

積雪寒冷地の河川における低水路内の比高拡大の一考察

One consideration of the relative height increase in low water channel in the river of snowy cold region

株式会社ドーコン ○正会員 堀岡和晃 (Kazuaki Horioka)
株式会社ドーコン 正会員 長谷川寛也 (Kakuya Hasegawa)

1. はじめに

近年、積雪寒冷地の河川においては、河床の露岩や、みお筋の固定化による局所的な河床洗掘の進行、さらに樹林化や砂州の発達による低水路内の比高の拡大等、治水・環境面で課題が生じている河川がある。

護岸による河岸侵食に着目した既往の研究¹⁾がある。常願寺川などの北陸の急流河川では、護岸を整備したことによりかつて存在していた砂州が消失し、洪水の主流が堤防から離れず、河岸侵食が堤防まで到達する危険性を高めている。具体には、護岸前面の河床洗掘が進行し、流路が護岸から離れず固定化する傾向があり、これにより下流側河岸沿いの砂州の洗掘・縮小が進行する恐れがあるとしている。この対策として洪水の主流を河岸際から直接引き離す手法として、水はね機能を有する巨石付き盛土砂州を実施している。

他の事例では、北海道内の河道変化の要因指標として、川幅変化、流量変化、河岸変化を想定している研究²⁾が進められており、今後指標の絞り込みが必要となっている。以上、既往研究では、河道の変化状況の把握や対策については研究されているが、その要因分析について未解明な点が多い。

そこで本稿では、河道変化の原因として護岸や流路の定型化などがもたらす粗度低下に着目し、粗度低下が引き起こす河道変化のメカニズムや護岸との関連性を検討し、低水路内の比高拡大・2極化の要因分析と粗度改善による対策検討結果を報告するものである。

2. 検討

(1) 積雪寒冷地の流況と植生、河道整備状況の特徴

積雪寒冷地の特徴として、図-1に示すように、河状係数³⁾が小さい。即ち、河道を大きく乱す梅雨や台風などの大洪水の発生が少ない半面、融雪出水等の中小の洪水が毎年発生し、低水路内の河道変化を助長している。

河畔林としては、図-2に示すように、北方系のヤナギ類が繁茂しやすく、出水の攪乱が及ばない砂州ができるとその上に樹林を形成するが、関東以南では河道内には草地はあるがそもそも樹木が少ない⁴⁾。よって積雪寒冷地の影響として、継続期間の長い融雪出水、夏季の出水頻度が少ないことにより、ヤナギ類の生育に適し、樹林化しやすい。

治山や河川改修による土砂移送の影響として、治山・砂防と河道改変が進んだため、山地からの土砂生産と河道の土砂移動量のバランスが偏りやすい。

規模の大きなダムの影響として、多目的ダムは、融雪水を貯留し、融雪出水が減少する。夏季も、ピーク放流

が減り、濁水が長期化する。これらによって、ダム下流では、出水の攪乱力が減り、細粒土砂が増え、樹木化が進行する。

固定堰などの土砂捕捉する横断構造物の影響として、横断構造物の下流では、滞筋が固定し洗掘が進む。一方、砂州は比高が高まり、樹木化が進行する。

しかし、地域特性や構造物の影響は、河道変化を引き起こし易くする要因ではあるが、これだけでは必ず発生する十分条件ではない。そこで、追加すべき要因として、河岸の粗度低下を考えた。

河川名	地点名	最大流量 (m ³ /s)	最小流量 (m ³ /s)	河状係数(最大流量/最小流量)
四万十川	具同	5900	15	362
吉野川	岩津	7100	22	323
仁淀川	伊野	5000	11	455
石狩川	石狩大橋	2900	105	28
北上川	狐禅寺	2800	71	39
利根川	八斗島	3000	56	54
信濃川	小千谷	3300	77	43
木曽川	犬山	5300	51	104
天竜川	鹿島	3900	48	81
筑後川	瀬ノ下	3200	27	119

