

降雨および地下水流を伴う斜面地盤の安定性評価に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○張 慧中 長崎大学大学院 正会員 杉本 知史
長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖

1. はじめに

近年、異常気象や梅雨期における集中豪雨が多発し、それに伴う斜面崩壊をはじめとした数多くの土砂災害が発生している。豪雨時には、雨水浸透による間隙水圧の増大や地下水の流入量の増大に伴い有効応力が減少し、斜面崩壊へと至る可能性がある。特に、山麓部の自然斜面では地下水位の変化が多く、上流から地下水流入量の影響も考慮すべきである。本研究では、降雨に伴う斜面内の浸透流と間隙水圧挙動を明らかにするため、数値解析により、斜面の土性の違いと降水量および地下水が間隙水圧挙動に及ぼす影響を検討し、斜面変状の力学的考察を行うことを目的としている。

2. 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、取得データを浸透流解析のパラメータの一部として利用し解析する。同時に、土質試験より透水係数 K 、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、水分特性曲線などデータを各地層に対する入力物性値の設定、また、室内模型実験の結果に基づく、FLAC3Dによるシミュレーションのモデル化の妥当性を確認した上で、実現場における斜面変状の再現のための観測データに基づくモデルを構築し、シミュレーションによる斜面安定度の評価を行う。

3. 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、二次元斜面モデルを作成し、斜面形状および地質状況を変えて、せん断強度低減法に基づいた斜面安定解析を実施した。シミュレーションの流れは、①斜面モデルの作成、②地下水流の定常状態の再現、③降雨と地下水流の再現、④重力解析による斜面崩壊の有無の判定、の大きく4つに分けられる。

①斜面モデルの作成

本解析では現場の再現と降雨を伴う斜面地盤の安定性評価を目的として行う。解析に用いる物性値は既往の研究から設定した。図1のような現場を再現するために、同じ寸法の奥行き140m、高さ61.7mに設定した解析モデルを作成した。ここで、土質パラメータと降雨量が斜面の不安定化に及ぼす影響について考察するため、廃棄物層の土質定数について、異なる粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ のモデルを表1のように作成し、降雨強度 R を20、100 (mm/h) と変化させて解析を実施する。

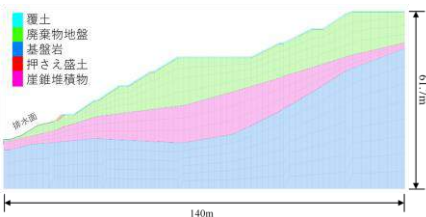


図1 解析モデルの概要

表1 解析に用いる地盤物性値

	乾燥密度 ρ_d (kg/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	ポアソン比 ν (-)	変形係数 E (MN/m ²)	透水係数 k (m/s)	間隙率 n (%)
基盤層	2300	-	-	0.25	800	3e-7	0.20
崖錐堆積物層	1700	30	0	0.30	300	3e-5	0.30
廃棄物層	1400	25	5	0.30	200	5e-5	0.30
覆土	1400	15	10	0.30	200	5e-6	0.20
押さえ盛土	2300	-	-	0.20	200	3e-5	0.20

② 地下水の定常状態の再現

解析の手順は、まず、斜面上流側から地下水の流れを与え、地下水面が原位置で観測された深さに達するまで、流れを再現し、次に斜面の表層から設定した降雨強度の降雨を境界における節点の速度水頭として与え、応力-浸透流連成解析を実施し、モデル中の間隙水圧が定常状態に至るまでに不安定化しなかつた斜面は常時安定の斜面であると判断する。降水前後の飽和度分布と間隙水圧分布をそれぞれ図 2、図 3 に示す。

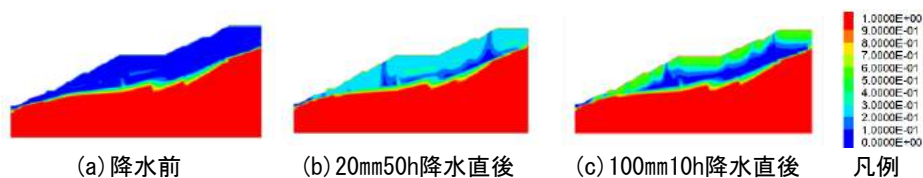


図2 降水前後の飽和度分布 (%)

