

II-49

湧昇流構造物により促進される沿岸域低層水の拡散・混合過程の解析

神戸大学大学院 学生員 吉村敏志
 大阪市 正 員 坂本格
 神戸大学工学部 正 員 道奥康治
 神戸市立工業高専 正 員 辻本剛三

1. はじめに

海底に構造物を設置することにより湧昇流を促進し、沿岸環境保全や水産資源の開発に応用することが試みられている。構造物の合理設計には、栄養塩に富んだ低層水塊の表層への輸送量を正確に評価する必要がある。従来の研究では Euler 的記述に基づき、コントロール断面を通過する流速や物質フラックスを湧昇量として便宜的に定義してきたが、これは低層に起源をもつ水粒子の表層への輸送量という本来の湧昇量と必ずしも対応していない。本研究では、乱流モデルとモンテカルロシミュレーションにより、水粒子の輸送過程を Lagrange 的に記述し、海底構造物の湧昇促進効果を確率論的に検討する。

2. 対象とする流れの場と水理条件

図-1のように二次元潮流場に平板構造物を設置し、 $T=1/f=12(\text{hr})$ の半日周潮の流れを与える。 f は流れの周波数である。流況を支配する無次元量として、(1)無次元水深： $\tilde{h}=h/d$ 、(2)KC数： $KC=U_0/L_0f=2\pi fs/d f=2\pi s$ (s : 潮流の振幅、 d : 構造物高さ)、(3)Reynolds数： $Re=U_0L_0/\nu=2\pi fsd/\nu$ (4)下層水深： $\tilde{h}_2$ 、(5)密度成層場の Richardson数： $Ri=ag\Delta TL_0/U_0^2=ag\Delta Td/(2\pi fs)^2$ (ここで、 a : 熱膨張係数、 g : 重力加速度、 ΔT : 上下層の水温差)等がある。ここでは、 $\tilde{h}=5$ で一定とし、表-1のような水理条件のもとで解析を行った。

3. 粒子追跡の方法

$k-\varepsilon$ 乱流モデルにより計算される乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ 、 $\sqrt{w'^2}$ に対して、乱れの相関性を保持した標準正規乱数 y_{u1} 、 y_{w1} を乗じ、時々刻々の乱流速度 $u'_i=y_{u1}\sqrt{u'^2}$ 、 $w'_i=y_{w1}\sqrt{w'^2}$ を生成する。 y_{u1} 、 y_{w1} はレイノルズ応力を考慮して、 $y_{w1}=C_{uw}y_{u1}+\varepsilon_1\sqrt{1-C_{uw}^2}$ の関係より算出される。ここで、 ε_1 :独立な標準正規乱数、 $C_{uw}:C_{uw}=\overline{u'_iw'_i}/(\sqrt{\overline{u'^2}}\sqrt{\overline{w'^2}})$:乱れの相関係数、 $\overline{u'_iw'_i}$ は $k-\varepsilon$ 乱流モデルから算定される。第*i*番目の時間ステップにおける既知の粒子位置 (x_i, z_i) から、第*i+1*ステップにおける粒子座標を、 $x_{i+1}=x_i+(u_i+u'_i)\Delta t$ 、 $z_{i+1}=z_i+(w_i+w'_i)\Delta t$ として順次求め、2日間追跡する。ここで、 u_i 、 w_i は場の平均流速、 Δt は計算時間間隔である。マーカー粒子の初期投入位置は、 $\tilde{z}=z/d=0.2$ の位置に、 $-200\leq\tilde{x}=x/d\leq 200$ の範囲とし、最大順流時に合計800個を投入する。ここで、境界における粒子の取り扱いとして、(1)構造物や海底に衝突した粒子は完全弾性衝突して跳ね返る、(2)水面に達した粒子は一旦水面にとどまり、その後変動流速により移流される、(3)吹き抜け境界を通過して系外に出た粒子は系内に戻らない、と仮定する。

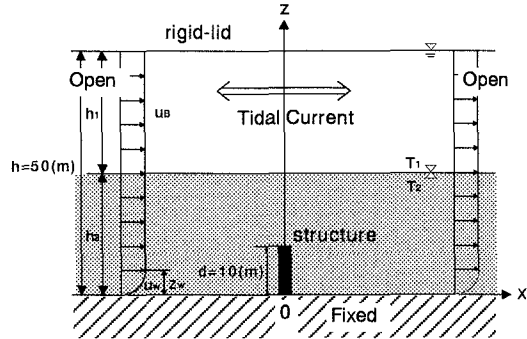


図-1 対象とする二次元成層振動流場

表-1 水理条件

Case	Re	KC	Ri	$\tilde{h}_2$
1	1.0×10^6	450		
2	2.0×10^6	900		
3	1.0×10^6	450	2	4
4	1.0×10^6	450	2	2
5	1.0×10^6	450	5	4
6	1.0×10^6	450	5	2

