

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

九州大学 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⁾。今後も大きな被害が予測される土砂災害を防止するため、斜面崩壊を事前に検知する方法を開発することが求められている。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、植物の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分かっている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、土のせん断応力の経時変化を、機械学習の一種である長短期記憶ネットワーク (LSTM) 予測することを試みた。

2. 実験概要

2-1. 実験試料と一面せん断試験の概要

実験試料は、西日本に広く分布しているまさ土を粒径 5 mm 以下にふるい、用いた。その土質特性を表 1 に示す。

表 2 には、せん断試験条件と植物の生育条件を示す。植物は、日本で最も広く分布しているスギを用いた。詳細な実験方法は、文献「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⁾に記す。

図 2 に鉛直拘束圧 5.0 kN/m² でせん断試験を行った植物の生体電位反応の一例を示す。

2-2. 長短期記憶ネットワーク (LSTM)

長短期記憶ネットワーク (LSTM) は、深層学習の一つである再帰型ニューラルネットワーク (RNN) の 1 種である。

図 3 に示すように、LSTM は入力層、出力層、隠れ層の 3 層で構成されている。隠れ層内部は過去の長期記憶を保持するメモリセルと 3 つのゲート (入力ゲート、忘却ゲート、出力ゲート) で形成される。この 3 つのゲートを用い、必要な記憶を取捨選択することで、RNN では不可能だった長期的な依存関係を可能にする。

2-3. LSTM モデルの構築と検討するパラメータ

表 3 に構築した LSTM モデルの学習条件を示す。入力層は、図 2 で示した一面せん断試験で得られた植物の生体電位反応を用い、出力層はせん断応力の予測値とする。各せん断試験の前半 7 割の結果を訓練データとし、後半 3 割のデータをテストデータとし、せん断応力の予測を試みる。エポック数、バッチサイズ、LSTM ブロック数、活性化関数、最適化アルゴリズムは表 3 の値、方法で統一し、1 点の予測に用いる過去のデータ数である PWS (Prediction Window

表 1 まさ土の土質特性

土粒子密度	g/cm ³	2.78
最適含水比	%	12.53
最大乾燥密度	g/cm ³	1.95
礫分, 砂分, 細粒分	%	14,69,17
土性区分	SF-G	

表 2 実験条件

せん断試験条件		
せん断速度	mm/min	2.0
せん断変位	mm	30
鉛直拘束圧	kN/m ²	2.5,5.0,10.0
植物の生育条件		
高さ	m	約0.3
生育期間	日	14

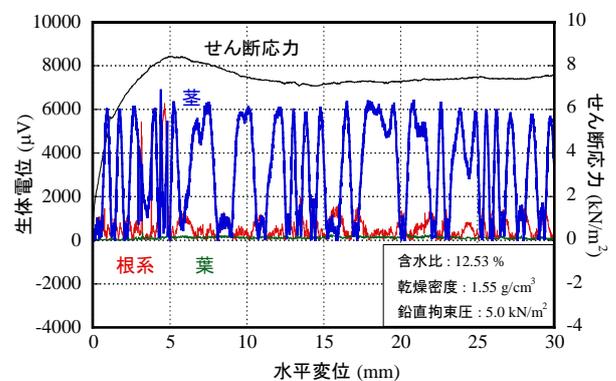


図 2. 植物の生体電位反応

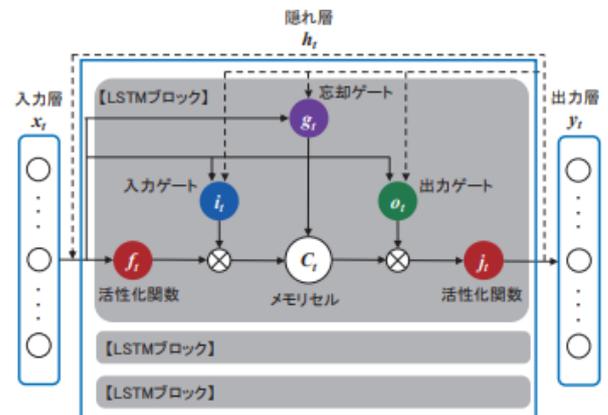


図 3 LSTM の概略図⁴⁾

Size) の最適な値を検討する。また、予測値の評価指標として、MAE (平均絶対誤差) を用いる。

3. 実験結果および考察

3-1. LSTM モデルの実行結果

構築した LSTM モデルの実行結果を図 3 に示す。なお、PWS=200 とする。その結果、各鉛直拘束圧で MAE の値が、0.37 (2.5 kN/m²), 1.10 (5.0 kN/m²), 0.32 (10.0 kN/m²) となった。

