

十勝川上流流域における危険度評価に基づいた 河岸侵食対策について

—音更川河岸侵食対策の知見を踏まえた護岸整備—

帯広開発建設部 治水課 ○畑 裕樹
大串 正紀

十勝川水系音更川では2011年洪水時の流路変動により堤防の一部流出が生じたため、技術的な検討を行い侵食対策を進めてきた。2016年洪水では、十勝川上流、札内川、音更川において河岸侵食が多発したため、2011年洪水で得た知見を踏まえて更なる検討を行い対策を進めている。本報は十勝川上流等における河岸侵食への対策方針について報告するものである。

キーワード：河岸侵食対策、整備優先度、流路変動

1. はじめに

(1) 2011年9月洪水と2016年8月洪水の概要

a) 2011年9月洪水

2011年9月1日に日本の南方海上から北上した台風12号や、熱帯低気圧周辺の暖湿気が北日本へ流入した影響で、前線の活動が活発化し、道内各地に記録的な大雨を降らせた。音更川流域のナイタイ雨量観測所では、総雨量383mmが記録され、音更川ではピーク水位が氾濫注意水位程度であったにも関わらず、河岸侵食が多発するとともに、堤防の一部流出が発生した。

b) 2016年8月洪水

2016年8月17日～23日の1週間に3個の台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。また、8月29日から前線に伴う降雨があり、その後、台風10号が北海道に接近し、札内川流域の戸蔭別川上流観測所では、8月16日から8月31日までの総雨量895mmが記録されるなど、各地で大雨となった。

十勝川流域では、一連の降雨により各河川で水位が上昇し、特に台風10号に伴う大雨により、全21箇所の基準観測所のうち、4箇所の水位観測所（十勝川：芽室太・千代田・茂岩、札内川：南帯橋）で計画高水位を超過し、12箇所の水位観測所で既往最高水位を記録した。また、十勝川上流、札内川、音更川において20m以上の河岸侵食が計149箇所、既設護岸の被災が計58箇所にのぼり、札内川および音更川において計3箇所ですて堤防が決壊するなど、各地で被害が多発した。

(2) 急流河川における洪水時の流路変動特性

十勝川上流の河床勾配は1/440～1/210程度、札内川の河床勾配は1/250～1/110程度、音更川の河床勾配は1/200

～1/130程度であり、共に河川区分のセグメント1に分類される急流河川である。これらの急流河川では、洪水中に砂州や滞筋が移動しやすく、河道内では網状の蛇行流路が形成される（図-1）。この蛇行が発達することにより河岸や堤防の侵食に至るケースが多く見られ、2011年9月洪水（以下、「2011年洪水」という。）及び、2016年8月洪水（以下、「2016年洪水」という。）における堤防被災もこの特性に起因するものと考えられた。

上記の現象により侵食が進行し、堤防決壊に至れば、氾濫流の持つ流体力は凄まじく、家屋の倒壊や耕地の流出等、甚大な被害となる可能性がある。現象のメカニズムについては未だ研究途上の段階のため、定量的に評価することは困難な状況にあるが、河岸侵食による堤防被災の再発防止を目的として、河岸侵食の要因分析、危険性把握手法及び対策の方向性について検討を進めているところである。

本報では、十勝川上流域における技術的検討を踏まえた河岸侵食対策方針について報告する。

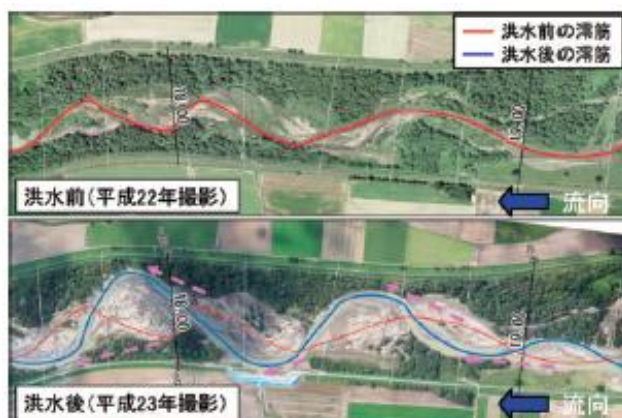


図-1 2011年洪水における滞筋の移動（音更川）

2. 音更川の河岸侵食対策

河岸侵食対策の対象を中規模洪水であった2011年洪水に加えて、連続洪水や大規模洪水であった2016年洪水も含めて検討を進めたところ、以下の知見が得られた。

(1) 2011年洪水を踏まえた河岸侵食対策の概要

洪水被害を踏まえ、2011年洪水における侵食幅や延長をもとに、将来の1洪水による蛇行頂部の移動量を横断方向80m・縦断方向250mと仮定（図-2）し、蛇行の移動を考慮した河岸侵食危険度を評価¹⁾（図-3）することにより、危険度の高い箇所から低水護岸の整備を実施してきた。

