振動法による繊維のデニール測定について*

(昭和30年6月24日受理)

会 員 岡 村

勲**

〃 藤 本 枝 太

→ 摘 要 ←

研 究 目 的

弦に張った繊維に横振動を与えその共振状態から繊維のデニールを測定し、デニールの不均一性からみたいろいろな場合の現象を検討し、均一な製品を作るための一つの指標とした。

研 究 結 果

弦振動による繊維のデニールの測定は一般に次式で表わされる。

$$\text{den} = T \cdot 9 \cdot 10^5 / 4 l^2 N^2$$

ここで T は弦にかけられた張力、 l は弦の長さ、 N は弦の共振周波数である。

この測定法によって得られた結果から次のことがわかった。

1. スフの単繊維のデニールの むら は紡糸口金の良否、使用時間等に関係する。
2. 単繊維のデニール むら の差は染 むら の原因となる。
3. 断面法によるデニール むら は振動法よりも一般に大きく表われる。
4. 単繊維の見掛けの強力に及ぼすデニールの影響はデニール むら の程度により異なる。
5. 紡糸中のビスコース ポンプの種類及び状態は繊維の長さの方向における むら に関係する。
6. ビスコースの熟成は繊維の均斉度に効果がある。

1. 緒 言

繊維のデニールはこれまで一般に一定長さの重量から測定していた。そのため短繊維では多数の繊維、連続繊維では長い繊維の平均値として表わされることは必然である。

繊維の断面積からデニールを測定することは極めて古くから行われていたが繊維の直角な断面を作ること、正確な面積を測定すること等の煩雑さがあった。

繊維を弦として、その共振を利用して繊維のデニールを測定することは最初 V. E. Gonsalves が^{1,2)} Vibroscope と称し単繊維の摩耗現象の研究に利用した。わが国では³⁾ Vibroscope について小野木氏のまとまった報告が出ていたので詳細については同報告を参照されたい。

Vibroscope は単繊維個々について測定が出来ること及び著者等は連続繊維を切断しないで、長さの方向に沿って測定が出来る方法を採用し、昭和26年頃より行ってきた実験の中興味あるものについて報告したい。従って測定した試料中には特によくない繊維も含まれていることを断っておく。なお本報告はデニールの測定が主目的

でなく、この測定方法を応用して従来得られなかったいろいろな場合についての研究の結果である。

2. 測 定 方 法

測定せんとする繊維を弦に張り、これに横振動を与え共振した時には、一般に次式により繊維のデニールは計算される。

$$\text{den} = \frac{T \cdot 9 \cdot 10^5}{4 l^2 N^2} \left(1 + \frac{2 R^2}{l} \sqrt{\frac{\pi E}{T}} \right)$$

ここにおいて

T = 弦の張力 (dyne)

l = 振動する弦の長さ (cm)

N = 共振周波数 (c/s)

R = 弦の半径 (cm)

E = 弦のヤング率 (dyne/cm²)

で表わされる。括弧の中の第2項は補正項であるが、実際の測定では一般に R が小さく l , T を適当に大きくすることにより無視し得る程度に小さくなる。又集束繊維の半径 R については計算が困難なため逆に測定値から実験的に補正値を算出することも一つの方法である。

* Study of Heterogeneity of Textile Fibers by a Vibroscopic Method.

** I. Okamura, S. Fujimoto, Member. 帝国人絹 (株) 岩国工場

これによって得られた補正值は 120 den 人絹で 1% 以下, 1650 den 強力人絹で 4% 程度である。本報告の主な目的は繊維のデニールの不均斉度を比較するため特にデニールの絶対値を求める時以外はこの補正は行わなかった。

繊維のデニール測定は単繊維個々のデニールと連続繊維の長さに沿ったデニール変化である。従って測定装置も自ら異なってくる。

写真 1 は単繊維の測定装置で第 1 図はその機構の要点を示し、写真 2 及び第 2 図は連続繊維の場合を示す。発信器は普通の CR 発信器で 150~1500 c/s の正弦波

