

K4-43

ハニカム構造を用いたロボットアームの形状と剛性の研究
Study on Relationship between Rigidity and Cross-Sectional Shape on Robot Arm
Using Honeycomb Structure .

○伊藤大輝¹, 横田一太², 渡辺亨³
 Daiki Ito¹, Kazuhiro Yokota², Toru Watanabe³

This paper proposes a novel lightweight robot arm for astronomical development by using honeycomb structure. In astronomical development, all the launched objects should possess lightweight and compact to save launch cost. Honeycomb structure is one of such lightweight material and already used in astronomical field mainly for large panels. Besides, Carbon-Fiber Reinforced Plastic (CFRP) is already known to be a lightweight and strong material. In this study, we propose to apply honeycomb structure with CFRP to realize lightweight and compact arm. A prototype using CFRP plates and aluminum honeycomb is produced and its mechanical property is investigated experimentally. The effect of cross-sectional shape and size of honeycomb core onto the mechanical property is also investigated.

1. 諸言

宇宙分野では軽量, 高強度, 省スペースであることが重要になる。以前の研究においてハニカムサンドイッチ構造を細長い棒状としてロボットアームのアーム部材に適用し, 軽量, 省スペースかつ高剛性の軽量宇宙用ロボットアームを提案し, その優位性について示唆した。^[1] これにあたってハニカムロボットアームの最適と考えられる形状と, 重量を対象とした, 軽量ロボットアームの優位性を理論解析および以前より厳密な実験により調べる。

2. 目的

ハニカムサンドイッチ構造の試験片による理論解析と曲げ試験を行い, それぞれの結果を比較することにより, 適した形状でのアームの優位性を検証する。

3. 部材構造

本研究では芯材にはアルミニウムでできたハニカム構造を, 板材は軽量で剛性が高い CFRP を用いたハニカムサンドイッチ構造を用いる。^{[2][3]}

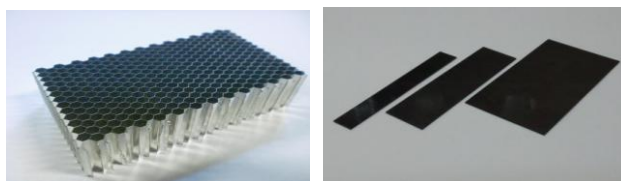


Figure.1 Honeycomb structure, CFRP

4. 理論解析

解析ソフトを用いて仮想的に 3 点曲げ試験を再現し曲げ剛性の算出を行った。

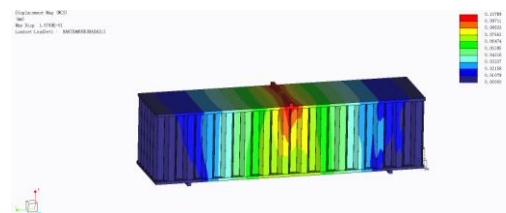
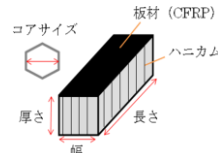


Figure.2 Creo simulate

その際の試験片の寸法は以下の通りである。



コアサイズ(mm)	3.2		
幅(mm)	11.5	21.3	40.9
CFRP板厚(mm)	0.8		
長さ(mm)	80		
厚さ(mm)	21.6		

Figure.3 Size of test piece (bending test)

5. 検証試験

曲げ剛性を実験的に算出するために 3 点曲げ試験を行った。その際の試験片の寸法は以下の通りである。

Table.1 Size of test piece (simulation)

コアサイズ(mm)	3.2		
幅(mm)	12	22	41
CFRP板厚(mm)	0.8		
長さ(mm)	80		
厚さ(mm)	21.6		

曲げ試験を引張圧縮試験機により行う。

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・院(前)・機械 3 : 日大理工・教員・機械

曲げ剛性 EI , 荷重 w , たわみ v の関係は次式で表され, この式を用いて曲げ剛性を求める. [4]

$$v = \frac{\sqrt{3}}{27} \times \frac{wa(l^2 - a^2)^{3/2}}{EI \times l} \quad (1)$$

5. 試験結果と解析結果

試験結果の一例としてコアサイズ 3.2mm, 幅 22mm の試験データを以下に示す.

