流路の固定化が進行した河道における 効率的な旧流路回復手法に関する検討 AN EFFECTIVE METHOD FOR RESTORING THE FORMER WATERCOURSES OF A RIVER WHERE THE WATERCOURSES ARE WELL ESTABLISHED

山口里実¹・渡邊康玄²・武田淳史³・住友慶三⁴ Satomi YAMAGUCHI, Yasuharu WATANABE, Atsushi TAKEDA and Keizo SUMITOMO

¹正会員 工博 土木研究所 寒地土木研究所 (〒060-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)
 ²正会員 工博 北見工業大学教授 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北見市公園町165)
 ³国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 (〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)
 ⁴ (株) ドーコン 水工事業本部 河川環境部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)

In recent years, on the Satsunai River, a tributary of the Tokachi River, the area of gravel dry riverbeds has been rapidly decreasing because of the invasion by riparian forests. The watercourses have concentrated into one main watercourse and many of the branched streams have already disappeared even at locations where double-row bars had existed. In this study, onsite surveys and theoretical analysis were done to clarify the characteristics of bifurcations in watercourses with double-row bars and to determine a method of selecting the optimum excavation locations for effectively restoring already closed former watercourses. It was found to clearly identify riffles and pools in the longitudinal profile of the watercourse in the Satsunai River. Excavation at locations slightly downstream of a pool, where a riffle starts to emerge, were found to be effective.

Key Words : The Satsunai River, double-row bars, longitudinal profile, bifurcations, excavations

1. はじめに

+勝川支川の札内川はかつては複列砂州による網状流路と広い礫河原が特徴的であった.しかし,近年,著しい樹林繁茂によって急速に礫河原が減少した(写真-1). 流路が固定化して一本の主流路が明確になりつつあり,既に多くの派川(旧流路)が消滅してきている^{1).2)}.

札内川では、H24年度より礫河原再生の取り組みとし て札内川ダムからの計画放流が実施されている^{1), 2)}. H24 年度放流時には、河道撹乱を目的とした樹木除去や礫河 原の造成を実施したが、効果的な撹乱は生じなかった. 一方、H23年に生じた確率規模1/20年の出水時に旧流路 周辺で大規模な樹木の流亡を伴う撹乱が見られた. その ため、流路固定化の解消・抑制には旧流路の維持が重要 であるという観点から、H25~H26年度計画放流では、閉 塞してしまった旧流路の回復手法が試行錯誤的に実施さ れている³⁾. 旧流路の回復と維持を効率的に実施する確 実な手法の確立が急務である.

本研究では、複列砂州河道における旧流路への分岐部



写真-1札内川上流部の樹林化と流路の固定化

の特性を把握するとともに、H25~H26年度に札内川で 実施された旧流路回復のための掘削試験の効果を検証す ることによって、既に閉塞した旧流路を効率的に回復さ せるために適した掘削箇所の選定手法について検討した.

2. 札内川に見られる複列砂州河道の流路特性

複数の流路が合流と分岐を繰り返しているような複列 砂州河道においては、旧流路への分岐流の消失が主流路 の固定化に大きく影響していると考えられる³ことから、 本研究では札内川を対象として旧流路とその分岐箇所を 調査し、その特性を検討した.



(1) 大規模出水時の旧流路撹乱状況

H23年出水時,旧流路沿いに樹木流亡をともなう大規 模な河道撹乱が確認された(図-1).これに対して,旧 流路跡があるにも関わらず撹乱が小規模だった箇所も確 認された(図-2).図に示した旧流路の縦断図によると, 図-2には図-1にはない流入部の高まりが見られ,旧流路 への流れが妨げられていることがわかる.この出水では, 大規模な河道撹乱はほとんどが旧流路沿いで発生してい るが,その数は少なく,多くの旧流路では撹乱が見られ なかった.このように札内川上流では,多くの旧流路が 流入部の土砂堆積によって閉塞し,高水時であっても旧 流路への流れが妨げられるために主流路の固定化と樹林 化が進行していると考えられる.

