

被服圧測定のための圧力センサの校正式の検討

伊藤紀子*・細砂恵子**

Noriko Iro and Keiko Hososuna: On the Equation for Calibrating the
Clothing Pressure Measured with a Transducer

(1991年8月31日 受理)

1. 緒 言

人体の動きに伴い人体表面の皮膚は伸長する。人体に着装された被服は被服のゆとりとすべり、さらに被服の伸びで皮膚の伸びに追従している。人体に接触して被服が伸ばされた状態では、人体と被服の接触面において伸長方向と垂直な方向に分力が生じる。この垂直な方向に分力が人体を圧迫する被服圧である。被服圧は生理的影響のみでなく被服の快適性を決定する重要な要因の1つ¹⁾であり、被服圧を定量的に測定することは着心地のよい被服を作るために必要なことと考える。

直接的に被服圧を測定することのできる抵抗線歪計素子型圧力センサには荷量型圧力センサと半導体型圧力センサがあり、いずれも薄小で被服下に挿入しても着装状態に大きな変化を与えない。しかも、被服着用時の動的な被服圧変化が容易に測定できるため、被服圧測定における最も望ましい方法といえる。しかし、人体は骨部(剛体)や筋肉、脂肪組織(軟部)などからできており、各部の圧縮硬さは異なるため、受圧体の圧縮硬さを変化させたときの圧力センサの特性をあらかじめ検討しておく必要がある。圧力センサは他に、受圧体の曲率半径、被服材料の伸長性や厚さの違いによる影響も受けることが報告されている²⁾⁻⁴⁾ため、これらについても同様に被服圧測定に先立って圧力センサの特性を検討しておくことが必要である。

そこで本研究では、被服圧の定量的測定を容易にするために抵抗線歪計素子型圧力センサの校正方法について検討した。実験は、受圧体の硬さ、受圧体の曲率や被服材料を変化させたときの測定値と理論計算式による理論値との関係を求め、それぞれについての校正直線を導き、統計的手法を用い、被服圧測定における校正方法を検討した。

2. 測定原理

曲面の被服圧を求める方法に Kirk らによる理論計算式⁵⁾がある。曲率半径 r_1, r_2 の曲面を覆う布に互いに直交する張力 T_1, T_2 を加えた時に作用する被服圧 P は次のような式で求められる。

* 被服学教室
** 智頭農林高校

$$P = T_1/r_1 + T_2/r_2 \quad \dots\dots (1)$$

P：被服圧

T_1, T_2 ：張力

r_1, r_2 ：曲率半径

受圧体として曲率半径 r_1 の円筒モデルを用いた場合、 $r_2 = \infty$ となり、上式(1)は

$$P = T_1/r_1 \quad \dots\dots (2)$$

となる。著者らは⁶⁾この式(2)の適合性を検討し、次のような結果を得た。

- 圧縮硬さの大きい円筒モデルの場合は、この理論式の高い適合性が認められた。
- 圧縮硬さの小さい円筒モデルでは、張力増加によって生じる曲率半径の変化が小さい場合には高い適合性が認められた。
- 曲率半径の変化が大きい場合は、変化した曲率半径を理論式に使用する必要がある。

以上のことを参考に張力 T_1 と曲率半径 r_1 を用いて理論値を計算により求める。

一方、圧力センサを被服下に挿入すると、圧力センサ部分が突出した状態となる。すなわち、布の張力が圧力センサに集中するため、被服圧の実測値は、理論値が一定であっても圧力センサの形状、受圧体の硬さや曲率、さらに被服材料の伸長特性や厚さによっても影響を受け変化する。

そこで、各条件下での理論値と実測値との関係を求め、それぞれの因子とした高相関の重回帰式

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5 + b \quad \dots\dots (3)$$

Y：被服圧の理論値 (gf/cm²)

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 ：定数

X_1, X_2, X_3, X_4 ：独立変数

b：切片

を求めれば、様々な条件下での被服圧測定が容易になると考えられる。

3. 実験方法

(1) 圧力センサ

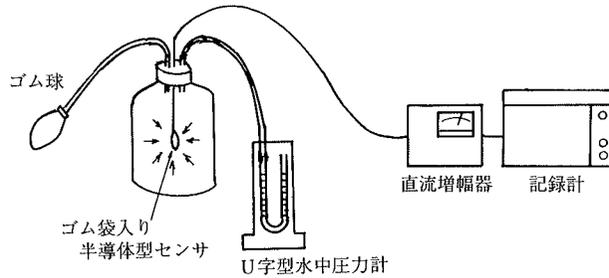
測定に使用した圧力センサは、先に著者ら³⁾が使用した抵抗線歪計素子を内蔵した荷重変換型圧力センサ(共和電業 LM-A 型)と半導体型圧力センサ(キュライト LQ-080-200)の2種類である。各圧力センサ自身の校正方法は以下のとおりである。

① 荷重型圧力センサ 圧力センサを剛体上に両面テープで固定し、分銅支持台を用いて、10~50 g の分銅荷重を加え 10 g ごとの反応圧力を直流増幅器を通じ、レコーダに記録させる分銅荷重法を用いた。分銅支持台を使用した理由は、圧力センサの受感部に比べてはるかに大きな分銅の重さが正確に受感部へ伝えられるための配慮である。校正値は、分銅荷重と反応出力との間に、相関係数 $r = 1.00$ の高い直線性が認められた。

② 半導体型圧力センサ このセンサは外形が 0.4×0.9×0.15 cm の微軽量小型であるため、感度が大きく、測定データがばらつくことが著者ら⁶⁾によって明らかにされている。そ

