

斜面地盤の多点観測手法の開発に関する基礎的研究

長崎大学工学部 学 ○石田 千裕 長崎大学大学院 正 杉本 知史 F 蔣 宇静 正 大嶺 聖
長崎大学大学院 非 石塚 洋一 高江洲 竜馬 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も多発している。わが国は、国土の約7割を山地が占めるという地理的特徴から、土砂災害の危険性のある箇所に居住地域や道路などが近接している地域も数多く存在しているため、斜面防災をさらに強化していく必要がある。そこで本研究では、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、降雨による地盤内の水の浸透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する手法を提案する。この方法のメリットとして、データ収集において人的労力が削減できること、機器間の配線が不要なため機器の設置場所を自由に選択できることなどが挙げられる。継続的なデータ収集と分析を通して斜面変状の進行を定量的に明らかにするとともに、低コストの簡易センサを開発することにより、多点観測手法の開発も目的としている。

2. 現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、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、基盤岩で構成される。現状の斜面形状は、斜面勾配1:1.5、高さは40mとなっている。本研究では、特に降雨後の斜面内の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によってデータの計測を行った。

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。本研究で採用したシステム^{1),2)}により、現場での観測機器(土壌水分計, 水圧計, 雨量計)を利用して観測したデータを、無線センサリングネットワークを通じて中継機で収集して、ネットワークを介して外部と通信することができる。これにより、遠隔地にてモニタリングを行うことができ、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、同モニタリング現場に、対象斜面の変状を把握するため、中央開発㈱の協力により双方向遠隔自動監視システムの二軸傾斜計(X・Y)が場内13箇所に設置されている。



図-1 観測対象斜面の断面図

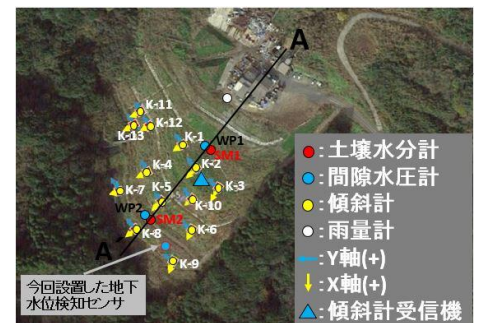


図-2 観測機器の設置位置

3. センサネットワークによる斜面表層のモニタリング

中央開発㈱の協力により設置した二軸傾斜計は深さ 50cm の位置に埋設されている。当システムは水平面内の直交方向の累積角度や変化量を 10 分間隔で記録し親機に送信され、ブラウザ上で確認することが出来る。今回は 2018 年 2 月 1 日から 2018 年 11 月 30 日のデータを取得し、期間中、総降雨量の比較的多い 2 か月間(6 月～7 月)と比較的少ない 2 か月間(2 月

～3 月)のデータを分析した。図-3 に 6 月～7 月の、図-4 に 2 月～3 月の降雨量と累積角度の関係を示した。降雨量が多い場合は、累積角度の変化が顕著に現れた。降雨により地下水位が上昇し、その影響で表層での変状が生じたことが推測される。

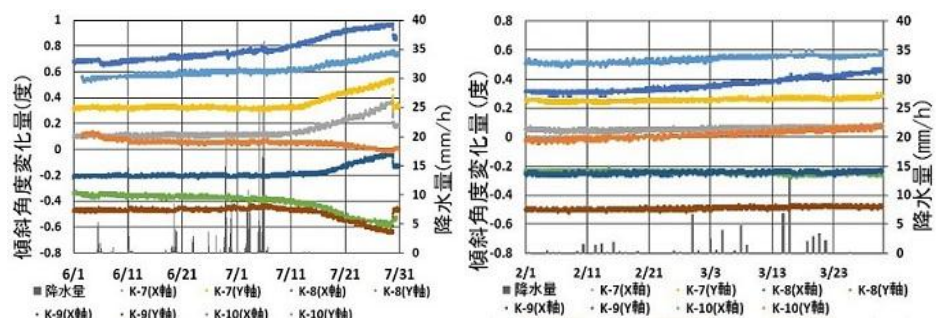


図-3 降雨量と累積角度の関係(6～7月) 図-4 降雨量と累積角度の関係(2～3月)

