

25 粒状体の高压高速リングせん断特性

京都大学防災研究所 ○ Vibert C., 佐々 恭二, 福岡 浩

はじめに

ハザードマッピングの作成を試みる時、地すべり・土石流が発生し、移動する距離を特定する事が重要である。すべり土塊が移動中、せん断面で、如何なる現象が起こっているかを検討するために、京都大学防災研究所の地すべり部門では6年前から土石流と斜面崩壊を対象として低压高速リングせん断試験機（垂直応力 0-0.4 kgf/cm²）を開発¹⁾して、使用してきた。

昨年、地すべりを対象として高压用（垂直応力 0-4 kgf/cm²）の高速リングせん断試験機を製作し、実験を行っている。この実験の結果を本報では紹介する。

1. 試験機と試験方法

新しい試験機は前の低压高速試験機と同じタイプである。せん断は上部リングを静止させ、下部リングを回転させる事によって行う。試料の体積は約 4,000 cm³ である。せん断速度は 0.01 cm/sec から 1 m/sec までの間で連続的に変化させる事が出来る。載荷盤に取り付けられたペローラムにコンプレッサーから空気を送って、約 4 kgf/cm² までの垂直応力を与える事が出来る。二個のロードセルを用いて試料に与える垂直荷重とせん断荷重を計測する。又、自記記録用ダイヤルゲージによって体積変化も計れる。

試料の最大せん断応力 τ_r は次式で表わされる。

$$\tau_r = c' + \sigma' \tan \phi' \quad \text{----- (1)}$$

c' : 粘着力（粒状体の場合、0）、 ϕ' : 内部マサツ角、 σ' : 有効垂直応力

又、間隙水圧 u を入れて、垂直応力 σ と有効垂直応力 σ' の関係は次式で表わされる。

$$\sigma = \sigma' + u \quad \text{----- (2)}$$

斜面の安定には地中の間隙水圧が大きな影響を持っている。ですから間隙水圧に関して、次の二つの状態で高压高速リングせん断試験を行った。

- ①定圧試験：せん断中の垂直応力を一定に保つ試験であり、間隙水圧がせん断中に一定、またはゼロという意味である。つまりこの場合は粒状体の排水条件でのせん断に対応する。
- ②定体積試験：せん断中の体積を一定に保つ試験であり、水はほとんど非圧縮なので、飽和した粒状体の非排水条件でのせん断とほぼ同じ状態である。

2. ガラスビーズの試験結果

新しい試験機の特性を調べるために、ガラスビーズの試料で試験を行った。直径 1mm のガラスビーズを用いた定圧試験の結果を図 1 に示す。0.01, 0.1, 1, 10, 100cm/sec の五つのせん断速度で様々な垂直荷重の値でせん断応力を測定した。横軸は垂直応力で縦軸はせん断応力である。五つの速度で点は良く直線に乗っている。この直線の傾きが運動時の内部マサツ角である。しかし、高速の場合（1m/sec）は垂直荷重が下がると内部マサツ角が少し減少しているようである。図 1 の場合、22° から 20° まで減少している。以前 2 mm 直径ガラスビーズを用いた低压高速リングせん断試験機の結

