

デジタルリモートセンシング技術を用いた斜面変動の定量的把握手法について

国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所 佐藤 要・手代木裕司・須田洋平

国際航業㈱ ○稲葉千秋・岩崎智治・小野尚哉・武智国加・西村智博・手束宗弘・戸上 愛

1. はじめに

山形県米沢市南東部の吾妻山連峰山懐に位置する姥湯温泉周辺は、大規模な温泉変質地帯となっており、岩盤の風化・変質による裸地化の進行と経常的な落石・崩落に伴う岩壁・岩峰や崖錐斜面の不安定化が顕著で、平成以降でも大規模な斜面崩壊が2回発生し、温泉施設に大きな被害を与えている。

本検討では、①GPS センサーを用いて斜面崩壊に関連する斜面の変位を連続的に観測するとともに、②複数時期のレーザー地形計測により土砂変動状況を定量的に把握し、危険斜面の抽出と中長期的な土砂動態監視を目的として、以下のような実証検討を行った。



図-1 温泉施設対岸の高さ300mに達する裸地斜面

2. 観測・計測方法

2.1 高精度 GPS センサーによる連続観測

図-1の斜面の中で、崖錐が厚く堆積する3地点及び岩盤崩落の可能性がある1地点の計4地点にGPS センサーを設置し（図-2）、設置地盤の動きを自動計測システムにより24時間体制で監視した¹⁾。

4点のGPSセンサーは、ケーブルで数珠繋ぎに配線して通信集約器に導き、30秒ごとに取得されるデータをNTT Docomo 携帯通信網を介して自社サーバーに送信した。解析サー



図-2 GPS センサー設置状況

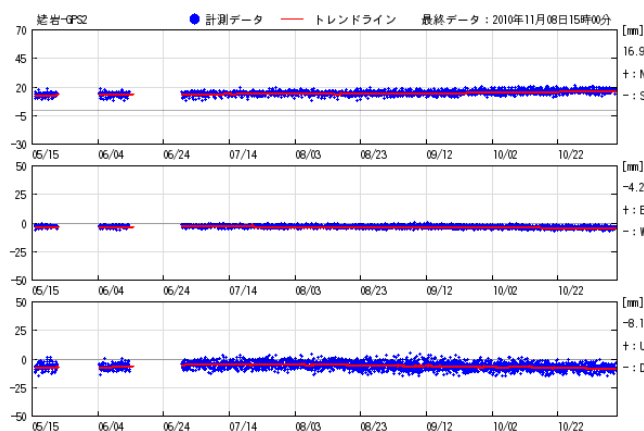


図-3 GPS 計測結果(変位グラフ)の例

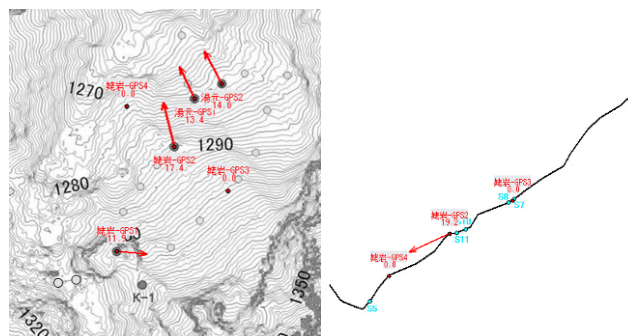


図-4 GPS 計測結果(ベクトル図)の例

バーでは、1時間分のデータを使用してスタティック測位による基線解析（座標計算）を行うとともに、トレンドモデルと呼ばれる時系列統計処理²⁾による誤差処理を実施して、水平方向で1～2mm、鉛直方向で2～3mm程度の高精度で地盤変位量を算出。算出された変位量は、一般的な時系列のグラフ（図-3）の他、平面図や断面図上にベクトル表示し（図-4）、インターネットを介して関係者に常時配信されるシステムを構築した。

2.2 地上型レーザー地形計測による地形変化量把握

本調査地は、斜面（計測範囲）の比高差が大きく、下方から見上げる形で計測する範囲が広く、谷・尾根がなす起伏も大きいことから、地物・地形・植生等による遮蔽箇所が多く出ることが予想されたため、複数箇所からレーザースキャンを実施した。

使用した地上型3Dレ



図-5 地上型レーザースキャナ

ーザースキャナー（LS）（図-5）の性能は、次のとおりである。

名称：3D-Laser Mirror Scanner（リーグル社 LMS-Z420i）
測定距離：1000m（反射率 $\geq 80\%$ ）、350m（同 $\geq 10\%$ ）
測定精度： $\pm 10\text{mm}$ （単発）、 $\pm 5\text{mm}$ （平均化）
測定分解能：5 mm
測定レート：12000 点/秒（低速）、8000 点/秒（高速）
ビームの広がり角：100m先で 25 cm のビーム径

