

項目	コメント内容
地震 (第7条)	<p>(0113-09)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平2方向の考慮について、特にトラニオン支持の金属キャスクでねじれ等現行の応答軸以外の応答が出ないか説明すること(現状の評価モデルでは、トラニオン、固定装置等の剛性、押しつけ力等が考慮されていないのではないか)。 <p>(0113-09 追加コメント)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平2方向荷重作用時のキャスクの変形挙動は、4点の固縛装置の機能が地震時に十分確保されていることが前提となるが、固縛装置の構造上、一定の初期締め付け力を付与しないと不安定な挙動を示すことが考えられる。 <p>本回答において、トラニオン固定ボルトには初期締め付け力を付与していると回答があるが、下部トラニオンの耐震強度評価(添付5-3-1 P23, 33)の応力計算式(5.8式)(5.9式)に初期締め付け力が見当たらない。</p> <p>以下確認のこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○当該評価結果を確認の上、設定した初期締め付け力の取り扱い及びその根拠を説明すること。 ○当該締め付け力が構造規格でいう二次応力として省略できる等の考え方があれば、その根拠を示すとともに、地震時(最大変形時)において、固縛状態が維持できていることを荷重図(地震荷重作用側と反対側の固縛装置含む)等を用いて説明すること。

(回答)

トラニオン支持の金属キャスクにおけるねじれ等現行の応答軸以外の応答について、水平方向荷重が作用する場合の金属キャスクの変形挙動を別紙1別図1に示す。水平荷重が作用する方向へ並進変形し、また、下部トラニオンを介して固定されていることから傾斜変形する。貯蔵架台固縛部は水平方向荷重に対して固縛を維持できる強度を持つため、水平2方向の荷重が作用する場合も、別紙1別図2のように荷重作用方向への傾斜が生じるが、別紙1別図3に示すような金属キャスク軸まわりに回転するようなねじれ変形を生じさせる荷重は作用しない。

上記説明を「設2-補-013-04 金属キャスク及び貯蔵架台の耐震性」3.6.1に反映する。

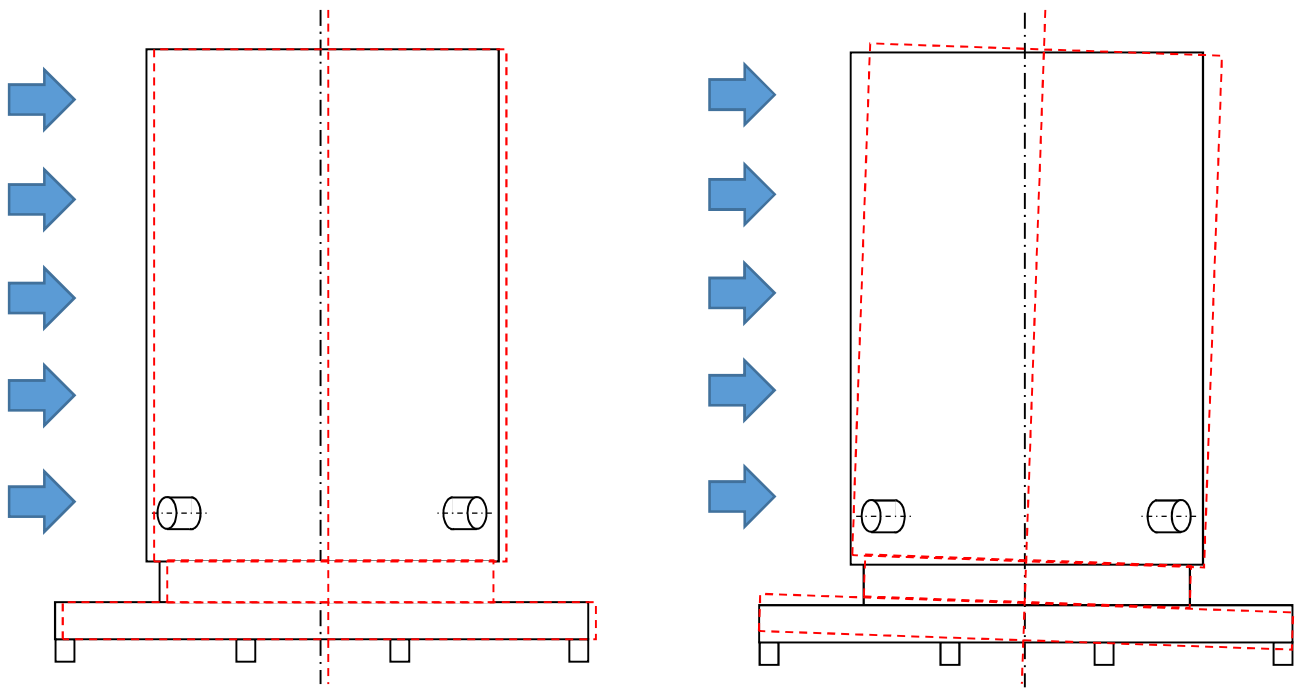
金属キャスク評価モデルについて、固有値評価における評価モデルは、金属キャスクを1軸多質点ビームで、貯蔵架台(固縛部含む)をばね要素で模擬している。

