

砂粒子を含んだ鉛直上方噴流の高さ

大同工業大学 正員 久保田 稔
長島町役場 正員 加藤 文人

1)はじめに 砂粒子を含んだ噴流実験の場合、吉川らは鉛直下方噴流実験を行ない、沈降速度が相対的に重要になる領域での噴流構造を調べ、砂粒子を含んだ噴流中にも組織的な渦が存在し、この渦が固体粒子の拡散に大きく関与すると推測している。福岡らは、この組織渦を可視化し、周囲水の取り込みと組織渦との関係を述べている。近年、温排水の問題に関係して、鉛直上方噴流ブリームの実験が多くなされてきている。これらの実験では、噴流は最終的に浮力によって自由表面まで達し、噴流流体の逆流というような現象は起きず、研究の重点は自由表面における噴流の上昇および混合域のひろがり等に置かれている。逆流を起こす噴流の最初の研究は、重い食塩水を用いたターナーの実験であろう。彼は次元解析を用い無次元噴流高さが一定であると述べている。筆者らは、砂粒子を含んだ鉛直上方噴流実験より、まず、噴流高さを規定し、その後、噴流を噴流領域と砂粒子の沈降性が卓越する領域とに区分する。

2)噴流領域区分 噴流の構造は、周辺流体の取り込みを表わす質量流束、運動量流束および砂粒子の沈降性による反浮力流束によって特徴づけられ、次のようにそれぞれの流束が定義される。

$$\text{質量流束 } \mu = 2\pi \int_0^\infty u \cdot y \, dy \quad \text{運動量流束 } m = 2\pi \int_0^\infty u^2 \cdot y \, dy \quad \text{反浮力流束 } \beta = 2\pi \int_0^\infty \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) (u - w_0) \cdot y \, dy$$

噴流出口から任意の位置における速度分布 $u(x, y)$ および濃度分布 $C(x, y)$ を軸上の平均流速 u_m および平均濃度 C_m 、分布型の半値幅 b_1 および b_2 を用いて、

$$u(x, y) = u_m(x) \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{y}{b_1} \right)^2 \right] \quad C(x, y) = C_m(x) \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{y}{b_2} \right)^2 \right]$$

と表わし、各流束に代入して

$$\mu = (\ln 2)^{-1} \pi u_m b_1^2, \quad m = (2 \ln 2)^{-1} \pi u_m^2 b_1^2, \quad \beta = (\ln 2)^{-1} \pi \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) C_m b_2^2 \left[\frac{b_1^2}{b_1^2 + b_2^2} u_m - w_0 \right]$$

を得る。ここで、 $[\mu] = [L^3 T^{-1}]$ 、 $[m] = [L^4 T^{-2}]$ 、 $[\beta] = [L^4 T^{-3}]$ である。

i) 上昇高さ H_{max} いま、噴流の特性長さを L および特性速度を U とすると、

$$f_1(L, U, \mu, m, \beta) = 0 \quad \text{より}$$

$$f_2 \left(\frac{L \beta^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{3}{4}}}, \frac{U \mu^{\frac{1}{2}}}{\beta^{\frac{1}{2}}}, \frac{\mu^2 \beta}{m^{\frac{5}{2}}} \right) = 0$$

を得る。噴流の最大高さでは、特性速度 U はもはや有意ではないので、

$$\frac{H_{max} \beta_0^{\frac{1}{2}}}{m_0^{\frac{3}{4}}} = f_3 \left(\frac{\mu_0^2 \beta_0}{m_0^{\frac{5}{2}}} \right)$$

ここに、添字 0 は出口の値を示す。

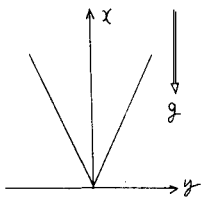


図-1 座標

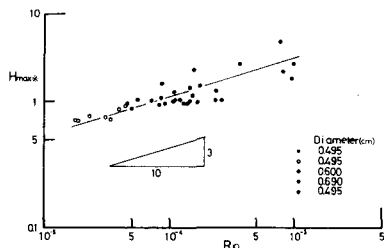


図-2 H_{max} と R_{10}

また、この最高位置では、もはや運動量流束も有意ではないので、関数 f_3 に指数型を期待し、出口での運動量流束 m_0 を消去すると、

$$\frac{H_{max} \beta_0^{\frac{1}{2}}}{m_0^{\frac{1}{2}}} = A \left(\frac{k_0^2 \beta_0}{m_0^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{10}}$$

