

降雨に伴う斜面地盤の地下水位変化と地表面変状との相関性に関する一考察

長崎大学大学院 正会員 ○杉本 知史 非会員 石塚 洋一
長崎大学工学部 学生会員 平野達己 非会員 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地下水位上昇により崩壊する事例が多発している。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、降雨による地下水位の変化と斜面変状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. 原位置モニタリングの概要

2.1 モニタリング対象斜面の概要

図-1 の対象斜面は佐世保市内の産業廃棄物処理場で、奥行約150m、幅約120m、最大高さ約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。

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箇所を示す。水位計ならびに雨量計から得られたデータを、無線センサネットワーク（以下、WSN）により収集し、携帯回線を通してサーバーに送信する。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。なお傾斜計のx,y軸はそれぞれ斜面に向かって、手前方向、左手方向を示す。

3. WSNによる斜面表層の変状モニタリング

2017年6月13日～2021年12月31日の傾斜計から得られたデータより、特に変状量の大きい図-2中のk-12に着目して、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-12は、2018年、2020年、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る。この斜面全体の変状傾向として、斜面中腹の変状に連動して下方も変状していると考えられる。一方で変状量の小さな個所は、実際は動いているが斜面が平行移動することによって静止しているように見えることも考えられる。このようにすることで、斜面の局所的な変状傾向を面的に捉えることができるものと考えられる。

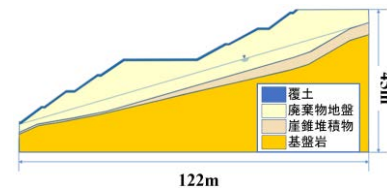


図-1 モニタリング対象斜面断面図

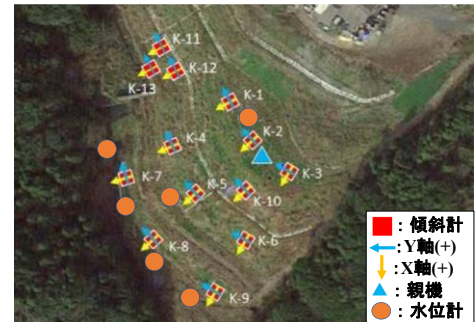


図-2 観測機器の設置箇所

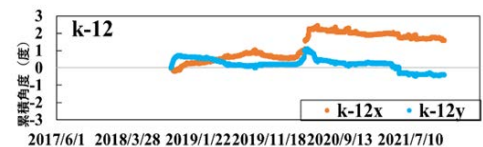


図-3 累積角度の経時変化

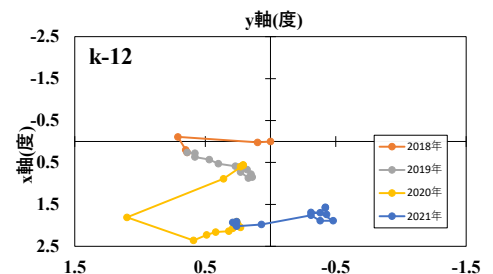


図-4 1か月ごとの累積角度の軌跡

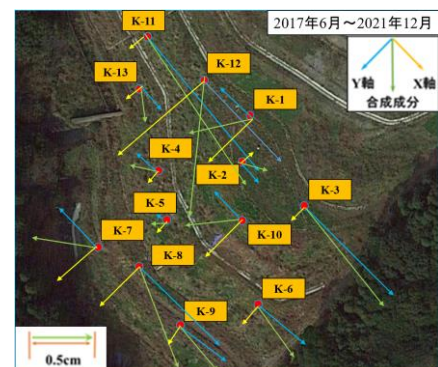


図-5 地表面の累積変位

キーワード 斜面変状, 地下水位, 無線センサネットワーク, 遠隔モニタリング

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町1-14 長崎大学大学院工学研究科 TEL.095-819-2618

4. 降雨量と地下水位の変化の関係

図-2 に示す斜面下段に設置した水位計について、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。2021 年の降雨量と地下水位の推移を図-6 に示す。図-6 より、降雨による地下水位の変化が見られた色付けした期間について、上昇水位と総降雨量との関係を図-7 に示す。これより、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、降雨量と上昇した地下水位との比で表される値を雨量係数 $C_r(\text{mm/m})^2$ とし、降雨前の地下水位との関係を図-8 に示す。 C_r は雨量が多いほど地下水位の変化が大きくなり、降雨前の地下水位が低いほど水位の変化が大きくなるため、通常グラフは右下がりとなると想定される。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。これは先行降雨に対し、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。

