

破碎性火山灰土の微小変形せん断係数に及ぼす 凍結融解履歴の影響とその評価法

学位論文内容の要旨

北海道のような積雪寒冷地では、冬季間や融雪期に生じる斜面崩壊等の地盤災害は今なお数多く報告され、道路や家屋などに多大な被害が発生している。しかしながら、凍結・融解、降雨や地震履歴、融雪水の存在などが、どのような形で災害発生に影響を及ぼしているかを詳細に調べた総合的な研究は立遅れているのが現状である。

一方、北海道に広く分布する火山性粗粒土は軽量で比較的排水性や安定性に優れていることから、これまで盛土材や埋戻し材等の建設材料として有効利用されてきた。これら火山性粗粒土はその土粒子が多孔質であること、および粒子が脆弱であること等の特性を有する場合が多いにも関わらず、実務では、砂地盤に関する設計法や施工方法がそのまま適用されることが多い。積雪寒冷地では上述のような厳しい気候条件下にあるため、特異な性質を有する火山性粗粒土の力学的な特性を適切に評価することは、融雪期に多発する斜面崩壊等の地盤災害を合理的に防ぐために極めて重要となる。

このような背景から、本研究では積雪寒冷地で発生する斜面崩壊等の地盤災害発生メカニズムの解明や災害予測するための知見を得るために、凍結融解履歴が顕著な破碎性を有する火山性粗粒土の微小ひずみレベルでの動的変形特性に及ぼす影響を詳細に調べた。具体的には、北海道に分布する噴出源および粒子破碎特性が異なる2種の破碎性火山灰土を対象とした一連の変位制御式繰返し非排水三軸試験を実施した。試験では凍結融解履歴の回数が異なる火山灰土供試体を人工的に作製し、その違いによる動的変形特性の変化を調べている。

また凍結時の変位拘束条件が異なる供試体を作製し、凍結膨張に伴う間隙構造の変化に着目した試験も実施している。これらの試験結果より、破碎性火山灰土の初期せん断剛性率 G_0 を凍結融解履歴の回数を用いて推定する手法が導出されている。

本研究は全9章で構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第1章では、関連する既往の研究をレビューし、本研究の位置付けを行った。以前から実施されている凍上に関する研究、凍結融解履歴を受けたシルトや粘土の力学挙動の変化に関する研究、凍結サンプリングが非破碎性の砂に及ぼす影響に関する研究について紹介している。

第2章では、本研究が対象とした試料に関して述べている。北海道に分布する火山灰土の概説、および使用した破碎性火山灰土である富川火山灰土、当幌火山灰土の概説や特徴を示し、本研究で使用した試料に関して詳細に述べている。

第3章では、本研究における凍結融解履歴に関する検討をし、また凍結融解履歴回数を定義している。本研究では供試体を基本に考え、その供試体の内部まで完全に凍結した時を「凍結」とし、また供試体の内部まで完全に融解した時を「融解」としている。以降本論文ではこの条件に従い凍結融解履歴回数を定義している。

第4章では、繰返し非排水三軸試験に用いる三軸供試体の作製に関して説明している。まず凍結融解履歴を受けていない凍結0回供試体、および所定の回数凍結融解履歴を受けた凍結供試体の作製手順を述べている。凍結供試体には、人工的に凍結融解履歴を与えた凍結供試体と、実際に自然環境下で凍結融解履歴を受けた凍結供試体がある。また凍結に伴う間隙構造変化に着目するために、周面変位拘束条件下と全面変位拘束条件下で凍結供試体を作製している。

第5章では、本研究で使用した変位制御式繰返し三軸試験装置の説明、および試験結果の整理方法に関して述べている。また本研究で用いた粒子破碎指標である細粒分含有率増加量に関する既往の研究の説明を行っている。

第6章では、破碎性火山灰土に関する試験結果を示している。使用した2種の破碎性火山灰土は凍結融解履歴を受けると G_0 が低下することが明らかにされた。またその低下は非可逆的で回復することはないようである。その G_0 の低下の主な原因は、凍結融解履歴により粒子が破碎し、細粒分含有率が増加すること、および凍結融解履歴による間隙構造の変化が考えられる。凍結融解履歴に伴う細粒分含有率の増加は、既往の研究でその粒子の脆弱性が指摘されている当幌火山灰土の方が富川火山灰土より顕著であることが示されている。

また当幌火山灰土に関して、既往の研究で示されている G_0 の推定式を基に、凍結融解履歴回数を考慮した新たな G_0 の推定式を提案している。

第7章では、破碎性火山灰土との比較のため、本研究での応力レベルでは破碎しない豊浦砂に関する試験結果を示している。十分に脱水し、含水比を低くした豊浦砂供試体は凍結融解履歴を受けても変形特性に変化は見られなかった。このことは、破碎性火山灰土に見られた凍結融解履歴による G_0 の低下は、主に粒子破碎によって導かれることを示唆している。

第8章では、本研究と同様の方法で作製された供試体を用いて実施された、応力制御式繰返し三軸試験機による試験結果、および一次的に凍結融解履歴を与え、かつ三軸圧縮試験を同一セル内で実施することができる凍結融解履歴型三軸圧縮試験機による試験結果を紹介している。試験方法や供試体作製方法は異なるが、凍結融解履歴を受けると動的・静的強度はそれぞれ低下する結果が得られている。本章ではそれらの結果と本試験結果との関係を示し、考察を加えている。

