

K6-25

ハニカム構造を用いた超軽量宇宙用ロボットアームの比強度に関する研究

Study on Specific Strength of astronomical Ultra Lightweight Robot Arm by Using Honeycomb Structure .

○谷内彬朗¹, 横田一太², 伊藤大輝², 渡辺亨³
Akira Taniuchi¹, Kazuhiro Yokota², Daiki Ito², 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

宇宙開発分野においては軽量, 高強度, 省スペースであるということが重要になる。

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に起因する破損や振動が問題となっている。そこでハニカムサンドイッチ構造をロボットアームのアーム部材に適用することを提案する。^[1] このとき, 最適と考えられる部材の形状と, 重量を対象とした, 軽量ロボットアームの優位性を調べる。

2. 目的

ハニカムサンドイッチ構造ベースのアーム部材を提案する。また, ハニカムサンドイッチ構造の試験片による曲げ試験により, 適した形状でのアームの優位性を検証する。

3. 部材構造

本研究ではハニカムサンドイッチ構造を用いる。芯材に強度をあまり損なわず軽量化が可能なハニカム構造を, 板材には軽量で剛性が高い CFRP を用いる。^{[2][3]}

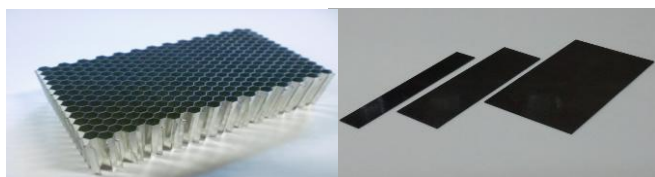


Figure.1 Honeycomb structure, CFRP

ハニカムサンドイッチ構造を細長い棒状にして Figure.2 のようなアームを提案する。

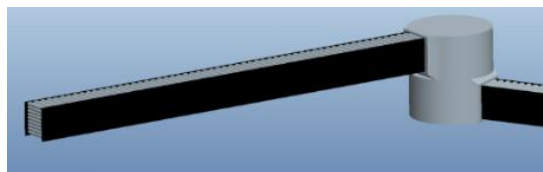


Figure.2 Honeycomb robot arm

4. 検証試験

ハニカム構造でどれだけの剛性を得られるかを曲げ試験によって調べる。本研究で使用する試験片の寸法を以下に示し, コアサイズ 3.2mm, 幅 19.2mm, 厚さ 21.6mm を基本形状とし, 検証結果を論ずる。

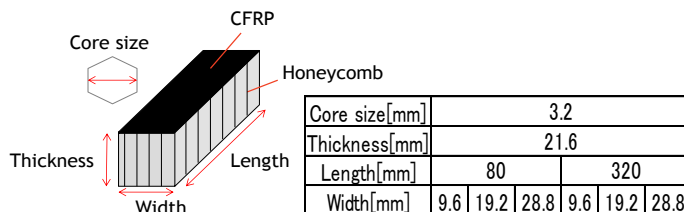


Figure.3 Test piece

引張圧縮試験機により曲げ試験を行う。試験は 1 パターンの試験片につき 3 回行い, 試験片にたわみを与える速度は 1mm/min とする。

曲げ試験において, 我々の想定しているロボットアームは曲げ力が優位となるため, せん断力が優位とな

らないように 2 つの方法を用いる。ひとつは、全長の短い 80mm の試験片で四点曲げ試験により分散荷重を加える。もうひとつは、全長を 320mm と長いものにする。これにより曲げ力が優位な条件で三点曲げを行う。これらは、我々の持つ機材では実験が困難なため、有限要素ソフトを用いた理論解析により検討する。

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

理論解析の結果から比強度を算出する。解析結果を Table.1, Table.2 に示す。

Table.1 Test result (length:80 millimeter)

Core size[mm]	3.2		
Thickness[mm]	21.6		
Length[mm]	80		
Width[mm]	9.60	19.20	28.80
Aspect ratio[-]	0.44	0.89	1.33
Weight[g]	5.94	12.58	18.50
Bending stiffness[N・mm ²]	53.26	112.90	54.00
Bending stiffness par weight[N・mm ² /g]	8.97	8.98	2.92

