

# 直流を用いた大地比抵抗の測定法について

— 深部物理探査研究 第10報 —

陶山 淳治\* 高木 慎一郎\*

## Method of the Earth-Resistivity Measurement using Direct-Current

by

Junji Suyama & Shin'ichirō Takagi

### Abstract

In recent several years, our effort has been devoted to applying the electrical sounding for the structural problem.

In this paper the measuring apparatus now used in our geoelectrical study is outlined and its accuracy is discussed. For this study, it is necessary to determine accurately the geoelectrical resistance which is more than  $10^{-3}$  ohm, and use of direct current has given us favorable results.

But the accuracy of the earth resistivity measurement using D. C. is also influenced by the disturbance of earth currents, i. e. the industrial stray currents, earth current storms, micro-pulsations, various kinds of irregular variation and so on. For example near Kitaibaragi city, where we observed the time variation of earth current potential, the intensity of the disturbing field in the daytime reaches to 0.5~1.0 mV/km, so the intensity of the mean electric field due to the feeding current used in the earth resistivity measurement must be at least 20 mV/km.

Moreover, we have also done a little analysis for the effect of the induced polarization and of the faulty insulation of the equipment on the satisfactory resistivity measurement.

### 要 旨

こんにちまでわれわれが深部電気探査の研究に使用してきた測定器について述べるとともに、測定に当り考慮すべきいくつかの問題について検討した。

深部探査を行なうためには、まず大地抵抗を  $10^{-3}\Omega$  まで測定する必要があるが、この程度の大地抵抗は探査用に特に設計された直流電位差計を用い標準抵抗に対する比較測定を行なうことによつて求め得られた。われわれが使用してきた測定器の給電電流容量は 750 VA であり、電位電極間の電位差は 1.25~550mV の範囲では 2%以下の誤差で測定される。

大地抵抗の測定精度は測定器の精度以外に、迷走電流・地電流等の寄生電流によつて生ずる変動電場によつて影響されるので、これら変動電場を観測し、その影響について検討した。観測を行なつた北茨城市付近においては変動電場の振幅は 0.5~1 mV/km 程度のものがもつとも多く、それらは昼間に卓越し、方向性もかなりに顕

著であつた。したがつて、電位電極間の給電電流による平均電場が 20mV/km 以下になると、電位差計を用いた比抵抗の測定は誤差の大きなものとなり、別の測定方式を考える必要がある。

誘導分極の測定に及ぼす影響は主として自然電位の補償に対するものであり、電位電極を以前に電流電極が設定された近傍に設けない限り無視できると考えられる。

### 1. 緒 言

比抵抗法は構造調査に広く適用されうる可能性のある方法であるにもかかわらず、昨今まで比抵抗法、特に垂直探査法は有効に利用されてきたとはいへぬ状態であつた。これまでは、主として、第四紀層中の礫層・砂層または粘土層の深度および層厚を決定する問題・安山岩質熔岩中に挟在する集塊岩の深度・層厚を求める問題等、相対層厚のあまり大きくない地層の探査を目的として使用されたことが多く、比抵抗法の理論的分解能を越えた探査不可能な対象の処置に困惑していた。垂直探査

\* 物理探査部

第1表 電極係数Kの値

$\frac{AB}{2}$ (m)	$\frac{MN}{2}$ (m)	K
3	1	12.57
4.5	1	30.24
6	1	54.98
9	1	125.7
12	1	224.6
15	1	351.8
15	5	62.8
25	1	980.1
25	5	188.5
40	5	494.9
65	5	1320.
65	20	300.4
100	5	2134.
100	20	754.0
150	20	1736.
225	20	3945.
225	75	942.4
325	20	8264.
325	75	2094.
500	20	19600.
500	75	5117.
750	75	11660.
750	250	3141.6
1000	75	20820.
1000	250	5890.
1500	250	13744.
2000	250	24740.
2000	500	11781.

法がこのように使用される限り、その適応性が著しく限定されることはやむをえないことであつた。垂直探査法は相対層厚の充分大きな地層を対象として用いられることが本来望ましいことであるが、このような要求を充すためには探査深度を増大せしめることがしばしば必要となる。われわれは比抵抗法の探査深度を増大させるため、すでに欧州諸国において使用されている直流による比抵抗法<sup>1)~4)</sup>を採用し、その深部探査への適応性について検討してきた。すでに、H型(凹型)<sup>5)</sup>、K型(凸型)<sup>6)</sup>、Q型(下降階段型)<sup>7)</sup>およびA型(上昇階段型)<sup>8)</sup>の各種構造について、小野によりその適用例が紹介され、それぞれの型について解析精度も吟味されている。ここでは、こんにちまで、われわれの使用してきた測定器の概要を述べるとともに、測定上のいくつかの問題について記す。なお、個々の問題については別に詳しく記す予定である。

2. 直流の使用について

こんにちまで、わが国においては、Gish-Rooney型またはMegger型の探鉱装置を用いて大地比抵抗の測定が行なわれてきた<sup>9)</sup>。これらはいずれも電極の分極作用の影響を除くという理由で印加電流として交流を使用している。しかし、分極の影響を少なくするためのみならば、可逆性の大きな電極を用いれば、直流の方がかえって精度のよい測定が行ないうる<sup>10)</sup>はずである。従来用いられている探鉱装置は、2~3%の要求精度に対し、大地抵抗  $R = \Delta V / I$  が  $1 \Omega$  以上の場合<sup>11)</sup>に利用しうるもので、好条件下においても  $0.2 \Omega$  以下の大地抵抗の測定精度は充分でない。

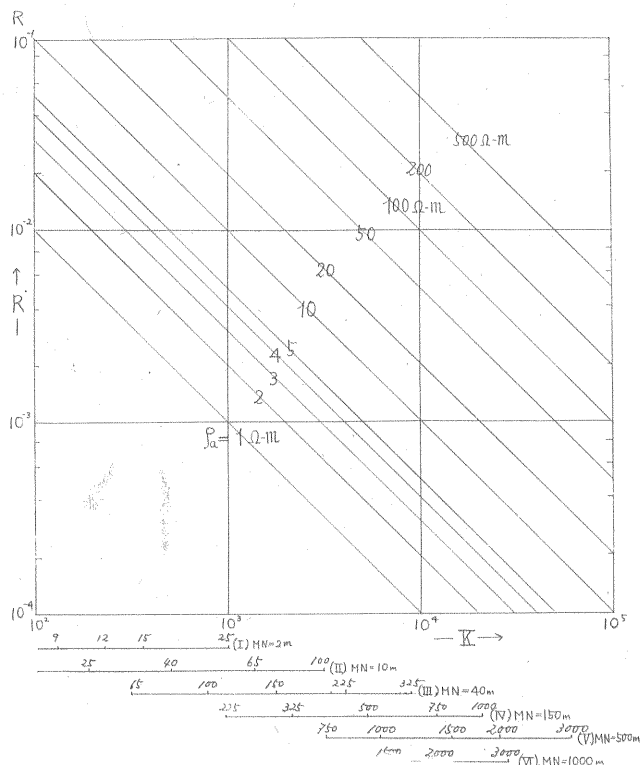
換言すれば、Wenner配置の電極間隔  $a = 50m$  (すなわち、 $\frac{AB}{2} = 75m$ ,  $\frac{MN}{2} = 25m$ ) で見掛比抵抗  $\rho_a$ ,  $314 \Omega \cdot m$  以上、好条件下で  $62.8 \Omega \cdot m$  以上の場合、Schlumberger配置の同一電極間隔(すなわち、 $\frac{AB}{2} = 75m$ ,  $\frac{MN}{2} \leq 25m$ ) ではさらに大きな見掛比抵抗を示す構造を対象とする場合、ないしは水平探査のように対比の目的で行なう場合に限つて、これらの探鉱装置は使用できる。

