

段ボール箱の圧縮強さ(3)

—ラップアラウンドの圧縮強さ推定式—

川端 洋一*

“Compression Strength of Corrugated Box” (3)

—Predicting Equation of Compressive Strength for Wrap-around Corrugated Box—

Yoichi KAWABATA

The predicting equation for the compression strength of wrap-around type containers is studied in this paper. The problem of Maltenfort's equation for that is pointed out. Namely, flat wrap-around type containers are usually used in the market but those size are out of dimension in the Maltenfort's equation. The modification for the Maltenfort's equation is introduced to eliminate this problem.

The problem of Sasazaki's equation is also pointed out. Namely, the compression strength of wrap-around type containers is obtained by multiplying the exponential function to that of regular slotted containers. For this, complex calculation is required.

The more precise and simpler predicting equation for that is proposed.

Keywords : Wrap-around corrugated box, Perimeter, Compression strength, Predicting equation, Maltenfort's equation, Regular slotted container, End flap, Ring crush value, McKee's equation, Kellicutt-McKee-Kawabata's equation

本報告はラップアラウンド形式の段ボール箱について、その圧縮強さ推定方法を検討し、Maltenfort 式の問題点を提起した。Maltenfort 式は市場で良く使われている平たい形状寸法については除外されている。この形状についても適用できるように、Maltenfort 式を改善した。

笹崎は一般的な0201形式の圧縮強さに指数関数を乗じて、ラップアラウンド形式の圧縮強さ推定式を報告している。しかし、推定方法は複雑である。

本報告では、簡単に推定精度の良い推定式を提案する。

キーワード : ラップアラウンド形式段ボール箱、周辺長、圧縮強さ、推定式、モルテンフォート式、0201形式の段ボール箱、エンドフラップ、リングクラッシュ値、マッキー式、ケリカット-マッキー-川端式

*レンゴ- (株) 包装技術センター (〒332-0004 埼玉県川口市領家5-14-8) : Rengo Co., Ltd. 5-14-8, Ryoko, Kawaguchi-shi, Saitama, 332-0004

1. はじめに

前報までは一般的な 0201 形式の段ボール箱の圧縮強さの推定式について検討した結果を報告してきた¹⁾²⁾。

本報告はラップアラウンド(W. A.)形式の段ボール箱の圧縮強さ推定方法について検討し、新しい圧縮強さ推定式について報告する。

段ボール箱を包装ライン上で製函包装する W. A. 形式の場合、包装されるべき中身製品で圧縮荷重を負担させるのが通例だが、PET ボトルのようなプラスチック容器に充填された製品の場合は、圧縮荷重によりプラスチック容器が変形するため、中身製品と外装段ボール箱によって圧縮荷重を負担させる必要がある。従って、中身の無い W. A. 形式の空箱の圧縮強さを予測することは重要である。

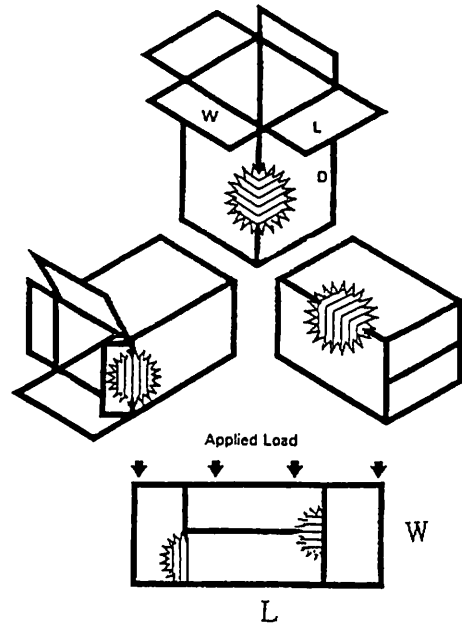
W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式は、米国の G. G. Maltenfort が一般的な 0201 形式の段ボール箱の圧縮強さを推定する R. C. McKee 式を基準として、推定する方法を報告している³⁾。

