

# 空気粘性を利用した微小振り力測定の試み

柳 沢 延 房\*

Nobufusa YANAGISAWA : A Trial of Measuring The Minute Resisting  
Moment Utilizing The Viscosity of Air.

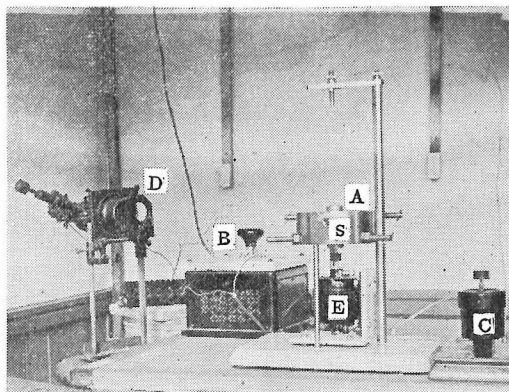
(1955年12月10日受理)

## 前 書

繊維の撓抗力の測定に種々の機械が使用されているが、之等の撓抗力を量的に正確に求めたり、又機械のゼンマイ等の酸化で精度の再確認を必要とする場合、振り抗力が小さい丈にそれを測定する仕方は仲々容易なことでない。又繊維等が単位体積当り一時的に如何程の位置エネルギーを蓄え得るか、又時間的にその位置エネルギーが如何様に消散されて行くかを検べるにも、微小振り力の正確な測定が必要になって来る。そこで空気粘性が圧力、温度及び湿度によりかなり正確に之を知り得るならば、Couette-Hatschek Apparatus を使用して逆に振り力を求めることが出来ることになる。そこで第1図のような装置によつてその実験を試みたので、その結果を次に述べることにする。

## 装 置 と 実 験

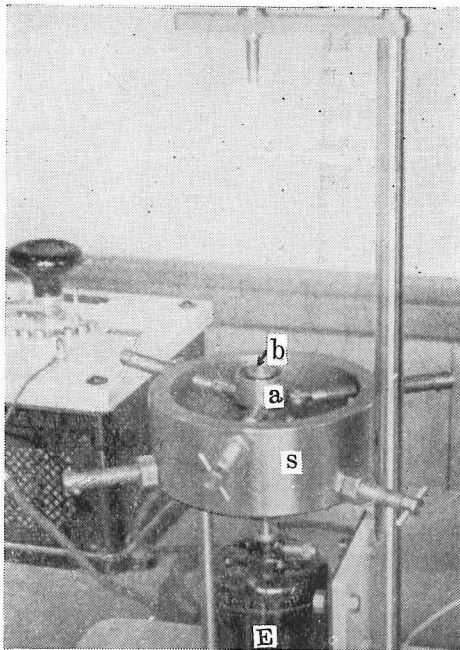
第1図(A)は Couette-Hatschek Apparatus を真似て造つた本実験装置の主要部分で、(B)は電気抵抗器、(C)はスライダック、(D)は光源アーク燈である。(E)は変速モーターである。(A)の細部は第2図、その概要を第3図に示している。



第1図

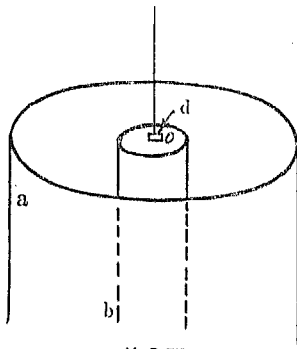
\* 信州大学繊維学部 絹糸物理研究室

第2図で(a)は外部円筒、(b)は細い針金(繊維を直接用いる場合もある)で吊られた内部円筒、(c)は上述した変速モーターであるが、モーター軸は外部円筒軸と一直線に鉛直をなし、両軸の連絡はゴム輪で行い、多少の彎曲を許せるようにしてある。又外部円筒が鉛直軸の廻りに回転する場合、少しの横揺れも許さないように基盤円筒(S)から3個宛2段に計6個の支柱が水平に半径方向に向つて外部円筒(a)を支えている。そして之等支柱の先端にロールベアリングを持ったキャップが取付けてあつて、摩擦を最小限に防いでいる。そしてモーターの回転振動が直接若しくは間接に主要部に伝わらないように、所々にアブソーバーを取り付けた。

