

401 ジェット反力を利用した界面活性剤水溶液の弾性力測定

Measurement of Elastic Forces of Surfactant Solutions by Jet-reaction Method

○学 田中 勝志 (新潟大/工)
正 鳴海 敬倫 (新潟大)

正 長谷川 富市 (新潟大)

Katsushi TANAKA, Graduate School of Niigata University

Tomiichi HASEGAWA, Niigata University, 8050, 2-no-cho, Ikarashi, Niigatashi, Niigata

Takatune NARUMI, Niigata University, 8050, 2-no-cho, Ikarashi, Niigatashi, Niigata

1. はじめに

洗濯洗浄における汚れの除去機構は、化学的作用と物理的作用(機械力による作用)の二種類に分類できる。物理的作用の洗浄力に関する寄与は、化学的作用と同程度あるいはそれ以上と考えられている。しかし、物理的作用の主要因である洗液の流動については不明な点が多い。例えば、界面活性剤水溶液はニュートン粘性を示すことから、洗浄機構の解析には洗液をニュートン流体と見なしているが⁽¹⁾、ある濃度(臨界ミセル濃度c.m.c.)以上で分子が会合し、ミセル構造を形成することが知られているからニュートン流体とは異なる流動特性を示すことが予想される。

本研究では、家庭用洗剤に含まれている二種類の界面活性剤の水溶液について、ジェット反力を利用してせん断流と伸張流における弾性力を測定し、ミセルによる弾性力の影響を調べた。

2. 供試流体

今回使用した界面活性剤水溶液は、陰イオン系の直鎖型ラウリルベンゼンスルホン酸ナトリウム(以下LAS)および非イオン系のポリオキシエチレンラウリルエーテル(以下AE)の水溶液の二種類である。濃度は両者ともc.m.c.以上である1.0重量%を使用した。両界面活性剤水溶液共にニュートン粘性を示し、密度および粘度は水とほぼ同じであるため、レイノルズ数Reの算定の際には水の値を使用した。

3. 実験装置および弾性力算定

Fig.1に実験装置の概略図を示す。供給量の調節可能なシリンジ式ポンプにより加圧された試験流体は、内径0.28mm 外径3.0mmのNi合金製のトーシヨンチューブ内を通り、回転中心体、真鍮管内を通過してチャンネルに供給される。その先には細管またはオリフィスが取り付けられ、そこから試験流体が水で満たされているヴェッセル内にジェットとして流出する。そのジェット反力によりトーシヨンチューブの軸回りにトルクを生じ、真鍮管およびチャンネルはジェット流出方向と反対側に移動し、トーシヨンチューブの持つ振り剛性と釣り合い水平面内のある位置で静止する。その移動量はチャンネルと反対側に突き出したアームの移動量としてレーザー変位計で検出する。ポンプの制御電圧とレーザー変位計の電圧はA/Dコンバーターを介して、ある測定時間の平均値としてパソコンに出力される。

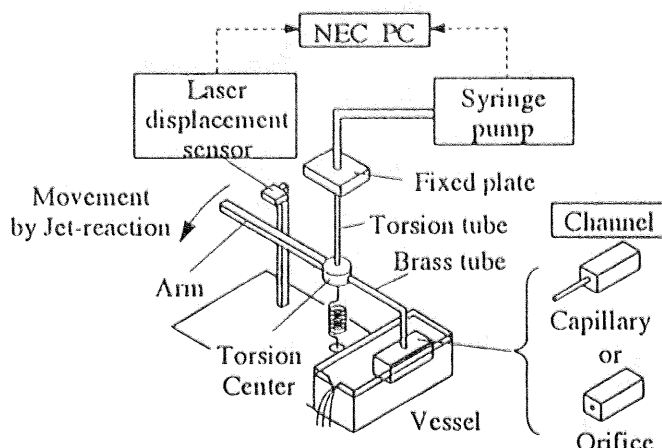


Fig. 1 Experimental Apparatus

Table. 1 Size of Capillary or Orifice

	Diameter D [mm]	Length L [mm]	L/D
Capillary	0.441	130	294.8
	1.046	300	286.8
Orifice	0.309	0.05	0.162
	0.407	0.05	0.123
	0.503	0.05	0.099
	0.801	0.05	0.062
	1.003	0.05	0.050

