

氏名	Mega Lia Istiyanti
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	医工農博甲第63号
学位授与年月日	令和3年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
専攻名	工学専攻 環境社会システム学コース
学位論文題目	Soil physical properties in landslides at volcanic area (火山地域の地すべりにおける土の物理特性)
論文審査委員	主査 准教授 後藤 聡 教授 鈴木 猛 康 教授 風間 ふたば 教授 齊藤 成彦 准教授 山中 淳二 准教授 吉田 純司

学位論文内容の要旨

本学位論文は、近年豪雨や地震による斜面崩壊が多発している日本の火山地域において、すべり崩壊が発生した場所での現地観察及び試料採取を行い、すべり層付近の土の物理特性を明らかにすることを研究の目的としたものである。具体的には、平成24年（2012年）7月九州北部豪雨、平成25年（2013年）台風第26号による伊豆大島土砂災害、平成28年（2016年）熊本地震、平成29年（2017年）九州北部豪雨、平成30年（2018年）北海道胆振東部地震などで、火山地域で発生した斜面崩壊を研究の対象としている。本研究で対象とした土は、主に火山砕屑物（pyroclastic material）で、これは火山から噴出された個体のうち、溶岩以外のものの総称であり、本研究ではテフラ（tephra）と呼んでいる。さらに、比較検討するために、火山地域に広く分布する風化した凝灰角礫岩や安山岩も研究対象とした。

学位論文の英文タイトルは、Soil physical properties in landslides at volcanic area であり、“Soil”の中にはテフラや風化した凝灰角礫岩などが含まれる。また、英文タイトルの“Landslides”，和文タイトルの“地すべり”は、広義の意味で用いており、地質的不連続面である「すべり面」を境にして、すべり面上の地塊（土砂・岩塊）がゆっくりと移動する狭義の“地すべり”現象の意味で用いていない。本論文では、“Landslides”および“地す

べり”を、“斜面崩壊”の意味で用いている。

斜面崩壊が発生した場所において、すべり層付近の露頭観察により層序・層厚を詳細に記載し、山中式土壌硬度計によりすべり層付近の土層の強度分布を把握した。さらに、すべり層付近から土試料を採取して、各種物理試験や X 線回折試験(XRD 試験)を実施して、すべり層付近の土の物理特性を明らかにする研究が実施された。

本論文は、全部で8章から構成されている。以下に各章の要旨について示す。

第1章では、テフラ層の物理特性と斜面崩壊の関係に関する研究の背景と、本研究の目的が記されている。

第2章では、火山噴火時に形成されるテフラ層は、ある傾斜角の斜面に均一にかつ広域に堆積し、斜面崩壊が発生する潜在的な不安定性を含んでいることなどについて、内外の研究論文のレビューを行っている。特に、豪雨および地震で発生するテフラ層すべりの物理特性および力学特性との関係などについては、既往の研究が少ないことを示している。

第3章では、本研究における研究手法について記されている。豪雨や地震により発生した斜面崩壊の中から、すべり層とその近傍の土層が観察される適切な露頭を選択し、層序・層厚、土層の堆積状況などについて、詳細な露頭観察と記載を行う。すべり層およびすべり層近傍における原位置の強度特性を簡便に把握するために、現場において山中式土壌硬度計による貫入試験を行う。さらに、湿潤密度、乾燥密度、間隙比、飽和度および飽和透水係数を求めるための不攪乱試料(乱れの少ない試料)を採土円筒により採取し、粒度特性、土粒子の密度および塑性指数などを求めるための攪乱試料の採取を行う。すべり層の粘土鉱物に関する考察を行う際は、X線回折試験(XRD 試験)用の試料も採取する。

第4章では、本研究で採用した斜面崩壊の現場(フィールド)について説明している。

第5章では、本研究で実施した現場調査および各種物理試験や XRD 試験などの結果について、以下に示す現場(フィールド)毎に説明している。

- (1)平成24年7月九州北部豪雨で発生した阿蘇の高岳山麓で発生した斜面崩壊
- (2)平成25年台風第26号による伊豆大島土砂災害で発生した斜面崩壊
- (3)平成28年熊本地震で発生した高野台における大規模な地すべり性崩壊
- (4)平成30年北海道胆振東部地震で発生した東和および瑞穂ダム付近の斜面崩壊
- (5)平成29年九州北部豪雨で発生した小野および大鶴での斜面崩壊
- (6)平成30年大分県中津市耶馬溪町で発生した斜面崩壊

上記(1)~(4)はテフラ層において発生した斜面崩壊であるが、(5)(6)はテフラ層ではなく、風化した凝灰岩や安山岩を対象としている。(6)は斜面崩壊発生時に降雨や地震が認められない崩壊である。(5)(6)を考察することにより、テフラ層の斜面崩壊で用いた研究手法によ

り、風化した凝灰岩や安山岩の物理特性と斜面崩壊との関係について検討を行った。

第 6 章では、本研究で実施した現場調査および各種物理試験や XRD 試験などの結果について、説明されている。本論文における主要な考察結果について、以下に記載する。

- ・豪雨による斜面崩壊におけるすべり層の特徴は、定性的に、土壌硬度が低く、塑性指数が高く、細粒分含有率が高く、乾燥密度が小さく、土粒子の密度が小さいことであった。さらに、活性度が高く、すべり層が膨潤する能力があることも示した。

