

砂州による河道攪乱に着目した置土の設置位置に関する数値計算

NUMERICAL ANALYSIS ON EFFECTIVE ARTIFICIAL SEDIMENT SUPPLY TO A RIVER CHANNEL DISTURBANCE

北見工業大学大学院 社会環境工学専攻 ○学生員 秋山瑤貴 (Tamaki Akiyama)
 北見工業大学教授 社会環境工学領域 正 員 渡邊康玄 (Yasuharu Watanabe)

1. はじめに

上流域にダムが建設されている河川では、ダム湖に土砂が堆積することで下流への土砂供給が減少し、下流における河床低下、河床材料の粗粒化、扇状地河道の流路の固定化が生じる場合がある。北海道十勝地方を流れる十勝川水系札内川では、流路の固定化が進行して河道内の樹林化が著しく進行することで礫河原が減少し、水河期遺存種であるケショウヤナギの生息域を縮小させる等、札内川の固有な河川環境を維持する上で憂慮すべき問題となっている¹⁾。このようなことから、流路の固定化の抑制と旧流路周辺の固定砂州の攪乱による河川環境の再生に向けた取り組みの一つとして、ダムに堆積した土砂等をダム下流河道へ置土し、出水時に流下させる土砂還元の実施事例が近年増加している²⁾。しかし、供給された土砂の動態が十分に明確にされておらず、未だ下流河川の河道に与える影響など不明な部分が多い。

中規模河床波が形成され平常時にはそれが浮州状になっている扇状地における河川の河道攪乱は、多くの場合、側岸浸食を伴う砂州の移動によって引き起こされる。先行研究³⁾では、出水時の側岸浸食を伴う砂州の移動によって生じる河道攪乱に焦点を当て、置土の効果的な設置方法について水理実験及び数値計算により検討を行っているが、河岸浸食の時間変化については十分に検討されていない。本研究では、置土の設置箇所の変化による砂州の発達及びそれに伴う河岸浸食の時間変化について詳細に検討を行うことを目的とし、数値計算を実施した。

2. 数値計算概要

本研究では先行研究³⁾で使用している実験水路を参考として、平面二次元計算を適用し、置土設置箇所の変化による砂州の発達及びそれに伴う河岸浸食の時間変化について検討を行った。計算モデルには、砂州の形成並びに河岸浸食の再現性が高い Nays2DH (<http://iric.org/>) を用いた。初期河床の地勢データは図-1 に示

す長さ 8 m、幅 20 cm の直線流路部の中央左岸側 $X = 4.0\sim 6.0$ m の範囲に長さ 2 m、幅 20 cm の拡幅部を設けたものとしている。河川上流域を念頭に置いているため、河床勾配は 1/100 と設定した。河床材料には均一粒径 0.765 mm を設定し、拡幅部は河岸浸食可能域としているため直線流路部の移動床面の高さから 2 cm 高く設定している。河床擾乱は与えておらず、砂州形成時の数値計算において、拡幅部に障害物セルを設定したことにより障害物セル周辺に側壁の抵抗による微小擾乱が発生し、交互砂州が形成されるものとしている。計算格子は、直線流路部及び河岸浸食可能域として設定した拡幅部において、流下方向に $i = 1\sim 400$ 、横断方向に $j = 1\sim 200$ で分割し、1つの格子のサイズを縦横断方向にそれぞれ 20 mm 及び 2 mm としている。タイムステップを 0.001 s、マニングの粗度係数を 0.012、と設定している。下流端水位は自由流出で与えており、その上流区間は低下背水となることから、数値解析における考察は下流から 1 m 区間を除く $X = 3.0\sim 7.0$ m 区間で行っている。掃流砂公式として芦田・道上式を使用し、給砂条件として上流端で平衡状態を与えている。

