

迂曲蛇行水路における砂礫堆形状と水流蛇行パターン*

岩手大学農学部 三輪 弘
岩手大学農学部 濱上邦彦

1.はじめに

河川の流れは、瀬と淵を交互に連続させつつ、左右に大きく蛇行するのが基本的な形態である。水流の蛇行は、上下流に連続する砂礫堆の形状に対応し、砂礫堆2個に対して水流が1蛇行する。河道そのものが蛇行している場合には、河道蛇行の1波長内に砂礫堆2個という「蛇曲」蛇行河道となる。しかし、何らかの理由で、河道蛇行の波長が長くなったり、蛇行振幅が大きくなったりした場合には、河道1蛇行内に3個以上の砂礫堆が存在する「迂曲」蛇行河道に変化¹⁾する。迂曲蛇行河道では、砂礫堆形状が複雑になり、水流蛇行パターンも複雑な様態を示す。

水路蛇行1波長内に4個の砂礫堆がみられる迂曲蛇行水路において実験し、砂礫堆形状と水流蛇行パターンとの関係を明らかにした。

2. 蛇行河道の種類

直線的な河道において、交互砂礫堆が形成され、水流が河道幅一杯に左右に蛇行している実例を、図-1(1)の豊沢川(岩手県花巻市)に見ることができる。中小の扇状地河川においては、河川改修によって堤防や低水路の法線が直線的に整備されることが多いので、日本全国の数多くの河川で見られる。改修工事完了時には、河道の直線化とともに、河床も平坦に整正されることが多いが、ひとたび洪水に見舞われると、砂礫堆が形成され、水流が左右に蛇行する。

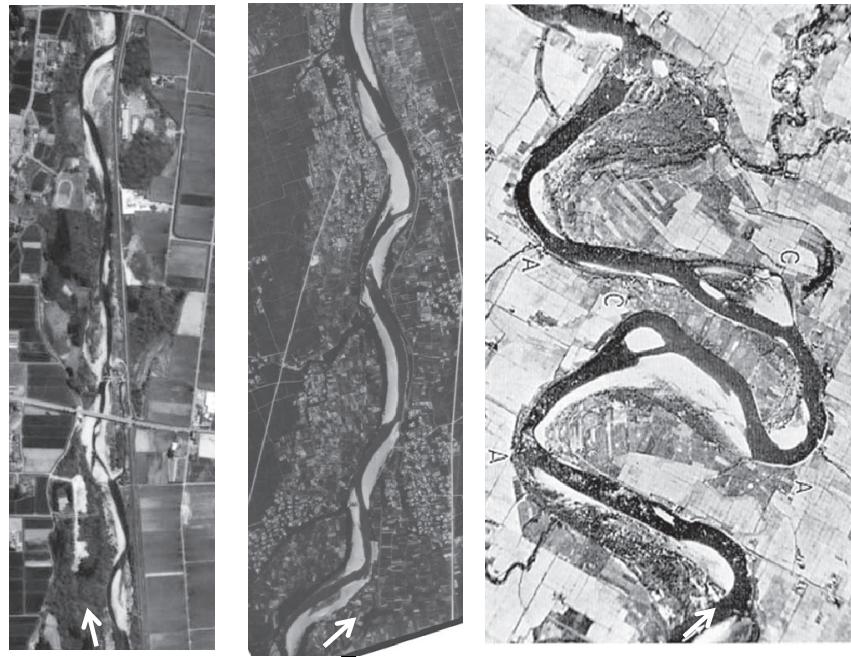
蛇行水流が左右交互の河岸を侵食すれば、河道そのものが蛇行する。図-1(2)の利根川(群馬県伊勢崎市地先)にその形態を見ることができる。河道蛇行1波長の中に砂礫堆2個が配置された「蛇曲蛇行河道」の典型的な実例である。直線河道内の砂礫堆は、その形状を保持したまま、洪水のたびに下流へずれ動く。この下流への移動は、河岸が護岸された改修河道においても発生する。一方、蛇曲蛇行河道では、水衝部河岸が護岸されて河岸侵食を起こさない場合には、砂礫堆の位置と形状が一定化し、安定した河道形状が維持される。護岸がなく、河岸侵食が可能な場合には、洪水によって水衝部河岸の侵食が進み、河道の蛇行形状を保持したまま下流へずれ動くことになる。

