

82 リングせん断試験における粒子の速度分布の画像解析

京都府立大学農学部 ○郎煜華・大手桂二
京都大学防災研究所 福岡浩・佐々恭二

1. 研究の目的

地すべりの運動のタイプはいくつかに分けられるが、その中でもすべり (slide) と流動 (flow) は最も重要なものである。Varnes, 1978¹⁾によれば、「すべり」はすべり面、または、比較的狭いせん断ゾーンでの運動であり、「流動」は液体の流動に近い速度分布を持った運動である。すなわち、「すべり」と「流動」の違いは速度分布の違いにあるとしている。そこで、速度分布形が何によって変化するか研究することにした。

透明アクリル製のせん断箱をリングせん断試験機に取り付け、側方からせん断される粒子の速度分布を調べることにしたが、一つ一つの粒子の動きを肉眼で判断していくはめんどうなので、まず大阪大学の植村先生²⁾の協力を得て、自動的に、ほぼリアルタイムで粒子の速度分布が得られる方法を検討した。

2. 画像解析による粒子速度測定方法

2.1 リングせん断試験機について

京都大学防災研究所地すべり部門では佐々、1984³⁾⁴⁾が開発した高速リングせん断試験機を用いて試験を行っている。試験機の最大垂直応力は0.4kgf/cm²、最高せん断速度は150cm/sec、せん断面の面積は102.7cm²、サンプルボックスは外径48cm、内径30cm、高さ最大9cm、容積は最大9924cm³である。今回用いたせん断箱の外側はせん断面が観察できるように全て透明アクリルで制作した。アクリル部分の高さは4.8cmである。図-1はリングせん断試験機の全景である。リングせん断試験機の上部は加圧盤に接し、供試体にかかる垂直加重を測定することができる。せん断は下半分のリングの回転により行われる。せん断される粒子にかかる垂直応力や、粒径、回転速度を変化させて実験を行った。

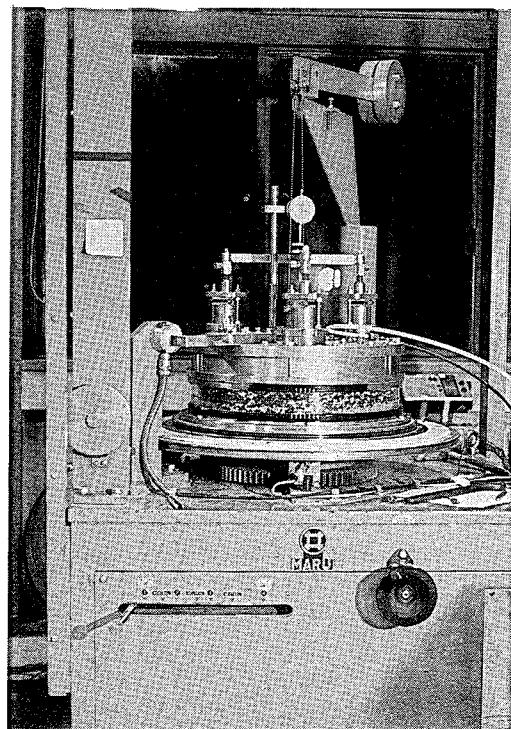


図-1 リングせん断試験機

2.2 画像解析システムの構成

運動する粒子の画像をCCDカメラを用いて画像入力ボードに取り込み、さらにコンピューターでその画像を解析し、速度分布をCRTディスプレイに表示するものである。しかし、現在の所はシステム開発中なので、CCDカメラからの画像を一旦ビデオテープレコーダーに記録し、その画像を再生しながら用いている。

2.3 画像処理及び画像解析

コンピューターに取り込まれた画像は図-2のフローチャートにしたがって処理される。最初に前処理プログラムを用いて、測定部分の画像を切り取り、粒子の輝度によって全画像を高輝度の部分と低輝度の部分の二つに分ける。次に高輝度の部分の位置、大きさ、形などのデータを抽出する。これを微小時間毎に繰り返す。

粒子の速度の計算は、第一画面の一つの高輝度粒子に着目し、その付近の粒子群の配置は短時間では変化は少ないことを利用して、微小時間後の第二画面の一つの高輝度粒子に第一画面のその粒子を重ねた場合に、付近の粒子群の重なりが最も多いとき、その両粒子が同一の粒子であると判定する。次に両粒子の重心間距離から速度を計算する。その例を図-3に示す。実際は第一画面の粒子と第二画面の粒子を2種類の色で表した。縦軸はせん断箱の高さ、横軸は粒子の運動速度である。第一画面上の粒子*i*が、 ΔT 時間後の第二画面の粒子*j*に対応しており、その間の移動距離と時間より速度が計算できる。その速度ベクトルは矢印で示されている。

