泥水比抵抗を通常の電気検層と同時に測定する方法*

淵 田 隆 門**

(昭和27年10月14日受理)

Simultaneous Recording of Mud Resistivity Log and Usual Electrical Logs

By

Takato FUCHIDA

Abstract : The estimated value of the subsurface mud resistivity, which is calculated from the surface sample mud data with the correction to the temperature only, seems to the writer to involve some uncertainties. Because, the chemical composition of the mud in place may be not necessarily same as that of the mud sample.

And therefore, the writer has developed the new device which can record simultaneously SP, short normal resistivity (30cm), long normal resistivity (90cm) and mud resistivity with the quadruple cord, and tested it practically.

Some of the mud resistivity curves obtained experimentally are shown in Fig. 6. They show that the mud resistivity variation with depth is more complicated than expected solely with respect to the temperature.

1. 緒 言

電気検層において、坑井を充している泥水の比抵抗が地層の見掛比抵抗や SP の測定値に影響するものであることは、既によく知られているとおりである。従来の電気柱状図において、それぞれの場合の泥水の比抵抗を示してあるのは、上記の事情への参考たらしめようとしているものである。しかし、それは要するところ、泥水試料についての値を示すものであつて、坑井内の坑口より坑底までに分布存在している泥水の、その位置における値を示すものではない。そして、たとえば、ある深度における比抵抗を推定するには、泥水の組成が同一のものであるとの仮定に立脚して、温度補正——温度は実測または推定による——をすることになつてゐる。

泥水の組成が一樣であれば、かかる操作による推定は最も簡便にして、しかも比較的信頼するにたる値を得ることができる。しかし、泥水の組成は、はたして常にいかなる場合でも一樣とみなしてよいであろうか？ これは筆者が古くから抱いていた疑念であつて、この研究をするに至つた理由はそういうところに根ざしている。

筆者は今までに、天然ガスまたは含炭度塩水採取を目的とする坑井について、若干の電気検層実験の経験を持

つてゐるが、経験を積むにしたがつてますます上述の疑問が深まつた。すなわち、地層・温度・坑径・試料による泥水比抵抗などに大差はないと思われるにもかかわらず、見掛比抵抗坑の値、特に R_1 と R_2 の相互関係—— R_1 , R_2 はそれぞれ 30cm, 90cm の2極方式見掛比抵抗——がいろいろに変化すること、清水にて掘鑿し洗滌した試験的例において、循環清水の試料による比抵抗は大きいにもかかわらず、測定中の坑井内水は塩水であつて、比抵抗が小さいのではないかとと思われるような見掛比抵抗を得たりするなど、試料による泥水比抵抗値をもつて、坑井内の泥水のそれを推測することの不安を増大せしめる資料が増加したのである。この研究は、これら最近の経験を直接の動機としておこなうに至つたものである。

坑井内の泥水の比抵抗を、従来おこなわれてきた通常の電気検層操作と同時に連続的に測定する方法として、ここに報告する方式は筆者の考案になるものであつて、比較的簡便なるにかかわらず充分に実用方式として成立し得ると信ずるものである。幾分でも斯界の御参考となれば幸である。

2. 坑井内泥水比抵抗の連続測定について

一般に電解液の電気比抵抗の直接測定は、適当なる電気比抵抗測定容器 (Resistivity Cell) によつてなされ

* 文部省科學研究費による研究

** 東京大學工學部教授

る。泥水の電気比抵抗も、それが電解液たる性質を持つことの1つの表現であるから、上と同じ原理によつて測定することができる。電気検層関係において、従来それが泥水池への特製の投込式容器によつたにせよ、あるいは、実験室内において適当な容器に試料をいれて測定されたにせよ、いずれも根本原理的には同じわけである。

そこで、坑井内の泥水比抵抗の連続測定のためには、適当な容器を坑井内に挿入しうるようにし、かつその移動に伴い容器中の泥水が流動して入れ替る如く、くふうすればよいことは容易に考えられるところである。たとえば、筆者が投込式容器として従来使用してきたのは、

