

角度の変化によるハイドロバリヤー水制の流れと河床変動特性

指導教員 富永晃宏 教授

武 峰

1. はじめに：

日本は遠い時代から河川の中に水制を建設され、最初河川の氾濫を避けることとして被害を減少するため利用された一方、近代は利水・治水などの機能を加え、様々な形式の水制が作られている。現在、伝統的な水制の設置目的に加え、水制より創出される新しい流れ、河床形状に着目して、河川整備、自然環境機能回復などを目的している計画事例が増えている。

水制が流れと河床変動に及ぼす影響は、水制の構造、角度、水深に対する相対高さ、川幅に対する相対長さなどによって異なる。ハイドロバリヤー水制は、河川の水流を二手に分離し、再び一緒にして合流させることにより、水を持っている余剰エネルギーを消費させるというものである。

ハイドロバリヤー水制には従前の水制と比較すると①水制頭部下流側のおう穴をより小さくかつ薄くコントロールできる（より安定した構造を維持できる）、②水制域内の河岸に接する領域に堆積を集中的に生じさせることができる（護岸領域を拡張できる）、③水制基礎部へ負荷をより軽くできる（河床の地耐力がより低くてすむ）、④建設は容易という長所がある。それにより従前の水制の機能を持ちながら、新しい機能を付くことができると期待している。

本研究は不透水制の三種類として直角水制、下向水制、上向水制に、ハイドロバリヤー水制を作り、スリット有無水の流れと河床変動に及ぼす影響が移動床並びに固定床の水路実験、また数値解析を主な手段として検討する。また、その結果に基づいて、ハイドロバリヤー水制の利用可能性について検討する。

2. 実験方法：

実験水路は長さ 13m、幅 60cm の直線開水路を使用し、水路勾配は 1/500 とした、水制全長が水路幅の 1/4 とした、実験条件表-1 を示す。実験する時に設置形式については、主に二つ部分を構成し、上部分はアルカリ製模型が形を作り、砂の中に埋まれた下部分の上に置く(図-1 と図-2 を参照する)。移動床実験の場合は、底面の一部は砂を散布し粗度を与えたものとし、平均粒径 $D_m=0.611\text{mm}$ の一様砂を厚さ 11cm で敷き詰め実験を行った。

固定床区間の場合は砂が設置せずに、水制前面 85cm、背面 160cm の長方形区間に横軸 20cm ずつ、縦軸 5cm ずつの流速を計測する。

表-1 実験条件とケース

流量(L/s)	水深(cm)	フルード数 Fr	断面平均流速(m/s)	水路勾配	平均粒径 Dm(mm)	通水時間 (min)
6.5	4	0.433	0.271	1/500	0.611	60

Case名	勾配	流量 (L/s)	水深 (cm)	断面平均流速 (m/s)	通水時間 (min)	角度	スリット幅 (cm)
90-0	1/500	6.5	4	0.271	60	90	0
90-1							2
90-2							3
Ue-45-0	1/500	6.5	4	0.271	60	45	0
Ue-45-1							2
Ue-45-2							3
Ue-60-0	1/500	6.5	4	0.271	60	60	0
Ue-60-1							2
Ue-60-2							3
St-45-0	1/500	6.5	4	0.271	60	135	0
St-45-1							2
St-45-2							3
St-60-0	1/500	6.5	4	0.271	60	150	0
St-60-1							2
St-60-2							3

