

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15089

研究課題名(和文) 植生生体電位を活かした表層崩壊バイオアラームの開発

研究課題名(英文) Development of bio-alarm utilizing vegetation bio-electric potentials detecting surface failure

研究代表者

古川 全太郎 (Furukawa, Zentaro)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：70735985

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：豪雨や地震により地すべりが起こる可能性がある斜面に対し、斜面に生息する植生に電極を設置し、生体電位をモニタリングすることにより、地すべりの早期発見に資する「表層崩壊バイオアラーム」の開発を目的とした研究を行った。植生を含む一面せん断試験および模型斜面の加振実験の結果から、地盤のせん断(=地すべり)が起こる際の土の強さと、せん断刺激を受け変動する生体電位の関係の定量化を行った。また、生体電位の変動から地盤のせん断強さを推定する手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した「表層崩壊バイオアラーム」は、将来的に山間地の植生に適用し、植生に設置された電位の変動をモニタリングすることで、自然の力(植生のバイオセンサー機能)を活かして早期警報を発令し、斜面災害、特に表層崩壊による人的被害を軽減できる画期的な手法となり得る。加えて、「土のせん断強さの評価」という地盤工学的な観点と、「刺激による植生のバイオリズムの変動」といった植物生理学的観点を融合し、革新的な知見を見出したことが、本研究課題の学術的意義および新規性といえる。

研究成果の概要(英文)：A study was conducted to develop a "surface failure bio-alarm" for early detection of landslides by monitoring the bio-potential of vegetation on slopes where landslides may occur due to heavy rainfall or earthquakes. The results of box shear tests and shaking tests for model slope with vegetation were conducted to quantify the relationship between soil strength and shear-stimulated bio-electric potential fluctuations during soil shear (= landslide). From these studies and analysis, a method to estimate the shear strength of the ground from the variation of the bio-electric potential was developed.

研究分野：地盤工学，防災地盤工学，環境地盤工学

キーワード：植生生体電位 表層崩壊 一面せん断試験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、局所的な豪雨、地震などの自然災害が激甚化している。2016年熊本地震、2017年7月九州北部豪雨災害、及び2018年西日本豪雨災害では、それぞれ死者50名、40名、219名の人的被害が生じた。その被害の原因の多くが山間部の土砂崩れ、土石流等の地盤災害であり、地震で生じた亀裂等や造成地の地盤境界に雨が入り込んで地滑りや土石流が起こる等、複合災害も多発している現状にある。

このような今後の災害外力の増加や、複合化に対して、ソフト・ハード両面での一刻も早い対策が希求されている。新たな斜面災害のソフト対策の一つとして、自然の力(植生のバイオセンサー機能)を活かして早期警報を発令し、斜面災害、特に表層崩壊による人的被害をゼロにする着想に至ったことが、本研究課題開始当初の背景である。

### 2. 研究の目的

本研究は、山間部の斜面や廃棄物処分場周辺斜面の表層斜面崩壊のソフト対策として、植物根が地盤のすべりによって受けたせん断力に反応する「生体電位」を読み取り、災害時にある変位が発生した時点で警告を発令し、早急に避難を促すことができる「表層崩壊バイオアラーム」を開発することが目的である。

生体電位とは、心電図や脳波等、動物や植物等の生命活動によって生じる電気信号のことである。生物の体内では、様々な外的刺激によって情報伝達が起こるため、生体電位は時々刻々と変動(反応)する。申請者が提案する「表層崩壊バイオアラーム」は、植物根が斜面崩壊によりせん断力を受けたときに発生する生体電位を読み取り、避難警報を発令するセンサーである。図1にその概念図を示す。提案するセンサーを用いると、植物の根や茎の表面に安価な電極を固定し、常時発生している電位を読み取るだけで、根周辺の地盤の変位や作用しているせん断力をモニタリングすることができる革新的な表層崩壊モニタリングシステムを構築できる。

