

# 出水時の河道変化に対する分岐流路維持の効果

住友 慶三<sup>1</sup>・渡邊 康玄<sup>2</sup>・泉 典洋<sup>3</sup>・山口 里実<sup>4</sup>・米元 光明<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社ドーコン 河川環境部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央 1 条 5 丁目 4-1)  
E-mail:ks1578@docon.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 北見工業大学教授 工学部社会環境工学領域 (〒090-8507 北見市公園町 165)  
E-mail:y-watanb@mail.kitami-it.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 工博 北海道大学教授 工学研究科 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)  
E-mail:nizumi@eng.hokudai.ac.jp

<sup>4</sup>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)  
E-mail:kawamura-s@ceri.go.jp

<sup>5</sup>正会員 国土交通省 北海道開発局 帯広開発建設部 治水課 (〒080-8585 帯広市西 4 条南 8 丁目)  
E-mail:yonemoto-m22aa@mlit.go.jp

河道内が樹林化した札内川において、攪乱誘発による礫河原の再生を目的として、樹林内に残る旧流路への接続掘削による分岐流路の維持に取り組んでいる。そのような中で、2016 年 8 月に既往最大規模の出水が発生した。出水による河道内の変化状況から、旧流路への接続掘削による分岐流路の維持は、出水時の礫河原再生に効果的であることが示された。また、河道中央部への分岐流路の維持により、分岐流路での河床変動を促し、出水時の堤防方向への侵食を抑制する効果が期待できることを河床変動計算により示した。さらに、水面比高差拡大による攪乱頻度の低下に伴う早期の再樹林化、側岸侵食の進行による堤防決壊リスク増加という新たな課題に対しても、早瀬区間における礫河原への分岐流路掘削により、礫河原の攪乱更新及び側岸侵食軽減の効果が期待できることを示した。

**Key Words:** *Satsunai River, 2016 flood, artificial flood, branched channel, river channel disturbance*

## 1. はじめに

一級水系十勝川の一次支川である札内川は、かつては分岐を繰り返す流路と広い礫河原が特徴の河川であったが、2006～2010 年の年最大流量の大幅な減少等が影響し、河道内が著しく樹林化した<sup>1)</sup>。これにより、流路が 1 本に収束して固定化し、礫河原の面積は急速に減少した。この状況を踏まえ、樹林化の要因となっているオノエヤナギ等の主な種子散布時期が 6 月中であることに着目し、ヤナギ類の侵入抑制及び礫河原再生を目的として、上流にある札内川ダムにおける図-1 に示す貯水位操作により、2012 年から 6 月末に年超過確率 1/1 出水規模の最大約 120m<sup>3</sup>/s のフラッシュ放流を札内川において実施している<sup>1)2)</sup>。この放流により、冠水域の攪乱によるヤナギ類の種子及び実生掃流等の効果が確認されたが、2012 年の放流では礫河原の再生はほとんど見られなかった<sup>1)</sup>。

清水ら<sup>3)4)</sup>は、渡良瀬川の固定化した中州に掘削路を設け、出水を導いて洪水攪乱を誘発させることにより、樹林化抑制効果が得られることを示した。戸田ら<sup>5)</sup>は、

中部地方における一級河川群の中規模河床形態の発生領域と植生動態の関係を比較し、植生動態区間のほとんどが、流路が分岐を繰り返す複列砂州領域にあることを示した。渡邊ら<sup>6)</sup>は、主流路の固定化には分岐流の消失が大きく影響していることを示した。

これらの研究を踏まえ、分岐流の回復による攪乱誘発、それによる礫河原再生を目的として、2013 年からは年 1～4 箇所ペースで樹林内に残る旧流路流入部の堆積土砂を平水位程度で掘削して主流路から分岐接続した工区（以下、工区と呼ぶ）を計 9 箇所設置し、その上でフラッシュ放流を実施している。住友ら<sup>7)</sup>は、工区での検討

