

## 簡易振動センサによる寒冷環境下での検知及び通信に関する検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

○藤浪武史・阿部孝章・船木淳悟

## 1. はじめに

火山噴火による土砂災害からの減災には、土砂移動の早期検知とそれに伴う避難が重要である。一般に電源や通信基盤が万全な通常時には精度の高い観測が可能である。しかし、電源や通信基盤の損傷を想定した場合、どのような観測項目をどこで観測継続すべきかの選定が重要となってくる。図-1 は、電源及び通信基盤の整備水準と火口からの距離に対して、一般的な観測項目を表している。ここで、火山活動が活発化し噴火警戒レベル3 発令前までの状況では、簡易振動センサや免許が不要な特定小電力通信による観測データ送信システムは、機動的な整備が可能で、減災に向けて有効である。機動的な対応に向けては、甲野らの樽前火山における小型無人ヘリコプターによる地震計設置の試行が報告されている<sup>1)</sup>。また、安価かつ小型のセンサによる土砂移動の監視に関する取り組みも開始されてきている<sup>2)</sup>。著者らのグループでも簡易振動センサの実用化に向けた室内検討を行っている<sup>3)</sup>。しかし、冬期の屋外試験や試行は行われていない。

これらの背景を踏まえ、本検討では積雪寒冷環境下で簡易振動センサがどの程度検知及び通信機能を発揮するかを確認した。

## 2. 実験方法

実験は、石狩川河口から約9km 上流の石狩水理実験場において、気温4℃、雪温-1.5℃、降雪はなく見通し良好な環境下で行った。振動検知及び通信試験の概要を図-2、写真-1~4 に示す。実験に使用したシステムは、振動検知及び送信部並びに受信部に大別される。振動検知には MEMS 加速度センサ KXR94-2050 (Kionix 社製) を使用し、センサを制御する汎用小型マイコンボードは、Arduino UNO R3 互換機を使用した。(写真-1) 通信には送受信とも Digi International 社製の Zigbee

モジュールを使用した。この通信モジュールは、データレート 250Kbps、周波数帯域 2.4GHz である。また、屋外見通しでの通信距離は公称値で最大 120m である。これらの製作費は 1 セット当たり約 1 万円である。なお、通信負荷の軽減の観点から、水平方向の 1 軸を毎秒 5 回振動検知することとした。さらに、雪面の不陸の影響抑制のため、受信部は地上高 2.4m に設置した。

## 2.1. 振動検知試験

振動検知試験では、締固め用機械の 1.8KW 級ランマを除雪した地表でフル運転させて起振し、検知距離と振動検知との関係を確認した(写真-2)。振動源から検知部までの距離は 5m, 10m, 15m, 20m とし、無線通信距離 1m をとった。ここでは検知及び送信部並びに受信部はともに商用電源を使用した。

## 2.2. データ通信試験

データ通信試験では、検知及び送信部の設置位置を雪面上とし、センサ設置板を指でたたき起振した。無線通信距離を 60m, 130m, 150m, 200m とし、通信の確実さと距離との関係を確認した(写真-3)。ここでは検知及び送信部並びに受信部に商用電源を使用した場合と、検知及び送信部のみ 9V 型アルカリ乾電池を使用した場合(写真-1) の 2 ケースを設定した。なお、乾電池使用では、無線通信距離を 130m に代え 120m とし、公称値の確認を行った。

## 2.3. 検知及び送信部を雪に埋設したデータ通信試験

通信試験ではさらに、積雪によるアンテナ埋没の影響を想定し、検知及び送信部を深さ 50cm に雪中埋設(写真-4) した。掘出した雪は締固めずに埋戻した。埋戻し箇所から 1m 離れた雪面にベニヤ板を敷き、人が飛跳ねて起振した場合は無線通信距離を 10m, 20m に、ハンマー(1.3kg) 打撃で起振した場合は、30m, 50m に設定した。

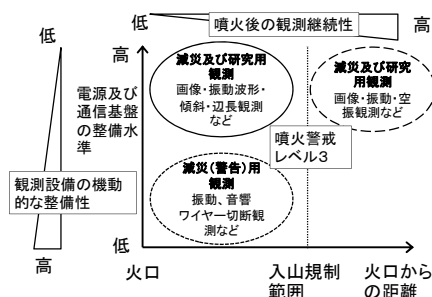


図-1 火山噴火関連の土砂移動観測項目の模式図

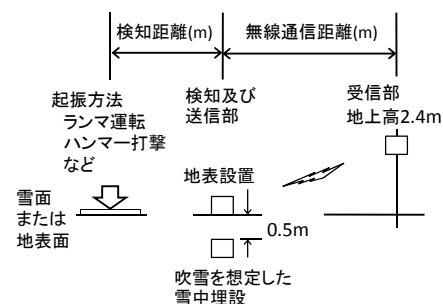


図-2 振動検知及び通信試験の概要



写真-1 センサの外観



写真-2 ランマ起振



写真-3 通信試験状況



写真-4 送信部雪中埋設状況

### 3. 結果と考察

振動検知試験では距離 10m において 10～15gal 程度、15m では 5gal 程度の検知が可能であった（図-3）。既往の土石流の観測事例<sup>4)</sup>から 10～15gal 程度の加速度を取得できれば振動検知の実用可能性が考えられる。

