第II部門　　多相流数値モデルDOLPHIN-2Dによる交換密度流の数値計算

大阪大学大学院工学研究科　正会員　川崎　浩司
大阪大学工学部　学生員　○吉川　典彰
大阪大学大学院工学研究科　正会員　中辻　啓二

1. はじめに

河口堰や水門など水域を部分的に遮断するような構造物の周辺では，密度の異なる流体による複雑な流動場や密度場が形成されている．しかし，その物理機構に関しては十分把握されていないのが現状である．一方，近年，コンピューターの高性能化により数値計算が実験，理論に並ぶ手法として認識されつつある．川崎ら(2001)の開発した2次元多相流数値モデルDOLPHIN-2Dは，固相，液相，気相の相互干渉を伴う流動場を高精度に解析できる数値モデルであり，複雑な水理現象の解明に役立つものと考えられる．上述した背景に基づき，本研究では，交換密度流を取り上げ，2次元多相流数値モデルDOLPHIN-2Dによる数値計算を行い，同物理現象について検討する．

2. 自由水面を有しない交換密度流の数値計算

図-1は，自由水面を有しない場合の交換密度流の密度分布と流動場の時間変化を図示したものである．計算領域は200cm×50cmであり，x，z方向のメッシュサイズをΔx=Δz=1.0cmと一定にした．また，時間ステップ間隔Δtを0.0001s，軽い密度ρ_1を1000.0kg/m^3，重い密度ρ_2を1032.0kg/m^3，重力加速度gを9.80665m/s^{2}とした．計算開始直後，密度差に伴う圧力水平勾配によって，重い水塊は軽い水塊の底部に侵入する．t=2s以後ではフロントが形成され，重い水塊は一定の速度を保ちながら右方に移動し続ける．この時の移動速度は約16cm/sであり，フロント速度の理論解（Simpson，1987）から算定された値15.5cm/sとよく一致している．フロント背後では，2つの液体の密度差が32kg/m^{3}と極めて小さいため，上層と下層の速度差に伴うせん断力により密度界面が不安定となり，螺旋状の波形と局所的な循環渦が形成されている．これはKelvin-Helmholtz不安定の特徴に類似している．一方，フロント前面では，フロント背後でみられた特性と異なり，水塊の混合がほとんどない．これは，重い水塊が潜り込んでいくことにより静止中の軽い水塊が移動し始めるため，フロント前面ではせん断力が発生していないことが原因であると推察される．

3. 自由水面を有する交換密度流の数値計算

ここでは，気液界面（自由水面）の挙動も取り扱うことができるように，液相領域の上部に気相領域を加えて交換密度流の数値解析を行った．計算領域は110cm×55cmであり，それ以外の計算条件は前節と同様である．自由水面を有する交換密度流の計算結果を図-2に示す．図-1と比較すると，フロントが壁面に衝突するまでは，自由水面の有無に関係なく，密度・流動構造は同じであることが確認できる．これは，気相領域の密度が1.25kg/m^{3}と液相領域に比べて極小であり，液相流動が気相に及ぼす影響が小さいためといえる．しかしながら，密度フロントの進入に伴い，若干ではあるが，計算領域右側の自由水面が上昇し，左側では下降していることがわかる．以上のことから，多相流数値モデルDOLPHIN-2Dは，気液相のみならず，各相内に異なる密度を有する流動場に対しても計算可能であることが検証される．

4. おわりに

本研究では，2次元多相流数値モデルDOLPHIN-2Dを用いて交換密度流の数値解析を行った．計算結果より，フロント背後では，上層と下層の速度差に伴うせん断力の影響により密度界面が不安定な状態となり，Kelvin-Helmholtz不安定の特徴と同様な螺旋状の波形と局所的な循環渦が形成されることが認められた．また，フロント速度の理論解との比較より，DOLPHIN-2Dの妥当性・有用性が検証された．

