

高分子厚膜の圧力センサを用いた 土壌圧力の測定に関する研究

Study on the measurement of the soil pressure utilizing
the pressure sensor of the polymer thick film

大平 武征、杉本 恒美、佐野 元昭、白川 貴志、中川 裕、内川 千春

桐蔭横浜大学大学院工学研究科

(2016年3月28日 受理)

1. はじめに

農作物の栽培においては土壌の状態を良く知ることが重要である。良く知られている窒素、リン酸、カリウムの三要素以外に土壌水分についても知ることが重要であり、農業従事者は農作物の栽培に適した土壌状態を経験に基づいて判断している。我々は植物の水ストレスについて葉の振動解析をレーザ変位センサで推測し^{1,3)}、また、植物根圏の土壌伝搬音速から土壌水分分布の可視化も検討している²⁾。本研究では土壌の含水量が土粒子に関係する土壌圧力として測定できるかどうかを検討する。現在、土壌圧力を検知できる測定器はなく、土壌の硬さを測る山中式土壌硬度計しか存在しない。そのため、高分子厚膜の低価格な圧力センサで土壌圧力が測定できれば、経験と勘に頼ることなく土壌の状態を的確に把握でき、農業従事者の手助けとなる。

2. 実験方法

2-1. 土壌圧力センサ

実験に使用する圧力センサ (Interlink Corp., pressure sensor FSR406) は Fig. 1-(a) に示す高分子厚膜を用いた広い検知面積 (38 mm²) を持ち、実験では Fig. 1-(b) に示す

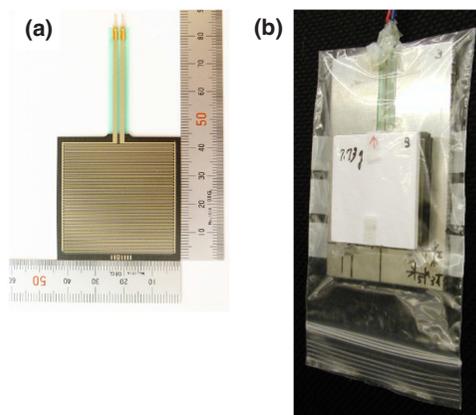


Fig. 1 高分子厚膜センサ、(a) センサの外観写真、(b) 保護用プラスチックバッグに入れた状態
Pressure sensor of the polymer thick film, (a) photograph of the sensor, (b) with protection bag.

Takeyuki OHDAIRA, Tsuneyoshi SUGIMOTO, Motoaki SANO, Takashi SHIRAKAWA, Yutaka NAKAGAWA and Chiharu UCHIKAWA

Graduate school of Engineering, Toin University of Yokohama: 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan

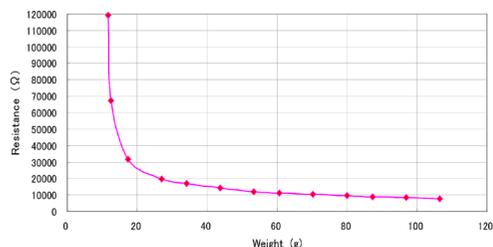


Fig. 2 圧力センサの加重-抵抗曲線 (検量線)
Resistance value vs. weight (standard curve)



Fig. 3 小松菜を定植した実験槽の写真
Photograph of the experimental tank with plant (Komatsuna)

微小圧力を検知する構造と防水性を考慮したプラスチックバッグで保護している。このプラスチックバッグの外部からアセンブリの正方形板に力が加わると抵抗値の変化が計測できる。この圧力センサの加重と抵抗値の関係を Fig. 2 の検量線に示す。なお、土壤圧力はそれぞれの圧力センサの電圧を抵抗分圧回路で測り抵抗値に換算することで、この検量線から知ることができる。

2.2. 実験セットアップ

Fig. 3 に実験セットアップ写真を示す。実験土槽は恒温室 (22 °C、湿度 60 %) に設置し、含水率約 20 % の土壤 (市販の培養土) に小松菜を定植した。圧力セン

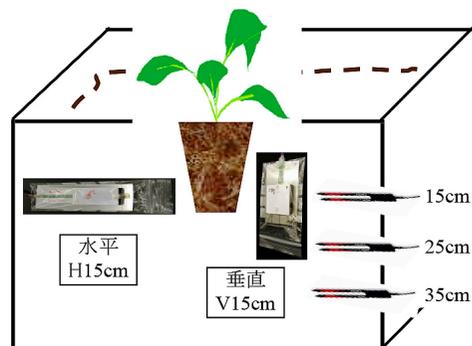


Fig. 4 2 個の圧力センサおよび 3 個の水分センサの実験セットアップ
Experimental setup of two pressure sensors and three soil moisture sensors

