

# スリットダムの機能評価に関する数値シミュレーション

京都大学農学部 ○武蔵由育 水山高久 藤田正治 馬場浩司

## 1. はじめに

これまで多く用いられてきた不透過型砂防ダムは、満砂すると土砂調節効果が減少していた。これに対し、近年用いられるようになった透過型砂防ダムでは、洪水時に堆積した土砂を、洪水減水時もしくは平常時に下流へ流出させることで貯砂容量を確保できる。本研究では透過型砂防ダムの一つとして考えられている水平オープンダムを取り上げる。このダムは、堰の底部に水平なスリットをもつ構造で平常時には流水に影響せず、洪水時のみ水を堰上げて土砂を堆積させる。本研究では、既に実用化されている鉛直なスリットを有するスリット式砂防ダムと水平オープンダムを、実河川の規模を想定した一次元計算により比較検討した。

## 2. 計算法

本研究では、長方形断面水路の非定常一次元計算法を用いた。連続式、運動方程式、土砂の連続式はそれぞれ(1)~(3)である。流砂量は芦田・道上式(4)を用いて求めた。計算スキームには(5)で表されるマッコーマック法を用い、人工粘性は(6)で表される拡散型を用いた。境界条件として上流端に流量と流砂量を与え、下流端に水深  $h_s$  を与えた。下流端の水深は、鉛直スリット式砂防ダムと水平オープンダムにおいてそれぞれ式(7),(8)より求められる。また、下流端から2断面の流砂量を等しくした。

## 3. 計算条件

計算に用いた河道は勾配 0.05, 川幅 25m 長さ 250m で河床の平均粒径は 10cm とした。流量は Fig.2 に示すように、5~30m<sup>3</sup>/sec の間で2ケースのハイドログラフを設定した。マンニングの粗度係数は 0.04, 人工粘性係数は流水に関しては 5, 土砂に関しては 0.5 とした。砂の比重は 2.65,  $\Delta x$  は 5m,  $\Delta t$  は 0.072sec とした。流量係数は鉛直スリット式砂防ダムにおいては 0.67, スリット式砂防ダムにおいては 0.54 とした。流量 30 m<sup>3</sup>/sec で堰直上流の水位  $h_s$  が等しくなるように、水平オープンダムのスリット高  $a$  は 30cm, 鉛直スリット式砂防ダムのスリット幅  $b$  は 3.2m とした。

## 4. 結果と考察

まず、水位流量曲線を Fig.1 に示す。水平オープンダムでは流量が 0 から増加し 19 m<sup>3</sup>/sec に至るまで等流水深として堰に影響されずに水位が増加する。19m<sup>3</sup>/sec を超えると堰上げが起り、式(8)で求められる水位になる。この後は流量が十分減少するまで堰上げを維持し、10 m<sup>3</sup>/sec 以下になると等流水深に戻る。このため 10~19 m<sup>3</sup>/sec の間で水

$$\frac{\partial Bh}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q}{Bh} + \frac{g}{2} Bh^2 \right) = gBh(i_0 - i_e) \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_B}{1-\lambda} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Phi = 17\tau_*^{3/2} \left( 1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left( 1 - \frac{u_{*c}}{u_*} \right) \\ q_B = \Phi \sqrt{sgd^3} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} U_i^p = U_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (E_{i+1}^n - E_i^n) + \frac{\Delta t}{2} C_i^p + V_i^n \\ U_i^{n+1} = \frac{U_i^n + U_i^p}{2} - \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta x} (E_i^p - E_{i-1}^p) + \frac{\Delta t}{2} C_i^p + \frac{W_i^n}{2} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} V_i^n = -(D_{i+1}^n - D_i^n) \\ W_i^n = (D_i^p - D_{i-1}^p) \\ D_i^n = Ku_*^n h_i^n (U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n) \end{cases} \quad (6)$$

