

# 電氣抵抗式地下探査法雜觀

島田八郎

## 目次

序	地 應 用 例
第 I 章	測 定 法 に 就 て
第 II 章	要 約

## 序

最近物理地下探査法と稱する一つの地質調査法が我國に於て地質調査及び探鑛法の一部分として一般的に其の効果を認められ來り、將來更に其の技能を發揮せんとする情勢にあるが、其の効果を過信せず、又、眩きず利用範圍を了解する事

が土木技術者の立場に於て特に必要である。要するに地下の土壤、岩石等の特定の性質、例へば弾性波傳播速度、密度、電氣比抵抗、電媒常数、磁媒常数等の差異を利用し、其の分布状態を地表上より測定し、地下の地質學的構造を探索するもので、上記の如く對照とする特性の異なるより地下探査法も下記の様數種に分類する事が出来る。

- a) 重力的探査法      b) 人工地震彈性的並に衝擊的探査法      c) 電磁的探査法
- d) 電氣的探査法      e) 放射特性による探査法

更に測定方式により、別の分類をも爲し得るものである。各々特長あるもので (a) の重力による測定法などは主に地球物理學的に主要なもので、測定原理は理論的に整然としてゐるが、測定器械の取扱ひに可成り六ヶ敷き點があり、土木學の方面には従來とも直接には用ひられてゐない。(c) の電磁的探査法には磁媒常数の分布によるものと、電磁波を利用し電媒常数 ( $\epsilon$ ) と、電氣比抵抗 ( $\rho$ ) の兩特性の分布を調べんとするもの二種に分け得、後者にては變數を二つ採用せる爲め、最も確實な方法と H. Löwy も述べてゐるが、電磁的方法に伴ふ測定の複雑性の爲め取扱ひが困難で、結局最も一般に使用され得る可能性のあるものは (b) (e) の彈性波傳播並に電氣抵抗による探査法である。

兩法は土木工學各方面に色々な形式をとり應用されてゐる。今其の内後者に就き斷片的に記述してみよう。理論的に考察するも、數學的立場より見れば逆函數存在の問題として L. B. Slichter, R. E. Langer (1933) が解き、單に地質調査に問題を極限せず、土壤の電氣的特性を明かにし、無線電波の如き高周波の電源に對する電氣抵抗性、電流通過にする土壤組織構造の變化の研究等異なる視野より獨自の研究も行れてゐる。我國に於ては農藝化學方面に於ける水素イオン濃度、電氣滲透等電離の研究以外未だ土壤力學と關聯せる研究は皆無の様に記憶してゐる地質探査法としては電氣抵抗法により

昭和五年頃瑞典の The electrical prospecting Co. の P. E. Lagerhjelm 氏により最初鐵道省建設局の現場にて試みられてより鐵道省官房研究所服部、荻村兩氏により色々研究され調査方法理論にも色々研鑽を積れ、實地に各所に於て實施され、試錐とも比較された報告が鐵道省土質調査委員報告第 1, 3 輯を始め數多發表されてゐる。鑛山方面の地質探査に利用されてゐる現状は省略するも、逕信省電氣試験所に於ても電氣的探線法と稱へ、堀岡岩佐兩氏により研究が進められてゐる。

又一方此種探査法の機能上當然の事ながら實際上地質學的の明快な資料を提供されない場合、又實測法の現地に適合せざる爲め、全く試錐の示す結果と異なる場合の相當數多くあるを以て、試験法其のものを實用上無價値のものとなす人士も可成りある。筆者は未だ實測の經驗もなく輕々に批判する事は避けるが、少くとも測定法より判斷するに試錐法は個々の點を探査するもので、電氣抵抗探査法は或る範圍の一種の平均的傾向を示すもので此點に兩者の特長と短所があり、自ら應用に別天地がある。殊に地下の電氣的特性の分布は通常基本式に取扱れてゐる様な單純なものでない。土壤岩石其れ自體の電氣傳導的特性のみにても工學上頗る特異な興味あるものである、多くの技術者の研究を要するものである。斯く考察すれば未だ研究を要すべき分野の多く未開拓にあり、單に最小限の研究が完成してをるに過ぎない。例へば、

(1) 傳導理論式 (2) 實測方法 (3) 地下物質の各種電氣的特性

等に於ける研究は最近可なり進歩せるも、寧ろ此後の發展に俟つべきである。元來 Wenner が 1916 年米國に於て地面の電氣抵抗測定法 (A method of measuring Earth Resistivity) なる一論文を筆せし當時より、歐米各國に於て各々發達したもので、文献としては、

O. Schlumberger (佛 1920), K. Sundberg, H. Lundberg, J. Eklund (スウェーデン 1925), R. Ambromm (1926), W. He-

ine (獨 1928), Edge, A. B., T. H. Laby (英 1931).

の各著書が單行本として有名なものである。其の他各種専門雜誌に異なる視野より見たる試験法の理論方面、實測方面並に實地應用方面の成果が報告されてゐる。我國に於ても昭和五年(1930年)に先きに述べし様兎に角此方法が輸入されたものであるから、専門家には其の理論及び實地の成果は周知の事であるが、最近 F. Tölke の一論文 (Die geophysikalische Baugrunduntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der geoelektrischen Anschlussverfahren (電氣抵抗地下探査法の概念とも稱すべき一論文を精讀し、裨益する所があつた。其れにヒントを得二三外國に於ける電氣地下探査法の實例と其の原理とを以下讀者と共に研讀してみよう。此試験に關し實際上重要な事項論理的に重要味ある點も全部省略し、單に全貌を述べる程度に記述する。此試験法價値は勿論精種の條件により支配されるもので、讀者の判斷に委ねる事としよう。

