

高速高圧リングせん断試験機による 地附山地すべり・御岳大崩壊の土質特性

福岡 浩・佐々 恭二
Christophe VIBERT・島 通保

SOIL CHARACTERISTICS OF THE JIZUKIYAMA LANDSLIDE AND THE ONTAKE DEBRIS AVALANCHE BY THE HIGH-SPEED HIGH-STRESS RING SHEAR APPARATUS

By Hiroshi FUKUOKA, Kyoji SASSA,
Christophe VIBERT and Michiyasu SHIMA

Synopsis

Soil Characteristics of the Jizukiyama Landslide and the Ontake Debris Avalanche were examined in use of a newly developed High-Speed High-Stress Ring Shear Apparatus. Glass beads were also tested for comparison with them.

This paper mainly presents following results. That is: 1) The friction angle tends to be greater when shearing speed becomes greater, for both of the Jizukiyama and the Ontake sample. For glass beads, however, the friction angle comes to be smaller. 2) No effect on the friction angle by normal stress was recognized in the whole range of 0 ~ about 3.5 kgf/cm². 3) When increasing normal stress on a saturated sample of the Jizukiyama soil, excess pore-pressure was generated, and it took so long time to dissipate. It is caused by very small permeability of the Jizukiyama soil. While the Ontake soil did not generate such excess porepressure during the usual procedure to increase normal stress, because of their high permeability.

1. はじめに

地すべり運動時にマサツ角がどのような値をとるかは, Scheidegger¹⁴⁾ 以来多くの研究者が関心をもってきたテーマである。近年, 日本でも1983年の御岳大崩壊, 1985年の地附山地すべりなど高速でかつ長距離移動し, 大災害となった例があり, 防災上こうした長距離移動をする地すべりの運動機構の解明は急務となっている。

地すべり・土石流の運動の研究にリングせん断試験を用いたのは佐々¹⁾であったが, 今回, 高い垂直応力をかけられる高速高圧リングせん断試験機を製作²⁾したので, これを用いて地附山地すべりと御岳大崩壊の土について試験を行い, 垂直応力, せん断速度, 飽和度によって運動時のマサツ角 ϕ_m がどのように変化するかを調べた。

2. 試験機と試験材料

2.1 試験方法について

土のせん断特性を調べる試験としては一面せん断試験機かまたは三軸圧縮試験機が多く使用されているが、一面せん断試験ではせん箱の大きさの20~30%までが信頼出来るデータのとれる限界であり、三軸試験でも試料高さの20~30%が限界である。現実の地すべり運動のように数m~数百mのせん断距離を一面せん断試験機あるいは、三軸試験機で再現するのは不可能である。したがって、地すべり運動時の土のせん断に関する土質特性を研究するためには、せん断距離が無限にとれるリングせん断試験が最も適している。

1983年に佐々は土石流の流動時のせん断特性を調べるためにガラスビーズや砂レキの高速せん断とその流動状態の観察を目的として、大型で、外部から試料のせん断状態が観察できる高速のリングせん断試験機を開発した¹⁾。これはリング状のサンプルボックスに供試体の試料の土を詰め、エア・コンプレッサから載荷ユニット内のエアチューブに圧搾空気を送ることにより、土石流の垂直応力に対応する低い応力0~0.4 kgf/cm²を載荷するものである。せん断速度は0.001 cm/sec から1.5 m/sec まで4段のギアを介して連続的に変化させることが出来る。

1988年には佐々の設計した高速高圧リングせん断試験機が完成した。この試験機は粘性土を含む地すべりを試験対象としたものであり、低圧用リングせん断試験機に比べ最大垂直応力は10倍の4 kgf/cm²になっている。最高せん断速度は150 cm/sec, せん断面の面積は508.9 cm², サンプルボックスは外形33 cm, 内径約21 cm, 高さ最大8.2 cm (標準で6 cm), 容積は最大4173 cm³である。低圧リングせん断試験機よりも軸を太くしてあり、粘性土でもせん断面が波状にならず、正確なデータがとれるように配慮してある。この試験機を用いて地附山地すべりの土と御岳大崩壊の土、及び1 mm 径のガラスビーズについてリングせん断試験を行った。

2.2 試験に用いた試料について

今回リングせん断試験に用いた試料はガラスビーズと長野市地附山地すべり地から採集してきた土、そして長野県御岳山の大崩壊が流下した伝上川の溪床から採取してきた土である。地附山地すべりと御岳大崩壊と各々の現場から採取してきた土について以下に説明を加える。

2.2.1 地附山地すべりの土について

地附山地すべりは昭和60年7月、長野市地附山の南東斜面で発生した。地附山地すべりの発生時の土塊の大きさは長さ250 m, 幅350 m, 深さ30~50 mであり、最大200~300 m 移動して、山麓の住宅地及び老人ホームを直撃し、多くの被害が生じた。この地すべりの発生する前1カ月は例年の3倍の降雨量があり、長野市内でも出水や小さな斜面崩壊が生じていた。従って地附山でも地盤の飽和度は相当上がっていたと思われる。

この地すべりの大きさは特徴は、昭和56年以来、年間数cm~数十cmの小さい動きを繰り返していたのに、この時にはわずか30分ほどの間に勾配10°以下の緩斜面を越え200~300 mもの長距離を移動したことである。この地すべりで斜面下方にある住宅・老人施設が被害を受けた。緩傾斜の所を乗り越えさらに移動することは予測し得ず、そのため避難準備・避難誘導が間に合わず、結果的に多くの犠牲者を出した。

地すべり災害後、多くのボーリングや深礎が掘られ、発生位置でのすべり面は確認されているが、地すべり土塊の運動機構についてはまだ不明な点が多い。

佐々と福岡はこの地すべりの運動機構について調査し土石流を対象とした低圧用高速リングせん断試験機では試験できなかったが、間ゲキ水圧係数 A_0 , B_0 の計測^{17), 18)}より地下水面近辺の飽和したゾーンで非排水載荷による間ゲキ水圧が発生し、地すべり土塊はこの面から斜面土層をえぐりながら進んだとの推定を行っている^{6), 11), 12)}。

