

# 急流河川における将来洪水流量を考慮した 河岸侵食特性と河道計画に関する考察

岡部 和憲<sup>1</sup>・久加 朋子<sup>2</sup>・山口 里実<sup>3</sup>・清水 康行<sup>4</sup>  
・新庄 興<sup>5</sup>・長谷川 和義<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 北海道河川財団 (〒060-0807 札幌市北区北7条西4丁目5-1)  
E-mail: k.okabe@ric.or.jp

<sup>2</sup>正会員 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

<sup>3</sup>正会員 土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

<sup>4</sup>フェロー会員 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

<sup>5</sup>正会員 北開水工コンサルタント (〒080-0314 北海道河東郡音更町共栄台西11丁目)

<sup>6</sup>フェロー会員 北開水工コンサルタント先端技術開発センター(〒060-0015 札幌市中央区北5条西6丁目)

近年、十勝川水系の将来洪水流量は1.5~1.7倍程度まで変化する可能性が指摘されており、安全確保の観点からリスクを把握し、それを踏まえた河道計画を検討しておく必要がある。そこで、本研究では著者らの既往方向を発展させ、将来洪水流量を想定した場合の流変動特性について数値解析より検討した。結果、当該区間では流量規模が大きくなるほど川幅も大きくなった。ただし、低水路内において川幅は拡幅し続けることはなく、各ケース一定値に漸近した。これは、流量1.5倍を超えた付近から、ピーク流量通過後の流路形態が蛇行から複列、あるいは網状流路へ変化し、流路の拡幅が止まったためである。ただし、この時点で既に堤防決壊している場合、堤内地に新流路が形成された。したがって、将来洪水流量を考慮した急流河川区間の河道計画においては、河道内ではある程度蛇行流の移動を許容し得るが、堤防基盤部およびその前面を侵食に対しては確実に防御できる構造とすることが肝要となる。

**Key Words:** meandering, bank erosion, channel deformation, Otofuke River, future flooding scale

## 1. はじめに

気候変動等に伴う降雨特性の変化が顕在化しつつある今日、大規模な出水頻度が増加する可能性を踏まえ、それに対応する適応策としての治水施設の整備や管理法を検討することは重要な課題である。しかし、急流河川の一般的な河道計画は、疎通させるべき流量に対応する河積を確保するための断面形状は規定されているものの、想定される外力による土砂移動を考慮した河道変化とそれに伴う川幅拡幅の可能性を必ずしも十分に勘案したうえで策定されているとは言い難い。

河川の急勾配区間では、出水時の流路変動に伴い、河川水位が計画高水位を超えずとも河岸侵食により堤防が侵食され、決壊に至ることが知られている<sup>1),2),3)</sup>。急流河川における流路の蛇行発達には、出水前の流路形状、流量ハイドログラフ形状、植生繁茂状況、低水護岸等の整備状況、上流からの土砂供給量など多岐に渡る要因が影響

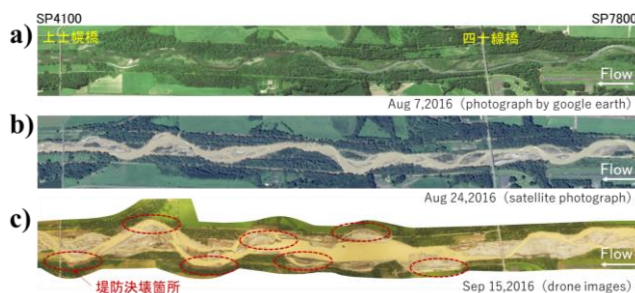


図-1 音更川上流区間の被災前後の航空写真

していると考えられる。前報<sup>4)</sup>では、2016年北海道豪雨災害にて被災した音更川上流区間(図-1)を対象とし、これまで既往報告でも注目されてきた流量ハイドログラフ形状に着目し、流量の増加または減少する過程、流量ピーク値自体がどの程度流路変動に影響を与えるかを検討した。結果、(1) 総流量が同じであればピーク時刻が異なっても類似する平面形状の流路変動と堤防決壊が生じること、(2) ただし、堤防侵食開始タイミングが異なり、流量を実績よりもゆっくり増加させた場合、ピーク

