

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 15日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760649

研究課題名（和文） 傾斜機能ポーラスアルミニウムの創製とイメージベース解析による変形挙動推定法の確立

研究課題名（英文） Fabrication of functionally graded porous aluminum and its deformation behavior estimation by image-based analysis

研究代表者

半谷 禎彦 (HANGAI YOSHIHIKO)

群馬大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80361385

研究成果の概要（和文）：A1050 純アルミニウムとダイカスト用 ADC12 アルミニウム合金からなる傾斜機能ポーラスアルミニウムの作製を試みた。作製した傾斜機能ポーラスアルミニウムは圧縮試験において、その変形個所を制御できる可能性が示唆された。更に、それぞれの変形領域では、A1050 ポーラスアルミニウムと ADC12 ポーラスアルミニウムそれぞれの単独のポーラスアルミニウムに対応したプラトー応力を示すことが分かった。また、得られた傾斜機能ポーラスアルミニウムの X 線 CT 撮像結果を利用したイメージベース解析により、実際の変形と解析により示された変形個所がほぼ一致することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Functionally graded (FG) aluminum foam containing A1050 pure aluminum and ADC12 aluminum alloy was fabricated. The FG foam has the potential for its location of deformation to be controlled. Moreover, a FG foam with plateau regions and stresses corresponding to those of the uniform A1050 and ADC12 foams was obtained. Also, we performed image-based finite element (FE) analyses of FG aluminum foam using X-ray computed tomography (CT) images and investigated the possibility of predicting its deformation behavior by comparing the results of FE analyses with those of actual compressive tests.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合材料・物性

科研費の分科・細目：材料工学・複合材料・物性

キーワード：ポーラスアルミニウム，傾斜機能材料

1. 研究開始当初の背景

多孔質（ポーラス）アルミニウムは超軽量・衝撃吸収特性・断熱特性・吸音特性等に優れた多機能な素材である。また、合金の種類や気孔の大きさ、形状、気孔率の違いから機械的性質が異なることも知られている。

ADC12 アルミニウム合金ダイカストは安価でリサイクル性に優れており、様々な工業製

品に用いられている。しかし、製造上の理由から製品内部にガス欠陥が生じるといった特徴がある。この内部欠陥を利用することで高価で危険性の高い発泡剤を使用することなくポーラスアルミニウムを作製することが可能となり更なる低コスト化につながると考えられる。また、ADC12 ダイカストを用いた発泡剤不使用ポーラスアルミニウムは

通常の発泡剤を使用したポーラスアルミニウムに比べて圧縮時のプラトー応力が高く高強度なことが知られている。

著書らは摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding, FSW) を利用してポーラスアルミニウムの作製を試みている。本手法では FSW を利用するため様々な種類のアルミニウム合金を組み合わせることで、様々な性質を持つポーラスアルミニウムを作製することが可能と考えられる。例えば、低強度なアルミニウム合金と高強度なアルミニウム合金を組み合わせる事で、強度の違いから変形の制御が可能になると予想される。このような素材は、自動車のバンパーやボンネット等に適用することで対人事故では低強度部により歩行者の保護、対物事故では高強度部により搭乗者の保護が可能になると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、低強度な A1050 純アルミニウムと高強度な ADC12 アルミニウム合金ダイカストを用いることで傾斜機能 (Functionally Graded, FG) ポーラスアルミニウムを作製する。また、作製した FG ポーラスアルミニウムの気孔形態と圧縮特性について調査する。

