

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14244 号
------	---------------

氏 名 GANIEV Jakhongirbek

### 論文題目

Experimental and Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Fiber-Reinforced Sands based on Critical State Soil Mechanics  
(限界状態理論に基づく繊維補強砂の力学挙動の実験および数値解析的解釈)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	中野 正樹
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	野田 利弘
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	中井 健太郎
委員	名古屋工業大学	工学研究科	教授	張 鋒

## 論文審査の結果の要旨

GANIEV Jakhongirbek君提出の論文「Experimental and Numerical Analysis of Mechanical Behavior of Fiber-Reinforced Sands based on Critical State Soil Mechanics（限界状態理論に基づく繊維補強砂の力学挙動の実験および数値解析的解釈）」は、繊維（ファイバー）を混入し補強・改良した砂を対象に、系統的に力学試験を実施して得られた力学挙動について、弾塑性構成モデルで再現することに成功し、新たな解釈を与えている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、背景として地盤改良工法の中での繊維補強工法の位置づけを示し、セメント改良やフライアッシュ改良、石灰改良に比べ、環境負荷軽減に寄与するという特徴を述べ、本論文の目的および構成を示している。

第2章では、繊維で補強された土の力学挙動に関連する既往研究を、力学試験と数値解析に分けて整理している。力学試験においては、土供試体の作製方法・等方圧密試験・排水せん断試験・非排水せん断試験・異方性について得られた結果をまとめ、数値解析については離散体および連続体それぞれの既往研究の成果を整理し、力学試験と数値解析についての課題を示している。

第3章では、繊維を混入した試料に対し4種類の供試体作製方法で、試行錯誤的に数多くの試験を実施することにより、繊維混入率に応じた最適な試料作製方法を確立、提案した。提案した試料作製法により、砂供試体における繊維分布がより均一になり、得られたせん断挙動において高い再現性を示すという重要な結果を得た。

第4章では、繊維混入率0.2%、0.4%に対し、同じ拘束圧のもと、初期相対密度の異なる試料を用いた排水三軸せん断試験を実施した。その結果、繊維混入率が増加すると、最大軸差応力と残留軸差応力は大きくなるが、初期剛性は低下した。ダイレイタンシー特性については、繊維混入率が増加するとせん断初期の体積圧縮が大きくなり、せん断後半は膨張に転じるが膨張量は小さくなった。また各繊維混入率に注目すると、初期相対密度が異なっても、せん断終了時では、同じ軸差応力、同じ平均有効応力、同じ比体積に達した。さらに拘束圧を変えて同様の試験を実施したところ、せん断終了時の応力状態は、軸差応力-平均有効圧力関係において、原点を通る直線に達し、繊維混入率が増加するとその傾きが増加した。このことは限界状態線の存在を示唆しており、排水条件の異なる非排水三軸せん断試験においても、やはり繊維混入率に応じた限界状態線の存在が明らかになった。これら一連の結果は、繊維補強砂の力学挙動が、通常の土の挙動と同様に、限界状態理論に基づき解釈できるという重要な知見を示している。

第5章では、土の骨格構造概念を有する弾塑性構成モデルSYS Cam-clay modelによって、繊維補強砂の力学挙動の再現を試みた。排水三軸せん断試験においては、異なる初期相対密度に対し、せん断初期の初期剛性、応力経路やダイレイタンシー特性、最大軸差応力が変化する傾向、それらの傾向が繊維混入率に応じて変化するのを構成モデルは表現した。さらに、各繊維混入率において、初期相対密度によらず、せん断終了時には同じ軸差応力、同じ平均有効応力、同じ比体積に達すること、繊維混入率に応じて限界状態線が得られることを構成モデルは再現した。弾塑性構成モデルによる再現解析から得られた材料定数において、繊維混入率が大きくなるほど、限界状態係数 $M$ は大きくなり、内部摩擦角が増加することを明らかにした。非排水三軸せん断試験においても、排水せん断で得られた材料定数で力学挙動を表現でき、材料定数の妥当性を明らかにした。この結果も繊維補強・改良土による土構造物の設計に有用な知見を与えるものである。

第6章では、繊維補強砂の初期異方性について、力学試験と数値解析から考察した。繊維補強砂の排水三軸せん断挙動は、繊維を混入しない無補強砂に比べ、初期剛性が低下し、せん断初期における体積圧縮の程度も大きくなった。非排水せん断挙動においても、初期剛性が低下し、変相点までの平均有効応力が大きく減少した。これらの程度は、繊維混入率の増加に伴い大きくなった。無補強砂供試体は試料作製過程で水平に砂粒子が堆積することから高い異方性を有していることは知られている。繊維混入によりこの堆積状態が乱されるため、初期異方性の程度が小さくなること、繊維混入率の増加に伴いその傾向が大きくなることを力学試験から明らかにした。さらに、弾塑性構成モデルの再現計算からも、繊維混入により初期異方性の程度が低下することを示した。この成果は繊維補強・改良土の力学挙動を表現する構成モデルへの有用な知見を与えている。

第7章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、繊維を混入し補強・改良した砂の力学特性を、限界状態理論に基づき明らかにしている。これら得られた結果並びにその解釈により、地盤改良工法の一つとして環境負荷軽減に寄与する繊維補強・改良工法の応用が各段に広がり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるGANIEV Jakhongirbek君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。