

重合格子法を用いた海底植物の運動と海水流の連成シミュレーション

A coupled simulation between sea grass and sea water using overset grids

- 佐藤 真由美, 岡山大環境, 岡山市津島中 3-1-1, E-mail : satou@s.ems.okayama-u.ac.jp
水藤 寛, 岡山大環境/JST, 岡山市津島中 3-1-1, E-mail : suito@ems.okayama-u.ac.jp
Mayumi Satou, Fac. of Env. Sci. and Tech., Okayama University, Okayama 700-8530
Hiroshi Suito, Grad. Sch. of Env. Sci., Okayama University/JST, Okayama 700-8530

Sea grass field is playing a very important role in coastal ecosystems: it yields oxygen by photosynthesis, provides egg-laying site for fishes, and so on. However, it has been widely lost by shore protection works, reclamation works, and etc. In this study, we simulated the motion of sea grass by wave actions for the purpose of providing useful information to transplantation of sea grass. To calculate the flow around the sea grass in detail, the overset grid is used. Sea water flows are governed by Navier-Stokes equations, where the existence of sea grass is included as a drag force term proportional to the difference between fluid and solid velocities. On the other hand, motion of a sea grass is represented by a balance of inertial term, damping term, bending-stiffness term, tension of a plant, and external forces.

1. 序論

日本の沿岸海域でよく見られる海底植物としてアマモが挙げられる。アマモは水質浄化や海水の流れの穏便化など、沿岸生態系において大変重要な役割を果たしている。しかし近年、沿岸海域の開発や埋め立て、海水汚染などによりアマモが生息する地域は減少傾向にある。瀬戸内海においても人工移植などによってその消失・衰退に歯止めをかけようと試みられてはいるものの、アマモの発芽率や定着率は高いとは言えず、困難な点も多いようである。そこで本研究では、アマモが生育しやすい環境を調べるのに役立てることを目標とする。

アマモ周りでの流体解析を行う際、アマモ近傍での水の流れをより詳しく調べるために、アマモ近傍での格子を細かくすることが必要となる。そこで、重合格子法を用いてアマモの運動シミュレーションを行った。

2. 構造解析

(1) 支配方程式

アマモの運動方程式には、構造解析で用いられる以下の式を用いる。

$$\rho_a \frac{\partial^2 \mathbf{x}}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 \mathbf{x}}{\partial s^4} - \frac{\partial}{\partial s} \left(T \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial s} \right) = \mathbf{F}$$

\mathbf{x} : アマモの座標値

s : アマモの軸に沿った位置座標

ρ_a : 線密度

EI : 曲げ剛性

T : 張力

\mathbf{F} : 外力

ここで、外力は、流体の圧力により受ける力、浮力、地面や構造物から受ける力を表す。

(2) 数値解法

支配方程式は、差分法を用いて離散化する。その際、座標値 \mathbf{x} については時間発展の方程式であるが、張力 T に関しては時間発展の式になっていない。そこで、両辺の微分をとって得られる Poisson 方程式を解いて求める。

3. 流体解析

(1) 支配方程式

流体解析には Navier-Stokes 方程式と連続の式を用いる。本研究では計算領域の中のアマモの移動も考慮して計算を行うため、右辺に流体とアマモの速度の差に比例する外力の項を加えた以下の式を使用する。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} - cA(\mathbf{u} - \mathbf{u}_a)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

\mathbf{u} : 流体の速度ベクトル

p : 流体の圧力

ρ : 流体の密度

ν : 動粘性率

c : 抵抗係数

\mathbf{u}_a : アマモの速度

A : アマモの有無を表す特性関数

t : 時間

(2) 数値解法

Navier-Stokes 方程式も差分法を用いて離散化し、時間発展には SMAC 法を用いる。

4. 特性関数

構造解析と流体解析では計算で用いる格子点が一致しない。そこで本研究では、流体解析の格子点でアマモの有無を判断するために、特性関数 A に \tanh を使用した以下の式を用いる。

$$A(r) = \frac{1}{2} \left(1 - \tanh \left(\frac{r - \theta}{\varepsilon} \right) \right)$$

