

女型と男型蛇行形状における流れ特性の研究

FLOW CHARACTERISTICS ON FEMALE AND MALE TYPE RIVER MEANDERING

北海道大学大学院工学院	○学生員	田中梢 (Kozue Tanaka)
北海道大学大学院公共政策大学院	フェロー	清水康行 (Yasuyuki Shimizu)
北海道大学大学院工学研究科	正員	山口里実 (Satomi Yamaguti)
北海道大学大学院工学院	学生員	岩崎理樹 (Toshiki Iwasaki)
北海道大学大学院工学研究科	正員	田中岳 (Gaku Tanaka)
北海道大学大学院工学研究科	正員	木村一郎 (Ichiro Kimura)

1. はじめに

蛇行流路の発達過程に関する研究は古くから河川工学の分野において盛んに研究が行われてきた。特に理論的研究が Ikeda・Parker・Sawai¹⁾や Tubino・Seminara²⁾らによって精力的に行われ、河岸侵食や湾曲による二次流をモデル化することによって蛇行の発生および発達現象を合理的に説明している。しかしながら、未だ蛇行流路の発達過程を定量的に解明するには至っておらず、その発達現象には未解明な課題が多く残っている。その一つと

して、蛇行流路における湾曲部の形状に関する課題が挙げられる。写真-1 および写真-2 はそれぞれロシアのオモロイ川(река Ом оной)とパプアニューギニアのフライ川(fly river)に見られる蛇行流路である。二枚の写真を比べるとわかるように、オモロイ川では湾曲部が滑らかであるのに対してフライ川では鋭く折れ曲がっている。イリノイ大学の Gary Parker は、著者らと共同で行ったセミナーの中で前者(写真-1)を女型および後者(写真-2)を男型と呼び、低平地の河川において写真-2 のような折れ曲がる蛇行形状が見られることを示唆した(以下本論文では湾曲部が滑らかな河道を女型、折れ曲がるような河道を男型とする)。従来このように蛇行形状を区別し検討した研究は著者らの知る限りでは皆無である。しかしながら、女型と男型の違いが現れるメカニズムを明らかにすることは蛇行の発達現象を定量的に解明するためにも欠かせない課題である。

写真-3, 4 は、北海道の釧路湿原を流れる釧路川である。釧路川では同一河川であっても女型の蛇行形状が見られる領域と男型の見られる領域が存在している。著者ら⁴⁾はこれまで女型と男型の河道形状の異なる河川について、平面形状の特徴をスペクトル解析やヒストグラム、フラクタル性といった方法により示してきた。本研究では、蛇行形状の女型と男型の流れ特性の違いを明らかにするために、まず女型と男型の形状が見た目に明確に異なる釧路川を対象として現地測量を行い、それぞれの地形形状及び流れの特性について検討を試みた。

2. 女型と男型について

前章で述べたように湾曲部で異なる蛇行形状が存在し、滑らかに湾曲する蛇行形状を女型、鋭く折れ曲がっている蛇行形状を男型と呼ぶ。男型の蛇行形状はあまりなじみのないように思われるが、国内にも男型河道は存在する。写真-3, 写真-4 は北海道の釧路湿原を流れる釧路川である。また写真-3, 写真-4 でわかる通り、女型と見られる蛇行形状、男型と見られる蛇行形状両方が混在する河川もある。

一般的な蛇行流路は、内岸側が浅く堆積傾向にあり、外岸側が深く侵食傾向にあるという特徴を持つ。これにより内岸側が堆積して陸地化が進み、外岸側が侵食されていくため蛇行は外岸方向へと発達する傾向にある。また湾曲部では遠心力の影響を受けて第一種二次流という

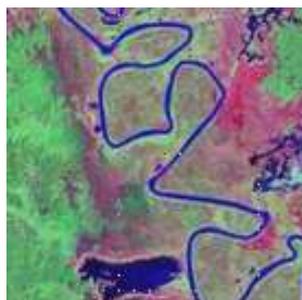
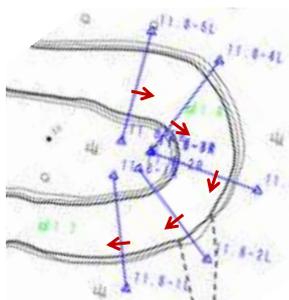
写真-1 オモロイ川(女型)³⁾写真-2 フライ川(男型)³⁾写真-3 釧路川(女型部分)³⁾写真-4 釧路川(男型部分)³⁾

