

無線式簡易振動センサネットワークによる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

土砂移動量が莫大で高速移動する融雪型火山泥流等の現象に対する減災には、土砂移動の早期検知と的確な避難が重要である。ここで、図-1 は電源および通信基盤の整備水準と火口との距離に関する一般的な観測項目を表している。簡易振動センサや免許が不要な無線による観測データ送信システムは、図-1 左下部に該当する。これらは、一定規模以上の振動加速度を検知・警告が可能で、機動的な多点整備により減災に有効と考えられる。一方、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¹⁾。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および冬期の屋外試験²⁾を行っている。

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通信ネットワーク機能をどの程度有するか確認した。

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、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, 3, 表-1, 写真-1, 2, 3 に示す。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。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。

起振方法は、締固め用機械の 1.8KW 級ランマを除雪した地表で運転させた。振動数は毎秒約 11 回である。簡易振動センサは、直線上に 37m の等間隔で配置した

5 地点に、砂質土で構成された地表下 0.7m にそれぞれ設置した。以後、ことわりの無い場合は、5 地点の振動センサから 1 箇所の受信機まで検知した加速度を順次送信した。なお、通信負荷軽減から、垂直方向 1 軸を観測・通信した。

2.1. 通信ネットワーク試験

泥流等の流下を模擬して振動源を移動させて起振した。一つのセンサ埋設地点から 1m 離して、センサ埋設方向と平行に前後 10m ずつランマを概ね毎秒 0.2m の速度で移動させ、5 地点で振動検知を行った (図-3)。これを St-1 前から St-5 前までの 5 地点で行った。

2.2. 通信距離を変化させたデータ通信試験

通信距離を変化させたデータ通信試験は、通信の確実さと距離との関係を確認するため、検知および通信部と受信部との関係を 1 対 1 として実施した。起振条件は前節の通りである。無線通信距離を 40m, 70m, 140m とし、データ通信間隔を一律 0.5 秒と設定した。

2.3. 通信間隔を変化させたデータ通信試験

通信距離を St-1 から受信部までの 40m に固定して通信間隔を変化させ通信の確実さの確認を目的として実施した。通信間隔は 0.1 秒から 0.5 秒までの 0.1 秒おきである。検知および通信部と受信部との関係は 1 対 1 である。

2.4. 検知および送信電源を変化させたデータ通信試験

受信部は商用電源使用を共通とし、検知および送信部の電源を商用電源、アルカリ乾電池電源、一晚キャビネット内で野外に放置したアルカリ乾電池電源の 3 種類で実施した。野外放置時の最低気温は -9.1℃であった。

3. 結果と考察

通信ネットワークについて、代表例として図-4 に St-2 前起振の結果を示す。通信間隔 1.0 秒間では

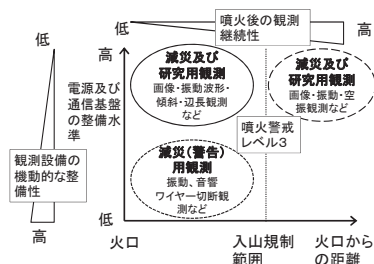


図-1 火山噴火関連の土砂移動観測項目の模式図

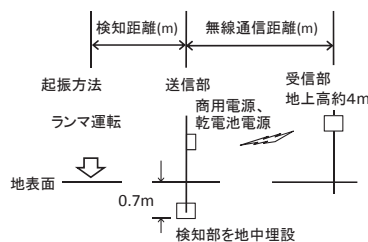


図-2 振動検知及び通信試験の概要

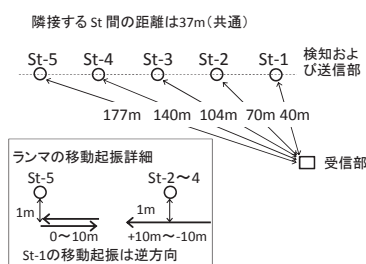


図-3 検知および送信部と受信部とのネットワーク形態

表-1 試験概要一覧

	通信ネットワーク試験	通信距離試験	通信間隔試験	電源別試験-1	電源別試験-2	
実験実施日	2015~2016年	12月11日	12月17日	12月17日	2月25日	2月26日
起振箇所	St-1,2,3,4,5前	St-1,2,4前	St-1前	St-1~5前	St-1~5前	
通信間隔	1.0秒毎	0.5秒毎	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5秒毎	1.0秒毎	1.0秒毎	
通信形態	ネットワーク	1対1	1対1	ネットワーク	ネットワーク	
電源(検知および送信)	商用電源	商用電源	商用電源	商用電源	乾電池	
電源(受信)	商用電源	商用電源	商用電源	商用電源	商用電源	
気温	5.5~8.9℃	1.4~3.3℃	1.4~3.3℃	-2.7~-0.3℃	-2.0~-0.9℃	

