

II-431 壁面噴流における粒子の堆積過程に関する研究(Ⅲ)

九州大学 工学部 学生員 島岡 隆行 正員 栗谷 陽一
九州大学 工学部 正員 楠田 哲也 正員 古賀 憲一

1. まえがき 沈降性粒子を含む壁面噴流は、噴出口の近傍では均一流体の噴流もしくは密度噴流的挙動を示すが、流れの発達に伴って粒子は沈降するために通常の密度噴流とは異なった挙動を示すであろう。本研究は、壁面噴流中における粒子の沈降量、残留濃度分布の予測を最終目的として、沈降性粒子を懸濁する壁面噴流の挙動について検討を加えたものである。

2. 基礎式について 基礎式を得るに際しての仮定は、以下の通りである。①粒子径は一定(沈降速度一定)とする。②x方向の拡散はy方向の拡散に比べて充分小さいとし、境界層近似が成立するものとする。①、②の仮定により次の運動方程式、連続の式及び質量保存式が成立する。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (D_t \frac{\partial u}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s \rho_l} g \int_y^\infty c dy \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial (uc)}{\partial x} + \frac{\partial ((v-w)c)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (D_t \frac{\partial c}{\partial y}) \quad (3)$$

但し、 u : x方向の速度
 v : y方向の速度
 w : 沈降速度(一定)
 c : 粒子質量濃度
 D_t : 乱流拡散係数
 ρ_s, ρ_l : 粒子、流体の密度

3. 実験装置及び方法 実験装置を図-1に示す。用いた水路は、長さ5.4m、水深95cm、幅10cmである。水路底には、堆積する粒子を捕集するために金網を張ったアクリル製の箱(高さ3m×長さ50cm×幅10cm)を長尺方向に並べている。水路上流端にはノズル出口断面が高さ1m×幅9mmの2次元ノズルを固定している。また、この水路には噴流による連行を束縛なく生じさせるために水路後方に貯水槽を設けている。試料としては、平均粒径25 μ mのカラスビーズ($\rho_s = 2.65$)を用いた。給水タンク(300l)には、カラスビーズの堆積を防止するために攪拌装置を取り付けている。流速分布は、直径3mmの超小型プロウ流速計で測定し、濃度分布は、濁度計で求めた。堆積量は、前述した金網を張った粒子採取箱の中に設けている受け皿に堆積した粒子の乾燥重量より求めた。

4. 結果及び考察 図-2, 3に流速分布及び濃度分布の流れ方向の一例を示す。流速分布、濃度分布ともにノズル付近を除いてほぼ相似のようである。図-2, 3に示す実線は、流速分布(u)、濃度分布(c)をそれぞれ次のように $u = u_0(y/a)^n e^{-d_1(y/a)^2}$, $c = c_0 e^{-d_2(y/a)^2}$ と置き最小二乗法を用いて実測値よりパラメータ u_0, d_1, c_0, d_2 を決定して求めたものである。

図-4~図-6は、以下に定義する平均流速(U)、代表濃度(C)、流体の代表幅(B_m)、濃度の代表幅(B_s)、運動量(M_m)、重力束(Cy)と流下距離 x の関係を示す。

$$U = \int_0^\infty u^2 dy / \int_0^\infty u dy, B_m = (\int_0^\infty u^2 dy)^2 / \int_0^\infty u^2 dy, C = (\int_0^\infty c dy)^2 / \int_0^\infty c dy$$

$$B_s = \int_0^\infty c dy / \int_0^\infty c dy, M_m = \int_0^\infty u^2 dy, Cy = \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s \rho_l} g \int_0^\infty c y dy$$

積分は、前述の分布決定時のパラメータを用いて行なった。図-4

に平均流速 U と流体の代表幅 B_m の流れ方向の変化を示す。RUN-

1, 2は、ノズル出口の噴出量を同一とし初濃度をそれぞれ15g/l, 7.5g/lとしたものである。平均流速 U は、双方ともノズル付近で急激に減少し、その後あまり減少していない。流体の代表幅 B_m の全体的傾向は、両者ともノズル付近では直線的に増加し均一流体の壁面噴流に近い現象を示しているが、 $x=140$ cm以後はあまり増加せず連行の減少が認められる。また、流体の代表幅 B_m は、 $x=70$ cm以後は初濃度の低い方が高いものより大きくなっており、連行

