

II-174 河川における浮流砂量の算定について

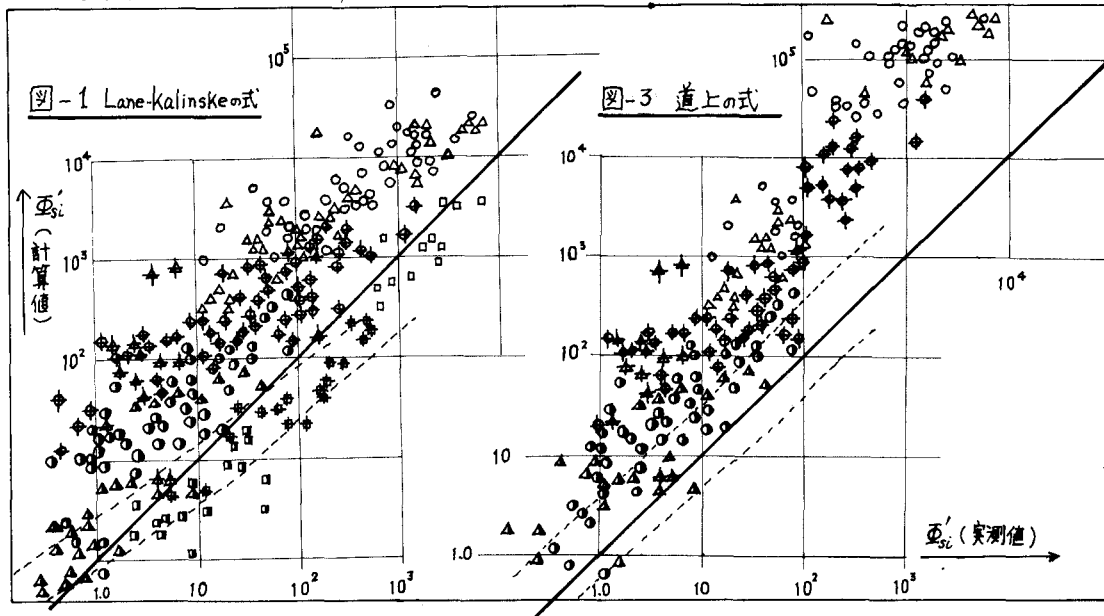
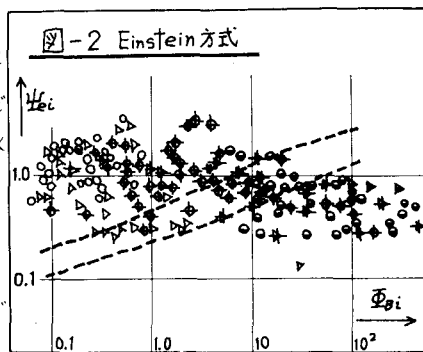
佐賀大学理工学部 正員 ○渡辺 訓甫
九州大学工学部 正員 椿 東一郎

1. まえがき 先年、我々は主に河床波による乱れ作用を考慮し、掃流層の上に拡散係数一定の粗度層(厚さ $1.5R_s$)を導入して浮流砂量式を導いた。それによって従来の水路資料とToftaletiによる米国河川資料とをほぼ統一的に説明することができたが、粒度が粗く、河床波が崩壊過程にあって flat bed に近づいた場合の適合性にはなお問題が残されていた。これは相当粗度 R_s が小さいと拡散係数 E_s が河床付近で小さくなってしまふということに起因している。一般に、河床には河床波とhorseshoe vortex による乱れが存在することとを考慮すれば、浮流砂に対しては全領域に渡って拡散係数を一定とした方が簡単でもあり、実実に近いと考えて良いであろう。本文は、以上の考察に基づいて浮流砂量式を提案し、従来の浮流砂量式とともに検討を加えたものである。

2. 浮流砂量式の検討 前述の水路・河川資料を用いて Lane-kalinske式, Einstein式及び最近の道上の式についてその適合性を検討したものが図-1, 2, 3で、図中点線は水路資料のちらばりの範囲を示している。

(1) Lane-kalinske式: この式は米国河川に適合するように修正された半経験式であって、浮流限界を河床にと、ていへば矛盾が多く、水路資料には合わないことが芦田らと工屋によって指摘されている。また河川の場合も図-1に示すように、粒径毎に分かれ、河川によっても異なる。

(2) Einstein方式: Einsteinは濃度にRouse分布($E_s = k u_*^2 (1 - \frac{y}{h})$)を用い、浮流限界を $q_* = 2d_i$ 、その点の濃度 C_* を掃流層濃度 C_b に接続させるなどによって式を導いた。この計算方式による結果が図-2であるが、水路の混合砂の資料が粒度毎に別れて均一砂と一致せず、河川については $d_i = 10^2 \sim 10^7$ の範囲にあって水路資料との一致は全くみられない。これは浮流限界 q_* に問題があり、河床付近には河床波やhorseshoe vortex などによ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 $E_s \rightarrow 0$ としていることが合わない大きな原因である。



