急流河川における長期的な流路変動特性の分析 ANALYSIS OF LONG TERM CHANGE PROPERTIES AT A STEEP RIVER

桑村 貴志¹・渡邊 康玄² Takashi KUWAMURA, Yasuharu WATANABE

¹正会員 北海道開発局 札幌開発建設部 (〒060-8506 札幌市中央区北2条西19丁目) ²正会員 博(工) 北見工業大学 工学部 教授 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

When it comes to flood, increased river flow causes stream diversion with bank erosion. Therefore, we have built revetments in order to keep the channel flow stable. However, the construction of the protection which narrows the flow width caused an increase of bed shear stress and a degradation of bed. In order to solve these problems, it is necessary to permit river channel change to some extent. However, the knowledge about the long-term movement of river channels accompanying bank erosion is insufficient.

This research investigates a river channel meandering process from the past to the present using the topographical maps. We found that river works revetments mitigate the degree of meandering in the present river. The width of channel is the almost same as the past meandering width in general. However, the old channel shown by the aerial photograph locates at protected area. Therefore, it is necessary to consider the danger of riverbank erosion on a long-term management plan.

Key Words : Steep river, meandering channel, bank erosion, river improvement works

1.研究背景と目的

砂礫河床で構成される急流河川では、河岸の浸食によ る流路の変化と上流から流送されてきた土砂によって砂 州や蛇行流路が発達し災害を引き起こすことがある.北 海道東部の急流河川である音更川においても、平成23年 9月に発生した出水によって**写真-1**に示すような河岸浸 食を伴う蛇行流路の発達が全川的に生じ、堤防の一部が 流出する事態となった¹.

このような流路変動から堤防を防護するため,護岸等 を配して低水路幅を固定するなど蛇行流路の発達を抑制 するような対策が多くとられてきた.低水路を固定し高 水敷が設けられる場合,平均年最大流量規模程度の出水 時には,従来に比べて流水幅が減少して以前よりも掃流 力が増大するほか,上流域の開発による土砂供給量の減 少などの影響によって,露岩化を含む著しい河床低下な どの課題が顕在化している.河床低下を防ぎつつ堤防防 護を行うためには,堤防に危険を及ぼさない範囲で横方 向の流路変動を許容し,低水路の拘束幅を広げることが 考えられるが,このような対策を実施していくために は,対象河川の蛇行の発達特性について長期的な見通し



写真-1 平成23年9月出水時の蛇行流路の発達状況

を得て河道計画を立案することが重要となる.しかしな がら、このような長期的な蛇行の変化については、河床 変動シミュレーション等を用いても事象の不確実性の多 さから予測の精度を高めることが困難であるため、自然 状態の流路が保持されていた時代から現在に至るまでの 蛇行形状の変動を調査し、将来的に発達しうる流路変動 の大きさについて見通しを得ることが必要となる.

本研究は急流河川である音更川の地形図等の資料を用いて、明治・大正の開拓期から現在に至るまでの長期的な流路変動特性について実証的な分析を行い、河川管理 上許容しうる蛇行流路幅について考察を行うものである.



図-1 平成23年9月出水前後の河道平面形状の変化 (KP15~KP20,青線:出水前(H22年8月),赤線:出水後(H23年9月))



図-2 改修着手時の河道と堤防法線の関係 (KP15~KP20, 図-1と図-2は同範囲である)



図-3 音更川の調査対象区間

2. 流路形状の調査

(1) 調査対象河川(十勝川水系音更川)の概要

音更川は、流域面積740km²、幹線流路延長93.5kmの一 級河川であり、上流は石狩山地の山間渓谷の間を流れ、 山地から士幌台地へ抜ける地点には発電用の糠平ダム

(昭和31年竣工)が建設されている。山地の下流からは 士幌台地を下刻した狭隘な谷底平野の中を1/130~1/200 の河床勾配で流れ,河床材料の代表粒径は52~88mmとな る砂礫河床の急流河川であり,低水路には単列状の砂州 が形成されており蛇行流路が発達した河川である.また, 中流部は畑作地帯,下流部は音更町の市街地を縦貫して いる.

