# 各種岩石の乾燥変形現象の比較による その支配要因の検討

## 長田昌彦1\*

#### <sup>1</sup>埼玉大学 地圏科学研究センター(〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255) \*E-mail: osada@mail.saitama-u.ac.jp

乾燥・湿潤に伴って物質が変形する現象はよく知られており、岩石もまた例外ではない. 我々はこれまで、乾燥に伴う各種堆積岩のひずみ挙動の連続計測を行ってきた.本稿は、これまで実施してきた各種岩石に対する乾燥変形実験の最大収縮ひずみ量を、間隙径分布のピーク間隙径との関係についてまとめたものである. その結果、最大収縮ひずみ量は小さい間隙径の分布に依存しており、両者は両対数表示で直線上にプロットされる傾向にあることがわかった.

Key Words : sedimentary rocks, drying-induced deformation, pore size distribution

## 1. はじめに

我々はこれまで,放射性廃棄物の地層処分の対象岩 盤としてスイスのように堆積岩が選択された場合,掘 削に伴う応力状態の変化とともに,比較的乾燥した空 気が空洞内に流入することによって岩盤の乾燥が進み, 乾燥収縮によって掘削影響領域の形成が加速されるこ とを懸念して,乾燥に伴う各種堆積岩のひずみ挙動の 連続計測を行ってきた<sup>1-4</sup>).

ここではいくつかの堆積岩の乾燥変形挙動と間隙径 分布を比較することにより,最大収縮ひずみを生じる 岩石の特徴について考察する.

## 2. 比較検討した試料と方法

比較検討に用いた試料は,次の4種類の岩石であり, その試料の寸法と,乾燥密度および間隙率を表-1 に 示す.

- (a) オパリナスクレイ (OP)
- (b) 白浜砂岩 (SS)
- (c) 田下凝灰岩 (TT)
- (d) パミス凝灰岩 (PT)

試料寸法は,ボーリングコアからの採取条件や,それ ぞれの岩石で蒸発速度が異なるために,試験期間との 兼ね合いにより多少異なっているが,全体としては片 手で持てる程度の大きさの円柱供試体である.

乾燥変形実験は、図-1に示すように、軸対称にロゼットゲージを4枚貼り付け、その上を上面を除いてシリ

コンゴムで覆う.計測中,試料は電子天秤上に置き,重 量の変化を記録している.試料は,室内に放置して計 測した場合と,恒温恒湿槽を用いた場合があるが,ひ ずみ出力を温度補正すればひずみの挙動はどちらでも 類似のものとなる.

表-1 試料の諸量

	直径	高さ	乾燥密度	間隙率
	(cm)	(cm)	$(g/cm^3)$	(%)
OP	9.3	5.5	2.45-2.53	15-20
$\mathbf{SS}$	5	2, 3	2.17 - 2.21	17.5 - 18.1
$\mathrm{TT}$	5	3, 5	1.74 - 1.76	29.9-31.2
$\mathbf{PT}$	5.9	2.9 - 3.2	1.61	45 - 50





図-2 オパリナスクレイの乾燥変形挙動

Shirahama Ss: sst-

15

circumferential

volumetric

10

Time (day)

図-3 白浜砂岩の乾燥変形挙動







図-5 パミス凝灰岩の乾燥変形挙動

## 3. 各試料の乾燥変形挙動

-1000

-2000

-3000

-4000

-5000

-6000<sup>L</sup>0

Strain (x 10<sup>-6</sup>)

## (1) オパリナスクレイ (室内乾燥条件)

5

オパリナスクレイの乾燥変形挙動の一例を図-2 に示 す.オパリナスクレイは、スイス・モンテリ地下研究所 でボーリング掘削直後に密封して国内に搬送したもの を用いた.乾燥変形実験は、開封した直後に図-1 に示 した準備をしたあとに計測を開始しているので、初期 の乾燥挙動は捉えられていないが、計測18日経過した 時点で、9,500µ に達しており、さらに収縮が進んでい る.後述の最大収縮ひずみとしては、計測最終段階の 値を用いている.変形は異方性が強く、層理面に垂直 な方向に3倍程度大きく収縮する.

## (2) 白浜砂岩 (恒温恒湿条件)

白浜砂岩の乾燥変形挙動の一例を図-3に示す.整形 した試料を真空飽和させたあとに乾燥変形試験に供し た.他3つの試料と異なり,乾燥の初期に変形を生じな い領域があることが特徴である.また相直交する3方向のひずみは,ほぼ同程度の大きさとなっており,等方的である.計測打ち切り時に5,300*µ* に達している.

## (3) 田下凝灰岩 (恒温恒湿条件)

田下凝灰岩の乾燥変形挙動の一例を図-4 に示す.整 形した試料を真空飽和させたあとに乾燥変形試験に供 した.オパリナスクレイほどではないが,異方性が確認 できる.この試料では平衡条件まで達しており,3,500µ 程度の値である.

## (4) パミス凝灰岩 (室内乾燥条件)

パミス凝灰岩の乾燥変形挙動の一例を図-5 に示す. 室内に放置した状態で計測したものであり,ひずみの 値は温度補正を行っている.収縮ひずみは,計測後100 時間前後で最大となっており,740µ程度の値を示す.そ の後,3方向のひずみが膨張に転じていることが大きな 特徴であり,比較的多孔質な岩石に特有な挙動と考え られる.



図-6 オパリナスクレイの間隙径分布



図-7 白浜砂岩の間隙径分布





## 4. 各試料の間隙径分布

水銀圧入試験は,実施時期により,産総研所有のもの(図-6と図-9),あるいは埼玉大学所有のもの(図-7と図-8)を用いている.両者は仕様が若干異なり,産総研所有のものの方が最大圧力が大きい(小さな間隙径分布が計測可能である).





