

II - 275

新たな混相乱流モデル（GAL-LESモデル）を用いた気泡ブルームに関する数値シミュレーション

東京工業大学 正会員 二瓶 泰雄
正会員 灘岡 和夫

1. はじめに

著者らは、最近、固体一流体混相流を対象にした高精度で汎用性の高い数値モデルを開発した。そこでは土石流など土木工学でよく見られる超多粒子系の運動を物理性を反映した形で合理的に取り扱い、かつ、LESの枠組みにうまく適合し得る新しい固相モデル（以後、GALモデル：Grid-Averaged Lagrangian model）を開発し、それに基づく混相乱流モデルの基本的な枠組みを構築した（GAL-LESモデル）^{1) - 3)}。そこでは、計算対象を固体一流体混相流場に限定したが、もともとGALモデルは固体粒子のみならず気泡や液滴など分散相を取り扱うことが可能な数値モデルである。そこで本研究では、GAL-LESモデルを用いて気泡ブルームの数値計算を行い、気泡混入量の違いに伴う流動構造の変化に関して検討を行うとともに、既存の実験との比較を通して本モデルの気液二相流への適用性を検証する。

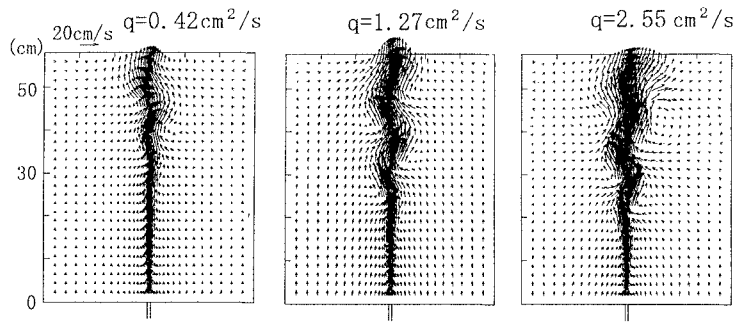
2. 計算概要

ここで用いるGAL-LESモデルに関する概要を以下に示す。まず、流体相に関しては、通常のLESの考え方を準用して流体運動をGS（Grid Scale）とSGS（Sub-Grid Scale）にスケール分離し、GS運動に関しては直接計算し、SGS運動に関しては乱れエネルギーとしてモデル化する。それに対して、GALモデルを適用する分散相に関しては、ラグランジュ型の運動方程式を基礎式とする分散相に対して格子内空間平均操作を行い、分散相運動を格子平均量と分散という形で取り扱う。また、計算条件は、気泡径0.05cm、気泡密度0.0012g/cm³、気泡投入幅1cmとし、単位奥行き幅当たりの気泡混入量 q を0.42, 1.27, 2.55cm²/sの3ケースに関して計算を行った。計算領域や境界条件、初期条件に関しては文献1)-3)と同じに設定した。なお、ここでは、気泡に関しては常に球形、同じ気泡径を保つものとした。

