

河川の堆積機構に関する一考察

建設省土木研究所 石 崎 勝 義

1 はじめに

河川の河床高は高水位、低水位と直接の関連をもつので、その変動は治水上、利水上影響するところが大きい。従って河床変動の現象に関して既に多くの資料が得られている。一方将来の河床変動の推定に対しては河床変動計算、平衡河床計算等が行われて来たが、実際の河床変動測定値と比較検討をした例はあまり聞かない。その理由の一つとして広い範囲に変化する流量時系列、地点毎に複雑に変化する断面形状等をすべて数値計算にくみ入れて一つの結果に到達するために原因と結果の関係を見通すことが難しいという事情が考えられる。そのため河川の全体的な姿を頭に描くことが難しい。

以下に述べようとする河川の堆積機構のモデルは、流れを擬似等流とする近似的取扱いのために、その適用の分野は長時間、広範囲の河床変動現象に限られるがその表現が単純であるために実測資料と比較しながら河床変動の機構を考えるには都合がよい。比較的よく調査されている常願寺川を例として河川の堆積過程について考察を加えることにする。

2 堆積機構のモデル

ある断面を通る流送土砂量は次式で与えられる。

$$Q_B = \int_0^B q_B dy \quad (1) \quad \begin{array}{l} Q_B: \text{ある断面における流送土砂量, } q_B: \text{単位巾あたり流砂量,} \\ y: \text{横断方向距離, } B: \text{川巾} \end{array}$$

河床変動に寄与する流送土砂として掃流土砂のみを取扱い、流砂量公式として佐藤・吉川・芦田公式を用いると次のようになる。

$$q_B = \left(\frac{\varphi \cdot F}{(\sigma/\rho - 1)} \right) u_*^3 \quad (2) \quad \begin{array}{l} \varphi = 0.623 (n > 0.025), = 0.623 (1/40n)^{3.5} (n < 0.025), \\ F: \tau/\tau_c \text{ によって定められる係数, } u_*: \text{摩擦速度} \end{array}$$

一つの断面内における $\varphi \cdot F$ の値が一つの値によって代表されると仮定すると次式が得られる。

$$Q_B = \left(\frac{\varphi \cdot F}{(\sigma/\rho - 1)} \right) \int_0^B u_*^3 dy \quad (3)$$

次にこの断面の流量は次式で表わされる。

$$Q = \int_0^B u h dy \quad (4) \quad \begin{array}{l} u: \text{鉛直方向に平均した流速} \\ h: \text{水深} \end{array}$$

流速 u と摩擦速度 u_* との関係を(5)式のようにおけば φ_0 の値は(6)又は(7)式のように与えられる。

$$\frac{u}{u_*} = \varphi_0 \quad (5) \quad \varphi_0 = Ar + \frac{5.75}{\kappa} \log \frac{h}{k_s} \quad (\text{対数公式}) \quad (6)$$

$$\varphi_0 = h^{\frac{1}{6}} / (\sqrt{g} n) \quad (\text{マニング公式}) \quad (7)$$

又掃流利 τ と水深 h との間には $\tau = \rho u_*^2 = \rho g h i$ の関係があるので水深 h は次のように表わされる。

$$h = \frac{u_*^2}{g i} \quad (8) \quad i: \text{エネルギー勾配}$$

(5), (8)式を(4)式に代入し, 一つの断面内の係数 φ_0 の値が一つの値によって代表されると考えれば,

$$Q = \frac{\varphi_0}{g \cdot 1} \int_0^B u_*^3 dy \quad (9)$$

(3), (9)式より掃流流砂量の流量に対する割合, 即ち濃度は次のように表わされる。

$$\frac{Q_B}{Q} = \left\{ \frac{\varphi F}{(\sigma/\rho - 1)g} \int_0^B u_*^3 dy \right\} / \left\{ \frac{\varphi_0}{g \cdot 1} \int_0^B u_*^3 dy \right\} = \frac{\varphi F}{\varphi_0 (\sigma/\rho - 1)} i \quad (10)$$

