

ボートによる造波と壁面との干渉の数値シミュレーション

理学専攻・情報科学コース 林 絢奈

1 はじめに

ボート競技は、試合を行う会場の形状に明確な規定がないスポーツである。

ボート競技の現状として、ある程度の長さが確保できれば、自然の川でも何ら補正を入れることなくレースを行っている点が問題視されている。オリンピック用に建設されたボートコースと比較すると、深さが不均一であったり、木や草が多数生えていたり、長さをまっすぐ取ることすら難しかったりと、多くの欠点が挙げられる。

さらに、ボート競技はコンディションによって勝敗やタイムが大きく異なるスポーツである。その日の天候、風、地形、様々な要因の中で最も大きなものは、波である。波と一口に言っても、背後から追いかける審判の乗ったモーターボート、隣のレーンで勝敗を競う競技相手、そして自分自身の起こす波、またそれぞれが、岸や他のボートと当たって起こる反射波に至るまで、多数挙げられる。これらによって競技者が転覆したり、不公平だとクレームがついて、試合がやり直しになる例は毎回のように見られるのが現状である。

公平な試合を行うためには、何が勝敗及びタイムに影響を与えるのかを明確にする必要がある。ボートコースの規定を提案することを最終目標に据え、まず本研究では、ボートコースとしてよくある状況を単純化したモデルを用い、どの抵抗が一番影響の大きいものかを確かめる。

2 モデル化・格子生成

2.1 計算領域

通常ボートコースは、全長 2km であり、幅は 6m 前後であることが多い。そのようなごく一般的なボートコースの中に浮かぶ、ボート周りの一部を計算領域とした。

本研究では以下の 3 ケースについてシミュレーションを行った。

Case1. ボートが 1 艇の場合 (対称性を仮定)

Case2. ボートが 3 艇の場合 (対称性を仮定)

Case3. ボートが 2 艇で岸がある場合

なお、Case2 と 3 ではボートのスピードを変化させた。

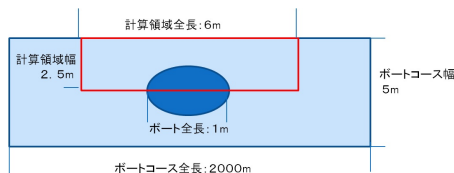


図 1 : 計算領域

2.2 格子生成

計算格子 (Case1) を図 2 に示す。x を川の長さ方向、y を川の幅方向、z を水深方向とする 3 次元空間を考えた。格子数は $120 \times 60 \times 80$ とする。

さらに、H 型格子を参考に、ボートを形どる領域に

沿って格子を変形させ、中央に位置するボートの存在を示した。ボートの厚みは水域の深さの $\frac{3}{10}$ とし、ボートの軸に垂直な断面形状は半円とした。

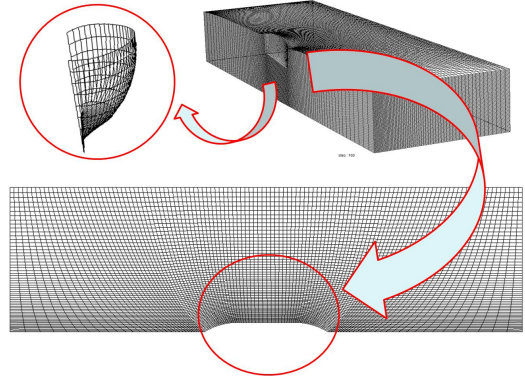


図 2 : Case1

ボートの水平表面形状として、簡単のため円弧の一部と直線を用いた。格子生成ではまず図 3 のような円弧の一部を境界とする格子を生成したあと、図 4 のように直線部分を挿入した。

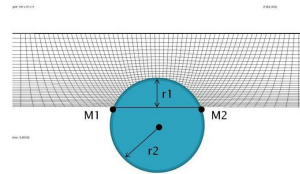


図 3 : ボート周りの格子

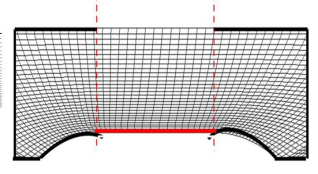


図 4 : 直線の挿入

同様にボートが 2 つある場合 (岸がない場合とある場合、それぞれ Case2 と Case3) についても格子を生成した。

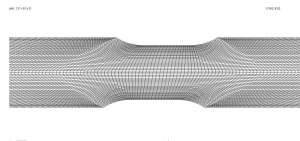


図 5 : Case2

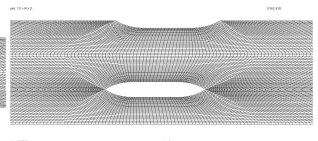


図 6 : Case3

3 計算方法

3.1 基礎方程式

非圧縮性 Navier-Stokes 方程式 (1)、連続の式 (2) を使用する。数値解法にはフラクショナル・ステップ法を用いた。

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{Re} \Delta V - gj \quad (1)$$

