

II-134

上昇気泡による流量測定のための基礎的研究

早稲田大学 大学院 学生員 仲村 学

早稲田大学 理工学部 正員 佐々木六造

早稲田大学 理工学部 正員 吉川 秀夫

1. はじめに

著者らは河川や水路において上昇気泡を用いた新たな流量測定の方法¹⁾を検討中である。流量測定にあたり、気泡径及び上昇速度が散気量、水深とどのような関係にあるのかを知る必要がある。また散気管の先端から末端までの圧力、散気量、気泡径、気泡上昇速度の値が均一でなければならない。本研究ではこれらの諸性質を室内実験で調べ、現地河川への適用性を確認することを目的としたものである。

2. 実験概要

本研究を進めるに当たり、主に次の2つの基本的な実験を行った。

第一に散気管の軸方向の性質を調べるため、全長15m、幅40cm、高さ60cmの水槽底面に、長さ12m、内径5cmの塩化ビニールに5cm間隔で径1mmの孔をあけた散気管を設置した(図-1)。散気管に送る空気量を変化させ、散気管内圧力分布、及び孔1個当たりの散気量の軸方向分布を測定した。圧力分布はU字管と精密微差圧計を組み合わせ測定し、散気量はメスシリンダを用いて置換法により求めた。

第二に気泡径、気泡上昇速度の測定であるが、第一の実験で散気管の軸方向の圧力、散気量の変化は小さいことが確認できたため、幅12

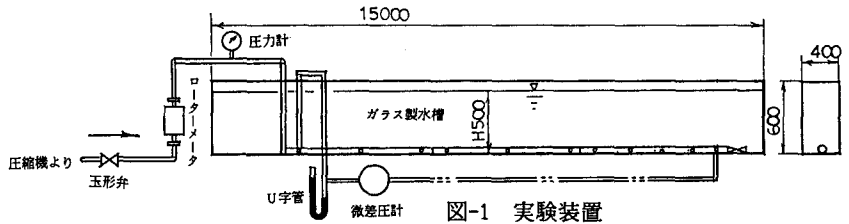


図-1 実験装置

0cm、高さ160cm、奥行き16cmの水槽底面に径1mmの孔を1個だけあけた散気管を用いて実験を行った。気泡径、気泡上昇速度はビデオ解析により求めた。

3. 実験結果とその考察

散気管の先端と末端の圧力損失を図-2に、散気管内圧力分布及び散気量分布を図-3に示す。圧力損失は水頭換算で数ミリ程度であり、散気量のばらつきも約5%以内の範囲であり軸方向の変化は小さいことがわかった。

dx 間隔で m 個の孔をあけた散気管において、 k 番目の孔での圧力損失 Δp はエネルギー保存則より次のようになる。

$$\frac{\Delta p}{\rho_w g} = -\frac{3}{2} \frac{\rho}{\rho_w} \frac{q^2}{g A^2} \left(m - k + \frac{1}{2} \right) + \frac{\rho}{\rho_w} i dx \quad (1)$$

ここに、 q は孔1個当たりの単位時間当たりの散気量、 ρ は空気の密度、 ρ_w は水の密度、 i はエネルギー勾配である。したがって散気管先端と末端との圧力損失 ΔP は、

$$\frac{\Delta P}{\rho_w g} = -\frac{3}{4} \frac{\rho}{\rho_w} \frac{m^2 q^2}{g A^2} + \frac{E_L}{\rho_w g} \quad (2)$$

となる。 E_L はエネルギー損失であるが、散気管は乱流から層流へと遷移する流れであるので摩擦損失係数をどのように扱うかが問題である。今回の研究ではエネルギー勾配 i にマンニングの式を用いると、

$$\frac{E_L}{\rho_w g} = \frac{1}{6} \frac{\rho}{\rho_w} \frac{n^2 q^2}{R^{4/3} A^2} (2m^3 + m) dx \quad (3)$$

となり、 m の3次式であることがわかった。実験値よりマンニングの粗度係数を逆算したところ、 $n=0.013 \sim 0.015$ となった。

次に気泡上昇速度を数値計算によって求め、実験値と比較する。用いた運動方程式は

$$m_1 \frac{d^2 y}{dt^2} = m_2 g - \frac{1}{2} \rho_w C_D A (v_b - v_f) |v_b - v_f| \quad (4)$$

