

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：82723

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07493

研究課題名(和文) 処分場跡地の有効活用に向けた時空間的不均一性を考慮した繊維-粒子複合モデルの開発

研究課題名(英文) Development of constitutive model of fiber reinforced granular material considering spatio-temporal heterogeneity for effective utilization of post landfills

研究代表者

宮本 慎太郎 (Miyamoto, Shintaro)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・システム工学群・助教)

研究者番号：60782711

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、(1)可視化実験による繊維-粒子複合モデルの高度化、(2)土中環境クリープ試験装置の開発と繊維系材料の劣化特性の評価、に主に取り組んだ。その中で、粒状材料内での繊維材料の変形挙動を明らかにし、その結果を元に、繊維-粒子複合材料の破壊規準を提案した。さらに、繊維系材料粒状材料間の摩擦を考慮して引張力を制御する方法と土中の温度を管理する方法を提案し、土中環境下での温度促進クリープ試験を可能にした。

研究成果の概要(英文)：This research project has conducted the two main task: Improvement of mechanical model of fiber reinforced granular material, and Development of tensile creep test method considering soil environment. The study has clarified the deformation behavior of fibrous material in the granular material. The failure criterion of fiber reinforced granular material was proposed based on the deformation behavior of fibrous material. Moreover, the study has proposed the evaluation method of tensile force of fibrous material considering friction between fibrous material and granular material, and also the controlling method of soil temperature. The accelerated creep test under soil environment has become possible to conduct by evaluating the tensile force of fibrous material and by controlling soil temperature.

研究分野：地盤工学

キーワード：繊維-粒子複合材料 構成モデル 土中環境クリープ試験 劣化特性

1. 研究開始当初の背景

廃棄物処分場の残余容量の逼迫に伴って、処分費用の高騰や不法投棄等が発生しており、重大な社会環境問題となっている。環境省によると、産業廃棄物処分場の残余年数は14年程度、一般廃棄物処分場では19年程度と考えられており、埋立てが終了した処分場跡地は500箇所以上にのぼる。新たな最終処分場の建設が困難である日本では、処分場の延命化を図ると共に、処分場跡地の有効活用によって土地資源としての社会還元を図ることが重要である。特に近年では、大規模施設造成などの空間的活用によって有効活用の可能性を広げることが求められており、廃棄物の力学特性の解明と適切な評価手法の開発が不可欠となっている。

廃棄物は組成割合(廃材の種類と含有率)が現場により異なることが大きな特徴であり、種々の廃棄物地盤を系統的に評価する上で、組成割合の影響を把握することが重要な課題となっている。そこで申請者は、これまでに組成割合に着目した検討を行ってきており、廃棄物を繊維系材料と粒状材料からなる複合材料(「繊維-粒子複合材料」と定義)に単純化できることを明らかにしている。さらに、マルチスケールモデルの概念に基づいて、繊維-粒子複合材料の構成モデルを構築し、廃棄物の応力・ひずみ関係の評価に適用した。しかしながら、実際の廃棄物地盤を考えると、そこに含まれる繊維系材料は長期的な時間経過によって劣化することが知られている。さらに、繊維系材料は空間的にも不均一に混入していることを現場調査により確認している。廃棄物の有効活用を広げるために、繊維系材料の影響を詳細に評価するとともに、繊維系材料の時間・空間的な不均一性の影響を明らかにし、それらを考慮した評価手法を開発することが強く求められている。

2. 研究の目的

本研究では、せん断変形時の繊維系材料および粒状材料の挙動を把握する可視化実験を行い、これまでに開発した構成モデルの高度化を図る。さらに、土中環境クリープ試験装置を開発し、粒状材料内での繊維系材料の劣化促進試験を可能にする。土中の複合環境下での繊維系材料の劣化特性を評価する試験方法および評価方法を確立するとともに、その力学モデルへの反映を図る。

3. 研究の方法

(1) 可視化実験による繊維-粒子複合モデルの高度化

アクリルで作製した一面せん断試験装置を開発し、ガラスビーズと繊維系材料による複合材料を対象として実験を行う。実験時には、供試体及び繊維系材料の挙動を撮影し、撮影した画像からPTVによる画像解析を行う。これらの結果を用いて、土中内の繊維系材料の挙動を定量化し、繊維-粒子複合材料の破

壊規準を開発する。粒状材料の破壊規準として一般的に用いられているモールクーロンの破壊規準に、繊維系材料の引抜きおよび引張りによる影響を考慮した破壊規準の開発を試みる。提案式の妥当性は、日本の不法投棄等現場より採取した廃棄物を用いたせん断試験により検証する。

