

混合砂礫床の流路侵食に関する数値計算

京都大学防災研究所 正会員 里深好文

京都大学防災研究所 正会員 高橋 保

電源開発株式会社 正会員 奥村裕史

1. はじめに 山地流域においては大規模かつ急激な土砂生産により、幅広い粒度分布をもつ土砂が大量に河道内に堆積している場合が多く見られる。堆積土砂のうちあるものはその後の中小出水により侵食されるため、このような領域は下流域へ主要な土砂供給源となっていると考えられる。河道幅が広いところでの侵食過程においては、水みちの形成を考慮する必要があるが、幅広い粒度分布をもつ混合砂礫床を対象とした水みち侵食に関しては未だ不明な点が多い。そこで本研究においては、混合砂礫床を対象として2次元浅水流モデルによる水みち変動過程に関する数値計算を行う。等しい平均粒径をもち、粒度分布の標準偏差が異なる材料を対象として計算を行い、河床砂の粒度分布が流路変動に及ぼす影響に関して検討する。

2. モデルの概要 流れの計算には非定常の2次元浅水流モデル¹⁾を用いている。差分化にはスタッガードスキームを用い、移流項の差分には風上差分を用いている。河床変動計算に関しては、比較的幅広い粒度分布をもつ混合砂礫床を対象として構築された以下の式²⁾を用いる。

 $C_{\infty} - C > 0$ のとき、(侵食、 $i_k > 0$)

$$i_k = \begin{cases} \delta_e \frac{C_{\infty} - C}{C_*} |u_* - u_{*ck}| & (u_* - u_{*ck} > 0) \\ 0 & (u_* - u_{*ck} \leq 0) \end{cases}$$

$$i = \sum_k f_{bk} i_k$$

 $C_{\infty} - C \leq 0$ のとき、(堆積、 $i_k \leq 0$)

$$i_k = \begin{cases} \delta_d \frac{C_{\infty} - C}{C_*} |u_* - u_{*ck}| & (u_* - u_{*ck} < 0) \\ 0 & (u_* - u_{*ck} \geq 0) \end{cases}$$

$$i = \sum_k f_{0k} i_k$$

ここに、 i ：侵食・堆積速度、 i_k ： k 番目の粒径階の侵食・堆積速度、 C_{∞} ：平衡土砂濃度、 C ：土砂濃度、 C_* ：堆積土砂の容積濃度、 δ_e ：侵食係数、 δ_d ：堆積係数、 u_* ：摩擦速度、 u_{*ck} ： k 番目の粒子の限界摩擦速度、 f_{bk} ：河床表面における k 番目粒子の存在率、 f_{0k} ：掃流砂中の k 番目粒子の存在率である。各粒径階の流砂の連続式は以下のように表される。

$$\frac{\partial C_k h}{\partial t} + \frac{\partial C_k h u'}{\partial x} + \frac{\partial C_k h v'}{\partial y} - C_* i_k = 0$$

ここに、 C_k ： k 番目粒子の流砂濃度、 h ：水深、 u', v' ：流砂の x, y 方向の輸送速度である。主流に直交する方向の流砂の存在を考慮すると、図-1に示すように流砂の輸送速度は水の速度は異なる値となる。いま、主流方向に s 軸、これと直交する方向に n 軸を取り、 s 軸が x 軸となす角を β_1 とすると、

$$\beta_1 = \arctan \frac{v}{u}$$

と表される。 n 軸方向の河床横断勾配 $\frac{\partial z}{\partial n}$ により生じる流砂量 q_{bn} は長谷川の式³⁾を用いると、

$$q_{bn} = -q_{bs} \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_*}} \frac{\partial z}{\partial n}$$

となる。ここに、 q_{bs} ：主流方向の流砂量、 τ_* ：無次元河床せん断力、 τ_{*c} ：限界掃流力である。上式の根号の値に場所的な変化が小さいと考え、これを K とすると、流砂が主流となす角 β_2 は、

$$\beta_2 = \arctan \left(-K \frac{\partial z}{\partial n} \right)$$

となる。流砂量の総量に変化がないと考えると、 u', v' はそれぞれ以下のように表される。

$$u' = \sqrt{u^2 + v^2} \cos(\beta_1 + \beta_2), \quad v' = \sqrt{u^2 + v^2} \sin(\beta_1 + \beta_2)$$

