

# 深部構造をしらべる電気探査技術 (2)

小野 吉彦

前回は 比抵抗法による深部探査の一般的説明に続いて 深部探査用測定装置の紹介をした。今回は主として測定方式を紹介する。本題の説明に入る前に予備的記述を行なっておく。戦後 国内における電気探査技術は低廉 簡便というキャッチフレーズの下に著しい普及を遂げた。しかしながら電気探査法はしよせん浅部の探査法に過ぎないとする固定観念は いつの間にか物探関係者の頭の中に植えつけられてしまって 電気探査技術者の努力は直接探査に役立たせることに注がれ その結果 研究面にも幾多のみるべき発展はあったが 普及するほど質は改善されなかった。結局は研究面と実践面との不調和が電気探査界に経験主義をもたらすところとなった。これが戦後約10年間の特色であった。

安直な使用は間もなく壁にぶつかり 悪評はあちこちでできた。ちょうどそのころからヨーロッパの事情が次第に明るみに出てきた。すでに フランス ソ連等の諸国では電気探査技術の積極的開発により 石油 ガス 地下水方面に手をのびして顕著な成功を収めていた。もはや単に深部探査であるにとどまらず 探査規模の大きさは広域調査というにふさわしく 電気探査法による構造探査法としての性格が強く出されていた。

われわれが深部探査の研究に着手したのは 戦後の普及期が終わって反動期に入ったころのことである。当面している電気探査技術の障害を克服するには 深部探査の研究をするのが近道で この研究を進めてゆくことによって 別な新しい探査技術が生まれてくる可能性もあるし また 浅部探査法をより高い次元から観察することもできる。直接的には探鉱法という枠からの開放によって 広く地質学・地球物理学の問題にも貢献し得ると考えたからである。さて 比抵抗法の理論的基礎は人工的直流電界の観測にあるが探査技術という観点からみれば2大潮流があった。すなわち Wenner 法で代表されるアメリカ学派と Schlumberger 法のフランス学派である。両者に差を生じたのは探査深度に対する態度にあった。前者が電気探査法を浅所に限定したのに 後者は深所に着目した アメリカの影響を大きく受けていたわが国では あまり Schlumberger 法を評価していなかった。表皮効果による電流透入の問題を考慮に入れば 深部の問題を扱う限り直流の使用が

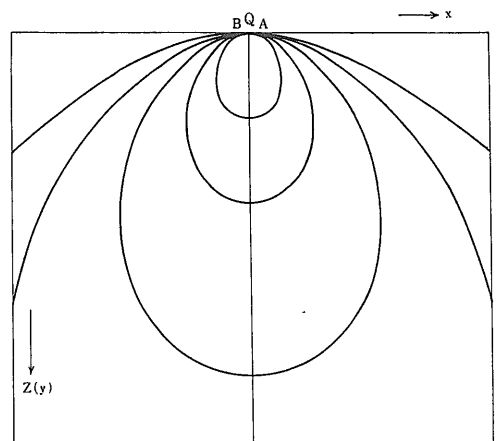
前提となる。それに伴って構造・測定・作業条件に応じた探査装置 電界観測方式が要求される。解釈法も浅所探査の場合よりきびしい態度が要求された。

Schlumberger 派に影響されたソ連ではこの方法を出発点としてより深部の探査法を完成した。これが双極子法である。この方法が日の目を見るまでには長年月を要している。その発芽は20年以上前にさかのぼる。大戦による研究の中断後 1950年には理論的基礎がほぼ固まるまでに成長し 翌年には前回紹介された 3PC2 3-53 型の前身である 3PC23 型探査装置が試作されるに至って開花し 技術的諸問題の検討を経て数年前までには Schlumberger 法に代わる 1000m 以深の深部探査法の一翼をになうことになって結実した。

