

II-7

微細砂を高濃度に含む流れに関する実験的研究

京都大学防災研究所 正 員 江頭 進治
 河川環境管理財団 正 員 芦田 和男
 三菱総合研究所 正 員 田野中 新
 京都大学大学院 学生員 佐藤 隆宏

1. はじめに 泥流の流れの構造は、中に含まれる固体粒子の物理的特性ならびに濃度に依存することが多くの研究によって指摘されている。たとえば、非粘着性の微細砂と水との混合物の流れについてみると、微細砂濃度の小さい領域において、抵抗は濃度の増加に伴わずかに減少するものの、濃度がさらに増加すると抵抗は再び増加することが分かっている。^{1),2)} 従来の古典的な解析ではこのような抵抗の増加は、乱れの混合距離あるいはカルマン定数が増加するといったことで説明されている。本研究は、水深、濃度の垂直分布および拡散係数などに関する水路実験結果に基づいて、上述のような抵抗特性の変化が何によってもたらされているのか検討したものである。

2. 実験条件及び方法 実験は、幅 10.5cm、長さ 4.0m、可変勾配の矩形断面開水路で行った。水路床には実験に使用した微細砂が貼り付けてある。水路上流端には、プロペラ式攪拌器を取り付けた水槽が設置されており、ここに給水、給砂を定期的に行い、所定の濃度の泥流をつくり、水路に供給する。実験に用いた微細砂は中央粒径 $D_{50}=0.016\text{cm}$ 、内部摩擦角 $\phi_s=33.6^\circ$ 、密度 $\sigma=2.63\text{g/cm}^3$ である。測定項目は、濃度による水深の変化（実験 1）、濃度の垂直分布（実験 2）、トレーサの拡散（実験 3）である。実験 1 では、泥流の流量を一定にし、濃度のみを変化させて、水深、つまり流水抵抗の変化を測定した。実験 2 では、内径 2.0mm の鋼管を鉛直方向に 1.0mm ごとに配置した装置で各層ごとに泥水を採取して、濃度の垂直分布を測定した。実験 3 では、コマ送り速度 250 コマ/秒で泥流中に流したトレーサを撮影した。このデータを用いて、トレーサの拡散係数を計算した。

3. 実験結果の考察 図-1 は、実験 1 より h/h_0 と濃度 C との関係を見たものである。ここに、 h_0 は清水流の水深、 θ は路床勾配、 q_m は混合物の単位幅流量である。実線は浮遊砂流に関する志村³⁾の研究による計算値である。計算に当たっては、清水流の実験より $Ar=8.5$ 、 $k_s=0.113\text{cm}$ としている。実験値は、濃度が 10 数パーセントまでは顕著な変化を示さないが、さらに濃度が増加すると急激に増大している。図-2 は、微細砂濃度の垂直分布である。ここに C_0 は河床面より $z=1.0\text{mm}$ の位置における濃度である。図中の点線はカルマン定数 $\kappa=0.4$ 及び静水中の粒子沈降速度 $w_0=1.83\text{cm/s}$ としたときのラウス分布である。実線は実験値に一致するように $Z=w_0/\kappa U$ を定めて得られるラウス分布である。なお、 $\kappa=0.4$ としたとき、いずれの実験データも $Z \approx 0.4$ 程度である。実験結果についてみると、濃度の低い領域ではラウス分布に従うものの、高い領域では一様化し、ラウス分布に一致させるためには、拡散係数をかなり大きくしなければならないことがわかる。