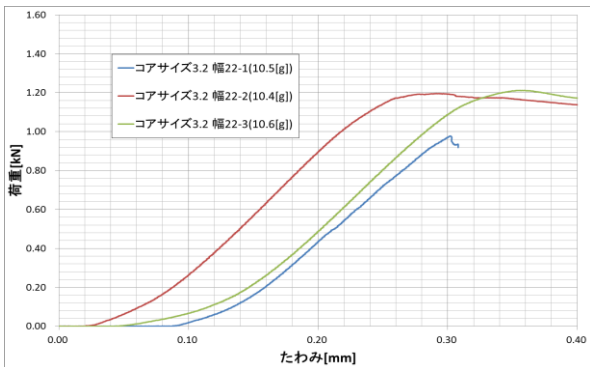


Figure.4 Core 3.2[mm], Width 22[mm] result

次に, 図 4 の結果から算出した曲げ剛性を以下に示す.

Table.2 Test result

コアサイズ[mm]	3.2		
コア数[個]	3	6	12
幅[mm]	12	22	41
厚さ[mm]	21.6		
重さ[g]	5.43	11.3	22.47
アスペクト比[-]	0.56	1.02	1.90
曲げ剛性[N・m ²]	12.67	27.95	47.71
単位重量当たりの曲げ剛性[N・m ² /g]	2.33	2.47	2.12

次に理論解析から算出した曲げ剛性を以下に示す.

Table.3 simulation result

コアサイズ[mm]	3.2		
コア数[個]	3	6	12
幅[mm]	11.5	21.3	40.9
厚さ[mm]	21.6		
重さ[g]	3.94	7.3	14.03
アスペクト比[-]	0.53	0.99	1.89
曲げ剛性[N・m ²]	21.04	41.71	81.33
単位重量当たりの曲げ剛性[N・m ² /g]	5.34	5.71	5.80

次に表 2,3 からアスペクト比と単位重量当たりの曲げ剛性の関係を図 5,6 に示す.

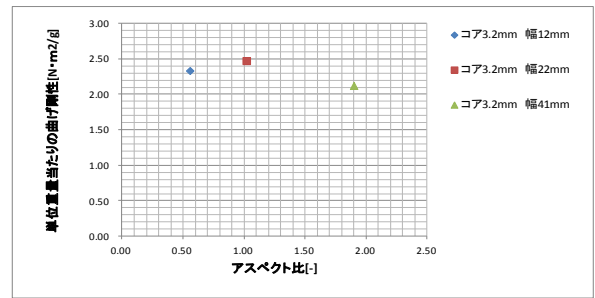


Figure.5 Relation between Bending stiffness and Weight (bending test)

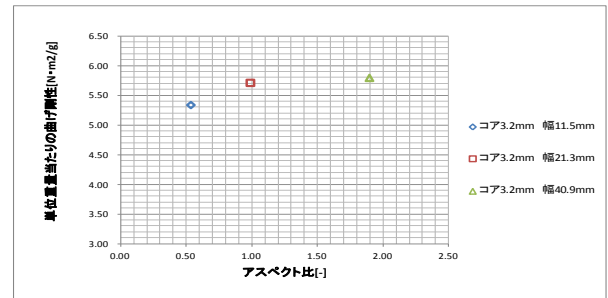


Figure.6 Relation between Bending stiffness and Weight (simulation)

図 5,6 から, 試験結果と解析結果ともに断面が正方形に近いときに安定して高い比剛性が得られた. しかしながら断面が正方形に近いと効率的となる力学的な理由は不明であるため, 今後は理論的ならびにより厳密な実験的検討が必要である. また理論値と実験値の誤差は, 解析モデルの細部が実物と違う可能性がある. そのため実物の細部を厳密に計測し, 計測結果を解析モデルにフィードバックすることが必要である.

7. 結言

検証試験と理論解析の結果から断面が正方形に近い時に理論値との誤差が少ない高剛性を発揮することが確認された. この結果からハニカムサンドイッチ構造をアームとして用いることは合理的であると考えられる. 今年度はアスペクト比をさらに理想の数値により近づけるためハニカム素材の配列パターンを変化させ, その有効性を確認したいと考える.

8. 参考文献

- [1] 横山 朋弘, ハニカム構造と CFRP を用いた超軽量宇宙用ロボットアームの研究, 日本大学大学院理工学研究科, P22-28, 2013
- [2] 宮入 裕夫, サンドイッチ構造, 養賢堂, P21, 2008
- [3] 佐藤 孝, ハニカム構造材料の応用, 株式会社シーエムシー出版, P125-158, 1995
- [4] 新沢 順悦 他, 例題演習 材料力学, P75, 1985