

29. ナローバンド無線を利用した岩盤斜面モニタリング

A Study on the Monitoring Method of Rock Slope Movement , Using Narrow-band Wireless Communication System.

○萩原育夫（サコココンサルト）、西山 哲（京都大学）、島内哲也（明治コンサルト）、山本 剛（国土交通省近畿技術事務所）

Ikuo Hagiwara, Satoshi Nishiyama, Tetsuya Shimauchi, Tsuyoshi Yamamoto

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道路等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の進展によって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（強度劣化）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。本報告では、これらの技術課題を踏まえ、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を行い、実際の岩盤斜面モニタリングに試験導入した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

システムは現地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から構成される。

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

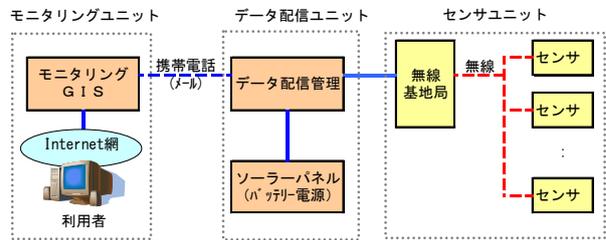


図-1 システムの構成

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 バッテリー電源(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

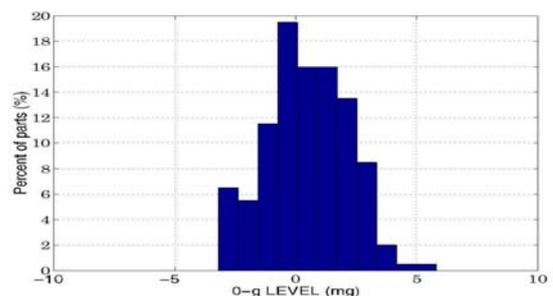


図-2 MEMS センサの特性³⁾

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（図-2）、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 2000 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ソーラーパネルに充電機能等を付加して維持管理作業量の低減を図った。

表－2 主な通信方式の仕様比較⁴⁾をもとに作成

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

また、モニ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・グラフ化させるとともに、日常及び災害時の道路網管理等における利用を想定して、3D-GIS と連携させたデータ管理システムとした。

3. システムの試験運用

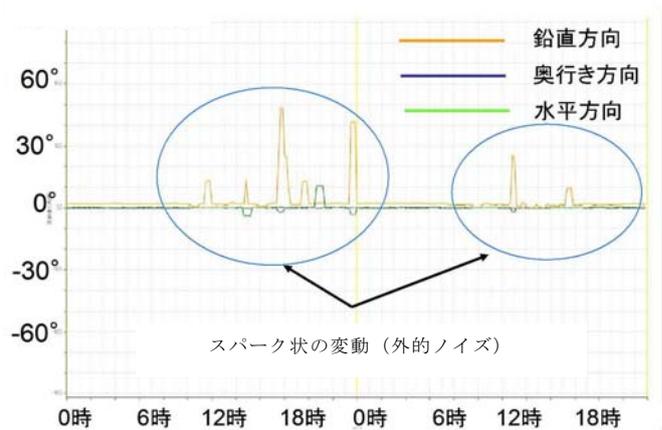
図－3 に開発センサ並びに試験運用箇所の状態を示す。試験運用箇所は比高=10m 程度の道路沿いの岩盤斜面で、岩盤は硬質な貫入岩から構成され、岩盤中の不連続面と関連したトップリング型の岩盤崩落が想定された箇所である。センサはボルト及び接着材を用いて岩盤表面に固定し、反対車線側に無線基地局を設置した。無線通信距離は 20～100m 程度である。これまでの試験運用において顕著な通信障害は確認されていない。計測したデータには岩盤の崩壊を示唆するような累積性の変動は確認されていないが、一部でスパーク状の傾斜角変化が認められた(図－4)。スパーク状の傾斜角変化に関しては、データ値が復帰することや加速度の計測結果を傾斜角に変換していること並びに交通量の多い時間帯に発生すること等から、道路通行車両による振動等の外的要因によるものと捉えられた。データ管理用 GIS では、航空写真や傾斜方向等の三次元表示機能を組み込むことによって、現地状況・変動状況を把握し易いシステムを実現した(図－5)。計測結果の管理基準に関しては、試験運用を今後継続してデータの蓄積と分析を行うとともに、傾斜角変化量から変位量への変換等も考慮して策定することが有効と考えられる。

4. おわりに

MEMS 及び微弱無線に着目したセンサネットワークシステムの開発及と試験運用を行って、岩盤斜面モニタリングに対する一定の有効性を確認することができた。無線通信方式の小型センサの開発によってケーブル敷設等の作業量を軽減でき、さらに景観上の影響も低減する効果が期待される。また、空間的に高密度のリアルタイム監視によって、崩壊発生予測等への応用が今後期待される。計測データに関する外的要因ノイズ等については、データの蓄積・分析を行ってサンプリング方法の改良等を今後検討したい。なお、本報告は、国土交通省近畿技術事務所等で構成される産・官・学連携による「新都市社会技術融合創造研究」の成果の一部をとりまとめたものである。



図－3 設置箇所の状況（3D-GIS 表示画面）



図－4 計測データ例⁵⁾に加筆



図－5 傾斜方向の表示例

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：ユビキタスセンサー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
- 5) 木村直樹(2009)：道路防災モニタリングネットワークシステムの構築に関する研究，平成 21 年度近畿地方整備局研究発表会，防災・保全部門 No.7