

舞鶴工業高等専門学校専攻科 学生員○山田啓太郎
 舞鶴工業高等専門学校 正会員 三輪 浩
 舞鶴工業高等専門学校 田中俊平
 舞鶴工業高等専門学校 中尾愛梨

1. まえがき ダム下流の河川では河床砂礫の粗粒化や流路の固定化が進行する例が多い。この対策の一つとして、河床に砂を供給して表層の礫を移動させることが考えられる¹⁾。礫層に砂が含まれると礫の摩擦角の減少によって礫の移動限界が低下する^{2),3)}ので、より低流量での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。本研究では、砂の供給方法を覆砂によるものとし、主として覆砂量に着目し、これが礫の移動性に及ぼす効果を確認するとともに、河床変動や流路変動への効果について検討を行う。

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、実験には図-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を準備し、礫と砂2を用いて河床を形成した。実験では、図-2に示すように、水路に長さ $L_1=1.8\text{m}$ 、幅 $B_1=0.5\text{m}$ 、深さ $D_1=0.08\text{m}$ の移動床部を設置し、その上下流側は上記の礫をニスで貼り付けて固定床部とした。移動床部には礫と砂2を4:1の割合で混合した砂礫 ($f_s=0.2$) を充填し、流量 $Q_1=5\text{L/s}$ を通水して粗粒化させた河床を準備した。また、砂の供給方法は移動床部の右岸側水路半幅分のみに砂1を覆砂することとし、覆砂層厚を5種類設定した。さらに、覆砂の有無による礫の移動性について検討を行うため、移動床部に礫のみを充填して覆砂は行わない河床でも実験を行った。表-1に実験条件を示す。いずれの実験においても水路勾配は1/100とし、30L/s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5回繰り返した。表中の D/d_g は礫の平均粒径に対する覆砂の層厚(覆砂前後の平均河床位の差)を示しており、表層の礫が覆砂で覆われたときの下限の値は条件設定の状況から概ね $D/d_g=0.3\sim 0.4$ 程度である。また、通水中には超音波変位計を用いて水面を測定し、停水後にレーザー変位計を用いて河床面を測定した。

3. 実験結果と考察 図-3は、覆砂層厚と累積礫流出量の関係を示したものである。同図より、覆砂量が多くなるほど礫の流出量も多くなっていることがわかる。しかし、覆砂量の増加に対する礫の流出量の変化に着目すると両者は線形関係でなく、礫の流出量は覆砂量の増加に伴って徐々に緩やかになっている。例えば、 $D/d_g=0.3$ までの覆砂層厚に対する礫流出量の増加割合は、 $D/d_g=0.3$ 以上よりも相対的に大きい。これは、礫粒径に対する覆砂の層厚が小さいときには砂は礫の間隙を埋めるが、 $D/d_g=0.3$ 以上では河床表層に砂のみの層ができるためである。すなわち、このような状態では通水初期に砂のみが流出し、礫の移動に十分な効果を発揮することができないため、礫の流出効果は相対的に小さくなると判断される。

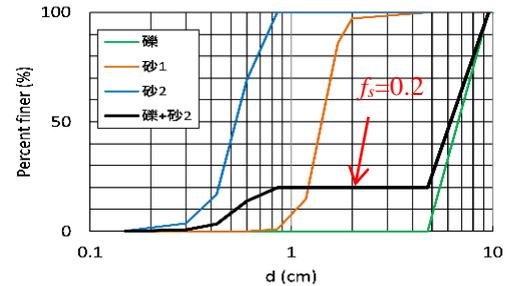


図-1 使用砂礫の粒度分布

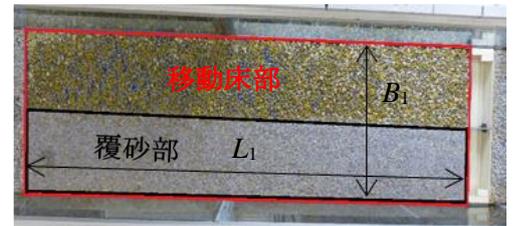


図-2 実験河床

表-1 実験条件

Run No.	Sand covering D/d_g	Channel slope I	Q_1 (m^3/s)	h_m (cm)	I_g	Fr	u^* (cm s^{-1})	$r_{1/2}$
RC41	0	0.01	30	7.60	0.0137	0.92	9.04	0.071
RC42	0.11	0.01	30	7.48	0.0156	0.93	9.58	0.080
RC43	0.30	0.01	30	7.99	0.0141	0.84	9.28	0.075
RC44	0.66	0.01	30	7.83	0.0173	0.85	10.09	0.089
RC45	0.97	0.01	30	7.60	0.0166	0.87	9.60	0.080
RC46	1.31	0.01	30	7.58	0.0179	0.88	9.95	0.086

