

【論文審査の要旨】

本学位申請論文に関して、公聴会及び3回の審査会を実施し、内容について慎重に審査した。審査結果は以下の通りである。

本論文は、ポーラス金属の一種であるポーラスチタンについて、そのセル構造が機械的特性に及ぼす影響を実験的に調べたものである。ポーラス金属は、内部に多数の気孔を有するセル構造材料であり、軽量性、断熱性、吸音性といった特性を有するため、様々な分野へ応用可能な「多機能性材料」として注目されている。また、ポーラス金属に圧縮力が付加されると、セル構造の崩壊によりほぼ一定の応力で塑性変形が進行するため、非常に優れたエネルギー吸収特性を示すことが知られている。ポーラス金属の作製法は、大型部材に適した溶湯発泡法と小型部材に適した粉末冶金法に大別され、前者は低融点のポーラスアルミニウム、後者は高融点のポーラスチタンの作製に主に用いられていた。ポーラスチタンは、ポーラスアルミニウムよりも強度、耐熱性に優れるが、大型部材の作製が困難であったため、その応用は生体材料分野に限定されていた。

近年、3D 積層造形(Additive Manufacturing: AM)法の急速な発展により、大型のポーラスチタン部材の作製が可能になっただけでなく、3D-CAD ソフトウェアにより、その気孔率やセル構造を自由に制御できるようになった。本論文では、これらの新しい技術を利用することにより、種々のセル構造のポーラスチタンを設計・作製し、それらのセル構造と機械的特性、特にエネルギー吸収特性との関係を調べている。

著者は最初に、ポーラスチタンのセル構造を古典的粉末冶金法で作製される「不規則セル構造」と3D 積層造形法で作製される「規則セル構造」に分類した。そして、規則セル構造として空間充填可能な平行多面体である切頂八面体（十四面体）セルと菱形十二面体セルを選択し、市販の3D-CAD ソフトウェアによりこれらを設計した。

気孔率 60%±1%の不規則セル構造ポーラスチタンについて、試験温度とひずみ速度を変化させた圧縮試験を実施した。その結果、ポーラスチタンの機械的特性の温度・ひずみ速度依存性は、母材であるチタンの依存性と一致することを示した。また、その変形挙動は巨視的に均一であり、不規則セル構造ポーラスチタンのエネルギー吸収量は、比較的高いことを明らかにした。

気孔率 80%と 90%の3D 積層造形ポーラスチタンの圧縮試験から、切頂八面体セル構造のポーラスチタンの方が、同気孔率において菱形十二面体セル構造のポーラスチタンよりも変形応力が高く、エネルギー吸収特性にも優れることを示した。これは、切頂八面体セルの辺の長さが菱形十二面体セルよりも短く、曲げ、座屈に対して強いためである。一方、これらの規則セル構造ポーラスチタンは、圧縮方向による機械的特性の異方性が強すぎるため、構造部材としては適しているが、エネルギー吸収特性に劣ることを示した。特に一部の規則セル構造では、不規則セル構造ポーラスチタンでは見られない巨視的なせん断帯が生じることにより、エネルギー吸収量が著しく低下することを指摘した。

著者は、純チタン製のポーラスチタンだけでなく、典型的なチタン合金である Ti-6Al-4V 合金製の3D 積層造形ポーラスチタン合金についても機械的特性を調べた。その結果、造形後の熱処理温度が高いほどセル骨格の延性が増加し、結果としてエネルギー吸収特性も向上することを明らかにした。

以上のように本論文は、種々のポーラスチタンについて、その不規則及び規則セル構造が機械的特性に及ぼす影響を実験的に明らかにし、エネルギー吸収特性向上のための設計指針を示した。特に、規則セル構造よりも不規則セル構造の方が、エネルギー吸収特性に優れることを実験的に明らかにした点は、ポーラス材料分野にとって重要な知見である。また、本研究成果は、他のエネルギー吸収用ポーラス金属を設計する際にも非常に有効であり、輸送機器への応用の観点からも、その工学的価値は極めて高い。よって本論文は、博士(工学)の学位を授与するに値するものと認められる。

(最終試験又は試験の結果)

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上で論文発表を行い、航空宇宙分野の教員による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。