## 第 I 章 實地應用例

電氣抵抗探査法は要するに地盤を形成せる土壤岩盤等の固有電氣抵抗値の差異を利用し、地表より電極を埋設し、一定の電壓を加へた場合に顯れる地上電場の分布を測定し、別に數學的に假定せる地下比抵抗分布の下に計算せる計果と比較し、逆に地下の比抵抗の分布を推定するものである。通常土壤と結晶質岩石の電氣抵抗の差異は著しく大なる爲め、比抵抗の分布より地質其のものゝ分布を推定せんとするものである。同一岩石にても風化の程度、從て滲透含水量にも著しき差異あれば比抵抗値は著しく變る。若し假りに測定上の理論技術が完全に遂行されるとしても、比抵抗の分布より岩石學

的に見た地質分布を歸納する事は嚴密な意味で現代では不可能であらう。然るに實際には理論測定條件と現場の條件の一致しない事が多く、比抵抗の分布其のものすら豫明せる精度に求める事が困難である。然れども補助に試錐を適宜に行ひ、後に述べる電氣抵抗式に於ても其の都度現場の地形地質的分布に適した様式を採用すれば、試錐の数を著しく減じ得費用及び時間の經濟になり全體的に考察したる地質的地形を判明するに役立つ。逆に試錐の重要點を推定するに役立つ。我國の例は鐵道省土質委員會報告等に橋梁基礎調査の實例が餘多發表されてゐる。舊きものであるが外國での二三の結果を述べる、其の先きに地下物質の電氣比抵抗の二三の値を表示す。單位は  $\Omega \cdot m^{-1}$  で、 $\gamma$  マンソンの  $\Omega \cdot m^{-1}$  である。

物 質	蒸溜水	通常地下水	含鹽水	*Mの含有粘土	粘土	含水ローム	ローム	砂	花崗岩	片麻岩
電氣比抵抗値( $\Omega m^{-1}$ )	260	0.03~0.15	0.00005~0.001	1~3	1~10	5~50	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup>	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>8</sup>

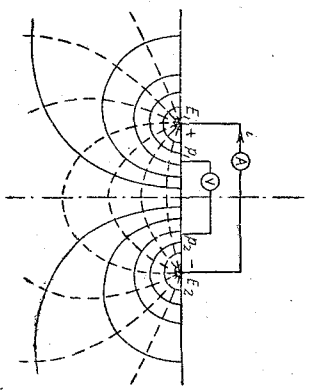
\*以下は自然濕潤狀態のものである、實驗者は必ず補助試錐にて得し試料に就き實驗室内の試験を行ひ、比抵抗を定める必要がある、尚ほ岩石は空隙内に滲透せる液體の比抵抗により著しく支配されるもので、單位當りの空隙容積を  $\eta$ 、岩石並に滲透液の比抵抗を夫々  $\rho_0, \rho_1$  とすれば、 $\rho_0, \rho_1, \eta$  の關係として Hauschek は  $\rho_0 = \frac{3}{\eta} \rho_1 \dots$  式を提出してゐる、斯かる特性は岩盤の滲水性判定の一助に利用し得る可能性を示すものである。

§. **Lievre 河** (Masson, Quebec, Canada) の堰堤工事に於て約 1500 m の全長を有する透水隧道を岩盤内に掘穿せんとし路線決定の爲め岩盤の地形學的狀態を明かにせんとした、斯かる場合試錐法に由れば可成りの日月を要す幸に補助試錐により測定せんとする地域の地質學的構造として岩盤は硬い前カンブリアン期、古生代のもので電氣抵抗も著しく大で、被覆部分は第四紀の礫砂粘土の堆積物で電氣傳導度が大である事が判明した。且つ堆積物岩盤とは一層式の構造であるか

