



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 抄紙工程に関する基礎的研究   |
| Author(s)        | 渡辺, 貞良; Watanabe, Sadayoshi; 林, 治助 他  |
| Citation         | 北海道大學工學部研究報告, 35, 231-257   |
| Issue Date       | 1964-06-30  |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/40732">https://hdl.handle.net/2115/40732</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 35_231-258.pdf  |



# 抄紙工程に関する基礎的研究

渡 辺 貞 良  
林 治 助  
庄 子 信 彦

## Fundamental Study For Paper-Making Process

Sadayoshi WATANABE  
Jisuke HAYASHI  
Nobuhiko SHOJI

### Abstract

We have derieved the X-ray methods for the determination of the fibre orientation in a sheet with respect to the sheet plane, that is defind by the compressibility, and the degree of fibre orientation in the direction of the machine, that is defined by the degree of orientation.

We have gathered the materials from each part at the process of remanufactured news paper, and looked for the compressibility and the degree of orientation. The high speed machine as well as the low speed machine, both increase abruptly the degree of orientation at the first press, and at the high speed machine, this value shows a considerable increase at the dryer and the calender. On the contrary, at the low speed machine the change of this value after the first press is small. The compressibility has a large value from the start and goes up gradually at the whole machine parts.

Stress-strain curves for the same samples are taken with the tensile tester mounted a dialgage.

Tensile strength and young's modulus, both increase at the press parts. Wet press makes fibers closer contact each other and may results to increas of hydrogenbonds betwssn fibre and fibre. The increase of their values at the second press is larger than at the first press. This change coresponds with the tendece of the increase of the compressibility at the first press and the second press.

At the dryer the tensile strength and the young's modulus, both increase most remarkably. It is for this reason that drawing force id this interval where construct of the fibre network structure take place prevents to form such fibre-fibre bonds as which are received concentrated stress and destroyed easily.

At the calender the tensile strength decrease but the young's modulus changes a little. When we consider that the degree of orientation increases at this part where the structure of paper has been constructed, we may conclude that few part of fibre-fibre bonds in fibre network structure are destroyed and a mechanical conditioning of the paper occurs in the direction of the tention.

## 目 次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. 序 言 .....                  | 2  |
| 2. 試 料 .....                  | 3  |
| 3. 抄紙工程における圧縮度並びに配列度の変化 ..... | 3  |
| 3.1 緒 言 .....                 | 3  |
| 3.2 理 論 .....                 | 3  |
| 3.3 実 験 方 法 .....             | 5  |
| 3.4 実験結果並びに考察 .....           | 6  |
| 4. 抄紙工程における歪一歪力曲線の変化 .....    | 12 |
| 4.1 緒 言 .....                 | 12 |
| 4.2 実 験 方 法 .....             | 13 |
| 4.3 実験結果並びに考察 .....           | 14 |
| 5. 抄紙工程における伸びの三成分の変化 .....    | 23 |
| 5.1 緒 言 .....                 | 23 |
| 5.2 実 験 方 法 .....             | 25 |
| 5.3 実験結果並びに考察 .....           | 25 |
| 6. 総 括 .....                  | 25 |
| 7. 文 献 .....                  | 27 |

## 1. 序 言

抄紙機で造られる紙はクーチロール、圧搾ロール、ドライヤー、カレンダー等の抄紙工程を高速で通過して行く間に紙葉が形成される。これら各工程が紙の物理的性質に如何なる影響を与えているかを知る事は、操業上の調整や紙の物性改善に重要な意義がある。従って古くから多くの研究がなされてきたが、これらはいずれも破断強度並びに破断伸びを測定する古典的方法によるものであり、粘弾性的研究は殆んどされていない。

又紙の中の繊維は抄紙工程中絶えず紙面に垂直な方向に圧縮を受け、次第に紙面に平行に配向しようとすると共に、抄紙方向に常に緊張を受ける為め、この方向に配列してくる。これらの効果が紙の物理的性質並びにその抄紙方向 (Machine Direction 以下 M. D. と表わす) と直角方向 (Cross Direction 以下 C. D. と表わす) との方向差に大きな影響を与えていると考えられる。しかし抄紙工程中に起る圧縮度や配列度の変化は未だ測定されていないのみならず、紙に関する圧縮度、配列度の測定法も確立されていない。

本研究では X 線的に圧縮度並びに配列度を測定する方法を考え、各抄紙工程で採取した試料について測定し、抄紙の各工程で紙がどの程度に圧縮と配列効果を受けるかを明らかにした。

又同時にこれらの試料について歪一歪力曲線を求め、更に各種荷重下における伸びを瞬間回復、おくれ回復、永久変形にわけて測定した。

これらの結果を総合考察する事により、各抄紙工程の紙葉形成におよぼす影響と意義を把握せんとした。

## 2. 試 料

試料は新聞用紙工場の抄紙機から採取した。抄紙機は高速と低速の2台を使い採取場所はFig.1に示すようにサクシオンクーチ、1番プレス、2番プレス、スモザー、ドライヤー並びにカレンダーの各工程出口である。

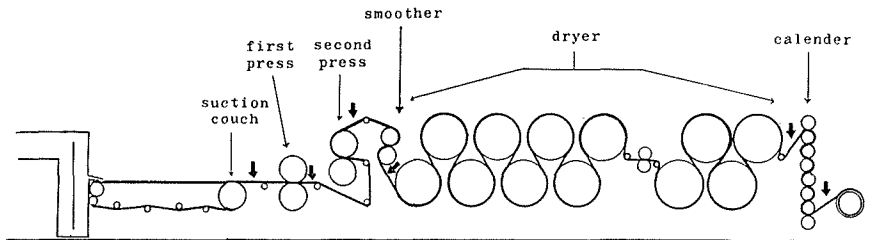


Fig. 1. Sampling places at the papermachine  
(Arrows show sampling places.)

Table 1. The operating condition of machine.

| Machine            | Machine speed<br>(feet/min) | Paper width<br>(inch) | Stuff  |        |         |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------|--------|---------|
|                    |                             |                       | GP (%) | SP (%) | SCP (%) |
| High speed machine | 1300                        | 142                   | 74.4   | 15.6   | 10.0    |
| Low speed machine  | 750                         | 100                   | 84.7   | 4.6    | 10.7    |

採取した試料を自由収縮の出来る状態で風乾し、X線並びに物性試験に供した。抄紙機の操業条件をTable 1に示す。

### 3. 抄紙工程に於ける圧縮度並びに配列度の変化

#### 3.1 緒 言

紙シート中の繊維の配列度測定はKlemm<sup>1)</sup>やDanielsen, Steenberg<sup>2)</sup>が紙の中に着色繊維をまぜて紙を抄き肉眼で観察する方法を用いているが、実験室的研究にしか用い得ない。しかも紙面のワイヤー側と反対側で繊維の配列に相当の差があり<sup>2),3)</sup>紙全体についての平均的配列は測定出来ない。Weed<sup>4)</sup>はラウエカメラ法でX線的に求めたが手数がかかりすぎて実用的でない。圧縮度に関しては従来全く研究がなかった(吾々の研究の一年後Aaltio, Hermans<sup>5)</sup>が吾々と似た方法でX線の測定法を発表している)。

吾々は新たに配列度、圧縮度のX線的測定法を確立し、各抄紙工程で得た紙シートについて測定した。測定法の理論並びに実験結果の一部は既に発表<sup>6)</sup>したが、物性と密接な関係があるので、あらたな結果を加えて以下に述べる。

#### 3.2 理 論

詳細については前報に報じたので概略を述べる。

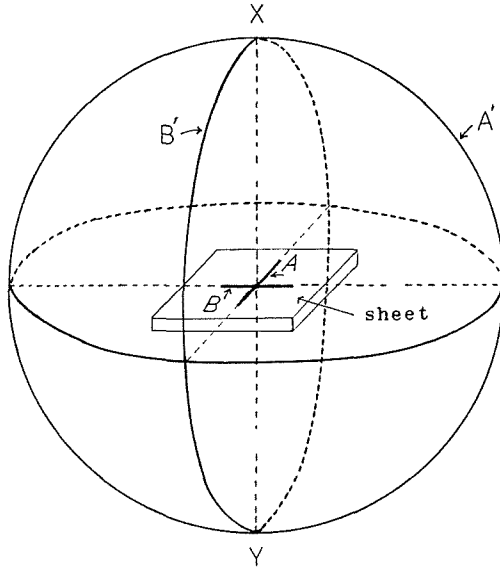


Fig. 2. Locus of perpendicular to (002) plane of simple fibre A or B in the sheet.

径を軸とする大円群によって示される。従って位置球上における垂線跡の極と赤道間の密度差は小さくなる。(Fig.3 B) 繊維が全く無配向でシートを形成しない場合は垂線跡も位置球上に均等に分布し極と赤道の密度差はなくなる。シートに平行に X 線を投射すると反射円は Fig. 3 中の円 R となる。従って反射円 R にそって強度分布を測定すれば繊維がシート面上に平行に並ぶ度合い即ち圧縮度を測定し得る。

理想的面配向の時の半幅  $B_0$  は次式で表わされる。

$$B_0 = 2 \cos^{-1} \frac{\sqrt{(1+3 \cos \theta_0)(1-\sin \theta_0)}}{(1+\sin \theta_0) \cos \theta_0} \quad (1)$$

$\theta_0$ : Bragg 角

赤道線干渉として (002) を用いて計算すると  $B_0=31^\circ$  となる。従って圧縮度は次式で与えられる。

$$\frac{180-B}{180-B_0} \times 100 = \frac{180-B}{149} \times 100 (\%) \quad (2)$$

B は実測された (002) 干渉の半幅

## b. 配 列 度

Fig. 2 で示した如く紙面上繊維の赤道干渉面の垂線跡は XY を通る大円群で表わされ、繊維が紙面上で配列がない時この大円は XY 軸の回りの全ての方向に均一に分布する。しかし配列があると大円は配列方向に垂直に集束してくる。従ってシート面に垂直に X 線を投射し反射円 R' 上の干渉強度分布を測定すれば配列の度合を知ることが出来る。この強度分布曲線

## a. 圧 縮 度

まず単純繊維のシートについて考える。

Fig. 2 の位置球の中央にシート内の全繊維を置いたとすると、繊維 A の繊維軸に平行なる結晶面 (たとえば (002)) の垂線が位置球上に描く軌跡は大円 A' であり、繊維 B のそれは B' である。繊維がシート面に完全に平行で且つ面上で無配向の場合、赤道干渉面の垂線跡は Fig. 3 A に示す如く XY を軸としこの回りに均一に分布した大円群によって表わされる。この場合密度は XY の両極で最も高く赤道で最も低くなる。次に繊維がシート面に完全に平行でなく傾き  $\psi$  を持つ面内に含まれるものがあるとすると、これらの赤道干渉面の垂線跡は XY 軸から  $\psi$  傾いた球の直径

