

学生* 加藤 亨 (新潟大)
星 幸志 (新潟大)

正 長谷川 富市 (新潟大)
正 鳴海 敬倫 (新潟大)
近野 正昭 (新潟大)

1. 緒言

近年、非ニュートン流体、特に工業工多使用されている粘弾性流体の力学的挙動を解析する必要性がとみに高まっている。流れの問題を定量的に把握するにはレオロジー方程式における種々の定数を実験的に求める必要がある。その意味で粘弾性流体の第1法線応力差を測定することは重要なことである。

従来、粘弾性流体の第1法線応力差の測定には、Weissenberg効果(せん断流れにおける法線応力効果)を応用した円錐-平板型レオゴニオメータが主に用いられている。しかし、従来の円錐-平板型レオゴニオメータでは、高回転時に慣性力の影響により半径方向の2次流れが発生するため、工学的に重要である高せん断速度域における測定は困難であった。

そこで本研究では、従来2°~4°であった円錐-平板間のすきま角αを0.3°にすることにより、回転数を上げずに高せん断速度領域における第1法線応力差を測定することをわらとし、この方法により従来値が小さすぎて測定不可能であった希薄高分子溶液の第1法線応力差を高せん断速度域で測定することを試みる。

2. 実験装置

図1は実験装置の概要である。原動機③から減速機②を通りVベルトを介して主軸⑦に回転が伝わり、円錐④が回転する。この原動機は無段階に変速が可能で、円錐回転数で0~24rpm程度の範囲が実現できる。円錐④のまわりは試料流体を入れるプール⑤が取り付けられている。法線応力を受ける平板③は、電子天びん①に点接触しているやじろべえにナイロン糸で接続されている。なお、平板は試料流体の浮力および表面張力の影響を極力取り除くために試料流体の中に完全に沈んだ状態とする。また、⑥のマグネットスタンドで試料流体の粘性によって平板に加わるトルクを打ち消している。

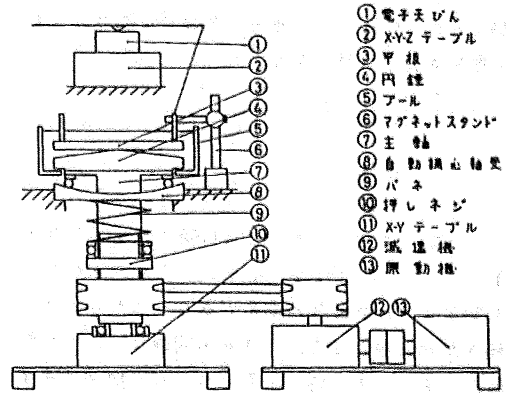
3. 実験結果および考察

3-1 円錐-平板間のすきまと推力との関係

この装置によって計測される推力には法線応力による推力の他に、慣性力による推力F_iも含まれており、その値は次の理論式により与えられている。⁽¹⁾

$$-F_i = \frac{1}{12} \pi \rho \omega^2 R^4 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

ここにρは液体密度、ω、Rはそれぞれ円錐回転速度と円錐半径である。したがって測定値からこのF_iを差



- ① 電子天びん
- ② XYZテーブル
- ③ 円錐
- ④ 円錐
- ⑤ プール
- ⑥ マグネットスタンド
- ⑦ 主軸
- ⑧ 自動調心軸受
- ⑨ バネ
- ⑩ 押しネジ
- ⑪ XYZテーブル
- ⑫ 減速機
- ⑬ 原動機

図1

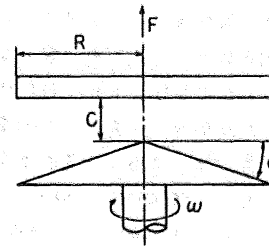


図2

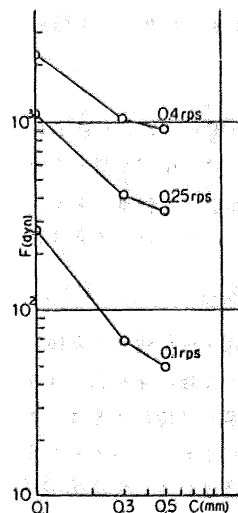


図3 PEO 1000 ppm

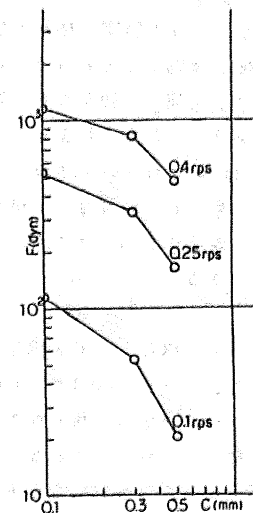


図4 PEO 500 ppm

し引くことにより法線応力による推力Fが求められる。もし、円錐と平板とのすきまが零であれば、第1法線応力差 N_1 はFを用いて次の式で求められる。⁽²⁾

$$N_1 = \frac{2F}{\pi R^2} \quad (2)$$

しかし本実験装置は円錐上に平板を微小間隔0.1~0.5 mmで静止させた状態により推力を測定しており、この場合の関係式は次の様になる。⁽²⁾

$$N_2 = \left[\frac{-F}{\pi R^2} (2+m) + N_1 \right] \frac{\Omega}{\Omega - K_R \tan \alpha} \quad (3)$$

