

東京工業大学大学院 学生員 中村徹立
 東京工業大学 正会員 福岡捷二
 建設省 正会員 高島英二郎

1. はじめに 著者らの¹⁾は狭い急勾配実験水路でみられる二次元的な河床波の形状及び伝播特性を明らかにした。しかし、ここでは河床波の特性に及ぼす水路幅の影響については言及されていない。本研究では特に反砂堆の河床形態、波長及び流量に及ぼす水路幅の影響を実験的に明らかにする。

2. 実験方法 実験は水路幅を最大30 cmまで自由に変わらせる長さ8 m、高さ20 cmのアクリル製循環開水路を用い、表1に示す条件で行った。給砂量が流量とほぼ一致するように給砂することにより平均河床勾配が変わらないことを確かめた後、水深・波高・波長・波速・流量及び流量を測定した。

3. 河床形態 実験I及び実験IIの条件では水路幅及び単位流量の大小にかかわらず常に二次元的な逆上反砂堆が発生した。一方、大きな粒径の砂を用いた実験IIIでは流下反砂堆が発生し、一般に知られているように単位流量一定の条件では水路幅が大きいほど、また同じ水路幅でも水深が小さいほど河床形態の三次元性は顕著となる。実験IIIでは単位流量一定のもとで水路幅が広がるにつれて、図1に示す4種類の流下反砂堆が観察された。

aは二次元的な流下反砂堆である。bは極めて不安定な三次元流下反砂堆であり図に示すように頻りに形を変える。cは三次元ではあるが安定した河床形態を保つ。dは複列の三次元流下反砂堆である。図2は上述の4種類の流下反砂堆が生じている時の水路幅Bと水深hの関係を示す。実験IIIの条件では二次元流下反砂堆及び三次元流下反砂堆の境界は $h/B \approx 0.8$ で示される。安定した三次元流下反砂堆(河床形態c)は $0.1 < h/B < 0.3$ 程度の範囲でみられる。流下反砂堆と逆上反砂堆の河床形態の相違は主として河床の掃流力 τ_o と限界掃流力 τ_{oc} の比の大きさに関係する。実験I及び実験IIで現れた逆上反砂堆では τ_o/τ_{oc} の平均値は1.5~3.5であった。逆上反砂堆の流れの掃流力は限界掃流力より十分大きいため砂の移動は活発である。従って、 τ_o/τ_{oc} は横断面内の各点で変化しているが、掃流力の平均値からの場所的な変化分は相対的に小さく横断面内の流砂はかなり均一となるため逆上反砂堆は二次元になる。一方、流下反砂堆においては $\tau_o/\tau_{oc} = 4 \sim 9$ であり流速の小さい側壁付近では掃流力は限界掃流力に近い値をとり、そこでは砂はほとんど流れない。

	実験I	実験II	実験III
勾配	1/70	1/40	1/70
平均粒径(mm)	0.22	0.42	0.77
水路幅(cm)	4, 6, 8, 12, 16, 20, 30		
単位流量($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)	100, 200, 300		

表1 実験条件

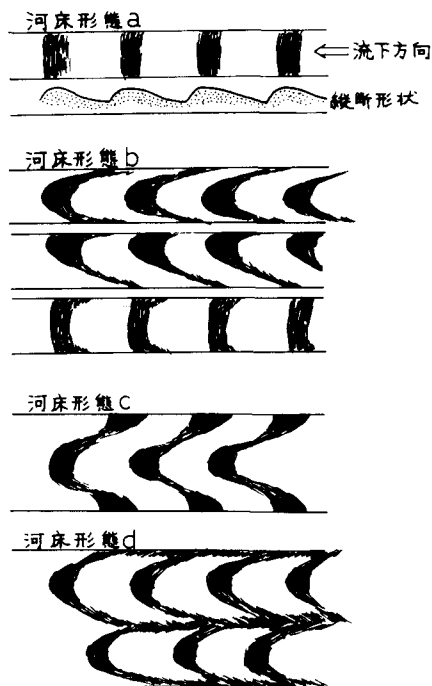


図1 幅の変化に伴う流下反砂堆(実験III)の平面形状の推移(単位流量一定)