ばね要素のばね定数は、別紙1別図4に示す貯蔵架台変位解析モデルで評価する。貯蔵架台変位解析モデルは金属キャスク及び貯蔵架台をソリッド要素でモデル化し、金属キャスクと貯蔵架台が連結される下部トラニオンと貯蔵架台固縛部をビーム要素で模擬する(別紙1別図5)。ビーム要素には下部トラニオンや貯蔵架台固縛部の剛性を考慮しており、トラニオン固定ボルトには初期締め付け力を付与している。

(「設2-補-013-04 金属キャスク及び貯蔵架台の耐震性」 2.2 固有周期の算出方法 参照)

トラニオンはトラニオン固定金具をトラニオン固定ボルトで締め付けて固縛されることから、構造規格 MGB-1200(5)より、固縛によりトラニオンに生じる応力は「二次応力」に分類される。地震時の一次+二次応力は、構造規格 MCD-3312.3より、サイクルにおける応力の変動分(最大値と最小値の差)を評価するため締め付け力を含まない。地震時(最大変形時)において、固縛装置に作用する荷重について別紙2に示す。トラニオンに地震力が作用しても固縛装置は健全であり、固縛状態を維持できる。

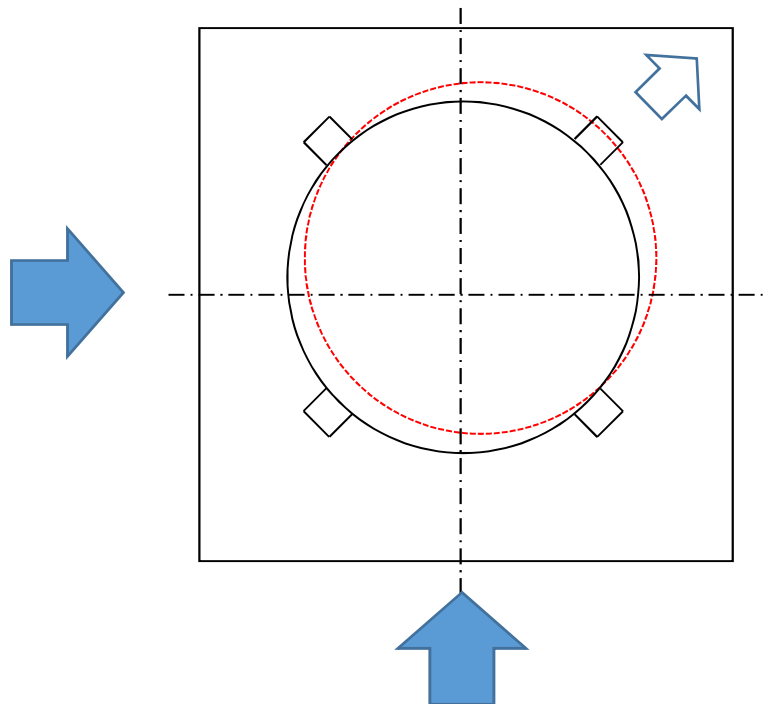
以上



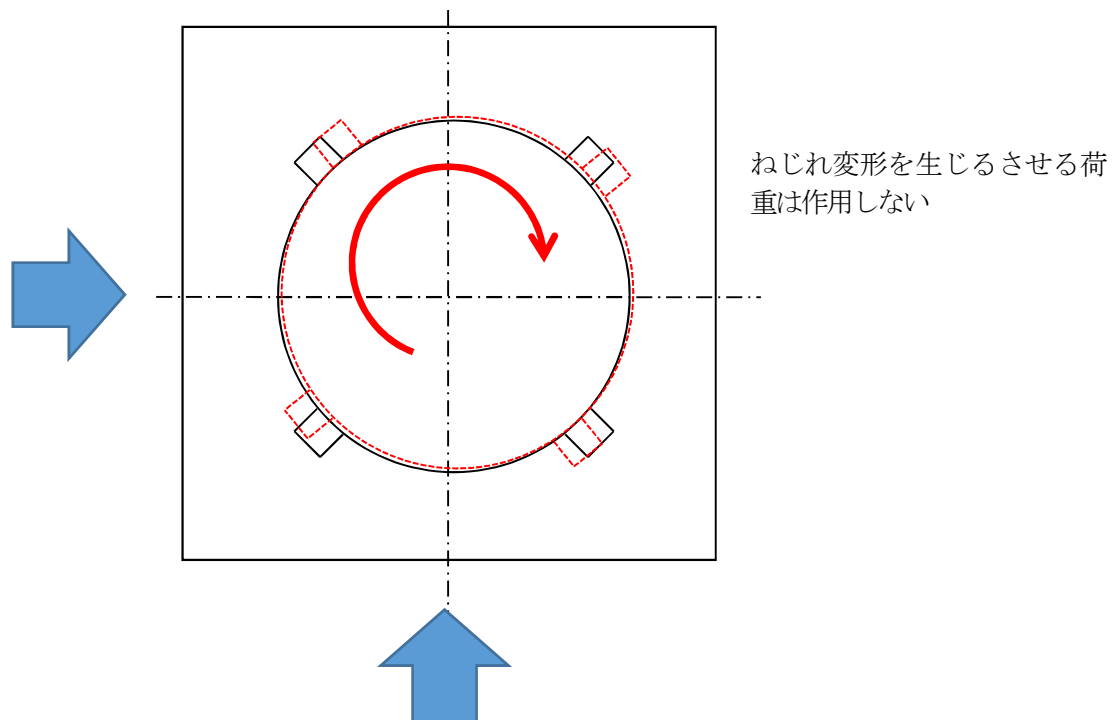
(a) 並進変形

(b) 傾斜変形

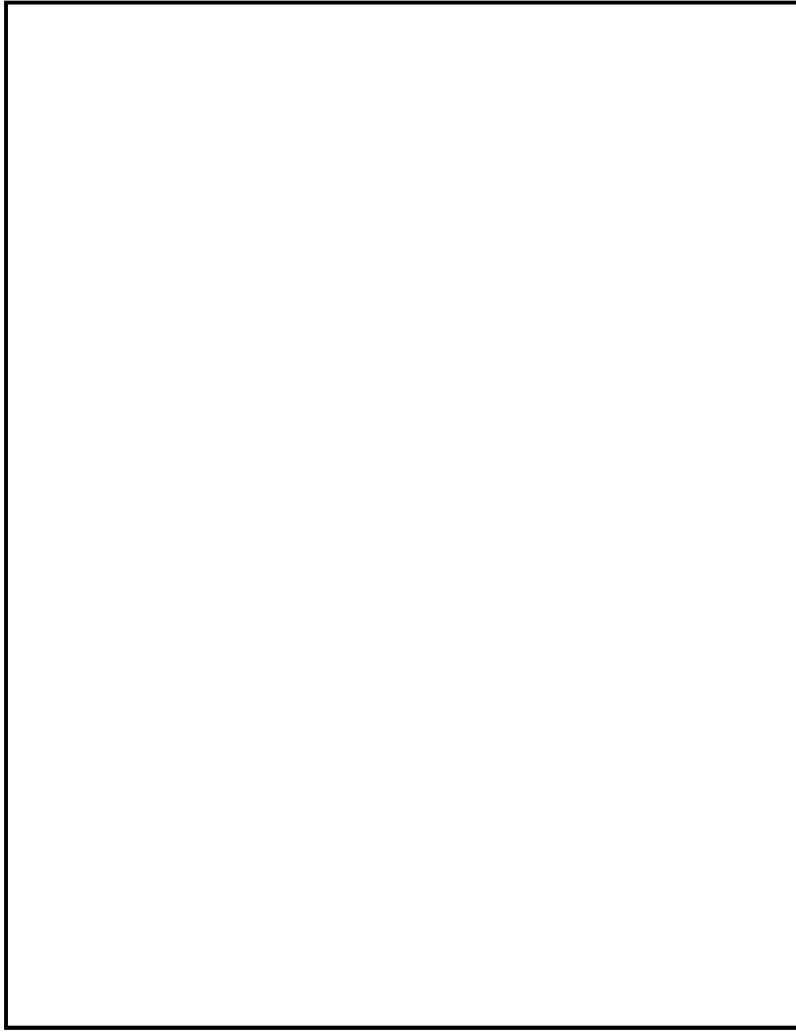
別図1 水平方向荷重作用時の変形挙動



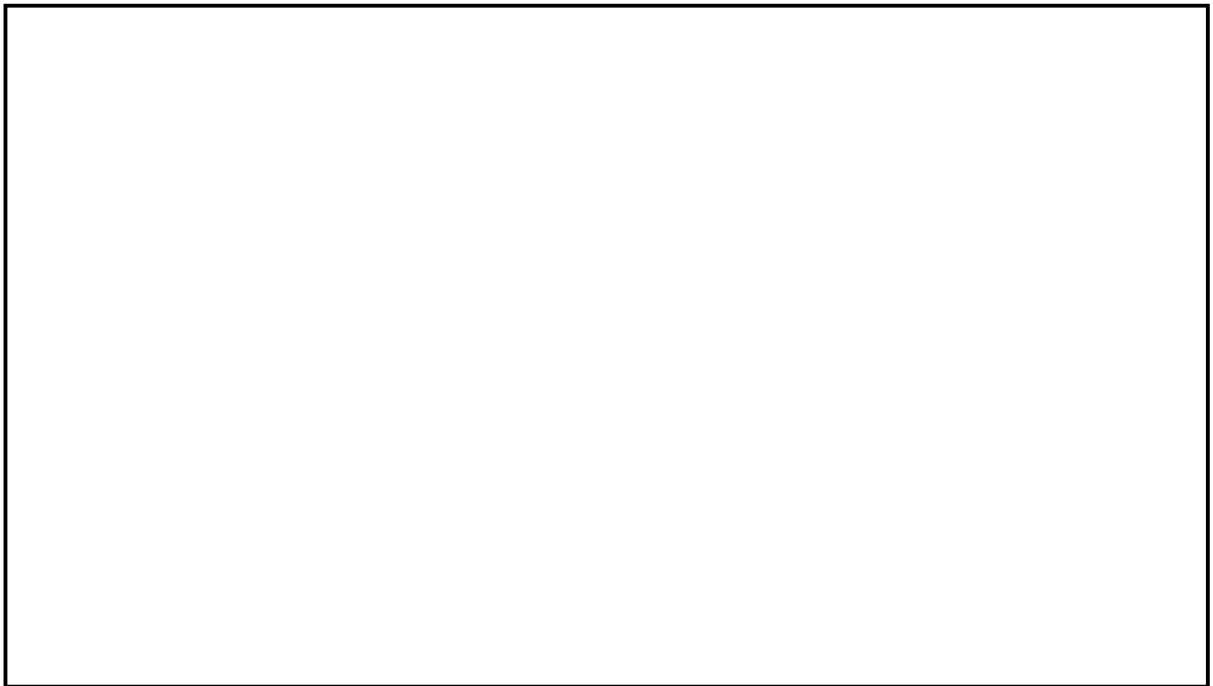
別図2 水平2方向荷重作用時の変形挙動



別図3 ねじれ変形



別図4 貯蔵架台変位解析モデル



別図5 下部トラニオンと貯蔵架台固縛部モデル

枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

地震力作用時の増加荷重について

トラニオン固定ボルトを初期締付け力で締付けると、トラニオン固定ボルト、胴、トラニオン及びトラニオン固定金具に変形が生じる。トラニオンに作用する荷重状態を図1に示す。地震力が付加されることによって変形が大きくなる締結物（トラニオン固定ボルト、トラニオン及びトラニオン固定金具）のばね定数と、変形が小さくなる非締結物（胴）のばね定数より地震力作用時の増加荷重 F_t を評価する。

