

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656169

研究課題名(和文)線状物体のモデリングに基づく編物構造のカーリング現象の解明と防止

研究課題名(英文)Modeling of Curling of Plain-Knitted Fabrics toward Its Suppression

研究代表者

若松 栄史(Wakamatsu, Hidefumi)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60273603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：平編地に生じるカーリングと呼ばれる編地の端がまくれる現象は、縫製の際の障害となるため、解決が望まれている。本研究では、微分幾何学と静力学の変分原理に基づいて、カーリング現象のモデル化を行った。その成果として、糸の物性と編地編成時のパラメータとから、編地がどの程度カールするのかを、実際に編むことなく予測できる可能性を示すことができた。これにより、試し編みを繰り返すことなく、カーリングが低減するようなパラメータ調整を行うことが可能になると考える。

研究成果の概要(英文)：Curling is a phenomenon that edges of a plain-knitted fabric are curled and it prevents efficient sewing of the fabric. As quantitative relationship between the magnitude of curling and properties of a yarn and/or knitting parameters is unclear, analysis of curling has been required. First, a knitted stitch in a plain-knitted fabric is modeled based on the differential geometry and the variational principle of statics. Then, curling is regarded as deformation of the stitch to reduce its potential energy. Next, curling of the whole fabric in 2D space is modeled considering the gravitational effect. Finally, it is shown that the difference of the curled shape of the fabric due to the difference of the rigidity of the fabric can be simulated. We will be able to estimate curling of a fabric from properties of a yarn and knitting parameters without actually knitting. It will lead to suppression of curling by controlling such properties/parameters.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード：編み物構造 カーリング 線状物体 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

平編地に生じる、編地の端が巻き上がる現象はカーリングと呼ばれ、縫製の際の障害となっている。カーリングは、編目の表目と裏目が交互に並び、大域的に見て表裏が対称な構造であるゴム編やパール編には生じないことが分かっている。したがって、編目の構造自体にカーリングを起こす原因が内在していることになるが、糸の物性や編目のサイズとカーリングの度合いとの関係は理論的には解明されておらず、カーリングの根本的な解決方法も見つかっていない。

2. 研究の目的

カーリングは、集合の要素である編目の力学的特性が集合体である編地の特性に影響を与える現象であり、こういった現象をシミュレーションするためには、要素である編目を力学的視点に基づいてモデル化する必要がある。そこで本研究では、微分幾何学を用いて編目の形状とポテンシャルエネルギーを定式化し、静力学の変分原理を用いて編目形状、さらには編地形状の導出を行うことを目的とする。この手法により、糸の物性と編地編成時のパラメータとから、編み上がった編地がどの程度カールするのかを、実際に編むことなく予測できれば、試し編みを繰り返すことなく、カーリングが低減するようなパラメータ調整を行うことが可能になると考える。

3. 研究の方法

研究代表者が既に提案している編目構造のモデリング手法を用いて、カーリング現象のモデリングを行う。本研究では、平編の表面へのカールを縦カール、裏面へのカールを横カールと呼ぶ。両カールとも平編構造の表裏非対称性が原因であるということは、ループ状に変形した糸に内在する力あるいはモーメントが、構造全体に影響を与えているということになる。なお、実際の編地には縦カールと横カールが同時に発生し得るが、本研究ではどちらか一方のみが生じるものとしてモデル化を行う。

まず、編目構造のモデリング手法について概説する。図1のように、 l_w を編目のウェール幅、 l_c をコース幅と呼ぶ。提案手法では、編目一目の糸の長さ、糸の半径、糸の曲げ剛性とねじり剛性、ウェール幅とコース幅が与えられれば、微分幾何学と静力学の変分原理に基づき、図2のように、糸のポテンシャルエネルギーが最小となるような編目形状を導出できる。

