

九州大学 正 員 椿 東一郎

佐賀大学 正 員 渡辺 訓南

九州大学 学生員 ○ 正木 清嗣

移動床流れにおいては、水理条件や底質に応じて種々の河床形態が発生し、流れの粗度や流砂量に大きな影響を及ぼす。本文は1波長間の流れが加速・減速の繰返しであることによる剪断応力の変化と、流砂の非平衡性を考慮した著者らの安定理論に基づいて、河床形態とそのscaleについて、表-1及びGilbertらの実験資料を整理し、水理量と底質の関数で表わしたものである。

1. 河床形態の区分：河床高を $\frac{\bar{z}}{h} = \frac{\bar{z}_*}{h_*} e^{\beta T + (1-\beta)E}$ 、 $\bar{z} = \frac{\bar{z}_*}{h}$ 、 $\beta = \frac{2\pi h}{\lambda}$ とおくと、 $\bar{z}_*$ 及び波速 $-\frac{\bar{z}_*}{\beta}$ はそれぞれ次式となる。

$$\bar{z}_* = \frac{\beta^2 \cdot \frac{3}{2} \frac{4\mu - 4c}{4\mu - 4c}}{(\beta^2 E^2 + 1)(1 - F^2)} \left\{ qa - E(2 + 2\alpha) \right\} \quad (1)$$

$$-\frac{\bar{z}_*}{\beta} = \frac{\frac{3}{2} \frac{4\mu - 4c}{4\mu - 4c}}{(\beta^2 E^2 + 1)(1 - F^2)} \left\{ qa - E(2 + 2\alpha) \right\} \quad (2)$$

$\bar{z}_* = 0$ なる条件から、実験資料を掃流力の無次元表示 $\bar{z}_*/d$ と h/d とで区分すると図-1 のようである。

flat → Anti-dune への境界は明らかでないが、一応の区分が得られており、図中の実線はそれぞれ

$$\frac{h}{d} = \frac{1}{2}(7.66^2 S)^{\frac{1}{2}} \cdot \bar{z}_*^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{h}{d} = \lambda \cdot \frac{2 + 2\alpha}{qa} \left(1 + \frac{\Phi_0}{A_*} \right) \quad (3)$$

である。ここに、 S は砂の水中比重、 $\Phi_0 = q_0 / \sqrt{sgd}$ は流砂量の無次元表示である。

2. 河床波のscale：波高 Dune型の河床波を、波高 Δ 、波長 λ の三角波で近似し、それが形を変えずに進行速度 U_0 で伝播するとすれば、1波長間の平均の流砂量 $\bar{q}_0$ は $\bar{q}_0 = (1 - \epsilon) U_0 \frac{\Delta}{2}$ (ϵ : 空疎率) で表わされる。今、波速として(2)式を用いると、波高 Δ が次式で表示される。

$$\frac{\Delta}{h} \frac{\frac{3}{2} \frac{4\mu - 4c}{4\mu - 4c}}{1 - F^2} = \frac{2(\beta^2 E^2 + 1)}{(\beta^2 E qa + (2 + 2\alpha))} \quad (4)$$

Dune 及び Ripple の実験値について上の関係を調べると、散りはばり大きいのが平均的にはほぼ満足されており、特に Dune については(4)式がうまく適合している。(図-2) なお、(4)式の右辺は殆んど

記号	実験者	d50 (mm)	記号	実験者	d50 (mm)
○	土木研究所	0.8 ~ 1.0	⊕	椿(壁伊川)	1.1 ~ 1.4
●	田 中	0.73	⊖	〃(人工水路)	1.3 ~ 2.2
⊙	Tanoni	0.14 ~ 0.23	⊕	〃(実験水路)	0.33 ~ 0.84
⊙	Kennedy	0.23 ~ 0.93	⊖	Laursen	1.1
⊗	白 砂	0.8	⊖	Straub	0.69
⊙	Simons	0.45	⊗	Ackers	0.16
⊕	Gilbert	0.305 ~ 3.17			

