

研究論文

段ボールシートの原紙推定方法の開発及び評価

飯田恭平*1、阿部祥忠*1、佐藤幹彦*1

Establishment of Method to Estimate Strength and Basis Weight of Containerboard Using Corrugated Fiberboard

Kyohei IIDA*1, Yoshitada ABE*1 and Mikihiko SATO*1

Industrial Research Center*1

これまでの研究で提案してきた国内製段ボールシートの原紙推定方法について、適用範囲を海外製段ボールシートにまで拡大して、原紙の材質組合せ及び強度の推定可否について検討した。また、段ボールシートから原紙を剥離して原紙強度を測定する方法及び段ボールシートの強度から原紙強度を推定する方法について検討を行い、後者の方が高い精度で推定が可能であることを明らかにした。

1. はじめに

近年、製造拠点の海外進出に伴い、段ボール箱等の包装資材は現地で調達するが、技術や経験を必要とする包装設計に関しては国内で行う事例が増えている。しかし、海外製段ボールシート及び原紙に関する情報は少なく、国内製の紙との質に違いがあるため包装設計が非常に困難となっている。段ボールシートが想定した強度を得られない要因は様々あり、段のつぶれ¹⁾や大気中の湿気の影響²⁾に関する研究が進められてきた。そのほかに、原紙自体の強度が低いことが考えられるが、シートの状態から原紙の材質及び強度を調べる方法は存在しない。

そこで、これまでの研究で提案してきた国内製段ボールシートの原紙推定方法³⁾の適用範囲を、JIS規格外の原紙を使い作成した段ボールシート(国内製及び海外製)にまで拡大して、原紙の材質組合せ及び強度の推定可否について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験試料

段ボールシートは図1に示すように、表・裏ライナと波形の中しんから構成されている。表・裏ライナ及び中しんの材質は坪量と呼ばれる1m²あたりの質量と原紙

の強度により区別され、様々な種類が存在している。本研究では表1に示したとおり、中しんの坪量が同じで表・裏ライナの坪量が異なる国内製の段ボールシート(3種類)と中国及びタイ製の段ボールシート(1種類)を用いた。

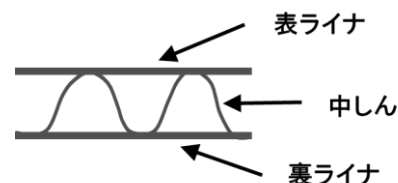


図1 段ボールシートの構成

2.2 物性値の測定方法

試験は、実験試料を23℃/50%R.H.の環境下で、24時間以上調湿した後に括弧内に示す規格に基づいて行った。

2.2.1 段ボール原紙の測定項目

(1) 坪量 (JIS P 8124)

試験片寸法は180×260mm、測定回数は10回とした。

(2) 破裂強さ (JIS P 8131)

測定回数は表と裏から各10回の合計20回とした。

(3) ISO圧縮強さ (JIS P 8126)

測定回数は10回、圧縮速度は13 mm/minとした。

表1 実験試料

サンプル	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
構成坪量(g/m ²) (表ライナ/中しん/裏ライナ)	170/120/170	210/120/210	280/120/280	175/112/175	185/125/185
製造国	日本	日本	日本	中国	タイ
段の種類	AF	AF	AF	CF	CF

*1 産業技術センター 環境材料室

2.2.2 段ボールシートの測定項目

(1) 坪量 (JIS P 8124 準用)

試験片寸法は 140×285mm、測定回数は 10 回とした。

(2) 破裂強さ (JIS P 8131)

測定回数は表と裏から各 10 回の合計 20 回とした。

(3) 垂直圧縮強さ (JIS Z 0403-2)

測定回数は 10 回、圧縮速度は 13 mm/min とした。

2.3 剥離した原紙から原紙強度を測定する方法

段ボールシートから原紙を剥離して原紙強度の測定を行った。原紙の剥離方法は以下の手順とした。

手順 1 シートを 40～60℃のお湯に 10 分間浸漬し、原紙を剥離する。

手順 2 剥離した原紙の表面に付着している接着剤をヘラで取り除く。

手順 3 105℃で 20 分間乾燥させ、23℃/50%R.H.の環境下に 24 時間以上静置する。

2.4 シートから原紙強度を推定する方法

段ボールシートの強度から原紙強度を推定する方法について検討を行った。原紙強度の推定方法は以下の手順とした。原紙強度の推定は C 言語を用いたプログラムによる原紙推定システムを作成して行った。

