

## 8.6 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地河川チーム

研究担当者：平井康幸、永多朋紀、赤堀良介

### 【要旨】

平成23年9月、台風や前線の停滞に伴う記録的な降雨が道内各地でもたらされた。十勝川水系音更川流域では、平成元年以降第2位の規模となるピーク流量および最高水位が観測され、中流 KP18.2 では堤防の一部流出が確認されるなど流域各所で大規模な河岸侵食が発生した。現地調査から、今回の被災は低水路内を蛇行する流路がその振幅を増大させる過程で生じたものと推察されたが、その発達メカニズムは未だ十分に解明されていない。本研究では、蛇行流路の発達に伴う河岸侵食メカニズムの解明に向け、まずその準備段階として、侵食箇所周辺の土質調査と侵食状況の概略的な把握を行った。さらに、出水前後の河道変遷状況を整理し、蛇行流路の平面形状の変化や洪水ごとの流量ハイドロ曲線の違いから、蛇行発達の要因について簡易的な分析を行った。その結果、今回の被災で見られたような蛇行流路の発達は、洪水時の流量規模とその継続時間とに深く関わりがあるものと推察された。

キーワード：音更川、河岸侵食、蛇行発達、河道変遷

### 1. はじめに

平成23年9月1日から7日にかけて、台風や前線の停滞に伴う記録的な降雨が道内各地でもたらされた。十勝川水系音更川流域では、特に9月5日正午から7日未明にかけて非常に強い雨が長時間に亘って降り続き、降りはじめからの総雨量は音更川上流のナイト雨量観測所で 383mm を記録するなど、年間平均降水量の約40%にも相当する雨量を、このわずか6日間で降らせる記録的な豪雨であった。

図-1 に道内各地の雨量計で計測された当該期間の総雨量を示す。

この豪雨によって、音更川下流KP9.1 に位置する音更水位流量観測所では、9月6日未明、平成元年以降第2位の規模となるピーク流量  $548\text{m}^3/\text{s}$  および最高水位 73.22m が観測され、翌9月7日未明には音更川の中流KP18.2 付近左岸側において堤防の一部流出が確認される事態となった。被災箇所及び被災箇所発見直後の航空写真を図-2、図-3 に示す。

このような事態を受け、現地では侵食箇所周辺に根固めブロックを投入する応急対策が実施された。図-4 は応急対策後の現地状況であるが、堤体の侵食が堤内側法尻付近にまで達し、非常に危険な状態であったことがわかる。今回の出水では堤防の一部流出にまで至ったケースは当該箇所のみであったが、

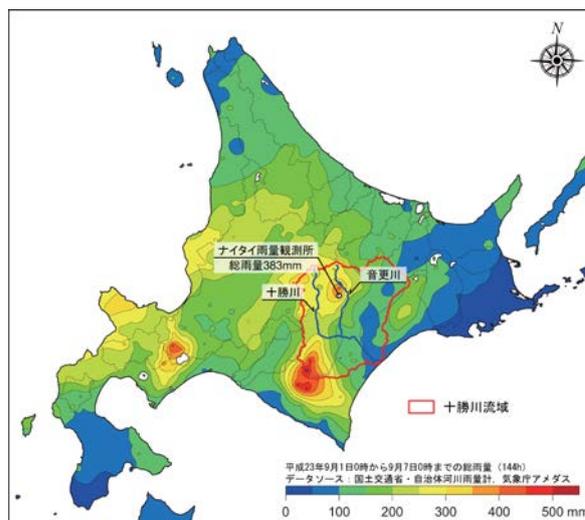


図-1 9月1日～9月7日の総雨量

その後の調査から、低水路河岸の大規模な侵食は流域各所で発生していたことがわかった。

このような大規模な河岸侵食をもたらした今回の出水は、ピーク時の流況が記録的なものであったことに加え、河道内を低水路満杯流量規模で流れている時間が非常に長く継続したことが大きな特徴として挙げられる。元々音更川は河床勾配 1/150～1/200 程度の急勾配河川であるため、非常に流速が速く、土砂の移動も活発であり流路が変動し易いといった



図-2 被災箇所（音更川 KP18.2 付近左岸側）

特性を持つ。今回の堤防流出に至るまでの過程はまだ十分明らかにはなっていないが、現地状況から、少なくとも高水敷高を大きく越える流れによって堤防が直接侵食を受けたのではなく、低水路内を流れる流路が次第に蛇行を発達させ、徐々に低水路河岸を侵食し、やがて堤防へと達して堤体の侵食が始まったものと推察された。すなわち、音更川のような急勾配河川では、たとえ低水路内を流れるような流量規模の出水であっても、その継続時間や何らかの要因によって、低水路内を蛇行する流路が徐々にその蛇行度を高め、蛇行波形の波長・振幅の増大を伴い、やがては堤防を侵食するまでに発達する可能性があることを今回の事例は示唆している。

図-5 は平成 21 年に撮影された被災箇所周辺の斜め写真で、これに出水後の流路線形と既設護岸の位置を重ね合わせたものである。この図から、出水前は護岸によって守られていた蛇行頂部（水衝部）の位置が、今回の出水で下流側に大きく移動し、護岸の無い箇所で蛇行振幅を増大させたことがわかる。

しかし、出水時このような急激な蛇行の発達がいつ・どこで・どのような形で起きるかを平常時の河道状況から予測することは難しく、低水路河岸の侵食対策としては、既に現出した水衝部の位置を適宜保護していくしかないのが現状である。

今回の堤防流出箇所に関しては、早朝に発見されたこともあり迅速な応急対策が可能であったが、夜間など、場合によっては発見が遅れて最悪の事態に至るようなケースも十分に想定され得る。今後このような事態を未然に防止するためには、低水路内を流れる流路の蛇行発達に伴う河岸侵食メカニズムの



図-3 堤防流出状況（9月7日 午前）



図-4 応急対策後の現地状況（9月9日 15:30）



図-5 出水前後の流路線形と護岸箇所（撮影 H21.9）

解明とその定量的な評価が不可欠であり、これによって初めて今回のようなケースに対応した適切な予防措置を講ずることが可能になる。

本研究は、蛇行流路の発達に伴う河岸侵食メカニズムの解明に向け、まずその準備段階として、侵食箇所周辺の土質調査（堤体・高水敷・河床材料）と侵食状況の概略的な把握、および出水前後の航空写真の比較などから河道平面形状（水みち）の変化要因に関する簡易的な分析を行うものである。

