

## 食品外装段ボール箱積付強さ劣化に及ぼす トップクリアランスの影響

村尾千秋\*

### Effect of Clearance between Top Panel of Containers and Contents on Compression Strength Loss of Corrugated Containers for Food Products during Warehousing

Chiaki MURAO\*

Mathematical model was studied on the compression strength characteristics of corrugated containers with contents in the previous papers. That was  $C = B + \alpha D \cdots (1)$ ,  $C = \beta A \cdots (2)$ . Coefficient  $\beta$  involved above equation (2) meant the compensation factor for the compression strength loss of corrugated containers during warehousing. In this paper  $\beta$  characteristics study of corrugated containers filled with carton boxes is made on the effect of clearance between the top panel of corrugated containers and carton boxes by using 2-tier model. Study is made on compression creep failure tests conditioned at 20°C., 65% RH/40°C., 90% RH. Results indicate the optimum range of top clearance for minimizing compression strength loss of corrugated containers filled with carton boxes. Continued on the previous paper significant route to the optimum design for the compression strength of corrugated containers is provided by using this new results.

Keywords : Corrugated container, Carton box, Top clearance, Optimum range, Compression strength loss, Creep failure, 2-tier model, High temperature/high humidity conditions, Mathematical model, Optimum design

先に、中身入り外装段ボール箱の圧縮強さを表現する数式モデルとして、 $C = B + \alpha D \cdots (1)$ 、 $C = \beta A \cdots (2)$ を提案した。(2)式の係数 $\beta$ は、積付強さ劣化補償係数である。本報では引き続き、カートン個箱入り外装段ボール箱を対象に、トップクリアランスと $\beta$ の関係を、2段積みモデルを使用して検討した。検討は、20°C 65% RH及び40°C 90% RH前処理条件で、圧縮クリープ強さ試験を行った。その結果、カートン個箱入り外装段ボール箱の積付劣化を最小化するトップクリアランスの最適範囲を明らかにすることができた。これは前報に引き続き、外装段ボール箱圧縮強さ最適設計への重要な足掛かりとなる新知見である。

キーワード : 外装段ボール箱、カートン個箱、トップクリアランス、最適範囲、積付劣化、クリープ潰れ、2段積みモデル、高温多湿条件、数式モデル、最適設計

\* (株) ライフテクノ (〒110 東京都台東区北上野1-10-14) LIFETECHNO CORP., 10-14, Kitaueno-1, Taitoh-ku Tokyo, 110

## 1. 緒言

筆者は既報で、中身を含む食品段ボール箱圧縮強さの最適設計手法の確立を目的に、基軸となるマクロ数式モデルを提案、代表包装形態であるカートン個箱入り外装段ボール箱につき、数式モデルを使用してその圧縮強さ特性を逐一明らかにしてきた<sup>1)~4)</sup>。

本報は前報に引き続き、圧縮強さ設計の内部重要因子であるカートン個箱入り外装段ボール箱内の天面パネルと個箱の間のトップクリアランスが、積付強さ劣化に及ぼす影響を、マクロ数式モデルの第(2)式  $C = \beta A$  の係数  $\beta$  の特性値として整理することを意図している。

中身が積付強さ劣化に及ぼす影響についての報文は、Kellicuttが常温常湿環境下で、穀類を直接入れた外装段ボール箱につき、空箱の場合との比較で、3段積みでの積付強さ劣化を測定した例があるだけである。それによると、棒積みでは穀類を入れた方が強さ劣化が10~20%改善され、風車積みでは両者の劣化に変化はみられなかったと報告している。単に現象としての事実のみで、それ以上の系統的説明はなされていない<sup>5) 6)</sup>。

本報は、流通における実際の問題発生状況に則して、温湿度環境、圧縮クリープ時間の重要外乱要因をモデル化していること及びトップクリアランスの影響を数式モデルで定量的かつ系統的に把握している点で新しいアプローチである。

## 2. 理論

カートン個箱入り外装段ボール箱をモデル

に、天面のクリアランスが積付強さ劣化にどのように影響するかを考察する。最初に、既報<sup>3)</sup>でも採用した外装段ボール箱2段積みモデルにより、積付強さ劣化補償係数  $\beta$  を次のように定義する。

$$\beta(\delta_0) = C/C^{(2)} \dots\dots\dots (1)$$

$C$  : 個箱入り外装段ボール箱単体均一荷重圧縮強さ

$C^{(2)}$  : 個箱入り外装段ボール箱2段積みモデル圧縮強さ

$\delta_0$  : 無負荷状態における外装段ボール箱天面パネルと個箱集合体上面間のクリアランス

さらに、第1報で設定した圧縮強さに影響を及ぼす代表外部要因の変動モデル条件を使用して、 $\delta_0$  の変化に対応する係数  $\beta$  の特性を明らかにすることを考える。

