

同幅・同角度の分岐混合砂礫水路における流路変動実験

Experiments on channel change at the bifurcated area with same width and angle with heterogeneous bed materials

北海道大学大学院 ○学生員 目黒 嗣樹(Hideki MEGURO)
 北海道大学大学院 正員 長谷川和義(Kazuyoshi HASEGAWA)
 同上 学生員 高野 義智(Yoshitomo TAKANO)
 同上 学生員 中村 健作(Kensaku NAKAMURA)

1. はじめに

本研究は、著者らの大・中・小規模河床波再現実験¹⁾²⁾において観察された分岐部における主流路の交番現象を検証するために、分岐部の抽出実験を行ったものである。主流路の交番現象は、分岐部での閉塞や新流路の形成等と密接に関係しているばかりでなく、下流側の流路形態や土砂動態に大きな影響をおよぼし、山地河川の土砂輸送を解明するうえでカギとなっていると考えている。

分岐流路については、川合³⁾によって流量・流砂量配分比に注目した詳しい研究がなされている。その中で、交互砂州の移動が分岐部での流量・流砂量配分変動に影響するとして、固定床実験で砂州位置を変化させる検証をおこなっている。流路の交番現象については、Bolla, Repetto and Tubino⁴⁾が、一様砂を使用した直線水路の途中に仕切りを取り付けた直線分岐水路実験をおこない、時間とともに左右流路の流量が互いに逆位相で変動していること示している。彼らは、この現象が交互砂州の移動によるものと推察をしているが、理論的な検証はまだされていない。これらは著者らが対象としている山地河川での急勾配、混合砂礫、射流など条件とは異なっている。

山地河川の分岐流路を対象とする研究としては、長谷川⁵⁾が突然変動的に閉塞が起こる現象を解明するために、射流での分岐部固定床実験や平面2次元運動量式による解析を行っており、それらに跳水が関係することを明らかにした。しかし、今回、対象としている流路の交番についてはふれられていない。

今回は、単純な形である同幅・同角度（各20°）の分岐水路を用いて移動床実験を行うことによって、実験的に流路の交番現象について調べようとしている。

2. 実験の概要

2.1 実験方法

実験は、勾配1/15、長さ10m、幅1.2mの木製直線水路の中に図-1に示すような分岐水路を設置して行った。実験砂礫には、タルボット型の粒度分布 $P=(d/d_{95})^n$ （ P : 粒径 d の砂礫の通過重量比率、 d_{95} : 最大粒径）に従う最大粒径3.0cm、べき数が $n=1/4$ の混合砂礫（B砂礫）を使用した。この砂礫を10cmの厚さで平らな状態に敷き詰めて通水を行った。

分岐流路での流量と流砂量は、それぞれの下流端において1分毎にコンテナによる採水、サンドトラップによる採取を行って計測した。また、流量が少なく計測が困難な場合は全体の流量から片方の流量を差し引くことで求めた。

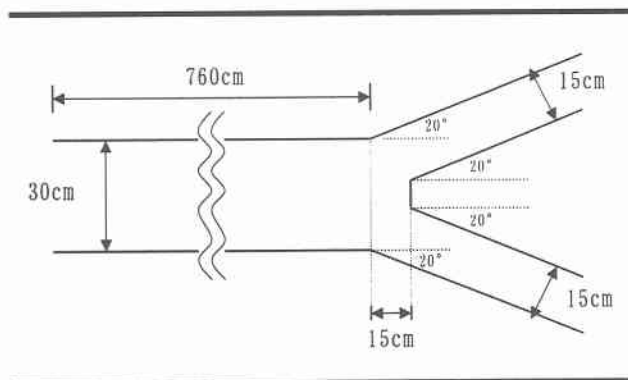


図-1 実験水路の模式図

表-1 実験条件

Run	記号	勾配	実験条件					通水時間 (minutes)
			Q (l/s)	B (cm)	B/H	τ_{*m}	Fr	
BI1-1	○	1/15	2.7	30	14.4	0.140	1.408	30
BI1-2	△	1/15	3.8	30	12.1	0.166	1.519	18
BI1-3	□	1/15	4.9	30	10.9	0.185	1.588	12

