C112

油中を浮上する気泡に接した領域における流動の検討

山内 慎, 下谷 明大[○], 葭谷 安正 (大阪府立高専), 植村 知正 (関西大学)

Consideration of Flow Adjacent to a Rising Bubble in Silicone Oil

Makoto YAMAUCHI, Akihiro SHIMOTANI, Yasumasa YOSHITANI and Tomomasa UEMURA

ABSTRACT

It is an important problem to understand the amount of heat and mass transfer phenomenon between two kinds of fluids in multi-phase flows. The inner flow of the bubble is driven by the outer flow through the interface, when a bubble rises in a continuous phase such as water. The interfacial property shows the solid wall by the influence of a strong contamination. However, there is no experimental data such as the quantitative relation between the interface flow and contaminated interface of the bubble. This study aims to measure the velocity of interface flow by using image measurement technique. In this paper, the interface velocity could be estimated. As a result, interface flow of a spherical bubble corresponded to the theoretical solution by Hadamard. Therefore, inner flow of a bubble must be the theoretical flow pattern.

Keywords: Interfacial Flow, Spherical Bubble, PTV

1. 結 論

気液二相流とは気相と液相のように溶け合わない二種類の相が混在していて、相互に作用しながら運動している流れである。二相間を隔てる界面で運動量の相互のやり取りがある場合は気泡の内部が動き、無い場合は動かない。この気泡の内部流れは相間の移動を促進する効果があることが知られている。気泡が連続相中を運動する時は、外部流動によって界面を介して分散相(気泡)内部流れが駆動される。この内部流れの有無によって分散相に働く流体抵抗などが大きく左右されるだけでなく、熱、物質移動を促進する効果があることが知られている。

気泡や液滴などの分散相の流体抵抗係数はコンタミネーションレベルに応じて大きく変化する。コンタミネーションは流体中に含まれた不純物が界面に析出して界面の物理的性質が変化して起こる。これによって流体の直接的な接触が妨害される結果、二流体間の熱や物質移動量が大きく変化する。界面の外側と内側に作用する力が等しければ、界面で減衰されずに内側への力の伝達が行われているということになり、逆に差があれば界面で力が減衰されるコンタミネーションが起こっていると考えられる。この界面状態とコンタミネーションレベルとの関係についての定量的な計測データは無い。界面状態を詳しく知ることができれば、二相流における熱や物質移動現象の予測精度の向上が期待できる。しかし、界面流動を直接計測する手段がない。

本研究では界面性状の違いが結果として表れる界面流動に着目し、気泡界面に近接した領域の速度分布を PTV

計測し、界面近傍速度分布の速度勾配から界面上の速度を外挿により求める方法を用いた。本論文では球形の単一気泡について計測した結果について述べる。

2. 実験方法

垂直に立てたガラス製の薄肉円管 ($\phi 31$) 内にシリコン油 ($5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) を満たし、コンプレッサーで圧縮した空気を流量コントロールし、下部に設置したノズル ($\phi 5$) から吹き込んで、液相中に球形の単一気泡を生成し、高速度ビデオカメラ ($1024 \times 1024 \text{ pixels}$, 2000 fps , 10 bit) で浮上する気泡を撮影する。なお、レンズには透視歪みを回避するためにテレセントリックビデオレンズを用い、画面内の像倍率を 0.015 mm/pixel に設定した。高速度ビデオカメラのフレームレイトの決定は、気泡の全体像が写っている画像が 20 枚以上必要で、1 フレーム当りの移動量が 15 pixel 程度とする条件から 250 fps とした。本条件で撮影した気泡の原画像を Fig.1 に示す。なお、光源にはアルゴンイオンレーザ (1 W) と拡散光源を用い、シート光 (厚さ 2 mm) を図の右側より、背景方向から拡散光を入れている。このため、速度計測用の白色トレーサ粒子 ($40 \mu\text{m}$) と気泡の輪郭が明瞭に撮影できており、気泡近傍の速度計測が可能である。速度分布の計測には個々の粒子の移動量を正確に計測できる PTV 法 (Particle Tracking Velocimetry) を用いた。Fig.2 に PTV 計測した速度分布の結果を示す。速度計測の結果は、気泡の中心から各断面 (θ) の延長線上に格子点 (20 pixels , 0.3 mm) をとり、全画像 (20 枚, 27500 本) の速度データを格子点内で加重平均して格子点上の速度とした。な

