

# 地表型地中レーダによる浸潤領域の非破壊・非侵襲計測 Non-Destructive and Non-Invasive Measurement of Infiltration Zones by Ground-Penetrating Radar

○宮谷 耕太郎\*, 斎藤 広隆\*, 及川 航貴\*, 大野 龍一\*

○K. Miyatani, H. Saito, K. Oikawa, R. Ohno

## 1. 背景・目的

灌漑に代表される農業土木手法や、防災に関わる地盤調査において、その効果や安全性の評価において土中水分量や浸潤領域は大きく関係し、土中水分の評価には浸透プロセスの正確な判別と解釈が求められる。しかし、一般にTDRをはじめとしたセンサーを用いた土中水分量計測は掘削などにより測地環境を損なう危険性がある。

これに対し、非破壊・非侵襲的な手法(黒田ら, 2006)として電磁波を用いた地中レーダ(Ground Penetrating Radar: GPR)による浸潤領域の空間的な広がりを可視化について検討する。本研究は川砂, 真砂土, 鳥取砂丘砂, 黒ボク土の4つの異なる土性における浸潤に対し、地中レーダを用いた浸潤領域の非破壊計測で浸潤領域の深さの異なる断面を可視化することを目的とする。

## 2. 計測手法

### 2.1 Common Mid-Point 計測

高解像度計測が可能なPulseEKKO 1 GHz 地中レーダ(Sensor&Software)を用いた。基本的な速度解析法であるCommon Mid-Point (CMP) 計測を行い、初期状態における電磁波の伝播速度を推定した。

### 2.2 浸透試験およびタイムラプス計測

内径 8cm の円筒を地中 5cm まで差し込み、円筒内の水位を地表面から 10cm に維持しながら 1500ml の水を浸透させた。試験中は円筒に接するように地中レーダを配置し浸潤前線の位置をリアルタイムで観測した。

### 2.3 地中レーダグリッド計測

地中レーダを用い、長さ 54cm の側線を 2cm おきに 28 点、さらに 2cm おきに平行な同様の側線 21 本を縦横にグリッド計測した(図 1)。グリッド計測は浸潤試験前後の 2 度行った。

### 2.4 サンプルング

GPR 計測後、深さ 5cm おきに浸潤領域を掘削し、5, 10, 15, 20, 25cm の断面を確認した。

## 3. 解析手法

### 3.1 Hyperbola Fitting による速度推定

地中レーダは発信した電磁波が埋没物や浸潤前線のように比誘電率の境界で反射し、受信するまでの時間を計測する。そのため反射波の位置を求めるためには電磁波の伝播速度を推定する必要がある。土中の埋没物に対し、計測位置に応じて埋没物との距離が変化することから埋没物の位置を頂点とした双曲線(Hyperbola)状の反射波が計測され、これにHyperbola Fittingを行うことで、反射位置までの平均速度を推定することができる。タイムラプスデータとの比較から、本研究における双曲線状の反射波を浸潤領域の底面、すなわち浸潤前線からの反射と仮定した。浸透試験後のレーダデータ上の双曲線反射波を処理し、地表から浸潤底までの平均速度を推定した。

### 3.2 反射時間から深さへの変換

推定速度をもとに、双曲線が確認された計測点の反射時間を深さに変換した。浸透試験前のデー

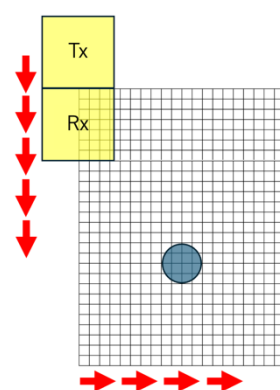


図 1 俯瞰視点からの計測グリッド。●は円筒位置を示す。

Fig.1 Survey Grid

\*東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード: 地中レーダー 土中水分 浸潤

タや、浸潤領域外とみなすことができる双曲線を含まない点は CMP で推定した初期速度を利用し深さを求めた。平面位置を xy 座標、深さ位置を z 座標としてデータを三次元空間上にプロットし、振幅値で評価される浸潤前後の三次元データセットを作成した。