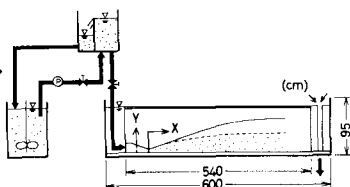


図-1 実験装置

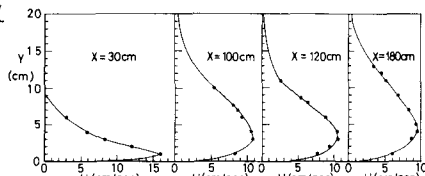


図-2 流速分布

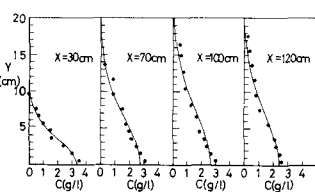


図-3 濃度分布

の減少に及ぼす粒子濃度(密度差)の影響が良く表われている。図-5に代表濃度 C 、濃度の代表幅 B_s の流し方向の変化を示す。代表濃度 C は、U同様 $Ri \sim 1$ 、2共にノズル付近で速やかに減少し、その後余り変化をしていない。粒子と流体の代表幅の比 B_s/B_m が流下に伴い減少している。このことが、沈降性粒子を含む壁面噴流の特徴の一つである。図-6に運動量 M_m 、重力束 C_y の流し方向の変化を示す。重力束のオーダーは、運動量に比べ約2割となっている。双方の知で示されるflow forceは、ノズル出口付近を除けばほぼ収束はしているようである。一方、重力束 C_y は、ノズル付近から増加した後、運動量が増加する付近から減少することが解る。沈降性粒子を含む壁面噴流においても密度流の挙動となり密度差に基づく運動量の回復が認められるようである。沈降性粒子を含む壁面噴流では、前述したように流体、粒子の振がり幅が異なりその点を考慮して運動量、粒子双方の連行係数 α over all Ri 数を次のように定義する。 $E_m = \frac{d}{dx}(\int_0^{\infty} u dy)/U$, $E_s = \{ \frac{d}{dx}(B_s \cdot U_s) + w_b \} / U_s$
 $Ri = gCB_s/U^2$ 但し、 $U_s = \int_0^{\infty} u dy / \int_0^{\infty} dy$, $B_s = \int_0^{\infty} y dy / \int_0^{\infty} dy$, w_b ; 沈降速度である。図-7, 8に E_m , E_s とover all Ri 数の関係を示す。図中の数字は粒子と流体との代表幅比 B_s/B_m であり、実線は小松によつて得られた密度噴流についての理論値である。これらの図及び前述したように粒子濃度が高いほど、粒子、流体双方の代表幅が抑制されること、双方の連行係数は Ri 数の増加に伴い急激に減少することが解る。粒子と流体の代表幅の比が0.40より大きい所では幅比によらず連行係数は Ri 数のみによつて規定され、通常の密度噴流的挙動を示すことが解る。一方、代表幅の比が0.40より小さくなると連行係数は幅比 B_s/B_m とともに減少するようである。また、 E_m , E_s を比べると、ノズル出口付近で粒子の沈降速度に比べて流速の十分大きい領域では、ノズルより離れるにつれて双方とも急激に減少しているが、流速が減少するにつれて粒子の沈降より B_s/B_m が次第に減少し、それに伴い E_m の方が E_s に比べ小さくなるようである。この点については、図-4, 5で示したように、粒子と流体の幅の増加割合が異なることからある程度推察される。このことは、流体と粒子の幅の違いが生じ始めると底面付近で生じる大きな鉛直方向密度勾配のため粒子を含む層から上方へ(上澄部)への乱れの輸送が更に抑制されるため噴流界面で乱れ強度が弱められるためと考えられる。故に、流体の連行は、急激に減少し代表幅の比 B_s/B_m が比較的小さい時、ほとんど0になっているようである。図-9に単位時間単位面積当りの堆積量 W_s の流し方向の変化を示す。図中に沈降フラックス $W_b \times C_m$ (W_b : 沈降速度, C_m : 壁面濃度)より算出した量を示している。双方とも一致し、堆積量はノズルから離れるにつれて漸減しており、本例の場合、ノズルから1m以降ではほぼ直線的に減少している。1m付近まで堆積した粒子の総量は約2割である。今後は、本論文で得た知見を基に粒子の堆積量の予測算定式を求めない。(参考文献) 1). 猪俣一郎, 小松利夫: 2次元表面密度噴流における流れの特性と連行現象

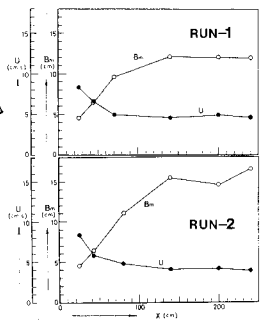


図-4 U, B_m と X の関係

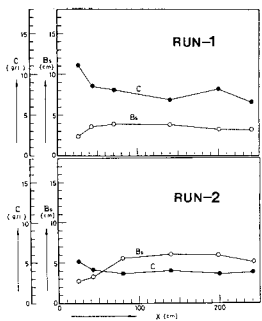


図-5 C , B_s と X の関係

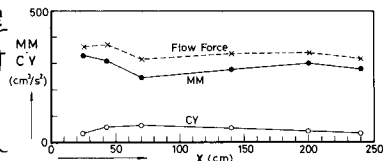


図-6 M_m , C_y と X の関係

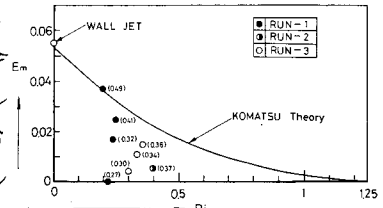


図-7 E_m と Ri の関係

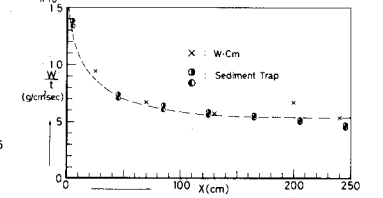


図-8 E_s と Ri の関係

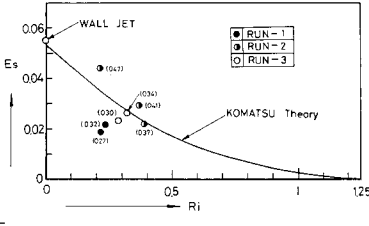


図-9 W_s と X の関係