

混合砂河床の粗粒化と流砂特性

中電技術コンサルタント(株) 正員 ○勝部 浩志
鳥取大学 正員 道上 正規
鳥取大学 正員 鈴木 幸一

1.はじめに 粒度範囲を広くもつ混合砂河床の流砂量の算定については、一様砂のそれに比べると、まだ十分な研究成果はあげられていない。混合砂河床では、粗粒砂の遮蔽効果が大いこと、細粒砂のみの選択流送が生じ河床表層が粗粒化することなど非常に複雑である。この粗粒化については、芦田・道上らにより、粒径別限界掃流力を与える修正Egiazaroffの式により明らかにされてはいるものの、粒径別流砂量については問題点が残されている。本研究では、芦田・道上の粒径別流砂量式について検討し、粗粒化現象を把握しようとするものである。

2.実験の概要 実験は、幅40cm、長さ8mで上流端に水路勾配調節装置と給砂装置を設けた水路で行なった。実験に用いた砂は図-1に示すような平均粒径 $d_m=0.415$ mmを有する混合砂である。実験条件としては、河床勾配を1/80、1/100 および1/115 と一定に保ちながら、流量 Q を8.31/sから25.31/s まで適宜変化させた。なお、河床砂は表層一層程度を採取し、流出砂は下流端で採取したものである。また、河床形状および水面形状は河床砂採取時に計測を行なった。

3.粒径別流砂量 まず、粒径別流砂量に関する芦田・道上の式(1)の妥当性を検討するために、Run2およびRun3についてEgiazaroffの式(2)を用いて実験値をプロットしたものが図-2である。なお実線は計算曲線である。

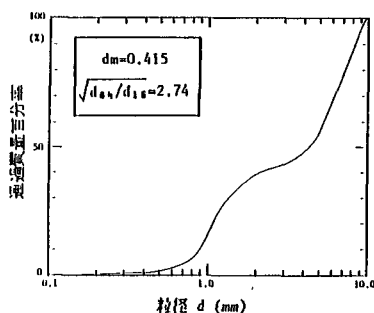


図-1 実験砂

$$\frac{q_{si}}{i_b u_{*i} d_i} = 17 \tau_{*i} \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}} \right) \quad \text{式 (1)}$$

$$\begin{aligned} d_i/d_m \geq 0.4 & ; \quad \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*cm}} = \frac{u_{*ci}^2}{u_{*cm}^2} = \left(\frac{\log 19}{\log(19d_i/d_m)} \right)^2 \frac{d_i}{d_m} \\ d_i/d_m < 0.4 & ; \quad = 0.85 \end{aligned} \quad \text{式 (2)}$$

ただし、 $\tau_{*cm} = 0.05$

図によると、平均粒径の無次元限界掃流力 τ_{*cm} は式(2)に見られるように $\tau_{*cm} = 0.05$ と一定ではなく、水利条件により変化していると考えられる。そこで、式(1)より平均粒径に関して実験データを用い、 τ_{*cm} を逆算し、平均粒径の限界掃流力 τ_{*cm} と流れの掃流力 τ との比 τ_{*cm}/τ と τ_{*cm} をプロットしたものが図-3である。この図より、データにばらつきはあるものの、ある傾向を示しており、 $\tau_{*cm}/\tau > 1.1$ では $\tau_{*cm} \approx 0.035$ 、 $0.7 < \tau_{*cm}/\tau < 1.1$ では $\tau_{*cm} \approx 0.08(1 - 0.5 \tau_{*cm}/\tau)$ 、 $\tau_{*cm}/\tau < 0.7$ では $\tau_{*cm} \approx 0.05$ となる。この関係を用い、粒径別流砂量を計算すると、 $d_i/d_m < 1$ では計算曲線との適合性は良いものの、 $d_i/d_m > 1$ ではその適合性は悪い。これは、芦田・道上の式(1)に修正Egiazaroffの式(2)を用いることは妥当でないことを示しており、特に、 $d_i/d_m > 1$ では各粒径 d_i の限界掃流力を過大に評

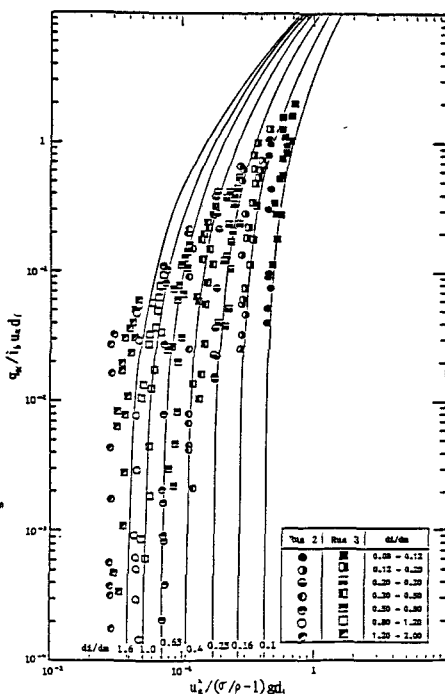


図-2 粒径別流砂量

価しているものと
考えられる。そこ
で、流砂量がほと
んどなく、静的状
態にあると判断さ
れる $q_{sbi} (=q_{bi}/i_b u_*^2 d_i) = 1 \times 10^{-3}$ の
 $\tau_{ci} (=u_*^2/(\sigma/\rho-1)$
 $gd_i)$ を限界状態の
 τ_{sci} と考え、図-2

