

山地河川における河床形態と土砂移動に関する実験的研究

Experimental study of bedforms and bedload transpotation found in moutain rivers

北海道大学工学部 ○学生員 大塚 剛史(Takeshi Ohtsuka)
北海道大学大学院 正 員 長谷川和義(Kazuyoshi Hasegawa)
北海道大学大学院 学生員 目黒 嗣樹(Hideki Meguro)
水資源開発公団 正 員 竜澤 宏昌(Tatsuzawa Hiromasa)

1. はじめに

近年、山地域における土砂の生産輸送に関する問題があらためて注目を集めている。土砂災害の多発や自然環境をとりもどしたいという要求の高まりによって、土砂の流域全体にわたる無理のない輸送が求められるようになったためである。山地河川にはさまざまな河床形態が見られ、それぞれが土砂の流出に強くかかわっているものと考えられる。しかし、それらに対する研究は日が浅く少数にとどまっている。特に、網状流路をとまなう大規模河床形態といわれる形態と流砂量の関係についてはほとんど知られていない。最近著者ら^{1) 2)}は、山地河川における大規模河床波が大きな出水時に形成される複列砂礫堆によるものと考えてこれを生成し、その後に中小規模の流量を流すことによって大・中・小規模の共存河床形態を実験的に再現させることに成功した。現れた河床形態は山地河川における実測形状によく似ており、山地河川の模擬あるいは代替として利用できるものと考えられる。

本研究は、これらの実験において得られた水路末端流砂量、各通水終了後の河床形状・流路幅などを用いて流砂量の流路沿い分布を算定し、河床形態との関係を調べようとするものである。流出流砂の粒度分布の特性についても検討している。

2. 山地河川模擬実験の概要

ここで取り上げる二つの実験は異なる水路を用いて実施されたものであり、詳細は文献^{1), 2)}において紹介されている。概要を述べると、RunL2実験は、幅60cm、長さ20mの片面アクリル製木製水路を用いて実施されている。これに最大礫径1.5cmのタルボット型粒度分布($n=1/4$)を有する混合粒径砂礫を河床勾配が1/20になるように敷き詰め、初期幅30cmの溝を切って1.78℥/秒の流量をあたえ複列砂礫堆・8の字流路を発生させた。砂礫堆形成が一段落した後に形状を測定(流下方向5cm、横断方向1cm間隔)し、その後、RunL2-2として当初流量の1/2程度の流量を通水して流路の変動を調べた。流砂量は水路末端にふるいを置き、RunL2で2分ごとに、RunL2-2で5～10分ごとに計測した。

一方、RunL4実験は、幅120cm、長さ10mの木製水路を用いておこなわれた。これに上記と同じ混合砂礫を河床勾配が1/15になるように敷き詰め、初期幅30cmの溝を切って2.09℥/秒の流量をあたえ複列砂礫堆(3列)を発生させた。RunL4-1としておこなわれた実験は、形成された複列

表-1

Run	勾配	Q(l/s)	B/H	τ^*m	Fr	通水時間(分)
L2	1/20	1.78	20	0.152	1.037	10
L2-2	1/20	0.9	12	0.126	0.935	83
L4	1/15	2.09	18.4	0.165	1.252	6.5
L4-1	1/15	0.843	10.2	0.149	1.001	70

砂礫堆・網状流路に流量0.843℥/秒の通水をはかったものであり、それぞれ河床形状(流下方向5cm、横断方向1cm間隔)と流砂量(前者1分ごと、後者5分ごと)がはかられた。表-1は、これらの実験条件と主要水理量をまとめて示したものである。流路幅は直接計測が難しく、次のような二つの方法で推定している。その1は、局所的に等流が成り立っているものとしてHeyの平均流速式と流量から流積を求め、河床計測データから得られる流積とが一致するように水深を定めるものである。その2は、流路・河床が安定した後に水際にマチ針による印をつけ、停水後にその位置を計測することによって求める方法である。

