

建設省土木研究所 正会員 石崎 勝義

1. まえがき 最近多くの河川で河道計画の検討が始められており、それに伴って河道安定の検討方法の確立が望まれる。河床変動の推定の信頼性は①変動機構としてどのようなモデルを設定するか②流砂量公式の精度、とくに実験室で定められた係数を現地に外押するときの信頼性、の二点にかかってくる。いずれにしても現地で生じる現象を説明できるかどうかによって検証される問題である。

今回とりあげるダムの堆砂の問題は、観測される河床高の変化より②にあげた流砂量公式の係数が求められるのでこれをもとにして①にあたる堆砂機構モデルの適用性を検討できる。

ダムの堆砂問題を解析的に取扱ったものとしては杉尾(1956)、山岡(1962)、芦田(1962, '63, '64)、江崎(1966)の各氏の研究があるが実際のダムに適用するには計算が複雑になる難点をもっている。ここでは先に著者が常願寺川の河床上昇問題に用いた手法を用いる。これはその適用範囲が流れのエネルギー勾配が河床勾配によって近似しうるような領域に限られるが、計算が簡単の上結果の見通しがつけやすいという利点がある。これを河床高の観測資料の豊富な常願寺川本宮ダムに適用して堆砂状況を説明しうることを確かめた。その結果砂防ダムの堆砂機能についてかなり明瞭なイメージを確立できたものと思う。

2. ダム堆砂の基礎式

佐藤・吉川・芦田氏の求めた流砂量公式を変形すると次のようになる¹⁾。

$$Q_B = -\frac{\varphi F}{\varphi_0 \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1\right)} Q_i \quad (1)$$

ここに Q_B : 真の流砂量(空隙を含まない), Q : 流量, $\tau/\tau_c - 1$: 砂の水中比重, i : エネルギー勾配, $\varphi_0 = U/u_*$, マンニング式を用いると $\varphi_0 = k^{1/2}/(\sqrt{g}n)$ (k : m 単位), φ : 実験定数, 実験では $n > 0.025$ に対して $\varphi = 0.623$, F : 限界掃流力の影響を示す係数で $\tau/\tau_c > 3$ で $F \approx 1$,

エネルギー勾配が河床勾配によって表わされるような場合、即ち背水の影響の小さい場合には(1)式の i の代りに河床勾配 $\partial Z/\partial x$ を用いることができる。これを流砂の連続式(2)に代入すると河床高変化の基礎式として(3)が求まる。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_B}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = g_F \cdot \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} \quad g_F = \frac{\varphi F Q}{\varphi_0 \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1\right) B (1-\lambda)} \quad (3)$$

ここに Z : 河床高, t : 時間, x : 縦断方向距離, B : 河巾, λ : 空隙率($=0.4$),

3. 本宮ダムの堆砂計算

(1) 本宮ダムの堆砂状況 本宮ダムは河口より27.0km 地点において昭和10年着工、12年竣工の本邦屈指の大砂防ダムである。その位置及概要を図-1に示す。堆砂状況は図-2のようであって昭和14年には早くも堆砂面がダム天端に到達している。砂堆量は図-3のように満砂までの4年間で約

234万^m³ (うち天端高さより下側に165万^m³)が堆積し、その後も着実に堆砂をつづけている。昭和31年からダム内の人工揚削を開始し合計60万^m³の土砂を取去っている。

本宮ダムの堆砂と河床の変化については三井炭の詳しい調査(1955年)がある。今回用いた資料のうち昭和26年以前の堆砂量はこの調査による。その他の資料は「4回常願寺川水系砂防調査報告書」(立山砂防工事事務所, 1968)による。

(2) 流砂公式の精度(係数の決定)

ダムの堆砂量の調査は普通満砂(堆砂面がダム天端に到達している状態)前に行われるがその場合に得られる資料には浮遊がかなり含まれる可能性がある。満砂後には堆積土砂は殆んど掃流土砂と思われるのでここでは満砂後の堆砂形状から流送土砂量を求めることにする。