(3) 道上の式：最近、道上是 Lane-Kalinske のモデルに準じて底面付近の濃度の表示式を求め、 $Q_b = 0.05h$ として Rouse の濃度分布式から浮流砂量式を導いた。それによる計算値と実測値とを比較したのが図-3 である。資料は粒度毎に別れており、実測より 1~2 オーダー過大である。

3. 浮流砂量の算定式と考察 前述の考察に基づいて、濃度分布は基礎式 $w_0 C + E_s \frac{dC}{dy} = 0$ において $E_s = \beta E_m = \beta \frac{K}{8} u_* h$ ($\beta = 1.2$) とし、流速分布に 2 次式を仮定すると、各マ次のようである。

$$C/C_* = e^{-8(S-S_*)}, \quad S = \frac{6}{\beta K} \frac{w_0}{u_*} \quad \dots\dots (1) \quad u/u_* = \left(\varphi - \frac{2}{K}\right) + \frac{6}{K} \left(S - \frac{S_*}{2}\right) \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 u_* ：摩擦速度、 $\varphi = U/u_*$ 、 $S = y/h$ 、 $S_* = a_y/h = 0.5h/h$ (浮流限界点)、 C_* ： $S = S_*$ での濃度 (浮流限界点濃度)、 w_0 ：沈降速度、 K ：Karman 定数 (Einstein の実験曲線を使用) である。また、浮流限界点濃度 C_* と掃流層濃度 C_0 とは不連続であるとして $C_* = C_0 f(u_*/u_{*c})$ 、 $C_0 = g_b / \varphi u_* a_*$ 、 g_b ：掃流砂、 φu_* ：掃流砂の移動速度で $\varphi' = 8.5$ 、 $u_*' = u_* \sqrt{\frac{\varphi'}{g_b}}$ (有効摩擦速度) を導入すると、各粒径についての浮流砂量 i_{bs} は次式

$$i_{bs} = \int_{S_*}^h u \cdot C \, dy = i_{b0} g_b \cdot f\left(\frac{u_*'}{u_*}\right) \cdot \frac{u_*'}{\varphi} \cdot \frac{1}{S_*} \cdot e^{25S_*} \cdot \int_{S_*}^1 \left\{ \left(\varphi - \frac{2}{K}\right) + \frac{6}{K} \left(S - \frac{S_*}{2}\right) \right\} \cdot e^{-25S} \, dS \quad \dots\dots (3)$$

で表示できるから、全流砂量 $i_{bT} = i_{b0} g_b + i_{bs}$ は無次元表示 $\Phi_{Ti} = i_{bT} / i_b \sqrt{sga_*^3}$ 、 $\Phi_{bi} = i_{bs} / i_b \sqrt{sga_*^3}$ を用いて

$$\Phi_{Ti} = \Phi_{bi} \cdot \left\{ 1 + f\left(\frac{u_*'}{u_*}\right) \cdot \frac{u_*'}{\varphi} \cdot \frac{1}{S_*} \cdot e^{25S_*} \cdot \int_{S_*}^1 \left\{ \left(\varphi - \frac{2}{K}\right) + \frac{6}{K} \left(S - \frac{S_*}{2}\right) \right\} \cdot e^{-25S} \, dS \right\} \quad \dots\dots (4)$$

となる。なお河川の場合はある深さ $y = Y_1$ 以上の浮流砂量 i_{bs} が測定されているので、 $\Phi_{si} = i_{bs}' / i_b \sqrt{sga_*^3}$ は

$$\Phi_{si} = \Phi_{bi} \cdot \left\{ f\left(\frac{u_*'}{u_*}\right) \cdot \frac{u_*'}{\varphi} \cdot \frac{1}{S_*} \cdot e^{25S_*} \cdot \int_{S_1}^1 \left\{ \left(\varphi - \frac{2}{K}\right) + \frac{6}{K} \left(S - \frac{S_*}{2}\right) \right\} \cdot e^{-25S} \, dS \right\}, \quad S_1 = Y_1/h \quad \dots\dots (5)$$

と表示される。式(4)、(5)を用いて、実測の流砂量 (Φ_{Ti} , Φ_{si}) から掃流砂量 Φ_{bi} を逆算して得られた結果が図-4、5 である。図-5 の点線は水路資料の散らばりの範囲であって、前述の方式に比べ精度的にかなり改善されており、水路と河川の浮流砂量が同一方式によって算定できることを示している。また、掃流砂量式として信頼性のある芦田・道上の式とも平均的にはよく一致している。