(2) 土中環境クリープ試験装置の開発と繊維系材料の劣化特性の評価

繊維系材料の粒状材料内での劣化特性を解明することを目的として、土中環境クリープ試験装置の開発を行う。本装置は、繊維系材料に作用する引張力・鉛直応力条件、土との接触条件、間隙水のpH条件が制御できるようにになっている。さらに、長期の劣化特性を評価するために、温度促進試験を行えるものにした。本期間では、試験方法の確立、土-繊維系材料間の摩擦の影響評価、土中での温度促進試験方法の検討を行う。さらに一連の実験により、繊維系材料の長期強度評価手法を提案する。

4. 研究成果

(1) 可視化実験による繊維-粒子複合モデルの高度化

可視化実験に用いた一面せん断試験装置を図-1に、供試体の様子の例を図-2に示す。実験時には、繊維系材料の本数を1, 3, 5, 7本と変化させ、せん断変形時の繊維系材料の変形挙動およびそのグループ効果を明らかにした。複合材料としての応力-変形挙動を図-3に、繊維系材料が1本、7本の時の繊維系材料の変形の様子を図-4に示す。また、PTV解析によって得られたせん断変形時のひずみ分布を図-5に示す。これらの結果より、複合材料がピーク強度を示すまでのせん断領域では、繊維材料は引張挙動を示し、ピーク強度発現後にはせん断変位量の増加に伴って徐々に引き抜けていく挙動を示すこと、またその際には、繊維系材料の両端は変形しない定着領域となり、せん断中央部で引張領域が発生することを明らかにした。さらに、繊維系材料を近接して設置した場合には、繊維系材料と粒状材料は一体化して変形するようになり、繊維系材料の数や配置によって複合材料の内部挙動が変化していくことを明らかにした。

可視化実験の結果を踏まえて、繊維-粒子複合材料の破壊基準を開発した。繊維系材料が多く、密に配置されている廃棄物を想定し、繊維系材料は引張変形によって強度が発揮されるとした。繊維系材料による強度増加の評価は図-6のように行った。さらに、実際の廃棄物を使用した一面せん断試験により、精度検証を行った。試験装置の概要を図-7に、結果でる応力-変形特性を図-8に、実験値と計算値の比較結果を図-9に示す。結果から分かるように、提案した破壊規準は、繊維系材料の配向角度によって変化する廃棄物のせ

せん断強度を精度よく評価できることが確認された。

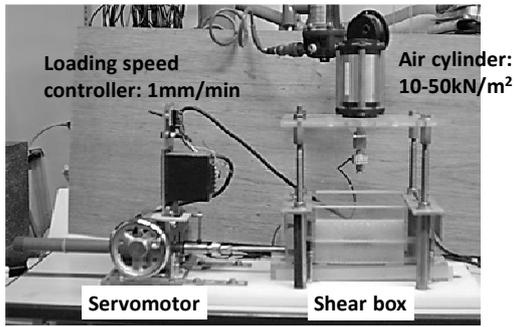


図-1 可視化一面せん断試験装置の概要

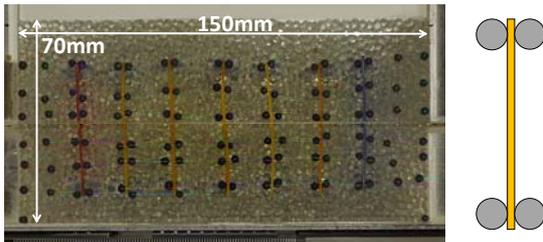


図-2 供試体の例

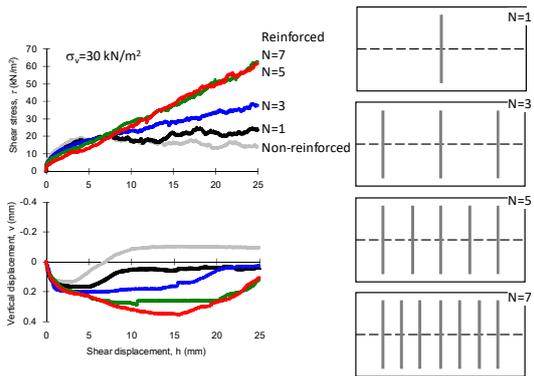
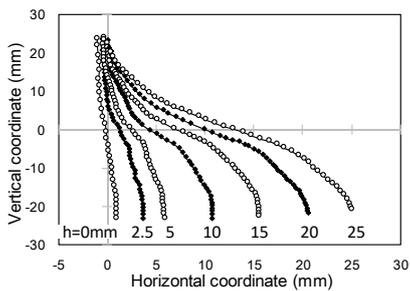
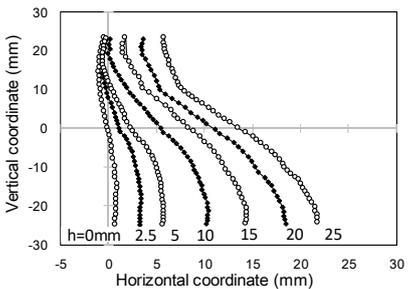


