

株式会社大林組 正会員 ○篠原哲也
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 吉武央気
 広島大学大学院社会基盤環境工学専攻 フェロー会員 河原能久
 広島大学大学院社会基盤環境工学専攻 正会員 椿 涼太

1. 序論

わが国では、水害の少ない安全、安心な河川を目指した整備が進められてきた。しかし近年、豪雨災害が多発しており、中小河川の被災事例も多く、河川の安全が十分に確保されていない。特に急流河川においては、大洪水だけでなく、中小洪水であっても、その勾配の大きさゆえに流速が大きく、急激な水位上昇に伴う激しい土砂輸送が生じる。このため、予想できない河床洗掘、流路変動が生じ、堤防破壊などが発生しやすく護岸設計法の改善が求められている。しかし、急流河川に関する調査や研究は十分行われていない現状である。そのため、急流河川における土砂輸送のメカニズムの解明と護岸設計法の確立が急務になっている。一般的に急流河川は、河床材料が大小様々な粒径で構成されており、大きな掃流力によって河床変動を生じる等の特徴があるが、これらの特徴を模した礫や混合粒径からなる急勾配水路の実験はあまり行われていない。

そこで、本研究は、急流河川における河床変動と土砂輸送のメカニズムを解明することを目的として、砂と礫、さらにその混合粒径からなる急勾配水路を用いて河床変動を伴う水理実験を行う。

2. 実験概要

本研究では勾配 1/50 の直線水路と蛇行水路において実験を行った。図-1 に実験水路の概要を示す。直線水路での実験は交互砂州を形成、発達させた。また、蛇行水路は蛇行度 1.06、波長 2.10m の Sine-generated curve を 4 波長設け、河床材料として砂、礫、さらにその混合粒径の三種類で実験を行った。実験条件を表-1 に示す。直線水路、蛇行水路ともに、上流端には緩やかなスロープを設け、土砂の供給は行わなかった。また、下流端には段落ちを設けた。実験前後に河床高を、実験後に下流端からの流出土砂量を計測し、河床変動についての特性を把握した。

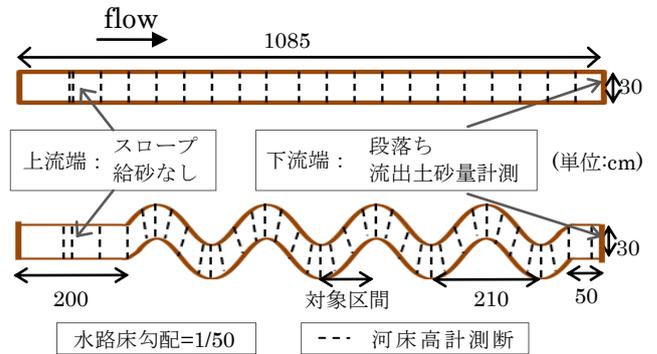


図-1 実験水路(上:直線水路, 下:蛇行水路)

表-1 実験条件

Case	水路形状	河床材料	流量 (l/s)	時間 (min)
A-1	直線	砂	1.0	6
A-2			1.0	12
B			2.0	10
C-1	蛇行	礫	6.0	10
C-2			8.0	30
D-1	蛇行	混合	6.0	10
D-2			8.0	10

混合粒径からなる蛇行水路において、図-1 の対象区間(x=564cm~667cm)の河床表面から 1cm 程度の土砂に色を付けた実験を行った。礫には赤色、砂には青色を付け、洗掘・堆積部の礫と砂それぞれの動きについての検討を行った。

色付き砂礫を用いた実験条件を以下に示す。

Case1 対象区間全体の礫

Case2 対象区間全体の砂

Case3 対象区間左岸(堆積部)の砂、右岸(洗掘部)の礫

Case4 対象区間右岸(洗掘部)の砂、中央の礫

に色付きの砂礫を使用し、土砂の動きを把握する。

3. 実験結果と考察

3.1 直線水路

図-2に直線水路における実験前後の河床変動量を示す。図-2(a)より、河床変動量、砂州の位置、波長が不規則であることが分かる。これは、初期河床高の僅かな凹凸により発生した洗掘および堆積の影響である。しかし、図-2(b)では、河床変動の発達に伴い、河床変動量や砂州の位置、波長が規則的になり、交互砂州が形成されていることが確認できる。また、砂州は下流側から上流側に向かって発達し形成していることを確認した。

