

急勾配移動床水路における混合砂礫の流砂量と分級に関する研究

九州大学大学院工学府 正会員 池松伸也
 九州大学大学院工学研究院 正会員 橋本晴行
 九州大学大学院総合理工学府 学生会員 田畑敦圭
 佐賀県 田崎信忠

1. 目的

最近、流域の源頭部から海岸までの水系一貫した土砂管理や、自然な土砂の流れの復活が叫ばれている。このような場合においては、流砂の量と質について正確な評価が必要となるが、十分な精度の評価までには至っていない。特に実際河川の河床は、混合砂礫から構成されており、砂礫の移動とともに分級が生じるなど、流砂現象の予測をさらに困難にしている。本研究は、急勾配移動床水路において、混合砂礫の流砂量と分級過程を調べ、その特性を明らかにしたものである。

2. 実験方法

実験に使用した水路は全長12m、幅20cmの片側アクリルライト製可変勾配水路であり、水路の下流側8mを厚さ10cmの移動床とした。実験条件を表-1に示す。

Run 1, 2においては、河床材料として、粒径 $d = 0.84, 1.5, 2.0, 3.3, 5.9, 12, 13.6, 23.8\text{mm}$ の均一な砂礫をそれぞれ容積比6:6:6:4:4:2:1:1で混合した材料を用いた。その平均粒径は $d_m = 4.47\text{mm}$ であり、密度 $\rho_s = 2.63$ である。

Run 3においては、河床材料として、粒径 $d = 0.84, 1.5, 2.0, 3.3, 5.9, 12\text{mm}$ の均一な砂礫をそれぞれ容積比6:6:6:3:3:2で混合した材料を用いた。その平均粒径は $d_m = 3.30\text{mm}$ であり、密度 $\rho_s = 2.63$ である。

Run 1, 2では水路勾配を 3° とし、上流端から単位幅流量 $q_{wo} = 98, 304\text{cm}^2/\text{s}$ の水を供給した。下流端で流れを採取し、全流量 q_t や輸送濃度 C_T を計測した。また、実験後、下流端から1m, 3m, 5m, 7mの地点において長さ30cm、厚さ2cm、幅20cmの河床砂を採取し、同様に粒度試験を行った。

Run 3では水路勾配を 6° とし、上流端から単位幅流量 $q_{wo} = 201\text{cm}^2/\text{s}$ の水を供給した。実験後には下流端から1m, 3m, 5mの地点において長さ50cm、厚さ2cm、幅20cmの河床砂を採取し、粒度試験を行った。

Run 1は流砂量が少なく、Run 2, 3は比較的流砂量の多い実験であった。

3. 実験結果と考察

水路下流端において採取した流砂について粒度分布を調べた結果をそれぞれ図-2,3,4に示す。またそれぞれの50%粒径 d_{50} および標準偏差 $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ を図-5,6に示す。ここで、 t' は流れの先端が下流端に到達してからの時間を示す。

図-5から、流れのフロントは、いづれの実験においても、オリジナル河床に比べて粗粒化していることがわかる。

キーワード：混合砂礫，流砂量，掃流砂，掃流状集合流動，分級，逆グレイディング

〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL.092-642-3289 FAX.092-642-3322

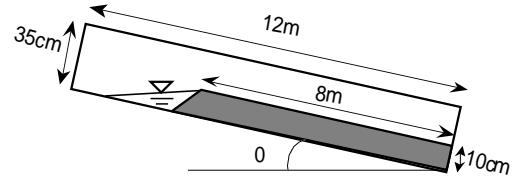


図-1 水路の縦断面図

表-1 実験条件

	Run 1	Run 2	Run 3
$q_{wo}(\text{cm}^2/\text{s})$	98	304	201
$\theta(^\circ)$	3	3	6
$d_m(\text{mm})$	4.47	4.47	3.30
$d_{50}(\text{mm})$	2.03	2.03	1.63
$\sqrt{d_{84}/d_{16}}$	2.81	2.81	2.64

