

神戸市役所 正 員 〇宮本仁志
 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
 神戸大学大学院 学生員 不二秀人

1. はじめに：内湾のように水平方向に一方が固定境界で他方が開放された二次元半閉鎖水域を対象とし、吹送密度流の平均流・水質混合現象を $k-\epsilon$ 乱流モデルによって解析する。図-1に対象とする吹送密度流場を示す。水表面には一定の風応力 τ_s が作用し、圧力に関してはRigid-lidを仮定する。水表面・固定境界は断熱と仮定し、開放境界では外洋との境界を想定しているため、初期二層系密度分布が保たれる。

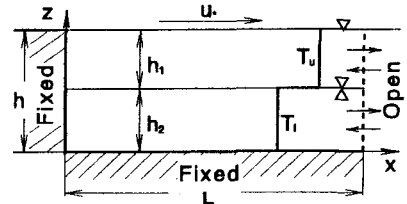


図-1 吹送密度流場の概略図

2. 諸量の規準化：風応力の摩擦速度 $u_* = \sqrt{\tau_s / \rho}$ 、水深 h および上下層の初期水温差 $\Delta T = T_u - T_l$ を代表量として、諸量を次のように規準化する。[時間] $\tilde{t} = t / (h / u_*)$ 、[座標] $\tilde{x}_1 = x_1 / h$ 、[流速] $(\tilde{U}_1, \tilde{u}_1) = (U_1, u_1) / u_*$ (U_1 および u_1 は各々流速の平均量および変動量)、[水温] $\tilde{T} = (T - T_l) / \Delta T$ 、[乱流エネルギー] $\tilde{k} = k / u_*^2$ 、[乱流エネルギー散逸率] $\tilde{\epsilon} = \epsilon \cdot h / u_*^3$ 。支配方程式ならびに境界条件の規準化より四つの無次元パラメーター、(1)リチャードソン数： $R_{is} = \alpha \Delta T g h / u_*^2$ 、(2)レイノルズ数： $R_{*s} = u_* h / \nu$ (ν ：動粘性係数)、(3)水域のアスペクト比： L/h 、(4)初期における上層厚 h_1 と全水深の比： $\eta = h_1 / h$ が導出される。以上の諸式において、“ $\sim$ ”を冠した量が無次元量である。

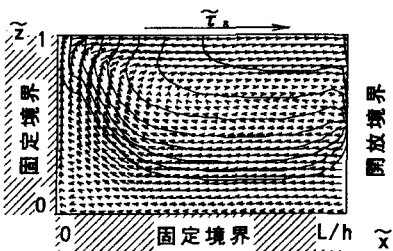


図-2 流速ベクトル・等密度線図(I)
 $R_{is} = 0.5$

3. 流動・混合特性： $R_{*s} = 1300$ 、 $R_{is} = 0.5, 30, 900$ 、 $L/h = 30.0$ 、 $\eta = 0.5$ での流速ベクトル・等密度線図を図-2、-3、-4にそれぞれ示す(無次元時間 $\tilde{t} = 19.8$)。摩擦応力により水表面表皮層が引っぱられ系の流動現象の起動力となる。風下側開放境界においては外洋を模しているため密度界面位置は一定位置をとり、上下層で水塊の流入が行われている。 $R_{is} = 0.5$ の場合、密度成層の力学的安定度が小さいため系の混合が激しく、風上側で下層水の湧昇がみられる。風下側下層で、系の密度減少を補償するため高密度水塊の流入が見られる。 $R_{is} = 30$ の場合、 $R_{is} = 0.5$ に比べ幾分成層強度が強いため界面の混合は抑えられている。 $R_{is} = 900$ の場合、密度界面強度が極めて強いため、水質混合は著しく抑えられ初期二層系をほぼ維持している。流動現象も密度界面を境に上層・下層で明らかに異なっている。上層内の上部では風応力の影響から強い順流が、同下部では逆流が各々発達している。下層内では密度界面の影響から運動量フラックスの伝達が妨げられ、微小流速が存在するのみ

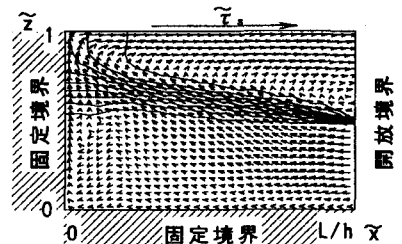


図-3 流速ベクトル・等密度線図(II)
 $R_{is} = 30.0$

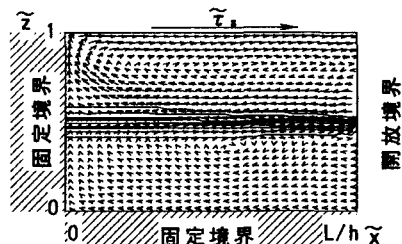
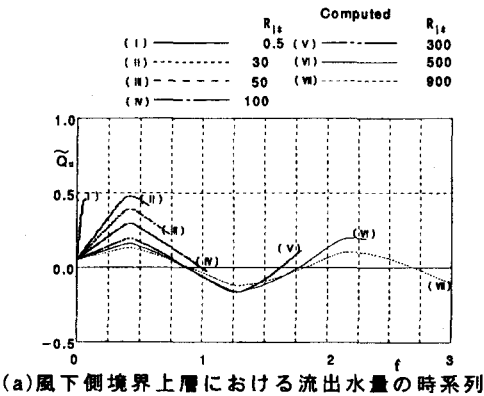


