

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

京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻 西山 哲

1 はじめに

1996年2月の北海道豊浜トンネル坑口岩盤斜面崩壊事故後、様々な機関による斜面の点検で多くの危険箇所が抽出がなされており、同年の道路防災点検の結果では、防災対策が必要と考えられる箇所は約56,700箇所、当面日常の監視等により管理していく必要のある箇所は約145,500箇所と診断された。しかし、こういった多くの危険箇所抽出後も、人身事故にはいたらなかったが第2白浜トンネルのような大規模な崩壊例が見られた。豊浜の事例以前には、北海道層雲峠の岩石崩落、越前海岸の海食崖の岩盤斜面崩落、その他多くの豪雨時の斜面崩壊などが知られている。大規模な岩盤崩壊の発生により、尊い人命や社会資本が失われ、岩盤斜面の安全性に対して厳しい目が注がれるようになっている。こうした事象を背景に岩盤斜面の調査、危険箇所安定性の予知・予測についての議論が高まっている。その一方で、わが国は世界でも有数の地殻変動帯に位置しており、急峻な地形と脆弱な地質からなっている。その上、台風、集中豪雨、豪雪といった過酷な気象条件の下にあり、いわゆる自然災害が発生しやすい。また、岩盤は本質的に複雑な性質・不均質な特性を有し、その挙動は不確実性に支配されていることから、自然現象の一部である岩盤崩落に対する研究はその予知・予測を含め十分になされてきたとは言い難い。新しい社会システムとしての防災システムの構築とそれに基づいた防災対策の必要性が叫ばれ、斜面災害に関するメカニズムの解明や解析技術、計測技術、対策技術の開発が促されている。このような状況の中で、国民の安全性を確保するために土木技術者は最大限に努力する責務がある。

このように我が国はこれまで台風や地震といった天災に数多く見舞われてきたが、逆にそれによって耐震技術など世界に誇る土木技術が開発されてきたのも事実である。また電子、精密機器またIT関連技術などの分野においても、同じく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を産出する技術立国の地位はいまだ確固たるものがある。これら土木分野の蓄積したノウハウと、電子・機械といった土木から見て異分野の技術を融合させることにより、新しい“防災”技術を確立させるのが本研究テーマの目的である。本プロジェクトは特に“道路防災”を対象に考える。これは、道路は生活を支える重要な社会資本であり、ひとたびその機能が失われると多大な経済的損失が発生するにもかかわらず、前述の通り、日本列島においては地質的および地形的に危険な斜面に隣接した道路が多く、台風や地震といった天災時だけでなく、日常的に道路の利用者の安全を確保することに多大な労力を要しているのが実情であるため、管理者側にとっては便利で信頼できる、住民にとって安心で安全な管理方法の実現への要求が今後ますます高まると考えられるためである。今後土木を取り巻く予算状況がますます厳しくなる一方で、構造物の維持管理マネジメントに関する新たな住民意識との調和を保ちながら、災害に対して安心・安全な国造りを目指す必要があり、「道路防災」を対象にどのような新しい異分野融合技術が提供できるのかが研究の背景である。

2 研究開発の内容

本研究テーマにおいて取り組んだ開発は次の技術である。

- ・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に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み、実際の現場に適用することで、その有用性を検証した。

2.1 計測対処箇所

本論文にて報告する事例は、国道 42 号線の 307KP から 308KP の沿岸に接した岩体を対象にしたものである。当岩体は図-1 に示すような国立公園を形成する橋杭岩群に該当する箇所を含んでいる。市民の多くが利用する弘法太子堂と温泉家屋が隣接しており、さらに道路沿い 20m 程の所には大きな岩体の頂部に祠を祭った箇所があるが、岩体は縦横に連続したクラックが目視で確認される危険な状態にある。直下の国道の交通量も非常に多いが、名勝にも指定される箇所でもあり、概観を損ねる機器の設置あるいは有線によるデータ配信システムの構築が困難な箇所である。



図-1 計測対象箇所 青い円で示す箇所：道路沿いに岩塊が散在している

2.2 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-2 に示す。傾斜計はデータ発信部および電源（電池）を含めて 50mm × 60mm × 35mm の大きさである。一つのセンサで設置した箇所の 3 方向の傾斜を 0.1° の分解能で検出することができる。また省電力化技術により、データを 5 分間隔で発信しながらも 2000 日の電池寿命が確保できる。図-3 は図-1 の岩体にセンサを設置した例である。赤丸で示すのがセンサであるが、概観上はほとんど認識できない。このセンサから発信されるデータを 100m 遠隔に設置した受信機によって受信し、当データを受信機が電

