

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 —

白川 貴志¹・杉本 恒美¹・中川 裕¹・佐野 元昭¹
大幅 元吉²・濹澤 栄²

(2012 年 3 月 31 日 受理)

1 はじめに

土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。だが、音波を地中計測に使用する上で大きく 2 つの問題点が生じる。1 つは、波の種類、音速との兼ね合いより地表面付近の浅い位置に対しての利用が難しいという点、もう 1 つに地震などの地中震源を受動的に利用する状況以外では、震源、受震側共に地表面に設置することが必要であるために反射法を用いざるを得ないといった点である。

地表からの撒水、地中からの灌水にせよ、土壌の状況に応じた水分量の供給を行う必要があるのだが、日本の様に有機物を多く含む土壌もあれば砂漠付近の砂を主な成分とする土壌もある。又、同じ栽培地においても畝一つ隣だと土壌の三相分布が異なることもあり、当然季節の変化に伴い土壌中の様相も変化する。したがって、土壌の三相分布を部分的、且つ簡易に計測するシステムが高度節水農業においては不可欠となってくるが、現状では非侵襲に土壌中三相を知る簡易な方法は

実用化されていない。

この問題を解決するため、指向性を持った棒状の発振源及び受振器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の空隙や植物の根圏成長状況を把握することが可能となる。そのため、本研究では音波振動を用いて、浅層地中内の音波伝搬速度を計測することにより極浅層地中の水分分布推定を行うことを目的とする。

当研究室では音波を用い、通常では探査不可能である極浅層土壌 (0 ~ 1m) において遺跡、地雷などの埋設物探査を行ってきた。又、近年当研究室にて研究中である小型平面スピーカーと受振器の双方を地中に垂直差し込みすることにより、極浅層を地表に対して平行伝搬する音波情報を得ることが出来るようになった。このシステムを土壌自体の三相分布へと適用させる新システムの構築が本研究の目的となる。また、Fig.1 に示す適切水分量を負圧差を用いて灌水する技術も当研究室において研究を進めており、対象植物が要求する量に応じた水分を自動的に地中から供給することが可能である。

¹ Takashi Shirakawa, Tsuneyoshi Sugimoto, Yukata Nakagawa and Motoaki Sano : Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Japan 225-8503

² Motoyoshi Ohaba and Sakae Shibusawa : Tokyo Univ. of Agriculture and Technology, 3-8-1 Harumi-cho, Fuchu-shi, Tokyo, Japan 183-8538

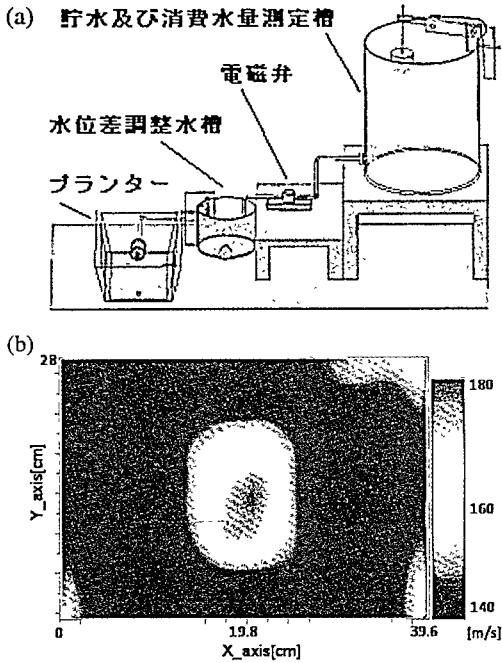


Fig.1 Examples of past experiment. (a)Experimental setup using negative pressure irrigation system, (b)Water distribution image by sound propagation.

2 実験系の構築

実験システム概要を Fig.2 に示す。植物根圏に点滴、もしくは地中灌水をを行う状況を想定し、根圏を挟み込む形で地中刺突型送振器と受振器を設置、伝搬速度より根圏水分分布推定を行う。

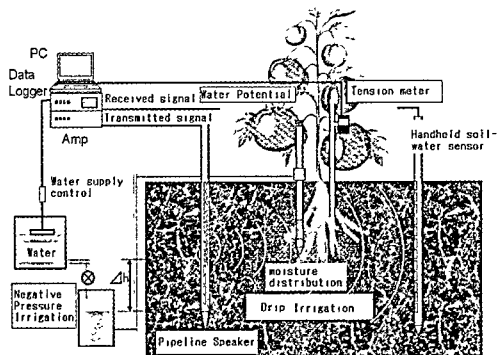


Fig.2 Overview image.