3. 研究の方法

3. 1 FG ポーラスアルミニウム作製方法

Fig. 1 に実験方法の概略図を示す。まず、ADC12 ダイカスト板材の間に気孔形態安定剤のみを散布して積層板とした。このとき、用いたダイカスト板材には Table 1 に示すように多量のガスを内部に含んでいる。この内部ガスを利用することでポーラス化させる。ADC12 積層板に対して大気中でマルチパス摩擦攪拌プロセス (FSP) を同一箇所が 3 回攪拌されるように行い、板材同士の接合と同時に板材中に気孔形態安定剤を混合した (Fig. 1(a))。FSP には日立設備エンジニアリング株式会社の 1D-FSW 装置を用いた。この時、FSP 条件はツール回転速度が 1000 rpm、ツール移動速度は 50 mm/min、前進角は 3° とした。同様に、A1050 純アルミニウム板材の間に発泡剤および気孔形態安定剤を散布し積層板としたものに対して大気中でマルチパス FSP を同一箇所が 2 回攪拌されるように行った。これにより、板材同士の接合と同時に板材中に発泡剤と気孔形態安定剤を混合した (Fig. 1(b))。この時、FSP 条件はツール回転速度が 2200 rpm、ツール移動速度は 100 mm/min、前進角は 3° とした。Fig. 1(a)、(b) で作製した板材の攪拌箇所を突合せ ADC12 の FSP と同様の条件で接合を行う (Fig. 1(c))。接合させた板材から寸法が 25 mm \times 50 mm \times 9 mm となるよう機械加工により切り出しプリカーサとした。プリカーサをあらかじめ雰囲気温度 1003 K に保った電

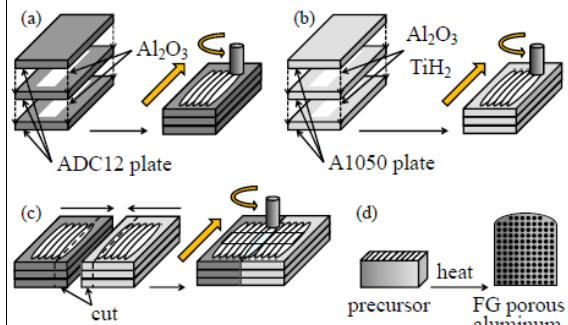


Fig.1 A1050-ADC12 FG ポーラスアルミニウム作製方法

Table 1 ADC12 板材内部ガス分析結果, (cm³/100gAl)

H ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	Total
73.9	13.1	19.8	53	84.8	5.6	-	250.6

気炉に入れ、10 分保持した後に電気炉から取り出し水冷した。作製した FG ポーラスアルミニウムを放電加工することで 18 mm \times 18 mm \times 36 mm の圧縮試験片を切り出した。

Fig. 1(a) の方法により同様の作製条件で ADC12 の積層板を 2 つ作製する。この積層板を Fig. 1(c) のように突合せて接合を行うことで ADC12 単体のプリカーサを作製した。同様に、A1050 単体のプリカーサを作製し、それぞれを発泡・放電加工することで単体の圧縮試験片を作製した。

3. 2 X線 CT 撮像方法

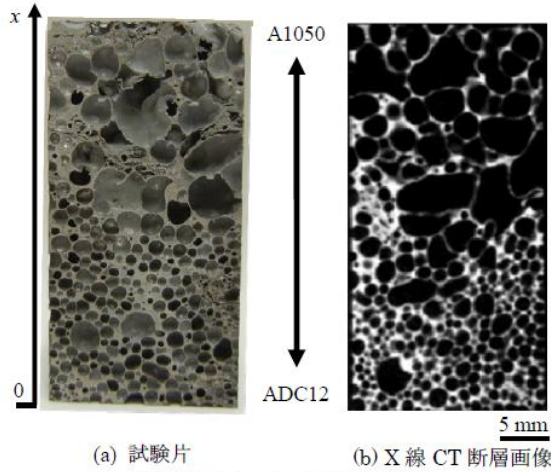
X 線 CT 撮像は株式会社島津製作所の SMX-225CT を用いて、X 線管電圧 80 kV、X 線管電流 30 μ A、画像サイズは 512 \times 512 pixel で行った。

