

1448 マイクロチャンネル内二相流のボイド率、壁面および気液界面摩擦力に及ぼす液物性値の影響

Effects of Liquid Properties on Void Fraction, Wall and Interfacial Friction Forces for Two-Phase Flow in Microchannel

○正 川原 顕磨呂 (熊本大) 正 佐田富 道雄 (熊本大) 学 根井 啓太郎 (熊本大)

Akimaro KAWAHARA, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto City, Kumamoto
 Michio SADATOMI, Kumamoto University
 Keitaro Nei, Kumamoto University

The flow characteristics of the two-phase flows in a 100 μm circular horizontal microchannel have been investigated experimentally and analytically. In the experiments, nitrogen gas and one of four liquids (distilled water and 4.8, 49, 100 wt% ethanol in water) were injected through a T-junction type mixer to the microchannel, having smaller diameter than that of the mixer. Both quasi-homogeneous flow and quasi-separated flow was observed depending on gas and liquid flow rates. Furthermore, the data on void fraction, frictional pressure drop and interfacial friction force were found to be larger in the quasi-homogeneous flow than the quasi-separated one. In the analysis, empirical correlations of the gas-liquid interfacial friction force were developed respectively for the quasi-homogeneous and the quasi-separated flows.

Key Words: Microchannel, Gas-Liquid Two-Phase Flow, Void Fraction, Wall Friction, Interfacial Friction

1. 緒言

マイクロチャンネルは、マイクロ電子機器の冷却、マイクロリアクタ、小型燃料電池、薬液投与等への利用が行われている。したがって、マイクロチャンネル内の熱流動機構、とりわけ沸騰や凝縮、気-液間の反応を伴う装置における気液二相流動機構の解明は、マイクロサイズの各種流体機器の設計・開発上、不可欠といえる。

既報⁽¹⁾では気液混合部がマイクロチャンネル内の二相流動に及ぼす影響を調べた。本研究では、表面張力、粘度等の液物性値の影響を調べるために、供試管として内径100 μm の円形マイクロチャンネル、作動液体に重量濃度の異なるエタノール水溶液を用い、ボイド率と圧力損失を測定した。さらに、それらのデータを使って二流体モデル⁽²⁾によるボイド率の解析で必要となる壁面摩擦力および気液界面摩擦力の実験値を求めた。以下に、その結果を報告する。

2. 実験

Fig. 1に気液混合部および試験部（マイクロチャンネル）入口の概略を示す。この構成は既報⁽¹⁾のものと同じであり、マイクロチャンネル内径は $D = 100 \mu\text{m}$ 、混合部内径は $D_M = 500 \mu\text{m}$ であった。Fig. 1は混合部を上から見たものであり、1から液体、2から気体を流入させた。混合部で生じた二相流は水平な試験部マイクロチャンネルを通り、大気へ開放された。気体流量は質量流量計により、液体流量は試験部から流出する液を容器に採取し、その重量の時間変化から求めた。混合部の圧力を圧力変換器で測定し、混合部と試験部出口（大気圧）との圧力差から試験部における圧力損失を求めた⁽³⁾。さらに、試験区間中央の流動様相をマイクロレンズ付き高速度ビデオカメラで撮影し、その撮影画像からボイド率を求めた⁽³⁾。試験部マイクロチャンネルには溶融シリカキャピラリー管を用いた。これら圧力損失およびボイド率のデータから文献⁽⁴⁾の方法により単位体積当りの液相-壁面の摩擦力 F_{Wl} および気液界面の摩擦力 F_i を求めた。

供試液体には表面張力や液粘性の影響を見るために、Table 1に示す物性値の蒸留水および異なる重量濃度のエタノール水溶液を用いた。気体には窒素ガスを用いた。

3. 結果と考察

3.1 流動様式 Fig. 2に窒素-エタノール49wt%水溶液に

おける典型的な流れを示す。Fig. 2(a)は擬似均質流⁽¹⁾であり、比較的短い気体スラグと液体スラグの間欠的な流れであった。Fig. 2(b)は擬似分離流⁽¹⁾であり、非常に長い気体スラグが支配的な流れであった。

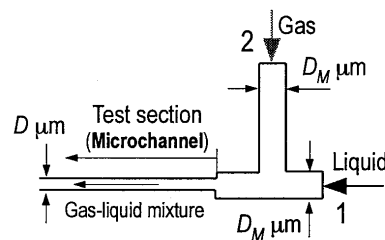


Fig. 1 Microchannel and T-junction inlet.