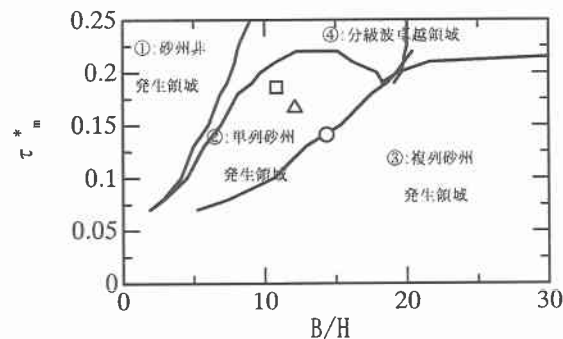


図-2 領域区分図

2.2 実験条件

急勾配混合砂礫水路において砂礫堆形成の条件を与えるために、長谷川・藤田ら⁶⁾による線形不安定解析を行い、図-2のような領域区分図を作成した。これをもとに表-1に示すような実験条件を決定した。表-1と図-2中の記号○、△、□は、幅30cmの直線部分において砂礫堆が発生するであろう領域で、異なる流量の3ケースを設定したものを表す。なお、表-1中の Q 、 τ_{*m} 、 Fr は、それぞれ流量、平均粒径礫（0.6cm）に対する無次元掃流力、フルード数であり、これらを求める際には抵抗則として、Heyの式⁷⁾を用いた。

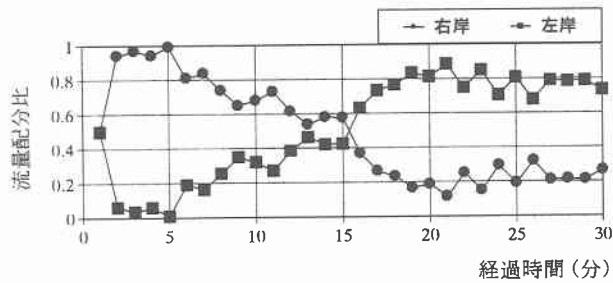


図-3 RunB11-1の下流端流量比

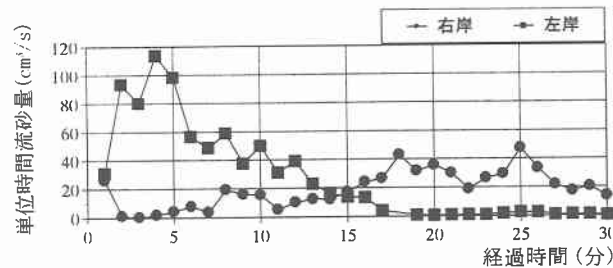


図-4 RunB11-1の下流端単位時間流砂量

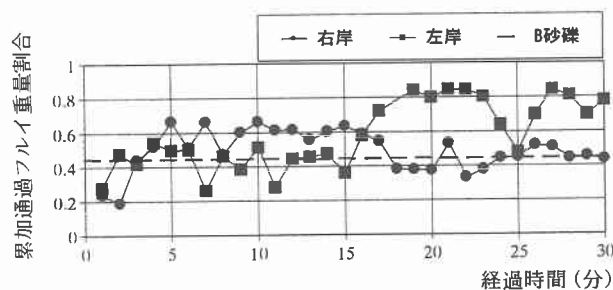


図-5 RunB11-1の流砂粒度分布比較図

また、上流端より河床上昇が起こらないように適宜、量を調節して河床材料と同じ粒度をもつ砂礫を給砂した。

3. 実験結果

3.1 RunB11-1の結果

この通水では、直線部分において明瞭な砂礫堆の形成がみられた。図-6は、水路直線部分の側壁からそれぞれ4cm ($y=48\text{cm}$ と 72cm)の河床高をあらわしたものである。この図より、波長120～200cmの砂礫堆が4つ生じたことが確認できる。(後出の図-11, 14も同様の方法で描いた図である。)

また、この通水中には流路の交番現象が生じた。その様子は、図-3の下流端流量比および図-4の下流端流砂量からわかる。これらの図は、通水開始2分後より右岸側に流量および流砂量が偏るが、15分を境にして流量と流砂量が左岸側に入れ替わっていることを示している。さらに、写真-1(a)～(d)は5分おきの分岐部写真を示している。それぞれ、(a)は完全に左岸側に流量が偏っている様子を、(b)はやや左岸側に流量が偏っている様子を、(c)は両方の流路に同じくらいの流量が流れている様子を、(d)は逆転して完全に右岸側に流量が偏っている様子を示している。

