

令和元年6月20日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06013

研究課題名(和文) 卵トレイ形中空金属球成形体の開発

研究課題名(英文) Development of egg-tray type metallic hollow sphere structure

研究代表者

吉村 英徳 (Hidenori, Yoshimura)

香川大学・創造工学部・准教授

研究者番号：30314412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：大量生産が可能で、かつ安価に均質なポーラス金属材料を開発するため、薄板材からの絞り加工によってたこ焼き形のトレイを作り、それを接着剤にて合わせた卵パケットレイ形を積層したポーラス材料の製造法および機械的特性を評価した。一番の課題は半球に絞ることにあり、それを解決するため、逆再絞り和平頭、球頭パンチによる絞り加工を組み合わせた5段の板材成形工程を確立した。それによって試作した積層成形体の圧縮試験により、半球の張り出し量が増加するにつれて、プラトー応力領域のひずみ量が10%拡大し、良好な性能が示せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

張出し加工時の絞り量を向上する加工プロセスを提案できた。また、張出し時のくびれ発生時の成形限界予測法も提案した。これらは、板材成形の加工技術として学術的な意義がある。また、高品質かつ安価なポーラス金属材料の製法および性能を示せたことは、構造材料分野において学術的な以外がある。提案したポーラス材料が実用化された場合には、自動車等の軽量化、高剛性化、衝撃吸収性の向上を果たすことができ、燃費向上や衝突安全性の向上性につながり、温室効果ガスの低減などの社会的な意義につながる成果である。

研究成果の概要(英文)：To develop a new ultra-light porous metal which can be mass-produced inexpensively, egg tray type metallic hollow sphere structure was proposed. First, the fabrication method was examined. Thin steel plates are formed to TAKOYAKI plate shape by drawing, two plate was joined by resin bond the plates to be an egg tray shaped component, and the components are piled up and joined by resin bond to make the new porous metal. Using the plastic working with precise dies, the porous metal is very homogeneous and reliable about the performance. Mechanical properties of the fabricated specimen is tested. As compressive property of the specimen, with the increasing amount of the semi-spherical bulging, the plateau stress region becomes large by 70%. So, it is confirmed that the new porous metal has a good compressive property.

研究分野：塑性加工

キーワード：ポーラス金属 板材成形 中空金属球成形体 圧縮特性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車等輸送機器において、二酸化炭素等温室効果ガスの排出量削減のための燃費向上策である車体軽量化と衝突安全性向上とを同時に解決できるとして、高比剛性、高エネルギー吸収性を有する超軽量多孔質のポーラス金属材料の適用が図られている。本研究では、発泡アルミニウム等従来品の課題である製造コストおよび均質性、引張り・曲げ強度、性能制御性に優れた多くの部材に適用可能な高機能新ポーラス金属を開発する。

申請者は、塑性加工のメリットに注目し、板材から極薄肉の鈴型中空球を、小径極薄肉鋼管から串団子型の中空構造体を高精度、低コストで製造し、それを積層することで、均質で信頼性が高くかつ安価な超軽量ポーラス金属を作るとを提案した。H14～H16年度科研費およびH22～H23年度JSTシーズ顕在化で前者の球およびその生産技術を、H18～H20年度科研費およびH19年JSTシーズ発掘型にて後者の構造体を作る技術を確認し、H22～H24年度科研費にて後者の積層方法による性能制御の検討をし、幾度かの講演や展示会によって共同研究の実施可否の検討に入った企業も数社現れてきているが、総じて自動車業界のコスト面・性能面の要求は厳しい。H25～H27年度科研費で、両方の長所を与えるようボールチェーン型についても成形体およびその製造方法を開発、特許申請したが、引張り強度については串団子型を越えたとは言えない。そこで、製造方法は安価なまま、串団子状に匹敵する引張り・曲げ強度に向上する新ポーラス材料を開発し、実用化を目指す。

2. 研究の目的

板材から、卵トレイ形状の中空球列を作り、それを積層固化成形することによって、上記を満足する新金属材料(中空金属球成形体)を開発する。

鈴形MHSをろう付けした固化成形体では引張り・曲げ強度が不足、串団子状中空構造体成形体ではコスト面が要求レベルに達せず、これらを同時に解決するのが本研究の課題である。隣接する鈴形MHSをブリッジで連結したチェーンボール状のMHSも検討したが、引張り抵抗力は高くなったものの、破断伸びが小さく、信頼性は低いことが分かった。薄板の金型プレス加工によって安価かつ大量生産可能なまま、隣接する球同士の引張り強度を向上し、串団子型と匹敵するもしくは向上した引張り強度を持つ新ポーラス金属を開発する。これにより、高い利益率の部材に適用可能になって、メーカーの要求を満足でき、実用化が促進される。

