

報 文

550.837 (521.27)

成層構造の比抵抗探査について

—田無および多古における測定を中心として—

小野 吉彦* 室住 正義* 本間 一郎*

On the Application of Resistivity Method for Horizontally Stratified Layer Problems (Some Notes on Geo-electrical Measurements at Tanashi and Tako)

By

Yoshihiko Ono, Masayoshi Murozumi & Ichirō Homma

Abstract

To obtain the information of electrical records in the bore holes for more better interpretation of electrical data on the ground surface, resistivity measurements were carried out at Tanashi, Tokyō and Tako, Chiba prefecture.

In this report, the results of these observations are described.

The measurements at Tanashi consist of 13 electrical soundings (by Wenner method), 5 resistivity tests in the bore holes (by two electrode methods) and electrical trenchings for checking horizontal irregularity, and at Tako 4 electrical soundings and 3 resistivity loggings.

After comparing electrical sounding data with electrical logs, the next considerations are described.

- 1) Two-layer standard curve method might be used carefully in applying to three or multiple layer problems.
- 2) For subsoil structure of different successive layers, equivalence effect and pseudo-anisotropic effect should be taken into account.
- 3) The resolving power of sounding graph for deeper layer does not depend on its absolute depth but its relative depth (the ratio of its depth to its thickness), in addition to the distribution of resistivity in the subsoil. And then, for studying deeper intercalated layer by electrical sounding, more accurate results may be obtained, if electrical logs are used.

In conclusion, the electrical study of rock by the electrical logging or the laboratory test seems to be important in interpreting sounding data, together with the improvement of analysis method of sounding data.

要 旨

東大田無農場内および千葉県多古町附近において、資料収集の目的で、垂直探査ならびに孔内の比抵抗測定が実施された。これらの測定結果が理論模型曲線と併わせ

* 物理探査部

て比較され、次のような考察がなされる。垂直探査に際して

- (1) 2層の標準曲線を多層問題に適用しようとする場合の、等価層の取り扱いに吟味を要する。等価抵抗に関する考え方について、もつと考慮を払う余地がある。
- (2) 互層をなす構造は、しばしば等価の一層とみな

されるが、これは偽非等方性のためであつて、これによる効果を考慮して解釈すべきである。

(3) 探査対象地層の探知能は、地下比抵抗分布型のほかは、その絶対深度によらず、相対深度(層厚に対する深度の比)によつて決定されるので、相対深度(またはその逆数の相対厚度)によつて、探知の可能性が予測できる。

結論として、垂直探査の解釈には、電気検層の資料がきわめて有用であり、また、岩石の電気的性質についての系統的研究が重要であることが強調されている。

1. 緒言

成層状地質構造の地表探査に、比抵抗法がしばしば利用されているが、その測定曲線を解釈する際、他の方面の知識、例えば電気検層曲線、試錐柱状図の助けを借りることによつて、一層有効な結果が得られることはいうまでもない。この報告においては、このような測定曲線と電気検層との関連性についての測定例を中心として、垂直探査資料の解析ないし解釈のために払わねばならない若干の注意を述べてみようと思う。

垂直探査法の解析についての詳細な分析を試みようとするものではなく、実際に探査にたずさわっているものの立場から気がついた、若干の点が強調されているが、今後の調査に多少なりとも参考になれば幸である。

現場測定に際し、いろいろ便宜をいたゞいた小爆破研究グループ・東大田無農場、および多古町役場の方々に紙上を借りて感謝の意を表したい。

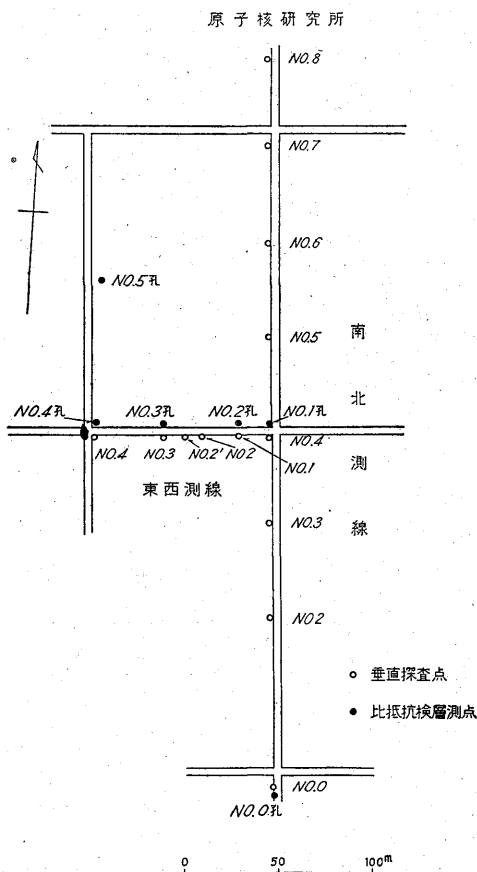
2. 田無における測定

昭和29年2月および同30年2月の2回、各数日にわたつて東大田無農場内で実施された比抵抗測定について述べよう。測定には筆者らのほか、金井光明・杉山光佑および畑瀬安彦が参加した。

最初、比抵抗検層と垂直探査との関連性についての資料を得るため、適当な間隔をおいて数本の比抵抗検層を行い、同時に地表探査を行つて、両者の曲線を比較する予定であつたが、都合により孔内測定を1本しか実施できなかったため、翌年ふたたび同地において測定を行つたものである。

