

# 火山灰・降下軽石被覆斜面の表層崩壊跡地 における現地調査と現場一面せん断試験

SITE INVESTIGATION AND FIELD DIRECT SHEAR TEST ON SHALLOW  
LANDSLIDE SCARS OF SLOPES COVERED BY VOLCANIC ASH  
AND PUMICE FALL

山本 健太郎<sup>1</sup>・寺本 行芳<sup>2</sup>・永川 勝久<sup>3</sup>・平 瑞樹<sup>4</sup>・田中 龍児<sup>5</sup>  
Kentaro YAMAMOTO, Yukiyoshi TERAMOTO, Katsuhisa NAGAKAWA, Mizuki HIRA  
and Ryoji TANAKA

<sup>1</sup>西日本工業大学 (〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津 1-11)

E-mail: kyama@nishitech.ac.jp

<sup>2</sup>鹿児島大学農学部 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24)

E-mail: sabot@agri.kagoshima-u.ac.jp

<sup>3</sup>基礎地盤コンサルタンツ㈱関西支社 (〒550-0011 大阪市西区阿波座 1-11-14)

E-mail: nagakawa.katsuhisa@kiso.co.jp

<sup>4</sup>鹿児島大学農学部 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24)

E-mail: hira@agri.kagoshima-u.ac.jp

<sup>5</sup>第一工業大学 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)

E-mail: r-tanaka@daiichi-koudai.ac.jp

**Key Words:** Shirasu natural slope, site investigation, in situ test, field direct shear test

## 1. はじめに

日本は森林が国土の約70%を占め、斜面崩壊の大半は表層崩壊で、誘因である降雨の影響がかなり大きい。しかし、崩壊現場においては表層崩壊が生じた斜面と生じなかった斜面があり、斜面そのものの素因(植生(森林)生育状況や地盤特性)を調べることが重要であると考えている。また、一般的な斜面安定解析においては植生の遷移に伴う根系効果、表層土層や浸透能特性が反映されていない。

そこで、我が国において、真っ先に亜熱帯化が懸念される九州地方の最南端に位置する鹿児島県において、森林生態学的と地盤工学的観点から、火山灰・降下軽石被覆斜面の表層崩壊跡地において現地調査

並びに原位置試験を行い、自然斜面の安定性を調査してきた<sup>1),2),3),4)</sup>。そして、より実務的な斜面安定性評価や安定解析の実施には、現場にて地盤強度パラメータを工学的に許容できる精度で求めることができる現場せん断試験の開発が精度、時間、コスト面でも重要であると再認識した。

本研究ではこれまでの成果を踏まえ、新たにしらす斜面に適用可能な現場一面せん断試験装置の開発を実施した。山間部でも持ち運びが困難でなく、試験の実施がシンプルとなるコンパクトな設計を目指した。試験装置の開発後は、テストフィールドにて現場一面せん断試験を実施し、地盤強度パラメータである粘着力( $c$ )と内部摩擦角( $\phi$ )を現場にて求めることが可能となった。

## 2. 現地調査

テストフィールドを鹿児島県垂水市に位置する鹿児島大学農学部附属高隅演習林に設定した(図-1参照)。テストフィールドは演習林記録、空中写真や現地調査を基に表層崩壊の発生年が同定されたものを選定し、2013年度時点で表層崩壊発生後の経過年数は8~58年の範囲となった。現在、近隣区域内でかつ、北向き、ほぼ同じ標高(約520m)の6地点のしらす自然斜面を表-1に示すように設定した。表層崩壊跡地は35~40度程度の急傾斜を成し、表層崩壊面積は29~114m<sup>2</sup>の範囲である。

写真-1にはテストフィールドでの現地写真の一例を示す(No.4&5)。No.4では経過年数と崩壊地面積が最も大きい。これを見ると、(a)No.4では大きな樹木である常緑広葉樹が多く見られた。樹高1m以上では、アラカシ、スダジイ、タブノキなどの常緑性高木や、常緑性小高木のヒサカキ、ネズミモチが優占していた。樹高5m以上を構成する樹種は常緑性高木のアラカシ、スダジイ、ヤブニッケイ、タブノキ、ヤブツバキ、クロキであり、樹高10m以上を構成する樹種はアラカシ、スダジイ、タブノキ、クロキであった。樹高1m未満では、イズセンリョウ、イヌビワなどが多く出現していた。なお、最大樹高を示した樹種はアラカシで、その樹高は13.6mであった。