図-3 せん断応力-せん断変位関係



(a) 繊維系材料 1 本の場合



(b) 繊維系材料 7 本の場合(中央位置)

図-4 繊維系材料の変形挙動

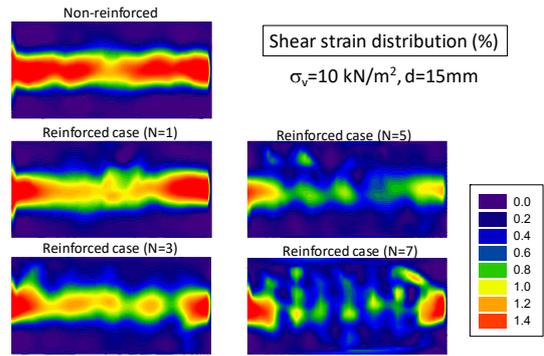


図-5 せん断ひずみ分布

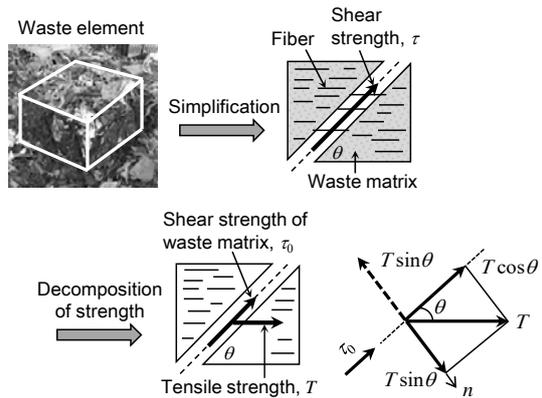


図-6 繊維系材料による強度増加の概念

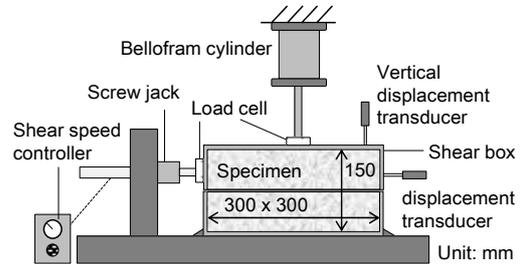


図-7 試験装置の概要

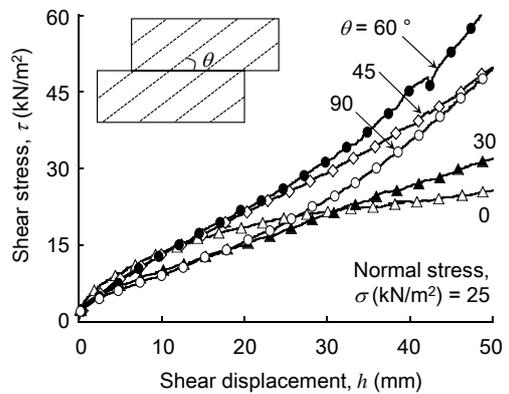


図-8 せん断応力-せん断変位の関係

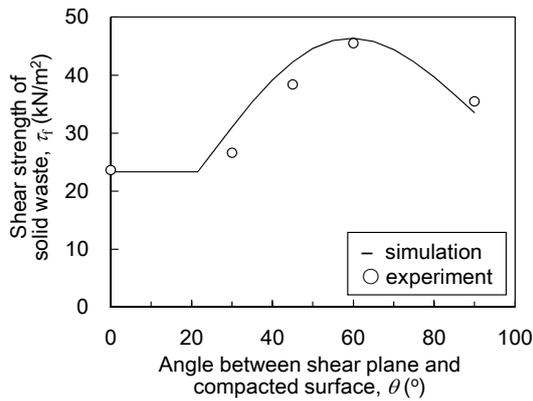


図-9 実験値と計算値の比較

(2) 土中環境クリープ試験装置の開発と繊維系材料の劣化特性の評価

粒状材料内の複合環境下での繊維系材料のクリープ特性を評価するために開発した引張試験装置の概要を図-10に示す。上載圧とプールに満たした環境水のpH・温度を変化させることで、土中環境条件でのクリープ促進試験が可能になっている。通常の試験が巻き込み式の供試体固定一両端載荷であるに対し、この試験では接着式の供試体固定一両端載荷である。始めに供試体固定条件と載荷方式の妥当性を調べ、次に土を介した載荷条件のもとで促進クリープ試験を行い、試験法の提案および繊維系材料の劣化特性を把握した。粒状材料として気乾状態の豊浦砂を用い、相対密度 $D_r = 90\%$ とした。繊維系材料として一軸延伸系のHDPEジオグリッド(ひずみ速度 $1\%/min$ における引張強度 $55kN/m$)をストライプ状にして使用するものとし、縦5ストランド、横1ストランドとした。

