

2 流体モデルにおける波のシミュレーション

林 絢奈 (指導教員：河村哲也)

1 はじめに

私が高校から続けてきたボート競技は、コンディションによって大きく勝敗の異なるスポーツである。特に審判や競技相手のボートが起こす波で、番狂わせが起こることも多々あった。同じように水中を舞台に戦う競泳では、コースロープ等、消波作用のある装置を備えているが、ボートコースにはそのようなものは備え付けられていないため、波の影響を回避することは出来ないのが現状である。

そこで、本当にコースの場所によって波の影響の大きさが変わるのか、時間にしてどれくらい不利になるのか、ボートコースにどのような条件を与えていけばその不公平さをなくせるのかを解明するのが、本研究の目的である。

2 モデル化・格子生成

計算領域を図1に示す。xを長さ方向、yを高さ方向、zを横幅方向とする3次元空間を考えた。初期の格子は等間隔格子を用いる。

各方向の比率はx : y : z = 2*π : 2 : 2 (m)、格子数は40 × 40 × 40とする。

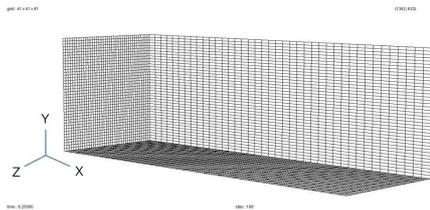


図1：計算領域

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), 密度の式 (3) 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。

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

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (V \cdot \nabla)\rho = \kappa\Delta\rho \quad (3)$$

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 κ : 拡散係数

3.2 用いる手法

研究に用いる手法の候補として、計算領域内では空気の存在を無視し、水の存在のみを考えて計算を行い、

格子そのものを水面とともに移動させる方法と、計算領域内は空気と水の2つの流体で満たされていると考えた、2流体モデルを用いる方法を検討した。

前者は次の時間ステップでの波の位置を決める場合に、速度をすべての表面格子について計算し、鉛直方向の速度成分を用いて鉛直方向の移動距離を計算したため、厳密には正しいものではなかった。一方、後者は液体と気体の境界である自由表面が、計算せずとも、密度の不連続面として自動的に出現する。より正確な結果が得られるのではと考え、本研究では後者を使用して研究を進めた。

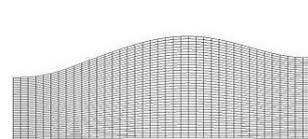


図2：格子そのものを移動させる手法

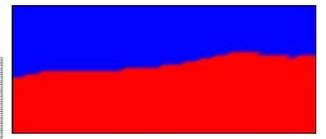


図3：2流体モデルを用いた手法

3.3 計算条件

2流体モデルの密度には、空気を模した低密度流体には $\rho = 0.5$ 、液体を模した高密度流体には $\rho = 2.0$ を与えた。

その他の各定数やパラメータについて、レイノルズ数 $Re = 50$ 、時間間隔 $dt = 0.000001$ 、無次元重力加速度 $g = 1$ とした。

3.4 ボートが起こす波のモデル化

競技用ボートとは、手に持った2本のオールで水をかくことで、ボートとオールの接点を支点とした、てこの原理を使って進む乗り物である。

本研究では、オールが水をかくことで水面が抉られるという点に着目し、周期的に水面を凹ませることで、オールが水をかいてボートが進んで行く様子を再現することにした。



図4：ボートのイメージ

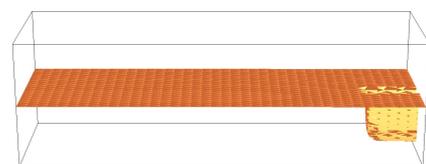


図5：モデル化

4 計算結果

4.1 中央寄りと壁寄りにおける波の振る舞い

同じ大きさ、周期の波を起こすモデルを、中央寄りに1つ置いた caseA と、壁寄りに1つ置いた caseB を計算に用いた。

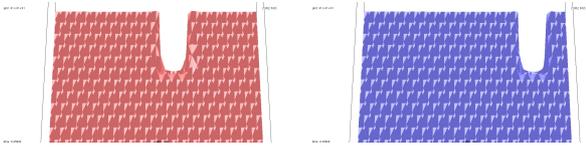


図 6 : caseA 初期状態 図 7 : caseB 初期状態

この両者において、ボートの進む先の水面の振る舞いを調べた。計算結果を図 8-図 11 で示す。ただし、わかりやすくするためボートコースの水面部分を表示している (以下同様)。

