(昭和50年6月30日受理)

ウレタン・フォームの圧縮モジュラスの異方性 および実験試料の均質性について*

徳島大学教育学部 大 村 寧

THE ANISOTROPY OF COMPRESSIVE MODULUS OF FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM AND LARGENESS DEPENDENCE ON HOMOGENIETY FOR SPECIMEN

By Yasushi Omura

(Faculty of Education, Tokushima University,
Minami-josanjima, Tokushima, Japan)

It was reported that compressive modulus of flexible polyurethane foams seem to be an important physical property corresponding to sensory value "hardness"^{8,9)}, and compressive modulus of this substance is anisotropic between parallel and perpendicular to rising direction⁷⁾. In this paper, as a continued report of the ones above mentioned⁷⁻⁹⁾, the anisotropy of compressive modulus in any direction of this substance is mainly referred. In the first half, the certification of the adaptability of elastostatics to the anisotropy of compressive modulus of foams, whose specimens are large enough to be treated homogeneously, and in the latter half, using the result of the first half conversely, the minimum largeness of specimen regarded as the homogeneous substance for compression, are discussed.

The results obtained are as follows:

- 1) Compressive modulus Y of foams is anisotropic in the longitude plane, but is isotropic in the equator plane (see Fig. 2). Accordingly, the anisotropy of Y depends on the complementary angle β of the latitude.
- 2) The anisotropy $Y(\beta)$ in the longitude plane of foam is expressed as,

$$Y(\beta) = \frac{Y_z}{K - (K - 1) \cos^2 \beta}$$

And the results of the calculations on the above equation showed a good agreement with the observed values of $Y(\beta)$. Accordingly, the reason for being of the anisotropy of $Y(\beta)$ in the longitude plane is explained as $K(=l_z/l_x) \approx 1$. Where, l_z and l_x are the sizes of cell in parallel and in perpendicular to rising direction, and Y_z is compressive modulus in parallel to rising direction.

- 3) Any specimen to which was given direction of β for measuring of $Y(\beta)$ must have at least $[N] = 20$ — odd numbers of layers of cells along the line of thickness of specimen, in order to treat it homogeneously in case of compression test. And, the minimum thickness $[t]$ of specimen, regarded as the homogeneous substance, depends on the size of cell and β .
- 4) When the direction of the thickness of the specimen is in line with the diagonal line of a cell, the number of cells per unit length in the thickness of the specimen is minimum. And, $[t]$ of this direction is enough to be applicable to any specimen having direction of β . Where, $[t]$ is calculated from $[t] = [N] \cdot \sqrt{l_z^2 + l_x^2 + l_y^2}$

(Received June 30, 1975)

1. 結 言

概して、物質の力学的異方性に関する研究は量的には

*この報文を「ウレタン・フォームの風合いに関する研究(第6報), Studies on the handling of urethane foams (part 6)」とする。

多く、いろいろな立場から問題にされているようである。たとえば、織布については、篠原¹⁾の解説に詳述されているように、直交異方性板の理論を適用し織布の力学的異方性を論じた報告はかなり多い。また、結晶性高分子が延伸をともなった場合の異方性について言及したもの²⁾、木材の異方性を力学的にあつかったもの³⁾などである。

フォームの力学的異方性の検討は、実際にフォームを裁断する場合、できるだけロスを少なくする効率上の配慮が優先されるために、必ずしも裁断された製品は、同一方向のものではないようであるので、製品設計上とくに重要である。

しかし、フォームのような発泡体について力学的異方性を検討した報告は、筆者の調べた限りほとんど見あたらないようである。ただ、C. J. Benning⁹⁾が、硬質フォームについて、発泡方向に平行な方向とこれに垂直な方向にフォームを圧縮した際の $S-S$ 曲線の相違について実験的知見を報告しているくらいである。このことは、従来のフォームの力学的性質に関する研究のほとんどが、たとえば大沢⁹⁾、藤野⁹⁾およびJ. A. Talalay⁷⁾によって代表されるように、フォームの見かけ密度あるいはパッキング・ファクターと弾性係数との関係づけを求めようとした立場からのものであるがために、フォームを力学的には等方性としてあつかってきたためと考えられる。