図-3に交互砂州の半波長 λ_B に関する関係図を示す。この図より、本研究の実験値は、緩勾配における実験値と同程度であることから、砂州の波長は勾配に依存しないと示唆される。

3.2 蛇行水路

蛇行水路での実験前後の河床変動量を図-4に示す。図より、蛇行外岸側において洗掘が起き、一方、蛇行頂部内岸側の下流部において堆積していることが確認できる。これは、蛇行外岸側においては、遠心力と水面勾配の作用により二次流が底面付近で外岸から内岸向きに発達するためである。逆に内岸側においては、流れが遅く、土砂が下流へ流れずに上流から流れてくる土砂が堆積するためである。また、実験中の観察より、洗掘堆積が起き始める時間、変動箇所や量は、蛇行区間の全体で違いがほとんど無いことから、蛇行水路での河床変動は主に水路の平面形状により規定される。さらに、CaseD-1とCaseD-2を比べると、流量が大きくなると洗掘や堆積の量は多くなるが、洗掘や堆積の起きる場所や形状はほぼ相似であることが確認できる。

CaseC-1とCaseD-1、またCaseC-2とCaseD-2を比べると、一様礫河床より混合粒径河床のほうが洗掘や堆積の量が多いことが確認できる。これは、一様礫河床に比べ砂が混じることにより平均粒径が小さくなることと、粒径の小さい砂が動くことによって、礫が孤立し動きやすくなっているためだと言える。また逆に、砂粒子については、一様砂河床と混合粒径河床を比較すると、混合粒径河床のほうが礫の遮蔽効果やアーミングより砂粒子は動きにくくなる。

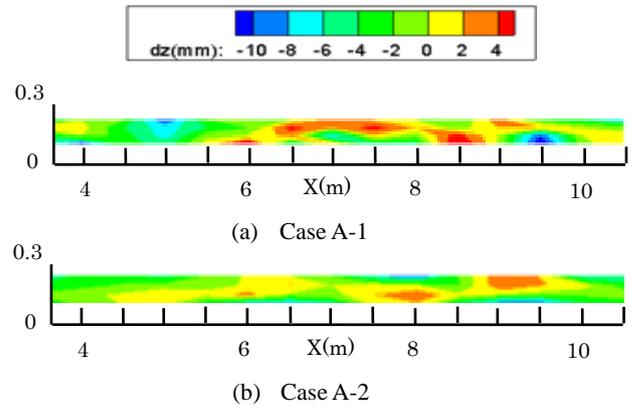


図-2 実験前後の河床変動量(直線水路)

