

河道幅が漸縮する湾曲部における流水流路幅の経年変動

Study on fluctuations of log chute width in a curved channel with channel width narrowing

北見工業大学大学院
北見工業大学工学部
北見工業大学工学部
北見工業大学大学院

学生員 北尾智紀(Tomonori Kitao)
正会員 ○早川 博(Hiroshi Hayakawa)
非会員 佐藤伸夫(Nobuo Satoh)
学生員 松原健也(Kenya Matsubara)

1. はじめに

釧路川では自然再生事業の一つとして直線化された河道を蛇行河川へ戻す旧川復元事業が茅沼地区で実施され、2010年2月に河道切替え、2011年に直線河道の埋戻しが完了した¹⁾。川幅80mの直線河道を幅30mの蛇行旧河道へ切替える流入部の湾曲河道では、当初、湾曲外岸沿いの河床洗掘が進み、そこに主河道(みず道)が形成されると想定していた。ところが、切替え後の状況は外岸部が埋め戻され、水流路幅を徐々に狭めながら蛇行旧河道にすり付く自律的な安定河道の様相を示している。また、この湾曲河道部は川幅が旧川河道部で半減するため、容易に河道溢水が起これ、洪水出水時の浮遊土砂を氾濫原に沈砂・運搬する役割を果たしている。将来的な河道維持管理を考える上で、今後とも自律的に安定河道に至るのか、または河道溢水による影響はないのか、などを検討する必要がある。

したがって、本研究の目的は川幅が漸縮する湾曲河道部における流水流路幅の経年変動を調べ、その流路形状の形成メカニズムを解明することである。

2. 茅沼地区旧川復元事業の概要

釧路湿原の源流部に位置する標茶町茅沼地区は、釧路川が激しく蛇行し、出水により氾濫の危険があることから1973年に河道を直線化する新水路工事に着工し、1980年に完了した。この工事により地下水位が低下し、洪水の氾濫頻度を低下させると共に、川の周辺が乾燥化して農地、牧草地として利用できるようになったものの、その反面、雄大な蛇行した景観が見られなくなり、単調な直線河道の風景となってしまった。また、直線化した河道は旧川よりも川幅を拡幅したため、氾濫頻度は減少したものの、下流の湿原内への土砂流入量が増加し、湿原の乾燥化の一因と考えられた。そこで、湿原への影響を軽減し、河川本来の生態系の保全と回復、復元を目標に復元事業が計画され、2006年から事業が開始され、2011年3月に完了した¹⁾。写真-1は事業完了直後の2011年融雪出水による河道溢水の状況で、右岸の氾濫原を濁水が流下している。

本研究は写真-2に示す旧川へ流入する湾曲河道部における流水流路の現地調査を基に、室内実験等で将来的な経年変化を明らかにする。

3. 旧川流入湾曲河道部の状況

茅沼地区旧川復元事業は写真-2に示す距離標 KP33.4 地点において蛇行する旧川へ切り替え、KP32.0 で再び旧川



写真-1 旧川復元区間の融雪出水時(2011年4月25日)

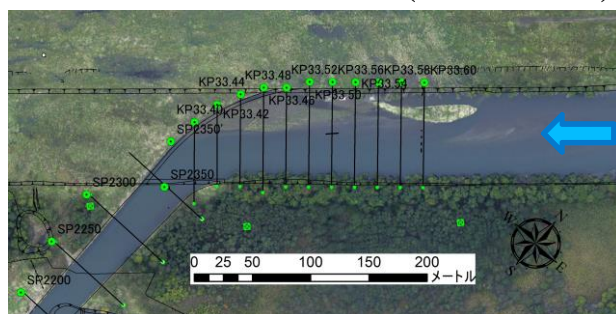


写真-2 流入湾曲部 (KP33.4 付近, 2013年9月撮影)