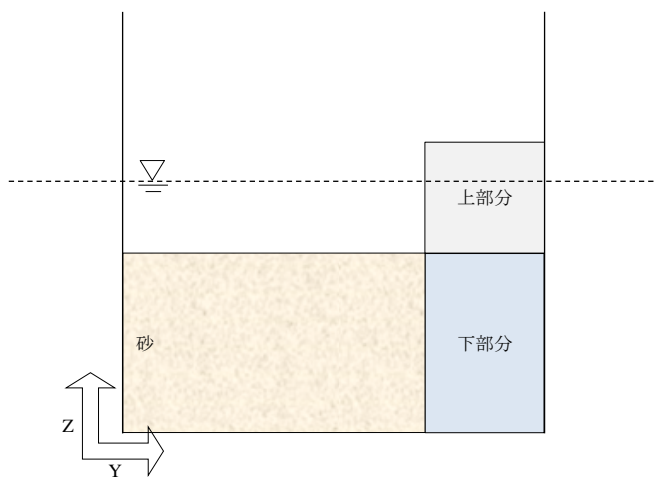


図-1 水制模型 y - z 断面配置図

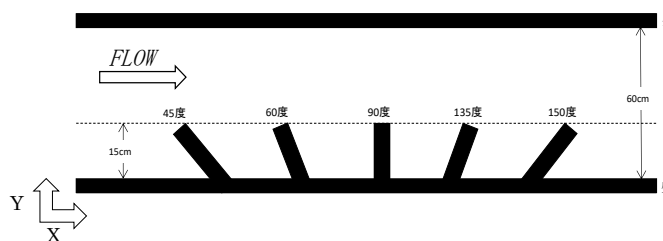


図-2 水制模型 x - y 断面配置図

実験模型は角度を変更するため使う各辺長が 3cm, 5cm, 6cm 幅 2cm と 5cm, 5cm, 7cm 幅 2cm の三角形三つ, 長さ 1cm, 2cm, 高さ 6cm, 幅 5cm の立方体を水制に組み合わせた。

固定床実験で流速計測には電磁流速計を使用し, 水面形の計測にはポイントゲージを使用した。移動床実験では通水後の河床形状をレーザー距離計により計測した。

3. 河床変動と洗掘抑制効果：

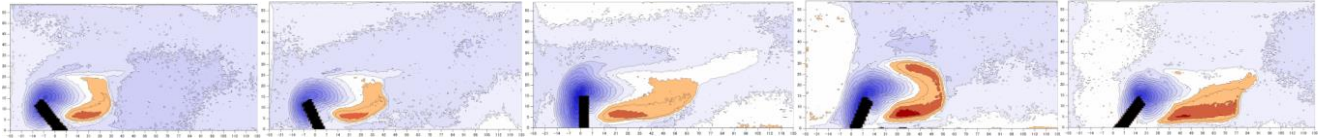


図-3 スリット無のケース全般

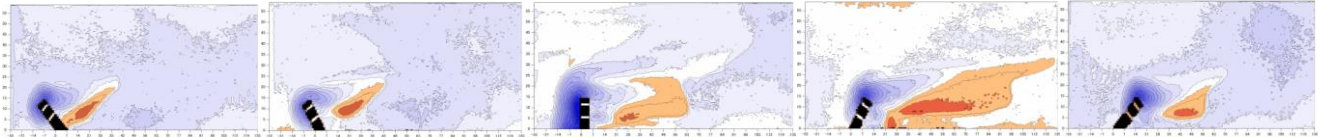


図-4 スリット 2cm のケース全般

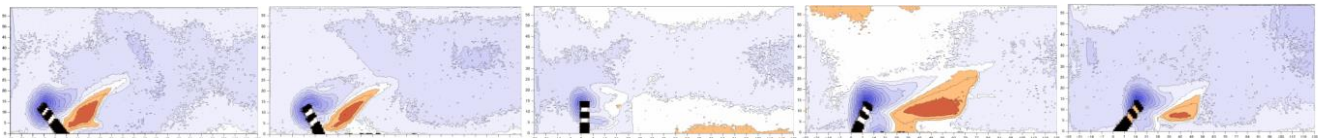


図-5 スリット 3cm のケース全般

水制のスリットが変わることに角度の変化による河床変動特性を検討した。図-3 はスリット無で水制の角度を変化しつつ, 河床変化を示す。図-4 はスリット 2cm で水制の角度を変化しつつ, 河床変化を示す。図-5 はスリット 3cm で水制の角度を変化しつつ, 河床変化を示す。図-6 は全部の実験で洗掘部分の最大洗掘深さと堆積部分の最大堆積高さを示す。図-7 は全実験ケースの洗掘体積の概算値を示す。図-8 は全実験ケースの堆積体積の概算値を示す。洗掘体積概算範囲は横軸-20cm~35cm, 縦軸 0cm~35cm とした。堆積体積範囲は-1cm~135cm, 縦軸 0cm~35cm とした。図-9 は水制のスリット変化のみ 90 度, 45 度, 60 度の最大洗掘深と最大堆積高を示す。

