

第 7 回

製糸夏期大学講演要旨

縄糸張力と縄糸法

柳沢延房講師

- 一. 営繭から見た縄糸張力と多角形縄糸枠の加速度から変動する縄糸張力の理論と実験
- 二. 縄糸張力の累加方式と累減方式及びポットモーターを縄糸に使用した時の縄糸理論と実験
- 三. 縄糸方式の相違から生ずる絹糸の物理的一性質
- 四. 今後絹糸物理の研究に対する流性学 (Rheology) の役割

1. 蘭形

家蚕繭形80種についてその形を検べると総てカシニ卵形線 (Oval of CASSINI) で表わされる図面と一致する。その方程式は

$(x^2 + y^2 + z^2 + a^2)^2 - 4a^2x^2 = m^4$ である。

ここで a, m はパラメーターであつて、之を適當な値に選ぶことによつて繭形の種々相が得られる。繭の体積は上方程式から求められる。

$$V = \int_0^{\sqrt{m^2 + a^2}} \{(4a^2x^2 + m^2)^{\frac{1}{2}} - x^2 - a^2\} dx$$
$$= \frac{\pi m^4}{2a} \left[\tan \theta \cdot \sec \theta + \frac{\log_{10}(\tan \theta + \sec \theta)}{0.4343} - \frac{\tan^3 \theta}{6 \left(\frac{a}{m} \right)^2} - 2 \left(\frac{a}{m} \right)^2 \tan \theta \right]_0^{\tan^{-1} \frac{a}{m} \sqrt{1 + \left(\frac{a}{m} \right)^2}}$$

ここで $\tan \theta = \frac{2a}{m^2} x$

繭の表面積は次の式で表わされる。

$$S = 4\pi m^2 - 4\pi a^2 B$$

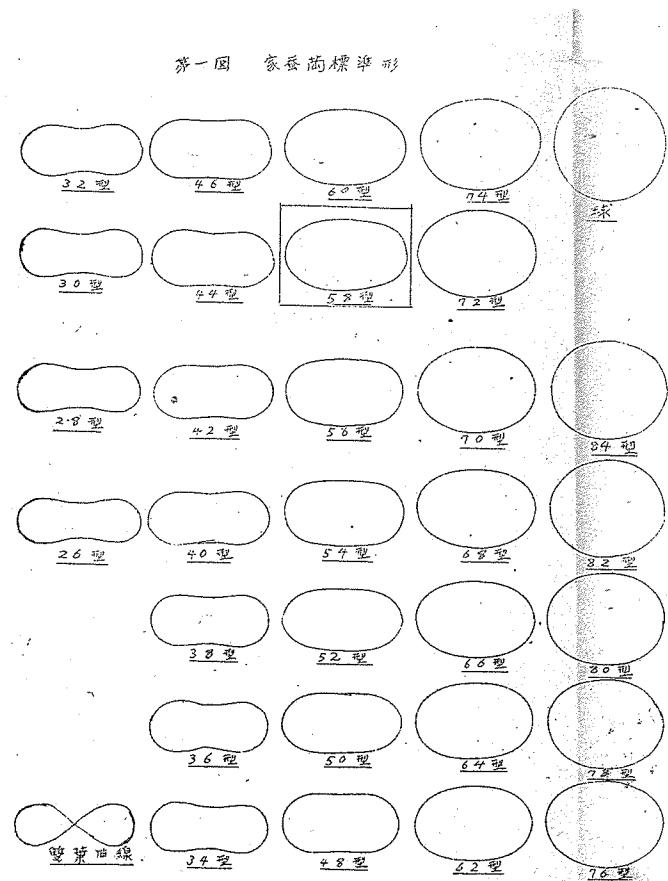
ここで $B = - \left\{ 0.3333 + 0.0381 + \left(\frac{a}{m} \right)^4 + 0.0139 \left(\frac{a}{m} \right)^8 + 0.0071 \left(\frac{a}{m} \right)^{12} + \dots \right\}$

