

大阪大学大学院 学生会員 ○ 朴 美京
 梶谷エンジニア (株) 正 会 員 朴 三奎
 大阪大学工学部 フェロー 松井 保

1. はじめに

一般に地盤調査に用いられる比抵抗高密度探査はその探査目的によって、垂直探査と水平探査に分けられる。垂直探査では、電気比抵抗の垂直方向の変化を探知する。また、水平探査は、地表下の一定な深さでの電気比抵抗の水平方向の変化を探知する。Dipole-dipole 配列によって垂直探査と水平探査を同時に実施する場合には、どちらか一方で探査するよりも高精度のデータを得ることができる。この観点から考えると、垂直探査の一種である Schlumberger 配列と、水平探査の一種である Gradient 配列¹⁾を混用することによって探査精度の向上が期待される。本研究では、上記の主旨に基づいて地盤調査におけるより効率的な解析手法について検討した。

2. Schlumberger 配列と Gradient 配列の混用

一般に、地盤調査時に広く用いられている Dipole-dipole 配列を用いて探査し、2次元逆算を用いることは妥当であるが、既存の電気比抵抗データ（大部分は Schlumberger 配列で得られる）がある場合には、そのデータを活用して2次元構造を解析することができる²⁾。しかし、既存の Schlumberger 配列データのみではデータ数が十分ではない場合に、Dipole-dipole 配列で再探査することは不経済である。したがって、既存の Schlumberger 配列のデータに電位電極だけ移動して探査が可能な Gradient 配列のデータを加えて逆算する場合を考える。

地表面における電位が分かると、見掛け比抵抗 ρ_a は、

$$\rho_a = G \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

によって与えられる。ここに、 ΔV は電位電極間の電位差 (mV)、 I は電流 (A)、 G は電極配列によって決まる定数であり、Schlumberger 電気配列に対しては、

$$G = \pi \frac{L^2 - l^2}{4l} \quad (2)$$

である。ここに、 L は電流電極 C_1 と C_2 間の間隔であり、 l は電位電極 P_1 と P_2 間の間隔である。一般に $L \geq S1$ と規定されている。

電流電極 C_1 と C_2 間を一定な距離で固定させており、この間に電位電極 P_1 と P_2 を一定な間隔で移動させる方法の Gradient 配列については、

$$G = \frac{\pi a}{2} \left[\frac{1}{4(L-X)^2} + \frac{1}{4X^2 + l^2} \right] \quad (3)$$

となる。ここに、 X は電位電極 P_1 および P_2 の中心から電流電極 C_2 間の距離である。Schlumberger 配列の場合は $X=L/2$ となり、式(2)が誘導される。

3. 地下構造解析の結果

本研究では、比抵抗分布をブロック化した2次元理論モデルから計算されたデータを測定値として逆算を行う³⁾。したがって、探査される構造の位置が各ブロックの電導度の差で定義される。さらに、2次元逆算のアルゴリズムには解析精度や計算効率を高めるために、平滑化制約条件付非線形最小二乗法³⁾、改良グラムシュミット法⁴⁾および相反性⁵⁾を用いた偏微分の迅速計算法を導入した。Fig. 1は任意に設定した基本的な比抵抗分布モデルである。地下構造は断層帯のように、比抵抗値が低い部分($50 \Omega \cdot m$)と高い部分($200 \Omega \cdot m$)が垂直に接している。垂直接触部の中央部分には最も低い比抵抗値($10 \Omega \cdot m$)の部分が存在し、地表面には風化帯のような比抵抗値が低い部分($50 \Omega \cdot m$)と、高比抵抗値($300 \Omega \cdot m$)の異常体が存在する。本研究で用いた節点数は 80×16 である。また、逆算における全ブロックの初期値は $120 \Omega \cdot m$ である。Fig. 2はFig. 1のS1, S2, S3およびS4で実施した Schlumberger 配列のデータである。Fig. 3はFig. 1に関する Gradient 配列のデータである。図中のG3は、モデル全体を探査した結果であり、G1とG2は、それぞれ左側の部分と右側の部分を探査した結果を示す。G3を見ると、モデル中央に低比

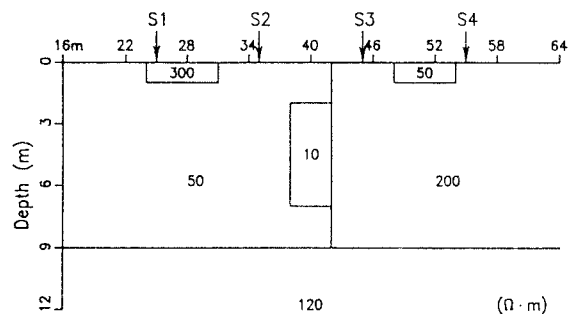


Fig. 1 2D model examined in this study. S1, S2, S3 and S4 indicate centers of Schlumberger sounding.

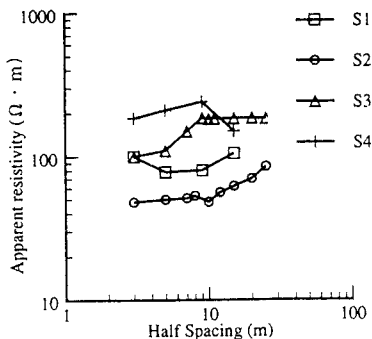


Fig. 2. Schlumberger sounding data for the model shown in Fig. 1.

