

竹構造を用いた軽量ロボットアームの力学的優位性の理論的検討

Theoretical Evaluation of Mechanical Property of A Lightweight Robot Arm Imitating Bamboo

○内藤威輝¹, 大石将司², 渡辺亨³

*Izuki Naito¹, Ooishi Masashi¹, Toru Watanabe³

This study deals with specific stiffness (stiffness per unit weight) of a bamboo-like lightweight robot arm. It is already known that the bamboo possess relatively higher stiffness than the ordinary pipe, while its precise mechanical property such as the optimal number of the knots per length is rarely investigated. In this paper, theoretical property is investigated by using Finite Element Method (FEM) analysis based on simple models possessing same weight, same outer/inner diameters with various knot numbers. Simple 4-point bend tests are simulated by using FEM software “Creo Simulate 2.0.” The result showed quite complex property and the need of further research is presented.

1. 諸言

最大 20m になる大規模なロボットアームは「二乗、三乗の法則」により実現するのが困難である。そのため軽量かつ高剛性のロボットアームの開発が必要となる。研究者の一人は、ハニカムサンドイッチ構造による軽量化の実験を行っている^[1]。ハニカムサンドイッチ構造の研究では、普通のパイプよりハニカムコアに平行な力に対して強い曲げ剛性を得られることが分かっている。しかしハニカムコアに対して直行やねじり方向などに対しては剛性の値が低下してしまう。

竹は軽量の素材として知られ、いくつかの研究では竹構造の優位性を示している^[2]。さらに、竹は円筒形でありハニカムサンドイッチ構造のような異なる方向の荷重による剛性の変化はない。よって竹構造を模倣した軽量ロボットアームは、大規模なロボットアームに対して理想的な素材だと考える。しかし、これまでの研究では少数の節のみで議論されており、長さ当たりに対する最適な節の数はほとんど調べられていない。

本論文では竹構造を模倣した軽量ロボットアームの力学的優位性を調べる。モデルの作成、想定する実験の解析を FEM ソフトウェアの Creo simulate2.0 を用いて行う。解析モデルは全て同質量であり、試験は 4 点曲げを想定した。

2. 解析モデル

図 1 のような解析モデルを Creo simulate2.0 で作成した。

長さあたりの最適な節の数を調べるため 0~15 個の節をもつモデルを作成した。また各モデルの剛性を比

較するため、節の数 0 個ではパイプの壁の厚さを厚くし、節が存在するモデルは節の厚さを変化させモデルの質量を同質量にした。つまり節の数が増加するにつれて各節の厚さは減少する。

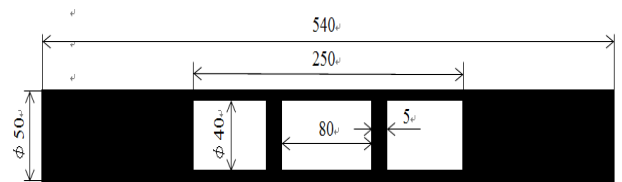


Figure 1. Cross-sectional shape of a test piece

図 1 の FEM モデルの作成において、材料は 3-D プリント Onyx one で使用される Onyx プラスチックを想定した。表 1 に Onyx の物性値を示す。

Table 1. Mechanical constants of the “Onyx”

Young's modulus	1.4 [Gpa]
Poisson's ratio	0.32 [-]
density	1.18 [g/cm ³]

3. FEM 解析

FEM モデル解析では 4 点曲げ試験を想定して解析を行った。図 2 に 4 点曲げ試験の様子を示す。試験片の両端を支持し、竹構造部分と中実部分の境界に荷重 5000N を加えた。

1 : 日大理工・学部・機械, 2 : 日大理工・院・機械, 3 : 日大理工・教員・機械

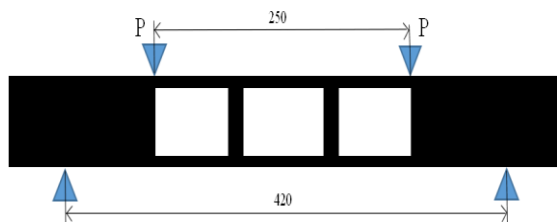


Figure 2. Concept of 4-point bending test

4. 解析結果

0~15 個の節をもつモデルの FEM 解析の結果を図 3 に示す. 結果は非常に複雑な特性を示した. また明確なピークは現れず, 予想された竹構造の優位性は示されなかった.

