

日本大学生産工学部 正会員 永田伸之
 国士舘大学工学部 正会員 金成英夫
 日本大学生産工学部 学生員 ○新村明生

1. 緒 論 泥漿の摩擦損失係数は、泥漿の粒子が微細な場合は、Colebrookの式で広義のレイノルズ数を用いて求めることができるが、下水汚泥のような粗大粒子や繊維状物質を含む泥漿の摩擦損失係数は、水のそれよりも小さいことを、著者らがすでに明らかにしている。本研究は、水にポリマーを添加することにより、乱流領域の摩擦損失係数が減少する結果を得たので、その実験結果を報告するものである。

2. 実験装置及び実験方法 実験管路は塩化ビニール管（円管）を用いており、内面が滑らかな管と粗い管を用いた。内面が滑らかな管（以下、滑管という）は、長さ 3.5m、内径 1.277cmであり、一方、内面が粗い管（以下、粗管という）は長さ 4.0m、内径 2.0cmの塩化ビニール管の内面に、粒径 0.297mm～0.42mm（調和平均径 0.35mm）の珪砂を人工的に付着させ、粗度を付けたものである。そのため、粗管の内径は 1.88cmとなった。圧力測定区間は、いずれの管とも2.0mで、圧力測定はマノメータで、流速は重量法で測定した流量から求めた。実験には水道水およびポリマーには高分子凝集剤を用いた。

3. 実験結果及び考察 図-1は、滑管および粗管に水を流した場合の R_{eg} と f との関係を示したものである。これらの関係は、層流領域では、いずれの管の場合とも $f = 64/R_{eg}$ の関係に、乱流領域では、滑管は滑らかな関係式に一致しているのが認められる。一方、粗管の乱流領域では、Colebrookの式で相当粗度 k_s を 0.028cmとしたときの関係に一致している。このため、粗管の相対粗度 (k_s/D) は 0.015となる。

ポリマーを添加した流体は、一般的に非ニュートン流体として分類され、特に、擬塑性流体に近い挙動を示すとされている。すなわち、擬塑性流体の摩擦損失水頭と流速との関係は、層流領域では

$$\frac{D \cdot \Delta P}{4L} = k' \left(\frac{8V}{D} \right)^n \dots (1)$$

で表すことができる。また、摩擦損失係数 f は次の式で与えられる。

$$f = \frac{D \cdot \Delta P}{\frac{4L}{\rho V^2} \times 4} \dots (2)$$

ここで、レイノルズ数 R_{eg} と f との関係は

$$f = 64/R_{eg} \dots (3)$$

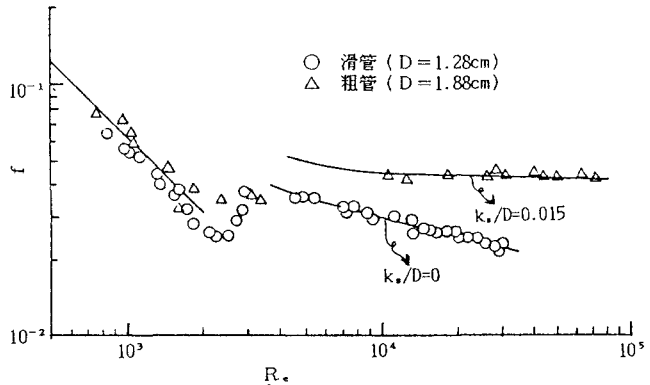


図-1 水の R_{eg} と f との関係

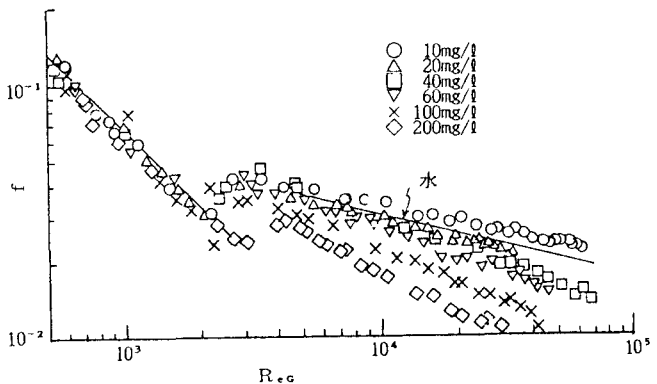


図-2 滑管の R_{eg} と f との関係

とすると、 R_{eg} は

$$R_{eg} = \frac{D^{n'} \cdot V^{2-n'} \cdot \rho}{8^{n'-1} \cdot k'} \quad \dots (4)$$

D : 管径, ΔP : 圧力損失,

L : 管長, V : 流速, n' :