サと土壤水分の配置図を Fig. 4 に示す。圧力センサは根の中心から約 8 cm 離して土壤表面から深さ 15 cm の位置に圧力センサの中心部がくるようにして、垂直方向と水平方向に各 1 個ずつ埋設した。ここでは区別するために、垂直 V15cm、水平 H15cm と呼称することにする。また、土壤水分センサは土壤表面から 15 cm、25 cm、35 cm の深さに埋設した。

3. 実験結果

3.1. 土壤体積含水率

Fig. 5 に土壤水分センサにより得られた

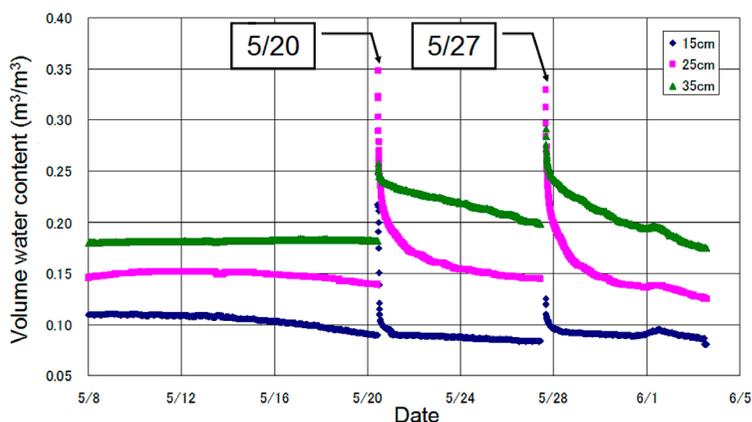
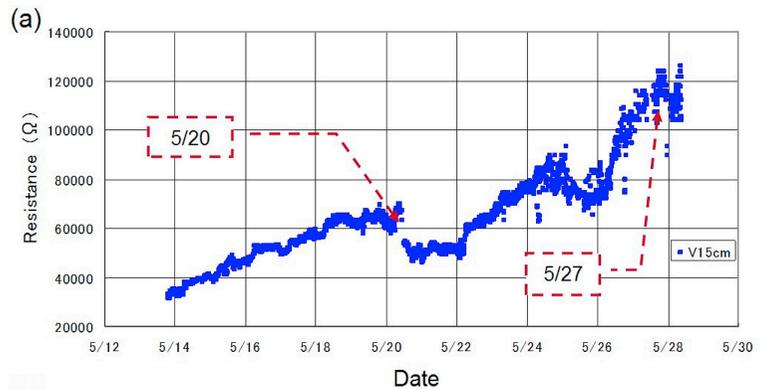


Fig. 5 土壤体積含水率の変化
Temporal change of the volume water content in soil

体積含水率 (m^3/m^3) の時間変化を示す。実験では5月20日と27日の2回給水を行なった際に、2度の大きな体積含水率変化が起きていることが見て取ることができる。すなわち、実験土壌には2度の急激な水分変化があったことを示している。



3.2. 土壌圧力変化

Fig. 6-(a) に垂直 V15cm と Fig. 6-(b) に水平 H15cm の抵抗値変化を示す。垂直圧力センサの抵抗値は経日変化に対し3回ほど減少→増加を繰り返しながら全体的には増加傾向を示し、水平圧力センサも変化が小さいが増加傾向である。そこで、Fig. 2 の検量線より抵抗値を土壌圧力に読み替えて見ると、垂直圧力センサは経日変化と共に土壌圧力としては増加傾向を示す。ところで、水平 H15cm は Fig. 6-(a) の垂直 V15cm より抵抗値を土壌圧力に置き換えて考えると、見掛け上は大きい値を示しているが、

