

学 位 論 文 題 名

凍結融解作用を受ける地盤の浸透特性の

評価手法の構築に関する研究

学位論文内容の要旨

北海道のような積雪寒冷地では、冬期から春期にかけての凍結融解作用に起因すると考えられる積雪寒冷地特有の地盤災害が後を絶たない。具体例としては、融雪期における斜面崩壊、凍上による道路の隆起などの地盤変形があげられる。社会生活のレベルを維持するためには、このような地盤災害が発生するたびに莫大な費用や資源を用いて修復する必要があり、効率的な対策や効果的な予防策の構築が求められる。しかし、このような地盤災害では、冬期から春期にかけて見られる気温変動の影響だけでなく、年間を通して発生する豪雨や地震動が地盤内の力学特性に及ぼす影響も大きい。ため、災害の要因を特定することは容易ではない。したがって、融雪期における地盤災害のメカニズムを知り、その対策を効果的に講じるためには、複数の要因の影響について個別に詳細に調べることが重要となる。

近年、寒冷地地盤災害の一つとして、融雪期における大規模な斜面表層崩壊が着目されており、その発生メカニズムを調べる研究や崩壊挙動を予測する手法の研究が進められている。その結果、融雪期に発生する斜面崩壊の原因を適切に把握するためには、凍結融解作用による地盤の強度変形特性の変化のみならず、地盤が凍結・融解する際の浸透特性の変化を調べることの重要性が指摘されている。しかしながら、これまで凍結融解作用を受ける地盤の水分特性曲線や不飽和透水係数および凍土の透水係数を調べた研究は少なく、研究成果の蓄積が望まれている。

このような背景から、本研究では、凍結融解作用を受ける地盤の浸透特性を詳細に調べることに着目し、凍結融解作用を受けた際の不飽和浸透特性の変化および融解時の凍土の浸透特性の変化を評価可能な試験方法の確立を研究目的としている。このため、凍結融解地盤の浸透特性を厳密に評価するために必要となる機能を有した試験装置として、凍結融解履歴載荷型不飽和透水試験装置とアイスレンズの発生を抑止した凍土透水試験装置を新たに開発し、凍結融解作用が地盤の浸透特性に及ぼす影響と凍土の浸透特性を評価するための試験方法の提案を行っている。

本研究は、全7章で構成され、各章の概要は以下に示す通りである。

第1章では、本研究の背景、目的とともにその内容、構成について概説している。特に、北海道における凍結融解作用による地盤災害について詳述し、本研究が地盤工学に果たす役割と意義を論じている。

第2章では、関連する既往の研究についてレビューする。具体的には、これまで提案されてきた不飽和透水試験方法と凍土透水試験方法を紹介するとともに、凍結融解作用が地盤の浸透特性に及ぼす影響について検討した研究を紹介している。

第3章では、本研究で新たに開発した凍結融解履歴載荷型不飽和透水試験装置と凍土透水試験装

置の概要を説明している。まず、凍結融解作用を受けた実地盤の不飽和浸透特性を評価するために、土供試体を一次元的に凍結融解させてその不飽和透水係数を測定する手法とその試験装置を説明している。さらに、ここでは不飽和土を対象とした土質試験の問題点であった試験時間の長期化を解決するため、試験時間を短縮し、効率良く計測を実施するための新たな技術的工夫についても述べている。次に、凍土の浸透特性を評価するために、アイスレンズの生成を抑止した条件で純水を試験水に用いて凍土の透水係数を測定する手法の計測原理とその試験装置を説明している。

第4章では、不飽和透水試験および凍土透水試験に用いた試料をそれぞれ示し、各試験方法を説明している。

第5章では、豊浦砂および顕著な粒子破碎性を示す火山灰質粗粒土を対象として、凍結融解作用が不飽和浸透特性に及ぼす影響の評価方法の検討を行っている。具体的には、まず、豊浦砂を用いて試験を行い、本研究の試験結果と既往の研究成果との比較により開発した試験装置・試験方法の有効性を検証するとともに、非凍上性で粒子破碎のない豊浦砂では凍結融解前後で、その不飽和浸透特性が変化しないことを示している。さらに、粒子破碎性を有する火山灰質粗粒土の不飽和浸透特性を、凍結融解前後で評価し、火山灰質粗粒土では、凍結融解作用により粒子破碎が生じるため、その保水性および透水性が変化することを示している。以上の結果から、本章では、凍結融解作用を受ける地盤材料の不飽和浸透特性の試験方法を提案するとともに、凍結融解作用が粒子破碎性を有する地盤の不飽和浸透特性に影響することを明らかにしている。

第6章では、シルト質土を対象として、温度変化が凍土の浸透特性に及ぼす影響の評価方法の検討を行っている。具体的には、まず、地盤内のアイスレンズ生成の影響を排除した状態で、水頭差による凍土中の水の移動のみを計測する透水試験の測定例を示し、開発した試験装置・試験方法の有効性を検証している。さらに、本研究の試験結果と既往の研究成果との比較により、既往の研究と同様、本研究においてもマイナス側の0℃近傍で凍土の透水係数は急激に増加することを示している。また、凍土内の不凍水分量の温度依存性と凍土の透水係数の温度依存性の類似性について検討し、凍土の透水係数が示す強い温度依存性は凍土中に存在する不凍水に起因することを示している。以上の結果から、本章では、異なる供試体温度における凍土の浸透特性の試験方法を提案するとともに、供試体温度が不凍水を有する凍土の浸透特性に強く影響することを明らかにしている。

