

大日本コンサルタント株式会社 ○松村 恭一
 筑波大学農林工学系 天田 高白
 独立行政法人土木研究所 小山内信智

1. はじめに

総合的な土砂管理の目標の下、山地河川から下流に土砂を流すことが求められている。より多くの土砂を下流に流そうとすると、大出水時までを含め、山地河川から河口までを移動床として土砂の連続性を保ちながら流す必要が生じると考えられる。

この場合、特に移動床とした扇状地上の流路では中規模河床形態の形成に伴う流路変動が懸念され、防災上は流路制御が必要となる。

一方、扇状地は本来山地河川からの流出土砂に対するバッファ機能を有している場所であり、移動床とした扇状地上の流路ではある程度の土砂堆積や侵食が認められる必要があると考えられる。

本研究で筆者らは、これまでの流路工に代わる施設として側岸も含めて移動床とした流路を採り上げそれを横工のみにより流路制御を行うことを考え、その視点から筆者らによる既往の実験結果¹⁾を見直し、そこで生じる側岸侵食や流路変動等の現象について解釈を加えるとともに、流路制御手法について考察を加えた。

2. 実験の概要

実験水路について、幅1m、長さ10mの勾配可変直線水路に平均粒径1.3mmの一樣砂を敷き詰め、図-1に示すように初期流路床勾配*i*、初期流路幅 B_0 、初期側岸高 H_0 の側岸を含めて移動床である逆台形流路を設けている。流路には等間隔 L で水通し幅 B_w 、落差高 H の横工を配置し、そこにおいて河床及び流路幅を固定している。

給水は図-2に示すハイドログラフに従い実験水路の上流端から行っている。給砂は流量 $Q = 3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上の時に行い、初期流路床勾配*i*、横工水通し幅 B_w に対応する平衡給砂量を流路上流端から与えている。給砂材料は河床に用いた材料と同じものである。

表-1に実験条件を示す。Run1~3では*i*の変化に、Run1,4では B_0 及び B_w の変化に、Run1,5,6では L の変化にそれぞれ着目している。

上記の初期条件下での実験の水理条件は河幅水深比 $B_0/h = 10.7 \sim 78.2$ 、水深粒径比 $h/d = 4.9 \sim 21.6$ 、フルード数 $F_r = 0.67 \sim 1.47$ の範囲にある。なお流速、水深の算出には Manning式を用い、粗度係数を0.025としている。図-3は村本・藤田²⁾による中規模河床形態領域区分図に本実験の条件をプロットしたものである。これによれば、本実験の条件は $B_0 = 50\text{cm}$ としたRun4を除くRunでは交互砂州から複列砂州の形成領域に相当し、 B_0 を小さくしたRun4は準砂州(交互砂州非発生領域)から交互砂州の形成領域に相当することがわかる。

計測項目について、横工より仕切られた流路の区間のうち実験水路の上下流方向のほぼ中央にある1区間を測定区間として選り7~8本の横断測線を設定して給水開始後の時刻 $T=30,65,80,95,105\text{min}$ の時の水位、河床位、流速を計測している。

3. 実験結果及び考察

(1) Run4 以外の実験結果

$B_w = 40\text{cm}, B_0 = 50\text{cm}$ として交互砂州や複列砂州が比較的形成されやすい実験条件としたRun4を以外のRunについて、まず $L = 250\text{cm}$ としたRun6について図-4に測定区間下流端から110cm上流(測定区間上下流端の横工のほぼ中

