

表面効果翼艇まわりの流れの解析

鬼岩あかり (指導教員 河村哲也)

1 はじめに

筆者の出身県である長崎県は日本で最も島が多い都道府県であり, その数は有人島だけでも72島にのぼる. 離島を行き来する人や物資は主に飛行機と船によって輸送されているが前者は積載量, 後者は移動スピードに限りがあるため, より効率的な輸送手段が求められる.

また離島の人口は年々減少しているが, 65歳以上の人口は長崎県全体の増加率を大きく上回っており高齢化が進行している. 一方で人口10万人あたりの常勤医師数は長崎県全体の約半分と少なく小離島のなかには医師が常駐せず巡回診療を行っているところもある. 人命に関わる緊急時における, より高速な輸送手段が求められる.

その一つの手段となりうるものに表面効果翼艇がある. 表面効果翼艇とは, 水面すれすれを飛行することにより揚力を増加させ, 抵抗を減らす表面効果を利用した乗り物である. 本報では, 表面効果翼艇が効率がよく安定した飛行をするための条件を提案する.

2 モデル化・格子生成

2.1 モデル化

本研究では, 簡単のため表面効果翼艇の一断面をとりだして2次元数値シミュレーションを行う. そして, 2次元平面において翼と水面間の距離 d と迎角 α , レイノルズ数 Re を変化させ, 流れの様子と揚力, 抗力, 揚抗比を調べる. 特筆しないかぎり, $d=0.1$, $\alpha=0$, $Re=10000$ とする.

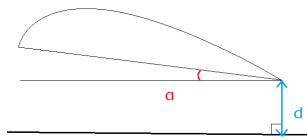


Fig. 2.1: パラメータ

2.2 格子

計算領域で図のように2分割した. 格子は翼に沿ったものとし, 格子数は図の領域①では 161×41 , 領域②では 119×21 である. (Fig. 2.2) また, 翼に近いほど格子数を細かくした.(Fig. 2.3)

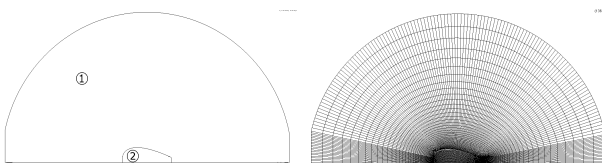


Fig. 2.2 格子の分割

Fig. 2.3: 格子

3 計算方法

3.1 基礎方程式

表面効果翼艇の飛行速度での流れは非圧縮性流体とみなせるので連続の式 (1) と運動方程式として Navier-Stokes 方程式 (2) を使用する.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \dots (2) \end{aligned}$$

P : 圧力, Re : レイノルズ数

3.2 解法

上記の方程式をフラクショナル・ステップ法を用いて解く. $\Delta t = 0.001$, 計算ステップは 40,000 回とした.

4 結果と考察

4.1 水面との距離

水面との距離を変化させた場合の大気の流れと圧力を以下の図 (Fig. 4.1: 計算結果) で示す. また, それぞれの場合の揚抗比, 揚力, 抗力は Table 4.1 のようになった. ただし, d は翼弦長を 1 としたときの値である.

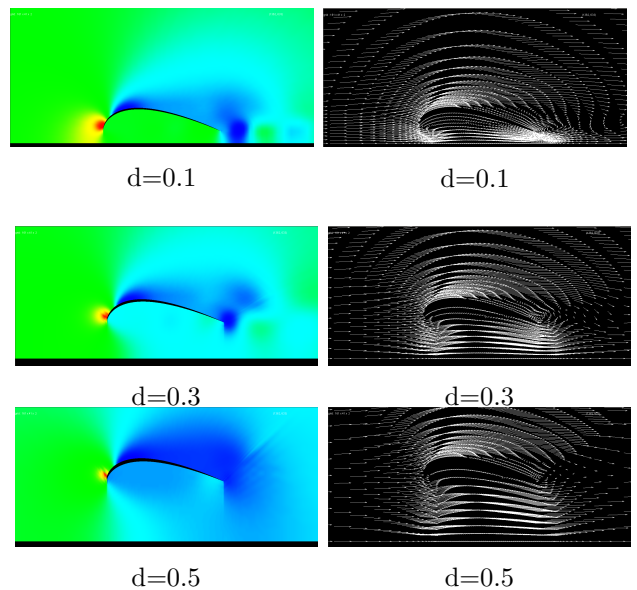


Fig. 4.1: 計算結果

Table. 4.1: 計算結果

d	0.1	0.3	0.5
揚抗比	3.472977	1.848197	1.069065
揚力	0.232069	0.11729	0.065757
抗力	0.066841	0.063523	0.061508

dの値が小さいほど翼の上面と下面の圧力の差が大きく、翼の下に大気が流れ込んでいる。計算結果の表からも水面からの距離は大きくなるにつれ、揚力と揚抗比は小さくなるのが読み取れる。このことから水面に近ければ近いほど効率はよいが、実際には波の影響もあるため考慮が必要だと考えられる。

