

II-11

水制周辺の流れ

北海道大学工学部 学生員 山田 浩次
 北海道大学工学部 正 員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 正 員 板倉 忠興

1. はじめに

水制の働きは「水はね効果」と河岸近傍の「流速減少効果」に分けられる。流速減少効果から派生する土砂沈澱の誘致や流路の固定などと合わせ、堤防、護岸を守ることが水制設置の目的である¹⁾。水制は適切な設置を行うと、河川の堆積作用により水制間に土砂が堆積し、大きな効果を生む。しかし、不適切な設置は周辺の洗掘を招き、水はねの効果の減少、水制自身の沈下を招く²⁾。適切な設置のための理論は確立されておらず、かなりの部分を経験則や模型実験に頼っているのが現状である。

今回の研究では、水制の基本的な形態の1つである不透過、非越流型の水制を対象とする。このタイプの水制は水はねを主な目的とし、水制間の土砂の堆積を直接の目的としない場合が多いようであるが、この場合でも土砂堆積の有無は水制そのものの効果に多大な影響を与えらると思われる。なぜなら、土砂の堆積の見られない水制は洗掘に弱く、先に述べたように水はね効果や流路固定効果の減少を招き易いからである。

このタイプの水制の可変要素としては、流路幅 B と水制長 l の比、水制設置間隔 L と l の比、流れの向きとの角度 θ などがある。ここでは、水制間隔 L と水制長 l の比と土砂堆積などの水制の効果との関係を実験的に調べた。

2. 実験方法

実験は幅30 cm 長さ10 m の可傾斜水路を用いて、2種類の河床形状のもとで行った。水制模型は長さ5 cm、厚さ1 mm のアクリル製で、水路壁に直角に取り付けられる。

実験1・aでは、平坦床矩形水路の片側に水制の模型を2個とりつけ、トレーサー（径3 mm、長さ4 mmの円筒形のプラスチックペレット）を投入しその動きの軌跡を調べた。さらに、実験1・bでは、水制を等間

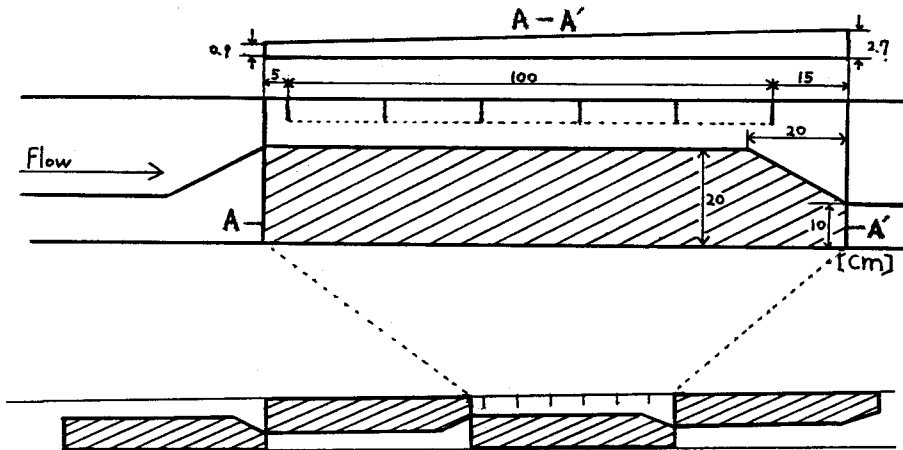


図-1 固定砂州床の実験における砂州と水制の配置

隔に6個取り付け、上流側水制先端付近からトレーサーを投入してそれぞれの水制間に捕捉されるトレーサーの個数を調べた。

実験2では、水路中に図-1に示すような砂州の模型を置き、深掘れ部への流れの集中、流向の偏りが生ずるようにして、より実際の状況に近づけて実験を行った。すなわち、単列砂州の形成された川の深掘れ部（水当たり部）に多くの水制が設置されているという状況を模擬している。

なお、いずれの場合も、 $L/l = 2, 4$ の2つのケースに付いて実験を行った。また、流量一定の条件のもとで水路勾配を調節し、常流 ($I=1/400$)、射流 ($I=1/200$) 各1ケースずつの実験を行った。

