

# 砂質土地盤でのサクシヨンの現地計測システムの開発

<sup>1</sup>北村良介・<sup>2</sup>川井田実・<sup>3</sup>阿部廣史・<sup>4</sup>城本一義・<sup>5</sup>寺地卓也

<sup>1</sup>正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

<sup>2</sup>正会員 日本道路公団試験研究所 (〒194-0035 町田市忠生 1-4-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 (株) 中部地質技術部長 (〒381-0022 長野市大字大豆島 4199)

<sup>4</sup>正会員 鹿児島大学技官 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

<sup>5</sup>学生会員 鹿児島大学大学院生 理工学研究科海洋土木工学専攻

(〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

南九州には火砕流堆積物の非溶結部であるしらすが多く分布している。しらすを主な構成土質材料とするしらす地盤では、豪雨時に斜面崩壊や斜面崩壊に伴う土石流が発生し、しばしば地盤災害が発生している。このような豪雨に伴う地盤災害の防災・減災を目指し、斜面崩壊を予知するためのサクシヨンと雨量の現地計測システムを開発したので紹介する。サクシヨンの計測にはテンシオメータを使用し、雨量は転倒ます式の雨量計によって計測している。計測システムにおいては、計測されたデータがデータロガーにファイルされ、ファイルされたデータが携帯電話を介した遠隔操作により研究室のパソコンによって回収できるようになっている。

*Key Words: suction, rainfall, field measurement, remote control, unsaturated soil, slope failure*

## 1. まえがき

鹿児島県を含む南九州には火砕流堆積物の非溶結部であるしらすが多く分布している。鹿児島市やその周辺部の典型的な表層地盤では、約 2.4 万年前に発生した始良カルデラを噴出起源とする入戸（いと）火砕流堆積物（一次しらす）を中心として、上部には二次しらす（一次しらすに浸食・運搬・堆積作用を受けたもの）や 2.4 万年以降の桜島火山、霧島火山、開聞火山等を起源とする火山噴出物が堆積し、一方、下部には 2.4 万年以前の火砕流堆積物を含む火山噴出物が存在している。本研究ノートでは、このような地盤をしらす地盤と称し、しらすとしらす地盤を区別している。しらす粒子は多孔質であるため、一般の土質材料に比べると土粒子密度、土塊の密度が小さく、土粒子自身の強度も小さい。また、

一次しらすは溶結作用やインターロッキング作用に起因して不攪乱試料と攪乱試料の力学的挙動が異なる（鋭敏比が大きい）。しらす、しらす地盤はこのような特性を有しており、通常の砂質土、砂質土地盤とは異なる力学挙動を示すことが多い。特に、しらすは流水による浸食を受けやすく、しらす地盤の一形態であるしらす斜面では豪雨時に斜面崩壊が発生し、地盤災害がしばしば発生している<sup>1), 2)</sup>。北村らは、しらす斜面での崩壊は避けることのできない自然現象であり、自然現象を自然災害としないという立場から、斜面崩壊の予知（どこで、いつ、どのような規模）を目指した総合的研究を行ってきた<sup>3)</sup>。本研究ノートでは、その中のサクシヨンと雨量の現地計測に関連する項目についての研究成果を速報的に紹介する。