次に流砂の連続式は次のように表わされる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_B}{\partial x} = 0 \quad (11) \quad \begin{array}{l} z : \text{河床高}, \quad x : \text{縦断方向距離} \\ \lambda : \text{空隙率} \quad (\approx 0.4) \end{array}$$

エネルギー勾配が河床勾配によって近似できる場合については

$$Q_B = Q \frac{\varphi F}{\varphi_0 (\sigma/\rho - 1)} i = -Q \frac{\varphi F}{\varphi_0 (\sigma/\rho - 1)} \frac{\partial z}{\partial x} \quad (12)$$

(12) 式を (11) 式に代入して次の基礎式が得られる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{Q \varphi}{(1-\lambda)B \varphi_0 (\sigma/\rho - 1)} \frac{\partial}{\partial x} \left(F \cdot \frac{\partial z}{\partial x} \right) \quad (13)$$

係数 F が縦断方向距離 x に対して変化しないときは (13) 式は熱伝導の方程式と同一になる。

3 常願寺川の堆積問題

(1) 常願寺川の河床変動

常願寺川は流域面積 368 Km² で, その大部分を占める山地は火山噴出物の堆積層からなる荒廃地を含む。上滝町(河口より約18Km)附近で山間溪谷から広い平野に出て半径約10Kmの広大な扇状地を展開し, 次第に傾斜を減じて三角州に移行する。扇状地の末端附近では河床が上昇して天井川を形成しており, この川の改修にあたる者は常に土砂の堆積の問題に苦しんできた。

常願寺川の治水工事は1580頃に始るとされているが全川的な改修は明治24年(1891)デレーケの手で行われた。上流の砂防工事は明治39年(1906)に始められたが自然の力に抗するは容易ではなく, とくに白岩堰堤は1922年に二度目の損傷を受け

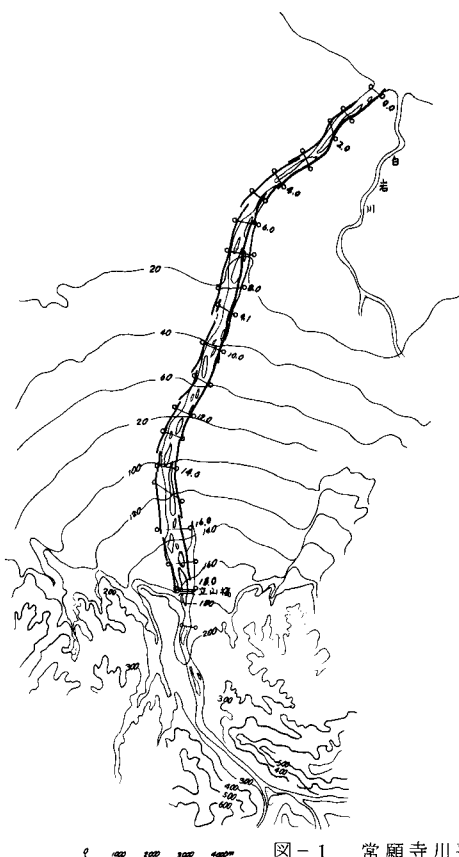


図-1 常願寺川平面図

1939年に完成している。⁽¹⁾

この間の河道の河床変動量を見ると表1の如く1924年からの10年間に 6.9×10^6 (見かけ) m^3 の堆積がある。これは1年あたり $0.4 \times 10^6 m^3$ にあたる。

一方2.6Km地点において容積 $5 \times 10^6 m^3$ を有する本宮堰堤が1935年着工、1937年に完成しているが1938年までの3年間の堆積量は約 2×10^6 (見かけ) m^3 であって1年あたり $0.4 \times 10^6 m^3$ になる。⁽²⁾

河床変動に寄与する所の大きい掃流砂について考えると勾配の小さい河口附近ではその輸送量が非常に小さくなるので上流から供給される砂礫は殆んど河道に堆積すると思われる。上記の実測資料から見て常願寺川の扇状地に供給される砂礫量は $0.4 \times 10^6 m^3 / year$ 程度と推定される。

