

段ボール用原紙の幅方向の反りに関する研究

森川久彦* 矢野琢司*

Studies on Warp in Cross Direction of Containerboard

Hisahiko MORIKAWA*, Takuji YANO*

Warp behavior in cross direction of containerboard was studied. When one side of the board was wetted, at first, the wetted side warped convexly, and then the warp reached to maximum, which we named primary peak (P.P.). Then, the warp become smaller and smaller and at last reached the equilibrium, becoming concave.

The relations between the P.P. and basis weight, density, Taber stiffness, and Cobb water absorption of the board were analyzed. As the bottom side of linerboard was wetted, the time to reach the P.P. was in direct proportion to the basis weight and the Taber stiffness.

When the top side of linerboard was wetted, the warp of the P.P. was in inverse proportion to the basis weight and the Taber stiffness and in direct proportion to the Cobb absorption.

Keywords : Warp, Containerboard, Linerboard, Primary peak, Basis weight, Taber stiffness, Cobb absorption

原紙の片面に水を塗布すると、原紙は先ず水を塗布された面を外側にした幅方向の凸型の反りを生じ、反りは最大となりその後時間の経過と共に小さくなりさらに反転して幅方向の凹型の反りとなりやがて平衡に達する。水を塗布した時最初に生ずる凸型の反りの最大を“一次ピーク”と呼ぶこととして、この一次ピークの大きさとこれに達するまでの所要時間について原紙の、坪量、密度、テーバーこわさおよびコップ吸水量との関係を解析して次のことが明らかになった。表用原紙の裏面に水を塗布した場合、その所要時間は坪量とこわさに比例し吸水量にやや反比例し、一次ピークの反り高さは坪量とこわさに反比例し、吸水量に比例する。

キーワード : 反り、段ボール用原紙、表用原紙、一次ピーク、坪量、テーバーこわさ、コップ吸水量

* レンゴー株式会社 中央研究所 (〒553 大阪府大阪市福島区大開4-1-186) : Central Laboratory, RENGO CO., LTD. 1-186, Ohhiraki, 4-chome, Fukushima-ku, Ohsaka-shi, Ohsaka, 553

1. 緒言

段ボールシートの典型的な構成は2枚の平らな外装用原紙とこの間に段の繰られた1枚の中芯用原紙からなるものであり、原紙間の接着には水溶性、水分散型の澱粉系接着剤が用いられる。原紙の貼合方向 (MD; Machine direction) では上面側と下面側とで貼合時の引張り力が等しくないなどの機械的な要因によって段ボールシートに反りを生ずるのに対し、MDと直角方向 (CD; Cross-machine direction) の反りは水分の付与と除去とによって生じることが知られている¹⁾。従ってCDの反りは原紙を構成するパルプ繊維の親水性と幅方向の伸縮性ならびにMDへの繊維配向性によって影響されるものと考えられる²⁾。それゆえ、段ボールシートのCDは多くの要因で反りを生じるがこれらはシートを構成する原紙の品質³⁾、段ボールシートの製造条件

およびシート保管時の環境条件に大別できる。これらの要因のうち原紙の品質は、段の繰られていない2枚の原紙の水分によるCDの寸法変化の差の問題と考えられるが、段ボール貼合時に実際に水分が与えられるのは原紙の片面に対してであるから、原紙の一つの面に対して水を与えたときの原紙の反り挙動が段ボールの反りを検討する上で欠かせないものと考えて以下の検討を行った。

2. 実験

2.1 試料原紙の基本物性

実験には Table 1 に示す表用原紙7種類と中芯用原紙2種類とを用いた。これらのうち試料①②④⑤⑦はジュートライナと称される外装用原紙で、表層側の20~30%がクラフトパルプからなる以外はほとんど段ボール古紙原料からできているものである。⑦は②の表