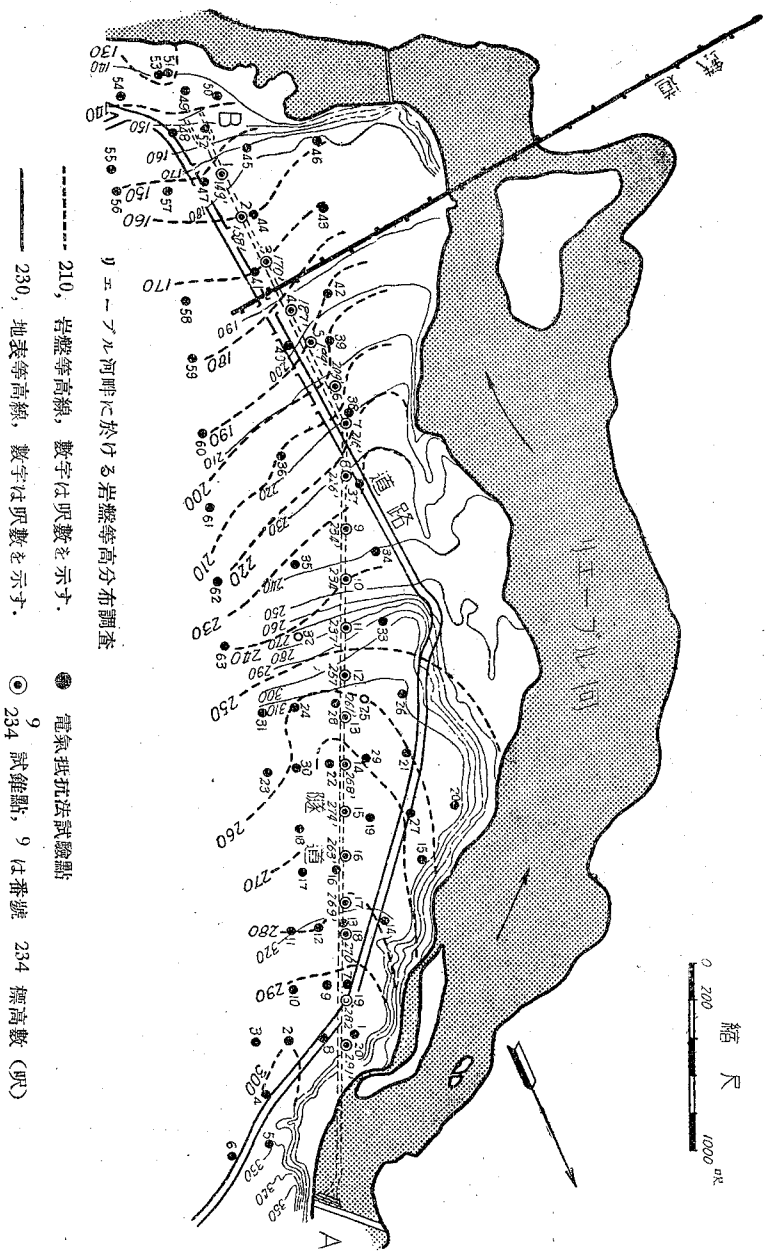
ら電氣抵抗式の應用には都合のよい電氣比抵抗の分布になつてゐる。實驗方法は後に説明するが Schlumberger 法によつたものであらう。要するに4極法で第1圖の様な原理に據つたと報告されてゐる。同圖の  $E_1, E_2$  は地表に埋設された電場を作るため電源より電流 ( $i$ ) を供給する電極、 $P_1, P_2$  は  $E_1, E_2$  を結ぶ直線上に置かれた電極で、 $E_1, E_2$  電極にて作られた電場を亂す事無く地上2點間の電位差  $V_s$  を測定す電極である、検査電極と稱へん。今全く一樣な比抵抗 ( $\rho$ ) を有する場合ならば、地下物質の比抵抗  $\rho$  は簡單に  $\rho = \pi \frac{4V_s}{i} \frac{E_1 P_1 E_2 P_2}{P_1 P_2}$  で與へられる、地下に比抵抗  $\rho$  の不同の場所ある場合  $E_1, E_2$  の距離を變じつゝ上式による  $\rho$  の値の急劇に變る位置を求め、 $\rho$  の異なる部分の存在分布を明かにせんとするものである。第2圖は 60 m 距る 63 箇所の位置に於て岩盤の深さを測定し、岩盤の等高線を求めたもので、點線……<sup>210</sup> は呎數で示せる等高線である。

10 呎毎に明瞭に畫かれてゐる。其の結果 A の境界の位置から B の發電所位置までの透水隧道位置を同圖細點線で示す如く計畫し、更に決定資料とし、豫定線に沿ひ試験線①、②、③……を行つた、11 は試験番號、237 は岩盤の標高を呎で示すものである、電氣抵抗式による等高線と傾向を知る意味で定量的によく一致してゐる。

第3圖は隧道位置に沿ふ断面に於ける兩者を比較せるもので、岩盤の上部に堆積土の存在せるを示すもので、數字は基線よりの高さ (呎) と試験番號 (85) である。



$E_1, E_2$  電流供給電極、  
 $P_1, P_2$  検査電極  
第 1 圖



リネーブル河畔に於ける岩盤等高分布調査

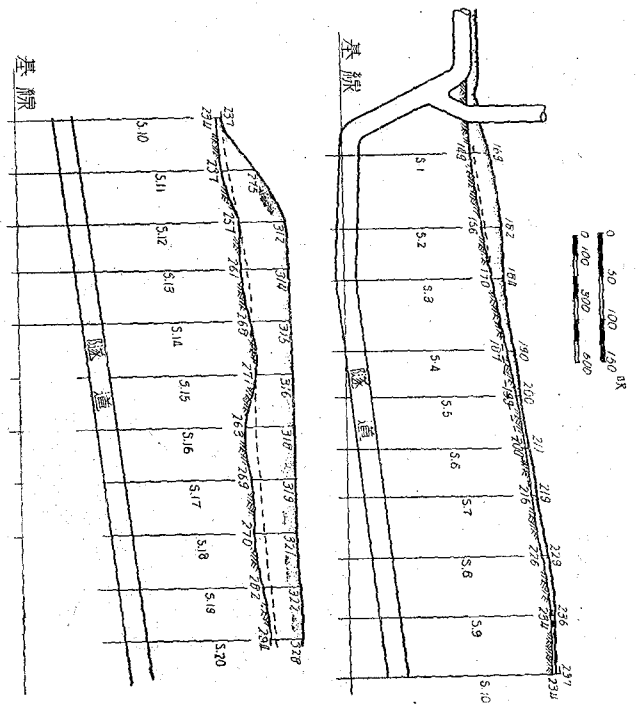
- 210, 岩盤等高線, 数字は尺数を示す.
- 230, 地表等高線, 数字は尺数を示す.
- 電気抵抗法試験點
- ◎ 234 試錐點, 9 は番號 234 標高數 (尺)

第 2 圖

§. Saint-Laurent 河堰堤 (Morri-

burg, Ontario, Canada) (1929) 位置の

決定補助に用ひられたもので、最初若干の試験を行ひ地質學的構造として岩盤は各種石灰岩 (石灰岩、白雲岩、結晶片麻岩) より成り、上層は粘土層の堆積より成り、兩者の電気比抵抗を比較するに粘土質の部分は  $\rho = 150 \sim 200 \Omega m$  で、岩石の  $\rho$  は其の約 8~10 位の比抵抗を有す、第 4 圖は 101 箇所 の測定・より岩盤の等高線……54 (m 數) を求めたもので——曲線は地表等高線である。後に行はれた試験結果 (○) と比較するに兩方法結果の差異最大 一9, 3% で平均 一6% 程度にて電気抵抗法による等高が大きく出てゐる。本試験は全體としての地形圖