しかし、その方法は段ボール箱の制限寸法範囲を設定して、それぞれの変換係数を変えて推定するやり方であり、適用出来ない寸法範囲がある。

また、笹崎によると W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式は、一般的な 0201 形式の段ボール箱の圧縮強さをまず求め、それに指数を使った変換係数を乗じて求めている⁴⁾。そのため計算は複雑で、ライナ材質を選択する場合も、煩雑な計算を必要とする欠点がある。こうした問題点を解決して、簡易な圧縮強さ推定式を用いて計算する方法を提案する。

2. G. G. Maltenfort 式

米国の G. G. Maltenfort は R. C. McKee の圧縮強さ推定式を使って、W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さを推定する方法を報告している³⁾。それによると 0201 形式の段ボール箱を横に倒した状態 (Fig. 1) で圧縮強さを測定し、R. C. McKee の圧縮強さ推定式を基準として、箱の寸法の範囲を限定し、フルートの種類によって係数を変えている。Table-1 参照。



(Fig. 1) Schematic diagram of wrap-around type containers

(Table-1) G. G. Maltenfort's Compression Strength Equation for wrap around container $Z_{wr} = (2L+2D)$

	Dimensional Limits	Flute	Equation
(1)	$(2L+2W) < 52in.$ $\& W \geq 10in.$	All	$3.57 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$
(2)	$(2L+2W) \geq 52in.$ $\& W > 10in.$	A	$3.93 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$
		B	$4.46 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$
		C	$4.82 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$
(3)	$(2L+2W) < 52in.$ $\& W < 10in.$	A	$3.26 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$
		B	$3.70 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$
		C	$4.00 P_c \sqrt{fZ_{wr}(1+W/L)}$

G. G. Maltenfort の寸法呼称は、通常の寸法呼称と異なり、0201 形式の段ボール箱を横に倒した状態で表しているのので、これを通常の W. A. 形式の段ボール箱寸法に呼び変えると、Table-2 が得られる。

R. C. McKee の圧縮強さ推定式(1)の係数 5.87

$$S = 5.87 P_m h^{0.5} Z^{0.5} \quad (1)$$

- S : 段ボール箱の圧縮強さ (lb)
- P_m : エンドクラッシュ値 (lbs/in)
- h : 段ボールの厚さ (in)
- Z : 箱の周辺長 $2(L+W)$ (in)
- L : 箱の長さ寸法 (in)
- W : 箱の巾寸法 (in)
- D : 箱の深さ寸法 (in)

と Table-2 の各式の係数の比を求めると、Table-3 が得られ、R. C. McKee の係数 5.87 の 0.555~0.821 倍に減少している。その代

わりに $(1+D/W)$ の項で D/W 分増加している。

3. 圧縮強さ推定式の寸法範囲

G. G. Maltenfort の圧縮強さ推定式が適用される寸法範囲は、Table-2 に示されるように三つの区分に分けられている。Fig. 2 に示すように三つの区分の範囲を描いてみるとはっきりするが、適用されない寸法領域が存在する。即ち、 $(W+D) \geq 26 \text{ in.}$ 、 $D < 10 \text{ in.}$ の範囲にある寸法領域である。

この寸法領域は段ボール箱としてはひらたい形状であり、W. A. 形式を使用すると、段ボールシート面積が最も減少し易い形状で、多くの商品の輸送包装に採用されている。こうした寸法領域こそ圧縮強さ推定式を必要としているのだが、何故かこの領域は省略され