上記報告⁶⁻⁷⁾とは別な観点から、筆者は、別報⁸⁾で、顕微鏡下でセル構造の観察を行い、フォームのライジング方向(発泡方向)に長大でしかも12本の稜線が骨格を形成する直方体を一つのセルのモデルと考え、フォームは、このセルが前後左右上下に規則正しく配列した立体網目様の構造をとることを想定し、これを基にした解析の結果、フォームの圧縮モジュラスは、ライジング方向(z 方向)とこれに垂直な方向(x 方向)とで直交異方性を示すことの機構を明らかにした。

本報では、フォームの圧縮モジュラスの異方性について検討するが、この異方性は、さきに述べた筆者のフォームのモデルでも試料として均質体とみなし得るに十分な大きさのものをさえ使えば、本文(9)式から説明されるようである。したがって、まず前半では、試料を均質体とみなせるときは、フォームの圧縮モジュラスの異方性が弾性力学にしたがうことの確認を行い、つぎに後半では、(9)式そのものが均質を考えて導かれているので、前半の考察から逆に、フォームの均質性すなわちセル構

造を十分マイクロとしてあつかえる実験試料の大きさの程度について検討した。

なお、ここで力学量として圧縮モジュラスを選んだのは、すでに報告した^{9,10)}ように、フォームの風合い「硬さ」に一義的に関係する重要な量であることによる。

2. 試料および実験方法

2.1 試料

試料には、フォームのライジング方向の圧縮モジュラス Y_z とこれに垂直な方向の圧縮モジュラス Y_x 、フォームの見かけ比重 ρ 、およびセル・サイズ l_z 、 l_x が、それぞれ表1に示すようなポリエーテル系の軟質ウレタン・フォーム4点(R, S, T, U)を用いた。

所定の力の作用方向に対して直角な面が試料の被圧縮面になるようにフォームを裁断した試料を、圧縮実験に供し、その方向の圧縮特性を得た。試料の大きさは($50 \times 50 \text{ mm}^2$) $\times$ 30 mmのものを標準(以降、標準大と呼ぶ)とし、試料の均質性の検討用には、標準大の試料から少しづつ小さくしたものを準備した。

つぎに、フォームの方向に関する基準について述べる。フォームを構成するセルは、フォームのライジング方向に長大な直方体状を呈するので、別報⁸⁾と同様、この方向を基準の一つに選び z 方向とする。フォーム製造時には、この方向に平行な直交し合う2側面で囲って発泡されるので、この2面に直角な方向をそれぞれ x 方向、 y 方向とした。この関係を図1に示しておく。なお、図中

Fig. 1 The co-ordinates located in 'blistered mass'.

Table 1 Details of samples

Sample	Compressive modulus*		Size of cell		Apparent specific gravity
	Y_z^{**} , (g/mm ²)	Y_x^{***} , (g/mm ²)	l_z^{**} , (mm)	l_x^{***} , (mm)	
R	6.69	3.60	0.65	0.36	0.036
S	3.89	1.95	0.88	0.42	0.018
T	3.92	2.41	0.87	0.53	0.023
U	4.90	3.82	0.70	0.52	0.029

* Obtained by using the specimens whose largeness is $50 \times 50 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ mm}$

** Parallel to rising direction

*** Perpendicular to rising direction

の0点には、発泡塊のできるだけ中心部に近い点を選んだ。

2.2 フォームの圧縮モジュラス(Y)

先に述べた試料に、80mm ϕ の圧縮板をあてて圧縮し、その際に得られるS-S曲線の初期部分の接線の勾配を Y として採用した。なお、圧縮速度は40mm/minで、S-S曲線はTENSILON-UTM-II(東洋ボールドウィン製)を用いて自記させた。

本実験は、すべて標準状態(20℃, 65%RH)で行なったものである。

3. 実験結果および考察

3.1 フォームの圧縮モジュラスの異方性

まずはじめに、以降の説明の都合上、3軸に対し任意の方向から作用する力 P の方向表示を図2に示しておく。図の α は $0z$ を地軸と考えた際の経度角(オイラーの角)であり、 β は緯度の余角である。

