

# 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

秋山 瑤貴<sup>1</sup>・渡邊 康玄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 北見工業大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻  
(〒090-8507 北見市公園町165番地)

E-mail:m1752200011@std.kitami-it.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 博士(工) 北見工業大学教授 社会環境工学領域(同上)  
E-mail:y-watanb@mail.kitami-it.ac.jp

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。対策として、ダムに堆積した土砂等を下流へ置土し、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が、供給された土砂の動態が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。出水時の上流域における河道攪乱が多くの場合、砂州によって引き起こされる河岸浸食に起因する場合が多いことから、本研究では交互砂州による河道攪乱に焦点を当て、水理実験と数値解析により置土の効果的な設置方法の検討を実施した。砂州の半波長の浸食域上流側半分に着土を設置した場合、河岸浸食幅が増大し河道攪乱に効果的であることが明らかとなった。

**Key Words:** Bank erosion, channel disturbance, artificial sediment supply, alternate bar

## 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は、かつて流路が網状で河道内に礫河原が広がる様相を呈し、出水時に流路の変動が繰り返されていた<sup>1)</sup>。水衝部の位置も出水の度に大きく変化し、各所で大規模な河岸浸食を引き起こすことで多くの洪水被害が誘発されてきた<sup>1)</sup>。このようなことから、洪水被害の軽減を図るためにダムが建設され、洪水被害が軽減されてきている<sup>1)</sup>。

一方で、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、流路の固定化が進行して氷河期遺存種であるケシ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<sup>2)</sup>。このような現象は全国でも見られ、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<sup>3)</sup>。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において、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。本研究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を検討することを目的としている。なお、ここでは交互砂州によって引き起こされる河岸浸食に着目し、水理実験と数値解析により検討を実施した。



図-1 札内川の樹林化と流路の固定化

## 2. 水理実験概要

### (1) 実験水路

水理実験には長さ 8 m, 幅 20 cm の直線流路中央左岸側に、長さ 2 m, 幅 20 cm の拡幅部を持つ水路を用いた。河川上流域を念頭に置いているため、水路床勾配は 1/100 と設定した。直線流路は珪砂 4 号 (平均粒径 0.765 mm) を 9 cm の高さで敷き詰め移動床とし、拡幅部を河岸浸食可能域として直線流路部の移動床面の高さから 2 cm 高い 11 cm の高さで珪砂 4 号を敷き詰めた。

### (2) 実験条件

本研究では直線水路に交互砂州を形成させるため、拡幅部と直線流路の間に仕切りを設置し、20 分間通水を行った。通水時の流量は 0.394 l/s, 水深は 7 mm とし、直線水路に交互砂州が十分に発達するような水理条件<sup>4)</sup>としている。交互砂州形成後、通水を停止し、排水後にレーザー砂面計を用いて河床位の測定を行った。測定は水路上流端より流下方向  $X = 3.0 \sim 7.0$  m 区間において 5 cm 間隔、横断方向  $Y$  には 1 cm 間隔で実施した。また、これ以降の現象の説明を容易にするため、図-3 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、拡幅部の直上流に形成された左岸付きの砂州を砂州①、砂州①の上流に形成された砂州を砂州②、砂州①から下流へ形成された砂州を下流へ順に砂州②、③とした。すなわち、拡幅部における河岸浸食の対象となる砂州は、砂州②となる。交互砂州形成時における砂州①～砂州④の砂州波高は表-1 に示す通りである。その後、仕切りを取り除き、砂州前縁に沿った洗堀部に置土を設置した。置土には河床材料と同じ珪砂 4 号を使用し、表-2 に示す