気中と水中(20°C)での単調引張試験の結果を図-11に示す。本装置での試験結果は、通常の試験の結果とほぼ同様となり、さらに繊維系材料のサイズが異なる場合にも同等の結果が得られた。水中での促進クリープ試験の結果を図-12, 13に示す。長期クリープひずみは通常の気中クリープ試験結果とほぼ同様となり、本装置の載荷システム、水を用いた温度促進試験の妥当性を確認した。

土中(20°C)での単調引張試験の結果を図-14に示す。繊維系材料表面と供試土の摩擦のため、上載圧が大きくなるほど観察される引張力も大きくなる。所定のひずみレベルに対する引張力増加と上載圧との関係を図-15に示す。本図では、温度20, 40°Cの結果をまとめて示した。摩擦特性は温度による影響を受けず、両者ともひずみ6%以上で摩擦係数は0.3程度に収束した。これより、繊維系材料に実際に作用する引張力が気中でのケースと同様になるように、摩擦の増加分を加味した引張力を与えて温度促進試験を実施した。結果を図-16に示す。土中の繊維系材料に発生するクリープひずみは気中の結果とほぼ同等になった。土中で繊維系材料に発

生するクリープひずみを評価する場合には、土との摩擦力を考慮することが重要であることを明らかにした。

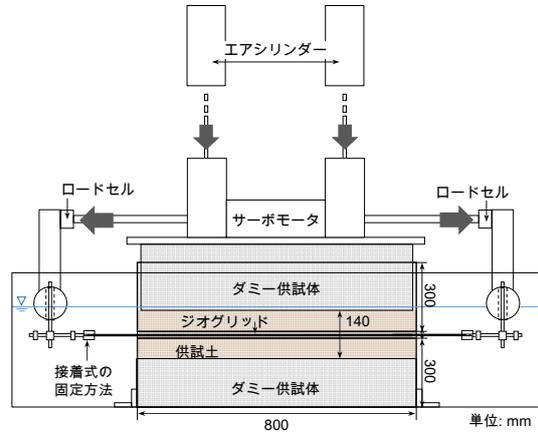


図-10 土中環境クリープ試験装置の概要

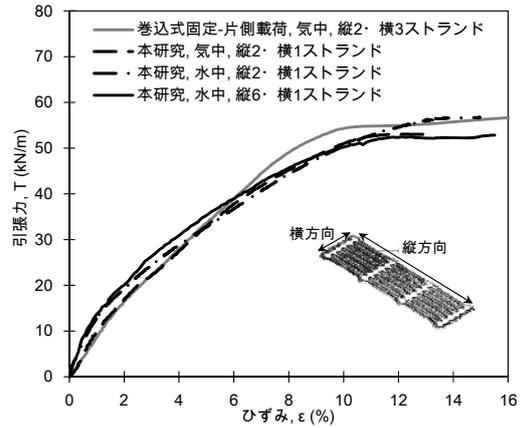


図-11 引張力-ひずみ関係 (気中・水中)

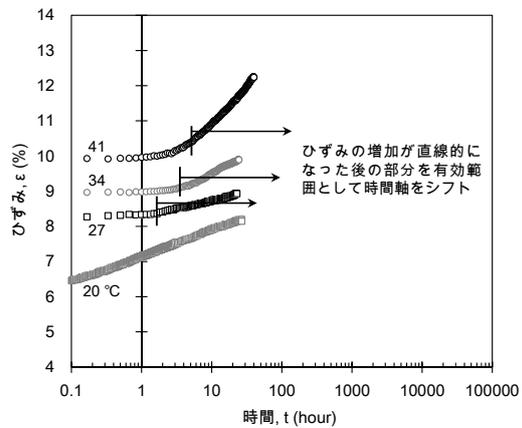


図-12 促進クリープ試験結果 (水中)

図-16 長期クリープ特性 (土中)

