

# 越流型水制群を活用した土砂堆積創出に及ぼす養浜及び水制形状の影響

指導教官 富永晃宏 教授

山田 義樹

## 1. はじめに

近年、木曾三川の下流部において干潟の減少が問題となっており、水制の機能の一つである土砂の堆積の促進によってこの問題を解決することが期待されている。しかし、出水時において河川流量の増加によって水制を越流する流れが発生し、土砂の巻き上げ、流出を引き起こすことが懸念されている。そこで、木曾川における水制群の一部を参考にすると同時に掘削等を防止するためにあらかじめ河床に土砂を設置すること（ここでは便宜上養浜とする）によって、出水時に水制群及び養浜が堆積促進にどのように影響しているか実験的に検討を行った。主に掃流砂による水制間の堆積に着目し、水制区間において不透過型水制の間隔、形状（T字型、L字型）を変更し、加えて実際に現地で用いられる水制に近似させた錐台型水制を用いてそれぞれのケースについて土砂の堆積、流出状況及び流れ構造について検討した。

## 2. 実験方法

6個の水制を等間隔に設置した上で、水路の上流側から流れの影響を強く受ける第1、第2水制区間及び第2、第3水制区間を遷移領域、前方の水制群の影響により流れの構造の収束がみられる第3、第4水制区間、第4、第5水制区間及び第5、第6水制区間を平衡領域として、土砂堆積実験及び結果計測を行った。

土砂堆積実験にて使用する水路は長さ6m、幅B=30cm、水路勾配I=1/1000の亚克力製長方形断面水路とする。水深は不透過水制を越流する状況とするために、水制群の第6水制から1m下流において水深4cmとし、下流の堰によって調整する。実験水路は固定床とし、貯水槽に250Lの水と6号砂（平均粒径0.365mm）を6kg入れ、攪拌した状態でポンプにより循環させた。6号砂は主に掃流砂、そして浮遊砂が混在する条件とする。実験条件を表-1に、実験ケースを表-2に示す。また、養浜を行う為にあらかじめ6号砂を河床から1cmの高さまで全水制区間に敷き詰める。水を90分循環させた後に、土砂の堆積形状をレーザー距離計によって測定した。測定は前方の水制間から計5つの区間で行った。また、1-2間、2-3間に養浜を行わない case-LU1', LU2', LU3', case-T1', T2', T3' 及び錐台型水制を用いた case-N1, N2, N3 の実験も行った。

流れ構造の実験にあたり、長さ7.5m、幅0.3mで勾配1/1000の長方形断面開水路においてPIV法により流速

表-1 実験条件

	流量	水深	平均流速	フルード数	水路勾配
	Q(L/s)	h(cm)	$U_m$ (cm/s)	Fr	I
土砂堆積	3.8	4	31.6	0.32	1/1000
PIV					

表-2 実験ケース(養浜)

ケース	水制間隔	水制の形状
	b(cm)	
case-I1	15	I型
case-I2	20	I型
case-I3	10	I型
case-LU1	15	上流向きL型
case-LU2	20	上流向きL型
case-LU3	10	上流向きL型
case-LD1	15	下流向きL型
case-LD2	20	下流向きL型
case-LD3	10	下流向きL型
case-T1	15	T型
case-T2	20	T型
case-T3	10	T型

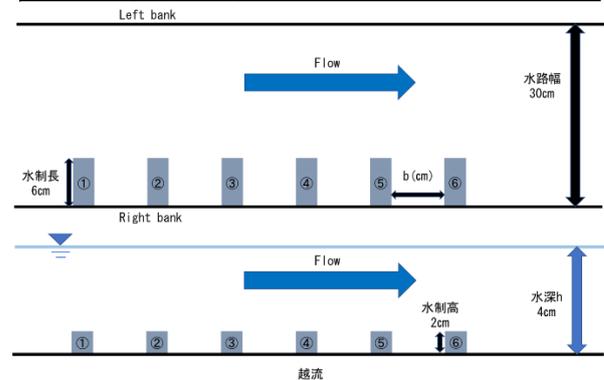


図-1 実験水路の平面図及び縦断面図

を計測した。実験水路は図-1に示すように、右岸側に6個の水制群を等間隔で設置し、それぞれの水制間に厚さ10mmの亚克力板を計5つ設置し養浜の状態を模擬した。実験条件は表-1に示す。x座標の原点は水制上流端とし、y座標の原点は右岸、z座標の原点は河床高さとした。

