

MEMSセンサ・ネットワークを用いた地盤挙動モニタリングの研究

岡山大学大学院 環境生命科学研究科 学生会員 ○秦野 佑也

正会員 西山 哲

学生会員 岩崎 佳介

1. はじめに

日本には土砂災害危険箇所が約 52 万箇所ある¹⁾¹⁾。これらの多くは未整備であり、目視点検をはじめとする人力で管理していくことは物理的にも経済的にも困難であるため、低コストで効率的かつ現場環境に左右されにくい汎用性の高い計測機器による自動計測が求められてきた。この問題に対し、近年 MEMS(Micro Electro Mechanical System)と呼ばれる機械要素部品と電子回路を集積化した小型デバイスが関心を集めている。例えば、加速度センサを用いた MEMS 型傾斜計は小型かつ省電力かつ安価で、設置の自由度が高いことから斜面崩壊モニタリングに使用される事例が増えつつある¹⁾²⁾。また、MEMS に無線センサを組み込み、無線センサ・ネットワークを構築することで、計測地に赴くことなくモニタリングすることが可能となる。しかし未だ実例数が少ないことに加え、観測データには MEMS 内部の温度変化に起因するノイズが生じることが知られている。本研究では、地滑りが発生した斜面にて MEMS 型傾斜計を用いた傾斜角計測を実施し、本質的な地盤の挙動による傾斜角変化のみを抽出するために、計測データを校正することでノイズ除去を行い、地盤挙動に関する考察を行った。

2. 計測機器

今回計測に使用した MEMS には加速度センサ、温度センサ、無線センサを組み込んでおり、また気候変化によるノイズを低減することや、結露によるショートや腐食を防止することを目的とし、エポキシ樹脂による封入を行った。今回用いた無線センサは、植生の影響を低減するために特定小電力方式を採用し、植生がある状況下で約 300 メートルの通信が可能である。

3. 計測サイト

計測地は活動型地すべり面が存在する山岳地帯に位置する。キーワード センサ・ネットワーク、MEMS、地盤挙動、モニタリング

連絡先

〒700-0080 岡山県岡山市北区津島福居 2 丁目 3-3 TEL 090-9092-8261

置する道路斜面であり、2009 年 8 月に集中豪雨による大規模な地滑りが発生し、その事後対策として斜面下部にもたれ様式の擁壁が施工されている。斜面崩壊は深さ 20m から 30m のすべり面に起因すると考えられおり、この現場の地盤挙動を捉えるために、斜面 4 箇所に MEMS を設置し計測を行った。現地写真を図 1 に示す。計測データは各 MEMS から基地局へ送信され、その後台湾のサーバーに自動転送され、適宜 web 上に公開される。日本からはインターネットを通じてデータをリアルタイムで取得・閲覧可能である。



図 1 計測サイト

4. 計測データへのフィルタリング

擁壁施工部において計測された生データを図 2 に示す。計測データには通信中にデータ欠損が生じたこと

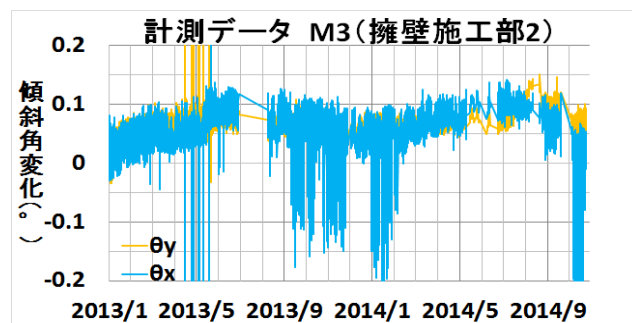


図 2 計測データ

に起因する外れ値が含まれている。また比較的小さい振幅の高周波成分は気温変化に起因する MEMS 内部温度の変化により生じる‘ノイズ’である。すなわち計測データは、実際の地盤挙動に伴う傾斜角変化に加え、MEMS 内部温度変化によるノイズ、外れ値および計測誤差の 4 波形の重ね合わせによって表現されると解釈できる。本章では計測データに対して行った

外れ値除去，温度変化に対する較正，移動平均による平滑化について説明する。

まず外れ値を除去するために，24 時間毎に信頼度 99%の信頼区間を求め，信頼区間外にあるデータを除去した．次にデータ較正の手順を述べる．図 3 に示すように MEMS の温度と傾斜角には高い相関性が伺え，温度の変化に対して傾斜角の変化が時間遅れを伴っておらず，日周期で発生している傾斜角の変化は擁壁の熱膨張による実際の傾斜角変化ではなく，MEMS 内部温度の変化に伴うノイズによるものと考えられる．これを定量化するため，計測されたデータにおいて各計測値から 24 時間以内に計測された温度と傾斜角を用いて相関係数を求め，計測期間全体で平均値をとる．得られた平均相関係数を表 1 に示す．この結果から，日周期の MEMS 内部温度変化と傾斜角には高い相関があることがみてとれる．