またTable.1にチャンネル先端に取付ける細管およびオリフィスの寸法を示す。細管は助走区間以上の長さを有する二種類、オリフィスは厚さ0.05mmのステンレス箔にマイクロドリルで穿孔した直径の異なる五種類を使用した。

次に弾性力の算定法について説明する。細管内のせん断流を利用して第一法線応力差(以下FNSD)、オリフィス通過時の伸張流を利用して伸張応力(以下ES)が測定可能である。以下FNSDとESを合わせて弾性力と呼称する。両者とも、式(1)、(2)に示すように、溶媒である水のジェット反力と供試流体のジェット反力の差を利用することにより算定できる⁽²⁾。

$$FNSD = \frac{1}{2\pi r^2} \left\{ 2 + \frac{d \log(T - T_m)}{d \log(8V_m/D)} \right\} \times (T - T_m) \quad (1)$$

$$ES = \frac{1}{\pi(r_0 \sin \theta_0)^2} [(T_m)_{water} - (T_m)_{solution}] \quad (2)$$

但し、式中のTはポアズイユ流における流出運動量、T_mは測定したジェット反力である。

4. 実験結果および考察

Fig.2はFNSDを壁面でのひずみ速度 $\dot{\gamma}_w$ で整理したものである。LAS1%水溶液では、FNSDは $\dot{\gamma}_w$ の増加に伴い、増加→減少→増加と連続的な変化を示し、また正の値から負の値へ変化していることがわかる。一方、AE1%水溶液では、FNSDは $\dot{\gamma}_w$ の増加に伴い、連続的ではないが減少→増加へと変化し、また、LAS1%水溶液とは逆に負の値から正の値へ変化する。せん断流において負のFNSDを示すものに、液晶高分子がある⁽⁴⁾。これは分子の配向によるものであるが、界面活性剤の場合、液晶高分子ほど分子量は大きくなく、配向による影響は考え難い。よって溶液中のミセルの存在が、第一法線応力差に寄与していることが考えられる。

Fig.3はオリフィス0.5mmにおいて、AE0.1%、0.5%、1.0%の無次元化反力 T_m/pQV_m をレイノルズ数 Re で整理した図である。0.1%では水とほぼ同じであったものが、濃度の増加により水よりも大きくなっていくことがわかる。この三種類の濃度において表面張力はほとんど同じことから、溶液中に存在するミセルの増加による影響であると思われる。

Fig.4は、AE1%水溶液におけるESを平均流速 V_m （流量をオリフィス断面で除したもの）で整理した図である。図中の黒塗り記号は、ESが負の値を示したため絶対値をとったものである。ESはオリフィス径が0.5mm以上では負の値、0.4mm以下は正の値となり、径の違いにより区別できる。またESは V_m で整理でき、その傾きはほぼ2.0となっている。一方、LAS1%水溶液のESを測定したところ、オリフィスの径の違いによらず水との反力に実験誤差を越える差異が見られず弾性力は認められなかった。

ここで伸張応力の算定時には、水と界面活性剤水溶液では速度場は同じであるとしている。しかし、両者間で速度場に差異が生じると弾性力の算定結果にまで影響を及ぼすことが考えられるため、チャンネル内の流動場の可視化および流速の測定を行う必要がある。これについては今後の課題である。

5. おわりに

今回、二種類の界面活性剤水溶液に対し、ジェット反力を利用して、せん断流及び伸張流における弾性力を測定した。

高ひずみ速度域での弾性力が測定可能な本装置を用いても、界面活性剤の弾性力はかなり微小であるため、精密な定量的測定は困難であった。しかし、両流動場において、負の弾性力を示す領域が存在するという興味深い結果を得た。今後、より詳細に検討を進めていく予定である。

