

乱流水槽における混合砂の浮上機構

鳥取大学大学院○学生員 平井真砂郎

鳥取大学工学部 正 員 道上正規

1. はじめに 本来、実河川は混合砂で構成されているため、砂粒の動きは非常に複雑なものになっている。流送土砂の一つの輸送形態である浮遊砂も同様である。従来より、混合砂の浮遊砂量を算定するには、各粒径ごとの浮遊土砂量と、それが河床中に含まれる割合との積を総和するという重ね合わせの方法がとられている。しかし、このような重ね合わせの方法が成立するかどうかは、いまだに検討の余地が残されている。そこで本研究では、一様な乱れ場を作りだせる乱流水槽を用いて、特に混合砂の場合の濃度分布に着目し実験的考察を行った。

2. 実験装置 本研究に用いられた乱流水槽は、直径、高さとも50cmのアクリル樹脂性の円筒水槽である。その中に一辺0.5cmのアクリル樹脂性角棒を3cm間隔で格子状に挿合したものを高さ方向に1/3枚とりつけ、これらの攪乱格子を同時に上下運動させるものである。本実験では振幅を2cmに保ち、周期を1/4sec, 1/3secとして実験を行った。また、浮遊砂の採水は、内径2.6cmのガラス管にビニールパイプをつないだサイフォン式の採水器で行った。粒度分析には、沈降天秤式粒度分析器を用いたが、これは沈降管の上部より投入した砂粒子の重量を24cm下方にある2/mgまで測れる電磁天秤によって測定し、粒径加積曲線を得ることのできるものである。

3. 実験結果 まず、本研究のような平均流の存在しない乱流水槽において、浮遊砂濃度が平衡状態にあるとすると、鉛直方向の濃度分布の基礎式は(1)式のよう表される。

$$E_s(dc/dy) + w_0 C = 0 \quad (1)$$

ここに E_s は拡散係数、 w_0 は沈降速度、 C は平均濃度である。一様な乱れ場における濃度分布の計算式は、 E_s を一定として(1)式を積分した(2)式が従来適用されている。

$$C/C_a = \exp[-(w_0 h/E_s) \cdot \{(y-a)/h\}] \quad (2)$$

この式は、一様砂の場合、片対数紙上で直線性を示すものである。重ね合わせの方法とは、(2)式が混合砂を構成している各粒径について成立するとして、(3)式によって混合砂の濃度分布を求めるものである。この式において、 E_s は一定とされている。

$$C/C_a = \sum C_{ai}/C_a \exp[-(w_{0i} h/E_s) \cdot \{(y-a)/h\}] \quad (3)$$

本実験では、細砂 Sand A (0.04~0.22 mm) に粗砂 Sand B (0.30~0.42 mm) を5%, 10%, 20%, 30% と混合比を変えた実験がなされた。攪乱周期 $T=1/4$ sec の場合の全濃度分布を示したものが図-1 である。この図より、混合比が増すにつれて、片対数紙上でわん曲しており、一つの代表粒径を用いて濃度分布は表わせないことが理解できよう。わん曲している理由としては、鉛直方向において順次粒径の異なる分けが起こるためであり、特に底面付近において急激な異なる分け作用が起こる。図-2 は、各粒径別の濃度分布を示したものである。細かい粒子では片対数紙上で比較的直線性が成立しているが、粗い粒子では直線性が成立しにくい。これは一般的に大きな粒子の濃度は小さく、測定精度に問題があると同時に、拡散の式で表されにくいことを示している。このようにして得られた粒径別の濃度分布より、各粒径に対する拡散係数を求めてみると、粒径によって拡散係数が変化することが見出された。このこと

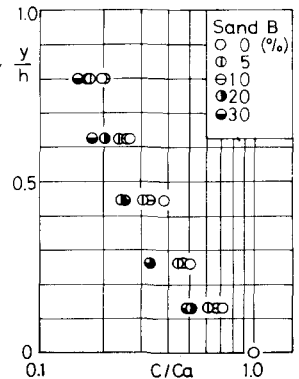


図-1 全濃度分布

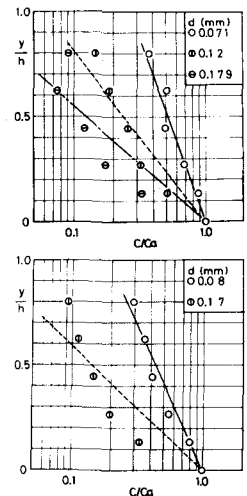


図-2 粒径別濃度分布

は基礎式において、 ε_s を一定とした仮定と異なり、重ね合わせができないことを意味するものである。図-3は、各粒径別の拡散係数を用いて、濃度分布を計算した結果を示したものである。この図より、実測値と計算値とは比較的良好に対応しており、各粒径に対する拡散係数を用いれば、濃度分布の重ね合わせも可能であると考えられる。

