

深部構造をしらべる電気探査技術 (1)

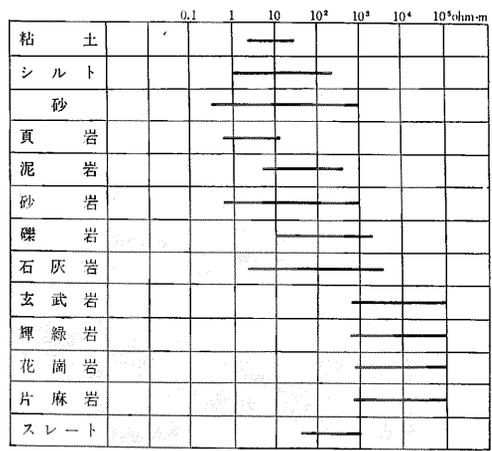
陶山 淳 治

構造地質学上の問題 たとえば 先第三紀に属する基盤岩類とこれをおおう第三紀累層との不整合面の起伏およびその深度を求める問題に 電気比抵抗法を利用する研究がなされてきた。このような問題のうちで 深い深度の構造を問題とする場合には 電気比抵抗法のうちで直流法と呼ばれる新しい技術を活用する必要がある。地質調査所はここ数年来直流法の技術を開発するために努力し 現在すでに1000m以内の構造の解明に役立つ技術を完成し 火山地帯の構造 ウラン鉱床地域の花崗岩の構造等の解明に利用している。1000m以上のより深い構造を問題とする場合には 探査方式(探査装置 測定方式)を大幅に改善する必要があり このような面の研究を現在進めている。

新しい装置についての説明に先立って 電気比抵抗法の紹介しておく。電気比抵抗法は地層の比抵抗値の違いを利用して 大地の比抵抗値の分布から地下構造を推定しようとする方法である。地層を構成する岩石の比抵抗値については 塩水で満たされた砂の1オーム・メートル ($\Omega\text{-m}$) という低い値から ある種の火成岩のもつ数千 $\Omega\text{-m}$ という高い値にわたって 幅広く変動することが知られている。しかしながら 地質学的には同じ種類のものとされる岩石であっても その賦存状態 たとえば含水状態 裂隙の発達状態 風化の程度等によって比抵抗の値が異なってくることがあり また 種類を異にする岩石であっても互に近い比抵抗値をもち一方の岩石の比抵抗値の変動範囲内に 他方の岩石の比抵抗値がおさまってしまい 比抵抗値によって2つの岩石を区別しえぬものもある。つまり 地層の比抵抗値とは ある幅をもった量であって なかには地質学的には幾つかに細分される累層も電気的には単一層と同じ効果しか示さぬものがある。大地の比抵抗値の分布を詳細に知りえたとしても 必ずしも地下構造を構成する個々の地層の分布が求まるものではなく 電気比抵抗法によってえられる地下構造はあくまでも電気比抵抗という観点から分けられた層序にすぎない。実際上の問題としては 電気比抵抗的層序と地質学的層序とが完全に一対一の対応を示さぬ場合でも 特定の層または層の境界面が完全な対応関係をもち その起伏が地下構造を反映するものであるならば 電気比抵抗法によってこのよ

うな層または面の深度を求めることが構造の解明に役立つ (このような層および面を鍵層および鍵面と呼ぶ)。

次に 電気比抵抗法によってえられる大地の比抵抗値は 地表上の観測によって求められるものであり 各々の深度にある地層の比抵抗値を直接測定したものではない。地表上に設けられた1組の給電々極A Bから大地へある量(I)の電流を送り込み この電流によって大地内に生ずる電位降下(ΔV)を2つの点M Nの間で観測し 大地の比抵抗値(ρ_a)を求める。今大地が一様な抵抗値(ρ_0)をもっている場合には 求められた ρ_a は \overline{AB} (\overline{ON})の距離の如何にかかわらず ρ_0 と等しくなる。もしも 大地が比抵抗値 ρ_1 ρ_2 の2つの層によって構成されている場合には \overline{AB} (\overline{ON})が小さいときには ρ_a は上層の抵抗値 ρ_1 と等しくなるが \overline{AB} (または \overline{ON})の距離を増大してゆくと ρ_a に対して下層(ρ_2)が次第に影響するようになり もはや ρ_a は ρ_1 とは等しくない。 \overline{AB} (\overline{ON})が増大するにつれて ρ_a は ρ_2 に漸次近付いてゆく。 ρ_a はこのように地下構造 すなわち 大地の真の比抵抗値の分布と電極の相対位置とによって決まるもので 地層の比抵抗値とは 区別されるべき量であり見かけ比抵抗値と呼ばれ $\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$ で表わされる。Kは電極配列係数と呼ばれるもので 観測に用いた電極の配列状態で決まる。さて A B M Nの4つの電極を一直線上に設け A Bの中点QとMNの中点Oとを一致せしめ対称に配置(対称4極配置)し Q点およびM N極を固定し 給電々極A Bの間隔のみ 増大するなら

