

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

長崎大学工学部 学生会員 ○中村 聖樹 長崎大学大学院工学研究科 正会員 杉本 知史
長崎大学大学院工学研究科 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、雨水浸透により、土塊の荷重と間隙水圧が増加し、有効応力が減少する。これにより、斜面崩壊へと至る可能性がある。また、山麓部の自然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存在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 40cm となっている。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、解析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

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

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。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である。解析に用いる物性値は既往の研究から設定し、表 1 に示した。降雨強度を 20mm/h として解析を行った。

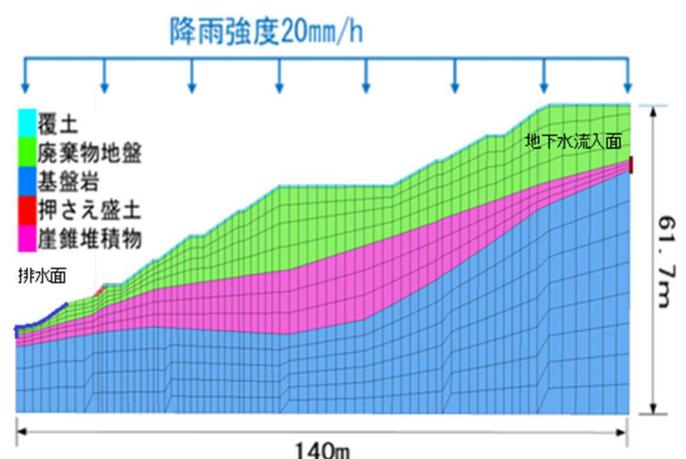


図 1 解析モデルの概要

3. 2 透水係数による間隙圧の大きさの関係

現地で観測している地下水位は、斜面下方において数十 mm 降雨時に急上昇する傾向にあることを確認している。本研究では廃棄物層下の崖錐堆積物層の透水性の地下水位上昇への影響を確認するため、崖錐堆積物層の透水係数の大きさを 3×10^{-3} 、 3×10^{-5} m/s と変化させたモデルを作成し、解析を行った。透水係数を変えたときの、飽和度分布を表したものを図 2、間隙水圧分布を表したものを図 3 に示す。図 2 から、透水係数が下がると飽和度分布は高くなっていることから、地下水位が上昇していることが分かる。また、図 3 から、透水係数を下げることにより、間隙水圧分布が上昇していることが確認できる。これより透水係数を下げることにより、間隙水圧が上がるという関係が確認された

表 1 解析に用いる地盤物性値

	乾燥密度 ρ_s (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	3×10^{-7}	0.20
崖錐堆積物層	1700	10-40	0-30	0.30	300	3×10^{-5}	0.30
廃棄物層	1400	10-40	0-30	0.30	50	5×10^{-5}	0.30
覆土	1400	15	10	0.30	50	5×10^{-6}	0.20
押しえ盛土	2300	-	-	0.20	50	3×10^{-5}	0.20

また、図 3 から、透水係数を下げることにより、間隙水圧が上がるという関係が確認された

3. 3 廃棄物層の粘着力と崩壊変位の関係

崖錐堆積物層の透水係数の大きさを 3×10^{-7} m/s の時の、粘着力の大きさを、 $c=40$ 、 80 kN/m² と設定した時の地盤の崩壊変位分布を図 4 に示す。粘着力が上がると崩壊する範囲が広範囲に及んでいることが分かった。

3. 4 考察

透水係数を下げることにより、地下水位が上昇し、間隙水圧が増加していることから、この時の崩壊には、地下水位の上昇と間隙水圧の増加が関連していると考えられる。また、粘着力の増加により、崩壊がより広範囲に地盤を巻き込んで起こっていると考えられる。地下水の上昇による、崩壊の様子を確認することができたが、まだ、雨による影響は少ない状態で、崩壊が起こっているため、今後は雨による影響を大きくしていき、崩壊を観察する必要があると考える。

4 おわりに

現場の透水係数との関連があることが分かった。現場ではより大きな地盤の動きが確認されているため、解析との差が大きい状態となっており、さらに、シミュレーション手法の改善の余地があるものと考えられる。

参考文献

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，pp.335-336，2019.

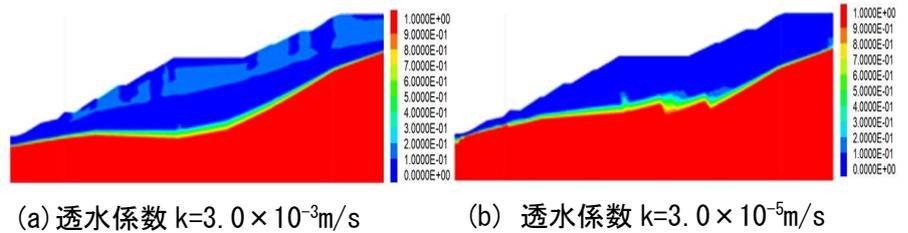


図 2 飽和度分布

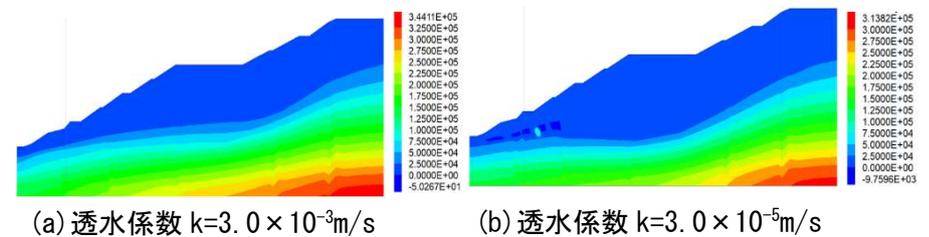


図 3 間隙水圧分布

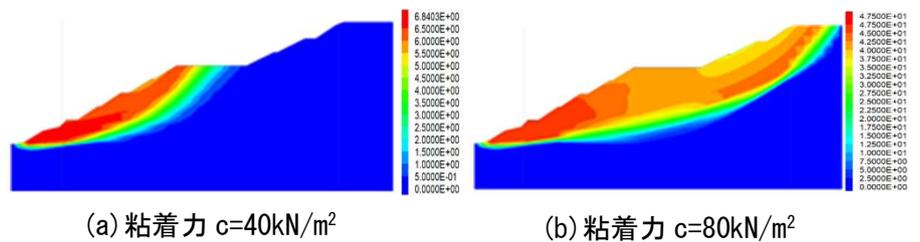


図 4 崩壊変位分布