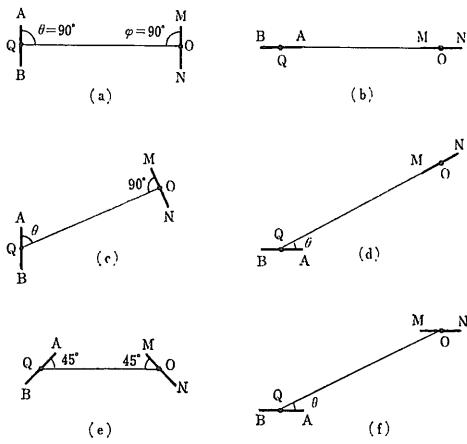
双極子法の完成によって Schlumberger 法の存在意義は失われたわけではなく 双極子法による垂直探査に補助的に使用されているのみならず 1000m以浅の探査には積極的に使用をされている。もちろん 双極子法に関する文献的知識と探査装置の輸入だけで事足りりとするわけにはいかない。地域・構造的諸条件によっていろいろの制約を受けるので 今後 わが国における適用条件の検討と 制限の克服とが われわれのさしずめの課題である。

## ii) 双極子法

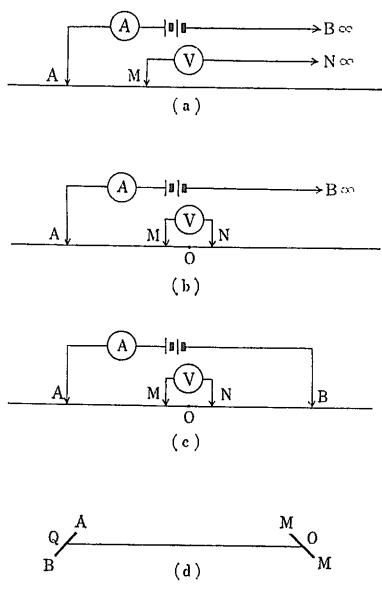
では 双極子法とはどんな探査法なのか。せんじつめれば比抵抗法の一つに過ぎないのであるが 地上の双極子とみなされる1対の電流源から大地に直流電流を流



第1図 双極子による流線の模様



第2図 双極子型配置のいろいろ  
 a) 相向型(DES)      b) 同軸型(DOS)  
 c) 方位型(DAS)      d) 放射型(DRS)  
 e) 垂直型(DParS)    f) 平行型(DParS)



第3図 電極配置のいろいろ  
 a) AM配置 (2極法)  
 b) AMN配置 (3極法)  
 c) 対称型AMN B配置 (Schlumberger法)  
 d) 双極子型配置 (双極子法)

して生じた人工電界の観測データにもとづいて 地下構造を調べようとするので この名がある。双極子による流線の模様を第1図に示す。

電界の観測といってもつまりは2点間の電位降下の測定に帰するので 各1対の電流電極と電位電極とが必要になり これらの電極の配置の型式がいろいろ案出されている。これらの配置を第2図に示す。其中最も重要なものは相向型および同軸型配置である。双極子型配置では探査深度を規定するのは電流源Q(実際にはABの中点)と観測点O(MNの中点)との距離QOであると考えられている。概念的にはどんな電極配置を用いようとも 電極系を広げてゆけば 探査深度は増大する。

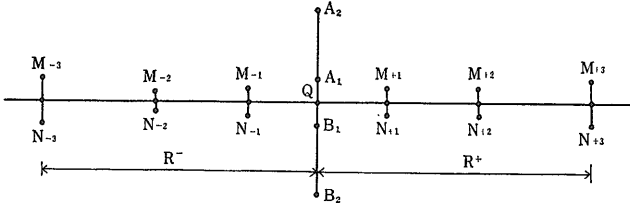
このように電極系を広げて それに対する電界の観測から比抵抗の垂直的分布を求めようとする方法を 垂直探査法と呼んでいるが 双極子法の場合を他の方法と比較してみよう。たとえば2極法ではAM 3極法ではAO Schlumberger法では $AO=AB/2$ の大きさを変えることによって垂直探査曲線が完成される(第3図参照)。

