

段ボール原紙強度と段ボールシートおよび段ボール箱の強度との関連について

佐藤 薫*、小役丸 孝俊*

The Relation between the Strength of Fiberboard and Corrugated Fiberboard Sheets or Boxes

Kaoru SATOU* and Takatoshi KOYAKUMARU*

段ボール原紙物性は、破裂強さを強度の基準としている場合がまだまだ多いことから、本検討では、段ボール原紙物性と段ボールシート物性ならびに段ボール箱の強度を系統的に調べ、破裂強さを基準とする妥当性を検討した。その結果、物流中に最も重要である段ボール箱の圧縮強さは、その構成原紙(表裏ライナと中しん)の総合リングクラッシュ(RC)強さや段ボールシートのエンドクラッシュ強さとは正比例の関係が認められたが、構成原紙の合計破裂強さやシートの破裂強さとは正比例関係がみられなかった。従って、今後段ボール箱を構成する原紙の物性としては、ますますリングクラッシュ圧縮強さの重要性が高まるものと考えられた。

Bursting strength in some physical properties of fiberboard is recognized as the standard property in many cases still now.

We have studied systematically some physical properties of fiberboards, corrugated fiberboard sheets, and corrugated fiberboard boxes, and considered whether bursting strength should be or not be the standard property in physical properties.

Consequently we found the compression strength of the box, which is the most important property in the logistics, is proportional to the composite ring crush strength of top linerboard, back linerboard and corrugating medium×take-up ratio (AF:1.53) or the edge crush strength of the corrugated fiberboard sheets. But the compression strength of the box is not proportional to both total bursting strength of composed fiberboards or corrugated fiberboard sheet.

Therefore we have confirmed that the ring crush strength of fiberboard will be more important in estimating the compression strength of corrugated fiberboard box in future.

キーワード：段ボール、段ボール原紙、圧縮強さ、破裂強さ、リングクラッシュ強さ

Keyword : corrugated fiberboard box, linerboard, compression strength, bursting strength, ring crush strength

* レンゴー株式会社 中央研究所 〒553-0007 大阪市福島区大開 4-1-186 TEL:06-6466-7441
RENGO CO.,Ltd. Central Laboratory 4-1-186 Ohhiraki, Fukushima-ku, Osaka, Japan

1. 緒言

日本における段ボール原紙の規格は 1945 年制定のアメリカの標準運送貨物規則 Rule 41 等をベースに作られ、サンプルの調製やムーレン試験機での測定が簡単なことから破裂強さ (ライナ; JIS P 3902-1963、中しん; JIS P 3904-1963) が多用されてきた¹⁾。しかしながら、段ボールの主たる必要物性は、圧縮強さであることから日本では 1977 年に原紙の圧縮強さが JIS 規格に加えられたが²⁾、原紙の破裂強さと圧縮強さとの関係やさらには段ボールシートや段ボール箱の圧縮強さとの関係について体系的に検討した報告は意外に少なく、まだまだ破裂強さが高い原紙は引張りや圧縮強さも高い³⁾との認識から破裂強さを強度の基準としている場合が多い。

本報告では、原紙の破裂強さと引張強さならびに引裂強さや圧縮強さとの関係について研究を行い、さらに圧縮強さがほぼ同等で破裂強さの異なる 2、3 の原紙について、これらの原紙を用いて製造した段ボールシートの圧縮強さ、さらには段ボール箱の圧縮強さとの一連の関係を検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 段ボール原紙および段ボールシート、段ボール箱の調製

2.1.1 段ボール原紙

市販の坪量 160g/m²あるいは 170g/m²のライナ原紙 7 種 11 試料について、JIS 規格に準じて破裂強さ並びに引張強さと伸び、引裂強さ、リングクラッシュ強さを測定した。

各測定は、試料原紙巻取の長さ方向を原紙の抄紙機走行方向(Machine Direction: MD)とし、巻取幅方向を原紙の抄紙機横断方向(Cross Direction: CD)として行った。

2.1.2 段ボールシートおよび段ボール箱の作成

2.1.1 のライナの中から、破裂強さは異なるが圧縮強さがほぼ同じ原紙①R 社 ETS160、②O 社 OFC160、および、③K 社 KC170 の 3 種 6 原紙試料を選定し、段ボールシートに貼合した。中しんは R 社の標準的な 120g/m²のものを共用した。これらライナの抄紙機を Table 1 に示す。段ボールシートは上記各種ライナ原紙を表裏に使用し、中しんには R 社 KSR120 を使用して AF 両面段ボールシートに下記コルゲータにて貼合速度 210m/分で貼

Table 1 Fiberboards used for test and the fiberboard machines in the production makers.

Fiberboard	Linerboards(for top and back)			Corrugating medium
	R(Y)-ETS 160	O-OFC 160	K-KC170	
Trade name	R(Y)-ETS 160	O-OFC 160	K-KC170	R(K)-KSR120
Production maker	R	O	K	R
Machine No.	5	3	2	1
Number of ply	3	3	5	1
Type of wet part	Multi-fourdrinier	Duo K Former	Hi-speed Ultra	Fourdrinier
Machine width cm	485	485	320	315
(Wire width) cm	(524)			(350)
Max speed m/min	850	640	400	650

合生産した。貼合シートをフレキシフォルダ
グリアにて印刷を省き製函速度 250 枚/分
にて製函した。

シングルフェーサ：2,000mm 幅、三菱重工
業製の 60G(ベルトプレス)型、最高貼合
速度 380m/分。

ダブルフェーサ：2,000mm 幅、三菱重工業
製、最高貼合速度 250 m/分。

フレキシフォルダグリア(FGR)：三菱重工
業製、EVOLUTION-100、最高製函速度
350 枚/分。

箱の形式は JIS コード 0201 番(旧 A-1 式)で、
箱の内寸は長さ(L)360mm/幅(W)300mm/高さ
(H)250mm とした。

箱のジョイント部の接合用接着剤は酢酸ビニ
ルエマルジョン樹脂を使用した。

ここで、段ボール箱は段ボール原紙並びに
段ボールシートの製造上の制約から、物流過
程で使用されている箱の高さ方向は、一般的
には段目(フルート)方向となり、原紙ではラ
イナも中しんも CD 方向となる。本検討にお
いても段ボール箱の高さ方向はこれに準じた。

