

# 繊維と円筒形ガイドとの摩擦に関する考察 (4)

—糸と糸ガイドの摩擦を測定するための新しい  
方法と装置について—

井 村 俊 一

## Friction of yarn round a cylindrical textile guide (4th)

—The new method and the apparatus for measuring  
friction between a yarn and a textile guide.—

Toshikazu Imura

### Abstract

The new method and the apparatus for measuring frictional force of textile yarns, which are especially continuous filament yarns, are described in this paper. The new method appears to be particularly useful for measuring equivalent frictional force to frictional force between a running yarn and its textile guide with practical textile machine in motion.

The apparatus is mainly composed of measuring part for yarn tension and driving part for yarn, and the apparatus makes a special feature of the vibrating textile guide excited by the vibrator.

### 1. 緒 言

糸の製造工程や、製織準備工程では糸は多数の糸ガイドを経て走行するのが、常である。そのとき、糸は多数の糸ガイドとの摩擦を主原因として、激しい張力変動をしながら走行するのが通常である。そのため、糸や布を高品質に保つためには、この張力変動をいかに制御するかが、重要な問題となる。その対策のため、基礎的な問題として、糸とガイドとの摩擦の関係を、明らかにする研究が、過去に多数<sup>(1)</sup>なされてきた。その結果、いろいろ有効<sup>(2)</sup>な摩擦試験方法が、提唱されている。

本報告は従来の試験方法のように、糸の一方の摩擦を測定する方法と異なり、特に実際の製織準備工程での糸の走行に近いと考えられる、

ガイドと糸との高速相対速度下における摩擦状態を測定する試験方法と装置を提唱するものである。

### 2. 従来の糸とガイドの摩擦試験方法

糸とガイドの摩擦試験方法は、糸と糸の摩擦試験方法のように多様ではなく、原理的には、ベルト掛け法と呼ばれる方式で、糸ガイドの前後で、糸の張力を検出し、簡単にはアモントン＝クーロン則が成立すると考えて、 $T = T_0 e^{\mu \theta}$  (ただし、 $T_0$ ; 最初の張力、 $\theta$ ; 糸のガイドとの接触角、 $\mu$ ; 糸とガイドの摩擦係数、 $T$ ; ガイドを経てきた糸の張力) の式から、摩擦係数を算出するものである。代表的な例として、Fig. 1 に、Röder 法<sup>(3)</sup> Fig. 2 に、J. S. Olsen<sup>(4)</sup> の装置を示す。また、上述の方式のように糸の

一方向性摩擦力の検出とは考え方を異にした、中島・太田<sup>(5)</sup>などが、提唱しているように、実際の繊維機械の摩擦状態を考慮した、糸ガイドを振子で、振動させ、ガイドの前後で摩擦張力を検出する、往復型摩擦試験装置を Fig. 3 に示す。また筆者<sup>(6)</sup>が取り扱ったように、特に合成繊維で、糸の走行速度が、低速の場合に、現われる、スティックスリップ現象を利用して、摩擦力を求める方式もある。筆者の行なった実験でのスティックスリップ張力波形を、Fig. 4 に示す。

