

(2) 実験水路における移動床の粗度について

信州大学工学部 正員 杉尾 捨三郎

1 概説： 移動床に関する研究においては、粗度と流砂量はきわめて重要な問題で、かつこれらの間には互いに密接な関係がある。例へば流砂量の研究では、水深、流量、勾配、移動床材料の特性、水路の特性などの諸量と流砂量との相互関係を調べるのであるがこのうち水深は、たとへ他の諸量があるからであっても、粗度が知れなければ定まらない。最近流砂量を *uniquely* に定めんとする試みもあり、また正しい水位—流量曲線を決定するためにも移動床の粗度の研究が重要になる。従来自然河川でも実験水路でも、平均流速公式の粗度係数、または抵抗係数と言う形で数多の実測が行われてきた。しかしこれら個々の研究を見ると、その特定の状態においてはそれそれ正しいが、それら諸研究の構の連絡つまり普遍性ある法則を導出するのはかなり困難である。椿助教授は既に、相当粗度 k_s の考へ方を移動床に応用し、次元解析により、かつ k_s/d は流れの床附近の物理量に支配されるもの考への下に、(1)式が成立すべきであるとし、満州諸河川その他の実測値より、自然河川に対して(2)式を發表されている。

$$k_s/d = f \{ \tau/(\sigma-p)gd, u^*/u_* \} \dots\dots\dots (1)$$

$$\log k_s/d = 3.48(1 - 0.225 \sqrt{(\sigma-p)gd/\tau}) \dots\dots\dots (2)$$

また同氏は流砂量に関する研究において、G.K. Gilbert の実験結果を用い、やはり次元解析により前と同様、注目し値する研究を發表されている。筆者は Gilbert と安芸博士の実験資料につき、椿氏が行つたのと全く同様な方法で k_s/d の計算を試みた結果、 k_s/d を規定するものとしては、椿氏の考へられた無次元量 ψ の外に、さらにフルード数 F_r 、無次元量 ψ の3つを選べば、従来よりかなり広範囲の data を比較的単純な法則にまとめ得られるように思われるので、ここに御報告する次第である。

2. k_s/d を支配する factor： 移動床材料が掃流の形で集團的に移動する様式を分類すると、*dune*, *smooth bed*, *antidune* の3種の *mode* が存在することは既に Gilbert が認めた所で、流量が同一でも勾配を増してゆくと、はじめは抵抗の大きい *dune* であつたものが、ある状態で急に *smooth bed* となり、抵抗も急に減少する。いま、 $F_r = U_m/\sqrt{gR}$ として Gilbert の実験につき *mode* との関係をしらべると、明らかに両者の間には相関々係があることが分る。このことは亦、平均流速公式

$$U_m/u_*^* = 6.25 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{k_s} \dots\dots\dots (3)$$

を検討することにより、一層明らかとなる。また

$$S = u_*^*/\sqrt{gR} \dots\dots\dots (4)$$

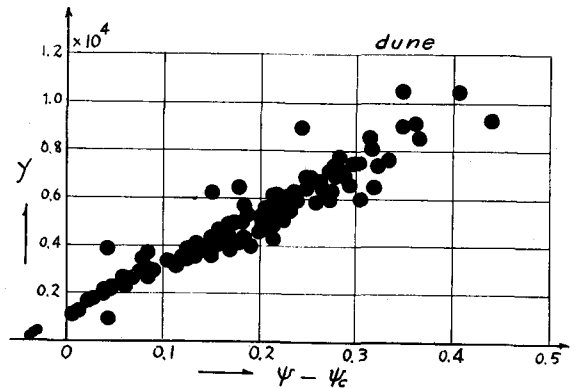
とおけば、無次元量 ψ も、(3)式より、 k_s/d を規定する factor の一つであることが予想できる。つきに椿助教授は無次元量 ψ を扱われたが、こゝでは $(\psi - \psi_c)$ を一つの factor とみなすことにした。以上の結果から筆者は、(1)式の代りに

