

平成29年度

H28年出水時の音更川の河道変化について —土砂動態の観点から—

寒地土木研究所 寒地河川チーム ○川村 里実
岩崎 理樹
矢部 浩規

平成28年8月北海道大雨による出水時、十勝川水系では流路変動に伴う大規模な側方侵食により深刻な被害が多数発生した。側方侵食を伴う流路変動は土砂動態と関連する現象であると言われているが、実河川におけるその関連性については未だ明らかでない。本研究では、出水時の音更川直轄管理区間における河道変化の特徴を土砂収支データなどから検証し、側方侵食が大規模化した要因を土砂動態の観点から考察した。

キーワード：自然災害、側方侵食、流路変動、土砂動態

1. はじめに

平成28年8月の北海道大雨がもたらした出水によって十勝川水系の各河川は堤防が決壊するなど深刻な被害を受けた。特にセグメント1に分類されるような急流区間では、出水時の流路変動による大規模な側方侵食が多数発生した¹⁾。側方侵食を伴う流路変動は土砂動態と関連する現象であると言われており、河道内における出水時の土砂動態と流路変動の関係を把握することは、河川管理上重要な課題である。しかしながら、実河川におけるその関連性については未だ明らかでない。

十勝川水系音更川の直轄管理区間（約30km）は、河床勾配1/130～1/200、河床材料の代表粒径約50～90mmのセグメント1に分類される急流河川である。平成28年出水では、音更川の各水位観測地点において既往最大水位を記録し、高水位が長期間にわたって続いた。この出水で、洪水ピーク後の流量減少期において写真-1に示す箇所ですべて堤防が決壊した。出水前後（写真-2および写真-3）の写真にも示されるように、河道内の流路が出水中

に大きく湾曲するように変動したために大規模な側方侵食が発生し、堤防の決壊に至った。当該箇所から200m下流の横断形状の変化を図-1に示す。元来低水路箇所へ

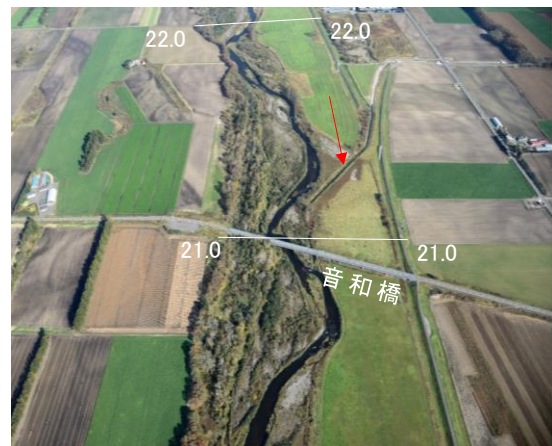


写真-2 平成28年出水前の音更川河道（KP21 音和橋付近、平成27年10月撮影、帯広開発建設部提供）



写真-1 音更川 KP21.2 で発生した堤防決壊、平成28年9月撮影、帯広開発建設部提供



写真-3 平成28年出水後の音更川河道（KP21 音和橋付近、平成28年10月撮影、帯広開発建設部提供）

の堆積と高水敷が広く侵食されているのが確認できる。この出水時に音更川直轄管理区間で発生した側方侵食幅を図-2に示す。出水前（平成25年）の河道地形と比較し、低水路の側方侵食が発生した各箇所における最大の侵食幅を示している（帯広開発建設部提供）。図より100～200m規模の侵食が多数で発生しており、大規模な側方侵食は局所的な現象ではなく河道全体で生じていたことがわかる。

音更川では平成23年にも側方侵食による堤防決壊が発生した。当時の検証によると、河道内への土砂堆積を伴う流路変動が側方侵食の要因とされている²⁾。今次出水においても、前出の図-1のように元低水路部の堆積が認

