

京都大学防災研究所 正員 江頭 進治
 京都大学大学院 学生員 佐藤 隆宏
 京都大学大学院 学生員〇千代 啓三

1. はじめに 泥流の一例として、非粘着性の微細砂を含む流れを取り上げ、水路実験を行う。ついで、流動層を二層に分けたモデルを用いて、実験結果の説明を試みる。

2. 実験の条件・方法 実験は、幅10.8cm、長さ4.0m、勾配可変の矩型断面開水路で行い、水路床には実験に使用した微細砂が貼り付けられている。実験に用いた微細砂は非粘着性であり、中央粒径 $D_{50} = 0.017\text{cm}$ 、内部摩擦角 $\phi_s = 39.0^\circ$ 、密度 $\sigma = 2.66\text{g/cm}^3$ である。流速の垂直分布(実験1)、濃度による流動深の変化(実験2)、濃度による平衡勾配の変化(実験3)に関する実験を行った。実験1では、水路勾配を 10° に固定して、輸送濃度を $10\% \sim 30\%$ の範囲で変化させ、泥流中に流したトレーサーを撮影することによって濃度による流速分布の変化を測定した。同様に、実験2では、水路勾配を 10° に固定して、輸送濃度を $0\% \sim 30\%$ の範囲で変化させ、濃度による流動深、すなわち、抵抗の変化を測定した。実験3では、水路下流端にせきを設置し、平衡状態を作り、濃度による平衡勾配の変化を測定した。本研究では比較のため 中央粒径 $d_{50} = 0.181\text{cm}$ 、内部摩擦角 $\phi_s = 38.5^\circ$ の砂粒子を用いた実験も行っている。ここで、侵食と堆積がバランスした時の河床勾配を平衡勾配という。

3. 実験結果および考察 図-1は、実験1の結果である。図中の実線に関しては後述する。実験値は濃度の上昇にともない、変曲点をもち、下に凸な分布へと変化していく。これは次のことを示唆している。濃度が10%程度では、流体の乱れによる応力が支配的であるが、30%になると河床付近では何か他の応力が存在している。図-2は、濃度による流動深の変化を示している。濃度が20%以上になると流れの抵抗が急激に増加しており、濃度による応力構造の変化が示唆されている。図-3は、濃度による平衡勾配の変化を示している。ここで、実線は江頭らによる理論式である。図によると砂粒子は理論値にほぼ一致しているが、微細砂は理論値よりも小さくなっている。これは 微細砂流では乱れによって浮遊している成分が存在していると考えらることで、説明できる。

4. 二層モデルの適用 図-4に示すようなモデルを考える。流動層を二層に分け、上層では乱れによる応力が卓越し、下層は降伏応力、粒子の非弾性衝突による応力、間隙水の乱れによる応力が