この通水においては、写真-1からもわかるように流路の交番現象に砂礫堆の形成が影響していることがわかる。しかし、流路変動が砂礫堆の移動(前進)が主要因であるかどうかについては、さらに実験的・解析的に検討する必要がある。

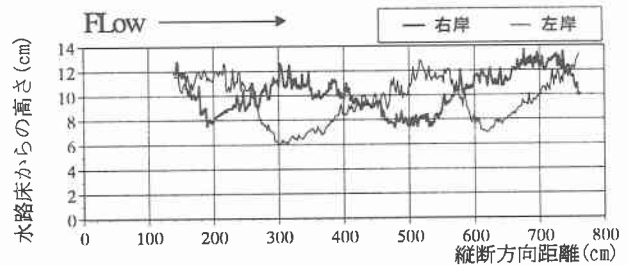
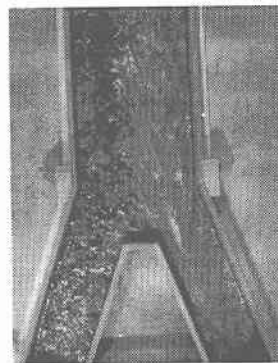
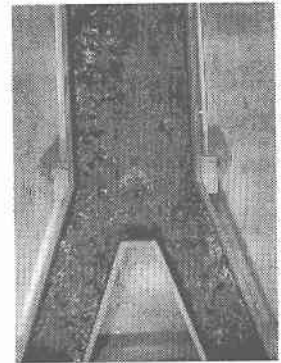


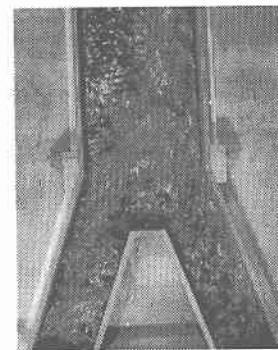
図-6 RunB11-1の左右岸河床高比較図



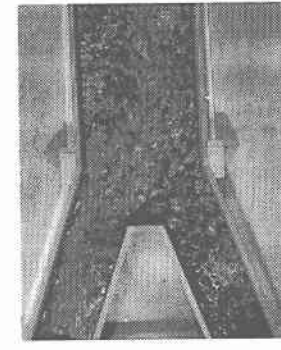
(a) 通水開始5分後



(b) 通水開始10分後



(c) 通水開始15分後



(d) 通水開始20分後

写真-1 RunB11-1の分岐部の様子

る。なぜなら、この実験における15分という時間が砂州半波長の移動時間であるかどうか確認するためには通水時間短いかからである。

図-5は、流砂の粒度分布の時間変化をみるために、今回は1.2mm以下のフルイ通過重量累加割合を用いた。図中の破線は、初期河床材料の1.2mm以下の累加重量割合を示している。この線より上にあるということは細かい粒度であることを示し、下にある場合には粗い粒度であることを示している。(後出の図-9, 13もこれと同様の考えで作成された図である。) 図-5より、流量・流砂量が多い場合には、初期河床材料と同様もしくは少し粗い粒度の流砂が優勢となり、流量・流砂量が少ない場合には初期河床材料よりも細かい粒度をもつ流砂の多いことがわかる。分岐現象が分級を伴う現象であることが理解される。

3.2 RunB11-2の結果

この通水では、砂礫堆の形成と縦横断交互分級波との共存河床形態が発生した。図-10より、波長が180～250cmの砂礫堆が生じたことがわかる。また、写真-2より生じた砂礫堆の背斜面に粗礫がたまり、その対岸の水みち部と砂礫

