日本機械学会論文集（A 編）
77 巻 779 号（2011-7）

ノート No. 2010-JAN-0340

Ｘ線ＣＴ非破壊観察による ポーラスアルミニウムの圧縮過程における気孔圧潰挙動*

半谷 禎彦[*1]，山口 亮[*2]，高橋 俊也[*3]
宇都宮 登雄[*4]，桑水流 理[*5]，吉川 暢宏[*6]

Pore Collapsed Behavior of Porous Aluminum during Compression Process by Using X-Ray CT Nondestructive Observation

Yoshihiko HANGAI[*1], Ryo YAMAGUCHI, Shunya TAKAHASHI,
Takao UTSUNOMIYA, Osamu KUWAZURU and Nobuhiro YOSHIKAWA

[*1] Graduate School of Engineering, Gunma University,
1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu-shi, Gunma, 376-8515 Japan

Closed-cell porous aluminum is a multifunctional material with both lightweight and high energy absorption properties. These properties are considered to be governed by morphology of pores of porous aluminum. In this study, compression test was conducted in the X-ray CT system and deformation process of pores was nondestructively observed during compression. It was shown that deformation process of individual pore can be observed in this system.

Key Words : Porous Material, Aluminum Alloy, Nondestructive Inspection, X-Ray, Material Testing, Pore

1. 緒　　言

ポーラスアルミニウムは軽量で衝撃吸収特性に優れることから，自動車用部材として用いることで燃費向上と安全性向上の両立が期待される(1)．ポーラスアルミニウムの圧縮特性には，

・気孔形態（個々の気孔の形状や気孔同士の配列など）

・圧縮過程における気孔形態の変化（どの気孔からどのように変形するか）

などが大きく影響すると考えられる．しかし，圧縮過程におけるポーラスアルミニウムの内部気孔形態の変化を観察することは容易ではなく，関連する研究は少ないのが現状である(2)．これらを解明することで，ポーラスアルミニウム特有の圧縮特性発現のメカニズムに関する知見が得られ，圧縮特性に優れたポーラスアルミニウム作製のための指針が得られるものと期待される．

本研究では，その基礎的な研究として，X 線 CT による非破壊観察によりポーラスアルミニウムの圧縮過程における気孔形態変化の追跡可能性について検討を行ったので報告する．

2. 実 験 方 法

用いたポーラスアルミニウムは市販の ALPORAS（神鋼鋼線工業株式会社）であり，圧縮試験用に一辺 25mm の立方体に放電加工したものである．圧縮試験および非破壊観察には X 線 CT 材料試験複合システム Force-X（株式会社島津製作所）を用いて行った．実験手順は以下の通りである（図 1 参照）．

* 原稿受付　2010 年 12 月 15 日
*1 正員，群馬大学大学院 工学研究科（〒376-8515　群馬県桐生市天神町 1-5-1）
*2 群馬大学 工学部
*3 群馬大学大学院 工学研究科（現：地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター）
*4 正員，芝浦工業大学 先端工学研究機構
*5 正員，福井大学大学院工学研究科
*6 正員，東京大学生産技術研究所
E-mail: hanhan@gunma-u.ac.jp

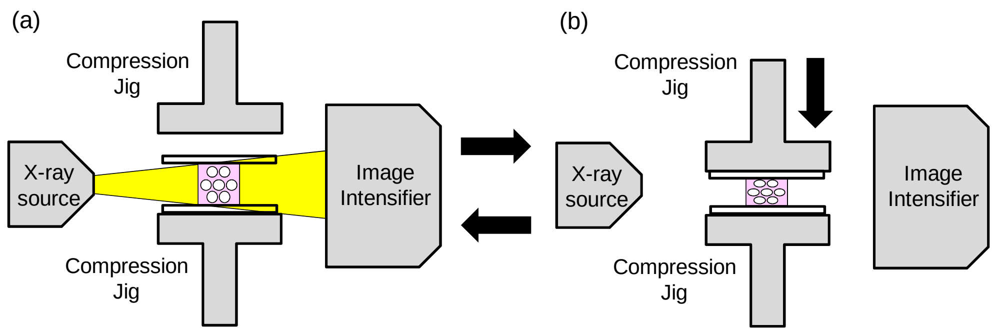

Fig. 1 Schematic illustration of observation process of pore collapsed behavior during compression.