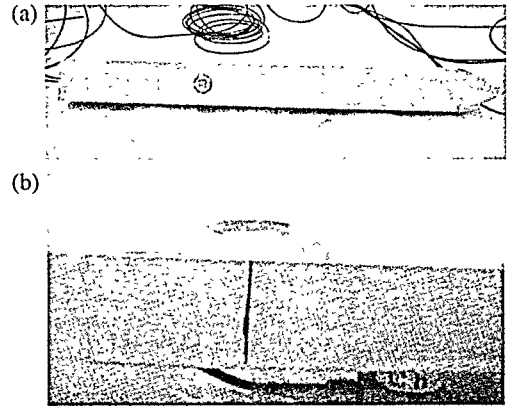


Fig.3 Handheld soil-water sensor. (a) Top view, (b) Side view

2.1 地中刺突型受振器の構築

地中刺突型受振器の概観写真を Fig.3 に示す。筐体全長 35 cm、素材には広葉樹材ホオを用いている。筐体中央部に円形孔が設けてあり、加速度センサ (ONO SOKKINP-3110) 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た構造となっている。

2.2 地中刺突型送振器の構築

地中刺突型送振器の概観図を Fig.4 に示す。筐体素材は針葉樹材トウヒを用いている。筐体中央ラインには 5 つの円形孔を開け、そ

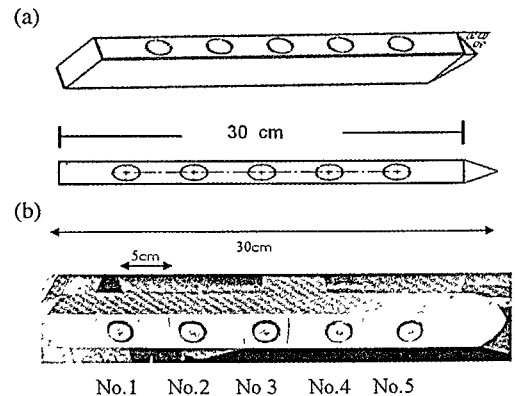


Fig.4 Handheld transmitter. (a) 3D design figure, (b) Photograph

それぞれに小型超磁歪振動子 (OPT Co., Ltd., GPECKER) が内蔵されている。それぞれの振動子先端部は、受振器側と同じく木材表面に貼付されたPPシートと接着されている。超磁歪振動子と筐体とは密着状態にあるが、接着は行われていない。

3 評価実験

受振波形とリファレンス波形の整合性を高める為、地中刺突型受振器をもう一器作成してリファレンス波形取得用とした。また、金属筐体によるプロトタイプとの比較測定を行った。(a) 金属筐体内部センサ、(b) 金属筐体表面設置センサ、(c) 木材筐体内部センサ、(d) リファレンスと複数の加速度センサが設置してある。砂槽内部における各センサの位置関係、それぞれのセンサ概観を Fig.5 に示す。伝搬距離 30 cm, 送振周波数 1 kHz 正弦 10 波

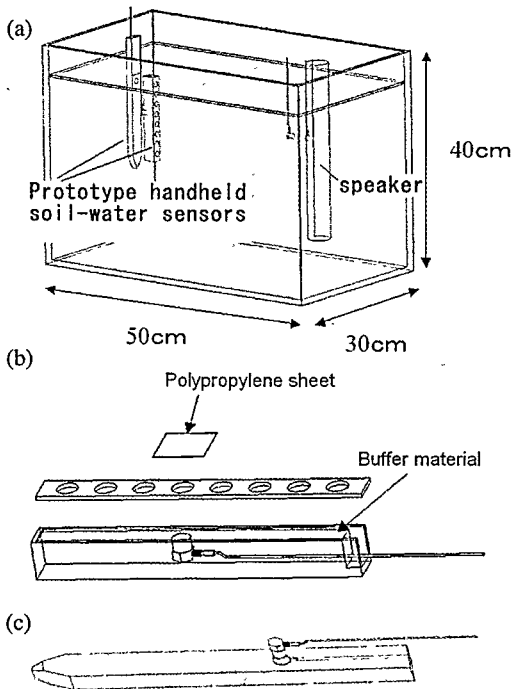


Fig.5 Evaluation experiment. (a) Experimental setup, (b) Metal housing sensor, (c) Wood housing sensor.

