

無線式センサを利用した岩盤斜面モニタリング手法の検討

MEMS センサネットワーク 斜面防災

サンコーコンサルタント(株) 正会員 ○萩原 育夫
 明治コンサルタント(株) 正会員 島内 哲也
 京都大学大学院 正会員 西山 哲
 京都大学大学院 正会員 矢野 隆夫

1. はじめに

岩盤斜面崩壊は複雑な崩壊要因と不均質性といった特性を有することから不確実性に支配された現象として捉えられ、モニタリングによって斜面状況（安定度等）を的確に把握することは土木構造物の維持管理において重要な検討項目の一つである。岩盤斜面のモニタリングには目視点検や変位計測等の手法が導入されているが、崩壊現象の複雑性・不確実性からは多種・多様な監視データを迅速且つ効率的に処理できる手法の開発が必要と考えられる。最近では、センサ技術と通信技術を組み合わせた大規模なモニタリングシステムが開発されており、このようなセンサネットワーク技術を斜面監視に導入することは、岩盤斜面崩壊に対する防災システムの構築において有用と考えられる¹⁾。

センサネットワーク技術の建設分野への応用としては構造物の劣化監視等があり、岩盤斜面モニタリングへの導入によって、斜面崩壊の予兆現象や地震等に伴った状態変化（強度特性変化）の把握、災害発生の検知等の効果が期待できる。一方、センサネットワークシステム開発における技術課題として、センサの信頼性・経済性、センサ及び通信網の維持管理効率、及びデータ処理の高速性（リアルタイム性）が指摘されている²⁾。岩盤斜面の監視においては計測密度の高いセンサネットワークが必要と考えられ、安価で信頼性の高いセンサの開発が重要な技術課題の一つと位置づけられる。本検討では、微弱無線通信及び MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) に着目したセンサネットワークシステムの開発と現地試験結果について報告する。

2. システムの開発

図-1にシステム構成を示し、表-1に主要な仕様の一覧を示す。システム開発に当たっては下記を基本方針として機器仕様を策定した。

- 1)小型化・省電力化
- 2)維持管理等の負荷低減
- 3)リアルタイムな監視

システム構成は現地に設置するセンサユニット・データ配信ユニットと、管理事務所等でデータ内容を確認するモニタリングユニットを検討した。センサユニットはセンサと無線基地局から構成され、MEMS と無線通信装置を一体化させ、重力加速度の計測結果を計測軸の傾斜角度に対応づけて岩盤変動を検知するセンサを開発した。MEMS 加速度センサの分解能は重力加速度の 0.1% 程度であり、温度・湿度の同時計測や安定化電源回路の組み込み等を行って計測精度の維持を図った。無線通信方式としては、省電力化の観点から微弱無線方式を採用した。微弱無線方式は自由度の高いシステムが構築できる反面、通信距離が一般に限定されるが、通信帯域をナローバンド化することによってノイズを低減し、約 100m の通信距離を確保した（表-2）。今回の開発では、MEMS 及び微弱無線の採用によって、センサの連続稼働期間（電池駆動）として約 2,000 日を設定した。データ配信ユニットは計測データをメールを利用して各所に配信するものであり、双方向通信による観測パラメータの変更機能や電源電圧の監視機能等を付加して維持管理作業量の低減を図った。また、モニ

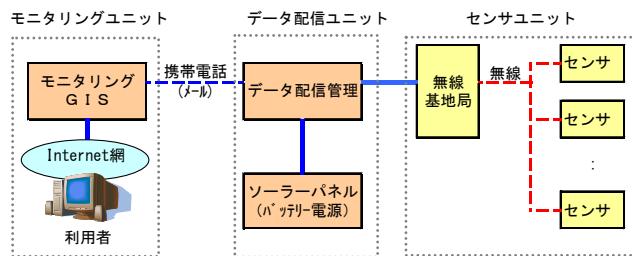


図-1 システムの構成

表-1 システムの主な仕様

| 区分 | 仕様等 | 製作 |
|------------|---|------------|
| センサユニット | MEMSセンサ(加速度、温度、湿度) 傾斜分解能=約0.1度（3軸） 5min間隔サンプリング 電源電圧=2.5V（リチウム電池） 耐用年数=3~6年 ナローバンド微弱無線通信 通信距離=100m 外寸=50×60×35mm | ワイヤマチック(株) |
| データ配信ユニット | 携帯電話メール通信（双方向） 電源電圧=5V バッテリ電源（ソーラーパネル） | 北斗理研(株) |
| モニタリングユニット | Web-GISサーバ(3D) メールサーバ | 可視化ビジョン |

表-2 主な通信方式の仕様比較⁴⁾をもとに作成

| 名称 | ナローバンド 微弱無線 | Zigbee | BlueTooth | Wi-Fi | UWB |
|------|------------------|----------------------|-----------|----------------|-------------|
| 周波数帯 | 303MHz 2.4GHz | 868/915MHz 2.4GHz | 2.4GHz | 2.4GHz 5GHz | 3.1-10.6GHz |
| 通信距離 | | | | | |
| 通信速度 | 100bps程度 | 250bps程度 | 1 Mbps | 54Mbps | 110Mbps |
| 消費電力 | 数mA-数10mA | 27 | 57 | 219 | 227 |