(1) 締結物のばね定数

a. トラニオン固定ボルトのばね定数

トラニオン固定ボルトのばね定数 K_1 は以下の値となる。

$$K_1 = \frac{A_1 \cdot E_1}{L_1}$$

ここで、 A_1 ：トラニオン固定ボルトの断面積 (mm^2)

E_1 ：トラニオン固定ボルトの縦弾性係数 (MPa)

L_1 ：トラニオン固定ボルトの長さ (mm)

b. トラニオンのばね定数

トラニオンは図1のようにモデル化する。トラニオンのばね定数 K_2 は以下の値となる。

$$K_2 = \frac{3 \cdot E_2 \cdot I_2}{L_2^3 + L_0 \left(3 \cdot L_2^2 - 3 \cdot L_2 \cdot L_0 + L_0^2 \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_0} - 1 \right)}$$

ここで、 E_2 ：トラニオンの縦弾性係数 (MPa)

I_2 ：トラニオン評価断面①の断面二次モーメント (mm^4) (別図2参照)

I_0 ：トラニオン評価断面②の断面二次モーメント (mm^4) (別図2参照)

L_2 ：トラニオン寸法 (mm) (図2参照)

L_0 ：トラニオン寸法 (mm) (図2参照)

c. トラニオン固定金具のばね定数

トラニオン固定金具のばね定数 K_3 は以下の値となる。

$$K_3 = \frac{48 \cdot E_3 \cdot I_3}{L_3^3}$$

ここで、 E_3 ：トラニオン固定金具の縦弾性係数 (MPa)

I_3 ：トラニオン固定金具の断面二次モーメント (mm^4)

L_3 ：トラニオン固定ボルト間距離 (mm)

d. 締結物のばね定数

締結物のばね定数 K はa.～c.より、以下の値となる。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}}$$

(2) 非締結物のばね定数

a. 胴のばね定数

胴のばね定数 K_c は以下の値となる。

$$K_c = \frac{A_c \cdot E_c}{4 \cdot L_c}$$

ここで、 A_c : 胴の断面積 (mm²)
 E_c : 胴の縦弾性係数 (MPa)
 L_c : 荷重作用長さ (mm)

