繊維計測 (15)

繊維塊の比重量*

会 員 若 山 一 夫**

1. 繊維塊の比重量

繊維原料や、その処理工程のある段階では必ず塊構造が問題になる。本文では塊構造の構成繊維がランダムであるか、または少なくとも積極的な配列化が強くは意図されていない段階のものを対象として、その比重量あるいは比体積を測定する方法を概観する。

問題とする繊維塊の見かけの比重量 ρ_F は、

$$\rho_F = \frac{W}{V} = \frac{W_f + W_a}{V_f + V_a} \cong \frac{W_f}{V} \quad \dots\dots\dots (1)$$

のように示される。¹⁾

ここに W_f , V_f ; 塊構造中の繊維のみの重量, 体積

W_a , V_a ; 同様の空気のみ重量, 体積

W ; 繊維塊の全重量, V ; 見かけの体積

いま繊維および空気の比重量を ρ_f , ρ_a とすると

$W_f = \rho_f V_f$, $W_a = \rho_a V_a$ であるから

$$\rho_F = \frac{\rho_f V_f + \rho_a V_a}{V_a + V_f}; \text{体積割合で重みを付けた比重量の和} \quad \dots (2)$$

のようにも表わされる。比体積はもちろん $v_F = 1/\rho_F$ である。

さらに上の体積割合は充実度 (ち密度) $d = V_f/V$, 空隙率 (多孔度) $d' = V_a/V$ と呼ばれることが多く、

$d = 1 - d'$, $\rho_F = \rho_f d + \rho_a d'$ の関係から

$$d = \frac{\rho_F - \rho_a}{\rho_f - \rho_a}, \quad d' = \frac{\rho_f - \rho_F}{\rho_f - \rho_a} \quad \dots\dots\dots (3)$$

したがって ρ_f が既知のときは ρ_F , v_F , d , d' など同質の量であり、塊構造を問題とする性質に応じて都合のよいものが用いられる。しかし ρ_f が未知であるときは ρ_F , v_F と d , d' との2群は独立に測定されなければならない量となる。

ここで繊維工学として上の諸量が問題になる場合を反省してみると、混打綿工程などで具体的に取り上げられるタフト (狭義の繊維塊) についての場合と、ほぼ一様

な繊維堆積物についての抽象的量として考える場合とがある。後者では初めから試料が容器に充てんしてあるか、あるいは与えられた試料から1分塊を取り出し、容器に入れて測定の対象にされる。実際問題としてはいずれの場合も、うえの諸量が開綿度という概念に包含されて問題にされる。

2. タフト状繊維塊の比重量

測定対象として取り上げる試料塊の重量は、どんな場合でも簡単に秤量できるから、本節のおもな目的は繊維塊の見かけの体積の測定になる。繊維塊は形状が不規則であるうえに、肉眼以上にその境界を明瞭に判別し得る手段がない点で、この問題は非常に困難である。

2.1 見かけ体積の直接測定

ギル フォーラ状の針列板にタフトをそう入し、各針が塊構造でかくされる部分の長さを、肉眼で測長して体積を算出する方法がある。

具体的には第1図のような針列板が加藤、吉田によって用いられた。²⁾ 1列ずつ針の植えられた真鍮板は横に抜き出すことができる。また別に、片手で操作できる針間隔 15 mm ほどの同じような針板を用意して、これに秤量ずみのタフトを載せ、下向きに図の針列板にそう入する。

この場合、タフトの輪かくが針列の外にはみ出ないような試料に限られる。またこの操作でタフトの体積はいくらか変化するから、まったく自由な状態での値は得られないと思われるが、これは無視されることが多い。

つぎに針1本ずつについて、かたまりを貫通している針部分の長さ l_i を適当な測長器で読み取る。この操作を真鍮板1枚ごとに、タフトを切断して真鍮板もろともに取りはずしながら、タフトを貫通している針列全部に及ぼす。このときタフトの見かけの体積は

* Specific Gravity of Fibrous Assemblies.

