

締固めた粒状体ベントナイトの吸水量と膨潤変形量および側圧に関する考察

早稲田大学 学生会員 ○市川 雄太, 正会員 小峯 秀雄, フェロー会員 後藤 茂
戸田建設 正会員 関口 高志, 正会員 北原 慎也

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物の中深度処分においては、低透水層の材料として粒状体ベントナイトの利用が検討されており、その膨潤変形特性に関する研究が行われてきた。既往の研究の多くは、供試体の鉛直方向の変形量のみを測定しており、吸水量を測定していない。そこで本研究では、変形量に加えて吸水量を測定し、両者の関係を考察した。また、土圧計により吸水膨潤に伴う供試体の側圧変化を測定し、吸水量・膨潤変形量との関係を考察した。

2. 膨潤変形実験の概要

表1に使用した粒状体ベントナイト(クニミネ工業製・クニゲルGX)の基本的性質¹⁾を示す。粒状体ベントナイトの最適含水比は18%程度²⁾であるため、本研究では自然含水比9.8%の試料に目標含水比20%として加水し、養生したものをを用いた。供試体は、内径60mmのリングに投入した試料を突棒により締固めて作製した。締固めは1層10mmとして2層で行った。リングには、最大容量3000kPa、最小目盛1.5~1.6kPaの土圧計が下端から10mmの位置の3か所に設置されている。そのため、土圧計は供試体高さ20mmのおおよそ中心に接触している。

図1に示す装置は、作製した供試体に一定の鉛直圧を載荷した状態で給水を行い、供試体への給水量、鉛直方向の変形量および側圧を測定するものである。載荷する鉛直圧は遠藤ら³⁾の研究を参考に20kPaとし、変形量は最大容量25mm、最小目盛0.002mmの変位計で測定した。供試体への給水量は目視と差圧計により測定した。

3. 実験結果および考察

図2は給水量 Q と膨潤率 ε_s の経時変化である。膨潤率 ε_s とは、膨潤変形量 ΔS (mm)と初期供試体高さ H_0 (mm)の比の百分率であり、 $\varepsilon_s = \Delta S/H_0 \times 100(\%)$ と計算される。給水量の増加に伴い膨潤率も増加しているとわかる。一方図3は、側圧と膨潤率の経時変化である。給水開始時の供試体側方には、供試体作製時の締固めに起因するリングに対する残留圧力が240~465kPa発生していた。給水開始初期において、3つの側圧はいずれも増加した。その後減少傾向に転じ、10日経過頃からはほぼ同値を示した。最終的に3つの側圧は、28~49kPaと鉛直圧20kPaと同程度に収束した。図4は、図3に経時変化を示した側圧と膨潤率の関係である。側圧は、膨潤率約5%まで急激に減少し、その後緩やかに収束した。

以上に述べた膨潤率・側圧の挙動と供試体の飽和度との関係を調査するため、給水量から飽和度を算出した。ただし、給水開始初期においては底板のポーラスメタルとろ紙に給水が行われていると考えられるため、小峯ら⁴⁾の研究を参考に給水量を補正した。すなわち、図5に示すように初期の給水量 Q を $Q = a\sqrt{t} + b$ (a : 単位時間の平方根当たりの給水量(mL/ $\sqrt{\text{days}}$), b : 切片(mL))と近似し、給水量 Q から切片 b を差し引いた値を供試体への給水量とした。給水量を単位時間の平方根との関係で整理したのは、ベントナイト供試体中の水分移動を水分拡散現象として評価できる場合、ベントナイト供試体中の吸水量は経過時間の平方根 \sqrt{t} の一次関数として表せる⁴⁾ためである。

キーワード ベントナイト, 膨潤, 吸水, 側圧, 放射性廃棄物処分

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58号館 203号室 TEL 03-5286-2940

表1 使用した試料の基本的性質¹⁾

| | |
|---------------------------|-------|
| 最大粒径(mm) | 10 |
| 粒子の形態 | 粒状 |
| 主な交換性陽イオン | Na |
| 土粒子密度(Mg/m ³) | 2.65 |
| 液性限界(%) | 344.4 |
| 塑性限界(%) | 23.6 |
| 塑性指数 | 320.8 |
| モンモリロナイト含有率(%) | 48.6 |