一方供給砂量を水理量によって検討してみよう。10式において

$$Q = 0.474 \times 10^6 / year \quad (\text{昭37} \sim 9 \text{ 年の平均値})$$

$$i = 16.4 \times 10^{-3} \quad (18 \sim 2.6 Km \text{ 断面の河床高の差より})$$

$$\varphi_0 = \frac{h^{\frac{1}{6}}}{g \cdot n} = \frac{(1.0)^{\frac{1}{6}}}{3.13 \times 0.063} = 5.06$$

$\varphi = 0.623$ 、 $F = 1.0$ を与えると $Q_b = 0.58 \times 10^6 m^3 / year$ となり、上記の実測資料による供給砂礫量の推定と大体一致している。河床変動計算を行う際の問題点の一つとされる流砂量公式の精度について、常願寺川の場合には大体信頼できる事がわかったので(13)式で表わされるモデルを用いて検討をすすめてゆく事にする。

(2) 1924年～1934年の河床変動について

この期間は砂防ダムや河床掘削等の人工的变化が殆んど無い時期である。基礎式を数値計算するにあたり、初期条件としては1924年の実測値を与える。下流側境界条件としては河口において常に河

表-1 河道の砂礫堆積量(1924年～1934年)単位 $10^6 m^3$

河道距離	0～6.4Km	6.4～12.8Km	12.8～18Km	合計
堆積量	-1	2.5	4.5	6.9

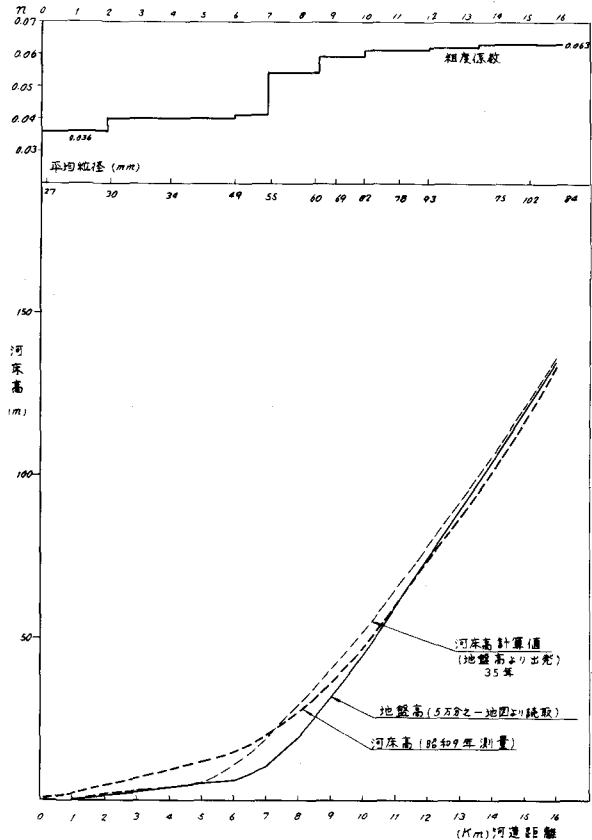


図-2 常願寺川 地盤高、河床高、粗度係数、粒径

床高 $Z = 0$ m を与える。上流側境界条件としてはこの期間に上流から供給される流砂量を一定と置く。このことは上流端において $\partial z / \partial x$ の値を一定とすることと全く同じである。川市 B, 係数 φ は各断面の実測資料を与える。係数 F を計算するための河床材料の粒径 d_m は、実際には各断面で異なる値をもつが粒径の効果を検討するために一