満砂後の一定期間に上流から供給される土砂量と V_{in} 、天端を通して下流に流送された土砂量と V_{out} とするとこれは次のようにして求められる。

$$V_{in} = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \frac{\varphi F}{\varphi_0 \left(\frac{F}{F_0} - 1 \right)} \int_0^T Q i_{in} dt \quad (4)$$

$$V_{out} = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \frac{\varphi F}{\varphi_0 \left(\frac{F}{F_0} - 1 \right)} \int_0^T Q i_{out} dt \quad (5)$$

i_{in} は上流端の勾配であって大休原河床勾配 I_0 に近い値である。 i_{out} は下流端の河床勾配であってこの両者は実測資料から求められる。

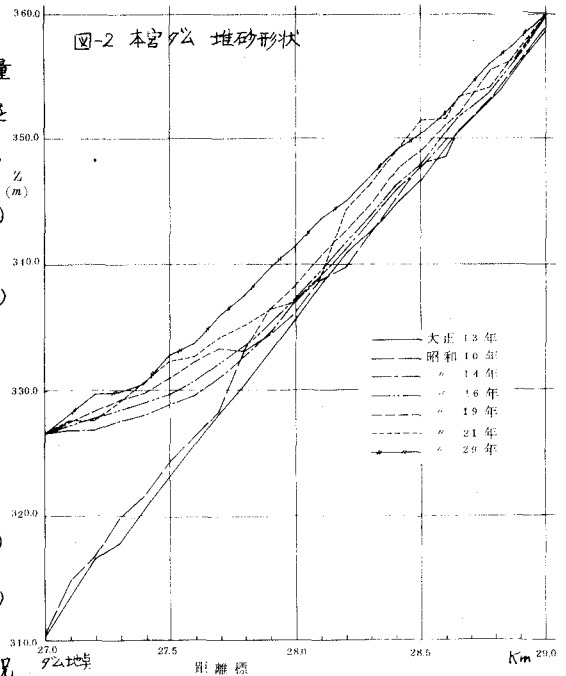
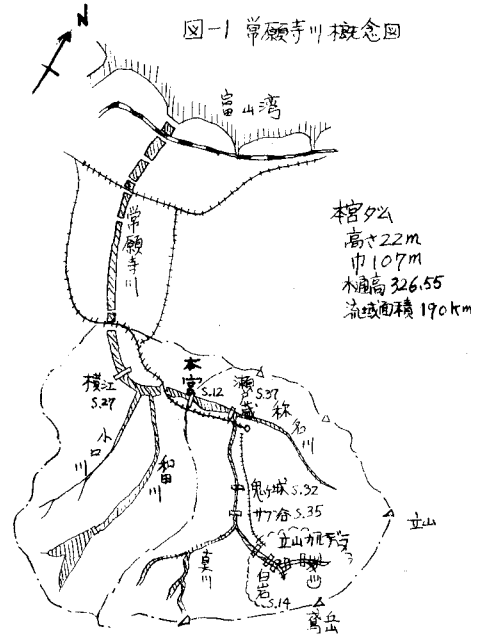
(4), (5) と (6) 式に代入すると(7)式が得られる。

$$V_s = V_{in} - V_{out} \quad (6)$$

$$V_s = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \frac{\varphi F}{\varphi_0 \left(\frac{F}{F_0} - 1 \right)} \int_0^T Q (i_{in} - i_{out}) dt \quad (7)$$

(7)式における F の値は均一粒径の場合には流況特性から求められるが今回の場合には適切に推定できない。そこで φ, F の二つを未知係数として残し $\varphi' = \varphi \cdot F$ とおく。即ち φ' は現地における流砂量公式の係数であるがその中には限界掃流力の影響が入っていることになる。

今回の場合計算の期間として昭和14~21年, 昭和14~29年の二つの場合につき, 流量として最近の流量資料から $Q = 0.268 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ (一定), $\varphi_0 = 5.06$ ($\pi = 0.06$) とする。 i_{in} , i_{out} は実測資料



