

ワイヤレスセンサネットワークによる斜面地盤の計測システムの開発と適用に関する基礎的研究

長崎大学大学院 正会員 ○杉本知史 非会員 笹村拓哉 学生会員 石田純平
 長崎大学大学院 非会員 石塚洋一 藤島知之 藤本孝文 岩崎昌平 (株)富士通研究所 非会員 山下浩一郎 栗原康志

1. はじめに

国土の7割以上を山地が占める中、居住地域や道路等の重要インフラが土砂災害の危険性のある斜面に近接している箇所は無数に存在している。一方で、地方行政の財源不足や人手不足により、点検業務がままならない状況に多くの自治体が直面している。

そこで本研究では、地震や豪雨による斜面崩壊や地すべりの発生を事前に検知することを目的とした、ワイヤレスセンサネットワーク(以下 WSN)の開発を行っている。近年では、すでに WSN に関する多くの研究において、降水量や地下水位、地盤の変位量の観測が行われる事例が増えつつある。しかしながら、経済性や設置の困難さから、ごく限られた範囲に適用が留まっており、計測システムの普及の妨げとなっている。技術的には、エネルギーハーベスティングを用いた自律的なモニタリングシステムを、実際の厳しい現場環境に適用した例はまだ少ない。筆者グループは、電気電子工学、情報工学、土木工学・企業メンバーによる分野横断的に結成されたチームで、各工学分野の多面的な技術アプローチにコスト抑制・設置メンテナンスの容易性を考慮しつつ、環境やインフラの長期・広範囲なモニタリングを可能とするワイヤレスセンサネットワークの開発を目指している。本報告では、長崎県内のフィールドにて行ったモニタリング検証実験について、電源調査、ネットワーク構築、取得した計測データの検証等、これまで明らかになった問題点や改善点に対する取り組みについて報告する。

2. 提案システムの概要

図-1 に示す提案システムの通信は、ISM バンドである 2.4GHz 帯の Zigbee を用いている。この規格の特徴として、低コスト・低消費電力、メッシュ型ネットワークの形成などが挙げられる。エンドデバイス(末端機)のスリープモードを利用することで、必要な周期のみ末端機を起動させ、データを収集することができるので、その消費電力を抑制することができる。さらに、マルチホップを利用した無線通信により、複数の通信経路を利用することができるので、システム全体の柔軟性、安定性が向上する。

データ取得までのシステムの流れを説明する。図-2 のエンドデバイスに、土壤水分計・テンシオメータ・間隙水圧計などのセンサを接続する。センサにより得られる電圧値を、増幅回路を通すことで分解能を調整し、無線端末に入力する。入力された電圧情報は図-3 のルーター(中継機)を経由して、図-4 のコーディネーター(親機)に転送される。得られたデータはコーディネーターに蓄積され、LTE 回線を通してブラウザ上で確認することができる。これにより、遠隔地にてモニタリングを行うことができ、監視者の安全の確保やセンシングデータの解析によるリアルタイムの現状分析が可能となる。さらに、エネルギーハーベスティング技術の1つである太陽光発電を利用し、各端末にソーラーパネルと二次電池を接続して、自立的にシステムを運用している。

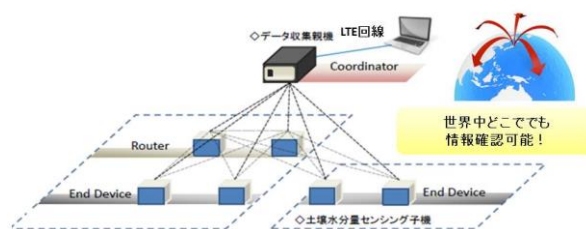


図-1 提案システム



図-2 エンドデバイス



図-3 ルーター

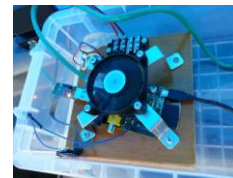


図-4 コーディネーター

3. 屋外実験フィールドの概要

図-5 に、今回提案するシステムの検証実験を行っているフィールドの断面図を示す。当該斜面は、安定型廃棄物処分場として、主に土砂類を盛り立てた人工地盤上にあり、3年前に大雨に起因する地盤の変状が確認された箇所である。崩壊には至っていないが、抑え盛土ならびに布団籠の設置、斜面勾配の緩和、表面の覆土等による変状の

キーワード ワイヤレスセンサネットワーク(WSN)、IEEE802.15.4(Zigbee)、斜面崩壊、IoT

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科 TEL 095-819-2618

抑止対策工が実施されている。しかしながら、斜面下に河川が存在するため、継続的な監視が望ましい状況にある。

今回は、地表面からの降雨の浸透ならびに斜面周辺から流入すると考えられる地下水流動に着目し、図-5に示す各位置に地下水位測定を目的とした間隙水圧計、地表面付近の飽和度や間隙圧の変化の測定を目的とした土壌水分計ならびにテンシオメータを設置し、前節で述べたシステムを介した定常的なモニタリングを行うものとしている。

