

流域の全生産土砂量を対象にした水系一貫平衡河道

立命館大学理工学部 正 員 大同淳之

立命館大学大学院 学生員 ○松田尚郎

1. はしがき さきに我々は掃流砂を対象に、水系一貫の条件を満たす動的平衡条件について考察したが²⁾、河床および水理条件によっては、流砂中において浮遊砂の占める役割が無視し得ない場合もある。本文では、浮遊砂についても掃流砂と同じような取り扱いを試み、掃流および浮遊砂量を同時に考慮した場合の水系一貫した平衡河道について考察した。

2. 浮遊砂量による河床の平衡条件 (i) 浮遊砂量の基礎式

浮遊砂量が wash load と bed material load とからなるとき、wash load が河床変動に及ぼす影響は河道下流部に限られると考えられ、大部分の河道では河床変動には bed material load を考えればよいであろう。

浮遊砂量 $\Phi_s (= q_s / \sqrt{sgd^3})$ は一般に

$$\Phi_s = C_s (h/d) \tau_*^{1/2} \phi P_{*0} \quad (1)$$

ここに、 C_s : 基準点濃度、 h : 水深、 d : 粒径、 $\tau_* = u_*^2 / sgd$ 、 $\phi = u_n / u_*$ 、 $P_{*0} = f(w_0 / u_*)$ である。式中の基準点濃度 C_s は近似的に直線関係で表すと、

$$C_s = \alpha (w_0 / u_*)^\beta \quad (2)$$

と表され、芦田・道上式¹⁾では $\alpha = 1.13 \times 10^{-3}$ 、 $\beta = -1.56$ である。また、この C_s 中に含まれる粒径 d は浮遊限界摩擦速度 u_{*c} より、

$$u_{*c}^2 / sgd = \gamma (u_{*c} d / \nu)^\delta \quad u_{*c} d / \nu < 10, \quad u_{*c} / sgd = 0.25 \quad u_* d / \nu > 10 \quad (3)$$

で求められ、芦田・藤田²⁾によると $\gamma = 0.14$ 、 $\delta = 0.44$ である。

(ii) 定常流の場合の平衡

浮遊砂の河床変動の連続式は、次のとおりである。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} - \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial}{\partial x} \left(B \int_{z_b}^h C u dz \right) \quad (4)$$

浮遊砂の連続式は、 $u(\partial C / \partial x) + v(\partial C / \partial y) + \varepsilon(\partial^2 C / \partial z^2) = \varepsilon(\partial^2 C / \partial x^2)$ のとき

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial C}{\partial z} \right) + w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (5)$$

より、

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{B}{1-\lambda} \left\{ \left(\varepsilon \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C \right)_{h=0} - \left(\varepsilon \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C \right)_{z_b} \right\} + \frac{B \beta C_0}{1-\lambda} \frac{d u_m}{d x} (h-Z) \\ - \frac{\alpha B}{1-\lambda} C_0 u_m \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\alpha}{1-\lambda} C_0 u_m Z_0 \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

となる。ここで、 $(\varepsilon \partial C / \partial z + w_0 C)_{h=0} = 0$ で、 $(\varepsilon \partial C / \partial z + w_0 C)_{z=0}$ については、 $\varepsilon(\partial C / \partial z)_{z=0}$ は河床から流れの中に取り入れられる浮遊砂量で、芦田らの研究では次のようになる。 $\varepsilon(\partial C / \partial z)_{z=0} = w_0 C_s$ (7)

一方、 $w_0 C_0$ は流れから河床に沈下する浮遊砂量で、定常の場合は $w_0(C - C_s) = dq/dx$ に相当する。 w_0 は式(3)で求まる粒径に対応する沈降速度で、 C_s は式(2)より表されることがから、式(6)の右辺第2項は

$$\frac{\partial(C_s w_b)}{\partial x} = -1.12 \times 10^{-3} \left(\frac{Sg}{18\nu} \right)^{0.56} d^{-2.12} U_*^{1.56} \frac{\partial d}{\partial x} + 1.56 \times 10^{-3} \left(\frac{Sg}{18\nu} \right)^{0.56} d^{-1.12} U_*^{0.56} \frac{\partial U_*}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

となる。したがって、河床が動的に平衡な場合は式(6)、(8)より、次のようになる。

$$1.12 \times 10^{-3} \left(\frac{Sg}{18\nu} \right)^{0.56} d^{-2.12} U_*^{1.56} \frac{\partial d}{\partial x} - 1.56 \times 10^{-3} \left(\frac{Sg}{18\nu} \right)^{0.56} d^{-1.12} U_*^{0.56} \frac{\partial U_*}{\partial x} + \beta C_0 \frac{dU_m}{dx} (h - Z_0) - \alpha C_0 U_m \frac{\partial Z_0}{\partial x} - \frac{\alpha}{B} C_0 U_m Z_0 \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

