

自由学園最高学部 正員 ○ 木下 良作
 東京大学 農学部 三輪 式

1 砂レキ堆は、流れの集中と発散による蛇行性と、洗掘と堆積による流砂の波動性との合わさって出来た河床形態であると理解される。(写真-1)直線水路でも、水理諸量の組合せのある範囲内において形成され、その前進性が一つの特徴である。

2 水路に蛇行性を与えると、その振幅が小さい中は、砂レキ堆は直線水路の場合と同様に、その水路内を前進流下するが、振幅がある大いさを越えると、水路蛇行の影響が強まり、砂レキ堆の前進は抑止されるようになる。¹⁾この砂レキ堆が前進するか、停止するかは、いかえれば水衡部の安定か、不安定かの問題であり、河道計画上の一つの重要な視点でなければならない。²⁾

3 三輪は、多数の航空写真を収集して、実際河川の長年月をへだてた、砂レキ堆の移動の有無と河道の曲り(図-1)との関係を調査し、その限界が、河川の規模の大小、勾配の緩急($1/70 \sim 1/5,000$)などにかかわらず、ほとんど一様に20数度という、きわめて狭い範囲にそれがある、驚くべき事実を見出した。³⁾

4 従来、わん曲水路の研究は数多くなされてきたが、これを、砂レキ堆形成とその挙動との関係で捉えた研究は少ない。筆者らは北海道南発局石狩川南発建設部の委託をうけて、この問題を実験的に追求した。

5 直線水路の中、1ヶ所だけ曲げると、曲げ角 θ が小さい中は、砂レキ堆の移動は直線状態のときとほとんど変らない。 θ が 20° 以上になると、凹岸部の掘れと凸岸部の寄洲(いずれも少し下流側)という砂レキ堆の前縁部に似た形態が、屈曲部にほぼ定着しはじめるが、しかし上流から到達する左右交互の砂レキ堆の影響を受けて、定期的な、その若干の変形の繰返しはまぬがれず、写真-2例にみられるように、それは下流側への砂レキ堆の前進につながり、結果的に砂レキ堆の通過を認めざるを得ない。それは θ が 60° に達しても、なおやまなかった。

6 1ヶ所だけ曲る直線水路では、砂レキ堆の発生・発達、屈曲部上流より下流側が早い。砂レキ堆波長ごとに交互に曲る蛇曲水路を設けると、通水とともにその発生は、各屈曲部から一せいにはじまり、すみやかに全水路が砂レキ堆でつながる。砂レキ堆の発達は、流砂量 G からみれば、その波動性の発達であり、水路全面が砂レキ堆でつながると、それで G の波動性が止むわけではなく、全砂レキ堆の前進・移動現象にうつる。しかし水流の蛇行性をともなう砂レキ堆の移動は、水路固有の蛇行性と相剋するようになり、水流蛇行は弱められ、砂レキ堆は平坦化の傾向をもつ。しかし水路の蛇行振幅が小さく、屈曲角 θ が小さい場合、砂レキ堆前進は水路の蛇行1波長をのりこえて、次の発生初期の位置に回復する。写真-3は水流に白いポスターカラーを加えて連続撮影し、

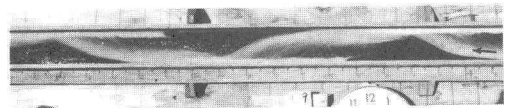


写真-1 実験水路(直線)の砂レキ堆。減水中。

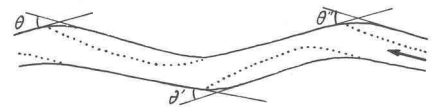


図-1 河道屈曲の一表現としての θ

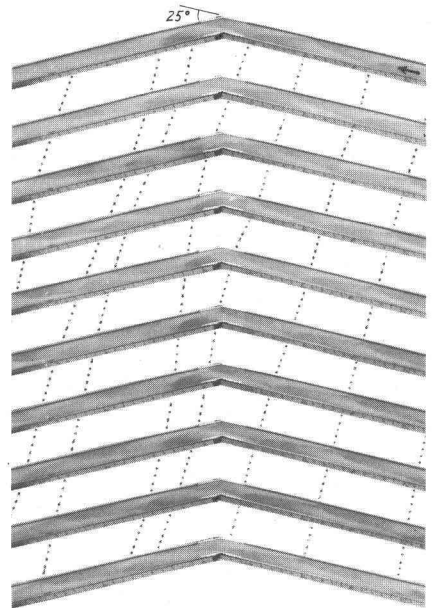


写真-2 直線1ヶ所屈折水路の砂レキ堆進行例

砂レキ堆の移動状況を示したものである。ポスターカラーの濃度は一定を保っているので、白黒のコントラストの強弱が、ほぼ水路床の凹凸度の大小を示している。

7 写真-4は、写真-3の θ をさらに大きくすると、砂レキ堆の前進が、全面的に止る状況を示したものである。(流砂現象は継続) この場合の限界 θ_c は、 17° と 20° の間にある。この θ_c は、蛇曲波長(2ℓ)の強い影響を受ける。水路幅 B 、勾配 I 、粒子の d と γ_s 、流量 Q を一定にして、 ℓ と θ の多数の組合せによる実験の結果、得られたものが図-2である。(この流れのフルード数は $0.9 \sim 1.4$ 。そのほとんどは弱い射流領域下にある)

