

省力型 3次元電気探査法

Labor-Saving, Three-Dimensional Electrical Prospecting Method

中里 裕 臣 (なかざと ひろおみ)

㈱農研機構農村工学研究所 研究室長

井上 敬 資 (いのうえ けいすけ)

㈱農研機構農村工学研究所 研究員

竹内 陸 雄 (たけうち むつお)

日本地下可視化技術協会 会長

杉本 芳 博 (すぎもと よしひろ)

㈱ダイヤコンサルタント マネージャー

1. はじめに

地下構造を把握するための物理探査手法として現在普及している2次元電気探査法には、地形および地下構造が探査測線に直交する方向に変化しないという仮定があり、測線設置方向の制約や3次元的地形・地質の不均一性が解析誤差となる課題がある。これらの課題は探査領域全体に電極を配置する3次元電気探査法により解消されるが、このような3次元電気探査法は測定および解析にコストがかかり、実用化に至っていない。そこで、探査範囲に配置した少数の2次元測線探査データを3次元解析することで、地形や地下構造の3次元的不均一性の影響を考慮した解析結果が得られる省力型3次元電気探査法¹⁾について紹介する。

2. 数値モデルによる検討

3次元的地形と比抵抗異常を含む数値地盤モデル(図-1²⁾)において、まずX軸方向の平行9測線についてダイポール・ダイポール電極配置により2次元探査を行ったデータを3次元電位計算プログラムにより作成し、得られた全データ(630データ)を3次元解析した結果を従来型の3次元電気探査結果とした。次に、 $Y=12\text{m}$ におけるX軸方向測線と $X=28\text{m}$ におけるY軸方向測線の直交2測線(91データ)と、 $Y=8\text{m}$, 24m におけるX軸方向の平行2測線のデータ(140データ)のみを使って3次元解析を行った結果を比較した。その結果をX軸方向の断面図として図-2に示す(地表は平坦として表示している)。図-2によると、9測線の全データを用いた解析結果に対し2測線の2次元探査データによる解析結果では、比抵抗異常のコントラストが低い、若干の偽像が生じるなどの点はあるが、おおむね同等の比抵抗分布を示し、探査領域に多数の電極や測線を配置しなくても地盤モデルをよく再現する結果が得られた。

3. 省力型 3次元電気探査法

比抵抗法3次元探査は1990年代には理論的基礎が築かれていたが、探査領域をカバーする電極点と2次元断面より増大する未知パラメータを逆解析するための膨大な数の探査データが必要とされ、現地作業コストおよ

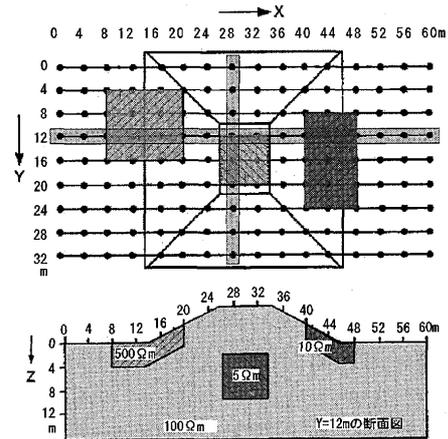


図-1 数値地盤モデル

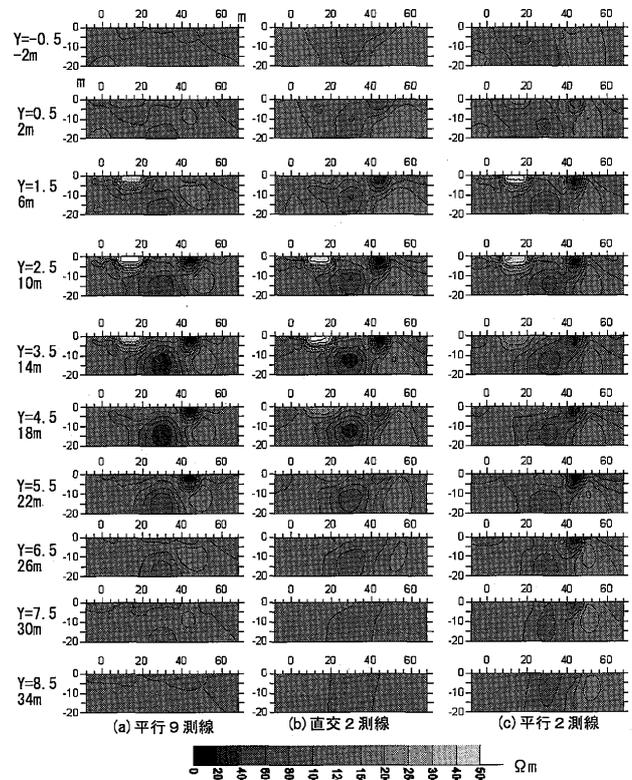


図-2 データ数の違いによる解析結果の比較

び計算コストの両面から実用段階に達していない³⁾。しかし、図-2から少数の2次元探査測線データを利用して3次元解析を行うことにより、未知パラメータに

対し探査データが少ない逆解析ではあるものの、より多くの探査データを取得した場合と同等の結果が得られることが明らかになった。

このように離散的に配置された2次元探査測線データを用いる省力型3次元電気探査法では、必ずしも複数測線にまたがる電極配置データを必要としないため、現場では同時に展開する測線資材量が低減され、従来の2次元探査システムがそのまま利用でき、3次元探査専用の特殊な装置を必要としない。さらに、解析領域が3次元のため、直線でない測線データに対応できる⁴⁾、既存の2次元探査データに電気探査データ（垂直探査データを含む）を追加することで3次元の影響を考慮した2次元断面の再解析ができるなどの特徴を持つ。