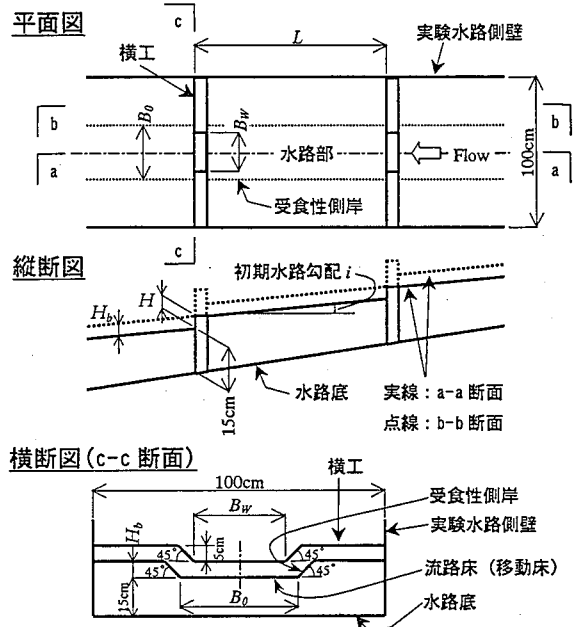


図-1 実験水路の概要

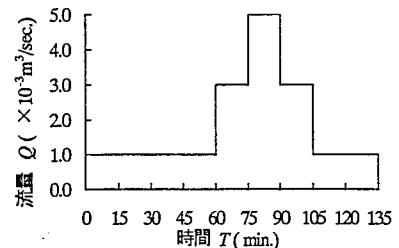


図-2 ハイドログラフ

表-1 実験条件

| Run | 流路形状 | | | 横工形状・配置 | | | |
|-----|----------|------------|------------|----------|----------|------------|---------|
| | <i>i</i> | B_0 (cm) | H_0 (cm) | L (cm) | H (cm) | B_w (cm) | L/B_w |
| 1 | 1/50 | 50 | 3.0 | 125 | 2.5 | 40 | 3.13 |
| 2 | 1/100 | | | | 1.25 | | |
| 3 | 1/25 | | | | 2.5 | | |
| 4 | 1/50 | 30 | 4.0 | 75 | 1.25 | 20 | 6.25 |
| 5 | | 50 | 3.5 | | 1.25 | 40 | 1.88 |
| 6 | | 30 | 3.0 | | 250 | 5.0 | 40 |

i: 初期流路床勾配, B_0 : 初期流路幅, H_0 : 初期側岸高
 L : 横工間隔, H : 横工落差高, B_w : 横工水通し幅

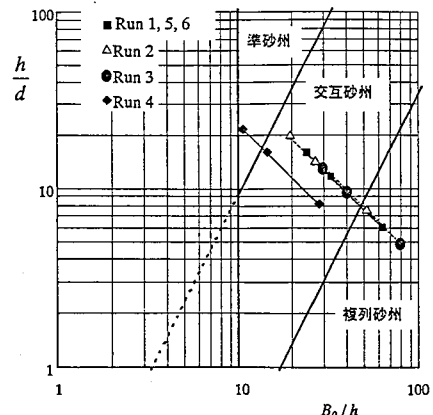


図-3 実験条件と河床形態領域区分図の比較

央)における $T = 30, 65, 80, 95 \text{ min.}$ の時の河床位の横断変化を示す。Run6では $Q = 1.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ ($T = 30 \text{ min.}$) の時に側岸がわずかに侵食され河床に供給された土砂が小さい砂州を形成する。 $Q = 3.0 \sim 5.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ ($T = 65, 80 \text{ min.}$) の時には側岸侵食が進み交互砂州や複列砂州が発達するときに見られる蒲鉾型の河床が形成される。ピーク流量後も蒲鉾型の河床形状が残り、流れは横工水通しを通過した後左右に分かれ、実験水路側壁沿いに流下する状況が観察されている。

図-5にRun1の測定区間下流端から62.5cm上流(測定区間上下流端の横工の中央)における $T = 65, 80, 95, 105 \text{ min.}$ の時の河床位の横断変化を示す。 $L = 125 \text{ cm}$ としたRun1においても $Q = 3.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ ($T = 65 \text{ min.}$) の時以降に側岸侵食が活発になる。 $Q = 5.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ ($T = 80 \text{ min.}$) の時には側岸侵食はほぼ実験水路側壁まで達し侵食された土砂の堆積により河床上昇が続くが、一方で流れが直進性を帯びようになる。河床形態が準砂州の領域に移行している。図-5から、ピーク流量時まで形成された蒲鉾型の河床の中央に、直進する主流により形成された窪みが確認されるが、河床形態が準砂州の領域に移行したものと考えられる。その後の減水段階の $Q = 3.0 \sim 1.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ ($T = 95, 105 \text{ min.}$) の時には、水深の低下により側岸侵食が停止すると共に、ピーク流量時に形成されたみお筋部分に流れが集まりながら河床低下が進むことで左右岸に段丘が形成され、初期の流路横断形状に似た形状が残される。 $L = 125 \text{ cm}$ で $i = 1/25$ としたRun3においても、ピーク流量時前までは側岸侵食が進み砂州が形成されるが、ピーク流量時には流れの直進性が観察された。

$L = 125 \text{ cm}$ で $i = 1/100$ としたRun2および $L = 75 \text{ cm}$ と横工配置間隔を密にして流れの広がりを制限したRun5では、側岸侵食幅は実験全体を通して片岸で5~10cm程度の範囲に抑えられた。

(2) Run4の実験結果

$B_0 = 30 \text{ cm}$, $B_W = 20 \text{ cm}$ としてピーク流量時に準砂州が形成されやすい条件を設定したRun4では、 $Q = 1.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ の時にある程度の側岸侵食が見られたが、その後の $Q = 3.0 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ sec.}$ の時以降はRun1で説明した状況と同様の状況が観察された。