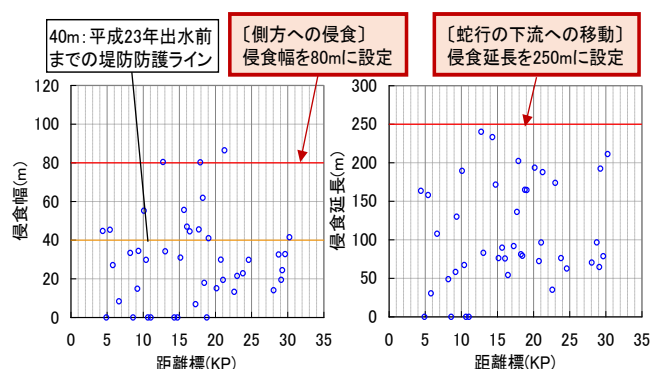


図-2 2011年洪水の侵食幅・侵食延長縦断面図

危険度	内容	設定基準	備考
S	堤防流出の可能性が高い箇所	今後の蛇行変化に伴う河岸侵食によって、低水路が堤防法線を割り込むと想定される区間。	今後流路が移動した場合は随時見直しを行う。
A	河岸侵食が堤防の近傍に達する箇所	今後の蛇行変化に伴う河岸侵食によって、低水路が堤防防護ライン（80m）を割り込むと想定される区間。	
B	護岸端部のすり付け箇所	堤防防護ラインは満足しているが、護岸端部の破壊防止など、機能維持のために防護が必要な区間。	
C	将来、流路の変動によっては対策が必要になる箇所	堤防区間において、S～Bに該当しない区間。	

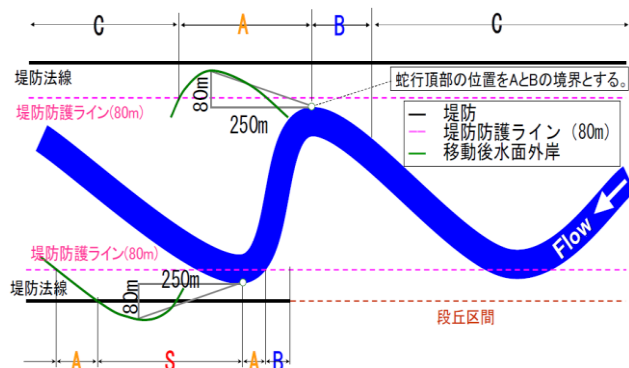


図-3 河岸侵食の危険度評価の考え方

(2) 2016年洪水を受けた河岸侵食の危険度の検証

既往の考え方に基づく危険度の評価が、2016年洪水（連続洪水及び大規模洪水）による河岸侵食に対して、どの程度適用できたか検証²⁾した（図-4）。

KP21.0左岸は、2016年以前には危険度としてランクCを設定していたものの、2016年洪水により河岸侵食が発生した。一方、2016年前期洪水後を起算点とした場合には、蛇行頂部の移動が想定される範囲に、2016年後期洪水後の蛇行頂部が含まれていた。すなわち連続洪水により、わずか数日間で危険性が変化することにより、危険度の低かった箇所が河岸侵食に至っていることが明らかとなった。

検証の結果、2016年前期洪水（連続洪水）及び後期洪水（大規模洪水）を個別に評価した場合は、河岸侵食実績との適合度が高く、蛇行頂部の移動量想定に関する既往の手法が適用可能であることが示された。一方、既往の手法は、洪水前の河道形状から蛇行の移動を予測するため、1洪水目で河道形状が大きく変化した場合に、2洪水目の蛇行移動による危険箇所の予測が困難である。このため、音更川においては、堤内地盤が高い無堤箇所を除き、全川の低水護岸整備を必要とするが、これまでと同様に1波目の危険箇所の予測に基づき、護岸整備を着実に進めることが重要である。

(3) 音更川の河岸侵食対策

音更川は、音更町の市街地を縦貫する区間と畑作地帯を流れる郊外の区間に大きく分けられる（図-5）。

市街地区間は既に低水護岸が整備されている。しかし、高水敷への洪水流の乗り上げによる、堤脚部からの堤防決壊が発生した場合には著しい被害が懸念される。そのため、高水護岸+屈とう性のある根固め工による堤防保