本研究の契機となった平成23年9月出水では、河岸浸 食を伴う流路変動が全川的に生じた.特に中流部での変

動が大きく、写真-1に示したように蛇行の発達が堤防に まで達して堤体の一部が流出して周辺住民が緊急避難す る事態が生じた. 図-1は,堤防被災箇所付近における出 水前後の河道平面形状の変化を示したものであり、出水 によって流路の蛇行振幅が増大していることがわかる. なお、この蛇行振幅の増大は、減水期に河岸浸食を伴っ て徐々に拡大していたことが筆者らの研究1,2)によって明 らかになっている. 音更川は自然状態であった明治・大 正期は、蛇行がよく発達した流路形状であったが、戦後 本格化した河川改修によって図-2に示すとおり当時の蛇 行流路の外縁部を包絡するように堤間幅が概ね300mと なる連続堤防及び堤防護岸の整備が行われた.また,昭 和50年代には、音更町市街地区間を縦貫する下流部にお いて高水敷の造成が行われ低水路幅を60mにまで狭める 低水路護岸の整備が行われたほか、中上流部では河道掘 削により蛇行流路が直線化された.しかし,直線化され た河道は、その後に発生した大小の出水によって徐々に 蛇行形状が発達していき、平成23年9月出水の堤防流出 を伴う大規模な流路変動に至っている1).2).

このように、急流河川の堤防防護対策を進めていくた めには、短期的な変動のみならず蛇行の長期的な変動特 性について知ることが重要となる.そのため、自然状態 から現在に至る蛇行流路の形状を測定し、経年的な蛇行 流路形状の変遷の分析を行う.

(2) 調査の対象区間と蛇行流路形状の測定方法

図-3に示すように音更川の十勝川合流点を起点として、 糠平ダムの上流までの約90kmを調査区間とした.調査区 間は平野部と山間部に大きく区分され,さらに平野部は 市街地区間を縦貫する下流区間(KP0.6~10.5),川幅が 広く平成23年出水において堤防流出が生じた中流区間 (KP10.5~30.0),農業用の頭首工や護岸などの人為的 改変度が高い上流区間(KP30.0~47.0)に区分される.ま た,山間部はダムによる流況の変化が認められることか ら,糠平ダムの下流区間(KP30.2~55.8) と上流区間 (KP55.8~88.5)に区分し,本研究では全体を5区間に分 割して調査を行うこととした.

長期的な流路変動特性を知るためには、河川改修着手 以前の古い地図データが必要となるため、明治29年から の資料が存在する国土地理院発行の縮尺1/50,000地形図 を用いることとし、明治、大正、昭和30年頃、昭和40年 頃、昭和50年頃、平成元年頃の6年代に括って対象区間 の地形図を収集し、蛇行流路形状の調査を行った。



図-4 6年代の流路形状(中流区間 KP15~KP23)

参考として、図-4に中流区間の6年代の流路形状を示 す.地形図に記載されている主流路は平常時の平面形状 であり大出水時の主流線とは異なることがあるが、流路 形状は平均年最大流量が支配的であることから、平常時 の流路形状とは大きく変化しないと考え、本調査では地 形図に記載されている平常時の主流路の平面形状をもっ て各年代の蛇行形状の特性を表せるものとした.

各年代の蛇行流路の形状変化を定量的に把握するため、 岡田・福岡の研究³⁾を参考に計測を行った.蛇行流路の 中心線がSine-generated curveで近似できるとしたうえ で、対象区間の全ての蛇行箇所について図-5に示すよう



図-6 蛇行振幅と蛇行波長の関係図(6年代)

に蛇行振幅(2Amp),蛇行波長(L),流路幅(bmc),蛇 行帯幅(2Amp+bmc))を計測した.なお,本研究では, CADを用いて地形図上の主流路を描き各パラメータの計 測を行ったほか,縦断的な流路幅のばらつきを平準化さ せるため,蛇行1波長における下流端,中央部,上流端 の流路幅の平均値を用いた.なお,明治・大正期では分 岐合流を繰り返す複列流路が主であったが,近年では単 列流路へと移行している.上記の計測方法は単列流路を 想定したものであるが,長期間の蛇行形状の変化を統一 的な指標で把握する必要があるため,本研究では複列流 路においても複数の流路のなかから主流を抽出し,疑似 的に単列流路として扱い蛇行形状の計測を行った.