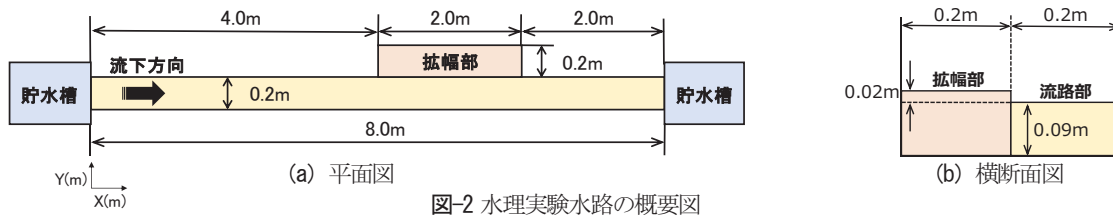


図-2 水理実験水路の概要図

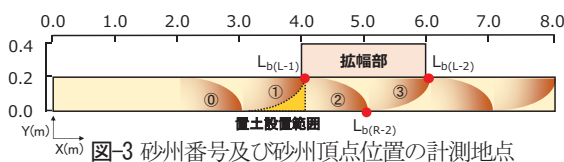


図-3 砂州番号及び砂州頂点位置の計測地点

Case1~Case4 の 4 ケースで置土の設置条件を変化させた。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。この時の置土の堆積は、空隙込みで約 325cm<sup>3</sup>である。Case3 及び Case4 では、置土を設置する際に Case2 で使用した置土と同量を使用した。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、Case1 において砂州①前縁に沿った洗堀部が拡幅部の下流端に到達した 10 分間を基準とし、全ての条件で同一時間の通水を行った。通水時には、5 分毎に図-3 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) の置土設置後の時間変化を測定した。その後、通水を停止し、排水後に再びレーザー砂面計を用いて  $X = 3.0 \sim 7.0$  m 区間において河床位の測定を行った。

## 3. 実験結果及び考察

### (1) 置土設置後の河床変動

水路上流端より流下方向  $X = 3.0 \sim 7.0$  m 区間における交互砂州形成時と河岸浸食後の河床高測定結果を図-4 図-7 に示す。なお、各実験毎に砂州に付した番号は、通水中の砂州の移動を確認して同一の砂州には同一の番号としている。各ケースにおいて置土設置前の交互砂州形成時と置土設置後の河岸浸食後の河床位を比較すると Case2~Case4 では置土の設置により、置土設置場所より

表-1 砂州形成時の砂州波高

Case No.	砂州波高 (mm)			
	砂州①	砂州②	砂州③	砂州④
Case 1	15.54	12.18	10.47	13.97
Case 2	10.39	16.28	12.16	13.16
Case 3	10.63	12.96	9.15	11.09
Case 4	8.56	18.79	12.79	16.97

表-2 実験条件

Case No.	置土設置場所	置土使用量 (cm <sup>3</sup> )	置土平均粒径 (mm)	河床勾配 I	河床材料平均粒径 (mm)	流量 Q (l/s)	水深 h (mm)	砂州形成までの通水時間 (min)	仕切り撤去後通水時間 (min)
Case 1	置土の設置なし	325	0.765	1/100	0.765	0.394	7	20	10
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								