3. 流路沿い流砂量分布の算定

3.1 形成流路と河床形態

図-1(a)は、RunL2-2の終了時に見られた流路・河床状態を示すものである。平均勾配を差し引いた等高線の濃淡によって描いてある。図に見られるように、波長約2mの複列砂州と8の字状の流路が明瞭に認められる。それぞれの流路上には中規模・小規模の河床波が重なって存在しており、主流路に沿って測った縦断河床高変化を表す図-1(b)においてこれらの重なりが鮮明にとらえられている。このときの流路幅を前述の方法1によって求めると図-1(c)のようになる。縦断河床高変化と比較すると、大規模波すなわち複列砂礫堆の高まりと同じ位相をもって流路幅の変化が繰返されている。これは砂礫堆の高まりとともに流路が分岐し、2本分の流路幅がカウントされるためである。

一方、図-2(a),(b),(c)は、それぞれRunL4-1終了時の流路・河床状態、主流路沿い縦断河床高変化、流路幅変化を示すものである。ただし、流路幅の測定は前述の方法2によっている。この場合にも、複列砂礫堆の形成に対応して波長約2m程度の大規模波が認められる。しかし、小規模波の重なりは明瞭であるものの中規模波の現れが弱いようである。流路幅は、流入端から $x=590cm$ ほどまでほとんど

