ミシン針の布貫通挙動

(第1報) 低速度域での布貫通, 引抜き時の発生力と布の変形状態

京都工芸繊維大学 堀 野 恒 雄 (会員)

" 西 島 啓 子*

武庫川女子大学 川 西 定 子 (")

Penetration Behavior of Sewing Needles into Fabrics.

Part 1 : Experimental Results of Forces and Fabric Deformation Behavior When a Needle Penetrates into and Withdraw from a Fabric Layer at Low Velocity Range.

Tsuneo Horino*, Keiko Nishijima* and Sadako Kawanishi**

Department of Textile Engineering, Kyoto University of Industrial Arts and Textile Fibers, Kyoto.**Department of Clothing Science, Mukogawa Womens University, Nishinomiya.*

Abstract

The forces applied on the sewing needles without threads have been measured during penetrating into and withdrawing from fabrics by an Instron type tensile tester at seven levels of needles velocity, ranging from 2 to 400mm/min. Moreover, observations of deformed states when the needle penetrates into a fabric layer was also studied by using the specially designed apparatus.

Five major variables considered were pressure of presser foot, needle diameter, needle shape, needle velocity, and tensile property of fabrics.

From the results of two experimental methods, it was found that behavior of needles penetrating into fabrics could be characterized by two values : the maximum penetration force and total energy consumed during one penetration and withdrawal cycle. The total energy could be divided in two components ; the strain energy which causes needle holes and fabric deformation in the direction of needle axis, and the frictional energy which generates the heat during sewing.

The needle diameter, needle shape and tensile property of fabric significantly affects magnitude of the strain energy. And, the pressure of presser foot within the normal range in sewing does not affect degree of penetration forces.

(Received August 7, 1976)

摘 要

目 的 ミシン針の布貫通時の貫通力, 引抜き力の測定と, 貫通過程の布の変形状態の観察とを目的とする。

成 果 ミシン針の布貫通力, 引抜き力の値は, 同一の針一布の場合でも変動するが, ミシン針の種類, 針の先端の形状によりそれぞれ特有の貫通力—貫通長さ線図を描く。

この線図から評価したエネルギーより, 地糸切れを問題にする場合には, ひずみエネルギーの小さい針が, 針温度が問題になる場合には, ひずみエネルギーの小さい針が, 実際の縫製上に良い結果をもたらすだろうと推定した。

また, 針が布を貫通する過程の観察では, 針穴形成とともに, 布は針軸方向にも変形し, 布の変形は布の伸長特性と関連する結果を得た。

(昭和51年8月7日受理)

*現在の所属: 有限会社西島染色

1. 緒 言

種々の布構造の開発¹⁾、これらの布の仕上加工の開発、合成繊維製ミシン糸の普及、ミシンの高速化など衣服、インテリア ファブリックの最終工程である縫製工程に種々の問題を提起している。中でも衣服生産では、合成繊維製の薄地の布の普及により、地糸の損傷、切断、溶融切れが致命的な損傷となり、また、高速化による針温度の上昇に起因する針の品質低下などが問題になっている。

一方、布の生産面では、高品質布の一つの条件として縫いやすい条件があり、その内容の中には針の通りが良いことなどが挙げられている²⁾。すなわち、ミシン針が布になす仕事がいささかが要求されている。

この仕事量を評価するために、針の布貫通力、引抜き力の測定と、機械の仕事量が熱に変換し、針の温度上昇となるのでこの温度の測定の2通りの測定、解析が行なわれている。

前者では、Dorkinら³⁾、大村ら⁴⁾により、布が平面を保つとしての解析があり、後者の針温度の解析は、Howardら⁵⁾、内山ら⁶⁾、鎌田ら⁷⁾の研究がある。針の形状と貫通力、貫通力と針温度との関係についてはHershら⁸⁾、内山ら⁶⁾の研究例がある。

針温度の測定では、通常ミシンの駆動速度で測定されているが、機械量の場合には、力検出器の共振周波数などの関係、高速度での発生雑音の除去の困難さなどから低速度で観測されている。本報では、布が一種の粘弾性体であると考え、実験の容易な低速度域を対象としたが針速度を2~400mm/minと大幅に変化して測定した。また縫目の形成には、針の運動ばかりではなく、布送り、糸締め(天びん、かまの運動)のミシンの主要運動の調整が重要であるが、本実験では、針の運動を主に対象にするのでミシンを使用せずに、試作した測定器を用い、針を一定速度で駆動して実験を行なった。

また、縫目は前述の4主要運動で形成されるので、針の布貫通挙動の観察は、ミシンでは非常に困難である。そこで、本実験では、ミシンと同様な布保持方法の下で従来行なわれていなかった針の布貫通過程を観測した結果についても述べる。