上式が繭形を表わし a 及び m が繭形の種々相を示す因子である所から、 a, m に相当する相違を蚕のうちに見出す。

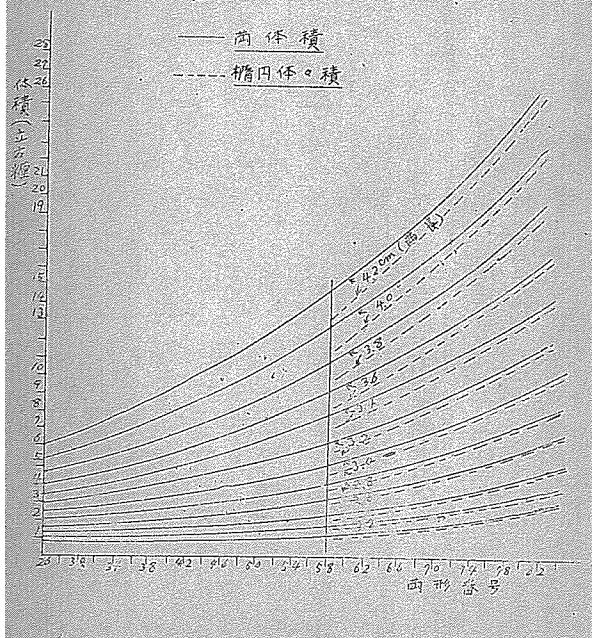
第1表は主な品種27種の繭形を検べその配列状態を示す。(遺伝応用)

第 1 表

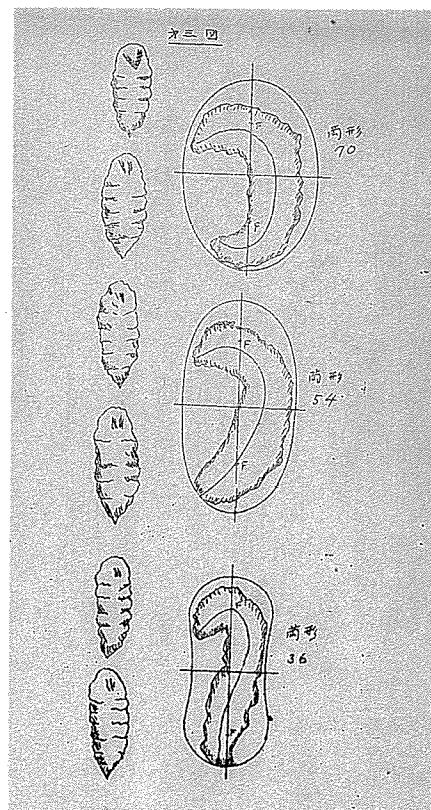
第一圖 家養齒標準形



第二圖



第三圖



繭形と蛹形との関係式は次の様になる。

$$N = EG \dots \text{繭形番号}, \quad n = EF \dots \text{蛹形番号}$$

$\angle BAD = \alpha$ $\angle CAD = \beta$ とすると

$$\tan \alpha \doteq \frac{HG}{AH} = \frac{EG-EH}{AH} = \frac{N-EH}{AH} \dots \text{(1)}$$

$$\tan \beta \doteq \frac{HF}{AH} = \frac{EF-EH}{AH} = \frac{n-EH}{AH} \dots \text{(2)}$$

(1) と (2) から

$$\frac{N-EH}{n-EH} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \quad \therefore N = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}(n-EH) + EH$$

