

無線センサ杭を利用した斜面環境モニタリングシステムの基盤研究

Study on development of monitoring system

for Slope Area Environment using Wireless Picket

学籍番号 47096741

氏名 今井 大樹 (Masaki, Imai)

指導教員 瀬崎 薫 准教授

概要

日本では、局地的集中豪雨による土砂災害被害が現れている。その一方で電子情報通信技術の発展により、現在ではセンサは小型化し、多様な情報を取得することができるようになってきている。しかしながら、斜面環境のモニタリング計器は依然として設置するためにコストがかかり、また、崩壊の危険が存在するところに人が出向いて数値を確認するなど情報の速達性に問題がある。本研究は地面に容易に挿入できる杭にワイヤレスネットワークを形成できるセンサを組み込み、斜面崩壊の検知・伝達の簡素化を目指している。このシステムを我々は iPicket(intelligent Picket)と呼んでいる。システム構築の課題として、iPicket の特性を考慮した早期斜面崩壊予測手法の構築が挙げられる。本研究ではそのための傾き計と加速度計を利用した早期予測手法の提案を行う。また iPicket 周辺課題についてもまとめる。

1. 初めに

気候変動による局所的な大雨の増加により今後も土砂災害の被害は引き続き出ると考えられ、社会基盤の老朽化等も重なり、危険にさらされている住民や自治体は自分自身で災害対策を講じなくてはならない。

土砂災害において、災害発生前に斜面の状態をモニタリングすることは災害の検知に役立

ち、早期の避難で人的物的被害を軽減させる効果がある[1]。加えて、災害発生後にモニタリングすることで被害状況の把握に役立ち、天然ダムの形成判断などの二次災害の防止や早期復興に効果がある。従来、前者においては、歪計や地下水位により崩壊の時期をある程度予測する研究が盛んに行われてきた。落石や臭い、地下水の流出など、経験に基づく予測もされている。合計雨量による予測もある。また、後者においては航空写真測量やレーザー測量等により崩壊後の地形の状態把握が行われている。測量会社は昼間に測量し、夜を徹して地形変動を地形図に落とし込む。問題点として、両者とも設置が困難であり、デバイスが高価であること、情報の収集と構築に時間がかかること等が挙げられる。

そこで本研究では地面に簡単に挿入出来る杭に無線通信機能を備えたマルチセンサを組みこんだデバイスを提案している[1]。本報告ではそれらについて詳しく述べる。

2. iPicket System

iPicket には一本で複数の情報を習得するために、複数のセンサを集約して組み込んでいる。6 軸加速度、電波強度、温度、照度などである。また、無線通信デバイスを搭載し、マルチホップ通信でモニタリングしたデータをサーバに集約することができる。

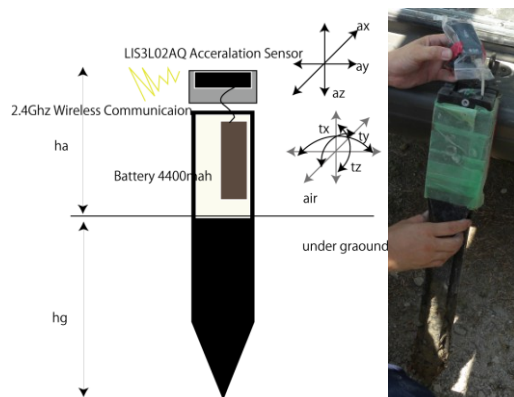


図1 iPicket

[図2]はiPicketの斜面崩壊を検知してから、警報を発するまでの通信イメージである。まず①iPicketを山間部に配置する。②ネットワークを利用し、③杭の周辺の情報環境がサーバに集められる。④集められているデータから斜面崩壊のサインを検知したら、⑤住民への避難や道路の通行止めの支持を出す。iPicketは斜面崩壊が想定される山間部に任意の数だけ配置することができる。これはマルチホップ通信方式によるもので、通信ケーブルの設置が困難で、加えて3Gネットワークのカバーできないエリアでは、安価で容易に情報集積できるシステムとして有効である。例えば、山間部の居住地域で崩壊の危険がある住民自身が、iPicketを複数本設置し、家のコンピューターで簡単にセットアップし裏山の情報を取得したり、警報を受け取ったりすることができるということである。この無線の通信方式には2.4GHz帯の通信規格であるIEEE802.15.4(Zigbee)を用いる。一つの杭の最大通信距離は、約100mであるが、数を増やすことで任意の範囲に構築できる。