なお、本項で用いた試料の大きさは、すべて標準大のものとした。

3.1.1 $\alpha=90^\circ$ の経度面における異方性

すでに別報⁹⁾で、セル・サイズ(l)および圧縮モジュラス(Y)について、つぎの(1)および(2)式の関係が得られている。サフィックスは、図2に示される方向に対応させてある。

$$l_z > l_x = l_y \quad (1)$$

$$\frac{Y_z}{Y_x} = \frac{l_z}{l_x} \quad (2)$$

上記2式から、つぎの(3)式の関係が得られる。

$$Y_z > Y_x = Y_y \quad (3)$$

(3)式の $Y_z > Y_x$ の関係から、図2の経度面に Y の異方性が存在するが、ここでは、まず $\alpha=90^\circ$ の経度面の異方性 $Y(90^\circ, \beta)$ を問題にする。

すでに、W.W. Moseley¹⁰⁾は、結晶性高分子を長さ方

Fig. 2 The axis of co-ordinates and the working direction (α, β) of compressive force. The compressive modulus is expressed as $Y(\alpha, \beta)$, when the compressive force acts on the foam in the direction (α, β).

向およびこれと垂直方向のヤング率が E_m および E_t である棒状配向単位が完全配向する均質な集合体と仮定し、 m 方向と θ の角をもつ延伸方向のヤング率 E を、弾性力学にしたがう応力とひずみの関係から

$$\frac{1}{E} = \frac{\cos^2 \theta}{E_m} + \frac{\sin^2 \theta}{E_t} \quad (4)$$

のように求めている。

本研究では、(4)式がそのまま使える。いま、 $\theta \rightarrow \beta$, $E_m \rightarrow Y_z$, $E_t \rightarrow Y_x$, $E \rightarrow Y(90^\circ, \beta)$ とし、 $K = Y_z/Y_x (= l_z/l_x)$ とおけば、(5)式によって、 $Y(90^\circ, \beta)$ のセル・サイズによる異方性の表現が得られる。

$$Y(90^\circ, \beta) = \frac{Y_z}{K - (K-1) \cdot \cos^2 \beta} \quad (5)$$

ここで、(5)式から計算される $Y(90^\circ, \beta)$ の測定値との適合性について述べる。図3および図4は、それぞれ試料RおよびSについて、 $Y(90^\circ, \beta)$ の計算値および測定値を極座標上にプロットしたものである。この場合の計算値は、表1に示される各試料の諸量を用いて(5)式からそれぞれの β に対する Y 値として求めた。この両図をみる限り、計算値と測定値とは良好な一致を示していることから、 $\alpha=90^\circ$ の経度面の異方性は、(5)式で十分表わし得ることがわかる。

3.1.2 フォームの2軸異方性

ここでは、(3)式の $Y_x = Y_y$ が成立する図2の赤道面の Y の異方性 $Y(\alpha, 90^\circ)$ をおもに検討する。

Fig. 3 Comparison between the calculated values and the measured values of $Y(90^\circ, \beta)$ for sample R.

----- Calculated
● Measured

Fig. 4 Comparison between the calculated values and the measured values of $Y(90^\circ, \beta)$ for sample S.
 ----- Calculated
 ● Measured

筆者の述べる直方体状綱目が規則正しく積み上げられたフォームのモデル構造を考えると、(1)式から赤道面では正方形規則格子状になる。この場合、 $Y_x = Y_y$ が成立するが、試料の大きさがセル・サイズに対してコンパブルなものでは、 $Y(\alpha, 90^\circ) \approx Y_x = Y_y$ となろう。しかし、セル・サイズに比べて試料サイズが十分大きくて均質体とみなせるくらいのもものでは、(4)式が適用できる。したがって、

$$\frac{1}{Y(\alpha, 90^\circ)} = \frac{\cos^2 \alpha}{Y_y} + \frac{\sin^2 \alpha}{Y_x} \quad (6)$$

