

水系一貫した河道の動的平衡と許容流砂量の配分

立命館大学理工学部 正員 大同淳之

1 はしがき 水系一貫した河道計画は、水とともに土砂の上下流通につい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は、どの物理量の調節が必要か、平衡を支配する許容流砂量もどうして決めるか等については、明らかでないので検討を行った。本文では、河道の動的平衡と、河道のどの点についても一洪水中の全流砂量が等しいという考え方にたって、平衡条件およびそれと満たすための流砂量の配分について述べる。

2. 一洪水中の動的平衡条件

i) 河道の動的平衡条件 従来の動的平衡条件は、 $\partial(q_b \cdot B)/\partial x = 0$ の条件で導びかれている。しかし流量一定の条件から長い区間に区間に限られ、かつ対象流量を合理的に決める基準がなく、流量によって河床高さが変化する問題がある。大部分の砂礫は洪水中に移動して河道を形成することから、平衡条件としては、はしがきに述べた条件を採用する。この条件では、洪水の大きさに無関係で、下流に向って流量の増加を加味できる。

ii) 河道の連続式 河道の長さが長いとき、河道に沿って河床の粒径およびその分布が変化することは無視できない。砂礫が混合粒径のときの連続式は¹⁾ 河床が上昇および下降する場合のそれぞれについて

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial(i_b q_b \cdot B)}{\partial x} + \frac{a}{(1-\lambda)} \frac{\partial \lambda}{\partial t}, \quad \frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial(i_b q_b \cdot B)}{\partial x} + \frac{a}{1-\lambda_0} \left\{ a \frac{\partial \lambda}{\partial t} + (\lambda - \lambda_0) \frac{\partial a}{\partial t} \right\} \quad (1)$$

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 : ある粒径範囲の砂礫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ると変らぬとすると, 上式の右辺第2項は省略でき、一様砂礫の連続式と同じになる。

iii) 粒径別流砂量 混合砂礫の粒径別流砂量は、一様砂礫の流砂量式に、しゃへい係数 ξ を導入して表される。Einstein は ξ と有効掃流力の補正として導入したが、平野²⁾、林³⁾の研究では、 $\xi = \tau_{*ci} / \tau_{*cm}$ と、粒径別限界掃力の意味をもち、林によると、

$\xi = 1/(d_i/d_m)$ for $d_i/d_m < 1.0$, $\xi = [\log \beta_0 / \log \beta_0 (d_i/d_m)]^2$ for $d_i/d_m > 1.0$ で、 β_0 は 8 としている。平野は d_i/d_m の全領域について、 $\beta_0 = 19$ としている。したがって、粒径別掃流砂量は、例えば、吉川、芦田公式では、

$$i_b q_b = \{P / (\sigma - P) g\}^{1/2} \varphi(F F') U_*^3, \quad F = f(\tau_{*cm} \xi / \tau_{*ci}) \quad (2)$$

と表される。したがって、単位幅あたりの全流砂量は、 ξ に平野の式を用いて

$$\int_{d_{min}}^{d_{max}} i_b q_b dd = K \sum_{d_{min}}^{d_{max}} U_* i_b [\log 19 / \log 19 (d_i/d_m)]^2 \Delta(d_i/d_m) = K F' U_*^3 \Gamma \quad (3)$$

と表される。ここに Γ は $\Gamma = \sum i_b (\log 19 / \log 19 (d_i/d_m))^2 \Delta(d_i/d_m)$,
で、各点の粒径分布の違いを表す尺度、 K は $K = \{P / (\sigma - P) g\}^{1/2}$ である。

