

II-220

空気注入圧力式下水道の水理的諸特性に関する実験

東京大学大学院 学生員○榊屋 高志
 東京大学工学部 正員 山本 和夫
 東京大学工学部 正員 松尾 友矩

1、はじめに

自然流下型を基本とする従来の下水道とは異なり、下水をパイプ圧送する圧力式下水道が、人口密度の低い地域の下水道整備に関連して、埋設深の減少による建設費の節減をはかれる有効な方式として最近注目されている。下水のパイプ圧送に際して、特に小流量時に管内流速が低下するため、固形物が管内で堆積、腐敗する等の問題点が考えられる。小流量時に管内流速の確保や下水へのエアレーション効果を得る方法として圧送時に空気注入を行うことが挙げられる。一般に空気-水の系を考える上では気液二相流の考え方をを用いるが、液相内に汚泥等の固形物が存在する場合は、その水理的特性に対しては研究例も少なく、解析も進んでない。下水の圧送時に空気注入を行った時の流れの基礎的特性を把握するために、下水汚泥のモデルとしてプラスチック粒子とカオリン・フロックを用いて、圧力損失を中心に実験を行った結果、若干の知見が得られたのでここに報告する。

2、実験方法

実験装置の略図を図-1に示す。管径は 65mm、管路総延長は18mであった。下水汚泥のモデルとして粒子・カオリンを用い、清水プラスチック粒子を重量濃度 0.2・1.5・10%それぞれ含む水、カオリン・フロックを5%含む水の6種を対象とし、空気注入量の0・10・25・50 l/minに対して、液流量を 30-120 l/min と変化させて実験を行った。差圧マノメータを使用して混相部の圧力損失を測定し、可視部を設けて流動様式を観察した。

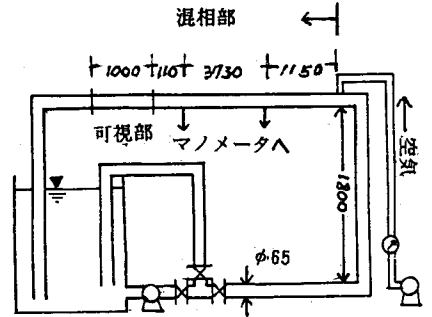


図-1 実験装置の略図

3、流動様式

流動様式は層状流、波状流、気泡流、プラグ流、スラグ流、フロス流、環状噴霧流、噴霧流の8種類に大きく分類される。(1) 本実験では、気相みかけ流速 0.05 - 0.25 m/s、液相みかけ流速0.2-1.5 m/sの範囲であったが、この範囲はMandhane らの流動様式線図によれば、主にプラグ流の領域に位置することになる。(2) 観察結果からも、主としてプラグ流を中心とした流れが観察され、Mandhaneらの流動様式線図に一致することがわかった。

4、レイノルズ数と摩擦損失係数

気液二相流のみかけのレイノルズ数とみかけの摩擦損失係数を以下のように定義して整理を行ってみた。その結果を図-2.3に示す。

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{1}{2g} (w_{go} + w_{lo}) \left(\frac{\gamma_g}{\gamma_l} w_{go} + w_{lo} \right) \text{ 式(1)}$$

$$Re = \frac{D}{\nu} \left\{ (w_{go} + w_{lo}) \left(\frac{\gamma_g}{\gamma_l} w_{go} + w_{lo} \right) \right\}^{0.5} \text{ 式(2)}$$

ここで、 Δh はマノメータの読み、 L はマノメータの圧力取り出し口間の距離、 $w_{go} \cdot w_{lo}$ はそれぞれ気相・液相の

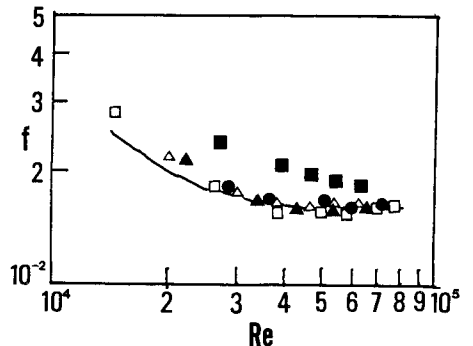


図-2 空気流量50 l/min の時のRe と f の関係 (実線=清水、△=カオリン、□=粒子0.2%、●=同1%、▲=同5%、■=同10%)

みかけ流速、 $\gamma_g \cdot \gamma_l$ は気相・液相の比重、 ν は液相の動粘性係数である。液相の種類や空気流量に関わらず、ほぼ一致した傾向を示し、一つの指標として活用できると考えられる。但し、粒子5%と10%のものにずれが生じているのは、粘性係数測定上の問題や剛体粒子による影響に起因すると考えられる。また、本実験で得られた摩擦損失係数 f の値は、滑管乱流の抵抗則に比して若干低い値となっているが、それはマンメータ取付部の形状など実験装置上の問題によると考えられる。