第1図 第1図の如き4極式容器であるが、これなどはそのまま直ちにその目的に使うことができる。しかし、これは測定電界をなるべく容器内部に局限し、かつ、電極の汚れなどによる接触抵抗の影響が、なるべくきかないようにするため——その他に導線の抵抗がきいてこないという利点がある——4極式にしてあるので、もし、かかる形式の容器によるとすれば、どうしてもそのために4芯の導線を必要とする。ただ、泥水比抵抗だけを単独に測定するのであれば、かかる形式によるのが最も理想的であるが（もちろん、4芯導線があるものとして）、しかし、通常の電気検層操作と同時に泥水比抵抗をも測定しようということになると、そのために4芯を増設することは、実際問題としてけつして簡単容易なことからはではない。

そこで、次に芯数を減らすために容易に考えられるのは、第2図の如き2極式容器である。2極式は実験室において一般実験用によく使われるのであるが、長い導線の場合はその抵抗が測定値にきいてくると、電極面の汚れなどが4極式よりききやすいことなどにより、4極式ほどには理想的でないが、2芯だけ節約できるのは実用的には大きな利点である、しかし、それでもなお2芯だけの増設は免がれない。

もつと芯数を減らそうとすれば、けつてよく最少の1芯ということになるが、筆者は第3図の如き容器をくふうすることによつて、それが可能であることを確めた。それは、測定原理的には2極式容器と同じであるが、2極式に要する2芯の導線のうち1芯を大地に轉嫁したわけである。次節において、もつと具体的に述べよう。

第2図

3. 1 芯導線による泥水比抵抗の連続測定法の原理

第3図は、1 芯線によつて泥水の比抵抗を測定するための電極として、新しく考案したものの説明図（断面）である。要点を列記すれば次の如くである。

第3図 (1) 長い絶縁管（ベークライト）の中央と両端に、十字形にステンレス線——銹による電極条件の変化を避けるため、白金の如きはさらに良好であろう——の電極 C_1, C_2, C_3 を張つてある、泥水はこの管の中をよく流動する。
(2) 絶縁管の外側には金属管（鉄管にてよし）をかぶせて内部保護を兼ねた接地電極とし、それは C_2, C_3 に接続されている。
(3) C_1 は絶縁線によつて測定用導線（1芯導線）に接続される。絶縁線はベークライト管の内部を通るときは管壁に固定し、容器常数が変わらないよう留意する。

(4) 電流は導線 $\rightarrow C_1 \rightarrow$ 泥水 $\rightarrow C_2 \rightarrow$ 鉄管 $\rightarrow$ 大地 の順に、あるいはこの逆向に流れる、
(5) C_1-C_2, C_1-C_3 はそれぞれが2極式容器をなしている。したがつて、この場合は2極式が並列に接続されていることになる。

次に測定回路の説明図を第4図に示す。電流は直流を

第4図

コミュテーターによつて轉換するのであるが、それは原理の説明上必要もないし、また技術的にも周知のことであるので省略してある。 γ は導線の抵抗、 R は C_1 —鉄管間の抵抗、 γ' は鉄管の接地抵抗、 γ'' は坑井よりなるべく遠距離に設置せられた地上の電流電極 C' の接地抵抗、 γ''' は電流調整を兼ねた電流安定用抵抗、 P' は坑井からも、また C' からのもなるべく離れた所に設置された地上の電位電極、 V は内部抵抗の大きい記録用ガルバ

でP—P'間の電位差を測定する、Iは測定容器を流れる主電流、iはガルバを流れる電流である。

設計上の注意としては次の如きものがある。

- (1) $R \gg r'$ になるようにする。
- (2) なるべく $R \gg r$ になるようにする。しかし補正をするつもりならば、必ずしもそうでなくてもよい。
- (3) $r''' \gg R$ になるようにする。Rは泥水の比抵抗に依りて変化するが、それによつては電流がなるべく変化しないようにするためである。
- (4) $I \gg i$ になるようVは内部抵抗の大きいものにする。Vを電圧計としての理想に近ずけるため。