である。ここに v_b は気泡上昇速度、 v_f は水の上昇速度、 m_1 は仮想質量を含めた気泡の質量、 m_2 は浮力を考慮にいれた質量を表している。気泡の形状を球と仮定すれば、

$$\begin{aligned} m_1 &= (\pi d^3 / 6) \rho_w (\sigma_a + 0.5) \\ m_2 &= (\pi d^3 / 6) \rho_w (\sigma_a - 1) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。 d は球相当径、 σ_a は空気比重である。抵抗係数 C_D は、気泡が実際には扁平していることと揺れながら上昇しているため、球の C_D 値をそのまま用いることは出来ないが、只木・前田ら²⁾によると Re 数が約3000以上では $C_D = 2.6$ になると報告している。また、 v_f は実験値を与え、初速 v_{b0} は散気管からの流出速度で与える。気泡上昇速度の計算結果及び実験結果を図-4に示す。計算値は底面付近を除いてほぼ一定値になっているが実験値は緩やかに減少している。

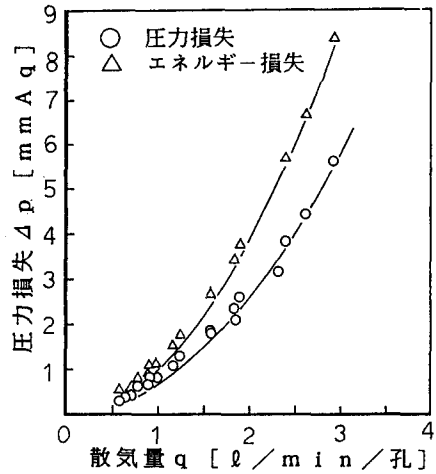


図-2 圧力損失と散気量の関係

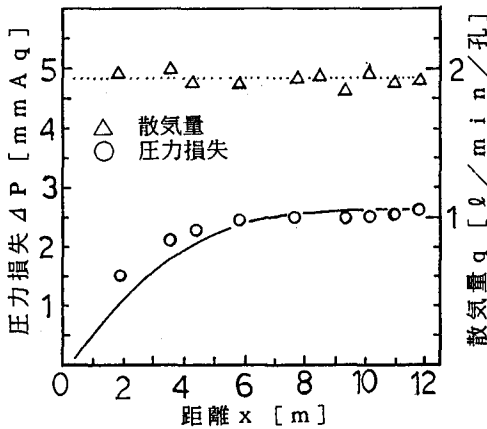


図-3 圧力損失及び散気量と距離 x の関係

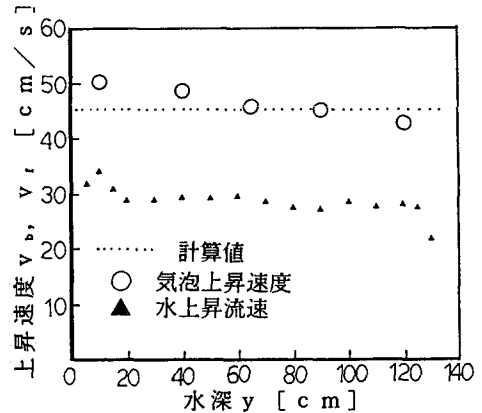


図-4 気泡及び水の上昇速度と水深の関係

4. おわりに

今回の実験の範囲では散気管の軸方向の圧力及び散気量の変化は小さく流量測定を行うのに問題はないものと思われる。さらに幅の広い河川への適用性であるが、散気管の総延長が長くなるため孔間隔を大きくとり孔の数を減らせば良いことは式(2)、式(3)からわかる。

今後の課題としては散気量 q と気泡径、気泡上昇速度 v_b の関係を求めることである。特に気泡群の上昇速度に関する C_D を求めることである。

参考文献

- 1) 関根正人・吉川秀夫ら：流水中の気泡上昇に伴う流砂量の増加に関する研究，第32回水理講演会論文集，pp. 449～454，1988。
- 2) 只木植夫・前田四郎：種々の静止液体中を上昇する単一気泡の形状および上昇速度について，化学工学，第25巻，第4号，1961