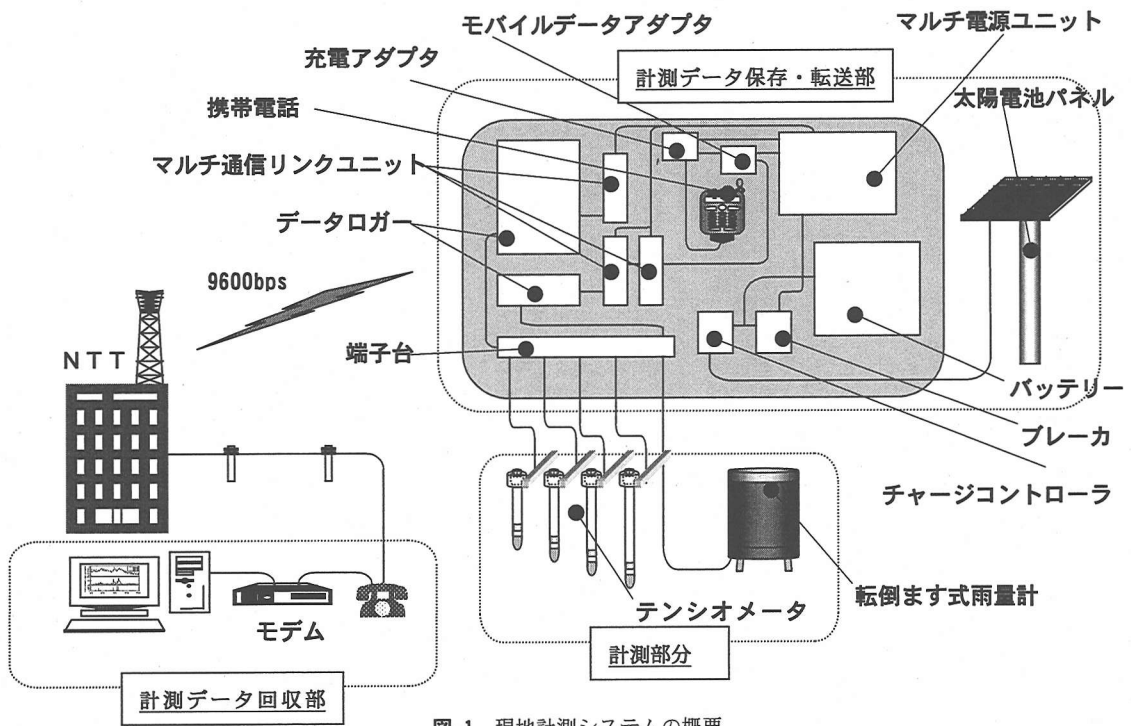


図-1 現地計測システムの概要

## 2. サクションと雨量の現地計測システム

原位置でのサクション計測の手法として、テンシオメータ、熱電対サイクロメータ、熱伝導度サクションセンサー、中性子プローブ、電気抵抗ブロック、電磁波の伝播特性を利用した TDR, FDR などがある<sup>4)</sup>。本研究では、防災行政機関等での早期の使用をめざし、精度より安価で耐久性のある現地計測システムを考え、サクションを直接計測できるテンシオメータを選択した。

### (1) 計測システムの概要

図-1 は計測システムの概要を示している。写真-1 は鹿児島県出水市針原での計測機器の設置状況示している。システムは、計測部分（サクション計測のためのテンシオメータ、雨量を計測するための転倒ます式雨量計）、計測データ保存・転送部分（データロガー、携帯電話、太陽電池パネル等）、そして、計測データを研究室で回収する部分から成り立っている。計測には 2 つのデータロガーが使用され、一つはサクション計測用、他方は雨量計測用となっている。それぞれのデータロガーは 6 万個のデータをファイルすることができる。測定時間間隔は 1 秒から 1 時間

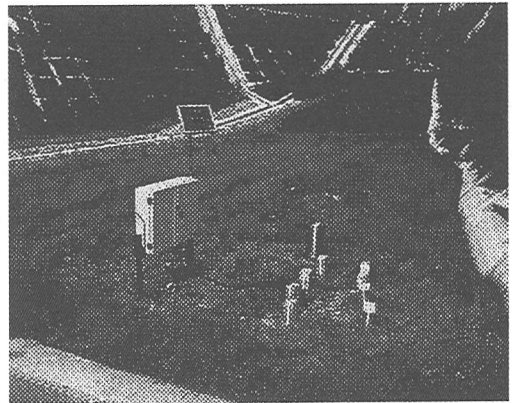


写真-1 計測機器の設置状況

まで任意に設定することができ、また、その設定は携帯電話を介して研究室のパソコンでの隔操作によって行うことができる。例えば、雨量計測用データロガーの測定間隔を 10 分に設定すると、1 年余りのデータを保存することができる。本研究においては、テンシオメータの測定間隔は 1 時間、雨量計の測定間隔は 10 分に設定している。データロガーの時計の精度は ±30 秒/月である。データの回収前に研究室のパソコン（携帯電話を介した研究室での回収の場合）、