3. 実験結果

3.1 試験条件

粒子の速度分布と垂直応力、粒径及び回転速度の関係を調べるために、垂直応力は0.03, 0.3kgf/cm²の2通り、直径は2mmと6mmの2種類の粒子、回転速度は0.1, 1, 10cm/secの3通りの試験条件について、試験を行った。

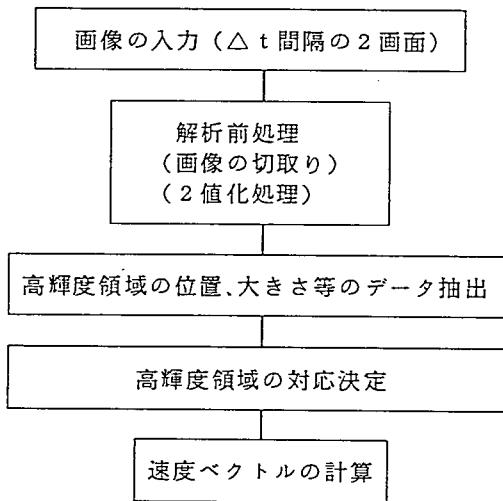


図-2 画像解析の流れ

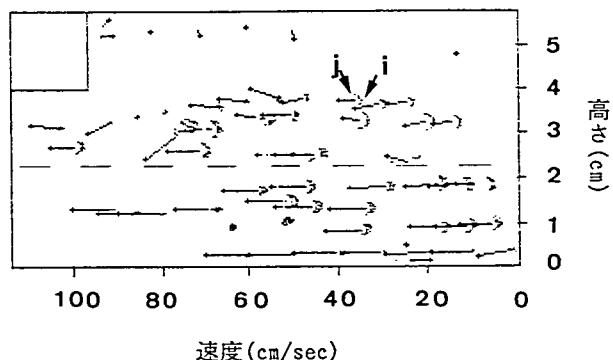


図-3 粒子の対応及び速度ベクトル

回転速度10cm/sec、垂直応力0.1kgf/cm²
粒径6mm、時間間隔0.2sec

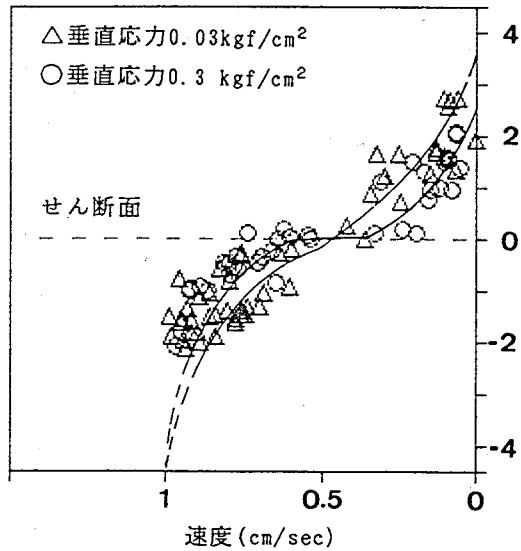


図-4 速度分布に及ぼす垂直応力の影響
回転速度 1cm/sec 、粒径 6mm

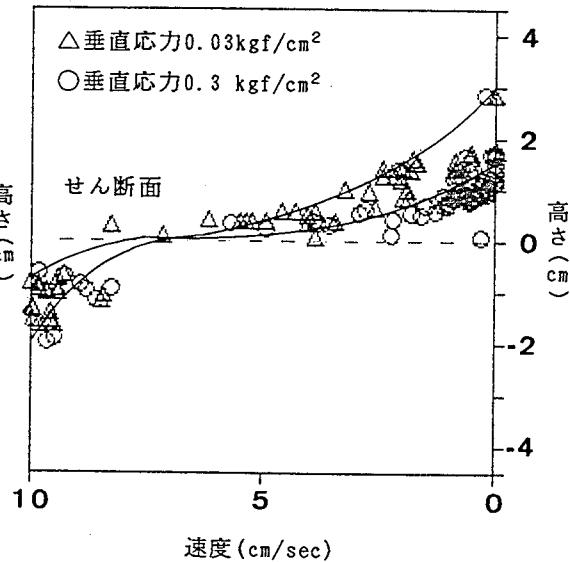


図-5 速度分布に及ぼす垂直応力の影響
回転速度 10cm/sec 、粒径 2mm

3.2 速度分布に及ぼす垂直応力の影響

垂直応力による粒子の速度分布の影響を図-4と図-5に示す。図-4は回転速度 1cm/sec 、図-5は回転速度 10cm/sec のときの速度分布である。大きい垂直応力のときは、せん断ゾーンの幅が狭く、一方、小さい垂直応力のときは、せん断ゾーンが幅広くなっている。すなわち、垂直応力の大きい方が、より「すべり」に近くなつた。

