

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-第2報:重荷重試験機的设计と屈曲試験-
Title(English)	Evaluation of Flexural Durability of High Strength Textile for Robotic Applications -Part2: Design of Heavy Load Repeated Bending Apparatus and Bending Test-
著者(和文)	山岸海聖, 遠藤玄, 多田隈建二郎, 難波江裕之, 鈴森康一
Authors(English)	Kaisei Yamagishi, Gen Endo, Kenjiro Tadakuma, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2022講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2022, 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

## — 第 2 報: 重荷重試験機の設計と屈曲試験 —

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

#### -Part 2: Design of Heavy Load Repeated Bending Apparatus and Bending Test-

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

Kaisei YAMAGISHI, Tokyo Institute of Technology

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology, endo.g.aa@m.titech.ac.jp

Kenjiro TADAKUMA, Tohoku University

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Textile is soft, adaptable to shape, elastic, and lighter than metal. Taking advantage of these characteristics, textile is used as a material for soft robots. The authors thought that by using a cloth made of high-strength fibers, it would be possible to create a robot that takes advantage of its strength and durability in addition to its flexibility. As the first step to use textile as a mechanical component of a robot, this paper proposed a new evaluation method and a method to implement a testing machine. This paper also conducted strength and durability tests of high-strength textile using the testing machine.

**Key Words:** Textile, Chemical fiber, Soft robot

## 1 緒言

布は柔らかく形状適応性、伸縮性を持ち金属に比べると軽量であるといった特性を持つ。ロボットの材料として布はこういった特性を活かして自律型ロボットの外装 [1] や柔軟なセンサー [2], ロボットを動かすスキン型アクチュエータ [3] として用いられている。

筆者らは高強度繊維から構成される布を用いることで柔軟性に加えて高強度・高耐久の特性をもつロボットをつくることができると考えた。高強度繊維布は現在主に、構造物の補強材などといった土木建築分野や防護服の材料といった衣類分野、エアバッグなどの移動体の分野などで用いられている [4] が、ロボットの機構部材として用いる際の耐久性の評価手法は確立されていない。そこで、本稿ではロボットの機構部材として用いられる際に布がどのように動き、どのような力がかかるのかの想定を行い、耐久性評価手法を提案するとともに、作成した試験機を用いて行った屈曲耐久性試験の結果を報告する。

## 2 布の屈曲耐久性試験

### 2.1 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と考えられる。そのため、破断荷重を強度の評価指標とする。また、布がロボットの材料として利用される際に求められる運動を考えると、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強度の低下率をロボット用の布の耐久性の評価指標とする。

屈曲後の破断強度を測定し、布の耐久性の評価を行うためには、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 [5], 試験機を設計した。本稿では、提案する試験法のうち、重荷重下での屈曲耐久性試験について述べる。

### 2.2 重荷重下繰り返し曲げ試験

重荷重繰り返し曲げ試験の基本原理解を Fig. 1 に示す。試験片を固定ブロックのラウンド加工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。試験片を押し付けるブロックの面やブロック自体をかえることで曲げの曲率を変えることができる。重荷重をかけるために引張りには空圧アクチュエータを用いている。また、試験後の耐久性評価には複数サンプルが必要となるた

め、試験時間短縮できるよう複数サンプル同時に試験の行うことのできるような機構を組み込んだ。4つの試験片に空圧アクチュエータからの張力を等分する、連結差動機構のモデルを図 2 に示す。それぞれの梁がピンで固定され回転自由になっており、梁 1 の中心から梁 2、梁 3 の中心までの距離を等しく、梁 2、梁 3 の中心からそれぞれ試験片の中心までの距離を等しくしているため、力のつり合いとモーメントのつり合いからエアシリンダからの張力を試験片に 4 等分できる。繰り返し曲げ試験後に引張試験を行うことで強度を測定する。曲げ試験後の試験片の強度/曲げをかけていない試験片の強度 (平均値) × 100 を強度効率 [%] とし、それによって評価を行う。

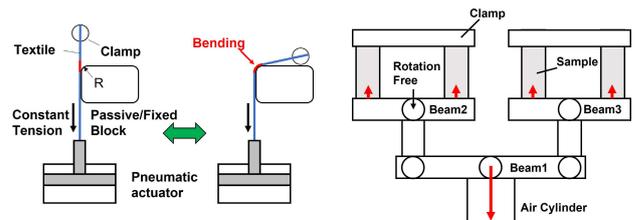


Fig.1 Concept of heavy load repeated bending test. Fig.2 Connected differential mechanism.

