

浮遊砂を伴う貯水池の堆砂機構

鳥取大学 工学部 正員 道上 正規
鳥取県庁 ○正員 堀田 利明

1. はじめに

貯水池へ流入する土砂は、掃流形式によるものと浮遊形式によるものがあるが、この浮遊砂が貯水池堆砂に及ぼす影響が非常に重大なものとなる場合がある。そこで、本研究では、浮遊砂を伴う場合の貯水池堆砂に関する実験を行ない、堆砂形状、粒度分布等に関する特性を明らかにするとともに、流砂量式、水流の運動方程式、流砂および粒度の連続式を用いて、貯水池堆砂の数値シミュレーションを行ない実験値との比較を試みた。

2. 実験結果と考察

実験に用いた水路は、断面が30cm×30cm、全長は11mの長方形一様水路で、給砂装置より下流側4m区間を床上げし床上げ下流端から2.5m地点に、高さ15cmの堰を設けて、この2.5m区間を貯水池とした。水路の上流端には、任意の一定量の給砂が可能なエレベータ式給砂装置が設置されており、一定の流量および給砂量のもとで、実験を行なった。通水開始後、一定時間ごとに、堆砂形状、水面形を測定した。実験終了後、上流部河床、貯水池内各地点で粒度分析を行なった。図-1は堆砂形状の一例を示したもので、これは、掃流砂によるデルタと浮遊砂による元河床に平行な堆積部分からなることがわかる。また、堆積物の粒度分布は、掃流砂堆積部分には、粗い粒子が多く存在し、浮遊砂堆積部分には微細粒子のみが存在していて、その流送形態の差異により明確な差異が生じるこがわかる。

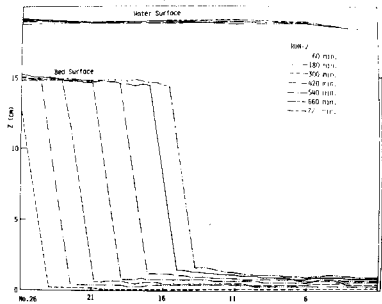


図-1

次にデルタ肩の進行状況を理論的に考察するために、図-2に示すようなモデルを考える。このときデルタ肩は水平に進行し、掃流砂堆積部と浮遊砂堆積部の境界は、直線状に発達するものと仮定している。時刻 t におけるデルタ高さ h_b は浮遊砂の堆積による影響を考慮すれば、 $h_b = Z_0 - w_b C_0 / (1 - \lambda) \cdot t$ となり、この式と $t = 0$ のとき、 $X_f = 0$ なる条件より、時刻 t におけるデルタの進行距離は、

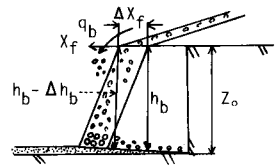


図-2

(1)式で表わされる。
$$X_f = \frac{q_b}{w_b C_0} \log \frac{Z_0}{Z_0 - \frac{w_b C_0}{1 - \lambda} t} \quad (1)$$

ここに、 X_f :デルタの進行距離、 q_b :デルタ肩での掃流砂量、 w_b :粒子の沉降速度、 C_0 :貯水池内底面付近の濃度、 h_b :デルタの掃流砂部分の高さである。本実験では、浮遊砂の影響があまり認められなかったので、すなわち、 $Z_0 \gg w_b C_0 / (1 - \lambda)$ と考えられたので、(1)式次式のように変形して検討を行った。
$$X_f = \frac{q_b}{(1 - \lambda) Z_0} t \quad (2)$$

図-3は、デルタ肩の進行状況について、実験結果と後述する計算法による計算結果を比較した一例であるが、それぞれ(2)式の特性とほぼ一致していて、デルタ肩での掃流砂量が一定の場合、 X_f は時間 t に比例することを表わしている。

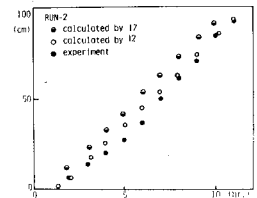


図-3

3. 数値シミュレーションの基礎式とその方法

本研究で用いた粒径別の掃流砂量式、流砂の連続式、粒度の連続式および浮遊砂による河床変動の式は、各々次のようであるが、粒度の連続式については、河床上昇の場合と河床低下の場合では、若干の差異がある。¹⁾

$$g_{ai} = f_0(d_i) \cdot U_{*e} \cdot d_i \cdot 17 \cdot T_{*ei} \cdot (1 - T_{*ci}/T_{*i}) \cdot (1 - \sqrt{T_{*ci}/T_{*i}})$$