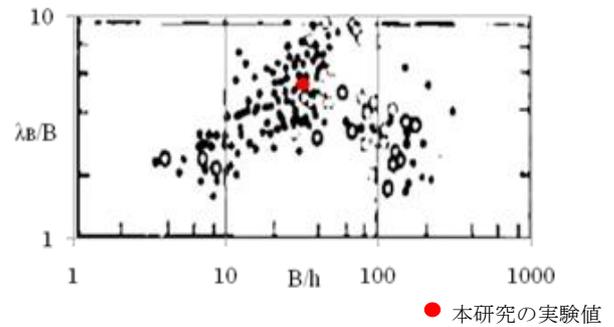


図-3 既往の研究との比較¹⁾

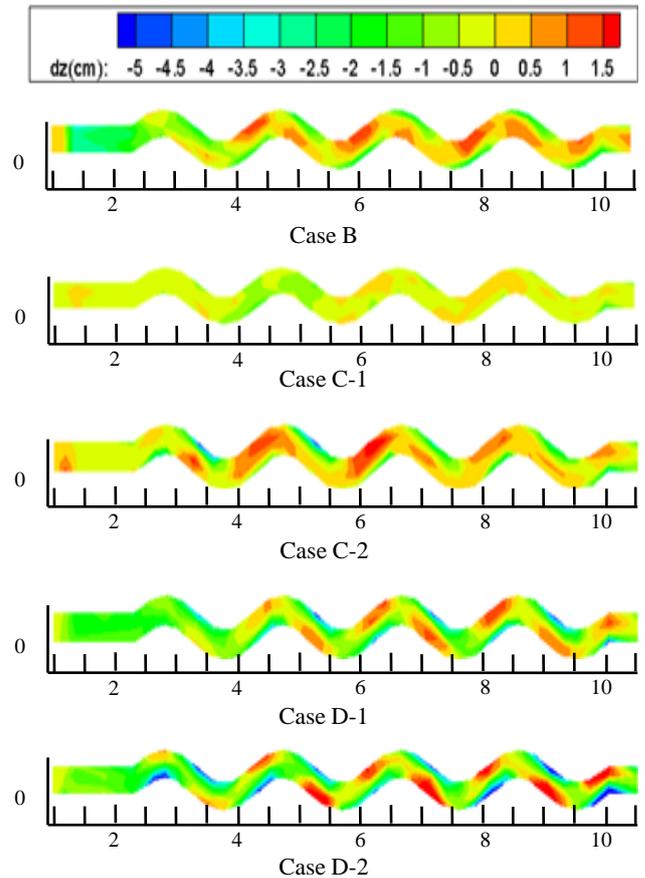


図-4 実験前後の河床変動量(蛇行水路)

3.3 混合粒径河床の粒径分布

混合粒径河床の上流部分の表層での粒径分布を写真-1に示す。上流端の直線区間は下流側の蛇行区間に比べ、表面はほとんど礫で構成されており粗粒化している。これは、上流部では流速が遅く水面勾配が小さいため掃流力が小さく、礫は動かず砂だけが動くためである。

CaseD-1とCaseD-2の実験後の河床表面を写真-2、写真-3に示す。写真より、洗掘部では粗粒化が起きており、堆積部では細粒化が起きていることが確認できる。洗掘部では強い流れが壁に当たり強い二次流生じているため、始めは砂も礫も流出する。しかし、ある程度洗掘が進むと水深が大きくなり、掃流力が小さくなり粒径の小さい砂は流され河床表面には礫しか残れずに粗粒化が生じる。逆に、内岸側の堆積部の周辺は、流れが遅く掃流力が小さいため、礫を移動することはできないが、砂粒子は掃流されて堆積して砂の堆積域を形成する。

CaseD-1とCaseD-2を写真-2、写真-3で比べるとCaseD-1は堆積部の表面に砂が分布し、それ以外の所は礫が多く分布しているが、流量の多いCaseD-2では砂が多く分布していることが確認できる。これは、CaseD-1において水路中央では礫の移動限界を超える流れが起きず、礫が多く分布する。CaseD-2において礫の移動限界を超える流れが広く存在し、礫が移動し続けるためである。これより、流量により河床表面の粒径分布が変化するということが言える。

3.4 色付き砂礫を用いた実験

色付き砂礫を用いた実験(写真-4)により、砂と礫それぞれ動きを把握した。対象区間の右岸側(洗掘部)より流出した礫と砂は、直下流の堆積部へと動こうとするが、流れが穏やかな堆積部には砂しか移動できない。また、堆積部に堆積した砂は安定する河床高を超えると、少しずつ下流側の洗掘部へ移動していき、洗掘・堆積を繰り返す。礫は流れの速い水路中央から対岸の洗掘部へと流出し停止する。このため、水路中央の河床表面で礫の集合体ができ土砂輸送が起きにくくなる。

対象区間の左岸側(堆積部)の初期河床は流出することがなく、その上に上流側から掃流された砂が堆積することを確認した。



写真-1 上流部分表層の粒径分布



写真-2 実験後の河床表面 (CaseD-1)



写真-3 実験後の河床表面 (CaseD-2)



写真-4 色付き砂礫を用いた実験 (Case1)

4. 混合粒径土砂の輸送形態

本実験条件での混合粒径土砂の輸送形態について、実験結果より得られた知見を以下にまとめる。

4.1 洗掘・堆積

洗掘や堆積の概念図を図-5((a)断面図, (b)平面図)に示す。実験開始から洗掘部では砂、礫が共に流出し始める。ある程度洗掘が進むと、流出しなかった礫同士が河床表面に集合体を形成し、洗掘が抑えられる。

流出した礫と砂は、直下流の堆積部へと動こうとするが、流れが穏やかな堆積部には砂しか移動できない(図(b)中の青矢印)。また、堆積部に堆積した砂は安定する河床高を超えると、少しずつ下流側の洗掘部へ移動していき、洗掘・堆積を繰り返す(図(b)中の緑矢印)。また、堆積部の初期河床は流出することがなく、その上に上流側から掃流された砂が堆積する。礫は流れの速い水路中央から対岸の洗掘部へと流出し停止する(図(b)中の赤丸)。このため、水路中央の河床表面でも礫の集合体ができ土砂輸送が起きにくくなる。