図-1 KP11.8 付近の測線

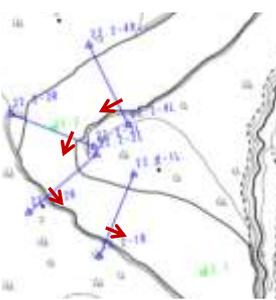


図-2 KP22.2 付近の測線

鉛直断面内の流れが発生し、蛇行の成長を助長していると考えられている。主流線は湾曲部においては外岸側に寄る傾向がある。しかしこれらの特徴は男型と女型で大きく異なるものと予想される。そこで本研究では、釧路川を対象として、蛇行流路の特徴である横断形状や流速分布が女型と男型でどのように異なるのかを測量し検討した。

を得て、2010年8月18日に釧路川の調査を行った。調査区間のうち女型と見られる湾曲部を含む KP11.8 付近(図-1)と、男型と見られる湾曲部を含む KP22.2 付近(図-2)の結果について考察するものとした。KP11.8 付近には5測線、KP22.2 付近には4測線について調査を行った。調査地点に ADCP(超音波ドップラー多層流向流速計)及び GPS 測量機を用いて、流量、3次元流速分布、河床形状、水深を測定した。

3. 釧路川現地調査と数値計算について

3.1 調査概要

(株)北開水工コンサルタントと釧路開発建設部の協力

3.2 計算概要

調査で得られた結果では断片的であり、調査結果だけ

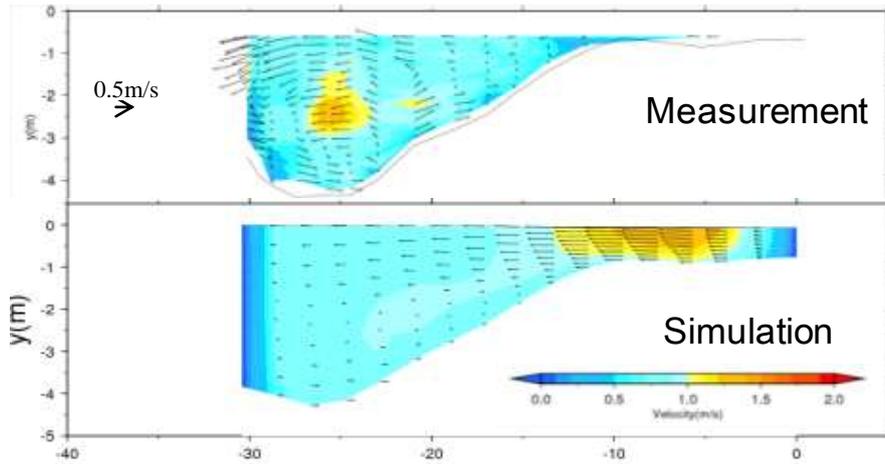


図-3 測線 11.8-3(女型)の流下方向流速コンターと横断面流速ベクトル