2. 測定方法

ミシンでは針棒の先端にミシン針が固定され、針棒は図1に示したピストン—クランク機構で駆動される。

クランク $\overline{O_1O_2}$ が、図の O_2' の位置にある場合を上軸の回転角度 $\theta=0$ ととり、針板上面と針先端の距離 H を図中の記号を用いて示すと(1)式で表わされる。

$$H=B-N+R\cos\theta-L/\sqrt{1-(R/L)^2\sin^2\theta} \cdots (1)$$

針速度 v は、クランクの角速度 $\omega=d\theta/dt$ を一定と

図1 ミシン針の運動機構

O_1 : 上軸の中心 $\overline{O_1O_2}$: クランク
 $\overline{O_2O_3}$: クランク ロッド

して、次式のように示される。

$$v = -R\omega \left\{ \sin\theta + \frac{(R/L)\sin 2\theta}{2\sqrt{1-(R/L)^2\sin^2\theta}} \right\} \cdots (2)$$

ミシンの JIS 規格では、 R は 15mm前後、 $L=36.5 \sim 55.0$ mmであり、 $R/L < 1$ となるので、(1)、(2)式はそれぞれ(1')、(2')式と書き改められる⁹⁾。

$$H=B-N+R\cos\theta-R\left\{ \frac{(R/L)}{4} - \frac{(R/L)}{4} \cos 2\theta + \frac{L/R^3}{64} \cos 4\theta \cdots \right\} \cdots (1')$$

$$v = -\omega R \left\{ \sin\theta + \frac{(L/R)}{2} \sin 2\theta - \frac{(L/R)^3}{16} \sin 4\theta \cdots \right\} \cdots (2')$$

針板に厚さ T の布を置いて縫製する場合、(1')式の左辺 H の代りに $H-T=0$ とおいて、 4θ 以上の項を省略してクランク角 θ を求め、(2')式により針先が布を貫通し始める速度 v を求めることができる。

図2(a)の実線は、 $\theta=0$ のときの $H=R$ とした場合の針の先端の運動曲線を、破線は $v-\theta$ 曲線である。

本研究では、針の布貫通、引抜き時の速度依存性と、貫通挙動の観察を目的としている。

前者の実験では図2(b)の太実線で示したように針先の運動線図が三角波形を描き、一定速度の場合について

図2 (a): ミシンの場合の針の運動線図と速度線図
(b): モデル実験の場合の針の運動線図と速度線図
(c), (d): HA×1, DB×1の針の貫通力, 引抜き力曲線の模式図
(e) DB×1の針形状

図3 貫通力, 引抜き力曲線測定方法の模式図

- ①: 試料布 ②: 針板相当板 ③: 押さえ金相当円板 ④: クロス ヘッド ⑤: 力計
⑥: スライド ベアリング ⑦: ピン バイス
⑧: ミシン針 ⑨: 重り ⑩: 定盤
⑪: オートグラフの基盤

ど, 後者の実験については細実線で示したようにステップ状に針先が貫通する場合について実験を行なった。

2.1 貫通力, 引抜き力の測定

高速ミシンで針先が布に接触するときの速度を次の条件で試算する。すなわち, $H-t=0$ のときの θ を 90° にとり, $R=15\text{mm}$, $L=45\text{mm}$, 回転数 5000rpm とすると, (2')式より, $v(\theta=90^\circ) = 4.7 \times 10^5 \text{mm/min}$ となる。実際のミシンでは $H-T=0$ のときの θ は 100° 前後となり, 上記の値よりはやや小さくなるが 10° オータの高速度で針が貫通し始める。このような高速度の一定速度での布貫通力の測定は, やや困難なので容易に測定ができる低速度域をまず対象とした。

低速度域の実験では, 針を一定速度で駆動するために島津製オートグラフを用い, 布の固定には図3に示す測定具を用意した。

ピン バイス⑦にミシン針⑧を針のえぐり面が図示した方向になるように固定する。

力計⑤をクロス ヘッド④に固定した後に, 針軸が針板相当板②に垂直に, かつ針板の直径 2.2mm の穴¹⁰⁾ の中心を通るようにオートグラフの基盤⑪上に定盤⑩を設置する。

力計は幅 10mm , 厚さ 1.0mm , スパン 45mm のは

りの中央に針棒を取付け, はりには4枚の半導体ゲージを接着し, 4ゲージ法で力を検出する構造のもので, 燐青銅丸棒から加工した。また, 針の先端から はりまでの長さは約 100mm になるので, 針軸が針板面と垂直を保ち, 軸線方向の力のみを検出するように, 針棒はスライド ベアリング⑥で支持した。

幅約 50mm に裁断した試料布片①を, ②上に無緊張状態で置いた後に押さえ金相当円板③で布を押え, 重り⑨をつるして押さえ圧とした。

その後クロス ヘッドを一定速度で下方に駆動し, 針先が針板上面から 15.7mm 下がった時点でリターンさせ, 引抜き過程に移る。この貫通過程および引抜き過程で得られる曲線を模式的に図2(c), (d)に示す。

