

破砕性火山灰地盤の力学挙動とその評価法に関する研究

学位論文内容の要旨

北海道には火山砕屑物が広域かつ厚く堆積している。これらの火山灰地盤は噴出源、噴出年代、噴出条件が異なる複雑な多層構造堆積状態を呈することが多く、また各堆積層の工学的性質は堆積条件、風化の程度、堆積環境などの影響を強く受けているため、火山灰地盤の工学的性質の系統的な把握は困難を極めている。

このような状況のなかで、北海道域を襲った最近の大地震は軽石を含む火山灰地盤において液状化による被害や土構造物の流動破壊をもたらした。これらの被災事例は、火山灰地盤の動的強度の把握やその耐震性能の評価法を確立することが緊急の課題であることを示している。

一方、しらす、軽石、スコリアなどの火山灰土は、粒子破砕が生じる破砕性土である。破砕性火山灰土では低い応力域においても構成粒子の破砕が生じやすく、その力学特性は粒子が硬い砂のような非破砕性粒状体とは異なることが明らかにされている。したがって、室内試験による破砕性火山灰地盤の力学挙動の評価では粒子破砕の影響を考慮することが必須となる。しかし、破砕性土に関する既往の研究の多くは乱した試料に関する室内力学試験結果に基づいたものであり、不攪乱火山灰土の力学挙動における粒子破砕の影響を考察した例は限られている。

このような破砕性火山灰地盤の力学特性を原位置試験で評価した報告も極めて限定されているが、二次しらす地盤の N 値が試験時の破砕の影響を確実に受けることが明らかにされている。このことから、設計等で一般的に用いられる N 値に関連して、動的貫入試験による粒子破砕の影響、 N 値に基づく破砕性火山灰地盤の強度推定の適否を明確にしておくことも重要な問題になってきている。

本研究では、以上のような背景から、次に示す項目について実験的あるいは解析的な検討と考察を行った。1) 北海道に広く分布する火山灰地盤における地震被害の工学的特徴を明らかにすること、2) 破砕性火山灰地盤の原位置力学挙動に影響を及ぼす諸要因を評価すること、3) 標準貫入試験で生じる粒子破砕を定量的に調べること、4) 破砕性火山灰地盤の N 値による強度推定の問題点を考察すること。

具体的には、北海道周辺で生じた地震に関する被災調査の結果に基づき、火山灰地盤の被害の工学的特徴を調べた。次に、各地から採取した再構成・不攪乱火山灰土に対する三軸圧縮試験、繰返し非排水せん断試験、一次元圧縮試験などの室内試験を行い、その静的・動的力学特性に影響を及ぼす諸要因(粒子破砕、固結、構造異方性、応力履歴、細粒分)について論じた。また標準貫入試験で生じる粒子破砕、破砕性火山灰地盤における N 値と他の力学パラメータとの相関を調べ、 N 値による火山灰地盤の強度推定法を考察し、その問題点と解決法を明らかにした。

本論文は10章から構成され、各章の概要と主たる結論は以下のとおりである。

第1章では、本研究の目的とその地盤工学的な背景を示した。また、破砕性火山灰土の三軸力学挙動、

砂質土の力学挙動に及ぼす異方性、過圧密履歴、含有細粒分の影響、標準貫入試験時に生じる火山灰土の粒子破碎の影響などに関する既往の研究を概観した。

第2章では、北海道に広く分布する火山灰土の特徴、研究対象とした火山灰土の記号、噴出源、噴出年代、噴出条件、分布域などを明らかにした。

第3章では、火山灰地盤における不攪乱試料の採取方法、再構成および不攪乱供試体の作製の方法、実施した室内および原位置力学試験（三軸圧縮試験、繰返し非排水三軸試験、一次元圧縮試験、標準貫入試験、静的コーン貫入試験）の方法を示した。

第4章では、本邦の火山灰地盤における地震被害の特徴を示し、特に液状化に起因する火山灰地盤の被害の実態を工学的に明らかにした。

第5章では、試料採取や原位置試験を行った火山灰地盤の位置、その地層構成や構成要素、各火山灰地盤における N 値などのサウンディング結果および各火山灰土の物理的・示標的性質の特徴を明らかにした。

