

大阪市 正員 坂本格
 神戸大学大学院 学生員○吉村敏志
 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

沿岸域に建設される湧昇流構造物の機能評価に際しては、栄養塩に富んだ底層水が表層へどれだけ輸送されるかを正確に算定することが重要である。既往の研究では、流れの Euler 的記述に基づいて、ある定点でのコントロール断面を通過する流速や物質フラックスの鉛直成分を湧昇量として便宜的に定義してきた。しかしこの場合、コントロール断面のスケールや位置、対象とする水理量、などにより湧昇量の定義がまちまちとなり、しかも底層に起源をもつ水塊の表層への輸送量である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質輸送過程を Lagrange 的に記述し、海底構造物の湧昇流促進効果を確率論的に検討する。

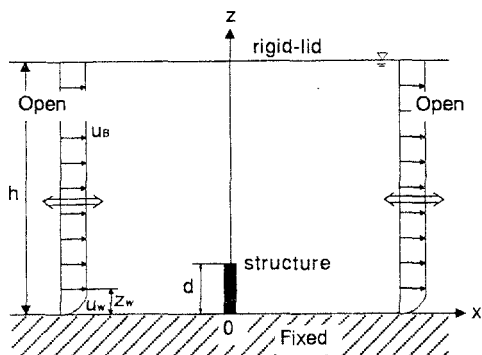


図-1 対象とする二次元振動流場

2. 対象とする流れの場と水理条件

流れは $T=1/f=12(\text{hr})$ の半日周潮を対象とする。 f は流れの周波数である。図-1のような二次元潮流場の海底に高さ $d=10(\text{m})$ の平板構造物を設置する。支配パラメーターは、(1)無次元水深： $\tilde{h}=h/d$ 、(2)KC 数： $KC=U_0/L_0f=2\pi fs/d\tilde{s}=2\pi\tilde{s}$ ($\tilde{s}$:潮流の振幅)、(3)Reynolds 数： $R_*=U_0L_0/\nu=2\pi fsd/\nu$ 等である。ここでは、 $\tilde{h}=5$ と一定とし、 $KC=450,900$ の2つの場合について数値解析を行った。

3. 解析方法

k-ε乱流モデルから得られる時々刻々の乱れ強度 $\sqrt{u_i'^2}$ 、 $\sqrt{w_i'^2}$ にそれぞれ独立な標準正規乱数 γ_u 、 γ_w を乗じて、乱流速度 $u_i'=\gamma_u\sqrt{u_i'^2}$ 、 $w_i'=\gamma_w\sqrt{w_i'^2}$ を求める。 i ステップにおける既知の粒子位置 (x_i, z_i) から、次の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、 $\tilde{z}=z/d=0.2, 0.4$ の二段に、 $-10\leq\tilde{x}=x/d\leq 10$ の範囲とし、最大順流時に合計 400 個を投入する。(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、とする。

4. 解析結果

図-2は $KC=450$ の場合の潮流ベクトルおよび粒子の分布を位相別に示したものである。位相角 θ は $\tilde{x}$ の正の方向に最大流速 U_0 をとるときを $\theta=0$ とする。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、構造物背後に渦が生成されている。構造物が流れに影響を及ぼす水平方向の範囲はたかだか $-10\leq\tilde{x}\leq 10$ 程度(実スケールで 200(m)の範囲)である。位相が進むにつれて、粒子は振動流によって移流され、乱れにより拡散する。転流時である位相 $\theta=\pi/2$ においては、粒子が流れの振幅 $\tilde{s}$ に相当する $\tilde{x}=70$ 程度にまで達している。次の転流時である位相 $\theta=3\pi/2$ では粒子雲の重心は $\tilde{x}=-70$ 付近であるが、乱流拡散により粒子雲がより広い範囲で上下、左右方向に拡がっている。構造物周辺ではごく底層でも上向きの流速が存在するので、位

相 $\theta=\pi/2$ において海底付近にたまっている粒子も、位相 $\theta=3\pi/2$ では構造物をのり越えてすべて $\tilde{x}<0$ の方向へ輸送されている。

