

愛媛大学大学院 学生員 ○坂梨仁宏
愛媛大学工学部 正会員 鈴木幸一
愛媛大学工学部 正会員 門田章宏

1. はじめに

ネパールのように山岳地帯に建築されたダム貯水池は、上流から流入する土砂が多く、洪水時にはダム上流部で跳水現象が見られ、貯水容量の減少やダム上流の河床上昇に伴う洪水危険度の増大などの問題がある。本研究では、跳水を伴うダム貯水池内での堆砂の現象を実験的に明らかにするとともに堆砂現象をある時間間隔で平均化した時の河床変動が従来提案されている一次元河床変動計算でどの程度再現できるか検討する。

2. ダム堆砂現象に関する実験および考察

(1) 実験の概要

長方形一様断面水路にダム模型を設置し、上流から一定量の給砂を行うことによって、跳水断面上下流の河床変動の状況および水面形状を測定する。実験に用いた水路で全長 10m (測定区間 7m)、高さ 30cm、幅 15cm で、側壁が透明なアクリル製の変可変勾配型循環式水路である。まず、水路勾配を 1/50 に固定し、水路の下流端に高さ 7cm および 10cm の 2 種類のダム模型を設置する。また、単位幅流量を、それぞれ 200, 266, 333 cm²/s の 3 種類とした。水路の上流端から砂時計式給砂装置を用いて給砂量一定の給砂を行うが、実験に用いた砂は、平均粒径が 0.1mm の細砂と 2.5mm の粗砂の 2 種類を用いた。河床縦断方向の測定については、河床形状測定器を用いて、水路の中央線、中央から左右に 5.5cm 離れた 2 つの測線の計 3 測線を 10cm 間隔で 30 分毎に行い、河床縦断形状の連続的な測定を行った。

(2) 実験結果

図-1 は砂粒径の大きい RunB と砂粒径の小さい RunG の五時間後の 3 測線 (Zl(左岸側), Zc(中央), Zr(右岸側), Zs(両岸)) の河床縦断形状を示している。RunB は堆砂表面が比較的平坦な 2 次元の河床であるのに対し、RunG は堆砂の上流部と下流部は比較的平坦であるが中央部の河床形状は 3 次元である。図-2 は実験によって得られた 3 測線の河床縦断形状を平均化して、水面形と河床縦断形状の時間的変化を示したものの代表例である。堆砂は最初の跳水位置から主に下流へ向かって進むが、上流の方へも徐々に進み、それに伴って跳水位置も上流へ移動することが認められる。また、ダム高さが低いほど、堆砂はダムに近い場所で生じ、流量が大きいほど堆砂域の流下方向長は小さいことがわかる。

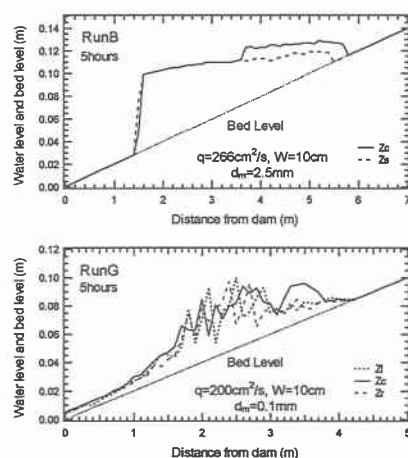


図-1 河床縦断形状

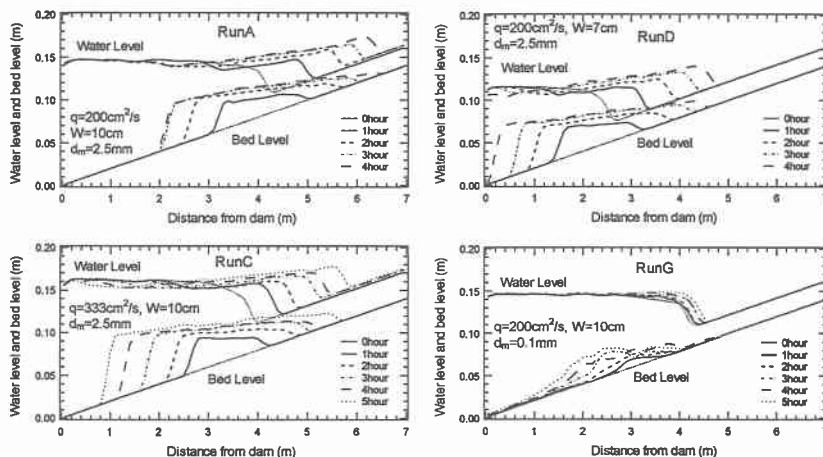


図-2 水面形および河床縦断形状の時間的変化

図-2 は実験によって得られた 3 測線の河床縦断形状を平均化して、水面形と河床縦断形状の時間的変化を示したものの代表例である。堆砂は最初の跳水位置から主に下流へ向かって進むが、上流の方へも徐々に進み、それに伴って跳水位置も上流へ移動することが認められる。また、ダム高さが低いほど、堆砂はダムに近い場所で生じ、流量が大きいほど堆砂域の流下方向長は小さいことがわかる。

