

新形式メガフロートの環境影響評価シミュレーション

九州大学工学部エネルギー科学科 学生員 岩永 浩輔
 日本科学技術振興機構 山口 創一
 九州大学大学院総合理工学研究院 正会員 経塚 雄策

1. はじめに

海洋空間の利用を目的として、メガフロートと呼ばれる超大型浮体式海洋構造物の実用化が進められているが、同時に多目的の新形式のメガフロート(コの字型など)も計画されている。その特徴は、形状が用途に応じて箱型よりは複雑なことである。

本研究では、新形式メガフロート周りの流れを静水圧近似の範囲内で解けるように拡張を行い、それが設置海域の流れと物質拡散にどのような影響を及ぼすかについて、数値シミュレーションによって検討した結果を報告する。

2. マルチレベルモデルによる流況計算

沿岸域に超大型浮体が設置される事を想定した場合、水平方向スケールに対して鉛直方向スケールが十分に小さいと考えられるため、圧力は静水圧とみなせる。コリオリパラメータを一定とし静止水面に原点をとる直交座標系を用いると基礎方程式は(1)~(4)式(Navier-Stokesの式、及び連続の式)で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + f v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_H \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - f u - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_H \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

浮体が存在する部分では自由表面が存在しないため浮体がないときと同様の方法では圧力が求められない。従って、浮体と海底間の水流は浮体端部を除いて二次元的であり、浮体底面の速度が既知である、という特別な処理が必要である。ここで、浮体底面の速度

を w_f とする。これらを考慮した(5)~(7)式を解いて求める。

$$\nabla^2 \eta' = \frac{1}{g(z_0 - H)} \left(F - \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) \quad (5)$$

$$F = - \int \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} \right] dz - f \int \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) dz + g \int \rho \left(\frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} \right) dz \quad (6)$$

$$\Phi = \frac{\partial}{\partial x} \left(\int u dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int v dz \right) + w_f \quad (7)$$

塩分濃度及び水温は(8)~(9)式に示す拡散方程式を解いて求め、流体の密度は塩分量及び水温の変化を考慮したクヌードセンの式を用いる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} + K_H \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + T_v + T_r \quad (8)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -u \frac{\partial S}{\partial x} - v \frac{\partial S}{\partial y} - w \frac{\partial S}{\partial z} + K_H \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (9)$$

離散化：差分法(スタッガードメッシュ)

Table.1: 計算に使用した主なパラメータ

パラメータ名	値	単位
水平・鉛直格子数	42,32,5	
水深 H	20	[m]
Timeステップ Δt	10	[s]
コリオリパラメータ f	0	[1/s]
水平渦動粘性係数 A_H	100	[m ² /s]
鉛直渦動粘性係数 A_z	0.001	[m ² /s]
水平渦動拡散係数 K_H	100	[m ² /s]
鉛直渦動拡散係数 K_z	0.001	[m ² /s]
底面摩擦係数 γ	0.0026	
浮体の摩擦係数 γ_f	0.0026	
海面摩擦係数 C_f	0.0015	

3. 矩形湾における試計算

試計算としては、水平方向に $98 \times 36 \text{ km}$ の矩形湾を考え、水深は 20 m とした。鉛直方向に 20 m の矩形湾を考えた。メッシュのサイズとして、水平方向に $1000 \times 1000 \text{ m}$ 、鉛直方向に第 1～5 層の層厚を順に $2, 3, 4, 5, 6 \text{ m}$ とした。また水平方向に 6×8 メッシュ、喫水が 5 m の浮体を湾の中央に設置した。

境界条件は、矩形湾の短辺を開境界として強制水位を流入し、速度勾配なしとした。強制潮汐は M2 分潮のみとし、振幅は 0.5 m 、周期は 12 時間とした。浮体部分においては free-slip 条件を用いた。また陸境界及びメガフロート表面では熱の出入りはないとし、夏場を想定した気象条件とした。

4. 数値計算結果

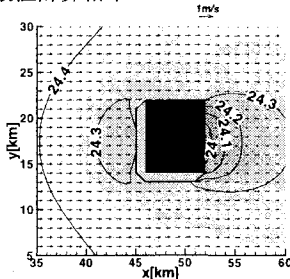


Fig.1 上潮最強時の表層流速と温度分布 (矩形型メガフロート)

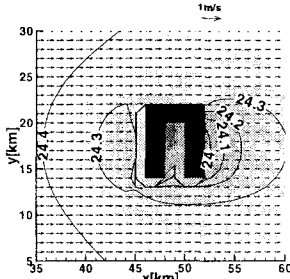


Fig.2 上潮最強時の表層流速と温度分布 (コの字型メガフロート)

480時間計算を行った。Fig.1,2は第一層目での結果である。水平方向については、流速は形状が異なってもあまり変化に違いはないということがわかる。また、温度の変化についても、流速と同様に大きな違いは見られないが、コの字型のメガフロートは真ん中が開いていて、その部分の海水は直接日射により温められるので、コの字型の入り口付近で違いが現れた。

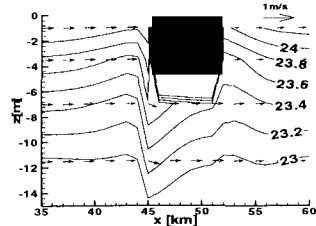


Fig.3 上潮最強時の鉛直断面内流速と水温分布 (矩形型メガフロート)

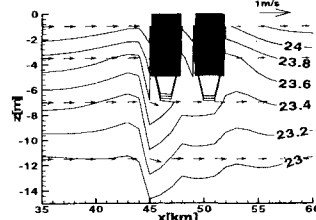


Fig.4 上潮最強時の鉛直断面内流速と水温分布 (コの字型メガフロート)

Fig.3,4 はメガフロートの鉛直断面における流速及び水温分布の結果である。流速については違いはあまり見られないが、水平方向のときと同様にコの字型の開いている部分の海水が日射により温められるため、浮体下部では温度の変化に差が現れた。

5. まとめ・今後

マルチレベルモデルによって超大型浮体を含む矩形湾での潮流の計算を行った。浮体下部の流体圧力を求めるために二次元ポアソン方程式を解き、浮体の上下方向運動を考慮できるプログラムで計算を行った。

講演時には、東京湾の地形データをもちいたシミュレーションを行い、またFig.5で示した浮遊生態系モデルを考えて水質の変化を見た結果を発表する。

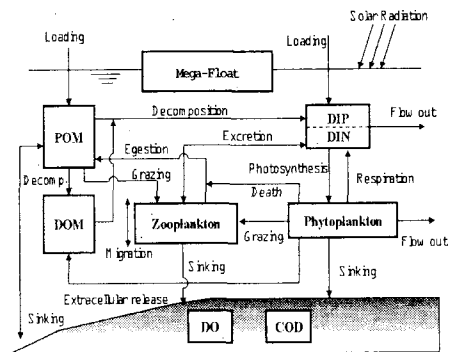


Fig.5 浮遊生態系モデル