応全断面で同一の値を与えておくことにする。

計算を行う際の格子間隔は $\Delta x = 1.0 \text{ Km}$, $\Delta t = 0.5 \text{ year}$ とした。

計算結果を図-3に示す。計算による変動量を実測値と比較すると大体の傾向は一致するが位相にずれのあることがわかる。図-4は計算途次における各断面の河床変動量である。これを見ると8~10年の期間は各断面毎に一定の速度で河床高が上昇しているのに対し、これより前の期間においては変動の速度が一定では無く、あたかも初期条件に含まれていた変動量を補償しながら次第に定常的な状態に移行してゆくのが観がある。そこで図-4から初期条件に含まれている変動量を推定し、この影響を取去ってみたものを図-3に記入して見る。これで計算値と実測値の対応はいくらか良くなるが、なお実測の変動量には波長4 Km位の波が存在している。初期河道に存在している波が同様の波長をもつことを考えると、実際の河床変動の機構には今回のモデルに取り入れていない要素が存在していることが窺われる。

次に河床材料の粒径の変化によって河床変動量がどのように変化するかを示したものが図-5であって、この図より河床変動を調べる際に河床材料の粒

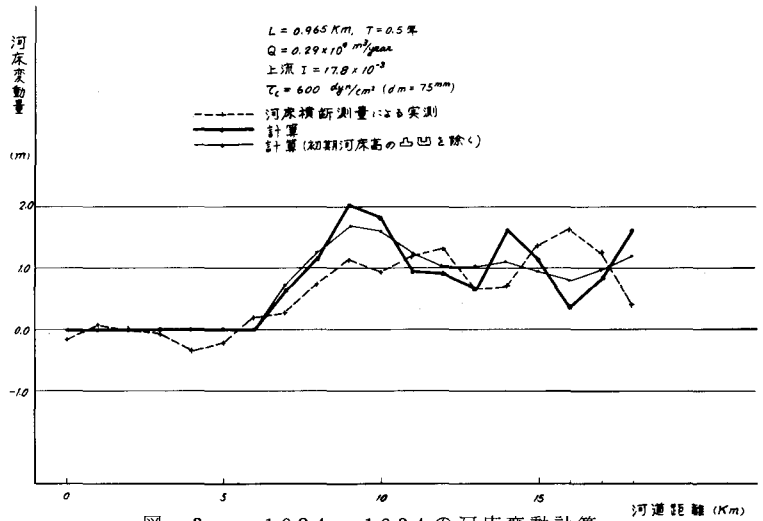


図-3 1924~1934の河床変動計算

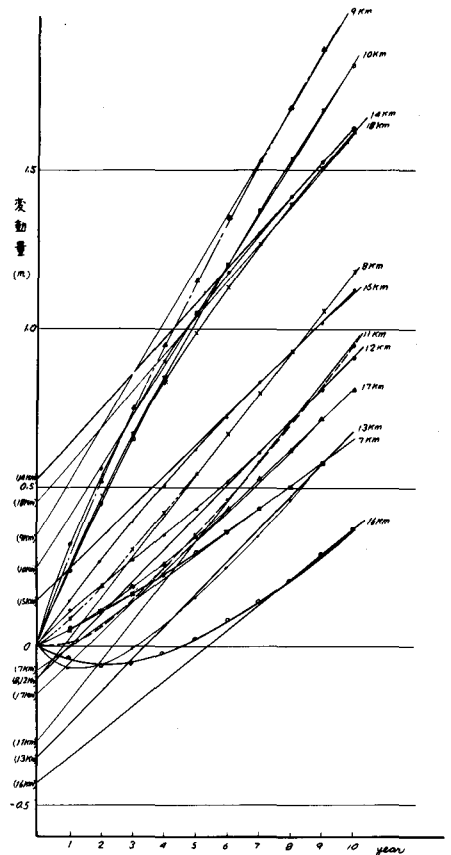


図-4 河床高の時間変化

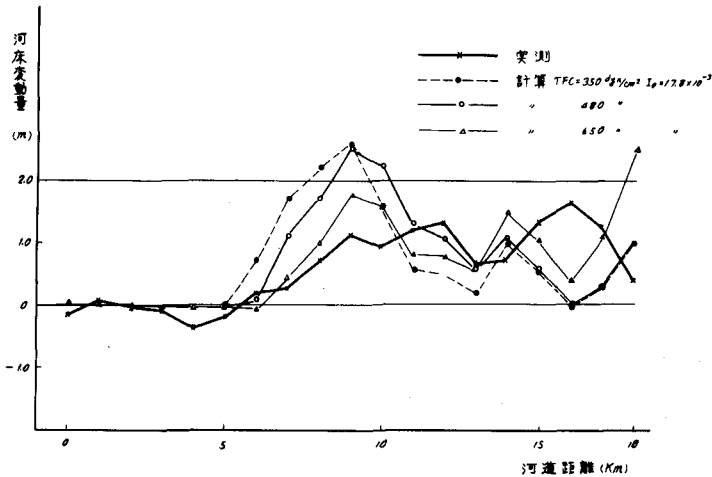


図-5 河床変動計算における河床材料粒径の効果

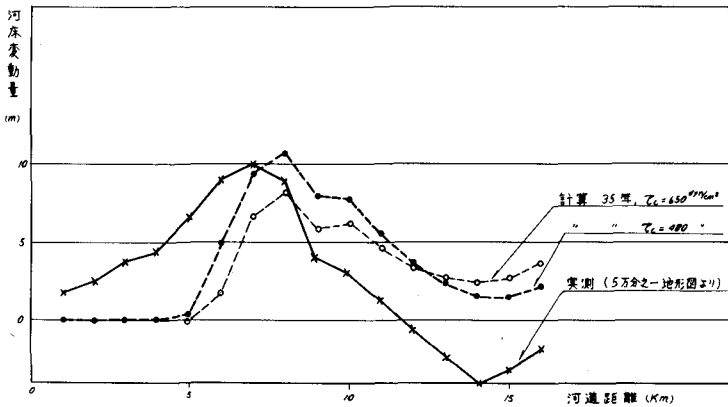


図-6 天井川の形成

径の効果が重要である事がわかる。

(3) 天井川の形成

扇状地上を流れる河川は一般に扇状地末端で天井川となる傾向を有する。その様子を常願寺川において見ると図-2の如くである。