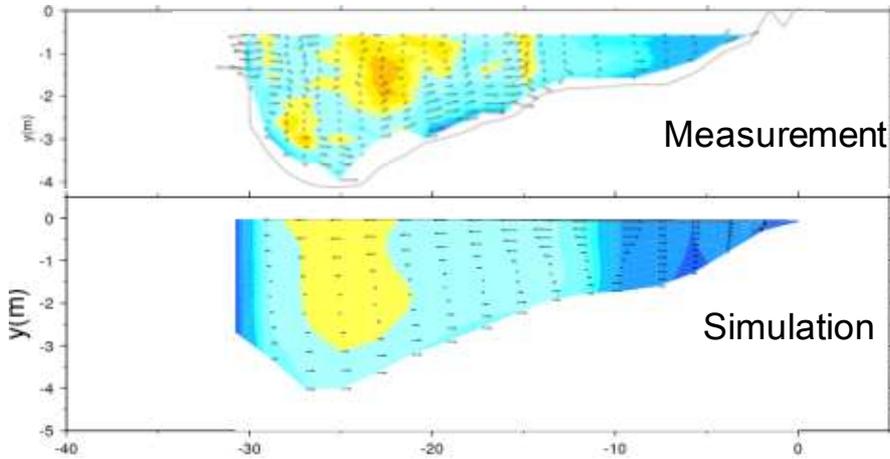


図-4 測線 11.8-2(女型)の流下方向流速と横断面流速ベクトル

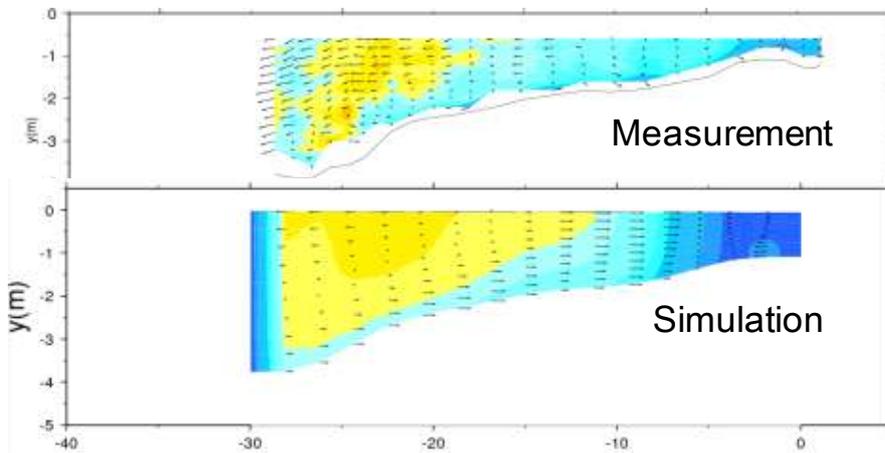


図-5 測線 11.8-1(女型)の流下方向流速と横断面流速ベクトル

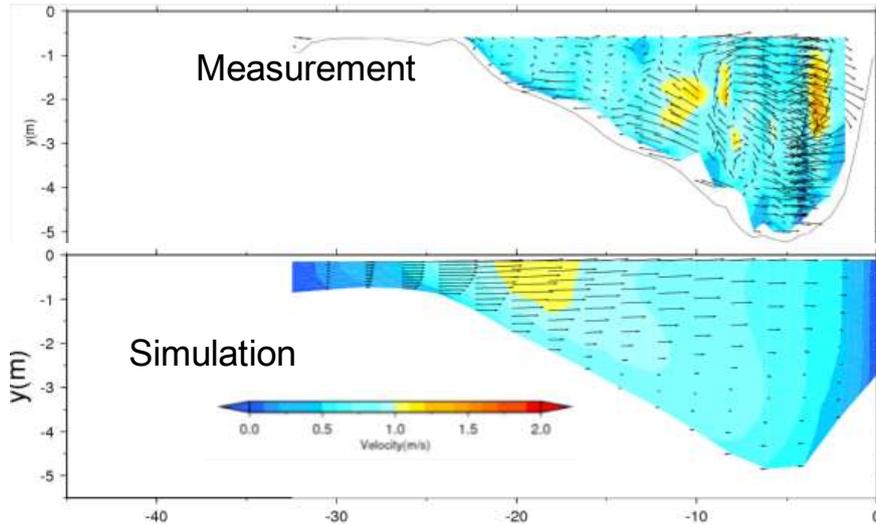


図-6 測線 22.2-2(男型)の流下方向流速と横断面流速ベクトル

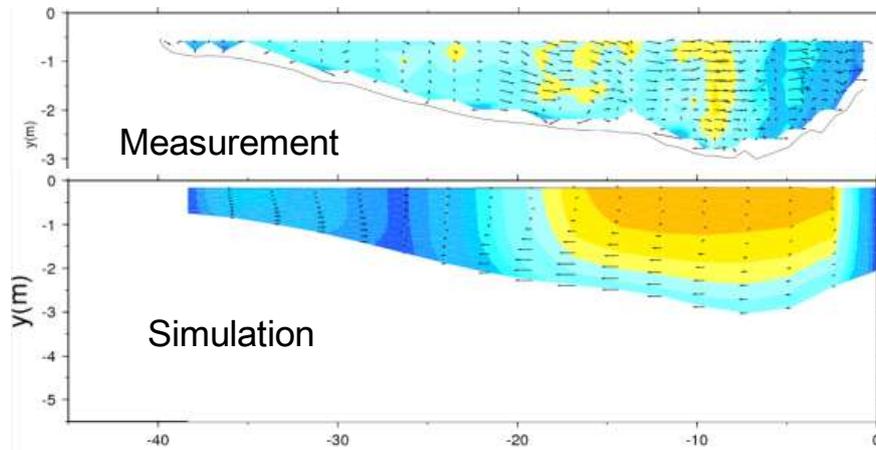


図-7 測線 22.2-1(男型)の流下方向流速と横断面流速ベクトル

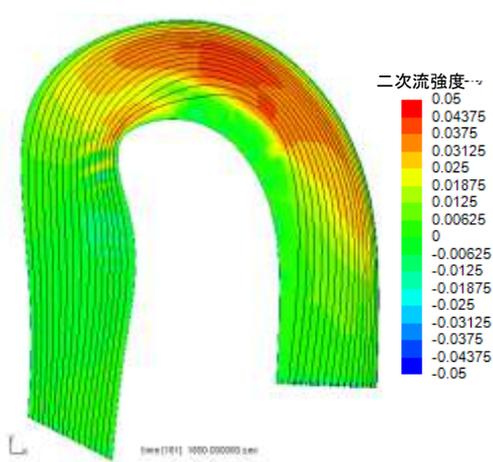


図-8 KP11.8(女型)付近の二次流強度と流線

では蛇行形成に影響を与えていると考えられる流れを詳しく知ることは難しい。また経時変化を追うことも難しい。そこで測量により得られた河床形状の下で数値計算による検討も行った。計算は木村ら⁹⁾によるモデルを使用した。このモデルは湾曲による二次流の影響を考慮した平面二次元モデルである。調査より得られた水理量を計算に用いた。

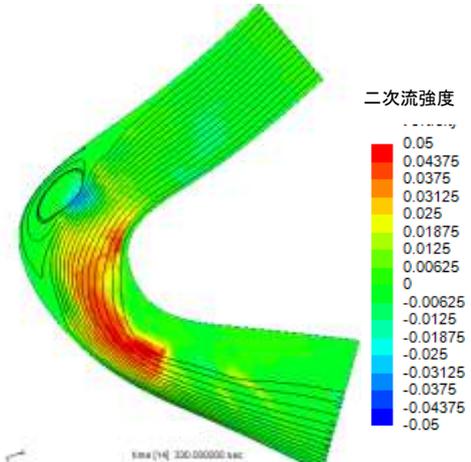


図-9 KP22.2(男型)付近の二次流強度と流線

4. 調査結果と計算結果の検討

4.1 調査流量