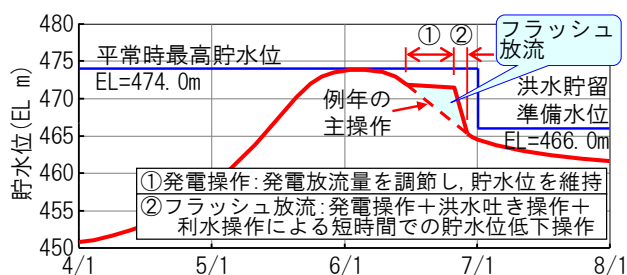


図-1 フラッシュ放流のための札内川ダム貯水位操作方法

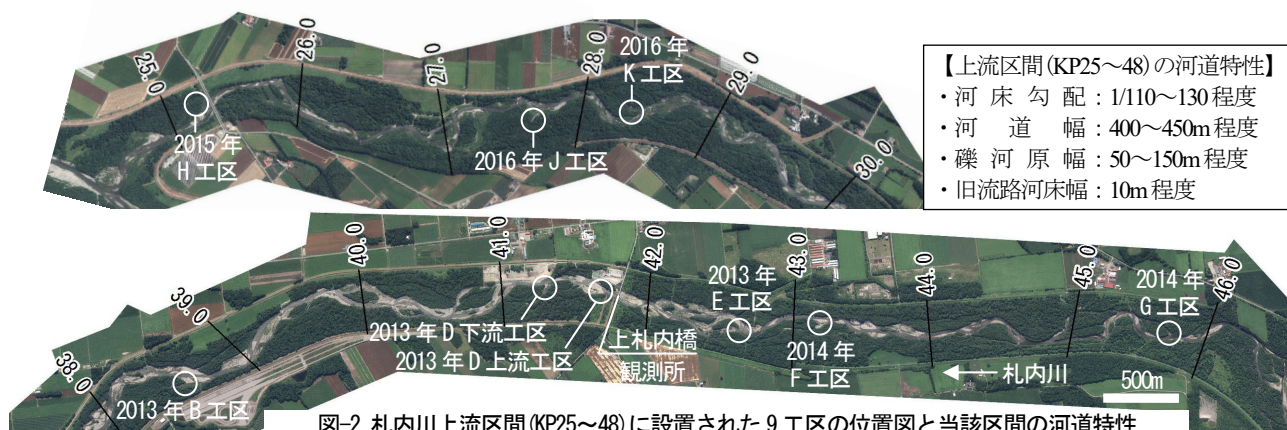


図-2 札内川上流区間(KP25~48)に設置された9工区の位置図と当該区間の河道特性

により、フラッシュ放流には分岐流路維持及び河道内比高差縮小の効果があり、それにより流路変動及び樹木流亡が促され、礫河原再生に寄与することを示した。

このような中で、2016年8月の台風の影響で発生した札内川における既往最大規模の出水（以下、2016年出水と呼ぶ）により、流路変動による大規模な側岸侵食及び樹木流亡等が確認された。本論文では、分岐流路の維持を目的とした河道掘削が出水時の河道変化に及ぼす影響を検討するとともに、河道中央部の分岐流路を維持する効果について、水面比高差が拡大した礫河原の攪乱更新及び堤防方向への側岸侵食軽減の観点より検討した。

## 2. 大規模出水における分岐流路維持の効果検証

### (1) 出水による河道内の変化状況に基づく効果検証

2016年出水前に設置された札内川上流区間(KP25~48)の工区の位置及び当該区間の河道特性を図-2に示す。

2016年出水による河道内の変化状況を把握するため、出水前後の航空写真の比較により、札内川全川の樹木流亡域を主流路沿いと旧流路沿いに区分した。その上で、分岐流路の維持による礫河原再生効果を把握するため、図-3に示すように、各工区から分岐した旧流路が主流路に合流するまでを工区設置区間とし、上流区間全体と区分して樹木流亡面積を集計した。

この結果、樹木流亡面積は、図-4に示すように、上流区間約23.0kmの旧流路沿いは3.8ha/kmで主流路沿い1.7ha/kmの約2.2倍、工区設置区間約3.8kmの旧流路沿いは4.1ha/kmで主流路沿い1.1ha/kmの約3.7倍であった。このことから、旧流路沿いは主流路沿いより出水による樹木流亡面積が大きくなる傾向があり、工区設置により積極的に旧流路への分岐流路を維持した区間では出水時にその傾向が顕著になることが示された。これにより、既往最大規模の出水においても、分岐流路の維持は、流路変動の促進による樹木流亡とそれに伴う礫河原の再生に効果的であることが明らかになった。

