U 676.019 : 621-26 : 676.056.7 : 676.273

シングルフェーサーの振動源とハイロウ評価について

塩屋幸博**, 鈴木信昭***, 星川雅宥****

Studies on Sources of the Vibration on Single-Facer
and the Evaluation of High-Low Corrugation*

Yukihiro Shioya**, Nobuaki Suzuki***, and Masahiro Hoshikawa****

It has been known that molding characteristics were important factors which contributes to compressive properties among various ones forming the compressive properties of a corrugated fiberboard container. In this study, sources of the vibration on the high-low corrugation as well as the relation between the high-low corrugation and physical properties of corrugating medium were investigated.

The results showed that the resonance of the vibration clearly existed at the velocity of 130 m/min on the single-facer, and that the vibration remarkably influenced a high-low corrugation. It was also found out that the bite of corrugator rolls mainly caused the vibration. The frequency (f) of the vibration is represented as $f=n$ (number of the gear) $\times$ (revolution of the corrugator roll), here n is integer. It was clarified that the resonance occurred when the frequency became near or agreed with the natural frequency of the corrugator roll.

The evaluation of high-low corrugation aptitude for various corrugating medium becomes possible when evaluation system of high-low corrugation was established. It was found that physical properties of corrugating medium greatly influenced high-low corrugation. And further, caliper inversely related to the density of corrugating medium, and related to the thickness of it.

1. 結 言

我国の包装産業における段ボールコンテナの役割は、物的流通の観点から極めて重要であると考ええる。しかしながら、既に公開された段ボールに関連する主な研究成果のほとんどが、海外に依存していると言っても決して過言ではない。例えば *K. Q. Kellicut*, *R. C. McKee*¹⁾²⁾ らは、我国の包装研究者にとって有

益な情報や研究の方向性を提供し示唆してくれた。

さらに近年においては、*J. W. Koning*, *R. C. Moody*³⁾ そして *V. E. Stockman*⁴⁾ らの報文に見るようエッジワイズに関する優れた研究成果が報告されている。我国では本州製紙の松岡やソニーの具足島⁵⁾⁶⁾ らの報文が一般的に知られている。一方、段ボールコンテナの圧縮強度特性、すなわち Top-to-Bottom 荷重下におけるメカニズムを、解明するためのファクタ

* 本研究を成形シリーズ第1報とする。; Series of Studies on Molding Characteristics of Corrugated Fiberboard

** シオヤエンジニアリング; Shioya Engineering

*** 日栄紙工(株); Nichiei Paper Industry Co., LTD

**** 静岡県機械技術指導所; The Mechanical Research Institute of Shizuoka-Pref

Photo 1 Vibration test in single facer.

である、成形加工特性については、未だ不明瞭な点が多いことは事実である。

このような背景の中で、今後、包装設計の段階におけるオーバーパッケージの実態を脱皮するためには、ブラックボックスであるところの成形加工特性の研究が必要不可欠である。従って、本シリーズ第1報の研究課題は、段成形諸問題の主体であるハイロウ現象と、その現象に大きく影響すると考えられている段ロール振動との関係について、より現象理論的に研究することにした。

また、本研究へのアプローチは、第1に段ロール振動源の探知とその影響、第2に申しんの物理的特性とハイロウの関係、そして第3はハイロウ評価システムの確立と、3方向から実施された。

ところで、商業的レベルにおけるハイロウ現象は、段成形時に供給される力と物質の変形に対する抵抗力のアンバランスによって発生するという見方が支配的である。なぜならば、段成形時にその力は段ロール間の圧力によって与えられるが、フルーティングから生じる変形抵抗力は、温度、水分、熱、坪量、繊維物質等の環境と構造要因、さらにはコルゲーターの双方の機能で決まる⁷⁾⁸⁾ものと考えられているからである。

従ってハイロウ現象は、これらの諸要因の相互作用の結果であるため、多くの商業的レベルの走行試験においてしばしば異なる結果を生んできた。よって、ここに明確なハイロウ評価システムの必要性が示唆されると共に、商業的レベルへ置換できる成果が要求される理由が存在する。以下に前述したアプローチの手順に従って、調査研究を行った結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 試料

Fig. 1 Schematic view of single facer and measured position of vibration.

