

# 平織組織の織物強伸度予測

池上大輔<sup>\*1</sup>、島上祐樹<sup>\*2</sup>

## Simulation of Load-extension Properties for Plain-weave Fabric

Daisuke IKEGAMI<sup>\*1</sup> and Yuki SHIMAKAMI<sup>\*2</sup>

Mikawa Textile Research Center, AITEC<sup>\*1\*2</sup>

糸の強伸度を測定し、得られた結果から正規分布乱数を用いて糸の強伸度分布を作成した。次に川端らの織物強伸度理論を用いて、破断認定のアルゴリズムにより織物の強伸度の予測値を算出し、実際の織物の強伸度と比較した。その結果、紡績糸の織物では予測値と実測値にやや相違が見られたが、よこ糸交錯を考慮しない場合の結果に比べると、伸度は誤差が少なくなった。一方、マルチフィラメント織物は、予測値と実測値に近い結果となった。破断のアルゴリズムを検討すれば川端の織物強伸度理論は有効であることが示唆された。

### 1. はじめに

産業資材関連の織物は、衣料用織物に比べて強度や伸度が重要な項目である。しかし、織物の強伸度に作用する要素は多数あり、織物設計時に正確な予測値を求めるのは難しい。強伸度以外の特性も含めて、コンピュータによる織物設計方法が検討されているが<sup>1), 2)</sup>、まだ、経験則により強伸度を予測しているのが現状である。一般に、基本組織の織物の強さは、経験則からその引張方向にある糸の構成本数の積の強度の 85% ~ 125% にあると言われている<sup>3)</sup>。織物の組織や密度などにより、構成本数倍の強度以上になる場合もあるが、通常は構成本数倍の強度より低いことが多い。一方、伸度は、議論されているものは少ないが、引張方向の糸と直交する糸が屈曲する。このため、糸を構成本数並べて引張った場合に比べると、伸度はそれ以上の値になることが考えられる。織物設計で、糸の強伸度・番手と織物組織・密度などから出来上がりの織物の強伸度等の物性がシミュレーションできるようになれば、開発及び試作時間の短縮になるため、このようなシステムの開発が望まれている。

そこで、本年度はたて・よこ糸ともに同じ糸を使用して、コンピュータ上で乱数を発生させて糸の強伸度分布を擬似的に作成し、その分布から織物強伸度理論における引張方向の糸と直交する交錯糸の影響を考慮した場合の平織組織の織物の強伸度予測システムを試作し評価を行った。

### 2. 織物強伸度予測方法

#### 2.1 織物強伸度理論

織物は、たて糸とよこ糸が交錯しており、糸は屈曲しており、単に原糸を織物幅に合わせた構成本数分並べて引張試験をした場合とでは、強伸度の値は異なってくるのが考えられる。そこで、川端らは図 1 のように平織の単位構造を幾何学的に考え、また物理的な釣り合いから糸が交錯した場合の織物強伸度理論を提案した<sup>4)</sup>。川端らの方法では、図 1 の 0 点（交錯点）における圧縮力  $F_c$  を糸のクリンプ、交錯点における糸のよこ方法圧縮量、織物密度から求め、式(1)を導出した。

$$F_c = 2g_2(\lambda_{y_2}) \frac{2\{h_{m_2} + h_1 - \Phi(F_c)\}}{\sqrt{4\{h_{m_2} + h_1 - \Phi(F_c)\}^2 + (\lambda_2 y_{02})^2}} \quad (1)$$

$$\Phi(F_c) = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) \quad (2), \quad y_{02} = \frac{1}{n_1} \quad (3)$$

ここで、 $g$  は糸にかかる荷重の関数、 $h_m$  は交錯点からの距離、 $h$  は引張過程における  $h_m$  からの移動距離、 $\Phi(F_c)$  は引張過程における糸の横方向圧縮変形関数、 $\lambda$  は引張過程におけるその時の糸の横方向圧縮変形量、 $y$  は糸間隔、 $n$  は織物密度を表す。この理論を基に、式(1)~(3)を使用して織物構成時の糸 1 本あたりの強度  $F$  とその時の伸度を求め、織物強度  $f$  を導出した。