測定配置については第1図に示してある。

孔内測定は地震探鉱用爆破孔を利用して行つたもので、いずれも浅く、深度等の点からいへば満足な資料とはいへない。孔は「H-No. 0」から「H-No. 5」までの6孔であり、そのうち、「No. 0」は29年に測定されたものである。



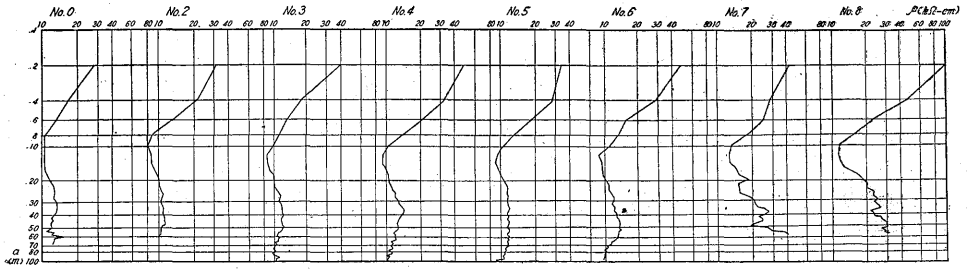
第1図 東大田無農場内測定配置図

地表探査の測点は、南北および東西両測線に配置された。南北測線は30年に用いたもので、南端を「NS-No. 0」としてこれから約50mおきに「NS-No. 8」まで「No. 1」を除いて8点の測点からなり、「NS-No. 0」と「H-No. 0」とは一致する。東西測線は「NS-No. 4」を「EW-No. 1」として西に延びており、5測点からなる。「EW-No. 1」と「EW-No. 4」との間隔は約100mあり、「No. 2」と「No. 3」との間に「No. 2'」を設けてある。「H-No. 1」から「H-No. 4」までの測点位置は、それぞれ「EW-No. 1, 2, 3 および 4」に相当する。「H-No. 5」は「H-No. 4」から約80m北方の地点にある。H, NS, および EW の記号は混乱を招く恐れがない限り省略する。

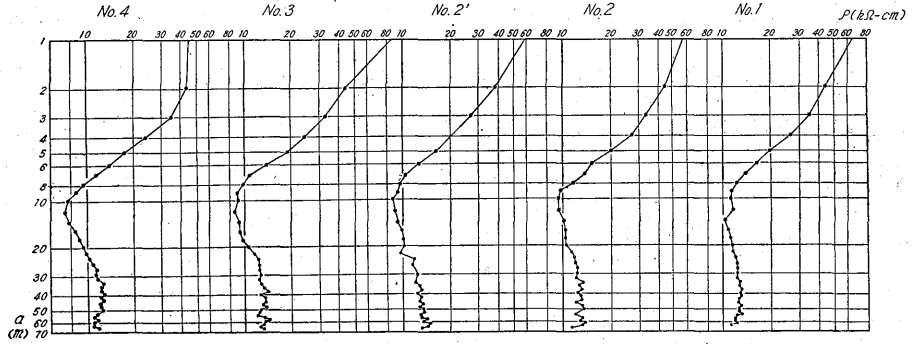
地表探査は Wenner 法により、孔内測定は2極法($a=0.5$ もしくは1m)で行つた。使用器械はいずれの場合も地調型電探器である。

ρ - a 曲線の特徴

地表測定結果は第2および第3図に ρ - a 曲線として図示した。各曲線とも比較的類似していて、 a の小さい部



第2図 東大田無農場内比抵抗曲線図 (南北線)



第3図 東大田無農場内比抵抗曲線図 (東西線)

分で数 $10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ の見掛比抵抗値を示し、 a の増大につれていずれも減少をみせ、 $a=10\text{m}$ 附近で極小値 ($10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$) を作っている。さらに a を増すと、大半の曲線は緩慢な上昇を示すが、 $15 \text{ k}\Omega\text{-cm}$ 以上にはならない。たゞ「No. 7 および No. 8」はもつと大きな見掛比抵抗値を示して、他と幾分異なっている。

さて、これら $\rho\text{-}a$ 曲線を通観して次のようなことが推測されるであろう。

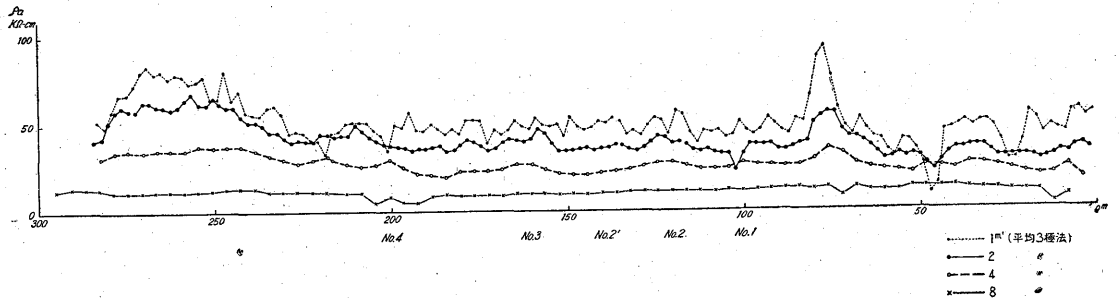
(1) この地域の地層の垂直的比抵抗分布は、高低高低の型をとる。この3番目の高比抵抗部の厚さは、深さに比較して充分大きくないか、あるいはその比抵抗値は第1層ほど大きなものではないであろう。

