

砂防ダムの機能に関する研究

北海道大学工学部 佐藤 裕之
 北海道大学工学部 正 員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 正 員 板倉 忠興

1. はじめに

近年、宅地開発やリゾート開発などの土地開発の拡大により、山間部まで人間の活動範囲が拡大し土砂災害の危険性が增大している。このような土砂災害の軽減、防止のために河川の上流部には砂防ダムが数多く設置されている。

砂防ダムの機能として、流出土砂の貯留と調節などが挙げられる。

砂防ダムが設置されるような山地河川では、河道の幾何条件の変化が激しく、常流・射流の混在する流れとなり、従来の河床変動計算では、常流または射流によって差分スキームの方向を変える必要があり、計算が困難となる。

本研究では、跳水の生じる流れでも適用可能なMacCormack法を用いた、一次元河床変動計算を用いて砂防ダムの貯留機能や流出土砂調節機能について検討した。

2. MacCormack法を用いた河床変動計算法

2.1 基礎方程式

河床変動計算で用いる基礎方程式は、(1)~(4)式で表せる。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} = C \quad (1)$$

ただし、

$$U = \begin{pmatrix} A \\ Q \\ Z \\ P_i \end{pmatrix} \quad (2) \quad E = \begin{pmatrix} Q^2/A + i/2gBh^2 \\ (q_{B_i}B)/B(i-\lambda) \\ (q_{B_i}B)/B\delta(1-\lambda) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{pmatrix} gA(i-i_r) \\ -P_i^*/\delta \cdot \partial Z/\partial t \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$P_i^* = \begin{pmatrix} P_i^t & (\partial Z/\partial t \geq 0) \\ P_i^b & (\partial Z/\partial t < 0) \end{pmatrix} \quad (5)$$

ここに、A:流積 Q:流量 i:河床勾配 i_r :エネルギー勾配 Z:河床高 B:河幅 λ :河床材料の空隙率 q_B :単位幅当たりの流砂量 δ :交換層の厚さ P_i :粒径 d_i の粒子が交換層中に占める割合 P_{i_0} :粒径 d_i の粒子が原河床に占める割合 q_{B_i} :粒径 d_i の粒子の単位幅流砂量

掃流砂量式として、Meyer-Peter-Mullerの式を使用した。

$$q_{B_i} = P_i \cdot 8 (\tau_{*i} - \tau_{*ci})^{1.5} \sqrt{sgd_i^3} \quad (6)$$

ここに、 $\tau_{*i} = u_*^2/sgd_i$:無次元有効掃流力 $\tau_{*ci} = u_{*c}^2/sgd_i$:無次元限界掃流力(岩垣の式より求める)

2.2 計算方法

MacCormack法は、予測子段階と修正子段階から成り、計算に用いた差分スキームは、(7), (8)式のようになる。^{1) 2)}

予測子段階

$$\overline{U}_j = U_j^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (E_{j+1}^n - E_j^n) + \Delta t \cdot C_j^n + V_j \quad (7)$$

修正子段階

$$U_j^{n+1} = \frac{1}{2} (U_j^n + \overline{U}_j) - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (\overline{E}_j - \overline{E}_{j-1}) + \frac{\Delta t}{2} \overline{C}_j + V_j \quad (8)$$

ここに、j は、上流から下流に向かって断面に付けた番号である。また、計算中における数値振動を抑えるために次のような人工粘性を付加した。

$$Q_j^n = \frac{k}{8} (U_{j+1}^n - 2U_j^n + U_{j-1}^n) \quad (9)$$

$$\text{予測子段階: } V_j = - (Q_{j+1}^n - Q_j^n) \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (10)$$

$$\text{修正子段階: } V_j = (\overline{Q}_j - \overline{Q}_{j-1}) \frac{\Delta t}{2\Delta x} \quad (11)$$

また、発散しないように、全ての断面について(12)式を満足するように Δt を設定する。

$$\Delta t \leq \min \left[\frac{\Delta x}{u \pm \sqrt{gh}}, -\frac{C_1}{C_2} \Delta x, \frac{1}{C_4} \Delta x \right] \quad (12)$$

ここに、 q_{B_i} は、 P_i と水理量の関数の積 f_i 、 $q_{B_i} = P_i \cdot f_i$ とした。

$$C_1 = \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_B}{\partial q}, \quad C_2 = \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_B}{\partial h}, \quad C_3 = \frac{1}{\delta(1-\lambda)} \left(P_i \frac{\partial q_B}{\partial h} - P_i \cdot \frac{\partial q_B}{\partial h} \right)$$

$$C_4 = \frac{1}{\delta(1-\lambda)} f_i$$

3. 砂防ダムの貯留機能の検討

ここでは、今まで述べてきた計算法を用いて、数パターンの計算条件を設定し、砂防ダムの堆砂形状を計算し、堆砂勾配を求める。水路は、水路幅20cm 下流端に高さ5cmの堰を設置し、初期河床勾配は、1/10, 1/20, 1/40, 1/60, 1/80の5通り、河床材料は、平均粒径が1.0(mm) 2.4(mm) 5.5(mm) の3通りを用い、流量は、1000cm³/secである。

