

(株) 日本開発コンサルタント 正会員 藤原忠一

1. 緒言

最近、地盤調査に物理検層が広く使用されるようになってきた。これはあくまで設計・施工に必要な各種条件を求めるために行なうもので、工学的判断の材料を得るためである。

物理検層にはいろいろの方法があるが、それぞれの目的に応じ使用されている。筆者は、そのなかで最も基本的な「電気検層」について、基礎的研究を行なったので、ここにその一部を報告する。

2. 電気検層概要

電気検層は古くより油田の探鉱開発に利用され、土木地質学に応用されるようになったのは近年のことで、原理的には地表の比抵抗・自然電位探査と全く同じであり、測定器の機能も基本的には全く同じである。しかし、石油鉱業の要請によってかなり進歩しており、関係者間においても、これに準じて開発研究されているが、その歴史的経過からして理論的・技術的にもまだ確立しないといっても過言でないと思う。

(1) 原理・方法

一定間隔に配置した電極をボーリング孔内に降下して孔壁周辺の地層の比抵抗(R)と自然電位($S \cdot P$)を測定する。

第1図はノルマル(2極法)と呼ばれる方法で、 AB 間に電流を流し、 MN 間に生ずる電位、すなわち地層の比抵抗(R)を測定する。

したがって、地層の比抵抗(R)は次式で表わされる。

$$R = K \frac{V}{I}$$

R : 地層の比抵抗

V : 測定電位

K : 電極定数 ($K = 4\pi AM$)

一般に薄い地層の検出に適したショートノルマルと孔内水の影響を受け難いロングノルマルの両方を組み合わせた孔内電極を使用し、2本以上の比抵抗曲線と自然電位曲線を記録する。

(地層の比抵抗は、岩質と岩石の内部に含まれる液体の比抵抗に左右され、堆積岩の場合には、岩質と層序の判別は明瞭で、地層対比等に使用されている。)

(2) 解釈の条件

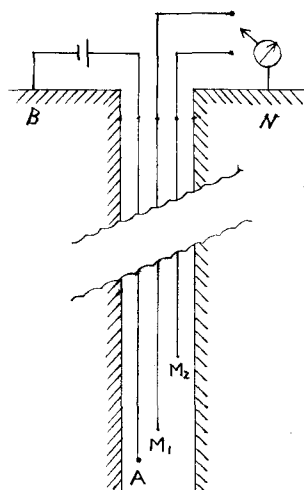
電気検層における比抵抗は、電気的に一様な媒体の場合であって、実際のボーリングではこのように単純な状態ではない。この場合は次の条件がある。

(A) 泥水の電気的特性は全く一様であって、完全に円柱状をなしている。

(B) 泥水が浸入している範囲も泥水柱と円柱状(同軸)をなし、電気的特性は一様である。

(C) 泥水浸入部のほかも電気的特性が一様であって、この部分は真の比抵抗を示す。

(D) 電極は真正電源と考えボーリング孔中の中心に位置しているものとする。



第1図 原理

3. 基礎的問題

前述の条件から、電気検層曲線解析の要素として、泥水の比抵抗 (R_m)、孔径 (d)、電極間隔 (AM)、層厚 (e) があげられる。

(1) 掘る泥水の比抵抗 (R_m)

これについては、Patonode や筆者の研究があり、特に浸透層との関係で、泥水の比抵抗 (R_m) とろ過水の比抵抗 (R_{mf}) の関係については、統計的には、

$$R_{mf} \cong 0.85 R_m$$

と発表している。ところが孔内状況は単純でない場合は沢田隆門によって泥水比抵抗の孔内連続測定が発表されている。

また、最近石油鉱業でもいろいろ発表されているが、地盤調査には問題がある。(泥水の性質が異なる)

これについての実験結果は次の通りである。

(A) 温度上昇による比抵抗の変化

一般に泥水の比抵抗 (R_m) は解析層の温度 ($T^{\circ}C$) あるいは、実測温度を使用している。すなわち、サンプルの比抵抗 (R_m) を測定して、これを図表によって比抵抗減退率を算出してサンプルの比抵抗を乗ずる。これには実験式もあるが、第3図は実験結果から算出した温度上昇と比抵抗減退率の関係を示すもので、各温度における泥水の比抵抗 (R_m) が温度上昇によって減ずる比率をあらわしている。したがって任意の一気の比抵抗が算出すれば所要温度の比抵抗が算出される。

また、泥水の比抵抗 (R_m) は

- (a) 比重との関係 増加で比抵抗上昇
- (b) 温度・粘性 上昇で比抵抗減少
- (c) 混入材料

(B) 泥水のろ過水の比抵抗 (R_{mf})

さきに述べたように、実験結果は

$$R_{mf} = 0.84 \sim 0.86 R_m \quad \text{但し、比重 } 1.05 \sim 1.34 \\ \text{温度 } 50^{\circ}C \sim 30^{\circ}C$$