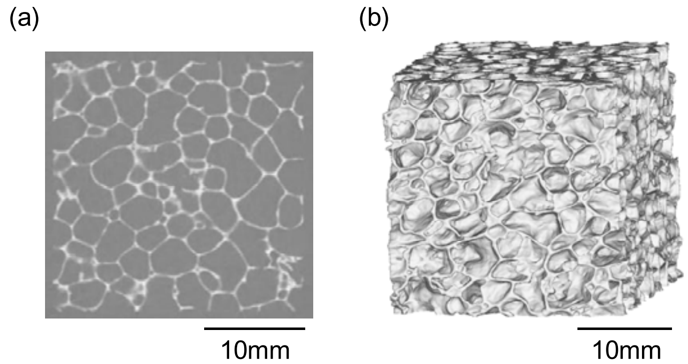

Fig. 2 (a) Cross-sectional X-ray CT image of porous aluminum before compression.
(b) Surface-rendered three-dimensional image of porous aluminum before compression.

①図 1(a)に示すように，圧縮前（初期状態）のポーラスアルミニウムの X 線 CT 撮像を行う．
②図 1(b)に示すように，X 線 CT 装置内で 1mm（圧縮ひずみ 4%）圧縮し，その後，除荷する．
③図 1(a)に示すように，圧縮したポーラスアルミニウムの X 線 CT 撮像を行う．
④圧縮ひずみ 28%まで，②と③を繰り返す．

図 2(a)に X 線 CT 撮像により得られた圧縮前（初期状態）における断層画像例を示す．ここで白色の部分がアルミニウム，灰色の部分が気孔を示している．このようにして得られた断層画像を積層させ，適切な閾値を設定しアルミニウムと気孔を選別し，設定した閾値に対して等値面を取ることで，図 2(b)に示すような 3 次元画像を得て，ポーラスアルミニウム内部の気孔形態を可視化した．画像処理には VOXELCON（株式会社くいんと）を用いた．このような 3 次元画像を各圧縮過程において作製し，内部の気孔形態の変化を観察した．

3.　実験結果

本研究で用いたポーラスアルミニウムには気孔体積 $1mm^3$ 以上のものが 500 個程度含まれていた．その中から変形過程の観察が容易な気孔 4 個を抽出し，初期状態，圧縮ひずみ$\varepsilon = 16\%$，$\varepsilon = 28\%$における気孔形態を観察したものを図 3 に示す．また，図 4 に各圧縮ひずみにおける気孔体積変化率を示す．図 4 中の各色は，図 3 の気孔の色と対応している．まず，圧縮ひずみの増加に伴い緑色の気孔が変形を始め，$\varepsilon = 16\%$では緑色の気孔のみが変形し，他の気孔はほとんど変形していない．緑色の気孔がある程度変形すると，次は青色や赤色の気孔が変形を始める．$\varepsilon = 28\%$では緑色，赤色，青色の 3 つの気孔の変形は進んでいる一方で，黄色の気孔はほとんど変形しておらず，初期状態のままの形状を維持している．このように，X 線 CT 内で圧縮を行うことで試験片の位置を動かすことなく，圧縮過程における気孔の変化を一個一個の気孔について追跡することが可能である．

今後，本研究で取得した 3 次元 X 線 CT 画像を基にしたイメージベースモデリングにより有限要素解析を行い，力学的な考察も加え圧縮特性に及ぼす気孔形態の影響について更なる検討を行う予定である．

