

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 論題(和文) | 高強度柔軟布のロボット応用に向けた屈曲耐久性評価 |
| Title(English) | Evaluation of Flexural Durability of High-Strength Textile for Robotic Applications |
| 著者(和文) | 山岸海聖, 難波江裕之, 鈴森康一, 多田隈 建二郎, 遠藤玄 |
| Authors(English) | Kaisei Yamagishi, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Kenjiro Tadakuma, Gen Endo |
| 出典(和文) | ロボティクス・メカトロニクス講演会2021講演論文集, , , |
| Citation(English) | Proceedings of the 2021 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , |
| 発行日 / Pub. date | 2021, 6 |

高強度柔軟布のロボット応用に向けた屈曲耐久性評価

Evaluation of Flexural Durability of High-Strength Textile for Robotic Applications

○学 山岸 海聖 (東工大) 正 難波江 裕之 (東工大)
正 鈴木 康一 (東工大) 正 多田隈 建二郎 (東北大)
正 遠藤 玄 (東工大)

Kaisei YAMAGISHI, Tokyo Institute of Technology, yamagishi.k.ae@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology
Kenjiro TADAKUMA, Tohoku University
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

Soft materials, unlike hard materials such as metals, have properties such as flexibility, adaptability, and high compliance. Textile is one of the soft materials that we are familiar with, and is used to make clothes, bags, towels, and masks. High-strength textiles which are composed of high-strength fibers are expected to be used as materials for soft robots because of their high strength and flexibility. However, properties of textiles depend on its weaving and knitting methods and materials and durability evaluation method for use as a material for robots has not yet been established. In this paper, we propose a durability evaluation method for using high-strength textiles as materials for robots, and evaluate its properties.

Key Words: Soft robot, Soft actuator, Textile

1. 緒言

柔らかい素材は、金属のような硬い素材とは異なった形状適応性、高いコンプライアンスといった特性を持つ。布は日常生活一般で広く用いられる柔軟素材であり、近年、ロボット用途としても自律型ロボットの外装[1][2]や柔軟なセンサー[3]、ロボットを動かすスキン型アクチュエータとして用いられている。

本稿で扱う高強度柔軟布は、高強度繊維から構成され、柔らかさに加えて、高強度で耐久性を高くし得るため、今後ソフトロボットの材料として有望であると筆者らは考えている。しかし、布は繊維の種類や構造によって特性が異なることが容易に予想される。またロボットの機構部材としての耐久性評価手法が確立されていない。そこで、本稿では、ロボット利用のための布の耐久性評価の手法について提案するとともに、評価試験装置を開発し初期実験の結果を得たので報告する。また、従来の手法で試験を行い繊維の構造ごとの特性の違いについても検証を行う。

2. 布の種類

2.1 布を構成する繊維

布はそれを構成する繊維の種類と、繊維の構造で分類することができる。繊維は、製法によって植物繊維や天然繊維、化学繊維などに分けられる[4]。化学繊維は、化学処理によって生成された繊維を示し、本稿では石油から得られる化学物質を重合反応により高分子化したポリマーである合成繊維[4]も含めることとする。化学繊維の中でも化学合成によって作られた高性能繊維は、高強度、軽量、耐熱性、耐薬品性などの特性をもつ。本稿では、その中でパラ系アラミド繊維(ケブラー)という高性能繊維からなる布で試験を行った結果を述べる。

2.2 織り方・編み方

布を構成するための繊維の構造として、以下の3つに分類される。縦横に走行する繊維を交錯することで製作される「織布」、ループさせた繊維をくぐらせて引っかけることで製作される「ニット」、無秩序に絡んだ細かな繊維を成型する「不織布」である[5]。織布の例として、三原組織の繊維の構造を図1に示す。三原組織とは、平織・綾織(ツイル)・朱子織(サ

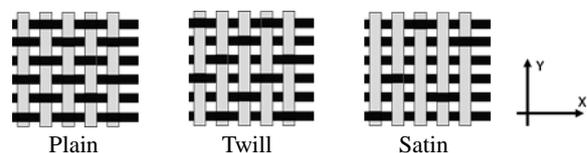


Fig. 1 Three foundation weave

テン)と呼ばれる基本的な一重織物組織をまとめた名称であり、本稿では、平織と綾織について扱う。図から布の特性が繊維の種類に加え、構成する繊維の構造や力のかかる方向(X, Y方向とする)によって異なることが予想される。