PIV計測の流れの可視化には、直径100ミクロン、比重1.02のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ約3mmのシート状にしたグリーンレーザー光を開水路水平断面に照射し、水表面および壁面からビデオ撮影した。撮影は遷移領域である水制1-2間、2-3間および平衡領域である水制3-4間、4-5間、5-6間の5回に分けて行い合成した。レーザー光の照射位置は、各ケースにおいて水平断面を計測した。この可視化画像は高速度カメラを用いて

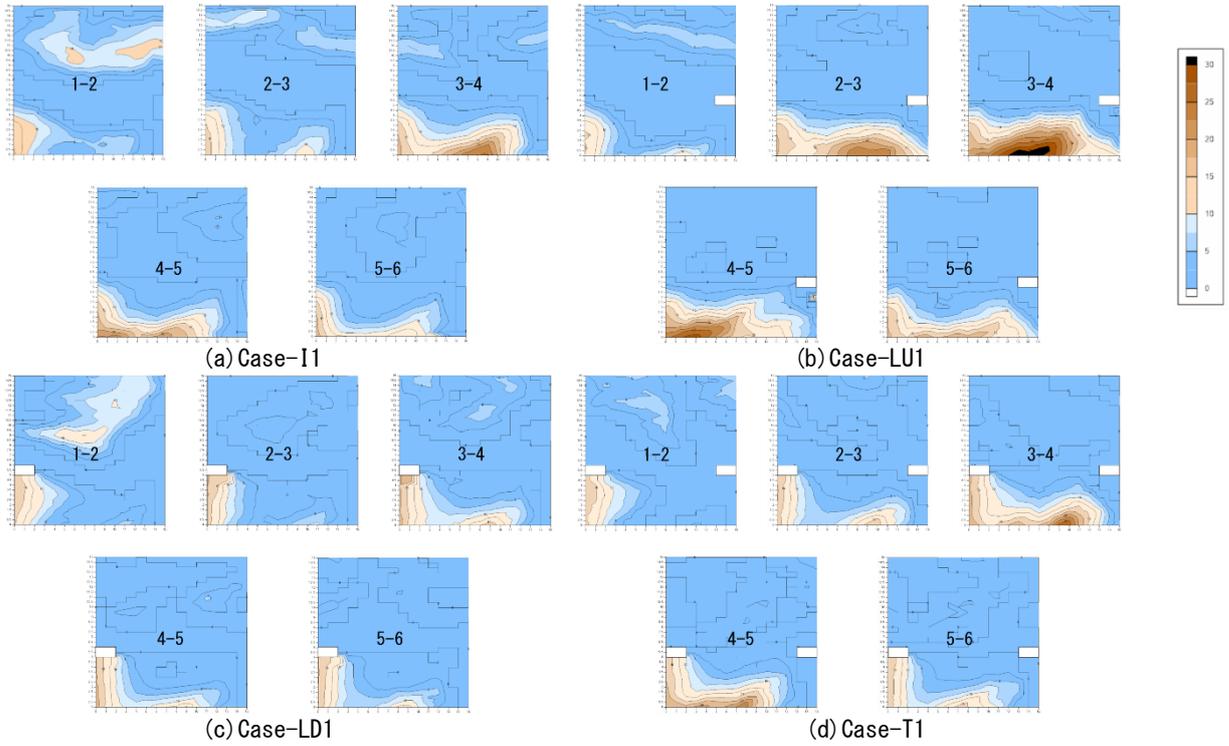


図-2 各実験ケースの土砂堆積のコンター図

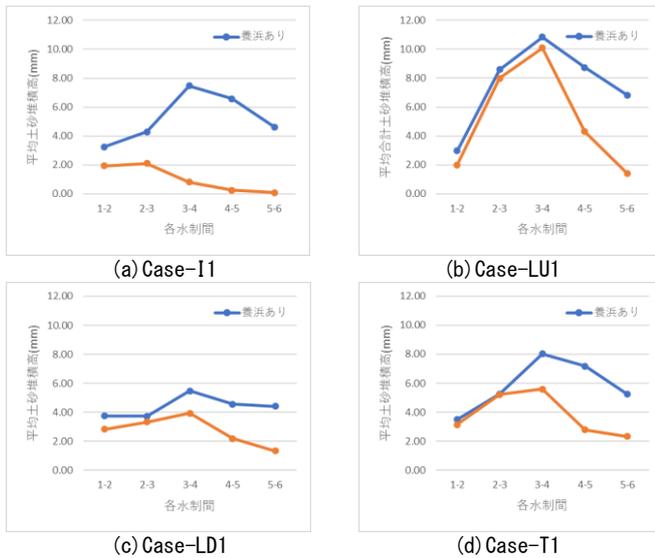


図-3 各実験ケースの平均土砂堆積高の比較図

1024×1024 (pixel) の画像を 1/200 s で撮影し、画像計測には PIV 解析ソフトを用いて流速ベクトル計測を行った。相互相関法により画像を水平面については 24×24 (pixel)、縦断面については 16×16 (pixel) の検査領域で解析して、3200 個 16 秒間平均値の平面流速ベクトルデータを得た。

### 3. 実験結果

#### (a) 固定床土砂堆積実験

水制間間隔  $b=15\text{cm}$  における土砂堆積実験の各ケースの堆積結果を図-2 に、各水制間の平均土砂堆積高を図-3 に示す。