5. 地下水位の変化と斜面変状の関係

2019～2021 年において、地表面の変状が顕著であった期間に着目し、地下水位の変化量 $GL(\text{m})$ と地表面の変状量 $ds(\text{m})$ との関係を図-9 に示す。これより、地下水位が上昇したことで地表面に変状が生じた状況より、降雨から時間が経過し地下水位が低下する際に地表面に変状が生じている状況の方が多ことが分かる。このような場合は、図の第 3.4 象限にグラフが描かれる。一方、第 1.2 象限に描かれる場合は、地下水位の上昇と同時に地表面の変状が発生しやすい場所であることが分かる。 $k-2$ に着目すると、2019 年 8 月から 2020 年 1 月にかけて地表面の変状が少なくなっている。これは地表面が次第に安定化しつつあると考えられる。今後、このような表現により地表面の安定化の推定や変状対策の要否の判断への活用につながるものと考えられる。

6. おわりに

WSN を活用した斜面のモニタリングを通じて斜面地盤の変動挙動の分析を行い、降雨による地下水位の上昇関係や、それに伴う斜面表層の変状を確認した。また、同程度の水位の変化でも斜面変状の規模やタイミングが必ずしも一様ではなく、これらを定量的に評価することで安定化の指標となる可能性を示した。

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ました。また、斜面変状の計測においては、中央開発㈱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)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。(2)杉山雄一ら：東海地域の地下水観測データの解析—地下水変動の解析（その一）—，地質調査所月報，第 32 巻，3 号，pp133-150，1981。

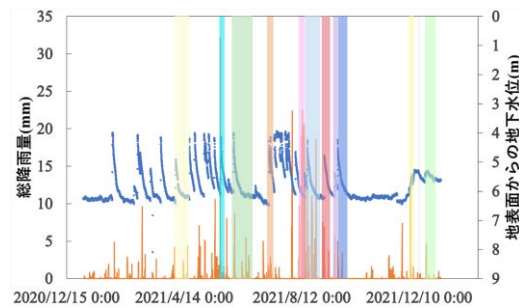


図-6 2021 年の地下水位と降雨量の関係

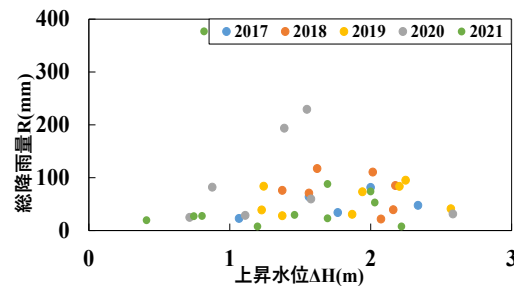


図-7 降雨量と上昇水位の関係

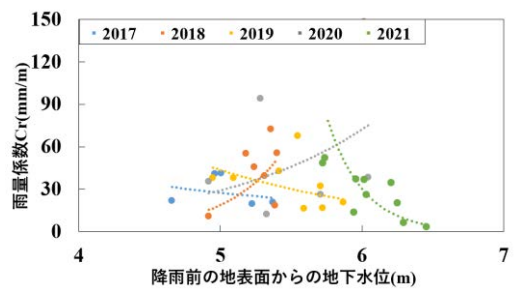


図-8 C_r と降雨前の地下水位との関係

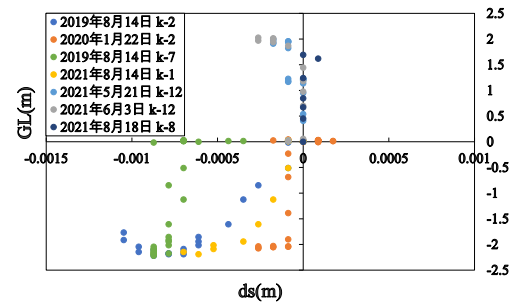


図-9 地下水位と地表面変位の関係