

# 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

木村 直樹

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 串本国道維持出張所

(〒649-3511和歌山県東牟婁郡串本町鬮野川1107-8)

IT, ナノテクノロジーおよび高速通信などに代表される電子・機械分野におけるハード技術と、土木分野において培ってきたソフト技術を産・学・官で提供しあうことにより、新たな防災システム技術の構築を図るべく取り組んでいる研究成果である。

具体的には道路防災を対象に、自由に設置できるメンテナンスフリーの小型センサの開発、センサの状態をリアルタイムで知らせる無線センサネットワーク、発生する災害の規模が予測できる可視化ツールの開発を目的としたものであり、またその有用性を実地において検証したものである。

キーワード 防災モニタリング, 小型センサ, 無線センサネットワーク, 3次元可視化ツール

## 1. はじめに

日本列島は構造運動や火山活動の影響を受けた複雑かつ脆弱な岩盤が多く、また台風や梅雨などに伴う集中豪雨、冬季の凍結融解がたびたび起こることによって、層雲峡(1987)、豊浜トンネル坑口(1996)、第二白糸トンネル(1998)、中越地震妙見(2004)に代表されるような斜面災害による被害が全国的に多発してきた。

このような現状においては、国民生活を支える社会基盤のひとつである道路への災害に対する安全性・信頼性の確保が求められており、限られた財源と管理体制の中で効率的かつ効果的な防災管理を行っていかねばならない。

しかしながら、道路沿いの自然斜面の大半は、地形上あるいは経済上の問題などにより、抜本的な対策工を早期に実施することが困難な場合が多く、これらについては、防災点検や計測機器を用いたモニタリングにより監視を行っていく必要がある。

現在でも傾斜計や伸縮計を用いたモニタリングは実施されているが、現状の計測機器においては、落雷による電磁ノイズに弱いことや、電源・通信ケーブルが必要な機構のため、その敷設工事や劣化に伴うメンテナンスといった費用面の問題、配線類により対象の外観を損なうなどの問題点を抱えている。また、災害が発生した箇所は、発生そのものや形態・規模が想定外であった事例が多く、災害規模や到達範囲を想定するための技術の精度を向上させる必要があることを示唆している。

本研究はこれらの背景を鑑み、安全な道路の利用を実現するマネジメントの基本的な要素技術である防災モニタリングについて、従来の手法の欠点を克服する新たな技術開発に取り組んだ事例を報告するものであり、また紀南河川国道事務所管内の現場において、その有用性を検証した事例を紹介する。



図-1 紀南河川国道事務所管内における法面崩壊事例

## 2. 研究の内容

### (1) 研究の概要

我が国は電子、精密機器またはIT関連技術などの分野においては、世界に誇る工業力を有しており、新たにナノテクノロジーといった新技術の分野での技術立国の地位も確固たるものがある。

これら土木分野から見て異分野である電子・機械分野の技術と、これまで培った土木のノウハウを融合させることにより、新しい道路防災・減災・避災システム技術を確立させるべく取り組んでいるのが本研究であり、具体的な技術を列挙すると次のとおりである。

- ・小型でメンテナンスフリーのセンサを無数に配置し、それらが設置された箇所の状態をリアルタイムで知らせる無線センサネットワーク技術

- ・それらセンサの情報から、「いつ、どこで、何が、どのような」状態になっているのかを瞬時に把握し、発生する災害の規模が予測できる可視化ツール技術

これらの技術の融合により、これまでの計測手法に見られるメンテナンスの労力が多大である、発生する災害が把握し難い、計測機器自体が災害に弱いなどの欠点を克服する新しいモニタリング手法の開発に取り組んだものである。

### (2) 研究対象箇所

本研究においては、国道42号線に近接した国指定の天然記念物「橋杭岩」を研究対象として、開発した機器の実地検証を行っている。

橋杭岩は、泥岩層の間に石英斑岩が貫入した後に侵食され、硬い石英斑岩が杭状に立っている状態のもので、風化あるいは岩体内部へのクラックの進展および開口によって崩壊の危険性があるものが存在する。