図2(c), (d)では, 貫通力 W_p を正に, 引抜き力 W_d を負にとって示した。これらの曲線の形状は, 図2(e)のミシン針の形状, 特に針の先端の形状と, 針の先端が布の組織のどの部分を貫通するかに関連する。 W_p , W_d のサフィックス1~6は, (e)図の針に付した番号位置が布を貫通, または引抜く時に誘起される貫通力および引抜き力を示す。

(d)図は針の先端1の部分の布の地糸をひっかけた場合であり, 鋭い極大値 W_{p1} が観測される。 W_{p2} は針

穴近辺(針位置2)で発生し、この部分の太さは針位置4の幹径より5~10%太い。次いで えぐり部3が貫通する場合には、貫通力は一端低下し($W_{p,3}$)、幹部で再び上昇する。

(c)図は針の先端1が布の組織の疎な部分を貫通した場合であり、明確な $W_{p,1}$ は観測されず、 $W_{p,2}$ の極大値が大きくなる。

$W_{p,5}$ は、針位置5の幹径が4の部分の幹径よりも約10%太い工業用の二段針で観測される。家庭用ミシン針では、この段付き部がなく、(c)図の細実線で示したように $W_{p,5}$ は観測されない。

引抜き力は貫通過程で布に穴が形成されているので、貫通力曲線よりも引抜き力曲線の値は全般にかなり低い値を示す。これは穴形成により、針一布間の摩擦力の低下に起因するとみられる。

2.2 貫通挙動の観察

ミシンでは針板の下方に布送り、下糸供給機構があり針の布貫通過程の観察は困難であるので、従来は縫製後にミシン針の布に及ぼす影響の観察が行なわれている³⁾。

ミシン針の布貫通過程を観察するために、図4に示す用具を用いて実験した。

ミシン針の支持には図3の力計部をそのまま使用し、

図4 ミシン針の布貫通挙動観測方法の模式図

- ①：円板 ②：針板相当円板(透明樹脂製)
- ③：押さえ金相当板 ④：ミシン針 ⑤：試料布 ⑥：ピン パイス ⑦：メディカル ニッコールレンズ ⑧：滑車 ⑨：ワイヤ
- ⑩：実体顕微鏡鏡筒保持器 ⑪：重り
- ⑫：ベアリング ⑬：ベアリングケース
- ⑭：力計 ⑮：丸棒 ⑯：定盤

定盤上に固定した丸棒⑮にとりつける。

布支持部は実体顕微鏡の鏡筒保持器⑩を利用し、この内径とちょうど はめ合う円板①に、厚さ2mmの透明アクリル樹脂製の針板相当円板②を固定した。この円板の中心に直径2.2mmの穴をあけ、針板の穴とした。

押さえ金相当板として、⑩の内径と すきまばめの中心に穴のある円板の両端を削りとった小判型の板③を用い、幅約35mmの試料布片を通した。

押さえ圧は図示したように、滑車⑧、ワイヤ⑨、重り⑪を用いて布に印加した。

針の先端が布下面に接した位置を基準とし、 $W_{p,3}$ の貫通力に達するまで、鏡筒保持器のラックーピニオンのピニオンの回転により、1mmずつ貫通させ、その状態をニコン製メディカル ニッコールレンズ⑦を用い、倍率3倍で接写した。なお、貫通長さはダイヤルゲージで読みとった。

また、試料布片にあらかじめ一辺約5mmのます目を墨入れしておき、ます目の中心と針板の穴の中心がほぼ一致するようにして観察した。

3. ミシン針および試料布

3.1 ミシン針

縫製の対象となる布の多様化に対応して、針先形状、えぐり部の形状、幹部の太さを工夫したミシン針が使用されている¹¹⁾

本実験では、針の太さの効果には、家庭用ミシン針HA×1¹²⁾で#9~#16と変化し、先端形状の変化では、DB×1¹²⁾#11として種々のボールポイントの針¹¹⁾を使用した。

使用した針の先端部と、DB×1#11の幹部の段付部の形状を図5に示す。

3.2 試料布

試料布として、縫製時の地糸切れ、熔融切れが問題となるポリエステル製の組織の疎な薄地の図6に示す織物、編地と不織布(商品名：タイベック1079D、目付け：94g/m²、見掛け厚さ：0.23mm)の3種の布を使用した。

