

II-93 分級作用を伴う河床変動

九州大学 工学部 正員 ○平野宗夫
" " " 碓 謙三

1. まえかき

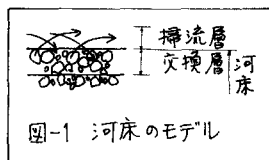
混合砂礫河床における *armouring* や *sorting* 現象を予測計算するためには、まず、河床砂の粒度変化を規定する式と混合砂の流量量式が必要であるので、これらについて若干の考察を行なう。

2. 河床および粒度の連続の式

筆者は先に河床および粒度の連続の式を導き、それらから *armouring* の計算に有用であることを示した¹⁾が、その導き方をいさしく詳しく記す次のようである。

実験水路において移動床上を掃流される砂を観察すると、河床のごく近くの砂だけが移動し、分級作用は河床の表面近くに限られるようである。従って、この分級が行なわれるような層からとばした砂粒が掃流砂となって掃流層内を移動した後またたいてこの層に落ちつくという場合に、この層とその直上の掃流層との間で砂粒を交換しながら河床変動は進行すると考えられる。そこで、このような層をかりに交換層と下ぶにとし、図-1のような河床のモデルを考へる。

交換層と掃流層の境界ははっきりとは分らないが、掃流層の概念が「掃流層の濃度が浮流砂の底面濃度に接続する」というように移動砂のみからなる層として用いられているので、掃流層と交換層の境界が河床であると考えることにする。



1) 河床低下の場合……図-2のように時刻 t における河床高を z , 交換層の厚さを a , 交換層およびその直下における河床砂の空隙率をそれぞれ α および α_0 , 単位中流砂量を g_0 , ある粒径範囲の砂が交換層, その直下の河床および流砂中に占める割合をそれぞれ b_0, b_0' および b_0 , 河床中を B とし, 図-2の $0-0'$ 線より上に連線の条件を適用すると河床および粒度の式は

$$a(t+dt)\{1-\lambda(t+dt)\} - [a(t)\{1-\lambda(t)\}] + \int_{a(t)}^{a(t+dt)} \{1-\lambda_0(z)\} dz = -\frac{\partial \langle E_B \rangle}{\partial t} dt / B$$

$$a(t+dt) \{ 1 - \lambda(t+dt) \} i_b(t+dt) - [a(t) \{ 1 - \lambda(t) \} i_b(t) + \int_{\lambda(t+dt)-a(t)}^{\lambda(t)-a(t)} \{ 1 - \lambda_o(z) \} i_{bo}(z) dz] = - \frac{\partial (i_{bo} B)}{\partial \lambda} d\lambda / B$$

上記2式を整理すると次式がえられる。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda_0)B} \frac{\partial (g_B \cdot B)}{\partial x} + \frac{1}{1-\lambda_0} \left\{ a \frac{\partial \lambda}{\partial t} + (\lambda - \lambda_0) \frac{\partial a}{\partial t} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} = -\frac{1}{aB(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial(i_B \phi_B \cdot B)}{\partial x} - i_{B0} \frac{\partial(\phi_B \cdot B)}{\partial x} \right\} + (i_b - i_{B0}) \left(\frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial t} - \frac{1}{a} \frac{\partial a}{\partial t} \right) \dots \dots (2)$$

ii) 河床上昇の場合……低下の場合と同様

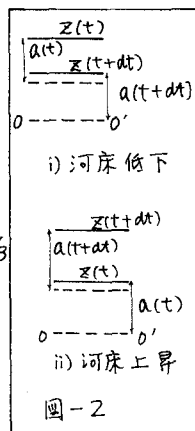
$$a(t+dt)\{1-\lambda(t+dt)\} + \{z(t+dt) - a(t+dt) - z(t) + a(t)\}\{1-\lambda(t)\} - a(t)\{1-\lambda(t)\} = -\frac{\partial \langle g_{\text{eff}} \rangle}{\partial x} dt / B$$

$$a(t+dt)\{-\lambda(t+dt)\}i_b(t+dt) + \{z(t+dt) - a(t+dt) - z(t) + a(t)\}\{-\lambda(t)\}i_b(t)$$

上記 2 式より

$$-a(t)\{1-\lambda(t)\}i_B(t) = -\frac{\partial(i_B \frac{q_F}{B})}{\partial t} dt/B$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial (\rho_B \cdot B)}{\partial x} + \frac{a}{1-\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial t} \dots \dots \dots (3)$$



$$\frac{\partial b}{\partial t} = -\frac{1}{aB(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial (ibB \cdot B)}{\partial x} - ib \frac{\partial (B \cdot B)}{\partial x} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

