

金沢大学工学部 正 員 西田義親
 首都高速道路公団 正 員 中川誠志
 金沢大学大学院 学生員 小池宏男
 福井県土木部 正 員 ○西浦武雄

1. 序

粘土の土構造としては綿毛構造、凝集構造、配向構造、フロック構造、分散構造などがあげられている。そこで基本的土構造の一モデルを考える。粘土粒子表面の物理化学的性質に注目して、土粒子間の距離と粒子の傾きを圧縮力との関係から求め、それらの値で土構造を表わすことを試みた。

2. 理論的考察

粘土粒子板は板の径に対して厚さがモンモリロナイトで $1/100 \sim 1/1000$ 、カオリナイトで $1/10$ ぐらいであるといわれている。そこで図-1のような粒子板の組合せを基本的土構造とし、圧縮現象とは圧密荷重の増加のみが中の粒子板を回転させ、図-2に示すように土構造を変化させるものであると解釈する。

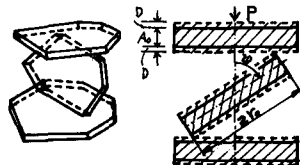


図-1. 土構造の基本的モデル

1). 粘土粒子板表面に近く近いところの間隙水は Pseudo-Plastic の状態であるといわれ非常に高いエネルギーで粒子に吸着している。これを力学的に排除するには大きな力が必要になる。その吸着層の厚さを D 、中の粒子板の傾きを φ として、 φ と外力 P の関係を求める。上下粒子板間の距離 h と傾斜角 φ との関係は、

$$-dh = 2r_0 \sin \varphi d\varphi - (A_0 + 2D) \cos \varphi \cdot d\varphi \quad \text{.....(1)}$$

間隙比 e と h の関係は

$$e = \{h / 2 (A_0 + 2D)\} - 1 \quad \text{.....(2)}$$

圧縮指数 C_c は次のように定義される。

$$C_c = -de / d(\log_{10} P) \quad \text{.....(3)}$$

境界条件 ($e = e_0$, $P = P_0$) を代入して (1), (2), (3) 式より $C_c = \text{Const.}$ として解くと、

$$\varphi = \arccos \left\{ \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{r_0}{A_0 + 2D} \right)^2 + \frac{1}{4}}} \left(-C_c \log_{10} \frac{P}{P_0} + e_0 + \frac{1}{2} \right) \right\} + \arccos \frac{\frac{r_0}{A_0 + 2D}}{\sqrt{\left(\frac{r_0}{A_0 + 2D} \right)^2 + \frac{1}{4}}} \quad \text{.....(4)}$$

ところが一般に粘土においては $(r_0 / A_0 + 2D)^2 \gg 1/4$ であるから (4) 式は近似的に次のようになる。

$$\varphi = \arccos \left\{ (A_0 + 2D / r_0) (-C_c \log_{10} P / P_0 + e_0 + 1/2) \right\} \quad \text{.....(4')}$$

ここで注意しなければならぬことは、式の誘導に際して吸着水層も固体とみなしたことである。よって式中の間隙比は真の間隙比ではなく力学的な意味での間隙比であるということである。

2) 次に吸着層の厚さ D の式を誘導する。平行に位置した2つの粒子板間の距離を $2x_c$ とし、その間で化学的理由から生じる斥力、即ちそれにつらう圧密荷重 P との関係は

$$P = n_0 k T \{ (\pi / k x_c)^2 - 2 \} \quad \text{.....(5)}$$

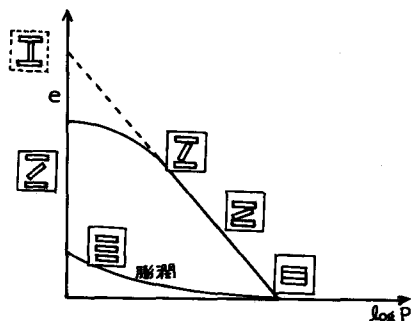


図-2. 圧密曲線とモデル構造の変化

$$\text{または } P = 4n_0 kT \sinh^2 \left\{ 4 \operatorname{arc} \tanh \left[\exp(-kX_c) \tanh(\varphi/4) \right] \right\} \quad \dots (6)$$