図-1 全国の代表的な河川の河状係数の比較³⁾

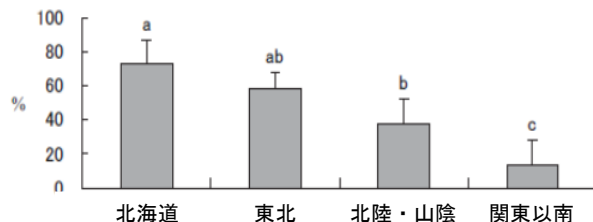


図-2 地域別の河岸延長に占める樹林地率⁴⁾

(2) 河岸形状と河道変化の関係

図-3に示すように、自然の河岸は、出水で部分的に侵食されるため、凹凸があり、流れが乱されやすい。一方、護岸や擁壁などの工作物は、平滑な面を持つことから、縦断的に定型的な河道が形成され、粗度の減少が発生しやすくなる。河床低下などで連続的に侵食した河岸面や平滑な露岩面でも同様な現象が起きる可能性がある。

(3) 河道横断形の変化状況の把握

横断測量と改修経緯が過去から整備されているA川において、低水路内で洗掘・堆積といった比高差の拡大を生じた横断地形の経年変化を調べた。

図-4に示すように、昭和60、61年に400mに及ぶ護岸が設置されると、平成7年までは変化が少ないが、平

成 13～18 年には護岸に沿って洗掘、対岸の砂州に堆積が生じている。護岸設置後、洗掘が発生し砂州が土砂堆積しヤナギ林が大きく生長するまで 15～20 年を要する。このように、変化が緩やかで、洗掘は水中のため目視できず、砂州もヤナギ林で覆われるため土砂堆積が目立ちにくく問題視されにくい、15～20 年後に流下断面不足や護岸の根入れ不足に推移していく傾向にある。

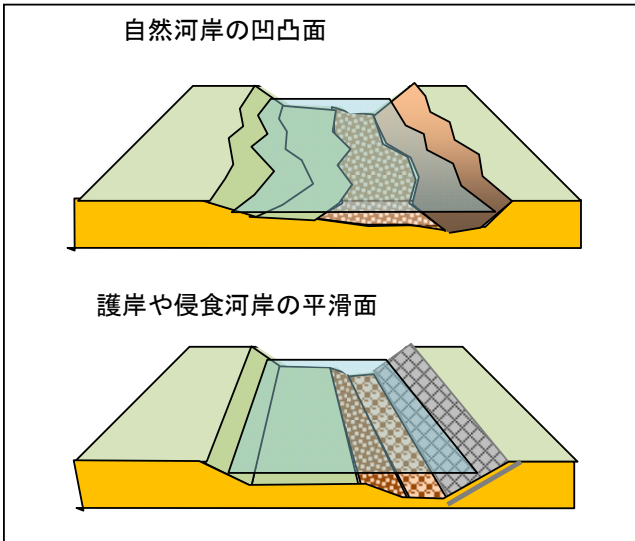


図-3 自然河岸と護岸や侵食河岸の凹凸の違いの模式図

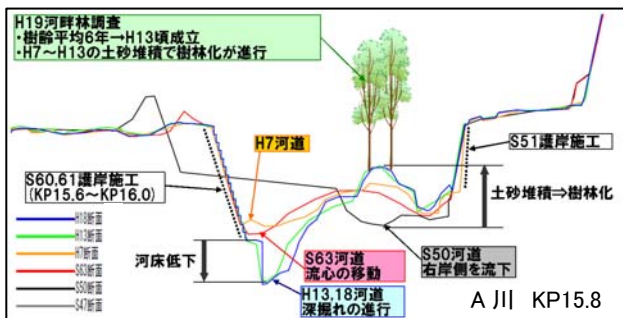


図-4 A川の横断地形の変遷

(4) 霞堤の開口部や河岸形状の凹凸がもたらす流速低減による砂州幅、樹林幅の比較

霞堤や信玄堤は、近代の土木技術が確立する前の河川伝統工法である。霞堤は、堤防に開口部を設け、その下流側の堤防を堤内地側に延長し、堤防を二重にした不連続な堤防である。河川伝統工法では洪水流に耐えられる構造物がないため、洪水は溢れることを許容し、流れを弱めて洪水を制御する手法をとっている。

