

標津川蛇行復元試験地における 分流堰高さに応答する河道変遷について

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員○水口大輔
独立行政法人 寒地土木研究所 正員 永多朋紀
新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 星野 剛
新潟大学災害・復興科学研究所 正員 安田浩保

1. はじめに

北海道北東部に位置する標津川は1997年の河川法改正が契機となり、2002年3月に標津川に図-1に示すように直線河道である本川と蛇行河道である旧河道を接続した「2way河道」が試験的に整備された。当試験区間では、蛇行河道で十分な掃流力を確保するため平常時流量の多くを蛇行河道側へと分配できるように、分岐点から約30m下流に「越流型の分流堰」を設置している。分流部下流に位置する分流堰は2way河道として通水された後、2006年8月までの約4年間は高さ1mの全幅堰となっていた。その後の2006年8月、蛇行区間の流速緩和と直線区間を遡上する魚類への配慮のため、分流堰の一部が人為的に横断方向10mの幅で50cm切り下げられた切欠き堰となった。しかし、直後の2006年10月に戦後最大規模の大洪水が発生し、その後の平水流量・融雪出水等において蛇行区間に堆積した土砂は排出されず、蛇行区間で急速な土砂堆積が進行した。一方で、堰高改修前の全幅堰の期間では、平水流量・融雪出水等の期間を経ると、洪水期間中に蛇行区間に堆積した土砂は下流へと排出され、埋没傾向も緩やかに解消されていくことが分かっている¹⁾²⁾。

これらのことから、平常時に蛇行河道へ配分される流量は分流堰高によって決まり、蛇行河道へ適正な流量を供給することによって、蛇行区間が埋没しない状態を保つことが可能となることが推測される。つまり、分流堰高と蛇行河道への流量配分比との対応関係を解明することによって、2way河道の自律的な維持が可能となることを示唆している。

本研究では、実測河床高に基づき、洪水を契機とした河床変動傾向を把握するとともに、数値計算による水理解析を行う。その解析結果に基づき、堰高の変化がもたらす蛇行河道埋没・維持機構を明らかにする。

2. 河道形状の変遷

(1) 対象期間の選定

当試験区間では、通水開始の2002年3月から2010年11月まで約9年間という長期に亘り、計32回の横断測量が行われてきた。本研究では、その中でも、堰高が短期のうちに増減され、その影響が顕著に現れた堰高改修直前の2006年7月から2006年12月を対象とする。

(2) 対象期間の概要

図-1の上段の3つの平面図は、当試験地における河床高を示している。下段の2つの平面図は、上段の河床高平面図期間に変動した河床高を示しており、赤色が堆積、青色が洗掘を示している。2006年7月から10月への変遷過程では、蛇行部での明瞭な堆積傾向が確認できる。8月に堰高の切り下げが実施されるとともに戦後最大規模となる時間最大流量470m³/sの洪水を経験しており、洪水の流下により蛇行区間全体で堆積が生じたことが推察できる。

3. 洪水時における河床変動傾向の把握

洪水流量が流下したときの河床変動傾向を把握するために、2006年10月8日に発生した大規模洪水の再現計算を行う。

(1) 計算格子

a) 格子生成

経験的に適正な格子構成でなければ安定に解析結果を得られないことが知られており、当試験区間のような直線区間と蛇行区間の一体的な解析のための格子構成は一般に格子の修正と試行解析を交互に繰り返す煩雑な手作業が生じる。そこで水理学的に合理性がある解析結果を得るために、著者ら³⁾が適用性を示した楕円型偏微分方程式を利用した自然河川の水理解析に適した格子生成法に基づいて格子生成を行った。図-2に解析に用いた計算格子を示す。可視化の都合上、実際に用いた格子辺長の2倍の計算格子生成した計算格子を掲載した。

b) 標高データ作成

標津川の蛇行復元試験地では、20m間隔で横断測量が行われているため、その横断測量測線データを用いてDEMデータを作成し、次の手順で一般座標格子の任意の座標に対応する標高値を取得する。まず、データの分布密度を高めるために等分割した横断測線間を縦横断方向に線形補間する。次に、平面的なデータの偏りをなくすため、最近傍法(Nearest Neighbors)と逆距離加重法(Inverse Distance Weighted)を用いて補間し、直交座標格子状(1m×1m)のデータにする。これを三角平面状に分割し、作成した一般座標格子へと投影することによって各点の標高値を得る。

