T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題	高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 第三報 : クリー プ特性試験機の製作と初期実験		
Title	Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -Third report: Creep Testing Machine and Preliminary Experiments-		
著者			
Author	Atsushi Takata, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae		
	┃ ┃ ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, Vol. , No. , pp.		
Journal/Book name	Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol., No., pp.		
発行日 / Issue date	2017, 5		
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html		
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。		
Note	このファイルは著者(最終)版です。 This file is author (final) version.		

高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 一第三報:クリープ特性試験機の製作と初期実験一

Basic Study for Drive Mechanism with Synthetic Fiber Rope -Third report: Creep Testing Machine and Preliminary Experiments-

> 高田敦(東工大) 正 遠藤玄(東工大) 正 鈴森康一(東工大) 正 難波江裕之(東工大)
> Atsushi TAKATA, Tokyo Tech,takata.a.ac@m.titech.ac.jp
> Gen ENDO, Tokyo Tech
> Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech
> Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

Synthetic fiber ropes, which are lightweight and have high tensile strength and flexibility, have attracted attention as an alternative to stainless steel wire rope. This study clarifies various physical characteristics of synthetic fiber ropes to design a tendon-driven mechanism and this paper focuses on creep of ropes. We first designed and constructed a creep testing machine for ropes. Second, we performed experiments with three types of synthetic fiber ropes and one stainless steel wire rope. As a result, in stainless steel wire rope, creep was not observed. In addition, Polyarylate(PAR) fiber rope and Poly-phenylene-Benzobisoxazole(PBO) fiber rope have much higher creep resistance than Ultra High molecular weight Polyethylene(UHPE) fiber rope.

Key Words: Tendon-driven, Synthetic fiber rope, Creep characteristic

1 緒言

日本の化学繊維の研究開発は世界トップレベルにあり,高機 能,高性能な化学繊維の開発が盛んである[1].これらの化学繊 維を用いたワイヤにはステンレスワイヤと同等かそれ以上の引張 強度を持つものもあり,本研究ではそれらを高強度化学繊維ワイ ヤと呼ぶ.化学繊維ワイヤは合成樹脂であるため非常に軽く,曲 げやすいという利点もあることから,従来ワイヤ駆動に用いられ てきたステンレスワイヤに代替することが期待されている.近年 では,筋骨格ロボット[2]や四足歩行ロボット[3]などの駆動系 として高強度化学繊維ワイヤが用いられている.

駆動系にワイヤを用いる場合,その強度や耐久性といった機械 的特性は設計上重要である.従来から利用されている金属ワイヤ については日本工業規格にワイヤの構成,破断荷重,検査方法な どが定められいる.しかし,高強度化学繊維ワイヤについては繊 維メーカが原糸の資料を公開しているものの(例えば [4]),ワイ ヤとしての特性は引張強度のみがメーカから提供される.また, 化学繊維ワイヤの機械的特性の研究は船の繋留用ワイヤの力学特 性に関するもの [5],ワイヤ駆動ロボットハンドのガイドにおけ る摩擦をモデル化したもの [6] などがあるが,駆動系設計には他 にも耐久性など多くの特性評価が求められる.化学繊維ワイヤが 金属ワイヤに代わって広く利用されるには,実用に足りる信頼性 を持った体系的な設計論を構築する必要がある.従って,ワイヤ 特性の試験法の確立と種類豊富な化学繊維ワイヤの特性比較が求 められている.

本研究は高強度化学繊維を用いたワイヤ駆動系のための諸特 性を明らかにしていくことを目的としている [7, 8, 9].本報では 高強度化学繊維ワイヤのクリープ特性を検証する.化学繊維は合 成樹脂であるため常温でも荷重を受け続けると流動が生じる.そ のため,高強度化学繊維ワイヤを用いたワイヤ駆動の設計,運用 のためにクリープ特性の検証が必要となる.よって,本報ではク リープ特性試験機を製作し,高強度化学繊維ワイヤのクリープ特 性の測定実験を行う.

2 クリープ特性試験機の製作

製作したクリープ特性試験機の構成を図1に示す.試験片は 直径2mm,長さ4m程度のワイヤとし,一端を固定プーリに 巻きつけ固定する.他端は回転自在なプーリを経由し,荷重981 Nのおもりに固定される.両プーリの軸は地面から同じ高さであ り,二つのプーリ間のワイヤは水平である.ワイヤの伸びの計測



Fig.1: Creep testing system



Fig.2: Creep testing machine

はワイヤ水平部に間隔を開けてマーキングを2つ施し,マーキン グの相対変位により計測する.マーキングはネットワークカメラ (Canon 製 VB-M720F)により一定時間間隔で撮影される.マー キングの後方に固定されたスケールによってマーキングの変位を 計測することができる.なお,湿温計も同時に撮影する.

3 実験

実験に用いる試験片ワイヤの諸元を表1に示す.UHPE は超 高分子量ポリエチレン,PBO はポリパラフェニレンベンゾビス オキサゾール,PAR はポリアリレートの略称である.実験は約 10000 min 間ワイヤに981 N の荷重を負荷し,ワイヤの伸びを 計測した.伸びの計測は荷重の負荷直前から始まり,除荷直後ま で行う.計測の撮影間隔は60 min である.ただし,荷重を負荷 してから初めの6時間の間は10 min 間隔で撮影する.

