

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基礎的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○山田 直輝 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 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。降雨時には、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、地盤内の有効応力が減少し、斜面崩壊へと至る可能性がある。また、山麓部の斜面では地下水の変化が大きく、上流からの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、斜面の土質特性の違いと降雨量および地下水が間隙水圧の挙動に及ぼす影響を検討し、原位置の再現と降雨を伴う斜面地盤の安定性評価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する安定型産業廃棄物処分場跡地であり、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。2013年の大雨が原因で変状が生じ斜面下段でせり出し、中段付近に大規模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 である。本研究では、特に降雨後の斜面内の飽和度や地下水位の上昇に着目し、解析による斜面の安定性の評価を行う。

3 数値シミュレーションについて

対象とする地盤を連続体とみなす代表的な数値解析手法としては、有限差分法と有限要素法が挙げられる。有限差分法(FDM)は構成則の定式化が容易であるため、陽解法による定式化に基づき時間増分ごとに応力-変形の計算を実行する場合には、有限要素法などよりも有利である。本研究では、P.A.Cundall らが開発した陽解法を基本とした大変形有限差分法解析コードである FLAC を用いることにした。FLAC は多孔質媒体を対象とした浸透解析の機能を有しており、応力変形解析とは別に浸透解析単独での実施が可能であり、また、応力-浸透流連成解析も行える。

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 FDM 解析を行うため、二次元斜面モデルを作成し、斜面の構成地質について異なる条件を与え、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、物性値の設定、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。

3.1 斜面モデルについて

対象とする斜面を再現するため、同じ寸法の奥行き 140m、高さ 61.7m に設定した解析モデル(図-1)を作成した。解析に用いる物性値は表-1 に示すように既往の研究に基づいて設定した。また、図-2 に原位置での地下水位と降雨量の推移(2020/4/9~2020/11/5)を示す。これより、

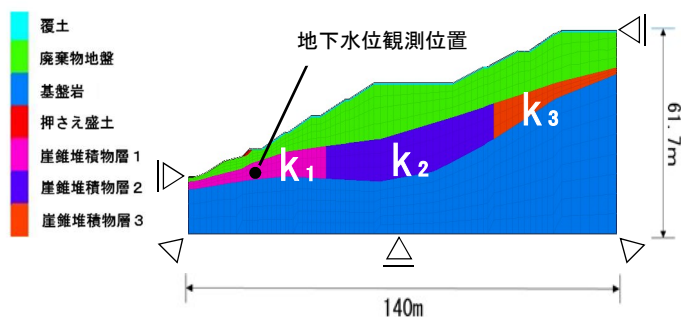


図-1 解析モデルの断面図

表-1 解析に用いる地盤物性値

	乾燥密度	内部摩擦角	粘着力	ポアソン比	変形係数	透水係数	間隙率
	ρ_d (kg/m ³)	Φ (°)	c (kN/m ²)	ν (-)	E (MN/m ²)	k (m/s)	n (-)
基盤岩	2300	-	-	0.15	1000	5.0×10^{-10}	0.2
崖錐堆積物1	1700	35	0	0.30	300	$5.0 \times 10^{-7} \sim 5.0 \times 10^{-9}$	0.3
崖錐堆積物2	1700	35	0	0.30	300	$5.0 \times 10^{-7} \sim 5.0 \times 10^{-9}$	0.3
崖錐堆積物3	1700	35	0	0.30	300	$5.0 \times 10^{-7} \sim 5.0 \times 10^{-9}$	0.3
産業廃棄物地盤	1400	37	8	0.30	200	3.0×10^{-7}	0.3
覆土	1400	15	10	0.30	200	5.0×10^{-8}	0.2
押さえ盛土	2300	-	-	0.15	300	3.0×10^{-7}	0.2

対象斜面での地下水位は、斜面下方において数十 mm の降雨時に約 1~3m 上昇することが確認できる。また、地下水位の変動が降雨直後に生じており、敏感な反応も確認できる。水位が上昇しやすい原因として、透水層内での場所による透水性の違いから発生しているのではないかと考え、常時地下水面を形成している崖錐堆積物層の透水性が地下水位上昇へ与える影響を再現するため、図-1 に示すように崖錐堆積物層を 3 分割し、透水係数の大きさを $5 \times 10^{-7} \text{m/s}$, $5 \times 10^{-8} \text{m/s}$, $5 \times 10^{-9} \text{m/s}$ と異なる値を与えて計算を行った。

3.2 地下水の定常状態と降雨の再現

解析の手順として、斜面上流側から地下水の流れを与え、定常的な地下水面を再現し、次に斜面表層から降雨強度 100mm/h, 総雨量 1000mm を与え、降雨を再現する。降雨開始前後の飽和度分布を図-3, 図-4 に示す。表層部から飽和度が上昇し、その後、降雨浸透の湿潤面が地下水面に達している。図-3 の条件では、斜面下方部での地下水位の上昇が約 0.06m なのに対し、図-4 の条件では、約 0.9m の水位上昇が確認できた。これより、斜面下方部の透水係数が小さい場合に地下水位の上昇が発生しやすいことがわかる。

