

ラティス構造の応力解析と材料試験の比較検証

吉岡 淳也

1 目的

本研究はこれまでに、トポロジー最適化により対象モデルの剛性を維持しつつ、軽量化を実現し、金属 3D プリンタによる造形を行ってきた。対象モデルは中空となる箇所が存在し、3D プリンタによる造形の際に支えとなるサポートが必要である。サポートは金属粉末を焼結させており硬度が高いほか、狭い箇所にも配置する必要があるため、除去が困難な場合があった。そこで、サポートが必要となる箇所にラティス（格子）構造を配置することで、質量増加を最小にしつつサポートの除去を必要としないモデルを考案、設計した。その際、設計したラティス構造の妥当性を評価できていなかった。

そこで、本研究では、ラティスの長さや太さを変更したラティス構造を複数設計し、3D プリンタにて造形を行い、ラティス構造の差異による剛性及び質量の比較検証、造形技術の獲得を試みた。

2 実験方法

当センターでは、ラティス構造を設計できるソフトウェアは「3DXpert」と「Inspire」を所有している。3DXpert では均等なラティスが複数配置されるラティス構造となるため、ラティスの大きさによっては狭い箇所や曲面などにラティス構造が配置されない場合がある。Inspire ではそれぞれ違う形状のラティス構造が設計されるため、複雑形状にも自由にラティス構造を配置することができる。

本研究では、比較的自由的な構造となる Inspire にてラティス構造最適化を行うが、指標となるラティス構造の荷重試験データが手元になかったため、3DXpert にて同条件でのラティス構造を設計、3D プリンタにて造形し、荷重試験を行って得たデータを設計の指標とした。

ラティス構造最適化に使用するモデルを図 1 に示す。中央着色箇所の立方体を設計領域（ラティス構造を配置する領域）とし、上下にそれぞれ板状の薄い非設計領域（最適化設計により変化しない領域）を設定した。材料物性値は、金属 3D プリンタによる造形を考慮し、表 1 の 3Dsystems 社製の AISi12(B)の数値を使用した。

3DXpert モデルはラティス長さ 6mm、太さ $\Phi 0.8\text{mm}$ として設計、造形し、荷重試験の結果、降伏点に至る荷重は約 1100N であった。

Inspire によるラティス構造最適化に、3DXpert モデルの降伏応力数値を荷重条件として使用し、非設計領域の上面から 1100N の荷重を、下面には完全拘束を与えた。ラティス構造最適化の条件は荷重条件にて降伏応力を超えないように質量を最小化させる構造とした。ラティス構造は図 2 のようにラティスの長さや太さを設定でき、ラティス長さ

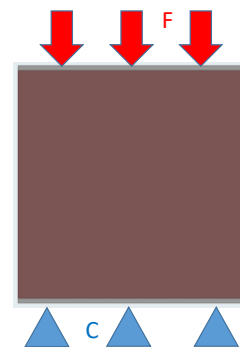


図 1 ラティス構造最適化モデル

表 1 AISi12(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

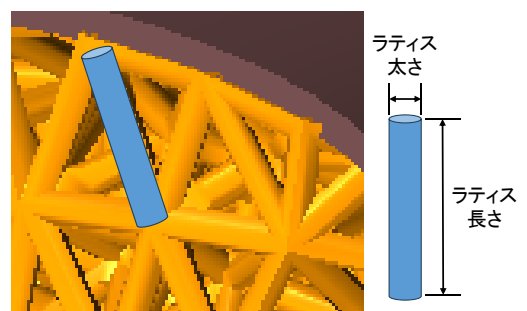


図 2 ラティス構造の設計変数

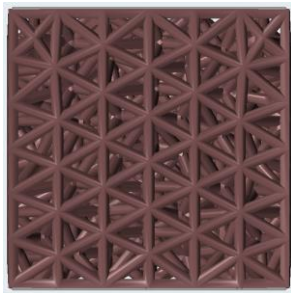
を 4mm、6mm、8mm とし、ラティス太さをそれぞれ $\Phi 1\sim 2\text{mm}$ 、 $\Phi 0.8\sim 1.6\text{mm}$ 、 $\Phi 0.5\sim 1\text{mm}$ の範囲とした。これらの条件で Inspire にてラティス構造最適化を行い、得られたラティス構造の応力解析、質量比較を行った。

