

K-32

多段テンセグリックロボットアームのユニットに張力が及ぼす変形

The transformation that the tension gives to the unit of the Multistage Tensegric Arm

○石野 寿樹<sup>1</sup>, 菊池 俊司<sup>1</sup>, 高嶋 大地<sup>1</sup>, 岸川 優斗<sup>2</sup>, 佐々木 駿太郎<sup>2</sup>, 渡辺 亨<sup>3</sup>  
 \*Ishino Toshiki<sup>1</sup>, Kikuchi Syungi<sup>1</sup>, Takasima Daichi<sup>1</sup>, Kishikawa Yuto<sup>2</sup>, Sasaki Syuntaro<sup>2</sup>, Watanabe Toru<sup>3</sup>

Multistage tensegric robot arm is already presented to realize gigantic robot over 10m height. In the previous research, advantage of multistage robot to ease stress is confirmed and its control algorithm is discussed. However, its mechanical property has not been investigated yet. This paper discusses about bending to occur to a robot arm unit as a continuation of mechanical analysis. These results would be useful to design real gigantic multi-stage robot arm.

1. 緒言

本研究の目的は大型ロボットの実現である。先行研究としては上記のような自重による大型ロボットにおける問題点を定義し、その問題を解決するコンセプトを提案した<sup>1)</sup>。具体的には、テンセグリック・トラス構造<sup>2)</sup>を用いたモジュール化ユニットを多段に組み合わせることで大型ロボットを実現しようとするアプローチである。Figure. 1.1 に多段テンセグリックロボットアームのコンセプト図を載せる。



Figure.1.1 The shape of the multistage tensegric arm

先行研究を踏まえて、実際に多段テンセグリックアームを設計、製作することを大型ロボットの実現のための中間目標とする。本研究ではユニットの力学的解析としてユニットの曲げ、座屈に関する検討を行い、力学的に見て、多段テンセグリックロボットアームの妥当性を検証するとともに実機を設計する際の基準を作成することを目指す。

2. 理論

2.1 曲げ

一方を固定端、一方を自由端で固定され自由端側に集中荷重  $W[N]$  が働く、長さ  $b[m]$  の梁の最大曲げ応力  $\sigma_{max}$  と自由端でのたわみ量  $u_{max}[m]$  は次式で求まる。ここで梁の断面の断面二次モーメント  $I$ , 断面係数  $Z$  とする。

$$\sigma_{max} = \frac{Wb}{Z} \quad u_{max} = \frac{Wb^3}{3EI}$$

本研究では円筒断面の柱から成るテンセグリックロボットアームのユニットをモデルとし、ユニット間にかかるワイヤ張力を集中荷重としてユニットに発生する

曲げ応力と曲げたわみを解析した。

2.2 座屈

両端が単純支持のヤング率  $E$ , 断面二次モーメント  $I$ , 長さ  $L$  の棒に対し、座屈荷重  $P_{cr}$  は次式で与えられる。

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

座屈荷重  $P_{cr}$  に自重  $P$  が達すると、横撓みが生じた状態で力が釣合う。本研究では様々な材料について、テンセグリックロボットアームを細い棒として自重  $P$  を加えた。安全率 3 として、各材料で直立状態のテンセグリックアームを何段重ねることができののか検討した。

Figure2.1 のようにロボットアームのユニットの寸法を定め、その体積を同じ外径  $D_o$  と内径  $D_i$  と長さ  $l$  を持つ、三つの円柱の体積の和と等しいと置く。

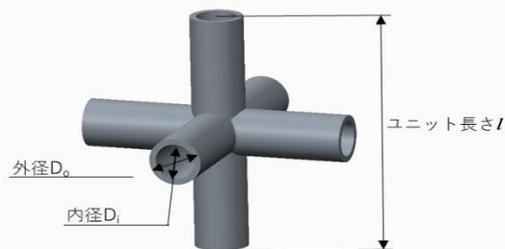


Figure.2.1 The model of the unit

ユニット一つあたりの体積を  $V$ , 最大載積可能段数を  $n$  とし、ユニットの材質の密度を  $\rho$  とする。このとき、体積  $V$  と自重  $P$  は次のようになる

$$V = \frac{3\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) l$$

$$P = n\rho Vg$$

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・院 (前)・機械 3 : 日大理工・教員・機械

安全率  $S=3$  として,  $P \leq SP_{cr}$  となるように最大積可能段数  $n$  を求める.

$$n = \frac{1}{l} \sqrt[3]{\frac{4S\pi EI}{3\rho(D_o^2 - D_i^2)g}}$$

と求まる. ここで  $g$  は重力加速度である.

### 3. 結果

#### 3.1 曲げたわみ

最下段のユニット枝部にかかる張力とそれによる曲げたわみとユニットの円筒断面の外径の関係は Figure3.1 のようになった. ここで断面の内径は常に外径の 0.5 倍とする.