われわれが当初の目標とした深度500mまでの深部探査においては、電流電極間隔は目標深度の6~8倍に当る  $AB = 4,000m$  まで測定可能な探鉱装置が必要である<sup>12)</sup>。われわれが現在使用している電極配置とその電極係数  $K = \pi \left( \frac{(\frac{AB}{2})^2}{MN} - \frac{MN}{4} \right)$  の1例を第1表に掲げ、その際の大地抵抗  $R$ 、見掛比抵抗  $\rho_a$  と電極間隔  $(\frac{AB}{2})$  との関係を第1図に示した。 $\frac{AB}{2} = 2,000m$  の見

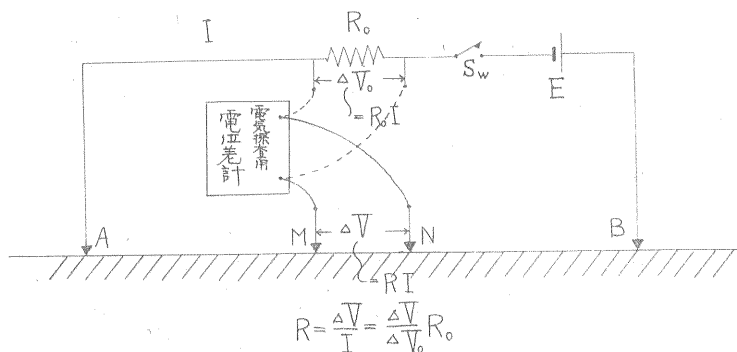
\* ただし単位は mA, mV とする。

$$K = \pi \left( \frac{(\frac{AB}{2})^2}{MN} - \frac{MN}{4} \right)$$

掛比抵抗  $\rho_a$  が  $10 \Omega \cdot m$  以下となる構造を対象とする場合には、 $R$  は  $10^{-3} \Omega$  以下となる。すなわち、このような構造においては、1Aの給電電流に対し  $MN$  間に1mV以下の電圧降下が生ずるにすぎなくなる。したがつて、われわれはまず少なくとも1mVの電位差が充分の精度で測定し得、同時に給電電流容量1ないし1.5Aをもつ装置が必要と考えられる。このような条件を充す装置としては、直流を利用する方式の装置を採用するのが実際的であろう。なぜなら、交流を用いる場合には、表皮効果について考慮せねばならぬわけであるが、当面の問題として大きな電流容量の矩形波交流を発生する装置の製作が容易でなく、電圧測定におけるS/N比の問題等、幾多の明らかにすべき問題が未解決のまま残されて



第 1 図 見掛け比抵抗  $\rho_a$ 、電極係数  $K$  と大地抵抗  $R$  との関係



第 2 図 大地抵抗の測定原理図

いることが直流を採用した理由である。

### 3. 電気探鉱装置

比抵抗法において、われわれが測定の対象とする量は大地抵抗  $R$  であり、標準抵抗  $R_0$  に対する  $R$  の比較測定が精度よく行なうれば良い。したがって、電位差の絶対値の測定の場合行なわれる標準電池に対する電位差計の修正を必ずしも必要としない。直流電位差計を用いて比抵抗を測定する場合には、電位差計の動作電流の

値を標準電池によつて更正する必要はないが、給電電流  $I$  による基準抵抗  $R_0$  の電圧降下  $\Delta V_0 (= R_0 I)$  と電位電極  $MN$  間の給電電流によつて大地内に生ずる電圧降下  $\Delta V (= RI)$  とが、大きいまたはその比が一定の動作電流の下で測定されねばならない (第 2 図)。

先に述べたように、われわれが測定しようとする  $\Delta V$  の値は電極係数  $K$  の急速な増加によつてただちに小さくなるため、まず微小電圧の測定に重点を置いた。低抵抗型の電位差計はこのような目的に適したものであるこ

とは衆知のことである。後に述べるように、 $\Delta V$  の測定精度は時間的な変化を伴う自然ないし人工電場による電圧降下  $\Delta V_n$  によつて影響されるものであるため、 $\Delta V$  が  $\Delta V_n$  に較べ充分大きくなるよう給電電流  $I$  の増大にも努めた。 $R$  の  $R_0$  に対する比較測定を行なうには、 $R_0$  が  $R$  と同程度の大きさに選ばれていることが望ましいことであるが、実際上は、第1図によつて知られるように、常に  $R_0$  と  $R$  とを同程度の大きさに保つことはできない。給電電極間隔が増大するにつれて  $\Delta V$  は減少し、 $\Delta V_0$  が増大するのが常である。

最小測定電位差の目標を1mVとし、第3図に示したような電位差計回路を用いた。装置の製作に当つては、摺動線(すべり抵抗線)の摩擦による誤差を避けるため、 $r_1$  には1Ωの抵抗線輪10コを、 $r_2$  には10Ωの抵抗線輪10コをそれぞれ直列につなぎ、また接点  $m, n$  には接触抵抗2mΩ以下の銀接点を使用した。

動作電流  $I_i$  は大きいほど測定感度が高いが、 $R_0$  を常に  $R$  と同位の大きさにしえないゆえ、 $I_i$  として幾種類かの値を選んだ。測定用電源の容量と  $r_1, r_2$  の精度を考慮し、最小レンジ(IV)の測定電圧  $\Delta V_4$  を0~5.5mV、その動作電流  $I_4$  を0.05mA に選んだ。ただし、先にも述べたように、 $\Delta V_4, I_4$  の絶対値の精度については余りこだわらない。このほか、 $I_3/I_4=4, I_2/I_4=20$  で規定される動作電流  $I_3, I_2$  で測定されるレンジ(III, II)も設け、測定範囲を0~110mVまで広げた。II, III, IVの各レンジで測定される値は充分高い精度で関係付けられている必要があるため、 $I_3/I_4, I_2/I_4$  は高い精度で