3-2. 最適な PWS の検討

図 4 に訓練データにおける PWS と MAE の値の関係を示す。訓練データにおける最小の MAE の値は、各鉛直拘束圧で PWS=300 の時に 0.018 (2.5 kN/m²), PWS=300 の時に 0.019 (5.0 kN/m²), PWS=200 の時に 0.037 (10.0 kN/m²) となった。また、各鉛直拘束圧で MAE の最大値を基準とすると、PWS=100~200 の MAE の値の範囲は、2.06~3.41 % (2.5 kN/m²), 3.10~4.75 % (5.0 kN/m²), 3.72~4.92 % (10.0 kN/m²) となり、PWS=1~100 で MAE の値が 96.59 % (2.5 kN/m²), 95.25 % (5.0 kN/m²), 95.08 % (10.0 kN/m²) 減少することと比較すると減少率は 1.00 % で安定した。

図 5 にテストデータにおける PWS と MAE の値の関係を示す。テストデータにおける最小の MAE の値は、各鉛直拘束圧で PWS=100 の時に 0.32 (2.5 kN/m²), PWS=300 の時に 1.10 (5.0 kN/m²), PWS=100 の時に 0.28 (10.0 kN/m²) となった。また、PWS=200 を基準とすると PWS=300 での MAE の値は各鉛直拘束圧で、94.83 % (2.5 kN/m²), 99.76 % (5.0 kN/m²), 102.62 % (10.0 kN/m²) と概ね値が安定した。

4. まとめ

本研究より、LSTM を用いて、せん断中の植物の生体電位反応からせん断応力を予測すると、以下の知見を得た。

- 1) 訓練データは PWS=100 で概ね学習が完了し、テストデータは、PWS=200 から一定に落ち着く傾向がみられた。
- 2) PWS=200 の時、MAE の値は各鉛直拘束圧で、0.37 (2.5 kN/m²), 1.10 (5.0 kN/m²), 0.32 (10.0 kN/m²) となった。

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、引用：4) 伊藤真一、小田和広、小泉圭吾、酒匂一成：体積含水比の現地計測データの予測に対するレカレントニューラルネットワークの適用性、2020、1 巻 J1 号、p.447、図 4

表 3 LSTM モデルの学習条件

説明変数	植物の生体電位反応 (根系・茎・葉)
訓練データ：テストデータ	7:3
エポック数	100
バッチサイズ	10
LSTMブロック数	100
活性化関数	tanh
最適化アルゴリズム	adam

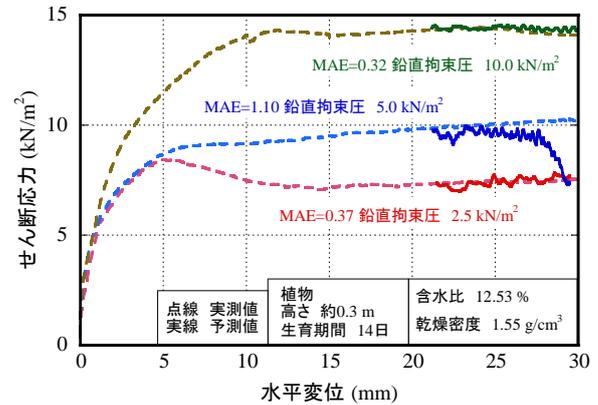


図 3 鉛直拘束圧別のせん断応力再現結果

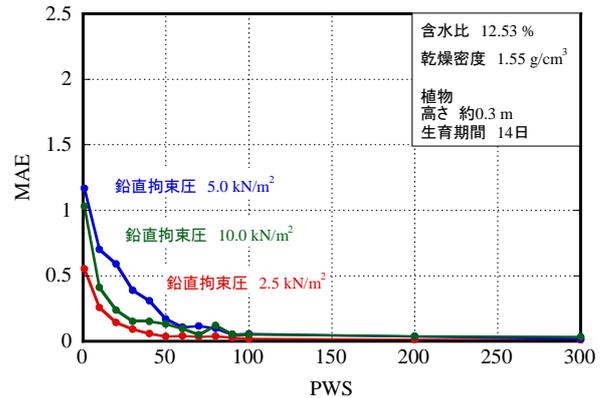


図 4 PWS と MAE の関係 (訓練データ)

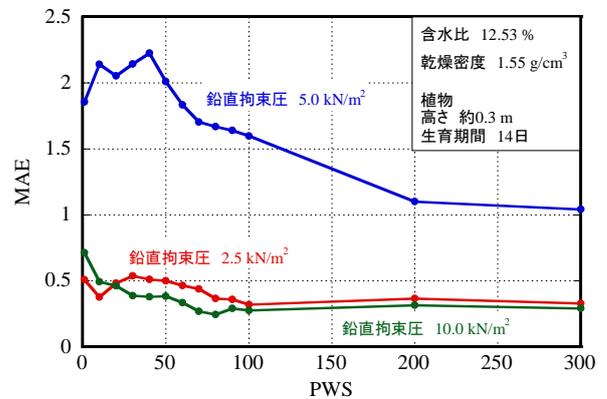


図 5 PWS と MAE の関係 (テストデータ)