(2) 水理解析モデル⁴⁾

水理量の計算はiRICに同梱される平面2次元ソルバーでNays2Dを用いた。流れの支配方程式は、水深方

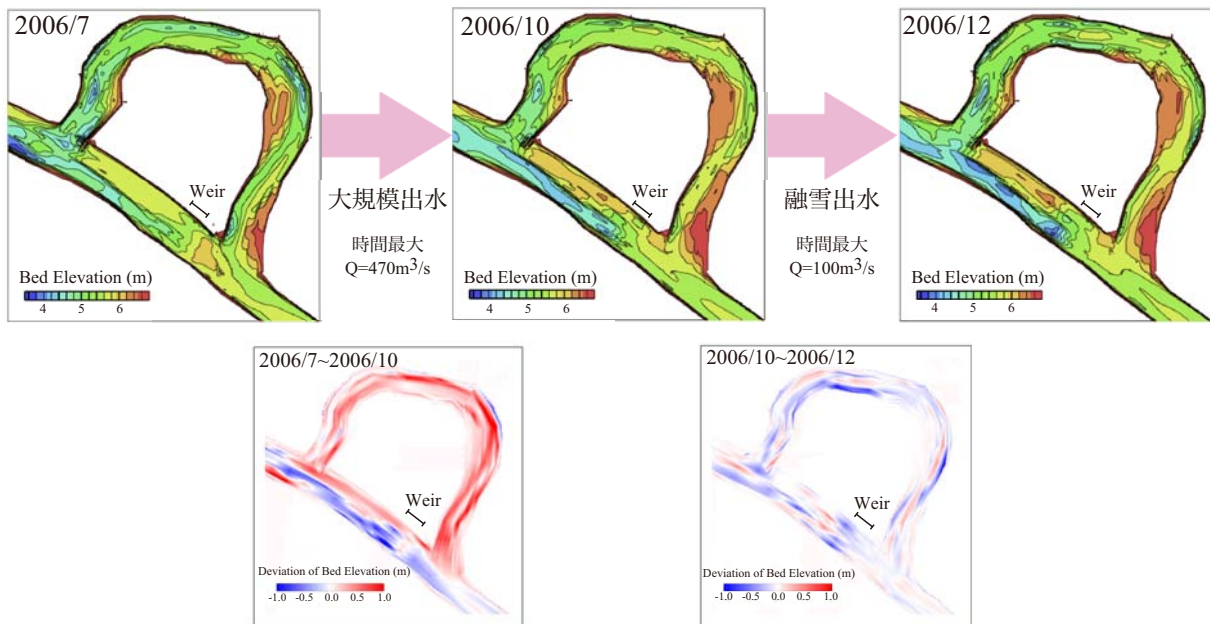


図-1 河道内標高変遷過程図

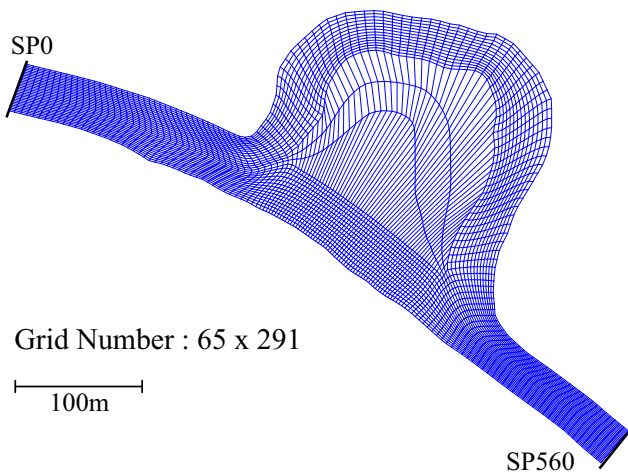


図-2 計算格子図

向に積分された流速を用いる浅水流方程式である。

(3) 計算条件

a) 水理条件

計算領域は、図-2に示すように蛇行区間は延長420m、直線区間は延長560mとした。

境界条件は平水時流量を $10\text{m}^3/\text{s}$ 、洪水ピーク時の流量を $470\text{m}^3/\text{s}$ とし、洪水継続時間が38時間で、ハイドログラフの形状が正弦の2乗となる流量を上流端に与え、下流端は時刻毎の流量に応じて等流水深となるよう設定とした。

粗度係数は、Manning-Stricklerによる平坦河床の抵抗則を使用する。河床材料の粒径には、現地観測によって得られた $d_{60}=0.48\text{mm}$ を用いる。

