

〔経常研究 B〕

造形可能なラティス構造最適化形状へのモデル改善

吉岡 淳也

1 目的

ラティス（格子）構造とは網目状に材料を配置することで、剛性を維持しつつ軽量化を図ることができる形状のことである。以前より、指定領域内に最適な材料配置を行う「トポロジー最適化」による軽量化手法を考案しており、ラティス構造をトポロジー最適化形状に取り入れることによって、更なる軽量化、積層造形における造形難易度の低下を検討している。

当センター所有の設計ソフトウェアでは、一様なラティス構造を積み重ねる手法と、荷重が強く加わる箇所のラティス構造を太くするなどの応力分布に応じて材料の配置密度を変更できる「ラティス構造最適化」という手法がある。昨年度の研究において、ラティス構造最適化を用いることで一様なラティス構造よりも高剛性かつ軽量のラティス構造を考案した。得られた形状は、軽量のラティス構造になるほど材料密度が下がるため、金属 3D プリンタによる造形時に自重や熱応力に耐えられず欠損が発生することがあった。

本研究では、ラティス構造の条件を昨年度よりも更に細分化し、付加応力、質量の減少率について検討を行った。また、昨年度に設計した構造を含めてラティス構造を金属 3D プリンタにより造形し、荷重試験を行うことで、造形の可否、応力解析、材料物性値との差異について調査した。

2 実験方法

本研究では、Altair 社の HyperWorks ソフトウェア（Inspire）を用いてラティス構造の設計を行った。荷重条件は、図 1 のように一辺の長さ 24mm の立方体を設計領域（ラティス構造を設定する領域）とし、上から 1100N の荷重 F を与え、下部を完全拘束 C とした形状を用いた。材料物性値は表 1 の、金属 3D プリンタ用の粉末材料である Al-Si12(B) (3D-Systems 社製) の数値を用いた。最適化目標は質量の最小化とし、ラティス形状の制約条件は図 2 に示すようにラティス長さ、ラティス太さの範囲を設定し、最適化形状を比較検証した。昨年度の研究ではラティス長さを 4mm、6mm、8mm とし、太さを 0.5mm～1mm、0.8mm～1.6mm、1mm～2mm としていた。本研究ではラティス太さの条件は昨年度から変更せず、ラティス長さを 3mm、5mm、7mm、9mm の条件で設計を行い、比較した。

ラティス構造最適化により得られたラティス構造を金属 3D プリンタにより造形し、高精度材料試験（インストロン 5982 型）により荷重試験を行った。

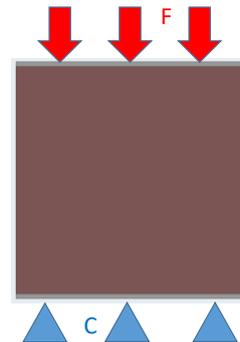


図 1 ラティス構造最適化モデル

表 1 AlSi12(B)の物性値

Young modulus (Pa)	$70 \pm 5 \times 10^9$
Yield strength (Pa)	$290 \pm 20 \times 10^6$
Poisson's ratio	0.33
Density (g/cm^3)	2.685

