

モンモリロナイトの膨潤に関する一考察

秋田工専 正員 ○伊 藤 驍
桜 田 良 治

1. まえがき

土や岩盤にモンモリロナイト等の粘土鉱物が介在すると、膨張性土圧現象を起こす事は従来より指摘されている。この現象には、水に関する体積増加と、そうでない応力解放等によるExpansionの2通りがある。特にモンモリロナイトを含むものは吸水膨張するので、隧道工学の分野では一括して膨張性土圧現象と拡大解釈している。しかし、この圧力は地盤の組織がゆるみ、そこに水が入ってこれがその中の粘土鉱物と結合して容積変化をきたして起こるのであるから、厳密には膨潤(Swelling)と呼ばれるべきものである。この膨潤挙動は主に(1)含有粘土鉱物の種類と量、(2)初期含水比、(3)密度、(4)間ゲキ水の種類と濃度等によって支配されている。既に膨潤に関する基礎的研究は、これまで幾つか報告しているが、未だ膨潤用の実験装置として、我国に固定したもの

はないので、東北大学で試作された膨潤測定用装置に若干の改良を加え、引き続き一定温度及び上記(1)(2)の条件設定による実験を数回行なった。その結果、膨潤現象には確率統計論的な考え方が導入できる事を見出した。ここでは、その概要を述べることにする。

2. 試料・装置及び実験方法

使用したモンモリロナイトは、国峯礦化工業株式会社製、高純度ソジウム・モンモリロナイト(粉末、クニヒア-F)である。これにガラスビーズ(-325 mesh)を重量比で1:1に混合し、 M_{50} とした。この試料を皿の下に水を入れたデシケーター中で養生し、日数を調整して初期含水比(Wi)を変化させた。次にこれに一定のエネルギーを与えて $\phi=5\text{cm}$, $h=2\text{cm}$ の容器に縛り固めて入れ、そのまま装置(Fig.1)の⑥にセットした。Fig.1は膨潤測定用に開発された②を④($0-50^\circ\text{C}$ 調節可能)に密閉して入れ、⑬より給水している状態を示している。今回は M_{50} , 15°C の場合についてのみ実験し、膨潤歪(ϵ_s)は、④により、膨潤圧(P_s)は、ストレインゲージを貼付した⑤を介し、⑬で読みとって換算した。この読み取り方には、①を調節して原体積を維持する方法と、歪を抑制せずそのまま読み取る方法の2通りがあるが、本実験では、後者によって行い、④がほぼ0.01mm/24hr以内に留まる所で実験を打ち切った。なおモンモリロナイトについてX線粉末回折を行ったところ、Fig.2に示す様に(001面)にこの鉱物特有のピークが現われ、他に不純物が混じっていない事が判明した。 図中の 2θ はBragg angleを示している。

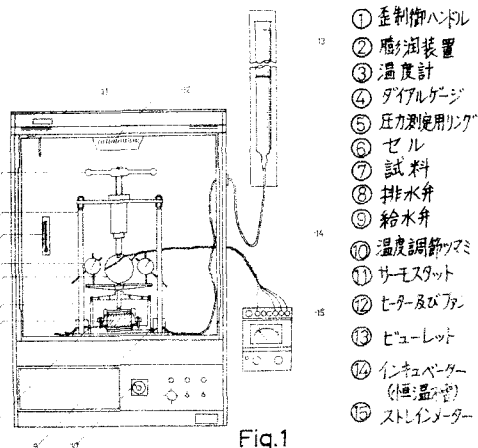


Fig.1

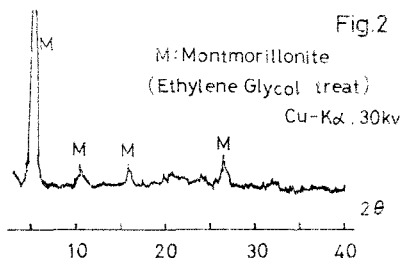


Fig.2

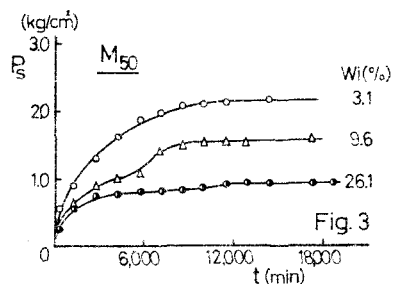


Fig.3

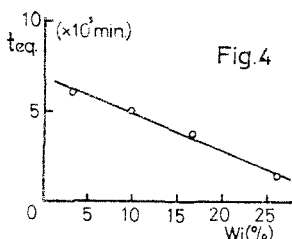
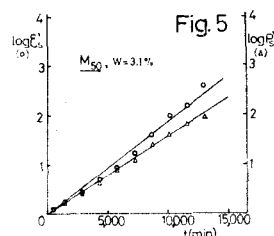


