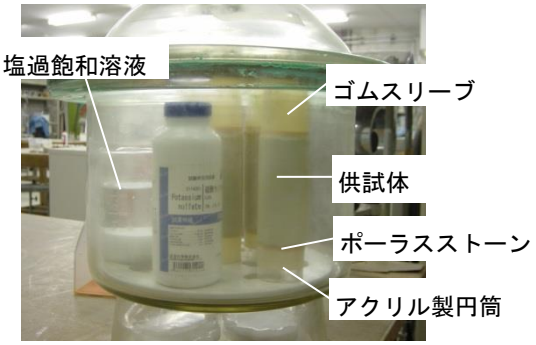
圧縮ベントナイトの体積変化に与える湿度の影響

足利工業大学　正会員　西村友良

１　まえがき　放射性廃棄物の地層処分に締め固めた圧縮ベントナイトを人工バリアとして用いる。人工バリア構造体には建設施工・操業・閉鎖・閉鎖後の長期間の安全性確保と信頼性が求められる。再冠水時（地下水浸透）の膨潤などの調査・研究は数多く報告されている。その一方で不飽和状態から飽和状態に移り変わる際の圧縮ベントナイトの工学的性質の解明には検討項目の抽出と評価手法が求められる。Wang ら(2012)[1] は人工バリアは地下空洞内の湿度の増加（サクションの低下）によって水分量や微視的構造が変化することを報告している。本研究では、98%、75%、33%の湿度環境下に長期間置いた圧縮ベントナイトの体積ひずみや飽和度などの変化について報告する。

２　試料・試験方法　試料にはベントナイト Na 型クニゲル V1 を用いた。クニゲル V1 の土粒子の密度は 2.733g/cm^3 であった。化学組成は SiO_2 69.7%、TiO_2 0.14%、Al_2O_3 15.8%、Fe_2O_3 1.69%、MgO 2.19%、CaO 2.00%、Na_2O 2.04%、K_2O 0.24%である。供試体の含水比を 5.38%～6.40%、乾燥密度を 1.413 g/cm^3～1.617g/cm^3 とし、5 条件の供試体(呼び名 A～E)を作製した。作製方法は内径 5cm、高さ 30cm の内面フッ素樹脂加工を施した締固め用モールドを用いて静的に締固め、供試体の初期寸法(直径、高さ)と質量を測定した。供試体の初期サクションは 105MPa であった[2]。供試体上下にポーラスストーン、アクリル円筒(内径 4cm、高さ 3.5cm)を置き、供試体をゴムスリーブ(直径 5cm、長さ 18.5cm、厚さ 0.25mm)で覆った。ポーラスストーン、ゴムスリーブは三軸試験の供試体作製・設置方法(JGS 0520-2009)に適合するものを使用した。その後、供試体、ポーラスストーン、アクリル製円筒、ゴムスリーブの全体質量を測定し、**図－1** のようにガラスデシケータの中に入れて蒸気圧法によるサクション制御を与えた。20℃での湿度 98%、75%、33%のサクション値はそれぞれ 2.8MPa、39MPa、148MPa である。供試体寸法の測定はノギス（最小目盛り 0.05mm：JIS B 7507）を用いた。測定期間は少なくとも 434 日以上とし、直径、高さ、質量変化から諸量を求めた。