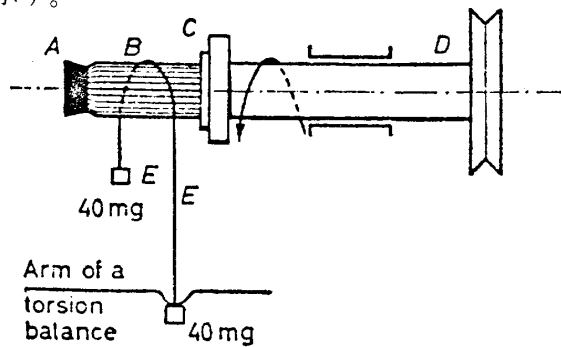


Fig. 1 Röder 法の原理図

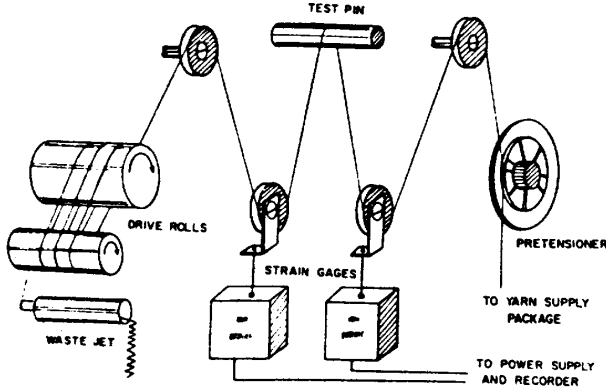


Fig. 2 Schematic diagram of friction measuring apparatus

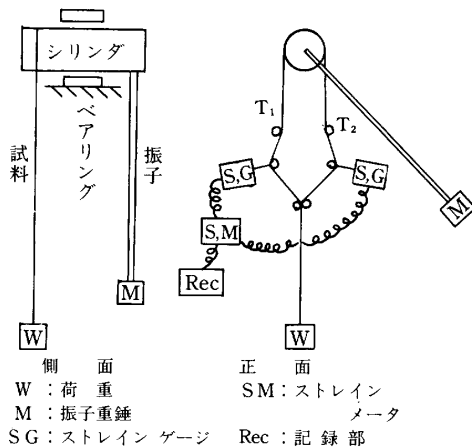
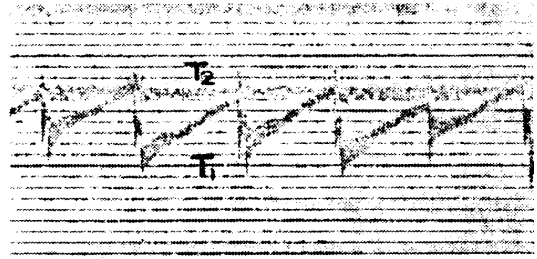


Fig. 3 往復型摩擦試験装置



条件 試料糸 東レナイロンモノフィラメント (40D)  $V_0 = 1 \text{ mm/sec}$  梨地10φ  
ガイドW=15g

Fig. 4 スティックスリップ張力波形

### 3. 新摩擦試験装置の構成と方法

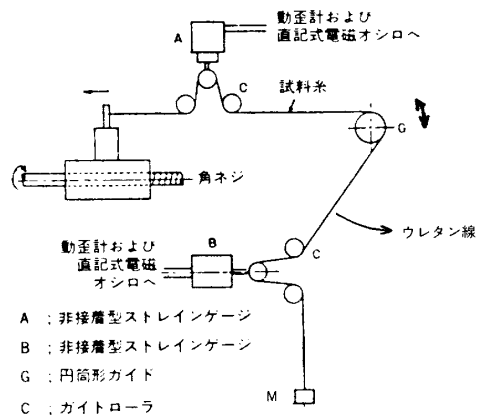


Fig. 5 摩擦試験装置

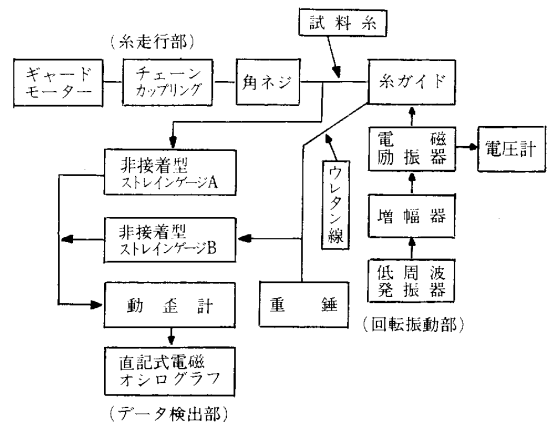


Fig. 6 摩擦試験装置構成図

本摩擦試験法は、装置としては、Fig. 5とFig. 6に示すように、学報22号<sup>(7)</sup>で使用した装置と構成法を利用し、従来の試験法としては、中島・太田が提唱した、実際の製織および、準備工程に即した、振子式往復摩擦試験方法を、前進させ、ガイドに振子を取りつける方法より、直接、加振器で、糸ガイドを強制的に、振動させるこ

