

令和元年6月28日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06493

研究課題名(和文) マルチスケール・モデリングに基づくファイバー混合粒状体の強度変形特性の解明

研究課題名(英文) Mechanical Properties of fiber-reinforced granular media based on the multi-scale modeling

研究代表者

金子 賢治 (Kaneko, Kenji)

八戸工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30333834

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果として、ファイバー混合補強土において強度に対してファイバーの混合率に最適値(最適混合率)が存在することを初めて明らかにした。また、最適混合率が、土粒子サイズに依存する事を発見し、土粒子のサイズが小さい程、最適混合率が大きくなることを実験的に示した。さらに、数値解析により地盤材料に混合したファイバーの張力による正の作用とファイバーと土粒子間の摩擦係数の低下による負の作用のバランスにより強度が発現すること、ファイバーと土粒子の接触点の増加による摩擦係数低下の影響が巨視的な強度特性に対して支配的になることにより最適混合率が発現する事を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果として、ファイバー混合補強土において強度に対してファイバーの混合率に最適値(最適混合率)が存在することを初めて明らかにした。また、最適混合率が、土粒子サイズに依存する事を発見し、土粒子のサイズが小さい程、最適混合率が大きくなることを実験的に示した。さらに、数値解析によりその補強メカニズムを明らかにした。これらの成果により、ファイバー混合補強土が普及することで、粘り強い構造物の構築に貢献できる。また、竹チップ・間伐材チップやヤシ繊維などの天然材料を利用した地盤補強技術の普及による環境配慮型インフラ構築への貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We clarified the appearance mechanism of optimum mixture ratio which was reinforced soil by mixing short fiber with the tri-axial compression tests and the numerical experiments using four types silica sand. It was clarified that when mixing too much, become too easily slip at boundary between short fiber and soil particles, and that negative effect outweighs positive effect so optimum mixture ratio will be appears. It is very important that there is an optimal solution for the mixture ratio of short fiber mixing reinforced soil. And it can contribute to the elucidation of the improvement mechanism of the mechanical properties of the granular material by mixing of short fibers.

研究分野：地盤工学

キーワード：ファイバー混合補強土 粒状体 強度変形特性 数値解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生以来、土木構造物には粘り強さが求められている。特に、砂などの粒状材料を用いた構造物については、浸食や洗掘に非常に弱いことが大きい津波による多数の被害によって再認識されている。河川堤防や防潮堤などの盛土については、浸食や洗掘を防ぐためにコンクリートで被覆されていたものも多いが、脆性的に破壊するコンクリートに頼らずに盛土堤体の粘り強さも必要であると考えられる。このような背景に対して、図-1に示すようなポリエチレンやポリプロピレンなどでできた長さ数10mmの短繊維を混合することで土を補強する手法がある。短繊維を土に混合することで、力学的特性が改善され、強度や靱性が向上することが知られている。また、耐浸食性や耐洗掘特性が向上することも特徴であり、通常の粒状材料に比べて粘り強い地盤材料に改善されることが知られている。基本的には、砂などの地盤材料に短繊維を混合するだけであるので容易に施工でき、材料特性を改良する工法であるので幅広い地盤構造物への適用が可能である。さらに、東南アジアなどでは、石灰やセメントが希少であることから土を改良するためにヤシ繊維を用いるなど、国際的にも繊維混合補強土の需要は非常に大きい。また、近年、ポリプロピレンの端材や伐採竹などの副産物・廃棄物を、土を補強するために有効に利用しようとする動きも活発化している。砂などの粒状材料に短繊維を混合した複合材料においては、粒子集合体にポリプロピレン等の微視的な引張力に抵抗する短繊維を混合することで、見かけの（巨視的な）粘着力を向上させることが基本的な改良の概念であるとされている。したがって、短繊維による改良効果は設計においても粘着力を増加させることで反映することとしている。短繊維の混合による粒状材料の強度増加のメカニズムを解明するために多くの研究が行われてはいるが、実験的に短繊維の引張抵抗に基づく巨視的な粘着力増加によるものとする方向のものが多い。しかしながら、実験的アプローチのみによるこれらの検討においては、数10mmの短繊維を混合した粒状材料に対して直径50mm×高さ100mmの供試体により検討している場合が多いことなど供試体のスケールにおいて課題がある。したがって、短繊維補強土は、土質材料の粒度・密度などの物理的な性質に加えて、短繊維の太さ・長さ・剛性・混合率や方向など、種々の要因が複雑に関わるために、その強度変形特性や補強メカニズムを解明することは非常に難しく、学術的に未だに不明な点も多い。

