

ここにレポートのタイトルを記入

地球総合工学科 B3 08C23031 古賀 光一郎

2025年10月21日

1 短辺方向の GM の計算

10/14, "寸法を一旦決め打ちしないといろいろな値が決まらない"ということで、一旦未知数を文字でおいて GM を計算してみた。

The whiteboard contains several equations and diagrams:

- $GM = \frac{I}{4\alpha^3 + \pi R^2 d}$
- $I = \frac{1}{64} \pi (R^2 - r^2)^2 \times 2$
- $BM = \frac{I}{V} = \frac{I}{4\alpha^3 + \pi R^2 d}$
- $V = 4\alpha^3 + \pi R^2 d$
- $KB = \frac{2\alpha^3 + \frac{d}{2} + \alpha}{\pi R^2 + 4\alpha^2}$
- $4(\cancel{\beta^3}) + \pi(R^2 - r^2)h + \frac{1}{6}\pi AB$
- $= \pi(R^2 - r^2)(h - \alpha) + 4\cancel{\alpha^3}$
- $\pi(R^2 - r^2)KG = \pi\alpha(R^2 - r^2) - 4\beta^3 + \pi(R^2 - r^2)h + \frac{1}{6}\pi AB$
- $KG = \alpha + h + \frac{\frac{1}{6}\pi AB - 4\beta^3}{\pi(R^2 - r^2)}$
- $\pi R^2(KB - \alpha) + 4\cancel{\alpha^3} = 4\alpha^3 + \pi R^2 d$
- $\pi R^2(KG - \alpha) = -2\alpha^3 + \frac{1}{2}\pi R^2 d$

図1 GM の計算

後で絶対使う計算式なので、図1を参考にして、GMの計算式を以下に示す。

$$GM = KB + BM - KG \quad (1)$$

$$BM = \frac{I}{V} \quad (2)$$

先に変数の定義を以下に示す。

- R : 円筒柱の外径
- r : 円筒柱の内径
- h : 円筒柱の高さ (バラストタンクまで含んだ長さであり、円筒部分は $h - \alpha$)
- d : セミサブ浮体の喫水

- A : 楕円の長辺半径
- B : 楕円の短辺半径
- M : 楕円形上部構造の重量 + 積載物の重量
- ρ : 浮体を構成する材料の密度
- ρ_w : 海水の密度
- I : 断面 2 次モーメント
- V : 水面下の体積
- KB : 噫水面から底面までの距離
- BM : 浮心から復元力の作用点までの距離
- KG : 噫水面から重心までの距離
- GM : メタセンター高さ
- α : バラストタンクの立方体外寸
- β : バラストタンクの立方体内寸

1.1 短辺方向の BM を出す

今回設計するセミサブ浮体は円筒形なので、外径 R , 内径 r とすると断面 2 次モーメント I は以下の式で求められる。

$$I_B = \frac{\pi(R^4 - r^4)}{64} \quad (3)$$

また、平行軸の定理より、椭円の短辺半径を B としたときの断面 2 次モーメント I_A は以下の式で求められる。

$$I_A = I_B + \frac{\pi}{4}(R^2 - r^2)(A - \frac{R}{2})^2 \quad (4)$$

以上より 4 本の円筒柱で構成されるセミサブ浮体の断面 2 次モーメント I_{total} は以下の式で求められる。

$$I_{total} = 2I_A + 2I_B = 2 \left\{ \frac{\pi(R^4 - r^4)}{64} + \frac{\pi}{4}(R^2 - r^2)(A - \frac{R}{2})^2 \right\} + 2 \cdot \frac{\pi(R^4 - r^4)}{64} \quad (5)$$

$$= \frac{\pi}{16}(R^4 - r^4) + \frac{\pi}{2}(R^2 - r^2)(A - \frac{R}{2})^2 \quad (6)$$

ちなみに、水面下の体積 V は以下である。

$$V = 4\alpha^3 + 4 \left(\frac{\pi R^2}{4} \right) (d - \alpha) = 4\alpha^3 + \pi R^2(d - \alpha) \quad (7)$$

よって、BM は以下の式で求められる。

$$BM = \frac{I_{total}}{V} = \frac{\frac{\pi}{16}(R^4 - r^4) + \frac{\pi}{2}(R^2 - r^2)(A - \frac{R}{2})^2}{4\alpha^3 + \pi R^2(d - \alpha)} \quad (8)$$

1.2 短辺方向の KB を出す

セミサブ浮体の喫水を d とすると、以下の等式が成り立つ。

$$KB = \frac{\text{水面下の体積モーメントの和}}{\text{排水容積}}$$

つまり、

$$KB = \frac{4\alpha^3 \cdot \frac{\alpha}{2} + 4 \frac{\pi R^2}{4} (d - \alpha) \cdot \frac{d+\alpha}{2}}{4\alpha^3 + \pi R^2(d - \alpha)} \quad (9)$$

$$= \frac{2\alpha^4 + \frac{\pi R^2}{2} (d^2 - \alpha^2)}{4\alpha^3 + \pi R^2(d - \alpha)} \quad (10)$$

1.3 KG の導出

重心 G は浮体全体の質量の中心である。底面を基準（高さ 0）として、各パーツの質量モーメントの合計を総質量で割ることで KG を求める。

$$KG = \frac{\sum(m_i \cdot z_i)}{\sum m_i} = \frac{m_{bal} \cdot z_{bal} + m_{col} \cdot z_{col} + M \cdot z_M}{m_{bal} + m_{col} + M} \quad (11)$$

各項を代入すると、

$$KG = \frac{(\rho \cdot 4(\alpha^3 - \beta^3)) \cdot \frac{\alpha}{2} + (\rho \pi(R^2 - r^2)(h - \alpha)) \cdot \frac{h+\alpha}{2} + M \cdot z_M}{\rho \cdot 4(\alpha^3 - \beta^3) + \rho \pi(R^2 - r^2)(h - \alpha) + M} \quad (12)$$

分子を整理すると、 KG は以下の式で表される。

$$KG = \frac{2\rho\alpha(\alpha^3 - \beta^3) + \frac{\rho\pi}{2}(R^2 - r^2)(h^2 - \alpha^2) + Mz_M}{4\rho(\alpha^3 - \beta^3) + \rho\pi(R^2 - r^2)(h - \alpha) + M} \quad (13)$$

1.4 まとめ

以上の結果より、GM は以下の式で求められる。

$$GM = \frac{2\alpha^4 + \frac{\pi R^2}{2} (d^2 - \alpha^2)}{4\alpha^3 + \pi R^2(d - \alpha)} + \frac{\frac{\pi}{16}(R^4 - r^4) + \frac{\pi}{2}(R^2 - r^2)(A - \frac{R}{2})^2}{4\alpha^3 + \pi R^2(d - \alpha)} - \frac{2\rho\alpha(\alpha^3 - \beta^3) + \frac{\rho\pi}{2}(R^2 - r^2)(h^2 - \alpha^2) + Mz_M}{4\rho(\alpha^3 - \beta^3) + \rho\pi(R^2 - r^2)(h - \alpha) + M} \quad (14)$$