資 料

ソニック・ロッキング及びガンマー・ガンマー
ロッキングによる地層の解析

Contribution of the sonic log and radiation log (gamma-
gamma log) to formation evaluation

阿 部 正 宏 (Masahiro Abe)*

最近の石油界に於いては地層の解析に当つて種々の新しい方法がとり入れられ、石油関係の学会誌でもかなり普通の問題として記載される様になつて来ている。我が国でも最近地質調査所が主体となつて埼玉県春日部に探掘した春日部 1 号井の構造試験について、色々の方面からあらゆる角度で研究が進められていることは、喜ばしい限りである。

特に電気検層法については戦後急激な発展をとげている。最初フランスのベシェルブロン油田で研究され、ベネズエラ、ソビエト連邦に導入実用化されて世界各国で利用されるに至つた電気検層法は、自然電位 (spontaneous polarization potential=sp curve) と比抵抗曲線 (resistivity curve) によつて地層の対比、岩相・岩質の判定、地層水塩分の分布の推定や、油層の孔隙率、滲透率、間隙水飽和率の推定等にあたつて重要な役割を果たしている。一方開発関係者や油層工学の側からは、油・ガス層の有効層厚の決定、遮水位置やパッカー位置の選定、孔明管挿入あるいはガンパー深度の決定などに広く利用されている。

近年我が国で技術導入している Schlumberger 社ではマイクロ・ロッキング (micro-logging) で、薄層の存在、層厚の識別、地層の滲透性の良否ならびに地層係数 (formation resistivity factor) を算出するなど応用範囲が広く、マイクロ・ロッキングの測定と同時に、アームの伸縮を利用してキャリパー (caliper) の測定も行つている。この電気検層法の大きい制約の一つはケーシングした坑井内では利用できない点である。最近は定量的な信頼度の高い孔隙率を得るための新しい解析技術として sonic logging (音波検層法) や radiation logging (放射能検層法) が行われる様になつた。

Sonic logging

Sonic logging はマトリックス音波速度を求めることによつて Wyllie の時間平均式を適用して、特別の場合を除けば常に信頼度の高い孔隙率が得られる。音波層 (sonic) を基にして新しい解析方法が進展したのは、えられた孔隙率が高い信頼度を有すると共に、一方積分曲線は検層図と共に用いられて、2 点間を走る音波の全走行時間から、地震探鉱の結果とも比べる事が出来るし、また音波の減衰度を測定することから、鉄管の外側のセメントボンドを知ることできる。

* 大阪府科学教育センター地学教室

(昭和 38 年 12 月 1 日受理)

音波検層法は地層を走行する音波の速度を深度の函数で連続的に記録したものであり、1秒間に10箇の割で発信器から出た音波パルスが、地層を通つて発信器から数呎離れた2個の受信器に到達するまでの走行時間を測定する方法で、フィルムにはマイクロ秒/呎の単位で記録される。

孔隙率の算定の原理として、音波速度が孔隙性の物体の単位面積に加えられる全圧力と物体中に飽和されている液体に加えられる圧力の差によつて変ることが、Wyllie 等によつて指摘され凝固層に対して Wyllie の時間平均式が適用され次式が提案されている。

$$\Delta t \log = \phi \Delta t \text{ liquid} + (1 - \phi) \Delta t \text{ matrix} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\Delta t \log$ はマイクロ秒 / 呎の単位で測定された音波検層の読みで、 $\Delta t \text{ liquid}$ は間隙液体を通過する音波の走行時間、 $\Delta t \text{ matrix}$ は岩石を構成している物体を通過する音波の走行時間、 ϕ は岩石の孔隙率である。(1) 式から

$$\phi = \frac{\Delta t \log - \Delta t \text{ matrix}}{\Delta t \text{ liquid} - \Delta t \text{ matrix}} \dots \dots \dots (2)$$

未凝固層に対する音波検層は凝固圧力が不充分であると音波速度はターミナル速度に到達することができないので Wyllie の式は適用できず、これから求められる孔隙率は凝固層に対するもの程信頼性はないといえる。

Sonic log と neutron log (ニュートロン検層) の組合せを行うと、ガス層の場合音波検層から算定される孔隙率は良すぎる結果を与え、ニュートロン検層はガス層に対しては小さい孔隙率を与えるのでガス層の存在を確認するには利用度が大きい。音波検層法による孔隙率とニュートロン検層法による孔隙率が水層に関しては近似的に等しいということから出発している。

油層に対してはニュートロン検層は正しい孔隙率を与えるが、音波検層は少し良すぎる結果を与える。

Gamma-gamma logging

Sonic log は我が国に導入されてかなり利用されつつあるが、一方電子密度は地層の容密度と比例関係にあることを利用して新しい解析方法が開発された。春日部1号井の電深の1部に Schlumberger 社の formation density log と呼ばれるガンマー・ガンマー検層法が行われる様に聞いて期待していたが、放射能使用許可の関係で我が国では未だ行われていない。

このガンマー・ガンマー検層はガンマー線を線源として放射され、地層中を拡散した後、検出器(シンチレーション・カウンタ)に戻つてきたガンマー線を測定するもので、この原理はニュートロン検層法に似ているが、ガンマー線は地層中の原子にあるすべての電子と作用するが、ニュートロン検層法はニュートロンと水素原子との衝突によつておこる相互作用である。したがつてガンマー・ガンマー装置の働きの地層の電子密度(1cm³当りの電子数)による反応であり、原子の性質による反応ではない。