表1に示す如く、段ボールライナー（疑似Kライナー -200 g/m^2 ）及び申しん（SCP、特申しん 125 g/m^2 ）のグレードを試料とし、貼合した。

2.2 振動測定方法

振動の検出は、一定走行状態（ 130 m/min ）において加速度ピックアップ（B & K 4367）に振動検出棒を取付け、熱による影響を受けないよう測定した。また、これらの加速度信号は、いったんデータレコーダー（ナグラIV-SJ）に記録した後、2チャンネル高速フーリエ変換アナライザー（ニコレ・サイエンティフィック社 OF-400）により、パワースペクトラム、伝達関数、コヒーレンス関数⁹⁾¹⁰⁾について分析した（写真1）。

但し、図2のみはアイドリングから 130 m/min まで連続スロー上昇にてX軸記録計に連続記録させたデータで、ハイロウ試験条件（ 115 m/min ）の振動カーブモードとレベルをリニアスケールで測定した。

2.3 測定点及び方向

上下段ロール、プレスロールのそれぞれ操作側を主体として、一部駆動側の各測定点について上下（Z）、前後（X）、傾き（ $\theta=35^\circ$ ）方向を測定した（図1）。但し、本報文ではデータの一部を割愛した。

2.4 走行条件とサンプリング

表3に示すA社フィンガータイプシングルフェーサー（最高速度 120 m/min 、最大使用紙幅 $1,600 \text{ mm}$ ）において、一定操作条件の基に申しんグレードのみを変化せしめ、各申しんのシートをサンプリングした。また、ライダーロール間隙は設計基準寸法（Aフルート段高さ）より -0.1 mm の状態にセットした。

2.5 ハイロウ測定方法

精密定盤上に切断されたサンプルシートを乗せ、段がつぶれない程度のウェイトダミーを加え、ダイヤルゲージ（ $1/1,000$ ）にて各段頂高さを測定した。

Table 1 Physical properties of each corrugating medium.

Maker	Grade		Direction	Basis weight (g)	Actual basis weight (g)	Specimen weight (g)	Thickness (mm)	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)
a	B	$\bar{x}$	C. D. M. D.	125	125.7	0.2431 0.2433	0.239 0.240	0.239	0.5264 0.5229	0.5247	7.8
		σ_{n-1}	C. D. M. D.			7.927×10^{-3} 6.678×10^{-3}	7.439×10^{-3} 8.864×10^{-3}	8.149×10^{-3}	0.0136 8.363×10^{-3}	0.0108	0.115
a	D	$\bar{x}$	C. D. M. D.	125	116.6	0.2240 0.2273	0.217 0.218	0.217	0.5344 0.5382	0.5363	7.2
		σ_{n-1}	C. D. M. D.			3.432×10^{-3} 2.266×10^{-3}	8.835×10^{-3} 9.533×10^{-3}	9.096×10^{-3}	7.928×10^{-3} 7.088×10^{-3}	7.364×10^{-3}	0
b	E	$\bar{x}$	C. D. M. D.	125	125.8	0.2407 0.2461	0.217 0.220	0.219	0.5741 0.5770	0.5755	6.0
		σ_{n-1}	C. D. M. D.			5.160×10^{-3} 5.021×10^{-3}	5.226×10^{-3} 9.128×10^{-3}	7.602×10^{-3}	0.0122 8.465×10^{-3}	0.0100	0
c	D	$\bar{x}$	C. D. M. D.	125	125.2	0.2406 0.2442	0.221 0.223	0.222	0.5644 0.5658	0.5651	7.6
		σ_{n-1}	C. D. M. D.			4.194×10^{-3} 4.630×10^{-3}	0.0191 0.0152	0.0171	0.0277 0.0171	0.0217	0.200
d (Liner)	K'	$\bar{x}$	C. D. M. D.	200	197.9	0.3827 0.3833	0.275 0.274	0.274	0.7193 0.7182	0.7206	8.2
		σ_{n-1}	C. D. M. D.			5.588×10^{-3} 1.847×10^{-3}	6.580×10^{-3} 6.447×10^{-3}	6.436×10^{-3}	8.972×10^{-3} 5.965×10^{-3}	7.304×10^{-3}	0.0577
d (Liner)	K'	$\bar{x}$	C. D. M. D.	200	199.2	0.3910 0.3810	0.276 0.272	0.274	0.7315 0.7210	0.7263	8.8
		σ_{n-1}	C. D. M. D.			6.790×10^{-3} 4.330×10^{-3}	5.402×10^{-3} 6.885×10^{-3}	6.404×10^{-3}	0.0180 3.291×10^{-3}	0.0134	0.153

*) atmosphere : 20°C, RH65%.

2.6 その他の測定方法

表1に示す物理的特性値の板厚測定は、精密マイクロメーター（三豊 1/1,000）を使用し、JIS 測定法とは異なった測定法で行った。また、坪量測定は JIS P-8126 試験片（152.5×12.7）を化学天びんにて測定後、坪量に換算した。

3. 結果と考察

3.1 各ロール間の振動について

本研究の始めに、まずシングルフェーサーの全体的な振動特性を知るため、図2に示したマシン速度と振動加速度の関係を調べた。その結果、本シングルフェーサーの常用使用範囲外（指定最高速度 120 m/min）の 130 m/min に共振点が存在することが分かった。従って、後述するハイロウ試験は異状な段成形を回避するため、通常使用状態の 115 m/min においてサンプリングすることに決定した。