## 2. 研究の目的

申請者らは数年前から短繊維混合補強土について研究を進め、ケイ砂5号に対して混合率を変化させた三軸圧縮試験において強度に対して混合率の最適値が現れることなど、これまで不明であった部分を明らかにしている。特に、混合率に強度の最適値が存在することは、過大な混合量は改良効果が低いばかりで無くコストが増大するため、実務上の配合設計を行う際に非常に重要となると考えられる。これらのように、短繊維混合土の力学的特性については、単に引張補強材を混合することによる見かけの粘着力向上のみでは説明できない現象も指摘されているし、今後有望となる粒状材料の改良手法であるにも関わらず、数理モデルの構築等には至っていないのが現状である。これらのことから、本研究においては、短繊維を混合し微視的に引張補強した粒状材料の力学特性について室内試験とマルチスケール数値解析を行って粒子レベルの検討から巨視的・平均的な力学的特性を系統的に検討する。特に、最適混合率の存在に着目して、実務上の配合設計に反映することを目指すと共に、補強メカニズムを微視的視点からも考察する。

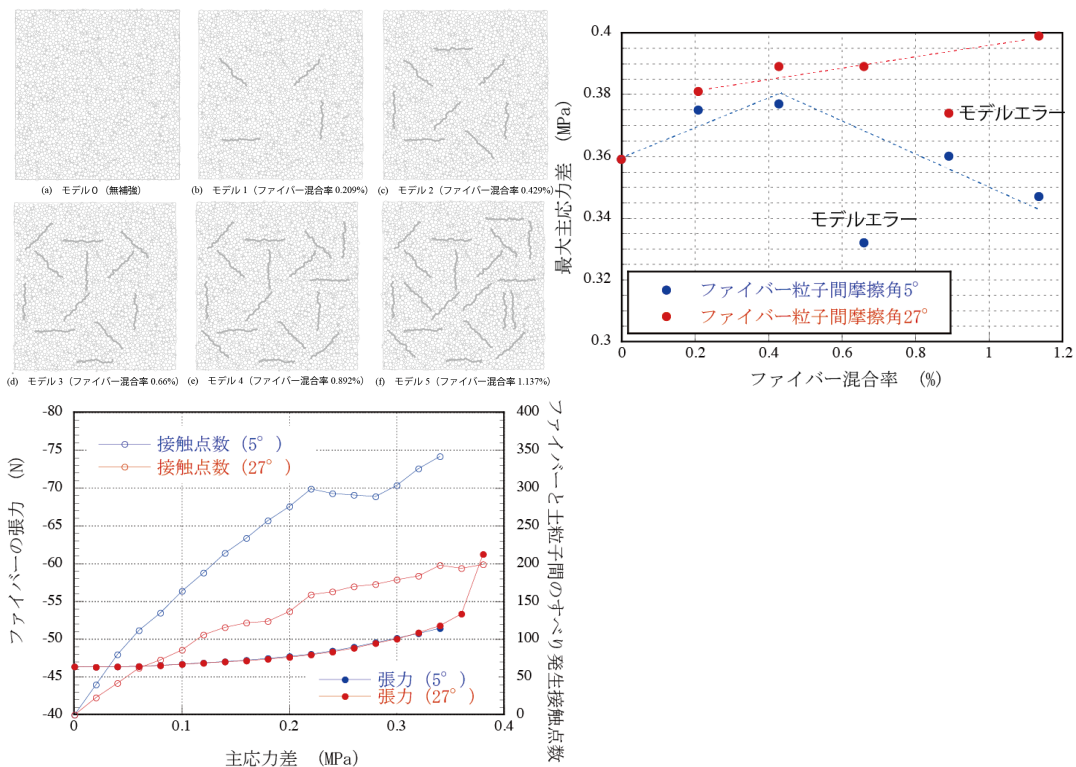
### 3. 研究の方法

本研究では主に数値実験と室内試験により研究を進める。数値実験は、粒状要素法をマイクロスケールの解析に用いる。また、室内試験においては、主に締固め試験により締固め特性を把握した上で、三軸圧縮試験を行って、強度変形特性を調べた。また、数値実験・室内試験の結果を総合的に考察し、巨視的な強度変形特性の考察と微視的な補強メカニズムの考察を行った。

### 4. 研究成果

本研究においては、地盤材料に繊維材料を混合した複合地盤材料に関する力学的研究を実施してきた。室内試験および粒状要素法を用いた数値実験手法を開発し、補強メカニズムの解明と強度変形特性の把握を目指した。まず、せん断強さに対する短繊維混合率の最適混合率が発現するといった補強メカニズムを明確に示した。しかしながら、土質や繊維材料の寸法、形状、材質など多くの要因が複雑に作用するため、幾つかの課題が残された。次に、繊維材料を混合することにより複合地盤材料の締固め特性は地盤材料単体の性質とは異なると考えられるため、複合地盤材料の締固め特性を把握したうえで強度試験を行い、強度変形特性について検討を行った。砂質土に直径の異なる3種類の短繊維を混合した複合地盤材料についての締固め試験を行い、次に、地盤材料のみの締固め特性に基づいて作製した場合と、複合地盤材料の締固め特性を考慮して作製した場合の2種類の供試体作製条件を設定し、それぞれの条件で混合率と繊維直径を変化させて作製した供試体について三軸圧縮試験を行った。これにより強度変形特性の把握、補強メカニズムについて比較・検討を行った。