(2) 曲線の類似性からみて浅所は同様の地質状況であろう。(厳密に言えば必ずしもそうとばかりもいえないが一応の目安としてみた場合)。

しかし、細かく観察すると、僅か数10m程度を隔てるにすぎない測定曲線が、微細な点で異なっている。

測定曲線の鋸歯状変化は、主として測定精度によるもので、地表条件の影響も一部あると考えられる。「No. 7」および「No. 8」の大きなぎざぎざは比抵抗水平分布の不均一性によるものであろうと推測されるが、この附近で孔内測定もなされていないので、これ以上の考察はさしひかえる。

曲線の出はじめの部分は、表層の比抵抗分布の影響を



第4図 東大田無農場内比抵抗曲線図 (水平探索)

註) 2極法による測定を行い平均3極法により表現した。

最もよく受け易く、解析に不都合を与えたりする。特に表土が高比抵抗の場合、測定条件を悪くすることが多い。

そこで、念のため、地表条件をチェックする意味で水平探査を行った。

局部異常と水平探査について

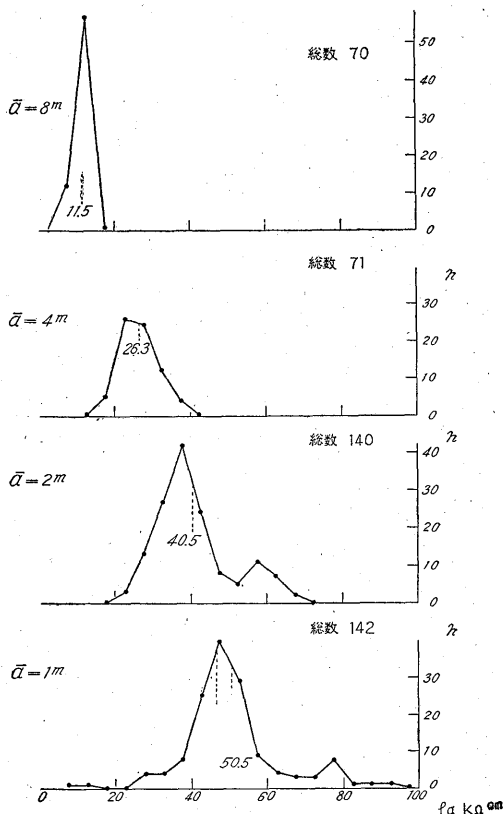
東西測線を利用して総延長300mの水平探査用測線を作った。測定は2極法によつて実施され、その結果は平均3極法(電極間隔, 1, 2, 4および8m)によつて表現されている(第4図)。

一般的にいうと $a=1m$ の場合が比抵抗値は最大で、以下順に小さくなっている。このことは垂直探査の結果と一致している。そして、各曲線とも大体平行しており、特に最も大きい電極間隔である8mの場合、ほとんど一定した値を有しているように思われる。しかし、細かく観察すると次の諸点がうかがわれる。

- (1) a の小さい場合、鋸歯状変化がはなはだしい。
- (2) (1) の変化を除いても一部に大きな起伏が残る。そして、この起伏は a の増大とともに漸次不明瞭となる。

(1) の変化は、主として a の測定誤差および電極埋没部の長さの効果によるものであろう。垂直探査でむしろ問題になるのは(2)の局部的比抵抗変化である。これが $\rho-a$ 曲線の特徴に影響を与え、場合によっては好ましくない障害ともなりうるからである。平均3極法を採用した一つの理由は、このような異常物を強調しようとしたことと、もしかなりの整層構造とみなしうるものであれば Wenner 法と全く同等に扱えるので比較に都合がよいことである。同じ a の最大比抵抗値と最小値の差は相当あるけれども、 $\rho-a$ 曲線の主徴を変えてしまうには至らないことからみて、この程度の不規則性は、実際にはほとんど問題にならないと思われるが、隣接測点の結果とうまく接続しないような場合とか、地質条件の悪いような場合には、例えば Wenner 法とともに Lee 法を用いて左右の対称性と誤差の検出に役立たせるのがよいと思う。現在の測定においては Lee 法を共用したが、Carpenter が Tri-Potential Method と称して、彼の試みを発表しているのも、基本的には同じ考えに基づいている¹⁾²⁾。

第4図に基づいて作られた見掛比抵抗値の頻度分布(第5図)によれば、前述の考察が一層明瞭となると思われる。 $a=1m$ の場合、山が2つみられるが、 $a=8m$ では1つになつている。小さい山が前に述べた異常起伏に相当する。見掛比抵抗値が1点に集中するのが最適であるけれども、集中性がない場合は垂直探査を行つても



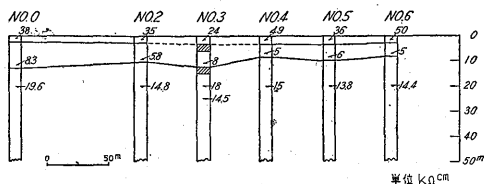
第5図 東大田無農農場内水平探査に表われた見掛比抵抗値の頻度分布

良い結果を期待することはできない。 a の大きい所で見掛比抵抗値が集中するのは、深部で真比抵抗値が一定してくる(水の飽和帯ではその上の酸化帯より内部の比抵抗の変動量が小さくなるであろう)ことによつても推測されるが、むしろ、一種の平滑化ないし平均化によると思われる。そして、この平滑化が大きな構造の探査に役立つといえよう。