この測定回路の等価回路を示せば第5図の如くである。

第5図

この図では、Vの内部抵抗が大きくてP'の接地抵抗の影響は無視できるのでそれは省略してある。

さて、上記の如き設計上の注意が払われたとすれば、P—P'間の電位差は $V = IR$ —あるいは、 $V = I(R + r) = IR + Ir$ で Ir は一定の既知量—

となるので、Iをある値に一定にしてVを観測すればRを知ることができる。しからば、あらかじめ較正された容器常数Kによつて

$$\rho = KR$$

によつて、泥水比抵抗 ρ を知ることができる。

4. 実験

前節において説明した泥水比抵抗の連続測定操作を、通常の電気検層操作と同時に実施するには、互に独立した電界を作り出すようにすることが、特に後者の側よりの必要条件となる。このためには、筆者は同一の直流電源より両者へ交互に電流を流す方式を採用して実験した。コミュニテーターの設計に切替ごとにおこる過渡現象を適当に考慮にいれておけば、こうすることによつて両測定操作は互に独立のものとなしてよいのである。かくすることによつて、筆者が従来採用してきた程度の通常の電気検層に3芯——1芯は測定用電流、1芯はSPを兼ねた30cm 2極式比抵抗 R_1 、1芯は90cm 2極式比抵抗 R_2 ——と、泥水比抵抗測定に1芯、合計4芯の導線があれば、両者の同時測定を実行に移すことができる。

比抵抗測定容器としては、泥水の流動が滑かにおこなわれるためには太くて短い方がよいこととなるが、一方直径に比べて長さの長いほどR対 ρ の直線性が、広範囲の ρ に対して成立する傾向がある——長いほど、電極附近の複雑な電界における抵抗に比べて、泥水柱の抵抗は

相対的に増大し、より単純な幾何学的関係に接近すると思われる——ことが筆者の実験によつてわかっているので、余り短い形のは好ましくない。これは $R \gg r'$ を満すための条件とも合致していることである。筆者は、泥水の他に塩水をも測定する必要があつたので、幾種類か作つてみたが、 $1' \phi \times 1m$ 程度のものならば一般泥水用として、充分実用になるよう思われる。すなわち、1例をあげると、 $K = 0.00328m$ なる容器では、泥水比抵抗 $\rho = 3.28 \Omega m$ のとき $R = 1000 \Omega$ となる計算になるが、一般に ρ はそれより大きいのが普通であるから、 $R > 1000 \Omega$ とみてよい。一方、 r' は鉄管の周囲の比抵抗

第6図

ρ' ——直ぐ外側は泥水、それより外側は地層である。——に比例するので、比例常数を $r' = c\rho'$ なる c とし水槽実験において大体的見当をつけてみたところ、 $c = 1 \sim 2m^{-1}$ の程度であつて、かりに $\rho' = 10 \Omega m$ とすれば $r' = 10 \sim 20 \Omega$ 程度となり、実用的にはほぼ $R \gg r'$ を満している。また、実際の坑井において普通には最も ρ' の大きくなる浅所において、 c_1 極と鉄管を短絡して試験したとき——それは第5図において $R = 0$ に相当する。——のガルバのフレがほとんどないことよりみても、実用的には一応 $R \gg r'$ で $R + r' \approx R$ とみなしてよいことがわかるのである。なおこの試験のときは導線は短いを使用したため $r = 0$ であつた。

さて以上の如き準備と予想の下に、筆者が今までにおこなつてきた実験例から泥水比抵抗だけを示せば、第6図の如くである。これには5例を示してあり、 $I = 1mA D.C.$,

* 千葉県八幡村ならびに中川村内における

V としては指針型 $5\mu A$ メーターに適当なる高抵抗を直列に接続したもので、深度 10m ごとにフレを讀取つて觀測したものである。もとより V としては、反照ガルバによつて自動記録式にした方がよいのであるが、筆者の實驗裝置では備付のつのガルバを通常の電気檢層用に使つてしまうので、とりあえず以上の要領によつたのである。泥水比抵抗の変化は緩慢であるので、これでも充分正しい觀測結果が得られる。