2.2 段ボール原紙および段ボールシート、段ボ ール箱の物性測定方法

2.2.1 段ボール原紙

試料を 23℃・50%RH で 24 時間以上調湿し
た後に次の JIS 規定に準じて測定した。

- ①坪量 JIS P 8124、②厚さ・密度 JIS P
8118、③圧縮強さ JIS P 8126(リングクラ
ッシュ法)、④引張強さ JIS P 8113、⑤
破裂強さ JIS P 8131(ミューレン高圧法)、
⑥引裂強さ JIS P 8116(エルメンドルフ
法)、⑦透気度 JIS P 8117(ガーレー法)、

⑧吸水度 JIS P 8140(コップ法)

③と④の、圧縮並びに引張速度は 10mm/分
とした。

2.2.2 段ボールシート

試料を 23℃・50%RH で 24 時間以上調湿し
た後に次の JIS 規定に準じて測定した。

- ①垂直圧縮強さ JIS Z 0403(エッジクラ
ッシュ法、荷重段目方向)、②平面圧縮強さ
JIS Z 0403(フラットクラッシュ法)、③破裂
強さ JIS P 8131(ミューレン高圧法)、
④接着強さ JIS Z 0402(ピンテスト接着強
度法)

①、②、④の圧縮速度は 10mm/分とした。

2.2.3 段ボール箱

段ボール箱の圧縮強さは、試料段ボール箱
を 23℃・50%RH で 24 時間以上調湿した後に
次の JIS 規定に準じて測定した。圧縮強さの
測定は、試料段ボール箱の内フラップと外フ
ラップとをホットメルトにより固定した場合
と固定なしのフリーとの 2 通りで行った。

・JIS Z 0212、圧縮速度は 12.5mm/分とした。

3. 結果および考察

3.1 各種ライナ原紙の破裂強さ、引張強さとその 伸び、引裂強さ、圧縮強さとの関係について

R 社(Y)-ETS160、R 社(A)-ETS160、O 社
OFC160、SC160、SC170、K 社 KC170、KC160
の各試料原紙の破裂強さ、引張強さとその伸
び、引裂強さ、圧縮強さの測定値を Table 2
に示す。また、試料原紙の破裂強さと引張強
さとの関係を Fig.1 に示す。原紙の破裂強さ
と引張強さとの関係は、原紙の MD 引張強さ
とは相関係数が R=0.81、CD 引張強さとは

Table 2 Properties of fiberboards

Prpduction maker			R (Y)		O		K		R (K)	R (A)	O	O	K
Trade name			ETS 160		OFC 160		KC 170		KSR 120	ETS 160	SC 160	SC 170	KC 160
Fiberboard			Top Liner	Back liner	Top Liner	Back liner	Top Liner	Back liner	Med- ium	Don't make corrugated fiberboard sheet			
Number of specimen ↓													
Basis weigh g/m ²	5	Ave	160.4	159.4	159.7	158.8	168.4	172.8	120.8	159.5	159.8	170.3	159.9
Thickness μm	10	Ave	184	184	193	197	207	216	192	181	183	193	202
Density g/cm ³			0.87	0.87	0.83	0.81	0.81	0.80	0.63	0.88	0.87	0.88	0.79
Ring crush strength(CD) N	10	Ave	225	231	227	230	255	252	148	241	223	269	227
Ring crush index (CD) kN·m/g		σ*	14	13	14	8	9	17	6	11	9	13	10
			140	145	142	145	151	158	123	151	140	140	142
Tear strength (MD) N	10	Ave	1.28	1.24	0.94	0.92	1.15	1.14	1.01	1.26	0.84	0.87	1.03
		σ	62	58	41	37	65	63	39	33	50	58	41
Tear strength (CD) N	10	Ave	1.45	1.48	1.24	1.18	1.37	1.35	1.31	1.47	1.20	1.46	1.24
		σ	70	73	51	29	81	78	70	53	57	91	67
Tensile strength (MD) N/1.5cm	10	Ave	111	115	113	118	100	105	69	139	107	123	118
		σ	6.0	5.2	5.5	12.2	7.0	8.7	1.9	5.8	7.2	6.0	5.6
Tensile strength (CD) N/1.5cm	10	Ave	49	51	48	47	39	40	40	58	50	52	40
		σ	1.1	3.0	1.8	2.1	1.9	1.9	1.6	2.1	1.1	2.8	1.5
Breaking (MD) Strength km		Ave	4.71	4.91	4.81	5.05	4.04	4.13	3.89	5.93	4.56	4.91	5.02
Breaking (CD) Strength km		Ave	2.08	2.18	2.04	2.01	1.62	1.54	2.25	2.47	2.13	2.08	1.70
Tensile (MD) elongation rate %	10	Ave	1.4	1.7	1.7	1.9	1.3	1.8	1.6	2.1	1.5	1.5	1.4
		σ	0.35	0.30	0.29	0.46	0.31	0.35	0.30	0.32	0.29	0.34	0.22
Tensile (CD) elongation rate %	10	Ave	3.7	4.2	5.0	4.8	2.3	2.7	3.7	5.1	3.1	3.2	2.8
		σ	0.68	0.94	0.67	0.82	0.54	1.0	0.65	0.95	0.31	0.57	0.89
Bursting strength measured kPa	20	Ave	345	339	348	342	291	294	235	401	295	323	301
		σ	21	20	18	14	28	28	13	24	20	22	19
Burst index kPa·m/g		Ave	2.16	2.12	2.18	2.15	1.71	1.72	1.95	2.51	1.84	1.90	1.89
Bursting strength calculated (P=2T/r) ** kPa	P _{MD}	Ave	276	317	311	346	240	299		426	276	317	293
	P _{CD}	Ave	192	219	220	211	129	137		263	184	192	138
Curvature radius of expanded rubber(r) *** cm	r _{MD}	Ave	5.36	4.84	4.84	4.55	5.56	4.69		4.35	5.17	5.17	5.36
	r _{CD}	Ave	3.37	3.13	2.94	2.97	4.11	3.88		2.91	3.62	3.57	3.85