(Table-2) Another notation of Maltenfort's equation for wrap-around container

	Dimensional Limits	Flute	Equation
(1)	$(W+D) < 26 \text{ in.}$ & $D \geq 10 \text{ in.}$	All	$3.57 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$
(2)	$(W+D) \geq 26 \text{ in.}$ & $D > 10 \text{ in.}$	A	$3.93 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$
		C	$4.46 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$
		B	$4.82 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$
(3)	$(W+D) < 26 \text{ in.}$ & $D < 10 \text{ in.}$	A	$3.26 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$
		C	$3.70 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$
		B	$4.00 P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$

$$Z = 2(L+W)$$

(Table-3) G. G. Maltenfort's Constants v.s. R. C. McKee's Constants

Flute	Ratio of constant	
(1) All	$3.57/5.87 = 0.608$	$(1+D/W)$
(2) A	$3.93/5.87 = 0.670$	$(1+D/W)$
	$4.46/5.87 = 0.760$	$(1+D/W)$
	$4.82/5.87 = 0.821$	$(1+D/W)$
(3) A	$3.26/5.87 = 0.555$	$(1+D/W)$
	$3.70/5.87 = 0.630$	$(1+D/W)$
	$4.00/5.87 = 0.681$	$(1+D/W)$

Maltenfort's Compression Strength Equation for wrap around container

$$P_w = K P_m \sqrt{hZ(1+D/W)}$$

P_w : Compression Strength (WA) (lb)
 P_m : Edge Crush Value (lb/in), K : Constant
 Z : Perimeter (in), D : Depth of Box (in)
 L : Length of Box (in), h : Thickness of sheet(in)

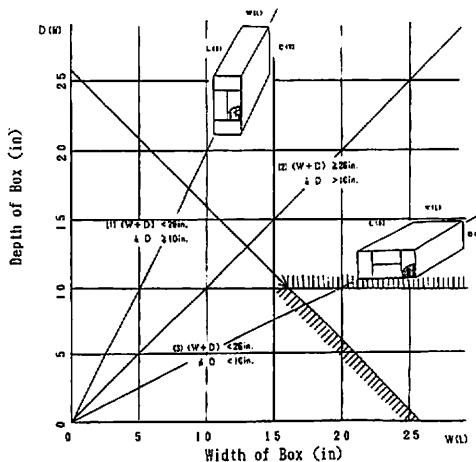


Fig. 2 : Dimensional Limits of Maltenfort (WA) Compression Strength Equation.

ている。また、Table-2 の(2)の領域について見ても、箱の深さ寸法(D)が増加すると圧縮強さが増大する推定式となっているが、実測値と一致していない。

このような不完全な圧縮強さ推定式を提案しながらも、G. G. Maltenfort は“ひよっとすると、ある数学的な、より優雅な適用により、単一の式で問題を包含する事さえ出来そうである。”と述べている。

4. W. A. 形式の圧縮強さ推定式 (in, lb 系)

G. G. Maltenfort の報文³⁾ の Table-IV のデータ表の中から、 $L \geq W$ の条件に合致した箱のデータを取り上げて表を作成し直して見ると、Table-4 が得られる。このデータを使って R. C. McKee の圧縮強さ推定式を基準とした新しい圧縮強さ推定式を案出した。

まず、0201 形式の段ボール箱の圧縮強さ S に変換係数 (κ) を乗じて W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ S_w を推定する式を求める。 $S_w = \kappa S$

$$\kappa = (L+2F)/(L+W) = [L/(L+W)] + [2F/(L+W)] \quad (2)$$

S_w : W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ (lb)

S : 0201 形式の段ボール箱の圧縮強さ (lb)

κ : 変換係数

L : 箱の長さ寸法 (in)

W : 箱の巾寸法 (in)

F : エンドフラップの巾 (in)

(2)式で、W. A. 形式の段ボール箱の寸法が

$L \doteq 2W$ ならば、

$$\kappa \doteq (2/3) [1 + (F/W)] \times 1.1754^*$$

$$S_w \doteq 5.87 \times (2/3) [1 + (F/W)] \times 1.1754^*$$

$$\times [P_m \sqrt{h} \times \sqrt{Z}]$$

$$= 4.6 [(F/W) + 1] [P_m \sqrt{h} \times \sqrt{Z}] \quad (3)$$

* 補正係数

S_w : W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ (lb)

