

# ワイヤレスセンサネットワークを用いた斜面地モニタリングに関する報告

西川祐貴\* 笹村拓哉\* 石塚洋一\* 杉本知史\* 藤島友之\* 藤本孝文\* 岩崎昌平\*

\*長崎大学大学院工学研究科 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14

## 1 はじめに

わが国では、気象学的に多雨性を有した気候下に属しており、また地質学的にも地盤の風化や土砂の浸食が進行しやすい特徴を有している。このため、長期的な降雨に地盤がさらされることで、土砂災害に関連した人的被害に毎年多く見舞われている。これに対して、我々はワイヤレスセンサネットワークを用いた、事後保全ではなく、予防保全を可能とするシステムの構築を行っている。

本稿は、フィールドにおける雨量の遠隔モニタリングを可能とする雨量計の施工およびデータの検証ならびに現在までに明らかになった問題点や改善点について報告する。

## 2 考案システム概要

図 1 に本研究の考案システムの概要を示す。本研究の考案システムでは、小型かつ安価である無線端末と計測機器を多くかつ広範囲に設置することで、センサにより得られるデータの精度の向上を試みている。エンドデバイス(末端機)にセンシング機器を設置しているため、そこからデータを取得し、ルーター(中継機)を介してデータをコーディネータ(親機)に送る。コーディネータにデータが蓄積されるので LTE 回線を経由することで遠隔地からでもデータの取得が可能になる。

端末間の通信規格は、ISM バンドである 2.4GHz 帯の IEEE 802.15.4(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。各端末の通信時に要する消費電力は同様のワイヤレス PAN である Bluetooth と大差はないが、エンドデバイスのスリープモードを利用することで、必要な周期のみ端末機を起動させ、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。

また太陽光によるエネルギーハーベスティングの給電システムを採用することで、自立的かつ継続的なモニタリングを可能とし稼働することのできるシステムを目的としている。

## 3 実フィールド概要

図 2 に今回提案したシステムの検証実験を行っているフィールドを示す。当該斜面地は、安全型廃棄物処理場であり、主に土砂類を盛り立てた人工地盤上にある。三年前に大雨により地盤の変化が観測された箇所、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抑止対策工が実施さ

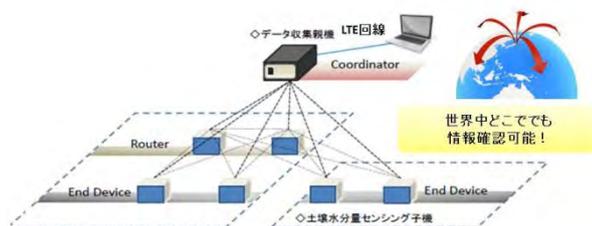


図 1 提案システム

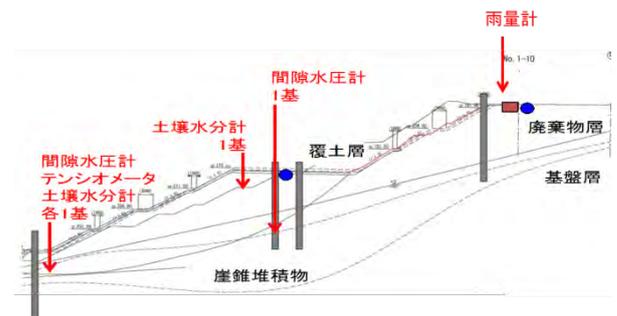


図 2 検証実フィールド断面

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。現在のシステム構成は、上段にコーディネータ 1 基と雨量計、中段に間隙水圧計、テンシオメータ、土壤水分計を備えたエンドデバイス 2 基、下段に土壤水分計、間隙水圧計、テンシオメータを備えたエンドデバイス 3 基を設置している。さらにこれらの中に、中継を行う無線ルーター 6 基を設置している。

## 4 データ取得までの流れ

設置したセンシング端末のデータ取得までの流れを説明する。土壤水分計・テンシオメータ・間隙水圧計・雨量計のセンサ類および電力源として太陽光パネルを接続したエンドデバイスがある。本節では、上段に設置した雨量計について説明を行う。雨量計は時間当たりの降水量を計測する機器である。計測方法として雨量計内部に転倒マスがあり、一定量の水量が流入するとマスが転倒し、その際の転倒回数を電圧値として検知することで降水量の計測を行う。図 3 に雨量計システムの構成を示す。雨量計本体は、既製品(rain wise 社)を使用している。雨量計本体のマスが転倒する際に、微小値のパルス電圧が検出される。これにより、電圧値を増幅し、微小値の値と比較することで、マスの転倒時の出力を行う。この出力を親機ユニットである RaspberryPi に入力することで雨量計の転倒データを LTE 回線に送信し、無線化によるデータの閲覧が可能になる。