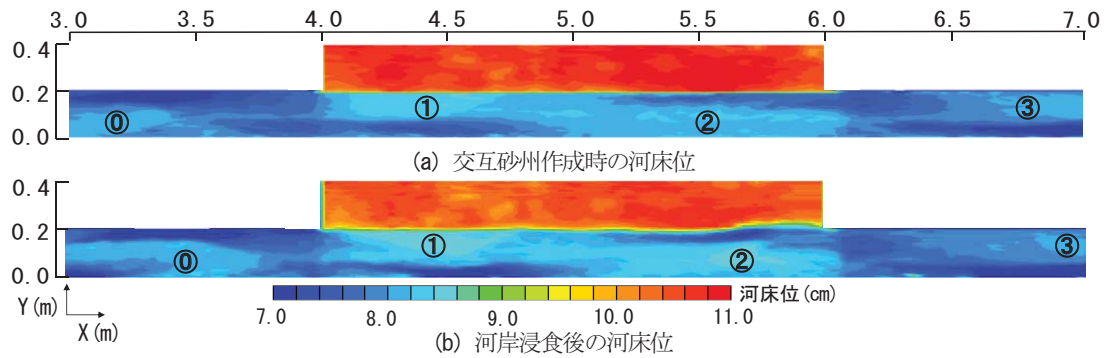


図-4 Case1の河床位コンター図

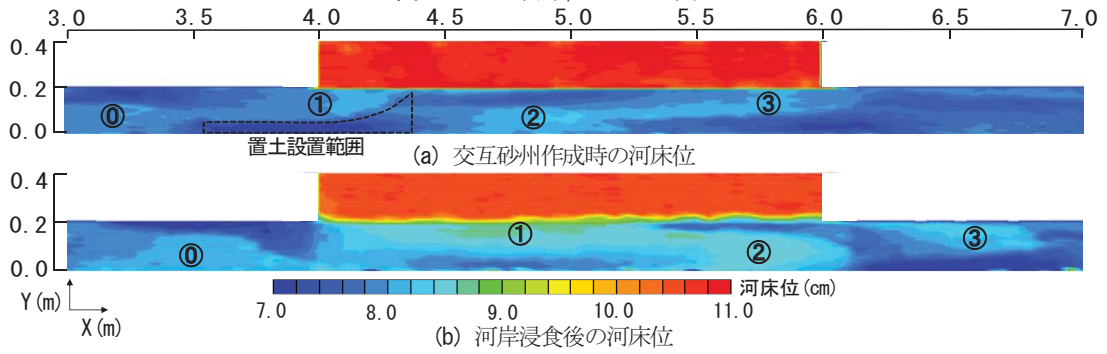


図-5 Case2の河床位コンター図

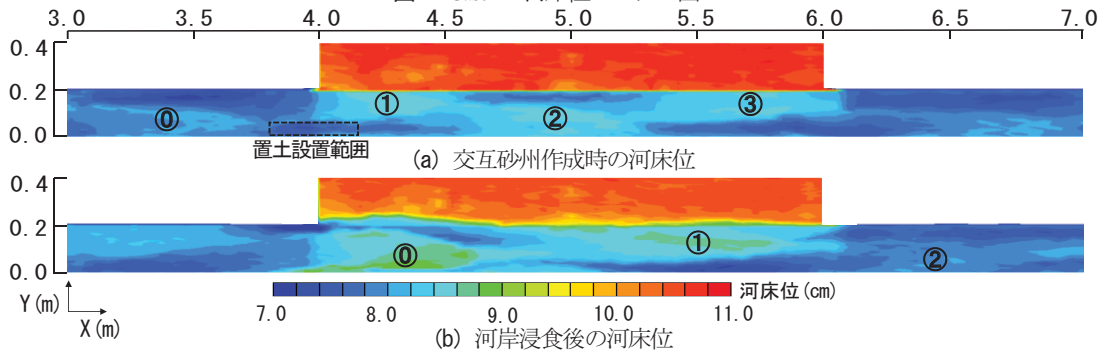


図-6 Case3の河床位コンター図

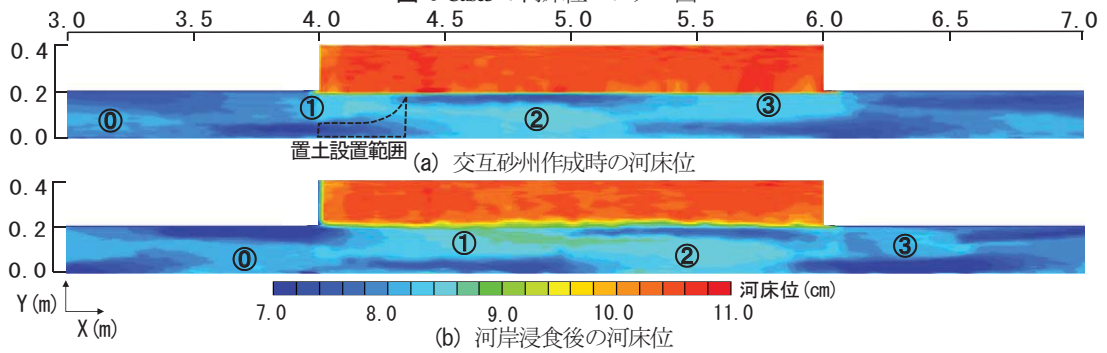


図-7 Case4の河床位コンター図

上流側の砂州①や下流側の砂州②が発達する事象が確認された。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、下流に移動してきた砂州①の前縁付近に多く取り込まれ、流下方向に砂州①の長さが増大した。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、流下してきた砂州①に取り込まれ、砂州①が横断方向に増大していることが実験時に確認された。さらに、Case1の河岸浸食後の河床位との比較によって置土が流下することで砂州①の河床位が