したがって、旧流路への流れを回復・維持できれば、 比較的大規模な出水時に旧流路周辺の砂州が撹乱される ことで砂州と流路の固定化が抑制または解消できる可能 性がある.本研究では、旧流路を効率的に回復・維持す ることを目的として、まず、複列砂州河道に見られる旧 流路への分岐流の特性を検討した.



写真-2 ADCP観測箇所



(2) 旧流路への分岐流量配分比に関する検討

多くの旧流路が閉塞する中で,写真-2に示す箇所では 自然に分岐流路が維持されていて,最近では2013年10月 頃に主流が流路aから流路bへと切り替わった.現在,流 路aは流入部の土砂堆積によって平水時には閉塞してい る状況ではあるが,融雪出水や計画放流,夏期出水等の 高水時は流路aへの流れは維持されている.流路aへの流 れが維持されれば,今後も流路の交番現象⁴⁾が維持され るものと期待できる.しかしながら,流路aへの十分な 流入の頻度が低いと植生の侵入により完全に閉塞してし まうことも懸念される.流路aへの導水を維持するのに 必要な流量規模を検討するために,分岐流量に関する観 測を実施し,その理論的な再現と予測を試みた.

a) 流路分岐箇所における現地観測

H26年度に実施された計画放流時に、写真-2に示す測線においてADCP流量観測を実施し、流路aへの分岐流量配分比について現状を把握した.流量観測は、ADCPを搭載した三艘フロートボートを横断方向にロープで牽引する方法で実施した.

図-3に流量と流路aへの流量配分比の観測値を示す. 流量配分比は、各観測データの平面流向ベクトルより横 断面における分派境界位置を目視で判断し求めた. 流路 aへの流量配分比は総流量の増加とともにも増加し, ピーク流量時には30~35%程度であった.

b) 分岐流量配分比の理論的予測

流路aでは流入部の堆積域が流れを妨げており、流路a への流れを検討するには堆積域を越流する流れを考慮す る必要がある.長谷川ら⁵⁰は、堰を有する河道での分岐 特性を理論的に検討しており、本研究では彼らの理論を 適用した分岐流量配分比の予測を試みた.



流路a流入部の堆積域が流れに対して堰のように働く と仮定し、長谷川ら⁹と同様に図-4(a)のような分岐流路 を考え、下流側に太線で示す堰(堆積域)を配置した検 査断面(図中の破線)を設ける.分離流線により分けら れる領域①と領域②についてそれぞれ運動量方程式(実 際にはx方向成分運動量方程式のみを用いる)と連続式 が立てられる.分岐部上流側水深 h_a と領域①下流側水深 h_b はマニング式による等流水深を仮定する.また、高さ Δ の堰(流入部のマウンド)による規定水深 h_a (越流前 の水深)は、図-4(b)での比エネルギーを考えることで 得られる.完全越流の場合のみを対象とし、後述の解析 結果では完全越流が生じる条件を満たす範囲のみを示す. 具体的な定式化については、長谷川ら⁵の論文を参照さ れたい.本研究では、1-rが流路aへの流量配分比である.

放流時を想定して流量を100m³/sとした解析結果を図-5に示す.図はマウンドの高さ(h_a に対する比= Δ/h_a)による流量配分比の変化を表している.本解析では、川幅は平水時の水面幅とし(B_a =25m, B_b =15m),勾配はLP地形データを参考に1/100,マニング粗度係数は0.03とした(このとき h_a =1.2m).図より、マウンドの高さ Δ が増加すると流路aへの配分比が著しく減少することがわかる.放流前の平水時では主流路の平均水深が0.6m程度であり、この時点では流路aは完全に閉塞していた(写真-2)ことから、マウンドの高さは最も低い箇所でも0.6m以上である.平均的な高さはこれよりも数十cm高く0.7~0.8m程度の範囲であると考えると、 Δ/h_a の値は0.58~0.67程度となる.このとき本解析による流路aへの配分比は0.3~0.4を示し、観測値が良好に再現されている.

