

論文

縦挿し型送受信機を用いた土壌中の伝搬速度計測 (3)

Propagation velocity in culture soil using handheld sensors (III)

白川 貴志¹・内川 千春¹・大平 武征¹・中川 裕¹・
佐野 元昭²・杉本 恒美*

桐蔭横浜大学 大学院工学研究科

(2018年3月17日 受理)

I. はじめに

地中に音波を伝搬させることにより埋設物の位置、土層の状態を調べる研究は以前よりなされており多くの分野で利用されている。

一方、植物育成に影響を与える土壌の性質を経時的に測定、評価することは困難であるが、指向性を持った送振源及び受信機を土壌に対して垂直に挿入することにより、伝搬する音波特性から土壌状況（水分分布）を把握することが可能と思われる¹⁻⁵⁾。そこで本研究は、複数の振動子と加速度センサにより構築された可搬型の縦挿し型送受信機を用いて植物栽培下における培養土中を伝搬する音速を計測し、培養土中の体積含水率が推定可能であることを明らかにする目的を持つ。水分分布の推定精度は伝搬音速の計測精度および安定性に依存するため、土壌含水率を強制的に減少させながら計測を行い、AIC値を用いた信号到達時間検出⁶⁾と相関による検出とを用いて伝搬音速の計測精度および安定性について検討を行った。

II. 地中縦挿し型送受信機について

実験構想図を図1に示す。植物根圏に点滴、もしくは地中灌水を行う状況を想定し、根圏を挟み込む形で地中縦挿し型送信機と受信機を設置、伝搬速度より根圏水分分布推定を行うものである。

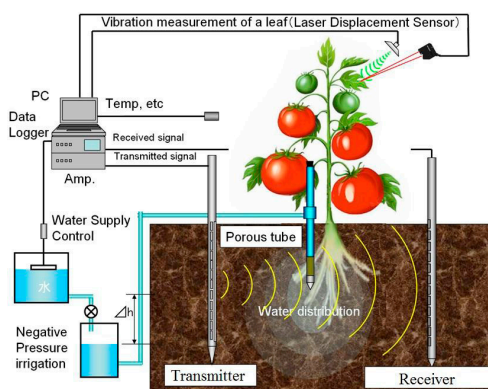


図1. 実験構想図

製作した地中縦挿し型送信機及び受信機の概観写真を図2に示す。送信機筐体中央ラインには5つの円形孔を開け、それぞれに小

* SUGIMOTO Tsuneyoshi: Professor, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan

¹ SHIRAKAWA Takashi, UCHIKAWA Chiharu, OHDAIRA Takeyuki and NAKAGAWA Yutaka: Researcher, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama

² SANO Motoaki: Professor, Graduate School of Engineering; Faculty of Biomedical Engineering, Toin University of Yokohama

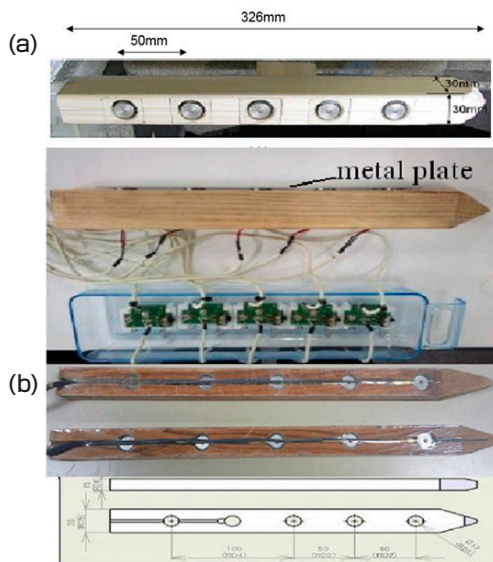


図2. 縦挿し型送受信機
(a) transmitter, (b) receiver.

型超磁歪振動子 (OPT Co.Ltd, GPC-1) が内蔵されている。素材には針葉樹材を用いている。それぞれの振動子先端部は、送信機表面の金属板に固定され同位相で振動する。受信機筐体は全長 35 cm、素材には広葉樹材を用いている。筐体中央部に円形孔が設けてあり、加速度センサ (ONO SOKKI, NP-3110, 3412) を内蔵、振動膜としては PP シートが木材表面に貼付してあり、加速度センサとシートとは接着されているが、筐体本体とは接触していない構造となっている。