増加することが確認された。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、砂州①の前縁付近と砂州②に取り込まれていることが実験時に確認されており、Case1の河岸浸食後の河床位との比較から、置土の流下によって両方の砂州の河床位が増加することが確認された。したがって、置土により砂州が増大する事象では、Case2及びCase4のように置土が流下し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し置土が飲み込



まれる場合の 2 通りが考えられ、Case3 では置土設置場所より上流側の砂州①や下流側の砂州①～③の下流への進行が、他ケースと比較し著しく速いことが確認された。

## (2) 置土設置後の浸食幅

河岸浸食後の拡幅部における横断方向の浸食幅を図-8 に示す。各条件における浸食幅は、Case1 では  $X = 5.80$  m 地点で最大 4 cm となり、Case2 では  $X = 4.05$  m 地点と  $X = 5.10 \sim 5.95$  m 区間において最大 3 cm、Case3 では  $X = 4.40$  m 地点で最大 8 cm となり、Case4 では  $X = 4.95$  m 地点で最大 4 cm となった。よって、Case2~Case4 では流下方向及び横断方向に比較的大きく浸食している。Case2 及び Case4 では、浸食域の浸食幅の平均値が各ケース共に 2cm である中で、砂州②の堆積域における横断方向の最大幅が Case2 では  $X = 5.60$  m 地点で 19 cm、Case4 では  $X = 5.25$  m 地点で 19 cm となっていることから、右岸付きの砂州②の横断方向の発達に伴って、左岸付きの砂州①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り、拡幅部の浸食幅が増加したものと考えられる。Case3 では浸食域の浸食幅の平均値が 3cm ある中で、砂州①の横断方向の最大幅が  $X = 4.25$  m 地点で 20 cm となり、他ケースと比較し Case3 の砂州①が横断方向に最も発達した。要因として、砂州①前縁に沿った洗掘域上流側半分に設置した置土が砂州①に取り込まれたことで、砂州①が横断方向に増大し、砂州①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り、対岸の浸食幅が増加したと考える。

## (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-9 に示す。砂州②の長さである  $L_{KL1}-L_{KR2}$ 間と砂州③の長さである  $L_{KR2}-L_{KL2}$ 間の縦断方向距離を比較すると、Case1 では砂州②の長さが、時間経過に伴い増加する傾向にあり、砂州③の長さが減少する傾向が得られた。対して、Case2~Case4 では通水時間が経過するにつれて、砂州②及び砂州③の長さが減少する傾向が得られた。要因として、次のように考えることが出来る。Case2 では通水時間が経過するにつれ、砂州①前縁に沿った洗掘域全面に設置した置土が砂州①に多く取り込まれ、砂州①の長さが増大し、砂州②及び③の長さが減少したものと考えら

に設置した置土が砂州①に取り込まれやすくなり、下流側の砂州①及び②の長さが減少したものと考えられる。

Case4 では、通水時間が経過するにつれ、砂州①前縁に沿った洗掘域下流側半分に設置した置土が、砂州①付近と、さらに砂州②の上流部に多く堆積し、上流側から流下した砂が砂州②に堆積しやすくなり、下流側への砂の供給が減少したと考えられる。