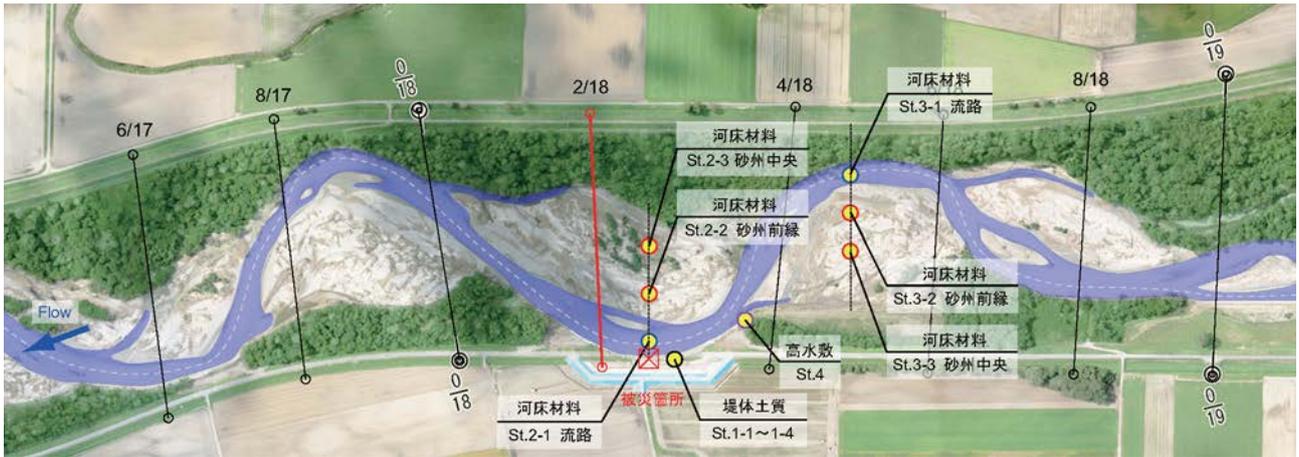


図-6 堤体土質・河床材料調査実施箇所（平成23年9月26・27日実施）※撮影 H23. 9. 16

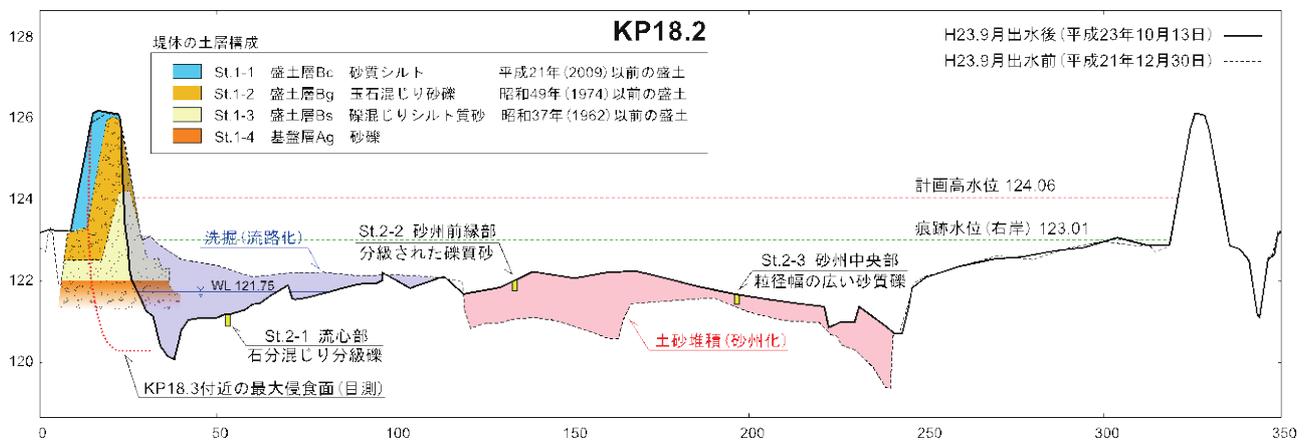


図-7 出水前後の断面形状変化 (KP18.2) と河床材料調査実施箇所、および築堤履歴

## 2. 現地調査

### 2.1 調査箇所

被災箇所周辺における出水前後の土質状況を把握するため、今回最も侵食を受けた KP18.2 左岸付近において、露出した堤体および高水敷の侵食面から試料を採取し粒度試験を実施した。なお、堤体に関しては築堤履歴などから土層構成を推定し、推定された各層に対して調査を行った。

また、航空写真や現地踏査から、今回の出水によって流路の位置が大きく変化し、新しく水みちや砂州となった箇所が多く存在することがわかっている。蛇行の発達に伴う流路と砂州の形成は、土砂の移動を伴い一体となって進行することから、両者が形成される過程で生じる粒度分布特性の違いを知ることは蛇行発達機構を解明する上でも重要となる。よって、今回、最大侵食箇所の前面とその直上流に形成された砂州と流路を対象にそれぞれ河床材料調査を実施することとした。各調査箇所を図-6 の○で示す。

### 2.2 河道断面形状の変化 (KP18.2)

最大侵食箇所直下に相当する KP18.2 の河道断面形状の変化を図-7 に示す。実線が出水後の平成23年10月に計測された断面形状で、破線が出水前の平成21年12月に計測されたものである。先に述べたように、前回調査時は流路となっていた箇所に大量の土砂が堆積して砂州となる一方(図中赤塗)、高水敷であった箇所が洗掘・侵食を受けて新たな流路が形成されたことがわかる(図中青塗)。河床材料調査は、この新たに形成された砂州と流路を対象に、横断方向に等間隔となるような調査ポイントを3点設けて実施することとした(St.2)。また、侵食箇所上流の砂州と流路についても同様とした(St.3)。

### 2.3 河床材料調査 (St.2, St.3)

河床材料調査の結果を図-8 に示す。侵食箇所前面の St.2 をみると、赤線が今回の出水で新たに砂州となった箇所の粒度分布で、実線が砂州前縁部、破線が砂州中央部を示している。同じく青線で示す流路