式(1)において $\lambda = \lambda_0$ とすれば式(3)に一致し、さらに $\partial \lambda / \partial t = 0$ とおけば従来の式に一致する。

3. 混合砂河床における掃流量

混合砂の掃流量式としては Einstein 式が有名であり、混合粒径による効果を補正係数で表わしている。我々の実験データより Einstein の式により ξ を逆算して示すと図-3 のようになる。図には浅田らのデータも記入されているが傾向はほぼ同じで、Einstein の与えた線よりかなりゆるやかで、Egiazaroff の式とよく合っている。

次に佐藤・吉川・芦田公式を基準にし、 $\chi_* = \chi_{*c} / \xi'$ で定義される ξ' を求めると図-4 のようである。ここに、 χ_{*c} は $\chi_* = \phi \chi_{*c}^{1.5} f(\chi_{*c} / \chi_*)$ より $\chi_* = ibB_0 / ib' \sqrt{sgd_i}$ の実測を与えた求めた値、 $\chi_{*c} = u_*' / sg d_i$ 、 ξ は砂粒の水中比重、 d_i はある粒径範囲の砂の平均粒径である。図をみると Einstein の ξ とほぼ同様になっているが、掃流力が大きくなると $\xi \rightarrow 1$ の傾向がみられる。また Einstein の場合と異なる。しかし、掃流力が限界掃流力に近い場合には ϕ が変わっても ξ' は殆んど変わらないが、掃流力が大きくなると ξ' は ϕ に比例して変化するの ϕ の誤差による影響が大きくなる。さて、図により、 $\xi' = (\bar{d} / d_i)^n$ (ここに、 $\bar{d}$ は河床砂の平均粒径) とおくと、 $ibB_0 / ib' = \frac{\rho}{sg} \left(\frac{d_i}{\bar{d}} \right)^{1.5n} u_*'^3 f \{ u_*' / \bar{u}_*' \cdot (d_i / \bar{d})^{-n} \}$ となるが、掃流力が限界掃流力に近づくとき $d_i / \bar{d}$ が小さくなる範囲では Einstein の式が適用できそうである。掃流力が大きくなると ibB_0 は $d_i^{1.5n}$ に比例するが、掃流力が大きい場合は粒径が大きい粒の掃流量が大きくなるのか、あるいはそうならないで ξ' が掃流力によっても変化するのかという未だ問題になる。この点も掃流力の大きい河床の分級作用と関連するの ϕ の分級を検討する必要がある。

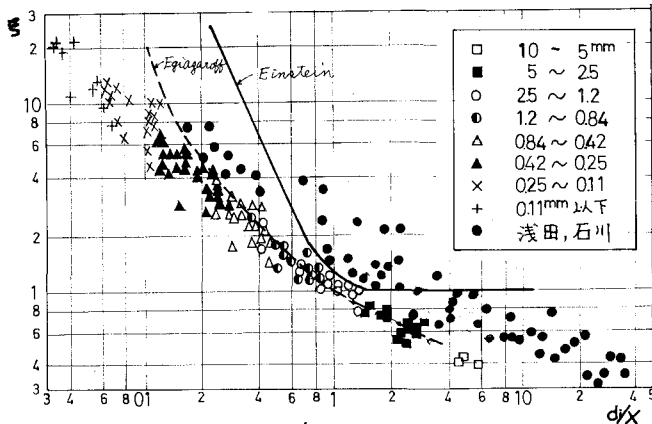


図-3 ξ と d_i/χ の関係 (Einstein 式)

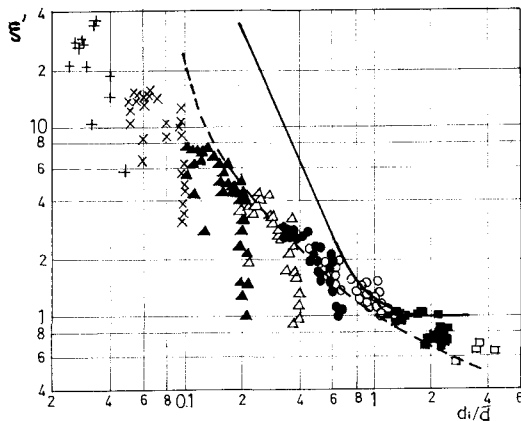


図-4 ξ' と d_i/δ の関係 (土研式)

参考文献

- 1) 平野: 貯水池下流の河床低下と Armouring 現象について, 第14回水理講演会講演集, 昭45.2
- 2) 浅田, 石川: 回流水路による混合砂礫の流送実験, 第23回年次学術講演会講演概要, 昭44.10
- 3) Egiazaroff: Calculation of Nonuniform Sediment Concentration, proc. of ASCE, HY4, 1965