

札内川における旧流路復元箇所における 分岐部の流れの特性

FLOW CHARACTERISTIC AT BIFURCATION OF RESTORED OLD CHANNEL IN THE SATSUNAI RIVER

渡邊康玄¹・山口里実²・和田誠太郎³・住友慶三⁴・中島康博⁵

Yasuharu WATANABE, Satomi YAMAGUCHI, Seitaro WADA,
Keizo SUMITOMO and Yasuhiro NAKASHIMA

¹正会員 工博 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 (〒090-8516 北海道北見市公園町165番地)

²正会員 工博 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

³非会員 伊藤組土建株式会社 (〒060-8554 札幌市中央区北4条西4丁目1番地)

⁴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番1号)

⁵正会員 国土交通省北海道開発局 帯広開発建設部 (〒080-8585 北海道帯広市西4条南8丁目)

In Satsunai River, maintenance of old channels is performed by artificial floods so that a river channel disturbance may arise at the time of a large-scale flood. The field survey and the numeric simulation were conducted to examine the characteristic of the flow at the bifurcation part considered to be important for maintenance of old channels. It became clear that there was a tendency for the rate of the flow which flows into the old channel to become high relatively at a small discharge. Moreover, it was found that the flow which flows into the old channel at the time of a large-scale flood is greatly dependent on upstream river channel form.

Key Words : *Field observation, numerical simulation, bifurcation, Satsunai river, old channel, Flow characteristic, drone,*

1. はじめに

札内川では、礫河原の復元を目指して、年1回の中規模フラッシュ放流が実施されている。このフラッシュ放流規模では直接的な樹木の破壊には至らない。既往の大規模出水時に分岐合流が連続する節腹連続河道形状の区間で河道の攪乱が大規模に生じたことを踏まえ、フラッシュ放流では、旧流路の復活による節腹連続河道の形成と維持を目的としている¹⁾。

節腹連続河道は、扇状地河川等でみられる河道形態であり、流路の位置が経年的に変化せず流路幅の相対的に狭い「節」の部分と、その上下流に存在し出水時等に流路が大きく変動する「腹」の部分が連続している²⁾。旧流路の復元には、この「腹」の部分の流路が大きく変動する特性を利用しようとするものである³⁾。山口ら⁴⁾は、系統的な水理実験を実施し、腹の部分では、旧流路の交番現象により大きく変動することなど節腹連続河道の形成過程を解明している。

しかしながら、節腹連続河道の特性は未だ十分明らか

にされていない。本研究は、節腹連続河道の特性を明らかにすることを最終目的として、旧流路の維持に重要であると考えられる分岐部における流れの特性について、現地調査と数値計算により検討を行った結果を述べるものである。

2. 調査地点の概要

札内川では、フラッシュ放流における旧流路の復元のため、複数の個所で旧流路の流入部の掘削が行われている。ここでは、2014年4月に旧流路流入部の引き込み掘削が行われ、2014、2015年のフラッシュ放流時や出水時にも流入部に土砂の堆積が見られず、旧流路が維持されているKP45.8地点の旧流路復元試験地における分岐部を調査対象地点とした。図-1に調査区間を含む航空写真を示す。対象とした分岐部を挟んで明確な節腹連続河道を形成している。なお、調査地点の平均河床勾配は約1/100であり、河床材料の平均粒径は約50mmである。