Table 1 Properties of paperboard used

No. Board	Basis weight (g/m ²)	Thick-ness (mm)	Density (g/m ³)	Cobb absorption (g/m ²) (120sec)		Taber stiffness in CD (gf·cm)		
				Top	Bottom	Top side inner	Bottom side inner	Av.
① JIS A-grade 220	221	0.288	0.77	34	260	13.0	29.0	21.0
② JIS A-grade 220	220	0.276	0.80	26	59	11.9	27.6	19.8
③ Medium SCP 125	126	0.207	0.61	160	160	4.4	4.2	4.3
④ JIS A-grade 300	304	0.363	0.84	30	350	25.3	45.8	35.6
⑤ JIS A-grade 280	276	0.353	0.78	25	54	41.8	72.4	57.1
⑥ JIS AA-grade 220	218	0.276	0.79	27	27	20.3	22.4	21.4
⑦ Full scale printed on No ②	222	0.276	0.80	12	43	10.4	26.4	18.4
⑧ Coated board 230	234	0.269	0.87	62	240	13.7	17.3	15.5
⑨ Reinforced Medium 180	181	0.271	0.67	71	61	17.6	12.8	15.2

面にインキが全面印刷されてあるもの、③と⑨は中芯原紙でセミケミカルパルプまたは段ボール古紙原料からできているもの、⑥はクラフトライナと称されるもので全層クラフトバージンパルプからできているものである。⑧は白板紙で表面は顔料でコートされ、表層を除いてはグランドパルプ系の新聞古紙原料からできているものである。これらはすべて、JISで“板紙”と称せられる厚い紙である。これらの基本物性はJISに定める方法に準じて前処理を含めて $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $65 \pm 2\% \text{RH}$ で測定した。コップ吸水度は面積 100cm^2 の試料の片面が 50ml 量の水に2分間接触した時に吸収する水の量 $\times 100$ (g/m^2)である。テーバー曲げこわさは幅 38.1mm 、長さ 70mm の試験片で片持ちばりを構成し一定速度で15度曲げた時の曲げモーメント (グルコース $\text{gf}\cdot\text{cm}$) を示す。

2.2 実験方法

20°C $65\% \text{RH}$ の環境で次の手順にて実施した。(試料数 $n = 3 \sim 5$)

(1) 試料 (CD $10\text{cm} \times$ MD 5cm) について水付与前の重量を 10^{-2}g 単位で測定する。次に試料のCD中央における両端からの高さを mm 単位で測定し、試料の反り高さとする。

(2) 事務用インキ吸い取りスタンプに濾紙を取り付けて濾紙に水を与え、この面を試料の片面

に軽く押し当てることにより、試料の片面に水を付与する。

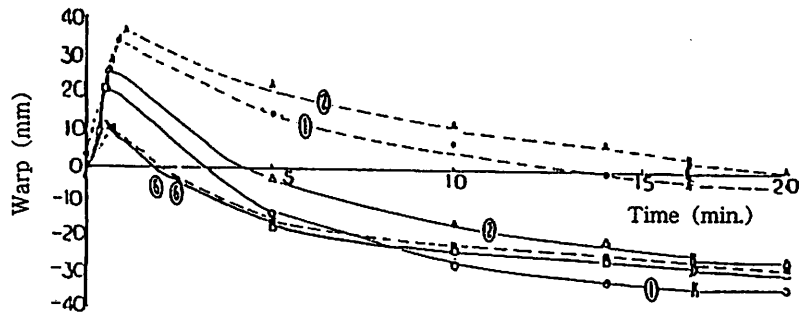
(3) 水付与面を上面にしたまま直ちに試料を天秤上に移し載せて、重量とCDの反り高さの経時変化を水付与後20分まで測定する。

(4) 試料を 105°C で熱風乾燥して絶乾重量を求め、これより水付与前および水付与後の原紙の水分含有率を求める。

3. 結果と考察

3.1 幅方向の反りの変化

Fig. 1 に示すように原紙の片面に適当量の水を付与すると、水付与面を外側にした山型のCDの反りが生じる。山型の反りはピークに達した後、時間の経過と共に小さくなり、さらに反転して谷型のCDの反りとなり、やがて平衡に達する⁴⁾。なお水を付与して最初



Wetting conditions :

board No.	wetting side of board	amount of water (g/m^2)	moisture before wetting (%)	moisture of board (%) after wetting		
				0min.	10min.	20min.
①	top	24	9	18	14	11
①	bottom	29	10	20	17	15
②	top	23	9	18	14	10
②	bottom	28	10	21	17	14
⑥	top	15	10	16	13	11
⑥	bottom	16	10	17	14	11

Fig. 1 Warp in CD, wetting on one side of the board No. 1, 2, 6.