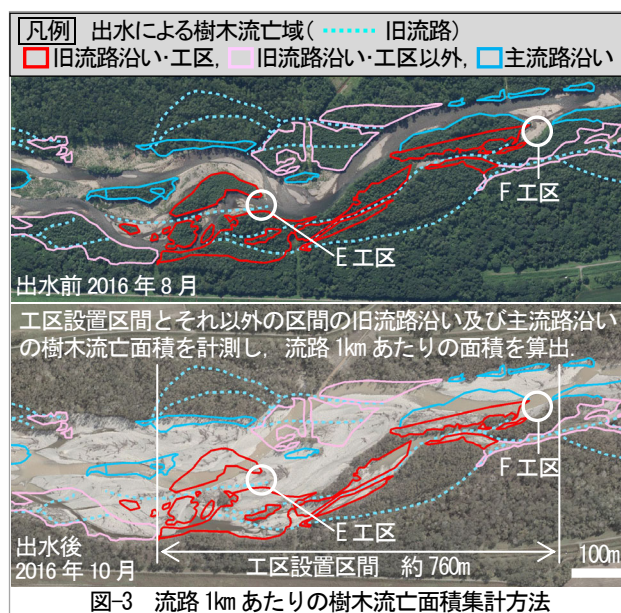


図-3 流路1kmあたりの樹木流亡面積集計方法

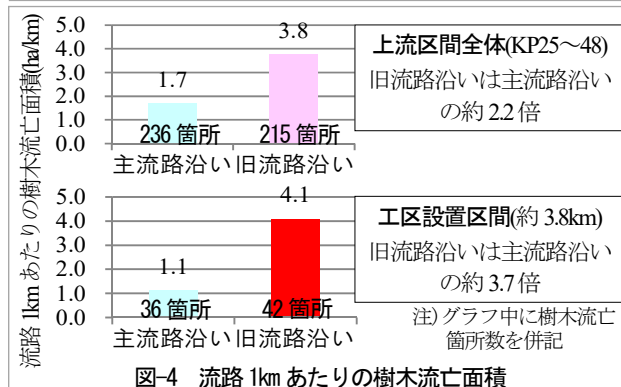


図-4 流路1kmあたりの樹木流亡面積

### (2) 2016年出水による河床変動状況の再現計算

分岐流維持の有無による2016年出水時の流路変動の違いを検証するため、計算手法の妥当性の検証も兼ねて、はじめにiRIC Nays2DH<sup>®</sup>を用いて2016年出水時の河床変動再現計算を行った。この結果と、札内川において2013年9月と2016年10月に計測されたレーザープロファイラー（以下、LPと呼ぶ）地盤高データとの比較により、再現性の確認を行った。計算条件一覧を表-1に、計算に用いた流量ハイドロを図-5に示す。検証区間は、流路単位長さ当たりの工区設置数が最も多いKP41.0~



44.0 とした。2016～2017 年の河床材料 60%粒径調査結果である 52.3mm, 73.5mm, 83.2mm, 91.7mm の 4 ケースで計算を行ったところ、粒径 73.5mm とした場合の再現性が最も高い結果となった。

図-6(a)に河床材料粒径 73.5mm の河床変動計算結果、図-6(b)に実績の河床変動量を示す。図-6 の区域Ⅰ～Ⅲは側岸侵食が再現されておらず、区域ⅰ～ⅴは実績と異なる侵食・堆積傾向となった。一方、区域 1～11 は侵食傾向、区域 12～20 は堆積傾向が概ね再現された。工区は、D 下流分岐部の堆積(区域 13)、D 上流分岐部の侵食(区域 2)、E 及び F 工区の掘削により接続した分岐流路の侵食(区域 7、9)が概ね再現された。なお、区域 7 の侵食は実績値の方が狭いが、図-3 に示したように当該区域では樹木流亡が発生していることから、実績値の区域 7 周辺の堆積は侵食後に発生したものと考えられる。

このように、計算結果は実測値を完全には再現していないものの、工区分岐部、接続した分岐流路及びその周辺における侵食・堆積傾向は概ね再現されている。

### (3) 河床変動計算による分岐流路維持の効果の考察

札内川では、流路変動の誘因となる分岐流の回復等を行い、年超過確率 1/20 までの出水により礫河原再生を図ることとし、治水面も考慮して堤防防護ラインの内側に「礫河原再生の管理幅」を設定して取り組んでいる<sup>1)</sup>。本節では、この管理幅を踏まえて考察を行う。

分岐流消失時の河床変動計算は、工区設置前の調査データを用い、「地形」は 2006 年 LP 及び 2007 年横断データ、「樹木生育範囲」は 2010 年の航空写真を基に設定した。それ以外の条件は、前節の再現計算により現象の再現性が確認されたことから、表-1 と同一とした。

図-7 に計算結果平面図を、図-8 に 2016 年出水の再現結果(分岐流路が流入部の掘削とフラッシュ放流で維持

されていた河道であり、以下、分岐流維持河道と呼ぶ)と分岐流消失条件での計算結果(分岐掘削を行わなかった場合の河道であり、以下、分岐流消失河道と呼ぶ)に基づく各工区直下流部の同一測線(図-6(a)の D1～F 測線と図-7 の d1～f 測線)の横断比較図を示す。

D 下流工区は、図-8(a)のように、分岐流維持対策の有無による大きな違いは見られなかった。河床勾配が急な早瀬は、緩勾配の淵より分岐流量が多い<sup>9)</sup>という特性

