

K4-62

複合材料と複合構造による宇宙用軽量ロボットアームの研究

A Study on Astronautical Lightweight Robot Arm by Using Composite Material and Hybrid Structure

○築井佑弥¹, 古謝智大¹, 伊藤大輝², 渡辺亨³Yuya Chikui¹, Tomohiro Koja¹, Daiki Ito², Toru Watanabe³

This paper proposes a novel compact and lightweight robot arm for astronautical development by using honeycomb structure. In astronautical development, all the launched objects should possess compact and lightweight to save launch cost. Honeycomb structure is one of such lightweight material and already used in astronautical 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 compact and lightweight arm. A prototype using CFRP plates and aluminum honeycomb is produced and its mechanical property is investigated by computational analysis and experiment. The effect of cross-sectional shape 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, 高減衰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

CFRP-ハニカムサンドイッチ構造ベースのアーム部材を提案し, アームとして用いた際の重さに対する強度の優位性を検証する. また, 減衰特性の測定により, アーム部材としての妥当性を検証する.

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^{[1][2]}.

4. 検証実験・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. 試験片モデルの具体的な寸法は Table.1 に示す. 上部 2 点に 1000N の荷重をかけ, 下部 2 点を支持させる.

Table.1 Dimension of specimen model

Core size [mm]	32					
Aspect ratio [-]	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
Stickness [mm]	21.6					
length [mm]	240					
Fulcrum distance [mm]	210					
Force distance [mm]	70					
Force [N]	1000					

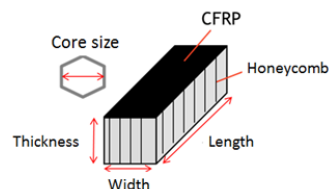


Figure.2 Outlook of specimen model

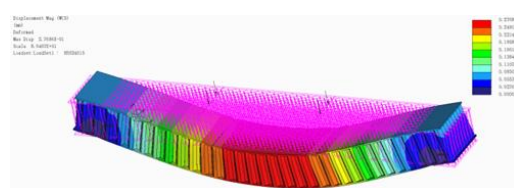


Figure.3 Creo Simulate

与えた荷重と理論解析で得られた変位から Figure.4 の結果が得られた.

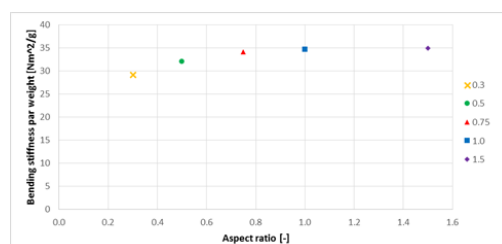


Figure.4 Relation between Bending stiffness per weight and Aspect ratio

曲げ剛性と板厚に対する板幅の比 (アスペクト比), 重量の関係について, 解析結果を述べる. Figure.4 から, アスペクト比 1.0 以上では単位重量当たりの曲げ剛性はほぼ一定となり, 逆にアスペクト比 1.0 以下では曲げ剛性は下降傾向にあった. すなわち, 複合材料・構造をアーム

として用いるという提案は, アスペクト比 1.0 すなわち棒状であれば, 不合理ではないことが確認される.

5. 4 点曲げ試験による検証・結果

理論解析の結果を踏まえ, ハニカムサンドイッチ構造の曲げ剛性を 4 点曲げ試験を行うことにより検証する. 曲げ剛性 EI , 荷重 w , たわみ v の関係は次式で表すことが出来る. この式を用いて曲げ剛性を求める^[2].

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

試験条件として試験片へたわみを与える速度は 0.5mm/min とし, 寸法は解析時と同じものを使用する. ただし検証するアスペクト比は 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 として曲げ試験を行った. 引張圧縮試験機により, 同じ規格の試験片をそれぞれ 3 つ用いて試験を行った.

実験結果から得られたデータより得られた曲げ剛性を Figure.5 に示す.

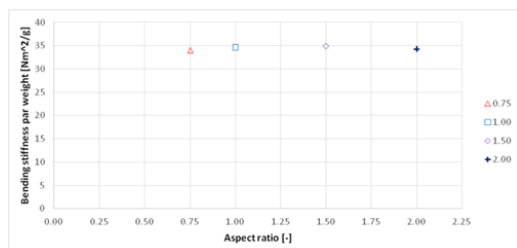


Figure.5 Relation between Bending stiffness per weight and Aspect ratio

Figure.5 より, 解析結果とほぼ同等の傾向を確認することが出来た.

6. 解析結果と実験結果の比較

解析結果と試験結果を比較した図を Figure.6 に示す.

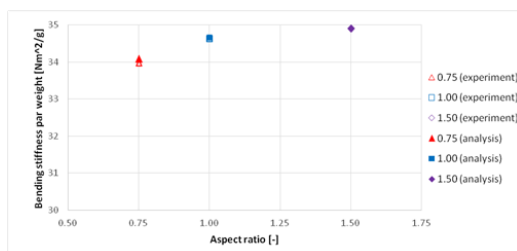


Figure.6 Relation between Bending stiffness per weight and Aspect ratio (Experiment and analysis)

Figure.6 の結果からアスペクト比 0.75 から 1.0 にかけて

の単位重量当たりの曲げ剛性の増加量は理論値, 実験値ともに約 1.94%である. これに対し, アスペクト比 1.0 から 1.5 にかけての単位重量当たりの曲げ剛性の増加量は理論値, 実験値ともに約 0.75%とかなり微小であることがわかる. このことから, 余分なスペースを生まず高い剛性をもつ断面形状はアスペクト比 1.0 付近であると考えられ, アーム部材として有利になると考えられる.

7. インパルスハンマによる加振実験・減衰特性評価

試験片の減衰特性を評価するため, インパルスハンマによる加振実験を行った. 試験片は 4 点曲げ試験と同形状のものを使用している. 試験片重量は最も大きいアスペクト比 2.0 の試験片でも 55.3[g]とかなり軽量であるため試験片の先端におもりとして万力を取り付けた.

おもりが取り付けられている試験片先端付近をハンマリングし, 変位センサと FFT アナライザによって記録された振幅波形を Figure.7 に示す.

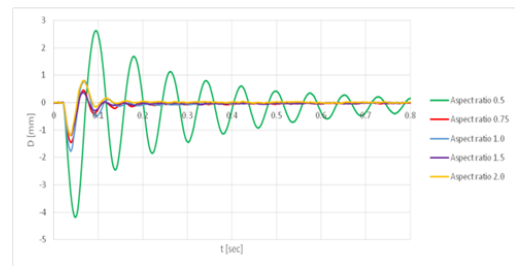


Figure.7 Attenuation waveform

Figure.7 から, アスペクト比 0.5 以外の試験片は減衰比約 0.3 と強い減衰特性を持っていることがわかる.

8. 結言

Creo simulate による解析と 4 点曲げ試験より, ハニカムサンドイッチ構造の曲げ剛性を求め, アスペクト比 (幅: 厚さ) と曲げ剛性の関係性について検証した. 理論解析と実験の結果から, 提案する複合材料・複合構造アームが有効であることが実証された.

9. 今後の展望

提案する複合材料・複合構造アームの優位性を実証するために, ハニカムコアと直行方向の圧縮強度, ねじり剛性について実験と解析から検証していく.

10. 参考文献

- [1] 宮入 裕夫: サンドイッチ構造, 養賢堂, P21, 2008
- [2] 新沢 順悦 他: 例題演習 材料力学, pp.75, 1985