

急勾配流路における土砂流出の数値計算

九州大学大学院工学府 学生員 高岡広樹  
 九州大学大学院工学研究院 正員 橋本晴行  
 九州大学大学院工学研究院 正員 朴 崎臻  
 九州大学大学院工学府 正員 池松伸也

1. はじめに

雲仙普賢岳など火山活動により火山噴出物が堆積し不安定な状態となっている地域では、深い谷が発達しており、このような所では侵食に伴い側岸土砂が流路内に崩落したりして、流出流量や流砂濃度を規定する要因のひとつとなっている。しかしながら、従来、側岸侵食による崩落土砂が流出流量や流砂濃度に与える影響について調べた研究はほとんどなく、それらの関連性については全く未解明な状態となっている。

著者らは、従来より側岸からの崩落土砂に着目し、急勾配移動床水路において一本の長方形断面の流路を設け、上流より給水することで、側岸土砂の崩落を伴う場合の流出流量、流砂濃度の特性について実験を行ってきた<sup>1)</sup>。その結果、側岸からの崩落土砂が流量、流砂濃度を増加させることが明らかになった。そこで本研究は、それらの結果を考察するため、流路の拡幅侵食過程を数値的に模擬し、1次元不定流計算を行ったものである。

2. 計算方法

2.1 基礎式

流路は長方形断面であると考へ、数値計算を行った。計算に用いた基礎式は次のようである。

(運動方程式) (全相連続式)  

$$\frac{\partial Q_t}{\partial t} + \frac{\partial(VQ_t)}{\partial x} = -gh \frac{\partial(B(h+z))}{\partial x} - \frac{B+2h}{\varphi^2} (V^2) \quad (1) \quad \frac{\partial}{\partial x} \{B(h+z)\} + \frac{\partial Q_t}{\partial x} = q_{t_m} \quad (2)$$

(固相連続式) (拡幅の式)  

$$C_* \frac{\partial(Bz)}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = q_{s_m} \quad (3) \quad q_{s_m} = \frac{\partial B}{\partial t} h C_* \quad (4)$$

(河床流砂量式)  

$$\frac{Q_s}{\sqrt{sgd^3}} = B \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \frac{1}{(\alpha - I_f) \cos \theta_0} \times \frac{\bar{u}_s}{u_*} \times G \left( \tan \theta_0, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*} \right) \quad (5)$$

(側岸からの流砂量式)<sup>2)</sup>

$$q_{s_m} = K_1 \left\{ m T_*^v - \sqrt{m T_*} \frac{v-1}{2} \right\} \{T_* - 1\} u_* d \quad K_1 = \frac{\varphi \tau_{*c}}{\mu_s}, T_* = \frac{\tau_*}{\tau_{*c} \cos \theta} \quad (6)$$

ここに、 $Q_t$  = 全流量、 $h$  = 水深、 $z$  = 河床高、 $B$  = 流路幅、 $q_{t_m}$  = 側岸からの水と土砂を合わせた供給流量、 $Q_s$  = 河床からの流砂量、 $V$  = 流れのx方向流速、 $C_*$  = 河床における最密充填濃度、 $\tau_*$  = 無次元掃流力、 $\alpha$  = 粒子間応力に関する関数で本計算では0.875、 $\tau_{*c}$  = 無次元限界掃流力、 $I_f$  = エネルギー勾配、

$\bar{u}_s/u_* = 4.7$ 、 $G \left( \tan \theta_0, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*} \right) = 1$ 、 $v, m$  = 定数で、本計算では  $v=1$ 、 $m=1$  とした。詳しい計算条件を表-1に示す。

計算方法としては、MacCormack法を用いた。MacCormack法には予測子段階と修正子段階があり、本計算では予測子段階としては前進差分、修正子段階としては後進差分を用いた。

表-1 計算条件表

時間格子間隔	$\Delta t=0.05(\text{sec})$
空間格子間隔	$\Delta x=10(\text{cm})$
流速係数	$\phi=7$
閾値	$\epsilon=0.02(\text{cm})$
平均粒径	$d=0.017(\text{cm})$
粒子比重	$\rho/\sigma=2.61$
最密充填濃度	$C_*=0.51$
飽和度	$Sr=0.67$
限界掃流力	$\tau_{*c}=0.05$
計算区間	$x=0 \sim 570(\text{cm})$
計算時間	120(sec)

## 2.2 境界条件および初期条件

上流端の境界条件は、次のようである。

$$Q_{t1} = Q_{w0} + Q_{s1} + q_{s,m} \quad (7) \quad h_1 = \left( \frac{Q_{t1}}{\phi B \sqrt{g(z_1 - z_2)} / \Delta x} \right)^{2/3} \quad (8)$$