3. 流路変動特性の分析

(1) 蛇行流路形状

図-6は、6年代の全区間の蛇行箇所の蛇行振幅と蛇行 波長をプロットしたものである。明治・大正期は波長と 振幅が大きな箇所が多く見られるほかプロットのばらつ きが大きくなっているが、時代を経るごとに振幅の大き な箇所が減少しプロットのばらつきが小さくなる傾向と なっている。このような蛇行流路形状の変化について、 岡田・福岡の研究³³を参考にして、図-7に示すように区 間毎に流路形状パラメータを用いて蛇行流路形状の変化 について分析をおこなった。図の縦軸は蛇行振幅2Ampと 蛇行波長Lの比であり、その値が大きいほどより強い蛇 曲を示すパラメータであり蛇行度と呼ばれるものである。



また、横軸は蛇行帯幅2Ampに占める流路幅bmcの割合で あってその値が大きいほど直線的になることを示し、直 線度と呼ばれる.また、図上の曲線は、bmc/Lが各値を とるときの2Amp/Lとbmc/(2Amp+bmc)の関係を示す.

各区間の蛇行形状の変遷を見てみると,(a)~(C)の区 間では明治・大正期の蛇行度が大きく蛇行形状も多様で あったが,昭和30年代には蛇行度の大きな箇所が減少し, 平成元年頃には蛇行度がさらに小さくなっている.また, (d)~(e)の区間では明治・大正期から平成元年頃に至る まで蛇行度が大きな箇所は減少しているもののプロット の範囲は大きくは変わっていない.これら各区間の変化 の要因として考えられる事項について,以下に述べる. (a)下流区間の傾向

年代を経るほど、プロットの全体的な分布が図中の左 上から右下方向へと移動しており、蛇行度が減少して直 線度が増大する傾向にある.この区間では、昭和50年代 の高水敷造成に伴い低水路幅が約100mから60mに大幅に 縮小された.その結果、蛇行振幅は60m未満に拘束され たほか、川幅の縮小に伴って川幅水深比が約90から60へ と小さくなったため網状あるいは複列状の砂州は姿を消 し、波長が大きな形状へと変化したものと考えられる. (b) 中流区間の傾向

中流区間は護岸の整備率も低く,平成23年9月出水に おいて最も蛇行が発達した区間である.経年的な変化と しては、明治・大正期には蛇行度が0.5以上の強蛇行の 箇所が主な分布となっているが,昭和30~50年頃の築堤 工事に伴い,その当時までの自然の蛇行流路が堤防の中 の空間に押し込められたことなどから蛇行度が0.5以上 の蛇行箇所は無くなった.しかしながら,昭和30~50年 頃と平成元年頃の蛇行に大きな違いが生じていない.昭 和50年代~60年代に流路が一度直線化されているので, 平成元年頃と昭和30~50年頃の蛇高度に差がないという ことは,直線化された後に蛇行度が戻ったことを示す. 中流区間では低水路幅を広く確保して低水路護岸が設置 されており,河道内での流路変状に対しての物理的な拘 束が少ないことから,他の区間に比べて蛇行が発達しや すい条件であったことが要因と考えられる.

(c)上流区間の傾向

年代を経るごとに,蛇行度が減少し直線度が増大して いる.この区間には,昭和43年に音更川で唯一の頭首工 が建設されているほか,頭首工の建設以降もその上下流 で河岸浸食を防ぐための護岸整備や,流路の直線化が 度々実施されている.この結果,平成期には直線的な流 路が形成されている.

(d) 糠平ダム下流区間の傾向

明治・大正時代はプロットの分布範囲が広く,蛇行度 の大きな流路から直線的な流路まで多用な形状の流路が 存在していたが,年代が下るに従って蛇行度の大きな流 路が減少している.この区間は,昭和50年代から平成元 年頃にかけて、低水路両岸に連続した護岸が整備されて おり,直線的な流路となったものである.