次に、総流量による流路aへの配分比の変化について 解析より求めた結果を図-6に示す.ここでマウンドの高 さΔは0.8mとした.流量の増加にとともに流路aへの配分 比が増大する.観測値と比べると、ピーク流量程度では 良好に観測値を再現しているが、流量が小さい場合は観 測値を過小評価している.これは、解析では横断方向に 一様な堰を想定しているのに対して、実際の土砂堆積は 一様ではなく、流量が比較的小さくても局所的に低い箇 所から流路aへある程度流入していたと考えられる.ま



た,観測された配分比は解析結果ほど流量に応じて敏感 に変動していない.これは観測誤差の他に,対象区間で は流量が100m³/s程度で水位が低水路河岸高さに達する ため,それ以上流量が増加しても主流路の水位上昇が少 なく流量配分比が頭打ちになっている可能性も考えられ る.低水路満杯規模以上の流量時の配分比については更 に検討が必要であり,今後の課題である.

図-6には流路aでの無次元掃流力を併せて示している. 破線が解析結果より得られた分岐流量を用いたもの,白 丸が観測した分岐流量を用いて算出したものである.粒 径は,H24~H26年度にKP42より上流区間で実施された 河床材料調査で得られたd₆₀の平均値である0.08mとした. 総流量が90~100m³/s以上で無次元掃流力が0.05以上と なっており,放流のピーク流量規模であれば代表粒径程 度の砂礫が移動することがわかる.従って,毎年実施さ れる放流によって,流路a上への植生の侵入を抑制し, 高水時の旧流路への導水を維持できる可能生が高い.

(3) 縦断形状に見られる特性

図-7に札内川上流(KP45-46付近)のH25年のLP測量 より得られた地形を示す.札内川上流部では、図-7に見 られるような複列砂州河道の特徴である節と腹の平面形 がよく見られる.図-7に示した縦断形を見ると、勾配が 急な瀬と勾配が緩やかな淵が明確に存在していて、これ らの瀬と淵がそれぞれ平面形状の腹と節の区間にほぼ対 応している.また、図-7に見られる2箇所の節(A,B) と流路変遷を過去の航空写真で調査したところ、過去に 流路が大きく変動してもこれらの節の位置はほとんど移 動していないことが確認された.縦断形の変遷について は詳細なデータが存在しないが、節と対応して淵もほと んど移動していないと考えられる.

前出のADCP観測箇所である図-7中Aでは分岐流路が 維持されている.その区間の縦断形状をみると,淵の下 流の瀬が現れる位置で流路の分岐(節から腹への分岐) が生じている.また,後述するG工区と呼ぶBでは,H17 年以降旧流路の閉塞が進行し,旧流路への分岐流が消失 しつつある.しかし,H25年の地形データ(図-7)で瀬 淵の縦断特性が明確に確認できることから,Bの箇所の ように旧流路が閉塞した後も,節腹の平面形に対応した 瀬と淵の縦断特性がある程度維持されているのがわかる.

3. 旧流路の回復手法

旧流路上の高まりは流入部のみに土砂が堆積したもの であるため、小規模な掘削により比較的容易に旧流路を 回復できる可能生がある. 旧流路を回復するために計画 放流と併せてH25~H26年度に実施した6つの掘削箇所の 効果を前章で検討した流路特性とともに検証し、より継 続的で効率的な掘削箇所の特性の把握を行った.

(1) 主流路と旧流路の線形を考慮した掘削箇所の選定 (H25年度施工の旧流路回復試験)

H25年度は4箇所で掘削を実施した.この年の掘削箇 所は、主に主流路と旧流路の線形に留意して選定した. 具体的には、蛇行した主流路の水衝部であり、かつ下流 側に明確な旧流路の地形状が維持されている箇所を選定 した.いずれの工区でも掘削後の敷高が平水位程度とな るように最大でも約0.5m程度の掘削が実施された.例と してE工区とD下流工区(D工区は2箇所で掘削し、その 下流側の掘削箇所)の概要を図-8と図-9に示す.

放流時,E工区では掘削箇所から旧流路への激しい流れ込みが見られた.放流前後の計測によると,主流路と 旧流路の比高差が減少(主流路で堆積,旧流路で侵食) し,旧流路上の河床材料の粒度分布が大きく変化(粗粒 化)した.図-8の粒度分布の変化から,掘削後一年目の 放流で細砂がフラッシュされ,二年目の放流時にも堆積 が見られず,その状態が概ね維持されていた.

