

比抵抗1次元探査(垂直電気探査)

解説書

平成15年1月

有限会社 ジオインフォメーション 作成

目 次

	頁
(1)測定原理 -----	(1)
(2)測定方法 -----	(2)
(3)解析原理 -----	(3)
(4)解析方法及び結果 -----	(5)

まえがき

比抵抗法は地盤の見かけの比抵抗を測定して、地質を調査する方法である。これは、特に地下水位、地下水路、帯水層、表層堆積物風化層、地質の判別に有効である。

以下には比抵抗1次元探査（垂直電気探査）について解説を行う。

(1)測定原理

図に示すように、二つの電極 C_1 、 C_2 を設置し、 C_1 から C_2 に向けて電流 I を流すと、 C_1C_2 間の任意の点 P_1 、 P_2 における電位 V_{P_1} 、 V_{P_2} は

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

$$V_{P_2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

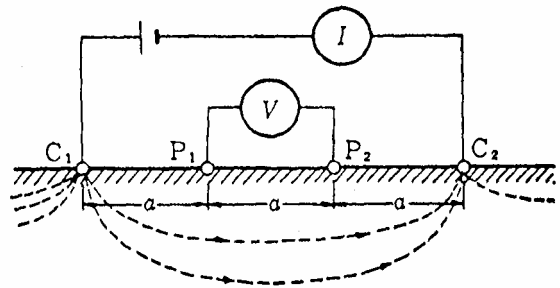


図 1.1 電極配置

但し、 $r_1=C_1P_1$ 、 $r_2=P_1C_2$ 、 $R_1=C_1P_2$ 、 $R_2=P_2C_2$: 地盤の比抵抗

したがって、 P_1 、 P_2 間の電位 V は

$$V = V_{P_1} - V_{P_2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$C_1P_1=P_1P_2=P_2C_2=a$ になるように電極を配置すると

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{a}$$

したがって

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I}$$

上式から、地盤の見かけの比抵抗 ρ が求められ、 ρ と a との関係曲線 $\rho - a$ を描き、これを解析して地質構造を判定する。

地下の比抵抗が均質であれば $\rho = \frac{V}{I} \cdot 2\pi a$ 式などにより得られた ρ はその値を示すが、地下が均質でない場合、電極間隔、電極位置、電極配置型などの変化とともに ρ の値も変化することから、見かけの比抵抗 ρ と a とされる。 ρ は地下の比抵抗そのものではなく、地下構造を一義的に対応させることはできないが、その電極系の感度分布において地下構造を反映したものであり、多くの地点で、各種の電極間隔、電極配置型により多くの ρ を求めればその分布状況により、逆に地下の比抵抗分布が求められる可能性がある。

比抵抗法電気探査は、このことを原理としており、垂直探査と水平探査に大別される。

(2)測定方法

ここでは垂直探査測定方法について示す。電極配置型はウェンナー配置とし、この測定データを用いて、一次元解析を行う。

）電極展開（探査深度100mの場合）

最小電極間隔 $a=1m$ とし、 $a=100m$ まで展開の測定を行うと、測線長は $L=300m$ となる。

）使用機器

名称	型式	仕様	数量
比抵抗測定器	McOHM-EL (MODEL-2119 型)	デジタルスタッキング型電気探査器 (応用地質製)	1台
電極棒・接続コード	-	ステンレス製 15mm L600mm	1式
電源	自動車用バッテリー	12V	1式

デジタル比抵抗測定器の仕様を以下に示す。

出力電流	2、20、60、120mA
出力電圧	最大 400V
通電パターン	正負、正負正
通電周期	2、3、4 秒
入力インピーダンス	10M
電位検出範囲	-5 ~ +5V
電位検出分解能	1 μ V
測定誤差（通電電流）	$\pm 1\%$ 以下
測定誤差（電位検出）	$\pm 0.5\%$ 以下
抵抗算出誤差	$\pm 1\%$ 以下
スタック回数	1, 4, 16, 64 回
測定時間	6 秒（A/D 変換器校正時間を含む）+ 通電周期 + スタック回数
電源	DC12V
動作電圧	11 ~ 14V
動作温度	0 ~ 45
重量	8kg
寸法	W340、D270、H200



