

地中レーダーと電磁探査による土壌健全性の広域的評価手法

Evaluation of soundness of soil using electromagnetic survey and ground-penetrating radar for wide area investigation

○須賀田美沙*, 山本清仁**

○SUKADA Misa*, YAMAMOTO Kiyohito**

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災により、太平洋側沿岸地域の農地は甚大な被害を受けた。その被害の一つに、地震動によって多くの地域で地盤が沈下し、さらに津波によって海水が地盤に浸透したことで土壌塩分濃度が一時的に高くなったことが挙げられる。広範囲の津波被災水田において電磁探査による電気伝導度（EC）の測定を試みたが、体積含水率（ θ ）を大きく評価すると土壌のECを小さく評価してしまうため、より精度の高い塩分濃度測定を行うには、 θ の適切な把握が課題となった。そこで、本研究では地中レーダーにより得られた電磁波速度から比誘電率を求め、より適切な θ を推定することを目的とする。

2. 測定方法

表土のECは、土壌ECセンサを用いて、直接センサを地面に深さ0.1m程度挿し込むことによりECと地温を測定した。また、 θ はTDR土壌水分計を用いて測定した。

地中レーダーは、地面の中に送った数十MHz～数GHz程度の高周波数の電磁波が、地表の境目や空洞、または地下に埋まっている物体にぶつかり反射された電磁波を観測して地面の中を調べる物理探査法である。地中レーダーによって得られた反射時間を基に、比誘電率を算定する式は次式によるものとする。¹⁾

$$D = \frac{cT}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

ここで、 D は地表面から誘電率の異なる境界面までの距離、 c は空気中における光の速度（ $c=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ ）、 T は電磁波の反射時間（往復走時）、 ϵ_r は地盤の比誘電率である。

電磁探査法においては、周波数領域電磁探査法（以下FDEM法）を利用した。FDEM法は、様々な周波数の電磁波信号において、その強度や位相の変化などを測定する探査手法である。²⁾

3. 調査対象地

調査地は、岩手大学の敷地内にある下台圃場の一部であり、現在は耕起されていない畑地である。調査地の概要と塩化ビニール管の埋設状況を図-1に示す。塩化ビニール管に水を注入しない状態において電磁探査、地中レーダー探査、表土のEC測定および θ 測定を行い、塩化ビニール管付近の深さ0.0～1.0mの土壌採取を行った。表土のEC測定、 θ 測定は $x=2\text{m}$ の位置において y 方向に2.5m間隔で実施した。また、地表に露出した管に水を注入し管全体を水で満たした状態で地中レーダー探査を行った。

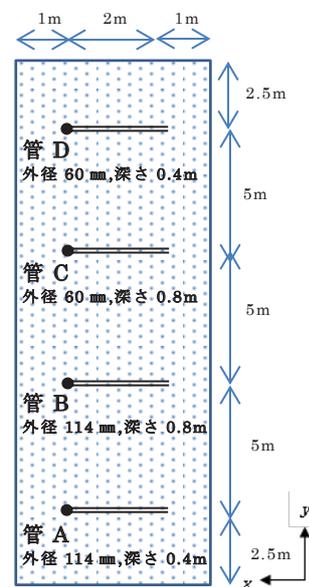


図-1 調査地概要平面図
Research area overview

*NTC コンサルタンツ, NTC Consultants Inc. **岩手大学 Faculty of Agriculture, Iwate University. キーワード：水田、電磁探査、地中レーダー

4. 結果および考察

表-1 に含水比試験の結果を示す。下台圃場の含水比試験においては表土の含水比が最大値を取り、鉛直方向に深くなるにつれ、含水比は小さい値になる傾向であった。一般的に含水比が大きければ大きいほど EC の値も大きくなるといわれていることから、下台圃場においては表土の EC が最も大きく、鉛直方向に深くなるにつれて EC の値が小さくなると考えられる。

