

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22599

研究課題名（和文）水-土-根成長練成有限要素法による農業水利施設の植生-地盤相互作用解析

研究課題名（英文）Root-soil-water coupling simulator for numerical simulation of agricultural facility.

研究代表者

友部 遼 (Tomobe, Haruka)

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：90880005

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）：植物根は自然斜面や人工斜面において、土粒子を網のような構造で保持しており、結果として斜面の安定化に寄与している。一方で、植物根は荒地や農用地では硬い耕盤を破砕したり、土を膨軟にすることもある。両者は植物根の土に対する正/負の補強効果といえるが、その補強効果を見積もり、利用するためには、植物根が成長し土に貫入する過程を力学的に予測・評価する必要がある。本研究を通じて、様々な土壌水分、初期応力分布、境界条件のもとで、任意の形状の植物根について、その成長過程の2次元・3次元数値シミュレーションを行うための数理基盤を整備した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果は、土質力学と植物科学を架橋する領域横断的研究であり、土質力学分野で用いられてきた有限要素法によるシミュレーション手法に、植物科学分野で蓄積のある微視的な組織構造や伸長メカニズムを加えた新たな数理モデル基盤を創出した。また、研究成果の具体例として、実際に実生ダイコン個体の伸長過程シミュレーションを行い、実験結果と比較することで、伸長領域側面の応力状態により植物根の伸長しやすさが異なることや、植物根は、土に三叉状の応力集中箇所を生じさせることで貫入しやすい応力構造を生み出すことが示唆された。今後、エネルギー効率の良い地盤基礎構造物施工技術の開発や、作物栽培・育種への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Plant roots hold soil particles in a web-like structure on natural and man-made slopes, thus contributing to slope stabilization. On the other hand, plant roots can also break up hard tillage beds and soften the soil in wastelands and agricultural lands. Both of these effects are positive/negative reinforcing effects of plant roots on the soil. To estimate and utilize the reinforcing effects, it is necessary to mechanically predict and evaluate the process of plant root growth and soil penetration. Through this study, we have developed a mathematical basis for 2-D and 3-D numerical simulations of the growth process of plant roots of arbitrary shapes under various soil moisture conditions, initial stress distributions, and boundary conditions.

研究分野：農業農村工学

キーワード：有限要素法 接触力学 不飽和土 成長 植物力学

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

本研究を開始した当初には、植物根による補強効果について、均質体を仮定した数理モデルによるアプローチにより、根-土混合物に対する植物根の寄与が定量化されてきた。一方で植物根が土構造物中に侵入した時に、植物根が侵入する以前の場合と比較して、根-土混合物のせん断強度がいかに増減するのか予測することは困難であり、特に根-土界面において成長による接触・剥離・せん断が生じる現象について、その応力構造を予測することは報告されていなかった。そこで、本研究では、植物根の成長を考慮した根-土混合物の応力構造を探求するため、新たな数理モデル基盤を創出することを目指した。

### 2. 研究の目的

本研究は、植物根が土構造物中に侵入した際に、それ以前の場合と比較して根-土混合物のせん断強度が以下に増減するのかを探求することを目的として掲げており、2020年度、2021年度では、根-土接触シミュレータの高度化、および実問題への適用について取り組み播種直後の植物根に生じる成長応力を推定することに成功するとともに、従前に開発してきた根-土接触シミュレータに、新たに膨圧に伴う変形を水-土-成長連成モデルとして実装することを目的とした。加えて、実問題への適用性を向上させるため、3次元根-土接触シミュレーションおよび3次元根成長シミュレーションの実装を目的に据えた。

### 3. 研究の方法

2020年度には根-土混合物を対象として原位置および室内力学試験を行うとともに、河川堤防や農地における一年生草本植物を対象とした原位置載荷試験・根の形態データを入手することとし、また同時に室内力学試験としては、植物育成試験装置の作成を行うとともに実植物体を含む根-土系の力学試験を、実植物体および3Dプリンタを用いて行うこととした。また、2020年度から2021年度にわたり、2次元および3次元の根成長シミュレータを開発するとともに、室内試験等と比較するため要素・実物スケールのシミュレーションを実施した。

### 4. 研究成果

結果として、播種直後の植物根に生じる成長応力を計測することに成功するとともに、従前に開発してきた根-土接触シミュレータに、新たに膨圧に伴う変形を水-土-成長連成モデルとして実装するに至った(図1)。本内容について、2報の論文原稿を作成したところであり、2022年度中に国際学術誌へ投稿する予定である。加えて、水-土-成長連成モデルの構築に不可欠な、接触面における濡れ性変化に対するせん断挙動特性についてモデル化と高精度数値シミュレーションに成功した。本内容は2021年3月付で国際学術誌Soils and Foundationsに採択された。また