また、ラティス構造最適化により得られたラティス構造を、当センター所有の金属 3D プリンタ (ProX 200) により造形を試みた。

3 結果と考察

3.1 Inspire のラティス構造最適化結果

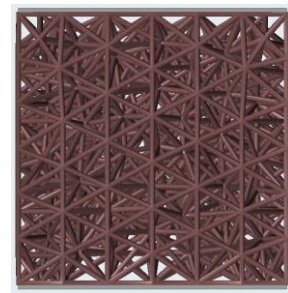
ラティス構造最適化により得られたラティス構造を図 3 に示す。図 3 (a)、(b)、(c) など、ラティス構造の長さが同じで太さの条件が異なる場合、構造の傾向は同じで太さのみが変わることが確認できた。また、Inspire のラティス構造最適化はラティス太さを $\Phi 1\sim 2\text{mm}$ の様に可変の数値としており、多くの条件は範囲内の最小太さとなったが、図 3 (i) の長さ 8mm、太さ $\Phi 0.5\sim 1\text{mm}$ の条件では、構造の一部に $\Phi 0.5\text{mm}$ より太い箇所が見られた。これは、最適化条件の質量の最小化を目指しつつ、与えた荷重条件に耐えられるようにラティス太さを必要分だけ拡幅したと考える。



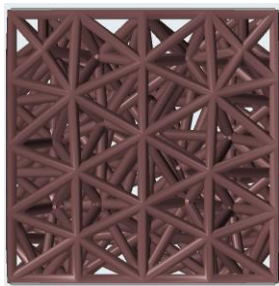
(a) 長さ 4mm 太さ $\Phi 1\sim 2\text{mm}$



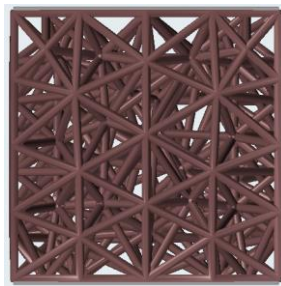
(b) 長さ 4mm 太さ $\Phi 0.8\sim 1.6\text{mm}$



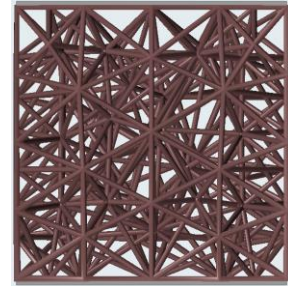
(c) 長さ 4mm 太さ $\Phi 0.5\sim 1\text{mm}$



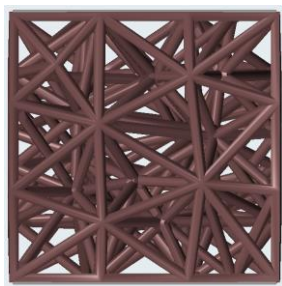
(d) 長さ 6mm 太さ $\Phi 1\sim 2\text{mm}$



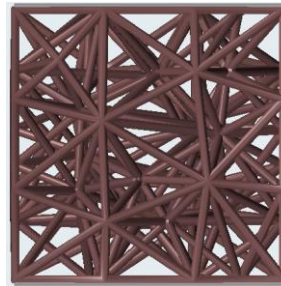
(e) 長さ 6mm 太さ $\Phi 0.8\sim 1.6\text{mm}$



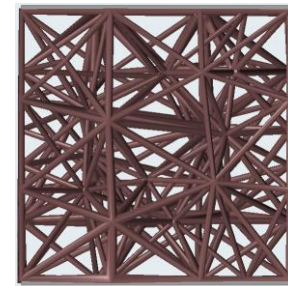
(f) 長さ 6mm 太さ $\Phi 0.5\sim 1\text{mm}$



(g) 長さ 8mm 太さ $\Phi 1\sim 2\text{mm}$



(h) 長さ 8mm 太さ $\Phi 0.8\sim 1.6\text{mm}$



(i) 長さ 8mm 太さ $\Phi 0.5\sim 1\text{mm}$

図 3 ラティス構造最適化結果

ラティス構造の質量及び形状内の最大フォンミーゼス相当応力の比較を表2、図4に示す。最大フォンミーゼス相当応力の数値が小さいほど（図4の下部に向かうほど）ラティス構造の剛性が高くなる。ラティス構造を比較すると、ラティス長さが長く、太さが細くなるほど、剛性は低く、質量は小さくなる傾向となった。

図4中の黄線は3DXpertモデルの質量、フォンミーゼス最大応力の数値を示しており、この範囲から右側にある条件は3DXpertモデルよりも質量が大きいことを意味する。黄線範囲内のラティス長さ6mm、8mm、太さΦ0.5~1mmの2条件は3DXpertモデルよりも剛性が高く、軽量となった。Inspireのラティス構造最適化により、一様なラティス構造である3DXpertよりも高剛性、低質量なラティス構造を設計することができた。

表2 ラティス構造の質量、最大フォンミーゼス相当応力比較

	ラティス太さ Φ1~2mm	ラティス太さ Φ0.8~1.6mm	ラティス太さ Φ0.5~1mm	3DXpertモデル
ラティス長さ 4mm	20.2 g	12.96 g	5.06 g	
	32.4 MPa	50.1 MPa	119.6 MPa	
ラティス長さ 6mm	9.46 g	6.05 g	2.39 g	3.29 g
	61.6 MPa	89.7 MPa	220.7 MPa	290 MPa
ラティス長さ 8mm	5.60 g	3.58 g	1.89 g	
	100.6 MPa	142.1 MPa	246.4 MPa	