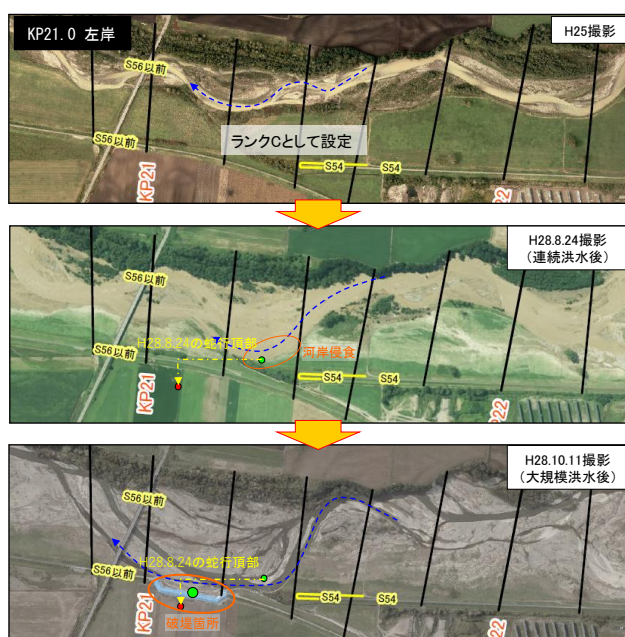


図-4 2016年洪水による河岸侵食に対する検証

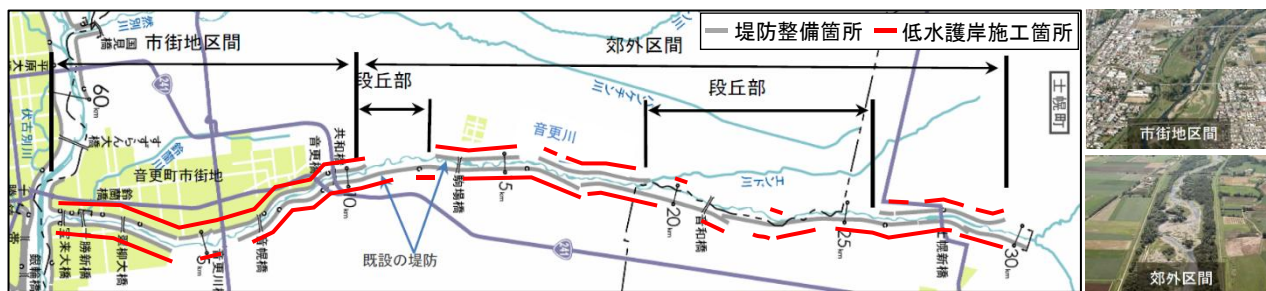


図-5 地形や土地利用形態の違いによる区分図（音更川）

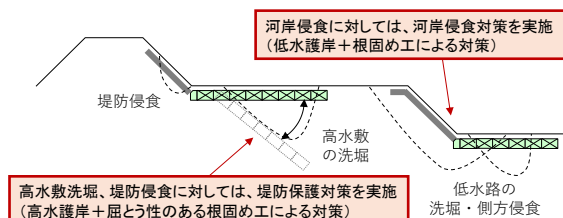


図-6 音更川の河岸侵食対策工

表-1 2016年洪水後の河岸侵食危険度ランクS～Cの各延長

ランク	延長 (m)		
	左岸	右岸	合計
S	2,125	349	2,474
A	4,307	3,407	7,714
B	330	746	1,076
C	782	1,531	2,313