(写真 1)

(写真 2)

(第 1 図) 単繊維用 Vibroscope

(第 2 図) 連続繊維用 Vibroscope

形の連続発信器で出力は最大 100 V 程度である。周波数は標準の CR 発信器で 10 c/s 毎に校正して使用した。振動子は 2 1/2 in パーマネント ダイナミック スピーカのコーンを取り、可動線輪に直接小さいフォーク F を取付けたものを使用した。

単繊維の場合は第 1 図に示すように普通 4 ~ 5 cm 長さの繊維の両端に小さい紙片を貼付けその上端を振動子のフォーク F に、下部に小さい一定重量の分銅 W を垂下し小さいフック H の接触により弦の長さを限定した。共振状態は単繊維の場合肉眼では見難いので $\times 20$ 程度の拡大鏡を使用する。

連続繊維の場合長さの方向における測定は第 2 図に示すように、丸棒 D に巻付けられた繊維を一方の端から順次に移動し滑車式分銅 W を垂下し、その一方の側の繊維の一部を振動子 F 及びフック H にて支え共振点を見出す。ある点の測定が終れば丸棒 D を回転し繊維を長さの方向に一定量ずつ移行し繰返し測定する。

測定に際して注意すべきことは繊維にかけられる張力は一一般に 0.1 g/den 程度が適当でこれより小さい場合は巻縮のある繊維では共振点の明瞭を欠ぎ、これより大きい場合は、繊維の伸びるおそれと共振周波数の高くなるために測定精度が低下する結果となる。単繊維の断面形状の特に円形から離れた場合の誤差は約 1 : 10 の矩形的の場合においても殆んど差のないことから、断面形状には一応無関係なことがわかった。集束繊維の場合各単繊維のデニールが異なり、その上これにかかっている張力がおのおの異なるために共振点がある巾を持つことがある。これを防ぐためには集束繊維に適当な撚り（撚縮の起らない程度の）をかけることが必要である。

デニールの不均斉度、即ち むら は本報告においては測定値の変動率（標準偏差/平均値）で表わした。従って測定数は特に断らない限り単繊維においては 30 以上、連続繊維では 50 以上行った。測定値の再現性は非常によくいずれの場合においても測定値の 1% 以内で一致する。

3. 実験結果

本報告は主として繊維の不斉度について行った実験で、便宜上単繊維間の不均一性及び長さの方向における不均一性とに分け、種々な場合について断片的に報告したい。

(1) 単繊維相互のデニール むら

単繊維相互のデニール むら はその生成及び製造条件により決まる。天然繊維における むら (以下変動率 V で表わす) は大体第1表に示す通りである。

(第1表) 天然繊維の変動率

名 称	den	V_{den} (%)	測定数
American Cotton	1.87	18	25
Sea Island Cotton	1.73	24	25
Australian Wool	3.87	34	25
Short Wool Fibers	4.16	26	25
Long Wool Fibers	8.17	18	25

(a) ノズルの嘴塞り

常法により 120 den ビスコース人絹を同一条件で紡糸した場合使用ノズルの差異により、単繊維のデニール むら の程度の異なる状態を第2表に示す。

(第2表) 各種ノズルによる単繊維の変動率

ノズル No.	単繊維数 (測定数)	den	V_{den} (%)
K-25	25	4.61	10.4
K-50	50	2.43	17.9
B-30	30	3.54	3.5
B-50	50	2.42	6.6
S-50	50	2.32	12.9

ノズルの種類によって変動率の異なるのはノズルの孔の太さの不均一が一つの原因と考えられ、よいノズルから出来た単繊維の変動率は小さいようである。また孔数の多い方が一般に変動率は大きく表われている。

ビスコース人絹の紡糸中の嘴塞りは紡糸時間の経過と共に孔の内壁にいわゆる Ring Formation が起り、それが次第に肥厚して遂に孔を塞らせるものと考えられている。紡糸時間と単繊維デニール変動率 V の変化の状態を第3図に示す。