8 われわれは θ_c を境として、いかなる水理現象の相違が見出されるかに注意し、中でも平面的流向・流速分布の相違に着目した。パンチ屑を流し、8ミリに撮り、フィルム/コマ/コマを写真に伸して、2枚1組で立体視し、カメロン効果を利用して流速分布を測定した。7,000枚の写真を検討した結果、この θ_c は、図-3のような極めて簡単な条件によって分けられることが判明した。即ち主流部が、凹岸から凸岸に至る河岸の途中に当たっているか、外れているかという条件である。図-4において $\overline{ap}$ を $1.5 B_{const}$ としたのが図-2内の(1)、 $\overline{ap}/\overline{ab} = 1/3$ とおいたのが同図内の(2)の線になる。厳密には $\overline{ap}$ は θ の関数でもあるが、 θ_c がそのように簡単な、水路の幾何学的形状によって決められているというのが実験の事実であった。水理学的には、掃流量の最も多い主流部が岸に当り、そこに発生する強いラセン流によって、砂レキ堆の前進をもたらす滞留粒子のすべてを下流に流送することにより、形が安定化すると考えられるが、適当な波長をもつ蛇曲水路では、すべての砂レキ堆が等条件下におかれるが、この安定化を促進すると考えられる。

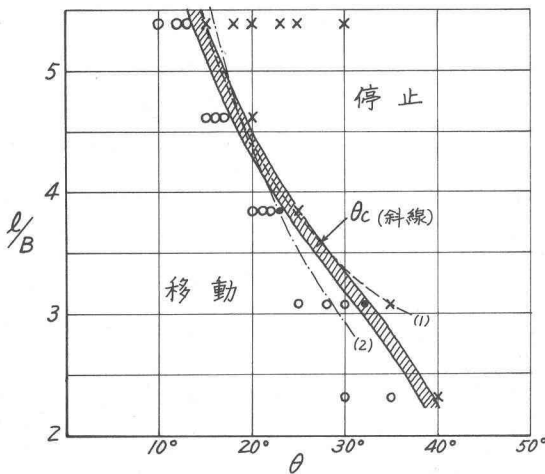


図-2 屈曲蛇曲水路における θ_c

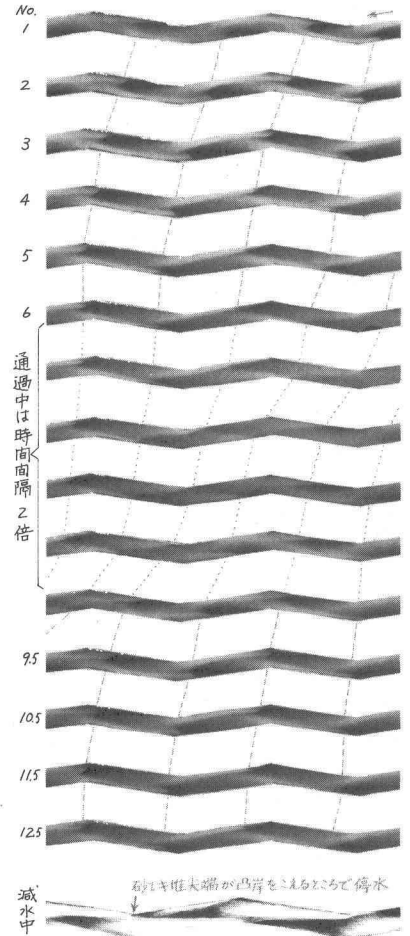


写真-3 砂レキ堆が移動する例
 $\ell/B = 4.6 \quad \theta = 17^\circ$

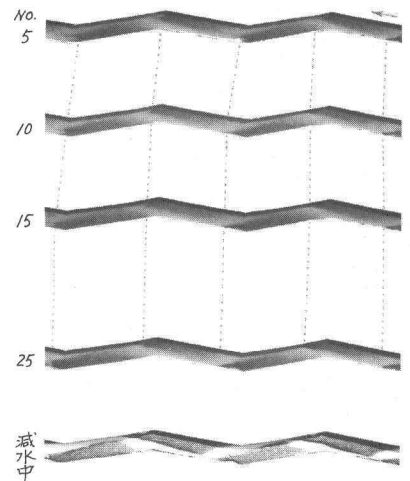


写真-4 砂レキ堆が停止する例
(写真枚数は少ないが通水時間は写真-3の2倍)
 $\ell/B = 4.6 \quad \theta = 20^\circ$

9 図-2の θ_c のラインが、常流領域下に適用されるかどうかを試みるため、ラインの両辺に位置する二つの仕様の水路を設け、石炭粒子を用いてF数0.7~0.8でテストした。その結果が、さきの写真-3.4に掲げたものである。それは射流領域下と同じく、明かな移動と安定の対照を示した。

