

K6-65

## 軽量かつコンパクトな複合構造ロボットアームの理論解析と実験的評価 Theoretical Analysis and Experimental Evaluation of a Lightweight and Compact Robot arm Using Hybrid Structure

○増田政徳<sup>1</sup>, 築井佑弥<sup>2</sup>, 渡辺亨<sup>3</sup>  
Masanori Masuda<sup>1</sup>, Yuya Chikui<sup>2</sup>, Toru Watanabe<sup>3</sup>

A novel composite structure arm for astronautical development by using honeycomb core is already presented. Materials used in astronautical development should be compact and lightweight in order to save the launch cost. Honeycomb structure is one of lightweight material, and already used in astronautical field mainly for large panels. In this study, experimental evaluation of the presented arm is carried out. Thickness direction bending and width direction bending stiffness is investigated in this study.

### 1. 緒言

宇宙開発分野に用いられる資材は、軽量、高強度、省スペースであるということが重要である。軽量ロボットアームの研究では軽量化による剛性の低下と、破損や振動が問題となる。そこで、ハニカムサンドイッチ構造をアーム部材に適用することが提案されている。その有効性は、先行研究によって有限要素法による確認がされている。

### 2. 目的

本研究では、構造部材としては板材としての使用が主なハニカムサンドイッチ構造を棒状にして運用することを提案している。そこで、曲げ試験及び解析から、厚さ方向と幅方向それぞれの特性を検証する。

### 3. 部材構造

本研究では、Makerbot 社製の THE MAKERBOT REPLICATOR+という 3D プリンタにて一体成型したハニカムサンドイッチ構造を用いる。材質はポリ乳酸 (PLA)である<sup>[1]</sup>。

### 4. 実験手順

#### 4. 1 実験に用いた試験片

本研究で使用するハニカムサンドイッチ構造試験片及び試験片モデルの寸法を以下に示す。

実際に宇宙で使われている円筒形の SRMS(Shuttle Remote Manipulator System)を参考にし、これの内径に内接するようハニカムサンドイッチ構造試験片を設計した。

寸法はアスペクト比(幅/厚さ)が 1 に可能な限り近くよう設定した。

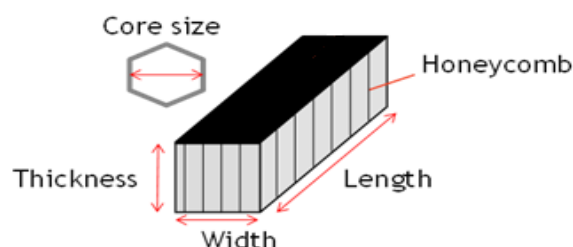


Figure1. Honeycomb sandwich test pieces

Table1. Honeycomb sandwich test pieces size

Core size[mm]	3.08
Thickness [mm]	22.0
Width [mm]	19.2
Length [mm]	240

#### 4. 2 4点曲げ理論解析・試験

ハニカムサンドイッチ構造を棒状にした場合、厚さ方向と幅方向でどれだけの剛性が得られるかを曲げ試験及び解析によって調べる。試験はアスペクト比を 1.0 とし、同一規格の試験片をそれぞれ 3 つ用いる。上部 2 点に 1000N の荷重をかけ、下部 2 点を支持させる。試験片にたわみを与える速度は 0.5mm/min として、支点間距離 210mm、荷重点間距離 70mm で 4 点曲げによる試験を行なう。得られた荷重とたわみから曲げ剛性を求める。

1 : 日本大学・学部・機械 2 : 日本大学・院(前)・機械 3: 日本大学・教員・機械

5. 試験結果

5. 1 4点曲げ理論解析の結果

解析ソフト Creo Simulate による、試験片モデルを用いた 4 点曲げ理論解析を行った。理論解析で得られた最大変位の数値を元に解析における曲げ剛性の理論値を算出した。その時の各値を Table.2 に示す。

Table.2 Analytical result(bending stiffness)

	thickness direction	width direction
Maximum displacement [mm]	3.02	9.18
Bending stiffness [Nm <sup>2</sup> ]	63.90	21.00
Weight [g]	59.00	59.00
Bending stiffness per unit weight [Nm <sup>2</sup> /g]	1.083	0.356