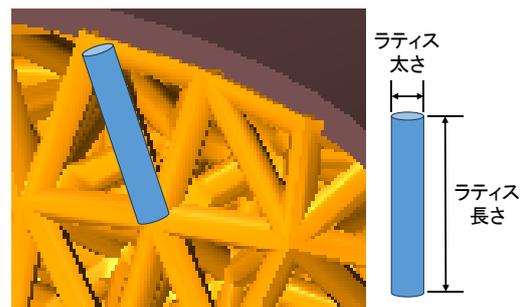


図 2 ラティス構造の設計変数

3 結果と考察

3.1 ラティス構造最適化結果

図3にラティス構造最適化により得られた構造を示す。ラティス長さ7mmの条件は計算に不具合が発生し、最適化設計が行われなかった。設計領域を一辺の長さ24mmの立方体としていたため、長さ7mmのラティス構造は格子を傾斜させたとしても噛み合わず、配置ができなかったためと考える。得られたラティス構造の質量、応力比較を表2、図4に示す。図4は下に行くほど強く、左に行くほど軽量となっており、橙色箇所内部は昨年度に比較した一様ラティス構造よりも軽量かつ強固な形状となっている。本研究にて得られたラティス構造の多くは、昨年度の傾向と同じく、ラティス構造が短く、太くなるほど高剛性、低質量となる傾向にあった。ラティス長さ9mm、太さ0.5mm~1mmの条件では、8mmの条件よりも低質量、高剛性となる形状があった。9mmの条件はラティス構造が傾斜している箇所があり、荷重条件が一方からの荷重であったために強固な形状になったと考える。

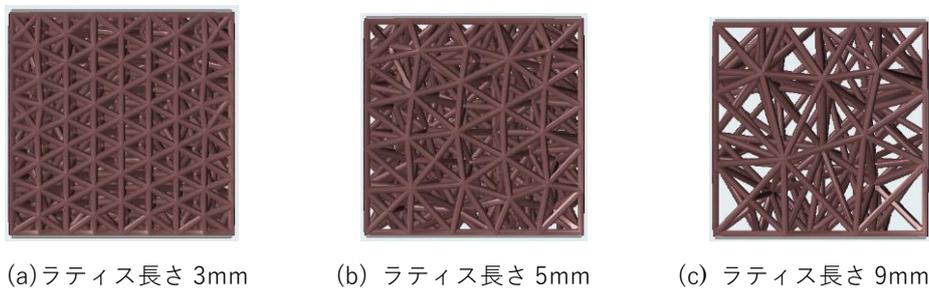


図3 ラティス構造最適化モデル

表2 AISi12(B)の物性値

	長さ3mm	長さ5mm	長さ9mm
太さ 1~2mm	36.215g	14.98 g	5.44 g
	22.66 MPa	66.7 MPa	76.45 MPa
太さ 0.8~1.6mm	23.2 g	9.59 g	3.48 g
	36.12 MPa	121.6 MPa	96.9 MPa
太さ 0.5~1mm	9.63 g	3.75 g	1.49 g
	88.7 MPa	206.2 MPa	203.5 MPa

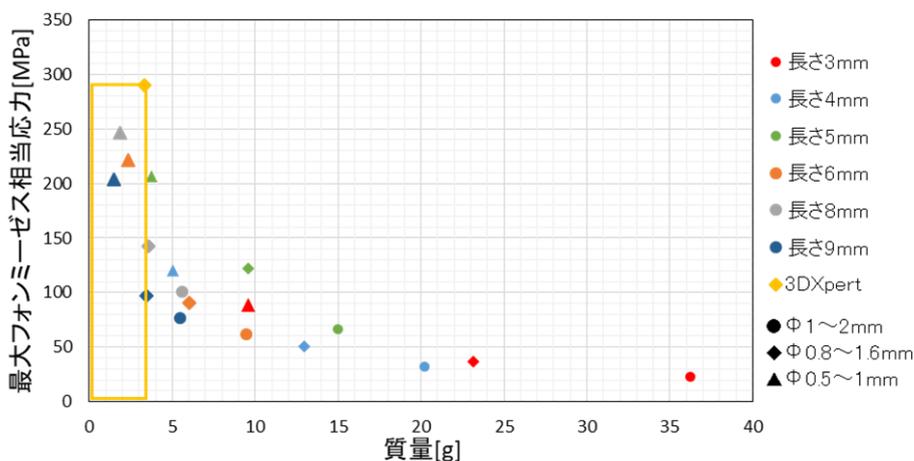


図4 ラティス構造の設計変数

3.2 3D プリンタによる造形、材料試験結果

本研究により得られたラティス構造にて太さ 0.8mm~1.6mm の条件を造形した結果を図 5 に示す。3mm の条件は材料密度が高く、設計領域長さの約数であったため、造形は容易であったが、5mm、9mm の条件は欠損がみられた。9mm の条件は材料密度が低いため、造形難易度の高さは想定できたが、昨年度に欠損無く造形できた長さ 6mm の条件よりも材料密度が高いはずの 5mm の条件でも欠損がみられた。これは、ラティス構造が傾斜しており、積層方向に直行していた 6mm の条件よりも自重の影響を強く受けたためと考える。積層造形によるラティス構造の造形では、可能な限り積層方向に直行したラティス構造の設計をした方が容易に造形できることが分かった。