初期条件として5万分の1地形図より読みとった地盤高を与え、上記の河床変動計算と同様の計算を行った結果を図-2, 図-6に示す。

1891年の全川の改修はかすみ堤を主体としたものであり、その後のいく度かの洪水によって砂礫は堤内にも堆積している。又堤体材料採取等の人工の変動もあり正確な比較は難しい。

計算した2つのCaseとも河床変動の傾向は実際の変動とずれており、なお検討の必要がある。

4 ま と め

① 以上の検討によって河床変動の基本的性格は熱伝導型の基礎式(13)で表現できると思われる。即ち現在我々の前にある河道は堆積の過程に

あるものであり、河川の縦断形状が下に凸のゆるやかな曲線を描く理由もここにある。しかし河床高の変化の速度は勾配の急変点を除いて非常に緩やかなものである。

② 河床変動の傾向に対して河床材料の粒径の効果がかなり大きい。しかし粒径によって縦断形状が定まってしまうのではなく、その役割は(13)式のFの値を決めることにある。

③ 実際の河床変動にはここに挙げたモデルによる推定量を中心としてその上下に振動する変動がある。

5 お わ り に

本研究に対し御指導頂いた土屋昭彦室長及び木下武雄水文研究室長，資料を提供して頂いた砂防研究室天田高白研究員に感謝します。

参 考 文 献

- (1) 資源調査会 「常願寺川流域の土地保全問題」 資源調査会資料第42号(1955)
- (2) 三井嘉都夫 「常願寺川に於ける堰堤の堆砂と河床の変化について」資源科学研究所彙報37号(1955)
- McCracken DORN "Numerical Methods and Fortran Programming" John Wiley and Sons, Inc. (1964)
- 高橋裕 「荒廃急流河川における治水の問題点」(博士論文「洪水論」所載)(1964)
- 安芸岐一 「河相論」 岩波書店 (1951)
- 谷津栄寿 「平衡河川の縦断面形について」(1), (2), (3) 資源科学研究所彙報33, 34, 35号