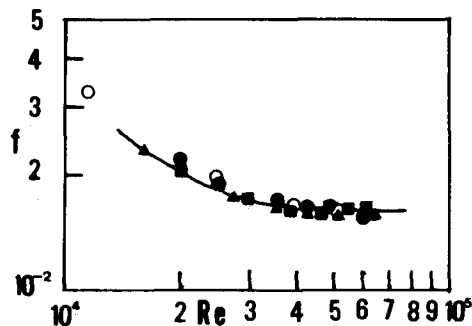


図-3 カオリン・フロックの時の Re と f の関係 (実線=清水、○=空気流量 0 l/min、●=同 10 l/min、▲=同 25 l/min、■=同 50 l/min)

5. Lockhart - Martinelli 相関

Lockhart - Martinelli 相関 (以下 LM相関という) は、二相流の圧力損失の整理法の一つである。これは、二相流の圧力損失比を、以下で定義されるパラメータ $\phi_l \cdot \phi_g$ で表すものである。(1)

$$X^2 = \frac{\Delta P_{l0}}{\Delta P_{g0}} = \left(\frac{w_{l0}}{w_{g0}} \right)^{1.75} \left(\frac{\nu_l}{\nu_g} \right)^{0.25} \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_g} \right)$$

$$\phi_l^2 = \frac{\Delta P_f}{\Delta P_{l0}} \quad \phi_g^2 = \frac{\Delta P_f}{\Delta P_{g0}} \quad \text{式(3)}$$

ここで、 $\Delta P_{g0} \cdot \Delta P_{l0}$ は仮想的に気相だけ・液相だけが流れた場合の圧力損失、 ΔP_f は二相流の圧力損失である。X は流量比の関数になっている。

この方法に従って清水を用いた気液二相流実験のデータを整理したのが図-4である。これによれば、 ϕ_l がだいたい 1

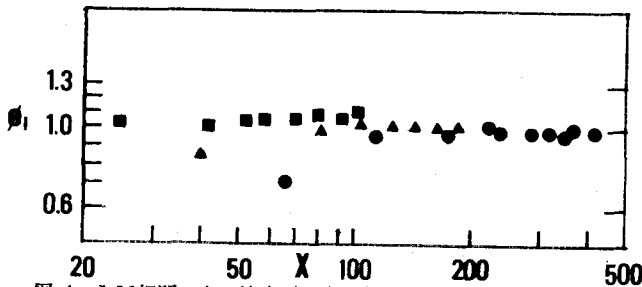


図-4 LM相関による清水データの整理 (●=空気流量 10 l/min、▲=同 25 l/min、■=同 50 l/min)

になることから、空気流量が多くなれば液相の圧力損失はわずかに増加するが、ほぼ液相のみ流した場合の圧力損失と変わらないということが言える。また、粒子などを含む実験のデータを整理したのが図-5である。これより、固形物の濃度は圧力損失に殆ど影響を及ぼさないと考えられる。以上の結果より、固形物を含む場合も清水の場合と同様に扱うことができると考えられる。

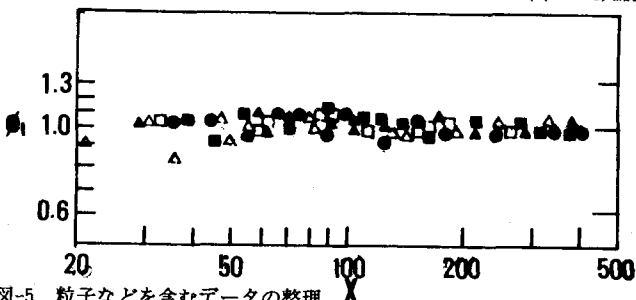


図-5 粒子などを含むデータの整理 (△=カオリン、□=粒子0.2%、●=同1%、▲=同5%、■=同10%)

6. 結論

本実験の結果を、みかけのレイノルズ数とみかけの摩擦損失係数で整理したところ、固形物の濃度や空気流量にかかわらずほぼ一致した。LM相関の手法により整理すると、本実験の範囲内では気液二相流の圧力損失は液相のみを流した場合の圧力損失と殆ど変わらず、固形物の濃度に左右されなかった。一定流量の液相を流す場合、空気注入を行えば、管内流速は増加するが圧力損失は殆ど変化しないということがいえるであろう。

参考文献

- (1) 赤川 「気液二相流」 1974、コロナ社