報文

簡易かつ長期間計測を目標とした斜面崩壊検知センサーの開発 (その2)

柳町年輝*内田太郎**田村圭司***伊藤洋輔****

従来

1. 背景

土砂災害は突然発生し、災害発生直前まで切迫性を感じにくいため、避難が遅れがちになることが指摘されてきている¹⁾。そこで、その地域周辺で土砂災害が発生し始めているといった情報を早く入手できれば、行政も住民も自らの危険として認識し、避難行動につながりやすくなると考え(図-1)、「土砂災害が発生し始めている」という情報の収集手段の検討を行ってきた²⁾。

従来、斜面変位に関する観測機器(伸縮計等)の多くは、微少な変動を精度良く検知することを目的としているため、設置・メンテナンスの労力、耐用年数、価格等の問題から限られた場所でしか使用されていない。そこで、斜面崩壊にいたる微少な変動を精度良く検知することができないまでも、斜面崩壊発生そのものに関する情報を時間遅れなく入手するために安価かつ長期間メンテナンスなしで、斜面に容易に設置可能な斜面崩壊検知センサーの開発を行っている²⁾。

本研究では表-1に示したような目標を設定し、 斜面崩壊検知センサーの開発を行ってきた。前報 2)において試作機について紹介し、表-1の開発目 標のうち、①検知機能(崩壊に遅れなく検知可 能)、③電源(バッテリー駆動)、④検知出力(デ ジタル出力)、⑤価格(センサ数万円程度)につ いては、概ね目標が達成できたことを報告した。 しかし一方で、前報では、②通信方式、⑦設置条 件、⑧耐環境性に関しては、十分な検討が行えて いなかった。そこで、本報告では、前報以降、セ ンサーおよび受信機に改良を加え、②通信方式の 検証及び⑦設置条件について検討したのでその結 果を報告する。なお、本研究は土木研究所、有限 会社秋山調査設計、坂田電機株式会社、株式会社 拓和、中央開発株式会社、日本工営株式会社によ る共同研究「土砂災害の警戒避難支援のための斜 面崩壊検知センサの開発」の成果の一部である。

越えました。 図-1 崩壊検知センサー活用イメージ 表-1 開発目標 勾配が概ね30度以上の急斜面に設置し ① 検知機能 崩壊の発生を時間遅れなく検知する ② 通信方式 無線通信(100m以上伝送可能) ③ 電 バッテリー駆動 (電池寿命5年間以上) 源 ④ 検知出力 デジタル出力 ⑤ 目標価格 センサー1台数万円程度 ⑥ 耐用年数 約10年間

2. 開発センサーの概要

⑦ 設置条件

前報で報告したように、表-2に示す3タイプのセンサーの試作を行ってきた。いずれのセンサーも傾斜のみを検知し、信号を送る形式である。いずれのセンサーも重量は1kg程度であり、電池の交換なしで5年程度使用可能である。

容易かつ人力で設置可能

気象条件(降雨・雪・落雷)や環境(立

|木・寒冷地)などにより機能障害が生じ

崩壊の検知には、金属球式傾斜センサーを用いた。このセンサーは、通常時は導通していないが、センサーが一定の角度以上に傾くと導通しスイッチが入る仕組みとなっている²⁾。なお、タイプIは前報の時点ではセンサーの転倒を検知する方式をとっていたが、長期間野外に設置しておいた場合、動作が不安定になる恐れがあるなどの理由によりタイプⅡ、Ⅲと同様の傾斜センサーを使った方式に変更した。

d Hom程度の円筒型

- 無線通信が積雪の影響を受

試作タイプ	タイプI	タイプⅡ	タイプⅢ		
検知方式		傾斜検知			
設置方法	地上	設置 地中埋設			
外観					
通信方式	特定小電力無線(1㎡)	特定小電力無線(10㎜)	地中通信用微弱無線		
連続使用時間 (電池無交換)	5年程度	数年~5年程度	5年程度		
センサ価格	数万円程度	数万円程度	10万円程度		

横22cm、縦12cm、 幅8cm程度の箱形 重量:1kg 程度

・市販防犯システムとの互換

表-2 崩壊検知センサー一覧

また、検知した情報の通信には、タイプ I は、低価格、低消費電力、データ送信-受信時間が短い等の利点がある低出力の1mW送信タイプの特定小電力無線を採用した。タイプ II は、タイプ I に比べて、やや高価ではあるが、中継装置による中継が可能等の利点がある高出力の10mW送信タイプの特定小電力無線を用いた。なお、タイプ IIIは、前報で報告したとおり、地中においても通信可能なよう微弱無線を採用している。

構25cm. ##10cm.

