

411 隆起部を有し相対運動する二面間の粘弾性流体の流れ

The Flow of Viscoelastic Fluid between a Sliding Wall and a Fixed Wall with a Hump

○学 加藤 利明 (新潟大院) 正 鳴海 敬倫 (新潟大)
正 長谷川 富市 (新潟大)

Toshiaki KATO, Graduate School of Niigata University
Takatsune NARUMI, Niigata University, 8050, Ikarasi 2-nocho, Niigata
Tomiiichi HASEGAWA, Niigata University

Key Words : Viscoelastic Fluid, Numerical Analysis, Finite Element Method, Lubrication

1. 緒 言

流れの数値シミュレーションは流体潤滑の分野においても数多く行われている。そこでは従来潤滑剤としてニュートン流体を設定することが多かった。しかし、潤滑剤には温度粘度特性の改善のために高分子重合化合物が添加されているものも多く、非ニュートン流体としてのレオロジー挙動が現れる場合がある。このため、特に粘弾性特性を考慮した解析が必要となる。

また、これまで粘弾性流体による潤滑に関してはジャーナル軸受けのやスクイズ膜潤滑のなどが研究されてきているが、これらは潤滑面が円筒面や平面などの比較的単純な形状を持つ場合であった。一方、高分子材料のように柔らかい潤滑面を持つ場合では面の変形が容易に起き、面に凹凸が生じた場合の潤滑性能も重要となる。これに類似する興味深い例としては、生体関節において変形しやすい軟骨の潤滑面と粘弾性特性を有する関節液で生じる高い潤滑性能が挙げられる^①。

本研究は、面に凹凸のあるような潤滑場での粘弾性流体の挙動を明らかにすることを目的とする。本報ではその一例として、隆起部を有する面上を平面が一定速度で滑る場合の、二面間の流動を数値的に解析した結果について述べる。また計算に用いる粘弾性流体の構成方程式としては種々考えられるが、本報ではまず従来から比較的良く用いられているSecond order モデルにより数値解析した。

2. 計 算

2.1 流動場と計算条件 解析領域の概略図を図1に示す。二次元の平行平板の下面部に円筒状の隆起部を設け、その間の流れを解析する。ここで上面は一定速度 U で x 方向に移動し、下面は固定されている。平行部での二面の間隔を H 、隆起部の高さを h とする。上流と下流の解析領域は隆起部の存在による流れの攪乱の影響が及ばない位置まで設定した。本報では隆起部を高さ1で、長さ10とし、 x 方向の寸法割合を図1の様に定めたときの、 H が2および1.5の場合の結果について示す。

なお、計算では速度分布の条件として上流端で直線的

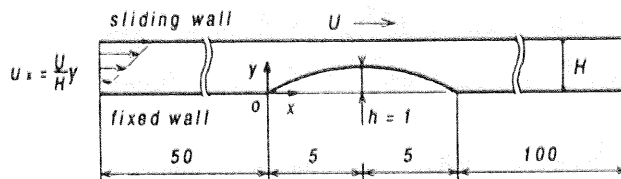


Fig.1 Schematic Diagram of Flow Field

な速度分布を仮定した。

2.2 計算法 計算にはFluid dynamics international社の有限要素法による流体解析ソフト「FIDAP」を用い、非線形計算はNewton-Raphson法に従った。解析領域の要素分割は四角形9節点メッシュで行い全要素数は512とした。なお、Second order モデルは次式で表される。

$$\begin{cases} \tau = \mu \nabla u - \frac{1}{2} \psi_1 \dot{\gamma}_{(0)} + \psi_2 (\dot{\gamma} \cdot \dot{\gamma}) \\ \dot{\gamma}_{(0)} = \frac{D}{Dt} \dot{\gamma} - \{ (\nabla u)' \cdot \dot{\gamma} + \dot{\gamma} \cdot (\nabla u) \} \end{cases}$$

ここで $\dot{\gamma}$ は歪速度テンソル、 ψ_1 、 ψ_2 はそれぞれ第一、第二法線応力差係数を表している。ここでは、 ψ_2 を零とし、 ψ_1 の影響を調べた結果について報告する。なお、本報中に現れる無次元パラメータはレイノルズ数とワイゼンベルグ数であり、各々以下のように定義した。

$$Re = \frac{\rho H U}{\mu}, \quad We = \frac{\psi_1 \cdot U}{2\mu \cdot H}$$

3. 結 果

図2～4に移動壁面上の x 方向の圧力の変化を示す。横軸は無次元化された x 座標であり、図中の縦線は隆起部の始まりと終わりを表す。また、縦軸の圧力は上流での壁面せん断応力で無次元化されており、下流端での圧力を零として示してある。図2は平行部のすきまが隆起部高さの2倍のときの、 We 数による圧力変化への影響を表している。上流で一定値であった圧力は隆起部で最低値を示し、その後ある程度回復する。隆起部から十分離れた点での上流側と下流側の圧力差は We 数の増加とともに大きくなることわかる。また、下流側の圧力を基準にとれば、ニュートン流体の方が粘弾性流体の場合より