8.6 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価に関する研究

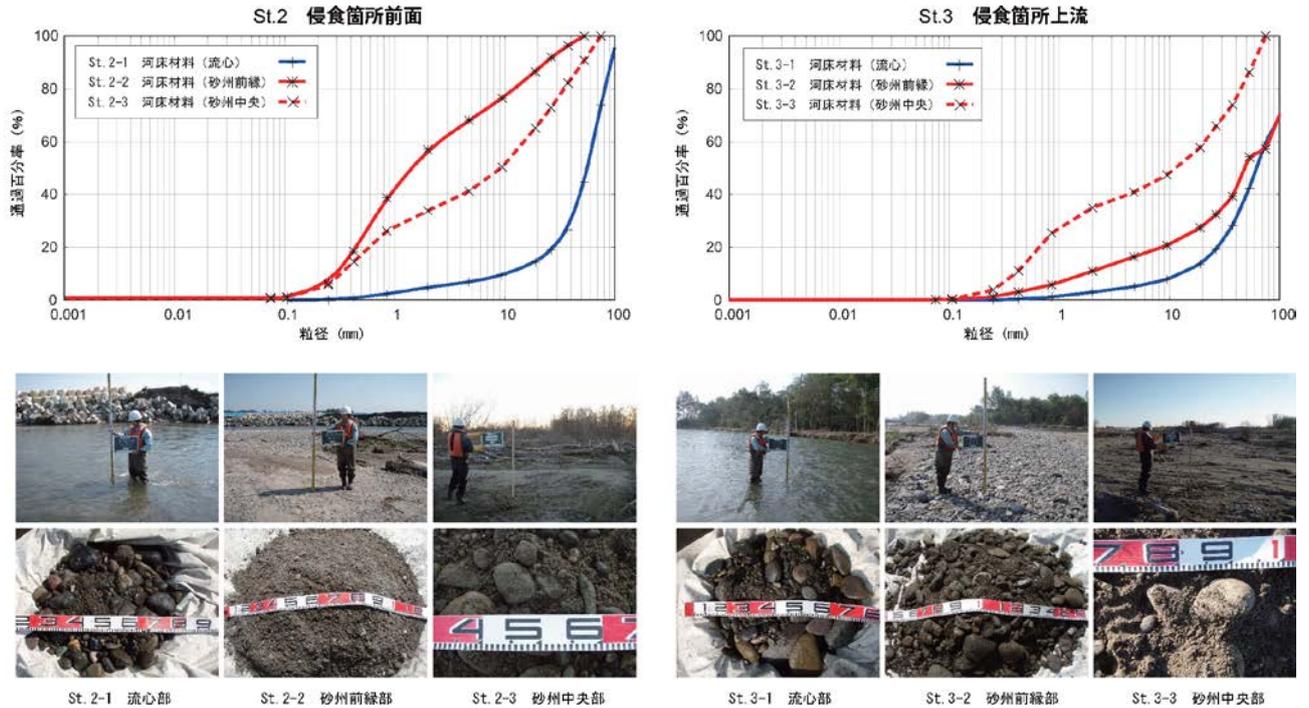


図-8 河床材料調査結果

内の粒度分布は、流水の分級作用によって細粒分はほとんど洗い出され、礫分が主体となっているのに比べ、出水期に砂州上に堆積した土砂は粒径の細かな成分を比較的多く含む礫質砂 (or 砂質礫) であったことがわかる。

一方、侵食箇所上流の St.3 をみると、砂州前縁部の粒度分布だけが下流の St.2 と比べてかなり粗粒化していることがわかる。これは、出水期、現在の砂州前縁付近が主流路に近い流況であったことを示しており、水面下で高流速となっていた期間に分級が進んだ結果であると考えられる。

出水期、St.3 より上流では、KP19.4 付近で生じた自然短絡の影響により約 1km 以上にも亘って大きな砂州の形成は見られず、流れはかなり直線的であったものと推察される。一方 St.2 は今回最も河岸侵食が進行した箇所であり、大きく湾曲した流路内では横断方向の流速分布が St.3 に比べるとかなり外岸側に偏っていた可能性がある。以上より、2 つの砂州上に現れた粒度分布の違いは、出水期における横断方向の流速分布や流路となっていた範囲及びその期間の違いによってもたらされたものと推察された。

2. 4 堤体土質調査 (St. 1)

堤体土質調査の結果を図-9 左に示す。調査箇所は試料採取の容易さを考慮し、KP18.2 直上流の最大侵

食箇所を対象とした。築堤履歴などから土層構成は計 4 層から成るものと推定し、露出した侵食面から各層の試料を採取して粒度試験を実施した。

図から明らかなように各層の土質は 2 種類に大別され、流路内の河床材料と非常に近い粒度分布を持った砂礫質土と、砂州上の河床材料よりもさらに粒径の細かな成分を多く含むシルト質砂 (or 砂質シルト) によって構成されていることがわかった。

こ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-7 の左岸堤防上に示す。堤体内の赤破線は、KP18.2 直上流の最大侵食面である。図に示すように、昭和 30 年代、砂礫質の基盤層の上にシルト質砂の堤防が造られ、昭和 40 年代に砂礫質の土砂で堤防の嵩上げと拡幅が行われた後、拡幅盛土として砂質シルトが腹付けされたことがわかる。

同図中の緑破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 年代に盛土されたシルト質の砂層で、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