図-6 によるすべてのケースにおいて, ケース 90-2(スリット 3cm)以外が最大堆積高さの変化は少ないとみられる。同じ角度において水制は, スリット幅が大きくなるほど局所最大洗掘深さは小さくなる傾向がみられる。また, 図-7 によるケース 90-2 の洗掘堆積体積がケース 90-0, 90-1 に比較するとより激しく減少するとみられる。これは, 水制背面の流速低下範囲が減少することによるケース 90-2 は堆積高と洗掘体積両方も激しく減少すると思われる。図-8 によるすべてのケースにおいて堆積量は角度の増加につれ, 増大する傾向がみられるが, スリット無のケースを除く下向き 60 度の時に堆積量がピークになってから減少すると見られた。また, この時にスリットある水制がスリット無水制より堆積量は多い。図-3, 図-4, 図-5 により上向き水制にはスリットが大きくほど水制の根部と河岸に堆積しやすい傾向がみられる。図-10 によるスリット無とスリット 2cm のケースは最大洗

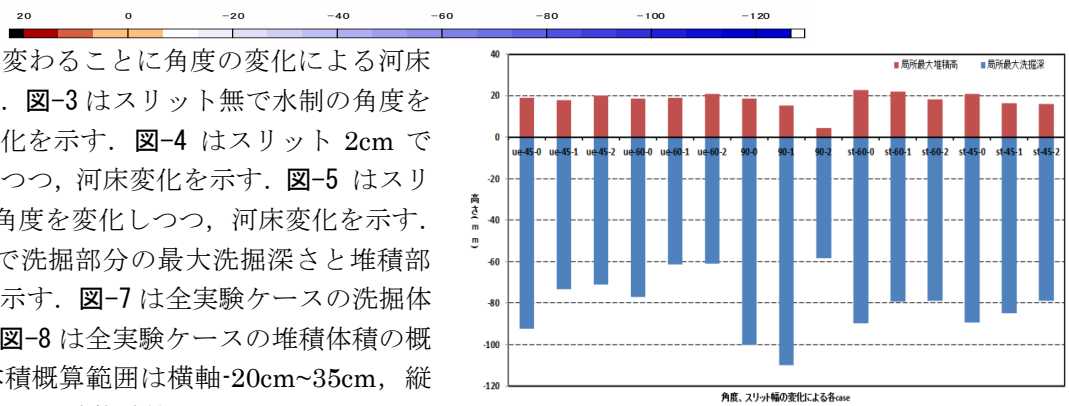


図-6 各 case 局所最大洗掘深さと最大堆積高さ

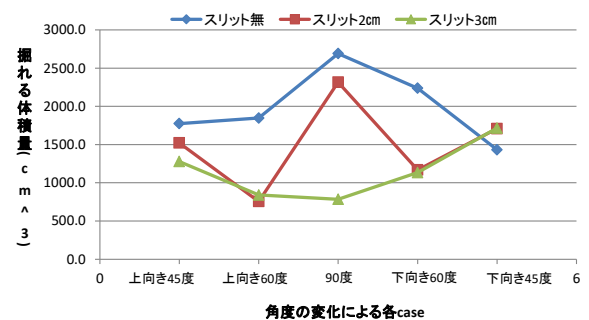


図-7 洗掘体積概算値

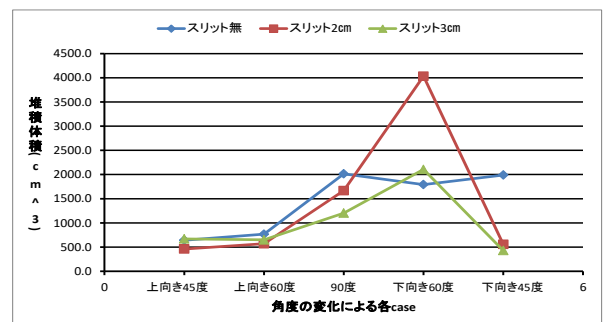


図-8 堆積体積概算値

掘深が同じ傾向が見られる。また、すべてのケースにおいて上向き水制の局所最大洗掘深さは下向き水制より低いとみられる。

図-7 によりスリット無のすべてのケースにおいて、水制の角度を増加するとともに、洗掘体積は先に増大し、90 度に洗掘体積最大になった後に減少するとみられる。図-8 により土砂堆積量は先に増大し、90 度以後に変化が少ないとみられる。