以上を踏まえて、まずは横カールについて考える。本研究では、各編目の両端点から形成される面を編地面と定義する。編地面が伸縮することなく一定の曲率で横カールすると仮定し、その曲率を κ_c とする。図3のように、カール後の両端における中心軸方向の zx 平面からの角度を β とすると、

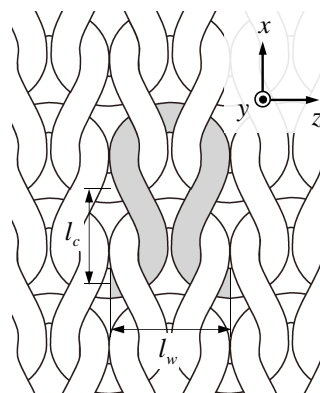


図1 編目のウェール幅とコース幅

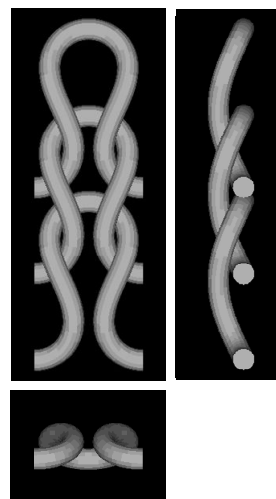


図2 編目形状の計算例

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\zeta_y(0)}{\zeta_z(0)}$$

となる。この β を用いて、横カールの曲率 κ_c は

$$\kappa_c = \frac{2\beta}{l_w}$$

と表わすことができる。また、横カール後の z 方向の両端間距離を l_w' とすると

$$l_w' \cong l_w \left(1 - \frac{\beta^2}{3!} + \frac{\beta^4}{5!} \right)$$

となる。よって、上のような制約条件の下で、糸のポテンシャルエネルギーを最小化することにより、横カールを考慮した編目形状を導出できる。

次に、同様の考え方から縦カールのモデリングを行う。編地面が伸縮することなく一定の曲率で縦カールすると仮定し、その曲率を κ_v とする。図4のように、着目する編目の端部を基準にすると、 xy 平面における一つ上の編目の端部の位置 $[x_c, y_c]^T$ は、カール前は

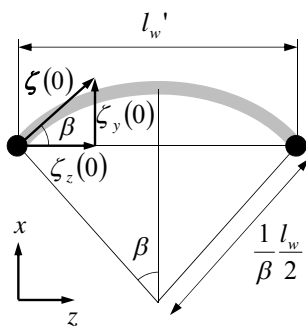


図3 横カールのモデル化

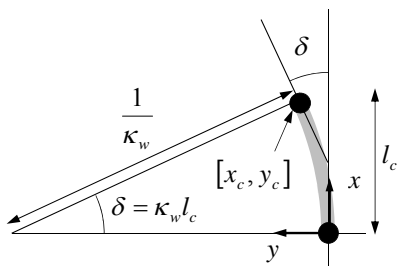


図4 縦カールのモデル化

$[x_c, y_c]^T = [l_c, 0]^T$ だが、縦カールにより

$$x_c = \frac{1}{\kappa_w} \sin(\kappa_w l_c) \cong l_c \left\{ 1 - \frac{(\kappa_w l_c)^2}{3!} + \frac{(\kappa_w l_c)^4}{5!} \right\}$$

$$y_c = \frac{1}{\kappa_w} \{1 - \cos(\kappa_w l_c)\} \cong l_c \left\{ \frac{\kappa_w l_c}{2!} - \frac{(\kappa_w l_c)^3}{4!} \right\}$$

の位置に移動し、かつ一つ上の編目全体が $\kappa_w l_c$ だけ回転する。よって、上のような制約条件の下で、糸のポテンシャルエネルギーを最小化することで、縦カールを考慮した編目形状を導出できる。

もし、編地が平坦な状態において糸のポテンシャルエネルギーが最小であれば、 $\kappa_c = 0$ かつ $\kappa_w = 0$ となる。しかし、編地の拘束状態から横カールあるいは縦カールが可能であり、かつ、カールすることで、平坦な状態よりもポテンシャルエネルギーが小さくなるのであれば、より安定な形状となるために、編地にはカーリングが生じるはずである。

