

## 60. 超高速電気探査装置による未固結地盤中の地下水流動モニタリングへの適用

Application to monitoring groundwater flow in unconsolidated layer using ultra-fast data acquisition system for electrical survey

○鈴木浩一・塩竈裕三・久野春彦・小早川博亮・末永弘（電力中央研究所）

Koichi Suzuki, Yuzho Shioyama, Haruhiko Kuno, Hiroaki Kobayakawa, and Hiroshi Suenaga

## 1. はじめに

近年、地下水挙動をモニタリングする手法の一つとして電気探査法による連続観測が様々な機関で試みられている。例えば、地すべり斜面を対象とした降雨浸透水による地下水面変動、産業廃棄物層内への降雨浸透水の挙動、地下水涵養試験時の涵養水の浸透挙動、沿岸部での塩淡境界変動など、様々な分野において実施されている。特に、探査装置の高速性が要求されるのは、動水勾配の比較的大きい山間部斜面や未固結地盤への降雨の浸透に伴う地下水面の変動など、比較的流速の大きいと考えられる地下水を対象とした場合である。

平面的に測点を展開した3次元探査では複数の測線を設置するため、多チャンネルで受信可能な探査装置が必要である。様々な機関でPC制御による自動計測化が図られた探査装置が開発されているが(例えば、吉村ほか<sup>1)</sup>, 1993; 鈴木, 2006<sup>2)</sup>; 神宮寺, 2006<sup>3)</sup>), 「①計測時間の短縮」と「②多チャンネル」は相反する仕様であり、両者に対応できる探査装置は開発されていないと考えられる。

本報では、地下水モニタリングで要求される基本仕様を考案し、測定時間の短縮化と多チャンネル化により3次元探査を実用的に実施可能な探査装置を開発した。また、本装置の性能を評価するため、陥没空洞部に注入した塩水の浸透状況をモニタリングした結果を報告する。

## 2. 超高速電気探査装置の開発

## 2.1 探査装置の特徴

3次元探査が可能な多チャンネル受信による高速性を確保するため、本装置は以下の特徴を有する。

- (1) 二極法専用とし全測点数分の受信チャンネルを装備：二極法専用とすることにより電極切替え用の電子回路が大幅に簡素化してある。すなわち、電位用電極の切替え操作が不要となり、電流電極の切替え操作だけで済む。
- (2) 高周波数の正弦波送信：極力高い周波数(数kHz)の正弦波を送信する。
- (3) 複素位相検波方式：デジタル化した波形データに対して計算機で行われていた複素フーリエ変換処理をアナログ系で実行するため、各受信チャンネルで検出した  $\cos$  変換成分  $C$  及び  $\sin$  変換成分  $S$  だけを制

御装置(PC)に転送し、電位の振幅  $\sqrt{C^2+S^2}$  および位相差  $\tan^{-1}(S/C)$  を算出する(茂木ほか, 1990)<sup>4)</sup>。

## 2.2 探査装置の仕様

本探査装置は、送信装置、受信装置(本体)、受信装置(増幅部)、制御装置より構成される。

## (1) 送信装置

送信装置、測線に展開した全測点より選択された1箇所の電流電極および電流用遠電極間に正弦波電流を流す。送信周波数は128~5120Hzより選択し、流電圧値を1~400Vで調節することができる。使用電源はAC100Vである。

## (2) 受信装置

受信装置(本体)は、電流電極以外の全ての測点に設置された電極と電位用遠電極との間の電位信号(電位差)を同時に受信することができる。例えば、全測点数が60点の場合、任意の1箇所の測点を電流電極として切替え、その電流電極から流した電流により地盤に生じた電位場に対し、電流を流している測点以外の残り全ての測点(59点)における電位信号として同時に受信する。本受信装置(本体)は、1)電極切替部、2)複素位相検波部、3)サンプリング部より構成される。

## (3) 受信装置(増設部)

受信装置(増設部)は、受信装置(本体)の電極切替部、複素位相検波部を備えている。複素位相検波部には60組の電位用複素位相検波回路で構成される。原理的には、本増幅部を  $n$  個そろえることにより、測点数は  $(n+1) \times 60$  個に対応することが可能となる。例えば、増設部3台の場合、最大240測点に対応することができる。

## (4) 制御装置

制御装置は市販のWindows-PCであり、自動計測用ソフトをインストールして送信装置及び受信装置を制御し、計測データの処理および保存を行う。

## 3. 現地適用実験

電力中央研究所構内には直径1mほどの陥没空洞が地表面に露出しており、因果関係は定かではないが旧防空壕が陥没し地表面が崩落したものと推測されている。この空洞箇所を中心に測線を設置した。測線近傍のボーリング調査によると、厚さ約1mの表土の下に下総層群常総粘土層に相当するローム層が深度7mまで分布し、さらに深度20mまで下総層群の龍ヶ崎砂層~

木下層相当の砂層と思われる軟質なシルト混じり砂が分布している。

空洞位置を中心に測線長 29m, 測点間隔 1m の 2 測線を平行に 1m 離して 60 点の電極を設置した。測定は 2 極法により行い, 送信周波数は 1024Hz, スタッキング 1 回あたりの積分時間は 20 波数分 (約 19.5msec = 20/1024), スタッキング回数 8 回, 送信電圧 200V で測定を行った。約 1000ℓ の水道水に塩化カルシウム約 15kg を溶解した塩水を陥没箇所にて約 1 時間 50 分かけて注入し, その注水期間において本装置により 51 回の繰り返し計測を行った。塩水の電気伝導度は 7.0mS/cm, 比抵抗で約 1.4Ωm である。1 回当たりの計測データ数は 2 極法配置による全組み合わせ数 3540 通り (60×59 = 3540) で, 計測時間は 2 分強である。

