

京都大学工学研究科 正会員 田村 武
 京都大学工学研究科 正会員 角 哲也
 京都大学工学部 学生員 ○森里 仁

1. はじめに

近年、本格的なダム堆砂対策手法の一つとして、一時的に貯水位を低下させて堆積土砂を流水により排出させるフラッシング排砂が注目されている。ダム排砂操作においては、川幅が狭い場合には、貯水池内の河床変動を一次的に扱うことが出来るものの、川幅が広い場合には、堆積土砂内に局所的な水みちが形成されることが多く、これを適切に評価することが流出土砂量やダムの排砂効率を検討する上で重要となる。本検討では、側岸侵食を考慮した二次元河床変動計算モデルを用いて、直線および曲線河道を対象に流路形成過程および排出土砂量について基礎的な考察を行った。

2. 数値解析方法の概要

本検討では、ダム排砂時の水みち形成過程を再現させるために、村本、細田、長田ら [1] の開発した移動一般座標系による平面二次元河床変動計算モデルを用いた。支配方程式としては、流れの計算では、連続式 (式 1)、運動方程式 (式 2、3)、河床変動計算では、流砂の連続式 (式 4)、流砂量式は流下方向には Meyer - Peter.Müller (式 5)、横断方向には長谷川式 (式 6) を用いる。各変数はスタガードスキームにより定義し、有限体積法を用いて数値解析を行った。

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(-\overline{u'^2}h) + \frac{\partial}{\partial y}(-\overline{u'v'}h) \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(-\overline{u'v'}h) + \frac{\partial}{\partial y}(-\overline{v'^2}h) \quad (3)$$

ここに、 h :水深、 (u, v) :水深平均流速の (x, y) 方向成分、 (M, N) :各々 $M = hu, N = hv$ で定義される流量フラックス、 g :重力加速度、 ρ :水の密度、 z_s :

基準面からの水位、 (τ_{bx}, τ_{by}) : x, y 座標系の底面せん断応力ベクトルの成分、 $-\overline{u'^2}, -\overline{v'^2}, -\overline{u'v'}$: x, y 座標系の水深平均レイノルズ応力ベクトル成分である。

[流砂の連続式]

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad (4)$$

ここに、 z_b :河床高、 λ :河床材料空隙率、 (q_{Bx}, q_{By}) : x, y 座標系の流砂量成分である。

[Meyer - Peter.Müller 式]

$$q_{Bs} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{3}{2}} \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)gd^3} \quad (5)$$

[長谷川式]

$$q_{Bn} = q_{Bs} \left(\frac{u_{nb}}{u_{sb}} - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_*}} \frac{\partial z_b}{\partial n} \right) \quad (6)$$

ここに、 d :河床材料の粒径、 ρ, σ :水および河床材料の密度、 (u_{sb}, u_{nb}) :河床近傍の流速の (s, n) 方向成分、 τ_{*c} :無次元限界掃流力、 μ_s, μ_k 河床材料の静止及び動摩擦係数である。

計算条件は、川幅や河道形状を変化させた場合の水みち形成への影響を明らかにするために、堆砂肩上流勾配:1/100、堆砂肩下流勾配:25/650、水路長:1650m、川幅 50m の直線水路を基本形状とし、表 1 に示すケースを設定した。なお、排砂流量 $Q = 100m^3/s$ 、マニングの粗度係数 $n = 0.032$ 、河床材料の平均粒径 $d_m = 0.01m$ を固定とし、スタガード格子は縦断方向に 165 断面、横断方向に 20 断面とした。

表 1 計算条件

Q (流量)(m^3/s)	B 川幅 (m)	河道形状
100	50	直線
100	100	直線
100	150	直線
100	100	曲線 ($r = 1000m$)
100	100	曲線 ($r = 500m$)

3. 解析結果と考察

・縦断方向、横断方向の侵食状況

堆積土砂の侵食は、堆砂肩を中心に進行し、次第に河床勾配が緩くなって終了するものと考えられるが、今回の検討では、ケースにより計算が途中で不安定となるものがあり、排砂開始後8時間経過までの範囲で比較を行った。図1、2に川幅100mの直線水路における縦断方向の平均河床高、及び横断方向の河床高の時間的变化、また、図3に8時間経過後に形成された水みち幅を示す。さらに、図4は川幅50、100、150mの場合の8時間後の河床高を川幅で規準化して比較したものである。

