

# 水-マイクロバブル2相流の流動特性 — P I Vによる速度分布測定—

荒賀 浩一\*, 村田 圭治\*

## Flow Characteristics of Water-Microbubble Two-Phase Flow

Koichi ARAGA and Keiji MURATA

It is known that small quantities of surfactant additives can greatly reduce the friction factors during the flow of a heat transfer medium. This is because the generation of turbulent vortices is suppressed by the formation of rod-like micelles, and the flow remains laminar in the high Reynolds number range. However, the method by surfactant additive would be limited to just the closed loop system because of environmental impacts. On the other hand, the method by microbubble injection into water has attracted a lot of attention because of the low environmental effect. However, the drag reduction effect of microbubble injection into water flows often remains unclear, including their mechanisms. In addition, there are very few reports on drag reducing effect of microbubble injection into pipe flows. This paper describes the experimental results of water-microbubble two phase flows in a horizontal pipe. The streamline velocity was measured by using PIV system. As experimental results of the friction factor and velocity profile by using PIV, the drag reducing effect of microbubble injection was not observed in this experiment. The flow characteristics were quite similar to water single phase flow.

*Keyword:* Micro bubble, Drag reduction, Two-phase flow, PIV, High-speed video

### 1. 結 言

管内流れの流動抵抗を低減させることは省エネルギーの観点から重要な課題であり、様々な流動抵抗低減法が提案されている<sup>1)</sup>。中でも、環境負荷の小ささから注目を浴びつつある技術にマイクロバブル混入による抵抗低減法がある<sup>2) 3)</sup>。これは、直径数十 $\mu\text{m}$ 以下のマイクロバブルを壁面上に形成される乱流境界層内に注入し、境界層内の乱流特性を変化させることにより摩擦抵抗を低減させる方法である。しかし、水にマイクロバブルを混入させた水-マイクロバブル2相流の抵抗低減効果はその効果やメカニズム等も含めていまだ未解明な点も多く、さらに、工業上重要な管内流れを対象とした抵抗低減効果の報告は極めて少ない。本研究は水-マイクロバブル2相流の抵抗低減効果等の流動特性を明らかにするものであり<sup>4) 5)</sup>、本報告では水-マイクロバブル2相流の流動特性をPIV流速測定によって調べた結果について報告する。

### 2. 実験装置および方法

実験装置の概略図を図1に示す。マイクロバブルは市販の加圧溶解型マイクロバブル発生装置に、高速旋回流型マ

イクロバブル発生装置を組み合わせ、大気解放型タンク内で発生させた。試験管路は内径10.0 mmの水平アクリル製円管とし、試験区間は1050 mmとした。管摩擦係数は試験区間の両端の差圧を差圧変換器で測定して算出した。液流量は管路出口の流量計測タンクにて重量法にて測定した。なお、マイクロバブル装置や実験装置は基本的には既報で報告したものと同一である<sup>4) 5)</sup>。水-マイクロバブル2相流の速度分布はPIVにより、試験区間上流より780 mmの位置において測定した。PIV測定装置の様子を図2に示す。PIVに用いる画像は、レーザーシート光(カトウ光研, PIV Laser G50)により照射された中心軸を通る管路断面内を高速度カメラ(カトウ光研, K-II-H)を用いて撮影した。画像からの速度算出はPIVソフト(カトウ光研, Flow Expert 2D2C)を用いた。本来ならばPIV撮影には散乱粒子を混入させる必要があるが、今回はマイクロバブルそのものを散乱粒子として用いた。また、実験を行った2相流のボイド率に関して、流動中のボイド率を測定する

