

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13786 号
------	---------------

氏 名 劉 肖揚

論文題目

Enhancement in compressive properties of additive-manufactured metallic lattice structures through experimental and numerical approaches

(実験及び数値解析による積層造形ラティス構造体の圧縮特性の向上)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	小橋 眞
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	加藤 準治
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	高田 尚記
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	湯川 伸樹

論文審査の結果の要旨

劉 肖揚君提出の論文「Enhancement in compressive properties of additive-manufactured metallic lattice structures through experimental and numerical approaches(実験及び数値解析による積層造形ラティス構造体の圧縮特性の向上)」は、ラティス構造体の力学特性と変形挙動を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究背景としてラティス構造の圧縮特性向上の重要性について述べた。また、ラティス構造の分類、設計、製造プロセス、機械的特性について詳述した。ラティス構造の最先端の研究と現在の問題点をよりよく理解するために、報告された文献をレビューした。その結果、これらの問題に対処し、ラティス構造の機械的特性を向上するために本論文で取り組む区ことを述べた。

第2章では、体心立方 (BCC)、切頂八面体 (TO)、六面体 (Hexa) などの異なるユニットセルが、AlSi10Mgラティス構造の機械的特性や変形挙動に及ぼす影響を明らかにした。TOラティス構造は、BCCラティス構造やHexaラティス構造よりも高い降伏強度とプラトー応力を示した。BCCおよびTOラティス構造では、圧縮時にせん断バンドが形成され、その結果、応力-ひずみ曲線が変動した。また、Hexaラティス構造では、ストラットにクラックが発生することなく、連続的な変形挙動が観察された。これは、FEM解析で計算したミーゼス相当応力が小さいことに起因する。TOラティス構造は、既報のチタン合金ラティス構造のレベルに達する優れたエネルギー吸収能力を有することを報告した。

第3章では、せん断バンドの形成機構、優先形成面・方向を明らかにした。せん断バンドは、ストラットの引張応力領域でのクラックの発生と伝播によって引き起こされることが示唆された。ストラットの中央部を太くし、節に近い部分を細く (ストラット直径比を小さくする) ことにより、FEM解析ではストラットの局所的な引張応力が緩和され、せん断バンドの発生傾向が低くなることが示唆された。このせん断バンド抑制手法の有効性は、実験によっても実証した。ストラットの形状を最適化したBCCラティス構造では、せん断バンドの形成を抑制することで、エネルギー吸収能力が大幅に向上した。

第4章では、ラティス構造のノードとストラットが結晶構造の原子と原子結合に類似しているという仮定に基づいて、C15ラーベス相の構造を模倣して、新しい構成のC15型ユニットセルを持つラティス構造を確立した。相対密度を変化させたC15ラティス構造は、応力レベルが異なる2つのプラトー領域を示し、 $5.0\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ の高エネルギーを吸収することができた。C15ラティス構造の2つのプラトー領域は、相対密度を変化させた十字型と正十二面体の2つの異なるユニットに起因している。第1プラトーでは十字形ユニットが曲げ支配変形挙動を示し、第2プラトーでは正十面体ユニットが伸び支配変形挙動を示すことから、C15ラティス構造はハイブリッドな変形モードを持つことが示唆された。このように、結晶構造を模倣して、ユニークな力学性能を持つラティス構造を設計するための新しい指針を提案した。

第5章では、BCCとFCCのユニットセルが異なる配列で構成されたハイブリッドラティス構造を、均質なBCCとFCCのラティス構造と比較して検討した。ハイブリッドラティス構造のBCCおよびFCCユニットセルの空間的配置パターンは、機械的特性および変形挙動に大きく影響することがわかった。すべてのハイブリッドラティス構造の降伏強さの実験値は、Voigtモデルの予測値の上限を超えていた。パラレル・ハイブリッド構造では、引張応力を受ける部分でミーゼス応力が集中するため、応力降下を伴うせん断帯が現れた。垂直および3次元のハイブリッドラティス構造では、異なるユニットセルの存在によってせん断バンド面が不連続になり、マクロせん断バンド形成を抑制した。したがって、異なるユニットセルを適切に配置することで、せん断バンド形成による応力低下を伴わずに高いプラトー応力レベルを達成することができ、高いエネルギー吸収能力を有することを示した。

第6章では、本研究の結論と展望を述べた。

以上のように本論文では積層造形ラティス構造体の圧縮特性を明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、衝撃エネルギー吸収材への応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である劉 肖揚君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した。