$$Q = \frac{2}{3} C_v b \sqrt{2g} \cdot h_s^{3/2} \quad (7)$$

$$Q = C_h B a \sqrt{2gh_s} \quad (8)$$

B:河幅, h:水深, Q:流量,  $i_0$ :勾配,  $i_e$ :エネルギー勾配,  $q_B$ :流砂量,  $\lambda$ :空隙率,  $\Phi$ :無次元流砂量,  $\tau_*$ :無次元掃流力,  $\tau_{*c}$ :有効無次元掃流力,  $\tau_{*c}$ :限界掃流力,  $u_*$ :摩擦速度,  $u_{*c}$ :限界摩擦速度, s:砂の水中重量,  $V_i^n, W_i^n$ :人工粘性項,  $C_v$ :鉛直スリットダムの流量係数,  $C_h$ :水平オープンダムの流量係数, a:水平スリットの高さ, b:鉛直スリットの幅  
i は  $\Delta x$  について n は  $\Delta t$  についての添字で, p は予測子の結果。

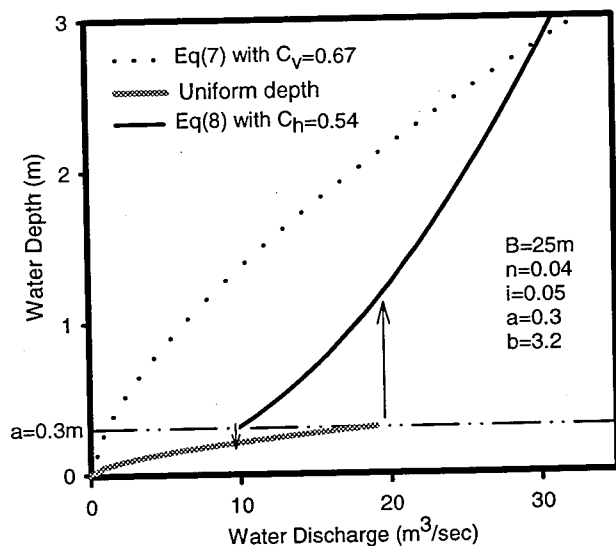
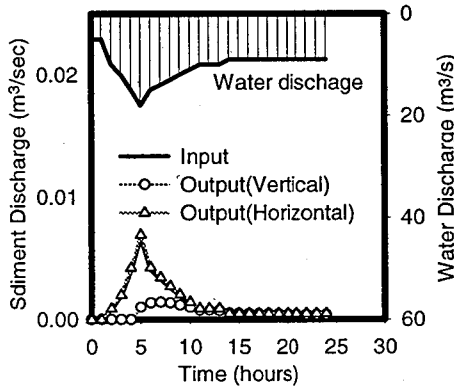


Fig.1 水位流量曲線

(a) case1



(b) case2

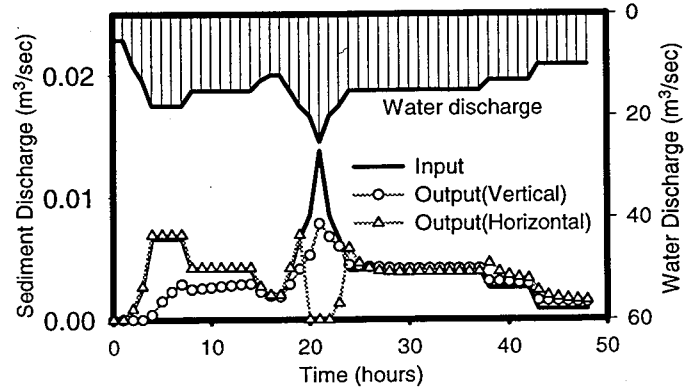


Fig.2 ハイドログラフと土砂流出の変化

位流量曲線はループを描く。これに対し、鉛直スリット式では一貫して式(7)で得られる水位となる。

Case1 は流量 19 m<sup>3</sup>/sec 未満の中小洪水で Fig.2(a)に示す。この場合、鉛直スリット式砂防ダムでは土砂を堆積させてピーク流出土砂量が低くなったのに対し、水平オープンダムでは流水に全く影響を与えないので、流入した土砂がそのまま流出した。

