蛇行河川を直線化した区間の河床低下が平衡状態に達した後の

河道再蛇行への動き

Study on re-meandering river channel after reached equilibrium on riverbed degradation in section of the straightened river channel

北見工業大学大学院	学生員	〇松原健也(Kenya Matsubara)
北見工業大学工学部	正会員	早川 博(Hiroshi Hayakawa)
北見工業大学大学院	学生員	北尾智紀(Tomonori Kitao)

1. はじめに

沖積地蛇行河川では、蛇行河道の直線化によって治水 安全度の向上と共に、地下水位の低下をもたらすために、 1960年代から盛んに農地開発が進められた. 直線化した 河道は当初、河床勾配が急となるために河床低下が進む ものの、次第に河床低下も落ち着き、近年は河床縦断形 も平衡状態に達している.一方、河床が動的に安定した 直線化された低水路では、流水の鉛直方向のエネルギー が水平方向に向かって、河岸を徐々に浸食し始めており、 写真-1に示す釧路川 KP69-KP70の左岸では 2009年から 2013年にかけて10m 以上も低水路河岸を浸食して、堤防 防御ライン 40m の約半分まで達している.

このように河床縦断形が安定した河道は本来の蛇行河 川へ戻るべく、次第に流水が左右へ振れ始めているので はないかと推察される.したがって、本研究の目的は直 線化した蛇行河川の再蛇行のメカニズムを現地調査と河 床変動解析によって明らかにすることである.

2. 釧路川の河道変遷

釧路川では、一例として**写真-1**に示す KP69-KP70 区間 の捷水路による河道改修によって直線化した河道が再び 蛇行する様相を呈している.そこで、釧路川が釧路湿原 へ流入する KP40 から KP72 区間を対象に、既存の詳細な 縦横断測量や河床材料調査資料の他、直線化する以前の 旧河道の調査データ、航空写真等も利用して、直線化し てから現状までの河道変遷を明らかにする.

2.1 釧路川の概要

釧路川は北海道東部の太平洋側に位置し、その源を藻 琴山(標高 1,000m)など屈斜路カルデラの外輪山に発し、 カルデラ湖の屈斜路湖から流れ出て、支川の鐺別川、オ ソベツ川などを合流して釧路湿原に流入し、更に久著路 川、雪裡川などと湿原内で合流して太平洋に注ぐ、幹川 流路延長 154km,流域面積 2,510km²の一級河川である.

釧路川の縦断形は図-1 に示すように下流部は勾配が約 1/3,000 の釧路湿原が広がり、中流部の支川オソベツ川の 合流点から徐々に勾配が約 1/1,200 から約 1/200 へと急に なるが、屈斜路湖へ到る上流部は一転して約 1/1,000 の緩 勾配が続き、河道は激しく蛇行している.また、下流域 は距離標 KP35付近から KP55まで勾配が約 1/400 となり、 その上流 KP65 から KP75 まで勾配が約 1/200 となる.

釧路川の流況は国土交通省水文水質データベース²⁾か ら、中流部の標茶観測所(KP46.1,流域面積 895km²)の 水位の経年変化と年最大流量を図-2 に示す.標茶観測地 点は、水位が年々減少傾向にあり、河床低下の影響を受



写真-1 調査区間の平面図 (背景写真:Google Earth, 2014 年と推定)



図-1 釧路川縦断図¹⁾



けている. 年最大流量は 1960 年の約 800(m³/s)が過去 50 年間の最大であり, 1980 年からの 30 年間は 300(m³/s)程 度を推移している.

2.2 河道縦断形の経年変化

河道平面形の経年変化に伴う河道の縦断形の経年変化 は、所管の国土交通省北海道開発局釧路開発建設部が実施した3回の大横断測量、①昭和52年(1977年)-昭 和53年(1978年)、②平成5年(1993年)-平成7年(1995年)、③平成13年(2001年)-平成14年(2002年)から算出した低水路平均河床高の河道縦断図を図-3に、また、① 昭和52年から②平成5年、あるいは③平成13年の間の河床変動量を図-4に示す.なお、①昭和52年は捷水路 事業中の箇所もあるので、ここでは②平成5年の捷水路 事業後に修正された距離標で表示している.