図-7 によりスリット 2cm のすべてのケースにおいて、洗掘体積量はスリット無のケースと比較し、先に増大後に減少の同じ傾向が見られず、上向き 60 度と下向き 60 度の時にはより減少した。一方、上向き 45 度、60 度と下向き 45 度、60 度が洗掘体積量は大きく変化が見られず、90 度のケースが最大になる。図-8 による堆積量は角度が大きくなるとともに、増大するが、下向き 60 度の時にピークになる後に、減少するとみられる。

図-7 によるスリット 3cm のケースはスリット無、スリット 2cm に比較し、洗掘体積量が先に減少し、90 度の時に最小となつてから増加する傾向がみられる。図-8 により土砂堆積量はスリット 2cm のような先に多くなる後に減少する同じ傾向が示す。また、図-9 により局所最大洗掘深と堆積高は先に低くなる後に高くなる同じ傾向が示している。

4. 固定床実験：

図-10 から図-14 までは移動床実験の結果に基づき、同じ条件で流速 U コンター図を示す。図-10 は 90 度の全ケース流速 U を示す。図-11 は上向き 45 度の全ケース流速 U を示す。図-12 は上向き 60 度の全ケース流速 U を示す。図-13 は下向き 60 度の全ケース流速 U を示す。図-14 は下向き 45 度の全ケース流速 U を示す。図-15 は case St-60-1 の速度変化 UV を示す。図-16 は case St-60-1 の乱れ強度を示す。

水路の全体の流速分布を見れば、水制設置の右岸より左岸はより大きく速度を持っている。スリットの幅が大きくなるほど左岸は流速が小さくなるとみられる。これはスリットの設置により水制の間に透過流を増大し、速度全体的にバランスになると思われる。また、スリットある水制は先頭部付近にスリットやや後方に減速域また逆流域が形成していると見られる。

図-11 と図-12 による上向き水制の場合は、スリットが大きくなるほど水制背面左岸に流速を小さくするとみられる。これは水制全体的に透過流の生成により、左岸と右岸の流速はバランスを調和していると思われる。また、スリットが大きくなるほど水制先頭部の流速が減少している。水制背面の減速域と逆流域が大幅に減少した。これは透過流を生成により、水制の直後に流速が増大するとともに透過流が減速域と合流させ、減速域と逆流域の全体に加速すると考えている。また、スリットの幅は大きくなるほどスリットやや後方に逆流が強くなる。

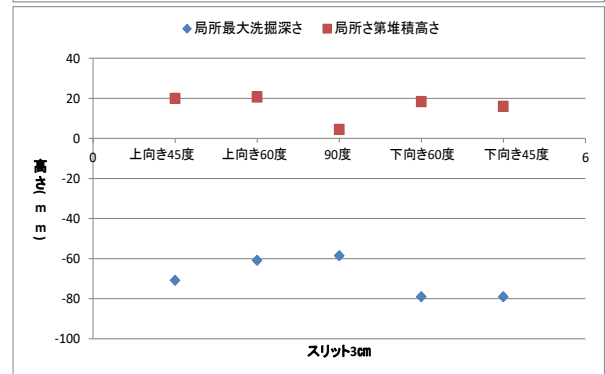
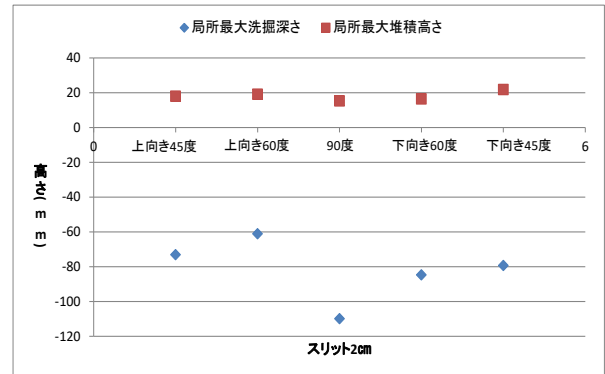
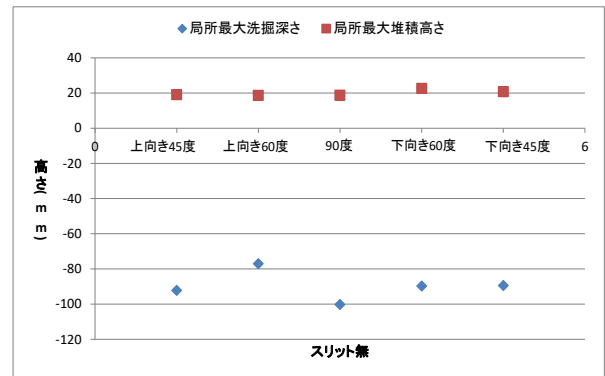


