

1. はじめに

土石流の中に含まれる細粒土砂は、流動中には流体相として機能する局面があり、このような細粒土砂も含めた流体相密度が土石流の流動抵抗を大きく左右することが知られている。実際の土石流の応力構造を解明するためには、この流体相密度を正確に評価することが重要となるが、これまでの多くの土石流研究はモデル的な流体を対象としているため、現実的な流体相密度の評価手法についてはほとんど知見が得られていない。土石流の流動シミュレーションなどを行う際にも、この重要なパラメータに対して経験的に適当な数値を与えているのが現状であり、物理性に基いた合理的な評価手法の確立が望まれるところである。ここではこのような課題の解明に必要な基礎的情報を得ることを目的として、土石流の流体相の形成と見かけの間隙流体密度変化に関する実験的検討を行った結果を報告する。

2. 実験方法

実験装置は、図-1 に示すような自作のリング状強制流動水路である (図-1)。リング状の水路に試供体となる土石流材料を入れ、その水面をせん断板によって強制的にせん断することによって混相流を発生させる。実験条件に応じた速さでせん断板を回転させたときの土粒子の浮遊状況 (固体材料の堆積状況) を計測するとともに、水路底面における間隙水圧を読みとった。実験に用いた材料は、液体材料としては水を、固体材料としては粗粒側の材料として $\Phi=6\text{ mm}$ の球形のプラスチックビーズ (単位体積重量約 1.7g/cm^3) を、細粒側の材料として標準砂 ($\Phi=0.11\sim 0.30\text{ mm}$) と、マサ土をふるい分けることによって粒径を $0.11\sim 0.25\text{ mm}$, $0.25\sim 0.42\text{ mm}$, $0.42\sim 0.85\text{ mm}$, $0.85\sim 2.00\text{ mm}$ にそれぞれ調整した土砂の計5種類を用いた。

3. 結果および考察

水路に水と細粒土砂材料のみ (体積濃度 25%) を入れて流動させた場合と、水と粗粒材料 (体積濃度 18%), 細粒材料 (体積濃度 25%) を入れて流動させたときの、平均表面流速に対する底面での見かけの間隙水圧、および間隙流体密度の関係をそれぞれ図-2, 図-3 に示す。ここで示している見かけの間隙流体密度とは、静止時の間隙水圧に対する流動時に計測された見かけの間隙水圧の比である。表面流速の増加に伴って見かけの間隙流体密度 (間隙水圧) が上昇する傾向が明らかに読みとれる。粗粒材料を含むことによって混相流化した場合には、単に細粒土砂の堆積面上に水流が発生する場合に比べて間隙水圧の上昇幅が大きく、粗粒子の含有によって流体相化する細粒土砂が大きく増えることがわかる。これは、粗粒子の含有によって流体中の乱れが大きくなるためと思われる。見かけの間隙水圧の上昇幅は、細粒材料の粒径が小さいほど大きかった。流体中に浮遊した細粒材料の質量を推定し、これと間隙水圧の上昇分を比較すると、細粒材料の粒径および固相濃度が大きくなるほど浮遊した細粒材料の中で間隙水圧に反映される質量の比が小さかった (図-4)。これはそれぞれ、濃度が高いほど平均粒子間距離が小さくなること、細粒材料の粒径が大きくなるに従って粗粒材料との粒径比が小さくなることから、粒子間の準静的な接触機会が大きくなるためと考えられる。また、見かけの間隙流体密度 (間隙水圧) は、細粒材料の粒径に応じて、流速がある値以上に大きくなると一定の値を示す傾向がみられた。そこで、流速変化に対して間隙流体密度が一定となる表面流速範囲の最低値と、それに応じた細粒土砂材料の粒径の関係をみると、粒径が表面流速の2乗に比例するような関係がみられた (図-5)。このような結果をもたらしたメカニズムについては、明確な判断を下すことはできないが、以下のようなことが考えられる。まず、今回の実験で発生した流れは、装置の特性から深さ方向に対してせん断応力は一定であり、また、深さ方向の流速分布をみるとほぼ直線状であったため、深さ方向にほぼ一様

な流れととらえることができる。従って、図-5 において横軸を平均的なひずみ速度に置き換えてもデータの示す傾向は同じ曲線で表現されることとなる。応力との関係は不明であるが、現象的には流体中の乱れ速度がひずみ速度と比例しており、流体相化する細粒土砂の粒径が乱れ速度の2乗に比例すると考えることによって結果に対する一応の説明が成り立つ。

