

学 * 細川 喜弘

(新潟大[院])

正 嶋海 敬倫

(新潟大工)

正 長谷川 富市

(新潟大工)

1. 緒言

粘弾性流体に関するスクイズ流れの研究は多くなされておられ、構成方程式の検討がいくつか報告されている¹⁾。しかし、潤滑の場でみられる引き離されるスクイズ運動に関する研究は少ない²⁾。そこで本研究ではこの逆スクイズ流れに対する基礎的データを与えることを目的として、球面-平面間に流体を満たし二面が接触した状態から引き離される現象を検討した。特に弾性の影響を見るためニュートン粘性を示す希薄高分子溶液を用い実験を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図1に示す。実験に用いた平面は直径40mmの光学ガラス平板Aで図のように液槽Cと一体となっている。球面は曲率半径R=2.00m, 1.96mの凸レンズBを用いており、シャフトを介してバネFに接続されている。バネの長さは上部のステッピングリニアモーターGおよび変位計Dにより精密に設定される。シャフトはスラスト軸受けEにより支持されており、運動開始前は改造した精密天秤を用いたストッパーHにより下方向に押され固定されている。実験時の球面の変位および平面に伝達される荷重を測定するために変位計DとロードセルIが図の位置に取り付けられており、これらは何れもパーソナルコンピュータに接続されている。

実験では、まず二面が中心で接するように調節し、ストッパーで確実に接触させる。つぎに運動開始前は下方向に約0.5N、ストッパー切り離し後は所定の上方向の引き離し荷重(約0.3~1.2N)が加わるようにバネの長さとストッパーの押し付け荷重を調節し充分安定させる。その後ストッパー切り離しにより運動を開始させ、変位および伝達荷重を測定する。なお、変位計の分解能以下の運動初期の変位は装置下方から照射されたHe-Neレーザー光により二面間に生ずる光学干渉縞(Newton's ring)の動きを高速カメラにより撮影しその像を解析することにより求めた。

実験には弾性のない流体として蒸留水(0.957mPa·s)、グリセリン14%(1.41mPa·s)、30%(2.33mPa·s)水溶液(重量濃度)を用いた。また、粘弾性流体としては水溶性高分子 Poly-ethylene oxide (PEO-18)の100ppm(1.16mPa·s)、200ppm(1.37mPa·s)水溶液(重量濃度)を用いた。実験はいずれの場合も 21±1℃の範

囲で行われ、この条件下ではどの溶液もニュートン粘性(上記括弧内)を示す。

3. 実験結果および考察

まず、スクイズ流れにおける弾性のない流体に対する解析を行い実験値との比較を行う。図2のように各量を定義する。この場合のレイノルズ方程式は、

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(h^3 r \frac{\partial p}{\partial r} \right) = 12\eta \frac{\partial h}{\partial t} = 12h_0 \dot{h} \quad (1)$$

となる。r=aでp=0となるように p = k/h² - k/(h₀+h_a)² と仮定すると式(1)から、

$$p = -3\eta R h_0 \left[\frac{1}{h^2} - \frac{1}{(h+h_a)^2} \right] \quad (2)$$

となる。この圧力を積分した力と引き離し荷重Fのつりあいより

$$\frac{2h_a^2 F}{3\pi\eta a^4} t = \frac{h_a}{h_0+h_a} + \log \left(\frac{h_0}{h_0+h_a} \right) + C \quad (3)$$

球と平面が接触している時の平均隙間 h_■ (= h_a/2) を用いて t = t_■ のとき h₀ = h_■ とすると

$$\frac{8h_{\blacksquare}^2 F}{3\pi\eta a^4} (t - t_{\blacksquare}) = \frac{2h_{\blacksquare}}{h_0+2h_{\blacksquare}} + \log \left(\frac{3h_0}{h_0+2h_{\blacksquare}} \right) - \frac{2}{3} \quad (4)$$

となる。この式(4)を用いて実験値を検討する。

運動開始からの時間tとその時の中心変位h₀の関係の一例を図3(a)、(b)に示す。図中白丸は変位計、黒丸は干渉縞による測定値である。なお、この測定時間内では伝達荷重は引き離し荷重と等しくほぼ一定の値を示す。実験は式(4)を表し、実験値と理論値は h₀ = h_■ (図中矢印)で一致させてある。グ

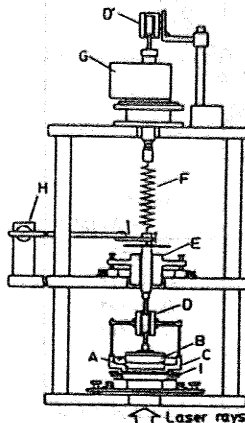
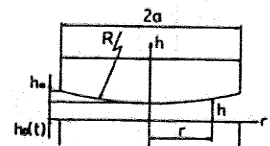


