

立命館大学大学院 学生員○松田 尚郎

立命館大学工学部 正 員 大同 淳之

1. はしがき 河道計画は、水とともに土砂の上下流を通じての平衡をはかる必要がある。土砂量の水系一貫をはかるにあたって関係する要素の影響の度合、流量あるいは流砂量等の基準の定め方については、必ずしも明確ではない。本文では、河道の動的平衡条件として、一洪水期間中の全流砂量が、河道の上下流を通じて等しいという条件を用いて、平衡条件を求め、水系全体についての動的平衡を満足させるために、水系内の各河道の受持つ流砂量の配分法について述べ、以上の考え方を実証するために、天塩川の河道に適用した結果について報告する。

2. 一洪水期間中の全流砂量が等しい平衡条件

1) 動的平衡条件の基準 従来の動的平衡条件は、流量一定の条件のもとに、 $\partial(q_b \cdot B)/\partial X=0$ の条件で導かれている。この条件は、流量が一定であるため、長さが短かい区間に限られ、自然河川に適用するときは基準流量の決め方にも問題が生じる。ここでは、はしがきに述べた条件によって平衡を保っていると考えられる。この条件では、洪水の大小に関係なく、条件が満たされ、長い区間を通じての適用が可能になる。

2) 河道の連続式 河道の長さが長いとき、河床の粒径およびその分布系の変化は無視できない。河床が混合砂れきからなる場合の連続式は、例えば河床上昇について平野¹⁾によって、次のように表わされる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{\partial}{\partial x} (i_b q_b \cdot B) + \frac{a}{(1-\lambda)} \frac{\partial \lambda}{\partial t} \quad (1), \quad \frac{\partial i_b}{\partial t} = \frac{1}{aB(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial (i_b q_b \cdot B)}{\partial x} - i_b \frac{\partial (q_b B)}{\partial x} \right\} \quad (2)$$

ここに z : 河床高さ, λ, λ_0 : 交換層および底層の空隙率, i_b : ある粒径範囲の砂れきが流砂量中に占める割合, q_b : 単位幅流砂量, B : 流路幅, a : 交換層の厚さで、 λ は粒径または混合状態が変わっても変らないとすると、上式の右辺第2項は省略でき、一樣砂れきの連続式と同じになる。(2)式に(1)式を代入すると、 $\partial z/\partial t=0$ のためには、厳密には $\partial i_b/\partial x=0$ または $i_b \partial (q_b \cdot B)/\partial x=0$ を満たす必要がある。しかし、以下の解析では、両者の変化率は小さいとして、取扱うことにする。

3) 粒径別流砂量 混合砂れきの粒径別流砂量は、一樣砂れきの流砂量式に遮蔽係数 ξ を導入して表わされる。したがって粒径別流砂量は、例えば佐藤、吉川、芦田公式では、

$$i_b q_b = \left\{ i_b \phi / (\sigma/\rho - 1) g \right\} u_*^3 \xi \quad (u_* c^2 / u_*^2) \quad (5)$$

と表わされる。したがって単位幅あたりの全流砂量は、

$$\Sigma i_b q_b = \left\{ \frac{\phi}{(\sigma/\rho - 1) g} \right\} u_*^3 \int_0^1 f(u_* c^2 / u_*^2) di_b = \left\{ \frac{\phi}{(\sigma - \rho) g} \right\} u_*^3 \cdot \Gamma(x) \quad (6)$$

$$\Gamma = \left[\sum_{i_b=0}^{i_b d=0.4d_m} \xi_1 d di_b + \sum_{i_b d=0.4d_m}^{i_b d_{max}} \xi_2 d di_b \right]$$

と表わされる。

4) 一洪水中の全流砂量 任意の点の流量を図1に示めす最大流量 Q_p 、継続時間 T とする三角形で表わす。 Q_p および T は

$$Q_p = 0.278 r_{mp} A \quad (7), \quad T = 2R_r A \times 10^3 / Q_p \quad (8)$$

ここに、 r_{mp} : 到達時間内の平均有効雨量(mm/hr), A : 流域面積(km²), R_r : 全有効雨量である。流れは各時間毎に疑似等流とみなし、平均流速 u_n を $u_n/u_* = E(h/d_m)^p$, E : 河床の構成に関する係数, p : 指数で $p=1/6$ とすると、(8)式の Q_p 時の水深 h_p は

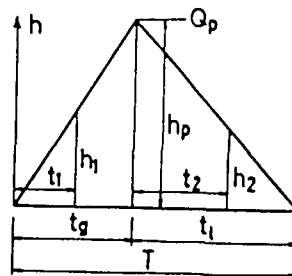


図1 流量図

$$h_p \approx (d_m)^{1/6} \cdot Q_p / E \sqrt{g} \cdot i^{1/2} B)^{3/5} \quad (9)$$