められる状況から、音更川のような急流河川では、河道内への土砂の堆積が流路変動に伴う大規模な側方侵食の主要因となっている可能性が考えられる。また、河道内の土砂堆積が要因となる場合、堆積土砂がどこから移動したのか、どのような過程で堆積したのかという土砂動態を把握することが侵食対策などの河道管理上、重要な観点となる。そこで、本研究では、急流河川である音更川の直轄管理区間を対象として、平成28年出水時の土砂動態と流路変動との関連性を検討する。本研究の目的は、流路変動に伴う側方侵食が大規模化する要因を土砂動態の観点から明らかにすることである。

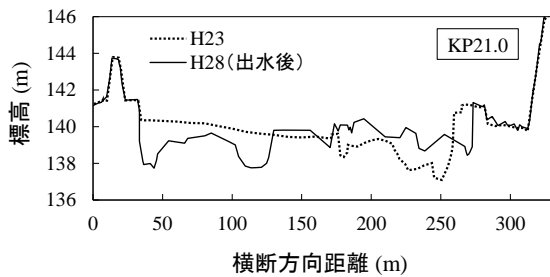


図-1 出水前後の横断面形状

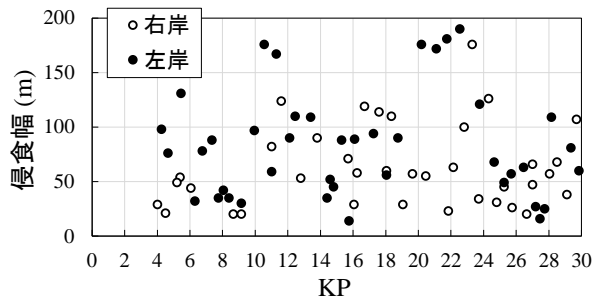


図-2 音更川侵食幅

2. 平成28年出水時の河道内における土砂動態

本章では、音更川の直轄管理区間における土砂収支について考察する。また、参考としてペケレバツ川の土砂収支について久加ら³⁾が検討した成果を示す。これらの土砂収支の状況より平成28年出水時の土砂動態の特徴を考察する。

(1) 音更川の直轄管理区間における土砂収支

平成25年と平成28年出水後の横断データより測線毎（約200m間隔）の土砂収支について整理したものを図-3(a)に示す。図-3(a)を見ると、十勝頭首工（KP27.7）より下流では、収支は概ねマイナスを示しており、河道全体としては大きく侵食傾向にある。このことは、この河道区間から大量の土砂が流出したことを意味する。図中の実線は、土砂収支から算出される各測線を通過した累積土砂量である。ここでは十勝頭首工を起点とした（起点での流砂量は除いていることに注意）。各測線の通過土砂量は流下方向に増加している。これは、各側線にお