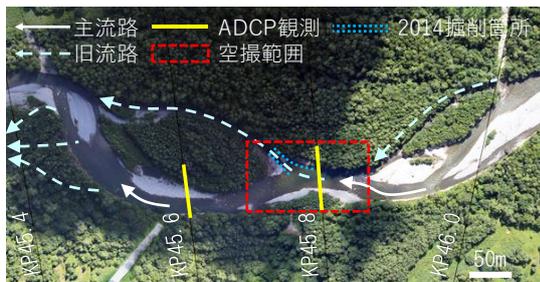


図-1 調査地点の航空写真

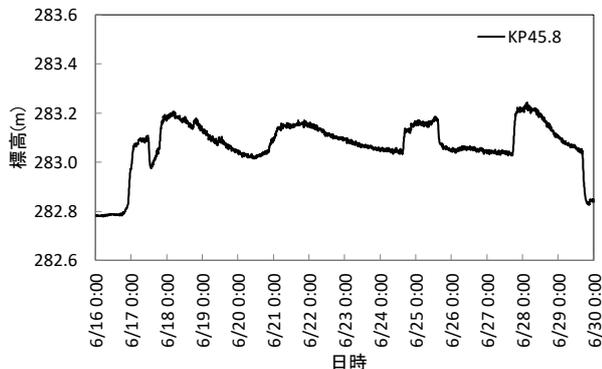


図-2 調査日前後のKP45.8における水位

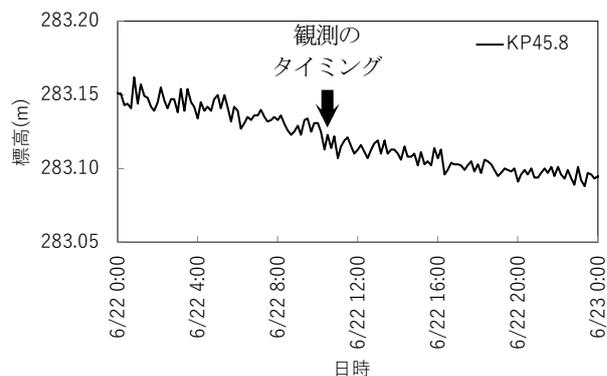


図-3 調査時のKP45.8における水位



図-4 ADCPを搭載したボート

図-5 使用した浮子

3. 調査手法と対象出水の概要

出水時の流況特性を把握することを目的に、2016年6月22日に実施される最大放流量 $120\text{m}^3/\text{s}$ 程度のフラッシュ放流に合わせて、ドローン空撮による平面流況把握とADCPによる流量観測を計画した。しかしながら、2016年のフラッシュ放流が図-2に示すように、直前の降雨による水位の上昇が継続していたため、中止された。観測予定日は、フラッシュ放流よりやや小さい流量規模ではあったものの、調査地点の水位が平常時よりも 40cm 程度高く、ダムからの放流量も $50\text{m}^3/\text{s}$ 程度となっており、旧流路への流れも明確に存在していたことから、当初の予定通り調査を実施した。

観測は、9時35分ごろから10時10分ごろにかけて計3回実施した。実施時のKP45.8における水位の状況を図-3に示す。水位が徐々に低下していく状況での観測となっている。調査項目は、ADCPによる出水時の分岐流量および流速分布と、ドローン空撮による分岐部における平面流況である。なお、ADCPによる観測とドローンによる空撮は、比較できるよう同時に実施している。

(1) ADCPによる流量および流速測定

流量および流速分布計測のため、KP45.6の主流路およびKP45.8でADCPによる流量観測を実施した。KP45.8での観測流量は分岐前の流量を、KP45.6での観測流量は分岐後の主流路の流量を計測していることになる。

それぞれの観測では、流路横断方向に1往復させて1回の観測とした。なお、ADCPは、図-4に示すように無人ボートに搭載し、流路横断方向に張ったロープを用いて

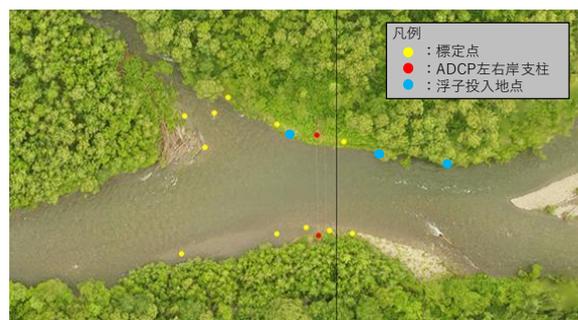


図-6 観測点の配置

横断方向に移動させている。1往復に費やした時間は、約3分である。また、ADCPを移動させながらの観測であることから、平面位置の測定にはVRS-RTK-GPSを使用した。水位の計測は、簡易水位計を用いて測定した。

(2) ドローンによる平面流況観測

平面流況把握は、ドローンに搭載したカメラを用いて、上流から流下させた浮子の軌跡を撮影する方法で3回実施された。1回当たりの撮影時間はおおむね3分程度であった。ドローンの高度は、分岐合流部全体が収まるように設定した。

使用した浮子は、上空 100m から撮影した際に認識できることと、出水時には回収が困難であることを考慮して作成することとした。具体的には図-5に示すように、 20cm 四方の表が白い天然素材の段ボールを、角が互い違いになるとともに両側が白い面になるようにでんぷん糊で張り合わせたものとした。