紡糸時間の経過に伴って単繊維の変動率は次第に増大することは Ring Formation により孔の径が縮小されるためと考えられ、この Ring Formation の速度は孔の内側におけるビスコースの流速の小さい程大きいと考えられる。ノズルの内圧が各孔に等しく作用している場合

(第3図) 紡糸日数と V_{den} との関係

では、それぞれの孔の流速は大体孔の径の2乗に比例すると考えて差支えないと思われる。そのため最初 Ring Formation を起して孔の径が縮小されたものはビスコースの流速は低下し、従って Ring Formation の速度が大きくなり孔の径はますます縮小して行き、Ring Formation は加速度的に増大するから単繊維相互のデニール むら は増大すると考えられる。要するにいわゆる嘴塞りは最も Ring Formation が進んだ孔から排出されるビスコース人絹の巻取りによるドラフトが限界点に達し遂に切断する時で、これは結局最小孔におけるビスコースの排出速度の絶対値によって決定される。

従って嘴塞りは最初の孔が特に小さいものか、或は Ring Formation の最初に起ったものが原因となるので嘴塞りの防止の方法としては1個のノズルの全部の孔の大きさを出来るだけ均一とすることならびに Ring Formation の量及び速度の減少を計ることで、結局嘴塞りは V_{den} の増加の後に起るといえよう。

従ってノズルの最初の孔の むら から、統計的に嘴塞りの時期を予測することが出来るかも知れない。

第3図はシリコン樹脂で表面処理したノズルと未処理のノズルで紡糸した場合の紡糸時間と V_{den} との関係の比較で、この状態から想像されることはシリコン樹脂は、Ring Formation の速度を低減する効果がある。又両ノズル共紡糸時間の経過と共に単繊維の V_{den} が増大するが、いずれの場合においても鋸歯状の経過をたどることは注目すべきである。これは別の実験でわかるのであるが、一つの孔が一旦塞り単糸数が1本不足してある時期(ノズルの内圧の上昇)に到れば閉塞物は排出され、又規定通りの単糸数に恢復することもありうる事実

から Ring Formation によって起った閉塞物の一部は時々排出されることを物語るものである。

(b) 織布の染 むら

人絹織物によく表われるいわゆる染 むら は種々な原因がある。従来普通にいわれ、又最も多い原因は糸のテンション むら で、これは紡糸から糊付、整経、織布に到る間においてその機会は甚だ多い。しかしながら従来表われた染 むら のうち、未だその原因不明の部分が甚だ少からず、その未解決の原因の一部に単繊維のデニール むら に原因するもののあることがわかった。

普通の人絹平織の染 むら のある部分の隣接した2本の濃淡それぞれの糸を取出し、これを一組にしてそれぞれの単繊維デニールの変動率を比較した。その結果の一例を第3表に示す。

(第3表) 人絹織物の染 むら

銘 柄	組	V den (%)	
		濃い糸	淡い糸
120 den/50 人平 (A)	1	14.8	10.6
	2	17.5	11.1
	3	21.3	11.9
120 den/50 人平 (B)	1	16.6	10.9
	2	18.6	10.3
	3	18.0	11.4

この結果から一般に濃い部分は淡い部分より単繊維デニールの変動率が大きく表われている。

Werner von Bergen が羊毛において染むらの原因を、染料の染着量のみならず繊維の表面による光の乱反射の効果もあることを指摘している。総合デニールが同じで同じ単繊維数の場合、その繊維の全表面積は各単繊維の断面形状にある相似性のある場合、各繊維のデニールが等しい時に最も大きいことは計算によって容易に説明される。換言すれば同一構成の人絹糸において単繊維の断面形状の差の小さい時デニール むら の小さい程全表面積は大きく、それだけ光の乱反射が大きいため、全体として明かるく感ずる。従ってたとえ同一染着量においても単繊維デニール むら の小さい方が大きい方よりも淡く(明かるく)感ずることになる。スフ紡績糸においてもこれと同様な傾向が得られている。別な実験において120 den/24と120 den/50の二つの人絹織物について同一条件で染色した場合、後者の方が染着量が多いにも拘わらず淡く見えること、及び同じ構成の原糸でも艶消糸の方が艶有糸よりも淡く感ずること等からも証明される。

