

II-48

移動床急勾配分岐流路における流れと河床の洗掘・堆積

北海道大学 正員 長谷川和義
北海道大学工学部 学生員 水柿 俊直

1. はじめに

山地河川の特徴の一つとして、河道の分岐・合流の発達が挙げられる。分岐河道の入口ではしばしば流路を塞ぐような堆積が見られ、この閉塞堆積によって流路の下流が水の流れていない廃棄河道になっていることが多い。著者ら^{1)~4)}は、閉塞堆積が洪水時に分岐部で発生する跳水によって引き起こされるものと考え、研究をすすめてきている。これまでに、中の島を設けない射流平行分岐水路実験においても流量比と幅比の不整合によって跳水が発生することを、中の島を設けた平坦床の射流分岐水路実験において流砂量比が流量比にほぼ等しくなることなどを確認してきた。本論文は、中の島を設けた急勾配分岐水路に跳水が発生したときに土砂がいかに堆積するかを報告するものである。

2. 実験の概要

2.1 実験条件

実験に用いた水路は長さ13m幅80cmの可傾斜式循環水路である。水路の中ほどに図1に示す形状の分岐を設けている。分岐先端形状は平面(Run1)、三角形(Run2, 4)の2種類とした。これは前報³⁾の固定床実験の形状と同一のものである。底面条件は2種類変えている。すなわち、粗度高約8mmの礫を貼りつけた板(Run1, 2)および粗度をつけない板(Run4)を、それぞれ水路床に上流端から分岐開始地点まで敷き、接近流のフルード数を変えている。分岐部先端には大きめの

礫を直接水路に貼りつけ、先端部河床の極端な洗掘を防ぐようにした。これは観測した白水川などにおいても現実に見られるものである。なお白水川を原型として考えた場合、本実験の縮尺は1/30程度に相当する。主な条件と実験結果を表1に記す。

2.2 実験方法

当初、実験は水路全長にわたり移動床で行う予定であった。しかし予備実験の結果、移動床では反砂堆が発生して、大きいFr数を出すことができず、明確な跳水を発生させ得ないことが判明した。また流砂量もかなり多く、給砂設備の不備からも移動床実験は断念せざるを得なかった。

替わって上流河床を固定状態にして礫を流し、分岐部での堆積状況を調べることにした。その際、初めに大きな流量によって明確な跳水を発生させて流下礫の堆積をはかり、その後流量を変えて堆積・浸食の変化をみることにした。

実験は表1に示すように3ケース行っているが上述のように、1ケース毎に流量を1段階(約32(1/s))

2段階(約17(1/s))

3段階(約7(1/s))

と変化させ通水し、

同時に上流から礫を

投入した。通水時間

は河床形状(堆積状

態)が定常に達する

までとした。1段

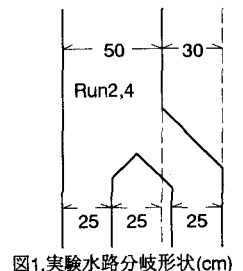
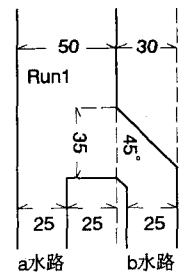


図1.実験水路分岐形状(cm)

表1.実験条件と実験結果

ケースNo	段階	流量	Fr数	流量比(r_v)	給砂量(kg)	流砂量(kg)	流砂量比 r_s	最大堆積高	通水時間
Run1 $i=1/30$	1	31.7 1/s	1.40	0.67	12.73	7.23	0.67	4.5 cm	6分 13秒
	2	17.7	1.41	0.65	12.36	7.77	0.70	4.4	9 33
	3	7.7	1.28	0.70	2.21	1.47	0.85	4.4	40 10
Run2 $i=1/30$	1	33.1	1.51	0.64	18.76	12.63	0.50	4.9	11 30
	2	17.0	1.31	0.65	5.53	3.87	0.50	4.3	21 40
	3	7.3	1.11	0.64	0.19	0.66	0.43	4.3	50 55
Run4 $i=1/40$	1	31.4	2.19	0.62	20.19	16.51	0.45	5.6	15 00
	2	15.6	2.19	0.59	6.43	5.78	0.25	5.3	25 00
	3	7.1	2.43	0.48	0.47	0.71	0.32	5.4	35 00