3. 布の評価手法

3.1 JISで規定される試験法

織物及び編物の生地試験方法については、JISで試験内容が規定されている[6]。引張強度、定伸長時伸長弾性率、引裂強さ、破裂強さ、摩耗強さ、曲げ反発性などの特性評価のための試験方法が規定されている。

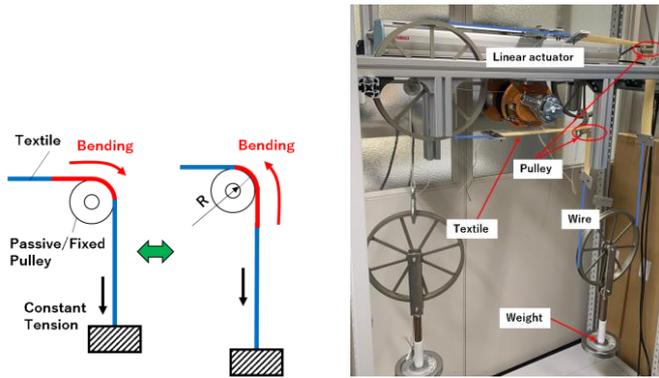
3.2 ロボットの機構部材としての布の耐久性

ロボット機構部材として用いることを考えると、布には力を支えられるだけの引張強度が必要となる。そのため、破断荷重を強度の評価指標とする。また、布がソフトロボットの材料として利用されることを考えると、屈曲を受けることが想定される。そのため、屈曲を受けた上での破断荷重の低下率をロボット用の布の耐久性の評価指標とする。

屈曲後の破断荷重を測定するために、布を屈曲する試験機が必要となる。単純に曲げを加えるだけでなく、張力が加わった状態での曲げを想定し、また、曲げの曲率や範囲、張力を変更した試験を行えるように筆者らは二種類の試験法を考案し、試験機を設計した。

3.3 軽荷重繰り返し曲げ試験

軽荷重繰り返し曲げ試験の基本原則を図2(a)に示す。JISの航空機用ワイヤロープ試験[7]をもとに、図のようにおもりで変位によらず一定張力のかかった状態とし、受動プーリー(半径R)によって繰り返し曲げをかける。一定張力下で、Rを変化させることで屈曲の曲率を、固定プーリーとすることで摺動屈曲の耐久性を、それぞれ評価することができる。



(a) Concept (b) Testing apparatus
Fig. 2 Light load repeated bending test

実際に作成した試験機を図2(b)に示す。この試験では、6.4kgのおもりで荷重を加え、リニアアクチュエータで試験片を駆動しプーリ上を往復させて繰り返し曲げをかける。一度に4つの試験片に同時に曲げをかけることができるように、試験片をクランプしている金属板同士を金属ワイヤでつないでいる(図3には2試片のみ装着している)。試験後に得られた試験片を用いて引張試験を行い、強度低下率で評価を行う。

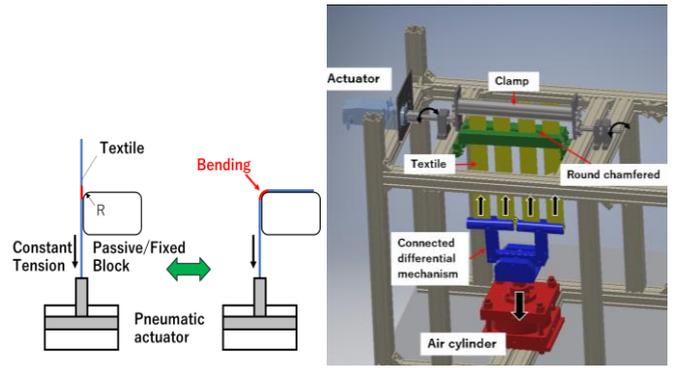
3.4 重荷重繰り返し曲げ試験

次に、重荷重繰り返し曲げ試験の基本原理解を3(a)に示す。試験片を固定ブロックのR面取りされた面に押し付けることで、同じ個所に繰り返し曲げをかける。ブロックのよって曲げの曲率を変えることができる。また、引張には空圧アクチュエータを用いることで、重荷重をかけることができる。

試験機の3DCAD図を図3(b)に示す。この試験機では、エアシリンダで張力をかけ、アクチュエータによる揺動運動でR面取りしたブロックに繰り返し押し付けて同じ個所を集中的に曲げる。エアシリンダに送る空気の圧力によって張力を変えることができ、0.6MPaの給気で17800Nの出力である。また、図のように連結差動機構を組み込むことで4試片に同じだけ力がかかることできる。軽荷重繰り返し曲げ試験と同様に試験後に引張試験を行い、強度低下率で評価を行う。