(3) 考察

図-6は先の中規模河床形態領域区分図に各Runの各流量時における測定区間内の平均水深 h 及び平均流路幅 B を用いて求めた $b/d, h/d$ の値をプロットしたものである。水深、流路幅に平均値を用いているため、データが図中で右下による傾向にあるが、流量変化により図中、左上-右下方向にプロットされる点が移動する状況が示されている。

今回の実験結果からは、側岸も含め移動床とした扇状地上の流路で横工のみにより流路制御を行う場合、中小出水時には側岸が侵食され河床に砂州が形成されるが、その後ピーク流量を経て河床がまた元の横断形状に自然に戻るような i, B_W, L の組み合わせがあることが示唆された、と考えられる。例えば今回の実験で $B_W = 40 \text{ cm}$ とした場合に限れば、交互砂州の半波長が一般に流路幅の6倍程度と言われていることを勘案すると、 L/B_W が概ね3~6程度の範囲がそのような流路が形成される範囲と考えられる。ただしこの範囲は、側岸侵食が抑えられたRun2の例から、 i によりある程度変化すると考えられる、今後 i を含めた検討が必要である。

4. おわりに

ここでの検討は非常に条件を限られた実験結果に基づき行われている。流路制御手法についてより一般的な知見を得るためには、ハイドログラフパターンや給砂条件等を変化させて、さらに多くの実験データの蓄積を行い理解を深める必要がある。

参考文献

- 1) 小山内ら：溪畔林の導入が可能な流路整備手法に関する実験的研究，砂防学会誌，Vol.53, No.4, pp.4-15, 2000.
- 2) 村本・藤田：中規模河床形態に関する研究，京都大学防災研究所年報，第20号B-2, p.243-258, 1977

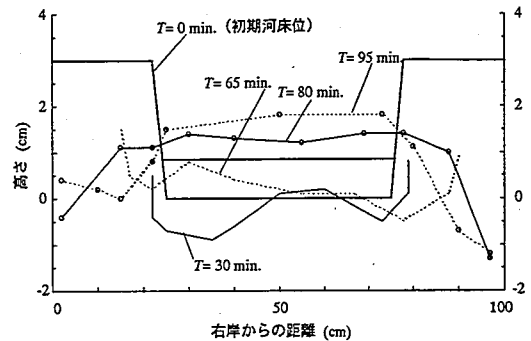


図-4 河床横断形状の時間変化 (Run6)

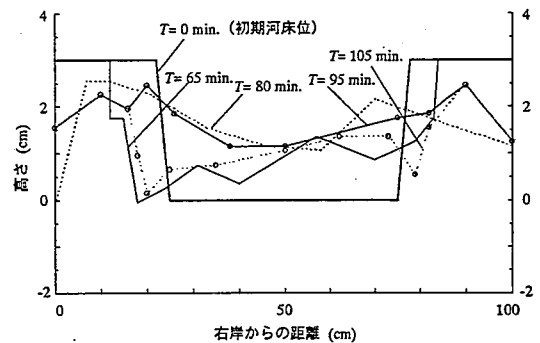


図-5 河床横断形状の時間変化 (Run1)

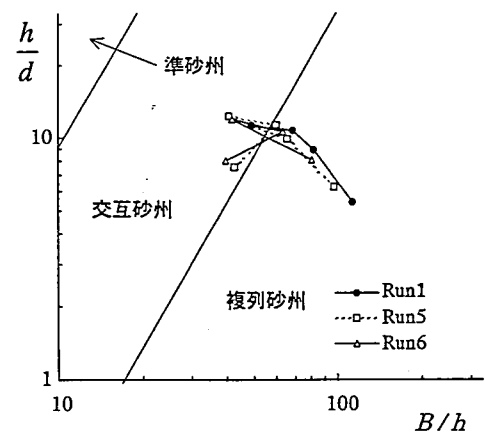
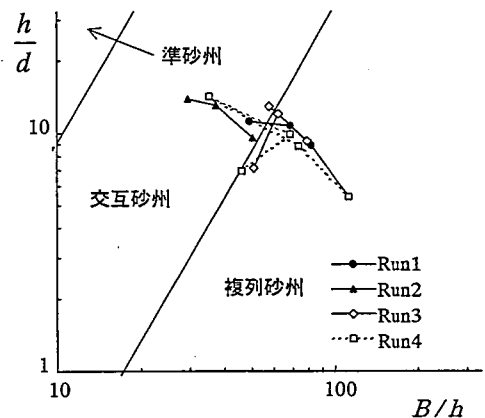


図-6 流量の変化に伴う河床形態の変化