

II-147

多気泡粒子運動を考慮した「渦」－「自由表面」干渉過程に関する計算手法の開発

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

碎波や跳水現象などの自由表面を有する大規模複雑混相乱流場は、時空間的に激しく変動する「自由水面」や多気泡粒子が存在するとともに、それらと相互干渉して複雑乱流場が形成される、という特徴を有している。これらの流れ場を解析するには、**多気泡粒子運動を考慮した「渦」－「自由表面」干渉過程**を解析し得る手法が必要となるが、これまでのところ、このような計算手法は存在しない。そこで本研究では、多気泡粒子運動を合理的に取り扱い得る新たな混相乱流モデルであるGAL-LESモデル^{1)～3)}をベースにして、GALモデルを移動境界追跡モデルとして用いた、多気泡粒子運動を考慮した「渦」－「自由表面」干渉過程の計算手法を開発する。さらに、その手法を自由表面を有する気泡プルームに対して適用し、その計算手法の有効性を検討するとともに、多気泡粒子を含む「渦」－「自由表面」干渉過程の基本的な特徴を明らかにすることを試みる。

2. 本計算手法の概要

多気泡粒子運動を考慮した「渦」－「自由表面」の相互干渉過程に関する計算手法としては、気泡粒子相運動と流体相運動を解くための混相乱流モデルと、自由表面位置を時間的に追跡するための数値モデルが必要となる。ここでは、混相乱流モデルとしては、多気泡粒子運動を物理性を有した形で合理的に取り扱い、かつ、計算機負荷の少ないGAL-LESモデルを適用する。このモデルでの流体相運動や気泡粒子相運動の取り扱い方に関しては、二瓶・灘岡³⁾と同様にする。また、自由水面追跡モデルとしては、粒子モデル^{1)～3)}や移流シミュレーションモデル⁴⁾として有効なGALモデルを適用する。オイラー・ラグランジュ混合型モデルであるGALモデルは、格子内における濃度分布情報を容易に取り扱えるために、空間的な濃度急変部の移流追跡計算をほぼ完璧にできることから、高精度で高安定性を有する移動境界追跡モデルになり得る。

3. 多気泡粒子を含む「渦」－「自由表面」干渉過程の解析

本計算手法に基づいて自由表面を有する気泡プルームに関する数値計算を実施し、多気泡粒子運動を含む「渦」－「自由表面」の相互干渉過程の解析を行うことを試みた。計算条件としては、気泡径1.0mm、気泡混入幅8cm、単位奥行き幅当たり気泡混入量 $1.2\text{cm}^2/\text{s}$ として、計算開始から1秒間だけ気泡を混入するようにした。また、計算領域は水平(X)方向80cm、鉛直(Y)方向20cmとして平面二次元計算を実施した。

まず、自由表面波形の挙動を把握するために、計算開始から10秒間にわたる表面波形分布の時系列変化を図-1に示す。これを見ると、計算開始約2秒後において中心軸近傍で水面が大きく盛り上がり、その直後には、その中央部での盛り上がりが開放されて、大きな速度で水平方向に伝播する一種の*free wave*が見られるとともに(図中矢印①)、長い時間にわたって、相対的にゆっくり水平方向に伝わる波が存在している(図中矢印②)。次に、このような自由表面の変形過程と、流れ場の構造、特に、気泡濃度分布や渦度パターンとの関係を把握することを試みる。まず、計算初期の流動構造を明らかにするために、中央部における大きな水面の盛り上がりが見られる計算開始2秒後の表面波形と流体相速度ベクトル、気泡体積濃度コンターを図-2に示す。これを見ると、気泡群の浮力効果に起因して上昇流が形成され、気泡群が渦塊の先端部に位置して水表面に到達していることが分かる。このように、中央部での水表面の大きな盛り上がり

キーワード：「渦」－「自由表面」相互干渉、多気泡粒子、GAL-LESモデル、混相乱流、移動境界追跡計算
連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 (TEL) 03-5734-3486 (FAX) 03-5734-2650

