剪断乱流の素過程に及ぼす界面活性剤の効果

Influence of Surfactant on the Elementary Motions in Turbulent shear Flow

○ 大島 翼 (阪大院) 正 太田貴士 (阪大工)
正 梶島岳夫 (阪大工)

Tsubasa OHSHIMA, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka, Japan
Takashi OHTA, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka, Japan
Takeo KAJISHIMA, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka, Japan

Key Words: Drag reduction, Surfactant, Elementary Motion, Turbulent Shear Flow, Numerical Simulation

1 緒言 これまで、高分子溶液や界面活性剤溶液による抵抗低減流れの実験、またはそれらを模擬した数値計算は数多く行われている。それらによると、抵抗低減流れでは、低速ストリークに対しては、壁面近傍でその間隔が大きくなり⁽¹⁾、縦渦に対しては渦度変動が減少する⁽¹⁾との報告がある。しかし、これらの研究ではいずれも流れ場が乱流状態であり、乱流構造の要素間の相互作用が強いため、界面活性剤による抵抗低減の機構がどこに作用したのかを判断することが困難である。そこで、本研究では、単独の低速ストリーク、および一対の縦渦を層流中に発生させて数値計算を行い、乱流摩擦抵抗低減流れの素過程として、界面活性剤が縦渦や低速ストリークにどのような影響を与えるかを調べることを目的とする。

2 数値計算法 計算領域は主流方向から見て、上下左右が壁に囲まれた正方形断面の3次元ダクトである。流入境界条件にはダクト内において十分に発達した層流の解析解を与え続け、壁面には滑りなし条件、流出境界条件には対流流出条件を用いた。流れが層流になるように、ダクトの一辺、ダクト内の平均流速基準のレイノルズ数を層流の条件である1000に設定した。基礎式は連続の式、Cauchyの運動方程式、応力構成方程式は、垂直応力項はニュートン粘性とし、せん断応力項のみに非ニュートン性を考慮する。粘度式には、以下のBird-Carreauモデル

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_0 \{1 + (t\dot{\gamma})\}^{\frac{n-1}{2}} + \eta_\infty \quad (1)$$

を用いた。あるせん断速度領域において、粘度が急上昇するSIS状態を表現するため、Usuiら⁽²⁾が測定したBird-Carreauモデルの定数を、SIS状態を含む場合と含まない場合を定義しておき、流れ場の中で縦渦や低速ストリークなどせん断速度の大きい領域だけ、局所的に高粘度になるように調整した。縦渦の発生方法は、一対の縦渦を流入条件として用い、低速ストリークについては、主流と逆方向に、速度に応じた抵抗力を与えることで表現している。

3 計算結果と考察 図1,2に低速ストリークを発生させた計算の、ニュートン流体と非ニュートン流体の主流方向に垂直な断面における低速領域の等高線 ($u'/U_m \leq -1.5$) と、その断面における瞬時の速度ベクトルを示す。断面はストリーク発生直後の $x = 1.2$ と下流の $x = 3$ を選んでいる。速度ベクトルを見ると、ニュートン流体の場合の図1(a)では、ストリークの付近で渦が発生していることが分かる。図1(b)では、渦は図1(a)に比べて減衰しているが、存在し続けている様子が観察される。非ニュートン流体の場合の図2(a)でも、ストリークの付近に渦

Fig. 1: Low-speed region and instantaneous velocity vector of streamwise cross-section in Newtonian fluid flow, ($u'/U_m \leq -1.5$)

Fig. 2: Low-speed region and instantaneous velocity vector of streamwise cross-section in Non-Newtonian fluid flow, ($u'/U_m \leq -1.5$)

が存在する。しかし、下流の図2(b)では渦は見られない。

ニュートン流体の場合、縦渦と低速ストリークには関係があると考えられるが、非ニュートン流体の場合、下流では縦渦と低速ストリークの関係が小さくなっている。このように、ニュートン流体と非ニュートン流体の場合では、ストリークの維持機構が異なり、乱流要素の構造も変化すると考えられる。

参考文献

- (1) C.D.Dimitropoulos, *J.Non-Newtonian Fluid Mech*, 79(1998), 433-468.
- (2) H.Usui, *Rheol.Acta*, 37(1998), 122-128.