研 究 報 文

紙の表面マイクロトポグラフィー (第3報)

紙の表面粗さと吸液特性の関係について

三島製紙(株)研究所 分部春樹, 原 啓志

東京農工大農学部 大江礼三郎

Micro topography of paper surface. III Relationship between surface roughness and liquid absorption of paper

Haruki Wakebe and Hiroshi Hara**

Research Laboratory, Mishima paper Co., Ltd.

*Raysabro Oye***

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

Liquid transfer and dynamic penetration as well as their relationships to roughness of papers, such as softwood and hardwood bleached sulphate pulp sheets and commercial india and coated papers, were investigated.

As smoothness of paper surface increased, the initial liquid transfer and absorption volume decreased. The amount of water transferred at the contact time 0, which could be obtained by extrapolation from the relationship between liquid transfer and contact time, might be interpreted as the roughness index Kr' . This became smaller when the void volume on the paper surface decreased. Moreover, the thickness of water layer and its volume ratio to that of void on the paper surface at the initial stage were calculated as $11.1\ \mu\text{m}$ and 46% for the softwood bleached sulphate sheet, $9.6\ \mu\text{m}$ and 54% for the hardwood sheet, $8.8\ \mu\text{m}$ and 41% for the india paper and $1.8\ \mu\text{m}$ and 16% for the coated paper, respectively.

Keywords : Micro topography, Paper surface, Roughness, Liquid absorption,
Coated paper, India paper, Hand sheet, Bristow method

1. 緒 言

紙の特性のうち表面の粗さ, 填料の分布といった表面特性は紙の加工適性, 通紙性などと密接な関係にあることは良く知られている。前報^{1),2)}ではこの紙表面における微少部の状態あるいは凹凸, 構造, 坪量, 密度

といった各特性の情報を表面マイクロトポグラフィーと定義し, 合成 SEM 法, ステレオ SEM 法, 触針式三次元粗さ測定法などを用いて手抄きシート, インデア紙, コート紙の表面を観察, 検討した結果について報告した。

一方, 紙表面の粗さや構造, および構造的, 密度的不均一性が印刷時のインクや湿し水の転移であるとかコーティングにおけるカラー, サイズプレス液の転移, 浸透に影響をおよぼすことは良く知られている。そこで, 水への転移と表面マイクロトポグラフィーとの関係について検討を行った。

液体の転移性の測定原理を示したものが図 1 である。

* 90-2, ENOO, FUJI-SHI, SHIZUOKA, 417

** 3-5-8, SAIWAI-CHO, FUCHU-SHI,
TOKYO, 183

本研究の一部は第 53 回紙パルプ研究発表会 (昭和 61 年 6 月) で発表した

Fig. 1 Liquid transferring model.

これは Bristow³⁾および Lyne⁴⁾によって使用されたものであり、ここではその装置と類似したものを用いている。

これは紙を一定速度で回転するドラムに巻きつけて、紙の進行方向と直角な開口部を有するヘッドボックスを介して、液体と紙を接触させ、一定量の液体の転移、吸収を行わせて、紙の吸液特性を測定するものである。この場合、紙との接触時間 t は回転速度 v とヘッドボックスの幅 l とから図 1 に示した式により算出される。この接触時間と液体の転移量 Vt の関係は

$$Vt = Kr + Ka(t - tw)^{1/2}$$

として表され、 Ka は単位時間当りの Vt の変化量を示し、吸収係数と言われる。 tw は初期のぬれのみで、吸収がはじまるまでの時間を示し、ぬれ時間と言われる。 Kr は $t=0$ あるいはぬれ時間内における液体の転移量で表わされ、粗さ指数として把握される。そこで、本報ではこの粗さ指数と表面マイクロトポグラフィーについて検討を行った。

2. 実 験

2.1 試 料

市販の NBKP および LBKP を Tappi 式ビーターを用いてろ水度 50° SR まで叩解し、小型試験抄紙機を用いて坪量 60 g/m² で抄紙した (以下、各々 NP シート、LP シートと略す)。この時、マシンカレンダーのニップ圧を 0, 10, 50, 100 kg/cm² と変えて平滑性の異なる試料を調製し試験に供した。また坪量 38 g/m² の市販インデア紙および坪量 74 g/m² の市販コート紙 (A₂) も供試した。