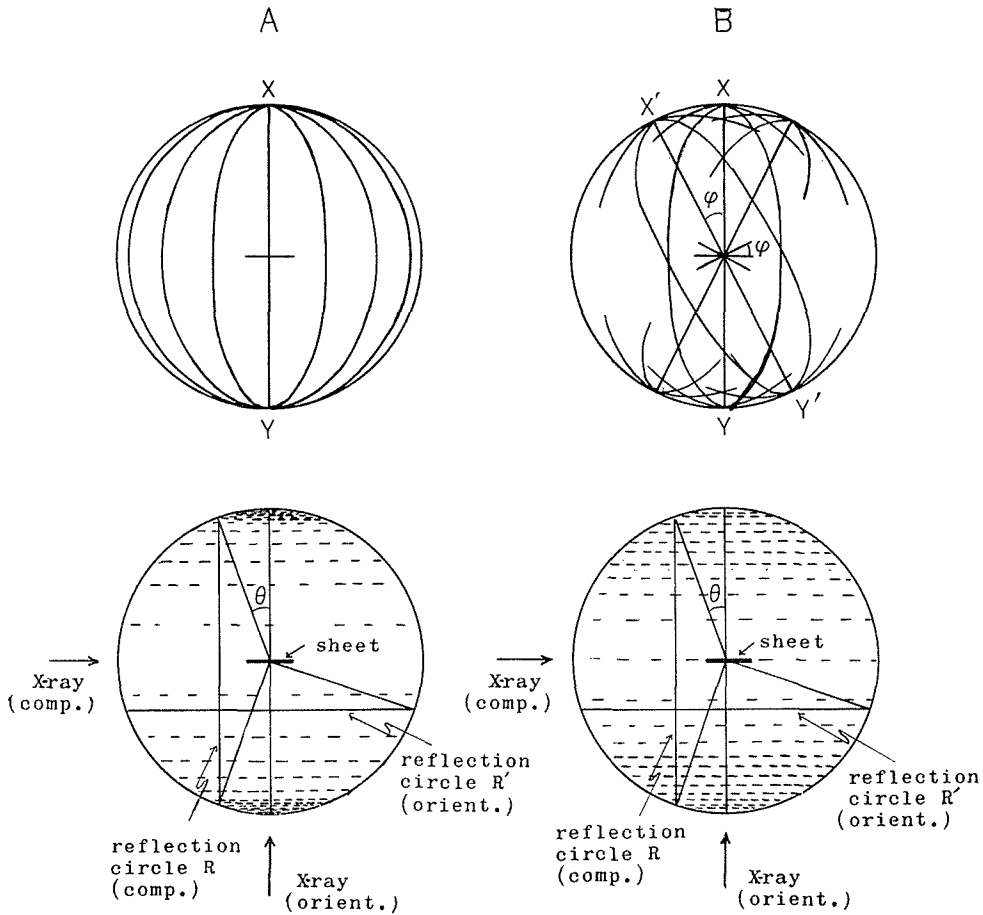


Fig. 3. Distribution of locus of perpendicular to (002) plane of fibres in the sheet, direction of incident X-ray and reflection circle.

A Ideal orientation of fibre with respect to the sheet plane.

B Case had distribution of fibre orientation.

comp.: The compressibility. orient.: The degree of orientation.

の半幅  $B'$  をとすれば

$$\frac{180 - B'}{180} \times 100 \quad (3)$$

をもって配列度を定義する。繊維がシート面上で完全に無配列ならば強度は均一で直線となり  $B' = 180^\circ$  で配向度が零となる。

螺旋角  $\psi$  を有する繊維シートの場合も理論的考察の結果、圧縮度は  $\theta_0 < \psi$  の範囲では (2) 式をそのまま使用出来る。又配列度も便宜的には (3) 式を用いることが実用的である。

### 3.3 実験方法

試料を次の様に成形して X 線回折に用いた。圧縮度測定用には  $1.5 \times 15$  mm の紙片を切りとり 6 mm の厚さにはり合わせた。又配列度測定用には  $10 \times 15$  mm の紙片を切りとり 6~7 枚

はり合わせ全体の重量が  $55 \pm 4$  mg になる様枚数を調節した。X 線回析は円筒カメラ法とガイガー自記記録法を用いた。

#### a. 円筒カメラ法

3.1 に述べた小円  $R$  並びに  $R'$  上の干渉強度分布の測定は赤道面干渉の Debye Sherrer 輪上の X 線干渉強度分布を測定することである。円筒カメラでは Debye Sherrer 輪は直線状となるのでこれをホトメーターして強度分布を求めた。圧縮度は、X 線をシート面に平行でかつ M. D に平行に投射し配列度はシート面に垂直に投射して得られる。又 X 線をシート面に平行にかつ M. D に垂直に投射すると、圧縮度と配列度が重畳して入る。これを圧縮・配列度と名づけ便宜的に (3) 式を用いて計算した。

#### b. ガイガー自記記録法

計数管を (002) の干渉の  $2\theta$  の位置に固定し、又試料を X 線投射方向を軸とし、これに垂直な面内で定速で回転せしめ (002) の Debye Sherrer 輪上の干渉強度分布を測定した。試料に対する X 線の投射方向は円筒カメラ法の場合と同様である。

#### X 線並びに記録条件

CuK $\alpha$ , Ni filter, 30 kV, 20 mA, Pin hole 1 mm $\phi$ , receiving slit 3 $\times$ 5 mm, time const. 8, count full scale 800 c/sec (圧縮度, 圧縮・配列度) 又は 400 c/sec (配列度)

### 3.4 実験結果並びに考察

各試料の円筒カメラ写真を Fig. 4~6 に示す。又参考の為め亜麻の円筒カメラ写真を示しセルロースの干渉名を記入した。これらの写真について (002) 干渉のホトメータ曲線をと、その半価幅から圧縮度, 配列度, 圧縮・配列度を求めた。この結果を Table 2 に示す。

ガイガー自記記録法によって得られた圧縮度, 配列度並びに圧縮・配列度測定用の (002) 干渉強度曲線をそれぞれ Fig. 7, 8, 9 に示す。又これから計算された圧縮度, 配列度並びに圧縮・配列度の結果を Fig. 10 に示した。

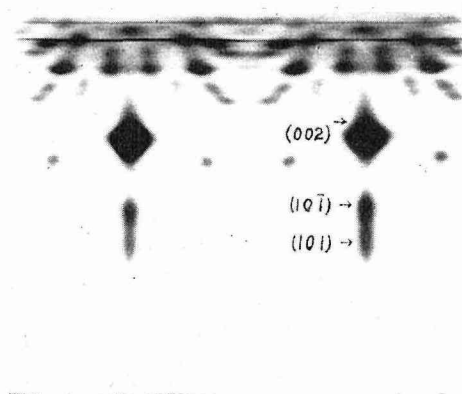
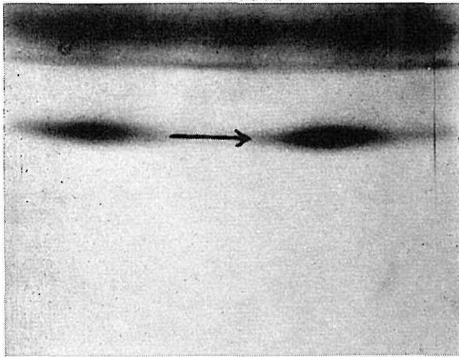
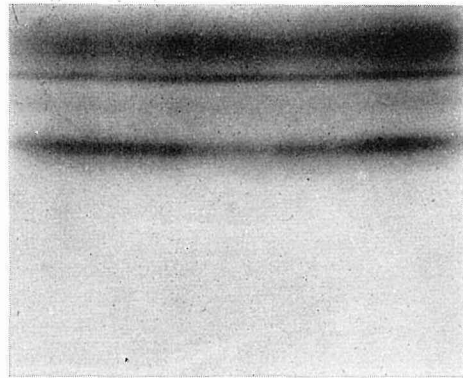


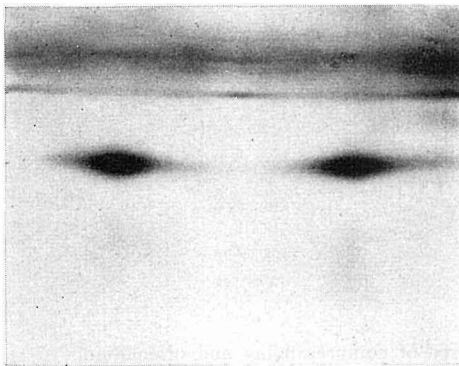
Fig. 4 A. X-ray photograph for ramie obtained with the cylindrical camera. Project X-ray vertically to the fibre axis.



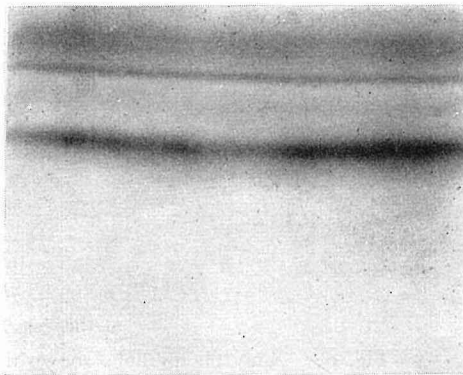
a) at the suction couch Arrow shows the direction of photometer trace.



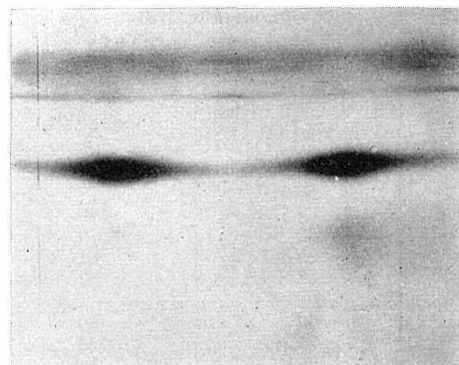
a) at the couch.



b) at the second press.

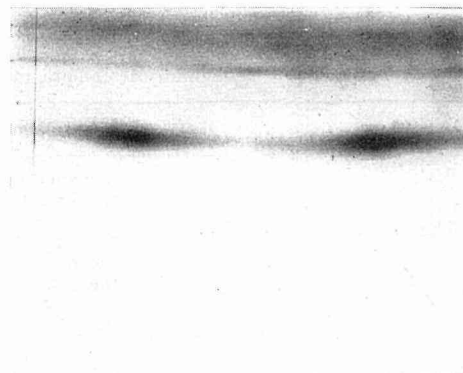


b) at the second press.



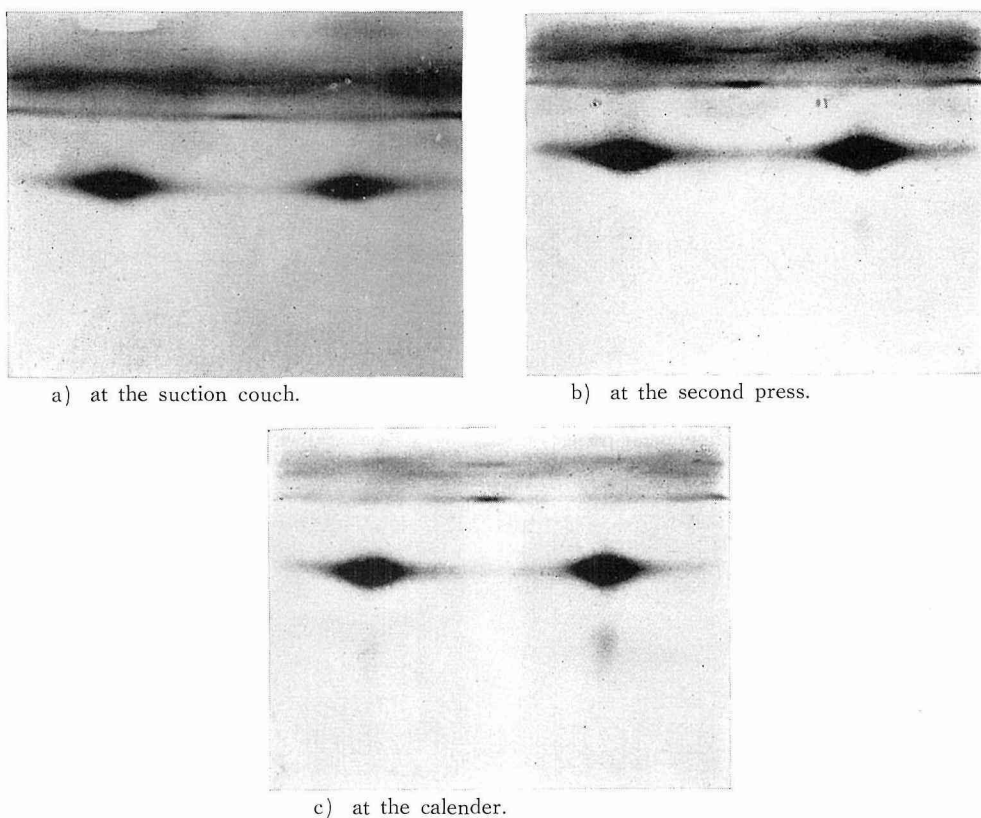
c) at the calender.