- ・地震による斜面崩壊におけるすべり層の特徴は、定性的に、土壌硬度に大きな特徴はなく、塑性指数が低く、細粒分含有率が少なく、乾燥密度が小さく、土粒子の密度が小さいことであった。すべり層に粘土鉱物としてハロイサイトが存在しているが多いことも示した。

- ・塑性指数と粘土分含有率の関係、および塑性指数と細粒分含有率の関係を利用して、テフラ層の活性度について 4 つのグループに分類し、豪雨および地震による斜面崩壊のすべり層の考察を行った。

- ・本研究で用いられたテフラ層は堆積した年代が異なっており、最も古いテフラ層は、約 3 万年前に堆積した阿蘇高野台の草千里ヶ浜降下火砕物であり、最も若いテフラ層は、西暦 1400 年代から 1800 年代に堆積した伊豆大島の火山灰である。本研究では、塑性図を利用して、テフラ層の各種年代に基づく分類を試みた。若いテフラ層は、古いテフラ層よりも塑性指数と液性限界が小さい傾向であった。

第 7 章では、豪雨によるテフラ層等の斜面崩壊、地震によるテフラ層等の斜面崩壊に分けて、物理特性などから考察したそれぞれの特徴が記されている。

第 8 章では、本学位論文のいくつかの結論が記されている。斜面安定性に関する研究は、一面せん断試験や三軸圧縮試験などの力学試験によるすべり層の強度特性が主要なテーマとなっているが、強度特性に影響を与えているのは物理特性であるので、主に物理特性に絞って研究を展開した。その結果、すべり層の物理特性に関する重要な特徴がいくつか新規に判明した。今後は、物理特性と力学特性を関連させて斜面の安定問題を検討することの重要性等が示された。

論文審査結果の要旨

論文審査委員会により、本学位論文には、豪雨や地震による斜面崩壊におけるすべり層付近の土の物理特性が体系的に整理されており、優れた独創性と学術的新規性および工学的実用性が認められることが確認された。さらに、本研究手法は、XRD 試験を除けば簡便

な物理試験や土壌硬度計による現地試験、露頭観察から成り、広く用いることができる手法であることも確認された。

令和3年2月19日に開催された公聴会では、Mega Lia Istiyanti氏による40分間の英語による発表が行われ、本学位論文の要旨、今後の研究展望などについて、説明が行われた。続いて、約20分間の公開質疑では、論文審査委員を含む聴講者からの質問とそれに対する回答がなされた。

公聴会に続いて、論文審査委員による最終試験が約30分間にわたって行われた。各審査委員会委員からの質問と講評がなされ、Mega Lia Istiyanti氏からの回答があった。公開質疑と最終試験における主な質問と回答は以下の通りである。

- ・一面せん断試験等の力学試験から得られる強度特性が分からないと斜面安定問題を解くことはできないが、どうして主に物理特性のみを研究対象にしているのか、との質問があった。斜面崩壊が発生する（した）ことを証明するためには、力学試験による強度定数を用いた斜面安定計算が必要であるが、物理特性は強度定数に影響を与えていると考えられるので、すべり層の物理特性が他の近傍の層とどのように異なるのか調べてみようと思ったのが研究の発端であった。文献調査してみると、すべり層の物理特性と斜面崩壊の関係に関する研究はほとんど行われていなかったもので、研究目的としたことの説明があった。

- ・火山地域での斜面崩壊の危険度評価マップを作成する際、今回の研究はどのような貢献をすることができるのか、との質問があった。阿蘇高岳では、約600m離れた2地点において、両者のテフラ層の物理特性等を比較検討して大きな相違がないことを確認した。つまり、場所が異なっても同じテフラ層であれば、物理特性は類似することになり、強度特性も同様に類似することが考えられる。斜面崩壊の広域な危険度マップを作成する際、有意義な情報になると説明があった。

- ・多くの物理試験などを実施しているが、試料のばらつきや試験結果のばらつきをどのように考察しているのか、との質問があった。各種試験で複数の試料を用いている。例えば、すべり層から不攪乱試料を少なくとも3試料または6試料採取して、乾燥密度、湿潤密度、飽和度、飽和透水係数などを求めた。土粒子の密度試験は4～6回の平均値で求めた。XRD試験は様々な条件（乾燥試料、自然状態の試料、異なる実験方法）で確認した。現場露頭における土壌硬度計による試験は、同じ深度で4～5回の平均値を用いており、土層の種類により土壌硬度のばらつきにも幅があると説明があった。

本最終試験において、Mega Lia Istiyanti氏は、上記の質問に対する回答は適格であり、研究分野について深い知識と経験を有しており、研究方法や結果、考察の妥当性を客観的に評価し、それを適切に伝えるための高いコミュニケーション能力を有していることが確

認できた。なお、最終試験における質疑応答は英語および日本語により行われた。また、博士論文に記載されている研究成果は、筆頭著者として、査読付き国際学術誌に 2 編、査読付き **Proceedings** 誌に 4 編が公開されており、他に査読付き国際学術誌に 1 編が投稿中であることが確認された。さらに、第 52 回地盤工学研究発表会において優秀論文発表者賞を受賞しており、研究者として将来性のある高い研究遂行能力を有していると判断された。

以上より、論文審査委員会は全員一致で、本学位論文が博士学位論文として十分な水準にあり、独創性、学術的新規性および工学的実用性が認められ、研究領域について深い知識と技術を持っていることが確認されたので、**Mega Lia Istiyanti** 氏は博士（工学）の学位を取得するにふさわしいと認め、学位論文審査および最終試験において合格と判定した。