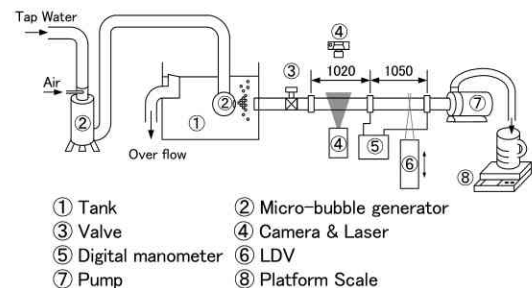


Fig. 1 Experimental apparatus

\*近畿大学工業高等専門学校  
総合システム工学科 機械システムコース

ことが難しかったため、実験の目安としてタンク内のマイクロバブルの体積含有率を測定した。その結果、本実験のマイクロバブル体積含有率およそ 0.5%であった。また、生成されたマイクロバブルの平均気泡径はおよそ 50 $\mu$ mであった。このあたりの詳細については、既報にて報告済みであるため、ここでは省略させていただく<sup>4) 5)</sup>。

### 3. 実験結果および考察

水-マイクロバブル 2 相流の管摩擦測定の結果を図 3 に示す。図の横軸はレイノルズ数  $Re$ 、縦軸は管摩擦係数  $\lambda$  を表す。図中の○は水単相流、●は水-マイクロバブル 2 相流の管摩擦係数を表す。図に示すように、水-マイクロバブル 2 相流の管摩擦係数は本実験においては、水単相流の管摩擦係数とほぼ一致しており、抵抗低減効果は生じていないことがわかる。したがって、この結果からマイクロバブル混入が、流れ場にはほとんど影響を及ぼしていないことがうかがえる。しかしながら、実際にはマイクロバブル混入が流れ場に变化を及ぼしているものの、管摩擦係数には表れていないものなのか、それとも、本当に流れ場自体にほとんど影響を及ぼしていないのかを検討することは、管摩擦係数の測定からのみでは判断しにくい。そこで、その原因を検討するために、PIVによる流速測定を行った。

PIV流速測定実験において得られた高速度ビデオによる可視化画像の一例を図 4 に示す。流れは右から左へ流れている。また、図中の白点がマイクロバブルである。レーザーシート光は写真上側から下側へかけて照射している。

このような画像を 1/200 s 間隔で約 1000 コマ撮影し、PIVソフトにより速度を算出した。実験結果の一例として、管中心の流れ方向平均速度分布を図 5 に示す。横軸は  $Re$ 、縦軸は流れ方向無次元速度  $u/V$  ( $V$ : 断面平均流速) である。図 5 中には水単相流の層流時の管中心速度の理論値である  $u/V=2$ 、および乱流時の一般的に言われている  $u/V=1.25$  を直線で記入している。図 3 より、水-マイクロバブル 2 相流の流れは、およそ  $Re=2000$  から 3000 にかけて  $u/V=2.0$  から  $u/V=1.25$  へ遷移しており、層流から乱流へ遷移している様子が管中心速度の変化よりわかる。このような管中心速度の変化は一般的な水単相流の変化と同様であることから、管摩擦測定結果からだけではなく、PIVによる管中心速度測定からも、水-マイクロバブル 2 相流の流れ場は水単相流の流れ場とほぼ同じであることがわかる。したがって、本実験においては、水単相流にマイクロバブルを混入させたが、水単相流の流れ場にはとくに大きな変化は及ぼさなかったと言える。一方で、水-マイクロバブル 2 相流の抵抗低減効果はマイクロバブル混入量に依存することも指摘されていることから、抵抗低減効果の生じなかった理由として、本実験のマイクロバブル混入量が単に少なかったということも考えられる。また、一部ではあるが、比較的大きな気泡も混ざって流動していることも可視化から確認されており、この大きな気泡の流動抵抗が全体として抵抗低減効果を消失させる原因になったものとも考えられるが、詳細な理由については今後の検討課題としたい。

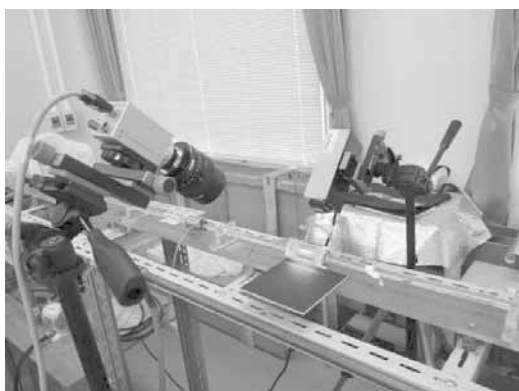


Fig. 2 Experimental apparatus (PIV)

