新生代碎屑岩 (Clastic rock) の比重と孔隙率について*

藤 原 健 一**

(昭和28年6月2日受理)

The Relation between Porosity and Bulk Density of Cenozoic Clastic Rocks.

By

Kenichi FUJIWARA

Abstract : Recently bulk density of clastic rocks has been measured in core-analysis or at gravity survey by some geologists. As the value of bulk density are varied by porosity and water content in the same sample, it is necessary to exchange the value into the unit weight in water saturated state.

The relation between unit weight in water saturated state (ρ_s), average unit weight of mineral constituents of the aggregate (ρ_0) and porosity (n) is expressed by the equation

$$\rho_s = \rho_0 (1-n) + n \quad (1)$$

(where specific gravity of saturated water $\rho_w=1$)

So that the equation to exchange the unit weight in dry state (ρ_1) into ρ_s is as follows:

$$\rho_s = \rho_1 \left(1 - \frac{1}{\rho_0}\right) + 1 \quad (2)$$

On replacing the dry state (ρ_1) by the natural state (ρ_2), the equation (2) will be transformed as follows:

$$\rho_s = \rho_2 (1-W_0) \left(1 - \frac{1}{\rho_0}\right) + 1 \quad (3)$$

Where W_0 is water content in natural state.

The more the porosity decreases according as the geologic time passes, the thinner the bed of clastic rocks becomes. The relation between these thickness and porosity is expressed by the equation

$$\frac{d_1}{d_i} = \frac{1-n_1}{1-n_i} \quad (4)$$

in which d_1 = original thickness of the stratum

n_1 = original porosity of the stratum

d_i = the thickness of the stratum when the porosity (n_i) varies from n_1 to n_i . ($n_i < n_1$)

最近重力探鉱調査および試掘井掘鑿等に際して、しばしば水成岩の比重が測定される。これら水成岩が新生代の碎屑岩 (clastic rock) の場合は、その見掛比重は、組成鉱物・孔隙・含水等によつて異なるから、同一試料でも測定時の試料の状態・測定方法等によつてその値は異なるであろう。これらの間の2,3の関係について検討し、測定した乾燥試料の見掛比重または含水試料の見掛比重を、含水飽和の場合の値に換算する式を求め、そのグラフを作成して見た。また碎屑堆積岩の孔隙率の変化によ

る地層の厚さの変化の関係式を得て、これらの式の地質学的意味につき考察した。

1 比重と孔隙率の関係

今ある clastic rock の試料の物理量について次のような記号を用うるにとする。

全重量 W

全容積 V

試料を構成する組成粒の重量 W_s

試料を構成する組成粒の容積 V_s

試料中に含まれる水の重量 W_w

* 昭和28年5月2日第18回総会にて講演

** 地質調査所物理探鉱部

試料中に含まれる水の容積…………… V_w
 試料中に含まれる空気の重量…………… W_g
 試料中に含まれる空気の容積…………… V_g
 試料の孔隙率…………… n
 試料の含水率…………… W_0
 組成粒の真の比重…………… ρ_0 ¹⁾

また4°Cにおける水の密度を γ_0 とすると、 のような関係が成立する。

$$n = \frac{V - V_s}{V} \quad (1)$$

$$W_0 = \frac{W_w}{W} \quad (2)$$

$$\rho_0 = \frac{W_s}{\gamma_0 V_s} \quad (3)$$

(1・1) 試料に水を含まない場合：この場合の試料の見掛比重を ρ_1 とすれば

$$\rho_1 = \frac{W_s}{\gamma_0 V} \quad (4)$$

また、(1), (3), (4) より V, V_s, W_s を消去すると

$$\rho_1 = \frac{1-n}{\rho_0} \quad (5)$$

の関係がある。

(1・2) 試料が水と空気を含んでいる場合：この場合の試料の見掛比重を ρ_2 とすれば

$$\rho_2 = \frac{W}{\gamma_0 V} \quad (6)$$

また、(1), (2), (3), (6) より W, W_w, W_s, V, V_s 等を消去すれば

$$\rho_2 = \frac{\rho_0(1-n)}{1-W_0} \quad (8)$$

の関係がある。

(1・3) 試料の孔隙が水で飽和している場合：この場合の見掛比重を ρ_3 とすれば

$$\rho_3 = \frac{W}{\gamma_0 V} \quad \text{ただし} \begin{cases} W = W_s + W_w \\ V = V_s + V_w \end{cases} \quad (9)$$

