

降雨浸透による斜面変状の現地モニタリングと力学的考察に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○張 慧中 正会員 杉本 知史

長崎大学大学院 非会員 石塚 洋一 岩崎 昌平 (株)富士通研究所 非会員 山下 浩一郎

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。この方法のメリットとして、データ収集における人的労力の削減、機器間の配線不要による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。しかし、地形による通信の安定性、電源の確保や獣害対策などを課題として抱える。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ためのシステムを構築し、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、室内降雨浸透実験とこれに対応した数値解析による斜面変状の力学的考察を目的としている。

2. モニタリング対象斜面の概要

対象斜面は佐世保市内に位置し、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。約4年前の大雨が原因で斜面中段付近にクラックが生じたことから、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、高さは約40mとなっている。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。

3. モニタリングシステムの概要

図-1に各種観測センサの設置位置を示す。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（中継機）、コーディネータ（親機）の三つで構成している。エンドデバイスには土壌水分計・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コーディネータに通信する。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。5～10分毎に収集したデータはコーディネータに蓄積され、LTE回線を通してブラウザ上で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認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、対象斜面の変形挙動を確認するため、傾斜計を場内10箇所に設置した。深さ50cmの位置に埋設した当システムは水平方向と垂直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。



図-1 観測機器の設置位置

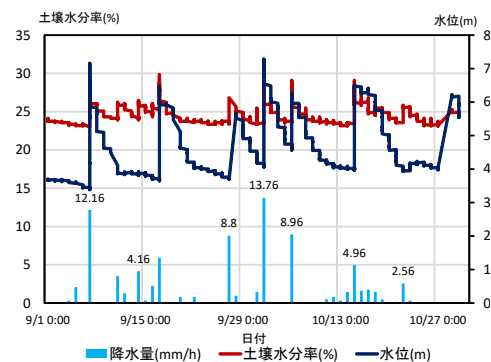


図-2 降雨量に対する土壌水分計と地下水位の関係

キーワード モニタリング, 無線センサネットワーク, 数値解析

連絡先: 〒852-8521 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 TEL:095-819-2626

4. 室内降雨浸透実験について

雨水浸透が透水性の異なる 2 層の地盤からなる斜面の安定性に与える影響を把握するため斜面模型実験を実施した。模型の概要を図-3 に示す。模型の下部に基盤岩を想定した EPS 素材を設置する。モデルの奥行きは 300mm とし、試料は上層に真砂土、下層に豊浦砂を用いる。地下水位形成再現のため、模型上段に設置した数箇所を開けたポリ容器に注水し下層を飽和させる。降雨の再現のため、模型上部から降雨強度を調節可能なノズルを用いて霧状に給水する。実験ケースは表-1 に示す 3 ケースで実験を実施した。境界条件は上面、法面と法尻は排水面、底面と右側面は非排水面とした。

実験経過時間(s)と間隙水圧、土壌水分率との関係をそれぞれ図-4 に示す。注水が下層先端部まで浸透し間隙水圧が一度定常になった後、模型上部から降水を行うと再び間隙水圧が上昇した。底面に地下水が到達してから下層が完全飽和状態になり、降水により浸潤面が上昇していくため間隙水圧値が再度上昇し、収束すると考えられる。また、上層の層厚が 2 倍になるとピークに達するまでの時間が遅く、約 5 倍になることが確認できる。

5. 模型実験を対象とした数値シミュレーションについて

斜面の変状傾向や降雨、地下水位の条件に着目した弾塑性 FEM 解析を行うため、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、室内降雨浸透実験をモデルとして、斜面安全率を算定した。入力パラメータは表-2 に示す。本解析では、室内降雨浸透実験の再現により 3 ケース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。一例として、降雨より水面上昇で変位量分布と最大せん断ひずみの分布を図-5 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、上層厚が薄く、また、降雨強度が大きい方が今回の条件で安全率がより小さくなることを確認した。

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と降雨浸透実験を行った。その結果、定常的な地下水流と地表面からの雨水浸透が斜面地盤の変状や崩壊に影響を及ぼすことが明らかとなった。今後、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て斜面安定解析を進める予定である。

【参考文献】 1) 張 慧中ほか：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，土木学会第72回年次学術講演会,pp.67-68,2017.9 2) 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,土木学会西部支部研究発表会, pp.387-388,2018.3

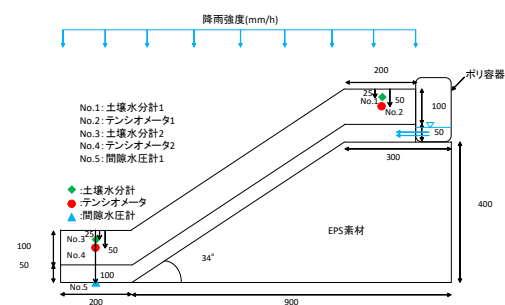


図-3 実験モデル(case1, 単位:mm)

表-1 実験ケース

Case	上層 (mm)	下層 (mm)	降雨強度 (mm/h)
1	100	50	40
2	50	50	40
3	100	50	80

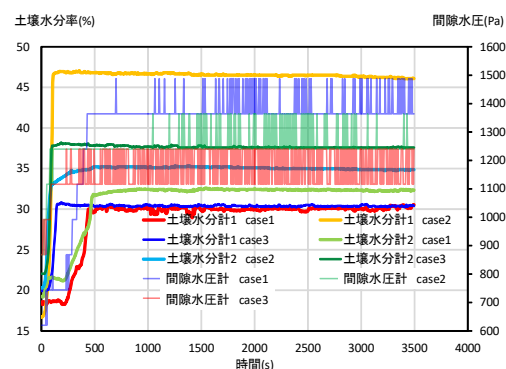


図-4 降雨による経過変化

表-2 入力パラメータ

	変形 係数 (MPa)	ポア ソン 比	乾燥 密度 (kg/m³)	粘着 力 (kPa)	せん断 抵抗角 (deg)
真砂土	200	0.3	1680	0	33
豊浦砂	200	0.3	1750	1.27	36.9
基盤岩	500	0.15	2300	-	-

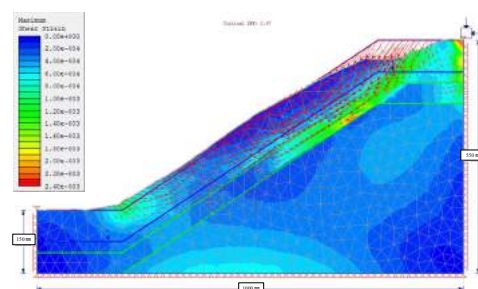


図-5 解析における地盤変位と最大せん断ひずみの分布(case 1)