また、振動計測時の走行条件は表3に示す如くセットし、マシン速度のみを 130 m/min（共振点）に合せ、共振状態時の振動源を分析する方法を試みた。さて本論に入るが、まず各ロール間の振動加速度のパワースペクトラムを求め（表2）、その一例を図3,4に示す。これを見ると 250 Hz, 750 Hz, そして 1 KHz にピークが現われている。

これはマシン速度が 130 m/min の時、段ロール回転速度は約 2.46 Hz であり、またロール歯数が 100 であるので、この歯のかみ合いによって発生する振動に起因するものであろう。ピークの大きさは振動加速度で評価した場合、250 Hz よりもその2倍、3倍の周波数のピークが大きくなる場合もみられるが、振動変位に換算すると 250 Hz のピークが最大となっている。また、2 KHz 前後にピークが生じる場合があるが、振動変位に換算すれば小さな値であった。

次に各ロール間の振動の相対的關係を調べるため、駆動軸である下段ロールの振動を入力とし、従動軸である上段ロール及びプレスロールの振動を出力とした場合のZ方向、駆動側における伝達関数、コヒーレンス関数を求めた。その一例を図5,6に示す。まず図5の伝達関数のゲインをみると、0 dB のところ、つまり下段ロールよりも上段ロールの振動が大きくなる周波数領域が、広範囲に渡り存在している。

しかし、その時のコヒーレンス関数（図6）をみると、明らかに前述したパワースペクトラムのピークとなる周波数、すなわち 250 Hz の整数倍の周波数でのみ、ほぼ 1.0 に近いピークになっており、その他の周波数領域では小さな値であることが分かる。このこ

とから、各ロールが互いに関係するのはピーク、周波数のみであり、他の周波数成分についてはロール部以外にその振動源力があるものと思われる。

3.2 振動モード図

以上より、250 Hz の場合に着目して伝達関数のゲイン、及び位相差（図7）とコヒーレンス関数の値をもとに、振動モードを描いてみる。まず、図8a～dに各方向の振動モード図を示す。この図において、矢印の長さは基準となる下段ロールの振動の大きさを1とした時、各測定点での伝達関数のゲインの大きさを表わし、その矢印の方向は位相差を示す。そして点印をほどこした部分が下段ロールと同相成分を表す。図8dをみると、下段ロールとプレスロールは同一位相で振動しているが、上段ロールは逆位相になっていることが分かる。

次に操作側Z方向の場合を図8bに示す。これは、上段ロールとプレスロールを支点にして、下段ロールの振動が大きくなる振動モードであり、このような傾向は駆動側にも現われている。さらに、図8aに示すX方向では、上段ロールの振動が大きく、下段ロールについても上段ロール程ではないが大きい。しかし、この時のコヒーレンス関数の値を調べると、上段ロールと下段ロール間は 0.406、プレスロールと下段ロールは、0.493 と他の場合と比べ小さい。

これは、X方向に関して各ロールに発生する振動は、歯のかみ合いに起因するものの、影響が小さいものと思われる。次に 035° 方向の振動モード図を図8cに示した。この方向は3つのロールの回転中しんを結ぶ方向であり、加工精度への影響が大きいものと思われるが、上段ロール及び下段ロールとプレスロールの間が逆位相になっている。この現象は各ロールの回転方向の振れを示唆するものであろう。

3.3 段ロールの固有振動数

前述の測定結果と考察より、シングルフェーサーに発生する振動は、主に段ロール歯数のかみ合いに起因するところが大きく、その周波数は（段ロールの歯数）×（段ロールの回転数）の整数倍となることが分かった。従って、共振振動は段ロールの固有振動数に一致した時発生するものとし、共振振動の予知を可能にするため、次の検討を行うことにした。

段ロールの固有振動数の検討¹⁾は、段ロールを単純モデル化し、 λ_n をパラメータとして実測値との比較を行ったものである。

$$f_n = \frac{\lambda_n^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EIg}{Ar}} \approx 245 \text{ Hz}$$

ここに、 f_n : n 次の固有振動数 (Hz), l : 段ロール長

Table. 2 Results of measurements on vibration test.