手順 1 原紙物性値データから表ライナ、中しん、裏ライナの材質をそれぞれ選び、シート物性値を計算で求める。

手順 2 原紙推定を行うシートの実測値と**手順 1**で求めた計算値を比較する。

手順 3 **手順 1**及び**手順 2**を原紙の基準物性値データの全ての原紙の組合せで行い、その中から物性値の近い材質組合せを選定する。

手順 4 シート物性値と原紙の基準物性値データの強度比から原紙強度を推定する。

2.4.1 基準となる原紙物性値データの作成方法

JIS 規格外の原紙の坪量と強度の関係を定義した新たな原紙物性値データの作成を行う。原紙物性値データは JIS Z3902 及び JIS Z3904 のデータを参考として、全てのデータ間を式①及び条件 1 から条件 4 を用いて補間を行い作成した。

$$S_n(x) = a_n + b_n x + c_n x^2 + d_n x^3 \quad \dots \text{式①}$$

2 点 (x_n, y_n) (x_{n+1}, y_{n+1}) 間において、

条件 1 $S_n(x)$ の両端の点を通る

$$y_n = S_n(x_n), \quad y_{n+1} = S_n(x_{n+1})$$

条件 2 境界点が連続

$$S_n'(x_n) = S_{n+1}(x_{n+1})$$

条件 3 境界点の傾きが連続

$$S_n''(x_n) = S_{n+1}''(x_{n+1})$$

条件 4 両端 (x_1, y_1) 、 (x_{n+1}, y_{n+1}) の 2 次導関数が 0

$$S_1''(x_1) = S_n''(x_{n+1}) = 0$$

2.4.2 材質組合せの選定方法

材質組合せの選定方法は式②の正規分布の確率密度関数を用いて行った。式③のように、坪量、破裂強さ、圧縮強さの確率密度関数をかけあわせた値を P と定義し、P の値が最も大きくなる原紙の組合せの選定を行った。

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots \text{式②}$$

$\phi(x)$: 確率密度関数

x : 測定値

μ : 計算値

σ : 標準偏差

$$P = \phi_{\text{weight}}(x) \cdot \phi_{\text{burst}}(x) \cdot \phi_{\text{column}}(x) \quad \dots \text{式③}$$

2.4.3 原紙強度の推定方法

これまでの研究³⁾で得られた原紙強度からシート強度を計算する式④と原紙物性値データの強度比である式⑤との関係から原紙強度の推定を行った。

$$X = a + \alpha \cdot b + c + E \quad \dots \text{式④}$$

X : シート強度

a : 表ライナ強度

b : 中しん強度

c : 裏ライナ強度

α : 段繰率 (AF:1.6, CF:1.5)

E : 補正值

$$a : b : c = A : B : C \quad \dots \text{式⑤}$$

原紙物性値データの

A : 表ライナ強度

B : 中しん強度

C : 裏ライナ強度

3. 実験結果及び考察

3.1 国内製段ボールシート強度の測定

表 2 に国内製段ボールシートの坪量、破裂強さ、圧縮強さの値を示す。これらの結果から、材質の判定時に用いる式②の標準偏差は計算値の坪量は 0.5%、破裂強さは 6.6%、垂直圧縮強さは 2.6% の値を用いた。

3.2 原紙強度の比較

図 2～4 に段ボールシートに貼合前の原紙、段ボールシートから剥離後の原紙 (以下「剥離後」とする)、段ボールシートの物性値からの推定値 (以下「推定値」とする) の坪量、破裂強さ及び圧縮強さを示す。

表2 国内製段ボールシート強度

サンプル	No.1	No.2	No.3	平均
坪量 (g/m ²)	541	619	749	—
標準偏差 (g/m ²)	2.3	2.9	5.3	—
割合(%)	0.4	0.5	0.7	0.5
破裂強さ (kPa)	945	1161	1376	—
標準偏差 (kPa)	74	53	102	—
割合(%)	7.8	4.6	7.4	6.6
垂直圧縮強さ (kN/m)	5.92	6.86	8.36	—
標準偏差 (kN/m)	0.18	0.17	0.19	—
割合(%)	3.0	2.5	2.3	2.6