一定に保たなければならない。そのため、測定用電源の端子よりみた負荷抵抗値を一定ならしめた。この場合、電位差測定時<sup>注1)</sup>における  $m, n$  間の抵抗を  $x$ 、給電電流測定時におけるそれを  $r$  とすれば、大地抵抗の測定誤差  $dR/R$  は次の式で表わされる。

$$\frac{dR}{R} = \frac{dr}{r} + \frac{dx}{x} + \frac{dk_i}{k_i}$$

ここに、 $k_i = I_i/I_4$

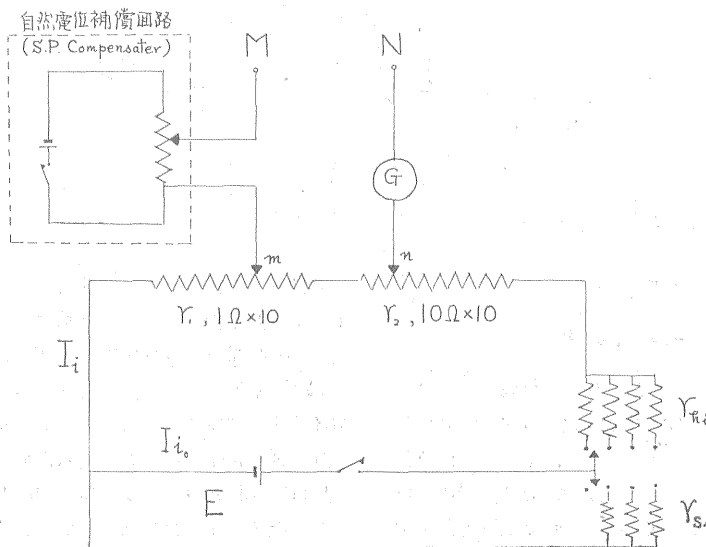
ところで、 $dk_i/k_i$  は他の項に較べ無視できるほど小さくなるよう製作されているゆえ、

$$\frac{dR}{R} \approx \frac{dr}{r} + \frac{dx}{x}$$

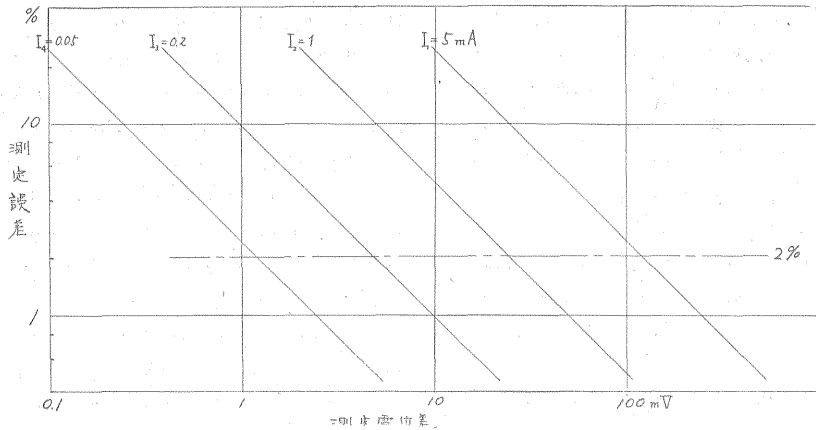
と考える。

第4図に  $\frac{dr}{r}$  (または、 $\frac{dx}{x}$ ) と  $\Delta V_i$  との関係を示したが、1.25~110mVの範囲内では  $\frac{dr}{r}$  (または、 $\frac{dx}{x}$ ) は2%以下になる。原則的には、II, III, IVのレンジによつて常時測定すべきであるが、補助レンジとして  $I_1$  を設け実用上の便宜を計つた。 $I_1/I_4$  が常に100に保たれるとは保証できないが、測定用電源の容量を充分大きくとれば、 $dk_i/k_i$  は著しく小さくなり、一方、動作電流が大きいため測定感度が上昇するので、レンジ  $I_1$  における  $dr/r$  は充分小さくなる。したがつて、レンジ  $I_1$  における  $dR/R$  の値は他のレンジで測定したものと同位の大きさになることが期待できる。なお、測定用電源  $E$  の内部抵抗  $\rho_e$  は電源端子からみた合成抵抗値に較べ充分小さく、かつ一定の値を示すものであることが望まれる。筆者が市販の2, 3の電源について行なつた測定結果(第2表)によると、測定用動作電流の大小によつて内部抵抗  $\rho_e$  はほとんど変化しないと考えられ

注1)  $x, r$  は平衡時における値である。



第3図 電気探査用電位差計回路



第4図 測定電位差と測定誤差との関係

第2表 乾電池内部抵抗

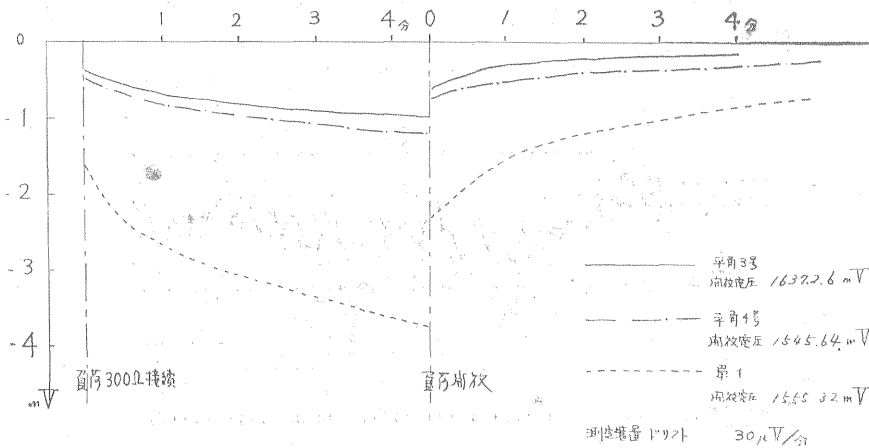
試料	内部抵抗 (Ω)		
	回路電流 1.5 mA	3.1 mA	6.2 mA
平角3号 No. 1	0.112Ω	0.118± 0.005	0.124Ω± 0.007
平角3号 No. 2	0.123Ω	0.121± 0.004	0.113Ω± 0.007
No. 3	0.126	0.126	
No. 4	0.102	0.111± 0.003	0.109± 0.006
水銀電池 UM-1.3V	1.68±0.1	不安定, 測定不能	左に同じ
単1 No. 1	0.504±0.01	0.452±0.05	0.451±0.07
No. 2	0.756±0.01	0.827±0.05	0.720±0.07

る。(われわれが必要とする最大動作電流を5 mAとする場合、その範囲内では一定とみなしてよいと思われる。

る。)第5図は、1例として、300Ωの負荷に生ずる電圧降下と端子開放電源電圧との差の時間的変化を示したものであり、平角3号または平角4号を測定用電源として利用する場合には、測定中の電源電圧の変動によつて生ずる誤差は無視できるものと考えてよからう。

#### 4. 大地内に寄生する電流の影響

以上測定装置の精度について考察したが、大地抵抗の測定精度は大地内に寄生する電流により MN 間に生ずる電圧降下によつて影響される。これらのうち、鉄道および工場等の施設より発生する迷走電流による電圧降下は、施設の周辺においては著しく大きな値を示し、かつその時間的変化は全く不規則である。このような地域においては時として測定が不可能となるので、現在われわれは迷走電流強度の小さな地域のみを対象としている。寄生電流としては、このほか自然電流(いわゆる地電流