しかるに

$$\tan \alpha = \tan 28^\circ = 0.532$$

$$\tan \beta = \tan 6.5^\circ = 0.114$$

$$\therefore N \doteq 4.67(n-35)+35 \text{ or } \doteq 4.67n-128.45$$

$$n \doteq 0.214N+27.51$$

2. 「∞」字形吐糸の考察

$$v = \frac{k}{\rho^3} \dots \text{(1)}$$

$$\rho^2 = c^2 \cos 2\theta \dots \text{(2)}$$

$$\rho^2 \frac{d\theta}{dt} = h \dots \text{(3)}$$

但し

v : 質点の速度

ρ : 力心から運動質点までの距離

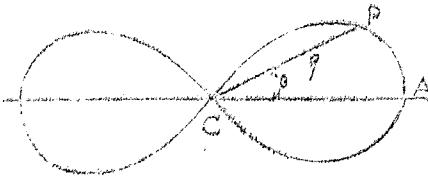
h : 面横速度の 2 倍

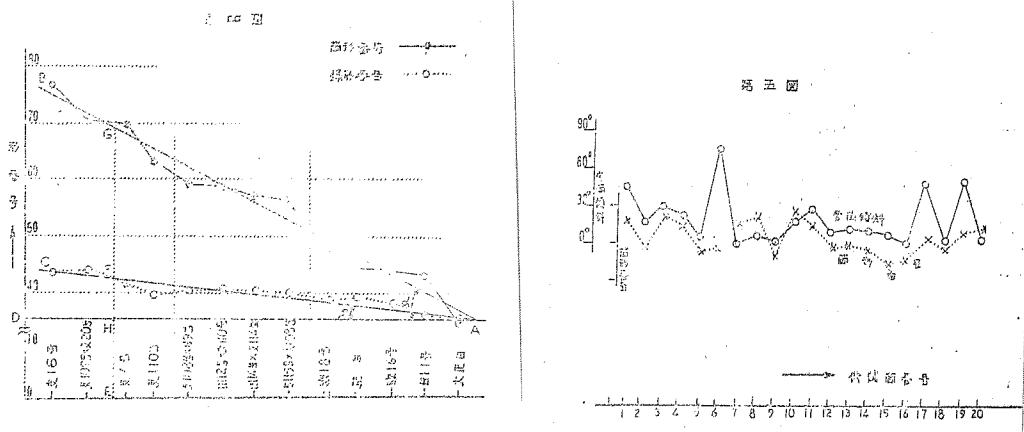
k : 常数

実際吐糸から h , c を求め、更に k を求めて $v=0.140 \times \frac{1}{\rho^3}$ となる。これを実際の場合と比較する。

一方「∞」字形吐糸の中央、端の大きさをミクロトームで切つて、セリシン及びフィブロイン部分を検べると中央は何れも端より小さくなつて居り吐糸速度と吐糸張力の影響の結果を想像される。

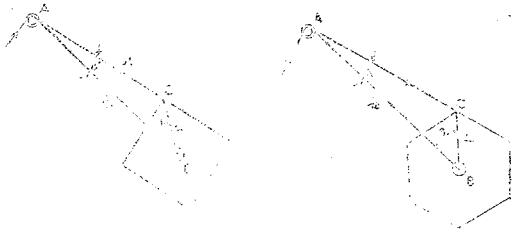
同一品種の繭形番号と當繭傾とは次のようにある。(第5図)





3. 多角形繰糸枠と張力振動

下図に於て A は鼓車, B は枠の中心, $AB=k$, $BC=r$, $\angle ABC=\beta$, $\angle BAC=\alpha$ とする。但し α , β は糸 AC が枠の一辺と一直線をなした時の値である。



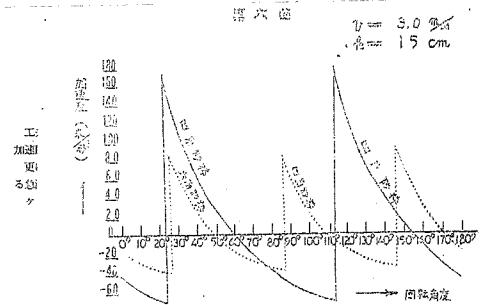
AC を S とすると

$$S^2 = k^2 + r^2 - 2kr \cos(\beta + Wt) \quad \therefore S = \{k^2 + r^2 - 2kr \cos(\beta + Wt)\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \frac{d^2S}{dt^2} = W^2 \times \frac{-k^2r^2 \sin^2(\beta + Wt) + kr\{k^2 + r^2 - 2kr \cos(\beta + Wt)\}}{\{k^2 + r^2 - 2kr \cos(\beta + Wt)\}^{\frac{3}{2}}}$$

ここに ω は枠の角速度である。

繰糸速度 3m/s , $k=15\text{cm}$, $r=7.8\text{cm}$ の四角形枠について、加速度変化の状況は第6図のようになる。



工夫した振動張力計により張力振動を図示し四角形、六角形、円形各枠の振動状況を見ると、角枠には、加速度から起る張力振動が明瞭に観察されるが、円形枠にはそれが見られない。