また図-6に示すように、ADCP観測用支柱を含めて観測点を流路に沿って水際に13点設定した。

撮影は、ドローンを使用し、高度を変えて3回実施し

表-1 ADCPによる流量観測結果

位置	KP45.8				KP45.6				旧流路
	平均時刻	平均流速 m/s	平均断面積 m ²	平均流量 m ³ /s	平均時刻	平均流速 m/s	平均断面積 m ²	平均流量 m ³ /s	流量 m ³ /s
1	9:40	1.72	30.51	52.43	9:40	1.83	20.89	38.25	14.18
2	9:50	1.76	29.94	52.71	9:50	1.81	21.31	38.52	14.19
3	10:08	1.73	29.18	50.56	10:08	1.83	20.72	37.83	12.73
平均		1.74	29.88	51.90		1.82	20.97	38.20	13.70

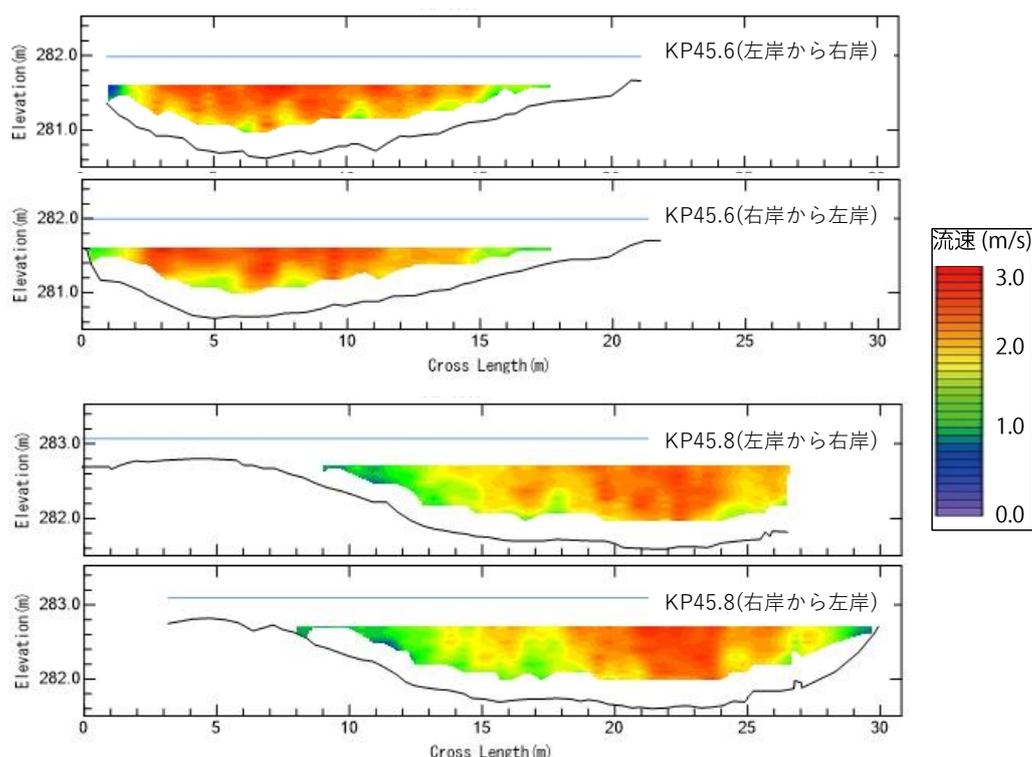


図-7 ADCPによるKP45.6(左)とKP45.8(右)における1回目の観測結果

た。1回目と3回目が100m、2回目は60mの高度に静止させた後、撮影範囲の上流端やや上流の右岸から浮子を流路幅にまんべんなく流下させて実施した。図-6に投入位置を併記した。1回当たりの浮子の使用量は約70枚である。

撮影された映像から、画像解析ソフトFlowExpert2D2Cを用いて、流速と流線の把握を行った。

4. 調査結果と考察

(1) ADCPによる流速測定流および流量の算出

流量観測は3回実施されたが、観測流量には大きな変化はなく、結果をまとめて表-1に示す。また、一例として第1回目のKP45.6およびKP45.8における断面流速分布図を図-7に示す。図中の「左岸から右岸」および「右岸から左岸」とは、ADCPを搭載したボートの移動方向である。水面近傍および河床近傍は、不感帯のため空白となっているが、往復ともほぼ同じ流速分布を示していることから、1往復の結果を平均して観測値とした。また、