表-2 音更川の近年の護岸整備状況

年度	工事名	低水・高水護岸	左右岸	工事区間
H28年	宝来築堤堤防保護工事	高水護岸	左岸	KP0.60 ~ KP1.30
	宝来築堤上流堤防保護外工事	高水護岸	左岸	KP1.30 ~ KP1.80
	川西築堤堤防保護工事	高水護岸	左岸	KP3.60 ~ KP4.00
	川西築堤堤防保護工事	高水護岸	左岸	KP3.50 ~ KP3.60
H29年	音更川左岸中士幌地先築堤災害復旧工事	低水護岸	左岸	KP20.80 ~ KP21.30
	音更川左岸中士幌地先築堤災害復旧工事	高水護岸	左岸	KP21.00 ~ KP21.20
	音更川駒場築堤災害復旧工事	低水護岸	右岸	KP13.40 ~ KP14.00
	音更川南士幌築堤下流災害復旧工事	高水護岸	左岸	KP22.20 ~ KP22.60
	音更川南士幌築堤上流災害復旧工事	高水護岸	左岸	KP23.80 ~ KP24.20
	音更川土幌築堤災害復旧工事	低水護岸	左岸	KP28.20 ~ KP29.00
	音更川土幌築堤災害復旧工事	低水護岸	右岸	KP9.00 ~ KP9.60
	音更川東音更築堤災害復旧工事	低水護岸	左岸	KP6.60 ~ KP7.00
	音更川南士幌築堤下流災害復旧工事	高水護岸	左岸	KP22.20 ~ KP22.60
	音更川南士幌築堤上流災害復旧工事	高水護岸	左岸	KP23.80 ~ KP24.20
	音更川土幌築堤災害復旧工事	低水護岸	左岸	KP28.20 ~ KP29.00
	音更川東音更築堤災害復旧工事	低水護岸	右岸	KP9.00 ~ KP9.60
H31年	音更川東音更築堤災害復旧工事	低水護岸	左岸	KP6.60 ~ KP7.00
	南音更築堤高速流対策工事	高水護岸	右岸	KP4.00 ~ KP5.10
	音更川柳町河岸保護外工事	低水護岸	右岸	KP4.00 ~ KP4.20
R2年	音更川柳町河岸保護外工事	低水護岸	右岸	KP4.40 ~ KP4.80
	南音更地区堤防保護工事	高水護岸	右岸	KP5.10 ~ KP5.60
	音更築堤下流堤防保護工事	高水護岸	右岸	KP5.60 ~ KP6.50
	音更築堤堤防保護工事	高水護岸	右岸	KP8.30 ~ KP9.30
R3年	音更築堤上流堤防保護外工事	高水護岸	右岸	KP9.30 ~ KP10.30
	東音更築堤河岸保護工事	低水護岸	左岸	KP11.20 ~ KP11.80
	北駒場築堤河岸保護工事	低水護岸	右岸	KP16.00 ~ KP16.20
	音更築堤堤防保護工事	高水護岸	右岸	KP6.50 ~ KP6.80
R4年	南士幌築堤外護岸補修工事	低水護岸	左右岸	KP25.80 ~ KP26.00
	音更築堤堤防保護工事	高水護岸	右岸	KP7.90 ~ KP8.30
R5年	音更築堤堤防保護外工事	高水護岸	右岸	KP6.80 ~ KP7.90
R6年	音更築堤堤防保護外工事	高水護岸	右岸	KP10.30 ~ KP10.60
	音更川護岸補修外工事	低水護岸	左岸	KP1.20 ~ KP1.40

護対策を行う。郊外区間は低水護岸の整備率が低く、河岸侵食による堤防決壊が懸念されるため、危険度が高い箇所から低水護岸による河岸侵食対策を行う（図-6）。

音更川では、2016年洪水以降、蛇行の移動を考慮した河岸侵食の危険度評価（表-1）に基づいた河岸侵食対策、及び市街地区間の堤防保護対策を進めているところである（表-2）。

HATA Hiroki, OOKUSHI Masanori



図-7 2016年洪水後の河岸侵食の状況（十勝川）

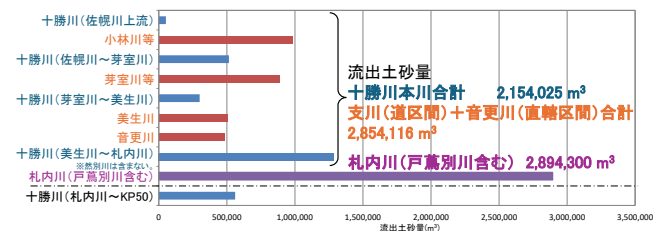


図-8 2016年洪水における流出土砂量集計結果

3. 十勝川上流の河岸侵食対策

(1) 2016年洪水及びその後の河岸侵食の状況

2016年洪水では、既設護岸・水制工の無い区間で、大規模な河岸侵食が発生している。また、2016年洪水以降、大規模洪水が発生していないに関わらず、2018年洪水により、KP63.0右岸等において河岸侵食が発生し、共栄橋では橋脚が被災した（図-7）。

(2) 河岸侵食の要因分析

a) 2016年洪水の土砂動態

支川（北海道管理区間）を含めた十勝川の土砂流入量の整理すると、支川から本川への流出土砂量は、本川河道内の堆積量を上回っており、2016年洪水の十勝川では、特に佐幌川合流点より下流区間において、支川からの土砂の影響が大きい（図-8）。

佐幌川合流点より下流区間は、主に複列流路となっているが、図-9に示すKP77～78のように、2016年洪水の堆積土砂が固定化して水衝部となり、対岸に大規模な単列蛇行流路を形成することで、河岸侵食が発生している。また、佐幌川合流点より上流区間は、音更川と同様に単列蛇行流路の卓越により河岸侵食が発生している。

2018年洪水（小規模洪水）時に河岸侵食が進行した箇所は、2016年洪水で低水路に著しい堆積がみられる地点とほぼ一致（図-10）していることから、大規模洪水時に低水路に顕著な堆積が生じた箇所では、その後、小規模な洪水でも河岸侵食が進行しやすい³⁾という点にも留意する必要がある。また、2016年洪水後～現在の土砂収支は大きな変化が無く（図-11）、2016年洪水時の堆積土砂が流出していないことから、今後洪水が発生した場合には、2016年洪水時のように河岸侵食が多発する危険性が高いと考えられる。

b) 既往洪水における洪水継続時間

観測所H-Q式から任意の流量に対する水位を算出し、無次元限界掃流力（ τ^*c ）となる流量を試算すると、十勝川上流に位置する芽室太観測所では210m³/sとなる（表-3）。これを踏まえ、既往洪水において無次元限界