第9章は結論である。併せて、各章で得られた知見を総括し今後の展望と課題を述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 教 授 藤 井 義 明
副 査 教 授 田 中 洋 行
副 査 准教授 石 川 達 也

学 位 論 文 題 名

破碎性火山灰土の微小変形せん断係数に及ぼす 凍結融解履歴の影響とその評価法

積雪寒冷地域では、斜面崩壊等の地盤災害が融雪期にも数多くもたらされている。このような災害の発生には地震による応力履歴や降雨履歴に加えて凍結融解履歴や融雪水の浸透など寒冷地域特有の要因が複雑に絡み合い、その崩壊メカニズムを特定することは極めて困難な現状にある。

積雪寒冷地である北海道には、新第三紀から第四紀にかけた激しい火山活動により、種々の火山灰質土が生成されており、広域にかつ特異な構造で堆積した地盤になっていることが確認されている。これら火山灰質土の中でも、特に火山性粗粒土は、軽量でかつ排水性や安定性に比較的優れているなどの理由から、これまで有効な建設材料として多用されてきた。しかし近年、これらの材料土は、その粒子の脆弱性により顕著な破碎性を有し、一般の砂質土とは基本的に異なる力学性状を示すことが先行研究より明らかとなってきた。積雪寒冷地では温度履歴などにおいて厳しい自然環境下にあるため、特に火山性粗粒土の凍結融解履歴による力学的性質の変化を適切に評価することは、融雪期に多発する地盤崩壊を防止する上で極めて重要と考えられる。

このような背景から、本研究では、まず凍結融解のような複雑な温度変化履歴による破碎性火山灰土の微小ひずみレベルでの力学特性の変化について詳細に調べた。具体的には、噴出源および粒子特性が異なる2種の破碎性火山灰土の供試体に任意の凍結融解履歴を与え、引続き一連の変位制御式繰返し三軸試験を実施している。また、実際の自然条件下で見られる多様な凍結・融解条件を想定した供試体を作製し、人工の凍結膨張条件と自然のそれとの違いによる構成粒子の間隙構造変化の評価を目指した試験を実施している。これらの結果より、地盤の工学的安定性評価に活用できると期待されている微小変形パラメータ、特に微小変形せん断係数 G_0 にもたらす凍結融解履歴の影響を詳細に考察するとともに、その推定法を提案している。

本論文は全9章から構成されるが、研究の成果を章毎に要約すると以下のようなものである。

第1章では研究の位置付けを行い、本研究の背景と目的、および論文の概要が纏められている。

第2章では、本研究が対象とした北海道域にある火山灰土の分布特性や堆積状況を解説している。特に本研究で使用した富川火山灰土(支笏降下軽石)および当幌火山灰土(摩周降下軽石)に関してその堆積環境や工学的特徴を明解に説明している。

第3章では、北海道各地の気象状況の特徴を示すとともに、地盤や基礎構造物にとっての凍結融解履歴の意味またその工学的な評価法を検討し、凍結・融解の履歴回数の具体的な算出法を提示してその妥当性を検証している。

第4章では、室内試験で用いる三軸供試体の作製法を紹介している。ここで凍結融解履歴を受けていない供試体および所定回数の凍結融解履歴を受けた供試体の作製手順が系統的に示されている。凍結供試体としては、人工的に凍結融解履歴を与えたものと、実環境下で履歴を与えたものを実験に用いている。なお、両供試体が持つ凍結融解の理工学条件の差が詳細に考察されている。

第5章では、使用した変位制御式繰返し三軸試験装置の特徴、および試験結果の整理方法について記述するとともに、本研究で採用した粒子破碎指標である細粒分含有率増加量の工学的有用性を、既往の研究結果と比較しながら、説明している。

第6章では、破碎性火山灰土について実施した繰返し非排水三軸試験結果を示している。使用した2種の火山灰土は、凍結融解履歴を繰返し受けると G_0 が確実に低下することが明らかにされた。その原因は、凍結融解履歴による構成粒子の破碎と間隙構造の変化にあることを指摘している。なお、凍結融解作用に伴う粒子破碎量が富川火山灰土より当幌火山灰土で顕著になるのは構成粒子の破碎特性によるものであることを定量的に説明している。これらの結果から、任意の凍結融解履歴を有する火山灰土の G_0 推定式が誘導されている。

第7章では、豊浦標準砂を用いた一連の試験を実施し、破碎性火山灰土の結果との比較を行っている。十分に脱水し、飽和度が破碎性火山灰土の値に近い豊浦砂供試体は、凍結融解履歴を受けてもその変形特性に相違はないことを確認し、このことから火山灰土の凍結融解履歴による G_0 の低下は主に構成粒子の破碎に起因する配列構造の変化にあると推察している。

第8章では、温度履歴が大ひずみレベルの動的・静的強度—変形特性に及ぼす影響を調べた研究結果から、凍結融解履歴によりもたらされる火山灰土の液状化特性や静的強度特性の劣化機構が G_0 のそれと極めて類似していることを明らかにしている。これらは、基本的に非破壊型の試験から得られる G_0 による任意の凍結融解履歴地盤の力学特性推定に有用な手掛かりを与えている。

第9章は結論であり、各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

これを要するに、著者は、顕著な破碎性を有する火山性粗粒土の微小ひずみレベルの変形特性に及ぼす凍結融解履歴の影響を明確にするとともに、積雪寒冷地域における火山性粗粒土地盤のせん断剛性率を評価する手法について新たな知見を得ており、地盤工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。