第6章では、再構成・不攪乱供試体について行った排水・非排水三軸圧縮試験の結果を示し、破碎性火山灰土の静的力学挙動の特異性と粒子破碎、異方性、固結の影響を定量的に論じた。

第7章では、再構成・不攪乱供試体に対する繰返し非排水三軸試験の結果を示し、液状化強度に及ぼす粒径、異方性、セメンテーション、拘束圧、粒子破碎の影響について考察を行った。また過圧密履歴を与えた破碎性火山灰土の繰返し非排水せん断特性を示し、火山灰土の過圧密効果が砂質土よりもはるかに高くなる原因は、圧密過程で生じる粒子破碎が関与していることを明らかにした。

第8章では、破碎性火山灰土の力学特性における破碎細粒分の具体的な役割を明らかにするために、破碎細粒分の含有率と過圧密比を変化させた再構成火山灰土に対する繰返し非排水せん断試験と一次元圧縮試験を行った。試験結果により、破碎性が卓越する火山灰土では、非塑性と判定される破碎細粒分と先行圧密圧力の増加によって強度増加が生じること、その強度増加は破碎細粒分がもたらす「誘導粒子間接点力」によるものであることが明確にされている。

第9章では、破碎性火山灰地盤に対する標準貫入試験の際に生じる粒子破碎を定量的に調べ、 N 値による火山灰地盤の原位置強度評価において火山灰土の応力-ひずみ-強度-破碎特性を考察することの重要性を指摘している。さらに、これらの結果をもとに N 値と内部摩擦角、粘着力、液状化強度、静的コーン貫入試験結果との相関式を提案した。本提案式では破碎性火山灰地盤と砂地盤の力学特性の相違を明確にしている。

第10章では、各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べた。

以上の研究から、破碎性を有する火山灰地盤で砂のような通常の粒状体地盤とは著しく異なる原位置力学挙動が誘発される原因は、構成粒子の破碎性と物理特性（塑性）にあることを示した。すなわち、①破碎性火山灰土の排水せん断では粒子破碎の効果による圧縮変形と粒子の再配列が顕著となること、②不攪乱供試体のせん断強度に及ぼす固結や構造異方性の影響は小さいこと、③拘束圧が低い場合に原位置火山灰土の液状化強度に及ぼす固結、構造異方性、粒径および細粒分の影響は大になること、④破碎性が卓越する火山灰土では過圧密履歴による液状化強度の増加が砂質土よりも高く、それは液性・塑性限界試験では非塑性と判定される破碎細粒分が増えるほど著しくなること、⑤標準貫入試験による粒子破碎は破碎性火山灰土の N 値に大きな影響を及ぼしていること等の事実を明らかにしている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 教 授 石 島 洋 二
副 査 教 授 三 田 地 利 之

学位論文題名

破砕性火山灰地盤の力学挙動とその評価法に関する研究

火山砕屑物で構成される地盤は噴出源や噴出年代、噴出条件などの違いによって複雑な多層構造状態を呈するとともに、堆積環境の影響を強く受けるため、その工学的性質の系統的な把握は困難を極めている。一方、しらすや軽石、スコリアなど日本の多くの地域に分布する火山灰は、せん断による破砕性が卓越する土として知られている。

このような火山灰土では低い応力域においても構成粒子の破砕が生じるなど、粒子が硬い砂のような粒状体には見られない特異な力学特性を有しているため、非破砕性土に基づく力学的アプローチでは合理的な設計に至らないことが指摘されている。また、2003年十勝沖地震において誘発された火山灰地盤の大規模な液状化や流動破壊現象に見られるように、破砕性土の動的力学特性の定量的把握と破壊阻止策の構築も急務とされている。