図-1 に塩水注入前の比抵抗断面図を基準に次式により各観測時刻での比抵抗変化率  $\Delta\rho$  を算出して求めた比抵抗変化率断面を示す。

$$\Delta\rho = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1 \times 100 (\%)$$

ここで,  $\rho_1$  は基準時刻での比抵抗値,  $\rho_2$  は任意の観測時刻での比抵抗値である。

塩水注入後の全観測データ 50 回のうち 2 回分を表示した。各変化率断面には計測時刻, 塩水注入後の経過時間, その時刻での塩水注入量も示した。これらの結果より, 塩水注入箇所(距離 15m)より A 測線では 2m ほど西側(距離 17m), 測線では 1m ほど西側(距離 16m)の深度約 4m を中心に, 塩水注入量の増加に伴い比抵抗が徐々に低く変化していく状況が認められる。特に, 地形的に下流側の A 測線の方が変化の割合が大きい傾向となっている。塩水の約半分量(464ℓ)を注入した時点で, 比抵抗変化は最大-3%程度となっている(図-2 (a))。全ての塩水(1000ℓ)注入完了後が比抵抗の低下が最も顕著で, 変化率で最大-6%となっている(図-2 (b))。比抵抗変化の顕著な領域はローム層内にあると推測されるが, その下部の砂層にも比抵抗が低下した領域が延びている。したがって, 旧防空壕を埋めている崩壊土にたまった塩水の一部はその下部の砂層にも浸透していったものと推測される。

#### 4. まとめ

本装置は 3 次的に展開した測線(例えば 120 測点)に対する全ての組み合わせのデータ(120×119=14280 通り)を, 送信周波数 1024Hz, スタッキング数 4 回, 積分時間 20 波数分の計測条件では, 約 6 分間で測定できることを確認した。これより, 塩水注入時の連続観測を行うことにより, 流速の速い地下水挙動の 3 次元的可視化に充分適用できることが期待できる。

謝辞: 本探査装置の製作に際し, システム・ツースリーの伊藤光氏には PC 制御用ソフトの製作に多大なるご協力をいただいた。ここに厚く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 吉村正義・藤井勢井・五江潤通・岡谷治 (1992): 第 86 回物理探査学会講演論文集, 361-364.
- 2) 鈴木浩一 (2006): 地盤の複素比抵抗特性を利用した新しい物理探査法の開発—電気探査スペクトル IP 法による軟質地盤の水理地質構造調査への適用—, 電力中央研究所報告 N05043.
- 3) 神宮寺元治・狩野嘉昭 (2006): マルチ送信比抵抗トモグラフィ計測システムの開発とその応用について, 物理探査学会第 114 回学術講演論文集, 215-218.
- 4) 茂木透・楠建一郎・鈴木浩一・川崎逸男・城森明・東義則 (1990): 複素位相検波方式 CSMT 探査装置の開発, 物理探査 43, 164-169.

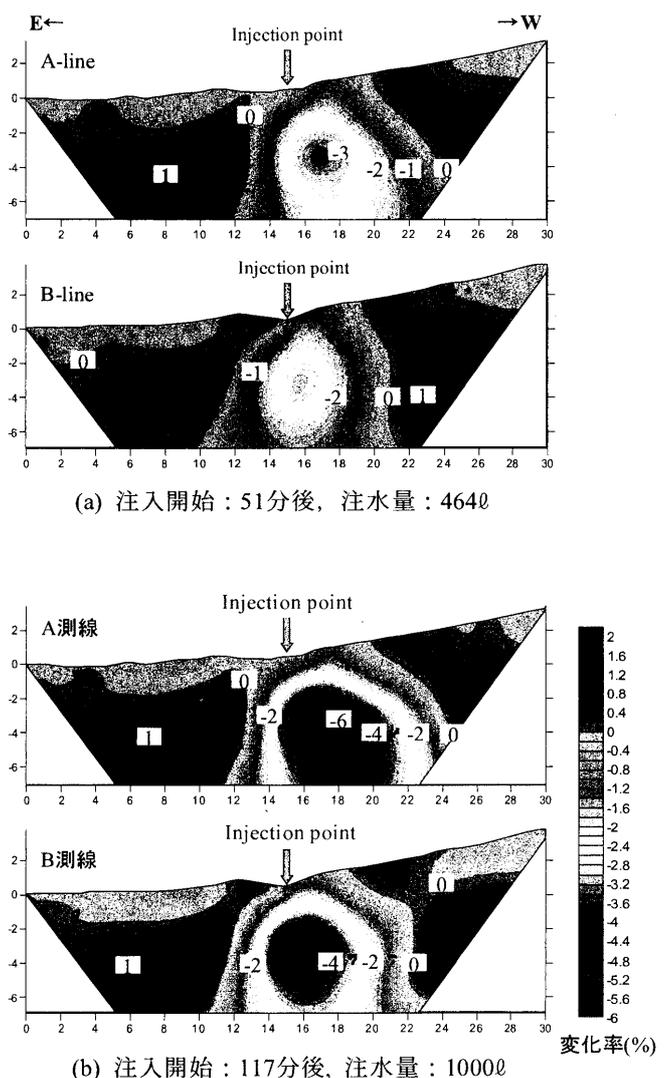


図-1 比抵抗変化率断面図 (基準値: 塩水注入前)