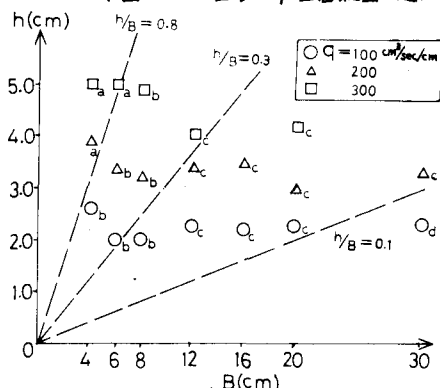


図2 流下反砂堆(実験III)が生じている時の水路幅と水深

しかし流速の大きい水路中央では砂が多く流れるため流下反砂堆の河床形態には図1に示すような三次元性が現われる。

4. 波長 図3-1は流下反砂堆(実験Ⅲ)の波長と水深の関係を示す。この図には福岡らによる水路幅4 cmでの流下反砂堆(勾配 $1/60 \sim 1/84$, 平均粒径 $0.19 \sim 1.60 \text{ mm}$)及び砂堆(勾配 $1/40 \sim 1/178$, 平均粒径 $0.19 \sim 0.76 \text{ mm}$)のデータも併記されている。流下反砂堆及び砂堆の波長は同一の関係式 $L = 5h$ で表現できる。このように流下反砂堆と砂堆は同一の水深～波長関係が成立すること及び移動方向・移動メカニズムが同様であることから判断して、流下反砂堆が $F_r \approx 1.0$ 付近の流れて形成されることを除いてその運動学的・幾何学的特性は砂堆と同じであると考えることが出来る。図3-2は流下反砂堆(実験Ⅲ)上の流れの水路幅と波長の関係を示している。図3-1及び図3-2を対照すると流下反砂堆の波長は水深に規定され水路幅の影響は相対的に小さいことがわかる。図4-1は遡上反砂堆(実験Ⅰ及び実験Ⅱ)の波長と水深の関係を示す。実験Ⅱ(勾配 $1/40$)の条件での遡上反砂堆の波長は実験Ⅰ(勾配 $1/70$)の条件での遡上反砂堆の波長に比べて大きくなり勾配が影響していることがわかる。勾配を考慮した掃流力 $\tau_h (= \gamma h i)$ と波長の関係を図4-2に示すと実験Ⅰ及び実験Ⅱの条件での遡上反砂堆の波長は同一直線上にプロットされる。遡上反砂堆の形状は二次元的であるため、その波長は流下反砂堆と同様に水路幅の影響をあまり受けず掃流力 τ_h に規定される。

5. 流砂量 図5は遡上反砂堆が生じている時の水路幅と単位幅流砂量の関係を示す。水路幅が広がるにつれて側壁の影響が減るため単位幅流砂量は増加する。単位幅流量 $q_b = 100 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ の場合、単位幅流砂量は水路幅約8 cmまでの範囲では増加するが、それ以上の水路幅に対してはほぼ一定値を保持。単位幅流砂量が一定となる水路幅の下限値は単位幅流量が増加するに従い次第に大きくなる。この理由は単位幅流量の増加により h/B が增大し側壁の抵抗が大きくなるためであると思われる。流下反砂堆の単位幅流砂量についても遡上反砂堆と同様の結果が得られ、単位幅流砂量は波長と異なり水路幅の影響が大きく効くことがわかる。

参考文献

- 1) 福岡ら：急勾配移動床流水における河床波の形状・伝播特性，土木学会論文報告集，投稿中
- 2) 水理委員会：移動床流水における河床形態と粗度，土木学会論文報告集，No 210，1973

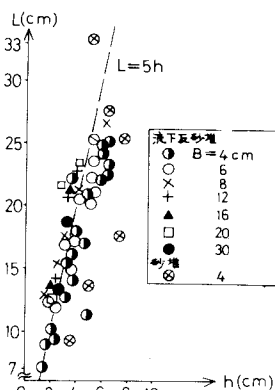


図3-1 流下反砂堆・砂堆の波長と水深

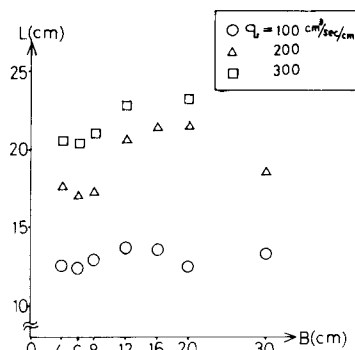


図3-2 流下反砂堆の波長と水路幅

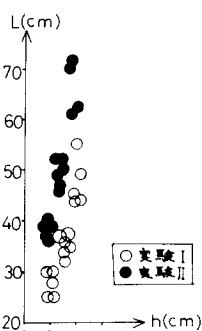


図4-1 遡上反砂堆の波長と水深

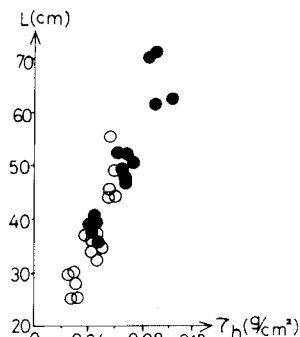


図4-2 遡上反砂堆の波長と掃流力

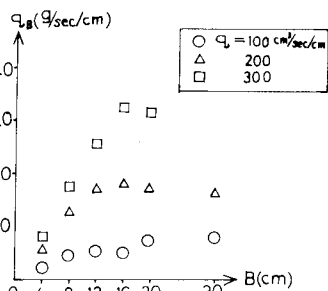


図5 遡上反砂堆(実験Ⅰ)が生じている時の水路幅と単位幅流砂量