3. 実験結果

1) 平坦床での実験結果

まず、実験1・aのトレーサーの軌跡についての実験結果を図-2に示す。 $L/l = 2$ の場合、トレーサーは水制で囲まれた矩形領域に内接する楕円状の軌跡を示しており、水制域の中央に中心を持ち水制域のほぼ全域をカバーするような大きな渦の存在が確認できる。これに対して $L/l = 4$ のケースでは、水制域の下流側寄りにほぼ同じような大きな渦が存在するが、それが全域に広がることはなく、流速が非常に小さい部分が水制域上流側に現れる。図-3は流したトレーサーが最終的に停止する位置を示す。図を見るといずれのケースでも、渦の中心および上流側水制付近に多く堆積していることが判る。

実験1・aでトレーサーを最上流側水制先端付近の一点から連続的に供給し、水制間に捕捉される粒子の数を調べると、表-1のようになる。流れの常・射流に関わらず、 $L/l = 2$ のケースの捕捉割合は低く、 $L/l = 4$ のケースのほぼ1/3である。砂州の発達した移動床水路における飛山ら³⁾の実験に寄れば、水制間の土砂捕捉機能は L/l の値が小さい程高く、特に $L/l < 2$ では顕著であると報告されている。実験

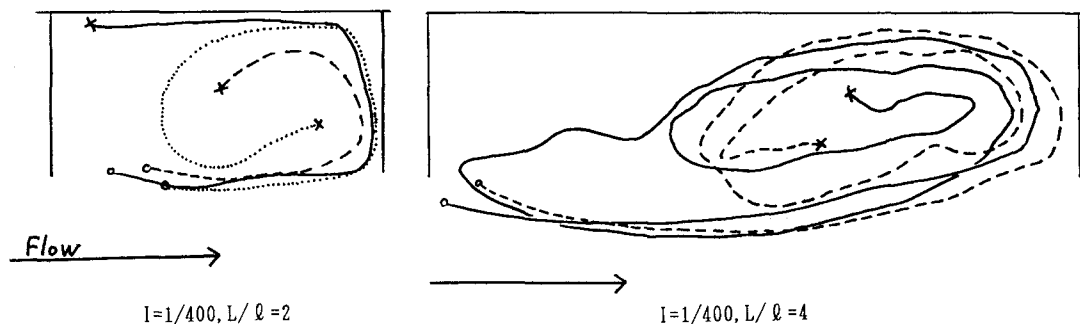


図-2 トレーサーの軌跡 (○: 投下点, +: 停止点)

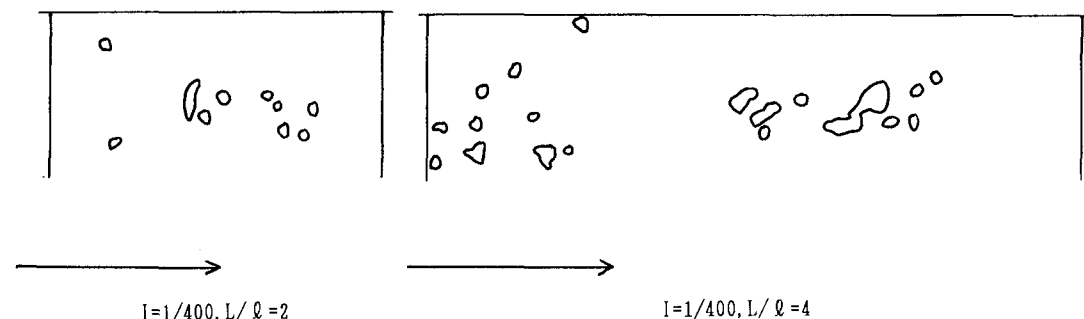


図-3 トレーサーの堆積状況

表-1 実験1・aの捕捉率

河床勾配	$L/l = 2$	$L/l = 4$
1/400 (常流)	4.1	12.1
1/200 (射流)	4.3	10.5

表-2 実験1・bの捕捉率

河床勾配	$L/l = 2$	$L/l = 4$
1/400 (常流)	27.9	28.6
1/200 (射流)	22.8	16.6

1・aの結果はこれを合理的に説明できない。ただし、飛山らは水制群の上流側では L/l の値に関わらず、土砂捕捉機能が低下することも報告しており、水制群としての評価を次の実験1・bで検討することとした。

