

沿岸域深層地下水開発のための 3 次元電磁探査法の開発

Development of a three-dimensional electromagnetic method for exploration of deep groundwater in a coastal zone

○竹内睦雄*, 高屋正*, 今里武彦*, 土家輝光*, Kim, H. J. **
Mutsuo TAKEUCHI, Tadashi TAKAYA, Takehiko IMASATO,
Terumitsu TSUCHIYA, Kim, H. J.

1. はじめに

沿岸域の農業用浅層地下水が津波等で塩水化した場合、より深層の地下水に代替水源を求めることになるが、深層地下水の賦存量を広域的に把握するには、従来は電気探査や調査ボーリング等を行っていた。そのため、多大な費用と時間を要し、緊急時の対応が困難であった。本研究では、物理探査法の一つである電磁探査法に着目し、一回の調査で帯水層構造を 3 次元的に把握する手法を開発し、効率的な地下水探査手法を確立することを目的とする。ここでは人工の信号源を持つ CSMT (人工信号源地磁気地電流) 法の実用的な 3 次元逆解析プログラムを開発し、その有効性を数値実験により検討した。

2. 研究方法

実用性に大きく寄与する感度の計算時間の短縮については、反復計算の初期モデルに対しては正規の感度かわりに均質大地モデルに対する感度 (I) を用い、その後の反復では Broyden 法により修正した感度 (U) を用いる。そして途中 1 回だけ正規の感度 (E) を計算する方法を用いた。また、本プログラムの有効性を検討するため、3 次元数値実験を行った。

3. 3 次元解析法の検討および 3 次元モデルの数値実験

これまでに開発した逆解析アルゴリズムの 3 次元化を行った。このプログラムを用いて、3 次元の数値実験を行った。

インバージョンアルゴリズムをテストするために使用した比抵抗モデルは、 $50 \Omega \text{m}$ の半空間の中に 2 つの低比抵抗体 ($5 \Omega \text{m}$) および高比抵抗体 ($200 \Omega \text{m}$) で構成されている。データセットは、3 次元の有限差分コードを使用して、5 つの測線に沿って、4.6 Hz から 1000Hz の 8 つの周波数について発生させた。1 km の線電流源の位置は (0 km , -5 km , 0 km) である。各測線には 50 メートル間隔で 10 の CSMT サイトを持っている。また、隣接ライン間の距離は 100 メートルである。データは、インピーダンステンソルの非対角要素から計算される見かけ比抵抗と位相であり、データの総数は $1,600 (= 8 \times 5 \times 10 \times 2 \times 2)$ である。本研究では、スタティックシフトは無いものとみなされる ($\beta = 0$)。インバージョンに先き立って、1.5% のランダムノイズをインピーダンスに添加された。これは見かけ比抵抗および位相に対して 3% および 0.9° のノイズを加えたことに等しい。

*株式会社日本地下探査 (Nihon Chikatansa Co.,Ltd.) **Pukyong National University, Korea

キーワード: 地下水, 水環境, 逆解析

フォワードモデリングは $35 \times 35 \times 29$ のグリッド上で実施し、インバージョンでは地下を $300 (= 10 \times 5 \times 6)$ 個のブロックに分割した。外側のブロックは、有限差分グリッドの境界まで延びており、インバージョンの領域は、フォワードモデリングの領域と一致する。初期モデルは、 $30 \Omega\text{m}$ の均質な半空間である。

4. 数値実験結果および考察

今回のインバージョン (IUEUU) には、約 4 時間の CPU 時間を要した。そのうち約 3.5 時間は、完全な感度行列の計算に必要な 1,600 回のフォワードモデリングに使われた。その結果を図 1 に示す。異常体のすべてが分析され、二つの低比抵抗体も認識可能である。

図 2 は 2 次元及び 3 次元逆解析結果断面図である。図より明らかなように、低比抵抗体は 2 次元断面図では $5 \Omega\text{m}$ に解析されておらず、3 次元断面図では 2 次元解析結果と比較して 20% 以上の解析解像度の向上が明らかとなった。

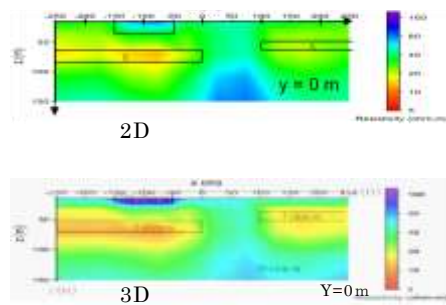


図 2 2次元および3次元逆解析

Comparison between 3D and 2D inversions. The data for the 2D inversion are the xy mode along the line of $Y = 0 \text{ m}$.

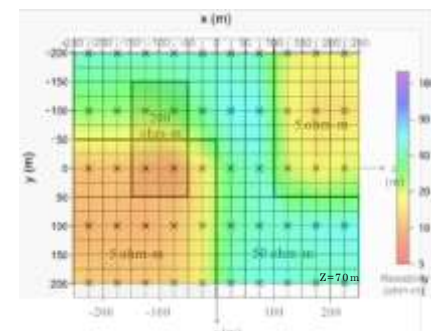
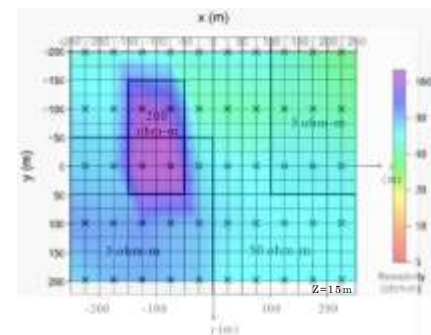
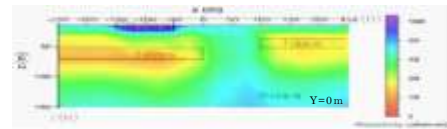


図 1 3次元逆解析結果断面図および深度別平面図

A cross-section and two horizontal depth slices obtained from the inversion of synthetic CSMT data; the slices are at depths of 15 and 70 m.

5. おわりに

CSMT 法の 3 次元逆解析プログラムを開発するとともに、3 次元数値実験により、開発したプログラムの有効性が明らかとなった。なお、本発表は平成 25 年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「沿岸域における効率的な深層地下水探査手法の開発」の成果の一部である。

【参考文献】

deGroot-Hedlin, C., 1991, Removal of static shift in two dimensions by regularized inversion, *Geophysics*, **56**, 2102–2106.

Han, N., Nam, M. J., Kim, H. J., Lee, T. J., Song, Y., and Suh, J. H., 2008, Efficient three-dimensional inversion of magnetotelluric data using approximate sensitivities, *Geophys. J. Int.*, **175**, 477–485.

Ogawa, Y., and Uchida, T., 1996, A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophys. J. Int.*, **126**, 69–76.

Sasaki, Y., 2004, Three-dimensional inversion of static-shifted magnetotelluric data, *Earth Planets Space*, **56**, 239–248.

竹内他, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 548-549