編構造を有する布地のモデリング

立命館大学 ○ 和田隆広 平野達也 平井慎一 川村貞夫

Modeling of Kni ttedFabri cs

○ Takahiro WADA , Tatsuya HIRANO , Shi ni hi HIRAI , and Sadao KAWAMURA

Ritsumei kan University

Abstract: A new approach to the modeling of knitted fabric considering heiritextives tructur and physical interaction among yarns. First, behavior of the twind parts of knitted yarns is experimentally investigate Second, a mathematical model of knitted fabric is established on the experimental results and theiritextives tructure. Keywords: deformable objects, no deling, knitted fabrics, clothes, deformation

1. はじめに

産業界において,紙,布地,ゴム等柔らかい物体を対象とす る作業は多く,自動化が遅れ,手作業に依存する割合の高い作 業も存在する.その例として,ニット製品等の製造工程が挙げ られる.ニット類は伸縮性に富み,柔軟物体の中でもとりわけ 取り扱いが難しく自動化が困難である.

本研究では,ニット類の変形特性を明らかにし,数理モデルを構築することを目標とする.ここでは,ニット類の編構造に着目して数理モデルを構築し,実験によって得た特徴を表現する.

2. ニットの編組織

ニットは編構造を有する布地であり,糸によって編構造を構成したものである.最も基本的な編構造である平編^[1]をFig.1に示す.本研究では,平編地を対象とする.また, Fig.1に示すように,ループの縦方向の列をwale,横方向の行をcourseという^[1].



Fig. 2: Wal ewisedef or mation(Faceside)

裏側の場合の初期状態とwal e方向へ引っ張った結果を Fig. 3 に示す.図中の黒い点がマーク *P*₃, *P*₄である.マーク *P*₃, *P*₄は, 裏の糸に対して移動していない.



(a) Face si de Fig. 1: Plainknitted loops

3. ニットの引張実験

前節で示したように,ニットは一本もしくは数本の糸が絡み 合うことで構成されている.そこで,糸の絡み部分の挙動を調 べるため,布の引っ張り実験を行った.実験方法を以下に示す.

- 1. Fig. 1に示すように,絡み部にマーク P₁ ~ P₄を付ける.
- 2. 布の両端をクランプし,布地を引っ張る.
- 3. 変形の様子をCCD カメラで撮影する.
- 4. 変形後のマークの移動を観察する.
- 5. 以上を, course方向, wale方向の両方について行う.

以下に,布の引っ張り実験の結果を示す.

(i) Walewise 表側の初期状態及び wal e方向へ引っ張った結果 を Fig. 2に示す.黒い点がマーク P_1, P_2 である.マーク P_1, P_2 の移動を見ると,裏の糸に対して相対的に,マーク P_1 は上方 向へ,マーク P_2 は下方向へ移動したことがわかる.



(a) I ni t i al

(b) Deformed

Fig. 3: Wal ewisedeformation(Reverseside) (ii) Coursewise Course方向に関しても同様の実験を行い, 以下の結果を得た.表側では,マーク P_1 , P_2 は裏の糸に対して 相対的に移動しなかった.裏側では,マーク P_3 , P_4 が裏の糸に 対して相対的に横方向へ移動した.

さらに,上記のwale,courseの各変形結果ともに,マークの形状がほとんど変化しなかった.

(考察)マークの形状が変わらないという結果より,変形の過程 において,糸の伸びがほとんどないと考えられる.また,wale, courseの両方向に対する実験結果より,絡み部における糸の軸 方向と引っ張り方向が平行に近いとき,絡み部が下側の糸に対 して相対的に移動することがわかる.移動する方向は,引っ張 り方向に近い方向である.

4. ニットのモデリング

(座標系の設定)まず,座標系の設定を行う.Fig.4に示す通り, 編目のループの中心線を取り出す.絶対座標系を $O - xy \ge 0$, 物体の左端から物体に沿った距離を $s \ge 3$.前節の考察よ り,ここでは糸の伸びはないと仮定する. $\psi_i(s)$ を第i糸の距 離sでの糸軸の接線とx軸のなす角, $x_i(0)$, $y_i(0)$ を第i糸の左 端のx, y座標値とする.第i糸の距離sの点におけるx, y座標値 は, $[x_i(s), y_i(s)]^T = [\int_0^s \cos \psi_i(s) ds + x_i(0), \int_0^s \sin \psi_i(s) ds + y_i(0)]^T$ で与えられる.





本報告では,引っ張り変形がwaleもしくは course 方向へ均 ーである場合のみを扱う.編構造が繰り返し構造を持つことを 考えると,引っ張るためにクランプした部分から十分離れた中 心部分では編目はほぼ均一であると考えられる.そこで,一つ の基本ループの形状を求め,その形状を course および wale方 向へつなぎ合わせて表現する.すなわち, $\psi_i(s+L) = \psi_i(s) = \psi_1(s), x_i = x_1, y_{i+1} - y_i = \alpha (= \text{const.})$ なる関係が成り立っ ていると考え, $\psi_1(s) \in [0, L] と \alpha を求めることで,変形形状を$ 決定する.Lは1ループの糸の長さである.

