

iPicket:無線センサ杭を用いた斜面崩壊災害検出システム

岩井将行[†] 今井大樹[‡] 西谷哲[§] 小林正典[§] 岡田謙吾[§] 戸辺義人[¶] 瀬崎薫^{††}

[†] 東京大学生産技術研究所 [‡] 東京大学情報理工学系研究科 ^{††} 東京大学空間情報科学研究センター
[§] 株式会社 リプロ [¶] 東京電機大学 未来科学部

1 はじめに

集中豪雨などの気象現象の異常化により、老人介護施設等を丸ごとのみ込む土石流などの痛ましい災害が頻発している。こうした場所で地滑り検知が技術的に不可能である現状は、山間部で生活する人々にとっては急務の問題であり安心して生活を送ることができない。地震の計測 [1] や架橋モニタリング [2] で無線センサノードが使われ始めている研究がある。しかしながら安定的な電力供給を前提とする計測であり、既存研究は、長時間の無電源、警報の正確性と無線等の警報の迅速性を兼ね備えていない。センサネットワークを用いた [3, 4] などの研究も盛んにおこなれており地中のユープのゆがみを計測するセンサを開発している。これは通信に関して無線センサを利用しており我々とアプローチが近いが、より信頼性の高い予測のために Geophone や圧力センサなど大がかりな設備を必要とし一台あたりのメンテナンスコストと電力消費は大きくなっている。1 台あたりのコストが高くなれば大規模エリアを網羅することができなくなり結果的に計測にたいして不均一な粒度になってしまうことは否めない。

本研究の目的は、大規模な通信インフラ崩壊時にも災害情報を検知・把握可能にするため、道路や山間部の地盤状況の変化を低コストで高精度に分析する手法を確立する。

2 iPicket System

以下の iPicket システムが考慮すべき機能を列挙する。

2.1 長期的にする省電力・太陽蓄電センシング技術

集中豪雨による土砂災害が近年ゲリラ豪雨と言われるように突発的性が高くなり、あらかじめ予測がむずかしい現状がある。図 1 に示す 3 軸加速度センサと 3 軸回転角加速度センサに加え、温度センサ、照度センサなどの情報を組み合わせ、センシングレートやデータ計測間隔、送信間隔を動的に変化させ長時間運用を可能にする機能を提供する。また太陽エネルギーの効率的な活用も行えるように外部からバッテリー給電ケーブルを受け入れ可能とする。

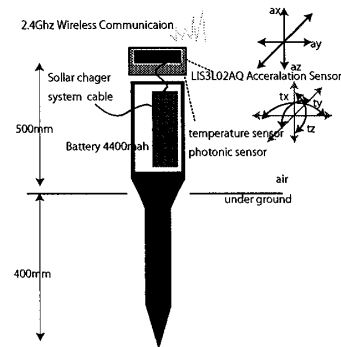


図 1: iPicket の内部デザイン

2.2 加速度のデータ解析からの地盤危険度の把握技術

センサ杭の様子を以下の図に示す。先端部に 3 軸方向の加速度センサが取り付けられており 3 軸の回転加速度も計測する。加速度が示す値は土質や水量などの物理現象によって異なるため網羅的にパターンを計測し崩落の予測を高精度で可能にする。

2.3 危険を住民に知らせる迅速なデータ転送技術

地滑り検知用を可能にする 3 軸の加速度センサの情報を上流の危険地域から下流の地域までマルチホップ通信を用いて広域にセンサ杭間で無線通信を行い遠隔の民家に対して迅速にリレーさせるシステムが必要である。

地滑り検知杭の情報を正確且つ広域に伝達するためにセンサノード間の無線マルチホップ通信による確実な通信路の確保し通信を行う。またセンサデータを集約するデータベースおよび GUI を開発した。(図 2 参照) このデータベースには、各センサの無線により伝達される送信時間、温度データ、照度データ、バッテリーレベル、RSSI、加速度データ、回転加速度データ、スキップ頻度などが記録される。データベース間を TCP/IP ネットワークにより相互接続することで市町村レベルでの広域のモニタリングを可能とする。

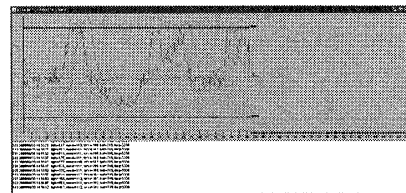


図 2: iPicket System の GUI での分析画面

iPicket Enabling Slope Failure Detection using Wireless Sensors

Masayuki IWAI[†] Daiki IMAI[†] Tetsu NISHITANI[§]
 Masanori KOBAYASHI[§] Kengo OKADA[§] Yoshito TOBE[¶]
 Kaoru SEZAKI^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Technology, the University of Tokyo [‡] The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences ^{††} The University of Tokyo, Center for Spatial Information Science [§] RIPRO Corporation [¶] Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life

2.4 杭の特性

iPicket は、内部に図 1 に示す、RIPRO 社の 90 角段付杭¹を基礎とし、内部にセンサとバッテリー空間を設ける。バッテリーには 4400mha のモデルを利用した。また外部からのソーラパネルから充電を受け付けるようにした。地面には 400mm を打ち込み地面の動きで倒れ易くしている。2.4Ghz の通信チップにより Zibbee 通信を行う。