に生じる山型の反りのピークを以後“一次ピーク”と呼び、反りの符合を+と定める。試料①、②の表面に水を付与した場合、裏面に水付与した場合よりも平衡に達した時の反りの度合いが大きいことが分かる。これに対して、試料⑥では両面の方に差が認められない。試料⑥は全層バージンパルプでできており、これに対して試料①、②ではいずれも表層はバージンパルプ、裏層は段ボールの古紙でできており、バージンパルプは古紙より収縮率が高いことが知られているから⁹⁾、表裏で収縮率に差が生じたことによるものと考えらる。

Fig. 2には試料③④⑤⑦⑧⑨について、表面に水付与した場合の結果を示した。これらの試料の基本的な挙動パターンはFig. 1のそれと同じであることが分かる。

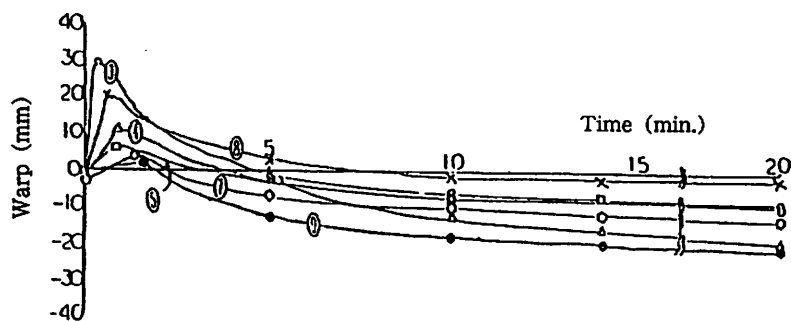
Fig. 3に一次ピークの反り高さ、平衡に

達した時の反り高さとの関係を全試料について示した。各試料について表面に水を付与した場合を□印で、また裏面に水を付与した場合を■印で示した。各印を結ぶ実線および破線は最小二乗法によって得た回帰曲線を示す。Table 2に、これらの回帰曲線の勾配Aと切片Bの値を示した。表面に水を付与した場合、中芯試料③⑨のみは正の勾配を示すがその他の表用原紙は負の勾配を示し、一次ピークの反り高さが大きいと平衡の反りの高さも大きな負の値を示す傾向が認められた。また、裏面に水を付与した場合、試料⑤⑦を除いては比較的小さい勾配値を示し、常数Bは試料によって異なっていた。

3.2 水の付与量と一次ピークとの関係

この実験で平衡に達した後の反り形状は、原紙が一度吸水し膨潤してから再び自由乾燥によって収縮した結果を示すものである。従って、この実験条件は熱と貼合方向の引張り力を受けている段ボールシートの生産条件とは異なっていると思うが、以下に原紙が吸水膨潤して生ずる一次ピークの表われ方を考察した。

付与水量を変えて、一次ピークに達するまでの所要時間と一次ピークの反り高さの関係をプロットすると、Fig. 4およびFig. 5に見られるように中芯③、および⑨



Wetting conditions :

	board No.	wetting side of board	amount of water (g/m ²)	moisture of board (%)		
				before wetting	after wetting 0min.	10min. 20min.
○	③	top	25	8	24	17 13
△	④	top	24	9	16	14 12
□	⑤	top	23	9	16	13 11
◇	⑦	top	15	10	16	12 11
×	⑧	top	14	9	14	11 10
●	⑨	top	13	10	16	11 10

Fig. 2 Warp in CD, wetting on top side of the board No. 3, 4, 5, 7, 8, 9.