一方、D下流工区では、放流時に掘削箇所から旧流路 への導水は確認されたが、粒度分布にはほとんど変化が みられず(図-9)、E工区と比べるとD下流工区での導 水は比較的小規模であることがわかる.

H25年度に実施したその他の掘削箇所では、いずれも E工区同様、主流路と旧流路の比高差の解消と粒度分布 の大きな変化がみられ、旧流路への比較的大規模な導水 に成功している.しかし、蛇行した主流路の水衝部であ





図-10 H26年度 Fエ区掘削箇所の概要と河床材料の粒度分布の変化

り、かつ下流側に明確な旧流路の地形状が維持されてい るような線形的に有利な箇所はかなり限定され、該当す る箇所が少ないという課題がある.また、D下流工区の ように、主流の水衝部を選定しても大規模に導水できる とは限らないという課題もある.

(2) 複列砂州河道の縦断形状特性を考慮した掘削箇所の選定(H26年度施工の旧流路回復試験)

H26年度は前述の課題を踏まえ、より多くの旧流路を 回復・維持するには複列砂州河道本来の分岐特性を復元 することが重要であるという観点から掘削箇所の選定を 試みた.前章で検討したように、複列砂州河道では、淵 の下流の瀬へと変化する箇所で流路の分岐が生じていて、 旧流路の閉塞後もその縦断特性はある程度維持されてい る状況であった.このような流路の縦断的な瀬淵特性を 考慮して掘削箇所を選定すれば本来の分岐特性が復元す る可能性がある.具体的には、縦断的に淵から瀬へ切り 替わる所またはその直下流側を選定することとし、G工 区(図-7,航空写真中の赤の破線)とF工区(図-10)の 2箇所の試験箇所を選定し、掘削を実施した.

G工区では、流路線形の有利さよりも淵の下流の瀬か ら導水させることを優先して掘削箇所を選定した.F工 区では、直線化した主流路にも瀬淵の特性が維持されて いることに着目し、やはり淵の下流の瀬から旧流路へ接 続するように掘削箇所を選定した. 放流時,両工区で旧流路への激しい流れ込みが見られた.放流前後の調査から,主流路と旧流路の比高差の解 消や河床材料の粗粒化も確認された.特にF工区(図-10)では,掘削した流入部で10m規模の側方侵食が発生 するほど激しい流れ込みが生じた.このように,複列砂 州河道の縦断的な瀬淵特性を考慮して掘削箇所を選定す ることによって,旧流路への大規模な導水が実現した.

(3) 効率的な掘削箇所選定に関する検討

H26年度に実施した旧流路回復試験の結果より,縦断 的な瀬淵特性を考慮して掘削箇所を選定することによっ て確実に旧流路を回復できる可能性が示された.

H25年度に実施した掘削箇所の縦断特性を調べると, D下流工区以外はいずれも淵の下流の瀬の箇所が選定さ れており,H26年度の選定手法に合致していた.これに 対して,D下流工区だけは淵にあたる箇所が選定されて いた.D下流工区は今のところ大規模な導水を唯一回復 できていない試験工区であることを考えると,淵のよう に勾配が緩やかな箇所は,たとえ主流路の水衝部だとし ても掘削箇所として適さない可能性がある.

前出の分岐流量配分比に関する理論⁵⁾を用いて,流路 勾配によって配分比がどのように異なるかを検討した. 蛇行した主流路の水衝部に旧流路が位置するとし(図-4),流路幅は15m($B_a=B_b=15m$),流量は放流ピーク程 度の100m³/sとして,勾配 I=1/100, 1/200, 1/400について