流量到達前に決壊することが確認された。これは、河川管理上、非常に危険な状況である。これまで、音更川を事例とした既往報告<sup>3,4,5</sup>などでは主に出水後半での蛇行発達と河岸侵食（破堤）が注目されてきたが、場合によっては出水前半のハイドログラフ形状も堤防侵食リスクと氾濫規模に大きく影響を与えることが示された。同時に、前報では、(3) 当該区間の低水路内の堆積幅の発達は流量 400m<sup>3</sup>/sec 程度を超える付近から明瞭に始まることが確認された。つまり、砂州地形の発達に伴う急激な蛇行化には、初期地形に依存した“ある流量”が存在する可能性を示した。

しかしながら、急流河川にみられるような大規模な側方侵食を伴う流路変動のメカニズムには依然と未解明な部分が多く、たとえば出水規模自体の増大が流路変動特性に与える影響、それに伴う河岸、地盤、堤防等の侵食リスクの変化など分かっていない部分も多い。十勝川水系の将来洪水流量は 1.5～1.7 倍程度まで変化する可能性が指摘<sup>6</sup>されており、安全確保の観点からも、こうした状況下でのリスクを把握し、それを踏まえた河道計画を検討しておくことは肝要である。

そこで、本研究では、今後の急流河川の侵食リスクを推定する手法を確立するための知見を得ることを目的に、既往報告<sup>4</sup>と同じく音更川上流域を対象に将来洪水流量を想定した流量規模の増大が流路変動特性に与える影響について数値解析から検討した。ならびに、それら結果を踏まえた今後の急流河川の河道計画について考察した。

## 2. 音更川

当該区間（図-1）の諸元は以下の通りである。流域面積は約 500 km<sup>2</sup>、河床勾配は 1/120 程度と比較的急勾配であり、河床材料は平均粒径 55mm の砂混じりの礫で構成されている。

平成 28 年 8 月の北海道豪雨災害では、直線的に整備された区間において流路の蛇行化によって河岸が大きく侵食され、左右岸 7 箇所にて堤防決壊に至った（図-1）。出水前の河道は、図-1-a より樹木が繁茂した河川敷地内においてある程度の蛇行は確認できるものの、既設の護岸も相まって比較的安定した河道の様相であった。しかしながら、既往最大流量を観測した出水により、当該区間では急速な流路変動が生じ、流路の平均水路幅は 2.54 倍、流路の最大振幅は 1.96 倍まで大きく拡大した。当該区間の堤間は約 200m ほどであったが、出水後、最も拡張した河道断面の川幅は 298m 程度となった。

出水後の現地調査によると、当該区間の堤防接近箇所等には低水路護岸が設置されていたが、出水後には大部分が破壊流失していたことが確認された。また、痕跡水位調査からは、決壊した堤防はピーク水位時には存在し

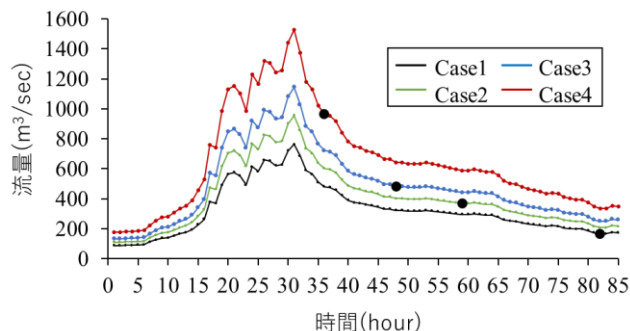


図-2 数値計算条件のハイドログラフ (Case1: 実績), 図中の黒丸は Case1 と同じ総流量となる時刻を示す

ており外水氾濫を防いだものの、その後の流量低下時に決壊に至った状況が確認された。

## 3. 数値解析

### (1) 数値解析モデル

ここでは、音更川当該区間を対象とした将来降雨変化に伴う洪水増加を想定し、2016 年北海道豪雨災害時の実績流量ハイドログラフ形状を 1.2 倍～2.0 倍まで増加させた場合における流路変動の応答を数値解析より検討する。数値解析には、出水中の局所洗堀に伴い植生が流出する条件を追加した iRIC Nays2D (<http://i-ric.org/ja/>) を用いた。計算範囲は、既往報告<sup>3,4</sup>と同じく音更川 SP1300～SP8600 の区間とし、上流端には比較的川幅変化の認められなかった中央橋付近を選定した。計算格子サイズは縦断方向に 7 m、横断方向に 4 m とし、航空写真を参考に植生域を設定した。初期植生密度および植生が流出する際の洗堀深は、十勝川水系の別支川である札内川における既往の現地調査結果を参考に、各々を 0.03, 0.2 m を与えた。河床材料は、現地調査より得られた平均粒径 55 mm の均一粒径とし、マンシングの粗度係数は 0.03 を与えた。流砂量式は芦田・道上の平衡流砂量式を用い、隣り合うメッシュ間の河床高の差が安息角以下になるように河岸侵食を考慮した。上流端からは平衡流砂量を与え、初期河床高が変化しない条件とした。

