

深部構造をしらべる電気探査技術

③

小野 吉彦

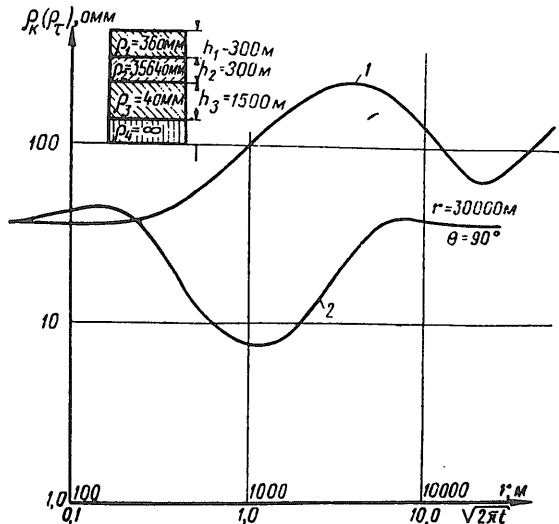
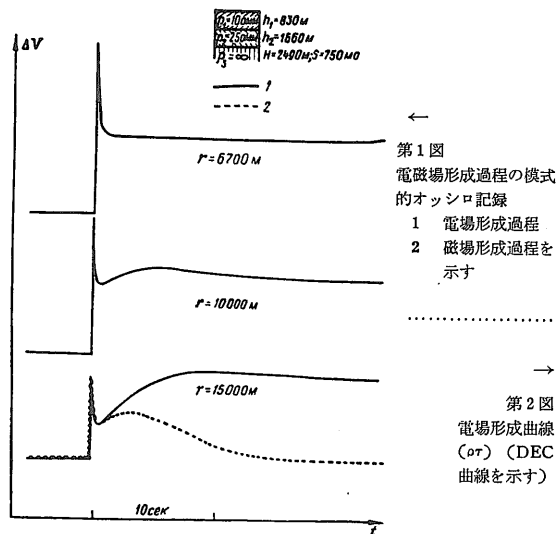
(I) (II) [地質ニュースNo.106およびNo. 108]では地質調査所で使用している深部構造探査用電気探査装置ならびに探査法について紹介を行なった。前回説明した双極子法の技術的發展は最近全く別な構造探査法の原動力となり新たな方法が生まれつつある。それは電磁場形成法であり周波数探査法である。一方以前から開発されている探査技術として地電流法があるがこの方法が新しい装いをしてマグネット・テルリック法 Magneto-telluric method として登場した。前二者がいずれも双極子型電流源による人工的変動電磁場の観測に基づく方法であるのに対して後の二者は天然の変動電磁場の観測による点に差異があるが理論的観点からすればかなりの共通点がありともに交流比抵抗法の一つであるといえよう。

發展の経緯からみて前者がソ連でもっぱら研究されていることは容易に想像し得るところであろう。一方後者はフランスが発祥の地であるがマグネット・テルリック法の実用化はソ連の方が進んでいる。これらの方法のうち地電流法以外はわが国ではあまり知られていない。とくに前の2者は昨年秋来所したソ連の電気探査技術者アレクセーエフ(Алексеев)氏等によって初めて紹介されたもので筆者もまだじゅうぶん検討を加えていないのだが手元の論文や彼の口述等を参考にしながらその概要を説明する。

A) 電磁場形成法

既述のように直流法では実際には長周期の矩形波状電流を大地に送っている。この周期は表皮効果に由来する過渡現象の継続時間に比してじゅうぶん大きく選ばねばならない。給電々流波形が鋭敏な立ち上がりを示す矩形波状をなしていても電流源から遠く離れた点で観測される電位差波形は形がくずれ一定電位差(直流電位差)を得るまでに若干時間を要する。このような過渡現象継続時間(電磁場形成過程継続時間と呼ばれる)は電極配置の型式 電流源からの距離 大地内インダクタンスの分布に関係して変化する。数kmの探査深度の場合電流源から遠く離れた点では数10秒に達することもあるという。ではこのような現象を探査にどのように利用しようとするのかを説明しよう。電流回路を閉じた直後電磁場はまず大地表面付近にひろがりつづいて次第に深部におよぼうとする。時間の経過とともに電磁場は次第に変動しなくなり最後には直流電磁場のみ残って電磁場形成過程は終了する。すなわち過程の初期には浅所構造のみが関係し時間の推移とともに深部電気的特性の影響が現われてくる。したがって電磁場形成法では探査深度を規定するものは時間であるといえよう。