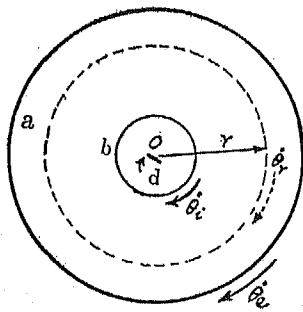


第2図

第3図の(d)は内部円筒上に取り付けた小さい反射鏡で、外部円筒(a)の回転により、その内部の空気粘性のため内部円筒が或る角丈それに連れて回転し、光源よりの光をこの反射鏡で反射せしめ、遠い鉛直幕上にその影を写し



第3図



第4図

て、内部円筒の回転角若しくはそれを吊つた針金のフレの角を求めるようにしてある。第4図で外部円筒の回転角速度を $\dot{\theta}_e$ 、内部円筒の角速度を $\dot{\theta}_i$ とすると、軸Oから $r$ の距離にある空気の角速度 $\dot{\theta}_r$ は次の式で表わされる。

$$\dot{\theta}_r = \frac{C_1}{r^2} + C_2 \dots\dots\dots(1)$$

ここで $C_1, C_2$ は常数である。

今外内円筒の半径を夫々 $R_e, R_i$ とすれば、(1)式により

$$\left. \begin{aligned} \dot{\theta}_i &= \frac{C_1}{R_i^2} + C_2 \\ \dot{\theta}_e &= \frac{C_1}{R_e^2} + C_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{\dot{\theta}_i - \dot{\theta}_e}{\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_e^2}} \\ C_2 &= \frac{\dot{\theta}_e R_e^2 - \dot{\theta}_i R_i^2}{R_e^2 - R_i^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

これを(1)式へ代入して、

$$\dot{\theta}_r = \frac{\dot{\theta}_i R_i^2 \left( \frac{R_e^2}{r^2} - 1 \right) - \dot{\theta}_e R_e^2 \left( \frac{R_i^2}{r^2} - 1 \right)}{R_e^2 - R_i^2} \dots\dots(4)$$

(4)式から $\frac{d\dot{\theta}_r}{dr}$ を求め、 $r=R_i$ に於けるせん断力を見出すことにより、内部円筒に作用するモーメントは次のようになる。

$$M = \left[ 2\pi r h \cdot \eta \cdot \left( r \frac{d\dot{\theta}_r}{dr} \right) \right]_{r=R_i} = 4\eta\pi h \frac{\dot{\theta}_e}{R_i^3} - \frac{\dot{\theta}_i}{R_e^3} \dots\dots(5)$$

但し $\eta$ は空気粘性係数、 $h$ は内部円筒が外部円筒中に存在する部分の長さとする。

今 $\dot{\theta}_i = 0$ と置くと、

$$M = 4\eta\pi h \frac{\dot{\theta}_e}{R_i^3} \frac{1}{R_e^2} \dots\dots\dots(6)$$

式で表わされるモーメントが内部円筒を吊つた細い針金或は繊維糸の振りモーメントと釣り合いの状態となるのである。

以上の装置と理論とから最初剛性率の知れた針金ばね鋼と燐青銅の直径夫々0.015cm、0.006cmのものに内部円筒を吊り実験を試みた。第1表中の空気粘性は実験中の温度のみを考え、次の式から求めた値を使用した。

$$\eta = 1.7580 \times 10^{-6} \times \frac{380}{380+t} \times \left( \frac{273+t}{273} \right)^{3/2} \times 98 \text{ poises}$$

式中 $t$ は実験の時の温度を $^{\circ}\text{C}$ で表わしたものである。

内部円筒はばね鋼の針金で吊る場合には、鋼合金の中空の密閉円筒で外直径2cmのものを使用し、燐青銅の針金で吊る場合には、硝子製の中空の密閉円筒で外直径1.7cmのものを使用した。この場合外部円筒の内直径は常に3cmである。