## 4. 数値解析概要

本研究で実施した水理実験は、水路の制約上浸食域が限定され長時間の変化を把握していない。このため、河岸浸食の再現についてより詳細な判断をするために、水理実験と同条件で平面二次元計算を実施した。計算モデルは、砂州の形成並びに河岸浸食の再現性が高い Nays2DH (<http://i-ric.org>) を用いた。水路形状並びに水理諸元は水理実験と同じとした。地勢データには河床擾乱を与えず、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た。そのため、数値解析は実験時より砂州の発現が遅くなることが試行計算で確認できたことから、通水時間は水理実験より延長させるものとする。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、マン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。直線流路に 20 分間通水を行い、砂州を発達させた後、水理実験度同様に置土を設置し 4 ケースの計算を行った。なお、置土を設置した後、拡幅部の河岸浸食を許容した状態で、実験時の通水時間より延長させた 30 分間通水を行った。

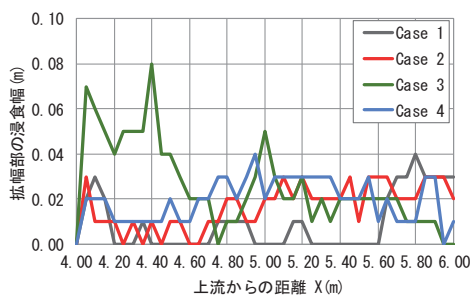
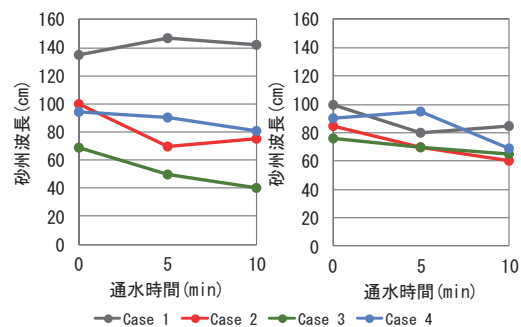


図-8 拡幅部の浸食幅



(a) 砂州②の長さ (b) 砂州③の長さ

図-9 砂州②及び砂州③の長さ

## 5. 数値解析結果及び考察

### (1) 置土設置後の河床変動

水路上流端より流下方向  $X=3.0\sim 7.0$  m 区間における河岸浸食後の河床位を図-10 に示す。置土を設置した Case2~Case4 では、実験と同様に置土設置場所より上流側の砂州①や下流側の砂州②が増大する事象が確認された。砂州の発達過程における河床変動は、砂州の形成に伴う蛇行流によって、両岸壁近傍で洗掘され河床中央部に輸送、堆積される土砂移動から生じる<sup>5)</sup>ことから、Case2~Case4 は置土が流送されることで砂州①や砂州②が増大したものと考えられる。Case2 では砂州①前縁に沿った洗掘域全面に設置した置土が、通水時間 15 分にかけて砂州②に取り込まれ、砂州②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。Case3 では砂州①前縁に沿った洗掘域上流側半分に設置した置土が、通水開始から 20~30 分にかけて移動してきた砂州①に取り込まれている様子確認されており、砂州①が流下方向及び横断方向に増大した。Case4 では、砂州①前縁に沿った洗掘域下流側半分に設置した置土が、通水時間 20~30 分にかけて砂州①及び砂州②に取り込まれ、両方の砂州が増大した。したがって、実験結果と同様に、置土により砂州が増大する事象として、Case2 及び Case4 のように置土が流下し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し置土が飲み込まれる場合の 2 通りが確認され、Case3 及び Case4 では置土設置場所より上流側の砂州①や下流側の砂州①~砂州③の下流への進行が、他ケースと比較し著しく速いことが確認された。また、Case4 の数値解析結果では、砂州①~砂州④が実験結果と比較し下流部へ到達しているが、数値解析では通水時間 20 分において実験結果と概ね同様の砂州形状となったことが確認さ

