

純粋な粘土鉱物の膨潤特性

山口大学大学院博士後期課程 正会員 小西純一
 山口大学大学院博士前期課程 学生会員 ○三須尊洋
 山口大学大学院 正会員 鈴木素之
 山口大学大学院 正会員 山本哲朗

1. まえがき 本研究では、第三紀泥岩地山の膨潤性が切土地盤の盤膨れ・地すべり・斜面崩壊・トンネルの膨張性地圧といった地盤災害^{1)~3)}にどのように関与しているのかを解明することを主な目的としている。これまでにベントナイトの膨潤性⁴⁾についてはかなりの程度で解明されているが、上記の現象に対してベントナイトなど膨潤性粘土鉱物が、どのように関与しているのか必ずしも明確になっていない。研究の端緒として、泥岩地山の最小構成単位である、純粋な粘土鉱物の膨潤の基本的性質を把握するため、一次元圧密した粘土供試体に対して一次元膨潤圧試験を実施した。実験では、ベントナイトのスラリー試料を一次元的に予圧密して作製した供試体について、新規開発した一次元膨潤圧測定装置を用いて発生する膨潤圧を測定した。試験条件として、異なる含水比、異なる予圧密圧力を与えた。実験結果から、最大膨潤圧およびその発生時間、初期含水比、初期間隙比の相関について考察を加えた。

2.1 試料の物理的性質 用いた試料はNa型ベントナイト(クニゲルV1: 交換性陽イオンとしてNaをもち、モンモリロナイトを主成分とする)であり、その物理特性は、土粒子密度 $\rho_s=2.716\text{g/cm}^3$ 、液性限界 $w_L=479.0\%$ 、塑性指数 $I_p=442.0$ である。

2.2 供試体の作製方法 初期含水比 w_0 の異なる試料(w_L , $1/2w_L$, $1/4w_L$)を容器に入れて真空脱気を行ってから、予圧密圧力 $P_c=100, 200\text{kPa}$ で圧密させた。圧密打ち切り時間は3t法で決定し、形成された粘土構造に急激な除荷による状態の変化が生じないように、段階的に除荷した。この際、排水経路からの吸水による供試体の膨潤を発生させないため、排水経路を閉じて除荷した。

2.3 一次元膨潤圧測定方法 予圧密した試料はすみやかに膨潤圧測定用の供試体(直径60mm, 高さ20mm)に成形し、図-1に示す膨潤圧測定装置を用いて実験を行った。供試体をセットした後、ベロフラムシリンダーにより10kPa程度の軸圧を供試体に作用させ、供試体と装置を密着させてから载荷軸を機械的に固定した。そして、試験容器内に供試体上面の多孔板が浸るまで純水を注水し、水位が所定の位置に達した時点で測定を開始した。測定の終了は膨潤圧が一定値に達するまで、あるいは最大値を記録するまでとした。

3. 試験結果と考察 まず、初期含水比が異なる場合の膨潤圧の発生について考察する。図-2に w_0 が異なる供試体(w_L , $1/2w_L$, $1/4w_L$)の膨潤圧 P_s と経過時間 t の関係を示す。供試体の初期含水比が低いほど、膨潤圧が発生し始める時期が遅くなり、最大膨潤圧が大きくなる傾向が認められる。

図-3は最大膨潤圧 P_{smax} と最大膨潤圧の発生時間 $t_{P_{smax}}$ ならびに P_{smax} と w_0 の関係を示したものである。 P_{smax} と w_0 、 $t_{P_{smax}}$ と w_0 の間には同様な一次的な相関が認められる。さらに、図-4の初期間隙比 e_0 と P_{smax} の関

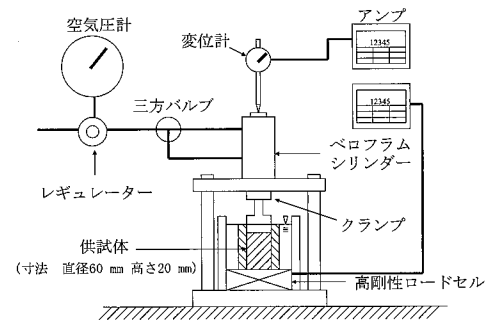


図-1 一次元膨潤圧測定試験装置

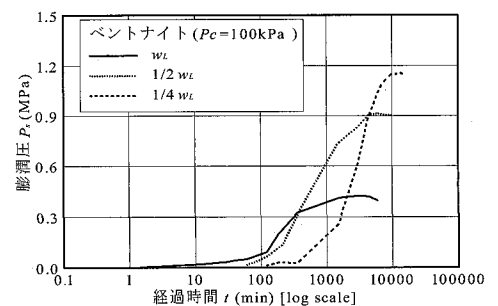


図-2 初期含水比が異なる場合の膨潤圧と経過時間の関係

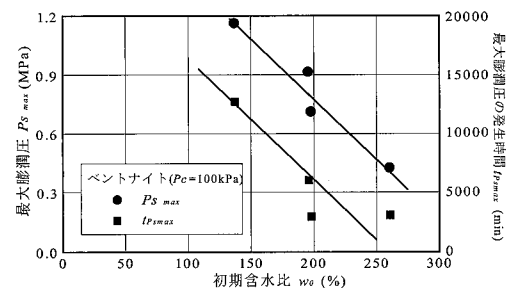


図-3 最大膨潤圧と発生時間の関係

係においても、 e_0 の減少に伴い、最大膨潤圧が増加する顕著な一次的相関が見られる。

次に、初期含水比一定の試料を異なる圧力で予圧密させた場合の P_s と t の関係を図-5 に示す。 $P_c=100\text{kPa}$ のとき $P_{s\max}=0.7\text{MPa}$ 、 $P_c=200\text{kPa}$ のとき $P_{s\max}=2.3\text{MPa}$ であり、膨潤圧の差が顕著である。また最大膨潤圧に達する時間は予圧密圧力の大きい方が遅い。これを e_0 と $P_{s\max}$ の関係で表すと図-6 のようになる。 e_0 の減少に伴い、 $P_{s\max}$ が増加する一次的な相関は図-4 と同様である。