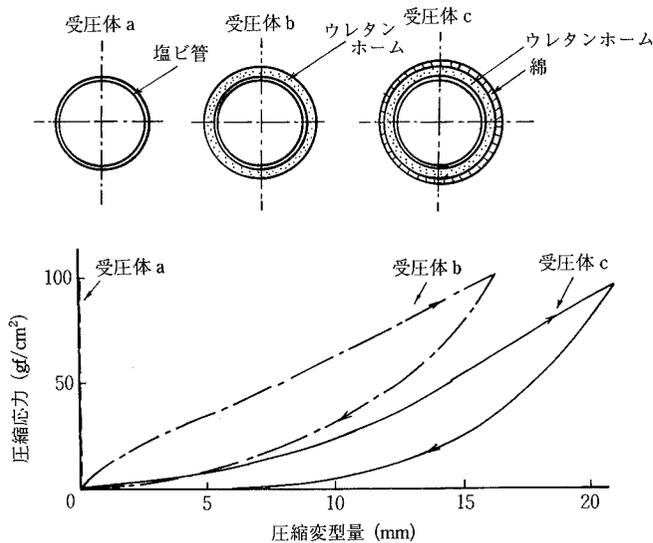
ここで吉村らの報告⁷⁾を参考に、2.5×3.8 cm のゴム製の空気袋に封入して用いた。封入した空気は、温度によって膨張係数が変化するため、実験時の環境条件を 20±1°C、60±5 % RH に保った。

このセンサの校正方法は、受圧面が曲面でかつ微小であり、分銅荷重法による校正は困難であるため、図1に示す空気圧校正方法を用いた。校正は、10~50 mmHg の空気圧を加えたときの反応出力を測定した。空気圧と反応出力との間には、荷重型圧力センサと同様に、 $r=1.00$ の高い相関が認められた。



(2) 受 圧 体

実験用受圧体は、人体の手首から腰圍の曲面形状を考慮し、曲率半径 $r=3.0, 4.47, 6.95, 10.77, 16.0$ cm の5種類の塩ビ管 (厚さ 5~10 mm) を用いた。また、人体は骨部、筋肉部、脂肪部と様々な硬さから成り立っている。そこで、圧縮硬さの高い骨部のモデルとして、a: 塩ビ管のみを、圧縮硬さの小さいモデルとして、b: 塩ビ管+ウレタンフォーム (厚さ 37.5 mm) さらに、c: 塩ビ管+ウレタンフォーム (厚さ 37.5 mm)+綿 (厚さ 25.0 mm) の2種類を用いた。受圧体 b, c の構造および圧縮特性を図2に示す。



(3) 試料布

実験には、伸長特性の異なる2種類の織布と1種類の編布を用いた。試料の諸元を表1に、応力—伸長曲線を図3に示す。実験用試料の大きさは、試料幅20cm、試料長（たて糸方向）70cmとした。実験時試料が均等に伸長するように、厚紙で両端を表裏から接着剤で補強した。

表1 試料の諸元

| 織物名 | 組織 | 繊維 | 伸長率 (%) (200 gf/cm) | 厚さ (mm) (50 gf/cm ²) |
|--------------|-----|----------------------|------------------------|-------------------------------------|
| デニム | 斜文織 | ポリエステル65% レーヨン35% | 1.3 | 0.368 |
| ウール ギャバジン | 斜文織 | ウール100% | 9.0 | 0.574 |
| 綿ニット | 平編み | 綿100% | 11.9 | 0.492 |

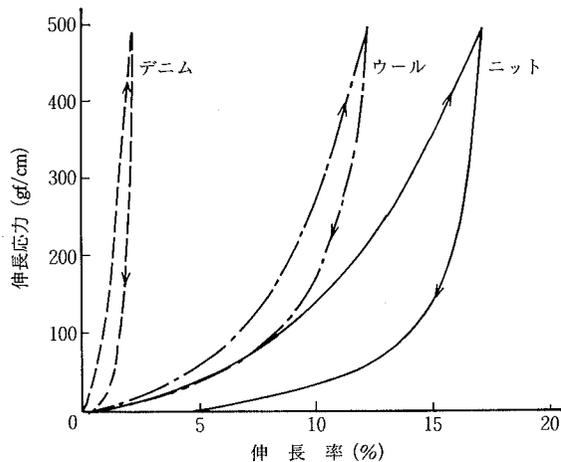


図3 試料布の応力—伸長曲線

(4) 測定方向

図4の模式図に示すように、受圧体である各種円筒モデル上で試料布に両端から幅20cm当り500~6500gの張力を5~7段階与えた。張力と曲率半径から理論値を、受圧体と試料布間に取り付けた圧力センサの反応出力からの実測値を求め、両者の関係を検討した。

① 理論値の求め方 Kirkら²⁾の式から導かれた(2)式を用いて、与えた張力 T_1 と曲率半径 r_1 から理論値を求めた。受圧体 b, c について各張力を与えた時の曲率半径 r_1 を測定し、使用した。

② 実測値の求め方 荷重型圧力センサと半導体型圧力センサの各反応出力を同時に記録させた。なを、測定にあたっては、布の応力緩和特性を考慮し、張力を与えた後1分経過後の反応圧力を実測値とした。同一条件での測定は繰り返し3回行った。