(c) 断面法と振動法によるデニール むら の比較

従来単繊維デニール むら の測定は一般に断面写真からその面積を測定することによってなされている。これを振動法によって測定した場合一般に断面法による場合よりも小さい値が得られる。単繊維デニール むら の差の広範囲のビスコース人絹 120 den/33 を同一条件で紡糸したものについて、まず振動法により測定した試料をそのまま断面法により測定した場合の比較を第4表に示す。振動法及び断面法による単糸デニール むら をそれぞれ V_V , V_S として表す。

(第4表) 断面法と振動法による変動率の差

試料番号	V_S (%)	V_V (%)	V_0 (%)
1	5.0	3.3	3.8
2	7.2	5.5	4.7
3	7.3	6.3	3.6
4	7.7	7.0	3.6
5	9.1	7.4	5.4
6	11.4	9.2	6.7
7	18.9	17.6	7.0
8	21.3	21.1	2.0
9	30.9	28.6	11.8

V_S の方が一般に V_V よりも大きい値を示していることについてはいずれの方法も誤差は含まれているが、少なくとも V_V の測定が V_S の測定よりも精度が高いとみえることは間違いないだろう。もし V_V に対し V_S の方が余分に入り得る誤差があるとすれば、 $V_S^2 - V_V^2 = V_0^2$ から潜在していると思われる誤差の変動率 V_0 がそれぞれ計算される。これは断面法による測定中に起り得る誤差の原因を意味するもので、これは断面の正確に直角でない場合、引伸写真像の輪郭の明瞭でない場合、プラニメータによる断面積測定の個人誤差等が挙げられる。このような場合には V_0 は V_V の大きさに関係なく常に一定の値を持つべき性質のものと思われるが、第4表にみられるように V_V の増加と共に V_0 も僅かに増加している。

ビスコース人絹は一般にその断面が複雑な鋸歯状を示し面積測定に困難を感ずるため、別に殆んど真円に近い凹凸のないダクロンの繊維について行った測定は、第5表に示すように両者殆んど一致し、 V_0 の値も零に近い結果が得られた。

又アセテートについて同様に測定した結果からその断面の凹凸の程度に応じて V_0 の値が2~5%の範囲にあること等総合すれば V_0 は大体断面の複雑さに応じて決定されるもので面積の測定における誤差が原因とみて差支えないだろう。

(第5表) ダクロンの V_V 及び V_S との関係

名 称	den	V_S (%)	V_V (%)	V_0 (%)
ダクロン S.F.	1.61	15.8	16.0	-2.4
〃	3.16	12.1	12.7	-4.0
ダクロン, 単繊維糸	5.10	10.3	10.1	2.0

(d) 単繊維毎のデニール及び強度の測定

従来単繊維の強度の測定は強力測定と別の試料で平均デニールを測定して両者から計算していたが、振動法においてはデニールが単繊維毎に測定されるため、同一繊維でデニールと強力とを測定し単繊維毎の強度 (g/den) が計算出来るから合理的で且つ精度がよいことになる。即ち単繊維デニールの $\bar{V}$ による強力^のの誤差が補正された結果が得られる。普通ビスコース スフ^のについて得られた結果を第6表に示す。

(第6表) 単繊維別のデニールによる強度の補正

den	V_{den}	V_g	$V_{g/den}$
2.55	3.9	8.2	6.3
2.55	3.8	5.9	5.3
2.38	4.1	4.3	4.8
2.29	5.7	10.4	8.2
2.50	9.2	8.9	7.5
2.49	11.3	11.7	9.8
2.45	13.9	11.0	7.8

注 V_{den} , V_g , $V_{g/den}$ はそれぞれデニールの変動率、見掛けの強力変動率、1本毎の g/den の変動率でいずれも % で表わす。