I1 において 1-2 間は水制間前方においては養浜された状態よりも堆積がみられたが後方になるにつれて既存の養浜を上回る堆積域は減少することが確認

された。3-4 間では水制間中央の右岸付近において既存の土砂を上回る堆積が確認され、それ以降の区間で徐々に堆積の減少がみられ、水制間中央以降での洗堀がどの区間でも顕著であった。

LU1 では 3-4 間にて、水制間中央の右岸側に水路床から 30mm 近くの土砂堆積が確認され、 $b=15\text{cm}$  の全実験ケースの中で最も堆積が確認された。

LD1 において前方の堆積が後方に拡大する一方で、水制間後方では養浜した土砂も含めて堆積がみられず洗堀及び流出が確認された。また、表-3 よりこの水制形状が最も土砂堆積がみられないケースであることも確認された。

T1 において、LU1 のような堆積域の形成がみられる一方で LD1 とも類似する傾向がみられたが、表-3 より堆積量そのものは少ないことが確認された。また、3-4 間では LD1 と同様に水制間中央の堆積がやや後方に移動していることも確認された。

図-3 において、双方のケースに共通して 1-2 間から堆積が増大して 3-4 間でピークを迎え、その後減少する結果となった。このことから、前方の水制の養浜の影響が後方の水制間へ影響を与えるが、後半の区間まで与える影響は少ないことが考えられる。

#### (b) PIV 実験

今回得られた堆積結果について、養浜時の流れ構造を把握していく。図-4 に  $z=15\text{mm}$  における各ケースの 1-2 間、3-4 間の流速ベクトル図を示す。