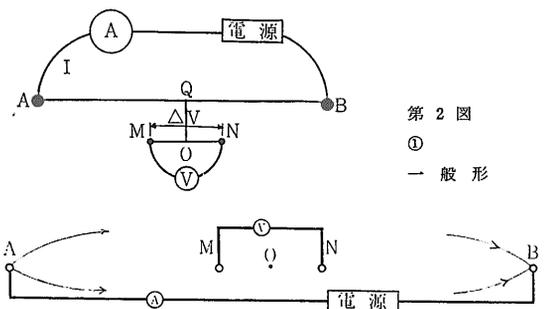


第1図 岩石の種類による比抵抗値の分布

ば 大地への電流透入深度が増大し ρ_a に対して深部の地層が次第に影響してくる。このようにして 給電々極間隔の変化に対する見かけ比抵抗値の変化を求めると深度に応じた地質の変化の垂直断面を調べることができる。このような研究方法をVES法と呼んでいる。また 給電々極間隔と見かけ比抵抗値の関係を両対数目盛上に表わした曲線をVES曲線という。観測されたVES曲線から構造断面を求めるためには あらかじめ水平層型構造について幾通りかの比抵抗比 (ρ_2/ρ_1 ρ_3/ρ_1 ...) 層厚比 (h_2/h_1 h_3/h_1 ...) を与えて理論的に計算された理論的VES曲線(標準曲線ともいう)と観測VES曲線とを重ね合わせ比較照合し 構造係数 $\rho_1 \rho_2 \dots h_1 h_2 \dots$ を求める曲線照合法が採用されている。すでに作成されている標準曲線は2層構造・3層構造に対するものである。したがって 現状では 成層面の傾斜角が $15^\circ \sim 20^\circ$ 以内

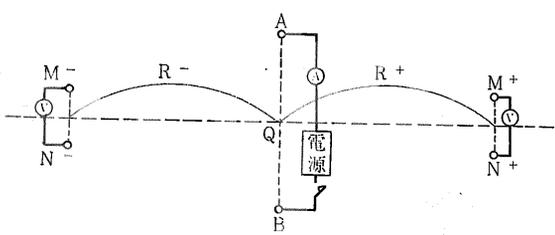
で水平な成層構造とみなしうる構造に対してはVES法によって量的に構造係数が求められるが 傾斜角が 20° 以上の境界面の深度を数量的に求めることはできない。

さて VES法によって構造を解明するためには 構造の鍵層または鍵面の深度の6~8倍に相当する距離まで給電々極A Bの間隔を広げた測定が必要である。すなわち 1000m以上の深度の構造を扱うためには 6km以上の間隔まで給電々極を広げた測定を行なわねばならない。ところで 給電々線を数km以上も設置する場合その作業自体が繁忙であるばかりでなく 給電々線内の電圧降下によって大地へじゅうぶんな電流を透入せしめることが容易でなくなり また大地内に生ずる電磁誘導の効果(表皮効果)によって 電流分布が平衡状態になるまでかなりの時間を必要とする等々の測定技術上の難点も生じてくる。この外 1000m以上という深い構造を調べるためには 大地に透入すべき電流の大きさも飛躍的に強大なものとなるように努力せぬ限り この給電々流の大地内における電流密度が天然に存在する地電流・遠方にある工場・鉄道等の施設物から漏洩する電流の電流密度とほぼ等しいか または小さくなり測定の精度が著しく低下するという問題もあり 1000m以上の構造を求める測定技術を完成するためには 測定方式自体を大幅に改革してゆかねばならない。このような目的を達成しうる一つの方法として 双極子法が考えられ

