

単腕ロボットによる残留変形を利用した布地の把持動作

柴田 瑞穂 (立命館大), 太田 剛士 (立命館大), 遠藤 善雅 (I.S.T), 平井 慎一 (立命館大)

Textile Grasping Using Residual Deformation of Textile by A Single Arm Robot

Mizuho SHIBATA (Ritsumeikan Univ.), Tsuyoshi OTA (Ritsumeikan Univ.),
Yoshimasa ENDO (I.S.T), Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

Abstract: This paper presents grasping of a textile using its residual deformation. Due to low flexural rigidity, a textile may have residual deformation at a stable state without force pressing to floor. Using residual deformation of a textile, a single arm robot can grasp a textile edge. We analyze the required length of a textile to be grasped from a standpoint of the buckling load. Additionally, we confirm experimentally that a stable shape of a textile depends on paths of a robotic finger.

1 緒言

本研究では、単腕ロボットを用いて布地の把持動作を実現する。ハンカチ地など比較的薄い布地は、普通紙などに比べて曲げ剛性が非常に小さく、変形を加えた後に変形したままの状態安定となる性質を持つ。本報告では、布地の残留変形を利用することで、単腕ロボットによる布地の把持方策を提案する。また、座屈荷重の理論より、その実現性について議論する。さらに、指先の運動が把持部の形状に与える影響について検討した。

2 コンセプト

薄板状物体の把持において曲げ変形操作を利用する手法は、若松らによって提案されている [1]。文献 [1] では、把持を行うために、2つのハンドを用いる。まず、1つのハンドを用いて薄板状物体に曲げ変形操作を行う。その後、曲げ変形部と床との間に形成された空間に他方のハンドを挿入することによって把持操作を行う。薄板状物体の曲げ変形を維持するために、片方のハンドを床に押し付け続けており、2つのハンドが必要となる。

本報告では、単腕ロボットによる残留変形を利用した布地の把持方策を提案する。Fig.1 に示す4つの過程、(a) 布地の縁に平行グリッパを床に押し付ける、(b) 指を動かし布地に対して曲げ変形操作を行う、(c) ハンドを持ち上げる。布地の変形により発生する力と床に接触している部分の摩擦係数がつりあい、変形が残留する、(d) 変形部と床との間の空間に平行グリッパを挿入し布地を把持する、を行う。図では、例として平行グリッパを有する単腕2手のロボットを示しているが、ロボットアームに自由度があれば、平行グリッパ付き単腕ロボットで作業を行うことが可能である。

3 座屈荷重による解析

Fig.2 に、曲げ変形操作後ハンドを持ち上げ、安定状態となった布地を示す。図に示すように、変形し、床と布地が接触していない部分を把持部、床と布地が接触している部分を接触部と定義する。把持部に発生する力は床と接触している接触部の自重によって発生する摩擦係数によってつりあっているとす。本節では、座屈荷重の理論 [2] から、把持部を作る際に必要な接触部の長さを概算する。図に示すような、両端が固定端である長さ L の梁の座屈荷重 P は、

$$P = \frac{4\pi K}{L^2} \quad (1)$$

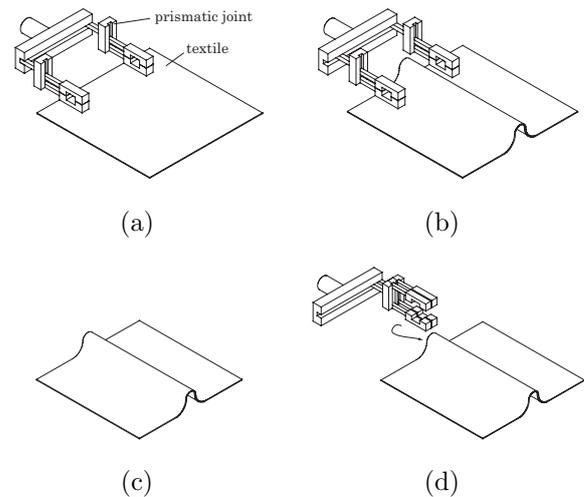


Fig.1: Concept of textile grasping

で表される。ここで、 K は物質の曲げ剛性である。曲げ剛性 K は、物質のヤング率 E および断面二次モーメント I を用いて、 $K = EI$ と表される。この座屈荷重 P が布地と床に働く最大静止摩擦係数とつりあうとすると、

$$P = \mu WS \quad (2)$$

となる。ここで、 μ は最大静止摩擦係数、 W は単位面積あたりの自重、 S はつりあい時の接触部の長さである。したがって、つりあい時の接触部の長さ S は、

$$S = \frac{4\pi K}{\mu WL^2} \quad (3)$$

となる。Table 1 に本実験で用いた布地の物理特性を示す。本実験では、木綿地の布地を使用した。また、比較のために普通紙の物理特性を併記する。表に示す布地の摩擦係数、曲げ剛性、厚さの測定については、Kawabata's Evaluation System for fabric (KES) [3] を用いた。式 (3) に KES にて計測した値を代入し、 $L = 6$ cm の把持部を形成するために必要な接触部の長さを計算すると、木綿地の布地では 19.65 cm、普通紙では 759.54 cm となった。これは、木綿地の布地で $L = 6$ cm と設定すると、把持部から両側に 6 cm 程度ずつの接触部があれば、適当な大きさの把持部を作成できることを示唆している。普通紙は木綿地の布地に比べて曲げ剛性が 30 倍ほど高く、摩擦係数が小さいために、現実的な範囲では把持部を作成することができない。

