

II-201

砂粒子を含んだ鉛直上方噴流の領域区分

大同工業大学工学部 正員 久保田稔

1. 結論 汚濁物質の排出問題については、これまでのように汚濁物質の希釈・拡散現象に重点をおくのではなく、汚濁物質の排出機構そのものを検討する必要性が生じてきていると考えられる。ところで、噴流流体の比重が周りの流体より大きい場合の鉛直上方噴流実験は、Turner¹⁾の食塩水による実験が初めてであり、また最近では、Mizushimaら²⁾による温かい静水中への低温水の鉛直噴流の最大上昇高さ、軸上流速および軸上温度に関する実験的研究が報告されている。ところが、比重の大きい個体粒子を含んだ鉛直上方噴流に関する研究例はまだ無く、汚濁物質の排出機構を考察するにはこの種の研究が必要となろう。そこで筆者は、汚濁物質の代わりに砂粒子を用いて鉛直上方噴流の実験を行い、さらに噴流の噴流領域と逆浮力領域との区分を数値解析で明らかにしている。

2. 数値計算による境界高さ z_{1*} の決定 運動方程式と保存方程式をFleischhackerらと同様に噴流軸上での方程式に書き直すと、

$$u_m \frac{\partial u_m}{\partial z} = -(\rho_s/\rho_f - 1) g c_m + \lim_{r \rightarrow 0} \varepsilon_m \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \frac{\partial u}{\partial r} \right\} \right\} \quad (1)$$

$$u_m \frac{\partial c_m}{\partial z} = w_0 \frac{\partial c_m}{\partial z} + \lim_{r \rightarrow 0} \varepsilon_c \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \frac{\partial c}{\partial r} \right\} \right\} \quad (2)$$

となる。ここで、流速分布および濃度分布に経験式を用いて、上式の極限值を求めると、

$$u_m \frac{\partial u_m}{\partial z} = -(\rho_s/\rho_f - 1) g c_m - 4 K (\ln 2) \frac{u_m^2}{R} \quad (3)$$

$$u_m \frac{\partial c_m}{\partial z} = w_0 \frac{\partial c_m}{\partial z} - \frac{4 K (\sigma \ln 2)}{S_c} \frac{u_m c_m}{R} \quad (4)$$

であり、ここに R は噴流流速の半値幅、 σ は流速と濃度との半値幅の比、 s_c は乱流シュミット数および $K = \varepsilon_m / R \cdot u_m$ である。上記2式の外に、噴流中での運動量の減少は逆浮力に起因すると考え、運動量の減少と逆浮力との関係式を誘導すると、

$$\frac{d}{dz} (R^2 u_m^2) = -2 (\rho_s/\rho_f - 1) g c_m \frac{R^2}{\sigma} \quad (5)$$

となる。したがって軸上流速 u_m 、軸上濃度 c_m および半値幅 R の各微分方程式は、

$$\frac{d u_m}{d z} = -4 K (\ln 2) \frac{u_m}{R} - (\rho_s/\rho_f - 1) g \frac{c_m}{u_m} \quad (6)$$

$$\frac{d c_m}{d z} = - \frac{4 K (\sigma \ln 2)}{S_c} \frac{u_m c_m}{R (u_m - w_0)} \quad (7)$$

$$\frac{d R}{d z} = 4 K (\ln 2) - (\rho_s/\rho_f - 1) g \frac{R c_m}{u_m^2} \frac{1 - \sigma}{\sigma} \quad (8)$$

と得られる。上式を数値解析するには、比例定数 K ($\varepsilon_H = K \cdot R \cdot u_m$)、流速と濃度の半値幅の比 σ および乱流シュミット数 S_0 を決定する必要がある。そこで K は噴流の場合の値を用いて、つまり式(8)で近似的に $c_m \approx 0$ として

$$\frac{dR}{dz} = 4 K (\ln 2) \equiv 0.114$$

より $K = 0.0411$ を得る。また σ は各実験の噴流領域での半値幅 $b1$ および $b2$ を求め、 $\sigma = 0.588$ と決定している。なお図1は噴流の流速および濃度分布であり、式(3)、(4)、(5)を誘導する際に使用した経験式と良く一致している。

3. 数値解析結果 さてこれまでに比例定数 K と流速と濃度の半値幅の比 σ とが決定しているから次に乱流シュミット数 s_0 を決定する必要がある。乱流シュミット数 s_0 の決定については、噴流領域での実験による軸上流速および軸上濃度と良く一致する s_0 を各実験について選定した。以上の準備の後に、式(6)、式(7)および式(8)をRunge-Kutta法で数値解析した。

図2は、 s_0 を決定する際に用いた各実験の初期条件で計算した噴流領域と逆浮力領域とを区分する境界高さ $z_{1\%c}$ (局所リフト・リフト数 $R_{ix}=0$ の場合の無次元高さであり、丸印で表している)と出口リフト・リフト数 R_{i0} との関係である。ここで同図中の直線のこの配は、次元解析手法で得た勾配0.4と同じであり、同図より境界高さは

$$z_{1\%c} = 19 R_{i0}^{\frac{2}{5}} \quad (9)$$

である。なお同図中には実験値から決定した $z_{1\%c}$ (四角印で表している)も記入しており、同図の実験値と計算値を比較すると、実験値よりも計算値の方が幾分大きめの値を与えるようである。

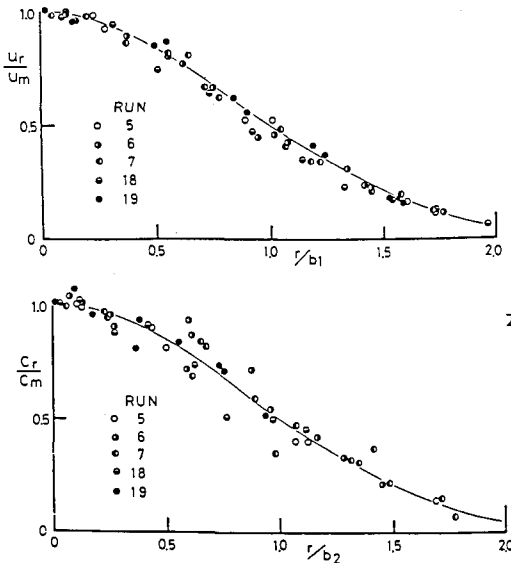


図1 流速・濃度分布

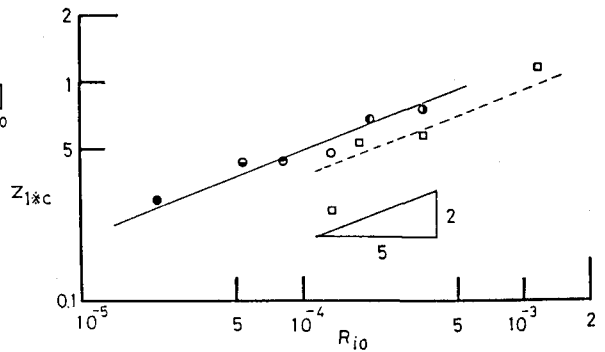


図2 境界高さ

- 4. 参考文献** 1)Turner, J.S.: Jets and Plumes with negative or reversing buoyancy, J.F.M., vol.26, pp.779~792, 1966. 2)Mizushima, T., F.Ogino, H.Takeuchi and H.Ikawa: An Experimental Study of Vertical Turbulent Jet with Negative Buoyancy, Wärme- und Stoffübertragung, vol.16, pp.15~21, 1982.