

PSII-16 急勾配水路における貯水池堆砂のシミュレーション

鳥取大学工学部 正員 藤田 正治
 鳥取大学工学部 正員 道上 正規
 鴻池組(株) 正員 前田 真吾

1. まえがき 本研究では、貯水池の堆砂計算をデルタ下流の浮遊砂の非平衡性を考慮して行おうとするものであるが、急勾配河道を対象とするときの問題点、(1) 上流で射流から常流に移移する場合の河床変動計算法、(2) デルタ下流の浮遊砂堆積量に及ぼす勾配の影響に焦点を絞って検討する。

2. デルタ下流の浮遊砂堆積量 本堆砂計算法では、デルタの上流では一次元河床変動計算の式を差分法で解き、デルタ下流の堆積量は浮遊砂の非平衡性を考慮して解析的に求める。ここでは、後者について簡単に説明する。非平衡浮遊砂濃度分布を定常二次元の拡散方程式において、(1) 鉛直方向の流速が砂粒子の沈降速度に比べて無視できる、(2) 拡散係数を一定とする、(3) 流下方向の流速を断面平均値で近似する、(4) 貯水池水位を水平とする、(5) デルタ下流では堆積のみとして解き、デルタ下流の堆積量を求める。ここで、(1) の仮定が急勾配河道の場合問題になり、流下方向の流速一定として同様の解析解を示した芦田ら¹⁾の研究でも指摘されている。以下、基礎式および境界条件を示す。(図-1参照)

$$\hat{u} \frac{\partial \hat{c}}{\partial \hat{x}} = \hat{\varepsilon} \alpha \frac{\partial^2 \hat{c}}{\partial \hat{z}^2} + \alpha \hat{w}_0 \frac{\partial \hat{c}}{\partial \hat{z}} \dots (1)$$

$$\text{水面} : \hat{\varepsilon} \frac{\partial \hat{c}}{\partial \hat{z}} + \hat{w}_0 \hat{c} = 0 \dots (2)$$

$$\text{底面} : \hat{\varepsilon} \frac{\partial \hat{c}}{\partial \hat{z}} = 0 \dots (3)$$

$$\hat{x} = 0 : \hat{c} = c(0, z)/c_m (=c) \dots (4)$$

ここに、 $\hat{x} = x/L$ 、 $\hat{z} = z/h_0$ 、 $\hat{u} = u/u_{*0}$ 、 $\hat{w}_0 = w_0/u_{*0}$ 、 $\alpha = L/h_0$ 、 $\hat{c} = c/c_m$ 、 $\hat{\varepsilon} = \varepsilon/(u_{*0}h_0)$ で、 c :浮遊砂濃度、 ε :水深方向の砂の拡散係数、 w_0 :粒子沈降速度、 u :流下方向の流速、 c_m 、 h_0 、 u_{*0} :デルタ肩上の平均濃度、水深および摩擦速度、 L :デルタ肩からダムまでの距離である。式(1)の解は次のようなフーリエ級数解となる。ただし、以下簡単のため $\hat{}$ は省略する。

$$c(x, z) = \sum_{k=1}^n [E_k \exp(-\int_0^x \lambda_k^2 / u dx) \cdot \exp(-w_0 z / (2\varepsilon)) \cdot \{w_0 / (2\varepsilon q_k) \sin(q_k z) + \cos(q_k z)\}] \dots (5)$$

ここで、 $E_k = \int_0^{h_0} c \cdot \exp(w_0 z / (2\varepsilon)) \{w_0 / (2\varepsilon q_k) \sin(q_k z) + \cos(q_k z)\} dz / \int_0^{h_0} \{w_0 / (2\varepsilon q_k) \sin(q_k z) + \cos(q_k z)\}^2 dz$ 、 $q_k = \sqrt{4\varepsilon \alpha \lambda_k^2 - w_0^2 \alpha^2 / (2\varepsilon \alpha)}$ で、固有値 q_k は、 $\tan(q_k h) = \varepsilon q_k w_0 / (\varepsilon^2 q_k^2 - w_0/4)$ で求められる。以上より、浮遊砂の堆積量は、 $c_0 w_0$ または $d(\int c u dz)/dx$ から求められる。ここに、 $c_0 = c(x, 0)$ である。濃度分布が収束するのに必要な項数は20個程度であり、また c_0 としてLane-Kalinske型のものを用いた。

3. 跳水点における河床変動の式の差分化 図-2は、 x 方向の差分格子点*i*における河床位の取り方を示したものである。河床位が○印の位置に求められているとし、S-J間で跳水が生じているものとする。すなわち、 $i \leq S$ では射流、 $i \geq J$ では常流とする。安定な差分計算のためには、河床変動の式は射流のとき前進差分、常流のとき後退差分する必要がある。従って、図-2において、点線のように各区間に土砂が堆積したとすると、 $i > J$ および $i < S$ では、△の点が河床位となる。しかし、S点とJ点においては不明確であり、ここにおいても他の点と同様の差分をとると、土砂収支が合わなくなる。図-3はその一例を示したもので、勾配1/50、せき高10cm、単位幅流量98cm²/sの条件に、粒径1.4mmの砂を給砂した時の堆砂形状の実験値と計算値を示した

