

大粒径礫が散在する河床の掃流砂に関する基礎的研究

徳島大学工学部 正 員 岡部 健士
 徳島大学大学院 学生員 ○速水 正樹
 福田道路 正 員 石木 誠

1. まえがき： 掃流砂の問題は、長年の研究歴史をもち、すでに数多くの有用な成果があげられている。しかし、そのほとんどは、中下流の冲積河川への適用を目的としたものであり、従来の研究成果だけをもってはたとえば山地溪流のように、勾配が急で、河床構成材料が、細砂から巨礫に及ぶ幅広い粒径範囲を有するような流れにおける掃流砂の挙動を十分に、説明し得ないようである。¹⁾ 本文は、玉石や巨礫が散在する山地溪流を細砂と粗大な鉄球からなる二粒径混合床で単純にモデル化し、粗大な石礫が比較的細かい砂の流送特性に及ぼす影響について実験的に考察したものである。

2. 実験概要： 実験用水路は、全長14.6 m、幅0.6 m、深さ0.4 mの鋼製両面アクリルライト張り勾配可変水路であるが、本実験では、モデル河床の構成材料の量の割合で幅を全長にわたり0.4 mに縮めて使用した。

二粒径混合床の作り方はつぎのようである。すなわち、まず直径が6 cmの鉄球を所定の様式で水路床上に配置し、ついで鉄球の露出高さが所定の値となるよう粒径範囲が1.0 mm~1.4 mm (平均粒径1.2 mm)、比重が2.6の砂を一様厚さで水中散布した。表

表-1 モデル河床の特性諸元

路床名	配置密度	露出高さ (cm)	支配面積率 (%)
A-1	0.520	1.0	43.00
A-2	0.520	2.0	69.00
B-1	0.307	1.0	26.12
B-2	0.307	2.0	41.77
B-3	0.307	3.0	46.09
B-4	0.307	4.0	41.77
C-1	0.234	1.0	19.40
C-2	0.234	2.0	31.11
C-3	0.234	3.0	35.11
C-4	0.234	4.0	31.11

-1に、モデル河床の特性諸元をとりまとめている。ここに、配置密度：全鉄球の水路床への投影面積とモデル河床の平面積との比であり、支配面積率：鉄球を砂表面に一致する平面で切り取る場合の全断面面積とモデル河床の平面積との比である。図-1に鉄球の配置の一例を示している。ランダムな配置であることに注目されたい。以上のような二粒径混合床について、細砂の移動限界と掃流砂量特性を調べる実験を行なったが、これに先立って細砂のみからなる河床についても前者と同様な実験を行ない、比較のための資料を得た。(以下、後者を一様砂床と呼ぶことにする。)

3. 実験結果および考察

(1) 移動限界： 移動限界は、砂の運動を均質な Poisson過程とみなす場合の単位時間あたりの移動確率が0.27%/secとなる状態とした。

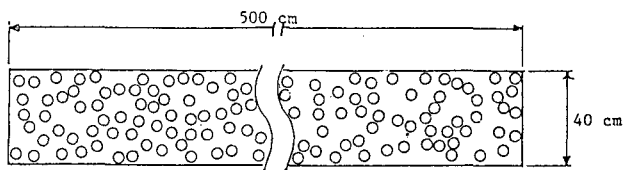


図-1 鉄球の配置図

表-2に、上記の方法で決定された一様砂床

と各二粒径河床モデルにおける限界摩擦速度 u_{*c} を示している。一様砂床の u_{*c} に比べて、各河床モデルの u_{*c} が大きくなっており、また、露出高さが高いほど、支配面積率が大きいほど各河床モデルの u_{*c} は大きくなっている。また、表中の最右欄には、混合床の粒径別移動限界の評価において従来よく用いられる道上の方法をそのまま適用して算定された細砂の限界摩擦速度 u_{*cc} を参考のために示している。計算では、鉄球を同形で比重が2.6の礫とみなした。 u_{*c} と u_{*cc} が大きく異なるのは、粒径範囲が比較的小さい混合床上の流れと本二粒径混合床上の流れの構造の相違によるもので、当然の結果である。しかし、後者の場合の u_{*c} の評価法は未だ確立されていないので、今後の課題としたい。

表-2 移動限界の実験結果と計算値

路床名	限界摩擦速度 u_{*c} (cm/s)	0.12cm粒径の限界摩擦速度 u_{*cc} (cm/s)
一様砂	3.2	—
A-1	4.00	11.76
A-2	4.82	12.52
B-1	3.60	13.32
B-2	4.80	14.03
C-1	3.80	17.04
C-2	4.20	17.34

