

IV-10

細砂河川における浮流砂量について

九州大学工学部 正員 椿 東一郎
九州大学工学部 学生員 〇原口 格司
佐賀大学理工学部 正員 渡辺 訓甫

1. はじめに

我々は、先年水路実験資料と Toffaletti による米田河川の浮流砂の実測資料とを用いて、Einstein, Lane-Kalinske の流砂量式について検討し、河床に形成される sand wave による乱れ的作用を考慮した新しい浮流砂量式を導いた。これらの考え方を表にすると次の様であるが、Lane-Kalinske 式は矛盾が多く、水路資料に合わないし、河川資料との適合性にも疑問がある。また Einstein 式は理論的であるが河川資料への適合性が特に悪い。これは浮流限界点 a_k に問題があり、底面付

	浮流限界点 a_k	浮流限界点濃度 C_k	拡散係数 E_s
Einstein	$2 d_i$	$C_k = C_0$ (掃流層濃度に連続)	① $E_s = K d_i h (1 - \frac{a_k}{h})$
Lane-Kalinske	0	$C_k = C_0 = 0.55 \rho_s \frac{U_*^{1.4}}{g$ (河床濃度)	② $E_s = \frac{5}{6} U_* h$ ($h = 0.4$)
椿 平野 渡辺	$0.5 k_s$	$C_k = C_0 f(\frac{U_*}{U_{*c}})$ (掃流層濃度と不連続)	③ 式の歪形で $1.5 k_s$ の粗度層を考慮

近には sand wave によって発生した乱れの粗度層や horse shoe vortex (馬蹄渦) などに起因する規模の大きい乱れの層が存在することを無視して、底面での拡散係数が 0 (表中の式で $E_{s, y=0} = 0$) としていることが合わない大きな原因である。従って、前報では砂粒が sand wave の半波高程度の厚さで掃流され、その上には sand wave によって惹起された乱れによる拡散作用の大きい層があるとして、波高波長を相当粗度 k_s に refer させた浮流限界点を $a_k = 0.5 k_s$ 、粗度層の厚さを $a_k = 1.5 k_s$ 、また浮流限界点濃度と掃流層濃度が不連続であるとして $C_k/C_0 = f(\frac{U_*}{U_{*c}})$ を導入するなどによって式を導いた。この方式によると水路資料と河川資料との適合性もよく、実測とも一致する。しかし、粗度が粗く、sand wave が崩壊過程にあって flat bed に近づいた場合(図-2)の適合性にはなお問題があり、河床付近の乱れが sand wave によるよりも、むしろ horse shoe vortex に規定されるとする方が妥当と考えられる。そこで、掃流層の上に水深の 1 割程度の拡散係数一定の層を考え、sand wave による粗度層 $a_k = 1.5 k_s$ の代わりに $0.1 h$ を用いると適合性がなお一層改善されるという結果を得た。従って、もはや全領域に渡って拡散係数を一定としてしまった方が簡単でもあり、真実に近いと考えてよいであろう。ここでは、以上の考察に基づいて新たに浮流砂量の算定方式を提案し、それによって水路実験資料と実際河川資料とを統一的に説明できることを述べる。

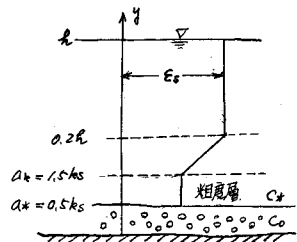


図-1 拡散係数の分布

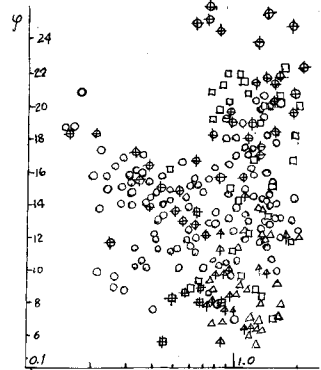


図-2 ϕ - ϕ_0 の関係

2. 計算方式

流速分布は平均の渦動粘性係数 $\bar{\epsilon} = \frac{5}{6} U_* h$ を用いて Z 次曲線を仮定し、濃度分布の基礎式 $w_0 C + E_s \frac{dC}{dz} = 0$ における拡散係数は $E_s = \beta \bar{\epsilon}_m$ ($\beta = 1.2$) とすると、流速分布、濃度分布は $\frac{U}{U_*} = \zeta$ として各々次のようである。

