

不浸食床の露出がある河床変動の数値計算

徳島大学工学部 正 員 岡部 健士

徳島大学大学院 学生員 穴瀬 康雄

徳島大学大学院 学生員 ○山下 秀基

1. まえがき

山地河川の河床変動に特有な現象の一つとして、不浸食性の基岩床が露出したり再度砂礫により被覆される過程が挙げられる。このような基岩床の露出と再被覆が繰り返される区間は、一般に急勾配の狭窄部であり、流れにおいては常流と射流が混在している場合が多い。本文では、以上のような区間を含む河道の1次元河床変動計算モデルを提示するとともに、モデル実験への適用を通してその適合性を検討した結果を報告する。ただし、ここでは一様礫床の問題のみを取り扱っている。

2. 基礎式

漸変流の仮定に従えば、一次元開水路不定流の連続式と運動方程式は、それぞれ(1)および(2)式のように記述できる。また、流砂と河床砂の連続式は(4)式ようになる。河床変動計算は、補助方程式として流れの抵抗則と流砂量式を導入したのち、適当な境界条件のもとで(1)、(2)、(4)式を数値解析することに帰着する。本文で紹介する計算例では、抵抗則として(3)式のようなManning式を用い、砂礫床上の流砂量式については(5)式に示す芦田・道上式、滑面固定床上での土砂輸送能力の算定式には(6)式の道上式¹⁾を適用した。

3. 計算方法

基礎式の数値解法としては、保存形方程式の差分法として最近注目されているMacCormackの二段階計算法にTVD型人工粘性を付加したものが有用である²⁾。不浸食床の露出と再被覆がある場合の取り扱い、以下のようにすればよい。まず、不浸食床が露出する場合について説明する。ある時刻 $T=t$ において砂礫に被覆されていた河床について $T=t+\Delta t$ での河床変動を計算したところ、図-1に示すように河床が不浸食床より低下する結果を得た場合、該当する断面のうち、河床の低下速度が最も大きい断面の河床位が、その断面の不浸食床高さ $\tilde{z}$ と一致するように Δt を $\tilde{\Delta t}$ ($\tilde{\Delta t} < \Delta t$) に下方修正する。そして、これ以降、固定床上の流れは、土砂堆積のない状態下では(6)式によって計算される土砂輸送能力を有

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = -B \frac{\partial z}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = gA \left(-I_f - \frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I_f^{1/2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial}{\partial x} (B \cdot q_B) = 0 \quad (4)$$

$$q_B = 17 \tau_{*c}^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \sqrt{s g d^3} \quad (5)$$

$$\frac{\hat{q}_B}{u_* d} = f \left(\frac{u_* d}{\nu} \right) \tau_* \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (6)$$

$$f \left(\frac{u_* d}{\nu} \right) = 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u_* d}{\nu}$$

$$q_{Bi} B_i = \min [B_i \hat{q}_{Bi}, B_{i-1} q_{Bi-1}] \quad (7)$$

t = 時間, x = 流れ方向距離, A = 流積, Q = 流量, z = 河床位,

B = 河床幅, g = 重力加速度, H = 水位, I_f = 摩擦損失勾配

v = 平均流速, n = Manningの粗度係数 R = 径深,

λ = 河床の空隙率, q_B = 単位幅流砂量, τ_* = 無次元掃流力,

τ_{*c} = 無次元有効掃流力, τ_{*c} = 無次元移動限界掃流力,

s = 砂の水中比重, d = 砂の平均粒径, u_* = 無次元摩擦速度,

$\hat{q}_B$ = 滑面固定床上の単位幅当りの掃流砂輸送能力,

ν = 動粘性係数, i = 流下方向に順に付した断面番号

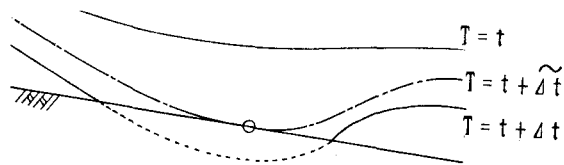


図-1 河床位と不浸食床高さの概念図

しているが、上流からの土砂供給量がそれを下まわる場合には、wash loadと同様に、流砂量は供給量に等置する必要がある。すなわち、上流から順に付した断面番号が i の断面が固定床である場合この断面の流砂量は(7)式により算定する。このようにして求められた q_{si} を用いた河床変動計算の結果、わずかでも河床上昇するという結果となれば、砂礫によって被覆されたものとみなし、これ以降当該断面は再び移動床として取り扱う。