昨年度に造形し、欠損が発生しなかった条件であるラティス長さ 4mm、6mm、8mm の太さ 0.8mm~1.6mm のラティス構造に対して、高精度材料試験機により荷重試験を行った結果を図 6 に、応力解析と材料試験により得られた降伏応力の比較を表 3 に示す。ラティス長さ 6mm の条件ではほぼ応力解析と同じ数値が得られた。他条件は解析結果とは違う数値が見られた。材料密度により、造形時の拡幅化、欠損の有無や熱応力の影響も強弱が発生することがわかった。

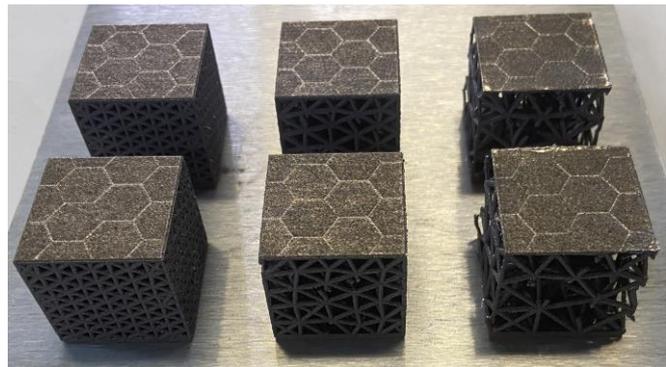


図 5 ラティス構造造形結果

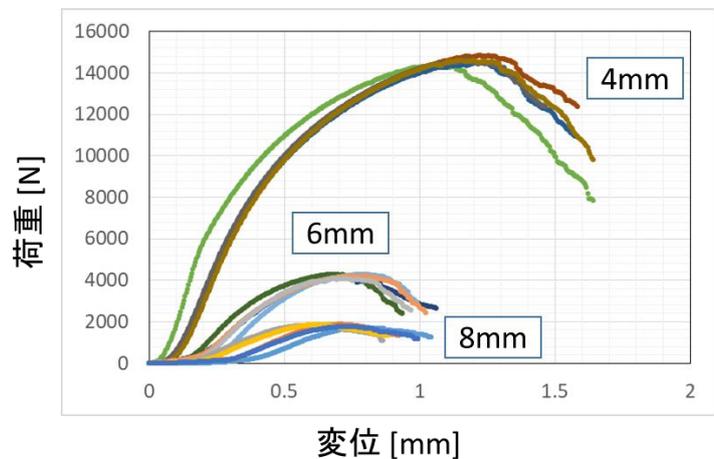


図 6 ラティス構造の荷重試験結果

表 3 荷重試験結果比較

	応力解析	荷重試験結果
長さ4mm	6369 N	7928.89 N
長さ6mm	3554.1 N	3515.07 N
長さ8mm	2640 N	1805.84 N

4 結論

ラティス構造を設計する際は、設計範囲に無理なくラティス構造が配置できるように、設計領域の約数付近にラティス長さを設定した方が、造形難易度の低下が見られることが分かった。また、ラティス太さは強度、質量に係るため、強度の確保と質量減少率の指標によりある程度の自由度があることが分かった。

本研究にてラティス構造の長さ、太さによる傾向を確認できた。ラティス構造を配置したい箇所は使用したモデルのように、単純形状とは限らないため、今後はより実践的な複雑形状に対してラティス構造最適化を検証する。

(問合せ先 技術支援室 吉岡 淳也)