

密度関数法における気液界面鋭敏化に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○野村明弘
 山口大学大学院 学生会員 坪郷浩一
 山口大学工学部 正会員 朝位孝二

1.はじめに

密度関数法を用いて気液混相流計算を行ううえで重要なことは、密度関数の移流方程式の移流項から数値拡散で拡がる気液界面を鋭敏化させることである。本研究は、気液界面鋭敏化として移流項数値計算法の組合せにより、質量・体積の保存、気液界面の再現性の評価を行った。

2.解析手法

2.1 基礎式

基礎式は2次元非圧縮性流体に対する連続式、運動の方程式、密度の保存式から構成される。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_i \cdot u_j)}{\partial x_j} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i^2} \dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot u_i)}{\partial x_i} = 0 \dots\dots(3)$$

ここで、 ρ は密度、 p は圧力、 u_i は流速成分、 F_i は外力項、 ν は動粘性係数である。

2.2 計算手法

密度場は式(3)で直接求めるのではなく、密度関数 ϕ ($0 \leq \phi \leq 1$) の保存式を解くことで求める。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial(\phi \cdot u_i)}{\partial x_i} = 0 \dots\dots(4)$$

$\phi=0$ で気相、 $\phi=1$ で液相、 $\phi=0.5$ で気液界面を表す。密度関数 ϕ と密度および粘性係数の関係は次式の通りである。

$$\rho = \Phi \rho_w + (1-\Phi) \rho_a \dots\dots(5)$$

$$\mu = \Phi \mu_w + (1-\Phi) \mu_a \dots\dots(6)$$

ここで、 ρ_w は液相の密度、 ρ_a は気相の密度、 μ_w は液相の粘性係数、 μ_a は気相の粘性係数である。

移流項の計算方法は3次精度 TVD-MUSCL 法(以

下 tvd) , CIP 法(cip)および Conservative 6-point 法(c6p)を用いる。なお、ここで用いる CIP 法は密度界面近傍では数値振動を避けるために1次精度に精度が低下するようにしている。

3. 計算結果

3.1 計算条件

ダム破壊問題を考える。物性値は $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_a = 1.25 \text{ kg/m}^3$, $\mu_w = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\mu_a = 1.5 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ である。計算領域は 40×40 とし、 $\Delta x = \Delta y = 0.015 \text{ m}$, $\Delta t = 0.0001 \text{ sec}$ で計算を行う。初期配置としては図2の $t=0.0 \text{ sec}$ 時のように配置した。底面の長さを 15 cm , 高さを 30 cm とし、境界はすべて滑りなしの閉じた個体壁面とする。

3.2 計算結果

図1(a)は運動方程式および式(4)に cip を用いた場合(以下 cip-cip のように表す)であり、図1(b)は運動方程式に tvd ,式(4)に c6p を用いた場合(tvd-c6p)の計算結果である。壁面に先端が到達するまでは両ケース間で顕著な相違見られないが、壁面衝突後の計算では cip-cip の場合は界面が鈍くなっている。跳ね上がり高さの観点から見ると cip-cip の組合せが実際の現象に近いと思われる。

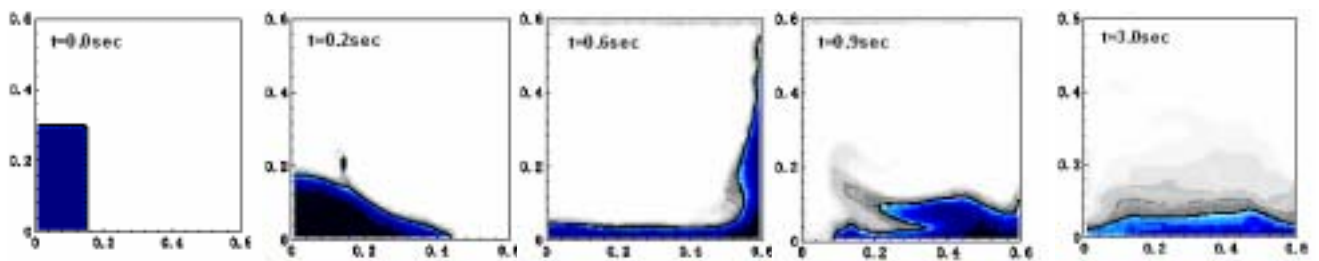
図2は水塊の先端の位置を実験値と比較したものである。運動方程式の移流項に cip を用いた場合は多少早く進行するようであるが、他の組み合わせと比較して顕著な相違はない。

