

混合砂れきの粒径別運動特性量

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
 運輸省 正員 中野 晋
 京都大学大学院 学生員 ○加賀田 健司

1. まえがき 混合砂れきの流送は河床表面の粒度構成に影響されるとともに、流送による河床粒度構成が刻々変化する複雑な現象で、その合理的記述のためには運動に関わる諸量の特性を粒径別に明らかにしておくことが重要である。本報は16mmフィルム解析の手法によってこれらを検討したものである。本報は、著者らがすでに発表した混合砂れき床の粗度と粒径別移動限界に及ぼす粒度分布の効果の検討¹⁾に続くものである。

2. 粒径別 sediment pick-up rate ψ_{si}

均一砂の場合、転動離脱型式²⁾を仮定して次式が導かれている²⁾ (一部近似式で代用)。

$$\psi_{si} = \psi_{si} / d / (0.1 - 1) q = F_0 \cdot C_* \{1 - (C_{*ci} / C_*)\}^3$$

$$F_0 = F_* \cdot k_2 \cdot C_* \{k_1 \sin \beta + \cos \beta\} / \beta$$

$$B_* = (0.1 - 1) / \{1 + (0.1 - 1) C_*\} \{1 + 4 k_2^2\}, \quad k_* = k / d$$

$$C_* = (A_2 / A_3) \cdot A_*^2 C_D, \quad A_* = U_d / U_*, \quad \text{ここに}$$

k : 砂れきの重心まわりの回転2次半径, U_d : 砂れきの中心位置での局所流速であり、また $F_0 \approx 0.03$ である。

この式を粒径別に理解することにより、 $\psi_{si} = \psi_{si} / d / (0.1 - 1) q$ について、 $\psi_{si} = F_0 \left(\frac{\sin \beta_i}{\beta_i} / \frac{\sin \beta_0}{\beta_0} \right) \cdot C_{*ci} \cdot \frac{C_*}{C_{*ci}} \{1 - \frac{C_{*ci}}{C_*}\}^3$ が得られる。添字 0 は均一砂に対する値であり、 C_{*ci} / C_* に対してはすでに次式で導いている。 $C_{*ci} / C_* = f_E(\beta_i) \{ \ln 15.05 / \ln (15.05 \frac{d_i}{d_m} \cdot \frac{q_m}{q_e}) \}^2$, $f_E(\beta_i) = \text{func}(\frac{d_i}{d_m} \cdot \xi_m)$ (図-1参照)。 η_m / q_e , ξ_m は粒度分布の効果を表わしており、粒径別には変わらない(図-2)。また $f_E(\beta_i)$ については文献¹⁾を参照されたい。

上述の ψ_{si} について実験的検証を行った。実験に用いた砂は10種、正規分布に従う5種類の混合砂(図-3参照)で、実験値と理論曲線の比較は図-4に示す通りで概ね適合していると言える(土屋³⁾, 芦田道⁴⁾の実験値とも併示している)。

