

地中レーダによる不飽和地盤の水分動態測定方法

岡山大学環境理工学部 正 竹下祐二
 岡山大学大学院 学○田尾一憲・小林弘明
 (株) 田中地質コンサルタント 正 田中謙次
 広島大学総合科学部 正 開発一郎・稲尾真悟

1. はじめに

従来、不飽和地盤における水分動態測定を原位置にて非破壊で迅速に測定することは困難であった。そこで、本研究では地中レーダ¹⁾ (GPR: ground penetrating radar) を用いて、不飽和地盤における水分動態を原位置非破壊で迅速に測定することを目的として実験を実施した。物体からの電磁波反射の到来方向と反射往復時間から物体位置を推定する計測法がレーダであり、これを地下計測に応用したのが地中レーダである。送信アンテナから地中に放射された電磁波は、地層境界や水面等の電氣的性質の異なる面で反射・屈折しながら、地表の受信アンテナに到達し、受信された電磁波のパターンから地盤内部の構造物が推定される。

2. 堤体モデル実験による水分動態の計測

本研究では、GPR による不飽和地盤の水分動態測定の可能性を検証するために、人工堤体モデルを用いた実験を試みた。GPR は Sensor&Software 社の pulseEKKO 1000 を使用した。堤体概要図とその試料（広島県産太田川砂）物性値を図 1 と表 1 に示す。堤体内には、堤頂部から深度 60cm のところに直径 20cm の塩ビ管を埋設し、また、GPR のデータ評価のため図 1 に示す深度毎に水分計測用 TDR²⁾プローブそして水位観測パイプを 2 本設置した。

実験では主に、堤体の外水位を一定に保った定常状態と外水位を上昇・下降させた非定常状態での水分状態の測定を行った。GPR による測定は以下の 2 方法によった。

(1) プロファイル測定：送・受信アンテナの間隔を一定に保ったまま、測線に沿ってアンテナをほぼ一定速度で移動させ、測線下の地中の断面構造に依存した反射断面記録を計測し、定常時の水分分布状態を測定する。

(2) トランジェント測定：送・受信アンテナを共に固定し、地下水面の非定常挙動を測定する。

3. 計測結果

プロファイル測定画像を図 2 に示す。図中の堤体上部近傍での縞模様が平行にそろっている部分は土壌構造が均一であると判断できる。一方、その下部では水分分布や埋設物の存在による反射波の減衰が原因で、この縞模様は不鮮明や湾曲となって現れている。この不明瞭な部分の下に、双曲線状のラインが見られる。これは埋設管の影響から見られる形状で、深度指標として設置した埋設管であると判断できる。そして、この見られる部分の次に減衰した波形が強く反射して現れた連続したラインが図 1 中で堤頂から下約 110cm のところに見られる。このラインは、自由水面の存在による影響を捉えたラインであると考えられる。また、この時の水位観測パイプの水位計の読みは堤頂から 125cm であった。さらに同時計測した TDR による体積含水率（横軸）と深度（縦

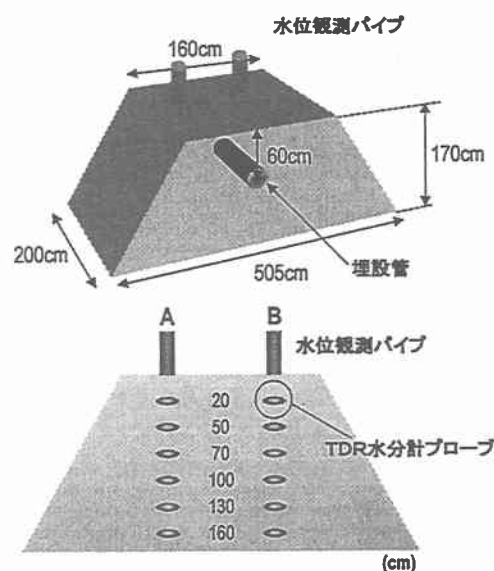


図 1 堤体モデル概要図

表 1 太田川砂の試料物性値

湿潤単位体積重量 γ_t (g/cm ³)	1.66
乾燥単位体積重量 γ_d (g/cm ³)	1.54
含水比 w (%)	7.2
体積含水率 θ	0.111
間隙比 e	0.724
間隙率 n	0.42
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.663