お, 1つの格子点内の速度は最低でも4個以上存在した。

Fig.1 Original image

Fig.2 Velocity vectors

3. 実験結果

本実験条件での気泡は球形であり, 気泡径は約 7.5~8.9mm, 上昇速度が約 49~58mm/s, Re は 0.7~1.0 の範囲であった. 気泡の岐点を 0° としたときの水平中心軸に沿った接線方向の速度分布 ($V_{\theta=90^\circ}$) の結果を Fig.3 に示す. なお, 図中の実線は Hadamard¹⁾の式より算出した結果で, この式は界面で内外のせん断応力の釣り合いを仮定して Navier-Stokes の式を Stokes 近似で解いており, 界面が清浄な状態の理論値である. また, $r/R=1.0$ の位置が気泡界面である. ここで, 速度の値が Hadamard の理論値よりも大きいのは, 本実験では有限空間を上昇する条件であり, 壁効果の影響である.

Fig.3 Velocity distribution along the horizontal axis

界面近傍の速度分布より二次曲線近似した速度勾配を求め, この速度勾配を界面上に外挿した値を界面上の速度とした. 本方法により気泡周方向に求めた接線方向速度分布を Fig.4 に, また, その時の無次元速度勾配値を Fig.5 に示す. また, 参考のために各図にコンタミネーションの影響が強く出ている球形水滴の結果²⁾を示す.

コンタミネーションの影響を受けている場合, 水滴の後方領域で速度が急激に低下し, 速度が 0 になる位置で速度勾配が最大値となり, その値は固体球の理論値と比較しても大きい. コンタミネーションの影響が強くなるにつれて, 速度が 0 になる位置が前方に移行する.

一方, 気泡界面の速度分布は Hadamard の理論値とよく一致した傾向を示しているが, 後方領域で若干の速度低下が見られる. 流速の最大値が水滴よりも小さいのは壁効果による影響が水滴よりも少ないためである. 無次元速度勾配値は理論値とよく一致した傾向を示しているがその値は Hadamard の理論値よりも大きく, 固体球よ

りも小さい. これより, 界面はコンタミネーションの影響を受けているといえる. しかし, そのオーダは水滴の場合よりも少ないといえる. 後方領域で速度低下が少ない理由としては, 気泡の場合は低レイノルズ領域で計測しているため, 水滴のように後方領域における顕著な流れのはく離が見られなかったことによる.

気泡の内部流動は球形水滴と同じ, 中心軸に左右対称な流れになっており, コンタミネーションの影響を強く受けている水滴後方領域では, ほとんど流動がないが, 気泡では理論値に近い内部流動があると考えられる.

Fig.4 Comparison of surface velocity distributions

Fig.5 Comparison of the radial velocity gradient

4. 結論

気泡界面のごく近傍の速度分布を計測し, その速度勾配から界面上の速度を求めた. その結果, 気泡の周方向の速度分布は Hadamard の理論値によく一致した傾向を示したが, 後方領域でわずかな速度低下が見られ, 速度勾配値は Hadamard の理論値よりも大きい結果から, コンタミネーションの影響があることがわかった.

参考文献

- 1) M. J. Hadamard : Mouvement permanent lent d'une sphere liquide et visqueuse dans un liquide visqueux, Compt. Rend. Acad. Sci., 152, pp.1735-1738 (1911).
- 2) 山内慎, 植村知正, 小澤守: 液液界面近傍の速度分布のコンタミネーションによる変化の検出, 混相流年會講演会, pp.205-206 (2001).