Direction and Position of Measurement	Item	Meter		250 Hz		500 Hz		750 Hz		1 KHz		etc.	
		Acc.	g.r.m.s.	Acc.	Disp. $\mu\text{m. p.}$	Acc.	Disp. $\mu\text{m. p.}$	Acc.	Disp. $\mu\text{m. s.}$	Acc.	Disp. $\mu\text{m. p.}$	Acc.	Disp. $\mu\text{m. p.}$
Gear side	L.C.R.	3.3~4.5	1.36	7.63	0.575	0.807				0.269	0.168	1.91	0.67
	U.C.R.	1.75	1.58	8.86	2.21	3.10				1.50	0.526		
	L.C.R.	3.0~4.5	0.93	5.22	0.596	0.837		0.398	0.248	0.279	0.0979		
	Pressure roll	8.5	0.38	2.13	1.08	1.52		1.15	0.718	1.57	0.551		
	L.C.R.	10.0	0.091	0.511	0.841	1.18		1.33	0.830				
	U.C.R.	4.5	2.21	12.4	6.61	9.29		6.76	4.22				
	L.C.R.	10.0	0.065	0.365	0.237	0.333		1.17	0.730	1.36	0.478	6.92	0.553
	Pressure roll	7.5	1.14	6.40	3.05	4.28		3.39	2.12	2.99	1.05	2.22	0.177
Operating side	L.C.R.	5.0	1.20	6.73	3.55	4.98		0.977	0.610	0.822	0.289		
	U.C.R.	3.0	0.661	3.71	0.933	1.31		1.11	0.693	1.43	0.502		
	L.C.R.	4.5~5.5	1.22	6.84	3.43	4.82		0.955	0.596				
	Pressure roll	10.0	0.38	2.13	2.54	3.57		2.63	1.64				
θ_{35°	L.C.R.	14~16	0.603	3.38	2.26	3.17		1.60	0.898			10.0	0.799
	U.C.R.	4.75	0.750	4.21	1.86	2.61		2.92	1.82			3.16	0.253
	L.C.R.	14~16	0.692	3.88	2.32	3.26		1.32	0.824			10.23	0.817
	Pressure roll	9.0	0.750	4.21	2.72	3.82		5.13	3.20			3.24	0.259

*) L.C.R. : lower corrugator roll.

*) U.C.R. : upper corrugator roll.

Fig. 2 Relation between machine speed and acceleration at upper corrugator roll in the direction of Z. (Operating size)

Table 3 Conditions of high-low corrugation test

Operational Condition	Setting
Machine Speed	115 and 130 m/min
Nip Pressure	G. side : 4.5 Ope. side : 4.5
Press Pressure	G. side : 4.2 Ope. side : 4.2
Tension	Dial 3 in Auto-brake produced by NEIC
Finger Clearance	0.25mm
Rider Roll Clearance	5.15mm
Steam Pressure	10.5~11.5 kg/cm ²
Steaming	None
Flute	A-Flute
Paper Width	110 cm
Combination	K'200×125×K'200

*) Test No. 1 : corrugating medium is a(B). nip pressure is 7.5 kg/cm².

2 : corrugating medium is a(B). nip pressure is 4.5 kg/cm².

3 : corrugating medium is a(D). nip pressure is 4.5 kg/cm².

4 : corrugating medium is b(E). nip pressure is 4.5 kg/cm².

5 : corrugating medium is c(D). nip pressure is 4.5 kg/cm².

other conditions correspond with Table 3.

*) machine speed 115m/min : high-low corrugator test.

machine speed 130 m/min : vibration test.

Fig. 3 Power spectrum of acceleration of upper corrugator roll at 130 m/min.

*) measured side : gear side.

*) the direction of measurement : Z.

*) output : upper corrugator roll.

Fig. 4 Power spectrum of acceleration of lower corrugator roll at 130 m/min.

*) measured side : gear side.

*) the direction of measurement : Z.

*) input : lower corrugator roll.

さ (cm), E : 段ロール材質の縦弾性係数 (kgf/cm²), I : 段ロールの断面二次モーメント (cm⁴), r : 単位体積の重さ (kgf/cm³), A : 断面積 (cm²), $g \approx 981$ cm/sec², λ_n : 境界条件と n 次の振動モードによって定まる無次元の係数とする。但し, 段ロール外径を 280 mm, 長さ 1,650 mm とした。

そして λ_n を両端支持と仮定した場合, $\lambda_1 = \pi$ となる計算条件がこの場合の振動周波数, すなわち 246 Hz に極めて近い 245 Hz となることが分かった。よって, 本シングルフェーサの共振は, この周波数が段ロールの固有振動数 (f_n) に一致, もしくは近似した時,

Fig. 5 Transfer function between corrugator roll at 130 m/min.

- *) measured side : gear side.
- *) the direction of measurement : Z.
- *) input : lower corrugator roll.
- *) output : upper corrugator roll.

Fig. 7 Phase between corrugator rolls at 130 m/min.

- *) conditions correspond with Fig 5.

Fig. 6 Coherence function between corrugator rolls at 130 m/min.

- *) conditions correspond with Fig 5.

振動が異状に大きくなり、各段ロール間の振動に位相差が生じた結果であることが明らかとなった。また、特に逆位相となる場合は、段成形に著しく影響を与えるものと推察される。

ところでシングルフェーサーの共振点予知は、一般的に数値計算モデルを用い、コンピュータでシミュレーションした結果¹²⁾が報告されている。しかし、実測定によって振動源を探知するまでには至っていない。本研究では前述した検討によって簡易的计算方法により、共振点の予知が近似的に可能であることを確認した。従って、既に一般市販されているシングルフェーサー、あるいはフィンガレスシングルフェーサーの共振予知にはこれらの方法を適用できる。

さらに、中速シングルフェーサーのA段仕様におい

Fig. 8 Vibration mode in each direction at 250Hz.

