

1. はしがき 本研究は、有田川水系に昭和42年に建設された二川ダム(集水面積228.8km²、貯水容量30×10⁶m³)の堆砂資料を用いて、貯水池堆砂量の推定方法、河床材料の粒度変化特性および堆砂形状に関して数値シミュレーションしたものである。

2. 基礎方程式 大規模スケールの河床変動の解析は、水流の運動方程式、流砂の連続式および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考慮した粒度の連続式を用いて解析を試みた。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書ける。

$$d(U^2/2g)/dx + dh/dx + dZ/dx + U^2/gR = 0 \quad (1)$$

ここに、記号は慣用されているものを用いている。流砂に関連する諸式は次式のように表される。

$$q_{bci}/l_b u_{*cdi} = 17 \tau_{*cdi} (1 - \tau_{*cdi}/\tau_{*c}) (1 - \sqrt{\tau_{*cdi}/\tau_{*c}}) \quad (2)$$

$$\partial Z/\partial t = -1/(1-\lambda)B \cdot \partial(q_{BT}B)/\partial x \quad (3)$$

$$Q(1-\lambda)\partial l_b/\partial t + (1-\lambda)l_b \partial Z/\partial t = -\partial(l_b q_{BT}B)/\partial x B \quad (4)$$

ここに、 q_{bci} : 粒径 d_i の掃流砂量、 l_b : 河床において d_i の砂礫が占める割合、 $q_{BT} = \sum q_{bci}$ 、 $l_b = q_{bci}/q_{BT}$ 、 Q : 交換層の厚さ、 u_{*c} : 有効摩擦速度、 λ : 空隙率、 $\tau_{*cdi} = U_{*ci}^2/(0.5-1)gd_i$ 、 $\tau_{*c} = U_{*c}^2/(0.5-1)gd_i$ である。上式で(4)式が粒度の連続式であるが、(1)~(4)式を差分化して数値シミュレーションを行うことにする。

3. 計算方法 (2)式の混合砂礫の流砂量式を適用するにあたっては、有効掃流力の式と粒径別の限界掃流力の式を用いなければならない²⁾。また、このような計算では(3)式が示すかのように、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 が不安定になるので、 $\Delta t/\Delta x$ を小さくとる必要があるが、しかしこれとあまり小さくすると、計算時間が長くなるので、最適値を選ばなければならない。ここでは $\Delta Z/h$ が0.1以下になるように $\Delta t/\Delta x$ を選んだ。一方、粒度の連続式からも推察できるように、 $\Delta t/\Delta x$ を大きくとり過ぎると、交換層厚 Q とも関係するが、(4)式が不安定となり、粒度分布の計算でもなくなるので、この点からも $\Delta t/\Delta x$ は制約を受ける。ここでは、 $\Delta x = 200m$ 、 $\Delta t = 2 \sim 6$ 時間とした。

4. 計算結果と考察 (1)モデル河床³⁾ まず二川ダムの諸量をモデル化して堆砂形状の特性を検討した。河床勾配1/100、 $Q = 200m^3/s$ 、 $n = 0.04$ 、 $Q = 48cm$ 、貯水池水位187m、河床砂の粒度分布として図-2のT=0の値を用いて、掃流砂による堆砂形状のシミュレーション結果を図-1に示されている。ただし、上流端の境界条件として、河床面および河床の粒度条件はそれぞれ次式が用いられている。

$$\partial Z/\partial t|_{x=N\Delta x} = \partial Z/\partial t|_{x=(N-1)\Delta x} \quad (5)$$

$$\partial l_b/\partial t|_{x=N\Delta x} = \partial Z/\partial t|_{x=(N-1)\Delta x} \quad (6)$$

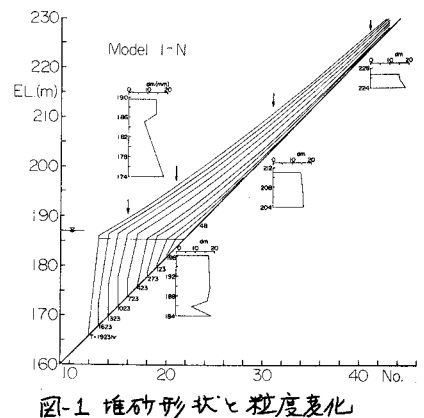


図-1 堆砂形状と粒度変化

図-1より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移動していることが理解される。この結果は実験的研究でも指摘されており、流量、水位が一定の場合には、このような形式でデルタが形成されるものと思われる。河床材料はデルタの先端が通過すると、著しく小さくなり、デルタ肩が下流に移動してしまうと河床の値に漸近する。このような条件では、背砂の領域もかなり上流に遊上しているのうかがえる。