** K. Wakayama, Member. 京都工芸繊維大学繊維学部

(第1図) タフト体積測定用針列板

(第1表) 米綿の混打綿工程におけるタフトの比体積変化 (直接測定; 加藤, 吉田)

工 程	タフト重量 (g)	タフト体積 (cm ³)	比 体 積 (cm ³ /g)
原綿	—	—	1.586
R.C.	1.44	72.92	50.52
H.B.B.	1.010	117.76	116.11
P.O.	0.708	113.49	160.37
C.O.	0.546	91.01	166.72
H.O.	1.072	108.80	101.54
H.F.	0.844	160.02	189.63
E.O.	0.765	124.84	163.23
E.O. ラップ	386.55	20 417.6	55.47
F.S.	1.025	197.51	192.40
F.S. ラップ	340.20	25 923.2	76.22
C.W.	1.747	3 394.9	1 997.21

$$V = \sum l_i(\text{cm}) \times 1(\text{cm}) \times 1(\text{cm}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

で算出される。

加藤, 吉田は上の方法で米綿について, 混打綿工程におけるタフトの見かけ比体積の変化を調べた。第1表は各工程において代表的なタフト20個ずつを選び出して平均した値を示している。

2.2 タフト体積の光学的簡易測定

タフトの大体の形が紡錘形に近いことを利用して, 各部の断面形を光楔法で描写する方法が考えられる。加藤, 吉田²⁾はサークライン蛍光灯をうまく利用して第2図のような測定を行ない, 前項の直接法による測定値と比較してその有用さを見いだした。

(第2図) タフト体積の光学的測定法

サークライン蛍光灯を図のようなスリットのある容器におさめると, ほぼ平行な光束が光楔となって中央に透したタフトを照射する。光楔はタフトのa部周縁を透過し, その外形に沿った光帯が上方写真器のピントガラスに写る。

そこでタフトのつり金具を移動させることで, aのような断面位置を5mmごとにとり, ピントガラス上で各断面の図形を描画して体積を算出する。ただし紡錘形タフトの下部では, 光帯がピントガラスに写りにくくなる。このとき試料をその断面で切断し, 上半分の描画可能な部分だけの体積, 重量から比体積を求める。

前項の直接法による測定値と比較するため, 同じ試料についていまの簡易法による値と対比してグラフにしたのが第3図である。

図の縦軸は比体積の比の値で, 直接法によるものはC.W. (カード ウェブ) についての値を100%とし, 簡易法の場合はF.S. 段階での%値を直接法による値と同

(第3図) 直接法および簡易法による開綿度

じ 9.65% にとって、他の測点をその割合で表わしている。この比の値を加藤らは開綿度と呼んでいる。両法による一致は満足といえるようである。

2.3 流体圧のもとでの見かけの体積

繊維塊構造の特性は本質的には応力状態との関連において考察される必要がある。この応力状態を規定するのに、固体容器を用いたのでは一様な塊構造が期待できない。そこで物理的に興味のある流体圧下での自由体積を求めたい要求があるはずである。しかし技術的な困難さがあるためか、かなり古い Winson の研究以外目につかない。

第4図のようなガラス容器 O の中に試料を入れるべきゴム袋 I をおさめ、 O 、 I にそれぞれガラス管を接続して圧力計 O' 、 I' 、また三方コック O'' 、 I'' 、コック A を通して排気ポンプおよび外気に連絡させる。接合部分はすべて 6~7 cm Hg 程度の真空度に対して気密にしてある。

(第4図) 繊維塊の流体圧の圧縮

測定の実理は、ゴム膜を通して I 内の繊維塊を O 、 I 間の流体圧差で圧縮すると同時に、封入された I 系内の残留空気にボイルの法則を適用して、ゴム袋の体積をも求めようとするのである。

