

音更川における出水時の 堤防一部流出の原因分析について

帯広開発建設部 治水課

○小田島 大祐

桑村 貴志

寒地土木研究所寒地水圏研究グループ

永多 朋紀

十勝川水系音更川では、平成23年9月の出水により大規模な河岸侵食が多数発生し、特に中流部では堤防が一部流出するに至った。音更川は急流河川で流路の変動が生じやすい河川であるため、洪水時における河道変状や河岸侵食の特性を把握し、堤防の流出を防ぐための対策を今後進めていく必要がある。

本研究は、堤防の一部流出の原因を明らかにすることを目的として、出水後の現地調査結果、および出水前後のデータ比較等による原因の分析結果について報告するものである。

キーワード：防災、堤防流出、河岸侵食

1.はじめに

平成23年9月2日から7日にかけて台風や前線に伴う降雨が続き、道内各地に記録的な大雨を降らせた。平成23年9月7日、音更川KP18.2左岸において堤防の一部が流出した。堤防の流出は前日夕方の河川巡視では確認されていないことから、9月6日夜から9月7日未明の間に堤体一部流出が始まったと考えられる。現地では、その応急復旧として流出箇所周辺に根固めブロックを投入して堤防流出の進行を防いだほか、仮堤防を建設してその後の洪水への備えを図ったところである。本報告では今回の堤防の一部流出に関する出水中の流速調査、出水後の洪水痕跡調査、流出箇所の土質調査等を行っており調査結果及び原因を報告するものである。



図-1-1 堤防一部流出箇所位置図



写真-1-1 堤防一部流出箇所全景
(上流側から撮影。H23.9.7 PM1:49 撮影)

2. 音更川の概要

音更川は水源を音更山に発し帯広市街地近郊で十勝川左岸に合流する流域面積740km²、幹川流路延長93.5kmの十勝川の主要な支川である(図-2-1)。直轄管理区間29.9kmのほとんどは有堤区間となっているが、その上流は谷状の河川形状となっている。直轄区間の河床勾配は1/134~1/201と急勾配で、低水路幅は100~200mと広く、河床材料も88~52mmと大きく、セグメント区分1に分類される急流河川である。



図-2-1 音更川位置図

3. 平成23年9月洪水

(1) 降雨の状況

平成23年9月2日から7日にかけて台風や前線に伴う降雨が続き、道内各地に記録的な大雨を降らせた(図-3-1)。

音更川においても強い雨が長時間にわたって降り続き、中流部にあるナイトイ雨量観測所の9月2日から9月7日にかけての総雨量は383mm、最大時間雨量は27mmに達した。

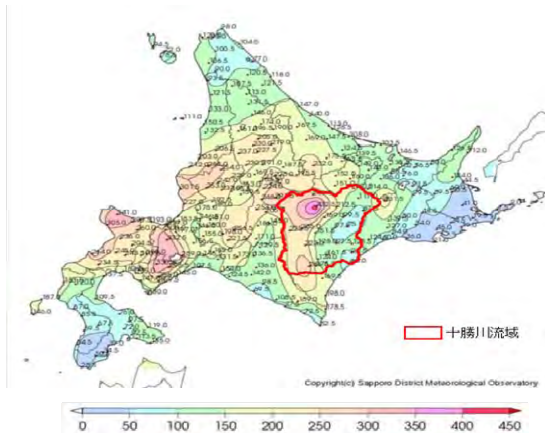


図-3-1 H23年9月1日～7日までの総降水量(アメダス)

(2) 流況

音更水位流量観測所(KP9.1)における洪水ピーク水位は、はん濫注意水位を0.12m上回るWL=73.22mであった(図-3-2)。また、ピーク流量は548m³/s(暫定値)であり、昭和42年以降第3位となる流量であった(図-3-3、図-3-4)。

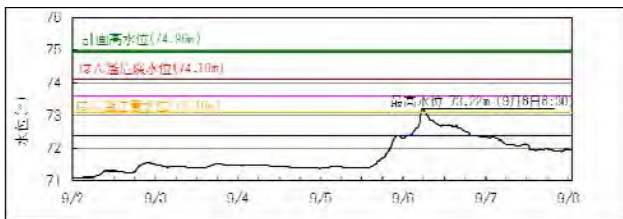


図-3-2 音更水位流量観測所における水位変化

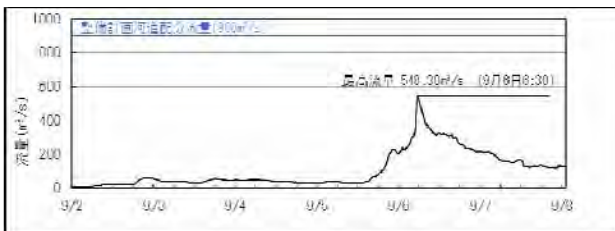


図-3-3 音更水位流量観測所における流量変化
(H23の流量は現H-Qによる暫定値)