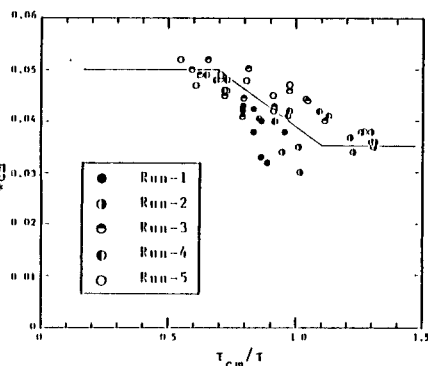


図-3 τ_{sci} と τ_{cm}/τ の関係

に示される流径別
流砂量の図より、実験データをもとに、 τ_{sci} を読み取り、 τ_{ci}/τ_{cm} と d_i/d_m の関係を示したものが図-4である。なお、図中には平野によるデータも記されている。この図より、 τ_{ci}/τ_{cm} と d_i/d_m の関係は以下に示す式 (3) で表わされる。

$$\frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} = \left(\frac{d_i}{d_m} \right)^{1.07} \quad \text{式 (3)}$$

上式はParkerらにより求められたものと若干係数は異なるものの同じような傾向を示している。式 (1) の粒径別限界掃流力を式 (3) で与え、実験値と計算値を比較すると、図-5のようになる。この図は先ほどの図-2に比べ $d_i/d_m > 1$ でも良く適合しており、式 (3) を用いて粒径別限界掃流力を求めることが妥当であることを示している。

4. 河床表層の粗粒化 つぎに、河床表層の粗粒化と流砂量の関係を知るために摩擦速度 u_* と流砂量 q_b の関係をRun3について示したものが図-6である。図によると、 u_* が比較的大きい場合には q_b に大きな差は見られない。これは式 (1) から理解されるように、 τ_{sci} は u_* が大きいと、ほとんど影響しないためと考えられる。しかしながら、 u_* が小さくなると u_* が一定でも q_b が大きく異なる領域が存在する。これは、河床表層の粗粒化によるものと思われ、河床表層が粗粒化するとその下の河床は流出されにくくなり粗粒化していない場合に比べ、 q が大きく減少するためである。Run3,4および5の結果より、河床の粗粒化が急激に発達あるいは破壊されるのは、 $\tau_{sm}/\tau_{scm} = 1.1$ (ただし、 $\tau_{scm} = 0.05$) でありこの値を境にしてarmour coat は形成あるいは破壊されるものと考えられる。

- (参考文献) 1) 芦田・道上; 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基本的研究
2) 平野; Armouring をともなう河床低下について
3) Parker; 粗粒化について

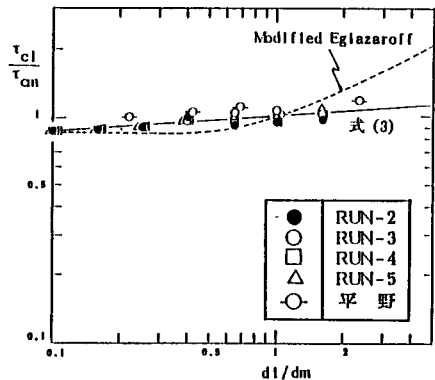


図-4 τ_{ci}/τ_{cm} と d_i/d_m の関係

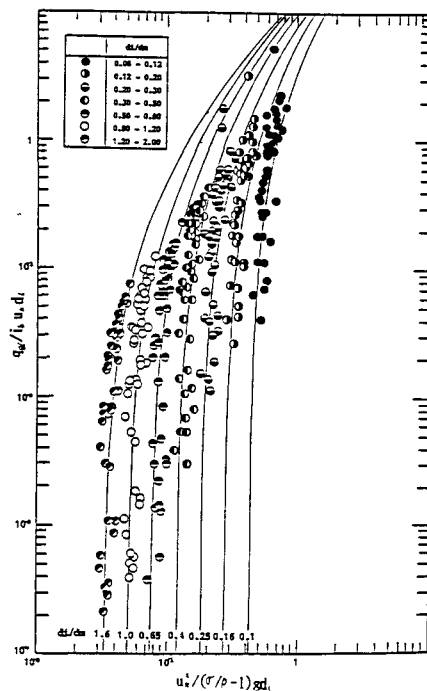


図-5 粒径別流砂量

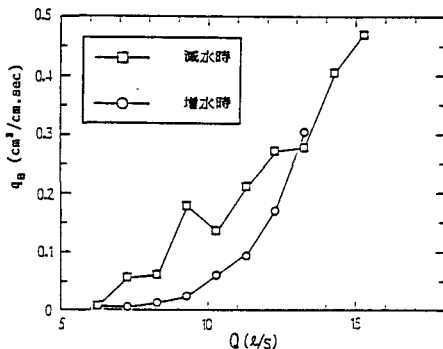


図-6 q_b と u_* の関係