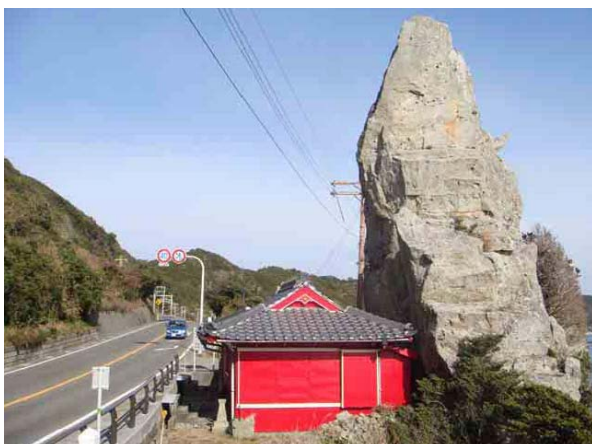


図-2 研究対象箇所

図-2に示す岩体は橋杭岩群の一部であるが、全体的に風化が進行し、国道に面した部分には岩体の内部に達するクラックが発生しており、国道側への転倒・崩壊の危険性がある。さらに20m程離れた箇所には祠状に積み重なった不安定な岩体や浮石が複数あり、同じく国道への崩壊・落石が懸念される状況であるため、後述する無線センサを計6箇所に設置し、その挙動をモニタリングしている。

本箇所は、天然記念物に指定される箇所であり、計測機器類の設置にあたっては、環境省・文化庁とも協議を行っているが、小型センサの開発、配線類を必要としない無線センサネットワークの構築により、滞りなく同意を得ることができている。

### (3) 無線センサネットワーク技術の開発

開発した無線センサの概要を図-3に示す。センサはデータ送信部および電池を含めて50mm×60mm×35mmの大きさであり、対象の外観を損ねることなく設置することが可能である。

本センサは設置した箇所の3方向の傾斜を0.1°の分解能で検出し、併せて温度・湿度も計測している。そのデータを任意の間隔で受信機に送信する機構を持ち、現在は10分間隔でデータ送信を行う設定としている。

また、内部にはリチウム電池2本を内蔵しているが、省電力化技術により、約2000日の電池寿命を有している。

このセンサから発信されるデータを約100m離れた箇所に設置した受信機で受信し、当データを受信機が携帯電話回線を介し電子メールによって、管理用ノートパソコンに送信する。

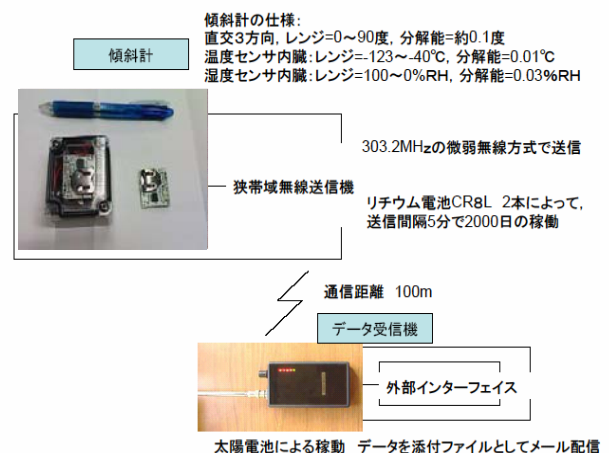


図-3 無線センサの概要

各センサから受信機へのデータ伝送には、微弱無線電波を用いている。電波法上の微弱無線は、使い道の指定や無線局の申請などは必要としないものの、法的制限から送信出力はまさに微弱で通常は十数 m 程度の通信距離しかない。この微弱無線電波で通信距離を延ばすには受信機の感度を上げるしかないが、ただ感度を上げるだけではノイズも同時に増幅してしまいエラーが発生してしまう。

これを解決するため、図-5 に示す電波の帯域幅を狭めた狭帯域電波を用いることにより、ノイズにかかる率を少なくする手法を採用している。これにより、受信機の感度を増幅しても信号が正しく伝送されることになる。帯域幅を狭めたため、通信速度は遅くなり、大量のデータ通信には不向きであるが、1 回数バイトのデータを送る今回の用途においては、問題とはならない。

