

ワイヤレスセンサネットワークによる斜面地盤の各種物理量の計測とその活用

長崎大学工学部 学生会員 平野達己 長崎大学大学院 正会員 杉本知史 フェロー会員 蔣宇静 正会員 大嶺聖
長崎大学大学院 非会員 石塚洋一 岩崎昌平

1. はじめに

近年、局地的な集中豪雨や梅雨時期の長雨などのような異常気象が頻発しており、通常安定している斜面が雨水浸透により崩壊する事例が多発している。そこで、本研究ではこれまで人工的に盛り立てられた佐世保市内の斜面を対象として、降雨による地盤変状と地下水位の変化を無線センサネットワークにより観測を行ってきた。継続的なデータ収集と分析を通して、現地で観測している雨量と、地下水位の変化、地表面の変状量との相関性を明らかにすることを目的としている。

2. 現地地モニタリングの概要

2.1 モニタリング対象斜面について

図-1 の対象斜面は佐世保市内の産業廃棄物処理分場跡地で、奥行きが約 150m、幅約 120m、高さ約 40m である。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、基盤岩で構成されている。2014 年に変状が確認され、翌年の 2015 年に緩勾配化するための土砂の切り返し工事、雨水浸透低減のための覆土工、地下水位低下工を行った。しかし、再度変状が確認されたため 2016 年にモニタリングを開始した。

2.2 モニタリングシステムの概要

図-2 に各種観測機器とその設置場所を示す。現位置での観測機器（土壌水分計、水圧計、雨量計など）を利用して観測したデータを、無線センサネットワーク（以下、WSN）を通じて中継機で収集し、携帯回線を通して通信する。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。また、同所に別途、斜面変状を検知するための傾斜計を対象斜面の 13 箇所の地表面下 0.5m に設置している。なお、x、y 軸はそれぞれ斜面に対し、水平面内の直交、平行な方向を示す。

3. WSN による斜面表層の変状モニタリング

傾斜計により水平面内の累積角度や変状量を 10 分間隔で記録し、携帯回線を通じて、ブラウザ上で確認することができる。今回は 2017 年 6 月 13 日～2021 年 11 月 31 日のデータより、特に変状量の大きい図-2 中の k-8 と k-12 を取り上げて、期間中のデータを分析した。図-3 に累積角度の推移を示す。また、図-4 に 1 か月ごとの累積角度を示す。k-8 については、1 か月毎では大きな変状は見られないが、断続的に変状が発生していることが確認できる。k-12 に関しては、2020 年と 2021 年に大きな変状が見られ、経年的に変状量が増大していることが確認できる。この累積変状量をベクトルで表し、斜面の動きを視覚化したものを図-5 に示す。図-5 より、相対的な変状の大小が確認でき、k-3 や k-8 などの南東側の斜面と、k-11、k-12 付近では比較的大きな変状が確認できる。