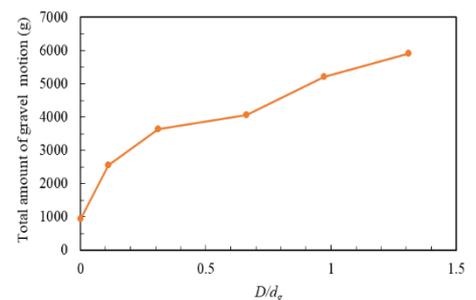


図-3 覆砂層厚と累積礫流出量の関係

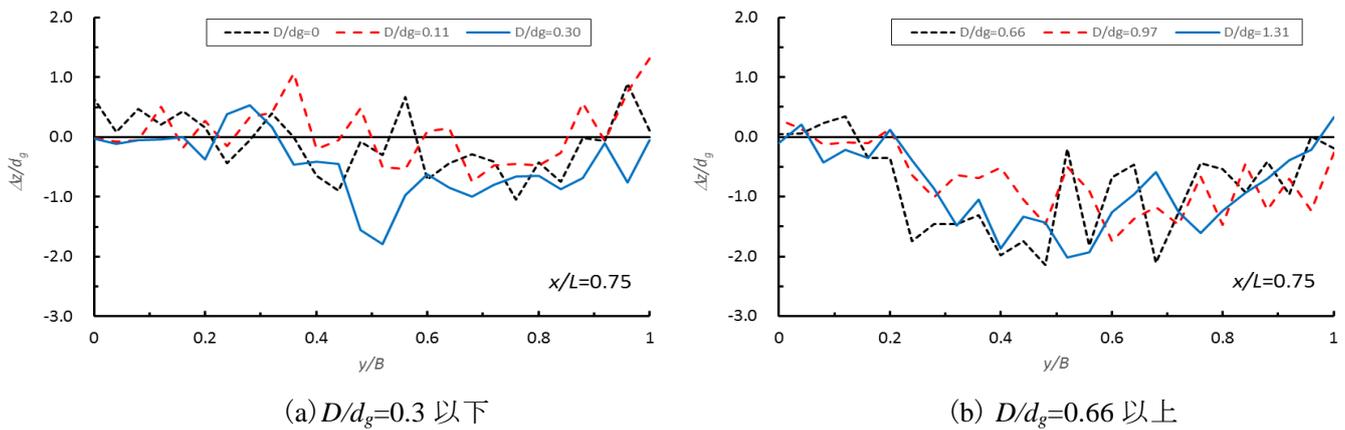


図-4 移動床部横断形状 ($x/L=0.75$)

つぎに河床変動特性について検討を行う。図-4は通水最終段階における移動床部の横断形状($x/L=0.75$)を示したものである。同図より、 $D/d_g=0.3$ 以下では左岸側の河床侵食の範囲は狭く、流路変動に繋がるような流路の拡大は確認できない。一方、 $D/d_g=0.66$ 以上の場合、いずれの覆砂層厚においても、河床侵食は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。さらに、河床侵食過程について検討を行うために、最も河床が変動したRC46の移動床部の縦断形状($y/B=0.7$)の時間変化を図-5に示す。同図より、河床侵食は移動床部の下流側から発生し、次第に上流側に伝播することがわかる。これは、通水初期には上流側から流送された砂が下流側で効果を発揮し河床侵食が進み、時間の経過に伴いその影響が上流側にも及ぶことを示唆している。図-6はRC46の中流部から下流部($x/L=0.4\sim 0.8$)における平均河床低下量(礫粒径で基準化)と下層に存在する砂2の流出量を示している。ただし、河床低下量は覆砂を行った右岸側と行わなかった左岸側を別に示している。同図より、当該範囲では右岸側で礫粒径程度、左岸側でも礫粒径に対して半分程度の河床低下が認められる。一般に河床の粗粒化が起こるのは表面部分と考えられている⁴⁾ことから、覆砂を行うことで広範囲にわたって粗粒化の解消につながる可能性がある。また、河床侵食に伴い砂2の流出量も増加していることから、覆砂による砂供給によって表層の礫が移動し、部分的には混合砂礫層の下方まで侵食が及んでいるといえる。

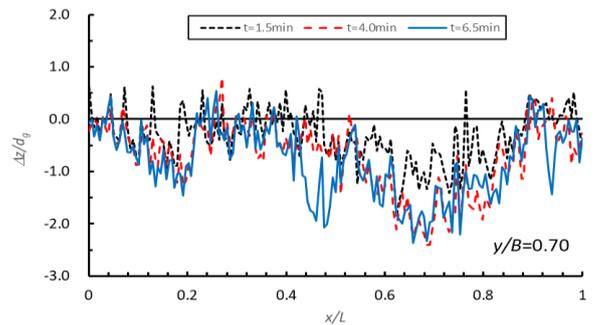


図-5 移動床部縦断形状 ($y/B=0.7, D/d_g=1.31$)

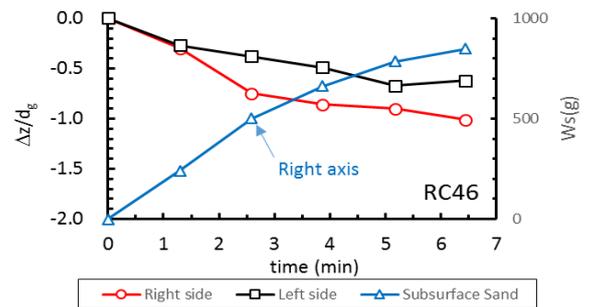


図-6 平均河床低下量 ($x/L=0.4\sim 0.8$)

4. あとがき 覆砂層厚が大きくなるほど礫の移動量は多くなるが、覆砂高が礫表層よりも高くなると礫移動の効率は低下することを実験的に示した。また、覆砂は礫の移動性の向上を通して覆砂域の河床変動を促進させるだけでなく、覆砂を行わない領域の河床変動をも促進させることが明らかになった。このため、覆砂は流路変動にも寄与する可能性を有している。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) 山田啓太郎, 三輪 浩, 福井晶浩, 難波 萌: 礫河床における砂礫の移動に及ぼす砂供給の効果, 第71回土木学会年次学術講演会公演概要集II (CD-ROM), pp.133-134, 2016. 2) 池田 宏, 伊勢屋ふじこ: 粗礫の運ばれやすさに及ぼす砂の影響, 筑波大学水理実験センター報告, No.9, pp.43-47, 1985. 3) Miwa, H. & Parker, G.: Earth Surface Process and Landforms, Vo.42(9), pp. 1355-1364, 2017. 4) 山本晃一: 洪水時における土砂の移動形態, 沖積河川学, 山海堂, pp.77-95, 1994.