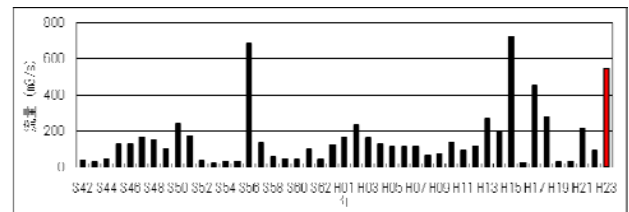


図-3-4 音更水位流量観測所における年最大流量
(H23は暫定値)

4. 堤防一部流出時の状況

(1) 出水中の状況

写真-4-1は、堤防一部流出が確認された9月7日朝の状況である。この時点で120m～130m程度の延長の堤防の一部流出が生じ、最も堤防断面の侵食を受けていた箇所では、堤防天端上のアスファルト舗装工が既に流出し、侵食面は裏法面の法肩にまで達していた。



写真-4-1 堤防一部流出箇所
(下側から撮影。H23.9.7 AM9:38撮影)

7日朝に撮影された写真-4-2のように、堤体は水衝部となって堤体一部流出が生じている。堤体の侵食面は急角度で切り立ち、水中に没している堤体の基盤部の侵食が進行して不安定化した堤体の土砂が土塊状に崩落することを繰り返しながら、堤体流出が生じていたと推察される。



写真-4-2 KP18.2 堤防一部流出箇所
(下流側から撮影。H23.9.7 AM9:24撮影)

今回の出水では、堤防一部流出箇所を含めた前後の区間で新たな蛇行が発生している。上空から撮影した写真

-4-3 からは、蛇行の発達による河岸の侵食が堤体まで達したことで、KP18.2 左岸地点の堤体流出が生じたことがうかがえる。堤体一部流出箇所は、蛇行流の外湾部に位置する水衝部となっており、侵食が堤体に達している。



写真-4-3 堤防一部流出箇所付近
(上流側から撮影。H23.9.7 AM10:38 撮影)

(2)堤防一部流出箇所の河岸侵食部の流速

9月7日14時に浮子観測により河岸侵食部の流速測定を行った。その測定結果を表-5-2に示す。表面流速は写真-5-1に示す3測線で測定しているが、最も流速が大きかったのは蛇行流路の中心に近い③の測線で発生し、その流速は3.52m/sであった。なお、洪水ピーク時の水位はこの時点より70cm程度上回っていたことを考慮すると、洪水ピーク時には更に大きな流速が発生していたと推察できる。



写真-5-1 流速調査実施状況

5. 出水中の現地調査結果

(1)堤防一部流出延長の時間的な変化

9月7日7:39に堤防一部流出を発見後、流出幅の変化を監視するため、7日9:50を初回に、7日17:30まで約1時間間隔で流出幅と河川水位を測定し、翌9月8日8:00に測定を終了した。なお、堤防一部流出延長とは、図-5-1に示すように堤外側の堤防法尻部の延長である。9月7日の9:50から12:30までの観測では、1時間に約5m程度の拡大が見られたが、その後の水位低下に伴い拡大速度が低下し、同13:30に堤防一部流出幅が144mに達し停止した。

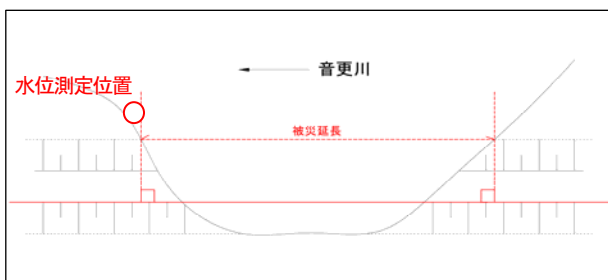


図-5-1 堤防の一部流出延長の測定位置

表-5-1 堤防の一部流出延長と水位の時間変化

年月日	時刻	流出延長	水位(標高)
2011年9月7日	9:50	129 m	122.63 m
2011年9月7日	10:30	134 m	-
2011年9月7日	11:30	139 m	-
2011年9月7日	12:30	143 m	122.46 m
2011年9月7日	13:30	144 m	122.24 m
2011年9月7日	14:30	144 m	122.25 m
2011年9月7日	15:30	144 m	122.23 m
2011年9月7日	16:30	144 m	122.23 m
2011年9月7日	17:30	144 m	122.16 m
2011年9月8日	8:00	144 m	122.21 m