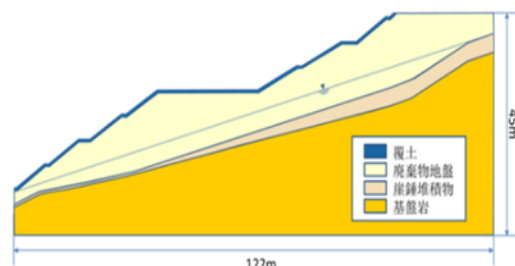


図-1 モニタリング対象斜面断面図

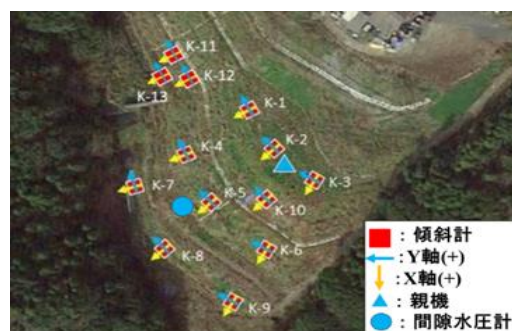


図-2 観測機器の設置位置

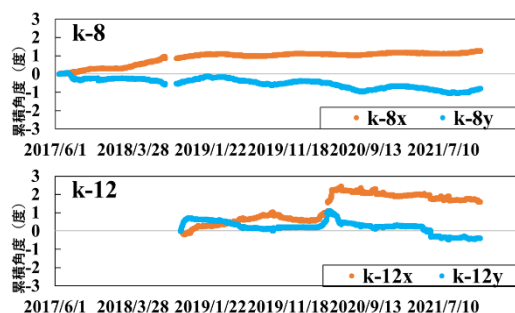


図-3 累積角度(2017 年 6 月～2021 年 11 月)

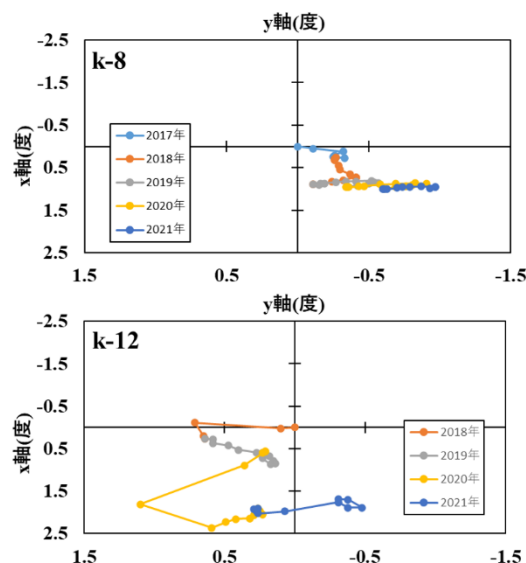


図-4 1 か月ごとの累積角度の軌跡(k-8, 12)

一方で k-2 や k-7 などの北西側では変状量が小さいことが確認できる。これより、斜面の局所的な変状傾向を面的に捉えることができる。

4. 降雨による地下水位変動と斜面変状の関係

図-2 に示した斜面下段に設置した間隙水圧計について、2017 年～2021 年のデータを用い、降雨量に対する地下水位の変化と、地下水位の変化に対する変状量について分析した。まず、降雨量と地下水位の関係より 2021 年の降水量と地下水位の推移を図-6 に示す。図-6 より、雨が降ったことにより、地下水位に変化が見られた期間をいくつかピックアップし、図-7 に示す。このグラフから、降雨に対する地下水位の上昇量との関係が必ずしも一対一の対応関係でない事が分かる。これは、少ない降雨量でも水位が上昇する一方で、多くの雨が降っても地下水位の上昇量が少ないというように、期間によって地下水位の上昇のしやすさに差があるということである。また、降水量と降雨によって上昇した地下水位との比で表されるものを雨量係数 $C_r(mm/m)$ とし、降雨前の地下水位との関係を図-8 に示す。 $C_r(mm/m)$ は雨量が多い程地下水位の変化が大きく、降雨前の地下水位が低い程水位の変化が大きくなるため、グラフでは右下がりになる。2017・2019・2021 年は右下がりとなっているが、2018 年と 2020 年は右上がりとなっている。この 2 年間では先行降雨に対し、水位が定常時まで下がり切らずに降雨が生じたため、上昇水位の変化に影響を与えたと考えられる。

次に、地下水位と変状量の関係について、2018 年から 2021 年 11 月までの水位上昇と傾斜角との関係を図-9 に示す。ここで水位上昇累積度数 ($m \cdot h$) とは、基盤岩からの地下水位をある期間ごとに累積して水位上昇の頻度を求めたものである。水位上昇累積度数に関わらず、変状量に差があることが確認できる。相関性が明確とはなっていないが、異なる対象期間を与えることで、特徴が確認できないか、さらに検討を行う。