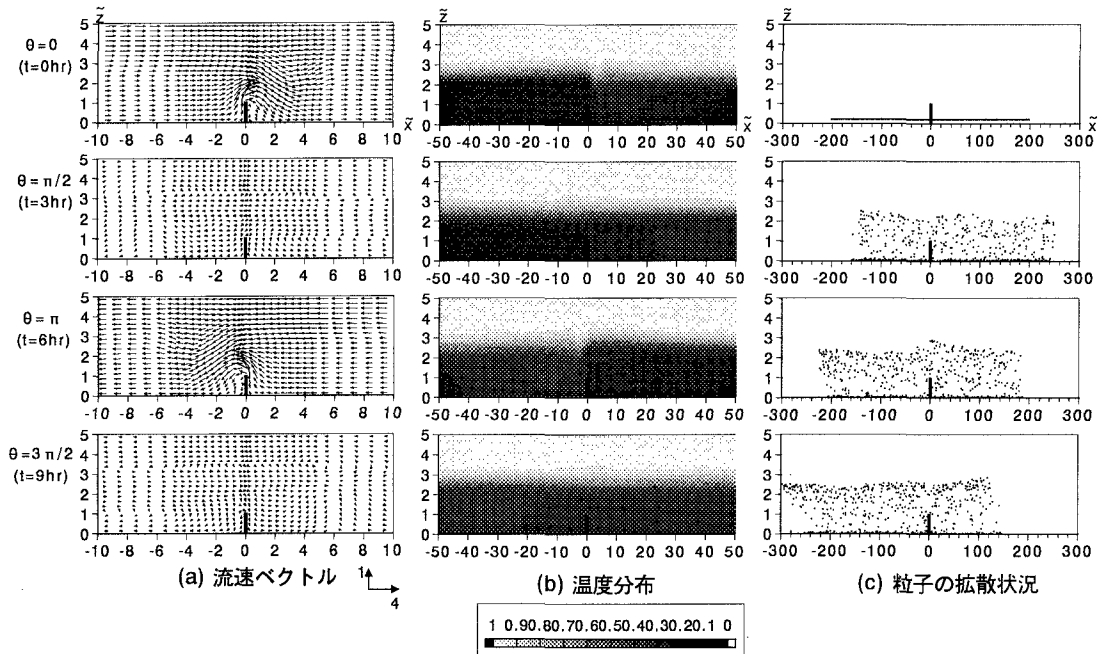


図-2 Case-6における潮流ベクトル，温度コンター，粒子の分布

4. 解析結果

図-2は Case-6 の場合の潮流ベクトル，温度等値線および粒子の分布を位相別に示したものである。ここで $\tilde{x}$ の正の方向に最大流速 U_0 をとるとき位相を $\theta=0$ と定義している。位相 $\theta=0$ のとき構造物上端付近で鉛直上向きの流速がみられるが，これは密度界面によってはね返され下降する流れとなる。 $\tilde{z} \geq 3$ の上層内では上向きの流速は見られず，また温度等値線から上下層の混合が抑制されていることがわかる。粒子分布からも $\tilde{z}=3$ より上層へは粒子が輸送されていないことが確認される。

5. 底層水塊の表層への湧昇確率

Lagrange解析より得られた粒子の分布より，ある高さ $\tilde{z}$ より上層まで輸送された粒子の個数を総個数で除して，粒子の湧昇確率と定義する。図-3は各水深 $\tilde{z}=3, 4$ 以上にまで輸送された粒子の湧昇確率の経時変化を示す。均質密度場 ($Ri=0$) の場合 (Case-1, 2) についてみると， KC 数が多い Case-2 の方が粒子が早期に表層へと輸送されている。均質密度場に関しては，2日経過後には湧昇確率がほぼ一定の値へと漸近し，また2日後においても Case-2 の方がより多くの粒子が上層へ運ばれている。密度成層場の場合についてみれば，同じ Ri 数で下層水深が大きな $\tilde{h}_2=4$ の場合の方がより上層にまで水塊が輸送されている。 Ri 数の影響について着目すると， Ri 数の小さい方が鉛直混合がより促進され，上層に運ばれる粒子数は多い。

以上のような解析により構造物の湧昇促進効果を定量的に評価することが可能となった。

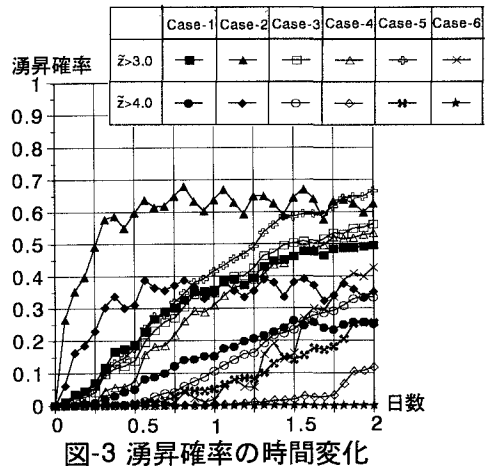


図-3 湧昇確率の時間変化