Fig. 1 は地附山地すべりの地形図である。図中点線で示す部分がすべり土塊の移動範囲である。A地点はリングせん断試験に用いた試料の土を採取した地点である。A地点で深礎杭の掘削工事中、現地表面が

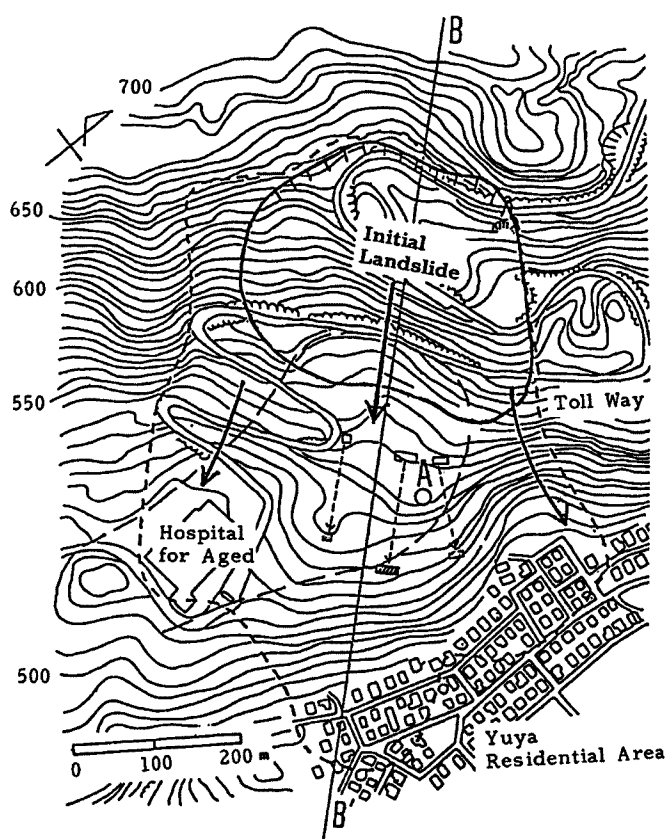


Fig. 1. Contour map of the Jizukiyama landslide.

ら6 mの深さの所で採取された。この土は地すべり土塊が旧地表をえぐりながら進み、えぐられた土が地すべり土塊とともに斜面下方に移動した後、この地点で停止、堆積したものである。

2.2.2 御岳大崩壊について

1984年9月の長野県西部地震の際、震央から約7 kmの御岳山山腹の尾根が最大幅430 m、長さ1350 m、最大深さ160 mにわたって崩壊し、崩壊土砂は3600万 m^3 の巨大岩屑流となって伝上川、王滝川を流下し、約9 km下流の溪床勾配 4° 以下の所まで達した。崩壊源から停止地点までの平均の見かけのマサツ角は 5.7° という非常に小さい値になった。

今回の試験に用いた試料は伝上川の屈曲点（源頭部から2 km）付近で現溪床表面から約3 m掘削した地点で採取した砂質土^{1),12)}である。試験には採取してきた試料を9.5 mmのふるいでふるったものを用いた。

3. 試験結果

3.1 せん断面における試料の粒子破碎について

Photo. 1は地附山の飽和試料のリングせん断試験終了後、試験機を開けて中の試料を掘りだしたところの写真である。試料は上、中、下の3つのゾーンに分かれていて、真中のゾーンがせん断ゾーンである。せん断ゾーンの断面は楕円形をしていて、中にはたくさんのせん断面が重なり合っている。

試料を圧密しながらせん断した場合も、圧密を完了した後でせん断した場合も同様にひとつのせん断面で切れるのではなく、せん断ゾーンが出来ていた。

Photo. 2はせん断ゾーンの試料である。せん断ゾーンの表面はきわめて滑らかであり、slickenside よう

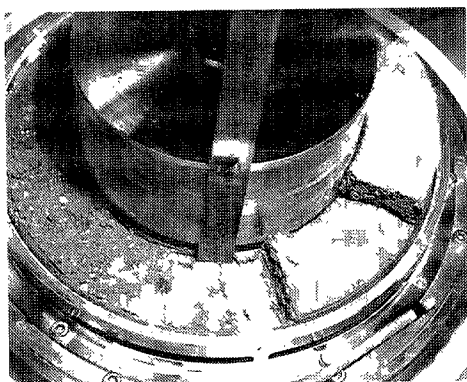


Photo. 1. Shear zone of the Jizukiyama saturated sample.

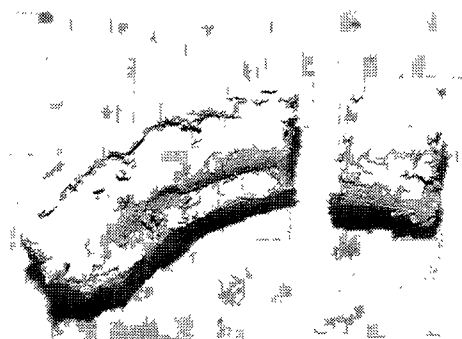


Photo. 2. Jizukiyama saturated soil after ring shear test.

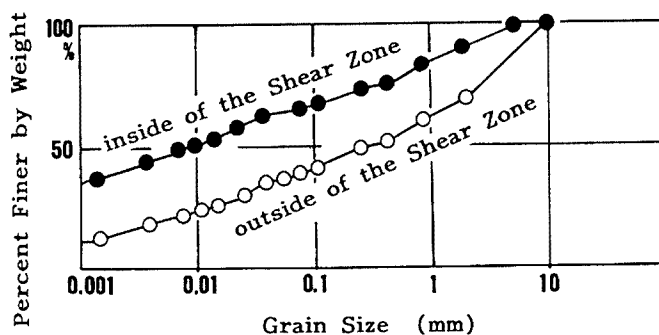


Fig. 2. Grain size distribution of the Jizukiyama sample.