* Standard deviation ; $\sigma = \sqrt{\{\sum(Xi - Ave)^2 / (n - 1)\}}$ Xi ; an individual datum

n ; number of specimen

** Carson equation ; $P(kPa) = 2T / r$ T(N/cm) ; Tensile strength
r (cm) ; Curvature radius of expanded rubber

*** $r = L / \sin \theta = 15 / \sin \theta$ L(cm) ; Plane diameter of rubber before expanding
 θ (degree) ; Degree of expanding rubber curvature

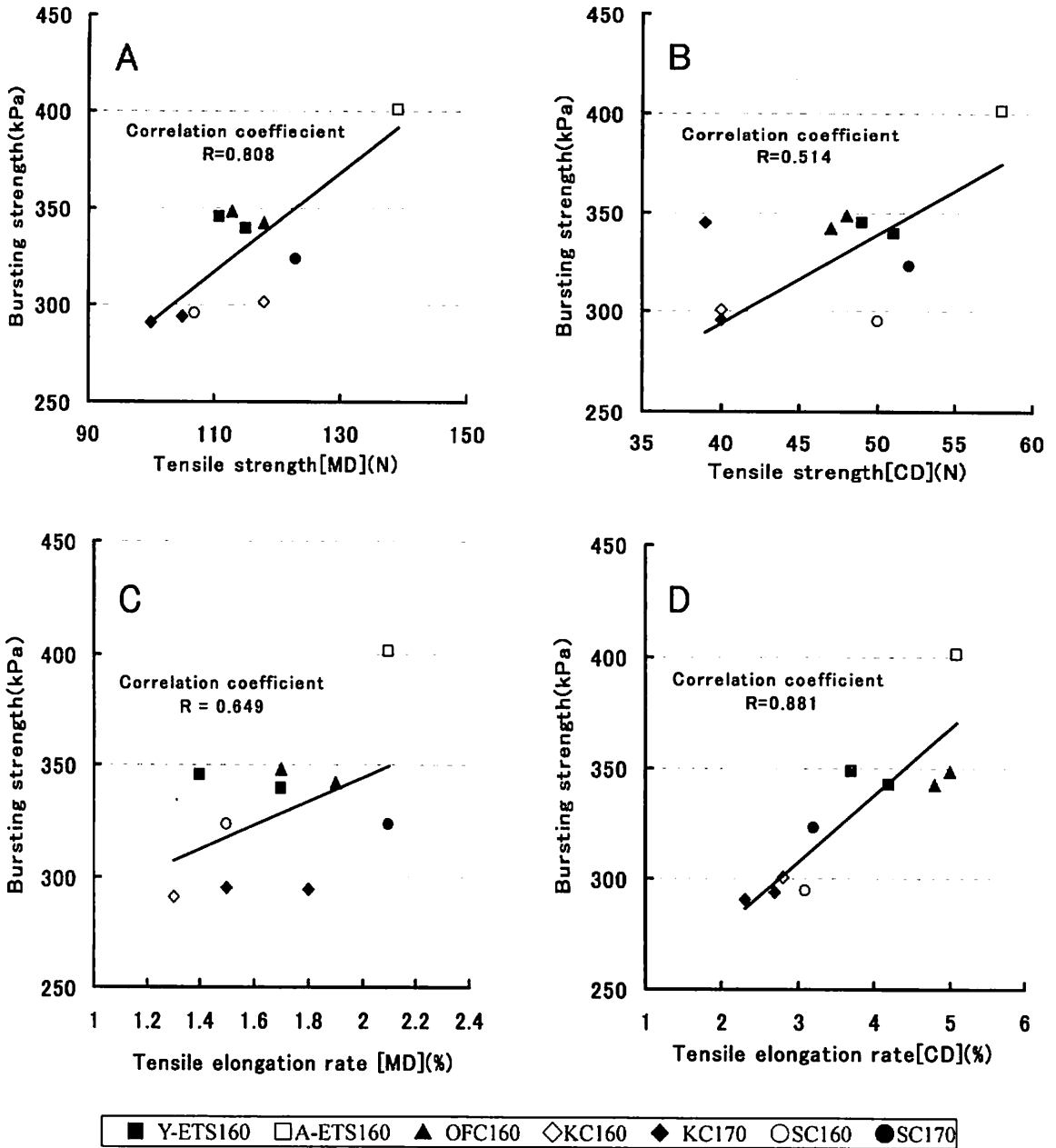


Fig.1 Relation between bursting strength of linerboards and
 A: tensile strength[MD] of linerboards.
 B: tensile strength[CD] of linerboards.
 C: tensile elongation rate[MD] of linerboards.
 D: tensile elongation rate[CD] of linerboards.

R=0.51 と、MD 引張強さと正比例関係にあり相関が高かった。しかしながら、Fig.1 に示すように破裂強さと引張伸びとの関係では、MD 方向の伸びとは相関係数が R=0.65、CD 方向の伸びとは R=0.88 となった。

Carson の報告によると、破裂強さは次式によって引張強さと関係が深いことを示している³⁾⁴⁾⁵⁾。

$$P=2T/r \dots\dots\dots(1)$$

ここで P：破裂強さ(kPa)、r：破断時における原紙の湾曲半径(cm)

T：原紙幅 1 cm 当たりの引張強さ(N/cm)

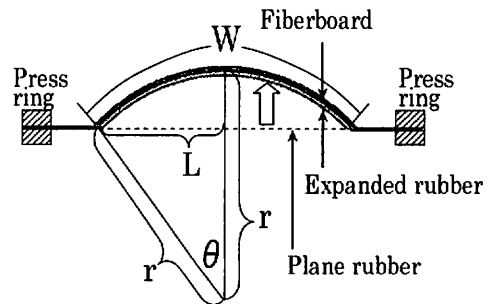
また、破断時における原紙の湾曲半径 r は、Campbell⁹⁾によって求められたとされているが、ゴム膜を加圧して膨らませ、原紙を破裂させるミューレン破裂試験器の仕組みから考えると、破断までの伸びの大きな試料原紙ほど、原紙を加圧するゴム膜の膨れが大きくなる。すなわち、原紙破裂時のゴム膜の湾曲半

