

# 両岸水制群による蛇行形状の創出

指導教官 富永晃宏 教授

末次宏基

1.はじめに 水制は水流を河岸から遠ざけ、河岸を侵食から防御することを目的とする工法で、わが国で古くから用いられてきた。その伝統的に定評のある護岸工法が、土砂の洗掘・堆積を促す点で、単調化した河川に多様性をもたらす手法として再評価されている。しかし、水制の多様性創出効果についてはまだ解明されていない点が多く、最適な設置方法が確立されているとは言い難い。本研究は、河道多様性の創出として河床の蛇行と瀬・淵の創出に着目し、実験水路の両岸に交互に設置した透過型水制によって形成される蛇行形状について検討したものである。

2.実験方法 河床変動実験、河床変動後の流速計測実験を行った。実験水路は全長13m、幅60cmの勾配可変型長方形水路で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、中央粒径 $D_{50}=0.571\text{mm}$ の一樣砂を厚さ11cmで平らに敷き詰めた。水路勾配は1/500に設定し、通水時間は75分とした。

水制の模型は、針金、金網で造った型枠に細礫を詰めて作成し、高さ10cm、幅10cmで長さは5cmと10cmの2パターンとした。質量は長さ5cmのものが0.899kg、10cmのものが1.836kgで、空隙率はいずれも体積比で約22%である。第一水制の位置を移動床区間の上流側から125cmとし、計5基の水制を等間隔に両岸に交互に、砂の中に5cm埋め、砂面からの高さが5cmとなるように設置した。水制間隔 $d$ は100cmと80cmの2パターンとした。流量は7lit/s（非越流）、13lit/s（越流）とした。実験条件、ケースの設定を表-1に示す。

河床変動実験は規定時間通水後の河床の高さを、水制を取り除いた上でレーザー距離計によって計測した。流速計測実験は規定時間通水後の河床をセメントによって固定し、2成分I型電磁流速計によって、水面から6割となる断面で計測した。

3.実験結果と考察 図-1にcase2とcase6の河床形状を示す。全ケース通して次のような特徴が見られた。

- (1)水制周辺に大きな洗掘、背後に堆積が見られ、水制長が大きくなるほど、流量が大きくなるほど、その洗掘、堆積は顕著になる。
- (2)水制長が大きくなるほど、洗掘域、堆積域の伸びる方向の流下方向に対する角度が大きくなる。

この角度は水制によってはねられた流れの流下方向に対する角度（偏流角度）とほぼ一致すると考えられる。また、case6の洗掘、堆積はcase2に比べ全体的に顕著になった。

次に、次式で表される傾斜度 $I_{sp}$ 、蛇行度 $M$ を用いて、河床変動後の蛇行形状の評価を行った。

表-1 実験条件

ケース名	水制長 [cm]	水制間隔 $d$ [cm]	流量 $Q$ [lit/s]	水深 $h$ [cm]	平均流速 $u_m$ [cm/s]	フルード数 $Fr$
case1	5	100	7	4.0	29.20	0.464
case2	10			4.7	24.99	0.367
case3	5			6.3	34.74	0.442
case4	10	80	13	6.8	32.02	0.391
case5	5			4.0	29.44	0.470
case6	10			4.7	25.31	0.374
case7	5	13	6.4	6.4	34.50	0.437
case8	10			6.8	32.24	0.395