## 8.6 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価に関する研究

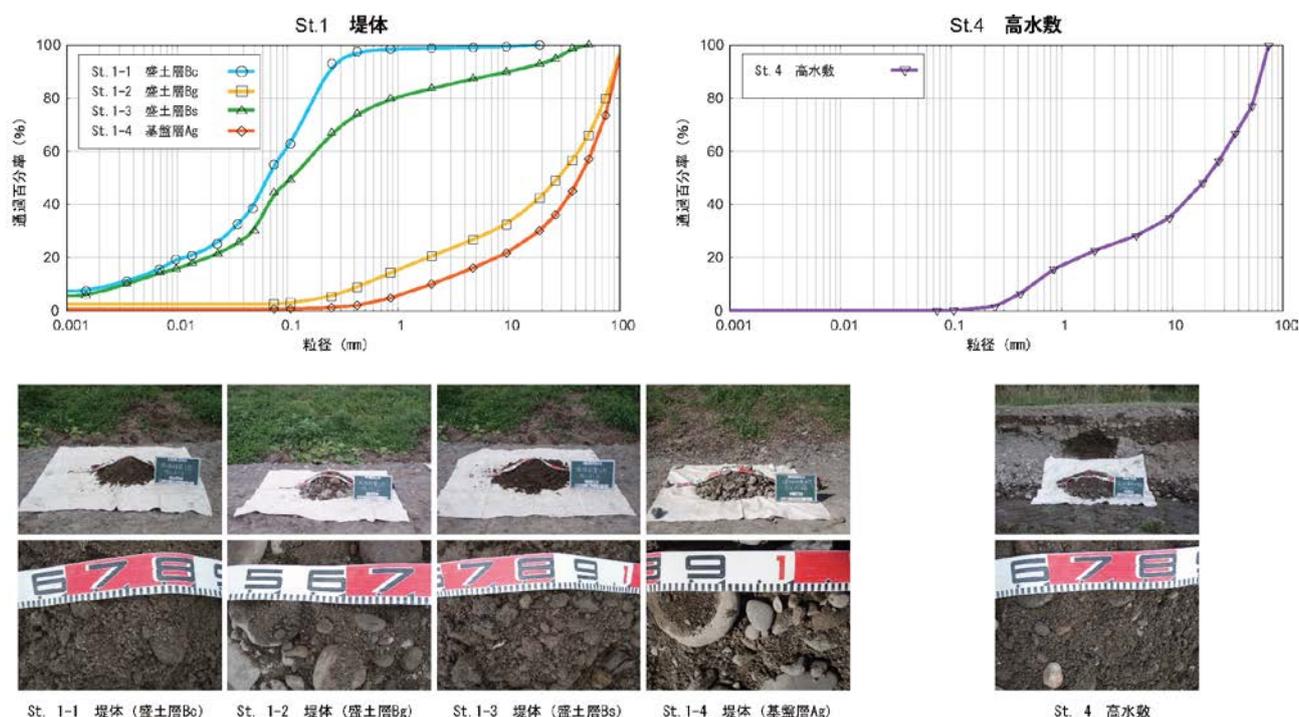


図-9 堤体・高水敷土質調査結果

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。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、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。

### 2.5 高水敷土質調査 (St.4)

次に高水敷の土質調査結果を図-9の右に示す。当試料は被災箇所直上流に位置する高水敷の侵食面中程から採取したもので、粒度分布は砂州中央部の河床材料と非常に近く、基盤層よりもやや細粒分を多く含んだ砂質礫であった。

当箇所周辺の高水敷は、出水期、河岸侵食が堤体に到達するまでの間、一定の防御壁の役割を果たしていたものと考えられる。実際に、平成22年8月時点の航空写真からは、被災箇所周辺に40～50m幅の高水敷が残されていたことが確認できる。河岸侵食が進行した詳細な時間経過はわかっていないが、流量が急激に増加し始めたのが9月5日夕刻で、堤防の流出が発見されたのが7日未明であることから、この間わずか1日半程度で40～50m幅の高水敷と堤防の侵食が一気に進行したことになる。

河岸侵食とそれに伴う蛇行の発達、流水による外力の大きさやその継続時間のほか、外力を受ける側である高水敷や堤体の土質にも左右される。すな

わち、被災箇所周辺の高水敷が粘性を有しない砂質礫であったことも、今回の急激な河岸侵食進行の一因になったものと考えられる。

以上の土質調査結果の概略をまとめると、音更川流域の河道は、堤防の一部を除くその大半が砂質礫（砂礫質）の土砂によって構成されており、流水に対する抵抗力が比較的弱く、河岸侵食やそれに伴う流路の蛇行が発達しやすい条件を備えていたものと推察された。

## 3. 河道変遷状況（平面形状）

### 3.1 河道平面形状の変化

#### 3.1.1 手法

出水前後を含めた過去の河道変遷状況を端的に捉えるため、航空写真などから流路・河畔林・低水護岸等の位置と範囲を判読し模式図として整理した。さらにこれらを年代ごとに比較し、音更川の蛇行特性や河道状況の変化について考察を行った。

比較対象とした年代は、大規模改修前に相当する昭和38年とその約40年後の平成12年、さらに当該出水前後の平成22・23年の計4箇年分とし、範囲は今回の被災箇所を含むKP14.0～21.0の河道内（現在の堤々間）を対象とした。写真判読により模式化した河道状況を図-10に示す。図中の塗色・線種の区