数値計算では直線流路部に交互砂州を形成させるため、拡幅部に障害物セルを設定した状態で 30 分間通水を行った。通水時の流量は直線水路に交互砂州が十分に発達するような水理条件³⁾としている。交互砂州形成後、これ以降の現象の説明を容易にするため、図-2 に示すようにこの時点で形成されている砂州に番号を付した。その後、交互砂州を形成した状態の地勢データを取り出し、砂州①前縁に沿った洗堀部に置土を設置した。置土の設置は表-1 に示す Case1~Case4 の 4 ケースで条件を変化させた。Case1 は置土の設置をせず、Case2~Case4 では置土の設置を行った。Case2 において置土を設置する際には、砂州①の堆積域の平均高さを基準とし、砂州①前縁に沿った洗堀部において基準の高さまで設置した。Case3 及び Case4 では Case2 で使用した置土と同体積を

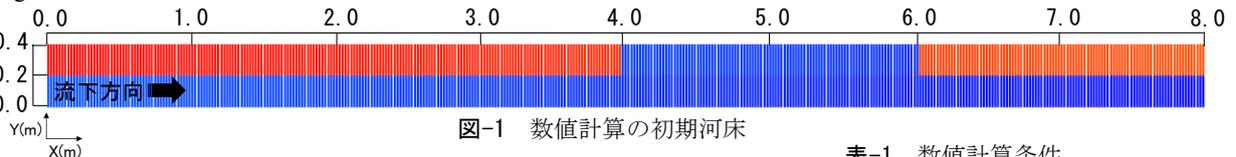


図-1 数値計算の初期河床

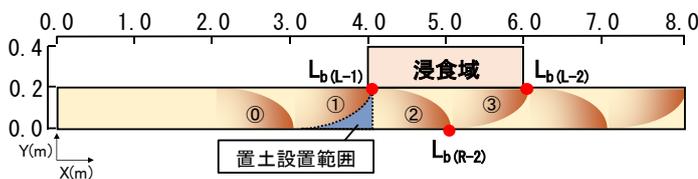


図-2 砂州形成後の砂州番号の設定

表-1 数値計算条件

Case No.	置土設置場所	置土設置体積 (cm ³)	置土粒径 (mm)	河床勾配 I	河床材料粒径 (mm)	上流端流量 Q (ℓ/s)
Case 1	置土の設置なし	220.31	0.765	1/100	0.765	0.394
Case 2	砂州①前縁に沿った洗堀部全面					
Case 3	砂州①前縁に沿った洗堀部上流側半分					
Case 4	砂州①前縁に沿った洗堀部下流側半分					

使用し、Case3 は砂州①前縁に沿った洗堀部上流側半分
に置土を設置し、Case4 は砂州①前縁に沿った洗堀部下
流側半分に置土を設置した。置土設置後、拡幅部の障害
物セルを取り除いた状態で、全ての条件において 30 分
間通水を行った。10 分毎に図-2 に示す砂州頂点位置
($L_{b(L-1)}$ 、 $L_{b(R-2)}$ 、 $L_{b(L-2)}$) の計測を行い、各砂州の縦断
方向の長さ(以降、砂州の長さとする)の時間変化を測
定した。

3. 数値計算結果及び考察

3.1 置土設置後の河床変動の時間変化

置土設置前の交互砂州形成時の河床位を図-3 に示し、
各ケースにおける河岸浸食後の通水時間 10 分毎の河床
位を図-4 に示す。図-4 より Case2~Case4 では、置土の
設置箇所を変化させた場合、時系列的に砂州の発達過程
が異なることが確認された。

Case2 では砂州①前縁に沿った洗堀部全面に設置した
置土が、通水開始から 20 分にかけて砂州①前縁付近及
び砂州②の上流付近に取り込まれ、砂州①が横断方向に
増大するが、通水時間 30 分では Case1 と概ね同様の砂
州形状となったことが確認された。Case3 では砂州①前
縁に沿った洗堀部上流側半分に設置した置土が、通水開
始から 30 分にかけて、置土設置場所より上流側に形成
された砂州⑥が下流へ移動してきたことにより置土が取
り込まれている様子が確認され、砂州⑥が流下方向及び
横断方向に増大した。また、他ケースと比較し、Case3
は通水開始から 30 分にかけて、砂州⑥~砂州③の下流
への進行が最も速いことが確認された。Case4 では、砂
州①前縁に沿った洗堀部下流側半分に設置した置土が、
通水開始から 20 分にかけて砂州①前縁付近及び砂州②
の上流付近に取り込まれ、両方の砂州が増大することが
確認された。また、通水時間 30 分では砂州⑥が下流部
へ移動し拡幅部の対岸に移動していることが確認され、
砂州⑥及び砂州①については Case3 と同様の砂州形状と
なった。

