

複断面直線河道における浮遊砂の流送、堆積機構

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男
 鳥取大学工学部 正員 藤田 正治
 京都大学大学院 学生員 ○劉 炳義

1. まえがき 複断面流れにおいては、低水路と高水敷の間に生じる渦によって、高水敷への流れの運動量や浮遊砂の輸送が顕著になる。複断面河道の浮遊砂の挙動を明確にするためには、横断方向の拡散係数をいかに評価するかが肝要である。本研究は、流速の横断分布式に関する従来の研究結果を幅広い実験水路を用いた本実験の結果で検証して、その分布式を使って、拡散係数の計算法を提示する。ついで、浮遊砂濃度分布や高水敷上における浮遊砂の堆積率の分布特性について詳細な実験より議論する。

2. 横断方向の拡散係数 Reynold's analogyによって、横断方向の粒子の拡散係数は横断方向の渦動粘性係数との比例関係より求められる。そこで、まず、横断方向の渦動粘性係数 ϵ_y の評価方法について述べる。

片側に高水敷を有する直線水路の場合を考え、座標系及び記号は図-1に示すとおりとする。図中の Δ : 高水敷の高さ、 H, h : 低水路及び高水敷上の水深である。流下方向の運動方程式において、定常かつ等流の条件で、 $z=\Delta$ から $z=H$ まで積分し、さらに、高水敷上の水深 h と低水路と高水敷の相互作用の影響範囲外における高水敷上の摩擦速度 u_{r-e} で無次元化すると次式を得る。

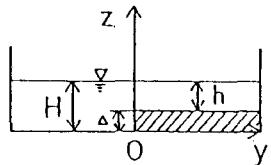


図-1 断面図

$$A(\hat{y}) \partial \hat{\epsilon}_y / \partial \hat{y} + B(\hat{y}) \hat{\epsilon}_y + C(\hat{y}) + D_1(\hat{y}) + D_2(\hat{y}) = 0 \quad (1)$$

ただし、 $A(\hat{y}) = \int_{\Delta}^{H/h} \partial \hat{u} / \partial \hat{y} d\hat{z}$ 、 $B(\hat{y}) = \int_{\Delta}^{H/h} \partial^2 \hat{u} / \partial \hat{y}^2 d\hat{z}$ 、 $C(\hat{y}) = 1 - \tau_{\Delta} / \rho u_{r-e}^2$ 、
 $D_1(\hat{y}) = - \int_{\Delta}^{H/h} \partial (\hat{u}\hat{v}) / \partial \hat{y} d\hat{z}$ 、 $D_2(\hat{y}) = \hat{u}\hat{w} \Big|_{\hat{z}=\Delta}$ である。

ここに、 ρ : 流水の密度、 $u, v, w : x, y, z$ 方向の時間平均流速、 $\hat{\epsilon}_y = \epsilon_y / u_{r-e} h$ 、 $\hat{y} = y/h$ 、 $\hat{z} = z/h$ 、 $\hat{u} = u/u_{r-e}$ 、 $\hat{v} = v/u_{r-e}$ 、 $\hat{w} = w/u_{r-e}$ 、 $\hat{\Delta} = \Delta/h$ 、 τ_{Δ} : $z=\Delta$ における z 平面上に作用する x 方向のせん断応力である。 $\hat{\epsilon}_y$ は y 方向にも z 方向にも変化するものと考えられるが、ここでは z 方向には変化しないものとして y 方向の変化だけを解析する。 $A(\hat{y})$ や $B(\hat{y})$ は Rajaratnam・Ahmadi¹¹ の流速分布式を用いると、 Δ と低水路と高水敷における抵抗係数 ϕ 、 ϕ_r をパラメータとして計算される。ここに、 $\phi = u_e / u_{r-e}$ 、 $\phi_r = u_{re} / u_{r-e}$ 、 u_e 、 u_{r-e} : 相互作用の影響範囲外における低水路上の流速と摩擦速度、 u_e : u_e の鉛直平均、 u_{r-e} : 相互作用の影響範囲外における高水敷上の流速 u_{r-e} の鉛直平均である。 $C(\hat{y})$ については、 $z=\Delta$ におけるせん断応力 τ_{Δ} の算定方法が問題である。Prandtlの混合距離理論によれば、せん断応力は速度勾配と混合距離に関係しているが、それらを精密に議論することは難しい。ここでは、速度勾配を $u_e(\Delta)/L$ 、 $u_{r-e}(\Delta')/L$ (ここに、 L は代表長、 Δ' は Δ より少し上の地点) と仮定すれば、 τ_{Δ} は前と同じの流速分布式から求められる。従って、 $C(\hat{y})$ は低水路と高水敷において次の式で計算される。

$$C(\hat{y}) = 1 - (1 - 0.6 \eta^2)^2 \psi \quad (2) \quad C(\hat{y}) = 1 - (0.2(\gamma - 1) \exp(-0.693 \eta'^2) + 1)^2 \psi_r \quad (3)$$

ここに、 $\eta = (y+b_1)/b_m$ 、 $\eta' = y/b_r$ 、 b_m 、 b_r : 相互作用の影響を示す低水路側と高水敷側のスケール、 b_1 、 b_2 : 低水路および高水敷上の流速分布における相互作用の影響長さ、 ψ 、 ψ_r : 混合距離が y 方向に変化する影響を表す係数、 $\gamma = u_e(\Delta')/u_{r-e}(\Delta')$ である。 $D_1(\hat{y})$ 、 $D_2(\hat{y})$ は二次流の強さが小さいものとして省略する。以上の式に従って、 $y < b_1$ で $\hat{\epsilon}_y = 0$ という条件で、式(1)を解く。ただし、式(3)中の γ の値は y/b_2 で境界条件 $\hat{\epsilon}_y = 0$ を満たすように決定した。図-2は低水路と高水敷がともに滑面の場合で、 $\phi = 21$ のときの Δ によ