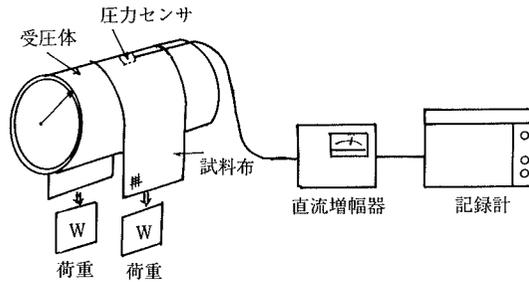


図4 反応圧力測定方法の模式図

4. 実験結果および考察

(1) 理論値と実測値との関係

① 荷重型圧力センサの場合

受圧体の硬さと曲率および被覆する試料布を変化したとき、理論計算より求めた被服圧（理論値）と、張力を加えた時の反応圧力（実測値）との関係の例を図5に示した。さらに、統計処理により受圧体の硬さ、曲率、被服材料別の理論値と実測値との回帰式とその相関係数を求め、表2-1～表2-3に示した。図5は、横軸が実測値 X_1 (gf/cm²) を、たて軸が理論値 Y (gf/cm²) を示す。ウール、受圧体 a の場合についてみると、各曲率において理論値と実測値との間に直線性が認められる。その直線の傾きは、受圧体の曲率が大きくなるに従って小さくなる傾向である。図5の受圧体 b および受圧体 c でも同様の傾向が認められるが、圧縮硬さの高い受圧体 a に比べ曲率の影響は認められない。このことは、表2の回帰式の傾きからも明らかである。回帰式は $Y=1.00X$ が望ましい。しかし、表2-1の受圧体 a、ウールについてみると、受圧体の曲率半径が $r=3.0$ cm のときの傾きが0.608と1.00より小さく、 $r=16.0$ cm のときの傾きは0.158とさらに小さい。この傾向は、他の被服材料の場合も同様である。この理由として、以下のことが考えられる。圧力センサを被服下に挿入すると、受圧体からセンサ挿入部分が突出した状態となる。そこで、張力が両端に加えられると、圧力センサに応力が集

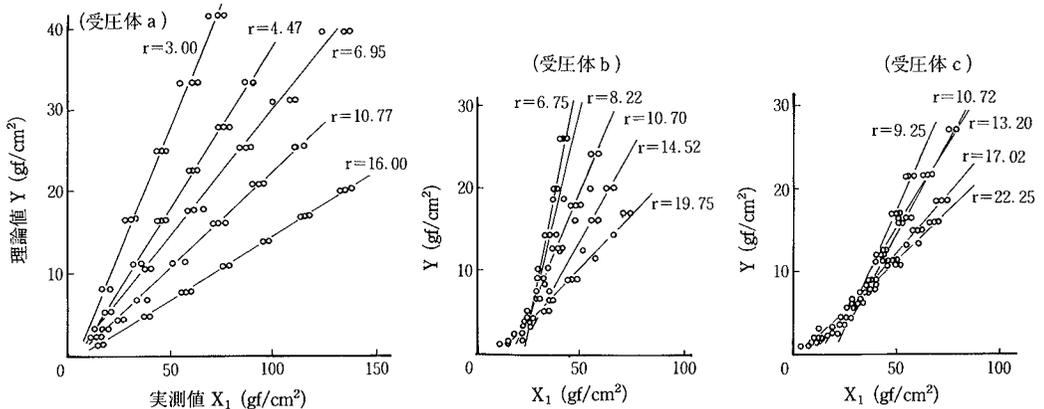


図5 実測値と理論値との関係（荷重型センサ，ウール）

表 2-1 受圧体の硬さ, 曲率, 被服材料別の理論値と実測値との回帰式
(荷重型センサ, 受圧体 a)

| 被服材料 | 曲率半径 | 回 帰 式 | 相 関 係 数 |
|------|-------|--------------------|---------|
| デニム | 3.00 | $Y=0.372X_1-8.899$ | 0.946 |
| | 4.47 | $Y=0.405X_1-8.329$ | 0.943 |
| | 6.95 | $Y=0.328X_1-7.910$ | 0.984 |
| | 10.77 | $Y=0.224X_1-3.657$ | 0.998 |
| | 16.00 | $Y=0.187X_1-1.951$ | 0.998 |
| ウール | 3.00 | $Y=0.608X_1-2.773$ | 0.992 |
| | 4.47 | $Y=0.401X_1-2.139$ | 0.997 |
| | 6.95 | $Y=0.311X_1-1.218$ | 0.996 |
| | 10.77 | $Y=0.234X_1-1.117$ | 0.998 |
| | 16.00 | $Y=0.158X_1-1.198$ | 0.999 |
| ニット | 3.00 | $Y=0.874X_1-9.166$ | 0.997 |
| | 4.47 | $Y=0.517X_1-3.317$ | 0.991 |
| | 6.95 | $Y=0.388X_1-2.599$ | 0.995 |
| | 10.77 | $Y=0.289X_1-0.994$ | 0.994 |
| | 16.00 | $Y=0.169X_1-0.390$ | 0.994 |

Y:理論値 (gf/cm²), X₁:実測値 (gf/cm²)表 2-2 受圧体の硬さ, 曲率, 被服材料別の理論値と実測値との回帰式
(荷重型センサ, 受圧体 b)

| 被服材料 | 曲率半径 | 回 帰 式 | 相 関 係 数 |
|------|-------|---------------------|---------|
| デニム | 6.75 | $Y=1.445X_1-32.145$ | 0.977 |
| | 8.22 | $Y=0.842X_1-19.418$ | 0.977 |
| | 10.70 | $Y=0.578X_1-15.147$ | 0.986 |
| | 14.52 | $Y=0.352X_1- 8.553$ | 0.980 |
| | 19.75 | $Y=0.256X_1- 5.773$ | 0.990 |
| ウール | 6.75 | $Y=1.209X_1-25.836$ | 0.982 |
| | 8.22 | $Y=0.871X_1-16.639$ | 0.915 |
| | 10.70 | $Y=0.589X_1- 9.957$ | 0.991 |
| | 14.52 | $Y=0.400X_1- 6.119$ | 0.941 |
| | 19.75 | $Y=0.254X_1- 2.414$ | 0.993 |
| ニット | 6.75 | $Y=1.089X_1-14.187$ | 0.971 |
| | 8.22 | $Y=0.722X_1- 8.267$ | 0.977 |
| | 10.70 | $Y=0.589X_1- 7.144$ | 0.996 |
| | 14.52 | $Y=0.417X_1- 6.581$ | 0.957 |
| | 19.75 | $Y=0.337X_1- 5.829$ | 0.975 |

Y:理論値 (gf/cm²), X₁:実測値 (gf/cm²)

