

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 第二報：繰り返し曲げが引張強度に与える影響
Title(English)	Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -Second report: Influence of repetitive bending on tensile strength-
著者(和文)	堀米篤史, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Atsushi HORIGOME, Gen ENDO, Koichi SUZUMORI
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2015 予稿集, Vol. , No. , pp. 2A1-Q08
Citation(English)	Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp. 2A1-Q08
発行日 / Pub. date	2015, 5

高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討

—第二報：繰り返し曲げが引張強度に与える影響—

Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope
-Second report: Influence of repetitive bending on tensile strength-

堀米篤史 (東工大) ○正 遠藤玄 (東工大)
正 鈴森康一 (東工大)

Atsushi HORIGOME, Tokyo Tech, horigome@robotics.mes.titech.ac.jp
Gen ENDO, Tokyo Tech
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech

Synthetic fiber rope which has lightweight, high tensile strength and flexibility is receiving a lot of attention as the replacement for stainless steel wire rope. This study is clarifying various physical characteristics of synthetic fiber ropes to design tendon-driven mechanism and this paper take note of durability of repeated bending. We performed an experiment with two synthetic fiber ropes and one stainless steel wire rope in conformity with Japanese Industrial Standards. As a result, stainless steel wire rope and one synthetic fiber rope which has high resistance to frictional wear didn't get loss of tensile strength, however, repeated bending causes the tensile strength deterioration of the other synthetic fiber ropes which is weak in frictional wear.

Key Words: Tendon-driven, Synthetic fiber rope, Mechanical design

1 序論

近年、高い性能・機能を有する化学繊維の開発が盛んに行われており、その中にはステンレスワイヤと同等かそれ以上の強度を有しつつも密度は約 1/5~1/8 程度と著しく軽量なものもある。さらにステンレスワイヤに比してしなやかに曲がるため、結び目を作って端部を固定できるなど取り扱いが容易である。このような特徴を活かして腱駆動ロボット [1], 人工筋アクチュエータ [2][3] 等に用いられている。以上の特徴を持つような繊維を本研究では高強度化学繊維と呼ぶ。

ワイヤ駆動機構を設計する場合、従来の金属ワイヤロープについてはロープの構成方法や破断荷重が日本工業規格において定められているのに加え、文献 (例えば [4]) やメーカーが公開している技術資料 (例えば [5]) に曲げ比率による強度変化のデータや、耐久性、安全率の見積もり方法等があり、様々な技術データがこれまでに蓄積されてきている。一方で高強度化学繊維ロープについては繊維メーカーが繊維物性を公開しているもの (例えば [6])、ロープとして構成した場合の物性は単に引張強度のみがメーカーから提供される。また、機械駆動系の機構要素として高強度化学繊維ロープを用いた時の物理特性に関する研究は過去にもあるが (例えば [7])、そのどれもが系統立った物ではない。そこで、体系的な設計論を構築するために高強度化学繊維ロープに対して様々な特性試験を行う事で物理特性を明らかにする必要があると筆者らは考える。

本研究は高強度化学繊維ロープを用いたワイヤ駆動系の設計のため、ロープを駆動系に用いた場合の諸特性を明らかにしていく物である。第一報 [8] ではロープ端部のクランプ固定および曲げ比率が強度に対してどのような影響を及ぼすかについて検証した。本報ではロープの耐久性に注目し、一定張力条件下で繰り返し曲げを受けた場合に引張強度に生じる変化について検証する。

2 繰り返し曲げ耐久性

ワイヤ駆動系による機構ではロープはプーリーを介して、もしくはプーリーに固定して駆動する事がほとんどである。この場合、ロープにはプーリーの回転により屈曲と伸張を繰り返す部位が生じ、その部位の疲労が引張強度に影響を及ぼすことが考えられる。

航空機用ワイヤロープの日本工業規格では決められた試験方法の元で行われた繰り返し試験後のロープの引張強度が規定されて

おり、炭素鋼で元の引張強度の 50%以上、ステンレス鋼で 60%と定められている [9]。一方で高強度化学繊維ロープにはこのような試験方法や引張強度の規定が無いため、長期間の機構駆動系の運用が確かに可能とは言えない。よって本研究では高強度化学繊維ロープに対して繰り返し曲げ試験を行い、その耐久性を実験的に評価する。