$$F_1 = \frac{F_c \lambda_1 y_{01}}{4(h_{m_1} - h_1)} \quad (4)$$

$$f_1 = nF_1 \quad (5)$$

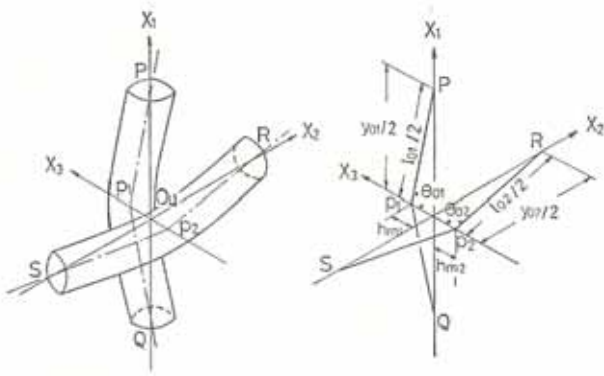


図1 平織物の単位構造モデル

## 2.2 織物強伸度予測プログラム

通常、織物を構成する系の強伸度は一定ではなく、正規分布していると考えられる。また、引張過程では織物中の糸はすべて同じように引伸ばされ、織物自身の伸度と等しい。このため、伸長過程において、最も弱い糸から破断していくと考えられる。故に、織物強度は糸の平均値を構成本数倍した値よりも低くなる。また、織物伸度は、糸を構成本数分並べて引張った場合に比べると、値はそれ以上になることが考えられる。そこで、あらかじめ糸の強伸度分布を測定しておき、モンテカルロ法と呼ばれる方法で、その測定結果を基に乱数を使用して糸の強伸度分布を作成し、2.1で検討した川端らの織物強伸度理論を適用すれば平織物の強伸度を予測することが可能と考えられる。

引張方向の糸の構成本数を  $n$ 、織物引張荷重を  $S$  とする。糸強伸度分布  $A(k)\{1 \leq k \leq n\}$  は、あらかじめ測定した糸の強度平均値  $\mu_s$ 、糸の伸度平均値  $\mu_e$  および糸の強度標準偏差  $\sigma_s$ 、糸の伸度標準偏差  $\sigma_e$  より、 $n$  個の正規分布乱数  $N_s[\mu_s, \sigma_s]$  および  $N_e[\mu_e, \sigma_e]$  を使用して求めることができる。次に、 $A(k)$  から 2.1 で検討した川端らの織物強伸度理論を適用した場合の糸強伸度分布  $B(k)\{1 \leq k \leq n\}$  を生成する。伸長時における織物の荷重はすべての糸に等分されると仮定すると、引張荷重  $S$  における糸 1 本あたりの負荷荷重  $f$  は  $f=S/n$  で表すことができる。ここで、いくつかのアルゴリズムが考えられるが、織物中の糸の破断に伴い、糸 1 本あたりの負荷荷重  $f$  は、 $S/n$  から  $S/(n-1)$ 、 $S/(n-2)$ ... と増加していくことから、荷重  $S=S_0$  から計算を開始して  $A(k)$  と  $B(k)$  の最小値  $A(k)_{min}$ 、 $B(k)_{min}$  が  $A(k)_{min} < f$  および  $B(k)_{min} < f$  となるまで計算を繰り返し、強度  $S$  とその時の伸度  $\epsilon$  を算出する。同様に、 $A(k)$  と  $B(k)$  の平均値  $A(k)_{Av}$ 、 $B(k)_{Av}$  が  $A(k)_{Av} < f$  および  $B(k)_{Av} < f$  となるまで計算を繰り返し、強度  $S$  とその時の伸度  $\epsilon$  を算出する場合も検討する。荷重 - 伸度乱数法から織物強伸度を予測するアルゴリズムを図 2 に示す。