W : 箱の巾寸法 (in)

F : エンドフラップの巾 (in)

P_m : エンドクラッシュ値 (lbs/in)

h : 段ボールシートの厚さ (in)

Z : 箱の周辺長 $2(L+W)$ (in)

McKee- Maltenfort

$$P = K P_m \sqrt{hZ} (1+0/W)$$

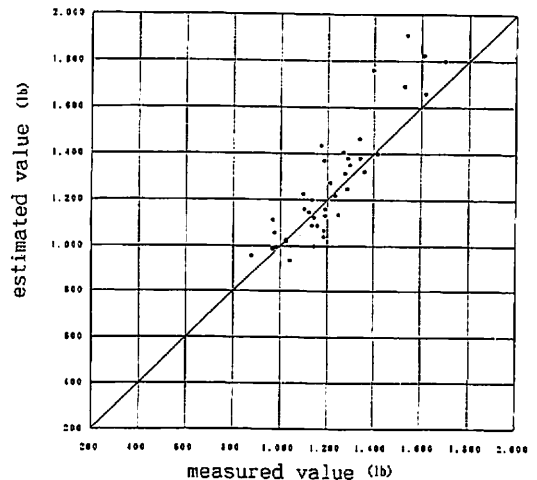


Fig.3-A : Correlation between measured and estimated value.

(Table-4) Compression Strength for wrap around container (lb)

No	Dimension L-W-D	Z	F/W +1	A/200		C/200		C/275		B/275	
				Act.	Est.	Act.	Est.	Act.	Est.	Act.	Est.
1	12×10×10	44	1.5000	969	1072	878	924	1215	1230	1158	1050
3	12×12×10	48	1.4166	1026	1058	1026	911	1236	1213	1186	1036
4	16×12×10	50	1.4166	1121	1142	958	984	1277	1311	1142	1119
5	20×12×10	64	1.4166	1097	1221	977	1052	1271	1401	1133	1196
9	16×16×10	64	1.3125	1134	1132	1041	975	1287	1298	1186	1108
10	20×16×10	72	1.3125	1192	1200	982	1034	1362	1377	1192	1176
11	12×12×12	48	1.5000	1101	1120	1145	965	1290	1285	1251	1097
18	16×16×14	64	1.4375	1342	1239	1299	1068	1699	1422	1620	1214
19	20×16×14	72	1.4375	1340	1315	1172	1133	1541	1508	1398	1288
24	20×20×14	80	1.3500	1417	1301	1187	1121	1612	1493	1533	1275

Combined Board Data (h) Cal. 0.203 ** 0.163 ** 0.182 ** 0.137 **
(P.) 52 lb. 50 lb. 63 lb. 62 lb.

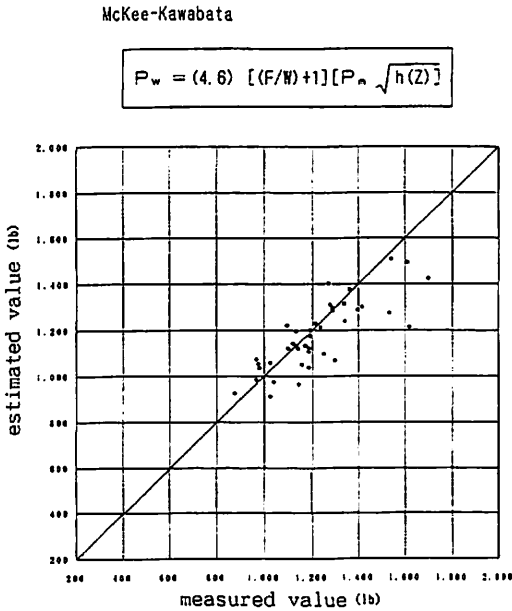


Fig.3-B: Correlation between measured and estimated value.