のすべり痕がはっきり認められた。また、せん断ゾーンの表面には石などの粒径の大きな粒子は全く見られないが、**Photo. 1**に見られるようにせん断ゾーン外の試料のせん断ゾーンとの境界には小石がたくさん見られる。このことから、せん断によって試料内の大きな粒子はせん断ゾーンの外に移動している（はじきだされている）ことがわかる。

せん断ゾーンとせん断ゾーン外の試料の粒度分析を行った結果を **Fig. 2** に示す。確かにせん断ゾーンの方が大きな粒子が少なく粘土分が多くなっていることがわかる。つまりせん断によって粒子は破碎され、より小さな粒径になると共に、小石などの粒径の大きな粒子はせん断中にせん断ゾーンの外にはじき出される。

Photo. 3 は不飽和試料（後述）の試験を行った後、試験機を開けて試料を取り出した所である。主せん断面は飽和試料の場合のように複数ではなく1枚であった。上下にせん断ゾーンらしきものもあるが、それらのせん断面でせん断していた時間は短かったものと思われる。また、せん断面にははっきり条痕が認められる。この不飽和試料のリングせん断試験において、垂直応力 σ は0から4 kgf/cm² まで7回も繰り返して載荷し、載荷した状態でせん断している。従って、何度か載荷する内にせん断ゾーンでせん断されている状態から、一枚のせん断面へ収束してせん断される状態へ変わったとも考えられる。せん断面の上下1 mm 程度はかなり硬く締め固まっていた、密度も高くなっている。これは、せん断にともなう圧密が進んだためである。粒子破碎も起こっており、せん断面には多量の粉末状の試料が見られた。

Photo. 4 は伝上川の試料をリングせん断試験終了後、試験機をあけて試料の上部を一部取り除いてせん断ゾーン上面を露出させたところである。白い部分はせん断ゾーンの上面の細粒部の土である。**Photo. 5** はせん断ゾーン内の土とせん断ゾーンより上の土を示したものである。せん断ゾーンでは粒子が粉末状に破碎され、粒子の粒径が細くなっている事が明瞭に判る。リングせん断試験中にも破碎が進むにつれて試料の体

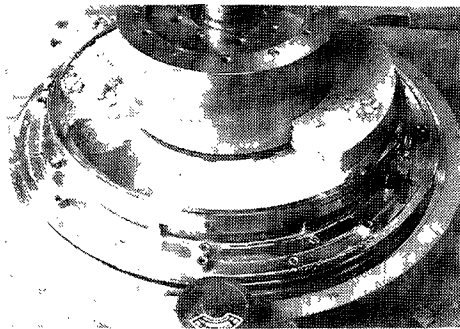


Photo. 3. Slip Plane of the Jizukiyama unsaturated soil.

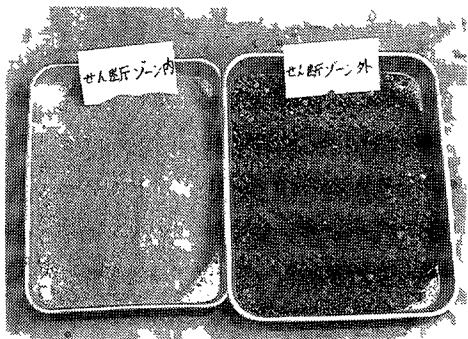


Photo. 5. Ontake soil after ring shear test.
Left : inside of the shear zone.
Right : outside of the shear zone.



Photo. 4. Ontake dry soil after ring shear test.
(The white plane is the upper surface of the sheared zone)

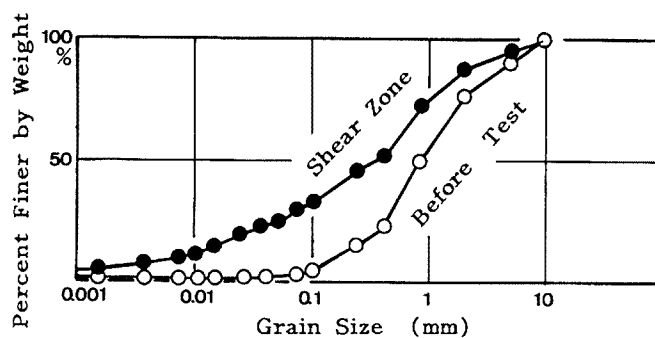


Fig. 3. Grain size distribution of the Ontake sample.

積は減少している。これは破砕が進むにつれてせん断面付近の試料が細粒化し、間ゲキ比が小さくなるからである。Fig. 3 は試験前の伝上川の土とリングせん断試験後にせん断ゾーンから取り出した土の粒度分布を比較したものである。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わかる。平均粒径（通過質量百分率=50%に対する粒径D）はリングせん断試験前で1 mm，せん断試験後のせん断ゾーンで0.3 mm になっている。

3.2 応力制御試験の結果

3.2.1 ガラスビーズの応力制御リングせん断試験

低応力リングせん断試験機の試験による1 mmのガラスビーズの応力制御リングせん断試験では速度によるマサツ角の変化は認められなかった¹⁾。2 mmのビーズの試験のみせん断速度100 cm/secでマサツ角がわずかに小さくなることが報告されている¹⁵⁾。高速高圧リングせん断試験機で直径1 mmのガラスビーズを用いて試験を行った結果をFig. 4に示す。垂直応力4 kgf/cm²まで、せん断速度は0.01 cm/secから10 cm/secまでの範囲で同じ22.0°の直線上に乗っている。ただし、100 cm/secになると運動時のマサツ角 ϕ_m は20°に下がっている。Fig. 4の結果も0.01~100 cm/secのせん断速度に対して、低圧リングせん断試験機の応力範囲である0~0.4 kgf/cm²の範囲だけについて見ればマサツ角の変化は小さく認められないほどであり、低圧リングせん断試験の結果と一致する。