掃流力となる流量以上の継続時間を整理すると、2016年洪水では607時間、2018年7月洪水では365時間（図-12）続いており、2018年洪水のような小規模洪水であっても、ある流量規模を超える洪水が長時間継続すると、河岸侵食の危険性が高まる可能性が考えられる³⁾。

表-3 無次元限界掃流力となる流量の試算結果

河川名	観測所名	無次元限界掃流力 ($\tau^*c=0.05$)となる 流量(m ³ /s)※	dm 平均粒径 (mm)	le (平均河床 勾配で代用)
音更川	土幌	22	53.43	1/134
音更川	音更	34	33.54	1/204
札内川	上札内	106	130.98	1/112
札内川	南帯橋	85	52.96	1/210
札内川	札内	160	40.93	1/260
十勝川	共栄橋	88	44.57	1/217
十勝川	芽室太	210	27.75	1/436
十勝川	帯広	360	23.21	1/632

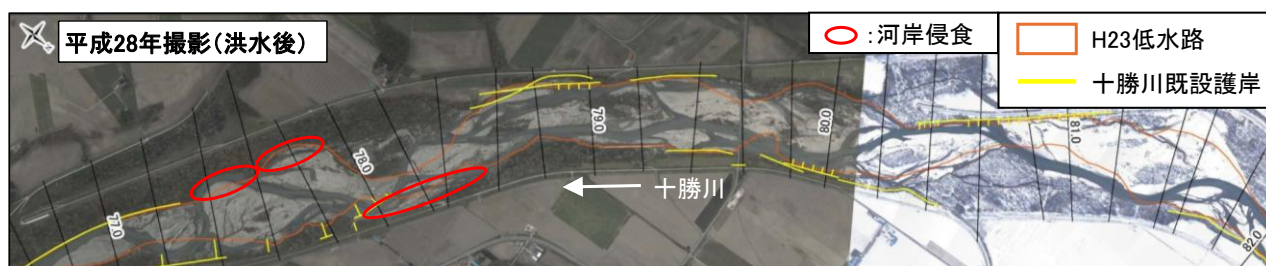


図-9 佐幌川合流点下流区間における2016年洪水の河岸侵食状況

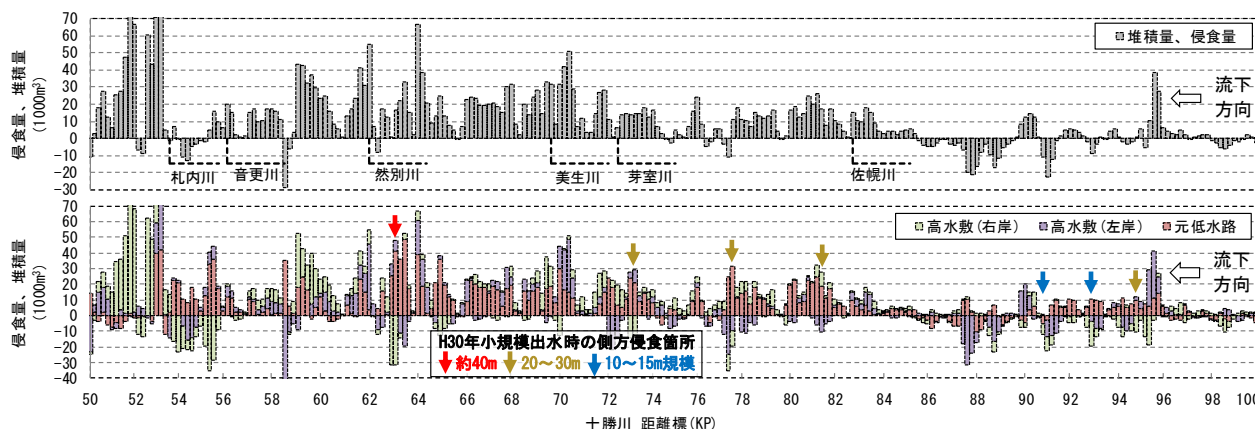


図-10 2016年洪水による十勝川の河道の堆積・侵食量
(上：各測線での堆積・侵食の総量 下：堆積量・侵食量の内訳)

