

II-62

壁面噴流における土砂の堆積過程に関する研究(II)

九州大学 工学部 学生員 〇島岡 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の挙動を示すであろう。一方、平均流速の減少に伴って粒子の沈降が卓越する領域が現われ密度噴流とは異った挙動を示すためその現象は複雑と言えよう。本研究は、壁面噴流中における土砂の堆積分布・残留濃度の予測を目的として、壁面噴流の挙動に及ぼす粒子と流体間の相対速度・粒子濃度の影響について検討を加えようとして行ったものである。

2. 基礎式について 粒子径は一定(沈降速度一定)とし、また、 x 方向の拡散は y 方向の拡散に比べて充分小さいものとする基礎式は以下のように表わせる。

$$u \frac{\partial \psi}{\partial x} + v \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (D_t \frac{\partial \psi}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s \rho_f} g \int_0^\infty \psi dy \right) \quad (1)$$

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

$$\frac{\partial (u\psi)}{\partial x} + \frac{\partial (v\psi - w_0\psi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} (D_t \frac{\partial \psi}{\partial y}) \quad (3)$$

但し、 u : x 方向の速度

v : y 方向の速度

w_0 : 沈降速度(一定)

ψ : 粒子重量濃度

D_t : 乱流拡散係数

ρ_s, ρ_f : 粒子及び流体の密度

3. 実験装置と方法 実験装置を図-1に示す。用いた水路は、長さ5.4m、水深0.95m、幅10cmで水路底にはアルミボックスを敷き上流端にノズル出口断面が高さ0.8cm×幅9cmの2次元ノズルを固定している。また、この水路は噴流により水路内に回転流並びに逆流が生じないように水路後方に貯水槽を設けている。試料としては、平均径50 μ mで平均沈降速度0.41 cm/secのガラスビーズを使用した。ガラスビーズの堆積を防ぐために給水タンク(300L)に攪拌装置を取り付けている。

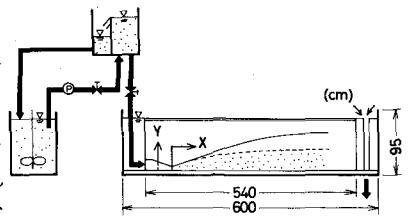


図-1 実験装置

流速分布は、直径6mmのプラウ流速計で測定し、濁度分布は濁度計で求めた。堆積量は、所定の位置に10cm×10cmのアクリル板を敷き、このアクリル板上に堆積した乾燥重量より求めた。

4. 結果及び考察 図-2、図-3に流速分布及び濃度分布の流れ方向の変化の一例を示す。流速分布、濃度分布ともにノズル付近を除いてはすべての x においてほぼ相似のようである。図-4~図-6は、以下に定義する平均流速(U)、代表濃度(C)、流速の代表幅(B_m)、濃度の代表幅(B_s)、運動量(M_m)、重力束(C_y)と流下距離 x の関係を示す。

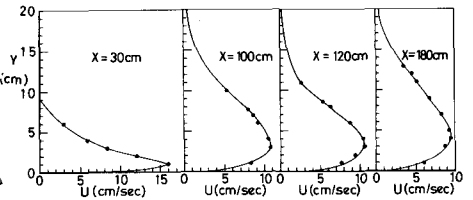


図-2 流速分布

$U = \int_0^\infty u dy / \int_0^\infty u dy$, $B_m = (\int_0^\infty u dy)^2 / \int_0^\infty u^2 dy$, $M_m = \int_0^\infty u^2 dy$
 $C = (\int_0^\infty c dy)^2 / \int_0^\infty c^2 dy$, $B_s = \int_0^\infty c^2 dy / \int_0^\infty c dy$, $C_y = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_s \rho_f} g \int_0^\infty \psi dy$
 流速分布(u)、濃度分布(c)を $u = a_1 u_m (y/b_m)^n e^{-a_2 (y/b_m)^2}$ (n : 定数)、
 $c = d_1 c_m e^{-d_2 (y/b_s)^2}$ と置き実測値よりパラメータ a_1, a_2, d_1, d_2 を最小二乗法で求めた。パラメータ決定後の分布曲線を図-2, 3の実線で示す。

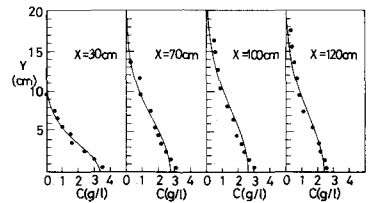


図-3 濁度分布

図-4に平均流速 U と流速の代表幅 B_m の流れ方向の変化を示す。平均流速 U は $x=100$ cmまでに急激に減少し、その後あまり減少していない。流速の代表幅 B_m は直線的に増加し均一流体の壁面噴流に近い流れと思われるが、 B_m の増加率が0.11(半値幅は0.08)と通常の均一流体の壁面噴流の値0.068(半値幅)に比べやや大きいようである。このことは、目視観察から判断するとノズル出口付近に生じる大規模渦の連行によるものと思われる。本例の場合 $x=2$ m付近で連行は著しく減少していることが解る。図-5に代表濃度 C 、濃度の代表幅 B_s の流れ方向の変化を示す。代表濃度 C は U と同様に噴出後速やかに低下し、その