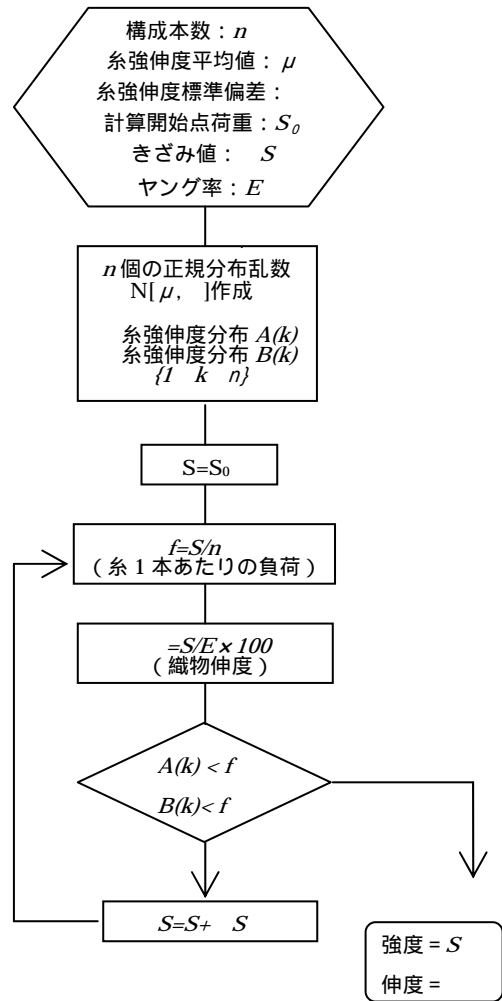


図2 織物の強伸度予測アルゴリズム

## 2.3 糸の横方向圧縮特性

2.1 で述べたように糸から織物に製織すると、交錯の影響により糸の断面に対して横方向に圧縮力が加わり、断面が潰れることが考えられる。そこで、太田らは、ポリエステルマルチフィラメント糸の横方向圧縮変形装置を用いて横方向圧縮力と変形量の関係を示している<sup>5)</sup>(図3)。グラフから元の径  $d_0$  に対し変形した径  $d_2$  が 0.2 で収束していることから、引張開始から糸の断面径が 80% まで減少する関数  $(F_c)$  を組み込んで計算を行うことにする。

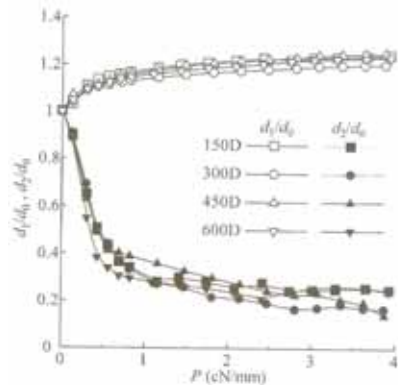


図3 横方向圧縮特性に及ぼす糸の断面径の影響

### 3. 実験方法

#### 3.1 試料

実験に使用した糸を表1に示す。なお、試料D(ポリエステルマルチフィラメント系)は当センターのマルチフィラメント溶融紡糸装置にて作成した。用いた樹脂はクラペットKS710B-8(株クラレ) 紡糸温度290、延伸倍率は3.3倍で、150d/36fの糸を作成した。作成後、2本をコーンワインダー(村田機械(株))で合糸し、意匠撚糸機(株)共立機械製作所)にて撚糸したものを試料とした。

これらの糸を用い、試料A及びCはレピア織機(株)岩間織機製作所)で、試料Dは小幅レピア織機(平野工機(株)製ES-10)で、たて糸とよこ糸は同一素材を使用して試験布の製織を行った。筈の引き込み本数は地を2本、耳4本とした。なお、試料Bは、三州資材工業(株)より提供して頂いた。試織した試験布の製織規格を表2に示す。

表1 糸

試料	素材	種類	番手	撚数 (T/m)	
				上撚	下撚
A	綿	紡績糸	20/2	303	905
B		紡績糸	60/1	-	-
C	ポリエステル	紡績糸	10/2	256	374
D		マルチフィラメント糸	300d	328	-

表2 試織織物規格

試料	たて糸総本数	密度 (経×緯) (本/2.54cm)	おさ通し幅 (cm)	組織
A	1806	64×46	76.2	平織
B	-	104×105	-	
C	1168	40×34	76.2	
D	600	50×35	29.0	

#### 3.2 引張強伸度測定

##### 3.2.1 糸の強伸度測定

フィラメント糸はJIS L 1013、紡績糸はJIS L 1095で強伸度試験を行い、糸引張強さ、伸び率およびCV値を求めた。試験条件を表3に示す。

##### 3.2.2 織物の強伸度測定

JIS L 1096 A法(ラベルドストリップ法)で織物の強伸度試験を行い、引張強さ、伸び率を測定した。試験条件を表4に示す。

表3 原糸引張強伸度試験条件

項目	条件
試験機種類	定速伸長形
つかみ間隔	20cm
引張速度	20cm/min

表4 織物引張強伸度試験条件

項目	条件
試験機種類	定速伸長形
試験片幅	5cm
つかみ間隔	20cm
引張速度	20cm/min

#### 3.3 織物の強伸度予測計算

荷重-伸度乱数法を用いて糸の強伸度分布を作成し、川端らの織物強伸度理論と太田らの糸の横方向圧縮特性を考慮して計算を行う予測プログラムをMicrosoft Excel VBAおよびMicrosoft Visual Basic 2005により作成し、3.2.1の測定結果を用いて織物強伸度計算を行った。計算条件は織物の試験条件と同様とした。

### 4. 実験結果及び考察

原糸引張強伸度の測定結果を表5に、織物引張強伸度の実測値結果とシミュレーションによる予測値結果を表6に示す。原糸引張強伸度の測定結果で、試料D(ポリエステルマルチフィラメント系)のCV値が大きい。これは、紡糸から延伸する過程および原糸をコーンワインダーで巻き返して整経する際に糸が磨耗したのではないかと考えられる。