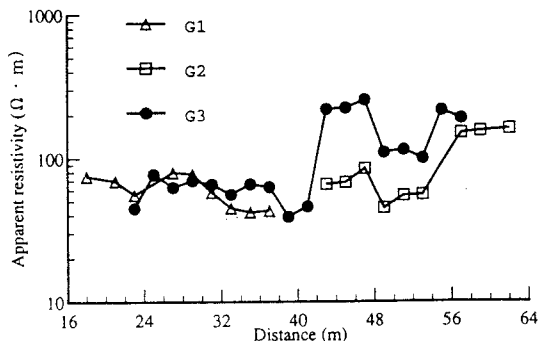


Fig. 3. Gradient profiling data for the model shown in Fig. 1.

抵抗部分($10 \Omega \cdot m$)が現れている。また、距離程 $40 m$ を中心に左側は低比抵抗が現れ、右側は高比抵抗が現れている。これらの比抵抗分布性状は、Fig. 1 の設定比抵抗分布とよく対応している。Fig. 4 は Fig. 1 の基本モデルから逆算を行ったブロックモデル結果である。Schlumberger 配列の中心点を基準として X 軸方向の距離を短くしてブロックを小さく設定し、Z 方向には下方へ行くにつれて電流密度が減ることを考えて、 $2m$ 、 $3m$ および $4m$ の間隔で深くなるほど大きくなるように設定した。逆算を行った時の反復回数は 5 回である。 $10 \Omega \cdot m$ の異常体が垂直に接している部分を区分できるのみならず、地表 $50 \Omega \cdot m$ の異常体が $100 \Omega \cdot m$ 等比抵抗線とよく区分できる。この結果におけるモデルの分解能は、残差誤差が 0.1599 で良い結果が得られた。

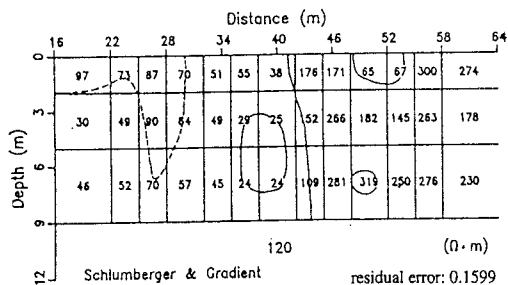


Fig. 4. Smoothest model with 39 blocks for Schlumberger sounding and Gradient profiling data shown in Fig. 2 and Fig. 3.

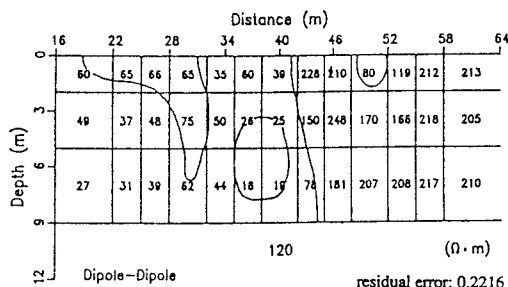


Fig. 5. Dipole-dipole apparent resistivity pseudosection for the model shown in Fig. 1.

Schlumberger 配列と Gradient 配列を混用して逆算した結果の有用性を検討するために、2 次元比抵抗探査でよく用いられる Dipole-dipole 配列で得られた結果と比較する。Fig. 5 は Fig. 4 と同じブロック条件で Dipole-dipole 配列⁶⁾について逆算を試みた結果であるが、Fig. 4 の結果と類似の状態が見られ、垂直境界部の $10 \Omega \cdot m$ の異常体と地表の $50 \Omega \cdot m$ の異常体についてはよく区分できるが、地表の $300 \Omega \cdot m$ 異常体についてはよく区分できない。残差誤差は 0.2216 で、Schlumberger 配列と Gradient 配列の混用した場合の残差誤差(0.1599)より高い。

4. まとめ

本研究では、既存の 1 次元探査の Schlumberger 配列で得られたデータを十分に活用するために、このデータに野外調査が簡便な Gradient 配列で得られたデータを加えて 2 次元逆算を試みた。Schlumberger 配列と Gradient 配列の混用から得られた比抵抗逆算結果を、一般に地盤探査で広く用いられている Dipole-dipole 配列で得られた比抵抗逆算結果と比較すると、前者の解析精度が良いことが分かった。したがって、Schlumberger 配列と Gradient 配列を混用する手法はより効率的な解析手法と考えられる。

参考文献

- 1) Shettigara, V. K., and Adams, W., 1989, Detection of lateral variations in geological structures using electrical resistivity gradient profiling, *Geophysical prospecting*, 37, 293-310.
- 2) Sasaki, Y., 1981, Automatic interpretation of resistivity sounding data over two-dimensional structures(I), *物理探査*, 34, 5, 341-350.
- 3) Sasaki, Y., 1988, Improved two-dimensional resistivity inversion, *物理探査*, 41, 2, 111-115.
- 4) 齊藤正徳, 1983, 最小二乗法, *物理探査*, 6, 2, 72-86.
- 5) Okabe, M., 1982, Reciprocal averaging techniques in the geoelectrical boundary element approach, *Geophysical Prospecting*, 30, 653-672.
- 6) Kim, H.J., 1990, Two-dimensional resistivity inversion with smoothness constraint, *Jour. Geol. Soc. Korea*, 26, 1, 12-17.