編目のカーリングについては上記のようにモデル化できるが、実際の編地では、各編目がカールすることで編地が自身に接触しながら、編地の端のみが何重かに巻かれたような状態となる。よって、次の段階として、このような編地全体の挙動をモデリングする。編地を初期曲率 κ_0 を持った弾性板とみなし、 y 方向に重力が作用する yz 平面内での変形を考える。 κ_0 については編目の縦カールあるいは横カールの曲率を用いる。 y 軸の正方向にカールするような向きで左端を水平面上に固定する。編地のポテンシャルエネルギーとしては、曲げ変形によるひずみエネルギーと重力による位置エネルギーを考える。更に、自己干渉を防ぐような制約も定式化する。

これにより、編目のモデリング手法と同様に、地のポテンシャルエネルギーを最小化することで、編地としてのカーリング形状を導出することができる。

なお、編地の変形形状を計算するには、編地の曲げ剛性が必要となる。これは、計測により求めることができるが、実際に編地を編んでしまえば、編地を編まずにカーリングの度合いを予測するという本研究の目的から外れるため、計算した編目形状各点での曲率およびねじれ率分布より推測することとする。

4. 研究成果

図5に横カールした編目形状の計算例、図6に縦カールした編目形状の計算例を示す。計算より、横カールの場合、縦カールの場合ともに、平坦な編地よりもポテンシャルエネルギーが小さくなっていることが分かった。

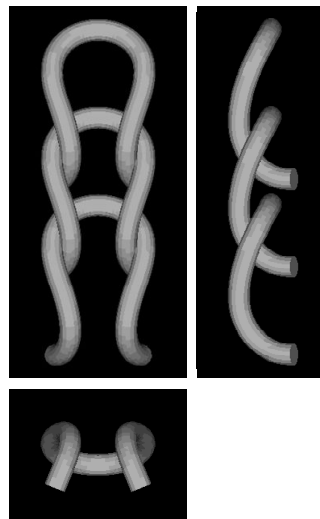


図5 横カールした編目形状計算例

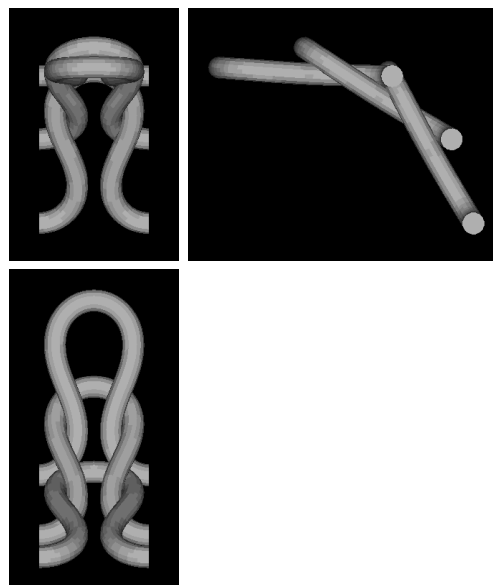


図6 縦カールした編目形状計算例

よって、カーリングは、糸が自身の持つポテンシャルエネルギーをより小さくしようとして生じる現象であると言える。そして、本モデリング手法により、糸の物性や一目の長さ、ウェール幅、コース幅を変更することで、編目にどの程度のカーリングが生じ得るのかを予測できると考える。

次に、図7に、曲げ剛性と重さの比を変化させた場合の編地のカーリング形状を示す。図7(a)の場合、編地は左端まで全てカールしているが、編地の曲げ剛性に比較して編地が重くなると、左端に近い部分はカールしなくなり、自由端である右端のみがカールするようになる。よって、本計算結果より、カーリングが編み地の端付近で止まるのは、重力が一因であると考えられることができる。