(e) 糠平ダム上流区間の傾向

近年は、明治・大正期に比べると蛇行度は減少してい るが、全体的に変化は少ない。同様に山間渓谷地を流れ る(d)区間に比べても変化が小さい要因としては、(e)区 間ではダムの建設による外力変化の影響を受けていない ほか、河川改修が局所的な範囲でしか実施されていない ため、流路形状が変化していないものと考えられる.

(a)~(e)の無次元平面形状の経年的な変化を総じて見ると、下流・中流・上流では蛇行度の減少、直線化傾向にあるが、中流では蛇行度が回復しつつある.また、ダム上流では流路形状に大きな変化はなく、人為的なインパクトの有無が平面形状に大きな影響を与えていると考えられる.また、低水路護岸が設置されていても、広い低水路幅が確保されている区間では、流路が直線化された後に蛇行流路が再形成されている.

(2) 蛇行振幅の変化について

蛇行が発達する河川では河岸侵食が発生しやすく,洪 水による侵食に対する堤防の安全性確保を図る必要があ る.現在の流路が直線的であっても、出水時にはその地 形・水理条件に応じて蛇行が発達するため、その河川に おけるこれまでの蛇行振幅の変化について知っておく必 要がある.



図-9 各年代の蛇行振幅(2Amp)の超過率(全区間)

各年代の蛇行振幅(2Amp)を縦断的に示したものが図-8 である. 自然状態であった明治・大正時代の蛇行振幅の 全体的な包絡値は約300m程度であり、この幅は現在の堤 間幅とほぼ等しい.昭和31年に築造された糠平ダムの上 流では蛇行振幅に大きな変化は生じていないが、ダムか ら下流では大正期から昭和30年年代にかけて蛇行振幅が 大きく減少し、昭和50年代から平成元年頃にかけては平 均的な蛇行振幅は100m未満にまで減少している.

明治・大正年代において蛇行振幅が大きく、時代の経 過に伴い蛇行振幅が減少する傾向が見てとれるものの縦 断的なばらつきが大きく定量的な評価ができない. 各年 代の代表的な蛇行振幅を評価するため、各年代に計測さ れたN個の蛇行を母集団として蛇行振幅の超過率として 図-9のように整理を図った. 各年代の曲線を比較してみ ると,明治・大正の蛇行振幅に対して,河川改修に着手 された昭和30年・40年頃には若干の振幅の減少が見られ る。その後、昭和50年代では、低水路の直線化が図られ たため蛇行振幅が減少し、その後の平成元年でも同等の 小さな振幅のままで推移している. 改修前の明治や大正 時代に蛇行振幅が300mを超える割合は10%未満に過ぎず、 昭和30年頃の流路をもとに設定した現堤防幅の300mは, 音更川の自然状態の蛇行振幅と概ね等しいと考えられる. なお、各年代間の蛇行振幅の変化量が小さい場合であっ ても、蛇行流路の位置そのものが左右岸の堤防のいずれ かの方向へと移動していく可能性がある. 過去の自然堤 防の跡からも旧流路の位置を知ることができる. 図-10 はレーザープロファイラー測量データを用いて作成した 標高陰影図である. 図中には、過去の蛇行流路の跡が陰 影となって現れており、明治年代の流路の他にも、現在 の河道位置から大きく外れて流れていた流路跡が幾筋も

昭和30年以 昭和40年頃 昭和50年頃 平成元年頃 図-10 標高陰影図・各年代の蛇行流路(KP13.8~14.8) 2000

明治

大正

× · 0



図-11 河道蛇行計測結果

確認できる.これらの蛇行振幅は6年代の蛇行流路の振 幅と比べても大きな差は認められない、長期的には蛇行 流路の位置そのものが変化しているため、その変化量に ついて、現在の河道センターラインを基準として6年代 の蛇行流路のセンターラインとのずれを偏倚量として図 -11に示した. なお、変倚量は、右岸側は正、左岸側は 負としている. 自然状態とである明治から大正年代の河 道蛇行の偏倚量は、大きな箇所では約500mにも達してい る. また,昭和50年以降,偏倚はあまり生じていないが, 護岸の撤去等によって横方向への移動の拘束を解除した 場合,長期的に大きな偏倚が生じる可能性がある.