### 3.3 絶対振幅差分データセット作成

浸透試験前後のレーダデータセットの反射波の振幅値の差分をとり、振幅差を絶対値化した絶対振幅値差分データセットを作成した (図 2)。さらに、Di Prima et al., (2020) に従い、それぞれの土性ごとに絶対振幅差の累積頻度が 0.9 となる値を閾値とし、絶対振幅値が閾値以上になるようフィルタリングを行った。加えてフィルタリングされた領域を明確にするため、閾値以上を黒、閾値未満を白に二値化した。

## 4. 結果・考察

サンプリングを行った深さ 5, 10, 15, 20, 25cm の断面絶対振幅差分データセットからを抽出し、サンプリング結果と比較した (図 3)。

川砂, 真砂土, 鳥取砂丘砂において同様の結果が得られ, 5cm など比較的浅い, 浸潤断面が深くなるにつれ浸潤断面が広がっていく領域では浸潤断面が可視化された。一方, 15cm, 20cm のような比較的深部の浸潤断面が狭まっていく領域では浸潤断面が確認されなかった。また黒ボク土ではどの深さにおいても推定された浸潤断面と実際の浸潤断面が一致しなかった。

深さ 15cm, 20cm のような浸潤領域が狭まっていく段階に関して浸潤領域が可視化できなかった原因には減衰の影響や反射向きなどが挙げられ, これらは解析手法やオフセットなどのレーダの計測条件を変えることで改善される可能性がある。また黒ボク土で浸潤断面が一致しなかった原因として, 黒ボク土圃場では他の 3 土性と比較して初期水分量が多かったことや, 単一の組成でない有機土であることなどから比誘電率の境界が曖昧になり, サンプリングで確認した浸潤領域の境界とレーダデータから推定した浸潤領域の境界が一致しなかったことが考えられる。

## 5. まとめ

浸潤断面が広がっていく深さの領域について, 地中レーダを用いた領域の可視化に一定の評価ができた。一方, 浸潤断面が底に向かって狭まっていく深さの領域や初期水分量の多い土性, 組成が複雑で比誘電率分布が複雑な土性については浸潤領域を可視化することができなかったため, 計測や解析手法をさらに検討する必要がある。

## 引用文献

Di Prima et al., (2020): *Sci. Total Environ.*, 138511.

黒田ら, (2006): 農業土木学会誌, 74(11), 973-976

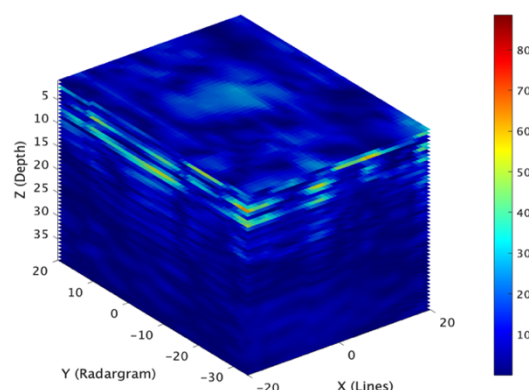


図 2 絶対振幅差分データセット. カラーバーは絶対振幅差の大きさを示す.

Fig.2 Absolute Amplitude Difference Dataset

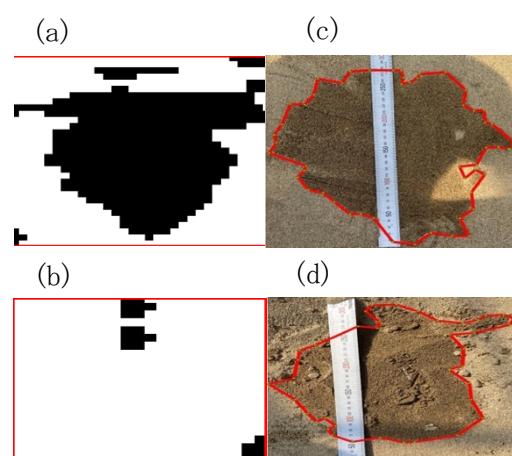


図 3 鳥取砂丘砂における深さ (a) 5cm (b) 20cm の推定浸潤断面およびサンプリングした浸潤断面 (c) (d) の比較

Fig.3 Comparison of the estimated infiltration profiles at depths (a) 5 cm and (b) 20 cm and the sampled infiltration profiles (c) and (d) in Tottori Sand Dunes