

東京大学生産技術研究所 正員 井口昌平

同上

正員 鮎川 登

同上

学生員 中野 虎彦

東京大学大学院

学生員 吉野 文雄

1. まえがき

砂礫堆と呼ばれる河床形態が河川とくに砂礫河川において数多く形成されていることは1900年ごろにすでに指摘されている。当時の研究は河床測量に基づく観測が主であるが、砂礫堆の特性は定性的にはかなり明らかにされている。¹⁾最近になって再び河床形態としての砂礫堆の重要性がとくに河道の蛇行との関係において認識され、日本、ソ連、アメリカなどで研究が行なわれつつある。ここでは、砂礫堆の形状特性を明らかにする目的で行なった実験の結果について述べる。

2. 砂礫堆の形成限界

砂礫堆の形成限界は $\tau_* = U_*^2 / ((\rho_s/\rho_f - 1)gd)$ と $I^* = I / [(\rho_s/\rho_f - 1) \frac{d}{B}]^{\frac{1}{2}}$ との関係により図1と与えられる。²⁾ 砂礫堆と ripples and dunes および transition との境界は次式で与えられる。

$$\tau_* < 1.1 I^* \text{ ----- (1) } \quad \text{あるいは} \quad \frac{R}{B} < 1.1 \left[\left(\frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right) \frac{d}{B} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ ---- (2)}$$

ここで、 $U_* = \sqrt{gRI}$ は摩擦速度、 g は重力の加速度、 R は径深、 I は勾配、 ρ_s は砂の密度、 ρ_f は流水の密度、 d は砂の平均粒径、 B は水路幅である。

3. 砂礫堆の形状

砂礫堆の形状を表示するものとしては平面形状、高さ、長さなどが考えられるが、ここでは砂礫堆の長さについて考察した。砂礫堆の長さとは左岸および右岸沿いの縦断曲線を描き、それらの交点間の距離として求めた(図2)。³⁾

実験は比重 2.65 の砂を用い、流量、勾配、水路幅、粒径を変えて行なった。一定幅の水路に均一粒径の砂を一樣勾配に敷きならし水を流した。流量を増していくと、砂が移動しはじめ砂礫堆が形成される。砂礫堆の長さは一部の実験ではじめ長くなっていった。流量をさらに増加していくと、砂礫堆の長さは減少していき、ついには dunes あるいは flat bed が形成された。砂礫堆の長さが長くなる傾向は他の実験では認められず、長さは短くなる一方であった。そして砂礫堆の長さには実験条件に応じた下限があるようであった。すなわち、砂礫堆の長さが短くなっていきある長さになると、それ以下の長さの砂礫堆は形成されず、dunes あるいは flat bed が形成されるようであった。

砂礫堆の長さを表す無次元量としては L/B が考えられるが、 L/B の値の範囲が狭いので、ここでは LI/h を

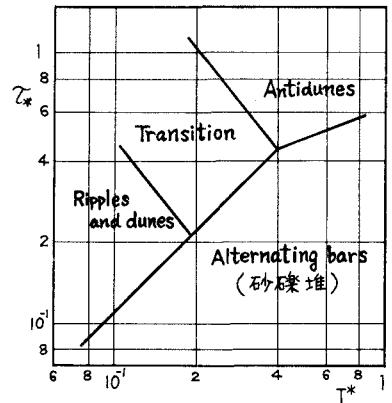


図1. 移動床形態区分図

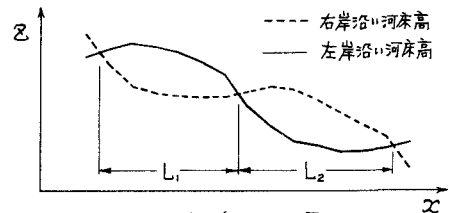


図2. 砂礫堆の長さ

用い、実験結果を整理した。実験において砂礫堆の長さは掃流力が増すと減少することが観測されたので、まず LI/r と z_* との関係を調べ、その結果を B, r, I, d に関して補正することによって図3を得た。図3をプロットするのに用いた実験データを表1に示す。図4の関係を実験式で表わすと
$$\frac{LI}{r} = 2 \left[\frac{r}{B} I \sqrt{z_*} \right]^{-\frac{3}{2}} \quad \text{あるいは} \quad \frac{L}{B} = 2 \left(\frac{r}{B} I \right)^{\frac{1}{2}} z_*^{-\frac{3}{4}} \quad (3)$$