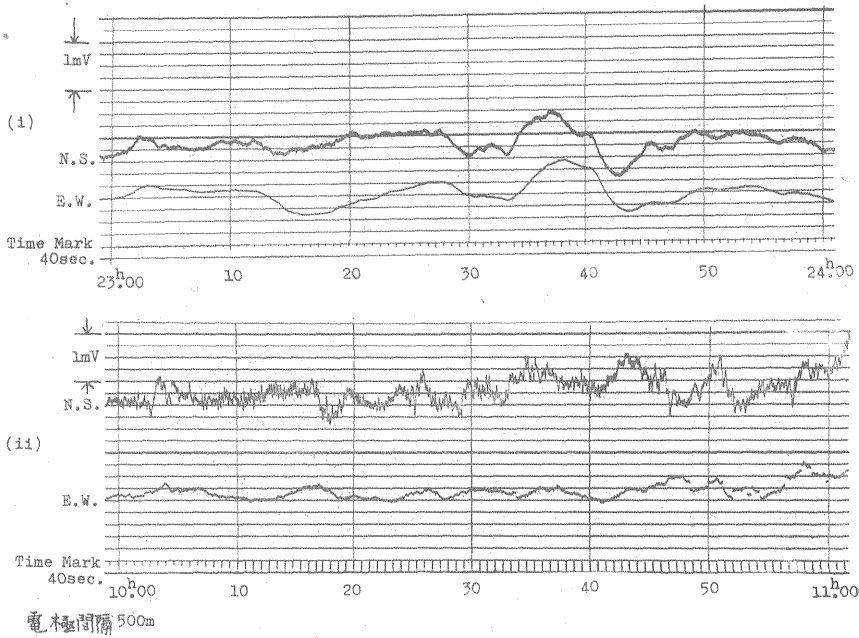


第5図 電位差計電源用乾電池に300Ωの負荷を接続した場合の電源電圧の時間的変化

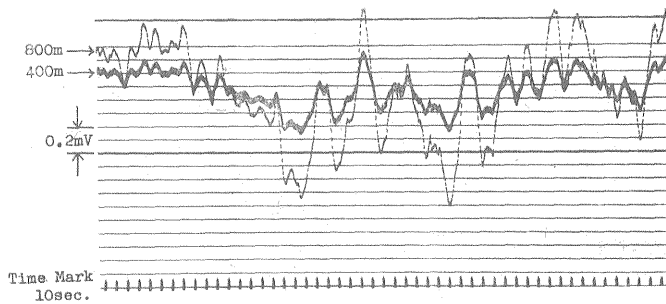
(telluric current)がある。地電流変化は日変化を始めとし、数多くの周期の変化を含むが、われわれの測定に、影響を及ぼすものは、これらのうちの6秒~数分の比較的短周期の変動(すなわち脈動(pulsation))と考えられる。地電流の脈動は迷走電流の変動と異なり準正弦波状の変動であり、周期の短いものほど純粋な波形を示す。30秒以下の周期の脈動はそれに該当するもので、長周期の検流計を用いることによつてこのうちの短周期のものの影響を削減できるが、測定能率の低下はまぬがれない。

地電流の脈動はオーロラ・ゾーンおよびその近傍においては数百 mV/km の強度に達することがある<sup>13)</sup>が、中緯度の柿岡観測所においては脈動のうち 3 mV/km 以上の p. t の 55% は 10~20mV/km<sup>14)</sup> の強度を示し、か

つ地方時の真夜付近に数多く出現し、それらの周期は主として 90 秒<sup>15)</sup>内外である。したがつて、給電電流による電位電極間の電圧降下が充分大きく、低感度の電位差計によつて測定できた従来の浅部探査においては、地電流の脈動は一般に重大な障害とならなかつたように思われる。しかしながら、深部探査を目的とする比抵抗測定に対しては、地電流の脈動および微小な迷走電流等の寄生電流による電場の変動は重大な影響をおよぼし、先述の探査装置の使用可能限界を規定するはずである。寄生電流による電場の変動を調べ、それらが直流による比抵抗測定に与える影響について吟味しておくため、北茨城市において行なつた測定結果の 1 例を第 6 図 a (i), (ii) および b に示した。測定には電気検層に使用する電磁オシログラフを使用した。ここでは装置について詳しく



第 6 図 a 常磐上桜井地区



第 6 図 b 常磐上桜井地区 N.S.