後余り変化していない。濃度の代表幅BsはBm同様ノズル付近では噴流的挙動を示すが、同一地点における幅に違いが認められ濃度の代表幅Bsが運動量幅Bmに比べ約半分以下となっている。双方の代表幅の変化特性が異なる原因について後述するが、沈降性粒子を含む噴流の特徴が良く表われているようである。図-6に運動量(Mm)、重力束(Cy)の流れ方向の変化を示す。重力束のオーダーは運動量に比べ約1割程度となっている。双方の和で示されるflow forceがノズル付近で小さくなっておりノズル付近での収束が充分とれていないようである。これは、前述したノズル付近に生じる大規模渦によって運動量が輸送されたためとも考えられるが、詳細については今後検討したい。いずれにしてもノズルより充分離れた所で運動量がやや回復し重力束が減少するようであり、沈降性粒子を含む流体の密度流的挙動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、粒子についての拡がり幅が異なる。その点を考慮して、運動量、粒子双方の連行係数及びoverall Ri数を次のように定義する。

$$E_m = \frac{d}{dx} \left(\int_0^\infty u dy \right) / U, \quad E_s = \frac{d}{dx} \left(\int_0^\infty c u dy \right) / U_s$$

$$Ri = \frac{g C / B_s}{(U B_m)^2} \quad \text{但し、} \quad U_s = \int_0^\infty c u dy / \int_0^\infty c dy$$

図-7に、 E_m 、 E_s とoverall Ri数との関係を示す。図中の数字は拡がり幅の比Bs/Bmである。データ-のばらつきは大きい、本例の場合運動量の連行係数 E_m はRi数に余り依存せず、ほぼ一定の値(0.55) $= \frac{1}{2}\alpha$ 、但し $\alpha = \lim_{x \rightarrow 0} dB_m/dx$ すなわち均一流体の壁面噴流的挙動を示しているようである。ノズル出口付近では $E_m = E_s$ なので、 E_s はRi数の増加に伴い急激に減少していることが解る。図-8に E_s とBs/Bmとの関係を示す。図中の白丸は、ノズル付近の拡がり幅の増加率より算定した値である。 E_s の値はbs/bmの減少と共に減少し、Bs/Bm=0.35付近で連行が終了していることが良く解る。BsはBmに比べ約半分以下となること及びこれらの図から本例の場合、粒子の沈降性及び密度差に基づく乱れの減衰によってノズル出口付近で粒子の連行は急激に減少し、一旦、双方の幅に違いが生じ始めると乱れ拡散の小さい所(壁面付近)へ粒子が輸送され、更に、粒子が沈降するため加速的に粒子の連行が減少していると考えられる。従って、流体側からみればBs/Bmが小さい所では、連行の抑制に粒子の存在が余り寄与しないため連行は均一流体の噴流的挙動を示したものと考えられる。粒子の沈降速度が本例に示したものより小さくなれば、連行係数とoverall Ri数との関係及びBs/Bmとの関係を的確に表現し得るものと思われるが今後の検討課題としたい。図-9は、単位時間単位面積当りの堆積量Wsの流れ方向の変化を示したものである。粒子fluxより算定した堆積量を黒丸で示し、10cm×10cmのアクリル板上に堆積した量を実線で示す。データ-のばらつきが多いがノズルより1mまでに堆積した量は、噴出総粒子量の約3~4割である。今後は、粒子の沈降速度、粒子濃度を変え実験するとともに、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たい。

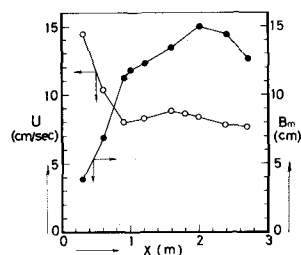


図-4 U, BmとXの関係

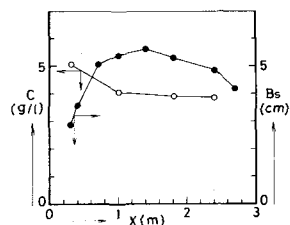


図-5 C, BsとXの関係

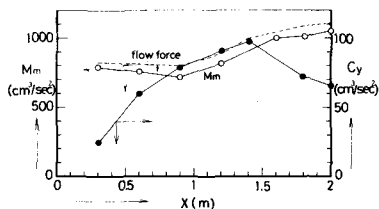


図-6 Mm, CyとXの関係

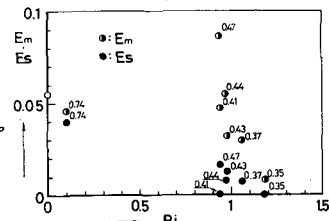


図-7 E_m, E_s とRiの関係

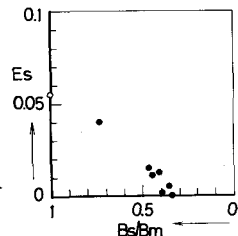


図-8 E_s とbs/bmの関係

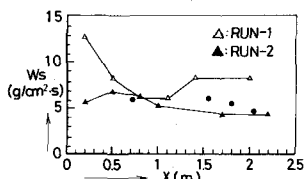


図-9 WsとXの関係