

A20 3Dプリンタを用いたラティス構造の最適化

黒石直人（神奈川大・学），高野敦（神奈川大）

1 緒言

近年、高強度で軽量な構造として、ラティス円筒構造が航空宇宙構造分野で注目されている。本研究では将来的な応用を目指しラティス円筒構造の座屈に対する最適化、また製作を行い、従来あまり調べられていなかったラティス円筒構造のノックダウンファクタについて調べることを目指す。

ラティス円筒構造とは、図1のような網目構造であり、水平リブと斜体リブの2種類で



図1 ラティス円筒構造

構成される。斜体リブが圧縮方向の荷重を支え、水平リブが斜体リブの円筒外への座屈を抑制するような構造となっている。実用例としてはCFRPを用いてロケットなどに使用されているが、ラティス円筒の特性を調べることを目的としている為、自由自在な形を素早く造形できる3Dプリンタを用いて制作を行う。

2 フィラメントのヤング率

2.1 引張試験によるヤング率の測定

円筒制作の際に使用するフィラメントは、填料として15%の炭素繊維チョップドファイバーが混ぜ込まれたPLA composite carbon fiberを使用することにした。しかしこのフィラメントにはテクニカルデータがなかった為、引張試験を行い解析に必要なヤング率を求めた。

PLA composite carbon fiberを使いダンベル型試験片を制作し、伸び径を取り付け試験を行った。積層方向を図2、ストレート部の埋め方を図3に示す



図2 積層方向 A



図3 層の埋め方 A

結果を表1、図4に示す。

表1 積層方向 A/埋め方 A ヤング率結果

試験片番号	積層方向 A/埋め方 A				
	1	2	3	4	5
断面積 (mm ²)	3.89	3.98	4.55	4.34	4.05
直線近似によるヤング率 (MPa)	5711	6449	5825	6152	5667
平均ヤング率 (MPa)	5961				
標本標準偏差	297				

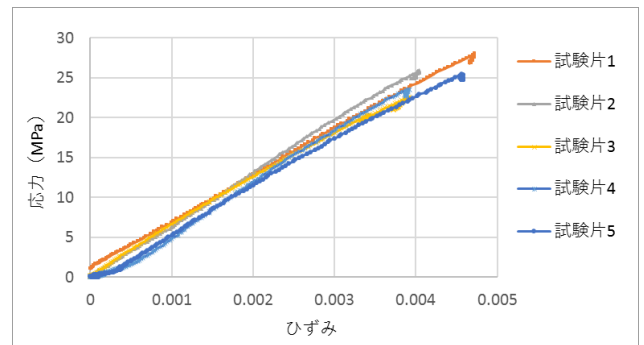


図4 応力-歪線図

2.2 層の埋め方の変更

積層方向 A の時、造形時の層の埋め方を変更し、ヤング率を測定した。埋め方 B は、埋め方 A のような直線のみで埋めていくものから、図5のように外壁部以外を斜めにつぶしていくよう変更したものである。

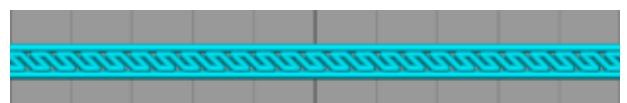


図5 埋め方 B

結果を表 2、図 6 に示す。

表 2 積層方向 A/埋め方 B ヤング率結果

	積層方向 A/埋め方 B		
	1	2	3
試験片番号	1	2	3
断面積 (mm ²)	6.4	6.3	6.2
ヤング率 (MPa)	6860	6354	6765
平均ヤング率 (MPa)	6660		
標本標準偏差	220		

