

乱流水槽における砂の浮上機構

鳥取大学大学院の学生員 宇佐美 崇治
 益田市役所 正 員 佐々井 幸男
 鳥取大学工学部 正 員 道上 正規

1. はじめに： 従来より混合砂礫の浮遊砂量を推算する場合には、一様砂の濃度分布形が、混合砂礫中の各粒径の粒子に対して成立するとして、重ね合わせる方法が用いられてきた。しかし、このような方法が一般に成立するかどうかまだ検討の余地が残されている。本研究は、このような重ね合わせの方法に関する妥当性の検討に主眼をおき、混合河砂での浮遊現象について実験的考察を行ったものである。乱れの場合としては、開水路流れの場にさきだし、流れの存在しない様な乱れ場をつくりだす、乱流水槽を用いて実験が行われた。

2. 実験装置： 実験は直径50 cm, 高さ50 cmの亚克力樹脂性円筒状水槽で行われた。水槽内には、攪乱用格子が等間隔にとりつけられ、これらを同時に上下運動させることにより、乱れ場をつくりだすようになっている。浮遊砂の濃度分布は、サイフォン式採水管によって採集した浮遊砂を、乾燥後0.01 gまで計れる上皿直示天秤で重量を測定することにより求めた。なお、浮遊砂の粒度分析は、浮遊砂の粒径が小さく、また絶対質量も少ないため、投影機による方法が用いられた。この方法は、拡大した粒子の映像より粒径を計り、その頻度分布より、粒度分布を与えるものである。

3. 実験結果： 平衡状態の鉛直方向の濃度分布だけを取扱うことにすれば、濃度の基礎式は次式のように書ける。

$$\varepsilon_z \left(\frac{dc}{dz} \right) + w_0 c = 0 \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 c ：浮遊砂の濃度、 w_0 ：沈降速度、 ε_z ：土砂拡散係数である。乱流水槽では、水深方向に乱れ強度が一定と考え、 $\varepsilon_z = \varepsilon_0 = \text{const}$ として、式(1)を積分すると、次式がえられる。

$$\frac{c}{c_a} = \exp \left\{ \frac{w_0 h}{\varepsilon_0} \frac{z-a}{h} \right\} \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 c_a ：基準点 $z=a$ における濃度、 h ：水深。式(2)が一様粒径に対する濃度分布式である。図-1では同一条件のもとで2度実験を行い、現象の再現性を調べた結果が示されている。これより、濃度分布は両実験で同一傾向を示し、片対数紙上で直線性を示すことが知れ、実験の再現性が成立している。また、一様砂の濃度分布は式(2)で表わされる。図-2は、No.1の実験で、 $z=20.5$ cmの点の浮遊砂資料より3つのサンプルをとり粒度分析を行、た結果を示したものである。これより、このような方法では資料の選定の仕方によって、粒度分布に差異が生じる。図-1, 2より、この河床砂は粒度にばらつきを持つが、この程度のばらつきでは、一様砂として取扱うことができよう。図-1の濃度分布より、土砂拡散係数 ε_0 の値を、65 μ 粒径に対応した沈降速度を用いて求めると、それぞれNo.1, No.2で、28.6 cm²/sec, 26.0 cm²/secとなった。図-3は、混合砂の濃度分布(