一方、No.5は経過年数がNo.4の約半分であり、崩壊地面積はNo.4の半分以下となっている。(b)No.5の樹高1m以上では、落葉広葉樹に加えて、アラカシ、タブノキなどの後継樹種が侵入していた。樹高5m以上を構成する樹種は落葉広葉樹のアカメガシワ、常緑性高木のアラカシ、タブノキ、クロキであった。樹高1m未満では、イズセンリョウ、イヌビワなどが出現していた。最大樹高を示した樹種はアラカシで、その樹高は7.5mであった。

これまでの現地調査により、崩壊跡地への森林の侵入は、森林の回復に伴う根系の発達や森林による有機物の供給を通じて土壌化を促し、これらの作用は比較的土壌の表層から進行していくことがわかった。また、全般的には、表層崩壊発生後の経過年数が大きくなるほど、さらに地表面に近いほど細粒化が進行している傾向があることが観察された。

## 3. 現場一面せん断試験の開発

写真-2には、今回製作した現場一面せん断試験装置<sup>5)</sup>を示す。現地調査や原位置試験と並行して、現場に手軽に運べ、その場で一面せん断試験ができる

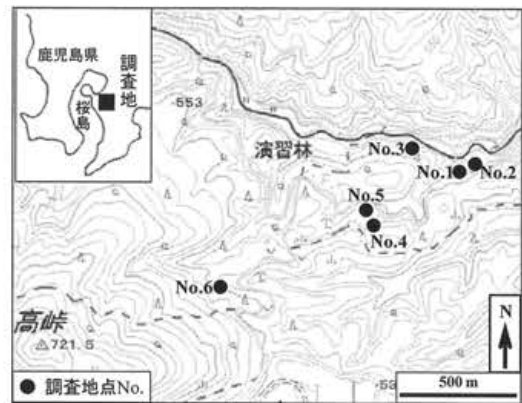


図-1 テストフィールド地点  
(国土地理院地形図より作成)

表-1 テストフィールドでの表層崩壊特性

| テストフィールド                | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 5 | No. 6 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 表層崩壊発生後の経過年数(年)         | 12    | 22    | 40    | 58    | 28    | 8     |
| 斜面平均傾斜(°)               | 38    | 41    | 40    | 39    | 37    | 42    |
| 崩壊地の面積(m <sup>2</sup> ) | 36    | 29    | 61    | 114   | 34    | 42    |

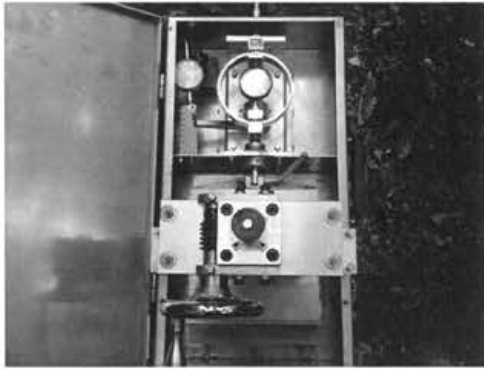


(a) No. 4

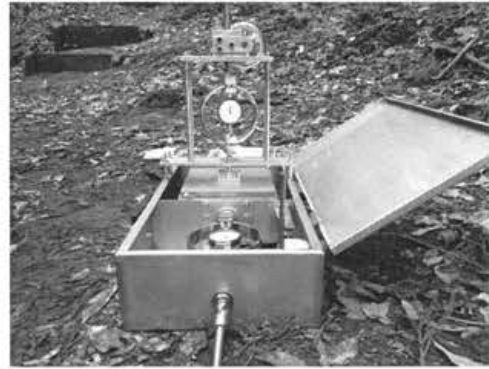


(b) No. 5

写真-1 テストフィールドの現地写真(試験実施後)



(a) 上面



(b) 側面

写真-2 現場一面せん断試験装置



(a) No. 4 斜面下部



(b) No. 4 斜面上部

写真-3 テストフィールドの試料採取



(a) 整形中



(b) 整形後

写真-4 試料の整形 (No. 5 斜面下部)



(a) No. 4 斜面下部



(b) No. 4 斜面上部

写真-5 試験後の乾燥させたせん断箱内の試料

ように設計、製作した。試料の寸法は、20cm×20cm×10cm(せん断面下(上)から5cm,断面積400cm<sup>2</sup>,下部可動型)の4000cm<sup>3</sup>と大きくした。現場の不攪乱試料を採取して、軽石や礫、ひげ根などの根系を含んだ試験が可能である。ちなみに、室内一面せん断試験装置の供試体寸法は直径6cm,高さ2cmの断面積28.27cm<sup>2</sup>,体積56.55cm<sup>3</sup>である。せん断荷重は、手動スクリュージャッキ方式で負荷し、垂直荷重は垂直応力載荷装置を用いて、手動ハンドルにより載荷する。両方の力計ともに2kNである。せん断速度は、ストップウォッチで計測しながら、1mm/minのゆっくりとしたスピードで、せん断変位が30mmまで実施した(50mmまで実施可能)。せん断変位の測定にはスケール直読と、1周が1mmのダイヤルゲージを用いた。そして、1mm毎にブルーピングリングを目視した。なお、軽量化を図るために、主としてステンレス製とし、強度や剛性が要求される箇所においてはステンレス製としていない。