[図3]は災害が発生した後のiPicketの利用法のイメージである。⑦斜面崩壊が発生した後に斜面の崩壊を検知しなかったセンサ同士が

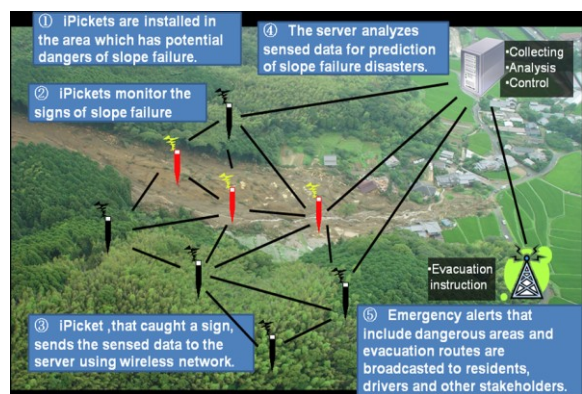


図2 斜面崩壊前のシステムフロー

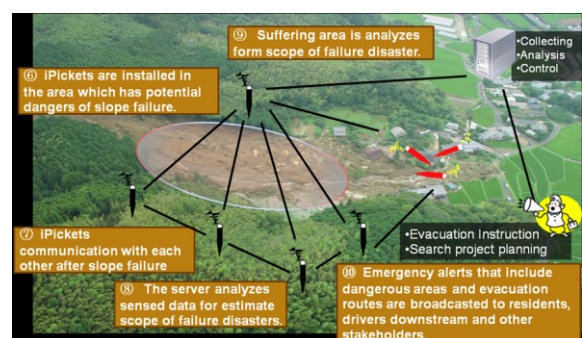


図3 崩壊後のシステムフロー

通信し、⑧崩落した範囲をロストした杭から検知する。⑨崩落した範囲により、大まかに土砂の到達範囲が想定される。被害の想定や天然ダムの形成が夜間に起こった場合に、航空測量等の結果を待つのではなく、現地に人が出向いて危険な状態のまま判断をしなくても、簡易的にはあるが推定出来るのである。

このシステムの構築にあたってチャレンジすべき課題は大きく分けて4つある。(1)斜面崩壊前の検知の問題。杭の中にある安価で小さなセンサだけで斜面崩壊を検知する必要がある。このシステムでは使うセンサに限られることが短所であるが、複数のセンサを斜面崩壊が想定される場所に配置することができる。またリアルタイムに情報を取得出来る。この特性を活かし、限られたセンサで崩壊検知手法を構築する必要がある。本研究ではセンサの中の加速度計を利用し斜面崩壊を検知する。崩壊前

のひずみのクリープ式のように崩壊に向かい加速度が増加することが取得出来るかを報告している。

(2)斜面崩壊後の土砂の到達範囲推定法の構築。斜面崩壊の範囲と土砂の到達範囲は相関性があり、簡易的に推定することができる。また、崩落した杭が集約していることが分かれば、天然ダムが形成されているという危険性を知ることができる。

(3)電力効率の問題。周辺環境や降雨によってシステムがセンシングレートを変更する。これを行うことで例えば人があまり立ち入らないような山奥でも1年以上メンテナンスフリーの状態を作ることでき、より簡易で運用しやすいシステムを構築できる。

(4)山間部での安定的な無線ネットワーク構築。自然条件の厳しい山間部では、無線電波は想定より到達範囲が狭く、ネットワークルーティングが構築されない場合がある。例えば、あるルートが突然つながらなくなった場合ルーティングの再構築を行わなければいけない。必要になれば、GIS上で斜面にノードを追加する必要がある。斜面崩壊が起きる時に確実にデータを伝送できるネットワークを構築することが必要である。