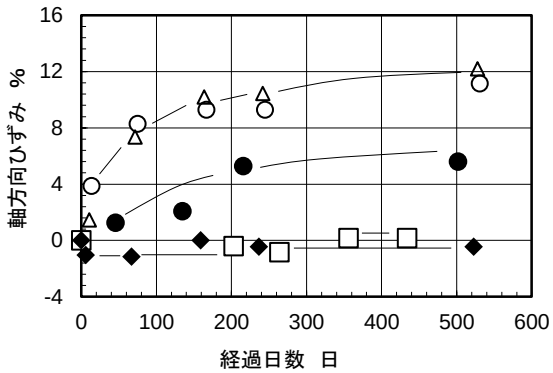


表－1　供試体の諸量一覧

供試体呼び名と記号	A（○）	B（△）	C（●）	D（□）	E（◆）
初期乾燥密度 g/cm^3	1.617	1.490	1.532	1.413	1.509
初期含水比 %	5.85	5.38	5.38	6.40	5.38
湿度 %	98	98	75	33	33
サクション MPa	2.8	2.8	39	148	148
測定日数 日	531	528	502	434	523
軸方向ひずみ %	11.1	12.2	5.6	0.16	-0.45
直径方向ひずみ %	9.4	9.3	4.7	2.5	1.5
体積ひずみ %	33.1	34.0	15.7	5.2	2.6
乾燥密度 g/cm^3	1.215	1.111	1.324	1.343	1.471
含水比 %	14.91	17.77	8.65	5.01	2.48
飽和度 %	32.6	33.2	22.2	13.2	7.9
間隙比	1.25	1.46	1.06	1.04	0.86

＊ひずみの正値は膨張、負値は収縮

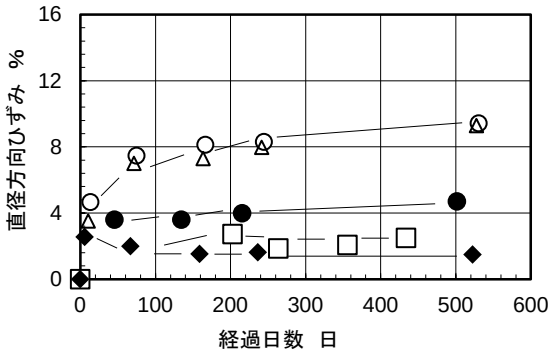
３　実験結果　測定結果の一覧を**表－１**にとりまとめ、各諸量の経日変化を**図－２～８**に示す。測定開始が異なったため、測定日数に違いがある。湿度 98%、75%の環境下に置かれた供試体 A(○)、B(△)、C(●)は軸方向に膨張している(**図－２**)。D(□)と E(◆)は、若干の収縮を示した。直径方向ひずみ(**図－３**)と体積ひずみ(**図－４**)は、全ての供試体で膨張を生じている。また体積ひずみの大小は



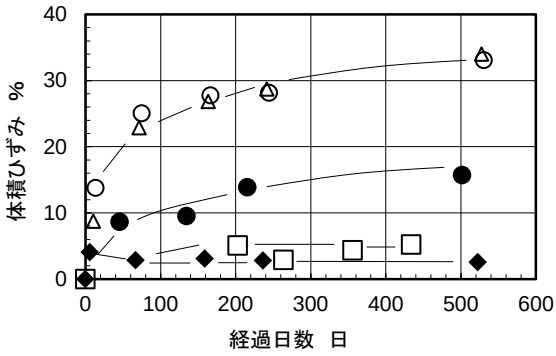
図－２　軸方向ひずみの変化

キーワード: ベントナイト,湿度, サクション/連絡先:栃木県足利市大前町 268　TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

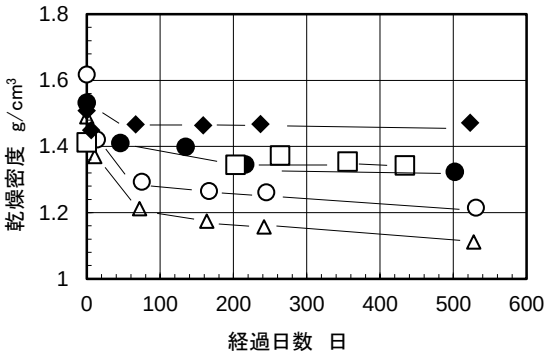
供試体の初期乾燥密度に関わらず湿度および載荷したサクションに依存している。一方で供試体の初期サクション(105MPa)よりも高いサクション(148MPa)を制御した湿度33%の場合でもD(□)とE(◆)に膨張ひずみが見られた。次に体積ひずみから乾燥密度を求めると、全ての供試体で乾燥密度が低下した(**図－５**)。最も大きな乾燥密度の低下が見られたのは、供試体A(○)の0.402 g/cm^{3}減少であった。**図－６**には間隙比の増加を示す。