表-1

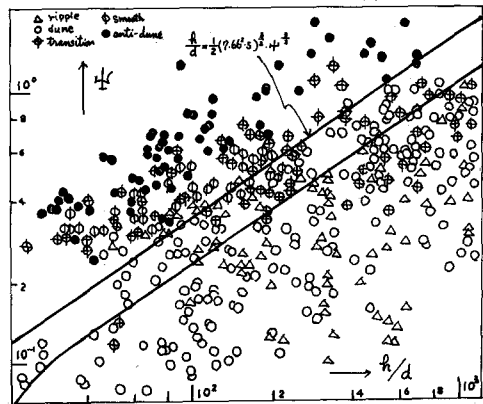


図-1

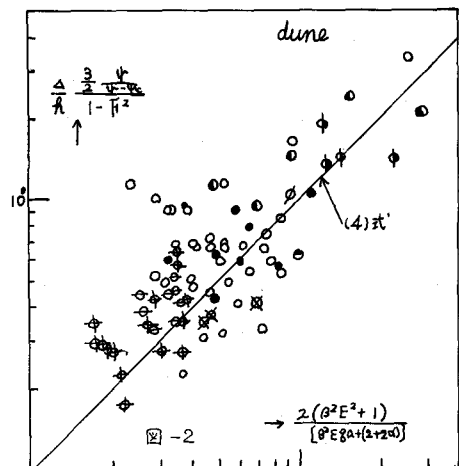


図-2

$E = \lambda \frac{d}{h} (1 + \frac{\Phi_0}{\lambda})$ に比例し、限界掃流力付近を除けば ($\lambda \gg \lambda_c$)、 E を $\lambda_e I$ で近似した次式が成立する。

$$\frac{\Delta}{h} \frac{\frac{3}{2} \frac{\lambda}{\lambda - \lambda_c} (\frac{\Phi_0}{\lambda})}{1 - F^2} = 4.24 \times 10^3 \lambda_e I \quad (5)$$

こゝに、 $\lambda_e I$ は有効掃流力の無次元表示で $\lambda_e = \lambda \cdot \frac{\Phi_0}{\Phi_0}$ 、 $\Phi_0 = 6.0 + 5.75 \log \frac{h}{d}$ 、 $S = 1.65$ である。Dune の波高について (5) 式の関係を調べると図-3 のようであり、波高が $\lambda_e I$ で規定されているということがわかる。

波長 Dune の波長 λ は前報に示したように、ばらつきが大きい。勾配 I に関係するとして、平均的には

$$\lambda/h = 2.5 \times 10^3 I \quad (6)$$

と表わされる。Ripple については、図-4 に示すように、 λ/d が $\lambda_e I$ に対して良くまとまり、図中の実線 $\lambda/d = 1.6 \times 10^3 \lambda_e^{0.56}$ (7) で表わされる。

波形勾配 Dune については λ/h 、 $\lambda_e I$ の表示が与えられるので、(5) 及び (6) 式より、

$$\frac{\Delta}{\lambda} \frac{\frac{3}{2} \frac{\lambda}{\lambda - \lambda_c} (\frac{\Phi_0}{\lambda})}{1 - F^2} = 1.7 \lambda_e \quad (8)$$

である。又、Ripple についても Dune と同じ式形を考へて実験値を整理すると、図-5 のようになり、平均的には次式で表わされる。

$$\frac{\Delta}{\lambda} \frac{\frac{3}{2} \frac{\lambda}{\lambda - \lambda_c} (\frac{\Phi_0}{\lambda})}{1 - F^2} = 0.6 \lambda_e^{0.66} \quad (9)$$

従つて Ripple の場合は逆に λ/h と λ/d から波高の式が得られる。即ち、(7)、(9) 式より、

$$\frac{\Delta}{d} \frac{\frac{3}{2} \frac{\lambda}{\lambda - \lambda_c} (\frac{\Phi_0}{\lambda})}{1 - F^2} = 984 \lambda_e \quad (10)$$

となり、波高は λ_e に比例する。上式を実験値と比較したのが図-6 である。

以上安定理論から一応河床形態の区分と、Dune 及び Ripple についてその Scale の予測が出来るが、抵抗や有効掃流力の評価に於いてはなお疑問が残されており、今後の課題としたい。

