A124 上昇気泡に誘起される液柱内の流動計測

Velocity Distributions of Flow Induced by Rising Bubbles in a Cylindrical Pipe

山内 慎[○] (関西大院), 植村 知正, 小澤 守 (関西大)

Makoto YAMAUCHI, Tomomasa UEMURA and Mamoru OZAWA
Kansai Univ., 3-3-35, Yamate, Suita, Osaka 564-8680, Japan

Abstract Motion of bubbles and flow in a vertical cylindrical liquid column are measured applying image analysis techniques. Bubbles, which are generated sequentially at a bottom nozzle, travel upward with a regular interval, then a pair of bubbles coalesce. Characteristic quantities of bubbles are measured from video pictures, which are taken with a homogeneous illumination from behind. Motions of the bubbles are measured from same pictures using PTV. Flows are visualized using dispersed small particles illuminated by a light-sheet, and velocity distributions are measured using PIV. The Reynolds number based on a bubble diameter is 0.8 to 1.5 with a diameter ratio to the experimental pipe being 0.25.

Keywords: PTV, PIV, Image Analysis, Rising Bubble, Velocity Distribution

1. はじめに

垂直管内を上昇する気泡は複雑な形状変化を伴ってゆらぎながら上昇する。気泡は上昇方向の流体を押し上げるが、後方では逆に周りの流体が回り込んで後流を形成する。その後流によってつぎに上昇してくる気泡は上昇し易く、やがて上の気泡に追いつき、衝突・合体する。前報¹⁾では、単一ノズルから出た気泡列(気泡径/管径:約 0.25)を対象に気泡の大きさと上昇速度を計測し、上昇する気泡の見かけの抵抗係数を求めた。

本報告では、前報と同じ現象を対象として、気泡の上昇によって誘起される管内の流動を計測している。実験では、気泡が合体する前後の気泡近傍及び管内の速度分布を計測している。管内の速度分布は、PTV で計測した気泡の上昇速度結果を基に、相対速度で示している。

2. 実験及び画像計測の方法

Fig.1 Schematic view of experimental set up

撮影に用いた実験装置の概略を fig.1 に示す。ガラス製の薄肉円管内 ($\phi 32.4 \times 700 \times t0.7$) にはシリコンオイルを入れ、下方に設けたノズル ($\phi 5$) より空気を吹き込んでいる。シート状の光源にするため幅約 2mm のスリット光を側面から照射した。トレーサは白い微粒子(直径 0.1mm 以下)を用い、シリコン油内で十分中立浮動を保つものであった。撮影した画像はフレームグラバを介してパソコンに取り込み、1/60s 間隔のデジタル画像として記録・保存している。気泡の上昇速度計測には PTV を用いた。また、気泡の上昇に伴う管内の相対流動の計測に PIV を用いた。相対流動の速度分布は、PTV で計測した気泡の上昇速度を加えて求めた。

3. PIV による計測結果及び検討

Fig.2(a)には、PIV を用いて解析した合体直前の気泡と、気泡の上昇によって誘起される管内の相対速度分布の計測例を示す。速度分布は上の気泡の速度 V_0 に対する相対速度で示している。また、図中に示した各断面(A',B',C')の速度計測結果を fig.2(b)に示す。なお、速度計測値は上の気泡の速度 V_0 で無次元化しているため、 v/V_0 が -1.0 より小さいものが下降流を示す。

Fig.2(a)では、上の気泡は横長(0.7)で下の気泡は縦長(1.3)となっていることを示している。下の気泡はこれ以降さらに縦長(1.5)になり、8.6D(D:管の直径)の位置で上の気泡と衝突・合体する。速度分布を見ると、上の気泡が上昇方向の流体を押し上げて形成した下降流と、下の気泡のものが一体となっていることが示されている。これによって、下の気泡は上の気泡の後流中を上昇しており、上昇抵抗の小さい結果が得られたことを裏付けている。

Fig.2(b)の速度計測結果では、B'-B'断面では上の気泡の速度 V_0 とほぼ等しいことを示している。その上昇流の領域は他の

(a) Image and relative velocity distributions

(b) Relative velocity distributions along each section

Fig.2 Relative velocity distributions immediately before coalescence

断面(A', C')と比べて大きく, 下の気泡が上の気泡との間の流体を押し上げて上の気泡に追いついていることを示している。また, A'-A'及び C'-C'断面では, 下降流が $X/R=0.25$ 付近に見られるが, B'-B'断面では, 他の断面と比べると相対速度, 領域ともに大きい値を示している。このことから, 上下それぞれの気泡が誘起した流れが一体となって形成されていると考えられる。

Fig.3(a)には, 合体後の気泡の相対速度分布を示す。この場合, 気泡のアスペクト比は 1.0 であった。相対速度分布では, 合体後の気泡の近傍に, 気泡の上昇によって誘起された流れが見られる。誘起された流れは C''-C''断面より後方ではそれほど顕著には見られない。

Fig.3(b)の速度計測結果では, A''-A''断面の速度が, C''-C''断面より速い結果が得られている。また, 下降流を形成している領域はそれぞれの断面でも大きく, 気泡に誘起された流れが管壁面近傍までであることを示している。なお, 本実験範囲では, 合体後の気泡がつぎに衝突することなく上昇した。

以上のことから, 気泡が上昇する際により上昇方向の流体を押し上げて形成した下降流は, 気泡の合体前には上下それぞれ独立したものであったが, 合体直前から一体となって形成されていることがわかった。これより, 下の気泡が上の気泡の後流中を上昇しており, 上昇抵抗が小さい結果が得られたことを裏付けている。

(a) Image and relative velocity distributions

(b) Relative velocity distributions along each section

Fig.3 Relative velocity distributions induced by coalesced bubble

4. 結論

以上の実験より得られた結果を要約すると次の通りである。

- (1) 気泡の上昇によって誘起される気泡の近傍及び管内の相対流動を計測し, 相対速度分布を示した。
- (2) 気泡合体前後の流動状態を定量的に計測し, 把握することができた。

5. 参考文献

- (1) 山内, 植村: 液柱内を上昇する気泡列の挙動計測, 可視化情報 Vol.18 Suppl. No.1(1998), pp.121-124.
- (2) 植村, 井口, 他3名: 水-空気系底吹き気泡噴流によって攪拌される円筒容器内流れの画像計測, 鉄と鋼第 78 年 (1992)第5号, pp.738-744.
- (3) R. Clift, J. R. Grace and M. E. Weber, Bubbles, Drops and Particles, Academic Press (1978).
- (4) L.-S. Fan and K. Tsuchiya, Bubble wake dynamics in liquids and liquid-solid suspensions, Butterworth-Heinemann (1990).