

スギの生体電位を用いた土中のせん断応力予測モデルの高精度化に関する検討

九州大学大学院 学○松田昂大 正 笠間清伸 古川全太郎 八尋裕一

1. はじめに

近年、山間部において豪雨や地震などによる斜面崩壊が増加傾向にある¹⁾。今後も予測される大きな被害を防止するため、斜面崩壊の検知の高精度化が期待される。その一つの手法として、植物の生体電位に着目した。生体電位とは生命維持に関わる情報伝達によって生じるものであり、温度、湿度、照度など様々な環境変化によって変動することがわかっている²⁾。本研究では、植物を含む供試体の一面せん断試験中に得られた植物の生体電位反応から、せん断応力の経時変化を予測することを機械学習の一種である LSTM (Long Short Term Memory) を用いて試みた。さらに、LSTM に関するパラメトリックスタディを行い、植物の生育条件が LSTM のモデルに与える影響を考察した。

2. 実験概要

実験試料は西日本に広く分布しているまさ土（粒径 5 mm 以内）を、植物は日本で最も広く分布しているスギを用いた。表 1 に本研究で行った一面せん断試験と使用したスギの条件を示す。詳細な実験方法は、既報³⁾に記した実験データを基に機械学習による解析を行った。

2-1. 解析概要

図 1 に試験中 0.5 秒間隔で計測したスギの生体電位（計測箇所は根系、茎、葉）とせん断応力の経時変化を示す。生体電位は初期値が 0 μV とし、絶対値をとった。

本文では、図 1（赤、青、緑）で示すスギの根系、茎、葉の生体電位を入力データとし、図 1（黒）で示すせん断応力を出力データとして予測する機械学習のプログラムを構築した。機械学習のアルゴリズムは LSTM を用いた。各供試体の計測データの前半 70% で学習し、後半 30% をテストデータとして予測値を求め、その予測値と実測値を比較し、予測精度を評価した。予測精度の評価指数は平均絶対誤差 MAE と決定係数 R^2 を用いた。

2-2. LSTM について

LSTM は RNN における勾配消失問題を解決し、長期依存による学習を可能とした深層学習の一種であり、前後関係が重要な時系列データの予測によく使用される⁴⁾。

図 2 に本文で構築した LSTM の概略図を示す。0.5 秒後のせん断応力を予測するのに必要な入力データの計測時間を p （以下、「生体電位の計測時間 p 」とする）とした。0.5 秒後のせん断応力を予測するために、根系、茎、葉で計測したスギの生体電位のデータをそれぞれ i 番目から $i+2p-1$ 番目のデータで区切り、「3 行 \times $2p$ 列」の行列を形成した。その行列を隠れ層中の LSTM ブロックに入力した。最後に、各 LSTM ブロックで得た結果より、 $i+2p$ 番目（0.5 秒後）のせん断応力を出力する。以上の学習を $i=1$ から繰り返し行った。

表 1 実験条件

case	高さ (m)	生育期間 (日)
1	0.3	14
2		28
3		84
4	1.0	28
鉛直拘束圧 (kN/m^2)		2.5, 5.0, 10.0

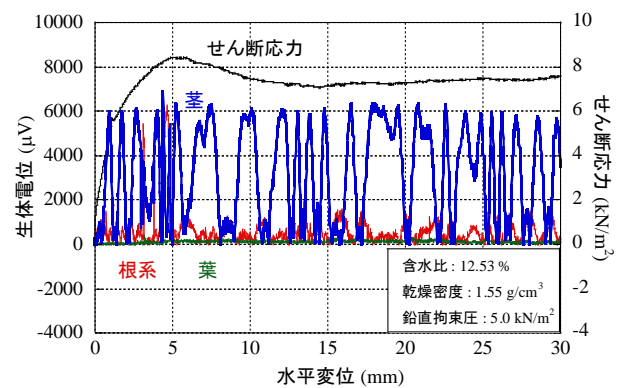


図 1 せん断試験中のスギの生体電位とせん断応力

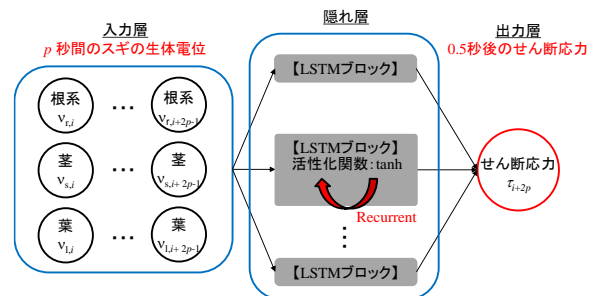


図 2 LSTM の概略図

3. スギの植物条件が与える LSTM モデルへの影響

スギの植物条件が図2のモデルに与える影響を考察した。考慮するパラメータは、生体電位の計測時間、LSTMブロック数、学習回数とする。

図3から図5に生体電位の計測時間、LSTMブロック数、機械学習の学習回数がLSTMを用いて生体電位からせん断応力を予測する精度に与える影響を示す。赤がcase1(高さ0.3m, 生育期間14日)、青がcase2(高さ0.3m, 生育期間28日)、緑がcase3(高さ0.3m, 生育期間84日)、橙がcase4(高さ1.0m, 生育期間28日)のスギによる解析結果を示し、点線が訓練データを用いた訓練精度、実線がテストデータを用いた予測精度を示す。