径 r は小さくなる。従って、この式の意味するところは、破裂強さは引張強さに比例すると共に引張伸びにも比例することになる。今回測定した試料原紙の引張強さは、CD に比べて MD が 2.14~2.95 倍強かった。また、引張伸びは、MD に比べて CD が 1.77~2.94 倍大きかった。ミューレン破裂試験器の仕組みから考えると、破裂強さは原紙の MD 伸びが変形の限界となり、強度も伸びの少ない MD 引張強さが大きく影響すると考えられる。

そこで破裂試験破断時に MD 方向に破裂限界まで伸びた試料長さ(W)は、単純に MD 引張試験破断時の伸び率から算出した長さに等しいと仮定して(1)式による推定破裂強さ(P)の算出を試みた。破裂破断時の(1)式の試料原紙湾曲半径は Fig.2 に示す(2)式 $r=15/\sin \theta$ と(3)式 $W=\pi \theta /6\sin \theta$ との関係を示す Fig.3 の曲線の W 値に、各試料原紙の MD 引張試験破断時の伸び率(E)から算出した長さ $W=30 \times (1+E/100)$ を代入して、湾曲半径(r_{MD})値を求め

< Mark >

- r(cm) Curvature radius of expanded rubber
- 2L(cm) Plane diameter of bursting rubber before expanding
- θ (degree) Degree of expanding rubber curvature
- W(cm) Fiberboard length at maximum bursting strength
- E(%) Fiberboard elongation rate of tensile strength



< Equation >

$$r=L/\sin \theta =15/\sin \theta \quad (2)$$

$$W=2\pi r \times 2\theta /360=\pi \theta /6\sin \theta \quad (3)$$

And $W=2L \times (1+E/100) \quad (4)$

Fig. 2 Calculating method of curvature radius and elongated fiberboard length.

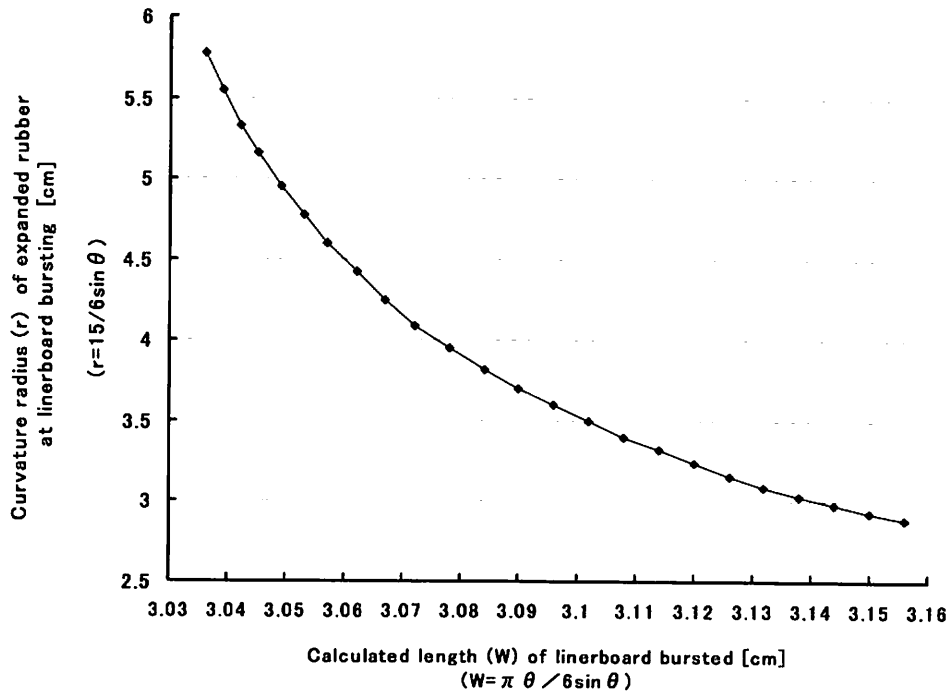


Fig.3 Relation between r(curvature radius of expanded rubber) and W(linerboard length at maximum bursting strength).

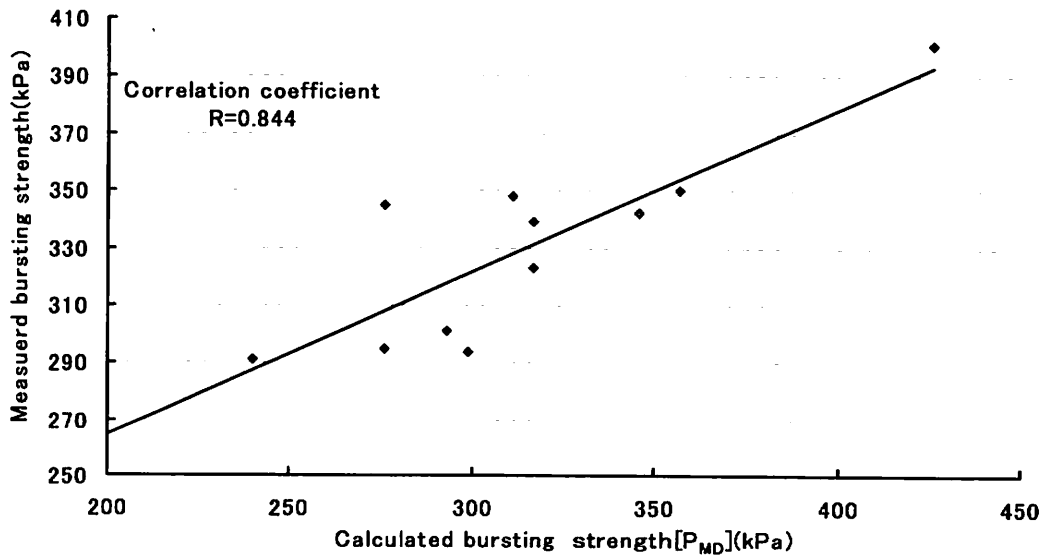


Fig.4 Relation between the measured bursting strength and calculated bursting strength [P_{MD}] by the equation(1) in linerboard.

