

京都大学防災研究所 正 員 高橋 保
 京都大学防災研究所 正 員 里深 好文
 京都大学大学院 学生員 白坂 紀彦
 京都大学大学院 ○学生員 富田 貴敏

1. はじめに 微細粒子を高濃度に含んだ粘性の高い土石流中で粗粒子が沈降することなく、相互に接触しない状態で分散したまま定常的に流下するためには、粒子の沈降速度に打ち勝つ何らかの支持力が作用していると思われる。その粘性流体中の粗粒子の支持機構を明らかにするため、ニュートン流体中に支持した2層の粒子層モデルを用い、上層の粒子層を固定し、下層の粒子層を等速度運動させることでせん断流れ場を発生させ、上層粒子層の中央の粒子に作用する力、分散圧力を測定する水路実験を行った。

2. 実験の条件・方法 実験装置は図1のように長さ8m、

深さ30cm、幅12cmの長方形断面水路を用い、間隙流体として高粘性流体である無色、透明なグリセリンを使用した。粒子として直径2cm、長さ5cmの円柱の塩化ビニール棒を使用、上層の粒子層は9本の円柱からなり、5mmのステンレス棒にとりつけ上からつるした。この粒子層の中央の粒子を分力測定器に接続し、作用する力を測定した。下層の粒子層は、長さ2m、厚さ1cm、幅8cmの塩化ビニール板に上述の円柱を等間隔に固定し、コの字型の断面を持つレールにはさみこみスライドさせ、側面から高速度ビデオカメラで撮影しその速度を読みとった。粒子濃度、せん断速度、粘性の3つの条件を変化させて実験を行った。

3. 実験結果及び考察 分散圧力：高橋は、相対速度を持った上下2層の粒子層を想定し、上下層の粒子層が接近しそして遠ざかるという過程において、トータルで上層の粒子に上向きの力が作用することで粒子が接触することなく分散したまま流動するという仮定から以下のような分散圧力式を定義した。

$$p = g(\lambda)\mu_f \frac{du}{dz}$$

λ は粒子濃度の関数であり

$$\lambda = \left\{ \left(\frac{c_{s0}}{c} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\}^{-1}$$

と定義される。ただし c_{s0} は粒子の充填濃度で0.6とし、粒子濃度は上下粒子層の間隔 s で変化させた。 μ_f は間隙流体の粘性係数、 du/dz は速度勾配であり、今回はせん断速度を粒子間距離で除した。この式をもとに実験結果と比較して考察を行う。本実験で瞬間、瞬間に検出された粒子に作用した分散圧力を上下層の粒子が接近し遠ざかる

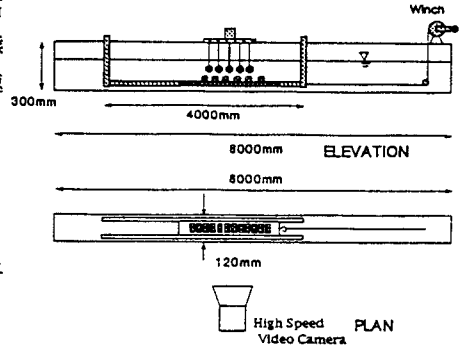


図-1 実験装置

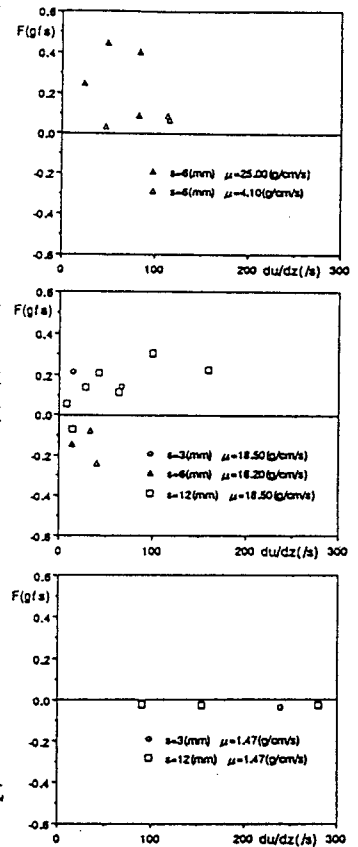


図-2 分散圧力

1周期にわたって積分し力積で表したのが図2である。また横軸は速度勾配である。 $\mu=25.00(\text{g/cm/s})$ では、上向きの分散圧力が発生している。 $\mu=18.50(\text{g/cm/s})$ では、上向き、下向き両方の分散圧力が発生しており速度勾配にはほぼ比例していることが読みとれる。