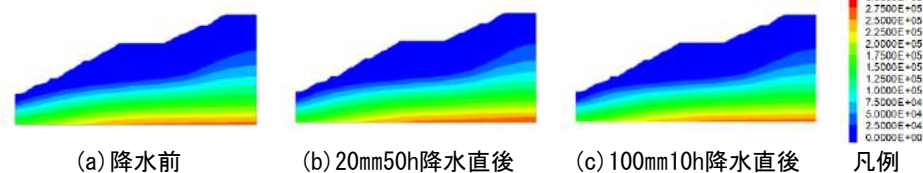


図3 降水前後の飽和度分布 (Pa)

③ 降雨と地下水流の再現

斜面崩壊となる降雨を斜面上方から与え、斜面内部に水が浸透する状況を再現する。現场上流の地下水流速、流量、または、斜面を構成する土の透水性の大小により、水の浸透のしやすさ、速さが異なるため、同じ条件で降雨を与えたとしても、浸透する水の量や時間に差が生じることが考えられる。今回のシミュレーションでは、総降雨量 1000mm を条件として、短時間に大量の降雨が発生する場合と比較的長い時間に亘り降雨が発生する場合を想定している。降水開始以降の地下水位の推移を図 4 に示す。

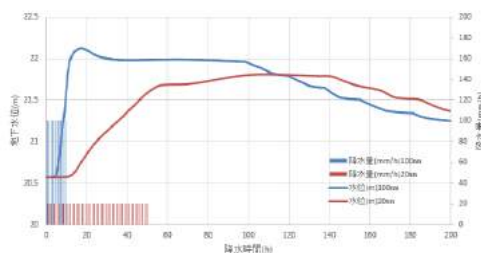


図 4 降雨と地下水位の関係

④ 重力解析による斜面崩壊の有無の判定

次に、この斜面モデルに対し重力を作用させる。ここで、土のせん断強度低減法と呼ばれる手法を用いて、斜面全体安全率を評価する。図 5 は降水開始以降の全体安全率変化図である。

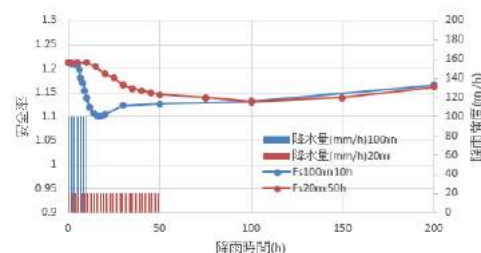


図 5 全体安全率の時間的変化

⑤ 考察

本研究では、上流の地下水流も含めて、総降雨量 1000mm を条件として、短時間に大量の降雨が発生する場合と比較的長い時間に亘り降雨を Flac3d で再現した。計算例として、廃棄物層のパラメータが $c=5\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=25^\circ$ の条件における間隙水圧と飽和度分布の変化を図 2 と図 3 の (b) (c) にそれぞれ示す。降雨開始後の斜面内の飽和度分布は、初期は表層部から飽和度が上昇し、その後、層の薄い法尻部周辺で降雨浸透の浸潤面が地下水面に達し、モデル下部から飽和度が増加していく。図 4 と図 5 より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、全体安全率は徐々に低下する傾向にあり、降水後、雨水が排出しているため、全体安全率は次第に増加する傾向が確認された。

4. おわりに

本研究では、数値解析により、斜面地盤内の地下水流と降雨の再現と斜面安定解析を行った。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。また、地下水の存在も含めて解析を実施したが、実際の地盤は局所的な地下水流によるものとみられる部分的な変状が発圧することがあるとみられることから、今後は、現場で取得したモニタリングデータとの相関性から地下水流再現方法の検討をさらに重ねる。

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。

【参考文献】1) 石田純平ほか：室内斜面模型実験による地盤内浸透流挙動の解明および数値シミュレーションによる再現性の検証，地域性を考慮した地盤防災減災技術に関するシンポジウム論文集, pp.47-50, 2015.7 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