の範囲に適用できる。

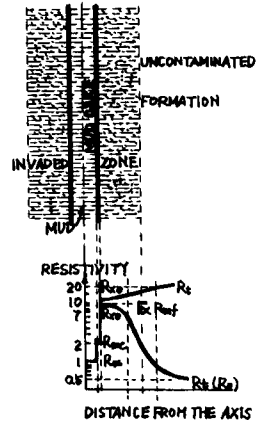
(C) ボーリング孔内の泥水比抵抗の連続測定

(A)(B) は孔内状況が順調な場合に適用できるが、異常現象があった場合は適用できない。そこで、泥水現象の孔内で、沢田、筆者の方法を実験したので第4図に示す。

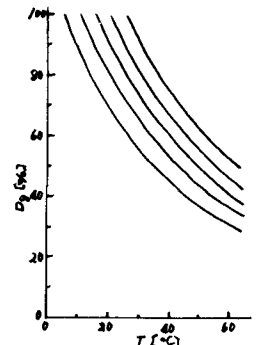
この結果、異常孔内では連続測定が必要であることが頷ける。(地盤調査にはこの現象は多い)

(2) 電極間隔と孔径の関係

現在使用されている電極間隔の殆んどは、石油鉱業で使用されているものが多い。



第2図 ボーリング周辺の地層の断面とその比抵抗分布



第3図

これは、孔径(d) 層厚(e)等の関係から決定されるが、地盤調査における電気検層の場合の孔径(通常 65mm)を考えた場合、現在使用されている電極間隔について検討する必要がある。

これについては、Martimの研究があるが、これにもとづいて検討すると解析との関係から電極間隔は、孔径が 65mm の場合は、 90mm , 180mm , 360mm が好ましいように思われる。

これについては、電極間隔(a)が孔径(d)よりも小さくなると見掛け比抵抗(R_a)は泥水の比抵抗(R_m)に大きく影響される。

すなわち、 a/d が $1/10$ 以下では R_m はほとんど一致、また $a > 20d$ かつ $e > a$ では R_a にはほぼ等しいことがわかる。

4. 地質的問題

地盤調査の場合、ボーリング技術者のさく井試料(スライム)等により地質判定を行なっているのが現状である。

電気検層も条件さえ満たしている場合はかなりの精度を有していることが明らかにされている。

したがってここでは、条件の差異による結果について検討する。

(1) 電気検層曲線の精度

ここにあげた2孔のボーリングはテストボーリングで、条件を満たしたなかで、さく井中のスライムによる判定と電気検層曲線の比較を試みたものである。

電気検層曲線を見ても明らかのように、両者の差異が明瞭にあらわれている。

すなわちNo.1ボーリング孔においては略一致しているが、No.2ボーリング孔についてはかなり差を生じている。

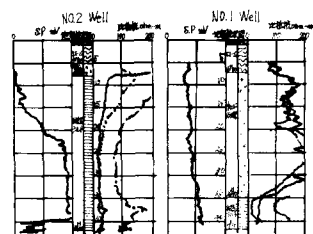
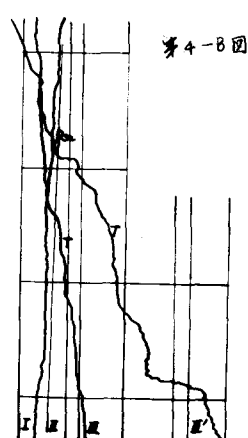
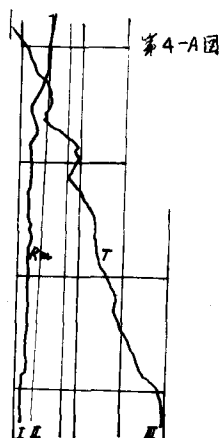
これは、スライムの判定は同じように観察されたと思うが電気検層では、物理的な差を明らかにしている。

(工事面では充分検討を要する)

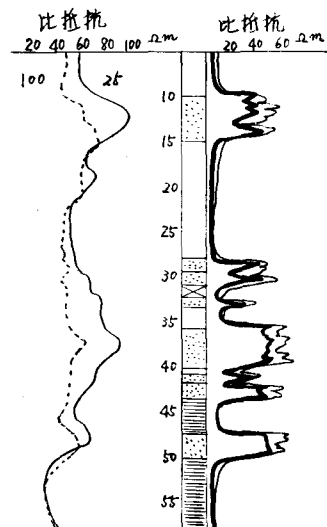
(2) 地盤の均一性と薄層の存在

電気検層では、電極間隔の問題で薄層の検知は困難であるがマイクロ検層では原理的に薄層の検知が可能である。特に地盤改良を行なう場合は、この検層を実施することによって工法の選定が決定できると思う。

ここにあげる例は、砂地盤ということで、念のためマイクロ検層を実施した結果下部に粘土層を



第4図



発見した例である。(ボーリングと併用)

(3.) 電極間隔と孔径の変化による地層の検出

最初にボーリングした時に $a=25\text{cm}$ で深度 $6\sim10.5\text{m}$ 間で検出された高比抵抗の振れは、振振後 16cm 及び 32cm では殆んど消失している。

この現象は振振によるものと判断される。

5. 定量解析への発展

電気検層も最終的には定量的な解析をしなければ目的は果たせない。基礎的な研究に入る前提として次の仮定をもとに進める。

一般に砂が乾燥している場合の比抵抗は

$$R_0 = \infty$$

砂が R_w なる水で飽和された場合

$$R_t = F \cdot R_w$$

F は地層比抵抗係数 (Formation resistivity factor) と称し、孔隙率 (Porosity) と関連性があり、近似的に次の関係が成り立つ。

$$F = \frac{1}{\phi^2}$$

以上の仮定のもとに研究を進めているので、次の機会に結果を発表したいと望んでいる。