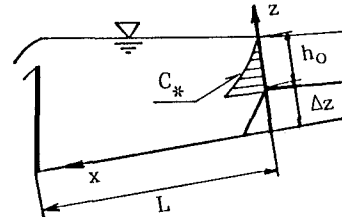


図-1 記号説明図

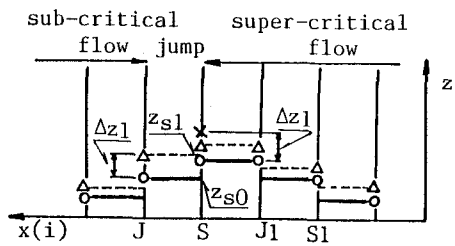


図-2 差分説明図

ものである。上流端からの流入土砂量は実験と理論で同一にしている。図中のCase Aが上述の取り方をした場合で、堆砂量が増加していることがわかる。これは、S-J間の平均河床増分はその上流側のものより一般に大きいと考えられ、S点の河床が×印の位置となり、実際の河床位(Δ点)より過大に評価されるためだと考えられる。そこで、図-2のような場合、J点の河床位は後退差分で求め、S点では z_{s0} を元河床として前進差分で求めた点と z_{s1} を元河床として後退差分で求めた点のうち高い方の値を河床位とする。(もし、S1からJ1の間で跳水しているときはS1で前進差分、J1では上と同様の方法で求める)このような取り方をして堆砂計算した結果がCase Bであり、土砂収支が合い、堆砂形状も実験値と比較的一致している。

4. 浮遊砂堆積量に及ぼす河床勾配の影響 図-4は $\Delta z = 5.5$ 、 $w_0 = 0.2$ 、 $u(0) = 15.3$ 、 $\varepsilon = 0.2$ の条件で、勾配 $i = 1/500$ および $1/40$ の場合のデルタ下流における浮遊砂の堆積率を求めた結果である。点線および実線は $\hat{c}_0 \hat{w}_0$ および断面間の浮遊砂量の変化率から計算したものである。両者は緩勾配では一致するが、急勾配になると鉛直方向の平均流速が沈降速度に比べて無視できなくなるため相違し、 $\hat{c}_0 \hat{w}_0$ によると全体の堆積量が減少し、浮遊砂量の変化率によると原点付近の堆積形状が表現できない。図-5は $i = 1/40$ 、 $\Delta z = 5.73$ 、 $w_0 = 0.26$ 、 $u(0) = 18.3$ 、 $\varepsilon = 0.2$ の条件に対する堆積速度の実験値と理論値を比較したもので、図-4と同様の傾向があるが、原点付近を除けば浮遊砂量の変化率から求めた結果の方が実験値と適合している。急勾配の時、以上の点を改善する必要があるが、ここでは、全堆積量を再現できるように浮遊砂量の変化率から堆積量を算定する。

5. 浮遊砂の非平衡性を考慮した堆砂計算結果 デルタが一定高(ここでは5mm)になった時点より、デルタ下流で非平衡浮遊砂量を考慮するものとし、跳水点の扱いは3.で述べたCase Bのようにする。図-6は、勾配 $1/40$ 、堰高10cmの水路に、単位幅流量 $60 \text{ cm}^2/\text{s}$ の給水と混合砂(粒径 1.4 mm と 0.1 mm の砂を8:2で混合したもの)の給砂を行ったときの堆砂形状の実験値と計算値を比較したものである。ただし、 ε は 1.0 とした。デルタの形状は大体再現されており、またデルタ下流の浮遊砂の堆砂形状もある程度一致しており、本手法の妥当性がうかがわれる。

6. あとがき 急勾配の時のデルタ下流の堆積量について、水深方向の流速を考慮して数値計算し、本堆積量計算結果を修正する方法について検討したい。

<参考文献> 1) 芦田ら: 京大防研年報、第7号、p.358、

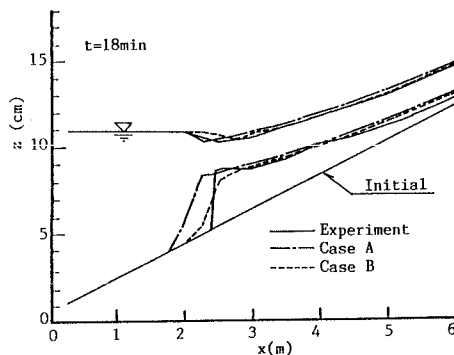


図-3 堆砂形状の実験値と計算値

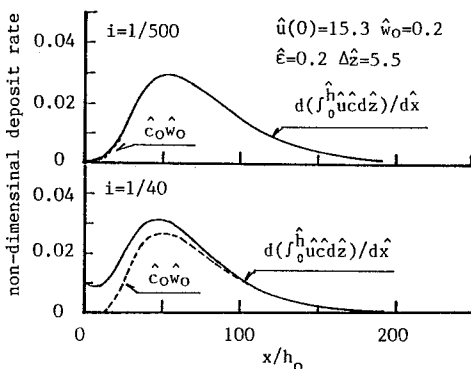


図-4 堆積率の河床勾配による変化

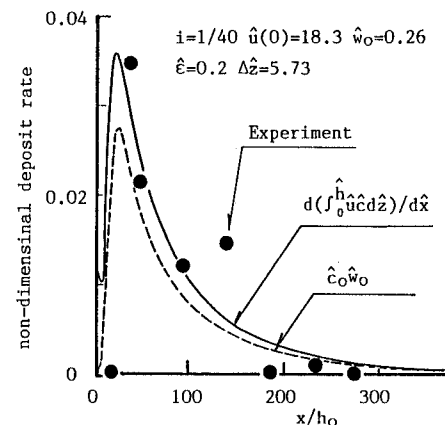


図-5 堆積率の実験値と理論値

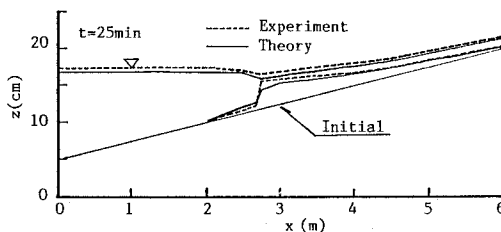


図-6 堆砂形状の実験値と計算値