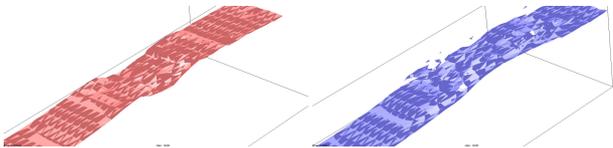


図 8 : caseA step:3000 図 9 : caseB step:3000

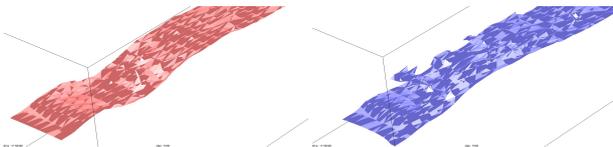


図 10 : caseA step:7000 図 11 : caseB step:7000

4.2 同時発生する 2 箇所の波の振る舞い

同じ大きさ、周期の波を起こすモデルを、領域内の中央寄り、壁寄りに並べて置いた caseC を計算に用いた。

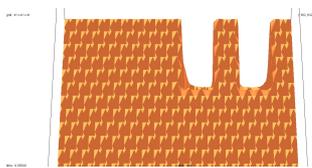


図 12 : caseC 初期状態

それぞれの波の周りにおいて、ボートの進む先の水面の振る舞いを調べた。計算結果を図 13-図 16 で示す。

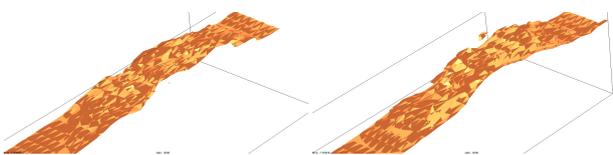


図 13 : caseC 中央寄り step:3000 図 14 : caseC 壁寄り step:3000

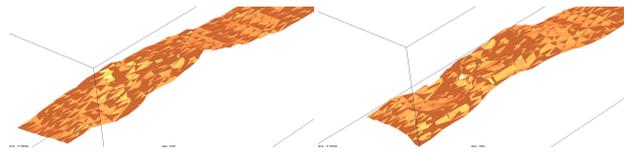


図 15 : caseC 中央寄り step:7000 図 16 : caseC 壁寄り step:7000

4.3 他の波の有無による波の振る舞いの差異

他の競技者の立てる波による影響の有無を検証するために、計算領域内に他の波は存在しない caseB と、計算領域内に他の波が存在する caseC を比較した。いずれも壁寄りのモデルを比較に用いた。計算結果を図 17-図 20 で示す。

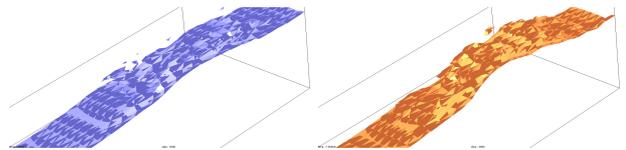


図 17 : caseB step:3000 図 18 : caseC step:3000

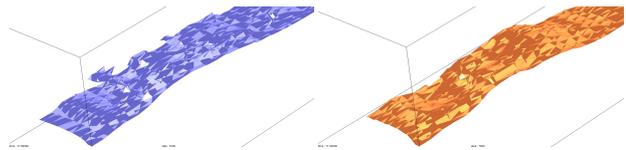


図 19 : caseB step:7000 図 20 : caseC step:7000

5 考察

波の発生位置が中央寄りの場合より、壁寄りの場合の方が、複雑に反射、干渉し、進行方向に起きる水面の乱れも大きかった。複数の波が同時に発生し、独立に進んでいく場合も、壁寄りに発生した波の周囲の方が乱れが大きい。また、同じ壁寄りに発生した波でも、他に波が発生している場合の方が影響を受けていることが計算結果から読み取れた。

よって、同じコースでもレーンの場所や人数によって、水面のコンディションが変わってくるのがわかったので、不公平な要素は大きく、公平な試合を行うためには、何らかの対策は必要だと考えられる。

6 まとめと今後の課題

本研究では、2 流体モデルを用いた種々の条件下における波のシミュレーションを行った。

今後の課題としては、実際の環境により近い比率の空間を計算領域とすること、空気と水の密度差をより現実に近づけること、ボートを模した模型をマスク処理によって表示させ、波の存在が液体の流れにどのように影響を与えるのか検証することなどを考えていきたい。