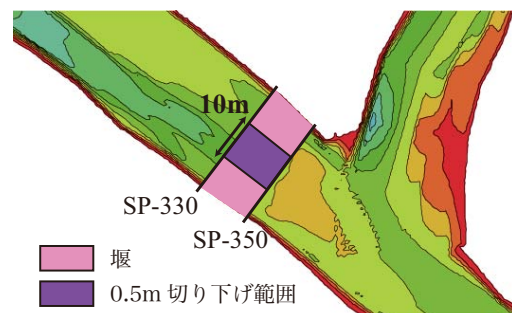


図-3 分流堰の位置・形状

b) 分流堰の形状

図-3に示すように、蛇行河道への流水を促す役割を担う分流堰は、直線河道のSP330からSP350の区間に設置されている。過去の実測データから、横断方向一様に堰高が1mとなる全幅堰の場合には、蛇行部の埋没が進行しないことが示されているため、堰高切り下げ直後に発生した2006年10月の大規模洪水を想定した再現計算に加えて、分流堰高の切り下げが行われなかった場合を想定し、堰が全幅堰となった場合の計算も行う。

(4) 解析結果

a) 切欠き堰(堰高0.5m)

堰の形状を切欠き堰とした場合の計算結果の分岐部周辺の平面的な流線と流量配分比を図-4、図-5に示す。両図から、平水流量相当では流量のほとんどが蛇行河道に配分され、洪水ピーク流量に近づくにつれて蛇行部に配分される流量の割合が減少し、直線部に多くの流量が流れていることが確認できる。

分岐部周辺におけるピーク流量時の無次元掃流力の平面分布図を図-6の左側に示す。掃流力による土砂の輸送は無次元掃流力(τ_*)が岩垣の式⁵⁾により求めた無次元

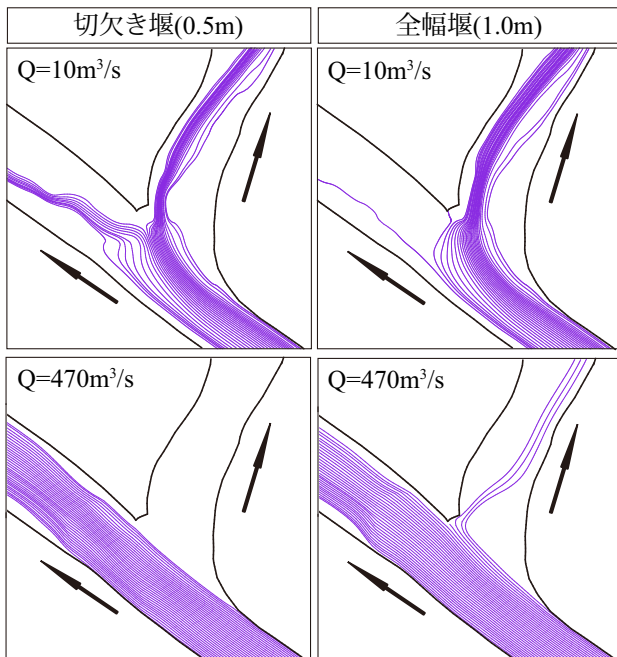


図-4 分岐部周辺における流線

限界掃流力 (τ_{*c}) 以上になった場合に発生するので、無次元限界掃流力以上 ($\tau_* > \tau_{*c}$) になる範囲のみ着色した。無次元限界掃流力は岩垣の式により求めた。同図より、蛇行部流入口周辺では下流に向かうにつれて、無次元掃流力が小さくなっている。これは、蛇行部流入口周辺では堆積傾向となることを示しており、実測で見られた傾向と一致している。

b) 全幅堰 (堰高 1.0m)

次に、過去の実測データから、堰高改修以前の横断方向一様に堰高が 1m となる全幅堰の場合には、蛇行部の埋没が進行しないと推測できるため、分流堰の切り下げが行われなかった場合を想定し、堰が全幅堰であった場合の計算を行う。

図-4、図-5 より、堰高を切り下げた場合と同様に平水流量相当では蛇行部に多くの流量が流れ、洪水流量相当では直線部に多くの流量が流れていることが確認できる。また、図-5 に示した流量配分比から洪水ピーク流量では、堰高を切り下げた場合と同様に流量配分比が低くなる傾向が示された。大規模洪水時には、図-5 に示した無次元掃流力に着目しても、洪水時には同様の分布が見られることから、堰高に関係なく流量に応じた同様の水理現象が生じると言える。また、平水、融雪出水流量相当では全幅堰の場合の方が流量配分比が高くなるという差異が見られた。図-6 から、洪水ピーク時には、蛇行部流入口から下流に向かうに従い掃流力が小さくなり、堆積傾向となっていることが分かる。

