

TDR 法による土壌水分計と地下レーダーを用いた
不飽和地盤の水分動態測定

岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二
岡山大学大学院 学生会員 ○小林弘明
応用地質（株） 正会員 八木一雄
広島大学自然総合科学部 正会員 開発一郎

1. はじめに

不飽和地盤における水理地質構造の原位置調査方法は確立されておらず、その開発が望まれている。本研究では、不飽和地盤における浸透特性値と間隙構造の非破壊調査方法の開発を目的として、TDR 法による電磁波式土壌水分計と地下レーダー探査法を用いた不飽和地盤内の水分動態測定方法の開発を試みた。本提案方法の適用性は、砂質土による堤体模型を用いて検討した。

2. 計測システム概要

TDR 法による電磁波式土壌水分計に用いた TDR プローブは 3 線式ロッドで、長さ 15cm、直径 3.2mm、ロッド間隔 2mm のものを試作した。TDR ケーブルテストは Sony・Tektronix 1502C 型を使用した。地下レーダー(GPR)探査は、Sensors&Software PulseEKKO1000 を使用し、アンテナ周波数は 450MHz を採用した。

3. 堤体模型実験

3.1 実験概要

図 1 に示す小河川堤体を想定した堤体模型において、堤頂部 2 点(A:堤頂前方より 70cm、B:堤頂後方より 60cm)に電動オーガーにより掘削して孔隙を設け、プローブ 4 本ずつを多点に鉛直に埋設した。それと隣接して、水位観測パイプを設けた。実験では、まず外水位を 1.5m①の位置に固定し、定常状態における TDR 計測と GPR 計測を行った。GPR 計測は堤体表面を 10 cm おきに計測（プロファイル測定）を行った。次に、外水位を 1.5m から 0m②に低下させ、堤体内の非定常水分挙動を 250 分間、観測した。この際、TDR 計測サンプリングタイムは約 2 分である。一方、A 測線近傍にアンテナを固定し、GPR 計測では 10 分毎の定点観測を行った。

また、TDR 法で必要となる体積含水率(θ)～誘電率(ϵ)の関係(校正曲線)計測は、室内試験において内径 10cm、高さ 20cm の円筒容器に試料(利根川砂)を乾燥密度が一定になるように充填しながら、TDR プローブを挿入して誘電率を測定した。測定後、直ちにロッド周辺の土を 3 点採取して水分量を求めた。

表 1 は堤体模型に使用した利根川砂の物理特性である。表 2 は堤頂からのプローブ埋設位置であり、プローブ深度はロッドの長さの中心位置を基準としている。

3.2 計測結果

図 2 は計測された体積含水率(θ)～誘電率(ϵ)の関係であり、回帰分析によ

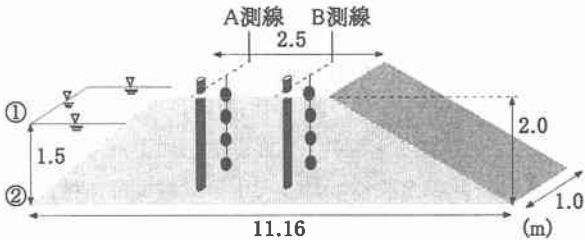


図 1 堤体模型実験概要図

表 1 利根川砂の物理特性

土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.667
自然含水比 W_n %		13.3
透水係数 K cm/s		5.97×10^{-4}
粒 度	礫分 2~75mm %	1.9
	砂分 75 μ m~2mm %	78.8
	シルト分 5~75 μ m %	12.4
	粘土分 5 μ m未満 %	6.9
	均等係数 U_c	32.5
曲率係数 U'_c		6.92

表 2 堤頂からのプローブ埋設位置(cm)

プローブ No.	プローブ 深度 (cm)
A1	154.5
A2	111.5
A3	61.5
A4	31.5
B1	154.4
B2	105.5
B3	57.7
B4	29

り式(1)を得た。これは、Topp et al.(1980)の提案した式(2)とほぼ同様の式であると考える。

$$\theta = 7.0 \times 10^{-5} \varepsilon^3 - 3.3 \times 10^{-3} \varepsilon^2 + 6.25 \times 10^{-2} \varepsilon - 1.5 \times 10^{-1} \quad (1)$$

$$\theta = 4.0 \times 10^{-6} \varepsilon^3 - 5.0 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 2.92 \times 10^{-2} \varepsilon - 5.3 \times 10^{-2} \quad (2)$$