この方法には電場の変動を観測する方法と磁場の変動を観測する方法とがある。前者すなわち電場形成法では電流双極子から探査深度の4~6倍離れたと



ころに観測点を設け 直流法の場合とほぼ同様の操作で 過渡電圧をオシログラフに入れ たとえば 第1図のようなオシロ記録(ただし この場合は理論計算によって作られた模式的記録である) を得る. 過渡電圧記録が電氣的構造によって各種の形をとることはいうまでもない. 過渡電圧 $\Delta V(t)$ をよみとった後 $\rho_r = K \cdot \Delta V(t)/I$ なる式を用いて見掛比抵抗 ρ_r を算出する. I は直流電流の大きさ K は双極子型配置の配置係数であって配置や電流双極子からの距離 r が一定であれば一定となる. ρ_r 値と経過時間との関係は両対数方眼紙に図示される. その場合 横軸として t の代わりに $\sqrt{2\pi t}$ が採用されている. 絶縁性基盤の存在しているときには r を無限に大きくしたとき ρ_r 曲線の右枝は急な勾配で上昇する. 第2図に ρ_r 曲線の例を示す. 実際の観測では 形成過程の初期は測定されないが 後期に対応する ρ_r 曲線を専用の図彙を用いて解析し 探査構造断面の電氣的パラメータを決定して これから基盤深度を求めることができる. こうして 地下の比抵抗資料を得ることが可能であるのみならず 基盤の起伏に関する情報を得るのに役立つ. しかし 電場形成法よりいくつかの利点をもつ磁場形成法の方が 次第に利用されつつある.

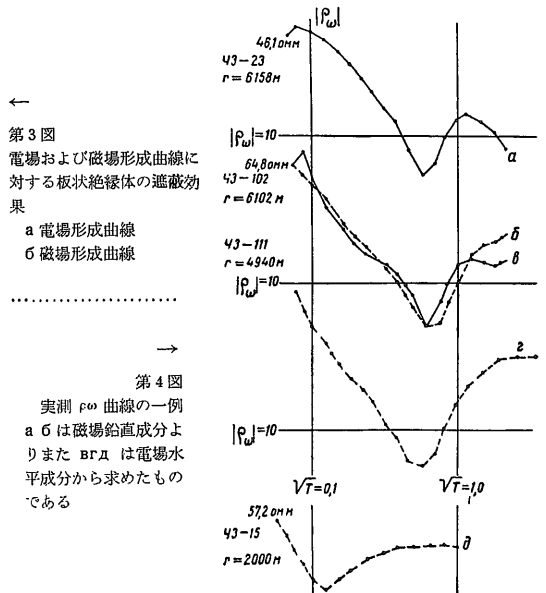
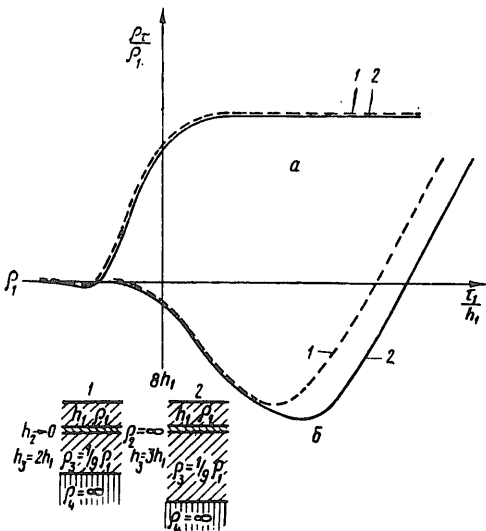
基盤の上方に板状絶縁体が存在しているとき 直流法では この絶縁体の下部の導電層の特性を知ることができない. それは直流電場がこの遮蔽された層内にはおよばないからである. 電場形成法でもこの欠陥を取り除くには至らない. ところが磁場形成法はこのような遮蔽物の存在は妨げにならず 欲する基盤深度の決定が可能となる. 時間と共に変動する電流を 大地に流したとき生ずる変動磁場は 絶縁体下部の層内にも侵入

してゆき 電磁誘導によって この磁場による誘導電流が発生する. この電流の周囲にできた二次的磁場は ふたたび絶縁体をこえて地上に達する. そこで変動磁場の測定を行なうことによって 被遮蔽層の特性を知ることが可能となる. 磁場形成法では 電流波形は前の場合と同様であるが観測部に磁場観測用ループを正方形に張り このループからとり出される電圧 $\Delta V(t)$ (磁場の鉛直成分 B_z に比例する) を増幅して オシログラフによって記録する. 前と同様 ρ_r を算出して ρ_r 曲線を作成する. この場合の K 値は前と異なり ρ 曲線も若干異なってくる. 第1図に磁場形成過程のオシロ記録の一例を模式的に示す. また 第3図には板状絶縁体の存在が ρ_r 曲線にどのように影響をおよぼすかを一例として示した. 電場形成過程曲線では 被遮蔽物の特徴が現われていないが 磁場形成過程曲線では 明りような凹部となって現われている.