Koji KAWASAKI, Noriaki YOSHIKAWA, Keiji NAKATSUJI

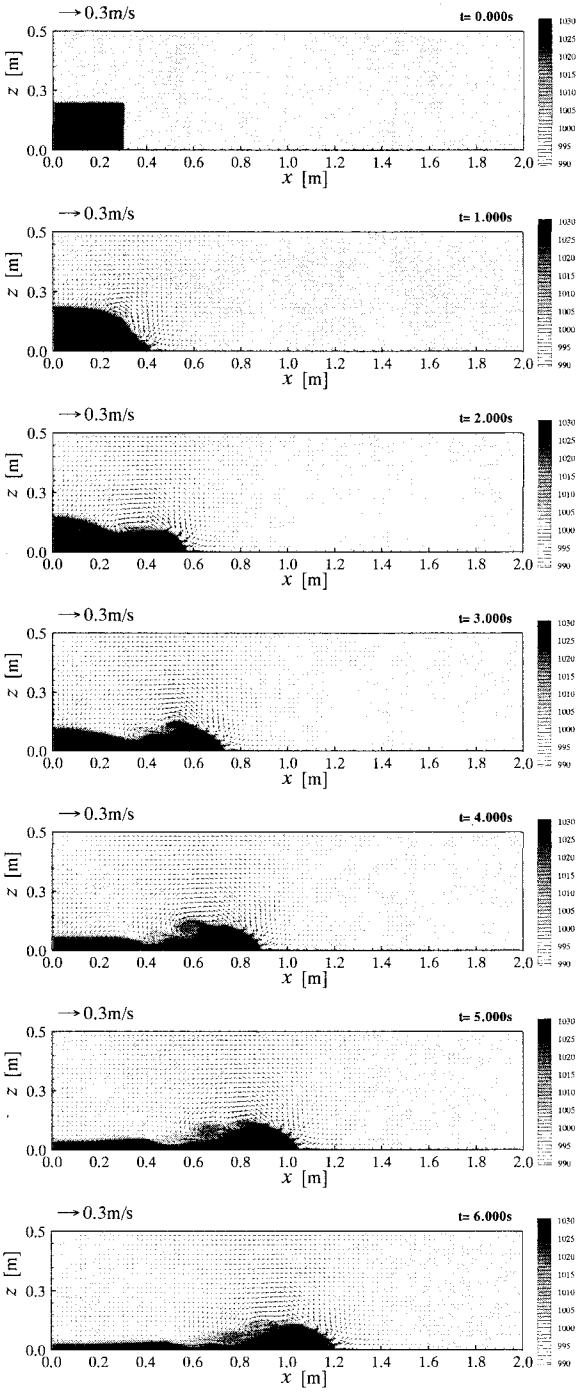

図-1 自由水面を有しない場合の交換密度流

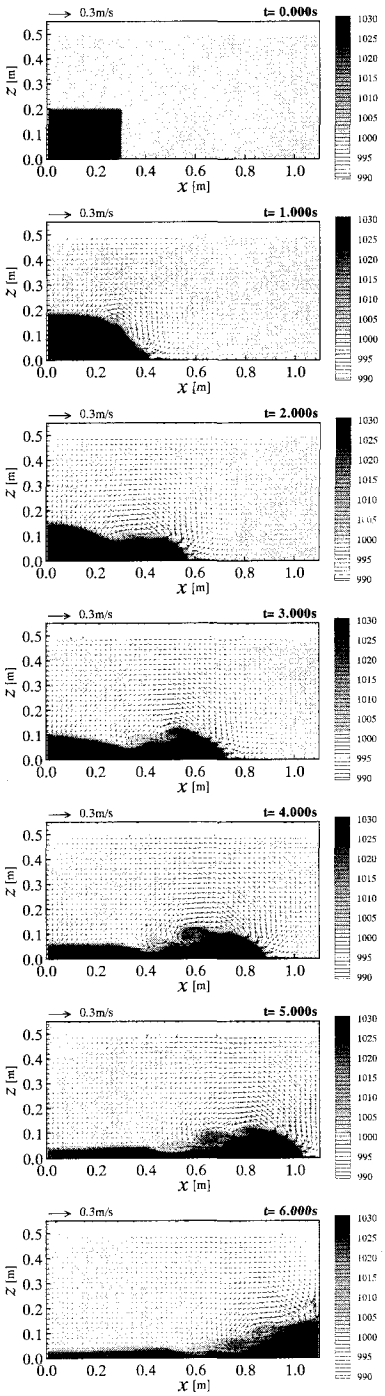

図-2 自由水面を有する場合の交換密度流

[参考文献]

川崎浩司・大谷知樹・中辻啓二(2001)：固気液多相共存場に対する統一数値解法の構築と複雑水理現象への応用，海岸工学論文集，第48巻，pp.1026-1030.

John E. Simpson(1987)：Gravity currents in the environment and the laboratory, Ellis Horwood, 244p.