したがって、置土の設置により砂州が増大する事象と
しては、Case2 及び Case4 のように置土が流下すること
により置土設置場所より下流側の砂州に堆積する場合と、
Case3 のように置土は移動せず上流から砂州が移動する
ことにより置土が飲み込まれる場合の 2 通りが確認され
るが、Case2 では通水時間が経過するにつれ、置土を設
置していない Case1 と同様の砂州形状となることが確認
された。また、Case3 では置土設置場所より上流側の砂
州⑥が移動してきたことにより置土が取り込まれ、砂州
⑥が他ケースより下流へ速く進行し、それに伴い、砂州
①~砂州③が下流へ速く進行することが確認された。

3.2 置土設置後の浸食幅の時間変化

河岸浸食後の通水時間 10 分毎における拡幅部の横断
方向の浸食幅を図-5 に示す。通水時間 10 分では、
Case1 では $X = 4.46\sim 4.98$ m で横断方向の浸食幅が最大
2.1 cm となり、Case2 では $X = 4.14\sim 4.92$ m において横
断方向の浸食幅が最大 2.1 cm、Case3 では $X = 4.16\sim 4.4$
m で横断方向の浸食幅が最大 2.3 cm、Case4 では $X =$
4.18~4.66 m で横断方向の浸食幅が最大 2.3 cm となっ
た。よって、通水時間 10 分では、各ケース横断方向の最大
浸食幅に大きな差は無く、流下方向の浸食幅は Case2 が
著しく増大する傾向が得られた。通水時間 20 分では、
Case1 では $X = 5.22\sim 5.46$ m で横断方向の浸食幅が最大
2.7 cm となり、Case2 では $X = 5.10\sim 5.40$ m において横
断方向の浸食幅が最大 2.5 cm、Case3 では $X = 4.2\sim 4.36$
m で横断方向の浸食幅が最大 2.9 cm、Case4 では $X =$
4.26~4.42 m で横断方向の浸食幅が最大 2.3 cm となっ
たことから、横断方向の最大浸食幅は Case3 が最も増大す
る結果となった。通水時間 30 分では、Case1 では $X =$
5.50~5.76 m で最大 3.26 cm となり、Case2 では $X =$
5.52~5.78 m において最大 2.86 cm、Case3 では $X =$
4.42~4.74 m で最大 3.26 cm、Case4 では $X = 4.54\sim 4.80$ m
で最大 3.26 cm となったことから、Case3 及び Case4 の
横断方向の浸食幅が最も増大し、Case3 の流下方向の浸
食幅は Case4 と比較し 0.06 m 大きい結果となった。

したがって、置土の設置箇所を変化させることで、河
岸浸食の過程は時間の経過に伴い変化することが確認さ
れた。通水開始から 10 分では、各ケースの横断方向の
浸食幅に大きな差は無いが、Case2 が流下方向に浸食幅
が最も増大する傾向が得られた。通水時間 20~30 分
では、Case3 及び Case4 が横断方向に大きく浸食する傾向
が得られ、特に Case3 が流下方向において大きく浸食す
る傾向が得られた。これは、3.1 で述べたように、Case2
では砂州①前縁に沿った洗堀部全面に設置した置土が、
流下することによって砂州①前縁付近及び砂州②の上流
付近に取り込まれていることが確認されていることから、
砂州②が流下方向に増大したことにより、それに伴い、
砂州②の対岸の浸食幅が流下方向に増大したと考えられ
る。また、通水時間 20~30 分において、Case3 及び
Case4 の横断方向の浸食幅が最も増大した要因としては、
3.1 で述べたように、Case3 では砂州①前縁に沿った洗
堀部上流側半分に設置した置土が砂州⑥に取り込まれ、
砂州⑥が流下方向及び横断方向に増大し、砂州⑥上流に
形成された左岸付きの砂州の前縁に沿って水路を斜めに
横断する流れの蛇行が強まったことで、対岸の浸食幅が
増加したことによるものと考えられる。Case4 では、3.1
で述べたように、砂州⑥が下流部へ移動し拡幅部の対岸