て、約 130 m/min 近辺に共振点の存在が確認されたことで、特にフィンガレスシングルフェーサーの段ロール剛性程度と、段成形上の技術的問題点の発生が強く示唆される。

3.4 ハイロウ評価

ハイロウの評価方法については、現在のところ特別

に統一されたものはない。従って、一般的には肉眼で見える程度の極端な現象を除いては、極めてあいまいかつ抽象的判断の傾向があった。先に示した R. C. McKee ら⁸⁾のハイロウに関する研究では、ハイロウは二つの連続したフルートが交互に高い低い状態となるか、又は、フルートの平均高さに対する良し悪しの特性を持つものと定義している。

さらに操作上の要因の影響を調査した過程では、連続したフルート間での高さの相違によって、片段シートにハイロウの特色付けをするのが相応すると述べている。一方、国内の文献¹³⁾では、ハイロウに対する定量的判断基準は $50 \sim 55 \mu$ が一応の限界値としているものもある。

これら公開された文献は、いずれも操作上の要因とハイロウの有意性を論じたものが主流であり、ハイロウを形成する申しんの物理的特性との関係を探るための評価法としては、不足の点が多い。

なぜならば、これらのデータは片段シートにおける試験片の段高さ測定値を、統計処理上の単純平均値として傾向のみを論じているにすぎず、ハイロウの複雑なメカニズムを解明する過程で、一部分の評価にとどまっているからである。本研究ではこの点に着目し、まず表 4、図 9 に示すよう各中心における段高さの平均値変化と、統計上 $\pm 1\sigma$ のバラツキ範囲（段高さ）の両面から調べた。

従来と異なる点は、段ロール長さ方向、すなわち原紙幅方向に対して操作側、中央、駆動側、そしてこれら各部分の総合結果を、それぞれの中しんグレードによって分析したことである。その結果、グレードの高い中しん、すなわち SCP (B) は確かに平均段高さが特しんと比較して高い傾向を示すことが分かったが、従来の主なハイロウ定義であるところの段高差は、逆に悪い傾向を示した。この結果は一般論を覆し、単純にグレードの高い中しんが、必ずしもハイロウが少ないとは言えないことを物語るものであろう。

またこれらの現象は、シートを構造体として考えた場合、圧縮強度を形成するメカニズムの相互作用の結果となって現われるため、品質の安定したシートを成形するには、段高差のみならず、段高さも合せて安定させる成形技術が必要になるものと考えられる。次に幅方向のハイロウモードであるが、図 9 にみるよう操作側、中央、駆動側の各場所ではそれぞれハイロウモードが異なり、特に操作側ではその差が顕著であった。強い

Fig. 9 Difference of caliper between flutes from each corrugating medium and variation of caliper in cross direction. (115 m/min)

*) conditions were show in Table 3.

ていえば、中央と駆動側が相似していると言える。

つまり、この傾向は段ロール幅方向の荷重分布、すなわち段ロールニップ圧、クラウン量そして原紙幅等の要因が相互作用となって現われたため、このような傾向を示したものである。この結果は、これら要因のバランス状態によって決定されるため、それぞれの操作条件によっても、ハイロウ現象は異なることを意味する。従って、単に総合平均のみからではハイロウの適性評価は出来ないことが伺える。また、このことは図 9 あるいは次に示す図 10~12 によって支持されている。

次に段ロール回転方向、すなわちシート流れ方向の段高さについて分析した結果を図 10~12 に示す。それによると各中しん共に、段高差は一樣に認められるものの、段高さのモードに周期性の存在が確認された。この現象は移動平均法により推移を分析すると、なお一層明確となるが、これらの図からでも充分理解できる。例えば図 10、操作側の中心 a (B) 仕様では、約 433~519 mm のシート測定位置に、段高さの基準寸法 5.25 mm に最も近い部分が存在し、そして段高さは徐々に低くなる傾向を示す。

この現象は先の振動項の考察において、加工精度の問題を示唆した状態を、ここで改めて確認したことになり、段ロール回転方向に振れが発生していることが認められ、さらに段高さを測定することによって、段ロールの振れを近似的に予測できることを示すものである。また、図 10~12 から幅方向のみならず、シート流れ方向においてもハイロウ現象に顕著な差が認められることが分かった。これらのことは前述の考察と

Table. 4 Results of measurements on high-low corrugation.

