

砂堆河床への流砂量則の適用性について

京都大学防災研究所 正員 河田忠昭
京都大学防災研究所 正員 土屋義人

1. 緒言 著者らはすでに、平坦河床を対象として、saltation機構に基づく流砂量則を誘導し、実験値との比較からその適用性がかなり良好であることを示した¹⁾。しかし、河床波が存在している場合の適用性は明らかではないので、ここでは有効掃流力の観点から、これについて若干の検討を加える。

2. 有効掃流力の算定 図-1は河床に砂堆が存在する場合のGilbert²⁾およびGuy³⁾らの掃流砂量に関する実験値を、河床波が存在しない場合と同様の関係で示したものである。これから、平坦および遷移河床の場合の掃流砂量の実験値に比べて、その散乱が大きく、しかも摩擦速度の推定にあたって砂堆の形状抵抗損失を考慮していないので、砂粒の流速に等与する摩擦速度が過大に算定され、実験値が全体的に右下方に移動していることがわかる。したがって、砂堆が存在する場合の掃流砂量を算定するには、いわゆる有効掃流力を精度よく推定する方法を確立することが実用上重要であると考えられる。いま、砂堆の形状特性が既知であるとして、河床近傍の流速が砂粒の移動速度に規定されるという考えから、有効掃流力を求めることにする。図-2は河床近傍の模式図である。図中、流下方向の座標軸 x は平均河床面 $z=0$ にとり、それに垂直向上に z 軸をとるものとする。さて、1波長についての流れの平衡条件より、近似的に次式が成立する。

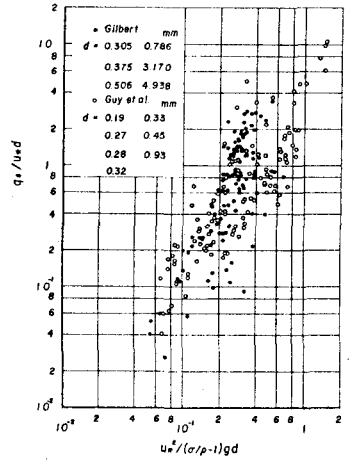


図-1 砂堆河床における流砂量

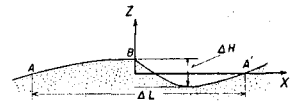


図-2 河床近傍の模式図

$\tau_0 \Delta L \approx D + \tau_{ce} l$ ----- (1) ここに、 τ_0 および τ_{ce} ：それぞれ全掃流力および有効掃流力、 D ：砂堆一波の単位幅当りの形状抵抗、 ΔL および l ：それぞれ砂堆の1波長およびreattachment point Aからcrest Bまでの長さである。さらに、形状抵抗 D は形状抵抗係数を C_d とすると、つぎのように表される。 $D = (1/2) \rho C_d u_0^2 \Delta H$ ----- (2) ここに、 ρ ：流体の密度、 u_0 ：砂堆に対する代表流速および ΔH ：波高である。 $\tau_{ce} = \rho u_{ex}^2$ と、代表流速 u_0 が河床における砂粒の水平方向の速度 U に規定され、つぎの関係にあるものと仮定する。 $u_0 \approx \alpha_1 U$ ----- (3) ここに、 α_1 ：比例定数である、式(2)および(3)を式(1)に代入すれば、有効摩擦速度と摩擦速度の比は、つぎのように表される。

$u_{ex}^*/u_* = [(\Delta L/l) \{1 - C_d \alpha_1^2 \bar{U}^2 (\Delta H/\Delta L)\}]^{1/2}$ ----- (4) ここに、 $\bar{U} = U/u_*$ である。一方、波状境界面の波速 C_e で移動する場合、Kitaigorodskii⁴⁾らは、流速が次式で表せるとしている。 $(u - C_e)/u_* = (1/\kappa) \ln \{ [z/A_e \Delta H] \exp \{-\kappa(C_e/u_*)\} \}$ ----- (5) ここに、 A_e は定数である。式(5)を式(4)に代入し、 $\kappa C_e \ll 1$ 、 $\Delta L/l \approx 1$ および $\bar{C}_e \approx \alpha_2 \bar{U}$ と仮定すれば u_{ex}^* は平均流速 U を用いて、近似的につぎのように表される。 $u_{ex}^* \approx \kappa U \{1 - C_d \alpha_1^2 \bar{U}^2 (\Delta H$

$(\Delta L)\}^{1/2} / \{k\alpha_2 \bar{v} + \ln(h/A\alpha_2 H) - 1\}$ ----- (6) ここに、 h :水深である。

3. 砂堆河床における流砂量則の適用性 著者らは、砂粒と流体を含む二相流に運動量保存則を適用して、平坦河床を対象とした平衡状態の流砂量式を次式のように誘導した。

$$q_s (= q_0 / u_{*d}) = \frac{e}{1-e} (\tan \beta_m) A r \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma}{e} \right) \left[1 + e - (1-e) \sqrt{1 + \frac{8}{3(1-e) \lambda C_D A r^2 \tau_*}} \right] (\tau_* - \tau_{*c}) \right\} \text{ ----- (7)}$$