図 1.2 デジタル比抵抗測定器

(3) 解析原理

図 1.3.1 のように厚さ d 、比抵抗 ρ_1 の上層無限に厚い比抵抗 ρ_2 の下層とからなる地下構造で地表にウェンナーの電極系で電流を通した場合、その電流電極 C_1 、 C_2 との距離 L_1 が小さい時には [図 1.3.1 (a)] 電流の大部分は、上層の中を通り P_1 、 P_2 の間の電位差は下層の影響を受けない。しかし C_1 と C_2

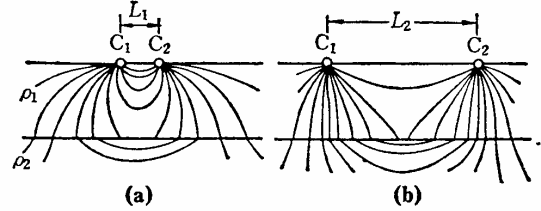


図 1.3.1 2層構造における電流線の分布

との距離 L_2 が大きくなると [図 1.3.1 (b)] 電流分布は下層によって歪められ、 P_1 、 P_2 間の電位差は影響を受けるようになる。図 1.3.2 はウェンナー電極によって測った場合の 2層構造の a - a 曲線で、 a は a が d に比較して小である時は第 1 層の比抵抗 ρ_1 を表し、 a が大である時は第 2 層の比抵抗 ρ_2 を表す。

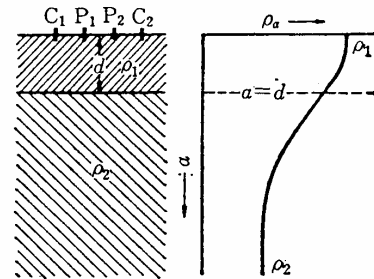


図 1.3.2 2層構造の a - a 曲線

大地が図 1.3.3 に示すような水平 2 層構造からなっていると仮定したときウェンナー電極配置を用いた場合に計算される見掛け比抵抗 ρ_a の値は、

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + 4n^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} - 2 \sum_{u=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + n^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} \right]$$

ただし、 $k = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$

すなわち、 ρ_a は第 1 層比抵抗 ρ_1 、第 2 層の比抵抗 ρ_2 及び a/d の関係となっている。 ρ_2 / ρ_1 を計算してこれらの関係曲線群を图示したものが 2 層標準曲線である。この標準曲線の代表的なものが図 2.3.3 Sundberg の 2 層標準曲線図である。この標準曲線の $a/d = 1$ 、 $a/d = 1$ の座標点を原点と呼ぶ。

ウェンナー法で実測された a - a 曲線が 2 層構造を示す曲線である時は、これを薄紙の両対数方眼紙に写し取り、この用紙を図 1.3.3 の 2 層標準曲線図に重ねあわせて、最も良く合致する曲線を選び

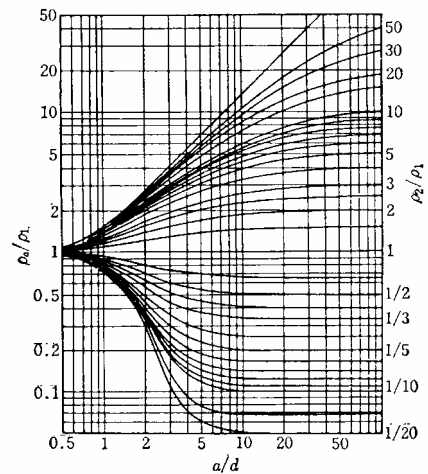


図 1.3.3 Sundberg の 2 層標準曲線

出すことによって、 d_1 が定まる。次に用紙上に標準曲線図の原点 O_1 を写し取れば、この点の座標から第1層の比抵抗 ρ_1 と深度が d_1 が求められることができる。

このように2層構造の ρ_a については、図 1.3.3 の2層標準曲線によって解析できるが、3層構造以上を示す ρ_a 曲線の解析には、等価抵抗層の概念に基づいて作図した図 1.3.4 の Hummel の補助曲線によって解析する。図 1.3.5 のように第1層と第2層を並列抵抗とみなして合成すると、その等価比抵抗は、