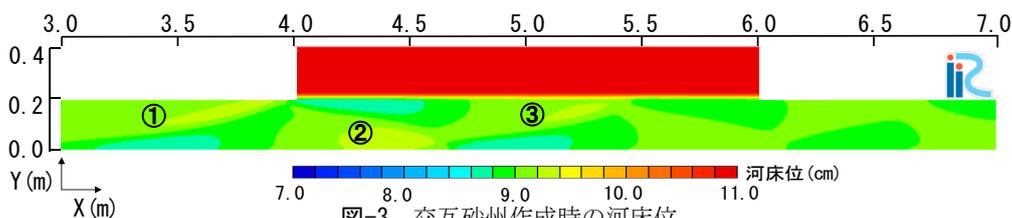


図-3 交互砂州作成時の河床位

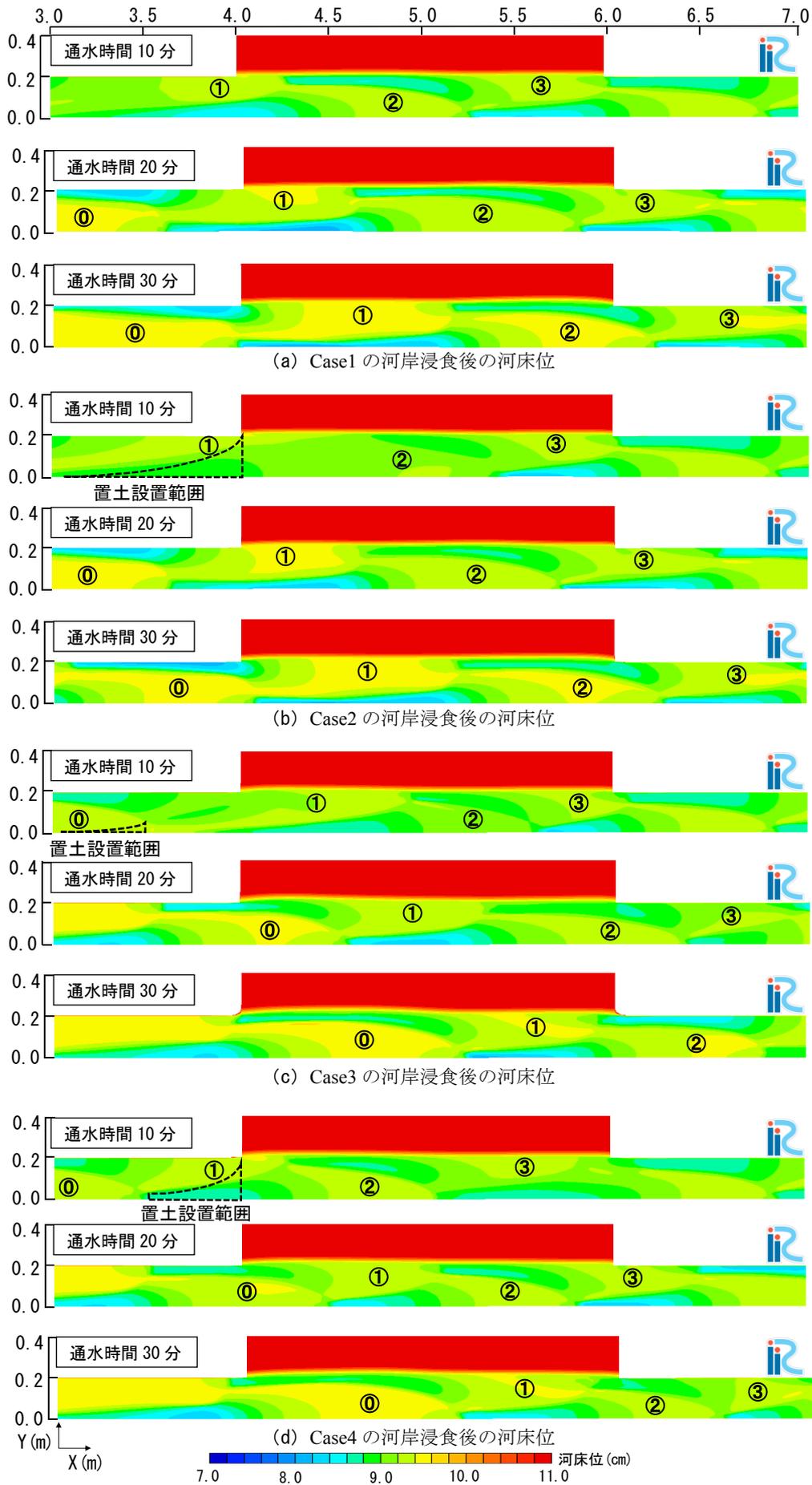
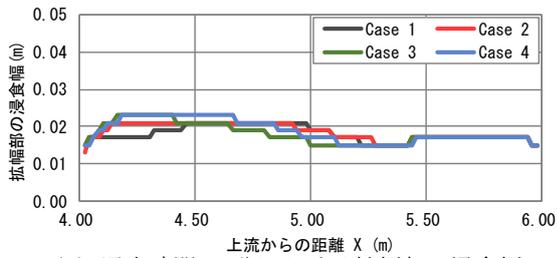
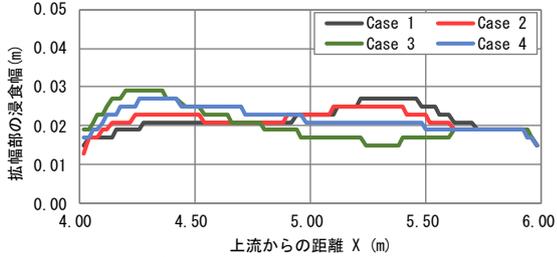