Test No.		1. $\left[N_p=7.5 \text{ kg/cm}^2 \right]$			2. $\left[N_p=4.5 \text{ kg/cm}^2 \right]$			3. $\left[N_p=4.5 \text{ kg/cm}^2 \right]$			4. $\left[N_p=4.5 \text{ kg/cm}^2 \right]$			5. $\left[N_p=4.5 \text{ kg/cm}^2 \right]$		
		$\bar{x}$	σ_n	R	$\bar{x}$	σ_n	R	$\bar{x}$	σ_n	R	$\bar{x}$	σ_n	R	$\bar{x}$	σ_n	R
Operating side	A	5.234	0.0533	0.227	5.190	0.0347	0.171	5.153	0.0263	0.125	5.150	0.0266	0.110	5.188	0.0294	0.150
	B	5.188	0.0460	5.362 }	5.234	0.0564	5.303 }	5.162	0.0135	5.220 }	5.186	0.0278	5.223 }	5.143	0.0321	5.215 }
	(A+B)/2	5.217	0.0506	5.153	5.212	0.0455	5.132	5.157	0.0199	5.095	5.168	0.0272	5.113	5.130	0.030	5.062
Center	A	5.154	0.0262		5.224	0.0278	0.135	5.156	0.0479	0.192	5.119	0.0384	0.150	5.099	0.0349	0.152
	B	5.169	0.0238		5.232	0.0319	5.304 }	5.121	0.0352	5.272 }	5.130	0.0337	5.221 }	5.108	0.0302	5.196 }
	(A+B)/2	5.161	0.0250		5.228	0.0298	5.169	5.138	0.0415	5.080	5.124	0.0360	5.071	5.103	0.0325	5.044
Gear side	A	5.157	0.0360	0.120	5.271	0.0717	0.123	5.239	0.0357	0.202	5.116	0.0324	0.134	5.122	0.0310	0.116
	B	5.147	0.0161	5.220 }	5.211	0.0337	5.313 }	5.152	0.0347	5.310 }	5.137	0.0401	5.203 }	5.114	0.0290	5.185 }
	(A+B)/2	5.152	0.0260	5.100	5.241	0.0527	5.180	5.195	0.0352	5.108	5.126	0.0362	5.069	5.118	0.030	5.069
Total				0.262			0.181			10.230			0.154			0.171
		5.180	0.0480	5.362 }	5.226	0.0431	5.313 }	5.156	0.0435	5.310 }	5.140	0.0413	5.223 }	5.118	0.0335	5.215 }
				5.100			5.132			5.080			5.069			5.044

Fig. 10 Variation of caliper at 115 m/min in machine direction. (Operating side)

*) conditions were show in Table 3.

Fig. 11 Variation of caliper at 115 m/min in machine direction. (Gear side)

*) conditions were show in Table 3.

合わせ、ハイロウにおける適性評価が、統計処理上の単純平均値からだけで行われるべきでないことを、立証する知見であろう。

3.5 段ロール振動とその影響

前述までの展開で、一定走行状態における振動加速度が、Z方向・操作側で上段ロール 2.4 g, 下段ロール 2.2 g であり、その時のハイロウも前述の如く評価された。そして各シートの測定場所によっても、ハイロウが著しく異なることも分かった。一方、表 2 にした 130 m/min の走行条件下における振動レベルは、リニアスケールで、Z方向・操作側の上段ロールが 3.0 g, 同じく駆動側 1.75 g と操作側の方が高く、その傾向は 115 m/min 時でも同じであった。

しかしながら、図 9 及び図 10~11 をみるとこの振動レベルの傾向とは反対に、ハイロウは駆動側の方が方が全体に増加する傾向にある。この現象は、ハイロウが振動レベルの増大に伴い、共に増加するという一般説と相反する結果を導いた。このことは、シングルフェーサーの振動が段ロールの歯のかみ合いに起因することと、直接加工精度に影響を及ぼす周波数が 250 Hz であることより、中しんの固有振動数がそれらと一致、もしくは近似したため、その場所のみハイロウが増加したものと考えられる。つまり、本試験に採用した紙幅が、段ロール駆動側の周波数に近似した結果と推察できよう。

以上の推察から、中しん紙幅と剛性の相違によって、中しんの固有振動数が変化することが推察され、従ってハイロウ現象は図 9 に示すよう、a(B) 中しんの傾向がすべての中しん仕様に一致するとは言えないこと

Fig. 12 Effect of nip pressure in fixed corrugating medium.

*) corrugating medium : a(B).

*) nip pressure : 4, 5, 7.5 kg/cm².

*) machine speed : 115 m/min.

が分かる。従って、シングルフェーサーの振動とハイロウ現象の相反する結果を調査するためには、リニアスケールで測定された振動値のみからでは、判断できないことになる。このことは既に R. C. McKee ら⁸⁾の報告の中で、それらしき内容を仄めかしている。

また、Koppers は最近のフィンガレスシングルフェーサーに関する報告¹⁴⁾の中で、騒音の大部分は段ロールのスタックと、特にレスロールに対して動く下段ロールから来るものと指摘しているが、我々の今回の分析結果では、前に詳しく述べたよう、騒音域である

Fig. 13 Relation between distribution of caliper and its frequency in each corrugating medium.