①昭和 52 年と比較すると、図-3 のように②平成 5 年 では KP57 より上流区間の河床低下が顕著になり、KP63 ~KP70 区間の河床低下が著しい. その河床変動量は図-4から KP66 付近で約 3m 低下している. 更に、③平成 13 年と比較すると、②平成 5 年からは大きな河床低下は見 られず、概ね 0.5m 以内の変動であった.

また,図-3 には 5km 毎の河床勾配を記し,上段が① 昭和 52 年の河道勾配,下段が③平成 13 年の河道勾配で ある.なお,河道勾配は距離標 KP間の実距離を用いて算 出した.河床勾配は下流から KP40~KP45 が約 1/1,200, KP45~KP50 が約 1/850, KP50~KP55 が約 1/520 とほぼ 変化がなく,前述の河床低下が著しい KP57~KP70 区間 では,KP55~KP60,KP60~KP65 の勾配が若干緩くなり 約 1/320 である.河床低下が最大であった KP65~KP70 の 勾配は若干急勾配になり,最後の KP70~KP75 と同じ勾 配の約 1/240 に落ち着いている.

昭和 53 年当時にまだ, 捷水路が完了していない KP57 ~KP58, KP63~KP64, KP70~KP71 区間は捷水路化後に 河床が急勾配となって, 河床低下が急増した事実に符合 している. この KP57~KP70 区間の河床低下も③平成 13 年にはほぼ平衡状態に達している.

3. 捷水路の再蛇行化

3.1 調査地点

本研究の目的とする捷水路河道の再蛇行の対象地点と して、前出の KP69.0~KP69.4 とする.前出の写真-1 は Google Earth の航空写真に、釧路開発建設部が 2013 年に 調査した平面図を重ねた図である.KP69.2 左岸の高水敷 が河岸浸食を受けている状況が確認できる.現状で、堤 防防御ラインの目安である 40m の約半分まで浸食された ため、2014 年秋に、河岸法面保全工事が施工された.こ の河岸浸食は 2010 年頃から顕著になり、その理由として、 写真-1 の平面図には河岸浸食区間の上・下流に捷水路工 事の際に護岸工が施工されたにも係わらず、実態は 2~ 3m もの河床低下が引き金となって護岸工や根固め工の破 損がみられる.河岸の法面が剥き出しの状態になると、 河岸浸食を防ぐ手立てはなく、結局、河岸浸食が堤防ま で残り 20m まで達することになる.

写真-1の対象地点は,左岸側に昭和26年(1941年)頃の 旧蛇行河川の痕跡があり,流路の移動範囲が半円状の植



図-3 低水路平均河床高縦断形の経年変化(KP40~KP75区間)



図-4 低水路平均河床高の経年変動量(KP40~KP75区間)

生で覆われている. つまり, KP69.2~KP69.6 の左岸築堤 は旧河道の堆積土に構築されているので,堤体基礎部分 は河川側から堤内地へ流れ込む浸透流を無視できず,低 水路の流れも左岸側へと偏倚し易いと考えられる.

3.2 対象区間の河岸の経年変化

本節では、対象区間(KP69.0~KP69.6)の河道状況を 詳細に検討するため、当区間を含む航空写真を検索し、 1977年~2006年の期間に撮影された高解像度の空中写真 画像データを入手した.航空写真の幾何補正,投影座標 系の位置合せ等は GIS ソフト ArcGIS 10を利用し、1977 年から 2006年までの約5年間隔の経年変化を解析した.

その結果, KP69.0~KP69.6 左岸の河岸侵食は 2000 年頃 から始まっていることが再確認できた. KP69.0~KP69.6 区間の上・下流で生じた河岸侵食は,標茶観測所の流量 規模が 300m³/s 前後であり, 2003 年 8 月洪水(標茶観測所 337m³/s)が KP69.0~KP69.6 左岸の河岸侵食を引き起こし たと考えられる. 2006 年以降,標茶観測所では 2009 年 6 月に 293m³/s, 2013 年 9 月に 318m³/s と 300m³/s 前後の洪 水が生起しており,この出水規模で 2013 年調査平面図に 示された KP69.2 左岸の河岸浸食が生じたと考えられる.

4. 河床変動解析による再蛇行化の検討

本節では前述した捷水路化した河道が再蛇行するきっかけとなる水理諸条件を検証するために、Nays2DH による 2 次元河床変動計算手法を適用し、再蛇行の可能性を検討した.なお、Nays2DH⁵⁾の詳細は iRIC の HP を参照されたい.

