

1. はじめに

水制は河川を流れる水の作用から河岸や堤防を守るために利用されてきた。最近では、従来の治水目的のみならず良好な河川環境の保全・創出の観点から水制工が再び脚光を浴びるようになってきている。近年、木曾川三川の下流部において干潟の減少が問題になっており、水制を連続して並べた水制群を各所に設置し、水制の機能の一つである土砂の堆積による干潟の再生を期待している。そこで木曾川における水制群の一部を参考にし、出水時に水制群の作る流れ構造が土砂輸送にどのように影響しているのか実験的に検討する。主に水制群の遷移領域と平衡領域における流れ構造の解析と浮遊砂による土砂堆積機構に着目して調べた。また、土砂の堆積をより促すための水制形状や設置角度についても検討した。

2. 実験条件

PIV 実験は長さ 7.5m, 全幅 0.3m の可変勾配開水路を使用した。実験は図-1 に示すように水路左岸に水制を 6 つ連続して並べて、図-2 に示す不透過水制と杭群を用いた透過水制を設置した。実験条件及び実験ケースは不透過、透過、土砂実験に対してそれぞれ表-1、表-2 のように行った。不透過型水制では設置角度を変えた斜め水制の実験も行い、透過水制では透過率を 25%、50%、75% と変化させて実験を行った。本研究では出水時を対象とするため水深は 5cm で固定し、透過、不透過とも越流とした。透過型水制に関しては不透過型水制よりも水制高を大きく設計しており、水面での乱れを防ぐために流速を少し遅くして実験を行った。測定範囲として遷移領域である第 1 水制から第 3 水制までと平衡領域である第 4 第 5 水制間に着目した。PIV 計測の流れの可視化には、直径 80 ミクロン、比重 1.02 のナイロン樹脂粒子を用い、長さ約 3mm のシート状にしたグリーンレーザー光を水路水平断面に照射した。レーザーの照射位置は、水平断面に 5mm の間隔で 8 断面(z=0.5~4.5cm)に設定した。この可視化画像は光速度カメラを用いて 1024×1024 の解像度で 200 コマ/秒で撮影した。そしてその画像を PIV 解析ソフト Flow Expert (カトウ光研)を用いて相互相関法により画像を解析し、16 秒間で 3200 データの流速ベクトルを得て統計処理を行なった。

土砂堆積実験で使用する水路は長さ 6m, 幅 B=30cm, 水路勾配 I=1/1000 のアクリル製長方形断面水路を用いた。実験水路は固定床とし表-1 の条件で貯水槽に 250L の水と平均粒径 0.13mm の 8 号砂

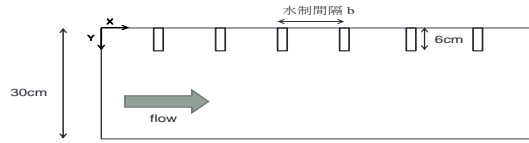


図-1 実験水路 (平面図)

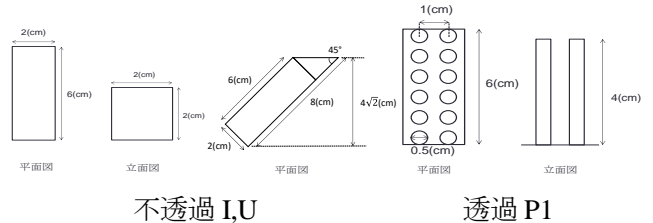


図-2 水制形状

表-1 実験水理条件

実験case	流量 Q(L/s)	水深 h(cm)	フルード数 Fr	断面平均流速 U <sub>m</sub> (cm/s)	水路勾配 I
PIV実験	不透過	3.4	5	0.32	22.7
	透過	2.6		0.24	17.3
土砂実験	3.8		0.36	25.3	1/1000

表-2 実験ケース

水制形状	case名	水制間隔 b (cm)	設置角度 (°)	透過率 T (%)
不透過	I	15	90°	0
	U		45° 上流向き	
	D		45° 下流向き	
	Ud		45° 上下流向き	
	Du		45° 下上流向き	
透過	P1	15	90°	25
	P2		50	
	P3		75	