前述した砂礫堆の長さの下限は次のように考えられる。砂礫堆が形成されるのは一般には水深が水路幅に比し小さいときであるから、(2)式で $R=r$ とし、(1)、(2)式を(3)式に代入すると次式が得られる。

$$\frac{L}{B} > 1.7 \left[\frac{I}{\left\{ \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \frac{d}{B} \right\}^{\frac{1}{2}}} \right]^{-\frac{1}{4}} \quad (4)$$

(4)式により計算した砂礫堆の長さの下限と実験結果を比較すると表2のようになる。

次に砂礫堆の長さの相似則について考えてみる。砂礫堆の長さについては図3の関係がある。移動床の模型実験では模型と原型とで z_* を共通にする。また、 $\frac{r}{B} I$ は歪み模型の場合にも無次元量であるから、図4の横軸の変数は模型と原型とで共通の値をとることになる。したがって、縦軸の変数 LI/r も模型と原型とで共通の値にならなければならない。

$$\frac{L_m I_m}{r_m} = \frac{L_p I_p}{r_p} \quad \therefore \frac{L_m}{L_p} = \frac{r_m I_p}{r_p I_m} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \quad (5)$$

ここで、添字 m, p はそれぞれ模型と原型における量を表わし、 $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ はそれぞれ水平・垂直縮尺を表わす。(5)式によると砂礫堆の長さの縮尺は模型の水平縮尺に等しいことがわかる。

4. むすび

現在までに行なった実験データに基づいて砂礫堆の長さについて解析した。今後はさらに勾配の緩い場合の実験、

比重の異なる物質による実験などを行ない図3の關係の一般性を検討していく予定である。

1) 井口昌平・吉野文雄：河床形態の研究の過程につ

いて、東大生研所報、生産研究 昭和42年1月

2) 井口昌平・鮭川登：移動床形態の区分とくに砂礫

堆の形成限界について、第11回水理講演会講演集

3) 井口昌平：砂礫堆の形成に関する水理学的考察

、東大生研報告、昭和40年10月

4) 芦田和男・塩見清国：水路における砂礫堆の水理

特性について、京大防災研年報、第9号。

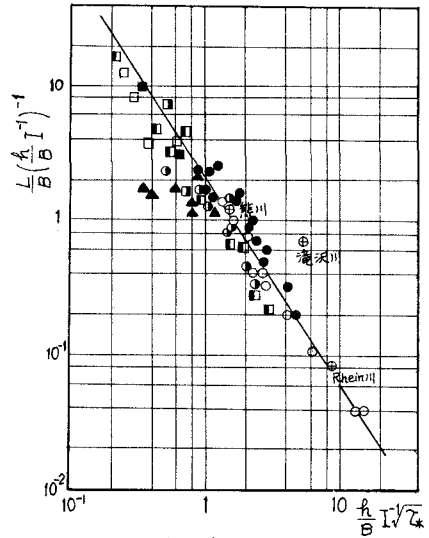


図3 $\frac{L}{B} \left(\frac{r}{B} I \right)^{-1/2}$ と $\frac{r}{B} I \sqrt{z_*}$ の関係

表1. 使用した実験データ

実験者	実験条件			記号
	水路幅 cm	勾配 1/I	粒径 mm	
井口・鮭川	15, 31	50, 200	0.45	●
	15, 31	50, 200	2.3	⊙
吉野・中野	30	50, 100, 200	3.55	○
木下	13.2	20, 40, 60, 80	0.38	■
	13.2	20, 40, 60, 80	0.765	▣
	13.2	10, 20, 40, 60, 80	1.24	▤
	13.2	10, 20	1.70	□
芦田・塩見 ⁴⁾	50	70, 80, 100	0.90	▲

表2 砂礫堆の長さの下限

実験条件			砂礫堆長さ下限		
水路幅 cm	勾配 1/I	粒径 mm	計算値	実験値	
15	50	0.45	49	46	砂礫堆から flat bed
31	50	0.45	88	105	"
15	50	2.3	43	41	"
30	50	3.55	83	81	"