#### 4. 現場一面せん断試験

写真-3には、テストフィールドからの試料採取の状況を示す。試料採取はまず、スコップで斜面土層の切り出しを行う。そして、せん断箱を埋め込み、せん断箱の端をハンドスコップで掘り、せん断箱をゆっくりと掘り下げていくことにより、試料採取を実施した。なお、試料採取の深さは地表面から30cm程度と設定した。写真-3(a),(b)を見ると、斜面上部が斜面下部に比べて、ひげ根などの根系の存在が多いことが観察された。

写真-4には、試料採取後の試料の整形状況を示す。現地斜面からはスコップを用いて、底部から掘り出した。写真-4(a)はストレートエッジを使って、整形中の写真で、写真-4(b)は整形後のものである。

写真-5には、試験後にせん断箱内の試料を持ち帰り、室内にて3日ほど自然乾燥させた時の試料の写真を示す。これを見ると、No.4斜面の下部と上部では試料の色が異なり、斜面上部が下部に比べて、軽石や礫、ひげ根などの根系を多く含んでいることが観察できた。このことは、写真-3からも推定できる。

次に、図-2,3には現場一面せん断試験結果のNo.4斜面下部に対するせん断変位とせん断応力の関係と、垂直応力とせん断強さの関係を示す。垂直応力は層厚が2-3m程度の表層崩壊現象を想定しているため、4.02kN/m<sup>2</sup>,9.02kN/m<sup>2</sup>,19.02kN/m<sup>2</sup>の3通りと設定した。まず、図-2を見ると、せん断応力がせん断変

位の増加並びに垂直応力の増加とともに大きくなっていることがわかる。図-2では、せん断変位が30mmまでであるが、50mmまで実施しており、30mmまで実施すると、せん断応力の最大値であるせん断強さが得られることを確認している。図-3は図-2から得られた、せん断応力の最大値であるせん断強さと垂直応力の関係である3つのプロットをまとめ、回帰直線とその決定係数(R<sup>2</sup>)を示したものである。これを見ると、垂直応力の増大とともにせん断強さが大きくなっており(拘束圧依存)、良い相関があることがわかる。回帰直線から切片と傾きで表される粘着力(c)と内部摩擦角(φ)を求めると、それぞれ、c=6.2kN/m<sup>2</sup>,φ=20.3°となった。なお、No.4斜面下部においては、乾燥密度0.68g/m<sup>3</sup>,含水比47.1%であった。

同様に、図-4~7には現場一面せん断試験結果のNo.4斜面上部とNo.5斜面下部に対するせん断変位とせん断応力の関係と、垂直応力とせん断強さの関係を示す。これらを見ると、図-2,3と同様な試験結果の傾向が見られ、表-2には現場一面せん断試験と土層強度検査棒(ペーンコーンせん断試験)の試験結果<sup>2)</sup>から得られた地盤強度パラメータの比較を示す。これを見ると、両試験結果ともにNo.4斜面下部がNo.4斜面上部よりも斜面傾斜によるゆるみの影響などにより、c,φともに大きいことがわかる。また、現場一面せん断試験から求められた地盤強度パラメータを土層強度検査棒の試験結果<sup>2)</sup>から得られたc,φと比較すると、cは調和的であるが、φは大きい値となっている。これは土層強度検査棒では人力で垂直応力を与えているため、それほど大きな垂直応力を与えることができず、土層強度検査棒では拘束圧依存性を小さめに評価せざるを得ないことに起因しているものと考えられる。なお、No.4斜面上部においては、乾燥密度0.97g/m<sup>3</sup>,含水比32.0%,No.5斜面下部においては、乾燥密度0.66g/m<sup>3</sup>,含水比59.1%であった。さらに、No.4斜面下部, No.4斜面上部, No.5斜面下部での土粒子密度はそれぞれ、2.547g/m<sup>3</sup>,2.601g/m<sup>3</sup>,2.526g/m<sup>3</sup>となった。

