

〔経常研究 B〕

実践的なラティス構造設計を目指した自由形状へのラティス構造最適化の適用検討

吉岡 淳也

1 目的

ラティス構造とは枝状に分岐した格子を周期的に配置する構造であり、剛性を維持しつつ軽量化を図ることができる。これまで、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きた。トポロジー最適化で得られた形状内部をラティス構造に置き換えることによって強度を維持しつつ更なる軽量化が可能になる。

昨年度までの研究では、荷重が強く加わる箇所をラティス構造を太くするなど、応力分布に応じて材料密度を変更できる「ラティス構造最適化」という手法を用いて設計を行った。ラティス構造最適化で得られた形状（以降、最適化形状）を図 1 に示す。ラティス構造最適化の条件の違いによる形状変化を確認したところ、ラティス構造は太く短い条件の方が高強度な傾向にあったが、図 1(b)の様にラティス構造の傾斜が大きくなることにより低強度になる条件があった。より高強度な最適化形状を得るには、ラティス構造の傾斜を可能な限り防ぐ条件を設定する必要があることが分かった。昨年度の条件では立方体の単純形状を対象としていたため、条件による形状の差異を確認できた。

本研究では、トポロジー最適化との組合せを考慮し、ラティス構造最適化を適用する元の形状を自由形状とすることで、曲面形状がある場合のラティス構造最適化の手法確立および最適化形状の傾向確認を行った。付加応力、質量の減少率について検討を行い、設計した最適化形状を金属 3D プリンタにより造形し、造形の可否について調査した。

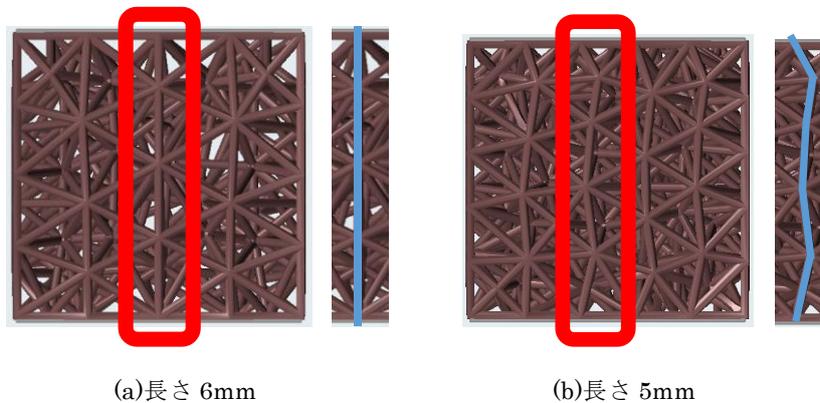


図 1 ラティス構造最適化を適用した立方体

2 実験方法

本研究では、Altair 社の HyperWorks ソフトウェア Inspire を用いて最適化形状の設計を行った。

元形状は図 2 のように砂時計型（hourglass shape）の上下を挟んだ着色箇所を設計領域とした。トポロジー最適化によって得られる形状は曲面を持った有機的な複雑形状になるため、砂時計型を「トポロジー最適化によって得られた形状」と仮定し、ラティス構造最適化を行うこととした。



図 2 砂時計型形状

荷重条件は、上から 1000N 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、ラティス構造の制約条件は図 3 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。ラティス構造の条件はラティス長さを 4、6、8、10、12mm とし、太さを $\Phi 0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 、 $\Phi 0.8\text{mm}\sim 1.6\text{mm}$ 、 $\Phi 1\text{mm}\sim 2\text{mm}$ とした。また、最適化形状を金属 3D プリンタにより造形し、造形の可否を確認した。

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

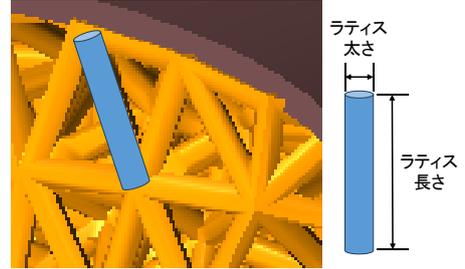


図 3 ラティス構造の設計変数

3 結果と考察

3.1 ラティス構造最適化結果

最適化形状を図 4 に示す。曲面が存在する為か傾斜が発生している箇所が多く見られた。最適化形状の傾向は、ラティスの長さ条件に依存していたため、図 4 では太さ $\Phi 0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ の結果のみを示している。

得られた最適化形状の質量、最大フォンミーゼス相当応力比較を表 2 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最適化形状にかかっている応力が小さいため、高剛性であると判断して

