

II-177 粒子浮遊流の流動特性にたいする粒子径の影響について

東京大学工学部 学生員 ○三村 信男

東京大学工学部 正 員 松尾 友矩

(I) はじめに

固体粒子を浮遊させた水流の流動特性が水の場合と比べて異なることは、V.A.Vanoni の研究以来明らかにされてきている。とくに、M.I.T.における一連の実験の結果、固体粒子の比重が水と同じいいわゆる中立浮遊粒子の場合にも、注目すべき変化がおこることが明らかにされた。また、日野氏によって理論的研究がなされている。しかしなお、粒子径の与える影響については十分に検討されているとはいいがたい。筆者等は、衛生工学で対象とする流れが、汚泥フロックをはじめとしてほぼ中立状態にあり、粒度分布も大きな幅をもった粒子浮遊流であることから、その単純化された場合として、ポリスチレン粒子による粒子浮遊流体をつくり、円管路流にかんする基礎的実験を行ったのでその結果を報告する。

(II) 実験方法と測定項目

実験は、内径5cm、長さ12mのまっすぐな硬質塩化ビニール製のパイプを用いて行なった。用いたポリスチレン粒子は三種類で(表に示す)この各々について、体積濃度を0.1、1、10%の三種類にした。測定した範囲は、 $1.2 \times 10^4 \leq Re \leq 1.6 \times 10^5$ である。

(表) 実験に用いた粒子

粒子	比重	粒子径分布 (mm)	平均粒子径 (mm)
S	1.08	0.06-0.16	0.12
M	1.03	0.48-0.88	0.65
L	1.03	0.90-2.20	1.30

測定した項目は、これらの粒子浮遊流の抵抗係数、パイプ断面内の流速分布・乱れの強さである。流速分布は、パイプの流入端から8.5mのところに検査断面をつくりピトー管とホットフィルム流速計を用いて測定した。乱れの強さは、同じ検査断面においてホットフィルム流速計を用いて測定した。

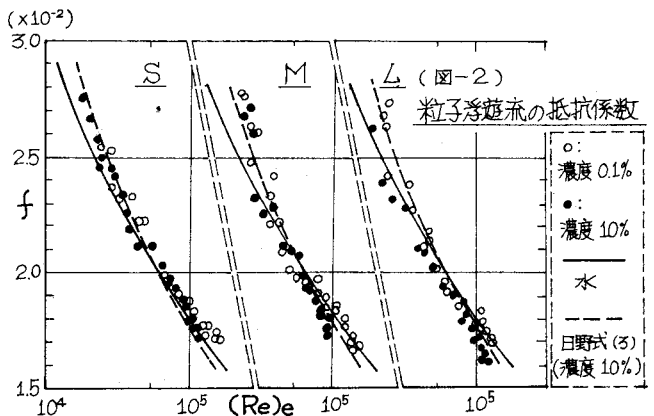
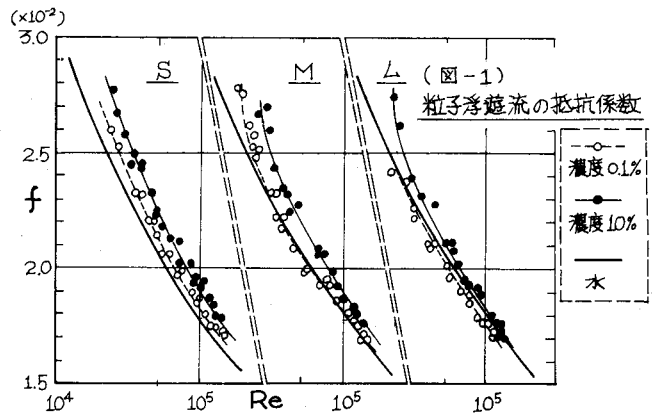
粒子浮遊流の実験と同時に、水による同様な実験を行なったが、その結果から今回用いたパイプは十分水理学的に滑らかな状態にあると考えられる。

(III) 実験結果と考察

〔抵抗係数〕 円管路流の抵抗係数は

$$f = f_f \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{2g}{U^3} \quad (1)$$

(f_f :損失水頭 D :直径 L :測定区間 U :平均流速)で定義される。この測定結果が、図-1, 2である。図-1では温度補正を行った水の粘性係数 μ にもとづいて Re 数をきめてある。図-2は、粒子浮遊流の有効粘性係数 μ_e を式(2)に示すH.Ellersの式によってもとめ、これにもとづいて見かけの Re 数(Re_e)をきめ