**Fig. 4 B.** X-ray photographs for samples taken at each part in the high speed machine obtained with cylindrical camera. They show the compressibility of samples. Project X-ray parallel to the sheet plane along the machine direction.



c) at the calender.

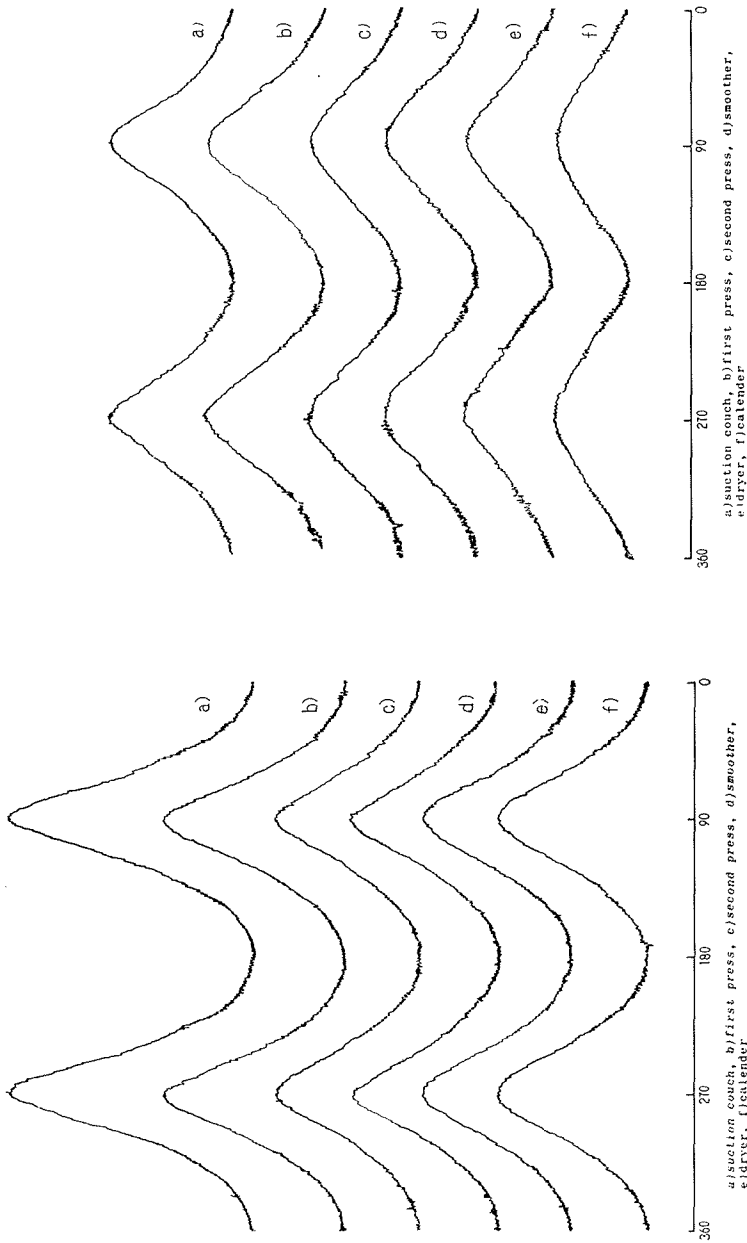
**Fig. 5.** X-ray photographs shown the degree of orientation, in the high speed machine. Project X-ray vertically to the sheet plane.



**Fig. 6.** X-ray photographs shown the degree of compressibility and orientation, in the high speed machine.  
Project X-ray parallel to the sheet plane along the cross direction.

**Table 2.** The compressibility, the degree of orientation, and the degree of compressibility and orientation through high speed machine (cylindrical camera method).

|   | Parts taken samples | The breadth at half maximum (°) | Value (%) |
|---|---------------------|---------------------------------|-----------|
| The compressibility                           | the suction couch   | 66                              | 76        |
|   | the first press     | 65.5                            | 77        |
|   | the second press    | 63.5                            | 79        |
|   | the smoother        | 62                              | 79        |
|   | the dryer           | 59.5                            | 81        |
|   | the calender        | 58                              | 82        |
| The degree of orientation                     | the suction couch   | 90                              | 50        |
|   | the first press     | 81                              | 55        |
|   | the second press    | 80                              | 56        |
|   | the smoother        | 88                              | 51        |
|   | the dryer           | 83                              | 54        |
|   | the calender        | 70                              | 61        |
| The degree of compressibility and orientation | the suction couch   | 55                              | 69        |
|   | the first press     | 54                              | 70        |
|   | the second press    | 53                              | 71        |
|   | the smoother        | 49                              | 73        |
|   | the dayer           | 41                              | 77        |
|   | the calender        | 36                              | 80        |



**Fig. 7.** Determination of the compressibility for samples taken at each part in the high speed machine by the geiger count method. Project X-ray parallel to the sheet plane along the machine direction and autorecode the intensity of diffraction along Debye-Scherrer ring with the interference (002).

**Fig. 8.** Determination of the degree of orientation, in the high speed machine. Project X-ray vertically to the sheet plane.

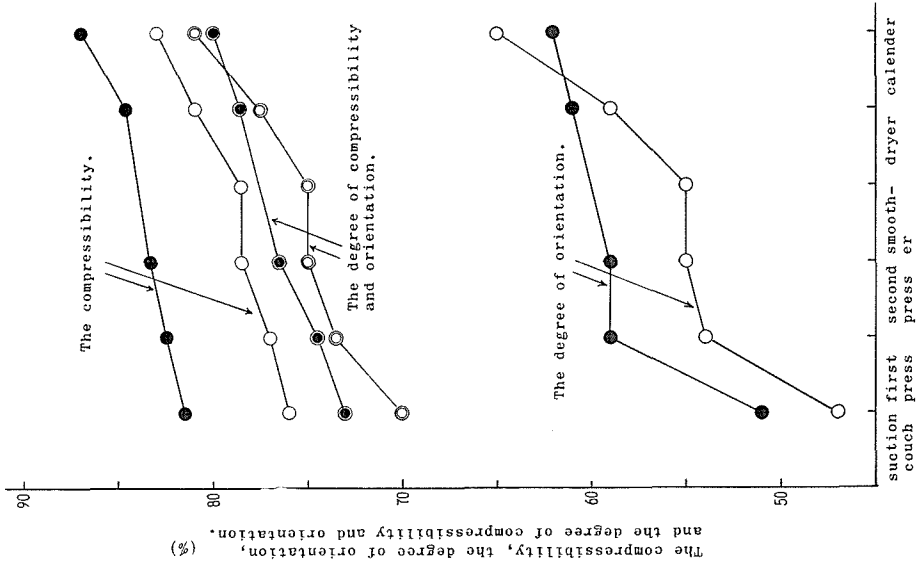


Fig. 10. The compressibility, the degree of orientation, and the degree of compressibility and orientation for sample taken at each part in the paper machine. (Geigercounter method)  
 ○ The high speed machine.  
 ● The low speed machine.

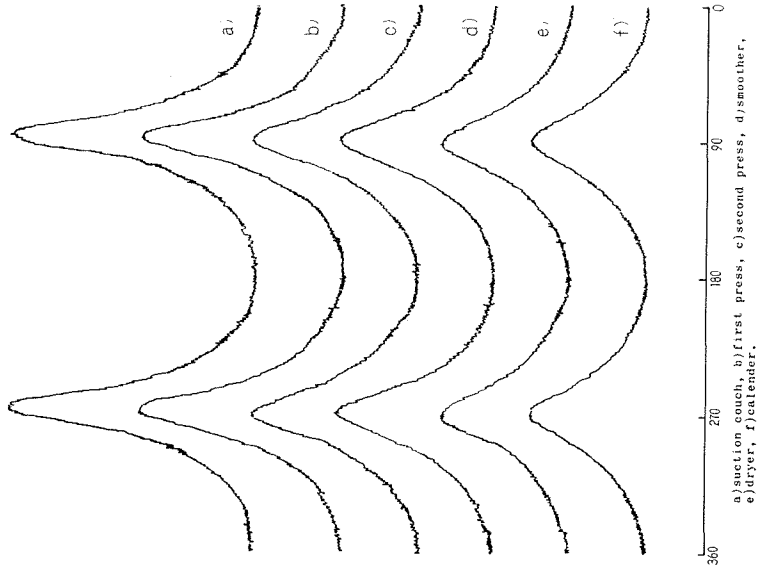


Fig. 9. Determination of the degree of compressibility and orientation, in the high speed machine. Project X-ray parallel to the sheet plane along the cross direction.