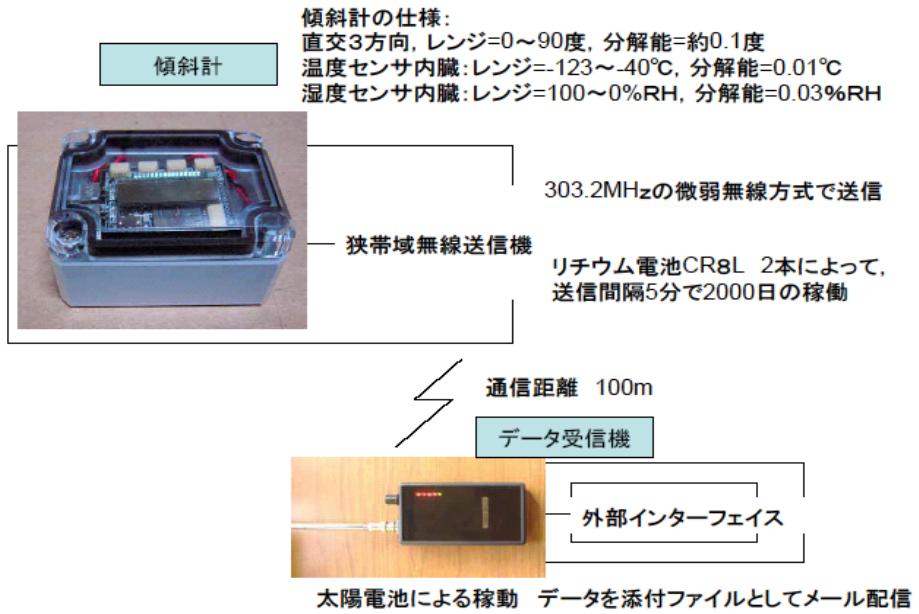


図-2 無線センサの概要

子メールによって配信する。これにより携帯電話が通じる任意のところで、岩体の状態をノートパソコンにてモニタリングすることが可能となる。



開発した無線センサの概要を図-2 に示す。傾斜計はデータ発信部および電源（電池）を含めて 50mm×60mm×35mm の大きさである。一つのセンサで設置した箇所の 3 方向の傾斜を 0.1° の分解能で検出することができる。また省電力化技術により、データを 5 分間隔で発信しながらも 2000 日の電池寿命が確保できる。図-3 は岩体にセンサを設置した例である。丸で示すのがセンサであるが、概観上はほとんど認識できない。このセンサから発信されるデータを 100m 遠隔に設置した受信機によって受信し、当データを受信機が電子メールによって配信する。これにより携帯電話が通じる任意のところで、岩体の状態をノートパソコンにてモニタリングすることが可能となる。

図-3 設置した無線センサの概観

2.3 3 次元電子地図による管理ツールの開発

前述の小型センサによって、リアルタイムで現場の状態に関する情報が配信されてくるが、現場の状態を詳細に知るために数多くセンサを配置した場合、多数のデータを同時にモニタリングする必要があり、逆にどのセンサが、どのような状態を知らせているのか管理することが困難になり、小型無線センサによる計測の利点を活用できない可能性がある。そこで既存の航空写真を用いて、3次元で現地の状態をデジタルにて復元し、その3次元の地図上で前述のセンサのデータを表示する管理システムを構築した。図-4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-5に示すような当該箇所の傾斜の変動量を表示することができる。図-5はセンサの設置箇所に変動が見られない場合を表示しているものであり、どの方向の傾斜角の変動も 0° であった例である。設置箇所の岩体の動きとしてトッピング崩壊の状態が予想されるので、変動の状態を角度で表現しているが、変位に換算して表示させることもできる。また、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-6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、さまざまな角度から岩体の動きを可視化されることにより、崩壊した場合にどの箇

