

早稲田大学大学院 学生員 安原 達

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人

1. はじめに

河床及び河岸が砂礫で構成されている自然河川では、河床のみならず河岸も侵食・堆積を受け、その結果が、直線河道における拡幅や蛇行河川における流路変動となって現れる。著者らは、流路変動を侵食係数等の係数を導入することなく合理的に予測する新たな方法を開発することを目的として研究を進めているが、本研究は、こうした試みの第一歩であり、主に側岸侵食の機構を知ることを一つの目的として、既存の研究¹⁾²⁾³⁾を参考にしながら直線河道の拡幅過程の解析を行った。

2. 拡幅機構モデル

本モデルは単一な粒径の砂礫で構成された河道を想定する。また、等流状態の直線水路を仮定するために流路横断面内での2次元計算を行う。座標系は流路横断面内で水平方向をy軸、y軸と垂直方向をz軸としている。計算は横断面形状の対称性から流路中央軸で分割された半断面を対象としている。

流路形状の変化を支配する土砂の連続式は式(1)である。流砂量の横断方向成分は縦断方向成分と関係づけられた式(2)³⁾で与えられるものとする。ここで全流砂量はMeyer-Peter&Muller式(3)で与える。式(3)は水平床上での流砂量を与える式であるが斜面上での全流砂量 q を式(3)で表せるものとした。一方移動限界 τ_{cr}^* も横断勾配の影響を考慮した式(5)³⁾を用いて補正を行う。水平床上での移動限界はShields関数によった。

河床せん断力 τ_0 の算定は様々な方法が考えられるが、ここでは定常状態の浅水流方程式(6)を解き、水深平均流速 $\bar{u}$ と抵抗係数 C_f を用いた式(7)の形で与え、ここでは $C_f=0.01$ とした。渦動粘性係数 ε は式(8)のように一定値として与えている。

また、側岸の安息角沿いのすべり崩落による河床変動については計算STEP毎に崩落の有無を格子点毎に判定し、Fig.1のように崩落の起こる場合には崩落土砂の体積を流砂量に付加し、河床形状が崩落直線と一致するように格子点を置き換えて修正を行った。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad (1)$$

$$\frac{q_y}{q_x} = \tan \beta = \tan \delta - \frac{\Gamma}{\sqrt{\mu_s \mu}} \sqrt{\frac{\tau_{cr0}^*}{\tau_{cr}^*}} \tan \theta \quad (2)$$

$$\text{ここで } \tan \delta = \frac{v_b}{u_b} = 0$$

$$\Gamma = \frac{1}{(1 + \tan^2 \delta^*)^{\frac{1}{2}}} \frac{\cos \theta}{\cos \beta}$$

$$\tan \delta^* = \tan \beta + \frac{1}{\mu} \frac{\tan \theta}{\cos \beta}$$

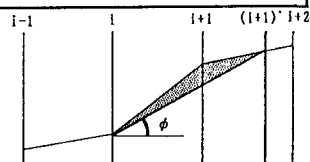
$$q = 8.0 (\tau^* - \tau_{cr}^*)^{\frac{3}{2}} \quad (3) \quad q = \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \quad (4)$$

$$\left(\frac{\tau_{cr}^*}{\tau_{cr0}^*} \right)^2 = \cos^2 \theta - \frac{\sin^2 \theta}{\tan^2 \phi} \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon D \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_0}{\cos \theta} + \rho g D I = 0 \quad (6)$$

$$\tau = \rho C_f \bar{u}^2 \quad (7) \quad \varepsilon = 0.13 u_{cr}^* D_c \quad (8)$$

q : 流砂量, λ : 砂粒子の空隙率, τ^* : 無次元せん断力,
 τ_{cr0}^* , τ_{cr}^* : 無次元限界せん断力(水平床上, 斜面上), ϕ :
 砂粒子近傍に関する値 μ' , μ : 砂粒子の摩擦係数(動, 静止)
 θ : 河床横断勾配, ρ : 流体密度, ε : 渦動粘性係数, D : 水深,
 $\bar{u}$: 水深平均主流速, v : 横断方向流速, τ_0 : 河床せん断力,
 g : 重力加速度, I : エネルギー勾配, C_f : 抵抗係数,
 u^* : 摩擦速度, c : 流路中央部に関する値

Fig.1 崩落概念図 (ϕ : 安息角)