表-1 河床変動計算(iRIC Nays2DH)の条件

| 項目         | 設定条件  |
|------------|---|
| 流量(図-5)    | 2016 年出水ハイドロ(暫定値)   |
| 地形         | 2013 年 9 月 LP データ及び出水直前の 2016 年 7 月の工区横断データを基に設定  |
| 計算格子サイズ等   | 5m×5m (旧流路横断方向に1メッシュ以上入るサイズ)、タイムステップ0.06秒   |
| 計算区間       | 札内川 KP41.0～44.0   |
| 樹木生育範囲     | 2016 年出水直前の航空写真を基に樹林を判読して設定   |
| 樹木密度及び抵抗係数 | 樹木密度 0.045、樹木抵抗係数 0.07 (2014 年の毎木調査結果を基に設定)   |
| 樹木流亡条件     | 初期河床高から 0.8m の侵食により流亡(樹木根系図説 <sup>10)</sup> を基に、2014 年毎木胸高直径結果から根鉢深を 0.8m と設定)                        |
| 河床材料粒径     | 計算区間での 2016～2017 年調査結果(d60)から次の均一粒径 4 ケースを設定<br>52.3mm, 73.5mm, 83.2mm, 91.7mm<br>⇒再現検証の結果 73.5mm を採用 |
| マニング粗度係数   | 河床材料粒径から Manning-Strickler の式により算出  |
| 下流端境界条件    | 地形データに基づく河床勾配、等流水深  |
| 上流端流砂量     | 動的平衡  |
| 流砂形態       | 掃流砂   |
| 流砂量式       | 芦田・道上式  |

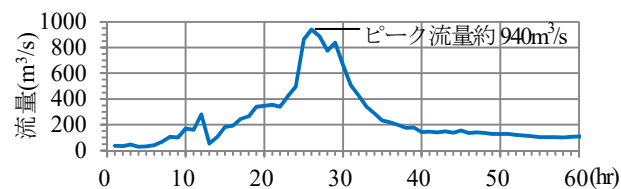


図-5 上札内橋観測所流量ハイドロ(2016 年出水暫定値)

