

構造最適化を用いた傾斜機能ラティス構造体の開発に関する研究

機械情報システム課 中村陽文 ものづくり研究開発センター 山本貴文

1. 緒言

ラティス構造（3次元中空構造）は、構造内部の幾何形状を変化させることで、部材全体の幾何形状を変えずに軽量かつ様々な機械的特性をもたせることができると考えられている。近年では、複雑な形状を直接成形できる積層造形装置、ならびにCAEを用いた最適化設計を活用したデジタルものづくりによって、機械設計の多様なニーズに応え得るものづくりが発展してきている。しかしながら、ラティス構造の設計に関する研究はまだまだ十分ではなく、設計指針の構築が望まれている。本研究では、ドローンフレームの軽量化を目的として、構造最適化を用いた傾斜機能ラティス構造の作成、試作および実験的評価を行った。

2. 実験方法

2.1 解析方法

本研究の実験対象として、図1aに示すようなドローンフレームを想定し、モーターを取り付ける部分と胴体をつなぐ梁の部分にラティス構造に置き換えることとした。なお、フレームの各部の寸法は市販のドローンを参考にして作図した。図1bにCAEの解析モデルを示す。解析対象は対称性を考慮して4分の1の大きさのモデルとした。万能試験機による試験を模擬して胴体上面に剛体の治具を設置し、モーターによる鉛直方向の浮力に相当する3.5Nの-Z方向荷重をかけた。固定位置はモーターの載る部分とした。

構造最適化を用いた傾斜ラティス構造の作成は、先行研究で開発した方法を用いて行った。ラティス構造のユニットセルはBCC型とし、ユニットセルの体積分率と均質化弾性係数の補間関数を多項式の近似式で表した。求めた補間関数を、3次元中空構造の物性と最適化に用いる設計変数の関係として導入し、最適化計算を行うことでユニットセルの最適な分布を求めた。目的関数はコンプライアンスとし、制約条件は体積を元の形状の50%にす

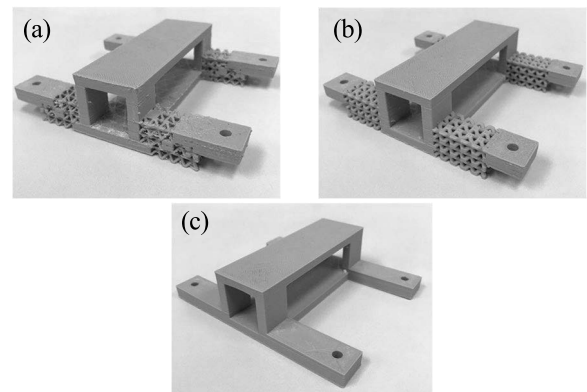


Fig. 2 Specimens fabricated by 3D-printing. (a) Graded lattice. (b) Uniform lattice. (c) Solid

るように設定した。なお、コンプライアンスの最小化は、荷重点の荷重方向変位の最小化に等しく、剛性を最大化することにつながる。最適化は数値計算ソフト (MATLAB, The MathWorks) および汎用解析ソフト (COMSOL Multiphysics, COMSOL) を用いた。最適化計算の反復回数が150回に達した段階で計算を終了した。最適化後の設計変数の分布から、CADを用いて傾斜機能ラティス構造を作成し、図1bに示される解析条件で静解析を行うことにより計算値の剛性を評価した。

2.2 作製および実験方法

実験的評価を目的として、FDM方式の積層造形機 (Creator Pro2, Flash Forge) による試作を行った。作製した試験体は、最適化したラティス構造を用いたもの (傾斜ラティス)、比較対照として梁の部分の体積を元の形状の50%となるように均一なラティス構造で置き換えたもの (均一ラティス)、ならびに梁の部分の厚みを半分にした中実のもの (ソリッド) を作製した。材料はPLA (ポアソン比: 0.36、ヤング率: 3.5 GPa) とした。積層造形の際の1層分の積層厚は、傾斜ラティスは造形性を考慮して0.12mmとし、その他の試験体は0.18mmとした。

実験的評価は、万能試験機 (5567, Instron) を用いて行った。作製モデルのモーターを載せる部分を専用の治具を用いて固定し、フレームの上面に0.1mm/minの速度で荷重を荷重させることにより行った。

