

# 接触圧予測のための布地のモデリング

○平野達也, 和田隆広, †若松栄史, 平井慎一, 川村貞夫  
立命館大学 †大阪大学

## Modeling of Textile Fabrics for Predicting Contact Pressure

○Tatsuya Hirano, Takahiro Wada, †Wakawatsu Hidefumi, Shinichi Hirai, and Sadao Kawamura  
Ritsumeikan University, †Osaka University

**Abstract :** A method to predict contact pressure of fabrics will be presented. First, we develop a mathematical model to predict contact pressure. Second, deformation of a fabric and contact pressure acting on the fabric are computed using the developed model. The computation results are then compared with experimental results in order to verify how the developed model is valid.

**Keywords :** deformable objects, contact pressure, modeling, textile fabrics, orthosis

### 1. はじめに

近年, 人の生活を支援する機器に対する要望が強くなっている. このような機器のひとつに装具が挙げられる. 例えば, 高齢者には, 運動を容易にする装具が, 運動選手においては, 衝撃を和らげる装具が必要とされている. 補助具には, 1)簡単に装着できる. 2)運動補助能力が高いことが望まれる. 装具の例として, サポータが挙げられる.

本報告では, サポータなど面状伸縮物体によって構成される補助具について考察する. このような補助具は, 次の2つの機能を持っていると考えられる. 1つめは運動の生じない箇所を包み込み, 圧力によって皮膚の血液の流れを潤滑に行う機能である. 2つめは, 肘や膝など運動の生じる関節を包み込み, 圧力によって関節剛性を高める機能である.

以上のように人体を包み込む装具は, 圧力が機能に重要な役割を果たしている. 従って, 面状伸縮物体と人体の間に作用する接触圧力に関する研究が必要である. 接触圧力を事前に予測することは, サポータなどの設計の省力化を可能とする. さらに, 目的とする機能を実現するための設計法への応用が期待できる.

そこで, 本報告では, まず面状伸縮物体の数理モデルを構築し, 接触圧力を予測する. 次に布地を対象とする実験を行い, モデルの妥当性を検証する.

### 2. 圧力分布の計算

#### 2. 1 モデリング

本報告では, 布地から受ける力を計算するためのモデルを構築する. 布地全体を Fig.1 に示すような格子状のバネでモデル化する. この布地のモデルでは, 空間座標系  $O-xyz$  を設定し, 物体の左端を原点とする. 各格子点での空間座標値を, モデルにおける変数と定義する.

また,  $\mathbf{p}_{i,j} \equiv [x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j}]^T$  ( $i=0, \dots, m; j=0, \dots, n$ ) を格子点の位置ベクトルとする. また, Fig.2 は第  $(i, j)$  番目の格子点を基準としたバネのモデルを示している. 格子の単位要素は, 縦横のバネと, 対角線を結ぶ斜め方向のバネより構成されている.

本報告では, 格子点  $(i, j)$  に  $Z$  軸方向へ適当な変位を与え, その格子点に働く力  $F$  を求める計算を行う. この際, 二つの斜めバネのバネ定数は等しいとする. 初期状態でのバネの自然長をそれぞれ,  $L_C^0, L_W^0, L_S^0$  とする.

横バネのポテンシャルエネルギーを  $U_C$ , 縦バネのポテンシャルエネルギーを  $U_W$ , 格子点  $(i, j)$  と  $(i+1, j+1)$  を結ぶ斜めバネのポテンシャルエネルギーを  $U_{S1}$ , 他方の斜め