あるいは現地に持参するノート型パソコンを日本標準時刻に合わせ、データ回収後にデータロガーの時計を遠隔（携帯電話を介した研究室での回収の場合）、あるいは手動操作によってパソコンの時刻に修正している。太陽電池パネルはバッテリーを充電するためのものであり、バッテリーは携帯電話、データロガーの電源となっている。±データロガーにはリチウム電池が内蔵されており、一年に一度程度の頻度で交換しており、通常はバッテリーの電力を使用することは稀である。また、携帯電話を介してのデータ回収がうまくいかない場合も、データロガーが正常に稼働している限り、データは保存されているので、別の機会にデータを回収するか、現地に赴いてデータを回収することができる。データロガーから回収されたデータ（1 バッチ）は、過去のデータとして最大 6 バッチまで保存可能であるため、回収したデータが処理過程での何らかの操作ミスで消滅した場合も保存期間中であれば回復が可能である。携帯電話は受信専用となっており、データ回収のための電話が研究室からかかったときのみ稼働することになっている。

本計測システムは 1995 年 2 月より稼働しており、最大 12 個所で計測を行ってきた（2000 年 3 月現在では 6 個所）。その間、落雷によるデータロガーの破損等は経験していない。但し、雷雨時の避雷対策を今後検討しておく必要がある。

## (2) テンシオメータ、雨量計

テンシオメータは 図-1 に示すように 20, 40, 60, 80cm の深さに設置されている。テンシオメータ用データロガーは 8 チャンネルあるので、各深さのテンシオメータを 2 つ設置し、計測欠損の危険確率の低下をはかっている。図-2 はテンシオメータの概略図である。テンシオメータの先端には直径 18mm、高さ 55mm のセラミック製ポーラスカップ、上端には圧力センサーがあり、不飽和状態にある土中の負圧をアクリルパイプに注入した脱気水を介して測定している。土中のサクション（負圧）がセラミックの空気侵入値（約 270kPa）付近になると脱気水が土中へと流出するため、脱気水を定期的（1 ヶ月に 1 度程度）に補給する必要がある。

テンシオメータの設置手順は以下のものである。

①計測地点を選定し、直径 21mm のハンドオーガーで所定の深さより約 1cm 浅く削孔する。

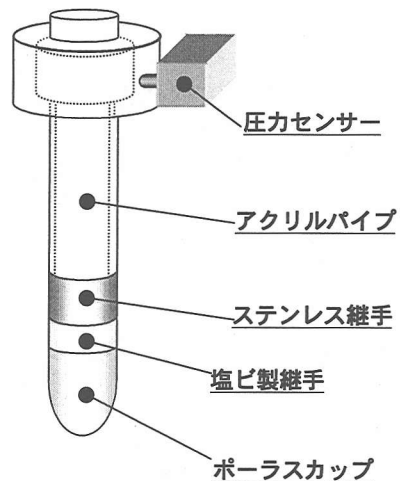


図-2 テンシオメータの概略図

- ②ハンドオーガーを抜き、素早く同じ直径のステンレス棒を挿入し、棒の頭を軽く木槌でたたいておく。
- ③テンシオメータ（直径 18mm）を準備し、ステンレス棒を抜いてテンシオメータを軽く押し込むように設置する。強く押し込むとポーラスカップが壊れるので注意が必要である。
- ④深さが足りないときは、再びステンレス棒を挿入し、所定の深さになるように木槌で棒の頭をたたく。
- ⑤所定の深さに設置した後、テンシオメータと孔壁の隙間に土を埋め戻し、脱気水を注入する。
- ⑥大気圧開放状態にし、圧力センサーのゼロ点をデータロガーに入力する。
- ⑦上端にキャップを取り付ける。圧力センサーの防水、雨水がテンシオメータの壁面を伝わらないようにすること、気温の変動を少なくすることを目的として、直径 11cm、高さ 15cm 程度の空き缶か、木製の箱を被せる。空き缶と箱の表面は発泡ウレタン製の断熱マット（キャンピング用マット）を張り付けている。

雨量は転倒ます式雨量計によって測定されており、0.5mm 毎に枡が転倒するようになっている。正確な雨量を測定するためには、仰角 15 度の範囲に障害物がないようにする等の注意事項があるが、本研究では土中への雨量の浸透を調べるのが目的であり、雨量計はテンシオメータに隣接した地表面にセットしている。

