

## 阿蘇大橋地区における火山灰質土の圧縮・繰返しせん断特性

九州大学大学院 学○ 川口祐子

九州大学大学院 F 安福規之 正 石藏良平 正 笠間清伸

## 1. 背景と目的

2016年4月に発生した熊本地震は、その地域周辺に多くの大規模な土砂災害をもたらした。この熊本地震では、大規模な地震が前震と本震の2回発生している。また、他に例もないほどの多くの余震を伴っている。一方、熊本地震により斜面崩壊が多数発生している阿蘇地域では、地域特有の火山灰質粘性土の黒ぼくが表層に堆積している。黒ぼくは、洪積世から沖積世にかけて阿蘇火山から噴出した降下火山灰が、特殊な風化過程を経て出来た火山灰質粘性土である<sup>1)</sup>。以上のように、度重なる余震や降雨といった自然現象と阿蘇地域特有の土が堆積していることから、地震による斜面崩壊後もすべりなどのような二次的な災害が発生するリスクが高まっていると考えられ、柔軟な対応によって防いでいかなければならない。そのためには対象地域の火山灰質土の土質特性を把握することが重要であるとの観点より、本研究では主に阿蘇大橋地区に堆積している黒ぼくに着目し、基本的性質・圧縮特性・繰返しせん断特性を把握することを目的とした。



図-1 試料採取地

## 2. 調査概要

阿蘇大橋地域の深層崩壊付近の地層構成は、表層が火山灰質粘性土（黒ぼく、赤ぼく）で、岩盤は先阿蘇火山岩類に属する安山岩と火砕岩が互層をなしている<sup>2)</sup>。

試料採取地は、深層崩壊部南側の斜面であり、クラックが発生しているエリアである（図-1）。クラック深さは1.5m程度であり、断面は黒ぼくであった。Site A-B間の距離は、約50m程度である。試料は攪乱/不攪乱の状態では注意深く採取した。不攪乱試料は、圧縮・せん断試験に使用できるよう直径6cmの亚克力筒を準備した。攪乱・不攪乱状態とも、採取時の含水比を保持した。

## 3. 実験概要

①基礎的実験：深層崩壊現場の火山灰質粘性土である黒ぼくの基本的性質を把握する。自然含水比状態の攪乱試料を用いて実験を行った。「阿蘇火山灰土（黒ぼく・赤ぼく）の土質試験法（物理試験）」に基づき、2mmふるいで裏ごしを行った後に試料をビニール袋内で15～20分揉み解した。その後、密度試験、液性・塑性限界試験、強熱減量試験を実施した。粒度試験は、レーザー回折式粒子径分布測定装置（SALD-3100）を使って行った。鉱物組成は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置より調べた。

②圧縮試験：不攪乱試料を直径6cm高さ2cmに整形し、圧密試験を実施した。攪乱試料の供試体については、不攪乱試料の間隙比と同等となるよう作製した。また、飽和試料は、亚克力筒の両端から浸水させ24時間放置したものを飽和試料として実験を行った。不飽和状態の供試体については圧縮を行う際、試験中も浸水させず、不飽和（飽和度:83～86%）状態で実験を行った。

③せん断試験：定体積条件のもと試験を行い、強度を把握する。使用する試験機は、せん断箱の大きさが直径6cm高さ2cmの不飽和土対応型一面せん断試験機（図-2）である。せん断面には、摩擦を少なくするため、テフロンを敷いて実験を行った。各供試体については、圧密試験と同様の方法で作製した。攪乱・不攪乱試料とも、50, 200kPaの垂直応力を1時間載荷した後、せん断速度0.2mm/min、定体積条件でせん断変位7mmまで試験を行った。繰返しせん断は、繰返し条件を片振りでせん断幅を1mmとして10回繰返

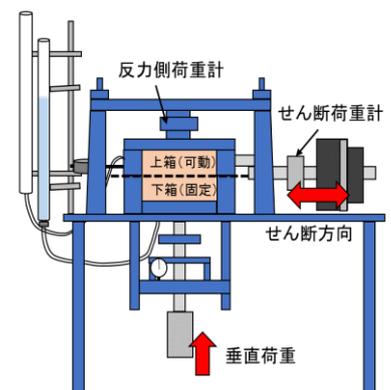


図-2 一面せん断試験機

し、その後、変位が7mmになるところでせん断を終了した。

4. 実験結果

①基本的特性：基礎的実験から得られた物理的性質について表-1にまとめた。吹田、高遊原、産山は過去の研究で調べられた阿蘇地方の黒ぼくである<sup>1)</sup>。本研究の阿蘇大橋地区の試料は、他の試料と比較すると、炭素含有量、液性限界、塑性限界は非常に高い。土粒子の比重は、小さいことが分かる。

②圧縮特性：状態が異なる4つの供試体の圧縮試験結果を図-3に示す。不飽和不攪乱状態の降伏応力は、三笠法を用いて105kN/m<sup>2</sup> (図-3)であった。圧縮指数は1.57であり、圧縮性が高い。不攪乱状態(不飽和・飽和)を比較すると、初期間隙比が4~6程度と非常に大きい。また、供試体によって初期間隙比に幅があることが分かった。供試体の状態が異なっても最終的に、間隙比は2程度とほとんど同じ値になることが分かった。