円筒カメラによる X 線写真によってサクシヨクーチ、プレス、カレンダーと順次赤道線干渉の左右の広がり量が少なくなり、シートが圧縮並びに配向して行く様子が直視的に見られる。(002)干渉の広がり量をホトメータによってトレースして得た圧縮度、配列度の結果をガイガー自記記録式の結果と比較すると、ほぼ同様な傾向を示す。写真法ではフィルムを完全に円筒状にセットしないと Debye Sherrer 輪は完全な直線とならず誤差の原因となる。その他技術的に困難な点も多く、ガイガー自記式の結果の方がより正確と思われるので以下これについて考察する。

配列度は両マシン共、サクシヨクーチに於いて既に 50% 前後に達しており、それ以後の抄紙過程における配行度の増加に比し大きな値を示す。即ち水中に懸濁していた繊維はシートワイヤー上で早い速度で動きながら水を切られる中に大部分の配行を遂げる。低速マシンの場合シェーキングを行なっているにもかかわらず、高速マシンより配行度が高い。これは、圧縮度においても低速の方が高い値をとる事から考えクーチ部にくる迄の時間が高速より長く、この為め繊維間の組織形成がより著しく起って圧縮度、配列度の向上を来たしたものであろう。又紙料が低速の場合短繊維の GP が多いので配向しやすい事も考えられる。特に注目されるのは低速マシンのサクシヨクーチを経たシートの圧縮度が、高速マシンの最終段階のカレンダーを経た試料のそれに近いことである。全抄紙工程でクーチ以後に起こる圧縮度の増加は、両マシンともに同程度でしかも 5~6% の僅かな値に過ぎない。従ってクーチにおける圧縮度が支配的に効いて来る。これに対して配向度は抄紙工程中でなおかなりの増加がある。特にこの変化の著しいのは第 1 プレスである。即ち低速マシンの場合、配列度は 51~59% に、高速マシンの場合 47.5~54% へと急激にその値を増加している。この変化は、この測定中最も著しいものであって、この原因は第 1 プレスが機構的に相当の緊張効果を有することと、紙シートが多量の水分を保有する為め、可塑性が大であり、シートが受ける最初の緊張効果である為め、M. D 方向に大きい延伸を受けるものと考えられる。この際、圧縮度の変化は比較的軽微である。すなわち第 1 プレスは主として配列効果に貢献することが明らかとなった。これに反し、第 2 プレスの作用はこれと全く逆であって、配列効果は極めて少なく、圧縮効果は第 1 プレスよりも大である。すなわち第 2 プレスの作用は第 1 プレスに比較すると極めておだやかなものでありかつその作用は圧縮効果にあるものと考えてよいと思う。高速マシンのみ次にスムーザーを用いるが、スムーザーの作用は圧縮・配列度に全く関係がないことが明らかとなった。ドライヤー中の配列度変化は低速マシンは 59.0~61.0%、高速マシンでは 55.0~59.0% と特に後者の場合に著しく、この為め、両試料の配列度の値は相対的に接近して来る。又ドライヤー中で圧縮度も相当大となって来る。ドライヤー中で水分の大部分は除去され、これに伴って紙シートの可塑性が減少してくるから、変形を生ずる為めの仕事量も大となることが考えられる。したがって配列度、圧縮度の変化に伴って実際に起こる紙の物性変化は著しいものがあり、この工程で紙の物性が決定される。これについては 4 に於いて述べる。

更にカレンダー効果について考えると、やはり高速マシンの配列度の著しい向上が目につく。これはマシンが高速になればなる程最終のカレンダーで相当の延伸が行なわれていることを意味するが、いずれにしても、配列度はこの処理によって一挙に59~65%に上昇し、ついに低速マシンによる紙シートの配列度を凌駕している。一方低速マシンの配列度の増加は僅かに1%にすぎない。圧縮度の増加は両マシンともに比較的大であるが、これはカレンダーの作用目的から考えて当然であろう。

紙シートはドライヤー中で一応完成せられ、それに伴って水分も著しく減少して可塑性が小さくなっている。それにもかかわらず、配列および圧縮度に相当の変化を生じていることから、カレンダー処理がいかに苛酷な処理であるか窺われるわけである。近時抄紙機械が次第に高速化の傾向にあるので、カレンダー中の延伸がますます著しくなることが予想される。一応完成された紙シートがこれらの conditioning によって著しい悪影響を蒙ることが考えられる。

#### 4. 抄紙工程における歪一歪力曲線の変化

##### 4.1 緒 言

抄紙工程における紙の物理的性質の変化については古くから多くの研究があるが、その殆んどは引張り強度に関するものであり、単に破断強度並びに破断伸度を測定しているに過ぎない。しかし紙は最後の破断以前にも構造の破壊が起っていると考えられ、その途中の過程に於ける挙動には重要な紙の特性が表われていると言ってもよい。特に抄紙における紙葉形成の様相を研究するには歪一歪力曲線を求め破断以前の挙動を注視する事が是非必要である。

近年紙の分野においても粘弾性的研究がようやく盛んになり、歪一歪力曲線を用いた研究も多いが、その多くは歪一歪力曲線から力学的模型を仮定し曲線を一般的数式で表わそうとする解析的研究である。これらの研究は、Steenberg, Ivarsson, Andersson, Reiner, Rance<sup>7)</sup>等によって大きな成果を収めている。しかし紙はそれ自身巨視的なものであり、解析の基礎となる歪一歪力曲線も巨視的挙動を表わすものなのにもかかわらず、得られた力学模型又は数式を実際の構造と結びつける様な努力は殆んどなされていない。この為め全抄紙工程の各部から試料をとって歪一歪力曲線を測定した研究はない。わずかに Ivarsson<sup>8)</sup>が乾燥過程について行なった研究があるのみである。

高速で抄紙される新聞紙の物性は興味ある研究対象であるが伸びが小さい為め正確な歪一歪力曲線を得る事は困難であった。我々は微少の伸びの変化を計測する事に成功したので、新聞紙についてその全抄紙工程に於ける歪一歪力曲線を求め、形成紙葉の物理的性質に及ぼす各部の影響を研究した。従来の研究の殆んどが一定の伸長速度下で歪一歪力曲線を求めているが我々は一定の荷重増加率の下でこの曲線を求めたのである。得られた結果を X 線の結果と対比させながら考察した。

## 4.2 実験方法

前述の各抄紙工程から採取して風乾した試料を長辺がマシン方向 (M. D) 又は直角方向 (C. D) に一致する様に  $10 \times 150$  mm の紙片を切り取り  $20^\circ\text{C}$  65% RH の恒温恒湿室内に 24 時間以上放置して調湿した。引張試験はテンサイルテスターを用い歪—歪力曲線を求めた。

試験紙片の幅は一般の試験では 15 mm が普通であるが、我々の試験では試験機の荷重能力が小さいので 10 mm とした。

試験機のスパンは 100 mm とした。これも一般の試験の場合より短い、これはクーチ、一番プレス等の湿紙部では高速で走る紙匹から均質な試料を採取することが困難であったので 100 mm 長を採用した。紙片長が短くなると、ヤング率はやや大となって伸度が減少するのが一般である。しかし 100 mm と 150 mm の長さの差では殆んど之等の測定値に差異は認められないことが予備の実験の結果確かめられた。又シート外縁部は紙内部と異なる物性を示す事が別の実験で明らかとなったので<sup>9)</sup>、引張試験に供する紙片は、クーチでは外縁から 15 cm 以内 35 cm 迄、クーチ以外では全て 20 cm 以内 40 cm 迄の範囲から切り取った。

試験機は島津スコット型グラフ式テンサイルテスター 2 型を用いた。これは荷重増加速度一定方式で、0.66 kg/分の速度で荷重を増加させた。尚この方式では紙片長が変わっても相対的伸び速度には変化がない。このテンサイルテスターは元来自記式であるが、繊維用であり、大体 10% 以上の高伸度の試料に用いるのが一般である。従って新聞紙の場合の様に伸度が 1~3% では自記させても結果が非常に不明瞭である。そこで試料の伸びによって起る試料押えの可動端の動きを正確に読み取れる様に試験機に Fig. 11 の様にダイヤルゲージを取り付け、紙の微小の伸びも十分読みとれる様にした。引張試験は荷重増加速度一定であるから引張を開始してからの時間が荷重に比例する。従って経過時間をストップウォッチで読み、各時間ごとの

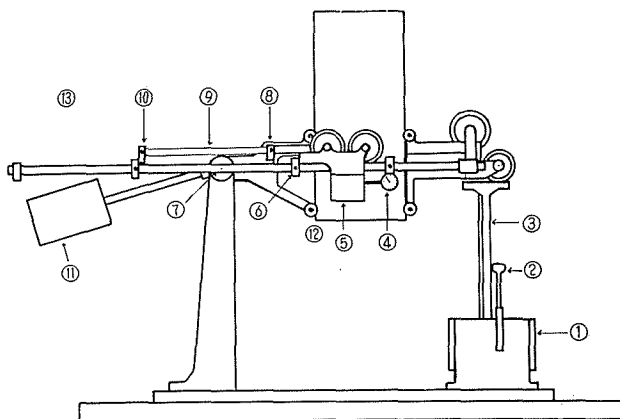


Fig. 11. Tensile tester mounted a dial gage.

- ① gear box ② operation handle ③ rod ④ dial gage ⑤ weight ⑥ carriage stop ⑦ fulcrum ⑧ cramp ⑨ sample ⑩ cramp ⑪ balance weight ⑫ carriage
- ⑬ carriage rod

紙の伸びをダイヤルゲージから読み取ることによって歪一歪力曲線を得たのである。

クーチ等初期の湿紙部からの試料採取は技術的に難しく一部軽いしわのある紙片も試験に用いたが、これらのしわによる伸びは最初の僅かな荷重で真直ぐに引き伸ばされるので、歪一歪力曲線を外挿することにより容易に補正された。

ダイヤルゲージのバネの伸長によって起こる逆荷重の増加はあらかじめ実験的に求めておいて、実際の歪力に補正した。

#### 4.3 実験結果及び考察

歪一歪力曲線は一つの試料について5~8回試験をくりかえした。之等の結果を Fig. 12~22 に図示した。曲

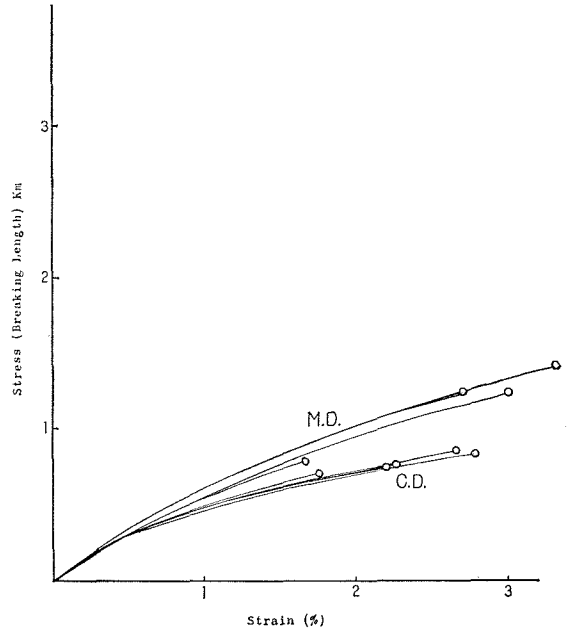


Fig. 12. Stress-strain curve for sample taken at the suction couch of the high speed machine.  
M. D. Machine direction  
C. D. Cross direction

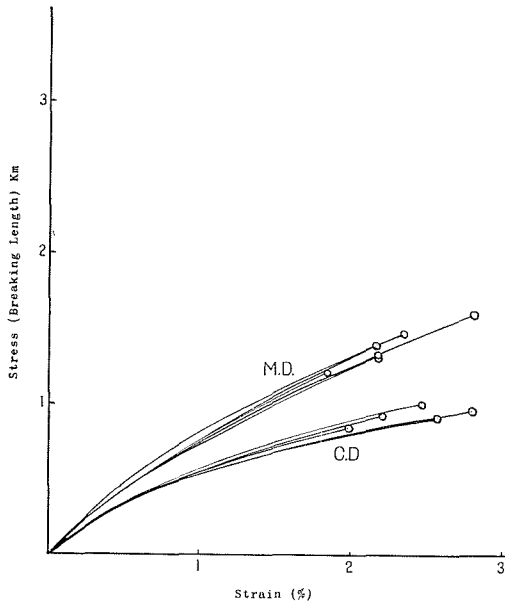


Fig. 13. Stress-strain curve, at the first press of the high speed machine.