実験1・bのトレーサーを最上流側水制先端付近の一点から連続的に供給したときの捕捉の様子を図-4に示す。図の縦軸は全投入粒子数にたいする各水制域に捕捉された粒子数の割合であり、横軸は各水制域の中心位置を示す。

$L/l = 2$ のケースでは、流れの常・射流に関わらず最上流側に位置する第一番目の水制間の粒子捕捉割合が極めて低い。粒子捕捉率は第2番目の水制間で最大となり、下流に向かって減少している。

これに対して、 $L/l = 4$ の場合は常流と射流の場合で若干捕捉率の分布に違いがみられる。

常流の場合には、第一番目の水制間の粒子捕捉割合が最も高く、第二番目以下では急激に減少する。射流の場合には、第一番目と第二番目はほぼ同程度であり極大値をとり、以下順次減少する。

次に $L/l = 2$ の1, 2番目および3, 4番目を併せて、 $L/l = 4$ の1, 2番目の水制間の捕捉数を比較すると表-2のようになる。すなわち、平面積を等しくして捕捉率を評価すれば、常流のケースでは、 L/l による違いは見られない。射流のケースでは、 $L/l = 2$ の捕捉率の方が大きくなっている。

これらの結果からみて、飛山らの移動床での実験結果を十分説明できるまでには至っていない。このため、次に砂州のある状態での実験を検討した。

2) 固定砂州床での実験結果

実験2の砂州の模型付きの場合のトレーサーの縦断的な捕捉状況を図-5に示す。本実験の場合、流向の偏りのため、水制を設置した側の水路壁からかなりはなれた場所から投入されたトレーサーでも水制に捕捉される。そのため、水制先端(水制側側壁から5 cm)だけではなく、水制側側壁から10 cm, 15 cm, 20 cmの位置にもトレーサーの投下を行った。

目視観測に依れば、側壁から5 cm(水制先端)の所に投下された粒子は、ほぼ直線的に深掘れ部に沿って流下するのに対し、側壁から離れた所から投下された粒子は、砂州上を斜めに移動し砂州のクレストを横切って深掘れ部へ落ち込む動きが支配的になる。そして、側壁から20 cmの部分から投下した場合は、ト

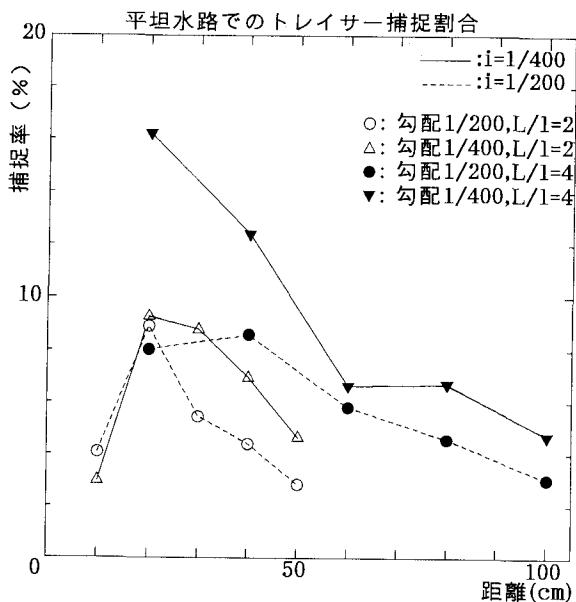


図-4 平坦床での捕捉率の比較

レーサーはついに水制域に近づくことなく流下する。

全般的な傾向として、投下場所が水制から離れるほど捕捉率は減少し、かつ、上流側の水制には捕捉されなくなる。これは、トレーサーが上述のような運動を行うため、上流部の水制付近を通過できなくなるためである。