幅10cm程度の箱形 重量:1kg程度

3. 通信試験

3.1 見通しの良い平地の無線通信機能試験

(1) 試験方法

一般に、無線装置は、送信機(センサー)と受信機の間の直接見通しが取れ、周囲にノイズが少ない場所が最も長距離の無線伝送が可能になると考えられる。そこで、まずセンサーの無線通信の最大可能距離を明らかにするために、長距離の見通しが確保可能で、車や人などの通過によるノイズ発生が少ない平地で通信機能試験を行った。

試験場所には土木研究所敷地内の直線道路(図-2)を利用し、センサーと受信機間を $50\sim1300$ mまで、 $50\sim200$ mごとに試験を行い、最大通信可能距離を把握した。

また、一般に送信機及び受信機それぞれの設置 位置が地表面より高いほど長距離の無線通信が可 能になる性質を持つことから、センサーと受信機 の高さを変えて試験を行った。センサーの高さは、 地表面に設置することを想定し地表面(地上高 0m)においた場合と、設置杭で少し地表から浮 かした設置を想定した地上高0.5mにした場合の2 ケースとした。なお、タイプIIIセンサーは実際に用いる際には、地中に埋設することを想定しているが、基本的な機能を確認するために、地上高0.5mの実験も実施した。また、受信機のアンテナの高さは、実際は設置ポールなどで高くすれば高い場所に設置が可能であるが、今回は現場で容易に設置可能な高さとして、アンテナが外付けのタイプIは2m、アンテナが受信機に内蔵されているタイプIIと受信レベルの測定器にアンテナが内蔵されていたタイプIIIは1mの高さで試験を行った。

通信の可否はタイプIIIについては、センサーからの信号の受信レベルが周囲のノイズレベルの2倍以上の場合に「確実に通信可能」として評価した。また、タイプI、IIでは、5回程度センサーから信号を送信し、すべて受信(「確実に通信可能」)、一部受信可(「通信可能」:ただし、確実に通信可能とするためにはアンテナの設置方法等に工夫する必要があると考えられる)、すべて受信不可(「通信不可能」)のいずれかで評価した。

(2) 試験結果

タイプIにおいては、センサー高さを0mにした 場合は、350mまでは「確実に通信可能」であり、 920mまで「通信可能」であった。センサー高さ



図-2 見通し最長距離試験位置図

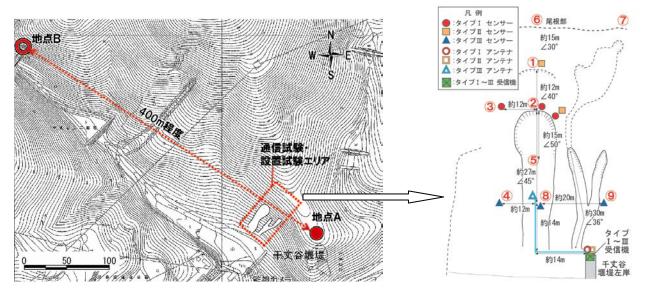


図-3 千丈谷の地形とセンサー等の状況(右図中の数字は通信機能試験時のセンサー設置位置を示す)

タイプIIにおいては、センサー高さが0mの場合は、100mまでは確実に通信可能あり、200mまで通信可能であった。また、センサー高さが0.5mの場合は、250mまで通信可能であった(表-3)。

タイプIIIにおいては、センサー高さが0及び0.5mで同じ結果となり、120mまでは、確実に通信可能であった(表-3)。

3.2 山間地の無線通信機能試験

(1) 試験方法

樹木等の影響や見通しが取れないなど実際の使用環境に近い山間地域において通信可能距離の測定をおこなった。試験場所は、国土交通省六甲砂防事務所管内の住吉川流域の千丈谷である(図-3)。試験を行った斜面の勾配はおよそ30~50度で、広葉樹主体の森林に覆われている(図-4)。

受信機のアンテナはタイプI、IIは、砂防堰堤左岸袖部上に高さ1m程度に設置し実験を行った。タイプIIIセンサーにおいては、山陽新幹線に近いなどの理由により、本試験地のノイズが大きかったため、センサーに近い図-3右図中の⑧付近にアンテナを埋設して試験を行った。

一方、センサーは斜面内の崩壊跡地と考えられる箇所の周囲4箇所(図-3中の②~⑤)に設置した。さらに、長距離伝送が可能であると考えられるタイプI、IIは距離が長い①、⑥、⑦の3箇所を追加し、タイプIIIはノイズレベルが高いことから、受信機に近い⑧、⑨の2箇所を追加した。実

際の設置状況と同じように各センサーを地表面に直立した場合(表-2の写真参照)と、崩壊等でセンサーが転倒した状況を想定し各センサーを横置きした場合(センサー天端が地表面と同じになる程度に土中に埋設した場合)の2ケースについて実験を行った。