ループの有効面積を大きくし また正方形各辺の長さを短くするために 多心ケーブル(地震探査用)が使用されている. 電磁場形成法の実施面における長所は 基盤深度決定のために ただ一つの観測点があればよいことである. 直流法による DS 探査曲線を得るため 電流双極子からの距離 r に応じ いくつかの観測点を設けねばならないのと比較すれば 大きな利点といえよう.

B) 周波数探査法

電磁場形成法では 時間領域において変動電磁場の観測を行なうのであるが 周波数探査法では 周波数領域において行なう点の他本質的な差異はない. 前の場合には 完全な垂直探査曲線が得られないけれども この



第3図 電場および磁場形成曲線に対する板状絶縁体の遮蔽効果

a 電場形成曲線
b 磁場形成曲線

第4図 実測 ρ_w 曲線の一例
a b は磁場鉛直成分よりまた ρ_w は電場水平成分から求めたものである

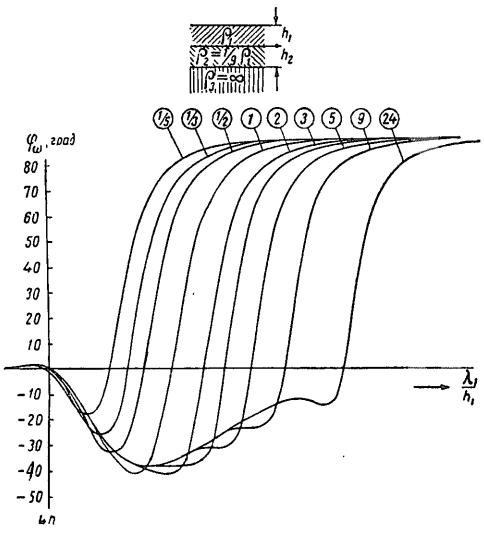
方法によれば 振幅および位相に着目した完全な垂直探査曲線が2つ得られる。電流双極子を通して 大地内に 0.05sec から 250sec までのパルス幅をもつ矩形波状電流が送られる。一方観測部では 入力振動電圧の第一高周波の振幅を弁別測定し 同時に位相差をも決定することができる。前者から交流見掛比抵抗 $\rho\omega$ を $\rho\omega = K \cdot \Delta V(\omega) \bar{I}$ を使って算出し これと周期との関係を $\rho\omega - \sqrt{T}$ 曲線として図示する。 $\Delta V(\omega)$ は測定電圧の振幅、 \bar{I} は電流である。また同時に位相曲線も作成される。第4図に実際に得られた垂直探査曲線 ($\rho\omega$ 曲線) の一例を示す。この方法で測定されるのは前と同様 電場の水平成分または磁場の鉛直成分である。同図にはその両方の場合が示されている。第5図には参考までに3層構造の位相曲線 ($\Phi\omega - \sqrt{T}$ 曲線) の一例を示す。この曲線は $r \rightarrow \infty$ としたとき得られるもので r が有限であれば曲線の右方が幾分異なってくる。ソ連でも周波数探査法は まだ試験段階にあるとのことだが 遠からず電磁場形成法にとってかわると思われる。

C) 地 電 流 法

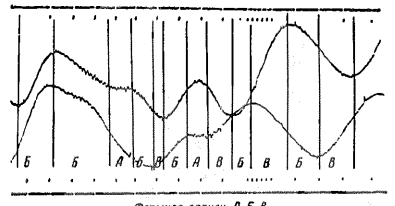
前の2つの方法は いずれも大電流を大地に流してやらねばならない。そのことは単に電流源を必要とするというばかりでなく そのための各種の技術的難点を伴うことは容易に想像されるところである。この方法では天然の変動電流場を利用しようとするもので 精度の点では直流法に比べて劣り 得られる構造断面に関する知識の面でもおくれをとるとはいえ 経費や機動性の点を考慮すれば 概査法としてすぐれた特色をもっているといえる。地電流の存在は古くから知られており これを探査法に利用したのは フランスの Schlumberger である。わが国でも 最近ぼつぼつ研

究されつつあるが フランスではかなり前から油田探査などに使われており またソ連でも多くの地電流観測班がある。高比抵抗基盤が浅ければ地電流の電流密度を増し したがって電場の強さは大きくなり 深ければ逆になる。このように 背斜構造などの存在が地電流の分布に影響を与えるので 逆に地電流場の観測から基盤の形状を推定しようとするわけである。