10 砂レキ堆を形成する水流は、 h/B で約 $1/10$ というように薄いものであり、水深変動の θ_c に対する影響をみるためには、さらにそれ以下の薄い水流の変化においてなされねばならない。水深の変動は流速とその分布、深掘れ量の相違をふくむ、砂レキ堆の立体形状の変化などをもたらすが、ここで問題になるのは、砂レキ堆全体が移動してゆくか否かの、その θ_c に対する影響である。われわれの行った実験規模では、水深変動の範囲は十分にはとれなかったが、しかし θ_c に対する水深変動の影響は、ほとんど見うけられなかった。

11 屈曲のかどをわん曲に変え、蛇曲水路では振幅が減少し、曲率が大きいほど、 θ_c は同一でも砂レキ堆は動きやすくなる。それを図-5のように、曲頂尖を結んで θ をとるように水路を設けると、 θ_c は図-2の場合とほとんど変らなかった。 θ_c 程度の蛇曲を問題にするときには、実用的にはこの方法で差支えないと考えられる。

12 このように砂レキ堆位置の安定は、他のあらゆる変量に対して、水路の平面形状が圧倒的に強い因子として卓越するという事実が見出された。そして図-2において、 l/B の出現頻度の高い4付近の θ_c は20数度であり、3にのべた実際河川例に、まさに対応を示すのである。

13 6にのべたように蛇曲水路では直線水路と違って、1でのべた流れの集中、発散、流砂の洗掘と堆積を誘発する要因を、水路固有の条件として持っているから、直線水路ならば砂レキ堆が形成されない水理条件の場合でも、(砂連になるとか、水深が深すぎるとか、その他)蛇曲水路床には砂レキ堆と同様な形態があらわれる。これを「強制砂レキ堆」と仮称すれば、その特徴は、水路形状によって強制されたままの位置から動き出さない、即ち安定な点にある。それは先述の θ_c 以下の場合でも同様であって、形は似ていても、砂レキ堆波長 l における流砂量 G の波動性を、もともと欠いている水理条件下の流れであるからと考えられる。これまでのべた「移動砂レキ堆」の場合であって、 θ_c 以上で停止した場合は、水路形状による強制作用で、 G の波動性が抑えられ、すべての横断面で $G=const.$ の状態が現出したのであるから、その状態も「強制砂レキ堆」の範ちゅうに入れるべきかもしれない。以上を要約すると表-1となる。1~12にのべたことは同表の上段に關してであって、下段についてはふれていない。また移動砂レキ堆形成条件下であって、与える蛇曲水路の波長が、移動砂レキ堆波長形成限界以下のような、極端に短い場合には、これも深掘れ位置は安定化に向かうようである。図-2の l/B が3以下には、その傾向があらわれ出していると解される。

〔謝辞〕 この実験的研究に対して、建設省河川局治水課長柊野康行氏、および北海道開発局の方々からいただいた御高恵にたいして、心からの謝意を表します。

脚注 1) 木下良作:「石狩川河道変遷調査」本文参考編, 科学技術庁資源局資料第36号, 昭.36.37 2) 木下良作:「河道平面計画試験」水工学シラズ72-A-4土木学会水理委員会, 3) 三輪式:「實際河川における砂レキ堆の移動と安定の限界角度」昭.49 農業土木学会学術講演会前刷。

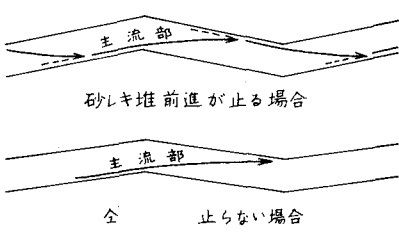


図-3

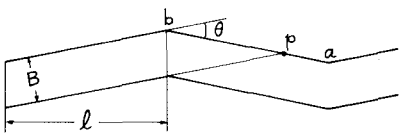


図-4



図-5

水路条件 水理条件	直線 水路	蛇曲 水路	
		θ_c 以下	θ_c 以上
砂レキ堆形成 限界内	移動砂 レキ堆	砂レキ堆	
全 限界外		強制砂 レキ堆	砂レキ堆

表-1