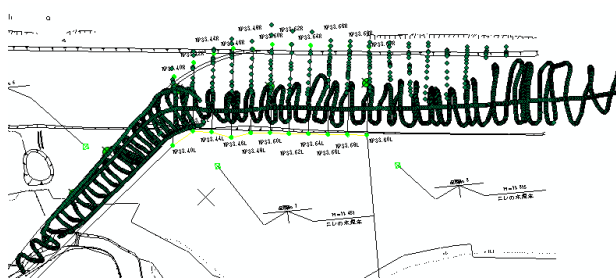


図-1 ゴムボートによる調査航跡 (2012年10月調査時)

から本川に戻る復元事業²⁾である。旧川への通水は2010年2月に実施され、通水直後の2010年3月と通水前の2009年10月に本川・旧川の流況調査が実施されている²⁾。本研究では写真-2に示す旧川へ流入する湾曲河道部に注目し、2012年10月、2013年8月と10月、2014年10月に現地調査を実施した結果を以下に示す。

3.1 調査方法と調査結果

現地調査は写真-2に示す本川が KP33.4 から KP33.6 (2013年10月は KP33.74 まで延長) の200m区間、旧川が工事測点 SP2200 から SP2350 の150m区間で実施した。この区間は釧路開発建設部の調査区間²⁾と重複するように設定している。陸域の調査は本川区間を20m間隔でトータルステーションを用いて河道横断測量した。本川と

旧川の流路区間は船外機付ゴムボートに超音波流速計 ADCP (Teledyne RD Instruments 製 ADCP Stream-Pro, 最大測定レンジ 6m) と DGPS (Hemisphere A100) を搭載し, DGPS で航路位置を確認し, 流路に直交させ左右ジグザグに航行しながら下流から上流へと ADCP による水深 h と流速 V の移動観測をした (図-1 参照). ADCP の計測間隔は約 1 秒で, 層厚 10cm 間隔で流速を計測し, 河床高 z は複数地点で観測した水位をもとに任意地点の水位 H を補間し, 任意地点の河床高 z ($z = \text{水位 } H - \text{水深 } h$) を算出した. なお, 2013 年 10 月, 2014 年 10 月の調査では RTK-GPS を用い, 測定位置と水位を ADCP に同期させて河床高を求めた.

3.2 流入湾曲河道部の河床高経年変化

流入湾曲河道部において, 2010 年 3 月に旧川へ切替えて通水した直後から 2013 年 10 月までの河床高の経年変化は以下の通りである.

河道を旧川に切替え通水した直後の 2010 年 3 月の状況は, 図-2 に示すように全体的に河床高の変化が小さい. KP33.50 付近の砂州は河道を切替える前から存在していた砂州であり, 右岸から中央へ張り出した形状をしている. 流水部は左岸内岸に沿って流下し, 本川を締め切った湾曲部外岸が水衝部となって流れを旧川へと導いている. この外岸水衝部前面では, まだ, 極端な河床洗掘は見られない.

図-3 は旧川へ河道を切替えてから約 2 年を経過した状況である. 図-2 と比較すると, 右岸の砂州が全体的に堆積しながらやや下流へ移動し, 湾曲部外岸から旧川右岸沿いの河床洗掘が進んでいる. 一方, 湾曲部内岸は堆積傾向にある. その結果, 流水部は砂州前縁に沿って流下し, そのまま湾曲部外岸に当たって流れを旧川へと変えている. この時, 本川側で約 40m の流路幅が旧川の川幅 30m に摺りついている.

2010 年 3 月に河道を切替えてから 2011 年 3 月までに本川の埋め戻し工事が完了し, 併せてこの湾曲部で右岸氾濫原への溢水を促すために右岸高を切り下げが行われた. この地点が溢水する水位は上流 KP45 に位置する標茶水位観測所 (国土交通省) の観測水位³⁾との対応関係から, 2011 年右河岸切り下げ後は標茶観測所の水位が 19.2m 以上で溢水しており, 2011 年は 10 数回, 2012 年は融雪出水期と晩秋 11 月が長期間に渡って溢水した. この標茶観測所での水位 19.2m を流量に概算すると約 50 m^3/s であり, オソベツ川などの支流からの流入量を考慮すると, 溢水流量は約 100 m^3/s と推定できる. 河道切替え前の本川直線河道での河道満杯流量は約 150 m^3/s であり, 溢水頻度が高くなっている. また, 標茶観測所での水位 20.5m は約 160 m^3/s であり, 湾曲部では 250 m^3/s を超える流量規模と推定される. したがって, 図-3 に示す河道の状況は, 2012 年の融雪出水の影響を反映している.

