

II-309

丸山ダムの堆砂形状に関する数値シミュレーション

岐阜大学 学生員 呂福祿 岐阜大学 正員 田中祐一朗 岐阜大学 正員 中谷剛

1. 研究目的：

ダム堆砂問題の解決は、現在のダムの計画・設計段階の重要な問題である。更に、ダムの永久的な有効利用を図るとともに、貯水池機能を回復して、堆砂の排除を効率的にするため、現在の堆砂形状を良い精度で予測することを積極的に開発することが重要になってきた。

2. 丸山ダムの現状：

木曽川の下流部に位置する丸山ダムは、現在再開発事業として、嵩上げ工事が計画され、進行中である。こうした新たな事業に対する河川の状態を考えるためには、まず現状の河床をシミュレーションすることが大切である。木曽川は多くの発電用ダムが段階に築造されてきた。それらのダムにあらい粒径の土砂が堆積するために、最下流部近くの丸山ダムは、wash loadの堆積が多いのが特徴である。また山間狭窄部が貯水池の大部分を占めるため、図-1に示すように、河川幅の変化が激しく、流路は湾曲している。このため、図-2に示すように、河床の縦断形は鋸状を呈している。このような貯水池での堆砂形状をシミュレートする方法について検討するものである。

3. 数値計算法：

流れ方向掃流砂量式：

$$q_{bx} = i_b u_{*c} d_* \left(1 - \frac{\tau_{*cl}}{\tau_{*c}} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*cl}}{\tau_{*c}}} \right) \quad (1)$$

横断方向掃流砂量式：

$$q_{by} = q_{bx} \left(\frac{v_b + v_{bb}}{u_b} - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_{*c}}} \cdot \frac{\partial z}{\partial y} \right) \quad (2)$$

浮遊砂量式：

$$q_s = q \cdot c_b \cdot p_s, \quad \text{ここでは,} \quad (3)$$

$$c_b = 5.55 \Delta F(w_o) D_*^{1.61}$$

$$D_* = \frac{1}{2} \frac{u_*}{w_o} \exp \left(- \left(\frac{w_o}{u_*} \right)^2 \right)$$

$$p_s = \int_0^1 \left[1 + \frac{1}{\kappa \phi} (1 + \ln \eta) \right] \exp \left(- \frac{15 w_o}{u_*} \eta \right) d\eta \quad (4)$$

wash load式：

$$q_w = \alpha Q^n, \quad \alpha = 2.065 \times 10^{-6}, \quad n = 2$$

ここで、 u_b 、 v_b ：河床付近の流れ及び横断方向流速、
 v_{bb} ：螺旋流に起因する河床付近の横断方向流速、
 μ_k 、 μ_s ：河床材料の静止及び動摩擦係数である。

1次元流れ及び河床変動の方程式：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{Q^2}{A} \right) = g A \left(i - \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B(1-\lambda)} \cdot \frac{\partial (q_b \cdot B)}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

(7)

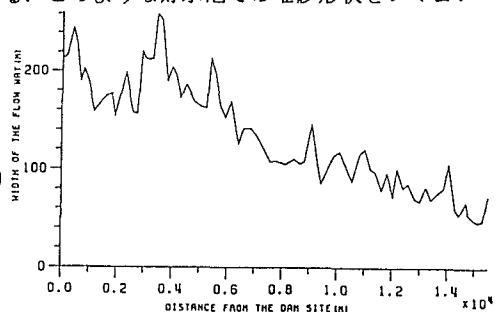


図-1 流路の幅

FLOW DISCHARGE IS 0-550 (M3/SEC)

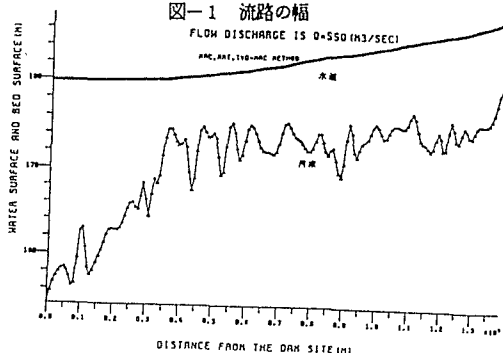


図-2 河床面と水面形

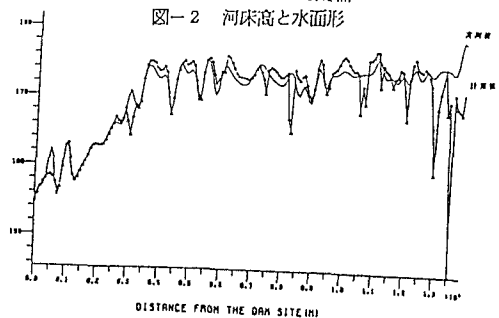


図-3 1次元河床の計算値と実測値

ここで、A：断面積，Q：流量，z：河床高，

B：河床幅，λ：河床堆積物の空隙率，q_b：全流砂量

2次元流れの浅水流方程式及び河床変動式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u h}{\partial x} + \frac{\partial v h}{\partial y} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial u h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(u^2 h + \frac{1}{2} g h^2 + g h z \right) + \frac{\partial u v h}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_T \frac{\partial u h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_T \frac{\partial u h}{\partial y} \right) - \frac{n^2 g u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (9)$$

