

1. はじめに

環境への配慮や、効果的な土砂調節機能を得るために用いられるようになった透過型砂防ダムの一つとして、水平オープンダムが考案されている。本研究では、マッコーマック法を用いた一次元数値計算により、水平オープンダム上流における堆砂過程の再現と土砂調節効果についての検討を試みた。

2. 計算方法

本研究で用いた長方形断面水路の非定常一次元流れの基礎方程式は、連続式、運動方程式、土砂の連続式でそれぞれ (1) ~ (3) で示される。また流砂量は (4) の芦田・道上式を用いて求めた。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、下流端に水深を与えた。下流端の水深は、スリット高  $h_s$  の流出孔からの流量と水深の関係式 (7) から求めた。流量係数  $C$  は実験より求めた値で 0.6 とした。

3. 計算結果の実験結果との適合性

実験は幅 15.5cm、長さ 4 m の水路を用いて行った。マニングの粗度係数は 0.02 である。実験に用いた砂の粒径は 2.7mm で給砂は上流端での河床位が変わらないように調節しながら与えた。

水面形計算の結果は勾配 0.04、スリット高 2cm の例について、実験結果とともに図 1 に示す。跳水点付近の水面形に適合しない点もあるが、計算結果は実験結果とほぼ一致している。

河床変動計算の結果は勾配 0.04、スリット高 2cm、流量 2.5 l/sec の例について図 2 に示す。堆砂の進行過程がよく再現されている。

4. 土砂調節効果についての計算例

以上に述べた計算法が良い再現性を示したので、これを用いて一つのハイドログラフに対する水平オープンダムの土砂調節効果について計算した。

流量に図 4 上段のハイドログラフで示された流量を与え、流入する流砂量は、初期勾配と各流量から計算される値を与えた。水平オープンダム直上流に到達した土砂はすべて流出するものとした。

この結果得た水面形及び河床形状を図 3 に、流入する流砂量と流出する流砂量を図 4 下段

$$\frac{\partial Bh}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{1}$$

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

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

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

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

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

$$Q = CBh_s \sqrt{2g \left( h_0 - \frac{h_s}{2} \right)} \tag{7}$$

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、 $\tau_{*e}$ :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:流量係数、 $h_s$ :スリットの高さ  $i$  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。

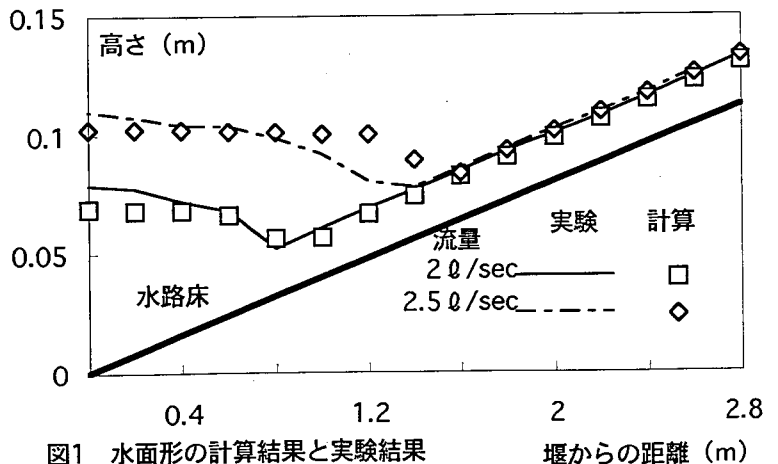


図1 水面形の計算結果と実験結果

に示す。図3より、流量2.5 l/sの5秒後までは土砂が高さを増しつつ堆積し、1.5 l/sとなって10秒後までは堆砂デルタの先端が低くなりつつ前進する。さらに流量1.0 l/sと減少し15秒後までにデルタ先端が侵食され、流量0.5 l/sとなって35秒後まで河床が低下する。流量の減少に伴う堰直上流付近の水面低下によりデルタ先端から浸食される様子が示されている。また、図4では水平オープンダムにより流砂量のピーク時間が遅れ、ピーク流砂量が低くなることが示されている。

この例では35秒後で計算を終えているが初期勾配から流入する流砂量を計算していることから、このまま計算を続けると河床は元の水路床に漸近すると考えられる。しかし流量がさらに減少して土砂が移動しなくなり、ダム上流部に堆砂が残される場合もあり得る。

### 5. おわりに

以上、マッコーマック法を用いた計算により水平オープンダムの機能について評価できることが確認できた。さらに、様々な条件下での水平オープンダムによる効果についても検討が必要である。