4. モデル実験への適用

山地河川を念頭におき、川幅が図-2の上部に示すように大きく変化する長方形断面水路を作成し、急縮部(距離 $x=4\text{m}$ から 8m)に不浸食河床を模した合板を、高さ $z=12\text{cm}$ の位置に、ほぼ水平に設置した。そして、平均粒径 1mm の均一砂を用い図-2の中で破線で示すような縦断形状をもつ初期河床を作成したのち、流量 3.5 l/s を通水し、その後の河床位と水位の時間的な変化を計測した。

図-2では、通水時間15分、60分、180分における河床位と水位の計測結果(○付き実線)を示すとともに、これと本モデルによる計算結果(実線)を比較している。計算値と実験値の全体的な合致は、水位・河床位とも概ね良好といえる。しかし、細部では、 5m から 6m 付近、すなわち不浸食床から移動床につながる部分の河床勾配や不浸食床の露出部が下流に向かって伸びてゆく速度に若干の相違を指摘することができる。これは、流砂の非平衡性が非常に強い箇所に、動的平衡な現象に対して定式化された流砂量式を用いたためと考えられる。

5. おわりに

以上、不浸食床の露出がある河床変動に対して、提示した計算モデルが有用であることを示した。今後は、提示したモデルにより精度よく現象を再現するように、非平衡性の強い箇所に対する取り扱いを検討したい。また、不浸食床上に大径の転石がある状況への適用を試みるつもりである。

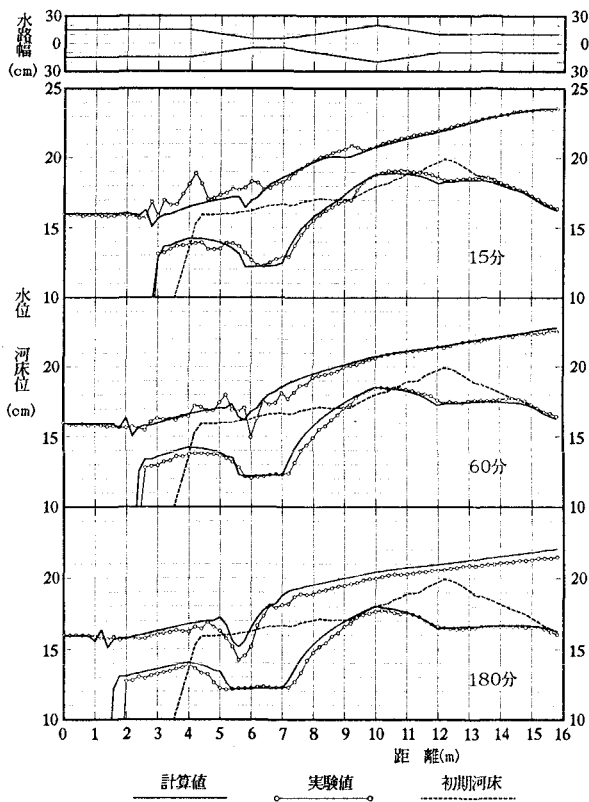


図-2 実験値と計算値の比較

□参考文献□

- 1) 道上正規：流砂と河床変動に関する基礎的研究，京都大学学位論文，pp. 37-40，1972
- 2) 岡部健士・高橋邦治・穴瀬康雄：MC法を用いた1次元開水路流れの数値計算法，徳島大学工学部研究報告，(投稿中)