国分市川原地区(1999年6月22~7月5日)

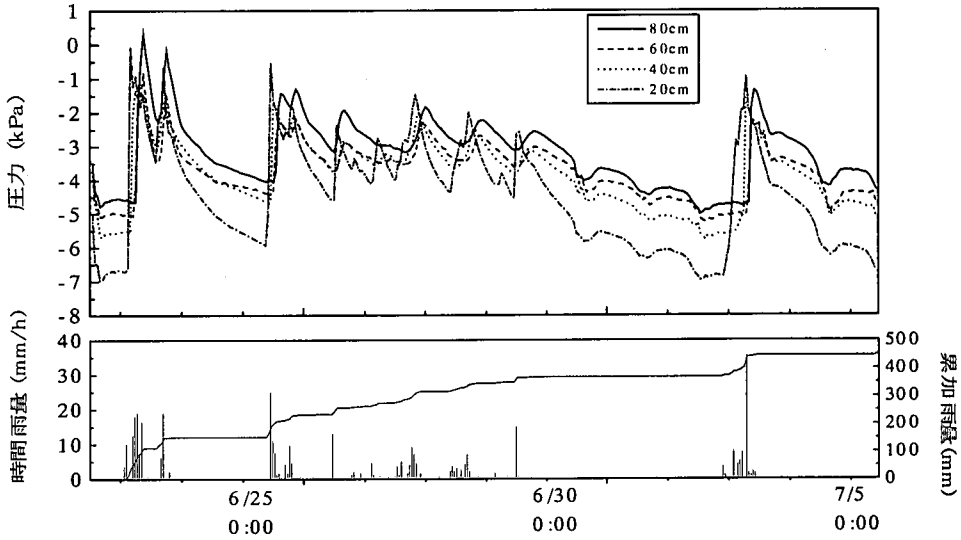


図-3 国分市薄木での計測結果

### 3. 計測結果とその考察

図-3は1999年6月22日~7月5日の期間の国分市のしらす斜面崖錐部(二次しらす)で得られたサクシオンと雨量の計測結果を示している(データはノート型パソコンによって回収)。計測地点付近では入戸火砕流が150m程度の厚さで堆積し、しらす台地を形成している。そのため、計測地点での地下水位は地表面より10m以上あるものと考えられる。

図より、この期間に何回かの降雨があり、定性的には降雨が発生するとサクシオンが低下し、降雨が停止するとサクシオンが回復していることが確認できる。例えば、6月29日の降雨によってサクシオンが少し低下しているが、その後6月30日から7月2日の夕方まで無降雨であったため、サクシオンが増加している。特に、表面に近い20cmの深さではその傾向が強くでている。図-3の中から6月23日0:00~24:00、7月2日19:00~7月3日19:00の降雨に着目し、深さ方向のサクシオンの変化と時間雨量を示したものが図-4(a)および図-4(b)である。

図-4(a)において、無降雨状態である時点aでのサクシオンは地表面に近いほど大きな値を示している。降雨開始3時間後の時点bでは深さ20cmの土はほとんど飽和していることを反映し、サクシオンはゼ

ロとなっているが、深さ40cm以下では浸透した雨水が未だ到達していないため、時点aの値と変わっていない。時点cでは雨水が浸透し、深さ方向にサクシオンが低下しているが、深さ80cmでのサクシオンは時点a,bと変わっていない。時点dでは、サクシオンの分布が時点aでのものを平行移動した形で低下している。時点cとdの深さ20cmの地点でのサクシオンを比較すると、時点dでは時点cを過ぎてからの新たな降雨により地表面付近の含水比が増加したため時点cでのそれより小さくなっている。深さ数十cmの表層すべり型の斜面崩壊の危険度は、10mm以上の時間雨量が5時間継続した後の時点dで最も大きかったことが分かる。数時間の無降雨状態が続いた時点eでは時点dでの分布を平行移動したようにサクシオンが回復している。再び降雨を経験した時点fでは時点cと同様なサクシオン分布を呈している。さらに、時点gでのサクシオンの分布を見ると、無降雨の影響で浅い部分でのサクシオンが回復していること、19:00~20:00の降雨は深さ60cm以下のサクシオンに影響を及ぼしていないことがわかる。時点hでは時点eとほぼ同じ分布をしており、無降雨状態がこのまま継続すると、時間の経過とともに分布形は平行移動して、時点aと同じ分布になる