実際に作成した試験機を図 3 に示す。

引張に関しては、布試験片の両側をクランプで固定し、エアシリンダで引っ張っている。エアシリンダによる張力は印加する圧縮空気の圧力によって変えることができ、試験では各試験片に最大 2212.5N の張力をかけた。クランプ部は分割した円柱形の棒材と用いている。分割した円柱の間に布をはさみ、側部のボルトを締めつけて試験片を固定している。周りに布を巻きつけてから固定することで、布に張力が加わったときに摩擦力が働き、小さな力での固定が可能になっている。

曲げに関しては、モータ軸とクランプ部が接続されており、モータでクランプ部を回転させ、ブロックの面に布試験片を押し当てて繰り返し曲げをかけている。また、試験片には大きな張力がかかるため、モータの回転軸と試験片の曲げの中心軸を一致させてトルクの発生を抑えている。

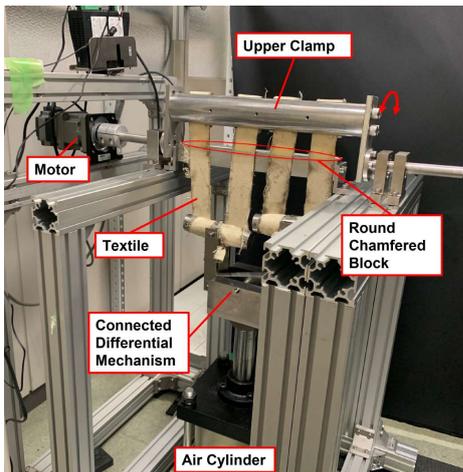


Fig.3 Heavy load repeated bending testing Apparatus.

### 3 試験結果と考察

#### 3.1 試験方法

試験機を用いて重荷重繰り返し曲げ試験を行った後に引張試験を行い、試験後の破断強度を得た。繰り返し曲げ試験は表 1 に示す条件下で行った。それぞれの試験で、4つの試験片を用いて試験を行った。得られた破断強度の平均値を試料の破断強度とし、強度効率の比較を行う。以下の図での棒グラフ中のエラーバーは標準偏差を示している。デジタル顕微鏡で撮影した試験後の屈曲部の様子を図 4 に示す。屈曲部では、横糸が上下に分かれ、繊維に損傷がみられた。

Table 1 Experimental conditions for heavy load repeated bending test.

曲げ角度 (°)	45
モータ速度 (°/s)	60
試験時間 (s/times)	1.8
ラウンド加工 (mm)	R2

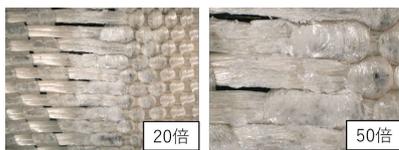


Fig.4 Bent part photographed with a digital microscope.

#### 3.2 結果と考察

##### 曲げ回数ごとの強度低下

始めに、試験機のエアシリンダに 0.1MPa の圧縮空気を印加し、各試験片に 737.5N かけた状態で試験を行った。曲げ回数ごとの強度効率について比較を行うために同じ条件で曲げ回数を増やして試験を行った。ここでは、かかる張力が大きく試験中に破断する可能性があるため、事前の引張試験で得られた結果から本研究で用いた高強度繊維布試料のうち、最も強度の高かった、クラレのポリアリレート繊維であるベクトランの平織を用いて試験を行った。ベクトラン平織の繰り返し曲げ試験を行っていない試験片の破断強度は 19.4kN であった。繰り返し曲げ試験の結果、1 万回屈曲後と 10 万回屈曲後の引張試験では、いずれも屈曲部から破断したが、1000 回屈曲後の引張試験では、いずれも屈曲部以外から破断した。試験結果を図 5 に示す。