Table.2 Test result (length:320 millimeter)

Core size[mm]	3.2		
Thickness[mm]	21.6		
Length[mm]	320		
Width[mm]	9.60	19.20	28.80
Aspect ratio[-]	0.44	0.89	1.33
Weight[g]	24.17	48.34	72.50
Bending stiffness[N・mm ²]	229.00	237.30	239.00
Bending stiffness par weight[N・mm ² /g]	9.47	4.91	3.29

次に Table.1, Table.2 よりアスペクト比と単位重量当たりの曲げ剛性の関係を Figure.4, Figure.5 に示す。

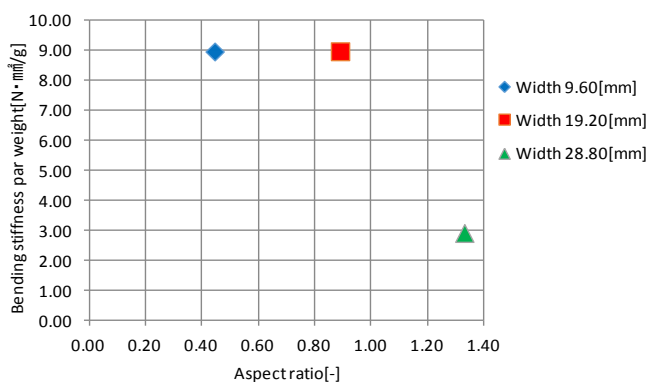


Figure.4 Relation between Bending stiffness per Weight and Aspect ratio (length:80 millimeter)

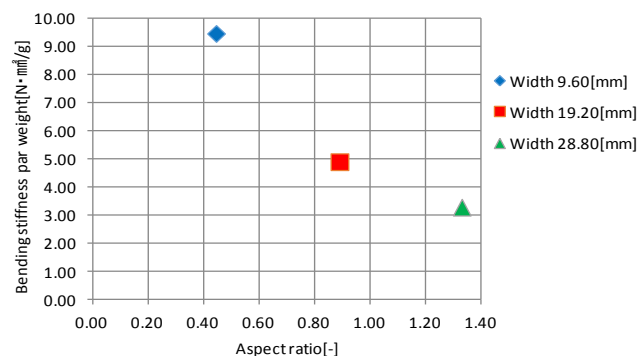


Figure.5 Relation between Bending stiffness per Weight and Aspect ratio (length:320 millimeter)

解析の結果, Table.1, Figure.4 より、全長 80mm の短い試験片ではアスペクト比が 1 に最も近い 0.89 の時、曲げ剛性、比強度ともに最大となった。

Table.2, Figure.5 より、全長が伸びた場合、アスペクト比によらず曲げ剛性に大きな差は見られず、そのためアスペクト比が小さい程比強度は大きくなった。このことから、純曲げの状態では、全長が長くなるにつれアスペクト比が小さいほうが効率は良いと考える。

以上より、比強度は全長が短い場合など、せん断力が働く場合はアスペクト比が 1.0 付近の方が優位、曲げの力が働く場合は 1.0 以下の方が優位であると考え

6. 結言

提案するアームの優位性について、より厳密なモデルを用いた理論的検討を行ない、提案するアームの優位性は曲げ力が卓越する領域で高まることが確認された。曲げ力が卓越する宇宙空間で使用するロボットアーム部材としてハニカムサンドイッチ構造を適用することの優位性が再確認された。

今年度は、より曲げ力が優位となる曲げ試験を行なえるような実験器具を用意し、実際に試験片を用いた検証を行う。

7. 参考文献

- [1] 宮入 裕夫：サンドイッチ構造，養賢堂，P21，2008
- [2] 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
- [3] 石崎 澁雄：軽量構造の力学，コロナ社，P356，1966
- [4] 新沢 順悦 他，例題演習 材料力学，P75，1985