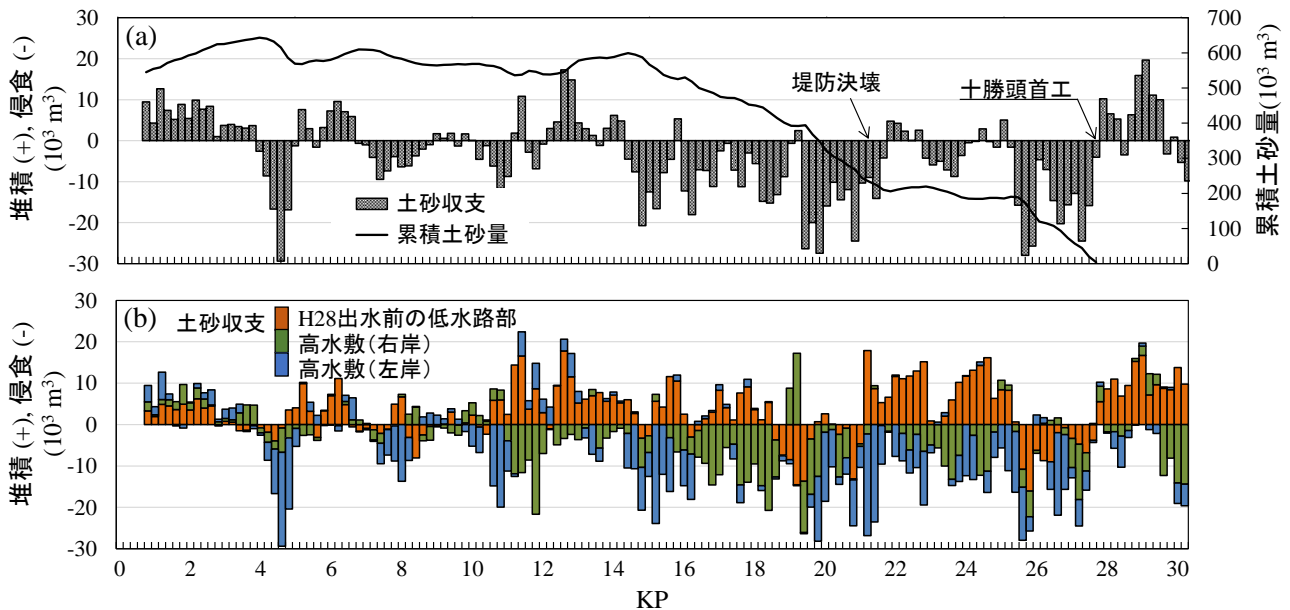


図-3 音更川の横断測線毎の土砂収支 (a)横断測線毎の収支, (b)元低水路と高水敷（左右岸）の収支（帯広開発建設部）

ける流出土砂量（侵食量）が加算されるためである。このことから、当河道区間からの土砂流出によって、河道内を流下する土砂量が流下方向に増加していたことがわかる。

次に、この土砂収支を出水前に元来低水路だった箇所と高水敷（左右岸）だった箇所に分けて整理したデータを図-3(b)に示す。これを見ると、全体的に元低水路部で堆積、高水敷部で侵食となっている。つまり、前出の図-3(a)では土砂収支がマイナス（侵食）を示しているが、元低水路部には大量の土砂が堆積したことがわかる。その一方で、高水敷からは大量の土砂が流出したことがわかる。このことは、前述の流下土砂量を増大させた供給源が高水敷からの流出土砂であったことを示しており、低水路部への堆積土砂の多くは高水敷から流出した土砂が供給源だった可能性が考えられる。例えば、堤防決壊地点KP21.2（写真-1）では、図-3(a)では断面内の土砂収支はマイナスであるが、図-3(b)より元低水路部には大量の土砂が堆積している。その上流側を見ると、やはり元低水路部の堆積と高水敷の侵食が示されており、この高水敷からの土砂の流出が下流側の低水路内への堆積に寄与した可能性がある。

(2) ペケレベツ川の河道区間における土砂収支³⁾

十勝川の二次支川であるペケレベツ川では平成28年出水によって、写真-4のように流路の蛇行化とともに川幅が出水前の約3~5倍にも拡幅し、市街地が深刻な被害を受けた³⁾。久加ら³⁾は河道内への土砂堆積が蛇行発達と側方侵食の一因だとしている。

ペケレベツ川における平成28年出水前後の土砂収支を図-4(a)に示す。横断測線毎（約50m間隔）に下流端から4.7kmまでを示す。これより上流には砂防施設（床固工）が整備されている。図中の実線は図-3(a)と同様で各測線を通過した累積土砂量であり、ここでは4.7km地点を起点とした（起点での流砂量は除いていることに注意）。図-4(a)より、音更川と同様、全体的に侵食傾向にあり、当区間からの土砂流出によって、河道内を流下する土砂量が流下方向に増加していたことがわかる。図-4(b)には元河道内と左右側岸部に分けた収支を示す。図をみると、砂防施設（4.7km地点）の直下流では、3.6km地点付近まで河道自体の大きな侵食がみられ、これに伴う大量の土砂流出が発生したことがわかる。これに対して、3.6km地点より下流側では元河道部の堆積とともに侵食に伴う側岸からの土砂流出がみられる。

ペケレベツ川は河床縦断勾配が3.6km付近で変化して下流側では比較的緩やかになる（計画上、上流側の勾配1/48に対して下流側の勾配1/66）。久加ら³⁾は、上流側から流下した土砂が勾配変化点（3.6km付近）より下流側で堆積したため、写真-4のように流路が蛇行して発達したことを示している。さらに彼ら³⁾は、いくつかの条件下で河床変動計算を実施した結果、上流部の砂防施設で