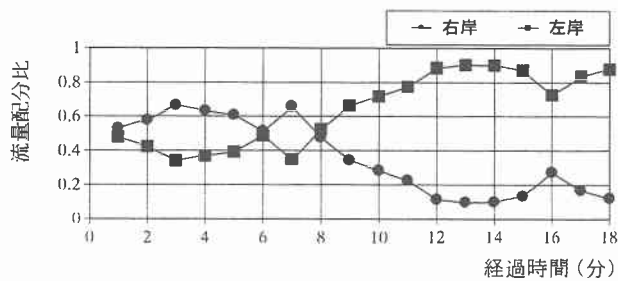


図-7 RunBI1-2の下流端流量比

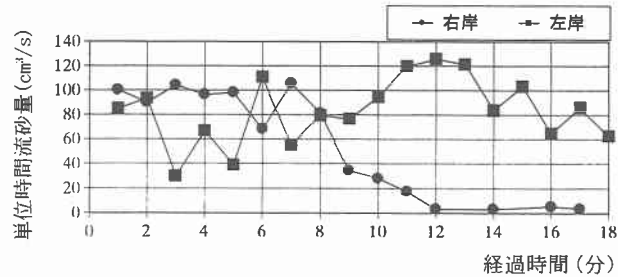


図-8 RunBI1-2の下流端流砂量

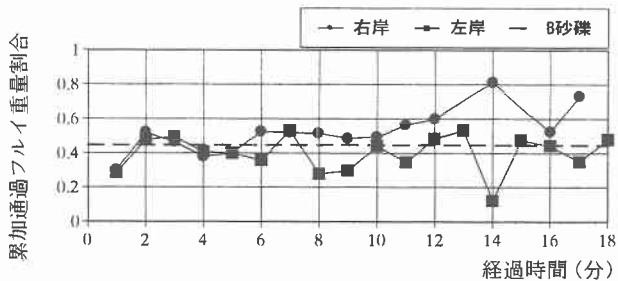


図-9 RunBI1-1の流砂粒度分布比較図

堆の前縁部分には粗礫がほとんどなくて細砂が多いという状態(縦横断交互分級波)が砂礫堆に重なって生じている様子を見ることができる。その波長は、約180cmの砂礫堆の部分で約100cm、約250cmの砂礫堆の部分で約140cmであった。それぞれの波長は、多少バラツキがみられるが、以前に著者らが行った砂礫堆実験⁹⁾での砂礫堆および縦横断交互分級波のものとはほぼ同じ値である。縦横断交互分級波とは、著者らによって行われた砂礫堆形成実験⁹⁾で発見されたもので、河床表層において縦断方向、横断方向交互に粗い部分と細かい部分が現れる河床形態である。

また、この実験においても流路の交番現象がみられた。この様子は、RunBI1-1と同様に図-7の流量配分比および図-8の流砂量より、通水開始より右岸に偏っていた流量・流砂量が8分を境にして逆転し、左岸側に变化したことが確認できる。さらに、若干不明瞭なものの通水開始後8分までの間に数回にわたって流量・流砂量の大小が左右流路で入れ替わっている。この現象は、周期が2～4分と非常に短いことや流量・流砂量の変化量が少ないことから、砂礫堆の移動・前進の影響というよりも、例として、この通水中に生じた縦横断交互分級波などのような別な要因によるものと見る方が妥当であろう。しかし、今回の場合においては図-8の流砂粒度分布の変化では、通水開始8分間で粒度の変化が左右で逆位相になっていないので、分級波が直接影響しているとするのは難しい。