図3は、水位を1.5mから0mに下げた時の観測パイプAにおける水位計の読みであり、地下水面の経時変化を示している。図4は、その時の観測点AにおけるTDR法による体積含水率測定値を示している。特に、A2の観測点では地下水面の低下に伴って水分が減少していく変化が明確であり、応答性も良好で、TDR法が不飽和水分動態測定に有効であることを示唆している。

図5に示すのは、外水位1.5mにおけるGPR観測データであり、反射波画像を2次元的に表したものである。なお、反射波画像の作成に必要な電磁波速度は、TDR法によって測定した堤頂部の誘電率より0.094m/nsと定めた。図5中に示した実線は、地下水面と思われるラインであり、このラインは観測点Aにおいて水位計の計測値と比較して妥当であると考えられる。また、図5中に○印しで示した部分は、A2、A3、A4、B2そしてB3のTDRプローブの設定位置と認められる点である。

4. おわりに

TDR法による土壌水分計測方法と地下レーダー探査方法は、簡便に実施することが可能であり、現場への搬入も容易であることから、不飽和地盤の水分動態測定方法として有用であると考えられる。今後も堤体模型実験を行い、計測データの蓄積とデータ解析方法に関する検討を行う予定である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、多大なご助力をいただいたバシフィックコンサルタンツ(株)浜口憲一郎氏、市山 誠氏、(株)田中地質コンサルタント田中謙次氏に謝意を表します。なお、本研究は(財)河川環境管理財団、平成11年度河川整備基金助成金の助成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>

Topp, G.C et. al(1980): Electrotic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmissionlines. Water. Res. Res., 16, 574-582.

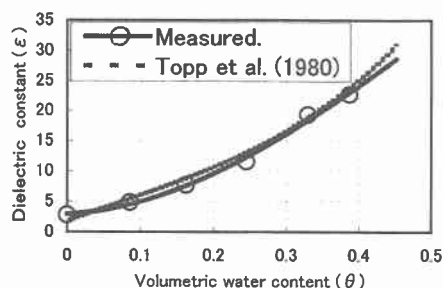


図2 TDR法による校正曲線

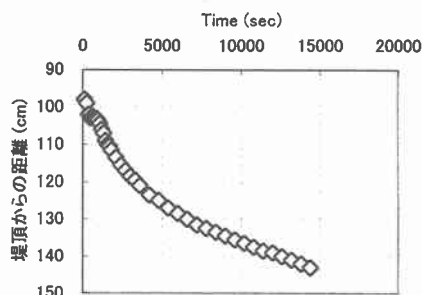


図3 水位計測結果

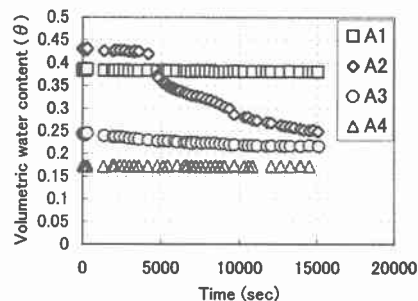


図4 TDR計測測定結果

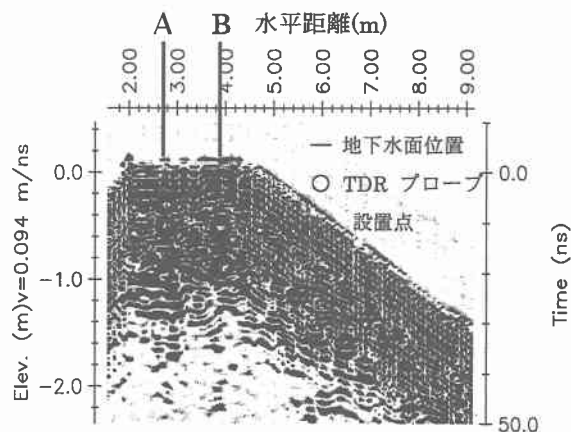


図5 GPRによる堤体断面図