

【研究ノート】

開水路移動床の粗度について

A NOTE ON THE ROUGHNESS SEDIMENT-LADEN FLOW

吉川秀夫*・椎貝博美**・河野二夫***
By Hideo Hikawa, Hiroshi Shi-igai and Futa Koono

1. 考えたこと

開水路で移動床の場合の粗度を種々の水路床形態について適確に、統一的に表現する方法を求めるため、平均流速を対数公式で表わし、そのときの相当粗度を、カルマン定数 κ が浮流砂の濃度により変化する影響を取り除いた場合、適当な水理量により表現できるかどうかを調べて見ることとした。

なお、椿博士および古屋氏¹⁾は次元解析により

$$k_s/d_m = f(\tau_*, u_* d_m / \nu)$$

$$\tau_* = \tau_0 / (\rho_s - \rho_0) g \cdot d_m, \quad \tau_0 = \rho_0 g H I$$

ν : 水の動粘性係数, ρ_s, ρ_0 : 砂および水の比重

H : 水深 I : 水面勾配

で表わされるとしているので、 k_s は τ_* に関係するものと考えられ、また芦田博士²⁾によれば k_s は Froude 数 F にも関係していると考えられるので、 k_s/HI と F との関係を調べてみる。

2. 手 続

開水路における平均流速公式として次式を用いる。

$$\frac{u_m}{u_*} = A_r - \frac{1}{\kappa} + \frac{2.3}{\kappa} \log_{10} \frac{R}{k_s} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに u_m : 平均流速, u_* : 摩擦速度, κ : カルマン定数, k_s : 相当粗度, R : 径深, A_r : 定数

浮流砂の濃度による κ の変化は志村氏³⁾の式により表わされるものとする。

すなわち

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\kappa_0} + \frac{4.8 c(\rho_s - \rho_0) g w (H - a)}{\rho u_*^3 \left(2.3 \log_{10} \frac{H}{a} - 1 \right)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 κ_0 : 清水の場合の $\kappa (=0.4)$, H : 水深,

c : 浮流砂の濃度, w : 砂粒の沈降速度,

$$a = 11.6 \nu / u_*$$

である。したがって式(1), (2)より k_s を求めることができる。ここでは計算上つぎのような仮定を設けた。

a. $A_r = 8.50$ とする。

b. 径深 R の代りに水深 H を用いる。

- c. 浮流砂の濃度は全流送土砂の濃度とする。
- d. 砂粒の沈降速度は Allen の公式を用いる。

3. データー

つぎに示す測定値を用いた。

- a. Vanoni & Nomicos⁴⁾ ($d_m = 0.0091, 0.0148 \text{ cm}$)
- b. 佐藤・吉川・芦田⁵⁾ ($d_m = 0.1038, 0.221, 0.262, 0.376, 0.458 \text{ cm}$)
- c. Brooks⁶⁾ ($d_m = 0.016, 0.010, 0.0145, 0.0152, 0.0137 \text{ cm}$)
- d. Kennedy⁷⁾ ($d_m = 0.0549, 0.0233 \text{ cm}$)
- e. Barton & Lin⁸⁾ ($d_m = 0.018 \text{ cm}$)

これらの総資料数は約 400 であり、実測の範囲はつぎのとおりである。

d_m (cm)	0.0091~0.458
I	0.00022~0.0272
H (cm)	2.26~51.48
c (g/l)	0.000~35.9
F	0.132~2.34

水路床状態 ripple~dune~flat~antidune

4. 調べた結果わかること

k_s/HI と F との関係を調べると 図-1 に示すようになった。これからつぎのようなことがわかる。

- a. 比較的広い範囲の条件の実測値に対して、ほぼ統一的に k_s/HI と F との関係を表わすことができた。
- b. k_s/HI の値はほぼ F^{-2} に比例するようである。
- c. 従来の研究では k_s は d_m に関係して取り扱われていたが、このように整理すれば k_s は d_m には無関係であることが知られる。
- d. 図の関係は若干の点のバラツキが認められるが、バラツキの関係を調べたところ、 d_m には無関係であり、 τ_0 に関係しているように思われる。しかし実測そのものにも誤差があると思われるし、また計算仮定にも問題があるので、この関係についてはさらに今後検討されるべきである。
- e. 水路床の形態が、dune, flat, anti dune の状態に変化するにつれて k_s は断続的に変化するであろ