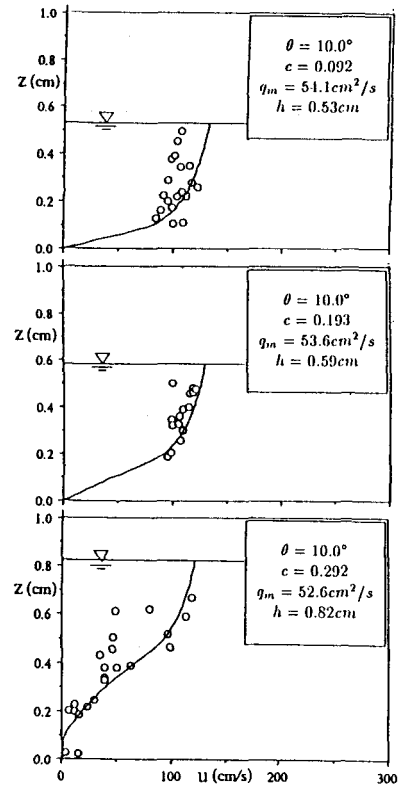


図-1 流速分布

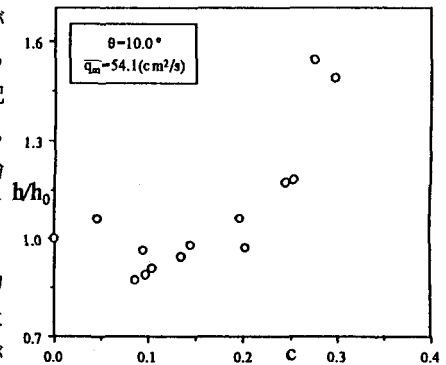


図-2 流動深

存在するものとする。濃度分布に関しては、上層では一様分布、下層では直線分布しているものとし、河床面での濃度は $c_* = 60\%$ であると仮定する。

江頭らの土石流に関する研究の成果を用いれば、下層の流速分布式は次式のように導かれる。

$$u_2(z) = -\frac{2}{3B} \frac{\sqrt{gh_2}}{\sqrt{f_f + f_g}} \left[\left\{ A + B \left(1 - \frac{z}{h_2} \right) \right\}^{\frac{3}{2}} - (A + B)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (1)$$

ここに f_f, f_g は c_2 の関数 A, B は c_2, h_2 の関数である。

上層では対数型の壁面乱流を考え、下層との流速及び速度勾配の接続条件を用いれば次式が導かれる。

$$u_1(\zeta) = \frac{u_{*1}}{\kappa} \ln \frac{\zeta}{\zeta_0} + u_2(h_2) \quad (2)$$

ただし

$$u_{*1} = \sqrt{gh_1 \sin \theta} \quad , \quad \zeta_0 = \frac{u_{*1}}{\kappa} \left\{ \frac{h_2 (f_f + f_g)}{gA} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$u_2(h_2)$ は式(1)から計算した $z = h_2$ での流速

以上の式を適用した結果を図-1に示す。この式によって、濃度による流速分布の変化が、統一的に表せることがわかる。ただし、上層と下層の層厚比を決定する機構については、今後の課題であり、ここでは、流量と流動深の実験値に合うように層厚比を決めている。また、この式は抵抗を過小に評価しているので、係数を実験値に合うように決めているなどの問題も残されている。

なお、図-4に示すモデルによれば、平衡勾配は次式のように導かれる。

$$\theta = \arctan \left\{ \frac{(\sigma/\rho_w - 1)c_2}{(\sigma/\rho_w - 1)c + 1} \frac{h_2}{h} \tan \phi_s \right\} \quad (3)$$

この結果を図-3に破線で示す。これによれば、実験データは、 $h_2/h = 0.4 \sim 0.6$ の範囲にある。

5. 問題点の抽出

本実験で取り扱った条件の下では、高濃度領域において、静的な応力の存在が実験結果から示唆された。上層の乱流層と下層の静的な応力の卓越する層流層とからなる二層モデルを用いると濃度による流速分布や平衡勾配の変化が統一的に説明された。今後、上層と下層の層厚の比を決定する方法を定め、抵抗を評価しなおした上でモデルの妥当性を検討する必要がある。

参考文献

- (1)江頭進治・芦田和男・矢島 啓・高濱淳一郎：土石流の構成則に関する研究、京大防災研究所年報、第32号B-2、1989、pp.487-501
- (2)江頭進治・芦田和男・高濱淳一郎・田野中新：エネルギー散逸機構に基づく流砂モデル、京大防災研究所年報、第33号B-2、1990、pp.293-306

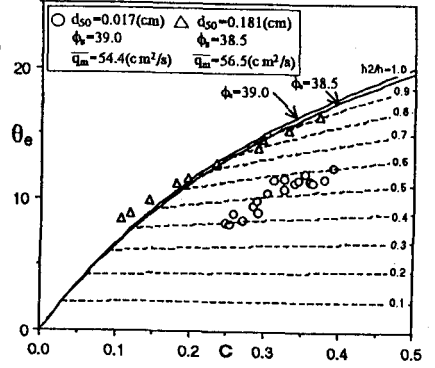


図-3 平衡勾配

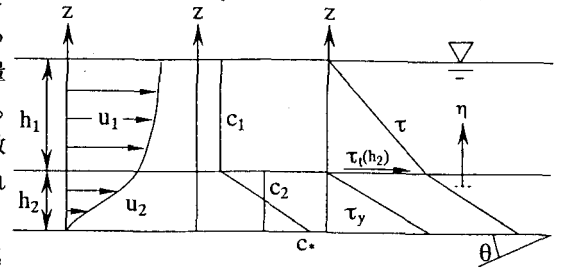


図-4 二層モデル概念図