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 光一朗

2025 年 10 月 16 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。

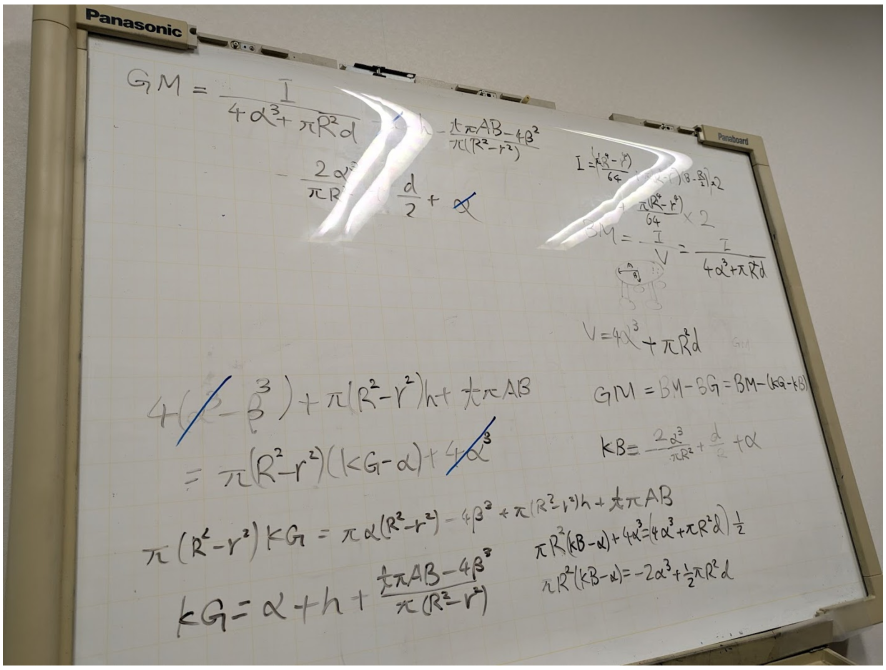

図 1　GM の計算

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。

$$GM = KB + BM - KG \tag{1}$$

$$BM = \frac{I}{V} \tag{2}$$

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 : 喫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 : 喫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。

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

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

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

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。

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

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

ちなみに、水面下の体積 V は以下である。

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

よって、BM は以下の式で求められる。

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

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、

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

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

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。

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

各項を代入すると、

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

分子を整理すると、KG は以下の式で表される。

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

1.4 まとめ

以上の結果より、GM は以下の式で求められる。

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