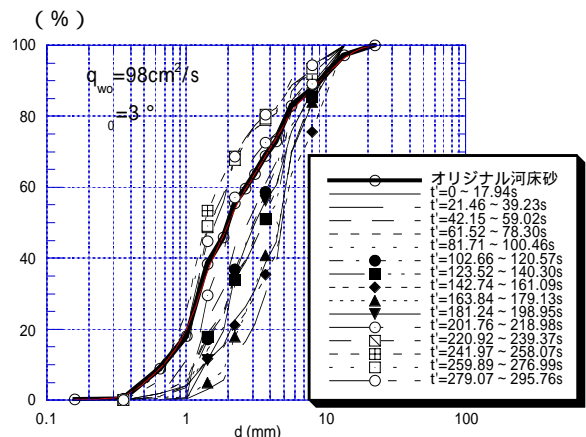


図-2 $q_{wo} = 98\text{cm}^2/\text{s}$ の実験における流砂の粒度分布

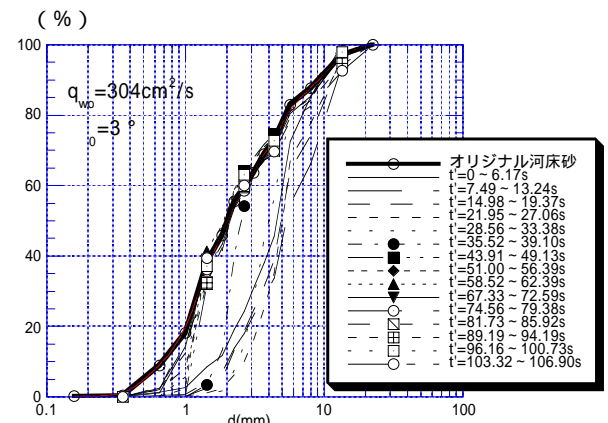


図-3 $q_{wo} = 304\text{cm}^2/\text{s}$ の実験における流砂の粒度分布

一方、フロント直後の後続流は、流砂が活発なRun 2, 3の実験では、急速な細粒化が生じ、ほぼオリジナル河床に近い粒度に戻っている。しかしながら、流砂量の少ないRun 1の実験では、若干細粒化するが（それでもオリジナル河床に比べたら粗粒である）、その後、 $t' = 150\text{sec}$ において再度粗粒化した流砂が到達した後、急速な細粒化を経て、ほぼオリジナル河床に近い粒度に変化していくことになる。

図-6から、流砂量の少ないRun 1の実験では、標準偏差のより小さい、均一化した流砂が下流に流出してくることが分かる。一方、流砂が活発なRun 2, 3の実験においては、流れのフロントでは均一化した流砂が到達しているのに対して、後続流ではオリジナル河床に近い標準偏差の流砂が流下していることが分かる。

図-7は無次元流砂量を無次元掃流力に対して表したものである。ここに、図中の $*$ は、 $* = \text{hsin } \theta_0 / (sd_{50})$ を示す。

図中の破線は従来より提案されている流砂量式 (1)

$$\frac{q_s}{\sqrt{sg}d_{50}^3} = 4.7 *^{3/2} \left(1 - \frac{*C}{*} \right) \frac{1}{(-\tan \theta_0) \cos \theta_0} \quad (1)$$

を示す。大部分の実験値がこの流砂量式に適合していることがわかる。これにより、混合砂礫を均一砂の流砂量式に適用させることは可能であるといえる。

4. 結論

以上、広範な粒度分布を持つ混合砂礫を河床材料として、実験を行い、水路下流端に流出してくる流砂量を測定することにより、その粒度分布の変化と分級の特性を調べた。その結果、いずれの実験も流れの先頭部には比較的粗粒な土砂が集中した。しかしながら、後続流になると流砂量の多い条件の実験では、源河床のそれとほぼ同様な粒度構成に変化していく。流砂量の少ない条件の実験では $t' = 150\text{sec}$ において再度粗粒化した流砂が流下してくることが分かった。また、混合砂礫の流砂量についてその50%粒径 d_{50} を用いることで均一砂の流砂量式に適合することが分かった。

参考文献

- 1) 芦田和男・高橋 保・水山高久：急勾配移動床水路における混合砂礫の移動限界掃流力に関する研究，新砂防103，1977年。
- 2) 芦田和男・高橋 保・水山高久：山地河川の掃流砂量に関する研究，新砂防107，1978年。
- 3) 橋本晴行・平野宗夫：掃流状集合流動の抵抗則と流砂量，土木学会論文集，No.545 / II-36，1996年。