図-4 は更に 1 年後の 2013 年 10 月の状況である. 標茶観測所の水位データから, 2013 年の融雪出水は 4 月 7 日に 2012 年を超える約 250 m^3/s の出水が観測されており,

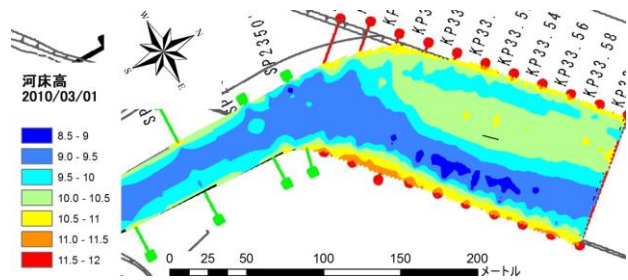


図-2 河床高平面図(2010 年 3 月, 釧路開発建設部河床高データ提供)

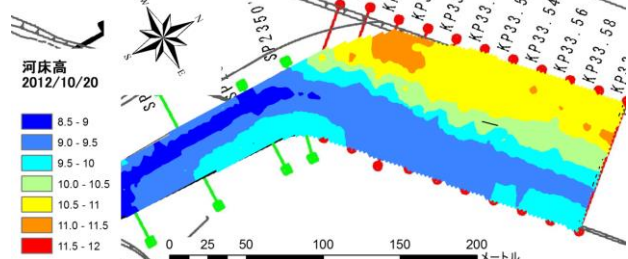


図-3 河床高平面図(2012 年 10 月)

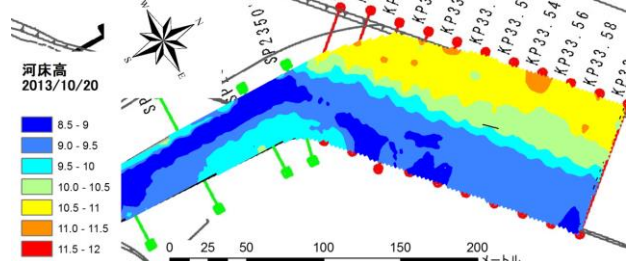


図-4 河床高平面図(2013 年 10 月)

湾曲部では 350 m^3/s を超える規模と推定される. また, 9 月 16 日にも標茶観測所で約 300 m^3/s を超える流量が生じ, 湾曲部では 500 m^3/s に迫る出水となっているものの, 河床高は前年と比べて極端に変化しておらず, KP33.50 付近の右岸砂州もフラッシュされることなくその形状を保ち, 流水部がやや河床低下しただけであった. 流水部の川幅も 2 度の大きな出水を経験したにもかかわらず前年と大きく変わらず, 現状の川幅は藤田⁴⁾が指摘した低水路河道において川幅が流況に応じて自律的に縮小するメカニズムと類似している. つまり河道が自律的に流路幅を決め, 安定河道を形成する機能が, 川幅が漸縮する湾曲河道部においても生じていると考えられる.

2014 年 10 月の状況は, KP33.50 付近の右岸砂州が固定化され, その下流の右岸湾曲部の堆積が進行している.

3.3 横断形状の経年変化

横断面図は, KP33.40~KP33.60 については旧川切替え前 (2009 年 10 月), 切替え直後 (2010 年 3 月), 2012 年 10 月と 11 月, 2013 年 8 月と 10 月の 6 回の調査結果を示す. なお, 本研究で調査した 2012 年 10 月と 2013 年は陸上調査で得られた結果だけを示す. なお, 北海道開発局釧路開発建設部の調査データは流水部も河床高を測量している. KP33.40~KP33.44 の区間は旧川への河道切替えによって河道を埋め立て, 川幅が変化している. KP33.42 の