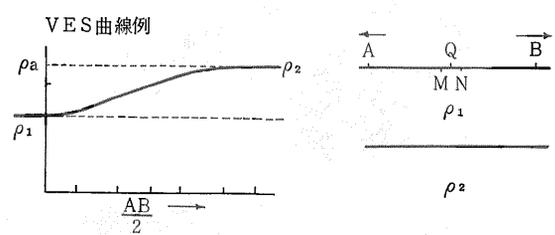


第2図
①
一般形

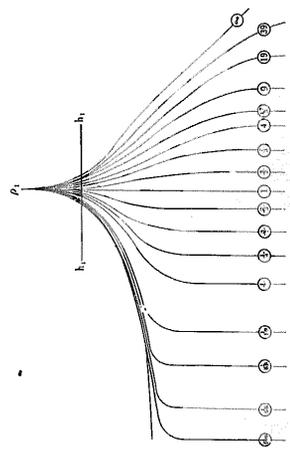
② 対称4極配置 (Schlumberger 配置) の例 V.E.S.



③ 双極配置 (Dipole 配置) の例 D.E.S.



第3図 2層構造に対する見かけ比抵抗値の変化



第4図 2層標準曲線の例
○内の数字は ρ_2/ρ_1 の比を表わす



第5図 3PC-23-53装置の外観

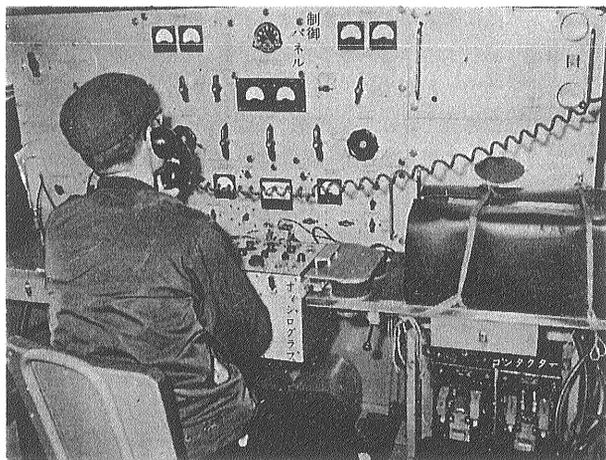
ると判断し 今回双極子法のために作られた、世界で唯一の装置であるソ連製の3PC-23-53型の電気探査装置を輸入した。

双極子法とは第2図のような電極の配置によって測定を行なう方法であり 対称4極配置の場合の給電々極AまたはBの代りに一組の電極ABを用いる。OQに対し著しく短い間隔をもつ一組の電極は 双極子と考えることができるので 対称4極は2つの点電源による電場を観測する方式であるのに対し双極子法は1つの双極子による電場を観測する方式であるといえることができるので 双極子法という名称が生れたのである (詳細はIIで解説する)。今回はまずこの装置の概略を紹介する。

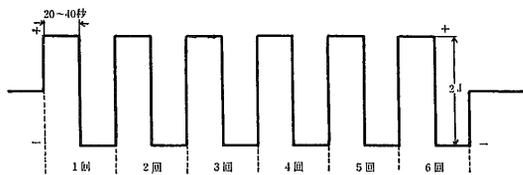
(i) 3PC-23-53型電気探査装置

この装置は 1953年ソ連において双極子法の測定が可能な電気探査装置として初めて製作されたものであって 発電グループと観測グループとによって構成されている

これらはそれぞれPA3-51型 およびPA3-651型の車にセットされている(第5図)。発電グループは発電機部およびその制御パネル コンタクターおよびその制御パネル オツシログラフ等からなりたっており(第6図) A B極への給電々源である発電機としては 最大電圧460V 最大電流25Aの定格をもつPH-100型の直流発電機2基が設けられており 制御パネルによって2基の直流発電機は直列 並列の2通りの用途に使用される。従って VES法に対しては直列で1000Vの電圧供給源となり 双極子法に対しては並列で50Aの電流供給源となっている。供給電力は定格23kWである。この発電機から供給される電流は コンダクターを通して20~40秒の幅の6~10回のパルス形で大地内に送り込まれる(第7図) なお 大地へ送り込まれる電流は電流計によって読み取られると同時に3ΠO-5型の電気探査用オツシログラフによって記録される。発電グループにはこの外給電々線の切断等によって起る給電回路の開放に際して直ちに発電機の回転が停止するよう設計されたり