表 2-3 受圧体の硬さ, 曲率, 被服材料別の理論値と実測値との回帰式
(荷重型センサ, 受圧体 c)

| 被服材料 | 曲率半径 | 回 帰 式 | 相 関 係 数 |
|-------|-------|---------------------|---------|
| デ ニ ム | 9.25 | $Y=0.562X_1-16.073$ | 0.989 |
| | 10.72 | $Y=0.428X_1-11.052$ | 0.988 |
| | 13.20 | $Y=0.386X_1- 9.682$ | 0.988 |
| | 17.02 | $Y=0.271X_1- 6.082$ | 0.955 |
| | 22.25 | $Y=0.185X_1- 2.869$ | 0.987 |
| ウ ール | 9.25 | $Y=0.528X_1- 9.292$ | 0.982 |
| | 10.72 | $Y=0.430X_1- 6.989$ | 0.990 |
| | 13.20 | $Y=0.390X_1- 4.247$ | 0.995 |
| | 17.02 | $Y=0.277X_1- 1.753$ | 0.995 |
| | 22.25 | $Y=0.233X_1- 0.341$ | 0.994 |
| ニ ッ ト | 9.25 | $Y=0.569X_1- 8.084$ | 0.980 |
| | 10.72 | $Y=0.435X_1- 5.560$ | 0.995 |
| | 13.20 | $Y=0.369X_1- 4.714$ | 0.990 |
| | 17.02 | $Y=0.259X_1- 2.186$ | 0.996 |
| | 22.25 | $Y=0.179X_1- 0.850$ | 0.995 |

Y: 理論値 (gf/cm²), X₁: 実測値 (gf/cm²)

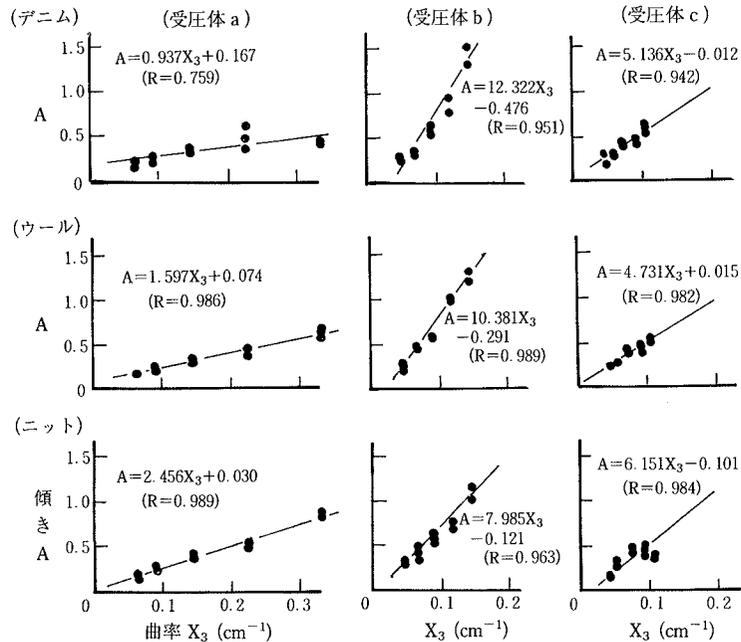


図 6 受圧体の曲率と回帰式の傾きとの関係 (荷重型センサ)

中し、理論値よりも実測値が大きくなる。この現象は、受圧体の曲率半径が大きいほど、センサ挿入部とそうでない部分の曲面の形状の違いが大きいことから、理論値と実測値との差が大きくなる。

さらに、回帰式の切片についてみると、いずれの場合も負の値をとり、切片の絶対値は受圧体の曲率半径の小さい場合が大きい傾向にある。これは理論値 0 gf/cm^2 においてすでに被服圧が検出する現象である。この理由は無張力時においても試料布下に圧力センサを挿入することにより、圧力センサへの負荷が生じるためであり、曲率半径の小さい場合の方が、受圧体と試料布の接触面積が少なく、初期の単位面積当りの負荷が大きく現れたといえる。その他の場合においても受圧体の曲率の影響が、回帰式の傾き及び切片の数値に同様の傾向が認められた。図6に各受圧体における試料布ごとの受圧体の曲率と回帰式の傾きとの関係を、図7に受圧体の曲率と回帰式の切片の値との関係を示した。いずれの受圧体においても受圧体の曲率と回帰式の傾き、および受圧体の曲率と回帰式の切片の値との間には高い直線性が認められる。

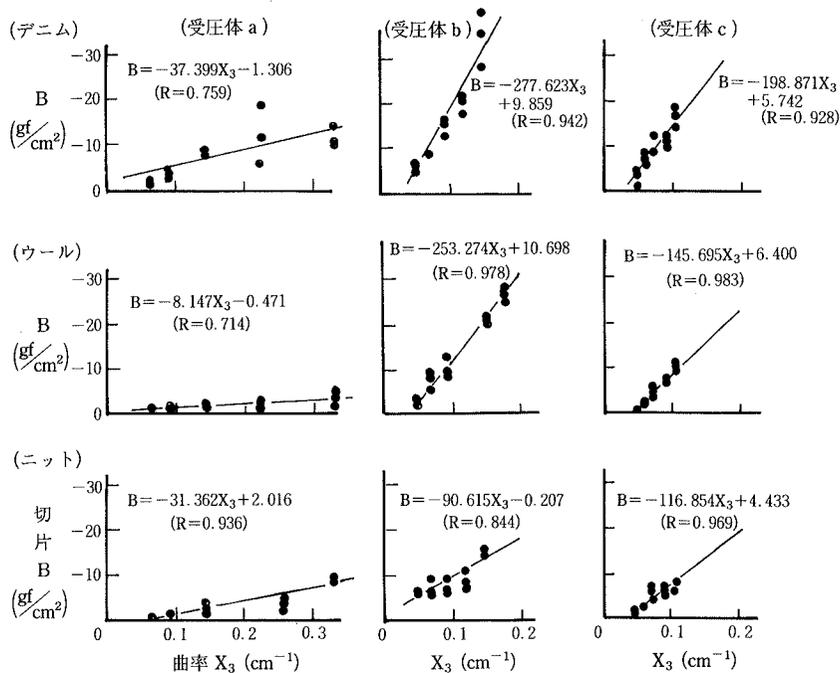


図7 受圧体の曲率と回帰式の切片との関係 (荷重型センサ)