実験諸値と振りモーメントは第1表のようである。

但し表中針金のねじれ角から求めたモーメントは次式によつたものである。

$$M = \frac{\pi G r^4}{2l} \varphi \dots\dots\dots(7)$$

ここで $G$ は針金の剛性率、 $r$ はその断面の半径、 $l$ はその長さ、 $\varphi$ は針金の下端即ち鏡の回転角である。

第1表

| 実 験 番 号                      | ばね鋼で内部円筒を吊つた場合 |       |        | りん青銅で内部円筒を吊つた場合 |       |       |
|------------------------------|----------------|-------|--------|-----------------|-------|-------|
|                              | 1              | 2     | 3      | 1               | 2     | 3     |
| 針金のねじれ角 (radian)             | 0.0184         | 0.021 | 0.0234 | 0.136           | 0.140 | 0.162 |
| 針金のねじれ角から求めたモーメント (dyne-cm)  | 4.36           | 4.70  | 5.23   | 0.74            | 0.76  | 0.92  |
| 外部円筒の角速度 (radian/s)          | 144.0          | 177.5 | 200.0  | 38.6            | 41.9  | 51.1  |
| 空気粘性で内部円筒に与えるモーメント (dyne-cm) | 4.50           | 5.53  | 6.24   | 0.72            | 0.78  | 0.95  |

## 結 び

表のモーメントに於て針金の断面が真円と仮定して、その剛性率、ねじれ角から求めたモーメントと、外部円筒の回転から空気のせん断粘性により内部円筒に与えるモーメントとの間にかかなりの相違があり、特に外部円筒の回転速度の大きい程大きな違いを生じている。之は円筒内の空気が遠心力を生じ、圧力差が出来て空気流れや圧力波の起きることや、内部円筒の末端効果 (End effect) から生じたためかも知れない。りん青銅の実験の方は外部円筒が低速度で実験を行つたため、前者より多少よい結果が表われている。この点微小振り力を求めるには好都合である。

以上の結果のみからは之を直接繊維のような微小振り力測定に使用することは未だ自信が持てない。実際繊維類の糸条の横断面は真円でもなく又一様断面形でもなくその上全長に亘つて相当の不均質が想像され、従つて第1表のように剛性率や断面形の明確な金属でのモーメントと一つ一つチェック出来ぬ程微小振り力であるので、本機の使用に當つては、もつと微細に亘つて理論的に之が研究を必要とする。忙しい実験であつて円筒の末端効果の計算も、内外円筒の両軸が完全に自働的一致を得るような工夫も、円筒面の粗滑の問題もまだ吟味してない。上の実験結果から想像したように低速度回転による方が正確な値を得られるとすれば、外部円筒内にニュートン液体を入れてその粘性を利用する方が或はより良い結果が期待出来るかも知れない。之等の詳細に亘る研究は今後続けて見るつもりである。この装置が成功すれば、絹糸、紡績糸の撓抗力、撓セッティング効果、繊維内に蓄え得るエネルギー、或は一定歪みに対する緩和時

間等その微小量的問題が解決出来、繊維の流挙学的研究の一助ともなり得ると信ずる。

次に本研究に當つて、本学部四年生浦沢一裕、久保田貞親両君並びに当研究室の吉川嬢等が常に熱心に御援助下さつたことをこゝに厚く御礼申し述べた次第である。

## 参 考 文 献

- 藤本 武助：応用流体力学、(1942)  
 MARKUS REINER：Deformation and Flow (1949)  
 G. W. SCOTT BLAIR：A Survey of general and Applied Rheology. (1949)  
 末広 恭二：Scientific and Technical Papers (1934)

## Summary

In order to study the yarn twist-setting, the potential energy stored up per unit volume and the relaxation time of the resisting moment, it is very important to find the value of the minute and accurate resisting moment.

Using the Couette-Hatschek Apparatus, the resisting moment may be found from the number of revolution of the external cylinder and the viscosity of the air between the external and internal cylinders,

It will be seen by checking the balancing moment of the suspended wire of the internal cylinder that the few experimental results obtained are not yet satisfactory. However, success will be expected by elevating the precision of the apparatus and the technique of experiments.