岡山大学環境理工学部				正	竹下祐二
岡山大学大学院		学	小林弘	い明・	田尾一憲
(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	ΕI	開發一	郎・	学	稲尾真悟

## <u>1. はじめに</u>

不飽和地盤における水理地質構造の原位置非破壊調査方 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、地中レーダ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、その適用性を砂質土による堤体模 型実験により検討した。

#### <u>2. 計測システム概要</u>

地中レーダ(GPR)探査は、Sensors&Software Pulse
EKKO1000 を使用し、アンテナ周波数は 225、450MHz
を採用した。また、GPR 探査による水分動態計測データを
検証する目的で、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 で製作したものである。TDR ケーブルテスタは Sony・Tektronix 1502C 型を使用した。

#### 3. 堤体模型実験概要

図1に示す河川堤体模型において、堤頂部2点(A;堤頂南側より 35cm、B;堤頂北側より20cm)にTDR プローブ6本ずつを多深度 (堤頂部より20,50,70,100,130,160cm)に水平に埋設した。それと 隣接して、水位観測パイプを設けた。また、深度指標のために堤 頂南側より100cm、堤頂部より中心深度60cmの位置に 20cm の塩ビパイプを水平に埋設した。

実験では、まず外水位 H を固定し、定常状態における GPR 計 測と TDR 計測を行った。GPR 計測は堤体表面を 5 cmおきに計測 (プロファイル測定)を行い、電磁波伝播速度の検証のために一 点を中心に GPR の送・受信アンテナを一定間隔で徐々に離して いく CMP 測定<sup>1)</sup>も行った。次に、水位観測パイプ A 近傍にアン テナ(周波数 225MHz)を固定し、外水位を上昇させた際の堤体内



表1 太田川砂の物理特性

乾燥単位体積重量 $\gamma_{d}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.54
湿潤単位体積重量 <sub>t</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.66
含水比 W <sub>n</sub> (%)	7.19
間隙率 n	0.42
土粒子密度 ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2.663
平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)	0.89
均等係数 Uc	6.25
曲率係数 U'c	1.38



図2 電磁波伝播速度 Vpの関係

の非定常水分挙動を観測した。この際の計測時間間隔は GPR 計測で1分、TDR 計測で2分である。表1は 堤体模型に使用した広島県産太田川砂の堤体模型作成直後の物理特性である。

## <u>4. 計測結果</u>

地中の電磁波伝播速度 V<sub>p</sub>は、GPR 画像の解析深度を支配する重要因子であり、精度良い計測が必要であ る。本実験では、不飽和領域での V<sub>p</sub>が必要となる。V<sub>p</sub>の決定には、CMP 測定による計測や TDR 計測によ る誘電率から算出する方法等<sup>1)</sup>がある。図 2 は、外水位の異なる条件で、アンテナ周波数 450MHz を用いて キーワード : 地中レーダ(GPR)、非破壊調査、電磁波伝播速度、水分動態計測、不飽和地盤 連絡先 : 〒700-8580 岡山市津島 3-1-1 TEL 086-251-8153

-484-

堤頂部を縦横に CMP 測定した  $V_p$  と CMP 測定による  $V_p$ に対する深度を基準とした TDR 計測による  $V_p$ を 比較したものである。図 2 中の凡例において、NS は堤頂部を南北方向、EW は東西方向に測定したもので あり、H は外水位(cm)を示す。CMP 測定による  $V_p$ は TDR 計測による  $V_p$ とほぼ一致しており、CMP 測定 の適用性を確認した。

図3に外水位Hを40cmの位置に固定した際のアンテナ周波数450MHzのGPRによる堤体断面画像を示 す。CMP測定によるVpは0.117m/ns、TDR法によって測定したVpは0.133m/nsであり、各々の値を用 いて深度指標を示した。破線はGPR解析画像から地下水面の影響と推測されるラインである。また、双曲 線状のラインは埋設管による影響と思われる。図4は同条件下でのTDRによる水分分布測定結果を示した

ものである。実線は水 位観測パイプA、Bに よる地下水面ラインで ある。これらの測定デ ータより、GPR解析画 像による地下水面の影 響ラインは、不飽和領 域から飽和領域への境 界部分を捉えていると 思われる。



40000

30000

# <u>5. 地中レーダによる</u> 水位変動探査の可能性

GPR 解析画像は測定毎のレーダ波(反射波電圧と走時)を 重ね合わせたものである。そこで、水位上昇過程における非 定常計測のレーダ波解析を行った。図5は1時間おきの計測 時の波形を示している。計測開始時と各々の波形差をとり、 波形差の平均電圧レベルを(1)式のように定義する。

$$V_{ave} = (V_{max} - V_{min})/2$$
 (1)

ここに、*V<sub>ave</sub>*; 平均電圧レベル、*V<sub>max</sub>*; 最大電圧レベル、*V<sub>min</sub>*; 最小電圧レベルである。変化が生じ出す時間(ここでは、10 分前後)を基準にとり、外水位上昇量を80または110cmと した場合の各*V<sub>ave</sub>、差と*観測パイプによる水位差の関係を図6 に示す。水位変動に対して電圧レベルが応答しており、地下 水面挙動の検知手法として GPR 計測は有用といえる。

### 6. おわりに

地中レーダ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、堤体内部の間隙構造やデータ解析方法に関する検 討を行う予定である。

-60分後 20000 120分後 (۳ ۲ 10000 plitude -35 10000 ¥ -20000 -30000 -40000 Time (ns) 図 5 非定常計測時のレーダ波形 70 ○ H=70→150(cm) 60 H=40→150(cm) 50 variation (cm) ĽΔ 40 Λ 30 Nater 20 10 0 40000 50000 10000 20000 30000 Amplitude variation ( $\mu$ V) 図6 水位変動と電圧レベルの関係

計測開始時

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。

-485-

【参考文献】1)物理探査学会編;物理探査ハンドブック、第7章地中レーダ、pp.411~412、1998.