* conditions were shown in Table 3.
(test. No. 2~5)

高周波成分に相当する振動源は、ロール以外に存在することを認めている。つまりこれらを総括すると、この相反する現象の多くは、いずれも周波数分析のいかに起因し、またその必要性をこれらは示唆しているものであろう。

ところで、ハイロウ形成の複雑なメカニズムは、前述したような多くの現象のみならず、振動と申しんの形態パラメータとの相互作用により、意外な結果を導くことが分かった。このことはニップ圧の比較でも例外ではない。例えば、図9試験 No. 1 と 2 において、ニップ圧の効果は操作側ではほとんど認められないものの、中央、駆動側さらに総合では、これも予想に反し、ニップ圧 7.5 kg/cm^2 の場合が 4.5 kg/cm^2 に比べハイロウが増加していた。

一般的にはニップ圧を増加すれば、段ロールの上下運動、すなわちジャンピングドロップ現象を抑えることになり、ハイロウ減少につながるはずであるが、この点についても一般説を覆した。また、図12にみるよう、ニップ圧 4.5 kg/cm^2 の場合は、駆動側の段高さが全体的に高く、操作側は低い。しかし、ニップ圧 7.5 kg/cm^2 の場合は、 4.5 kg/cm^2 と違いその反対であった。これは図9の如く、操作側ではほとんど変わらなくなってしまうが、基本的にはニップ圧の変化によっても振動との相互作用により、測定場所のハイロウはそれぞれ変化するとみて良い。

この知見は、先の R. C. McKee ら⁸⁾の報告内容と一致する結果を導いた。以上より、一定条件下の基に行

われた振動レベルが、ハイロウ形成に大きく影響を与えることが認められたが、これを定量的に換算すると、基準寸法に対してその影響度は、総合平均で $-0.05 \sim -0.1 \text{ mm}$ の範囲であった。但し、段高差は図9に示すよう 1σ の範囲内でも大きく認められ、 $\pm 0.0431 \sim 0.0335 \text{ mm}$ であり、一般のハイロウ基準を上廻る結果を示した。

3.6 ハイロウと申しん特性

図13は、各申しんによる段高さの分布状態を示した結果である。それによると、申しん a(B) 仕様は段高さの分布が最も高い範囲に属し、それに続き a(D)、b(E)、そして c(D) の順となる。この場合、申しん c(D) 仕様は b(E) 仕様と比べ、グレードが高いにもかかわらず、段高さが低い。この結果は、我々の未公開研究¹⁵⁾によると、スリーブ圧縮強度が申しん比較中最も低い結果につながり、それはシート厚が減少すれば圧縮強度も低下すると言う¹⁶⁾理論的条況下によって支えられている。

さらに各申しんにより、段高さが異なることも分かったが、幅方向の段高さ傾向とデンプン付着量のバラツキ傾向とが、密接に関係することが文献18)より明らかとなった。以上の展開で、申しんの物理的特性値が段高さに関係することが示唆されたため、商業的レベルに置換できる特性値、すなわち申しんの板厚、密度、坪量等の代表的特性値を求め、その結果を表1に示した。

但し、密度、板厚等を測定する場合、門屋ら¹⁹⁾は精度上の見地から水銀浮力法による測定値の採用を推奨しているが、本報では現場的でないので、あえて割愛し、別の方法を採用した。また、その得られた特性値と段高さの関係については、図14,15に示すよう $\pm 1\sigma$ の範囲において相関分析を行った。その結果、坪量は相関性が認められなかったものの、板厚が段高さに相関し、密度は逆相関することが明らかとなった。

そしてこれらの特性値は、段高さとの関係において、順位相関も成立することが分かった。つまり、これらの知見は、ハイロウ形成に関する申しんの E・I の中でも E の寄与率が高いことを示すもので、このことは申しんの成形性を改善する方法として、板厚 (I) のみを増加する方法が得策でないことを示す。

ところで、先程の未公開文献¹⁵⁾によれば、これらの申しん特性値はリングクラッシュとの関係において、段高さと相関傾向が一致する。すなわち、リングクラッシュも板厚に相関し、密度に逆相関することになる。しかしながら、リングクラッシュと段高さの関係で重要な相違点は、相関傾向が一致するものの、成形加工

Fig. 14 Relation between distribution of caliper and distribution of density in each corrugating medium.

Fig. 15 Relation between distribution of caliper and distribution of thickness of each corrugating medium.

を介して得られる申しんは、両者間の順位相関が一致しないことにある。つまり、熱と高い圧力を介して得られた申しんは、Z方向の空隙を減少せしめ、延てはパーマネント効果の相違につながる。

従って、空隙率の高い申しん程、パーマネント効果は高いことが言え、高い圧力で成形された申しんは、段の形状保持力と共に、 E の増加が推察される。事実、東京大学の木村ら²⁰⁾²¹⁾²²⁾は紙の弾性理論の中で、プレスドライシートによる弾性率の増加を認め、それは繊維間に働く有効水素結合の差を原因の一つとして取りあげている。故にこれらの考察から、ハイロウを除いた成形前の申しんと、成形後の申しんとの間に、順位相関が成立しないことが予想出来、よってこの条件にハイロウが加われば、当然前述の如く、リングクラッシュ、すなわち成形前との順位相関は成立しないことになる。