(3) 地震力作用時の増加荷重

地震力作用時の増加荷重 F_t は、以下の式で求まる。

$$F_t = \frac{K}{K+K_c} F_m$$

ここで、 F_m : トラニオンに地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

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

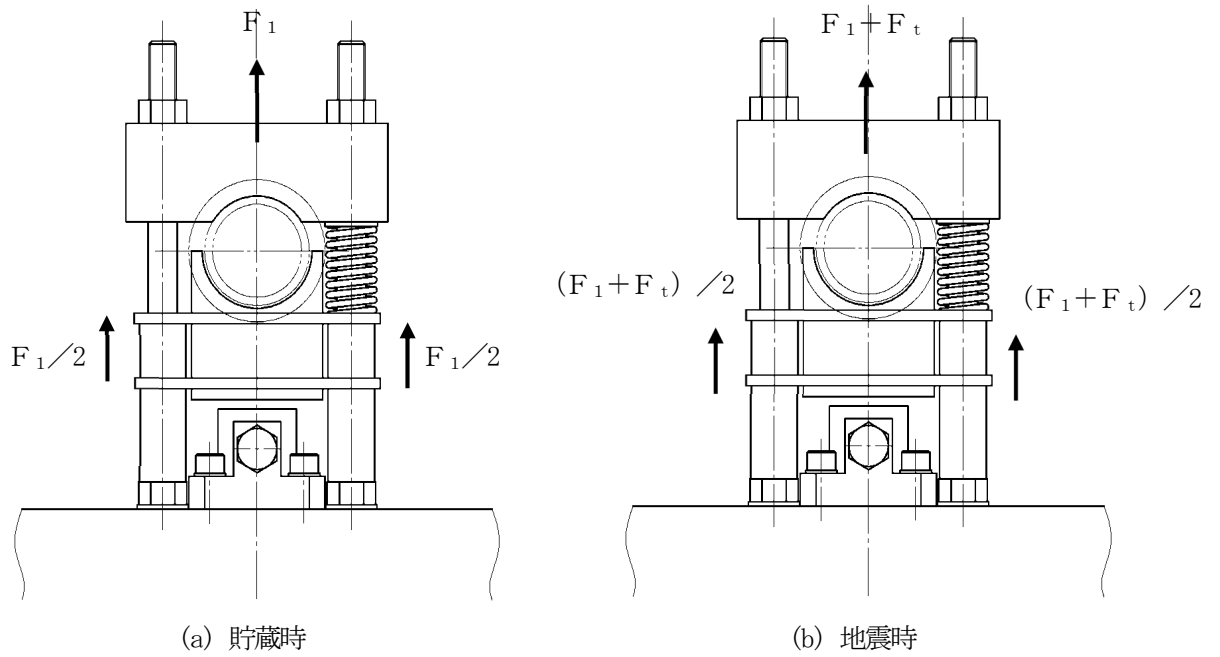
ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$
 $G_2 = (1 - C_V) \cdot G$
 G_1 : 水平方向加速度 (m/s²)
 G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s²)
 C_H : 水平方向設計震度
 C_V : 鉛直方向設計震度
 G : 重力加速度 (m/s²)
 h_{CG} : 金属キャスク底面から重心までの高さ (mm)
 a_1 : 支点Oから固縛装置④のトラニオン固定金具中心までの距離 (mm)
 a_2 : 支点Oから固縛装置⑥のトラニオン固定金具中心までの距離 (mm)
 a_3 : 支点Oから金属キャスク中心までの距離 (mm)
 m_2 : 貯蔵時における金属キャスクの質量 (kg)

(4) 評価結果

評価結果を表1にまとめる。地震力作用時の荷重増加は初期締付け力に対して小さく、トラニオン及び固縛装置は強度評価において許容値に対して十分な余裕を持つことから、固縛状態が維持できる。

表1 評価結果

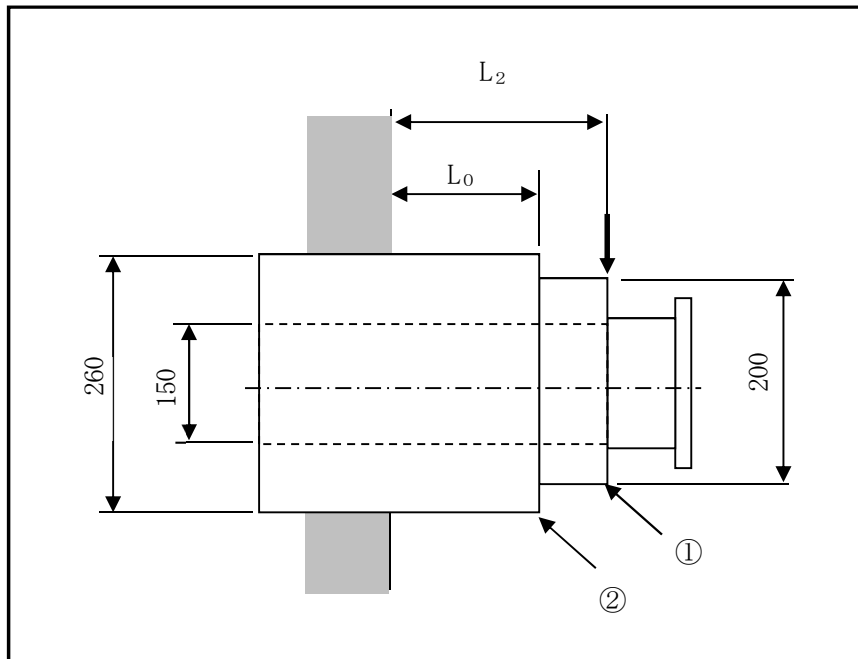
トラニオン固定ボルトの初期締付け力(N)	地震力作用時の増加荷重(N)
1.3×10 ⁶	7.5×10 ³