軸) の関係を表した図が図 3 である。この図からわかるように図 2 に見られる連続したラインは、不飽和領域と飽和領域の境界部を捉えているのではないかと考えられる。なお、水位状態を変化させて同様の実験を数パターン行ったが、すべてにおいて上記のような結果が得られた。

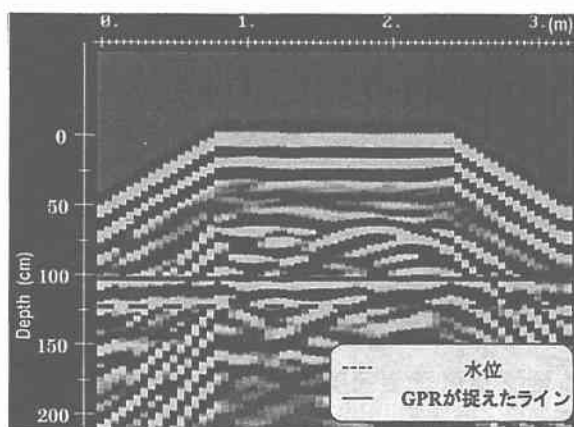


図 2 プロファイル画像 (初期状態)

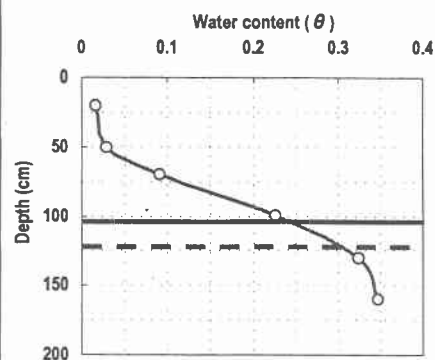


図 3 TDR 法による水分分布図

外水位上昇過程におけるトランジェント測定波形図を図 4 に示す。時間が経過するにつれて波形が変化し、右上がりのラインが見られる。図中の実線が GPR によって計測されたデータであり、点線が水位計による計測データである。プロファイル測定の時と同様、実際の自由水面の位置より約 20cm 上部を GPR が捉えていることがわかる。また、外水位下降過程においても同様な結果が得られた。

4. おわりに

本実験により、均質地盤においてプロファイル測定により反射波の減衰と分布の乱れから、水分状態が不飽和領域から飽和領域に変化する境界の位置を捉えることができ、また、トランジェント測定により自由水面の経時変化をリアルタイムで把握できたことから、不飽和地盤における水分動態を GPR 法により原位置非破壊で測定する方法の有用性、妥当性を検証できたと思われる。今後も堤体模型実験を行い、堤体内部の間隙構造やより深い深度について検討を行う予定である。

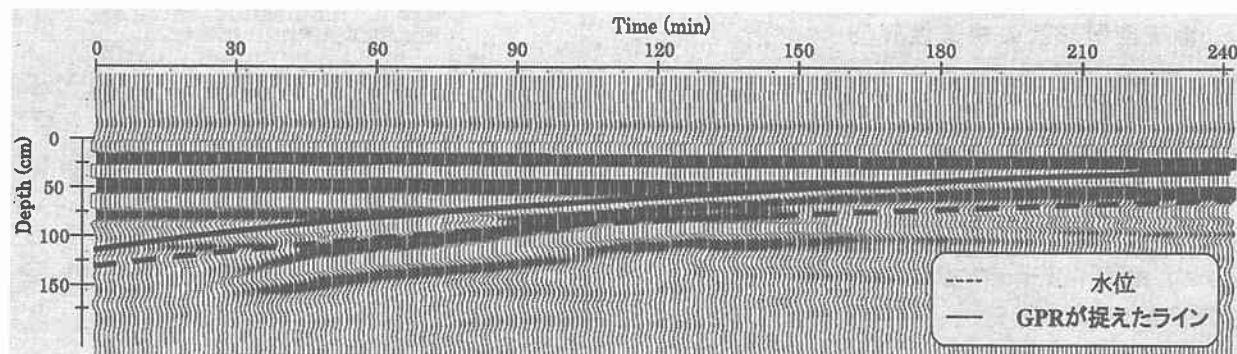


図 4 トランジェント測定波形図 (外水位上昇過程)

謝辞：本研究は（財）河川環境管理財団、平成 12 年度河川整備基金助成金により行われました。ここに記して感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 物理探査学会編 (1998) : 第 7 章「地中レーダ」, 物理探査ハンドブック, 401-421
- 2) Topp, G.C et.al (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines, Water Res Res, 16, 574-582.