

MEMS 型傾斜計を用いた斜面挙動モニタリングの研究

岡山大学大学院 学生会員 ○秦野 佑也
岡山大学大学院 正会員 西山 哲
有限会社丸重屋 非会員 平手 克治

1. はじめに

日本には土砂災害危険箇所が約 53 万か所あり、台風や集中豪雨等により全国各地で年間約 1000 件の土砂災害が発生している。これら危険箇所には、目視点検をはじめとする人力による調査・維持管理は物理的にも経済的にも困難であり、避難勧告等の発令が災害発生に間に合わない場合がある、といった問題点が存在する¹⁾²⁾。このため、低コストかつリアルタイムで安全性評価が可能なモニタリング手法の開発が急務となっている。

この問題に対し、近年 IoT (Internet of Things) 機器を用いたモニタリングの試みが行われつつある。これは、IoT 機器の利用により、低コスト化、遠隔地のリアルタイムモニタリングの実現、機器の遠隔操作の実現といった事が期待できるからである。一方、機器の耐久性、長期運用のための電力管理、計測されたデータのマイニング手法が確立されていないといった課題が残されており、これらの研究は当分野において重要である。このことから、本研究では IoT 機器による遠隔モニタリングの実現を目的とし、諸問題に対し対策を施し、現場における適応性を検証した。

2. 計測現場

図 1 に、計測システムのご概念を示す。計測現場は台湾台南の活動型地すべり面が存在する山岳地帯に位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深層崩壊が発生し、その事後対策として斜面下部に擁壁が施工されている。現場の地層は第三期鮮新世後期から第四期更新世初期に形成された六重の堆積層であり、主な組成は化学的風化作用を受けやすい砂質泥岩層、砂質頁岩、粘性砂岩からなる。このように、本現場は地下水や降雨の浸透による風化や膨潤が起きやすい地質構造である。また、この現場は崩壊が起こると考えられているエリアが大きいことから従来の伸縮計での計測は経済的ではない。このことから本研究では次章で説明する 4 機の IoT 機器 (M1, M2, M3, M4) と基地局 1 機を設置し、地盤挙動のモニタリングを試みた。具体的には、機器設置地点における高精度な傾斜角と温度が自動計測され、それらが基地局・サーバに自動転送され、インターネットを通じてリアルタイムモニタリングが可能なセンサ・ネットワークを構築した。



図 1 計測システムのご概念

3. 計測機器

使用した機器の内観と外観を図 2 に示す。本モニタリングに使用した IoT 機器は、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である³⁾。この機器には高精度な加速度センサ、温度センサ、特定小電力無線を組み込んでいる。加速度センサは重力加速度を 2 軸で計測しており、本研究で

キーワード IoT 機器, MEMS, 地盤挙動, モニタリング, センサ・ネットワーク

連絡先 〒730-8530 岡山市北区津島中 3 丁目 1 番 1 号 岡山大学大学院 環境生命科学研究所

T E L 090-9092-8261

は計測値は式(1)を用いて傾斜角に変換し、地盤の挙動は機器の姿勢の変化として検出される。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アルミケースを使用し、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、約 300 メートルの通信が可能である。

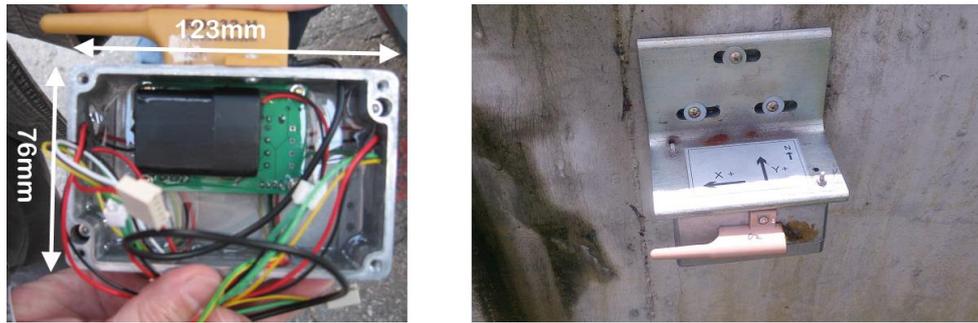


図 2 計測機器

$$\cos \theta_x = \frac{AccX}{\sqrt{AccX^2 + AccY^2}} \quad \cos \theta_y = \frac{AccY}{\sqrt{AccX^2 + AccY^2}} \quad (1)$$

4. データマイニング例

計測されたデータのマイニング概念を図 3 に示す。計測データには通信中のデータ欠損に起因すると考えられる外れ値や、気温変化に起因すると考えられる高周波成分が含まれる。本章ではこのデータから、実際の地盤挙動を抽出するマイニング手法を説明する。まず計測データに含まれる外れ値を除外するため、判定するデータを原点とする前後 3.5 日分のデータを抽出し、中央絶対偏差を求め確率誤差で除算し正規化を行い、99%信頼区間を用いて除外判定を行う。次に、各器機で傾斜角と温度の相関係数がそれぞれ 0.7 以上であった事をうけ、計測データ毎に前後 12 時間のデータを用いて回帰直線の傾きを求め、各時刻での温度と平均温度の差に回帰直線の傾きを乗じることで算出された値を、各時刻での傾斜角から差し引くことによって温度による影響を低減した(式-3)。

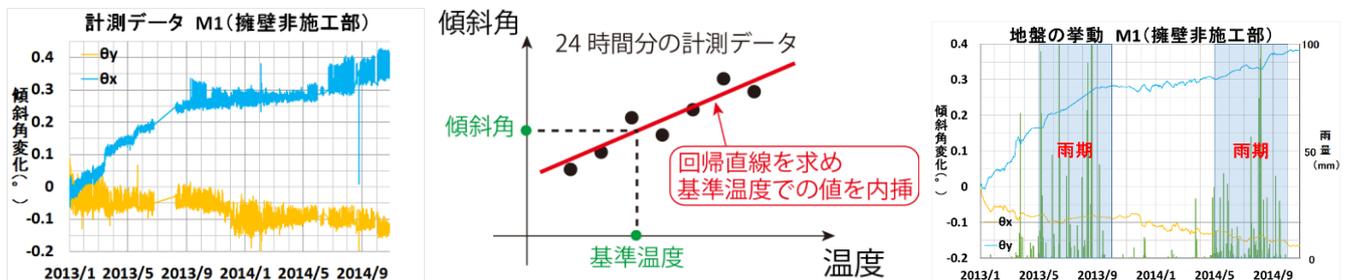


図 3 データマイニング手法

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。センサをアルミケースで覆うこと耐久性を確保し、長期計測を実現した。また通信を行わない間は無線モジュールを待機状態にし、省電力化を行うことで長期計測が実現した。さらに外れ値の定量的な除去を行い、温度の変化に起因する計測値への影響を低減することにより、計測データから地盤挙動を抽出することに成功した。抽出したデータからは、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、また降雨との相関もみられ、すべり面先端の沈下が予想される。これらの事から、本計測手法は地盤挙動のリアルタイムモニタリングが可能であることを実証した。

今後は得られたデータから、将来の地盤挙動の予測を行うことが課題である。

参考文献

1. 国土交通ホームページ : <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf>, 土砂災害防止法の概要
2. 国土交通ホームページ : <http://www.mlit.go.jp/common/001087388.pdf>, 土砂災害警戒避難ガイドライン (平成 27 年 4 月)