

斜面のモニタリングのための無線センサリングネットワークの構築・活用に関する基礎的研究

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 蔣 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、多点計測の実現が期待される。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斜面地盤を対象として、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、斜面下方でせり出し、中段付近で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。2016年4月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の挙動によるものか、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。

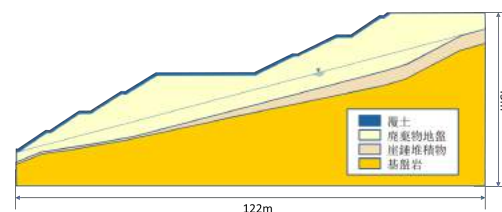


図1 斜面の断面図



図2 各種観測機器の設置位置

3. モニタリングシステムの概要

図2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）の三つで構成されている。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。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キーワード モニタリング, 無線センサリングネットワーク, 数値解析

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学工学部工学科社会環境デザイン工学コース



写真1 エンドデバイス

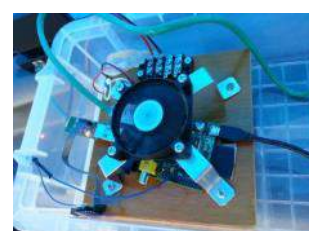


写真2 コーディネーター



写真3 ルーター

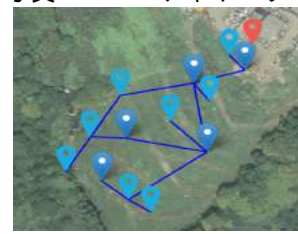


図3 現地の通信接続状況

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 3 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。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、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 4 は降水量と土壌水分率の関係の一例を示す。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。また、図 5 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表面下 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ことが推測される。

5. 数値シミュレーションの結果の考察

斜面の変状傾向や降雨、地下水位の条件に着目した数値解析を行うために、二次元断面斜面モデルを作成し、斜面形状および地質状況を変化させて、せん断強度低減法に基づいた斜面安定解析を実施した。本研究では、廃棄物埋め立て地盤のみの強度定数を変化させて、斜面安全率の算定を実施した。本解析では、覆土の有無や集中豪雨と長雨との比較に着目した計算を行った。モデルの右側面からの給水により地下水面を再現し、地盤内の水の流れが定常状態となった時を初期状態とした。斜面の表面から与える降雨強度を任意に変えることが可能である。一例として、10 mm/h の強度で 10 時間の降雨を与えた直後の飽和度分布と間隙水圧分布をそれぞれ図 6、図 7 に示す。結果としては地下水の供給に加え、斜面内に浸透した雨水が滞留しているため、降雨終了後全体安全率は徐々に低下する傾向にある。力学的安定性については、安全率で比較した場合では明確な差が確認された。特に長時間降水の場合において、すべりが発生しやすいことが確認された。

6. おわりに

各センサー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、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、継続してこれらの対応する必要がある。本研究では、降雨の影響を考慮したせん断強度低減法に基づく二次元斜面安定解析により全体安全率の算定を実施した。力学的安定性については、安全率で比較した場合では明確な差が確認された、特に長時間の降水の際に、すべりが発生しやすいことが確認された。今後は中長期的に取得したデータの分析と活用にも取り組み、モニタリングシステムの性能向上と地下水の変動を考慮した三次元斜面安定解析を進めていく。

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.

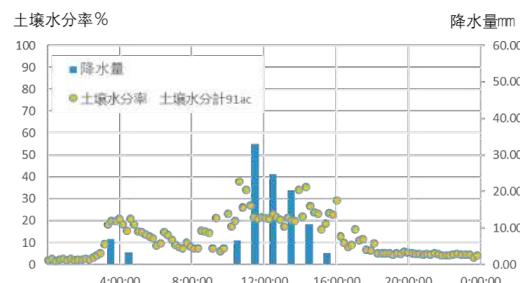


図 4 降水量と土壌水分率の関係(中段 9 月 12 日)

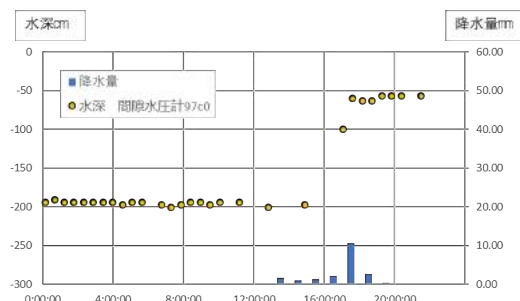


図 5 降水量と地下水位の関係(中段 11 月 10 日)

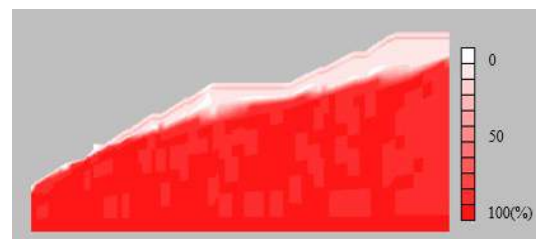


図 6 降雨直後の飽和度分布

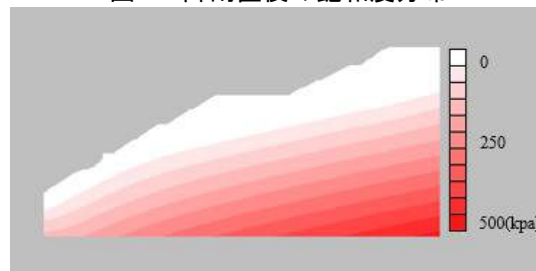


図 7 降雨直後の間隙水圧分布