無線センサリングネットワークによる斜面のモニタリングシステムの構築

長崎大学工学部 学生会員 ○張 慧中 長崎大学大学院 学生会員 石田 純平 正会員 杉本 知史
長崎大学大学院 フェロー会員 蒋 宇静 正会員 大嶺 聖 非会員 石塚 洋一 笹村 拓哉 岩崎 昌平

1．はじめに

近年、建設分野において土木技術だけではなく、電気電子技術、情報処理技術など総合的な技術の導入により便益性・生産性・安全性・コスト性の向上を図る試みが盛んに行われている。その一つに観測施工や防災向けのモニタリングを無線通信を用いて行う方法が挙げられる。特に、斜面防災においては屋外環境下において定常的に遠隔地の広域なエリアを観測することが求められることから、計測センサーおよび無線モジュールを組み合わせた端末を多数設置することで多点計測が容易になる。そのためには消費電力の抑制や太陽光などによる電源確保の対策を要する。本研究では、人工的に盛り立てられた土砂地盤を対象として、降雨による地盤の不安定化をモニタリングするためのシステム構築と収集データによる評価を検討する。

2. モニタリング対象斜面の概要

図 1 の対象斜面は、地表面付近に土砂主体の産業廃棄物、その下に崖錐堆積物、基盤岩で構成され、約 3 年前に大雨を原因とする変状が生じ、斜面下方でのせり出し、中段付近でのクラックが発生した。そのため、土砂の切り返しによる緩勾配化と表層 50cm 程度の覆土による遮水工が施されている。現状の斜面形状は、法面勾配 1:1.5、高さは 40m となっている。図 2 は、昨年 12 月現在の斜面の被害状況を示している。4 月の熊本地震の影響と推定される時期の崩壊も見られたが、約半年の間に計 3 か所で地表から 0.5～2m の深さで発生する小崩落が確認された。これらの原因が斜面全体の地すべり的挙動によるものか、覆土の粘着力低下による表層崩壊かを確認するため、本研究では、特に降雨後の斜面内の土壌水分率や地下水位の上昇に着目し、後述するモニタリングシステムの構築を行った。

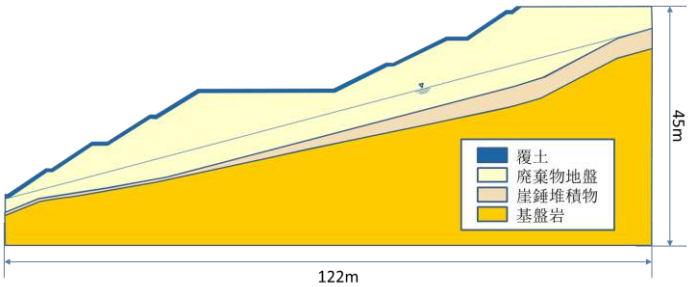

図 1　斜面の断面図

図 2　現在の被害状況

3. モニタリングシステムの概要

図 3 に各種観測センサーとその設置位置を示す。本研究で構築したモニタリングシステムは、エンドデバイス（端末）、ルーター（中継機）、コーディネーター（親機）の三つで構成している。写真 1 に示すエンドデバイスには土壌水分計・テンシオメータ・間隙水圧計・転倒マス型雨量計を接続している。これらより得られる出力電圧を増幅回路を通すことで分解能を調整し、無線ネットワークを介し写真 2 に示すコーディネーターに通信する。その際モニタリングエリア内に適宜設置したルーター（写真 3）を経由することで、安定した通信品質を確保するようにしている。このシステムの通信は、ISM

図 3　各種観測機器の設置位置

バンド(産業、科学、医療分野向けの周波数帯)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（端末)のスリープモードを利用することで、必要な周期のみエンドデバイスを起動させ、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。5-10 分毎に収集し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図 4 のように通信状況の確認やデータのダウンロードが可能である。

写真 1　エンドデバイス

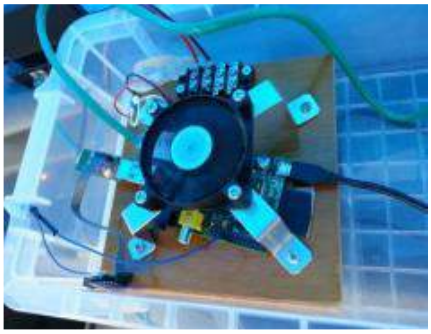

写真 2　コーディネーター

写真 3　ルーター

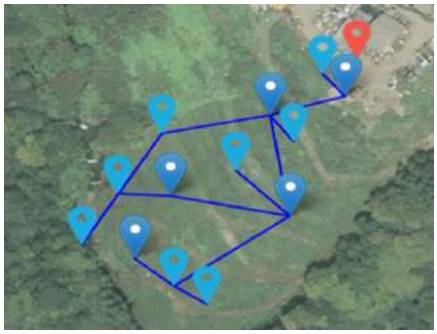

図 4　現地の通信接続状況

これにより、遠隔地にてモニタリングを行うことができ、対象斜面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。

4. 観測データの分析

図 5 は降水量と土壌水分率の関係を示す。降雨時には、図のように土壌水分率が上昇することが確認できる。図 6 は降水量と地下水位の関係を示す。降雨とともに、地下水位が上昇していることが確認できる。降雨に伴い地下水面が地下 2m から 0.6m まで上昇していることから地表面付近まで飽和した地盤が形成されている様子が伺える。

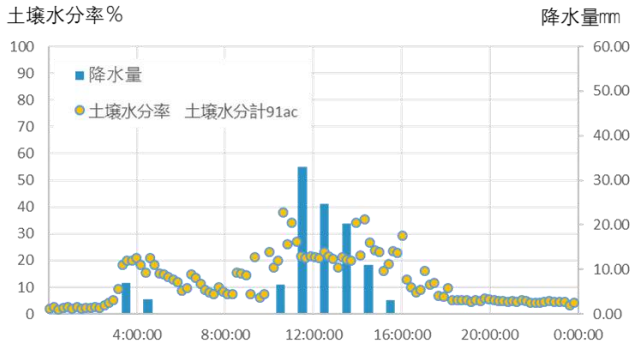

図 5　降水量と土壌水分率の関係

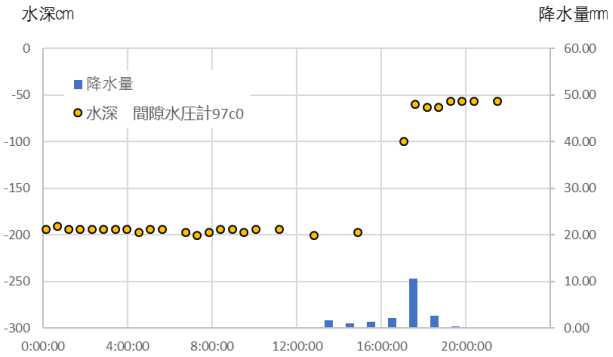

図 6　降水量と地下水位の関係

5. おわりに

本研究では、無線センサリングネットワークを活用した斜面のモニタリングシステムの構築を行った。本システムより収集したデータは、数値標高データに基づく 3 次元有限差分法解析の入力データとして活用して、これにより斜面の変状傾向や降雨や地下水位の条件に着目した解析を行い、斜面の安定性評価を行う。

参考文献

杉本ほか: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、土木学会第71回年次学術講演会概要集、pp.28-29、2016.9.