平均値と比較すると、強度効率は 1000 回屈曲後で 71%、1 万回で 49%、10 万回で 47% となり、屈曲回数が増えるにつれて強度効率が低くなるという結果になった。ベクトラン平織は 0.7kN 荷重下で 10 万回屈曲後、強度が 47% 程度に低下し、引張強度は 9.1kN になった。結果から、高強度繊維布は 0.7kN の重荷重下で用いられるロボットの機構部材として、10 万回以上の使用に耐えられると考えられる。

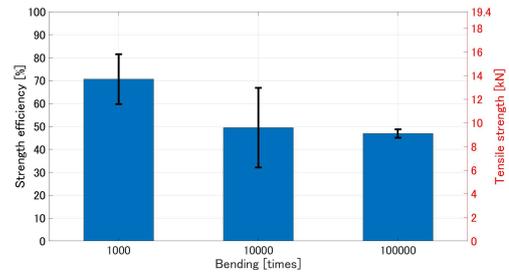


Fig.5 Number of bendings and strength efficiency of Vectran.

##### 試験片にかかる張力ごとの強度低下

ここまでの試験で、737.5N の張力をかけながら 1 万回曲げをかけたときに屈曲部から破断することがわかったため、ここでは同じ曲げ回数で張力を上げて試験を行い、強度低下を比較する。試験結果を図 6 に示す。

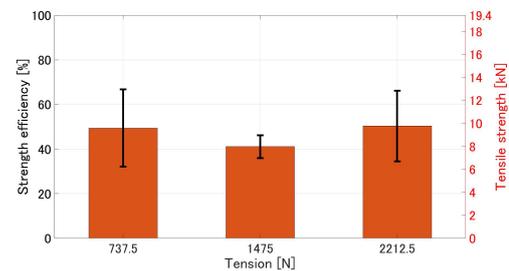


Fig.6 Tension and strength efficiency of Vectran.

平均値で比較すると、737.5N の張力をかけながら 1 万回曲げをかけたときの強度効率が 49%、1475N の張力をかけながら 1 万回曲げをかけたときの強度効率が 41%、2212.5N の張力をかけながら 1 万回曲げをかけたときの強度効率が 50% であった。ベクトラン繊維布では張力を上げて曲げ回数が同じであれば強度効率の大きな低下は見られなかった。結果から、高強度繊維布は 2.2kN の重荷重下で用いられるロボットの機構部材として、1 万回の使用に耐えられると考えられる。

### 4 結言

本稿では、ロボットに布を用いる際の耐久性評価手法を提案し、屈曲耐久性試験を行うための試験機的设计について述べた。また、作成した試験機を用いて試験を行い、得られた結果から高強度繊維布の屈曲耐久性の一部を明らかにした。今後の展望としては、得られた結果から重荷重下で用いられる機構を提案し、実装することが挙げられる。

#### 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] Takeshi Aoki, Yuki Murayama, and Shigeo Hirose, Mechanical design of three-wheeled lunar rover; "tri-star iv", In 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2198–2203. IEEE, 2011.
- [2] Bo Zhou et al, Textile pressure mapping sensor for emotional touch detection in human-robot interaction. Sensors, Vol. 17, No. 11, p. 2585, 2017.
- [3] Trevor L Buckner, R Adam Bilodeau, Sang Yup Kim, and Rebecca Kramer-Bottiglio, Roboticizing fabric by integrating functional fibers. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 117, No. 41, pp. 25360–25369, 2020.
- [4] A Richard Horrocks and Subhash C Anand, Handbook of technical textiles. Elsevier, 2000.
- [5] 山岸 海聖, 遠藤 玄, 難波江 裕之, 鈴森 康一, 多田 隈 建二郎, "高強度柔軟布のロボット応用に向けた屈曲耐久性評価", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, vol.2021, p.2P1-K02, 2021