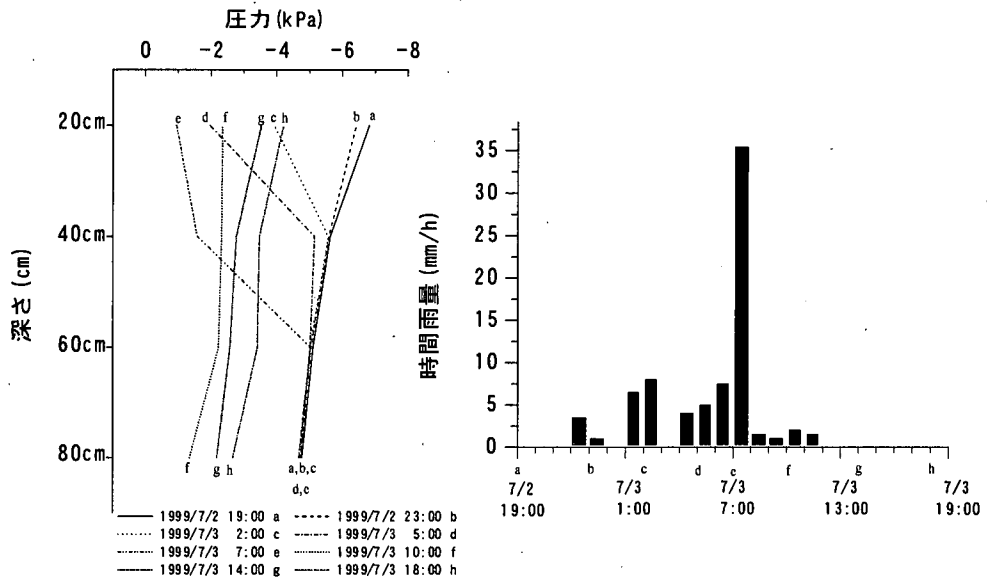


図-4 (a) 降雨に伴うサクシンの深さ方向の分布の変化(6月23日 0:00~24:00)

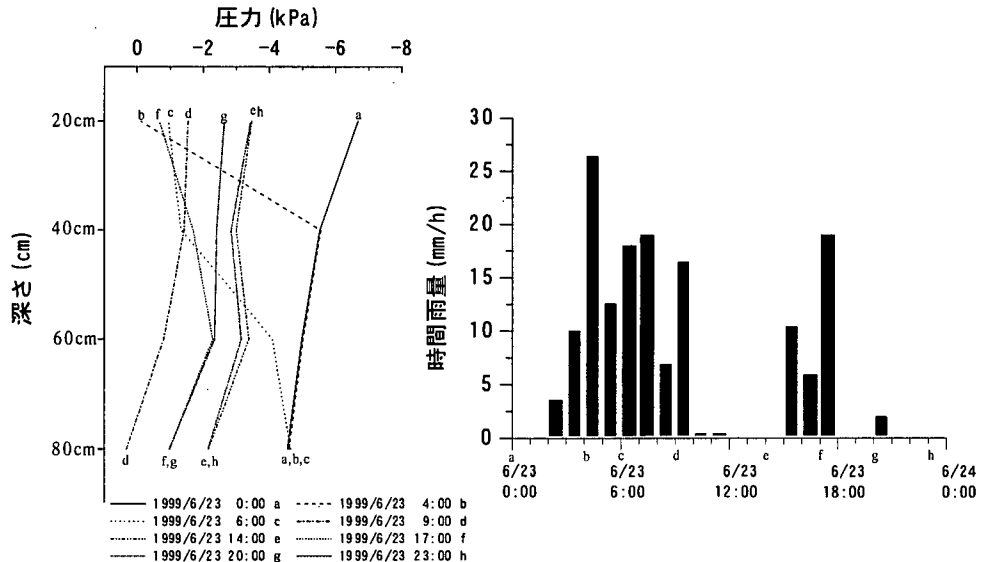


図-4 (b) 降雨に伴うサクシンの深さ方向の分布の変化 (7月2日 19:00~7月3日 19:00)

