

ERRATA

Page	Line	Read	For
51	Table	AC	Ac

大地比抵抗の測定について

柳 原 一 夫

On the Measurement of Earth-Resistivity

By KAZUO YANAGIHARA

Abstract

The current devices for the apparatus of direct measurement of earth-resistivity are generally based on the Gish-Rooney's apparatus or ratiometer. Longer the base length becomes, the more the signal from the inner electrodes reduces. The double commutator may be a seat of the troublesome instability brought about on the measurement by longer bases, especially for routine use of daily measurements. Mutual inductance between the current-lines and potential-lines effects on the ratio V/I measured by null method. On these standpoints, some modifications including the two phase compensation of ratio meter are taken into consideration and an apparatus for routine use is devised (Fig. 2). Some experimental and field tests are shown.

大地比抵抗を直接測定するには通常 Wenner の 4 極法の電極系列を用いて Gish-Rooney〔1〕の始めた交替直流を用いることが多い*。この場合交替直流のサイクルは 10 乃至数 10 サイクルであるがこれを直流計器——通常検流計——の周期程度にひきのばしても被測定大地の条件によってはさほどの支障を生じない〔2〕。交替の周期が短くなれば導体である大地の遮蔽によって電流の地中への透入が浅くなって測定される見掛けの比抵抗が地表近くの比抵抗をより多く示すこととなりより深い所の比抵抗を測定するには不向きとなる。それで捕網においては従来このやや直流に近い方法によって相隣れる電極間隔 a を 220 m, 350 m, 700 m の 3 種の基線について毎日測定して来たが（直流法）、国際地球観測年に際して地電流の早廻し観測を開始することとなり、検流計の周期程度の交替直流を地電流（地電位差）測定基線付近に流すと早廻し記録上に見苦しい記象を残すので大地比抵抗の測定を別の方法によることを考えた。

* 電気式地下探査においては後述するような一種の比率計が相当用いられている。又大地比抵抗を線条間の相互誘導又は自己誘導によって間接に求めることも工学関係においてしばしば用いられる。

Gish-Rooney 以来の伝統的方法による 2 重コンミュテーターの予備実験を行ったが、電極間隔 a が大きくなって電位差回路の生起電位差が小さくなると不安定となり、毎日のルーチン観測としては不向きであった。こうした不安定はコンミュテーターの改良によって取り除くことも不可能ではないが、大きな電流の断続——測定の精度を上げるためには土地に流す電流はなるべく大きくしたい——を行って矩形波をうることが面倒であることと後述するように生起電位差を位相を弁別して測定したいために電位差回路のコンミュテーターを交替直流を作る電流回路のコンミュテーターと相対的に回転位置をずらすことを可能にしたための複雑さとのために 2 重コンミュテーターを用いる方法はとらないことにした。

一方前頁脚註に述べたように一種の比率計による測定方法が電気式地下探査において多用され、某社から製品として売り出されている。(L-10 型)。この測定原理は第 1 図に示すよ

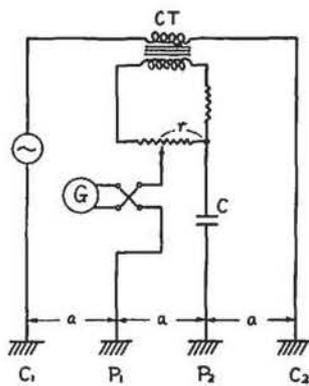


Fig. 1. Earth-resistivity measuring apparatus (L-10 type).

うに手動発電機からの電流 I は電流変成器 CT の 1 次側を通して電極 C_1, C_2 より地中に流され、これによって電極 P_1, P_2 に生じた電位差 V は CT の 2 次側に挿入された抵抗 r の両端に生ずる電圧と打消すように抵抗をスライドして零位法で測定する。この場合 $V/I = k \cdot r$ (k は常数) であるから、見掛けの比抵抗 ρ は

$$\rho = 2\pi a V/I = 2\pi a k r$$

である。この零位法における零検出器としては発電機軸に直結したコンミュテーターと直流検流計を組合せて用いる。

この測定器 (L-10 型) について淵田氏はいろいろの試験を行って〔3〕、 $V/I = kr$ が、 0.3Ω のレンジについては誤差が甚しく大きくなりそれは主として電流変成器 CT の位相差と発電機の波形歪によるものであらうとされている。我々の実験においても 0.3Ω のレンジについては相当の誤差が生ずることが確かめられたが、波形歪ばかりでなくコンミュテーターのノイズが非常に大きく空転状態においてもコンミュテーターを通る回路に測定時の信号と同程度の電流が流れた。ともかく我々の測定対象においては ($a = 220 \text{ m}, 350 \text{ m}$ 及び 700 m) V/I が、 0.1Ω 程度であるからこの器械をそのまま用いることは出来ない。