述べないが、使用した検流計の特性は次の通りである。

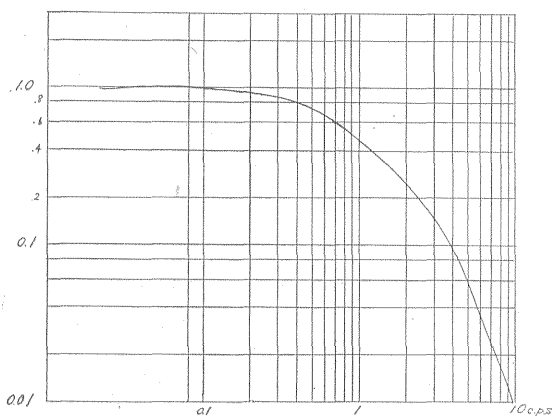
電流感度： $1.5 \times 10^{-8}$  A/mm

コイル抵抗：220Ω

外部臨界制動抵抗：2,500Ω

固有周期：0.8秒

この検流計の臨界制動状態における周波数特性は第7図に示した。



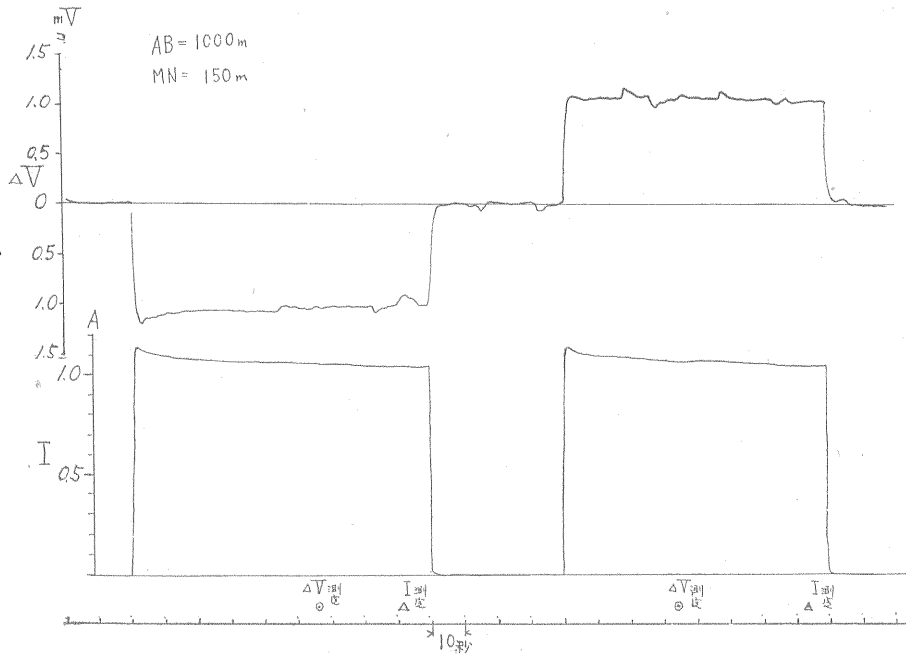
第7図 電磁オシログラフ検流計の周波数特性

本報の目的上、測定結果について立入った解析を行わず、既刊の地電流の脈動および迷走電流の早廻し記録<sup>16)17)</sup>と比較しながら考察を行なってみる。迷走電流は著しく短周期の成分を含む不規則な変動であり、工場・鉄道等の施設が発生源であるから深夜においてはその活動が停止ないしは著しく弱まるものとされている。第6図の夜間の記録 a (i) と昼間の記録 a (ii) および b とを比較すると、昼間の記録においては不規則な短周期の変動が卓越しているため、この地域には昼間かなりの強度の迷走電場が存在するものと考えられる。これら迷走電場と考えられるものには、その強度が 0.5mV/km 程度のものが数多く、時に 1.5mV/km 以上の強度に達するものも認められている。これら迷走電場は幾つかの箇所が存在する迷走電流源によつて発生するものであると考えられるが、日立市にある迷走電流源よりの影響はどの程度になるかしらべてみる。測定を実施した北茨城市上桜井部落付近は 3 ~ 6 Ω-m の低比抵抗を示す第三紀層が約 500 ~ 600m の厚さで基盤を覆っており<sup>8)</sup>、日立市の北方約 20km に位する。いま、両市間は 5 Ω-m (=  $\rho_{ter}$ ) の低比抵抗層が 1,000Ω-m 以上の高比抵抗な基盤上に厚さ ( $h$ ) 500m で一様に分布すると模式的に考え、日立市の迷走電流源は電流 ( $I_{st}$ ) 25 A、電流源間隔 ( $l_e$ ) 4 km と仮定する。このような迷走電流源は実在可能なものと筆者は考える。

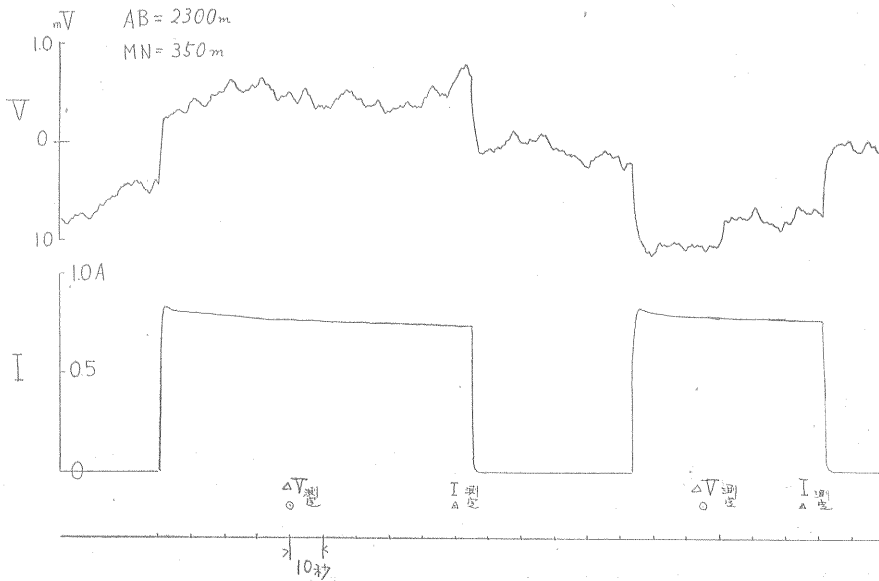
両市の間隔 ( $r$ ) を 20km、北茨城市における上記電流源による平均迷走電場を  $E_{st}$  とすれば  $E_{st} = \frac{I_{st} \cdot \rho_{ter} \cdot l_e}{2\pi r^2 h}$  で表わされるゆえ、 $E_{st}$  は約 0.4mV/km に達する。すなわち、日立市に発生する迷走電場は無視できるほど小さくないことがわかる。地電流の脈動は第6図 a から知られるように、主として 1 mV 内外の大きさである。北茨城市付近で観測された脈動と柿岡付近で観測されたそれとの大きさの相違は前者付近が 5 Ω-m 内外、後者付近は 140Ω-m 内外<sup>18)</sup> の層が浅所に厚く分布することにより理解できる。

以上のように、寄生電場が 0.5 ~ 1 mV/km の場合、 $MN=150$ m の比抵抗測定に当り  $MN$  間に 0.075 ~ 0.15 mV 程度の寄生電場による電圧変動  $\Delta V_n$  が存在することになり、給電電流による  $MN$  間の電圧降下  $\Delta V$  を電位差計法によつて測定するためには、少なくとも  $\Delta V$  として 3 mV 以上の値が必要である。なお、これらの寄生電場の変動は方向性をもっているため、最小変動方向に測線を設けるならば、変動電場の影響を軽減せしめうるであろう。寄生電場の変動は種々の周期の成分を含み、かつ時に上記の大きさ以上の変動も生ずるため、給電電流の方向を逆転せしめ反復測定を行ない、 $\Delta V/\Delta V_n$  を大きくすることも測定精度を上げる方法の1つである。 $\Delta V/\Delta V_n$  を良くする基本的処置は給電電流を増大せしめることであるが、実際問題として、給電電極間隔  $AB$  が増大するとともに、大地内の給電電流密度が次第に減少することは避けられず、給電電流による電場  $E = \frac{\Delta V}{MN}$  と寄生電場の変動  $E_n = \frac{\Delta V_n}{MN}$  との比  $E/E_n (= \Delta V/\Delta V_n)$  は次第に悪くなる。したがって、給電電極間隔が大きくなった場合には、測定方式も零位法より偏読法へ転換することを考えるべきである。

次に、上に述べた寄生電場の変動および分極その他の時間的变化に伴う要素が実際に比抵抗測定におよぼす影響をみるため、電位差計による測定とオシログラフを用いた偏読法による測定とを同時に行ない比較した。その結果は、第8図に示したように、電流印加後 30秒以上経過した後に読取られる電位および電流の値に対しては、分極による誤差は無視できるほど小さいとみてよい。測定誤差にもつとも重大な影響をおよぼす要素はやはり寄生電場の変動と思われる。第9図に示した結果は、このような場合には、電位差計を用いた零位法の測定は不可能か、または誤差の多いものとなることを示している。われわれの用いた測定装置は偏読法による電気探鉱装置として製作されたものでなく、記録器の応答は満足すべきものではないが、 $\Delta V$  の値として明確な指示がえられぬ原因は、おもに後述する電流の印加・切斷直



