

II-141

河床表層砂の動的粗粒化

愛媛大学大学院 学生員 加藤幸一

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一

伊予鉄道(株) 正 員 烏谷英彦

1. はじめに

河床表層砂の粗粒化は、従来主としてダム下流域のように流砂量が非平衡状態にありしかも粗砂が動かないような状態で生じる現象(静的粗粒化 static armoring)として論じられてきた。しかし、Parkerら¹⁾は粗砂も活発に動いていて流砂が動的平衡状態であっても河床表層砂は粗粒化しており、給砂(=流砂)の粒径より大きくなるとしこれを pavement と呼んだ。Kuhnleら²⁾や芦田ら³⁾は実験的に Parkerらの動的粗粒化(mobile armoring)説を裏づけている。本研究ではこの動的粗粒化現象を実験的に明らかにし、定性的説明を加えたものである。

2. 実験的考察

実験は幅40cm、長さ10mの可変勾配水路に給砂と原河床砂とが等しい状態の動的平衡状態で行った。給砂の平均粒径 $d_{m0} = 0.414\text{cm}$ 標準偏差 $\sqrt{d_{84}/d_{16}} = 3.00$ 、最大粒径 $d_{\max} = 2.0\text{cm}$ である。河床勾配は 1/100、1/50 および 1/30 と急勾配とし最大粒径砂も活発に動く水理条件下での河床表層砂の粒度を測定した。図-1 は河床勾配 I が 1/100 の場合の実験結果の一例で $\tau_{*m0} (= u_*^2 / sg d_{m0}) = 0.081$ と 0.094 の場合を示しているが、河床表層砂の平均粒径 d_m は 0.603cm および 0.597cm と給砂の d_{m0} よりかなり大きくなって粗粒化していることが分かる。ここに、 u_* は摩擦速度、 $s = \sigma/\rho - 1$ 、 σ は砂の密度、 ρ は水の密度、 g は重力加速度である。図-2 の $I = 1/50$ では $\tau_{*m0} = 0.091$ と 0.12 の場合はやや粗粒化しているが、 $\tau_{*m0} = 0.114$ 、および 0.129 と掃流力が比較的大きい場合には粗粒化は生じていない。一方、図-3 では I が 1/30 の場合で $\tau_{*m0} = 0.117$ と 0.169 と大きい場合であるが、河床表層砂は流出砂(給砂)とはほぼ同じで粗粒化していない。図-4 は d_m/d_{m0} と τ_{*m0} の関係を全ての実験結果について示したものである。 $d_m/d_{m0} > 1$ であれば動的粗粒化が生じていることを示しているが、本実験範囲では $\tau_{*m0} < \sim 0.12$ であれば粗粒化する傾向が認められる。しかし、 $\tau_{*m0} > \sim 0.12$ のように掃流力が極端に大きいときには粗粒化は生じない。

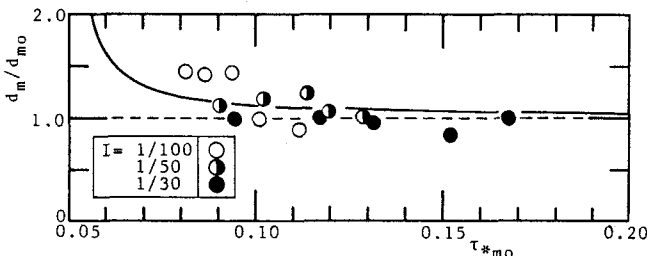


図-4 河床表層砂の平均粒径と掃流力

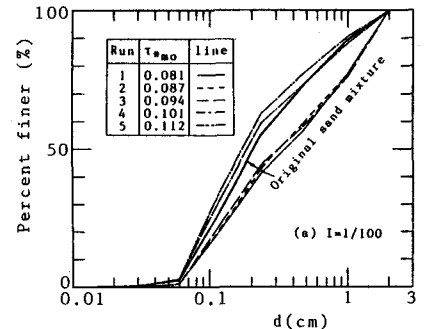


図-1 河床表層砂の粒径加積曲線 (I=1/100)

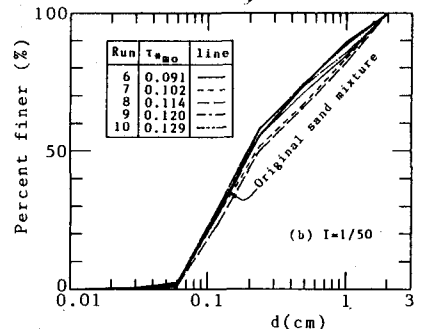


図-2 河床表層砂の粒径加積曲線 (I=1/50)

