

II-66 Sand Ripple の密度とスケールについて

防衛大学校 正 員 真嶋恭雄
 “ “ 池田正幸
 “ “ O 宮武豊彦

1. まえがき、 *Tranquil flow* のもとで河床に形成される砂運には、Crests が横断面一様に発達する場合と、三次元的な点状に発達するものとが観測される。従がつて、こうした河床形態上の流れの解析にあつては、それぞれの特性を示す要素を導入する必要があると思われる。最近、*Vanoni and Huang* などにより、*exposure parameter, e* を用いた *Ripples* 上の流れの抵抗に関する解析が報告されている。けれども、(1)、上述の河床形態の定義があいまいであるため、客観的規準が必要であること、(2)、それぞれの粗度要素を考慮するに、の2点から与えられた流量のもとで発生した *Sand Ripples* の密度を求め、*Sand bed* 上の流れの性質を明らかにしたいと考えている。今回は、河床に形成される点状に発達した *Sand Ripples* の発生密度とスケールの関係について、実験にもとずき若干の考察を行つたので報告する。

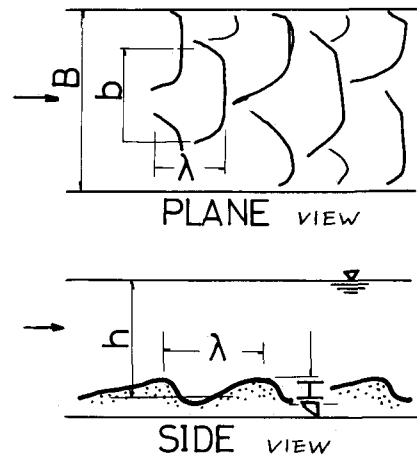


Fig-1 説明図

2. 実験装置および方法

実験水路は、50cm × 50cm × 15m、両面ガラス張り鋼製

可変勾配水路を使用した。水路床に中央粒径 $d_{50} = 0.14$ mm・比重 2.65 の標準砂を10cm厚さに敷きならした。水

面形状は、静圧管と

水路側壁から測定し

た。*Sand Ripples* の

個数は、水路中央に

設けた観測域内のも

のについて、側面ガ

ラスおよび上面から

写真を用いて測定

を行なった。実験の

概要を Table-1 に示

す。Table-1 におけ

る *Sand Ripples* の波

高、波長の平均値、

Table 1

Exp	Discharge of unit width $q(\text{cm}^2/\text{sec})$	Mean Depth $h(\text{cm})$	Slope $I \times 10^3$	Average ripple height $\bar{e}(\text{cm})$	Average ripple length $\bar{\lambda}(\text{cm})$	Ripple density ($1/\text{cm}^2$) $N/A \times 10^2$
1	37.5	2.77	1.587	1.24	11.54	0.32
2	60.0	3.31	1.905	1.48	13.08	0.24
3	76.5	3.84	3.482	1.54	17.10	0.24
4	15.0	1.30	4.450	0.82	10.20	0.44
5	14.0	1.21	2.000	0.68	11.70	0.60
6	14.0	1.51	3.660	0.75	11.95	0.52
7	65.5	3.22	3.0	1.24	13.90	0.40
8	65.5	3.42	1.50	1.05	11.40	0.32
9	114.0	4.58	4.678	1.08	15.10	0.32
10	214.0	5.38	2.90	1.65	17.10	0.16
11	286.0	5.59	1.94	0.90	15.70	0.12
12	27.0	1.83	6.135	0.99	10.90	0.32
13	65.0	2.78	4.670	1.63	17.30	0.24
14	93.0	2.56	5.25	0.9	18.0	0.2
15	58.0	2.26	4.50	1.09	12.1	0.32
16	16.0	1.14	5.404	0.8	10.6	0.40
17	69.5	2.85	4.730	1.46	16.2	0.24

$\overline{m}$ 、 $\overline{\lambda}$ は、それぞれ密度を測定したときの観測域内の平均値を示すものである。また、Ripple density N/A について、 N は観測域内のSand Ripplesの個数、 A は観測域の面積である。

3. 実験結果と考察

Fig-1 に示すような Sand Ripples が平衡状態にあり、流れを等流とすると、単位面積中の Sand Ripples 1個が受持つ抵抗は、単位面積中の Sand Ripples の数を N 、として次式であらわされる。

$$\frac{\tau_0 \cdot A}{N} = F_2 + \tau_1 \left(\frac{A - A_{loss}}{N} \right) \quad (1)$$

τ_0 は単位面積あたりの全抵抗、 F_2 は、砂連による抵抗、 τ_1 は、砂粒摩擦による抵抗。

$$F_2 \text{ について, } F_2 = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_s \quad (2)$$

を用いると、ここに、 A_s は、流体力が作用する Sand Ripples の断面積、 A_{loss} は Sand Ripples による死水域、また、 C_x は Sand Ripples に関する抵抗係数。