着目したのは、図-5の中央に示す、川の流れを弱める効果である。不連続堤の裏側に空間があり、開口部からその裏側の空間に流れ込んだ流水が渦を作り、この渦が抵抗となって流れを遅くする働きをする。効果の大小はあれ、樋門吐口・排水路、支川合流部、河岸引き込み、小型水制工など、河岸形状に凹凸がある場合も発現するはずであり、これらを実河川で検証する。

対象とする B 川の upstream 区間は、昭和末期から平成初めにかけて、堤防整備と合わせて河道整備が行われ、その後河川改修があまり行われておらず、低水路内の変化の著しい河川である。このうち、セグメント 1 の単列砂州領域にある一連の有堤区間について、平成 23 年撮影の空中写真判読により、低水路内の水面幅・砂州幅・樹林幅を、河岸状況を踏まえて計測した。

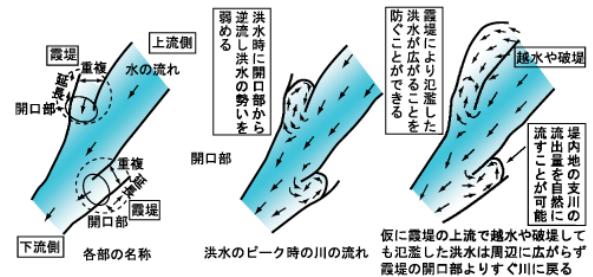


図-5 霞堤の働き⁵⁾

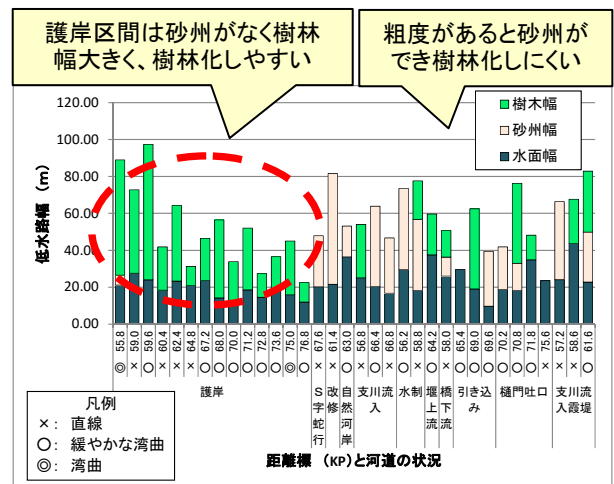
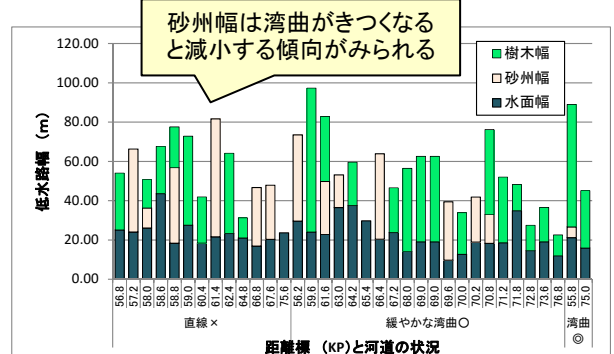
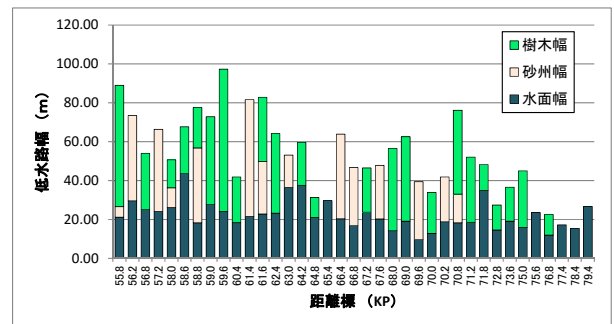