$\rho-a$ 曲線の解析

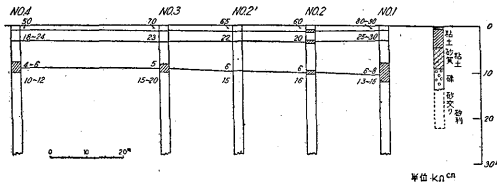
標準曲線法により全く機械的に解析を行つた結果を第6図と第7図に示す。解析結果の吟味は後述することにして、図について説明しよう。

南北測線については、3層の前提で解析を行つた。その



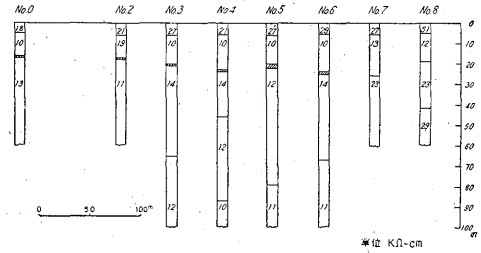
第6図 東大田無農農場垂直探査(南北線)解析による柱状図(標準曲線法による)

結果、表層として 30~50 kΩ-cm、中間層として 5~8 kΩ-cm、下部層として 10 数 kΩ-cm の比抵抗層がそれぞれ得られた。中間層は深さ 2~3 m に上面を有し、10m 前後に底面を有している。東西測線で 4 層が得られているのは、前の場合、3 層として重ね合わせを行うと表層部で若干うまくいかなかったのと、柱状図、孔内測定結果からみて 4 層とみなした方がよからうと考えて解析したもので、解析手続きからいえば、この程度の薄い層を何枚も作ることは本来は無理である。前者と後者とを比較すると、後の第一および第二層が前の表層に対応する。4 層とみなした場合、第二層は 20 kΩ-cm 前後の値を示している。実際の調査でも 3 層とみるか 4 層とみるか判断しにくい場合がある。このようなとき電気検層の資料があれば、この判定に有効であろう。図上斜線を施したのは両様に解析できたからで、局部的異常のためそんなことがよく起る。(実は局部的異常がなくても、比抵抗の有する等価性のしわざでも起ることがある。)



第 7 図 東大田無農場垂直探査 (東西線) 比抵抗柱状図

参考までに Moore の方法¹⁴⁾による経験法によつて解析した結果を第 8 図に示したが、この結果を地質的に結び

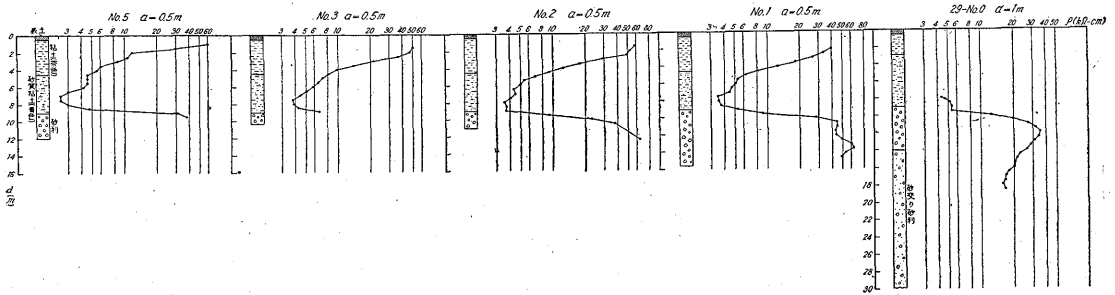


第 8 図 東大田無農場垂直探査 (南北線) 解析による比抵抗柱状図 (Moore の方法による)

孔内測定曲線を試錐柱状図と比較してみよう。最初の高比抵抗部は表土および茶色粘土に対応するが、次の低比抵抗部に相当する砂質粘土との境界は、曲線上には明瞭に現われていない。しかし、砂質粘土とその下の砂利との境界はきわめて明瞭にみられる。柱状図によれば、砂利層の下部に砂混り砂利層が続いているが、昭和 29 年の資料によれば、砂利層から砂混り砂利層に移行する部分に明白な境界はみあたらない。

以上の結果から次のことがらが推論できる。

- (1) 孔内測定結果と柱状図との対応はおもむね満足できるものである。
- (2) 浅部の連続的の下降変化は、主として地層内に含まれる水分の連続的变化に起因するものであろう。
- (3) 茶色粘土と砂質粘土との比抵抗の相違は、後者が水分で飽和しているのに対し、前者はその状態に達していないからであろう。



第 9 図 東大田無農場内比抵抗検層図

つけようとしても客観性が保たれないであろう。

孔内測定資料と比抵抗曲線

孔内測定の結果を第 9 図に示す。これによると浅部で 50 kΩ-cm の比抵抗値が得られているが、深さとともに減少して 8 m で極小値 4 kΩ-cm 以下となり、9 m で不連続的に増大を示して数 10 kΩ-cm に達している。初年の資料からこの高比抵抗は以下漸次的減少をなし 20 kΩ-cm 以下となつていくことがうかがえる。