れていることから、数値解析では実験よりも通水時間を延長させているために砂州①~砂州④がさらに下流部へ到達したと考えられる。

### (2) 置土設置後の浸食幅

河岸浸食後の拡幅部における横断方向の浸食幅を図-11 に示す。Case1 では  $X=5.50\sim 5.76$  m で最大 3.26 cm となり、Case2 では  $X=5.52\sim 5.78$  m において最大 2.86 cm、Case3 では  $X=4.42\sim 4.74$  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。これより、Case3 及び Case4 の浸食幅が最も大きく、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。Case3 の浸食幅が流下方向及び横断方向に最も増加した要因としては、(1)で述べたように、Case3 では砂州①前縁に沿った洗掘部上流側半分に設置した置土が砂州①に取り込まれ、砂州①が流下方向及び横断方向に増大し、砂州①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 では砂州①が実験よりも下流部へ移動し拡幅部の対岸に移動していることから、Case3 と同様に砂州①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①の発達に伴い対岸に接触し、拡幅部の浸食幅が増加したものと考えられる。

### (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-12 に示す。各砂州の長さは図-3 に示す砂州頂点位置 ( $L_{k(L-1)}$ ,  $L_{k(R-2)}$ ,  $L_{k(L-2)}$ ) を 10 分毎に計測することで求めた。通水時間 0 ~ 20 分で、各ケースにおける砂州の増減を実験結果と比較すると、Case2 ~ Case4 において砂州②の長さは、実験では通水時間 0 ~ 10 分で減少しているが、数値解析結果ではそれぞれ増加傾向にある。これは数値解析では砂州の発達速度が遅く、実験で河岸浸食を発生させる前の

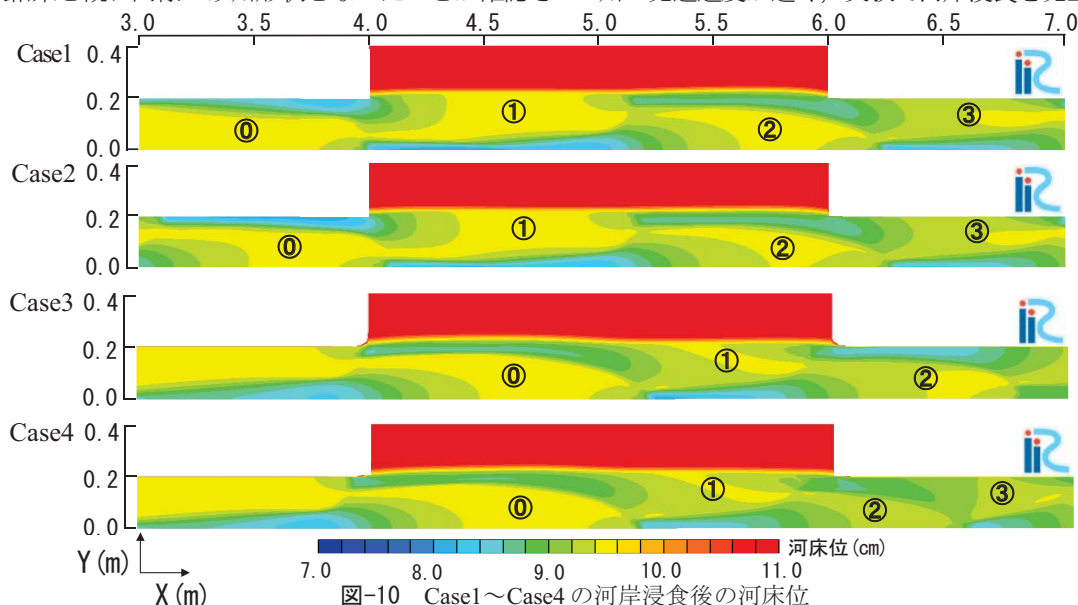


図-10 Case1~Case4 の河岸浸食後の河床位

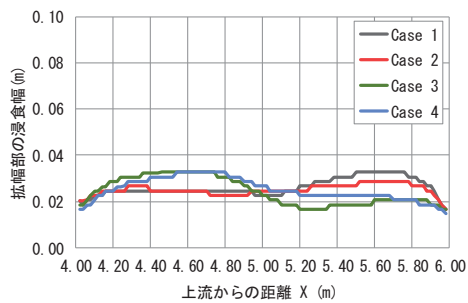
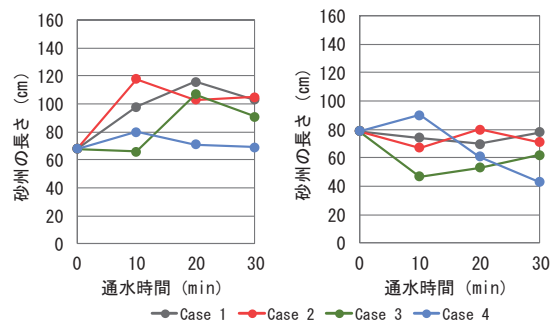