図6にはボールポイントSとYの大きさと、針の幹径とを同じ倍率で付記した。

図7は三種類の布のグラブ法による引張り応力-ひずみ曲線であり、これらの布では、同一応力におけるひずみは大きく異なる。また編地は伸長方向により曲線の形状が異なる。

4. 測定結果と考察

使用した試料布の織物と編地の構造と針形状との関係は図6に示した。通常、布ではm²当たりの重量で目付

図5 針の番号11の先端部と DB×1 #11の幹部の形状
矢印, 数字は図2(e)の矢印に対応する

図6 使用した織物 (目付け: 70g/m^2 , 厚さ: 0.14mm) と編地 (目付け: 102g/m^2 , 厚さ: 0.40mm) および針の寸法 (針の幹部断面とボールポイントの例)

図7 三種類の布の引張り応力—ひずみ線図
太実線: 編地のウェール方向 細実線: 編地のコース方向
太破線: 織物のたて糸方向 細破線: 織物のよこ糸方向
太一点鎖線: 不織布幅方向

けを示すが, 図6に示したように単位面積を針の先端部が占めるような小さな面積にとると, 目付けを算出する布位置により, 微小面積当たりの目付けの値は $0 \leq \text{目付け (重量/微小面積)} \leq \text{最高値}$ の間で変動する。

ミシン針の貫通では, 同じ布でも微小面積当たりの目付けの変動した場合が対象になるので, その応答も大きく変動するものと予想される。そこで, 以下の実験では

最低10回同一刺激条件で行なった結果について述べる。

大きく変動する応答の表示では問題点はあるが本報では, 10回の同一刺激条件での結果を表示した。以下に示す図中の丸印1個が必ずしも1回の実験に対応するわけではなく, 1個の丸印がほぼ同一の値の2~5回の実験結果を示している場合もある。

図8 HA×1 #11—織物系の $W_{p,max}$, $W_{d,max}$ の押さえ圧依存性 (針 速度: 10mm/min)

図9 HA×1 #11—布系の $W_{p,max}$, $W_{d,max}$ の布組織による変化

4.1 押さえ圧力の影響

図3の重り⑨を0.25~4.0kgの間で5段階に変化し、布に印加する押さえ圧力を変えて実験した。

押さえ圧力の影響を織物の場合について、針位置1~3の部分が布を貫通および引抜くときの最大値 $W_{p,max}$, $W_{d,max}$ をとり、図8に示した。

従来、押さえ圧力が大きい場合には、布を構成する糸の自由度が小さくなり、針の先端が糸を割る確率が大きくなり、地糸の損傷に影響するといわれている¹¹⁾。針先端が地糸を貫通するような場合には、後述するように $W_{p,max}$ の値は大きくなる。

本実験では押さえ荷重0.25kgでは、 $W_{p,max}$ は低い値となるが、1~4 kg ではほぼ同じ値となる結果を得た。地糸の損傷のみを考慮すると、押さえ圧力は低い方が望ましいが、押さえ圧力は布送りにも関連する¹³⁾ ので、ある程度大きくしなければならない。

不織布、編地では、図9に示すように押さえ荷重2kgの場合の $W_{p,max}$ の値は異なるが、織物の場合と同様な $W_{p,max}$ の押さえ圧力依存性を示す。

図8の結果より、以後の実験では2kgの重りを用いて押さえ圧力とした。

また、図9に示すように伸びやすい編地の $W_{p,max}$ の値の方が織物の場合よりも大きくなる。

4.2 針の太さの影響

針の先端の形状が同じ家庭用ミシン針 HA×1で針の番号#9~#16で4段階に変化して行なった。

4.1項と同様に $W_{p,max}$, $W_{d,max}$ をとり、織物、編地の場合についてこれらの値の針の番号依存性を図10に示した。両者では針の番号依存性が異なる。すなわち、編地では針の番号が大きくなるとともに $W_{p,max}$ の値が急激に増大する。

上述のような相違を考察するために、#11と#16の針の場合の貫通力および引抜き力曲線を図11に示す。布と接する針の位置と発生力との関係をみるために、図11では図2(c), (d)の模式図の曲線を針の最下点で折り返した貫通力、引抜き力—貫通長さ線図として示した。

図10 HA×1—織物、編地系の $W_{p,max}$, $W_{d,max}$ の針の番号依存性 (押さえ

荷重: 2 kg, 針速度: 10mm/min)

図11 HA×1—布系の貫通力，引抜き力曲線の測定
例 実線：織物 破線：編地 一点鎖線：不織布

布の種類，針の番号の相違で発生力は大きく異なるので，図の縦軸の目盛は (A)，(B)，(C) の3段階に区別し，図中の針の番号の末尾にこの記号を付記して曲線のスケールを示した。

HA×1 #11 の針で，初期弾性率の高い不織布の場合には，貫通力曲線は急激に立ち上がり $W_{p,1}$ に達して針先の先端が布を突き破り貫通力は一端低下する。その後針径の増大する針位置2に達するまで，貫通穴を拡大しながら貫通力は上昇し， $W_{p,2}$ に達した後針位置3の部分が貫通し始めるとともに貫通力は低下する。