(4) 砂利層から砂混り砂利層へ移る部分では、砂利と砂の混合比が徐々に変化し、漸移状態を呈することによつて曲線上確然たる変化を示さないであろう。

ところで、地表探査の結果を上掲の測定資料とを照合してみよう (第 1 表)。

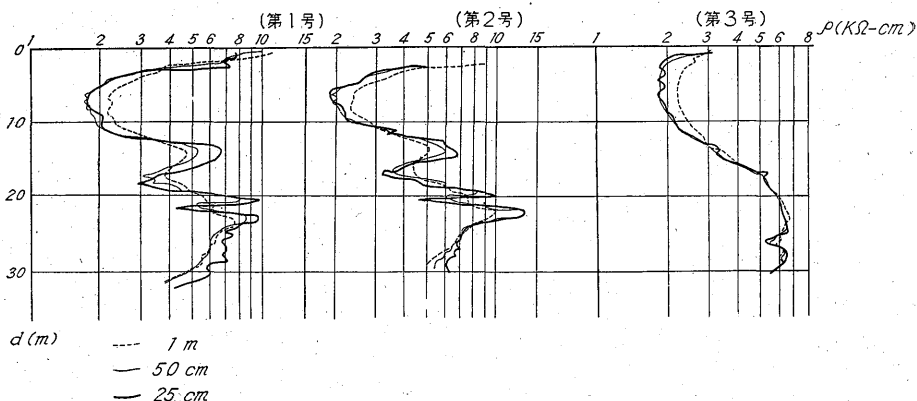
これによると第 1~3 層までの解析結果は大体よく合っているが、第 4 層に相当する砂利層の影響はあまりよく現われていない。すなわち地表探査によつては、この

第 1 表

地表測定 (ρ - a 曲線) から		孔内測定 (比抵抗検層) から	試錐柱状図から
3層	4層		
表層	第 1 層 (数 10 k Ω -cm)	数 10 k Ω -cm	表 土
	第 2 層 (約 20 k Ω -cm)	漸次減少	茶色粘土
中間層	第 3 層 (5~8 k Ω -cm)	4 k Ω -cm前後	砂質粘土
下部層	第 4 層 (10数 k Ω -cm)	{ 数10 k Ω -cm 10数 k Ω -cm	砂利層 砂混り砂利層

井の中間地点で、約10m隔てて掘られたもの(便宜上、第1および第2号孔と名付けよう)で、他の1本は同地点の南方約2kmの東條村粟田附近に掘られたもの(第3号孔)で、いずれも孔径4吋、深度は約30mである。測定器械は地調型電探器で、測定は2極法(電極間隔0.25, 0.5 および1m)で行われた。柱状図その他の資料が得られていないので地質的詳細は審かでない。

測定曲線(第10図)によれば、約10mの厚さの表層は、2k Ω -cm程度の比抵抗値を示して、第2層(20数mまで、約6k Ω -cm)に続き、それ以下はふたたび低比抵抗となつている。当然のことながら、第1号孔と第2



第10図 多古町附近比抵抗検層曲線図(使用電極配置: 2極法)

程度の比抵抗差を有する場合でも、厚さの関係から検出困難となるものと考えられる。この問題については後の項でさらに検討することにしよう。

表層の比抵抗が徐々に深さとともに変化する場合には、例えば Mooney によつて若干の考察が行われているが¹²⁾、われわれはこの点に関しては別の機会に詳しく論ずることにして現在は特に深くふれない。

3. 多古町附近の測定

昭和29年12月、千葉県多古町附近で地震探査が実施された際¹⁵⁾、筆者らは爆破孔を利用して孔内測定および関連した地表測定を行った。そのおもな目的は、前述の田無の場合と同様地表の測定曲線と孔内のそれとの関連性についての資料を得ることであつた。しかし当初予定されただけの本数の孔内測定も、種々の事情で不可能となり、地表測定もきわめて悪い条件でなされたために、十分な成果を得るには至らなかつた。こゝでは結果の概略を述べよう。

孔内測定

測定可能な爆破孔3本のうち、2本は多古町広沼、染

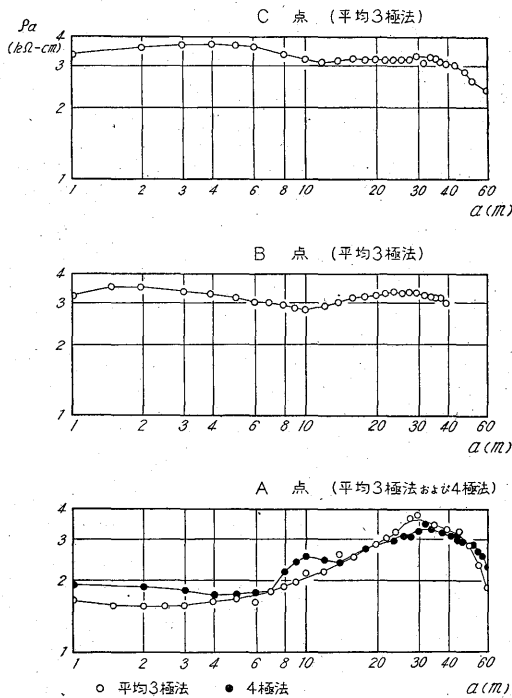
号孔とから得られた曲線は酷似しており、両者を第3号曲線と比較すると、前者の方が後者より高比抵抗部内の微細構造の発達が検出されている。