図3より、生体電位の計測時間を増加させると全caseで予測精度は向上した。図4と図5より、LSTMブロック数の変化で0.11~0.47、学習回数の変化で0.27~0.58の増減はあったが、予測精度はおおよそ一定であった。そのため、スギの植物条件がLSTMモデルに与える影響はなく、高さ、樹齢の異なるスギに対して同様のLSTMモデルが適用可能なことが示唆される。

また、最適なパラメータで構築したLSTMモデルを用いたせん断応力の予測結果の一例を実測値と予測値の関係として図6に示す。予測精度はMAE=0.13, $R^2=0.99$ であった。

4. まとめ

本研究より、以下の知見を得た。

- 1) 高さ0.3~1.0m, 生育期間14~84日のスギで植物条件を変えてもLSTMのモデル構築に与える影響はなく、同様のモデルでスギの生体電位からせん断応力を予測することが可能である。
- 2) LSTMを用いて、スギの生体電位から土中のせん断応力を予測した際、その予測精度はMAE=0.13, $R^2=0.99$ である。

謝辞: 本研究は、JSPS 科研費 JP19K15089 の助成を受けたものです。ここに感謝の意を表します。

参考文献: 1) 大津宏康, 前田良刀, 益田浩, 高橋健二, 矢部満: 短期間集中豪雨に起因する斜面崩壊機構に関する研究, Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.63, No.3, pp.271~278, Mar.2014, 2) 新保達也・東野翼・大藪多可志・木村春彦・南戸秀仁: 風速変化に対する植物生体電位反応, 電学論 E, 126-E, 7, 370-375, 2006, 3) 松田昂大・笠間清伸・古川全太郎・八尋裕一:

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, 環境地盤工学シンポジウム, 2021, 4) 張曉齊ら: オープンデータとLSTMを用いた犯罪発生の予測及び時間的接近性における考察, 情報学, 16巻1号, pp.56-70, 2019.

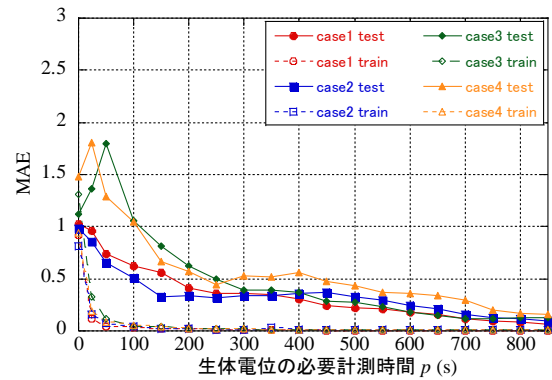


図3 生体電位の計測時間が LSTM モデルに与える影響

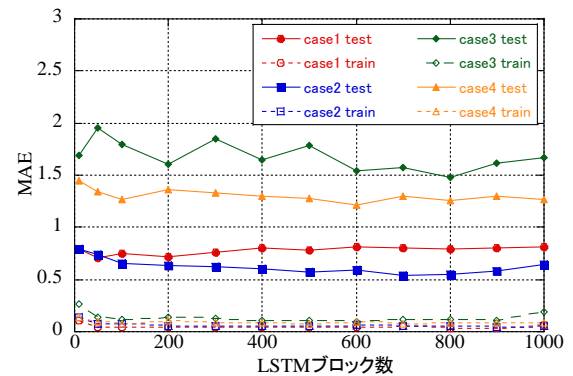


図4 LSTM ブロック数が LSTM モデルに与える影響

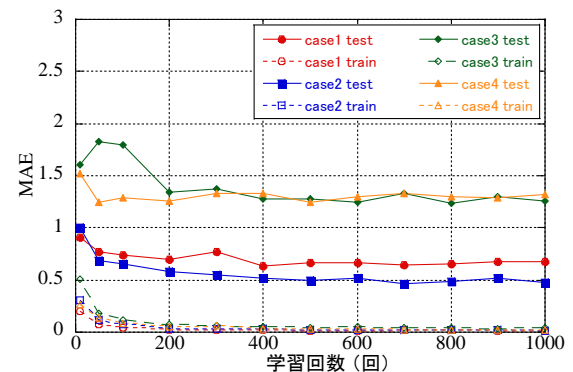


図5 学習回数が LSTM モデルに与える影響

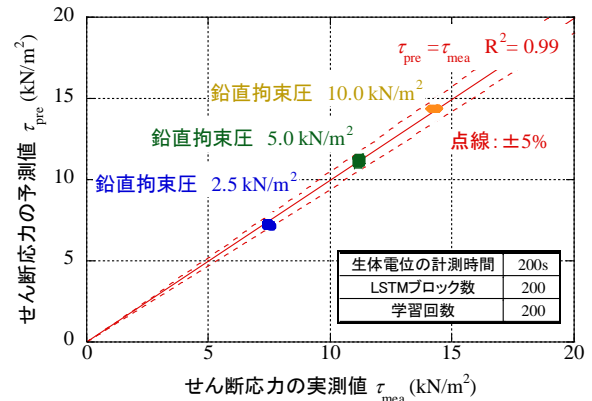


図6 せん断応力の実測値と予測値の関係