

多段テンセグリックロボットアームの実現に向けた力学的解析

Mechanical Analysis of Multistage Tensegric Arm Aiming for Realization

○岸川優斗¹, 宇部陽一朗², 佐々木駿太郎², 渡辺亨³Yuto Kishikawa¹, Youitiro Ube², Shuntaro Sasaki², Toru Watanabe³

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 mechanical properties, namely stress on cables and yielding load of the arm body, is theoretically investigated. These results would be useful to design real gigantic multi-stage robot arm.

1. 緒言

本研究の最終目的は大型ロボットの実現である。大型ロボットアームにおいてはそれ自身の自重による問題が生じるため、その実現には軽量かつ剛性の高い構造を取り入れる必要がある。問題解決のために、テンセグリック・トラス構造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アームを実現しようとするアプローチをとる。Fig.1.1 に多段テンセグリックロボットアーム(以下、本アーム)のコンセプト図を載せる。

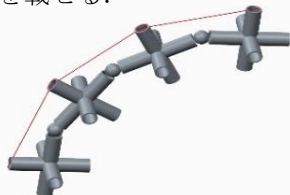


Fig1.1 Figure of Multistage tensegric arm

先行研究として、任意のエンドポイントまで、指定した 2 次関数に沿って姿勢を制御するアルゴリズムを提案した。本アーム多段数化の有効性及び最適姿勢を検討した。2 段と 4 段の各アームの関節にかかる最大モーメント負荷の比較から本アーム多段数化の有効性を証明した。上記の応力分散効果の検証に使った考え方をベースに、移動方法のアルゴリズムを提案し、軌道生成に適した姿勢変化法の検討などに取り組んだ。

これらの先行研究では、テンセグリックユニットが剛体であることを前提にしており、ユニット自体の力学的検討はされていない。将来的に本アームを試作することを目指して本研究では座屈、張力による曲げについての検討を行った。

2. 理論

2.1 座屈荷重

両端が回転支持のヤング率 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。

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (1)$$

自重が座屈荷重に達すると、大きなたわみが生じ、構造に座屈現象を引き起こす。

本研究では様々な材料について、テンセグリックユニットを外径 D_o , 内径 D_i , 長さ l の中空棒として、 n 段重ねたものに自重 P を加えた。安全率 3 として、各材料で直立状態の本アームを何段重ねることができるのか検討した。

ユニット 1 段あたりの体積を V とし、その密度を ρ とすると、 $P = \rho n V g$ となる。この $P = P_{CR}$ のとき、座屈するので、安全率 S を用いて次が成り立つ。

$$\rho n V g = \frac{S \pi^2 EI}{l^2} \quad (2)$$

2.2 多段(4 段)アームのワイヤ張力

先行研究で求めた本アームの制御方法に基づいて本アームの姿勢を決定し、その姿勢でのワイヤ張力を求める。本アームのユニット同士はジョイントとワイヤで結ばれている。最も張力が大きくかかるワイヤは、水平面上の最下段のユニットとその上のユニットを結んでいる最下段のワイヤであると考えられるため、その最下段のワイヤ張力を調べる。

解析は 4 段のアームで行い、1 段目は垂直の姿勢のまま固定とした。アームを曲げる向きは Fig1.2 のようにユニットの枝(ワイヤがかかっている部分)と幹(ジョイントがついている部分)が作る平面内で曲げる場合[A]と、2 本の枝の間の角の二等分線の方に曲げる場合[B]の 2 通りの方向で解析を行なった。

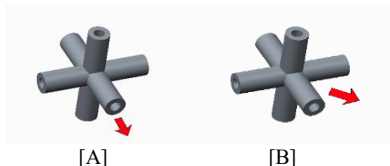


Fig1.2 The direction of bened arm

このとき、ユニット間の角度を全て θ とする。

3. 解析結果

3.1 座屈荷重

(2)式を変形し,材料の密度,剛性からそれぞれの許容段数を求めた.ユニットの寸法を Table.1 に,各材料の密度,剛性を Table.2 に示す.