### (2) 解析条件

計算ケースの流量ハイドログラフ形状を図-2 に示す。図-2 に示す Case 1 は、2016 年 8 月の再現計算<sup>4</sup>である。Case 1 では、音更川土幌観測所で得られた実績流量の暫定値（帯広開発建設部）の流量ハイドログラフ形状を与えている。Case 2, Case 3 および Case 4 は、Case 1 の洪水ピーク流量を 1.25 倍、1.5 倍、2.0 倍までハイドログラフを引き伸ばしている。これらは、仮に将来降雨変化に伴う流出量増大が既往最大洪水の更新をもたらした場合、流路変動特性および蛇行流路の発達に伴う河岸・堤防侵食リスクがどのように変化するか、その特性を把握するものである。

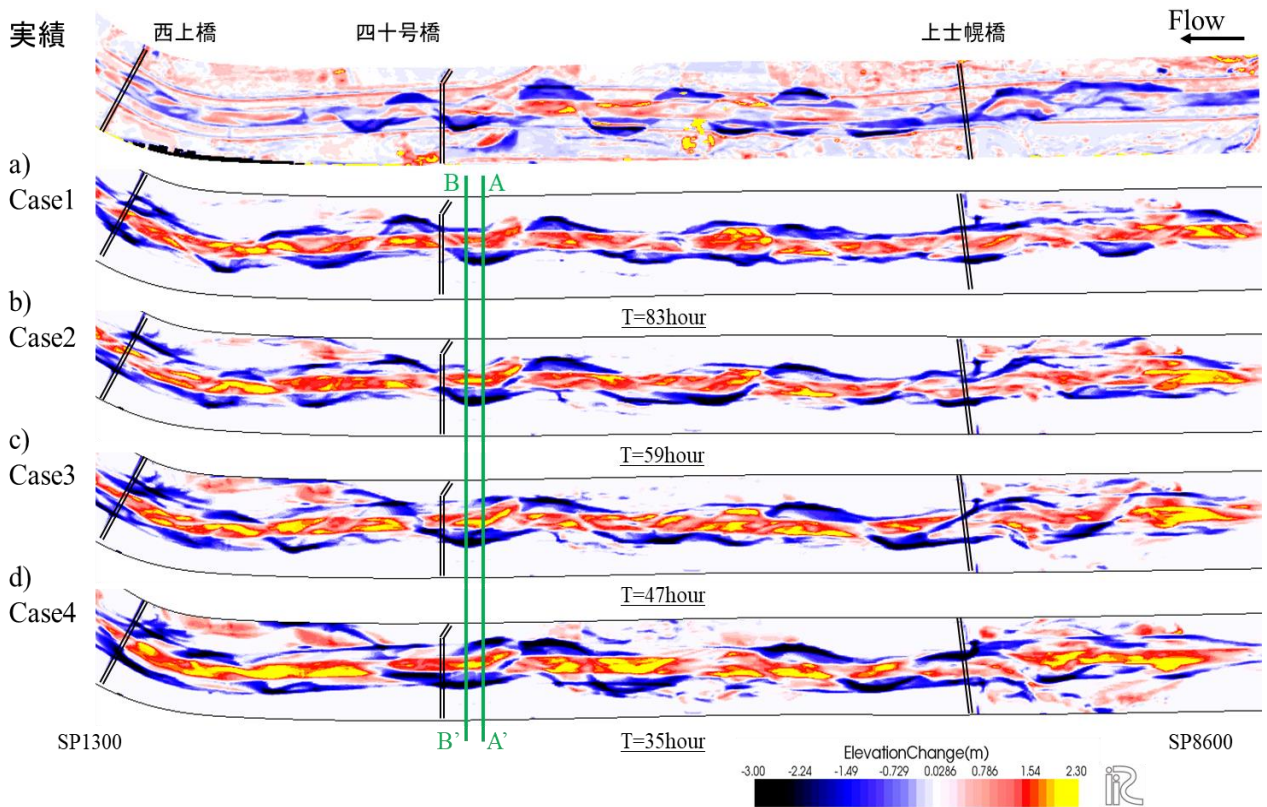


図-3 総流量が同時刻 (図-2の黒点) の河床変動量コンター図。  
 a) Case 1(実績), b) Case 2(1.25倍), c) Case 3(1.5倍), d) Case 4(2.0倍)