4. 洪水経験後の河道変遷

前章より、洪水流量相当 ($100\text{m}^3/\text{s}$ 以上) の流量が発生している期間では、堰高に関わらず、分流点周辺で蛇行部流入口が堆積傾向を示すことが分かった。ここでは、堰高の違いによって異なる傾向が見られた平水、融雪出

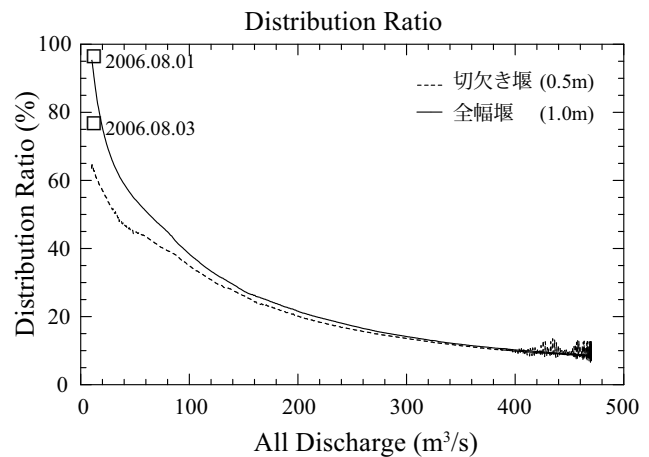


図-5 流量配分比

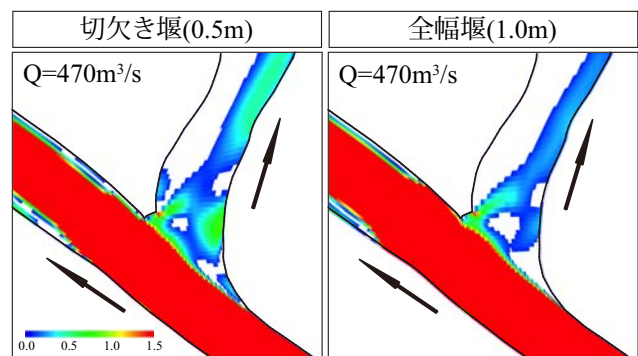


図-6 洪水ピーク流量流下時における蛇行部流入口周辺の無次元掃流力分布図

水等の流量において、洪水経験直後に洪水期間中に蛇行区間に堆積した土砂がどのように輸送されるのかを調べる。

(1) 計算条件

計算格子は前章で採用した計算格子を使用し、標高データは蛇行部に堆積が生じた大規模洪水直後の 2006 年 10 月 17 日～28 日に測量された横断測量データを基に作成した DEM データとした。境界条件は、平水流量を $10\text{m}^3/\text{s}$ 、融雪出水流量を $100\text{m}^3/\text{s}$ として上流端に定常流量として与え、下流端は等流水深となるように水位を設定した。分流堰高の違いによる埋没傾向の違いを把握するために、前章と同様に分流堰高は堰の一部を 0.5m 切り下げる切欠き堰と 1m の全幅堰とした。実施した計算条件を表-1 に示す。

表-1 計算条件

case	堰高 (m)	全流量 (m^3/s)
caseI	0.5	10.0
caseII	0.5	100.0
caseIII	1.0	10.0
caseIV	1.0	100.0

表-2 流量と流量配分比

流量	合計 (m^3/s)	直線部 (m^3/s)	蛇行部 (m^3/s)	配分比 (%)
切欠き堰 (0.5m)	10.0	7.0	3.0	29.7
	100.0	79.6	20.4	20.4
全幅堰 (1.0m)	10.0	5.6	4.4	44.3
	100.0	72.2	27.8	27.8

