

B-42

一体成形したハニカム軽量ロボットアームの比剛性に関する理論的・実験的評価
 Theoretical and Experimental Evaluation on Specific Stiffness of a Integrally-Shaped Lightweight Honeycomb
 Robotic Arm

○藤野太熙¹, 増田政徳², 渡辺亨³
 Taiki Fujino¹, Masanori Masuda², Toru Watanabe³

This study deals with a novel robotic arm for astronomical development by using honeycomb structure. Space robotic arm should possess lightweight, high-rigidity and compact. In this study, Honeycomb sandwich structure is introduced to realize compact and lightweight arm. To avoid the influence of adherence, the experimental specimens are integrally shaped by using 3D printer. Theoretical and experimental evaluation of the integrally shaped honeycomb arm is carried out. Comparison with SRMM (Canada arm), the partial superiority of the presented honeycomb arm is confirmed. Besides, the integral shaping using 3D printer is confirmed to be effective to avoid the influence of adherence.

1. 緒言

宇宙で使用するロボットアームは、軽量、高剛性、省スペースである必要がある。そこで本研究は軽量かつ高剛性のハニカム構造に着目した。一般的にこの構造は板材に用いられているが、ここでは棒状のハニカム構造の剛性について検討する。その際、ハニカム構造のコアを板材で挟んだ形状の部材を 3D プリンタで一体成形し、実験を行う。

2. 目的

ハニカム構造の試験片モデルを有限要素解析ソフトウェアにて、曲げとねじり剛性の理論値解析を行う。そして、試験片の実験結果との比較を行う。また、実際の試験片と宇宙用アームとして用いられる SRMS(丸パイプ型)の比剛性も比較する。

3. 試験方法

3.1 試験片

本実験で使用するハニカムサンドイッチ構造の試験片形状を Fig.1 に、その寸法を Table.1 に示す。また、丸パイプ試験片は実際の SRMS の内外径比を基に、外形にハニカム試験片が内接するように設計した。¹⁾その寸法を Table.2 に示す。

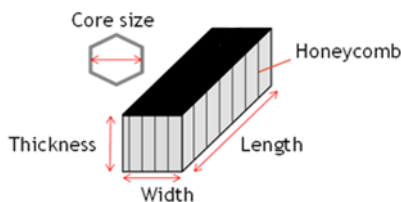


Fig.1 Honeycomb arm test piece

Table.1 Size of honeycomb arm test piece

厚さ[mm]	21
幅[mm]	21
長さ[mm]	240
コアサイズ[mm]	3
板厚[mm]	1.6

Table.2 Size of pipe test piece

外径[mm]	29.7
内径[mm]	27.0
長さ[mm]	240

3.2 曲げ試験

Fig.2 のように四点曲げ試験を行った。曲げ実験は厚さ、幅方向それぞれについて 3 回ずつ行い平均をとった。荷重点間距離 70[mm]に 1000[N]の荷重 P を加え、支点間距離 210[mm]で支えた。たわみを与える速度は 0.5[mm/min]とした。

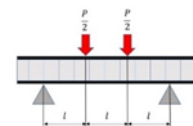


Fig.2 Bending test

3.3 ねじり試験

Fig.3 のようにねじり試験を行った。ねじり実験も 3 回行い平均をとった。ねじりモーメント T は 10[N・m]とした。

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

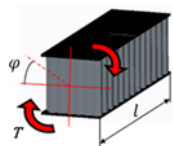


Fig.3 Torsion test

4. 試験結果

4.1 理論解析結果

4.1.1 曲げ解析 有限要素解析によってハニカムアームの厚さ方向及び幅方向、丸パイプの曲げ剛性を得た。これらを Table.3 にまとめる。

Table.3 Result of bending analysis

	厚さ方向	幅方向	丸パイプ
最大変位[mm]	3.383	5.6079	6.547
曲げ剛性[Nm ²]	48.6	29.3	25.1
質量[g]	66	36	
単位重量当たりの曲げ剛性[Nm ² /g]	0.736	0.444	0.695

ハニカム構造は厚さ方向への曲げ剛性において丸パイプよりも優れていることが分かった。しかし幅方向への曲げ剛性は丸パイプよりも劣ることを確認した。

4.1.2 ねじり解析 曲げ解析と同じ方法にてハニカムアームと丸パイプアームのねじり剛性を得、その結果を Table.4 にまとめる。

Table.4 Result of torsional analysis

	ハニカム	丸パイプ
ねじり角[rad]	0.163	0.063
ねじり剛性[Nm ²]	14.7	38.1
質量[g]	66	36
単位重量当たりのねじり剛性[Nm ² /g]	0.22	1.05

これにより、ねじり剛性に関してハニカム構造は丸パイプに対し大きく下回ってしまったことがわかる。

4.2 実験結果

4.2.1 曲げ実験 四点曲げ実験によってハニカムアームの厚さ方向及び幅方向の曲げ剛性を得た結果を Table.5 にまとめる。

Table.5 Result of bending test

	厚さ方向	幅方向
曲げ剛性[Nm ²]	24.3	13.2
質量[g]	66	66
単位重量当たりの曲げ剛性[Nm ² /g]	0.368	0.199

4.2.2 ねじり実験 ねじり実験によってハニカムアームのねじり剛性を得た結果を Table.6 に示す。

Table.6 Result of torsional test

ねじり剛性[Nm ²]	6.49
質量[g]	66
単位重量当たりのねじり剛性[Nm ² /g]	0.10

4.3 ハニカムアームの解析と実験結果の比較

両結果の比較を Table.7 に示す。また、実験値の解析値に対する割合を Fig.4 に示す。

Table.7 Comparison of analysis value and experiment value

	実験結果	解析結果
単位重量当たりの曲げ剛性(厚さ方向)[Nm ² /g]	0.368	0.736
単位重量当たりの曲げ剛性(幅方向)[Nm ² /g]	0.199	0.444
単位重量当たりのねじり剛性[Nm ² /g]	0.1	0.22

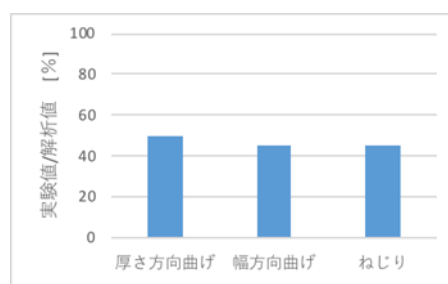


Fig.4 Ratio of experiment value to analysis value

Fig.4 から、3D プリンタを用いたハニカムアームの剛性の実験値は解析値の 45%~50% に収まることが予想され、有限要素解析からある程度の実験値の予測が期待できると考えられる。理論値に対して実験値がその 50% という事実は、理論モデルに対して実物には剛性の低下を招く要因があるものと考えられ、それは 3D プリンタで出力する際、層状に積み上げる事であると推察される。

5. 結言・今後について

理論解析により、ハニカムサンドイッチ構造を用いたロボットアームは従来の丸パイプ型アームに比べてある程度の優位性を持つことがわかった。今後については、今後は厚さ方向の剛性を活かしつつ幅方向とねじりに弱いことを補える形状を検討していきたい。

参考文献

[1] The Shuttle Remote Manipulator System–The Canadarm :http://www.ieee.ca/millennium/canadarm/canadarm_technical.html
 [2] 日下貴之:材料力学入門, 数理工学社, (2016), p.223.
 [3] 立野 昌義 他:基礎から学ぶ材料力学, オーム社, (2013),p81