第8図 給電電流と誘起電圧の記録 (電位差計法によつて測定しても著しい誤差のない場合)  
 ◎△は電位差計により読取つた時刻



第9図 給電電流と誘起電圧との記録 (電位差計法では著しい誤差を招く場合)

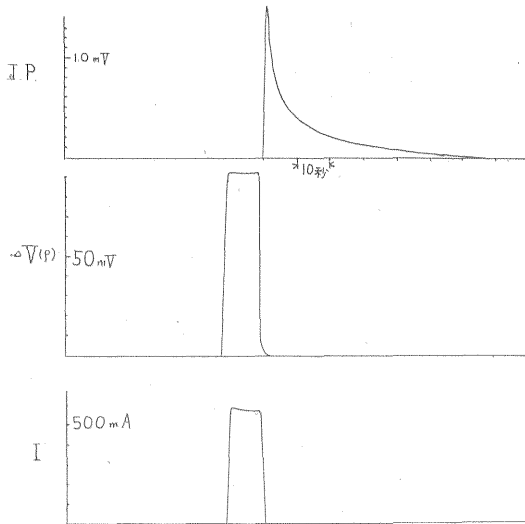
後に生ずる誘導分極による過渡現象にあることが第9図より知られる。

### 5. 誘導分極の影響

誘導分極の影響を求めめるために行なつた測定結果は第10図に示した。実験は寄生電場の影響をしらべた北茨城

市上桜井部落で、前記のオツシログラフを用い、電極間隔  $a=50\text{m}$  の Wenner 配置によつて行なつた。給電電流切断後における残留電位差の時間的变化は通電時間によつて左右され<sup>10)</sup>、残留電位差の大きさより給電電流投入後における誘導分極による電圧変動値を決定することには幾何かの問題がある。しかしながら、給電電流切断





第10図 誘起電圧・誘導分極電圧・給電電流についての測定例

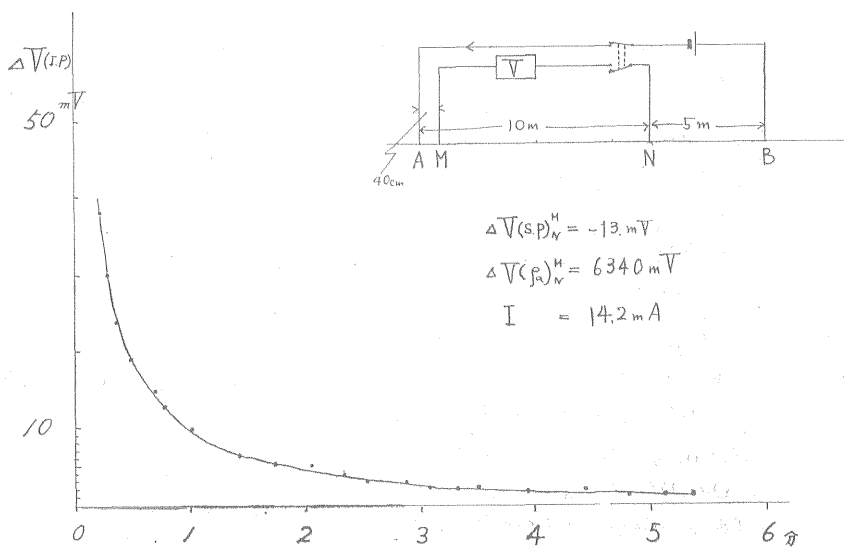
数秒後における残留電位差は通電時の電位差の1%以下であるから、給電電流投入数秒後における誘導分極によるMN間の電圧降下は1%以下と考えてさしつかえない。給電電流によるMN間の電圧降下の測定に対する誘導分極の影響としては、上記のように誘導分極による電圧降下分の影響は無視できるもので、むしろ給電電流投入以前に行なうMN間の自然電位差の補償に対し前回の測定によって生じた誘導分極による残留電位差の影響の方が重大である。何となれば、給電電流IによるMN間の電圧降下を $\Delta V(I)$ 、残留電位差を $\delta V_{in}(I, t)$ とすると、 $\delta V_{in}(I, t)$ と $\Delta V(I)$ の比は小さくとも、

$\delta V_{in}(I, t)$ の大きさは給電電流と無関係な自然電位差の大きさと較べて無視できるほど小さいとはいえない。前回の測定に際して投入した給電電流による残留電位差が自然電位差に較べて無視しえぬ間に自然電位差の補償を行なうことは測定に誤差を導入することになる。また、測定が終了し給電電流切断後、自然電位差の補償状態を再点検した場合、補償平衡が破れていることがある。これは通電以前に行なつた自然電位差の補償が不完全であつたためではなく、残留電位差が存在するために平衡が破れているのである。この場合直ちに再補償をほどこして再測を行なうと、再補償のため加えた電位差だけ誤差となる。同様なことは電極配列を変化させた場合、特に重要である。例えば、第11図に示したように、電位電極が前回の測定における給電電極の設置箇所のごく近傍に設定されると、著しく大きな残留電位差が存在しているため測定に重大な誤差を生ずることとなる。

今回の実験結果および人形峠夜次地区において筆者らの得た測定結果とVaquier<sup>19)</sup>らが20~30meshの砂と5%モンモリロナイト泥水で処理した試料について得た結果とを比較したものを第12図に示した。これらはいずれも膜分極によると考えられる誘導分極で、3つの結果は全く類似の性質を示している。したがって、通例のbackground effectとしての誘導分極の大きさは第12図に示した程度と考えてさしつかえなからう。

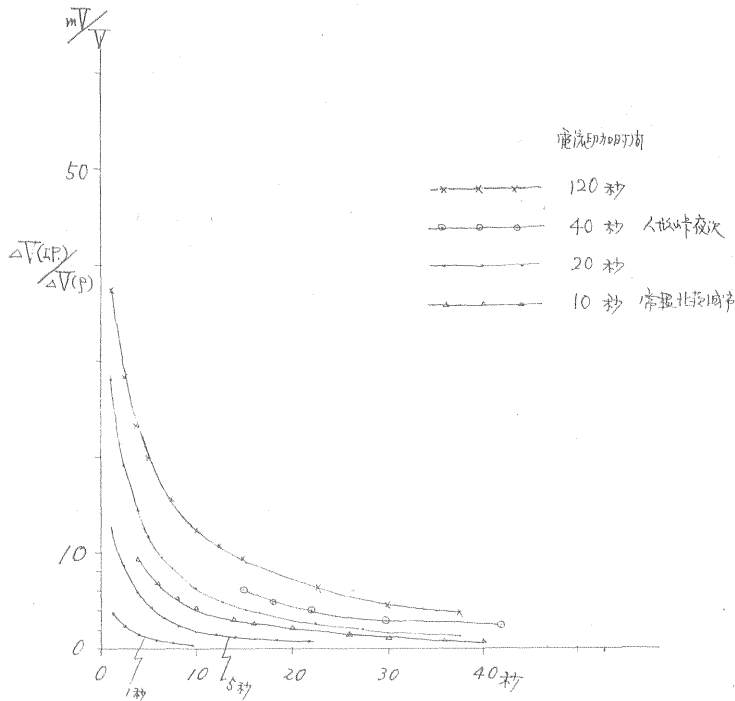
### 6. その他

最後に、測定誤差の原因となる重要な因子として、測定器材の絶縁の問題に触れておこう。先述したように



第11図 給電電極近傍の誘導分極電圧の例

$$\begin{aligned} \Delta V(sp)_V^M &= -13 \text{ mV} \\ \Delta V(p)_V^M &= 6340 \text{ mV} \\ I &= 14.2 \text{ mA} \end{aligned}$$