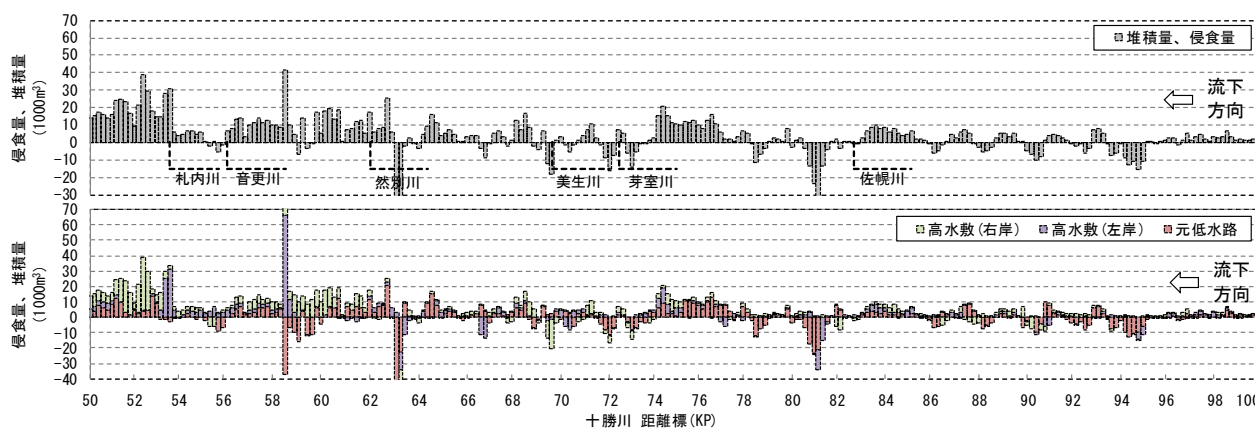


図-11 2016年洪水後～現在の十勝川の河道の堆積・侵食量
(上：各測線での堆積・侵食の総量 下：堆積量・侵食量の内訳)

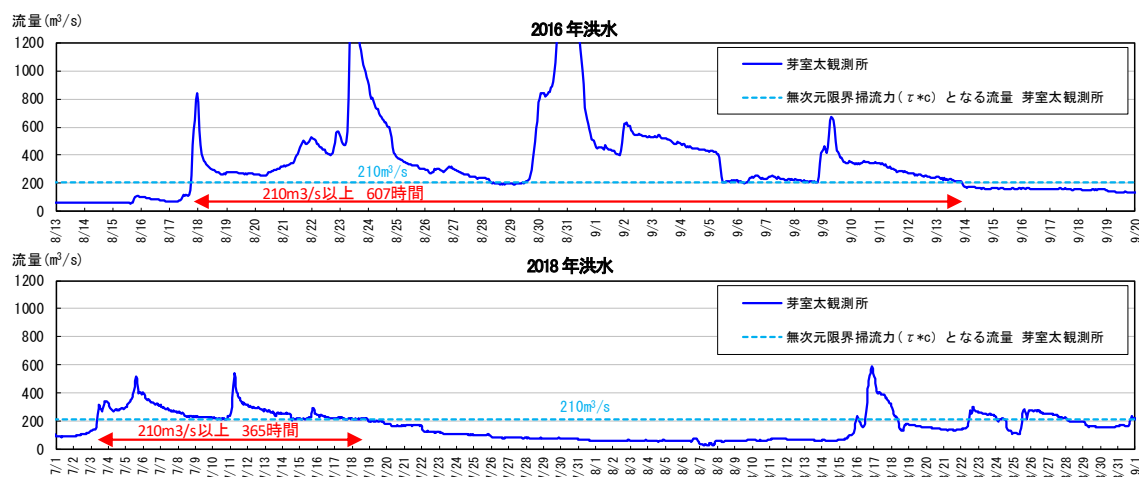


図-12 既往洪水における無次元限界掃流力となる流量以上の継続時間

(3) 河岸侵食対策の実施方針

十勝川上流域では、長い水制工により高水敷化を図った箇所や、水衝部等において低水護岸や水制工の連続化を図った箇所では、2016年洪水の河岸侵食に対して効果を発揮した。しかし、一部の水衝部では低水護岸や水制工が無く、2016年洪水では大規模な河岸侵食が発生した。また、2016年洪水後、2018年までの間に中小規模の出水により河岸侵食が発生した。

前述の要因分析を踏まえると、単列蛇行流路を形成し、護岸・水制工の無い区間において、音更川と同様に蛇行の移動により河岸侵食が発生する危険性が高い。また、2016年洪水の堆積土砂により、音更川のように低水路と高水敷の比高差が小さい箇所では、継続時間が長時間となる洪水が発生した場合に、河岸侵食の危険性が高い。