3. 実験結果および考察

図2に積層造形機で作製した傾斜ラティス、均一ラティスおよびソリッドの外観を示す。X線CT装置 (inspeXio

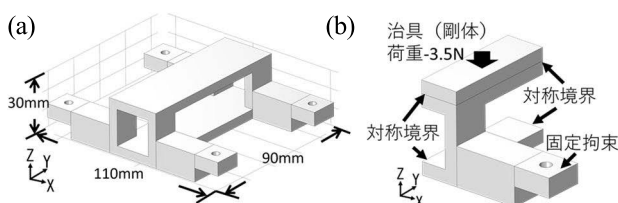


Fig. 1 (a) Dimensions and (b) boundary conditions of the drone frame

SMX-225CTFPDHR, 島津製作所) を用いて、作製した試験片の形状評価および欠陥の観察を行った。傾斜ラティスおよび均一ラティスには、融着しきれなかったと考えられる糸状の樹脂がラティス構造内部に確認されたものの、各試験体は設計データと比較して大きく形状の異なる部分は認められなかった。図 3 に、各試験体の代表的な箇所における Z 方向の断層画像を示す。図 3 に示されるように、すべての試験体において内部に直径 0.1-1mm 程度の空隙が多数認められた。これは、造形中においてフィラメントの充填量および融着が不足したことによるものと考えられる。表 1 に、各試験体の剛性について、CAE で求めた計算値および実験から求めた実験値を示す。実験値の剛性は、実験により得られた荷重-変位線図の傾きが直線となる部分より計算した。表 1 に示されるように、実験値において、傾斜ラティスの剛性は、均一ラティスおよびソリッドに比べて、それぞれ約 13% および約 15% 高い値を示した。しかしながら、各モデルにおいて実験値は計算値の 3 割程度の値を示しており、この要因として、作製した試験体には前述したような内部の空隙があること、ならびに本研究の静解析に使用した物性値は規格値を用いており実際の材料特性とは異なる可能性が

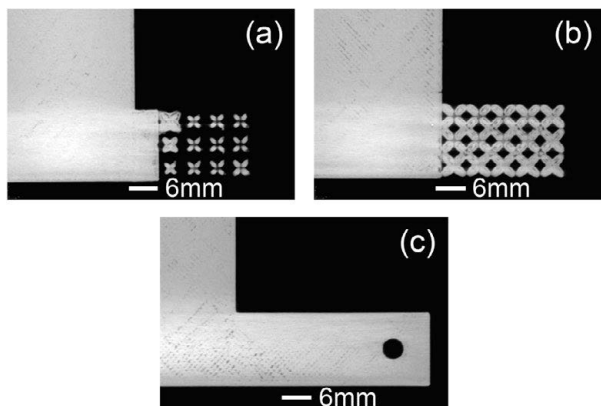


Fig. 3CT images of specimens (a)Graded lattice (b)Uniform lattice (c)Solid

キーワード : CAE、最適化、積層造形、ラティス構造

Study on graded lattice structure design using CAE for lightweight and high-performance application

Mechanics and Digital Engineering Section; Takafumi NAKAMURA,
Monozukuri Research and Development Center; Takafumi YAMAMOTO

Lattice structures are generally used inside a structural member in order to reduce a weight, and it is important to design lattice structure for high-performance applications. In this study, taking a drone flame as an experimental example, homogenization and structural topology optimization was performed to capture the effective mechanical properties of the unit cells and optimize distribution of the unit cells for the part being optimized. In conclusion, stiffness of the drone flame composed by graded lattice structure increases 15% compared to that of a solid structure.

あること、が考えられる。試験体において確認された内部の空隙は、造形条件の改善、もしくは、より精度の高い積層造形方式の装置で作製することより改善する余地があると考えられる。

4. 結言

本研究では、CAE によるラティス構造の単位格子の等価物性値の算出ならびに等価物性値を用いたトポロジー最適化を行うことで、ドローンフレームの軽量化を試みた。積層造形による試作ならびに万能試験機による剛性評価を行った結果、傾斜機能ラティス構造を用いた試験体の剛性は均一に配置したラティスおよび同体積のソリッドモデルに比べてそれぞれ約 13% および約 15% 高い値を示した。試験体の造形品質には改善の余地はあるものの、傾斜機能ラティス構造を用いた構造部材軽量化の有効性を確認することができた。

参考文献

- 1) 中村陽文他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, **34**, (2020) 90-91.

謝辞

本研究推進にあたり早稲田大学理工学術院の竹澤晃弘准教授に多大なご協力を頂きました。深く感謝致します。

Table 1 Summary of stiffness of specimens

試験体	剛性[N/mm]	
	計算値	実験値
傾斜ラティス	745	215
均一ラティス	495	188
ソリッド	565	190