表-5-2 流速調査結果

測線番号	投下番号	浮子 m	投下時刻 時 分	流下時間 sec	平均流下時間 sec	平均流速 sec	更生係数	更生流速 (m/sec)	備考
1	1	0.1	14:08	60.91	58.56	2.95	0.85	2.51	河岸から2m
	2	0.1	14:10	56.20					"
2	3	0.1	14:11	54.90	52.42	3.30	0.85	2.81	河岸から6m
	4	0.1	14:12	49.94					"
3	5	0.1	13:13	48.67	49.17	3.52	0.85	2.99	河岸から10m
	6	0.1	14:14	49.67					"

6. 出水後の現地調査結果

(1)洪水痕跡調査

出水後、直ちに洪水痕跡調査を実施した。堤防一部流出箇所を含む KP17~21 の区間では、ピーク水位が高水敷高と同等か、あるいはそれを上回る高さの痕跡水位が確認された。

堤防一部流出が生じたKP18.2での痕跡水位は123.01mであり、H21測量横断の平均河床高120.99mを出水前の河床高とすると、洪水ピーク時には低水路内において平均2m程度の水深となっていたと想定される。

(2)洪水痕跡による洪水時流向の推定

出水後の現地踏査により、現地の植生倒伏や流木などの堆積物の倒れている方向、河床に残る微地形等から出水中の流向の推定を行った。その調査結果から描いた全体の流向図を図-6-1に示す。

現地に残っていた流向の痕跡は、洪水ピーク以降のどの時点で残されたものかは特定できないものの、大きな流木などが取り残されていることから、比較的、洪水ピーク時に近いときの流向を表している可能性がある。

図-6-1には、水位下降期に撮影された写真を基図として、

写真上で確認される主流線を黄線で、また、既に頂上面が現れ始めている砂礫堆上の推定流向を水色で示している。主流線は大きく蛇行しているが、砂礫州上の流向は直線であることから、洪水ピーク時には直線的に流れていたことが推察される。

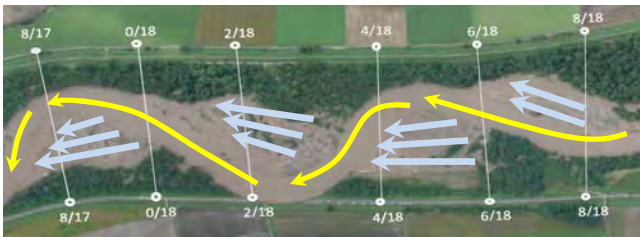


図-6-1 主流線以外の水流の流れ
(黄色：主流線の流向、水色：その他の流向)

(3)河道断面形状の変化 (KP18.2)

最大侵食箇所直下の相当するKP18.2の河道断面形状の変化を図-6-2に示す。実線が出水後(平成23年10月)に計測された断面形状で、破線が出水前(平成21年12月)に計測されたものである。図から、前回調査時は流路となっていた箇所(赤塗箇所)に大量の土砂が堆積して砂州となる一方(赤塗箇所)、高水敷であった箇所が侵食を受けて新たに流路が形成されたことがわかる(青塗箇所)。

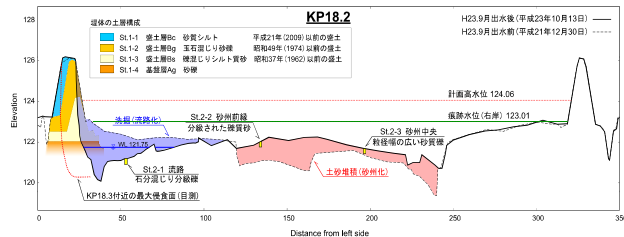


図-6-2 出水前後における河道断面形状変化

堤体土質調査の結果と過去の築堤履歴とを照らし合わせ、現在の堤防がいつ・どのような土質材料によって形作られてきたかを図-6-3に示す。堤体内の赤破線は、KP18.2直上流の最大侵食面である(※堤体土質調査箇所)。この図から、現在の築堤は砂礫質の基盤層の上に昭和30年代に築造されたシルト質砂の堤防があり、この上に現在の堤防の基礎となる昭和40年代に施工された砂礫質の盛土がある。