Fig. 4で100 cm/secでマサツ角が下がっているのはガラスビーズがせん断方向にきれいに配向してダイランシーが減少したためかも知れない。

3.2.2 地附山地すべりの土の応力制御リングせん断試験

低圧用の大型リングせん断試験機で地附山の土のせん断試験を試みたが、粘性土のためせん断面が水平にならず試験を行えなかった。そのため高圧リングせん断試験ではまず、完全飽和のゆるく詰めた地附山の試料を0.01 cm/secの非常に遅いせん断速度でせん断しながら約2 kgf/cm²までゆっくりと載荷し、その後垂直応力は2 kgf/cm²で一定に保った。

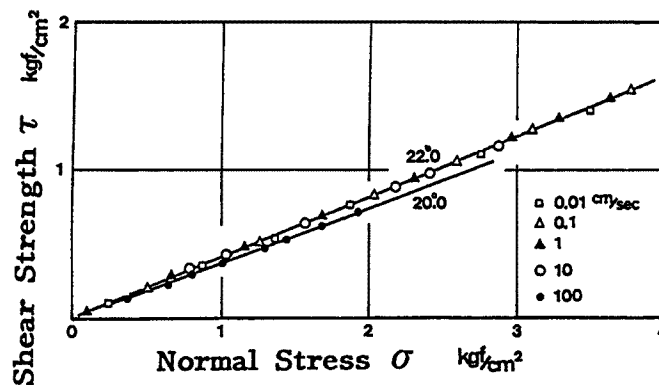


Fig. 4. Ring shear test on 1 mm glass beads.

$$\gamma_d = 1.51 \text{ g/cm}^3, e = 0.66$$

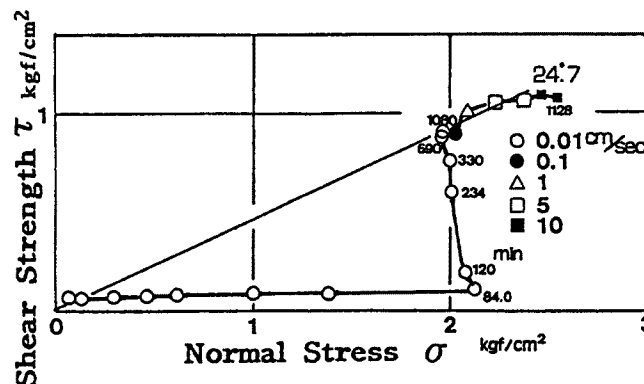


Fig. 5 Ring shear test on the Jizukiyama saturated sample.

$$\gamma_d = 1.26 \sim 1.42 \text{ g/cm}^3, e = 0.98 \sim 0.75$$

Fig. 5 はこのリングせん断試験の応力経路図である。試料の平均密度はせん断開始時は 1.26 g/cm^3 で、圧密の進行と共に増え、1080 min 後には 1.42 g/cm^3 になっている。

Fig. 6 は垂直応力 σ とせん断強度 τ のせん断距離に対する履歴である。せん断距離は垂直応力が 2 kgf/cm^2 に達した Fig. 5 上で 84 min と記された点を起点にとっている。せん断速度は 0.01 cm/sec で一定なので横軸はせん断時間も表わしている。 σ がほぼ一定の状態、 τ はゆっくり増加し、あるせん断強度(約 0.8 kgf/cm^2)に達すると増加は止まり、その後一定値を示し続けることがわかる。つまり、垂直応力 σ を 2 kgf/cm^2 に上げて、せん断強度 τ はすぐには上がらず、時間をかけてじわじわと上がり、破壊線に達する (Fig. 5)。最終的には σ を 2 kgf/cm^2 に上げてから破壊線上の点で落ちつくまで約16時間かかった。

リングせん断試験機では σ - τ の応力経路の図で σ は有効応力ではなく全応力を表わしている。従って、Fig. 5 の応力経路は垂直応力を載荷した際に発生した間ゲキ水圧のためにせん断強度 τ はあまり変わらず、

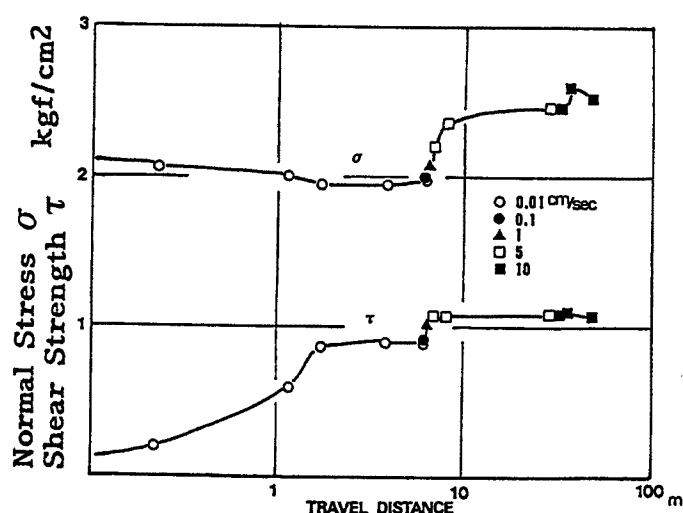


Fig. 6. Normal stress and shear strength with travel distance.
 $\gamma_d = 1.26 \sim 1.42 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.98 \sim 0.75$

