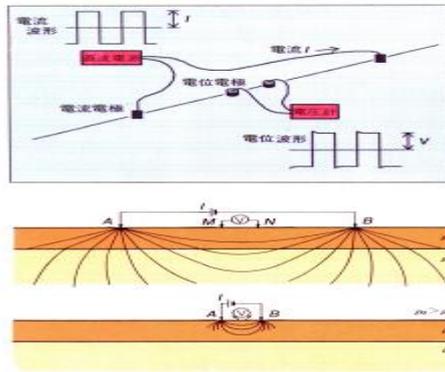


# 高密度比抵抗二次元電気探査について

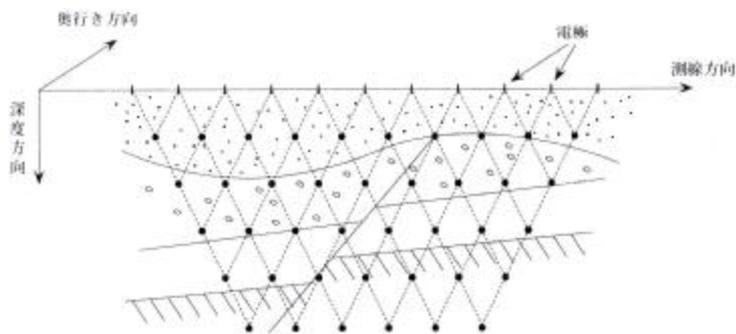
## 概要

一般に電気探査と呼ばれる手法はもっとも古い歴史を持つ物理探査の方法です。1830年、イギリスの **Fox** によって鉱床探査のために自然電位の測定が試みられ、1916年にはアメリカの **Wenner** によって2本の電流電極と2本の電位電極を使用する四極法が発明され、接地抵抗に左右されない比抵抗測定が可能になりました。

以来、地盤の水平構造を前提とした測点を中心に電極系を対数的に広げて電位を測定する垂直探査と電極系全体を測線沿いに移動させる水平探査が主流でした。しかしながら、大地は垂直方向にも水平方向にも変化していますから一次元解析では十分とはいえません。そして今日、コンピュータ技術の発達と新しい解析理論と計算手法によって任意の比抵抗構造の見掛け比抵抗分布が容易に計算されるようになり高密度二次元電気探査（高密度電気探査）が主流となりました。探査深度は電極の配置法と電極間隔によって異なります。通常、測定に用いられる二極法では、測線内の電流と電位の電極間隔が見掛け深度にあたります。



四極法電気探査の概念図 電流回路と電位回路



高密度電気探査の概念図 電位データ(見掛け比抵抗)の分布

地盤の比抵抗は、地盤の種別、地盤の層構造、割れ目、湿潤状態等によって大きく影響されます。解析で得られる比抵抗分布は、地下水分布や風化、破碎に伴う含水率の変化、及び変質に伴う粘土化等をとらえるのに有効です。

下の表は地層の比抵抗パラメータの一覧です。

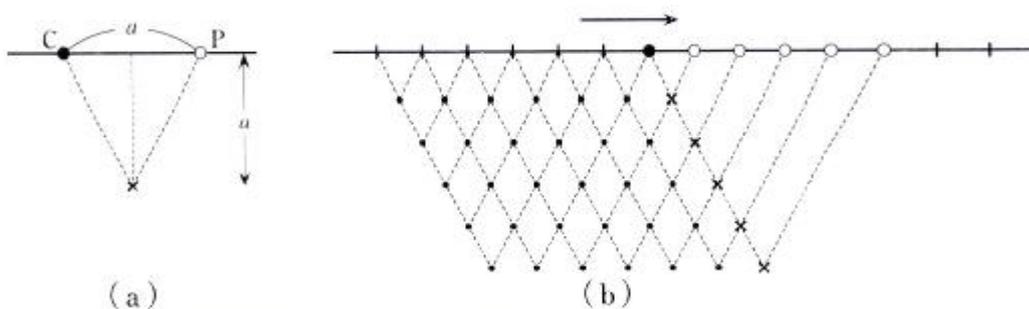
	低比抵抗	< 比抵抗値 >	高比抵抗
間隙率	大きい	← →	小さい
地層水比抵抗	低い	← →	高い
水分飽和率	大きい	← →	小さい
地質の状態	風化・変質	← →	新鮮
土質(粒径)	粘土(小)	←シルト→ ←砂→	砂礫(大)
地域	海域	← →	内陸
地中温度	高い	← →	低い
造岩鉱物	金属鉱床	← →	一般鉱物
岩種	頁岩・泥岩等	← →	石灰岩・流紋岩等

