

粒子法による火山砕屑物からなる斜面の崩壊予測に関する試み

火山砕屑物 斜面崩壊 変形解析

名古屋大学 国際会員 ○野々山 栄人
 名古屋大学 国際会員 中野 正樹
 名古屋大学 国際会員 野田 利弘
 中部大学 国際会員 余川 弘至
 中部大学 正会員 浅野 憲雄
 中部大学 学生会員 武藤 大和

1. はじめに

我が国の国土の1/4は火山地域で占めている。この火山地域では、火山噴火以外にも地震や異常気象の影響によって多発する豪雨を誘因とした土砂災害が発生し、甚大な被害が発生している。これらの地域の地質特性として、火山噴火の際に噴出される火山岩および火山灰（以下、火山砕屑物と呼ぶ）が堆積している。

本研究では、火山地域における地盤災害の軽減に向けて、火山砕屑物で覆われた斜面の崩壊予測を行うことを目的としている。そこで、焼岳白水谷斜面（岐阜県）を研究対象とし、別報¹⁾では、現地で採取した火山砕屑物を用いた各種土質試験結果を報告した。本報では、土の骨格構造の働きを考慮することができる弾塑性構成モデル²⁾を搭載した粒子法を用いて、斜面の変形解析を試みる。解析に用いた材料定数は、現地で採取した試料を用いて実施した土質試験より決定する。また、解析断面については、デジタル写真測量の結果より、三次元形状を取得し、現地踏査結果を踏まえて解析断面を決定する。

2. 材料定数の決定

本研究では、土の骨格構造概念に基づいて、焼岳白水谷斜面に堆積した火山砕屑物の力学挙動を把握し、その材料定数を決定する。図1, 2に火山砕屑物を用いて実施した非排水三軸試験結果、標準圧密試験結果および弾塑性構成モデルによる再現結果を併せて示す。三軸試験では、攪乱試料と突き固めることによって供試体を作製した。一方、標準圧密試験に用いた試料は、現地で採取した未攪乱試料を用いた。なお、図1では、太線が実験結果、細線が解析結果であり、図2では、プロットが実験結果、実線が解析結果である。解析結果は実験結果を概ね再現できている。有効応力経路に着目すると、平均有効応力 p' が一度減少した後、 p' は増加に転じ、それに伴って軸差応力 q も限界状態線に沿って増加する過圧密土のような挙動が見られた。表1, 2に再現により得られた材料定数と初期値を示す。今回採取した火山砕屑物は、初期過圧密比を有していることがわかる。

3. 現地踏査ならびにデジタル写真測量による解析断面の取得

解析断面の取得には、現地で撮影した写真を用いてデジタル写真測量を実施し、斜面の三次元形状を作成した。得ら

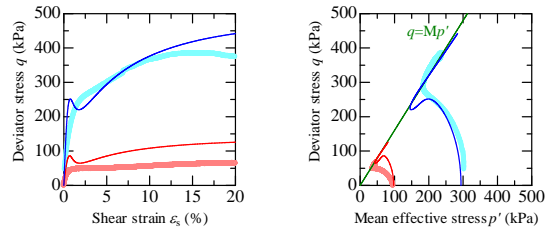


図1 非排水三軸試験の再現

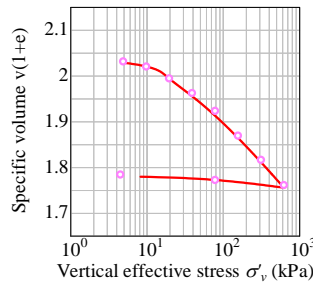


図2 標準圧密試験の再現

表1 材料定数

パラメータ	値
圧縮指数	0.090
膨潤指数	0.011
限界状態定数	1.55
NCLの切片	1.92
ポアソン比	0.3
正規圧密土化指数	0.25
構造劣化指数	6.5
構造劣化指数	0.8
回転硬化指数	0.0
回転硬化限界定数	0.0

表2 初期値

	比体積	構造の程度	過圧密比	鉛直応力
98.1kPa	1.91	8.0	125.1	9.81
294.3kPa	1.81	6.0	332.7	9.81
標準圧密試験	2.03	3.0	22.9	4.9

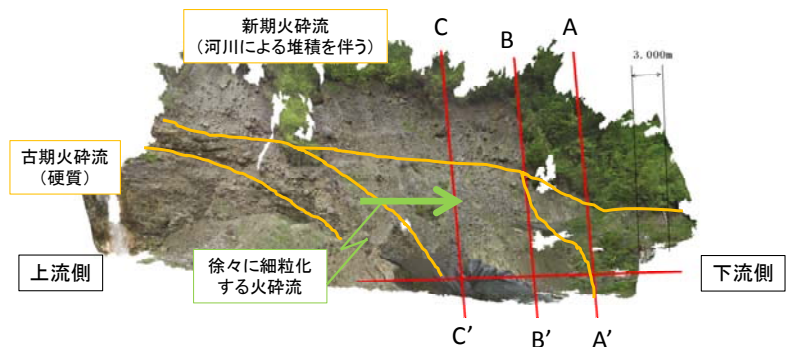


図-3 現地踏査結果ならびに解析断面

れた三次元形状から、CAD ツールを介して解析断面を作成した。図 3 に現地踏査の結果ならびに解析対象断面（赤線部分）を示す。現地踏査の結果から、地層構成は 3 層からなる地盤であった。上流側の下層に古期火砕流が堆積し、それを覆うように新期火砕流が堆積しており、下流に向かって、徐々に細粒化していることがわかった。なお、図 3 に示すように、斜面上部には植生があることが確認できる。写真を基に三次元形状を取得するため、斜面上部の植生部分では、正確な斜面形状を捕捉することができなかった。そこで、現地調査の結果を踏まえて、図 4 のように解析断面（断面 A-A'）を決定した。