以上のことから、音更川と同様に、幅広の低水路に低水護岸を連続化させることを河岸侵食対策の基本とした。

(4) 河岸侵食の危険度評価

十勝川上流の河岸侵食対策の優先度は、音更川と同様に蛇行の移動の想定による危険度評価結果から設定することとし、2016年前期洪水および後期洪水における十勝川上流の河岸侵食幅・延長の実績値（図-13）を基に、将来の1出水による蛇行頂部の移動量を横断方向80m・縦断方向250mと仮定して、最新の2023年度空撮より危険度評価を実施した（表-4、表-5）。

表-4 最新空撮による河岸侵食危険度評価
(各ランク延長・十勝川上流)

ランク	延長(m)		
	左岸	右岸	合計
S	2,597	2,957	5,554
A	5,165	6,270	11,435
B	679	438	1,117
C	6,658	4,615	11,273

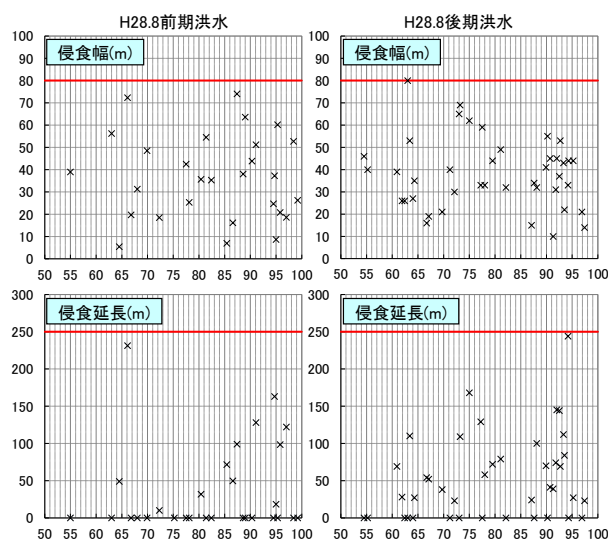


図-13 2016年洪水河岸侵食幅・延長の実績値

表-5 河岸侵食の危険度評価結果（十勝川上流）

KP	左右岸	堤防状況	築堤名	最新検討結果 (R5空撮写真より設定)			
				護岸の有無	ランク	延長	備考
60.00	左岸	完成	然別築堤	無	S	312	
63.00		完成	西士狩築堤	無	S	213	
72.00		完成	芽室太築堤	無	S	39	
74.60		完成	芽室太築堤	無	S		
74.80		完成	芽室太築堤	無	S	235	
77.80		完成	芽室太築堤	無	S	130	
79.60		完成	芽室太築堤	無	S	154	
80.20		完成	芽室太築堤	有	S	115	KP80.0~80.2間
80.80		完成	熊牛築堤	無	S		
81.00		完成	熊牛築堤	無	S	254	
82.00		完成	熊牛築堤	無	S	62	
88.20		完成	熊牛築堤	無	S	130	
90.00		暫定	熊牛築堤	無	S		
90.20		暫定	熊牛築堤	無	S	593	
90.60		暫定	熊牛築堤	無	S	165	
96.40		完成	屈足築堤	無	S	195	
63.80	右岸	完成	西帯広築堤	無	S	86	
64.20		完成	西帯広築堤	有	S	32	KP64.0~64.2間
64.40		完成	西帯広築堤	有	S	31	KP64.4~64.6間
65.00		完成	西帯広築堤	無	S		
65.20		完成	西帯広築堤	無	S		
65.40		完成	西帯広築堤	無	S	505	
69.60		完成	ビウカ築堤	無	S		
69.80		完成	ビウカ築堤	無	S	348	
74.60		完成	芽室築堤	無	S	121	
75.40		完成	中島築堤	無	S		
75.60		完成	中島築堤	無	S	497	
75.80		完成	中島築堤	無	S		
81.40		完成	羽帯築堤	無	S	280	
89.80		暫定	人舞築堤	無	S	242	
90.00		暫定	ニトマップ築堤	有	S	235	KP89.8~90.0間
93.60		暫定	ニトマップ築堤	無	S	332	
93.80		暫定	ニトマップ築堤	無	S		
94.20		完成	ニトマップ築堤	無	S		
94.40		完成	ニトマップ築堤	無	S	248	

