

埼玉大学 工学部 学生員 ○西村 達也  
埼玉大学 工学部 正 員 池田 駿介  
東京大学 工学部 正 員 浅枝 隆

### 1. まえがき

河道において、側岸部の砂の移動を研究することは、横断河床形状を決定する上で、重要な課題である。一般に、横断面内においては、拡散により河床から巻き上がるもの、拡散により側岸部へ運ばれるもの、沈降するもの、側岸部を掃流しながら転がり落ちるもの、などの動きが見られる。そして、この横断面内においては、拡散による浮遊砂の連続式、横断方向へ移動する浮遊砂量と掃流砂量との釣り合い式、の二つの関係が保たれ、これらを式に表わすと次のようになる。

$$E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + v_s \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (1) \quad \int_a^h E_y \frac{\partial C}{\partial y} dz + \beta_{BL} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $E_y$ =横断方向の拡散係数、 $E_z$ =鉛直方向の拡散係数、 $\beta_{BL}$ =横断方向の掃流砂量、 $C$ =浮遊砂濃度、 $v_s$ =沈降速度、 $a$ =基準高さ、 $y, z, h$ =図-1参照。そして、この二式を連立させることによって、浮遊砂が支配的な河道の平衡状態における河床形状を求めることができる。そこで、本研究では、

は、(1)この河床形状を求めるのに必要な横断方向の拡散係数を実験的に求めること、(2)横断方向の拡散係数、水面勾配を変化させることによって、横断河床形状がどのように変化するかを、数値計算によって求めようとするものである。

### 2. 実験装置及び方法

実験は、長さ12m、幅1mの開水路に図-1のように板を斜めに敷き、側斜面とした。そして、粒径1.3mmの砂を一様にはりつけ、その上に平均粒径0.17mmの磁砂を約1cmの厚さに敷き、初期砂河床とし、水路の最上流部の水平部分に給砂器を用いて砂を補給した。実験方法として、まず、流量、勾配を変化させることによって、流況状態を作り、流速分布をマノメーター及びピトー管を用いて測定した。次に濃度測定には、外径4mm、内径3mmのサイフォンを使用し、これを断面内に一様に配列し、採取した。そして横断方向の浮遊砂の拡散を見るために、給砂位置から下流方向に、4m、5mの地点で濃度分布を測定した。実験は、次の3つの場合で行なった。

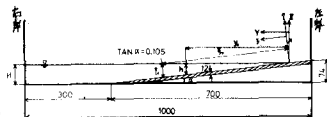


図-1 横断面図(単位:mm)

水深 H (cm)    水面勾配    流量 (ℓ/sec)

|       |     |        |      |
|-------|-----|--------|------|
| Run 1 | 7.6 | 1/1060 | 15.8 |
| Run 2 | 8.6 | 1/729  | 23.1 |
| Run 3 | 9.3 | 1/599  | 27.1 |

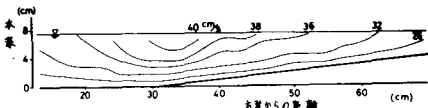


図-2 横断面内流速分布図(測定地点4m)

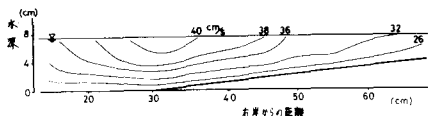


図-3 横断面内流速分布図(測定地点5m)

### 3. 実験結果及び考察

図-2,3はRun 1における給砂位置から4m、5m地点での流速分布図である。これらの図を比較すると、流況状態がほぼ満足されていることがわかる。図-4,5はRun 1の条件で、給砂位置から4m、5m地点での濃度分布図である。そして、求められた流速分布図、濃度分布図を用いて乱流拡散の基礎方程式

$$E_y = \left[ \int_0^{\xi_0} \int_0^{\xi \tan \alpha} u \frac{\partial C}{\partial \xi} d\eta d\xi - v_s \sin \alpha \int_0^{\eta_0} C(\xi, \eta) d\eta \right] \times \left[ \int_0^{\eta_0} \frac{\partial C}{\partial \xi} d\eta \right]^{-1} \dots\dots\dots (3)$$

ニニに、 $E_y$ は $y$ 方向の拡散係数、 $U$ は流れ方向、 $u$ は流れ方向の速度、 $\alpha$ は斜面の角度、 $\xi, \eta, \zeta$ は図-1参照から $E_y$ を求めた。図-6は求めた $E_y$ と $\xi$ との関係を示す図であり、実線は、 $E_y$ を摩擦速度 $u_* (= \sqrt{g I \eta})$ と $\eta$ を用い、それに補正係数 $C$ を掛けて表わしたものである。この図を見ると、 $C$ は0.15程度であることがわかる。

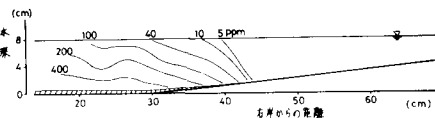


図-4 濃度分布図(測定地点4m)