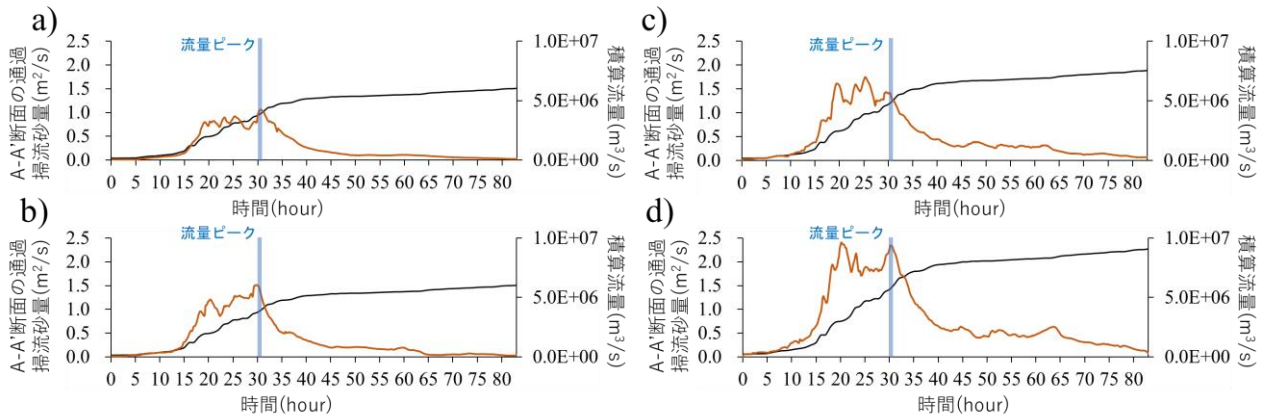


図-4 測線Aにおける積算流量と断面通過掃流砂量の時間変化。  
 a) Case 1(実績), b) Case 2(1.25倍), c) Case 3(1.5倍), d) Case 4(2.0倍)

#### 4. 結果と考察：音更川の将来洪水を想定した流路変動特性

##### (1) 総流量が同じ時刻における流路形状

図-3に、Case 1からCase 4の総流量が同じ時刻 (図-2に示すハイドログラフの黒点) における河床変動量コンター図を示す。前報<sup>4)</sup>では、総流量を統一した条件のもとハイドログラフのピーク時刻のみずらした場合、計算終了時の流路の平面形状は類似し、堤防侵食箇所もほぼ同じように再現された。一方、本計算ではピーク流量が異なる (流量規模が異なる) 場合、総流量が同じ時刻における流路の平面形状は明瞭に異なった。

図-3に示すとおり、本計算条件下ではCase 3およびCase 4など、ピーク流量が大きいケースほど蛇行波長が延長しており、流量増大に対応して蛇行の振幅が増大する状況は確認されなかった。また、低水路内の河床変動量を比較すると、ピーク流量が大きいケースほど河床高の増大が大きく (図内の黄色の領域)、低水路に短時間で土砂が堆積していることが分かる。これは、図-4に示す測線A-A'断面における通過掃流砂量の図から分かるとおり、流量規模が大きいほど流量増加中に低水路内を流れる土砂輸送量が大きく、その後、流量減水に転じた際にそれまで流れていた土砂が多量に砂州上に取り残されるためである。



