

ダイヤカット折り紙円筒の力学挙動と 3D プリンターの可能性

環境構造工学講座 10742 藤田 将史
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

折り紙構造は複雑な構造で、実物を作って実験することが容易ではないため有限要素法を用いた FEM 解析などによるシミュレーションによって力学的挙動を明らかにしようとしてきた。しかしこれらのシミュレーションは条件の設定次第で計算結果が大きく変わってしまい、正しい値が得られているのかが分からない場合がある。そこで秋田大学に近年導入された 3D プリンターを用いて実物を作成し実験を行い、シミュレーションで分からない部分を明らかにしていくことが今回の研究の目的である。

2. 解析手法

解析方法は有限要素解析ツール CaluculiX¹⁾ を用いた FEM 解析とし、ダイヤカット円筒の高さ方向圧縮荷重に対する力学的挙動を見る。荷重は各節点に分割して載荷し、円筒下

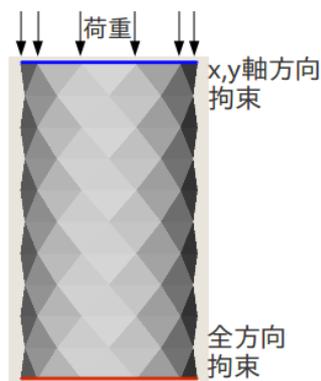


図-1 解析モデル

端は固定、上端の載荷点は水平方向変位を拘束し高さ方向にのみ変位するようにする。図-1 本研究ではダイヤカット円筒を基準となる円筒を展開した一枚の板から作ることで同じ材料量で複数のパターンのダイヤカット円筒の挙動を比較していく。

ダイヤカット円筒の周方向と高さ方向の折り目の数をそれぞれ 4~16 まで 2 刻みで変化させ、高さ方向に同じ圧縮荷重を与える。以下それらの周方向パターンを m 、高さ方向パターンを n とする。

3. 円筒の素材

円筒の素材はアクリル系硬質樹脂 Object FullCure720²⁾ である。この素材の公称値ヤング

率は $2\sim 3\text{GPa}^3)$ であるが、作成からの経過時間などで強度が変化することが予想されたので経過時間毎に引張試験を行ったところ載荷してから長時間に渡ってクリープひずみが発生した。そこで載荷から 30 分経過した時のひずみからヤング率を求めたところ表-1 のような結果となり、平均値から 1.4GPa を計算で用いるヤング率とした。

表-1 素材のヤング率

経過時間	直後	2日	7日	平均
ヤング率 (GPa)	1.138	1.447	1.5987	1.3946

4. 載荷試験

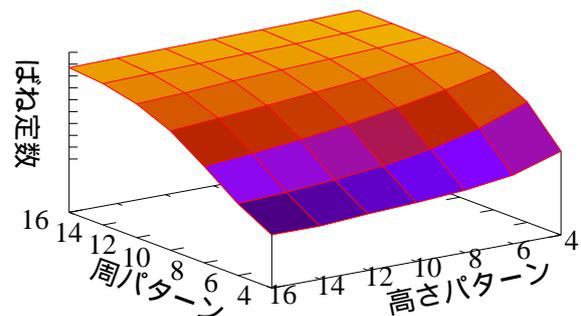


図-2 パターン毎の変位

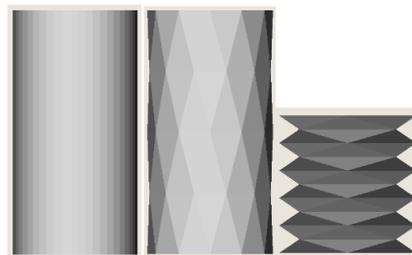


図-3 試験体モデル

円筒高さ方向に 20kgf の荷重を載荷した場合の変位シミュレーションをパターン毎に表すと図-2 のようになる。代表的な形として m が少なく n が多い $m4n10$ 、逆パターンの $m12n4$ のダイヤカット円筒を実験モデルとして選んだ。また比較用に基準となる表面がフラットな円筒も作成した図-3。

試験は衝撃荷重を避けるために 10 秒ごとに 10 秒毎に 1kgf を載荷し合計 20kgf を載荷する。またクリープひずみを考慮し、 20kgf を載荷してから 30 分