その場合の(1)式は次のように表現できる。

$$C_{os}(p_{os}, 0 | C_{H,0}) = \beta_{os}(\delta_0) C_{os}^{(2)}(p_{os}, 0 | C_{H,0}) \dots\dots\dots (2)$$

$$C_{oh}(p_{oh}, 0 | C_{H,0}) = \beta_{oh}(\delta_0) C_{oh}^{(2)}(p_{oh}, 0 | C_{H,0}) \dots\dots\dots (3)$$

$$C_{is}(p_{is}, t | C_{H,0}) = \beta_{is}(\delta_0) C_{is}^{(2)}(p_{is}, t | C_{H,0}) \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{ih}(p_{ih}, t | C_{H,0}) = \beta_{ih}(\delta_0) C_{ih}^{(2)}(p_{ih}, t | C_{H,0}) \dots\dots\dots (5)$$

$C_{os}$  : 20℃ 65% RH 前処理個箱入り外装段ボール箱単体の初期瞬間均一荷重圧縮強さ

$C_{os}^{(2)}$  : 20℃ 65% RH 前処理個箱入り外装段ボール箱2段積みモデルの初期瞬間圧縮強さ

$C_{oh}$  : 40℃ 90% RH 前処理個箱入り外装段

ボール箱単体の初期瞬間均一荷重圧縮強さ

$C_{oh}^{(2)}$ : 40°C 90% RH 前処理個箱入り外装段ボール箱 2 段積みモデルの初期瞬間圧縮強さ

$P_{os}$ : ステージ 0 の温湿度条件 20°C 65% RH

$P_{oh}$ : ステージ 0 の温湿度条件 40°C 90% RH

$P_{is}$ : ステージ 1 の温湿度条件 20°C 65% RH

$P_{ih}$ : ステージ 1 の温湿度条件 40°C 90% RH

$t$ : ステージ 1 のクリープ時間

$C_{is}$ :  $C_{os}$  がステージ 1 で 20°C 65% RH 環境下、クリープ時間  $t$  の均一荷重圧縮クリープ強さ

$C_{is}^{(2)}$ :  $C_{os}^{(2)}$  がステージ 1 で 20°C 65% RH 環境下、クリープ時間  $t$  の圧縮クリープ強さ

$C_{ih}$ :  $C_{oh}$  がステージ 1 で 40°C 90% RH 環境下、クリープ時間  $t$  の均一荷重圧縮クリープ強さ

$C_{ih}^{(2)}$ :  $C_{oh}^{(2)}$  がステージ 1 で 40°C 90% RH 環境下、クリープ時間  $t$  の圧縮クリープ強さ

$\beta_i (\delta_0)$ : 無負荷初期トップクリアランス  $\delta_0$  のステージ  $i$  における  $\beta$

### 3. 実験

#### 3.1 測定対象

前報と同様に、中型、小型の 2 種類の個箱の立詰め方式を選定し、A-1 形外装段ボール箱のトップクリアランスを B 段段ボール紙の埋板により、それぞれ 4 段階に変化させるモデルケースを設定した。

Fig. 1 に外装段ボール箱への個箱の詰め合わせ状態を、Table 1 に各モデルケースの構成仕様を示す。

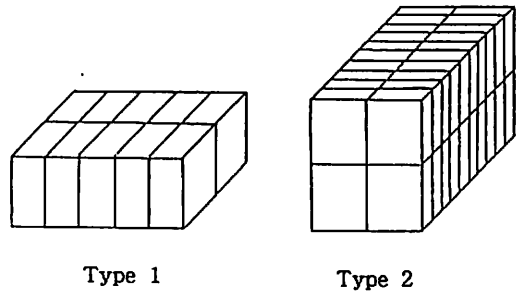


Fig. 1 Filling pattern of the carton boxes in corrugated containers

Table 1 Specification of test samples

Case	Filling pattern of carton boxes	Spec. of carton boxes	Spec. of corrugated containers
I	Type 1	110 × 86 × 176mm Coated paper 450g/m <sup>2</sup>	447 × 227 × 190mm KNN220/SCP180/KNN220g/m <sup>2</sup> A/F Regular slotted type
II	Type 2	117 × 30 × 141mm Coated paper 310g/m <sup>2</sup>	302 × 245 × 315mm KNN180/SCP160/KNN180g/m <sup>2</sup> A/F Regular slotted type

### 3.2 測定条件

#### ①前処理 40～80h

レベル1：20℃ 65% RH（標準状態）

レベル2：40℃ 90% RH（高温多湿状態）

#### ②測定単位

外装段ボール空箱単体、外装段ボール空箱2段積みモデル、個箱入り外装段ボール箱単体、個箱入り外装段ボール箱2段積みモデル

#### ③サンプル数

1モデルケース1前処理レベル当たり、外装段ボール箱単位で  $N = 60$

### 3.3 測定法と判定基準

#### ①圧縮強さ測定法

TENSILON/CTM-1-5000にて、JIS包装貨物試験法及び圧縮クリープ試験法により測定

#### ②判定基準

外装段ボール空箱については座屈強度を、個箱入り外装段ボール箱については、一定荷重で $t$ 時間の圧縮クリープをかけた後、荷重を除去し、個箱の損傷状況を目視検査する。そこで、個箱が1個でも商品性を損なうと判断される限界の塑性変形を起こす直前の荷重をもって、個箱入り外装段ボール箱の $t$ 時間圧縮クリープ強さと判定

