

1. はじめに

水制は河岸侵食を防御する治水構造物として利用されている一方、近年では河川環境に多様性を与える手段として利用されるようになり、水制間への土砂堆積を促したり、瀬と淵の造成を目的に使用したりすることも考えられる。このような多様な目的に対して水制の最適な設置法を知ることは重要である。多自然型川づくりの1つに、水制を利用した河床形態の多様性創出がある。過去の実験では、多様性創出には成功しているが根入れの影響で水制周辺の洗掘が激しく水制の倒壊の恐れがあった。そこで、本実験では水制に蛇籠を使用することで、蛇籠の性質である根入れがなく、透過性・柔軟性を有するという点から水制周辺の激しい洗掘を軽減し、かつ単純化した河道の多様性創出が可能ではないかと考え、片側に単独に設置された蛇籠水制群が河床形態に与える影響を明らかにする実験を行った。また、水制の柔軟性に注目し、水制の形状が変化することで河床に与える影響を検討した。

2. 実験条件

本実験は、水制に蛇籠を使用し、様々な水制条件の違いの影響を明らかにすることを目的とするため、全ケースの水理条件を一致させた。本実験の水理条件は、通水時間は約1時間、砂の平均粒径は0.04cmとした。表-1に水理条件表を示す。

表-1 水理条件表

Q(lit/s)	h(cm)	B(cm)	l	V(cm/s)	R(cm)	Fr	Re
12.4	8	59.3	1/1000	26.1	6.3	0.294	16061

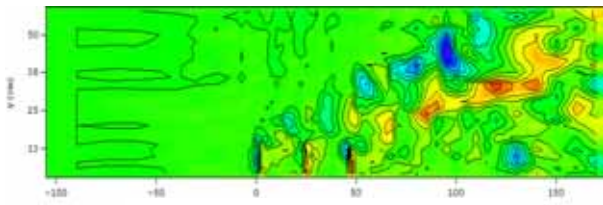
水制条件としては、全ケース幅 $b=3\text{cm}$ 、水制高 $d=2.5\text{cm}$ 、水制出し長 $l_g=15\text{cm}$ 、間隙率 70% の模型を用い、水制間隔 s を 22.5cm とした、これは水深が 8cm であるので越流型の水制と言える。水制の各単体には上流側のものから順に番号(第1水制,第2水制,第3水制)をつけ識別を行う。表-2にケース名及び水制条件と配置条件を示す。蛇籠の持つ物理的特性のうち流れと河床変動に影響を与えるものとして、根入れ、透過性、及び柔軟性が考えられ、これらを変化させた実験を行った。また不透過越流型水制で最も河床変動に影響を与えた水制の向きを変化させた実験も行い比較検討した。実験水路は、全長 13m 、幅 $B=59.3\text{cm}$ の勾配可変型長方形断面開水路である。本実験では水流が安定する上流側より 4.5m から 10.5m の 6m を移動床区間とした。河床変動の計測は、通水後水を排除し、初期河床面を基準に河床高測定器を用いて行った。計測点は $x=-90\text{cm}$ から $x=170\text{cm}$ まで計測を行った。ただし、 y 方向は 2cm ピッチで一定とした。

表-2 ケース名及び水制条件と配置条件

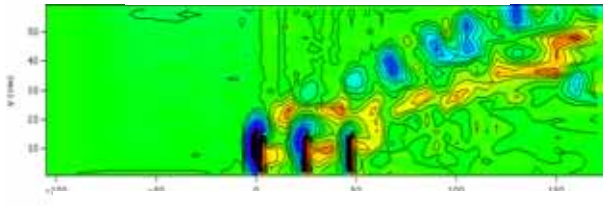
ケース名	水制設置角度	根入れ	透過性	柔軟性
JPFr	直角	×		
BuPuFr	直角		×	×
JuPFR	直角	×	×	
JPuFr	直角	×		×
JPFu	上向き(45°)	×		
JPFd	下向き(45°)	×		

3. 実験結果と考察

図-1に蛇籠の性質を変化させたケースの河床高コンターを示す。まず、今回の目的であった蛇籠を水制として使用したケース JPFr では当初、根入れ等がないため沈んでしまうのではないかと心配されたが河床に完全に埋もれてしまうということもなく十分に河床変動を起こした。JPFr の物理的特性を変えた他ケースと比較していく。根入れをした BuPuFr では、水制全面及び先端付近が大きく洗掘するが、これに比べ蛇籠水制では水制周辺の激しい洗掘が軽減されており、かつ根入れありのケースと同等の河床変動が起こっている。次に不透過水制の JuPFR では河床変動が非常に小さくなった。これは水制前面の洗掘が大きくなり蛇籠自体が河床に沈む作用が強くなり、結果として水制の機能を果たさなかったと考えられる。したがって蛇籠水制にはある程度の透過性が必要であることが確認された。次に柔軟性をなくした JPuFr では、河床変動全体が小さくなり、特に、水制後方の領域の変化がほとんどなかった。これに比べて柔軟性を有する蛇籠では第3水制後方の河床に大きな変動が見られ、河床変動が左岸側に偏ることなく広範囲に起こったことが確認される。この要因として考えられることは、第3水制の形状変化の違いにあると考えた。図-2に各ケースの第3水制の形状を折れ線グラフで示す。図-2に示してある JPFr の第3水制形状を見ると水制頭部が屈倒しているのが確認できる。頭部が沈むということは、すなわち水制長さが短く前面が傾斜を有するようになっていくと言える。最初から水制長さが短いものとは違い河床変動をしていく過程で徐々に水制形状が変化していくことで元々の水制形状では変化しなかった領域にも影響を与えたのではないかと考えられる。