写真-4 平成28年出水後のペケレベツ川¹⁾

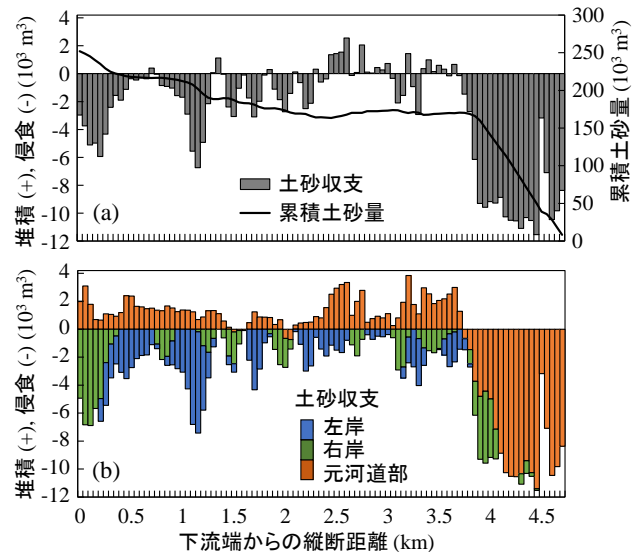


図-4 ペケレベツ川の横断測線毎の土砂収支 (a)横断測線毎の収支, (b)元河道内と左右側岸部の収支 (久加ら³⁾)

土砂供給を抑制しても、河道区間の侵食によって大量の流下土砂が生産されてしまうため、4.7km地点より上流の砂防施設だけでは3.6km地点より下流側の土砂堆積を抑制することは難しいとしている。このように、河道部における土砂流出を抑制する必要性が指摘されている。

(3) 平成28年出水時の土砂動態の特徴

音更川とペケレベツ川の土砂収支より、流路変動に伴う大規模な側方侵食が発生した河道の特徴として、主に以下の2点が挙げられる。

- ・河道区間からの大量の土砂流出
- ・元低水路部への土砂堆積

音更川は主に高水敷からの土砂流出であり、ペケレベツ川は上流側の河床低下による土砂流出ではあるが、河道区間から大量の土砂が流出していたという点で一致している。また、流路の大きな変動が認められる区間では、元来の流路部で堆積がみられるという点も一致している。

このことから、河道内への土砂の堆積が流路変動に伴う大規模な側方侵食の要因である可能性が示されるとともに、その堆積土砂の供給源が比較的近い河道区間から発生した土砂である可能性が示される。