ここでゴム袋内の繊維塊の応力が O 、 I 間の流体圧差で表わされるためには、ゴム袋がその任意の変形に対してまったく抵抗を示さないようなものでなければならない。

このことはつぎのようにして確認された。 I に試料がない状態で全系を 7 cm Hg 程度に排気する。このとき各系の気圧計はもちろん同じ水銀柱の高さ (約 70 cm) を示す。つぎに I 系は密封したまま、 O'' コックから O 系に少量の外気を導入して少し気圧を高める。ゴム袋は適当な形で小さくなり、 I 系の空気が圧縮されて外側 O 系の気圧 p_0 と平衡した p_I を示す。このときゴム袋の変形に抵抗がなければ、両気圧計の読みは一致して p_0

(第5図) ゴム袋に試料のない場合の両気圧計の関係

$=p_I$ となる。

うえのことを繰り返して、 O 系を初めの排気状態から大気圧まで (装置の水銀柱の高さ 70 cm から 0 cm まで) 変えたとき、 I 系の気圧変化を示す例は第5図である。図の I' の飽和は、ゴム袋がすっかり押しつぶされて I 系のガラス管の端をふさいだことを示す。そしてこの状態になるまで、ゴム袋の変形は O 、 I 系間に気圧の差を作るほどの抵抗を示していない。したがってゴム袋の中に試料があれば、適当な外形を取って $p_0 - p_I$ の流体圧をささえることになる。

さきに述べた I 系の圧縮行程を終わり、つぎに O 系の空気を少しずつ排気して行くとゴム袋の膨張行程の記録が得られる。第6図はある試料をゴム袋に入れたときのくり返し圧縮、回復の記録で、8 サイクル以後はほとんど差が認められない。回復行程で、すべてのサイクルが近接した曲線になることは注目すべき結果であった。

(第6図) 流体圧による繊維塊の圧縮一回復

ゴム袋の体積は、繊維塊の体積として次式の関係を用いて計算される。第7図によってつぎの記号を定義する。

V ; I 系のガラス管部 (印 B まで) の体積

α_i ; 印 B と水銀面との間の体積

(第7図) ゴム袋体積の計算

β_i ; 気圧 p_{Ii} のときのゴム袋の体積

V_f ; 繊維塊の実質体積

温度は一定であるとして, I 系に封入された空気は, 1, 2状態に対応する気圧 p_{I1} , p_{I2} の間に

$$(V + \beta_1 - V_f + \alpha_1)p_{I1} = (V + \beta_2 - V_f + \alpha_2)p_{I2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

が成立する。ここで V , V_f は既知であり, p_{Ii} に応じて α_i も決まるから, ある状態 (p_{I0}) でのゴム袋の体積 β_0 がわかっていると他のすべての状態での β_i が計算できる。Winsonの実験では羊毛 4~5 g を用い, これをピンセットで少量ずつゴム袋に入れたとき, ゴム袋に張力のかからない自然な状態で 80 cm³ の体積になっている。

2.4 空隙の直接測定

繊維塊の実質の全体積 V_f は W_f/ρ_f として簡単に求められるから, 空隙の体積 V_a を直接測定することができると比体積 v_F その他 ρ_F , d , d' なども計算できる。

木下, 行方らは布帛, スライバーなどの空隙半径の分布を水銀そう入法によって測定することを試みた⁴⁾。これは試料に圧入する水銀の圧力を 2 気圧まで高める行程で, 圧入水銀量の変化を問題にしたものである。この実験は塊構造の空隙の直接測定であるとも見られる。

しかし発表されたデータを用いてのこの意味での種々の計算の結果, 布帛に対しては実用性が考えられるが, 繊維塊については不適當のように思われる。この原因は, 大半の穴 (と見なせるもの) についての効果が布帛に比べて大きいと認められ, この段階のものの計量に関して別の考察による研究が必要と思われる。

2.5 タフトを浮上させる気流速度の測定

ひとかたまりの繊維塊を目前に与えられて, これが開織の程度を問われたとき, 前項までの測定方法では何かしゃく然としないものがある。表題の測定は試料にまったく手を下すことなく, そのままを供試できる点で最も