Case2 は 19 m<sup>3</sup>/sec 以下の中小洪水の後に大洪水が起きた場合で Fig.2(b)に示す。5~15 時間後での中小洪水時には Case1 と同様の違いが見られた。およそ 20 時間後の大洪水では水平オープンダムでは流出土砂量が 0 になった。このとき鉛直スリット式でもピーク流出を抑える働きを示したが、水平オープンダムほどの急激な土砂流出量の変化は見られなかった。このことは Fig.3 の堆砂形状にも表れた。(a)より 19 時間までに鉛直型では既に土砂が堆積しているが、(c)に示されるように水平オープンダムでは全く堆積していない。また、(b)のように鉛直型では 21 時間後から堆積土砂が侵食されるのに対し、(d)のように水平オープンダムでは 23 時間後からである。大洪水とその前後において、鉛直型では河床変動が小さく、水平オープンダムでは大きい。これは Fig.1 で示した堰直上の水位変化の違いによるものである。

### 5. おわりに

以上、鉛直スリット式砂防ダムと水平オープンダムについてその機能の違いを検討した。水平オープンダムでは大洪水まで堆砂がなく、大洪水時に急激に水位を上げて流出土砂量を抑える結果となった。実用化に当たっては、洪水時に急激に流砂量が減少することによる下流への影響などを検討する必要があると思われる。

### 参考文献

日下部重幸・道上正規・藤田正治・檜谷治・宮本邦明：マッコーマック法を用いた砂防ダム上流の堆砂計算法に関する研究，水工学論文集，第 40 巻，pp.977-982，1996

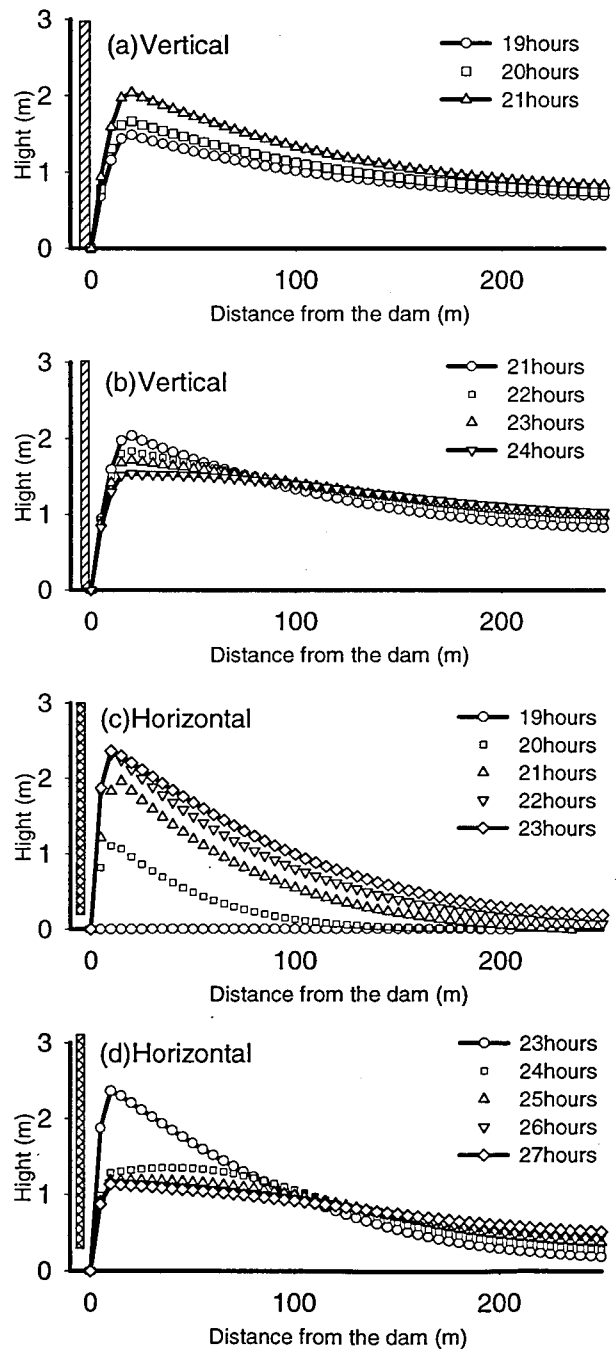


Fig.3 堆砂形状の変化