

チャンネル内気泡乱流の二次元 LDV 計測

Two dimensional LDV measurement of turbulent bubbly flow in a channel.

東京大学 蘇 秀賢, 高木 周, 松本 洋一郎

1. 緒言

本研究では, 上昇チャンネル流にサブミリオーダーの気泡群を混入したチャンネル内気泡乱流を対象として, LDV(Laser Doppler Velocimetry)を用いた速度計測を行い, 微小気泡群が液相の流動構造に与える影響を評価する.

2. 実験装置・条件

本研究で用いる実験装置の全体図を Fig.1 に示す. 実験装置は回流式で, 気相には空気を, 液相には水を用いる. チャンネル断面は $400\text{mm} \times 40\text{mm}$ の矩形断面で, テストセクションは, 気泡発生装置から 1600mm 下流に設置している. 気泡発生装置には, 内径 $0.07[\text{mm}]$, 外径 $0.5[\text{mm}]$ のステンレスパイプを 474 本用いて製作した. 更に, 気泡同士の合体を阻害するため, 液相に界面活性剤である 3-pentanol を $20[\text{ppm}]$ 混入させた. その結果, 直径約 $1[\text{mm}]$ のばらつきの少ない微小気泡群を得ることに成功した. 液相の速度測定には LDV を用いて, 流れの主流方向速度及び壁面垂直方向速度の二次元同時計測を行っている. 測定条件は, 液相流量を $Re=4100$ の乱流とし, 平均ボイド率 $f_g=0.3, 0.6[\%]$ となる条件で測定を行った.

3. 実験結果及び考察

$Re=4100$ での気泡流の速度測定結果について, 平均速度分布 (Fig.2), 変動速度分布 (Fig.3), $\overline{u'v'}$ の分布 (Fig.4) をそれぞれ示す. 結果は, 速度統計量はバルク平均流速 U_b , 壁面からの距離 y はチャンネル半幅 H を用いて無次元化しており, 比較検討のために単相流の速度データも載せている. まず平均速度分布 (Fig.2) であるが, 壁面近傍に気泡が集積することによって, 壁面付近の速度勾配が増加し, チャンネル中央付近で速度分布が平坦化している. ボイド率が大きいほど速度勾配も大きくなるといったボイド率依存性もわずかながら確認できる. これに従って, 主流方向, 垂直方向の変動速度 (Fig.3) のピークは単相流より壁側に近づき, 大きな値を示す. また, 特にボイド率 $f_g=0.3\%$ では, チャンネルの広い範囲で変動速度が減少する乱れの抑制現象を確認できる. $\overline{u'v'}$ (Fig.4) は, 気泡を混入することによって, 壁近傍を除いた広い領域で単相流の場合よりも小さな値をとり, 特に $y/H > 0.2$ の領域では非常に小さな値となっている. $\overline{u'v'}$ は速度変動の相関であり, 乱流による運動量輸送の強さを表すから, 気泡の存在によって乱流の運動量交換が阻害されていると考えることができる.

4. 結言

本研究では直径約 $1[\text{mm}]$ の微小気泡群を乱流状態の上昇流に混合した, 二次元チャンネル内気泡乱流の速度計測を行い, 以下のような知見を得た.

(1) 上昇気泡流では平均速度分布が平坦化し, 壁面近傍で速度勾配が大きくなる.

(2) 低ボイド率の条件において単相流よりも変動速度が低下する乱れの抑制効果が観察された.

(3) チャンネル中央の広い領域で $\overline{u'v'}$ が低下し, 非常に小さな値となる.

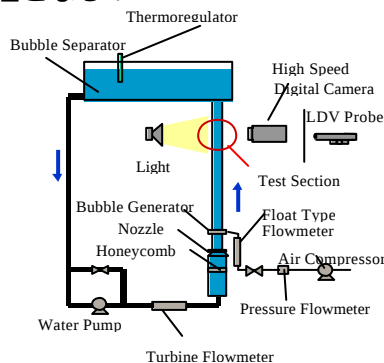


Fig.1 Schematic of the experimental apparatus

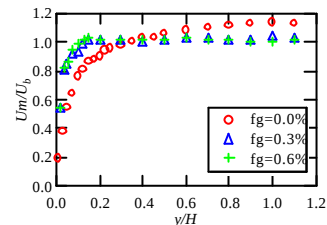


Fig.2 Mean velocity profiles ($Re=4100$)

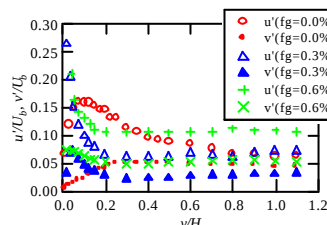


Fig.3 Turbulent fluctuations ($Re=4100$)

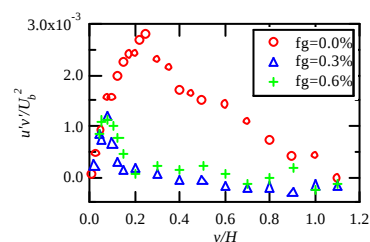


Fig.4 Reynolds stress ($Re=4100$)