3. 拡幅過程

拡幅過程の初期横断面形状は台形断面とし、それら河道に関する計算条件を表1に記した。

まず Fig. 3, 4は横断面形状の特徴を表す水路幅、中央部水深の時間変化である。横断面形状は4時間程度経過すると変化量も微少な安定領域に達している。そこで変化過程を初期、遷移、安定領域に分類し、0, 6(分), 4(時間)の状況を以下の図で代表して示している。Fig. 2は横断面形状の時間変化であり、せん断力による横断方向流砂量の場所的不均一のみならず、側岸部では崩落による侵食が起り、中央側では側岸側から補給された土砂が堆積し、拡幅する様子が再現された。4時間後には変動も終息し、河床形状は流路中央側で $\partial z/\partial y=0$ 、側岸側で $\theta=\phi$ となる安定横断面の持つ性質も再現された。続いて安定状態と考えられる4時間後について、流下方向流砂量の分布を Fig. 7でみると、流路中央側では流下方向流砂量が存在するのにに対し、側岸側では流速の低下にともない砂粒子の移動が生じていない状況が知られた。一方、中央側の領域では流下方向流砂量が存在するに関わらず Fig. 8で横断方向流砂量がなく、安定状態に達している。これは流路中央部で横断勾配 θ が0に漸近し、式(2)から知られるように砂粒子が流下方向に沿って移動することを表している。すなわち安定状態では中央側で $\partial z/\partial y=0$ 、側岸側で $\tau^* < \tau_{cr}^*$ を満たすことにより河床全体が横断方向流砂量を生じなくなり、河床変動のない安定横断面に到達している。

表1 計算条件

流量 (l/s)	横断勾配	粒徑 (cm)	移動限界 τ_{cr}^*	安息角 (deg)
4.2	6/1000	0.28	0.04	40

初期台形河床形状の諸元			
底面幅 (cm)	斜面勾配 (deg)	中央部水深 (cm)	側岸高 (cm)
10	30	5.8	8.0

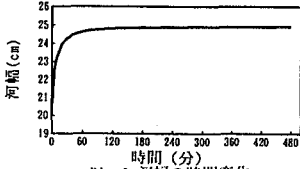


Fig. 3 河幅の時間変化

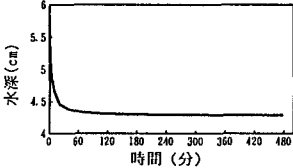


Fig. 4 中央部水深の時間変化

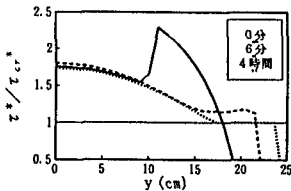


Fig. 6 z^*/τ_{cr}^* 分布

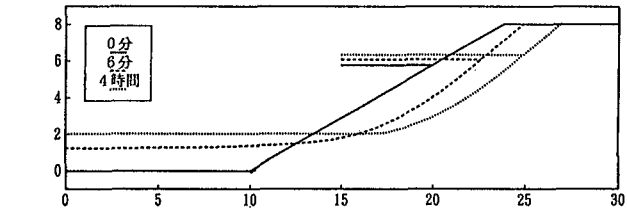


Fig. 2 横断面形状の時間変化(cm)

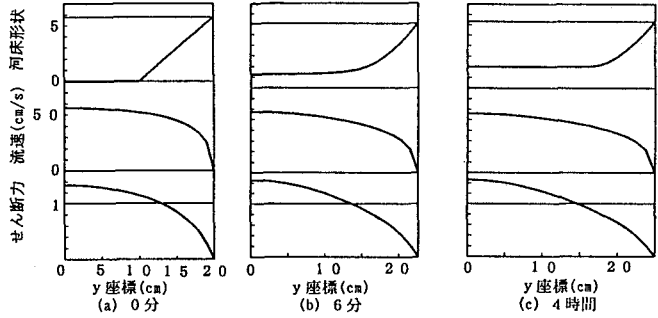


Fig. 5 流速分布及びせん断力 ($\tau/p g R i$) 分布

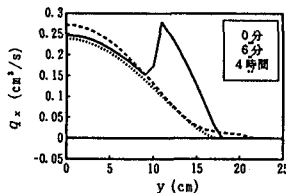


Fig. 7 縦断方向流砂量分布

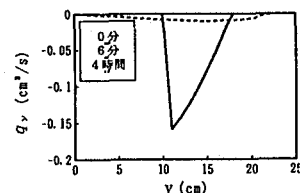


Fig. 8 横断方向流砂量分布

4. おわりに

直線河道がせん断力による横断方向流砂量と、側岸部の崩落による侵食作用により拡幅過程がモデル化され、後に安定横断面に達した。今後モデルの修正ならびに実験的研究を行いモデルの妥当性を検討するとともに河川の蛇行に代表される河道の3次元的变化に対するモデルの構築を試みる予定である。

参考文献

- ¹⁾ J. E. Pizzuto, WRR, AGU, VOL26, NO. 9, 1990. ²⁾ Diplas, Ph. D thesis ³⁾ Kouacs & Parker, 私信