

## 多段テンセグリック構造アームの応力分散効果の検討

### Study on stress dispersion effects of multistage Tensegric structure arm

渡辺研究室 ○大場裕真<sup>1</sup>, 宮下和裕<sup>2</sup>, 渡辺亨<sup>3</sup>Watanabe Lab. \*Yuma Oba<sup>1</sup>, Kazuhiro Miyashita<sup>2</sup>, Toru Watanabe<sup>3</sup>

This study deals with stress dispersion effect of multistage Tensegric structure arm. In the previous research, multistage Tensegric structure arm is presented and its control algorithm is shown. However, the optimum posture and multistage structure's effectiveness are not obvious. In this paper, comparison of stress distribution among arms with two or four units is carried out using computer simulation. First, a target end-point is set. Then the optimal postures of each arm are derived and their stress distributions are calculated. Comparing their maximum moments with various target end-point the stress dispersion effect is clarified.

#### 1. はじめに

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][3]</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。多段テンセグリック・トラス構造ではワイヤの長さを変化させることで構造物の姿勢を変化している。それを多段ロボットアームと考え、このアームにエンドポイントを与えた時、アームの姿勢を制御するアルゴリズムの提案を行なった<sup>[4]</sup>。しかしどのような姿勢が最適であり、多段構造が有効であるのかの検討は行なわれていない。そのため今回の研究では、多段数化の有効性及び最適姿勢の検討を行なうために、2 段と 4 段のアームにエンドポイントを与えたとき、アームの手先位置がその座標と一致するような姿勢を求め、その姿勢について各アームの関節にかかる最大モーメント負荷を算出し、その値が最小となるような関節角の組み合わせを求め、各アームの最大モーメントを比較することで、応力分散効果について検証する。

#### 2. 解析理論

##### 2. 1 多段構造による応力集中の緩和

多段構造による応力、モーメント集中の緩和について、Fig.2-1 に示すような 2 段と 4 段のロボットアームにおける各関節にかかる自重によるモーメント負荷の比較検討を行なった。

ロボットアームを考慮する際、エンドポイントを与える事で、2 段アームの姿勢は自然と決定する。しかし、4 段アームは自由度が高く、姿勢が一様に決める事ができなく、関節の角度のパターンは無限に限りなく近くなってしまふ。そのため 2 段アームと 4 段アームの比較するためには、4 段アームに一定の制限を与

え、姿勢を有限通りにする必要がある。本検討においては、4 段アームの関節の取る事ができる角度に制限を与える事で、姿勢を有限通りにしている。

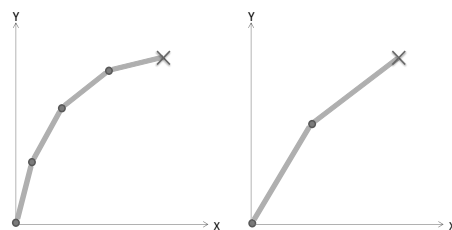


Fig.2-1 Images of multistage arms

##### 2. 2 モーメント負荷を軽減する最適姿勢の検討

2.1 を検討する上で、各アームのリンクの長さ、質量から各関節にかかるモーメント負荷を計算する。その中で最大のモーメント負荷を最も軽減する関節角の組み合わせから、どのような姿勢が最適であるか検討する。本研究で用いたモーメント算出方法を、以下に示す。

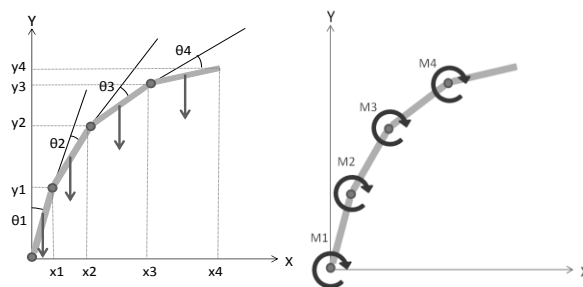


Fig.2-2 Relationship between angle and arms and Arm's moment

Fig.2-2 より各関節にかかるモーメント負荷を計算する。各リンクの質量はそれぞれ  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$  とする。リンクは一般的な材質と仮定しているため、各質量はリンクの重心にかかっていると考える。

4 段目関節:

$$M_4 = m_4 g \left\{ \frac{X_4 - X_3}{2} \right\} \quad (2.1)$$

3 段目関節:

$$M_3 = m_4 g \left\{ \left( \frac{X_4 - X_3}{2} \right) + (X_3 - X_2) \right\} + m_3 g \left\{ \frac{X_3 - X_2}{2} \right\} \quad (2.2)$$

2 段目関節:

$$M_2 = m_4 g \left\{ \left( \frac{X_4 - X_3}{2} \right) + (X_3 - X_1) \right\} + m_3 g \left\{ \left( \frac{X_3 - X_2}{2} \right) + (X_2 - X_1) \right\} + m_2 g \left\{ \frac{X_2 - X_1}{2} \right\} \quad (2.3)$$

