

希薄高分子溶液の伸長流に関する研究
(オリフィス前後の圧力差及び流脈について)

正 長谷川 富市 (新潟大) 学 嶋海 敬倫 (新潟大院)
丸山 敏弘 (新潟大)

1. 緒言

高分子溶液が、乱流抵抗減少などの特異な現象を示す事は、よく知られている。そして、これらの現象の多くは、単純なせん断流のみでは、説明がつかず、特に伸長流に関する研究が必要であると言われている。⁽¹⁾そこで、本研究では、伸長流の場合として、管内オリフィスを用い、オリフィス前後の圧力差およびその流脈を水による結果と比較・検討する事により、高分子溶液の持つ性質を解明する事を、目的としている。特に本報告では、オリフィス前後の圧力変化およびオリフィス下流側の流体の挙動に関する実験結果について述べる事にする。

2. 実験装置および実験方法

装置全体図を図1に示す。測定部は、全長120cm、内径(D)30mmのアクリル製パイプで作られており、上流・中央・下流部の3つの部分から、構成されている。それらは、図2に示されている装置を連結・シールドされて、鉛直に取り付けられている。なお、この連結部は、アクリル板で作られており、流脈観察の際に、レンズ効果を防ぐための水槽の役割も兼ねている。オリフィスは、厚さ0.4mmのビニール板で作られており、中央部のパイプの図の位置に接着・固定されて、パイプと一体構造になっている。実験には、オリフィス径 $d_0 = 1.01 \cdot 2.06 \cdot 3.00$ mmの3種類を用いた。圧力孔(0.8mm)は、オリフィス前後に数ヶ所あけられており、図のようなパイプを介して、マノメータに通じている。上流部のパイプには、外径3mmのしんちゅうパイプが取り付けられており、その3ヶ所から染料を流出するようになっている。全体の流量は、ヘッドタンク側を一定に保ち、鉄柱に磁石で取り付け、出口パイプを上下する事により調節した。染料の量も同様に、刻数顕微鏡に取り付けた容器を、上下して調節した。流脈観察は、写真撮影しその後比較・測定した。なお、更に下流の流脈を観察する場合は、もう1つの水槽を設けた。

実験に使用した流体は、水およびSeparan AP30の200ppm水溶液(図中にはSEP.200と略記する)で、染料としては、市販の墨汁を同溶液で数%に薄めたものを用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 圧力変化について

オリフィスの上流側から下流側への圧力変化は、パイプの径に比べて、オリフィス径が充分小さいの

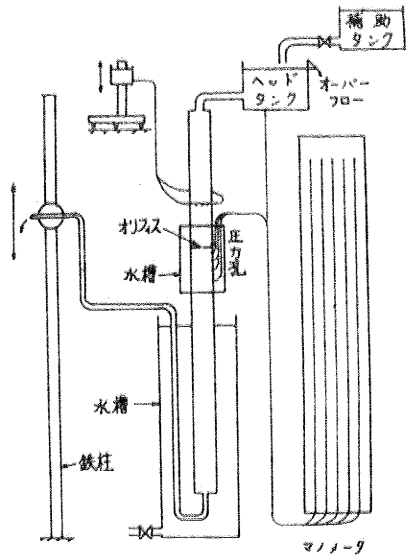


図1 装置全体図

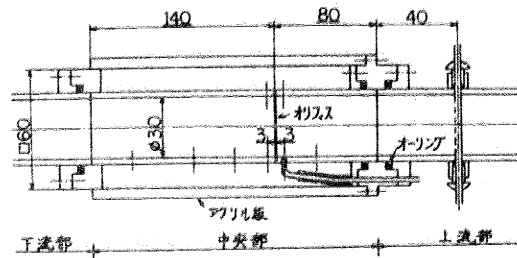


図2 測定部詳細図

で、水、Separan水溶液ともに、オリフィス位置で下降するステップ状であった。そのオリフィス前後の圧力差を整理したものが図3・4である。図中には、水の結果を従来の値と比較するため、水力学から得られる次式の値も同時に示してある(図中、実線)

$$Q = C_d F \sqrt{2g \Delta h}$$

ここで、 Q :流量, C_d :流量係数, F :オリフィス面積, g :重力加速度, Δh :圧力差(水頭)である。この式は、直接管オリフィスを扱ったものではないが、今回の実験では、オリフィスと管の面積比が充分小さいので、適用すると思われる。

