研究報文

紙のライブリネス 第1報 —測定方法—

東京大学農学部 内藤 勉*, 臼田誠人, 門屋 卓
三田工業㈱ 加 藤 護

Liveliness of Paper

I. Method of Measuerment

Tsutomu Naito, Makoto Usuda and Takashi Kadoya*
Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113

Mamoru Kato

Mita Industrial Co., Ltd., 1-2-28 Tamatsukuri, Higashiku, Osaka 540

A method for measuring the liveliness of paper was developed. The main part of the apparatus consists of two parts: (a) a cylinder along which the sample is bent to a certain curvature; (b) the optical system to measure the recovery time accurately.

On the basis of the relationship between the recovery time and the flexural rigidity, the liveliness of paper was defined as $1/t^2$, where t is the recovery time of the sheet bent in a circular form, the radius of which is 4.20 cm.

Keywords: Liveliness • Mesuring instruments • Curvature • Optical instruments • Fine papers • Newspapers • Coated papers • Kraft liner boards

1. 緒 言

シート状物質の曲げ変形に関係する性質の一つに、曲げ状態からの回復特性がある。織物の分野では、布などの曲げ状態からの回復しやすさを「ライブリネス (Liveliness)」と呼び、これは風合、特に「こし」に関係する重要な性質であると考えられている。しかし、ライブリネスの明確な定義はなく、研究者によってその物理的定義や測定法も様々である。Hoffman と Beste¹⁾、Brand²⁾ は、織物の風合を検討するなかでライブリネスの問題に触れ、定量化を試みた。これは短冊形の布地を 180 度折り曲げ、それからの回復時間を光電管により測定するものであった。その結果、回復角速度と曲げこわさの平方根との間に相関関係を見いだしている。同様な測定により小野木³⁾ も曲げ回復速度を検討している。一方、田中⁴⁾、篠原⁵⁾、川股⁶⁾、山

内⁷⁾ は曲げ状態からの布の回復過程をストロボ写真や高速度写真に撮影することにより観察した。小林⁸⁾ はこの方法により、回復時間を計測し種々の織物についてライブリネスを定量的に検討している。

紙のライブリネスについてはクラーク式柔軟度試験器により若干検討された例がある。すなわち、クラーク剛さの計算式を導出するため、この試験器における紙片の曲げ回復過程をストロボ撮影により検討した⁹⁾。その結果、広範囲の紙について、それらの回復形態は同様であると結論づけている。しかし、紙の品質が多様化している現在、測定条件 (初期曲率等) を考慮し、詳細に紙のライブリネスを検討する必要があると考えられる。我々は「紙の触感と物性値の対応」という観点から、紙のライブリネスについて測定方法を開発し、若干の検討を行ってきた¹⁰⁾。本報では、紙の瞬間曲げ回復特性の測定法を確立し、その解析方法について論

* 現在十条製紙株式会社

Present Address : Jujo Paper Co., Ltd., 5-21-1 Oji, Kitaku, Tokyo 114

Fig. 1 Apparatus for measuring the liveliness of paper.

ずる。

2. ライブリネスの測定方法の検討

前項にも述べたように、ライブリネスの明確な定義および測定法はない。しかし、シート状物質の長方形の試験片を曲げて、次に離れたときの試験片の瞬間的な回復性をライブリネスと呼んでいることは既往の報告で共通している。例えば、曲げてから回復するまでの時間を考えると、試験片が弾性体なら回復時間は試験片に与えた初期曲率、回復過程における試料の慣性モーメントおよび試料の曲げこわさに依存する。実際には、これらに加えて初期の曲げにより試料の永久変形、試料の粘弾性的性質、空気抵抗等により回復時間は影響を受けると考えられるが、ライブリネスはこれらの影響因子を含む量であると考えられる。

測定に際しては、試料の回復運動の方向を重力の方向に置く方法と重力の影響を受けないように垂直面内に置く方法がある。ライブリネスの既往の研究では、前者の方法により検討している例が多い。しかし、前者の方法では回復過程において、試料が垂直に立ちあがった点の前後で回復速度が急激に変化することが知られている⁷⁾。すなわち、回復速度の測定やライブリネスの定義が難しい。後者の場合、長方形の試片が垂直面に置かれることにより、横倒れ座屈を起こさぬように試片の長さやねじり剛さ等を考慮する必要がある。

以上の点を検討し実験を行った結果、坪量 43~120

g/m² の紙に適用できる瞬間曲げ回復時間測定装置を開発した。以下その概要を述べることにする。

2.1 瞬間曲げ回復性測定装置の概要

試作した瞬間曲げ回復性測定装置の概要を図 1 に示す。本装置は、基本的には紙を一定曲率で巻きつけるための円筒 A と、曲げ回復時間を計測するための光学系から成り、山内⁷⁾ が布のために考案したライブリネス測定装置と原理的に同じである。すなわち、数森ら¹⁰⁾ のストレングージを用いたライブリネス測定装置を改良し、光学的方法でシートの曲げ回復性を検出するようにした。長方形の試料が、円筒上部から見て円筒の接線をなすように試料の一端（短辺）をクランプに固定する。円筒内を減圧