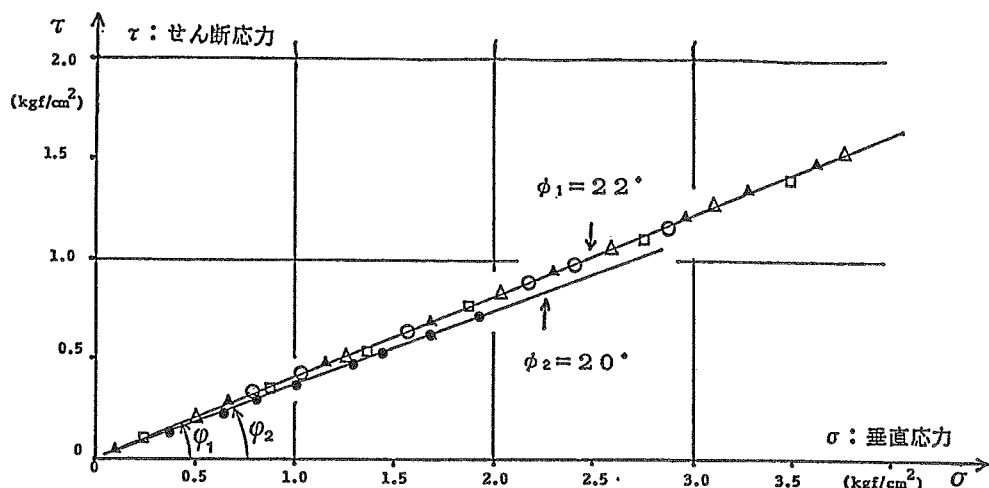


図1： 1 mm 直径のガラスビーズの定圧試験
運動中の内部摩擦角

せん断速度	試料の密度
□ 0.01 cm/sec	1.50 g/cm ³
△ 0.1 cm/sec	1.50 g/cm ³
▲ 1 cm/sec	1.50 g/cm ³
○ 10 cm/sec	1.51 g/cm ³
● 1 m/sec	1.52 g/cm ³

果も同じような内部マサツ角の減少を示した²⁾。高速試験の時に、ビーズがせん断方向に沿って最良な配列になり、せん断は以前よりし易くなったことも考えられる。

3. 現場で採集した粒状土の結果

現場の土について試験を行った。これは昭和59年の御岳大崩壊が起こった伝上川の堆積物を用いた試験である。図2の写真は試験後に試料の上部とせん断ゾーンの一部を削り取ったものである。せん断ゾーンの上面(A)とせん断ゾーンの下(B)が見られる。図3の写真はせん断ゾーン内の土とせん断ゾーンの外の土を示す。せん断ゾーンの粒子が壊れて随分細かくなったことがはっきり分かる。更に、図4は試験前の伝上川の土とリングせん断試験後のせん断ゾーンの粒度分布である。せん断ゾーンで細かい粒子の比率がかなり増えていることが分かる。