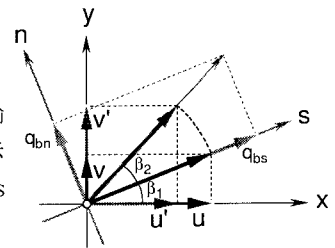


図-1

3. 計算条件 長さ5m、幅60cmの領域を対象として計算を行った。河床砂の粒度分布を図-2に示している。流量は $800\text{cm}^3/\text{s}$ 、初期河床勾配は1/20であり、初期河床の中央部には幅14cm、深さ2cmの水みちを設定した。河床砂の粒度分布を変化させ、4ケースの $p(\%)$ 計算を行った。Case Aは図-2のAの材料を用い、Case B, Case Cはそれぞれ材料B, Cを採用した。Case Dは材料Cの最大の粒径階を除いた粒度分布を用い、かわりに計算メッシュのうちランダムに選択した125点の粒径を最大径としている。すなわち、Case Dにおいて河床全体の粒度分布はCase Cと同じであるが、

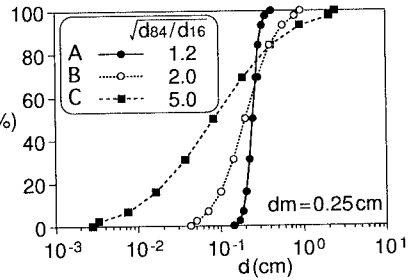


図-2

大きな粒子の評価方法が異なっていることになる。流路の侵食過程を見るため、給砂量は0としている。計算格子のサイズは流下方向に5cm、横断方向に2cmとし、時間ステップは0.02秒としている。

4. 計算結果と考察 図-3に $t=60$ 分における各ケースの河床平均粒径に関する計算結果を示す。また、図-4には同時刻における河床のコンター図を、図-5には流速分布を示している。これらを見ると、粒度分布が幅広くになると細粒分の存在率が大きくなるために、水みちの侵食はより顕著になっていることが分かる。Case Dを除けば水みちが横断方向に変動するようなことはない。これは、上流からの給砂が無く、縦侵食が進む様な場では、水みちの横断方向の変動が起こりにくくなるという従来の水路実験の結果と適合する。Case BやCの河床の平均粒径を見ると、水みち部にはアーモークコートが形成されていることがわかる。これにより、流砂量は時間的に減少し、河床変動のほとんどない状況となっていた。Case Dをみると、河床上に配置された大粒子（粒径2cm）の影響のために、Case Cに比べて侵食量が小さくなっている。山地河川においては粒子の大きさが水深や河道幅に対して無視できない場合も多く、このような粒子の取り扱いが侵食量の予測にも大きな影響を及ぼすことが分かる。

5. おわりに 混合砂礫床を対象として、水みち侵食に関する数値計算を行い、河床の粒度分布が河床侵食に及ぼす影響を調べた。今後、観測結果との比較を行う予定である。

参考文献 1) 高橋・里深・奥村

：山地河川の流路変動に関する研究、京大防災研年報, 39号, 1996.

2) 奥村・高橋・里深：混合砂礫床の流砂現象に関する研究、第53回年講概要集, 1998.3)

長谷川：沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究、北大学位論文, 1983.

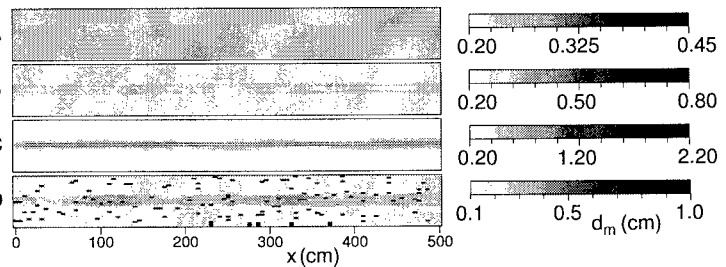


図-3 河床の平均粒径 ($t=60$ 分)

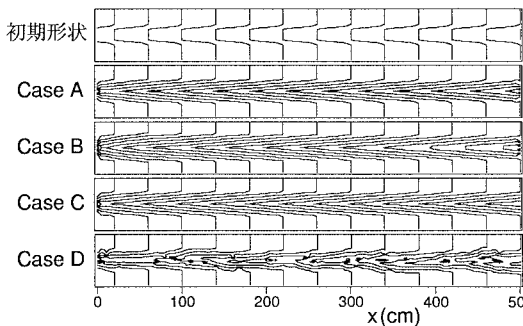


図-4 河床のコンター図 ($t=60$ 分)

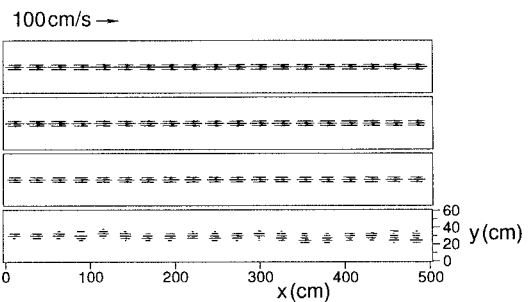


図-5 流速分布 ($t=60$ 分)