I1 では遷移領域である 1-2 間において主流からはく離れた流れが水制間に流入することが確認された。平衡領域においては前方水制後方の付近にて約 2cm

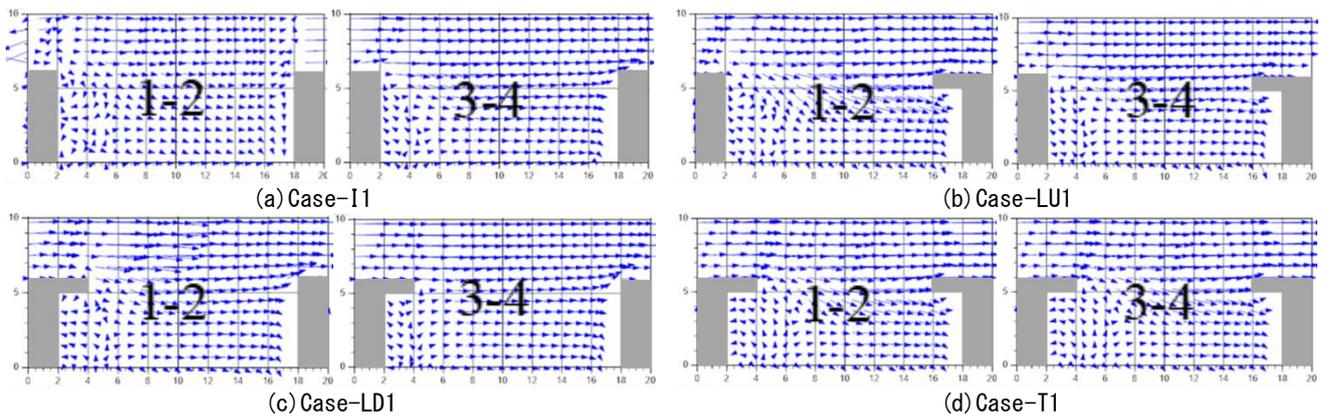


図-4 養浜再現時の各流速ベクトル図

幅の平面渦が発生していることが確認された。

LU1 では遷移領域である 1-2 間において主流からのはく離流れが発生しているが他のケースと比較して流速が著しく大きく後方の水制の凸部の内側まで至っていることが確認された。

LD1 では先頭水制の設置位置が後方にあるため主流からのはく離流れの流速ベクトルが水制間中央に集中することが確認された。そのため、養浜した土砂が洗掘され後方に流出したため全体的に土砂の堆積が見込めなかったと推測される。

T1 では case-LU1 と同様に遷移領域である 1-2 間において主流からのはく離流れが発生していることが確認されたが発達はみられなかった。さらに、case-LD1 のようなはく離流れの流入位置及び後方水制への衝突が確認された。

### (c) 錐台型水制

実際の現場で見られる水制の形状(図-5)に近づけた錐台型の水制模型を使用した土砂堆積や流れ構造について述べていく。実験ケースは表-3 に示すように case-N1, case-N2, case-N3 とする。

土砂堆積について図-6 に示し、水制の形状以外の条件が同様である Case-I と図-7 から比較していく。N1 では平衡領域である 5-6 間を除いて 4~6mm の範囲で安定的な堆積高が確認された。I1 と比較すると、遷移領域である 2-3 間、平衡領域である 3-4 間、4-5 間において堆積高に差が表れる結果となった。N2 は遷移領域である 1-2 間及び平衡領域である 3-4 間、4-5 間において特に堆積がみられた。I2 と比較すると、平衡領域である 3-4 間、4-5 間において特に差が表れる結果となったが、遷移領域の 2-3 間等では殆ど堆積高が同様である結果を示している。N3 での堆積の差は全体的にわずかであった。全体では N2 の 5-6 間及び N3 の一部区間を除いて堆積が安定し、掘削は主流近くに集中することが確認された。I3 と比較すると、遷移領域である 1-2 間から堆積高に差は表れているが、平衡領域である 3-4 間では堆積高が逆転するなど全体的に堆積が伸び悩む結果となった。

表-3 実験ケース(錐台型水制)

ケース	水制間隔	水制の形状
	b(cm)	
case-N1	15	四角錐台
case-N2	20	四角錐台
case-N3	10	四角錐台

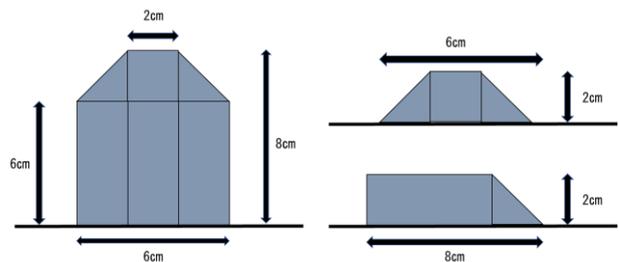


図-5 錐台型水制の模型

流速ベクトルについて底面近くの  $z=5\text{mm}$  の断面及び水制頂部の  $z=20\text{mm}$  の断面から述べていく。N1 では主流からのはく離流れが遷移領域である 1-2 間で支配的であり、放射状に水制間に行き渡り、後方の区間においても影響を与えていることが確認された。N2 では N1 と同様に主流のはく離流れの影響が強く、流入した流れの殆どが主流方向ではなくそのまま水制間内に方向を向けていることが確認された。N3 では他のケースと同様に主流からのはく離流れが支配的であるがその流れの方向が上流側を向くため、水制間全体で平行渦を形成していることが確認された。水制の頂部である  $z=20\text{mm}$  の断面についてみると、全ケースにおいて共通して水制内の流速ベクトルが殆ど下流方向に向くため、越流流れの影響を強く受けていることが確認された。