図-6 B川の低水路内の樹林幅・砂州幅・水面幅

図-6 の上段のグラフに示すように、距離標の順では、場所によって砂州幅が大きく異なっている。中段のグラフは河道の平面形の違いとして直線、緩やかな湾曲、湾曲別に並べ直したものであるが、砂州幅は湾曲がきつくなるほど少なくなる傾向がみられる。これに対し、河道状況の区分で並べ直した下段のグラフの左側では、護岸がある場合は、砂州がほとんどなく樹林幅が大きく、樹林化しやすいことが見て取れる。グラフ右側に示す、支川流入や樋門吐口、橋など河岸の凹凸や横断構造物といった粗度が増す施設がある場合は、砂州幅が大きく、樹林化しにくいことが見て取れる。

(5) 実河道の粗度係数の算定

対象とする A 川上流は、セグメント 1 の単列砂州領域にある。両岸に護岸が整備され、自記水位計（データロガー式）が KP14.0～KP21.4 区間に 17 箇所設置されていた。このうち床止め工の影響を受けない上流の 10 箇所について、平均年最大流量（410m³/s）流下時の観測水位を用いて、等流計算で粗度を算定した。

図-7 に示すように、グラフ中、灰色のゾーン内の観測点は、KP17.6 橋脚直下流、KP18.0 河岸段差、KP19.0 引込護岸、KP19.6 護床工段差、KP21.0、21.4 支川合流といった、河岸形状の変化によって粗度係数が $n=0.025$ 程度の値を示していた。一方、それ以外の区間は粗度係数が $n=0.020$ 程度の小さな値を示しており、特に KP19.8～KP20.4 区間は、低水路内の洗掘と樹林化が著しい区間である。これから、河岸形状と粗度係数、河道変化の関係性が示唆された。

今後は、より精度の高い河道特性検討に向けて、低水路の粗度係数を把握することが重要であり、全川に亘って平均年最高水位を観測する必要がある。

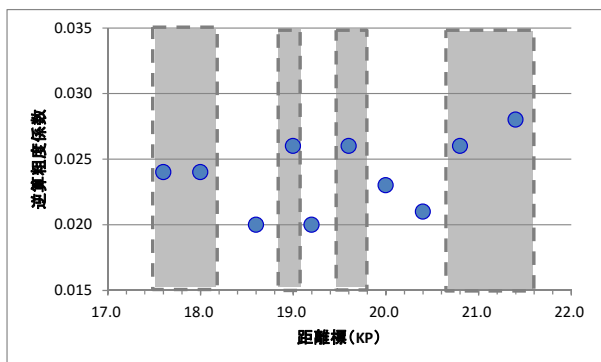


図-7 A川の粗度係数の縦断分布図

(6) 粗度低下が河道変化を引き起こすメカニズムの解明

水衝部壁面の粗度と外岸洗掘との関係を推察した。緩やかに連続する河川の湾曲部では、継続して遠心力が作用し二次流が発生する（図-8 参照）。

遠心力 $F=mv^2/r$ 、 m ：質量、 v ：主流速度、 r ：半径によって、主流方向の速度が大きくなるほど遠心力、即ち二次流も大きくなる。

河岸などの摩擦抵抗は、壁面の粗・平滑に関係する。

壁面が平滑な場合、河岸沿いの摩擦抵抗が小さくなり、主流方向の流速が増加することで、遠心力、二次流も大きくなる。逆に、壁面が凹凸な場合、河岸沿いの摩擦抵抗が大きくなり、主流方向の流速が減少することで、遠心力、二次流も小さくなる。