図-4 流速ベクトル・等密度線図(III)
 $R_{is} = 900.0$

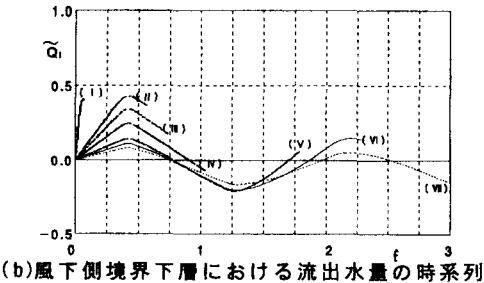
Hitoshi MIYAMOTO, Kohji MICHIOKU, Gouzou TSUJIMOTO, Hideto FUJI

である。また、風下側下層における密度補償水塊の流入もほとんど存在しない。

4. 風下側開放境界における密度補償特性：図-5に風下側の開放境界における上下層の流出水量 $\tilde{Q}_u$ 、 $\tilde{Q}_l$ の時系列を示す。ここでは、系の固有振動周期 $T_i = 4L/\sqrt{\varepsilon g h_1 h_2 / (h_1 + h_2)}$ で規準化した無次元時間 $\tilde{t} = t/T_i = \tilde{t} R_{12}^{-1/2} (h/L)/8$ を新たな時間軸として採用した。 R_{12} が小さく成層強度の弱い場合は、系の混合・連行が大きいため、密度を補償する風下側下層での流出水量 $\tilde{Q}_l$ およびそれに対応する上層流出水量 $\tilde{Q}_u$ は相対的に大きくなっている。 R_{12} が大きくなっていくにつれ、界面の混合は抑えられ、密度水塊の流出は抑制されてる。また、水塊の流出は、系の固有振動周期の1.5~2倍程度の周期性を持って振動しているのが確認される。これは、密度成層の復元力に起因する内部セイシュが、風下側境界における水塊の流出水を駆動しているためと考えられる。系の基本振動周期よりやや緩慢な運動となっているのは、時間の経過とともに鉛直混合により密度界面の浮力復元力が減少し、固有周期が増加するためだと思われる。風下側上下層における全水平密度フラックス $\tilde{F}_{Bu}$ 、 $\tilde{F}_{Bl}$ の時系列を図-6に示す。時間の経過とともに混合・連行が進行するため、密度フラックスは増加していき、無次元時間 $\tilde{t} = 15$ 以降はほぼ一定の値に漸近するようになる。また、 R_{12} が小さくなっていくにしたがい、系の流動・混合が激しくなるため、密度フラックスは大きな値をとるようになる。上層内の流出フラックス $\tilde{F}_{Bu}$ が下層の流入フラックス $\tilde{F}_{Bl}$ より大きな値をとるため、系全体の浮力は時間とともに減少していくこととなる。

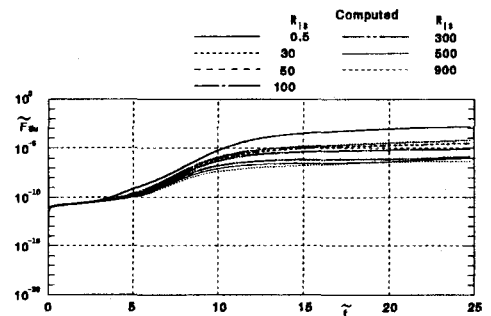


(a) 風下側境界上層における流出水量の時系列

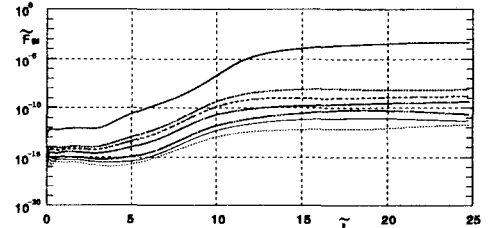


(b) 風下側境界下層における流出水量の時系列

図-5 風下側開放境界上下層における流出水量の時系列
: $R_{12} = 1300$, $\eta = 0.5$, $L/h = 30$



(a) 風下側境界上層内における流出密度フラックスの時系列



(b) 風下側境界下層内における流入密度フラックスの時系列

図-6 風下側開放境界上下層における全水平密度フラックスの時系列
: $R_{12} = 1300$, $\eta = 0.5$, $L/h = 30$