4. 現場適用事例

地質構造が既知で、探査結果の評価に適した試験地として淡路島の野島断層周辺を選定し、本法を適用した⁵⁾。試験地は淡路市小倉の折ヶ谷池南方である。ここでは東からマサ化した花崗岩類、神戸層群岩屋累層の泥岩および大阪層群の礫岩が南北走向で分布し、岩屋累層の水平分布幅は10~15 mである。本地点の野島断層は岩屋累層と大阪層群の境界付近にある。

探査範囲はほぼ南北に走る野島断層を含む約100 m四方であり、電極間隔2 m、電極数48点の2次元探査測線を格子状に6測線配置した(図-3)。測定には応用地質製 McOHM Profiler-4 およびスキャナ64を用い、電極切替96チャンネルに対して2測線を接続し、それぞれの測線について自動測定を行った。電極配置は多チャンネル測定器で測定効率が高いダイポール・ダイポール法とし、1測線あたり788データを1時間で測定した。

解析では、電位計算に四面体要素による有限要素法を用い、メッシュ分割は電極からの距離に応じて分割を粗くするDelaunay分割とし、節点数78769、要素数を473609とした。解析領域は $X = -80 \sim 60$ m、 $Y = -70 \sim 70$ m、 $Z = -50$ m~地表の範囲であり、未知パラメータは X - Y 平面上で4 m間隔を基準とし Z 方向を10層に区分したグリッド点における比抵抗で、その数は $28 \times 28 \times 10 = 7840$ である。逆解析は初期値拘束付非線形最小二乗法により行い、5回の反復計算を行った。反復5回目における残差は約20%であった。計算時間は、Intel Pentium 4 3GHz, Memory 3.5GBの環境で、108時間であった。

図-4は6測線データを用いて3次元解析を行った結果について、比抵抗分布を3次元表示したものである。中央部にはほぼ南北に延びる幅10~15 m程度の40 Ω m以下の低比抵抗帯が分布する。地表の(1 m, 36 m)地点で花崗岩類と岩屋累層の境界が確認されたことからこの低比抵抗帯は岩屋累層泥岩に相当し、その東側の高比抵抗帯が花崗岩類、西側の高比抵抗帯が大阪層群礫層に相当すると解釈できる。この結果から、比較的粗に配置した少数の2次元探査測線データの3次元解析により探査領域内の地質構造が把握できることが明らかにな

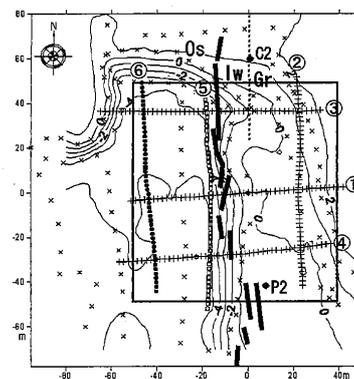


図-3 測線配置図(①~⑥)および断層(太実線)位置図

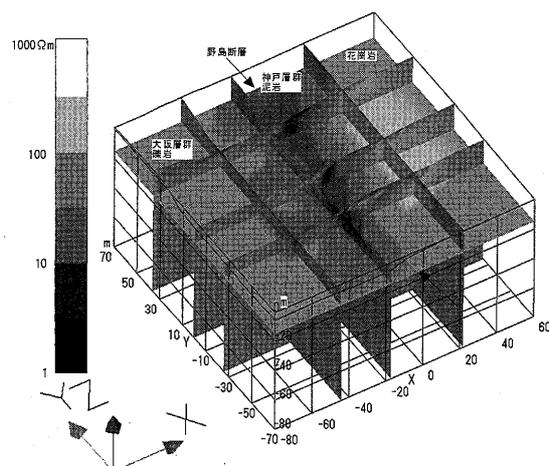


図-4 3次元比抵抗分布図

った。このほか、本法の有効性は、水平層構造地盤⁶⁾、含空洞地盤⁴⁾においても確認している。

5. おわりに

省力型3次元電気探査法では取得データ数が少ないことから時系列探査にも適しており、地下水の3次元流動調査にも適用をすすめている⁶⁾。今後も、数値実験、適用事例の蓄積により、効率的な測線配置・測定法を検討し、探査・解析のシステム化を図る予定である。

参考文献

- 1) 中里裕臣ほか：電気探査方法，特願2004-153539，2004。
- 2) Sasaki, Y.: 3-D resistivity inversion using the finite element method, Geophysics, 59, pp. 1839~1848, 1994.
- 3) 杉本芳博・井上 誠：土木分野における3次元比抵抗トモグラフィ，物理探査，51，pp. 676~687, 1998.
- 4) 中里裕臣ほか：曲がった測線の2次元電気探査データの3次元逆解析，物理探査学会第117回学術講演会論文集，pp. 173~176, 2007.
- 5) 中里裕臣ほか：淡路島における野島断層周辺の比抵抗法3次元探査，物理探査学会第113回学術講演会論文集，pp. 85~88, 2005.
- 6) 井上敬資ほか：比抵抗法2次元探査の3次元解析による地下水涵養試験の比抵抗モニタリング，物理探査学会第117回学術講演会論文集，pp. 169~172, 2007.

(原稿受理 2009.6.19)