4. 試験結果と考察

初めに、布の繊維の構造ごとの特性の変化を検証するためにJISに則ってケブラー繊維布について引張試験を行った。今回の試験では、大きな力がかかることが予想されるため、専用の治具(SHIMADZU, 50kNキャプスタン式重布つかみ具)を用いた。治具の寸法の都合から、試験片の幅50mm、つかみ間隔200mmとなるように試験片を作成した。様々な条件で引張試験を行い、繊維の構造や力のかかる方向による引張強度の違いを検証した。試験結果と条件を表1に示す。表中のX,Yは力のかかる方向で、図1のX,Yと同方向である。表からケブラー繊維布は、繊維の構造や力のかかる方向によって引張強度が異なることがわかる。また、平織、綾織X方向、綾織Y方向、ニットの順に引張強度が高くなる傾向が見られる。実験に使用した試験片は構造ごとに厚さ、面密度が異なる。面密度によって1平方メートル当たりの繊維の数がわかり、破断強度/面密度から同じ数の繊維を用いたときの構造ごとの強度を比較できると考えられる。破断強度/面密度は綾織X、平織、綾織Y、ニットの順になっており、綾織は図1に示すように縦横の繊維の数が同じでないため、平織よりも片方からの力に対して構造中の繊維数あたりの破断強度が高くなっていると考えられる。



(a) Concept (b) Testing apparatus
Fig. 3 Heavy load repeated bending test

Table.1 Tensile Strength of Kevlar

| 構造 | 破断荷重 [kN] | 厚さ [mm] | 面密度 [g/m ²] | 破断荷重/面密度 [N · m ² /g] |
|-----|-----------|---------|-------------------------|----------------------------------|
| 平織 | 5.73 | 0.9 | 430 | 13.33 |
| 綾織X | 3.30 | 0.45 | 230 | 14.35 |
| 綾織Y | 2.69 | 0.45 | 230 | 11.70 |
| ニット | 0.83 | 0.6 | 180 | 4.61 |

Table.2 Strength reduction due to repeated bending

| 構造 | 条件 | 平均破断荷重 [kN] |
|---------|-------|-------------|
| ケブラー綾織X | - | 3.30 |
| ケブラー綾織X | 7万回曲げ | 2.45 |

続いて、軽荷重繰り返し曲げ試験機を用いてケブラー繊維布の綾織に7万回曲げをかけた後、X方向で引張試験を行った。試験結果を表2に示す。6.4kgの荷重をかけた状態で、7万回曲げをかけたあと、引張強度は39%低下した。今後、軽荷重繰り返し曲げ試験に関しては曲げ回数、屈曲の曲率などを変えて強度低下特性についてさらに検証していく予定である。

5. 結言

本稿では、ロボットに布を用いるための、布の新たな屈曲耐久性評価の手法について提案した。また、布の繊維の種類や構成する繊維の構造による違いについて述べ、実際に引張試験を行うことで、それらの違いによる強度の変化について検証を行った。加えて、提案する試験法によって繰り返し曲げによる強度低下についても実験を行った。

謝辞

本研究はJSPS科研費、新学術領域研究「ソフトロボット学」JP19H05326の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] J. Antol, A New Vehicle for Planetary Surface Exploration-The Mars Tumbleweed Rover, 1st Space Exploration Conference: Continuing the Voyage of Discovery, pp.2520, 2005
- [2] T. Aoki and Y. Murayama and S. Hirose, Mechanical design of three-wheeled lunar rover; "Tri-Star IV", 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2198--2203, 2011
- [3] Zhou, B., Altamirano, C., Zurian, H., Atefi, S., Billing, E., Martinez, F., & Lukowicz, P. (2017). Textile pressure mapping sensor for emotional touch detection in human-robot interaction. Sensors, 17(11), 2585.
- [4] 宮沢哲. 天然繊維と合成繊維の化学. 化学と教育, Vol. 66, No. 9, pp. 444-447, 2018.
- [5] 平光立拓, 鈴森康一, 難波江裕之, 遠藤玄. 細径人工筋肉からなる織布状ソフトメカニズムの試作と評価. 設計工学, Vol. 54, No. 4, pp. 245-252, 2019.
- [6] JIS L 1096: 2010; 織物及び編物の生地試験方法, 2010.
- [7] JIS G 3535:2012; 航空機用ワイヤロープ, 2012