(3) 蛇行振幅に対する河川改修の影響

蛇行振幅に対する河川改修の影響を分析する. 音更川 では大きな人為的なインパクトとしては護岸とダムの整 備が挙げられる. 護岸の整備による蛇行流路の変動に調 べるため、6年代における上流、中流、下流区間の護岸 整備率と蛇行振幅の中央値、最大値、最小値の関係を示



したものが図-12である. 蛇行振幅の推移を見ると, ほ ぼ自然状態であった明治・大正期では、各区間の最大振 幅は約300~600m,振幅の中央値は約100m~200mであり, 振幅が大きい流路であったが、その後の護岸整備率の増 大に伴って蛇行振幅の最大値および中央値が減少してい る.市街地区間となる下流部では、昭和50年代から低水 路内の高水敷が造成し低水路幅を60mにまで狭める護岸 の整備が行われており、蛇行振幅の減少は最も顕著であ る. また、中上流区間においても、水衝部対策として低 水護岸が50~70%の区間で整備されており、蛇行振幅も 概ね減少傾向にあり, 護岸整備率と蛇行振幅には明らか な相関関係が生じている. 音更川の蛇行振幅の拡大は河 岸侵食を伴うものであることから、河岸侵食を拘束する 護岸の整備率の上昇により蛇行振幅が大きな箇所は減少 した. また,中流部において昭和40年代から昭和50年代 にかけて蛇行振幅が大きく減少しているのは,河道掘削 による流路の直線化の影響が大きい.

次に、昭和31年に築造された糠平ダムの上下流の蛇行 振幅の変化に着目して図-8の縦断図を見てみると、ダム 上流区間では蛇行振幅に大きな変化は生じていないが、 ダム下流区間では大正期から昭和30年年代にかけて蛇行 振幅が大きく減少していることがわかる.これは昭和10 年代に音更川に並走して引かれた線路工事の際の流路整 正の影響である.また、ダム築造による年最大ピーク流 量の変化を知るために、明治29年から平成23年までの年 最大流量の推移を図-13に示した.なお、流量資料が存 在しない昭和41年以前の流量は、音更川の全流域を対象 として貯留関数法による流出計算により求めた.音更川 の中流部における無次元限界掃流力(τ_{*}=0.05)となる流



図-14 糠平ダム上下流の月平均観測流量値(平成19年度)

量約140m³/sを超過する出現率はダムの築造前は79%で あったが、築造後は47%と半減している.また、図-14に 示すとおり、5月の融雪出水は、ダム貯留によってダム 下流区間では他の月と同様の流量にまで減少している. また、発電時には他流域へ放流するためダム下流の年間 流出量も減少している.流路変動や蛇行規模は出水時の 流量ハイドログラフに大きな影響を受けていることが明 らかとなっているほか^{1),2)}、積雪寒冷地河川において融 雪出水流量の規模は河道形成に大きな影響を与えている ことが知られており、ダムの貯留によるダム下流区間で の流量の減少が長期的な蛇行流路の発達に対して抑制的 な作用を与えていると考えられる.

4. まとめ

蛇行流路の無次元平面形状は、明治・大正時代に比べ、 改修に着手した昭和30年代以降、蛇行度を弱めている. また、護岸の整備などにより蛇行振幅も長期的に減少傾 向にあるが、中流部や上流部では護岸の未整備箇所も多 く、蛇行発達による堤防流出のリスクは依然として高い.

従来実施されてきた河道掘削による流路の直線化や高 水敷造成を兼ねた護岸整備による対策は、河床低下、実 施コスト、維持管理、環境面などから課題を抱えており、 今後は低水路を広く確保することが求められる.そのた めには、対象とする河川の蛇行発達特性を知り、モニタ リングを行いながら、堤防の安全性を確保したうえで流 路の蛇行を許容した河川管理が重要である.

参考文献

- 1)桑村貴志,河合崇,永多朋紀:音更川における堤防流出の原因分析,平成23年度国土技術研究会,国土交通省,2011.
- 永多朋紀,渡邊康玄,桑村貴志ら:低水路河岸の平面形状に 誘発された蛇行発達,寒地土木研究所月報,No721,2013.
- 3) 岡田将治,福岡捷二:複断面河道における洪水流特性と流砂 量・河床変動の研究,土木学会論文集No754,2004.

(2015.4.3受付)