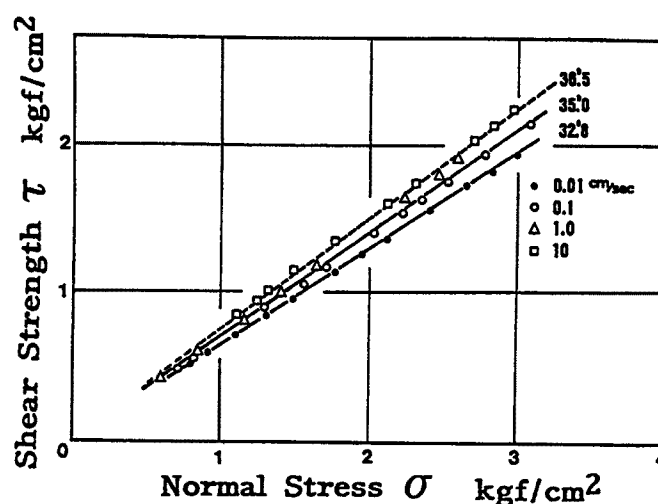


Fig. 7. Ring shear test on the Jizukiyama unsaturated sample.
 $\gamma_d = 1.34 \sim 1.46 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.86 \sim 0.71$, $S_r = 20.8 \sim 26.1 \%$

間ゲキ水圧が試料の外に発散するにしたいが、せん断強度 τ_f は大きくなり破壊線まで上昇するためである。リングせん断試験機の試料箱の断面は幅6 cm, 高さも約6 cmで、試料箱の上下面につけているポーラスメタルから排水できるようになっている。それにもかかわらず間ゲキ水圧の発散に16時間もの長い時間を要するのは、地附山の土の透水係数が $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm/sec}$ と非常に小さいからである^{17), 18)}。

2 kgf/cm² 載荷後 τ_f が一定値に落ちついたところでせん断速度を0.1, 1, 5, 10 cm/sec に上昇させた。結果は Fig. 5 にあるように、ほぼ破壊線上を上昇しているように見える。

Fig. 7 は不飽和の地附山試料についての応力制御のリングせん断試験結果である。正確な運動時のマサツ角を求めるためにせん断中に間ゲキ水圧が発生しないように飽和度の低い状態で試験した。また、負の間ゲキ水圧は発生しにくいので、垂直応力は3 kgf/cm² で定常状態にして、垂直応力を減少させながらせん断応力を測定した。試験はリアルタイムで応力経路を観察しながら行ったが応力は破壊線上を移動し、間ゲキ水圧の影響は見られなかった。

この不飽和試料についてせん断速度によるマサツ角の変化を調べた。速度は0.01 cm/sec, 0.1 cm/sec, 1 cm/sec, 10 cm/sec の4段階の速度について試験を行った。その結果、0.01 cm/sec で32.8°, 0.1 cm/sec で35.0°, そして1 cm/sec と10 cm/sec では36.5° と速度を上げるにつれて運動時のマサツ角 ϕ_m が大きくなる傾向が認められた。速度によるマサツ角の変化の原因は粒子衝突と破碎に伴うエネルギー損失と考えられる。粘性による抵抗は速度のみに依存し垂直応力 σ には依存しない項であり、 $\sigma - \tau_f$ 図上では粘着力成分 c のようにせん断強度を表わす直線が平行に上方にシフトすることで測定・判別される。粒子衝突と破碎によるエネルギー損失は速度と垂直応力に比例するのでマサツ角の変化として現われる。Fig. 7 では速度の変化とともに破壊線が平行にシフトする傾向はみられず、破壊線の傾き、つまりマサツ角の変化として現われており、粒子衝突・破碎による影響と思われるが引き続き試験を行い検討したい。また、速度が一定ならば垂直応力が3 kgf/cm² までは $\sigma - \tau_f$ 図で一直線上に乗るので、応力によるマサツ角の変化はない。

3.2.3 御岳大崩壊の土についての応力制御リングせん断試験

御岳大崩壊の運動時せん断強度を調べるために等せん断速度・垂直応力制御条件でリングせん断試験を行った。Fig. 8 は御岳大崩壊の伝上川の溪床堆積物(砂質土)の乾燥試料について行ったリングせん断試験の結果である。Fig. 7 と同様にせん断速度の違いによる運動時のマサツ角 ϕ_m の変化も調べた。0.01 cm/sec から0.1 cm/sec, 1 cm/sec, 10 cm/sec, 100 cm/sec でのせん断速度について、垂直応力 σ を0から3.5 kgf/cm² の範囲で載荷し試験を行った。結果は0.01 cm/sec から10 cm/sec までのせん断速度で $\phi_m = 35^\circ$ の同じ

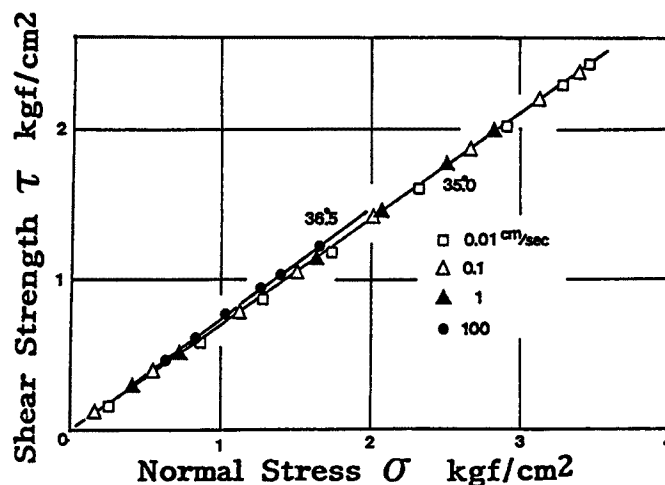


Fig. 8. Ring shear test on the Ontake dry sample.