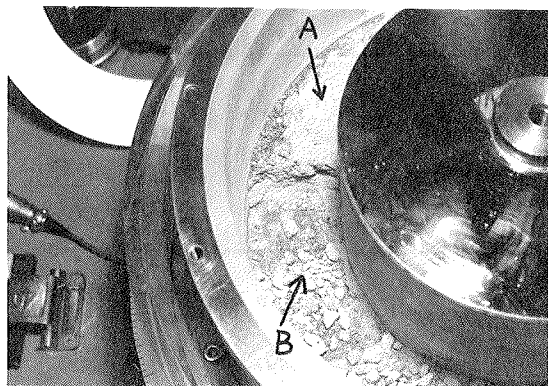


図2： 試験後の伝上川のサンプル。せん断ゾーンの上下面が見える。

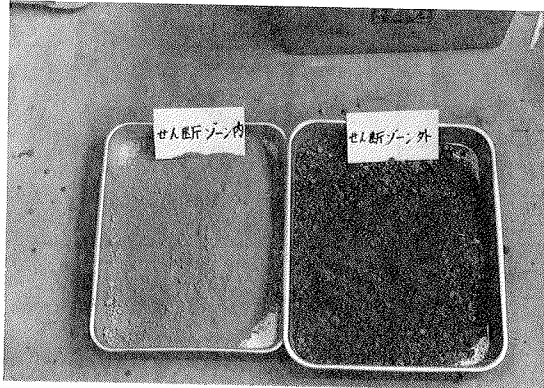


図3： せん断ゾーン内とせん断ゾーン外の土の比較

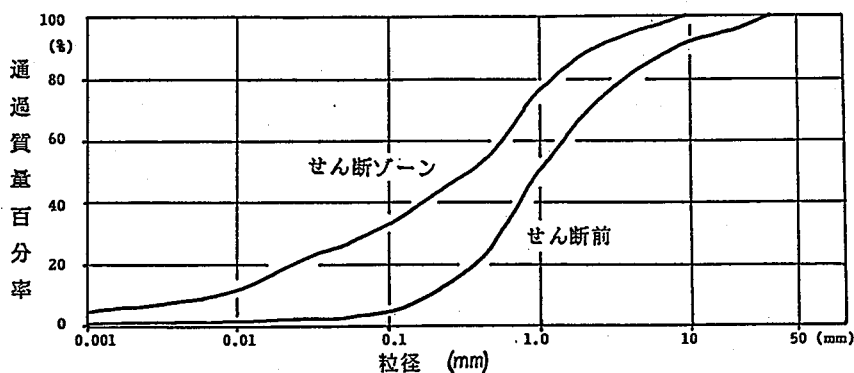


図4： 御岳山の伝上川の試験前後の粒度分布

高圧高速の試験の結果を図5に示す。試験中の粒子分布の変化にも拘らず、0.01 cm/sec から 10 cm/sec までのせん断速度に対して破壊包絡線が0から4 kgf/cm² まで同じ直線に重なっている。

この直線の傾き、即ち内部マサツ角は35°である。ただ 1m/sec のせん断速度の場合のみ内部マサツ角が少し大きく、約36.5°になっている。御岳山のサンプルの場合には粒子が壊れて、次第に細かくなっているが、ガラスビーズと違って高速になってもせん断面方向に配列せず、せん断抵抗が増えることが考えられる。

図6はほとんど飽和した同じ御岳山の伝上川の堆積物の定体積試験、即ち非排水状態でのせん断の結果を示したものである。せん断速度は 0.01 cm/sec で、グラフ内に書き込んだ数字は水平変位を表わ