1 段目関節:

$$M_1 = m_4 g \left\{ \left( \frac{X_4 - X_3}{2} \right) + X_3 \right\} + m_3 g \left\{ \left( \frac{X_3 - X_2}{2} \right) + X_2 \right\} + m_2 g \left\{ \left( \frac{X_2 - X_1}{2} \right) + X_1 \right\} + m_1 g \left\{ \frac{X_1}{2} \right\} \quad (2.4)$$

2 段構造の場合も、同様の式を用いることでモーメントの算出が可能である。今回の検討において、4 段では各リンクの長さ  $l_1 \sim l_4$  を 1[m]、質量  $m_1 \sim m_4$  を 1[kg]、2 段では  $l_1 \sim l_2$  を 2[m]、質量  $m_1 \sim m_2$  を 2[kg] と設定した。

### 3. 解析結果

上記の解析理論に基づいてエンドポイントを設定したとき、手先位置( $X_4, Y_4$ )、もしくは( $X_2, Y_2$ )の座標が設定したエンドポイントと一致(有効数字 2 桁)すれば 2.2 の計算を行ない、各関節のモーメント負荷及びその姿勢での最大モーメント負荷を出力するプログラムを Microsoft Visual C++ を用いて作成した。

#### 3. 1 多段構造による応力集中の緩和

20 通りの点について、2 段と 4 段で比較した。その結果を減衰率ごとに分類したグラフを Fig.3-1 に示す。

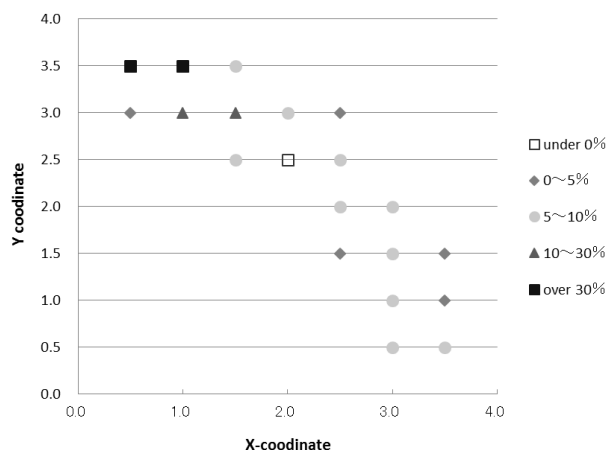


Fig.3-1 Rate of decline at each point

3. 2 モーメント負荷を軽減する最適姿勢の検討  
解析した結果、モーメント負荷を軽減する姿勢にいくつかの傾向が見られた。Fig.3-2 にその例を示す。

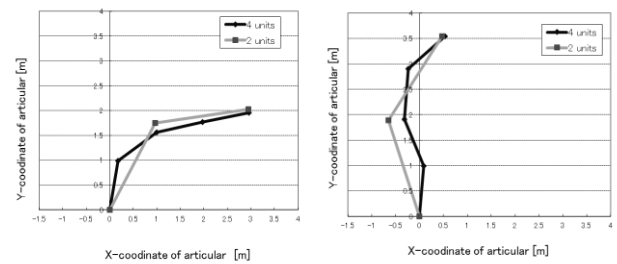


Fig.3-2 Sample of arm's posture

### 4. 考察

Fig.3-1 より、4 段構造において直立姿勢に近くなるようにエンドポイントを設定することで高い応力分散効果が得られることが分かった。また Fig.3-2 より、直立姿勢に近い場合は 1, 2 段目を、横倒しに近い姿勢では 3, 4 段目の軌道を直線状にすることで、モーメント負荷が軽減される傾向がえられた。これらのことから、多段構造アームでは、直立に近い姿勢を取り、尚且つ基部の軌道をできる限り直線状にすることで、モーメント負荷を軽減しながら応力集中を緩和する、つまり多段化の有効性を最大限発揮すると言える。

### 5. 今後の展望

昨年までの研究では指定したエンドポイントにおける最適姿勢のみを算出して比較したが、実際のアームでは初期姿勢からエンドポイントまで移動するので、本年度は移動経路において降伏点を有さず、関節部にかかるモーメントができるだけ小さくなるような最適軌道を検討する。

### 6. 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，日本大学理工学部機械工学科修士論文，2012
- [2] R.B.Fuller：“TENSILE-INTEGRITY STRUCTURES”，United States Patent No.3063521，1962
- [3] Masao SAITOH：「BEYOND THE TENSEGRITY –A NEW CHALLENGE TOWARD THE TENSEGRIC WORLD-」，IASS Symposium 2001 Nagoya, Paper No. TP141, 2001.
- [4] 宮下 和裕：多段テンセグリックロボットアームのワイヤ長さ算出のための方法提案，日本大学理工学部機械工学科卒業論文，2012