柱状図が得られていないので、曲線の細部について考察することは避けるが、多分、はじめの低比抵抗部は細砂層で次の層は中砂と細砂の互層、もしくは細砂から中砂への移行部をなしていると思われる。最後の低比抵抗層は第3号孔でははつきり現われていないけれども、比較的塩味を含んだ地層であるものと思われる。

地表測定

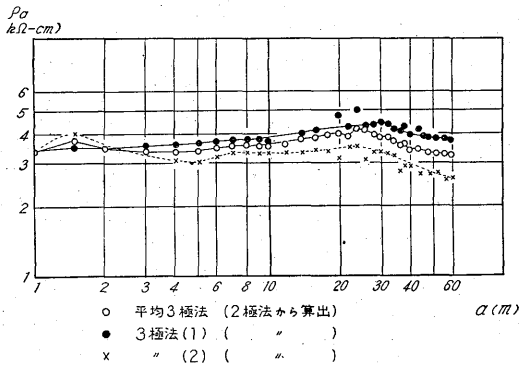
第1および2号孔を中心として、半径50~60mの同心状に囲んだ3点の垂直探査の結果を第11図に示す。孔のすぐ近くで地表測定が行えず、また、作業条件、地形等の関係上 Wenner 法以外の方法(2極法、3極法等)でも実施しているので、比較が困難であつて、われわれの目的に対して適当な場合であつたとは思われない。「A」は道路沿い、「B」および「C」は湿田中の測点で、いずれも孔口より1~2m低い。

孔内の測定からもうかゞえるように、一般に低比抵抗であるが、海岸附近の測定でしばしばこのような例がみ



第11図 多古町附近比抵抗曲線図 (第1および第2号孔附近 ρ_a 曲線)

うけられる。しかし、「A」、「B」および「C」の3曲線を比較してもよく似ているとはいへない。また孔内測定と比較してもよくわからない面が多分にある。極度の低比抵抗帯で垂直探査を行うとき、しばしば問題になるのは測定電位の精度の保持である。それでも湿田内という悪い条件と、低電位の測定という問題はあるにせよ、「B」「C」にみられる凹部と、「A」の低比抵抗部が孔内測定曲線の低比抵抗部に対応するとは考えてよいであろう。次に高比抵抗部が孔内測定で観察されたけれども、地表測定では「A」のほかはほとんど不明瞭である。こ



第12図 多古町附近比抵抗曲線第3号孔附近 ρ_a 曲線図

れは、「B」「C」の表層が湿田であつて、この抵抗がやゝ高く、中間に挟んだ低比抵抗部の検出を不可能にしたものと思われる。 $a=30\sim 40$ m 付近でみられる曲線の下降は、孔内での結果とよく対応されるが、おそらく、かなり厚い低比抵抗層が約30m以深に存在しているものと思われる。このことは、第3号近くで得られた ρ_a 曲線についても同様である (第12図)。これらの曲線は平坦な曲線であり、標準曲線による解析は行えないので定性的考察のみに止めた。

4. 考 察

垂直探査によつて良好な結果を得るがためには、十分な精度を有する測定曲線を得ることがまず必要である。特に深部探査の実をあげるためには現在の精度では不十分である。こゝに述べたような測定に対しても、さらに精度向上が必要であらう。

しかし、垂直探査の実施にあつて、常に隘路となつていもう一つの問題は、解析法の問題である。そこで、前に述べた結果を中心にして若干の考察を加えてみよう。

現在、いわゆる経験法は別として、最もよく利用されているのは標準曲線法と Tagg の方法であらう。しかし、これらはその理論的基礎を2層構造に求めているので、3層もしくはそれ以上の場合にどの程度まで拡張を許されるか、はなはだ疑問であつた。そこで3層構造を起点とする解析法に改められつつあるのが、フランスあるいはアメリカにおける現状である。といつて、3層の標準曲線が得られれば万事解決というわけにはゆかない事情がある。一つの問題は3層の標準曲線の作製という問題である。2層の場合と違い3層の比抵抗、厚さの組合せはもつと複雑になるので、どれだけ用意すればよいか、がまず問題となる。多すぎても照合に手数がかかるし、第一作製するのが大変である。そこで基準の3層曲線から組合せによつて多層曲線を作る 試みも発表されている⁹⁾。また、すでに相当数の曲線群を有しているフランス⁹⁾、ソ連等では、電極配置として Wenner 法ではなく Schlumberger 法を採用しているので、Wenner 法を採用する限りではこれらの曲線集を直接利用することができない (曲線の数値表が得られれば、近似計算から Wenner 法の計算することは一応可能である⁹⁾)。もつとも、最近、アメリカでは Mooney が中心となつて Wenner 法の曲線集を作りつゝあり、一部はすでに出版されている¹⁰⁾。これは積分器械あるいは電子計算機によつて計算した模様である。もう一つの問題は、これに相応した調査方法の確立ということである。適当に3層と

して処理できるようにすることである。実際の大地はいくつかの互層を形成しているが、比抵抗曲線に描かれてくる特徴は、3層もしくは4層曲線の特徴を示す場合が多い。したがって、これらの層を適当な比抵抗層におきかえた場合、地質的に意味をもたせうるものでなければならない。