既存の研究では、根を繊維材料として考えたときの地盤のせん断抵抗力の増加の評価方法に関する研究や、根が地盤内の水分を吸収することによる見かけのサクシヨンの増加(根圏の不飽和化による地盤の強度増加)等、根が有する力学的性質の体系化が試みられてきた。本申請課題では、以上の研究を踏襲した上で、根を含む地盤のせん断強さと、根の植物生理学的反応の関係を明らかにする。このような地盤工学と植物生理学を融合した新たな学問体系はこれまでに例がなく、新規性・独自性を有する。さらに、せん断強さ-反応生体電位の関係性を見出したうえで、地盤の微小な変位をモニタリングし、対象地に避難警報を発令できる新たなアラームを開発する点にも独創性・創造性を有する。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、(2)の目的を達成するため、2019年度から2021年度までの研究期間で、図2の～に示す次の3つの課題に取り組んだ。

#### 根が地盤から受けるせん断力と反応生体電位の関係の明確化

植生が受けるせん断力と生体電位の関係を定量化する上で問題となるのは、生体電位の出力値はあらゆる環境の変化で変動する点である。特に植物に関しては、気温・湿度の変化や降雨(水分供給)や地盤内の水分環境によっても生体電位は変化する。逆に、このことを利用して植生の灌水に適切な時期を知らせるアラーム等も研究されている。森林の樹木を考えると、根群密度やその分布等の植生の環境、根圏の不飽和化によるサクシヨンの変化にも影響を受けると考えられる。従って、一定の気象環境において、生きた苗を含む中型一面せん断試験を行い、土の含水比(保水性)、密度、上載圧、せん断速度の違いが、根・茎に設置した電極から読み取る生体電位の出力傾向に及ぼす影響を明らかにした。植物は、木材に使用するスギ、日本各地に自生するクヌギ等の苗木を対象とした。せん断試験時の、植物の茎及び根に設置した電極から出力される電圧の経時変化を読み取り、各条件、植生の種類におけるせん断力-せん断変位-生体電位の関係を明らかにした。

#### 根による地盤の強度増加を含む環境に依存する新たな強度評価式の提案

の実験の結果を踏まえ、土のせん断強度を評価する従来のモール・クーロンの破壊基準に、植生によるせん断強度増加項を含めた、新たな評価式を提案した。

#### せん断力に反応する生体電位の解像度の高度化

前述の通り、生体電位はあらゆる外的刺激や環境要因によって発生し、それぞれの要因によって発生する電位の周波数が異なる。また、データ取得中の電圧ノイズも問題になると考えられる。従って、せん断外力をの実験で得た結果に対して、固有の周波数に分解するためのフーリエ解析を行い、せん断変位により生じる生体電位周波数を特定・分解し、せん断変位が発生する際の電圧の周波数特性を明らかにした。

上記3つの研究課題から得られた成果をとりまとめ、せん断による根の生体電位発生メカニズム、表層崩壊アラーム確立に資する生体電位の評価方法、及び機械学習を用いた新たな土のせん断強さの評価方法を提案した。

実験は、九州大学伊都キャンパスの屋内実験施設において、温湿度を一定の条件にできる恒温室（温度範囲：15～30℃、湿度範囲：40～65%）および屋外に設置したビニールハウスを用いて行った。また、中型の一面せん断試験装置（せん断箱の大きさ：幅 300 mm、奥行き 300 mm、高さ最大 150 mm 程度、特注品）により、植物の苗をせん断箱に入れながら一面せん断試験を行った。実験中の荷重、鉛直・水平変位、及び植物の葉・茎・根の生体電位などのデータは、これらを一度に計測できるデータロガーDRA-30A（東京測器）およびデータ記録用パソコン、電圧解析ソフトにより記録した。実験及びデータ解析は、研究期間内で九州大学の学部 4 年生通算 4 名、及び大学院生通算 2 名の協力の下遂行した。

