

動的な布地の展開における指先にかかる圧力分布の推定

太田 剛士, 柴田 瑞穂, 平井 慎一 (立命館大学)

Estimation of Pressure Distribution between Fabric's Hem and Fingertips during Dynamic Unfolding by Pinching Slip Motion

Tsuyoshi OTA, Mizuho SHIBATA, and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

Abstract: The paper presents dynamic unfolding of fabrics by pinching slip motion. By keeping the textile in contact with robot fingertips, the dynamic unfolding is done successfully in horizontal direction. In this paper, we simulate the distribution of pressure between fingertips and the fabric by ANSYS. Here, we assume that the contact force is described by contact between fluid and an obstacle in duct.

1 緒言

本研究では、ロボットアームとグリップ型のロボットハンドにより、布地の基本的な動作技術である把持、展開、定置動作を実現した。展開動作について、ヒトの展開動作を模倣したつまみ滑り動作を実装した [1]。把持力を適切に設定することにより展開動作が安定に行えること、指先形状において成功率に差異が生じることを実験的に示した。

本報告では、展開時における布地とロボットハンドの指先との関係を、二次元流体と障害物との関係と見なすことでシミュレーションを行い、展開動作時にかかる指先の圧力分布を推定する。

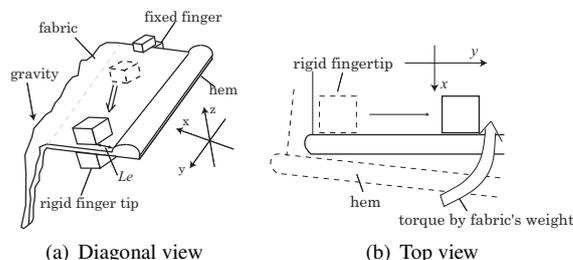


Fig.1 Pinching slip motion

2 つまみ滑りによる布地の動的な展開

Fig.1 に、つまみ滑りによる布地の展開方法を示す。Fig.1-(a) は斜め方向から、Fig.1-(b) は Z 軸上向きから見た図である。つまみ滑り動作とは、布地の縁を利用した展開動作であり、布地を落とさず、指先を滑らせる動作である [1]。この動作の、指先と布地が接触しながら相対的に運動する動作を、動的な動作と定義する。動作終了時に、縁との距離 L_e を短くすることが成功条件である。

2.1 展開時における布地と指先の接触実験

これまでの研究により、圧力分布を考察するためには、指先と布地の接触位置が重要であることを示した [1]。さらに、ロボットの指先に水溶性のインクを塗布した状態で展開を行うことで接触面の位置と幅を推定した [2]。実験結果を再録する。実験で使用した指先について、半径 15 mm の半円に 30 × 15 mm の四角を組み合わせたものを使用した。円弧形状の部分が縁と接触するように、つまみ滑り動作をおこなう。実験の試行回数は 30 回であり、指先速度は 9.95 mm/s である。インクの擦れ落ちた部分を測定することで、つまみ滑り動作時における指先にかかる支配的な力のかかる接触面の位置を測定した。Table 1 に、実験で使用した木綿のハンカチである布地の物理特性を示す。測定方法は Kawabata's Evaluation System for fabric (KES) [3] を用いた。また布地の縁形状により、布地の表裏を Fig.2 のように、縁が上向きを裏、下向きを表とする縁はほつれを防止するために、布地の端を巻き込みその上からミシンで縫っているために布地の表裏で縁の形状に差異が生じる。

2.2 接触位置測定の実験結果

実験結果として、半円と四角を組み合わせた指先形状の場合、接触平均長さは裏面の場合は 16.9 deg、表面の場合は 15.6 deg となった。接触位置については、長さが ±20 deg 以内であり、さらに接触位置が一箇所である結果が得られた。また、それぞれ布地が裏面の際の指先下側と、表面の際の指先下側には接触が見られなかった。

Table 1 Physical properties of cotton

Size [mm]	450x430
Weight [g]	19.49
Friction coefficient *	0.22

* measured by KES

3 指先の圧力分布の推定

本章では前章の結果を踏まえ、布地との接触によって指先に発生している力を推定する。仮に布地と指先の接触を剛体の接触とみなすと、境界条件が煩雑になる。しかしながら、布地と指先が接した状態で相対位置が変化する接触をともなう動的な動作を、流体と障害物の接触とみなすことで指先の圧力分布を推定できる。Fig.3-(a) に示すように、布地と指先の関係を 2 次元の流体と流体ダクトに置かれた障害物の関係とみなすことでシミュレーションを行う。この障害物の表面上の圧力分布を検討する際に、接触する位置のみがダクト内に存在するものとする。ダクト内にある指先の頂点と、ダクトとの距離 L_v は前章の結果より得た接触面長さの平均値より算出する。裏面のときには $L_v = 0.37$ mm、表面のときには $L_v = 0.44$ mm である。

有限要素法解析ソフト ANSYS によりシミュレーションを行う。基本方程式は連続の式と非圧縮性流体の Navier-Stokes 方程式である [1]。このときに、流体パラメータを実際の布地特性にマッチングさせる必要がある。布地は形は容易に変化するが、体積は変化しないため、扱う流体を密度および粘性変化のない非圧縮流体とする。またレイノルズ数 Re を表す場合、一定の粘性を ν 、代表速度を U 、代表長さを L とすると、