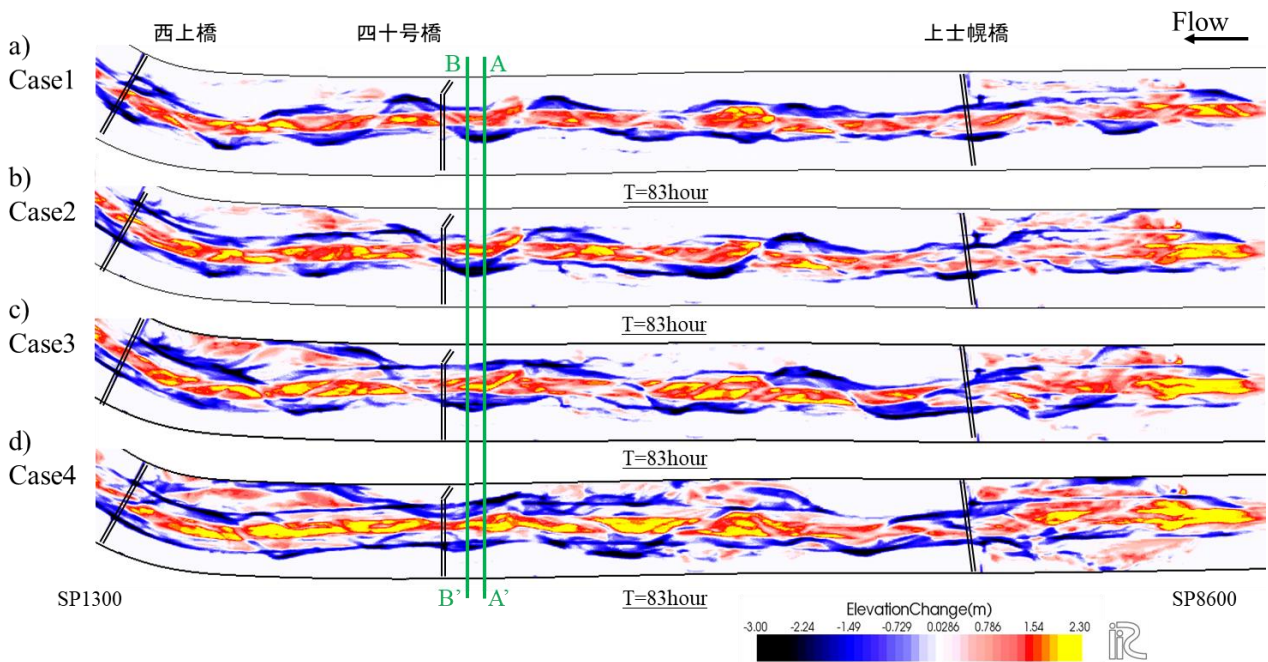


図-5 計算終了時 (T=83hour) の河床変動量コンター図。  
a) Case 1 (実績), b) Case 2 (1.25倍), c) Case 3 (1.5倍), d) Case 4 (2.0倍)

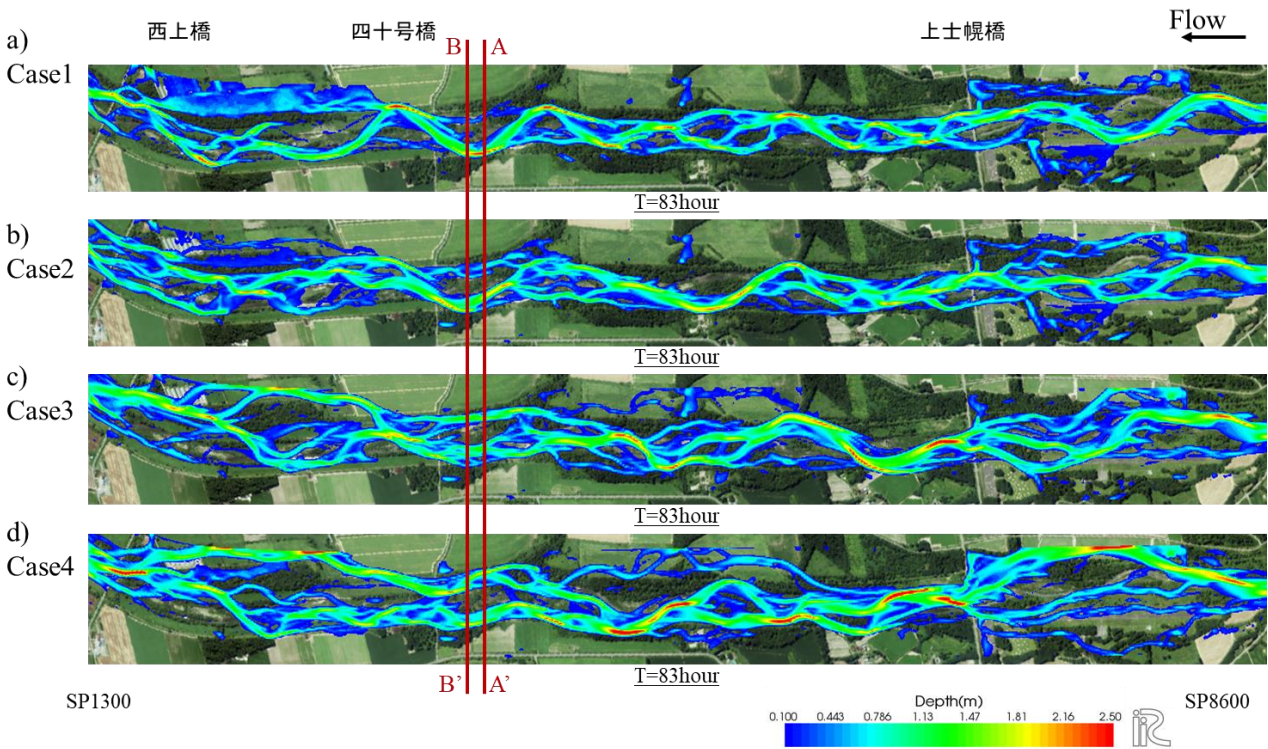


図-6 計算終了時 (T=83hour) の水深コンター図  
a) Case 1 (実績), b) Case 2 (1.25倍), c) Case 3 (1.5倍), d) Case 4 (2.0倍)