$$\frac{\partial v h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v^2 h + \frac{1}{2} g h^2 + g h z \right) + \frac{\partial u v h}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_T \frac{\partial v h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_T \frac{\partial v h}{\partial y} \right) - \frac{n^2 g v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (10)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0 \quad (11)$$

ここで、u，v：流れ及び横断方向の流速，h：水深， $\nu_T = \kappa u_* h / 6$ ：渦動粘性係数，κ：Karman 常数である。本研究では、水面形計算に対して、マッコマック法、人工粘性法及びTVD-マッコマック法による1次元の計算を比較し、マッコマック法による2次元計算法を開発し、河床変動計算は、すべてマッコマック法で行われていた。時間分割法によりプログラムなどの簡略化を行い、時間分割の演算子の組み合わせは、 $\{L \& (\Delta t) L \eta (\Delta t) + L \eta (\Delta t) L \& (\Delta t)\}$ である。2次元河床変動を計算するには、境界条件として側壁で流下方向の流速成分を持つというslip条件を採用と河川の側壁の近くで流速が小さくなっているnon-slip条件もある。実際の条件に接近するために、今回の計算に用いられた条件はnon-slipである。計算には、任意直交座標系を用いた。計算に用いた河川幅と計算格子間隔がとても細かいために、いずれの水理量の変化で横断方向の流砂量の変動も大きくなり、そして、側壁近傍での河床変動が大きく振動してしまう傾向が起こる。本計算に用いられた流量は時間によって変化するから、流量が変化するにつれて、各初期値も異なる。流れと河床変動計算とを4時間毎に行い、初期値の水深と流速も4時間毎に計算され、定常流に基づいて、得られた流速を初期流速としてマッコマックスキームを用い、非定常流流速を計算する。

4. 結論：

図-3に示した1次元河床変動計算結果と実測の比較から分かるようにダムサイトから上流5.0kmまでの両者はよく一致すると言えるが、それから上流まで段々両者が合わない。上流部では流路の湾曲が激しく、幅も狭いため、この境界条件を忠実に反映させた計算方法を用いる必要がある。河床変動の計算値と実測値から分かるように精度は不十分であるが、およその形は一致していると見なせる。図-4と図-5に示した2次元河床河床変動計算結果と実測値と比べると、河川の側壁に接近するにつれて、ズレが大きくなる。河川中央に行くほど、両方は大体近くなる。とくに、横断方向の平均値を用いた河床の流れ方向の変化は1次元の計算結果より精度が向上している。

1次元計算では、河床の横断形状までは、計算できないが、2次元計算では、河床の縦横断形状が算定でき、精度上の問題は残るものの、大筋では良好の結果が得られたことが明らかとなった。

参考文献：1)，日本機械学会，流れの数値シミュレーション，コロナ社，pp. 18-19，pp.

100-115，1989，2)，丸山貯水池堆砂報告書（平成3年），関西電力株式会社・丸山発電所。

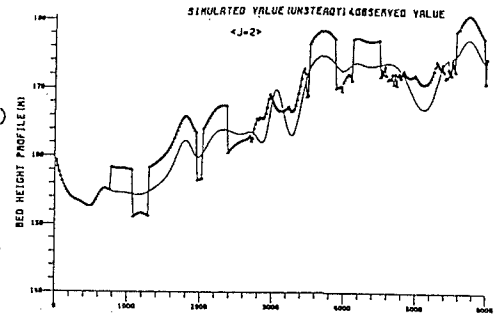


図-4 2次元河床の計算値と実測値

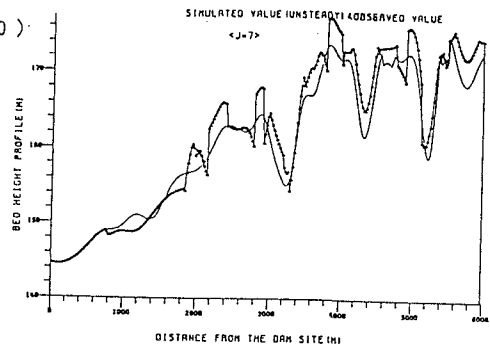


図-5 2次元河床の計算値と実測値