DAIDO ATSUYUKI

iv) 一洪水中の全流砂量 任意の地点の流量図と図1に示す最大流量 Q_p 、継続時間 T とする三角形で表わす。 Q_p および T は

$$Q_p = 0.278 R_{mp} A \quad (4) \quad T = 2 R_r A \times 10^3 / Q_p \quad (5)$$

ここに R_{mp} : 到達時間内の平均肩効雨量(mm/h): 流域面積(km^2), R_r : 全肩効雨量である。流 u は各時間毎に疑似等流と仮とし、平均流速 $u_m \in u_m / u_m = E(h/d_m)^p$, E : 河床の構成に因する係数, p : 指数 $p = 1/6$ とすると、(4)式の Q_p 時の水深 h_p は

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

となる。(3)式の流砂量を用いて、一洪水中の全流砂量

$$Q_T = \int_0^T i_B g_B B dt = \frac{2}{5} K B (g i)^{3/2} T \cdot h_p^{3/2} \left\{ 1 - \frac{5}{4} \left(\frac{h_{cs}}{h_p} \right)^{1/2} \right\} \Gamma \quad (7)$$

となり、(4)、(5)式を代入すると、

$$Q_T = \frac{4}{5} \alpha'' g^{1.05} B^{0.1} i^{1.05} R_r (0.278 R_{mp})^{-0.1} A^{0.9} d_m^{0.15} E^{-0.9} \Gamma \times \left\{ 1 - \frac{5}{4} (K_c^{0.5} d_m^{0.95} g^{-0.85} i^{0.3} B^{0.3} A^{0.278 R_{mp}})^{-0.3} \right\} \quad (8)$$

(8)式の $\{ \}$ 内 α 2項は、掃流力の限界掃流力以下 α ときの補正項で、この式は Q_T と与えたとき、これを満たす流路幅 B 、この配 i を規定する。 α'' は式中の常數項である

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、任意点のこの配 i は、(8)式の $\{ \}$ と d_c と表わし

$R_r (0.278 R_{mp})^{-1}$ と一定として、

$$i = i_0 (B_0/B)^{0.0951} (A_0/A)^{0.855} (d_0/d)^{0.143} (d_{c0}/d_c)^{0.931} (\Gamma_0/\Gamma)^{0.952} \quad (9)$$

となる。この i を積分すると河床高と出る。(9)式は、 i は流域面積 A の -0.855 乗に比例することと示しているが図2は建設省調査による砂防ダムへの堆積勾配のデータで、粒径 ϕ の他は必ずしも同一でないが、 i と A の関係は、(9)式の関係が成立することと示している。

3. 各河道の許容流砂量の配分法

河道に余分の堆積、洗堀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、この値と(8)式に与え、 i 、 B を調節して、水系全体の平衡と定める。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} : 当該河川の支持海岸維持に必要な土砂量または放出して差支えない量とする(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} : $Q_{T1} = \{ \text{年間河口流砂量} - (0 \sim 1) \text{区間の産業用土砂採集量} \} / \text{年間洪水数}$

iii) 2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と定める。

4. まとめ

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、その後の影響と予測できる。

参考文献・1) 平野・Armoringとともなる河床低下について、地論雑誌1957, 71, 2) 林・混合砂礫の掃流砂量に関する研究、土木水理講義'80,

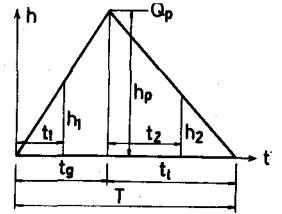


図1. 流量図

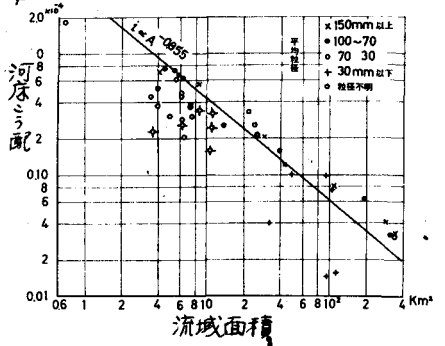


図2. 砂防ダムの河床勾配

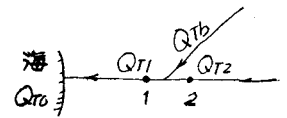


図3. 河道モデル