次に、粒径別の拡散係数を検討しよう。本実験について、次元解析を行なった結果、運動量の輸送係数 ε_{mo} と土砂拡散係数 ε_s との比 β は次の関係が表される。

$$\varepsilon_s / \varepsilon_{mo} = \beta = f_n(w_b T / A, d / A) \quad (4)$$

ここに、 T は攪乱格子の振動周期、 A は振幅、 d は粒径、 w_b は沈降速度である。このようなパラメーターで実験値を整理した結果が図-4に示されている。散点

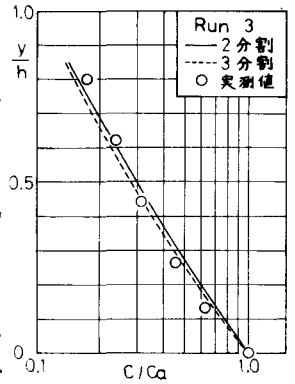


図-3 実測値と計算値の比較

が大きいので β とパラメーターの間の関係式を求めろまでには至らないが、 β は d/A 、または $w_b T / A$ の増加とともに増大することがわかる。このように β 値が粒径あるいは、沈降速度の増加とともに増大する原因としては、混合粒子の影響、実験装置の特性、乱れ

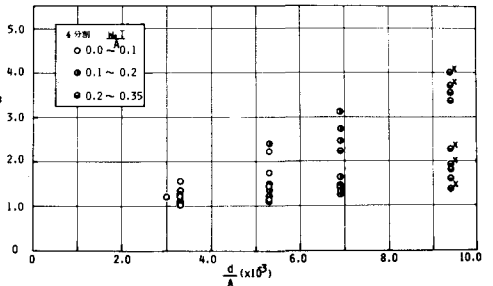


図-4 拡散係数の整理結果

図-5は、濃度分布に大きく影響を与える底面付近の濃度が底質土砂の混合比によってどのように変化するかを示したものである。これを見ると、底面付近の濃度は、粗砂であるSand Bの混合割合 $f(\%)$ の増加によって一様に低減するのではなく、5%混入の場合に濃度は最大値を示している。実験中の観察によれば、Sand Bは底面付近で跳躍運動としており、そのため砂面への衝突効果が大きくなり、多量の砂が浮上して、ある混合比で極大値に達する。しかし、粗砂の割合が大きくなると、衝突効果よりも、遮蔽効果のほうが大きくなり、次第に濃度が低下する。このように同じ乱れ強度に対しても、粒度分布のちがいによって、浮上する砂の量が異なることを指摘したが、さらに詳細な実験を行って、実河川での混合砂の浮遊機構について考察する必要がある。

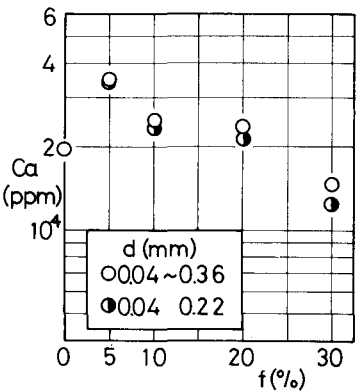


図-5 底面付近の濃度特性

4. おわりに 本研究では、乱流水槽における浮遊砂の浮上機構の考察より、乱れ強度が同一の条件でも、拡散係数は粒径あるいは、沈降速度によって変化することがわかり、その各々の拡散係数を用いれば、濃度分布の重ね合わせが可能であることを指摘した。さらに、混合比によっても底面付近の濃度は複雑な変化を呈することも指摘した。今後は、このような現象と実際の水理量と関連づけるために、乱流水槽内の流体の動き、あるいは粒子の動きを測定しなければならないと思われる。今後、このような点に注目して、より精密な実験を行い、浮遊現象の不明な点を解明していきたいと思う。最後に、本研究費の一部は文部省科学研究補助金試験研究に負うものであり、ここに記して謝意を表す。

(参考文献)

- 1) 岩垣・土屋・矢野 京大防災研年報 第8号 1965 pp. 353~362.
- 2) Singamsetti, S.R. Proc. A.S.C.E. Jour. HY. Div. March 1966 pp. 153~168.