## 8.6 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価に関する研究

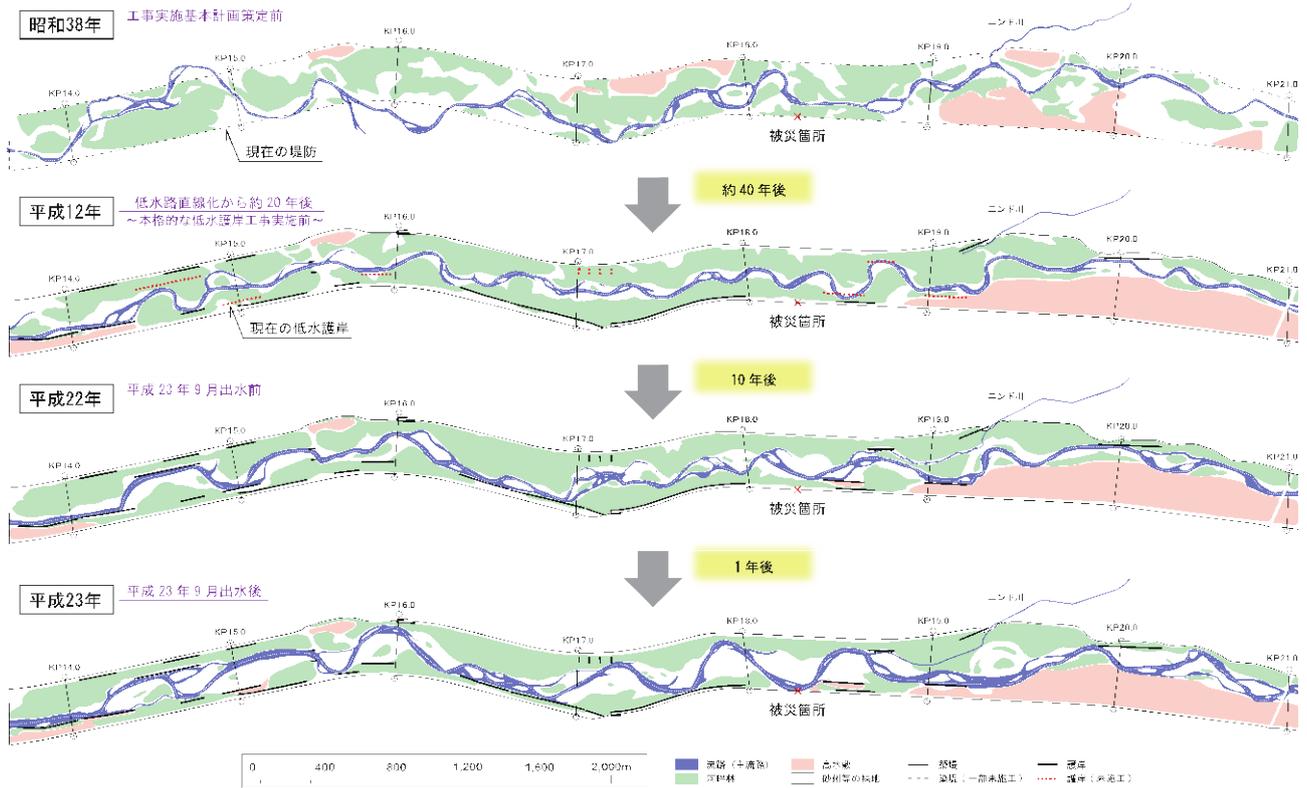


図-10 過去の河道変遷状況 (KP14.0~21.0)

分は凡例に示す通りである。

なお、写真判読の精度は撮影された季節や天候のほか、データ自体の品質（解像度、カラーモード）にも大きく左右され、特に戦後米軍によって撮影された昭和38年の航空写真には判読精度上の問題が多く含まれているため、ここでは参考程度に示すものとし、以下では比較的確度の高い結果が得られた出水前後の期間を中心にその変化をみることにする。

### 3. 1. 2 考察

図-10に示す平成22・23年の流路線形を比較すると、今回の出水で蛇行が大きく発達し、振幅・波長がともに増大した様子が見てとれる。中でも被災箇所の上流1km区間（KP17.0~19.0）の変化が特に顕著で、出水前後で流路の位置が全く異なっていることがわかる。

音更川が本来持つ蛇行特性（本文では低水路内を蛇行する流路を指す）を評価するには、護岸や水制工など、蛇行発達を阻害・抑制するような人為的な要素は極力排除して考えることが望ましい。図中黒太線は低水・高水護岸の位置を示しているが、護岸の設置状況は時期や場所によって大きく異なっており、流路形成に及ぼす影響の度合いも異なるため、区間全体を一律に評価することはできない。特に、

蛇行頂部がコの字形に潰れるような変化を見せるKP14.0~15.0付近などは、護岸の影響が強く現れており、自然状態の蛇行特性を評価するには適さない区間である。一方、被災箇所の上流1km区間（KP17.0~19.0）は、出水後の波形が比較的きれいに揃っており、護岸の影響もほとんど受けておらず、自然状態に近い蛇行発達過程を示していたものと考えられる。よって、以下ではこの2km区間の流路変化に着目することとした。

被災箇所の上流では、出水前の時点で、低水護岸が千鳥状に3列配置されていたのが確認できる。この護岸配置と出水前後の流路変化から、今回の出水では、蛇行波形の位相が下流側にずれるような変化と、横断方向に振幅が増大する変化とが複合的に進行したことで、この既設護岸の切れ間を縫うような形の蛇行流路が形成されたものと考えられる。

一般的に、低水護岸は現出した蛇行湾曲部外岸側の水衝部を中心に敷設されることが多いため、今回のように一洪水で蛇行波形の位相や波長が大きく変化するような場合、想定外の箇所で蛇行流路の振幅が増大する可能性があると言える。また、KP19.4付近では自然短絡が生じており、この影響が下流側の蛇行発達を誘発又は促進した可能性も考えられる。

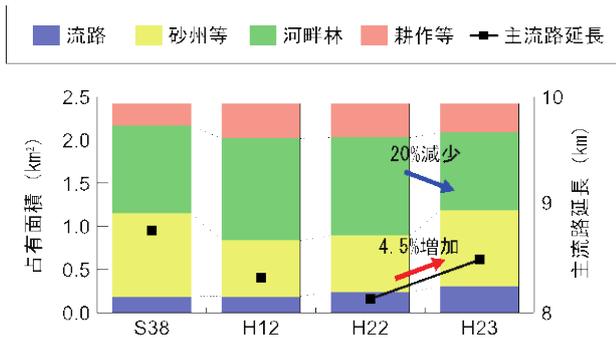


図-11 河畔林等の面積と主流路延長の変化

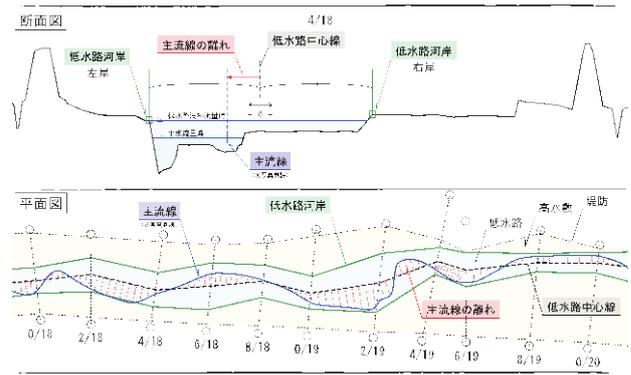


図-12 低水路中心線を基準とした整理手法

### 3. 2 河畔林面積と主流路延長の変化

#### 3. 2. 1 手法

図-10 をもとに算出した河畔林等の河道内構成要素の面積と主流路延長の変化を図-11 に示す。なお、これらの値は、洪水や河川改修などの影響を受けて数年間隔で大きな変動を繰り返していたものと考えられるが、今回の解析で得られるのは4箇年分の点データのみであるため、昭和38年から平成22年までの変化を詳細に追うことはできない。また、既に述べたように、航空写真の判読結果には撮影時期やデータの品質などの影響も内含されているため、ここでは、特に大きな変化が見られた部分について述べる。

#### 3. 2. 2 考察

図から当該出水前後を比較すると、河畔林の面積は約20%減少し、主流路延長は約4.5% (7km 区間全体で360m) 増加したことがわかった。

図-10 を見ると、河畔林が消失した箇所は、流路の位置が大きく変化した区間の低水路内に集中している。これは、蛇行流路の位相(波長)や振幅が変化する過程で、砂州や高水敷上に繁茂していた河畔林の多くが流出又は埋没したことに起因するものと考えられる。