Table 1 Properties of working liquids.

Working liquids	Density kg/m ³	Viscosity Pa·s	Surface tension N/m
Distilled water	995.5	0.85 ± 0.03	0.071 ± 0.001
Ethanol 4.8wt%	988.6	1.06 ± 0.01	0.059 ± 0.001
Ethanol 49wt%	906.7	2.00 ± 0.08	0.028 ± 0.001
Ethanol 100wt%	782.7	1.08 ± 0.03	0.022 ± 0.001

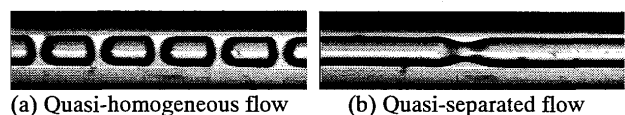


Fig. 2 Typical flow pattern (Nitrogen-Ethanol 49wt%)

3.2 ボイド率 Fig. 3は4種類の供試液体に関するボイド率 α の実験値を気体体積流量比 $\beta (=j_G/(j_G + j_L))$: j_G, j_L は気、液の体積流量)に対してプロットしたものである。図中の実線はKawaharaら⁽³⁾の100 μm 管内窒素ガス-水二相流実験(なお、気液混合部は本実験とは異なる)のデータの近似式($\alpha = 0.03\beta^{0.5}/(1 - 0.97\beta^{0.5})$)による計算値である。また、二種類の破線は均質流($\alpha = \beta$)とArmandの式⁽⁵⁾($\alpha = 0.833\beta$)によ

るポイド率である。Fig. 3 からポイド率 α は、均質流が Kawahara らの式のいずれかに近い。前者に対する流れは 3.1 節に述べた擬似均質流が支配的であり、後者のそれは擬似分離流が支配的であったので、それぞれを Δ 系と \square 系の記号で区別した。液物性値の影響は j_G あるいは β (> 0.8) が比較的高い領域で見ることができる。すなわち、エタノール 100wt% の α は、他の供試液体の α よりも Armand の式に近い値を示す。

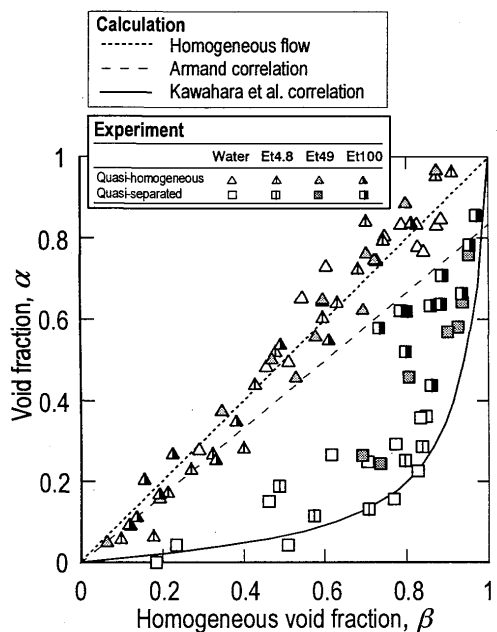


Fig. 3 Void fraction data when different working liquids were used.