単繊維デニールの変動率の大きい場合は $V_{g/den}$ は V_g より小さい値を示し V_{den} の約5%以下では $V_{g/den}$ が V_g より小さくなっていないことは、見掛けの強力に対して V_{den} の大きい場合はデニールの影響がみられるが、 V_{den} の5%以下ではデニールによる影響よりも他の構造的な因子による影響が大きいことを意味するものと思われる。

換言すれば振動法によりデニール及び強度を個々の繊維について測定及び計算した場合デニール $\bar{V}$ の大きい場合にのみ効果があって、均質な繊維においてはその効果は期待出来ない。

(2) 長さに沿った人絹糸のデニール $\bar{V}$

人造繊維はその長さの方向に均一な大きさを持っていることが特長のひとつとされている。一般の市販されているイブネス テスタは特殊な物を除き変動率の大きい紡績糸を対象にしたものであるが、そのまま連続糸の測定には使用できない。即ち一般の紡績糸の縦方向における変動率は10~20%程度であるが、連続繊維の場合はこの1/2程度である。この僅かな変動率は振動法を応用することによって満足な測定ができた。測定法は前述の通りであるが普通、試長5~7cmで7又は10cm 毎に測

定した結果を示した。同一試料を長さの方向に100個所の測定を3回繰返し測定した結果測定誤差は平均0.3%以内であった。

(a) 紡糸条件による影響

ビスコース人絹の紡糸において繊維の長さの方向におけるデニール $\bar{V}$ はビスコースの排出量、繊維の巻取りの速度、ビスコースの分散等の不均一^のが原因と考えられる。

ビスコース ポンプの排出量の不均一^のについてはこれまで数種の報告があるが、紡糸された繊維の不均一性については余り発表されていない。

ビスコース ポンプの排出量の不均一性がノズルから出て繊維に凝固する間にどのように途中の緩衝効果があるかについて、古いブランジャ ポンプとギヤ ポンプについて 120 den/50 の人絹を紡糸し比較した結果を第7表及び第4図に示す。

(第7表) 紡糸条件の影響

ポンプとの組合せ	den	変動率 (%)
P.P.→ノズル	107	4.72
P.P.+C.F.→ノズル	107	1.62
P.P.+C.F.+A.C.→ノズル	107	1.00
G.P.→ノズル	109	2.36
G.P.+C.F.→ノズル	108	1.79

注 P.P., C.F., A.C., G.P. はそれぞれブランジャ ポンプ、キャンドル フィルタ、エア チャンバ、ギヤ ポンプの略

ブランジャ ポンプとノズルを直結して紡糸した場合、紡糸された人絹のデニール $\bar{V}$ は第4図のようにポンプの1回転に6個の脈流が表われることは古くからわか

(第4図) 紡糸ポンプの条件による連続糸のデニール $\bar{V}$

っている。ポンプの脈流の変動率を繊維の場合と同一条件で計算すれば4.25%が得られ、直接紡糸された人絹の変動率4.72%とほとんど一致していることはノズルよりでたビスコースは極めて短時間に凝固を起し、ドラフトによる緩衝効果(排出量の大きい部分の凝固が遅れて引伸ばされて小さくなる)が表われていないことを示す。ポンプとノズルとの間にキャンドル フィルタを入れることによりポンプの脈流は緩衝され、紡糸された人絹の変動率は1.6%に減少する。更にエア チャンバを追加することによって、緩衝作用は更に効果を表わし1.0%の変動率迄低下する。

現在一般に使用されている ギャ ポンプについてはブランジャ ポンプより変動は少いが、 少なくともキャンドル フィルタ程度の緩衝効果は必要とする。ビスコースポンプに直結して紡糸された人絹の平均デニールだけでなく、長さの方向のデニール むらの状態から、ポンプの性能を判定することも将来必要となるだろう。

(b) ビスコースの熟成の効果

ビスコース人絹においてはビスコースの熟成は一般に必要な工程であるが、その本質的意義については未だ定説がない。同じビスコース

(第 8 表)