アマモの有無を判断したい格子点から、構造解析で用いる各格子点への距離 r を求め、中でも最小の距離 r を用いて A の値をとる。 θ と ε は定数であり、 θ は A が 0 から 1 へ変化する中間点、つまり $A=0.5$ となる位置を示し、 ε は変化の幅を示す。

抵抗係数 c にこの特性関数 A を掛け合わせることで、アマ

モノ内部において、流入してくる流体の進行方向に対して逆向き
の力が加わることになる。

5. 重合格子法

本研究では、流れ場全体に格子（主格子）を置き、その内部に
物体近傍での格子（補助格子）を重ね、各格子の境界での物理量
を他の格子から内挿することによって双方の格子における物理量
を接合した。重合格子法を用いることにより、複雑形状物体周り
での流れを比較的容易に解くことが出来る。また、流れの変化が
大きい物体周辺の格子だけを細分化することで、より高速に高精
度の計算を行うことを可能にするという利点もある。

6. 計算条件

Fig. 1 に示すように、水は左から右に流れるものとしてシミュ
レーションを行った。直方体の管路内に 9 本のアマモを設定した
場合のシミュレーションにおいて、アマモの間隔は 5cm 間隔とし
ている。重合格子を用いて計算を行う場合、Fig. 1 の右図に示す
ような補助格子を主格子内のアマモの近傍に置いて計算を行う。

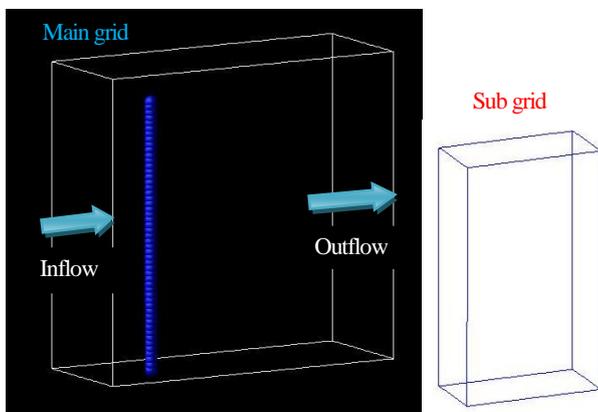


Fig. 1 Calculation condition

7. シミュレーション結果

単一格子で計算を行った場合と重合格子を用いて計算を行った
場合のシミュレーション結果を以下に示す。

まず、アマモに力が働いていることを見るために単一格子を用
いていくつかのテスト計算を行った。水の流れがないものとし、
アマモに曲げ剛性力のみを作用させた場合のテスト計算結果を
Fig. 2 に、曲げ剛性力と浮力を作用させた場合のテスト計算結果
を Fig. 3 に示す。ここで、アマモの色は張力を表し、赤いところ
ほど張力が大きいことを表している。

次に、水の流れを与えアマモの本数を 1 本、9 本とした場合の
シミュレーション結果をそれぞれ Fig. 4、Fig. 5 に示す。矢印は流
体の速度ベクトルを表し、赤いところほど速度が速いことを表す。