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (2)$$

V : 速度ベクトル p : 圧力 t : 時間 ρ : 密度
 Re : レイノルズ数 g : 無次元重力加速度
 j : y (鉛直) 方向の単位ベクトル

3.2 計算条件

各定数やパラメータについて、レイノルズ数 $Re = 100000$, 時間間隔 $\Delta t = 0.0025$, 無次元重力加速度 $g = 1$ とした。ボート壁面では粘着条件, 岸壁面ではすべり条件, また前後には周期条件を与えた。

自由表面の座標については、自由表面上の格子が、

$$Z_{new} = Z_{old} + W\Delta t$$

によって移動するとして追跡した。ここで、 W は鉛直方向の速度成分で、 Δt は時間間隔である。

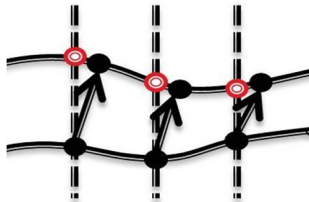


図 7 : 自由表面の動き

4 計算結果

4.1 両端の圧力差の計算

ボート全体の中で、最も圧力を受けている 2 点である、ボートの前端と後端における圧力を、 Z 方向の各格子ごとに足し合わせる。

前端部分の総和と、後端部分の総和を比較し、各時間ごとに、どちらの方向に圧力が大きいのかを検証する。

圧力が高い方向から低い方向へ力が働くため、ボートを進行方向に進める力が働くのか、妨げる力が働くのかがわかる。

計算は 15 秒間行う 0.25 秒ごとに両端の総和の差を取ったものを比較しグラフにまとめた。計算結果を図 8-10 で示す。

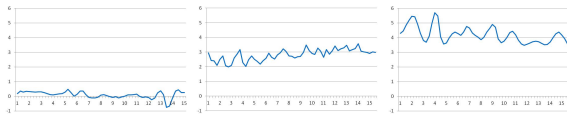


図 8 : Case1 図 9 : Case2 図 10 : Case3

4.2 圧力平均の比較

水面上で両端の圧力の平均値を、ボート全体の圧力平均と定義し、比較することとした。計算結果をグラフにまとめたものを、図 11-図 13 で示す。

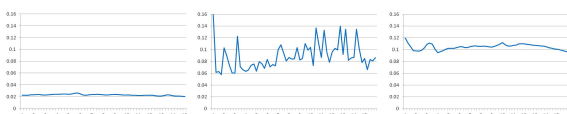


図 11 : Case1 図 12 : Case2 図 13 : Case3

4.3 水面の高さの比較

「波」は元々の水面の高さより、高い点あるいは低い

点において発生していると考え、水面の高さが最も異なると考えられる両端の平均値を求め、比較することとした。

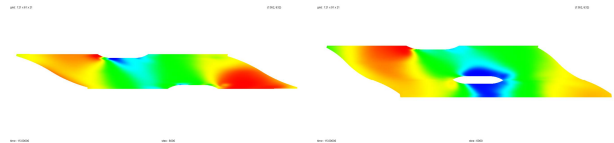


図 14 : Case2 15 秒後 図 15 : Case3 15 秒後

計算結果をグラフにまとめたものを、図 16-図 18 で示す。

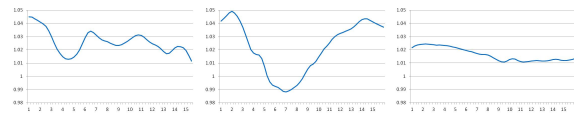


図 16 : Case1 図 17 : Case2 図 18 : Case3

5 考察

両端の圧力差について、ボートコースに他のボートがない場合が最も静水状態に近いことが確かめられた。また、岸がない場合よりある場合の方が、進行を妨げる力が働いていることもわかった。

また、圧力平均について、岸がある場合は常に高い圧力がかかっているが、ない場合においてボートにかかる圧力に変動があることがわかった。

最後に、水面の高さの値を比較し、最も激しく波打つのは岸がない場合という結果が得られた。岸の反射波を受けないにも関わらず、この結果を得た理由について、格子を生成する際、比較対象とするボートよりも、もう一艇のボートのスピードを速く設定したことが考えられる。岸のない場合、格子の両側を左右対称として計算しているため、計算対象の船より速いスピードで進む船が 2 艇両側にいることになる。岸に近いレーンを漕ぐボートは漕ぎづらさの面で不利だと言われていたが、自分より速いボートが両側にいる場合の方が、漕ぎづらさの面で勝っているのだと考えられる。

6 まとめと今後の課題

本研究では、格子を変形させる方法を用いて、ボート周りの波の様子を解析した。

今後の課題としては検証結果を秒数や距離に換算し、ハンドの必要性を考えることなどがある。

7 参考文献

1. 河村哲也:”流体解析 I”, 2000
2. Olivier G´enevaux, Arash Habibi, Jean-Michel Dischler,”Simulating Fluid-Solid Interaction”,2003
3. 木下健,”新形式ヨットとボートの解析”, 2002