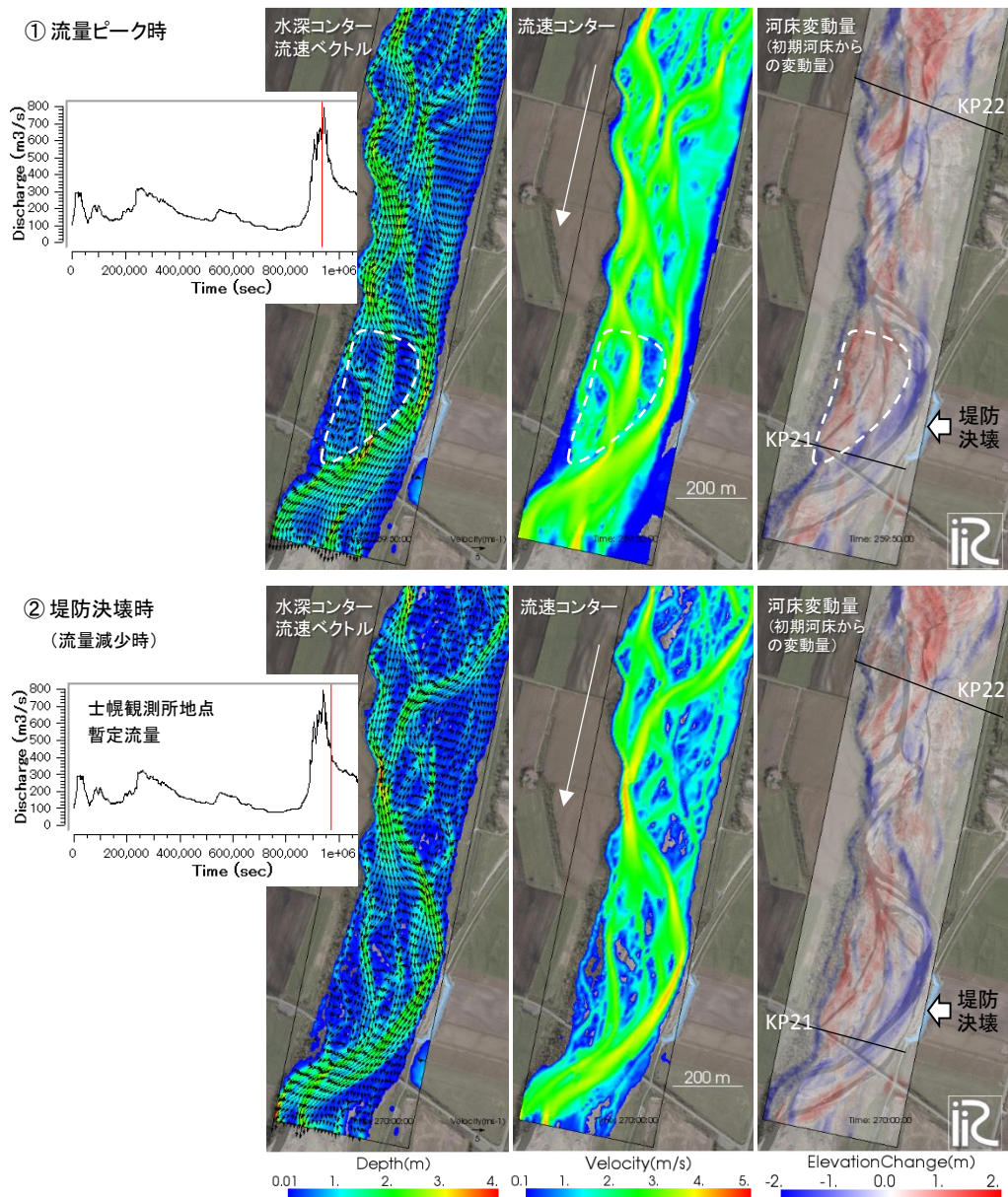


図5 堤防決壊箇所の再現計算結果 (① 流量ピーク時、② 堤防決壊時)

3. 流路変動と土砂動態の関係

本章では、河道内への堆積がどのように側岸侵食を誘発するのかを具体的に検討するために、音更川の堤防決壊地点における側方侵食過程を再現した河床変動計算結果を示す。再現される流路の変動過程と前章の土砂動態の特徴から側岸侵食が大規模化した要因を考察する。

(1) 流路変動の再現計算

a) 計算概要

音更川の堤防が決壊したKP21.2 (写真-1) 付近を対象として河床変動計算を行った。計算領域はKP20.8から上流側約2km区間 (河床勾配約1/145) とし、計算初期の地形標高には平成25年計測のLPデータ (帯広開発建設部) を使用した。流量は、高水位が続いた2週間について

河床変動量 (LPデータより)
(平成25年～平成28年出水後)

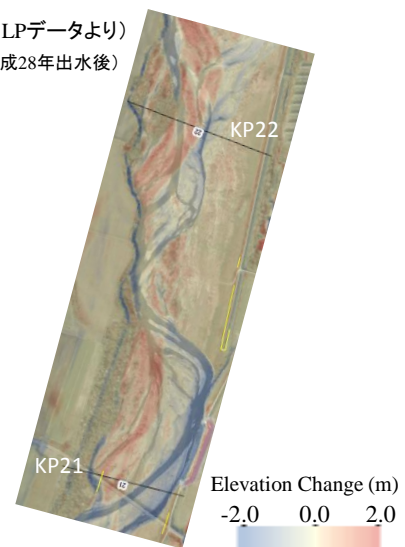


図6 LPデータ差分値 (帯広開発建設部)