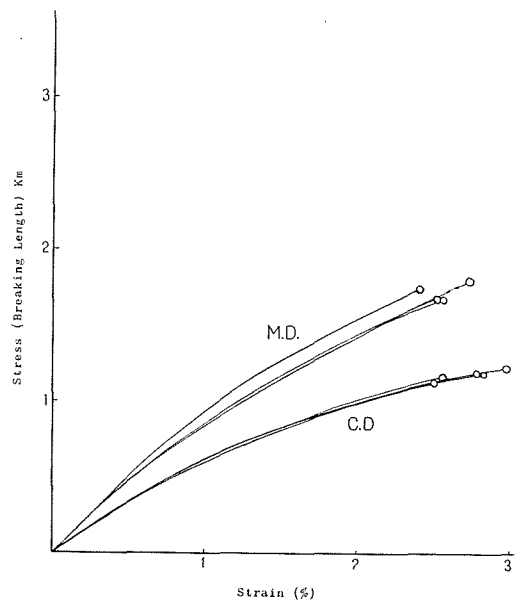


Fig. 14. Stress-strain curve, at the second press of the high speed machine.

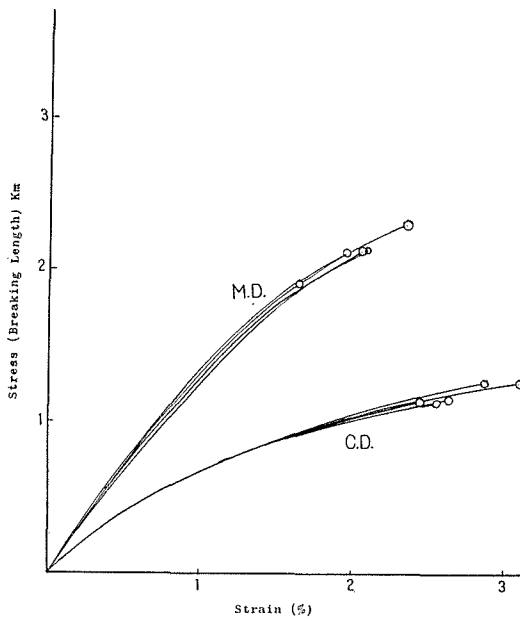


Fig. 15. Stress-strain curve, at the smoother of the high speed machine.

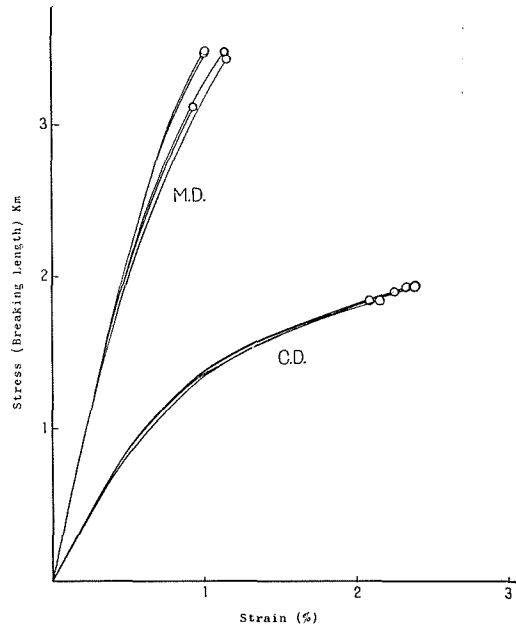


Fig. 16. Stress-strain curve, at the dryer of the high speed machine.

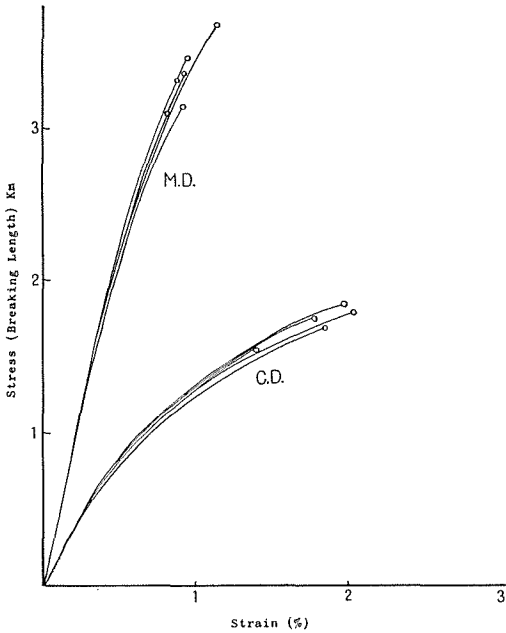


Fig. 17. Stress-strain curve, at the calender of the high speed machine.

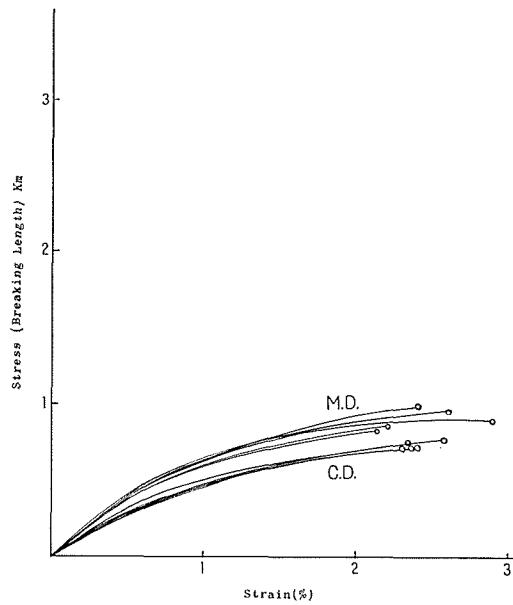


Fig. 18. Stress-strain curve, at the suction couch of the low speed machine.

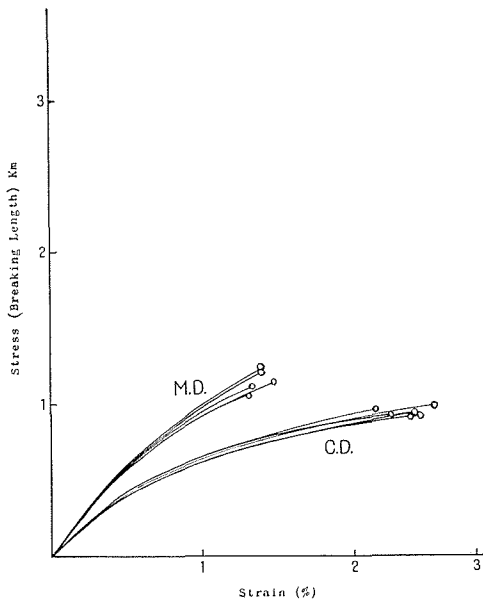


Fig. 19. Stress-strain curve, at the first press of the low speed machine.

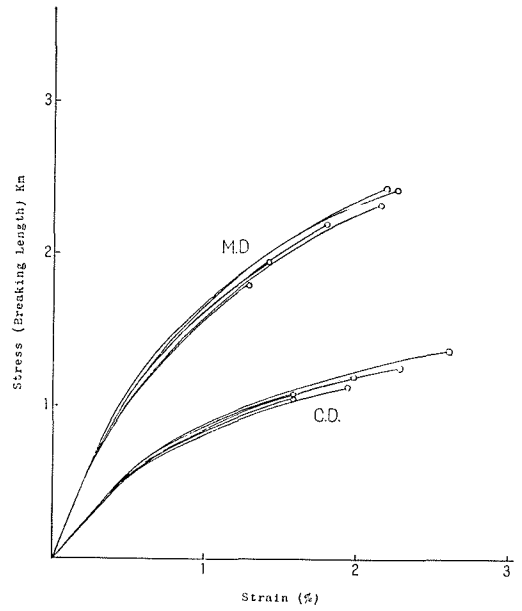


Fig. 20. Stress-strain curve, at the second press of the low speed machine.

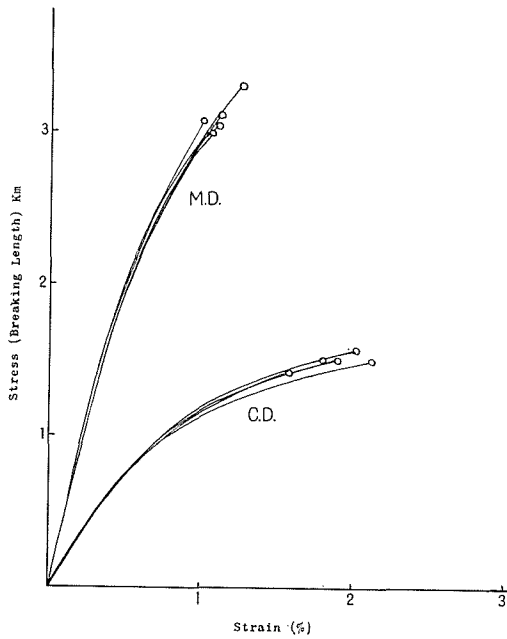


Fig. 21. Stress-strain curve, at the dryer of the low speed machine.

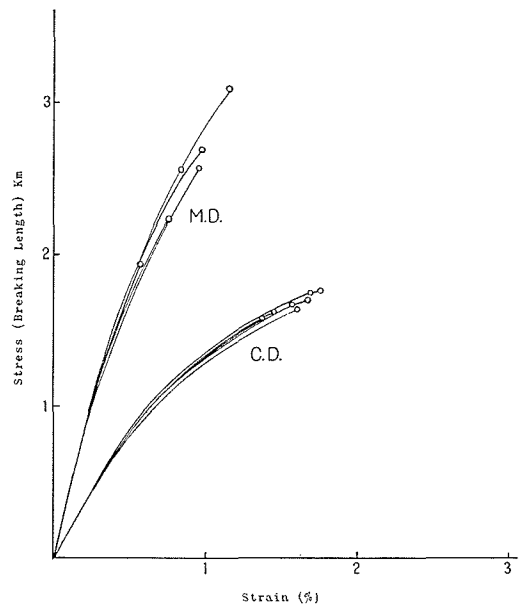


Fig. 22. Stress-strain curve, at the calender of the low speed machine.