このような背景から、本研究では次に示す解析的・実験的な検討を進め、破砕性地盤の工学的性質を明らかにすることを旨とした。

- 1) 火山灰地盤で大規模な被害を生んだ最近の地震に関する被災調査から、破砕性地盤における被害の特徴を明らかにする。
- 2) 採取した再構成・不攪乱火山灰土に対する三軸圧縮試験、繰返し非排水せん断試験、一次元圧縮試験などの一連の室内試験から、静的・動的力学特性に影響を及ぼす諸要因（粒子破砕、固結、構造異方性、応力履歴、細粒分含有率など）を定量的に示す。
- 3) 火山灰地盤における標準貫入抵抗 N 値の破砕性による変化を詳細に観察し、 N 値による地盤の力学挙動推定法の問題点を明確にするとともに、原位置試験によるこの種の地盤の強度評価法を提案する。

本論文は10章から構成されるが、各章の成果を要約すると以下のようなものである。

第1章では、研究の背景を示し、本研究の目的と論文の概要が述べられている。

第2章では、本研究が対象とした北海道に広く分布する火山灰土の特徴および火山灰土の記号、噴出源、噴出年代、噴出条件、分布域などを詳細に説明している。

第3章では、試料採取、供試体の作製法、室内・原位置力学試験について、その基本原理と手順が示されている。

第4章では、本邦の火山灰地盤における過去の地震による被害について、特に液状化に起

因する地盤破壊の実態とその工学的特徴を明らかにした。

第5章では、試料採取や原位置試験を行った火山灰地盤の位置、その地層条件や構成要素、各火山灰地盤における N 値などのサウンディング結果およびそれらの物理的・示標的性質の特徴を詳述している。

第6章では、再構成・不攪乱供試体に関する一連の室内試験結果を示し、破砕性火山灰土の静的力学挙動の特異性と粒子破砕、異方性、固結との関連性を定量的に示している。

第7章では、繰返し非排水三軸試験の結果から、液状化強度に及ぼす粒径、異方性、セメンテーション、拘束圧および粒子破砕の影響を明確にしている。特に、過圧密履歴を有する破砕性火山灰土の液状化強度と非排水変形特性を詳細に調べ、過圧密効果が火山灰土において砂質土よりもはるかに高くなる原因は、圧密過程で生じる粒子破砕が関与していることを究明している。

第8章では、破砕性火山灰土の力学特性における破砕細粒分の具体的な役割を明らかにするために、破砕細粒分の含有率と過圧密比を変化させた再構成火山灰土に対する繰返し非排水せん断試験と一次元圧縮試験を実施している。試験結果より、破砕性が卓越する火山灰土では、非塑性と判定される破砕細粒分と先行圧密圧力の増加によって強度増加がもたらされること、さらにその強度増加は破砕細粒分の働きによる「誘導粒子間接点力」に起因すると指摘し、その重要性を種々の火山灰土について明らかにしている。

第9章では、標準貫入試験で生じる粒子破砕を定量的に調べた結果から、 N 値による火山灰地盤の原位置強度評価において火山灰土の応力-ひずみ-強度-破砕特性を考慮することの必要性を示している。さらにこれらの結果をもとに、破砕性粒状土に関する N 値と内部摩擦角、粘着力、液状化強度および静的コーン貫入試験結果との相関式を新たに提案している。提案式は粒子破砕を伴う地盤調査結果に適用できることから、工学的に極めて有用である。

第10章では、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。

以上の研究から、破砕性を有する火山灰地盤において、砂のような通常非粘着性地盤と著しく異なる原位置力学挙動が誘発される原因は、構成粒子の破砕性と物理特性（塑性）にあることが明示されている。さらにこのような地盤の静的・動的力学特性を評価するための適切な試験法の選択と適用すべき関係式の提案がなされ、実務の設計・施工に利用できることが示されている。

これを要するに、著者は、これまで未解明であった破砕性火山灰地盤の力学挙動に及ぼす諸要因の影響とその評価法を一連の実験と解析によって明らかにするとともに、原位置試験による各種強度定数の推定法の提案を行い、さらには破砕性土と通常の砂地盤の力学的相違点について貴重な知見を得ており、地盤工学の発展に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。