図-1及び図-2は、初期河床勾配1/10で、河床材料の平均粒径が1.0(mm)と2.4(mm)の場合の堆砂形状の図であるが、粒径により堆砂勾配が変化している。

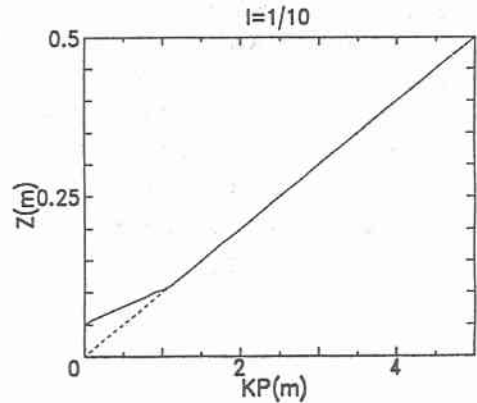


図-1

図-3は、計算結果より初期河床勾配と堆砂勾配との関係を表した図である。一般には堆砂勾配は、元河床勾配の約2分の1になると言われているが、計算結果では、そのようにはならず、粒径によって堆砂勾配が変化し、粒径が大きいくほど堆砂勾配が急勾配になる傾向がある。

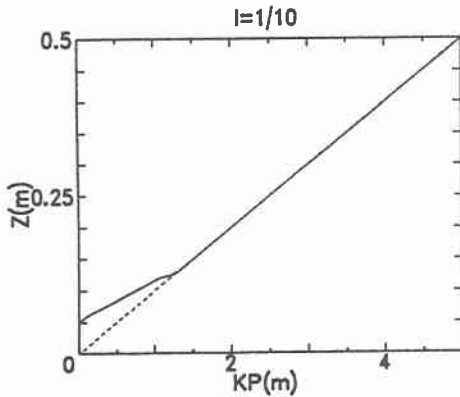


図-2

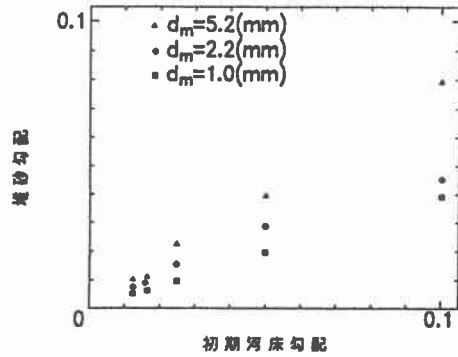


図-3

4. 砂防ダムの流出土砂調節機能の検討

砂防ダムには、満砂後、洪水時に堆砂部の河床が上昇する事によって、土砂を堆砂部に貯留し、下流への土砂量を低減させる流出土砂調節機能があるとされているが、ここでは、数値計算により土砂調節機能について検討する。

計算条件は、河床勾配は 1/10、河床材料の平均粒径は 1.0(mm)で、その他の条件は、3章と同じである。計算では、砂防ダムの堆砂が満砂状態になるまで一定流量で通水し、満砂後、上流端から図-4のような洪水波を与える。

上流端から流入させた土砂量と下流端にある堰から流出した土砂量との比較を図-5に示す。砂防ダムは、流入してきた土砂量を低減させており、流出土砂調節機能を発揮している。

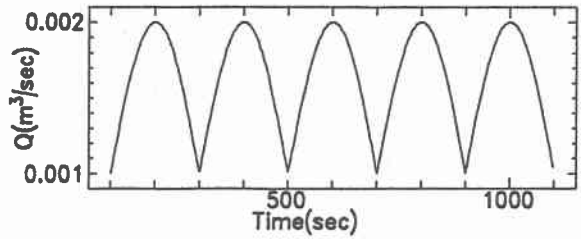


図-4

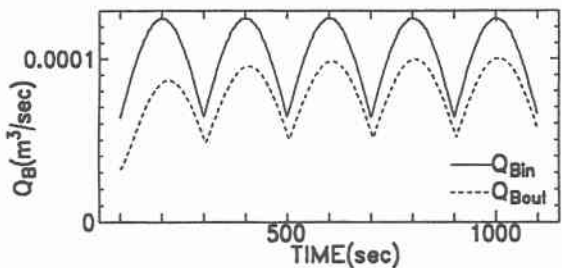


図-5

5. 終わりに

本研究では、河床変動計算を用いて、砂防ダムの土砂貯留機能について検討したが、河床材料の粒径によって堆砂勾配が変化し、粒径が大きくなるほど貯留能力が大きくなった。

また、流出土砂調節機能については、上流端からの流入土砂量と下流端での流出土砂量との比を計算すると約9%ほどの低減効果があった。また、河道の拡幅部などに砂防ダムを設けると更にこれらの効果を促進することが考えられ、これらのことについても検討していきたい。

参考文献

- 1) 日本機械学会編：流れの数値シミュレーション，コロナ社，第2章
- 2) 崇田、清水、渡辺：MacCormack法を用いた常・射流計算，開発土木研究所月報 No448，1990年4月