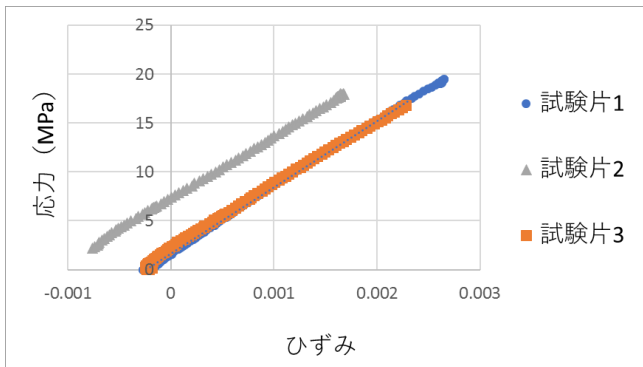


図 6 積層方向 A/埋め方 B 応力-歪線図

結果は6660MPaとなり、埋め方 A より 11% ヤング率が高い結果となり、埋め方によりヤング率の変化が起こることが分かった。

2.3 積層方向の変更

埋め方 A の時、造形時の積層方向を変更しヤング率を測定した。積層方向 B は図 7 のように、造形台から試験片を立てるように造形を行ったものである。

結果を表 3、図 8 に示す。



図 7 積層方向 B

表 3 積層方向 B/埋め方 B ヤング率結果

	積層方向 B/埋め方 A		
	1	2	3
試験片番号	1	2	3
断面積 (mm ²)	18.06	18.70	18.06
ヤング率 (MPa)	1771	1814	2107
平均ヤング率 (MPa)	1897		
標本標準偏差	149		

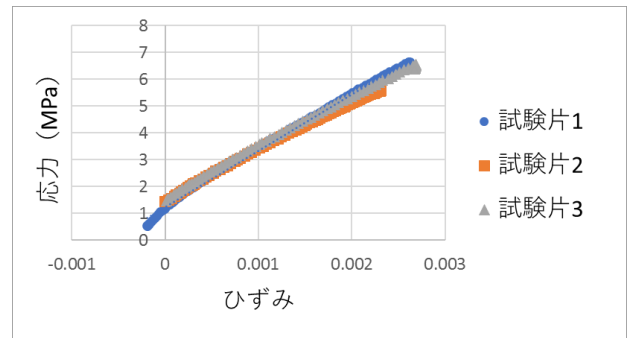


図 8 積層方向 B/埋め方 B 応力-歪線図

平均ヤング率が1897MPaと大きく低下し、積層方向 A より 68%低い結果となった。積層方向によりヤング率が変化することが分かった。

2.4 密度の考察

積層方向を変えることでヤング率が大きく低下する原因を調べるため、ストレート部を切断して断面を観察したところ、図 9 のように十分に中身が埋まっているとは言えないような状態であった。そのため、試験を行った試験片 3 種類について、それぞれの密度の算出を行った。

表 4 に結果を示す。



図 9 断面の確認

表 4 試験片の密度比較

	積層方向 A 埋め方 A	積層方向 A 埋め方 B	積層方向 B 埋め方 A
重量 (g)	0.8	1.1	3.0
ヤング率 (MPa)	5961	6660	1897
体積 (mm ³)	781.5	970.27	3152.5
密度 (g/mm ³)	1.02×10^{-3}	1.13×10^{-3}	9.52×10^{-4}
差 (%)	-	10.7	-6.9

このことから、密度の増減がヤング率の増減に関わっていると言える。しかし密度の増減の量とヤング率の増減の量に比例関係は見られず、密度以外もヤング率の低下に関わっていると推察できる。

造形の面の埋め方や積層方向によって大きくヤング率が変化することが分かった為、部材によって適したヤング率に変えなければ正確な座屈荷重が解析できないことが判明した。しかし、今回はラティス円筒の座屈特性を見るため、一様にヤング率 5961MPa として解析を行った。

3 最適化の条件

図 10 のようにラティス円筒の底面を固定、圧縮荷重をかける。

この時、一番座屈しにくい形状を重量一定という条件のもと有限要素法による解析により求めた。固定条件は実際の圧縮試験を行ったときの条件を反映するよう、底面の接点に対して x,y,z 座標を動かないよう固定し、回転は許した。解析に使用したラティス円筒の寸法は半径 61.12 mm、高さ 51.96 mm である。