河岸侵食が下流方向のみではなく横方向にもどんどん進む場合がある。蛇行河道の振幅が大きくなり、河道距離が延びていく。河道距離が延長されるため、1蛇行に2砂礫堆の形態が維持できなくなり、1蛇行に3個以上の砂礫堆が配置された「迂曲蛇行河道」に変化する。その実例を、図-1(3)の石狩川(北海道)で見ることができる。

3. 迂曲蛇行水路の仕様

水路幅13cmの直線実験水路において、明瞭な単列砂礫堆が形成される水理諸量の組み合わせ[#]を選んで通水した。砂礫堆が発達してほぼ長さでそろって順次下流へ移動するようになった時点での砂礫堆の長さを測定し

* Alternate bars formation and flow meandering pattern in a meander flume with large amplitude by Hajime MIWA and Kunihiko HAMAGAMI



(1) 豊沢川(岩手県花巻市)
地理院撮影 2001年

(1) 利根川(群馬県伊勢崎市)
地理院撮影 1962年

(2) 石狩川(北海道)
木下(石狩川河道変遷調査)より

図-1 直線河道および蛇行河道の実例

たところ、50cm～60cmの長さであった。そこで、水路蛇行の半波長を55cm程度として、蛇曲蛇行水路と迂曲蛇行水路について実験することにした。

蛇曲蛇行水路は、直線区間の水路をジグザグに屈折させた、蛇行角24°の水路（砂礫堆の移動を抑える限界を少し超える角度）を水路盤に載せた。迂曲蛇行水路は、水路中心線について蛇行半波長に等しい直径を持つ半円を向い合わせにし、間に短い直線区間(6.5cm長)をはさんだ、図-2のような水路を水路盤に載せた。

([†] 実験水理諸量の組み合わせ：水路盤の谷方向勾配1/40、水路幅13cm、水路長8.0m、流量0.10～0.30L/s、砂比重2.49、砂平均粒径0.8mm)

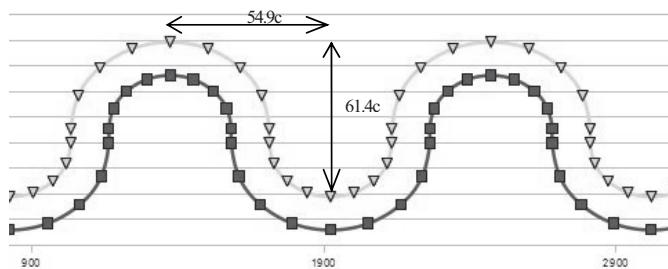


図-2 迂曲蛇行実験水路

(蛇行半波長：54.9cm、蛇行振幅61.4cm、谷方向水路距離8.78m(8蛇行分))

4. 実験方法と実験内容

各水路の実験は、それぞれ水路側壁天端から同じ高さになるよう砂均し器によって砂面を均したあと、流量に応じて決めた通水時間を、安定的な砂床形状になるまで断続通水を繰り返した。最終段階の通水時に、水表面にパンチくずを散布してカシオ EX-F1による動画撮影(300駒/秒)をしたあと、停水して砂床形状を水路中心線5cm間隔で蛇行半波長分について横断測量した。動画映像は、Flow-vecという流体計測ソフトウェア(ライプラリー社製)によって解析した。

5. 砂礫堆形状の発達過程と安定化形状

通水前の平坦な砂床から、通水の繰り返しによって徐々に砂礫堆形状が発達する。各水路における同一時間通水後の砂礫堆形状を比較した1例を図-3~4に掲げる。

5.1 直線水路と蛇曲蛇行水路の場合

図-3の直線水路と蛇曲水路の実験では、流量0.25 L/sを45秒間断続通水し、12回目の停水後減水時の写真である。いずれも写真は、停水直前に白色絵具溶液を流し入れてから停水し、徐々に水位が下がって砂礫堆の形状がはっきり認められるタイミングで撮影した。

白色部が水深の大きい範囲

であり、水路床の高位部は黒っぽく写っている。どちらの水路も、水路壁沿いの狭くて深い淵部から少しづつ幅を広げ、砂礫堆先端付近の瀬の部分でほぼ平らな横断形になる。そして、淵の位置は対岸側に移り、同様の河床形状変化を呈する。