3. ダム堆砂の数値シミュレーション

(1) 一次元河床変動計算

微小時間 Δt 内で流れは定常であるとし、次式に表される基礎式を差分化して水深を計算する。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[z + h \cos \theta + \frac{\alpha v^2}{2g} \right] = -I_e \quad (1)$$

ここに、 z : 河床高, h : 水深, $\tan \theta$: 河床勾配, α : エネルギー補正係数, v : 断面平均流速, g : 重力加速度, I_e : エネルギー勾配である。ここで、水深が計算されると断面積が求まるから断面平均流速 v が求まる。流速分布として対数分布則を仮定すると、断面平均流速 v と摩擦速度 u_* との比 v/u_* は次式のように表される。

$$\frac{v}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log \left(\frac{h}{k_s} \right) \quad (2)$$

ここに、 k_s は相当粗度で河床の凸凹の程度を表す。また、跳水位置の決定は跳水前後の水深が共役水深の関係となる場所が跳水の生じる場所である。一方、平衡流砂量式として式形の簡単な Meyer-Peter&Müller 型の流砂量式¹⁾を用いる。

$$q_B = 8\sqrt{sgd^3}(\tau_* - 0.047)^{3/2} \quad (3)$$

ここに、 q_B : 単位幅掃流砂量, s : 砂の水中比重, d : 砂粒径, $\tau_*(=u_*/sgd)$: 無次元掃流力である。また、流砂の一次元連続式は次式によって表される。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{\partial q_B}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

ここに、 λ : 砂の空隙率, x : 流下方向座標, t : 時間である。

河床変動の数値シミュレーションを行うには、差分化して微小時間 Δt 内の河床の変化 Δz を求める。掃流砂量式と流砂の連続式を用いることによって、ダムの堆砂量および堆砂形状を求めることができる。

(2) 計算結果と実験値との比較

図-3 は砂粒径の大きい RunA と砂粒径の小さい RunJ の実験値と計算値の各時間における水面形と堆砂形状の比較を示している。また、図-4 はこれらの跳水位置、堆砂上流端および堆砂下流端の位置の時間変化を実験値と計算値で比較したものである。砂粒径の大きい場合、堆砂形状と水面形の時間変化について、デルタの形成および初期跳水断面から上流への遡上および堆砂の上流への伝播特性は、多少の誤差はあるものの実験値と計測値が良好に一致しているといえる。一方、砂粒径の小さい場合、堆砂形状が3次元式的であるため、細かいところでは一次元解析では再現できないものの、平均的に見れば実験の現象を説明できたといえる。

4. おわりに

本研究は、跳水を伴う貯水池内の堆砂現象と一次元河床変動計算によって実験の現象がどの程度再現できるかについて検討を行った。

参考文献 1) Meyer-Peter&Müller : Formulas for bed-load transport, Proc. of 2nd Cong. of IAHR, pp.61-62, 1947

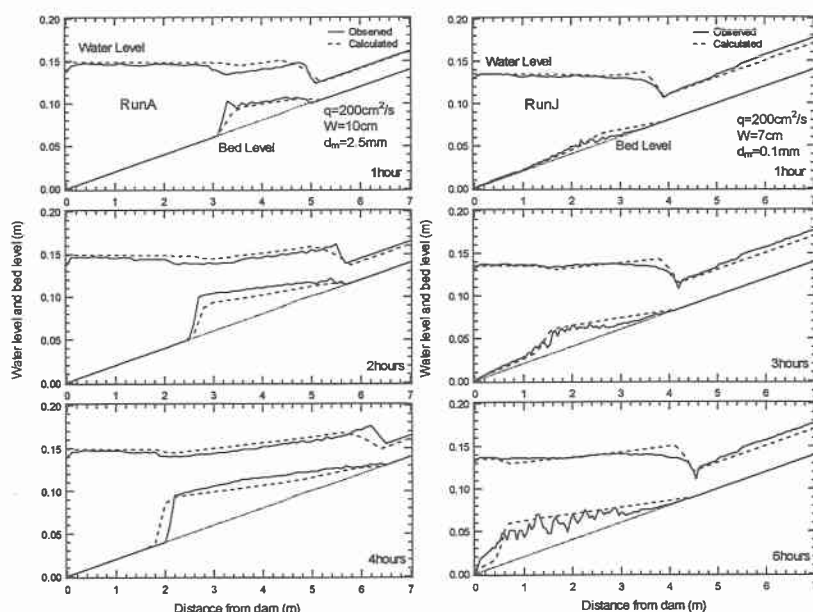


図-3 実験値と計算値の比較

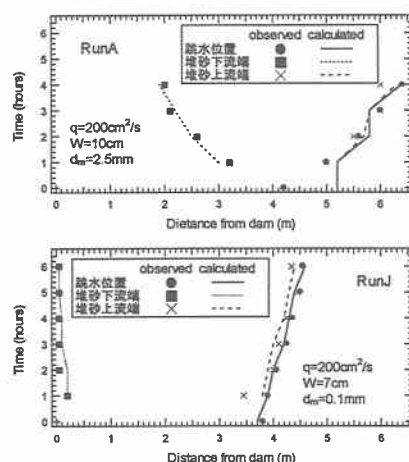


図-4 跳水位置と堆砂位置