e_0 が小さいほど $P_{s\max}$ の発生し始める時期が遅くなる理由としては、透水性が小さいために水が粘土鉱物間を移動して個々の粘土鉱物に達するまでに多くの時間を要するためと考えられる。 e_0 が小さいほど $P_{s\max}$ が大きくなる理由は、次のように考えられる。膨潤現象は、粘土鉱物自身が水を取り込んで体積膨張する現象であり、膨潤圧は個々の粘土鉱物で発生する膨潤圧の総和である。したがって、単位体積当たりの膨潤圧は、その中にある粘土鉱物の数に比例する。すなわち、密度の大きな方がより大きな膨潤圧を発生することになる。

図-7 は、筆者ら¹⁾が地山の不攪乱泥岩について行った膨潤圧測定における e_0 と $P_{s\max}$ の関係に、今回の実験結果を加えたものである。泥岩の膨潤圧は、初期間隙比と強い相関があり、これらの相関は各地質ごとに固有の集団を形成している。今回の実験では、相関を評価できるほどのデータ数が得られていないが、 e_0 が小さいほど、大きな $P_{s\max}$ を発生する傾向は地山の泥岩と同様の関係が成立している。すなわち、これらの相関は、ほぼ同じ応力履歴を被った地質単位でグルーピングされているとみることもできる。

4. 結論 本研究では、ベントナイトの供試体に対して膨潤圧測定を実施して、純粋な粘土鉱物からなる材料の膨潤特性について検討した。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ①初期状態が異なる供試体の水浸に伴う膨潤圧の発生について、供試体の含水比が低いほど、膨潤圧が発生し始める時期が遅くなり、最大膨潤圧が大きくなる傾向が認められる。
- ②最大膨潤圧、最大膨潤圧発生時間と供試体の初期含水比、初期間隙比の間には一次的な相関が認められる。
- ③ e_0 - $P_{s\max}$ 関係については、純粋な粘土鉱物と不攪乱泥岩は、同様の相関が成立していることが分かった。

参考文献

- 1) 小西純一、鈴木素之、山本哲朗、三須尊洋：泥質岩および粘土の膨潤に起因する地盤災害の特徴と膨潤の基本的性質、中国地質調査業協会第15回技術講演会テキスト、pp.44-51、2006。
- 2) 伊藤驍：土の膨潤挙動からみた地盤災害、土と基礎、Vol.28、No.2、pp.31-38、1980。
- 3) 古賀潔、河野英一、岩田進午：土の膨潤について、土と基礎、Vol.21、No.12、pp.61-66、1973。
- 4) 小峯秀雄、緒方信英：砂・ベントナイト混合材料および各種ベントナイトの膨潤特性、土木学会論文集、No.701/III-58、pp.373-385、2002。

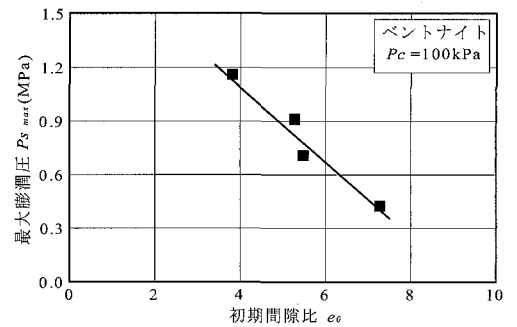


図-4 初期間隙比と最大膨潤圧の関係 (予圧密圧力一定)

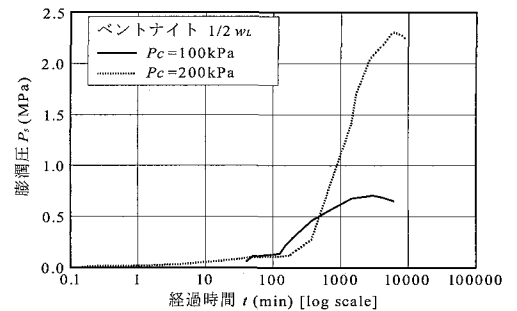


図-5 予圧密圧力が異なる場合の膨潤圧と経過時間の関係

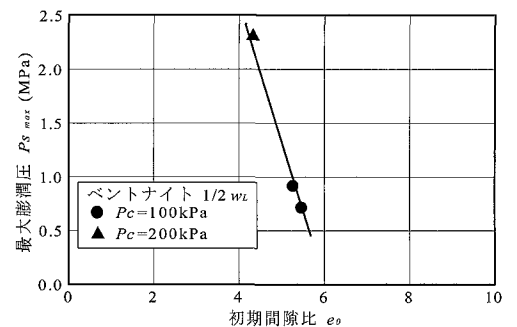


図-6 初期間隙比と最大膨潤圧の関係 (初期含水比一定)

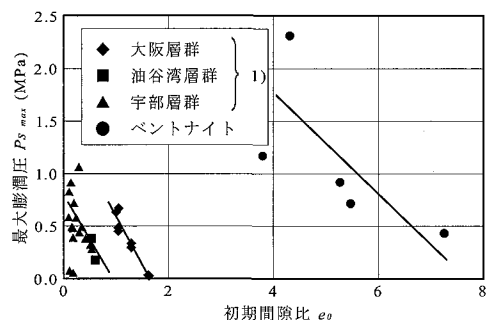


図-7 不攪乱泥岩とベントナイトの比較