

50 一粒径幅回転流動装置を用いた粒子流実験

京都府立大学 農学部 ○三好岩生 大手桂二

京都大学 農学部 水山高久

1. はじめに

土石流や崩壊土砂流動の運動機構の基礎的研究として、これらの主要な基本的性質を端的に表す粒子流実験を行い、流れの内部構造の詳細な観察をもとに内部応力構造についての検討を行った。

2. 実験の概要

実験装置はさきに試作された一粒径幅回転流動装置⁽¹⁾であり、流路となる透明なアクリル製の直径90cm、幅7mmの空洞のある円盤を回転軸によって支持し、この軸を中心に流路を回転させることによって内部に入れたサンプルが、粗度を施した外縁部内壁上で重力流動を起こすようになっている。サンプルは直径6mm、比重1.77のほぼ球形の合成樹脂製のビーズを用い、流路幅がほぼ一粒径幅にあたることから、粒子の回転を除いて完全に二次元化された流れが得られる。実験は400個の粒子を用いて、流路床速度（定常状態では移動座標系で見た平均流速に等しい）を3段階で定常させ、流れ中央の等流と見られる部分の約120個の粒子の動きをハイスピードビデオで録画し、画像解析装置を用いてそれぞれの粒子の0.005秒毎の運動や隣接する粒子との接触状態などを調べた。

3. 粒子流の微視的構造

図1に各速度での粒子配列状態と0.01秒間の変位から計算された各粒子の瞬間の速度ベクトルを表す。これらの粒子配列状態を見ると、粒子流中には大きく分けて二つの状態が見られる。一つは流速が速いときや流れの自由表面付近で見られる、粒子間隔が大きく速度ベクトルにある程度のばらつきが見られる状態であり、もう一つは流速が遅いときや流路床付近の粒子が密に詰まり、各粒子の速度ベクトルの差が小さい状態である。ここでは、前者を分散系の流れ、後者を接触系の流れと呼ぶこととする。図2は流れの中である時点で接触状態にある粒子間の接触が継続する時間と、その接触位置の流路床からの距離との関係である。分散系の流れでは粒子間の接触時間が 10^{-2} 秒オーダーの瞬間的な反発と見られる場合がほとんどであり、逆に接触系の流れでは 10^{-2} 秒以上の継続した接触が多く見られる。図3に各流路床速度での流速分布を示す。分散系の流れでは下に凸な、接触系の流れでは上に凸な流速分布が見られる。これらのことから、配列状態に見られた二つの形態の流れは、粒子間接触の形態や粒子間応力構造においても異なったものであることがわかる。

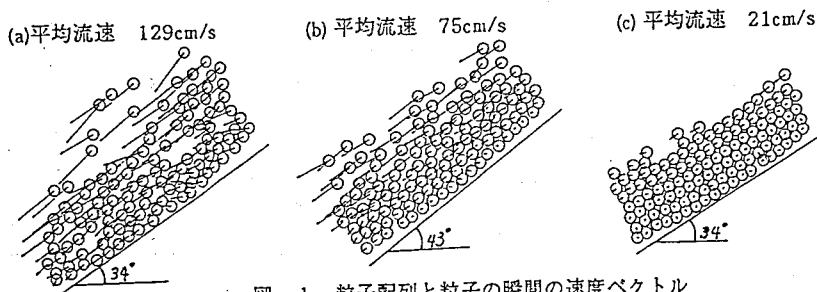


図-1 粒子配列と粒子の瞬間の速度ベクトル

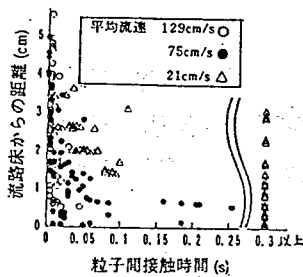


図-2 粒子間接触時間と位置の関係

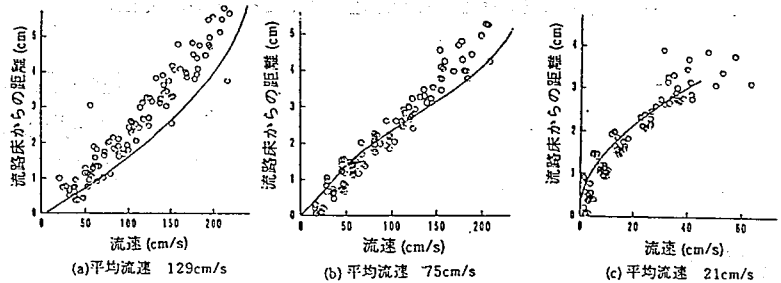


図-3 流速分布

4. 粒子間応力構造と構成則

粒子流中の粒子間応力あるいは粒子流の構成方程式についてのこれまでの研究は、想定される配列形態によって、いくつかに分類される。一つは粒子間が離れていて応力伝達が粒子間の衝突によって行われることを想定した場合であり、例えば宮本²⁾は粒子間の非完全弾性衝突によるエネルギー損失をセン断抵抗力のおもな生成要因と考え、これによるセン断応力について次のような式を提案している。

$$\tau_1 = \frac{\pi}{12} (\sin^2 \alpha) e^2 \sigma \frac{d^2}{b} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad \dots (1)$$

一方、粒子が密に詰まっている状態を想定して、金谷³⁾は粒子間の摩擦抵抗をセン断抵抗力の主要因と考えた場合について、次のような式を提案している。

$$\tau_2 = \frac{3\sqrt{6}}{10} \frac{p}{\omega} \sigma \mu c \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \dots (2)$$

式1、式2はそれぞれ今回の実験で言えば、平均流速が大きく流動の全体で粒子間隔が開いている場合と平均流速が小さく流動の全体で粒子が密に詰まっている場合に対応するものと考えられる。図3(a)と(c)に示される実線は、それぞれ式(1)と式(2)を用いて導かれた計算曲線である。それぞれが流速分布の傾向を良く表していると思われる。次に、図1(b)に表されるような、分散系の流れと接触系の流れが混在しているような場合についてであるが、この場合は式(1)と式(2)に対応したセン断応力が、ある時空間確立的に発生すると考え、全セン断応力が次式のように表されとする。

$$\tau = R\tau_1 + (1-R)\tau_2 \quad \dots (3)$$

ここにRは式(1)で表されるセン断応力が発生する時空間確立である。図3(b)に示される実線はRが流路床からの距離が1cm以内の領域では0、3.5cm以上では1、その間は線形に変化するものとして得られた計算曲線である。各位置での流速分布の傾向を良く再現しているといえる。

5. まとめ

粒子流の内部応力構造について実験による詳細な観察をもとに検討を行ってきたが、多くの粒子流の中には分散系と接触系の二つの流れの形態が見られ、両者に対応した応力支持機構がある時空間確立に従って発生すると考えることによって流れが説明されることがわかった。特に粒子間の接触摩擦による応力支持は、土石流などの発生・堆積域で大きな役割を果たすと考えられ、土砂流動の発生から堆積までを包括的に説明するためには、その効果についての検討が重要なものであると考えられる。

参考文献 1) 三好・小橋・鈴木(1989)；回転流動装置による混相流実験，砂防学会研究発表会概要集

2) 宮本邦明(1985)；ニュートン流体を含む粒子流の流動機構に関する研究，立命館大学学位論文

3) 金谷健一(1979)；粒状体の流動の基礎理論，日本機械学会論文集，Vol.45, No.392