とにより、実際の製織工程、製織準備工程の織機に発生する糸ガイドと糸との摩擦状態、即ち、高速相対速度下における、糸とガイドとの摩擦の状態を再現し、その摩擦力を合理的に検出するものである。そして、糸ガイドをはさんで、初期張力付加側（重錘側）に、摩擦検出用の試料糸（短かい部分でよい。）を除いて、試料糸に比較して、バネ定数が大なる、かつ、十分に柔軟性をもっている（曲げ剛性を無視してもよい）もの、たとえば、ウレタン線などを、試料糸に接続する。そして、糸ガイドを強制的に振動させ、糸の摩擦張力を安定した状態で検出する。このような工夫は、一般に高速相対速度下の摩擦力測定において、走行糸の張力変動が、非常に大きく、検出波形を解析することが、困難であることから、安定的に摩擦に起因する張力波形のみを検出するためのものである。

#### 4. 新摩擦試験法の理論

本摩擦試験法の装置、Fig. 5の理論解析のための等価モデルをFig. 7に示す。Fig. 5の糸ガイド（G）に加振器により、強制的に振動を、付加するものとする。また、理論解析による、種々の仮定は、学報22号<sup>(7)</sup>と同様に、取り扱うものとする。

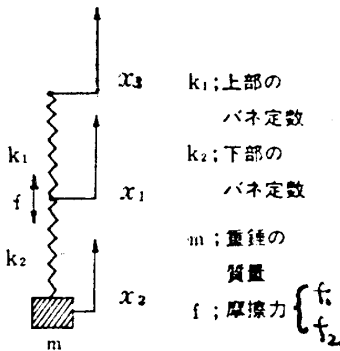


Fig. 7 試験装置の等価モデル

Fig. 7において、 $k_1$ ；試料糸上部のバネ定数、 $k_2$ ；試料糸下部のバネ定数、 $m$ ；重錘の質量、 $v_0$ ；糸速、 $T_0$ ；糸の初期張力、 $\mu$ ；糸速 $v_0$ で、無加振時の動摩擦係数、 $\theta$ ；糸とガイドの接触角、また、 $a \sin(\omega t)$ を、ガイドに付加する強制的な、振動として、 $a$ ；

ガイドの振幅  $\omega$ ；ガイドの円振動数とする。ガイドと糸の摩擦関係はアモントン＝クーロン則が、成立するとして、

$$(1) \quad x_1 - a\omega \cos(\omega t) < 0 \text{ のとき} \\ f_1 = T_0(1 - e^{-\mu\theta}) \text{ の摩擦力が作用}$$

する。

$$(2) \quad \frac{dx_1}{dt} - a\omega \cos(\omega t) > 0 \text{ のとき} \\ f_2 = T_0(e^{\mu\theta} - 1) \text{ の摩擦力が作用}$$

する。

以上のことを考慮して、方程式を導びくと、

$$\left. \begin{aligned} k_1(x_3 - x_1) + f_1 - f_2 &= k_2(x_1 - x_2) \\ m \frac{d^2 x_2}{dt^2} &= k_2(x_1 - x_2) \\ x_3 &= v_0 t \end{aligned} \right\} (4-1)$$

となる。ここで、 $f_1, f_2$ を

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{f_1 - f_2}{2} + \frac{f_1 + f_2}{2} \\ -f_2 &= \frac{f_1 - f_2}{2} - \frac{f_1 + f_2}{2} \end{aligned} \right\} (4-2)$$