なお、最上層の砂質シルト層は今回直接流水にさらされることが無かったため、図-6-3の断面図のように被覆植生や粘性の影響によりややオーバーハングした形で残されていた。

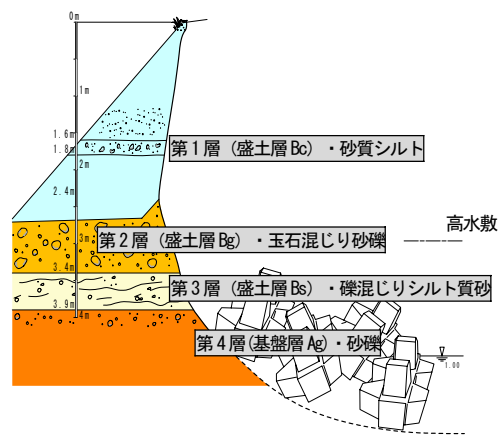


図-6-3 土質構成断面図

7.堤防の被災原因

堤防の一部流出の原因について考察を行う。図-6-2の緑線で示す痕跡水位の状況から、出水期間中、当箇所(KP18.2)において主に流水にさらされていた土層は、昭和30年代に築造された盛土層のシルト質砂で、その後、洗掘の進行と水位の低下とともに徐々に基盤層である砂礫質土が洗い出されていったものと推察される。また、侵食面は各層の境界で極端に大きな変化点を持たないことから、下層の侵食によって支持力を失った上層が自然崩落する形で徐々に垂直に近い侵食面が形成されていったものと考えられる。

(1)近年の河道形状の変化

音更川は昭和50年代の直線化以降、自然の営力で低水路の蛇行が多少戻った箇所もあるが、水衝部に設置された護岸によって蛇行の発達抑制されてきた箇所もある。

また、音更川では、本格的な改修が始まった昭和40~50年代以降、今回の出水のピーク流量を越える出水が2度発生しているにもかかわらず、これまでに堤防の流出が生じるような流路変動は生じていない。

(2)出水前後の河道形状の変化

出水前のH22年8月と出水後のH23年9月16日に撮影した航空写真に出水前の主流路を赤で、出水後の主流路を青で示し、それらを重ねあわせた平面図を図-7-1と図-7-2に示す。KP15~18の区間(図-7-1)において、出水前後では、それぞれ赤と青色で示す主流路の位置が大きくずれている。出水後の主流路は出水前と比べて、蛇行の振幅がより大きくなり、蛇行の位相が下流側へ移動している。KP18~21の区間(図-7-2)において、KP19.6~19.2のあたりでは、出水前には主流路が右岸側に大きく蛇行していたが、出水後には直線的に短絡し、その下流では新たな蛇行流路が形成されている。特に、堤防の一部流出が生じたKP18.2の前後の区間では、出水後の主流路の振幅が大きくなっている。

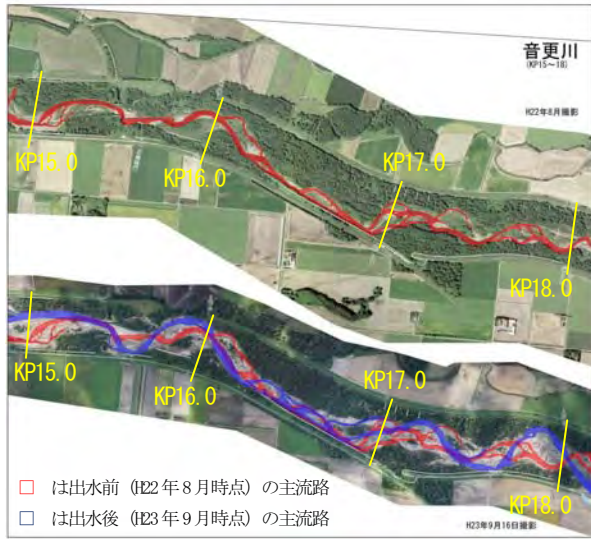


図-7-1 KP15~KP18 出水前後の河道形状の比較
(上図：H22年8月撮影、下図：H23年9月撮影)