3. 大規模降雨実験

斜面崩壊の早期検知のために iPicket で仮想的斜面崩壊中の傾き、加速度等のデータを



図4 中型実験斜面

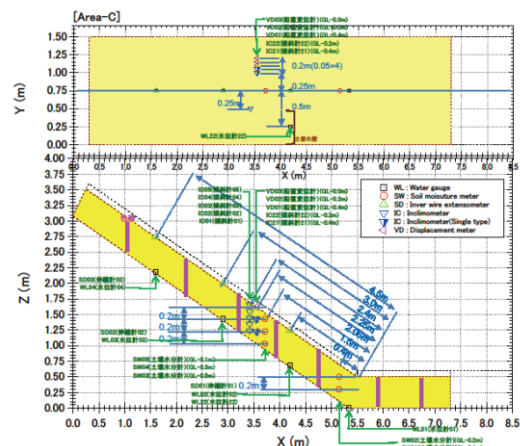


図5 斜面寸法

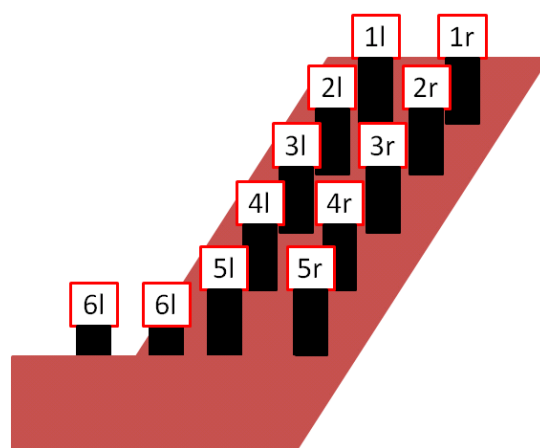


図6 杭配置

12本の杭を利用し取得した。実験は茨城県にある(独)防災科学技術研究所の降雨施設を用い、中型実験斜面を用いて行った。

杭の配置は以下のように行い、杭の間の斜面長は1mである。降雨は1日目に1時間あたり30mmの降雨を行い3日後に1時間あたり50mmの降雨を行い、約2時間10分程降雨させたところで崩壊している。実験はセンシングレートを0.25秒周期で行った。

4. 斜面崩壊早期予測手法の提案

本研究で行った早期予測の提案手法は従来の地下水位計や、2地点間を計測する必要がある伸縮計ではなく、iPicketが挿入された地点での崩壊の予測を行うものである。

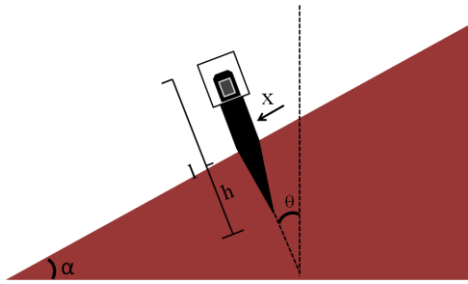


図7 杭の傾きと変位

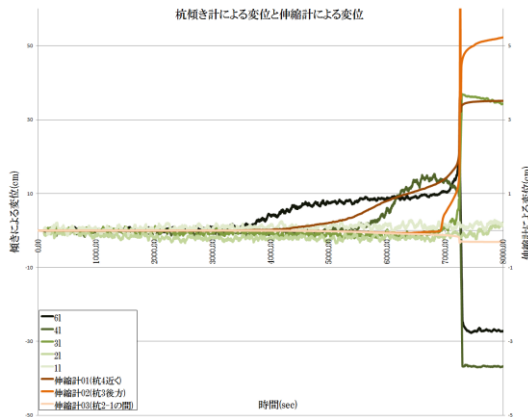


図8 傾き計による変位と伸縮計による変位

本研究では植竹ら[2]によって提案された斜面の傾斜と表面移動量の変換式を利用し iPicket において斜面の変化量を抽出した。変換式は以下の通りである。

$$x = h \frac{\sin \theta}{\cos \alpha}$$

ここに x: 斜面変位、h: 杭挿入部深さ、 θ : 杭の斜面方向転倒角、 α : 斜面角、である。また図8において実際の伸縮計の変位と比べた。オレンジ色が伸縮計による斜面の変位である。色が濃いほど下に設置されている。緑は iPicket であり、傾きから求めた斜面変位量を示している。同様に色が濃いほど下の iPicket である。

6l から求めた地表面の変位は伸縮計の変位よりも早くから変化をとらえることが出来ていた。これは伸縮計よりも iPicket が下に位置しているので、下から上昇してくる地下水位の影響を一番早く受けたもので

あると考察できる。逆に地下水位が上昇せずに地表面の変位が見られなかった 1l、2l の iPicket に関しては変化しなかった。一方で杭による地表面の変位の精度が伸縮計の約 10 倍であるなど精度に関しては良くない。今回の中型斜面での仮想地すべり面は実験斜面の底である。iPicket がそこまで届き、地表面せん断変形まで土塊とずれることなく取得出来れば伸縮計の変位と誤差が無くなるはずである。

5. まとめ

斜面災害の軽減を目的として地面に容易に挿入できる杭の中にマルチセンサデバイスを搭載し、無線ネットワークを利用し斜面環境のモニタリングを行う iPicket システムを提案した。また、早期斜面崩壊検知のため大型降雨実験施設において複数杭の斜面崩壊時の杭の挙動実験を取得する実験を行い、加速度や傾きの値を取得した。傾き計の値から iPicket における地表面変位を獲得し、個々の場所における斜面変位特性を崩壊前に把握することが出来た。後は周辺研究課題へ取り組むとともに、実際の斜面において iPicket を配置する実証実験を行う必要がある。

参考文献

[1] Masaki Imai, Masayuki Iwai, Ryosuke Shibasaki, Kaoru Sezaki, "The designs of slope failure detection system using wireless sensor network" The 31st Asian Conference on Remote Sensing, 2010

[2] 植竹政樹、酒井直樹、福園輝旗 "内部傾斜計による斜面崩壊発生予測手法に関する研究。-土砂災害消防活動時斜面監視への応用-", 防災科学技術研究所研究報告, 第 77 号, 2010.