

九州大学 工学部 正員 山内豊彦
 西日本工業大学 同 〇安原 一哉
 西日本工業大学 学正員 石丸謙次

1. まえがき 粘性土の膨潤は、例えば それに伴う道路含路表の破壊¹⁾、掘削などによる軟弱層の低減に伴うヒン断強度の低下²⁾など工学的にも重要な問題に関連が深い。それにもかかわらず、系統的な研究は比較的好くないように思われる。筆者らは粘性土の時長依存変形の要因を三軸圧密を中心に検討中であり、膨潤も同様の变形と考えている。ただし、単に圧密の全く逆の現象とは一概に決めかねる面がある。以下は、 K_0 圧密と比較しながら、膨潤現象が圧密と同等の要因によって支配されるかどうかについて検討した結果を報告するものである。そこでとくに有機質粘土を取り上げたのは、筆者らが従来、この種の粘性土が工学的に種々問題があるとして、継続的に扱ってきたことと、膨潤に及ぼす界面の要因としての有機質の影響についての報告が余り見られていないことのためである。

2. 実験方法 用いた試験機は先に報告した三軸圧密試験機³⁾と通常の標準圧密試験機である。一段階圧密は除荷した物、三軸圧密の途中で K_0 圧密させその後膨潤させその二種類の方法で試験を行った。用いた試料は福岡県瀬田町産の有機質粘土でその物理化学的性質を表-1に示す。

3. 実験結果とその考察 3.1 膨潤時の有効主応力比の影響 圧密荷重を除去すると膨潤を許すとき、粘性土は過圧密状態になり、その過圧密の程度とその状態における土力比(初圧静止土圧係数 K_{0s})⁴⁾の σ_1/σ_3 の変化が膨潤に及ぼす外的要因として重要である。膨潤時の静止土圧係数 K_{0s} は過圧密比 μ_m に比例変化することはいく知られているが⁴⁾筆者らは、

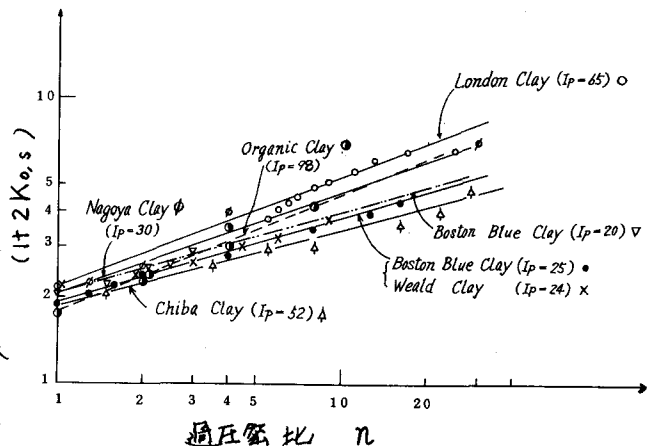
表-1. 試料の物理化学的性質

物 性	試料A	試料B
液性限界 W_L	260%	169.5%
塑性指数 I_p	98	88.3
土粒子比重 G_s	2.35	2.38
有機物含有率*	9.5%	15.7%
粘土鉱物**	モ伊利ノサイト ハロイサイト	同左

(* 重クロム酸による, ** X線分析による)

$$1 + 2K_{0s} = f \cdot \mu_m^{\lambda} \quad (1)$$
 なる関係を理論的に導いている。ここで、 $f = \{(\sqrt{1 - \mu_{em}}) - (\sqrt{1 + 2\mu_{em}})K_0\} / \mu_m$ (μ_{em} : 圧密時の過圧密比でモ伊利ノサイトの内摩擦角, μ_m : 圧密時における初圧静止土圧係数), $\lambda = C_s / C_c$ (C_s : 膨潤指数, C_c : 圧縮指数)である。(1)式から、 $\lambda = C_s / C_c = \log \{ (1 + 2K_{0s}) / f \} / \log \mu_m \quad (2)$ となる。図-1は試料Aについて K_{0s} と μ_m の関係を、従来報告されているものも含めて示したものである。 λ は一般的に膨潤の程度を示す指数と考えられるが、A試料の λ が他のものに比べて最も大きい。この λ と I_p の関係を示したのが図-2である。 λ が I_p に比例して大きくなることから、塑性指数が膨潤の多少の判断材料になることがわかる。また、膨潤と時間曲線⁵⁾によると、土中の水圧が消失したあとに膨潤が継続する傾向がみられる。これはちょうど二次圧密に類似している⁶⁾二次膨潤とよぶことができる。二次圧密は軟弱土の静止土圧係数の影響を受ける⁷⁾二次膨潤は⁸⁾膨潤によって生じた K_0 が(図-4)にある。圧密は主応力方向が異なるため K_{0s} が異なるほど膨潤程度が大きくなる⁹⁾が圧密時ほど敏感でない。

