

貯水池における河床変動計算について

徳島大学工学部 正員 岡部健士
 四国建設コンサルタント 正員 天羽誠二
 四電技術コンサルタント 正員 石垣昌邦

1. まえがき： 近年、貯水池の堆砂によって貯水池容量の減少や貯水池上流部の河床上昇の問題が起きている。本文では、山地上流部に位置する貯水池を対象に、堆砂形状と粒度分布を同時に計算することが可能な一次元河床変動計算法を用いて、建設後約10年間の堆砂計算を行った結果を報告する。

2. 水理計算： 水面形の計算は、標準逐次法による不等流計算を用いた。このとき、断面間隔が河幅の数倍あるために、断面間の平均Energy勾配 I_{em} を求める際に、それぞれの断面水理量から求まるEnergy勾配 I_{e1} 、 I_{e2} に重み W_1 、 W_2 をつけた計算を行った¹⁾。重みは、2断面間の河床勾配 I_b の正負で相違するが、ある断面の流れが等流状態に近いほど、また、限界状態から遠いほど、その断面の重みが増すよう定式化されている。ここで、 W_1 、 W_2 は、 $R_u = |I_{e1}/I_{e2} - 1|$ 、 $R_c = h_c/h$ とすると次式で示される。

$$I_{em} = W_1 I_{e1} + W_2 I_{e2} \quad (1)$$

$$i) I_b > 0 : W_1 = R_{u2} R_{c2} / (R_{u1} R_{c1} + R_{u2} R_{c2}), W_2 = R_{u1} R_{c1} / (R_{u1} R_{c1} + R_{u2} R_{c2}) \quad (2)$$

$$ii) I_b < 0 : W_1 = R_{c2} / (R_{c1} + R_{c2}), W_2 = R_{c1} / (R_{c1} + R_{c2}) \quad (3)$$

3. 河床変動量の計算法： 流砂の連続式は、河道区間と貯水池区間について次式のように示される。

$$i) \text{河道区間} : \partial Z / \partial t + 1 / (1 - \lambda_1) / B_b \cdot \partial \{ B_s (q_b + q_s) \} / \partial x \quad (4)$$

$$ii) \text{貯水池区間} : \partial Z / \partial t + 1 / (1 - \lambda_2) / B_b \cdot \partial Q_w / \partial x \quad (5)$$

ここに、 Z ：河床位、 B_b ：河床幅、 B_s ：Bed-material-load の流送に有効な河床幅、 q_b ：単位幅当たりの掃流砂量、 q_s ：単位幅当たりの浮遊砂量、 Q_w ：断面全幅のWash-load の流送量、 λ_1 ：河道区間の空隙率、 λ_2 ：貯水池区間の空隙率である。このときの河道区間と貯水池区間の境界は、Bed-material-load の流送量が0となる断面とした。

(4)式の差分方法として断面間における流砂の不均衡による河床の容量変化の連続性を保証するために、従来の片側差分ではなく擾乱の伝播速度を重みにした岡部・芦田の式²⁾が用いられている。次に、(5)式については、定常の仮定のもとにWash-load の堆積が断面内の平均濃度と沈降速度の積に比例して流下するものとして、次式を用いて差分計算を行った。

$$\partial Q_w / \partial x = -K_w W_f B_s (Q_w / Q) \quad (6)$$

ここで、 Q ：流入流量、 K_w ：再浮上係数に相当する係数 (≈ 1)、 W_f ：沈降速度である。

4. 粒度分布： 粒度分布については、平野³⁾の式を用いて交換層の粒度変化を求めた。

$$\partial p_{j,*} / \partial t = -1 / \{ a B_b (1 - \lambda_1) \} \times \partial \{ B_s (q_{b,j} + q_{s,j}) \} / \partial x - p_{j,*} / a \times \partial Z_b / \partial t \quad (7)$$

ここで、 $p_{j,*}$ は、河床上昇の場合には $p_{j,*} = p_{j1}$ 、河床低下の場合には $p_{j,*} = p_{j0}$ である。 p_{j1} 、 p_{j0} ：交換層および交換層直下の砂礫層において粒径 d_j の粒子が占める割合。 a ：交換層の厚さで最大粒径程度

また、河床の上昇・低下による河床の流砂履歴を反映させるために、堆砂層の粒度分布を記憶しておき、河床上昇時には交換層の粒度分布と同一の粒度分布の堆砂層が逐次取り残され、河床低下時にはその直下の堆砂層と交換層が粒子交換しながら粒度分布を変化させるようなモデル化を行った。河床上昇の場合には、その上昇量に相当する空間が交換層と同一の粒度分布の砂礫で充填されるので、現実には、そこに層理が形成されることになるが、本モデルでは完全混合するものとした。