② 半導体型圧力センサの場合

理論値計算より求めた被服圧 (理論値) と、実測値との関係の例を図8に示した。表3-1~表3-3は受圧体の硬さ、曲率半径、試料布別の理論値と実測値との回帰式と相関係数を示したものである。荷重型圧力センサと同様にいずれの条件においても理論値と実測値との間には高い相関が認められた。受圧体 a、ウールの場合についてみると、実測値と理論値との関係において、荷重型センサの曲率半径を変化したときにみられた一定の傾向は半導体型センサではみられない。このことは、受圧体 a のデニム、ニットについても同様であった。表3-2, 表

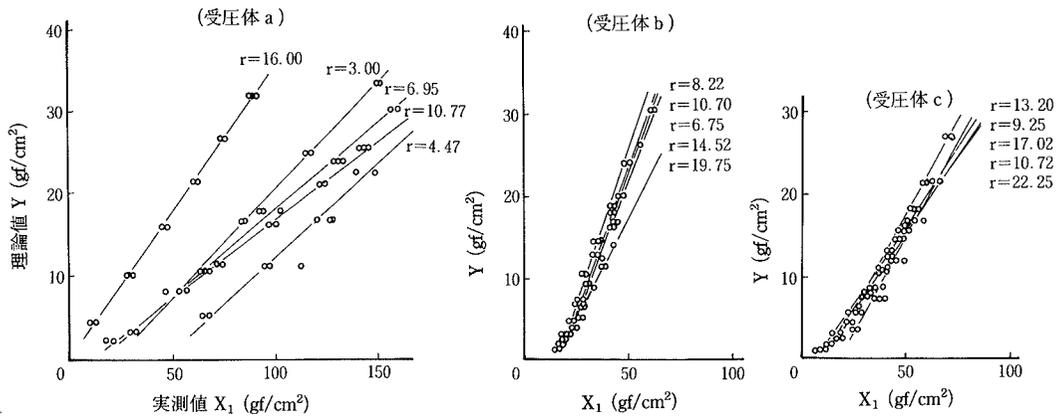


図8 実測値と理論値との関係 (半導体型センサ, ウール)

表3-1 受圧体の硬さ, 曲率, 被服材料別の理論値と実測値との回帰式 (半導体型センサ, 受圧体 a)

| 被服材料 | 曲率半径 | 回 帰 式 | 相 関 係 数 |
|-------|-------|--------------------|---------|
| デ ニ ム | 3.00 | $Y=0.093X_1+0.787$ | 0.996 |
| | 4.47 | $Y=0.109X_1-0.951$ | 0.994 |
| | 6.95 | $Y=0.180X_1-6.154$ | 0.975 |
| | 10.77 | $Y=0.154X_1-4.459$ | 0.992 |
| | 16.00 | $Y=0.160X_1-3.572$ | 0.996 |
| ウ ー ル | 3.00 | $Y=0.259X_1-5.398$ | 0.999 |
| | 4.47 | $Y=0.214X_1-9.015$ | 0.974 |
| | 6.95 | $Y=0.209X_1-2.897$ | 0.998 |
| | 10.77 | $Y=0.187X_1-1.758$ | 0.999 |
| | 16.00 | $Y=0.355X_1-0.063$ | 0.998 |
| ニ ッ ト | 3.00 | $Y=0.244X_1-1.462$ | 0.995 |
| | 4.47 | $Y=0.247X_1-3.379$ | 0.996 |
| | 6.95 | $Y=0.244X_1-2.476$ | 0.995 |
| | 10.77 | $Y=0.234X_1-2.476$ | 0.994 |
| | 16.00 | $Y=0.354X_1-1.427$ | 0.989 |

Y : 理論値 (gf/cm²), X₁ : 実測値 (gf/cm²)

3-3の受圧体 b, cについてみると, 受圧体 aと同様, 実測値と理論値との関係に高い相関が認められる。しかし, 受圧体の曲率による影響が荷重型センサほど顕著でない。しかも, 表3-1の受圧体 aでは, 数例を除けば, 回帰式の傾きが0.2前後であるのに対し, 受圧体 bで0.535~0.817, 受圧体 cで0.348~0.635と, 試料布, 受圧体の曲率にかかわらず近似した値である。このことは図9の受圧体の曲率と回帰式の傾きとの関係からも明かである。すなわち, 半導体型圧力センサは被服材料や受圧体の曲率よりも, 受圧体の硬さの影響を受けやすいと考えられる。

一方, 図10の回帰式の切片と受圧体の曲率との関係は, 受圧体 cのとき高い相関が認めら

表3-2 受圧体の硬さ, 曲率, 被服材料別の理論値と実測値との回帰式
(半導体型センサ, 受圧体b)

| 被服材料 | 曲率半径 | 回帰式 | 相関係数 |
|------|-------|---------------------|-------|
| デニム | 6.75 | $Y=0.623X_1-10.637$ | 0.983 |
| | 8.22 | $Y=0.781X_1-13.347$ | 0.984 |
| | 10.70 | $Y=0.674X_1-10.920$ | 0.995 |
| | 14.52 | $Y=0.670X_1-10.446$ | 0.988 |
| | 19.75 | $Y=0.593X_1-9.082$ | 0.978 |
| ウール | 6.75 | $Y=0.661X_1-11.019$ | 0.993 |
| | 8.22 | $Y=0.712X_1-11.204$ | 0.983 |
| | 10.70 | $Y=0.672X_1-10.779$ | 0.997 |
| | 14.52 | $Y=0.635X_1-10.803$ | 0.981 |
| | 19.75 | $Y=0.535X_1-8.468$ | 0.984 |
| ニット | 6.75 | $Y=0.817X_1-20.718$ | 0.988 |
| | 8.22 | $Y=0.764X_1-14.943$ | 0.982 |
| | 10.70 | $Y=0.801X_1-18.236$ | 0.974 |
| | 14.52 | $Y=0.665X_1-13.593$ | 0.969 |
| | 19.75 | $Y=0.535X_1-9.340$ | 0.977 |