3.3 重力解析による斜面の安定性評価

本研究では、せん断強度低減法による全体安全率の算定を実施した。図-5 では透水係数の違いによる安全率の変化を示した。透水係数の値の大小を、 k_1 , k_2 , k_3 の順番で示した。グラフより、降雨開始と同時に安全率が低下すること、斜面下方の透水係数が小さくなるほど、安全率が低下することが確認できる。

4 おわりに

本解析では、有限差分法による降雨を伴う斜面の地下水位変動の再現と安定性評価を行った。今後は実態に則した降雨量を用いた解析や水みちを再現した解析を行い、斜面で発生している地下水位の上昇をシミュレーション上でより実態に即した再現方法を検討し、安定性評価を行う。

参考文献

- 1) 中村聖樹ら：降雨および地下水流を伴う斜面の力学的安全性の評価に関する研究，令和元年度土木学会西部支部研究発表会概要集(CD-ROM)，pp.415-416，2020
- 2) 張慧中ら：降雨及び地下水流を伴う斜面地盤の安定性評価に関する研究，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会概要集(CD-ROM)，pp.335-336，2019

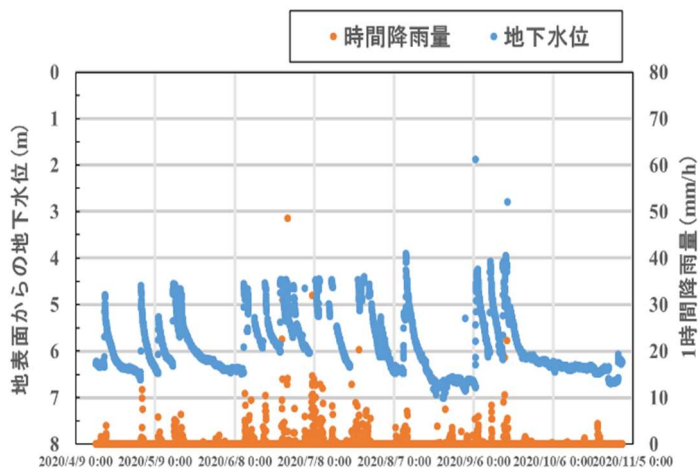


図-2 2020/4/9~2020/11/5 の地下水位データ

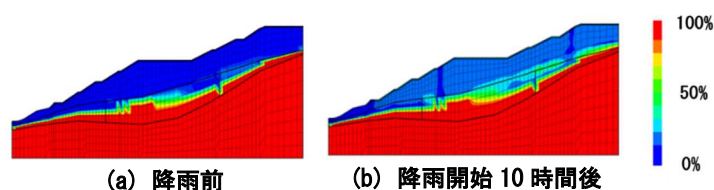


図-3 飽和度分布 ($k_1: 5.0 \times 10^{-7}$ $k_2: 5.0 \times 10^{-8}$ $k_3: 5.0 \times 10^{-9}$)

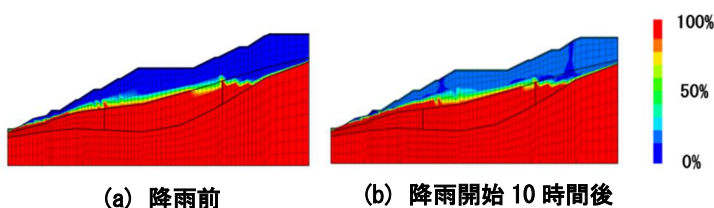


図-4 飽和度分布 ($k_1: 5.0 \times 10^{-9}$ $k_2: 5.0 \times 10^{-8}$ $k_3: 5.0 \times 10^{-7}$)

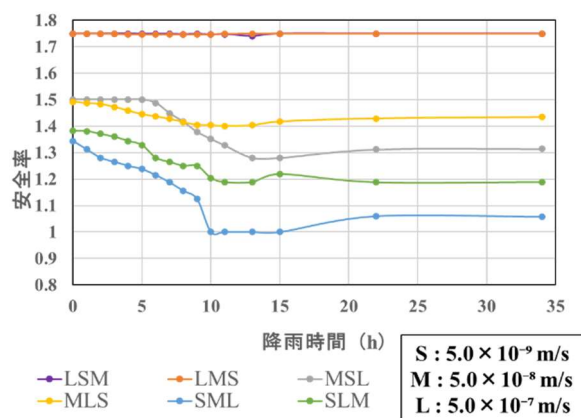


図-5 透水係数と安全率の関係