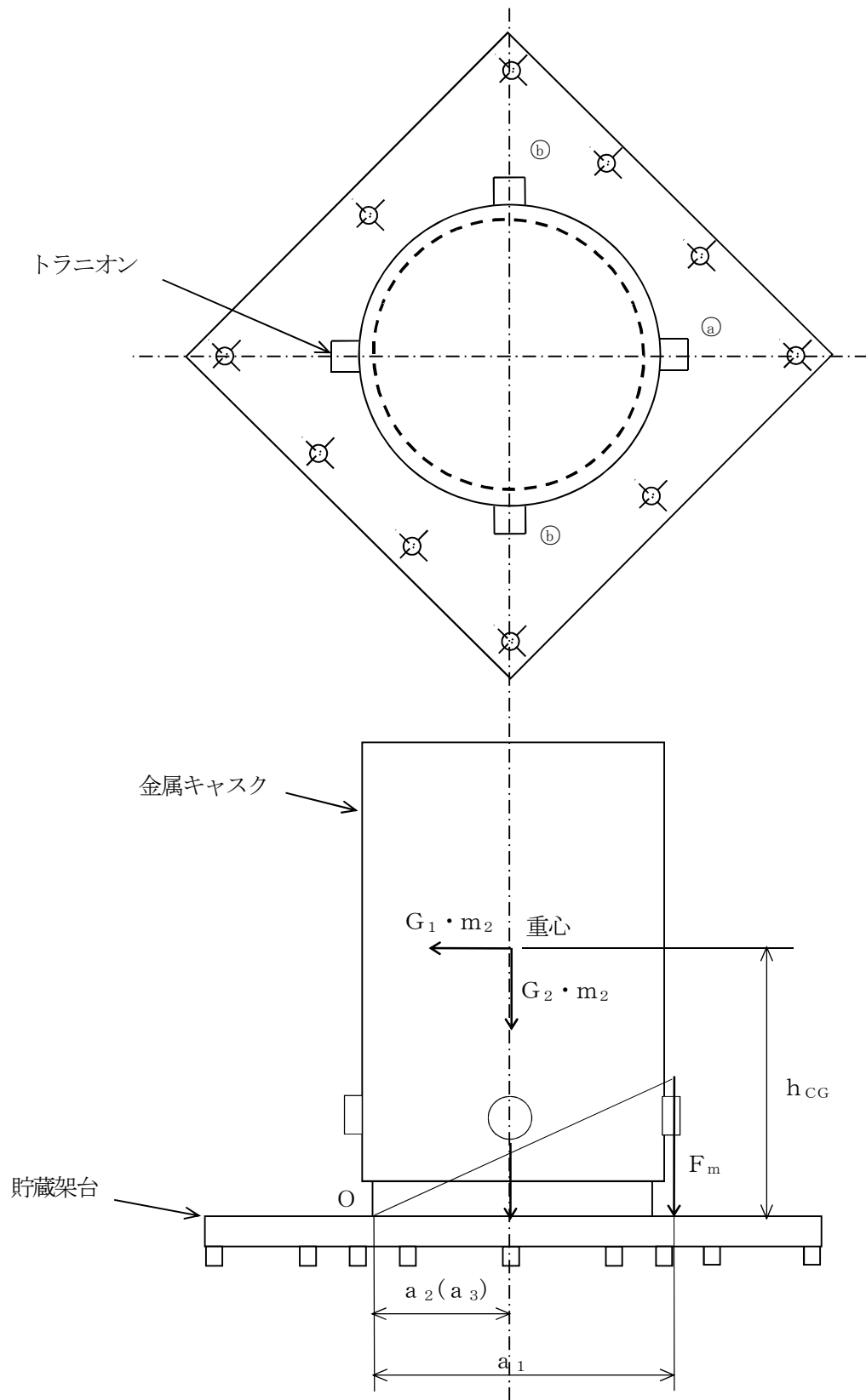
※：反対側のトラニオンに作用する荷重はトラニオンのみに下向きに作用する。

(トラニオン固定ボルト及びトラニオン固定金具はトラニオンを上から抑える構造のため荷重は作用しない。)

別図1 トラニオンに作用する荷重状態図



別図2 トラニオンのばね定数評価モデル



Ⓐ, Ⓑ : 固縛装置番号

別図3 トランニオンに作用する荷重の計算モデル