不感帯の領域が半分程度を占めており水深方向の分布形は明確ではないが、測定範囲内では水深方向にほぼ様な値を示している。

3回実施した観測値の平均で表すと、KP45.8で51.9m³/s、KP45.6で38.2m³/sであった。なお、不感帯の流速の取り扱い、表層においては、最上層の観測値を代用し、底面の不感帯は河床で0m/sとして指数関数近似して補完する方法を用いた。

KP45.8とKP45.6の流量の差で算出される旧流路に流入した流量は、13.7m³/sとなる。すなわち、上流からの流量のうち、旧流路の流入した割合は約26%であった。

(2) ドローンによる平面流況観測

浮子の軌跡をドローンにより撮影し、FlowExpert2D2Cにより画像解析して得た3回の流線を、図-8に示す。分岐部において、主流路および旧流路へ流れ込む流線が明確に把握できる。合流部から分岐部への流線の変化としては、合流部で集束した流れは、ADCPによる流量観測を実施したKP45.8地点では、横断方向の各点でほぼ平行

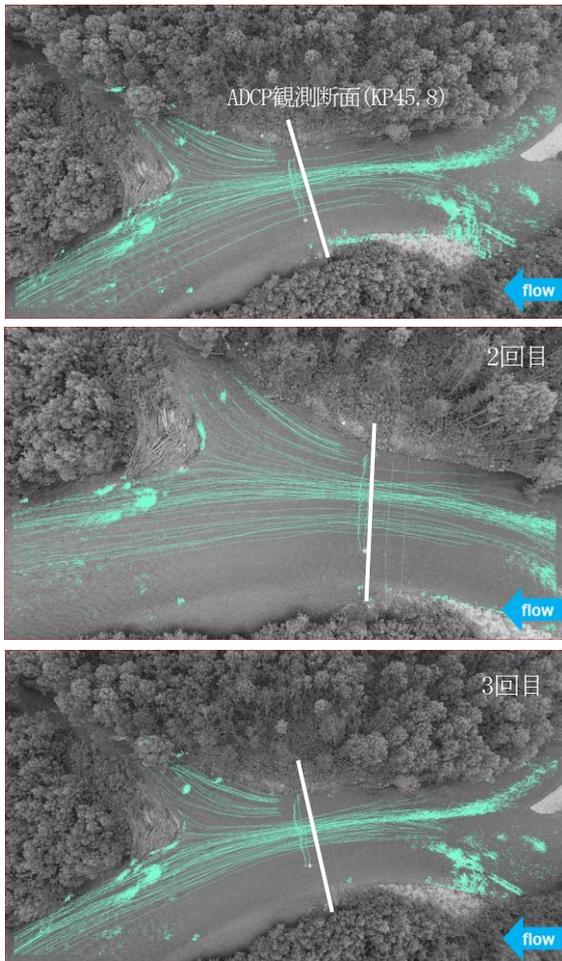


図-8 空撮により得られた分岐部の流線

した流れを示し、その後横断方向の流線の間隔が開いて主流路及び旧流路へと分岐していることが読み取れる。

なお、線状ではないドットの集合しているものは、白波が立っている箇所を浮子と誤認しているものである。また、1, 3回目に高度100mから、2回目に高度60mから撮影しているが、今回の調査では撮影高度による浮子の識別には変化がなかった。

(3) 観測流量

空撮からは、流線のほか表面流速も測定できる。ADCPによる観測で得られた流速分布を確認すると、水深方向に大きな分布を持っていないことから、得られた表面流速をそのまま用いて流量の算出も試みた。対象断面は、KP45.8である。なお、ドローンによる平面流況観測において、2回目と3回目は左岸側への浮子の投入が不足していたため、1回目の観測によるもののみを対象とした。なお、空撮からは表面流速のみしか得られないため、断面はADCPにより得られた河床形状を、水位は水位計により測定した値をそれぞれ用いている。その結果とADCPにより観測した流量とを比較した結果を表-2に示す。空撮により求めた流量は、流速に表面流速を用いていることから、ADCPにより求めた流量よりもやや大きい値を示しているものの、その誤差は+5%以下である。