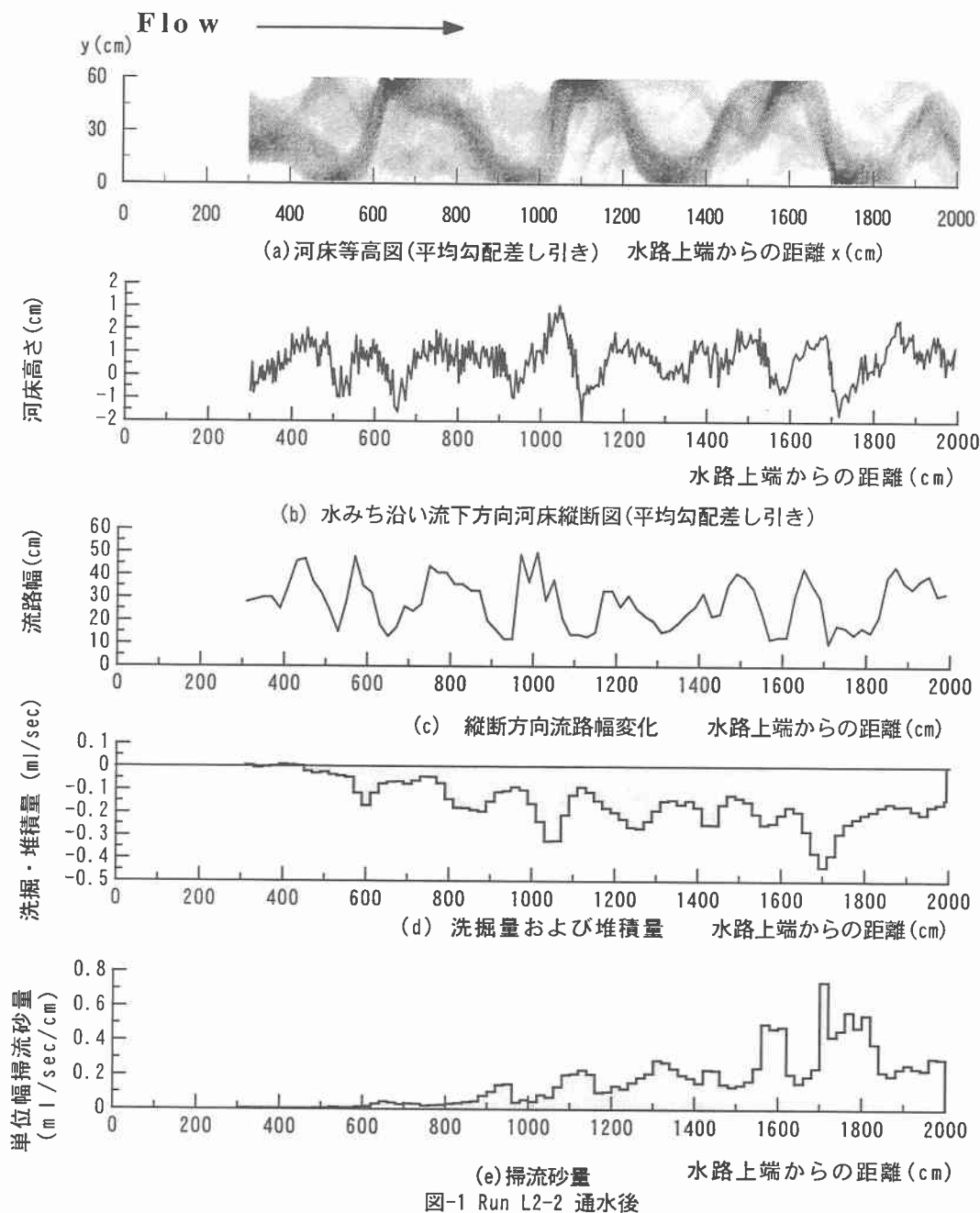


図-1 Run L2-2 通水後

ど変化していない。これは、同区間における砂礫堆の発生が弱く波高が小さいことにもよるが、主流路の河床低下が進行して分岐流路の片側に水が流れなくなり閉塞が生じたためである。下流側区間における流路幅と河床高変化の対応はRunL2の場合と同様であるが、幅変化の波がやや下流側にずれて現れている。

3.2 流砂量分布の推定

図-1 (d) および図-2 (d) は、それぞれRunL2 とRunL4 について、複列砂礫堆発生時の河床計測値と小流量通水による変形後の河床計測値を用いて、場所場所の流路横断面積の増減を求め、測線間隔を乗ずることによって簡略的に砂礫洗掘量の増減を算定した結果を示すものである。洗掘・堆積があらわす波の波長は、大規模波の波長にほぼ一致している。

RunL2では、砂礫堆積の極大点が大規模波頂点の上流側斜面(緩勾配部)に生じており、洗掘の極大点が大規模波頂点の下流側斜面(急勾配部)に現れている。この場合、砂礫堆の大規模波は上流側に移動する形となろう。これに対しRunL4においては、砂礫堆積の極大点が大規模波頂点の下流側斜面(急勾配部)に生じており、洗掘の極大点が大規模波頂点近傍あるいはその上流側斜面(緩勾配部)に現れている。これは、大規模波が次第に下流側に移動していることを示す。

次に、図-1 (e) は、水路末端流砂量と図-1 (d) の結果を用いて流砂連続式からRunL2-2における各点の単位幅流砂量を計算した結果を示すものである。同図(b)、(c)との比較から、流砂量の極大値が大規模波の谷部、流路幅の極小部において現れ、流砂量の極小値が大規模波のほぼ頂部、流路幅の極大部に現れていることがわかる。つまり、流砂量の増減と河床起伏とは逆位相の関係になっている。こ