表5 原糸引張強伸度

試料	引張強さ (N)		伸び率 (%)	
	平均値	CV%	平均値	CV%
A	8.57	5.50	6.56	4.62
B	2.53	11.3	2.97	15.7
C	47.9	4.69	16.1	4.52
D	11.9	7.87	13.5	29.6

表6 織物の強伸度

試料	実測値		予測値（よこ糸交錯なし）				予測値（よこ糸交錯あり）			
	引張強さ (N)	伸び率 (%)	引張強さ (N)		伸び率 (%)		引張強さ (N)		伸び率 (%)	
			$A(k)min$	$A(k)Av$	$A(k)min$	$A(k)Av$	$B(k)min$	$B(k)Av$	$B(k)min$	$B(k)Av$
A たて	1210	20.3	940	1080	7.11	8.10	901	1080	13.7	16.4
A よこ	838	10.9	649	783	6.79	8.10	651	778	13.6	16.4
B たて	529	9.71	349	517	3.33	4.89	338	505	6.47	9.69
B よこ	420	11.8	352	517	3.33	4.89	341	506	6.50	9.69
C たて	3150	43.1	3476	3776	15.9	17.3	3240	3772	29.6	34.5
C よこ	3220	26.5	2950	3298	15.9	17.3	2750	3200	29.0	34.5
D たて	1020	22.4	980	1223	9.53	12.2	976	1220	28.8	31.8
D よこ	787	21.7	798	948	10.0	11.9	754	793	27.7	33.6

## 5. 結び

織物強伸度の実測値結果とシミュレーションによる予測値を比較すると、試料 D については、川端らの織物強伸度理論を考慮した(よこ糸交錯あり)場合の予測値と実測値がほぼ一致しており、荷重 - 伸度乱数法を用いた糸の強伸度分布から川端らの織物強伸度理論を考慮した織物の強伸度予測方法は有効であると考えられる。しかし、試料 A (綿スパン 20 番双糸) および C (ポリエステルスパン糸) は、引張強さは実測値にほぼ一致している結果となったが、伸び率はたて方向は実測値にくらべて小さく、よこ方向は大きい結果となった。また、試料 B (綿スパン 60 番単糸) は、引張強さは同様に実測値にほぼ一致しているが、伸び率はたて方向は一致しているものの、よこ方向は小さい結果となった。これは、製織時の張力の影響が考えられる。糸から織物を製織する場合、織機上でたて糸にある程度張力をかけるために、製織後に織機から下ろすとよこ糸以上に織り縮みが発生すると予想される。また、産業資材織物は、帆布規格のような密度の混んだ織物が多いため、糸のクリンプが川端らの織物強伸度理論で検討した以上に発生したと予想される。さらに、破断のアルゴリズムにも問題があったと考えられる。織物中の糸が 1 本破断すると、他の糸への負荷荷重は大きくなり、織物の強伸度は破断前より大きくなるという検討で計算を行ったが、糸の強伸度が大きいと必ずしも当てはまらないのでもう少し破断を進行させた場合のプログラムを検討する必要があると考えられる。ただ、川端らの織物強伸度を考慮しない(よこ糸交錯なし)場合の予測値に比べると、実測値との誤差が小さくなっており、織物強伸度理論からの予測方法は有効であることが示唆された。

あらかじめ測定した糸の引張強伸度結果を基に、モンテカルロ法によりコンピュータ上で織物中の糸の破断強度分布および破断伸度分布を作成し、川端らの織物強伸度理論および太田らの糸の横方向圧縮特性を考慮させた織物の引張強伸度を計算するプログラムを作成した。その結果、紡績糸使いの織物強伸度については、予測値と実測値にやや相違がみられたが、マルチフィラメント糸使いの織物では、予測値と実測値がほぼ一致した結果となった。川端らの織物強伸度理論、および太田らの糸の横方向圧縮特性を考慮したシミュレーション結果は、織物の強伸度計算に有効であることがわかった。今後は、製織時の張力影響や破断アルゴリズムの検討、さらに、糸素材、織物組織条件を変化させた織物についても検討し織物強伸度予測システムを確立していく予定である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、試験布をご提供してくださいました三州資材工業(株)藤浦様に厚くお礼申し上げます。

## 文献

- 1) 太田、藤田：三河繊維研究資料，250，7（1999）
- 2) Dastoor：J. Text. Inst.，85,110（1994）
- 3) 日本繊維機械学会編：基礎繊維工学，P64（1970）
- 4) S.KAWABATA，M.NIWA：J. Text. Inst.，64，21（1973）
- 5) 太田：CAE のための織物 3 次元モデルの生成に関する研究，47，（2005）