(1) オパリナスクレイ

オパリナスクレイの間隙径分布の一例を図-6 に示す. 試料には,乾燥変形試験後のものを用いている.その ため,間隙径が 10µ 前後のものが若干観察されたもの と考えている.全体としては,0.01µ の位置に単一ピー クをもっているのが特徴である.

## (2) 白浜砂岩

白浜砂岩の間隙径分布の一例を図-7に示す.計測ごと にピークの位置がずれており,同じ試料の中でも1cm 程 度の大きさでみると比較的不均質な材料と考えられる. 全体としては,1μ前後に大きなピークをもち,0.01μ より大き目の位置に,小さく幅の広いピークも見られ る.ここでは,この領域を第2のピークとした.

#### (3) 田下凝灰岩

田下凝灰岩の間隙径分布の一例を図-8 に示す. 全体 として,2つのピークを有することが特徴である. 第1 ピークの位置は白浜砂岩の場合とほぼ同じ領域に入る が,第2ピークの位置が異なっており,0.1µ前後となっ ている.

#### (4) パミス凝灰岩

パミス凝灰岩の間隙径分布の一例を図-9に示す.前 3つの岩石と大きく異なり、6µ付近に大きな単一ピー クをもっている.

## 5. 最大収縮ひずみと間隙径分布との関係

岩石の乾燥変形現象が,不飽和土の力学挙動と同様 に,メニスカス水の存在に深く関連しているとすれば, 乾燥変形時における最大収縮ひずみ量と間隙径分布と の間には何らかの関係があるものと推察される.

そこで、ここでは間隙径分布の代表値として第一次 近似的に、そのピークを示す間隙径の範囲をとり、こ れまでに各岩石について得られている乾燥変形実験の 最大収縮ひずみの範囲とともに、**表-2**のように纏めた.

表-2 最大収縮ひずみと間隙径分布のピークとの関係

	MIP ピーク	最大収縮体積ひずみ	
	$\mu { m m}$	$\mu$	
OP	$0.011 \pm 5\text{E-}04$	$8500\pm1000$	
SS1	$0.85\pm0.25$	$5500 \pm 300$	
SS2	$0.025\pm0.015$	$5500 \pm 300$	
TT1	$0.95\pm0.25$	$3450\pm750$	
TT2	$0.09\pm0.01$	$3450\pm750$	
PT	$6.5\pm0.5$	$1200\pm500$	

なお,表中の値は得られた諸値の範囲を ± を用いて示している.

表-2 中の値を両対数グラフで示すと,図-10 のよう になる.2つのピークをもつ白浜砂岩と田下凝灰岩につ いては,図中に1,2の数字で間隙径のピークの順番を示 している.図より,単一ピークを示すオパリナスクレ イおよびパミス凝灰岩と,白浜砂岩と田下凝灰岩の第 2ピークは,ほぼ直線上にプロットされる傾向にある.

仮に多孔質な等方弾性体を考えて、乾燥変形実験時 の供試体内部にヤングの式で与えられるサクションが 発生し、このサクションによって弾性体が変形する場 合を考えると、収縮ひずみ量は、弾性体の有する体積 弾性係数に依存することになる。各岩石の体積弾性係 数は明らかに異なっているので、図-10で与えられる関 係が、直線上にプロットされる蓋然性は今のところな いと考えられる.しかしある材料の乾燥に伴う最大収 縮ひずみを知りたいときには、間隙径分布を求めるこ とにより、見通しをつけることはできそうである.

#### 6. おわりに

これまで実施してきた各種岩石に対する乾燥変形実 験の最大収縮ひずみ量を,間隙径分布のピーク間隙径 との関係についてまとめた.両者は両対数表示で直線 上にプロットされる傾向にあることがわかった.今後 はその蓋然性を検討するとともに,粘土鉱物の有無あ るいは存在量との関係を検討していく予定である.



図-10 最大収縮ひずみと間隙径分布との関係

#### 参考文献

- 長田昌彦,山辺正:堆積岩の乾燥変形過程と多孔質弾性 論的解釈,第36回岩盤力学に関するシンポジウム,pp. 335-338,2007.
- 2) Aung Ko Ko Soe, Osada, M., Takahashi, M. and Sasaki, T.: Characterization of drying-induced deformation behaviour of Opalinus clay and Tuff in no-stress regime, *Environmental Geology*, Vol. 58, No. 6, pp. 1215–1225, 2009.
- 3) Aung Ko Ko Soe, Osada, M. and Thandar Thatoe Nwe Win: Evaluating the deformation behaviour of Shirahama sandstone in moisture transfer process, *International Journal of the Japanese Committee for Rock Mechanics*, Vol. 5, No. 2, pp. 69–76, 2009.
- 4) Aung Ko Ko Soe, Osada, M. and Thandar Thetoe Nwe Win: Drying-induced deformation behaviour of Shirahama sandstone in no loading regime, *Engineering Ge*ology, Vol. 114, pp. 423–432, 2010.

## DOMINANT FACTOR FOR DRYING-INDUCED DEFORMATION IN SEVERAL ROCK TYPES

## Masahiko OSADA

Various kinds of porous materials including rock are shrunk when they are in drying condition. We have conducted drying-induced deformation tests for several kinds of sedimentary rocks. In this paper, the relation between maximum shrinkage strain and peak values of pore size distribution is examined using data set previously obtained. As a result, maximum shrinkage strain is thought to depend on existence of smaller pore size and both quantities are plotted in a line on log-log graph.