地層の容密度とは地層中の固形物質の密度とその物体の間隙を満している流体の密度との平均の値である。地層 1cm³ の内で密度 ρ^L の液体によつて満たされている部分を ϕ とすれば残りの容積比は $(1 - \phi)$ であり、これ等は粒子密度 ρ^G の岩石によつて占められていることになる。従つて容密度 ρ^B は

$$\rho^B = (1 - \phi) \rho^G + \phi \rho^L \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi = \frac{\rho^G - \rho^B}{\rho^G - \rho^L} \dots\dots\dots (2)$$

ρ^B はガンマー・ガンマーログから読みとられる。粒子密度 ρ^G はコアーとかカッティングを分析することによつて知ることが出来るし、堆積岩を構成する種々の鉱物の粒子密度はよく知られているので推定出来るが、 ρ^L は仮定せねばならない。然しながら ρ^L の仮定値の誤差によつて起る ϕ の誤差は ρ^G によつて起る場合よりはるかに小さい。このガンマー・ガンマーログは外の如何なる方法よりも正確な値の孔隙率を得ることが出来るが、水分飽和率の決定に関しては他の場合と同様にむづかしい。坑径、泥水比重、マトリックス、坑壁及び泥壁の陥穴、バライト等の影響による誤差等も考えられるが、電極が坑壁とよく密着し、坑径がわかつており（マイクロ・キャリパーの併用）、又泥壁補正を適当に行つたときには、地層の容密度の値は非常に正確な値を示す。

Schlumberger 社の報告* によれば、今のところ研究室における研究も、野外の経験もこの密度測定が $\pm 1 \sim 2\%$ の正確さをもつていゝことを確かめられている。特に強調しておきたい点は、ガンマー・ガンマーログの特徴として、今迄のログに比べて孔隙率が最も確実性のある値を示すことは勿論のことであるが、更に今まで使用されて來てゐる他のログと違つた意味で lithology の identification にも役立つことである。最近では sonic log との組合せによつて砂岩中の頁岩含有量即ち shale percentage の解析もできる様に發展している。

紹介するにあたり、現場において直接御教えいただいた Schlumberger 社各位に対して感謝の意を表する。

次に sonic log, radiation log. の主なる文献の一部を記載しておく。

引用文献

- Breck, H.R., S.W. Schoellhorn, and R.B. Baum (1957), Velocity logging and its geological and geophysical applications. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., **41**, 1667~1682.
- Denton, E.M. (1956), Continuous velocity logging. Oil and Gas Journal, Nov., 19.
- Dewan, J.T., and L.A. Allaud (1953), Experimental basis for neutron log interpretation. Petroleum Eng., Sept.
- Dewan, J.T. (1956), Neutron log correction charts for borehole conditions and bed thickness. Jour. Petrol. Tech., **8**, No. 2, Feb.
- Faul, H., and C.W. Tittle (1951), Logging of drill holes by the neutron-gamma method, and gamma ray scattering. Geophysics, **16**, 260~276.
- Green, W.G., and R.E. Fearon (1940), Well logging by radioactivity. Geophysics, **5**, 272~283.
- Grosmanin, M., and E.B. Walker (1957), Gas detection by dual-spacing neutron logs in the Greater oficina area, Venezuela. Jour. Petrol. Tech., **9**, No. 5, May.

* Schlumberger 社の小玉則雄氏の御好意による。

- Howell, L.G., and A. Frosch (1939), Gamma ray well logging. *Geophysics*, **4**, 106~114.
- Hicks, W.G., and J.E. Berry (1956), Application of continuous velocity logs to determination of fluid saturation of reservoir rocks. *Geophysics*, **21**, 739~754.
- Kokesh, F.P. (1951), Gamma ray logging. *Oil and Gas Journal*, July 26.
- Kokesh, F.P. (1956), The long interval method of measuring seismic velocity. *Geophysics*, **21**, 724~738.
- Nafe, J.E., and C.L. Drake (1957), Variation with depth in shallow and deep water marine sediments of porosity, density, and the velocities of compressional and shear waves. *Geophysics*, **22**, 523~552.
- Pontecorvo, B. (1941), Neutron well logging. *Oil and Gas Journal*, No. 18.
- Russell, W.L. (1944), The total gamma ray activity of sedimentary rocks as indicated by Geiger-Counter determinations. *Geophysics*, **9**, 180~219.
- Russell, W.L. (1952), Interpretation of neutron well logs. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **36**, 312~324.
- Summers, G.C., and R.A. Broding (1952), Continuous velocity logging. *Geophysics*, **17**, 598~614.
- Tittle, C.W., H. Faul, and C. Goodman (1951), Neutron logging of drill holes: The neutron-neutron method. *Geophysics*, **16**, 626~658.
- Tixier, M.P., R.P. Alger, and C.A. Doh (1959), Sonic logging. *Jour. Petrol. Tech.*, **11**, May.
- Wyllie, M.R.J. (1952), Procedures for the direct employment of neutron log data in electric log interpretation. *Geophysics*, **17**, 790~805.
- Wyllie, M.R.J., A.R. Gregory, and L.N. Gardner (1956), Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. *Geophysics*, **21**, 41~70.