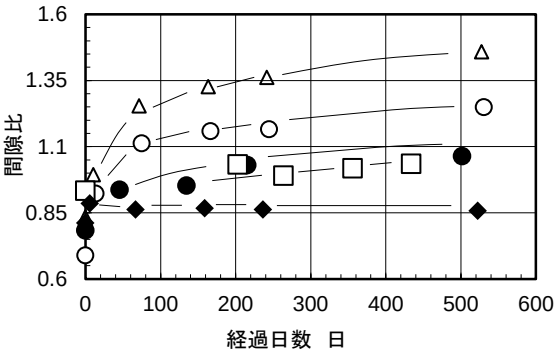
図－３ 直径方向ひずみの変化



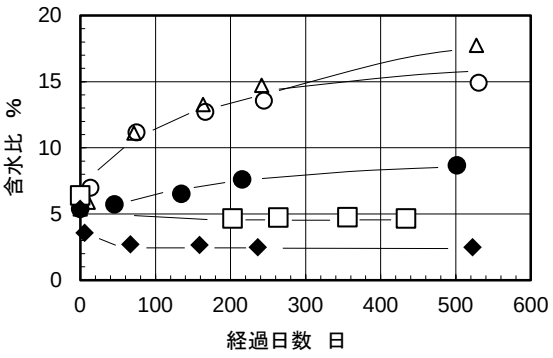
図－４ 体積ひずみの変化



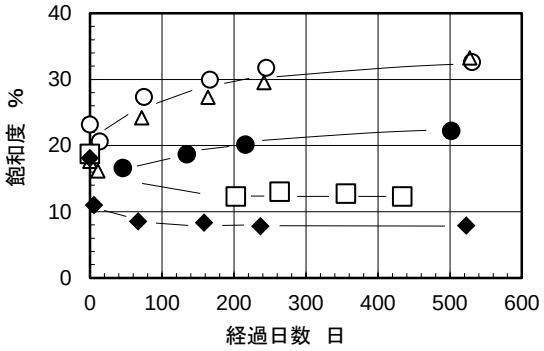
図－５ 乾燥密度の変化



図－６ 間隙比の変化



図－７ 含水比の変化



図－８ 飽和度の変化

さらにサクションの変化は水分量の変化に関連することから含水比の変化(**図－７**)を示す。載荷サクションが圧縮ベントナイトの初期サクションよりも低くければ低い程含水比が増大し、大きい場合は含水比が減少しサクションの影響が明確に見られる。供試体B(△)の場合は含水比が17.77%となり、初期含水比の２倍以上に増加している。また飽和度(**図－８**)に関しても含水比と同様に載荷サクションが初期サクションに比べて低い時に増大を示し、大きい場合は飽和度が低下する。測定日数に違いはあるが、飽和度の差は供試体B(△)の33.2%とE(◆)の7.9%の差は25.3%であった。

４　まとめ　蒸気圧法によって異なる湿度環境下で圧縮ベントナイトにサクションの変化を与え、体積変化や水分量の変化を長期間測定した。初期サクションよりも低いサクションを作用する湿度環境下では圧縮ベントナイトは膨張を示し、サクションが低いほど体積膨張ひずみは増大する。また乾燥密度も低下量も大きい。さらに含水比も増大するため飽和度も増加する。

参考文献　1) Wang, Q., Tang, C., Tang, Anh-M. and Cui, Y-J. (2012): Effect of suction changes on the microstructure of compacted crushed argillites under constant-volume conditions, *Unsaturated Soils: Research and Applications, E-UNSAT 2012*, Vol.1, pp.185-190.
2) Nishimura, T., Koseki, J. and Matsumoto, M. (2012): Measurement of swelling pressure for bentonite under relative humidity control, *Unsaturated Soils: Research and Applications, E-UNSAT 2012*, Vol.1, pp.235-240.