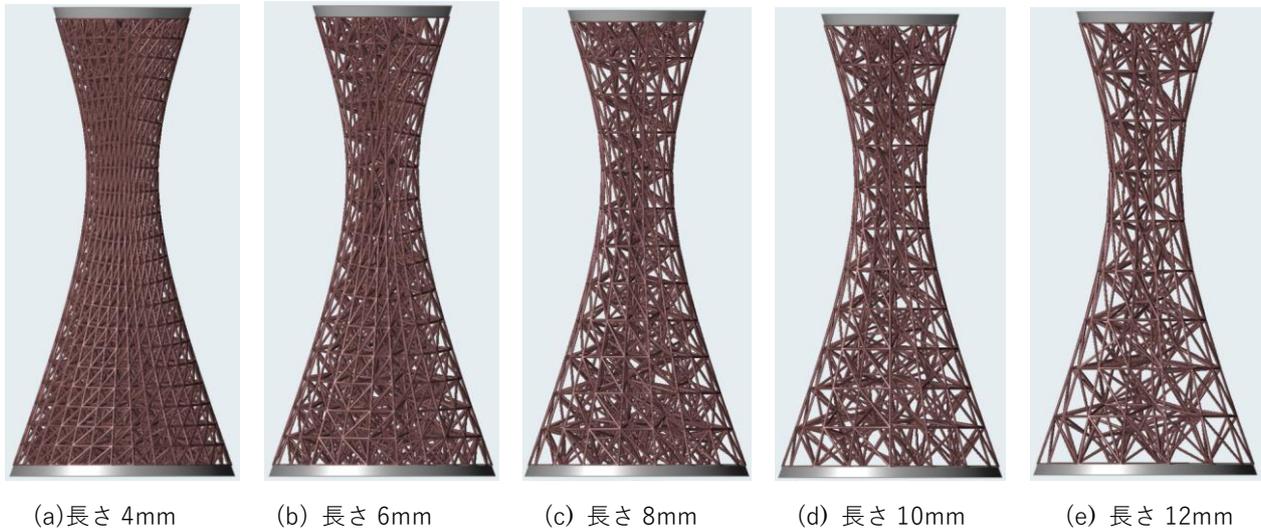


図 4 ラティス構造最適化結果 (太さ 0.5~1mm)

表 2 ラティス構造最適化結果の質量・最大フォンミーゼス相当応力比較表

	長さ4mm	長さ6mm	長さ8mm	長さ10mm	長さ12mm
太さ 0.5~1mm	16.7 g	8.99 g	6.43 g	5.27 g	4.67 g
	63.65 MPa	141.6 MPa	125.5 MPa	124.5 MPa	152.2 MPa
太さ 0.8~1.6mm	42.78 g	23.02 g	16.47 g	13.31 g	10.76 g
	29.04 MPa	66.12 MPa	55.49 MPa	57.34 MPa	70.59 MPa
太さ 1~2mm	66.2 g	35.98 g	25.73 g	20.80 g	16.81 g
	20.78 MPa	45.42 MPa	37.22 MPa	40.06 MPa	47.75 MPa

いる。本研究にて得られた最適化形状の多くは、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。しかし、ラティス長さ 8mm、10mm の条件は長さ 6mm の条件と比べると、質量が減少しているにもかかわらず剛性が高くなっていた。ラティス構造の傾向を確認すると、8mm、10mm の条件では整然としていたが、6mm の条件は中央箇所にかけて傾斜した構造になっていた。また、図5の様に乱雑に材料が配置されている箇所があり、その箇所に応力集中が見られた。6mm の条件ではラティス構造を配置する際に構造を崩さなければならない箇所が発生したため、低剛性化したと考える。

3.2 金属 3D プリンタによる造形

本研究により得られた最適化形状にて太さ $\Phi 0.8\text{mm} \sim 1.6\text{mm}$ 条件の造形物を図6に示す。昨年度の研究において、太さ $\Phi 0.5\text{mm} \sim 1\text{mm}$ の条件は造形不良が多く発生していたため、本条件を抽出して造形を試行した。

本研究で得られた最適化形状は造形方向より傾斜した箇所が多いほか高さ方向に長い形状であるため造形不良が危惧されたが、問題なく造形することができた。金属 3D プリンタでの造形不良は、熱による影響や材料の自重が原因として挙げられる。本形状の場合、ラティス構造自体の細さにより熱影響が小さいほか構造同士が互いの自重を支え合う形状のために、造形不良が起きなかったと考える。

4 結論

本研究において、自由構造へのラティス構造最適化の場合に、ラティス構造の長さや太さなどの設計条件によって最適化形状の傾向が大きく変化することが分かった。

また、自由形状のように曲面が存在する場合においても造形が可能な最適化形状を設計することができた。これにより、トポロジー最適化等で得られた複雑曲面形状においてもラティス構造に置き換えることが十分可能であると考えられる。

造形が可能であることは確認できたが、造形した最適化形状の評価はまだ不十分である。そのため、今後は荷重試験や質量評価を行い、解析上の数値との差異を確認する。

なお、本研究は TCT JAPAN 2025 の金属 AM 公設試パビリオンにて、当センターで研究されている他の金属 AM 関連研究と共に展示した。

(問合せ先 生産技術部 機械システムグループ 吉岡 淳也)

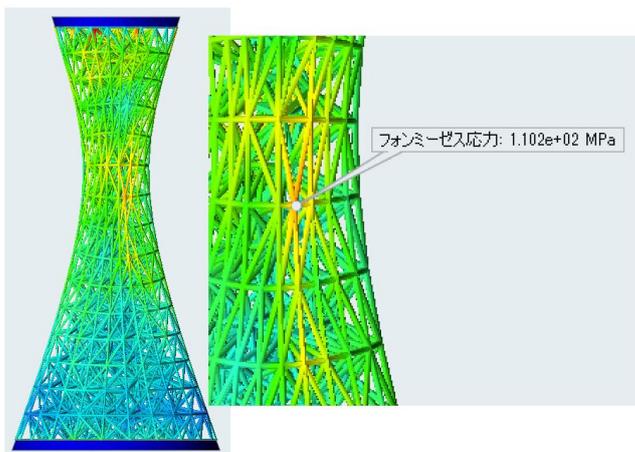


図5 ラティス長さ 6mm 条件の中央乱雑箇所



図6 ラティスタワーの造形品