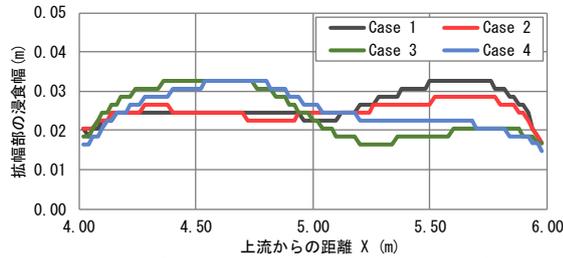
図-4 河岸浸食後の河床位



(a) 通水時間 10 分における拡幅部の浸食幅



(b) 通水時間 20 分における拡幅部の浸食幅



(c) 通水時間 30 分における拡幅部の浸食幅

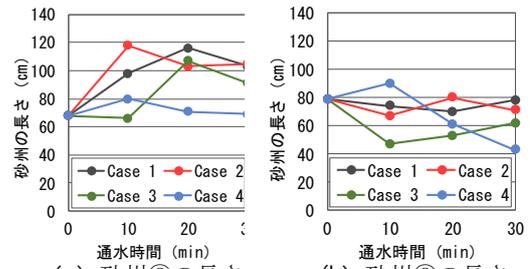
図-5 河岸浸食後の拡幅部の浸食幅

に移動していることが確認されることから、Case3 と同様に砂州⑩の上流に形成された左岸付きの砂州の前縁に沿って水路を斜めに横断する流れが、右岸付きの砂州⑩の発達に伴い対岸に接触し、拡幅部の浸食幅が増加したと考えられる。

