

II-199 水系一貫した河道の動的平衡

立命館大学大学院 学生員○松田尚郎  
立命館大学理工学部 正員 大同淳之

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<sup>1)</sup>、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次いで考察し、この考え方を鳥取県天神川に適用して、理論の妥当性を検査した結果について述べる。

2. 一洪水期間中の全流砂量が等しい平衡条件

(1) 流砂および浮遊砂の基礎式

流砂量式は次式に示す佐藤・吉川・芦田公式を用いて計算する。

$$q_B = \sigma / (\sigma - \rho) g \psi F u_*^3 \quad (1)$$

ここに、 $\sigma$ 、 $\rho$ はそれぞれ砂粒および水の密度、 $\psi$ は $n \geq 0.025$ では定数、 $F$ は限界掃流力 $\tau_c$ と底面せん断力 $\tau_o$ の比の関数、 $u_*$ は摩擦速度である。

一方、浮遊砂量 $\Phi (=q_B / \sqrt{sgd^3})$ は一般に、次のように表せる。

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

ここに、 $C_s$ : 基準点濃度、 $h$ : 水深、 $\tau_* = u_*^2 / sgd$ 、 $\phi = u_m / u_*$ 、 $P_{*0} : f(W_o / u_*)$ 、 $s : (\sigma / \rho - 1)$ 、式中の基準点濃度 $C_s$ を近似的に直線関係で表すと、

$$C_s = \alpha (W_o / u_*)^\beta \quad (3)$$

となり、芦田・道上式<sup>2)</sup>では $\alpha = 1.13 \times 10^{-3}$ 、 $\beta = -1.56$ である。また、この(2)式に含まれる粒径 $d$ は浮遊限界速度 $u_{*c}$ より、

$$u_{*c} / sgd = \gamma (u_{*s} / \nu)^\delta \quad u_* d / \nu < 10, \quad u_{*c} / sgd = 0.25 \quad u_* d / \nu > 10 \quad (4)$$

で求められ、芦田・藤田<sup>3)</sup>によると $\gamma = 0.14$ 、 $\delta = 0.44$ である。

(2) 抵抗則

粗面乱流に対する対数分布則  $u_m / u_* = 6.0 + 5.75 \log(R/k_s)$  を変形して、

$$k_s = \frac{11.5R}{10^{\phi/5.75}} \quad (5)$$

ここに、 $\phi = u_m / u_*$  である。(5)式の分母を

$$z = 10^{\phi/5.75} = 10 \quad (6)$$

とおく。ここで、通例の沖積河床面上の流れに現れる $\phi$ の変動範囲、8~18に対応する $z$ と $\xi$ の関係から図1が得られる。図中の曲線は

$$z = a \xi^b \quad (7)$$

で近似でき、 $a = 4.820$ 、 $b = 4.938$ である。一方、相当粗度 $k_s$ と粒径 $d$ の比、 $k_s/d$ と $\tau$ との間には

$$k_s = m \tau_*^n \quad (8)$$

が成立するから、(5)式と(8)式から

$$u_m = K \cdot R^{0.48} \cdot i^{0.27} \cdot d^{0.02}, \quad K = 5.75 \sqrt{g} \left( \frac{11.05 S^{1.1}}{4.82 m} \right)^{1/4.913} \quad (9)$$

が得られる。

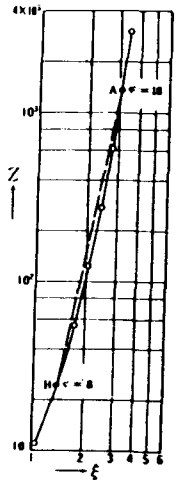


図1 zとxiの関係

(3)一洪水中の全流砂量

任意の点の流量を図2に示す最大流量 $Q_p$ 、継続時間  $T$ とする三角形で表す。 $Q_p$ および $T$ は

$$Q_p = 0.278 r_{mp} A \tag{10}$$

$$T = 2RrA \times 10^3 / Q_p \tag{11}$$

ここに、 $r_{mp}$  : 到達時間内の平均有効雨量(mm/hr)、 $A$  : 流域面積(km<sup>2</sup>)、 $R_r$  : 全有効量である。