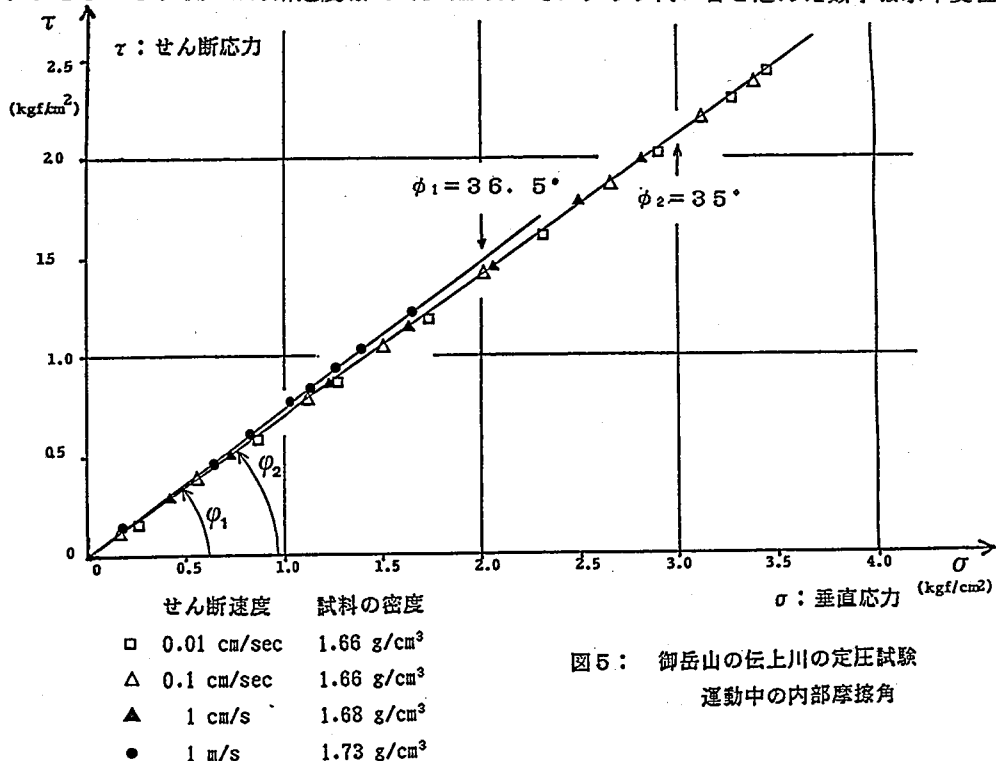


図5： 御岳山の伝上川の定圧試験
運動中の内部摩擦角

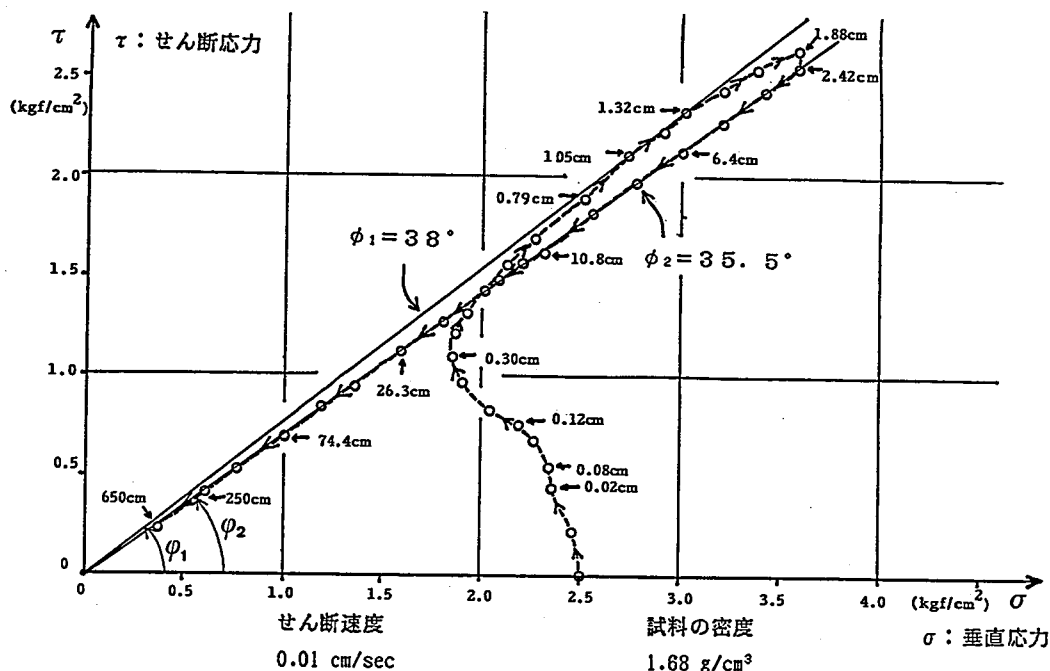


図6： 御岳山の伝上川の定体積試験
ピーク強度と運動中の内部摩擦角

している。せん断応力が急上昇し、ついでピーク時の破壊包絡線に達する。この時の内部マサツ角は 38° である。更にせん断を続けるとせん断変位約2cmでピークに達し、その後はせん断の進行と共にせん断応力、垂直応力とも残留時の破壊包絡線に沿って低下し、6.5mせん断した時にはせん断応力は約 0.2 kgf/cm^2 まで低下した。その後、せん断速度を変化させて実験を行ったが、運動中の内部マサツ角は、 1 m/sec を除いて同じであった。残留マサツ角は前述の試験(図5)とほぼ同じ約 35° で、運動中のマサツ角を表わす。リングせん断のピーク時の内部マサツ角 38° は一面せん断試験機で得られたピーク時の内部マサツ角と同じであった³⁾。

図6の結果によると、地すべりや斜面崩壊では非排水状態で十分せん断が進めば、摩擦抵抗が随分小さくなる事が想定される。

結論として高圧高速リングせん断試験機によって運動中のせん断特性が良く検討出来た。この試験機による試験結果は地すべり・斜面崩壊によって生じた運動土塊の移動距離予測に極めて重要なデータを提供する。

参考文献：

- (1) 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 (科研費報告書)
- (2) VIBERT C. (1988)：粒状体の高速リングせん断特性 (第27回地すべり学会予稿集、pp.154-157)
- (3) 佐々恭二 (1988)：地すべり・土石流の運動一被害区域の予測一の研究 (科研費報告書)