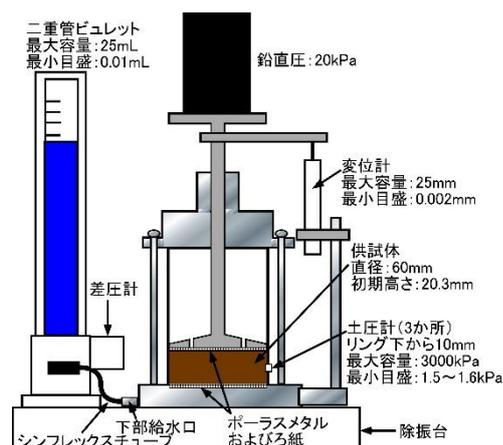


図1 膨潤変形実験装置の概要

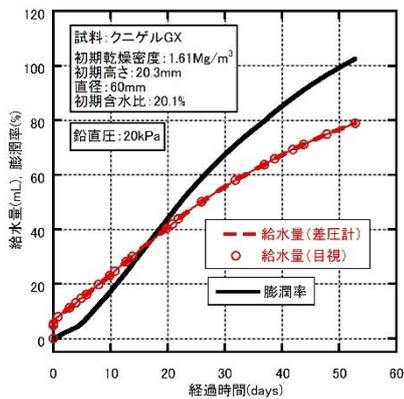


図 2 給水量と膨潤率の経時変化

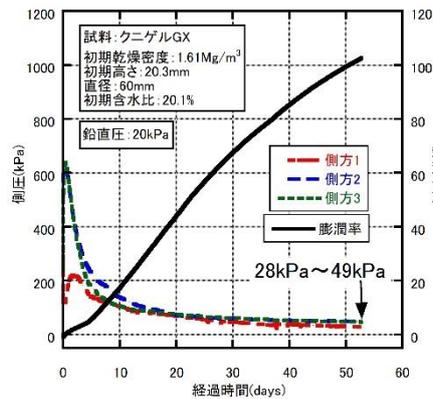


図 3 側圧と膨潤率の経時変化

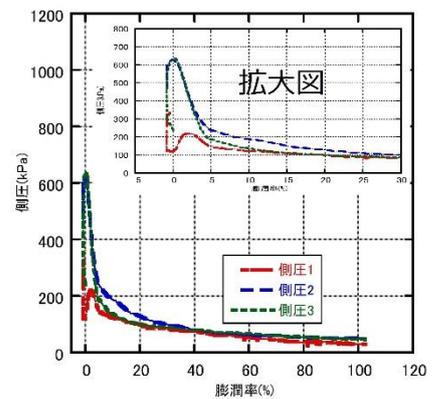


図 4 側圧と膨潤率の関係

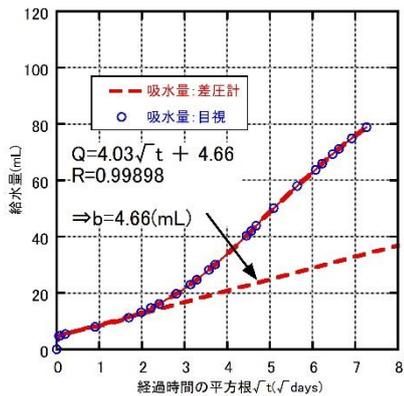


図 5 給水量—経過時間の平方根

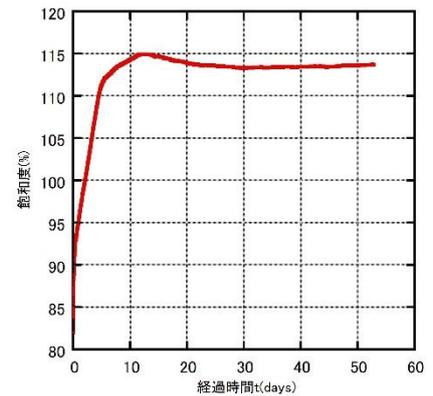


図 6 飽和度の経時変化

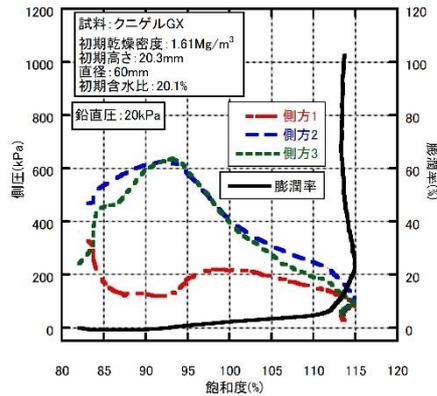


図 7 飽和度と側圧・膨潤率の関係

図 6 は、以上の手順で算出した飽和度の経時変化である。飽和度は給水開始直後から急増し、11 日経過頃からは 113～115%を示した。図 7 は、飽和度と膨潤率および側圧の関係を示したものである。供試体が不飽和の段階では膨潤率の変化は小さく、飽和後に飽和度をほぼ一定に保ちながら変位しているとわかる。また、不飽和段階では 3 つの側圧のばらつきが大きい、飽和度の増加に伴い等方的な挙動に移行しているとわかる。

前述のように、飽和度が安定するのは図 6 に示す 11 日経過頃であるため、11 日経過以降の吸水量増分と膨潤変形による供試体の体積増分（供試体の底面積×11 日以降の鉛直方向への変形量増分）を比較した。図 8 はその比較結果である。図中の近似直線より、吸水量増分と体積増分はほぼ線形の関係にあり、傾きは 0.89 である。すなわち、11 日経過以降においては、供試体は吸水した水の 0.89 倍の体積を増大させている。

供試体が飽和しているならば、吸水した水の体積と供試体の体積増分は一致するはずである。体積増分の方が小さくなった要因として、以下に述べる 2 つの可能性を考えた。1 つは、供試体上端から水が流出している可能性がある。図 8 ではこの流出した水も供試体が吸水したと考えているため、吸水量増分を実際よりも大きく見積もった可能性がある。もう一方の可能性は、供試体中の水の密度が 1.00 Mg/m^3 よりも大きいことである。ベントナイト中の水の密度が 1.00 Mg/m^3 よりも大きい可能性は、既往の研究⁵⁾⁶⁾において指摘されており、本実験においても同様の現象が生じた可能性がある。