と変形すると、

$$\frac{f_1 - f_2}{2} = T_0\{1 - \cosh(\mu\theta)\} = f_0 \text{ とおき、}$$

$$\frac{f_1 + f_2}{2} = T_0 \sinh(\mu\theta) = r_0 \text{ とおくと、} (4-)$$

1) 式の、1つは、

$k_1(x_3 - x_1) + f_0 \pm r_0 = k_2(x_1 - x_2)$  と書きなおすことができる。ここで、 $\pm r_0$ の変換点について考察すると、ガイドが $a \sin(\omega t)$ で振動しているとき、糸はガイドと同じ周期で、定常振動していると考えられる。そこで $x_1$ について、その運動を、 $\frac{dx_1}{dt} = v_0 + b\omega \cos(\omega t + \varphi)$ なる速度で、運動していると仮定する。但し、 $b$ は $x_1$ の運動の振幅（未知量）、 $\varphi$ ；位相差である。摩擦力の変換点は、

$$\frac{dx_1}{dt} - a\omega \cos(\omega t) = 0 \quad (4-3)$$

の解となる点であるから、上式を解くと、

$$t_n = \frac{2n-1}{2} \left( \frac{\pi}{\omega} \right) + \left( \frac{-1}{\omega} \right)^n \arcsin \frac{v_0}{\sqrt{A^2 + B^2}} \\ + \frac{\alpha}{\omega} (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4-4)$$

但し、 $A \doteq a\omega - b\omega \left(1 - \frac{\varphi^2}{2}\right)$ ,  $B \doteq b\omega\varphi$ ,  
 $\tan \alpha = \frac{B}{A}$  (注);  $\omega$ が大なるとき  $\varphi \ll 1$  と,  
 考えられ、 $\cos \varphi \doteq 1 - \frac{\varphi^2}{2}$ ,  $\sin \varphi \doteq \varphi$  である。

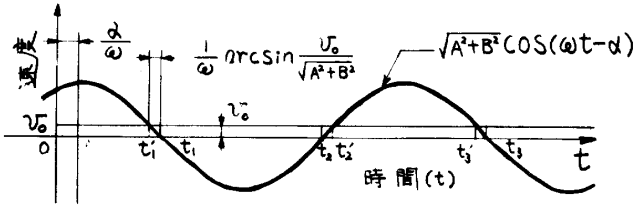


Fig. 8 摩擦変換点図

Fig. 8 より、 $\Delta t = \Delta t_1 = t_1 - t_1' = \frac{1}{\omega} \arcsin$

$$\left(\frac{v_0}{\sqrt{A^2+B^2}}\right), \Delta t_1 > 0, t_2' = t_2 + \Delta t_1 \text{ が}$$

成立する。

また、摩擦力の作用状態は、Fig. 9 のようになる。

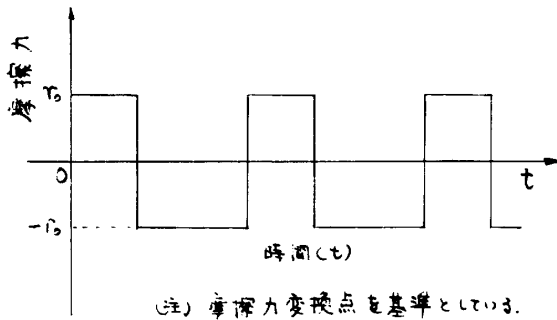


Fig. 9 摩擦力作用状態図 (1)

また、Fig. 9 の摩擦力の作用状態を、Fig. 10 のように考えると、Fig. 10 に示される、インパルスについて、横山<sup>(8)</sup>らが、考えた方法、つまり、インパルスと、同じ、力積値を、もって、時間  $\left(t_n - \frac{\pi}{2\omega}\right)$  から、 $\left(t_n + \frac{\pi}{2\omega}\right)$  に、作用するインパルスと、おきかえても、その影響が、無視できる程、 $\omega$ が大であるとすると、インパルスは、Fig. 11 のようになり、その結果、摩擦力の作用状態は、最終的に、Fig. 12 のように、考えてもよくなる。

