

氏 名	グラチェフ イワン ボリソビッチ Gratchev Ivan Borisovich
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3136 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	A study on cyclic behavior of fine-grained soils in different pore fluids (間隙流体が異なる細粒土の繰り返し挙動に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 々 恭 二 教 授 千 木 良 雅 弘 教 授 町 田 忍

論 文 内 容 の 要 旨

自然地盤においては、風化や人為的な土壌・水質汚染により、地下水質が変化することが一般的であるが、これまで地盤工学の分野では、細粒砂のせん断特性に与える水質特性の影響についてほとんど議論されていなかった。申請者は、化学組成の異なる間隙水が細粒砂の液状化に及ぼす影響について研究を行い、間隙水の化学組成の変化が地震時地すべりの原因となりうるのかについて考察を行った。

本研究では、リングせん断試験機による繰り返しせん断試験および電子顕微鏡による微細構造の観察を行った。実験試料には、細粒砂、粘土と細粒砂の混合砂、および地震時地すべり地から採取した自然の試料を使用した。研究は、以下の2部から構成される。

- 1) 間隙流体が水 (H_2O) である時に粘土鉱物が液状化に及ぼす影響
- 2) 間隙水の化学組成、pH が液状化に及ぼす影響

間隙流体が水である時の細粒砂及び細粒砂と粘土の混合砂について研究を行った。細粒砂に少量の粘土を加えると、急激な液状化が生じることが見出されたが、その構造変化を電子顕微鏡で観察したところ、砂粒子間に粘土がブリッジ状につくことにより砂粒子間の間隙が拡大することにより液状化し易くなることが推定された。しかし、さらに粘土含有量を増加させると、砂粒子間の間隙が粘土のマトリックスで満たされ、密となることにより液状化しなくなることが見出された。

間隙水の化学組成が液状化ポテンシャルに及ぼす影響を調査するためイオン濃度を調整した $NaCl \cdot Na_2CO_3 \cdot CaCO_3 \cdot H_2SO_4 \cdot NaOH$ 溶液を間隙水として用い、繰り返しせん断試験および電子顕微鏡写真の観測を実施した。間隙水に含まれるイオン濃度を増大させると粘土鉱物の微細構造が拡大するような粒子配列になり、液状化抵抗が低下することが見出された。また、細粒砂にモンモリロナイト粘土を11%混合させた試料と2004年新潟県中越地震によって発生した地すべり地から採取したスメクタイトを含む粘性土について、間隙水の pH を変化させて繰り返し載荷試験を行った。その結果、間隙水が酸性になってもアルカリ性になっても液状化抵抗が減少することが見出された。

最後に中越地震で発生した一つの地すべりのすべり面の応力状態を試験機内で再現し、土層の pH が変化した場合および間隙水の $NaCl$ 濃度が変化した場合について、20サイクルの繰り返し載荷を与えたところ、 $NaCl$ を増大させた場合、pH が7よりある程度以上低下させた場合、およびある程度以上増大させた場合において、繰り返し載荷後も斜面土層の自重に初期応力のみで変形が継続する現象、すなわち地すべり移動現象の発生に相当する挙動が確認された。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

自然地盤の中の地下水の水質は自然あるいは人為的原因により変化するが、水質変化が土の性質に及ぼす影響についてはこれまであまり研究されてこなかった。申請者は、細粒土の液状化特性に及ぼす間隙流体の影響、ことに間隙流体の組成変化が地震時地すべりの発生原因になり得るかどうかを調べる研究を行った。研究は、珪砂と自然地盤から採取した土の両方

についてリングせん断試験機と走査型電子顕微鏡を用いて実施した。

最初に間隙流体が水の場合について、粘土含有量、粘土鉱物、塑性、土の微視的構造が、細粒土の液状化特性に及ぼす影響を調べた。細粒砂に少量の粘土を加えると、砂だけの場合より急激な液状化が生じること、そしてその原因が少量の粘土を加えると砂粒子間に粘土がブリッジ状にくっつくことにより土粒子間の間隙が拡大することにより生じていることを電子顕微鏡観察から見出した。さらに粘土を増大させると液状化抵抗が増大すること、そしてその原因が粘土鉱物による密な微細構造が粒子間に形成されることによりせん断に伴う体積収縮が生じにくい構造になっていることを見出した。

次に異なる化学組成の間隙流体を用いて実験を行い、水に $\text{NaCl} \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NaOH}$ 等の溶液を加えると、液状化抵抗が減少することをリングせん断試験の結果より見出し、また、その原因として間隙水にイオンが加わることにより微細構造がより空隙が大きくなる形に変化していることを電子顕微鏡観察から確認した。さらに間隙水の pH が細粒土の液状化ポテンシャルに影響を与えること、間隙水が、中性から酸性になってもアルカリ性になっても液状化ポテンシャルが増大することを見出した。

最後に異なる組成の間隙流体が存在する仮想の斜面土層に繰り返し載荷を与える試験を行い、間隙水の水質変化、すなわち NaCl イオンを増大させた場合、および間隙水圧水の pH が酸性あるいはアルカリ性に変化させた場合、繰り返し終了後（すなわち地震終了後）に自重のみで継続的に変位が増大する状態、すなわち地すべり移動現象の発生に相当する挙動が確認された。

申請者の以上の研究は、間隙水の水質変化が、地震時の地すべりの発生の有無に影響を持つことを繰り返し載荷リングせん断試験と電子顕微鏡観察の結果から検証したものであり、地すべり学の進展における重要な一步を印したものと評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。