

# ラティス構造を用いた衝撃緩和部材の開発に関する研究

機械情報システム課 中村陽文、金森直希\*1

## 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およびCAE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。

ラティス構造を衝撃緩和部材へ適用する試みは行われているものの、軽量性および等方性または単一方向の特性に着目したものが多く、一方、スポーツ用サポーター、シューズのインソール等では、衝撃緩和特性と屈曲性を両立することが求められるが<sup>2)</sup>、一般的には、弾性率が高いほど吸収エネルギー量は大きくなり、屈曲性は悪くなる傾向があることから、両特性はトレードオフの関係にある。そこで、異方性を有するラティス構造を用いることで、方向によって衝撃緩和特性および屈曲性を制御可能な構造の実現が期待できる。以上の背景より、本研究では屈曲性と衝撃吸収性を両立させる構造の開発を目的として、ラティス構造の単位構造の提案と均質化法を用いた有限要素法による弾性率評価および静的実験による評価を行った。

## 2. 実験方法

Fig. 1 に、本研究で対象とする BCC-Z 型ラティス構造のユニットセルを示す。BCC-Z 型のラティス構造とすることで、Z 方向に平行な梁の太さを変化させることで Z 方向のエネルギー吸収性能の制御が期待できる。有限要素法を用いて、均質化法によりマイクロ構造の応答からマクロ構造における等価な特性を求めた。ユニットセルの X 方向および XY 方向に単位量のひずみを与え、ひずみを与えていない方向の境界は周期境界条件を与えて有限要素解析を行う。その後、各方向の応力の積分値を計算し、

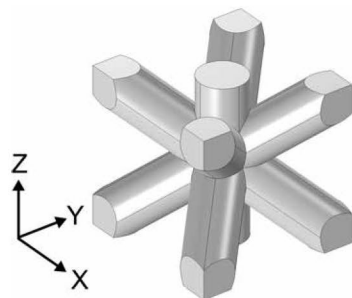


Fig. 1 Schematic diagram of the BCC-Z type unit cell

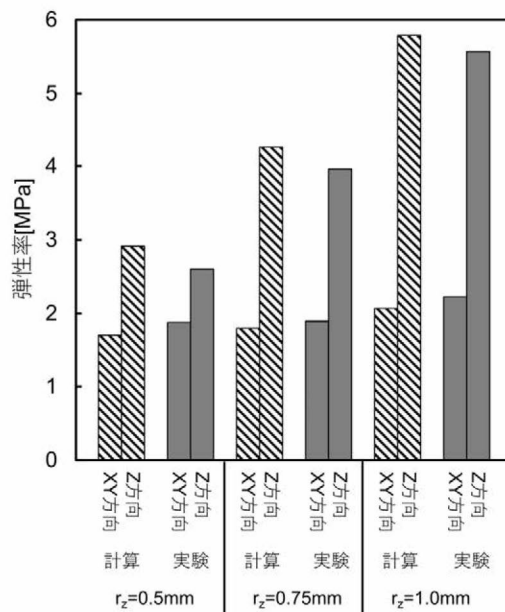


Fig. 2 Elastic modulus of the lattice structure

体積で割り平均値を求める。この値は等方弾性体の均質化弾性係数と呼ばれ、マイクロ構造のマクロ構造における等価な物性値とみなせる。材質は TPU(ポアソン比:0.49、ヤング率:28MPa)として有限要素解析に用いる物性値を入力した。実験の評価を目的として、FDM方式の積層造形機(Creator Pro2, Flash Forge)による試験片の作製ならびに、圧縮試験および曲げ試験を行った。積層造形の際の1層分の積層厚は、0.18mmとした。圧縮試験の試験片はユニットセルを125個並べた1辺20mmの立方体とし、曲げ試験の試験片はユニットセルをX方向に16個ならびにYおよびZ方向に3個並べた80mm×15mm×15mmの長方形とした。ユニットセルにおいてZ方向に平行な梁の太さ( $r_2$ )は0.50、0.75および1.0mmの3種類とし、その他の梁の太さは0.50mmとした。万能試験機(5567, Instron)を用いて圧縮試験および三点曲げ試験を行い、圧縮試験および曲げ試験のストローク速度は3mm/minとした。圧縮試験の特性評価はJIS H 7902:2016を参考にして行った。

## 3. 実験結果および考察

Fig. 2 は、ラティス構造の弾性率に関して、均質化法によって計算された値と実験で得られた値を比較したものである。Fig. 2 に示されるように、有限要素法で計算された弾性率は実験値と一致する傾向があることがわかる。この結果より、有限要素法を用いたラティス構造の弾性