L : 箱の長さ寸法 (in)

Table-4 に(3)式を使って計算した推定値を載せた。

Fig. 3 に実測値と推定値の相関性を示す。

Fig.3-A G. G. Maltenfort の推定式による

Fig.3-B 新しく提案した推定式による。

5. W. A. 形式の圧縮強さ推定式 (CGS 単位系)

前項では (in, lb) 系の W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式を導きだしたが、(CGS 単位) 系の W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式を求める。

前述の変換式(3)において、 $2/3 \div 16/25$ とおくと、(4)式が得られる。

$$P_w \div (16/25) [(F/W)+1] P \quad (4)$$

P_w : W. A. 段ボール箱の圧縮強さ (kgf)

P : 0201 段ボール箱の圧縮強さ (kgf)

W : 箱の巾寸法 (cm)

F : エンドフラップの巾 (cm)

この(4)式に Kellicutt-McKee-Kawabata 式²⁾

$$P = (5/8) R_x [(L+W)h]^{1/2} \quad (5)$$

P : 0201 段ボール箱の圧縮強さ (kgf)

R_x : 総合リングクラッシュ値 (kgf/6in)

L : 箱の長さ寸法 (cm)

W : 箱の巾寸法 (cm)

h : 段ボールシートの厚さ (cm)

を導入すると次式が得られる。

$$P_w = (2/5) R_x [(F/W)+1] [(L+W)h]^{1/2} \quad (6)$$

P_w : W. A. 段ボール箱の圧縮強さ (kgf)

R_x : 総合リングクラッシュ値 (kgf/6in)

F : エンドフラップの巾 (cm)

L : 箱の長さ寸法 (cm)

W : 箱の巾寸法 (cm)

h : 段ボールシートの厚さ (cm)

(6)式を用いて推定した値と実測した値を比較すると、Table 5 が得られる。これをグラフ化すると Fig. 4 が得られ、W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ K-M-K 推定式の推定値

(Table-5) Compression Strength for wrap around container (kgf)

	Dimension L-W-D	P_w	(P_w) K-M-K Eq.	
			$R_x(2/5) [(F/W)+1] [(L+W)h]^{1/2}$	$100 P_w / (P_w)$
1	50×40×30	324	326.15	99.34
2	50×40×25	311	311.33	99.89
3	50×40×20	305	296.50	102.87
4	50×30×25	304	316.82	95.95
5	50×30×20	303	298.18	101.62
6	50×20×20	305	313.79	97.20
7	50×20×15	303	287.64	105.34
8	40×30×25	291	296.36	98.19
9	40×30×20	289	278.92	103.61
10	40×20×20	261	290.51	89.84
11	40×20×15	260	266.30	97.63
12	30×20×20	254	265.20	95.78
13	30×20×15	208	243.10	85.56

R_x 88.4

Kellicutt-McKee-Kawabata

$$P_w = R_x (2/5) [(F/W)+1] [(L+W)h]^{1/2}$$

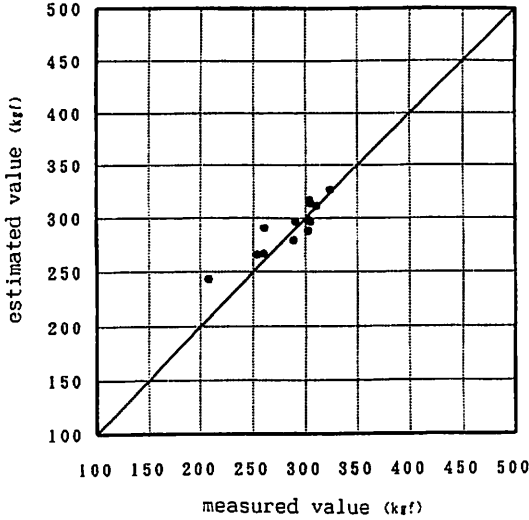


Fig. 4 : Correlation between measured and estimated value.