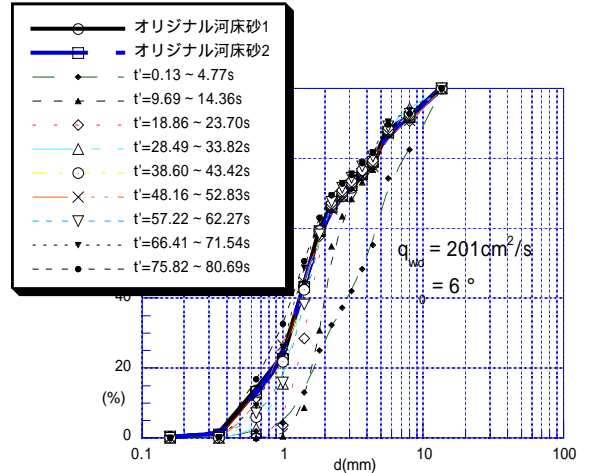


図-4 $q_{w0} = 201\text{cm}^2/\text{s}$ の実験における流砂の粒度分布

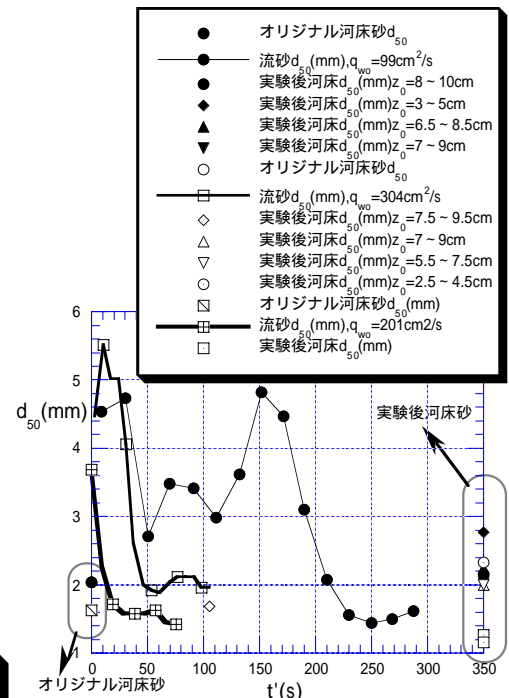


図-5 各流砂量毎の d_{50} の時間的変化

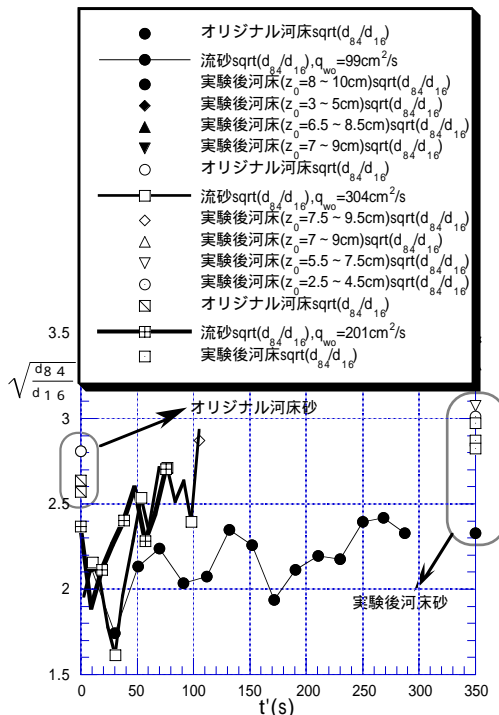


図-6 各流砂量毎の $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ の時間的変化

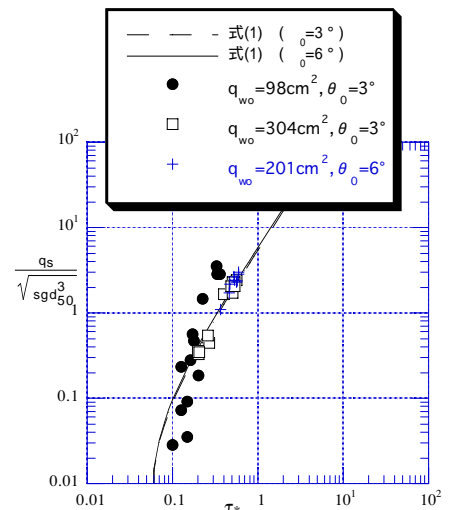


図-7 無次元流砂量と無次元掃流力