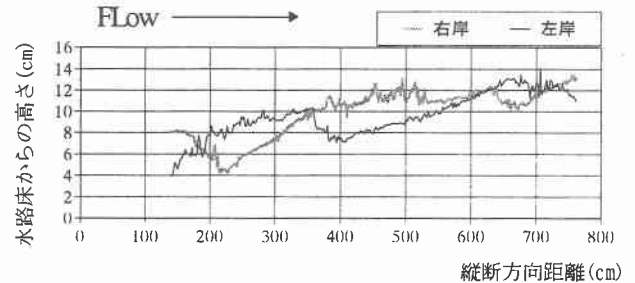


図-10 RunBI1-2の左右岸河床高比較図

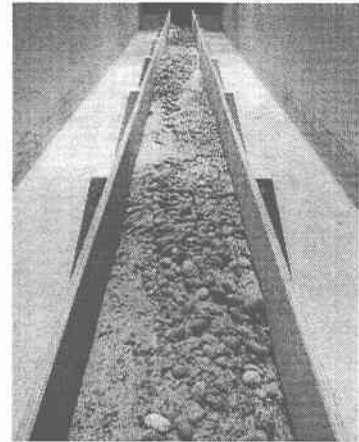


写真-2 RunBI1-2 通水終了後の河床

3.3 RunBI1-3の結果

この通水では、通水開始初期から、激しく土砂が流れており、通水中に河床波の発達を観察することはできなかった。また、停水前に水路上流部分で急激に河床低下が進行して、敷いてあった砂礫がすべて流出してしまい、水路床が見えてしまった。

実験後の河床は、図-14に示すように左右岸とも高低差がほとんどない平らな状態である。水路上流部において敷いてあった砂礫がすべて流出してしまったので、水路前面で形成されていたかどうかはわからないが、分岐部から2m上流付近から分岐部にかけて縦横断交互分級波が生じたと思われる。その様子は、写真-3より確認できる。

図-11から流量は通水時間の間ほとんど変動していないことが、図-12より流砂量については通水初期には左右流路で違いが生じているが時間経過とともに変動しなくなっていることがわかる。図-13の流砂粒度分布も左右岸で変化に違いはほとんどみられないが、6～12分の間で若干ではあるが粒度分布が左右岸で入れ替わる(変動が逆位相をもつ)様子がみられる。この変動は、河床形態に縦横断交互分級波が見られたことや、変化が流砂の粒度分布に見られることから、分級波の形成と移動(前進)の影響を反映したものであったと考えられる。

4. おわりに

実験結果より、以下のようなことがいえる。

- [1] 分岐部の流路交番現象には、砂礫堆(交互砂州)の形成が影響している。しかし、その移動(前進)と変動周期が

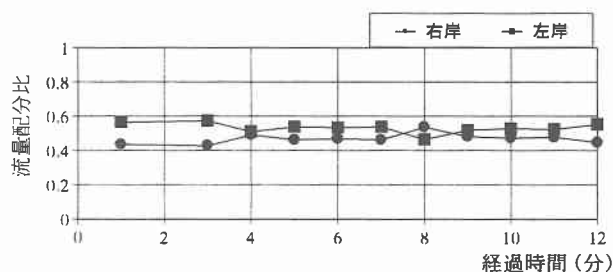


図-11 RunB11-1の下流端流量比

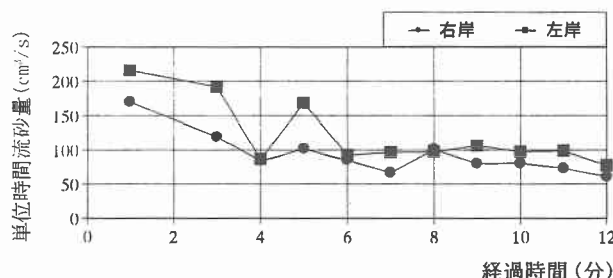


図-12 RunB11-1の流砂粒度分布比較図

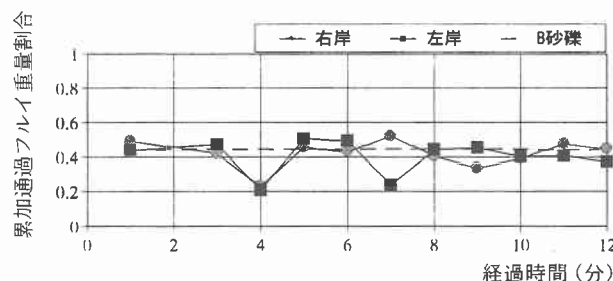


図-13 RunB11-1の流砂粒度分布比較図

直接関係をもつかどうかについては、実験的には長時間通水実験を行い砂礫堆の移動速度を調べるなどのさらなる検討が必要である。

- [2] RunB11-2やB11-3のように、通水終了後の河床より縦横断交互分級波の形成がみられること、RunB11-3においては流砂粒度分布の変化が若干みられたことから通水中に、縦横断交互分級波の形成・進行が分岐部流路変動に影響していることが考えられる。この場合においても、実験等で移動速度を調べる必要がある。
- [3] 流路の交番現象の要因としては、上記の砂礫堆の移動および縦横断交互分級波の移動、さらに分岐部の局所的な地形の影響による流砂と流量の配分比の変化などが考えられる。これらの影響を考慮した解析モデルを構築することで流路変動周期の予測、下流への土砂配分を予測することが望まれる。
- [4] 今回の実験は、最も単純な同幅・同角度分岐のケースで、しかも砂礫堆の形成領域のみで行った実験である。分岐部での流路変動機構を解明するためには、今後、幅比や分岐角度の異なるケース、複列砂州形成領域、非砂州領域などで実験・解析を行ってデータの蓄積をする必要がある。