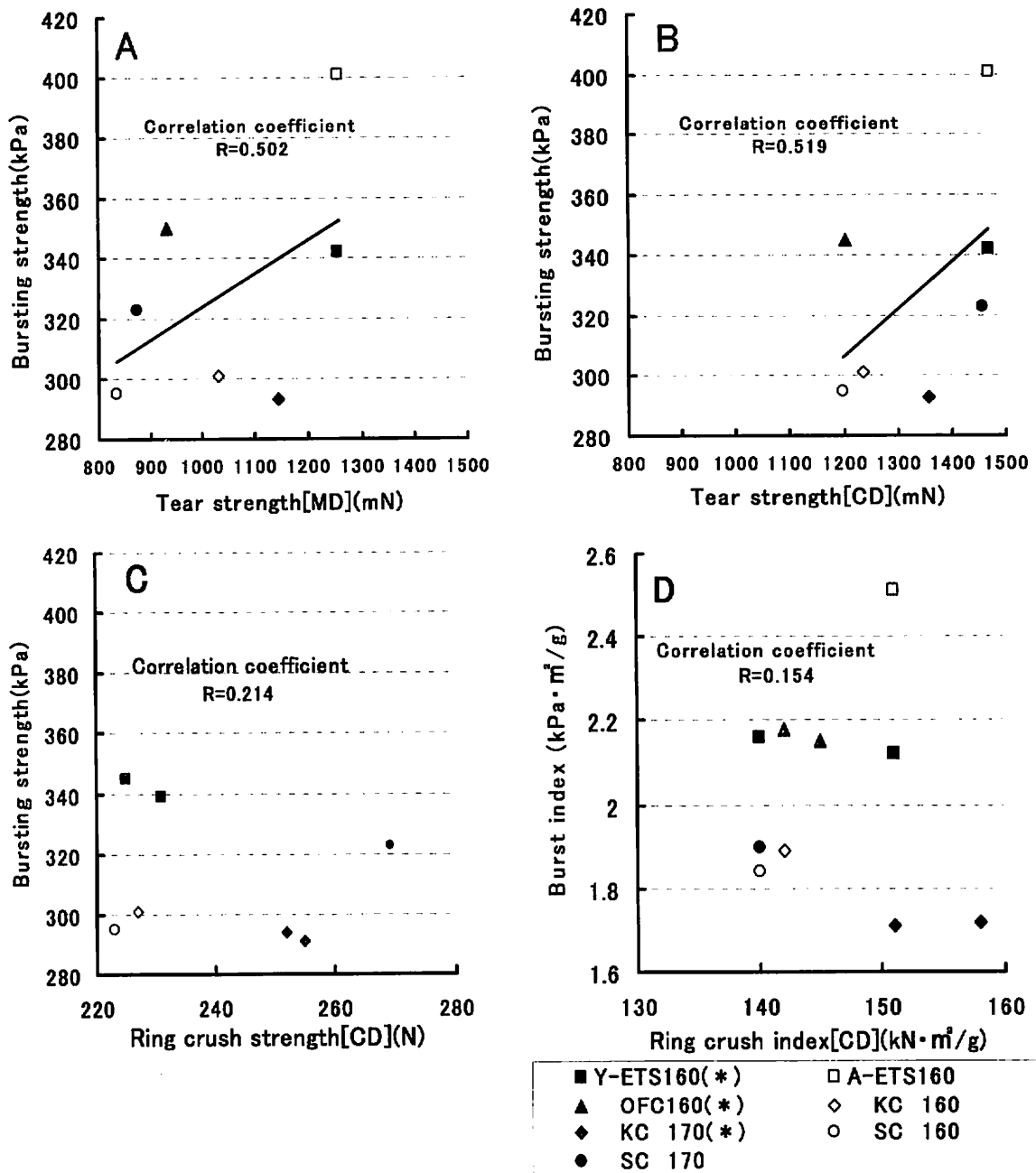


Fig.5 Relation between bursting strength and (A) tear strength[MD] of linerboards, (B) tear strength[CD] of linerboards and (C) ring crush strength[CD] of linerboards, and (D) relation between burst index and ring crush index[CD] of linerboards.

た。この r_{MD} と Table 2 に示す実測 MD 引張強さから算出した破裂強さの推定値 (P_{MD}) を同じく Table 2 に併記した。また、あえて各試料原紙の CD 引張試験破断時の伸び率から同様にして算出した破裂破断時推定長さに対応する r_{CD} 値と実測 CD 引張強さからも推定破裂強さ (P_{CD}) の算出を試み、同じく Table 2 に併記した。その結果、MD 引張強さから算出した破裂強さ (P_{MD}) の平均値は 314kPa で、実測破裂強さ平均値 328kPa の 96% となったが、CD 引張強さの値から算出した破裂強さ (P_{CD}) の平均値は 193kPa で実測値の 59% であり、実測値と乖離が大きかった。MD 引張強さから算出した推定破裂強さ (P_{MD}) は、Fig.4 に示すように実測の破裂強さと比例関係にあり、相関係数も $R=0.84$ と高いことから、先の想定と合致して破裂強さは MD 引張り強さと関連が深いと考えられた。

また、試料原紙の破裂強さと引裂強さとの関係は Fig.5,A,B に示すように MD 引裂強さで相関係数 $R=0.50$ 、CD 引裂強さで $R=0.52$ となり、破裂強さと CD リングクラッシュ (以下、RC) 強さとの関係も Fig.5,C に示すように正比例関係は認められなかった。同じく Fig.5,D に示す比破裂強さと比リングクラッシュ強さとも正比例関係にはなかった。

これらの結果から、原紙の破裂強さは MD 引張強さと関係が深く、引裂強さやさらには段ボール箱物性で最も重要な圧縮強さと相関が高いと報告⁹⁾されている RC 強さとは、数値的に正比例関係にはないと推定された。