図-9 スリット変化のみ最大洗掘深さと堆積高さ

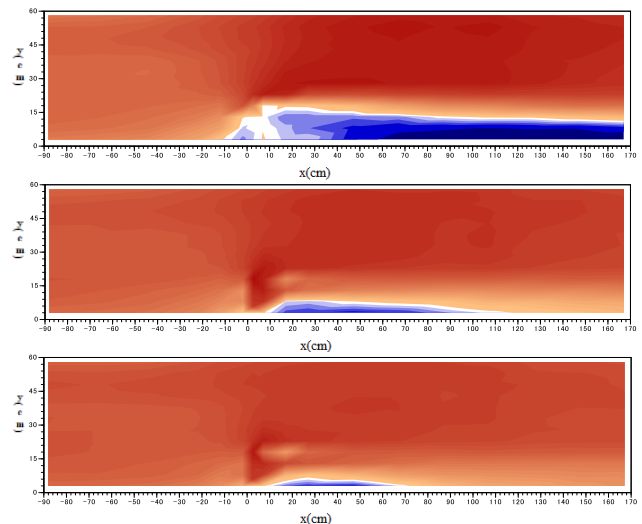


図-10 上 case90-0, 中 case90-1, 下 case90-2

上向水制の移動床ケースの結果を重ねて考えると、水制の中部から根部前に流速が速くなる。その減速域と逆流域は大幅に減少するが、河岸でまだ存在しているから水制前端付近で土砂堆積部分が減少し、より河岸に寄って来ると考える。また、水制中にスリット大きくなるほど透過流が増大するとともに、馬蹄形渦が形成しやすくなれないと思われ、洗掘が小さくなると考える。

図-10 による直角水制の場合は、スリットが大きくなるとともに水制の透過流が大きくなるので、水制先頭部の背面は全部流速が速くなるが、上向水制より緩やかに減少すると見られる。また、水制の先端部は減速域が現れるが逆流域がない。また、90度の移動床の結果と一緒に見ると、case 90-0 と case 90-1 を比較すると、case 90-2 のケースは土砂堆積が激しく減少する。これは、水制を通して水流が二手に分離し、再び一緒にして合流させ、水の持っている余剰エネルギーを消費させる強度が比較的妥当と考え、90度水制の背面が逆流域は大幅に小さくなるが、減速域が大幅に減少ではないと考える。

図-13 と図-14 による下向水制の場合は、水制背面直後に右岸付近の逆流部分を完全になくなるとみられるが水制先端付近に強く逆流域が大きくなる。これは水流がスリットに通過し、右岸に到着した後に強く反射して乱れが発生し、減速効果を生じ生成すると思われる。また、スリットの幅が大きくなるとともに、乱れ範囲が小さくなる。ケース St-60-1 において、移動床の結果を重ねてみると、土砂堆積量が全ケースの中に一番多い。これは、図-15 と図-16 によりケース St-60-1 流速が全ケースの中に唯一交換変化であり、水制背面でも二つ部分が強く乱れが発生すると考えた。ケース St-60-1 と St-60-2 と比較し、スリットの幅が大きくなるとともに、ケース St-60-2 が水制後方に土砂堆積の量は小さくなる。これは、ケース St-60-2 水制後方に乱れ強度が強いが、範囲と強度がケース St-60-1 より小さいと考えた。