データ通信試験は、200m の距離でも通信が可能であった（図-4）。検知及び送信部の電源に乾電池を使用した場合、検知波形の確認は可能であった。しかし、通信の連続性を欠き、欠測期間（グラフの断線箇所）が見られた（図-5）。この現象は、Zigbee 通信の特長である次善の送信先の探索と、通信再開後の集中的な情報伝達とに影響され、無線通信距離の関与が推察される。検知及び送信部を雪中埋設した場合、振動波形は距離 50m でも通信は可能であった（図-6）。

### 4. まとめ

積雪状態でも検知距離・通信距離・電源等の使用条件の選定により、簡易振動センサが実用可能なことがわかった。簡易振動センサを用いた観測システムは安価なこともあり、多点による面的観測が期待できる。また、Zigbee 通信機能を付設した場合、適切な距離間の多点観測は適切な距離間に無線中継所があることと同義であり、通信の信頼性向上につながる。

今後は火山地域での現地越冬試験等で、振動検知・通信・電池電源などの耐寒性・長期使用性・着氷雪による通信への影響等を解明し、誤検知防止方法の検討等と併せ実用化につなげていきたい。

### 参考文献

- 1) 甲野ら：小型無人ヘリコプターを利用した火山調査手法の開発，平成 25 年度北海道開発局技術研究発表会，2014 年 2 月。
- 2) 水谷ら：安価かつ簡素な土砂移動時刻記録装置の開発と土石流発生時刻の検知事例，砂防学会誌 Vol. 67, No. 5, P. 49-54, 2015。
- 3) 阿部ら：汎用小型マイコンボードの泥流振動検知への適用に関する基礎的検討，平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集 A, P. 234-235, 2014。
- 4) 独立行政法人土木研究所ほか：振動検知式土石流センサーを活用した土石流監視手法に関する共同研究報告書，P.62，平成 24 年 10 月。

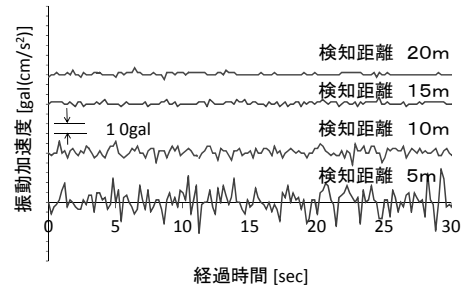


図-3 起振箇所との距離による振動検知

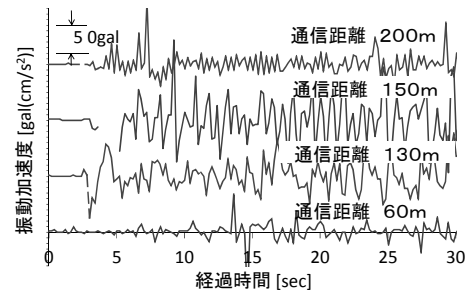


図-4 通信距離による波形伝達状況（商用電源）

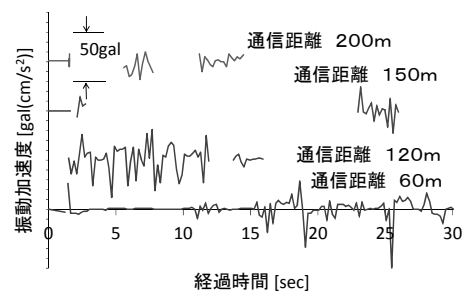


図-5 通信距離による波形伝達状況（乾電池使用）

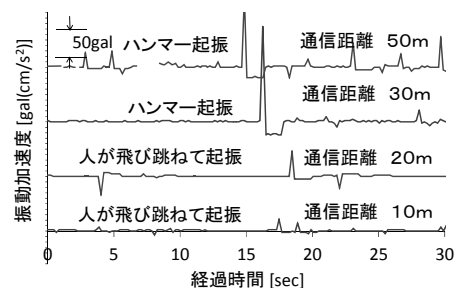


図-6 通信距離による波形伝達状況（送信部埋設）