Experimental study on sediment deposition and erosion in a steep bifurcated channel with partially movable bed

by Kazuyoshi HASEGAWA and Toshinao MIZUGAKI

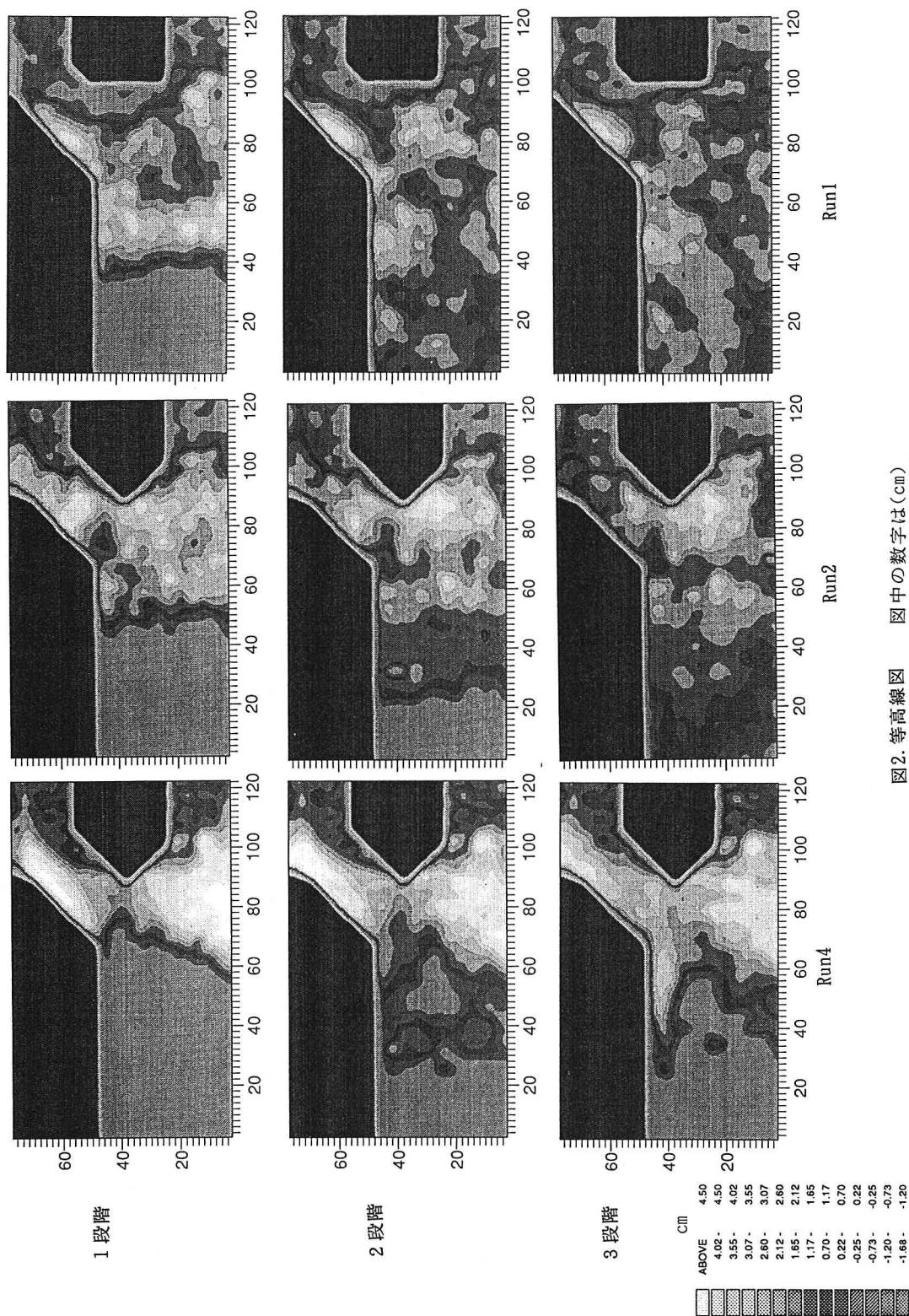


図2. 等高線図 図中の数字は (cm)