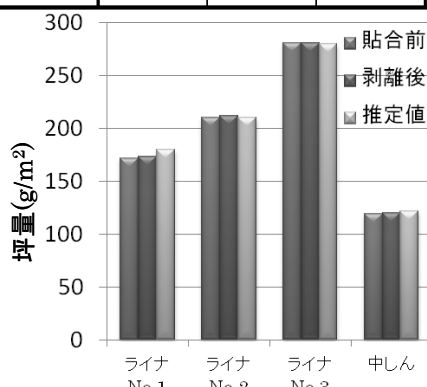


図2 坪量の推定結果

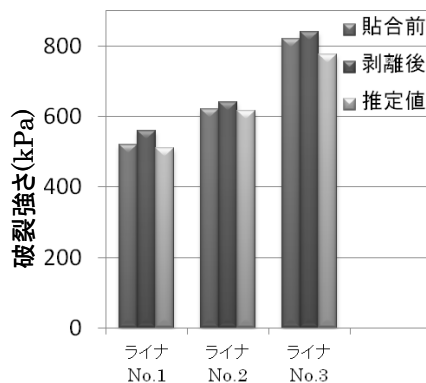


図3 破裂強さの推定結果

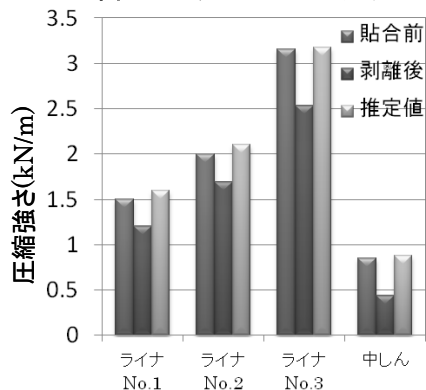


図4 圧縮強さの推定結果

坪量に関しては段ボールシートに貼合前の原紙の値と剥離後、推定値のどちらでも高い精度で一致することが分かった。破裂強さに関しては貼合前と比較すると剥離後では強度が高くなることが分かった。これは、紙を一度水に濡らし、乾燥させたことにより紙の繊維同士のからみ具合が変化したためと考えられる。

圧縮強さに関しては剥離後では貼合前と比較した時に大きく強度が低くなることが分かった。これは紙を水に濡らすことによって紙にしわができて、JIS P 8126の試験方法では正確な強度測定ができなくなったためだと考えられる。それに対して推定方法では高い精度で原紙の強度が推定できることが分かった。

3.3 海外製段ボールシートへの適用

今回提案した原紙強度推定方法を海外製の段ボールシートへ適用して評価を行った。表3に海外製段ボールシートの坪量、破裂強さ、圧縮強さの値を示す。海外製の段ボールシートについては貼合前の原紙が入手できなかったため、剥離後と推定値の値を図5～7に示す。海外製段ボールでも国内製段ボールと同様に坪量と破裂強さではほぼ同等の値が得られ、圧縮強さでは剥離後の値が低くなる傾向がみられた。海外製のJIS規格外の原紙を使用したシートに対しても原紙強度の推定が有効であると考えられる。

表3 海外製段ボールシート強度

サンプル	No.4	No.5
坪量 (g/m ²)	583	415
標準偏差 (g/m ²)	4.6	3.2
破裂強さ (kPa)	1070	770
標準偏差 (kPa)	55	66
垂直圧縮強さ (kN/m)	6.68	4.53
標準偏差 (kN/m)	0.20	0.26

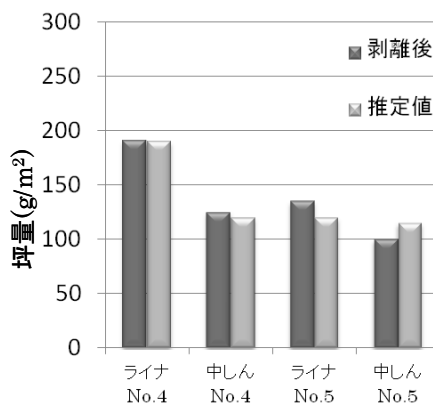


図5 坪量の推定結果

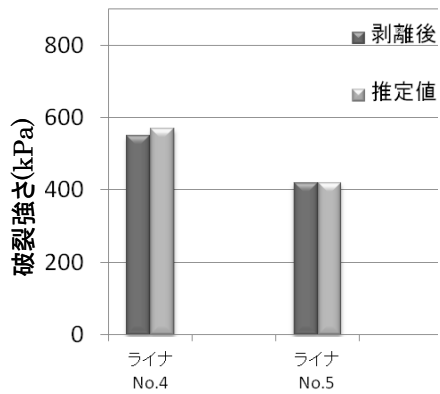


図6 破綻強さの推定結果

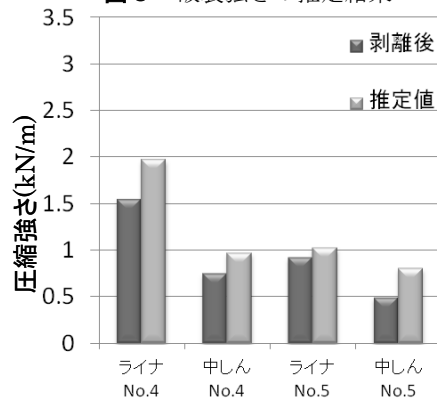


図7 圧縮強さの推定結果

4. 結び

段ボールシートから原紙を剥離して原紙強度を測定する方法及び段ボールシートの強度から原紙強度を推定する方法について検討を行い、後者の方が高い精度で推定が可能であることを明らかにした。また、JIS規格外の原紙を使用している海外製シートにも段ボールシートの強度から原紙強度を推定する方法が有効であることを示した。

以上の結果を踏まえて、昨年度の研究で提案した、C言語を用いたプログラムによる原紙推定システムに修正を加え、海外製段ボールシートまで対象を拡大し、より精度の高い原紙推定システムを開発した。

文献

- 1) 藪島, 山原, 古田: 日本包装学会 第19回年次大会 予稿集, 129(2010)
- 2) 東山, 原, 古田, 大塚, 橋本, 門田: 日本包装学会第21回年次大会予稿集, 86(2012)
- 3) 飯田, 阿部, 佐藤: あいち産業科学技術総合センター 研究報告, 2, 24(2013)