調査日 8 月 18 日での流量は表-1 の通りであった。なお、KP11.8 より少し下流側に位置する岩保木観測所での 2008 年度年平均流量は $36.98(\text{m}^3/\text{s})$ 、豊水流量(95 日流量)は $40.57(\text{m}^3/\text{s})$ であるのに対して、調査当日の流量は $59.347(\text{m}^3/\text{s})$ と通常時よりも大きい流量であり、ほぼ川岸の高さ近くまで水位があがっていた。これは前日ま

表-1 各測線での観測流量

測線 (KP)	流量 (m ³ /s)	測線 (KP)	流量 (m ³ /s)
11.8-1	58.600	22.2-1	55.075
11.8-2	60.433	22.2-2	53.069
11.8-3	59.394	22.2-3	53.633
11.8-4	55.092	22.2-4	49.514
11.8-5	62.062		
区間平均	59.116	区間平均	52.823

での降雨の影響であり、流量の規模から考えて河道形状が形成される支配的な流量に近い規模であったのではないかと考えられる。

4.2 水深と流下方向流速について

(1) 女型と男型の調査結果比較

図-3 から図-5 に測線 11.8-3 から 11.8-1 の、図-6 と図-7 に測線 22.2-2 と 22.2-1 の観測結果と数値計算結果を横断面図で示す。コンターは流下方向流速であり、ベクトルは横断方向の流速の大きさを示している。