図を一覽してわかるように、泥水比抵抗の深度による変化は、温度変化に伴う変化だけでないことは、極めて明白である。これらは泥壁の形成が不完全なために、地層水（塩水）が坑井内に浸入しているとみるのが最も妥当であると思われるが、具体的研究は今後の資料の集積にまたなければならない。本報告としては、とにかく上述の如く変化の真相を知る方法が確立されたことを述べるにとどめたい。ただ、はつきりわかっているとみてよいと思われることだけは、参考のため附言しておく。

まづ、C の下端において ρ が大きくなるのは、濃泥となつて Resistivity Factor が増大したためと思われる。これは繰返し觀測してみたが同じことがみられた。他にも若干その傾向がみられるのがあつた。

D においては、測定中ときどきボコボコという程度ガスの自噴がみられたことと、比抵抗 R_t 曲線ならびに、この D 曲線の形とより判断すれば、恐らく 190~200m 附近において塩水を伴う、あるいは塩水に伴われたガスの浸入があり、けつきよく浸入塩水はガスリフト作用により漸次上方へ擴散し、165m に下端を有するケーシングの中までも及んだものと思われる。200~230m の間は浸入塩水と泥水の温度差に基く対流によるものか、小規模の浸入が分散しているものかは直ちに判定ができない。

E は久しく稼行中(157m 井以下裸坑)であつたが塩水濃度低下のため中止し、改めて泥水を循環洗滌し初めて電気檢層を試みたものである。この坑井は、これより以前に、揚水中止直後の静止した坑井内水の比抵抗の連続測定（このときは第 1 図の如き 4 極式）を試みたことのあるものであつて、そのときの判断では 390m 附近に、恐らく断層よりの低濃度水の浸入がおこつたらしいということになつていたものであり、また泥水循環中も逸水が

みられたものである。このように異常のある坑井であるが、泥水の比抵抗変化は図の如くで、390m より下方は著しく塩水の浸入がみられ、450m 附近より以下は、0.2 Ωm 程度まで低下して、利用し得る含沃度塩水となつてしまつてゐることを示している。かかる条件下における電気檢層の結果は、SP 曲線の基線のズレ、比抵抗曲線の平滑化の傾向が当然みられるのであつて（掲載省略）、この E 曲線と照合してみると、よく事情が察せられて意を強うするものがある。

なお最後に C、D の泥水の試料について、實驗室内にて測定した比抵抗の値は、それぞれ、4.13 Ωm (26.0°C)、11.5 Ωm (26.1°C) であつたことを附加しておく。

5. 結 言

この報告は、坑井内の泥水の比抵抗を深さに沿つて連続的に、しかも従来の通常の電気檢層と同時に測定する 1 つの方法として、筆者が考案した方法の原理を説明し、かつそれを実験的に試験し可能なることを示している。

そして泥水比抵抗の変化は事情によつていろいろの場合があるらしいので、従来の如く泥水試料についての測定値に單なる温度補正を施しただけの推定では、事実の把握が困難な場合があるかと指摘した。

筆者は、かかる新しい方法の実施が、事情の許す限りにおいて望ましいものと考え、それが実施されて資料が集積されれば、將來において電気柱状図の解釈、特に定量的解析に必ずや寄与するところ大であろうと信ずるものである。

この研究の実地試験に當つては、相生工業(株)の千葉県下の坑井を試験井として提供して頂いた。同社の末国社長・近藤専務の研究への御理解と御援助と、また実験に際しての関係社員各位の御世話に対し、ここに厚くお禮申上げるものである。

東大助手島津孝・石原義雄の両君は筆者の實驗助手として常に熱心に研究を援けられた。また神津敬子嬢には研究に伴う計算・製図などにおいて非常にお世話になつた。これら諸君に心より感謝する。

最後に、この研究は昭和 26 年度、同 27 年度文部省科学研究費に負うところが多いことを申添え、謝意を表しておく。