図-4を $(\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3$ で整理したのが図-5である。これを $d\varepsilon_s / d \log t = a \{ (\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3 \}^n$ と表示(図-1 膨潤時の静止土圧係数と過圧密比の関係)するとき、 $a = 0.245$ と定めた二次膨潤速度 $d\varepsilon_s / d \log t = a^* \{ (\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3 \}^{n^*}$ における $a^* = 1.90$ に比べ約1/4にある。このことから膨潤を支配する要因は、 $(\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3$ 以外のものも考慮に入れなければならず膨潤が単に粘土粒子のクレープの回復とは考えられ



過圧密比 μ_m

図-4を $(\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3$ で整理したのが図-5である。これを $d\varepsilon_s / d \log t = a \{ (\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3 \}^n$ と表示(図-1 膨潤時の静止土圧係数と過圧密比の関係)するとき、 $a = 0.245$ と定めた二次膨潤速度 $d\varepsilon_s / d \log t = a^* \{ (\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3 \}^{n^*}$ における $a^* = 1.90$ に比べ約1/4にある。このことから膨潤を支配する要因は、 $(\sigma_3 - \sigma_1) / \sigma_3$ 以外のものも考慮に入れなければならず膨潤が単に粘土粒子のクレープの回復とは考えられ

なことがわかる。3-2 膨潤時のイオン濃度の非等分性の影響

膨潤が液限圧に達し粒子間水の拡大を考えると、その膨潤圧は、 $p_d - p_w = 2n_1 kT (\cosh y_d - 1) \dots (3)$ で表わされる。これは変形を起さずと存在節能力 σ_r 等しいと考えられるので、 $\sigma_r = \sigma - u = p_d - p_w = 2n_1 kT (\cosh y_d - 1) \dots (4)$ とする。ここで、 $y_d = ze\psi_d / kT = \log_e (N_d / n_w)$ である。粘土粒子に方向性があるとき、イオン濃度も方向性をもち考えられるので、図一を参照して、 $\sigma_r = 2n_1 kT (\cosh y_{d1} - 1) + u \dots (5.1)$ 、 $\sigma_r = 2n_2 kT (\cosh y_{d2} - 1) + u \dots (5.2)$ とする。圧密を及ぼさない状態では、平均的に $n_1 = n_2$ 、 $y_{d1} = y_{d2}$ と考えられるが、圧密が進行し配向する粘土粒子の数が増加することになり、水平方向のイオン濃度の分布に变化が少なくなり、垂直方向の膨潤のみが重要になる。これから粘土粒子の配向度を表わす指数が必要になる。(5.2)式による σ_r