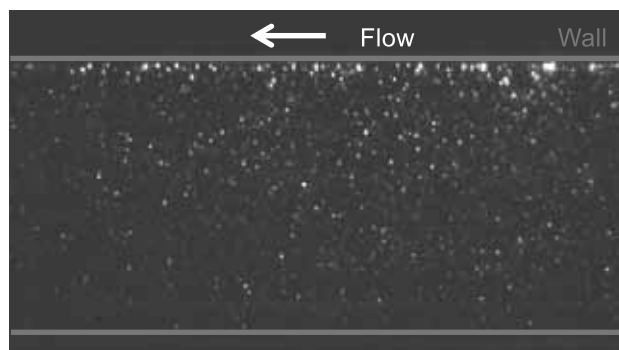


Fig. 4 Flow visualization

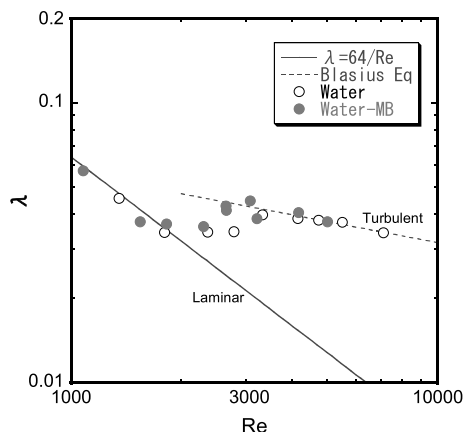


Fig. 3 Friction factor

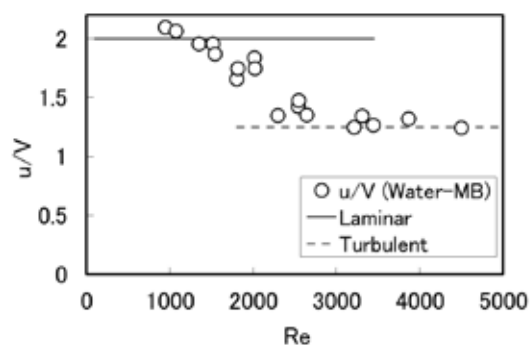


Fig. 5 Velocity profile

## 4. まとめ

水-マイクロバブル2相水平流の管摩擦係数、速度分布測定を行った。得られた結果より、以下のことがわかった。

(1) 管摩擦実験からは、マイクロバブル混入による抵抗低減効果は確認できなかった。

(2) マイクロバブルを散乱粒子とした PIV 測定を実施した結果、管中心付近は十分に測定できた。

(3) 水-マイクロバブル2相流の管中心速度の変化は水単相流の速度変化と同じであり、MB混入による影響は確認できなかった。

(4) マイクロバブル2相流の中に存在する比較的大きな気泡が抵抗増大をもたらしているのではないかと推察される。

## 参考文献

- (1) Zakin, J.L., Lu, B. and Bewersdorff, H.W., Surfactant Drag Reduction, Rev. Chem. Eng., 14(4-5) (1998), 253-320.
- (2) 村井祐一, マイクロバブルを用いた摩擦抵抗低減, 日本機械学会誌, 115(1127) (2012), 688-691.
- (3) 芹澤ら, 垂直円管内を上昇するマイクロバブルを含むミルク状空気-水系気泡流の流動特性と疑層流化現象, Japanese J. Multiphase Flow, 19(4) (2005), 335-343.
- (4) 荒賀ら, 水-マイクロバブル2相流の流動特性 - 気泡径および管摩擦係数の測定結果 -, 近畿大学工業高等専門学校紀要, 6(2012), 1-3.
- (5) 荒賀ら, 水-マイクロバブル2相流の流動特性 - 速度分布測定および流動状態の可視化 -, 近畿大学工業高等専門学校紀要, 7(2013), 1-3.