

地盤の風化を考慮した斜面の安定性評価に関する基礎的研究

長崎大学大学院 学生会員 尾方裕介 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
 長崎大学大学院 学生会員 石田純平 株式会社地層科学研究所 正会員 東 幸宏

1. はじめに

わが国の地形は山岳が多いという特徴を有しており、国土の約70%は山岳・丘陵地帯である。山岳・丘陵地帯の表層付近における典型的な成層状態として、地山の風化・堆積によって形成された地盤が見られ、地震や集中豪雨によりしばしば斜面崩壊が発生し、その被害が大きくなる。そのため斜面安定解析の精度向上は重要となる。斜面安定解析は同一層においては一般に土質定数が均一であるという仮定のもと行われるが、実際は風化等の影響により様々な粒径の土粒子や岩によって構成されているため土質定数は均一とはいえない。そこで本研究では風化を定量的に表現し、有限差分法による応力浸透流連成解析を行うことで、風化が及ぼす斜面安定への影響の評価を行うことを目的としている。

2. 解析の概説

本研究では気相と液相の二つを扱う気液二相流解析を扱うものとした。二相流とは気相と液相の2つの流れでありその挙動はどちらもダルシー則に従うものとする。以下の式(1)、(2)はダルシー則である。

$$q_i^w = -k_{ij}^w \kappa_r^w \frac{\partial}{\partial x_j} (P_w - \rho_w g_k x_k) \quad (1) \quad q_i^g = -k_{ij}^g \frac{\mu_w}{\mu_g} \kappa_r^g \frac{\partial}{\partial x_j} (P_g - \rho_g g_k x_k) \quad (2)$$

ここで、 k_{ij} は飽和透水係数、 κ_r は流体の比透水係数、 μ は動粘性係数、 P は間隙圧、 ρ は流体の密度、 g は重力であり、添字の w は水を、 g は空気を表わす。式(1)と式(2)の比透水係数 κ_r は式(3)および式(4)に示す van Genuchten の実験法則により与えられる。式中の S_e は有効飽和度であり、式(5)で定義される。

$$\kappa_r^w = S_e^b \left[1 - (1 - S_e^{1/a})^a \right]^2 \quad (3) \quad \kappa_r^g = (1 - S_e)^c \left[1 - S_e^{1/a} \right]^{2a} \quad (4) \quad S_e = \frac{S_w - S_r^w}{1 - S_r^w} \quad (5)$$

ここで、 a 、 b 、 c は定数パラメータ、 S_r^w は残留飽和度である。式(1)と式(2)において流体の輸送が表現されており、応力変形解析や浸透流解析の単独実施、応力 - 浸透流連成解析の実施が可能であることから、有限差分法応力 - 浸透流連成解析手法を本研究で用いることにした。

3. 地盤材料に対する風化の影響の考え方と解析モデル

風化による地盤や岩盤の状態変化は多様なものであり、土質定数の変化も多様である。岩の風化に伴い粘着力、内部摩擦角は共に減少するものとされるが、土の風化においては礫から砂、粘土に変化するに従い、細粒分が増加するため、内部摩擦角は減少するが粘着力は増加していくものと考えられる¹⁾。

図-1 は解析のモデルと境界条件を示したものである。風化度合の異なる、強風化岩 A と強風化岩 B の上に風化土層が存在するものである。また、物性値は表-1 に示す通りである。本研究ではこの風化土層の風化に特に着目し解析を実施するものである。本解析では弾塑性有限差分法を用いた。

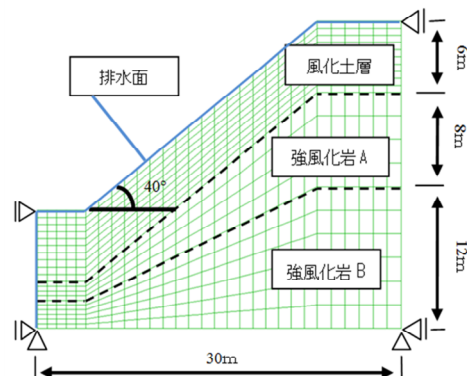


図-1 解析モデル

表-1 地盤の入力物性値²⁾

	内部摩擦角 °	粘着力 kPa	ポアソン比	密度 kg/m ³	弾性係数 MPa	透水係数 10 ⁻⁷ m/sec	初期飽和度 %
風化土層	図-2に示す値		0.3	1800	200	300	40
強風化岩A	38	30	0.13	2000	300	10	40
強風化岩B	40	100	0.13	2100	600	1	40

キーワード 風化, 強度定数, 斜面安定

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システム科学部門 TEL095-819-2618

4. 解析ケース

本解析では深度毎に強度定数を変化させることにより風化を解析モデル中に再現するものとした。その際、風化度の違いを表現するため case1.1～case3.3 を設定した。また、同一地層内で風化を考慮していない case1～case6 も設定した。それぞれのケースを図-2 に示す。本解析ではこれらのケースに異なる降雨強度を与えるものとした。