$$\text{ただし } m = -\frac{\partial \ln F}{\partial \ln C} \quad (4)$$

ここに N_2 は第2法線応力差、Cは円錐先端と平板間のすきま(0.1~0.5 mm)である。そこでまずFとCとの関係を測定したのが図3~図8であり、これらのグラフの傾きがmに相当する。いずれの溶液についても円錐回転数の違いによる傾きの差はほとんど認められず、ここでは回転数を考慮する必要はない。SEPARAN 500 ppm、100 ppm、PEO 100 ppmにおいては、 $m \approx 0$ であり、FはCにほぼ無関係なので(2)式より第1法線応力差が求まり、(3)式右辺大が、こ内は零となるので、 $N_2 = 0$ と考えることができる。しかしPEO 1000 ppm、500 ppmでは明らかに $m \neq 0$ であり、 N_2 は零にはならないため、この装置で第1法線応力差を測定することは不可能である。なお、SEPARAN 1000 ppmでは値が一直線上に並ばないのは、SEPARAN 1000 ppmの大きい推力によりCがわずかに変化するため、 $C=0.1$ においても実際はそれ以上大きくなっているものと考えられ、その影響が出てしま、たものと思われる。これらのCの変化による影響を極力少なくすることがこの実験の今後の課題となるであろう。

3-2 第1法線応力差の測定

図9は、前節の結果からCの影響が小さいと思われるSEPARAN 500 ppmを用いて $\alpha = 3^\circ$ 、 0.3° で第1法線応力差とせん断速度との関係を測定した結果である。せん断速度 $\dot{\gamma}$ はすきま角 α が小さい時、以下の式で近似できる。

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega}{\alpha} \quad (5)$$

$\alpha = 3^\circ$ の場合、 0.3° の場合とも傾き1.5程度の直線となる。しかし、(5)式からも明らか様に α が $\frac{1}{10}$ となるとせん断速度は10倍となるが、第1法線応力差はこの実験では、多少大きくなってはいるもののほとんど変わらない。すなわち同じせん断速度においては $\alpha = 0.3^\circ$ の第1法線応力差は $\alpha = 3^\circ$ のその約 $\frac{1}{10}$ になってしまう。これは他の溶液についても同様の結果が得られており、どの様な原因によるものであるかは、現段階で

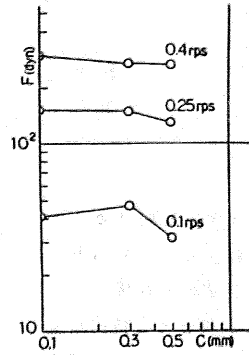


図5 PEO 100 ppm

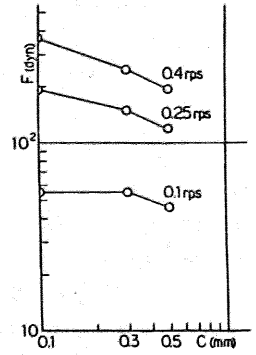


図6 SEPARAN 100 ppm

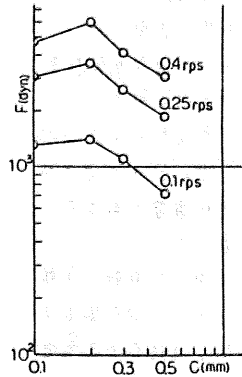


図7 SEPARAN 1000 ppm

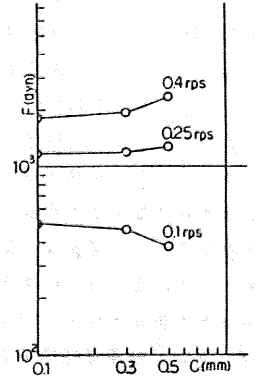


図8 SEPARAN 500 ppm

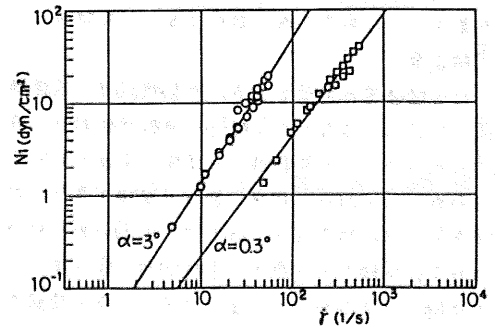


図9

は不明であり今後検討したいと考えている。

文献

- [1] P-J. Klijn, J. Ellenberger, and J.M.H. Fortuin, Shear stress and normal stress measurements of aqueous polymer solutions in a cone-and-plate rheogoniometer, (1978)
- [2] William R. Schowalter, MECHANICS OF NON-NEWTONIAN FLUIDS, Pergamon press (1978) 109