

第Ⅱ部門

礫河床への砂供給による砂礫の移動と流路変動

舞鶴工業高等専門学校 学生員○山田啓太郎
 舞鶴工業高等専門学校 福井晶浩
 舞鶴工業高等専門学校 難波 萌
 舞鶴工業高等専門学校 正会員 三輪 浩

1. まえがき ダム下流河川では、ダムによる土砂移動の不連続が河床のアーモコート化や河道の固定化につながるなどの例がある。これらの対策の一つとして河道に砂を供給し、表層の礫を移動させることが考えられる。礫層に砂が含まれると礫の移動限界が低下することは定性的に知られている¹⁾が、定量的な評価は必ずしも行われていなかった。足立ら²⁾および三輪ら³⁾は礫と砂からなる二峰性の混合砂礫河床における礫の移動限界に関する実験を行って砂の含有率と礫の限界掃流力の関係を検討し、礫の移動限界は砂の含有率 f_s が0.4程度で $\tau_{*c}=0.02$ 程度まで低下することを示した。このような特性を利用すれば、低流量での粗礫の移動を容易にし、流路変動へもつながる可能性がある。そこで本研究では、礫河床に砂を与えることの礫の移動性への効果を確認するとともに、流路の変動特性について検討している。なお、礫河床への砂の供給は、置き土の侵食・流送による方法と覆砂による方法とし、主として前者については粗礫の移動性の検討、後者については流路の変動特性に着目している。

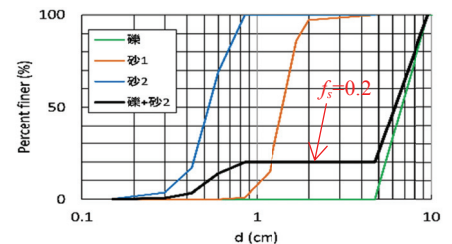


図-1 使用砂礫の粒度分布

2. 実験の概要 実験は長さ $L=18\text{m}$ 、幅 $B=0.5\text{m}$ 、深さ $D=0.5\text{m}$ の可変勾配直線水路を用いて行った。また、図-1に示すような平均粒径 $d_m=0.71\text{cm}$ の礫、 $d_m=0.14\text{cm}$ の砂1および $d_m=0.052\text{cm}$ の砂2を用いた。置き土による砂供給の実験（実験1）では、図-2のように、水路の右岸に沿って長さ $L_1=0.92\text{m}$ 、幅 $B_1=0.3\text{m}$ 、深さ $D_1=0.08\text{m}$ の移動床部を設置し、その左岸側および上下流側に上記の礫をニスで貼り付けた固定床部を設けた。移動床部には礫のみを充填した河床と、礫と砂2を4:1の割合で混合した礫（ $f_s=0.2$ ）を充填し、これを流量 $Q=5\text{L/s}$ の下で通水してアーモコートを形成した河床を準備した。また、移動床部の上流に長さ $R=0.315\text{m}$ 、幅 $W=0.25\text{m}$ 、高さ $H=0.1\text{m}$ の置き土を設置した。一方、覆砂による砂供給の実験（実験2）では、図-3のように、水路に長さ $L_2=1.8\text{m}$ 、幅 $B_2=0.5\text{m}$ 、深さ $D_2=0.08\text{m}$ の移動床部を設置し、その上下流側を上記と同じ固定床部とした。なお、移動床部の砂礫も上記と同様としたが、さらに右岸側水路半幅分のみ覆砂を行った。ただし、覆砂後の河床表層の砂含有率は $f_s=0.4$ となるように調整した。

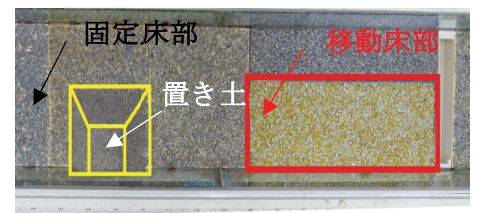


図-2 実験河床（実験1）

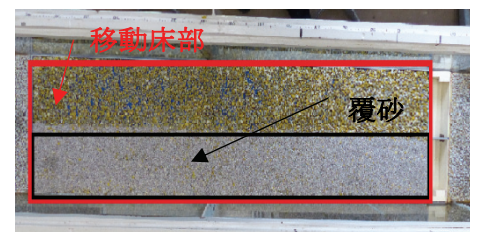


図-3 実験河床（実験2）

表-1 実験条件(実験1)