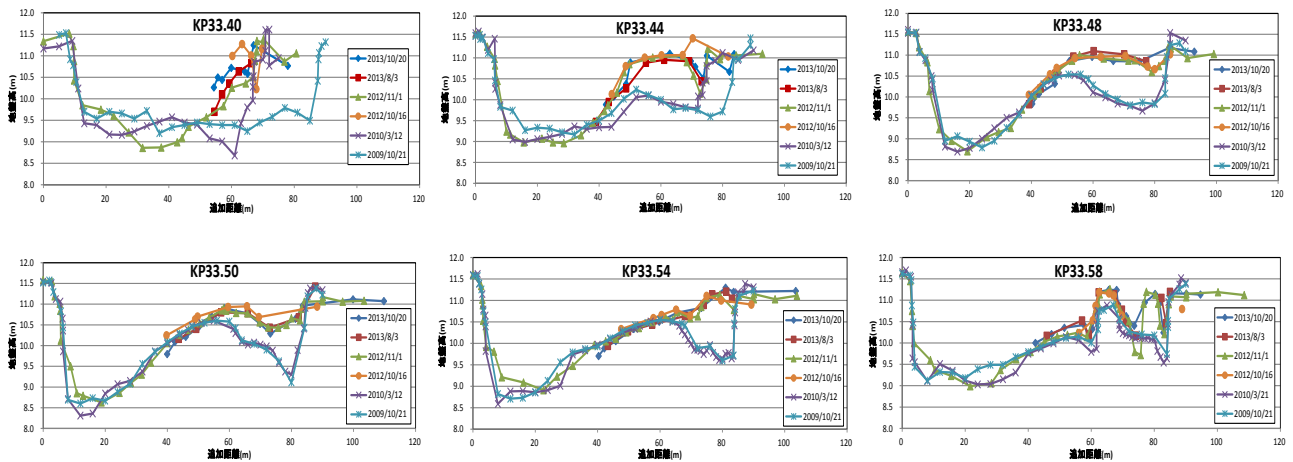


図-5 横断面の経年変化 (KP33.40～KP33.58)

横断面は河道切り替え直後から約 20m も川幅が狭くなり、右岸砂州が上流から移動・堆積している。同様に KP33.44～KP33.54 の右岸区間でも 2012 年 10 月までに堆積が進んでおり、右岸砂州が移動・堆積して状況が理解できる。前述したように 2013 年は融雪出水と 9 月に中規模 (400 m³/s 程度) 出水を経験したものの、横断形状は大きく変動していない。藤田⁴⁾は川幅縮小メカニズムにおいて、比較的短時間に低水路内の一部に土砂が堆積して新たに形成された河岸や高水敷が川幅縮小のきっかけとなることを指摘している。本研究で対象とした湾曲部においては、既に存在していた右岸砂州がこれに相当し、川幅縮小メカニズムの必要条件である急な河岸横断勾配の条件を砂州前縁部が満たし、砂州頂部の標高も平水位の変動幅内にあるなど、まさに川幅を縮小させる方向に進んでいる。

以上、本研究で調査した範囲では、流入湾曲部の河床変動は藤田⁴⁾の川幅縮小メカニズムと同じ形成過程を示すことが明らかとなった。

4. 歪模型実験による検討

水理実験は釧路川茅沼地区の旧川復元区間の湾曲河道部 KP33.40～KP34.00 (本川区間) と SP2200～SP2350 (旧川区間) を原型とし、湾曲河道部周辺の安定河道の形成条件を検討するため、溢水を前提とした原型河川の河床変動を再現・検証する。

4.1 実験水路の概要

模型水路は可変勾配ステージ式水路 (全長 12m, 幅 1.2m) の上に、建築用断熱材を加工して製作した。実験室の都合上、原型は左岸方向に旧川が蛇行しているのに対して、模型は写真-3 のように右岸方向に蛇行させた。また、本研究では実験スペースの制約もあり、原型と模型の水平縮尺と鉛直縮尺の比が異なる歪模型水路実験手法⁵⁾を導入した。本手法は移動床河川の河床変動を検討する際に、河床形態の領域区分を支配する無次元パラメータ、例えば無次元掃流力 τ_* や水路幅 B と水深 h の水路幅・水深比 B/h を原型と模型とで一致させることで、河床形態の再現性に注目した手法であり、流れの相似条件