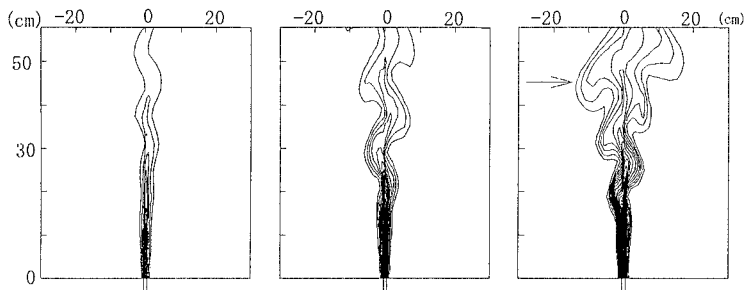
3. 計算結果

図-1は、各計算ケースにおける計算開始後10sの流体相速度ベクトルと気泡体積濃度、渦度コンターを示す。これらを見ると、気泡混入量の大小にかかわらず、濃度や渦度が中心軸に対して非対称に分布していることがわかる。これは、通常のjetやplumeで観察される揺らぎ現象と同一の流動構造が再現されていることがうかがえる。しかしながら、その揺らぎの大きさは気泡混入量が大きいくほど大きくなっており、それとともに相対的に大きな渦が形成されていることがわかる。また、このような大規模渦の形成に伴い気泡濃度の広がり幅も顕著に大きくなっており、特に、 $q=2.55\text{cm}^2/\text{s}$ の場合にはその他のケースと異なり、気泡濃度が傘状に分布していることがわかる（図-1（b）矢印）。これは、気泡混入量大きい場合には気泡とその周りの流体との相互作用力が増加するので、流体相の渦運動が発達し、そのうえ、慣性力の小さい気泡がその周りの渦運動に追従するからであると考えられる。また、傘状をしている気泡塊の位置に対応する渦度（図-1（c）矢印（黒））に着目すると、そこでの楕円形をした渦塊の長軸の傾きがその下方に位置する渦塊（図-1（c）矢印（白））や他の計算ケースの場合と異なっていることがわかる。これは、上記した気泡濃度分布と密接に関与していると考えられ、非常に興味深い結果である。

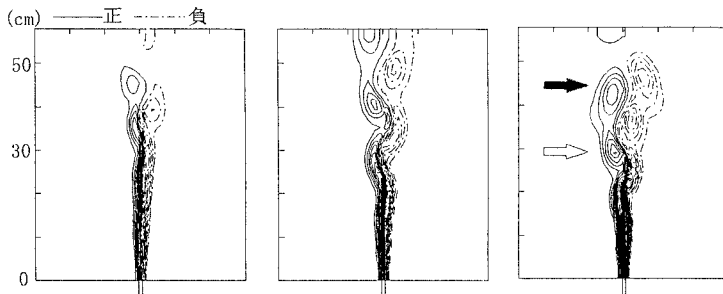
図-2は、Alam&Arakeriにより行われた気泡ブルームの可視化写真であり、気泡混入量の違いに伴う気泡ブルームの流動パターンの変化に関する典型的な例を示している。これらを見ると、気泡混入量大きい場合には、気泡分布は空間的に揺動しているのみならず、傘状になっている領域があるのに対して、気泡混入量が小さい場合には空間的に揺動しているものの、その大きさは相対的に小さいことがわかる。このことは、



(a) 流体相速度ベクトル

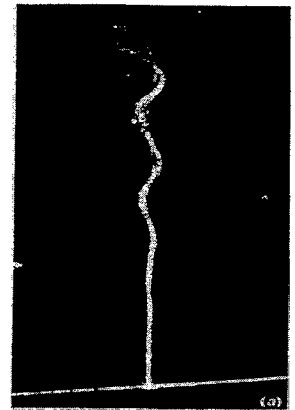


(b) 気泡体積濃度コンター(コンター間隔0.0025)



(c) 渦度コンター(コンター間隔3.0(1/s))

図-1 気泡プルームの流動パターン



(a) 気泡混入量が小さい場合



(b) 気泡混入量が大きい場合

図-2 気泡プルームの可視化写真⁴⁾

本計算結果と定性的に一致しており、GAL-LESモデルを気液二相流へ適用することの有効性が確かめられた。

4. おわりに

著者らが最近開発した新しい混相乱流モデル（GAL-LESモデル）を用いて、基本的な気液二相流場の一つである気泡プルームに関する数値計算を行った。その結果、気泡混入量の違いによる流動構造の変化に関して検討を行うとともに、またその計算結果が既存の実験結果と定性的に一致したことから、本モデルの気液二相流への適用に関する基本的な有効性が確認された。

<参考文献>

- 1) 灘岡和夫・八木宏・二瓶泰雄：水工学論文集、第38巻、pp. 577-584、1994、
- 2) 灘岡和夫・八木宏・二瓶泰雄：混相流シンポジウム'94、第13回、pp. 337-340、1994、
- 3) 灘岡和夫・二瓶泰雄・八木宏：土木学会論文集（投稿中）、
- 4) M. Alam & V.H. Arakeri: J. Fluid Mech., pp. 363-374, 1993.