4.2 迎角

迎角を変化させた場合の大気の流れと圧力を以下の図 (Fig. 4.2: 計算結果) で示す。また、それぞれの場合の揚抗比、揚力、抗力は Table 4.2 のようになった。

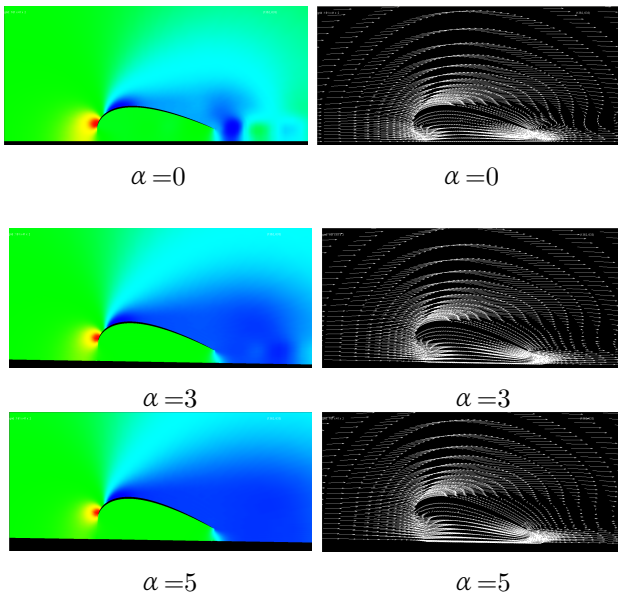


Fig. 4.2: 計算結果

Table. 4.2: 計算結果

α	0	3	5
揚抗比	3.472977	4.617501	5.322078
揚力	0.232069	0.313974	0.361992
抗力	0.066841	0.067995	0.068012

α が大きくなるにつれ、翼上面の圧力が小さくなり翼の前方から大気が流れ込んで渦ができていくのが見て取れる。また計算結果の表でも角度が大きいほど揚抗比が大きくなっているのがわかる。このことから迎角は大きくなるにつれ、揚力と揚抗比は大きくなる。ただし大きくなりすぎると機体が不安定になってしまうので考慮が必要だと考えられる。

4.3 レイノルズ数

レイノルズ数を変化させた場合の大気の流れと圧力を以下の図 (Fig. 4.3: 計算結果) で示す。また、それ

ぞれの場合の揚抗比、揚力、抗力は Table 4.3 のようになった。

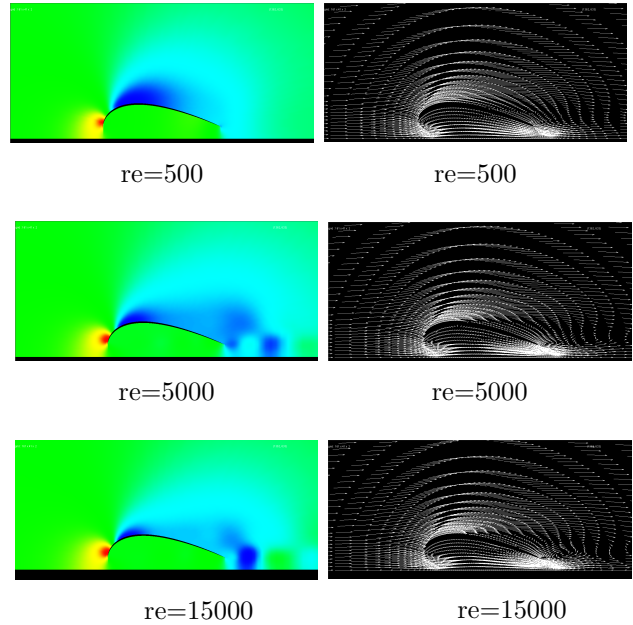


Fig. 4.3: 計算結果

Table. 4.3: 計算結果

Re	500	5000	15000
揚抗比	4.655978	3.763031	3.543518
揚力	0.455291	0.258149	0.226255
抗力	0.097781	0.068613	0.063883

圧力図において Re=500 と Re=5000 の間には変化がみられるが、Re=5000 と Re=15000 の間にはあまり変化がない。ベクトルの図でも同様である。計算結果の表からもレイノルズ数が大きくなるにつれ、揚抗比は小さくなり、500 を超えると値が落ち着くことが読み取れる。

5 まとめと今後の課題

本研究では表面効果翼艇の飛行に着目して、効率よく飛行するための手法を提案し、シミュレーションによって検証した。その結果、地面との距離は可能な限り近く、迎角は大きいほど効率よく飛行できるとわかった。レイノルズ数は大きくなると落ち着くことが分かった。

今後は、波などの自然条件や機体の特徴を考慮した、実際に近い条件での3次元シミュレーションを行い、さらに効率のよい条件を見つけていきたい。

参考文献

[1] 久保昇三, 松原武徳, 松岡利雄, 河村哲也. “表面効果翼艇マリンスライダー・ミュースカイの流体力学”. ながれ. 1991, 10, P, 11~23

[2] 長崎県 「ながさきの「しま」」

<https://www.pref.nagasaki.jp/sima/new/0nagasaki-ritou.html>

(最終アクセス日 2017/01/23)