このような解析原理の発展は中間層探査の重要性の増大によるものであろう。

筆者らは従来の解析法が誤つているとは考えてはいない。しかし、2層構造を起点として多層問題に拡張する場合、かなりの吟味を要することを主張したいのである。

等価抵抗と異方性

2層の標準曲線法を多層構造に対して適用しようとするとき、補助曲線を利用している。この方法は Hummel の等価抵抗の概念を利用したものであるが、この概念の成立の制限については、なんら述べていない。この辺の事情については Watson, Johnson の研究があり¹⁸⁾、清野武の電気探鉱学のなかにも説明がなされている⁷⁾。

3層構造に対して2層標準曲線法を適用した場合、中間層が低比抵抗層である場合は、比較的良好な結果が得られるのは Hummel の等価抵抗が地層の全並列抵抗に相当するもので、物理的にみても自然であるのに反し、高抵抗の場合、直列合成抵抗とみた方が妥当であるにもかかわらず、並列の等価抵抗におきかえたため、実際の結果と大きな差異を生ずることがしばしばある。この点に着目して、藤田勝輔は判定法の改良を提唱しているが⁹⁾、これによつて解析結果を一段と向上できるであろう。田無の例でみれば、比較的良好一致をみたのは、中間層が低比抵抗層であつたためであろう。

現在順に高く、もしくは低くなる3層構造に対する判定法の改良は得られていないように思われる。筆者らの経験によれば、このような場合はしばしば標準曲線法の使いにくい場合となつているように思われる。

ところで、深さ、もしくは比抵抗の判定でしばしば実際と食い違いを生ずる原因は、一つは前述の Hummel の等価層の概念に由来するものであるが、他にもある。それは一見、全く同じ曲線が得られる別の構造がありうることである。すなわち、不確定性が存在するためである。例えば、第1層と第3層の比抵抗が等しいとし、中間層が比較的うすい場合、その比抵抗 ρ 、厚さ d とすれば、中間層が低いときには $\rho/d = \text{一定}$ 、高い場合には $\rho d = \text{一定}$ なる関係のいろいろな比抵抗分布はそれぞれ同様な比抵抗曲線が得られる。このような等価性のために、実際にはうすいものを厚く判定する場合が多い。

もう一つ、注意しておかねばならないことは異方性である^{10) 17)}。地層が異方性を有すると否にかかわらず、互層をなす場合、見掛比抵抗曲線に対しては異方性を有する一つの地層のようにふるまう。例えば、浅い所にある基盤を上部の互層の示す、異方性(この異方性を擬異方性と称している)のために深くにあるかのような判定をすることがしばしばある。

検出能と相対厚度

ところで、上述の問題を考える場合、当然に考えておかねばならないのは地層の検出能である。いいかえればどの程度の層厚、比抵抗差があれば比抵抗曲線に検出されるかということである。

3層を考える場合、各層の厚さ d 、比抵抗 ρ に番号をつけ、それぞれ d_1, d_2, d_3 、および ρ_1, ρ_2, ρ_3 とすると、同じ厚さに対しては

$$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 \quad \text{もしくは} \quad \rho_1 > \rho_2 < \rho_3$$

の場合の方が

$$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 \quad \text{あるいは} \quad \rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$

の場合よりも検出し易い。また、厚さに関していうならば、絶対厚度が検出能を支配せず、深さ h に対する厚さの比、相対厚度 d/h が問題となる。3層の場合、目安として少なくとも1/2以上の相対厚度を有しなければ、検出し得ないか、検出し得たとしても、等価性のために厚いものと判定してしまうであろう。

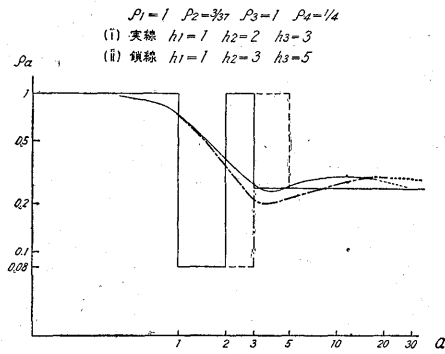
ところで、ごく浅い所は別として、相対厚度が1/2以上の層はそう多くない。そこで、相対厚度の小さな層が重合して互層をなす場合、見掛上、一つの層としての働きをなし擬異方性を生ずることがしばしばある。したがって、電気検層の資料を使つて各地方における擬異方性を求めておけば解析結果をもつと良好なものとなることができよう。

田無の例

田無の例について考えると、10m前後にある数10k Ω -cmの高比抵抗層が ρ - a 曲線上に明瞭に表われていないのは、その相対厚度が小さいためと解される。この場合、砂質粘土で1~2、砂利で $1/2 \sim 2/3$ 、砂混り砂利層は1以上(柱状図によれば2以上を確認)、それ以下の層も、その比抵抗値砂混り粘土層のそれとあまり変らないとすれば、砂利層の比抵抗値が上層の約10倍、下層の約4倍であろうとも、砂利層自体の特徴が ρ - a 曲線には明瞭には表われず、下層の影響とからみ合つて曲線を形成するであろう。

上の事情を一層明瞭にするため、田無における比抵抗分布を参考にして

$$\rho_1 = 1, \quad \rho_2 = 3/37, \quad \rho_3 = 1, \quad \rho_4 = 1/4$$



第13図 4層の理論曲線 (田無の測定例と比較のための計算曲線)