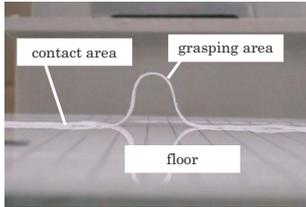


Fig.2: Grasping area of textile

	Cotton	Paper
Size [mm]	450x430	210x297
Weight [g]	19.49	4.14
Friction coefficient *	0.22	0.18
Flexural rigidity [gf·cm] *	0.043	1.360
Thickness [mm] *	0.61	0.14

4 実験

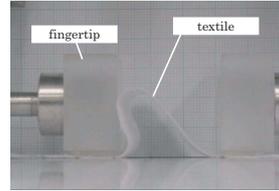
三菱電機製 4 自由度スカラーム RH5AH-55 の手先に、NKE 製 2 自由度平行グリッパハンド SK-CH-2 を取り付けシステムを用いて実験を行った。ハンドには直動 1 自由度の指が 2 本配置されている。初期状態における指の幅を L に設定する。その後、スカラームを用いて布地の縁を押し付け、幅 l まで指の間隔を狭める。このときの把持部の外形を観察する。本実験では、 $L = 6 \text{ cm}$ とした。床への押し付け力はそれぞれの実験において一定である。ここでは、滑りが生じない程度の押し付け力を選定した。布地は幅 3 cm に切り出して使用した。

4.1 曲げ剛性の非均質性の影響

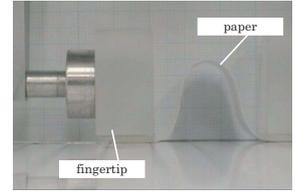
Fig.3 に、 $l = 3 \text{ cm}$ とした際の把持部の安定形状を示す。この軌跡を軌跡 A と呼ぶ。比較のために普通紙による結果をあわせて示す。Fig.3-(a) に示されるように、布地の安定形状は非対称型となった。これは、布地の物理特性が非均質であることが考えられる。安定形状は、物質の曲げ剛性の分布に支配されているが、布地は普通紙に比べてばらつきが大きい。したがって、普通紙では安定形状が対称型になるが (Fig.3-(b))、布地では把持部を形成する場所によっては安定形状が非対称型となる。曲げ剛性の分布によって安定形状が非対称になることは、文献 [1] においても指摘されている。また、長さ 15 cm、20 cm の布地を用いて前章の結果を実験的に確認した。その結果、15 cm の布地では l の大きさによっては把持部が作成できなかったが、20 cm の布地では任意の l で把持部を作成することが可能であった。

4.2 指先の軌跡の影響

把持部と床との間にできた空間にロボットハンドを挿入する際に、空間は対称型に近い形状で作成できることが望ましい。作成した把持部の形状をセンサで正確に認識することは難しいが、対称型に近い形状とあらかじめ分かていれば、挿入するために必要なロボットアームの軌道が容易に作成できると考えられる。本節では、指先の軌跡が把持部の安定形状に与える影響について検討する。Fig.4 に、指の幅を $L = 6 \text{ cm}$ から $l = 1.5 \text{ cm}$ まで動かした後、 $l = 3 \text{ cm}$ と動かした際の把持部の安定形状を示す。この軌跡を軌跡

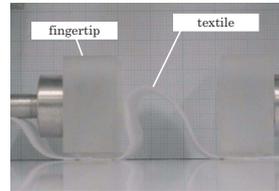


(a) Textile

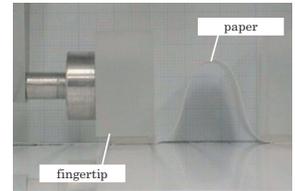


(b) Paper

Fig.3: Stable shapes (path A)



(a) Textile



(b) Paper

Fig.4: Stable shapes (path B)

B と呼ぶ。比較のために普通紙による結果をあわせて示す。Fig.3 および Fig.4 の比較から、軌跡 A の場合に、把持部の最高点を示す部分が指と指の間の中心にシフトしており、形状が対称型に近くなっている様子が確認できる。軌跡 B の場合の最高点は、軌跡 A の場合の最高点と比べて中心に 0.5 cm ほどシフトしている。図に示すように、普通紙では顕著な差が見られなかった。このように、安定形状は指の軌跡に依存する。また、この安定形状は指先の速度に関しては顕著な差が見られないことを実験的に確認している。さらに、指先を軌跡 B で動かした後、 $l = 1.5 \text{ cm}$ および $l = 3 \text{ cm}$ を複数回繰り返す作業を行った。このとき、安定形状は、はじめに動かした軌跡 B の形から変化しないことを確認している。これらの事象は、布地の物理特性が非均質であるだけでなく、曲げ剛性にヒステリシスが存在することが安定形状に影響を与えていることを示唆している。

5 結言

本研究では、単腕ロボットを用いて布地の把持動作を実現した。ハンカチ地など比較的薄い布地は、普通紙などと比べて曲げ剛性が非常に小さく、変形を加えた後に、変形したままの状態でも安定となる性質を持つ。本報告では、布地の残留変形を利用することで、単腕ロボットによる布地の把持方策を提案した。把持部を作成する際に必要な接触部の長さを座屈荷重の理論より解析した。また、指先の運動が把持部の形状に与える影響について検討した。その結果、安定形状が指先の軌跡に依存することを実験的に確認した。今後、この現象を曲げヒステリシスを考慮したシミュレーションを通して検証する。

参考文献

- [1] 若松, 平井, 岩田: "薄板状物体のマニピュレーションにおける曲げ変形操作の静力学的解析", 日本機械学会論文集 (C 編), 63 巻, 607 号, pp. 1102-1109, 1997.
- [2] 西村: "紙のハンドリング技術", 精密工学会誌, Vol.55, No.7, 1989.
- [3] 川端季雄: "風合い評価の標準化と解析 第 2 版", 日本繊維機械学会, 1980.