

凍結・融解作用を受ける飽和粘土地盤の せん断特性に関する実験的研究

学位論文内容の要旨

工学上の設計定数を得るための全ての室内土質試験は、対象とする土要素が置かれている原位置の環境下か、もしくはその環境をできるだけ模擬した条件の下で行われることが最も望ましいことである。しかしながら、そのような観点で凍結・融解履歴を受けた土のせん断特性に関する研究の歴史を振り返ると、凍結・融解中の供試体の境界条件が極めて不明確であるか、あるいは原位置の境界条件を近似しているとは考え難く、凍結・融解履歴がせん断特性に与える影響を正当に評価できているかどうかについては疑問が残ると言わざるを得ない。

この問題を解決するには、凍結・融解・せん断過程を一貫した条件の下で制御できる試験装置の開発が必須である。本研究では、このような認識に基づきまず新たに凍結・融解三軸試験システムを開発した。新たに開発した三軸試験システムは、圧密・凍結・融解・せん断過程の各段階で供試体は一貫した応力条件の下にあり、少なくとも応力開放のような不明確な応力履歴が存在しない条件下で凍結・融解履歴を与えることができる実験装置となるよう工夫してある。

この凍結・融解三軸試験システムを用いて、正規圧密粘土と過圧密粘土に対して凍結・融解履歴を与えた後に直ちにせん断試験を実施することにより、凍結・融解履歴を受けた粘土試料が示す基本的せん断特性、つまり、せん断強度・ダイレイタンス・応力径路の特性の一部を明らかにすることができた。さらに、三軸セル内で凍結・融解過程後に圧密を継続することで、再圧密中の新たな降伏点応力の出現を明らかにすることができた。この新たな先行圧密応力は、凍結・融解履歴と過圧密履歴とを対比できる可能性があることを意味しており、凍結・融解履歴を一種の過圧密履歴と解釈できる道が開けたことになる。

このことは、粘性土に一般的に与えられる様々な履歴の多くが、凍結・融解履歴を含めて過圧密履歴と関連付けることが出来る可能性が出てきたものと解釈できる。つまり、原地盤の挙動を統一的に表現するうえで過圧密履歴が重要な意味を持つと言えることになる。また、凍結・融解履歴に限って考えると、凍結・融解による排水と沈下が充分終了した後に地盤が示す強度特性は、その地盤の過圧密比によって大きく異なることがはっきりしてきた。このことは、従来の研究結果とは異なり、凍結・融解履歴と地盤の強度・変形特性には過圧密履歴を考慮す

ることが欠かせない要素であることを示すことが出来たものと考えられる。

一方、半無限と仮定できる広がりを持つ地盤における一次元変形挙動は、側方変位拘束条件下で考えるのが適当であろう。このような土要素の最小もしくは中間主応力方向への変位条件は地盤の凍結・融解現象を解析する上でも当然考慮されるべきであり、水平地盤における自然凍結のみならず、擁壁に作用する凍結土圧を知る場合や人工凍結における凍土成長方向を考慮した解析や側方変位が拘束されている室内凍上試験結果に正しい解釈を与えるという点でも重要なことであると考えられる。ところが、凍結過程中的土試料が示す側方変形に関連するこれまでの研究は極めて少ない状況にある。そこで本研究では、円筒供試体による凍結・融解三軸試験機に供試体の側方変形を精密に測定できる装置を新たに開発して装備した。この側方変位測定装置により、等方応力条件下や異方応力条件下での凍結過程中的精密な側方変形状況を経過時間とともに知ることができ、凍結中の応力比とひずみ比との関連を見出すことができた。

凍結中の供試体の側方変位が正確に測定されたことで、土要素が凍結中に側方へ変位する様子をはっきりと認識できたことになり、原位置における凍結中の応力や変形条件に応じた解析を行う道が開けたといえる。つまり、凍結作用を受ける地盤中の要素に与えるべき境界条件と変形特性との関連の一部が明らかになったものと考えられる。

本論文は 8 章で構成される。

第 1 章では、本研究の目的と背景および本論文の構成について述べている。

第 2 章では、本研究に用いた実験装置を詳述している。特に、三軸試験装置内で凍結・融解履歴を与える場合の制御方法について述べている。

第 3 章では、用いた実験試料と実験方法および実験条件について記述している。

第 4 章では、軸対称三軸条件下における凍結作用について鉛直凍上特性、水平方向凍結変位、凍上変位と有効応力比および凍結中の供給水と凍結変位についての実験結果とその解釈を論じている。