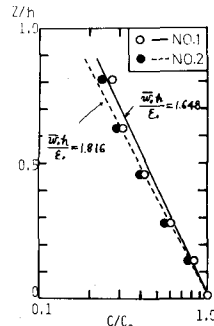


図-1

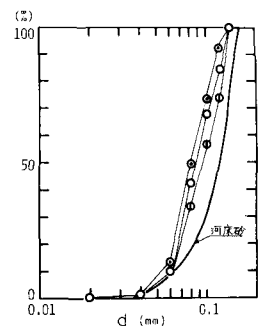


図-2

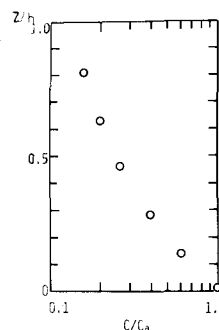


図-3

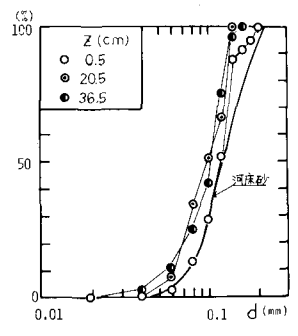


図-4

図-4に使用砂の粒度分布を示している)を表わしたものである。このような混合粒径の場合には、その濃度分布は、片対数紙上で人曲し、ある一つの代表粒径を用いた、式(2)の形で表わすことはできない。そこで、粒径別の濃度分布を求めることにする。河床砂の分割方法として、河床砂をそれぞれ、7分割、3分割、2分割した3通りについて、粒径別の濃度分布を求めた結果が図-5に示されている。粒径別濃度分布は、散点が大きいがこの散点の原因は粒度分析の誤差によるものと考えられるが、それ以外に混合砂の浮遊現象に含まれる変動現象が含まれているのかもしれない。図-6は、図-5の資料より求めた ε の値を示したものである。これより、 ε の値は一定値をとらず粒径の増大にともなう増加するようである。また、式(2)が混合砂の各粒径 d_i の粒子に対して成り立つとして、全濃度分布を求めるに次式のようになる、

$$\frac{C}{C_a} = \sum_i \frac{C_{a_i}}{C_a} \exp\left\{-\frac{w_i h}{\varepsilon_i} \frac{z-a}{h}\right\} \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 C_{a_i} : 粒径 d_i の粒子の基準点 a における濃度、
 C : 粒径 d_i に対応する諸量である。

C_{a_i}/C_a が河床砂の粒度分布 $f_b(d_i)$ に等しいとすると、

$$\frac{C}{C_a} = \sum_i f_b(d_i) \exp\left\{-\frac{w_i h}{\varepsilon} \frac{z-a}{h}\right\} \quad \text{--- (4)}$$

が成り立つ。図-7は、式(3)を用いて求めた全濃度の計算結果と実測値とを比較したものである。図のように、一樣砂の濃度分布から得られた ε_0 を用いた濃度分布は、実測値とは一致せず、各粒径ごとに ε の値を変化させた方がよく実測値に適合するようである。また、分割の方法によっては、あまり大きな差異はみられないようである。

図-8は、浮遊粒子の標準偏差 σ 、中央粒径 d_{50} 、90%粒径 d_{90} の鉛直分布を示したもので、図中、添字 b を付した諸量は河床における値を示している。 d_{90} は河床から離れるにしたがって、かなり減少するようであるが、標準偏差 σ の変化はあまりみられない。

4. 結論: 乱流水槽における攪乱の条件が同一である、拡散係数の値は粒径によって変化する。すなわち、拡散係数は乱れ強さのみの関数ではなく、粒子との相互作用によっても変化するようである。したがって、混合砂の浮遊濃度は、単純に一樣砂で求めた拡散係数を用いて、式(3)のような重ね合せの方法で表わされないものと考えられる。今後、一層精密な実験を行い、浮遊現象についての問題を解明していきたいと考えている。

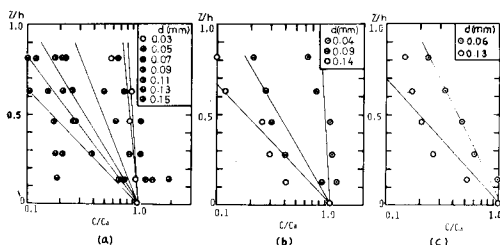


図-5

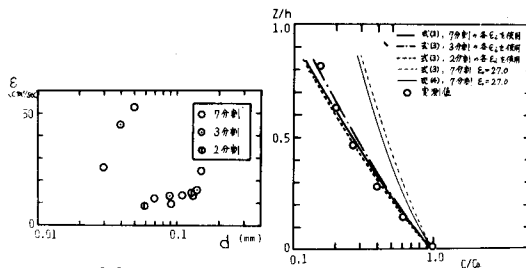


図-6

図-7

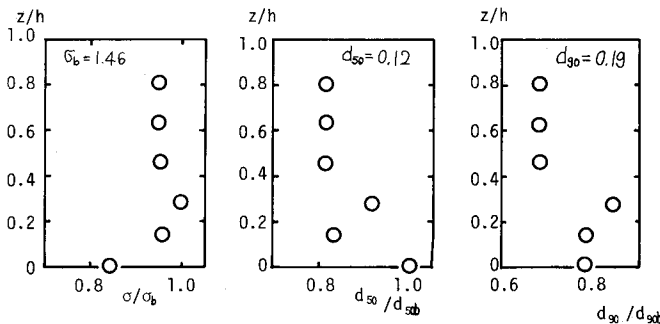


図-8