III. 伝搬音速の計測

1. 側面吸水中の伝搬音速計測

土壌含水率と伝搬速度の関係性を安定して把握するため、水槽内部側面に吸水ポリマーシートと吸水ペーパーシートを貼付した。写真を図3に示す。一定の圧力をかけた土壌の水分がシートへと移動することにより含水率低下が発生する。

伝搬距離 18 cm、伝搬深度 10 cm、送信波 1000 Hz、5 波バーストにより計測された受信波形の例を図4に示す。

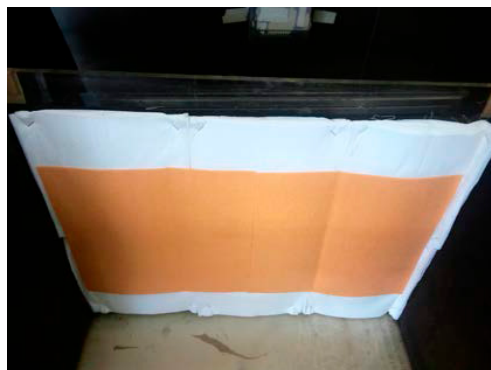


図3. 水槽側面に貼付した吸水ペーパーシートと吸水ポリマーシート

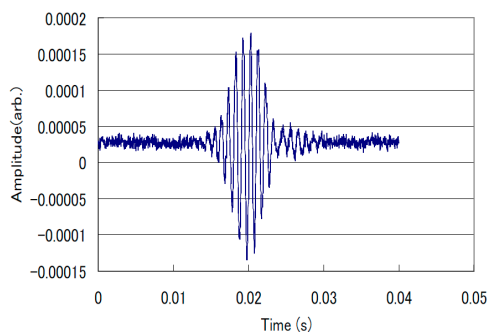


図4. 受信波形例：18 cm distance, 10 cm depth, 1000 Hz and 5 cycles.

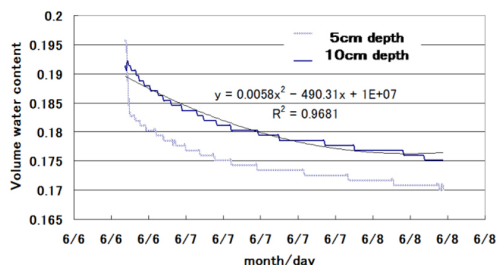


図5. 含水率変化 (電気抵抗センサによる)

また図5に電気抵抗センサより計測した含水率変化を示す。

2. AIC 値による信号到達時間検出

実際に地中を伝搬する振動波形には多くの場合雑音成分が含まれている。地震学の分野では、地震波形は自己回帰 (Autoregressive, AR) 過程として局所的に定常な区間に分けることができ、信号の到達前後で2つの異なる定常状態を示す。この AR モデルの適合性

判断として赤池情報量 (Akaike Information Criterion, AIC) が用いられている。近年、AR モデルを使用することなく、検出波形に直接 AIC を適用し、AIC 値が最小値を示す点を信号到達時間として用いる試みが行われている⁶⁾。そこで本検討でも、直接 AIC 値を用いた伝搬音速計測を行った。サンプル数 N 個の波形に対して、振幅値 X_i ($i=1, 2, \dots, N$) として任意の点 $i=k$ での AIC_k を (1) 式のように定義する。

$$AIC_k = k \cdot \log\{\text{var}(X|1,k)\} + (N-k) \cdot \log\{\text{var}(X|k,N)\} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $\text{var}(X|1,k)$ は振幅値 X_1 から X_k の分散を示す。この AIC_k が最小値を示す k の値を信号到達時間として用いる。