大地に流す電流 I としてはコンミュテーターによる交替直流が具合悪いとすれば正弦波交流を用いるのが都合がよい。 $\rho = 2\pi a V/I$ において残りは電位差 V を測定すればよいが、交流の場合なら交流電位差計となるからその電源としては電流供給源と同一のものを用いる。その場合には V と I とを別々に測定せずに組合せて第 1 図と同様に V/I を直接測定するようにした方が便利である。零検出器としては 50 サイクル電源 (商用周波数) の誘導

及び漏洩をさけるには同期整流とすることがよい。そのためにコンミュテーターをやめて近頃進歩したチョッパーを用い、検流計と組合せて用いる。

このようにして第2図に示すような大地比抵抗測定器を組立てた。

この回路は原理的には第1図に示したものと似ていて、手動発電機をCR発振器と増巾器との組合せで置きかえて又コンミュテーターの代りにチョッパーとしたものであるが、第2図下方に示すような測定対象の等価回路においてインピーダンス Z が純抵抗ばかりでない場合にも測定出来るように CT の2次側に $\pm 90^\circ$ ずれた位相の電圧を発生出来るようにし、又それに対応してチョッパー Ch の駆動電流の位相を変えうるように移相器を加えてある。大地比抵抗測定基線の a が大きくなると電流線と電位差線の平行区間が長くなって、相互誘導による大地比抵抗測定の場合と同様に電流線に流れる電流によって電位差線に誘導電圧を生ずる。これは第2図の等価回路において Z が純抵抗でなく $R + j\omega L$ の形となることを意味する。

電流を流していない時の電位差用電極 P_1, P_2 間の直流電位差は電極の材質及び大地の土質によって大いに異なるが、通常金属棒を用いる場合は数10～数100 mV程度、硫酸銅電極を用いても P_1 と P_2 が可成りの距離を距てていれば10 mV程度はさげられない。この直流電位差を阻止するために——阻止しなくても直流分をコンミュテーター又はチョッパーによって反転するからよいようであるがそれより遙かに小さい交流信号を検出しなければならぬから調整が面倒となる——通常コンデンサー C を挿入する。この場合 $Z = R + j\omega L$ に対して純抵抗分のみの考えで例えば第1図の様な回路で測定したとすると検出器回路の電流 i は

電流を流していない時の電位差用電極 P_1, P_2 間の直流電位差は電極の材質及び大地の土質によって大いに異なるが、通常金属棒を用いる場合は数10～数100 mV程度、硫酸銅電極を用いても P_1 と P_2 が可成りの距離を距てていれば10 mV程度はさげられない。この直流電位差を阻止するために——阻止しなくても直流分をコンミュテーター又はチョッパーによって反転するからよいようであるがそれより遙かに小さい交流信号を検出しなければならぬから調整が面倒となる——通常コンデンサー C を挿入する。この場合 $Z = R + j\omega L$ に対して純抵抗分のみの考えで例えば第1図の様な回路で測定したとすると検出器回路の電流 i は

$$i = \frac{(r_3 + r_4)(R - kr) - (L/C) + j\{(r_3 + r_4)\omega L + (R + kr)/\omega C\}}{(r_3 + r_4)^2 + (1/\omega C)^2} \cdot I$$