Y: 理論値 (gf/cm²), X₁: 実測値 (gf/cm²)表3-3 受圧体の硬さ, 曲率, 被服材料別の理論値と実測値との回帰式
(半導体型センサ, 受圧体c)

| 被服材料 | 曲率半径 | 回帰式 | 相関係数 |
|------|-------|--------------------|-------|
| デニム | 9.25 | $Y=0.475X_1-9.337$ | 0.986 |
| | 10.72 | $Y=0.477X_1-6.764$ | 0.989 |
| | 13.20 | $Y=0.635X_1-6.520$ | 0.989 |
| | 17.02 | $Y=0.443X_1-4.714$ | 0.995 |
| | 22.25 | $Y=0.369X_1-3.491$ | 0.993 |
| ウール | 9.25 | $Y=0.469X_1-8.868$ | 0.980 |
| | 10.72 | $Y=0.402X_1-4.780$ | 0.988 |
| | 13.20 | $Y=0.450X_1-5.271$ | 0.995 |
| | 17.02 | $Y=0.382X_1-3.242$ | 0.989 |
| | 22.25 | $Y=0.348X_1-1.990$ | 0.986 |
| ニット | 9.25 | $Y=0.402X_1-7.262$ | 0.990 |
| | 10.72 | $Y=0.398X_1-5.110$ | 0.949 |
| | 13.20 | $Y=0.479X_1-5.880$ | 0.993 |
| | 17.02 | $Y=0.427X_1-3.341$ | 0.990 |
| | 22.25 | $Y=0.363X_1-2.278$ | 0.990 |

Y: 理論値 (gf/cm²), X₁: 実測値 (gf/cm²)

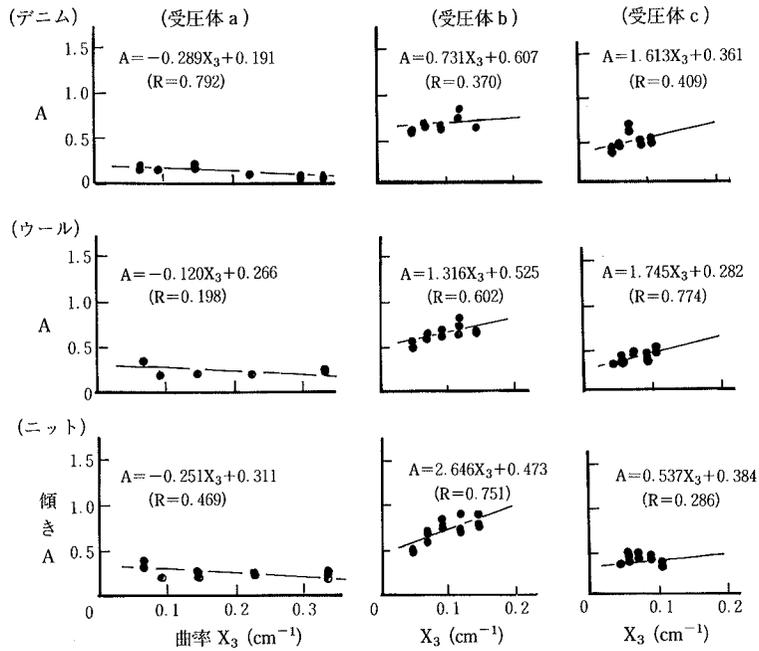


図9 受圧体の曲率と回帰式の傾きとの関係 (半導体型センサ)

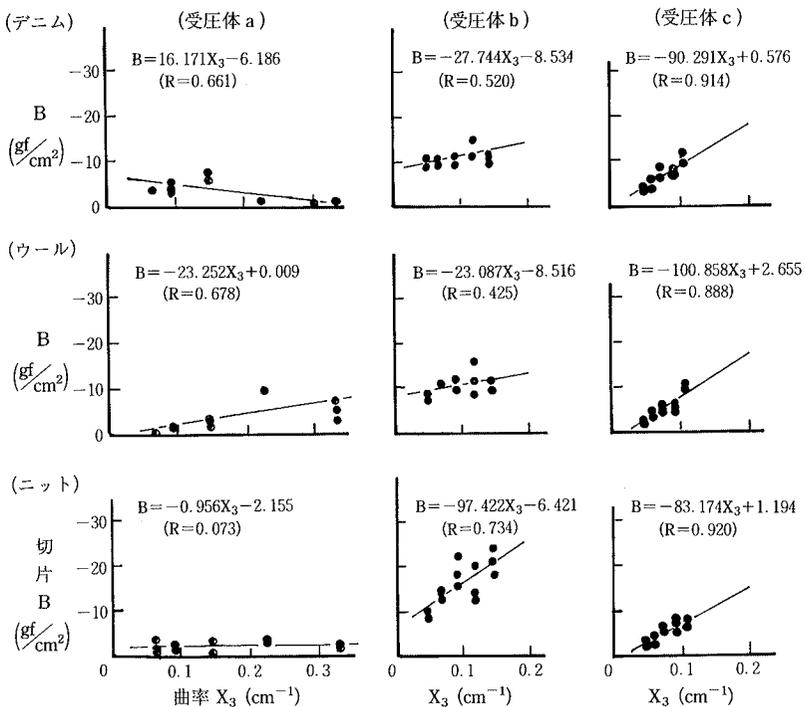


図10 受圧体の曲率と回帰式の切片との関係 (半導体型センサ)