で表わされる。ただし、 $k^2 = 8\pi v^2 \epsilon^2 n_0 / \lambda kT$, $\varphi_0 = -ve\varphi_0 / kT$, k : Boltzmann 定数, T : 絶対温度
 n_0 : 2つの粒子板の表面電位に影響されず濃度的に平衡状態の間隙水イオン濃度 (ion/cm^3), v : 間隙水中イオンのイオン価, ϵ : 電子電荷, λ : 間隙水の誘電率, φ_0 : 粒子板表面の電位ポテンシアル。
 ところで(4)式より, $\varphi = \pi/2$ すなわち間隙比が零のときの最終圧密荷重 P_u は

$$P_u = P_0 \exp(2.3 C_0 / C_c) \quad \dots (7) \quad \text{注 } \log e 10 = 2.3 \text{ とした。}$$

であるから上式を(5)式に代入すれば

$$X_c = D = \frac{\pi}{K \sqrt{\frac{P_0}{n_0 kT} \exp \frac{2.3 C_0}{C_c} + 2}} \quad \dots (8)$$

(6)式に代入すれば

$$X_c = D = -\frac{1}{K} \ln \left\{ \frac{1}{\tanh(\frac{\varphi}{4})} \tanh \left(\frac{1}{4} \operatorname{arc} \sinh \sqrt{\frac{P_0 \exp(2.3 C_0 / C_c)}{4 n_0 kT}} \right) \right\} \quad \dots (9)$$

となる。

3. 考察

以上、粒子板の傾き φ と吸着層の厚さ D を求める式を誘導したが、実際と一致するか否かは将来の実験にまたねばならない。現在の

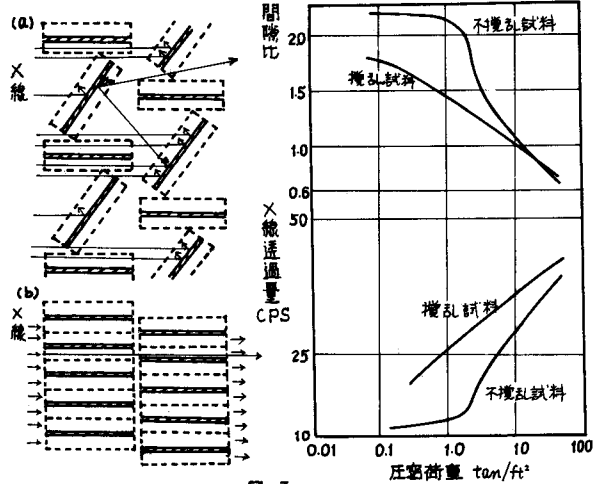


図-3

ところ得られた実験結果の資料を図-3に示す。これは粘土を圧密しながらX線をあて、その透過量を測定したものである。これによるとX線の透過量が $\log P$ に正比例することがわかる。理論的に求めた式(4), (4)'では $\log P$ は $\cos \varphi$ に負に比例している。土構造は P の増加と共に図-3の(a)から(b)に変化するのでX線の透過量は $\cos \varphi$ に反比例すると思われる。よって誘導した φ の式は定性的に妥当と思われる。又、吸着層の厚さ D に関しては $10\text{\AA}$ 程度と発表されている。そこで求めた式(8), (9)に次の条件, $P_0 = 0.1 \text{ kg/cm}^2$, $C_0 = 6.0$, $v = 1$, $C = 10^{-3} \text{ mol/l}$, $\lambda = 80$, $T = 300 \text{ K}$, $\varphi_0 = -200 \text{ mV}$, $C_c = 0.4 (C_0 - 0.35)$ を代入すると(8)

D	φ	土構造	D	φ	土構造
D = 0	$\varphi \neq \frac{\pi}{2}$	綿毛構造	D ≠ 0	$\varphi \neq \frac{\pi}{2}$	分散構造
	$\varphi = \frac{\pi}{2}$	凝集構造		$\varphi = \frac{\pi}{2}$	完全配向構造

式より $D = 216 \text{\AA}$, (9)式より $D = 507 \text{\AA}$ となる。

従って、いま土構造を粒子板の傾き φ , 吸着層の厚さ D を用いて右の表のように表示するのの一つの方法と思われる。

なお粒子板の傾き φ を表わすための図-4のように前と同じモデルを考えて、中の粒子板の中心線と端の粒子板の中心線との交点をXとする。Xを中心として半径 r の円を考えると2つの粒子板中心線で囲まれる円弧長の半値 X_c は $X_c = r/2 (\pi/2 - \varphi)$ で表わされる。これを(5)式に代入して中の粒子板の長さの積分区間で積分すれば、

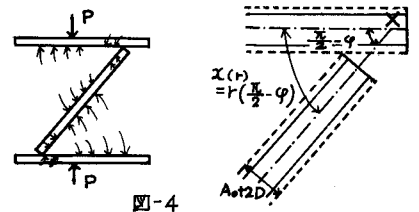


図-4