### 比抵抗による岩種区分について

岩石の比抵抗値は頁岩の  $1 \Omega\text{-m}$  から火成岩類の  $100 \text{ k } \Omega\text{-m}$  まで非常に広い範囲にあり、同種、同ランクの岩種であっても **10** 倍違うことは珍しいことではありません。しかし、わずかな変質、飽和度などの差異が比抵抗に反映しますので土質性状や岩盤状態に関する有用な情報になります。

### 観測方法

解析深度、作業効率の点から電極配置は通常二極法を用います。二極法電極配置 (**pole-pole** 法) は、電流を探索深度の **10** 倍ほどの距離に離れた遠電極 (C 2) と測線内の電極 (C 1) の間に流し、電位もまた探索深度の **10** 倍ほどの距離に離れた遠電極 (P 2) と測線内の電極 (P 1) の間で見掛け比抵抗値を測定する方法です。電流電極を固定し、電位電極の間隔を拡げながら、水平方向に移動して観測し、データを取得します。下の図は見掛け比抵抗の断面の作成方法です。



(a) 二極法電極配置での見掛け比抵抗表示位置, (b) 見掛け比抵抗擬似断面の作成法

実際の展開作業では設定した測線に一定間隔で電極棒を設置します。各電極棒と電気探鉱器の間をテークアウトケーブル及び、ターミナルボックスで電気探鉱器(デジタルスタッキング型)と接続します。通常は **2.5~10m** ピッチで **15** 成分または **20** 成分のテーク

アウトケーブルを複数用い、最大 **70** 電極が接続されます。測定本部作業員は、遠電極、測線内電極の接続と接地抵抗を確認、電気探鉱器を調整して測定作業に入ります。通電に際しては  $S/N$  比を向上させるためにできるだけ大きな電流を流します。一つの電流 (**C1**) 電極に対して電位 (**P1**) は最小で **10**、最大で **30** 電極分のデータを取っていきます。電極間隔×電極数が探査深度になります。ターミナルボックス上で電極を切り替えながら測定された電流、電位、自然電位データは、現場にてノート **PC** に抵抗値の減衰曲線を確認しながら収録します。

## 解析方法

現場にてノート **PC** へ収録した測定データのファイルは、表計算ソフト等にて所定のフォーマットに編集してから比抵抗2次元解析ソフトウェアに入力します。また遠電極の座標、地形データなど一定のパラメータを入力します。解析プログラムは、実測されたデータの値にもっとも近い理論値を与える地下比抵抗分布モデルを最小二乗法により決定する、いわゆる逆解析の手法が用いられています。

まず、計測データに最小二乗法による地形補正をかけ、地下を複数の層と複数の矩形（長方形）ブロックに分割します。次にそのブロックの各比抵抗値が、実地に計測した見掛け比抵抗値と合致するように実測値と理論値の残差を縮める反復計算を実行させ、一定の条件の下に収束させて解析結果を得ます。**複数の測線であれば、比抵抗断面図を三次元的に表現することが出来ます。**

現地の地質、水文、ボーリング結果などと照らして解釈を行います。

高密度電気探査解析ソフト <**RES 2 DINV**>プログラム では、二次元見掛け比抵抗値に対して強制平滑化最小二乗法に基づく解析手法と疑似ニュートン最適化手法の最小二乗法を用いています。強制平滑化最小二乗法は、次式に基づいています。

$$(J'J+uF) \mathbf{d} = J'\mathbf{g} \quad \mathbf{F} = \mathbf{f}_x \mathbf{f}_x' + \mathbf{f}_z \mathbf{f}_z'$$

$\mathbf{f}_x$  = 水平方向の平滑化ファクター  
 $\mathbf{f}_z$  = 垂直方向の平滑化ファクター  
 $\mathbf{J}$  = 部分的微分のマトリックス  
 $\mathbf{J}'$  =  $\mathbf{J}$  の変位  
 $\mathbf{u}$  = 抑制ファクター  
 $\mathbf{d}$  = モデルの振動ベクトル  
 $\mathbf{g}$  = エラーベクトル

なお、本プログラムには、見掛け比抵抗値の計算には有限差分法と有限要素法の両方と従来の自動解析手法であるガウス=ニュートン法も搭載してあります。