そこで破裂強さがほぼ同等で RC 強さもほぼ同等である R 社の ETS160 と O 社の OFC160 と、この 2 種のライナに比べると破裂強さが低く、RC 強さがほぼ同等の K 社の KC170 原紙とを用いて段ボールシートを貼合製造し、シート物性並びに箱の圧縮強さを比較検討した。

3.2 原紙物性と段ボールシート物性の関係

原紙強度と段ボールシート物性との関係を検討するために、R 社の ETS160、O 社 OFC160、K 社 KC170 の 3 種 6 試料原紙を用い、申しんは、標準的な坪量の R 社の KSR120 を共用して先述のコルゲータ条件にて AF 段ボールシートを貼合製造した。申しんの物性は先の Table 2 に併記している。

これら段ボールシートの垂直圧縮強さ (原紙の CD 方向)、平面圧縮強さ、破裂強さおよび接着強さを Table 3 に示す。また、表裏の総合 RC 値 (原紙の CD 方向) と段ボールシートの垂直圧縮強さとの関係を Fig.6,A に、表裏のライナ原紙の破裂強さと申しんの破裂強さとを合わせた合計破裂強さと段ボールシートの垂直圧縮強さとの関係を Fig.6,B に示す。原紙の総合 RC 値と段ボールシートの垂直圧縮強さとは、正比例関係にあり相関係数も $R=0.98$ と高い関係にあった。また、Fig.6,C に示すように原紙の合計破裂強さと段ボールシートの破裂強さも正比例関係にあった。しかし、原紙の合計破裂強さと段ボールシートの垂直圧縮強さとの関係は、Fig.6,B に示すように正比例関係にはなく、原紙の合計破裂強さが高い場合にも、段ボールシートの垂直圧縮強さは低くなった。

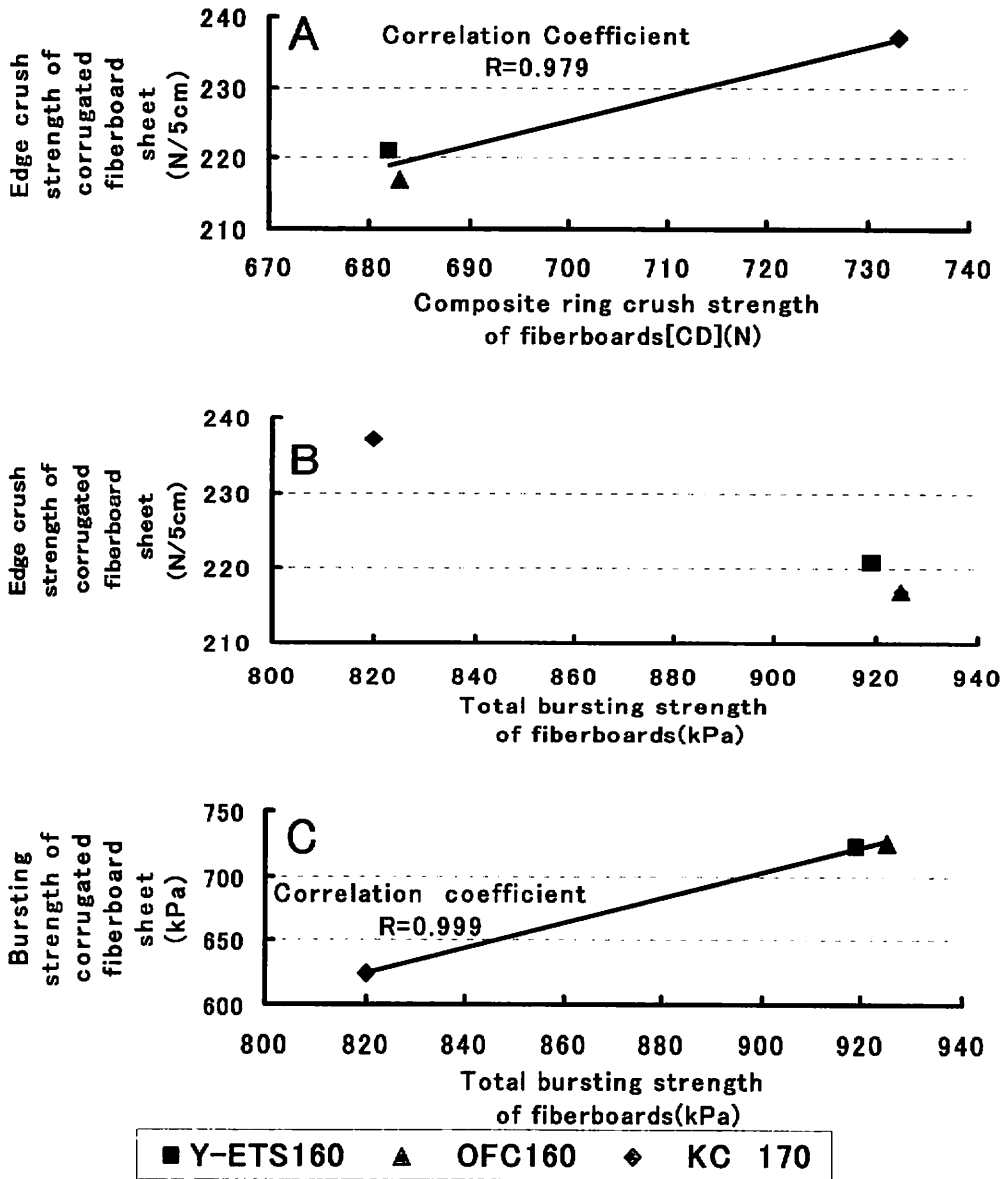


Fig.6 (A): Relation between edge crush strength of corrugated fiberboard sheet and the composite ring crush strength[CD] of fiberboards which are top, back linerboards and corrugating medium \times take-up ratio (AF:1.53).

(B): Relation between edge crush strength of corrugated fiberboard sheet and the total bursting strength of fiberboards which are top, back linerboards and corrugating medium.

(C): Relation between bursting strength of corrugated fiberboard sheet and the total bursting strength of fiberboards which are top, back linerboards and corrugating medium.

Table 3 Properties of corrugated fiberboard sheets(A flute).

