

金沢大学工学部 正員 西田 義親

金沢大学工学部 正員 中川 誠志

金沢大学工学部 学生員 小池 宏男

1. はじめに

軟弱な粘土の圧縮性は、コロイド化学における拡散二重層理論によって定性的にかなりよく説明できるといわれている。筆者らは先に、拡散二重層理論によって、粘土の圧縮指数が間隙比の一次式で表わせることを理論的に示した。拡散二重層理論では粒子間に作用する斥力を粒子間隔の関数として決定することができる。本文では粘土の圧縮曲線を決定する際には要な粒子間隔と間隙比の関係についてあらためて考察して圧縮曲線を求め、又引力としての *van der Waals* 力についても考察した。

2. 粒子間隔と間隙比の関係

二重層理論では、粘土粒子を表面に負の電荷をもつ板と考へ、2個の粒子板が平行に相対している状態を考へる。この時、実際の粒子間隔を測定するのは不可能なので、間隙比あるいは含水比から近似的に粒子間隔を予測しなければならぬ。そこで筆者は次のようにして間隙比と粒子間隔の関係を合理的に導いた。各となりあう粘土粒子が平均距離 $2x$ とおいてあるとする。粘土単位体積中の土粒子実験部分の重量を W_s 、また粘土の比表面積を S とすれば、単位体積中に含まれる間隙水の重量は近似的に $\gamma_w S x W_s$ と表わされよう。間隙水は粒子周囲の吸着水も含めて炒乾燥すれば全て乾燥してしまうから、結局湿潤重量 γ_t と乾燥重量 γ_d の差は間隙水の重量に等しいわけであり、

$$\gamma_t - \gamma_d = \gamma_w S x W_s$$

また

$$\gamma_t = \frac{G+e}{1+e} \gamma_w, \quad \gamma_d = W_s = \frac{G}{1+e} \gamma_w$$

これらを上式に代入して整理すれば

$$e = G S x \quad (1)$$

を得る。式(1)は *Boltz* の仮定式と同義であり、また *Warkentin* の用いた $W = S x / 100$ (W : 含水比(%), S : 比表面積 (m^2/g), $2x$: 粒子間距離 ($\text{\AA}$)) は飽和粘土を対象とするから、式(1)と同じことである。

以上の考察はこれらの仮定式に根拠を与えるものである。

3. 粘土粒子間に作用する力

コロイドとしての粘土粒子間相互には種々のけん引力および斥力が作用しており、それらによって粘土粒子は分散状あるいは綿毛状等の複雑ないわゆる「構造」とを作っているのである。粘土の力学的性質を微視的立場から定量的に理解するためには、これらの粒子間力を全て考慮しなければならぬ。しかし実際は複雑すぎて現在のところある程度定量的に取り扱え、また実際には重要な力としては膨潤圧としての斥力と、引力としての *van der Waals* 力がある。

ここで膨潤圧としての斥力は、負に帯電した粘土粒子2個に着目して拡散二重層理論より粒子間に

おける電位ポテンシャルの分布を求める事によって決定される。ここで電位ポテンシャルが比較的小さい時は重ね合わせがなりたつものとして、筆者らは先に膨潤圧を次のように求めた。

$$P_r = 4\pi kT \epsilon \sinh^2 \left\{ 4 \tanh^{-1} \left(\tanh \left(\frac{z}{4} \right) \exp(-\kappa x) \right) \right\} \quad (2)$$

$$z = \frac{V e \psi_0}{kT} \quad \kappa^2 = \frac{8\pi n e^2 V^2}{\lambda kT}$$

ψ_0 : 表面電位ポテンシャル, n : イオン濃度, V : イオン原子価数

e : 電子素量, k : Boltzman 常数, T : 絶対温度, λ : 誘電常数

式(2)は2個の粒子間に作用する膨潤圧を示し、単位面積当りの力として表わされる。

van der Waals力による引力ポテンシャルは

$$U_a = - \frac{A r_0}{24 x} \quad (3)$$

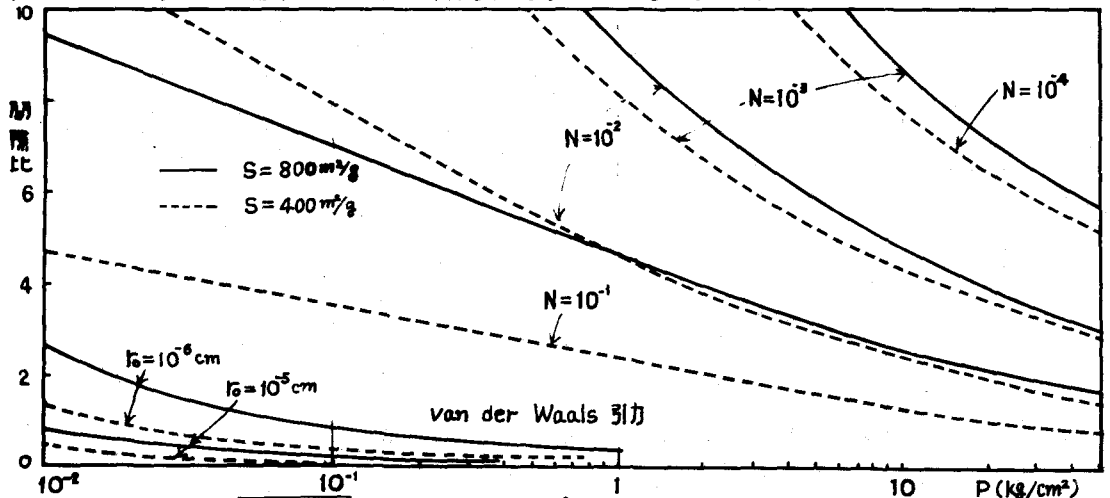
$$A = 5 \times 10^{-4} \text{ erg}, \quad r_0: \text{粒子半径}$$

で表わされる。これより2個の粒子間に作用する力が求められる。等しい径をもつ粒子に作用する引力を求めるため、得られる力を粒子の断面積で除して

$$P_a = - \frac{A}{96 \pi r_0 x^2} \quad (4)$$

式(2)と式(4)を式(1)と代入し加えれば、粒子間に作用する引力と斥力が考慮された荷重と間隙比の関係を得る。計算例を図に示す。溶液のイオン濃度が小さい時、拡散二重層の厚さが厚くはって大きい間隙比をとる。逆にイオン濃度が大きい時、間隙比が小さい値をとる。つまり粒子間隔が小さくなり van der Waals力が無視できなくなる。

本文は軟弱な粘土の圧縮性について物理化学的立場からの定量的説明を試みる第一段階として行なったものである。土の物理化学的性質を理解することは、従来の土質力学における知見とさらに説明することになると思ひ将来もこの種の研究を続行したいと思っている。



(ψ_0 の値は $\psi_0 = \sqrt{\frac{N \lambda kT}{2\pi \times 1000}} \sqrt{N} \sinh \left(\frac{V e \psi_0}{2 kT} \right)$ において $\psi_0 = 10 \mu\text{coul/cm}^2$ と仮定して求めた。)

西田・中川・小池：44年度学術講演概要 III-55, 土木学会