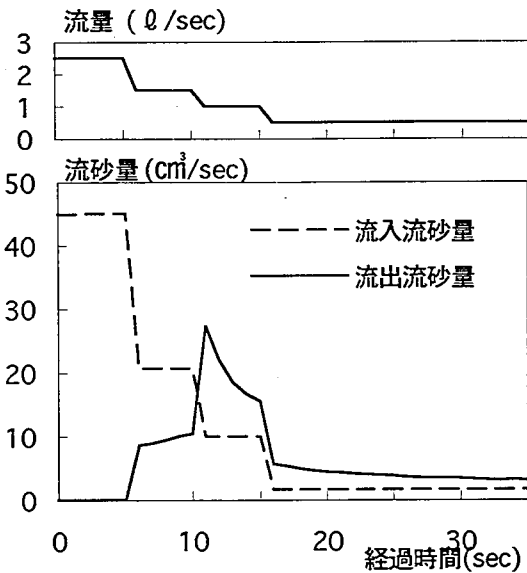


図4 ハイドログラフ (上段)  
土砂の流出入 (下段)

### 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

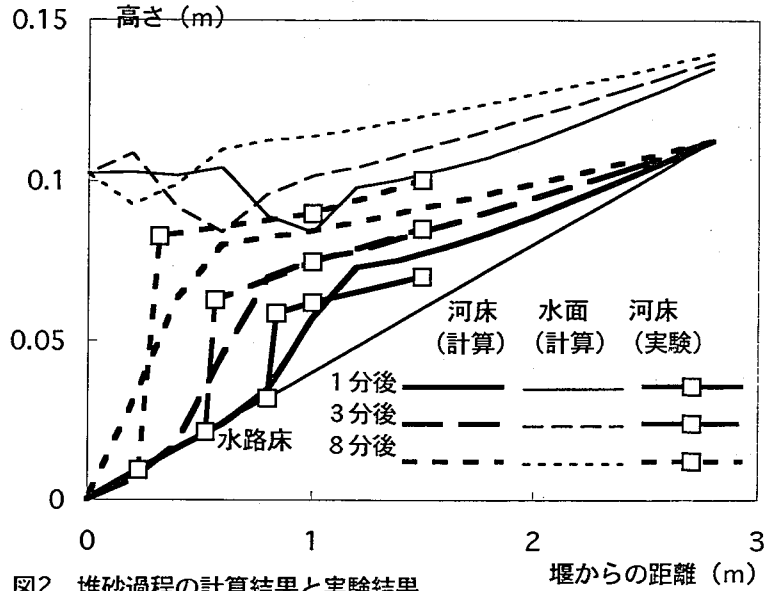


図2 堆砂過程の計算結果と実験結果

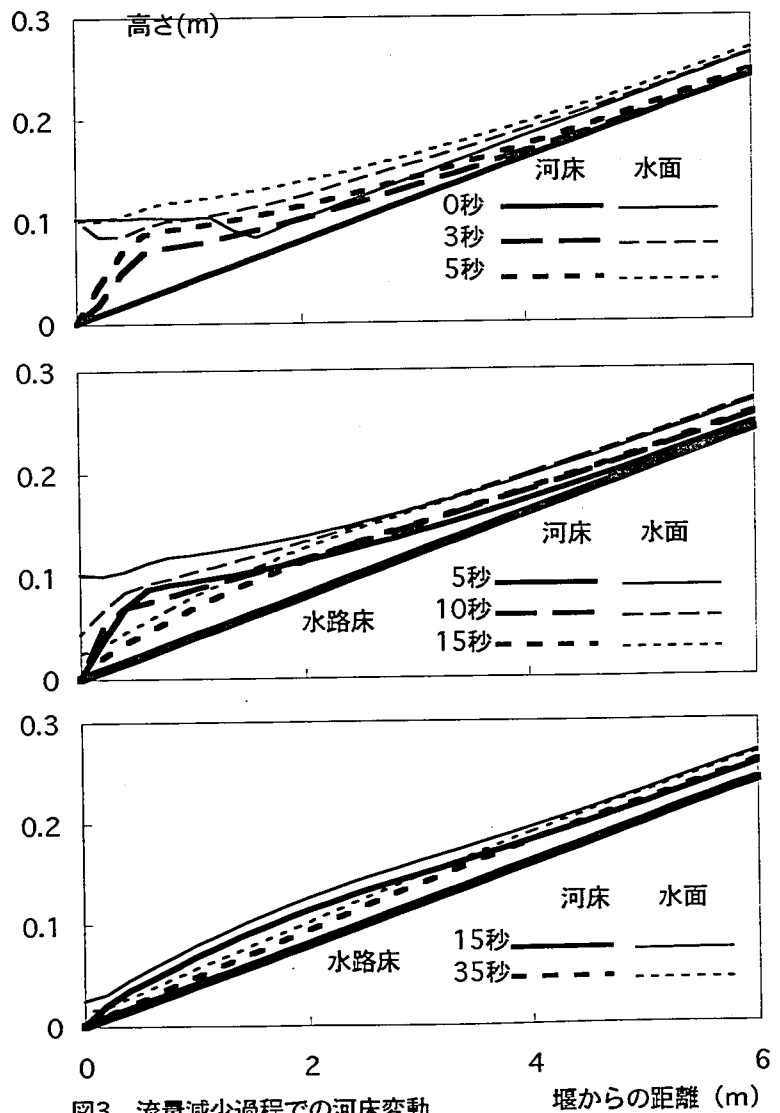


図3 流量減少過程での河床変動