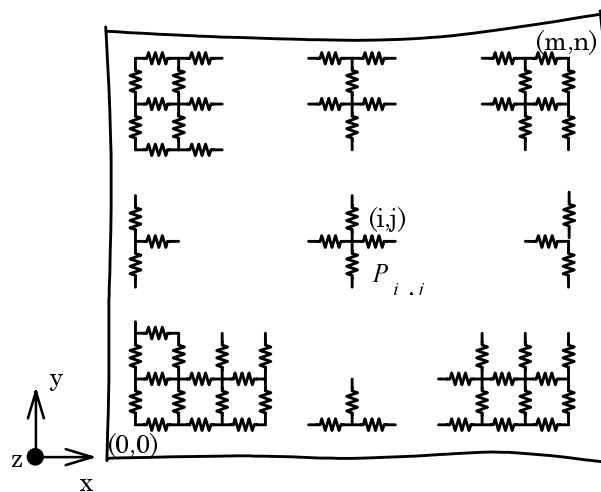


Fig.1 Model of textile fabric

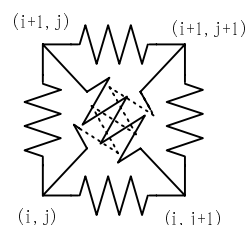


Fig.2 Spring model at lattice point  $(i,j)$

バネのポテンシャルエネルギーを  $U_{S2}$  とする. 布地全体のポテンシャルエネルギー  $U$  は,  $U = U_C + U_W + U_{S1} + U_{S2}$  と表される. 格子点  $(i, j)$  における各バネのポテンシャルエネルギーは, 次式で与えられる.

$$U_{i,j}^C = \frac{1}{2} \cdot K_C \cdot \left( \|\mathbf{p}_{i,j+1} - \mathbf{p}_{i,j}\| - L_C^0 \right)^2$$

$$U_{i,j}^W = \frac{1}{2} \cdot K_W \cdot \left( \|\mathbf{p}_{i+1,j} - \mathbf{p}_{i,j}\| - L_W^0 \right)^2$$

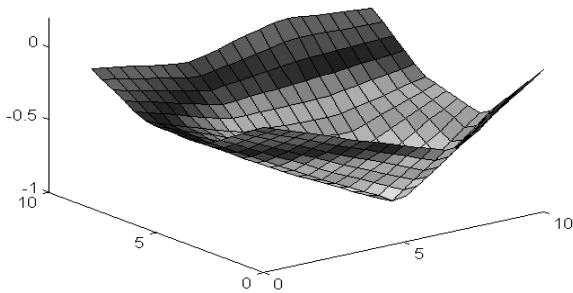
$$U_{i,j}^{S1} = \frac{1}{2} \cdot K_S \cdot \left( \|\mathbf{p}_{i+1,j+1} - \mathbf{p}_{i,j}\| - L_S^0 \right)^2$$

$$U_{i,j}^{S2} = \frac{1}{2} \cdot K_S \cdot \left( \|\mathbf{p}_{i+1,j-1} - \mathbf{p}_{i,j}\| - L_S^0 \right)^2$$

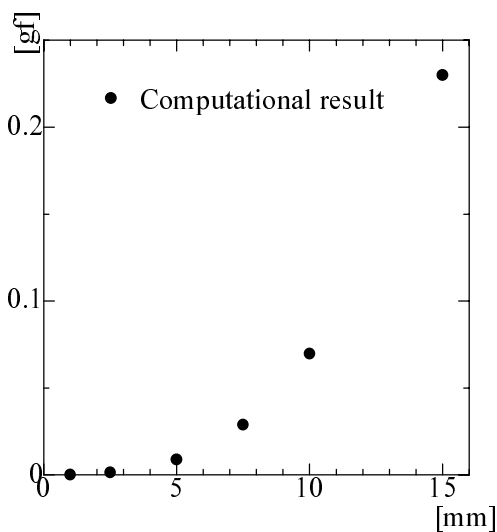
布地全体のポテンシャルエネルギー  $U$  を最小化することにより, 布の変形形状を計算する. 変位を与えた格子点に作用する力は, その格子点につながっているバネに作用する力を加え合わせることで, 求められる.