直線水路の場合は、このような砂礫堆形状を保持しながら下流方向へずれ動いていくが、この蛇曲水路では移動が抑えられる。蛇曲水路の場合は、水路蛇行1波長内に砂礫堆2個となっているので、水流蛇行と合致した安定化した形状になる。

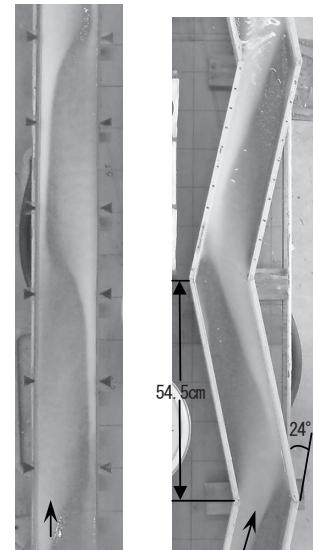


図-3 直線水路と蛇曲水路における
砂礫堆形状

(谷方向縦断勾配1/40、水路幅13 cm、
流量0.25 L/s、砂平均粒径0.8 mm)

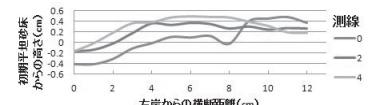
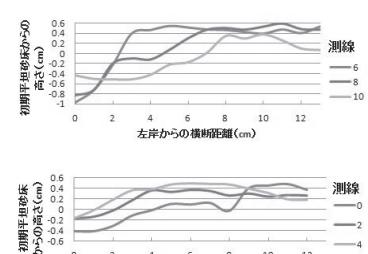
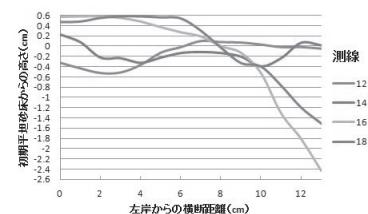
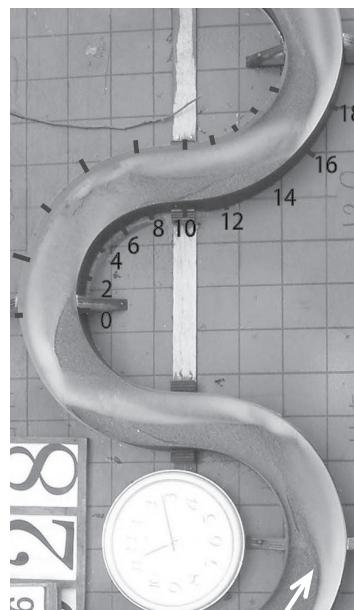


図-4 蛇曲蛇行実験水路における砂礫堆形状

(谷方向縦断勾配1/40、水路幅13 cm、流量0.25 L/s、砂平均粒径0.8 mm)

5.2 遷曲蛇行水路の場合

図-4は、遷曲蛇行水路の実験において、1回の通水時間を1分30秒にして6回通水後の砂礫堆発達形状である。この場合は、水路蛇行1波長内に砂礫堆が4個存在する複雑な形状（図-6も参照のこと）になる。上方からの写真と横断測量図を見比べていくと、測線番号0においては右岸側の凸岸前面に広くて高い寄洲が発達しており、左岸の凹岸側は深く掘れた淵になっている。測線2は、右岸寄洲の先端の下流になるので、平坦な河床に変化するが、左岸沿いはまだ掘れた状態が続いている。測線4と5では、凸岸であるのに右岸沿いの砂床が少し掘れた形状になっている。これは、直線水路であれば、左右交互に淵が生じる砂礫堆の形成が、迂曲水路でも見られていることを示すものである。ただし、水路の湾曲は、右方向へのカーブが続いているために、左岸沿いの深掘れもみられており、この付近では流れが左右両岸に分かれている。