その結果、オリフィス径2.06, 3.00 mm(図4)の場合、従来の $C_d = 0.62$ とした薄刃オリフィスの値と一致した。一オ、オリフィス径1.01 mmに對しては、オリフィス板の厚さ(0.4 mm)が影響してくるため、 C_d を0.67と補正する必要があったが、これにより実験値とほぼ一致した。次に、水とSeparan水溶液の値を比較する。オリフィス径1.01 mmでは、水よりSeparan水溶液の圧力差の方が大きくなったのに対し、(図3)オリフィス径2.06, 3.00 mmでは、逆の傾向を示している。(図4)このことは、同じ溶液でも、オリフィス径などにより、水との圧力差の大小が反転する事を意味している。これと同様の現象は、筆者の⁽²⁾人が以前にPEO溶液について行った実験結果においても見られている。(ただし、この場合、管内オリフィスではなく下流側は開放されたオリフィスでの結果である)しかし、現在の所、オリフィス径、溶液濃度などの詳しい関係は、未められていない。

3.2 流脈観察について

水の場合、よく知られているように、上流部に渦は出来ず、オリフィス後のジェットはオリフィス通過時とほぼ同じ径のまま流れる(図5-a)そして、流量の増加に従って、下流側から乱れを生じ、ジェットの長さは、次第に短くなる。(図5-b)一オ、Separan水溶液の場合には、上流側にはほぼ流量の全範囲で渦が存在し、その渦は、流量の少ない場合安定であるが、流量の増加と共に、周期的な、更には、不規則なゆれを生じはじめる。下流側のジェットは、上流側に対応して、渦の安定な場合、オリフィス直後から除々に、そして、ある位置で急に広がり、上流側の幅とほぼ等しくなる。(図6-a, 図7)渦が不安定な場合には、上流側のゆれに対応したジェットのゆれがみられ、やはりある位置で、急激に広がる(図6-b.c)。下流側のこれらの現象は、上流側で受けたひずみが、溶液の持つ弾性的性質により、回復するために生じるものと考えられる。これに関連して、細管から溶液や融液を流出した場合のジェットのふくらみ(Barus効果)は、従来から

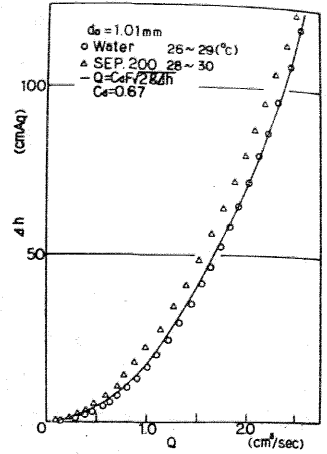


図3 圧力差 - 流量

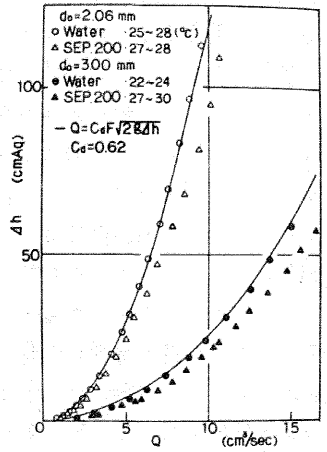


図4 圧力差 - 流量

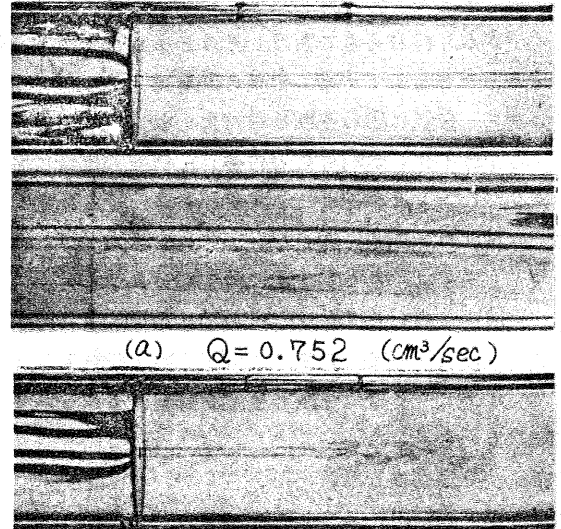
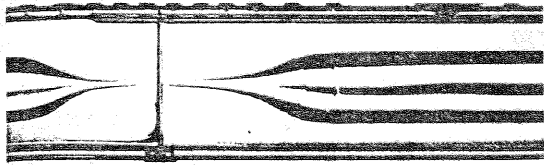
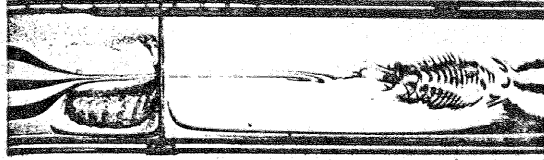