## 2. 2 計算例

本節では、提案したモデルの計算例を示す。縦、横、斜めのバネ定数は、それぞれ  $K_c=2.0$ ,  $K_w=2.0$ ,  $K_s=1.0$  である。モデルの大きさを縦 102(mm)×横 84(mm) とし、 $m=3$ ,  $n=3$  である。拘束点は(0, 0), (3, 0), (0, 3), (3, 3), (1, 2)の5点である。この時の拘束点における力  $F$  を計算した。変形形状と力の計算結果をそれぞれ、**Fig.3(a)**, **(b)**に示す。**Fig.3(a)**は、変位を 10[mm] とした時の計算結果であり、その計算結果を双1次補間した。



(a) Deformed shape



(b) Force

Fig.3 Computational result

## 3. モデルの評価

### 3. 1 実験方法

本報告では、実際に布地に変位を与えた際の力  $F$  を計測するため、**Fig.4** のような実験装置を構築した。手先部分に6軸力覚センサを取り付け、手先部分に作用する力を計測した。センサの分解能は 3.3[gf] である。

2. 2節で述べたモデルの格子点と同位置で実験を行った。センサを用いて布地からの反力を測定し、また、エンコーダによって変位を測定した。変位はそれぞれ、1.0[mm], 2.5[mm], 5.0[mm], 7.5[mm], 10.0[mm], 15.0[mm] である。

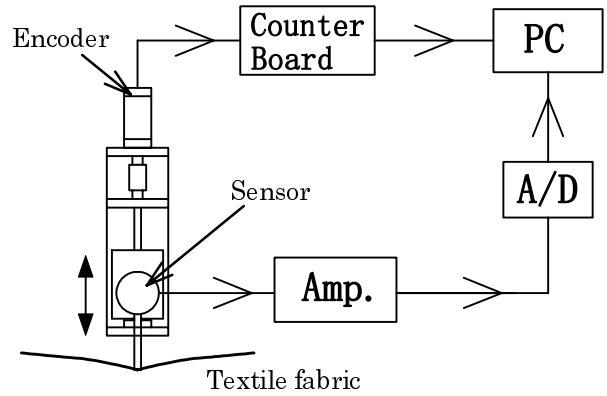


Fig.4 Experimental system

### 3. 2 実験結果とその評価

3. 1節で述べた変位を布地に与えたときのそれぞれの力の計測値を **Fig.6** に示す。また、3. 2節で述べた変位と同様の変位をモデルに与えて得られた結果との比較を **Fig.6** に示す。**Fig.6** から、実験値がほぼ線形的な増加をしているのに対し、計算値では、非線形的な増加をしていた。そのため、モデルと実際の布地との間に変位と力の関係の一致が見られなかった。

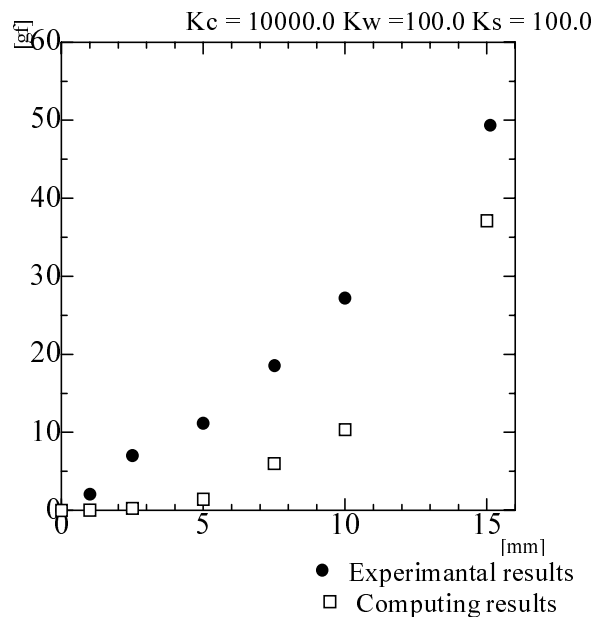


Fig.5 Comparison between computational result and experimental result

## 4. おわりに

本報告では、布地の一点に力を加えた際の布地の変形形状を数理モデルを用いて計算した。また、変形形状から布地に生じる反力をモデルを用いて計算した。実験を行い、実験値と計算値との比較を行った。その結果、実験値と計算値との間に相違が生じていることが分かった。今後、モデルに非線形バネ等を加えて、モデルの妥当性を確かめる。

また、今後は、分布圧による変形について考察する予定である。