測線8～12においては、右岸凸岸側に再び寄洲が発達し、左岸沿いに深掘れを生じる。

測線14からは、左方向にカーブするようになり、左岸側の深掘れが中央部に移り、測線18では右岸沿いに大きく掘れる。その下流は、また測線0からの変化を繰り返す。

6. 砂礫堆形状と水流蛇行パターンとの関係

図-3と図-4にみられる各水路において、形成された砂礫堆形状に対応して、集中と発散を伴って蛇行する流れとなる。水表面にパンチくずを散布し、高速動画が撮影できるデジタルカメラ（Casio EX-F1）で撮影し、その動画映像（300駒/秒）を、Flow-vecという流体計測ソフトで解析した結果を図-5に示す。

直線水路の図では、赤色部分の高流速域が左右岸交互に現れている。ベクトル図の流向からは、淵部から対岸斜め下流に向かって広がる流れを顕著に認めるることはできないが、水路中央部分の流向をよくみれば、対岸に向かう流れを見ることができる。動画を見ると、左右に蛇行する流れをはっきりとみることができ、左右交互に現れる高流速域に接する河岸が水衝部になる。

蛇曲蛇行水路においては、凹岸から凸岸にかけての水路壁に沿ってパンチくずが集中して流れ、凸岸頂部を過ぎると対岸の凹岸底部下流にぶつかるように流れ、凸岸頂部まで水路壁沿いに片寄って流れる。凸岸から凹岸にかけての水路壁沿いにはほとんどパンチくずが流れず、流速が遅くなっている。

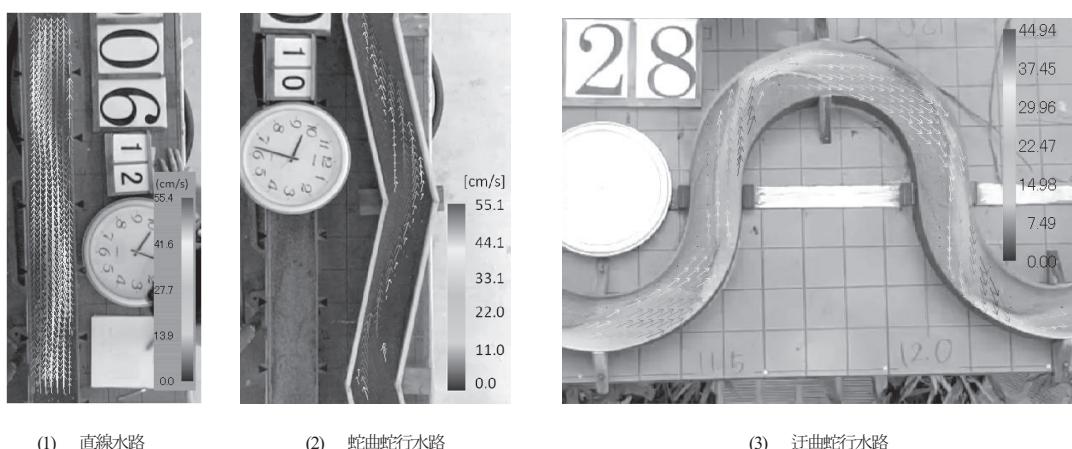
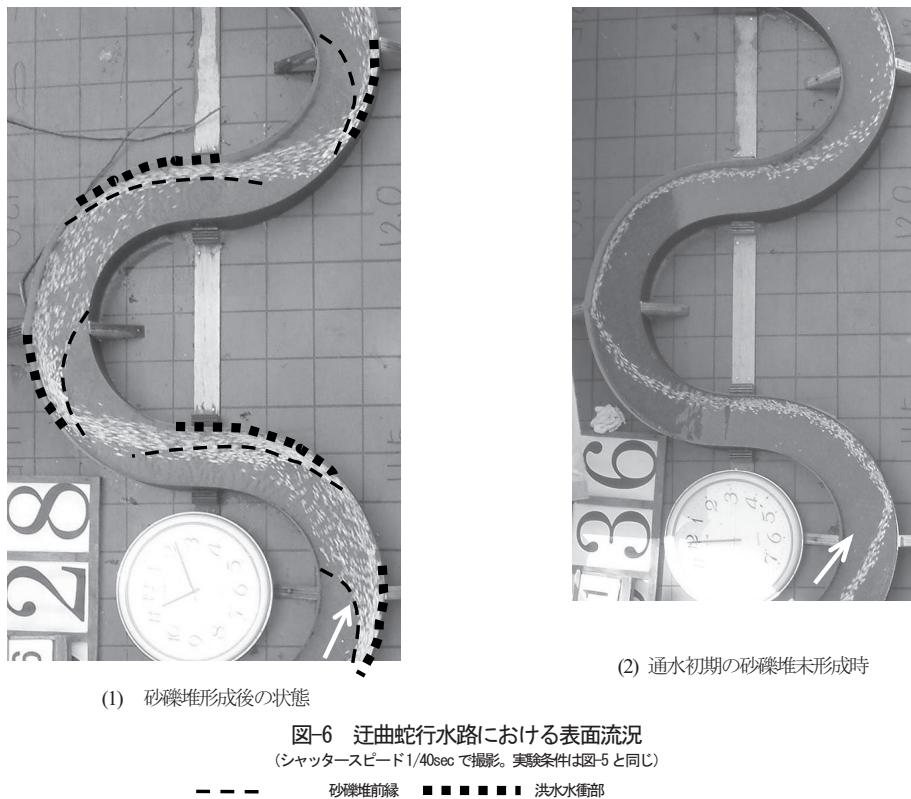


