LBM による三次元 Rayleigh–Taylor 不安定性の安定性解析

The stability analysis of three-dimensional Rayleigh–Taylor instability using LBM method

○青田 憲孝, 信大工, 長野県長野市若里 4-17-1, E-mail:naota@jcom.home.ne.jp
田中 義人, 信大院, 長野県長野市若里 4-17-1, E-mail:s07t254@shinshu-u.ac.jp
吉野 正人, 信大工, 長野県長野市若里 4-17-1, E-mail:masato@shinshu-u.ac.jp
松原 雅春, 信大工, 長野県長野市若里 4-17-1, E-mail:mmatsu@shinshu-u.ac.jp
Noritaka Aota, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano City, Nagano Pref
Yoshito Tanaka, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano City, Nagano Pref
Masato Yoshino, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano City, Nagano Pref
Masaharu Matsubara, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano City, Nagano Pref

In the present work, we carry out two-dimensional and three-dimensional numerical simulations for the Rayleigh– Taylor instability to compare with linear and weakly nonlinear stability theories. The lattice Boltzmann method (LBM) for two-phase fluid flows is applied to compute various initial modes, i.e., two-dimensional disturbance, roll, square and hexagonal cells. It is found that small amplitude instabilities of the three cell types equally grow, then the amplitude reaches a certain value, and after that the growth rates depend on the cell type. The hexagonal type has larger growth rate than that of the other two types except for a case that the surface tension is predominant in the simulation results. These computational results are in qualitative agreement with the theoretical predictions.

1. 緒言

本研究では、レイリー・テイラー不安定性の線形および弱非 線形成長について調べるため、二次元および三次元シミュレー ションを行い、液滴の発達に伴い水平面上に形成されるロール、 正方形および正六角形などのセル状パターンに対して理論⁽¹⁾⁽²⁾ と LBM によるシミュレーション計算を比較し調べた.

2. 数值計算法

数値計算手法として LBM を用いた.格子気体モデルには,2次元9速度モデルおよび3次元15速度モデルを用いた.本研究では,計算メモリを削減するために Lattice Kinetic スキーム⁽³⁾を導入した.

3. 数値計算結果および考察

計算条件として液相には 2 種類のシリコンオイルの物性値を 用い,理論的に線形成長時に粘性が支配的になる方を Case1,界 面張力が支配的になる方を Case2 とした. fig1 に各セルの撹 乱波数に対する線形成長率と線形安定性理論との比較を示す. Case1, Case2 ともに線形成長率はセル形状に依存せずに撹乱 波数が同じであればほぼ等しい結果が得られた. 次に, fig2 に Case1 での各セルの密度振幅の成長と弱非線形安定性理論から 得られる密度振幅の成長との比較を示す. 左図は弱非線形安定 性理論より得られる結果であり,右図はシミュレーションより 得られる結果である. 非線形成長時は正六角形セルの成長が最 も早く,理論と定性的に一致した. 一方, Case2 ではシミュレー ションの結果, 正方形セルが最も成長が早く理論と異なる結果を 得た.

4. 結言

Menikoff らの線形解析との比較からセル状パターンによらず 線形成長は定量的にほぼ等しい結果が得られた.また,非線形 成長時は Case1 では正六角形セルパターンが最も早く成長する 結果が得られ Jacobs らの弱非線形解析と定性的に等しい結果と なったが、Case2 では正方形セルパターンの成長が最も早いとい う結果が得られた.



Fig. 1 Comparison of linear theory with simulation results.



Fig. 2 Comparison between weakly nonlinear theory and simulation results for Case1.

参考文献

- Menikoff, R., Mjolsness, R.C., Sharp, D.H. and Zemach, C., "Unstable normal mode for Rayleigh–Taylor instability in viscous fluids," Phys. Fluids., 20 (1977), pp.2000–2004.
- (2) Jacobs, J.W., Catton, I., "Three-dimensional Rayleigh-Taylor instability Part 1. Weakly nonlinear theory," J. Fluid Mech., 187 (1988), pp. 329–352.
- (3) Inamuro, T., "A lattice kinetic scheme for incompressible viscous flows with heat transfer," Phil. Trans. R. Soc. Lond. A., 360 (2002), pp.477–484.