望ましい形のものといえる。しかしこれにも種々な難点がある。

Bostock⁵⁾ は, タフトが気流中で浮き上がる限界の気流速度 (flotation velocity) から specific buoyancy の概念を導き, これがつぎのようにタフトの比体積に直接関係することを示した。

$$v_F \cdot s \cdot c^{3/2} = 2 \sqrt{2} \left(\frac{g}{\rho} \right)^{3/2} \frac{W^{1/2}}{u^3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

v_F , W ; タフトの比体積と重量

u ; flotation velocity

s ; 試料の形状係数
 c ; 流体に対する抵抗係数 } (後述)

ρ ; 空気密度

g ; 重力加速度

g , ρ に定数 (綿) を代入して

$$v_F \cdot s \cdot c^{3/2} = 2.04 \times 10^9 W^{1/2} / u^3 \text{ (cc/g in c.g.s. unit)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Bostock の提案した specific buoyancy は右辺の $W^{1/2}/u^3$ で定量され, 混打綿工程での各種タフトは左辺の $s \cdot c^{3/2}$ がほぼ定値にとどまるとして, 比体積の代わりに specific buoyancy で開綿度を論じた。第2表は彼の実験データの一部である。

(第2表) 混打綿工程におけるタフト (インド綿) の specific buoyancy の変化 (この値は比体積に比例する)

工 程	タフト重量 (g)	flotation velocity (c/sec)	specific buoyancy (cc/g)
B.B.	10.41	306	142
H.F.	2.04	265	112
P.O.	0.210	144	296
C.O.	0.049	95	531

うえの提案を広範な試料に用いようとするとき c , s についての意義は重要である。形状係数 s は試料の見かけの体積 V と, 気流に直角な試料断面積 A との間で $A^{3/2} = sV$ によって定義されるものである。したがって試料の形および気流中に置かれる姿勢によってその値は異なる。しかし上記した混打綿工程で現われるていどの各種タフトについては, この値をほぼ一定と考える取り扱い方が可能である。

これに反して c の値には注意が必要である。同じ形状, 比体積の 2 つのタフトでは specific buoyancy の値が同じと考えられる。しかし一方のタフトの重量が非常に小さく, したがって u も小さいとき, 気流の粘性作

用がきいて c の値は増大傾向をもつ領域にはいる。また他方の試料が大きな u を示すとき、流れの後方に渦が生じて c は減少傾向をもつ。同一の比体積をもつ試料でも重量が大きく異なると、このようにして違った specific buoyancy の値を示す機会をもち得る。

流体抵抗を扱う場合のつねとして上のことがあるから、本項の方法はかなりの予備実験を必要とする。また比体積に比例する量を求めているから、限られた使用に適するものといえる。しかし実験装置としては単純であって、一様な気流を得ることの配慮以外に特筆することはない。ただ一つ u の判定について、その困難さを他の研究者らが問題にすることがある。

Bostock はこの実験で 45 cm 角のダクト、約 3 m 長のものを用い、2 m 長の部分の 2 面をガラス張りにして浮上観察部分にした。8 枚羽根のファン モーターは回転磁界型で、最大 4 000 cc/min の送風量をもち、可変抵抗器で回転速度を変えることにより、ダクト断面の内 35 cm 角の部分に 1 ~ 30 ft/sec の一様な気流を得た。

本項に関連する測定として、重力場でのタフトの自由落下における終末速度を取り上げることもできる。これらに関しては文献⁶⁾にゆずる。

3. 容器にある繊維堆積層についての測定

比体積を求める場合に限らず、一般の繊維堆積層の問題について、眼による堆積高さの判定が工学的なデータになり得ることは沢山ある。こうした測定で満足しない場合は、容器に入れた試料にふたをしてその高さを限定し、このとき容易に求まる比体積のみで試料の状態を表現する。しかも容器、ふたなどを金網にすることで特殊な測定に役立てることもある。

このようなとき試料にはある応力状態が現われ、厳密には比体積のほかに、この応力状態をも指定しなければ試料の状態が規定できない。さらにこうした付加条件が望ましくない場合は、堆積層の表面だけでも自由な状態での測定がくふうされる。本項では以上のようなときの比体積の測定方法を紹介する。