本研究においては、この狭帯域無線電波の採用により無線センサネットワークの構築を実現している。

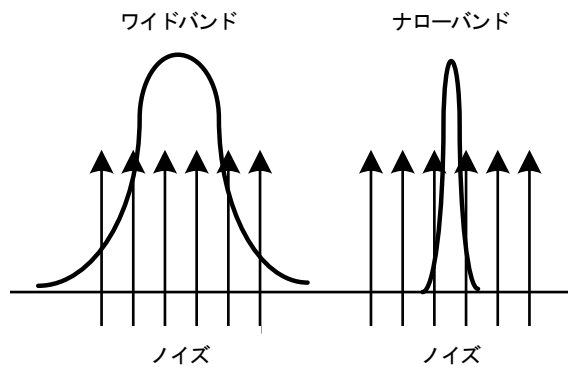


図-5 狭帯域電波の概念

#### (4) 3次元電子地図による管理ツールの開発

管理用ノートパソコンには、無線センサからリアルタイムで現場の状態に関する情報が送信されてくるが、現場の状態を詳細に知るために数多くセンサを設置した場合、多数のデータを同時にモニタリングする必要があり、どのセンサが、どのような状態を知らせているのかを管理することが重要となる。

そこで既存の航空写真を用いて、3次元電子地図を作成し、その地図上でセンサのデータを表示する管理ツールを開発した。図-6 はその例であり、画面上に表示されるセンサの位置をクリックすると、図-7 に示すような当該箇所の傾斜の変動量を表およびグラフで表示させることができる。