* 正会員 工博 東京工業大学教授 土木工学科

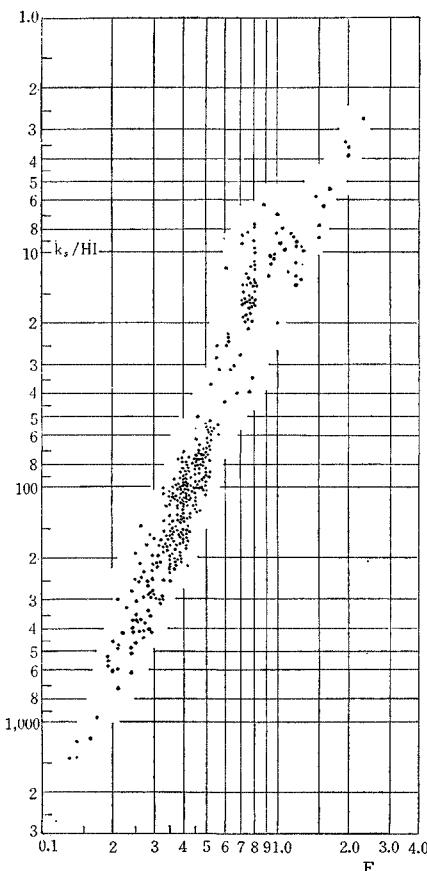
** 正会員 工博 東京工業大学助教授 同

*** 呉会員 東京工業大学助手 同

うと予想したが、図からはこのようなことは認められず、 HI および “ ” の連続的な関数関係になることが知られた。

- f. 図より $F=0.7 \sim 1.3$ の範囲で点が系統的傾向からはずれる。すなわち k_s/HI の値が他の範囲の傾向から考えられるよりも若干小さくなる。このことはこの範囲の Froude 数を持つ流れは一般に流れが不安定であるといわれていることと一致す

図-1



る。

- g. カルマン定数 κ は資料の範囲では $c=35 \text{ g/l}$ の程度で $\kappa=0.20$ 程度となった。
- h. 射流状態では浮流砂の濃度が高くなり κ が相当減少するが、 k/HI の値は F^{-2} に比例する常流の範囲の傾向と全く同じである。
- i. 図より $k_s/H=f(F, I)$ となるが、平均流速公式に Chezy 公式を用いると $I=\frac{gF^2}{C^2}$ (この場合の C は Chezy の粗度係数) となり、 I は F の関数と見られる。したがって $k_s/H=f'(F)$ として表わされるように考えられるので、 k_s/H と F の関係を資料より調べてみたが、この関係はあまり相関がよくなく、 $k_s/H=f(F, I)$ とした方がよい。
- j. したがって $u_m/u_* = f''(\kappa, F, I)$ となり、この関係から流れの状態が規定されると考えられる。

参考文献

- 1) 植東一郎・古屋朝治：流砂ある河川の流速法則について，九大流体工学研究所報告7巻4号，昭和27年
- 2) 芦田和男：河道の設計法(4)－河川の粗度について－，土木技術資料1巻7号
- 3) 志村博康：浮流流砂を有する水流の諸特性について，土木学会論文集第46号，昭和32年6月
- 4) Vanoni, V.A. & Nomicos, G.N.: Resistance properties of sediment-laden streams, Trans. ASCE, Vol. 125, Part 1, 1960.
- 5) 佐藤清一・吉川秀夫・芦田和男：河床砂礫の掃流運動に関する研究(1) 土木研究所報告101号, 1959
- 6) Brooks N.H.: Mechanics of streams with movable beds of fine Sand. Trans. ASCE, Vol. 123, 1958
- 7) Kennedy, J.F.: Stationary warves and antidunes in alluvial channels. Report No. KH-R-2, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, 1961
- 8) Barton, J.R. & Lin, P.N.: A study of sediment transport in alluvial channels. Rep. No. 55 JRB 2, Civil Eng. Dept. Colorado A. and M. College, Fort Collins, Colorado, 1955

(1966. 4. 11・受付)