マクロな数値モデルとしては複数の節からなる複雑な根形状を表現する新たなoverset mesh法を開発し、ミクロな数値モデルとしては、膨圧に駆動される植物組織の成長を再現する数値モデルを開発した。それぞれの内容を3本の論文として取りまとめ、国際学術誌へ投稿中であるさらに、以上に加えて、根-土接触モデルに係る現在までの研究成果に対して、公益財団法人地盤工学会より、2022年6月に学会賞（研究奨励賞）を授与された。今後は、よりエネルギー効率の良い地盤基礎構造物施工技術の開発や、作物栽培・育種への応用が期待される。

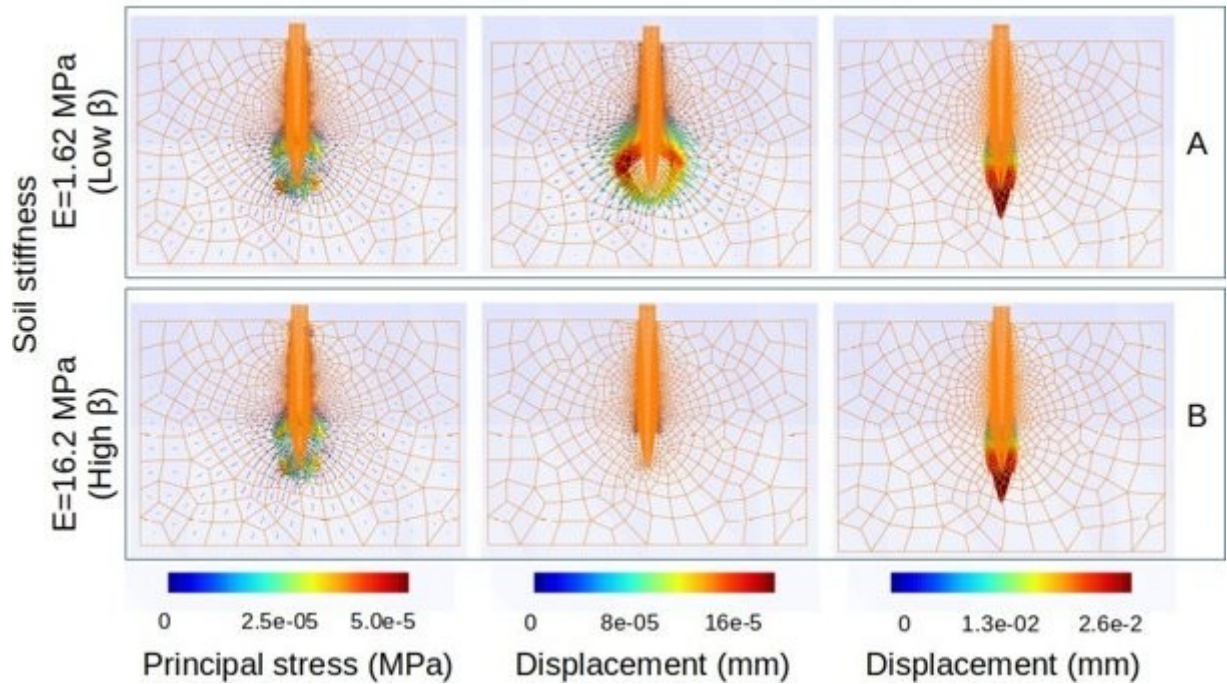


図1 水-土-根連成シミュレータによるダイコン実生の貫入シミュレーションの例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Haruka Tomobe, Kazunori Fujisawa, Akira Murakami	4. 巻 Accepted
2. 論文標題 A Mohr-Coulomb-Vilar Model for constitutive relationship in root-soil interface under changing suction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Haruka Tomobe, Satoru Tsugawa, Yuki Yoshida, Tetsuya Arita, Minoru Kubo, Taku Demura, Shinichiro Sawa
2. 発表標題 A mechanical criterion for root-penetration into soil based on root-soil mechanics
3. 学会等名 JSPF 2021, Symposium 11: Elongate, bend, and expand: Deciphering plant growth strategy from its mechanics
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Haruka Tomobe, Satoru Tsugawa, Yuki Yoshida, Tetsuya Arita, Minoru Kubo, Taku Demura, Shinichiro Sawa
2. 発表標題 植物力学および土質力学に基づく根の貫入基準の数理モデル化
3. 学会等名 新学術領域植物構造オプト若手セミナー
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

水-土-成長連成解析プラットフォーム  
<https://plantfem.org>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インド	Indian Institute of Technology			