となる。(6)式の流砂量を用いて、一洪水中の全流砂量

$$Q_T = \int_0^T i_B q_B \cdot B \, dt = \frac{2}{5} K_0 B (g i)^{3/2} T h_p^{3/2} \left\{ 1 - \frac{5}{4} \left(\frac{h_{cs}}{h_p} \right)^{1/2} \right\} \Gamma \quad (10)$$

となり、(7),(8)式を代入すると、

$$Q_T = \frac{4}{5} \alpha'' g^{1.05} B^{0.1} i^{1.05} R_r (0.278 r_{mp})^{-0.1} A^{0.9} d_m^{0.15} E^{-0.9} \Gamma \times \left\{ 1 - \frac{4}{5} (K^{0.5} d_m^{0.95} g^{-0.85} i^{0.3} B^{0.3} A^{-0.3} (0.278 R_{mp})^{-0.3}) \right\} \quad (11)$$

(11)式の{ }内第2項は、掃流力が限界掃流力以下のときの補正項で、この式は Q_T を与えたとき、これを満たす流路幅 B 、勾配 i を規定する。

動的平衡の条件より、基準点の諸量に添字0をつけて表わすと任意点の勾配 i は、(11)式の{ }を d_0 と表わし $R_r (0.278 R_{mp})^{-1}$ を一定として、

$$i = i_0 (B_0/B)^{0.0951} (A_0/A)^{0.855} (d_0/d)^{0.143} \times (d_{c0}/d_c)^{0.951} (\Gamma_0/\Gamma)^{0.952} \quad (12)$$

となる。この i を積分すると河床高をうる。(12)式は、 i が流域面積 A の-0.855乗に比例することを示めているが

図2は必ずしも同一ではないが、 i と A の関係は、(12)式の関係が成立することを示めている。

3. 実河川への適用 人為的影響を受けていない自然河道は

ここで採用した 平衡条件の下に成立しているとみられる天塩川の粒径、常水路幅および勾配を用いて検証を行った。全流域の許容流砂量を決めて、水系全体の検証を行うことは資料不足のためできないので、ここでは測点35より延長60kmの区間について、(12)式を検証した。各項の変化と計算した勾配を図3に示す。細部の数値が不明のため、必ずしも(12)式の予想値は実際の勾配と一致しないが傾向は比較的良く説明しているといえる。

3. 各河道の許容流砂の配分法 河道に余分の堆積、洗掘を生じさせないためには、水系内の各河道の許容流砂量を定めこの値を(8)式に与え、 i 、 B を調節して、水系全体の平衡をはかる。各点の許容流砂量は次のように定める。(i)河口の許容流砂量 Q_{T0} : 当該河川の受持つ海岸維持に必要な土砂量または、放出して支えない量とする。(Q_{T0} = 年間河口流砂量 / 年間洪水数) (ii)最初の支川合流点での許容流砂量 Q_{T1}

$Q_{T1} = \{ \text{年間河口流砂量} - (0 \sim 1) \text{区間での産業土砂採取量} \} / \text{年間洪水数}$

(iii) 2の点における許容流砂量 Q_{T2} , $Q_{T2} = Q_{T1} - \text{支川の許容流砂量 } Q_{TB}$

このように順次上流まで許容流砂量を定める。

4. むすび 河道は自然の力で形成され、人工で制御できる余地は極めて少ないと予想される。この解析結果は、河道に人工を加えたときの基準、その後の影響を予測できよう。

参考文献: 1) 平野、Armoringを判う河床低下について、土木学会論文集195'71

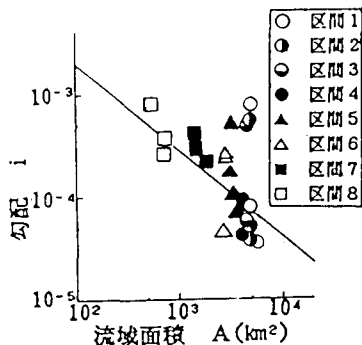


図2 天塩川の河床勾配

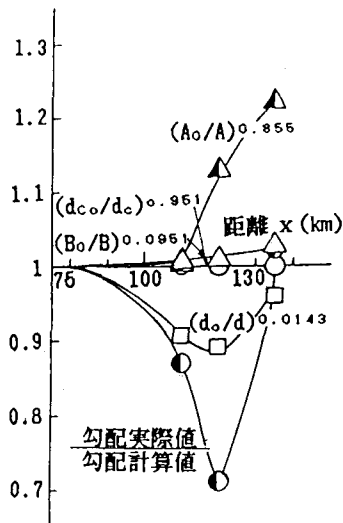


図3 (12)式の各項の値と計算結果

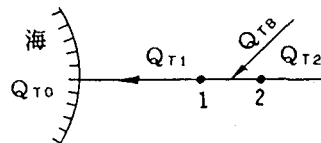


図4 河道モデル