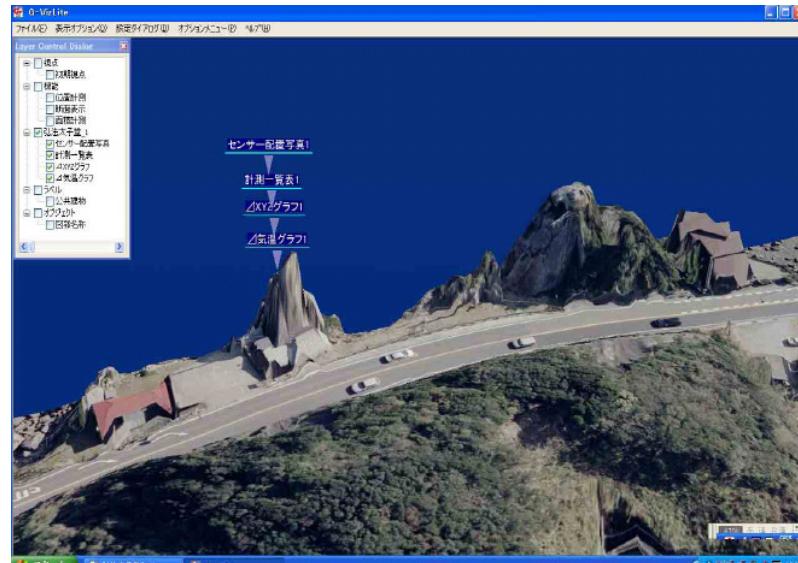


図-4 3次元デジタル電子地図の表示例

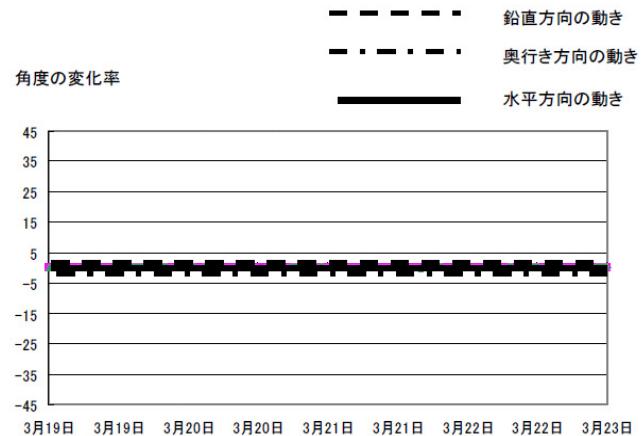


図-5 傾斜計データ表示例

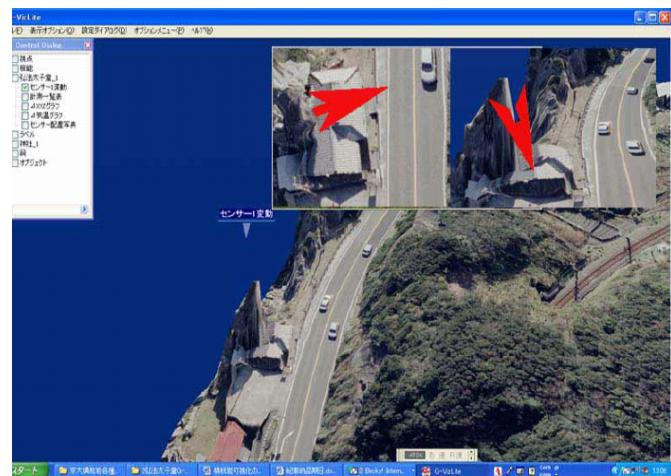


図-6 傾斜計データによる動きを可視化した例

所に被害が発生するのかを瞬時に検討することもできる。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。このツールでは、例えば数多くのセンサを設置した場合でも、管理基準値を設けておけば、どのセンサがその値を超える変動を検知したかを自動的にパソコンに判断させ、その瞬間に当該危険箇所に画面を切り替えて、岩体の動きを可視化して示し、さらに解析プログラムと連動させて、発生する被害を予測する計算をさせることも可能である。

3 結 言

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。センサは安価なものであるため、電池の寿命がきても、電池を取り替えるのではなく、新しいセンサを設置するという使い方になる。また、省電力化技術により単3型の電池2本で5年間は5分おきにデータを配信させることが可能で、電池の数を増すことによりデータ配信間隔を短くしても、さらにメンテナンスフリーの状態を維持することができる。また、受信機も太陽電池で駆動する有線の無い機器であるため、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。本現場では、図-7に示すように、その特性を活かしてさまざまな箇所にセンサを設置している。今後は、これらの活用結果を基に、開発した本システムのさらなる応用を図っていくことを予定している。



図-7 無線センサ設置例：赤丸で示したのが無線センサ

開発メンバー

官：国土交通省紀南河川国道事務所、国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所

産：サンコーワンセラルタント株、可視化ビジョン、ワイマチック株、北斗理研株、

明治コンサルタント株