第7章は、本研究の結論として、各章で得られた知見を総括するとともに、今後の展望と課題を述べている。

以上に示すように、新たに開発した透水試験法による一連の研究より、凍結融解作用を受ける地盤の浸透特性の評価手法を構築、提案することができた。今後、種々の試料を用いて試験データを蓄積し、寒冷地における地盤防災への貢献が期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 石 川 達 也
副 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 教 授 蟹 江 俊 仁

学 位 論 文 題 名

凍結融解作用を受ける地盤の浸透特性の 評価手法の構築に関する研究

北海道のような積雪寒冷地では、冬期から春期にかけての凍結融解作用に起因すると考えられる積雪寒冷地特有の地盤災害が発生する。この災害形態の一つとして、近年、融雪期における大規模な斜面表層崩壊が着目されており、その防災・減災対策の一環として、現象の発生機構や予測手法の研究が進められている。既往の研究により、融雪期に発生する斜面崩壊の要因を適切に究明するには、凍結融解作用による地盤の強度変形特性の変化のみならず、地盤が凍結・融解する際の浸透特性の変化を把握することの重要性が指摘されている。しかしながら、これまで凍結融解作用を受ける地盤の保水性・透水性を調べた研究は少なく、研究成果の蓄積が望まれている。

このような背景から、本論文では、凍結融解作用を受けた地盤の不飽和浸透特性の変化および融解時の凍土の浸透特性の変化を評価可能な試験方法の確立を目指した。このため、凍結融解履歴載荷型不飽和透水試験装置と凍土透水試験装置を新たに開発するとともに、凍結融解作用が地盤の浸透特性に及ぼす影響と融解過程における凍土の浸透特性を評価するための試験方法の提案を行っている。

第1章では、本研究の背景・目的とともにその内容・構成について概説している。特に、凍結融解作用に起因する地盤災害について詳述し、本研究が積雪寒冷地における地盤災害の防災・減災に果たす役割と意義を述べている。第2章では、不飽和透水試験方法や凍土透水試験方法、および凍結融解作用が地盤の浸透特性に及ぼす影響について検討した既往研究を紹介し、本研究の位置づけを明確にしている。第3章では、本研究で開発した凍結融解履歴載荷型不飽和透水試験装置と凍土透水試験装置の概要を述べている。まず、土供試体を一次的に凍結融解させて不飽和透水係数を測定する手法と試験時間を短縮する新たな技術的工夫を施した試験装置について説明している。次いで、凍土の浸透特性を評価するために、アイスレンズの生成を抑止した条件で純水を用いて凍土の透水係数を測定する手法の計測原理とその試験装置を説明している。第4章では、本研究で用いた試料、試験方法を説明している。第5章では、凍結融解作用が地盤の不飽和浸透特性に及ぼす影響の評価方法を検討している。具体的には、まず、凍結融解作用を受ける地盤材料の不飽和浸透特性の試験方法を提案して非凍上性で粒子破碎のない豊浦砂を用いて試験を行い、本研究の試験結果と既往の研究成果との比較により開発した試験装置・試験方法の有効性を検証している。次いで、粒子

破碎性を有する非凍上性火山灰質粗粒土の不飽和浸透特性を凍結融解前後で評価し、豊浦砂と異なり火山灰質粗粒土では、凍結融解作用で生じる粒子破碎により地盤の不飽和浸透特性が変化することを明らかにしている。第 6 章では、温度変化が凍土の浸透特性に及ぼす影響の評価方法の検討を行っている。具体的には、まず、アイスレンズの生成を抑止した状態で、水頭差による凍土中の水の移動を計測する透水試験の測定例を示し、異なる供試体温度における凍土の浸透特性の試験方法を提案するとともに、開発した試験装置・試験方法の有効性を検証している。次いで、供試体温度が不凍水を有する凍土の浸透特性に強く影響すること、および凍土の透水係数が示す強い温度依存性は凍土中に存在する不凍水に起因することを明らかにしている。第 7 章は、本研究の結論として、各章で得られた知見を総括するとともに、今後の展望と課題を述べている。

以上に示すように、融解期の斜面表層崩壊現象を解明する上で従来課題とされてきた凍結融解作用を受ける地盤の浸透特性の評価について、本論文で、既往の試験方法の課題を解決した高い汎用性と精度を有する試験装置・試験方法を新規開発し、その評価手法を構築した点は、今後寒冷地における地盤防災への貢献が大いに期待される研究成果である。

これを要するに、著者は、これまで未解明であった凍結融解作用を受ける地盤の浸透特性について、その評価のための試験装置・試験方法の新規開発を行い、不飽和地盤の浸透特性に及ぼす凍結融解作用の影響と融解過程における凍土の透水性の温度依存性に関する貴重な知見を得たものであり、地盤工学および寒冷地防災工学の発展に対して貢献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。