で与えられるから i と I の同相分が零となる条件では

$$(r_3 + r_4)(R - kr) = L/C$$

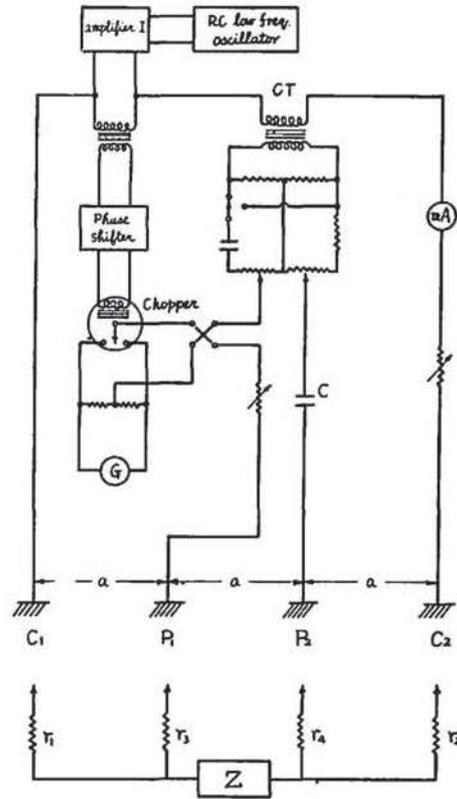


Fig. 2. Earth-resistivity measuring apparatus devised for routine use.

即ち

$$kr = R - L/C(r_3 + r_4)$$

となる。

$$R = 0.1 \Omega, \quad L = 0.5 \text{ mH}, \quad C = 4 \mu\text{F}, \quad r_3 + r_4 = 5000 \Omega \quad \text{とすると,}$$

$$L/C(r_3 + r_4) = 0.025 \Omega$$

従って

$$\{L/C(r_3 + r_4)\} / R = 0.25$$

となって 25 % の誤差を生ずる。

従って第2図のように電流と同相分と $\pm 90^\circ$ ずれた位相分との2つの位相の電圧を加えて全体が零となるようにしなければならぬ。

低周波発振器にはウィーンブリッジを用い増巾器は6L6プッシュプルで出力15W、波形歪は5%以下である。電流変成器CTの1次、2次の変流比は0.75で20サイクルから100サイクルまでの実測値を第3図に示す。又1次、2次の位相差を第4図に示す。第3図、

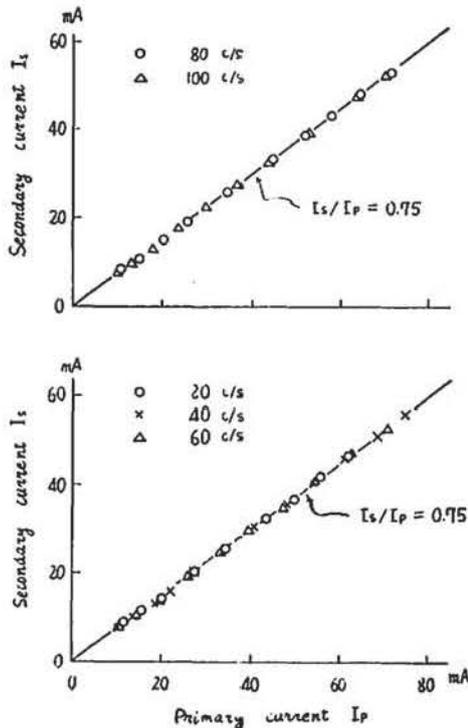


Fig. 3. Conversion ratio of current transformer.

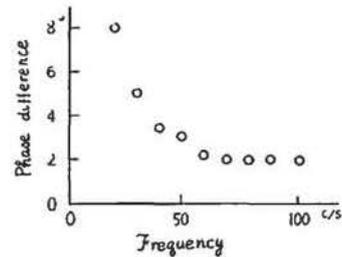


Fig. 4. Phase difference of current transformer.

第4図には2次側負荷として100Ωの抵抗を用いたもののみを示したが、1Ωから1000Ωまで変えてもこの特性には殆んど変りはない。チョッパーのノイズレベルは10μVである。

周波数を50サイクル近辺にとると商用電源からの漏洩及び誘導によって測定が困難となり実用上45サイクルから55サイクル位の範囲では誤差のため使用出来ない。またチ

ョッパーがこの商用周波数に合わせて作ってあるので試験結果では30サイクル以下、70サイクル以上では誤差の原因となる。従ってルーチン観測には40サイクル及び60サイクルを用いることとした。

チョッパーの代りに振動検流計を用い、周波数を変えて3つの基線について測定した1例

を第5図に示す。又チョッパーを用いた第2図の回路で周波数を40サイクルとした場合の測定の1例を下表に示す。この装置で標準抵抗0.1000Ωを第2図の等価回路Zに入れて測定した結果は40サイクルで0.101Ω、90サイクル—この場合はチョッパーの代りに振動検流計とする—で0.099Ω、いずれの場合もインダクタンス分は0.005mH以下であって、誤差は0.1Ωに対して1%以下と考えられる。