側壁から5 cmに投下した場合は、 $L/\ell = 4$ の方が捕捉率がわずかに大きい。ただし、側壁から5 cm地点では、投下点付近に停止するトレーサーも認められ、水制の影響で止まったかどうかの判断がむずかしかった。側壁から10 cm、15 cmに投下した場合は、水制設置域の上流側半分の間では $L/\ell = 4$ の方が捕捉率が大きく、それより下流側では $L/\ell = 2$ の方が大きくなっている。また、 $L/\ell = 4$ の方は上流側の方に偏在しているのに対し、 $L/\ell = 2$ ではほぼ平均的にどの水制にも捕捉されている。

4. おわりに

平坦床に設けた水制群の実験では、同一平面積当たりの土砂捕捉率は少なくとも常流の場合には、 L/ℓ の値に関わらず同程度であった。また、固定砂州床上の実験では、河岸から若干離れた投下位置から運動を始めた粒子は、水制域下流の捕捉率を比較する限り $L/\ell = 2$ の方が4の場合より高い値を示した。一般に砂州の上の流砂量分布は中央で大きいことを考えると、移動床実験で得られた結論（ $L/\ell = 2$ の方が4の場合より土砂捕捉機能が高い）をどうにか説明できそうである。

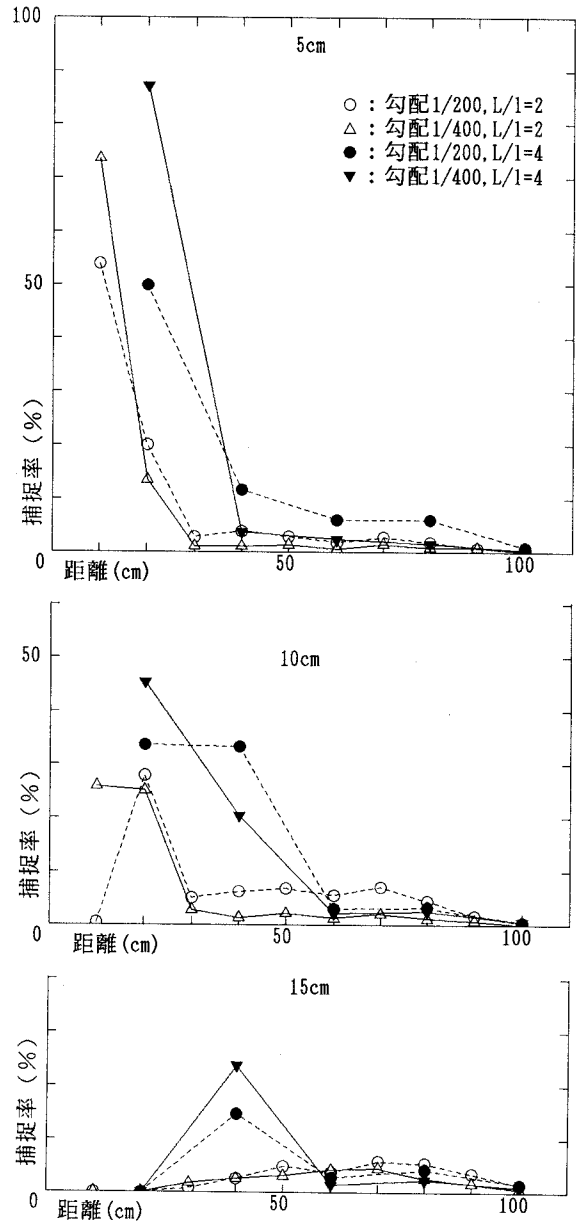


図-5 固定砂州床実験の捕捉率分布

参考文献

- 1) 吉川、坂上、芦田、土屋、秋草：水制に関する研究、建設省土木研究所報告第107号の6、1960
- 2) 土屋、石崎：水制の洗掘、第10回水理講演会論文集、1966
- 3) 飛山、黒木、板倉：移動床流れに於ける水制の効果、第48回土木学会北海道支部論文集、1992