#### 4. 研究成果

初年度には、室内で生きた植物根を含む状態で試験できる原位置一面せん断試験装置を開発した。室内一面せん断試験により得られた代表的な結果を下記に示す。

- 1) スギが断面積 0.09 m<sup>2</sup> を有する地盤に 1 本および 4 本存在するときの地盤の補強効果を定量化した。1 本存在すると、粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\phi$  がそれぞれ 5.22 kPa, 3.89° 増加し、4 本存在すると、 $c$ 、 $\phi$  はそれぞれ 7.60 kPa, 4.88° 増加することが明らかとなった。（図 1）
- 2) せん断中の生体電位に対してフーリエ解析を行い、スギ・クヌギのせん断中の生体電位に関して特徴的な周波数を明らかにした。せん断中の植物根系の生体電位は、すべての測定箇所約 6.6 Hz の周波数において卓越電位を示した。特に、茎についてせん断箱内の植物根系がせん断面の断面積 0.09 m<sup>2</sup> に 1 本から 4 本へと変化したとき、卓越電位の値は 68.0 % 低下した。（図 2）

次年度には屋外で生育した樹木に対する試験を行うことができるよう、組み立て式のせん断箱を開発した。この装置を用いて、ビニールハウス内で生育した樹高 0.3-1.0 m のスギ根系に対して、生育期間を 0.5 か月～3 か月として一面せん断試験を行い、見かけの粘着力の増加による根の補強効果を定量化した。得られた代表的な知見を下記に記す。

- 1) せん断面の根の断面積と補強効果の間には、指数関数で近似できる関係があった。（図 3）
- 2) 根の補強強度が大きくなると、せん断前後の生体電位の振幅値は大きくなる傾向にあった。（図 4）
- 3) 生体電位の最大振幅値を示す周波数は 9 割の根系で 0.1 Hz 以内にみられた。
- 4) 根系の補強強度と根系の生体電位最大振幅値は、指数関数で近似できる関係にあった。
- 5) 既往の研究では補強効果があるとみなされていなかった直径 0.5 mm 未満の根系にも補強強度は存在し、せん断面での根系断面積は粘着力に影響を及ぼすことが明らかとなった。

上記の実験で得られた生体電位から、ニューラルネットワークの一種である長短期記憶ニューラルネットワーク (LSTM) を用いて、土のせん断強さを直接推定することができるプログラムを構築した。LSTM は、長期間の時系列データに対して、過去のいくつかの 2 変数の依存関係から未来のデータを予測する手法である。LSTM の推定精度を向上させるためのパラメトリックスタディを行った代表的な結果を以下に示す。

- 1) 訓練データは予測に用いる過去のデータ数 (PWS) = 100 で概ね学習が完了し、テストデータの精度 (平均絶対誤差, MAE) は、PWS=200 から一定に収束する傾向がみられた。
- 2) PWS=200 の時、MAE の値は各鉛直拘束圧で、0.37 (2.5 kN/m<sup>2</sup>)、1.10 (5.0 kN/m<sup>2</sup>)、0.32 (10.0 kN/m<sup>2</sup>) であった。（図 5）

地盤のせん断以外で、災害時の植物の生命活動の過程で発生する生体電位は、土のせん断、降雨、風等の刺激によって変動する可能性がある。これらの影響による電位の変動とせん断のみによる電位の変動の特徴を分離し、せん断力に反応する生体電位の解像度の高度化を図るため、最終年度には、灌水試験、送風試験および根の引張試験を行い、外的刺激と生体電位の関係を調べ、高速フーリエ解析 (FFT 解析) を用いてそれぞれの外的刺激による生体電位応答の特徴的な周波数を分析した。得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 累積灌水量が 30 mm を超えると、根の電位の振幅値が最大で 4 mV 大きくなる。風速が 4 m/s を超えると、幹の電位の平均値が風速 4 m/s 以下の場合の 1.14 倍になる。根にかかる荷重が 1 N 減少すると、幹の電位が 10 mV 上昇した。
- 2) ピーク周波数の振幅値の平均値について、灌水量が 50 mm/h から 75 mm/h に増加すると 8 % 減少し、風速が 3.53 m/s から 4.41 m/s に増加する場合には 24 % 減少する。根のせん断中のピーク周波数は、せん断前と比較して 13 % 増加する。