4.1 解析条件

1)計算格子と河床条件

数値解析による検討は、本研究で注目した KP69.0~ KP69.6の河岸侵食箇所を含む KP68.0 から KP70.8の上・ 下流区間を解析範囲とし、計算格子は図-5 に示す流下方

向に260分割、横断方向は右岸高水敷10分割、低水路20 分割, 左岸高水敷 15 分割の 45 分割とした. また, 河道 の標高データは釧路開発建設部提供の大横断測量結果を 与え、①昭和 52 年 (Case.1) と③平成 13 年 (Case.2) の 2 ケースの河床高を初期河床とし、河床低下する前後の 河道の影響を比較した.

次に,河床材料は釧路開発建設部が実施した調査デー タから,解析対象の KP68.0~KP70.8 区間の平均粒径を求 め、平均粒径 dm=25mm とした. なお、Nays2DH は混合粒 径で計算可能であるが、予備計算では計算が不安定にな って局所的な堆積・洗掘を生じたため、今回は均一粒径 のみの検討とする.

また, 低水路と高水敷の粗度係数 n は, Case.1, Case.2 共に低水路を n=0.035, 高水敷を n=0.05 と設定した.

2) 流量条件

本研究は捷水路の再蛇行の可能性を検討するため、実 現象は年時間スケールの長期間的な流量条件下で生じる 現象である. 横断方向の変動も考慮する 2 次元解析では, 通常, 日時間スケール, あるいは 1 洪水時間スケールの 計算となるので、年時間スケールの現象を日時間スケー ルの現象に置き換えるため、本研究はピーク流量を定常 流量条件で与えるか,あるいは既往洪水を繰り返し通水 する手法をとり、現象の短縮化を図った.

(1)定常流量条件

流量一定の定常流量条件は,低水路の河岸浸食を引き 起こした標茶観測所の流量規模を参考にして、① $Q=300(m^{3}/s)$, ② $Q=500(m^{3}/s)$, ③ $Q=150(m^{3}/s)$ の3ケースに ついて通水時間240時間の計算を行った.

(2)非定常流量条件

非定常流量条件は河岸浸食が顕著となった 1992 年 8 月 の標茶観測所での洪水ハイドログラフを与え、①洪水ハ イドログラフ1回の場合と、②洪水ハイドログラフ4回 の場合の②ケースで計算を行った.

3) 境界条件と初期条件

上流端の境界条件は流量に対する平衡流砂量を与え, 下流端には等流条件下の水位を与える. 今回は均一粒径 砂の条件だけなので、平均粒径 dm=25mm は掃流砂となり、



図-5 計算格子

流砂量式には芦田・道上式 のを適用した. 乱流モデルは ゼロ方程式モデル、2次流強度 N_* は $N_*=7$ とした. また、 初期水面形は等流条件から与え、初期河床高は前出の① 昭和 52 年 (Case.1) と③平成 13 年 (Case.2) を初期河床 高として、初期条件に違いを検討する.

4.2 解析結果と考察

紙面の都合で, 定常流量条件のみの結果を示す.

(1) Q=300(m³/s)の場合

河床低下する前の①昭和 52 年-昭和 60 年の横断形 (Case.1)を初期河床とした場合と河床低下後の③平成 13年-平成14年(Case.2)を初期河床とした水深の経時 変化を図-6 に示す. なお、本研究で注目した KP69.0~ KP69.6 区間の河岸浸食は KP69.4 を代表断面として河道横 断形の経時変化を図-7に示す.

図-7 から河床低下する前の Case.1 で流量 Q=300(m³/s) を通水した直後は、低水路満杯の状態で流れるが、通水 6 時間後には KP69.4 左岸地点で約 5m も浸食され, 通水 12時間後には更に 20m 近く河岸が後退している. その後 は河道幅の拡幅に伴い,河床は堆積傾向に移行するため,





t=96(hr)後の水深 初期河床:Case.1 図-6 水深の経時変化流量:①Q=300(m³/s) 初期河床: Case.2

t=120(hr)後の水深



図-7 河道横断形の経時変化図

通水後 96 時間後には約 0.5m 上昇する結果となった. 図-6 に示した河道の平面変動も通水 6 時間後には KP69.4 前 後が蛇行し始めている. 更に経過すると,蛇行が進み通 水 72 時間後に左岸堤防に達している.ただし,この地点 以外の区間では顕著な蛇行現象は見られない.