また、変動の状態を角度で表現しているが、より変動を把握し易くするため、変位量 (0.1mm 単位) に換算して表示させることもできる。

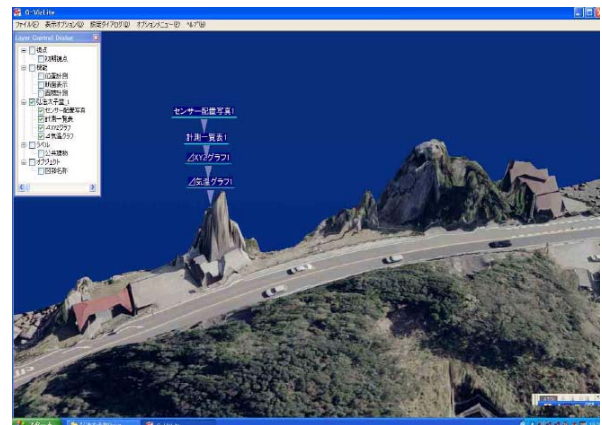


図-6 3次元電子地図の表示例

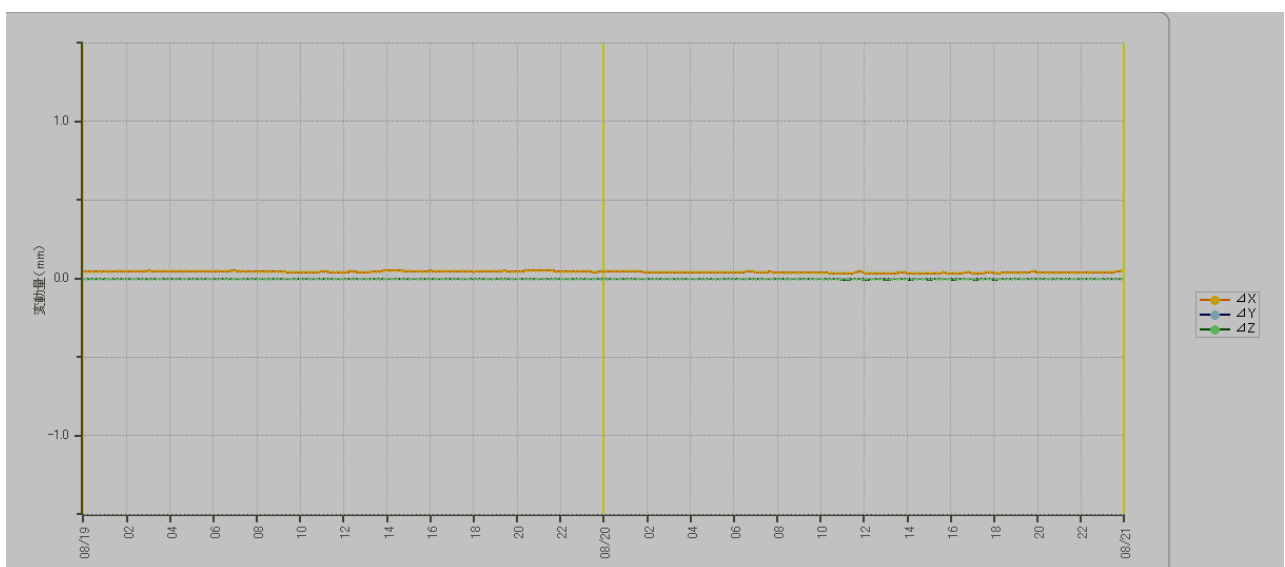


図-7 データ表示例

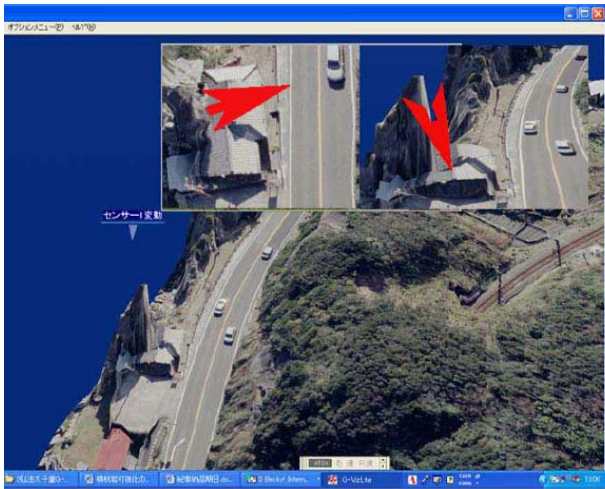


図-8 挙動を可視化した例

3次元電子地図はマウスを用いて自由な角度から対象を観測することが可能であり、例えば図-8はセンサを設置した箇所の岩体がどの方向に、どの程度動いているのかを矢印で表示させた例である。このように、各センサの傾斜方向を電子地図上で矢印で表現することにより、数字やグラフのみでは読み取ることが難しい対象の挙動の方向を視覚的に認識するいわゆる可視化することができる。

この画面はノートパソコン上で表示させているもので、電子メールにてセンサからの傾斜データをリアルタイムに受信しており、携帯電話の通話が可能な箇所であれば車で走りながらでも現地の状態が確認できる。

### 3. まとめ

本報告において、小型無線センサを用いた道路防災のためのモニタリングシステムの研究開発例を紹介した。センサ自体は安価なものであり、基本的にメンテナンスの必要はない。また、受信機も太陽電池で駆動する機器であるため、計測システム自体が落雷や断線といった災害に強い特徴がある。

本現場以外においても、図-9に示すように、その特徴を活かし景勝地近辺や地形上・経済上の問題などから抜本的な対策が困難な場合など、さまざまな箇所における安価かつ有効なモニタリング手法として活用することができる。

本システムの運用は平成21年4月から行っており、現在は試験段階であるが、センサが1mm以上の変動を計測した場合、自動的に関係者へ通報する体制としている。これにより、速やかな現地確認・災害体制をとることによって、被害を未然に防ぐことや被害を最小限に抑えることができるよう活用していく予定である。

今後の検討課題としては、管理ツールのデータの表示やフィルタリング方法を改善し、より使い勝手が良くなるよう実用性の向上を図るとともに、ITVや他のセンサ・雨量計などの各種計測機器類、解析ツールとの連動など本システムの更なる応用・発展を図り、計測統合管理ツールの構築・拡充を目指していくことを予定している。

なお、本研究・開発は近畿技術事務所にて開発された技術を基に発展させ、産・学・官連携のもと行う「新都市社会技術融合創造研究」の一環として研究・開発したものであり、関係者の皆様に感謝いたします。



図-9 無線センサ設置例（丸内）