表-2 ADCPと空撮による流速と流量の比較

	断面平均流速(m/s)	流量(m ³ /s)
ADCP	1.72	52.43
ドローンによる空撮	1.76	54.87
ADCPに対するドローンによる空撮の割合	+2.3(%)	+4.7(%)



図-9 数値計算による1回目の観測の再現結果

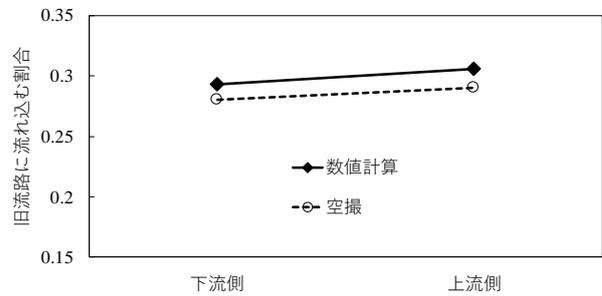


図-10 旧流路に流れ込む割合の比較

これは、今回の出水が小規模であり、水深が浅く水深方向の流速分布が比較的小さかったためと考えられる。

5. 数値シミュレーションによる検討

(1) iRIC Nays2DHIによる再現

今回の観測は、50m³/s程度の融雪出水よりも小さい規模の出水での観測となった。このため、河道変化が生じるといった流量規模の流れの特性がどのようになるかを把握するためには、数値シミュレーションを用いた検討が必要となる。このため、数値シミュレーションを用いた検討を行うにあたり、今回の観測結果を数値シミュレーションがどの程度表現できるかを確認することとした。ここでは、河岸浸食も考慮できるiRIC Nays2DHを数値シミュレーションソフトとして使用することとした。

KP45.40~KP46.0の区間を対象とし、低水路に関しては横断測量データ (KP45.3~KP45.9; 2016年出水前概ね20mピッチ, その他の範囲; 2014年200mピッチ) を、高水敷に関しては5m×5mメッシュの地理データ (2008年国土地理院LPデータ) をそれぞれ用いて、1m×1mの計算格子を作成した。上流端の境界条件である流量および下流端の境界条件である水位については、1回目の現地調査時の値を与えた。樹木は、現地の樹木密度(=0.05)

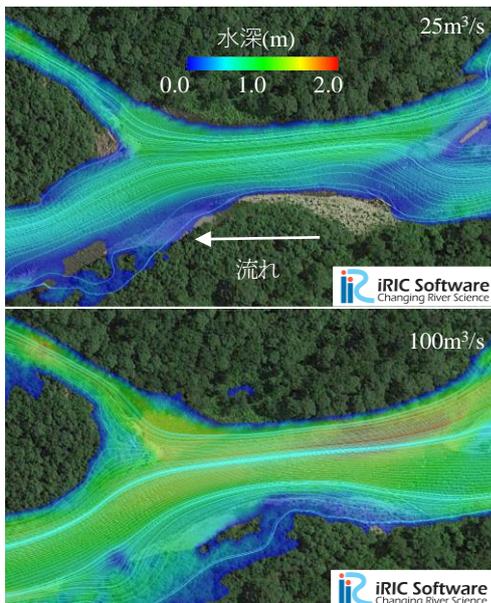


図-11 25および100m³/sを与えた場合の計算結果

を与えて抗力として計算に取り込んだ。また、河床におけるマンニングの粗度係数は水位の再現性が高い $n=0.04$ とした。

図-9に、再現結果の流線を示す。ADCPによる流量観測を実施したKP45.8地点では、横断方向の各点ではほぼ平行した流れを示し、その後横断方向の流線の間隔が開いて主流路及び旧流路へと分岐している現地調査結果の特徴を再現している。

分岐部における流れの状況の再現性を確認するため、図-9に示した上下2側線で主流路および旧流路へ流入する流れの横断方向の幅を実測値と比較することとした。その結果が図-10である。なお、縦軸の旧流路に流れ込む割合とは、横断幅に対する旧流路へ流入する横断幅の割合である。ややi-RICによる計算結果の方が旧流路へ流れる割合が高いものの、上流から下流へ割合が減少する傾向は一致している。