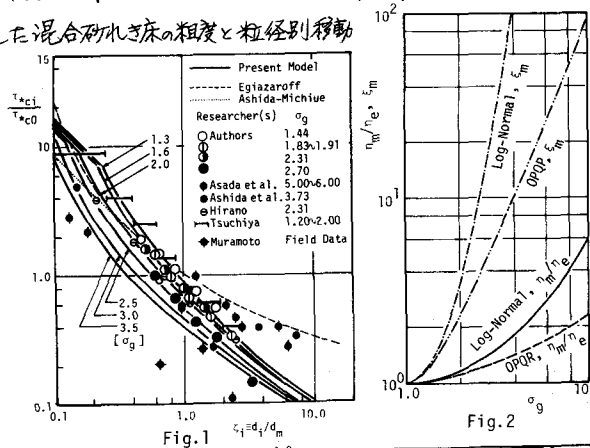


Fig.1

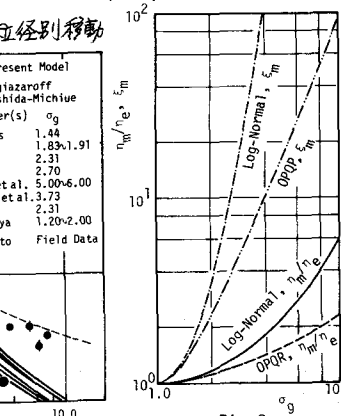


Fig.2

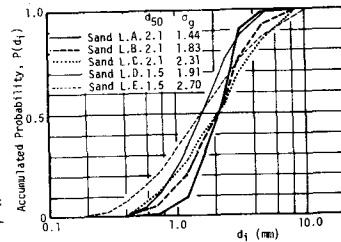


Fig.3

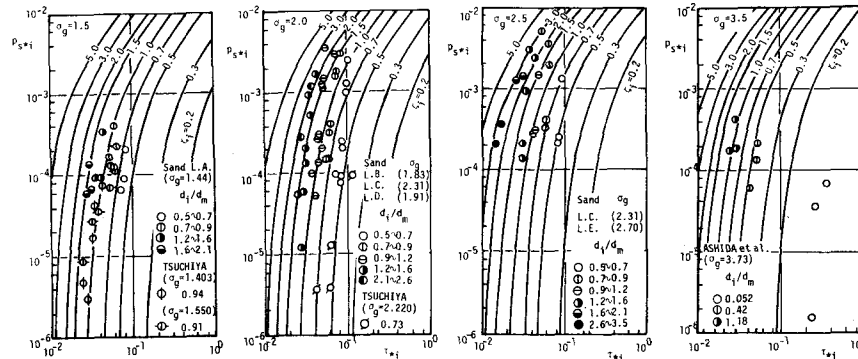


Fig.4

* Hiroji NAKAGAWA, Tetsuro TSUJIMOTO, Susumu NAKANO and Takeshi KAGATA

3. 粒径別移動砂れき速度 v_{gi}

均一砂の場合に比較的 平均速度と良く対応する摩擦係数 μ を 0.35

程度にした滑動形式の
平衡速度を粒径別に適用
する。その結果、 $v_{gi}/\sqrt{g d_i} = f(\tau_{*i})$
 $= \sqrt{\tau_{*i}} \left\{ \frac{1}{2} \ln(15.05 \frac{d_i}{d_m} \frac{\rho_m}{\rho_s}) \right.$
 $\left. - \frac{24}{C_D} \frac{A_2}{A_1} \frac{1}{\sqrt{\tau_{*i}}} \right\} \dots (*)$
が得られる。16mmフィルム
解析で任意抽出し得

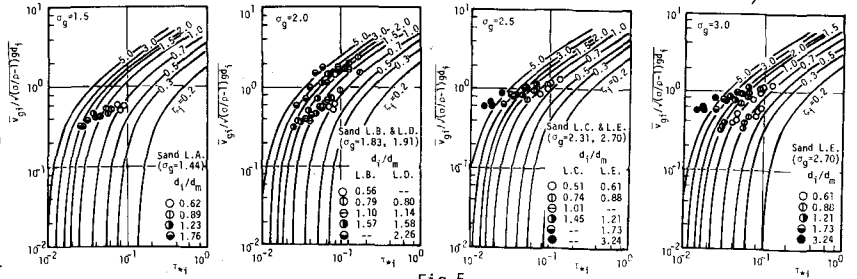


Fig.5

られる粒径別平均速度 (約0.03秒で評価)と式(*)
の計算曲線は図-5に示すように比較的良く合致している。
なお、粒径別の移動砂れき速度の変動係数 α_v は
概ね0.3~0.6程度であるが d_i の小さい程、また同粒径
では τ_{*i} の小さい程 α_v は若干大きいようである。図-6
には α_v と τ_{*i} の関係、図-7には v_{gi} の分布の一例
を示した。 v_{gi} の分布は $U_g = \sqrt{g d_m / 16}$ にほとんど依
存せず、混合砂の場合 粒径別に平均値は異な
るも正規化された統計的構造はほぼ不変であるという。

