

3D プリンタで造形したハニカム板の曲げ挙動

環境構造工学分野 7014827 関塚 昌登
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

ハニカムパネルは、正六角柱チューブを隙間なく充填したハニカム板の上下を板で挟んだ構造であり、剛性や衝撃吸収に優れているため、航空機の内装・外装、人工衛星、建築部材などに利用されている。ハニカムパネルやハニカム板を曲げ部材としてみたときに、剛性について最も有利な構造である格子パネルと比較して、曲げ剛性の観点から優れているかどうかを有限要素法で確認し、曲げ部材としての適用性について考察する。ハニカムパネルなどの複雑な構造では、その力学挙動を予測・評価するのに有限要素法等の数値解析を用いざるを得ないが、要素の種類やメッシュ分割などに極めて敏感で、解の妥当性が検証し難い。3D プリンタを用いて有限要素モデルをそのまま樹脂モデルとして造形し曲げ試験を行うことで有限要素解析の妥当性を検証する可能性についても論じる。

2. 解析手法

本研究で使用する解析モデルおよび造形モデルは3D プリンタで印刷することを考慮し、上下に板のないハニカム板とする。モデル作成、有限要素解析(FEM)はオープンソースCAEソフトウェアSalome-Mecaを用いる。モデル造形には熱溶解積層方式の3DプリンタであるPRN3D-A4を用い、樹脂材料は熱溶解積層方式でよく使用されるPLA樹脂(PLA:Poly Lactic Acid)である。

(1) ハニカム板

図-1をハニカムセルと呼び、正六角形の上底(板厚中心)から下底(板厚中心)までの長さをセルサイズとし、板厚は2mmとする。

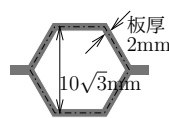


図-1 ハニカムセル

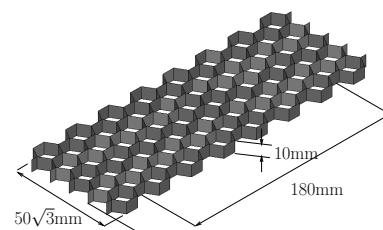


図-2 解析モデル

(2) 格子板

格子板の壁面の総長がハニカム板の壁面の総長に近くなるように作成する。ハニカム板の壁の総長は248mmであるので、これに合わせて格子板を作成する¹⁾。

3. 材料の検証

熱溶解積層方式の3Dプリンタは熱可塑性樹脂である一定の厚さで積層しながら立体物を造形する仕組みのため、その造形物には層状の構造ができ、異方性が生じると考えられる。そこで3Dプリンタで試験モデルに対して曲げ試験と引張試験を行い、ヤング率やクリープなどの材料特性などから異方性の有無を確認した。曲げ試験は図-3の様にスパン100mm, 幅5mm, 厚さ5mmの単純支持3点曲げで、線载荷となるようスパン中央にぶら下げた紐付の容器に重りを1つずつ载荷していき、スパン中央のたわみを測定し、ヤング率を確認する。引張試験は図-4のような引張試験体にフックを吊り下げ、30秒ごとに1kgfの重りを载荷する。試験体に貼ったひずみゲージでひずみを計測し、荷重とひずみの関係からヤング率やクリープなどの材料特性を確認する。



図-3 曲げ試験



図-4 引張試験

曲げ試験の結果を図-5 に示す。積載方向に対して平行な向きに載荷したときにヤング率は 2.42GPa、積載方向に対して直角な向きに載荷したときにヤング率は 2.34GPa と求められる。文献¹⁾の試験では、強軸と弱軸とでヤング率が 2 倍程度も違う異方性が認められたが、今回は異なるプリンタと材料で造形したところ、載荷方向による異方性は小さい。

引張試験の結果を図-6 に示す。30 秒ごとにひずみが一定に増加していることがわかる。文献¹⁾の試験で見られたクリープもほとんど見られない。荷重とたわみの関係からヤング率は 2.79GPa と求められる。