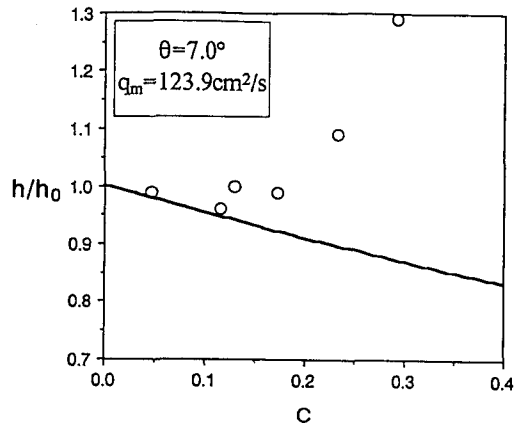


図-1

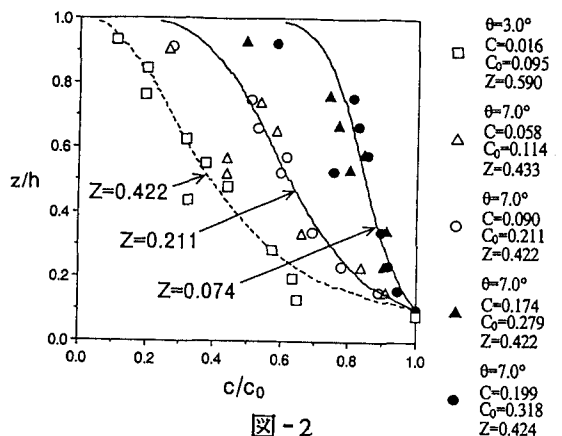


図-2

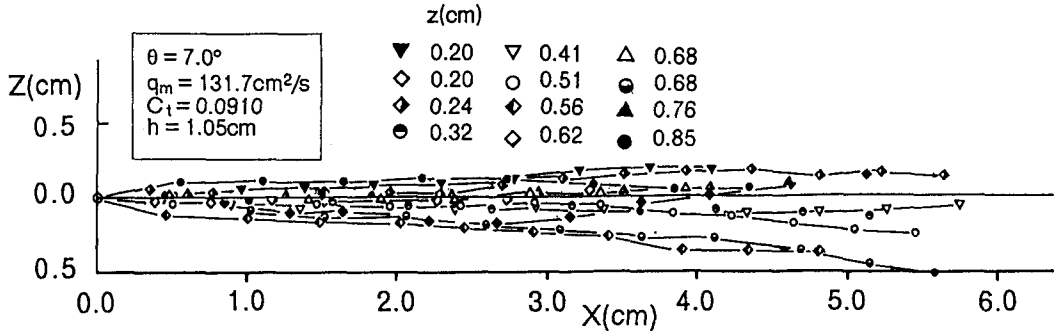


図-3(a)

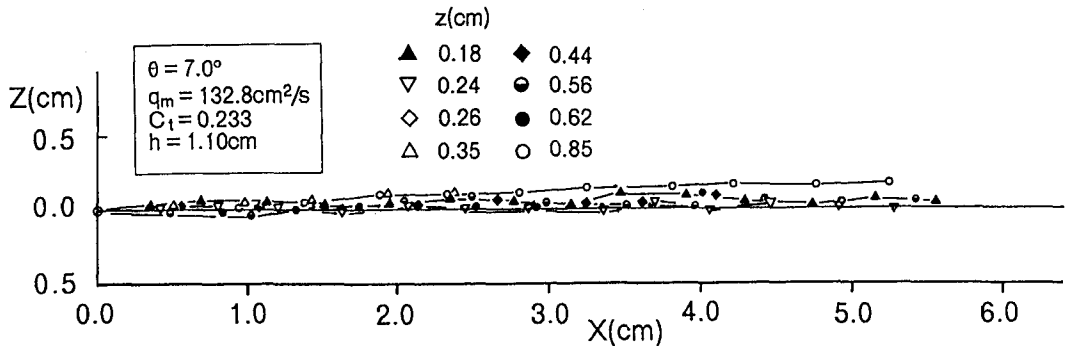


図-3(b)

図-3 (a),(b) は、各位置に流した粒径1mm のスラッジライトの運動軌跡の最初の点を同じ位置にして軌跡を描いたものであり、トレーサの拡散状況を示した一例である。図-4 は、図-3 の結果に基づいて得られる拡散係数と濃度の関係である。これらによれば、泥流は、濃度の低い領域では乱流的挙動を示すが、濃度の増加にともない乱流拡散係数は減少し、層流的挙動を示すようになることが分かる。

以上の結果より次のことが分かる。仮りに、泥流が対数型の抵抗則に従うものとすれば、図-1, 2 の結果は、濃度と共に抵抗あるいは渦動粘性が増加することを意味している。一方、図-4 の結果によれば、濃度の増加に伴い渦拡散は減少している。相反するこれらの結果は、非粘性微細砂流の高濃度領域（10 数パーセント以上）においては、壁面乱流的な応力も存在するものの、それ以外の応力が卓越するようになることを示している。

4. おわりに 本研究が対象とした流れにおいては、従来から認められているように、微細砂濃度が高い領域では水深は増加する。これは、レイノルズ応力が増加するためではなく、それ以外の応力が卓越するようになるからである。現在、応力モデルとして、降伏応力と壁面乱流応力を考慮したものを用いて流れの解析を進めており、その一部をこの年次講演会で発表している。

最後に、本研究を進めるにあたり、近畿大学理工学部江藤剛治教授のグループで開発されたビデオ装置を使わせていただいた。ここに記して感謝します。

参考文献 1) J.C.Winterwerp, et al : Hyperconcentrated Sand-Water Mixture Flows over Flat Bed, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.116, No.1, 1990 2) 新井宗之・高橋保：泥流型土石流の流動機構，土木学会論文集，375 号（1986） 3) 志村博康：浮遊砂を有する水流の諸特性について，土木学会論文集，46 号（1957）

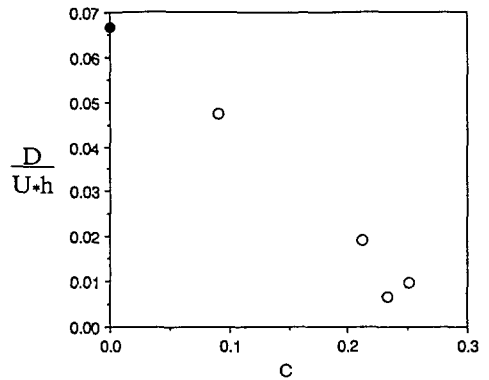


図-4