構造粘度指数, k' ; 流体粘度

度指数, ρ : 密度

となる。この R_{eg} は、ニュートン流体 ($n' = 1$, $k' = \mu$) の場合、 $R_{eg} = DV\rho/\mu$ となるため、広義のレイノルズ数と呼ばれている。

図-2に、ポリマー溶液を滑管に流した場合の R_{eg} 数と f との関係を示した。ここで、ポリマーは、あらかじめ水に溶解濃度1%のポリマー原液を作成し、これを添加し均一になる程度に攪拌した直後に測定したものである。ポリマーの添加量が10mg/lにおいて、 f は水のそれより少し大きくなっているが、添加量20mg/l以上においては、添加量が増えるにしたがって f は水に比べて減少しまた、その低下量が增大するのが認められる。図-3は、粗管における

ポリマー溶液の R_{eg} と f との関係である。粗管の場合は、ポリマー添加量が10mg/l~100mg/lの範囲では、ポリマー溶液の摩擦損失係数は0.035程度であり、水に比べて0.01ほど減少している。また、ポリマー添加量が200mg/lにおける f は、滑らかな管の水の関係に近ずいている。これらの実験結果から、水に高分子のポリマーを添加することにより、滑管および粗管の場合とも、摩擦損失係数が小さくなることが明らかとなった。次に、滑管において、ポリマーを添加後の時間と f の変化について検討した。図-4は、ポリマーの添加量を100mg/lとしたときの f の変化を示したものである。Run-1は、顆粒状のポリマーを水に直接投入し、均一濃度になる程度に攪拌した後に測定したものである。また、Run-2は、上記の測定後に、1時間ほど攪拌後に測定したものである。さらに、Run-3は、あらかじめ、顆粒状のポリマーから濃度1%のポリマー原液を作成し、これを所定量添加した直後に測定し、また、Run-4は、前述の測定から24時間後に測定したものである。直接投入直後の f が最も小さく、時間とともに f が増加しており、24時間後には、水の場合の f に近い値を示している。このように f が時間とともに変化するのには、次のように考えることができるすなわち、顆粒状のポリマーの添加直後(Run-1)では、ポリマーが完全に溶解せずに微小フロック状態となっており、このフロックが混合距離に影響し、層流状態に近い速度分布となっているものと考えられる。さらに、時間の経過とともに、フロックが徐々に溶解するために、速度分布が水の場合に近くなり、 f も水とほぼ同じ程度となったものと推定される。

結 論 以上の結果をまとめると、次の結論を得ることができた。すなわち、

- (1) ポリマーを添加することにより、滑管および粗管の場合とも、摩擦損失係数が減少する。
- (2) フロックが管内の速度分布に及ぼす影響の可能性を示した。これは、粗大粒子や繊維状物質を含む下水汚泥のような泥漿の摩擦損失係数の低下機構の解明の手がかりとなるものと考えられる。

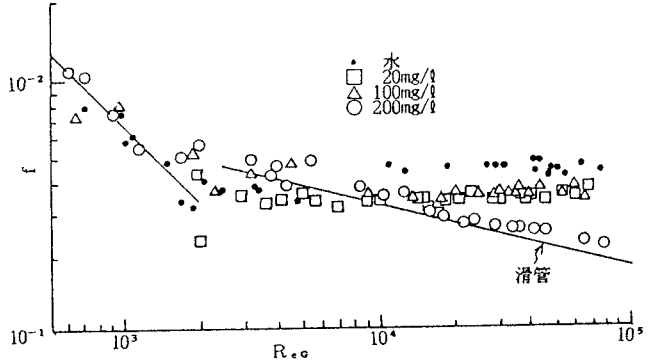


図-3 粗管の R_{eg} と f との関係

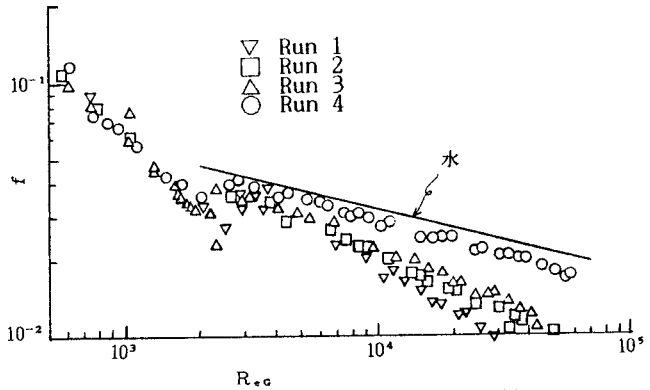


図-4 ポリマー添加後の時間と f の変化(滑管)