## (2) 計算終了時における流路形状

図-5および図-6に、Case 1からCase 4の計算終了時の河床変動量コンター図と水深コンター図を示す。図-5より流路の平面形状を比較すると、Case 1 (図-5-a)とCase 2 (図-5-b)に比べ、Case 3 (図-5-c)とCase 4 (図-5-d)では蛇行流路の平面形状を維持できていないように見える。とくに、Case 4では水深コンター図 (図-6-d)からも分かる通り、堤防を超えた堤内地側に新たな

流路が分岐しており、現状の堤防で囲まれた「複断面河道内での河道維持対策」を超えた領域まで流路変動していることが分かる。なお、本計算では2016年北海道豪雨災害時に音更川当該区間において堤防や低水護岸が出水途中に流失したことから、計算内にこれら構造物による河岸侵食の抑制効果を考慮していない。つまり、本結果によると、音更川当該区間では流量が1.5倍以上まで増大し、現況の川幅において低水護岸や堤防 (堤体と基

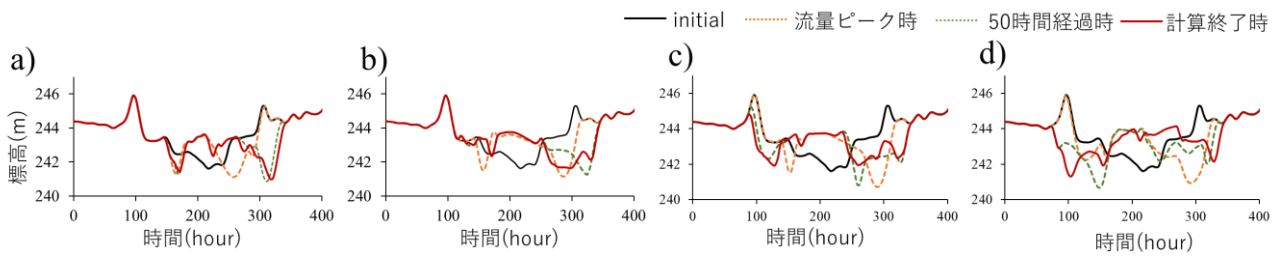


図-7 測線A-A'における横断河床形状の時間変化  
a) Case 1(実績), b) Case 2(1.25倍), c) Case 3(1.5倍), d) Case 4(2.0倍)

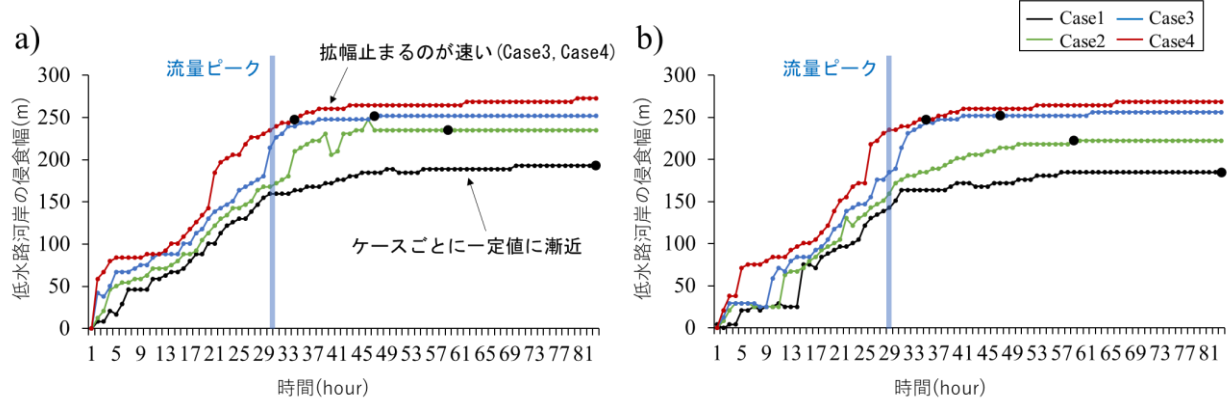


図-8 低水路の河岸侵食幅, 黒点: 総流量が同じ時刻を示す,  
a) 測線A-A', b) 測線B-B' (測線A-A'より75m下流地点)