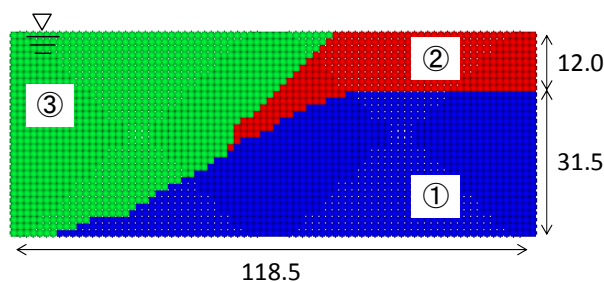


図4 解析モデル(A-A'断面)(単位:m)

4. 粒子法による解析

本研究では、粒子法を用いた斜面の変形解析を実施した。解析手法の詳細については既往の文献^{3,4)}に譲るとして、ここでは、簡単に解法の枠組みを紹介する。粒子法による水～土骨格連成解法の支配方程式としては、固相と液相の和からなる混合体の質量保存則および固相、液相それぞれの運動方程式となっている。液相の解法には密度修正項を導入した半陰解法型の粒子法を採用し、固相の解法には粒子法を採用した。構成モデルについては、土の骨格構造（構造・過圧密・異方性）の働きを表現することができる弾塑性構成モデル²⁾を採用した。

4.1 解析条件

材料定数について、試料採取層（領域①）は、上記で得られた値を採用する。試料採取層を覆う新期火砕流層（領域②）は、植生に覆われていることに加えて、浸食が進んでいることや樹根の影響による見かけの粘着力を考慮して、簡単のため試料採取層（領域①）と同様の材料定数とした。また、試料採取の下位に位置する層については、礫分の含有量が多く、上流側では直立した壁面を有していたことから、変形し難いと考え、解析上では変形しない壁として取り扱った。斜面をモデル化するに当たり、本研究では、図 4 に示すように、まず成層地盤を作製した。深さ方向に均質な初期構造および初期比体積を有する飽和地盤とした。初期過圧密比については初期構造および初期比体積の値から算出した(表 3)。初期応力は、土被り圧に対応する等方応力を与えた。地盤作製後、図中の掘削領域（領域③）を掘削して斜面形状を模擬した。掘削方法については、該当の計算点を瞬間的に取り除き、斜面表面に作用している応力を外力として作用させ、除荷を模擬している。

表3 初期値

	比体積	構造の程度	過圧密比
①・②	1.91	8.0	9.1

4.2 解析結果

図 5 に示したのは、得られたせん断ひずみの蓄積量分布である。図 5 に示すように、斜面中腹の表層から内部にかけて、せん断ひずみが蓄積しているのが確認できた。しかしながら、危険側を想定した飽和斜面にもかかわらず、火山砕屑物斜面の崩壊挙動にみられる表層崩壊やその後の後退性崩壊の再現には至らなかった。

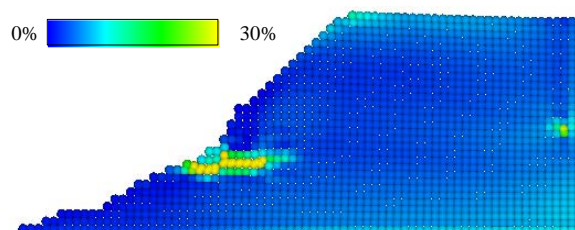


図5 せん断ひずみ分布

5. まとめ

本研究では、火山砕屑物斜面の崩壊予測のために、現地で採取した試料から材料定数を決定し、またデジタル写真測量の結果ならびに現地踏査結果に基づいて解析断面を決定した。これらの情報を解析の入力値として用いて粒子法による斜面の変形解析を実施した。

現地で撮影した写真を用いたデジタル写真測量により、斜面の三次元形状を作成できる可能性を示した。その斜面形状をもとに実施した数値解析では、斜面内にせん断ひずみが蓄積したものの、火山砕屑物斜面の崩壊形態である斜面の表層崩壊とその後の後退性崩壊といった崩壊形態を再現するには至らなかった。そのため、今後は材料定数や解析条件、さらには取得した解析断面が崩壊後のある程度安定している地盤にあったことなどを見直して、再度検討してゆきたい。

謝辞

本研究は、一般財団法人国土技術研究センターの研究開発助成（平成 26 年度）を受けて実施したものです。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 武藤ら, 火山砕屑物の物理特性に関する研究, 第 50 回地盤工学研究発表会講演概要集(本誌), 2015., 2) Asaoka et al., An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils & Foundations*, Vol.42, No.6, pp.47-57, 2002., 3) 野々山ら, 改良型粒子法による地盤の変形解析に向けた検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.70, No.2, pp.I_453-I_462, 2014., 4)西村, 地盤工学会 地盤工学ハンドブック, 第 3 章土質力学, pp.51-64, 1999.