

混合砂れきの移動特性について

京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 辻本 哲郎
 水資源公団 正員 原 稔明

1. まえがき 混合砂れきの流送過程には、均一砂のそれに比べてより多くの不確定要素が含まれ、複雑な現象となっている。本報では、混合砂の掃流過程を stochastic model で扱う際に必要な粒径別 pick-up rate のより合理的な推定式を提示し、また粒径別 step length に関して確率的考察を行ない、さらに armor coat の伝播特性について数値モデルによる計算値と実験結果(写真1参照)とを比較検討したものである。

2. 混合砂れきの粒径別 pick-up rate 著者らは先に均一砂の pick-up rate 推定式¹⁾に Egiazaroff の考え方²⁾を適用し、次式で混合砂れきの粒径別 pick-up rate を推定することを提案した。³⁾

$$p_{si} \sqrt{d_i / (98-1)} g = \begin{cases} 2.0 \times 10^{-2} \tau_{ci} \{1 - (\tau_{ci} / \tau_{ci})\}^3 & (\tau_{ci} > \tau_{ci}) \\ 0 & (\tau_{ci} \leq \tau_{ci}) \end{cases}$$

ここに、 $\tau_{ci} = U_*^2 / \{ (98-1) g d_i \}$ であり、 p_{si} は粒径 d_i の砂れきの pick-up rate、 U_* は摩擦速度、 98 は比重、 g は重力加速度、 τ_{ci} は粒径 d_i の砂れきの無次元限界掃流力である。しかしながら、混合効果を表わす量として Egiazaroff の粒径別限界掃流力のパラメータである d_i/d_m (d_m は平均粒径) だけでは、混合砂れき床面の物理的小性質の考慮に不十分な点が残ると考え³⁾、図-1 に示すように 50% 粒径 d_{50} を同一とした分布形の異なる3種の混合砂を使用し、16 mm 高速度カメラにより pick-up rate を実験的に測定した。その結果、(1) 式に Egiazaroff による粒径別限界掃流力の評価をとり入れただけではその粒度分布形の相違から生じると思われる pick-up rate の違いを説明できないと結論された。そこで、各粒度分布に対応した混合砂れき床面の物理特性の中でも個々の砂れきのぬけ出し角が初期移動に関して重要な量であると考え、簡単な混合砂の配列を用いてぬけ出し角の分布特性を検討した。その結果、各混合砂れきの平均ぬけ出し角は $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ の関数として表わされ、土屋⁴⁾ が対数正規分布する砂について実験により求めた静止摩擦角 $\tan \bar{\phi}$ と $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ との関係とおおむね一致することも確認した。(図-2 参照)。そこで τ_{ci} を次式のように若干修正することにする。

$$\bar{\tau}_{ci} = U_*^2 / (98-1) g d_i \tan \bar{\phi} \dots \dots (2)$$
 ここで、厳密には個々の粒径 d_i において $\tan \bar{\phi}$ は異なる平均値を有し、小粒径の摩擦角の方が相対的に大きくなるが、ここでは混合砂れき全体の平均値として $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ で決まる値を $\tan \bar{\phi}$ として採用する。このようにして $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$

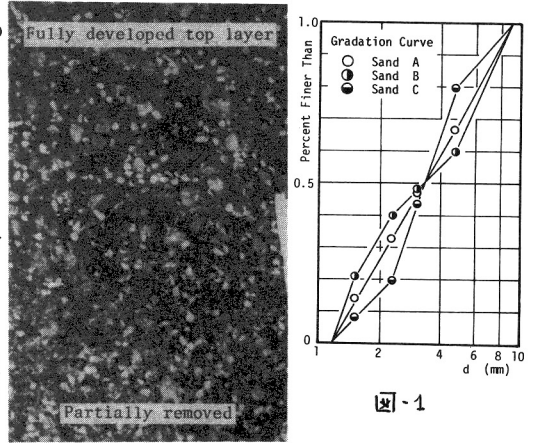


図-1

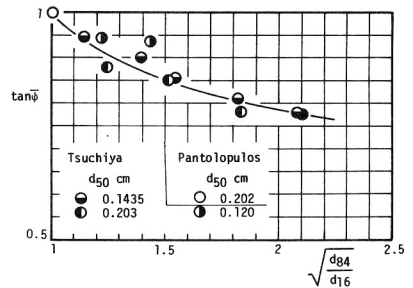


図-2

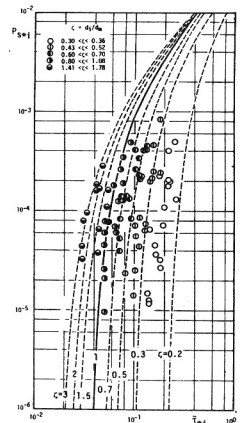


図-3

の異なる図-1の混合砂れきのpick-up rateの実験結果を整理したものが図-2であり、粒度分布形の相違から生じる P_{50} の違いを包括的に説明でき、前報¹⁾より合理的に混合砂れきの粒度別pick-up rateが推定できると考えられる。