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (1)$$

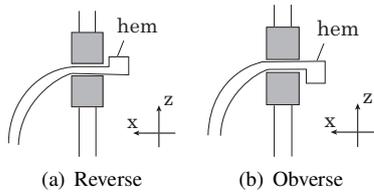


Fig.2 Warpage direction of fabric

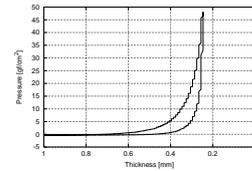


Fig.4 Compression characteristic of cotton

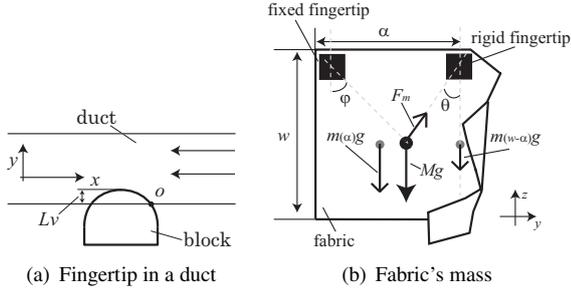


Fig.3 Setting simulation

となる．ここで KES で測定した布地の動摩擦係数を動粘性係数 ν と見なすことで、レイノルズ数を決定する．Table 1 より、 $Re = 23.25$ となる．これは低レイノルズ数によるシミュレーションとなるが、実際の実験での布地と指先との相対速度が、音速に比べると非常に小さいという条件を満たすため、動摩擦係数を動粘性係数とみなす仮定が妥当であると言える．また、指先にかかる重力による布地の Z 軸方向の力を導出する．布地の質量の位置について、Fig.3-(b) にモデルを示す．布地を一辺が w の幅の正方形とし、把持する 2 点間の距離を α とする．展開時における布地の質量を距離 α に依存する関数と仮定する．その際、2 点の指先で把持して変形をしていないエリアの質量 $m(\alpha)$ と、重力によって変形しているエリアの質量 $m(w - \alpha)$ とに分ける．変形していないエリアの質量は 2 点間の中心にくるものとし、変形を有しているエリアの質量を、つまみ滑りをしている指先の Z 軸上を取る．つまり布地を把持する指先的位置によって布地の合計質量 M の位置が変化する．このとき、初期条件としてつまみ滑り動作をしている指先にかかる力 F (Fig.5-(a)) は、

$$F = F_m + \mu' N \quad (2)$$

と表すことができる．このときの μ' は動摩擦係数であり (Table 1), F_m は重力による力である．また、 N は垂直抗力であり、これは布地の特性を計測した際の圧縮特性より算出する (Fig.4)．さらに、Fig.3-(b) に示すように、それぞれの指先と布地の質量との成す角を θ 、 φ とおくと、

$$F_m = \frac{Mg \sin \varphi}{\sin(\theta + \varphi)} \quad (3)$$

となる．布地の質量についての仮定により、このときの θ 、 φ はそれぞれ α で表すことができる．今回のシミュレーションの際には $\alpha = w/2$ と設定する．指先にかかる力から、縁と指先が接触する際の速度 V を求める．実験条件下での指先の初期位置と指先にかかる力の関係を Fig.5-(a) に、指先と縁が触れるときの指先速度を Fig.5-(b) に示す．このとき V は

$$V = \sqrt{\frac{2l_{init} F}{M \cos \theta}} \quad (4)$$

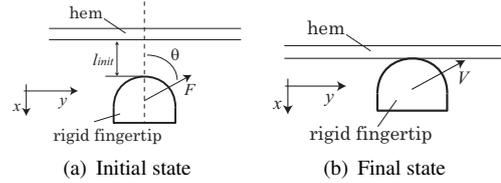
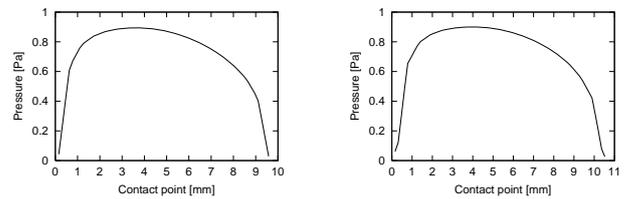


Fig.5 State between fingertip and hem



(a) Plot fingertip surface at reverse (b) Plot fingertip surface at obverse

Fig.6 Simulational results

と表すことができる．初期条件における、円弧形状の頂点と縁との距離 l_{init} は 5 mm と設定する．

シミュレーション結果を Fig.6 に示す．布地が裏面の場合の指先の圧力分布のグラフを Fig.6-(a)、布地が表面の場合を Fig.6-(b) に示す．観測点の原点 o を Fig.3-(a) に示す．観測点は、原点から障害物表面を反時計回りにダスト境界面までとする．グラフより、あまり表裏に差が生じなかった．それぞれのグラフについて、上に凸のグラフであり最大で約 0.9 Pa の値を示している．

4 結言

本報告では展開動作における布地によって指先にかかる圧力を、流体におけるダクト内の障害物にかかる圧力と見なしシミュレーションを行った．布地の動摩擦係数を非圧縮流体の動粘性係数と見なすことでレイノルズ数を決定した．それにより、柔軟物である布地と指先との圧力分布を推定することができた．今後の課題として、表裏の接触位置と角度を考慮したシミュレーションが必要である．

参考文献

- [1] 太田, 柴田, 遠藤, 平井: "つまみ滑り動作による縁あり布地の動的な展開", 第 20 回ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2008.
- [2] 太田, 柴田, 平井: "つまみ滑り動作による動的な布地の展開における接触の観察" 第 26 回日本ロボット学会学術講演会論文集, 2008.
- [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.