5. まとめ

上向水制と直角水制の場合は、ハイドロバリヤー水制を利用し、水制の対岸に全体的に減速するとともに、洗掘が減少した。よりよい安定した構造を維持できると考える。また、上向水制には水制の根部からより堆積しやすくなる。水制の維持管理また護岸にさらに期待できると思われる。下向水制の場合は、下流側の岸を浸食速度がより速くなるので、溪流河道や掘込み河道と失われた自然の淵に近い構造を作りだすことがより期待できると思われる。

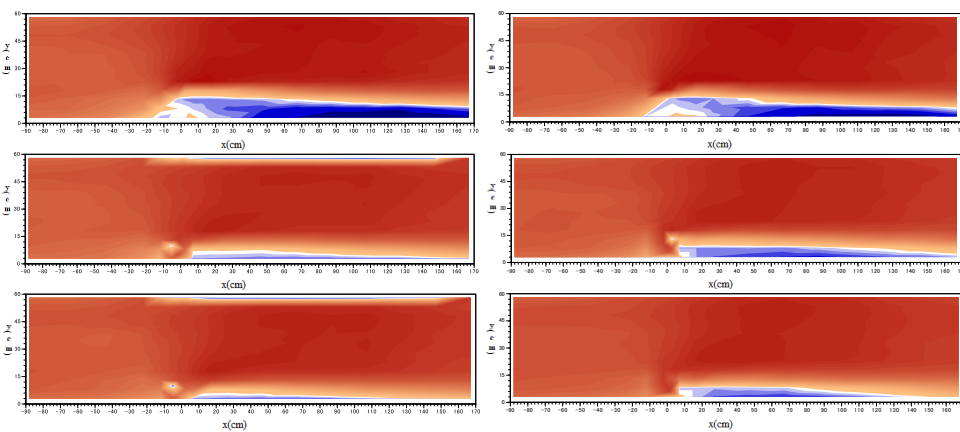


図-11 上～下 case Ue-45-0～case Ue-45-2

図-12 上～下 case Ue-60-0～case Ue-60-2

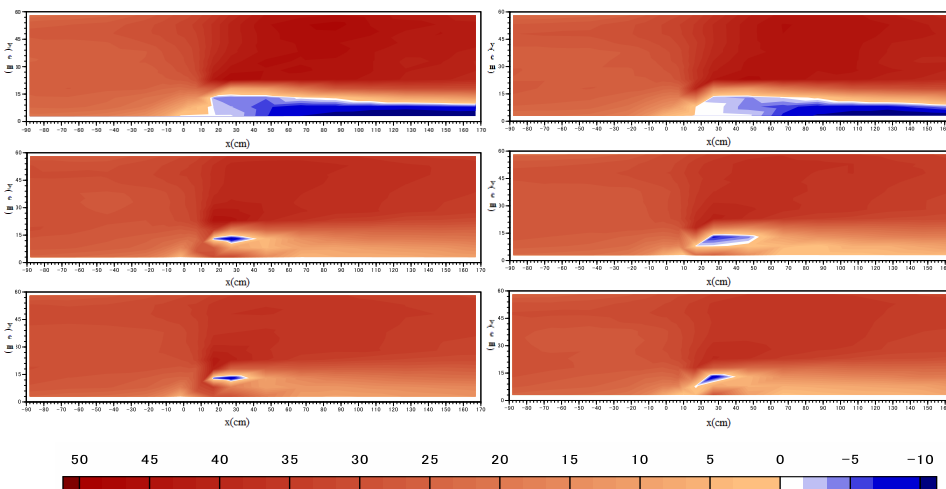


図-13 上～下 case St-60-0～case St-60-2

図-14 上～下 case St-45-0～case St-45-2

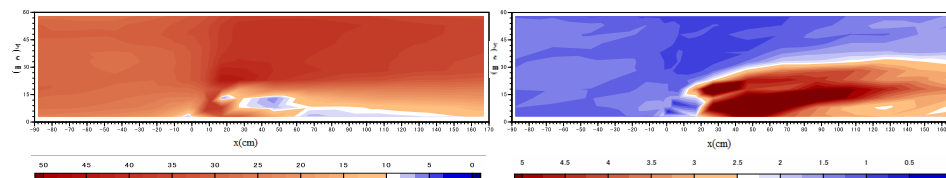


図-15 case St-60-1 の流速変化 UV

図-16 case St-60-1 の乱れ強度