

マイクロバブルチャンネル流れの二相乱流構造

Two-phase Turbulence Structure in a Microbubble Channel Flow

北川 石英（海技研） 菱田 公一（慶大理工） 児玉 良明（海技研）

1. はじめに

本研究では、気泡を含んだ水平チャンネル流れに対して粒子画像計測を行い、マイクロバブルによる摩擦抵抗低減メカニズムを明らかにすることを目的とする。今年度は、マイクロバブル流れの乱流変調が、液相場と気泡群との局所的相互干渉に強く依存するという予想のもと、液相場と気泡群との同時計測を行い、気液両相の乱流統計量を算出した。

2. 実験方法

実験は、従来の装置を用いて行われた。図1は、計測位置の流路断面拡大図である。本計測システムでは、気液同時計測を行うために2台のCCDカメラが用いられる。図中の水平方向のカメラは液相計測に対して、鉛直方向のカメラは気泡計測に対して用いられる。液相計測に対する励起光源は、Nd:YAG レーザ($\lambda = 532$ nm)であり、気泡計測に対する光源は、赤外線 LED 群($\lambda = 850$ nm)である。レーザ光は、シリンドリカルレンズにより厚さ約 1.0 mm のシート状でチャンネル下部から照射される。計測領域に照射されたレーザ光、赤外線および蛍光発光は、約 10 mm 離れた誘多膜平面ミラーを介して上向きに反射する。可視光線と赤外線との分離には、可視光を反射し、赤外線を透過させるコールドミラーが用いられる。さらに、液相計測では、蛍光粒子からの蛍光発光のみの撮影が必要であるため、カットオフフィルタを用いてレーザ光を遮断する。

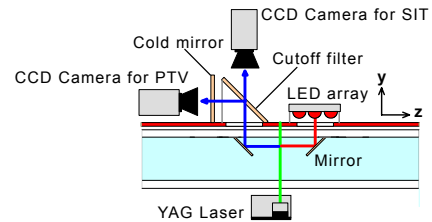


Fig. 1 Optical measurement system (cross-sectional view)

3. 結果および考察

図2に、 $\alpha=0.5\%$ (α :ボイド率)での気液両相の平均速度分布を示す。図中の u および v は、流れ方向および鉛直方向の平均速度であり、添え字 L および G は、液相および気泡を指す。図から、流れ方向および鉛直方向の気泡平均速度は、液相平均流速とほぼ一致することが判る。図3に、気液両相の乱れ度分布を示す。図中の u_{rms} および v_{rms} は、それぞれ、流れ方向および鉛直方向の乱れ度である。縦軸の値は、液相最大流速 $u_c (= 5.82$ m/s)によって正規化されている。図より、気泡の混入に伴い、流れ方向の乱れ度は一部の領域で、また鉛直方向の乱れ度はほぼ全領域で僅かに低下することが確認できる。一方、液相乱れ度と気泡のそれとを比較すると、壁面からの距離が小さくなるにつれて、気液間の乱れ度の差が大きくなることが判る。これは、壁面に近づくほど、液相場の渦スケールが小さくなり、気泡が周囲液体乱れの影響を受けにくくなるためであると考えられる。図4に、液相場のレイノルズ応力分布を示す。比較のために、気泡変動速度の相関値が付記されている。縦軸の値は、 u_c^2 によって正規化されている。図から、気泡の混入に伴い、液相レイノルズ応力が低下することが確認できる。これは、壁面せん断応力の低下を導くため、摩擦抵抗低下に直結する。また、気泡の変動速度の相関値は、液体のレイノルズ応力よりもはるかに小さいことが判る。つまり、気泡の重心運動と周囲乱れの運動との間に顕著な差が存在する。図5に高速度カメラにより撮影された気泡の時系列画像(Frame rate = 1500)を示す。図から、壁面近傍の気泡の変形運動が顕著であることが確認できる。特に、本流れ場では、気泡の変形度が大きいため、気泡界面運動と周囲液体との相互干渉がレイノルズ応力の低下に深く関与すると考えられる。今後、気泡界面運動と周囲液体との局所的相互干渉機構に関する詳細な情報を取得するため、高速度カメラを用いた気液同時計測を行う予定である。

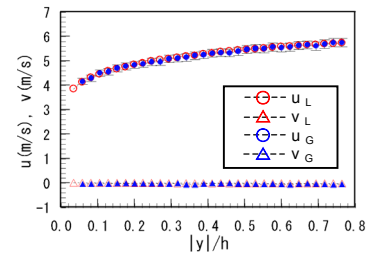


Fig. 2 Mean velocity profile

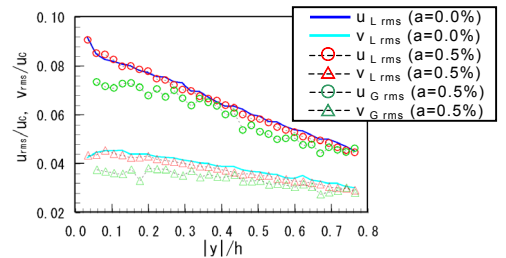


Fig. 3 Turbulence intensity profile

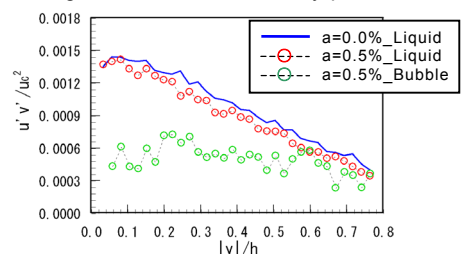


Fig. 4 Reynolds stress profile

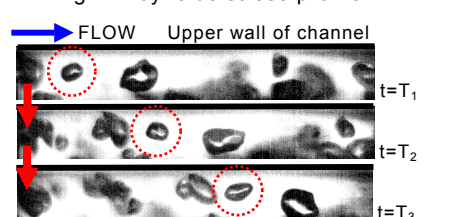


Fig. 5 Bubble deformation 1 mm