3. 研究の方法

本提案の新ポーラス金属材料である卵トレイ形中空金属球(MHS)成形体の製造法の確立および機械的特性の評価を行う。(1)第1工程として打抜き加工により薄板鋼板に適切な形状の多数の穴を開け、第2工程で半球絞り加工にて卵トレイ形状に張出し、第3工程でトレイ2枚を締結する方法について、順に確立する。これらの全工程は、安価かつ高生産速度の板金プレスにて実施する。穴形状は、絞り加工での半球張出し時に板材が破断しないこと、絞り加工後の積層時に十分なカシメ締結が可能となるようにすること、最終製品として固化成形体の引張り・曲げ変形において十分な強度を持つことを考慮して、FEM解析を用いて適切なものを選択する。これらの検討後、実際に金型および加工装置を試作し、製造する。さらに、圧縮および引張り、曲げ試験を行って新材料の機械的特性を調査する。

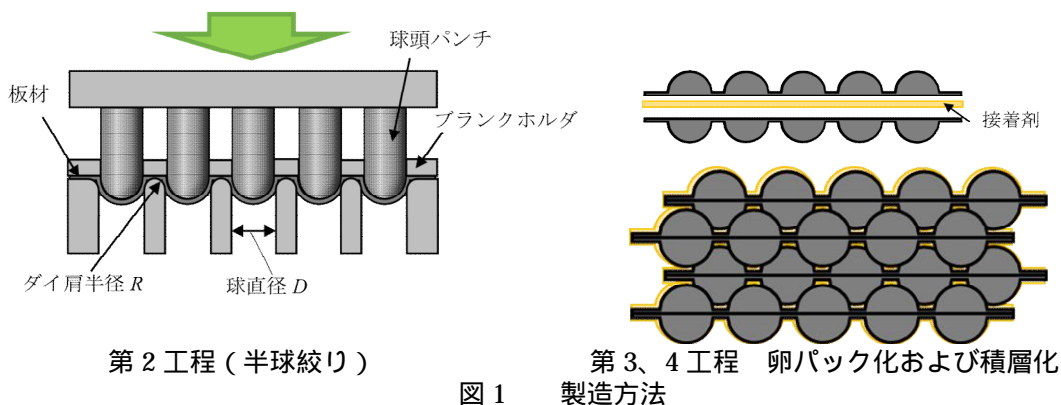


図1 製造方法

4. 研究成果

(1)打ち抜き加工の検討

H28年度に、卵パック同士の締結および絞り性を高めるために、球頭張出し列の間に適切な形状の孔を開けて加工した。絞り加工は球頭の1段のみで実施した。穴をあけることにより絞り深さが1.5mm程度から1.8mm程度に増えたものの、それ以上絞ると、

- ・変形した孔の一部から応力集中により破断が生じること
- ・1.5mmの絞りで積層ポーラス材を試作して機械特性試験を実施したものの、板面内方向の引張り力により、孔の一部から破断することが分かり、この手法については可能性がないことが

確定した。

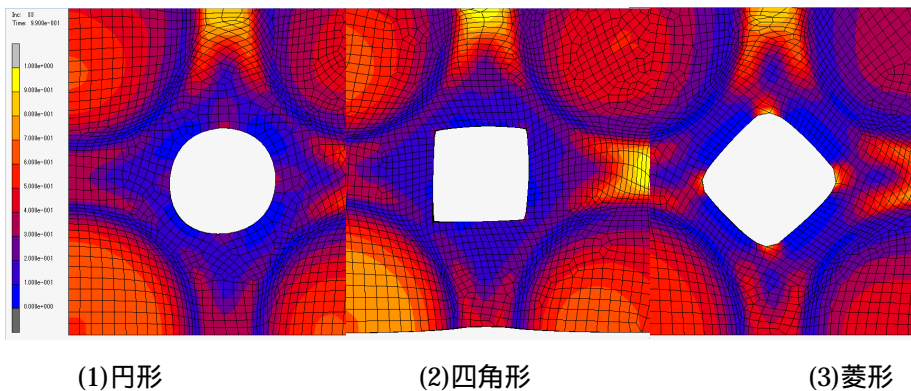


図2 面積 4.5[mm²]における切欠きの変化

(2)多段鍛造の検討

前年度の結果を得て、H29年度は多段鍛造により、半球張り出し部間の材料も延ばし、張り出し部に流入させることを考えた。FEM解析により、5段の絞り加工を行うこととした。基本的に半球張り出し間の部分を半球絞りと反対側に張り出して板材を伸ばし、それを逆再絞りすることで半球張り出し部への材料流入を促進する。また、半球全体のひずみをできるだけ均一にするため、平頭絞りと球頭絞りを併用することを試みた。