$$\frac{U}{U_*} = \left(\zeta - \frac{\zeta_*}{K} \right) + \frac{\zeta_*}{K} \left(\zeta - \frac{\zeta_*}{K} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{----- (1)} \quad \frac{C}{C_k} = e^{-\frac{5}{6} (1 - \zeta_*) Z}, \quad Z = \frac{6}{\beta K} \frac{w_0}{U_*} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 U_* : 摩擦速度, $\zeta = U/U_*$, $\zeta_* = a_k/h = 0.5 k_s/h$; 浮流限界点, C_k ; $\zeta = \zeta_*$ での濃度 (浮流限界点濃度), w_0 : 沈降速度, K ; Kármán 定数 (Einstein の実験曲線を使用) である。

また、浮流限界点濃度 C_k と掃流層濃度 C_0 が不連続であるとして

$$C_k = C_0 f\left(\frac{U_*}{U_{*c}}\right), C_0 = \rho_0 / \phi U_* a_k, \rho_0$$

を導入すると、浮流砂量 q_{fs} は各粒径 d_i について次式

$$q_{fs} = \int_{d_0}^R u_c dy = G u_{*c} R e^{f \int_{d_0}^R \left\{ \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) + \frac{G}{R} \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) \right\} e^{-\frac{2y}{d_i}} dy} = 80 f \left(\frac{u_{*c}}{u_{*c'}} \right) \cdot \frac{u_{*c}}{u_{*c'}} \cdot \frac{1}{\gamma} e^{f \int_{d_0}^R \left\{ \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) + \frac{G}{R} \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) \right\} e^{-\frac{2y}{d_i}} dy} \quad (3)$$

で表示できるから、全流砂量 q_{fs} は無次元表示 $Q_{fs} = q_{fs} R / \sqrt{g d_0^3}$, $Q_{0s} = q_{0s} R / \sqrt{g d_0^3}$ を用いて

$$Q_{fs} = Q_{0s} \left[1 + f \left(\frac{u_{*c}}{u_{*c'}} \right) \cdot \frac{u_{*c}}{u_{*c'}} \cdot \frac{1}{\gamma} e^{f \int_{d_0}^R \left\{ \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) + \frac{G}{R} \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) \right\} e^{-\frac{2y}{d_i}} dy} \right] \quad (4)$$

となる。なお、実際河川の場合にはある深さ $y = Y_1$ 以上の浮流砂量 q_{fs} が測定されているので、 $Q_{fs}' = q_{fs}' R / \sqrt{g d_0^3}$ は

$$Q_{fs}' = Q_{0s}' \left[f \left(\frac{u_{*c}}{u_{*c'}} \right) \cdot \frac{u_{*c}}{u_{*c'}} \cdot \frac{1}{\gamma} e^{f \int_{d_0}^R \left\{ \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) + \frac{G}{R} \left(\gamma - \frac{2}{d_i} \right) \right\} e^{-\frac{2y}{d_i}} dy} \right], \quad Y_1 = Y_1 / R \quad (5)$$

と表示される。

式(4),(5)より実験の Q_{fs} , Q_{fs}' を用いて掃流砂量 Q_{0s} を逆算し、水路資料と河川資料との適合性を検討するとともに、掃流砂量式として信頼性のある芦田・道上の式と一致することを目標とした。

3. 計算結果と考察

以上の計算方法によって与えられた結果が図-3,4であって、各々水路資料および河川資料によるものである。図-4の点線は水路資料の散らばりの範囲であって、水路と実際河川の浮流砂量が同一方式によってうまく算定できることを示しており、かつ芦田・道上の式(図中実線)ともよく一致している。なお浮流限界点 d_0 としては以上のように $0.5d_0$ とする他に Einstein 流に $z d_0$ または砂粒の saltation の高さ H_m などが考えられる。 H_m として土壁によって導かれた式を用い、この2 case についても検討したがいずれも適合性が悪く、芦田・道上の式とも一致しないという結果を得ており、浮流限界点の高さは $0.5d_0$ の程度が妥当と考えてよいだろう。