(絡み部の定式化)次に絡み部の移動の特徴を表現する. Hg.5-(a) に示すように,第1糸と第2糸は,絡み部を持つ.それぞれ の絡み部を, Hg.5-(b) に示すように,互いに直交する2本のバ ネでモデル化する.



(a) Gross points E through H
(b) Springs
Fig. 5: Spring no del of cross points

図において,点 E~Hは,初期状態の第1,2糸の交差する点 である . 点 E での第1,2糸の*s* 座標をそれぞれ *sE*1,*sE*2,同様 に点Fでの第1,2糸のs座標をそれぞれsF1,sF2とする.点 Aは $s = (s_{E1} + s_{F1})/2$, Bは $s = (s_{E2} + s_{F2})/2$ の点である. 初期状態での点A, Bをそれぞれ A_0 , B_0 とする. また, b, aをそれぞれ初期状態における直線 EF方向への単位ベクトル及 びそれに直交する方向の単位ベクトルとする.点A,Bにおけ るバネをポテンシャルエネルギを $U_{AB} = 1/2\Delta z^T K \Delta z$ で定式 化する.ここで, $\Delta z = [(\vec{BA} - B_0 \vec{A}_0)^T a, (\vec{BA} - B_0 \vec{A}_0)^T b]^T$, $K = di ag[k_a, k_b]$ であり, $k_a k_b$ はそれぞれ a b 方向へのバネ 定数である.ここで,ベクトルa,bは初期状態によってのみ決 まり,変形後も変化しないことに注意する.先に記した通り, B点のx, y座標値は, $x_2(s) = x_1(s), y_2(s) = y_1(s) + \alpha \epsilon$ 利用 する . Hg.5 のC, Dにおけるバネも同様に導入し, そのポテ ンシャルエネルギを UCDとおく.このとき,バネのポテンシャ ルエネルギの全体 $U_s \in U_s = U_{AB} + U_{CD}$ で与える.

(曲げ変形の定式化)曲げ変形は Hrai $6^{[2]}$ と同様に考える.ここでは,布地の初期形状におけるループ形状を糸の自然状態と仮定する.曲げ剛性を R_f ,曲げによるポテンシャルエネルギを U_f とする.

(変形形状の計算) 1 ループの全ポテンシャルエネルギ Uは, $U = U_s + U_f$ であると仮定し, Hrai $S^{[2]}$ の方法を用いて静的な変形形状を計算する.ただし境界条件としては, wale方向の場合, α を指定し, かつ $\psi_1(0) = \psi_1(L) = 0$ を与え, course 方向の場合, $\psi_1(0) = \psi_1(L) = 0$ かつ $x_1(0) = 0, y_1(0) = 0, x_1(L) = C_w, y_1(L) = 0$ を与える. C_w は変形後の couse 方向の幅である.(計算結果)変形計算の一例として, $k_a = 1.0, k_b = 0.01, R_f = 1.0$ を与えた場合の結果を Hg.6 に示す.拘束としては, wale 方向の場合 α の値を初期値の1.1倍にし, course 方向の場合は, C_w を初期状態の右端の x座標の1.1倍にしている.Wale方向, course 方向ともに, 絡み部の移動が実験結果と一致している.



Fig.6: Computed shap es of knitted loops Wale方向の計算結果を実際の布地の画像に重ね合わせたものをFig.7 に示す.ただし布地は, α の値が初期値の11倍になるように変形させた.計算では条件 $\psi_i(0) = \psi_i(L) = 0$ を与えている.このような拘束は,実際の布には与えていない.しかしながら,クランプした部分から十分離れている部分では,ループがほぼ均一になっており,結果的に上記の条件が満たされていることが確認されている.



Fig.7: Computed shap e superimp osed on CCD image

5. おわりに

本報告では,ニットの変形の特徴を実験によって明らかにした.変形の特徴およびニットの繰り返し構造に基づいたモデルの構築法を提案した.最後に,計算結果と実際の布の変形形状を比較し,モデルの有効性を確認した.今回は編目がほぼ均一となる部分のみを対象とした.その他の部分では,編目の絡み部分における摩擦等の原因により編目が不均一になる.この部分の変形を記述するために,摩擦等をモデルに導入することが今後の課題として挙げられる.

参考文献

- 1 日本繊維機械学会編,"布の製造性能及び物性",1988
- S. Hrai, H. Wakamatsu, and K. Iwata, "Modeling of Deformable Thin Parts for Their Minipulation", Proc. of ICRA, pp. 2955 - 2960, 1994