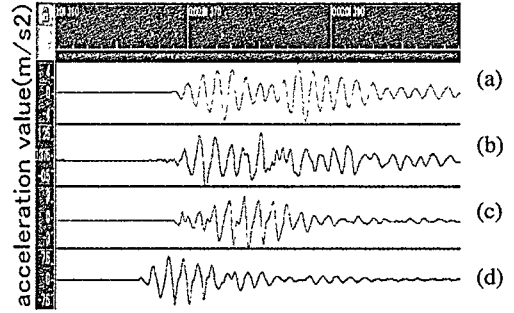


Fig.6 Averaged waveform of each acceleration sensors. (a)Metal housing inside sensor, (b)Metal housing surface setting sensor, (c) Wood housing inside sensor, (d) reference sensor.

における平均化受振波形を Fig.6 に示す。

Fig.6 (a)、(b) の結果より、金属センサには筐体の振動と思われる二次波が乗っているのに対し、(c) の木材筐体内部センサ受振波形を見ると、安定した形状の受振波が得られていることがわかる。

4 水分分布推定実験

砂槽内部に点滴灌水により経時水分変化を生じさせ、縦挿しセンサと土壌水分センサとの比較計測を行った。Fig.7 に実験概要図を示す。点滴給水は液体搬送布をポリプロピレンシートにて挟み、中央部両面に円形窓を開けた形状で、給水は上部よりシリンジにて行う。縦挿しセンサ間は 32 cm, 点滴灌水はその中央となる (16 cm 等距離)。点滴灌水窓は地表面より 5 cm, 縦挿しセンサ内加速度センサは地表面より 10 cm の深さとなる。点滴灌水部より 2 cm, 4 cm, 6 cm の位置に 3 個の土壌水分センサが設置してある。Fig.8 の実験様子写真にて土壌水分センサの位置、点滴灌水部の形状を示す。

測定結果を Fig.9 に示す。シリンジによる給水は 3 分間隔で総量 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 cc となる。横軸が給水量、右縦軸が 2cm 土壌水分センサの値により計算された含水比、左縦軸が縦挿しセンサ

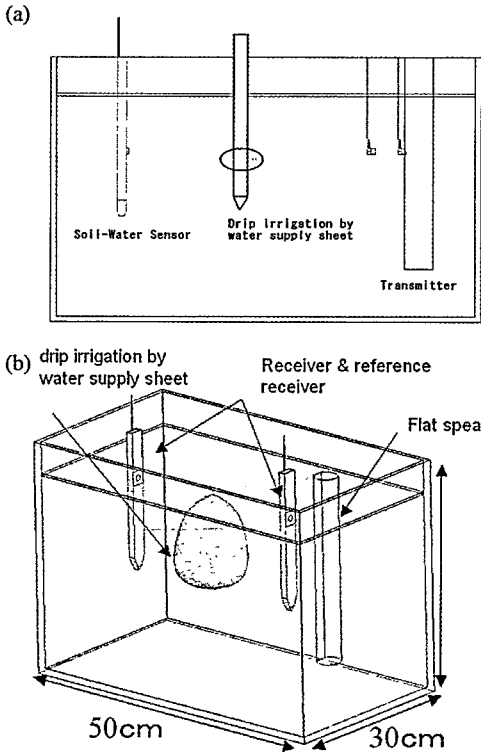


Fig.7 Experimental-setup for water distribution estimation. (a) Side view, (b) 3D view.