等間隔4極法である Wenner法では AM MN NBがいずれも等しく これをaと称してaの変化に対する見掛け比抵抗値を算出しているがaはAOに比例するので AOを代わりに使ってもさしつかえない。Oを観測点と称しているのは MNの長さを電極系の次元に比べて小さくすることにより電位勾配を測定すればO点における電位勾配にほとんど等しくなるからである。上の観察からいずれの場合でも電流源から観測点までの距離が探査深度を規定するといえれば一般性をもつことになる。双極子法の場合は ABは理論的には無限小であるので Q点を電流源と考えることができる。したがってQO(Rで表す)が探査深度と関係あると考える

のは容易であろう。そこで 双極子法では $R=QO$ と見掛け比抵抗との関係を示したいいわゆるDS曲線(dipole-sounding Curveの略)を作成する。これは Wenner法の $\rho$ -a曲線 Schlumberger法のVES曲線に相当する。

筆者が双極子法を説明して多くの人々から最もよく質問されたのは 電流電極の近接のためその周辺にのみ電流が集中して 遠方にはあまり流れないから はたして深部探査に役立つであろうかという点であった。いかにも電流源から離れた点の電流密度はきわめて小さくなるので それだけ大電流を流して電流密度を低減させないよう努めなければならないし 高感度の観測器も必要となる。そこで たとえば絶縁性基盤がある場合について考察してみよう。基盤のない均質媒質におけるより表面近くに流線が集まろうとし この傾向は電流源から離れるにつれて著しくなる。そのため曲線上に下部の影響が次第に現われるようになる。結局 電流密度の絶対値が大きければ観測は容易になるが 電極配置の優劣はむしろ探査曲線上における下層の影響の識別しやすさという点にあると解釈されるので 次に双極子型配置が深部の情報を得るのにどんな利点があるかを説明する。

理論的には水平層状構造に対するDS曲線は相向型配置または方位型配置の場合 Schlumberger法のVES曲線と全く重なる。ただし横軸として双極子法ではQOをSchlumberger法では $\frac{1}{2}AB$ をとる。このことはSchlumberger電極系の全長ABの半分の長さで探査曲線が完成することを意味する。電極系の規模が小さ



第4図 相向型配置の両側展開図

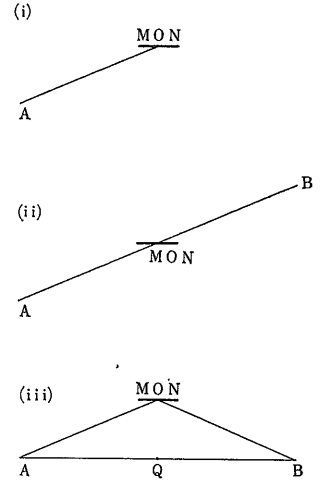
くすむことにより深部の情報に対して雑音的性格をなす水平方向の不均質の影響を受ける機会を少なくするので わが国のような狭隘な平野部における探査の難点は幾分でも克服されることになる。

双極子型配置の第2の特徴は中間層の検出能にある。中間層の検出能が高ければ 真比抵抗決定精度が高くなり 基盤深度決定誤差を小さくする。 同軸型配置による DS 曲線は これまで発表されたとの配置より検出能が高い。 この場合の曲線 (DOS 曲線第6図) は VES 曲線や DES または DAS 曲線とは異なる形状を示す。 放射型配置の DRS 曲線は DOS 曲線と一致する。 DOS 曲線では DES 曲線より R を大きくとらないと下層の影響は現われてこないで 陸上では DES 曲線が標準となり 中間層比抵抗のデータが欲しいとき補助的に用いられる。 第3の特色は 基盤の傾斜に関する情報が得られる点である。 電流双極子の両側に観測点を展開する両側展開 (第4図) によって得られる2つの DS 曲線は傾斜層の場合 OQ の増大と共に互いに開いてくる。 これらのデータから傾斜方向と角度が推定される。 第7図に両側展開によって得られた DS 曲線を示す。

双極子型配置の第4の特徴は 直線状展開に固執する必要がないことである。 不均質物の影響をのがれたいとき観測点を原位置からずらして 相向型の代わりに方位型を 同軸型の代わりに 放射型配置を使うことができる。 こうして不均質ノイズによって生じた DS 曲線の乱れを吟味することも可能である。 この特徴は 地形・地物の障害物を避けたり また 迂曲した道路を使って観測車が移動したりする場合に有利となる。