3.3 速度分布に及ぼす粒径の影響

粒径による影響を図-6に示す。大きい粒子の場合、せん断ゾーンの幅が広く、小さい粒子の場合、せん断ゾーンが狭くなっている。すなわちせん断を受ける物質の粒径ならびにせん断面にかかる垂直荷重の大きさが、それぞれせん断ゾーンの幅を決める因子になっていると思われる。

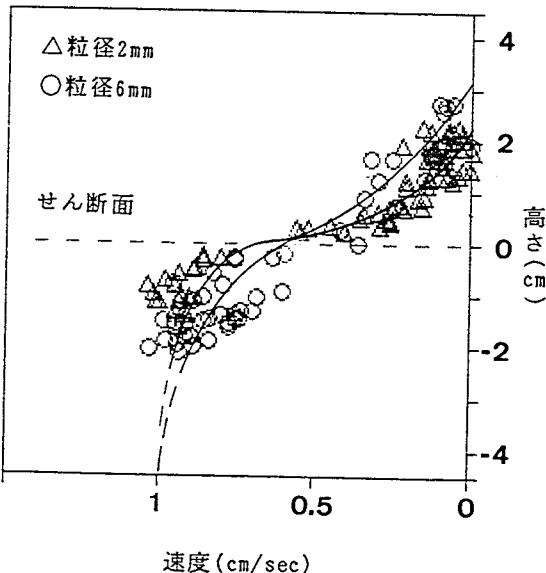


図-6 速度分布に及ぼす粒径の影響
回転速度 1cm/sec 、
垂直応力 $0.03\text{kgf}/\text{cm}^2$

3.4 速度分布に及ぼす回転速度の影響

図-7は垂直応力 0.3kgf/cm^2 、粒径6mm、回転速度がそれぞれ 1cm/sec と 10cm/sec のときの粒子の速度分布である。横軸は各粒子の運動速度を試験機の回転速度で割って正規化したものである。三角は 1cm/sec の小さい回転速度のときの粒子の速度分布、丸は 10cm/sec の大きい回転速度のときの粒子の速度分布である。かすかに速度が大きい場合の方が小さい速度の場合のせん断ゾーンより大きいようにも見えるが、差はあまり出てない。

4. あとがき

以上の試験結果は納得できるものであり、本画像解析システムが速度分布の研究に適用できることが確かめられたと考えられる。今後、様々なサンプルを用いて、様々な条件の下で、速度分布を求め、種々の要素が速度分布に与える影響を検討したいと考えている。

京都大学防災研究所地すべり部門のゼミでご指導、御意見をいただいた研究室の皆様に心より、お礼申し上げます。

5. 参考文献

- 1) Robert L. Schuster etc. ed. (1978): Landslides, Analysis and Control, Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
- 2) 植村知正(1986) : 粒子追跡による速度測定法のコンピュータシミュレーション、流れの可視化、6-22、225。
- 3) 佐々恭二(1984) : リングせん断型土石流発生・流動・停止現象再現試験機の試作研究、昭和58年度科学研究費(試験研究2)研究成果報告書(No.57860028), 30pages.
- 4) 佐々恭二(1985) : Rapid landslides and debris flows. Theme Lecture for Session 3A "Motion of landslides and debris flows", XI ICSMFE, San Fransico, 33p.

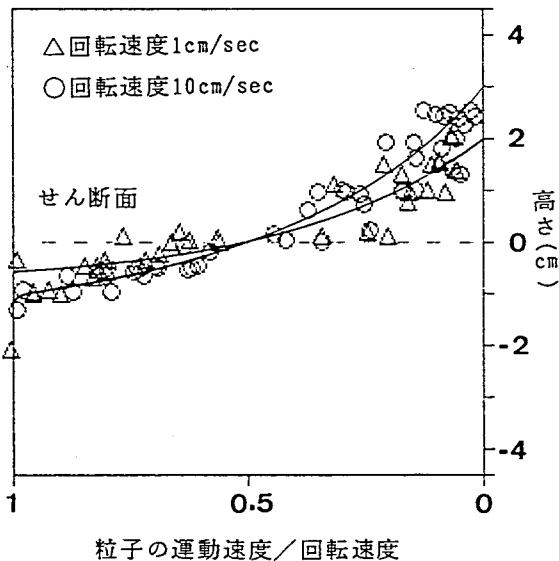


図-7 粒子速度分布と回転速度
垂直応力 0.3kgf/cm^2 、粒径6mm