図-5 直線/蛇曲/遷曲実験水路における表面流向・流速分布

（水路盤谷方向縦断勾配1/40、水路幅13 cm、流量0.25 L/s、砂平均粒径0.8 mm）



迂曲蛇行水路では、水流蛇行も砂礫堆の形状に従って複雑な流れになる。図-4 の測線 0 付近で左岸側水路側壁側に集中していた流れが、測線 2 と 4 付近でいったん水路全体に広がった後、測線 6～12 でまた左岸沿いに集中する。そして、広がりながら対岸に向かう状況がよくわかる。

7. 洪水水衝部の同定

迂曲蛇行水路では、水流蛇行も砂礫堆の形状に従って複雑な流れになる。水表面にパンチくずを散布し、流し撮り($t=1/40sec$)で撮影した写真が、図-6 (1) である。砂礫堆の前縁を細破線で表示してみると、水路蛇行1波長区間に砂礫堆の前縁が4個含まれることがよくわかる。砂礫堆前縁と水路壁との間の狭い範囲が淵になり、パンチくずが岸沿いに集中した部分が太い点線で表示した洪水水衝部になる。直線水路や蛇曲水路の場合には、左右岸交互に水衝部が現れるのに対し、迂曲蛇行水路の場合には、図-6 (1) のように、右岸、右岸と同じ岸沿いに2回水衝部が現れ、その後対岸の左岸2カ所に水衝部が現れる。

図-6 (2) は、まだ砂礫堆が発達していない平坦河床の時点での写真である。砂礫堆が形成されない状態であれば、パンチくずが流れる主流部は、湾曲部凹岸側にずっと沿ったまま流れ、凸岸部に変化する箇所で対岸の凹岸側に移り、また凹岸に沿って流れている。砂礫堆が発達した後の流れとは大きく異なっている。

8. 現地河川における類似河道区間との比較

岩手県内の零石川（御所ダム～北上川合流点）と北上川（零石川合流点～胆沢川合流点）について、類似の

河道蛇行をしている区間を航空写真で探し出し、現地河道と3種類の実験水路との河床縦横断河床形状を比較した。図-7は、迂曲蛇行水路の場合に類似した河床形状を示した区間の例である。横断測線132.0kmと131.8km付近で左岸側が淵になった状態から、測線131.6kmから131.2kmの付近でいったん両側に流れが広がった後、測線131.0kmで再び左岸側が淵になる。そこから右岸側に流れが変化し、130.8kmでは右岸沿いに淵が現れている。

9. おわりに

蛇行1波長に3個以上の砂礫堆が存在する迂曲蛇行水路の実験によって、現地河川の蛇行の激しい状態を再現することができた。砂礫堆の形態を相似させた小規模な水路での実験の有効範囲の広がりが確認された。

なお本研究の遂行にご助力いただいた岩手大学農学部三輪研究室専攻生の上小林達弥氏及び佐々木和成氏、澤田貴司氏、白沢友紀氏に謝意を表する。

【引用文献】

- 木下良作：石狩川河道変遷調査、科学技術庁資源局資料第36号、1961.



図-6 北上川における河床形状との比較
(都南大橋付近航空写真H.13撮影、距離標130.8-132.0km区間の横断図(H.5年測量))