階毎に通水を止め、河床形状をポイントゲージで測定した。測定は、分岐を含む120cm区間を2.5cm×2.5cmのメッシュで行った。a,b水路の流量は予備実験で得られたH-Q曲線を用い、水深を測定することにより求めた。流下礫は水路下流端に設置した金網で受け、流砂量を測定した。

実験で得られたデータは、分岐上流水深、河床形状、a,b水路流量、給砂量、a,b水路流砂量、およびこれらから求められる無次元量である。

3. 実験結果

1段階の流量に対し、Run1,2,4ともに分岐部手前で跳水が発生した。Run1,2は上流Fr数が1.7以下で波状跳水が生じ、第1跳水から分岐壁に達するまで2波長の波が確認された。Run4は表面渦を伴う弱跳水が発生し、Run1,2に比べ跳水発生位置が下流に現れた。

図2の一連の図は、各実験の各流量ステージにおける定常堆積地形の等高線図である。すべてのケースに共通していることはb水路の剥離域とa水路の前面に大きな堆積が生ずることである。また流量を減少させるにつれ、堆積が上流に伸びている。これは跳水が上流側に移動するためである。したがって、それぞれの前段階で堆積した領域への新たな堆積は少ない。

また、Fr数が大きいRun4におけるa水路側での堆積が注目される。この堆積は明らかにa水路を塞ぐ形で現れている。これも最初の段階で生じた堆積が一番高く、2,3の段階においては最高堆積部が浸食される傾向にある。

これらのことから、閉塞に至る初めの堆積は何回かの洪水、または長時間の小出水によって徐々に形成されるものではなく、大洪水時に短時間に形成されるものと予想される。

他に共通していることは、河床形状が分岐前部においては堆積、分岐後で洗掘されていることである。これは山地河川の方岐河道に見られる縦断形状と同じである⁵⁾。現地河川でも分岐前が緩勾配、分岐後が急勾配になっていることが多く、分岐上流での堆積、分岐直後での流砂量の減少に対応しているものと考えられる。

4. 考察

図3. は分岐部上流Fr数とa水路側流量比(r_a) ($r_a = Q_a/Q_0$)の関係図である。白ぬきの

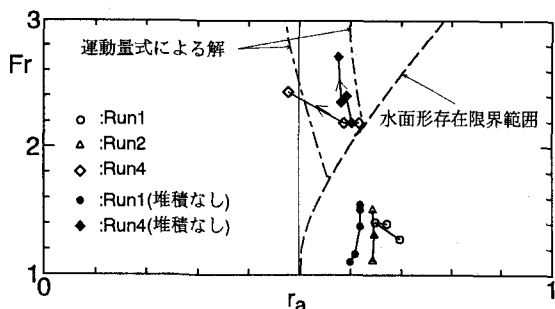


図3. Fr数と流量比の関係

マークが給砂を含む実験値であり、黒色のマークは給砂なしの実験値である。図中の曲線は運動量式から求めた理論値⁶⁾ (一点鎖線、2つ存在)と水面形存在限界値(破線)である。跳水の明確なRun4の給砂無しの実験値は、ほぼ理論線に沿っているが、波状跳水のRun1,2は大きくはずれている。興味深いことは給砂有りのRun4の動きで、3段階目に流量比がもう1つの解の近傍に移り、0.5を下回ってa水路の閉塞傾向が進んでいる。Run1はそれほど顕著ではないが、b水路が閉塞気味である。Run2は給砂なし状態とほぼ同様の変化を示しており、閉塞傾向は現れていない。

図4. はそれぞれのケースにおける(給砂量-流砂量)/給砂量で表した堆積浸食比率である。+は堆積、-は浸食を意味する。全体として段階が進むにつれ、堆積比の下がっていることがわかる。ただし3段階目の値は給砂量と通水時間に大きく左右されている。Run2は-2.6と大きな値になっているが、実際に移動している量は少ない。