さらに、 $Y_x = Y_y$ であるから、

$$Y(\alpha, 90^\circ) = Y_x = Y_y \quad (7)$$

となり、赤道面では等方性を示すことになる。このことの実験的検証結果を図5に示しておく。図5は、代表例として試料Rについて、 $x-y$ 面の圧縮モジュラス $Y(\alpha, 90^\circ)$ の α による変化を極座標上にプロットしたものである。本図から(7)式の成立が確認される。この場合、 $x-y$ 面のセル配列のマイクロ写真(別報⁹⁾、図3)によれば実際の試料の x, y 方向と各セルの x, y 方向の配置は、さきに述べたフォームのモデルそのままには合致せずある程度の乱れがみられる。このことは逆に試料の均質性を助長し、(7)式の成立をより容易ならしめているものと考えられる。また、実験した試料の大きさで均質性が保証されることはすでに、試料の $\alpha = 90^\circ$ の経度面での

Fig. 5 The isotropy of the compressive modulus $Y(\alpha, 90^\circ)$ for sample R.
 ----- A circle having a radius of Y_x
 ● Measured values of $Y(\alpha, 90^\circ)$

異方性が、均質体で成立する(4)、(5)式に適合したことからも予想できたことである。

以上の考察から、フォームは、 α に関係なく β のみに依存する圧縮モジュラスの2軸異方性を示すことが知られ、

$$Y(\alpha, \beta) = Y(\beta) \quad (8)$$

と書ける。この(7)、(8)式から、 $\alpha = 90^\circ$ の経度面で成立した $Y(90^\circ, \beta)$ に関する(5)式をそのまま、任意の α の経度面にその適用が拡張される。すなわち、

$$Y(\beta) = \frac{Y_z}{K - (K-1) \cdot \cos^2 \beta} \quad (9)$$

となる。図6および図7は、試料TおよびUについて、(9)式から得られる $Y(\beta)$ の計算値と、図2の α が $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ および 90° の角度をもった際の $Y(\beta)$ の測定値を同一グラフ上に示したものである。この両図における計算値と測定値との良好な一致から、(9)式の成立が認められる。すなわち、フォームの圧縮モジュラスの異方性は、用いた試料以上の大きさでは、まったく均質物体の弾性力学にしたがうことが知られる。また、(9)式から、フォームの経度面に圧縮モジュラスの異方性が存在するのは、 $K \approx 1$ すなわち z 軸方向と x 軸方向とでセル・サイズが異なることに起因するものであることがわかる。

3.2 試料の大きさと均質性

ここでは、圧縮実験に際して、試料を均質体としてあつかえる試料の大きさの限度について検討する。

この場合、あるフォームについて大きさの異なる試料をいくつか準備し、これを用いて測定される圧縮モジュラスが、均質体を条件に成立した(9)式を満足するか否

Fig. 6 Comparison between the calculated values and the measured values of $Y(\alpha, \beta)$ for sample T.

The angles shown in this figure mean β .

- Calculated
 ○ $\alpha = 0^\circ$
 ● $\alpha = 30^\circ$
 ● $\alpha = 60^\circ$
 ● $\alpha = 90^\circ$
 Measured

Fig. 7 Comparison between the calculated values and the measured values of $Y(\alpha, \beta)$ for sample U.

The angles shown in this figure mean β .

- Calculated
 ○ $\alpha = 0^\circ$
 ● $\alpha = 30^\circ$
 ● $\alpha = 60^\circ$
 ● $\alpha = 90^\circ$
 Measured

かを判断の基準にすることが考えられる。この方法を採用する場合、(9)式を用いて求められる $Y(\beta)$ の計算値は、測定値 Y_z および K (あるいは Y_x)のみの支配を受けるので、この両圧縮モジュラス値はとくに重要な量となる。そこで、まずはじめに、適切な Y_z および Y_x 値を得るに十分な試料の大きさについて議論する。そして続いて、同様な立場から、 β がある任意の角度をもつ際の $Y(\beta)$ 測定用試料の場合について言及した。

さて、すでに3.1項で実験に供した標準大の試料については、 $Y(\beta)$ の測定値が(9)式にまったくしたがうものであることが確かめられているので、標準大の試料は、均質体とみなせる十分な大きさをもつものと判断される。また、本報で用いるような軟質フォームでは、試料幅が厚さより小さい場合には、圧縮に際し微小変形領域でもとくに座屈変形を起しやすく、試料幅については厚さよりかなり大きくなるのが一般的であるので、試料の大きさと均質性については試料厚のみについて検討しておけば十分であると考えた。したがって、均質体としてあつかえることがわかっている標準大の試料の厚さのみを順次薄くしていった場合の圧縮モジュラスの変化に注目した。