※Sランクのみ抜粋

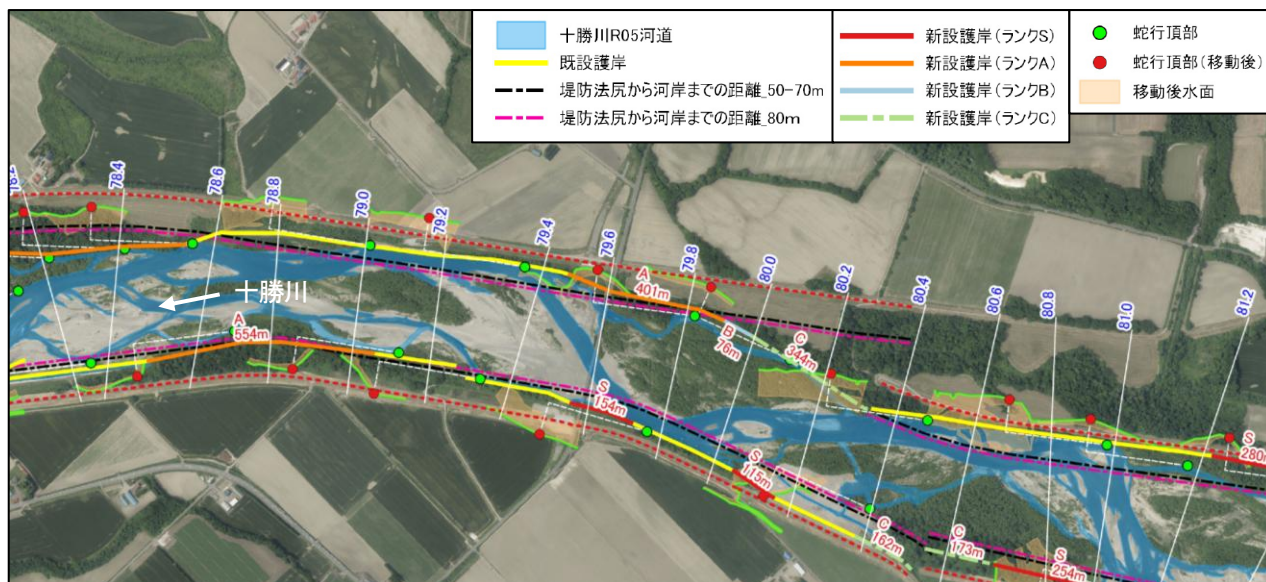


図-14 最新空撮による河岸侵食の危険度設定平面図（十勝川上流）

佐幌川合流点より下流区間のKP79.6左岸の例（図-14）では、単列蛇行流路の外岸部に位置しており、蛇行頂部の移動を想定した場合、蛇行の変化に伴う河岸侵食によって、低水路が堤防法線を割り込むことが想定されるため、既設護岸が無い延長154m程度の区間が、河岸侵食の危険度ランクSに該当することとなる。



図-15 河道変化モニタリングの強化（反射板・木杭）

4. 今後に向けて

急流河川の蛇行発達による河岸侵食のメカニズムは研究途上であるため、護岸整備完了までの対応として、定期横断測量、垂直写真撮影の更新に合わせた河岸侵食の危険度評価および整備優先度設定の更新を実施する。音更川における2016年洪水後（2019年空撮）および最新の2023年空撮による危険度評価結果を比較すると、蛇行頂部（湾筋）の経年変化に伴い、危険度ランクSの延長が若干増加しているものの、河岸侵食対策の進捗により危険度ランクA～Cの延長は大きく減少していることが分かる（表-6）。

また、洪水時の監視体制の強化（見通し伐採、反射板や木杭設置（図-15））や、災害応急対策協定業者による洪水時の巡視と、迅速・的確な応急対策に繋げる体制を継続していく必要がある。

札内川は、水制工の連続化を図った箇所では、2016年洪水の河岸侵食に対して効果を発揮した。しかし、水制工が無い箇所や水制工連続化区間の下流端では河岸侵食が発生した。このため、市街地区間より上流の河岸侵食対策未実施箇所への検討及び施工が必要である。

表-6 音更川の河岸侵食危険度評価(2016年洪水後・最新)

危険度 ランク	延長 (m)						差 ②-①
	①H28出水後 (R1空撮)			②最新 (R5空撮)			
	左岸	右岸	合計	左岸	右岸	合計	
S	2,125	349	2,474	2,201	442	2,643	169
A	4,307	3,407	7,714	3,116	3,116	6,232	-1,482
B	330	746	1,076	325	109	434	-642
C	782	1,531	2,313	701	1,435	2,136	-177

謝辞：本報は音更川河道計画ワーキング及び十勝川上流河道計画ワーキングにおける検討結果を基にとりまとめたものであり、北海道大学大学院工学研究院泉教授、北見工業大学渡邊特任教授をはじめとする各委員に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 桑村貴志, 永多朋紀, 旭一岳：出水時における音更川の流路変動特性と堤防防護対策について, 平成24年度技術研究発表会論文
- 2) 柏谷和久, 桑村貴志, 泉典洋, 渡邊康玄, 山口里美, 横山洋：音更川における堤防侵食対策の効果と課題, 河川技術論文集, 第26巻, 2020年6月
- 3) 川村里美, 久加朋子, 岡部和憲：大規模な側岸侵食と低水路護岸背面洗堀の発生プロセス, 2020年度技術研究発表会論文