また、申請書に記載する以外の内容でも付随する成果として、研究期間内に、法面に樹高 0.3 m 程度のスギ根系を植えた模型斜面 (1/20 スケールを想定) に対して加振実験を行ったその結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 根系本数が 3 倍に増加すると最大水平変位は 87 % 減少した。加速度応答倍率は、根系を含む地盤で最大で 23 % 抑制される（図 6）。
  - 2) 斜面安定解析により実際に斜面が崩壊した入力加速度 400 gal で安全率が 1 以下になるような粘着力を逆算すると、その粘着力は想定した粘着力の 60 % である。
  - 3) 模型斜面の崩壊が生じる数秒前に茎と根の生体電位が増加する。
- これらの研究成果により、豪雨・地震時における植生の表層地盤補強効果と生体電位変動の特

徴を定量的に把握することができ、申請時に開発を目指した、植生生体電位による表層崩壊検知のための方法論を提示することができたと考えている。

これらの研究成果を、雑誌論文15編（うち査読付き論文5編）に投稿し、また15件の国内・国際学会発表を行った。また、これらの他にアブストラクト査読審査通過済み論文が2編（うち国際シンポジウム論文1編）、国内学会4件の発表を控えている。

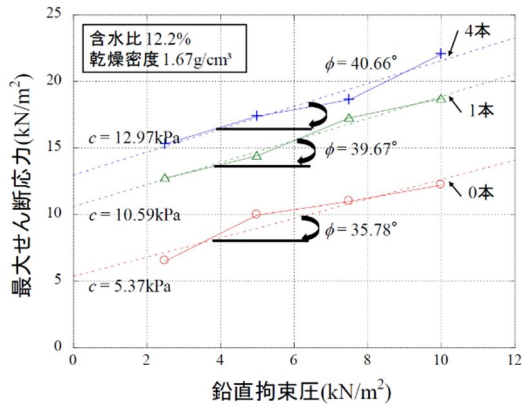


図1 拘束圧とせん断強さの関係

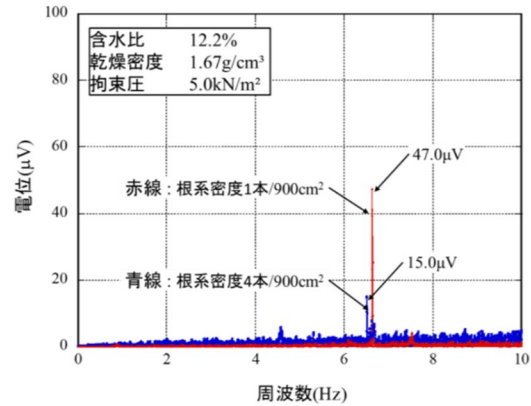


図2 せん断中の卓越電位と周波数の関係

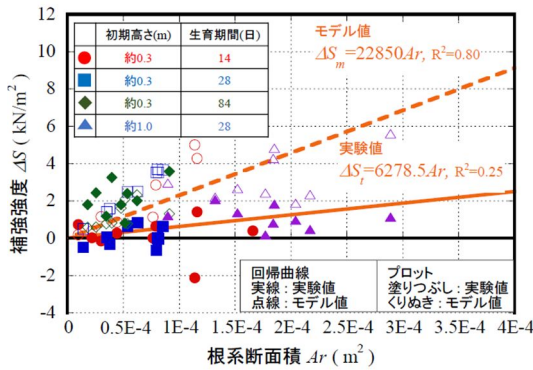


図3 根系断面積と補強強度の関係

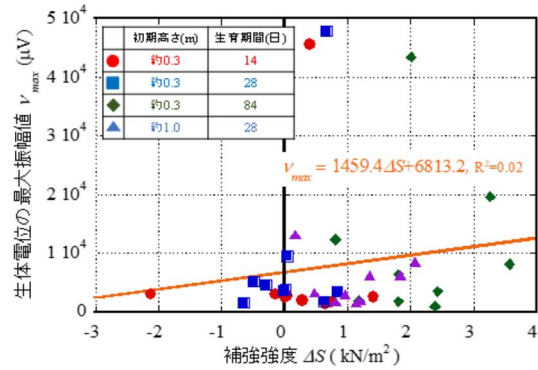


図4 スギ根系の補強強度と生体電位の最大振幅値の関係

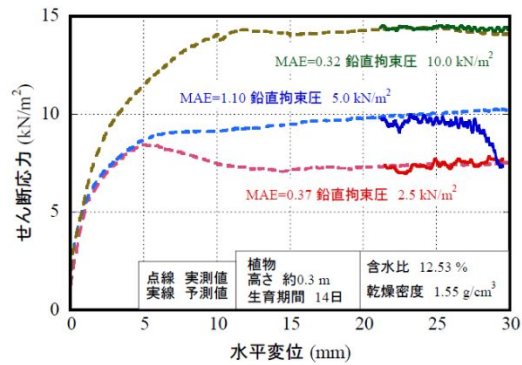


図5 機械学習 (LSTM) によるせん断強さの予測

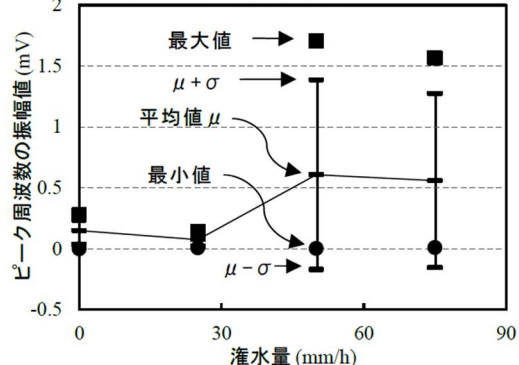


図6 灌水量とピーク周波数での振幅値の関係 (スギ, 根)