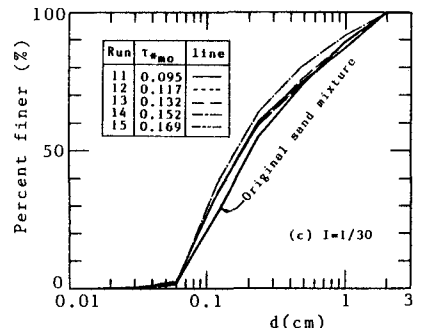


図-3 河床表層砂の粒径加積曲線 (I=1/30)

3. 動的粗粒化機構の考察

河床表面付近で流砂が移動している層(移動層)と全く移動していない層(貯累層)とに分けると、動的平衡状態では流入砂と流出砂が質的にも量的にも全く同じであるので、移動層の粒度と貯累層の粒度とは独立している。したがって、河床表層が粗粒化しているとしたら図-5 に示すように移動層が粗い上層と細かい下層との二層に分けられる鉛直分級を想定するのが自然であろう。実験結果からはこのような鉛直分級は



図-5 河床表層砂の鉛直分級概念図

τ_{*mo} が極端に大きい場合は現れなくて、 τ_{*mo} がある程度(~ 0.12)より小さくなるにつれてはっきり現れることになる。すなわち、混合砂河床での流砂現象で細砂・粗砂の選択輸送効果が現れるような水理条件で鉛直分級が生じる。細砂が粗砂より動き易いという選択輸送が生じれば、流砂量が不変であるためには流れの掃流力を直接受ける移動床の細砂の割合が減少していなければならない。この鉛直分級機構として Milhous は「粗砂が移動した後の空隙に細砂が落ち込むと移動しにくくなるため」と説明している¹⁾。この原理は、道上ら⁴⁾が粗砂が停止するような静的平衡状態で仮想した細砂の「沈み込みモデル」の考えに通じている。また、芦田ら³⁾は動的平衡状態において移動層を上記の第1層と第2層とに分割し、両層間の粒子交換は第2層の粒子が第1層へ移動するとき、これよりも細かい粒子が第1層から第2層へ落ち込むという同様な仮定をして各粒径砂の連続式から第1層の粗粒化機構の説明を試みている。

4. 河床表層砂の粒度分布の推定

移動層全体の平均粒径を d_{mo} とすると全流砂量 q_s は、

$$q_s = \sqrt{sg d_{mo}^3} \cdot f(\tau_{*mo}, \tau_{*cm}) \quad (1)$$

と表され、粒径別流砂量 $q_{s,i}$ は、移動床上層の粒度 i_s に支配され

$$q_{s,i} = q_s \cdot i_s = \sqrt{sg d_i^3} \cdot i_s \cdot f(\tau_{*i}, \tau_{*ci}) \quad (2)$$

のように、全流砂量と粒径別流砂量 $q_{s,i}$ の相似性を仮定すると、(1) および、(2)式から、

$$i_s/i_o = (d_{mo} / d_i)^{3/2} \cdot f(\tau_{*mo}, \tau_{*cm}) / f(\tau_{*i}, \tau_{*ci}) \quad (3)$$

で河床表層砂の粒度が計算できる。ここに、 i_s は粒径 d_i 砂の流砂中の存在率である。流砂関数 f として芦田・道上の式、 τ_{*ci} として道上・鈴木のもの $\tau_{*ci}/\tau_{*cm} = (d_i/d_{mo})^{-0.93}$ を仮定して用いて、河床表層砂の平均粒 d_m を計算した結果が図-4 に示す曲線である。この曲線は実測値の τ_{*mo} による変化傾向がある程度説明し得ている。

5. おわりに

本研究では、ごく定性的に混合砂礫河床における河床表層砂の動的粗粒化現象を実験的に示したが、河床表層砂が目視では明らかに粗粒化していても採砂方法がよくないなど実験的精度上の問題から、各粒径砂の連続式を考えた定量的考察はできなかった。今後、河床表層砂の粒度を精度よく表せる実験の工夫をすると共に、河床表層砂の粗粒化のモデルに基づく定量的検討を加えたい。

(参考文献)

- 1) Parker, G. and Klingeman, P.C. : Water Resources Research, Vol.18, No.5, 1982.
- 2) Kuhle, R.A. and Sauthard, J.B. : Water Resources Research, Vol.24, No2, 1988.
- 3) 芦田・江頭・西部 : 京大防災研年報, 第31号 B-2, 1988.
- 4) 道上・鈴木 : 土木学会論文集, 第399号, 1988.