更にケンネル無しで直接、角枠、円形枠に巻き取らせた時の張力は、「∞」字形吐糸や繭の躍りから来る急激な張力変化が認められる。

ケンネルの作用は、抱合、水切りの両作用の外に、緩衝作用が認められる。

四角形枠による振動張力の一例は第2表のようである。

第2表 四 角 形 枠

縦糸速度 (m/s)	$k = 45\text{cm}$		$k = 25\text{cm}$	
	縦糸張力 (g)	振動張力 (g)	縦糸張力 (g)	振動張力 (g)
1.5	8.3~9.5	0.8	5.3~7.3	1.9
2.0	7.0~8.2	0.8	11.1~13.7	2.1
2.5	10.0~12.8	2.2	11.9~14.9	2.2
3.0	13.7~16.7	2.9	16.7~20.1	3.4

表から解るように k の値の小さい程、又速度の大きい程 スプリング張力と振動張力とは大きくなる。又表で張力変化の範囲を特に振動張力と記してあるが、これは張力の最大と最小との差でなくして、グラフの各山と谷の平均の差から導いた値である。

角枠は張力振動があり、円形枠と比べ平均張力も大きいことが考えられる。実験結果は第7図のようである。

一般縦糸の張力推移の状況は第8図のようである。

4. ポットシルク縦糸機

廻転ポット内の空気の運動を考えると、無限に長い一つの円筒内に、もう一つの円柱があつて、これ等が同一軸を共有し、その軸のまわりに両者が或角速度を以つて廻転している。今この両筒間の空気筒中に更に半径 r と $r+dr$ との円筒面を想像する。空気の摩擦力による中心の廻りのモーメントは円筒の単位長さにつき

r の円筒面では

$$2\pi r \cdot \mu \frac{d(r\omega)}{dr} \cdot r = 2\pi r^3 \mu \frac{d\omega}{dr} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$r+dr$ の円筒面では

$$2\pi r^3 \mu \frac{d\omega}{dr} + 2\pi \mu \frac{d}{dr} \left(r^3 \frac{d\omega}{dr} \right) dr \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで μ は静摩擦係数、 ω は半径 r 円筒面上の空気の角速度である。

(1), (2) 両式の差は

$$2\pi \mu \frac{d}{dr} \left(r^3 \frac{d\omega}{dr} \right) dr \quad \dots \dots \dots (3)$$

これは定常運動の場合にては r と $r+dr$ との二円筒間の空気の運動量の原点の廻りのモーメントの変化はないから零である。

即ち

$$2\pi\mu \frac{d}{dr} \left(r^3 \frac{d\omega}{dr} \right) dr = 0$$

或は

$$r^3 \frac{d\omega}{dr} = c_1 \quad \therefore d\omega = c_1 \frac{dr}{r^3}$$

$$\omega = 1 - \frac{c_1}{2r^2} + c_2$$

初条件から c_1 , c_2 の値を求めて、これを上式へ代入し

$$\omega = \frac{\omega_0 r_0^2 (r^2 - r_1^2) + \omega_1 r_1^2 (r_0^2 - r^2)}{r^2 (r_0^2 - r_1^2)}$$

ここで r_0 は内側円柱の半径, ω_0 はその角速度

r_1 は外側円筒の半径, ω_1 はその角速度とする。

ここでポットの場合に当てはめて $r_0=0, \omega_0=0$ と置くと

$$\omega = \omega_1$$

即ち円筒内の空気は外側円筒と同じ角速度で回転していることになる。

以上は円筒が長いこと、円筒が比較的低速で回転するという2条件の下に考えられる結果である。

しかしポットは無限に長くないけれども円筒の上下は外気と殆んど遮断され、且つ相当の高速度で廻転しても円筒内の空気の流れは定常状態を保つ。

次にポット内の糸形と張力を求めて見る。

第9図に於て推理を便利にするために角速度 ω の回転座標 ξ , μ について考えると, ds に作用する力は糸の張力 T , 回転座標の運動加速度 $r\omega^2$ から来る力, コリオリの加速度 $2v\omega$ から来るコリオリの力及びボット内空気が糸に及ぼす抵抗力等である。但しこの際糸の運動は一