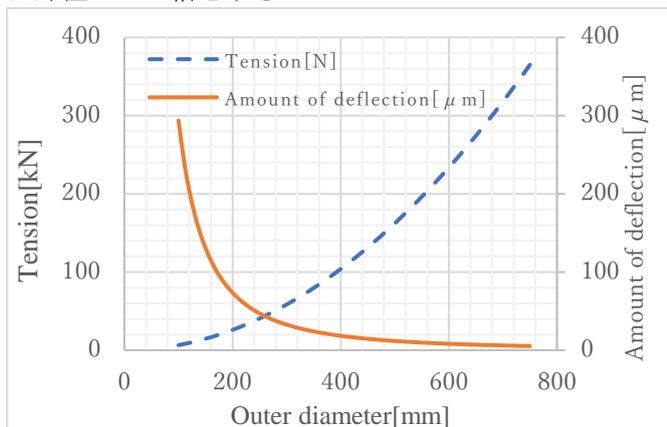


Figure 3.1 The comparison of tensions and Amount of deflection depending on the Outer diameter of unit

#### 3.2 曲げ応力

Figure3.1 に示すモデルを用いて, 水平面上に置かれた最下段のユニット枝部の曲げ応力と円筒断面の外径, 内径, 内外径比, 材料などの関係を解析した.

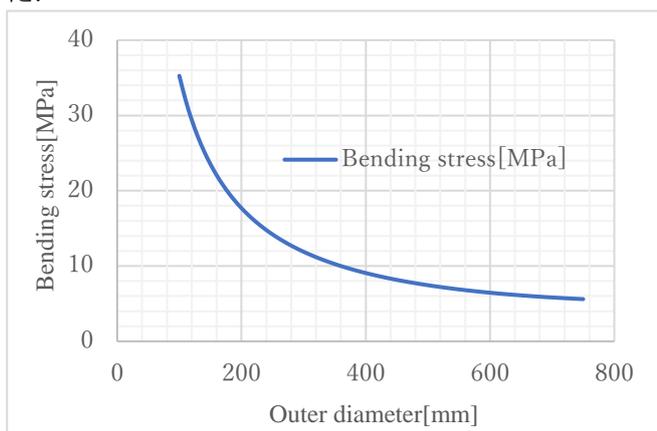


Figure3.2 The comparison of Bending stress depending on the Outer diameter of unit

#### 3.3 座屈

内外径比  $D_i/D_o$  を 0.9 [-] で固定し, 外径  $D_o$  を変更して許容最大段数  $n$  を求めた. このときの条件は密度  $\rho=7200$  [kg/m<sup>3</sup>], 縦弾性係数  $E=200$  [GPa] のねずみ鉄である.

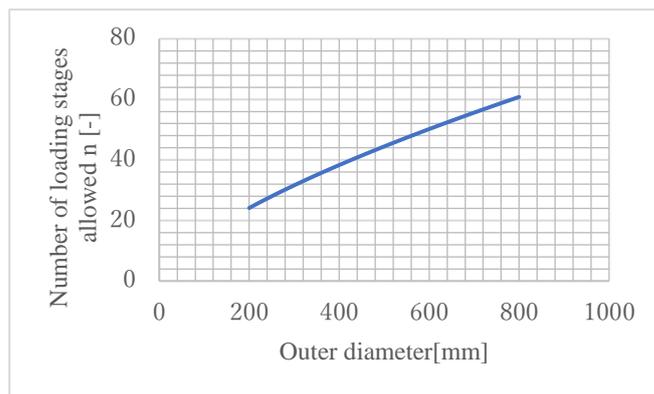


Figure3.3 The comparison of Number of loading stages allowed depending on the Outer diameter of unit

### 4. 考察

Table3.1 より, 曲げにおけるたわみは, figure3.1 から円筒断面の外径は大きくすることで小さくなるのがわかる. これはたわみを求める理論式から理由は明らかである. 式の分母に使われている断面二次モーメントが増加するため必然的に外径を大きくすればたわみは小さくなる.

座屈においては, ユニットの段数  $n$  は材料のヤング率  $E$  と密度  $\rho$  の比  $E/\rho$  の  $1/3$  乗に比例する. ユニットの外径  $D_o$  および内径  $D_i$  を大きく, また内外径比を大きくすることで, 許容される全高を数  $m$  単位で大きくすることができる. これにより, ユニットの材料より寸法を考慮することで, 多段数化したときの座屈の恐れを軽減できることが分かった.

### 5. 結論

円筒断面の外径  $D_o$ , 内外径比  $D_i/D_o$  を大きくすることで曲げ応力, たわみを抑えることが出来ることがわかった.

また, 座屈における力学的視点からの大型ロボットアームの実現性が確認できた.

しかし, ユニットの円筒断面の外径, 内径を大きくするとユニット同士を結ぶワイヤの張力が上昇するため, それに伴い対応できる設計が必要である.

### 6. 今後の展望

ユニット形状の断面を矩形に変え, 最適化及び高剛性化し, 大型ロボットの実現に努める.

### 7. 参考文献

- 1) 白濱 聡, 大型ロボット実現のためのテンセグリック・トラス構造モジュールユニットの研究, 日本大学理工学, 研究科機械工学専攻修士論文(2012).
- 2) R.B.Fuller : *TENSILE-INTEGRITY STRUCTURES*, United States Patent ,No.3063521 , (1962)