

棒状粗度を有する開水路流における浮遊砂の堆積過程

京都大学防災研究所 正員 村本 嘉雄
同 上 正員 大久保賢治
ハ・シフィックコンサルタンツインターナショナル ○井上 和則

1. はじめに：植生が存在する場での浮遊砂、とりわけ微細土砂の堆積過程を明らかにするために、その基礎実験として多列棒状粗度を配置した単断面水路における清水流の流速分布、浮遊砂流の流速・濃度分布及び堆積過程の測定を行った。流速一定の層、線形層、および対数層の3層に区分した流速分布式モデルから、濃度分布が推定できるよう両者の相似性を仮定して濃度分布式モデルを導いた。堆積過程の説明にはモデルパラメーターの検討が必要であるが、ここでは主に実験結果について報告する。

2. 実験方法：実験は長さ200cm、幅15cmの亚克力製循環式単断面水路で行った。流速は径3mmのプロペラ流速計、濃度はセンサーの幅が約40mmの光学式濁度計を使用してそれぞれ測定した。粗度は濁度計が粗度内部にまで入るように図1に示すような直径8mm、長さ25mmの剛なスパーサーを2cm間隔で水路部全域に設置した。使用した砂は、平均粒径とそれに対する沈降速度がそれぞれ $d_m = 106 \mu m$, $u_{*0} = 0.93 cm/s$ の珪砂8号で、水路上流端より給砂した。清水実験では図1の横断方向に7点、浮遊砂実験では縦断方向に2点に固定して測定した。また、濃度分布に関しては、測定中の平均濃度の変化に対して時間補正を施し、同時鉛直分布を求めた。

3. 相似モデル：流速分布に

ついては、図2のように粗度内 z_b までの一定流速 u_a からの

偏差 $\hat{z} = z - z_b$, $\hat{u} = u - u_a$

を用いて各層を次のように表す。

$$\hat{u}/\hat{u}_a = \hat{z}/a \quad 0 \leq \hat{z} \leq a \quad (1)$$

$$\hat{u}/\hat{u}_a = 1 + \lambda^{-1} \ln(\hat{z}/a) \quad a \leq \hat{z} \quad (2)$$

a ：線形層の厚さ、 $\hat{u}_a = u_a - u_b$, $\lambda = a/s$, s ：粗度間隔に相当する長さ。線形層の(1)式は、通常の壁法則における動粘性係数を渦動粘性係数 $\kappa u_* s$ に置き換えて導いた。対数層の(2)式は、 $\hat{z} = a$ で(1)式が対数法則に接続する条件から導いた。なお、次の関係を用いた。

$$\hat{u}_a/u_* = \lambda/\kappa \quad (3)$$

密度については拡散係数・粘性係数比 β を用い、一定の渦動拡散係数を

$$\kappa_v = \beta \kappa u_* s \quad s \leq z < z_a \quad (4)$$

と表す。ただし、 β は場所的に変化しないとす。流速分布と同様に $z = z_b$ および z_a における密度を ρ_b , ρ_a として、 $\hat{\rho} = \rho - \rho_b$, $\rho_* = (\beta + 1)\rho_a - \beta\rho_b$ を用いる。(4)式を使うと形式的な壁法則は

$$(\hat{\rho}_b - \hat{\rho})/\rho_* = \hat{z}/\beta \kappa s \quad 0 \leq \hat{z} \leq a \quad (5)$$

$$(\hat{\rho}_a - \hat{\rho})/\rho_* = (\beta \kappa)^{-1} \ln(\hat{z}/a) \quad a \leq \hat{z} \quad (6)$$

表1 実験条件

Run No	1/1	Q	z _b	a	h	u _b	u _a	V	u _*	f	λ	Fr	n	C _d	C _g	C _o	β	κ
		l/s	cm	cm	cm	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm/s			m/s	ppm	ppm	ppm		
C25(2A)	300	2.5	1.5	2.9	7.5	11.2	27.3	25.4	2.2	0.03	2.9	0.3	0.01	-	-	-	-	-
C25(2B)	300	2.5	2.1	1.5	7.5	4.7	25.2	17.5	1.9	0.01	4.2	0.2	0.02	-	-	-	-	-
C25(2C)	300	2.5	1.9	2.2	7.5	8.4	26.2	21.7	1.9	0.01	3.6	0.2	0.01	-	-	-	-	-
S25(3-25)	300	2.5	1.6	2.0	7.4	9.5	21.9	20.8	2.7	0.05	1.8	0.2	0.02	4389	4111	3932	0.6	0.8
S25(3-55)	300	2.5	1.6	1.3	7.4	9.5	18.3	20.6	2.9	0.06	1.1	0.2	0.03	5074	4815	4534	1.0	0.7