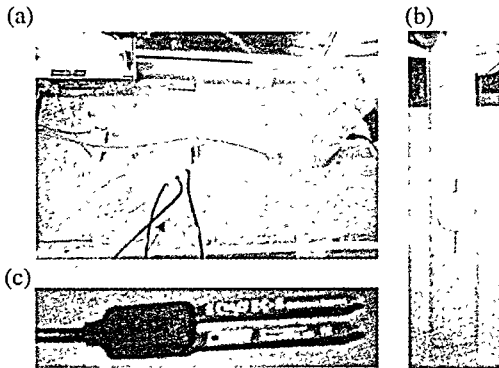


Fig.8 Photograph examples. (a) Top view of the experimental setup, (b) Drip irrigation by water supply sheet, (c) Soil moisture sensor (Decagon device Inc., EC-5).

により求められた伝搬音速値となり、給水量の変化に伴い両センサの値の上昇が確認された。

縦挿しセンサによる伝搬音速値はサンプリ

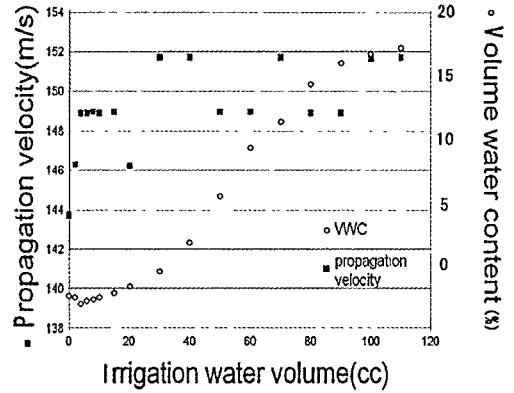


Fig.9 Irrigation water volume vs propagation velocity and volume water content. White circle; Volume water content by soil moisture sensor, Black square; Calculated propagation velocity.



Fig.10 Moisture distribution after experiment.

ング 10kHz により計測を行ったため離散的となっているが、40kHz において精密な値を取得することが現在では可能である。

Fig.10 に実験後の砂槽内水分拡散の様子を示す。直径 10cm、深さ 20cm ほどの水分球が形成されていたことが判明した。

5 まとめと今後

木材を利用した地中刺突型送振器と受振器により、植物根圏における簡易含水比推定の可能性が示された。実際の植物根が存在する状況下においても土壤含水比の変化が測定可

能であるかの検討、刺突型音波伝搬システムの改良を行う。

参考文献

- [1] M.Ohaba, H.Hosoya and N.Ikeda, *Proc. Int. Conf. Sustainable Agriculture for Food Energy and Industry (ICSA2008)*, pp.391-394 (2008)
- [2] M.Ohaba, S.Shibusawa and H.Hosoya, *Proc. Int. Conf. Precision Agriculture*, 4pages (CD-ROM) (2010).
- [3] T.Sugimoto, K.Matsuura, Y.Nakagawa, Basic Study of Water Distribution Measurement in Soil using a Sound Vibration, *Proc. of the 2010 Spring Meeting of the Acoustical Society of Japan*, 3-Q-27, pp1399-1400, (2010) [in Japanese]
- [4] Y.Nakagawa and T.Sugimoto, Basic Study of Water Distribution Measurement in Soil using a Sound Vibration -Study on the Propagation Velocity and the Water-ratio-, *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers(IEICE) Technical Report 110, No.419*, 2011, pp23-26, (2011) [in Japanese]
- [5] Y.Nakagawa and T.Sugimoto, Basic study of water distribution measurement in soil using a sound vibration (II), *Proc. of the 2011 Spring Meeting of the Acoustical Society of Japan*, 3-8-5, pp1565-1566, (2011) [in Japanese].
- [6] T.Sugimoto and Y.Nakagawa, Basic study of water distribution measurement in sand using sound vibration, *Proc. 31th Acoustic Imaging (AI31)*, p40, 6pages (CD-ROM) (2011)
- [7] T.Sugimoto and Y.Nakagawa, Basic study of water distribution measurement in soil using a sound vibration, -study on the propagation velocity and the volume water content-, *Proc. 4th Asian Conf. Precision Agriculture (ACPA2011)*, 2011, O-30, 4pages (CD-ROM). (2011).
- [8] T.Sugimoto, Y.Nakagawa, Takshi Shirakawa, M.Sano, M.Ohaba and S.Shibusawa, Water Distribution Measurement in Soil using Sound Vibration, *Proc. International Congress on Ultrasonics*, p112, (2011). *AIP Conf. Proc. Vol. 1433*, pp59-62,(2012)