

ハニカムパネルの剛性評価と 3D プリンタの可能性

環境構造工学講座 10741 吹附 茜
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

ハニカム構造とは正六角形または正六角柱を隙間なく並べた構造であり、上下を板でサンドしたハニカムパネルは建築・建設材料として利用されている代表的な例である。この構造は少ない材料で高強度が得られるため、航空機の内装・外装、人工衛星、建築材料などといった様々な分野で利用されている。こうしたハニカムパネルを土木・建設構造で多用される曲げ材料として見たときに、橋桁などの曲げ部材として一般的に用いられる格子パネルと比べて、曲げ剛性や局部座屈の観点から優れているかどうかを有限要素法で確認し、ハニカムパネル構造の曲げ部材としての適用性について考察する。しかし、有限要素法は力学的な知識や経験が必要で万能ツールというわけではない。そこで、本研究では有限要素法に加えて 3D プリンタを用いて実体モデルを作成し、実際に試験を行うことで有限要素法ではわかりづらい部分を明らかにし、解析精度の向上に繋がる可能性があるかどうかを考察する。

2. 解析手法

本研究で用いるモデルは、3D プリンタで印刷することを考慮して上下に板のついていない状態のものとする。また、ハニカムパネルと比較するための格子パネルは、後述するように材料重量がハニカムパネルと同じになるように設定する。モデルは 3D プリンタで印刷し実際に試験できるサイズに合わせる。試験は単純支持で行うが、有限要素法は角などに応力集中が起こりやすく、単純支持で解析するよりも片持ち梁で解析を行った方が応力集中を抑えられるためスパンと載荷する荷重を $\frac{1}{2}$ にして半解析を行う。材料は秋田大学のものづくりセンターで使用できる 3D プリンタで用いられている FullCure720 という樹脂である。実際に印刷した試験体で引張試験を行ったところ、クリープひずみの大きい特殊な

材料であることが判明した。よって今回は引張試験の結果より、比較的安定している載荷後 30 分までのヤング率を用い解析を行った。

(1) ハニカムパネル

図-1 をハニカムセルと呼ぶことにし、正六角形の上底から下底までの長さをセルサイズとする。解析モデルはセルサイズ $\sqrt{3}\text{cm}$ とし、図-2 に示す x 方向 $3\text{cm} \times$ ハニカムセル 3 個、 y 方向 $\sqrt{3}\text{cm} \times$ ハニカムセル 5 個、 z 方向 1cm の寸法とする。

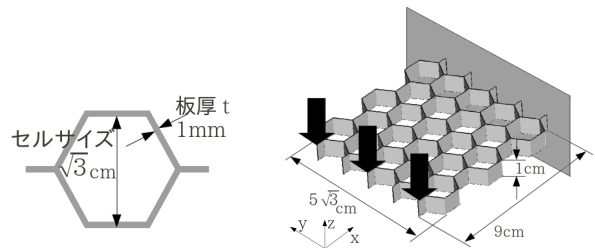


図-1 ハニカムセル

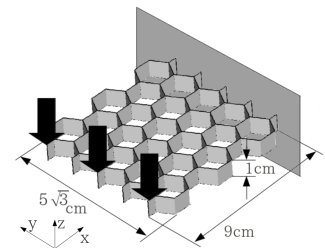


図-2 解析モデル (ハニカム)

(2) 格子パネル

材料重量を同じにしたいため、壁の総長がハニカムパネルとほぼ同じになるようにして格子パネルを作成する。ハニカムパネルの壁の総長は 93cm であるので、これに合わせて正方形の格子パネルを作成し、この正方格子パネルから剛性が上がるように、つまり図-3 のように x 方向に平行な壁の数を一本ずつ増やし、 y 方向に平行な壁の数を一本ずつ減らし、これを繰り返して何種類かの格子パネルについて解析していく。

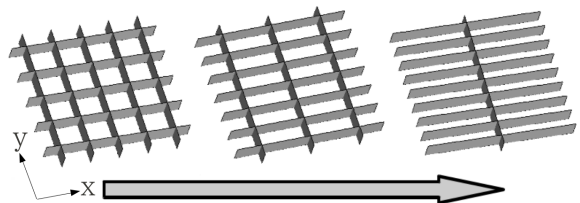


図-3 格子パネル

(3) 試験方法

3D プリンタで印刷したハニカムパネルと正方格子パネルの二種類のモデルを用いて図-4 のように

三点曲げ試験を行う。端部から $\frac{1}{3}$ 点の変位を 5 分ごと 30 分まで測定する。今回は前述した材料特性を考慮し、載荷後 30 分の変位をたわみとした。得られた結果から曲げ剛性 EI を算出する。