線は各試料の比重から断裂長に換算したものである。再現性はかなり良好で、特に弾性部分に於いて殆んど一致する事は注目すべき事である。従って破断強度はかなりのばらつきを示すにもかかわらず、これら破断点是一本の代表的歪一歪力曲線上に分布する形となる。この事実は破断は各試験紙片に含まれる偶然的弱点によるもので、歪一歪力曲線の起因となる紙の構造は履歴が同じものについては想像以上に同一である事がわかる。

一般にカレンダー後の試料のマシン方向 M. D ではカレンダー以前にくらべて破断強度のばらつきが多い。これはドライヤーで紙葉の形成が完了したものをカレンダーで引張る事により局部的に応力の集中をもたらして弱点を不均一に生ぜしめた為めと思われる。

このカレンダーにおいて紙構造の破壊が起こっていることは吾々の得た他の実験事実からも明らかである。例えば、前述のカレンダーにおける配列度の増加、又弾性限界の低下、可塑変形の減少、引張強度の低下等である。

Andersson<sup>10)</sup>等は同一の紙で短紙片の方が長紙片より破断強度が高い事を見出し、これを弱点存在の確率から説明した。吾々の得た実験結果も又弱点説を支持するものである。

歪一歪力曲線の再現性は紙葉の形成の進んだドライヤー出口以後に於いてより良好である。我々は後に詳述する様に歪一歪力曲線を決定するのは、主として巨視的な繊維による網目構造と考えているが、この網目構造はドライヤーに於いて網目が十分固着完成される為め、完成後の歪一歪力曲線は再現性が増加するものと考えられる。

高速マシンのマシン各部に於ける引張強度変化を Fig. 23 に示した。強度は通常用いられる二つの方法、即ち断裂長と単位面積当りの破断荷重で表わした。これら二つはほぼ同じ傾向を示すが、紙は抄紙中加圧されて比重が増加するので面積当りの重量が一定でも単位断面積当りの繊維量は多くなり、断面積当りの破断荷重で比較するのは不公平で適当でない。この事は著しく比重の増加するカレンダー処理前後の強度変化で特に明瞭である。カレンダー処理によって紙構造の破壊が起こっている事は明らかであり、断裂長は減少するが、断面積当りの破断荷重ではかえってかなりの増加を示す。従って以後の考察は断裂長について述べる。

サクショクーチの後では既に明らかな強度方向性を示す。

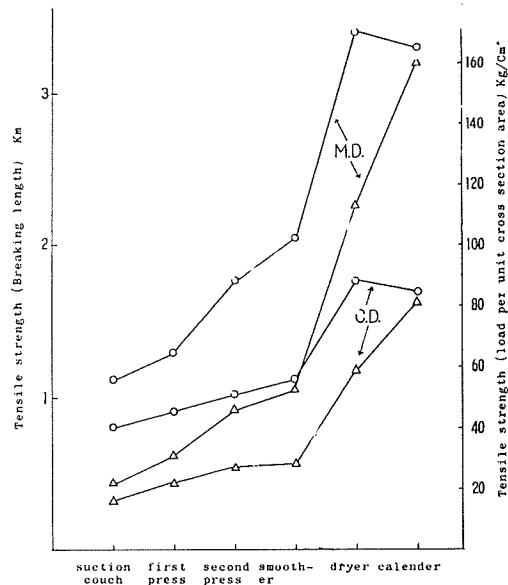


Fig. 23. Change of tensile strength through the high speed machine.

○ Breaking length

△ Load per unit cross section area

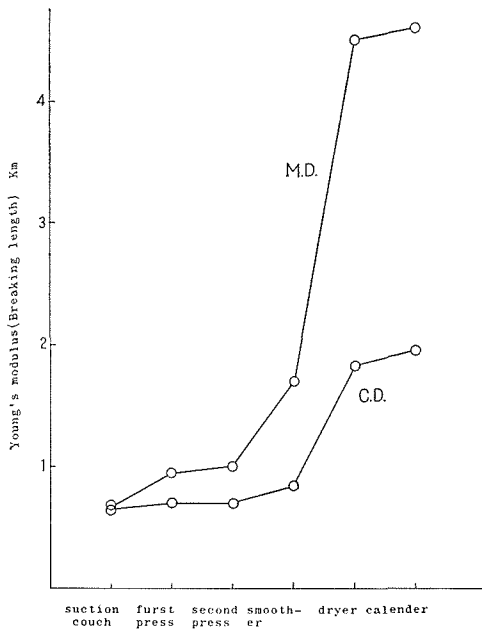


Fig. 24. Change of young's modulus through the high speed machine.

スモザーでも同じ様な効果が認められるが、強度増加はあまり大きくはない。強度増加に及ぼす圧縮の効果は、Moerch<sup>14)</sup>、Donghty<sup>15)</sup>等多くの研究がありいずれも圧縮により引張強度、耐折度が上昇する事を報告しているが、シートマシンのプレスは圧縮と共に引張りが入ってくるので此等の点についてはX線の結果を照合してヤング率等と共に後で考察する。

強度はドライヤー後に於いて急増し断裂長は最高に達する。紙はこのドライヤーで完成され、その後のカレンダーでは紙は完成後の激しい圧縮、引張りで弱点を生じ強度は低下する。

サクシオンクーチ並びに第1プレスにおいてM.D.に対するC.D.の強度比は夫々71, 70%である。第2プレス、スモザーによってこの強度比は急激に増大し夫々58%, 47%となるが、ドライヤーでは51%となる。

低速マシンの各工程に於ける引張強度変化をFig. 25に示した。傾向は高速マシン(I)と殆んど同じである。低速マシンの場合はスモザーは使われていない。プレスによる強度増加は高速マシンの場合同様2番プレスに於いて著しく、更にドライヤーを通る事に

Baudisch<sup>11)</sup>、Schumann<sup>12)</sup>は長網上に於いてもM.D.の強度の方がC.D.より大であると報告しているが、Dahlheim<sup>13)</sup>は逆にC.D.の方が10%位大きいと述べている。これらは長网上的の採取位置、シェーキの方法、紙料等によって一概に云えない事である。本試料の場合クーチ前では試料を採取出来なかったが長網上からの観察で繊維が長網上半ばでM.D.に配向する事が認められた。しかし繊維の配向は必ずしも強度の異方向性を意味しない様である。

クーチ後の二段のプレスにより強度はM.D, C.D.共に大きくなるが、その効果は1番より2番の方が大きい。又強度の増加率はいずれもM.D.の方が大きく両者の差は更に増加する。

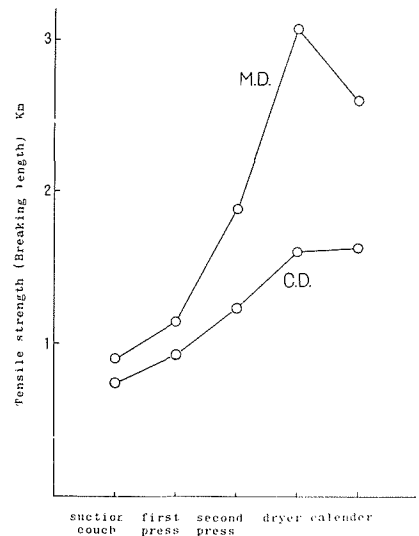


Fig. 25. Change of tensile strength through the low speed machine.

より大幅に増加する。又カレンダーでは M. D に於いてかなりの強度低下が見られる。M. D, C. D の強度比は第 2 プレス, ドライヤーで急増する。

高速マシンのヤング率変化を Fig. 24 に示した。ヤング率は従来殆んど断面積当りの力で表わされているが, この表わし方も強度と同じく比重の異なる試料間の比較は不公平である。裂断長で表わした歪一歪力曲線の直線部を伸度 1% 迄外挿して得た裂断長の値で比較するのが適当と思われる。この裂断長で比較するとサクショクーチより 1 番プレスを通る事により M. D はやや増加するが, C. D では殆んど変化がない。2 番プレスでは M. D, C. D 共に殆んど変化なく, スムーザーでは M. D にかなりの増加がみられ, C. D でも僅かながら増加する。これがドライヤーを通る間に両方共急激に増加するが M. D に於いて特に顕著である。カレンダー処理では両方共僅かな増加を示す。

低速マシンのヤング率変化を Fig. 26 に示した。高速マシンと全く同様な傾向であるが, 2 番プレスにおいてかなりのヤング率増加があり, その程度は高速マシンにおける第 2 プレスにスムーザーを合せた程である。この事は引張強度の増加の時も見られ, 低速マシンの第 2 プレスにおける変化は特に大きい。

このほかマシン各工程に於けるヤング率増加と引張強度増加の傾向がよく一致している事実等から, ヤング率と引張強度間の強い相関関係が考えられるが, これについては後述する。

これらの結果を前に述べた配列及び圧縮度の結果と比較して考察したい。しかしシートマシンの各工程では配列圧縮の効果が両者同時に入ってくる事, 及び紙料の配合その他色々工場現場での条件の複雑さの為に, マシン各部に於ける配列, 圧縮効果が紙の物性に如何なる効果を与えるかについて詳細な考察はなし得ない。厳密な検討をなす為には個々のモデルケースについて実験を行なう必要がある。

試料はマシンの各部で採取した後無緊張で風乾したので, 乾燥過程でかなりの収縮が起る。この際, 紙の配列, 圧縮度が低下する事が当然考えられる。従って湿状態のまま測定する事が望ましいが, 湿状態で X 線試料を作る事の困難と, 試料採取場所と研究室の距離的關係から風乾して試験した。風乾による配列, 圧縮度の低下はごく概略的には紙の収縮度に比例すると考えられる。Brecht, Pothmann<sup>19)</sup> は乾燥時の張力が紙の挙動に及ぼす影響について研究した。そのデータによれば最初湿紙に異なった種々の張力をかけて乾燥した場合でも絶乾分 50% 以下でそれ迄の張力を除いたり, 一定張力に変えた場合乾燥による収縮は一定である。本

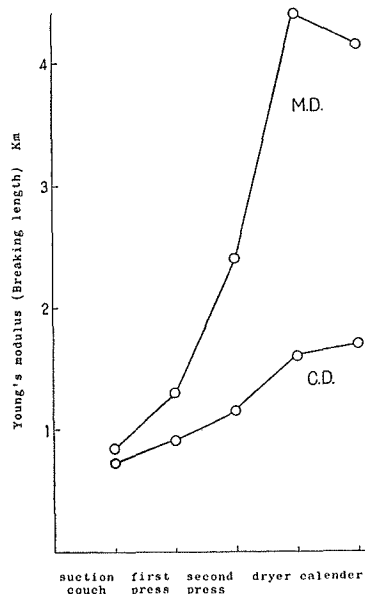


Fig. 26. Change of young's modulus through the low speed machine.

実験でもドライヤー入口以前の試料について之の事を確かめた。従って絶乾分 50% 以下のドライヤー入口以前の試料については風乾時の収縮の影響は大體同じと考える事が出来るので各試料間の配列、圧縮、物性の差は各工程で受けた影響と考えてよい。我々はクラフト紙につきシートマシン各部での配列度変化を、試料採取後自由収縮を許して風乾したものと、収縮を防いで風乾したものの2種類について実験した。この結果絶対値では自由収縮乾燥の方がいずれも小さな値を示したが、マシン各部間の配列度変化の度合はドライヤー以前では湿紙並びに乾紙の間で一致した。この事からも上記の考え方に大過はないと思う。

但しドライヤー出口では紙は乾燥完成されており試料採取後の風乾時収縮はないから、ドライヤーの入口と出口の試料間には風乾による収縮の影響がそのまま入って来る。

クーチに於いて既に物性の方向性が現われているが、これはクーチではもうかなりの配列を示している為めである。しかし繊維の配向の著しいのに比較するならば物性の方向性は少ない。

繊維が一定方向に配列を示すとその方向の引張強度が増加する事については古くから数多くの研究があるが、Steenberg<sup>2)</sup>、Dahlheim<sup>17)</sup>等も主張した様に強度方向性の主因は繊維の配列そのものよりもむしろ乾燥過程の張力にあると思われる。しかしだからといって繊維の配向の意義は彼のいう様な小さなものではなく、乾燥時の繊維の配列も又重要と思われる。

1番プレスで高、低速マシン共に配列度が著しく向上するが、これはワイヤーを離れた紙葉に初めてロール駆け抜けの際の張力がかかり、且つ未だ水分を多量に保持して繊維間に殆んど結合能がない為め容易に繊維が配向したものであろう。この際もヤング率、強度共その増加は比較的僅かであり、又これらの方向性も殆んど大きくなっていない。繊維が配列しているだけでは物性の異方向性は少なく、乾燥時の張力が働く事により初めて配列の効果が現われる。