れる。半導体型センサの場合も荷重型センサと同様に理論値 0 gf/cm^2 における被服圧の検出量は、曲率の大きい受圧体の方が大きいことが確認された。

(2) 重回帰分析による被服圧測定のための校正式の検討

① 荷重型圧力センサの場合

理論値と実測値との関係を受圧体の硬さ、受圧体の曲率および被覆する材料について検討した結果、いずれも高い相関を持つ直線回帰式を得ることができた。また、受圧体の硬さが同一の場合求められた回帰式の傾きや切片についても受圧体の曲率との間に一定の傾向が認められた。そこで、受圧体の硬さや曲率さらに被服材料を変化した場合でも適用できる校正式を得るために大型計算機を使用して、数通りの重回帰分析を行った。表4は理論値に対する受圧体の硬さ、試料布の伸長性、試料布の厚さおよび実測値との相関行列である。理論値と高い相関を示す要因は、実測値について受圧体の曲率および、硬さであり、試料布の伸長性および厚さは低い。

次に、理論値 Y と高い相関を示す実測値 X_1 と受圧体の曲率 X_3 を変数として、受圧体の硬さ、被服材料別に重回帰分析を行い、その結果を表5に示した。いずれも重回帰係数 R が 0.9 前後であり、信頼性の高い回帰式を得ることができた。理論値に対する受圧体の曲率の寄

表4 受圧体の曲率、硬さ、被服材料の特性と実測値および理論値との相関行列
(荷重型センサ)

| | 曲率 | 硬さ | 伸長率 | 厚さ | 実測値 |
|-----|----------|----------|---------|--------|---------|
| 硬さ | -0.404** | | | | |
| 伸長率 | 0.011 | -0.025 | | | |
| 厚さ | 0.010 | -0.024 | 0.774** | | |
| 実測値 | -0.023 | -0.243* | -0.218* | -0.169 | |
| 理論値 | 0.452** | -0.300** | 0.056 | 0.053 | 0.700** |

* 危険率5% ($r=0.195$), ** 危険率1% ($r=0.254$)

表5 受圧体の硬さ、被服材料別の重回帰式 (荷重型センサ)

| 被服材料 | 重回帰式 | 重回帰係数 R | 標準誤差 S |
|----------|--|------------|-----------|
| 受圧体 a | デニム $Y=0.275X_1 + 23.738X_3 - 8.243$ | 0.936 | 3.338 |
| | ウール $Y=0.279X_1 + 84.288X_3 - 13.308$ | 0.922 | 4.818 |
| | ニット $Y=0.311X_1 + 83.686X_3 - 11.940$ | 0.889 | 5.701 |
| 受圧体 b | デニム $Y=0.431X_1 + 117.441X_3 - 20.862$ | 0.920 | 3.002 |
| | ウール $Y=0.417X_1 + 77.016X_3 - 12.682$ | 0.890 | 3.470 |
| | ニット $Y=0.485X_1 + 104.032X_3 - 16.575$ | 0.931 | 2.779 |
| 受圧体 c | デニム $Y=0.286X_1 + 63.030X_3 - 11.391$ | 0.929 | 2.491 |
| | ウール $Y=0.326X_1 + 27.085X_3 - 5.177$ | 0.954 | 2.027 |
| | ニット $Y=0.275X_1 + 73.399X_3 - 8.389$ | 0.932 | 2.436 |

Y : 理論値 (gf/cm^2), X_1 : 実測値 (gf/cm^2), X_3 : 受圧体の曲率 ($1/r$)

与率は、受圧体 a で25%前後、受圧体 b, c では10%前後であり、受圧体の圧縮硬さが高い場合、曲率の影響を受けやすいといえる。

次に、受圧体の曲率 X_3 、被服材料の特性である伸長性 X_4 と厚さ X_5 を加え、受圧体の硬さ X_2 別に、さらにすべての要因を加えて統計を行い、次のような重回帰式を得ることができた。

- 受圧体 a $Y = 0.281X_1 + 65.522X_3 + 0.846X_4 - 6.402X_5 - 14.273$ ($R=0.883, S=5.450$)
- 受圧体 b $Y = 0.436X_1 + 97.940X_3 + 0.478X_4 - 1.629X_5 - 19.021$ ($R=0.906, S=3.208$)
- 受圧体 c $Y = 0.288X_1 + 55.625X_3 + 0.125X_4 - 17.40X_5 - 17.372$ ($R=0.929, S=2.482$)
- 全要因を含んだ重回帰式 $Y = 0.278X_1 + 0.163X_2 + 63.724X_3 + 0.432X_4 + 2.742X_5 - 14.094$ ($R=0.873, S=4.563$)

受圧体の曲率および被服材料の特性の要因を加えた場合、柔らかい受圧体 b, c の重回帰係数が大きい。また、すべての要因を加えた重回帰式においても重回帰係数 R が大きく、標準誤差 S も小さいことから、被服圧測定への有用性がある。

② 半導体型圧力センサの場合

荷重型圧力センサの場合と同様な手順で統計処理を行い、相関行列を表6に、受圧体の硬さおよび被服材料別の重回帰式を表7に示す。いずれの場合も重回帰係数 R は大きく、受圧体 a を除けば、標準誤差 S も荷重型センサに比べ小さい。

表6 受圧体の曲率、硬さ、被服材料の特性と実測値および理論値との相関行列 (半導体型センサ)

| | 曲率 | 硬さ | 伸長率 | 厚さ | 実測値 |
|-----|----------|----------|---------|--------|---------|
| 硬さ | -0.387** | | | | |
| 伸長率 | -0.011 | 0.016 | | | |
| 厚さ | 0.008 | 0.007 | 0.778** | | |
| 実測値 | 0.521** | -0.583** | -0.145 | -0.096 | |
| 理論値 | 0.348** | -0.300** | 0.069 | 0.091 | 0.696** |

* 危険率5% ($r=0.195$), ** 危険率1% ($r=0.254$)