なお、均質体としてあつかえる試料の大きさは、セル・サイズに関係するものと考えられるので、ここでは、試料として表1のうち、セル・サイズの最大のものSと最小のものRをおもに問題にする。

3.2.1 Y_z , Y_x 測定用試料の厚さと均質性

図8は、試料厚 t の減少にともなう圧縮モジュラス Y の変化曲線を、試料RおよびSについて示している。図中、実線は t_z - Y_z 曲線であり、点線は t_x - Y_x 曲線を表わしている。なお、 t_z および t_x は、 $Y_z(t)$ および $Y_x(t)$ 測定用試料の厚みである。ここでは、本図に示される t - Y 曲線において、 t とともに Y が増加する部分から Y が t の変化に対して定値を示す部分に移行する際の t 値を読みとり、この t 値を以てその試料を均質体とみなし得る最小の試料の厚さと考えてみた。いま、この意味の t_z および t_x を $[t_z]$ および $[t_x]$ で表わせば、均質性を発現するに必要な最小限のセルの積み重ね個数 $[N_z]$ および $[N_x]$ は、それぞれ次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} [N_z] &= \frac{[t_z]}{l_z} \\ [N_x] &= \frac{[t_x]}{l_x} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

表2には、たとえば図8に示すような t - Y 曲線から求めた $[t_z]$ 、 $[t_x]$ および(10)を用いて計算した $[N_z]$ 、 $[N_x]$ を、各試料について示している。ここで、 $[t_z]$ および $[t_x]$ は、点としては求めにくく、ある範囲をもた

Fig. 8 Dependencies of the thickness t of specimens for Y .

- ; Sample R
 ● ; Sample S
 — ; $t_z - Y_z$ curve
 --- ; $t_x - Y_x$ curve

せてある。なお、 $[N_z]$ および $[N_x]$ の計算には表1の l_z および l_x を用いた。本表から、 $[t_z]$ および $[t_x]$ は試料フォームの種類によって多少異なるようであるが、 $[N_z]$ および $[N_x]$ は両者とも、各試料について大略20~26個の範囲におさまっておりほぼ定値を示している。このことから、均質体とみなし得る最小の試料厚は、セル・サイズにほぼ正比例の形で依存することが知られる。また、本表に示される $[t_z] > [t_x]$ の関係は、表1から $l_z > l_x$ を知れば容易に肯首される。

3.2.2 $Y(\beta)$ 測定用試料の厚さと均質性

図9は、モデル・セルを示す。いま、セルに任意に引かれる走査線の、セルによる切り取り長の最大のは、セルの対角線OQである。したがって、図に示すように、OQに平行な方向から圧縮力が作用する場合がもっとも $[N]$ が問題になるものと考えられる。図の β を表1の l_z 、 l_x を用いて試算した結果、試料Rで $\beta \approx 38^\circ$ 、試料Sで $\beta \approx 34^\circ$ であった。 α は両試料とも $\alpha = 45^\circ$ である。そこで、両試料フォームとも $\alpha = 45^\circ$ 、 $\beta = 35^\circ$ の角度をもつ圧縮実験用試料を準備し、 $t - Y(45^\circ, 35^\circ)$ について検討した。

図10は、試料RおよびSについての $t - Y(45^\circ, 35^\circ)$ の曲線を示す。全般的曲線の傾向は、図8のものと同じであるが、ただ $[t]$ の読みが異なるようである。すなわち、本図における $[t]$ は、図8から表2を得たのと同様な読み方をすれば、試料RおよびSでそれぞれ18~20mmお

Table 2 The thickness $[t_z]$ and $[t_x]$ of the specimens and the number $[N_z]$ and $[N_x]$ of layers of cells which are in the length $[t_z]$ and $[t_x]$.

