

II-234

交換密度流の数値解析に関する二、三の検討

建設省 正員 西澤賢太郎
 京都大学工学部 正員 細田 尚
 京都大学防災研究所 正員 大久保賢治

1. はじめに：交換密度流は、流体の密度の非一様性に起因する密度流の最も基本的現象であり、従来、実験的研究を中心として密度フロントの形状や進行速度、密度界面における混合や内部波などについて数多くの研究が行われてきた。本研究は、複雑な内部波を伴う交換密度流を、まずナビエ・ストークス方程式を用いて数値解析的に再現する。解析結果を従来の実験的研究成果と比較することにより、用いられる基礎式と計算法の妥当性、および適用限界について考察し、乱流モデルを用いた解析への基礎資料を得ることを目的としている。

2. ナビエ・ストークス方程式による数値解析：

ナビエ・ストークス方程式による鉛直2次元流れとしての数値解析を、大久保、菅沼 [1,2] の実験条件のもとに行った。すなわち初期密度差を $\varepsilon = \Delta \rho / \rho_0 = 0.01$ とし、水深を6cm, 8cm, 4cmの三通りに変化させて、それぞれ底面境界条件をslipとnon-slip条件の二通りとした合計六通りの計算を行った。数値解析法については文献 [3] を参照されたい。

2.1 塩水の侵入過程：図-1、2は、水深6cmでnon-slip条件の場合の塩水の密度分布および流速ベクトル図を示したものである。隔壁開放直後において巻き波を伴う激しい混合が生じている。その後フロントの形状が安定し、しだいにフロント後部の界面変動が小さくなっている。同様のことが、流速ベクトル図の界面付近に見られる渦が小さくなっていることからわかる。他の条件についても、少なくとも定性的には交換密度流現象が再現されていることが確認できた。

2.2 フロントの伝播特性：密度フロントは、隔壁開放初期にYih [4] が示した初速度 $c_0 = 0.45 \sqrt{g'H}$ で伝播することが確認された（ H は初期水深、 $g' = \varepsilon g$ ）。その後、フロントの軌跡から算定した速度と実験結果を比較した図-3を見ると、レイノルズ数が大きいき底面の境界条件としてslip条件を用いた計算結果が実験結果に適合し、レイノルズ数が小さいときはnon-slip条件の方がより適合することがわかる。

2.3 フロント形状と界面の混合特性：フロントの形状特性についてSimpson [5] らの実験結果と比較した。そ

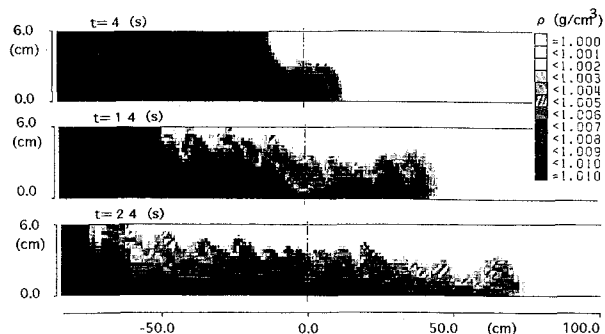
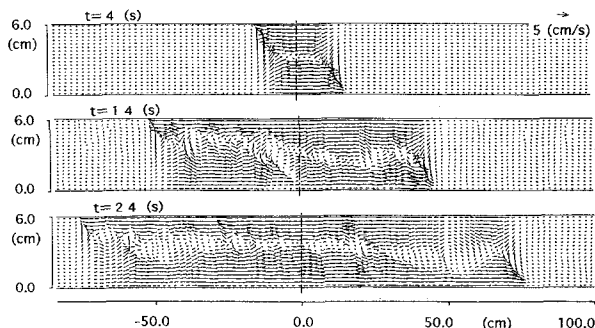
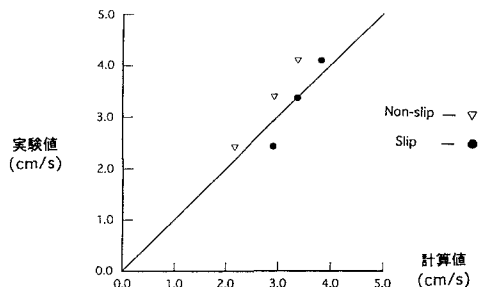

図-1 密度分布図（水深 $H = 6$ (cm), non-slip条件）

図-2 流速ベクトル図（水深 $H = 6$ (cm), non-slip条件）


図-3 フロントの伝播速度の比較

の一例を図-4、5に示す。計算結果は実験結果と定性的には適合するが、混合層厚および単位時間単位幅当りの混合量が実験結果より大きく、ナビエ・ストークス方程式を用いることの適用限界を示すと考えられる。