ここに、 g_{ai} : 粒径 d_i の流砂量、 $f_0(d_i)$: 粒径 d_i の砂礫が河床において占める割合、 U_{*} : 摩擦速度、 $T_{*i} = U_{*}^2 / (5/P - 1) g d_i$ 、 U_{*e} : 有効摩擦速度、 $T_{*ei} = U_{*e}^2 / (5/P - 1) g d_i$ 、 $T_{*ci} = U_{*ci}^2 / (5/P - 1) g d_i$ 、 U_{*ci} : 粒径 d_i の限界摩擦速度である。

$$\partial Z / \partial t = -1 / (1 - \lambda) \cdot \partial g_{BT} / \partial X \quad (4)$$

$$\frac{\partial l_b}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} (l_b - l_0) \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{g_{BT}}{\alpha(1 - \lambda)} \left(- \frac{\partial l_b}{\partial X} \right) \quad (5) \quad (\text{河床上昇})$$

$$\frac{\partial l_b}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} (l_b - l_{00}) \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{g_{BT}}{\alpha(1 - \lambda)} \left(- \frac{\partial l_b}{\partial X} \right) \quad (6) \quad (\text{河床低下})$$

ここに、 α : 交換層厚さ、 l_b 、 l_0 、 l_{00} : 粒径 d_i の砂礫が流砂中、交換層および交換層下の元河床において占める割合、 $g_{BT} = \sum g_{ai}$ である。

浮遊砂による河床変動の式は、岡部の研究を考慮し貯水池内では、浮遊砂が純堆積するものとして、次式のように与えた。

$$\partial Z / \partial t = 1 / (1 - \lambda) \cdot W_b \cdot C_{of} \cdot (U_{*} / U_{*f}) \quad (7)$$

ここに、 C_{of} : デルタ肩での河床濃度、 U_{*} 、 U_{*f} : 貯水池内底面、デルタ肩の摩擦速度である。計算の方法としては、まず初期河床に対する水面形を井田の方法により求め、この水深から(3)式により各断面での流砂量を求める。次に(4)～(7)式を連立させて河床形状を計算するという一連の計算をくり返して行う。

4. 実験値と計算値の比較検討

本研究では、(3)式の係数 λ と λ と1/2で計算を試みたが、図-4(a)、(b)からわかるように、係数1/2で計算した結果の方が、堆積形状、デルタの進行距離、水面形について実験値とかなりよく一致している。しかし、デルタ肩付近において、実験値と計算値の水面形は、実験において50cm間隔に水面形を測定し、デルタ肩付近の水面形を正確に測定していなかったために若干の差がある。なお、デルタ肩付近の水面形計算では計算精度を上げるために、 $\Delta x = 1.0m$ で計算しており、この差分間隔を大きくすると計算の精度は低下し、実験値と計算結果との間に差が生じ始める。

また図-5は、河床砂の粒度変化について、実験値と計算値を比較した図であるが、実験において、河床砂の採取方法に若干の問題があったために、実験値と計算値の良好な一致を見る事が出来なかった。しかし、河床砂の採取方法を改良すれば、河床砂の粒度変化についてもかなり良好な一致が見られるものと考えられるが、堆積物の粒度変化は輸送形態のちがいに大きく依存しており、掃流堆積物の範囲では顕著な粒度変化は生じない。

以上、本研究では、掃流砂に関して、従来の河床変動計算式、粒径別の流砂量式を適用し、浮遊砂に関しては、浮遊砂の連続式から河床変動式を誘導してこれらを重ね合わせで数値シミュレーションを行なったが、実験での堆積形状、水面形等を非常によく再現することが出来た。したがって、このような数値シミュレーション法を用いれば、かなりの精度で貯水池堆砂の予測を行なうことが出来るものと考えられる。

(参考文献)

- 1) 平野 宗夫: 土木学会論文報告集, 第195号, 1971
- 2) 岡部 健士: 第21回水理講演会論文集, 1977

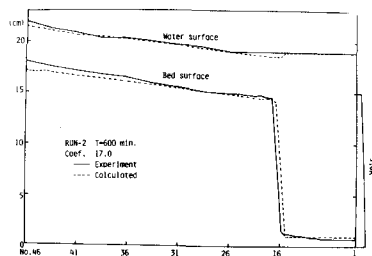


図-4 (a)

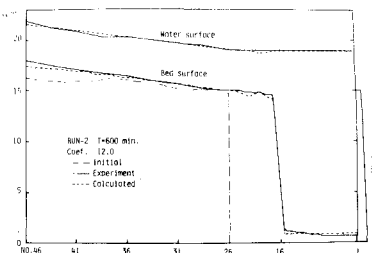


図-4 (b)

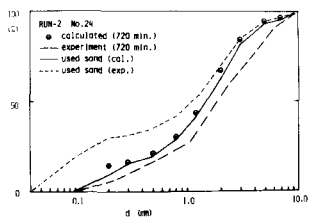
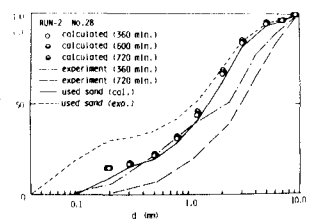


図-5