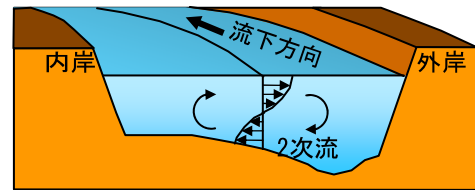


図-8 二次流発生の様式図

遠心力、二次流と洗掘・堆積と川幅変化との関係は、図-9 に示すように、遠心力、二次流が強くなると、主流が外岸に寄り、洗掘と堆積が発達し、深掘れと砂州堆積が進行し流路幅が狭まる。流路幅が狭まると、全体川幅に占める外岸粗度低下の影響が増し、河岸沿いの流速が大きくなる。また、深掘れで水深が増し、さらに流速、遠心力、二次流が増加し、外岸の洗掘傾向、内岸の堆積傾向を助長する。

平常時は、連続した深掘れによって水位が下がるので、内岸の土砂堆積した砂州にヤナギ類が進入するが、内岸側は、出水時の攪乱力が弱く、樹林化する。

湾曲以外にも、図-10 に示すように、蛇行していた流路が直線的な低水路護岸に沿ってクランク状に発達する場合がある。流路に沿って流れが斜め正面から河岸に衝突し局所洗掘が生じる。大きく流向が変わることで遠心力が発生し、主流が河岸に引き寄せられ、粗度の小さい護岸に沿って洗掘しながら流下している。

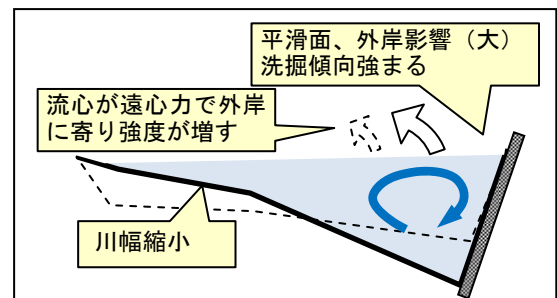


図-9 粗度低下による河道変化の様式図

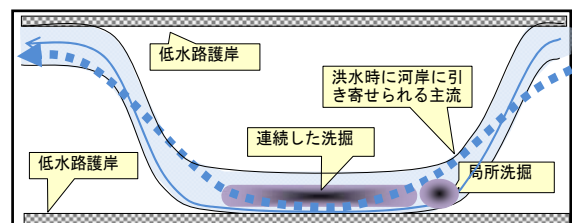


図-10 クランク状流路の様式図

(7) 低水路内の比高差増大・2 極化の対策立案と対策事例結果

護岸の設計基準である「(改訂) 護岸の力学的設計法」⁶⁾では、護岸の表面形状が滑らかだと、護岸周辺の流速が大きくなり、護岸前面や周辺の侵食・洗掘が増すので、表面に適切な粗度をもった護岸とすることが必要としている。

護岸面の粗度低下が引き起こす侵食・洗掘については、本稿と同様な認識であり、今回は、護岸も含めた流路の形状粗度係数が $n=0.020$ 程度まで低下しており、適切な粗度 $n=0.025$ 程度になるよう改善が必要になる。しかし、護岸ブロックの表面の凹凸をこれ以上増やすことは護岸の安定状困難であり、別途、護岸前面に凹凸をつけるため構造物を付加するか、流路形状に変化をつけるため護岸の平面配置の工夫が必要となる。

具体的な対策としては、河岸部に水制工などを設置し、出水時の河岸沿いの流速を低減させ、河道全体に攪乱域を広げることで自然の営力でみお筋の固定・洗掘を抑える方法が考えられる。

河岸形状の改良事例として、図-11 に示すように、水衝部が洗掘し砂州が樹林化し始めた河道に対し、水衝部河岸に袋詰め玉石工を配置し河岸に変化を与えたことで、対策2年後に礫河原に復元した事例を示す。

このケースは、洗掘・堆積・樹林化の途中段階での実施であったため、河道整正せずとも幼木段階のヤナギ林を洗い流し、礫河原の復元が可能であった。

しかし、洗掘・堆積・樹林化がかなり進行したケースでは、河岸形状の改良だけでは、堆積土砂や樹林を除去する効果までは期待できないため、河道整正を併用することが必要である。