加速度センサは杭の上部に設置する。これは加速度、角加速度共に反応をしやすくするだけでなく、光センサが太陽光を捉え易くするためである。光センサと温度センサが連動し外部の気候をとらえ晴天時にはセンシングレートを下げる。

3 iPicket の評価

プロトタイプの評価として「覆い被さり型崩落」、「滑り型崩落」の 3 点の実験を行った。いずれも仮想的に引き起こした実験であり正確な自然現象ではないが様々な崩落現場での杭の動きの特性を捉えるために実験を行った。

覆い被さり型崩落

雪崩式に上部から土砂が被さる現象で土砂は上部の杭から順番に削り取り崩落を引き起こす可能性が高く図 3 の実験ではシャベルカーにより上層部に土を盛り、弱い土壌が流れることで下流の杭が徐々に傾いていく様子を計測した。上部の土壌に圧される傾向から徐々に加速度がした方向にかかっていることが分かる。ただし土の流れが緩やかであった場合は転倒後の状態の判別がわずかに今後一定の角度に転倒した場合に転倒判定をだすアルゴリズムが必要がある。

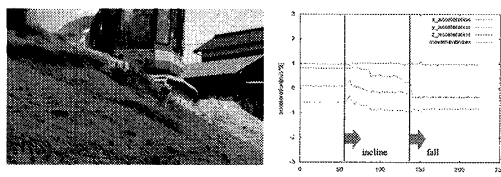


図 3: 覆い被さり型崩落実験の様子と加速度グラフ

滑り型崩落

滑り型崩落では複数の杭を準備しどのように崩落していくのかを計測した。図 4 左にあるように計 8 本に iPicket を用い角度可変のトラクタを利用して実験を行った。中央部の杭は垂直を図るための基準杭である。トラクタのその鉄板を硬度の高い地盤、上部の土を粘性の低い地盤として想定した。図 4 右で示すように崩落による杭の転倒の順番は、「1, 2 → 3, 4 → 5 → 6 → 7, 8」の順序で発生した転倒時には第 7 杭と第 2 杭の動きから加速度へ 1G の変化がおき、その以前では少しずつ落ちていく。この時間が 100s ほど差異がある計測された。5 グラフでは実験結果を示す。滑り型崩落は、場合によっては崩落する杭から加速度変化を計測できれば周辺の杭が他のノードや下流の杭に対して危険の警告を出す余裕が生じる可能性が高いことが分かる。

4 まとめ

突発的な局地的集中豪雨により、土石の濁流が民家を奪う痛ましい被害が耐えない山間部は過疎化の影響もあり、国土の 7 割をしめるにもかかわらず十分な安心安全のインフラが整っているとは言えない。広域なエリアをカバーし、斜面の崩落をいち早く検知できる



図 4: 滑り型崩落実験の様子

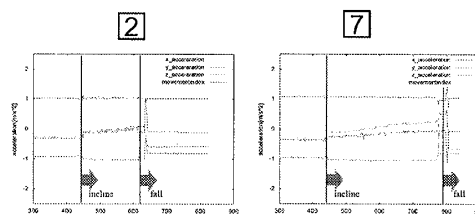


図 5: 滑り型崩落実験の加速度グラフ

安価な斜面崩落の検知システムを構築することは急務である。著者らは、地滑り検知のため公的施設や一般家庭も含めて自ら設置や運用を可能とする高精度かつ低運用コストを兼ね備えた地滑りセンシングシステム iPicket の研究に着手し、現場での実験により杭の崩落時の加速度特性と長期運用でも問題点を明らかにした。今後はこれらに結果を基に大規模且つ、信頼性の高い計測システムとして研究を進めていく。

謝辞

本研究は、科研特定領域「情報爆発時代に向けた新しい IT 基盤技術の研究」[A02-25] 都市型災害時の人間自身による動的なセンシングプラットフォーム技術の研究の一部支援を受け手います。本研究のセンサ部分の基盤ソフトウェアの開発は MSR IJARC Fellow CORE5/Blue Sky の支援をうけています。

参考文献

- [1] M. Suzuki, S. Saruwatari, N. K. M. M. and Morikawa, H.: Poster abstract: A Quantitative Error Analysis of Synchronized Sampling on Wireless Sensor Networks for Earthquake Monitoring, *The 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2008) Poster*. (2008).
- [2] Sunaryo Sumitro, M. T. and Kato, Y.: MONITORING BASED MAINTENANCE FOR LONG SPAN BRIDGES, *First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management* (2002).
- [3] Terzis, A. Anandarajah, A. M. K. W. I.-J.: Slip surface localization in wireless sensor networks for landslide prediction, *The Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN 2006.*, p. 109.
- [4] Ramesh, M. V.: Real-time Wireless Sensor Network for Landslide Detection, *IEEE, The Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, SENSORCOMM 2009.*, p. 18.

¹ <http://www.ripro.co.jp/catalog/parts/pile.html>