水平面上に於て行われるものと仮定する。

今微小糸 ds の直角方向に作用する力から

又微少糸 ds に切線の方向に作用する力から

$$-dT + Wds \cos \varphi \sin \varphi = mds \ r \omega^2 \cos \varphi \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

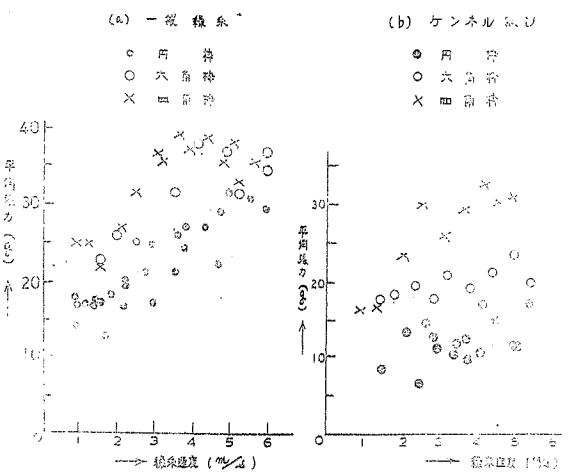
ここで ϕ は今考えている微小糸 ds の所でこれに切線を引いた直線が r 方向となす角, m は糸の単位長の質量, ρ は ds 部分の糸の曲率半径である。又 W は空気の流れの方向に直角にある単位糸長に作用

用する抗力でラムの理論式から、 $W = -\frac{8\pi\mu \frac{a}{Re} u^2}{\frac{1}{2} - \log e \frac{1.7811 Re}{8}}$ で与えられる。

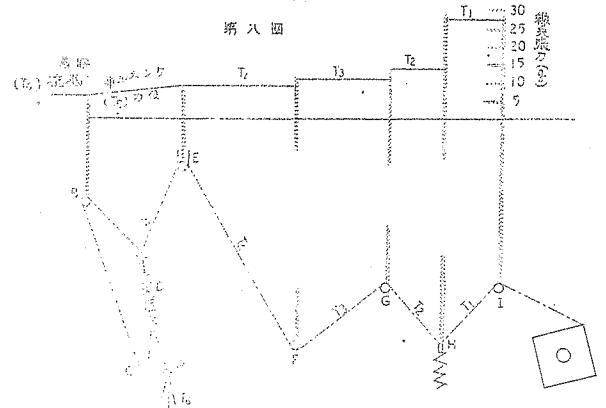
式中 μ は空気密度, 数値 1.7811 はマツシェロニ常数, Re はレーノールズ数, a は糸の横断面半径である。又 u は糸に対する空気の法線速度である。

a, u が比較的小さい所から (1), (2) 式から W を取り去り T を消去した上廻転座標 ξ, μ で書き表

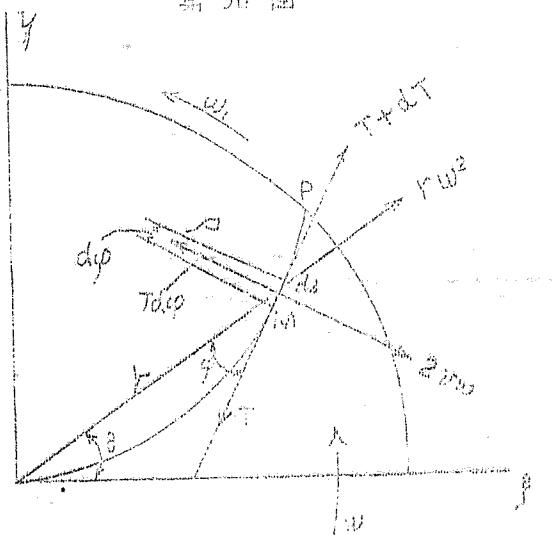
第七図 平均張力の比較



第八図



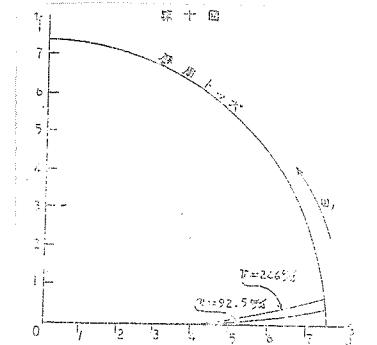
第九図



わすと

$$\frac{d^2\mu}{d\xi^2} = - \frac{\left\{1 + \left(\frac{d\mu}{d\xi}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}}{b + \frac{\omega^2}{2}(\xi^2 + \mu^2)} \left\{ 2v\omega + \frac{\omega^2 \left(\xi \frac{d\mu}{d\xi} - \mu\right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d\mu}{d\xi}\right)^2}} \right\} \quad (3)$$