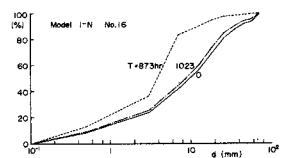


図-2 粒度分布

(2) Case I 実際の野水池の資料を用いて、昭和42年から49年までの堆砂量を計算した結果が図-3である。ただし、この計算において上流端境界条件としては、(5)式も次の(7)式を用いるとともに、流入流量(30 m³/s以上)および野水池水位に関しては実際の7年間の資料を用いる。

$$\frac{\partial b}{\partial t} \Big|_{x=N\Delta x} = 0 \quad (7)$$

$$\text{また、} Q_s = \alpha Q^2, \quad \alpha = 5.1 \times 10^{-6} \text{ (単位: m} \cdot \text{sec)} \quad (8)$$

として、浮遊砂とウオッシュロードによる堆砂量を推算した。ただし、 $\eta = 0.026$ 、川幅Bは現地資料を用いている。 α 値は昭和45年までの堆砂資料に基づいて決定されたものであるが、従来の観測値の範囲内である。掃流堆積量および浮遊堆積量とも実測値とよく対応しており、このように手法によって堆砂量あるいは流搬土砂量が推算されるものと考えられる。図-4は堆砂形状モシミュレーションの結果であるが、浮遊砂はNo.21または掃流境界地点より下流に河床に平行に堆積するものとして堆砂量が計算されている。モデル河床の場合と比較して、水位、流量が変化するため、デルタの先端位置は明瞭でないが、デルタらしきものは形成されている。また、実際のデルタの前進速度の方が、計算値のそれよりも大きいようである。この経過は図-5よりも明らかである。

一方、浮遊砂による堆砂は河床にほぼ平行に堆積するという取扱いが可能である。河床材料の劣化特性が図-6に示されているが、デルタが通過した時点から、粒径は小さくなるようである。この場合の背砂の影響範囲は、モデル河床の場合に比べて小さいようである。

(3) Case II このシミュレーション

はCase Iの場合とほとんど同じであるが、上流端境界条件として(5)、(6)式を用いたこと、 $\eta = 0.029$ としている点で異なる。図-7は図-4と対応しており、両者の間に顕著な差異はなく、デルタの前進速度も計算値よりも実測値の方が大きい。このことは、流量が30 m³/s以下でも、野水池水位が低下していることはデルタ付近で河床変動が生じていることを示唆している。

河床材料に関しては、上流端の境界条件が影響して、粒径が非常に小さ

くなっており、Case Iのそれとは相違している。実際には、河床材料は背水端付近でこのように小さくなるので、粒度の境界条件としては(7)式の方が妥当であろう。交換層厚などに関しては講演時に述べる。最後に、資料を提供して下さいました和歌山県砂防治水課の諸氏に深く謝意を表します。[参考文献] 1) 平野: Armouring とはなう河床低下について、土木学会論文報告集, 115号, 1971, 2) 芦田・道上: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 266号, 1972, 3) 道上・後藤: 野水池の堆砂過程について、関西支部年報, 昭51.

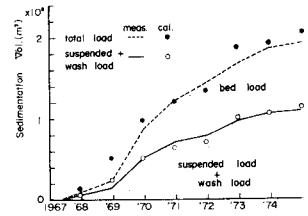


図-3 堆砂量の概算

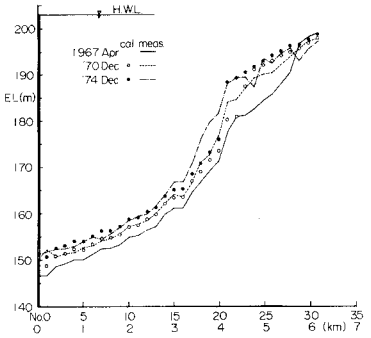


図-4 堆砂形状の比較

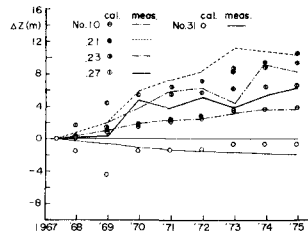


図-5 河床変動量の経年変化

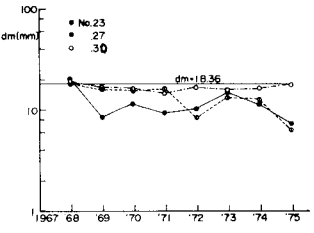


図-6 平均粒径の経年変化 (掃流堆積相成)

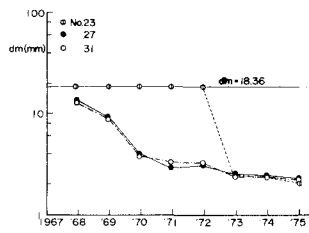


図-8 平均粒径の経年変化

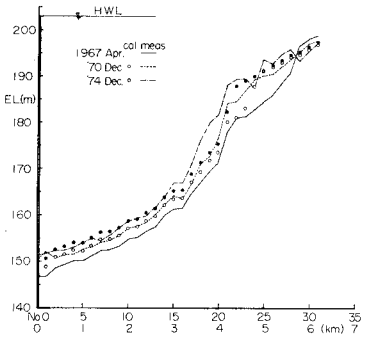


図-7 堆砂形状の比較