\*1 現 企画調整課

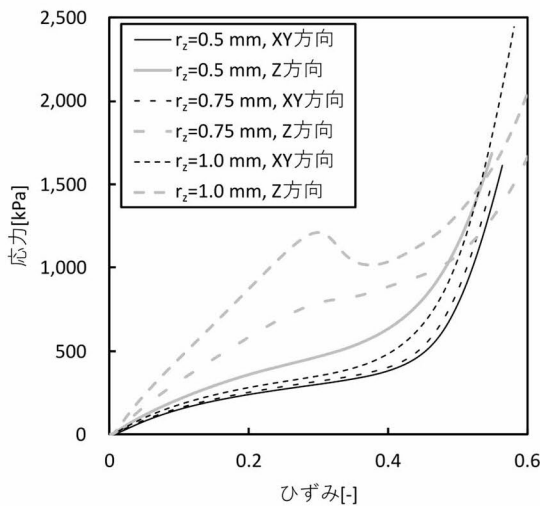


Fig. 3 Stress and strain curve of the lattice structure specimens

率の予測は有効であると考えられる。Fig. 3は、圧縮試験で得られた応力-ひずみ曲線を示す。Fig. 3に示されるように、試験片によってははっきりしない場合もあるものの、通常のポーラス材で認められるような、①応力が上昇しながら圧縮変形する低ひずみ領域、②ほぼ一定の応力(プラトー応力)で変形するプラトー領域、および③急激な応力上昇で変形する高ひずみ領域が認められる。Z方向の圧縮試験では、梁が太くなるに伴い、プラトー応力は増大する傾向が認められ、特に $r_z$ が1.0mmの場合は1000kPa付近で応力変動を示している。応力変動が認められるのは、Z方向の梁が太くなると圧縮時に座屈が発生することに起因するものと考えられる。このような応力変動は、衝撃緩和部材として使用を考えた際には、避けた方がよい場合がある。Fig. 4には、曲げ弾性率およびエネルギー吸収率を示す。Fig. 4に示されるように、曲げ弾性率およびエネルギー吸収率は $r_z$ の増大に伴ってZ方向は増大する傾向が認められ、一方XY方向は比較的变化が少ない傾向が認められる。 $r_z$ が最大となる条件では、水平方向に対する鉛直方向のエネルギー吸収率および曲げ弾性率は、

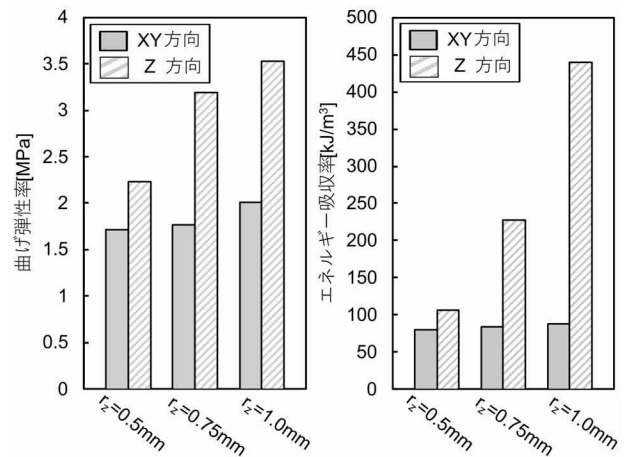


Fig. 4 Flexural modulus and energy absorption rate of the lattice structure specimens

それぞれ約5倍および約0.57倍となった。以上の結果は、適切な梁の太さを設計することで、XY方向の屈曲性を維持しながらZ方向のエネルギー吸収率を制御可能であることを示すものと考えられる。

#### 4. 結言

BCC-Z構造のラティス構造において、Z方向の梁の直径を変えた場合の、均質化弾性率の計算と圧縮試験及び曲げ試験を行った。均質化法を用いた弾性率予測は、実験結果と一致する傾向を示すことがわかった。圧縮試験および曲げ試験の結果、Z方向に平行な梁の直径を1.0mmとした場合、座屈に起因すると考えられる応力変動が確認されたものの、水平方向の曲げ弾性率をほぼ維持したまま、水平方向に対する鉛直方向のエネルギー吸収率は約5倍となることが示された。

#### 参考文献

- 1) H.Niknama *et al.* :*Materials and Design*, **196**(2020)
- 2) 西脇剛史:成形加工, **19**(2007) pp. 526-529

キーワード : CAE、積層造形、エネルギー吸収

### Study on lattice structure design for energy absorption applications

Mechanics and Digital Engineering Section; Takafumi NAKAMURA, Naoki KANAMORI\*<sup>1</sup>

In this study, we evaluated the energy absorption characteristics and flexural modulus of the lattice structures for energy absorption applications such as shoes and supporter. Homogenization was performed to capture the effective mechanical properties of the unit cells, and 3point bending tests and compression tests under quasi-static loading were performed to evaluate experimental properties. In conclusion, energy absorption rate of the BCC-Z lattice structure in Z-direction increased 400% compared to that in horizontal direction while maintaining flexural modulus in XY-direction.