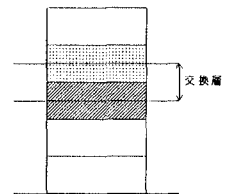


図-1 堆砂層のモデル

5. 貯水池での計算例： 前述の手法を用いて、比較的小規模の流域を持つ貯水池を対象に計算を行った。計算の手順を図-2に示す。河道の計算対象区間は、貯水池～貯水池上流約9 kmである。

(1)計算条件：横断面は、合計38断面で、左右岸を2次放物線で近似することによって断面水量諸元の計算時間の短縮を図った。流量時系列には、 $35\text{m}^3/\text{S}$ 以上の日平均流量の実測値を用い、それが $100\text{m}^3/\text{S}$ を超える場合は、流量の急激な変化を反映させるために時間平均流量を用いた。河道に沿う流量変化は、集水面積比に基づいて算定した。初期堆砂層の粒度分布は、貯水池上流部の河床材料の状況から図-2のように示される値を10個の粒径階に分割して以後の計算に用いた。また、Wash loadの代表粒径は、 0.01mm と設定した。上流端の断面では、河床位と勾配 $(1/225)$ を固定してこの断面での流砂量を上流からの給砂量とした。断面の掃流砂量、浮遊砂量は、ともに芦田・道上式で計算した。

(2)計算結果：計算結果の例として堆砂量、河床縦断面図、交換層の粒度分布の経年変化を図-4～6に示す。堆砂量については全堆砂量とともにBed-material-loadとWash-loadの構成比率についても比較を行った。全堆砂量の計算結果は、実績値の傾向を良好に反映した結果が得られている。Bed-material-loadとWash-loadの堆砂量については、実績値と比べてBed-material-loadがやや下回り、逆に、Wash-loadが上回る結果が得られた。縦断面形状については、横断面図から平均的な河床位を求めて計算値と比較を行った。計算結果は、経年的な堆砂の進行状況がよく再現されている。交換層の平均粒径の変化の例(Na12)を図-5に示す。この図より、当初は貯水池区間としてWash-loadが堆積していたが、8年後の洪水によって、Bed-material-loadが堆積する河道区間になっている様子が現れている。

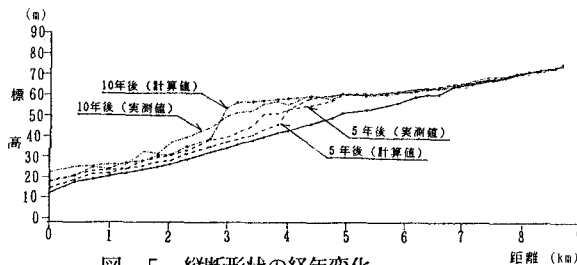


図-5 縦断面形状の経年変化

6. あとがき： 本報告では、貯水池における堆砂量・河床縦断面形状・粒度分布の経年変化について精度よく再現できることがわかった。今後は、局所的に実際の掃流力が上がっていることに対する検討や上流端の供給土砂の粒度分布設定方法の改善を行いたい。

参考文献： 1)岡部・天羽・石垣：常流・射流の遷移を伴う不等流の数値計算法について，水工学論文集第36巻，1992，2)岡部・岩根・天羽：常流・射流が混在する条件下での河床変動の計算法，第43回土木学会中国四国支部，1991，3)平野：Armoringを伴う河床低下について，土木学会論文報告集，第195号，1971

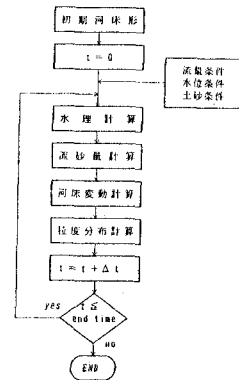


図-2 計算のフロー

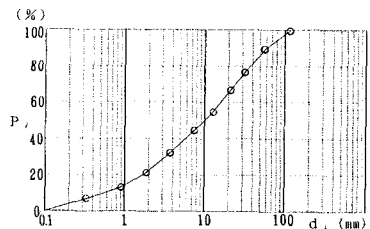


図-3 粒度分布の初期値

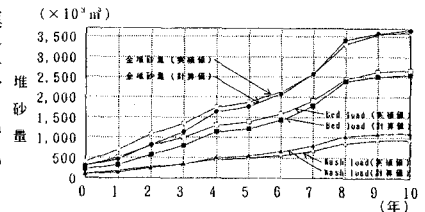


図-4 堆砂量の経年変化

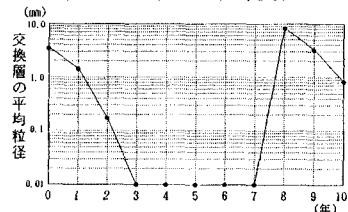


図-6 交換層の粒径変化