また、蛇行流路が正弦波で近似できるものと仮定すると、蛇行波形は、波長 $\lambda$  (波数 $f$ )・振幅 $\omega$ ・位相 $\phi$ の3つの要素の組合せとして説明できる。この3つの要素のうち主流路延長が増加するような変化は、波長の減少(波数の増加)か振幅の増加のみである。今回の出水では、波長は逆に増加しているため(波数は減少)、主流路延長の増加は蛇行振幅の増加によるものと言える。この主流路延長の増加もまた今回の蛇行発達の大きな特徴の一つである。

### 3. 3 低水路河岸と流路線形の変化

#### 3. 3. 1 手法

今回の被災は、低水路内を蛇行する流路がその振幅を増大させる過程で発生した可能性が高いことから、過去の流路が低水路内をどのような線形で流れていたかを把握することとした。

主流路の位置は先の航空写真判読から得られたものをい用い(H23, H22, H12, S38)、低水路河岸の位置は各年、直近の横断測量データから推定した(H23, H21, H13, S49)。また、両データは低水路の中心を基準とした左右岸への距離として整理を行った。その理由を以下に述べる。

音更川の河床形態は、概ね1波長内に2つの砂州を有する単列交互砂州の状態にある。一般的に、単列交互砂州上を蛇行して流れる流路の平面形状は周期波で近似できる場合が多い、流路の線形が周期波であれば、ある基準軸を河道内に設定することで、蛇行特性はその軸を中心とした周期振動で表されるはずである。さらに、今回の出水は、ピーク時を除けば、ほぼ低水路内で収まる流量規模で流れていたことから、低水路法線が流れ場に対して支配的であったものと考えられる。以上の2点から、本解析では低水路の中心を基準軸と定め、蛇行特性の把握を試みた。また、このような処理を経ることで、副次的に河道や低水路自体が湾曲している影響も取り除くことができるため、流路本来の蛇行特性をより正確に評価することが可能になる。

上記処理過程の一部を図-12 に、低水路河岸の位置と流路線形を年代ごとに重ね合わせた結果を図-13 に示す。図中横軸は低水路中心線の追加距離を表し、縦軸はこれを基準とした左右岸への離れである。なお、昭和38年の流路線形は、現存する横断データの中でも最も古い昭和49年の低水路河岸の位置と重ね合わせてはいるが、それでも年代のずれは

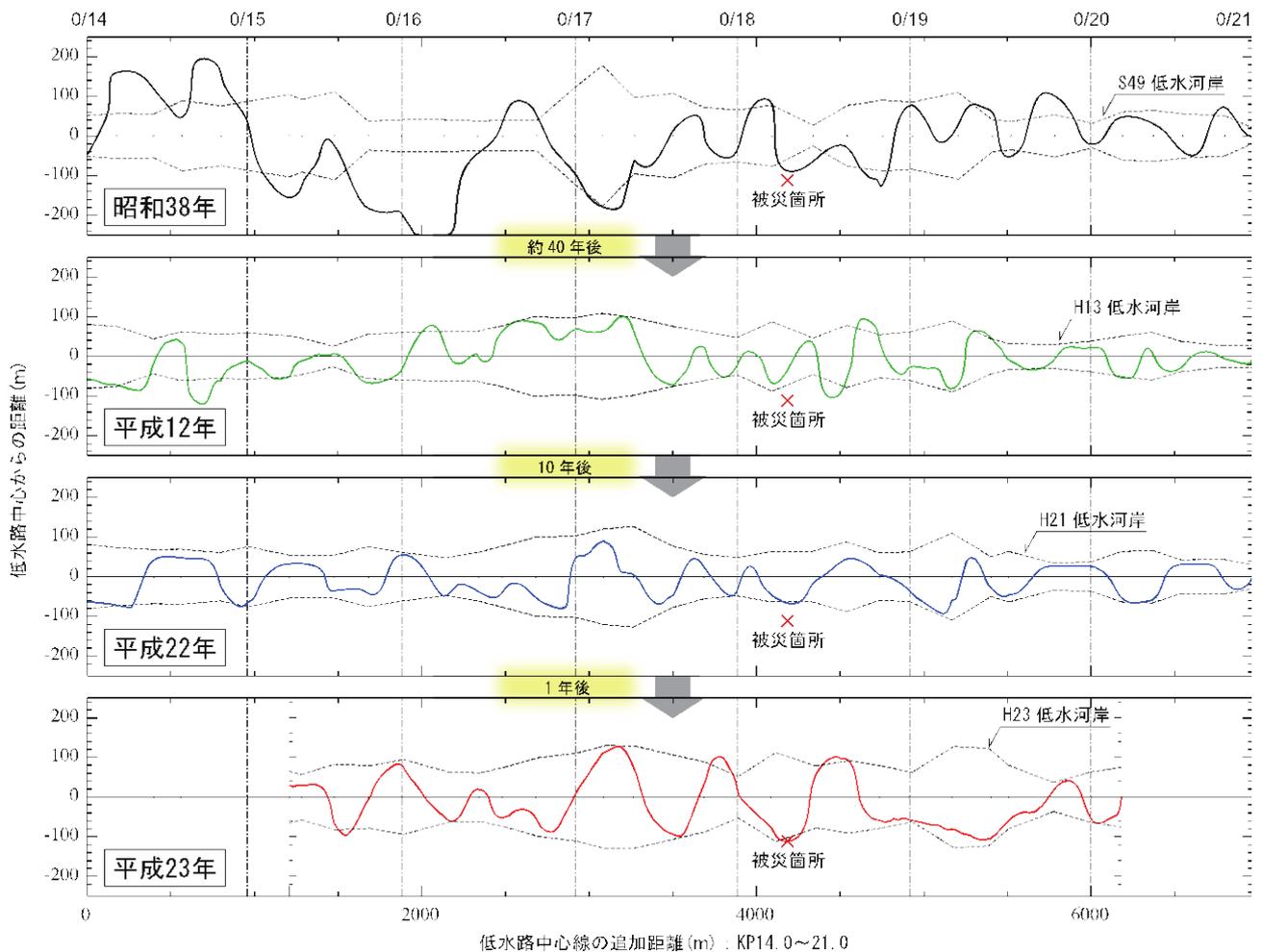


図-13 低水路河岸と流路線形の変遷

大きく、KP14.0～17.0の区間では、流路の位置が低水路から大きくはずれるような結果となった。これは、昭和40年代後半から行われた大規模な河川改修工事により、両年代を挟んで河道状況が大きく変化していたことに起因している。昭和38年当時の河道状況は、当時の精度の低い写真から推定する以外に方法が無いのが現状であるが、少なくとも自然状態に近い当時の蛇行流路は、KP14.0～17.0の区間で、現在の蛇行帯とは大きく異なる位置を流れていたことがわかる。