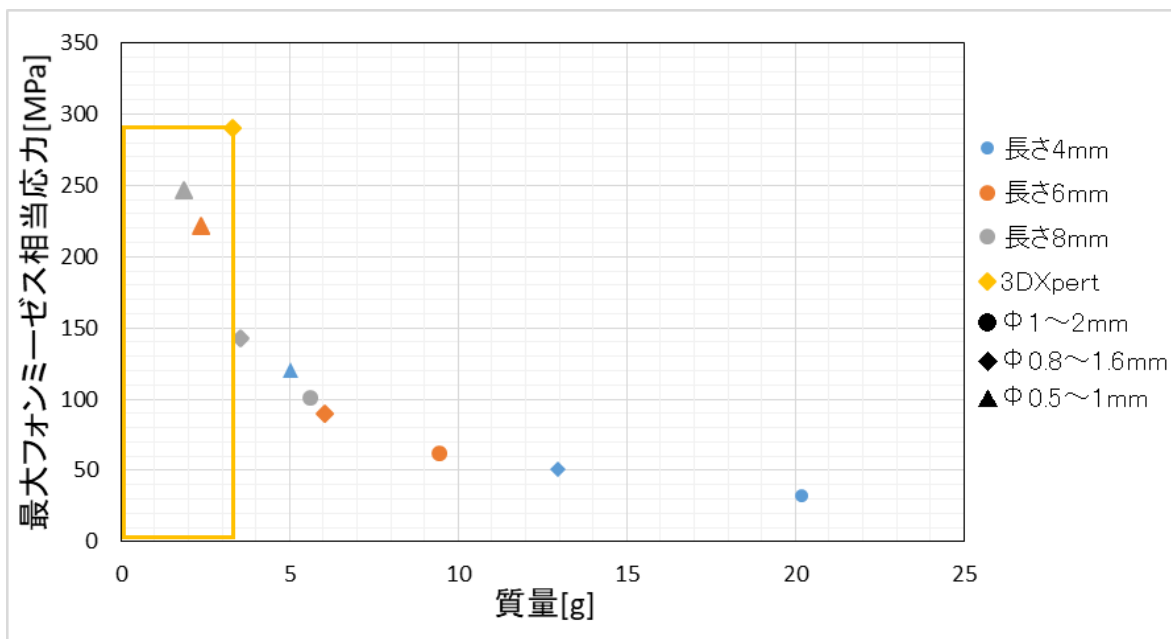


図4 ラティス構造の質量、フォンミーゼス相当応力

3.2 金属3Dプリンタによる造形試行

Inspire で設計したラティス構造を金属 3D プリンタにて造形した結果を図5に示す。ラティス長さが 8mm の条件はラティスが途中で折れるなど、欠損が発生する箇所があった。ラティス長さ 4mm、太さ $\Phi 1\sim 2\text{mm}$ の条件など、ラティス構造が短く、太い形状ほど安定して造形することができた。ラティス構造は材料を宙に浮かせた形での造形となる箇所が多く、材料を積み重ねていく積層造形では自重の影響を強く受けるため、空隙箇所が多い条件では造形が不安定になったと推測する。

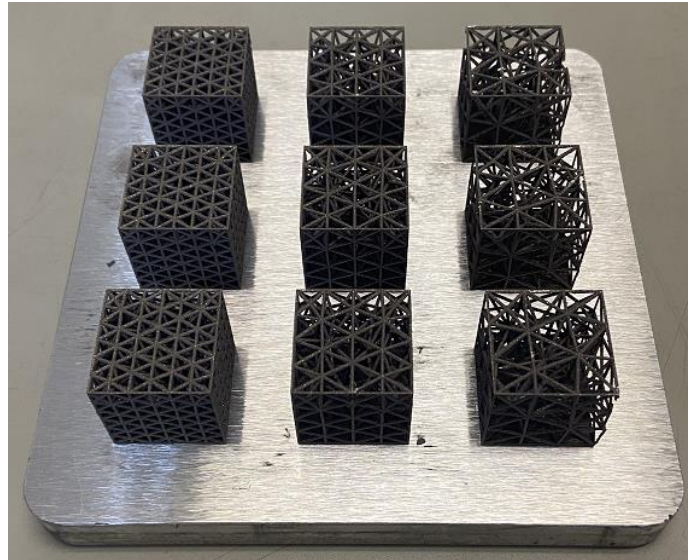


図5 金属 3D プリンタによる造形

4 結論

ラティス構造最適化により、剛性を確保しつつ質量が極小なラティス構造を設計することができた。また、ラティス構造のフォンミーゼス相当応力、質量が良条件であっても、金属 3D プリンタによる造形に関しては不安定になる場合があることが分かった。

今後は、Inspire のラティス構造最適化にて、造形可能なラティス構造や安定して造形できる手法を模索し、金属 3D プリンタにて造形、荷重試験を図る。

(問合せ先 吉岡 淳也)