で貯水槽に 250L の水と平均粒径 0.13mm の 8 号砂 8kg を入れ攪乱した状態でポンプにより循環させた。8 号砂は掃流砂・浮遊砂が混在する条件になっている。水を 2 時間循環させた後、砂の堆積形状をレーザー距離計で測定した。測定位置は PIV 実験と同様とする。

3. 実験結果

遷移領域である 1-3 水制間の PIV 実験による水制群間の流速ベクトルと土砂堆積実験の堆積形状をそれぞれ図-3、図-4 に示す。本実験は固定床実験であり、河床で洗堀された土砂の供給は考えない。浮遊砂は水中を移動できるため水制間の低速域に輸送されれば、そこで沈降し堆積すると考えられる。結果として各ケース流速の小さい部分で堆積が確認された。図-5 は caseI, P1, P2 における y=5.5mm での境界面横断流速コンターであり、正の流速が主流域への流出、負の流速が水制域への流入を表す。まず、不透過水制 caseI では図-5 より主流域から入り込んでくる流れが支配的であることが分かる。そのため、1-3 水制間では形成された渦による巻き上げが強くなり、結果として土砂が堆積しないと考えられる。しかし、水制群下流域になると渦構造が弱くなるため、流入による巻き上げが少なくなり、堆積量が増えてくる。この特徴は caseU, caseDu にも同様に見

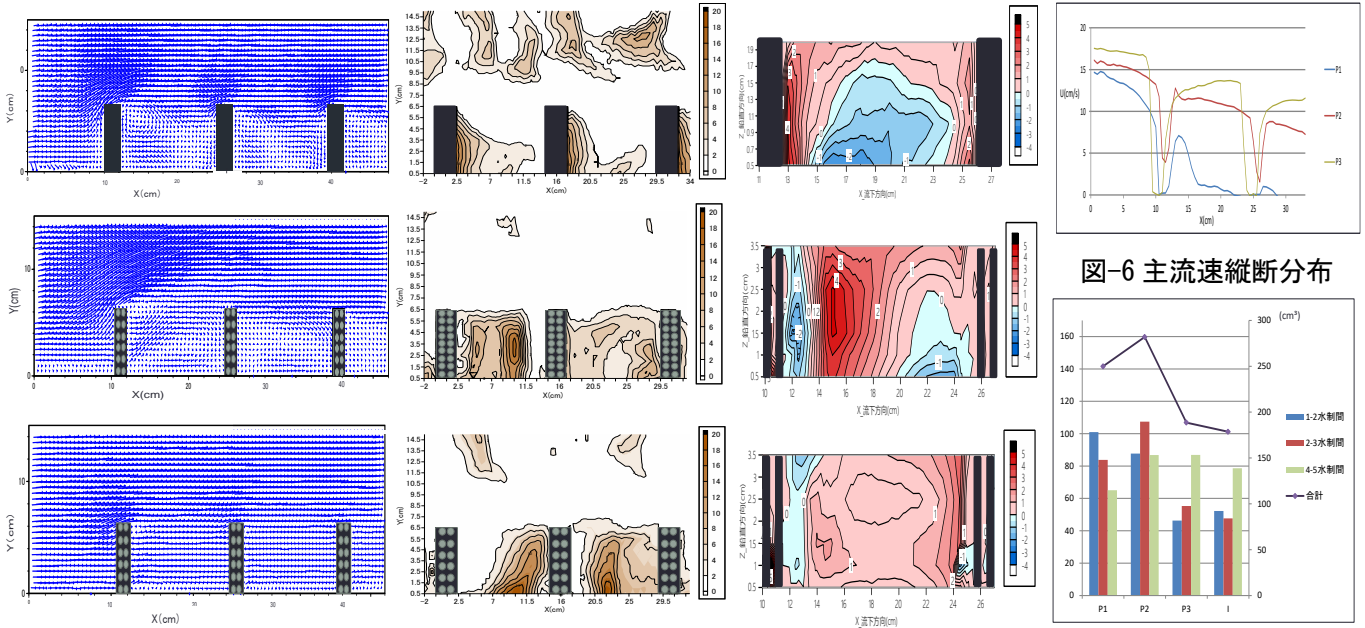


図-3 時間平均流速ベクトル  
(z=5mm, 上:I 中:P1 下:P2)