3. 3 圧縮試験方法

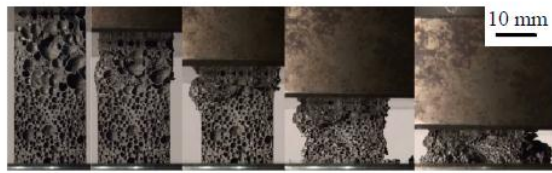
圧縮試験は株式会社島津製作所精密万能試験機オートグラフ AG-100KNG を用いて、クロスヘッド速度 7.2 mm/min で行った。同時に、ビデオ撮影により圧縮過程における変形挙動の観察も行った。

4. 研究成果

作製した FG ポーラスアルミニウム圧縮試験片および X 線 CT による断層画像を Fig. 2 に示す。共に試験片上部が A1050、下部が ADC12 となっている。また、試験片全体の気孔率 p は 79.9% となっている。Fig. 2 より試験片上部 (A1050) では真円度の低い大きな気孔が多く、下部 (ADC12) では真円度の高い細かな気孔が多くなっており、合金種の変化と共に気孔形態も変化する FG ポーラスアルミニウムが作製できたことがわかる。断層画像より内部においても気孔形態がなだらかに変化しているのがわかる。圧縮過程の外観画像を Fig. 3 に示す。Fig. 3(a)-(c) に示すように A1050 側から変形が生じているのがわかる。得られた応力ひずみ曲線を Fig. 4 に示



(a) 試験片 (b) X線 CT 断層画像
Fig.2 FG ポーラスアルミニウム



(a) $\epsilon=0$ (b) $\epsilon=0.2$ (c) $\epsilon=0.4$ (d) $\epsilon=0.6$ (e) $\epsilon=0.8$
Fig.3 圧縮挙動

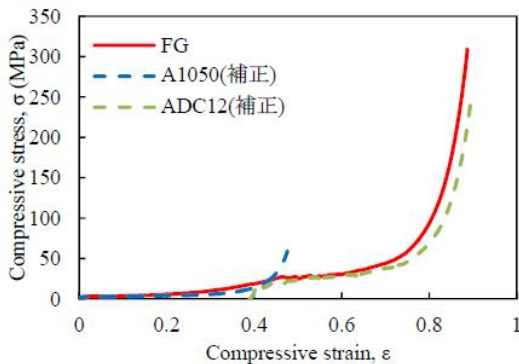


Fig.4 応力ひずみ曲線

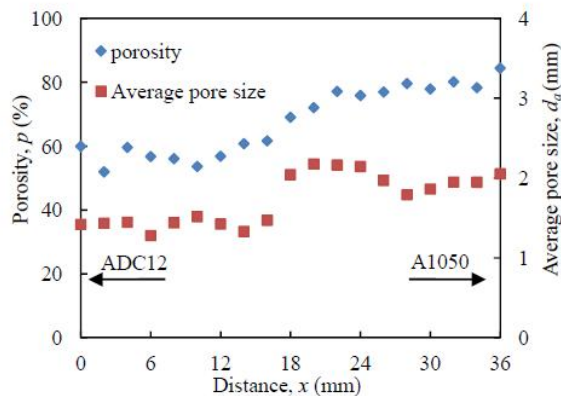


Fig.5 気孔径・気孔率分布

す。Fig. 4 から圧縮ひずみが約 0.3 までプラトー領域となっており、Fig. 3(b)から A1050 部の変形によるものと考えられる。この部分では低いプラトー応力を示しており、低強度

部となっている。また、A1050 部は延性的に変形する。その後、圧縮ひずみ $\epsilon = 0.4-0.5$ で A1050 部のプラトーから応力が上昇している。これは A1050 部のち密化により上昇したと考えられる。 $\epsilon = 0.5-0.7$ までは 2 段階目のプラトー領域となっており、Fig. 3(d)から ADC12 の変形によるプラトー領域と考えられる。この部分では高いプラトー応力を示しており、高強度部となっている。更に圧縮が進むと Fig. 3(e)に示すように ADC12 部はち密化し応力が上昇するとともに脆性的に崩れていくように変形していく。以上より、本研究で作製した A1050-ADC12 FG ポーラスアルミニウムは低プラトー領域と高プラトー領域を示し、2 段のプラトー領域を有することがわかった。また、圧縮挙動に関して延性的な変形と脆性的な変形の両方を示し、A1050 と ADC12 の性質が現れた。このような異種合金を組み合わせる事で作製される FG ポーラスアルミニウムはそれぞれの機械的性質を示すため強度差による変形順序の制御や耐食性・熱伝導性等の性質を変化させることで更に高機能化できると考えられる。