4. まとめ

今回の実験から、土石流の見かけの間隙流体密度上昇のメカニズムについて、ひずみ速度に応じた粒径範囲の細粒土砂が流体相化するが、その粒径範囲内においても流体相化する土砂の割合は粒径に応じて、また、全固相濃度や粒径分布に応じて変化することなどがわかった。ここではデータ量が十分ではないために、間隙流体密度の定量的な評価手法を提示するまでには至らなかったが、さらに解析を進めることによってこのような関係について明らかにできるものと思われる。

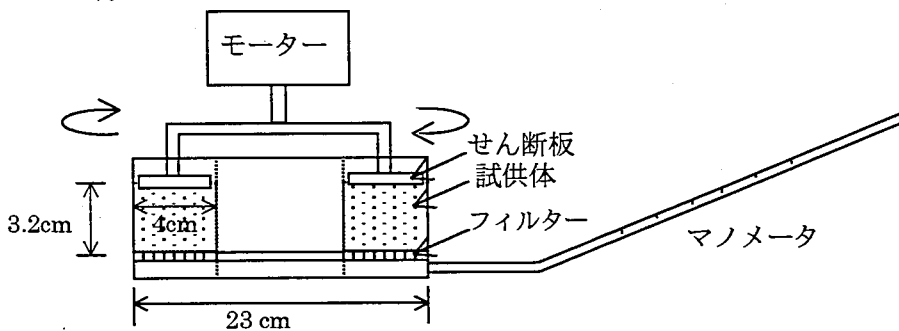


図-1 実験装置の概要

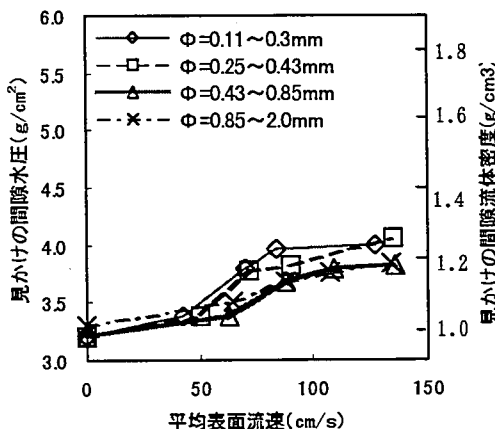


図-2 平均表面流速と見かけの間隙水圧・流体相密度の関係（細粒材料のみ）

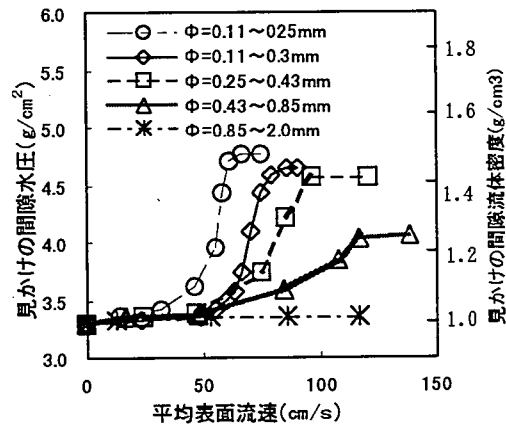


図-3 平均表面流速と見かけの間隙水圧・流体相密度の関係（粗粒子濃度18%）

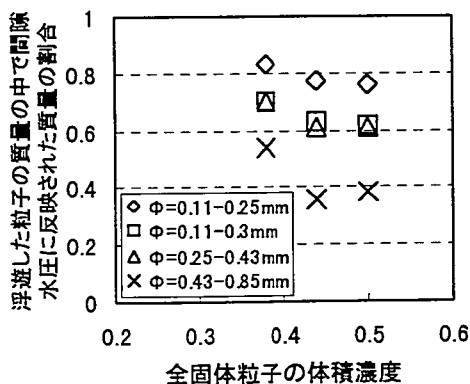


図-4 浮遊した土粒子の質量の中で間隙水圧として計測された質量の割合

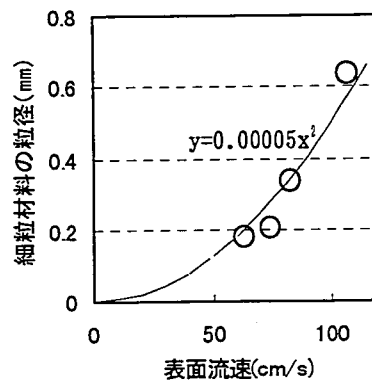


図-5 液体相化する細粒材料の割合が一定（最大）となるときの表面流速の下限値と粒径の関係