$\mu=1.47(\text{g/cm/s})$ では、すべて下向きの力が発生しているがその値は誤差の範囲内に収まっている。この3つの実験結果から粘性が高いとほぼ上向きの分散圧力が発生していることがわかったが、粒子濃度や速度勾配の及ぼす影響については読みとることができなかった。測定された分散圧力で実際に粒子が浮遊するか検討してみる。今回用いた塩化ビニール棒を粗粒子と考え、それに働く下向きの力は

$$F_1 = V(\sigma - \rho)g$$

であり、 $\mu=25.00(\text{g/cm/s})$ の実験結果より塩化ビニール棒の密度 $\sigma=1.421(\text{g/cm}^3)$ 、グリセリンの密度 $\rho=1.236(\text{g/cm}^3)$ から、 $F_1=2852(\text{g} \cdot \text{cm/s}^2)$ 、分散圧力による上向きの力の最大値 $F=0.5(\text{gfs})$ から $F_2=490(\text{g} \cdot \text{cm/s}^2)$ となり $F_1 > F_2$ なので同じ大きさの粒子を浮遊させるほどの分散圧力は発生していない。そこで粒子を支持するのに必要な単位面積当たりの圧力を半径 r の球で考えると

$$F/S = \frac{4}{3}r(\sigma - \rho)g$$

この式から球径が小さくなるほど粒子を支持するのに必要な単位面積当たりの圧力が小さくなることがわかる。このことを実際の土石流に当てはめてみると、土石流中のある粒径の粒子が発生させた分散圧力によって、それより粒径の小さな粒子が浮遊し、見かけの流体の密度が大きくなりさらに粒径の大きな粒子も浮遊し全層にわたって粒子が分散したまま流下すると考えることができる。

粒子間圧力：各実験条件において測定粒子に作用した瞬間最大圧力値（粒子間圧力とする）と速度勾配の関係を表したものが図3である。ここでは粒子間圧力を粒子の断面積 $A=10(\text{cm}^2)$ で除している。この図から粒子間圧力は速度勾配に比例していることと、間隙流体の粘性が高い方が粒子間圧力も大きくなっていることが読みとれる。

また粒子濃度が高くなるほど間隙流体が絞り出される速度が速くなることによって、粒子に作用する圧力が大きくなると考えたが実験では逆の結果となった。

4. おわりに 高粘性土石流の流動機構解明のための基礎研究として、粘性流体中を相対速度を持って運動する上下二層の粒子層を再現するモデル実験を行った結果、粒子同士が接近し遠ざかる過程のトータルで上層の粒子に上向きの力、分散圧力が作用することが確認できた。また粘性が高いほどその圧力が大きくなることも確認できたが、分散圧力式に含まれる粒子濃度と速度勾配の影響については、説明できるほどの精度の良いデータを得ることができなかった。

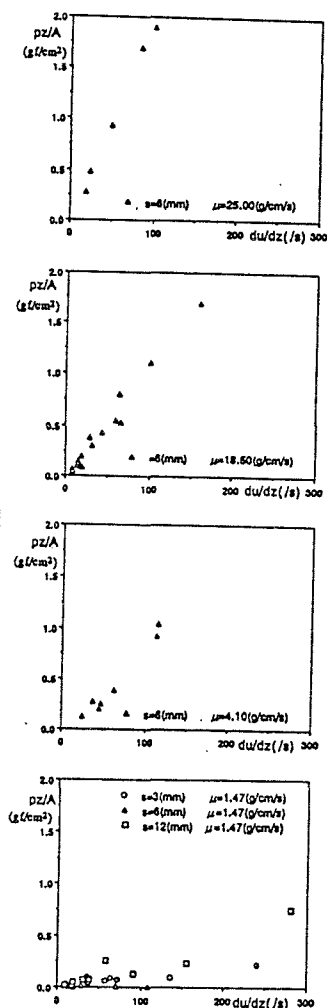


図-3 粒子間圧力

参考文献

- 高橋保・小林幸一郎：粘性土石流の流動機構に関する研究、京都大学防災研究所年報、第36号、1993、pp433-449
高橋保：土石流・泥流の流動機構、土砂移動現象に関するシンポジウム論文集、1992、pp39-55