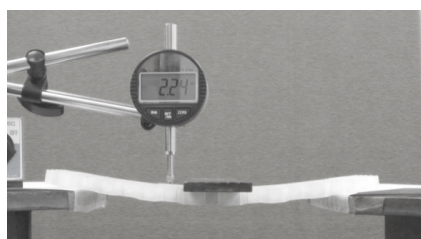


図-4 試験の様子

3. 結果

(1) 曲げ剛性

ハニカムパネルと格子パネルの曲げ剛性の関係を図-5 に示す。 x 軸は原点が正方格子で、右に行くほど格子パネルの壁の数が増える。 y 軸は有限要素法より求めたたわみから曲げ剛性を計算し、各モデルの曲げ剛性を正方格子パネルの曲げ剛性で無次元化したものである。これまでの研究¹⁾で上下に板が付いているモデルについて解析しており、ハニカムパネルより格子パネルの曲げ剛性の方がやや有利であった。しかし、今回解析した板のついていないモデルではハニカムパネルの曲げ剛性が低く、格子パネルの剛性が高いことがはっきりとわかる。また、材料諸元を変えて解析したところ同程度の結果が得られたため、上下に板がついていないために曲げ剛性に極端な差が生じたと考えられる。

実体モデルを用いた試験結果は表-1 に示すとおりである。この試験から算出した曲げ剛性を有限要素法で得られた正方格子パネルの曲げ剛性で無次元化したものを図-5 上にプロットしている。ハニカムパネル、格子パネルともに解析結果よりも曲げ剛性が小さくなっているが有限要素法と同じようにハニカムパネルよりも格子パネルの方が曲げ剛性が大きい結果となった。

表-1 試験結果

	変位 (mm)	曲げ剛性 (MNm ²)
ハニカム	7.21	7.17952915E-08
正方格子	1.29	4.02061289E-07

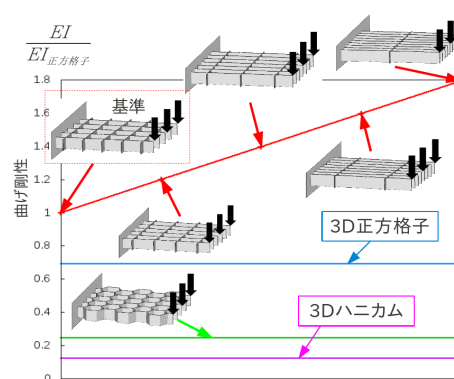


図-5 曲げ剛性

(2) 座屈荷重

ハニカムパネルと格子パネルの座屈荷重の関係を図-6 に示す。 x 軸は原点が正方格子で、右に行くほど格子パネルの壁の数が増える。 y 軸は有限要素法より得られた座屈荷重を、正方格子パネルの座屈荷重で無次元化したものである。今回解析を行った上下に板のついていないモデルでは固定端側で座屈が生じており、ハニカムパネルの座屈荷重の方がどの格子パネルよりも小さいことがわかる。

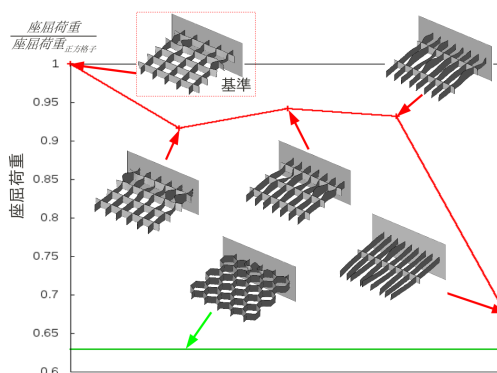


図-6 座屈荷重

4. まとめ

今回の解析結果から、上下に板のついていないハニカムパネルは格子パネルより曲げ剛性、座屈荷重ともに小さいことが、今回のような境界、載荷条件のもとには格子パネルの方が有利であると言える。

また、今回印刷に用いた 3D プリンタの樹脂が非常に特殊であったため試験の信頼性は低かった。しかし、今後扱いやすい樹脂で実体モデルを印刷することができるになれば 3D プリンタによる解析精度の向上の可能性はおおいにあると考える。

参考文献

- 1) 田部井香月：ハニカムパネルの剛性と挙動，平成 24 年度秋田大学修士論文，2013。