すなわち、 $H_{max} = A \cdot R_{i0}^{\frac{1}{10}}$ を得る。図-2は、噴流の管径を3種類かえた実験結果と上式である。

H_{max} の測定については、35mmカメラで2秒間隔に36枚噴流を写し、拡大した写真より噴流口から噴流高さまでを測定し、36個の平均値より H_{max} を決定した。なおビデオ解析装置を用い、100分の1秒でデータ数2千個以上を用いスペクトル解析し、噴流高さに規則性のないことを確認した。

半値幅 b_1 について、半値幅 b_1 の変化率 db_1/dz は、噴流の場合とブリュームの場合とは異なり、 $(db_1/dz)_{噴流} > (db_1/dz)_{ブリューム}$ である。そこで、今回の実験による噴流領域と逆ブリューム領域とで b_1 に差異が現われることを期待したが、速度分布より得られた半値幅 b_1 は、噴流領域と逆ブリューム領域とでほとんど差異が見られなかった。

ii)逆ブリューム領域 さて、砂粒子の沈降性が有意となる逆ブリューム領域を決定する。図-3と4は、噴流領域および逆ブリューム領域の中心軸上における無次元速度と無次元高さである。

噴流領域では、 $U_{m*} = A_1 Z_{*1}^{-1}$ が成立しており、

逆ブリューム領域で、 $U_{m*} = A_2 Z_{*2}^{-\frac{1}{3}}$ を期待する。ここに、 Z_{*1} は、 $Z_{*1} = Z \beta_0^{\frac{1}{2}} / m_0^{\frac{1}{2}}$ であり、逆ブリューム領域では、出口での運動量 m_0 はもはや有意ではないので、高さ Z の無次元として

$Z_{*2} = Z (\beta_0 / k_0^2)^{\frac{1}{2}}$ を使用している。両式より、噴流領域と逆ブリューム領域との境界高さ Z_c は、境界高さでそれぞれの軸上速度が接するという条件および図-4より、この配分 $=3$ とすると

$$Z_{c*1} = \frac{A_2}{A_1} \left(\frac{k_0^2 \beta_0}{m_0^{\frac{1}{2}}} \right)^{0.45} = \frac{A_2}{A_1} R_{i0}^{0.45}$$

を得る。図-5の実験値は、反浮力流束 $\beta = 0$ となる高さを境界高さ Z_c としている。同図より、上式は、ほぼ実験結果と一致している。

3)おわりに 砂粒子を含んだ鉛直上方噴流実験より、噴流高さ H_{max} および Z_{c*1} を決定した。噴流問題では通常、Entrainment係数の概念を導入し、さらに速度分布および濃度分布の経験式を併用して、速度や濃度の挙動を調べている。しかし、濁水の鉛直排水問題を考えるには、まず排水の最高高さ H_{max} ならびに逆流領域を規定する必要があると考えた。今後は、この逆ブリューム領域の構造および最大高さ H_{max} を減少させる方法などを検討していきたい。

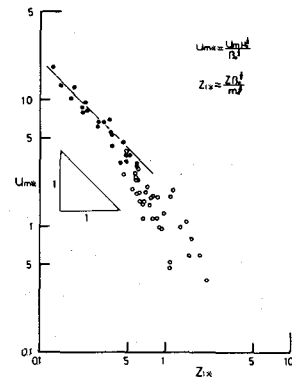


図-3 U_{m*} と Z_{*1}

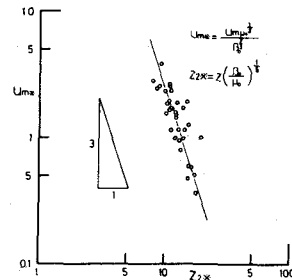


図-4 U_{m*} と Z_{*2}

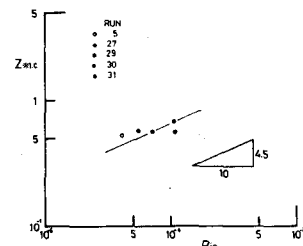


図-5 Z_{c*1} と R_{i0}