これらの結果、未だに幾つかの課題は残されるものの、強度変形特性と補強メカニズムについての重要な知見が得られた。特に、室内試験と粒状要素法を用いた微視スケール解析の結果から、繊維混合によって付与される引張り力の効果と、砂粒子とファイバーの境界における摩擦の低減といった負の作用が複雑に関係することを示した。ファイバーを混合し過ぎると摩擦低減の負の作用が卓越し、強度が低下するといった、考察を行った。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

盛健太郎, 橋詰豊, 金子賢治: 供試体作成条件に着目した短繊維混合砂の強度変形特性に与える短繊維混合率の影響について, ジオシンセティックス論文集, Vol. 32, 2017.

K. Mori, K. Kaneko and Y. Hashizume: Consideration of reinforcement mechanism in the short fiber mixing granular materials by granular element simulations, Powders and Grains 2017, Paper No. 12020, 2017

〔学会発表〕（計 4 件）

盛健太郎, 小笠原亮介, 橋詰豊, 金子賢治: ファイバー混合粒状材料の強度変形特性と混合率の関係の整理, 第 73 回土木学会年次学術講演会, 2018

菅野敬也, 盛健太郎, 橋詰豊, 金子賢治: ファイバー混合補強土の強度変形特性と混合率の関係, 平成 29 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2018

盛健太郎・橋詰 豊・金子賢治: 短繊維混合粒状材料における短繊維混合率と締固め特性について, 平成 28 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, III-13, CD-ROM., 2017

盛 健太郎・橋詰 豊・金子 賢治: 締固め度一定条件における短繊維混合粒状材料の繊維混合率と強度特性の関係, 土木学会第 72 回年次学術講演会, III-210, CD-ROM. 2017

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

○取得状況（計 0 件）

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。