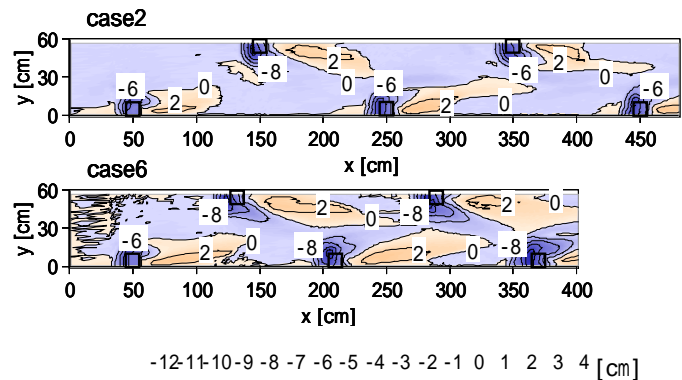


図-1 河床高コンター

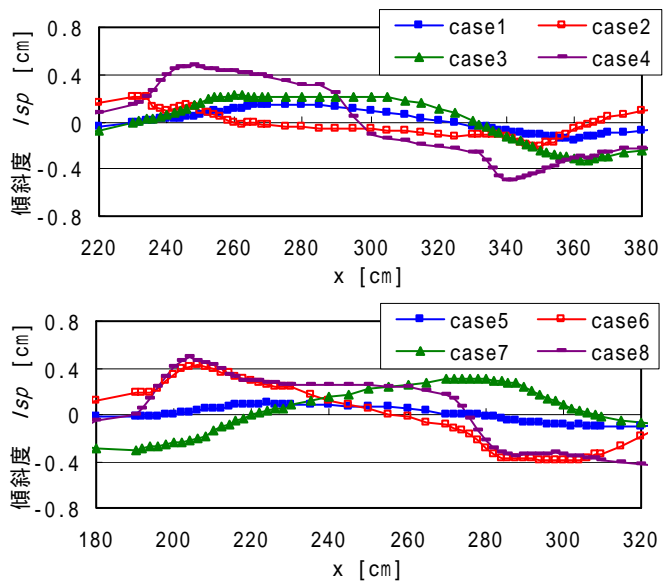


図-2 傾斜度  $I_{sp}$

$$I_{sp} = \frac{1}{b^2} \int_b (z - \bar{z})(y - y_c) dy \quad (1)$$

$$M = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{1}{L} \int_L (I_{sp} - \bar{I}_{sp})^2 dx} \quad (2)$$

ここで、 $b$ ：河床幅、 $\bar{z}$ ：平均河床高、 $y_c=30\text{cm}$ （水路中央の $y$ 座標）、 $d$ ：水制間隔、 $L$ ：流下方向距離である。傾斜度は河床高の横断方向の平均的傾きを数値化したものであり、蛇行度は傾斜度の流下方向変動強さを表したもので

である。図-2 に第三水制の 30cm 上流から第四水制の 30cm 下流までの横断面毎の傾斜度の分布を、図-3 に第三水制～第四水制間で計算したケース毎の蛇行度を示す。なお、水制付近の局所洗掘の影響をなるべく避けるため、横断方向の計算範囲はともに  $y=20\sim 40\text{cm}$  とした。

図-2 で case4, 6, 8 の傾斜度を見ると、水制長が 10cm であるため、水制付近で山の部分が水制長 5cm のケースに比べ大きな変化を示すが、同じく水制長 10cm の case2 ではそれほど大きな値とならないことが分かる。図-3 でケース毎の蛇行度を見ると、case2 では水制長が case1 と比べ大きいにも関わらず、蛇行度は小さくなっている。これは case1 では水制間隔と偏流波長が近い値だったのに対し、case2 では偏流波長が水制間隔に比べ小さかったためであると考えられる。ここで偏流波長とは、水制によってはねられた流れが対岸に到達するまでの流下方向距離であると定義する。水制長が大きくなると偏流角度が大きくなり、偏流波長は短くなると考えられ、偏流波長と水制間隔の大きさが近い値になると、スムーズに蛇行した流れが創出され、洗掘、堆積が顕著になると考えられる。図-2 で case2 の傾斜度が大きな値にならなかったのも、水制間隔に対し偏流波長が小さかったためであると考えられる。

case1 と 5, case2 と 6 の比較より、流量  $7\text{lit/s}$  で水制を越流しない場合の水制間隔による違いを見ると、水制間隔と偏流波長の値が近いと考えられる case1, case6 では蛇行度が大きくなっており、水制間隔に対し偏流波長が小さいと考えられる case2, 大きいと考えられる case5 では小さくなっている。これらより、流量が  $7\text{lit/s}$  で水制を越流しない場合を考えると、水制長 5cm で水制間隔 100cm のケース、水制長 10cm で水制間隔 80cm の場合、より洗掘、堆積が顕著になり河床の傾斜、曲がりが強くなると考えられる。

case3 と 7, case4 と 8 の比較より、流量  $13\text{lit/s}$  で水制を越流する場合の水制間隔による違いを見ると、case3 と 7 では蛇行度の値に大きな差は見られないが、水制間隔 80cm の case8 より 100cm の case4 の蛇行度の方が大きな値となっている。これより、流量  $13\text{lit/s}$  で水制を越流する流れの場合、偏流角度は小さくなると言え、水制長 10cm の場合、偏流波長は 80cm より 100cm に近くなると考えられる。