図-2 に地中レーダー探査結果を示す。(a)の画像は4本の埋設された塩化ビニール管の反射波を目視で確認することは難しいが、(b)の画像では明瞭な反射波を確認することができた。また、(b)の画像から、地中レーダー探査では太い埋設管の方が明瞭な反射波を得ることができると分かった。表-2 に下台圃場の比誘電率の算定結果を示す。現地調査での θ 測定と比較しても、 θ が大きい地点では式(1)で算出した比誘電率が高くなる傾向であることが分かった。このことから埋設深さが既知であれば地中レーダーによって得られた反射時間と埋設深さから θ を算定することができる可能性があると考えられる。

電磁探査による見かけの EC 分布を図-3 に示す。全体的に 9mS/m の低い値を示しているが、埋設管との対応は見られなかった。

5. まとめ

地中レーダー探査により、同じ深さの埋設管であっても含水比の鉛直分布が異なる管の反射時間は異なっていた。また、 θ の大きい地点において比誘電率も高い値を示した。このことより、反射時間と埋設深さから比誘電率を算出することにより、体積含水率を推定できる可能性があるといえる。

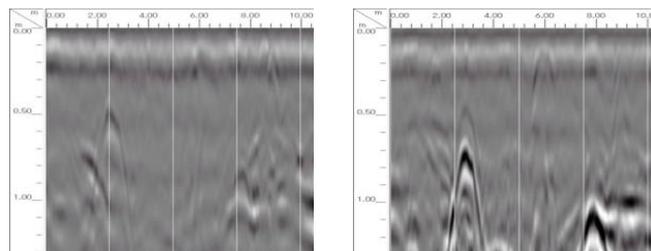
謝辞 本研究は、公益財団法人 JFE21 世紀財団の 2015 年度技術研究助成により実施されました。ここに謹んで謝意を表します。

参考文献

- 1) 坂田賢,野津俊光,徳富啓二,刑部信吾,三野徹(2010): 地中レーダーを用いた体積含水率および地下水深の推定 78(4),311-314, 水土の知
- 2) 片山辰雄, 小里隆孝, 加藤裕将, 楠見晴重, 松岡俊文(2009): 周波数領域電磁探査法の開発と河川堤防調査への適用性,4(4),331-340,地盤工学ジャーナル

表-1 含水比試験結果
Results of Water content test

深さ (cm)	含水比(%)			
	y=2.25m	y=7.25m	y=12.5m	y=17.4m
0-25	47.0	41.1	40.3	36.2
25-50	48.6	39.8	38.0	24.9
50-75	46.5	30.3	34.7	24.2
75-100	36.3	35.7	33.7	19.0



(a)水注入なし (x=2m 地点) (b)水注入あり (x=2m 地点)

図-2 地中レーダー探査結果
Results of ground-penetrating radar

表-2 比誘電率算定結果(x=1m 地点)
Calculation results of relative

y(m)	T(ns)	D(m)	ϵ (比誘電率)	θ (実測値)
2.98	2.98	0.40	42.7	47.9
7.92	7.92	0.80	23.5	40.1
13.00	13.00	0.80	24.3	33.6

D:塩化ビニール管埋設深さ

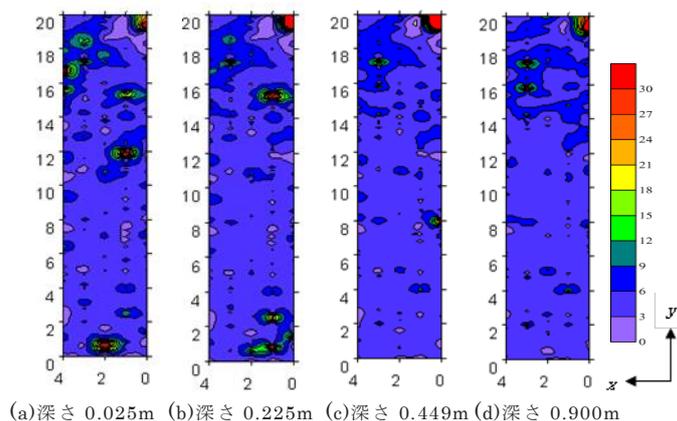


図-3 見かけの EC 分布
Apparent EC distribution