2番プレスでは配列効果は殆んどないが、かなりの圧縮効果を与えている。この間強度ヤング率共に増加するが、強度の増加が特に大きい。湿プレスによって繊維は互いに密着せしめられ、フィブリル化とフィブリ同志のからみ合いが促進せしめられよう。この為め繊維間の結合面積、結合強度(単位結合面積当りの)増大となり強度の増加をもたらす。(尚 Ingmanson, Thode 等<sup>18)</sup>によれば湿プレスによって一定結合面積当りの結合強度は変化ないとしているが異論も多く<sup>19)</sup>、結合面積の測定法の差によると思われる)。

湿プレスによる結合面積の増加は又ヤング率の増加ともなるが、ヤング率は後述する如く緊張下に乾燥固着した網目構造の繊維の配列度にも強く影響されると考えられる。

低速マシンは高速マシンよりも圧縮度が全体として高い値を示すが、これは低速の故に圧を受ける有効時間が長い為めであろう。従って強度、ヤング率の増加は低速の方が大きい。

スムーザーは高速マシンだけで使われている。その物理的力はプレスと似たものと考えられるが、X線で求めた圧縮、配列度には変化がなく、又見掛比重にも変化がない。それにもかかわらず強度、ヤング率共にかなりの増加がある。この原因はよく判らないがスムーザーに於

いても湿プレス効果が紙に与えられたと考えられる。ただ3番目のプレスなので繊維間の結合強化には寄与しても弾性的に回復し、紙厚、圧縮度等に見掛け上変化を与えなかったと考えられる。

ドライヤー部にて配列、圧縮共著しく増加するが、この間にヤング率、強度も又急増し紙葉の形成が完成される。完成紙の強度、ヤング率はこのドライヤーの部分で最も大きな影響を受ける事が明らかである。

乾燥過程で先ず附着の自由水の蒸発が起り、次いで毛細管水の蒸発が始まるとその表面張力によってフィブリル間の密着を強くし、繊維外層部のフィブリルは隣接繊維のフィブリルとからみ合い、ひきつけ合って収縮を起こすであろう。そして水酸基を水和している水が除かれる時フィブリル間に多くの水素結合を生じ繊維間結合が出来上がる。又この時 Campbell<sup>20)</sup>の言う“繊維内収縮、”が生じ大きな収縮を起こす。乾燥時に張力が働くと収縮が妨げられ収縮力が紙中に蓄えられる。Rance<sup>21)</sup>によればこの時期は絶乾分 60% 附近からであり、Ivarsson<sup>22)</sup>も又絶乾分 60% 以上から破断迄の仕事/伸びの急増があると報告している。

自由収縮を許して風乾したドライヤー前の試料とドライヤー後の試料間の著しいヤング率、強度の増加、伸びの減少の理由は明らかに乾燥時の張力によるがこれについて考察する。

紙は互いに繊維が接着し合って網目構造を作っており、その組織は非常に粗いものである。従って紙の破断は繊維自身の破断の前に網目構造の破壊が起こる可能性が大きい。Graham<sup>23)</sup>は引張試験に於ける破断帯に於いて相当多数の繊維が切断されている事を報告し、繊維強度に対する注意を促しているが、これは破断帯附近の繊維間結合の破壊が著しい応力集中を繊維に与えた為め繊維強度の影響は比較的小さいと思われる。しかしこれは構成繊維の紙力に対する影響が少ないという意味ではない。構成繊維の繊維長や表面状態によって網目構造の繊維間結合強度は大きく影響されるからである。紙の構成繊維が一定の場合、強度を決定するものは主として網目構造の強度にある様に思われ、これは又繊維間の結合面積と結合強度によって支配される。

繊維間の結合は Emerton<sup>24)</sup>、Asunmaa<sup>25)</sup> の電子顕微鏡又は顕微鏡観察でわかる様にからみ合ったマイクロフィブリル間に、或いは繊維表面のセルローズラメラの一端が剝離し隣接組織にからみ、水素結合を作って膠着している。繊維の配列はしばしば水素結合の配列と直ちに結びつけられ、物性の異方向性の原因とされて来た。しかし紙力に特に有効な水素結合はあく迄も繊維間の結合部即ち網目に於いて起こるもので、繊維の配列度は必ずしも水素結合の配列度を意味しない。かなりの程度に繊維が配列していたとしても自由収縮下に乾燥させて水素結合を生ぜしめた場合は水素結合の配列はあまり大きくないと思われる。この為めドライヤー以前の試料が既に 45% を越える相当大きな配列度を示しながら、ヤング率の異方向性が小さいであろう。

水素結合の配列の為めには先に述べた様に、水素結合が生じ始める絶乾分 60% 以上の乾

燥過程に於いて一定方向に張力が加わる事が必要である。そしてこの時に繊維の配列が水素結合の配列に強く効いてくるものと思われる。

これは人造繊維の紡糸に於いて、凝固が始まる或る時期に緊張をかける事によって結晶の配列を促し強い繊維を得るのと類似している。

湿紙を張力下に乾燥させる場合、張力は水素結合によって紙中に凍結される。即ち張力の方向に水素結合の配列が起こり、この方向の引張りに対して高い抗張力と高いヤング率を示す様になる。又ヤング率の異方向性も著しく増大する。

紙のヤング率を定める要素として考えられる一つは構成繊維自身のヤング率であり、一つは網目構造の繊維間結合部における水素結合の原子間隔の増大である。紙のヤング率のオーダーより考え、主として後者によって支配される事が明らかである<sup>26)</sup>。従って水素結合の配列があれば高いヤング率を与える。

物性の異方向性を水素結合の配列によって説明する考えは、先に述べた如く既に2, 3の人々により発表されたところであるが、我々の得た本実験並びに他の実験結果は水素結合の配列という事だけでは到底説明しきれない。もっと巨視的な網目構造の状態に帰するのが自然と思われる。

高速マシンではドライヤーにおける繊維の配列効果がプレス部に比し著しいがヤング率の増加もプレス部より著しく、ドライヤーにおける配列効果の相対的に小さい低速マシンではヤング率の増加も相対的に小さい。又高速マシンと低速マシンとの比較においても、繊維の配列効果が高い高速マシンではヤング率の増加も高い。ドライヤー以前では低速の方が高速より繊維配列度が高いがヤング率でも高速より低速の方が高い。この様に繊維配列度とヤング率の間には密接な相関関係がみられる。

網目結合部における原子間隔の弾性変化は、実際は網目の形の変形として現われてくるから繊維の配列度によって示される網目構造の状態で紙のヤング率は異なる。配列が進む程繊維間結合点における水素結合が一定の弾性変形をした時網目の変形(引張方向に網目の空間が細長くなる)による伸びが相対的に小さくなることは明らかで、この影響は相当大きいと思われる。即ちヤング率は紙の網目構造における繊維結合点の水素結合の弾性伸長と、このために起こる網目の変形による伸びの二つからなると考えられる。従ってクーチ後の試料の様に繊維間結合の不完全なところでは僅かな荷重で弾性限界を越え、繊維の配行の影響がヤング率に入っていない。このため M. D, C. D の差も少なく、その値も小さい。又強度は弱く、破断伸度は大となる。プレス部における圧縮により繊維間結合は増強される。この繊維間の水素結合の増加によってヤング率並びに引張強度は増加し、又ヤング率に繊維配行の影響が現われ、M. D, C. D の差が増加する。

ドライヤーにおける乾燥時の張力が繊維間の結合点における水素結合を配行させ、又乾燥の時の収縮を防ぎ網目構造を引き伸ばした形で固着させる。従って M. D では結合点における弾

性のヤング率が高くなり、且つ繊維の配行度も高くなっているため、M. D のヤング率は急増し、M. D, C. D の比も大となる。

相対的に水素結合の減少する C. D にもかなりのヤング率増加がある事については、水素結合生成期の圧縮がその絶対量を増した事も考えられるが、むしろドライヤーにおける張力は M. D ばかりでなく C. D にも働きこの方向にも網目構造の引伸しがあつたため、又 C. D 方向への有効水素結合量に減少がなかつたためと解される。

ドライヤーにおける引張強度も両方向共に高くなる。乾燥時の M. D を最高とする各方向の張力はその方向への相応荷重によって容易に破壊される様な繊維間結合点の生成を妨げる。又乾燥時の張力は既に配行している網目構造の各繊維間結合点(網目)に対し等方的な力を与えているのではなく、各々最大の力がかかる方向があると考えられる。従つてこれらの結合点における水素結合もその方向に配列するであろう。この様にして形成された紙は自由収縮下に乾燥された紙より M. D に対する水素結合、繊維配列を増大させながらも、C. D において能率的な繊維網目構造と水素結合の配列をもつため C. D の引張強度は増大する。

カレンダー処理では既にドライヤーで完成した紙を強い張力と圧搾をかけるので紙の網目構造の破壊が起こる。カレンダー処理で既に固着している繊維の配列度が増加している事は、明らかに網目の結合部が切れ、可動的になり、繊維が引張り方向に向きを変えた事になる。

この繊維間結合の破壊は引張強度を低下させ、又弱点を紙葉の各所に作ることで強度のバラツキが多くなる。従つて必要以上の張力は避けるべきである。カレンダーにおける水素結合の減少はヤング率を低下させる様に作用するが、一方配列の増加はヤング率を増加させる様に働くのでこれらの相関関係でヤング率は減少したり増加したりするのであろう。

高速マシンの様に引張力が強く大きな配列度増加がある場合は、ヤング率はむしろ増加し、低速マシンの様に配列度増加の少ないものはヤング率は減少する。この事からも繊維の配列がヤング率に大きな影響を与える事がわかる。

## 5. 抄紙工程における伸びの三成分の変化

### 5.1 緒言

伸びの三成分即ち瞬間回復、おくれ回復及び永久変形を各荷重において測定することは物性を粘弾性的に研究する為の基礎的試験であるが、従来紙についてのこの種の研究は少なく Ivarsson<sup>7)</sup> 等の研究が主なものである。抄紙工程についての研究は本研究が初めてである。各抄紙工程で得た試料について伸びの三成分を測定し、既に述べた圧縮、配列度の結果並びに歪一歪力曲線からの結果と合せて考察し、各抄紙工程が紙葉形成に与える影響を把握するのみならず紙の物性と構造との関係を明らかにせんとした。しかし本稿の枚数に限りがあるので詳細は別報とし、ここには前記 2, 3 での考察を支持する為の最小限の結果のみに止める。

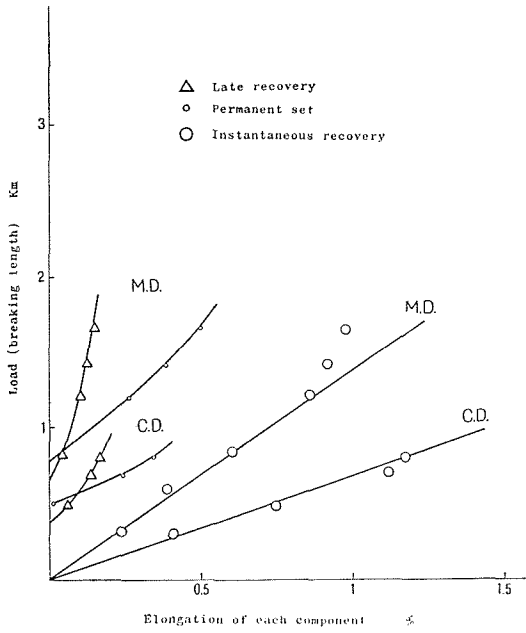


Fig. 27. Three components of elongation, at the first press of the high speed machine.