次に、case2 と case6 の河床変動後の流速の流下方向成分  $u$  と横断方向成分  $v$  をそれぞれ図-4、図-5 に示す。なお、図-4 ではグラデーションの境界値をそれぞれの  $x=30\text{cm}$  の横断面での平均流速 ( $u_{m2}=25.59\text{cm/s}$ ,  $u_{m6}=24.27\text{cm/s}$ ) としている。図-4 を見ると、主流域では流れが速くなっており、各水制の周辺では局所洗掘が発生し流速が小さくなるため淵が創出されている。主流域では、水制の水はね効果により徐々に流れが速められるとともに、水制による堰上げ効果は下流になるほど小さ

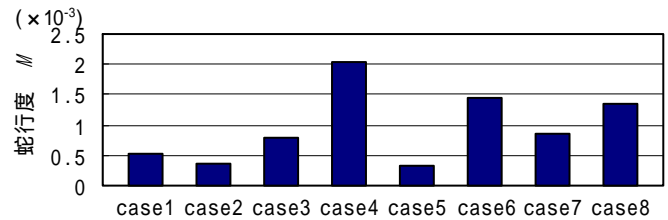


図-3 蛇行度  $M$

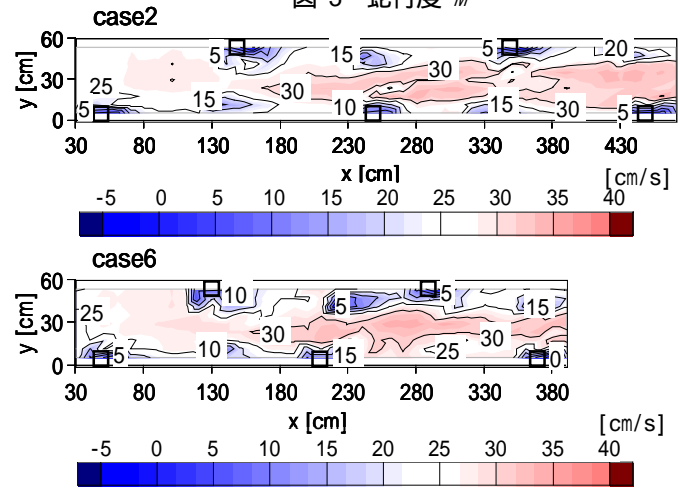


図-4  $u$  コンター

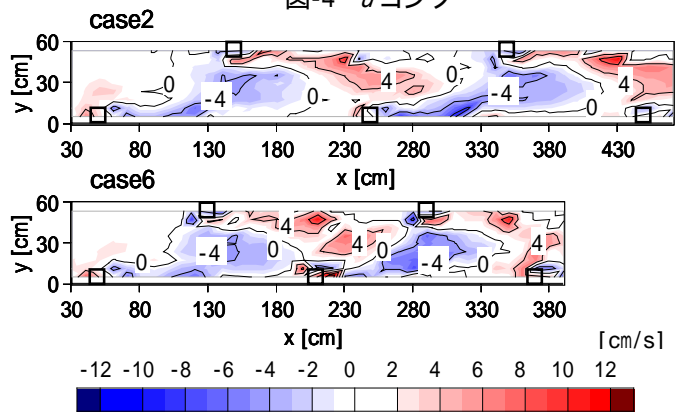


図-5  $v$  コンター

くなると考えられるため、流速は下流になるにつれ大きくなっていく。各水制背後の堆積域の先端では河床高が急に減少するため、その下流側で流速が小さくなっている。また、図-5 より、先に述べた偏流波長と水制間隔の大きさについて詳しく見ることにする。case6 では値の正負の境界線が第二水制と第三水制、第三水制と第四水制を結ぶように現れている。一方 case2 では、値の正負の境界線は水制と次の対岸水制の  $30\sim 40\text{cm}$  ほど手前を結ぶように現れている。これより、case6 では偏流波長と水制間隔が近い値であるが、case2 では偏流波長は水制間隔より短くなっていると言える。

4. おわりに 兩岸水制群によって創出される蛇行形状には、水制長、水制間隔、流量の値が大きく関係していることが分かった。しかし今回の研究はあくまで創出された蛇行形状の物理的な部分しか見ておらず、治水面について考慮していないなど、まだまだ多くの課題を残している。また、さらに適切な水制長、水制間隔の組み合わせを検討することも必要である。