急勾配移動床水路における侵食速度と河床変動に関する研究

九州大学大学院 学生員 高岡広樹 九州大学大学院 正会員 橋本晴行 九州大学大学院 正会員 Kichan Park 九州大学大学院 正会員 池松伸也 日揮(株) 椎野 陽

1. はじめに

砂防ダムなどの構造物は,河道の安定化とともに下流域への土砂流出を減少させる効果を持つことが知られているが,近年,下流での河床低下や海岸侵食などの問題を引き起こすとともに,生態系の生息環境にも影響を及ぼすなど,その弊害が指摘されるようになってきた.そのため,土砂災害に対する安全性を確保しつつ流域全体として総合的に土砂管理に取り組むことが重要となってきている.このような土砂管理を実現するためには,まず山地流域からの土砂流出を予測しなければならない.その際,河道における侵食速度と河床変動についてその物理機構を知ることが必要である.侵食速度については,従来,河床材料として砂や礫を対象とした中川ら¹⁾の研究や粘土を対象とした関根ら²⁾などの研究があるが,細砂を対象とした研究はほとんどなく,評価式も定まっていないのが実状である.

著者らは、急勾配移動床水路において、河床材料として細砂・微細砂を用いた侵食実験を行ってきた³.しかしながら、実験結果だけで侵食速度式を求めるのは困難である、そこで、本研究では、数値計算を行うことにより、実験で求めることのできない水理量を計算し、侵食速度式を求めたものである。

2.数值計算

実験では,ある地点xにおける侵食速度iは求められるが,全流量 Q_t ,流砂濃度 C_T は下流端でのみ測定可能である.測定箇所が異なるため,iの関係式を算出するのは困難である.このため,数値実験を行い,全流量 Q_t ,流砂濃度 C_T を求めた.図-1に数値計算のフローチャートを示す.ここで,x はある地点を, x_a は下流端を示す.

1)基礎式と初期・境界条件

計算に用いた基礎式は次のようである.

(運動方程式)

$$\frac{\partial Q_t}{\partial t} + \frac{\partial (vQ_t)}{\partial x} = gBh \left\{ \sin \theta_0 - \frac{\partial (h+z)}{\partial x} \cos \theta_0 \right\} - \frac{B+2h}{\varphi^2} \left(v^2 \right)$$
 (1)

(全相連続式)

$$\frac{\partial}{\partial t}(B(h+z)) + \frac{\partial Q_t}{\partial x} = 0 \tag{2}$$

(土砂連続式)

$$\frac{\partial \left(CBh + C_*Bz\right)}{\partial t} + \frac{\partial C_TQ_t}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

(侵食速度式)

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i = 0 \tag{4}$$

ここに, Q_t =全流量,h=水深,z=河床高,C=土砂濃度, $C_T=$ 輸送濃度,B=流路幅, $C_t=$ 最密充填濃度,v=流れのx方向流速,i=侵食速度である.また,初期河床にそって流れ方向にx軸をとり,x軸から垂直上向きにz軸を設定した.

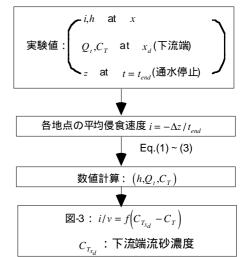


図-1 数値計算のフローチャート

表-1 計算条件

時間格子間隔	t=0.05(sec)
空間格子間隔	x=10(cm)
流速係数	=8
閾値	=0.02(cm)
最密充填濃度	C*=0.51
限界掃流力	*c=0.05

初期条件としてはドライベッドとした.上流端x=0での境界条件は,次のようである.

$$Q_t = Q_{w0} = 400cm^3 / s, 1600cm^3 / s, 4000cm^3 / s$$

$$h = \left(\frac{Q_t}{\varphi B \sqrt{g \sin \theta_0}}\right)^{2/3} \qquad C_T = 0$$

ここに, Q_{wo} は上流端からの供給流量である.下流端の境界条件として,河床高zは初期河床高を一定とした.詳しい計算条件を表-1に示す.