$$k_s/d = f(F_r, S, \psi - \psi_c) \dots\dots\dots (5)$$

なる形に、Gilbert の実験資料が整理できるかを検討してみることにした。

3. 実験式の誘導：

(5)式の右辺は3変数であるから、 f の函数形をみつめるために、便宜上次の方法をとった。即ち多数の資料をしらべると R_r も ζ も、かなり大きい変域をもっているのので、これらを適當の大きさに区分し、 $(\psi-\psi_c)$ と ζ とがほぼ同一とみられる資料のみを集めてグループとし、各グループごとに k_b/d と R_r の値を両対数紙に描点してみた。(こゝに ψ_c の計算に当つては、便宜上岩垣博士の実験式を用いた。)すると描点はいずれも一定勾配の直線形に配列することとなつた。全様に、 $(\psi-\psi_c)$ の値がほぼ同一とみられるグループごとに、 $k_b/d \times R_r^{3.80}$ と ζ の関係をしらべることにより、それはほぼ $\zeta^{2.70}$ に比例することを知つた。図は普通の方眼紙を用い、縦軸には無次元量 $y = \frac{k_b}{d} \cdot R_r^{3.80} / \zeta^{2.70}$ を、横軸には $(\psi-\psi_c)$ をとつて、duneのみにつき描点した一例であるが、これらの描点はかなり良好な集中をなす。



全様な方法で、Gilbert の実験結果を各modeにつき描点すれば、 $R_r < 2.2$ の範囲で、描点はいずれも一直線上に配列するかに見える。結局、平均至 $d = 0.305 \sim 16.7 \text{ mm}$ $R_r < 2.2$ の範囲内ではmodeには無関係に

$$\frac{k_b}{d} = \frac{\zeta^{2.70}}{R_r^{3.80}} \{ 2.1(\psi - \psi_c) + 0.1 \} \times 10^4 \quad \text{---(6)}$$

で大畧、表わすことができるであらう。

こゝにduneはかなり描点が集まるが、smooth bed附近では描点の巾はかなり広い。

しかし図は普通方眼であるから、かりに y の描点のmax.とmin.の差が40%としても、マニングの n に及ぼす影響は約6%とみられ、実用的にも十分役立つものと思われる。次に安芸博士の実験資料のうちB,C種全部につき同様の計算を行つた結果、Gilbertの値とかなり一致した結果を得た。安芸博士の実験は勾配を一定に保ちつ、流量を段階的に増加して行われ、とくに掃流力 τ_b が τ_{bc} よりかなり小さい状態から逐次実験されているのが特色であるが、未だ砂が移動しないようなときの k_b/d も、やはり同様な曲線にちかい傾向を示した。つぎに流砂現象の各modeと他の水理量との関係を調べるため、Gilbertの実験値から試みに R_r と $(\psi-\psi_c)$ を両軸にとつて各modeを描点してみると、大畧の分布図ができた。

4. 結言：

以上を要約すれば、

- (i) 流砂面上の k_b/d は、 ψ の外に無次元量 R_r 、 ζ を函数と考へるのが合理的と思われる。
- (ii) Gilbertの資料に対する粗な実験式として(6)が得られた。これは $d = 0.305 \sim 16.7 \text{ mm}$ 、 $R_r < 2.2$ の範囲で、あらゆるmodeに対しかなりよく適合する。安芸博士のB,C種もかなり合ふ。
- (iii) R_r と $(\psi-\psi_c)$ の相互関係により大畧のmodeの区分が推定できそうと思われる。

以上の研究は矢野博士を中心とする昭和卅一年度文部省科学試験研究『河相の変化とその制御に関する実証的研究』の成果の一部であることを附記して関係方面に謝意を表する。

なお当時信州大学工学部学生であつた、調達庁勤務、宮島辰一氏、大和土建KK勤務、宮本和義氏の助力を得たことを感謝する。

(昭和32年3月27日)