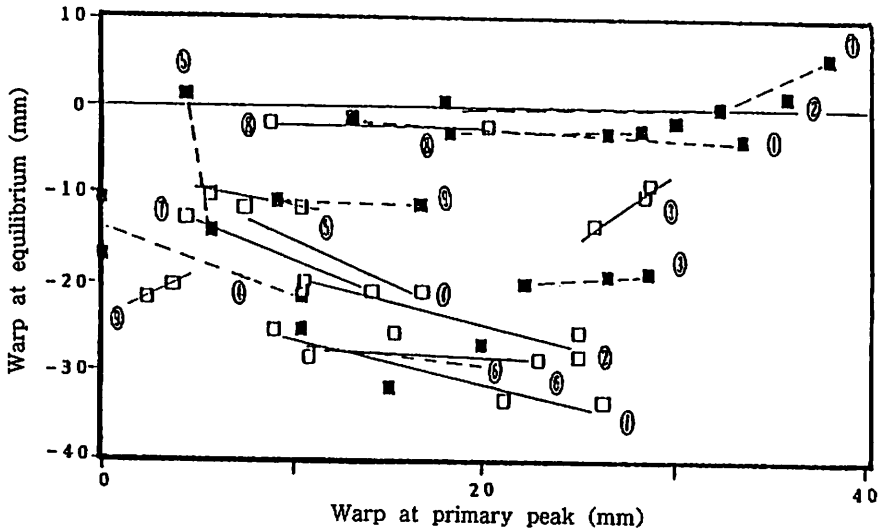


Fig. 3 Relations between warp at primary peak and equilibrium
 wetted side —□— top
 ---■--- bottom

Table 2 Regression analysis of warp in Fig. 3
 $Y = AX + B$
 Here Y Warp at equilibrium (mm)
 X Warp at primary peak (mm)

board No.	wetted side			
	top		bottom	
	A	B	A	B
①	-0.5	-2.2	-0.1	0
②	-0.4	-1.7	0.0	-0
③	1.5	-5.1	0.2	-2.4
④	-0.9	-7	0.1	-2.0
⑤	-0.3	-9	-1.1	4.9
⑥	-0.1	-2.7	-0.2	-2.6
⑦	-0.9	-8	1.0	-3.2
⑧	-0.0	-2	0.0	-1
⑨	1.2	-2.4	-0.0	-1.1

を除いた表用原紙では、水付与量が増えるに従って一次ピークに達する時間が長くなる。③は典型的な中芯のひとつで、水分の付与量の如何にかかわらず一次ピークに達する時間

が短いのは坪量が小さい上に吸水度が高いためと考えられる。Fig. 6 および Fig. 7 は付与水量と一次ピークの反り高さとの関係を示したもので、表用原紙では水付与量が増えるに従って一次ピークの反り高さは大きくなることが分かる。中芯③の一次ピークの大きさは水付与量の少ない場合でも比較的高いが、これは中芯が無サイズでかつ密度の低い板紙であって水付与によって吸水浸透も速い (Fig. 4 および Fig. 5 参照) が、それにもまして水付与面に近い層が瞬時に伸びを生ずるためと推量される。

3.3 一次ピークと原紙の品質との関係についての解析

表用原紙の反りの一次ピークと原紙の品質との関係を考察するために Fig. 4 ~ Fig. 7 のデータについて2変量解析を行った。10g/m²の水を片面に付与したときの一次ピークに達する所要時間と一次ピークの反り高さを

