

灌水・風・引張刺激に対するスギの生体電位変動特性に関する FFT 解析

九州大学大学院 学生会員 ○竹田梨夏 正会員 古川全太郎 笠間清伸 八尋裕一

1. 目的

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ことが分かっている^{1),2)}。斜面崩壊時、すなわち土のせん断時における植物の生体電位の変動や周波数を特定することができれば、生体電位を崩壊検知用のアラームとして役立てることができる。本研究では2種類の樹高のスギを対象に、灌水試験、送風試験および根の引張試験を行い、外的刺激と植物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周波数を分析した。

2. 実験概要

実験試料として 4.75 mm 以下にふるったまさ土を用いた。このまさ土を最適含水比 12.53 % に調整し、写真 1 に示す内径 154 mm の塩ビ管に、高さ 290 mm、乾燥密度 15.2 kN/m³ として植物とともに充填した。まさ土表面から 40 mm、140 mm、240 mm の深さに水分センサーを取り付けた。写真 1 のように植物の根、幹および葉の 3 か所に塩化銀電極を取り付けた。植物の生育状況は表 1 の通りである。全長 0.5 m ~ 0.7 m 程度のスギをスギ小、1.4 m ~ 1.5 m 程度のスギをスギ大とした。生体電位の記録間隔は 0.5 秒に 1 回とした。実験結果のばらつきを評価するため、1 条件につき 3 個体で試験を実施した。また、室内で植物を静置した状態の生体電位も 1 時間記録した。

灌水試験では、まさ土の表面からバルブで流量を調整して灌水した。灌水量と試験時間は表 2 のとおりである。データロガーで植物の生体電位と土の体積含水率を記録した。土の体積含水率は 1 分間に 1 回記録した。

送風試験では、送風機を用いて植物の葉と幹に一方向から風を当て、段階的に風速を増加させた。スギでの風速と試験時間は表 3 のとおりである。データロガーで植物の生体電位と風速を記録した。風速は 1 秒間に 1 回記録した。

根の引張試験では根から土を取り除き、写真 2 のように金枠の中に根と共に UV レジンを流し込むことによって、根と幹を 80 mm の間隔で固定した。これを引張試験機に取り付け、2 mm/min の速度で変位が 50 mm を超えるまで引っ張った。データロガーで生体電位、引張力および変位を記録した。引張力と変位は 0.5 秒間に 1 回記録した。

それぞれの試験結果で得られた生体電位のデータは、その絶対値に対して 0 Hz から 1 Hz の範囲で FFT 解析を行い、生体電位周波数と電位振幅値の関係を調べた。

3. 実験結果

試験で得られた生体電位のデータは、その絶対値について平均、最大値および最小値を求めた。図 1 と図 2 は、

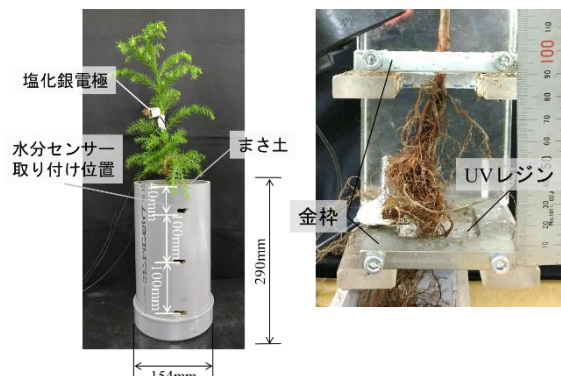


写真 1 供試体

写真 2 引張試験の様子

表 1 植え替え前の植物の生育状況

樹種	全長 (m)	根の長さ (m)
スギ 小	0.71	0.27
	0.66	0.22
	0.54	0.18
スギ 大	1.52	0.47
	1.43	0.33
	1.41	0.41

表 2 灌水試験条件

灌水量 (mm/h)	灌水時間 (min)
25	10
50	10
75	20

表 3 送風試験条件

風速 (m/s)		送風時間 (min)
スギ 小	スギ 大	
2.33 ± 0.29	3.64 ± 0.88	10
3.53 ± 0.63	6.22 ± 0.90	10
4.41 ± 0.83	7.30 ± 1.60	20

キーワード 植物生体電位 土壌水分 風刺激 引張刺激

連絡先 〒819-0385 福岡市西区元岡 744 W2-1110 TEL 092-802-3384

の灌水試験の結果を示す。灌水試験では、スギ大における生体電位振幅値の平均が、スギ小と比較して最大で 79.7 倍になった。図 3 は送風試験の結果を示す。送風試験では、根の振幅値の平均が幹と葉よりも大きくなる傾向が見られた。図 4 と図 5 はそれぞれスギ小とスギ大の引張試験の結果を示す。引張試験では、スギ小のほうがスギ大よりも振幅値が大きくなる傾向が見られた。

4. FFT 解析結果

図 6、図 7 は、FFT 解析結果をまとめたものである。送風試験、灌水試験の結果は、それぞれ灌水量と風速が最大時のデータを解析した結果である。0.01 Hz ~ 1 Hz の間で振幅値が最も大きくなった時の周波数を卓越周波数とした。縦軸に示す生体電位振幅値は、卓越周波数時の振幅値であり、棒グラフは平均値を示している。静置時と各試験結果の卓越周波数時の振幅値について t 検定を行った結果、スギ小では送風と引張試験の結果について静置時との間に 5%水準で有意差が見られた(図 6 中の*印)。また、卓越周波数について t 検定を行った結果、スギ大では灌水と送風試験の結果について静置時との間に 5%水準で有意差が見られた(図 7 中の*印)。

