

要旨

学生員 齋藤 秀俊 (新潟大 [院])

正員 長谷川富市 (新潟大工)

学生員 中村 仁志 (新潟大)

准員 福富 清 (新潟大 [院])

1. 緒言

近年希薄高分子溶液に関する研究が広く行われている。しかし、その溶媒として使用される水の流動解析、特に伸張性の流れはあまり研究がなされておらず、水溶液については水の特性を考慮することが必要と考えられ、そのため、水の第1法線応力差を測定することは工学および学術的に非常に重要である。本研究では、長谷川<sup>1)</sup>による実験結果をさらに確実なものとするため、既報の実験装置において問題となっていた比較的高い圧力下での測定におけるビニールチューブのねじれによる測定原点の変化をなくすためリザーバ、ビニールチューブおよびオーバーフロータンクを一体化し、ビニールチューブのねじれによる影響を排除し、水の第1法線応力差を求め、また、既報<sup>1)</sup>の実験装置による実験結果との比較検討を行った。

2. 実験装置および測定原理

実験装置の概略は、細管から噴出するジェットの流れを鋼線のねじれ角に変換し、鏡、スケールを利用した光学でこで、ねじれ角を拡大し、望遠鏡で読み取るというものであり、図1にその全体図を示す。従来の

実験装置はリザーバの下側にビニールチューブを取り付けて流体を供給し、ビニールチューブはベースに固定されていたため鋼線のねじれとともにビニールチューブもわずかにねじれ、比較的高い圧力をかけた場合測定原点が変化し測定値の精度に少なからず影響を及ぼすという問題があった。本実験では、その問題を解消するため、リザーバ、ビニールチューブ(2)およびオーバーフロータンクをアルミニウムパイプの支柱を用いて一体化し、リザーバの上側から流体を供給できるように改良した。この装置は、検定実験においては測定原点のずれはほとんどなく、測定精度は向上した。なお、長谷川の装置では流量調整をヘッドタンクの下によって行ったが、本実験装置ではビニールチューブ(2)の中央部に取り付けられた簡易バルブの開度調整により行った。測定原理は以下に示す。リザーバに細管を取り付け、流体が広い容器の中にジェットとして流出する場合を考え、管内および管出口ではポアズイユ流と考えられる<sup>2)</sup>。図2の破線のように検査面をとり、Z方向の運動量変化を考えると、

$$\int_0^R S_{zz} 2\pi r dr = T - T_H \quad (1)$$

を得る。ただし、

- T : 流出する流体の運動量  
 $= 2\pi\rho \int_0^R v^2 r dr = \frac{\rho\pi V^2 D^3}{3}$
- T<sub>H</sub> : ジェット反力
- R : 管半径
- D : 管内径 = 2R
- r : 任意半径
- v : 流速
- ρ : 流体密度
- V : 平均流速
- S<sub>zz</sub> : 管出口のZ方向における法線応力

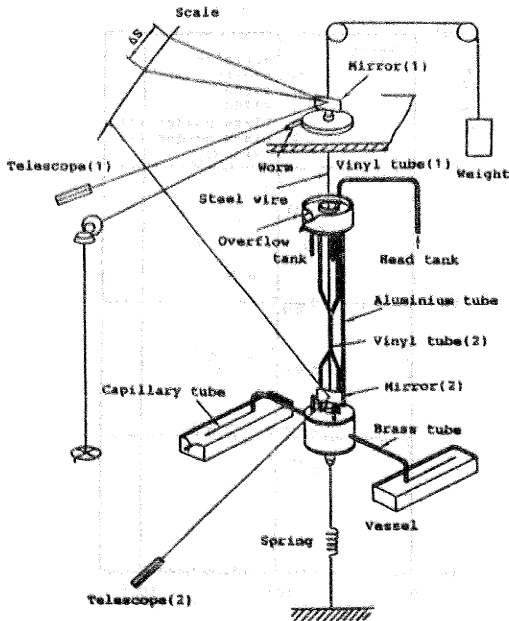


図1 実験装置

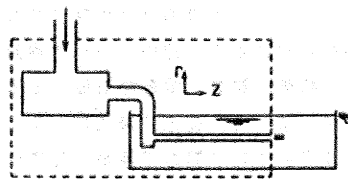


図2 ジェット噴出部 (破線は検査面を示す)

流体がニュートン粘性を示す場合、せん断応力 $\tau_{rz}$ は、

$$\tau_{rz} = \mu \frac{dv}{dr}$$

が成立し、ポアズイユ流の速度分布は

$$v = 2V \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

であるから、壁面におけるせん断応力 $\tau_w = (\tau_{rz})_{r=R}$ は式(2)を満たす、

$$\tau_w = -\mu \frac{8V}{D} \quad (2)$$

ただし、添え字wは壁面における値を示す、式(1)は $\tau_w$ で微分することにより次式を得る、

$$(S_{zz})_w = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ 2(T - T_M) + \tau_w \frac{d(T - T_M)}{d\tau_w} \right] \quad (3)$$

