

京都大学防災研究所 フェロー 高橋 保
 京都大学防災研究所 正会員 中川 一
 京都大学防災研究所 正会員 里深 好文
 京都大学工学部 学生員○岸上 直之

1、はじめに 山地河川のように大小さまざまな砂礫が混在する場所での土砂輸送現象に関してはいまだ不明な点が多い。そこで、本研究では幅広い粒度分布をもつ河床材料からなる混合砂礫床において、河床の侵食現象に関する水路実験を行い、新たな河床侵食速度式を提案して、実験結果と比較、検討している。また、本実験では河床材料中の最大粒径に近いものは移動せず、小さい粒子がその大きい粒子の間を移動するような条件を設定している。

2、河床侵食速度式 まず河床材料を次の三種類に分けて考える。①ほとんど水と一体となって挙動する細粒分、水の挙動とは異なる動きをする粗粒分に分け、さらに粗粒分の中でも②移動する土砂と③移動しない土砂に分類した。流動している土砂と水の混合物中では、水と①の細粒分が液相を形成し、②の粗粒分が固相を形成している。粗粒分と細粒分の境界は明確には定めがたいが、本実験では粒径 0.022cm 以下を細粒分とした¹⁾。混合砂礫床における侵食速度式は以下のようなものである²⁾。

$$\frac{i_{sbo}}{\sqrt{gh}} = K \sin^{3/2} \theta \left\{ 1 - \frac{\sigma - \rho_m}{\rho_m} C_L \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta} - 1 \right) \right\}^{1/2} \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta} - 1 \right) (C_{L\infty} - C_L) \frac{h}{d_{mL}} \quad (2.1)$$

ここで d_{mL} は流体中の粗粒分の平均粒径、 i_{sbo} は d_{mL} の粒径をもつ一様砂礫床に対する河床侵食速度、 g は重力加速度、 h は水深、 K は定数、 θ は河床勾配、 ρ_m は液相の密度、 σ は土砂の密度、 ϕ は土砂の内部摩擦角、 $C_{L\infty}$ は後述する粗粒分の平衡土砂濃度、 C_L は粗粒分の流入土砂濃度である。しかし、河床の粒子の一部が移動しない条件下では、移動可能な粗粒子の割合 K_I を用いて i_{sbo} を補正すると $i_{sbo} K_I$ がバルクの侵食速度となる。次に粗粒分の平衡土砂濃度を以下に示す²⁾。

表 1

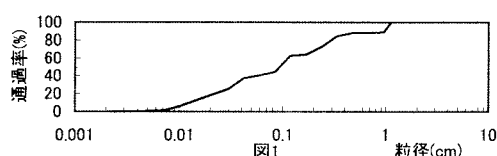
$0.03 < \tan \theta \leq 0.138$ の場合

$$C_{L\infty} = 6.7 \left\{ \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \phi - \tan \theta)} \right\}^2 \quad (2.2)$$

$\tan \theta > 0.138$ の場合

$$C_{L\infty} = \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (2.3)$$

勾配	3°	10°	16°
流量(cc/sec)	90	30	30
給水時間(sec)	15	20	10



なお本実験では勾配を 3°、10°、16° の三種類に設定したので、3° のケースでは式(2.2)を用い、10°、16° のケースでは式(2.3)を用いた。本実験では移動床の最上流端から 10cm 下流までを区間Ⅰ、次の 10cm を区間Ⅱとして、以下順に区間Ⅵまで、移動床を 10cm ごとに区切って考える。上流から給砂を行っていないので区間Ⅰに流入する土砂濃度は 0 であり、区間Ⅱに流入する土砂濃度は区間Ⅰから流出した土砂濃度に等しい。すなわち移動床の長さを 10cm にして実験を行った際に、下流で採取した土砂量から求められる土砂濃度が区間Ⅱに流入すると考えられる。区間Ⅲ～Ⅵに対しても同様に考えた。

3、水路実験の概要と結果 図 1 に示す粒径加積曲線をもつ河床材料を用いて侵食速度に関する実験を行った。実験条件を表 1 に示している。水路幅は 5cm、移動床の長さはまず 10cm からはじめ、以後 10cm ずつ 60cm まで伸ばした。このようにしたのは移動床の長さを伸ばすことにより、下流端で計測される土砂濃度が平衡土砂濃度に収束するかを調べるためである。また、この移動床の上流部および下流部には固定床が設けられている。上流の固定床部には粒径加積曲線において d_{50} が 0.27cm である砂礫が粗度として貼り付けられている。