## 5 計測データ

雨量計の設置以降の取得データについての報告を行う。雨量計の転倒マスは、6.4[ml]の水量が流入すると転倒す

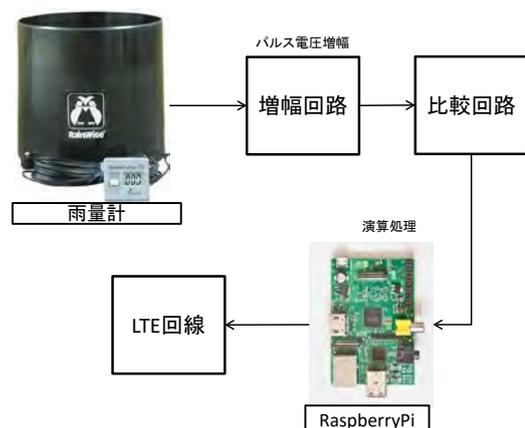


図 3 雨量計システム構成図

るように設計している。このためマスが1転倒した際を降水量として換算すると、0.2[mm/tip]となる。図4に、雨量計により得られた降水量のデータ、比較として同市内の2か所の降水量のデータを示す。また参考に、気象衛星による降水量の分布を図5に示す。13時-14時間で図4のグラフより降水量の急激な減少が見られた。図5からも、実測地点は降水量13時-14時間で減少が確認することが出来る。また実測データの降水量のピークは他の2か所での降水量のピークの時間がほぼ酷似している。このことより設置した雨量計は正常に動作していることが確認できたと共に局所的な降水量の計測が可能であることを確認した。今後は、雨量計の実測データを元とした、土壌水分計・間隙水圧計・テンシオメータから得られたデータとの分析・活用を用いることとする。

また長期的な設置に伴う雨量計の劣化、破損等を想定した対策についても検討を行う。

## 6 モニタリングに関する現状の問題と対策

エンドデバイス・ルーターについて、実際に使用している端末を図6に示す。設置当初、アクリル製のカバー内部に、水分が蓄積されることによる回路基板の浸水が確認された。これは、長期的な設置に伴う、カバー内部の寒暖差による結露・雨水の侵入が考えられる。これに対して、密閉性を向上させるため端末上部との接合部に対して、粘土材料による密閉を施した。またカバー内部に浸水した場合を想定し、カバー下部に対してわずかな穴をあけることにより、排水機能を付加させた。これにより、長雨期においてルーター端末内部の水分の蓄積・回路基板等の腐食は確認されなかった。このため、上記で行った対策の有効性を確認することができた。現在は、寒冷期の結露による浸水に備えた対策・検証を行っていく。

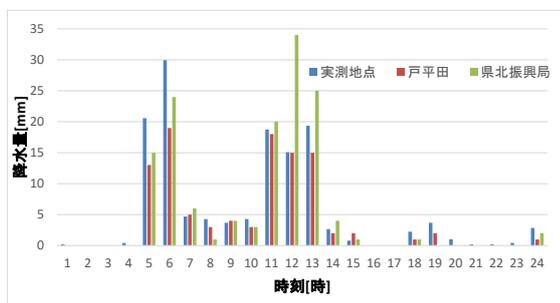


図4 計測データと比較データ

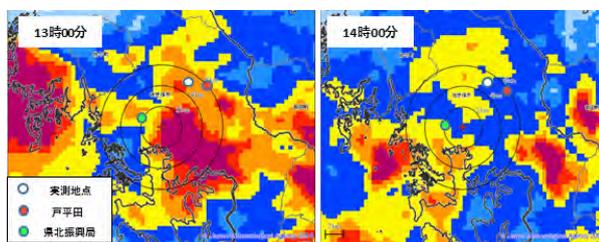


図5 気象衛星レーダー(左:13時 右:14時)



図6 ルーター端末(中段)

## 7 まとめ

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報告を行った。

本稿では、雨量計のみの計測データを記載したが、その他センシング端末については、本格的なデータの取得に至っていない状況である。このため太陽光給電システムの改善、また検証フィールドにおけるネットワークを構築方法に焦点をあて引き続き対応にあたる。さらに、土壌水分計・間隙水圧計・テンシオメータから中長期的に取得したデータにより、雨量計の降水量データを踏まえての分析、活用にも取り組んでいく予定である。

## 謝辞

本研究を行っていくにあたりご協力をいただいている佐世保市役所に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 笹村拓哉 他：“地すべり遠隔監視システム形成のための電波伝搬基礎特性”電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2014年9月
- [2] 濱松明日香 他：“無線センサネットワーク用円偏波小型マイクロストリップアンテナ”電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 2014年9月
- [3] 笹村拓哉 他：“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
- [4] Tomoyuki FUJISHIMA, Takashi OSAKI, Shota NAKAO, Tomohiro FURUSATO, Takahiko YAMASHITA, Satoshi SUGIMOTO, Takafumi FUJIMOTO and Yoichi ISHIZUKA：“Trial of Lightning Protection Cage Development for Remote Monitoring”ICEE 2016 Okinawa 2016 July