

貯水池の堆砂過程について

京都大学防災研究所 正員 道上正規
西松建設 正員 後藤二郎

1. はしがき： 貯水池の機能障害として、流出土砂による貯水池の堆砂問題があげられるが、この中でも掃流形式による堆砂は貯水池の有効容量を減じ、現在その対策に悩んでいるダムも多い。従来、このような貯水池堆砂に関しては、実験的ならびに理論的な解析が進められてきたが、これらの研究においては、河床砂として一様砂を対象にしており、実際河川にみられる混合砂礫を対象にした研究はほとんどされていないので、ここでは、混合砂礫床を対象にして、貯水池の堆砂過程の検討を試みた。すなわち、種々の粒径の砂礫が貯水池の中でどのように堆積するか、河床砂の粒度変化が堆砂形状にどのような影響を及ぼすか、などについて数値シミュレーションしたので、その結果について報告する。

2. 数値モデルとその差分化： 大規模スケールの河床変動の解析は、水流の運動方程式、流砂の連続式と流砂量式を連立させて行われるが、ここではさらに混合粒径の効果を加味した粒度の連続式を用いて解析を試みた。すなわち、基準面から垂直にZ軸をとり、河床面までの高さをZとすると、不等流の運動方程式は次のようになる。

$$d(U^2/2g)/dx + dh/dx + dZ/dx + U_*^2/gR = 0 \tag{1}$$

ここに、記号は慣用されているものを用いている。また、流砂に関連する諸式は、

$$\rho_{bi}/i_b U_* e d_i = 17 \tau_{*ci} (1 - \tau_{*ci}/\tau_{*c}) (1 - \sqrt{\tau_{*ci}/\tau_{*c}}) \tag{2}$$

$$\partial Z/\partial t = -1/(1-\lambda) \cdot \partial \rho_{BT}/\partial x \tag{3}$$

$$a(1-\lambda) \partial i_b/\partial t + (1-\lambda) i_b \partial Z/\partial t = -\partial (i_b \rho_{BT})/\partial x \tag{4}$$

のように表される。ここに、 ρ_{bi} ：粒径 d_i の流砂量、 i_b ：河床において d_i の砂礫が占める割合、 $\rho_{BT} = \sum \rho_{bi}$ 、 $i_b = \rho_{bi}/\sum \rho_{bi}$ 、 a ：交換層の厚さ、 $U_* e$ ：有効摩擦速度、 λ ：空率率 $\tau_{*ci} = U_* e^2 / (\sigma/\rho - 1) g d_i$ 、 $\tau_{*c} = U_* c^2 / (\sigma/\rho - 1) g d_c$ である。ここで、(4)式が粒度の連続式を表している。(1)～(4)式を差分式に置き換えて計算を行った。

3. 計算方法と計算条件： まず、(4)式を計算するためには、粒径別の混合砂礫の限界掃流力の式を用いなければならない¹⁾。また、このような計算においては、(4)式から明らかのように、河床変動量 ΔZ は、 $\Delta t/\Delta x$ によって大きく左右される。 $\Delta t/\Delta x$ が大きすぎると、 ΔZ が水深よりも大きくなることがあるので、 $\Delta t/\Delta x$ を小さくする必要があるが、しかしこれをあまり小さくとると、計算時間が長くなるので最適な値を選ばなければならない。ここでは、 $\Delta x = 200 \text{ m}$ 、 Δt は2～6時間以内で、かつ初期に背水端付近に大きな河床変動を生じるので、最初は Δt を10分から始め、 $\Delta Z/h < 0.1$ のとき、それまでの Δt に10分を加算して、上限の2～6時間に Δt を増加するシステムとした。粒度に関しては、交換層厚さ a が関係しており、この値の大小によって計算が不安定になることもある。

つぎに、計算の安定性を増すために、水面と河床高に対して移動平均をほどこした。

$$すなわち、 Z'_i = 0.5 \{ 0.5 Z'_{i-1} + Z'_i + 0.5 Z'_{i+1} \} \tag{5}$$

ここに、 Z_i , Z_{i+1} 断面の差分式から求められた河床高と移動平均を施した河床高である。計算条件に関しては、表-1に示しているが、これらの値は有田川水系の二川ダムをモデル化したものである。なお水