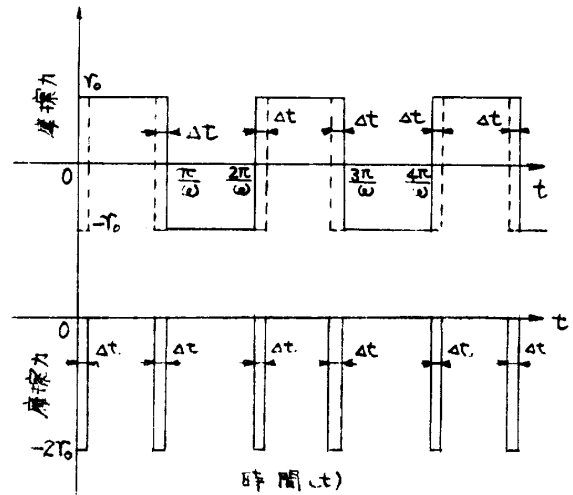


Fig. 10 摩擦力作用状態図 (2)

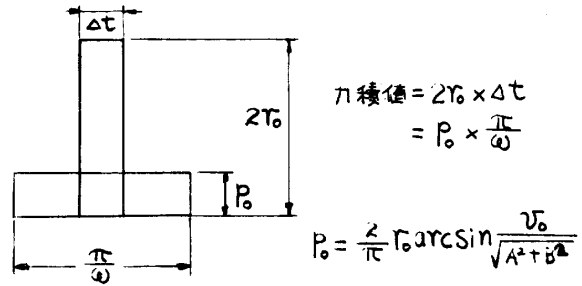


Fig. 11 インパルス変換図

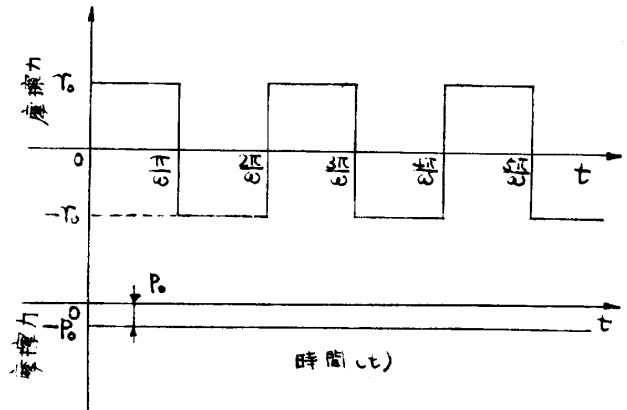


Fig. 12 等価摩擦力作用状態図

Fig. 12 のように考えて、(4-1) 式を変形すると、

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx_2 = kv_0 t + \frac{k}{k_1} (f_0 - P_0 \pm r_0) \quad (4-5)$$

となる。但し、 $k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ ,  $\pm r_0$  の変換周期は

$$\frac{2\pi}{\omega} \text{ である。}$$

(4-5) 式で,  $\pm r_0$  を, フーリエ級数展開して, 解くと,

$$x_2 = v_0 t + \frac{f_0 - p_0}{k_1} + \frac{4r_0}{\pi k_1} \beta^2 \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{\sin(n\omega t)}{n(\beta^2 - n^2)} \quad (4-6)$$

となり, (4-1) 式に代入すると,

$$x_1 = v_0 t + \frac{f_0 - p_0}{k_1} + \frac{4r_0}{\pi(k_1 + k_2)} \sum_{n=1,3,5,\dots} \left\{ \frac{\beta^2}{n(\beta^2 - n^2)} \left( \frac{k_2}{k_1} \right) + \frac{1}{n} \right\} \sin(n\omega t) \quad (4-7)$$

但し,  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ ,  $\beta = \frac{\omega_0}{\omega}$  である。

(4-7) 式より, 上部の検出張力波形  $T_1$ , すなわち, 糸ガイドを, 通過した後の張力は

$$T_1 = k_1(v_0 t - x_1) + T_0 \text{ より}$$

$$T_1 = T_0 + (p_0 - f_0) - \frac{4r_0 k_1}{\pi(k_1 + k_2)} \sum_{n=1,3,5,\dots} \left\{ \frac{\beta^2}{n(\beta^2 - n^2)} \left( \frac{k_2}{k_1} \right) + \frac{1}{n} \right\} \sin(n\omega t) \quad (4-8)$$

