

1. はじめに

コア構造は、少ない材料で高強度が得られることなどから、航空、宇宙機分野で活用されている。最も主流なのがハニカムコア構造であるが、製造コストの高さなどが工業的利用を妨げており、容易に作製できるコアモデルの開発が期待されている。また、ハニカムコア構造は、圧縮に対する強度は高いものの、建設構造で多用される曲げ材料としてみた時に、曲げ部材として一般的に用いられる格子構造と比べて剛性が非常に低いことがわかっている。¹⁾

本研究では、容易に作製でき、曲げ剛性にも有利であろう構造として、折り紙コア構造²⁾に着目した。有限要素解析により、曲げ剛性を算出し、格子構造との剛性を比較する。

2. 解析手法

有限要素解析には、解析ソフトウェア Salome-Meca を用いた。折り紙コアパネルと格子パネル、それぞれ片持ち（先端に線荷重）にし、解析により得られるたわみ量からそれぞれの曲げ剛性を求め比較する。解析条件は表-1 の通りである。

表-1 解析条件

荷重 P	98N
スパン l	130mm 162mm 194mm 226mm
ヤング率 E	$6.83 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.34

(1) 折り紙コアパネル

図-1 の実線を山折り、点線を谷折りにすると立体化され、 4×4 ブロックの、コア構造パネルが得られる。同様に 7×7 ブロックまで作成する。

(2) 格子パネル

スパン、桁間隔、桁高は変えずに、桁幅のみ調整して折り紙コアパネルと同体積のモデルを 4 パターン作成する。

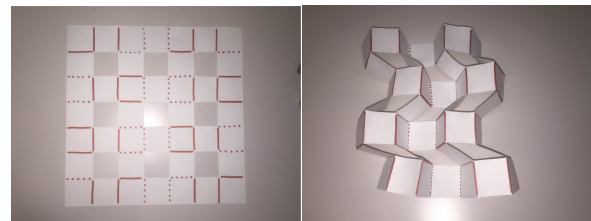


図-1 穴の空いた板

図-2 折り曲げる

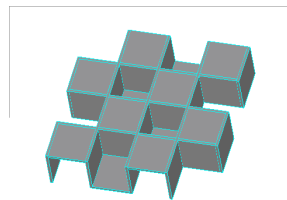


図-3 折り紙 (4×4)

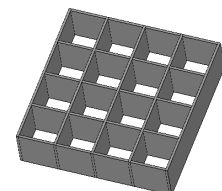


図-4 格子 (4×4)

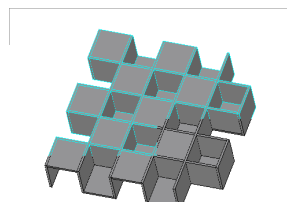


図-5 折り紙 (5×5)

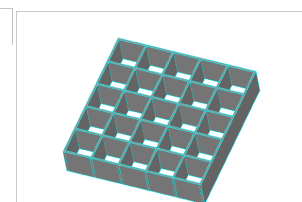


図-6 格子 (5×5)

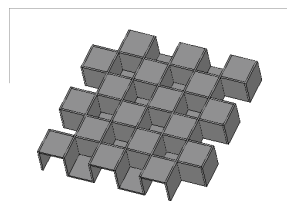


図-7 折り紙 (6×6)

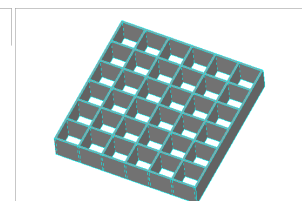


図-8 格子 (6×6)

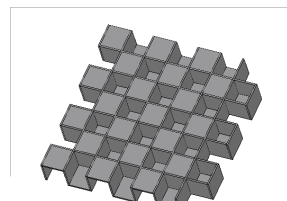


図-9 折り紙 (7×7)

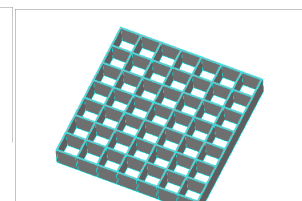


図-10 格子 (7×7)