2.2 紙 質

紙質は JIS に準拠して測定した。平滑度は王研式平滑度試験器およびパーカープリントサーフ (PPS) を用いて測定した。PPS の測定圧力は 5, 10, 20 kg/cm²、検知ヘッドの給気圧力 0.063 kg/cm²、クランプ

用バックリングはノンコート用を用いて測定した。

2.3 動的吸液性の測定

Bristow らによって考案された装置と類似したものを作製して用いた (以下、吸液装置と記す)。0.02% メチレンブルー水溶液 0.04 ml を接触時間 1, 0.5, 0.3, 0.2, 0.1, 0.07, 0.05, 0.02, 0.01, 0.004 秒で転移させた。得られる接触時間と水の転移量の関係から吸収係数 Ka 及び粗さ指数 Kr を算出した。

2.4 三次元粗さの測定

触針式三次元粗さ測定機 SE-3 AK を用いて測定した。触針圧力は 70 mgf、針先半径 2 μm、X 方向の倍率 100 倍、Y 方向の倍率 200 倍、Z 方向の倍率 200 倍で約 2.5 mm × 1 mm の範囲について三次元表記および SPA-11 による数値解析を行った。

3. 結果および考察

小型試験抄紙機で抄紙した NP シート、LP シートの紙質を表 1, 2 に、表面粗さとしてパーカープリントサーフとカレンダーのニップ圧との関係を図 2 に示した。

LP シートはカレンダーのニップ圧を 0 から 100 kg/cm² に変化させたところ、密度が 0.76 から 0.89 g/cm³ と増加した。ベック平滑度試験器、パーカープリントサーフはいずれも紙表面にある凹凸を流れる空気の流れがこのヘッドと凹部で形成される空隙に空気が流れる時の経路の直径と長さに反比例することを応用したものである。特にパーカープリントサーフは測定時に試料に加える圧力が可変であること、ヘッド凸部の幅が 51 μm と短いことが特徴で、この数値が小さいほど平滑性の高いことを示す。LP シートはニップ圧が増加するとベック平滑度が増加し、パーカープリントサーフは減少し、表面粗さが減少したことを示した。これは NP シートについても同様で、ニップ圧を高くすると高密度化、高平滑化する。それらの値は LP シートの方が大きく、高平滑化され易い。これは図 2 の動的平滑性と同様であり、ニップ圧 100 kg/cm² で測定圧力を 5 から 20 kg/cm² に変化させた場合、LP シートは 6.4 から 5.4 μm、NP シートは 7.1 から 6.4 μm となり、LP シートの方がクッション性が高くなっている。すなわち、LP シートと NP シートを比べると、ニップ圧の変化による密度の変化率はほぼ同じであるが、平滑性の変化率は LP シートの方が大きく、クッション性も大きくなることから、カレンダーリングでは LP シートは NP シートに比べて紙層あるいは繊維-繊維間結合の破壊が進行していることが推察された。

Table 1 Paper properties of NBKP sheets.

Nip load kg/cm ²	Density g/cm ³	Smoothness sec/10 ml	P. P. S. Roughness S5 μm	Kr'	Air Permeability sec/100 ml
0	0.66	4/4	7.48/7.56	11.44	190
10	0.67	5/5	7.46/7.54	8.90	193
50	0.75	10/8	7.24/7.37	8.50	228
100	0.82	14/12	7.08/7.16	7.30	242

Kr' : roughness index

Table 2 Paper properties of LBKP sheets.

Nip load kg/cm ²	Density g/cm ³	Smoothness sec/10 ml	P. P. S. Roughness S5 μm	Kr'	Air Permeability sec/100 ml
0	0.76	11/10	7.30/7.30	9.55	215
10	0.76	12/13	7.23/7.10	8.26	202
50	0.85	25/29	6.78/6.65	7.79	227
100	0.89	35/41	6.41/6.20	7.50	222

Kr' : roughness index

Fig. 2 Relationship between Parker Print-Surf roughness and nip load for NBKP sheets and LBKP sheets.