また、(1), (3), (9) より V, V_s, W, W_s を消去すれば

$$\rho_3 = \rho_0(1-n) + n \frac{W_w}{\gamma_0 V_w} \quad (10)$$

の関係がある。

然るに、間隙水の比重を ρ_w とすれば

$$\frac{W_w}{\gamma_0 V_w} = \rho_w$$

故に $\rho_3 = \rho_0(1-n) + n\rho_w$ (11)

1) 組成粒がA, B, C, ……なる鉱物の集合からなる場合

各鉱物の重量を夫々 $w_a, w_b, w_c, ……$

各鉱物の比重を夫々 $\rho_a, \rho_b, \rho_c, ……$

とすれば

$$\rho_0 = \frac{W_a + W_b + W_c + \dots}{\gamma_0 \left(\frac{W_a}{\rho_a} + \frac{W_b}{\rho_b} + \frac{W_c}{\rho_c} + \dots \right)} \quad (7)$$

次に (1), (2), (9) より同様にして

$$\rho_3 W_0 = n\rho_w$$

(11), (12) より n を消去すれば

$$\rho_3 = \frac{\rho_0 \rho_w}{\rho_0 W_0 + (1 - W_0) \rho_w} \quad (13)$$

間隙水の比重 (ρ_w) は大体1と見てよいが、塩素量が多くなつても小数以下2桁に影響²⁾するに過ぎない。実際の場合は間隙水の Cl' を定量すれば、海洋観測常用表によつて ρ_w の値を求めることができる。

実験室で測定する岩石試料は、地表露頭からのものも鑿井コアも、多くは間隙水と空気を含んでいる (1・2の式(8)の場合)。³⁾たとえ地下において間隙を水が満たしていても、コアを地表に採り上げると、間隙水中の溶存ガス (CO_2, CH_4 等) が減圧分離することによつて、含まれている水の一部が追い出されてしまう。従つて、岩石試料の見掛比重を測定するには、直接含水のまゝの見掛比重 (ρ_2) を測り、かつその含水率 (W_0) を求めるか、または試料を乾燥させてからその見掛比重 (ρ_1) を測るかするのが普通である。

さて、地下にある地層を考えて見ると、初め水底に沈積する時は、粒子間隙は水で満たされていたと考えられる。その後現在までの地質時代の間に、ほとんど大きな変動を受けることなく、かつ地下水面上に上昇したことのなような堆積層の場合には、化石水が粒子の間隙を満たしていると考えてよい。であるから地下において、粒子間隙に水が飽和していない事実が確認された特別の場合³⁾を除いては、一般に測定されたコアの見掛比重 ρ_1 または ρ_2 は、 ρ_3 の値に換算して考えた方が蓋然性があるように思われる。

2 ρ_1, ρ_2 と ρ_3 との関係

ρ_1, ρ_2 と ρ_3 との関係をうるために(5), (8), (11) 3式より n を消去すれば

$$\rho_3 = \rho_1 \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_0} \right) + \rho_w \quad (14-1)$$

$$\rho_3 = \rho_2 (1 - W_0) \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_0} \right) + \rho_w \quad (14-2)$$

$\rho_w \approx 1$ の場合は

$$\rho_3 = \rho_1 \left(1 - \frac{1}{\rho_0} \right) + 1 \quad (15-1)$$

$$\rho_3 = \rho_2 (1 - W_0) \left(1 - \frac{1}{\rho_0} \right) + 1 \quad (15-2)$$

(15-1) 式によつて乾燥したコア ($W_0=0$) の見掛比重 (ρ_2) から、含水飽和の場合の見掛比重 (ρ_3) を求めることができる。第1図はこの換算図表である。含水の

2) 鹽素量による水の比重は大体

Cl 10,000mg/l の場合 0°Cで 1.014 15°Cで 1.013

Cl 20,000mg/l の場合 0°Cで 1.029 15°Cで 1.027 である

3) “含ガス層” または “ダク層” 等の場合

第 1 図

第 2 図

まゝ測つた見掛比重の場合は真比重・含水率を測れば 15—1) 式によつて、そのコアの含水飽和の場合の見掛比重 (ρ_3) を求めることができる。第 2 図は真比重 ρ_0 、含水飽和の場合の見掛比重 ρ_3 および含水率 w_a の時の見掛比重 ρ_2 等間の関係 (15—2) を示すもので、測つた W_0 と ρ_0 から $Z^{(4)}$ を求め、 Z と ρ_2 から ρ_3 が得られる。曲線 ABC は丁度水が間隙を飽和している時 ($\rho_3 = \rho_3$) の ρ_3, W_0 の関係で、(13) 式に $\rho_w = 1$ と置くと得られる。

$$W_0 = \frac{\rho_0 - \rho_3}{\rho_3 (\rho_0 - 1)} \quad (16)$$

に相当する。理論的にはこの曲線 ABC の左下側には点は実在しない。

粒度の小さい (0.005mm 以下) 沖積層の堆積物には、含水量によつてその容積の変るものがあることが知られている。⁵⁾ このようなものには (15 式) は適用できない。⁶⁾