4. モニタリングに関する諸問題とシステム改良

今回、各端末を設置するに当たり、主に2点の問題の改善を行った。1つはコーディネーターの電源供給の安定性の向上である。当初、コーディネーター電源システムに定格50Wのソーラーパネルと容量480Whのバッテリーを用いて給電を行ったところ、数日間でシステムが停止した。そこで、コーディネーターシステムの最大消費電力が約5.7Wであることから、気象庁の気象データから推定した発電量と比較し、上段のソーラーパネルを合計3機に増設、バッテリーを容量672Whに増量した。図-6に、コーディネーター電源システムの発電量と消費電力量との差の推移を示す。これより、コーディネーター電源システム改善後のバッテリーが、現場環境や天候に関わらず、約1か月間安定的に充電されていることを確認した。これにより、自立的に稼働可能なシステムを構築したものとする。

もう1つは、無線通信の安定性の向上である。当初、設置した端末の位置では一部のルーターに通信が集中し、そのルーターが何らかの問題を抱え停止してしまうとエンドデバイスからデータを取得できなくなった。そこで、使用アンテナの放射指向性と実験フィールドの特徴を考慮した配置を、図-7に示す。これにより各エンドデバイスにおいて、複数の通信経路による通信を確認した。

5. 計測データの取得状況

現地への本システムの設置からこれまで3か月ほど経過しているが、前節に述べたシステム改善に取り組んでいる状況にあるため、本格的なデータ取得には至っていないが、取得できたデータについて、一例を示す。図-8は比較的まとまった降雨が観測された期間において、フィールド近隣のアメダスに基づく降水量ならびにフィールド内に設置した間隙水圧計、土壌水分計の出力電圧の推移である。設置当初の結果である。不安定な電源システムならびに通信状態の中、データ欠損が多かったものの、降雨開始直後、地表面から約30cmの深さに設置した土壌水分計の出力電圧に変化が表れ、その後観測井内に設置した間隙水圧計の出力電圧が遅れて変化を示したことを確認した。

6. おわりに

本報告では、ワイヤレスセンサネットワークの構築とモニタリング対象への適用に関する現況について説明した。各センサから得られるデータは、今後の集積状況を待つことになるが、安定した動作や通信のため、今後も電源、通信に関する問題、さらには周辺環境への適応など解決すべき課題は多く存在することから、今後も継続してこれらの対応にあたるとともに、中長期的に取得したデータの分析と活用にも取り組む。

参考文献：笹村ほか：省電力無線端末を用いたセンサネットワークと斜面地盤

計測への適用、電気学会C部門大会 企画セッション「減災のための電子・情報・システム技術とその応用」2015年8月、笹村ほか：ワイヤレスセンシングネットワークシステムの斜面地モニタリングへの適用、電気情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 一般セッション 2016年5月（投稿中）

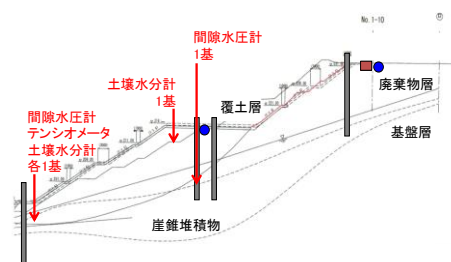


図-5 屋外実験のフィールドの断面図

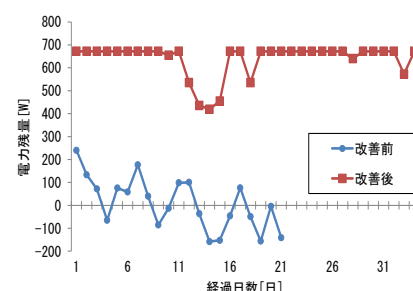


図-6 発電量と消費電力量の差の推移

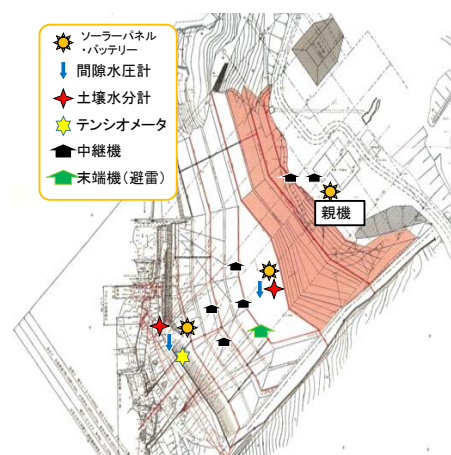


図-7 端末配置図

(現場平面図に加筆)

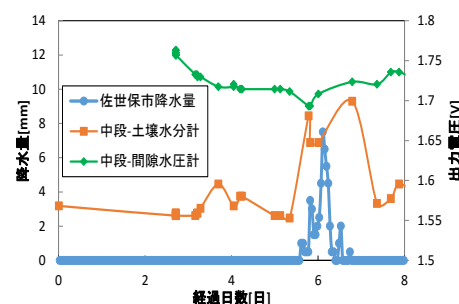


図-8 計測データの取得例