3 2 5 大変形気泡の周りの流れ

山内 慎[○] (関西大学大学院), 植村 知正 (関西大学), 小澤 守 (関西大学)

Study on Flow around a Rising Bubble with Large Deformation

Makoto YAMAUCHI, Tomomasa UEMURA and Mamoru OZAWA

ABSTRACT

Behaviors of bubbles in liquids have been one of the most important target to be studied in many engineering fields. Recently, two powerful techniques are successfully introduced into the study. The one is PIV whole field measurement technique, the other is the numerical analysis. Studies using one of the techniques are successful, but so far only a few results are compared each other. This paper aims to obtain data for comparison to existing numerical results. In the experiments, velocity distributions and trajectories are measured simultaneously with deformations of bubble shape.

Key Words: Rising Bubble, PIV, Numerical Analysis, Velocity Distributions

1. はじめに

液柱内を上昇する気泡の挙動と周辺の流動状態は気液混相流の研究分野で重要な研究対象である。近年になって数値解析でも実現と同一気泡形状や現象が得られたとの報告が増えている。宋ら⁽¹⁾は変形や揺動運動する気泡の詳細な数値解析を行い、その結果、 $M=10^{-3}$ で固定した場合、 $1 \leq Eo \leq 40$ の条件では、 Eo 数が増加するにつれて気泡形状が円形から冠球形になり大小の揺動運動を示し、 $Eo=10$ で固定した場合、 $10^{-5} \leq M \leq 10^1$ の条件では M 数の増加に対して気泡の揺動が弱まることを示している。しかし、この条件での解析結果と十分に比較できる実験計測結果が無かったため、 $M=10^{-11}$ の乱流域の計測結果と比較している。一方、実験計測では最近の画像計測技術の向上によって、液相速度分布の計測を定量的に行えるようになった。著者ら⁽²⁾は $Eo=65$ 、 $M=10^1$ の場合のただ円形状直列2気泡が接近・合体するまでを、山本ら⁽³⁾は $Eo=390$ 、 $M=10^0$ の半球径気泡を、細川ら⁽⁴⁾は $Eo=7$ 、 $M=10^{-2}$ のCap型の気泡についてそれぞれPIVによって計測している。

そこで本研究では、数値解析と比較できる実験計測データを得るために $Eo=14$ 、 $10^{-9} \leq M \leq 10^{-5}$ の範囲の気泡について実験計測を行う。それと、宋ら⁽¹⁾の数値解析による速度計測の結果と定量的に比較して、気泡の後流構造の把握、ならびに数値解析の妥当性を検討することを目的としている。なお、本研究で対象としている気泡はfig.1のBhagaら⁽⁵⁾の相関図において太線で示した領域

であるが、本報ではその第一段階として、 $Eo=14$ 、 $M=10^{-6}$ の場合の結果について報告する。なお、宋ら⁽¹⁾の行った数値解析の気泡条件を点線で示しておく。

Fig.1 Bhaga's shape regime map for bubbles

2. 気泡の挙動と液相速度分布の計測結果

本実験条件での気泡は周期的な揺動と複雑な形状変化を示した。観察された気泡と計測した上昇経路をfig.2に示す。また、宋ら⁽¹⁾の数値解析の結果を併せて

示しておく。観察された気泡の形状は気泡表面が凹凸を繰り返して 3 次元的に複雑に変形しており, この時の気泡の揺らぎ幅は $0.5d_B$ (d_B : 気泡の横幅), 上昇速度 V_B は 0.18m/s であった。また, fig.2(b)の数値解析の気泡条件は $Eo=10$, $M=10^{-5}$ であり, 本実験とほぼ同じ条件の場合の結果である。気泡の上昇経路や形状は実験結果と大局的にはよく似た傾向を示しており, この図より揺らぎ幅を画像計測したところ $0.5d_B$ であり, 本実験結果とよく一致している。

PIVにより計測した $Eo=14$, $M=10^{-5}$ の場合の液相速度分布と流線及び渦度分布の結果を fig.2 に示す。速度分布の計測結果より, 気泡の後流構造が非対称であり, 最も下流の計測位置でも気泡方向の速度が見られる。これは, 気泡が上昇してきた経路を示しており, 上昇方向の速度が残っているためである。また, 渦度分布では気泡の前方と後方の後流域に強い速度のせん断層が見られ, とくに右後方ではその領域は大きい。その気泡後方の渦度の強い領域はおおよそ気泡の横幅の $1.8d_B$ 後方までの範囲である。

宋ら⁽¹⁾の数値解析による速度分布の結果を fig.4 に示す。この結果は $Eo=30$, $M=10^{-3}$ とほぼ冠球形の気泡の条件であるため, 本実験の気泡条件とは定量的な比較はできないが, 比較的似た左下がりの気泡形状の場合, 気泡後方では水平左方向の速度分布が大部分を占めている。これは, 本実験計測の結果とは大きく異なるが, 気泡の右後方では気泡の中心付近までの領域で強いせん断層が見られる傾向はよく似ている。数値解析の結果では, この後, 気泡後方に渦列が見られ, その渦の放出周期に合わせて気泡が揺動運動することが示されている。

気泡中心付近の水平速度成分の計測結果を fig.5 に示す。なお, 速度は気泡の上昇速度で無次元化しており, 気泡の垂直方向の位置を図中に示しておいた。気泡中心付近の速度は, 気泡の前方, 後方共にわずかに水平左方向の速度であることを示しており, 先の数値解析結果とは速度の大きさにおいて大きく異なる。

3. 結論

本報ではまず, $Eo=14$, $M=10^{-5}$ の気泡について気泡の挙動と周囲の液相速度分布の計測を行った。気泡の上昇経路, 形状は数値解析の結果と大局的に似た傾向を示している。しかし, 速度分布については気泡条件が異なるため定量的な比較はできないが, 気泡後方に非対称な速度分布が得られる傾向はよく似ている。本報では, 気泡条件を合わせた比較ができなかったが, 今後は宋ら⁽¹⁾の数値解析による速度計測の結果と定量的に比較する予定である。

参考文献

- 1) 宋明良, 富山明男, 坂口忠司: 揺動気泡の数値解析, 混相流シンポジウム'92 講演論文集(1992), pp.111-114.

- 2) M. Yamauchi, T. Uemura and M. Ozawa: Experimental Study on Motion of Rising Bubbles and Induced Flow in a Liquid Column, Proc. VSJ-SPIE98 (1998), pp. 258-259, paper #AB137 (CD-ROM).
- 3) 山本富士夫, 村井祐一, 高木崇: 単一気泡周りの PIV 計測 (伴流の流動構造解析), PIV 標準化・実用化研究会報告書 (1999), pp.348-355.
- 4) 細川茂雄, 原貴司, 竹坂憲治, 富山明男: 単一気泡の wake 構造, 機械学会講演論文集 No.994-1 (1999), pp. 3.31-3.32.
- 5) D. Bhaga and M. E. Weber: Bubbles in viscous liquids: shapes, wakes and velocities, J. Fluid Mech. (1981), vol.105, pp.61-85.

(a) Experimental result (b) Numerical result⁽¹⁾

Fig.2 Swing motion with deformation of bubble shape

(a) Velocity distribution (b) Vorticity dist. and stream line

Fig.3 Experimental result ($Eo=10$, $M=10^{-5}$)

Fig.4 Numerical result⁽¹⁾

Fig.5 Velocity distribution