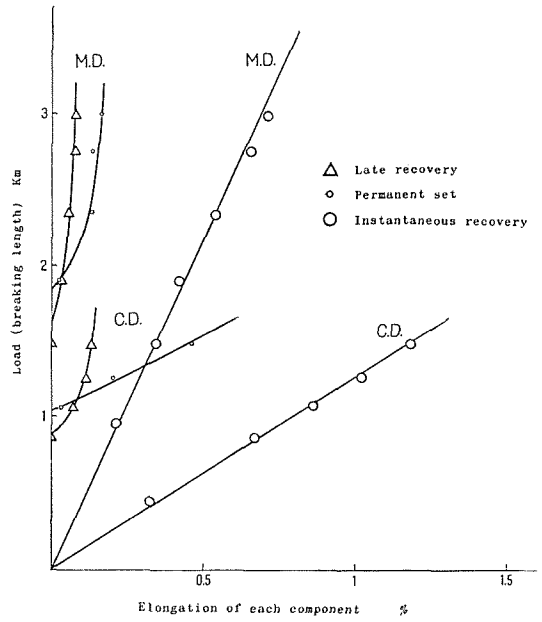


Fig. 28. Three components of elongation, at the dryer of the high speed machine.

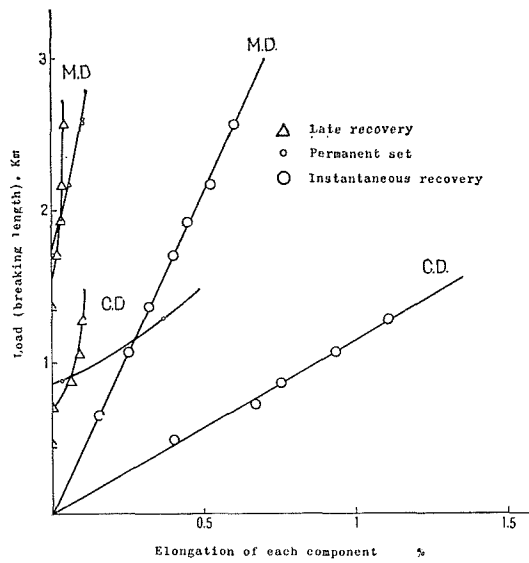


Fig. 29. Three components of elongation, at the calender of the high speed machine.

## 5.2 実験方法

試料は既述の同一高速マシンから採取したものであるが試料採取日は異なる。しかし X 線の結果歪一歪力曲線の結果は殆んど既述の高速マシンのものと同じである。

試験はダイヤルゲージ付テンサイルテスターを用いた。各所定荷重を 3・2 の場合同様の速度で加え、伸度を記録後直ちに荷重を除いて残余伸度を記録両者の差から瞬間回復を求めた。5 分間放置して回復する伸びをおくれ回復とし残りを永久変形とした。永久又はおくれ変形があってもダイヤルゲージのバネによる負の力があるので荷重を除いた時紙片はたるみゲージの目盛りは常に零となる。この伸びの測定には僅かな荷重をかけて、瞬間的に起こる伸びによって求めた。

## 5.3 実験結果及び考察

1 番プレス後、ドライヤー出口、カレンダー出口の結果を夫々 Fig. 27, 28, 29 に示す。

1 番プレスでは大きな永久変形を示し、張力に抵抗性の弱い繊維間結合点がズルズルと破壊されて行く事がわかる。又おくれ回復も大きく可塑性が大きい。弾性限界は M. D で 0.66 km (断裂長) とドライヤー出口の半分以下である。瞬間回復は全試料とも直線に乗り、この勾配はヤング率と一致する。

ドライヤー出口では M. D は永久変形、おくれ回復共に著しく減少し、又弾性限界は非常に増加する。即ち弱い繊維間結合点はなく、いずれも強く結合しており、又繊維は M. D に配向している為め可塑性は非常に小さくなっている。一方 C. D では結合点が強くなった為め弾性限界は 1 番プレスの 2 倍以上に増加する。しかし、永久変形は依然として大きい。一旦網目構造の結合点(網目)が破壊されると、繊維が M. D に配向しているだけにその変形は大きくなると考えられ、4・3 に考察した考えと一致する。

カレンダー出口の試料では弾性限界がドライヤー出口より低下し、おくれ回復、永久変形共に更に小さくなる。これは既に考察したカレンダー処理における網目構造の結合点の破壊を意味する。我々はこの様な紙に対する mechanical conditioning が物性に悪い影響を与え、輪転機で新聞の印刷をする時の紙切れの原因となる事を明らかにしたが<sup>27)</sup>、これも別報に述べる。

## 6. 総 括

① 紙シート中の繊維の配列度並びに圧縮度を X 線的に測定する方法を理論的に導き、抄紙工程の各部で試料を採取して、配列度並びに圧縮度を測定した。

② 低速マシン、高速マシンとも第 1 プレスで配列度が急増する。これは第 1 プレスが構造的に相当の緊張効果を有する事と、多量の水分を有し、可塑性の多いシートが初めて受ける緊張効果の為めと思われる。

③ 高速マシンではドライヤー、カレンダーで更に配列度が増加する。低速マシンでは第 1 プレスの後の変化は小である。抄紙方向への張力の差によると考えられる。

④ 圧縮度は各パートで次第に増加する。低速の方が常に高速マシンより高い圧縮度を示すが、長網上の圧縮度は低速の方が低く、その影響が最後迄残るためである。長網上の通過時間が低速の方がより長い為め、圧縮度が高くなるのであろう。

⑤ X 線の測定に用いたのと同じ試料についてダイヤルゲージ付テンサイルテスターで歪一歪力曲線をとって引張強度、ヤング率の変化を求め配列度、圧縮度の結果と対比考察した。

⑥ ウェットプレスによりフィブリルのからみ合い、繊維同志の密着が促進せられ、繊維間結合が起こり易くなる為め、引張強度、ヤング率共に増加する。水分の少なくなる第2プレスの方が圧縮度の増加も大きく、従って引張強度、ヤング率の増加も大きい。しかしこれらの効果は乾燥時の張力の影響に較べれば小さい。

⑦ ドライヤーに於いて M. D 並びに C. D の引張強度、ヤング率は共に急増し紙は完成される。又ヤング率の異方向性も増す。これは繊維間に結合が生じる乾燥時に張力がかかる事によって、その方向の応力がかかった時、応力の集中を受けて容易に破壊される様な結合点の生成が妨げられ、より多くの結合点で応力を受け止める様な形に繊維間結合が形成される為めと思われる。各方向の負荷に対し夫々主として抵抗する結合点のグループを生じ、このグループの中で出来るだけ平等に負荷を受け取る様に結合点が構成される。

乾燥時の張力は M. D のみでなく C. D にもかかるので、C. D にも強度、ヤング率の増加がある。

⑧ 引張強度はカレンダーで低下する。ドライヤーで既に完成された紙がカレンダーによって相当の配行度上昇がある事、強度分布が大きくなる事、永久変形が少なくなり、弾性限界が低下する事等から、網目構造の結合点が破壊され引伸ばされた事が明らかである。

⑨ 各試料の伸びの三成分を瞬間回復、おくれ回復、永久変形にわけて測定した。1 番プレスではおくれ回復、永久変形が大きく、又弾性限界も小さくて可塑性が大きい。これは網目構造における各結合点の固着が不完全な為めと考えられる。ドライヤー後では M. D でおくれ回復、永久変形が著しく小さくなり、弾性限界は高くなる。繊維間結合点が強くなり、又配行度の上昇の為めである。カレンダーでは前記の如く明らかにメカニカル、コンディショニングを受けた事がわかる。

⑩ ドライヤー、カレンダーでは瞬間回復は荷重に対し直線関係となり、ヤング率と一致する。しかし1 番プレスでは高荷重で直線関係からずれて小さな値を示す。

又本研究の他の全ての実験結果から紙のヤング率は繊維間結合部の水素結合等のヤング率とこの伸びにより生じる網目構造の弾性変化に支配される。従って繊維間結合部の完全さ、張力乾燥により紙中に凍結された応力、ひずみの方向、繊維の配列度に影響される。(大要は昭和33年4月、日化第11年会で講演)

本研究のために試料を御提供下さった王子製紙苫小牧工場当局ならびに試料採取に御協力いただいた工場の各位に謹んで感謝の意を表します。

## 7. 文 献

- 1) P. Klemm: Wochenbl. f. Papierfabr **69**, 1042 (1938).
- 2) R. Danielsen and B. Steenberg.: Svensk Papperstidn, **50**, 301 (1947).
- 3) Casey: Pulp and Paper.
- 4) L. Weed: Chemisch Weekblad. **30**, 46 (1933).
- 5) Aaltio and J. Hermans: TAPPI, **42**, 1002 (1959).
- 6) 渡辺・林: 工業化学雑誌, **64**, 50 (昭36年).
- 7) O. Andersson, B. Ivarsson, A. H. Nissan and B. Steenberg: Proc. Paper Makers' Assn. G. B. I. **30**, 43 (1949).  
B. Ivarsson and B. Steenberg: Svensk Papperstidn, **50**, 419 (1947).
- 8) B. Ivarsson and A. P. Arlov: Svensk Papperstidn, **54**, 729 (1951).
- 9) 渡辺・林・庄子: 昭34年10月化学四学会連合東北地方大会講演.
- 10) O. Andersson and L. Soberg: Svensk Papperstidn, **56**, 615 (1953).
- 11) J. Baudisch: Venfilgung und Papierprüfung, Wochenblatt für Parierfabukation, **24**, 1429 (1893).
- 12) G. Schumann: Venufilgung und Papierprüfung, Wochenblatt für Parierfabukation, **24**, 1589, 1912 (1893).
- 13) C. F. Dahlheim: Taschenbuch f. d. Praktischen, Papierfabrikation 3 Auflage, S. 165.
- 14) Steenberg u. Bergström: Svensk Papperstidn, **50**, 301 (1947).  
Moerch: Der Einfluss des Pressendruckes auf die Festigkeit des Papiers, **23**, 135 (1935).
- 15) R. H. Donghty: Paper Trade J, **93**, 39 (1931).
- 16) W. Brecht u. D. Pothmann: Das Papier, **9**, No. 17/18, 6429 (1955).
- 17) C. F. Dahlheim: Taschenbuch f. d. Praktischen Paplerfabrikation 3 Auflage, S. 165, Verlag H. Ziegler, Leipzig.
- 18) Ingmanson and Thode: TAPPI, **42**, 83 (1959).
- 19) Nissan: Trans Farady Soc. **53**, 700 (1957) 等.
- 20) W. B. Campbell: Canada Dept. Interior, Forest Service Bull, No. 84 (1933).
- 21) Rance: TAPPI, **37**, 640 (1954).  
Proc. Tech. Seet. B.P & B.M. A. **23**, 173 (1952).
- 22) Ivarsson: Svensk Papperstidning, **54**, 729 (1951).
- 23) Graham: TAPPI, **39**, 147 (1956).
- 24) H. Emerton: "Fundermentals of the Beating Process" Kenley England, p. 198 (1957).
- 25) S. Asunmaa and B. Steenberg: Svensk Papperstidn, **61**, 686 (1958).
- 26) 藤井: 紙バ技協誌, **11**, 42 (昭31年).
- 27) 渡辺・林・川端・川村: 化学四学会連合東北地方大会講演 (34年10月).