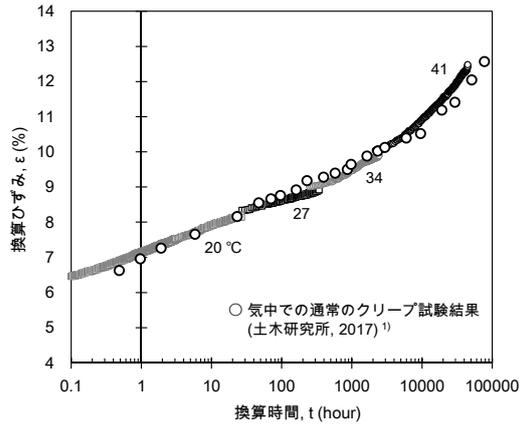


図-13 長期クリープ特性 (水中)

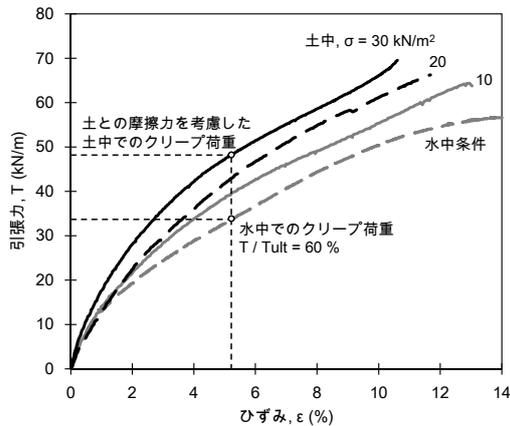


図-14 引張力-ひずみ関係 (土中)

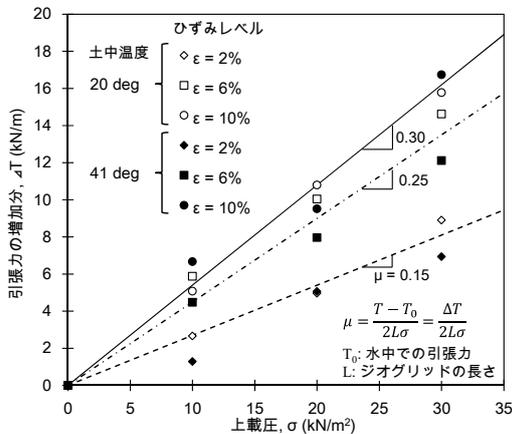
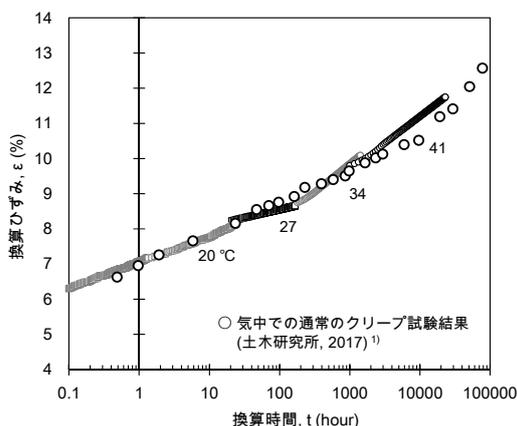


図-15 引張力の増加分と上載圧の関係



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Miyamoto, S., Miyata, Y. and Nonoyama, H.: Micro-macro behavior of reinforced sand, Proc. of Engineering Mechanics Institute Conference, 査読有, 2017, ID266
- ② Miyamoto, S. and Miyata, Y.: Residual failure criterion for solid waste mixed with fibres, Proc. of 2nd Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics, 査読有, 2017, Paper No. 39
- ③ Miyamoto, S., Miyata, Y. and Yasufuku, N.: Visualization of direct shear test of geosynthetic-reinforced sand, Proc. of 6th Asian Regional Conference on Geosynthetics, 査読有, 2016, pp. 770-776

[学会発表] (計9件)

- ① 野村将太, 宮本慎太郎, 宮田喜壽, 篠田昌弘: ジオグリッドの土中クリープ特性の試験法に関する基礎的研究, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会, 2018
- ② 宮本慎太郎, 安福規之, 石藏良平, 笠間清伸: 繊維-粒子複合材料の応力・ひずみ関係と繊維含有率の影響, 第51回地盤工学研究発表会, 2016
- ③ 宮本慎太郎, 安福規之, 石藏良平, 宮田喜壽: 繊維-粒子複合材料の応力・ひずみ関係のモデル化とその検証, 土木学会第71回年次学術講演会, 2016

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮本慎太郎 (MIYAMOTO SHINTARO)
 防衛大学校・システム工学群・助教
 研究者番号: 60782711