#### 4. 河床形状の解析

基礎方程式として、(1)、(2)式を用いる。横断及び鉛直方向の拡散係数は、 $E_y = C_1 u_* h$ 、 $E_z = C_2 u_* h$  とする。横断方向の掃流砂量 $Q_{BL}$ については、

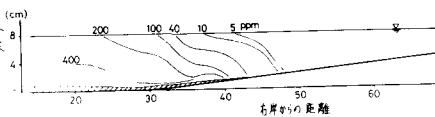


図-5 濃度分布図(測定地点5m)

$$Q_{BL} = 0.0085 C_3 \sqrt{R g d^3} \left\{ \frac{T_{xc}}{T_{ec}} \left( \frac{T_{xc}}{T_{ec}} - 1 \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \frac{dh}{dy}, \quad T_{xc} = \frac{\rho u_*^2}{\rho g d} \dots (4)$$

を用いる<sup>1)</sup>。無次元境界掃流力 $T_{ec}$ については、

$$T_{ec} = \frac{(\tan^2 \phi - \tan^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}{\tan \phi} T_{xco} \dots (5)$$

を用い<sup>2)</sup>。鉛直方向の拡散によるフラックスについては、

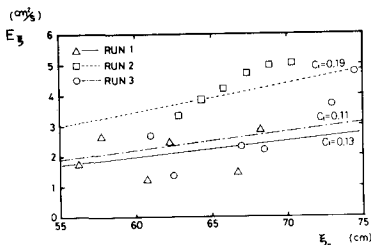


図-6 横断方向の拡散係数

$$E_z \frac{\partial C}{\partial z} \bigg|_{z=a} = U_y E_y, \quad E_y = 3.0 \times 10^{-12} C_4 A^{10} \left( 1 - \frac{5}{A} \right), \quad A = \frac{u_* (\sqrt{R g d})^{\frac{1}{2}}}{U_y} \dots (6)$$

を用い<sup>3)</sup>。浮遊砂濃度 $C$ については、

$$C = C_a \exp(-\beta z) \dots (7)$$

を用いる。ニニに、 $C_1, C_2, C_3, C_4$ は補正係数、 $u_*$ は摩擦速度( $u_* = \sqrt{g I h}$ )、 $R = \beta_s / \rho - 1$ 、 $\beta_s$ は粒子の密度、 $\rho$ は水の密度、 $d$ は粒径、 $T_{xco}$ は水平床における無次元境界掃流力、 $g$ は重力加速度、 $\nu$ は水の動粘性係数、 $C_a$ は基準濃度、 $\phi$ は水中安息角、 $\theta$ は横断河床勾配、 $I$ は水面勾配、 $\beta$ は係数である。(1),(2),(6)式を連立させ、 $\beta, C_a$ を消去し、 $h$ と $\xi$ との関係をRunge-Kutta法によって解いた。

#### 5. 計算結果及び考察

計算は、 $d = 0.02 \text{ cm}$ 、 $R = 1.68$ 、 $U_b = 3.176 \text{ cm/s}$ 、 $T_{xco} = 0.07$ 、 $\phi = 40^\circ$ 、 $\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $C_2 = 0.077$ 、 $C_3 = 10$ 、 $C_4 = 0.1$ として行なつた。図-7は、 $I = 1/500, 1/1000$ について、それぞれ、 $C_1 = 0.13, 0.5, 1.0$ と変化させた図である。この図を見ると、横断方向の拡散係数が大きくなれば、水深が深くなることがわかる。これは、横断方向の拡散による移動量が多くなれば、それに対応する掃流砂量及び鉛直方向の巻き上げ量が多くなるためである。また、水面勾配を変化させると水深は変化するが、側岸部の形状はほぼ同じ形状になることがわかった。

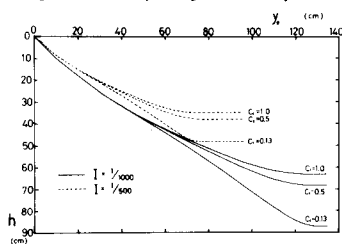


図-7 横断河床形状

#### 6. 結論

- (1) 横断方向の拡散係数の実測値は摩擦速度と水深の積に比例し、比例定数はほぼ等しい。
- (2) 側岸部分の横断河床形状は、横断方向の拡散係数に支配され、それを見積ることで、横断河床形状を決定する上でかなり重要である。

#### 7. 参考文献

- 1) S. Ikeda et al; Proc ASCE, vol 102, No HY 9, 1976
- 2) S. Ikeda; Proc ASCE, vol 108, No HY 1, 1982 pp 95-114
- 3) J. Akiyama and Y. Fukushima; submitted to Journal of Hydraulic Engineering ASCE
- 4) G. Parker; J Fluid Mech vol 89, 1978, pp 109-125