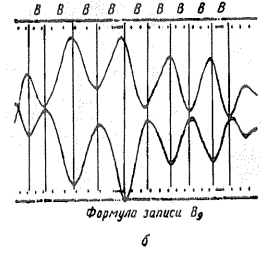
探査の実施に当たって 地上の2点に観測点を設け (1つは基準点で 他の1つは移動点である) それぞれの地点において 互に直交した2本の約 500m の測定線を設置し 非分極性電極からとり出された電位差を オシログラフで記録する。その際 常に2点で同時観測を行なわなければならない。地電流場は たえず変動しており 広い周波数スペクトルを有しているが 探査法として重要なのは 振動周期が 10sec から 100sec までのものである。変動電位差をとり出して読みとり これらから地電流のベクトル図を作成する。水平方向に一様な媒質であれば 地電流場の方向 大いさとも至るところで一定するが 一様でないときには変化し したがって 電位差ベクトルの方向 大いさ共まちまちである。移動点のデータと基準点のデータとの比較から楕円を作成し これから平均強度を求め いくつかの移動点におけるデータを使って平均強度分布図を作る。この分布図は基盤の起伏を反映する。地電流法だけで基盤の絶対深度を求めることはできないが 条件さえよければ大規模な隆起構造のみならず 深度の10~15%程度の振幅をもつ起伏をも検出することが可能であるという。地電流記録の一例を第6図に示す。第7図は観測線の関係図である。第8図に地電流観測装置 CTT-59 の全景を示す。



第5図
位相曲線図葉
(3層構造)



第6図
地電流記録の1例



Формула записи Bδ

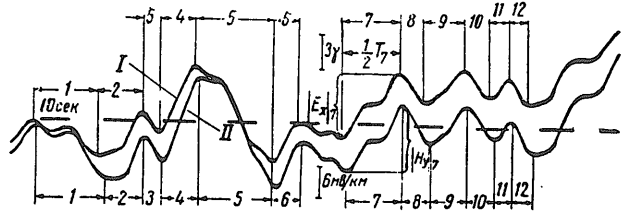
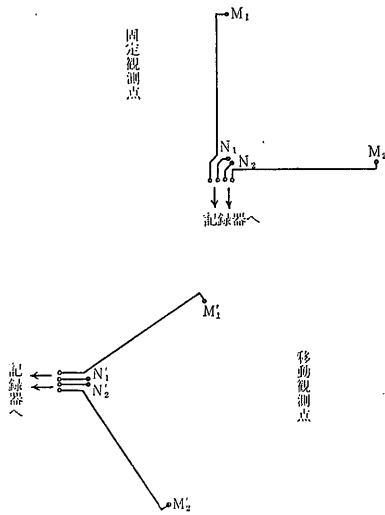
D) マグネット・テルリック法 (MT 法)

フランスの Cagniard は 大地内の変動電場ならびに磁場を同時記録することにより 構造探査が行なわれることを理論的に説明した。MT 法では 地電流場の水平成分と これに直交する地磁場の水平成分を記録し その中から 同時記録された変分 ΔE と ΔH との比を求める。ただしこの場合も 地電流法の場合と同様平均値が使われる。絶縁性基盤の場合 $\Delta H/\Delta E$ の分布図が基盤の起伏を反映することは 前の場合と同様である。これが MT 法による水平探査法である。また 1 地点における垂直探査曲線を得ることもできる。それには $\Delta E/\Delta H$ と 周期 T とから見掛比抵抗 ρ_r を求め $\rho_r - \sqrt{T}$ 曲線として図示すればよい。

MT 法では磁場と電場とに關して それぞれ 2 成分の観測を同時に行なわなければならない。そのためには

特殊な磁力計が 2 台必要となる。しかし 地電流法のように離れた 2 地点 (時には数 10km 離れることもあるという)での同時観測は不必要となるので 無線による連絡その他のわずらわしさから解放され 探査装置が一式で間に合うため 経費もそれだけかからないといえる。第 9 図に MT 法の記録例 (各 1 成分のみ) を示す。また第 10 図に 2 層垂直探査理論曲線を示す。

これまで説明してきたように深部構造をしらべる電気探査技術がいろいろ登場してくるに及んで 電気探査法の適用分野が一段と広がるのが予想される。石油 ガス田探査のみならず 地質学や地球物理学上の諸問題に対しても 大きな貢献をなすことができるであろう。なお 電気探査法には その他たくさんの方法が考案され 使用されている。他の物理探査法に比べて著しく多様性に富むという特徴を生かして 研究しようとしている問題の性質に応じて 最も好ましいと思われる探査法を選定すべきであろう。(筆者は物理探査部)



第 7 図
地電流観測の電極配置例

第 9 図
地電流場と地磁場の同時記録例

第 8 図
CTT-59 型電気探査装置

第 10 図
 ρ_r 理論曲線 (2 層構造)