3.3 壁面摩擦力 Fig. 4 に壁面摩擦力 F_{WL} の実験値を示す。なお、 F_{WL} は摩擦圧力損失勾配と同じである。横軸は気体の体積流速 j_G である。擬似均質流の F_{WL} が擬似分離流のそれより大きいことが分かる。また、擬似均質流と擬似分離流の中間の領域が見られる。この領域は両者の流れの出現確率が同程度の領域である。

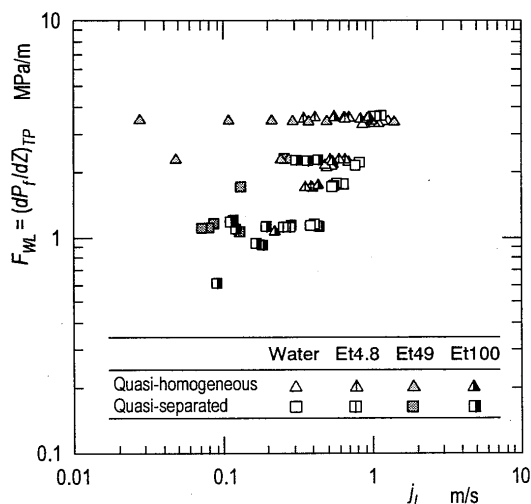


Fig. 4 Two-phase frictional pressure drop data.

3.4 界面摩擦力 Fig. 5 に気液界面摩擦力 F_I の実験値を示す。横軸はポイド率 α である。 F_I は供試液体および液の体積流速の違い

によらず α に対して線形的に増加し、擬似均質流および擬似分離流それぞれについて次式で近似できた。

$$F_I = 3.5\alpha : \text{擬似均質流} \quad (1)$$

$$F_I = 1.1\alpha : \text{擬似分離流} \quad (2)$$

さらに、擬似均質流と擬似分離流の中間領域の F_I は次式で近似できることが分かった。

$$F_I = 2.2\alpha : \text{中間領域} \quad (3)$$

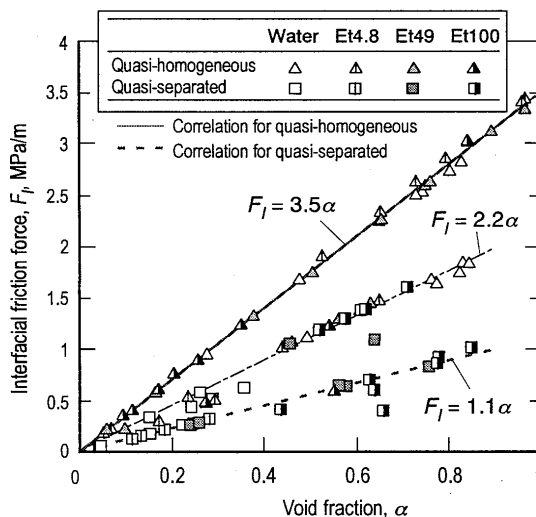


Fig. 5 Gas-liquid interfacial friction force data.

4. 結言

- 本研究で得られた知見を以下に示す。
- 供試液体の違いによらず、擬似均質流と擬似分離流の二つのタイプの流れが観察された。
 - 二つの流れに対応して、ポイド率 α の実験値は均質流モデルによる式あるいは Kawahara らの式に近い値を示した。
 - 壁面摩擦力 F_{WL} は擬似均質流の場合が擬似分離流のそれより大きくなることが分かった。また、擬似均質流と擬似分離流の中間領域の F_{WL} が存在した。
 - 気液界面摩擦力は擬似均質流の場合が擬似分離流のそれより大きくなることが分かった。さらに、 F_I はポイド率に対して線形的に増加し、その傾きは流動様式に依存することが分かった。

今後、壁面摩擦力の本実験値を記述できる構成式の検討を行い、その式と上記の界面摩擦力の構成式(1)–(3)を組み込んだ二流体モデルによるポイド率の予測を試みる予定である。さらに、擬似均質流と擬似分離流が現れる条件を見出す必要がある。

本研究は科研費 (19560177) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 川原ら, 混相流研究の進展, **1**, (2006), pp. 197-204.
- [2] Ishii, M. & Mishima, K., Nuclear Engineering and Design, **82**, (1984), pp. 107-126
- [3] Kawahara, A., et al., Int. J. Multiphase Flow, **28**, (2002), pp. 1411-1435 (2002).
- [4] Tsubone, H., et al., Proc. of the 4th Int. Conference on Multiphase Flow (ICMF2001), 12 pages in CD-ROM (2001).
- [5] Armand, A. A., Izv. Vses. Teplotekh. Inst., **1**, (1946) (AERE-Lib/Trans 828), pp. 16-23.