段ボール用原紙の幅方向の反りに関する研究

Table 3 Bivariable regression analysis of warp

Z=AX+BY+C								
Z	X	Y	R_{ZU}	A	B	$ A \cdot X_m $	$ B \cdot Y_m $	D
Wetted side (bottom)								
Warp at primary peak	density basis weight	Cobb absorption	0.22	62.2	-0.02	51	4	.08
	Taber bottom inner top		0.83	-0.28	0.03	73	6	.08
	inner		0.73	-0.38	-0.01	17	2	.12
	inner		0.85	-0.76	-0.01	20	2	.10
Time reached primary peak	density basis weight		0.48	-165.4	-0.08	136	15	.11
	Taber bottom inner top		0.94	0.92	-0.07	240	13	.05
	inner		0.96	1.10	-0.03	49	6	.12
	inner		0.86	1.6	-0.04	42	8	.19
Wetted side (top)								
Warp at primary peak	density basis weight	Cobb absorption	0.80	310.9	-0.73	255	138	.54
	Taber bottom inner top		0.88	-0.17	0.19	44	7	.16
	inner		0.87	-0.10	0.17	4	6	1.50
	inner		0.88	-0.17	0.19	4	7	1.75
Time reached primary peak	density basis weight		0.75	-5.8	0.21	5	40	3.00
	Taber bottom inner top		0.43	0.1	-0.25	26	9	.35
	inner		0.36	-0.1	-0.29	4	11	2.75
	inner		0.41	-0.27	-0.27	7	10	1.43

R_{ZU} : multiple correlation coefficient
 X_m and Y_m : middle values of max. and min. shown on Table 1 except No.3 and 9:
 density 0.82
 basis weight 261
 taber stiffness
 bottom inner 44.9
 top inner 26.1
 cobb absorption
 bottom side 189
 top side 37

$D = |B \cdot Y_m| / |A \cdot X_m|$: effecting degree of Y on Z

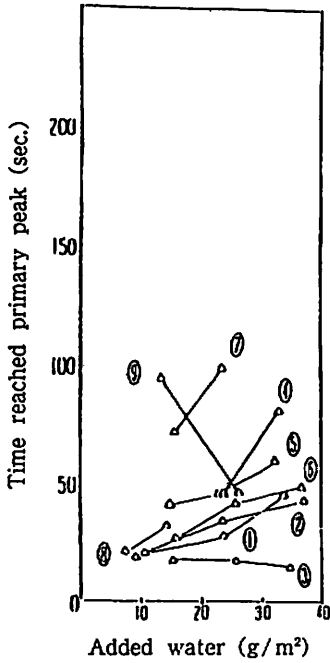


Fig. 4 Relations between added water to top side and time reached primary peak.

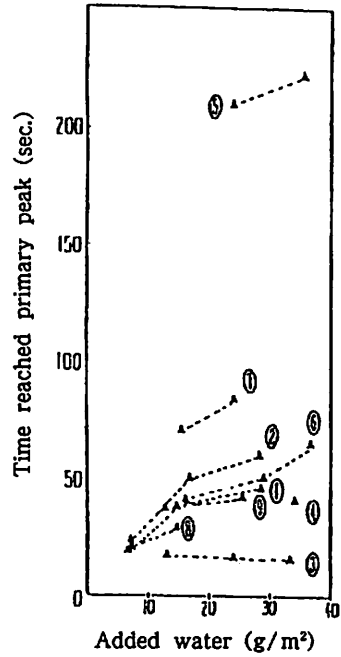


Fig. 5 Relations between added water to top side and time reached primary peak.

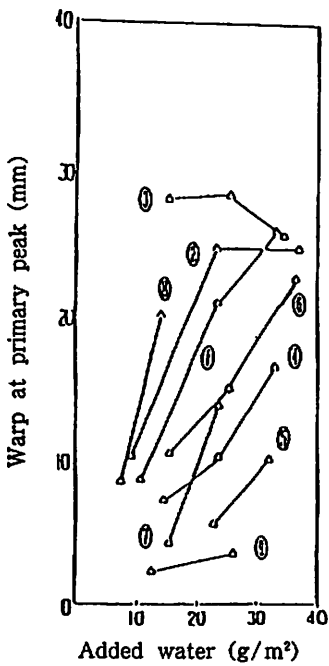


Fig. 6 Relations between added water to top side and warp at primary peak.