③せん断特性：図-4は、定体積条件下で行った不飽和不攪乱試料の応力経路である。初期含水比は170~190%、初期飽和度は55.38~72.43%であり、不飽和状態であった。せん断終了時のそれぞれのせん断強さで直線を結び、応力経路の特徴などから、50kPa以下での試験結果には、過圧密的な特性が顕著に表れていると判断される。圧縮曲線(図-3)と応力経路との関係より、圧密降伏応力105kPa以上である200・300kPaの応力経路は、せん断が進むにつれて垂直応力およびせん断応力が減少する正規圧密土としての応力経路が表現された。

繰返しせん断特性：状態が異なる供試体の繰返しせん断試験結果から求めた垂直応力比と累計せん断変位の関係を図-5に示す。どの状態であっても同じような傾向で応力比が減少していることが分かる。

5. まとめ

- ①基礎的実験より、本研究の黒ぼくは、有機物含有量が非常に高く、土粒子の比重は小さい傾向にあった。工学的分類体系によると、有機質火山灰土(OV)または、火山灰質粘性土(VH<sub>2</sub>)に分類された。
- ②本研究で扱った不飽和不攪乱試料の圧縮指数は1.57であり、圧縮性が高い。不攪乱試料については初期間隙比が4~6程度と非常に大きく、どの試料も最終的には間隙比が2程度となった。
- ③不飽和不攪乱試料における定体積せん断試験より、過圧密・正規圧密領域における特徴が表現できた。繰返しせん断により、垂直応力比はいずれの試料も同様の傾向で減少することが分かった。しかし、状態によりやや違いが見られた。

6. 今後

ニューマーク法を用いて、表層に黒ぼくが堆積している斜面の安定性を評価する。その際、せん断試験結果から得られた強度を用いて、実際の熊本地震の加速度波形・阿蘇大橋地区の斜面を想定して行う。

【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費 17K20140 の助成を受けて実施したものです。また、試料採取にあたり(株)熊谷組には便宜を図っていただきました。関係者各位には深甚の謝意を表します。

【参考文献】1) 山内豊聡：九州・沖縄の特殊土，九州大学出版会，pp.93-119，1983，2) 安福規之：平成 28 年熊本地震による地盤，土砂災害と創造的復旧・復興に向けて，消防防災の科学 No.126，pp.19-24，2016

表-1 物理的性質

| items \ place                    | SiteA     | SiteB     | 吹田-1      | 高遊原-7   | 産山-1      |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| water content (%)                | 170~190   | 92~101    | 100~110   | 140~150 | 240~250   |
| dry density (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.52      |           | 0.59~0.65 | 0.45    | 0.3~0.32  |
| specific density                 | 2.28~2.31 | 2.27      | 2.65      | 2.71    | 2.38~2.40 |
| organic matter content (%)       | 48.6~49.3 | 35.8~36.9 | 8.5~7.2   | 8.4~9.6 | 15~17     |
|                                  | (強熱減量法)   |           | (燃焼法)     |         |           |
| liquid limit (%)                 | 224~229   | 137       | 155       | 190     | 260       |
| plastic limit (%)                | 153~159   | 94        | 75        | 125     | 160       |

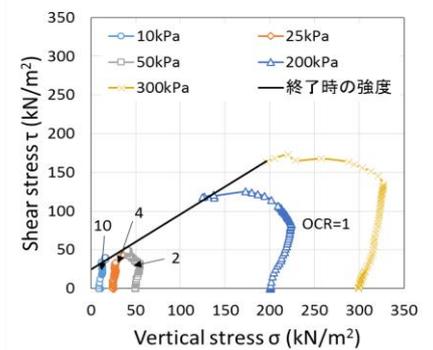
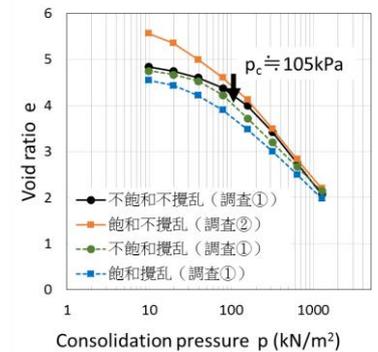


図-4 不飽和不攪乱の応力経路

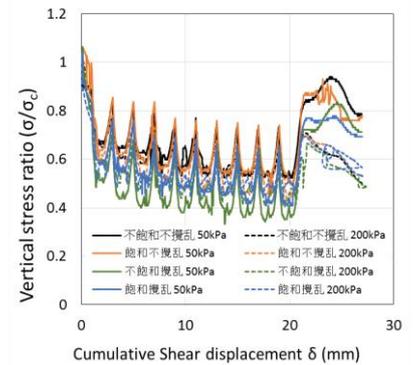


図-5 垂直応力比と累計せん断変位