## 4. おわりに

養浜を設けた不透過型水制及び錐台型水制による固定床土砂堆積実験及び PIV 実験を通じて、不透過型水制の場合では、前方の水制間において養浜が堆積に与える影響は小さく、後方の水制間の堆積等に与える影響が大きい可能性が考えられた。そして、全区間及び一部区間を養浜したケースの比較によって遷移領域の水制区間で行う養浜は主流及び越流による三

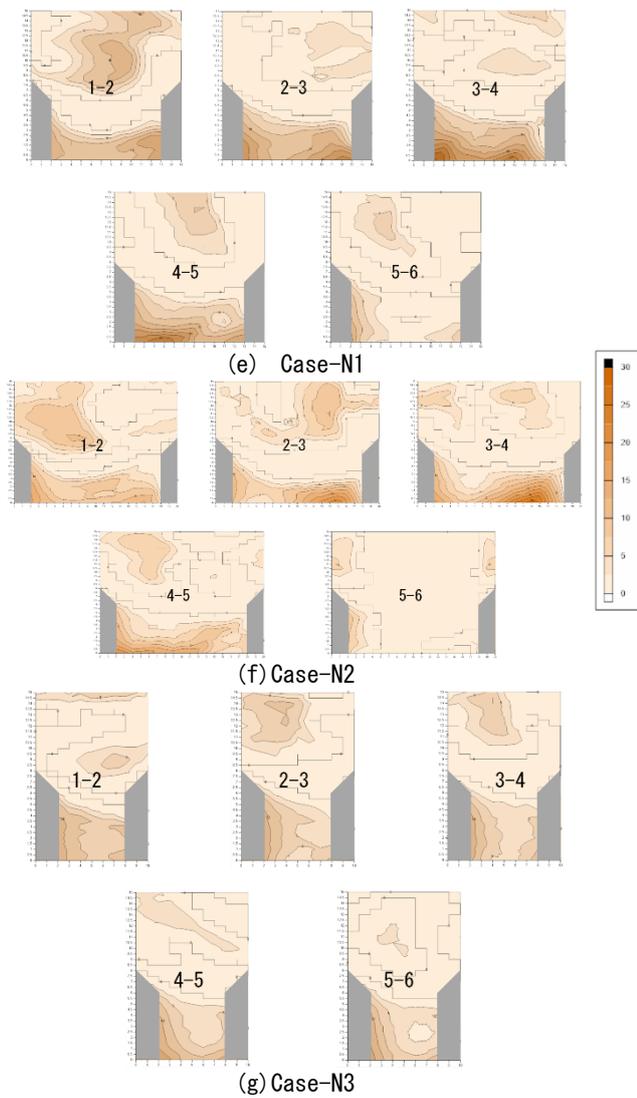


図-6 各実験ケースの土砂堆積のコンター図

次元流れによって流出する為効果が殆ど得られないことが考えられた。また、水制の形状によって堆積は変化し、それぞれの形状による主流のはく離流れ及び越流ながれの変化の影響が大きいことも確認された。錐台型水制の場合は、5-6間を除く水制間での堆積が確認され平衡領域である3-4間、4-5間を中心として安定的に堆積することが確認された。流れ構造からみると底面付近の $z=5\text{mm}$ の断面での主流の剥離流れ及び平行渦が発生したことに加え、 $z=20\text{mm}$ の断面での後方水制に衝突する流れが偏流を発生させるなど流速が大きく減少しない傾向がみられたことから上流からの安定した土砂堆積が促進されたことが推測される。