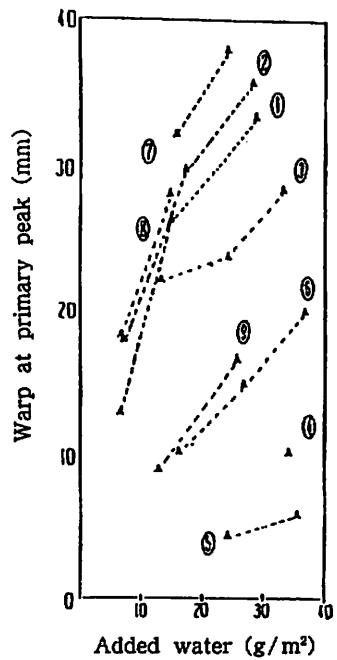


Fig. 7 Relations between added water to bottom side and warp at primary peak.

それぞれ目的変数 Z として、その説明変数 X としては曲げ変形に対して抵抗すると思われる要因、密度、坪量、または曲げこわさを、また Y としては原紙の反りに深く関わるとも思われる吸水性としてコップ吸水度を選んだ。この場合、目的変数と説明変数の間には最も簡単な線形モデルを考えた。目的変数 Z の値は、一律に水付与量 $10\text{g}/\text{m}^2$ の場合の値を直接に実測値として得ることは困難であるから、限られた領域では水付与量に対する所要時間のおよび反り高さの一次式が成立するものと仮定して、比較的水付与量の小さい2点の実測値を用いて一次式を得て、これより水付与量 $10\text{g}/\text{m}^2$ の場合の値を求めて実測値とした。ただし実験条件が比較的水付与量の高い領域にあった試料⑤⑥⑦については実測値の内の最小値と原点(0, 0)点とを結ぶ一次式を得て、これより求めた。

Table 3に示した解析結果から次のことが分かる。

(1) 水付与面が裏面の場合、高さ、所要時間ともに、密度と吸水度とでの重相関係数 R は低くなり、坪量もしくはこわさと吸水度とで高い値を示した。この場合、吸水度の影響度(D)は坪量もしくはこわさの約10%であった。

(2) 水付与面が表面の場合、密度と吸水度での重相関係数も高くなった。高さについては、吸水度の影響度(D)は密度もしくはこわさの影響度のそれぞれ約50、150~175%となり、吸水度の効きが大きいことが分かる。所要時間に関しては坪量、こわさでは重相関係数が非常に低くなったのに対して密度を取り上げると $R=0.75$ とやや高くなった。所要時間が坪量、こわさの要因で高い重相関係数

を得られないのは、それだけ表層側の表面品質の影響が大きく、今回取り上げた要因では説明し切れないといえる。以下に解析結果の数例を図示する。(Fig. 8、9および10)。

4. まとめ

(1) 段ボール原紙はその片面に水を付与すると、原紙は先ず付与面を外側にしたCDの反りが発生して、引き続いてその形状は反転して内側にした反りとなり平衡に達する。

(2) 最初に生ずる一次ピークの高さと平衡に達してからの反り高さまたは深さとの関係について、表面に水を付与した場合は、中芯を除いては一次ピークの反り高さが大きいと平衡の反りの深さも大きくなる傾向が認められた。しかし、裏面に水を付与した場合には、その相関が認められなかった。

(3) 段ボール貼合時、原紙の裏面に付与される糊水量程度の水量を片面に付与した場合の反り挙動に関して、一次ピークの表われ方と原紙の基本物性との関係を2変量解析すると、次のことが認められた。

非加熱、および非拘束で水量約 $10\text{g}/\text{m}^2$ を片面に付与した場合、一次ピークは原紙の力学的な性質である曲げこわさ、もしくは坪量と原紙の多孔質性と繊維表面に形態的な性質を示すと思われるコップ吸水度で表わすことができる。

①裏面に水を付与した場合は、一次ピークに達する所要時間は坪量と曲げこわさに比例し、裏面の吸水度にやや反比例する。また、一次ピークの反り高さは坪量と曲げこわさに反比例する。