Table.1 Size of unit

外径 Do[mm]	内径 Di[mm]	ユニット長さ l[mm]	安全率 S[-]
200	160	1000	3

Table.2 Relationship between material used for unit and number of loading stages

材料名	密度 ρ [kg/m ³]	ヤング率 E[GPa]	許容段数 n
ネズミ 鋳鉄	7200	200	24.13
球状黒 鉛鋳鉄	7100	161	22.55
S45C	7840	203	23.57
SS400	7900	206	23.63
MC1	1800	45	23.30
A2017P	2800	69	23.19

3.2 多段(4段)アームのワイヤ張力

Fig.1.3 に示したモデル図におけるモーメントのつり合いからユニット間角度 θ とユニットの枝にかかる最大張力の関係を求めたものを Fig.1.4 に示す. [A]と[B]それぞれの場合の最下段のワイヤ張力を,それぞれ T_1, T_1' とすると, 次の Fig.3.3 のようになった.

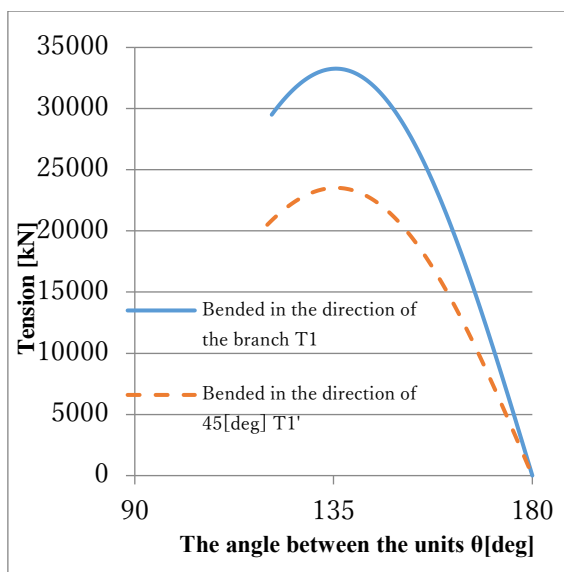


Fig1.3 The comparison of tensions depending on the direction in which the unit is tilted

4. 考察

Fig. 1.4 で, ユニットの [B] の方向に曲げることによりワイヤ一本当たりにかかる張力を軽減することができることが分かった. これは [A] の場合, 最大の張力を受けるワイヤが 1 本なのに対し, [B] の場合 2 本であることに起因すると考えられる. ただし, [B] ではモーメントアームが [A] よりも短くなり, 2 本のワイヤの張力の合計は [A] の張力よりも大きくなってしまふ. Table.2 より座屈の考慮よりも, 曲げやねじれに対する強さで材料を定めることを優先させることができると考えられる.

5. 結論

アームの曲げる方向を変えると, モーメントアームが短くなりワイヤの張力の合計は増えてしまふ. しかし引っ張るワイヤの本数が増えることにより, ワイヤ 1 本あたりの張力は軽減される. 本アームの座屈について考えるとき, 材料より構造の違いの方が大きく影響する. そのため曲げやねじれに対する強さで材料・形状を選ぶほうがより大型の本アームを作成できると考えられる.

6. 今後の展望

本アームを設計及び製作する目標の達成に向け力学的検討を継続し, 最下段のユニットの枝にかかる曲げやねじりの検討を行う. 曲げ, ねじりと座屈に関する内外径比の折衷点を模索する. また, 実際に本アームを作成し, その張力を計測して, 理論と実際を比較して検討を行う.

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(2012).
- [2] R.B.Fuller: "TENSILE-INTEGRITY STRUCTURES", United States Patent No.3063521, 1962
- [3] 大場裕真, 多段テンセグリックアームのための最適軌道探索アルゴリズムの提案, 日本大学理工学部機械工学科学士論文 (2013).
- [4] 宇部陽一朗 佐々木駿太郎 多段テンセグリックロボットアームの実現に向けた力学的解析 日本大学理工学部機械工学科学士論文 (2018)