第12図 誘導分極の大きさと電流印加時間との関係

われわれは大きな給電電流を用いて大地に誘起する微小電位差の測定を行なうのであるから、器材の絶縁に留意せねばならぬ。特に第13図(C)のように、測定装置の絶縁不良によって電流回路が電位回路に大地外の点で干渉する場合には、(A)の場合より遙かに重大な誤差を生ずる。このことは MN 端子からみた電位測定装置の入力抵抗が著しく高いことから容易に理解できる。

電流回路の大地への漏洩による誤差 ((A)の場合)は、

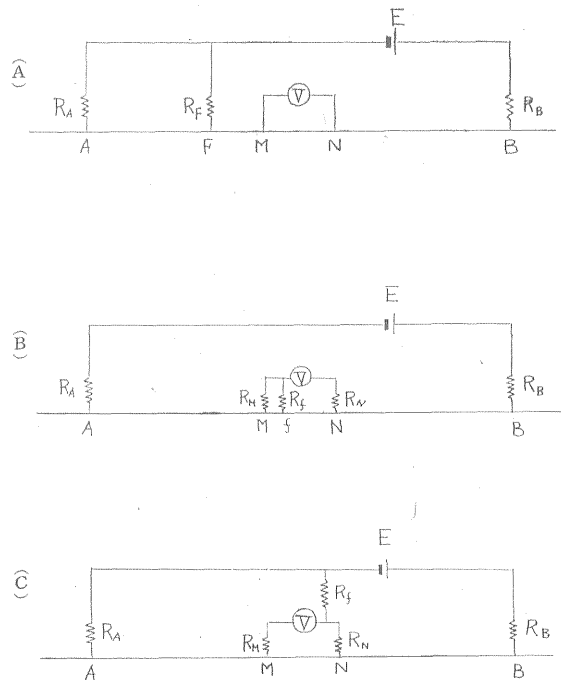
$$\frac{\Delta \rho_a}{\rho_a} = \eta \frac{\rho^{F_a} \frac{K}{k_F} - \rho^{A_a}}{\rho^{A_a} + \rho^{B_a}}$$

ここに、 $\eta = \frac{R_A}{R_A + R_F}$ 、 $\rho^{A_a}$ 、 $\rho^{B_a}$ 、 $\rho^{F_a}$  はそれぞれ電極配置 AMN, BMN, FMN の見掛比抵抗であり、 $K = \Pi \left( \frac{AM \cdot AN}{AN - AM} \right)$ 、 $k_F = \Pi \left( \frac{FM \cdot FN}{FN - FM} \right)$  でこれらの配置の電極係数である。水平成層構造であれば、 $\rho^{A_a} = \rho^{B_a}$  ゆえ

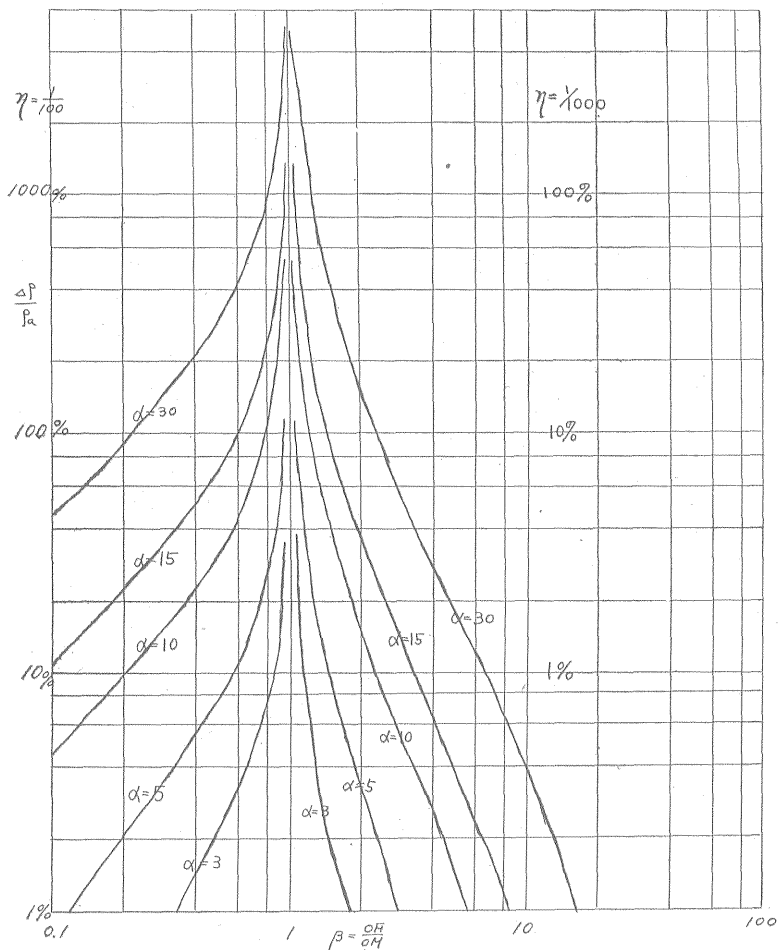
$$\frac{\Delta \rho_a}{\rho_a} = \frac{\eta}{2} \left\{ m \frac{K}{k_F} - 1 \right\} \text{となる。}$$

ここに、 $m = \frac{\rho^{F_a}}{\rho^{B_a}}$  であり、大地が均質ならば  $m=1$

第14図は、 $OA/OM = \alpha$ 、 $\eta$  の種々の値について、F 点の位置 (すなわち、 $OF/OM = B$  の値) と  $\Delta \rho_a / \rho_a$  との関係を示したものである。 $\alpha$  の値が大きいくほど、すなわち微分度の高い電極配置ほど、電流回路の絶縁抵抗は充分高くなければならぬ。



第13図 測定回路に絶縁不良箇所が生じた3つの例



第14図 漏洩現象の測定誤差に及ぼす影響

電位回路の絶縁不良による誤差 ((B)の場合)は

$$\frac{\Delta \rho_a}{\rho_a} = \frac{R_M + R_{Mf}}{R_M + R_f + R_{Mf}} \left\{ \frac{\rho_a^A(Mf) \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right]}{\rho_a^A(MN) + \rho_a^B(MN)} + \frac{\rho_a^B(Mf) \left[ \frac{1}{Bf} - \frac{1}{BM} \right]}{\rho_a^A(MN) + \rho_a^B(MN)} \right\}$$