2.4 内部波の特性：密度境界面には、三種類の内部波 [1]、すなわち ①隔壁開放初期にフロントでみられるK-H不安定に起因する巻き波（図-6）、②フロントの背後に続く内部波（図-1）、および ③レイノルズ数が小さい場合ある程度時間が経過した後に現れる三角形の波（図-7）の三通りが確認された。（図-7は混合層を着色した図である。）最後の三角形の波は吉田ら [6] が分類したSVA～SVCのどれかに対応していると考えられる。時間毎の隔壁位置のクーリガン数 $\Theta \equiv (\nu g/U^3)^{1/3}$ とレイノルズ数 $Re = Uh/\nu$ の関係から、①と②は乱流域の不安定の領域で生じており、③は層流の安定限界より不安定側から安定側に遷移する限界付近で突然に発生することが分った（本研究では後者の場合のみ図-8に示した）。クーリガン数とレイノルズ数の定義式中で、Uは上下層の相対速度差、hは流動層厚で初期水深の1/2とした。

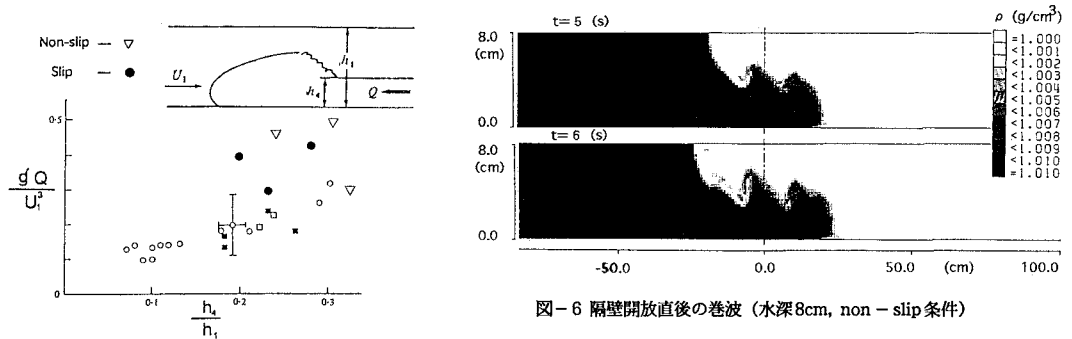


図-4 混合率と下層厚の関係

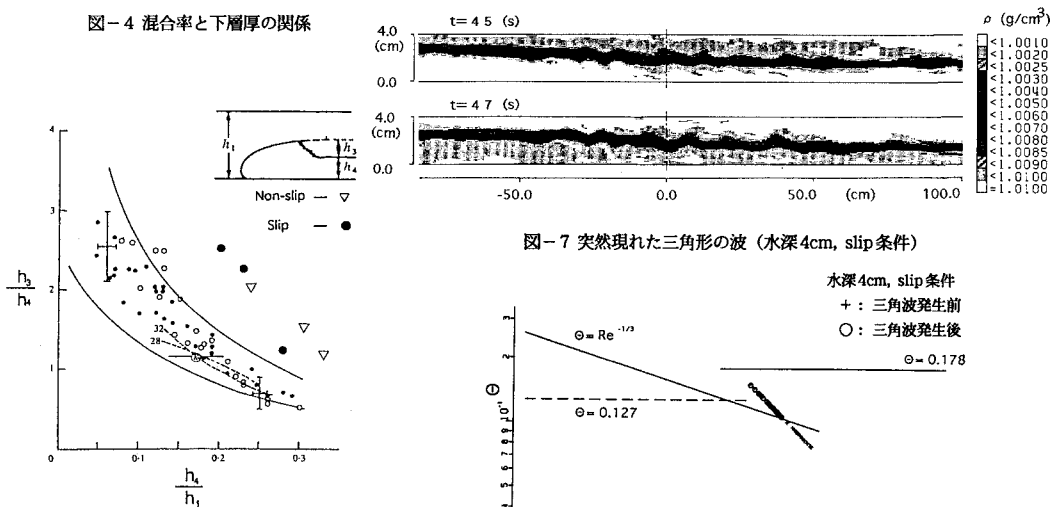


図-5 混合層厚と下層厚の関係

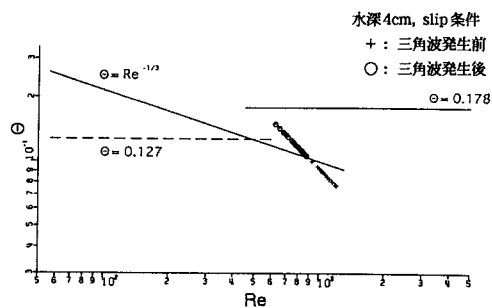


図-6 突然現れた三角形の波（水深4cm, slip条件）

図-8 クーリガン数とレイノルズ数の関係

3. おわりに：今後、乱流モデルを用いた数値解析に研究を進めるとともに、河川河口部や汽水湖の塩水の挙動など実際の水域で生じている現象に応用して行きたい。

<参考文献> 1) 大久保賢治：湖における吹送流と密度流の発生・流動機構に関する研究，京都大学学位論文，1988. 2) 菅沼史典：密度境界面現象の3次元性に関する研究，京都大学修士論文，1985. 3) 西澤賢太郎：交換密度流に関する数値解析的研究，京都大学修士論文，1994. 4) Yih, C.S.: Dynamics of nonhomogeneous fluids, Macmillan, 1965. 5) Simpson, J.E. and Britter, R.E.: J.F.M., Vol 94, 1979. 6) 吉田・西田・田城：第28回海岸工学講演会論文集，pp.525 - 529, 1981.