5 地点のデータを1箇所の受信部で円滑に受信できていた。図-5に通信距離試験の結果を示す。それぞれの観測所直近で起振して得た振動データの通信状況は、この条件下では通信距離に関わらず安定した受信状況であった。図-6にSt-1を送信地とする同一距離、通信間隔別の試験結果を示す。通信間隔が0.1秒の場合では、概ね1.5秒間の断続受信が見られ(グラフの直線部)、再開後6~11ミリ秒間に7~11個のデータを集中的に受信(グラフの上下線部)した。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ていることが推察される。図-7に検知部および送信部の電源の違いに関する試験結果を示す。電源別に大きな相違は見られなかったことから、この試験条件下では乾電池への負荷は小さかったものと考えられる。既往の土石流の観測事例³⁾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、今回の試験ケースも検

知に関する実用可能性が推察される。

4. まとめ

一定規模以上の振動加速度検知の場合、通信距離・データ通信間隔・電源等の使用条件の選定により、外気温がマイナス2度程度では簡易振動センサを用いたネットワークが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。

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明らかにして実用化につなげていきたい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 藤原ら：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，平成27年度砂防学会研究発表会概要集B, P.424-425, 2015.
- 3) 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.



写真-1 検知部設置状況

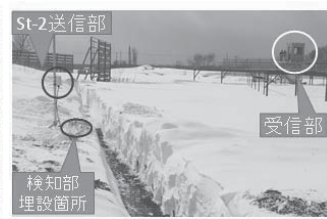


写真-2 通信試験状況

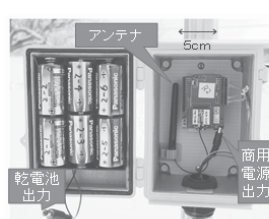


写真-3 送信部収納状況

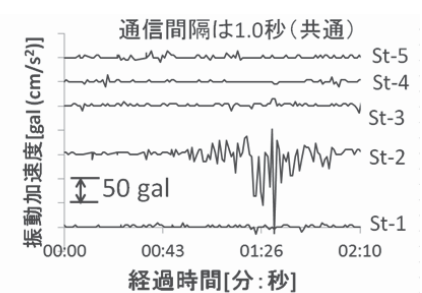


図-4 送信5地点によるデータ受信状況

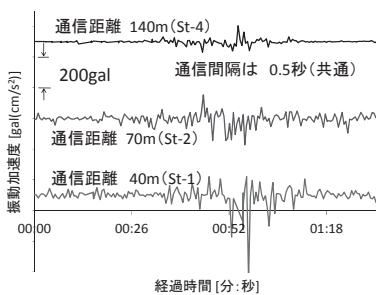


図-5 通信距離によるデータ伝達状況

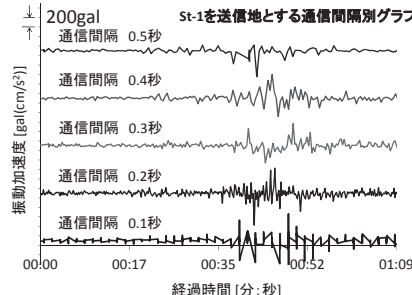


図-6 通信間隔によるデータ伝達状況

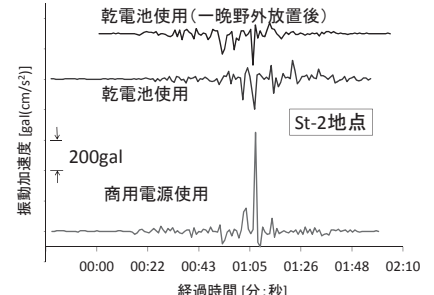


図-7 電源別のデータ伝達状況