

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

○平谷翼¹, 築井佑弥², 渡辺亨³

Tsubasa Hiraya¹, Yuya Chikui², Toru Watanabe³

A novel composite structure arm for astronomical development by using CFRP and honeycomb core is already presented. Materials used in astronomical development should be compact and lightweight in order to save the launch cost. Honeycomb structure is one of lightweight material, and already used in astronomical field mainly for large panels. Besides, Carbon-Fiber Reinforced Plastic (CFRP) is known to be a lightweight and strong material. In this study, experimental evaluation of the presented arm is carried out. As superiority in parallel core bending specific stiffness is already presented in previous studies, cross core bending and torsional specific 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、曲げ試験及びねじり試験から、アーム部材の優位性を実験的に検証し、さらに解析では、実際に宇宙で使用された SRMS との曲げ剛性及びねじり剛性の比較を行い、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。芯材にはアルミハニカムを、板材には軽量で剛性の高い CFRP を用いる。1, 2)

4. 実験手順

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。

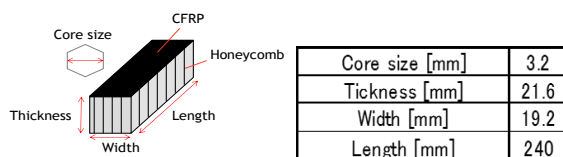


Fig.1 Honeycomb sandwich

ハニカムサンドイッチ構造の試験片では、幅 19.2mm、厚さ 21.6mm の、アスペクト比(幅/厚さ)が 1 に最も近い試験片を基本形状とし、検証結果を論ずる。

SRMS の試験片モデルはハニカムサンドイッチ構造が外接する径で長さの等しい中空円筒とした。

4. 1 荷重曲げ (コア直交方向)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、コア直交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。更に解析では SRMS との曲げ剛性の比較を行う。

4. 2 ねじり理論解析・試験

MS 曲げ試験と同様に、ねじり試験及び解析からねじり剛性を調べる。ねじり試験は曲げ試験と同様に同一規格の試験片を 3 つ行った。振り試験機の回転速度は 18.1 deg/min とした。得られたねじり角、ねじりモーメントから、ねじり剛性を求める。更に解析では、SRMS とのねじり剛性の比較を行う。

5. 試験結果

5. 1 コア直交方向 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

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

変位から求めた。提案するアームと SRMS との荷重方向別の比剛性（単位重量当たりの剛性）の比較結果を Table.1 に示す。

Table. 1 Analytical result

	Parallel direction	Orthogonal direction	SRMS
Max disp [mm]	0.42	1.24	0.29
Bending stiffness [Nm ²]	693.1	231.9	1001
Weight [g]	20.0		32.2
Specific Stress [Nm ² /g]	34.7	11.6	31.0

SRMS に対し、コア平行方向の比剛性の値が上回った。逆にコア直交方向の値は下回っていることが確認できる。一般的にハニカムコアはコア平行方向に強く、コア直交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える。

5. 2 コア直交方向 4 点曲げ試験の結果

曲げ試験から荷重-変位曲線を求め、グラフの線形部分を選択し、最少二乗法により各試験片の曲げ剛性を求めた。その結果を Table.2 に示す。

Table.2 Experimental result (orthogonal)

Bending stiffness [Nm ²]	105.6
Weight [g]	25
Specific Stress [Nm ² /g]	4.23

単位重量当たりの曲げ剛性の解析結果と実験結果を比較する。解析結果に比べ、実験結果は 1/3 程度の値を示した。この結果は、先行研究（コア平行荷重）の結果(解析と実験がほぼ一致)と著しく異なっている。その要因として、接着面の不良、もしくはコア直交方向に荷重を掛ける事により、接着面の一部に引張応力が掛かり、そこから破壊が進行したためと考える。

5. 3 ねじり理論解析の結果

解析ソフト Creo Simulate による、試験片モデルを用いたねじり理論解析を行った。理論解析で得られた変位から Table.3.の結果が得られた。

Table.3 Analytical result

	Analysis	
	Honeycomb	SRMS
Angle of Torsion [deg]	58.88×10^{-5}	8.804×10^{-5}
Specific Angle of Twist [deg/m]	356.6	2612
Torsional Rigidity [Nm ²]	28.12×10^{-3}	3.83×10^{-3}
Weight [g]	20	32.2
Tortional Rigidity per Weight [Nm ² /g]	1.406×10^{-3}	0.119×10^{-3}

SRMS に対し、ハニカムサンドイッチ構造は約 10 倍以上の値を示していることが確認できた。このことから、ロボットアームのアーム部材として使用する上でねじ

り剛性は重要な値であるため、ハニカムサンドイッチ構造は宇宙用ロボットアームとして使用することに優位性があると考ええる。

5. 4 ねじり試験の結果

試験片は 4 点曲げ試験と同等の試験片を使用する。試験から、ねじり角-ねじりモーメント線図を求め、ねじり剛性を算出した。実験データを平均した結果、Table.4 のような結果が得られた。

Table.4 Experimental result

Angle of Torsion [deg]	10
Specific Angle of Twist [deg/m]	52.6
Torsional Rigidity [Nm ²]	26.7×10^{-3}
Weight [g]	26.7
Tortional Rigidity per Weight [Nm ² /g]	0.011×10^{-3}

解析結果と比べ実験結果は、解析結果の 1/100 程度の値しか示しておらず、大きく下回っている。

原因として、接着面に引張応力が掛かり、剥離が発生し破壊が進行したと考えられる。他の原因として、芯材と板材を接着する接着剤が考えられる。芯材であるハニカムコアの表面積は極めて小さく、芯材と板材が十分に接着されなかったと考えられる。

6. 結言

コア直交方向に対しての 4 点曲げ試験とねじり試験を、Creo Simulate による理論解析と実験を行い、曲げ剛性とねじり剛性を検証した。

理論解析と実験結果の比較から提案するアーム部材は理論的には合理性が有るが、実際面ではなお克服すべき課題があることを確認した。

7. 今後の展望

接着強度の影響を評価するために、3D プリンターを用いて、接着剤を使わない芯材と板材の一体成型を行う。この試験片の解析結果と実験結果を比較し、もし一致するのであれば、原因は接着にあるとし、一致しないのであれば原因は違うところにあると考えられる。

8. 参考文献

- 1) 三木 光範, 他: 複合材料, 共立出版株式会社, p.51, 1997 年.
- 2) 宮入 裕夫: 複合材料入門-基礎と応用-, 裳華房, p.176-179, 1997 年.