図-4 土砂堆積高コンター  
(上:I 中:P1 下:P2)

図-5 横断方向流速コンター  
(上:I 中:P1 下:P2)

図-6 主流速縦断分布

図-7 水制間土砂  
総堆積量 (cm<sup>3</sup>)

られ、水制群下流域になれば水制背後から河岸に沿う形で堆積が確認されたが、斜め水制を越流する流れによる3次元性が顕著となり、強い巻き上げが発生したため、直角配置である caseI よりも土砂の堆積は少なかった。

これに対して透過型水制 caseP1, P2 は図-5 より、水制域では水制を透過してくる流れが支配的であり、主流から入り込んでくる流れの影響は小さいことが分かる。そのため、不透過に比べて水制による偏流の影響が小さいので、水制域で巻き上げが起らず安定した低速域が作れているため、どのケースも不透過水制に比べて総堆積量は多くなった。

図-7 に各水制間の土砂堆積量を示す。透過水制の3つを比較すると、第1-2水制間では caseP1 が最も堆積量が大きく第2-3水制間では caseP2 が最も大きくなる。caseP3 では1-2, 2-3水制間の堆積量が不透過の場合と同程度で小さくなる。caseP1 に関しては各水制間で平面渦が発生しており、1-2水制間は渦の中心付近に土砂が多く堆積しているが、水制後半にはほとんど堆積していない。ここで図-6 に透過型水制3ケースの1-2水制間の主流側縦断分布を示す。caseP1 では1-2水制間ですでに主流速が0に近い値まで減速しているため、水制群下流域まで土砂が輸送されないと考えられる。一方、case P2 では、安定した減速率で緩やかに水制域の主流速が落ちて行っていることがわかる。そのため2-3水制間で堆積量は最大となり、かつ水制群下流域でも安定した土砂の堆積がみられる。結果として水制群間の総堆積量ではP2が最も多くなった。caseP3まで透過率が上がってしまうと、主流速が全体として緩やかに減速

はしているが、水制間での減速が小さいことから透過率を上げ過ぎると土砂の捕捉機能は失われる。したがって最適な透過率が存在することが分かった。

#### 4. 数値計算

数値計算は実験で得られた結果の再現性及び妥当性を検討するために行った。本研究では不透過水制群の中で最も土砂堆積が期待された caseI と透過型水制群の caseP1, P2, P3 およびさらに透過率を実験的に上げた caseP3' の5つのケースにおいて IRIC の2次元モデル Nays2DH を用いてそれぞれ数値計算を行った。また、掃流砂量ベクトル式に芦田・道上の式、浮遊砂浮上量式に Lane-kalinske の式を適用した場合が最も再現性が高い結果となった。不透過水制は流れ構造および流速の変化に関しては再現する事ができたが、固定床上の土砂堆積に関しては2次元の数値計算モデルでは再現が難しいことがわかった。

一方で透過型水制に関しては、流れ構造、流速変化、土砂堆積機構共に実験結果の再現が可能であることが確認された。植生密度  $\lambda = Nd/bL$  (N:杭本数, d:杭直径, b:水制幅, L:水制長さ) を用いて、透過型水制群の再現を行い、透過率の変化に伴う減速及び、土砂堆積効果の変化を実験値とかなり近い値まで再現することができた。今回再現に成功した数値計算ソルバ及び実験式を用いれば、透過型水制群に関しては木曾川現地のスケールに合わせた検討が可能であると考えられる。

#### 5. おわりに

今後は木曾川現地スケールでの数値計算や養浜状態での土砂の巻き上げの影響等を考慮した水理模型実験を追加して行ってきたい。