3 地層の厚さと孔隙率

(11) 式において $\rho_{10} \equiv 1$ とすれば

$$\rho_0 = \frac{\rho_3 - n}{1 - n} \quad (17)$$

今、堆積物の堆積当時の孔隙率を n_1 、見掛比重 ρ_{31} とし、ある地質時間を経た後のそれぞれの値を $n_2, \rho_{32} \dots n_i, \rho_{3i} \dots$ とすると (17) 式は

$$\rho_0 = \frac{\rho_{31} - n_1}{1 - n_1} = \frac{\rho_{32} - n_2}{1 - n_2} = \dots = \frac{\rho_{3i} - n_i}{1 - n_i} \dots$$

すなわち、『clastic rock の組成粒の真の比重が同一であれば、その粒度・horizon (層位) にかかわらず、孔隙率 (n) と見掛比重 (ρ_3) の関係は一定である』はずである。真の比重 2.65 の値を持つコア分析の例につき、 ρ_3 の値を (15) 式によつて求め、その孔隙率の値とともに第 3 図に落して見ると、×印の如く分布する。これ等のコアはすべて新生代のもので、東京都・大阪市・名古屋市・小樽市・長野県・秋田油井等のもので、岩質は砂・粘土・砂岩および泥岩等である。

(17) 式は $\rho_0 = 2.65$ とすれば

$$\rho_1 = 2.65 - 1.65n \quad (18)$$

となり ρ_1 と n とは直線関係になる。すなわち、第 3 図に見るように × 印はほとんどこの直線上についている。

堆積後比較的短い地質時間 (新生代から現在に至る程度の) の経過の間に生ずる堆積層の孔隙率の変化を考えれば、 ρ_0 の値は不変であるから、 n の値は堆積時の孔隙率 (n_1) の値より出発して、地質時間の経過とともに小さくなり、同時に ρ_1 は増大して n と ρ_2 の両者の関係は、式 (17) に従つて直線上を右より左上方に ($\rho_1 \rightarrow \rho_0$) 向つて移動すると考えればよい。この場合地層の厚さは、堆積当時の厚さを d_1 、 n_i の時の厚さを d_i とすれば

$$d_i = d_1 (1 - n_1) / (1 - n_i) \quad (19)$$

で表わされ、初め孔隙率 60% の粘土層が 30% に減少すれば、厚さは 4/7 になるわけである。

$$4) Z = (1 - W_0) \left(1 - \frac{1}{\rho_0} \right)$$

5) 飯田滋事：含有水分に伴う土の性質基礎研究第 7 輯

6) この点については別に論ずる。

第 3 図

このような変化の原因は、その地層の上に堆積した堆積物の重さによる地圧が主であるが、それに影響を与える要因としては、堆積物の組成粒の丸さ (Sphericity)・

配列 (Texture)、内蔵する connate water の内部水圧等が関係するようである。

4 重力探鉱法における見掛比重の意味

われわれが重力探鉱法によつて地下に潜在する構造を見出そうとする場合、背斜に重力 High、向斜に重力 Low が存在するであろうという期待は、『上下に累積する地層の平均比重に差のあること、すなわち下位の (古い) 地層の方が上位の (若い) 地層より比重が大であろう』という概念を前提としている。事実互視的に見れば一般に下位の地層ほど比重が大であることは知られているが、⁷⁾ これはいいかえれば下位の (古い) 地層ほど孔隙率が小であるということにはかならない。

7) Spangler, W.B.: Subsurface Geology of Atlantic Coastal plain of North Carolina, A.A.P.G., Vol 34, No. 1 (1950).

会員各位へ御知らせ

別項第 18 回総会記事にありますように、当協会の会費が昭和 28 年度から (年度は 4 月から翌年 3 月まで、したがつて会誌は 5 月号から翌年 3 月号までの 6 冊)、下記のように改正されましたので御知らせ致します。

改 正 会 費

正 会 員	年額	400円	(舊会費 350円)
特 別 会 員	年額 1口	3,000円	(舊会費 2,000円)
準 会 員	年額	300円	(変更なし)

石 油 技 術 協 会

振替口座 東京 63168