ここに、 d :粒径、 e :砂粒の反発係数、 β_m :平均飛び出し角度、 σ :砂粒の密度、 $\lambda = 4(H_m/L_m)$ 、 H_m および L_m :砂粒の saltation の平均飛高および飛距離、 C_D :抵抗係数、 $\tau_* = u_*^2 / (6/5 - 1)gd$ 、 $\tau_{*c} = u_{*c}^2 / (6/5 - 1)gd$ である。砂粒の saltation に関する実験結果から定数を求め、これを用いて式(7)を計算すれば、平坦および遷移河床での従来の流砂量の実験値とよく一致することがすでに確認されている。図-3(a)は式(6)を用いて有効摩擦速度を求め、図-1に示した実験値のうち、砂堆の形状特性が明示されている Guyらのものを再整理して示したものである。ただし、式中の定数はつぎのようにして決めた。まず、 C_1 は橋によって実験的に求められた、 $C_1 = 0.161(\Delta H/\Delta L) + 107.6(\Delta H/\Delta L)^2$ を用い、 A_e は Kitaigorodskii による海上風の風速分布の考察から求めた0.12をそのまま使用した。砂粒の移動速度 $\bar{v}$ は、流砂の場合定常速度を表わす次式、 $\bar{v} = [1 + e - (1-e) \sqrt{1 + 8 / \{3(1-e) \lambda C_D A r^2 \tau_*\}}] (Ar/2)$ ----- (8) で近似的に与えられることがすでに示されている。また、 α_1 および α_2 はどちらも1とした。図中の曲線は式(6)と式(7)に代入して計算したものであり、式中の定数は、平坦河床の場合と同じく、 $\tan \beta_m = 0.577$ 、 $\lambda = 0.4$ を用いたが、砂粒の反発係数 e は0.55と若干小さく与えた。これから、図-1に比べて実験値の散乱がきわめて小さくなり、しかも無次元掃流力の広範囲にわたって、実験値と計算値との対応がかなり良好なことがわかる。一方、図-3(b)は表面抵抗係数から有効摩擦速度を推定する橋の方法⁵⁾で再整理したものであって、(a)および(b)を比較すれば、前者の方がより妥当であり、しかも、平坦河床を対象とし誘導された流砂量則が砂堆河床の場合にも実用上十分適用できることがわかる。

4. 結語 今後、式(6)に含まれる定数の検討をさらに進めるとともに、砂堆の形状特性と水理量との関係などについても明らかにする必要がある。参考文献: 1) 土屋: 工学会誌, 8849, pp.243-244. 2) Gilbert: USGS Prof. Paper 96, 1914, pp.1-263. 3) Guy et al.: USGS Prof. Paper, 462-I, 1966, pp.1-95. 4) Kitaigorodskii et al.: Izv. Atmo. & Oceanic Physics Ser., Vol. 1, 1965, pp. 773-788. 5) 橋: 工学会誌, 第40号, 8830, pp.384-392.

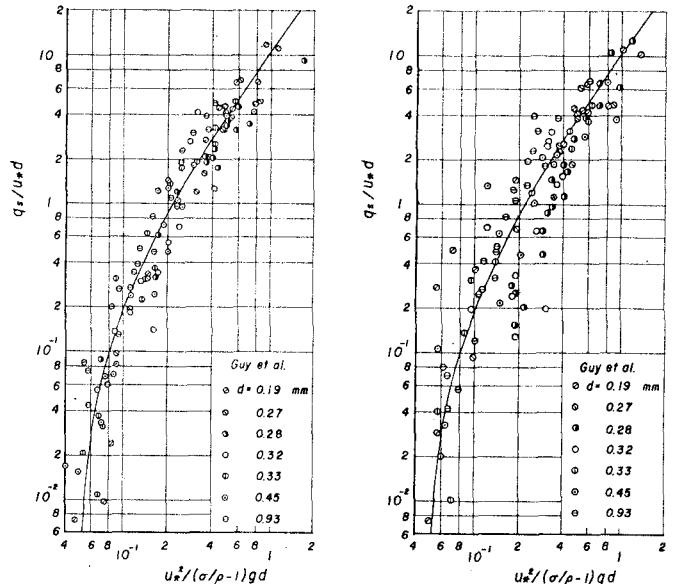


図-3(a) 砂堆河床における有効掃流力 (b) 橋の方法による実験値の再整理を考慮した流砂量の実験値と流砂量則との比較 と流砂量則との比較

4. 結語 今後、式(6)に含まれる定数の検討をさらに進めるとともに、砂堆の形状特性と水理量との関係などについても明らかにする必要がある。参考文献: 1) 土屋: 工学会誌, 8849, pp.243-244.

2) Gilbert: USGS Prof. Paper 96, 1914, pp.1-263. 3) Guy et al.: USGS Prof. Paper, 462-I, 1966, pp.1-95. 4) Kitaigorodskii et al.: Izv. Atmo. & Oceanic Physics Ser., Vol. 1, 1965, pp. 773-788. 5) 橋: 工学会誌, 第40号, 8830, pp.384-392.