不織布と比較して初期弾性率の低い織物，編地の場合には，いずれも $W_{p,2}$ の出現する貫通長さは長くなる。この傾向は#16の針の場合にさらに明らかになり， $W_{p,2}$ になる貫通長さも長くなる。すなわち，伸びやすい布ほど針の貫通とともに布が変形し，針板の穴の中に押し込まれていることを示す。

これは引抜き過程の $W_{d,2}$ の出現する L_p の値が， $W_{p,2}$ の出現する L_p の値が長い場合ほど小さい値になる結果からも予想される。

したがって，針の太さは針強度の許す限り小さい番号の針の方が地糸切れの発生減少および縫製時の針板の穴近辺の布の過大な変形によるパッカリングの防止に得策となる。

4.3 針形状の影響

A. 針の形状と貫通力との関係

図5に示した6種類の針と，織物，編地を用いての結

図12 HA×1，DB×1 #11—織物，編地系の $W_{p,1}$ ， $W_{p,2}$ (針速度：10mm/min，押さえ荷重：2kg)

果について述べる。以下，針の区別は針の種類およびボールポイントの記号で示す。

ボールポイントの径が大きくなると， $W_{p,1}$ が出現するケースが多くなるので，図12には貫通曲線からこれらの針の場合の $W_{p,1}$ および $W_{p,2}$ を求めた結果を示した。

織物では，ボールポイントが大きくなるにつれ， $W_{p,1}$ の値が $W_{p,2}$ の値よりも次第に大きくなり，特にYの場合にはこの傾向が著しく，また $W_{p,1}$ の値も40～245g とかなりばらつく。 $W_{p,1}$ の値が大きい貫通力曲線の場合には $W_{p,2}$ の値は小さくなり，遂に $W_{p,1}$ の小さい値の曲線では， $W_{p,2}$ の値が大きくなる。

編地では，S以外のボールポイントの針では， $W_{p,2}$ の値はあまり変わらないようであるが，比較的大きいボールポイントのUの場合の値が小さい。Yでは，織物の場合と同様に $W_{p,1}$ の値が大きい， $W_{p,1}$ の値が大きければ織物の場合とは逆に $W_{p,2}$ の値も大きい。

$W_{p,1}$ ， $W_{p,2}$ の値が地糸切れに関連するという観点に立てば，図12の結果では，織物では，Sが，編地ではUが最も良い結果を示したといえる。

しかし，図2(c)，(d)に模式的に示したように，針の形状により特有の貫通力，引抜き力曲線を描くので，縫製に際しては合わせて考慮しなければならない。

B. 貫通，引抜き時のエネルギー

図13はDB×1 #11 SおよびBを使用した場合の貫通力，引抜き力曲線の例である。上述したように，同じ針

図13 DB×1 #11 B,S—編地系の貫通力、引抜き力曲線（針速度：10mm/min，押さえ荷重：2kg）

図14 貫通エネルギーおよび引抜きエネルギーの評価方法の模式図

を使用しても発生力の値は異なるが、 $W_{p,2}$ の値が高ければ、 $W_{p,4}$ 、 $W_{p,5}$ などの貫通力も高くなる。また、針の種類、ボールポイントのタイプにより特有の線図を描く。図11のHA×1 #11の場合の曲線と比較すると、針位置4～6の貫通、引抜き時に特徴がみられる。

HA×1の場合は針の幹部に段付部がなく、 $W_{p,5}$ のピークが出現しない。幹部に段付部のあるS、Bでは、針位置4～6が布に接する場合の曲線が異なる。Sでは $W_{p,4} \sim W_{p,6}$ の値が他のどの針の場合よりも大きく、 $W_{p,5}$ の値は $W_{p,2}$ の値よりも大きくなる。Bでは、 $W_{p,5}$ は出現するが、小さい値である。

おのおのの針についての10回の測定曲線の内、 $W_{p,max}$ 、 $W_{d,2}$ の値が算術平均値にもっとも近い曲線をその針の典型的な貫通力、引抜き曲線として選んだ。これらの曲線を図14のように区分し、各区分ごとのエネルギーを求めた。

この区分は後述する針の布貫通挙動の観察結果と、図11の結果とを参考にした。すなわち、 $W_{p,2}$ の貫通力に達するまでのエネルギー E_A は、針の先端が布を貫通し、針穴を形成するエネルギー、 E_B 、 E_C は針穴が形成がされた布と針との摩擦エネルギー、 E_D は、変形回復過程の布と針との間の摩擦エネルギーであるとした。

このように考察すると、貫通、引抜き速度が変化した場合には、 E_A は主として布の変形挙動の速度依存性に、 E_B 、 E_C 、 E_D は主として布と針との間の摩擦挙動の速度依存性に支配されるとみられる。