では 実際の配置の説明に入ろう。

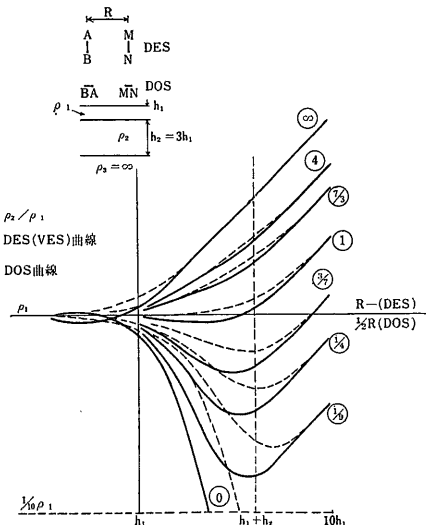
Schlumberger 法の場合の MN と同様 双極子法の場合でも AB や MN は有限の長さとなるが 理論的基礎をゆがめずにその長さに任意性をもたせることにより測定条件・構造条件・作業条件に適合させ得る。 AB や MN が小さいことは 電極付近の不均質の影響が大きく DS 曲線にきいてくるために S-N 比という観点では望



第5図 →

- 水平層状構造に関して同様な配置
- i) 変形 AMN 配置
- ii) 変形 AMNB 配置
- iii) 双極子相向型配置 (拡張型)

ましいとはいえない。しかし AB や MN が小さいといっても QO と比較しての話であって 絶対的に小さいわけではない。 A, B の固定により電流電極付近の不均質のきき方は比較的一定であるが M, N 側のきき方は場所によって異なる。 不均質ノイズの大きさが MN の長さに比べてじゅうぶん小さいときはきき方は小さい。 ほぼ同程度以上になるときに問題になる。 Schlumberger 法の場合 A B が大きいからといっても なおこれに匹敵する規模の異常は探査曲線に影響するはずで そのため時として電流電極の近傍の大きな不均質の効果を深部の情報と誤認することもある。 それでも経験によれば Wenner 法より Schlumberger 法の場合の方が不均質効果を検出しやすい。 双極子法では 測定値に不信の念が起れば MN の長さを変えて再測定することにより容易に吟味を行なうことができる。 明らかな不均質



第6図 理論曲線の1例

第1表 実用配置の許容範囲

種類	電流・電位電極間隔の許容範囲	$\theta$	$\phi$
相向型	$\overline{AB}/2RQ \leq 0.5$ $\overline{MN}/2RQ \leq 0.1$	90°	90°
同軸型	" $\leq 0.1$ "	0°	0°
方位型	" $\leq 0.3$ "	70°~90°	90°
放射型	" $\leq 0.1$ "	0°~30°	0°
垂直型	" $\leq 0.1$ "	45°	45°
平行型	" $\leq 0.1$ "	0°~10° 又は80°~90°	0°~10° 又は80°~90°

は前に述べた非直線展開によって避けた方が賢明である。

実用配置においては理論的計算との比較から AB, MNの大きさ 展開の角度  $\theta, \phi$  に許容範囲が設けられている (第1表)。DES で  $AB/2R$  の制限がゆるいのは第5図からわかるように水平層の場合 i) ii) iii) で同等であるので DES を Schlumberger の拡張とみることができるからである。そこで DES 曲線の横軸には R でなく  $AO=\bar{R}$  を用いている (第7.8図)。