図3は各時間の液相部の体積の相対誤差を示したものである。tvd-c6p が最も体積誤差を抑制できている。

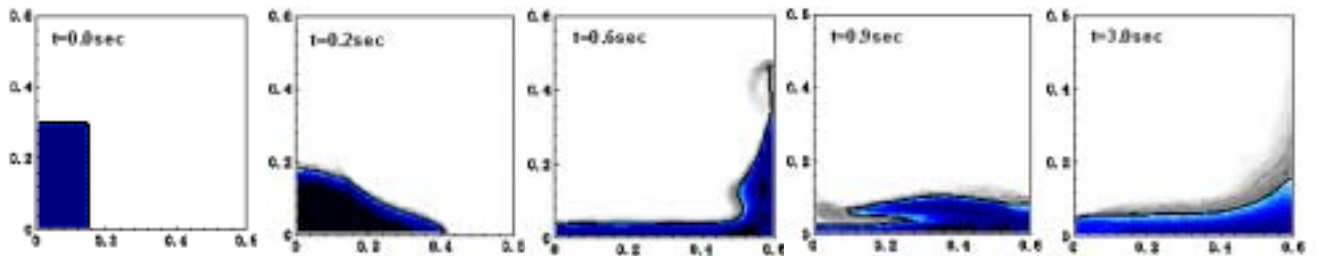
図4は計算領域内の各時間の質量の相対誤差を示したものである。式(4)の移流項に cip を用いた場合よりも c6p を用いた時のほうが質量保存は良く、相

キーワード 密度関数法, ダム破壊問題, TVD-MUSCL, CIP scheme, Conservative 6-point scheme

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科 TEL0836-85-8323



(a) 運動方程式および密度関数保存式に CIP 法を用いた時の界面変化



(b) 運動方程式に TVD-MUSCL 法，密度関数保存式に Conservative 6-point scheme 法を用いた時の界面変化

図 1 界面の時系列変化

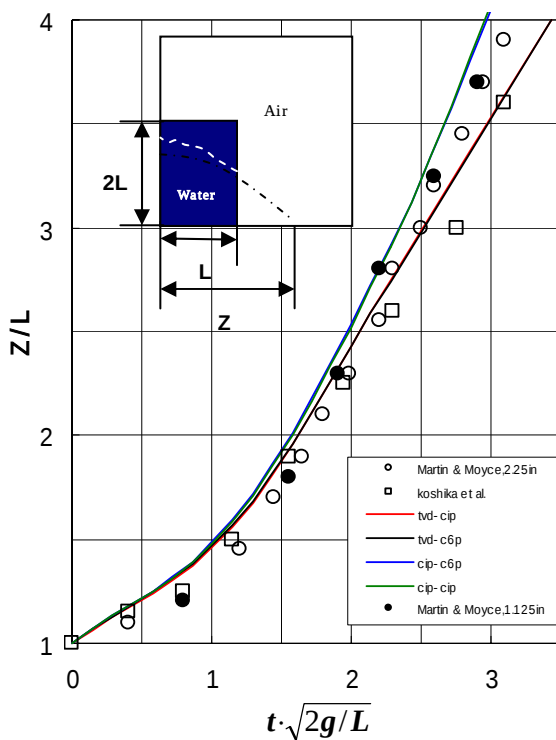


図 2 液相先端の径時変化

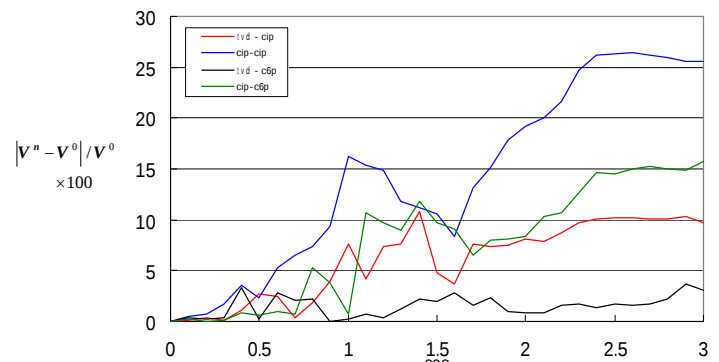


図 3 液相体積の相対誤差の時系列変化

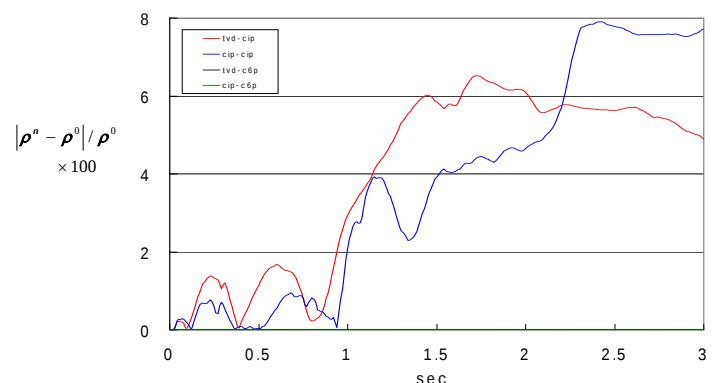


図 4 計算領域の質量の相対誤差の時系列変化

対誤差は $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 程度であった。

4.おわりに

質量・体積の保存の観点では密度関数の保存式に Conservative 6-point 法を用いる場合良い結果を得た。また、壁面衝突時の跳ね上がり高さでは CIP 法のほうが実際の現象に近いと思われる。今後は保存と質量保存を高精度で満足しかつ実際の現象により

近い計算方法を考案する予定である。

参考文献

- 1)川崎浩司,中辻啓二:気液相・固気液相流動場の数値実験に関する研究,水工学論文集,第 46 巻 pp1049-1054.2002
- 2)越塚誠一:数値流体力学,培風館, pp173-pp189.1997
- 3)朝位孝二ら:移流輸送の高精度かつ高解像度数値計算手法の開発,水工学論文集,第 43 巻,pp497-502.1997