今後は水制間中央や河岸近傍などといった部分的な箇所の養浜などによって洗堀や掘削などの環境が大きく変化する要素についてより詳しく検討し、経験的なデータに上乗せして実験的なデータを加えた河川環境改善の可能性を探っていくことが必要になってくると考えられる。

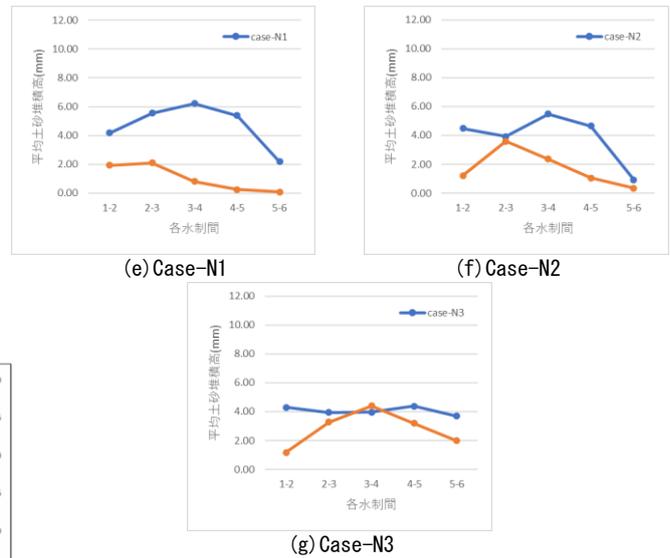


図-7 各実験ケースの平均土砂堆積高の比較図

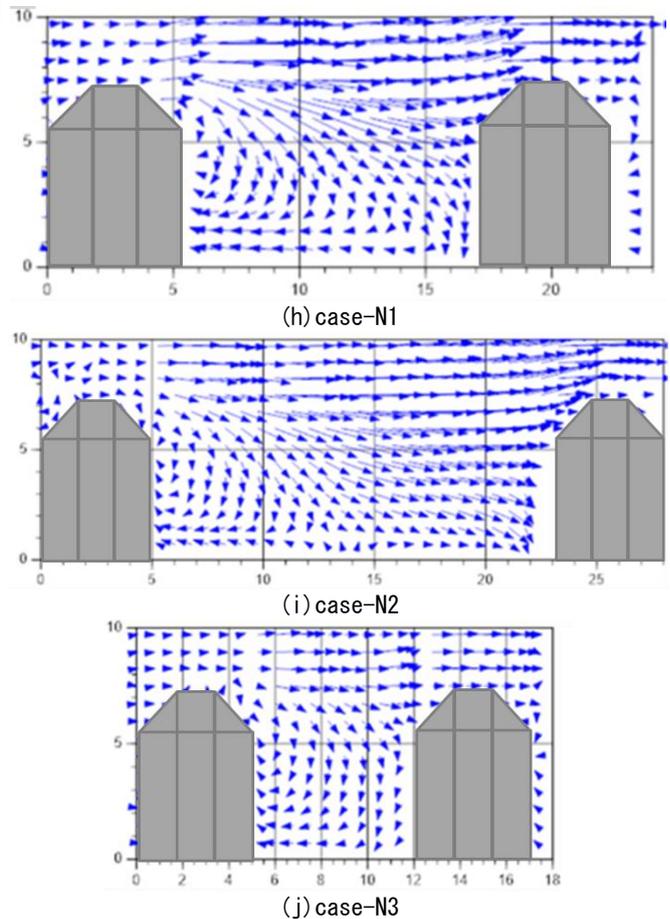


図-8 錐台型水制の各流速ベクトル図(1-2間)

参考文献

- 1) 富永晃宏, 井嶋康二: 越流型水制周辺の流れ構造に及ぼす水制区間隔の効果, 土木学会論文集第 46 巻
- 2) 福岡捷二, 西村達也, 岡信昌利, 川口広司: 越流型水制周辺の流れと河床変動, 水工学論文集, 第 42 巻
- 3) 池田駿介・吉池智明・杉本高: 不透水水制群を有する流れの構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第 43 巻
- 4) 鈴木幸一・門田章宏・重松和恵・田中健治: T 型・L 型水制に起因する河床形状変化特性, 水工学論文集, 第 54 巻