

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男

〃 〃 道上 正規

1 緒言

浮遊砂に関する研究は古くから行われており、細砂の浮遊現象は流水の流れによる拡散現象であるとして、濃度分布の基礎方程式が導かれていた。また、わが国においても流水が浮遊砂を含むことによって、その乱流構造の変化—いわゆるカルマン定数の変化—に関する理論的検討がなされ、粒子を含む流れの状態に関するわれわれの知見はなかりつつある。しかしながら、砂粒子の浮遊限界、浮遊粒子の粒度分布特性、河床付近の基準濃度、浮遊流砂量および wash load の諸特性に関する系統的な実験や理論的考察はあまりなされておらず、いまだ未解明のものが数多く残されているように思われる。著者は今後こうした諸問題を系統的に検討していく計画であるが、今回は浮遊粒子の粒度分布特性および河床付近の基準濃度に関する二、三の考察を試みるので、その結果について報告する。

2 実験の概要

循環式実験水路において、流砂が定常状態になったあとで、水路中央部における鉛直方向の濃度分布および流速分布の測定を行った。浮遊粒子の粒度分布は採取資料を V. A. Tube 法による沈降分析の測定から求めた。浮遊砂の採取には、 $2mm \times 30mm$ の長方形断面の真鍮製サンプラーを使用して、サイフォン方式によって行なった。使用砂としては図-1の実線で示したものを採用し、その中央粒径は $0.13mm$ である。

3 浮遊粒子の粒度分布特性

開水路流れにおける均一砂の定常状態の鉛直方向に関する濃度分布式は、Rouse によって提案された式で表示されると述べているが、混合砂の各粒径ごとの砂粒子についても、Rouse の式が適用されると仮定すれば、次式のようにならされる。

$$C_i/C_a = (h-z/z \cdot a/h-a)^{Z_i}, \quad \text{ただし } Z_i = w_i/kU_* \quad (1)$$

ここに、 C_i および C_a : それぞれ沈降速度 w_i の砂粒子の河床から z の奥の濃度および基準奥 a の濃度、 K : カルマン定数、 U_* : 摩擦速度、 h : 水深、である。(1)式の形が混合砂の各粒径ごとの砂粒子に適用しうことは著者らあるいは吉川・福岡によってほぼ確かめられている。沈降速度 w_i の砂粒子の濃度分布 $f(w_i)$ は、 $f(w_i) = C_i/\sum C_i$ で表わされるので、いま河床付近の基準奥 a における頻度分布 $f_a(w_i)$ と河床砂のそれ $f_b(w_i)$ が等しい、すなわち $f_a(w_i) = f_b(w_i)$ と仮定すれば、鉛直方向における浮遊粒子の頻度分布は次式のようになる。

$$f_x(w_i) = f_b(w_i) (h-z/z \cdot a/h-a)^{Z_i} / \sum f_b(w_i) (h-z/z \cdot a/h-a)^{Z_i} \quad (2)$$

図-1は河床砂のすべての砂粒子に対して、 $w/U_* < 1$ の状態の実験結果の一例である。こうした状態においては、河床砂と底面付近の浮遊粒子との粒度分布は良く一致しており、 $f_a(w_i) = f_b(w_i)$ の仮定が妥当であることを示している。また、(2)式による計算結果と実験値は比較的に一致しており、この図から鉛直方向の浮遊粒子の粒度特性の変化を理解することができよう。一方、すべての河床砂に対して、 $w/U_* < 1$ が成立しないような場合には、図-2に示すように、 $f_a(w_i) \neq f_b(w_i)$

とせる。こうした状態では、砂粒子の浮遊限界が重要な役割を演じ、混合砂の特性と関連して今後検討しなければならないと思われる。ここでは、(2)式にあける $f_b(\omega_i)$ のかわりに、 $f_a(\omega_i)$ を用いて浮遊粒子の拡散を検討した結果が図-2 に曲線で示されている。乱流拡散によって生じうる浮遊粒子の粒度分布のパターンと実験値とは比較的一致している。このことから(1)式の関係が混合砂に対して成立すると考えられるが、基準濃度を河床砂から推定する方法が検討しなければならない。