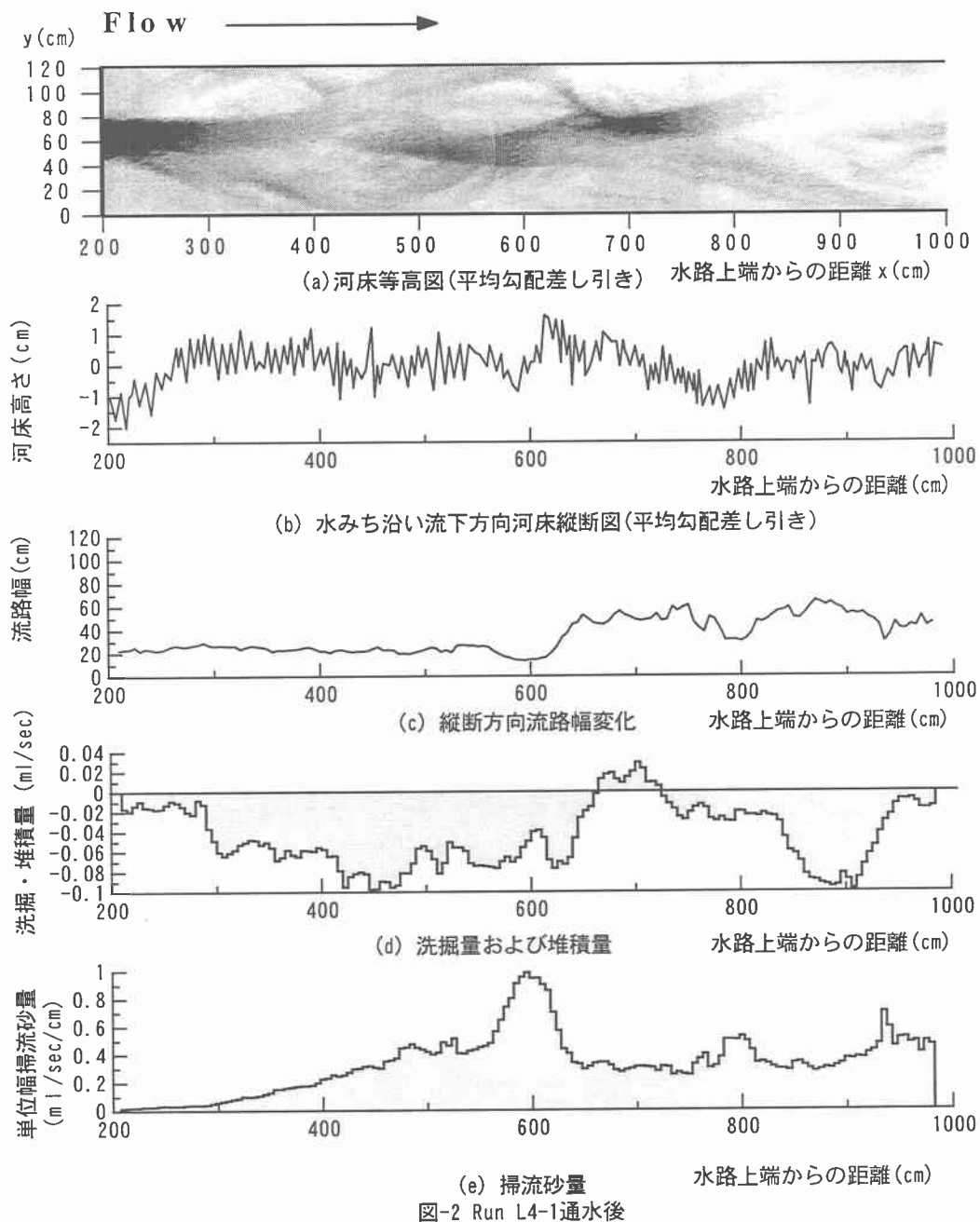


図-2 Run L4-1通水後

のため、前述の起伏の上り斜面において堆積が、下り斜面において浸食が生ずるものといえる。同じく、図-2(e)は、水路末端流砂量と図-2(d)の結果を用いて流砂連続式からRunL4-1における各点の単位幅流砂量を計算した結果を示すものである。対応が必ずしも明瞭ではないが、同図(b)、(c)との比較から、流砂量の極大値が大規模波の頂部近く、流路幅の極小部に現れ、流砂量の極小値が谷部近傍、流路幅の極大部に現れていることがわかる。この場合は、流砂量の増減と河床起伏とは同位相の関係になっている。このため、前述の起伏の上り斜面において浸食が、下り斜面において堆積が生ずるものといえる。また、閉塞が起こり、河床勾配が単調になったX=400cm付近を見ると、洗掘量・掃流砂量とともに単調化している。以上の結果は、小流量時においても流砂現象が大規模波の影響を強く受けることを示唆するものであり重要である。

図-3は水路末端流砂量の時間変化を示すものである。

RunL4の最初の2分間の流砂量がRunL2に比べて小さなっている。RunL2では通水開始時点で河床表層まで十分に水が浸透していたのに対し、RunL4の場合では河床表層部分が乾燥していた。そのため、浸透するまでの間、表層を流れる流量が少なくなり、掃流力の低下が起こったと考えられる。また、RunL4及びRunL2ともに通水開始から5分後に末端流砂量が減っているのは、下流端で中州の発達した時間に近いことから、砂礫が堆積し中州の形成に使用されたと考えられる。RunL2-2、RunL4-1はともに河床の安定化が進むにつれて流砂量が減少している様子を示している。RunL4-1のグラフに極値が2つ見られるのは、流路が左右に振れることによって、河床から再び流砂が発生したためだと考えられる。図-4と図-5は採取した流砂の粒度分布を時間ごとに示すものである。RunL2に比べてRunL4の方の粒度分布が粗いのは、下流側で砂礫堆の発達が顕著であったためであると考えられる。