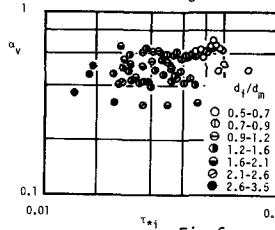


Fig.6

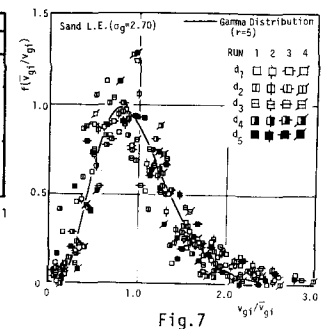


Fig.7

4. 粒径別移動砂れき数密度 ν_{gi}

16mm
フィルム解析による単位時間にある断面を通過する
砂れき個数とその速度から 粒径別移動砂れき数密度 ν_{gi}
を求め、 $N_{gi}/p_i \equiv \nu_{gi} A_2 d_i^2 / p_i$ (p_i : 粒径 d_i の砂の
河床表面面積占有率=基本試料重量比率)と τ_{*i} と
の関係を調べた (図-8)。この結果 τ_{*i} の増加による
粒径別流量 Q_{gi} の増加は τ_{*i} よりもむしろ N_{gi} の増

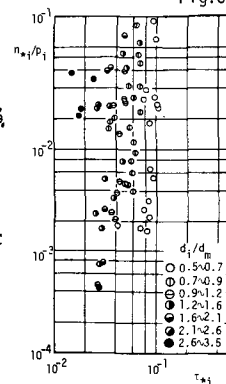


Fig.8

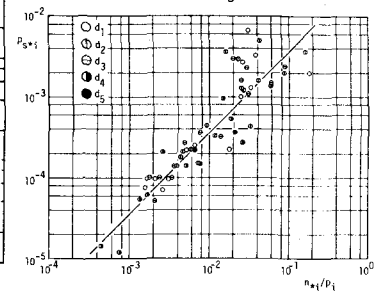


Fig.9

加で受けもたれていることがわかる。なお平衡状態では実験的に次式の成立が認められた。 $P_{gi} = 0.037 N_{gi} / p_i \dots (**)$

5. 粒径別 step length λ_i

$Q_{gi} = \tau_{*i} \cdot \nu_{gi} \cdot A_2 d_i^3 = p_i (A_2 / A_1) P_{gi} \lambda_i d_i$ より $\frac{N_{gi}}{p_i} = \frac{\lambda_i}{\nu_{gi} / (\sqrt{g d_i} - 1) g d_i} \dots (***)$
が得られる。式(***)の④は1stepの moving period T_m 、⑤は粒径分だけの沈降時間
 T_f であり、式(**)の実験式は $T_m / T_f = \text{const.} \approx 27$ を示す。これを認めると式(*)を用いて step length と τ_{*i} の関係が求
められる。この結果を実験値と比較したものが図-10 である。

今後上述の結果を再構築しその適用性を調べてゆく。

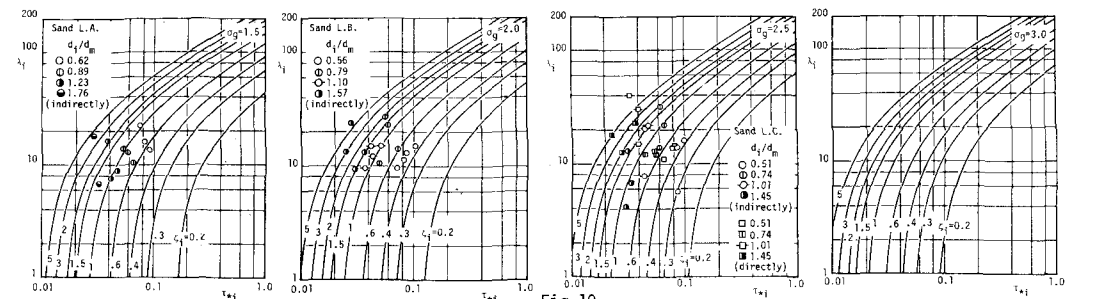


Fig.10

<参考文献> ① 中川・辻本・中野: 第25回水研, 1981 ② 中川・辻本: 土木学会論文集 244号, 1975 ③ 土屋: 京大防災研年報 6号, 1963 ④ 芦田・道上:
土木学会論文集, 266号, 1972.