

土や岩盤の膨潤挙動に関する基礎的研究

秋田工専 正会員 伊藤 驍

1. まえがき

粘土を構成する鉱物は多種族にわたるが、このうちスメクタイトは、結晶に層間水をもち、砂のような吸着水の脱水とは異なり、その脱水により構造が変化する。土や岩盤が水と接して複雑な挙動を示すのは、一は二種の粘土鉱物が介在して、吸水・膨潤及び脱水による構造変化を起こしているからである¹⁾。スメクタイトの中のモンモリロナイトは顕著な膨潤挙動を示し、諸種の地盤災害とも密接な関係をもっている。例えば、これが軟弱粘土の構成土(ヘドロ)の主成分²⁾であったり、地盤沈下やトンネルの変状及び地スベリの要因の一つであると考えられている。このようなモンモリロナイト質の粘土の性状を量的に把握しておくことは土質工學上極めて重要なことと思われる。これまで著者は各種粘土鉱物のうち特にNa系モンモリロナイトを取りあげ、その膨潤に関する一連の基礎的研究を行ってきた³⁾。ここではモンモリロナイト50%を含む試料の膨潤領域における力学的パラメータの特性について、実験的に解明された主な結果を述べることにする。

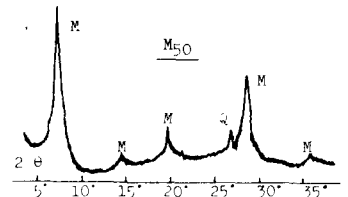


図-1 実験試料のX線回折図

2. 試料

実験装置及び方法は別途報告している³⁾ので省略するが、用いた試料は、高純度ソリウムモンモリロナイトにガラスビーズ(325 mesh)と重量比で1:1に混合したものでこれを試料M50とした。そのX線回折結果を図-1に示すが、(001)面にモンモリロナイト(M)特有の回折ピークが現われ、他に石英(Q)の存在が認められた。2θはBragg angleを示している。この試料の初期含水比(W_1)を色々変え、一定温度、一定の締固め状態の下で蒸留水を吸わせた。

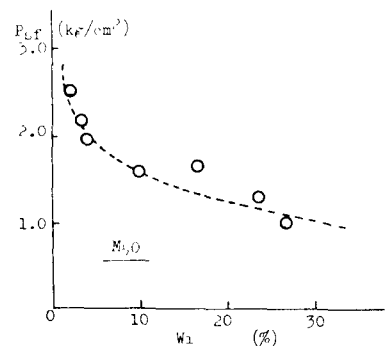


図-2 膨潤圧と初期含水比の関係

3. 解析結果と考察

各含水比による最終膨潤圧(P_{sf})の変化を調べてみると図-2のようである。これによると W_1 が小さければ大きな P_{sf} が発生し、 W_1 の増加に伴い P_{sf} は非線形的に減少している。この傾向はMの含有率が異なっても同様に現われるものと思われる。各試料共、 P_{sf} に達するまでには長大な時間(t)を要するが、その関係は図-3のようにS字型成長曲線を示した。これを数式モデルにあてはめると、例えば

$$P_s = \frac{P_{sf}}{1 + \exp(a - bt)}$$

を得る³⁾。ここで P_s は膨潤圧、 b は膨潤係数で W_1 などによって変化する。 a は定数。これは一種の収束クリープ現象を表わす式である。上式と実験結果を比較すれば、図-3の如くとなり両者の相関係数は0.99であった。従ってこの式が膨潤現象を説明するのに妥当な

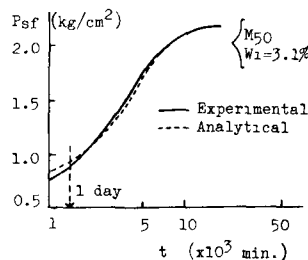


図-3 膨潤圧の比較図

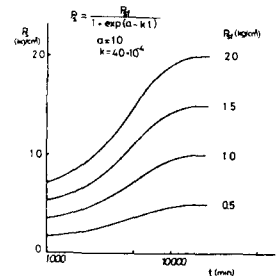


図-4 膨潤圧の予測図

モデル式であることが実証される。そこでこの式に基づいて、 P_{sf} の相違による、いろいろな曲線になるかを予測したのが図-4である。これを見ると、 α , β が一定で P_{sf} が小さくなれば、緩慢な膨らみを示すことがわかる。モンモリロナイトを含むものかこのような膨らみを示すのは、それが結晶格子を拡大して周囲に水を取り入れていくからであると考えられている。これを土粒子間の間隙比が増大していく現象と解釈して、 P_s の変化による間隙比の変化よりLambeらの定義しているSwell index⁴⁾, C_s を用い、これとProctorの締固めエネルギー(E_c)との比をパラメータにして、その含水比による変化を見ると図-5のようになる。データ数は少ないが $W_i=1$ まで直線関係が成立するものとするれば次の関係式が得られる。

