

混合砂れきの流送機構に関する一考察

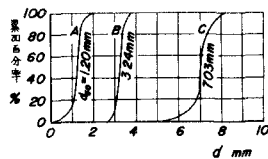
京都大学工学部 正会員 土屋義人
 京都大学防災研究所 〃 〃 道工正規
 関西電力 K.K. 〃 〃 吉川 太

1. 緒言

自然砂は河川および海岸にみられるように、粒度分布に広がりのあるいわゆる混合砂れきで構成されている。したがって、混合砂れきの流送特性を把握しなければ、実河川における流出土砂量を正確に推定することは非常に困難である。ところが、従来砂れきの流送機構に関する研究は数多く行なわれてきたが、それは均一砂れきに関するものがほとんどであって、混合砂れきに関する研究は非常に数少ないのが現状であり、その流送機構についてもほとんど明らかにされていない。こうして混合砂れきの流送特性を究明するために、着者らがすでに実施してある均一砂れきの流送に関するトレーサー実験と同様な手法を用いて、混合砂れきに関する実験を行ない、各粒径ごとの砂れきの移動分布の測定結果から、混合特性を論じようとするものである。

2. 実験の概要

実験水路は、断面が $20\text{cm} \times 50\text{cm}$ 、長さ 20m の循環式水路で、河床こう配が $1/38$ になるように 5cm の厚さで混合砂れきを敷いた。使用した混合砂れきは図-1 に示す A 砂と C 砂れきを混合して、中央粒径が 35mm になるようにしたものと A, B および C 砂れきを混合して、中央粒径が 35mm になるようにしたものの二種類である。トレーサーとしては、蛍光塗料と上記の砂れきに塗ったものを用い、紫外線ランプで照射してその発光を容易にした。水路下流端から 13.5m の位置に各粒径の砂れきのトレーサーを $100 \sim 150$ 個づつ配置し、その移動分布の特性を測定した。



3. 実験結果と考察

砂れきの移動を1つの確率過程で表わし、その確率的特性と均一粒度分布一砂れきの場合に種々検討した結果、流砂現象をそれによって表示することの可能性を確かめた。ここでは、こうした考え方を混合砂れきの移動に適用することにした。図-2 は3種類の砂れきを混合した場合のトレーサーの 10sec 後の移動分布特性を示したものである。図中の曲線は理論式によって計算したものである。実験値は砂連の影響および河床砂れきの分離などのため、理論曲線から若干はずれているが、その特性はよく一致している。また、この図から明らかになるように、混合砂れき中の大こぼれきは、小こぼれものよりも大いな移動速度を有することがわかる。

図-1 使用砂れきの粒度分布

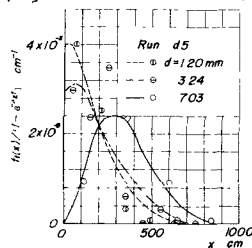


図-2 トレーサーの移動分布特性

つぎに、混合特性を検討するために、各粒径ごとの砂れきの移動を検討することにした。図-3 および 4 は各粒径ごとの砂れきの平均移動速度 u_m と摩擦速度 u_{*c} で除いたものを縦軸にとり、横軸に $1/4 = u_{*c}^2 / (g d)$ とし

って示したものである。なお、図-3 および 4 は 2 種類および 3 種類の砂れきと混合した場合の実験結果である。図中の曲線 (1) は摩擦力が相対速度の 2 乗に比例する流体抵抗とつり合って、砂れきが滑動する場合の移動速度を表わしており、その関係は次式で示される。

$$V_i/U_* = A_r - (4\bar{\mu}\psi/3C_0)^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 V_i ；砂れきの移動速度、 $\bar{\mu}$ ；摩擦係数および $U_* C_0$ ；抗力係数であって、(1) 式を計算する際に、 $A_r = 8.5$ 、 $\bar{\mu} = 0.45$ および $C_0 = 1.0$ とした。曲線 (2) は均一砂れきの平均移動速度を示す実験式で、次式で表示される。

$$V_b/U_* = 4.5\psi^{1/2} (\psi - 1/\psi_c)^{1.23} \quad (2)$$

これらの図から明らかになるように、混合砂れき中の小さな粒径の砂れきの平均移動速度は均一砂れきのそれよりも小さくなっており、一方大きな砂れきの平均移動速度は均一砂れきのそれよりも大きくなっている。従来混合特性としては、混合砂れき中の小さな粒径の砂れきに因する議論がなされてきたが、混合砂れき中の大きな砂れきに関しても検討をしなければならぬことが指摘される。ここでは、混合砂れき中の大きな砂れきの移動速度について考察を試みる。混合砂れき床面は、砂れきが不規則に並んでいて、その配列を厳密に論ずることは非常に困難であるので、河床を図-5 のようにモデル化した。最大粒径の砂れきがそれよりも小さい砂れきで構成された部分 F_1 に移動する場合、滑動して (1) 式に従う速度を有し、それと同粒径の砂れきで構成された部分 F_2 では、均一砂れき床面を砂れきが移動する場合の速度を有するものと仮定する。さらに、混合砂れき床面中、最大粒径の砂れきが単位面積あたりに占める面積割合を f とすれば、 F_1 の面積率は f となり、 F_2 の面積率は $(1-f)$ となる。これらの関係を数式的に表現すれば、最大粒径の砂れきの移動速度は、

$$V/U_* = \lambda_2/\lambda_1 U_* = (V_i/U_*)(V_b/U_*) / \{(1-f)(V_b/U_*) + f(V_i/U_*)\} \quad (3)$$

となる。上式に実験結果から求めた f の値として 0.15 および 0.07 を代入し図示したものが、それぞれ図-3 および 4 の曲線 (3) である。曲線 (1) は混合砂れき中の大きな砂れきの移動速度とかなりよい一致を示している。図-6 は Einstein の提案した遮蔽係数と類似した実験結果を示したものである。この図から明らかになるように、混合砂れき中の大きな砂れきの流砂量は均一砂れきのそれよりも大きくなっていることがわかる。最後に、御指導戴いた矢野勝正教授に謝意を表明する。

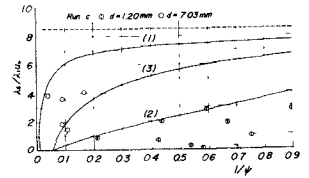


図-3 砂れきの移動速度と $1/\psi$ との関係

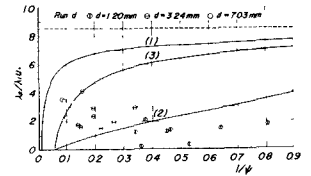


図-4 砂れきの移動速度と $1/\psi$ との関係

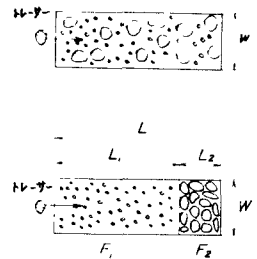


図-5 河床砂れき面のモデル化図

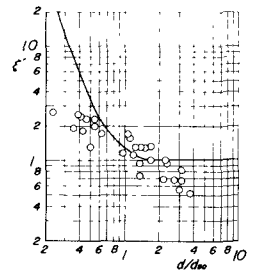


図-6 混合特性に関する実験結果