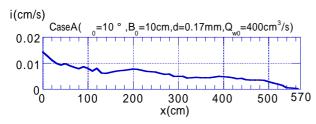


図-2 縦断方向における侵食速度の変化

2)侵食速度

侵食速度iは,各地点における河床低下量(- z)を求め,通水時間 tで除することにより求めた. 図-2は侵食速度iの縦断方向変化を示す.これを各地点のiとして数値計算に用いた.

3)数值計算結果

図-3は数値計算の結果,xにおける侵食速度の無次元量(i/v)と x_{o} (下流端)とxでの流砂濃度の差 $(C_{\tau_{x_d}}-C_{\tau})$ の関係を示したものである.この図より最小自乗法によってもとめた回帰曲線を実線で示す.この回帰曲線の式を簡略化すると,

$$i = 0.15 \left(C_{T_{X,i}} - C_T \right)^2 v \tag{5}$$

となった。これは下流端における流砂濃度との差が大きいほど 侵食量が大きくなることを示している.

3.侵食速度式として式(5)を用いた場合の河床変動計算

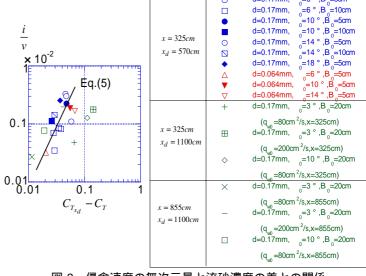
式(5)は下流端との流砂濃度との差が大きくなると侵食量が大きくなることを示している.そこで式(5)を用いて河床変動計算を行った.ここで計算条件として,下流端流砂濃度 $C_{r_{x_d}}=0.317$ とした.

図-4は,侵食速度式として式(5)を用いた場合の河床高の計算結果と実験結果との比較である.両者を比べると概ね一致していることがわかる.

図-5は下流端から流出する水と土砂を合わせた全流量と流砂濃度の時間変化の計算結果と実験結果の比較である.流出流量Q₁は供給流量Q_{w0}で割って無次元化している.計算結果の流出流量,流砂濃度は,概ね実験結果に近い値となった.

4.おわりに

本研究では、急勾配移動床水路において細砂・微細砂を用い



d=0.17mm,

_=6 ° ,B _=5cm

図-3 侵食速度の無次元量と流砂濃度の差との関係

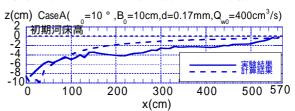


図-4 侵食速度式として式(5)を用いた場合の 計算結果と実験結果の比較

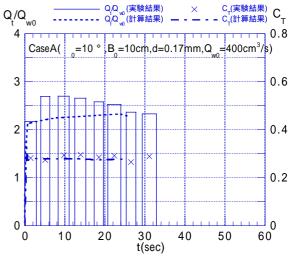


図-5 下流端における流出流量と流砂濃度の 計算結果と実験結果との比較

て行われた侵食実験結果をもとに実験で測定できない箇所の水理量を求めるため,数値計算を行った.その結果, 侵食速度式として,式(5)を得た.さらに式(5)を用いて同様に河床変動計算を行った.その結果,式(5)を用いた計 算結果は概ね実験結果を表していることがわかった.

参考文献

1)中川一:地形変動論、土木学会水理委員会基礎推理部会研究分科会報告、1998 2)関根正人、藤尾健太、飯塚暢明:粘着性土の侵食速度に及ぼす作用せん断力の影響、土木学会第56回年次学術講演会、2000 3)Kichan Park、平野宗夫、橋本晴行、押村嘉人、渡辺聰一:急勾配流路における流出流量の特性に関する実験的研究、土木学会第53回年次学術講演会、1998