間値を取り 30 分間変位の戻りを測定した。载荷から 30 分経過した際の変位を比較するとシミュレーション通り m4n10 より m12n4 の方が強度を發揮した。円筒が最も圧縮に対して強度を示すと考えられていたが、m12n4 とほぼ同じ強度を示した。試験結果と CaluculiX による計算値を比較するとパターンによる強度変化の傾向似ていたが、値が大きく異なった。これは素材強度のばらつきが原因であると考えられ、パターンによる強度変化の傾向をつかむことはできるが、CalculiX と実験での剛性比較は現状では難しいという事が分かった表-2。

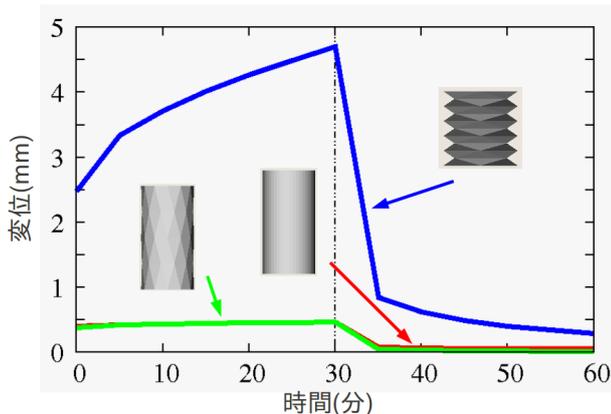


図-4 ダイアカット円筒载荷試験

表-2 変位の比較

モデル	円筒	m12n4	m4n10
実験値 (mm)	0.46	0.46	4.70
計算値 (mm)	0.114	0.116	3.393

5. 破壊試験

圧縮試験機を用いて破壊試験を行い、座屈の様子をシミュレーションと比較した。以下はそれらの比較で、左側の図は解析による座屈シミュレーションで、右側の図は実験での破壊直前のものである。円筒は破壊の直前に下部の局部座屈が起きた図-6。m12n4 は上部で飛び移り座屈が発生し、その部位から破壊した図-8。m4n10 は図-9 のシミュレーションのように上部が座屈することが予想されたが、上部は破壊することなく下部のみが破壊した図-8。また、全てにおいて破壊は脆性的であり、m4n10 は折り目に沿った破壊であったのに対して m12n4 は折り目に関係ない亀裂が多く見られた。

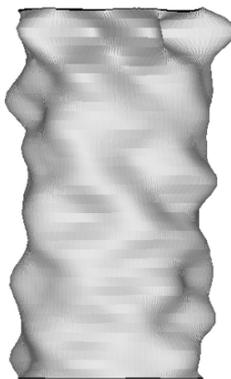


図-5 円筒座屈



図-6 円筒実験

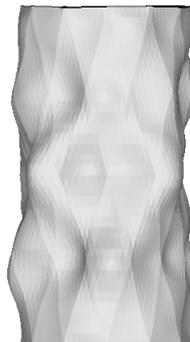


図-7 m12n4 座屈



図-8 m12n4 実験

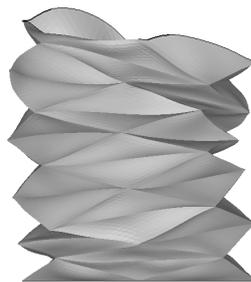


図-9 m4n10 座屈



図-10 m4n10 実験

6. まとめ

今回の実験では CalculiX での解析結果と実験結果での違いを比較することが目的であったが、モデル素材の強度が不安定であり比較できる値を取ることが出来なかった。しかし座屈の形状に関しては座屈シミュレーションに近い変形が実験結果から確認できた。また形状変化による強度変化の傾向もある程度つかむことができた。今後モデルの制作環境の比較、剛性比較に適した樹脂の選定などを行って行くことが課題であるが、将来的に 3D プリンタや樹脂の技術進歩によってこういった比較手法が効果的なものになっていくことが期待される。

参考文献

- 1) <http://www.calculix.de/>
- 2) <http://www.stratasys.com/>
- 3) <http://www.3d-printer.jp/materials.html>