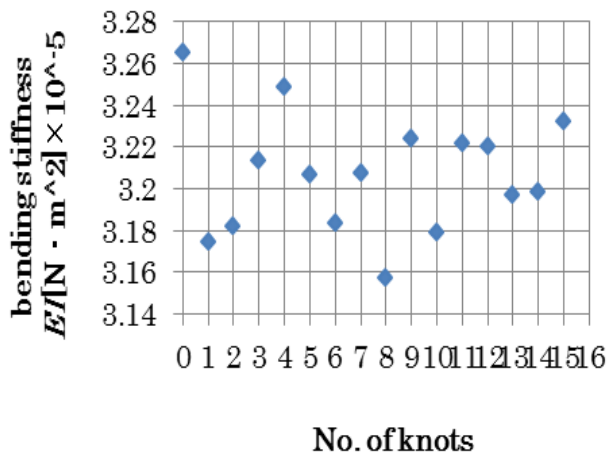


Figure 3. No. of knots versus bending stiffness

図3のような結果になったことについて理由を調べるため, 図3の結果で剛性の値が高かった節の数0個と4個に注目し, 荷重の値や試験片の長さなど条件を変えて解析を再度行った. 図4では解析モデルの長さを10倍長くし, 荷重5000Nを加えたときの解析結果である. モデルの長さを10倍伸ばしたところ, 節が存在する解析モデルの曲げ剛性が高くなり竹構造の優位性を示した. 図5では解析モデルの長さを10倍伸ばし, 荷重の値を20倍増やし加えた結果である. 図5の結果から, 図3で得られた結果と同様に竹構造の優位性を示すことが出来なかった.

図4と図5から, 条件を変えると結果が変わるため曲げ剛性を支配する隠れたパラメーターが存在するのではないかと考えられる. そのため更なる研究をする必要がある.

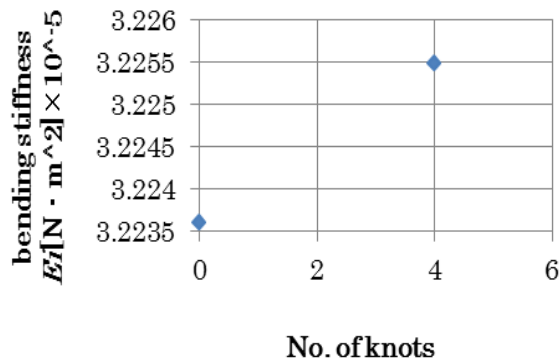


Figure 4. Knots vs. stiffness (x10 length)

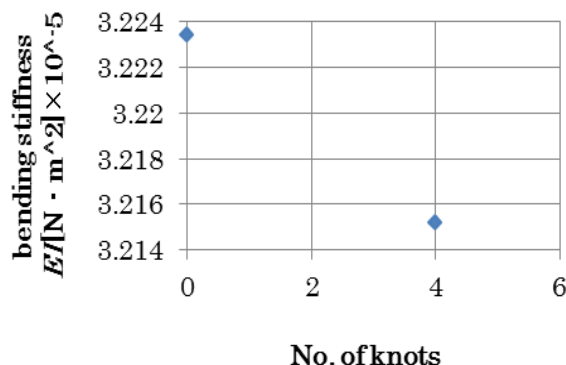


Figure 5. Knots vs. stiffness (x10 length, x20 force)

5. 結言

本論文では, 竹構造を模倣した軽量ロボットアームの力学的優位性を調べた. 節の数0~15個のFEMモデルを同質量, 同外形, 同内径で作成し, 4点曲げ試験を想定した解析を行った. 結果の値は, 予想された規則性はなく竹構造の優位性を示す結果にはならなかった. しかし, 条件を変えたところ結果が異なったため隠れたパラメーターが存在すると考えた. 今後は, 実験を行い解析結果と比較し原因を調べる必要がある. さらに節の存在による座屈の抵抗についても検討する.

6. 参考文献

- [1] 平谷: 3Dプリンタを用いて一体成型されたハニカムロボットアームの力学的検討, 日本大学学士卒業論文, 2018
- [2] 鮑, 鎌田, 銭, 白井, 後藤, 剣持: 竹を模倣した節付きFRP薄肉円筒の開発, 日本複合材料学会誌, Vol.34, No.6, pp.219-225, 2008.
- [3] 佐藤, 谷垣, 佐藤, 島, 井上: 竹の節・組織構造が織り成す円筒体としての合理的な構造特性の理論的説明, 土木学会論文集 A2, Vol.72, No.2, pp.I_25-I_34, 2016.