図 6 に受信波形と送信波形に AIC 値を用いて求めた伝搬時間による伝搬速度の変化を示す。

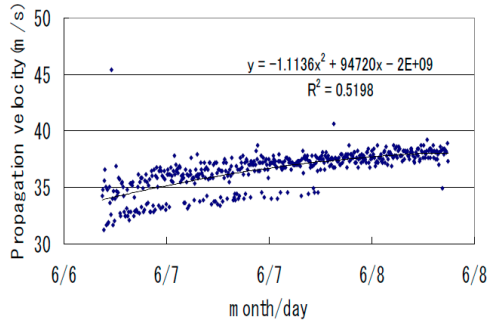


図 6. AIC による伝搬速度変化

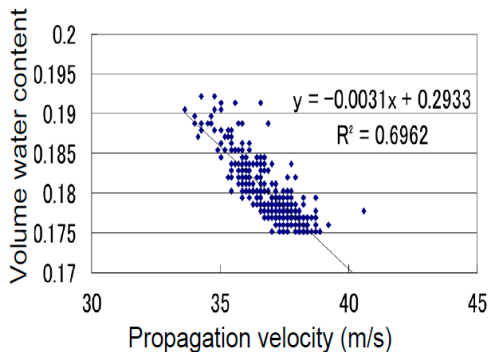


図 7. 伝搬速度と土壌含水率の関係

図 7 は伝搬速度と土壌含水率の関係を示し、含水率が低下すると伝搬音速が増加する負の相関が確認できる。

3. 相関による信号到達時間検出

図 6 を見ると、伝搬音速値が二群に分かれている。波初動部を読み取る際に、1 波ずれて算出が行われたことが原因と考えられる。その為、今回の実験方法に適した相関処理を試みた。

取得データ [開始～10 時間] までは初期波形との相関より伝搬音速を算出、[10 時間以降] は 10 時間毎のデータ間相関により伝搬音速を算出した結果を図 8、9 に示す。

図 5 が示す土壌の乾燥に反比例して全体的には伝搬音速が上昇する傾向が見受けられ、深度が深い経路ほど音速値が高い、という既存の結果との一致が見られた。

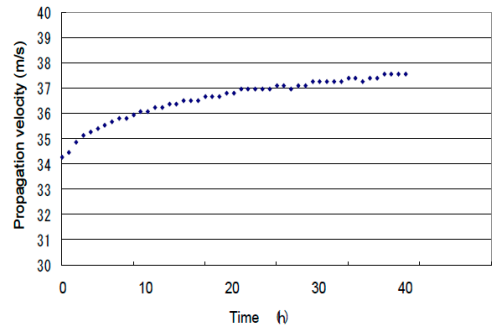


図 8. 相関による伝搬速度変化 (深度 20 cm)

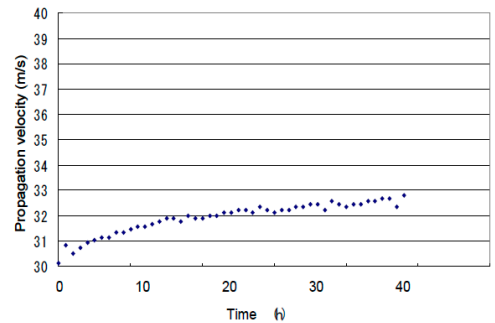


図 9. 相関による伝搬速度変化 (深度 15 cm)

IV. まとめ

短時間で土壌中の含水率を強制的に減少させることにより、含水率が低下すると、伝搬音速が上昇するという今までの研究結果に沿った正確な相関関係を把握することができた。

上記の関係性を把握できると、作製した土壌縦挿しセンサによって育成植物根圏土壌の伝搬音速値を計測することにより、根圏全体としての土壌含水率を推測することで植物の育成にとって適切な給水タイミングを把握できることとなる。

謝辞

*本研究は、JSPS 科研費 15K07681 の助成を受けて実施されたものである。

【参考文献】

- 1) Tsuneyoshi Sugimoto, Yutaka Nakagawa, Takashi Shirakawa, Motoaki Sano, Motoyoshi Ohaba, and Sakae Shibusawa: Study on Water Distribution Imaging in the Sand Using Propagation Velocity of Sound with Scanning Laser Doppler Vibrometer, *Jpn. J. Appl. Phys.* 52, 07HC04, 2013.
- 2) 白川貴志, 杉本恒美, 中川裕, 佐野元昭, 大幅元吉, 洪澤榮: 音波振動による土壌中の水分分布計測に関する研究——地中刺突型音波伝播システムの構築——, 桐蔭論叢, 26, pp.37-42, 2012.
- 3) 白川貴志, 大平武征, 中川裕, 佐野元昭, 杉本恒美: 縦挿し型送受信機を用いた培養土中の体積含水率推定に関する検討, 桐蔭論叢, 32, pp.197-200, 2015.
- 4) 白川貴志, 大平武征, 中川裕, 佐野元昭, 杉本恒美: 縦挿し型送受信機を用いた土壌中の伝搬速度計測, 桐蔭論叢, 34, pp.135-138, 2016.
- 5) 白川貴志, 大平武征, 中川裕, 佐野元昭, 杉本恒美: 植物栽培中の培養土における伝搬音速計測に関する検討 (2), 桐蔭論叢, 36, pp.233-236, 2017.
- 6) 大野健太郎, 下藺晋一郎, 沢田陽佑, 大津政康: AE 波初動部の自動読み取りの開発による SIGMA 解析の改良, 非破壊検査, 57, 11, pp.531-536, 2008.