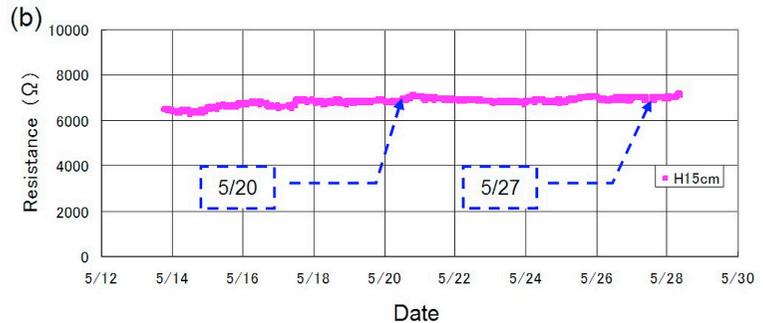


Fig. 6 圧力センサ抵抗値の変化、(a) 垂直方向 (垂直 V15cm)、(b) 水平方向 (水平 H15cm)
Temporal change of the resistance value of the pressure sensor, (a) vertical direction (V 15 cm), (b) horizontal direction (H 15 cm)

実は土壌重さが加わっており実際の土壌圧力とは言い難い。これに対し、垂直圧力センサは土壌の重さによる圧力は少ないため、土壌圧力を検知した結果を示していると思われる。

次に、5月20日と27日に給水を行なった土壌圧力の変化は、垂直 V15cm では5/20から5/21にかけて抵抗値減少（土壌圧力増加）が見られ、途中5/25から5/26に同様

な変化を含みながら、2度目の給水では5/27から5/28に若干の抵抗値減少（土壌圧力増加）が見られ、体積含水率ほど明らかではないが、給水による土壌圧力変化の影響が見られる。

以上のことから、垂直埋設の土壌圧力センサは土壌の体積含水率が減少すると土壌圧力も減少する傾向を示す。すなわち、土壌水分が重力水、毛管水あるいは土壌表面

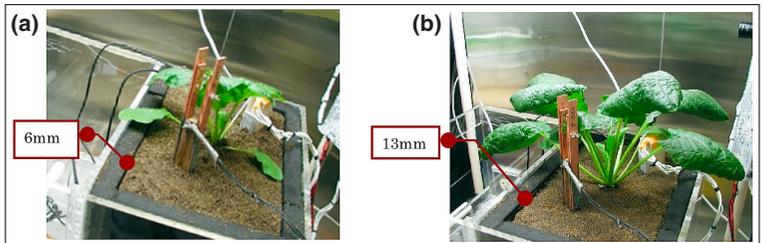


Fig. 7 土壌表面の沈降状態、(a) 2週間経過、(b) 1ヶ月経過
Soil surface sinking, (a) about 6mm in two weeks, (b) about 13 mm in a month

からの蒸発などで散逸し、土壌圧力が減少傾向を示したと考えられる。このことは、Fig. 7 に示す写真観察で、実験槽の土壌面が2週間で約6 mm、1ヶ月で約13 mm下がっていることから確認できる。すなわち、実験槽内部の土壌水分は土壌粒子を伝わり土壌面から蒸発を繰り返し土壌圧力の減少に繋がったと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本実験から、高分子厚膜の圧力センサは土壌圧力を測定できることが確認できた。すなわち、土壌体積含水率が減少するにつれ土壌圧力も減少して行く傾向が確認できた。また、高分子厚膜の圧力センサは、土壌圧力センサとして使用できることが分かった。しかしながら、実験で作成した圧力センサは次のような欠点があり改良が必要である。

- (1) 高分子厚膜センサ部分は長い時間押し付けられると樹脂面の復元力が弱くなり、繰り返し使用するには材質と構造の改良が必要である。
- (2) 高分子厚膜センサの構造は防水性を考慮した薄いプラスチックバックで覆う必要がある。

今後、これらの改良を検討課題として行くことにする。

謝辞

本研究を進めるに当たり、ご指導を頂きました杉本恒美教授、佐野元昭教授、白川貴志先生、中川裕様、内川千春様に感謝いたします。

【参考文献】

1. M. Sano, T. Sugimoto, H. Hosoya, M. Ohaba, and S. Shibusawa, “Basic Study on Estimating Water Stress of a Plant Using Vibration Measurement of Leaf”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.52, 07HC13 (2013).
2. T. Sugimoto, Y. Nakagawa, T. Shirakawa, M. Sano, M. Ohaba, and S. Shibusawa, “Study on Water Distribution Imaging in the Sand Using Propagation Velocity of Sound with Scanning Laser Doppler Vibrometer”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.52, 07HC04 (2013).
3. Motoaki Sano, Yutaka Nakagawa, Tsuneyoshi Sugimoto, Takashi Shirakawa, Kaoru Yamagishi, Toshiaki Sugihara and Sakae Shibusawa, “Estimation of water stress of plant by vibration measurement of leaf using acoustic radiation force”, Acoust. Sci. & Tech. 36, 3, pp.248–253, (2015.06).