### 3.3.2 考察

#### a) 流路線形の変化 (H12～H22)

図-13に示す平成12年から平成22年までの蛇行波形の変化を見ると、全体的に波長が伸び、波数が減少したことがわかる。このような波形の変化は、過去の洪水履歴と深く関わっているものと考えられ、実際この10年間では、平成15年に記録した725m<sup>3</sup>/sの戦後最大流量をはじめ、数回に亘る大規模な洪水

を受けていた。波長の伸び(波数の減少)は、当該洪水でも確認された現象であることから、大規模な洪水に共通した流路変化パターンの一つであると推察される。

また、蛇行頂部がコの字形に潰れたような変化を示すのは、護岸や高水敷などの外的要因により、蛇行振幅の自然発達が抑制された結果であると考えられる。図-10(平成12年)の太破線で示す低水護岸は、この10年間に発生した河岸侵食箇所を対象に敷設されてきたもので、このような低水護岸等の人為的影響が、近年、蛇行波形にも強く現れるようになってきたことがわかる。

蛇行振幅の変化を見ると、この期間ではそれほど大きな変化は見受けられない。平成15年の洪水は、今回のピーク流量を大きく越える値を観測していたにも関わらず、蛇行振幅にそれほど大きな変化が現れなかったことは、注目すべき点である。

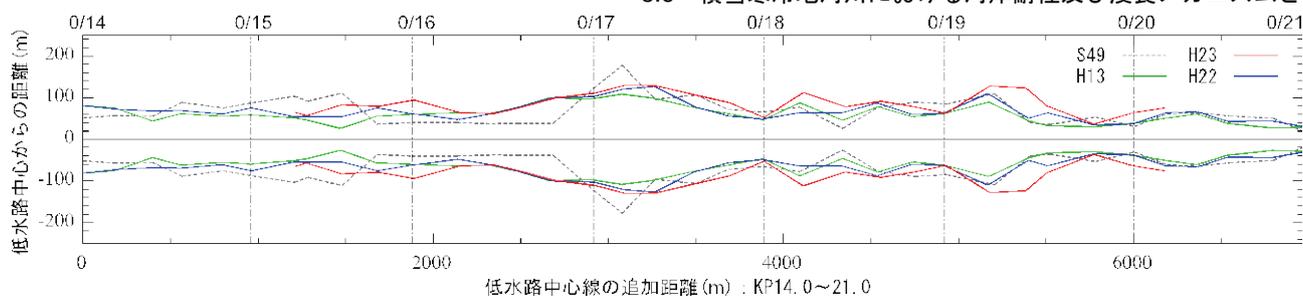


図-14 低水路幅の変遷

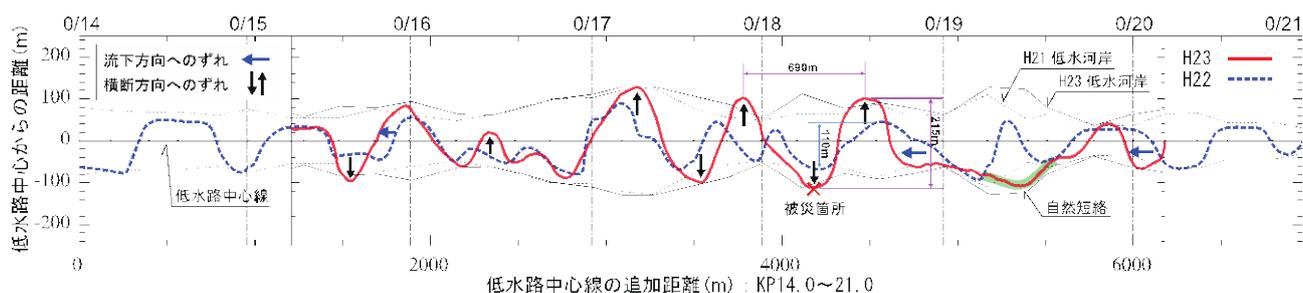


図-15 出水前後の流路変化

以上のことから、当該出水前までは、音更川本来の蛇行特性（蛇行振幅）は護岸等によってかなり抑制された状態にあったと考えられる。また、そのような状態が維持されていたのは、一洪水で起きる蛇行振幅の増大が比較的小さく、侵食が進む過程で復旧（水衝部の保護）が行える時間的余裕があったためと推察される。次に、低水路幅の変遷を図-14に、出水前後の蛇行波形を重ね合わせた流路変化の様子を図-15に示す。

#### b) 低水路幅の変化 (H12～H23)

図-14より低水路幅の変化を見ると、平成13年から平成22年までの9年間では、護岸の敷設や砂州の高水敷化などにより一部縮小した箇所も見られるが、全体的には拡幅傾向にあったように見受けられる。出水前後の変化を図-15と併せて見ると、蛇行振幅の増大が顕著に現れた箇所を中心に低水路幅が大きく拡大した様子が見てとれる。ただし、KP19.4付近の拡幅は、自然短絡によって新たな流路が形成されたことによるものである。また、河岸線の位置にほとんど変化が無い箇所は、護岸が敷設されているか、山付きとなっている場合が多い。

#### c) 流路線形の変化 (H22～H23)

出水前後の蛇行波形の変化について図-15を見ると、被災箇所周辺 (KP17.0～19.0) における蛇行振幅の増大が特に顕著で、出水前後で比較すると約2

倍程度にも増幅していたことがわかる (110m→215m)。一回の洪水でこれほど大きな蛇行発達を遂げるような場合、応急対策を講ずる間もなく侵食が堤体に及ぶ可能性があり、防災上の観点からも看過できない問題である。