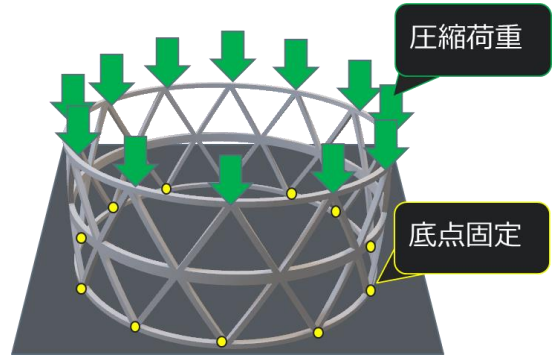


図 10 解析の条件

4 最適化

4.1 水平リブ位置の変更

図 11 のように水平リブの位置を変更し、座屈強度が高くなる場所を求めた。水平リブ位置は 25%、50%、75%、100% の 4 パターンについて解析を行う。

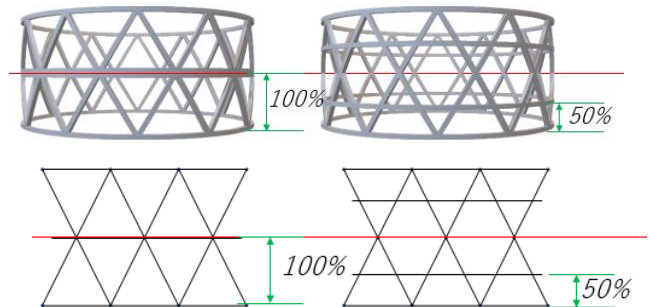


図 11 水平リブ位置の変更

後述の分割数 6 の時に水平リブ位置を変化させた結果を図 12 に示す。

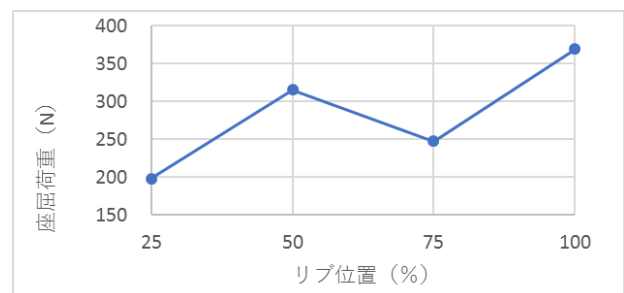


図 12 水平リブ位置変更結果

リブ位置 100% の時に座屈荷重が最大の 369N となった為、一番優れている水平リブの位置は 100% の位置であると言える。

4.2 分割数の変更

図 13 のように、円筒の径は変更せず、斜体リブが入る数を変更して座屈強度が高くなる数を求めた。分割数は 6、8、10、12、14、16、18 の 7 パターンについて行う。ただし、単純に斜体リブ数を増やすとその分重量も大きくなり、比較が困難になる為、表 5 のように全体の重量が一定になるよう斜体リブの縦横比は変えず断面積を変化させた。

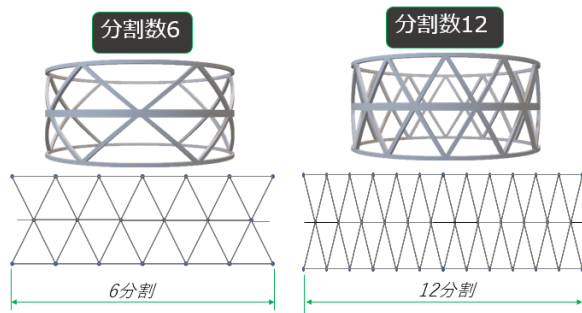


図 13 分割数変更

表 2 重量一定の為の断面積の変化

分割数	幅(mm)	厚さ(mm)	断面積(mm ²)
6	2.46	2.36	5.82
8	2.28	2.19	5.01
10	2.13	2.05	4.36
12	2.00	1.92	3.84
14	1.89	1.81	3.41
16	1.79	1.72	3.06
18	1.70	1.63	2.77

水平リブ位置 100% の時に分割数を変化させた結果を図 14 に示す。

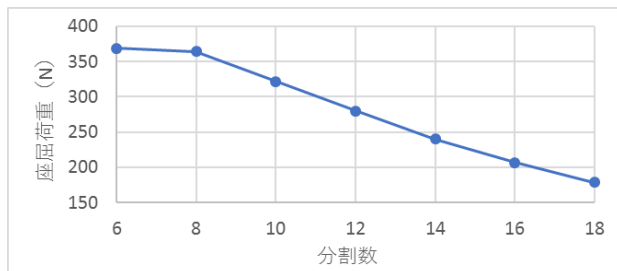


図 14 分割数変更の結果

分割数 6 の時に座屈荷重が最大の 369N となった為、一番適した分割数は 6 分割と言える。

4.3 総当たり解析

水平リブ位置の 4 パターン、分割数の 7 パターンの組み合わせについて総当たり解析を行った。結果を図 15 に示す。

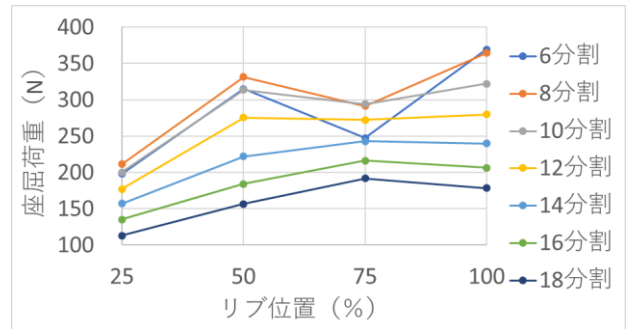


図 15 総当たり解析結果

全てのパターンにおいて解析を行ったが、一番座屈荷重が高くなった形状は変わらず「分割数 6、リブ位置 100%」の時であった。総当たり解析を行うことで分割数によって座屈荷重が最大になるリブ位置が異なることが確認できた。