解析した結果を図-11に示す.図-7の縦断形状を見ると, 瀬では勾配が1/100程度,淵ではほとんど勾配がない

(淵でのエネルギー勾配を不等流計算により求めると 1/400程度となる).図をみると、 Δh_a が同じ値であれば 急勾配であるほど旧流路への流量配分比は若干増加する. 次に、試験施行と同様に0.5m掘削した場合を考える.前 述したように札内川上流部では流量100m³/s程度で水位 と河岸高さがほぼ一致することから、旧流路が完全に閉 塞している場合は $\Delta=h_a$ (I=1/100の場合 $h_a=1.6$ m, I=1/200の場合 $h_a=2.0$ m, I=1/400の場合 $h_a=2.4$ m)と考え、 そこから0.5m掘削すると、掘削後は $\Delta=h_a$ -0.5mと想定で きる.このとき、図示したように勾配が緩やかな場合は 勾配が急な場合に比べて配分比が著しく低下する.した がって、旧流路を回復させるには勾配が緩やかな淵の領 域よりも勾配が急な瀬の領域で掘削を実施する方が有利 であることがわかる.

複列砂州河道では、主流路と旧流路が合流して分岐す る領域(節)に淵が存在するため、分岐部周辺では縦断 勾配が大きく変化している。急勾配である有利性と複列 砂州河道の縦断的特性から、閉塞した旧流路を回復する ためには、淵の下流で瀬が現れる(急勾配になり水深が 浅くなる)箇所を選定して旧流路へ接続するように掘削 するのが効率的であることがわかる。実際に、これに該 当する箇所が選定された試験工区では、前出のようにい ずれも大規模な旧流路への導水に成功しており、確実な 選定手法であると考えられる。

(4) 高頻度出水時に見られる旧流路回復の効果

H26年8月に確率規模1/3年程度の出水が発生した.このときE工区では写真-3に示すように、回復させた旧流路に沿って大規模な樹木流亡を伴う河道撹乱が発生し、主流路と旧流路の切り替わりが生じた.掘削前(図-8)の写真と比べると、一筋の蛇行流路への固定化が進行していた状況が解消されている.F工区やG工区でも、旧流路沿いで大規模な樹木流亡を伴う河道撹乱が発生しており、高頻度で発生する出水規模でも旧流路を回復させた効果が確認された.このように、流入部だけの比較的小規模な掘削であっても、旧流路が回復することによって、比較的大規模な河道撹乱が実現した.毎年実施され



写真-3 H26年8月出水後のE工区周辺の航空写真

ている計画放流によって回復した旧流路を維持すること で、本来の複列砂州河道の分岐特性が将来にわたって復 元・維持できるものと期待される.

4. おわりに

札内川での流路の固定化は旧流路流入部の閉塞によっ て進行していることが確認された.また,札内川のよう な複列砂州河道において流路固定化を解消または抑制す るには,流入部の掘削による分岐流路の回復が有効であ ることが示された.旧流路を効率的に回復させるために 適した掘削箇所の選定手法について検討した結果,複列 砂州河道の縦断的な瀬淵特性を考慮して掘削箇所を選定 すれば効率的に旧流路を回復できることがわかった. H25~H26年度に札内川で実施した掘削試験結果とH26年 8月出水時の河道撹乱状況から,縦断特性を考慮して選 定した掘削箇所では,旧流路が回復し,複列砂州河道本 来の分岐特性が復元する可能性の高いことが示された.

謝辞:本研究では、(株)北開水工コンサルタントの長 谷川和義先生に貴重なご助言を賜った.感謝の意を記す.

参考文献

- 川岸秀敏,川邊和人,武田淳史: 札内川における礫河原再生の取り組み―旧川(派川)を活用した放流効果の最大化に向けて―,北海道開発局技術研究発表会,2014.
- 北海道開発局帯広開発建設部: 札内川技術検討会資料, http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/kakusyu/satsunai_kentoukai/, 2014.
- 渡邊康玄,武田淳史,川岸秀敏,住友慶三: 札内川人工放流に おける派川復元手法の検討,応用生態工学会第18回研究発表 講演集,pp.275-278,2014.
- 4)長谷川和義,広瀬健治,目黒嗣樹:山地河川における分岐部 流路交番現象に関する抽出実験とその解析,水工学論文集, 第47巻,pp.679-684,2003.
- 5) 長谷川和義,藤田将輝,渡邊康玄,桑村貴志:標津川旧蛇行通 水時の堰をともなう分岐流量配分比に関する研究水工学論文 集,第47巻,pp.529-534,2003.

(2015.4.3受付)