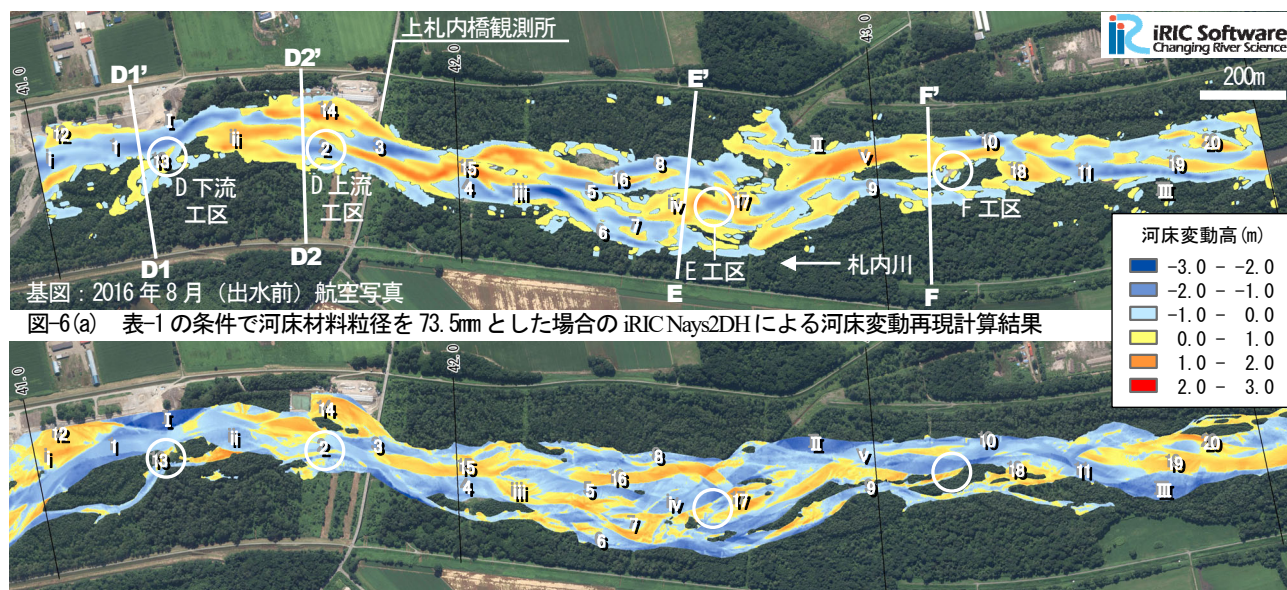


図-6(b) 2016 年と 2013 年の LP 地盤高差分により作成した実績の 2016 年出水河床変動量と図-6(a)の侵食・堆積区域重ね図

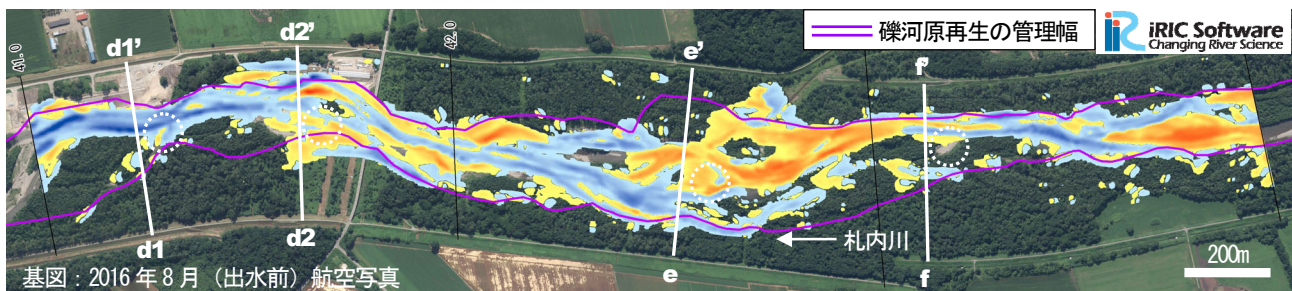


図-7 iRIC Nays2DHによる2016年出水における分岐流消失時の河床変動計算結果（河床変動量の凡例は図-6(a), (b)と同一）

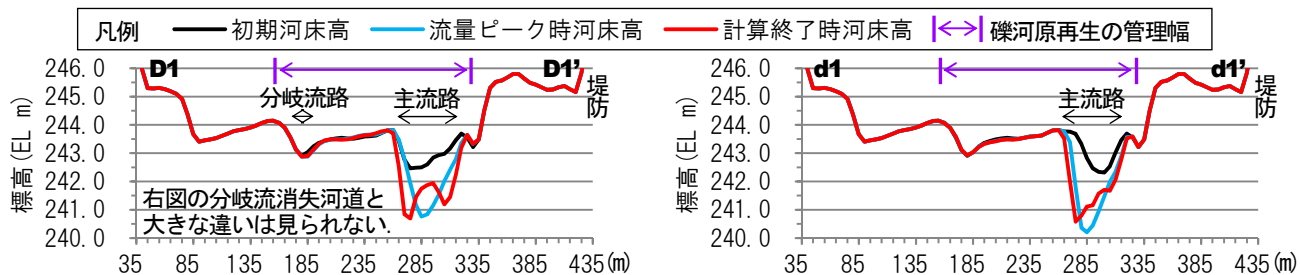


図-8(a) D下流工区設置後の分岐流維持河道（左）と工区設置前の分岐流消失河道（右）の計算結果横断比較

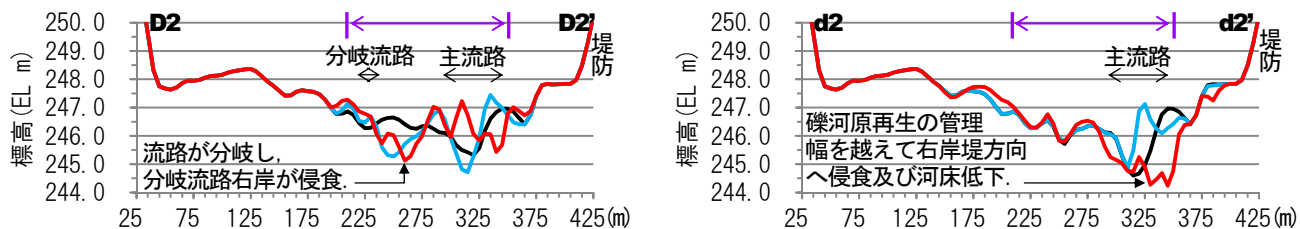


図-8(b) D上流工区設置後の分岐流維持河道（左）と工区設置前の分岐流消失河道（右）の計算結果横断比較

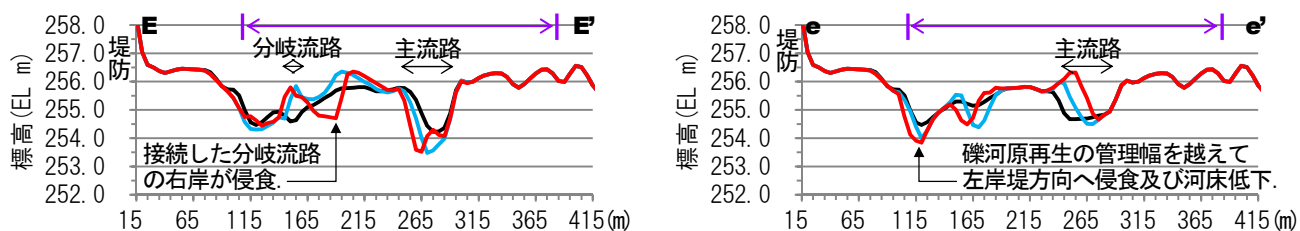


図-8(c) E工区設置後の分岐流維持河道（左）と工区設置前の分岐流消失河道（右）の計算結果横断比較

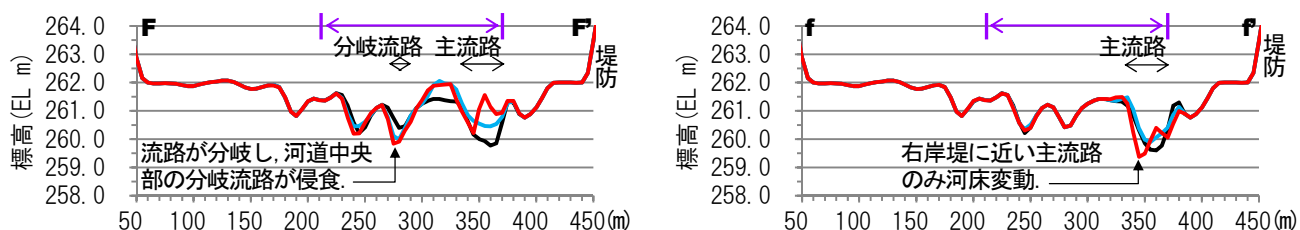


図-8(d) F工区設置後の分岐流維持河道（左）と工区設置前の分岐流消失河道（右）の計算結果横断比較

を有している。当工区は、9工区の中で唯一淵において分岐接続されている<sup>7)</sup>ため、十分な分岐流量が発生せず、分岐流消失河道との差が表れなかったものと考えられる。

D上流、E及びF工区に分岐流維持河道は、図-8(b)～(d)のように、分岐流路と主流路の両方で河床変動している。これに対し、分岐流消失河道は、図-8(b)～(c)のように管理幅を越える堤防方向への侵食や、図-8(d)のように堤防に近い主流路のみの河床変動が予測された。札内川では、2016年出水により、KP40.6付近において側岸侵食による堤防決壊が発生した。堤防方向への一方的な側岸侵食は堤防決壊リスクを高めることから、河道