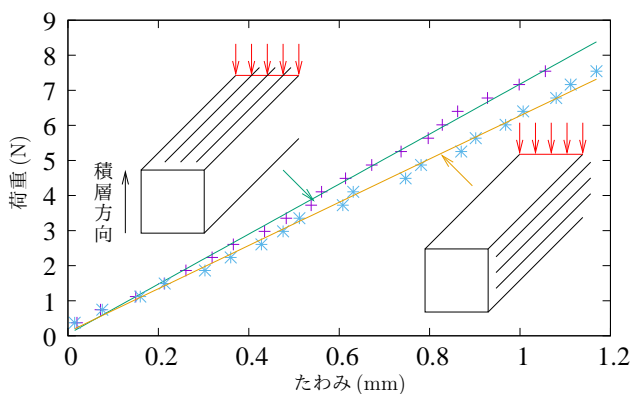


図-5 曲げ試験結果

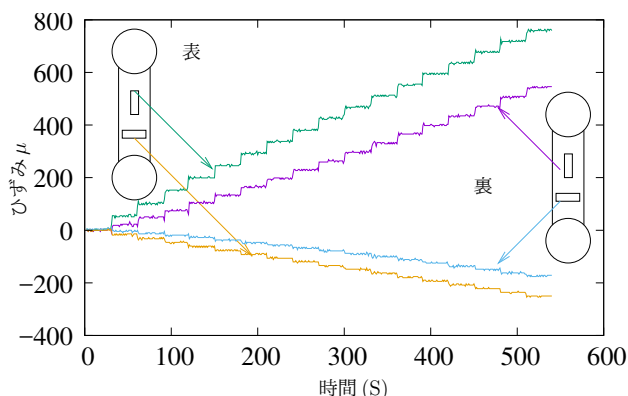


図-6 引張試験結果

4. 曲げ試験

(1) 試験方法

3D プリンタで造形したハニカム板と格子に対し、図-7 図-8 の様なスパン 180mm の三点曲げ試験を行う。約 500gf の板状の重りをスパン中央に載荷し、端部から $\frac{1}{3}$ 点の変位を 30 秒毎 5 分まで測定する。

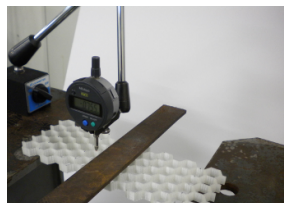


図-7 曲げ試験 (ハニカム板) 図-8 曲げ試験 (格子板)

(2) 試験結果

ハニカム板と格子板の曲げ試験の結果を表-1 に示す。FEM では、より精度が高いと思われる四面体要素のたわみの方がシェル要素のたわみよりもやや小さめである。

表-1 PLA 樹脂モデルの変位 (mm)

	ハニカム板	格子板
FEM(四面体 1 次)	0.351	0.207
FEM(シェル 1 次)	0.377	0.215
実験	0.753	0.316

5. 考察

四面体要素の場合、シェル要素の場合ともに、ハニカム板のたわみが格子板のたわみの 2 倍弱であるのに対して、実験では、ハニカム板のたわみが格子板のたわみの 2 倍強である。更に、実験は FEM よりもたわみが大きめで特にハニカム板では FEM の 2 倍程度である。これは、3D プリンタによる積層の際に、孔や空洞がない連続的で様な曲げ試験片や引張試験片と孔や空洞が周期的に存在する不連続な薄肉構造からなるハニカム板や格子板とでは、積層や材料の硬化の特性が変わるためではないかと考えられる。とはいえ、ハニカム板のたわみが格子板のたわみの約 2 倍程度という傾向は、FEM と実験の両方で確かめられた。今回 使用したフィラメント型の PLA 樹脂は文献¹⁾で使用した液体型の樹脂よりは、異方性とクリープによる影響は少なく、FEM の検証目的で利用できる可能性が出てきたが、まだ形状ごとに積層などの影響を受けていると思われるので、樹脂材料の選定や印刷パターンなど、今後も検討していきたい。

参考文献

- 1) 後藤 文彦, 田部井 香月, 吹附 茜, 大竹 壯弥, 野田 龍: FEM と 3D プリンタを用いたハニカムパネルの挙動解析, 構造工学論文集, Vol. 63A, (CD-ROM), pp.28-35, (2017/3).