実験結果を図3に示す.荷重を負荷してから時間の経過に伴っ て荷重を除荷するまでに進展するひずみがクリープひずみ ε_c で

Rope name	Stainless steel	UHPE	РВО	PAR
Rope maker	SHINYO	Hayami Industry	Hayami Industry	Hayami Industry
Rope model	SC-200	DB-96HSL	ZB-308	VB-308
Structure	7×19	2640 dtex×8	3340 dtex×8	3340 dtex×8
Fiber	SUS034	Dyneema®	Zylon®	Vectran®
Tensible strength	3.56	4.29	6.59	4.18

 Table 1: Properties of ropes



ある. Stainless steel ワイヤではクリープひずみが全く生じてい ないが,高強度化学繊維ワイヤでは時間の経過に伴ってひずみが 進展し,クリープ特性を有していることが分かる.

Stainless steel ワイヤを含む全てのワイヤで荷重を負荷した瞬間にひずみが生じ,除荷した瞬間にひずみが回復していることから,ワイヤが弾性を有していることが分かる.

Stainless steel ワイヤでは、荷重を除荷すると完全にひずみが 回復し、ワイヤが負荷前の長さに戻る.つまり、Stainless steel ワイヤには弾性ひずみ ε_e のみが生じる.しかし、化学繊維ワイ ヤでは、荷重を除荷した後にクリープひずみ ε_c よりも大きなひ ずみが残る.これは化学繊維ワイヤでは荷重を負荷するとき、弾 性ひずみ ε_e とは別に塑性ひずみ ε_p が進展することを示してい る.荷重を除荷する直前の最大ひずみを ε_{max} 、除荷時に回復す るひずみを弾性ひずみ ε_e とすると、塑性ひずみ ε_p , クリープひ ずみ ε_c を含めて式 (1) が成り立つ. ε_{max} , ε_e , ε_c の値から ε_p が 求まり、各試験片ワイヤの ε_e , ε_c , ε_p の関係を図 4 に示す.

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_c \tag{1}$$

10000 min の間に進展するクリープひずみ ε_c の大きさは UHPE ワイヤでは 1.95%, PBO ワイヤでは 0.08%, PAR ワイヤでは 0.18%である. クリープ特性は UHPE ワイヤが最も大きく, PAR ワイヤと PBO ワイヤでは同程度である.また, 塑性ひずみ ε_p の大きさは UHPE ワイヤでは 1.26%, PBO ワイヤでは 0.62%, PAR ワイヤでは 0.21%, 弾性ひずみ ε_e の大きさは UHPE ワイヤ では 1.21%, PBO ワイヤでは 0.75%, PAR ワイヤでは 0.99%で ある. PAR ワイヤと PBO ワイヤの全ひずみは同程度だが, PBO ワイヤは弾性ひずみが小さく,最も塑性ひずみが生じないのは PAR ワイヤである.このように,同じ荷重条件でも化学繊維ワ イヤの種類によって生じるひずみの大きさが異なっている.従っ て,高強度化学繊維ワイヤをロボットに用いる場合,機構が許容 できるワイヤの伸び量が使用するワイヤの選定条件となり得るこ とが分かる.



Fig.4: Relationships between elastic, plastic, and creep strain of ropes

4 結論

本報では高強度化学繊維ワイヤを駆動系として用いる場合の基礎的検討としてクリープ特性に注目し、クリープ特性試験機を製作し、ワイヤのクリープ測定実験を行った. Stainless steel ワイヤではクリープが顕著に生じた一方、PAR ワイヤ、PBO ワイヤでは極めて小さいことを確認し、高強度化学繊維ワイヤの中でも原糸の種類によってクリープ特性が大きく異なることを明らかにした.また、化学繊維ワイヤに荷重を負荷するときに生じる塑性ひずみを確認した.今後は他の種類の高強度化学繊維ワイヤのクリープ測定を行いクリープ特性の比較を行う.

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開 発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです.

参考文献

- [1] 日本化学繊維協会 よくわかる化学せんい, http://www.jcfa.gr. jp/fiber/super/index.html 2017 年 3 月 1 日閲覧.
- [2] T. Kozuki, T. Shirai, Y. Asano, Y. Motegi, Y. Kakiuchi, K. Okada and M. Inaba, "Muscle-tendon complex control by "Tension controlled Muscle" and "Non-linear Spring Ligament" for real world musculoskeletal body simulator Kenshiro", 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp. 875-880, Aug 2014.
- [3] S. Kitano, S. Hirose, A. Horigome, and G.Endo, "TITAN-XIII: sprawling-type quadruped robot with ability of fast and energyefficient walking", ROBOMECH Journal, Vol. 3,NO. 1,p. 8, 2016.
- [4] 東洋紡, ザイロン 技術資料, http://www.toyobo.co.jp/seihin/ kc/pbo/technical.pdf 2017 年 3 月 1 日閲覧.
- [5] Peter Davies, "Mechanical behaviour of HMPE and aramid fibre ropes for deep sea handling operations", Ocean Engineering, 2011.
- [6] J.Reinecke, M.Chalon, W.Friedl 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.
- [7] 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, 4B3-2, Sep 2012.
- [8] 堀米 篤史, 遠藤 玄, 鈴森 康一, "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", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-Q08(1)-2A1-Q08(2), May 2015.
- [9] Atsushi Horigome, Gen Endo, "Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -investigation of strength reduction by reduction by bending and terminal fixation method", Advanced Robotics, Vol. 30, No. 3, pp. 206-217, Feb 2016