

京都大学	博士（工 学）	氏名	Quoc Huy NGUYEN
論文題目	Behaviors and Modeling of Naturally and Artificially Bonded Geomaterials (自然及び人工固結性地盤材料の挙動とモデル化)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、自然材料や人工的に改良された固結性地盤材料の挙動とそのモデル化に関するものである。具体的には、人工改良地盤材料としては特殊コロイダルシリカによって浸透改良された砂とセメントで改良された粘性土、自然材料としては軟岩を対象とし、その挙動の実験的解明とそのモデル化の成果をまとめたものであり、序論、結論を含め6章から成る。			
第1章は序論であって、本研究の背景となる固結性地盤材料、軟岩、セメント改良土、特殊シリカ改良土に関する諸問題、および従来の研究成果について述べるとともに、本研究の目的および各章の概要を示している。			
第2章では、固結性地盤材料である、軟岩、セメント改良土、コロイダルシリカ改良土について、その挙動と構成モデルに関する既往の研究をレビューし、現在の技術研究のレベルと問題点を明らかにした。典型的な固結性地盤材料である軟岩の特徴は、低拘束圧でのひずみ軟化とダイレイタンス、拘束圧の増大にともなう負のダイレイタンスへの移行、降伏曲面の存在などである。			
第3章では、セメント改良粘性土の実験方法について詳述し、まず、深草粘土を用いて 28 日間水中養生したセメント改良土に対して三軸排水、非排水試験を実施し、三軸圧縮特性におけるセメント量、拘束圧とひずみ速度の効果を明らかにしている。			
セメント改良土の三軸非排水試験結果は、セメント量が 15%では、10%に比べて顕著なひずみ軟化を示し、10%のセメント改良土で見られるせん断初期の負のダイレイタンスが 15%では失われる。変相線到達後は、最大強度に向かって正のダイレイタンスが観測されるが、最大強度に達すると、平均有効応力の減少が発生している。最大強度はセメント量によって異なるが、大ひずみでの応力比は、セメント含有量に依存せずユニークな値である。			
セメント混入により改良粘性土の強度、剛性は増大するが、セメント量が 10%を超えると、効果が認められない。セメント量を増やすと強度とダイレイタンス特性が改善されるが、破壊時のひずみが小さくなり、脆性が増大する。ひずみ速度効果については、ひずみ速度の異なる三軸非排水試験を実施し、ひずみ速度が大きいほど強度は大きくなることを見出している。			
全体として、過圧密粘土の特性との類似性が認められることを明らかにしている。			
第4章では、特殊シリカによって浸透改良された熊本県八代で採取された均等係数の小さい八代砂の力学特性に関して室内実験を行いその特性を明らかにした。まず、コロイド性の特殊シリカを浸透注入し、改良砂の試料を作成する方法について詳述した。次に、3 軸非排水試験と非排水繰返し中空ねじり試験を実施し、改良砂の繰返し強度変形特性、液状化特性を明らかにしている。実験では、現場で浸透注入した砂と実験室で改良された砂の2種類に対して実験を行い、原位置で改良された砂は実験室で改良された砂より繰返し強度が向上していることも見出している。具体的には、繰返しねじり試験から得た、繰返し強度曲線、20回繰返し、両振りひずみ5%での強度曲線は未改良砂では繰返し強度は0.16、改良砂では、0.42と強度が増大す			

ることを示した。一方、次に、原位置で浸透注入により改良された試料と室内で再構成改良試料との繰り返し強度の比較から、室内での強度は未改良、改良砂ともに小さいが、その原因は細粒分の量に依存すること、つまり、原位置では、室内試験で示すより大きな改良効果が期待できることを明らかにした。

第5章では、まず、軟岩とセメント改良土、特殊シリカによって改良された砂の構成式について詳述し、その軟岩とセメント改良土への適用性を明らかにした。

まず、軟岩の構成式として、これまで、軟岩と粘性土は異なる材料として別々の構成モデルが用いられてきたが、本研究では、基本的に軟岩と過圧密粘性土は同様の材料であるとの立場から、これまで、粘性土へ適用されてきた Kimoto と Oka(2005)による超過応力型の弾粘塑性構成式の適用を試みた。この構成モデルは、弾粘塑性のみでなく、ひずみの進行による劣化と硬化を表現することができるモデルである。このモデルをまず、これまで、多くの研究者によって研究されてきた堆積性の凝灰岩である軟岩大谷石に対して適用し、排水3軸試験結果との比較から、ひずみ軟化特性、ダイレイタンシー特性を広い拘束圧の範囲で適用可能なことを数値シミュレーションによって示した。特に、ひずみ軟化過程で漸減的な応力の減少をよく表現することが可能であることを見出した。次に、青森火山灰含有凝灰岩に対してこのモデルを適用し、ひずみ軟化特性、ダイレイタンシー特性を広い拘束圧の範囲で実験結果とよい一致を見出している。特に、既往のモデルで過大に評価していたダイレイタンシー特性の改良に成功している。このモデルはこれまで提案されてきたモデルに比較し、過圧密領域での圧縮性、ダイレイタンシーをよく表現することができ、既往のモデルの欠点を克服するものである。

