

埼玉大学 工学部 学生員 ○西村達也

正 員 池田駿介

正 員 茂枝 隆

1. まえがき

河道において、側斜面上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、河道中央部より巻き上げ、た砂が、拡散により側岸部に運ばれ、そこで沈降し、その後、斜面を転がり落ちるという連の動きが見られる。そして、この横断面内では、次の二つの関係が保たれている。一つは、拡散による浮遊砂の連続式であり、もう一つは、横方向へ移動する浮遊砂量と掃流砂量との釣り合い式である。これを式に表わすと次のようになる。

$$-E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + u_b \frac{\partial C}{\partial y}, \quad -\int_{-y_0}^{y_0} E_y \frac{\partial C}{\partial y} dy = q_{bl} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 E_y =横方向の拡散係数、 E_x =鉛直方向の拡散係数、 u_b =沈降速度、 q_{bl} =横方向の掃流砂量、 C =浮遊砂濃度。そして、この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が求まるわけである。そこで、本研究では、この河床形状を求めるのに必要な、横方向および鉛直方向の浮遊砂の拡散係数を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15m、幅50cmの閉水路に図-1のように、板を斜めに置いて側斜面とした。砂は平均粒径0.17mmの磁砂を用いて、水路の水平部分に砂を約1cmの厚さに敷き初期の砂河床とした。実験方法として、まず、流量、勾配、下流径きを変化させることによって、専流状態を作り、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2.8mmのサイフォンを使用し、これを断面内に22本配列し採取した。横断方向の浮遊砂の拡散を見るために、水路の最上流部の斜面内に長さ1m、幅50cm、厚さ5mmの仕切り板を流れに平行に鉛直に立て、その板の下流端から50cm、1mの地点で濃度分布を測定した。横方向の掃流砂量については、斜面内のある一点に砂を落下させ、水路の真上から写真を撮り、撮った写真から流れ方向と砂の移動方向との角度を求めた。そして、実験は次の3つの場合で行なった。

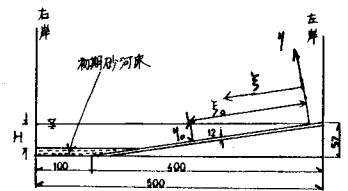


図-1 横断面図 (単位mm)

水深H (cm) 水面勾配 流量(l/sec)

Run 1	4.10	1/566	3.38
Run 2	4.47	1/414	4.69
Run 3	4.69	1/315	5.75

3. 実験結果及び考察

図-2はRun 1の流速分布図である。図-3は、求められた専流建線に垂直に交わるように描いた直交線群を表わしたものである。そして、求めた直交線群の間の面積 ΔA を、プラメーターを用いて求め、この求めた面積と水深から斜面に沿って求めた距離 s を用いて求めた摩擦速度($u_* = \sqrt{gI\Delta A/\Delta s}$)、および斜面に垂直に測った水深 y を用いて求めた摩擦速度($u_* = \sqrt{gIy}$)をそれぞれ右岸(図-1)からの距離との関係を表わしたものが図-4である。この図を見ると、水平勾配の部分では多少の誤差が見られるが、本研

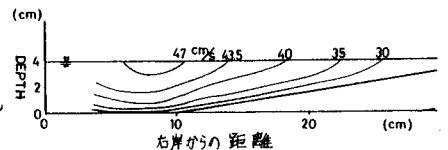


図-2 横断面内流速分布

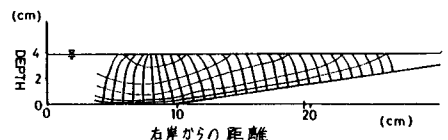


図-3 専流建線とその直交曲線群

来で問題としている斜面内ではほとんど差がないので、以後、摩擦速度は簡単 (cm/s) のために斜面に垂直に測定して求めた水深を用いて求めた摩擦速度を用いることにする。

図-5, 6は、Run 1 の条件で、右岸から 12.5 cm のところに仕切り板をたて、板の下流端から 50 cm, 1 m の地点で測定した濃度分布図を示したものである。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