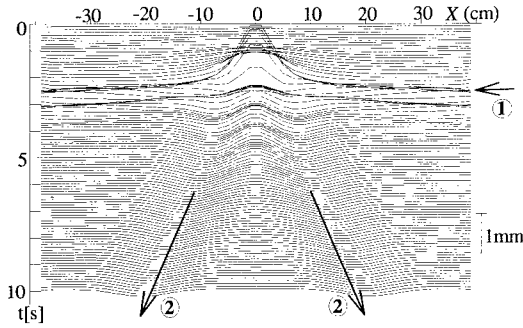


図-1 表面波形の時系列変化

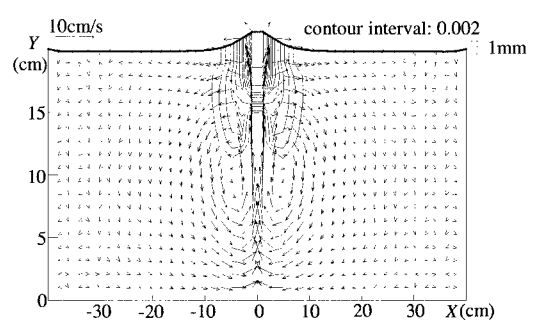
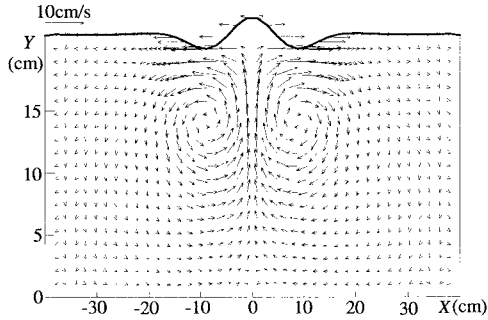
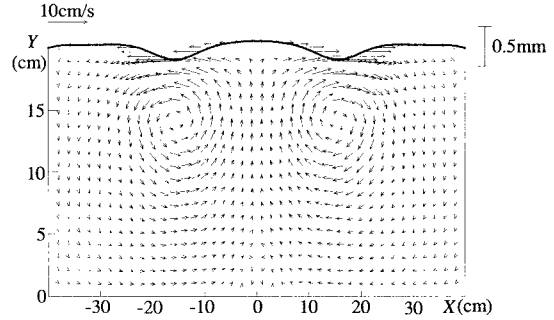


図-2 計算初期の流動パターン

（表面波形と流速ベクトル、気泡濃度コンター（ $t=2s$ ））



(a) 計算開始5秒後



(b) 計算開始8秒後

図-3 表面波形と流速ベクトル

は、渦塊の中心部が水表面近傍に到達する前に生じており、このような構造は、気泡粒子運動を含む「渦」—「自由表面」干渉過程における大きな特徴の一つであると考えられる。さらに、図-1中の矢印②に示されている表面変形パターンのメカニズムを明らかにするために、計算開始5秒後と8秒後の表面波形と流体相速度ベクトルを図-3に示す。これらを見ると明らかなように、表面波形のくぼんでいる部分は、水表面近傍の渦塊の中心位置とほぼ一致しており、その渦塊の水平方向への移動とともに、水面のくぼみも同様に移動している様子がうかがえる。このように、ここでの表面波形の変形パターンは、渦運動と連動した一種のforced waveの形成によるものであり、これらの計算結果は「渦」—「自由表面」干渉過程に関する既存の計算結果⁵⁾と定性的に一致していることから、本計算手法の基本的な妥当性が検証された。

4. おわりに

本研究では、GAL-LESモデルをベースにして、GALモデルを移動境界追跡モデルとして用いた、多気泡粒子運動を考慮した「渦」—「自由表面」干渉過程に関する計算手法を開発した。その手法に基づいて、自由表面を有する気泡ブルームに関して数値計算を行い、本計算手法の基本的な妥当性を検証するとともに、気泡運動を含む「渦」—「自由表面」の相互干渉過程に関する基本的な特徴を明らかにした。

＜参考文献＞ 1) 灘岡和夫・八木宏・二瓶泰雄：水工学論文集、Vol. 38、1994。 2) 灘岡和夫・二瓶泰雄・八木宏：土木学会論文集、No. 533、1996。 3) 二瓶泰雄・灘岡和夫：日本機械学会論文集B編、Vol. 64、No. 619、1998。 4) 二瓶泰雄・灘岡和夫：土木学会論文集、No. 579、1997。 5) 灘岡和夫・増田幹雄・鈴木徹：土木学会論文集、No. 434、1991。