おのおのの針についての速度10 mm/min の場合の典型的な曲線から、上述した区分で求めた結果を図15、16に示す。

図15は、針の種類がHA×1で針の番号を変化した場合の結果である。図10の $W_{p,max}$ の針の番号依存性と同様に、貫通時のエネルギー E_p (E_A と E_B) および引抜き時のエネルギー E_d (E_C と E_D) は、いずれも針の番号が大きくなるに従い増大する。HA×1 #16—編地系以外では、上述の区分によるエネルギー配分ではいずれも $E_B > E_A$ であり、 E_B は針の幹径に比例して増大する。#16の場合の $E_A > E_B$ の結果は、図11に示した挙動を反映しているとみられる。

図15 HA×1—編地、織物系の貫通、引抜きエネルギーの針の番号依存性

図16 HA×1, DB×1 #11—編地, 織物系の貫通, 引抜きエネルギーの針形状依存性

引抜き過程では, E_D の値はいずれも小さく E_C の値が引抜き過程の全エネルギーとほぼ同じとみなせる。

針の番号が同じで, 針の先端形状が異なった場合の結果を図16に示した。

DB×1 #11 Y—布系では, $W_{p,1} > W_{p,2}$ と $W_{p,1} < W_{p,2}$ の二通りの場合があり, 前者の方が出現する回数が多いので, この場合のエネルギー配分を記号 Y で, 後者の場合の曲線での配分を Y' として区分した。

Y 以外のボールポイントの針の場合には, 図12に示したように, いずれも $W_{p,1} < W_{p,2}$ となる。ボールポイントで $W_{p,1} < W_{p,2}$ の場合には, ボールポイントの径が小さくなるほど $E_A < E_B$ となり, 中間で $E_A \approx E_B$, 径が大きくなると, 再び $E_A < E_B$ となる。特に径の小さい S では, 図13に示した曲線からもわかるように, E_A の値が小さく, E_B の値が大きいのが目立つ。

上述のような E_A, E_B の値のボールポイント径依存性を示す DB×1 の針と, HA×1 の針とを比較すると, 後者では E_A, E_B の値が共に比較的高く, また引抜き過程での E_C の値が最も高い。

針の貫通, 引抜き過程でのエネルギー配分が図14のようであると, 主として地糸切れが問題になる場合には E_A の値の小さい針が, 主として針温度が問題になる場合には $E_B + E_C$ の値の小さい針が縫製に適した針の形状といえよう。

なお, 図16より $(E_B + E_C) / \text{全エネルギー}$ の値を算出す

ると, DB×1 #11 B—布系が最も低く約60%であり, 他の針の場合は, いずれも70%前後の値となる。また, E_C/E_B の比は, HA×1 #11—布系の場合が, 33%と最も高く, 他は20%前後の値となる。したがって, 針の温度上昇は貫通時の挙動に大きく依存するといえる。

4.4 針速度の影響

前項までの実験の針速度は 10mm/min であるが, 上述したように貫通, 引抜き挙動には速度依存性が考えられるので, 図16の結果を考慮して, HA と S, B, Y の針を選び, 針速度を変化して行なった結果について述べる。

針速度は図3のクロスヘッド④の駆動速度を 2 ~ 400 mm/min の間で, 7段階に変化して行った。

速度 2, 10 mm/min ではオートグラフの記録器を使用し, 20~400 mm/min では, 布の見掛けの厚さを考慮し, 応答周波数特性が 0~50 Hz の間平坦な渡辺測器製のペン書きオシログラフで記録した。

図17は, DB×1 #11 S, Y—編地系の記録例である。

本実験の速度範囲内では, 各針—布系に特有な曲線の形状は, 実験速度が変わってもあまり変化しない。

ペン書きオシロで記録した曲線では, エネルギーの算出には誤差が伴いやすいので, $W_{p,1}, W_{p,2}$ の値の速度依存性を求めるのにとどめた。

織物の場合の結果を図18(a)に示す。いずれの針の場合も針速度の上昇とともに $W_{p,2}$ の値はやや上昇し,

図17 DB×1 #11 S, Y—編地系の針速度 v を変化した場合の貫通力, 引抜き力曲線の記録例

図18 (a) : HA×1, DB×1 #11 S, B, Y—織物系の $W_{p,1}$, $W_{p,2}$ の針速度依存性
(b) : HA×1 #11—編地系の $W_{p,2}$ の針速度依存性

$W_{p,1}$ の誘起しやすい針の場合の $W_{p,1}$ の値も速度の上昇とともにその値はやや大きくなる。

編地の場合は、図18(b)に HA×1 の針の例のみを示したが、いずれの針も織物の場合よりも $W_{p,1}$, $W_{p,2}$ の値の速度依存性が大きい¹⁴⁾。

本実験での織物、編地の材質は、いずれもポリエステルであるが、前項で述べたように E_A が ひずみエネルギーであるとすると、布の組織の相違による粘弾性的性質を反映した結果とみられるが、これは今後の研究課題の一つである。