ここに、 $\rho_a^A(Mf)$ ,  $\rho_a^B(Mf)$ ,  $\rho_a^A(MN)$ ,  $\rho_a^B(MN)$  はそれぞれ電極配置  $AMf$ ,  $BfM$ ,  $AMN$ ,  $BNM$  の見掛け比抵抗である。

均質な大地においては、

$$\rho_a^A(Mf) = \rho_a^B(Mf) = \rho_a^A(MN) = \rho_a^B(MN)$$

である。

その場合、 $R_{Mf} \ll R_M$ ,  $R_f$  であるから

$$\frac{\Delta \rho_a}{\rho_a} \approx \frac{R_M}{R_M + R_f} \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\left( \frac{1}{Bf} - \frac{1}{Af} \right)}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right)} \right]$$

で表わされる。

第3表 電気探査用ケーブル規格

	(I)	(II)	
導体(素線数/素線径 mm) T.A.	12/0.45	12/0.26	T.A 錫メッキ軟銅線 (JISC-3102)
" G.S.	7/0.45	7/0.26	G.S. 亜鉛メッキ鋼線 抗張力 221kg/mm <sup>2</sup>
ポリエチレン絶縁厚 (mm)	1.0	0.6	± 10 % 以内
ビニールシース厚 (mm)	0.8	1.0	- 10 % 以内
最大仕上外径 (mm)	5.9	5.0	
導体抵抗 (Ω/km)	9.8	29.4	
絶縁抵抗 (MΩ/km)	6,000	3,000	
概算重量 (kg/km)	54	27	
試験電圧 (V)	1,500	1,500	
抗張力 (kg)	230	70	

また、一般に  $R_M \ll R_f$  とおきうるゆえ

$$\frac{\Delta \rho_a}{\rho_a} \approx \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Of}{OM} \right) \frac{R_M}{R_f}$$

と表わしうる。したがって  $\Delta \rho_a / \rho_a$  は  $R_M / R_f$  より小さく、(A)の場合に較べて影響は少ない。

われわれは電線、特に給電電流の絶縁に対しては特に注意を払った。従来電気探査に用いられている塩化ビニール被覆の電線では絶縁は不満足であるため、第3表に掲げる特性のものを製作した。使用状態における特性は満足しうるものである。

## 7. 結 び

深部探査を行なうには、電気探査の探査深度を増大せしめること、すなわち、電極間隔の増大に伴ない急速に低下する大地抵抗を  $10^{-3}\Omega$  程度まで測定しうるのがまず必要である。比抵抗法においては、大地抵抗  $R$  の標準抵抗  $R_0$  に対する比較測定が精度よく行ないうればよいわけであるから、このような考え方で  $10^{-3}\Omega$  まで4%以上の精度で測定する装置を試作した。

大地抵抗の測定精度は測定装置の精度のほかに、次に述べるような寄生電流による電場の変動と給電電流による大地抵抗の電圧降下との比によつて影響される。大地を流れる寄生電流のうちで、工場、鉄道等の施設より発生する迷走電流は不規則なもので、かつ短周期の成分を含むが、地電流の脈動はわれわれの観点より問題にする周期の範囲内では比較的規則的な波形をもつ。常磐地区で観測されたこれら寄生電流による電場の変動は、時に  $1.5\text{mV/km}$  以上に達することもあるが、一般には  $0.5 \sim 1\text{mV/km}$  であり、 $MN=150\text{m}$  の比抵抗測定に当り  $MN$  間に  $0.075 \sim 0.15\text{mV}$  程度の電圧変動を生ずる。したがって、大地抵抗の給電電流による電圧降下は少なくとも  $3\text{mV}$  以上に保持されることが零位法による測定では必要であり、 $3\text{mV}$  以下の電圧降下に対しては電磁オツシログラフに変動電場を記録しながら、給電電流による電圧降下を偏読法によつて測定する方法を採用せねばならない。

誘導分極の測定値に対する影響は、電位電極を事前に電流電極を設定した近傍に設けない限り、零位法による測定においては無視しうるものと思われる。零位法の測定限界に達したのち採用する偏読法においては検討の余地があるが、今回は零位法による測定精度と測定限界について考察を限っている。(昭和37年3月稿)

## 文 献

1) Cagniard, L.: Electricité Tellurique, Handbuch der Physik, Geophysik, p. 407

- ~431, 1956
- 2) Sorokin, L. W.: Lehbuch der Geophysikalischen Methoden zur erkundung von erdölvorkommen, p. 180~278, 1953
- 3) Daxnov, V. N.: Electrical Prospecting for Oil and Gas Deposits, (露文), 1953
- 4) Larfargues, P.: Propection Electrique par Courants Continus, 1957
- 5) 小野吉彦: 堆積型ウラン鉱床に対する比抵抗法の利用について——人形峠恩原地区における測定を中心として, 地質調査所月報, Vol. 12, No. 6, p. 25~30, 1961
- 6) 小野吉彦他: 伊豆大島における直流法による電気探査について, 地質調査所月報, Vol. 12, No. 11, p. 1~18, 1961
- 7) 小野吉彦他: 松川地域地熱電気探査, 地質調査所月報, Vol. 12, No. 9, p. 11~20, 1961
- 8) 小野吉彦他: 堆積岩地域における直流法の適用例について, 物理探鉱春季学会, 1961
- 9) 小野寺清兵衛: 比抵抗法探鉱装置, 物理探鉱, Vol. 11, No. 1, p. 208~214, 1958
- 10) 高橋正雄: 電導度測定法, 電気化学, Vol. 25, No. 1, p. 27~34, 1957
- 11) 淵田隆門: L—10型大地比抵抗測定器の特性について, 物理探鉱, Vol. 2, No. 2, p. 11~16, 1949
- 12) Schlumberger, C. M.: Depth of Investigation attained by Potential Methods of Electrical Exploration, Trans. A. I. M. E., Geophys. Prospecting, p. 127~133, 1932
- 13) Wescott, E. M.: Magnetic and Telluric Current Disturbance in Alaske, Geophysics, Vol. 25, No. 6, p. 1242~1250, 1960
- 14) 大地 洸: 地磁気及び地電流脈動 (p t) の時刻分布について, Memo. Kakioka Mag. Obs., Vol. 8, No. 1, p. 87~92, 1957
- 15) Yanagihara, K.: Earth-Current Pulsations Observed at Kakioka, Memo. Kakioka Mag. Obs., Vol. 8, No. 1, p. 49~59, 1957
- 16) Kunetz, G.: Principles of Telluric Prospecting, C. G. G. 出版物
- 17) Kunetz, G.: Elimination de l'effect des vagabonds industriels dans une prospection par courant telluriques, Early papers and history of E. A. E. G., p. 36~53, 1961
- 18) Yoshimatsu, T.: Universal Earth-Current and the Local Characteristics, Memo. Kakioka Mag., Obs. Suppl., Vol. 1, 1957
- 19) Vacquier, V. et al.: Prospecting for Ground Water by Induced Electrical Polarization, Geophysics, Vol. 22, No. 3, p. 660~687, 1957