にし、クランプと反対側に位置するスリット部分で吸引することにより他端を固定する。この状態で試料は円筒の半径に応じた曲率で曲げられる。次に吸引を止め円筒内が常圧に戻ると、試料は曲げ状態から自然に解放されて、もとの状態に回復しようとする。試料がスリット部分を離れる瞬間と回復状態になった瞬間を捉えられるように、試料の自由端が通過する位置に適当なセンサーを取り付ける。本装置では光源と受光器を光ファイバーにより一定間隔で対向させ、その間を紙が通過するときの光量変化を検出している。以上の過程を図 2 に示す。受光器には CdS を使い、シュミットトリガ回路により入力波形を一定の入力レベルで方形波に変換する。先に述べた 2 つの位置で紙が通過することにより生ずる光量変化は、このようにデジタル化され、それらの信号間隔を計測すれば曲げ回復時間が測定することができる。ここでは信号を過渡現象解析装置（タケダ理研製）により記憶させ、時間軸を引伸ばしてレコーダーに記録させることで時間計測を行っている。しかし、ms の精度をもつ計測器、例えばストレージ型オシロスコープや電子時計によっても測定が可能である。

2.2 測定条件の設定

試作した装置により紙の瞬間曲げ回復性を測定するにあたり、次の点に注意しなければならない。1) 薄い紙等のこわさのない試料を測定する場合、試料が重力によって横倒れ座屈（よじれ）しないこと。2) 曲げた

Fig. 2 Recovery mode of paper. (Top view)

時に試料が著しい永久変形を起こさないこと。

以上の点を考慮して初期に試料に与える曲率、試料幅および試料長を設定しなければならない。

本実験では、坪量 43~120 g/m²、厚さ 45~200 μm の市販の上質紙、中質紙、新聞用紙、クラフトライナー、コート紙等について検討した結果、以下のように測定条件を決定した。

試料に与える初期の曲率半径=4.20±0.05 cm

試料幅=5.00±0.50 cm

スパン長=13.5±0.5 cm

(したがって試料長はクランプのつかみ分長くなり約 14.5 cm となる。)

3. ライブリネスの定義

従来、織物の瞬間曲げ回復性を検討する際、「一定曲率からの回復速度」をライブリネスと規定している報告が多い。しかし、回復速度時間は他の物理量と直接比較できない。また「曲げ状態からの瞬間的を回復しやすさの尺度」というライブリネスの一般的な定義に合ってさえいれば、他の量で規定してもよいと考えられる。

一方、シート状弾性体の曲げこわさと瞬間曲げ回復時間の間には、回復過程で空気抵抗がなくシートが弾性領域にある場合、次の関係がある。

$$E \cdot I \propto K/t^2 \quad (1)$$

ただし、 E =曲げヤング率

I =断面二次モーメント

K =慣性モーメント

t =曲げ回復時間

(1)式は、回復過程における慣性モーメントが試料によって異ならなければ(すなわち、単位長さ当りの質量と回復形態が同じなら)、回復間時の2乗の逆数($1/t^2$)と曲げこわさ($E \cdot I$)が比例関係にあることを示している。逆にいえば、試料に初期に与えた条件(例え

Fig. 3 Relationship between $1/t^2$ and flexural rigidity. t is the recovery time.

Key : ○ = uncoated fine paper ; ▽ = wood-contained printing paper ; ▲ = fine paper of bond grades with mimeo and offsets ; △ = coated paper ; □ = newsprint ; ● = kraft liner.

ば曲げていた時間、初期曲率)により、試料が塑性変形を起こしたり、粘弾性的な挙動を示せば曲げ回復時間が長くなり、結果的に(1)式の関係から外れることが考えられる。このことは図3に示される。この図は種々の紙について、20°C、65% RHでの引張りヤング率(引張速度4 mm/min.)と水銀浮力法¹¹⁾により求めた厚さから計算した曲げこわさに対して $1/t^2$ がプロットしてあり、大勢において $1/t^2$ と曲げこわさとは対応していることがわかる。しかし、同じ曲げこわさで比較すると、上質紙やクラフトライナーよりも中質紙や新聞用紙の $1/t^2$ が低い。このことは、静的な曲げこわさが同じ試料でも、与えた条件によりシート構造の変化の度合が異なるためであると考えられ、 $1/t^2$ で比較することによってその変化の度合がある程度検討できることを示唆している。

以上述べたように、瞬間曲げ回復性を主に曲げこわ

さに対応させて考えるため、本報からの続報では「曲げ回復時間の2乗の逆数 ($1/t^2$)」をライブリネスの定義とする。

4. 結 論

試作した瞬間曲げ回復性測定装置により、比較的単純な条件のもとで種々のシートの曲げ回復時間 (t) を測定し、再現性があることを確認した。また、 $1/t^2$ を紙のライブリネスと定義した。要求される紙の性質によって、また本報告で考えているような変形様式と異なる場合には、これらの測定法や定義は必ずしも妥当でないことが予想される。しかし、そのような場合においても、例えば曲率や回復運動の方向を変えることによって検討が可能であると考えられる。

文 献

- 1) R. H. Hoffman and L. F. Beste : Textile Res. J., **21**, 66 (1951)
- 2) R. H. Brand : Textile Res. J., **34**, 791 (1964)
- 3) 小野木重治 : 繊維と工業, **5**, 286 (1972)
- 4) 田中道一 : 帝人タイムス, **41**, (4) 267
- 5) 篠原 昭 : 織消誌, **9**, 81 (1968)
- 6) 川股, 小池 : 織消学会 昭和 48 年年次大会研究発表要旨, p. 19 (1973)
- 7) 山内清一 : 帝人タイムス, **41**, (4) 286
- 8) 小林茂雄 : 博士論文, p. 81 (1973)
- 9) The staff of the Institute of Paper Chemistry, Paper Trade J., February **15**, 29 (1940)
- 10) 数森康二, 内藤 勉, 白田誠人, 門屋 卓 : 紙パ技協誌, **35**, (8), 703 (1981)
- 11) 木村 実, 小田正孝, 岩崎 裕, 門屋 卓 : 木材誌**25**, (2) 135 (1979)

(受理 57.10.9)