なお、Hersh, Khan らの2.5, 25, 127mm/min と三

段階に針速度を変化し、各3回の実験の平均値の結果⁹⁾では、貫通力の速度依存性はみられない。しかし、布の機械的性質は、やはり一種の粘弾性体とみられるので、速度依存性を示すとした方が合理的と考えられる。

Hersh らの実験では、ポール ポイント針を使用しているが、 $W_{p,1}$ の観測結果が出現していない。また、 $W_{p,2}$, $W_{d,2}$ を示す貫通位置もわれわれの実験結果の場合とはやや異なる。これは使用布の相違もさることながら、実際のミシンの針板の穴径よりも相当大きい 3.1 mm の直径の穴での実験のためと考えられる。

針の布貫通時の機械エネルギーを算出し、針温度と対応させる場合⁹⁾にも、なるべくマシンと同じ直径の針板の穴を用い、縫製時の布押さえと同様な押さえ方で実験する方が望ましい。

4.5 貫通挙動の観察

HA×1 #9～#16と DB×1 #11 S, B, Y の針を使用して、織物、編地の場合の貫通挙動を図4の観測用具で観察した結果について述べる。

観察例として、 $W_{p,2}$ の値、 $W_{p,2}$ の値に達する貫通長さの異なる貫通曲線を示す。HA×1 #16—織物、編地系の場合(図11参照)を図19に示す。

図中の0は、針の先端が布の下面に接した針位置を示し、各図の右下の数字はこの位置からの針先端の貫通長さを表わす。O'は、 $W_{p,max}$ に達し、さらに貫通させた後に、針先端を0の位置まで引上げた場合である。

また、図中の矢印は針穴の貫通方向を示し、黒線は布にあらかじめ墨入れした一辺約5mmのます目である。

針の先端が貫通し始めると、針の先端の極く近辺の布組織は押し広げられるが、貫通長さが長くなるにつれて針板の穴の周縁部分の布が針板の穴に引込まれる。

図19の太い針の観察では、貫通長さ2mmで織物の場合ます目が変形する。編地では ます目の変形は目立た

図19 HA×1 #16—布系の針貫通過程と引抜き後の布の状態

ないが、針板の穴部分の布が変形し、上方に押し上げられている。

さらに針が貫通し、 $W_{p,2}$ の近辺の貫通力を示す貫通位置、図19では、織物4、編地5の図でみられるようにます目の変形は最大となり、図0では針板の穴の外側に位置していた布部分が針板の穴に押込まれているのが観察される。また、図7で示したように編地の場合、ウェール方向とコース方向の伸長特性が異なり、コース方向にはかなり伸びやすい。このような布の性質を反映し、 $W_{p,2}$ 近辺の貫通力が誘起される貫通位置では、ます目の変形の異方性が著しくなる。一方、織物の場合には、ます目の変形の異方性は目立たない。

$W_{p,3}$ の貫通力に達した後、針先端を0まで引上げた O' の図では、織物では貫通穴周縁の地糸は押し上げられたままで、一部は損傷しているのが観察される。またます目の変形も残留している。

編地の O' の場合は貫通時に針板の穴に押込まれた部分が針の引抜きとともに上方に持ち上げられる。このため接写レンズの焦点深度以上になり、針板の穴部分の編目は焦点がぼやけて撮影される。これは図11のHA×1 #16—編地系の $W_{d,3}$ を示す貫通長さが短くなる結果と対応する。また、ます目の変形はある程度回復するが、残留している。

上述のように布の種類により、また針の番号および形状により、ます目の変形の度合いが異なる。

図20はます目の変形状態を模式的に表わした図であり、各試料について(3)式で示す最大変形率および残留ひずみ率を定義して種々な針—布系について、これらの値を求めた。

$$\left. \begin{aligned} \text{縦最大変形率;} & \epsilon_x = (\Delta L_{x,1} + \Delta L_{x,2}) / L_x \\ \text{横最大変形率;} & \epsilon_y = (\Delta L_{y,1} + \Delta L_{y,2}) / L_y \\ \text{縦残留ひずみ率;} & \epsilon_{x,R} = (\Delta L'_{x,1} + \Delta L'_{x,2}) / L_x \\ \text{横残留ひずみ率;} & \epsilon_{y,R} = (\Delta L'_{y,1} + \Delta L'_{y,2}) / L_y \end{aligned} \right\} (3)$$

(3)式右辺の記号は図20中に示した各部の長さを表わす。

図20 布上に墨入れしたます目の変形状態の模式図

- (a): 針貫通前の状態 (b): $W_{p,2}$ の貫通力に達した場合
(c): 針を引抜いた状態

図21はHA×1の針で針の番号依存性を、図22は#11の針で針の先端形状が変化した場合の、それぞれについて3回の実験の結果である。

図21では、針の番号が大きくなると、最大ひずみ率が增加する。この結果は図10の $W_{p,max}$ の針の番号依存性と対応し、貫通力が大きくなるほど、いずれの布の

