

密度関数法を用いた気液混相流計算における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が行われているが、その精度は密度関数の移流方程式の精度に依存している。つまり、移流項から生じる数値拡散で広がる気液界面を鋭敏化させることが、気液混相流の数値解析に重要である。そこで本研究は、気液界面鋭敏化の手始めとして移流項数値計算法の組合せにより、気液界面の再現性の評価を行う。

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, u_j 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。

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

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

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。

運動方程式と式(4)の移流項に用いる数値計算法としてTV-D-MUSCL法(以下tvd)とCIP法(cip)である。なお、ここで用いるcipは密度界面近傍で数値振

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。

表1 各物性値の設定

物性	値
水の密度	1000kg/m ³
空気の密度	1.25 kg/m ³
水の粘性係数	1.0 × 10 ⁻³ (Pa·s)
空気の粘性係数	1.5 × 10 ⁻⁵ (Pa·s)
重力加速度	9.80 (m/s ²)

3. 計算結果

3.1 計算条件

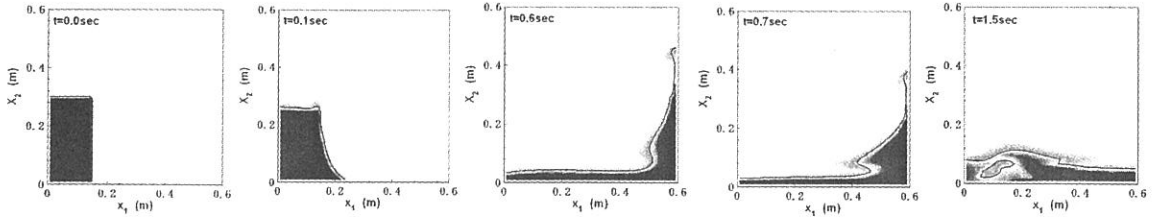
ダム破壊問題の計算条件として計算領域は40×40とし、 $\Delta x = \Delta y = 0.015m$, $\Delta t = 0.001sec$ で各計算を行う。初期配置としては図2の右上図のように底面の長さを15cmとしたとき、高さを30cmとし、境界はすべて滑りなしの閉じた個体壁面とする。各物理量は表1に示す。

3.2 計算結果

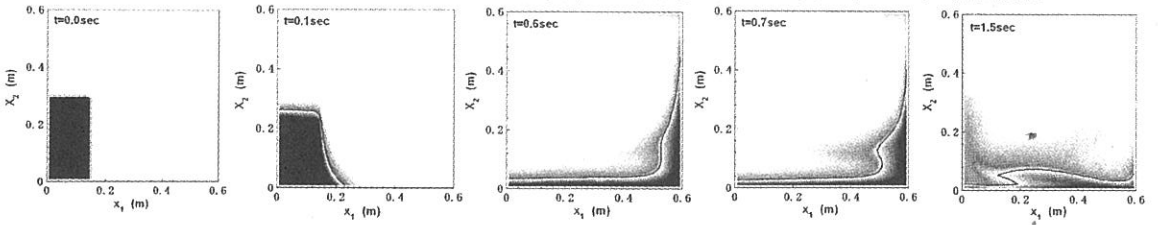
図1(a)は運動方程式にtvdを式(4)にcipを用いた場合(以下tvd-cipのように表す)であり、図1(b)はtvd-tvdの計算結果である。式(4)に移流項にtvdを用いた場合、壁面に先端が到達するまではcipと変化はみられないが、壁面を遡上するとともにtvd-tvdの場合は界面が鈍くなっている。

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。cip-tvdの組み合わせ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は図1より単位奥行き幅での各時間の液相部の体積 V^n を初期体積 V^0 で規格化したものである。tvd-tvdに比べtvd-cipのほうが体積減少を抑制できている。図4は計算領域内の各時間の質量 ρ^n を初期質量 ρ^0 で規格化し時系列変化で整理したものである。式(4)の移流項にcipを用いた場合よりもtvdを用いた時のほうが質量保存は良い。



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



(b) 運動方程式および密度関数保存式に TVD-MUSCL 法を用いた時の界面変化

図 1 界面の時系列変化

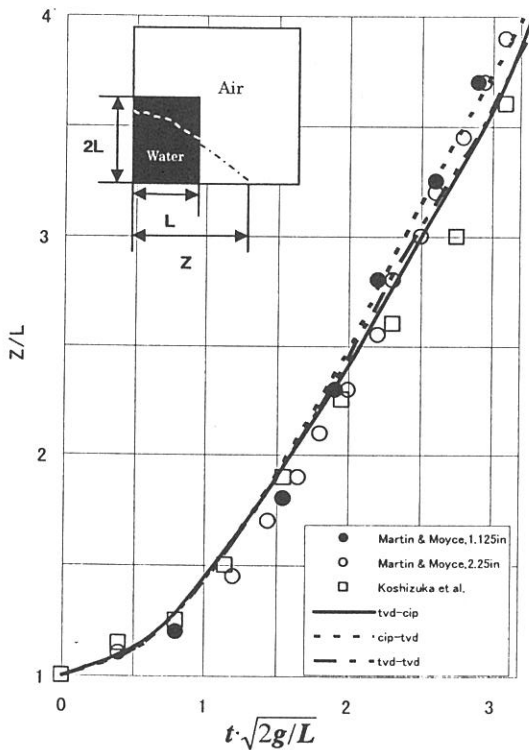


図 2 液相先端の径時変化

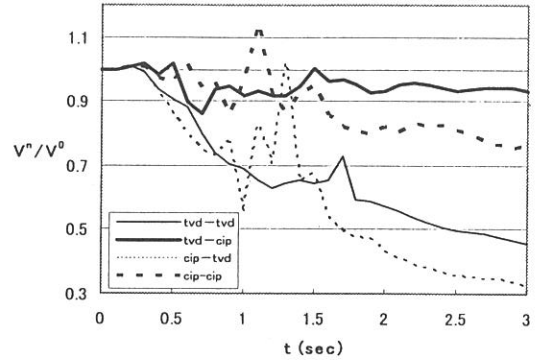


図 3 規格化された液相体積の時系列変化

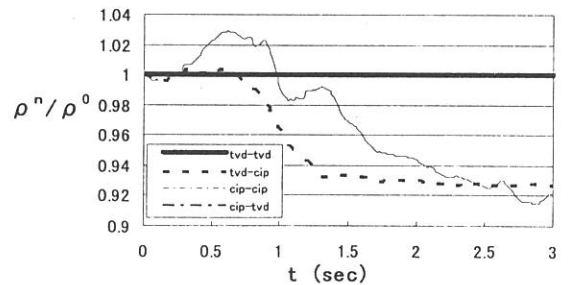


図 4 規格化された質量の時系列変化

4. おわりに

体積保存の観点では運動方程式に TVD-MUSCL 法を密度関数の保存式に CIP 法を用いる場合が最も良い結果となる。しかしながら質量の保存では改良の余地がある。今後は体積保存と質量保存を高精度で満足する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