②表面に水を付与した場合には、一次ピー

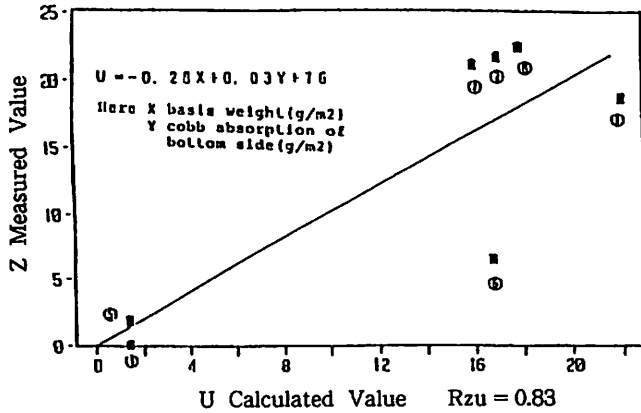


Fig. 8 Regression curve of warp (mm) at primary peak, when bottom side is wetted.

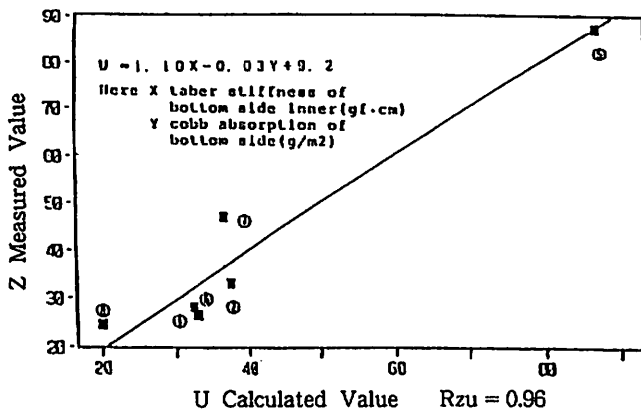


Fig. 9 Regression curve of time (sec.) reached primary peak, when bottom side is wetted.

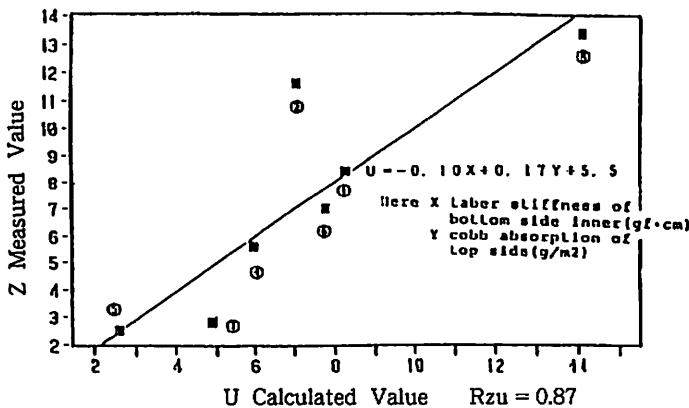


Fig. 10 Regression curve of warp (mm) at primary peak, when top side is wetted.

クの反り高さは坪量と曲げこわさには比例し、表面吸水度に比例する。表面に水を付与した場合の所要時間は今回の説明要因では高い重相関関係が得られなかった。

段ボール製造工程では、さらに熱が水分の移動を促進させるなど、原紙が貼合されてできるシートの反りの挙動は原紙の品質以外の要因によるところが大きいが、原紙の品質が基本的には原因になると考えられる。原紙の品質の要因は、静的に寸法変化率を求めて解析する方法があるが、本方法では限られた水量を原紙の片面に与えた時の動的な検討を行ったもので、これらの知見はシートの反りの解析に直接役に立つものと考えられる。

なお、本研究に対し貴重なご指導、ご助言を賜った東京大学農学部教授岡野健氏ならびにレンゴー(株)中央研究所長迫田直一氏に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 門屋卓ら、ダンボール原紙、(株)紙業タイムス社、p.172~180 (1980)
- 2) 前田修一ら、木材学会誌、35 (11)、(1989)
- 3) 門屋卓ら、新・紙の科学、(有)中外産業調査会、p.257~286 (1989)
- 4) 上坂鉄ら、紙・技協誌、43 (7)、(1989)
- 5) J. J. Schwinkler, Tappi, 137 (4), 169 (1954)

(原稿受付 1993年1月20日)
(審査受理 1993年3月1日)