

## 審査の結果の要旨

氏名 金橋 秀豪

自動車など運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出の 86% は、車両使用時の CO<sub>2</sub> 排出であり、それを大幅に軽減するために、燃費向上をはかることができる車体設計、車体・部品構成材料の見直しが多面的になされている。その中で車体重量の軽減はきわめて有用であり、次世代車設計では、軽量構造化の観点から、アルミニウム合金ポーラス材料の利用がはかられている。しかし、種々の事故時における安全性を考えると、これら軽量化材料は、高ひずみ速度変形をとまなう衝突時変形において、衝突エネルギーを効果的に吸収することが不可欠である。従前のオープンセルあるいはクロズドセルのポーラス材料では、相対密度が 0.3 以下で大幅な強度、延性低下が生じるため、上記の要件を満足する段階にいたっていない。すなわち、セル構造を有する軽量化材料が、車体構造材料として利用されるためには、相対密度の減少によって、その相対的強度、変形が大幅に低減しない材料設計が求められている。本研究では、その要請への 1 つの解決法として、セル構造体のユニットセルに注目し、その規則化による変形挙動を記述することで、新たな超軽量構造材料の設計方法を提示している。本研究は、9 章よりなる。

第 1 章は序論であり、従前のセル構造体の力学特性ならびに動的変形挙動に関するサーベイを行い、相対密度低下に伴う相対強度低下、プラトー応力を有する固有の応力ひずみ関係などに言及するとともに、セル構造を微細化することで、その特性、特に衝撃靱性が向上する事例を示し、本研究で注目する規則化構造をもつユニットセル設計の重要性を指摘している。

第 2 章はそのユニットセル設計であり、カラム構造に注目した従前の力学モデルと対比する形で、規則化した多面体構造を有するユニットセルを変形ユニットとする設計方法を提示している。

第 3 章は、本研究における実験手法に関する記述であり、超軽量構造体の動的挙動を高精度で実験評価する手法をまとめている。本研究では、動的応力—ひずみ関係を高精度で測定するために、インピーダンス・マッチング法で最適化したホプキンソン棒法を提案し、それを非接触型光変形測定と比較検討することで高精度を実証している。さらにアルミ合金ポーラス材料を用いて、従来実験データとの比較検討により、セル構造体への適用の妥当性を確認している。

第 4 章では、アルミ合金・マグネシウム合金のオープンセル構造体の力学的応答への影響因子について考察し、特に熱処理条件により動的延性の異なる試料として、SG91A 材と AZ91 材を作製し、その動的ならびに静的応力—ひずみ関係の測定から、母材材質によらず動的プラトー応力と静的プラトー応力との比（以下、動静応力比と略す）と延性との間に一定の非線形関係が成立し、延性の向上とともに動静応力比は 1 に漸近し、延性的なセル構造体では、母材が有するひずみ速度依存性が消失することを明らかにしている。

第 5 章では、相対密度を 0.09、セルサイズ・アスペクト比を 1.3、カラム・アスペクト比を 7.5 一定としたアルミ合金ポーラス材を用い、平均セルサイズのみを 3–5mm の間で変化させ、上述の動静応力比—延性関係へのセルサイズ依存性を検討している。その結果、セルサイズに関わらず、同関係が成立し、溶製法で作製するセル構造体では、母材のひずみ依存性は消失し、その応力ひずみ関係は初期変形—プラトー領域—緻密化領域で類別できることを確認している。

第6章では、より平均サイズの細かいセル構造体を作製するために、粉末冶金プロセスを採用し、相対密度 0.1、カラム・アスペクト比 8 一定とし、平均セルサイズのみを変化させた純銅ポーラス材を作製し、その動静的変形挙動を調査した。平均セルサイズ  $250\mu\text{m}$  とした材料は、上述の応力ひずみ関係ではなく、母材のひずみ速度依存性と同等のひずみ速度依存性を示し、単調増加する応力ひずみ関係を示すことを明らかにした。同材で平均セルサイズを  $830\mu\text{m}$  とすると、同特性は消失し従前の関係に回帰することから、セルサイズ微細化の効果の重要性を指摘している。

第7章は、動静的変形その場観察によるユニットセル変形の直接観察、測定である。その結果、従前の動静的応力比—延性関係で整理されるポーラス材では、カラムの破断による連続的な座屈現象ならびにカラムの塑性的曲げ変形による不均一塑性変形が主体であることが明らかとなった。一方、セルサイズ微細化に伴い、個々のユニットセルは協調的に変形するようになり、中実バルク材料と同様に均一変形主体となるためにひずみ速度依存性を示すことをはじめて実験的に確認した。

第8章は、セル構造体のユニットセル構造を考慮した理論的考察であり、空間充填多面体を理想系として、その単位多角形セル面において、5角形セル面比の増大とセルサイズ微細化とが一对一に対応していることを見出し、ユニットセル構造内でのトポロジー変化がマクロな動静的変形応答を制御する可能性を示唆している。第9章は総括である。

要するに本研究は、開発した高精度動的応答試験装置、動的ならびに静的変形その場観察装置を用いて、平均セルサイズなどユニットセル構造のみを変化させたポーラス材の動静的力学応答実験より、動静的応力比—延性関係上で従前のトレード・オフ・バランスングより高強度比・高延性を達成するセル構造の存在を示し、それがセル構造体ユニットセルの多面体構成比の相違にあることを明らかにしている。すなわち、空間充填多面体である Weaire-Phelan 多面体を理想系として、その構成5角形セル面比が増大することで、微小なセルサイズをもつセル構造体の高強度化がはかれることを示唆している。この成果は、材料信頼性工学、材料力学への貢献が著しい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。