$$\rho_e = \frac{(d_1 + d_2)\rho_1\rho_2}{d_1\rho_2 + d_2\rho_1}$$

となる。図 1.3.5 は縦軸に d_1 を、横軸に d_2/d_1 をとり、 d_1 をパラメーターとして作成した補助曲線である。

これによって3層構造を求める場合は、まず先に述べた2層構造解析を行う。次に解析曲線用紙上の O_1 点を補助曲線図の原点に重ね、2層構造解析の際に標準曲線から選出した d_1 曲線と同じ値の補助曲線を写し取ると等価層の d_e と ρ_e を与える点 O_2 はこの写し取った d_1 曲線上にある。この O_2 を見いだすために解析用紙を再び標準曲線図のうゑに実測 ρ_a 曲線を重ね、写し取った補助曲線が標準曲線の原点を通るように平行移動させて、実測 ρ_a 曲線の第3層の特性と最もよく合致する標準曲線を見つける。これから d_2 と ρ_2 が求められる。この Hummel の方法は $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ の場合に良く当てはまるが、 $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ の場合には、解析誤差が大きい。

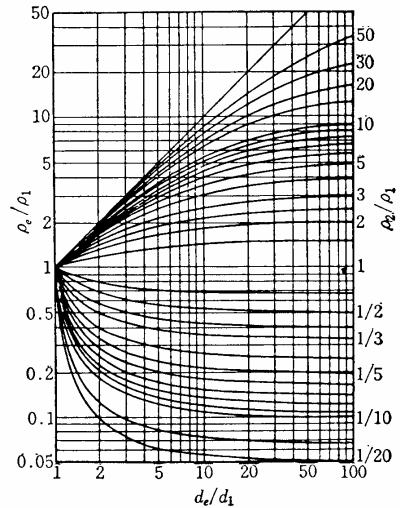


図 2.3.4 Hummel の補助曲線

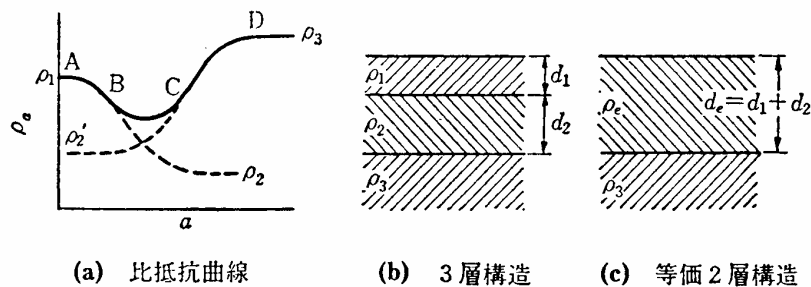


図 1.3.5 3層構造と等価2層構造の ρ_a 曲線

直視法 実測される見掛け比抵抗曲線は以上に述べた標準曲線で解析できない場合があり、このばあいには直視法で解析する。例えば同様な地質条件における ρ_a 曲線の特性を明らかにした上で測定された見掛け比抵抗曲線を対比して解析する。

(4) 解析方法及び結果

測定データの解析は以下のとおりである。

) 測定データにより ρ_a 曲線を作成する。

) Sundberg の 2 層標準曲線および Hummel の補助曲線を利用して層構造を推定し、比抵抗と深度を求める。

) 上記の方法では 3~4 層の区分が限界であるため、2 測点のデータの対比から直視法によって定性的に細区分を行う。これは 2 地点がおよそ同様な地質構造と仮定し、測定データの特徴的な変化点に着目して、地下の比抵抗分布を推定する。