厚さ方向の比剛性の値が幅方向のそれを大きく上回った。一般的にハニカムコアは厚さ方向に強く、幅方向には弱い性質があることが知られており、今回の解析結果もそれと同様のことが言えると考えられる。

5. 2 4点曲げ試験の結果

4 点曲げ試験は、データの偏りを少なくするために試験片を 3 つ用意してそれぞれに行った。厚さ方向、幅方向の荷重-変位線図を、figure2 及び 3 に示す。

また、グラフの一部を取得して、最小二乗法により各試験片の曲げ剛性を求めた。3 つの試験片それぞれにおいて算出し、平均したものを table3 に示す。

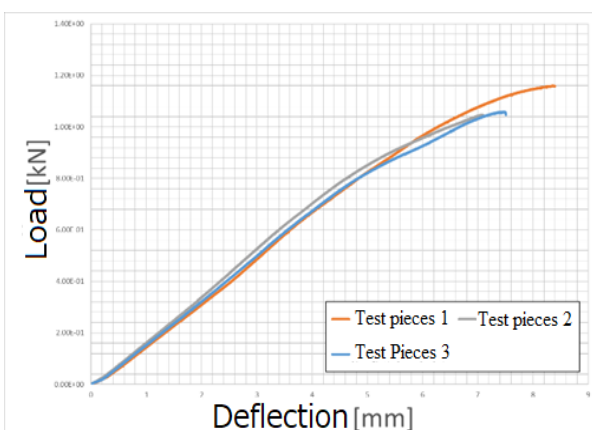


Figure2. Load deflection diagram (thickness direction)

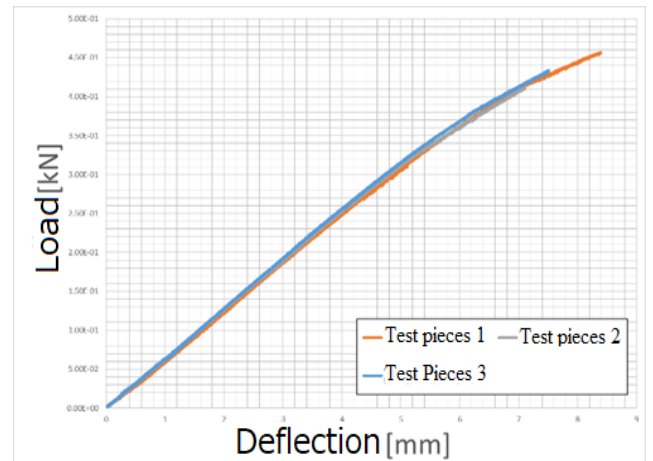


Figure3. Load deflection diagram (width direction)

Table.3 Experimental result (bending stiffness)

	thickness direction	width direction
Displacement at break [mm]	3.43	11.06
Bending stiffness [Nm <sup>2</sup> ]	32.72	12.43
Weight [g]	59.00	59.00
Bending stiffness per unit weight [Nm <sup>2</sup> /g]	0.555	0.211

単位重量当たりの曲げ剛性の解析結果を実験結果で割った値は、厚さ方向が 1.95、幅方向が 1.69 となった。この値は 1 に近い程実験値と理論値が近いことを示す。

幅方向に対して厚さ方向の方がより理論値と実験値に差があった。3D プリンタで成型されたものは積層構造となるため層間剥離を生じやすい。本実験において厚さ方向に曲げた試験片は 3 本とも同じ個所できれいに割れているため層間剥離を原因と考えるのは妥当である。

6. 結言

厚さ及び幅方向への 4 点曲げ試験を、Creo Simulate による理論解析と実験を行い、曲げ剛性を検証した。

理論解析と実験結果の比較から十分な剛性を得られていることは確認できたが、積層構造の影響に関しては改善の余地があると考えられる。

7. 今後の展望

今回は曲げ剛性のみを求めたが、実際のロボットアームにおいてはねじり荷重も影響するため、振り剛性も調査したい。

8. 参考文献

[1]本間精一:設計者のためのプラスチックの強度特性, pp.44-74, 2010 年