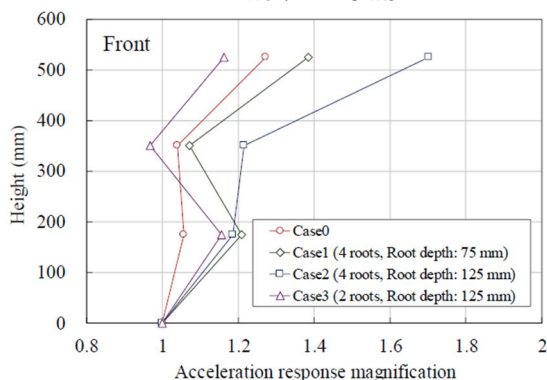


図7 模型斜面法肩付近の加速度応答倍率

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松田昂大, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 せん断中における植物の生体電位反応を用いたせん断応力の予測の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 429-430
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 竹田梨夏, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 灌水・風・引張刺激によるスギの生体電位変動特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 427-428
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田昂大, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 スギ根系の地盤補強効果とせん断中の生体電位反応	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 214-215
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田昂大, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 原位置一面せん断試験によるスギ根系の地盤補強効果と生体電位の関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第14回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 237-242
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一, 田代直樹	4. 巻 1
2. 論文標題 スギ根系による斜面補強効果と生体電位に関する振動台模型実験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第56回地盤工学研究発表会講演概要集	6. 最初と最後の頁 13-9-1-08
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田昂大, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 微細なスギ根系の補強効果とせん断中の根系生体電位	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第56回地盤工学研究発表会講演概要集	6. 最初と最後の頁 13-10-3-08
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田昂大, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 スギ根系の地盤補強効果とせん断中の生体電位反応	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会講演概要集	6. 最初と最後の頁 111-214-215
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田昂大, 古川全太郎, 八尋裕一, 笠間清伸	4. 巻 1
2. 論文標題 せん断面での植生根径が及ぼす地盤補強効果と植生の生体電位	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集	6. 最初と最後の頁 445-446
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田代 直樹, 笠間 清伸, 古川 全太郎	4. 巻 1
2. 論文標題 根系の違いが土のせん断強度に及ぼす影響と生体電位の関係	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第55回地盤工学研究発表会講演概要集	6. 最初と最後の頁 22-12-4-06
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田代 直樹, 古川 全太郎, 笠間 清伸, 横山大幹	4. 巻 1
2. 論文標題 地震時におけるスギ根系の斜面補強効果について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 111-130
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 スギ根系の地震時斜面安定への影響に関する実験的・解析的検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 121-126
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoki Tashiro, Zentaro Furukawa, Kiyonobu Kasama	4. 巻 62
2. 論文標題 Bioelectric potential of plant undertaking shear strength on shear test	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development, Lecture Notes in Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 1001-1006
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸	4. 巻 1
2. 論文標題 根系を含む土のせん断が植生の生体電位に与える影響に関する考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第54回地盤工学研究発表会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 1853-1854
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 土のせん断が植生の生体電位に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 111-201-111-202
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸	4. 巻 1
2. 論文標題 根系を含む土のせん断が植物根系の生体電位に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第13回環境地盤工学シンポジウム 発表論文集	6. 最初と最後の頁 405-408
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸, 八尋裕一	4. 巻 1
2. 論文標題 一面せん断試験における根系密度および拘束圧と生体電位の関係	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 319-320
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 横山大幹	4. 巻 1
2. 論文標題 根系による自然斜面の補強効果に関する振動台実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会 講演概要集	6. 最初と最後の頁 383-384
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 松田昂大
2. 発表標題 せん断中における植物の生体電位反応を用いたせん断応力の予測の検討
3. 学会等名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田昂大
2. 発表標題 せん断面での植生根径が及ぼす地盤補強効果と植生の生体電位
3. 学会等名 令和2年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田梨夏
2. 発表標題 灌水・風・引張刺激によるスギの生体電位変動特性
3. 学会等名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田昂大
2. 発表標題 原位置一面せん断試験によるスギ根系の地盤補強効果と生体電位の関係
3. 学会等名 第14回環境地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田昂大
2. 発表標題 スギ根系の地盤補強効果とせん断中の生体電位反応
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古川全太郎
2. 発表標題 スギ根系による斜面補強効果と生体電位に関する振動台模型実験
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田昂大
2. 発表標題 微細なスギ根系の補強効果とせん断中の根系生体電位
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古川全太郎
2. 発表標題 スギ根系の地震時斜面安定への影響に関する実験的・解析的検討
3. 学会等名 第10回土砂災害に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田代 直樹
2. 発表標題 根系の違いが土のせん断強度に及ぼす影響と生体電位の関係
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会講演概要集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田代 直樹
2. 発表標題 地震時におけるスギ根系の斜面補強効果について
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Tashiro, Zentaro Furukawa, Kiyonobu Kasama
2. 発表標題 Bioelectric potential of plant undertaking shear strength on shear test
3. 学会等名 Geotech HANOI 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸
2. 発表標題 根系を含む土のせん断が植生の生体電位に与える影響に関する考察
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸
2. 発表標題 土のせん断が植生の生体電位に与える影響
3. 学会等名 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田代直樹
2. 発表標題 一面せん断試験における根系密度および拘束圧と生体電位の関係
3. 学会等名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田代直樹, 古川全太郎, 笠間清伸
2. 発表標題 根系を含む土のせん断が植物根系の生体電位に及ぼす影響
3. 学会等名 第13回環境地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山大幹
2. 発表標題 根系による自然斜面の補強効果に関する振動台実験
3. 学会等名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------