第 3 圖

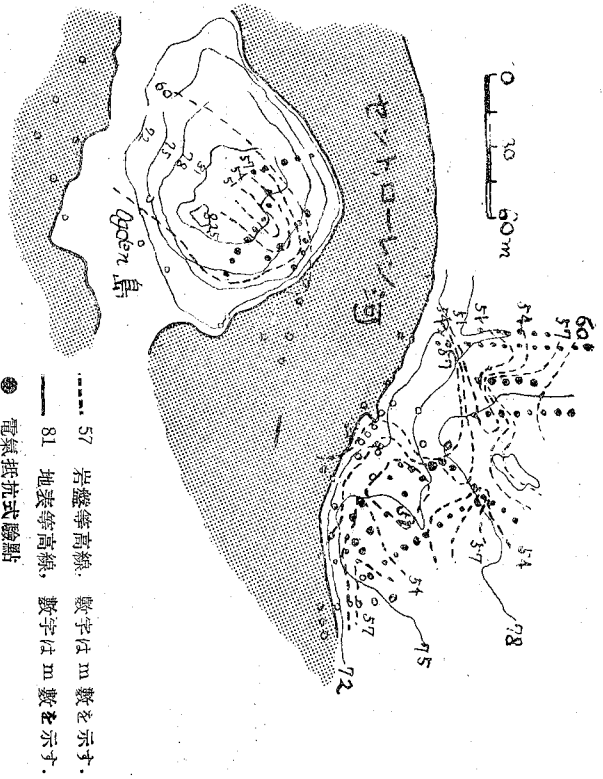
----- 堆積土壌  
 x x x x 岩盤 (試験)  
 ----- 電気抵抗法による岩盤位置



(Topograph)を求め重要雄試點位置決定資料を得るのが目的の様であつた。

§. Conn cicut 河 (near Littleton) に於ける New England 發電所の堰堤位置の選定に補助として使用したもので、岩盤は前カンブリア期の緑泥岩、片麻岩で Canada, New England の他の區域で測定した結果によるに比抵抗  $\rho=3,000-4,000 \Omega m^{-1}$  程度の大なるものなる事が分つてゐる。上層は氷河堆積層で轉石粘土等より成り、比抵抗は著しく僅少である、試験方法は4極法の Schlumberger 法に類似のものを使用した。試験結果とは非常によく一致してゐる。

(上記の3例は電氣抵抗探査法使用の目的方法が其の現場の地質に應じ適當であ



Morris burg, Ogden 島に於ける岩盤等高分布調査圖



來結晶質片麻岩と花崗岩よりなるも風化せる部分の存在せる形跡があるので6ヶ月間も回轉式試錐機でその分布の一部分を明かにしたので、斯かる區域 (Zone) の地形分布を測定し得ば堰堤位置決定に一つの資料を與へるものであるとし、第1圖電極配置の  $E_1 - E_2 = 30m$ ,  $P_1 - P_2 = 10m$  の距離とし、本方法を適用した、斯かる場合の有効測定深度は  $7.5m$  である。第5圖は斯して得た岩盤の見掛け抵抗  $\rho$  の分布を示すもので同圖 5000 曲線は等比抵抗線を示す、數字は  $\Omega m^{-1}$  の値である、大體花崗岩で  $\rho$  は  $3000 \sim 20000 \Omega m^{-1}$  の範圍で  $6000 \Omega m^{-1}$  以下では可成り風化してゐる模様である、又試錐坑に水を入れ  $10 \text{ kg/cm}^2$  の壓力で岩盤に吸收される水量を  $\text{立}/m^2/\text{min}$  で表し、岩盤の透水性 ( $K$  滲透度) を示すとし、第1圖電極配置の  $E_1 P_1 = P_1 P_2 = P_2 E_2 = 1m \dots$  とした一組のものを試錐坑に入れ周圍岩盤の見掛け比抵抗 ( $\rho$ ) を測定し、 $K$  と  $\rho$  の間の關係を調べた第6圖は斯かる一關係を示すもので試錐深  $45m$  まで調査したもので、比抵抗は  $1000 \Omega m^{-1}$  位より一旦  $2000 \Omega m^{-1}$  と増加し更に減少して  $3500 \Omega m^{-1}$  までの増加を示してゐる、其の値に應じて透水性も  $1.5 \text{立}/m^2/\text{min}$  より  $1.2 \sim 0.4$  の間に變化し  $3 \text{立}/m^2/\text{min}$  にも増加してゐる、且つ  $\rho$  の大なる場合  $K$  の小なる事が明かに示されてゐる。斯かる實例も一つの適切な應用例であるが、斯かる電氣抵抗式實驗上の事實のみより工學的に信頼し得る結果を得んには更に豊富な經驗と別個の探査が必要である。

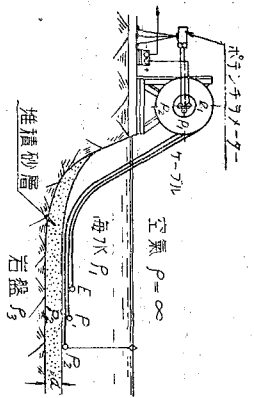
§. **Algiers 港** の擴張工事で防波堤の位置等の決定の資料として海底岩盤上の堆積砂層厚みを定めんと、電極を海底に匍匐させ、R. M. Maillet が砂層厚みを測定した。Schlumberger, Leonard が從來の豊富な經驗に基き更に砂層厚み測定の可能性を述べてゐる、第7圖は其の測定地圖で  $E_1$  は電流供給電極  $P_1 P_2$  は電位差測定電極である。第8圖は、測定される砂層厚み  $d$  と匍匐電極間距離“ $c$ ”との關係である  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  を海水、砂層、岩盤の電氣比抵抗とし、 $\eta = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$