(フルード則) は満足していないものの、良好な再現結果が得られる⁶⁾。

本研究では黒木・岸の中規模河床形態の領域区分図⁷⁾の無次元パラメータ、無次元掃流力 τ_* (縦軸) と $Bl^{0.2}/h$ (横軸) を一致させる相似条件を適用した。実験スペースの制約条件から、川幅 B の水平縮尺比 $B_R = B_P/B_M = 200$ とすると、原型の本川直線区間の川幅 B_P が $B_P = 80$ m より模型の川幅 B_M は $B_M = 0.4$ m となる。ここで、添え字 R は縮尺比である。河床材料は砂を用い、 $s_R = s_P/s_M = 1.0$ とおき、原型の粒径 d_P は河床材料調査結果から砂州表層の平均粒径 $d_P = 2$ mm とし、模型の粒径は河床波に砂澱を発生させない $d_M = 0.59$ mm (4 号珪砂) を実験に用いると、 $d_R = 3.39$ となる。歪模型における水平縮尺 B_R と鉛直縮尺 h_R の比、歪比 $n (= B_R/h_R)$ は、水路勾配の縮尺比 I_R の逆数 $n (= 1/I_R)$ であるので、歪比 n は $B_R = 200$, $s_R = 1.0$, $d_R = 3.39$ を与えると、歪比 n は $n = 29.9$ となる。したがって、原型の河床勾配 I_P が $I_P = 1/1893$ なので、模型水路の河床勾配 I_M は $I_M = 1/63.3$ となる。

以上の相似条件から、流量の縮尺比 Q_R は次式となる⁵⁾。

$$Q_M = s_R^{-1/6} \cdot n^{19/30} \cdot B_R^{-5/2} \cdot Q_P \quad (1)$$

いま、原型河川の河道満杯流量 Q_P を $Q_P = 150$ m³/s において模型流量 Q_M を算定すると $Q_M = 2.28$ l/s となる。予備実験によって粒径 $d_M = 0.59$ mm の移動床水路の粗度係数 N_M を $N_M = 0.0137$ と求め、また、原型の釧路川低水路河道の粗度係数 N_P が $N_P = 0.025$ に設定されている⁸⁾ので、この条件から水深を求め黒木・岸の領域区分図にプロットすると、両者は完全に一致しないものの、単列砂州領域のほぼ同じ場所に位置する。相似則から両者は一致することが望まれるが、歪模型実験では流れのフルード相似条件を満たしていないので、この程度の差は許容範囲として実験を進める。

4.2 実験条件

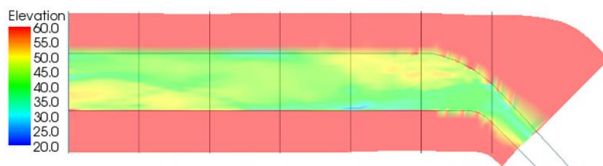
茅沼旧川復元事業区間は、直線河道区間 (KP32.0 から KP35.0) の河道満杯流量が $Q_P = 150$ m³/s 相当であり、上記の歪相似則で求めた模型流量 $Q_M = 2.28$ l/s を与えた実験結



写真-3 歪模型水路の全体

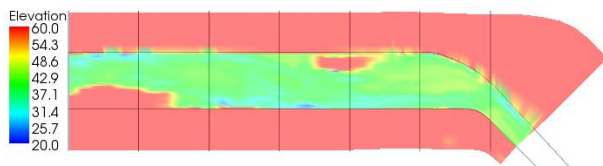


写真-4 直線水路実験



$Q_P=30 \text{ m}^3/\text{s}$ 相当流量

図-6 移動砂州を配置した場合の河床高



$Q_P=30 \text{ m}^3/\text{s}$ 相当流量

図-7 固定砂州を配置した場合の河床高

果が写真-4 である。この実験は旧川への切替え前の直線河道における河床形態を再現するために実施した実験で、実験から平均水深 h_m は $h_m=1.2 \text{ cm}$ であり、逆算した粗度係数 N_M は $N_M=0.0137$ となった。この水理量から領域区分図の無次元パラメータを算出してプロットすると、単列交互砂州の範囲に位置し、模型水路においても写真-4 のような単列交互砂州が形成されることが確認できた。