図-11 拡幅部の浸食幅

事象が、数値解析では遅れて現れたためであると考えられる。また、砂州②において通水時間 20～30 分では、Case2 は増加し、その他のケースは減少する傾向が得られた。実験結果においても、全ケースで通水時間 5～10 分にかけて数値解析結果と同様の傾向が得られている。砂州③の長さは、通水時間 20～30 分にかけて、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。実験結果では、通水時間 5～10 分にかけて Case1, Case2, Case4 では数値解析結果と同様の傾向が得られているが、Case3 では減少する傾向が得られている。この要因として、数値解析結果では、Case3 における  $L_{(L2)}$  が他ケースが他ケースより下流部に到達していることから、水路下流端に接近したことで下流端の影響を受けてしまったためと考えられる。このように、数値解析では、砂州の形成が水理実験に比較して遅くなるため、その影響が、河岸浸食の初期に表れているものの、その後の経過は水理実験と同様の結果を示した。

## 6. 結論

本研究では砂州の発達に伴う河道攪乱に焦点を当て、水理実験及び数値解析により、置土の効果的な設置方法の検討を行った。砂州前縁の下流側に置土を設置した場合、置土設置場所より下流側の砂州が大きく発達することが確認され、中でも砂州前縁の下流側の上流半分を設置した場合は、置土設置場所より上流側に位置する砂州の発達に伴い拡幅部における浸食幅が増加し、置土設置場所より下流側の砂州の長さが減少する傾向が得られた。



(a) 砂州②の長さ (b) 砂州③の長さ  
図-12 砂州②及び砂州③の長さ

したがって、河道攪乱には砂州前縁の下流側上流半分を設置した場合が効果的であることが明らかとなった。

**謝辞：**本研究は、WEC 応用生態研究助成「ダム下流の河道攪乱を目的とした砂州の発達を促す置き土手法の確立」並びに国土交通省河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野（河川生態）「気候変動下における河川生態系のレジリエンス—河川構造、生物多様性、生態系機能に着目して—（代表；中村太）」の助成を受けた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 住友慶三, 渡邊康玄, 泉典洋, 山口里実, 横濱秀明: 河道攪乱のためのフラッシュ放流による旧流路の維持に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72, 4, I\_751-756, 2016.
- 2) 北海道開発局帯広開発建設部: 札内川技術検討会資料 URL: <http://www.hkd.mlit.go.jp/ob/tisui/rfqnf00000000q3.html>
- 3) 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.
- 4) 河上将尊, 渡邊康玄: 河岸浸食に及ぼす交互砂州の影響に関する水理実験, 土木学会論文集 A2 (応用力学) Vol. 72(2016)No. 2p. I\_593-I\_600, 2017年1月.
- 5) 芦田和男: 洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究, 1982年3月.

(2018. 5. 31 受付)

## STUDY ON EFFECTIVE ARTIFICIAL SEDIMENT SUPPLY TO A RIVER CHANNEL DISTURBANCE

Tamaki AKIYAMA and Yasuharu WATANABE

The frequency of a channel disturbance decreases and the river environment changes drastically due to a dam construction. In this study, the effective sediment supply method for channel disturbance is examined by hydraulic experiments and numerical analysis. This research focuses on the riverbank erosion caused by alternate bars. The following four cases of hydraulic experiments and numerical analysis were conducted by difference in places of the filling sediment. It becomes clear that the phenomenon changes greatly depending on the filling positions. The bank erosion width in the case of Filling sediment at the upper half part of the pool becomes wider than other cases.