$$\gamma_d = 1.66 \sim 1.77 \text{ g/cm}^3, e = 0.57 \sim 0.50$$

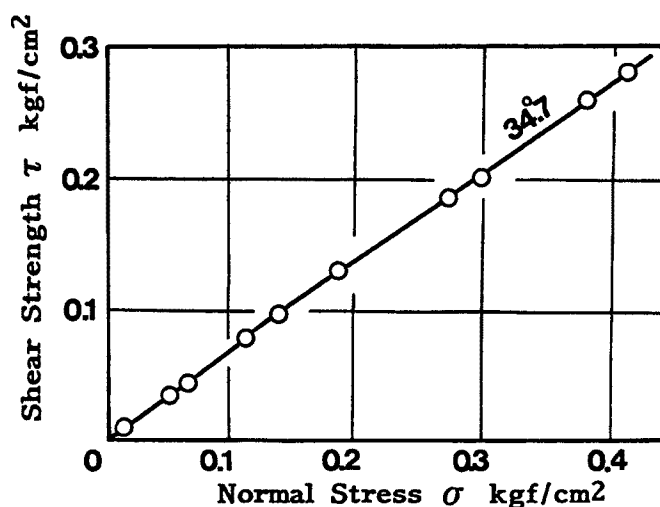


Fig. 9. Ring shear test on the saturated Ontake sample.

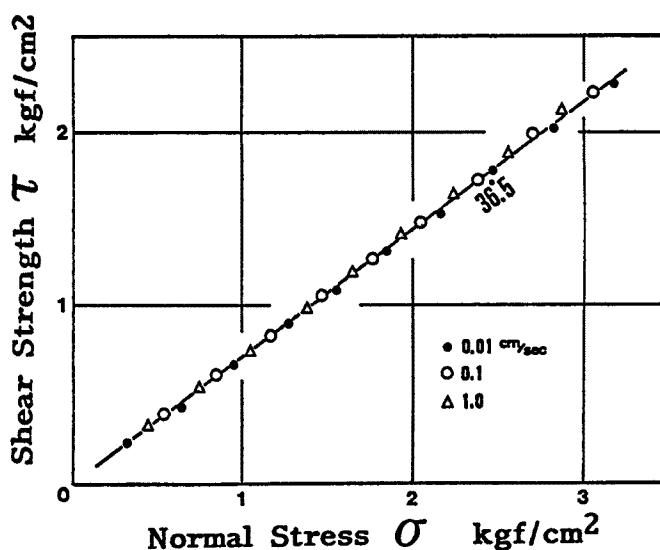


Fig. 10. Ring shear test on the Ontake saturated sample.

$\gamma_d = 1.73 \sim 1.75 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.50 \sim 0.49$

直線上に重なった。ただし 100 cm/sec のせん断速度の場合のみマサツ角が少し大きく、約 36.5° になっている。速度が大きくなると ϕ_m が大きくなるという傾向は地附山と御岳は一致している。しかし、御岳の場合 ϕ_m の変化がごく僅かである。

Fig. 9 は先に行った飽和した御岳の試料の低圧用高速リングせん断試験の結果である。運動時のマサツ角は 34.7° になっており、Fig. 7 とほとんど同じである。このことは御岳の試料が広い応力範囲で同じマサツ角を持つことを示している。

高圧リングせん断試験機でも御岳の飽和試料についてせん断速度によるマサツ角の変化を調べた。サンプルボックスの周囲にウォーターバスをつけて試料をほぼ飽和させ、定せん断速度・垂直荷重制御条件によるリングせん断試験を行った。その結果を Fig. 10 に示す。速度は 0.01 cm/sec から 0.1, 1.0 cm/sec の三段階で行った。せん断速度 10 cm/sec の試験の途中で試料が漏れてきたので試験を中止した。運動時のマサツ角

ϕ_m は 0.01 cm/sec で 36.1° , 0.1 cm/sec と 1 cm/sec で 36.8° と速度が上がると ϕ_m は僅かに大きくなっているようであるが, 差はあまり大きくなく 36.5° の線で近似できる。この運動時のマサツ角 ϕ_m は Fig. 9 よりわずかに大きいとほぼ同じである。また, 地附山の土同様, 速度が一定ならば $\sigma - \tau_f$ 図で一直線上に点に乗るので応力によるマサツ角の変化はない。

運動時のマサツ角 ϕ_m に対する速度の影響は御岳・地附山・ガラスビーズのうち, 地附山がいちばん大きい。これは地附山の土が粘土分を多く含んでいるため平均粒径が小さくなっており, その結果, 同じせん断速度でも平均粒径に対するせん断速度の比が大きくなるからと思われる。土の長距離せん断における摩擦抵抗は粒子同士や粒子と間ゲキ流体の相互作用によって起こる。つまり, 摩擦抵抗に対する速度の影響を考える場合, 速度の大きさは土粒子の粒径との比の値が重要になる。地附山の試料のせん断面付近の平均粒径(通過質量百分率=50%)は 0.01 mm, 御岳の試料のせん断面付近の平均粒径は 0.3 mm, ガラスビーズは均一粒径で 1 mm である。したがって同じせん断速度ならば(せん断速度)/(平均粒径)の最も大きい地附山の土の場合に速度による運動時のマサツ角への影響が最も大きいことが説明できる。

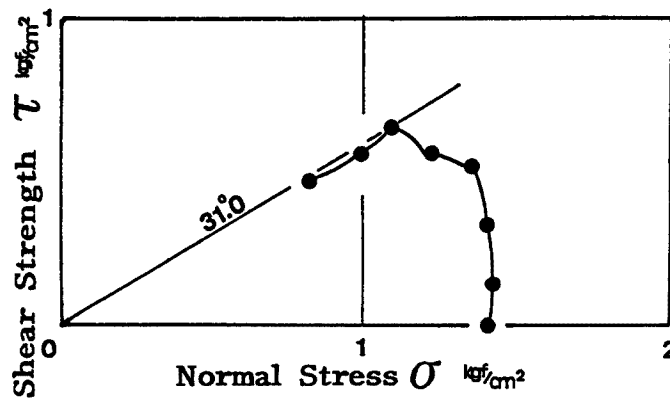


Fig. 11. Ring shear test on the Jizukiyama saturated sample.
Constant Volume test, $\gamma_d = 1.42 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.75$