5. まとめ

1) 灌水試験では、スギ大における生体電位振幅値の平均が、スギ小と比較して最大で 79.7 倍になった。送風試験では、風速が最大の段階ではスギ小における幹の生体電位の平均値がそれまでの 1.14 倍になった。スギ大では葉の生体電位の平均値がそれまでの 1.79 倍になった。引張試験では、スギ大の根においてせん断発生後の生体電位振幅値の平均が、せん断発生前と比較して 1.07 倍になった。2) 卓越周波数時の振幅値について、スギ小では静置時と各試験時の結果を比較すると、最大で 389 倍になった。静置時と各試験結果の卓越周波数時の振幅値について t 検定を行った結果、スギ小では送風と引張の試験結果について静置時との間に 5%水準で有意差が見られた。また、卓越周波数について t 検定を行った結果、スギ大では送風と引張の試験結果について静置時との間に 5%水準で有意差が見られた。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 19K15089、JP19H00812、JP20H00266 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) 新保達也・大藪多可志・長谷川有貴・広林茂樹・竹中幸三郎：「生活空間における温度変化に対する植物生体電位応答特性」, 電学論 E, 125-E, 6, pp.253-258, 2005. 2) 松田昂大・古川全太郎・笠間清伸・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」, 第 14 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.237-242, 2021.

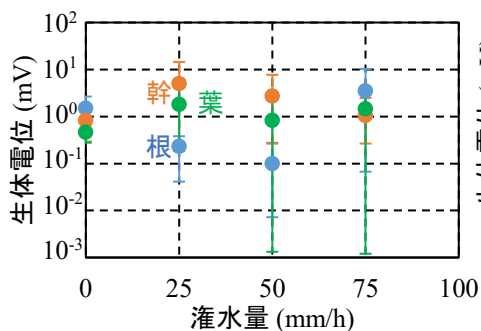


図 1 灌水試験結果 (スギ小)

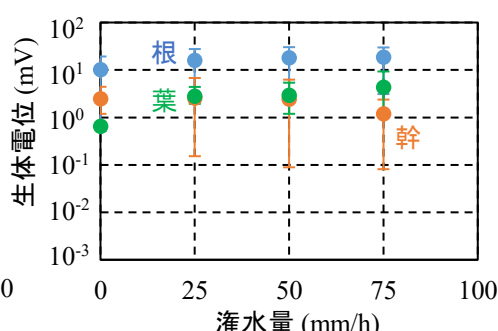


図 2 灌水試験結果 (スギ大)

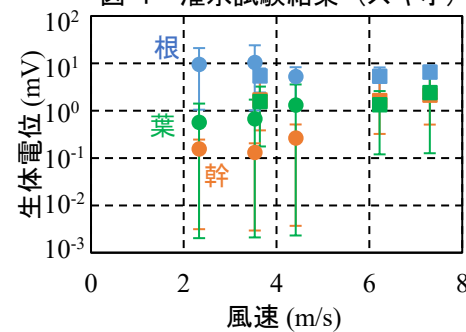


図 3 送風試験結果

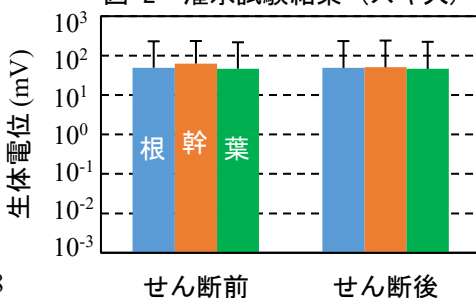


図 4 引張試験結果 (スギ小)

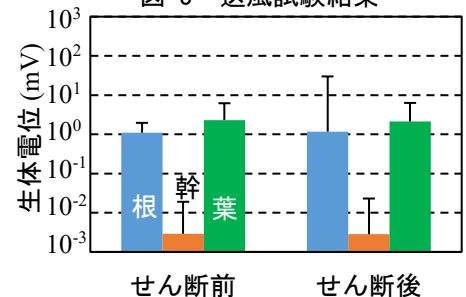


図 5 引張試験結果 (スギ大)

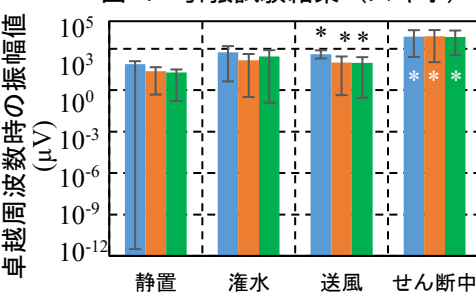


図 6 FFT 解析結果 (スギ小)

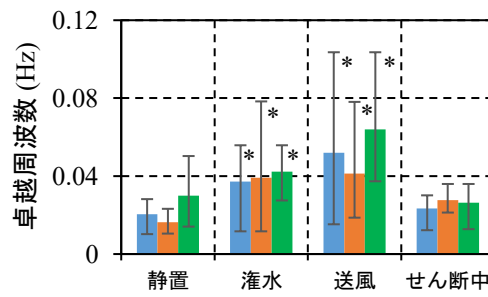


図 7 FFT 解析結果 (スギ大)