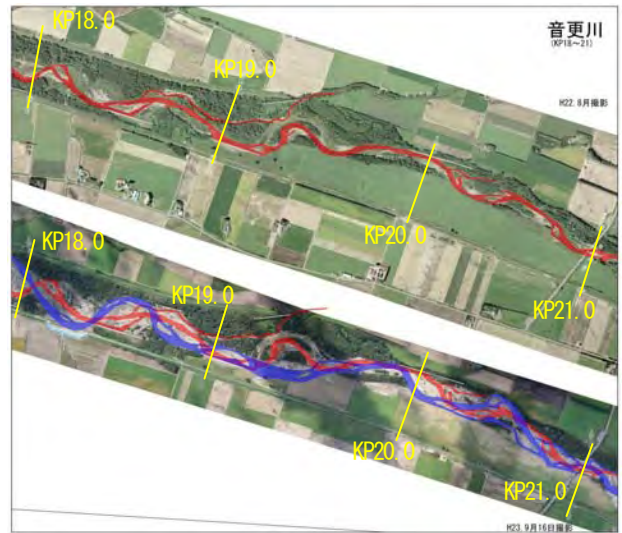


図-7-2 KP18~KP21 出水前後の河道形状の比較
(上図：H22年8月撮影、下図：H23年9月撮影)

(3) 堤防の一部流出箇所付近の流路の変化

堤防の一部流出が生じたKP18.2の上流のKP19.2~19.6では今回の出水によって流路の短絡がおき、その下流では出水前後で流路が大きく変化している。KP19.2~19.6の区間は、出水前の流路が右岸側に大きく蛇行するなど水位が上がりやすい条件となっており、前後の区間に比べても痕跡水位が高く、出水中には高水敷上では1m程度の水深になり、高水敷に乗り上げた流水は下流側の主流路に再合流する際に大きな水面勾配を持つため、合流地点にある高水敷では大きな洗掘が生じて、その洗掘が上流側へ伝播して行くことで流路が形成され、最終的には主流路の短絡が生じたものと考えられる (図-7-3)。



写真-7-1 出水前の状況 (KP19.2~19.6, H22年8月撮影)



写真-7-2 出水中の状況
(KP19.2~19.6, H23年9月7日 AM12時頃撮影)

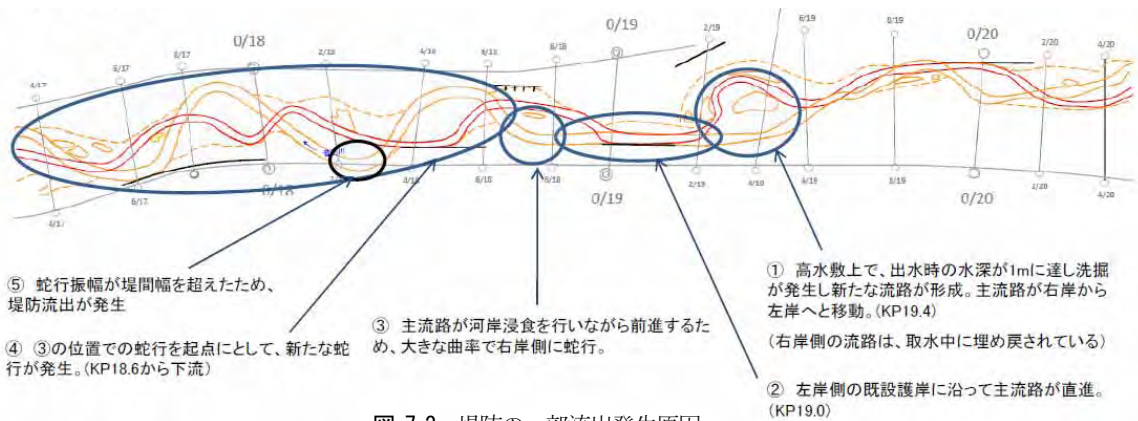


図-7-3 堤防の一部流出発生原因

- ⑤ 蛇行振幅が堤間幅を超えたため、堤防流出が発生
- ④ ③の位置での蛇行を起点として、新たな蛇行が発生。(KP18.6から下流)
- ③ 主流路が河岸浸食を行いながら前進するため、大きな曲率で右岸側に蛇行。
- ② 左岸側の既設護岸に沿って主流路が直進。(KP19.0)
- ① 高水敷上で、出水時の水深が1mに達し洗掘が発生し新たな流路が形成。主流路が右岸から左岸へと移動。(KP19.4)
(右岸側の流路は、取水中に埋め戻されている)