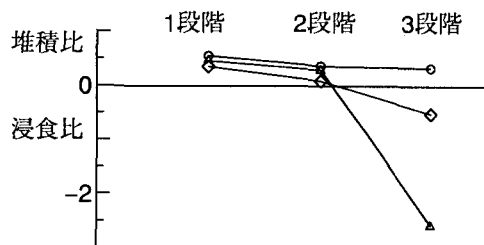


図4.堆積・浸食比の変化

図5. は流量比と流砂量比の関係図である。前報^{3), 4)}の実験より、射流状態での流砂量比は流量比にほぼ等しいことがわかっている。図5.では斜め45°線がこの関係を表している。しかし、どちらかの水路が閉塞傾向にあると、その反対側の水路に流量、流砂

量がともに集中するようになる。すなわち、a水路閉塞ならば $r_a = 0$ $r_{sa} = 0$ に、b水路閉塞ならば $r_a = 1$ $r_{sa} = 1$ に近づく。図5. からRun1については後者の、Run4については前者の傾向がみてとれる。これらは分岐形状の違いによるものと考えられ、現象の相違が45°線を境にして現れている。実験パターンが少ないので明言はできないが、分岐先端が直線の場合はb水路閉塞、三角形の場合にはa水路閉塞が生ずるものと推定できる。しかし現在のところ、この原因を定量的に示すことはできない。今後の課題の一つである。

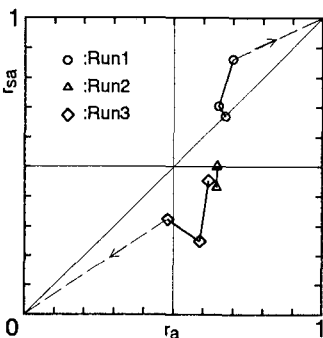


図5. 流量比と流砂量比の関係

とが h_j のほぼ半分程度の値を持っていることである。これより跳水水深がわかれば、それによる堆積高もある程度推測できる。

5. まとめ

今回の実験により以下のことが判明した。

- 1) 閉塞に至る最初の堆積は短時間の大量出水によって形成されるものと予想される。
- 2) その後小流量の流れは最初の堆積に大きく左右され、閉塞に向かう可能性が認められる。
- 3) 特にフルード数が大きいケースにおいては流量比の解の移動が見られ、流路の閉塞傾向が明瞭であった。
- 4) 分岐形状の違いにより閉塞する流路が変化する。
- 5) 跳水内の最大堆積高は、跳水水深のほぼ半分程度である。

6. おわりに

今回は完全な移動床状態ではないものの、流路の閉塞傾向を実験で再現することができた。ただし、どちら側の流路が閉塞に至るか等、重要な点がまだ明確になっていない。今後はこのような閉塞条件を定量的に表現したいと考えている。

謝辞: 本研究は、文部省科学研究費補助金一般(C)「分岐跳水が引き起こす土砂移動停止による山地河道の突然変動機構の解明」(代表 長谷川)の補助を受けた。また図の作成において開発土木研究所河川研究室の援助を頂いた。記して関係者の方々に深謝の意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) 長谷川・納・石川: 射流分岐水路における跳水の発生条件、第36水理講演会論文集
- 2) 長谷川・納・石川: 急勾配分岐水路における跳水の発生と土砂堆積、土木学会北海道支部論文報告集、平成3年度
- 3) 長谷川・水柿・納: 分岐部反力が働く射流分岐水路における流れと土砂堆積 土木学会北海道支部論文報告集 平成4年度
- 4) 長谷川・水柿・納: 射流分岐水路の反力による跳水発生と土砂移動に関する実験・数値解析 土木学会第48回年次学術講演会
- 5) 高橋一浩: 山地河川における分岐流路形態とその変動—白水川調査— 北海道大学平成元年度卒業論文
- 6) K. Hasegawa and T. Mizugaki: Changes of Bifurcated Channels in Mountainous Rivers. Proc. of Workshop on Hydraulic s and Hydrology in Cold Region, 1993

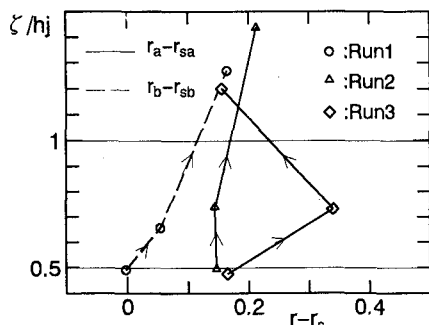


図6. r_s と h_j の関係