3.1 圧力と高さとの同時測定

容器中に圧縮される繊維塊の高さを、圧力と同時に測定する必要のある場合が多い。圧力の測定は本質的には変位の測定であるから、高さあるいは圧力を任意の所期の値に設定し、同時に他をも測定したいときは特殊なくふうが必要となる。

第 8 図はうえのくふうについての原理で、(a) では所

(第 8 図) 高さと圧力との同時測定

(第 9 図) 圧縮試験器

望の値への設定がむずかしく、(b) 図の形式を取らざるを得ない。試料台 A の動きを検知して C によるフィードバック量を調節し、つねに A がスケールの 0 位置に置かれるようにする。圧力はフィードバックの変位量で読み取られる。D は試料の重さを補償するものである。第 9 図はその実際の例を機構図で示してある。動作は図によっておのずから判明する。

3.2 通気度による充実度の測定

空気流に対する繊維層の通気抵抗は、当然その密度によって変化するから、この方向から繊維塊の開繊度合を問題にすることができる。これに関連した多くの研究の中で鳴海の提案した方法は、繊維層の高さを測定することなしに充実度を求める点で、本節の目的にかなう。

鳴海⁹⁾の研究では、試料として Wg のはいった容器が (第 10 図) その底面と同一断面のダクトの中で、空気流量 $q \text{ cm}^3/\text{sec}$ に対して気圧差 $p \text{ g/cm}^2$ の通気抵抗を

(第10図) 通気測定用の容器
() 内は Lord の実験

示すとき、試料の充実度 d が

$$d = \frac{0.183}{\left(\frac{s^2 W q}{p} \times 10^{-12} \right) + 0.549} \quad \dots\dots (8)$$

で計算される。この式によると試料の厚みは測定する必要がなく、自由表面のままで充実度が求められることになる。

ここで s は比表面積であって、試料が繊維の場合

s = 断面の外周の長さ (z) / 断面積 (a), と定義される。この値はつぎの変形式で示される計算によっても求められる。

$$s^2 = \frac{z^2}{a^2} = \frac{z^2}{4\pi a} \cdot \frac{4\pi}{a} = C \times \frac{4\pi\rho_f}{\sigma} \quad \dots\dots (9)$$

ただし ρ_f , σ はそれぞれ繊維の密度および線密度であって、 $C (= z^2 / 4\pi a)$ はこの定義から繊維断面の円形度を示す値といえる。(C; 繊維の外周長を円周としてもつ円の面積の、実際の繊維断面面積に対する比; 円形繊維では1, それ以外の断面形のもの1より大である)

(9) 式の ρ_f , C は繊維の種類に関して定値とみられるから、試料ごとに線密度 σ を測定するだけで比較的簡単に s の値が求まることが多い。

鳴海の得た半実験式 (8) は、 s^2 の値がそれぞれ (1/8.5), (1/6.2), (1/5.2) $\times 10^8$ (cm^{-2}) の3種の綿の仕上打綿ラップについて共通して用いられる。そしてこの式から得られる $1/d$ (鳴海はこれを開綿度とした) および空隙率 d' ($= 1 - d$) と、 $s^2 W q / p$ との関係は第11図に示される。そこで少なくとも綿に関しては、

$s^2 W q / p$ の値を測定するだけで d が決まることがわかる。実験に用いられた装置は第12図に示すようなものである。

綿以外の繊維に適用するためには、いちおう式についての理論的根拠を知る必要がある。断面 a , 長さ l の多孔質体を流れる流体 (粘性係数 μ) が圧力差 p で流量 q を示すとき、Kozeny の半理論式として

$$\kappa \frac{a^3 p}{s^2 \mu l} \frac{d'^3}{(1-d')^2} = q \quad \dots\dots (10)$$