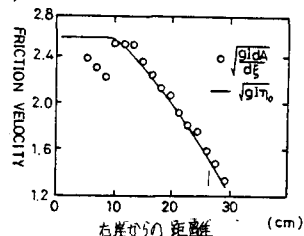


図-4 摩擦速度の横断方向分布

$$E_x = \left[\int_0^{y_0} \left(u \frac{\partial C}{\partial y} dy + w_0 \sin \alpha \right) \left\{ C(x_0, y) - C\left(\frac{y}{\tan \alpha}, y\right) \right\} dy \right. \\ \left. + \int_0^{y_0} E_y \left(\frac{y}{\tan \alpha}\right) \frac{\partial C}{\partial y} \left(\frac{y}{\tan \alpha}\right) dy \right] \times \left[\int_0^{y_0} \frac{\partial C}{\partial y} dy \right]^{-1} \dots (2)$$

$$E_y = \left[\int_0^{y_0} \left(\frac{1}{\tan \alpha} u \frac{\partial C}{\partial y} dy + w_0 \sin \alpha \right) \left\{ \frac{y}{\tan \alpha} \frac{\partial C}{\partial y} dy - w_0 \cos \alpha \right\} \left[\int_0^{y_0} \frac{\partial C}{\partial y} dy \right]^{-1} \right. \\ \left. - \int_0^{y_0} \left(\frac{y}{\tan \alpha} \frac{\partial C}{\partial y} \left\{ E_x \frac{\partial C}{\partial y} \right\} dy + \int_0^{y_0} E_y \frac{\partial C}{\partial y} dy \right) \times \left[\int_0^{y_0} \frac{\partial C}{\partial y} dy \right]^{-1} \right] \dots (3)$$

ニに、 E_x ・ E_y は横方向および鉛直方向の拡散係数、 y は流水方向、 u は流水方向の速度、 α は斜面の角度、 y_0 ・ x_0 は図-1参照から、

E_x ・ E_y を求め、右岸からの距離との関係を示したのが図-7, 8である。図-7において実線は、求めた E_x と u と y_0 を用いそれに補正係数 C_1 を掛けて表わしたものである ($E_x = C_1 u y_0$)。また、図-8より E_y はほぼ鉛直方向に一定と見なすことができる。

図-9は、Run 1 の条件で求めた、斜面を転がり落ちる角度 $\tan \alpha$ と右岸からの距離との関係を示したものである。 $\tan \alpha$ については、池田・Parker の解析によつて

$$\tan \alpha = \frac{H r \mu}{\mu} \sqrt{\frac{I_{sc}}{I_x}} \tan \alpha \dots (4)$$

ニに、 μ = 動摩擦係数、 r = 揚力係数と抗力係数との比、

が得られている。この理論結果とわれわれの実験結果とを比較すると、ほぼ似た傾向であることがわかったので、再び補正係数 C_2 ($\tan \alpha = C_2 \frac{H r \mu}{\mu} \sqrt{\frac{I_{sc}}{I_x}} \tan \alpha$) を導入した。それが図-10の中で示されている実線である。また、この補正係数は約 0.4 程度になっていることがわかった。これは式の中の μ や r の見積りの誤差によるものと考えられる。

4. 結論

(1) 横方向の拡散係数の実験値は $E_x \propto u y_0$ を示している。

(2) 斜面を転がる砂の流れ方向との角度の実験値は $\tan \alpha \propto \frac{H r \mu}{\mu} \sqrt{\frac{I_{sc}}{I_x}} \tan \alpha$ を示している。

参考文献 (1) G. Parker; J Fluid Mech, vol 89, pp 109-125 1978

(2) S. Ikeda et al; Proc ASCE, Vol 102, No HY 9 1976

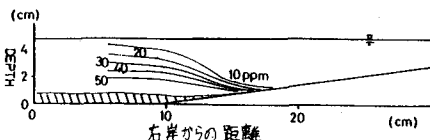


図-5 濃度分布図 (測定点 50 cm)

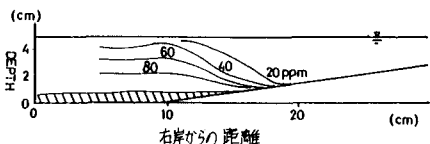


図-6 濃度分布図 (測定点 1 m)

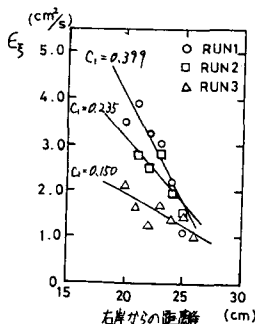


図-7 横方向の拡散係数

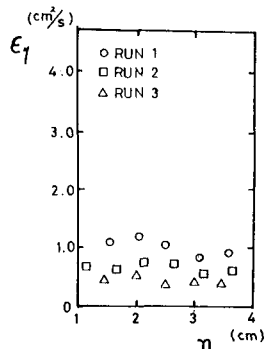


図-8 鉛直方向の拡散係数

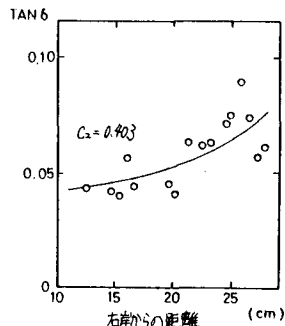


図-9 斜面の掃流時の傾角