4. 降雨による地下水位の変動

図-2 に示した下段の間隙水圧計(WP2)について、2018 年 4 月 1 日から 2018 年 6 月 30 日までのデータを取得し、降水量に対する地下水位の変化を分析した。上記の期間における降水量と地下水位の上昇を図-5 に示す。平常時は、地表面から 10.8m の位置のセンサから約 4.5m から 4.9m の範囲に地下水位が存在しているが、降雨に伴い、地下水位の上昇が約 1.3m から 2.2m の間でみられ、地表面から約 4m の位置まで地下水位が上昇することがわかる。この期間において、降雨に伴い地下水位が上昇している 5 つの期間について、降雨と地下水位上昇との関係を分析した結果を表-1 に示す。各行の色は図-5 の色の期間に対応している。累積雨量と時間の関係を変化率で表すと、短時間で多く雨が降り、変化率が大きくなるほど、降雨開始から地下水位上昇に要する時間が短いことがわかる。

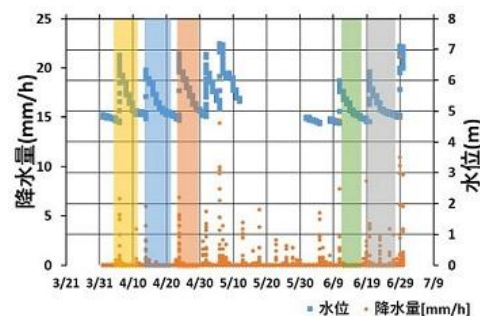


図-5 降雨量に対する地下水位の変

表-1 降雨と地下水位上昇の関係

	総降雨量(mm)	最大時間雨量	上昇水位(m)	降雨開始時刻	地下水位上昇時刻	降雨開始から地下水位 上昇にかかる時間(分)	(累積雨量/降雨開始 からの時間)
	期間中の雨量						
2018/4/5-2018/4/11	40.16	6.72	2.190	2018/4/5 20:00	2018/4/6 6:35	635	1.76
2018/4/14-2018/4/21	23.36	5.92	1.562	2018/4/14 6:00	2018/4/14 14:35	515	2.00
2018/4/23-2018/4/30	48.00	6.88	2.175	2018/4/23 19:00	2018/4/24 8:06	786	1.50
2018/6/11-2018/6/18	35.20	14.7	1.372	2018/6/11 1:00	2018/6/11 4:11	191	3.18
2018/6/19-2018/6/28	61.76	8.48	1.620	2018/6/19 5:00	2018/6/20 1:01	1201	0.124

5. パイプ型地下水位検知センサの作製と設置

多点観測の実施を念頭におき、降雨に伴う地下水位の簡易計測機器として、地表面から 500 mm 間隔で 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m の 4 点計測可能な長さ 2000 mm のパイプ型地下水位検知センサを作製し、図-2 に示す位置に埋設した。4 点の計測は、DFRobot 水分センサを用いて電圧を計測し、無線センサリングネットワークを通じて中継機で収集して、ネットワークで外部に通信することで、降雨に伴う地下水位の変化を計測する。センサの設置イメージを図-6、センサを打ち込む様子を写真-1 に示す。2018 年 12 月 17 日に設置以降、図-7 のように安定してデータ取得を行うことができていくことが分かる。

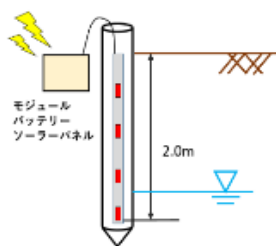


図-6 センサ設置イメージ



写真-1 センサ設置の様子

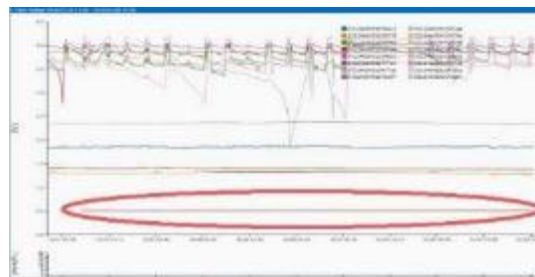


図-7 地下水位検知センサデータ表示例

6. おわりに

本研究では、無線センサネットワークを活用した斜面のモニタリングを通して斜面地盤の変動挙動の分析を行った。今後は本システムより収集したデータをもとに、対象斜面上流からの水の流入も含めた分析を行っていく予定である。また、現地に設置した簡易計測センサについて、地下水位のデータを取得して分析を行っていく。

謝辞：本研究は学術研究助成基金助成金（若手研究(B):17K13005）の助成を受けたものです。また、佐世保市環境局ならびに中央開発㈱の関係者のみなさまのご協力に謝意を申し上げます。

参考文献

- 1)堤拓摩ほか：無線センサネットワークによる産業廃棄物堆積斜面の変状モニタリング，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM)，pp.387-388，2018.3
- 2)Y. Nishikawa et al.: Design of Stable Wireless Sensor Network for Slope Monitoring, Proceedings of 2018 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks(CDROM), TU3P-18, pp.8-11, 2018.1.