) 以上の結果を数値的に確認するためにウェンナー配置に対する 一次元インバージョンプログラムを使用する。

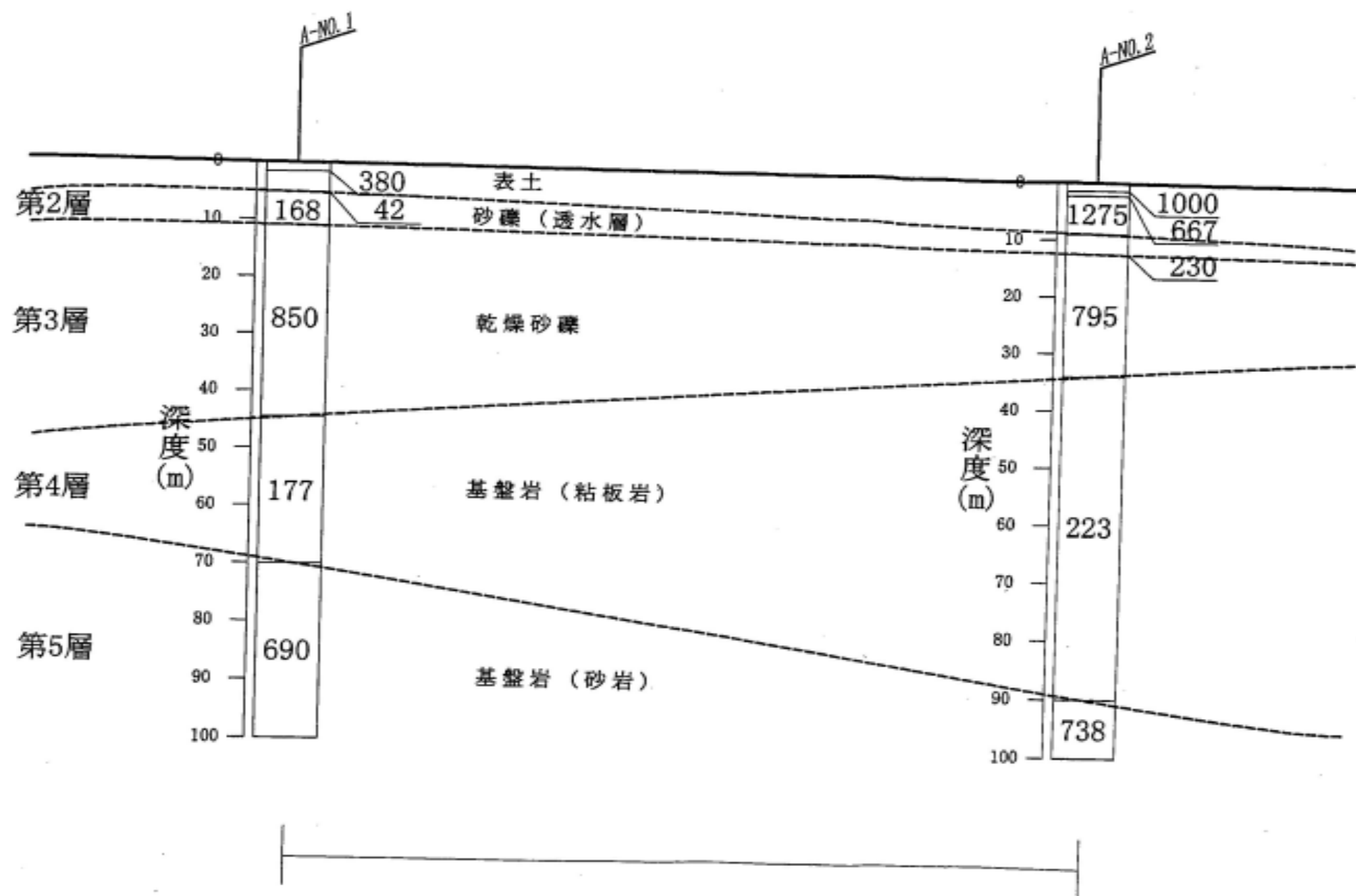
一次元インバージョン

地下の一次元構造を仮定し、観測値より地下構造を逆解析する手法

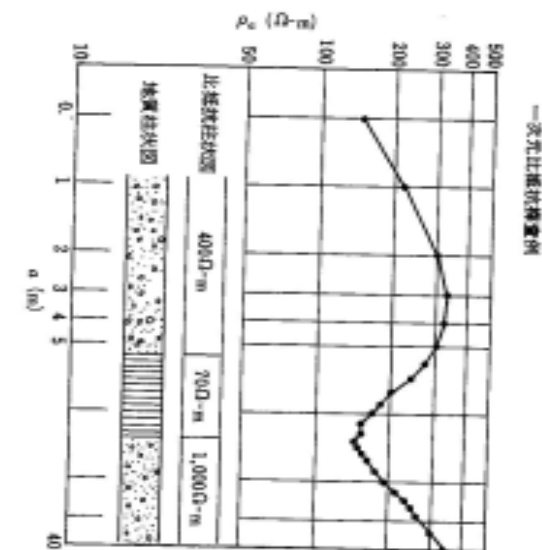
『パソコンによる電気探査データの解析』(牛島恵輔・水永秀樹・加藤昭彦「物理探鉱」Vol.40No.6)に示されたプログラムを使用する。

) 解析結果

次頁に示す。



測定地点間距離 128m



比抵抗推定断面図 1/1000