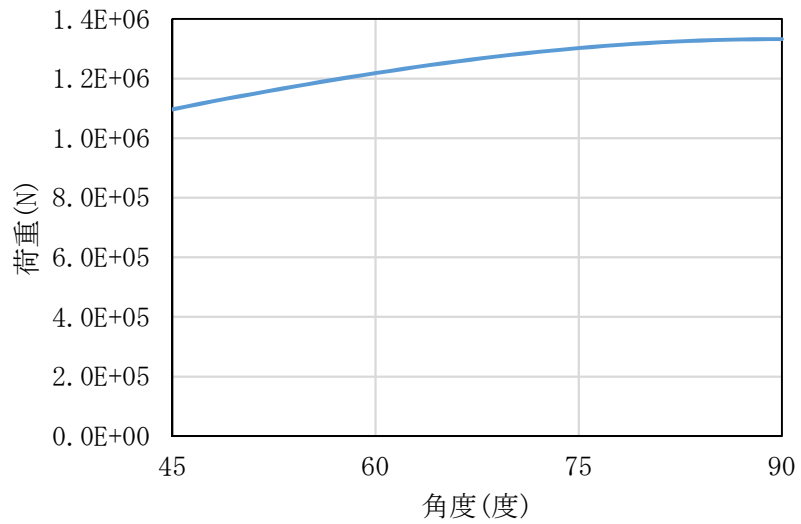
a_5 : 支点Oから金属キャスク中心までの距離 (=990 mm)

m_2 : 貯蔵時における金属キャスクの質量 (=118,300 kg)

評価結果を添付図2に示す。トラニオンに発生する荷重は90度方向で最大となる。



添付図1 トラニオンに作用する荷重の計算モデル



添付図2 トラニオンに発生する最大荷重

仮想的大規模津波に対する貯蔵架台の影響評価について

項目	コメント内容
津波 (第8条)	貯蔵架台の固定状態の維持評価について、抗力と水平方向地震力を比較することの妥当性を説明すること。

(回 答)

仮想的大規模津波の水流による抗力は、金属キャスク及び貯蔵架台の高さ方向に一様に作用する。このため、抗力は高さ方向の中心位置の集中荷重で表すことができる。また、水平方向地震力による荷重は、質量と加速度の積であり、重心位置の集中荷重で表すことができる。

下図に水流による抗力と水平方向地震力による集中荷重の作用位置を示す。金属キャスク、貯蔵架台ともに水平方向地震力による荷重の作用位置が高い。すなわち、水流による抗力と水平方向地震力による荷重が同じ値の場合、抗力によるモーメントは水平方向地震力によるモーメントを下回る。

よって、抗力と水平方向地震力を比較して貯蔵架台の固定状態の維持評価を行うことは妥当である。

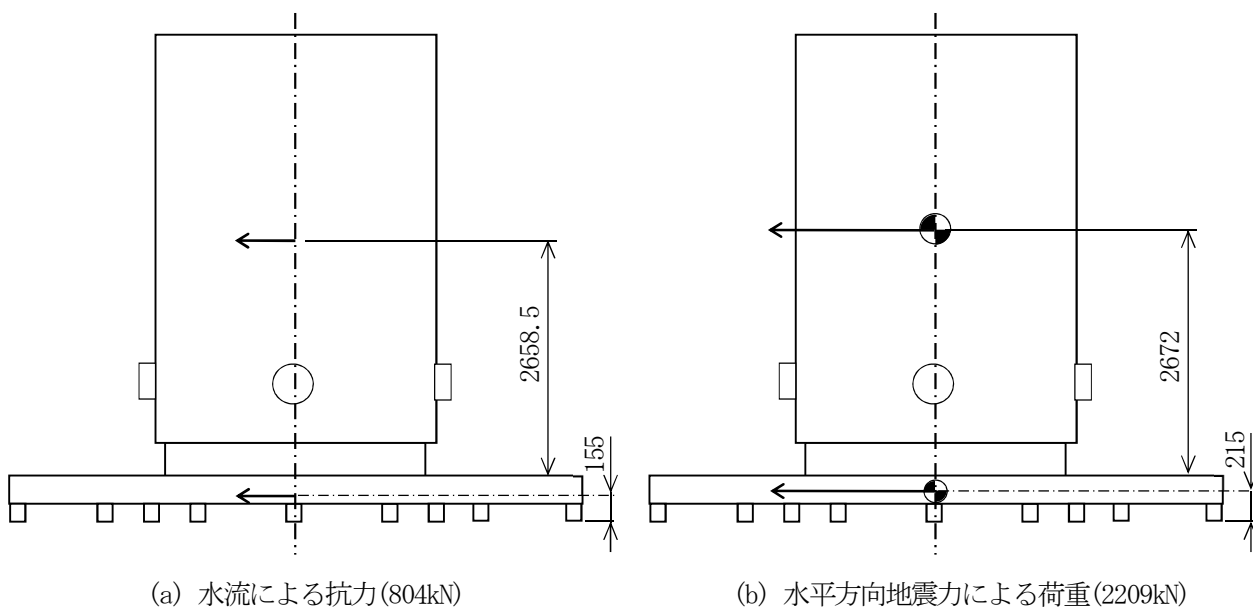


図 仮想的大規模津波の水流による抗力と水平方向地震力による荷重の作用位置

以 上