さらに、これらの図から砂粒子の浮遊限界を検討してみると、 $\omega/\omega_c \approx 0.7$ 付近の値が、その限界を示しているようであって、興味ある実験結果のようと思われる。浮遊限界については、こうした実験結果の集積とともに、流水の流れと砂粒の interaction との関係が理論的に考察されなければならない。

浮遊砂の最大粒径 d_{99} と中央粒径 d_{50} に関する河床砂のそれとの比を示したものが図-3 である。図-3 の(I)は図-2 に対応するものであるが、最大粒径と中央粒径に関する鉛直方向の変化は顕著でない。一方、(II)の方はそれらの値が鉛直方向にかなり変化しており、当然のことがからこれらは図-1, 2 とよく対応している。

4 河床付近の濃度

河床付近の濃度の推定方法は、浮遊流砂量を計算するにあたってきわめて重要な意義を有している。著者らは、河床付近の濃度は掃流砂層の濃度に等しいと仮定して、

$$C_a \propto g_B / U_* d \quad (3)$$

の関係を検討した。その結果が図-4 に示されている。ただし、 C_a としては $Z/h=0.1$ の濃度を採用し、また、 g_B としては佐藤・佐川・芦田公式を用いた。 $g_B/U_* d_m$ の小さいところ(粗度係数の大きい lower regime)では、粗度の影響があらわれているようであり、また実験値のばらつきもみられるが、全体的には(3)式の関係が成立しているようである。今後河床粗度とこの問題とを関連させて検討しなければならないと考えている。最後に、鉄板河指導をたまたりした京大防災研究所矢野勝正教授ならびに実験資料を提供して下さいました田中裕一郎助手に感謝の意を表明する。

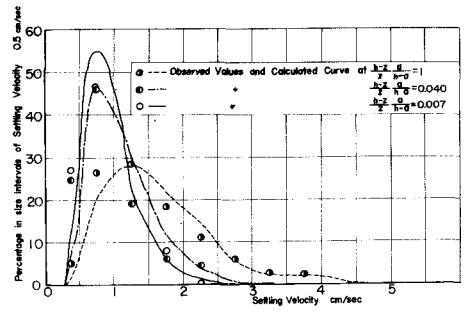


図-1 浮遊粒子の頻度分布 ($U_* = 5.84$ 〔cm/sec〕)

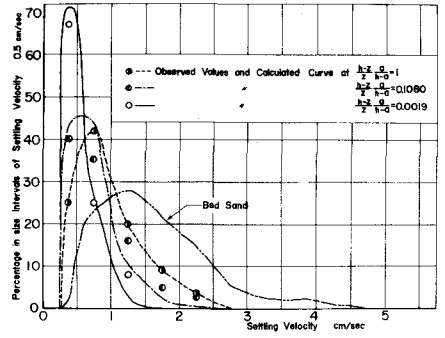


図-2 浮遊粒子の頻度分布 ($U_* = 3.94$ 〔cm/sec〕)

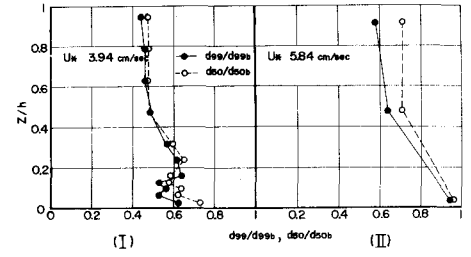


図-3 最大粒径と中央粒径の鉛直方向の変化

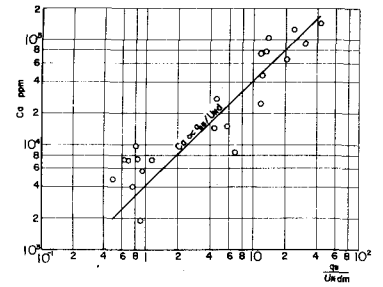


図-4 河床付近の濃度