Sample	$[t_z]$, (mm)	$[t_x]$, (mm) *	$[N_z]$, (number)	$[N_x]$, (number) **
R	14 - 16	8 - 9	21.5 - 24.6	22.2 - 25.0
S	17 - 19	10 - 11	19.3 - 21.6	23.8 - 26.2
T	19 - 21	11 - 13	21.8 - 24.1	20.8 - 24.5
U	16 - 18	11 - 13	22.9 - 25.7	21.2 - 25.0

* $[t_z]$ and $[t_x]$ are the thickness of specimens needed for treating them as the homogeneous substance when compressed. And each suffix shows the direction of the thickness.

** Calculated from eq. (10).

Fig. 9 The angles α and β when the compressive force is liberated in parallel to the diagonal line OQ of a model cell.

Fig. 10 Dependencies of the thickness t of specimens for $Y(45^\circ, 35^\circ)$.

- ; Sample R
 ● ; Sample S

よび24~26mmとなる。この値は、表2の $[t_z]$ よりも大きい。ここで、表2と同様な意味をもつ $[N]$ を $[N(45^\circ, 35^\circ)] = [t] / \sqrt{l_z^2 + l_x^2 + l_y^2}$ として計算すれば、両試料フォームの場合とも $[N(45^\circ, 35^\circ)] \approx 22 \sim 25$ となり、

ほぼ表2の $[N_x]$, $[N_y]$ と一致し、均質体とみなすにはやはり20数個のセルの積み重ねが必要であることがわかる。

以上のようなセルの対角線方向と試料の厚さ方向が一致する場合は、試料の厚さ方向の単位長さに対するセル個数をもっとも少ないケースであるので、この際の $[t]$ をそのまま圧縮モジュラスの異方性を知るための他の試料にも適用すれば、まず十分であろう。

図11および図12は、試料RおよびSについて、試料厚がそれぞれ図10から読みとった20mmおよび26mmの場合の $Y(45^\circ, \beta)$ の測定値と(9)式から求められる計算値を示している。この両図から、測定値と計算値はよく一致しているので、圧縮モジュラスの異方性を知るための試料は、セルの対角線方向が力の作用する方向と一致する場合の $[t]$ の大きさにしておけば、十分均質体とみなし得ることがわかる。

最後に、図8および図10に示される t - Y 曲線について簡単に触れておく。 Y が t にかかわらず定値をとる以前では、 t が小さくなると Y も減少する傾向を示している。この領域は、 Y 定値部分の厚み $[t]$ 以上を均質と考えたのであるから、不均質体として扱うべきであろう。しかし、 $[t]$ 以下の厚みで試料の均質性が保証されている場合には、このような実験結果が得られたことを、試料の切り口すなわち試料の両端面に存在する凹凸およびこの両端面の平行性などの影響のせいにはできる。これについては、つぎのような方法で確認した。裁断幅を任意

Fig. 11 The calculated values and the measured values of $Y(45^\circ, \beta)$ for sample R, when the largeness of specimen is $50 \times 50 \text{ mm}^2 \times 20 \text{ mm}$.

Fig. 12 The calculated values and the measured values of $Y(45^\circ, \beta)$ for sample S, when the largeness of specimen is $50 \times 50 \text{ mm}^2 \times 26 \text{ mm}$.

に調節できる自動フォーム裁断機(カッターと試料送りが平行なものおよび垂直なもの2台)を用いて所定の大きさに裁断した試験片の厚みを、マイクロメータで5箇所測定し試料端面の平行度の確認を行ったが、この際1/100mmを許容範囲としそれ以外は試料から除いた。また、厚み以外の試料サイズはノギスにより測定し、その測定値を Y の計算にそのまま用いた。また別に、試料の両端面にあるセルが切断されるために生ずる効果、すなわち試料両端面に突出し配列を乱された骨格は、圧縮時に片持ち状態からの曲げ変形をうけるなど、とくに変形しやすい状態にあることなども考えられる。しかし、この効果が Y に対して無視し得ない影響をもつときは、本報でいまままで述べてきたとは別な意味のやはり不均質体とみなすべきであろう。

4. 結 言

軟質ポリウレタン・フォームの圧縮モジュラスの異方性および実験試料の均質性について検討し、つぎの結果を得た。

(1) フォームの圧縮モジュラス Y の異方性は、図2において、経度面にのみ存在し、赤道面では等方性を示す。すなわち、 β を緯度の余角とすれば、 $Y(\beta)$ の2軸異方性を示す。