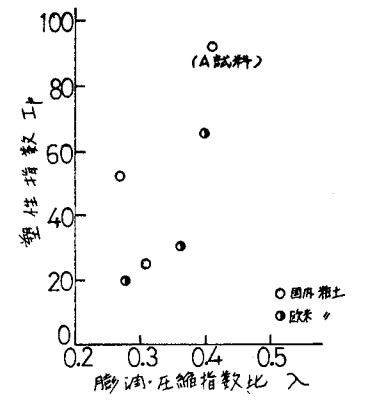


図-2 膨潤指数・圧縮指数比と塑性指数

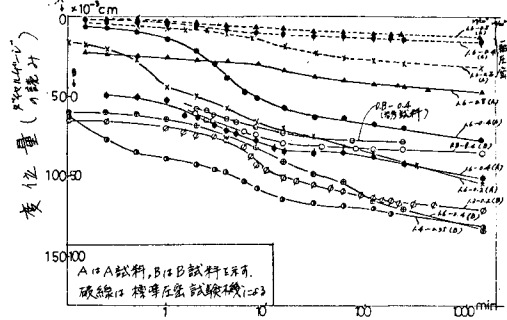


図-3 膨潤の圧力条件とI_p-I_c膨潤関係図

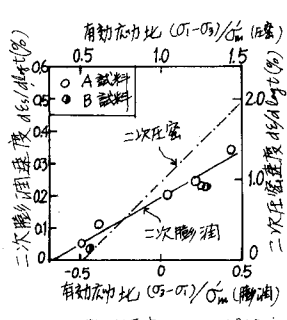


図-4 二次膨潤速度とI_p-I_c膨潤関係図

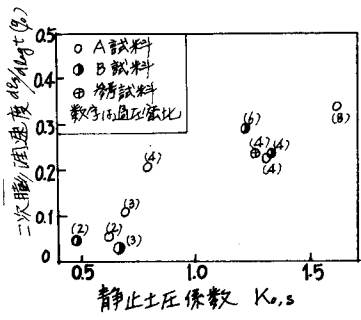


図-5 膨潤速度とI_p-I_c膨潤関係図

か圧密平衡時に σ_r 、膨潤によって負の固相水圧が消失したとき σ_r になる。このとき σ_r は完全配向、 $\sigma_r > \sigma_r$ のとき不完全配向をあらわす。3-3. 膨潤に及ぼす有機物の影響 粘土中の有機物は粘土の塑性を高める。無機物の場合粘土粒子の粗さに存在し土全体の保水性を高め膨潤量を増加させる。有機物の場合でも、粘土鉱物の三次構造とモレキュラサイトの有機物は反作用を、二次構造のハロゲンサイトは吸引作用をそれぞれ大きくすると考えられる。このように有機物の膨潤に及ぼす影響は一概に結論されない複雑さを持つ。有機物の種類の異なる決定的研究が望まれる。4. あらまし 以上を要約すると、次のようになる。(1) 膨潤時の静止土圧係数は膨潤量に影響が、その傾向は圧密時とは異なる。(2) 膨潤指数は $K_{0.5}$ に比例し、圧密比に逆比例する。また塑性指数が高いほど膨潤性が高い。(3) 膨潤時に二次圧密と類似の現象がみられるが、それは反作用を、単に有効応力のみになく、イオン濃度の非等分性が重要である。とくに圧密平衡時と膨潤平衡時の σ_r の関係が粒子の配向度を表す指標になり得る。(4) 膨潤に及ぼす有機物の影響は、粘土の有無と粘土鉱物の種類によって異なる。一概に結論できない。引用文献

(1) Kassiff, G., et al. (1969): Pavement on Expansive Clays, Jerusalem Academic Press. (2) 中瀬・小林・勝野 (1969): 圧密および膨潤による粘土のせん断強度の変化, 地研報告, 48巻, 4号, (3) 山内・安原 (1973): 有機物粘土の K_0 圧密と排水力について, 松田環境研究発表会, (5) 山内 (1969): 土の物理化学的性質, 土質学(最上編), 1章 (4) 安原・一哉 (1972): 粘土土の静止土圧係数に関する考察(複製資料), (6) 日本粘土学会 (1967): 粘土ハンドブック, 技報堂

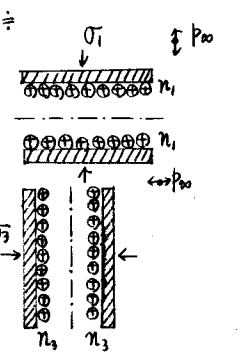


図-6 土粒子の方向とイオン濃度

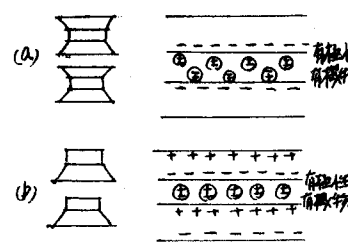


図-7 有機物と粘土鉱物の関係 (A) モレキュラサイト, (B) ハロゲンサイト