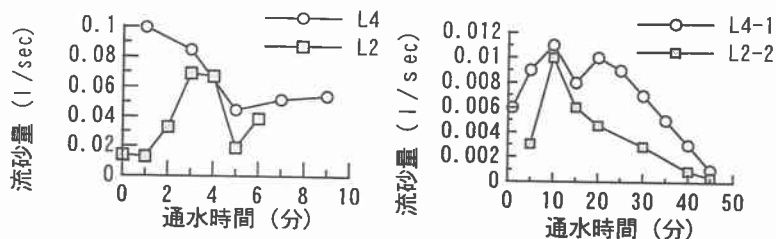


図-3 末端流砂量推移グラフ

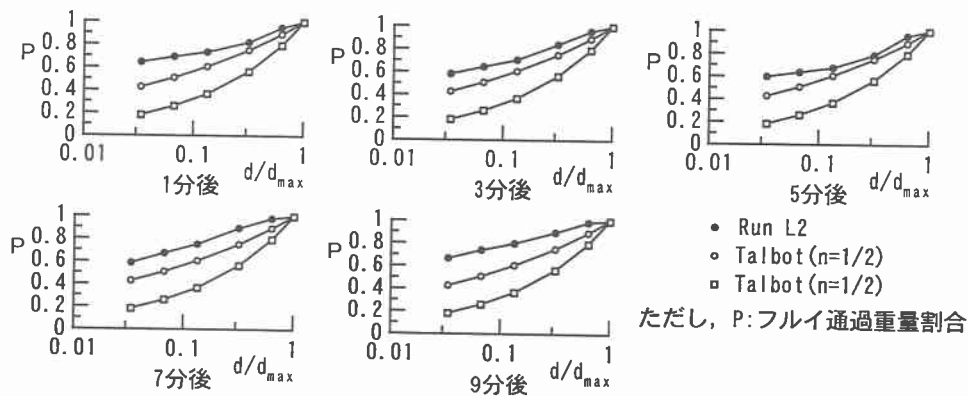


図-4 Run L2 末端流砂の粒度分布

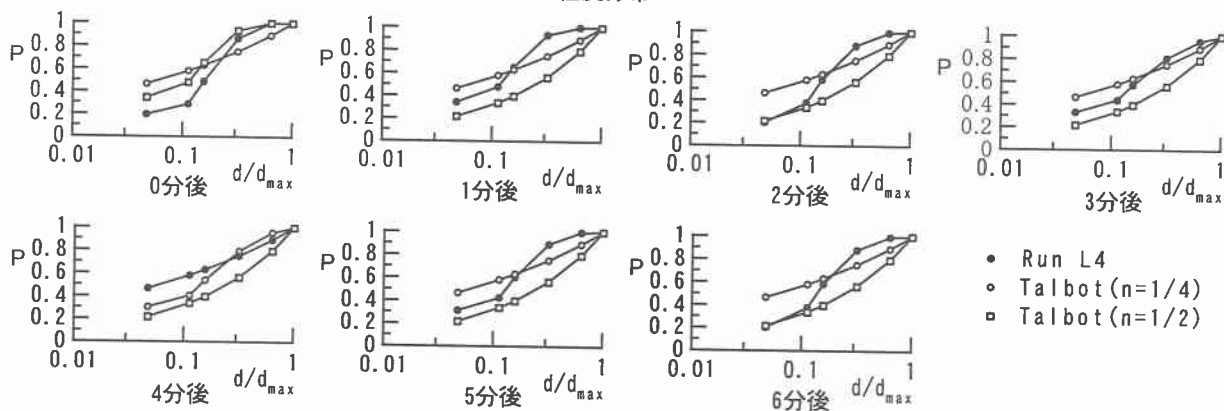


図-5 Run L4 末端流砂の粒度分布

4. まとめ

- (1) 洪水流を想定した流量によって形成された大規模河床波は、その形成後、つまり流量が減った後も土砂移動に大きく影響していると考えられる。
- (2) 流路が閉塞し単調化してしまうと、土砂移動だけではなく流路幅及び洗掘・堆積量変化も単調化する。

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, 2000. (投稿中)
- 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集., 第57号, 2001 (投稿中)