河床侵食速度は以下のようにして求めた。河床位だが、移動床部全体を河床位計で横断方向に 5mm、流下方向に 4mm 間隔で計測し、平均化した値を河床位の代表値としている。給水前に測定した河床位の代表値と給水後に測定した河床位の代表値の差をとり、これを給水時間で割ることにより侵食速度としている。粗粒子濃度(C_L)を図 2~4 に示す。横軸には移動床の長さ(cm)、縦軸には濃度(C_L)を示している。勾配 3° のケースでは移動床が長くなるにつれ、ある程度だが、粗粒子濃度 C_L が収束する様子をつかめたが、 10° 、 16° ではこれに近づく傾向はあるが、収束する様子を見られなかった。

4、実験値と計算値の比較 土砂の移動限界は実験結果をもとに移動限界となる粒径が $d=0.473\text{cm}$ であるとして、全ての侵食速度を式(2.1)より求めた。図 5 には横軸に実験値、縦軸に式(2.1)から得られた $i_{sbo}K_L/K$ が示されている。この図より、係数 K は 0.0182 と考えられる。また実験で得た区間ごとの河床侵食速度と計算で得た区間ごとの河床侵食速度を比較した結果を図 6~8 に示している。横軸に移動床の長さ(cm)、縦軸にその区間の侵食速度(cm/sec)をとる。 3° のケースでは実験値と計算値で差が見られるケースがあった。この原因としては河床位計が微小な河床変動の量を正しく読み取れなかった可能性がある。 10° 、 16° のケースでは計算値と実験値が概ね一致していた。

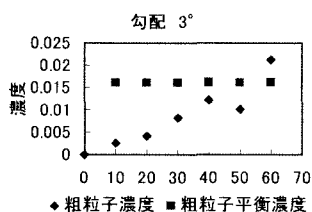


図2

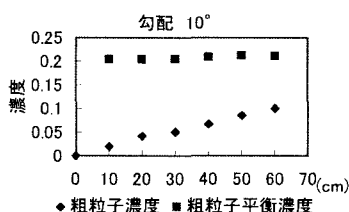


図3

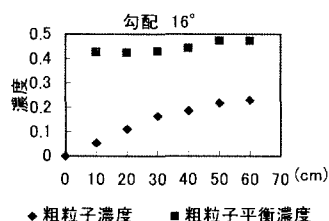


図4

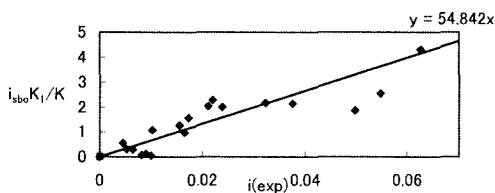


図5

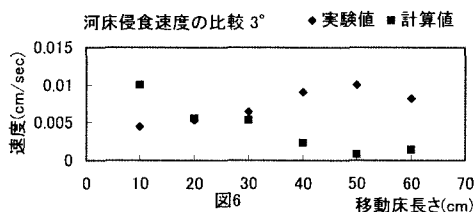


図6

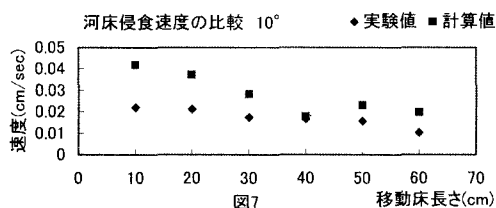


図7

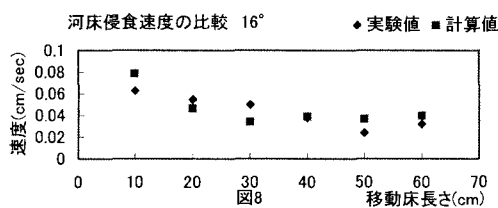


図8

参考文献 1)砂防学会：溪流の土砂移動現象、pp.64-72、平成 3 年 1 月

2)防災研究協会：貯水池への流入土砂の予測に関する基礎研究、pp.34-40、平成 11 年 3 月