と実測値との間に相関性がある事がわかる。

この方式で W. A. 形式の段ボール箱の必要な圧縮強さ P_w をもとに、必要なライナを選択するには、(7)式を使って容易に計算する

$$R_x = P_w (5/2) / [(F/W)+1] [(L+W)h]^{1/2} \quad (7)$$

ことが出来る。

6. W. A. 形式の圧縮強さ推定レンゴ方式(CGS 単位系)

笹崎の報告によれば、W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定レンゴ方式は、まず一般的な 0201 形式の段ボール箱の圧縮強さを求め、それに指数関数を乗じた次式で行っている⁴⁾。

$$P_w = P (3/5) (8/5)^{2F/W} \quad (8)$$

P_w : W. A. 段ボール箱の圧縮強さ(kgf)

P : 0201 段ボール箱の圧縮強さ(kgf)

F : エンドフラップの巾 (cm)

W : 箱の巾寸法 (cm)

(8)式を用いて推定した値と実測した値を比較すると、Table 6 が得られる。W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定レンゴ方式を用いて推定した値と実測値との相関性を

(Table-6) Compression Strength for wrap around container (kgf)

Dimension L-W-D	P_w	(P_w) RENGO Eq. $P(3/5)(8/5)^{2F/W}$	
		$P(3/5)(8/5)^{2F/W}$	$100 P_w / (P_w)$
1 50×40×30	324	318.6	101.69
2 50×40×25	311	301.2	103.25
3 50×40×20	305	283.3	107.66
4 50×30×25	304	318.2	95.54
5 50×30×20	303	295.1	102.68
6 50×20×20	305	329.3	92.62
7 50×20×15	303	292.8	103.48
8 40×30×25	291	304.0	95.72
9 40×30×20	289	282.0	102.48
10 40×20×20	261	313.0	83.39
11 40×20×15	260	278.3	93.42
12 30×20×20	254	294.7	86.19
13 30×20×15	208	262.0	79.39

RENGO

$$P_w = P (3/5) \times (8/5)^{2F/W}$$

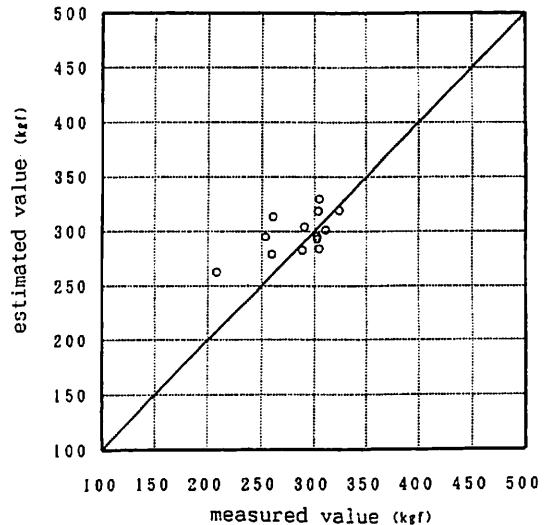


Fig. 5 : Correlation between measured and estimated value.

Fig. 5 に示す。

この方式は W. A. 形式の段ボール箱の必要な圧縮強さ P_w をもとに、必要なライナを選択するには、(9)式を使って 0201 形式の段ボール箱の圧縮強さ (P) を逆算して求め、更に K. Q. Kellicutt 式⁵⁾ を使って計算する必要がある。複雑で計算し難い欠点がある。

$$P = P_w (5/3) (8/5)^{-2F/W} \quad (9)$$

7. W. A. K-M-K 推定式の適用寸法範囲

新しく誘導した W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ K-M-K 推定式の適用寸法範囲を Fig. 6 に示す。

Fig.2 に示した G. G. Maltenfort の W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式の適用寸法範囲図と比較してもその適用範囲を広げていることを示している。

K-M-K Equation for wrap around container

$$P_w = R_x (2/5) \{ (F/W) + 1 \} [(L+W)h]^{1/2}$$

F : Width of Endflap (cm)
 W : Width of Box (cm)
 L : Length of Box (cm)
 h : Thickness of sheet (cm)