### 4. 蛇行発達要因の考察

#### 4.1 H23.9洪水の流量ハイドロの特徴

今回の出水が、過去に例を見ないほどの蛇行振幅の増大をもたらした要因は、外力の源となる流量規模の大きさに深い関わりがあるものと考えられる。図-16は、既往最大流量を記録した平成15年の洪水と今回の洪水の流量ハイドロを重ね合わせたもので、各洪水のピーク流量の時刻を基準とした前後2日間の変化を示している。図から、平成15年の洪水はピーク前後の波形勾配が鋭く切り立っており、ピークを境に流量が急激に増減したことがわかる。一方、平成23年の洪水はピーク付近を除けば、比較的流量の増減が緩慢であり、且つ大きな流量がかなり長い間継続していたことがわかる。このような流量ハイドロの違いが、2つの洪水前後で見られた流路変化の違いとなって現れた可能性が高い。

簡略的には、流路変化は河床（水面下の表層）を形成する土粒子の移動によってもたらされる。土粒子には粒径に応じた閾値（移動限界）があり、これ

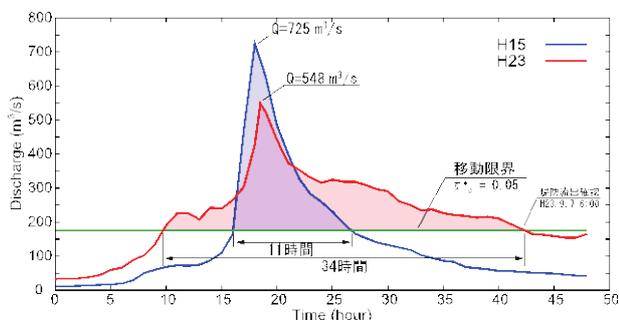


図-16 流量ハイドロの比較 (H15 ⇔ H23)

を越える河床剪断力が流水から作用することで移動を開始する。したがって蛇行流路が発達する過程では、この移動限界を越える外力（掃流力）が、常に流水から河床へと作用し続けるような流量条件が必要となる。以上のことから、ここではこの2つの洪水を対象に、土粒子の移動限界を越えるような流れがそれぞれどの程度継続したかを簡易的に試算することとした。

#### 4. 2 計算条件と結果考察

計算は、両洪水ともに、低水路幅 $B=100\text{m}$ 、河床勾配 $I=1/164$ の広矩形断面を等流状態で流れていたものと仮定し、粒径はSt.2の河床材料調査の結果から流心部の $d_{60}=64\text{mm}$ を与え、粗度は計画粗度の $n=0.035$ として行った。結果は図中緑線で示すように、流量 $Q=180\text{m}^3/\text{s}$ 程度が移動限界（無次元限界掃流力 $\tau^*=0.05$ ）に相当し、それを越えるような流れが継続した時間は、それぞれ平成15年は11時間、平成23年は34時間であった。両者を比較するとその継続期間には約3倍の違いがあり、今回の洪水がいかに流路変動を引き起こし易い流量条件下にあったかがわかる。また、各継続期間内の外力の規模（総流砂量）は図中の塗色面積から概ね比較することが可能で、今回のような大きな流路変動がもたらされたのは、ピーク流量の大きさだけでなく、土砂の移動限界を越える流量がかつて無いほど長時間に亘って継続したことによるものと推察された。

ただし、本来の蛇行発達過程は、河床の移動のみならず側岸侵食を伴うような複雑な物理現象の相互作用の結果としてもたらされるものであり、ここで行った解析は、大規模な流路変動をもたらした主たる要因の定性的な評価に留まるものである。

#### 5. まとめ

本研究では、蛇行流路の発達に伴う河岸侵食メカニズムの解明に向けた準備段階として、侵食箇所周辺の土質調査と侵食状況の概略的な把握、および出水前後の河道変遷状況を整理し、今回の蛇行発達の

#### 8.6 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価に関する研究

要因について簡易的な考察を行った。以下にその結果をまとめる。

- 1) 音更川流域の河道は、堤防の一部を除くその大半が砂礫質の土砂で構成されており、流水抵抗力が比較的弱く、河岸侵食を伴う蛇行流路の発達が生じ易い河道条件を備えていた。
- 2) 平成23年の洪水では、無次元掃流力が0.05を越える流量が約1.5日間継続し（平成15年の洪水の約3倍）、蛇行振幅は洪水前後で最大約2倍に増幅した。
- 3) 低水路内を蛇行する流路の波長と振幅の増大は、洪水前後に見られる流路変化の特徴の一つと考えられ、その発達速度および規模は、洪水時の流量規模とその継続時間に大きく左右される。

今回の堤防流出箇所に関しては、幸いにも現場の迅速な対応により適切な応急対策が実施されたことで、堤防の流出を食い止めることができたが、場合によっては最悪の事態に至っていた可能性も拭い去れない。

今後このような事態を未然に予測し適切な予防措置を講ずることができるよう、低水路内を流れる流路の蛇行発達に伴う河岸侵食メカニズムの解明とその定量的な評価を行っていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 永多朋紀、柿沼孝治、桑村貴志：「音更川の河道変遷と蛇行特性について」、寒地土木研究所月報、No.706、pp2-11、2012.3
- 2) 永多朋紀、柿沼孝治、桑村貴志：「音更川堤防流出原因調査の経過報告について」、土木学会北海道支部論文報告集、第68号、B-49、2012.2
- 3) 小田島大祐、桑村貴志、永多朋紀：「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」、第55回北海道開発技術研究発表会、2012.2
- 4) 北海道開発局帯広開発建設部、寒地土木研究所寒地水圏研究グループ：「平成23年9月2日からの停滞前線による大雨災害 十勝川水系音更川の堤防の一部流出に関わる調査報告」、2012.3

## A STUDY ON THE MECHANISM OF BANK EROSION AND THE RESISTANCE CHARACTERISTICS, AND FUNCTIONAL EVALUATION OF RICH-IN-NATURE REVETMENT IN THE RIVER FOR SNOW COVERAGE AND COLD REGION

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : River Engineering Research Team

**Author** : HIRAI Yasuyuki

NAGATA Tomonori

AKAHORI Ryouusuke

**Abstract** : In September 2011, record amounts of rain fell in many areas of Hokkaido, and the second-highest peak flow volume in 23 years was observed in the Otofuke River basin. This heavy rain resulted in massive erosion of banks in low-water streams. It is presumed that the damage in this case was caused by gradual development of the stream's meander within the low-water channel. In this study, we collected geotechnical data and compared the river course before and after the flood and conducted a simple examination of the causes of meander development. The results showed that such meander development is caused by continued flow volume that exceeds the sediment movement limit over a significant period.

**Key words** : Otofuke River, bank erosion, meander development, river course change