参考文献

- (1) 長谷川、多田、油化学、34、545、(1985)
- (2) 長谷川、日本機械学会論文集(第2部)、44巻381号、1606-1615、(1978)
- (3) Hasegawa, Fukutomi, Narumi, J. non-Newtonian Fluid Mech., 27、133-151、(1988)
- (4) Seong-Gi Back, Jules J. Magda, S.Cementwala, J. Rheology, 37(5)、935-945、(1993)

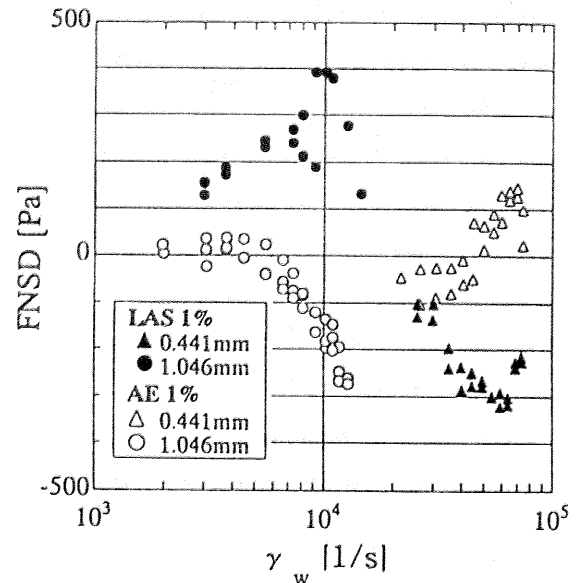


Fig. 2 FNSD v.s. $\dot{\gamma}_w$ for AE1% or LAS1% Solution

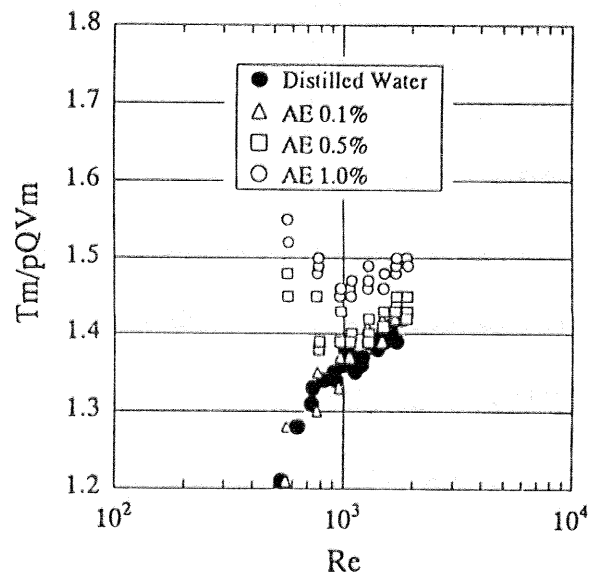


Fig. 3 T_m/pQV_m v.s. Re for AE Solutions

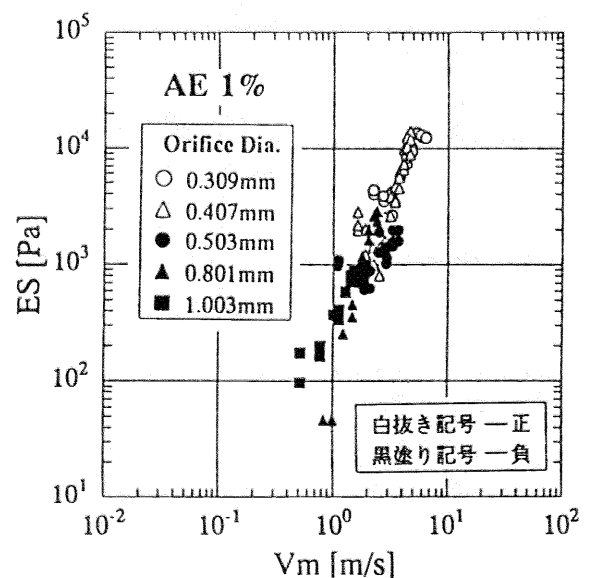


Fig. 4 ES v.s. V_m for AE1% Solution