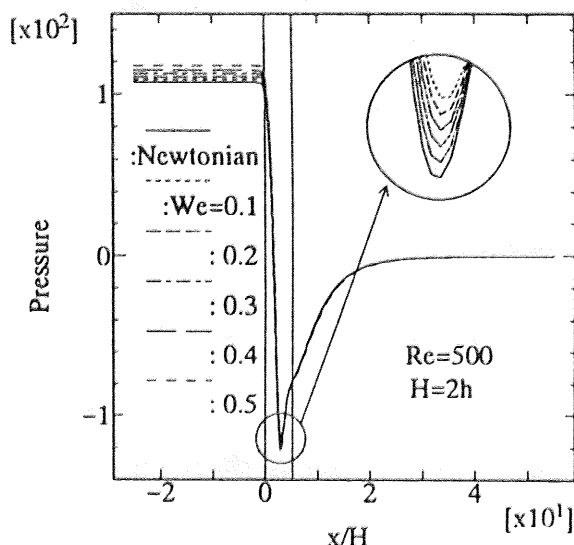


Fig.2 Pressure Profiles on the Sliding Wall
($H=2h$, $Re=500$)

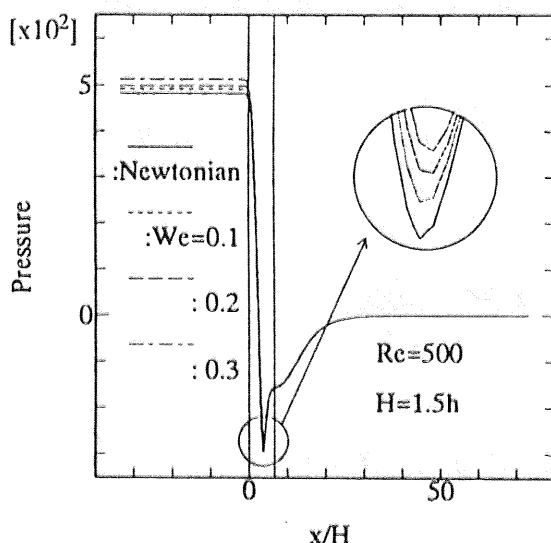


Fig.3 Pressure Profiles on the Sliding Wall
($H=1.5h$, $Re=500$)

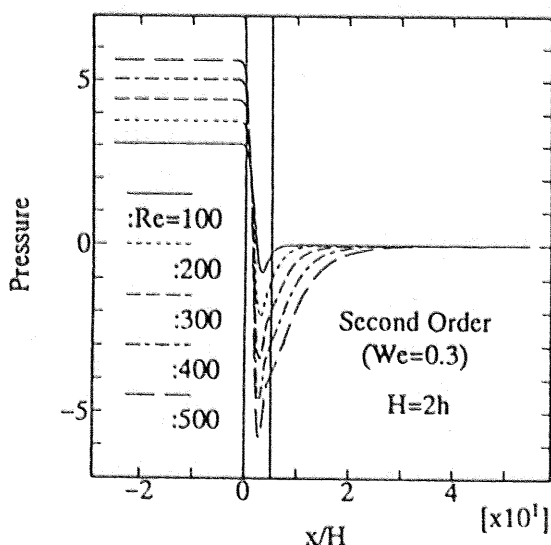


Fig.4 Pressure Profiles on the Sliding Wall
($H=2h$, $We=0.3$)

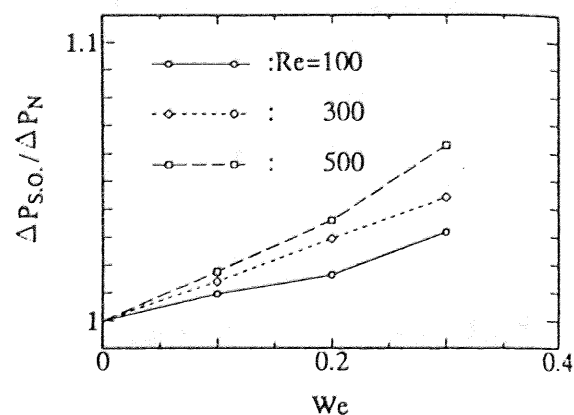


Fig.5 Effect of Viscoelasticity on the Pressure Drop

圧力の最低値が低くなっている。図3は隆起部におけるすきまが図2の例の半分になった場合であるが、圧力の変化に関しては図2と同様の結果が得られた。ここでは示さないが、この例では隆起部下流に渦が生じており、それに付随して圧力の回復曲線にも肩が明確に現れている。なお、図の圧力の変化と同様に、隆起部後方では We 数による速度場への影響はほとんどみられなかった。図4にレイノルズ数による圧力変化への影響を示す。レイノルズ数の減少とともに隆起部での局所的な圧力の変化は小さくなり、さらにレイノルズ数が小さい場合には明確な極小値がみられないステップ状の圧力降下を示す。図5はSecond order 流体における隆起部から十分離れた上流と下流の圧力差を、同じ条件のニュートン流体における圧力差で割った値を We 数に対して整理した結果である。 We 数の増加とともに圧力差がニュートン流体の場合より大きくなり、その傾向はレイノルズ数が大きい方が顕著である。すなわち、隆起部下流の圧力を基準にした場合、粘弾性流体の方が上流側で高い圧力が生じ、潤滑における面の接近を妨げる効果があることがわかる。

4. 結 言

隆起部を有する潤滑流れをSecond order モデルを用いて計算した結果、以下の結論を得た。

- (1) 隆起部下流の圧力を基準とした場合、隆起部上流で生じる圧力は、ニュートン流体に比べ粘弾性流体の方が大きくなる。この傾向は Re 数、 We 数の増加とともにより明確になる。
- (2) 隆起部で生じる圧力の最低値はニュートン流体の方が粘弾性流体よりも低くなる。

参考文献

- (1) Harnoy, A., Trans. ASME, J. Lubr. Tech., 100 (1978), 287.
- (2) 鳴海・長谷川・山根, 機論, 58-556, B (1992), 3522.
- (3) Mou, V.C. and Lai, W.M., Ann. Rev. Fluid Mech., 11 (1979), 247.