縦断方向には川幅100mの場合は堆砂肩付近で最大5m程度侵食されている。横断方向には川幅50mの場合には目だった水みちは形成されず、ほぼ一様に河床低下しているのに対し、川幅100m、150mでは、堆砂肩下流の水路の中央部に約80mの水みちが形成されていることが分かる。仮にこの水みち幅をRegime則に当てはめると $\alpha=8$ となり、その上限値程度となっている。

図5に川幅100mの直線水路に対して曲率半径1000、500mの曲線水路とした場合の比較を示す。曲線水路に関しては、水路の直角方向に二次流の影響で水みちが外岸に固定化がされる傾向が見られたが、この場合も水みち幅は直線水路と同様に約80mであった。

・土砂排出量

直線水路において川幅を広げた場合は、水みち幅の河床と側岸を集中して侵食するために排砂効率が低下することが確認された。同様に、曲線水路においては外岸側の河床低下は進行するものの、川幅全体として見た場合の河床低下量や土砂排出量は、直線水路に比べて少なくなる可能性がある。

4. おわりに

二次元河床変動計算モデルを用いてダム排砂時の水みち形成過程を再現することが出来たが、川幅が広い場合や曲線水路においては、貯水池内に侵食されない土砂が残り、排砂効率が低下する可能性があることが明らかとなった。

謝辞

本検討の解析モデルを提供して頂いた京都大学工学研究科長田信寿助手には謝意を表す。

参考文献

1):例えば、細田 尚、長田 信寿、村本 嘉雄、Md.Munsur Rahman：移動一般座標系による側岸侵食を伴う河道変動の数値解析、水工学論文集、pp.48-53、1997

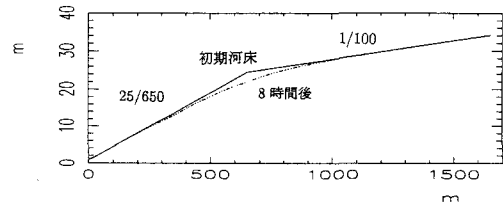


図1:川幅100m 直線水路の河床高の縦断変化

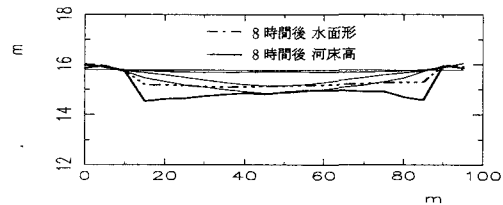


図2:川幅100m 直線水路の河床高(下流より400m 地点)の横断方向の平均値(2時間間隔)

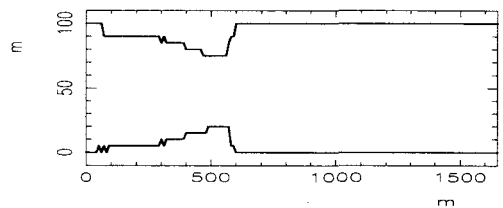


図3:川幅100m 直線水路の8時間後の水みち幅

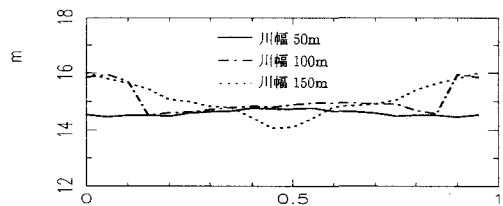


図4:川幅50m、100m、150m 直線水路の河床高の比較(下流より400m 地点、8時間後)

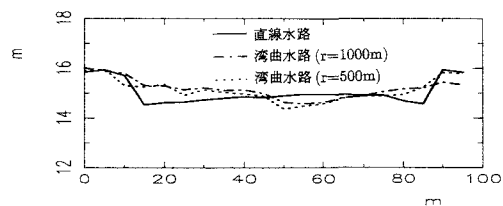


図5:川幅100m(直線、曲線(r=1000、500m)) 河床高の比較(下流より400m 地点、8時間後)