図 8 の吸水量増分は水の密度を 1.00 Mg/m^3 として算出したものであるが、仮に水の密度が $1.00/0.89=1.12 \text{ Mg/m}^3$ であれば、吸水量増分と体積増分はほぼ一致する。また、図 6 に示す 11 日以降の飽和度が 100%ではなく 113～115%であることと整合する。今後は再実験による検討が必要である。

【参考文献】1)小山浩勝, 小峯秀雄, 村上哲, 山田淳夫: 粒状ベントナイトの吸水特性と水分拡散係数としての評価に及ぼす最大粒径の影響, 第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2193-2194, 2013. 2)小峯秀雄: 余裕深度処分のための粒状ベントナイトの膨潤圧特性に関する基礎的研究～最大粒径 10mm と 2mm の粒状ベントナイトの膨潤圧特性の比較～, 第 46 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2087-2088, 2011. 3)遠藤さち恵, 小峯秀雄, 村上哲, 関口高志, 関根一郎, 小山田拓郎: 一次元膨潤変形に伴うベントナイトの吸水量測定試験方法の提案と水分拡散係数の評価, 土木学会第 66 回年次学術講演会, pp.33-34, 2011. 4)小峯秀雄, 小山田拓郎, 尾崎匠, 磯さち恵: 締固めた粉体状ベントナイト各種の水分移動特性と膨潤圧挙動に関する考察, 土木学会論文集 C (地圏工学), pp.63-75, 2018. 5)小峯秀雄: 膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験におけるベントナイトの吸水量と含水比増分から算出される試験後飽和度と既往文献に基づく水分子の存在形態に関する推論, 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.197-198, 2018. 6)Jacinto, A. C., Villar, M. V., and Ledesma, A., Influence of water density on the water-retention curve of expansive clays Geotechnique 62(8), pp.657-667, 2012.

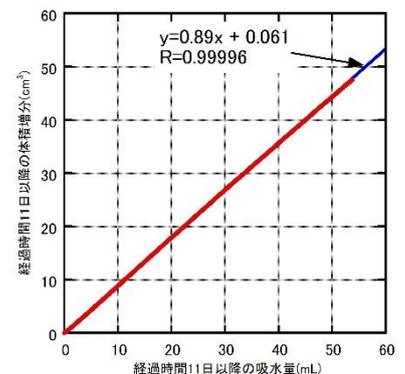


図 8 体積増分—吸水増分