Run No.	Sand f_s	Armour coat Q_1 (L/s)	Augmentation Q_2 (L/s)	Gravel motion Q_3 (L/s)
A02	0	—	—	15
B02	0	—	5	15
C02	0.2	5	5	15
A05	0	—	—	30
B05	0	—	5	30
C05	0.2	5	5	30

表-2 実験条件(実験2)

Run No.	Sand f_s	Armour coat Q_1 (L/s)	Augmentation Q_2 (L/s)	Gravel motion Q_3 (L/s)
RC01	0	—	—	15
RC02	0	—	5	15
RC03	0.2	5	5	15
RC11	0	—	—	30
RC12	0	—	5	30
RC13	0.2	5	5	30

実験1では、表-1に示すように移動床部の条件と置き土の有無および流量によって合計6ケースの実験を行った。なお、置き土の侵食は $Q=5\text{L/s}$ で実施し、流送された土砂が移動床部をカバーするように配慮した。当該実験では、所定の流量の下で約1分間に移動床部から流出した礫と砂の量を測定し、これを3回繰り返した。実験2では、表-2に示すように先の置き土が覆砂に変わった他は同条件である。なお、移動床部からの砂と礫の流出量の測定後にレーザー変位計を用いて河床位の測定も行った。

Keitaro YAMADA, Akihiro FUKUI, Moe NANBA and Hiroshi MIWA
 miwa@maizuru-ct.ac.jp

3. 実験結果と考察 図-4は実験1における土砂流出量の時間変化を河床条件別に示したものである。同図より置き土を行う(Runs B02 & C02, Runs B05 & C05)ことで礫の流出量が大幅に増加しており、置き土による砂の供給が礫の流出に大きな効果を発揮することがわかる。さらに、置き土を行った場合でもアーマコート河床(Runs C02 & C05)の方が礫流出量はより大きい。図よりアーマコート河床において、礫の流出量増加に伴って河床中に存在する砂2の流出量も増加しており、表層の礫の移動によって混合砂礫層の下方にまで侵食が及び、下層の砂2の効果によって礫の移動が促進されたためだと考えられる。

実験2より得られた、土砂流出量の時間変化を図-5に示す。同図よりこの実験においても、砂の供給が礫の流出に大きな効果を発揮することが確認できる。ただし、実験1で見られた河床中の砂2の効果は本実験では必ずしも確認できなかった。また、本実験では礫移動後の河床変動の状況も分析した。図-6、図-7はRun RC13の最終段階での移動床部の河床縦断形状と河床横断形状を示したものである。図-6より、覆砂

を行わなかった左岸側($y/B=0.2$)では河床はほとんど変化していないが、覆砂を行った右岸側($y/B=0.8$)で河床変動が顕著に生じていることがわかる。また、横断方向の河床変動に着目すると、図-7に示すように河床侵食は流下に連れて覆砂のない左岸側まで及び、結果として流路幅が拡大していることがわかる。以上のように、砂の供給による河床表層の礫の移動が河床および流路の変動につながることを示された。

4. あとがき 礫層に砂を供給することで、粗礫の移動が活発化し流路変動にもつながることを実験的に示した。今後も検討を続け、砂供給の効果とその限界を明確にする予定である。ただし、過剰な礫の移動は河床低下を促進する可能性も有しているため、これを制御することも考える必要がある。最後に、本研究に関して米国イリノイ大学Gary Parker教授から有益な助言を賜った。また、本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(C)(研究代表者：三輪 浩)の補助を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献 1) 池田 宏, 伊勢屋ふじこ: 粗砂の運ばれやすさに及ぼす細砂の影響, 筑波大学水理実験センター報告, No.9, pp.43-47, 1985. 2) 足立ら: 粗礫の移動限界に及ぼす細砂含有の影響, 第68回土木学会年次学術講演会概要集, 2013. 3) 三輪ら: 混合砂礫床における粗礫の移動限界に及ぼす細砂含有の効果, 第69回土木学会年次学術講演会概要集, 2014.