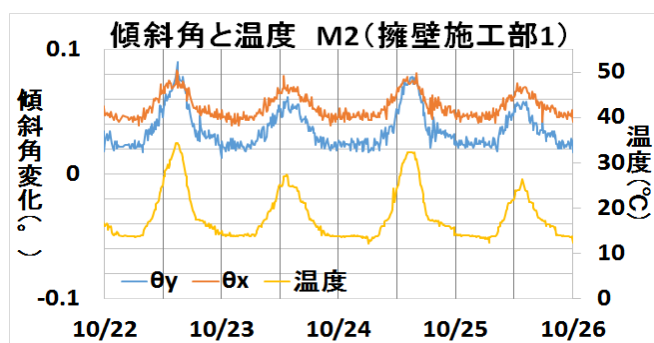


図 3 傾斜角と温度の相関関係

表 1 温度と傾斜角の相関係数

	滑り面方向の傾斜角 と温度の相関係数	滑り面法線方向の傾斜 角と温度の相関係数
擁壁非施工部	0.847	-0.900
擁壁施工部	0.920	0.906

計測されたデータにおいて各計測値から 24 時間以内に計測された内部温度と傾斜角を用いて，回帰直線 ($\theta = aT + b$) を求め，計測期間全体の平均温度 (T) における傾斜角を内挿する．これら手順により MEMS の温度が計測期間全体を通して一定であった場合の較正傾斜角を算出する．最後に，計測データに含まれる偶然誤差の影響を低減するために 24 時間の移動平均をとり平滑化を行った．以上を踏まえノイズ除去を行ったデータを図 4 に示す．

擁壁非施工部の傾斜角変化量は擁壁施工部に比べて非常に大きく，顕著な地盤変動が発生したと考えられ，具体的には図 5 に示すようにすべり面の先端が沈下し

たとえられる．一方，擁壁施工部では大きな傾斜角変動がみられず安定していることがわかる．

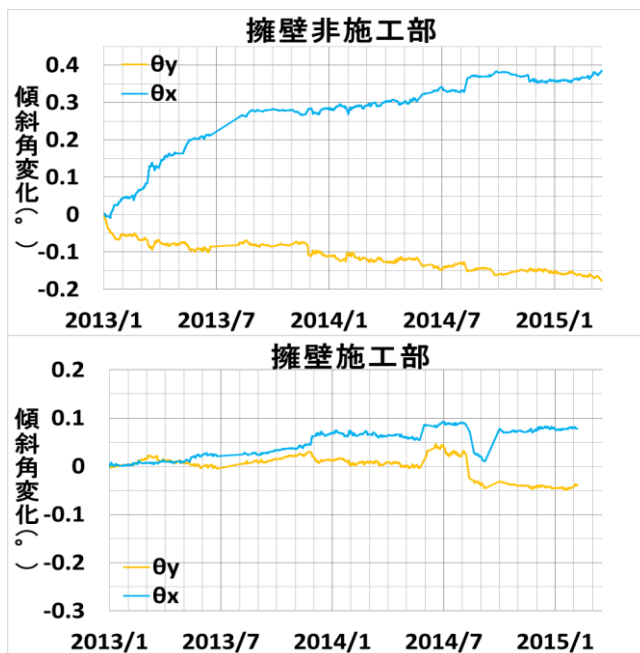


図 4 較正結果

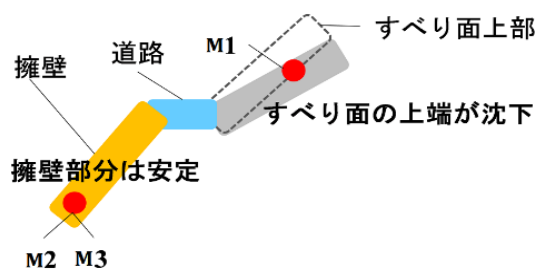


図 5 地盤の挙動

5. 結論と今後の展望

以下に本研究で得られた知見をまとめる．MEMS 内部温度の変化に起因するノイズを較正により低減し，本質的な傾斜角変化を捉えることができた．較正により得られた傾斜角データから，擁壁施工部に関しては傾斜角の変動がほとんどみられなかったが，擁壁非施工部では変動が顕著であり，すべり面先端の沈下が予想される．

今後は MEMS の精度検証および本研究で行った較正の信頼性を確認するために室内実験を実施することが重要であると考えられる．

参考文献

- 1-1) 国土交通ホームページ：
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyoud.pdf>，土砂災害防止法の概要
- 1-2) 中村公一：傾斜計による擁壁の変形状の試み，土木学会第 69 回年次学術講演会，Ⅲ-193，pp38