3. 固定床での粒度別 step length に関する確率論的考察

混合砂れき床においては、個々の砂れきの step length の特性を規定する停止機構に対して河床の凹凸分布が支配的な影響を与えると考え、ここでは凹凸分布を個々の砂れきのぬけ出し角の分布と対応させて考察した。粒度 d_i の砂れきから混合砂れき床面の凸部に衝突する場合の簡単な力学モデルに底面近傍の代表流速として初期移動と同様な Egiagaroff の考え方を適用し、個々の砂れきの突起乗り越えの限界ぬけ出し角 β_{ci} を与える関係式を次のように導いた。

$\tan \beta_{ci} = A (\log_{10} \zeta_i)^2 \zeta_i \dots \dots \dots (3)$ ここに、 A は砂れきの形状係数、抗力係数等により決まる係数であり、 ζ_i は d_i/d_m である。次に、個々の砂れきの混合砂れき床面でのぬけ出し角の確率密度関数 $\psi(\beta_i)$ とすると、 $P_{ci} = \int_{\beta_{ci}}^{\beta_{ci}} \psi(\beta_i) d\beta_i \dots \dots \dots (4)$ として突起乗り越え確率が求められ、さらに Einstein が流体力による非停止確率について展開した考え方から、結局混合砂れきの粒度別無次元 step length として次の式を得た。 $\lambda_i = d_m / \{ d_i \cdot (1 - P_{ci}) \cdot (1 - P_{ci}) \} \dots \dots (5)$

ここに、 P_{ci} は粒度 d_i の砂れきに対する流体力による移動確率を表わす。図-4は、粒度別 step length の実験値と(5)式による計算曲線を表わしたものであり、個々の砂れきの限界掃流力の2倍付近からは、 $1 - P_{ci}$ が極端に小さくなり不確定領域となるが、それまではこのような考え方で説明できると考えられる。

4. Armor coat の伝播特性

2. で述べた粒度別 pick-up rate の推定式と step length には移動床での実験結果の値を用い、先に報告した²⁾ armor coat の伝播モデルに基づいて parallel degradation に相当する水理量で粒度別流砂量を計算したものが図-5 (累積表示) であり、図-6は実験結果を示す、用いた砂は、

$d_{50} = 2.1 \text{ mm}$, $\sqrt{d_{84}/d_{16}} = 2.31$ の対数正規分布に従うもので、 $U_{*c} = 4.54 \text{ cm/sec}$ とした。さらに、図-7、図-8は粒度分布の場所的、時間的变化を示したもので、著者の取り扱いは粗粒化過程の傾向、流砂量の時間的变化などという現象を十分説明できると考えられる。

<参考文献>

- 1) 中川・辻本：土木学会論文報告集，1975.
- 2) Egiagaroff: Proc. ASCE, HY, 1965.
- 3) 中川・辻本・原：京大防災研年報，1977.
- 4) 土屋：京大防災研年報，1962.
- 5) Einstein, H.A.: Tech. Bull. Dep. Agr., 1950.

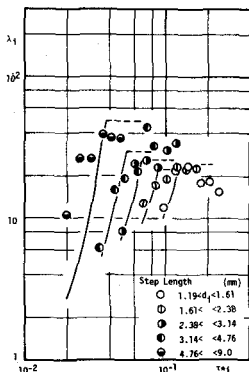


図-4

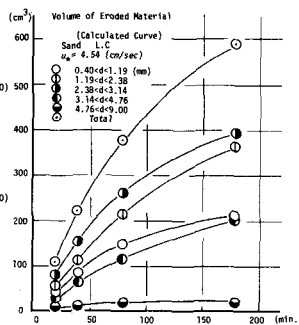


図-5

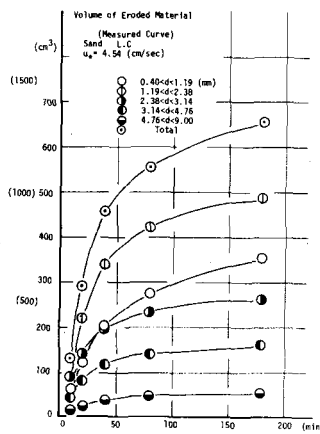


図-6

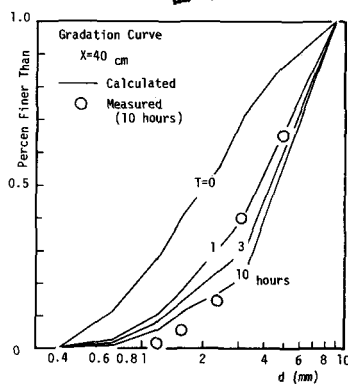


図-7

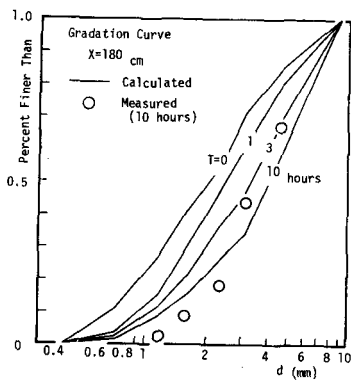


図-8