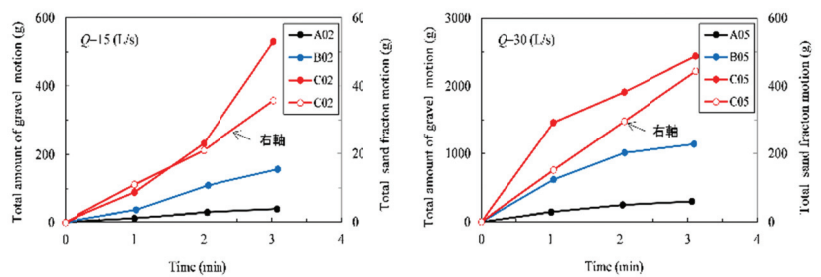


図-4 累積時間と流出土砂量の関係 (実験1)

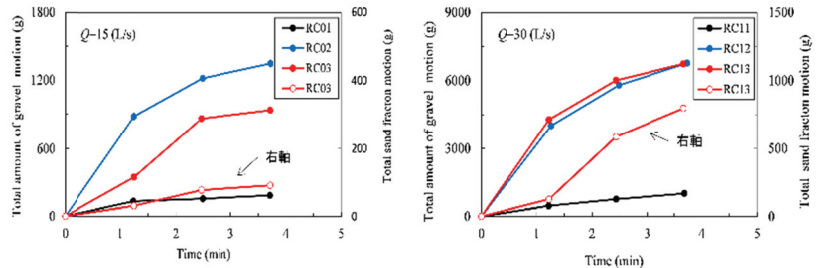


図-5 累積時間と流出土砂量の関係 (実験2)

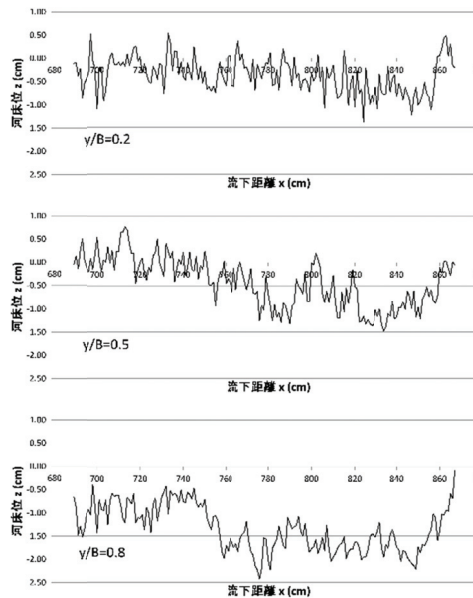


図-6 移動床部の河床縦断形状

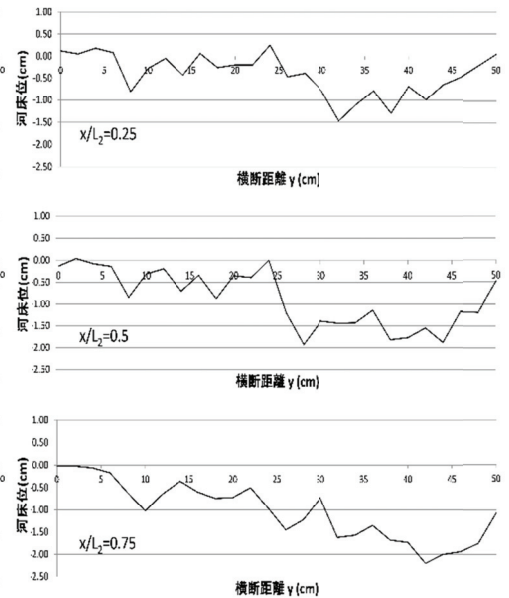


図-7 移動床部の河床横断形状