ものと考えられる。

図-4 (b)において、無降雨状態である時点 a でのサクシオンは、地表面に近いほど大きな値を示している。降雨開始3時間後の時点 b では、深さ 20cm のサクシオンがわずかに低下している。深さ 40cm 以下では浸透した雨水が未だ到達していないため、時点 a の値と変わっていない、時点 c, d では雨水が浸透し、

深さ方向にサクシオンが低下していることがわかる。降雨強度が増している時点 d, e においては、地表面に近いほど、大幅なサクシオンの低下を見せているが、深さ 80cm では無降雨状態だった時点 a のサクシオンとほとんど同じ値を示している。最も降雨強度が強かった時点から3時間後の時点 f において、深さ 80cm のサクシオンが最も低下していることが分

かる。その後無降雨となった時点 g, h においてサクシジョンの深さ方向の分布形は、時点 f とほぼ平行な形でサクシジョンが回復している。

図-4 (a) に示すように 10mm 以上の時間雨量が数時間継続すると深さ 80cm ではサクシジョンが消滅しているのに対して、図-4 (b) に示すように 5mm 程度の時間雨量が数時間続いても、深さ 80cm 以浅ではサクシジョンが存在している。この様にこの地点では、深さ 80cm 程度までの地盤のサクシジョンは数時間程度の降雨強度に影響をうけていることがわかる。

#### 4. あとがき

本研究ノートでは、国分市での計測を例として取り上げ、不飽和土中のサクシジョンと雨量の現地計測システムの紹介と得られた計測結果と基にして降雨パターンと土中への浸透特性に関する若干の定性的な考察を行った。斜面崩壊予知システムを確立するためにはこのような計測事例の集積とともに地盤調査、原位置試験、採取試料による不飽和浸透特性試験（透水試験、保水性試験）、せん断試験等を行わなければならない。遠隔操作による計測システムはほぼ完成したと考えられるので、今後はより多くの地点での現地計測データの集積に努めるとともに、精度

の高い各種地盤調査、土質試験を実施し、斜面の安定度の定量的な評価法の確立に取り組んでいきたいと考えている。

**謝辞:** 本研究は科研費（基盤研究 (I) (No. 09555153, 代表：北村良介)) の援助を受けました。ここに謝意を表します。また、井料達生氏（元鹿児島大学, 現西オンタリオ大学）には、貴重なアドバイスをいただきました。

#### 参考文献

- 1) 1993 年鹿児島豪雨災害調査委員会：1993 年鹿児島豪雨災害，土質工学会（現；地盤工学会），209p.，1995.
- 2) 地盤工学会出水市土石流災害調査団：1997 年鹿児島県出水市土石流災害調査報告書，52p.，1998.
- 3) 北村良介，松尾和昌：斜面崩壊に対する防災戦略，第 18 回日本自然災害学会学術講演会，pp. 5-6，1999.
- 4) 竹下祐二，阿部知之，森井俊弘，今井久，佐藤健，山口嘉一：不飽和浸透特性の原位置試験法，不飽和地盤の透水性割俣する委員会成果報告書，地盤工学会，pp. 59-81，1997.

(1999. 10. 25 受付)

## DEVELOPMENT OF FIELD MEASURING SYSTEM FOR SUCTION IN UNSATURATED SOIL WITH RAINFALL

Ryosuke KITAMURA, Minoru KAWAIDA, Hirofumi ABE, Kazuyosi JOMOTO  
and Takuya TERACHI

A non-welded part of pyroclastic flow deposits, Shirasu, is widely distributed on the surface ground in southern part of Kyushu Island. Slope failures due to heavy rainfall often occur on the Shirasu slope in the rainy season, occasionally followed by debris flows. In this paper the field measuring system for suction in unsaturated soil and rainfall is introduced to aim the prevention and prediction of natural disaster caused by slope failure. In the system the tensiometer and tipping bucket type's rain gauge are used to measure the suction and rainfall respectively. The acquired data are filed in the data-loggers and transmitted to the laboratory through the cellular phone. The change in suction due to rainfall is shown with time elapsed. Then the seepage behavior of rainwater into ground is qualitatively discussed with the intensity of rainfall. It is found that the developed field measuring system is promising to predict the slope failure due to rainfall.