図21 HA×1—編地、織物系の最大変形率、残留ひずみ率の針の番号依存性

図22 HA×1, DB×1 #11 S, B, Y—編地、織物系の最大変形率、残留ひずみ率の針形状依存性

場合も ϵ_x , ϵ_y の値が増加する。また伸長特性が異方性を示す編地の場合は、織物の結果と比較して ϵ_x , ϵ_y の値の相違が著しい。

図22の針の先端形状の変化した場合も同様に、 ϵ_x , ϵ_y の値は $W_{p, \max}$ の値と関連し、これは図12の結果と対応する。

本実験では、図4に示したようにミシンの場合と同様な布の押さえ方を行っているが、上述したように貫通長さの増加とともに布の支持部が移動するので結果のみを示した。

従来、布と針の番号との定性的な関係が述べられている¹⁵⁾が、前にも述べたように針強度の許す限りなるべく細い針の方が縫目の形成に良い結果をもたらすことを実験的に確かめた。

また、大村らのフィルムを使用した場合の貫通力の解析⁴⁾、Dorkin らの布の貫通力の解析および金網を利用した貫通穴のモデル実験⁸⁾では、いずれも貫通時にフィルム、布が平面を保っているとしている。

本実験の観察では、貫通時の布は平面を保たない。特に太い針—伸びやすい布系では、針板の穴の中に布が相当押し込まれる。

貫通時に針軸方向に布が変形する場合とか、実際の縫製時のように布を何枚か重ねるような場合の観察および解析が今後の課題である。

5. 総 括

一定回転数のミシンでの針の速度はほぼ正弦的に変化するが、一定速度でミシンと同様な布保持方法の下で、2~400mm/minの低速度域での貫通力、引抜き力曲線と、ステップ状に針が布を貫通する場合について実験した。

この研究では、針と布との相互作用を観測するために縫糸を使用せず、また1枚の布を対象として行なった。

得られた結果をまとめて以下に示す。

i) 針の布貫通のみを対象とすると、通常のミシンの押さえ圧前後の押さえ圧では、針の布貫通挙動に影響を及ぼさない。

ii) 本実験の布では、針穴が貫通する場合に最大貫通力を示すが、例外としてボールポイントSの場合には幹部の段付部が貫通する際に、同じくYでは、針の先端が貫通するときに最大貫通力を示す場合がある。したがって、針の番号が同じ場合には、布の種類により針の先

端形状を選択する必要がある。

針の先端形状が同じ場合には、針の番号が小さいもの程、貫通力、引抜き力は低下する。

iii) 針の布貫通、引抜き力線図から求めたエネルギーより、地糸切れを問題にする場合にはひずみエネルギーの小さい針が、針温度を問題にする場合には、摩擦エネルギーが小さい針が有用であろうと推察した。

iv) 針が布を貫通する場合、布は針軸方向にも変形し布の伸長特性とも関連する。

なお、この研究結果は、昭和51年6月10日日本繊維機械学会第29回年次大会で発表した。

文 献

- 1) J. W. L. Hearle, P. Grosberg, S. Bacher ; "Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics", p.308, Wiley-Interscience (1969)
- 2) 森 ; 繊維工学, **29**, P239 (1976)
- 3) C. M. Dorkin, N. H. Chamberlain ; J. Text. Inst., **43**, T203 (1952)
- 4) 大村, 若山 ; 繊維論文集, **27**, T142 (1974)
- 5) C. M. Howard, D. Paraons ; Text. Res. J., **38**, 606 (1968)
- 6) 内山, 斉藤, 大石 ; "新しい縫製技術と合理化に関する講習会テキスト" p.10~p.13, 日本繊維機械学会 (1968—2)
- 7) 鎌田, 原田, 木下, 志村 ; 繊維学誌, **32**, T102 (1976)
- 8) S. P. Hersch, P. L. Grady ; Text. Res. J., **39**, 101 (1969) ; R. A. Khan, S. P. Hersch, P. L. Grady ; ibid, **40**, 489 (1970)
- 9) たとえば渡辺 ; "機構学講義 I", p.153, 共立出版 (1961)
- 10) JIS B 9082 に定められた穴径の一つ
- 11) 江口 ; "縫製事典" 昭和50年版, p.624~p.631 繊維研究会出版局 (1974)
- 12) JIS B 9076, JIS B 9012
- 13) 堀野, 川西 ; 消費科学, **10**, 2 (1969) ; **11**, 405 (1970)
- 14) 堀野 ; 日本繊維機械学会年次大会で発表 (51. 6. 10)
- 15) たとえば日本繊維製品消費科学会編 ; "最新縫製科学", p.263 (1969)