となる。ここで, 実際の繊維機械の状態を考慮して,  $\omega$  を十分大きくすると, すなわち,

$$\beta = \frac{\omega_0}{\omega} \longrightarrow 0 \text{ になり, (4-8) 式は,}$$

$$T_1 \doteq T_0 + (p_0 - f_0) - \frac{4r_0 k_1}{\pi(k_1 + k_2)} \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{1}{n} \sin(n\omega t) \quad (4-9)$$

と近似され, さらに, 本報の実験方法, つまり, 試料糸の下部に, 試料糸に比較して, バネ定数が十分大きくて, かつ柔軟な物質を接続したときの条件,  $k_2 \gg k_1$  それに, 実験精度の関係から, フーリエ展開を  $n = 1$  の項のみを考慮すると, (4-9) 式は

$$T_1 \doteq T_0 + (p_0 - f_0) \quad (4-10)$$

となる。実験的には正弦関数が, きわめて微小となる, 安定的な張力(4-10)式が検出されるのである。

(4-10)式を, 書きなおすと,

$$T_1 = T_0 + \frac{2}{\pi} T_0 \sinh(\mu\theta) \cdot \arcsin\left(\frac{v_0}{\sqrt{A^2 + B^2}}\right) - T_0(1 - \cosh(\mu\theta)) \quad (4-11)$$

となり, 糸速  $v_0$  を,  $v_0 \ll \sqrt{A^2 + B^2}$  になるように実験条件を定めると,

$$T_1 \doteq T_0 \cosh(\mu\theta) \quad (4-12)$$

となる。実用的には, 実験値  $T_1$  を測定して, (4-12)式に, 代入して, 計算すると, 動摩擦係数  $\mu$  は,

$$\mu = \frac{1}{\theta} \log \left\{ \frac{T_1}{T_0} + \sqrt{\frac{T_1^2 - T_0^2}{T_0^2}} \right\} \text{ で, 示される。}$$

この  $\mu$  が, 高速相対速度下の糸とガイドの動摩擦係数である。

## 5. 結 言

- (1) 試料糸に糸ガイドから, 重錘側に, 摩擦試験部分を除いて, 試料糸に比較して, バネ定数が, 大きく, かつ, 曲げ剛性を無視できるような柔軟な物質, たとえば, ウレタン線などを接続し, 糸ガイドを強制的に振動させると, 振動摩擦の理論により,  $T_1 = T_0 \cosh(\mu\theta)$  の安定した, 摩擦張力が検出することができる。そして,  $T_1$  値より,  $\mu = \frac{1}{\theta} \log \left\{ \frac{T_1}{T_0} + \sqrt{\frac{T_1^2 - T_0^2}{T_0^2}} \right\}$  が求められる。
- (2) (1)の方法において, 試料糸の摩擦状態は実際の製織準備機械などで, 糸ガイドから受ける, 高速相対速度下の往復型摩擦状態に, 近いと考えられるので, 本摩擦試験法は, 実用的な, 糸の摩擦状態を把握するには有効であると考えられる。
- (3) 本試験方法は, 特に合成繊維において, 有効であることが, 確かめられた。

- (注) (1) H. G. Howell, K. W. Mieszkis, D. Tabor ; Friction in Textiles (Butterworths Scientific Publications, 1959)
- (2) 木下; 繊維学会誌; 16, p343 (1960)
- (3) H. L. Röder; Journal of Textile Institute, 44, T247 (1953)
- (4) J. S. Olsen; Textile Research Journal, No. 1, vol 39, p31 (1969)
- (5) 中島, 太田; 繊維機械学会論文集, No. 2, vol 19, p18, (1966)
- (6) 井村; 金沢美術工芸大学学報, 21号, p 47

(1977)

(7) 井村；金沢美術工芸大学学報，22号，p 91

(1978)

(8) 横山，岡部；精機学会春季大会講演会前刷集，  
p 107, (1965)