(10)式の $Q_p$ 時の水深 $h_p$ は(9)式から、次のようになる。

$$h_p = \left( \frac{Q_p}{KB} \right)^{0.676} i^{-0.182} d^{0.014} \tag{12}$$

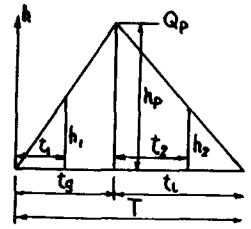


図2 流量図

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。(1)、(2)式の流砂量、浮遊砂量を用いて一洪水中の全流砂量を求めると

$$Q_T = \int_0^T (q_b + q_s) B dt = 0.8 \times (1-p) \psi B g^{0.5} s^{-1.0} i^{1.5} h_p^{1.5} F T + 0.10 \times p g^{-0.780} S^{-1.56} \nu^{1.56} K B i^{1.05} d_{ms}^{-3.12} d_m^{0.02} h_p^{2.26} T \tag{13}$$

となり、(11)、(12)式を代入すると、

$$Q_T = C_1 (1-p) \psi s^{-0.277} g^{0.500} i^{1.227} B^{-0.014} (0.278 r_{mp} A)^{1.014} d_m^{0.021} m^{0.205} F + C_2 p s^{-1.56} g^{-0.78} \nu^{1.56} i^{0.411} B^{-0.528} (0.278 r_{mp} A)^{1.528} d_m^{-0.012} d_{ms}^{-3.12} m^{-0.106} \tag{14}$$

ここに、 $C_1$ 、 $C_2$ は定数。動的平衡の条件より、基準点の諸量に0をつけて、かつ掃流砂によって形成されている値 $i_b$ と浮遊砂による値 $i_s$ に分けて表現すると任意の点の勾配は、

$$i_b = \left( \frac{1-p_0}{1-p} \right) \left( \frac{B_0}{B} \right)^{-0.014} \left( \frac{A_0}{A} \right)^{0.826} \left( \frac{d_{m0}}{d_m} \right)^{0.012} \left( \frac{m_0}{m} \right)^{0.167} \tag{15}$$

$$i_s = \left( \frac{p_0}{p} \right) \left( \frac{B_0}{B} \right)^{-0.826} \left( \frac{A_0}{A} \right)^{1.391} \left( \frac{d_{m0}}{d_m} \right)^{-4.883} \left( \frac{d_{ms0}}{d_{ms}} \right)^{-0.019} \left( \frac{m_0}{m} \right)^{-0.258} \tag{16}$$

となる。この $i$ を積分すると河床高をうる。

3. 実際河川への適用例

実際の河川では、ここで採用した平衡条件の下に成り立っていると考えられる。そこで鳥取県天神川について計算を行った。天神川の河床の粒径は0.125cm以下の粒径がほぼ30%含まれており、掃流砂と浮遊砂の両方の影響を受けていると推定される。計算の結果と現地の測定値の比較を図3に示す。計算の結果は実測値とほぼ一致している。

この計算では、浮遊砂の計算にあたって、浮遊可能な粒径の代表径 $d_{ms0}$ で計算したが、浮遊砂量については粒径の差によって浮遊砂量の差は大きいので、今後は粒径別の取り扱いを進める必要があろう。

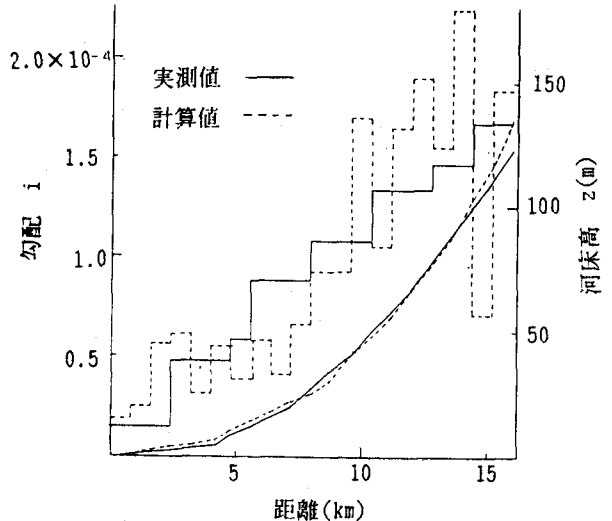


図3 計算値と実測値

参考文献 1)松田・大同：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、昭60.、2)芦田・道上：浮遊砂に関する研究、京大防災研年報、13号B、昭45.、3)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、昭60.、4)杉尾：沖積河川の河相の研究、徳島大学工学部水理研究会、昭58.