より求め(図-3), V_s は堆積量(図-4)から求めた。その結果前者(昭14~21年)については $\phi' = 0.26$ ($34 \text{万} \text{m}^3/\text{year}$), 後者(昭14~29年)については $\phi' = 0.24$ ($31 \text{万} \text{m}^3/\text{year}$) とした。前報で常願寺川0K~18K区間に大正13年~昭和9年に堆積した量から求めた ϕ' の値は0.62であり, 今回の ϕ' の値にくらべると大きい, この期間には昭和9年の大洪水が含まれていること, 河口付近で勾配が小さく堆砂量には細砂も含まれていると思われるので必ずしも矛盾するものとは言えない。

なおダムを越えて下流に流送される流砂量の上流から供給される流砂量に対する割合, 即ち捕捉率は $1 - i_{out}/i_{in}$ であらわされる。これは満砂後のダムの堆砂機能の表示量として用いることができる。

(3)本宮ダムの堆砂計算

砂防ダムの堆砂機能は満砂前と満砂後では様子が異なる。満砂前は上流から流砂されて来る工砂のうち何割が段丘上に堆積し, 何割が段丘前面に堆積するのが一つの重要な問題であり, これには供給されてくる土砂に浮遊砂がどれ位加わっているかが関係する。一方満砂後については不明の点が多くどれ位堆砂機能を期待してよいのか, 堆砂勾配等を表示量として経験的な検討が加えられている状態である。ここでは後者の問題について(3)式を用いて検討する。

計算の初期条件としては昭和14年の実測河床高と与える。下流条件はダム地点27.0Kで河床高一定とし今回は天端高26.55mと与える。上流条件は30.0Kで勾配一定とし今回は原河床勾配0.024と与える。流砂量公式の係数 ϕ' は上に検討した値($\phi' = 0.24$)を用いる。差分における距離間隔は200mとし, 時間間隔は1/100年とした。

図-5はこうして求めた堆砂縦断形状を実測のそれと比較したものである。実測値は計算値のまわりに変動していて厳密には一致しないが大体の傾向は計算値によって説明されていると思われる。

図-3は計算を求めたダム天端地点(実際には27.0~27.2K区間)の勾配を実測値と比較したものであって現地資料をよく説明している。最初の3年間程計算値が実測値にくらべて小さいのは初期値として用いた27.2K地点の河床高の影響と思われる。昭和19年で実測河床勾配がかなり大きい, これはこの年のかなり大きい洪水のためと思われる。ダム天端地点は狭窄部にあっており今回の計算モデルには含まれていない工砂の調節機構が存在しているものと思われる。ダム地点の河床勾配が計算によってよく説明されるということはダムの堆砂機能が今回のモデルでよく説明されることを意味している。図-4はダムの堆砂の累加量を示したものであって大洪水を除き堆砂の経過と大体説明