前節の現地調査結果から、湾曲部右岸の砂州の存在 (KP33.50) が湾曲部の河床変動、特に流水部の川幅を決定に影響していることが指摘された。したがって、実験は初期河床を平坦とした状態から通水するのではなく、予め湾曲部の直上流に交互砂州を形成・配置した状態から実験を開始した。本実験では、現地河川と同じく湾曲部右岸 (本実験では左岸) に砂州が存在する条件で、流量規模に応じて湾曲部の流路がどのような挙動を示すのかを実験で確かめた。

4.3 実験結果と考察

図-6 は左岸に砂州がある状態から、平常時の流量を長時間通水した3ケース (原型流量 $Q_P=30, 35, 40 \text{ m}^3/\text{s}$, 模型流量 $Q_M=0.46, 0.53, 0.61 \text{ l/s}$) の2時間後の河床の状況である。図-6 は $Q_P=30 \text{ m}^3/\text{s}$ の2時間後の状況であり、現

地の河道と類似性が見られ、河道が自律的に川幅を調整しながら安定的な河道を形成していることが伺える。流量を増加させていくと、流路の分岐・合体が活発になり、予め配置した砂州が消滅してしまった。

そこで、次に現地の KP33.50 付近の砂州が中規模出水によっても残存していることを考え、その砂州を固定化した実験を行った。図-7 は KP33.50 付近に固定砂州を配置した場合の河床変動である。原型流量を $Q_P=30 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合は内岸沿いに流れが集中して河床が低下し、その流路幅も狭いが、流量増加とともに固定砂州前面まで流路幅が広がり、現地との類似した状況が再現された。したがって、現地の湾曲部上流に位置する砂州の存在が流路の形成や更には流路幅を規定することが考えられる。

5. おわりに

本研究は2010年度に事業完了した釧路川茅沼地区旧川復元事業の事後評価モニタリングの一環として、旧川へ河道を切替える湾曲部における河道河床変動に注目した。流入湾曲部では直線河道の川幅が徐々に縮小し旧川の河道幅に摺り付く自律的な安定河道の様相が観測されていた。この状況は藤田⁴⁾が言及した、拡幅した低水路河道において川幅が流況に応じて自律的に縮小するメカニズムと類似している。本研究ではこの藤田の考えを参考にして、川幅が漸縮する湾曲河道部において流況の経年変化によらずこの河道幅を維持し続ける自律的な安定河道が形成されるか今後とも注視していく予定である。

謝辞：

本研究の一部は(一財)河川財団河川整備基金 25 年度助成事業の支援を受けている。記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 釧路湿原自然再生協議会旧川復元小委員会：第14回旧川復元小委員会資料－茅沼地区の工事完了について、http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/kasen/kushiro_wetland/pdf/rest/014/rest14_01.pdf, 2011.
- 2) 釧路開発建設部：釧路川河川水辺の国勢調査業務、第VI編茅沼地区河川流況調査報告書、2010.
- 3) 国土交通省河川局：水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/>, 2014.
- 4) 藤田光一：河道セグメント2における川幅縮小のメカニズムと予測技術、2007年度(第43回)水工学に関する夏期研修会講義集Aコース、土木学会水工学委員会・海岸工学委員会、pp.A-7-1~20, 2007.
- 5) 内島邦秀・早川博：交互砂州河床河川の移動床歪模型の相似則に関する研究、土木学会論文集、No.479/II-25, pp. 71-79, 1993.
- 6) 早川博・宮本大：岩床河川における瀬と淵の再生に関する研究、河川技術論文集、第15巻、pp.219-224, 2009.
- 7) 黒木幹男・岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文報告集、第342号、pp.87-96, 1984.