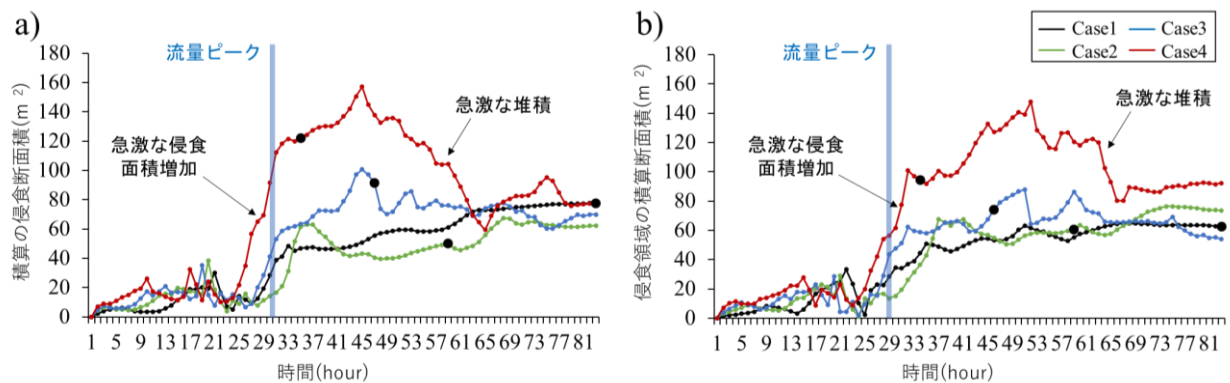


図-9 測線上の積算侵食断面積 (m<sup>2</sup>), 黒点: 総流量が同じ時刻を示す,  
a) 測線A-A', b) 測線B-B' (測線A-A'より75m下流地点)

板) が出水途中に河岸侵食に伴い流失するような状況が想定された場合、流路が堤防を越えて網状化する可能性もあると示された。これは、当該区間の流路形態の平面形状が約 20km 上流の糠平ダム (1956 年) 建設前の流路・河道形態に近づくことを意味するものである。

### (3) 将来洪水流量を想定した場における川幅拡幅

ここでは、流量規模増大に伴う蛇行流路の平面形状の変化が川幅の拡幅に与える影響を検討する。図-7 に、測線 A-A'における横断河床形状の時間変化を示す。また、図-8 および図-9 には、測線 A-A' 断面と測線 B-B' 断面における低水路の河岸侵食幅および積算侵食断面積を示す。測線 B-B' 断面は、流量の大きなケースほど時間経過とともに蛇行部が A-A' 断面よりも下流へ前進したため、比較用に示している。

図-7 より、各ケースの低水路の最終的な川幅は、前

述の流路の平面形状の違いに関わらず、流量規模が増加するほど大きくなることが分かる。これは、将来降雨流量が増大するほど、それに比例して川幅拡幅および堤防浸食リスクが高まることを示すものである。

続いて、図-8 に示す測線 A-A' 断面と測線 B-B' 断面における低水路河岸侵食幅の変化を比較する。図中の黒丸は、総流量が同じ時刻を示している。図-8 から分かる通り、各ケースの低水路の河岸侵食幅は、流量ピーク値に対応して大きくなることが分かる。ただし、図-8 によると、低水路河岸の侵食幅はある各ケース一定値付近まで広がると次第に漸近し、拡幅が止まる様子が見とれる。これは、流量 1.25 倍以下のケースでは、既往方向と同じく流量低下に伴い流路蛇行化が停止したためである。一方で、Case 3 と Case 4 については、もし仮に Case 1 と同じプロセス<sup>4)</sup>で流路変動が進むと予想した場合、流量低下時に低水路内に浮州が出現することで流れ

が偏向し、流量がかなり小さくなるまで更なる蛇行化が進むはずである。しかし、本計算条件下によると、Case 3 と Case 4 は計算終了時においても流量が十分大きい(400m<sup>3</sup>/sec 付近)にも関わらず、Case 1 や Case 2 よりも先に拡幅が停止した。これは、図-9 の測線上の積算侵食断面積の変化が示すように、流量ピーク通過後、砂州上に急速に土砂が堆積し、低水路全体の河床高が上昇することで流路形態が蛇行から複列あるいは網状流路へと変化したためと考えられる。流路が分岐することで流れ場の掃流力が低下し、川幅拡幅が比較的早い段階で停止したと推察される。