#### 5. 終わりに

南九州でのしらす斜面の表層崩壊の発生頻度は高く(表層崩壊発生の周期が短く)、樹木(常緑広葉樹)の寿命も長いため、木本植生の追跡調査が可能である。斜面崩壊は森林を伴っている場合がほとんどで、原位置試験(検土杖や土検棒など)に簡易的な現地(植生)調査を実施することにより、表層崩壊の素

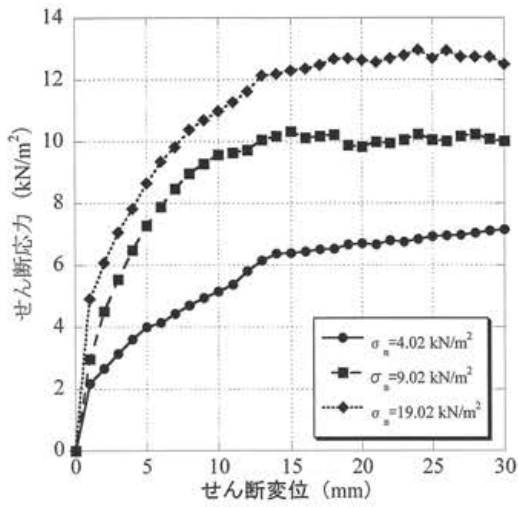


図-2 せん断変位とせん断応力の関係  
(No. 4 斜面上部)

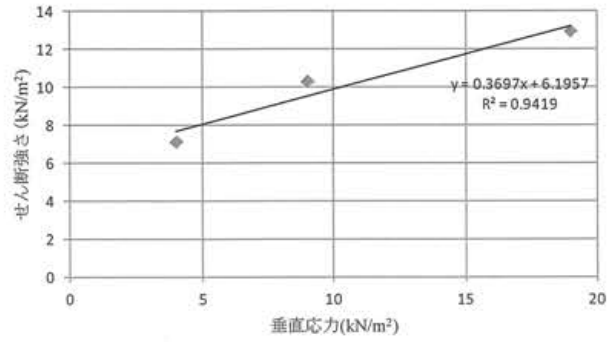


図-3 垂直応力とせん断強さとの関係  
(No. 4 斜面上部)

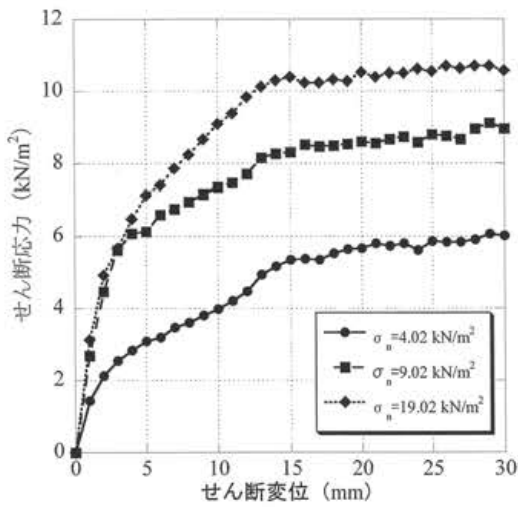


図-4 せん断変位とせん断応力の関係  
(No. 4 斜面下部)

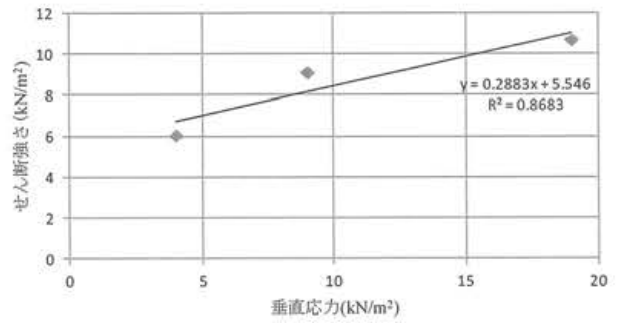


図-5 垂直応力とせん断強さとの関係  
(No. 4 斜面下部)

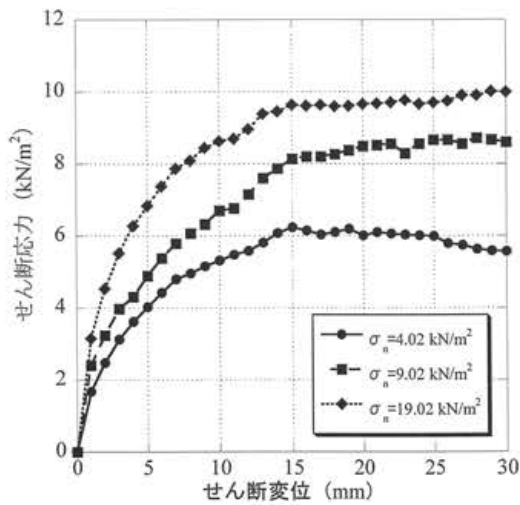


図-6 せん断変位とせん断応力の関係  
(No. 5 斜面上部)