式(9)と不等流式、水流の連続式、抵抗則および水流と流砂とを接続する $i = i_0 + \partial z / \partial x$ とを連続に解くと、河床の平衡条件をうることができる。

(iii) 一洪水期間中の総浮遊砂量

しかしながら、前報で述べたように³⁾、水系一貫を満足する平衡河道は一洪水期間中の全流砂量を等しくする必要がある。

河床単位面積あたりに、浮遊限界摩擦速度 u_{*c} 以上のせん断力を受ける粒径の占める割合を $p\%$ とする。一洪水期間 T の間の水位曲線を図1のように表して、期間中の全浮遊砂量 Q_s を求めると、

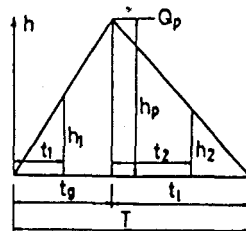


図1 流量図

$$Q_s = \int_0^T q_s B dt = p \times 3.70 \times 10^{-3} \nu^{1.56} S^{-1.56} g^{-1.56} d_m^{-0.32} i^{-0.55} B^{0.52} (0.278 r_{mp} A)^{0.53} E^{1.53} T \quad (10)$$

となる。ここに、 d_{ms} : 浮遊砂の代表粒径、 A : 流域面積、 r_{mp} : 一降雨中の有効雨量

全流砂量 Q_T は、前報で求めた掃流砂量 Q_{BT} を全浮遊砂量 Q_s に加えて、次のようになる。

$$Q_T = (1-p) \frac{4}{5} \alpha'' g^{1.05} B^{0.1} i^{1.05} R_p (0.278 r_{mp})^{0.1} A^{0.9} d_m^{0.15} E^{-0.9} \Gamma \left(1 - \frac{4}{5} \zeta \right) + p \times 3.70 \times 10^{-3} \nu^{1.56} S^{-1.56} g^{-1.56} d_m^{-0.32} i^{-0.55} B^{0.52} (0.278 r_{mp} A)^{0.53} E^{1.53} T \quad (11)$$

ここに、 ζ : 限界掃流力の補正項である。平衡条件より基準点の諸量に添字の0をつけて

$$i = i_0 \left[\frac{p_0}{p} \left(\frac{B_0}{B} \right)^{0.0951} \left(\frac{A_0}{A} \right)^{0.833} \left(\frac{d_{B0}}{d_B} \right)^{0.143} \left(\frac{d_{C0}}{d_C} \right)^{0.951} \left(\frac{\Gamma_0}{\Gamma} \right)^{0.952} + \frac{(1-p)_0}{1-p} \left(\frac{d_{ms0}}{d_{ms}} \right)^{1.55} \left(\frac{B_0}{B} \right)^{-1.02} \left(\frac{A_0}{A} \right)^{-0.96} \right] \quad (12)$$

(iv) 河道の最上流端での基準値

河道の最上流端より流入する流砂量には wash load も含まれる。したがって懸案地点に流入する浮遊砂量は $w_0 C_0$ を別の方法で算定する必要がある。河道の最上流端における浮遊土砂量 Q_s は、流域の被侵食性によって与えられる。雨による流出量との関係をもつ表現として、次のものがある。

$$Q_s = (\gamma Z_0 A) \alpha' (Q / \gamma_0 A) = C_4 \alpha' G^n Q^n \quad (13)$$

ここに、 $\alpha' = C_5 \exp \left(C_4 \frac{\sum A_d s}{A} \right)$

$$C_1 = 1 / \gamma_0 A$$

A_d : 荒地面積、 s : 荒地勾配、 z_0 : 基準浸食高

で、大同は、インドネシアの河川について $C_4 = 84$ 、 $C_5 = 0.42 \times 10^{-3}$ の値を得ている。かつこのときの w_0 については、式(3)で求まる粒径に対応する沈降速度である。式(12)および式(13)の適用結果については、講演時に述べる。

参考文献 1) 芦田・道上: 浮遊砂に関する研究、京大防災研年報、13号B。 2) 芦田・藤田・向井: 河床砂れきの浮上率と浮遊砂量、京大防災研年報、23号B-2。 3) 大同・松田: 水系一貫した河道の動的平衡条件と各河道の許容流砂量、第40回年次講演会概要集。