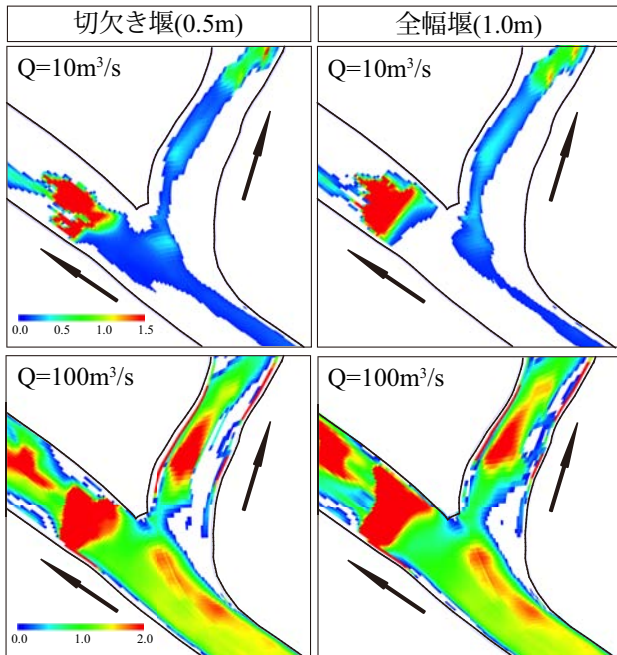


図-7 平水、融雪出水相当流量流下時における蛇行部流入口周辺の無次元掃流力分布図

(2) 計算結果

それぞれの計算で得られた全流量、直線部流量、蛇行部流量、蛇行部への流量配分比を表-2に示す。同図より、平水流量 ($10\text{m}^3/\text{s}$)、融雪出水流量 ($100\text{m}^3/\text{s}$) のどちらにおいても全幅堰の場合 (caseI, caseII) よりも、切欠き堰の場合 (caseIII, caseIV) の方が、蛇行部に配分されている流量が小さくなっていることが確認される。

また、図-7に分岐部周辺における無次元掃流力の分布を示す。同図も図-6と同様に無次元掃流力以上 ($\tau_* > \tau_{*c}$) になる範囲のみ着色した。同図上段より平水流量では丸印で囲まれている蛇行部流入口の下流部分において、切欠き堰の場合には無次元掃流力のほとんどが無次元限界掃流力以下となる横断面が存在し、堆積した土砂が下流へと排出されにくい状態となっている。

一方で、全幅堰の場合には無次元掃流力が無次元限界掃流力以上となる範囲が河道に沿って連続的に分布しており、下流に向かうにつれて掃流力が大きくなっているため、土砂が下流へと排出され易い状態となっている。また、同図下段より、融雪出水流量でも平水流量の場合ほど顕著には現れないが、同様の傾向を示している。

以上より、平水流量 ($10\text{m}^3/\text{s}$)、融雪出水流量 ($100\text{m}^3/\text{s}$) の期間で、堰高の影響による蛇行区間の土砂

の排出の違いが現れることが確認された。全幅堰となっている場合には、その後の平水・融雪出水等の期間に蛇行部に十分な流量が配分されることによって、大規模洪水時に蛇行部流入口に堆積した土砂が長期間かけて排出され、洪水前の河道地形へと回復していく。しかし、分流堰の一部が切り下げられた切欠き堰となり、蛇行部に十分な流量が配分されない状態が長期に亘って続いた場合、堆積した土砂は一向に排出されないばかりか、その後新たに発生する大規模洪水によって蛇行部流入口の堆積がさらに進行し、蛇行河道が完全に埋没する可能性を示唆している。

5. おわりに

当試験地のような分流堰を有する2way河道では僅かな堰高の違いが、その後の河床変動に大きな影響を及ぼし、河床形状に急激な変化をもたらすことを示した。また、適切な計算条件を用いれば、標津川蛇行復元試験地のような直線区間と蛇行区間が組み合わされた流路の一体的な平面二次元水理解析が可能となり、分流堰周辺及び分合流部における複雑な流況の把握ができることが確認された。

参考文献

- 1) 永多朋紀, 吉川泰弘, 唐澤圭, 丸山政浩, 稲垣達弘, 蛇行復元等による多様性に富んだ河川環境の創出と維持の手法の開発, 寒地土木研究所重点プロジェクト研究報告書, 2011
- 2) 標津川研究グループ, 標津川の総合研究-自然復元川づくり(蛇行復元)について-, 河川生態学術研究会, 2012
- 3) 星野 剛, 安田 浩保, 自然河川の水理解析における一般座標格子が有する打ち切り誤差の理論的評価とその緩和手法, 土木学会 応用力学論文集, 第16巻, 2013
- 4) iRic, <http://i-ric.org/>
- 5) 岩垣 雄一, 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, 1956, pp.1-21