

長岡技術科学大学 学生員 中島 卓夫
長岡技術科学大学 正員 早川 典生
新日鐵 正員 福永 和久

1. はじめに; 壁面密度噴流(傾斜プリューム)については、現在までに、多くの研究が行なわれているが、壁面と混合領域の両方の影響を受けるため、流速分布、密度分布等は、十分に明らかにはされていない。著者らは、既報において、渦動粘性係数を双曲線関数によって表現する事により、現象を解析した。ここでは、その理論を発展させて、モデルの妥当性について検討を加える。

2. 基礎方程式; 固定境界を持つ半無限領域に密度 ρ_0 の流体が静止しており、この周囲流体より大きな密度を持つ流体が、固定境界に沿って重力方向に流下する場合を考える。この時、 x 方向の運動方程式、質量保存式は次の様になる。

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = \varepsilon g + \frac{\partial}{\partial y} (K_m \frac{\partial U}{\partial y}) \quad (1)$$

$$U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (K_d \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}) \quad (2)$$

ここで、 ε は相対密度差 $[(\rho - \rho_0)/\rho_0]$ 、 K_m 、 K_d は各々渦動粘性係数、渦動拡散係数である。

本報では K_m 、 K_d を次式のように仮定する。

$$K_m = K_1 B U_m \{K_3 + \tanh(K_2 y/B)\} \quad (3)$$

$$K_d = K_m / S_c$$

ここで、 K_1 、 K_2 、 K_3 は実験定数、 B は噴流幅、 U_m は断面内最大流速、 S_c はシュミット数である。

前報では $K_3=0$ として解析したが、その結果 $\eta=0$ で微分方程式が特異性を示したので、本報では壁面近傍の不確定さを $K_3 \neq 0$ で代表させたものである。

平均流速 U 、 V に流れ関数 ψ を導入し、流下距離が十分に大きく混合が促進した領域を考えると、流れ関数と相対密度差は、相似関数 $F(\eta)$ 、 $H(\eta)$ を用いて、次式のように書ける。

$$\eta = y/(\sigma x), \quad \psi = (\sigma x/\eta_1) U_m F(\eta)/F(\eta_1) \quad (5)$$

$$\varepsilon = (\varepsilon_s \cdot S/x) H(\eta)$$

ここで、 σ は噴流幅の拡がり率 $(=B/x)$ 、 η_1 は流速の半値半幅、 $F(\eta_1)$ は $F(\eta)$ の最大値、 ε_s は距離 S での壁面相対密度差である。

(3)~(5)式を用いて(1),(2)式は次式のように変形される。

$$F F'' + K_0 \{ K_3 \operatorname{sech}^2(K_2 \eta) F'' + \{ K_3 + \tanh(K_2 \eta) \} F''' \} + K_A R_i H = 0 \quad (6)$$

$$F H + \frac{1}{S_c} K_0 \{ K_3 + \tanh(K_2 \eta) \} H' = 0 \quad (7)$$

ここで $K_0 = K_1 (\eta_1^2/\sigma) F'(\eta_1)$ 、 $K_A = F(\eta_1)/\sigma$ 、 $K_2 = K_2/\eta_1$ 、 $R_i = \varepsilon_s g B_0/U_m$ は層平均リチャードソン数である。境界条件は $\eta=0$ で $F=F'=0$ 、 $H=1$ 、 $\eta=\infty$ で $F=0$ である。