いま、(1)、(2)式から、さらに単位面積中に存在する砂粒の個数、 $n_g = N_s/A = \tau/d_{50}^2$ ($\tau \approx 0.4$) を用いて次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \tau_0 &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_x \cdot \frac{\tau \cdot A_s}{d_{50}^2} \cdot S + \tau_1 \cdot f(S) \\ \text{ここに } S &= \frac{N}{A} \cdot \frac{d_{50}^2}{\tau} = \frac{\text{単位面積中の Sand Ripples の数}}{\text{砂粒の数}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(3)、式が成立つものとする、流れの抵抗を評価する場合、密度も一つの重要な要素と考えられる。

Sand Ripples の密度と平均波長 $\overline{\lambda}$ の関係 単位面積中の Sand Ripples の数 N/A は、平均の Sand Ripples の波長 $\overline{\lambda}$ に関係し、次式 $n_s \equiv N/A = \alpha \cdot (1/\overline{\lambda}^2)^m$ (4) であらわされるものとする、それぞれ、 N 、 A 、および $\overline{\lambda}$ の実測値を用いて、プロットすると、Fig-2 が得られる。ここで Ripples の数 N の評価が凝問であるが、Crests が横断線にあって死水域また背面が切断されているものについては、すべて N のうちとした。Fig-2 から本実験、 $d_{50} = 0.14 \text{ mm}$ 砂について、平均的に

$\alpha = 0.55$ 、 $m = 1.0$ を得た

Sand ripples density, S と流れおよび $\overline{m}/\overline{\lambda}$ との関係。

砂連の特性は、流れの掃流力、および底質に強く支配されるといわれている。そこで、Ripples の密度 S は河床の洗掘量をあらわすものと考えられるから、本文では右ぎのように整理した。すなわち、流れの失

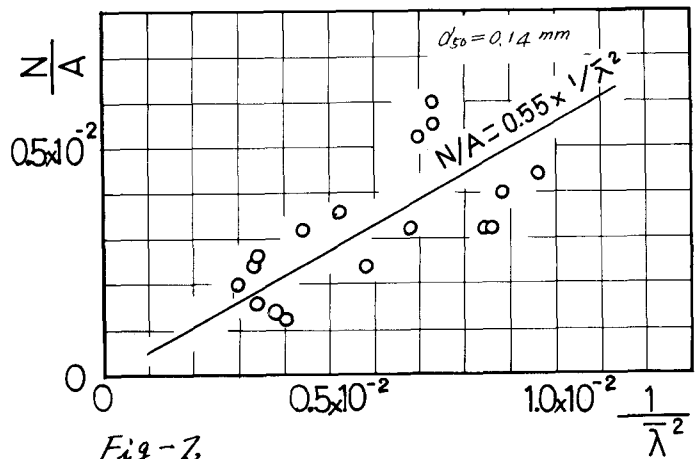


Fig-2

なう Energy, E_f
 として、 $E_f = \bar{C}_0 \bar{V}$
 に対して、単位時
 間、単位面積中の
 砂粒を Pick-up
 するに必要な Ene-
 rgy, E_p は、砂粒
 の沈降速度を w 。

として、
 $(\sigma - f)g d_{50} w$ 。
 に比例すると考え
 られる。従って
 両者の比

$$\frac{E_f}{E_p} = \frac{\bar{C}_0 \bar{V}}{(\sigma - f)g d_{50} w}$$

も、洗掘量を支配
 する重要な量であ
 ると思われる。

まず、Ripple
 density, S と E_f/E_p の関
 係を図示したのが Fig-3
 である。Fig-3 におい
 て、筆者の場合は、 S の
 実験値、他の研究者の場
 合については、Fig-2
 の関係を用いて、(3)式の
 S を計算したものである
 ・用いた資料は、いずれ
 も Ripples として報告さ
 れているものを使用した
 ・全体として、 E_f/E_p
 の増加とともに、Ripples
 density, S は、減少して
 いる。