Key clamping pressure
 △ NBKP sheet △ □ 5 kg/cm²
 □ LBKP sheet ▲ ■ 10 kg/cm²
 ▲ ■ 20 kg/cm²

そこで、各LPシートとNPシートについて動的吸液性を測定したところ図3,4に示す様な結果を得た。いずれの場合も理論式のような明確なぬれ時間を得ることができなかった。そこで、粗さ指数は2次曲線に近似して算出した。粗さ指数は表1,2に示した。また粗さ指数とパーカープリントサーフラフネスとの関係

を図5に示した。この結果から平滑性が増すと液体の初期の転移量(粗さ指数Kr')は小さくなり、その変化率はNPシートの方が大きい。

このように試料の表面粗さと短い接触時間における水の転移性との関係を検討したところ、短い時間における紙への水の転移量は、表面の粗さが減少すると、

Fig. 3 The absorption of water by LBKP sheets.

Key

nip load

□ 0 kg/cm²

◐ 10 kg/cm²

◑ 50 kg/cm²

■ 100 kg/cm²

Fig. 4 The absorption of water by NBKP sheets.

Key

nip load

△ 0 kg/cm²

◐ 10 kg/cm²

◑ 50 kg/cm²

▲ 100 kg/cm²

Fig. 5 Relationship between roughness index (Kr') and Parker Print-Surf roughness for NBKP and LBKP sheets.

Key

clamping pressure

△ NBKP sheet

△ □ 5 kg/cm²

□ LBKP sheet

▲ ◐ 10 kg/cm²

▲ ■ 20 kg/cm²

少なくなる傾向が見られた。これはパルプの種類が異なっても同様であった。

そこで、表面形状、組成、構造、化学的性質の異なる市販インデア紙、コート紙について検討した。インデア紙は内添填料が多く、サイズ剤を含み且つスーパーカレンダー加工が施してある。コート紙は基紙の表面に約 10 g/m² の塗料を塗工したものである。それぞれの紙質を表 3 に示した。コート紙は密度が 1.23 g/cm³ と高く、ベック平滑度が 1,460 sec/10 ml と高くなっている。インデア紙は灰分が 14.9%, 平滑度は F 面で 177 sec/10 ml である。また三次元粗さを測定して得られる値のうち、代表的な中心面平均粗さ SRa の値を示したが、 SRa も他の表面粗さと同じ傾向を示した。この様な試料について水の転移性を前述と同様に示したのが図 6 である。図の様に吸収特性の点から 3 つに分けることができる。LP シート、NP シートでは初期の吸収速度は遅いが、約 100 msec. 以上の接触時間での吸収速度が大きくなっている。100 msec. 以上で繊維間への水の浸透が生じたためと考えられる。インデア紙は吸液性の高い炭酸カルシウムが内添されていること、およびサイズ度が低いいため初期の水の吸収速度は速く、その後ほぼ一定となったものと考えられる。また、コート紙はサイズ度が高く、更に表面が塗工層でおおわれているため、吸収速度がほとんど一

Table 3 Paper properties of NBKP sheet, LBKP sheet, india paper and coted paper.

				Basis Weight g/m ²	Density g/cm ³	Smoothness sec/10 ml	P.P.S. Roughness S5 μm	SRa μm	Air- Permeability sec/100 ml	Ash %
N	B	K	P	61.6	0.66	4/4	7.48/7.56	—	190	0.1
L	B	K	P	61.2	0.76	12/13	7.23/7.10	—	202	0.3
INDIA PAPER				39.3	0.80	177/79	4.77/5.54	2.1/2.5	130	14.9
COATED PAPER				74.3	1.23	1,460/1,470	3.21/3.47	0.8/0.7	10,260	25.5

SRa : square centerplane average roughness.

Fig. 6 The absorption of water by LBKP sheet, NBKP sheet, india paper and coated paper.

Key

- LBKP sheet
- △ NBKP sheet
- ☆ india paper
- coated paper

定になったものと思われる。そこで、粗さ指数 Kr' とパーカープリントサーフラフネスとの関係を示したのが図7である。粗さ指数 Kr' と表面粗さは図の様に一般的には表面粗さが減少するに従い Kr' も減少する傾向となった。しかし、かならずしもインディア紙やコート紙は同一の線上に乗るわけではなく、化学的性質や組成などがモデル的なLPシートやNPシートとは異なる。このため粗さ指数 Kr' の値は紙の表面粗さの影響のほか、たとえば表面の構造や分布、あるいは表面の化学的な影響も受けているものと思われる。

次に、三次元粗さより求まる各深さにおける凹凸の凹部の面積率を算出し、紙の深さ(粗さ)分布を求めた。また、粗さ指数 Kr の値は毛細管力が働く前の液体

Fig. 7 Relationship between roughness index (Kr') and Paker Print-Surf roughness for NBKP sheet, LBKP sheet india paper and coated paper.