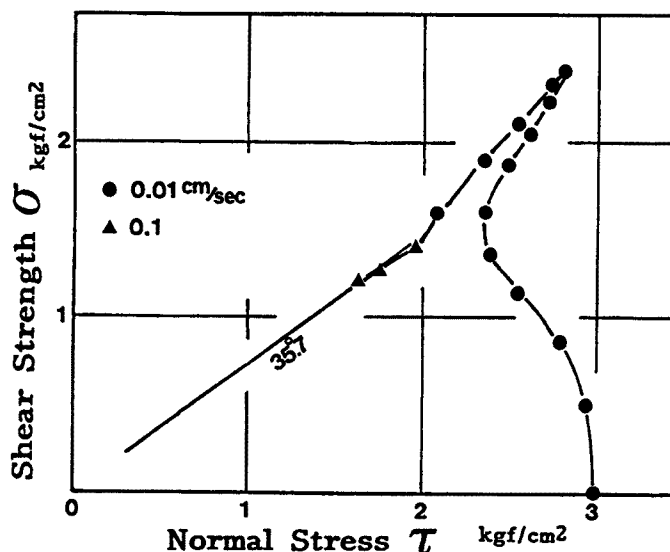


Fig. 12. Ring shear test on the Jizukiyama unsaturated sample.
Constant volume test, $\gamma_d = 1.33 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.87$, $S_r = 20.8\%$

3.3 定体積試験の結果

3.3.1 地附山の土の定体積リングせん断試験

Fig. 11 は地附山の飽和試料の定体積リングせん断試験の結果である。試料は試験を開始する前に 1.4 kgf/cm^2 で静止状態で圧密し、圧密が完了するのを確認してからせん断を開始している。せん断時の試料の乾燥密度は 1.42 g/cm^3 、せん断速度は 0.01 cm/sec である。この試験では運動時のマサツ角 $\phi_m = 31.0^\circ$ がでている。

Fig. 12 は不飽和試料についての定体積試験の結果である。飽和試料と違いダイラタンシーのためにピーク強度が非常に大きくなっている。その後せん断距離が大きくなるにつれて残留強度に落ちている。

Fig. 13 は以前行った同じ地附山の飽和試料の一面せん断試験の結果^{17),18)}であるが、一面せん断試験のマサツ角 ϕ は 34.6° で Fig. 11 の定体積リングせん断試験での運動時のマサツ角 31° より少し高い値を示している。

3.3.2 御岳の土の定体積リングせん断試験

Fig. 14 は御岳山の伝上川の砂質土についておこなった定体積リングせん断試験の結果を示したものである。せん断速度は 0.01 cm/sec で、図中の数字は水平変位 (cm) を表わしている。せん断を始めるとせん断

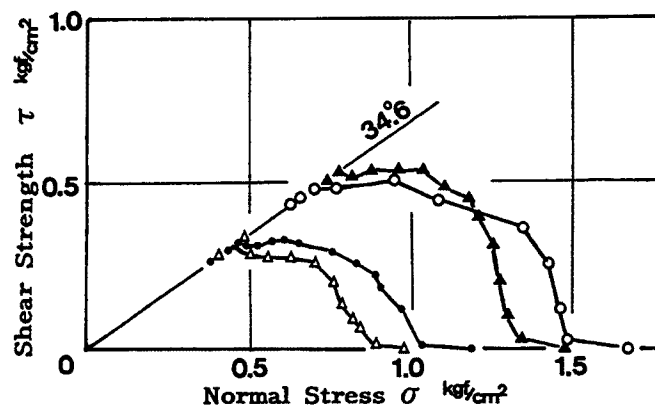


Fig. 13. Constant volume direct shear test on the Jizukiyama saturated sample.
 $\gamma_d = 1.24 \sim 1.34 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.85 \sim 1.00$

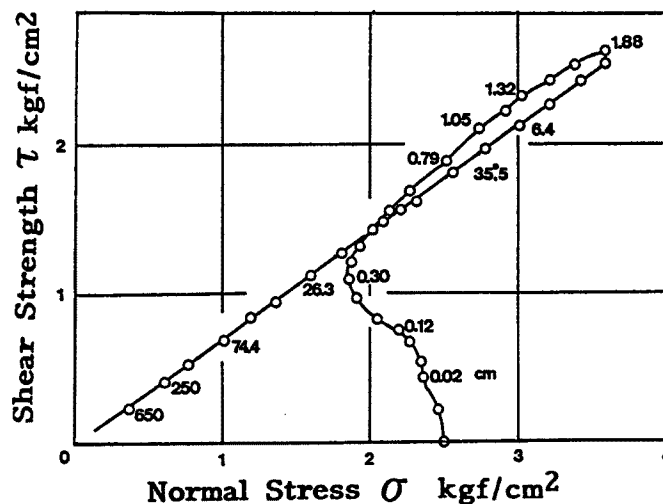


Fig. 14. Ring shear test on the Ontake dry sample.
 Constant volume test, $\gamma_d = 1.62 \text{ g/cm}^3$, $e = 0.60$