なる量を引用すれば第7圖電極  $P_1P_2$  間の見掛比抵抗  $\rho'$  と海水のもの  $\rho$  との比  $\rho'/\rho$  は、 $\eta$ 、及び電極距離  $e$  並びに砂層厚み  $d$  により變るもので、砂層岩盤面が互に平行なる場合に於て第8圖の如く變化する同圖は  $E_1P_1P_2$  電極が電氣的完全に砂層に接觸せる場合である。要するに斯の如き電極の配置並に方法により所期の目的を達したと報告してゐる。

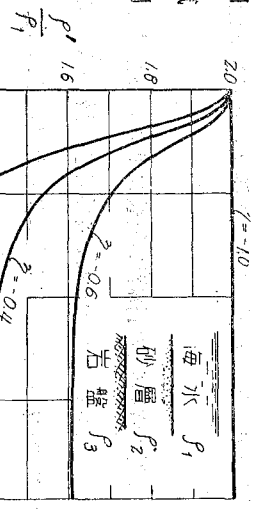
以上記載せし實施報告の二三により電氣抵抗地下探査は如何なる目的に使用されつつあるか其の一端を窺ひ知る事が出来る、土壤の電氣的特性の土木工學に於ける應用の別なる分野即ち Subsoil の問題に關するものは記述せざりし

も大なる未開拓の分野の存在せる事を附記してをく、少くとも現今まで其の不可能なる事を科學(工學的)に理論又は實驗上立證されたものがな

い、斯く考察する時一つ Algiers 港海底堆積砂層厚試驗實況の地下探査法として研究



第 7 圖



見掛比抵抗  $\rho'$ 、海水比抵抗  $\rho$ 、砂層厚み  $d$ 、電極距離  $E_1P_1P_2 = e$  (6圖) 相互關係 第 8 圖

される電氣抵抗法にも幾多な重要な基本的問題が含まれてゐる。獨自な詳細な研究の益々行はれん事を望んでゐる。

## 第 II 章 測定法に就て

I 章にも測定の原理を簡単に記述した、且つ測定に關する理論並に技術的の事を詳細に述べる事は興味少く煩雜になるから省略するが、二三の主重點のみを列擧しをく事は I 章の實例を判斷する上に役立つと考へる。地上に於ける測定法を大別すれば、

- (i) 地下に於ける電氣比抵抗の異なる部分の分布と地表に於ける電場分布との關係の理論的研究
- (ii) 測定電源の交流、直流なるかによる各種の影響並に地電流の影響
- (iii) 測定方式の種別
- (iv) 地下電流供給電極及び地上電壓測定用探査電極 (第 1 圖の  $E_1, E_2$  及び  $P_1, P_2$ ) の構造の部門がある。(i)に關しては、L. B. Slichter, R. E. Langer の純數學的研究を始めとし Hummel, Schlumberger, Edge, Laby の研究等枚擧に遑無し、(ii)に關しても實驗的理論的に Heine, Smith-Rose, Pollach を始め興味ある研究數多あるも現今地下探査法に於ては 20~30 サイクル程度の交流又は不連續轉換直流を使用してゐる。(ii)の問題と關聯して(iv)の電極の構造であるが簡單には鐵棒を打込か周圍に水 (鹽類含有) を浸透さして使用してゐるが、成極作用を防止する爲め Schlumberger の考察になる無成極電極又岩石地帯の場合には Stjern の考察にする甯狀電極 (Topfelectrode) を使用する。茲では (i) の簡單なる原理と (iii) の測定方式に就き少しく説明するに止めん。電氣抵抗探査法に興味を感じられ自ら試みんとする人士又は技術的に批判を試みんとした人士は必ず先人による之に關する原論文を吟味せられん事を

希望する。筆者の小論文並に世上にある断片的な概要説明は一小部分の傾向を指示するに止つてゐると思ふ。今第9圖により第1圖と同様電流供給電極  $E_1(+)$ ,  $E_2(-)$  より出入する電流 ( $i$ ) と地下内部の任意の一點  $P$  に於ける電位 ( $\varphi$ ) との關係を説明する。

$\rho$  : 地下物質の一樣な電気比抵抗,  $\varphi$  :  $P$  點の電位,  $r, r'$  : 圖中  $PE_1, PE_2$  距離,  $|e|$  :  $E_1, O = E_2, O$  にて等距離,  $i$  :  $E_1$  より供給される電流, ……とすれば  $\varphi, i, r, r'$  の間には (1) 式の關係がある。

$$\varphi = \frac{i\rho}{2\pi r} - \frac{i\rho}{2\pi r'} = \varphi_+ - \varphi_- \dots\dots\dots (1)$$

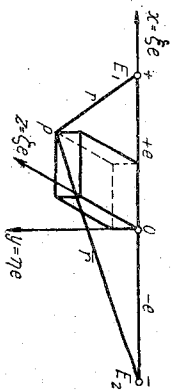
$E_1, E_2$  電極の中央  $O$  點を原點とし,  $x, y, z$  軸を圖示の如く定め且つ、新座標  $\xi, \eta, \zeta$  並に新電位  $\varphi^*$  を (2) 式の様に定義す。

$$\varphi = \frac{i\rho}{\pi r} \varphi^* \quad \text{即ち} \quad \varphi^* = \frac{e}{2r} - \frac{e}{2r'}, \quad \xi = x/e, \quad \eta = y/e, \quad \zeta = z/e \dots\dots\dots (2)$$

$\varphi^*$  は絶対電位と稱し,  $\xi, \eta, \zeta$  により (3) の如く與へられる。

$$\varphi^* = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{(1-\xi)^2 + \eta^2 + \zeta^2}} + \frac{1}{\sqrt{(1+\xi)^2 + \eta^2 + \zeta^2}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

今  $i, \rho$  の値を度外視せる  $\varphi^*$  電位の分布のみを考察すれば全く幾何學的に定まるものである、即ち一樣な物質と見做し得る範圍の問題若し異常なる部分あるも表面に顯れて來る影響としては度外視し得る様に電極配置を定むれば (3) 式の