本研究により、糸の物性と編地編成時のパラメータとから、編み上がった編地がどの程度カールするのかを、実際に編むことなく予測できる可能性を示すことができた。これにより、カーリングが低減するようなパラメータ調整を効率的に行うことが可能になると考えられる。ただし、カーリングの際の糸同士の摩擦については、研究期間内に妥当なモデリング手法を提案することができなかった。糸同士の摩擦はカーリング形状を決定する重要な因子であり、これが正しくモデル化できれば、本カーリング予測手法はより確実なものとなるため、これについては引き続き研究を進めていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

若松栄史、井上真理、倉敷哲生、森永英二、荒井栄司、武内俊次、カーリング・斜行現象を再現できる平編地の編目構造モデリング手法、Journal of Textile Engineering、査読有、Vol.60、No.3、2014、pp.41-51

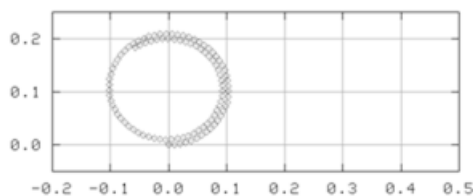
若松栄史、井上真理、倉敷哲生、森永英二、荒井栄司、武内俊次、平編み地におけるカーリング現象のモデリング、繊維機械学会誌、査読無、Vol.67、No.3、2014、pp.183-188

若松栄史、森永英二、荒井栄司、井上真理、画像処理を用いた糸の物性値の簡易計測手法、繊維機械学会誌、査読無、Vol.65、No.9、2012、pp.524-529

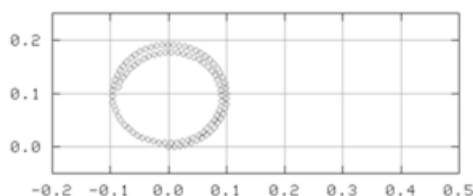
〔学会発表〕(計7件)

若松栄史、山田直哉、井上真理、倉敷哲生、森永英二、荒井栄司、武内俊次、カーリング形状推定のための糸の物性からの編地の物性の予測、日本繊維機械学会第67回年次大会、2014、pp.208-209

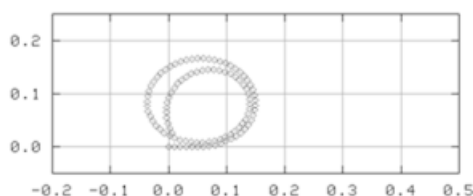
若松栄史、井上真理、倉敷哲生、森永英二、荒井栄司、武内俊次、平編み地におけるカーリング現象のモデリング、日本繊維機械学会第66回年次大会、2013、pp.228-229



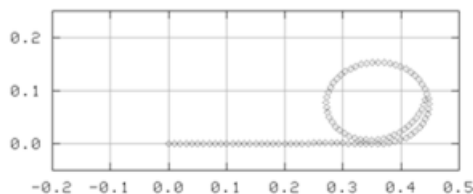
(a) 重さが曲げ剛性の0倍



(b) 重さが曲げ剛性の100倍



(c) 重さが曲げ剛性の400倍



(d) 重さが曲げ剛性の500倍

図7 平編地のカーリング形状計算例

若松栄史、大前勇樹、森永英二、荒井栄司、井上真理、画像処理を用いた糸の物性値の簡易計測手法、日本繊維機械学会第65回年次大会、2012、pp.166-167

6. 研究組織

(1)研究代表者

若松 栄史 (WAKAMATSU、 Hidefumi)
大阪大学、工学研究科、准教授
研究者番号：60273603

(2)研究分担者

倉敷 哲生 (KURASHIKI、 Tetsusei)
大阪大学、工学研究科、准教授
研究者番号：30294028

井上 真理 (INOUE、 Mari)
神戸大学、人間発達環境学研究科、教授
研究者番号：20294184