

数値計算に基づくアレイアンテナ地中レーダによる
浸潤現象の定量的評価に関する研究

Quantitative Evaluation of Infiltration Phenomena using Array Antenna
Ground Penetrating Radar based on Numerical Calculation

○及川航貴¹・斎藤広隆¹・黒田清一郎²

○OIKAWA Koki, SAITO Hirotaka, KURODA Seiichiro

1. はじめに

土砂災害対策や農業の水利用効率の向上のためには、浸潤による土中の透水性・浸潤前線を非破壊・非侵襲で推定する手法の確立が求められる。地中レーダ(GPR)等の物理探査技術は、土壌の比誘電率が体積含水率と高い相関関係にあることを利用して、非破壊・非侵襲で不飽和土中の水分量やその動態の測定が可能である。GPRは、送信アンテナ(Tx)から電磁波を放射し、受信アンテナ(Rx)が反射波強度と到達時間を記録する。反射位置を求めるには、土中の電磁波伝播速度を決定する必要がある。速度解析には、通常送受信アンテナの間隔(オフセット)を広げながら測定するCMPデータを用いる。しかし、降雨浸透時のように土中水分が短時間に変化する場合、手動で一对の送受信アンテナを動かす汎用型GPRではCMPデータを取得することは難しい。アレイアンテナGPRは、複数の送受信アンテナから構成され、送受信アンテナの組合せを電氣的に切り替えることで、高速にデータを取得できる。

Iwasaki et al. (2016)は、アレイアンテナGPRを用いて、砂丘砂中の浸潤領域内の反射位置を連続的に求め、その位置が事前に埋設した土壌水分センサーの変化と一致することを確認した。しかし、現場の浸潤領域内の土中水分分布を正確に求めることは課題が多く、反射位置が浸潤領域内のどの部分にあるのか特定することが求められている。そこで本研究では、アレイアンテナGPRによる浸潤前線の追跡、土壌の透水性の評価に土性が与える影響を、数値解析に基づいて検討することを目的とした。

2. 解析方法

土中水分移動解析モデルHYDRUS(2D/3D)(Simunek et al., 2018)に基づいて二次元(xz断面)で浸潤過程を計算し、任意の時間における湛水区間中心(y軸)の比誘電率分布を求め(Topp et al., 1980), gprMax(Warren et al., 2016)を用いて二次元(yz断面)で土中の電磁波伝播を計算した(図1)。水分移動計算では、初期体積含水率を

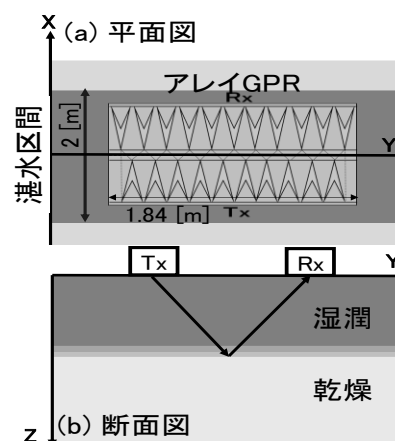


図1 計算領域の
(a)平面図, (b)断面図

¹ 東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology

² 農業・食品産業技術総合研究機構 National Agriculture and Food Research Organization

キーワード: 浸透流, 水分移動, 数値解析

均一とし，地表面に幅 2 m の湛水区間（一定圧力境界条件 $h = 0$ cm）を設定し，浸潤前線が約 1 m に到達するまで計算した．任意の時間において，1GHz のパルス電磁波（Ricker wave）伝播を計算し，CMP データを求めた．アンテナオフセットは，実験に用いた 3D レーダ社のアレイアンテナ GPR の配置に基づいた．土壌は，HYDRUS のデータベースから浸潤領域の体積含水率変化が急な砂質ローム（SL）と緩やかなシルトローム（SiL）を対象とした．CMP データで平らな反射面からの反射波が双曲線上に現れることを利用して，電磁波伝播速度を求め，反射面の深さを求めた．電磁波は媒体の比誘電率が大きく変化するところで反射をするが，この反射面が浸潤前線と一致するか，水分移動の数値計算により求めた浸潤前線と比較した．

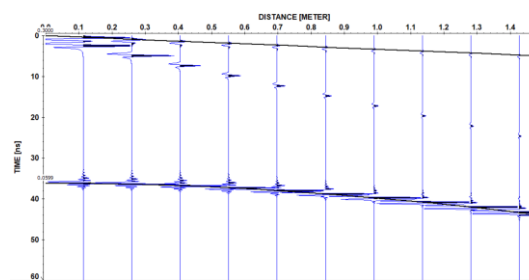


図 2 砂質ロームの浸潤 6 時間経過後の CMP データ

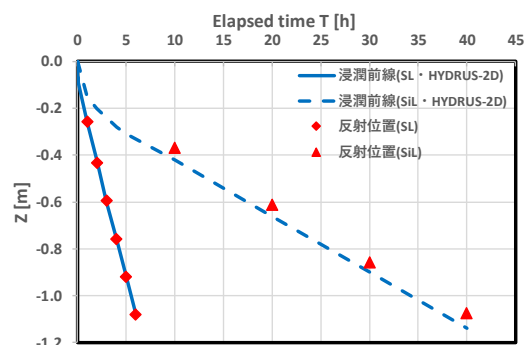


図 3 浸潤前線の計算結果と GPR による推定値

3. 結果と考察

HYDRUS (2D/3D) による浸潤前線の計算結果と GPR で得られた反射位置を比較した(図 3)．反射位置が浸潤前線と一致するとき，その反射波の電磁波伝播速度から求められる体積含水率を浸潤領域全体の平均体積含水率とした．平均体積含水率から初期体積含水率を引いた値を浸潤前線位置と乗算すると，積算浸潤量が求められる．土中を重力勾配によってのみ水分が移動するとき，フラックス(浸潤速度)は透水係数と一致する．十分に浸潤が進んだとき，フラックスは透水係数に漸近するとして，透水係数を求めた(表 1)．

表 1 透水係数の推定結果

	砂質ローム (SL)	シルトローム (SiL)
透水係数 [cm/h]	4.42	0.45
フラックス(GPR推定値) [cm/h]	4.27	0.41

4. まとめ

土の種類によらず GPR に基づく反射位置は，HYDRUS (2D/3D) の計算による浸潤前線とほぼ一致した(図 3)．ただし，シルトロームの反射位置は，砂質ロームと比較して浸潤前線よりわずかに浅かった(図 3)．積算浸潤量は GPR によって十分に推定され，フラックスは透水係数に近い値を示した(表 1)．

引用文献

- Iwasaki, T., et al., 2016, Agricultural & Environmental Letters, 1-4.
 Šimůnek, J., et al., 2018, Technical Manual, Ver. 3.0, PC Progress, Prague, Czech Republic.
 Topp, C. C., et al., 1980, Water Resources Research, 16, 574-582.
 Warren, C., et al., 2016, Computer Physics Communications, 209, 163-170.