第 9 圖

與ふ  $\varphi^*$  より (2) 式にて眞の電位 ( $\varphi$ ) を直ちに求め得。

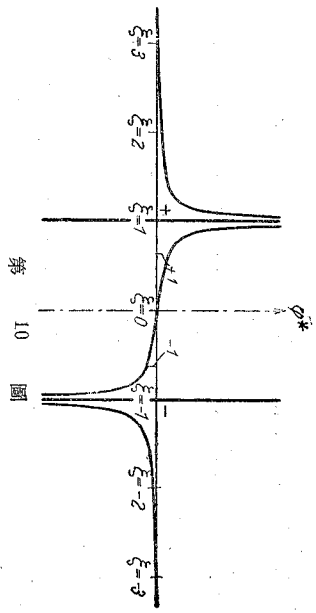
今地表  $E_1, E_2$  電極を結ぶ直線上の任意の點に於ては

$\eta = \zeta = 0$  にて、(3) 式は (5) 式となる。

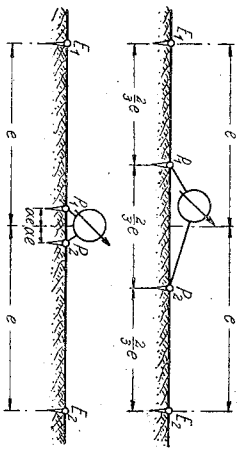
$$(5) \dots \left\{ \begin{aligned} \varphi^* &= \frac{1}{1-\xi^2}, \quad \xi > 1; = \frac{\xi}{1-\xi^2}, \quad 1 > \xi > -1 \\ &= \frac{-1}{1-\xi^2}, \quad -1 > \xi, \end{aligned} \right.$$

第10圖は (5) 式の與ふ  $\varphi^* \sim \xi$  曲線を示すものである、 $\xi = 0$  の附近は  $\varphi^* \sim \xi$  の關係の直線的の部分があら、實用上重要な部分で、常に第1圖  $P_1 P_2$  の如き電位測定探査電極の配置する區域である。地下物質の比抵抗の相違による影響を明かにする爲め地表に於て測定されるものには、

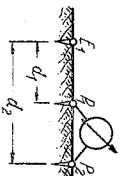
- a) 地上に於ける電流密度の分布
  - b) " " 電位密度の分布
  - c) " " 任意の二點間の見掛抵抗の測定
- と分類し得るが、茲に (c) の場合を説明せん。此方法



第 10 圖



Wenner  
配列  
Schlumberger  
配列



單極法配列  
遠距離に離す  
電流供給電極,  $E_1, E_2$ , 探査電極,  $P_1 P_2$  配置圖

第 11 圖

は所謂 4 極式法で第 I 圖の供給電極  $E_1, E_2$ 、見掛比抵抗測定探査電極  $P_1, P_2$  を如何に配置するかより二三の異なる場合を生ず。其の代表的ものは、

- |   |                    |
|---|--------------------|
| } | a) Wenner 配列       |
|   | b) Schlumberger 配列 |
|   | c) 單極法配列           |

とも稱すべきもので、總て 4 極式ポテンチオメトリツク法で  $P_1, P_2$  電極間の電位差 ( $V_s$ ) を測定するものである。我國鐵道省に於ては (c) の單極法が使用されてゐる、各々利害得失あるもので現場の状況に應じ三者混用するが得策ならんか、第 II 圖は上部より順 Wenner, Schlumberger, 單極法に於ける  $P_1, P_2$  探査極並に  $E_1, E_2$  電極の配置を圖示せるものである。

Wenner 方式では  $P_1, P_2$  2 極を  $E_1, E_2$  電極間等距離に配置せるもので Schlumberger は  $P_1, P_2$  間距離を中心 (O) より ( $a\varrho$ ) とし且つ常に  $\alpha$  を小なる  $\alpha^2 \ll 1$  様に選定した、單一極法は  $E_1, E_2$  電極の 1 極  $E_2$  を圖示の如く遠距離に離し單に  $\infty$  に於て地球と接觸せるに過ぎない。

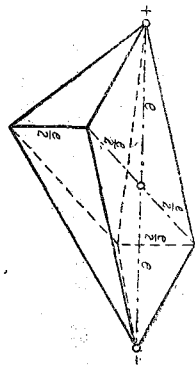
今先づ一般の場合即ち  $OP_1 = a_1 = \alpha_1 \varrho$ ,  $OP_2 = a_2 = \alpha_2 \varrho$  …… の場合  $P_1 \sim P_2$  間は電位差は (1) 式より容易にきまる。即ち、

$$V = \varphi_{P_1} - \varphi_{P_2} = \frac{i\rho(\alpha_1 + \alpha_2)(1 - \alpha_1\alpha_2)}{\pi\varrho(1 - \alpha_1^2)(1 - \alpha_2^2)} \dots\dots\dots (6)$$

の如くなる、地下の電流密度は距離の  $r^2$  に逆比例するから第 12 圖の如き探査球を考慮に入れると (6) 式等に有効に



利く比抵抗 ( $\rho$ ) は其の探査球内のものの値と了解し大なり誤り無し、例へば深さ 10m 程の状態を明かにせんには  $E_1 E_2$  電極距離即ち  $2\varrho = 40m$  位にとればよい、斯かる探査球の概念は電気抵抗探査法の實施に際して常に考慮に入るべき重要なものである、或區域を點在的に測定する時測定群 ( $E_1 P_1 P_2 E_2$ ) の移動に關し、



- (a) 平面探査移動法
- b) 垂直           "
- c) 回轉           "