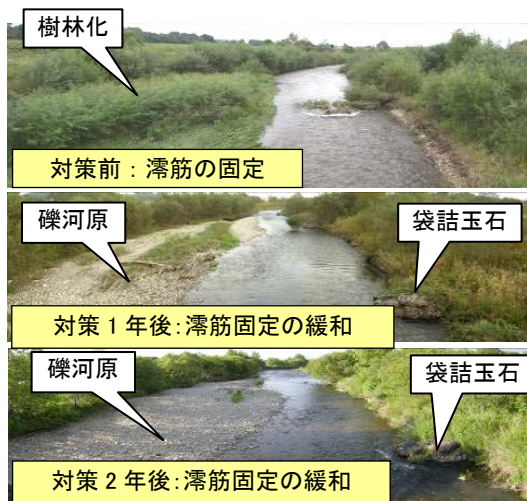


図-11 対策事例

4. おわりに

本研究は、粗度低下が引き起こす河道変化のメカニズムや護岸との関連性を検討し、低水路内の比高拡大・2 極化の要因分析と粗度改善による対策検討を評価しようとしたものである。以下に本研究のまとめを述べる。

(1) 積雪寒冷地の河川が、融雪出水で低水路の改変を受ける割合が多いこと、ヤナギ林が北方系で繁茂

し易いことを示した。治山や河川改修で土砂移送のバランスが崩れること、規模の大きなダムの洪水調節や貯水池貯留により出水の攪乱力が減ること、土砂捕捉する横断構造物の下流では洗掘が進むことなど、近年河道変化が発生しやすくなった要因を示した。

- (2) 河岸が平滑な面を持つ護岸などで整形されることで流路が定型化し粗度が低下することを示した。
- (3) 実河道の横断形状の経年変化を示し、護岸による洗掘・対岸の堆積・樹林化の発生事例を示した。
- (4) 霞堤の開口部や河岸形状の凹凸が流れの抵抗となると想定し、実河川での河岸形状に違いによる砂州幅の違いを示した。
- (5) 平均年最高水位の観測値を基に粗度低下の実態を示し、今後の対応として、水位観測の必要性を示した。
- (6) 河岸の粗度低下が河道変化を引き起こすメカニズムの解明を試みた。
- (7) 「(改訂) 護岸の力学設計法」を踏まえると、粗度低下に対し、護岸の表面処理では限界があり、別途、対策が必要となる。そこで、実河川での具体的な対策立案と対策による改善効果を示した。

これらのことから、積雪寒冷地の河川では、連続した護岸が配置されると河岸の定型化が進み粗度が低下し、砂州幅減少・比高拡大・2 極化が発生しやすいこと、その対策として河岸の粗度を改善することの有用性が示された。

今後は、水衝部の河岸形状や流れの構造がもたらす河道変化のメカニズムを三次元流況解析等を用いて解明することを目指している。

最後に、本稿作成に際してデータの使用を承諾頂いた北海道開発局札幌開発建設部札幌河川事務所ならびに、北海道開発局網走開発建設部に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 北陸地方整備局河川部 北陸急流河川研究会：治水と環境の調和した新たな河岸防護技術の手引き～巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工～，2013.3
- 2) 北海道開発局：北海道の急流河川における河川整備に関する研究（第2報），北海道開発技術研究発表会 No. 59/SI-2，2016.2
- 3) 国土交通省 中村工事事務所：四万十川流域の現状と課題，P14，2016.2
- 4) 傳甫潤也，堀岡和晃，米元光明，伊藤昌弘：人為改変後の低地の河畔におけるヤナギ林の地域分布，応用生態工学 11 (1)，P13-27，2008.
- 5) 国土交通省 太田川河川事務所：キッズコーナー川のちえぶくろ 霞堤、
<http://www.cgr.mlit.go.jp/oitagawa/chiebukuro/index.html>
- 6) (財) 国土技術研究センター編：(改訂) 護岸の力学設計法，山海堂，2007.9