(2) 経度面の異方性 $Y(\beta)$ は、本文(9)式で示され、これから求められる $Y(\beta)$ の計算値は、測定値と良好な

一致を示した。

(3) フォームの経度面に圧縮モジュラスの異方性が存在するのは、フォームの幾何学的構造を示す量 $K (=l_z/l_x)$ が、 $K \approx 1$ であることに起因する。ここに、 l_z および l_x は発泡方向に平行および垂直方向のセル・サイズである。

(4) 圧縮実験に際し、試料を均質体として扱うためには、 β の角度をもつ $Y(\beta)$ 測定用試料はすべて、試料の厚さ方向に少なくとも $[N] = 20$ 数個のセルの積み重なりが必要である。このことから、均質性を現わす最小の試料厚は、セル・サイズおよび β に依存する。

(5) セルの対角線の方向と試料の厚さ方向が一致する場合は、試料の厚さ方向の単位長さに対するセル個数が最小のケースであるので、この際の均質性をあたえる試料厚 $[t]$ をそのまま他の角度をもつ試料の厚さにすれば十分である。この場合、 $[t]$ は、 $[t] = [N] \cdot \sqrt{l_z^2 + l_x^2 + l_y^2}$ として計算される。

終りに、本稿のご高閲を賜いました京都工芸繊維大

学井上友一教授ならびに若山一夫教授に深謝致します。また、フォームの複雑な裁断にご協力いただきましたM.T化成工業に謝意を表します。

文 献

- 1) 篠原; 織工学, 19, 807 (1966)
- 2) たとえば, R.J. Roe, W.R. Krigbaum; *J. Appl. Phys.* 35, 2215 (1964)
- 3) たとえば, 山井; 林試報, 113 (1959)
- 4) C.J. Benning; *Plastic Foams, the physics and chemistry of product performance and process technology, Volume 2 Structure Properties and Applications*, p.16-20, John Wiley and Sons, New York (1969)
- 5) 大沢, 中山, 三平; 高化, 26, 443 (1969)
- 6) 藤野, 川端, 碓, 山口; 材料, 13, 698 (1964)
- 7) J. A. Talalay; *Ind. Eng. Chem.*, 46, 1530 (1954)
- 8) 大村; 織学誌 31, T111 (1975)
- 9) 大村, 若山, 井上; 織学誌 25, 248 (1969)
- 10) 大村, 若山, 井上; 織学誌 26, 23 (1970)
- 11) W.W. Moseley; *J. Appl. Polymer Sci.*, 3, 266 (1960)

(昭和50年8月5日受理)

縫製時における針温度とその解析*

東京農工大学工学部 鎌田佳伸・原田雅之**
木下陸肥路・志村奉美

THE SEWING NEEDLE TEMPERATURE AND ITS ANALYSIS

By Yoshinobu Kamata, Masayuki Harada, Rikuhiro Kinoshita and Tomoyoshi Shimura

(Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology,
Koganei, Tokyo 184, Japan)

The sewing needle-temperature rises considerably in accordance with increase of machine velocity and the number of fabric layers. The temperature rises under constant number of fabric layers increases rapidly first and then slowly, and may level off at very high machine velocity. The dependence of the temperature rise under constant machine velocity on the number of fabric layers has also similar behaviors described above.

The complex shape of the needle is simplified as a semi-infinite rod having a uniform cross-sectional area. Then, it was derived the reasonable formula of the needle-temperature rises as a function of machine velocity and the number of fabric layers during the sewing without thread. This formula explains the relationship between the heat generation for a needle to move in and out of fabrics and the heat dissipation from the needle surface. The dissipation involves both the heat transfer to air and the heat transmission to fabrics. The formula has well-agreed not only with the experimental results but also with those reported in the literature.

(Received August 5, 1975)

*この報文を「縫製時における針の温度上昇とその機構に関する研究(第1報), Studies on the Needle-Temperature Rise and its Mechanism During the Sewing (part 1).」とする。

**現在の所属: 蝶理株式会社東京支社(東京都中央区日本橋堀留町2-9)

Present address: Chori Co. Ltd., Tokyo Branch, Horidome 2-9, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo, Japan.