センサーとアンテナの距離はタイプI、IIに関しては $30\sim84m$ 、タイプIIIに関しては、 $2\sim43m$ である。なお、タイプIを対象に、受信機を谷沿い(図-3左図の地点Bの方向)に移動させ、山間地での通信可能な距離の測定を行った。通信の可否について、平地における試験と同様な方法で計測・評価を行った。

(2) 試験結果

タイプIセンサーは、センサーを直立、横置きさせたいずれの場合も①~⑦の箇所すべてで「確実に通信可能」であった。また、受信機を谷沿いに移動させて試験を行った結果、約400m(図-3 左図の地点AとBの間)まで通信可能であった(表-3)。

タイプIIは、センサーを直立した場合は、①~ ⑦の箇所すべてにおいて「確実に通信可能」で



図-4 六甲千丈谷の様子

表-3 通信試験結果の概要

	タイプI	タイプⅡ	タイプIII
見通しの良い平地			
センサー地表面上	1		
確実に通信可能な距離	350m	100m	120m
通信可能な距離	920m	200m	_
センサー地表より50cm	ļ		
通信可能な距離	1100m	250m	_
山間地	l		
確実に通信可能な距離	84m	84m	20m
通信可能な距離	400m	_	_

あった。横置きに設置した場合は、距離が近い、 見通しがよい等の条件が良い①③④⑤においての み「確実に通信可能」であった。

タイプIIIは、設置位置②③においては受信レベルが低く「通信不可能」で、④⑧⑨においては「確実に通信可能」であった。なお、このタイプIIIの結果には、本試験地のノイズレベルが極めて高いことが影響した可能性が考えられる。

4. 設置試験

「山間地の無線通信機能試験」を実施した六甲砂防管内千丈谷において、センサーおよび受信機の設置試験を行った。設置位置は図-3に示したとおりである。

タイプIは、長さ50cmの木杭をハンマーで斜面に垂直に20cm程度打ち込み、その杭に水準器を用いセンサーを垂直に固定した(表-2中の写真参照)。タイプIIは、スチール製杭をタイプIと同様に打設・固定した(表-2)。タイプIIIは、センサーが埋まる程度にスコップ等で穴を掘り、その穴にセンサーを固定した木杭をセンサーが埋まるまで打ち込み穴の土を戻し埋設設置した(表-2)。

設置に要した時間は、設置後の無線の動作確認 試験を含んでも、いずれのセンサーともに作業員 2名で1台10分程度であった。また、表-2に示し たように、センサー1台1kg程度であり、人力で 容易に持ち運び可能である。また、受信機の設置 には、電源配線工事、受信機固定等を行い、概ね 半日以下であった。以上のように、勾配30~50度の急勾配な斜面を対象としても、受信機1台及びセンサー数台の設置は概ね半日以内で実施可能であり、開発目標⑦の「容易かつ人力で設置可能」は概ね達成できたと考えられる。

5. まとめ

開発した崩壊検知センサーについて、無線機能の検証試験を行った。見通しがとれ条件の良い場所においては、無線機能の目標である100mよりもはるかに長い距離の通信が可能であること、実際の使用環境と近いと考えられる山間地域においても、少なくとも開発目標の約100m程度の通信が可能であるセンサーが開発できた。これにより、急勾配な斜面における配線の必要性がなくなることにより、設置作業の効率、安全性が向上するとともに、断線による見逃し、誤検知を防ぐことが可能となると考えられる。また、勾配30~50度の急勾配斜面において設置試験を行い、受信機1台及びセンサー数台の設置は概ね半日以内であることを確認した。

前報および本報告により、開発目標のうち、⑧の耐環境性を除く、7項目については目標を満たしたことを確認し、簡易かつ長期間計測を目標とした斜面崩壊検知センサーが概ね開発できたと考えられる。今後は多様な実斜面における設置を行いながら、各種の地形及び環境条件に適用できるよう必要な改良を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部ホームページ:土砂災害警戒避難ガイドライン検討委員会、第1回説明資料 (http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link_dosyaguidelines.html)
- 2) 柳町年輝、栗原淳一、田村圭司:簡易かつ長期間 計測を目標とした斜面崩壊検知センサーの開発、 土木技術資料、第49巻、12号、pp.52-57、2007.

柳町年輝*



㈱拓和(前独立行政法人 土木研究所つくば中央研 究所土砂管理研究グルー プ火山・土石流チーム交 流研究員) Toshiki YANAGIMACHI

内田太郎**



独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所土砂管 理研究グループ火山・土 石流チーム主任研究員 Taro UCHIDA

田村圭司***



独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所土砂管 理研究グループ火山・土 石流チーム上席研究員 Keiji TAMURA

伊藤洋輔****



独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所土砂管 理研究グループ火山・土 石流チーム交流研究員 Yosuke ITO