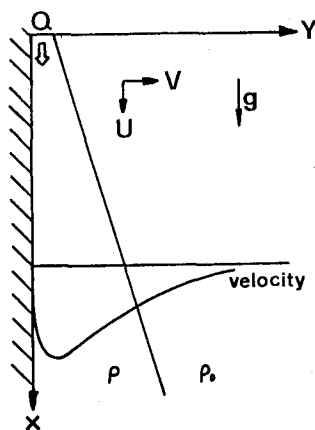


図1 鉛直壁面密度噴流と座標系

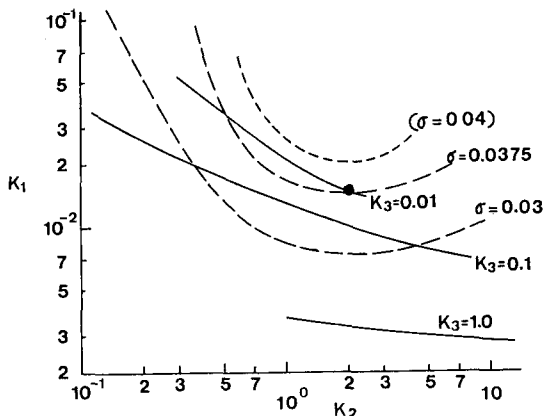


図2 パラメータ K_1 、 K_2 、 K_3 、 σ の関係

3. 方程式の解; 微分方程式 (6), (7) は、与えられた実験パラメータ R_i, σ に対し、実験で求まる定数 K_1, K_2, K_3 を用いて解けば結果の η , および $F(\eta)$ を用いて、相対速度分布 $U/U_m = F(\eta)/F(\eta_m)$; 相対密度分布 $\varepsilon/\varepsilon_m = H(\eta)$ を得ることとできる。しかしながら与えられた実験パラメータ群に対して、境界条件を満足する解が存在するとは保証はない。 R_i を固定して考えれば、一組の K_1, K_2 に対して一組の K_3, σ の値だけが解を与える。このパラメータの組を求めるために、パラメータ K_0, K_A, K_B, R_3 を適宜変えて式 (6), (7) を解き、得られた結果の $\eta, F(\eta)$ から K_1, K_2, σ を求めた。 $R_3 = 0.0498$ についてこれを行なった結果が、図2である。図中 $R_3 = \text{一定}$ の曲線は、実際にこれまで行った計算により得られた点を結んだものである。

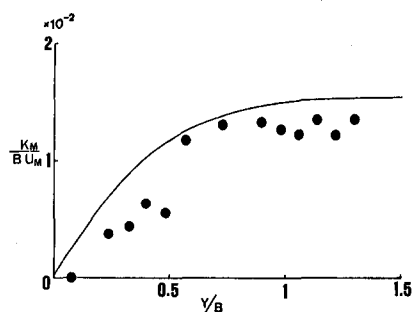


図3 滑動粘性係数の分布

4. 実験結果との比較

理論的には、実験パラメータ K_1, K_2, K_3, σ が与えられれば、図2中に対応する1点が存在するはすである。既報の実験結果では、 $K_1 \approx 0.015$, $K_2 \approx 4.3$, $\sigma = 0.042 \sim 0.063$ を得ている。ここでは、 σ と K_1 の実験値に近い点を図2上で求め、これまでの計算結果から図中の黒丸印の点 $K_1 = 0.015$, $K_2 = 2.016$, $K_3 = 0.01$, $\sigma = 0.038$ を採用して、流速・密度分布を計算した。この時の滑動粘性係数の分布を実験結果と共に図3に示す。図4, 5は、計算した流速・密度分布と実験値との比較である。

滑動粘性係数の分布は、実験値と比較して、計算値の方が少し大き目にあられているが、全体的傾向はよく一致している。

流速分布はよく一致しているが、混合領域において、計算値の方が大きくなる傾向がある。

密度分布は、計算値の方が実験値に比べて低い値を示している。これは計算に用いたシュミット数 ($Sc = 0.8$) にも問題があると思われる。

これらの点について、今後さらに検討を加える。

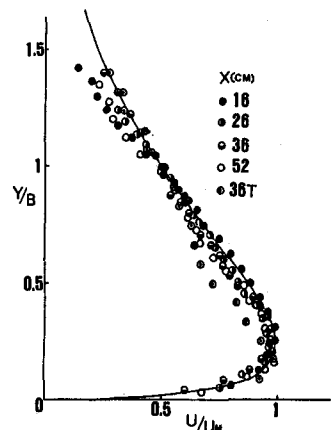


図4 流速分布

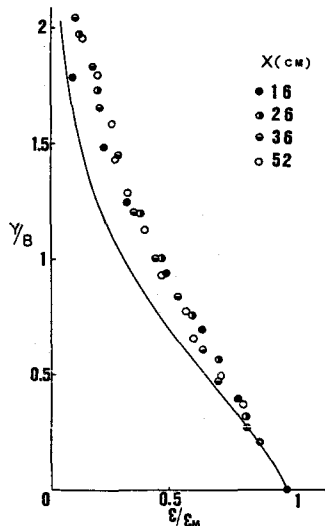


図5 密度分布

参考文献

- (1) 福永和久・福嶋祐介・早川典生; 鉛直壁面密度噴流に関する理論的考察, 第38回年次学術講演会概要集, 1983年
- (2) 福永・福嶋・早川; 鉛直壁面密度噴流に関する研究 第28回永理講演会論文集, 1984年 PP 303~310