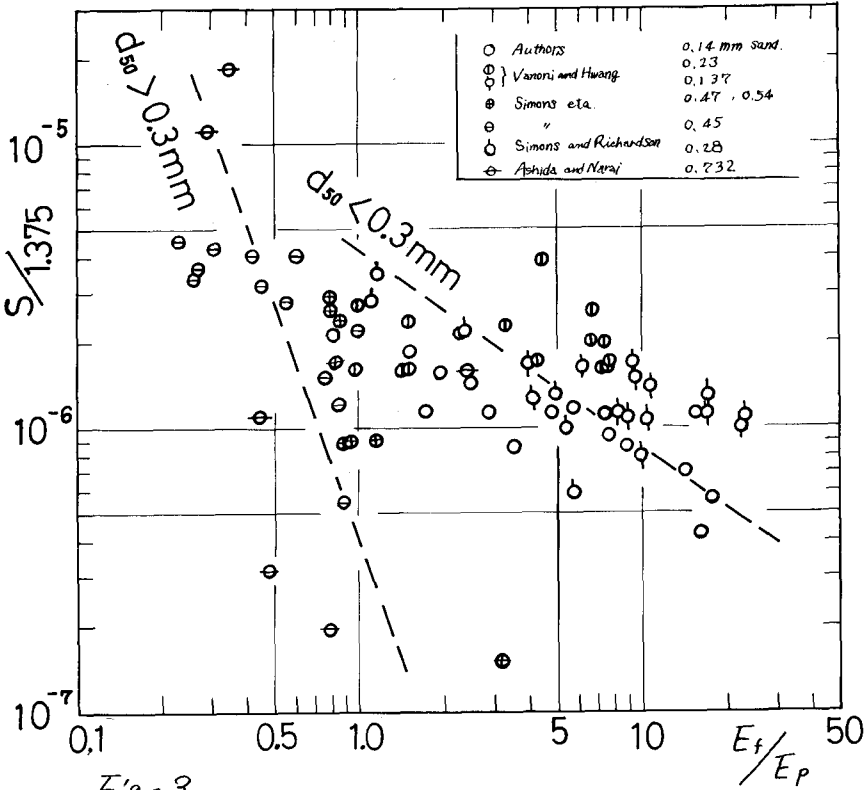


Fig-3

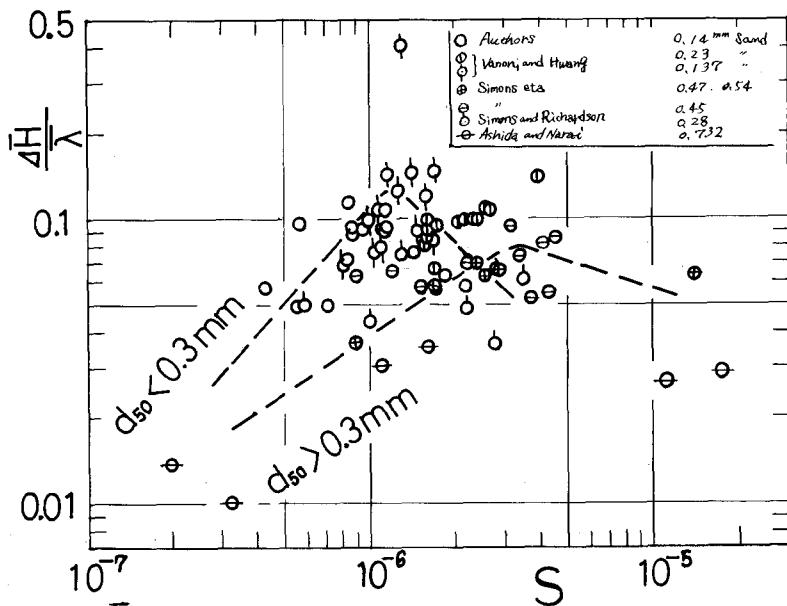


Fig-4

Fig-2 の関係が、粒径の異なるものについても、同一の関係を持つものと考えたと、Ripples density, S は、粒径 $d_{50} \approx 0.3$ mm 程度を境にして、異なった傾向を持つことが Fig-3 から知れる。

しかしながら、一般に、橋点は、かなり散らばりが大きく、正確さには欠けるように思える。

つぎに、Fig - 4 にこれらと同一の資料を用いて、Sand Ripple の $\Delta H/\lambda$ と Ripples density, S との関係を図示した。横軸の密度 S は、Fig-3 と同様にして求めた値を用い、 $\Delta H/\lambda$ をプロットした。 $\Delta H/\lambda$ についても、Ripples density, S とともに変化し、 S に対して、 $\Delta H/\lambda$ の最大値が存在す

ることが知れる。しかしながらその変化の傾向は、粒径によって異にし、粒径が小さいほど $\Delta H/\lambda$ の値は一般に大きく、 S に対する変化の勾配も大となっているようである。また、 $\Delta H/\lambda$ が最大値を示す Ripples density, S の値は、粒径によって異にし、粒径がほぼ 0.3 mm 程度でわかれている。

以上の関係から、Sand Ripples density, S を用いて流れの抵抗をあらわす場合、河床構成砂礫の考慮が必要と思われる。ここで、

$$V/u_* = f(h/e \cdot \Delta H) \quad (5)$$

の表示に従うものとする。粒径によって、異なった傾向を持つものと判断される。Fig - 5 は、粒径 d_{50} がほぼ同一の場合として、Vanoni の実験値と筆者の実験結果とを、(5) 式の関係から、横軸に $h/S \cdot \Delta H$ を用いてプロットしたものである。ここで V ; 断面平均流速、 h ; 平均水深、である。同一の粒径については、かなりよい相関を示している。

おわりに、本実験はまだ中途であり、今後さらに広範な実験を行ない、詳細に検討を進めたいと考えている。本実験にあたり、種々ご助言いただいた防大土木教室、成富講師に厚く感謝申し上げます。また、実験に協力いただいた、当教室、栗森欽博氏に謝意を表す。

参考文献:

1. Vanoni and Huang; Relation between bed forms and friction in streams, Pro. A.S.C.E., 1967.
2. Simons, Richardson and Hamfield; Studies of flow in alluvial channels Geological Survey
3. Simons, Richardson and Albertson; " " 1961.
4. Simons and Richardson; Forms of bed roughness in alluvial channels Pro. A.S.C.E. (1963).
5. 芦田、余石井; 河床形態の変動特性に關する研究、京都大学工学部研究報告 第12号 B. 3.42.