中央部の旧流路への接続による分岐流の維持は、このリスクの低減に寄与するものと考えられる。ただし、この効果を得るためには、D下流工区のような淵ではなく、淵直下流の早瀬において河道中央部の旧流路へ接続することにより分岐流を維持することが重要である。

### 3. 出水後河道における新たな課題と対応策

#### (1) 2016年出水後河道における新たな課題

2016年出水により、札内川の礫河原の面積は1995年



の水準まで回復した<sup>1)2)</sup>。しかし、図-9 に示されるように、出水により再生した礫河原は、出水前に形成されていた礫河原より水面比高差が大きいことが分かった。また、主流路が一本に収束して湾曲している箇所の外岸側では、堤防防護ラインを越える側岸侵食も確認された。

このため、比高差拡大による攪乱頻度の低下に伴う早期の再樹林化、側岸侵食の進行による堤防決壊リスク増加の両者に対応可能な方法を見出すことが課題となった。

## (2) 新たな課題への対応策

前章において得た知見を踏まえ、図-10 に示すように、淵直下流の早瀬において、比高差が拡大した礫河原へ旧流路分岐掘削と同規模の横断幅 10m、延長約 160m の分岐流路を掘削する対応策を立案した。この効果を予測するため、現況河道と流路掘削後河道の河床変動計算を行った。計算用地形データは、2016 年 10 月の LP 地盤高データを基に作成し、樹木生育範囲は 2017 年 6 月の航空写真を基に設定した。計算区間は、分岐流路掘削箇所を含む KP26.8~30.8 とし、当該区間において図-6 と同様の再現検証を行い、河床材料粒径は 52.3mm を採用した。計算流量は、地形の経年的な変化が分かるよう、図-11 に示すフラッシュ放流時の流量ハイドロが 5 回繰り返される条件とした。それ以外の条件は表-1 と同一とした。