#### (4) 急流河川の河道計画に関する考察

音更川では、2016 年北海道豪災害やそれ以前においても、計画高水位に到達する以前に河岸侵食に伴う堤防決壊を幾度も経験してきた。本検討では、流量規模に応じて川幅の拡幅がどの程度まで発達するかを比較したところ、やはり流量規模が大きいほど拡幅距離が増大した。ただし、当該区間では流量が 2016 年出水の 1.5 倍規模を超えたあたりから、ピーク流量後に流路形態が変化し、蛇行流路の複列、網状流路化が始まると同時に、流路拡幅が止まった。ただし、この段階で既に破堤している場合、堤内地にも新流路が形成された。このことから、急流河川の河道計画においては、河道内ではある程度蛇行流の移動を許容し得るが、堤防基盤部およびその前面を侵食に対して確実に防御できる構造とすることが肝要と言える。これより、たとえ高水敷が侵食され、低水護岸が流失するような想定外の流量においても、甚大な被害を抑制できるように検討することが望ましいと考える。

#### 5. 結論

本研究では、今後の急流河川の侵食リスクを推定する手法を確立するための基礎的知見を得ることを目的に、

既往報告と同じく音更川上流域を対象に、将来洪水流量を想定した流路変動特性について数値解析から検討した。結果、当該区間では流量規模が大きくなるほど川幅も大きくなった。ただし、低水路内において川幅は拡幅し続けることはなく、各ケース一定値に漸近した。これは、流量 1.5 倍以上ではピーク流量通過後に急速に砂州上に土砂が堆積し、低水路全体の河床高が上昇することで流路形態が蛇行から複列あるいは網状流路へと変化したためと考えられる。ただし、この時点で既に堤防決壊している場合、低内地に新流路が形成された。急流河川区間の河道計画においては、堤防基盤部およびその前面を侵食に対して確実に防御できる構造が望ましいと考える。

謝辞：音更川現地データは帯広開発建設部にご協力いただいた。ここに謝意を記す。

#### 参考文献

- 1) 永多朋紀, 渡邊康玄, 清水康行, 井上卓也, 船木淳悟: 礫床河川における河道変化と植生動態に関する研究, 水工学論文集, Vol.60, 1081-1086, 2016.
- 2) Iwasaki T., Shimizu Y., Kimura I.: Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River, Advanced in Water Resources, Vol.93, pp.118-134, 2016.
- 3) 岡部和憲, 久加朋子, 清水康行, 長谷川和義, 新庄興, 山口里実: 流量低下時における河道変動の応答特性～十勝川水系音更川を事例として～, 水工学論文集, Vol.74 (4), pp.1501-1506, 2018.
- 4) 岡部和憲, 久加朋子, 清水康行, 長谷川和義, 新庄興, 山口里実: 流量ハイドログラフ形状に対する蛇行流路の移動特性～十勝川水系音更川を事例として～, 水工学論文集, Vol.74 (5), pp.1009-1014, 2018.
- 5) 桑村貴志: 地形データを用いた河道変遷の調査, 北海道開発局技術研究発表会論文集, 2013.
- 6) 北海道開発局: 北海道地方における気候変動予測技術検討委員会最終とりまとめ資料, 2017.

(Received July 1, 2019)

(Accepted November 1, 2019)

## STUDY ON MEANDERING SHIFT CONSIDERING THE FUTURE FLOODING SCALE IN STEEP-GRADIENT RIVERS

Kazunori OKABE, Tomoko KYUKA, Satomi YAMAGUCHI, Yasuyuki SHIMIZU, Kho SHINJO and Kazuyoshi HASEGAWA

In 2016 August, Otofuke River, located in Tokachi prefecture of Hokkaido, faced active bank erosion leading into a significant migration in the path of the channel due to the four major flooding events. In this study, following our previous report, the authors focused on the effects of the predicted future flooding scale (it becomes 1.5 ~ 1.7 times larger than present flooding discharge) on channel morphodynamics in the steep-gradient rivers. The results showed that as the flow rate increased, the channel width also increased. Moreover, when the flow rate exceeded 1.5 times larger than that of 2016 flood, meandering channel changed their channel formation to multi-thread, braided channel, leading into channel bifurcation and new flow path in the protected inland area. The important things in the steep-gradient river would be to make banks (embankments) resistance to erosion as a river channel planning.