表-1 計算条件

Model No.	Q m ³ /s	Manning's Coef.	Suspended Load Area	a cm	Δt hrs	Slope
1	200	0.04	—	48	3	0.01
2	200	0.04	175.5 m	48	3	0.01
3	200	0.04	181.0 m	48	3	0.01
s	200	0.04	—	24-96	2-9	0.01

路幅は60mとした。初期の河床材料としては図-2のT

=0で示された粒度分布を用いている。

3. 計算結果と考察: 図-1に、堆砂形状の時間的変化と平均粒径の鉛直および縦断方向の変化を示しているが、デルタの先端は時間とともに前進し、デルタ肩はほぼ水平に前進している。河床材料の平均粒径は、その地点をデルタの先端が通過するとき著しく小さくなり、デルタ肩が下流に移動してしまふと元河床のそれに漸近する。このような河床材料の変化特性は図-2の粒度分布からも理解されよう。すなわち、デルタが通過しない上流側では粒度変化はほとんど見られず、デルタが通過するような地点で粒度変化が生じる。このような領域では、粒径の小さいものが帯状に堆積するようである。図-3はModel 2の場合で、標高175.5m以下は浮遊砂の堆砂領域と仮定して、それより上方の堆砂形状を計算したものである。この場合のデルタの移動特性や河床材料の粒度変化に関しては、ほぼModel 1の場合と同様であるが、図-4に示すようにデルタの前進速度は、Model 1よりも大きくなっている。Model 1の場合の前進速度は、 $1/\sqrt{t}$ に比例しており理論的に求められた結果²⁾と一致しているが、浮遊砂の堆砂領域が増加するにしたがってデルタの前進速度は増加している。

また、河床材料の平均粒径を代表粒径として用いた場合の計算を行ったが、混合粒径の場合とその堆砂形状においてはほとんど差異がなかった。このことは、流量が一定で、かつかなり大きく、 $U_{*c} \gg U_{*c}$ であったので粒径の混合効果が顕著に現れなかったものと思われる。今後、流量を変化させてシミュレーションしていく必要がある。(参考文献) 1) 芦田道生: 移動床流の堆積と掃き出しに関する基礎的研究, 土木試験 1972, 2) 芦田: 河床に関する研究, 土木試験年報 1969.

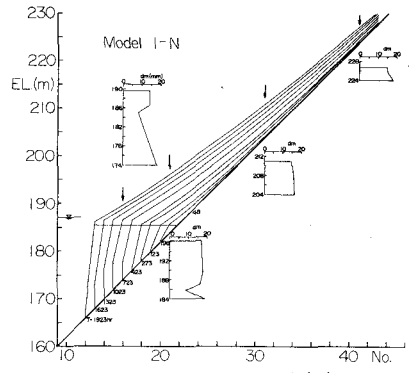


図-1 堆砂形状と粒度変化

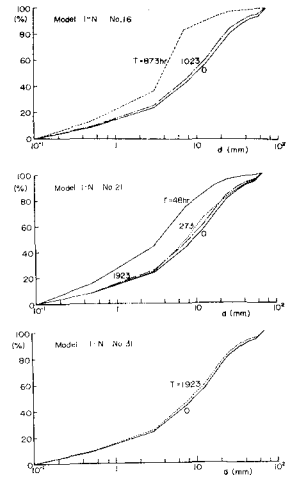


図-2 粒度分布

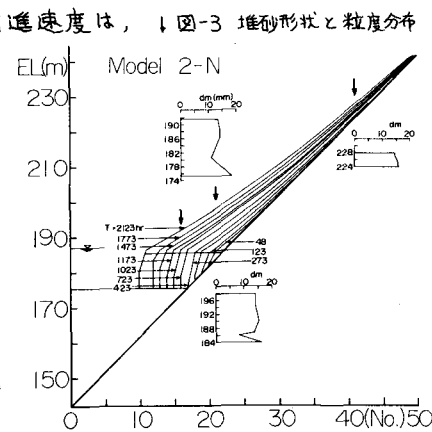


図-3 堆砂形状と粒度分布

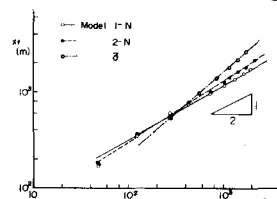


図-4 デルタの前進速度