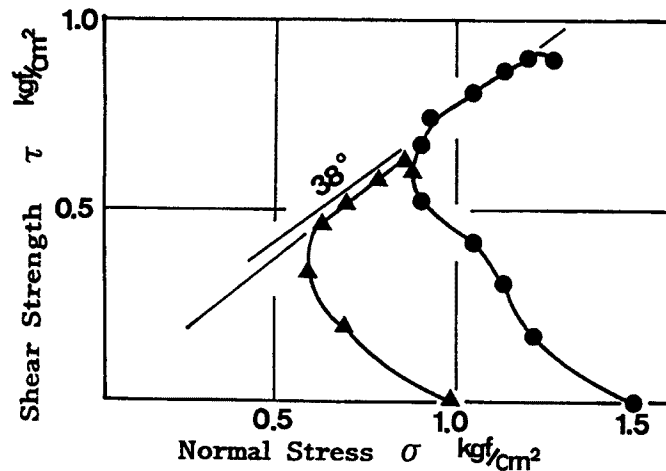


Fig. 15. Constant volume direct shear test on the saturated Ontake sample.

$$\gamma_d = 1.43 \sim 1.48 \text{ g/cm}^3, e = 0.82 \sim 0.76$$

応力が増加し、ピーク時の破壊線（約 38° ）に沿って応力が上昇し、ある点で（せん断距離 1.88 cm）でピーク強度に達し、その後粒子破碎によって体積収縮と垂直応力の低下によって残留強度の破壊線（ 35.5° ）に沿って下降する。残留強度のマサツ角 35.5° は Fig. 9 の低圧高速リングせん断試験機で得た御岳の試料の運動時のマサツ角と同じ値である。

Fig. 15 は同じ伝上川の溪床堆積物の飽和試料を用いて行った定体積一面せん断試験の結果である。リングせん断試験でのピーク強度と同じ 38° のマサツ角を示している¹²⁾。定体積一面せん断試験ではせん断箱の大きさが $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ でせん断距離も最大 3 cm であるが、リングせん断試験でもせん断距離 1.05 cm で最大マサツ角 38° 、せん断距離 1.88 cm でピーク強度を示しており、両者の結果はよく一致する¹²⁾。

おわりに

御岳、地附山、ガラスビーズについて新しく開発した高速高圧リングせん断試験機を用いてリングせん断試験を行い、各々の土質特性を調べた。その結果として、①不飽和状態で行った試験によれば地附山の土も御岳の土も速度が大きくなると運動時のマサツ角 ϕ_m は大きくなった。 ϕ_m の変化量は地附山が $0.01 \sim 10 \text{ cm/sec}$ で 3.8° 、御岳が $0.01 \sim 100 \text{ cm/sec}$ で 1.5° 大きくなった。しかしガラスビーズでは、逆に 100 cm/sec で約 2° 低くなった。②垂直応力 3.5 kgf/cm^2 までの応力範囲で応力によるマサツ角への影響はない。③地附山の飽和した土では載荷すると間ゲキ水圧が発生し、かつ低い透水係数のため発散が遅くせん断強度が上昇するのに時間がかかった。

今後の展望としては、地附山の土、及び御岳の土についてリングせん断試験を継続していきたい。特に、速度の変化による ϕ_m の変化を粒度分布の違いから説明できないか検討を行いたい。

参 考 文 献

- 1) 佐々恭二：御岳土石流など不飽和土石流の運動機構について，京大防災研年報，第29号 B-1，1986，pp. 315-329.
- 2) 佐々恭二：地すべり・斜面崩壊の運動予測，京大防災研年報，第30号 B-1，1987，pp. 341-357.
- 3) 佐々恭二：改良そりモデルによる地すべり・斜面崩壊の運動予測，砂防学会概要集，1987，pp. 68-71.
- 4) 佐々恭二：地すべり・斜面崩壊の面的予測法，地すべり学会概要集，1987，pp. 16-19.
- 5) 佐々恭二：地すべり・斜面崩壊の災害危険地図の作成方法について，砂防学会概要集，1988，pp. 69-72.

- 6) 佐々恭二：御岳大崩壊の運動のシミュレーション，地すべり学会概要集，1988，pp. 136-139.
- 7) 佐々恭二：地すべりにおける急速載荷時のせん断強度変化，砂防学会概要集，1989（印刷中）.
- 8) 佐々恭二・福岡 浩・島 通保：高速高圧リングせん断試験機の開発と地すべりにおける急速載荷時のせん断強度変化，京大防災研年報，第32号 B-1，1989（投稿中）.
- 9) 佐々恭二：地すべり運動時のマサツ角と運動予測，地すべり学会関西支部シンポジウム「地すべりの c , ϕ と発生・運動予測」資料集，1989，pp. 41-56.
- 10) 佐々恭二：速い地すべりの運動機構について，地すべり学会関西支部シンポジウム「突発地すべりの予知・予測」資料集，1986，pp. 15-41.
- 11) Sassa, K. : The Jizukiyama Landslide and the Interpretation of its Long Scraping Motion, Proc. 5th International Conference and Field Workshop on Landslides, 1987, pp. 215-223.
- 12) Sassa, K. : (Special Lecture) Geotechnical Model for the Motion of Landslides, Proc. 5th International Symposium on Landslides, Vol. 1, 1988, pp. 37-56.
- 13) Hungr, O. and N. R. Morgenstern : High Velocity Ring Shear Tests on Sand, Gèotechnique, Vol. 34, No. 3, 1984, pp. 415-421.
- 14) Scheidegger, A. : On the Prediction of the Reach and Velocity of Catastrophic Landslides, Rock Mechanics, Vol. 5, 1973, pp. 231-236.
- 15) Vibert, C.・佐々恭二・島 通保：粒状体の高速リングせん断特性，地すべり学会概要集，1988，pp. 154-157.
- 16) Vibert C.・佐々恭二・福岡 浩：粒状体の高圧高速リングせん断特性，砂防学会概要集，1989（印刷中）.
- 17) 福岡 浩・佐々恭二・島 通保：長野市地附山地すべりの土質特性と運動，京大防災研年報，第30号 B-1，1987，pp. 359-371.
- 18) 福岡 浩・佐々恭二・島 通保：地附山地すべりの土質特性と運動，地すべり学会概要集，1987，pp. 282-285.