

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うち最も基本的現象の一つであり、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、乱流モデルを用いて再現するための事前の検討として、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たものである。

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、菅沼¹⁾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、水深については6cm, 8cm, 4cmの三通りを、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（計算法については講演時に説明する）。

2.1. 塩水の侵入過程：図1, 2は、水深6cm, 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。隔壁開放後初期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を確認した。

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Yih²⁾が示した $c_0 = 0.45\sqrt{g'H}$ で伝播する。その後、流れのレイノルズ数が大きいとき底面の境界条件としてSlip条件を用いた計算結果が菅沼の実験結果に適合し、レイノルズ数が小さ

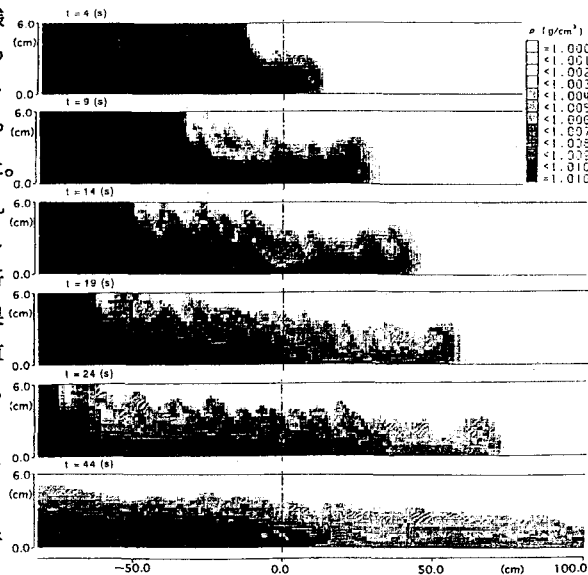


図1 密度分布図（水深6cm、Non-Slip 条件）

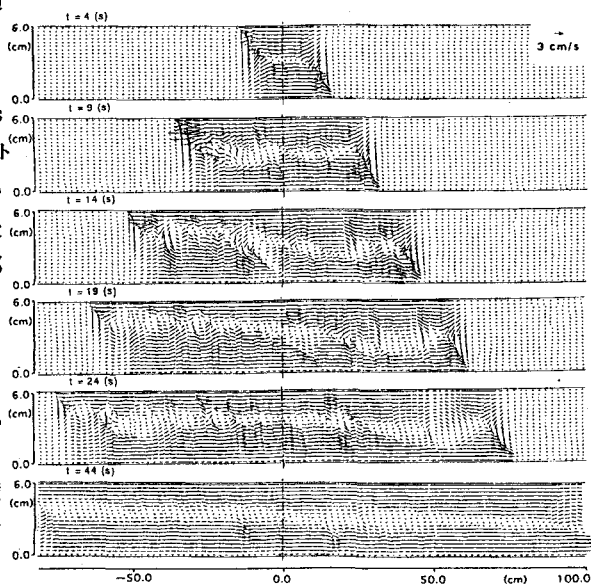


図2 流速ベクトル図（水深6cm、Non-Slip 条件）

いときはNon-slip条件の方がより適合した(図3)。

2.3. フロントの形状および界面での混合特性: フロントの形状特性についてSimpsonら³⁾の実験結果と比較した。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なった。

2.4. 内部波の特性: 密度境界面には、三種類の内部波⁴⁾、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4)、②フロントの背後に続く内部波、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の三通りが確認された。この三角波については界面の上下両方に現れた(図5)。隔壁位置のクーリガン数と時間の関係から、①と②は乱流域のクーリガン数の安定限界より不安定の領域で生じており、③は層流と乱流の遷移領域において不安定領域から安定領域に遷移する限界付近で突然に発生していることが示された(図6)。

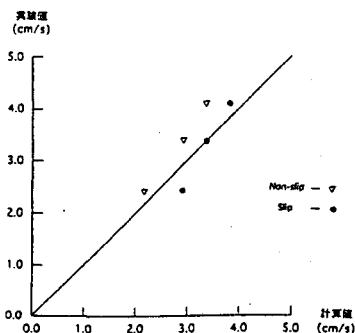


図3 フロントの伝播速度の比較

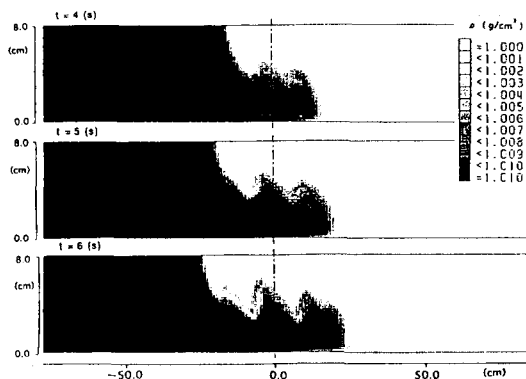


図4 計算結果でみられた巻波
(水深8cm, Non-Slip条件)

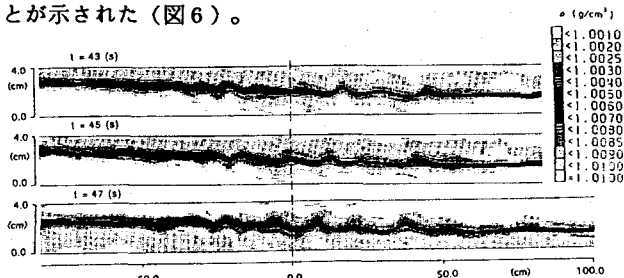


図5 計算結果でみられた三角波(水深4cm, Slip条件)

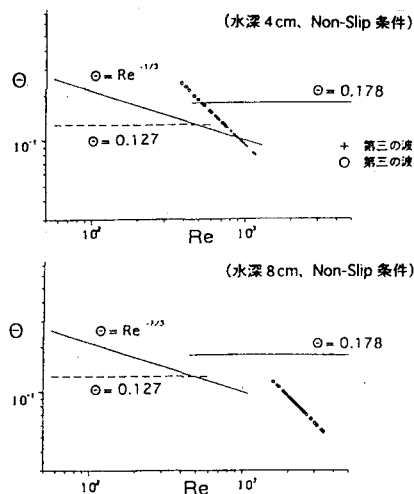


図6 クーリガン数とレイノルズ数の関係

3. おわりに: N. S. 方程式によって現象が定性的には再現できることが示されたが、界面での混合など定量的には実験結果と適合しなかった。この点について今後、本研究では行うことができなかった乱流モデルを用いた数値解析についてより詳細に検討して行きたい。

<参考文献> 1) 菅沼史典:密度流界面現象の3次元性に関する研究、京都大学修士論文、1985。 2) Yih, C. S.: Dynamics of nonhomogeneous fluids, Macmillan, 1965。 3) Simpson, J. E. and Britter, R. E.: J. F. M., Vol 194, 1979。 4) 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。