

金沢大学工学部 正員 西田 義親
 “ “ “ 中川 誠志
 金沢大学大学院 学生員 小池 宏男

1. 序言

粘土粒子は電解質溶液中ではコロイド状態にあり、粒子周囲に拡散二重層を形成する。この時粒子相互に作用する代表的な力として、二重層による膨潤圧としての斥力と、van der Waals 引力がある。本文では粒子間に作用する力として膨潤による斥力のみをとりあげて粘土の圧縮現象、圧縮指数について簡単な計算を行なったものである。

Bolt は拡散二重層理論と van't Hoff の方程式を用いて純粋な粘土の圧縮をすでに論じているが、本文ではいくつかの計算法をかえ、更に圧縮指数についても考察を加えた。

2. 理論的考察

今一個の粘土粒子板を考え、粒子からの距離を x とすれば拡散二重層の基本式は次のように表わされる。

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{8\pi}{\lambda} vEn \sinh \frac{vE\psi}{kT} \tag{1}$$

ψ : 電位ポテンシアル n : イオン濃度 v : イオン原子価数 E : 電荷静電単位
 k : ボルツマン定数 T : 絶対温度 λ : 誘電定数

式(1)を $x=0 \dots \psi = \psi_0$ (粒子表面電位ポテンシアル), $x=\infty \dots \psi = 0$ の境界条件で解くと

$$\psi = \frac{2vE}{kT} \log \left[\frac{e^{\psi_0/2} + 1 + (e^{\psi_0/2} - 1)e^{-kx}}{e^{\psi_0/2} + 1 - (e^{\psi_0/2} - 1)e^{-kx}} \right] \tag{2}$$

ここで $k = \frac{2vE\psi_0}{kT}$ $K^2 = \frac{8\pi n E^2 v^2}{\lambda kT}$

次に2枚の粒子板が距離 $2d$ をおいて平行にある時の粒子間に作用する斥力を考える(図-1)。板間における斥力(膨潤圧)を P とすれば

$$\frac{dP}{dx} + vEn \frac{d\psi}{dx} = 0$$

$$\therefore P = P_d - P_{\infty} = \int_0^{\psi_d} dP = -\int_0^{\psi_d} vEn d\psi = 2\pi kT \left(\cosh \frac{2vE\psi_d}{kT} - 1 \right) \tag{3}$$

ここで P_d : $x=d$ における斥力, P_{∞} : 静水溶液中の静水力学的压力

式(3)における ψ_d の値は式(2)における $x=d$ の点での ψ の値の2倍を採用する。その理由は、板間距離が充分大きくて他の粒子による電位ポテンシアルの影響が無視され得る時中点における ψ の値 (ψ_d) は相方の x の点の電位ポテンシアルの和に等しいと考えられるからである。

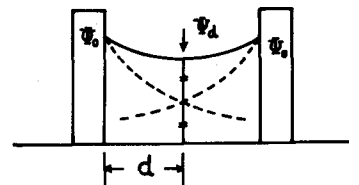


図-1

従って式(3)及び(2)より

$$p = 2nkT \left[\coth \left\{ 4 \log \left(\frac{e^{3/2} + 1 + (e^{3/2} - 1)e^{-kd}}{e^{3/2} + 1 - (e^{3/2} - 1)e^{-kd}} \right) \right\} - 1 \right] \quad (4)$$

Bolt は板間距離 zd と間隙比 e の関係を近似的に $e = S\gamma d$, S : 粘土の比表面積 γ : 粘土の密度 と表わしている。これを書直せば

$$d = \frac{e(1+e)}{S(\gamma+e)} \quad (\gamma: \text{粒子比重}) \quad (5)$$

式(5)を式(4)に代入すれば、溶液の性質(イオン濃度, イオン原子価), 粘土の性質(比重, 比表面積)及び温度をパラメーターにした圧密における荷重と間隙比の関係を導くことができる。ベントナイトを NaCl 溶液 1.0, 0.1, 0.01 規定のもとで圧密試験した結果を図-2 に示す。計算値はベントナイトの比表面積 $800 \text{ m}^2/\text{g}$, 表面電位 200 mV と仮定した結果である。実験曲線と計算曲線はかなりよく一致している。

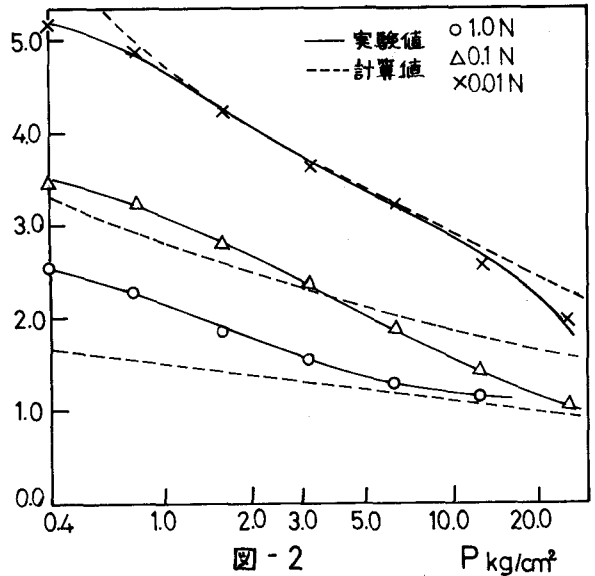


図-2 $P \text{ kg/cm}^2$

3. 圧縮指数

圧縮指数 C_c は $C_c = -\partial(e)/\partial(\log P)$ と考えれば、本理論においては式(4), (5)より圧縮指数と次のように求めることができる。

$$C_c = 1.15 \frac{S}{\kappa} \times A \times B \quad (6)$$

ここで

$$A = \frac{(\gamma+e)^2}{2\gamma e + \gamma + e^2}$$

$$B = \frac{(1 + \alpha^2 e^{-2kd})(1 - \alpha e^{-2kd})}{1 + \alpha^2 e^{-2kd}(\alpha^2 e^{-2kd} + 6)}$$

$$\alpha = \tanh \frac{2e\psi_0}{4\kappa T} \quad d = \frac{e(1+e)}{(\gamma+e)S}$$

例えばモンモリロナイトのように活性的の高い、間隙比の大きき粘土を考える。この時、 $kd \gg 0$, $\alpha \approx 1$, よって $B \approx 1$, 又 $A \approx 1$ となる。この時 C_c は

$$C_c = \frac{1.15 S}{\kappa} \quad (7)$$

となり、溶液の濃度, 粘土の比表面積によって規定されることになる。更に、間隙比の小さい範囲では $d \approx \frac{e}{\gamma S}$, $A \approx \gamma$ の近似式を用いて式(6)を変形すれば

$$C_c = 0.58 e \quad (8)$$

となり、間隙比の簡単な関数で表わされることになる。一般に軟弱粘土の圧縮指数は間隙比と線型関係にあることが知られており、それらの比例定数は式(8)の結果ともよく一致している。

参考文献 (i) G. H. Bolt: *Geo. Technique* Vol. 6, No. 2, 1956.

(ii) H. van Olphen: *An Introduction to clay colloid chemistry*, John Wiley & Sons 1963.