5. 崩壊発生メカニズム

図-3 に case1.1 の 25mm/h における塑性領域と間隙圧の経時変化を示す。また、図中の時間は降雨開始からの時間を示している。図中の Y 値はモールの応力円とモールの破壊規準線の距離（単位：Pa）であり、その値が小さいほどメッシュが塑性化に近づいていることを表す。降雨開始 50 時間後においては表層の法尻部において塑性化領域が大きく広がっている。間隙圧に着目すると、表層法尻部においてほとんど間隙圧が上昇していない。このことより、表層法尻部におけるメッシュの塑性化の原因は、降雨による自重増加と応力の集中であると考えられる。なお、この時点で斜面は崩壊していない。60 時間後では、風化層と岩盤層を境にして、斜面崩壊が発生している。この際、境界面において大きく間隙圧が上昇していることから、間隙圧の上昇により崩壊が発生していることが分かる。

6. 斜面安定性への風化の影響

深度方向に風化の差異を考慮した case1.1 と風化を考慮していない case1, case4 の比較を行った。降雨強度 25mm/h における、各ケースの塑性領域の経時変化を図-4 に示す。まず結果としては case1.1, case1, case4 のすべてで斜面の崩壊が発生した。しかし、その崩壊発生時間は大きく異なるものであった。case1.1 は 60 時間後、case1 は 250 時間後、case4 は 70 時間後でそれぞれ崩壊に至った。そこで、図-5 に各ケースの崩壊時間と降雨強度の関係を示す。破線で示しているものが、深度方向に風化の差異を考慮したケースである。この図から、風化を考慮したケースではより早く発生していることが分かる。また、これらの崩壊は全ケースとも風化層と岩盤層の境界面を通る崩壊であった。

7. まとめ

本研究では、地盤材料の風化が斜面の安定性に与える影響を評価するために、強度定数を深度毎に変化させ、風化を解析モデル上で再現した。これにより、風化を考慮した地盤では間隙圧の上昇による斜面崩壊が発生しやすく、地盤層と岩盤層の境界面を通る崩壊が発生しやすいことが明らかになった。

参考文献

- 1) 西田一彦，青山千影：物理強度特性から見た乱さないまき土の分類，土木学会論文集 第 352 号，pp.159-168，1984
- 2) 岩盤力学委員会：軟岩評価・調査・設計・施工への適用：土木学会，pp.82-83，1992

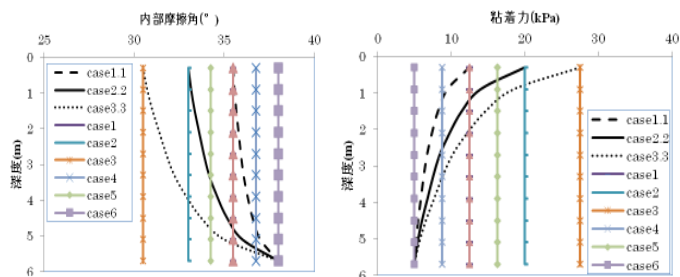
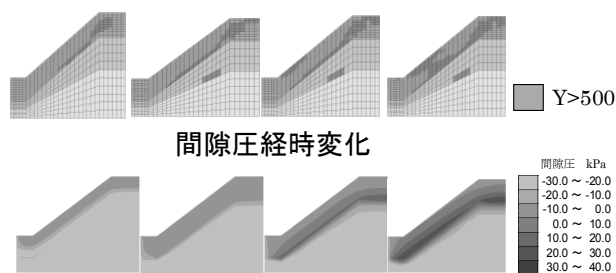


図-2 解析ケース
塑性領域経時変化



20 時間 40 時間 50 時間 60 時間
図-3 塑性領域，間隙圧の経過時間変化

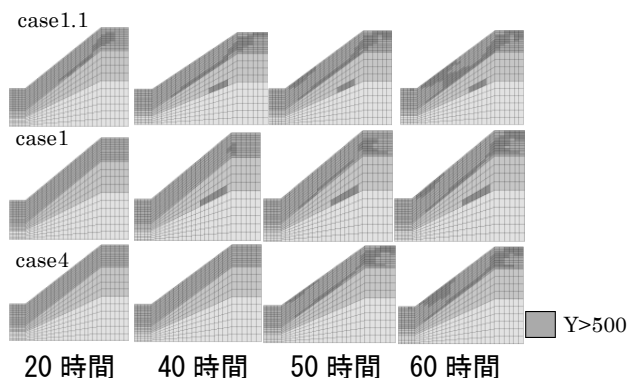


図-4 各ケースの塑性領域の経時変化

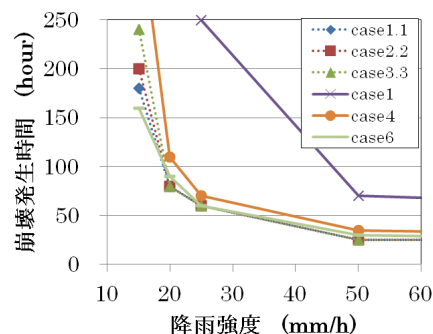


図-5 降雨強度と
崩壊発生時間の関係