

水みちの存在に着目した降雨及び地下水流を伴う斜面地盤の力学的安定性評価

長崎大学工学部 学生会員 加藤 優奈 学生会員 ○境田龍之介
長崎大学大学院 正会員 杉本 知史 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。本研究では、数値シミュレーションにより、経年的に地すべりが進行することで、斜面内の水みちに部分的に閉塞が生じる状況を再現した上で、地下水流が地下水位の変化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力学的安定性評価を行うことを目的とする。

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、その下が崖錐堆積物、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孕み出し、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。

3 数値シミュレーションによる再現と評価

本研究では、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。FLACは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。

3.1 斜面モデルについて

対象とする斜面と同じ寸法の奥行き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、表-2に示すように既往の研究に基づいて設定した。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た¹⁾。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た。この状況を再現するため、既往の研究結果に基づいて地盤内に水みちとその閉塞の存在を想定し、今回の研究では、その水みちの閉塞が起こり得る条件を様々な仮定し、解析を行った。水みちを仮定したケース0¹⁾、斜面末端部の水みちが閉塞したと仮定し、崖錐堆積物b1の透水係数を $1.0 \times 10^{-2} \text{m/s}$ とした「ケース1-①¹⁾」、 $5.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ とした「ケース1-②¹⁾」、さらに、図-1の斜面下部の崖錐堆積物層b2の位置で水みちが閉塞したと仮定した「ケース2¹⁾」、斜面中央部の崖錐堆積物層b3の位置で水みちが閉塞したと仮定した「ケース3¹⁾」の5通りの解析結果を比較した。

3.2 斜面末端部の水みちの閉塞

解析の手順として、斜面高部側方から地下水の流れを与え、定常的な地下水面(地表面から約6.5m)を再現し、次

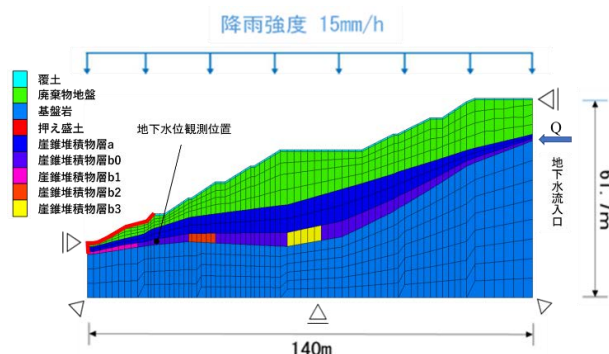


図-1 解析モデルの断面図

表-1 解析に用いる地盤物性値

	乾燥密度 $\rho_d(\text{kg/m}^3)$	せん断抵抗角 $\Phi(^{\circ})$	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	ポアソン比 $\nu(-)$	変形係数 $E(\text{MN/m}^2)$	間隙率 $n(-)$	透水係数 $k(\text{m/s})$
基盤岩	2300	-	-	0.15	1000	0.2	5.0×10^{-7}
崖錐堆積物層a	1700	35	0	0.3	300	0.3	5.0×10^{-5}
崖錐堆積物層b0, b1, b2, b3	1700	35	0	0.3	300	0.3	-
産業物地盤	1400	37	8	0.3	200	0.3	3.0×10^{-5}
覆土	1400	15	10	0.3	200	0.2	5.0×10^{-7}
押え盛土	2300	-	-	0.15	300	0.2	3.0×10^{-5}

表-2 崖錐堆積物層bの透水係数(m/s)の設定条件

	b0	b1	b2	b3
ケース0	2.5×10^{-2}	2.5×10^{-2}	2.5×10^{-2}	2.5×10^{-2}
ケース1-①		1.0×10^{-2}		
ケース1-②		5.0×10^{-3}		
ケース2		2.5×10^{-2}	1.0×10^{-2}	
ケース3			2.5×10^{-2}	

キーワード 斜面, 有限差分法, 水みち, 地下水, 安全率

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 TEL095-819-2618

に斜面表層から降雨強度 15mm/h, 降雨量 150mm を与えた。また、降雨に伴い、斜面高部境界からの地下水流入量も増加させた。図-2 に斜面高部境界からの地下水流入量 Q が $20.01\text{m}^3/\text{h}$ のときのケース 1-①, 1-②の降雨と地下水位の関係を示す。この結果から斜面下部の透水係数を半分にすると地表面からの地下水位の変化が約 2.5 倍となり、現地を観測されている水位変化と同じ傾向を示した。次に、せん断強度低減法による全体安全率を算定した。また、斜面高部境界からの地下水流入量の増加が安全率に与える影響を確認した。図-3 から斜面末端部の透水係数を半分にすると、安全率が 1.0 を下回るのに必要な地下水流入量が大幅に減少した。このことから、水みちを伴う斜面において、わずかな地すべりによる変化がこの閉塞をもたらし、ひいては崩壊の危険性を高めることを示唆している。