Key

clamping pressure

- LBKP sheet
- △ NBKP sheet
- ☆ india paper
- coated paper
- △ ☆ ○ 5 kg/cm²
- ▲ ★ ● 10 kg/cm²
- ▲ ★ ● 20 kg/cm²

の浸透する有効深さと考えられる。そこで、接触時間0で転移する液体は紙の凹部を満たしてゆくと仮定して、このときの深さを算出し、これらの深さ分布と液体の転移性を示したのが図8, 9, 10である。

図8はLPシートとNPシートの累積深さ分布曲線および深さ分布曲線である。図の横軸は三次元粗さ測定より求まる深さを、縦軸は全体の深さを100%としたときの頻度を示す。LPシートはNPシートに比べて分布の幅も狭く、浅いことが分かる。また図中で直線で示したものは、接触時間0で転移する液体の容積が紙表面最上部より凹部を満たしてゆくと仮定したときの深さで、言い換えると転移した液体の紙表面からの転移深さである。LPシートの最大深さは17.9 μm

Fig. 8 Diagram of depth obtained by the stylus type smoothness tester for LBKP sheet and NBKP sheet.

Fig. 9 Diagram of depth obtained by the stylus type smoothness tester for india paper.

Fig. 10 Diagram of depth obtained by the stylus type smoothness tester for coated paper.

で液体の転移した深さは $9.6\mu\text{m}$ となり、表面凹凸の54%の深さまでを占めた。NPシートの最大深さは $23.9\mu\text{m}$ で液体の転移した深さは $11.1\mu\text{m}$ となり、表面凹凸の46%までを占めた。図9はインディア紙の場合であり、最大深さは $21.4\mu\text{m}$ で液体の転移した深さは $8.8\mu\text{m}$ で表面凹凸の41%を占めた。また、コート紙の場合は最大深さ $11.4\mu\text{m}$ で、液体の転移した深さは $1.8\mu\text{m}$ となり、計算上はかなり凹部の浅いところまでしか転移せず、表面凹凸の16%であった。この結果、LPシートおよびNPシートはともに表面に存在するボイドの平均的深さ程度まで、初期の転移で水が転移することが分かる。また水の紙層内への吸収が始まる短い時間における液体の転移性は、紙表面の粗さに関係するが、更に液体との親和性、あるいはボイド、ポアの径といった表面特性も影響するものと思われた。

4. ま と め

市販インディア紙、コート紙、LPシートおよびNPシートの表面マイクロトポグラフィと水の転移および動的浸透性について検討したところ、接触時間0における水の転移量、すなわち粗さ指数は表面に存在する空隙が減少すると小さくなること、LPシート、NPシートについてカレンダー加工時のニップ圧を変化させたところ、ニップ圧を増すと表面の平滑性あるいは動的な平滑性が増して紙層の緻密化、表面の平滑化が進行しこのため液体の初期転移量は減少し、吸収性も低くなった。

また、これらの各試料について三次元粗さから算出した紙の凹凸の深さ分布と、水の初期転移量より算出される転移深さを比べたところ、NPシートの場合は $11.1\mu\text{m}$ となり表面凹凸の46%までであり、LPシートの場合は $9.6\mu\text{m}$ となり表面凹凸の54%、インディア紙の場合は $8.8\mu\text{m}$ となり表面凹凸の41%、コート紙の場合は $1.8\mu\text{m}$ で表面凹凸の16%を占めた。

引用文献

- 1) 分部, 原, 大江: 紙パ技協誌; 40(1)79-84(1986)
- 2) 分部, 原, 大江: 紙パ技協誌; 40(3), 275-283(1986)
- 3) J. A. Bristow: Svensk papperstiding; Nr19, 15(1967)
- 4) M. B. Lyne, J. S. Aspler: Tappi; 65(12), 98-101(1982)

(受理 62. 11. 20)