ADCPにより得られた、旧流路への流量比は、26%であったが、流線により区分された旧流路へ流入する流れの幅は、28~30%程度である。主流路が反時計回りに湾曲しており、弱いながらも2次流の影響により表面の流線と判断するよりも、主流路への流れが多くなったものとも考えられる。この点については、さらに検討を要する。

(2) 流量規模による分岐流量の変化

iRICによって実際の流れを概ね再現することができたため、与える流量を変化させ、旧流路へ流入する流量や流れの幅がどのように変化するかを見ることとした。設定した流量は、調査時の出水の流量およびフラッシュ放流の流量を考慮して、25、50、75、100m³/sの4パターンの比較を行った。なお、下流端の境界条件である水位については、それぞれの流量に応じて実績のH-Q式を用いて算出した。

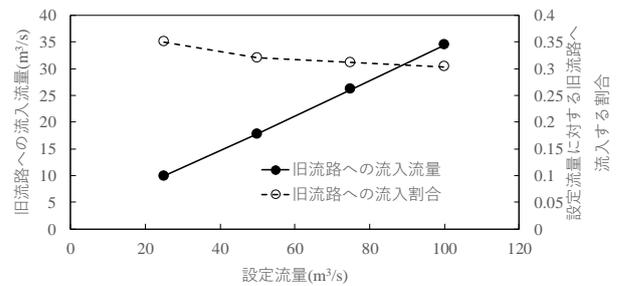


図-12 旧流路への流入流量と流入割合

図-11は、25および100m³/sを与えた場合の水深と流線の計算結果である。流量が大きくなっても、旧流路へ流れ込む流れの幅は大きく変化しない結果を得た。また、設定流量に対する旧流路への流入流量とその割合を示したものが図-12である。旧流路への流入流量は、設定流量を変化させるとそれに合わせて変化し、概ね30~35%の割合となっている。また、若干ではあるが、設定流量が小さいほどその割合は大きくなる傾向を示している。今回対象とした旧流路の引き込み箇所は、流入部の掘削から再堆積せずに維持されている箇所である。小流量時にも、流れがある程度確保されるとともに、減水期に流入割合が増加するという特性も、その要因の一つと考えられるが、今後この点についても検討を深める必要がある。

6. 大規模出水時の河道の変化

(1) 大規模出水の概要

2016年8月31日、札内川上流の水位観測所で観測史上最も高い水位を記録し、破堤を含む多数の被害をもたらした洪水が生じた⁵⁾。この出水により、調査対象区間においても、図-13に見られるような大きな河道変化が生じた。なお、位置が明確になるように、図-1で示した空撮を行った範囲を併記している。出水前に旧流路であった個所が主流路になり、主流路の交番が生じた。この地点における出水時の流量と水位の時間変化を図-14に示す。

(2) 数値計算による考察

調査区域において流路の交番現象が生じ、旧流路の維持による河道攪乱の生起という中規模フラッシュ放流の効果が生じたものともいえる。そこで、大きな流量における再現性の確認はとれていないが、河道変動計算ソフトiRICNays2DHにより調査区域の交番現象について考察を加えることとした。計算範囲は調査区間を含むKP44.0から46.5の流路延長約2.5kmであり、上流端の流量及び下流端の水位は図-14の値を用いた。図-15に計算から得られた調査地域周辺の初期河床からの変動量のコンター図と流線を重ね合わせたものを時系列的に示す。なお、位置が明確になるように、図-1で示した空撮を行った範囲



図-13 2016年8月出水前後の河道の状況

を併記している。洪水初期の段階 ($Q=100\text{m}^3/\text{s}$) では、主流路に沿って流れが存在しているものの、水位の上昇期 ($Q=300\text{m}^3/\text{s}$) では既に主流路の流入部 (図中の a) に土砂が堆積して旧流路へ流れが遷移している。また、この時の分岐部上流の流れ (図中の b) は蛇行がやや明確化している程度である。流量がピークの時点では、完全に主流路がかつての旧流路に移行していると同時に、上流側の蛇行は左岸を外岸とする一つの湾曲形状に統合されている。その後、水位の下降期 ($Q=300\text{m}^3/\text{s}$) では、上流の湾曲した流路が蛇行を発達させつつ下流に移動しているものの、分岐部はそのままの位置を維持し、分岐部下流側では流路は大きく変化していない。この時の流路のまま洪水の終了 ($Q=100\text{m}^3/\text{s}$) を迎えている。このように、調査対象区間の分岐部は、大規模出水時に上流側の蛇行の発達にもかかわらず、その位置を変化させていない。このことが流路の交番現象を引き起こす要因とも考えられ、このメカニズムを解明する必要があると考えられる。