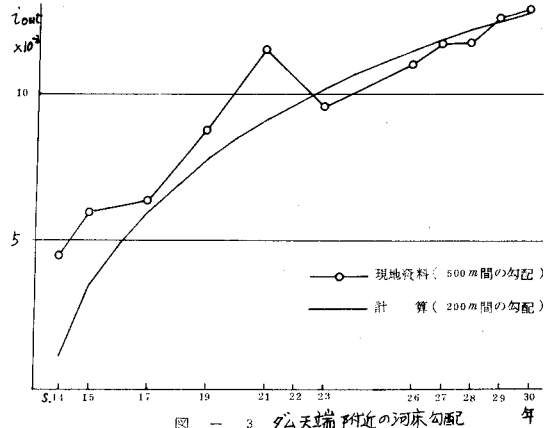


図-3 ダム天端附近の河床勾配

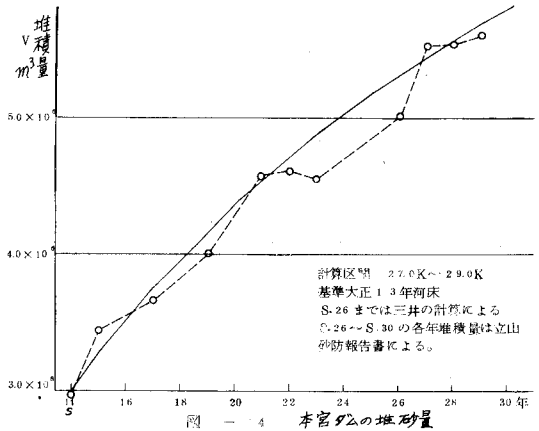


図-4 本宮ダムの堆砂量

していることがわかる。なおここに比較した値はともに27.0~29.0kmの範囲の堆砂量であって実際にはこれより上流にも堆砂は及んでいる。

図-6は河床勾配が0.024で無限に上流に続いていると考えて、人工的治水を加えないで堆砂がつづくと考えたときの本宮ダムの将来の堆砂機能の推定であって、これからも当然の間掃流で供給される土砂量の約1/3はこのダムによって貯砂されることわかる。

まとめと考察

以上の検討より

①砂防ダムの堆砂状況はここにあげた簡単な計算法で計算できるものと思われる。

②満砂後の堆砂形状の実測によって流砂量が推定できる。本宮ダムに流入する掃流土砂量は年間31~34万m³位(空隙を含む)と推定される。

又今回の場合、佐藤・吉川・茅田公式は信頼度が高い。

③砂防ダムの堆砂機能の表現として計画貯砂量が用いられるが、実際の堆砂量の時間変化を見ると満砂時点を除けば増加の仕方は連続的である。そこで堆砂機能の表現としては図-6のような捕捉率を考える方が適当ではないだろうか。いずれにせよ砂防ダムの貯砂機能は普通考えられているよりもかなり大きいもので効果の長つづきするものと言えよう。

謝辞

本文で用いた資料は建設省富山工事事務所、立山砂防工事事務所より提供を受けにもりである。又計算はTOSBAC 3400-40と用い本間久政嬢に計算して頂いた。各位に厚くお礼申し上げます。

文献

り石崎勝義「河川の堆積機構に関する一考察」第12回水理講演会(1968)

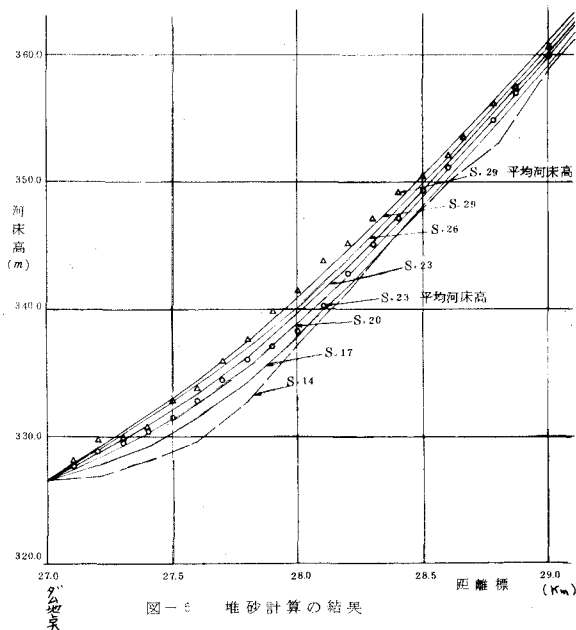


図-5 堆砂計算の結果

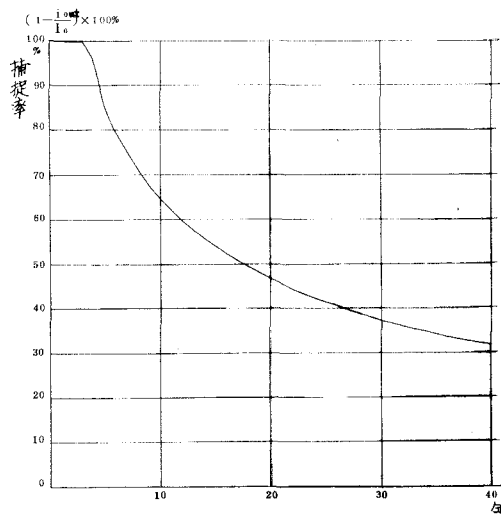


図-6 本宮ダムの土砂捕捉率(計算)