探査球 第 12 圖

の區別の生ずるのも探査球の大きさを變化せしむる事に隨着する事を附言しておく。

さて、地表の  $P_1 P_2$  間に於て實際に測定される電位差を  $V_s$  とすれば、

$$V_s = \varphi_{1s} - \varphi_{2s} \dots \dots (7)$$

により與へられる、(6) 式の與ふ  $V$  との比  $V_s/V$  の値は容易に求め得

る、 $V_s/V$  を以て地下の見掛の比抵抗の割合を示すと考へ得、即ち今斯かる見掛上の比抵抗を  $\rho_s$  とすれば、

$$\frac{\rho_s}{\rho} = \frac{V_s}{V} = \frac{V_s}{\rho} \cdot \frac{\rho}{V} \cdot \frac{(1-\alpha_1^2)(1-\alpha_2^2)}{(1-\alpha_1+\alpha_2)(1-\alpha_1\alpha_2)} \dots \dots (7)$$

で定義される  $\rho_s$  は物理的意義の明かでない量であるが實際上地下探査には重要な意義を有し地下の或範圍の平均値を示すものと了解する事が出来る、Wenner, Schumborger, 單極法の場合に (7) 式を適用してみる。

Wenner 配列の場合、 $\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{1}{3}$

$$\frac{\rho_s}{\rho} = \frac{V_s}{V} = \left( \frac{4}{3} \frac{cT}{2\rho} \right) V_s \dots\dots\dots (8)$$

Schlumberger 配列の場合、實際は  $a_1 = a_1 \theta$ ,  $a_2 = a_2 \theta$  を一定とし、 $\theta$  を變じつゝ測定するも常に  $a^2 \ll 1$  なるを以て、

$$\frac{\rho_s}{\rho} = \left( \frac{1}{2a} \frac{cT}{i\rho} \right) V_s \dots\dots\dots (9)$$

で示さる。

單一電極法は比較的狭き區域に於て試みられるもので第 11 圖の如く  $P_1 P_2$  電極の  $E_1$  より距離を  $d_1 d_2$  とすれば、

$$\frac{\rho_s}{\rho} = \left( \frac{2\pi}{i\rho} \frac{d_1 d_2}{d_2 - d_1} \right) V_s \dots\dots\dots (10)$$

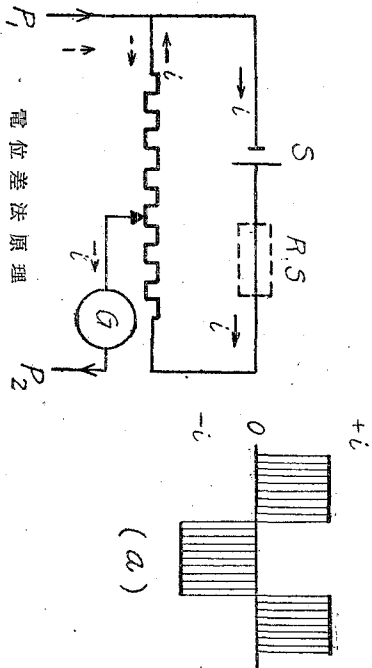
となる。

最初  $\rho$  の一様と見做し得る如き探査球の範圍に應ずる様  $e$  を定め  $i$  と其の場合の  $V_s$  を測定し  $\rho$  の基準を定めれば、實測の場合に於ける  $\rho_s$  の値をも定め得、(9) (10) 式に於ても同様の取扱ひをすればよい。

要するに常に  $P_1 P_2$  電極間の電位差を全體の電場を亂す事なく測定する必要がある、通常用ひられてゐる電位測定法には、

- (a) Potentiometric 法 (電位差法)
- (b) Megger 法 (メガガー使用法)

の二方法がある。供給電源としては交流型のものを使用するも探査極（第1圖） $P_1P_2$ 間の電位差  $V_s$  を測るに(a)法では通常室内實驗に用ひられてゐる様な電位差法と同じ原理による方法で第13圖は其の接続の一を示すものである。先づ電源として直流電池(S)のみの場合を考察するに  $Sba\rho$  を通じ一定の電流を通じてゐるとすれば  $aa'$  間には其の間の抵抗値に應じて電位差がある、 $aa'$  の端は探



第 13 圖 電位差法原理

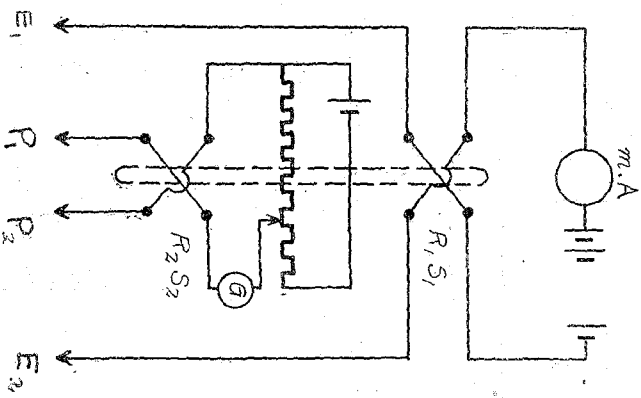
査極  $P_1P_2$  に接続せるものである。若し探査極兩端に顯れて来る  $P_1P_2$  間の電位差が主回路に於ける  $aa'$  間のものと同値逆符號であれば  $P_1P_2$  電極には電流出入なく、例へば  $P$  極と主回路に接続部に挿入せる電流計  $G$  の振れは零となる。即ち斯かる場合  $P_1P_2$  間の電位差  $V_s$  は大さ並に方向が定まる、實際には直流電源 (S) のみでは不都合があるから、轉換装置を備へ、主電流回路の電流は第13圖 (a) に示す様に (+) (-) と相互に變る振動電流である、勿論斯かる場合は供給電流にも同週期の且つ相の全く一致せるものを使用するもので、全體の構圖は第14圖の様なになる。二個の電流轉換器  $R_1S_2, R_2S_2$  は同一の車軸で取付けられ一定速度にて回轉し  $S_1$  電池は供給電極  $E_1E_2$  に  $S_2$  電池は探査電極  $P_1P_2$  に接続せるもので全く第13圖接続を應用せるものである。實際上に於ける電氣誘導影響、其他測定技術に互る事は省