(2) 流砂量特性: 図-2は、一様砂床の実験結果をもとに、無次元流砂量 $\bar{Q} = q_0 / \sqrt{g d^3}$ と無次元掃流力 $\tau_* = u_*^2 / g d$ の関係を点描したものである。ここに、 q_0 : 単位幅、単位時間あたりの掃流砂量、 u_* : 摩擦速度、 S : 砂粒子の水中比重($=1.6$)、 d : 砂粒子の平均粒径、 g : 重力の加速度。図中には、Einstein、篠原・橋および芦田・道上の流砂量公式²⁾を用いた摩擦速度 u_{*c} を u_* に等しいとみなして算定される流砂量曲線も描いている。実験値の描点群と公式曲線とは、定性的には、ほぼ同様な傾向を示しているが、前者は全グラフ上で後者の右側に片寄っている。ただし、これは限界掃流力の評価法に起因しており、それをより正確にすれば、一様砂の流砂量特性は、従来の諸式で、ある程度説明できるであろう。一方、図-3は、二粒径混合床の($\bar{Q}$ と τ_*)関係を示すとともに、一様砂床のそれと比較したものである。二粒径混合床の場合、一様砂床の場合に比して、同一の τ_* に対する $\bar{Q}$ の値が、かなり小さくなっている。また、二粒径混合床の流砂量特性を、露出高さ h と支配面積率の相違に注目しつつ検討すると、露出高さが増せば、同一の τ_* に対する $\bar{Q}$ は著しく減少しているが、支配面積率の相違による流砂量特性の変化は、露出高さの場合ほど顕著ではない。すなわち、粗大な石礫が散在する河床の流砂量も支配するパラメータとして、それらの露出高さの重要性が示唆されている。なお、Simons³⁾らは、流送土砂面からの粗大石礫の露出状況が抵抗則に及ぼす影響の著しさを指摘している。これら2つの成果は、山地溪床の流れと土砂の挙動に関する新たな課題を提起するものである。

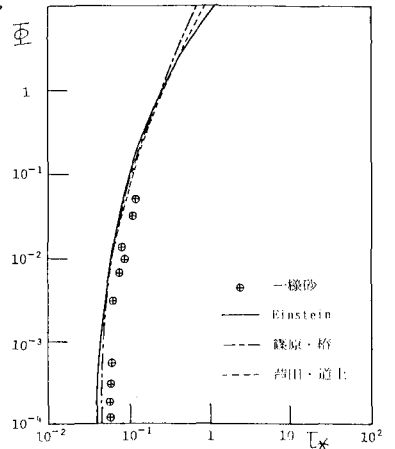


図-2 一様砂床の流砂量特性

最後に、以上のような流砂現象の数理モデルを作る際の参考とするために、実験中観察された河床状態と砂粒子の運動形態の特徴をいくつかあげてみよう。まず、河床の砂面状態は支配面積率、露出高さおよび掃流力の変化に伴い、複雑に変化した。すなわち、河床タイプAの場合、細砂面が水路幅の1/2にも及ぶいわゆる縦筋を形成するのが特徴であった。一方、BおよびCタイプでは、鉄球が密に存在する部分で激しい洗掘が生じ、排除された細砂が疎な部分にかなり高く堆積するのが一般的な傾向であったが、局所的には逆に、密な部分の数個の球が細砂に埋没する状況も観察された。そして、以上のような砂面状態の3次元的な複雑さは露出高さが大きくなるほど顕著にあらわれた。つぎに、細砂の流送過程は、露出高さが小さいかあるいは掃流力の小さい間は、流送経路の着しい蛇行を除きいわゆる掃流形式に類したものであった。しかし、特にB、Cタイプで路床高さが大きい場合には、鉄球周辺に洗掘孔が発生する強い螺旋状の渦流に乗り舞い上った砂が一群となり、てかなり遠くまで流送されるといった形式での土砂移動が主体のように思われる。

4. あとがき: 以上、二粒径混合床を用いて行った基礎的な実験の結果を報告した。今後は、河床モデルをより一般的にした実験を積み重ねるとともに、流砂量の評価理論へのアプローチも行ないたい。

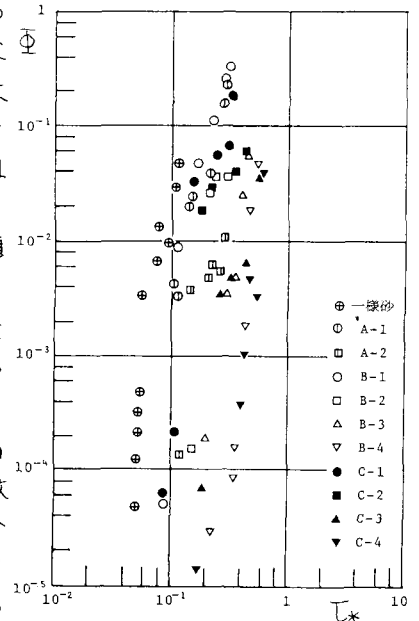


図-3 二粒径混合床の流砂量特性

(参考文献) (1) 沢田・芦田・高橋: 才26回水講, 1982, PP105-110. (2) 椿東一郎: 水理II, 1974, PP220-233. (3) Simons, D.B.: ASCE HY5, May, 1979