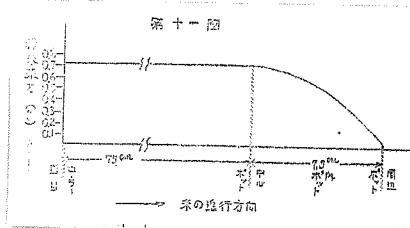
之を Adams-Bashforth Method で解いて糸形を図示すると第10図のようである。



糸の張力は (2) の式から

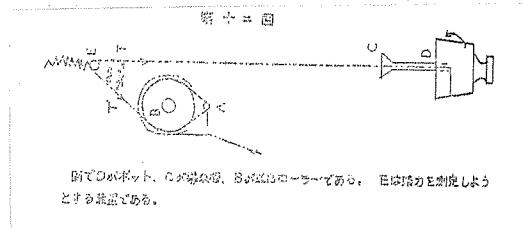
$$T = \frac{m\omega^2}{2} (R^2 - r^2) + mv\omega_1 R \text{ となりポット内各糸点位置の張力が求まる。}$$

送出ローラーからポット内を通り、ポット周辺に巻き取られる迄の張力の推移状態は第11図のようである。(ポット回転数 5,500rpm, 線糸速度 92.5cm/s)



この例ではポット周辺で $T = 0.031g$ の線糸張力で巻き取られる。

理論の結果が実際とどの程度一致するかを見るために糸の張力は第12図のようにして測定することができる。



例でひがポット、ひが板、ひが板ローラーである。Wは張力を測定しようとする装置である。

この結果の1例を示すと次のように張力の実験結果は理論的結果より何れも小さい値となる。これは導糸管の摩擦によるためと思われる。

ポット回転速度 5,500rpm; 線糸速度 170cm/s の時

理論からの張力 0.72g

実験 0.59g

ポット回転速度 6,500rpm; 線糸速度 210cm/s の時

理論からの張力 1.00g
実験..... 0.74g

廻転ボット中の実際の糸形と理論から導いた結果と比較するために、ストロボスコープで観察する場合、瞬間撮影で観察する場合の2つを試みたが理論と実際が非常によく一致することを知る。

瞬間撮影は暗室内で電極に瞬間的放電をさせて撮影する方法で、電気振動を起さないこと、10万分の1秒以上の瞬間的放電であること、輝度の大きなこと等が大切な条件である。電気振動式は

$$-L \frac{d^2q}{dt^2} - \frac{q}{c} = R \frac{dq}{dt}$$

ここで q は電気量, L はインダクタンス, R は回路の抵抗, C は電気容量である。

そして放電回路が臨界非振動であるためには $R^2 - \frac{4L}{C} = 0$ を満足しなくてはならない。

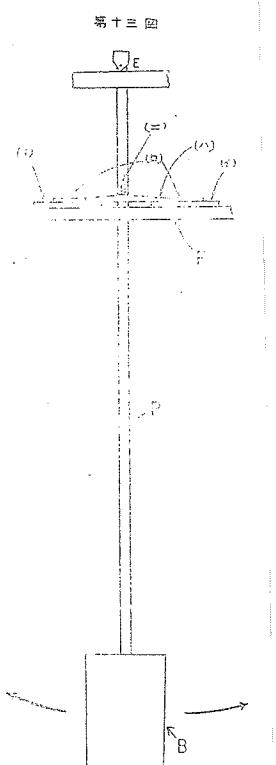
5. 繰糸法から見た繰糸張力

従来の縄糸方式は膠着抵抗やフック、鼓車、その他ケンネル部等の摩擦抵抗が累加されて縄枠に最大の縄糸張力となつて巻き取られるのに対し、ポットによる縄糸方式は、繭から送出ローラー迄はほぼ一定の張力で来て、それ以後は、導糸管、ポット等を通過し、ポット周壁に最小の張力となつて巻き取られる。