表7 受圧体の硬さ、被服材料別の重回帰式 (半導体型センサ)

| 被服材料 | 重回帰式 | 重回帰係数 R | 標準誤差 S |
|-------|---------------------------------------|---------|--------|
| 受圧体 a | デニム $Y=0.137X_1 - 19.088X_3 + 0.446$ | 0.952 | 2.487 |
| | ウール $Y=0.215X_1 - 13.811X_3 + 1.109$ | 0.872 | 5.777 |
| | ニット $Y=0.251X_1 - 15.720X_3 + 1.312$ | 0.931 | 3.350 |
| 受圧体 b | デニム $Y=0.649X_1 - 4.173X_3 - 9.854$ | 0.981 | 1.456 |
| | ウール $Y=0.634X_1 + 15.112X_3 - 11.816$ | 0.983 | 1.399 |
| | ニット $Y=0.691X_1 + 3.312X_3 - 14.499$ | 0.962 | 2.081 |
| 受圧体 c | デニム $Y=0.404X_1 - 12.796X_3 - 2.830$ | 0.947 | 1.845 |
| | ウール $Y=0.422X_1 - 20.372X_3 - 3.026$ | 0.982 | 1.262 |
| | ニット $Y=0.438X_1 - 42.669X_3 - 1.417$ | 0.976 | 1.476 |

Y: 理論値 (gf/cm²), X_1 : 実測値 (gf/cm²), X_3 : 受圧体の曲率 (1/r)

また、受圧体の硬さ X_2 別に受圧体の曲率 X_3 および被服材料の特性 X_4 , X_5 の要因を加えた場合、さらに全ての要因を加えた場合の重回帰式は次の通りである。

- 受圧体 a $Y = 0.181X_1 - 14.688X_3 + 0.993X_4 + 14.751X_5 - 12.939$ ($R=0.879$, $S=4.759$)
- 受圧体 b $Y = 0.654X_1 + 5.060X_3 - 0.336X_4 + 10.409X_5 - 14.395$ ($R=0.974$, $S=1.723$)
- 受圧体 c $Y = 0.421X_1 - 24.859X_3 + 0.743X_4 - 1.296X_5 - 1.814$ ($R=0.968$, $S=1.597$)
- 全要因を含んだ重回帰式 $Y = 0.163X_1 + 0.258X_2 - 1.981X_3 + 0.263X_4 + 6.031X_5 - 2.551$ ($R=0.773$, $S=5.715$)

受圧体別の重回帰式では、柔らかい受圧体 b, c において信頼性の高い式が得られた。すべての要因を加えた回帰式は、重回帰係数 R が小さく、標準誤差 S も大きく望ましいものとはいえない。吉村⁷⁾は、ゴム袋入り半導体圧力センサの有用性を報告している。本実験結果から、受圧体の柔らかい場合は被服材料や受圧体の曲率が変化しても回帰式の相関係数が大きく有用性がある。しかし、受圧体が硬い場合は受圧体の曲率を考慮した校正が必要である。

5. 結 語

被服圧の実測値へ影響を与えている要因と考えられる受圧体の硬さ、曲率および被服材料を変化した時、理論計算式より求めた被服圧の理論値と張力を加えた時の荷重型圧力センサおよび半導体型圧力センサによって検出された実測値との関係について、重回帰分析を行い、被服圧測定における校正方法を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 荷重型圧力センサおよび半導体圧力センサは、受圧体の硬さ、曲率、被服材料が同一の場合、理論値と実測値との間に高い直線性が認められた。また、荷重型センサは、回帰式の傾きや切片と受圧体の曲率との間にも直線性が認められた。半導体型センサは、傾きが曲率が変化してもほとんど変化なく、切片と曲率との間にわずかに直線性が認められた。
- ② 被服圧の理論値と高い相関を示す要因はいずれの圧力センサにおいても、実測値、受圧体の曲率と硬さであり、被服材料の伸長性や厚さとの相関は極めて低い。
- ③ 荷重型圧力センサの場合、実測値、受圧体の硬さと曲率、被服材料の伸長性と厚さを加えて統計処理を行った結果、かなり信頼性のある重回帰式を得ることができた。
- ④ 半導体圧力センサの場合、受圧体の曲率および被服材料の伸長性、厚さを要因に加えて求めた重回帰分析では、柔らかい受圧体 b, c においてかなり信頼性の高い重回帰式を得ることができた。しかし、硬い受圧体 a の回帰式は適合性が劣ることが明らかとなった。

なお、本研究の一部は、平成2年度文部省科学研究費補助金一般研究C「着心地評価のための被服圧計測用ダミーの試作」に寄ったことを記して深謝する。

引 用 文 献

- 1) 原田隆司：織機誌, **36** (1983), 212.
- 2) 渡辺ミチ, 田村照子, 岩崎房子：家政誌, **23** (1972), 325.
- 3) 伊藤紀子, 美若佳子, 安田佳代：鳥取大学教育学部研究報告自然科学, **33** (1984), 117.
- 4) 徳田美和子, 高崎宏, 玉川長一郎：織消誌, **19** (1978), 189.
- 5) Wm. Kirk, S. M. Ibrahim: Tex. Res. J, **36** (1966), 37.
- 6) 伊藤紀子, 萩原千枝美, 堀野恒雄：織消誌, **27** (1986), 257.

- 7) 吉村博子, 石川欣造, 繊維誌, **39** (1983), 525.

Abstract

It is necessary to accurately measure an absolute clothing pressure exerted on a human body, when the comfort of clothings has been investigated. The clothing pressure measured with a pressure transducer changes according to stiffness and curvature of the human body and kinds of textiles. Therefore, the accurate measurement of the absolute clothing pressure depends on calibrating the observed values of a pressure transducer.

The purpose of this study is to find out the reliable equation fitting to experimental measurements for evaluating the absolute clothing pressure on the human body. A relationship between the applied and responded pressures was investigated by using two transducers (strain gauge and semiconductor strain gauge types), three kinds of textiles and some models for variety of stiffness and curvature, and the following results were obtained.

- 1) The relationship between the applied and responded pressures of both transducer showed high linearity.
- 2) On the regression analysis, the value of responded pressure was affected by the value of applied pressure and stiffness and curvature of models. However, it was not almost affected by extensibility and thickness of textiles.
- 3) The regression analysis with a transducer of strain gauge type could lead to the equation applicable for the evaluation of the absolute clothing pressure. However, a transducer of semiconductor type could not it on the rigid model.