5. 底層水塊の表層への湧昇確率

以上のような粒子追跡により、底層に投入された粒子がある高さ z よりも上方へ輸送される確率が求められる。図-3は $KC=450,900$ の場合について、高さ z 以上に粒子が上昇する確率の時間変化をあらわす。いずれの z についても $KC=900$ の方が水塊は早期に表層へ輸送されることがわかる。2日を経過すると湧昇確率はほぼ一定の値に漸近している。図-4は2日後における湧昇確率の水深方向分布である。図-3の場合と同様、 $KC=900$ の場合の方が底層水が湧昇する確率は高い。以上から KC 数(振幅)が大きいほど粒子の拡散を促進し、鉛直方向への水質の輸送が活発になることがわかる。以上のように湧昇流構造物の水理機能が確率論的に評価される。

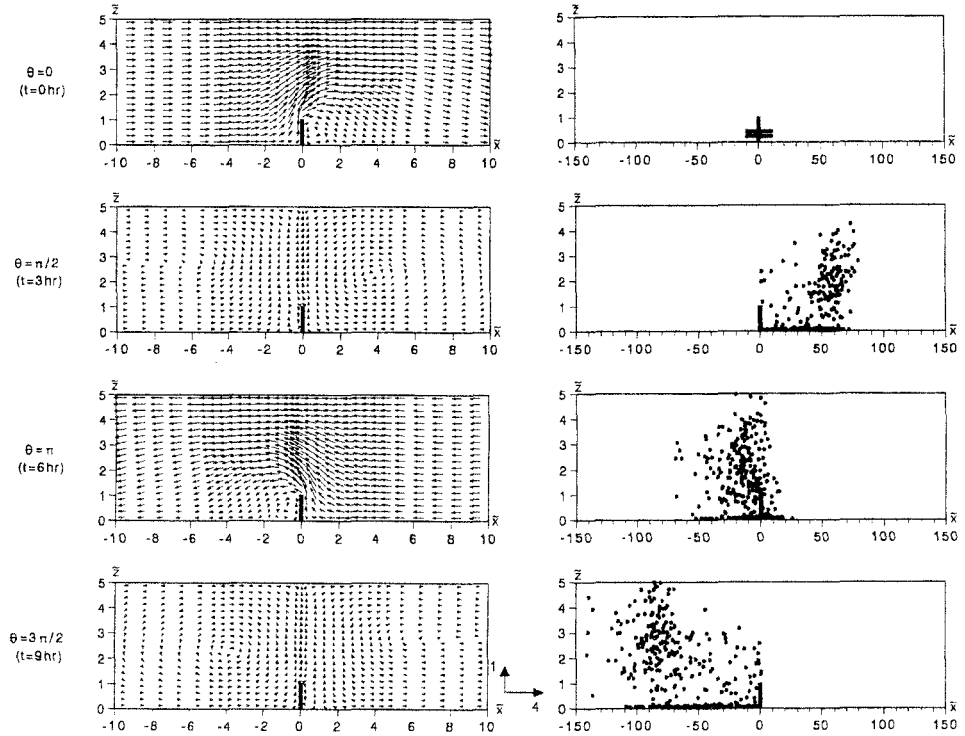


図-2 $KC=450$ における潮流ベクトル、粒子の分布

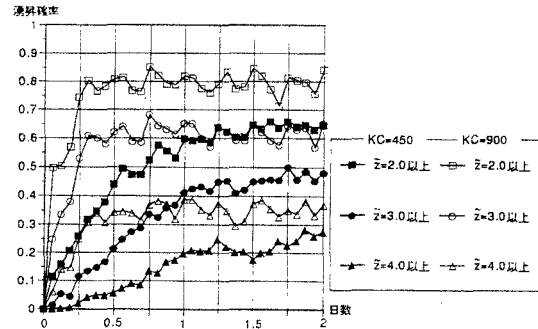


図-3 湧昇確率の時間変化

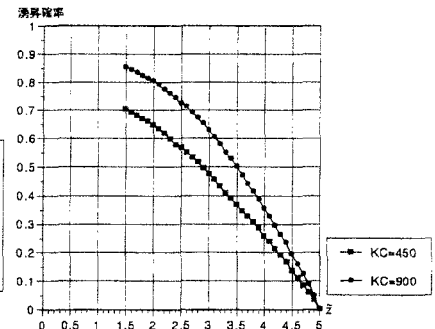


図-4 二日後における湧昇確率の水深方向変化