

円管内気泡流の乱流構造変化

The Turbulent Modification of Bubbly Pipe Flow

藤原暁子(東大工) 湊大樹(慶大) 田中智彦(慶大) 菱田公一(慶大理工)

1. 緒言

現在、気泡流微細構造の解明により、より効率的な船舶抵抗低減システムの構築が期待されている。

本研究では、円管内気泡流の乱流構造変化について、特に気泡径と局所ボイド率の相違が与える影響を解明することを目的とする⁽¹⁾。

2. 計測方法

Fig.1 に計測システム概略図を示す。気泡周囲流動場の流速計測には蛍光粒子をトレーサとした PIV を用い、気泡形状の認識には LED 群を光源とした形状投影法 (IST) を用いた。

3. 実験方法

3.1 実験装置 実験管路は全長 2000mm で直径 44mm の鉛直円管であり、作動流体である脱気水は管路内を上昇流として循環する。気相には空気を用いた。テストセクションは管路入口から 1500mm 上方に位置しており、円管の中心を原点とし、流れ方向上向きを z 軸、半径方向を r 軸とした。

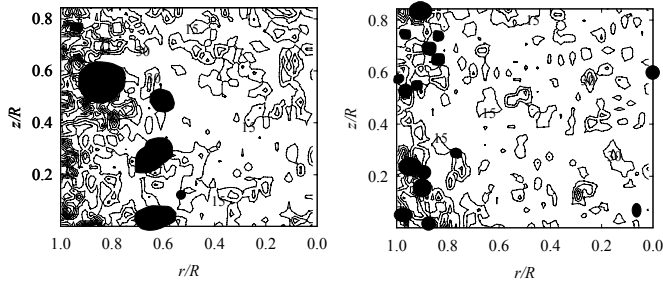
3.2 実験条件 Table1 に実験条件を示す。本実験では気泡径の影響を明確にするために界面活性剤として、約 60ppm の 3-pentanol を添加した場合と、添加しない場合について実験を行った。

Table 1. Experimental conditions

Pipe diameter	$2R$	44 [mm]
Bulk velocity (single phase)	$V_{s,b}$	176[mm/s]
Channel Reynolds number	Re_{2R}	9700
Void fraction	α	0.5%, 1.0 %

4. 結果及び考察

気泡径の PDF より 3-pentanol 添加時では気泡径は約 1.1mm に、不添加時では 2.0mm に出現頻度が最大となった。Fig.2 に平均局所ボイド率 α_l を示す。Fig.2 より、各条件とも α_l は壁面付近で高い値を示すものの、平均気泡径 1.1mm の方が平均気泡径 2.0mm よりもより壁面近傍で高い値を示した。またピーク位置は平均気泡径 1.1mm で約 $r/R=0.95$ 、平均気泡径 2.0mm で約 $r/R=0.85$ であった。Fig.3 に各条件における液相の流れ方向平均速度 V_z 及び変動速度 $v_{z,rms}$ を示す。何れの条件下においても気泡の浮力による加速により、 V_z は壁面近傍の局所ボイド率分布が高い値を示した場所で増加し、管路中心付近で減少し、平均流速が平坦化した。変動速度 $v_{z,rms}$ は局所ボイド率のピークとほぼ同じ位



(a) $\alpha=0.5\%$, no surfactant. (b) $\alpha=0.5\%$, with surfactant.

Fig. 4 Fluctuation vorticity contours (each $15s^{-1}$).

置 $r/R=0.9$ から管路中心に向けて単相時よりも乱れが抑制されている。Fig.4 にボイド率 0.5% 気泡介在時における瞬時の空間的な変動渦度強さ分布を示す。気泡の位置と形状は黒丸で示した。Fig.4 より壁面付近の気泡周囲で強い渦度変動が現れるものの、管路中心では抑えられている。強い渦度変動と渦度変動が抑えられている境界は局所ボイド率分布ピーク点付近であった。以上より局所ボイド率のピーク位置において、気泡が壁面からの乱れと渦の輸送を妨げるように働いていると考えられる⁽²⁾。以上のことを確かめるため、Fig.5 に $\langle v_z'v_r' \rangle$ で定義されるレイノルズ応力分布を示す。Fig.5 より上昇する気泡自身と気泡が誘起する力により運動量交換が妨げられていることが確認できた。

5. 結言

気泡による壁面からの乱流エネルギー伝達の抑制をより精緻に解析するため、コルモゴロフ時間スケール以下の高い時間分解能で計測を行う予定である。それらの瞬時時系列速度ベクトルから変動渦度の輸送方程式上で支配的に働く項を詳細に見積もり、巨視的乱流構造変化に与える影響を明確にする。

参考文献

- (1) Serizawa, A. et al., *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 2 (1975), pp. 235-246
- (2) Fujiwara, A. et al., *Proc. of 3rd Symp. on Smart Control of Turbulence*, (2002), pp.41-47.

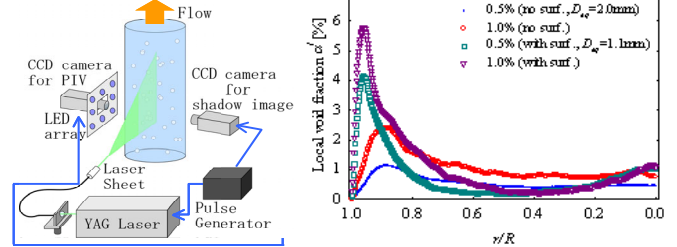


Fig.1 Schematic of measurement system.

Fig.2 Local void fraction.

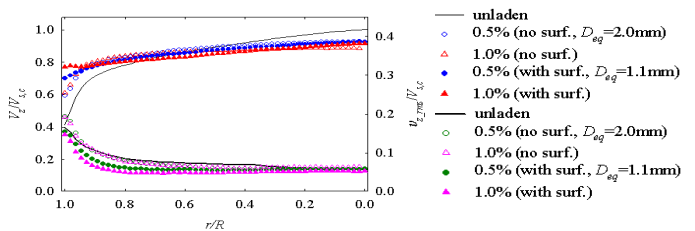


Fig.3 Streamwise mean and fluctuation velocity.

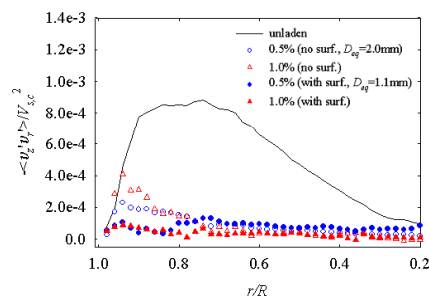


Fig.5 Reynolds stress.