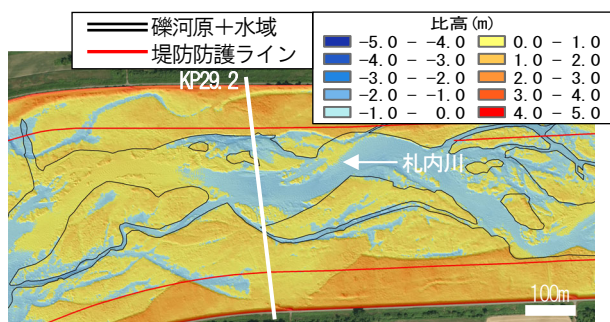


図-9(a) 2013 年 LP 地盤高とフラッシュ放流ピーク水位との比高図

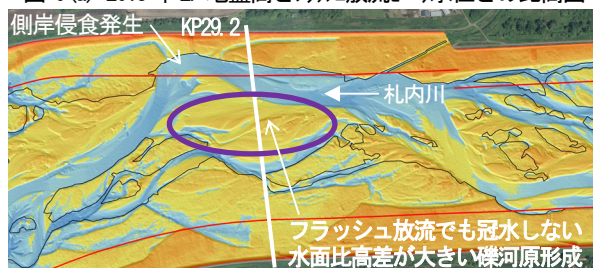


図-9(b) 2016 年 LP 地盤高とフラッシュ放流ピーク水位との比高図

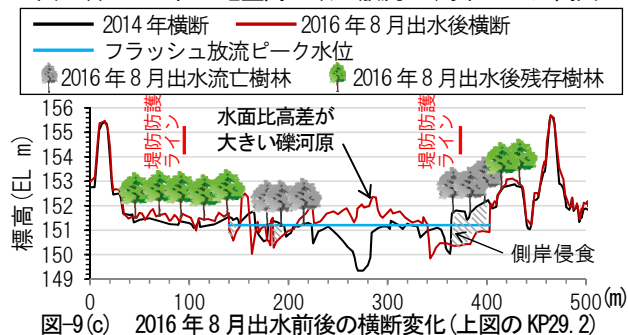


図-9(c) 2016 年 8 月出水前後の横断変化(上図の KP29.2)

予測計算の結果、図-12(a)の現況河道と比べて、図-12(b)の分岐流路掘削後河道は、分岐部下流側の礫河原が洗掘されて冠水域が増加し、主流路における堤防接近箇所の側岸侵食が約 10m 減少する効果が示された。

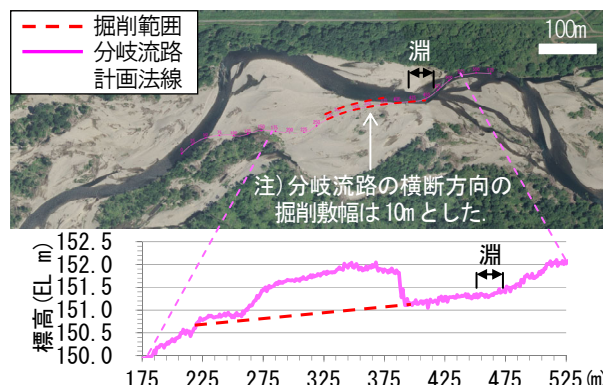


図-10 分岐流路掘削平面形(上)と縦断形(下)

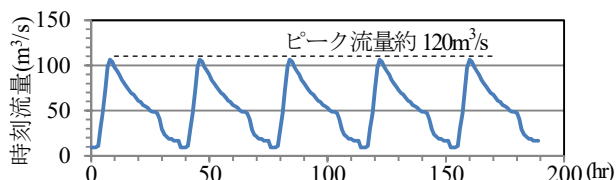


図-11 フラッシュ放流時の流量ハイドロ(上札内観測所)

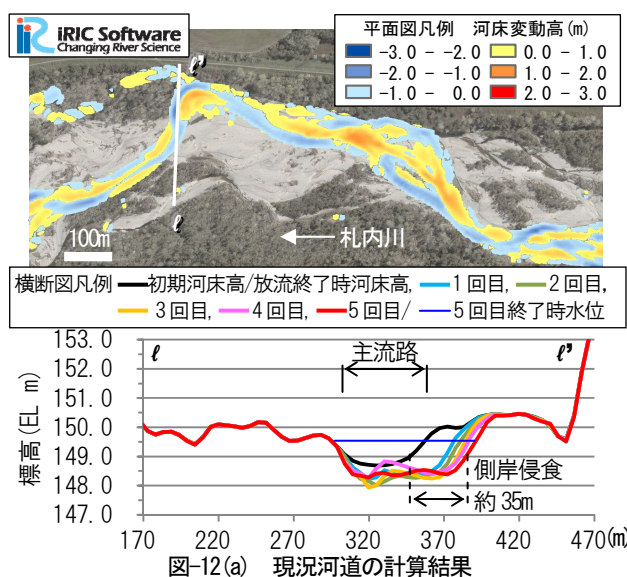


図-12(a) 現況河道の計算結果

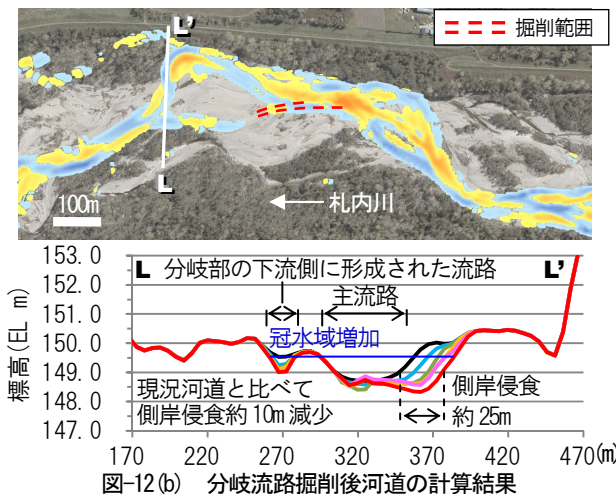


図-12(b) 分岐流路掘削後河道の計算結果

今後、当地区と同様の水面比高差及び側岸侵食状況で掘削を実施しない対照区を設定し、両地区において礫河原の攪乱及び側岸侵食状況を把握するための調査を行い、比較することにより、図-12 の予測結果を検証して本手法の実施条件及び適用範囲を体系化することとしている。