$z$  = 初期河床高 (9)

ここに、 $Q_{w0}$ は上流端からの供給流量、 $Q_{s1}$ は上流端の河床勾配を用いて求められた平衡流砂量、 $q_{s,m}$ 上流端での側岸からの平衡流砂量である。

また下流端の境界条件として、流動深 $h$ は限界水深、河床高 $z$ は初期河床高、全流量 $Q_1$ にはBox型差分を用いた。初期条件としては、ドライベッドを想定した。

## 2.3 拡幅と崩落の条件

拡幅は連続的に進行する場合とオーバーハングの崩落を伴いながら不連続的に生じる場合とがある。実験結果より、計算では水位と天端高の差が約1cm以下の場合、拡幅は連続的に進行するとした。またオーバーハングが生じる場合には水際幅 $B$ と天端幅 $B'$ の差が2.5cmに達した時、天端の崩落が発生するものとしてモデル化した。

## 3. 計算値と実験値との比較

実験は、水路勾配 $\theta_0 = 6^\circ$ 、移動床部の長さ $L_0 = 5.7m$ の水路を用い、流路の初期断面を図-2のように、水路左岸側壁にそって幅 $B_0 = 5cm$ 、深さ $D_0 = 2.5cm$ の長方形断面とした。河床材料には平均粒径 $d = 0.17mm$ の細砂を用いた。実験は、上流より一定流量 $Q_{w0} = 400cm^3/s$ の水を所定の時間通水して行った。

図-3は、下流端で計測された流出流量 $Q_1$ と流砂濃度 $C_T$ の実験値と計算値を示す。 $Q_1$ は上流端からの供給流量 $Q_{w0}$ を用いて無次元表示している。流出流量 $Q_1/Q_{w0}$ の実験値は通水後60秒付近までは増加し、その後、減少していく。計算値も50秒付近までは増加するが、ピークの値が小さくなる。流砂濃度 $C_T$ に関しては計算値は実験値の約半分値となった。

図-4は通水2分後の河床高の実験値と計算値との比較を、図-5は天端幅の実験値と計算値との比較を示したものである。上流端を $x=0$ とし、下流に向かって $x$ 軸を設定した。両者とも計算値は実験値とよく一致している。

## 4. おわりに

本研究では、側岸侵食を考慮した不定流1次元計算を行い、実験値との比較を行った。その結果、計算値は河床高や拡幅の変化をよく表している。また、下流端での流出流量は計算、実験共に拡幅の影響によりピーク値が大きくなったと考えられる。

## 参考文献

- 1)橋本晴行, 朴 埼瑛, 池松伸也, 高岡広樹: 侵食性側岸を有する急勾配流路における流出流量の特性, 水工学論文集第46巻, 2002 (掲載予定)。
- 2)長谷川和義: 非平衡性を考慮した側岸侵食量式に関する研究, 土木学会論文報告集第316号, 1981。

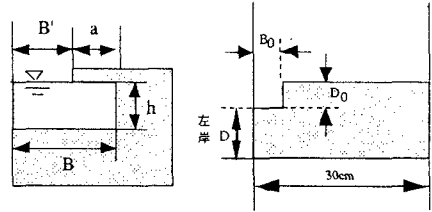


図-1 拡幅の計算

図-2 初期横断面

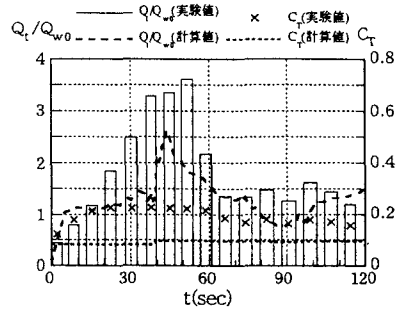


図-3 下流端における流出流量と流砂濃度の実験値と計算値との比較

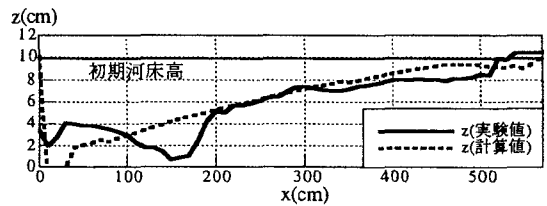


図-4 通水後の河床高の実験値と計算値との比較

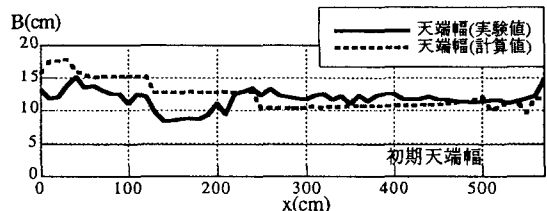


図-5 通水後の天端幅の実験値と計算値との比較