タリングユニットでは配信された計測データを自動的に集計・グラフ化させる Web-GIS システムを構築した。

3. システムの現地試験結果

図-3 に開発したセンサの外観を示す。試験箇所は比高=10m 程度の岩盤斜面で、岩盤は硬質な貫入岩から構成され、岩盤中に発達する不連続面によってトップリング型の岩盤崩落が想定された箇所である。センサはボルト及び接着材を用いて急傾斜の岩壁面に固定した。センサと無線基地局の距離は 20~100m 程度で、センサ周辺には若干の植生（広葉樹の低木）が認められた。

図-4 に計測結果（例）を示し、以下に試験結果の概況を示す。

1) 試験期間中は最大日雨量=210mm 程度、最大風速=23m/s 程度の気象条件を経験したが、継続的に監視を行うことができた。

2) 傾斜角度の測定結果には若干の季節変動が認められた。

3) 走向軸の傾斜変化は認められなかったが、法線軸方向では一部に 1 度程度変化が認められた（図-4）。

4) 温度は 0~30°C の範囲で季節変動した。

5) 湿度は 50~95% の範囲で変動し、明瞭な季節変動は認められなかった。

6) 計測結果にはスパーク状のノイズが認められ、法線軸方向においてやや明瞭となった。

法線軸方向で観測された傾斜変化については、現地踏査等では岩盤斜面に変状の進展は認められなかったこと、並びにスパーク状のノイズが法線軸方向でやや明瞭となることから、センサの固定方法（姿勢変化）に関連した測定誤差の可能性が考えられた。スパーク状ノイズの原因としては交通車両等による振動の影響が考えられた。また、傾斜角度に関する季節変動に関しては、同様な季節変動を示した温度との対応が考えられた。

4.まとめ

開発したシステムに関しては、野外条件下において約 2 年間継続的な計測が実施できたことから、変状検知等を目的とした岩盤斜面モニタリングへの適用性が期待できる。このようなセンサネットワークシステムの導入メリットとしては、ケーブル敷設等の現地作業量の低減、誘雷等による機器破損リスクの軽減並びに景観的負荷の低減等が考えられる。また、MEMS 機器については大量生産化が進んでおりシステム設置に関する経済性確保も可能と考えられる。

今後の課題としては、センサの固定方法、温度の影響等を考慮した計測誤差の低減や、すべり崩壊等におけるセンサの配置方法と管理基準（変位量への変換）等の検討が必要と考えられる。また、今回の開発したセンサは電池による電源方式としたが、モニタリングシステムの維持管理負荷の低減の点からは、ソーラーパネルと一体化させたセンサの開発が有効と考えられる。

参考文献

- 1) 西山哲ほか(2008) : リアルタイム岩盤斜面モニタリングネットワークシステムの研究, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会
- 2) 総務省ホームページ : ユビキタスセンサネットワーク技術に関する研究開発
- 3) STMicroelectronics(2005) : LIS3LV02DQ Datasheet
- 4) Lee, Jin-Shyan et al. (2007) : A Comparative Study of Wireless Protocols : Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi, The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON) , pp.47-51

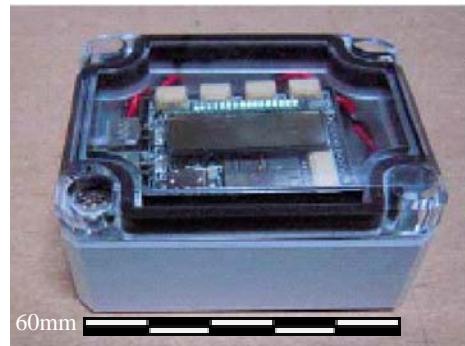


図-3 センサの外観

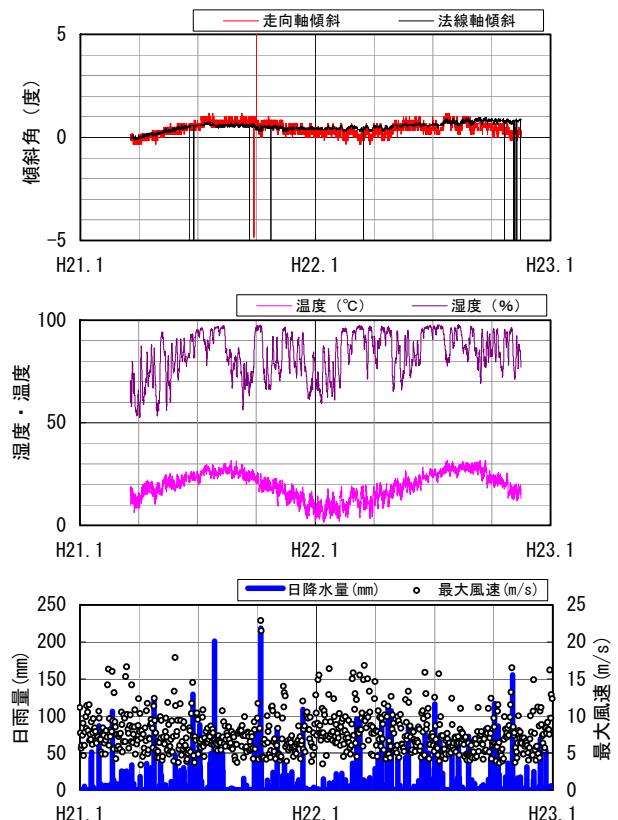


図-4 計測結果（例）