Linerboard				Composing fiberboard		
				R(Y)-ETS160	O-OFC160	K-KC170
Corrugating medium				R(K)-KSR120		
Number of specimen ↓						
Thickness	mm	10		5.03	5.06	5.15
Edge crush strength	N/5cm	10	Ave	221	217	237
			σ *	13.8	15.5	15.3
Flat crush strength	Primary Peak	10	Ave	199	207	201
			σ	12.4	15.1	25.6
	N Max Load	10	Ave	397	400	385
			σ	11.6	21.2	24.0
Bursting strength	kPa	20	Ave	723	725	625
			σ	55	40	39
Adhesive strength	Top (SF)	10	Ave	249	258	246
			σ	11.2	10.3	16.9
	N Back (DF)	10	Ave	238	218	244
			σ	27.2	20.4	14.9

* Ave ; Average

$$\text{Standard deviation ; } \sigma = \sqrt{\{\sum(Xi - Ave)^2 / (n - 1)\}}$$

Xi ; an individual datum

n ; number of specimen

3.3 原紙物性と段ボール箱の圧縮強さとの関係

また、上記段ボールシートで JIS コード 0201 番(旧 A-1 式)の箱形式で、内寸 L360mm/W300mm/H250mm の AF 無印刷段ボール箱を製函して強度を比較した。結果を Fig.7,A,B に箱の圧縮強さと原紙の総合 RC 強さとの関係を、また、箱の圧縮強さと原紙の総合破裂強さとの関係を Fig.7,C,D に示す。また、Fig.8,A,B には箱の圧縮強さと段ボールシートの垂直圧縮強さとの関係を、また、Fig.8,C,D には箱の圧縮強さと段ボールシートの破裂強さとの関係を示す。段ボール箱の圧縮強さは、内フラップ固定 Fig.7,A、フリー Fig.7,B のいずれの場合も、原紙の総合 RC 値

とは正比例関係にあり、相関係数が R=0.75~0.87 と高かった。Fig.8,A,B に示すように段ボールシートの垂直圧縮強さとも同様に相関係数 R=0.76~0.87 の正比例関係が認められた。一方、Fig.7,C,D に示すように箱の圧縮強さと原紙の合計破裂強さとの関係は全く正比例関係にはなく、破裂強さが強くなった場合にも、変化がないか、あるいは若干低くなった。Fig.8,C,D に示すように段ボールシートの破裂強さとの関係も同様であり、内フラップ固定 Fig.7,C、Fig.8,C、フリー Fig.7,D、Fig.8,D のいずれの場合にも原紙の合計破壊強さや段ボールシートの破壊強さとは正比例関係になかった。

段ボール原紙強度と段ボールシートおよび段ボール箱の強度との関連について

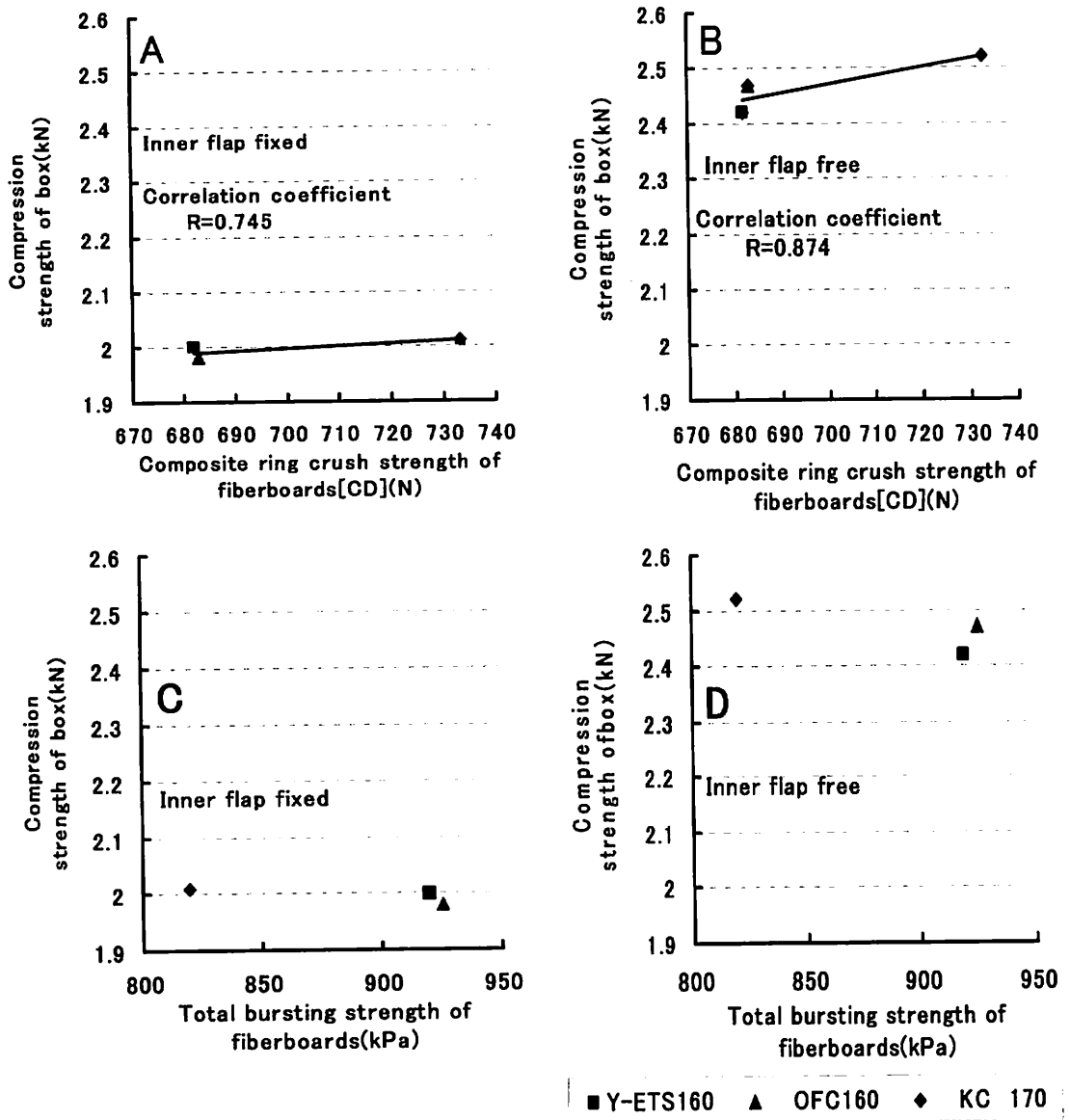


Fig.7 Relation between compression strength of boxes and composite ring crush strength[CD] of fiberboards which are top, back linerboards and corrugating medium \times take-up ratio (AF:1.53). (A): Inner flap fixed. (B): Inner flap free.
 Relation between compression strength of boxes and total bursting strength of fiberboards which are top, back linerboards and corrugating medium. (C): Inner flap fixed. (D): Inner flap free.