(a) H15年出水とH23出水の流量ハイドロ

流出解析は、堤防一部流出箇所上流地点にある土幌観測所においてそれぞれの出水の実績降雨量、実績のダム放流量を条件として与えて、流量ハイドロを計算している。H15年出水はH23出水に比べてシャープな形状をしている。H23年出水は降雨日数が5日と長かったことと、糠平ダムからの放水が長時間に及んだことから、ピーク流量はそれほど大きくないものの、全体の流量はH15年出水よりも大きい。

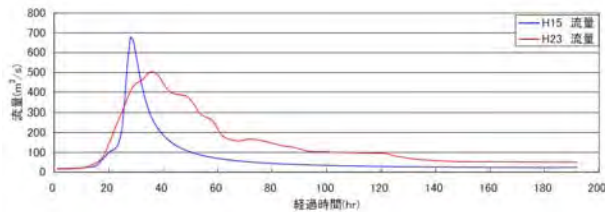


図-7-4 土幌水位流量観測所QT図

(b) H15年出水とH23出水の河道内移動土砂量

流出解析から得た水位ハイドロをもとにH15年出水とH23年出水の土幌地点を通過する掃流砂量を求めた。掃流砂量のピーク値はH15出水が大きく上回るが、一出水を通した掃流砂の総量ではH15出水に対してH23出水が約1.7倍大きい。このことは、H23出水がH15出水よりもピーク流量が小さかったにも関わらず流路変動が大きかったということについて、大きな要因となっていると考えられる。

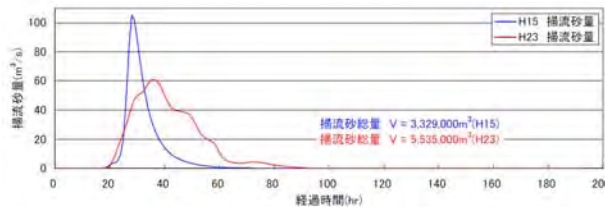


図-7-5 土幌水位流量観測所掃流砂量時系列

8.まとめ

本報告により分析された「今回の出水における音更川の状態」は以下のとおりである。

- ・当該区間は、急な河床勾配を持つ川幅の広い河道となっている。
- ・高水敷の河岸沿いに護岸は少なく、堤々間を流路が移動しやすい条件にある。

・低水路および高水敷は主に砂礫で構成されており、容易に流水による侵食を受ける。

・長時間の洪水流出によって大量の土砂が流送される。

このように、今回の出水では急流河川において流路変動を生じさせる基本的な条件を満たしていた。これらの条件は堤防の一部流出が生じた前後区間のみならず、音更川の上中流区間全体にあてはまる状況であり、実際に図-8-1に示す侵食幅のヒストグラムのとおり上中流部の至る所で河岸侵食が発生している。堤防の一部流出区間を含め広範囲で河岸侵食が発生したのは、これらの要因が揃ったことにより、蛇行外湾部の河岸侵食が堤防に達し、その結果、支持力を失った堤体が自然崩落することで堤防の一部流出が進行したものと考えられる。

また、堤防が一部流出したKP18.2地点では、その上流の高水敷上の洗掘によって新たな流路が生じており、この現象がKP18.2周辺の流路蛇行の波長や振幅の増幅を招いた可能性もある。

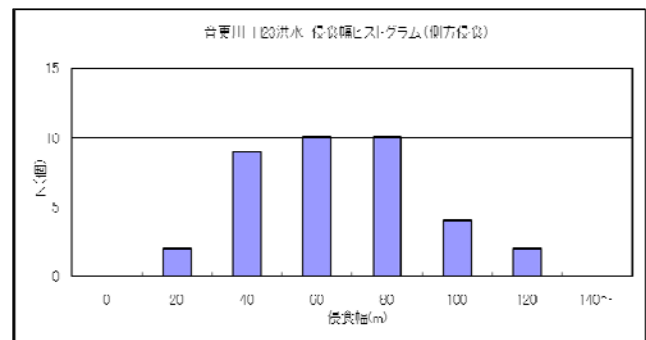


図-8-1 H23洪水 侵食幅ヒストグラム

9.今後に向けて

今回の堤防の一部流出に至る被害を踏まえ、今後新たな河道防護ラインの設定を含む、河岸侵食対策を検討し実施していく必要がある。また、このような急流河川の管理においては、出水時の河川水位だけではなく、河岸侵食量に影響を与える洪水継続時間などにも留意した、河川監視を行っていく必要がある。

謝辞：本論文を取りまとめるにあたり、北海道大学大学院泉教授、北見工業大学渡邊教授にご指導いただいた。ここに記して感謝の意を表します。