一方,河床低下後の Case.2 の場合,通水した直後は低水路の7割程度の水深で流れ,通水24時間後でも河岸浸 食の割合は少なく,低水路河岸の法肩が崩れ落ちるもの の,河床付近の河道幅は通水120時間後でも10m程度拡 幅しただけである.図-6 に示す河道の平面変動も通水 120時間まで顕著な河岸浸食箇所は見られず,一定割合 で河道幅が拡幅する結果となった.

以上,同じ流量条件でも初期河床の河床高の違いによって,Case.1 の場合は河道満杯流量となり河岸法肩部が流れの水衝部となるので横方向への河岸浸食を受け易い. 一方,河床低下した後のCase.2 の場合は,水深が河道深さの7割ほどしかなく,流れは河道内に閉じ込められて流下するため,一様な河道拡幅が生じるだけで局所的な河岸侵食は生じ難いと考えられる.

(2) Q=500(m³/s)の場合

Q=500(m³/s)を通水した場合の河道横断形の経時変化は、KP69.2 と KP69.2 の両断面は河道満杯で流れるが、 Q=300(m³/s)の場合と同様、顕著な河岸侵食箇所は見られず、一定割合で河道幅が拡幅する結果となった。

Case.1 の場合,河道満杯流量になると河岸法肩の水平 方向の河岸浸食を受け易くなるためと考えたが,Case.2 の場合は河道平面形の変化から河道満杯流量を通水して も急激な河岸浸食は生じない.河道横断図を再検討する と,Case.1 の河床低下する前の初期断面の方が KP69.6~ KP69.8 右岸の張り出しが大きくなり,Case.2 より湾曲し ていることがわかった.そのために,下流の KP69.2~ KP69.4 区間の水衝部へ流入する流れの角度がきつくな り,河岸浸食を引き起すと考えられる。

5. おわりに

我が国では,戦後の捷水路事業によって直線化された 蛇行河川が約40年の年月を経て河床低下傾向も落ち着き, 河川の縦断形状が平衡状態に達している.釧路川も中流 部の捷水路工事によって河床低下は進んだものの,2000 年以降はほぼ平衡状態にある.釧路川でも河床低下が進 行中は顕在化していなかった河岸侵食が,2000年以降, 徐々に現れ始め、本来の蛇行河川へ戻ろうとする兆しが 観測された.

本研究は捷水路によって直線化した蛇行河川が再び蛇 行河川へと遷移するメカニズムの解明を目指し,河道変 動解析を試みた.以下に得られた成果を要約すると, (1)河道の再蛇行化の要因

河床低下が落ち着いた現在,KP69.4付近左岸の河岸浸 食が進んだ要因として,当該地点に残存する大きく蛇行 した旧蛇行河道の痕跡が関係している.急激な河床低下 によって護岸根固め前面が洗掘され,河床礫層の浸透流 は旧河道側へ向かい,やがて河川流の流心も左岸側に集 中して,河岸浸食を促している.

(2)河道変動解析による再蛇行の検討

Nays-2DHによる2次元河床変動解析から,低水路の平 面線形によってKP69.4付近左岸が水衝部となって流れが 集中し,河岸浸食のきっかけとなることが示された.し たがって,KP69.4付近の河岸浸食は,旧蛇行河道の痕跡 箇所と河道線形による流れの集中が相まって生起したと 判断できる.

謝辞:

本研究は(一財)河川財団河川整備基金 26 年度助成事業 の支援を受けている.また,北海道開発局釧路開発建設 部治水課には釧路川に関する種々のデータ提供を受けて いる.記して感謝の意を表する.

参考文献

 国土交通省北海道開発局:釧路川水系河川整備計画 (国管理区間), 2008.

(http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/kasen/ iinkai/decide.htm) 2) 国土交通省河川局:水文水質データベース, 2015.

- (http://www1.river.go.jp/)
- 山本晃一:構造沖積河川学-その構造特性と動態-, 第10章河道の平面形状,山海堂,2004.
- 4) 釧路川流域委員会:第3回釧路川流域委員会資料-参 考資料編-釧路川河道変遷図,2004. (http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/kasen/iinkai/pdf/s03_12.pdf)
- 5) iRIC Project HP: Nays2DH ソルバーマニュアル, 2015. (http://i-ric.org/ja/index.html).
- 6) 芦田和男・江頭進治・中川一:21 世紀の河川学-安 全で自然豊かな河川を目指して-,京都大学学術出版 会,2008.