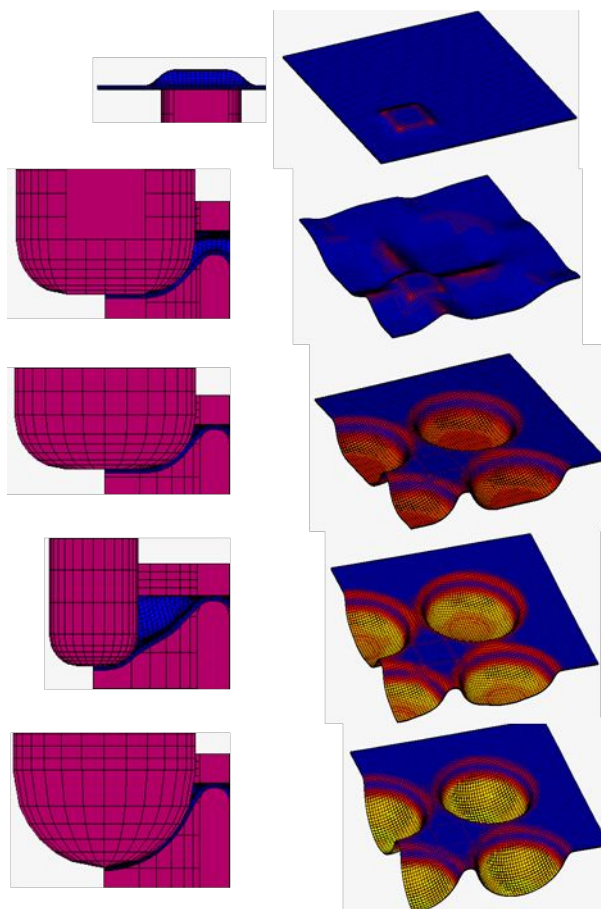


図3 5段絞りによる半球張り出し加工

破断直前の絞り量を実験とFEM解析の両面から検討し、かなり多くのパターンを試行してたこ焼きプレートを作製した。張り出し深さは2.9mmまで向上することができた。目標の3.5mmまではまだ到達できなかったが、これにより、1段の時の積層時の相対密度0.83から、目標値0.1弱である0.89が達成できた。

(3)積層ポーラス材の試作および機械的特性試験

たこ焼き形プレートを接着剤で接合し、さらにそれを接着固化にて積層したポーラス材を作

製した。また、圧縮試験および引張試験を行った。

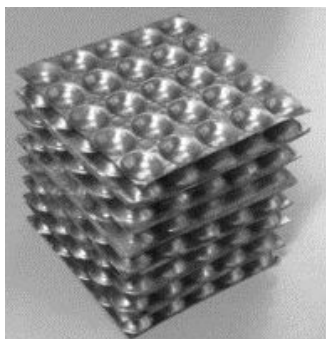


図4 卵パック形積層ポーラス材

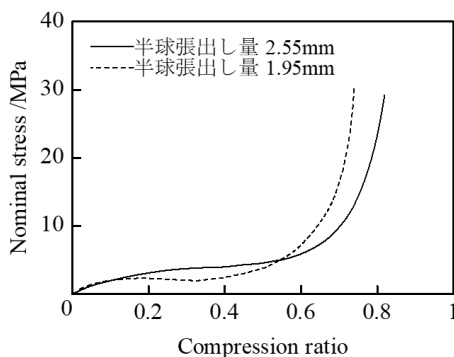


図5 圧縮特性

1 段による半球張り出しの時よりプラトー応力のひずみ量が増加し、自動車メーカー等が要求する70%~80%近くまで一定応力を示す材料ができた。接着剤で固化するだけで容易にできるため、実用化にかなり近づいたと考えている。

一方で、曲げ試験も実施したが、接着固化では卵パックの層間で剥離が防げず、良好な結果が得られなかった。曲げ外側で破断しなかったため、パイプ外套材などにすれば可能性はあるが、更なる検討の必要があり、継続して検討することとする。

(4) 板材の成形限界予測式の構築

今回、板材の絞り加工のFEM解析で破断判定をするにおいて、FEMは連続体の解析であり、破断の様子をシミュレートすることは困難である。したがって、くびれ発生の成形限界を予測するための式を構築せざるを得ず、当初研究予定以上の項目であるが、検討を行った。正八面体せん断応力説を利用した式であり、学会にてH29~H31年度に3回講演会で発表した。本助成を遂行するにおいて必要のため検討したものであり、成果として加えておく。なお、予測精度は、アルミ板材、高張力鋼板、鋼管において、既存の予測では数10%程度の誤差があったものに対し、数%程度であり、かつ板材面内の非比例経路も高精度に予測することができていることを申し添えておく。講演発表による指摘を検討し、近々投稿論文文化を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 4件)

青木駿弥、吉村英徳、金属薄板のロータリープレス加工法による新ポーラス金属材料、第67回塑性加工連合講演会工連論文集、2016、131 - 132.

吉村英徳、岡本修平、タコ焼きプレート形MHS成形体の開発、H29年度塑性加工春季講演会、2017、47 - 38.

吉本直太、吉村英徳、中哲夫、上森武、多孔質体力学を用いたせん断集中理論によるアルミ板材2軸負荷変形の破壊予測、H29年度塑性加工春季講演会、2017、83 - 83.

植田晴貴、吉村英徳、白鳥智美、卵パック形MHS成形体の半球張出し量の機械特性に及ぼす影響、2018、207 - 208.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者 無し

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者 無し

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。