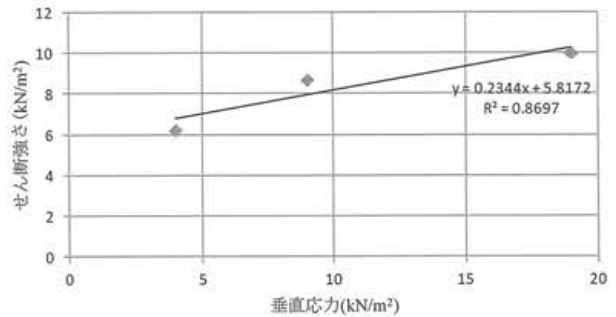


図-7 垂直応力とせん断強さとの関係  
(No. 5 斜面下部)

表-2 現場一面せん断試験と土層強度検査棒から得られた地盤強度パラメータの比較

| テストフィールド  | 現場一面せん断試験                    |                  | 土層強度検査棒(ペーンコーンせん断試験)         |                  |
|-----------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
|           | 粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角 $\phi$ (°) | 粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角 $\phi$ (°) |
| No.4 斜面下部 | 6.2                          | 20.3             | 5.9                          | 9.6              |
| No.4 斜面上部 | 5.5                          | 16.1             | 5.0                          | 8.8              |
| No.5 斜面下部 | 5.8                          | 13.2             | 5.8                          | 6.5              |

因を調べることは崩壊予測の観点からも意義があると考えている。

今回、現地調査や原位置試験と並行して、現場に手軽に運べ、その場で一面せん断試験が実施可能な現場一面せん断試験装置を製作した。そして、火山灰・降下軽石被覆斜面の表層崩壊跡地の斜面上部と下部において、現場一面せん断試験を実施し、現場において地盤強度パラメータである粘着力( $c$ )と内部摩擦角( $\phi$ )を即座に求めることができた。これにより、土検棒の試験結果から地盤強度パラメータを求める際の換算式の検証や改善が可能になると考えられる。今回、得られたパラメータは、これまでの土層強度検査棒の試験結果<sup>2)</sup>と比較して、比較的良好であった。ただ、本報告では試験結果も限られており、妥当性の検証や考察も十分ではない。

今後は、今回報告できなかった地点 (No.1&2) や再検討が必要と考えられた地点においても原位置試験を実施する予定である。また、新たなテストフィールドを鹿児島県以外の斜面にも設定し、現場一面せん断試験の実施を予定している。そして、原位置試験である土層強度検査棒の試験結果との比較検討も数多く実施する。また、生態系を考慮した植生による斜面安定性評価や樹木根系が斜面安定効果に与える影響や効果を定量的に評価していきたいと考えているところである。

#### 謝辞

現場試験等については元鹿児島大学工学部海洋土木工学科4年生、笹原駿徳君と九反郁実君の協力を得て実施した。ここに深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 寺本行芳, 山本健太郎, 岡勝, 下川悦郎: 火山灰・降下軽石被覆斜面の表層崩壊跡地における森林の回復が土壌の発達と浸透能に及ぼす影響, *Journal of Rainwater Catchment Systems* Vol. 20, No. 1, pp.63-69, 2014.
- 2) 山本健太郎, 寺本行芳, 永川勝久, 平瑞樹, 伊藤泰隆: 火山灰・降下軽石被覆斜面の表層崩壊跡地における植生回復と表層土の発達について, 第11回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.33-40, 2015.7.
- 3) 平瑞樹, 山本健太郎, 寺本行芳, 永川勝久: 南九州の火山灰砂質斜面における表層崩壊予測に関する現地調査と崩壊危険度指標, 地域性を考慮した地盤防災減災技術に関するシンポジウム論文集, pp.57-60, 2015.7.
- 4) 永川勝久, 山本健太郎, 平瑞樹, 寺本行芳: 火山灰・降下軽石被覆斜面における表層崩壊予測の現地調査と斜面崩壊リスクの低減, 斜面災害における予知と対策技術の最前線に関するシンポジウム 福岡2015論文集, pp.113-118, 2015.12.
- 5) 海堀正博, 佐々恭二: 砂防調査用現場一面せん断試験機の試作と崩壊調査への適用, 京大農学部演習林報告, No. 53, pp. 144-151, 1981.

(2016. 5. 31 受付)