分岐による高分子水溶液のエネルギー損失

Energy Losses of Polymer Aqueous Solutions In Pipe Junctions

正 後藤 清治 (都立大)
佐藤 大輔 (東京電力)

○ 学 森田 政嗣 (都立大院)
正 渡辺 敬三 (都立大)

Seiji GOTO, Tokyo Metropolitan University, 1-1Minami-Ohsawa, Hachioji-shi, Tokyo. 〒192-0397
Masashi MORITA, Tokyo Metropolitan University
Daisuke SATO, Tokyo Electric Power Company, 1-1-3 Uchisaiwaicho, chiyoda-ku, Tokyo
Keizo WATANABE, Tokyo Metropolitan University

Key Words: Pipe Junction, Dividing Flow, Energy Loss, Polymer Aqueous Solution, Toms Effect, Pressure distribution

1. 緒言

本研究では円管内乱流において摩擦抵抗が溶媒のそれよりも減少するいわゆる Toms 効果を示す高分子水溶液を用いて分岐管による圧力損失および分岐の壁面の圧力分布の測定を行い、分岐によるエネルギー損失への溶液の濃度(弾性)および分岐角度の影響を明らかにした。また、ニュートン流体との違いを調べるため流れの可視化もおこなった。

2. 実験装置及び実験方法

分岐管は分岐角度が90度および45度の非対称なアクリル製の円管で、内径10mm、長さは分岐部よりそれぞれ500mmで、分岐部コーナは丸みを持たない。以後T形、Y形と呼ぶ。流量は電磁流量計で計測した。実験のレイノルズ数は 10^4 であり、一部 1.5×10^4 もある。圧力は歪みゲージ式差圧計で測定した。

供試流体としてニュートン流体である水と粘弾性流体である polyacrylamide(商品名:セパランAP-30)の100, 200, 500,1000 ppm 水溶液とCarboxy Methyl Cellulose (CMC) 100, 200 ppm 水溶液を用いた。高分子水溶液はポンプ内で著しい機械的劣化を受けるので十分循環させ劣化が生じなくなしてから実験を行った。

分岐管の本管上流を1, 支管を2, 本管下流を3とする。本管上流から本管下流に向かう流れ(本流)の分岐損失係数 ζ_{13} は式(1)で、本管から支管に向かう流れ(支流)の分岐損失係数 ζ_{12} は式(2)で定義する。

$$\zeta_{13} = \left\{ \frac{p_1 - p_3}{\rho g} - \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g} \right) + \left(\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} \right) \right\} / \frac{V_1^2}{2g} \dots (1)$$

$$\zeta_{12} = \left\{ \frac{p_1 - p_2}{\rho g} - \left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} \right) + \left(\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \right) \right\} / \frac{V_1^2}{2g} \dots (2)$$

ここで、 V_i , Q_i , d_i , l_i は管内の流速, 流量, 分岐管内径, 長さを示す ($i=1,2,3$)。 α は運動エネルギー係数であり、乱流の場合は $\alpha=1$, λ_1 , λ_2 , λ_3 は管摩擦係数である。

3. 実験結果と考察

分岐管の前後の直管部で圧力損失を測定した結果 CMC 100ppm および200ppm は抵抗減少を示さなかったが、セパラン 100,200,500,1000ppm 水溶液は抵抗減少効果を示し、 $Re=10^4$ においてそれぞれ15%, 30%, 55%,60%程度の抵抗減少率を示した。図1に $Re=10^4$ での分岐損失係数(ζ_{12} , ζ_{13})と流量分配比(Q_2/Q_1)の関係を示す。式(1)と(2)における第2項の摩擦圧力損失は分岐管前後で直接測定した圧力損失から換算した値を用いた。図から明らかのように、 ζ_{12} , ζ_{13} は共に水の値よりも大きくなっており、その差は Q_2/Q_1 の増加と共に大きくなっている。圧

力分布の結果からも明らかにセパラン水溶液の直管部の圧力勾配は水のそれより小さくなっており、抵抗減少を示しているが、分岐部では圧力損失が大きくなっている。これは流れの変化による弾性的エネルギー損失が大きいためと考えられる。また、Toms 効果を示さなかった CMC 水溶液の ζ_{12} , ζ_{13} は水のそれらと変わらなかった。

3. 結言

Toms 効果を示す高分子溶液の分岐管での損失を調べたが、抵抗が弾性効果のため水のそれより逆に増加した。

(a) Main Flow

(b) Branch flow

Fig.5 Relationships between junction loss coefficient and ratio of flow rates for $Re=10^4$ for separan aqueous solutions