た場合である。

$$\frac{\nu_e}{\nu} = \left\{ 1 + \frac{25C}{2(1-135C)} \right\}^2 \quad (2) \quad (C: \text{粒子の濃度})$$

図-1をみると、粒子誘導流の抵抗係数は、濃度の増加にともなって増大し、同じ濃度では粒子径が大きいほど低い値を示す。粒子径の影響は、図-3の形にすれば明らかである。一方、図-2においても粒子誘導流の抵抗係数は、粒子径、濃度のちがいに応じて水のものからずれている。このことから、粒子の影響を全て有効粘性係数の変化という形でとりこむことには無理があると思われる。

したがって、粒子誘導流の流動特性の変化に対して、全体を単一の流体とみなす方法より、水と粒子の相互作用を考える方法の方が適切であろう。これに対して日野氏の理論が提示されている。このうち、中立誘導粒子流の抵抗法則は次の式で示されている。

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{(1+\beta C)}{K_0} \ln \left(\frac{\nu}{\nu_e} Re \sqrt{\frac{f}{8}} \right) + \frac{1}{K_0} \left\{ (1+\beta C) \ln \frac{1}{2R_*} - \ln \frac{1}{R_*} \right\} + (A_s - B_s) \quad (3)$$

(β : 定数 K_0 : 水のカルマン定数 R_* : $U_0 y / \nu_e$ A_s, B_s : 定数)

この理論式と本実験の結果を図-2に比較してある。これから、日野氏の導いた理論式は、粒子径の小さい粒子誘導流の場合にはよく一致するが、粒子径が大きくなるとずれてくることばかりである。このことは、粒子径の影響をくみこんだ理論の必要性を示している。〔流速分布、乱れの強さ〕 流速分布、乱れの強さの測定結果は、各々図-4、5に示されている。粒子誘導流の流速分布は、濃度が小さい場合には粒子径によらず、中心流速が水のものより大きい。濃度が増加するにしたがって粒子径による違いがあらわれ、粒子径の大きなものでは中心流速が小さくなる一方、粒子径の小さなものでは中心流速が大きいまま維持される傾向を示す。

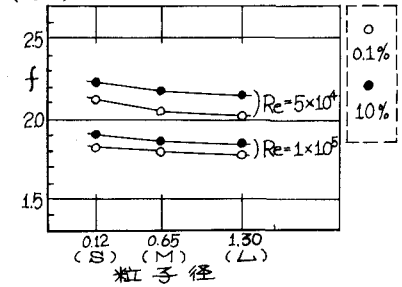
乱れの強さは、粒子を誘導させることによって増大する。濃度の増加にともなって乱れの強さは増大し、とくに、同じ濃度で比べると、粒子径の大きなものほど乱れの強さを増大させる傾向が顕著である。

(IV) 結 論

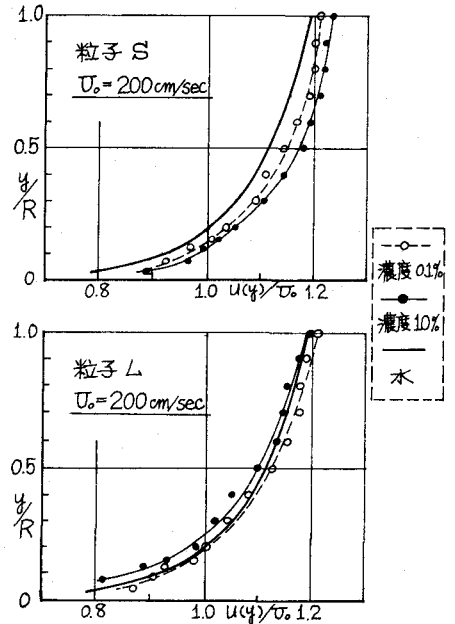
筆者等が行った実験結果は、M.I.T.の実験とほぼ同様の傾向を示すものであるが、明確に粒子径の影響を示した。すなわち、粒子誘導流の流動特性の変化は、粒子の大きさに大きく左右され、濃度の増加はこの影響を増幅させる方向に作用していることが確認された。したがって、今後、この影響をくみこんだ理論的検討が必要であると思われる。

(参考文献) 日野幹雄 "Turbulent characteristics of solid-liquid two-phase flow" Proc. 13th. Japan Nat. Congr. Appl. Mech. 等

(図-3) 抵抗係数への粒子径の影響



(図-4) 流速分布



(図-5) 乱れの強さの断面内分布