3 試験装置と試料

実験結果に汎用性を持たせるため、実験は日本工業規格に記載されている耐久試験に則って行う。製作した実験装置を図 1 に示す。本装置には 4 個の耐久試験用プーリーがあるため、1 回の試験で試験片を 4 つ得る事ができる。本装置は日本工業規格で規定されている実験装置 (図 2) をリニアアクチュエータ (ヤマハ発

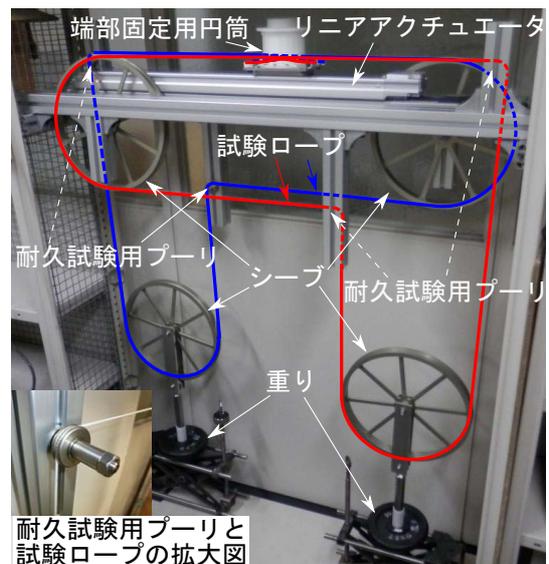


Fig.1 Durability experiment device

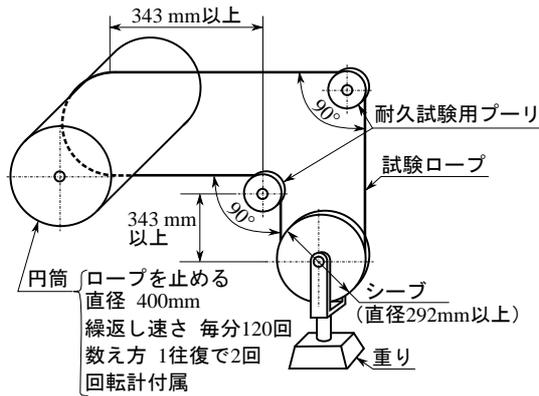


Fig.2 Model of durability experiment device provided by JIS¹

動機：T6L-20-600-3L-SR1-X05N-B)の両サイドに2つ配置した構成になっており、それぞれのロープが図1中の赤線と青線で表されている。試験ではこの装置に巻きかけたロープを343 mm以上の距離だけ往復運動させる事で繰り返し曲げを行い、規定回数の繰り返し曲げ後の引張強度を評価する。製作した装置と日本工業規格装置の大きな違いはロープの駆動源であり、本研究では回転円筒の代わりにリニアアクチュエータを用いた。これは既成品を用いる事で往復距離・速度の設定と繰り返し回数の計測を容易かつ正確に行うためである。アクチュエータを変更したため、日本工業規格での駆動源である円筒を直径300 mmのシープに置き換えた。

評価はいずれも直径2.0 mmの(1)超高分子量ポリエチレン繊維ロープ(ハヤミ工業：DB-60, 原糸はダイニーマ)、(2)芯糸にPBO繊維(ザイロン)、側糸に超高分子量ポリエチレン繊維(ダイニーマ)を用いたロープ(ハヤミ工業：DY-20ZL)、(3)ステンレスワイヤロープ(朝日インテック：7×19)の3種類に対して行った。表1に実験条件を示す。実験条件はロープ径毎に日本工業規格に記載されているが、ロープ径2.0 mmでの条件が記載されていないため、ロープ径1.59 mmと2.38 mmの条件値から線形補間により求めた。本試験では7万回の繰り返しを行うため、試験に要する時間は約9時間43分である。