7. おわりに

調査対象とした流路の分岐部では、小流量時にも、旧流路側の流れがある程度確保されるとともに、減水期に流入割合が増加するという特性を持つことが明らかとなった。また、この分岐部では、2016年8月に生じた大規模出水時において流路の交番現象が生じたが、上流部の流路変動にもかかわらず位置が変化しなかった。交番現象により河道攪乱を誘発させるためには、この機構の解明が重要であると考えられる。

謝辞： 今回の調査は、科研費「節腹連続河道の形成機構の解明」(代表；渡邊康玄)、河川整備基金「礫河原再生のためのダム放流による派川維持手法の開発」(代表；渡邊康玄)の補助を受けた。記して謝意を表す。

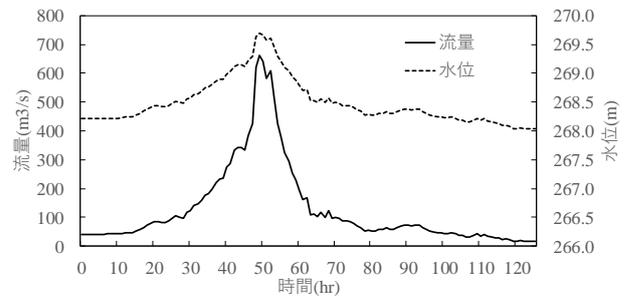


図-14 調査区間における出水時の流量と水位 (KP44.0)

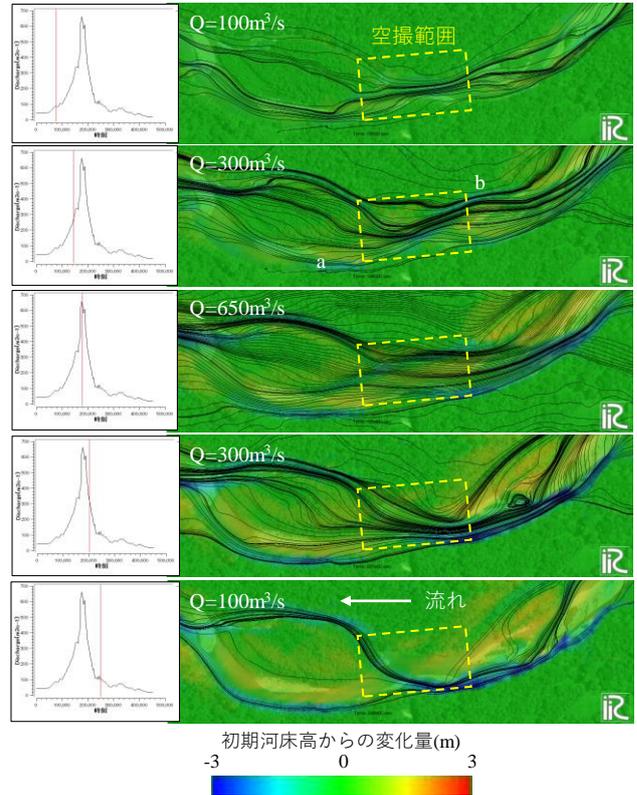


図-15 2016年8月出水の再現計算結果

参考文献

- 1) 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, 土木学会河川技術論文集Vol.21, pp.217-222, 2015年6月.
- 2) 渡邊康玄, 長谷川和義, 吉川泰弘, 早川博; 節腹連続河道の形成に関する線形安定解析, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.4, I_991-I_996, 2014年2月
- 3) 住友慶三, 渡邊康玄, 泉典洋, 山口里実, 横濱秀明; 道撓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), 72, 4, I_751-756, 2016年2月
- 4) 山口里実, 渡邊康玄; 節腹連続河道形状の発達過程に関する実験, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, I_745-750, 2016年2月
- 5) 2016年8月北海道豪雨調査団緊急報告会資料; 土木学会社会支援部門 <http://committees.jsce.or.jp/report/node/136>.

(2017.4.3受付)