(第11図) 空隙率 d' , 開綿度 $1/d$ と $S^2 W q / p$ との関係

(第12図) 鳴海の通気度測定装置

がある。(κ ; 定数, d' ; 空隙率),

Load¹⁰⁾ はこの式を繊維層に対する気流の場合に適用して Micronaire の基礎を作ったが、鳴海は空隙率の定義 $d' = 1 - (W / \rho_f a l)$ を (10) 式に代入して l を消去し、得られる d' の3次方程式についての近似解

$$d' = \frac{2 + \frac{1}{\kappa} \frac{\mu}{a^2 \rho_f} \frac{s^2 W q}{p}}{3 + \frac{1}{\kappa} \frac{\mu}{a^2 \rho_f} \frac{s^2 W q}{p}} \quad \dots\dots (12)$$

に注目した。

すなわち、Lord は d' と $1/\kappa$ との間に、 $s^2 W q / p$ の値に無関係な ($\mu / a^2 \rho_f$ は定値にとって) 一義的な関係を実験的にも見いだしている。しかもスケールの点でかなり異なる鳴海の実験でも (第10図), そのデータから (10) 式で計算される κ の値がすべて Load の得た関係に当てはまる。このことは (12) 式に連立させて考えるとき、 d' と $s^2 W q / p$ との間にも κ に無関係な関数関係 ((8) 式に相当する) の存在することを確認させる。

(第13図) κ と $S^2 Wg/p$ との実験式

鳴海は3種の綿についての実験データすべてを使って、 κ と $s^2 Wg/p$ との間に実験式(第13図)を作り、これと(12)式とから κ を消去することで(8)式を得た。したがって綿以外の試料の場合は空隙率既知の繊維層についての実験を重ね、(12)式に代入して得られる κ と $s^2 Wg/p$ との間に第13図と同様な実験式の成立を確

かめ、その上で(8)式類似の計算式を求めておかねばならない。

文 献

- 1) 比重量, 体積などの量の代数記号は読者の便を考へて“基礎繊維工学[I]”P156のものと同じものを用いた。
- 2) 加藤, 吉田; 織機誌, 11, 625 (1958, 昭33-7)
- 3) C. G. Winson; J. Text. Inst., 23, T386 (1932)
- 4) 木下, 行方; 織学誌, 14, 288 (1958, 昭33)
- 5) W. Bostock; J. Text. Inst., 46, T171 (1955)
- 6) 樋口; 織学誌, 13, 877 (1957, 昭32-12)
 " " 14, 26 (1958, 昭33-1)
 " 織機誌 11, 452 (1958, 昭33-7)
 " " 11, 533 (")
- 7) 浅生, 木下; 繊維集合体の吸音特性,
 織機誌, 16, 861 (1963, 昭38-12)
 " " 繊維集合体の最大吸音率について,
 織機誌, 17, 848 (1964, 昭39-12)
- 8) 前田精機製作所
- 9) 鳴海; 織学誌, 12, 105 (1956, 昭31)
- 10) E. Load; J. Text. Inst., 46, T191 (1955)

世界各國の繊維技術情報をできるだけ早く、広く、正確に入手するために

海外資料研究部会ごあんない

入会の手引き

部会員をA部会員, B部会員に分ける。

A部会員は「海外繊維技術文献集」「海外繊維文献抄録」の2種類を毎月無料配布。

B部会員は「海外繊維技術文献集」を毎月無料配布。A, B部会員とも、海外文献紹介講演会への優先参加, 文献複写, 原著の閲読などを行うことができる。

部 会 費

部会員は、6か月あるいは1か年を前納するものとする。

A部会費 6か月 3000円 1か年 6000円 B部会費 6か月 1500円 1か年 3000円

海 外 資 料 研 究 部 会 加 入 申 込 書

海外資料部会A部会 (口) B部会 (口) として申し込みます

1. 会社・学校名

(あるいは個人名)

2. 所在地

(住所)

3. 部会費 昭和 年 月 ~ 年 月 分 (口) ¥ _____ 払い込みました。

(備考) 部会費は6か月あるいは1か年分前納願います。