実際の比抵抗測定基線において電位差回路の電圧のインダクタンスに相当する部分は前述のように平行2線条間の相互誘導によるものが大部分と考えられる。電流線と電位差線の関係位置からCarsonの式によってインピーダンスZを計算して表に示す。各線間の関係位置を粗い近似で計算したので詳しくは云えない

が比較的良好に実測と一致している。又従来の直流法による測定も同じ表に示したが交流法による抵抗分から出した測定と大体一致している。

しかし第5図に示すように抵抗分も周波数によって変化するので実際にはもっと直流に近

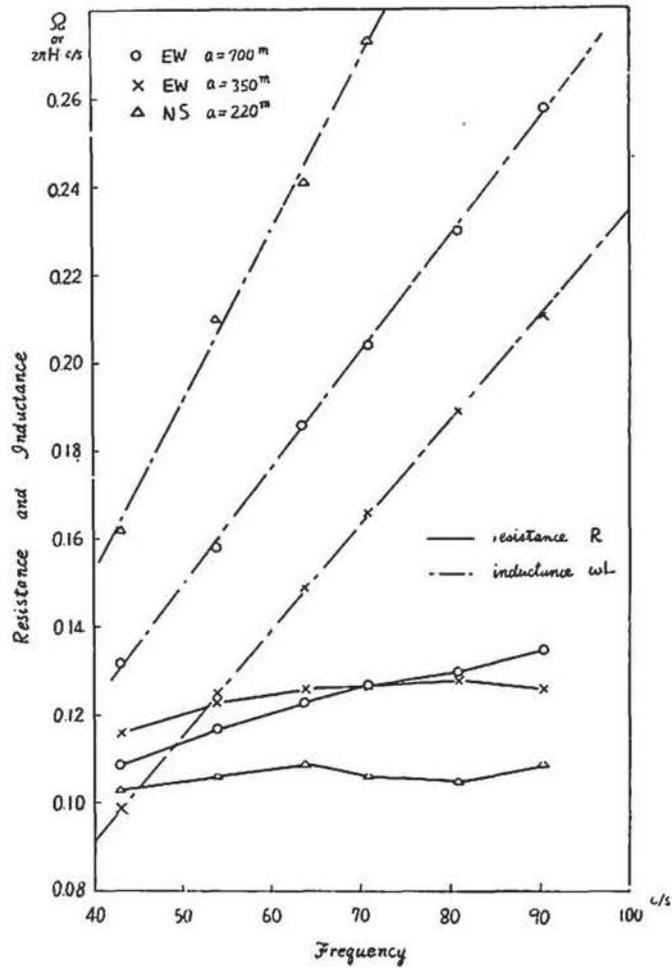


Fig. 5. Measured impedance by the earth-resistivity measuring apparatus shown in the Fig. 2.

Table. Measured earth-resistivity (by 40 c/s Ac and DC) and inductance and the calculated mutual inductance

Base		Earth-resistivity		Observed inductance	Calculated mutual inductance
direction	a	by AC	by DC		
	m	$\times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$	$\times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$	mH	mH
EW	700	5.10	5.00	0.514	0.513
EW	350	2.99	2.62	0.398	0.332
NS	220	1.55	1.37	0.620	0.590

い状態で測定することが望ましいが、一方冒頭に述べたような地電流早廻し記録が見苦しくなることを除いて考えても分極作用等の過渡現象による誤差が混入して来るから自ら制限を受ける。柿岡においてはこの意味の過渡現象が比較的小さくて従来の直流法——検流計の周期程度の交替直流又は断続流——が可能であるがそれでも3~5%程度の誤差をまぬがれないので、この意味においては交流によることが望ましい。従って将来においては数サイクル程度の交流を使う測定を行いたいと思う。

この試験を行うに当っては大いに熊谷氏の御協力に負う所が多い。ここに深い謝意を表します。

引用文献

- 1) Gish, O. H. and W. J. Rooney, Terr. Mag., 30, 161, (1925)
- 2) 柳原一夫, 地磁気観測所要報, 6, 36 (1951)
- 3) 淵田隆門, 物理探鉱, 第2巻第2号