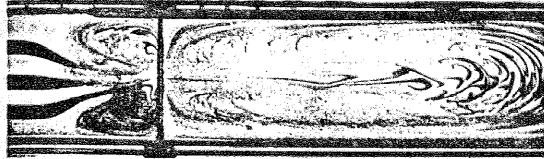
図5 水の流脈 ($d_0 = 1.01$ mm)



(a) $Q = 0.218 \text{ (cm}^3/\text{sec)}$

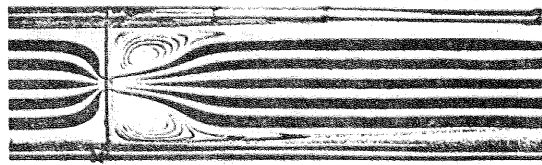


(b) $Q = 0.392 \text{ (cm}^3/\text{sec)}$

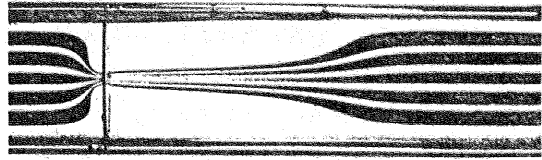


(c) $Q = 0.474 \text{ (cm}^3/\text{sec)}$

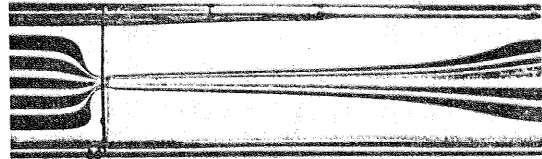
図 6 Separan 200ppm の流脈 ($d_o = 1.01 \text{ mm}$)



(a) $Q = 0.338 \text{ (cm}^3/\text{sec)}$



(b) $Q = 0.813 \text{ (cm}^3/\text{sec)}$



(c) $Q = 1.21 \text{ (cm}^3/\text{sec)}$

図 7 Separan 200ppm の流脈 (安定) ($d_o = 3.00 \text{ mm}$)

比較的稳定な溶液についてよく知られており、また、ジェットを水中に流出した実験によって、細管出口から、ある距離をおいてジェットがふくらむ現象もみられているが、同様のことが、このような希薄な溶液についてもかなり顕著に現われる事は興味深く思われる。

この現象を系統的に調べるために、槽の安定した領域において、オリフィスから、下流側の流脈が一定した所の幅(d)の95%の幅になった位置までの距離(L)を測定し、(図8)オリフィスにおける平均流速(\bar{u})で整理してみた。その結果を図9に示す。これからわかるように、オリフィス径による違いはあるが、この距離(L)は、平均流速にほぼ比例する。すなわち、時間の次元を持つ値と仮定し、オリフィスによりほぼ一定になる。この事実は、この現象が簡単な例としてはフォークトモデルなどにあらわれる遅延時間に関係するようなある時間の定数によって整理される事を予想させる。

4. 結言

今回の実験で次のような事がわかった。

1. オリフィス前後の圧力差を、Separan水溶液と水の場合を比較すると、オリフィス径により、大小関係が反転する。
2. Separan水溶液のオリフィス流出後のジェットは、ひずみの回復現象を示し、それは時間の定数で整理される。

今後は、これらの現象の更に詳しい研究及び解析をする予定である。

文献 (1) D.L. Hurston and R.Y. Ting, Trans. Soc. Rheol. 19 (1975), 115

(2) 長谷川, 機論, 11月号掲載予定

(3) Y. Tomita et al., J. Non-Newtonian Fluid Mech, 5 (1979), 497

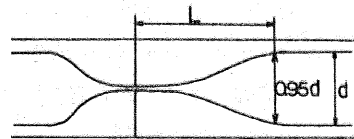


図 8

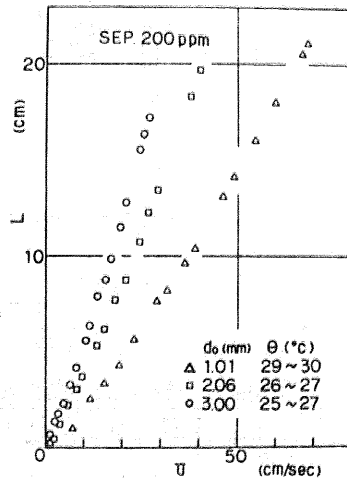


図 9 写真測定の結果 ($L - \bar{u}$)