Table 1 Experiment condition at rope diameter 2.0 mm

張力	繰り返し回数	往復距離	耐久試験用プーリー径
31.3 N	70000 回	343 mm	24.0 mm

4 実験結果

耐久試験を行った試験片に対して引張試験機(島津製作所：AG-I, 最大張力100 kN)を用いて引張強度を求め、さらに次式により強度効率を算出して(1)(2)(3)それぞれのロープの強度効率を求めた。

$$\text{強度効率} = \frac{\text{耐久試験後の引張強度}}{\text{通常時の引張強度}} [\%] \quad (1)$$

ここで、ロープ(1)(2)(3)の通常時の引張強度はそれぞれ2.14 kN, 2.99 kN, 3.50 kNである。それぞれのロープの4つの試験片の強度効率を図3に示す。(1)(3)は95%以上の強度効率を示している事から、繰り返し曲げによる強度低下はほぼ無いと考える事ができる。一方で(2)の強度効率は約30%であり、大幅な強

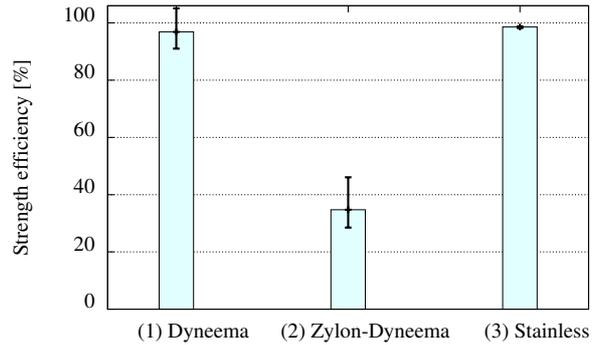


Fig.3 Strength efficiency of durability tested ropes

度低下が確認された。これはロープが屈曲・伸張する際に繊維同士が擦れる事による摩擦が生じるため、摩擦に弱い特性を持つザイロンが劣化してしまったためである。ここで、(2)の強度効率は芯糸(ザイロン)が破断した時の引張荷重により求めており、側糸だけについて強度効率を測定した場合は(1)と同程度の強度効率を得た。

5 結論

高強度化学繊維ロープの繰り返し曲げによる引張強度の低下に注目し、日本工業規格で規定されている耐久試験相当の試験によりロープの耐久性を調べた。摩擦に強い特性を持つダイニーマはロープとして構成し繰り返し曲げを与えても引張強度はほぼ変わらなかったが、ザイロンは摩擦に弱いため大きな引張強度の低下が生じる事を実験的に明らかにした。今後は他の高強度化学繊維ロープにも同様の試験を行うと共に、実験時のロープ張力を大きくするなどして実験条件をより運用時に近い値にすることでさらに汎用的なデータを取得する予定である。

謝辞

実験には東京工業大学機械物理工学専攻轟・水谷研究室の引張試験機を使用しました。ここに感謝致します。

References

- [1] 中西雄飛, 長田将彦, 上月豊隆, 溝口弘悟, 浅野悠紀, 白井琢磨, 浦田順一, 稲葉雅幸. 人体模倣筋骨格ヒューマノイド腿志郎の全身設計. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp. 1A1-K07(1) - 1A1-K07(4), May 2012.
- [2] 潮崎晴紀, 岩田和人, 盛真唯子, 鈴森康一, 脇元修一. 細型高収縮力人工筋の開発とテンセグリティ構造体への応用. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp. 1A2-C26(1) - 1A2-C26(4), 2010.
- [3] 鈴森康一, 車谷駿一, 脇元修一. 多繊維構造マッキベン人工筋の開発と筋骨格ロボットへの適用. 第32回日本ロボット学会学術講演会, pp. 2D1-06, Sep 2014.
- [4] 機械設計便覧編集委員会. 機械設計便覧. 機械設計便覧. 丸善, 第3版, Mar 1992.
- [5] 東京製綱株式会社 ワイヤロープ. http://www.ropes.co.jp/products/technical/th_02.html.
- [6] 東洋紡 ザイロン 技術資料. <http://www.toyobo.co.jp/seihin/kc/pbo/technical.pdf>.
- [7] J. Reinecke, M. Chalon, Friedl W., and M. Grebenstein. Guiding Effects and Friction Modeling for Tendon Driven Systems. 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), pp. 6726-6732, Jun 2014.
- [8] 遠藤玄, 洗津, 広瀬茂男. 高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討第一報：端部クランプ固定・曲げ比率が引張強度に与える影響. 第30回日本ロボット学会学術講演会, pp. 4B3-2, Sep 2012.
- [9] JIS G 3535 : 2012. pp. 7,10-12.

¹[9]より作成