垂直型配置はとくに傾斜層の問題に対して有効であるといわれているが まだあまり研究は進められていない。

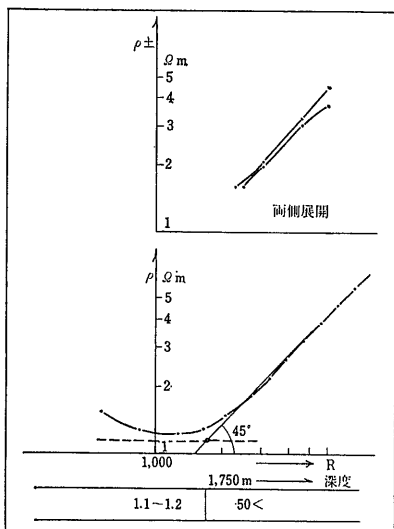
DOS は海上・湖上での標準探査法になっているが この場合 むしろ MN が固定され A B が移動する方式が採用されている。陸上の場合には DES が主として使われ 両側展開によって得られる2曲線を平均した曲線を VES 曲線に接続して 普通の VES 曲線と同様な方法で解釈している (第7.8図)。

測定上の問題については 前回の紹介に含まれているので簡単に特徴を述べると 給電線が長大になるという深部探査上の最大の難点が 克服されたことが第一にあげられる。50A という大電流を流すには回路抵抗を  $10\Omega$  以下におさねばならないが 接地条件を最適にす

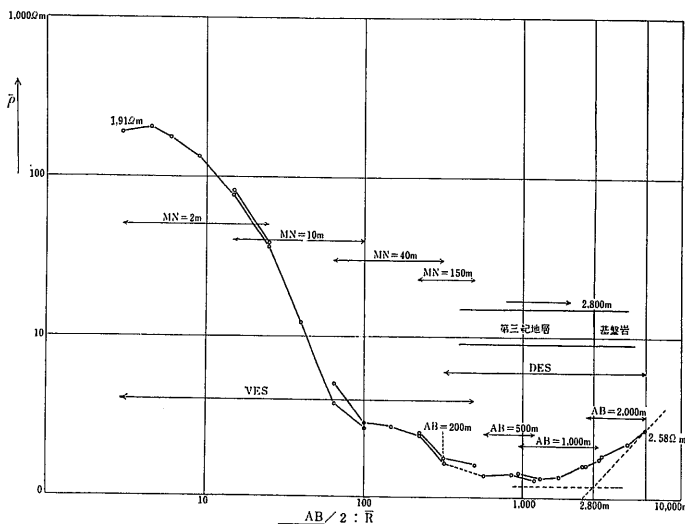
るにはその都度移動するのでは実際上どうしようもない。それに加えるに電線の抵抗も無視できなくなり 探査深度を大きくするため電極系を広げても かえって電流が流れなくなる事態も起こり得る。双極子法の場合にはこのようなジレンマにおち入ることはない。しかし流電電線として導体抵抗として  $2\sim 3\Omega/\text{km}$  以下のものを用いる必要がある。接地抵抗を下げるには普通1電極当たり数10本から100本以上の鉄棒が用いられている (電極の大地との接触部分の面積を大きくしなければならない)。

電位差の測定で最も難物は表皮効果による過渡現象効果と変動の大きな迷走電流とである。Schlumberger 法等のような電位用電線と流電電線とが接近することがないので 漏洩・誘導障害その他による干渉がない点にはるかに有利であるが 迷走電流の影響からのがれるのはむずかしい。ことに電車電流の影響は大きいのでこの点使用に制限が生ずる。また電流の切り換えによって生ずる過渡現象の継続時間は 電極配置・電流源と観測点間の距離・比抵抗分布とに関係する。継続時間は双極子型配置の方が Schlumberger 法の場合より小さいが 導電性媒質においては 距離が長くなったときかなり長くなり 時には20secをこすこともあるという。また測定電位差を大きくするため電位差を大きくしても地電流ノイズもこれに比例して大きくなるので 必ずしも記録の精度がよくなるとは限らない。

上記に述べたことから容易に推測されるように 双極子法は 従来の電気探査法と比較すれば 万事大がかりとなる。それでも地震探査法に比べると経費が少なくてすみ 機動性に富んでいるので 概査として使用するのが最も有効であろう。最後に実例として 千葉県東海岸沿いの実験で得られた曲線とそれの解析によって得られた柱状図を示す (第7.8図) (筆者は物理探査部)



第7図 両側展開によるDES曲線とその平均曲線



第8図 実測 VES および DES 曲線