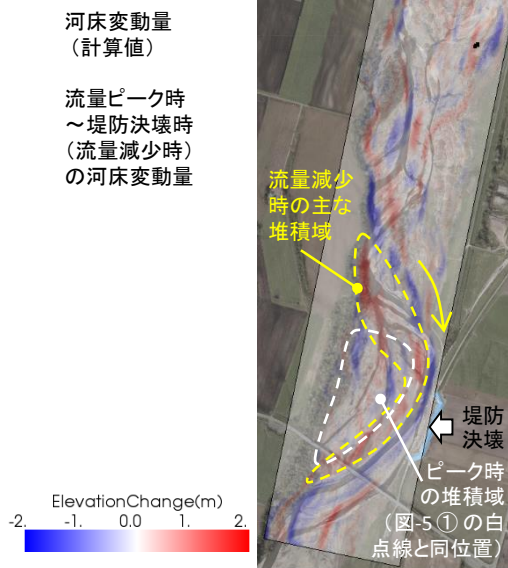


図-7 流量減少時の河床変動量

て土幌観測所地点の暫定値（帯広開発建設部）を用いた。計算はiRIC Nays2D（平面二次元河床変動計算）で実施した（<http://i-ric.org/>）。計算格子サイズは縦横断方向ともに5mとし、植生域は航空写真を参考に設定、河床材料はこの付近の平均粒径を参考に50mmの均一粒径とした。マニング粗度係数は0.03とし、流砂量式には芦田・道上式⁴⁾、河岸侵食には崩落モデルを適用した。上流端では動的平衡条件下で給砂量を与えた。

b) 流路変動過程

計算結果を図-5に示す。上段に①流量ピーク時、下段に②堤防決壊時の計算結果を示している。

まず、図-5②堤防決壊時をみると、出水後の航空写真で確認されるような湾曲した流路が再現されているのがわかる。図-6に平成25年と平成28年出水後のLPデータの差分値を示す。計算結果（②堤防決壊時）の河床変動量コンターと比較すると堆積域や侵食域がほぼ一致し、出水時の河床変動が計算で良好に再現されていることがわかる。河道内の堆積域を避けるように大きく蛇行した流路が堤防位置に達している様子が計算されている。

次に、再現結果の図-5①流量ピーク時の状況を確認してみると、ピーク時の流速の状況からは明確な蛇行流路は確認できない。しかし、流れが集中して流速が大きくなっている箇所が同一横断面内に複数筋見られ、ほぼ河道全幅にわたって比較的高速な流れが発生していることがわかる。高水敷だった領域にも流速の大きい箇所がみられ、堤防に接近した高速な流れも確認できる。また、河床変動量を見ると、流量ピーク時点で既に河道内への土砂堆積がかなり進行していることもわかる。

流量ピーク時以降の流量減少期における流路の変動過程を把握するために、①流量ピーク時から②堤防決壊時までの河床変動量を図-7に示す。図-7中の黄点線で囲ん

だ領域に堆積が見られ、この堆積域の左岸側に沿って侵食域が見られる。このことから、流量減少期にこの領域への堆積が進行し、これを避けるように湾曲した流路が発達したことがわかる。この堆積域の右岸側（湾曲した流路の内岸側、図-7中の白点線）の領域についてピーク時（図-5①）の状況を見ると、この領域内で高速な流れが生じているものの、水深が浅く、河床変動量にも堆積が示されていることから、ピーク時には既に堆積域がこの範囲まで拡大して砂州のような形状が水面下で発達していたことがわかる。つまり、流量ピーク時点で既に拡大していた堆積域を核として、流量減少期に更に堆積域を拡大させながら湾曲した流路が発達した過程を計算で確認することができる。この結果より、河道内への土砂堆積による形状（砂州）が堤防決壊地点で見られた湾曲した流路の発達を誘発したという過程を検証することができた。