とし $h_1=1, h_2=2, h_3=3$
 $h_1=1, h_2=3, h_3=5$

の場合の理論曲線を作った (第13図)。最初の場合、第2層の相対厚度が1、第3層が1/2、後の場合第2層が2、第3層が2/3で第3層は砂利層に、第2層は砂質粘土に、第4層は砂混り砂利層に対応するものである。比抵抗値も、各層の比にほぼ等しくなるように選んだもので、 ρ_1, ρ_B を50 k Ω -cmとすれば ρ_2 は約4 k Ω -cm、 ρ_4 は12.5 k Ω -cmとなる。第13図によれば、第3層に相当する極大値は最初の場合で、層の中心までの深さの約4倍の α のところに現われ、後の場合には約5倍の α の点にみられる。したがってもし2層標準曲線で解析したとしても、第3層と第4層との境界である h_3 の値は実際よりずっと深い値が得られるし、変化も顕著なものではないから実際の曲線ではみおとすかも知れない程度のものである。

筆者らは4層以上の解析がいかに困難かを示したのであるが、このことは必ずしも浅部から3層までしか探査能力を有しないという意味ではない。もし、地下数100mのものを探知しようとする場合、上部の100m程度までの層を等価層でおきかえた第1層とみなすことによつて3層もしくは4層の場合として考察し、必要に応じて等価層について補正を加えればよいのである。要は地表の電探を目視的構造の推定に用いることであつて、微細構造 (深さに対してでなく相対深度に対しての) の追求は別の面からなさるべきことを強調したいのである。

5. 結 言

垂直探査法がごく浅所の構造を探知しようとする限りにおいては、従来の解析法をそのまま踏襲するのであつても大した支障はないであろう。例えば10mの深さのものを15mと判断したとき誤差率は50%あつても、実

際の相違は5mであるからそれほど気にすることはないのである。しかし、100mの深さのものを150mと判断することは、同じ誤差率にもかかわらず実用的な意味からすればずつと問題となる。したがつて、解析法をできるだけ改良して、その精度をあげるようにすることが、深部探査の実をあげる一つの解決法である。この線に沿つて、もつと解析法を掘り下げて研究してゆく必要がある。同時に、実際の地下の電気的資料を電気検層その他の方法によつて豊富にするとともに、一步進めて、岩石の電気的性質に関する研究を一層促進させてゆくことが、深部探査の解釈上貢献するゆえんだと信ずるものである。(昭和32年10月稿)

文 献

- 1) Carpenter, E. W.: Some Notes Concerning the Wenner Configuration, Geophysical Prospecting, Vol. 3, 1955
- 2) Carpenter, E. W. & Habberjam, G. M.: Method of Resistivity Prospecting, Geophysics, Vol. 21, 1956
- 3) Deppermann, K.: Die Abhängigkeit des Scheinbaren Widerstandes vom Sondenabstand bei Vierpunkt-Method, Geophysical Prospecting, Vol. 2, No. 4, 1954
- 4) Ehrenburg, D. O. & Watson, R. J.: Mathematical Theory of Electrical Flow in Stratified Media with Horizontal Homogeneous and Isotropic Layers, Trans. AIME Geophysical Prospecting, 1932
- 5) Flathe, H.: A Practical Method of Calculating Geoelectrical Model Graphs for Horizontally Stratified Media, Geophysical Prospecting, Vol. 3, No. 2, 1955
- 6) 藤田勝輔: 電気抵抗式地質調査における判定方法の改良, 鉄道業務研究資料, Vol. 12, No. 2, 1955
- 7) 清野 武: 電気探鉱学 (III), 騰写印刷
- 8) Koefaed, O.: Resistivity Curves for a Conducting Layer of Finite Thickness Embedded in a Otherwise Homogeneous and Less Conducting Earth, Geophysical Prospecting,

Vol. 3, No. 3, 1955

- 9) La Compagnie Generale de Geophysique: Abaques de Sontage electrique, Geophysical Prospecting, Vol. 3, No. 3, Supplement 1955
- 10) Maillet, R. : Fundamental Equations of Electrical Prospecting, Geophysics, Vol. 12, 1947
- 11) 牧野直文 : 井戸内地層の電気的測定, 電気試験所彙報, Vol. 18, No. 8; No. 9, 1954
- 12) Mooney, H. M. : Effect of a Variable Surface Layer on Apparent Resistivity Data, Trans. AIME, Vol. 199, 1954
- 13) Mooney, H. M. & Wetzell, W. W. : Potential about a Point Electrode and Apparent Resistivity Curves for a Four-Layered Earth, Univ. of Minnesota Press, 1956
- 14) Moore, R. W. : An Empirical Method of Interpretation of Earth Resistivity Measurements, Trans. AIME, Vol. 164, 1945
- 15) 蜷川親治 : 千葉県多古町附近地震探査報告, 地質調査所月報, Vol. 7, No. 5, 1956
- 16) 小野吉彦 : 成層構造の見掛比抵抗曲線について, 物理探査, Vol. 7, No. 4, 1954
- 17) Schlumberger, C. M. & Leonardon, E. G. : Some Observations Concerning Electrical Measurement in An Isotropic Media and there Interpretation, Trans. AIME Geophysical Prospecting, 1934
- 18) Watson, R. J. & Johnson, J. F. : On the Extension of Two-Layer Methods of Interpretation of Earth Resistivity Data to three and More Layers, Geophysics, Vol. 3, 1938