Fig. 5に X線 CT 撮像より得られたデータから算出した気孔率および気孔径の分布を示す。これらの分布をみると A1050 側と ADC12 側の間でなだらかに変化しており、遷移領域が存在するのがわかる。この遷移領域は Fig. 2 から A1050 と ADC12 の混在している領域であることがわかる。X線 CT 断層画像より A1050 部では $p=79.6\%$ で平均気孔径 1.93 mm, ADC12 部では $p=56.4\%$ で平均気孔径は 1.42 mm となった。また、気孔率に比べて気孔径の変化が急になっているのは、気孔数の多い ADC12 部分では気孔率に比べて平均気孔径が変化しにくいいため A1050 の大きな気孔が増える $x=18\text{mm}$ で大きく変化したと考えられる。A1050 と ADC12 単体の圧縮試験結果に対して補正を加えたものを Fig. 4 に示す。これら補正をかけた A1050 と ADC12 単体のポーラスアルミニウムの応力ひずみ曲線と今回得られた FG ポーラスアルミニウムの応力ひずみ曲線がほぼ一致しているのがわかる。このように、A1050-ADC12 FG ポーラスアルミニウムは同様な気孔形態を示す A1050 と ADC12 単体のポーラスアルミニウムを組み合わせたとような圧縮特性を示すことが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Yoshihiko Hangai, Kousuke Saito, Takao Utsunomiya, Soichiro Kitahara, Osamu Kuwazuru and Nobuhiro Yoshikawa, Compression properties of Al/Al-Si-Cu

alloy functionally graded aluminum foam fabricated by friction stir processing route, Mater. Trans., 査読有, 54(3), pp. 405-408 (2013).
<http://dx.doi.org/10.2320/matertrans.M2012376>

- ② Yoshihiko Hangai, Kazuya Takahashi, Ryo Yamaguchi, Takao Utsunomiya, Soichiro Kitahara, Osamu Kuwazuru and Nobuhiro Yoshikawa, Nondestructive observation of pore structure deformation behavior of functionally graded aluminum foam by X-ray computed tomography, Materials Science & Engineering A, 査読有, 556, pp. 678-684 (2012).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.07.047>
- ③ 久保田直之, 齋藤公佑, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 石間経章, 川島久宜, 桑水流理, 吉川暢宏, A1050-ADC12 傾斜機能ポーラスアルミニウムの衝撃試験による破壊挙動の観察, 日本機械学会論文集 A 編, 査読有, 印刷中, (2013).
- ④ 齋藤公佑, 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, 北原総一郎, 異種合金による三層傾斜機能ポーラスアルミニウムの創製, 日本機械学会論文集 A 編, 査読有, 印刷中, (2013).
- ⑤ 山口亮, 吉田浩亮, 半谷禎彦, 桑水流理, 吉川暢宏, X線 CT イメージベース FEM によるポーラスアルミニウムの傾斜機能化の有効性評価, 日本機械学会論文集 A 編, 査読有, 印刷中, (2013).

[学会発表] (計5件)

- ① 半谷禎彦, 宇都宮登雄, 桑水流理, 吉川暢宏, 摩擦接合プロセスを利用した多孔質金属の創製, 第19回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム mate2013, 横浜, 2013年1月30日.
- ② Yoshihiko Hangai, Takao Utsunomiya, Osamu Kuwazuru and Nobuhiro Yoshikawa, Fabrication of functionally graded aluminum foam by friction stir processing route, The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW2012), 大阪, 2012年11月30日.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等 なし.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

半谷 禎彦 (HANGAI YOSHIHIKO)

群馬大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 80361385