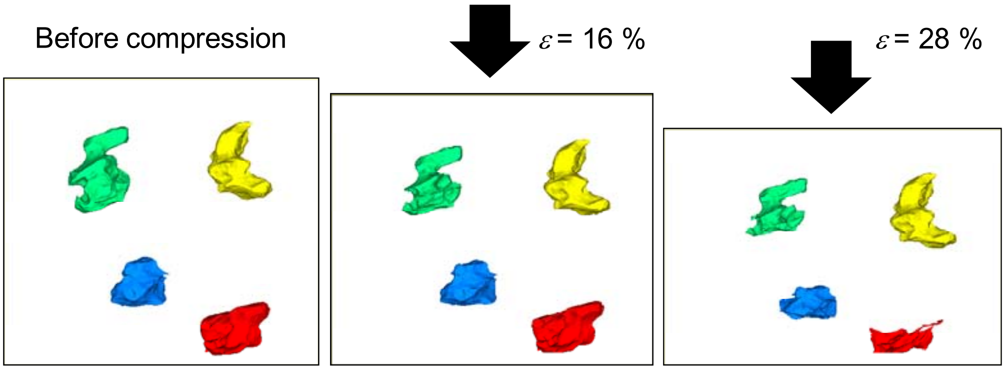

Fig. 3 Pore collapsed behavior of 4 pores extracted from three-dimensional images.

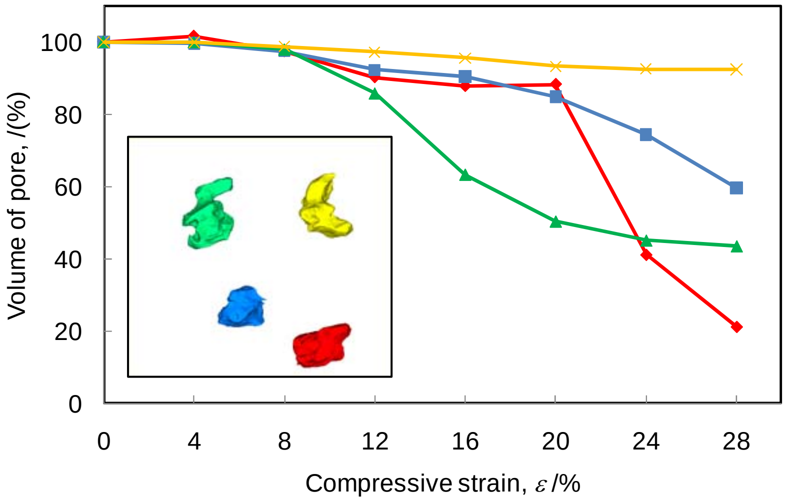

Fig. 4 Relationship between compressive strain and volume of pore for 4 pores corresponding to Fig. 3.

4. 結　　語

本研究では，ポーラスアルミニウムの圧縮過程における気孔形態の変化を追跡した．圧縮試験を X 線 CT 内で行うことで非破壊で気孔形態の変化を観察することが可能なため，どの気孔がどの圧縮ひずみから変形をはじめ，どの程度変形するか知見を得ることができた．また，本手法で得られたポーラスアルミニウム気孔形態の 3 次元画像はイメージベースモデリングにも利用できるものと考えられ，今後，ポーラスアルミニウムの圧縮過程を力学的に検討可能となることが期待される．

謝　　辞

本研究の遂行に当たり，神鋼鋼線株式会社様よりアルポラスを御提供頂きました．本研究の一部は，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）平成 21 年度産業技術研究助成事業および平成 22 年度科学研究費補助金基盤研究(C)の助成のもと行われました．ここに厚く感謝いたします．

文　　献

(1) Banhart, J., “Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams”, *Progress in Materials Science*, Vol. 46, No. 6 (2001), pp. 559-632.

(2) 戸田裕之, 小林正和, “X 線マイクロトモグラフィーによるポーラス金属の破壊挙動解析”, まてりあ, Vol. 47, No. 4 (2008), pp. 191-195.