第6図 発電グループの内部



第7図 大地へ送られる電流



第8図 AB極の設定 電流の大地への透入を容易にするため給電電極ABには互いにじゅうぶんな間隔を保って打ち込まれた数10本の電極を用い互いに並列に接続する



第9図 観測グループの内部

レー回路 給電々線を車体にとりつけられた出力パネルに接続する際には 発電機が停止されるように考えられた安全回路等の危険防止のための回路が2重・3重に付されており このような強力な給電々源を使用する場合に伴う危険に対しては細心の予防処置が施されている。観測グループは MN間の電位差の変動を観測するための 3P0-5 型電気探査用オッシログラフとその制御パネル等からできており(第9図) 給電々流によるMN間の電位差は0.1~0.2mVまで正確に測定される。MN極としてはブツ製の銅一硫酸銅溶液の非分極性電極が用いられる(第10図②)。

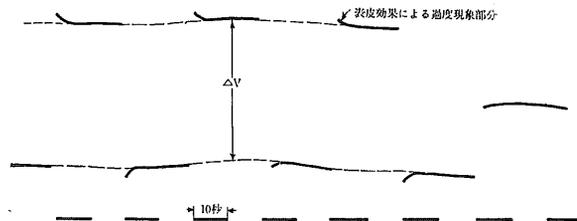
双極子法では 発電グループは固定し 観測グループのみが移動するが これらは互に無線によって連絡を保ちながら給電々流およびそれによって生ずる大地内の電位降下を同時に測定する。これら2つの同時測定の結果は 同じ電圧電流計によって予め標準化された目盛に

よって読み取られ 読み取り値は互に無線で交換されそれぞれのグループで見掛比抵抗値に換算される。

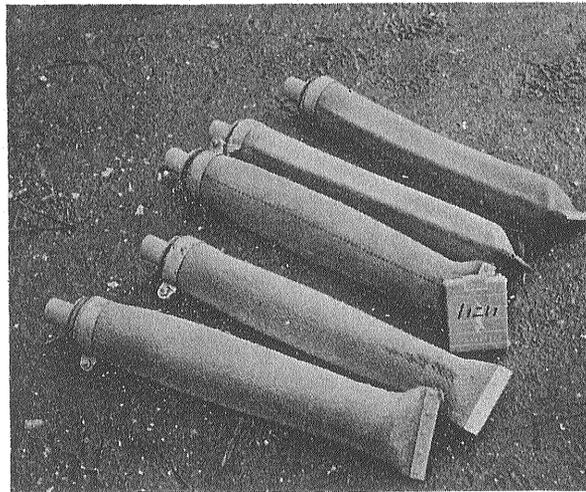
3P0-5 型 電気探査用オッシログラフは とくに探査用として設計されたものであり 電位測定および記録用の2つのチャンネル 電流観測用チャンネルおよびタイム・マーク用チャンネルの4つのチャンネルをもち 電位観測用の検流計は電圧感度100~150mm/mV 固有周期0.2~0.3秒 のかなり高感度のもので 機械的衝げきに対し丈夫なものである。タイム マーカーは時計仕掛けのもので10秒毎に作動する。発電グループと観測グループとの距離が増すにつれて表皮効果による過渡現象の持続時間が増大することを考慮して給電パルスの幅を決めねばならないが 同時に両グループの距離が増大すると共に 観測グループの存在する付近では給電々流密度の低下は避けられず そのため漏洩電流 地電流等による電場の変動を無視することはできなくなる。このような寄生電場の変動によって測定値の読み取り精度が低下せぬよう給電パルスの幅および回数を選択する。(第11図) これら測定技術上の困難を解決してゆかねばならぬが この 3PC-23-53型の装置は両グループの間隔が50kmまでの使用に耐えるものといわれている。

(筆者は物理探査部)

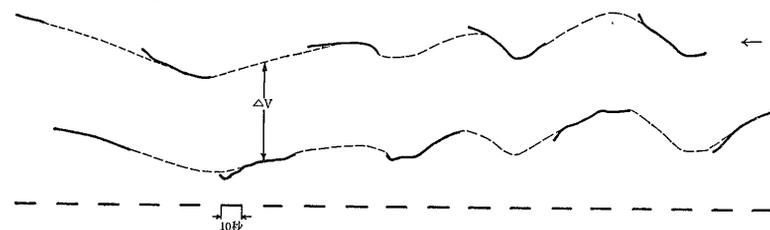
← 第10図 ① 観測準備作業とMN極



第11図 ① 電位差測定記録の例 R=2,000mの場合
地電流によるノイズ的電場が比較的小さく過渡現象の持続時間も3秒程度で短い



第10図 ② 電位観測用電極(ブツ製)



← 第11図 ② 電位差測定記録の例 R=4,500mの場合
地電流による電場の変化は R=2,000mのときよりかなり大きくなっており過渡現象の持続時間も6秒程度に増している