A217 小オリフィスを通過する界面活性剤水溶液 の速度場に関する研究

近藤 将純^{*} (新潟大院) 長谷川 富市 (新潟大)
鳴海 敬倫 (新潟大)

A Study of Velocity Field of Surfactant Solutions Flowing through Small Orifices

Masazumi KONDO, Tomiichi HASEGAWA,
and Takatsune NARUMI^{*}

The velocity field of a flow through small orifices for distilled water and surfactant solution is measured with a laser doppler velocimeter and examined by a visualization method, and the following points are clarified, (1) For distilled water the nondimensionalized center line velocity increase with increase of Reynolds number in the inlet flow and it is almost constant in the outlet flow. (2) But for surfactant solution it decrease with increase of Reynolds number in the inlet flow. (3) The distilled water has higher velocities than the surfactant solution in the outlet flow.

1. 緒論

小孔を通過する流れは機械工学の分野だけでなく血液、生体液の血管内の流れなどでみられるように生体・医療工学の分野にも関連している。

この流れは、流入側で狭まり流れ（流体要素については伸張流れ）、流入側では拡がり流れ（流体要素については圧縮流れ）の性質を有し、その流動特性を調べることは、学術的に重要とされている。特に、高分子溶液や界面活性剤水溶液については、圧力損失や流動場がニュートン流体の予測値とは異なるが、その多くは未解決のままである。⁽¹⁾⁽²⁾

本研究では、蒸留水と界面活性剤水溶液（エソカード水溶液）について、小オリフィスへ流入・流出する際の流速をレーザー流速計を用いて測定し、また流れの全体像をつかむためにトレーサー法によりオリフィス前後の流れの可視化を行った。

これら二つの結果を対応させ速度分布を明らかにしようとするものである。

2. 実験装置及び試験流体

流速測定のための実験装置の概略を図1.(a)に示す。試験流体はヘッドタンクから供給され、流路中央部に取り付けられたオリフィスを通過し流路外へ流出する。流路は透明なアクリル製で全長約600mm、断面は40mm×40mmの正方形断面を持つ。オリフィスは流速測定のため流路中央の接続部から少しオフセットして取り付けられている。流速計は米国TSI社製のレーザー流速計（Arガスレーザー）であり、測定は後方散乱型で行った。ここで、オリフィス近傍まで測定を可能にするため、ビームの1本をオリフィス面と平行にセットした。測定点（レーザービームの交差点）の移動は、流路をX軸ステージ上に固定しステージを移動させることにより行った。

^{*} Niigata University, 8050, Ikarashi2-nocho, Niigata

可視化実験装置の概略を図1.(b)に示す。流路及び試験流体の供給は流速測定の場合と同様である。光源としてArレーザーによるスリット光を用いてトレーサ法により可視化を行った。レーザー光源は、ION LESER TECHNOLOGY 社製である。また、トレーサとして合成樹脂製で理化精機工業株式会社の商品名“銀河252”を用いた。

試験流体は、ニュートン流体である蒸留水と界面活性剤水溶液であるEthoquad（塩化オレイルビスヒドロキシエチルメチルアンモニウム）の重量濃度200ppm水溶液に対しイオンとして和光純薬工業（株）製のサリチル酸ナトリウム(NaSal)を120ppm混入したものをを用いた。また流速測定の際、散乱粒子として各流体に市販の修正液を少量混入した。

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

3. 実験結果と考察

図2, 3にそれぞれオリフィス直径 $D=1.007\text{mm}$ の場合の蒸留水、エソカード水溶液のオリフィス中心軸上の流速の測定結果を示す。これらのグラフは、縦軸に測定流速 V をオリフィス通過時の平均流速 V_m で無次元化した無次元速度をとり、横軸にオリフィスからの距離 x をオリフィス直径 D で無次元化した無次元距離をとっている。またレイノルズ数をパラメータとしている。ここで、横軸の $x/D=0$ の点がオリフィス面で、マイナス側がオリフィス流入側、プラス側が流出側を表している。

Fig. 2 Center line velocities of Distilled Water

図2の蒸留水のオリフィス入口側において、 $X/D \leq -5$ において、レイノルズ数が高いほど V/V_m の値が大きくなっている。これに対して、図3のエソカード水溶液のオリフィス入口側では、レイノルズ数が高くなるほど V/V_m が小さい値を取り、この両者の傾向は全く逆となっている。この原因は明らかではないが後に可視化写真で見えるように流入部より流路内に入った流体が流路の横断面全体に拡がらずに、オリフィス入口まで至っていることの影響が現象を複雑にしていることが考えられる。しかし、 $X/D = -0.2 \sim 0.0$ の間におけるオリフィス近傍では、蒸留

水、エソカード水溶液ともにレイノルズ数に無関係にほぼ同じ無次元流速となっている。オリフィス出口側については蒸留水の場合、 V/V_m は減衰が小さくまた、レイノルズ数によらずほぼ同じ値を示している ($Re=1499$ の場合は、 $X/D \geq 6.0$ で V/V_m は小さくなっている)。しかし、エソカード水溶液の場合では V/V_m はレイノルズ数が小さいほど小さな値を取っている ($Re=1507$ の場合は、 $X/D \geq 4.0$ で V/V_m は小さくなっている)。また、蒸留水の場合よりも減衰の割合が大きい。オリフィスの出口近傍では、蒸留水は $V/V_m = 1.6$ であるが、エソカード水溶液については $V/V_m = 1.2 \sim 1.4$ となっている。

図4, 5は、それぞれ蒸留水、エソカード水溶液のレイノルズ数約500, 1000, 1500の三種類における $D=1.007\text{mm}$ のオリフィスを通過する流れの流線写真である。流れは、紙面上で全て左から右へ向かっている。

図4の可視化写真では、蒸留水の入口側において、レイノルズ数が高くなるほど流路全体に流れが拡がらずにオリフィスまで達していることが分かる。これにより、流体が流入してくる際の、流入部の影響が流路内部の流れに影響を及ぼしていることがわかる。しかし図5に示したエソカード水溶液については、この影響は少ない。出口側では、蒸留水のジェットがオリフィスから離れるにつれ徐々に拡がっている (図4) のに対し、エソカード水溶液については、ジェットの拡がりは少ない (図5) ことが特徴である。この現象は、レイノルズ数が高くなるとより顕著に見られる。

これらによると可視化の結果は、レーザー流速計により得られた結果と矛盾するように見える。

しかし、実験では両者の測定範囲が一致していないために、これら二つの結果をもとに流れ場全体を把握することは現在のところ困難である。今後の課題としてレーザー流速計による測定範囲を広げ流れ場全体を明確に把握することが必要であると考えられる。

参考文献

- (1) Metzner, A.B., Uebler, E.A. and Chan Man Fong, C.F. AIChJ., 15(5)(1969), 750.
- (2) Cable, P.J. and Boger, D.V., AIChEJ., 24(6)(1978), 992

Fig. 3 Center line velocities of Ethoquad 200 ppm + NaSal 120 ppm

(a) $Re=499$ $Re=500$

(b) $Re=998$ $Re=1007$

(c) $Re=1500$ $Re=1494$

Fig.4 Flow patterns of Distilled Water

(a) $Re=501$ $Re=496$

(b) $Re=1013$ $Re=1005$

(c) $Re=1503$ $Re=1500$

Fig.5 Flow patterns of Ethoquad 200ppm + NaSal 120ppm