3.3 斜面下部, 中央部での水みちの閉塞

3.2 の状況に対し、斜面内の奥部で水みちの閉塞が発生する状況について、シミュレーションを行った。図-3 から、想定した斜面下部, 中央部での水みちの閉塞が、安全率を低下させることは確認されなかった。ここで、図-4 と図-5 においてケース 1-①とケース 3 を比較すると、地下水流入量に対する地下水位の上がり方はほとんど同じであるにも関わらず、ケース 3 の方が斜面高部側方からの地下水流量 Q が約 2 倍も異なった。この結果から、想定にはなるが、今回対象とする斜面の下部, 中央部などで閉塞が起こることが結果的に、末端部への流化を遅らせるような遅延効果があると考えられる。よってこのことが、図-3 のような安全率の結果を生んだと考えられる。またそのため、ケース 1-①よりケース 3 の方がより過剰間隙水圧が増大する範囲が狭まり、この結果として図-6 よりケース 3 の崩壊範囲が局所化するような結果に繋がったのではないかと考えられる。

4 おわりに

斜面末端の水みちの閉塞の状況により崩壊の危険性が高まることから、斜面末端部の透水係数を悪化させないための対策を講じることが必要である。また、今回の対象斜面においては、想定した斜面下部, 中央部で水みちに閉塞があるほうが、水みちの閉塞が何もないよりも安全率の低下が少しでも緩和されているため、この結果を積極的に活用するとすれば、人為的な応急対策として、一時的に安全率が下がりそうなところに対して、強制的に閉塞部を作ることで、少しでも安全性を改善できる可能性があると考えられる。

参考文献

1)山田直輝ら：降雨および地下水流入を伴う斜面の力学的安定性に関する研究，令和2年度土木学会西部支部研究発表会概要集(CD-ROM), pp.321-322, 2021.

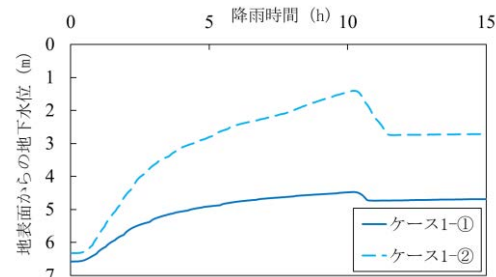


図-2 降雨時間と地表面からの地下水位の変化

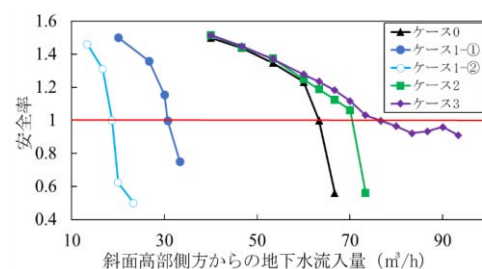


図-3 斜面高部側方からの地下水流入量と安全率の変化

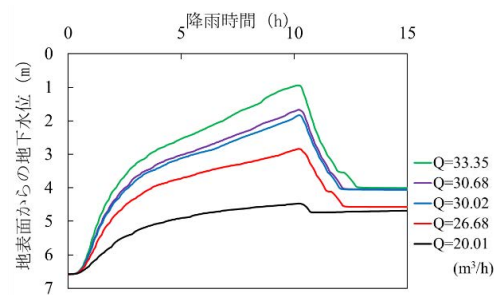


図-4 異なる流入量を与えた時の地下水位の変化 (ケース 1①)

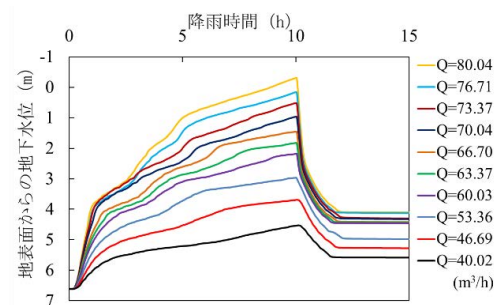


図-5 異なる流入量を与えた時の地下水位の変化 (ケース 3)

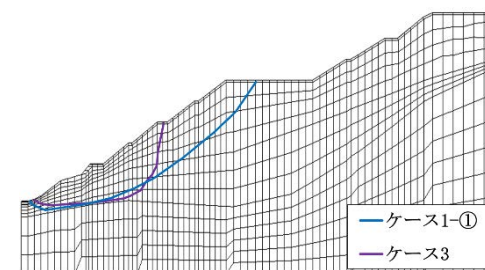


図-6 想定されるすべり面の位置