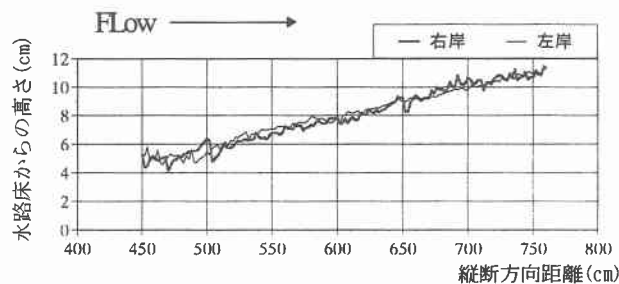


図-14 RunB11-1の左右岸河床高比較図

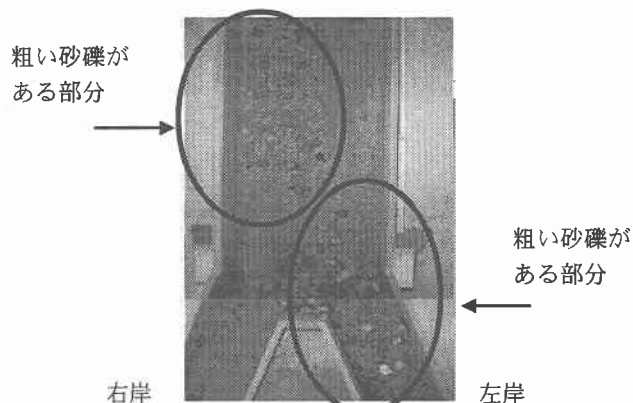


写真-3 RunB11-3 通水後の分岐部の河床

謝辞:本研究は、平成13年度科学研究費補助金基盤研究(c)(2)(課題番号:13650558, 研究代表者:長谷川和義),ならびに(財)北海道河川防災センター平成13年度研究の助成を受けて行われた。記して関係の方々に謝意を表す。

参考文献

- 1) 目黒嗣樹・長谷川和義・大塚剛史・竜澤宏昌:山地河川に見られる大・中・小規模共存河床形態の再現実験, 水工学論文集, 第45巻, pp. 733-738, 2001.
- 2) 目黒嗣樹・長谷川和義・大塚剛史・竜澤宏昌:山地河川に見られる河床形態と網状流路の再現実験, 土木学会北海道支部論文報告集, 第57号, pp. 324-327, 2001
- 3) 川合茂:開水路分岐部における流量・流砂量配分に関する研究, 京都大学学位論文, 1991.
- 4) Bolla Pittaluga M., Repetto R. and Rubino M., Channel Bifurcation in One-dimensional Models: A Physically Based Nodal Point Condition, Symposium on RIVEER, COASTAL AND ESTUARINE MORPHODYNAMICS, IAHR, pp305-314, 2001.
- 5) 長谷川和義:分岐部跳水がひき起こす土砂移動停止による山地河道の突然変動気候の解明, 平成5年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書
- 6) 藤田豊彦・長谷川和義・目黒嗣樹・竜澤宏昌:急勾配混砂礫床における中規模河床形態の領域区分, 土木学会北海道支部論文報告集, 第56号(B), pp. 292-297, 2000.
- 7) Hey, R.D.: Flow resistance in gravel bed rivers, journal of Hydraulic Division ASCE, Vol.105, No.4, pp.365-379, 1979.
- 8) 目黒嗣樹・長谷川和義・藤田豊彦・竜澤宏昌:急勾配混砂礫水路における中規模河床波と流砂量に関する実験的研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第56号(B), pp. 298-303, 2000.