女型(図-3 から図-5)と男型(図-6 と図-7)の河床高を比較すると、女型の最深部が平均的に水面から 4m 前後であるのに対して、男型の最深部は測線 22.2-2 では 5m、測線 22.2-1 では 3m と急激に変化していることがわかる。よって女型と男型では河床形態の特徴が異なることが明らかとなった。

横断方向流速について比較すると、図-3、図-4 のように女型では明確な二次流が表れるのに対し、図-6 と図-7 のように男型では二次流とは異なる複雑な流れが発生している。また女型(図-3、図-4)では水面よりも少し深い位置に流速のピークが現れる Velocity Dip も明確に見られるが、男型(図-6、図-7)では流速の早い部分がまばらに分布している。以上から、鉛直流速の観点でも女型と男型には明確な違いがあることが示された。

(2) 調査結果と計算結果の比較

女型河道(図-3 から図-5)では、断面にずれなどがあるものの、外岸側が速くなる傾向や流速の大きさは似た傾向を示している。また図-4 では Velocity Dip のような形も計算で再現できている。しかし男型河道(図-6 と図-7)においては、横断方向流速の向きや主流方向流速の位置、大きさなどの傾向が再現されていない。前項でも述べたように、男型河道では二次流とは異なる流れが発生していると考えられる。

4.3 二次流強度と流線

図-8 に KP11.8 付近(女型)、図-9 に KP22.2 付近(男型)の二次流強度と流線の計算結果を示す。図-8 (女型)では二次流強度の大きい箇所が幅広く分布しているのに対して、図-9 (男型)は狭い範囲に集中している。

また、流線についても図-8(女型)では蛇行に沿うように分布しているのに対し、図-9(男型)では一部に集中しており、水衝部を持つような流れになっていることがわかる。さらに、図-9(男型)では湾曲部外岸側に剥

離渦が生じていることがわかる。

この流れの特性から、女型河道では蛇行部において外岸の河岸侵食が流下方向にほぼ一様に生じると予想される。一方、男型河道では水衝部において局所的な河岸侵食が生じると予想される。このようにそれぞれ河岸侵食過程が異なることによって女型と男型の蛇行形状が維持されていると考えられる。

5. おわりに

本研究では、河道の蛇行部において滑らかに湾曲する形状を女型、鋭く折れ曲がっている形状を男型と呼び、女型および男型形状における蛇行流の特性の違いを明らかにするため、釧路川において測量を行い蛇行流の特性を検討した。本研究で以下のことが明らかになった。

- (1) ADCP による測量結果では女型河道では湾曲部において明確な二次流の発達が見えられたが、男型河道では明確な二次流は捉えられなかった。
- (2) 女型では全体的にほぼ河道の蛇行に沿った流れが見られるのに対して男型では流れが直線的であり外岸に対して明確な水衝部が見られた。

このように、女型と男型における流れには異なる特性があることが示された。

本研究では、女型と男型蛇行の発達メカニズムの違いを明らかにするまでには至っていないが、両者の蛇行流の特性が異なる傾向を示すことを見出した。また蛇行形状を女型と男型に区別して考え、蛇行発達のメカニズムを解明することは有用であるということが示された。本研究で報告した観測以後に新たにマルチビーム測深機を用いた河床の詳細観測を行っており、この観測結果についても今後検討を行う予定である。

謝辞： 本研究の現地観測は(株)北開水工コンサルタントの方々のご厚意により実現いたしました。釧路開発建設部治水課の方々には調査にご協力いただき、貴重な資料をいただきました。著者らと同研究室の廣瀬氏には論文執筆の際にご協力いただきました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) Ikeda.S, G.Parker and Sawai.K : Bend theory of river meanders. Part 1. Liner development, *J. Fluid Mech.*, vol.122, pp.363-377, 1981.
- 2) M.Tubino and G.Seminara : Free-forced interactions in developing meanders and suppression of free bars, *J. Fluid Mech.*, vol. 214, pp. 131-159, 1990.
- 3) google map (<http://maps.google.co.jp/>)
- 4) 田中梢, 田中岳 : 低平地湿地における蛇行河川の形状, 土木学会北海道支部 第 66 号, B-12, 2010.
- 5) 木村一郎, 音田慎一郎, 細田尚, 清水康行 : 開水路側方キャビティ内二次流とその浮遊砂輸送への影響を再現する水深積分モデル, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1075-1080, 2009 年.