繰糸張力の点で従来の一般繰糸方式は繰糸張力の累加方式 (Progression System) であり、ポットシリク繰糸機による方式は、繰糸張力の累減方式 (Reduction System) とも名付けられるべきである。(第8図及び第11図参照)

6. ポット絹糸の一性質

振子式動摩擦係数測定機を工夫して、その振動の減衰状況から測定した結果を次に示す。



図に於て P は E を支点とした振子, B はレンズの集光筒を有する光源箱で, その中には振子に添うてさがつて来たコードに連絡された電球と起振力を与える鍤とがおさめられている。集光筒の前にドラムが置かれ運動する焦点の軌跡をこの上に貼られた印画紙上に記すようになつてある。 F は糸の動摩擦を生ずる装置を載せるために水平に置かれた固定台柱で, その上に固定摩擦面(1)と移動摩擦面(2)がある。何れも, 動摩擦を測定しようとする糸が平に一定の層をなして巻かれている。押引棒(3)によつて移動摩擦面(2)が振子の振動につれて, 固定摩擦面上を水平に押されたり引かれたりするようになつてある。押引棒(3)は振子により運動を伝えられるがその接触部の摩擦や, 円弧運動等はこれを消すように特別の工夫がしてある。

この振動系の減衰状態を利用して求めたポート絹糸、座縲絹糸の動摩擦係数は第3表の

ようである。

第3表 摩擦係数

		摩擦面の 糸の方向	法圧力			温度 C°	関係温度
			35.00g	60.65g	85.55g		
(生糸)	未精練 ポット糸	平行	0.31	0.34	0.32	21.3	73
		直角	0.21	0.20	0.20	23.0	60
	座繰糸	平行	0.18	0.19	0.20	24.0	65
		直角	0.15	0.17	0.16	24.0	65
(本練)	精練 ポット糸	平行	0.65	0.59	0.58	32.8	58
		直角	0.59	0.54	0.50	31.0	66
	座繰糸	平行	0.65	0.62	0.59	31.8	62
		直角	0.55	0.53	0.51	31.8	62

* 摩擦面を作る時の絹糸の張力は未精練絹糸に於ては 32g 精練絹糸に於ては 4.8g である。

ポット絹糸が座繰絹糸と比べ、未精練の場合、はつきりした相違を認める。

7. 絹糸の粘弾性

ここ数年来纖維材料力学としての研究に大切である流性学 (Rheology) が非常に盛んになり、絹糸に対する流性学の重要性について一言したい。

絹の品質改善について

根岸道治講師

序言：絹の品質改善については、蚕品種、養蚕、製糸方面から多年に亘つて成果があげられているが、化学纖維の著しく発達してきた現在、これらの面からだけでは飛躍的な改善は望めないのでなかろうかと考えられる。かつては絹が化学纖維を生んだのであるが、その絹が今日では化学纖維によつて近代化を要求されている。絹品質の近代化とは、それを名実共に「半合成纖維」たらしめる以外にはないと思われる。絹の巧緻、精妙な構造を破壊することなく、これを骨格として、広く且つ基礎的な視野に立つて、日進月歩の高分子化学、合成化学的改質手段を巧に応用すれば、絹をして天然纖維の範疇から脱皮せしめて、所謂半合成纖維たらしめることは、必ずしも不可能事ではないと信ぜられる。

化学纖維の最も華やかなアメリカにおいてさえも、その絢爛さに幻惑されることなく、天然纖維の化学的改質研究の必要性が強調せられ、羊毛や綿などについて注目すべき多くの研究がなされつつある。絹の改質研究は日本の科学者に課せられた1つの使命であろう。

幸に絹の化学的構成々分などについても、最近のクロマトグラム的研究により次第に精細化されつつあり、E. Abderhalden (1922) 等の成分表に大きな変革が加えられるに至り、われわれの企てに大いに勇気づけてくれるものがある。またこの二三年来農林省蚕糸局がこの方面的研究に理解と援助とを寄せられ、着々と絹の Modernization—Semisynthetic Silk fibre の実現に歩を進めていることは喜ばしい。この方