式(2)を式(3)に代入すると

$$(S_{zz})_w = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ 2 + d \log(T - T_M) / d \log \frac{8V}{D} \right] \times (T - T_M) \quad (4)$$

となる。ここで、長谷川によれば、 $(S_{zz})_w$ は第1法線応力差 $(\tau_{zz} - \tau_{rr})_w$ に等しく<sup>(1)</sup>、反力 $T_M$ を測定し、流量から平均流速 $V$ および運動量 $T$ を求めることにより第1法線応力差 $(\tau_{zz} - \tau_{rr})_w$ を見いだすことができる。

### 3. 実験結果および考察

図3に測定結果を示す。斜線部は長谷川によって得られた結果である。図3より水の第1法線応力差は、ひずみ速度に対して測定範囲内でほぼ整理されることがわかる。また、長谷川による結果とも良く一致している。しかし一般には、ジェットスラスト法による第1法線応力差の測定結果は他の測定装置、例えばワイ

センベルクレオゴニオメータよりも高い測定値になると言われている。ここで測定装置の違いによる測定値の比較をしてみると、例えばDaviesら<sup>(2)</sup>は比較的高濃度(1~2%)の高分子溶液の第1法線応力差をジェットスラスト法およびトーションレオメータによって測定し、ジェットスラスト法による測定値はレオメータよりも高い数値を示す傾向があることを報告している。それによれば、ひずみ速度 $\dot{\gamma}_w = 10^4 (\text{s}^{-1})$ に対し、ジェットスラスト法では第1法線応力差 $(\tau_{zz} - \tau_{rr})_w = 10^4 (\text{Pa})$ 程度、レオメータの場合では $4 \times 10^3 (\text{Pa})$ 程度であり、レオメータはジェットスラスト法の約40%の値を示している。このことより、本研究での実験結果と比較してみると、図3より $\dot{\gamma}_w = 10^4 (\text{s}^{-1})$ では $(\tau_{zz} - \tau_{rr})_w = 10^2 (\text{Pa})$ であるから、レオメータによっても水の第1法線応力差は40(Pa)程度の値が測定される可能性がある。従って、本実験での測定値が単純に測定誤差であるとは言えないと思われる。

以上の検討から、本研究において得られた水の第1法線応力差は小さい値ではなく、ニュートン流体と言われる水について、細管出口における流れのような伸張性の流れでは、必ずしもニュートンの粘性則が成り立つとは限らない特別な場合があることを示していると思われる。実際ニュートン流体は応力とひずみ速度との間に常に線形関係が成り立つ理想化された流体であり、ひずみ速度のあまり大きくない範囲においてのみ実在流体の良い近似になっている<sup>(3)</sup>。しかし、その理論の検証も多くの場合粘度測定流れのようなせん断流について行われているため、粘性以外の物性が関与しなければならぬ流動条件、例えば、小孔流入や流出流等では上記以外の性質を示す可能性は大きい。この点については更に詳しい研究が成されるべきであり、今後のこの分野の研究の発展を期待したい。

### 文献

- (1) 長谷川富市, 機論, 44-381, (昭53-5), 1606.
- (2) Goulden, D.C. and McSparran, W.C.,  
J. Non-Newtonian Fluid Mech., 1(1976), 183.
- (3) Davies, J.M., Hutton, J.F. and Walters, K.,  
J. Non-Newtonian Fluid Mech., 3(1977/1978),  
141-160.
- (4) 龔 友正, 流体力学, (昭57), 38, 培風館.

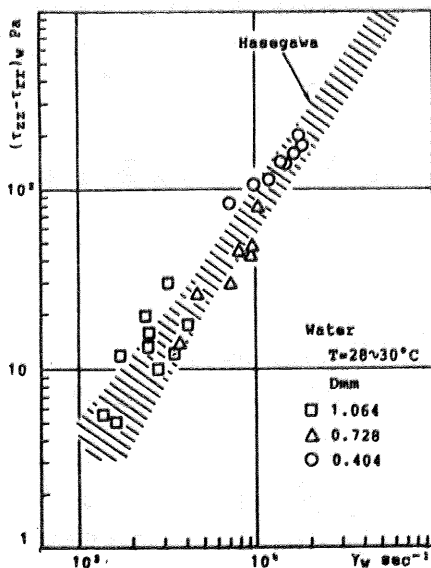


図3 水の第1法線応力差