#### 4. おわりに

本検討により次のことが示された。

- ・樹林内に残る旧流路への接続掘削による分岐流路の維持は、出水時の流路変動促進による樹木流亡とそれに伴う礫河原再生に効果的である。
- ・大規模出水時の一方向の側岸侵食の進行は、堤防決壊リスクを高める。河道中央部の旧流路への接続掘削による分岐流の維持は、河道中央部での河床変動を促し、このリスクを低減する効果が期待できる。ただし、この効果を得るためには、淵直下流の早瀬区間において分岐接続掘削を実施することが重要である。
- ・2016年出水後、水面比高差拡大による攪乱頻度の低下に伴う早期の再樹林化、側岸侵食の進行による堤防決壊リスク増加という新たな課題が確認された。この課題に対しても、早瀬区間において、比高差が拡大した河道中央部の礫河原への分岐流路掘削により、礫河原の攪乱更新及び側岸侵食軽減の効果が期待できる。

**謝辞：** 札内川の礫河原再生は、『札内川技術検討会』の委員をはじめ多くの方々からの助言や協力を得て取り組みが進められている。また、国土交通省河川砂防技術研

究開発公募地域課題分野「河川景観ネットワークの連続性と時空間変化（代表：中村太士）」及び科研費「節腹連続河道の形成機構の解明（代表：渡邊康玄）」の助成を受けて行われた。ここに感謝の意を記す。

#### 参考文献

- 1) 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/kakusy/satsunai\\_kentoukai/](http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/kakusy/satsunai_kentoukai/)
- 2) 天羽淳，谷昭彦，米元光明：iRIC の実用事例を踏まえた札内川自然再生の取り組みについて，北海道開発局技術研究発表会，2017。
- 3) 清水義彦，岩見収二，石川陽介，佐藤文泰，磯田忠生，遠藤武志：洪水攪乱の誘発を目的とした中州掘削工事の効果評価とその考察，河川技術論文集，第 14 巻，pp.169-174，2008。
- 4) 松田浩一，須藤達美，内堀寿美男，大島秀則，清水義彦，藤堂正樹：固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究（その 2），河川技術論文集，第 17 巻，pp.233-238，2011。
- 5) 戸田祐嗣，古川智文，辻本哲郎：航空写真分析を活用した中部一級河川群の長期的植生動態の比較研究，河川技術論文集，第 18 巻，pp.41-46，2012。
- 6) 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。
- 7) 住友慶三，渡邊康玄，泉典洋，山口里実，横濱秀明：河道攪乱のためのフラッシュ放流による旧流路の維持に関する研究，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.72，No.4，I\_751-I\_756，2016。
- 8) <http://i-ric.org/ja/>
- 9) 山口里実，渡邊康玄，武田淳史，住友慶三：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，河川技術論文集，第 21 巻，pp.217-222，2015。
- 10) 荻住昇：樹木根系図説，誠文堂新光社，1987。

(2018. 5. 31 受付)

## THE EFFECT OF BRANCHED CHANNEL MAINTENANCE ON RIVER CHANNEL EVOLUTION DURING FLOODS

Keizo SUMITOMO, Yasuharu WATANABE, Norihiro IZUMI,  
Satomi YAMAGUCHI and Mitsuaki YONEMOTO

The river channel of Satsunai River is currently covered with forest, and we have been aiming to regenerate its gravel bar through induction of disturbances. In order to do so, we have been excavating to maintain the branched channel by connecting it to the old watercourse left in the forest. It was under such circumstance that the largest flood in history occurred in August, 2016. The changes in the river channel during the flood has proven that maintenance of the branched channel by excavating to connect it to the old watercourse is effective in promoting regeneration of the gravel bar during floods. Furthermore, by calculating the changes in the riverbed, we demonstrated that maintaining branched channel to the center of the river channel could promote riverbed change in the branched channel, which can be expected to suppress erosion towards the embankments during the flood. Additionally, in terms of coping methods to new challenges such as early regeneration of vegetation due to decline in the frequency of disturbances caused by growth of the relative height difference of water surfaces, and the increased risk of river bank failure due to increased erosion of the embankments, we also demonstrated that digging branched channel to the gravel bar in the riffle area can be expected to renew disturbances in the gravel bar, and reduce erosion of the embankments.