取得時に約 5 千万強あった測点データから、対象エリア抽出、フィルタリングなど後続処理の結果、約 300 万点強のグラウンドデータが得られ、これを図化に供した。

3. 観測・計測結果

3.1 GPS センサーによる観測結果

機器設置から 2 年間の観測の結果、GPS センサーでは各地点とも斜面下方に向かって十数 mm 変位していることが観測された（図-4 参照）。この変位速度は、現状ではすぐに崩壊に至る速さではないと考えられるが、ふだんの定常的な動きを把握することで、変位速度の上昇を素早くとらえることも可能となり、保全対象に対する緊急の警報を発することも期待される。また、図-4 で 1 点だけまったく別方向のベクトルを示している地点があるが、これは当該 GPS センサーの直近で小規模岩盤崩落が発生し、これに引きずられてセンサー設置岩盤が動いたことによるものと現地調査で確認された。このときの変位グラフは図-6 のとおりで、先のような緩慢な動きではなく短時間に生じた変位が明瞭に記録されている。

ただし、データの
プロットが 1 時間
毎であることから、こうした短時間完結型事象のリアルタイム検知は難しい。

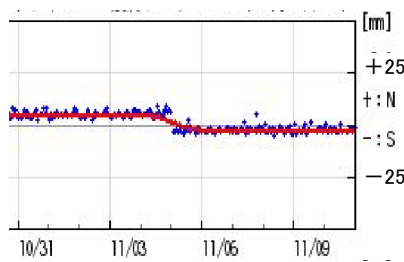


図-6 岩盤崩落時の変位グラフ

3.2 地上型レーザースキャナーによる計測結果

地上型レーザースキャナーによる 1 回目のデータ取得から約 2 年後に同じ範囲のデータを再取得し、差分解析を行うことにより地形変化量を可視化した。

その結果、平成 18 年の崩壊で生じた馬蹄形の崩壊地周辺で、急崖部では深さ 70 cm 程度の侵食、その直下の緩斜面では厚さ最大 1 m 強の土砂の堆積が進行し、2 年間で少なくとも約 300m³ の土砂変動があったことが定量的に把握された（図-7）。また、人

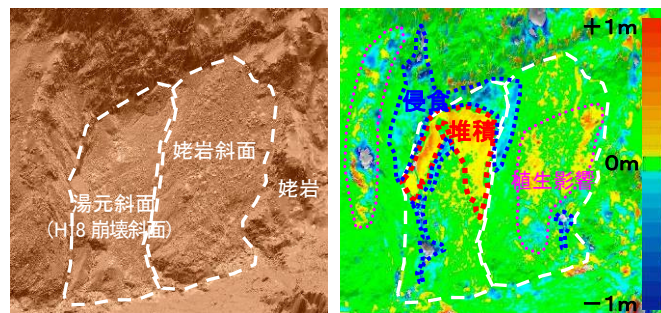


図-7 地上型LSによる鳥瞰図と標高差分図

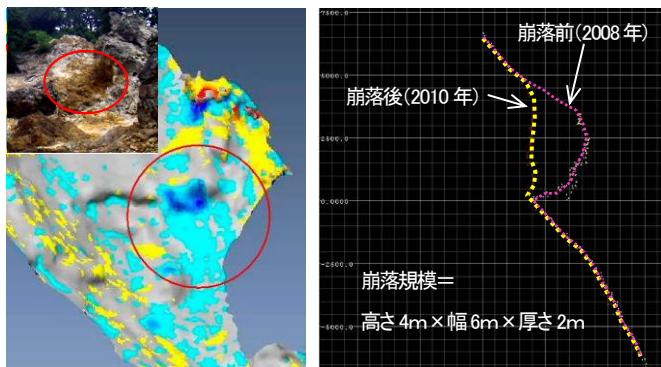


図-8 地上型LSによる標高差分図と地形断面図

が近づけない急崖上部の小規模な崩落の発生源や崩落規模についても精度良く把握できた（図-8）。

4. おわりに

高精度 GPS センサーにより斜面の断続的な変位が観測され、季節や降雨との関連が示唆されるデータが得られていることから、さらに長期の観測によりその特性が明確になる可能性がある。

地上型レーザースキャナーでは、数 cm オーダーの地形まで詳細に取得できることから、計測時期の異なるデータを用いて差分解析を行うことにより、地形の経年変化が精度良く把握でき、斜面が不安定化する地形変化プロセス、あるいは土砂動態を面的・三次元的に可視化することが可能となった。

こうしたデータは、不安定斜面の中長期的な動的、定量的な把握と今後の監視・観測計画検討に役立つと同時に、住民に身の回りで起きている危険をビジュアルにわかりやすく知らせることができ、いざというときに自ら判断して避難行動を起こすための防災意識の向上にも有効と考えられる。

参考文献

- 1) 岩崎智治、荒川隆嗣、中里裕臣、増成友宏、清水則一：GPS を主体とした大規模地すべり発生時の計測システムの構築、地すべり、第 48 巻 2 号、pp. 26-32、2011 年 3 月。
- 2) 松田浩明、安立 寛、西村好恵、清水則一：GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証、土木学会論文集、No. 715/III-60、pp. 333-343、2002 年 9 月