K.Ashida M.Fujita B.Y.Liu

る $\hat{\epsilon}_{yy}$ の変化を見たものである。ただし、 γ 及び γ_0 は1と仮定した。 $\hat{\epsilon}_{yy}$ の値は Δ とともに増加しており、単断面の場合の値²⁾と比べるとかなり大きく、相互作用の影響で横断方向の拡散が強くなっていることがわかる。明らかに、 $\hat{\epsilon}_{yy}$ は相互作用によるものである。単断面の場合の $\hat{\epsilon}_{yy0}$ を考慮するために、すなわち流速が横断方向に変化しない領域の渦動粘性係数を考慮して、複断面の横断方向の渦動粘性係数 $\hat{\epsilon}_{yyT}$ を次式のように修正する。

$$\hat{\epsilon}_{yyT} = \hat{\epsilon}_{yy0} + \hat{\epsilon}_{yyB} \quad \dots \quad (4)$$

それで、横断方向の拡散係数 ϵ_{yy} を次式で算定される。

$$\epsilon_{yy} = \beta \cdot \epsilon_{yyT} \quad \dots \quad (5)$$

ここに、 β :比例定数である。

3. 浮遊砂の挙動に関する実験的研究

1)、実験の概要 実験水路は、幅1m、長さ12m、勾配1/500である。実験条件は表-1に示すとおりである。高水敷が粗面であり、上流端からほぼ均一な砂粒子を低水路に限り給砂し、浮遊砂が流下方向および横断方向に拡散し堆積する。濃度が流下方向に平衡になったと思われる地点で、サイフォンで濃度の分布、採砂箱で、堆積土砂を調べた。

2)、浮遊砂濃度分布 図-3は、Case1における濃度の鉛直分布を示したものである。この図から、低水路と高水敷との相互作用によって横断方向の拡散が強まり、かなりの流砂量が高水敷に輸送され、その濃度が拡散係数の横断分布の特性と対応して、低水路から離れていくとともに減衰していくことがわかる。低水路側では、高水敷からある距離を離れるとRouse分布に従っているが、境界付近ではかなり歪んだ分布形を呈している。それは低水路と高水敷との境界付近に生じた二次流の影響だと考えられる。

3)、高水敷上の堆積率の横断分布 図-4はCase1およびCase2の堆積率の横断分布を示したものである。高水敷では流砂の輸送力が低下するため低水路から輸送されてきた土砂は河床に堆積し、その横断分布形は拡散係数のそれと一致している。Case2において、土砂の堆積は低水路と高水敷の相互作用による渦動粘性係数の生じる範囲に発生する。しかし、Case1は、水深が比較的大きいため二次流が卓越し、それによって流砂がかなり奥まで輸送されることを示している。

4. あとがき 前に述べた拡散係数の評価方法を用い、拡散方程式によって、理論的な解析を行なったが、その結果は次回で報告する。

《参考文献》 1) Rajaratnam,N. and R.M. Ahmadi: Journal of Hydraulic Research, Vol.19, 1981, pp.43-60. 2) Lau, Y.L. and B.G. Krishnappan: ASCE, Vol.103, Hy10, 1977, pp.1173-1189.

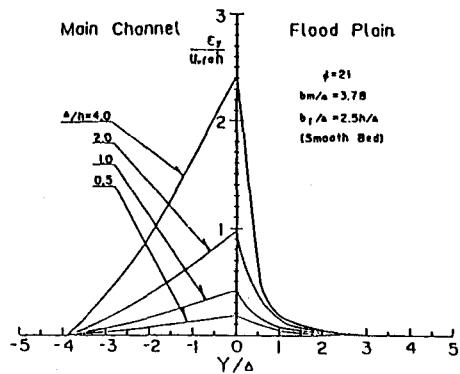


図-2 湍動粘性係数

表-1 実験条件

Run Number	δ (cm)	V_0 (cm/s)	Δ (cm)	R (cm)	H (cm)	S (1/cm)	g (cm/s ²)	I_0	v_s/v_{∞}
CASE 1	0.015	1.61	3.0	30	7.0	14.3	9.81	1/395	0.45
CASE 2	0.035	1.61	3.0	30	5.5	10.5	9.81	1/398	0.31

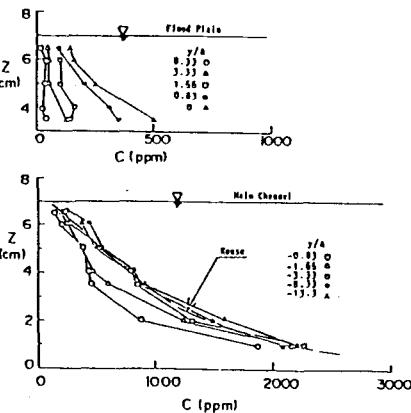


図-3 濃度の鉛直分布(Case1)

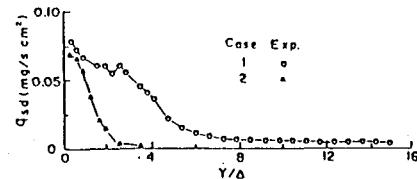


図-4 高水敷上の土砂堆積率