3.3 置土設置後の砂州波長の時間変化

置土設置後の各砂州の長さの時間変化を図-6 に示す。通水開始から 10 分にかけて、砂州②の長さは Case1 及び Case2、Case4 では増加し、Case3 では減少が確認された。また、砂州③の長さは Case4 では増加し、Case1~Case3 では減少が確認された。通水時間 20~30 分では、砂州②の長さは Case2 では増加し、その他のケースは減少する傾向が得られた。砂州③の長さは Case1 及び Case3 では増加し、Case2 及び Case4 では減少する傾向が得られた。

3.1 で述べたように、Case2 では通水時間 10 分において、砂州①前縁に沿った洗堀部全面に設置した置土が流下することにより、砂州①前縁付近及び砂州②の上流側に多く取り込まれることが確認されている。よって、通水開始から 10 分にかけて、置土が流下することにより砂州②の長さが増加したと考えられる。砂州②が増大したことにより、上流側から流下した砂が砂州②上に堆積しやすくなり、下流側の砂州③の長さは減少したと考えられる。また、通水時間 20 分では置土が砂州①に多く取り込まれていたが、通水時間 30 分では Case1 と概ね同様の砂州形状となることが確認されている。このことから、Case2 では、置土が流下することによって砂州①に取り込まれる傾向があるが、その後、通水時間を延長させた場合、Case1 と概ね同様の砂州形状となり、砂州②及び砂州③の長さは Case1 と概ね同程度となることが



(a) 砂州②の長さ (b) 砂州③の長さ

図-6 砂州②及び砂州③の長さ

確認された。

Case3 では、通水時間 10 分において、砂州①前縁に沿った洗堀部上流側半分に設置した置土は流下せず、置土設置場所より上流側に形成された砂州⑩が下流へ移動してきたことにより置土が取り込まれていることが 3.1 において確認されている。よって、砂州⑩が増大したことによって、上流側から流下した砂が砂州⑩上に堆積しやすくなり、下流側の砂州②及び砂州③の長さが減少したものと考えられる。また、通水時間 20 分では、砂州⑩に取り込まれた置土が流下することにより、砂州②の長さが増加したと考えられる。通水時間 30 分では、砂州⑩や砂州①が横断方向に増大したことにより、上流側から流下した砂が砂州⑩や砂州①上に堆積しやすくなり、下流側の砂州②の長さが減少したものと考えられる。

Case4 では、3.1 で述べたように、通水時間 10 分では砂州①前縁に沿った洗堀部下流側半分に設置した置土が流下することにより、砂州①及び砂州②に取り込まれていることから、砂州②の前縁付近に置土が多く取り込まれ、それに伴い、砂州②及び砂州③の長さが増加したと考えられる。その後、通水時間 10~30 分にかけて、砂州⑩や砂州①が横断方向に増大したことによって、上流側から流下した砂が砂州⑩や砂州①上に堆積しやすくなり、下流側の砂州②及び砂州③が減少したと考えられる。

4. 結論

本研究では、数値解析を用いて置土設置箇所の変化による砂州の発達及びそれに伴う河岸浸食の時間変化について検討を実施した。砂州前縁の洗堀部全面に置土を設置した場合、通水初期では置土設置場所より下流側の砂州が発達し、それに伴って、発達した砂州の対岸の浸食幅が流下方向に増加するが、通水時間が経過するにつれて、置土を設置していない場合と同様の砂州形状となることが確認された。砂州前縁の洗堀部上流側半分に置土を設置した場合は、置土設置場所より上流側に位置する砂州の発達に伴い、発達した砂州の対岸の浸食幅が増加する傾向が得られた。

参考文献

- 1) 北海道開発局帯広開発建設部：札幌内川技術検討会資料
URL:<http://www.hkd.mlit.go.jp/ob/tisui/rfqnf00000000q3.html>
- 2) 国土交通省河川局河川環境課：下流河川土砂還元マニュアル(案)、2011年3月。
- 3) 秋山瑤貴、渡邊康玄：砂州による河道攪乱に着目した効果的な置土位置の検討、土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74 (2018) No.5 p.I_379-I_384、2018年11月。