また分割数 6、リブ位置 75% において座屈強度が大きく低下する原因を、分割数 6 でリブ位置を動かした 4 通りの座屈波形を見ることで考察した。リブ位置 25%、50%、100% の場合の座屈モードは全体座屈であったが、75% の場合は図 16 に示すような局所座屈が起こっていた。このため座屈の低下には局所座屈が関わっていると考えられる。

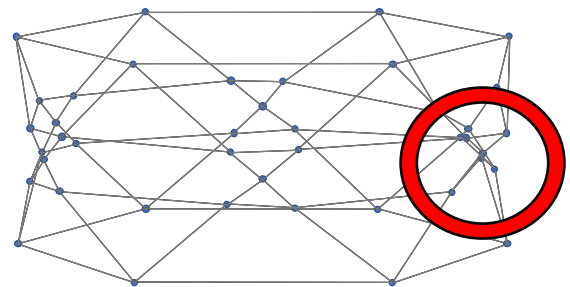


図 16 水平リブ位置 75% の時の局所座屈 (変化量 5 倍)

5 圧縮試験

本研究では最適化ラティス円筒を造形し、ノックダウンファクタを調べることを目的としているが、現時点で造形の条件出しが不十分なため、造形することが出来ていない。そのため最適化された形ではないが、比較的うまく造形できたラティス円筒で圧縮試験を行い、座屈波形を見ることで解析の妥当性を確認した。

試験を行ったラティス円筒は分割数 12、水平リブ位置 100%、半径 22.77mm、全長 17.32 mm がある。解析結果は 1649N の時に図 17 のように座屈するというものであった。結果を図 18、19 に示す。

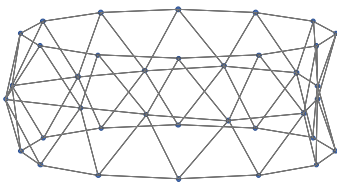


図 17 座屈波形



図 18 観測した座屈波形

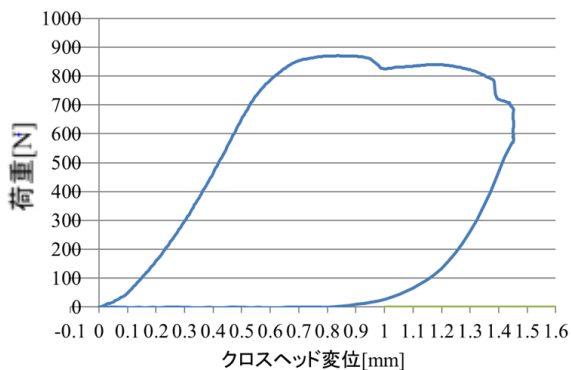


図 19 圧縮試験結果

実験結果は 870N でせん断座屈が起こった。ノックダウンファクタは 52.8%である。

形状不整により正規の座屈が起こる前に中央の水平リブが破壊されてしまった結果せん断座屈が起こった。ただし前述の通り造形の条件出しがうまくいっておらず、試験前に目視で確認できるほど水平リブの造形状態が悪かったため、より良い造形条件を見つけることによって正規の座屈を起こせると考えられる。また座屈した時点での座屈波形は解析の波形と類

似しており、最適化を行った際の接点の拘束の条件が妥当であることが確認できた。

6 結言

本研究では重量一定という条件のもと、斜体リブを増やすことや水平リブを移動させることでラティス円筒の最適形状を解析により求めた。結果は 6 分割、リブ位置 100%の時に座屈強度が最大になることが分かった。またラティス円筒に対して圧縮試験を行ったが、造形がうまくできていないため正規の座屈が起こる前にせん断座屈が起こってしまった。

今後の研究において、今回解析に反映しなかった積層方向によるヤング率の変化を解析に反映していく必要がある。それと同時に造形の条件を見直し最適化ラティス円筒の造形を行い、ノックダウンファクタを調べる必要がある。