最後に、アマモ周りの水の流れをより詳しく調べるために重
合格子を用いた場合のシミュレーション結果を Fig. 6 に示す。

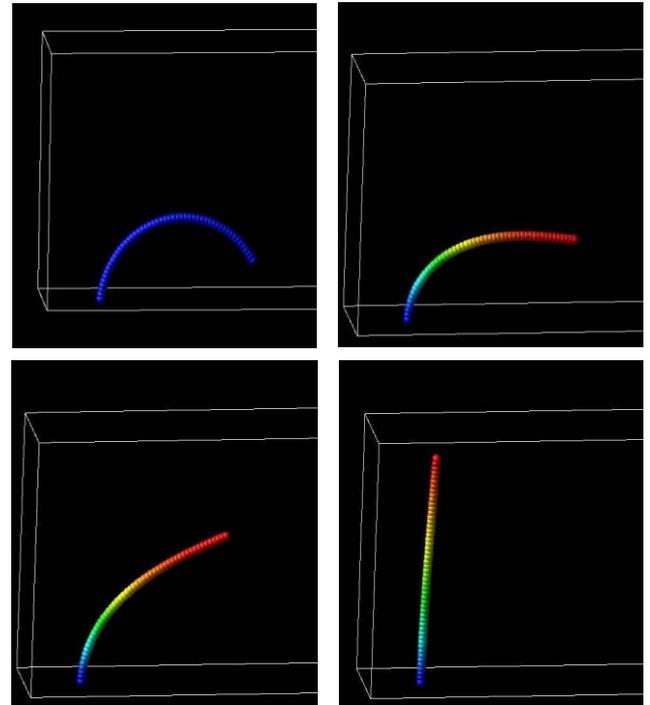


Fig. 2 Test calculation 1

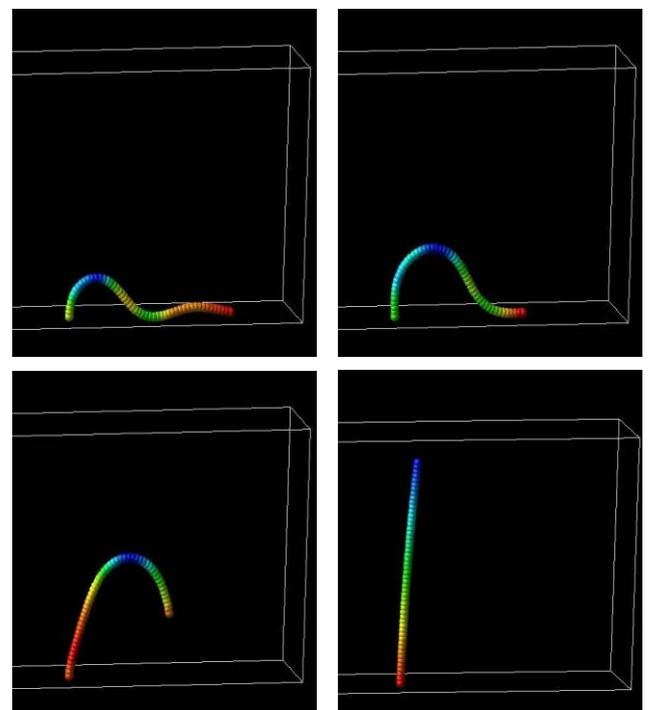


Fig. 3 Test calculation 2

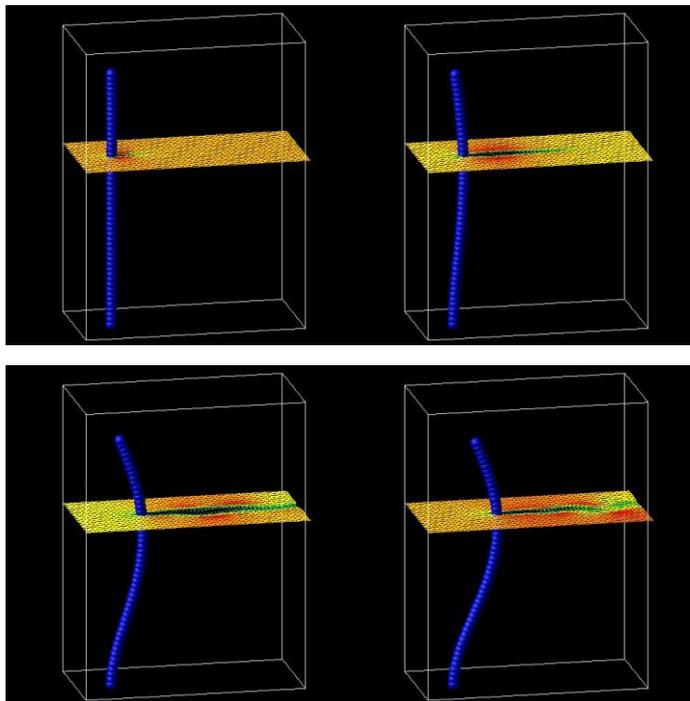


Fig. 4 Coupled simulation for one sea grass

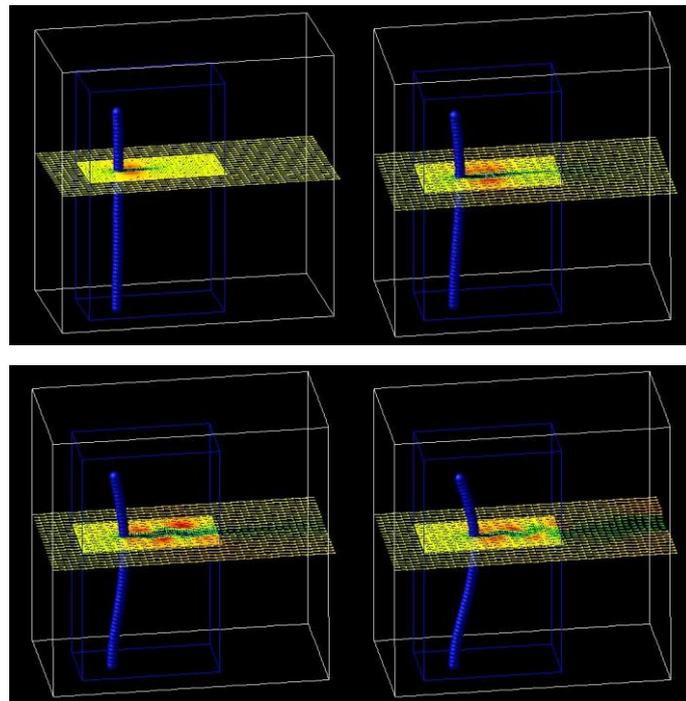


Fig. 6 Coupled simulation using overset grids

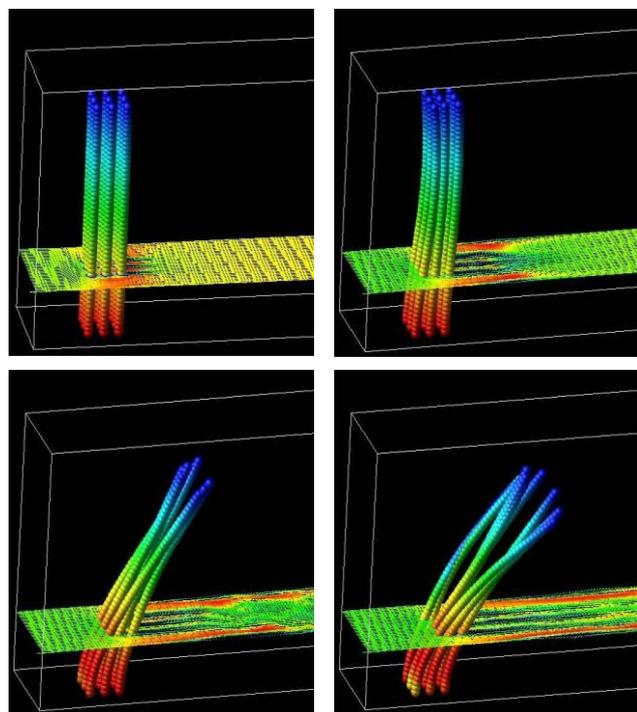


Fig. 5 Coupled simulation for nine sea grasses

8. まとめ

本研究では、アマモ周りの水の流れをより詳しく調べるために重合格子法を用いたアマモの運動と海水流の連成シミュレーションを行った。その結果、アマモの近傍においてのみ格子を細分化するという手法は計算時間の問題から効果的であると考えられた。

今後は、アマモの形状をより実物に近いものにし、実際の動きとの比較・検証を行っていく。そして、アマモが生育しやすい環境を調べることに役立てていきたい。

参考文献

- (1) 土木学会応用力学委員会計算力学小委員会, "いまさら聞けない計算力学の常識," 丸善株式会社出版, (2008)
- (2) 石川, "しなり変形する矩形板まわりの流れ—樹木のしなりからモーフィング翼へ—," ながれ, 28, (2009), pp. 309-314
- (3) 米田, 渡邊, 水藤, "ボールの運動シミュレーションに対する重合格子法の適用," 第 23 回数値流体力学シンポジウム, B7-1, (2009), pp. 171