第 5 章では、凍結履歴中の有効応力増加についての研究成果をまとめている。凍結・融解後にさらに圧密を継続することにより、新たな降伏応力が出現する実験事実が示されている。また、非排水せん断試験結果を利用して凍結・融解履歴が過圧密履歴と解釈できることを述べている。

第 6 章では、凍結・融解履歴を受けた試料の非排水せん断特性をまとめている。凍結・融解履歴を与えた試料と未凍土の応力-ひずみ、発生間隙水圧特性および有効応力径路について考察し、三軸応力条件下での凍結・融解履歴が非排水せん断特性にどのような影響を与えるかを考察している。

第 7 章では、前章までの研究成果を基に、新たに実施した一連の実験結果から、凍結・融解履歴と過圧密履歴との関連を考察している。また、凍結融解履歴が $e - \log p$ 関係上でどのように表現できるかを示している。

第 8 章では、本論文の総括と工学的応用に向けた提案および今後の課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	三田地 利 之
副 査	教 授	石 島 洋 二
副 査	教 授	三 浦 清 一
副 査	客員教授	赤 川 敏

学 位 論 文 題 名

凍結・融解作用を受ける飽和粘土地盤の せん断特性に関する実験的研究

一般に、工学上の設計定数を得るための室内土質試験は、対象とする土要素が置かれている原位置の環境に可能な限り近似した条件の下で行われることが望ましい。しかしながら、凍結・融解履歴を受けた土のせん断特性に関する既往の研究の大部分において、凍結・融解中の供試体の境界条件が極めて不明確であるか、あるいは原位置の条件に近似しているとは言い難く、凍結・融解履歴がせん断特性に与える影響を正當に評価できていないと考えられる。この問題の解決のためには、凍結・融解・せん断過程を一貫した条件の下で制御できる試験装置の開発が必須である。

以上のような背景のもと、本研究は新たに凍結・融解三軸試験システムを開発し、この装置を用いて実施した一連の実験結果から、凍結・融解履歴を受けた粘土試料が示すせん断特性に関する多くの新知見を得るとともに、凍結・融解履歴と地盤の強度・変形特性には過圧密履歴を考慮することが欠かせないことを示し、さらに地盤の凍結・融解現象を解析する上で地盤内要素に与えるべき境界条件と変形特性との関連を明らかにしたもので、8章で構成される。

第1章では、本研究の目的と背景および本論文の構成について述べている。

第2章では、本研究に用いた実験装置について記述し、特に、三軸試験装置内で凍結・融解履歴を与える場合の制御方法について詳述している。

第3章では、用いた実験試料と実験方法および実験条件について記述している。

第4章では、軸対称三軸条件下における凍結作用について鉛直凍上特性、水平方向凍結変位、凍上変位と有効応力比および凍結中の供給水と凍結変位についての実験結果とその解釈を論じている。

第5章では、凍結履歴中の有効応力増加についての研究成果をまとめている。凍結・融解後にさらに圧密を継続することにより、新たな降伏応力が出現する実験事実が示されている。また、非排水せん断試験結果を利用して凍結・融解履歴が過圧密履歴と解釈できることを述べている。

第6章では、凍結・融解履歴を受けた試料の非排水せん断特性をまとめている。凍結・融解履歴を与えた試料と未凍土の応力-ひずみ、発生間隙水圧特性および有効応力径路について考察し、三軸応力条件下での凍結・融解履歴が非排水せん断特性に与える影響を明らかにしている。

第7章では、前章までの研究成果を基に、新たに実施した一連の実験結果から、凍結・融解履歴と過圧密履歴との関連を考察している。また、凍結融解履歴が間隙比-圧密応力関係図上でどのように表現できるかを示している。

第8章では本論文の総括と工学的応用に向けた提案を行い、今後の課題について述べている。

これを要するに著者は、新たに開発した凍結・融解三軸試験システムによる一連の実験結果から、凍結・融解履歴を受けた土の強度・変形特性に関する新知見を得るとともに、地盤の凍結・融解現象を解析する上で地盤内要素に与えるべき境界条件と変形特性との関連を明らかにしており、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。