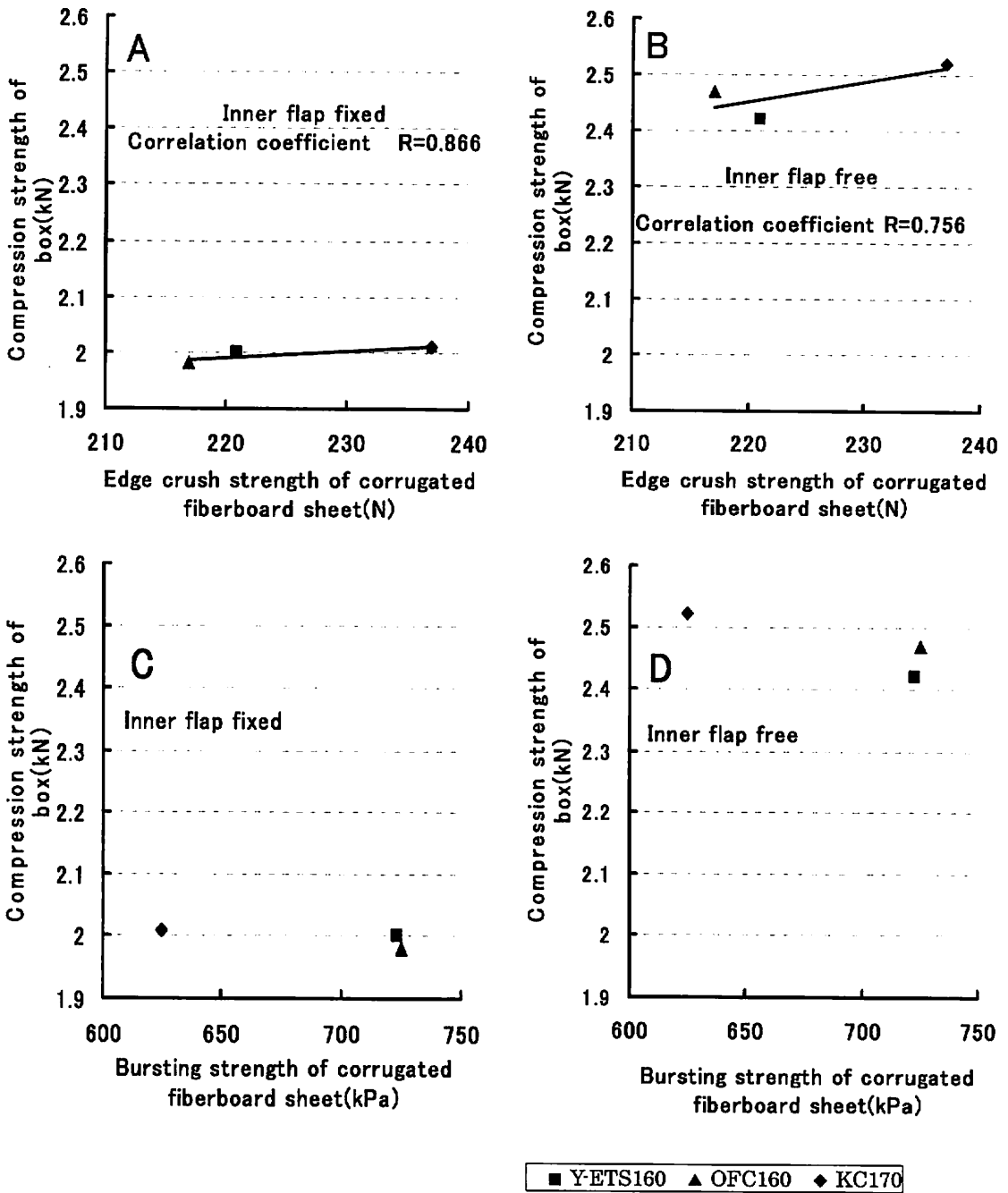


Fig.8 Relation between compression strength of boxes and edge crush strength of corrugated fiberboard sheet. (A): Inner flap fixed. (B): Inner flap free.

Relation between compression strength of boxes and bursting strength of corrugated fiberboard sheet. (C): Inner flap fixed. (D): Inner flap free.

4. 結論

段ボール原紙物性と段ボールシート物性並びに段ボール箱の強度を系統的に調べた結果、段ボール原紙の破裂強さは引張強さとは正比例関係にあるが、RC 強さとは関係が認められなかった。さらに段ボール箱の圧縮強さは、その構成原紙(表裏ライナと中しん)の総合RC 強さ(CD)や段ボールシートの垂直圧縮強さ(原紙の CD 方向)とは正比例関係が認められたが、原紙の合計破裂強さや段ボールシートの破裂強さとは正比例関係は認められなかった。このため、今後ますます段ボールを構成する原紙の物性としては、RC 強さ(CD)の重要性が高まるものと考えられた。

<引用文献>

- 1) 月刊段ボール、6、36、(1965)
- 2) 五十嵐清一、段ボール産業の歩み、日本段ボール工業会、309、(1988)
- 3) 高崎製紙(株)企画技術室、CARTON & BOX、11、61、(1984)
- 4) 青木松三、月刊段ボール、4、113、(1968)
- 5) 上野桂助、紙の強度、丸善、217、(1973)

(原稿受付 2008 年 5 月 27 日)

(審査受理 2008 年 7 月 3 日)