(2) 側岸侵食が大規模化した要因の考察

平成23年出水の音更川堤防決壊後の検討の中で、永多ら⁹⁾は、低水路内の砂州地形によって蛇行発達を誘発されることを示し、当時の音更川における流路変動は既往出水時（昭和56年出水等）に形成された砂州に起因した蛇行発達であったことを示唆している。今次出水時に堤防侵食を引き起こした流路変動も、土砂堆積による砂州形状に誘発されたという点では、現象としては類似した特性も認められる。しかし、今次出水の流路変動は出水中に発生した土砂堆積に起因しているため、出水前の時点で大規模な側岸侵食の発生を予測することは難しかったと考えられる。前出の再現計算結果に示されるように流量ピークまでに既に堆積域が横断方向に大きく拡大していたことから、出水中に急激に堆積域が拡大したことが大規模な側岸侵食の要因であったと考えられる。

従来、砂州形状の発達・変動には長時間を要するため本国のような洪水継続時間が短い河道では、一出水中の地形の変化はそれほど大きくないと考えられている^{5), 6)}。今次出水中に急激に堆積域が拡大した要因として、前章で示したように、高水敷から大量に流出した土砂が供給源になったことが考えられる。高水敷から土砂が流出した過程については今後詳細な検討が必要であるが、少なくとも、今次出水のように既往最大流量や高水位が長期間継続する等のこれまでに経験したことのない外力条件下では、大量の土砂の移動によって低水路部への堆積が急激に進行する可能性があり、これによって大規模な側方侵食が誘発される危険性がある。

ここで、側岸侵食が大規模化した要因として考察されることを整理し、次に示す。

- ・既往最大流量や高水位の長期間継続（これまでに経験したことのない外力）
- ・高水敷から大量の土砂流出（堆積土砂の供給源に）
- ・低水路部への土砂堆積、堆積域の拡大（砂州形状の

急激な拡大)

- ・拡大した堆積域の形状（砂州）に誘発された湾曲流路の発達

図3(b)では元低水路部への堆積がほぼ全区間にみられる。このために図-2に示されるように、ほぼ全区間にわたって大規模な側方侵食が発生したものと理解できる。

堆積土砂の供給源については、高水敷などの河道区間からの流出土砂だけでなく、当然支川や上流からの土砂が供給源になり得るが、ペケレベツ川や音更川のように急流河川では河道区間からの土砂の流出も供給源となることを把握しておくべきである。また、音更川の堤防決壊が流量減少期に発生しており、流量減少期に流路の側方移動が生じやすいと考えられる。しかし、流量規模が大きいほど河道内の土砂の移動が大きく、図-5①の流量ピーク時に既に大規模な堆積域と堤防に接近する高速な流れが示されるように、必ずしも流量減少期だけに危険性があるわけではないことに留意するべきである。

4. おわりに

本研究では、平成28年8月出水時に音更川で発生した堤防決壊を受けて、側方侵食が大規模化した要因を検討するために、河道区間における土砂動態と流路変動の関係を考察した。主な結果は以下のとおりである。

- ・土砂収支より元低水路部への土砂堆積が顕著であったことがわかった。

- ・出水中に急激に拡大した堆積域（砂州形状）によって流路の湾曲が誘発され、側方侵食が大規模化した。
- ・堆積土砂の供給源は主に高水敷からの流出土砂であったと考えられる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、帯広開発建設部から貴重な資料を提供していただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 2016年8月北海道豪雨災害報告書，土木学会北海道豪雨災害調査団，2017.
- 2) 音更川の河岸侵食対策について，帯広開発建設部，2013.
- 3) 久加朋子，清水康行，宮本具征，劔持浩高，酒谷賢治，泉典洋，山口里実，岩崎理樹，石田義明：2016年北海道豪雨災害におけるペケレベツ川の被災状況と流路変動特性の検証，河川技術論文集，第23巻，55-60，2017.
- 4) 芦田和男，道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No. 206 P 59-69，1972.
- 5) 永多朋紀，渡邊康玄，安田浩保，伊藤丹：砂州地形に誘発された蛇行発達，土木学会論文集 B1（水工学）Vol. 69 No. 4 p. I_1099-I_1104，2013.
- 6) 藤田裕一郎，村本嘉雄，堀池周二，小池剛：交互砂州の発達機構，水理講演会論文集，第26巻，pp. 25-30，1982.