ビスコースの熟成の効果	
で熟成の異なった時に同一	ビスコースの熟成の効果
条件で紡糸した人絹の縦方向の den の むらの 比較を	
第8表に示す。ビスコース	
の熟成の進むにともな	
NH ₄ Cl (cc)	平均デニール
22.4	114
14.3	111
	変動率 (%)
	3.6
	1.7

紡糸された人絹の長さの方向の変動率の小さくなることは他の条件が同じであることから、ビスコースの分散の均質化と考えたい。なお連続単繊維の長さの方向の変動率についてみれば、熟成の若い場合の4.52%に対し熟成の進んだ場合2.32%で人絹糸の場合よりもいずれも大きい値を示す。

二つの異なった熟成度のビスコースから得られた人絹糸の1本の5m長さの単繊維を5cm毎に順次に切断し、それぞれ同一繊維についてデニール及び強力を測定し、デニールの差に基く強力の差を補正した値を第9表に示す。

(第9表) 熟成度の異なった単繊維の強度の変動率

NH ₄ Cl(cc)	Vden	Vg	Vg/den
22.4	3.90	9.26	9.5
〃	5.01	9.20	10.3
平 均	4.46	9.23	9.9
14.2	2.87	7.83	7.80
〃	2.76	8.57	8.10
平 均	2.82	8.20	7.95

熟成の進む程 Vden の減少することは前述の通りであるが、見掛けの切断強力 (g) の変動率も同様に減少

しているのは、デニール むら が減少したことも原因の一つと考えられる。各単繊維母について見掛けの強力 (g) をデニールで補正した値 (g/den) は、もしも繊維の強さがそのデニールだけに依存する場合は一定となり、従って Vg/den は零となるべきである。しかしデニール以外の多くの因子が影響しているために相当大きな値を示しているが、これをデニールの大きさによって補正した Vg/den についてみて大した減少はみられない。このことは見掛けの強力はデニールの差 (比較的小い場合) による影響よりも更に大きい影響を及ぼす他の因子のあることを物語るものである。しかしながら Vg/den の絶対値についてみれば、熟成の進んだ方が小さい値を示していることはそれだけデニール以外の他の因子が均質化したことを意味する。その一つの原因としてビスコースの分散の均一化が考えられる。同様なことはアセテートの Dope についても同じ傾向がみられる。要するに人造繊維の紡糸原液の熟成は Dope の均一化が行われ、それだけ強伸度が増加する効果があるといえよう。

4. 結 論

振動法により繊維のデニールを測定することによって従来掴み得なかった種々な現象がわかった。

単繊維相互のデニール むら の測定から得られた結果としては

- (1) ノズルの良さは各孔の大きさが均一であること及び適当な表面処理によって嘴塞りが減少すること。
- (2) 織布の染 むら はテンション むら 以外に単繊維デニール むら の差によっておこる場合があること。
- (3) 単糸のデニール むら は一般に振動法による場合よりも断面法の場合に大きい値を示すが、その原因は断面形状の複雑さが面積の測定に誤差を与えるためと考えられる。

- (4) 単繊維の強力を個々のデニールで計算した場合、強度の精度は高くなるが、単糸デニールの変動率が5%以内においてはその効果はみられない。

長さの方向のデニール むら から得られた結果から

- (5) ビスコース ポンプそれ自体の排出量の むら は大きいキャンドル フィルタ、エア チャンバ等の使用による緩衝効果は大きい。

- (6) ビスコースの熟成によって均質化の効果がみられる。

文 献

- 1) V. E. Gonsalves, Text. Res. J., 17, 369-75 (1947)
- 2) V. E. Gonsalves, Text. Res. J., 20, 28-42 (1950)
- 3) 小野木, 材料試験, 第3巻, 第15号, 304-9 (昭29)
- 4) Dutch P., 62, 69, 9 (1949)
- 5) W. von Bergen, J. H. Wakalin, Text. Res. J., 22, 123-37 (1952)
- 6) 例えば 渡辺, 繊維学, 昭27-3, 15-20.