次に、板厚のパラツキとハイロウの関係であるが、例えば $c(D)$ 仕様の申しんのように、板厚のパラツキが大きい申しんは、段ロール中央のかみ合い部において、概してスリップ現象を発生しやすい傾向にある。それは、段ロールのフルート先端と申しんの動摩擦係数等変動要因によって、スリップ現象を発生し、段が押されたり引っ張られたりして、不規則な段を連続形成するものであろう。この相互作用の結果は、図 13～15 によって現象的に示されている。従って、申しんの板厚管理は、成形加工特性を追求していく上で、極め

て重要な管理項目と言える。

4. 結 論

以上の考察から次の結論を得た。

- 1) シングルフェーサーに発生する振動は、段ロールの歯のかみ合いに起因するところが大きく、その周波数は、(段ロールの歯数)×(段ロールの回転数)の整数倍となる。
- 2) この周波数が段ロールの固有振動数に一致、もしくは近似した時振動は極めて大きくなり、各段ロール間の振動に位相差が生じる。特に逆位相の場合は、その振動が段成形に与える影響が大きいことが分かった。また、本試験の場合の共振点は 130 m/min に確認された。
- 3) 段ロールの固有振動数は、考察 3.3 に示した簡易式から、近似的に求めることが可能であることが分かった。また、その計算条件は $\lambda_1 = \pi$ が最も有用であり、結論 1) と結びつけることにより、共振点の予知が出来る。
- 4) ハイロウの評価は、従来のような統計処理上の平均値では、種々の変動要因との相互作用によって、予想に反する結果を生む場合がより多く発見され、正確に把握出来ないことが分かった。従って、ハイロウの適性評価法として最も推奨される方法は、シート幅方向と流れ方向について、段高さや段高差の両方を、出来る限り連続的に把握することである。

- 5) 一定走行条件下 (115 m/min) におけるハイロウは、段高さ 5.25 mm の基準寸法に対して、 $-0.05 \sim -0.1$ mm の範囲であり、さらに段高差については $\pm 0.0431 \sim 0.0335$ mm の範囲内で認められた。また、中しんのグレードの相違と共に、振動がハイロウに大きく寄与していることが分かった。
- 6) 各中しんグレードによる段高さは、板厚に相関し、密度に逆相関することが明らかとなった。また、その中で密度の影響が大きく、さらに板厚のパラッキがハイロウを増加させるばかりでなく、成形特性全般に、極めて大きな影響を与えることが示唆された。

謝 辞

本研究に対して貴重な御指導を賜りました東京大学農学部、木村 実氏、静岡県製紙工業試験場主任研究員、中田幸次郎氏に、厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) K. Q. Kellicut, E. F. Landt : Forest Products Laboratory, 2 Forest Service U. S. Department of Agriculture. Rept No. D 1911, Novem (1951)
- 2) R. C. Mckee : Tappi, 43(3) 218A-229A (1980)
- 3) J. W. Koning, Jr., and Russell C. Moody : Tappi, 54(11), 1979~1881 (1971)
- 4) Volker E. Stockmann : Tappi, 59(7), 93~97 (1976)
- 5) 松岡 宏 : 紙パ技協誌, 15(125), 2~8 (1961)
- 6) 具足島良昭, 坂本雅之 : 包装技術, 18(3), 44~48 (1980)
- 7) P. Jonsson and A. Hulteberg : Paperboard Packaging, March. 52~64 (1976)
- 8) R. C. Mckee, W. J. Whitsitt and C. N. Smith : Paperboard Packaging, June. 36~47 (1971)
- 9) 城戸健一 : 電子通信学会誌, 59(6) 618~625 (1976)
- 10) 城戸健一 : 電子通信学会誌, 59(7) 748~755 (1976)
- 11) 日本機械学会編 : 機械工学便覧 No. 3, 3~55
- 12) Mitsubishi Technical Review : 17(6) 21 (1980)
- 13) 紙業タイムス社編 : 段ボール原紙, (3) 160~163
- 14) Paperboard Packaging, Novem. 40~44 (1980)
- 15) J. W. Koning, Jr : Tappi, 58(12), 105~108 (1975)
- 16) 塩屋幸博, 鈴木信昭 : 紙パ技協誌 (投稿予定)
- 17) 塩屋幸博, 鈴木信昭 : 包装研究 (投稿中)
- 18) 門屋, 白田, 木村, 小田 : 紙パ技協誌, 33(3), 35~40 (1979)
- 19) 木村 実, R. E. Mark : 第 48 回紙パルプ研究発表会要旨集, 18~21 (1981)
- 20) 木村 実, R. E. Mark : 第 31 回日本木材学会講演要旨集, 365 (1981)
- 21) 東京大学, 木村 実 : 未公開資料

(受理 56. 12. 5)