P_w : Compression Strength (WA) (kgf)
 R_x : Total ring crush value (kgf/15.24 **)

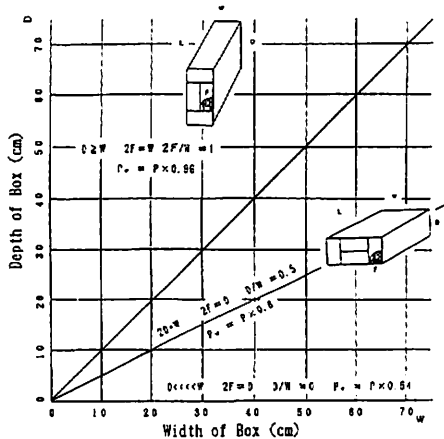


Fig. 6 : Dimensional Limits of K-M-K (WA) Compression Strength Equation.

W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定レンゴー方式の場合も、その適用寸法範囲は Fig. 7 に示すように適用範囲を広げている。新たに提案した W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式の適用寸法範囲図は Fig. 7 とほぼ同様である。

8. おわりに

W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ推定式について、G. G. Maltenfort の推定式を改良して新たに適用範囲を広げた圧縮強さ推定式を得る事が出来た。また、一般的な 0201 形式の段ボール箱の簡易な圧縮強さ推定式の Kellicutt-McKee-Kawabata 式を使って、W. A. 形式の段ボール箱の圧縮強さ (P_w) を推定する式を導き出した。

$$P_w = (2/5) R_x [(F/W) + 1] [(L+W)h]^{1/2} \quad (6)$$

RENGO Equation for wrap around container

$$P_w = P (3/5) (1.6)^{2F/W}$$

P_w : Compression Strength (WA) (kgf)
 P : Compression Strength (0201) (kgf)
 F : Width of Endflap (cm)
 W : Width of Box (cm)

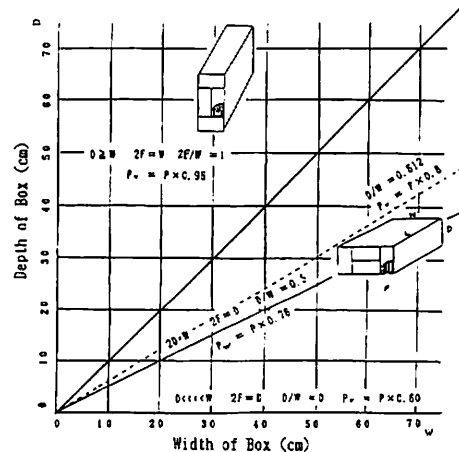


Fig. 7 : Dimensional Limits of RENGO (WA) Compression Strength Equation.

$$R_x = P_w (5/2) / [(F/W) + 1] [(L+W)h]^{1/2} \quad (7)$$

新たに提案するこの式はレンゴー方式に比較して推定精度は同等であるが計算し易く、W. A. 形式の段ボール箱の必要な圧縮強さ(P_w)から、ライナの選択のための総合リングクラッシュ値(R_x)の逆算も容易で、通常 $\sqrt{\quad}$ キーのある電卓であれば、簡単に計算できる特徴も持っている。

最後に本研究及び発表の機会を与えて頂いたレンゴー株式会社に深く感謝する。

<引用文献>

- 1) 川端洋一、日本包装学会誌、6 (1), 19 (1997)
- 2) 川端洋一、日本包装学会誌、6 (1), 24 (1997)
- 3) G. G. Maltenfort, Boxboard Containers, 83, (4), 24 (1985)
- 4) 笹崎達夫、“包装技術便覧”(日本包装技術協会編)、日本包装技術協会、p.2166 (1995)
- 5) K. Q. Kellicutt, E. F. Landt, “Basic Design Data for the Use of Fiberboard in Shipping Containers” (No. D1911), United States Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory, Nov., (1951)

(原稿受付 1997 年 9 月 29 日)

(審査受理 1998 年 3 月 5 日)