図1 装置概略



$$h_a = \frac{a^2}{2R}$$

$$h = h_0(t) + \frac{r^2}{2R}$$

$$h_0 = \frac{dh_0}{dt}$$

図2 諸元

リセリン14% [図3 (a)] では h_0 の測定値が $0.1 \mu\text{m}$ 付近から理論値と一致しているのがわかる。変位計による測定値が $1 \mu\text{m}$ 以下でずれているのは変位計の分解能の限界付近で測定しているための誤差と考えられる。これに対しPEO 200ppm [図3 (b)] では粘度はグリセリン14%とほぼ同じであるのに測定値と理論値は一致せず $h_0 = h_{\text{th}}$ で交差している。また、運動全体に要する時間もPEO 200ppmの方が長くなっている。この違いを定量的に把握するため具体的に変位が $0.2 \mu\text{m}$ から $1 \mu\text{m}$ までと $5 \mu\text{m}$ から $50 \mu\text{m}$ ($= h_{\text{th}}$) までに要する時間 Δt を検討してみた。この値を式(4)から求められる理論時間 Δt_{th} で割った値を引き離し荷重 F に対して示したものが図4 (a)、(b)である。どちらの図も蒸留水、グリセリン水溶液はその値がほぼ1となっており荷重、粘度によらず理論値と一致していることがわかる。これに対しPEO水溶液は特に変位が小さい範囲 [図4 (a)] で理論値より大きな値を示しており、また温度による違いが表れている。しかし、変位の大きい範囲 [図4 (b)] ではその違いは少なくなっている。このことから流体の弾性的特性は引き離し運動を遅くする方向に働き、その影響は運動初期の変位の微小範囲で強く現れることがわかる。

つぎに理論値と一致しない運動開始直後の部分も含む全体の時間を検討してみる。運動開始から変位が $50 \mu\text{m}$ ($= h_{\text{th}}$) までに要する時間を式(3)の左辺で示される形の無次元量 $t^* = [(2h_a^2 F / 3\pi \eta a^4) t]$ にしたものを引き離し荷重に対して示したものが図5である。若干のばらつきはみられるがどの溶液に対しても図4 (a)と同じ傾向がみられる。これからこの接触状態からの運動も式(3)から導出される t^* で

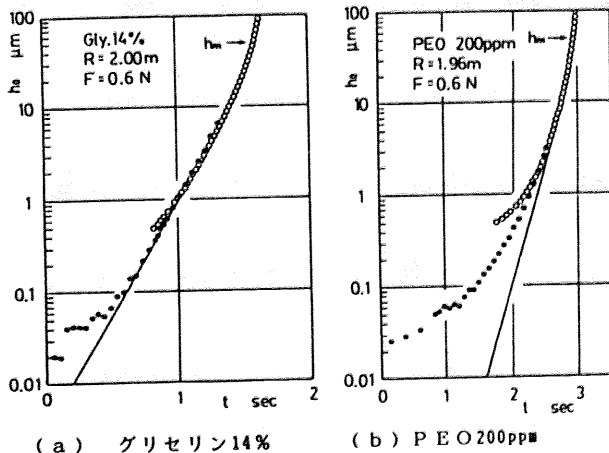


図3 変位の時間変化

特徴付けられることがわかる。

4. 結言

逆スクイズ流れに関する以上の実験を行った結果つぎの事が明らかになった。

PEO水溶液の持つ弾性的特性は逆スクイズ流れの場合に対して運動を遅くする方向に働き、特に接触状態から微小変位までの運動初期に与える影響が大きい。

終わりに 卒業研究として本研究に協力していただいた山科 昌之氏、菊地 学氏、寺井 豊氏に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) Brindley, G., ほか, J. Non-Newtonian Fluid Mech., 1 (1976), 19. 他.
- (2) Avila, F. and Binding D.M., J. Non-Newtonian Fluid Mech., 11 (1982), 111.

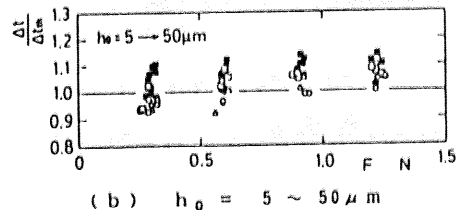
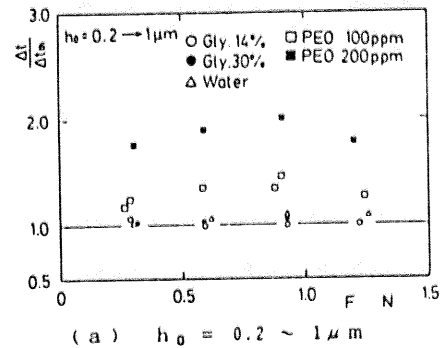


図4 運動時間の理論値との比較

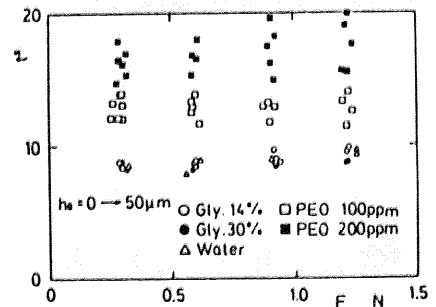


図5 運動開始から h_{th} までの無次元時間