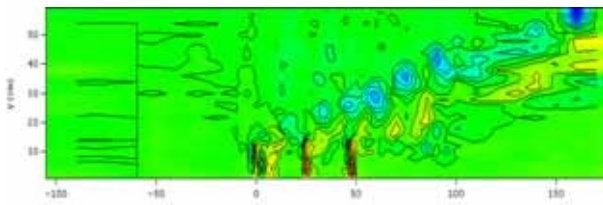
ケース JPFr (通常蛇籠)



ケース BuPuFr (根入れあり, 不透過)



ケース JuPFR (不透過)



ケース JPuFr (非柔軟性)

図 - 1 蛇籠の物理的特性を変えた影響を調べるための河床高コンター

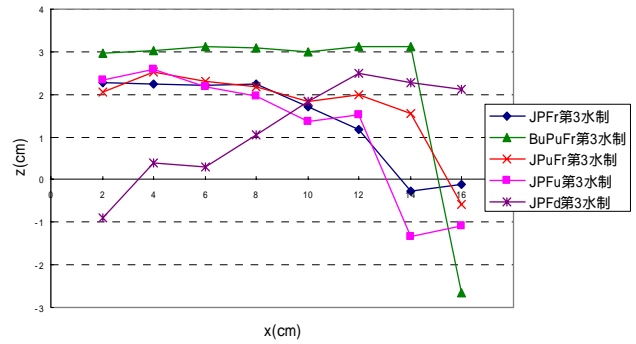
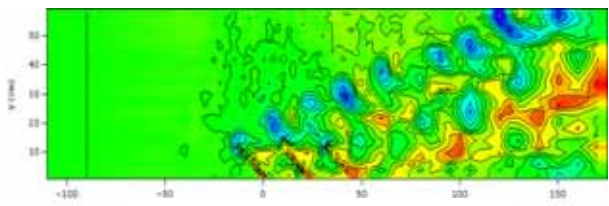
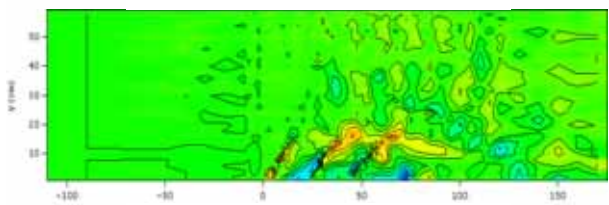


図 - 2 第3水制形状図



ケース JPFu (上向き)



ケース JPFd (下向き)

図 - 3 水制設置角度による影響を調べるための河床高コンター

以上よりケース JPFr の蛇籠水制は、水制周辺の洗掘を軽減させ、かつ河床変動を広範囲に起こし、多様性創出と水制の安定化の両方に効果があったと言える。

次に図 - 3 に水制設置角度を変化させたケースの河床高コンターを示す。JPFu では上向き水制の特徴である水制岸側に堆積を促し、護岸保護に効果があることが確認され、河床変動も非常に大きかった。このケースでも図 - 2 に示すように頭部の屈倒が確認され、上と同様の理由で河床変動が広範囲に広がったと考えられる。JPFd では上向き水制とは反対に水制先端に堆積し、むしろ根元が沈んだ。下向き水制は水制岸側を大きく洗掘する作用が強いため護岸保護には不向きであり、そしてこの洗掘により水制の根元が沈むため、水はねが弱くなり河床変動を小さくしたと考えられる。このような水制設置角度により、水制岸側が堆積したり洗掘されることが、また河床変動の大きさが変わることは過去の水制研究でも同様な傾向がでており、水制に蛇籠を使用した場合でも同じ効果が得られることが確認できた。

4. 結論

以上の実験の結果をまとめると、蛇籠水制は根入れがないため水制周辺の激しい洗掘を軽減し、かつ河床変動が広範囲に広がる効果があることがわかった。また蛇籠水制が河床に埋もれてしまわないためにある程度の透過性が必要である。そして水制に蛇籠を使用した場合であっても、上向き水制が河床変動に最も影響を与え、多様性創出に最も効果があるという結論にいたった。

しかし根入れ等がない水制のため、水理条件が変われば沈んでしまったり、転がってしまったりするかもしれない。また、水制形状が変化していくことで河床に与える影響は複雑であり、そのメカニズムを解明するためまだまだ多くの実験を行っていく必要があると考える。