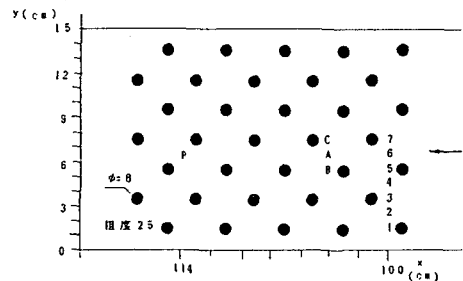


図1 粗度の配置と測定点

C25; 位置1~7, S25; 流速-位置P 濃度-位置6

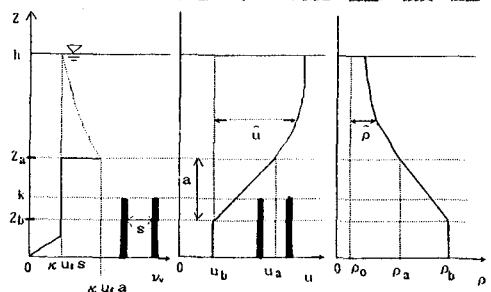


図2 モデル変数と渦動粘性係数の分布

ただし、 ρ_* は次式の密度差のスケールである。

$$(\hat{\rho}_b - \hat{\rho}_a) / \rho_* = \lambda / \beta \kappa \quad (7)$$

$$\hat{\rho}_b / \hat{\rho}_a - 1 = \beta^{-1} \quad (8)$$

を用いて、

$$\hat{\rho} / \hat{\rho}_a = 1 + \beta^{-1} - \beta^{-1} (z/a) \quad 0 \leq z \leq a \quad (9)$$

$$\hat{\rho} / \hat{\rho}_a = 1 - \chi \ln(z/a) \quad a \leq z \quad (10)$$

$$\chi = \lambda^{-1} \beta^{-1} = \omega_0 / \beta \kappa u_* \quad (11)$$

となる。ただし、 ω_0 鉛直速度、 χ ；ラウスパラメーターに準じた量である。一方、 $\hat{\rho}$ は体積濃度 c と砂の水中比重 σ を用いて次のように表される。

$$\hat{\rho} = \rho_0 \sigma (c - c_0) \quad (12)$$

ここで、 c_0 は密度 ρ_0 に相当する濃度である。

4. 実験結果と考察：図3は清水流の流速分布(C25-2)である。流速分布が横断方向に変化することを考慮して相対位置毎(図1のA, B, C)に平均した鉛直分布とそれらの平均である代表的流速分布を示した。実線は(1)、(2)式を表している。

図4は浮遊砂流(S25-3)における流速分布と濃度分布である。流速は3層の領域が比較的明確であるが、濃度は線形層と対数層の境界が不明確であり、濃度一定と仮定した最下層では堆積の進行にともない河床付近に大きな濃度の存在が認められるが、(9)、(10)式の適用にあたっては流速分布を優先した。この層ではさらに層を区分する必要がある。図3、4の左端には流速の乱れ強度も示した。

図5は図4のケースの $x=100\text{cm}$ における浮遊砂濃度鉛直分布(c_0 からの超過分)の3分毎の変化である。図には同位置での浮遊砂の堆積高さ z_a での沈降、拡散フラックス $c_a \omega_0$ 、 $(c_a - c_0) \omega_0$ の時間変化も示してある。給砂開始初期においては基面 z_b まで堆積が大きく進行する。粗度長の減少にともない河床と上層流が接近し巻き上げが卓越し堆積が抑えられ、河床付近の濃度が增大する。それ以後は堆積よりも掃流が卓越する。最終的には下流ほど堆積が大きく、掃流によって河床勾配が緩和された形になっている。表1に示すように浮遊砂流では堆積の進行につれて λ の減少と β の増加がみられた。

5. 結語：堆積が時々刻々進行する場合での流速・濃度測定を試みたが、濃度分布の測定方法に問題を残した。モデルについては流速分布から濃度分布が推察でき、基準点高さの変化に対応できる形を考えたが最下層の一定とした濃度分布と移流フラックスの再検討が必要である。

参考文献 1)大久保・村本・井上：京大防災研年報32号、1989