5. おわりに

本研究では、WSN を活用した斜面のモニタリングを通して各種データの分析を行った。今後は斜面変状の進行分析や、雨量と地下水位の変化、変状量の相関性分析について検討していく。

謝辞：本研究は（一財）日本建設情報総合センターの研究助成を受けて実施しています。また、斜面変状の計測においては、中央開発(株)の計測機器提供を受けています。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中村智哉ら：斜面地盤の多点観測を目的とした手法の開発とその活用に関する研究、令和元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM), pp.349-350, 2020.3
- 2) 江藤亮太ら：斜面地盤の多点観測による変状傾向の定量的評価、令和 2 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM), pp.309-310, 2021.3

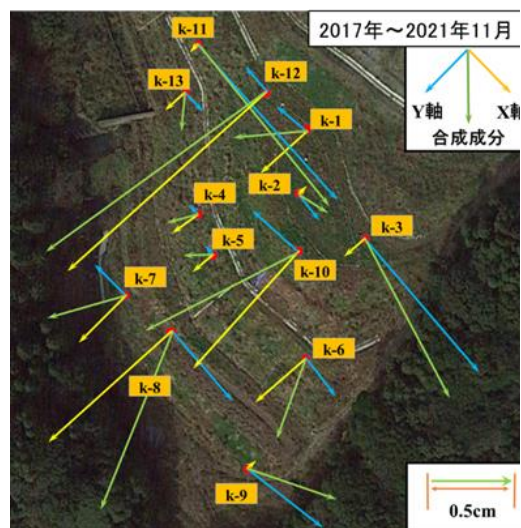


図-5 変状ベクトル (2017.06~2021.11)

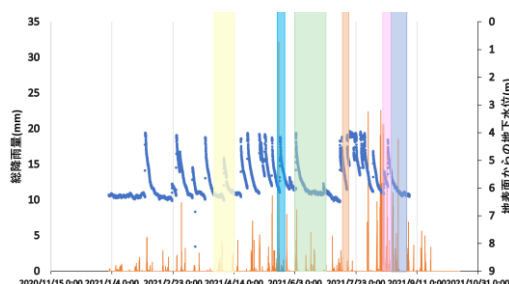


図-6 2021 年の地下水位と降雨量の関係

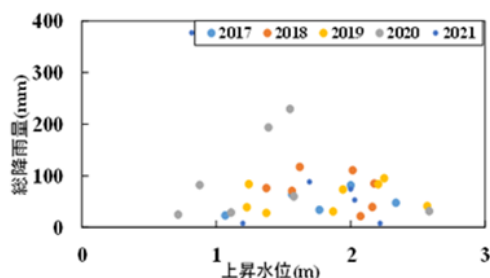


図-7 降雨量と上昇水位の関係

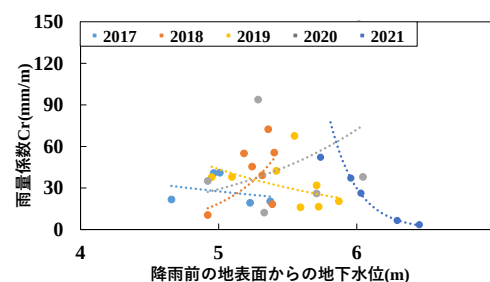


図-8 C_r と降雨前の地下水位との関係

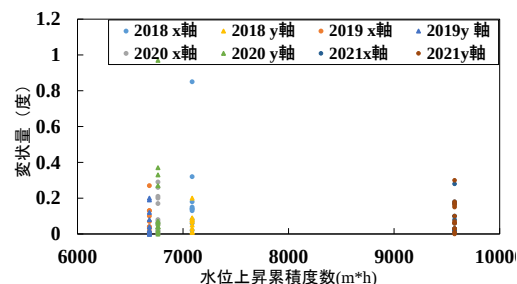


図-9 水位上昇累積度数と傾斜角の関係