略す。

(b) の Megger 法とは一種の Ohmmeter (オームメーター) で通常 2 個のコイルを備へ、主回路電流工と電位差に應ずる電流との比により平衡を保ち、電位差/電流の比、即ち  $P_1 P_2$  極間の抵抗値  $R$  を直接読み得るものである。使用は迅速に行はれるも此の場合探査電極間にも電流が流れるから電場に變化を生じ又電極表面抵抗も著しく利き (a) 法に比して不正確を免れない、且つ供給電極  $E_1 E_2$  と稱するものはポテンチオメトリック法の場合と意義を異にする事を附言しておく、第 15 圖は最も簡単な原理的説明圖である、 $G$  は Ohmmeter の電源用小發電機にて通常ハンパルにて手動回轉す。

$R_1 S_1, R_2 S_2$  の轉換スイッチの作用は (a) 法の場合と同様である。 $E_1 E_2$  は電流供給電極にて、電流コイル  $O$  を通ずる電流と探査針の電位差に應じ電壓コイル  $P$  を通ずる電流とは電磁的に聯絡させ、兩者作用により電氣抵抗値に應じ指針するものである、詳しくは使用せんとする Megger の構造に就き研究する必要がある。

實地に於ては供給電極  $E_1 E_2$ 、探査針  $P_1 P_2$ 、等は  $E_1 E_2$ 、交互  $P_1 P_2$ 、交互に電源との聯絡を適宜逆にし實測を繰返す事が必ず必要で第 16 圖の様に裝備



電位差法接線圖

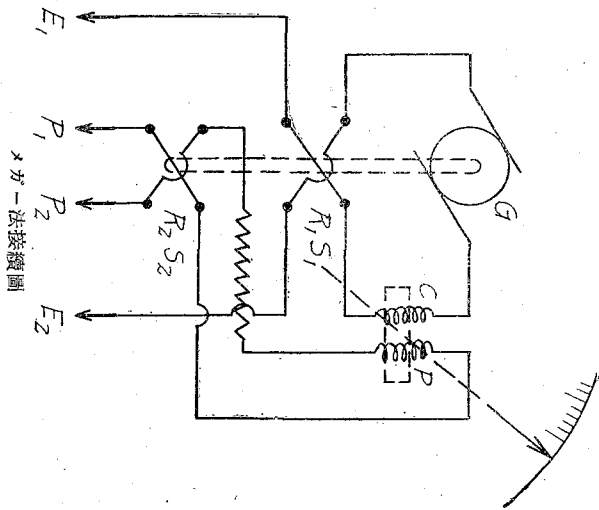
しおけば使用に頗る便利である。

### 要 約

以上にて地下探査法として現代使用されてゐる電気抵抗法なるもの概略を二三異なる視野より記述したが、何分問題が土壤、岩石學、地質學、電気物理学と廣汎に亘り、殊に實驗資料として複雑極まる地下構造に應用せんとする部門に於ては多大の困難ある事を窺ふ事が出来る。實例の場合として外國のもののみ挙げしが其の二三によるも電気抵抗探査法の現今の利用の範圍並に將來の發展性の方向を推測する事が出来る。殊に斯かる方法の實施に於ては一方基本的の精密な土壤、岩石の電気抵抗に關する特性に關する資料を豊富にしきく必要あるを痛感す文献によるに外國に於て二三發表あるもの未だ其の精に就きし程度である。

測定方法並に方式に關しても不備ながら少しく觸れた。

要するに周到なる注意の下に忠實な試驗を成功不成功に拘らず、其の事情の許す範圍に於て試みられ且つ詳細なる發表が陸續として行れ一方益々試驗方法並に理論が改善され其の行くべき路を正しくとり假りに斯かる方法が現今に於ける地

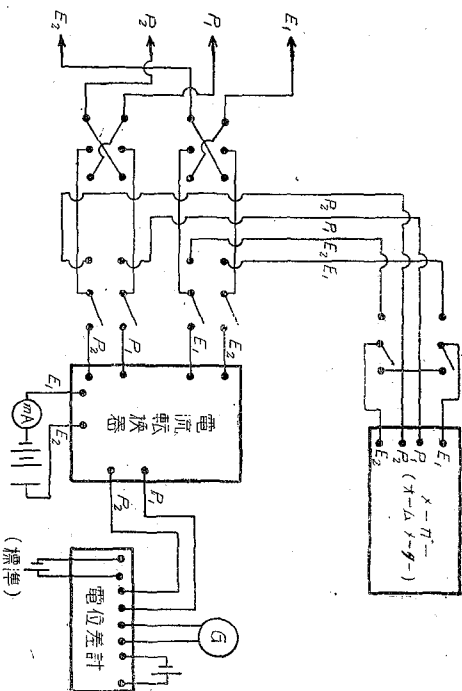


第 15 圖

ワグネル法接線圖

下撰手法とは異なる方向をとるも眞の偉力の發揮されん日の來らん事を切望してゐる。

附 言 筆者は未だ實測の経験なく、二三の経験者の言を聽き二三文獻を参酌し其の概要を述べたもので、種々の點に於て不備であり、且つ誤謬無きを保し難い。斯界先輩諸士の御指摘を得ば幸甚の至りである。斯かる方面の事柄に關し常に教示を得てゐる内務省土木試験所高田技師と種々便宜を與へられた藤井所長に謝意を表する次第である。



電位差メガー兩法接続圖  
第 16 圖