界面活性剤水溶液の境界層遷移に関する可視化実験

Visual Study on Boundary Layer Transition of an Aqueous Surfactant Solution

○学 樋口万希子 (名工大) 正 伊藤基之 (名工大)

Makiko Higuchi, Nagoya Institute of technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya
Motoyukitoh, Nagoya Institute of tech.

Key Words: Laminar-Turbulent Transition, Flat-plate Boundary Layer, Surfactant Solution, Flow Visualization

1. 緒言

ある種の界面活性剤水溶液は、乱流状態において著しい摩擦抗力減少を示すことが知られているが、そのメカニズムは未だ十分に解明されるに至っていない。遷移の研究は乱流発生メカニズムを知る上でも重要である。そこで本研究では界面活性剤水溶液の乱流抵抗減少メカニズムの説明の一助とするため、平板上層流境界層中で人工的に加えたかく乱を増幅させ、遷移過程が界面活性剤水溶液の場合とニュートン流体の場合とでどのように異なるかを流れの可視化実験により調べた。

2. 主な記号

 f^* : 無次元周波数($=f\nu/U^2$) Re_x : レイノルズ数($=Ux/\nu$) T : 流体の温度 U : 主流速度 u_{ave} : 流れ方向平均速度 x : テストプレート前縁からの流れ方向距離 y : 壁面からの垂直距離 z : テストプレート中心からのスパン方向距離 γ : セン断速度 η : セン断粘度 ν : 動粘度

3. 実験装置および方法

Fig. 1 に実験で用いたアクリル製の開水路測定部を持つ回流水槽の概略図を示す。実験は主流速度を $U \approx 100\text{mm/s}$ のもとで行った。測定用平板はアクリル製で、直径 2mm のステンレス製のワイヤーを前縁から 500mm 下流の位置で壁に垂直方向に周波数 2Hz と 6Hz で振動させた。渦の可視化には水素気泡法を用い、上方または側方から CCD ビデオカメラにより可視化画像を撮影した。画像より陰極線に近い 2 本のタイムラインから速度データを得た。本実験に用いた界面活性剤水溶液は陽イオン界面活性剤のテトラデシルトリメチルアンモニウムブロマイドとサリチル酸ナトリウムの同モ

Fig.1 Apparatus

ル量を、イオン除去した純水中に混合したものであり、濃度 400ppm のものを使用した。

4. 実験結果および考察

4-1 セン断粘度 Fig.2 に内径 5.07mm の細管粘度計で測定したセン断粘度を示す。界面活性剤水溶液はあるセン断速度以上で SIS (Shear Induced State, セン断誘起状態) を起こし粘度が上昇することが知られており⁽¹⁾、今回使用した界面活性剤水溶液は水に比べて最大でおよそ 1.2 倍までセン断粘度が上昇した。

4-2 乱流遷移過程の可視化実験 壁面に平行かつ流れ方向に垂直に陰極線を設置し、水素気泡を連続的に発生させ、上方から撮影した可視化画像を Fig.3 (2Hz)、Fig.4 (6Hz) に示す。(a) は水の場合、(b) は界面活性剤水溶液の場合であり、陰極線の高さはともに $y=3\text{mm}$ である。Fig.3(a) では Λ 型の渦からヘアピン渦への発達が観察できるが、(b) では Λ 型の渦が発生しているが水の場合のようなはっきりとしたヘアピン渦のヘッドの立ち上がり現象は見られない。Fig.4 では Fig.3 に比べて流れ方向波長の短い Λ 型の渦が発生している。

4-3 速度変動の分布 陰極線の下流方向位置が $x=500\text{mm}$ 、 $x=700\text{mm}$ での対称面 ($z=0\text{mm}$, x - y 面) における速度分布と乱れ強さの測定結果をそれぞれ Fig.5 から Fig.8 に示す。Fig.5 で界面活性剤水溶液は $y=10\text{mm}$ のあたりで u_{ave}/U が 1 を超えており、界面活性剤水溶液は水に比べワイヤーの影響を強く受けるものと思われる。Fig.6 より 6Hz の場合の界面活性剤水溶液は上流での速度分布の影響がまだ残っていると思われる。また Fig.7 では水と界面活性剤水溶液とはあまり違いが見られないが、Fig.8 では 2Hz の場合の界面活性剤水溶液は水に比べて乱れ強さが大きくなっている。Fig.9 に対称面 ($z=0\text{mm}$, x - y 面) における各点での x 方向変動速度成分 u' を無次元化したものの等値線図を示す。図中では白い領域ほど平均流速より瞬間流速が高く、逆に黒い領域ほど流速が低くなっている。界面活性剤水溶液では水に比べて速度変動の規則性がより強く、乱流への遷移がより緩慢に進行していると思われる。

5. 結言

セン断誘起状態における界面活性剤水溶液では、水に比べてより緩慢に遷移が進行する。

6. 参考文献

(1) Ohlendorf, D., Interthal, W. & Hoffmann, H. 1986 "Surfactant system for drag reduction: physico-chemical properties and rheological behavior", Rheol. Acta, 25, 468-486.

Fig.2 Shear viscosity
(C14TASal(Br) 400ppm, $d=5\text{mm}$, $T=20.6^\circ\text{C}$)

Fig.5 Velocity profile
($x=500\text{mm}$, $z=0\text{mm}$)

Fig.6 Velocity profile
($x=700\text{mm}$, $z=0\text{mm}$)

Fig.7 Relative intensity of turbulence
($x=500\text{mm}$, $z=0\text{mm}$)

Fig.8 Relative intensity of turbulence
($x=700\text{mm}$, $z=0\text{mm}$)

Fig.9 Contour plot of fluctuating velocity

Fig.3 Disturbances by a vibrating wire (bird view)

Fig.4 Disturbances by a vibrating wire (bird view)