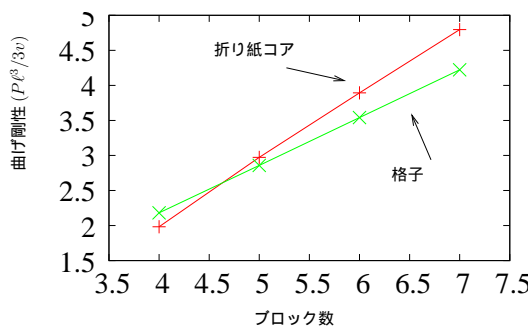
3. 解析結果

Salome-Meca による解析結果から得られるたわみ量から、4×4ブロックから7×7ブロックまで、それぞれ平均たわみ量と最大たわみ量を計算し、曲げ剛性 $EI = \frac{Pl^3}{3v}$ を求めた。

表-2 たわみ量 (mm) 結果

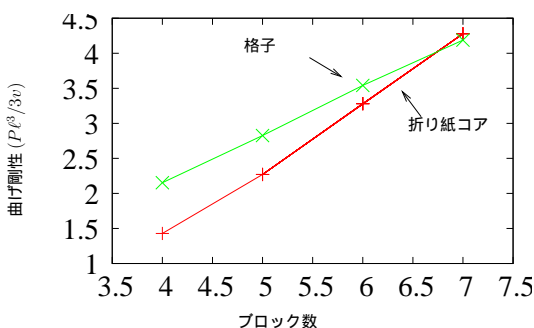
	4×4	5×5	6×6	7×7
折り紙-平均	0.036	0.047	0.061	0.079
格子-平均	0.033	0.049	0.069	0.092
折り紙-最大	0.050	0.061	0.073	0.088
格子-最大	0.033	0.050	0.069	0.093

(1) 平均たわみ量から算出した曲げ剛性の比較



平均たわみ量から曲げ剛性を算出した場合、4×4ブロックでは格子パネルの方が高い剛性を示していたが、5×5ブロックから折り紙コアパネルの方が高い剛性を発揮し始めた。

(2) 最大たわみ量から算出した曲げ剛性の比較



最大たわみ量から曲げ剛性を算出した場合、6×6ブロックまでは格子パネルの方が高い剛性を示していたが、7×7ブロックから折り紙コアパネルの方が高い剛性を発揮し始めた。

4. まとめ

パネルが大規模になるに連れて、折り紙コアパネルは格子パネルよりも高い曲げ剛性を発揮する。ただし、折り紙コアパネルは、最大たわみ量を取った時と、平均たわみ量を取った時の剛性で差が生じた。左右非対称であるために、図-11のように局部的にたわみが大きく生じる部分が出てしまったことが原因であると考えられる。

図-13 図-14 は応力分布の様子である。色が濃い部分が応力が集中している。格子パネルは折り紙コアパネルよりも応力が集中せず分散している。格子パネルは、左右対称的な構造であることから、応力の分布が一様に広がるため、局部座屈を生じにくい構造であると推測できる。

この対称性の有無により、生じる応力分布、たわみ方が異なるため、曲げ剛性一つで建設部材としての有用性を評価することはできないが、折り紙コアパネルが格子パネルに匹敵する高い曲げ剛性を発揮することは検証できた。

さらに多方面からの検証を重ねて、有用性が評価できれば、折り紙コアパネルによって建設設計等の幅や自由度も高くなることが期待される。

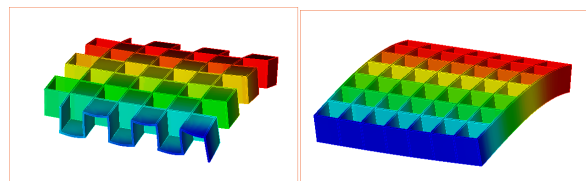


図-11 折り紙コアパネルの変位の様子 図-12 格子パネルの変位の様子

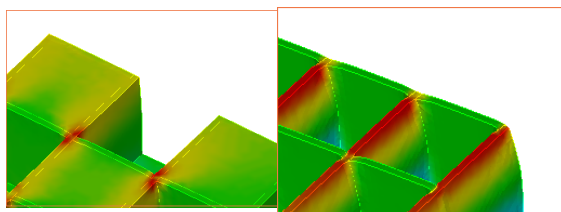


図-13 折り紙コアパネルの応力分布 図-14 格子パネルの応力分布

参考文献

- 1) 大竹壯弥：3D プリンタを用いたハニカムパネルの剛性評価，平成 26 年度，2015.
- 2) 社団法人 日本機械学会産官学連携センター研究協力事業委員会所属「RC235 計算力学援用による折り紙工学の推進とその応用に関する調査研究分科会」