次に、セメント改良土に対しては、Kimoto と Oka(2005)の超過応力型の弾粘塑性モデルに非線形移動硬化則を組み込んだモデルを用いた。このモデルによって、拘束圧が比較的大きい領域で、ダイレイタンシーの負から正への変換がよく再現されることを明らかにし、自然土に比べてやや複雑な応力-ひずみ関係を説明することを可能にしている。実験結果との比較は非常によく、大ひずみではセメントの含有量によらず一定の応力比、すなわち限界状態にいたる過程がよく再現される。

第6章では、まず同じ固結性の地盤材料である堆積軟岩とセメント改良土の力学挙動の類似性に注目し、初期過圧密境界面を比較し、異方性の効果はセメント改良土の方が大きいものの、青森凝灰岩にも異方性が認められ、軟化特性やダイレイタンシー特性にも類似性が認められた。このような実験的事実は、モデル化においても同系の構成モデルが有効であることを示唆しており、5章でのモデル化と一致している。

さらに、結論として、本研究によって得られた結果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。特に、セメント改良土については、セメント量の違いが構成式のパラメータに与える影響を今後明らかにする必要がある。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、自然材料や人工的に改良された固結性の地盤材料の挙動とそのモデル化に関するものである。具体的には、人工改良地盤材料としては特殊シリカによって浸透改良された砂とセメントで改良された粘性土、自然材料としては軟岩を対象とし、その挙動の実験的解明とそのモデル化の成果をまとめたものであり、6章よりなっている。得られた成果は以下のとおりである。

1. まず、実験として、深草粘土を用いて28日間水中養生したセメント改良土に対して三軸排水、非排水試験を実施し、三軸圧縮特性におけるセメント量、拘束圧とひずみ速度の効果を明らかにしている。セメント量が多いと強度、剛性が大きくなるが、多すぎると脆性が強くなりすぎること、セメント量が10%以下では強度の改良が十分ではないことを明らかにしている。

2. 次に、特殊シリカによって浸透改良された八代砂に対して、3軸試験と非排水繰り返し中空ねじり試験を実施し、改良砂の繰り返し強度変形特性、液状化特性を明らかにしている。また、現場で浸透注入した砂と実験室で改良された砂の2種類に対して実験を行い、原位置で改良された砂は実験室で改良された砂より繰り返し強度が向上することも見出すことに成功している。

3. Leroueil と Vaughn(1988)による軟岩と鋭敏粘土の挙動の類似性の指摘に基づき、粘性土に対して提案されてきた弾粘塑性構成式の適用を試みた。その結果、堆積軟岩のモデルとして、塑性変形に伴う内部構造の崩壊を表現できるよう拡張した弾粘塑性構成式の適用を試み、種々の拘束圧による粘塑性挙動の再現に成功している。このモデルは、粘性土に対して開発された Kimoto-Oka モデルに非線形移動硬化をも考慮したモデルである。既往の堆積軟岩の構成モデルに比較して、体積変化特性とダイレイタンス特性の再現特性が改善されており、固結構造の変化を考慮したひずみ硬化と軟化とひずみ速度効果を表現することができる。

4. これまで、軟岩と鋭敏粘土の類似性が指摘されているが、軟岩とセメント改良粘性土に関して過圧密降伏曲面を比較し、ひずみ軟化、ダイレイタンス、拘束圧依存性、異方性に対してその類似性を確認した。

最後に、本研究の結論を述べるとともに、固結性地盤材料の今後の研究開発の方向性を明らかにしている。

以上、要するに本論文は、自然及び人工的な固結性地盤材料について、その挙動を実験により明らかにするとともにその構成式を提案し、セメント改良粘土と軟岩の弾粘塑性構成式とシリカ改良土に対する繰り返し弾塑性構成式の適用性を明らかにしており、地盤工学の進展に多大に貢献する研究であり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年2月24日、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。