$$C_s = \alpha \cdot W_i^{-\beta} \cdot E_c$$

そこでこれを各 E_c によってどのように変化するかを予測すれば図-6の如くとなり、同一 W_i でも E_c が大きければ大きな C_s になり、また W_i が小さくなれば、 E_c による C_s の変動中から大きくなることわかる。図中の丸印は実験値で実線は本実験の $C_s \sim W_i$ 関係を示している。 α , β は定数で本実験において $\alpha=1/2$, $\beta=0.237$ となった。

次にMsoの膨潤は図-3で見たように初期に緩慢、次に急速に増加する。このような増勢期における直線近似部分の勾配を取り、それを膨潤速度($V_s = \frac{\Delta P_s}{\Delta t}$, kg/cm²/sec)と定めれば、図-7のような関係が得られる。これを式で示すと、
$$V_s = \gamma \cdot W_i^{-\delta}$$

この V_s は先の P_{sf} , E_c とも密接な関係にあて、結局次式のように表わされた。

$$\log V_s = \log E + \zeta \{ \log P_{sf} - \log E_c \}$$

ここで $E=0.346$, $\zeta=2.014$ 。これらの関係を図示すると図-8のようになる。図中に主な実験結果を示した。この図によれば、 E_c , W_i は予め判っているから、途中の V_s を測定すれば P_{sf} などの値になるかを推定することができることになる。

4. 結 び

土や岩盤が体積変化を起こす原因は複雑多岐にわたるが、ここではMsoの試料について、実験的に得られた結果の一部を報告した。粘土の膨潤は鉱物学における界面や浸透現象の性格が強いので、今後さらに、その方面での量的研究を進めたいと考えている。

【文 献】

- 1) 須藤俊男; 粘土鉱物, 岩波全書 (1970)
- 2) 伊藤 駿; 超軟弱地盤に関するシンポジウム (1977.10)
- 3) たとえば伊藤 駿, 堀部富男; 第11回岩盤力学に関するシンポジウム (1978)
- 4) Lambe & Whitman; Soil Mechanics, J. Wiley & Sons (1969)

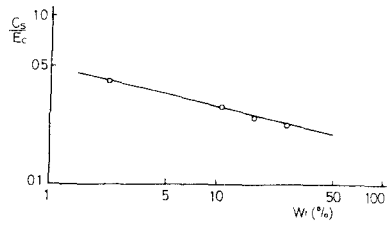


図-5 $C_s/E_c \sim W_i$ 関係図

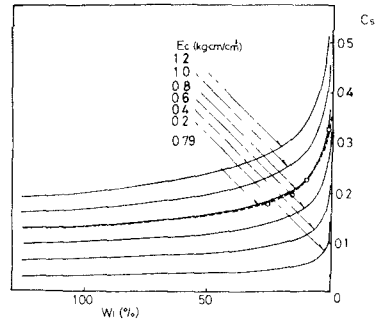


図-6 E_c による $C_s \sim W_i$ 関係図

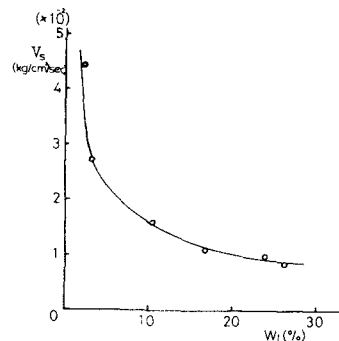


図-7 $V_s \sim W_i$ 関係図

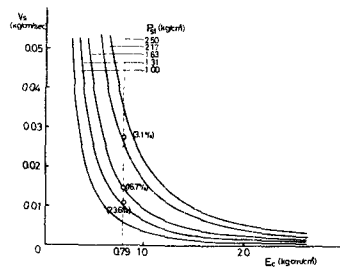


図-8 P_{sf} による $V_s \sim E_c$ 関係図