Fig.4

3. 結果及び考察

各 W_i による P_S の経時変化をFig.3に示す。図からわかる様に、一定の締固め状態の下では W_i の大きいものは P_S は小さく、 W_i の小さなものは大きな P_S が生じている。これは試料の水分保持力と密接な関係にあるものと考えられる。即ち W_i の小さなものは一定能力下(ここではサーチャージ0.45kg/cm²)において、 W_i の大きいものより吸水容量が大で、従ってそれだけ鉱物粒子間の面間隔を拡大するエネルギーが大きく出て、大きな P_S を生じさせたものと考えられる。いずれの試料も、初期に P_S の増加率は大きい



いがやがてそれが減衰し平衡状態に達して、 W_i が大きいもの程この時期(t_{eq})が早まっている。 W_i の差異によってこれを調べたのがFig.4である。この図を見ると、 W_i と t_{eq} の間には負の相関が認められこれにより、 W_i を知ってその P_S の t_{eq} が概略推定できる。また W_i が異なっても、ある時間より P_S は増加せず一定値に落ち着いているがこれは鉱物シートがそれ以上、水を含まず E_s も頭打ちになる事を意味している。即ち一定の拘束力の下では、最大の含水比に達して P_S も平衡状態に到達する。次に P_S の最大値を P_{max} とおき、 E_s についても同様に $P_S' = P_{max} / (P_{max} - P_S)$, $E_s' = E_{max} / (E_{max} - E_s)$ とおく。Log₁₀ E_s' , Log₁₀ P_S' と時間(t)との関係の一例を示したのがFig5である。これより例えば P_S' についての関係式を求めると、次式のようになる。

$$\text{Log}_{10} P_S' = k \cdot t \quad (1)$$

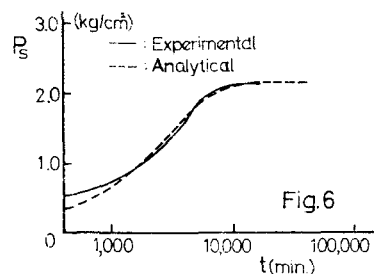
式中 k は速度係数である。(1)式を展開すると(2)式を得る。

$$P_S = P_{max} (1 - 10^{-kt}) \quad (2)$$

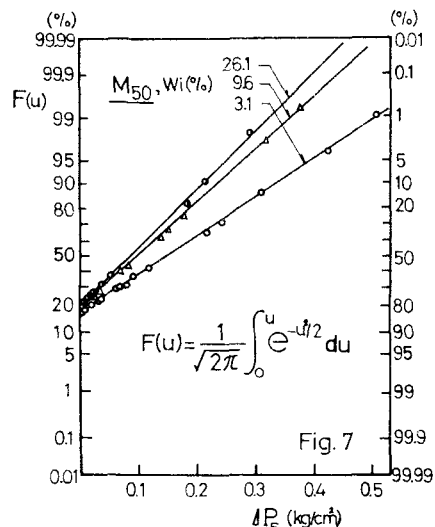
または $P_S = P_{max} (1 - e^{-2.303kt})$

$W_i = 3.1\%$ について P_S , E_s を求めれば次の様になる。

$$\begin{aligned} P_S &= 2.17 (1 - e^{-3.47 \times 10^{-4} t}) \\ E_s &= 3.95 (1 - e^{-4.60 \times 10^{-4} t}) \end{aligned} \quad (3)$$



この様に計算された値と実験値($W_i = 3.1\%$)の双方を示したのがFig6である。図を見ると、1日以降はかなり良く合致しており、(2)式の適用が膨潤現象を説明するのに、十分妥当なものである事がわかる。なお上式の k は、ここでは主に W_i に依存する値である。次にFig.6の如く、上側有限のS字型曲線は正規分布することが考えられるので、正規確率紙の横軸に P_S の変量 ΔP_S をとり、たて軸にこれに対応する累積相対度数(F_u)をとってプロットしたのがFig7である。これより各 W_i における標準偏差(σ)が直ちに読み取れる。また50%分位値が、平均値(m)とも良く一致し、分布が正規形であることが、確かめられた。図中に分布函数を示した。なお $U = (\Delta P_S - m) / \sigma$ である。



4. 結 び

以上、15°Cにおけるモンモリロナイト50%を含む試料について、新しく開発された装置により、膨潤実験を行った結果の一部を報告した。膨潤はS字型成長曲線であることより、 P_S の増加は W_i により概ね推測できることを示し、またその推定式が膨潤現象によく適合することを確認した。この様な膨潤現象を詳細に検討するため、今後さらにデータを積み重ねて、

違う温度や、 M_{50} 以外のものについても、適用可能なモデルを考案し、統計的函数と土や岩盤の相関について追究を深めたいと考えている。

【文 献】①例えば、伊藤 駿・坂部富男；S.51 日鉱春季大会，25-26。