4.2 一様礫河床と混合粒径河床

本研究の実験条件では、一様礫河床より混合粒径河床での実験の方が洗掘・堆積量が多い結果になった。それぞれの河床材料における土砂輸送の違いを図-6((a)一様礫河床, (b)混合粒径河床)に示す。

一様礫河床では、礫同士のかみ合いにより、移動しようとする礫を周りの礫が止めるような状態になり、全体として土砂輸送が抑えられる。

本実験の混合粒径河床は、礫と砂粒子の粒径差が大きいため、始めに河床表面の砂粒子が掃流される。すると、河床表面には周りに支えの無い孤立した礫が残り、一様礫河床よりも小さい掃流力で移動する。さらに、孤立した礫の底面にある砂全体が移動しようとするので底面摩擦が小さく、礫が動きやすくなっている。

5. 結論

一様粒径河床と混合粒径河床での実験により、河床変動量の違いを確認した。また、色付き砂礫を用いた実験により、砂と礫それぞれの動きを把握した。

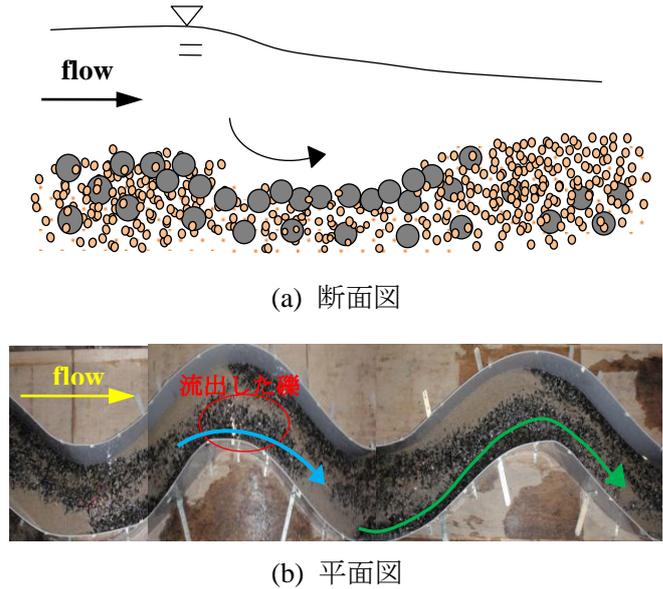


図-5 洗掘・堆積の概念図

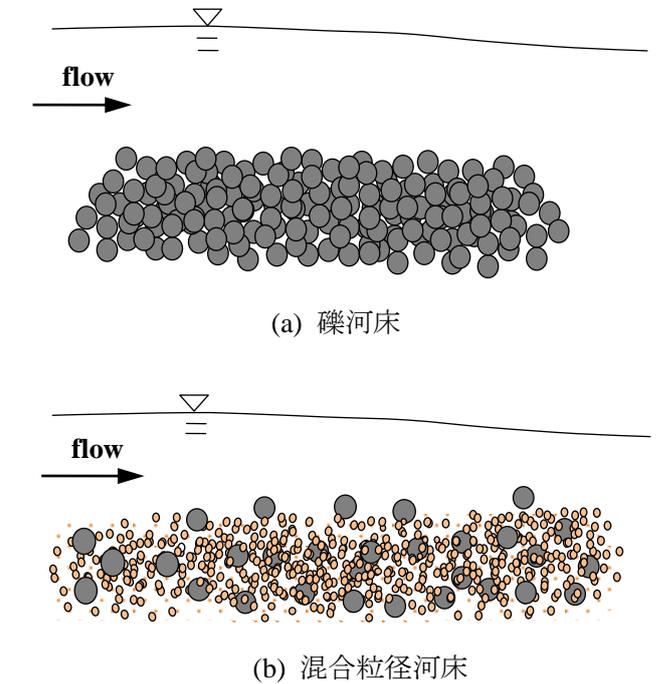


図-6 各河床材料の土砂輸送の違い

参考文献

1) 村本嘉雄・藤田裕一郎：中規模河床形態の分類と形成条件，第22回水理講演会論文集，土木学会，pp.329-337，1978.