103

管内を上昇する気泡が追突により合体する過程の速度場計測

山内 慎[○] (阪府高専), 植村 知正, 山中 理史 (関西大学)

Velocity Field Measurement during Coalescent Procedure of Two Rising Bubbles in a Pipe

Makoto YAMAUCHI, Tomomasa UEMURA and Satoshi YAMANAKA

ABSTRACT

Bubbles are generated at a bottom nozzle and travel upward. They coalesce at a certain distance from the nozzle. Motion of the bubbles and velocity field in a vertical cylindrical liquid column are measured combining new visualization techniques and a PTV Technique. Velocity field around the bubbles changes with this chasing process quantitatively.

The Reynolds number based on a bubble diameter is 0.2, a diameter ratio to the experimental pipe is about 0.25.

Key Words: Coalescent of Two Bubbles, Velocity Field Measurement, PTV

1. はじめに

気液混相流において気泡の合体は頻繁に起こる。気泡の合体過程における気泡の形状や挙動などマクロな現象はわかっているが、速度場は詳細に計測されていない。ここでは、複数の気泡が追突して合体する単純化したモデルにおいて、追従する気泡が先行する気泡に追いついて合体する過程に伴う速度場を計測する。この現象は Bhaga & Weber が高粘性液体中の写真撮影による可視化実験を行っておりマクロな現象はよく知られている⁽¹⁾。

垂直円管の下方のノズルより気泡を一定間隔で2個生成すると、先行する気泡が上昇し、追従する気泡は先行する気泡の随伴流中を上昇するため上昇速度が速く、先行気泡に追突し合体する。

本研究は上記モデルにおける気泡周辺の瞬時の速度分布と、追従過程に伴って速度分布の空間的な変化を計測することを目的とし、速度場をPTVで計測する。

2. 気泡とその周辺の速度場の可視化

高さ460mmの正方形断面(280×280mm)の水槽中に、内部にシリコン油(密度:970 kg/m³, 動粘性係数:1000cSt, 25℃)を満たしたガラス製の薄肉円管(φ32.4×500×t0.7, 内径31mm)を垂直に立てている。気泡の変形や揺らぎを無くし、上昇速度を遅くするために高粘度のシリコン油を用いている。ガラス管の下部は空気室とその先端にノズル(φ5)が設けてあり、気泡がノズルを離れる際に直径約7.7mmの球状の気泡とな

って円管内を上昇する。これはガラス管の内径に対する気泡径の比が約0.25であるので管壁の影響がある条件である。先行する気泡の平均上昇速度 V_B は約26mm/s ($Re=0.2$, $Eo=28$, $M=939$) でほぼ一定である。追従する気泡の速度は約28mm/sと先行気泡よりも速く、追いついて合体する直前には約40mm/sまで加速している。

気泡の中心断面内にあるトレーサを可視化するために、垂直の2mm厚のシート光(アルゴンイオンレーザ, 2W)を観察軸に対して直角に照明している。気泡とトレーサの挙動は、高解像度カメラ(1024×1024 pixel, 30 fps, 像倍率0.022mm/pixel)を使って撮影した。

トレーサにはローダミンBで染色したイオン交換性樹脂球(粒径37-75μm)を用いた。ローダミンBはアルゴンイオンレーザ(波長514.5nm)の光を吸収して、550-750nmの蛍光を発する。アルゴンイオンレーザと同波長の光を遮断し、ローダミンBの蛍光波長帯を透過させるフィルターを用いて、気液界面の反射を遮断し、トレーサの反射光のみを撮影する。界面での反射を抑えるとトレーサは識別できるが気液界面を識別できなくなるので、気泡の形状計測と速度の計測点の位置が不正確になる。気泡の背後から白色背景光で照明することによって気泡の輪郭を明瞭に撮影できるようになった。この方法を用いることで、1台のカメラで明瞭な境界とトレーサの双方が撮影できるため、撮影が容易で計測精度も良い⁽²⁾。

(a) 10mm (b) 6mm (c) 2mm

Fig.1 Velocity vectors around two rising bubbles on a chasing condition.

3. 計測結果および検討

追従する気泡が先行する気泡に追いついて合体する過程において, ある瞬時の速度場を PTV 計測した結果を Fig. 1 に示す. なお, 各図の下に気泡間隔を示しており, 気泡間隔は先行気泡の底部と追従気泡の先端との距離である. 各図中に先行気泡と追従気泡が写っており, その気泡内部にはトレーサの鏡像が写っているので, PTV 計測する際に気泡部分にマスクをかけて計測しないようにした.

Fig.1(a)において, それぞれの気泡の左側面に渦が形成されている. この渦は管壁の影響によって気泡径に対して十分に広い空間を上昇する場合に比べて渦の領域が小さく形成されている. この渦は気泡間隔が近くなるにつれて, 側面にあった 2 つの渦が Fig.1(c)のように 1

つの大きな渦に成長している様子が観察できる. これに伴って, 気泡間の領域では先行気泡の後流における流入が無くなり流出のみに変化している様子が観察できる.

Fig.2 に気泡間隔が 10mm (Fig.1, a) の時の気泡間の速度分布 (垂直方向成分) を示す. なお, 横軸はトレーサの水平位置を管内径で割って無次元化しており, 0 の位置が気泡の中心である. 速度分布より, 先行気泡と追従気泡の間の速度は最低でも $0.3V_B$ (V_B : 先行気泡の上昇速度) の上昇速度を持っていることがわかる. 気泡間隔が 4mm 以下になると, 気泡間の垂直方向の流速は先行気泡の上昇速度よりも速くなり, この辺りより気泡間の上昇方向の流れの影響を受け, 先行気泡の底部に窪みが生じ, 追従気泡は縦長に変形し, その後衝突していることがわかった.

Fig.2 Distribution of vertical velocity between two bubbles.

4. 結論

- (1) 追従する気泡が先行する気泡に追いついて合体する過程における速度場を PTV 計測した.
- (2) 気泡の側面には渦があり, 追従する気泡が先行する気泡に追いつく過程でその渦の構造が変化することがわかった.

参考文献

- (1) D. Bhaga and M. E. Weber : In-Line Interaction of a Pair of Bubbles in a Viscous Liquid, Chem. Eng., Sci., Vol. 35 (1980), pp.2467-2474.
- (2) 山下稔弘, 山内慎, 植村知正, 小澤守 : シリコン油中を浮上する気泡界面近傍の流動計測, 可視化情報 Vol.20 Suppl. No.1 (2000), pp.99-100.