## 4. 結果及び考察

### 4.1 測定結果

C、C<sup>(2)</sup>の標準状態及び高温多湿状態における圧縮クリープ強さ測定データを使用して、(1)式により $\beta$ を算出した。Fig. 2～9に、

温湿度環境とトップクリアランスをパラメータに、クリープ時間と $\beta$ の関係を整理して示す。Fig. 6, 9は、カートン個箱を抜いた外装段ボール空箱の測定結果であり、トップクリアランスが無限大になった場合に対応する。

Fig.10～15は、温湿度環境とクリープ時間をパラメータに、トップクリアランスと $\beta$ の関係を整理した結果である。

### 4.2 考察

#### (1) モデルケース I

① Fig. 2～6は、総合的には $\beta$ のクリープ時間に対する定数安定傾向が期待できることを示している。Fig. 4の高温多湿環境下のみが、例外的にクリープ時間増大に伴い、 $\beta$ は暫減し最終的には1.0に落ち着く。 $\beta = 1.0$ は、積付劣化がない理想状態であるから、定数安定性は崩れても、物理的には安定状態に収れんしている訳で、設計上は極めてよい傾向である。設計上の観点からは、むしろFig. 2, 3, 5, 6の高温多湿環境下で、クリープ時間増大に伴い、 $\beta$ が微増ながら発散傾向にあることに留意が必要である。

② Fig. 2～6は、温湿度環境変化により $\beta$ 値がかい離することを示している。Fig. 4, 5を除いては、高温多湿環境下で $\beta$ の絶対値が大きく、トップクリアランスがある領域を外れると、積付強さ劣化が著しいことを示している。

③ Fig. 10～12は、標準状態では $\delta_0 = 15$  mmまでは $\beta = 1.5$ の定数安定性が保たれ、さらに $\delta_0$ が増大するに従い、 $\beta$ は安定に単調増大することを示している。他方高温多湿状態では、 $\delta_0$ に対する $\beta$ は、

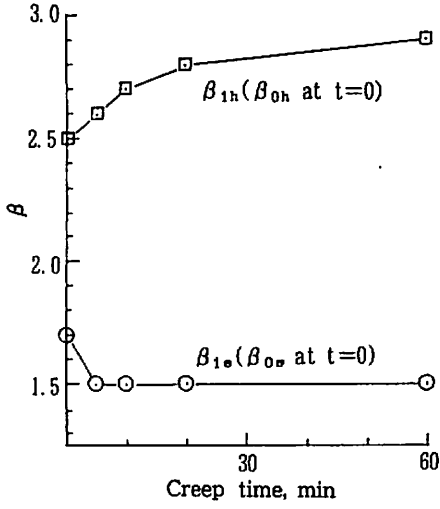


Fig. 2 Relationship between  $\beta$  and creep time for case I,  $\delta_0 = 6\text{mm}$

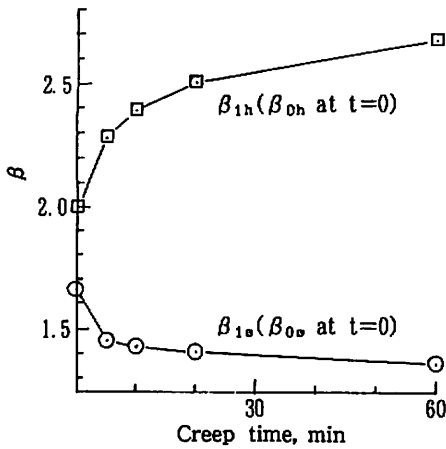


Fig. 3 Relationship between  $\beta$  and creep time for case I,  $\delta_0 = 9\text{mm}$

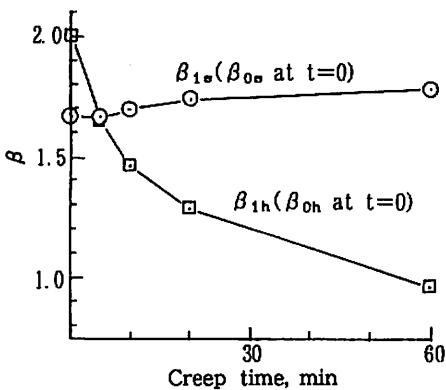


Fig. 4 Relationship between  $\beta$  and creep time for case I,  $\delta_0 = 12\text{mm}$

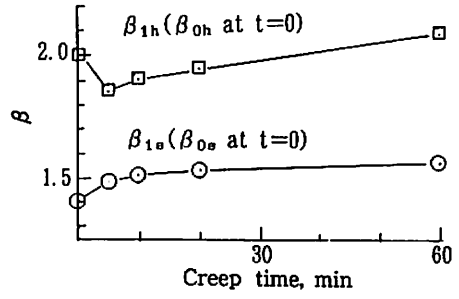


Fig. 5 Relationship between  $\beta$  and creep time for case I,  $\delta_0 = 15\text{mm}$

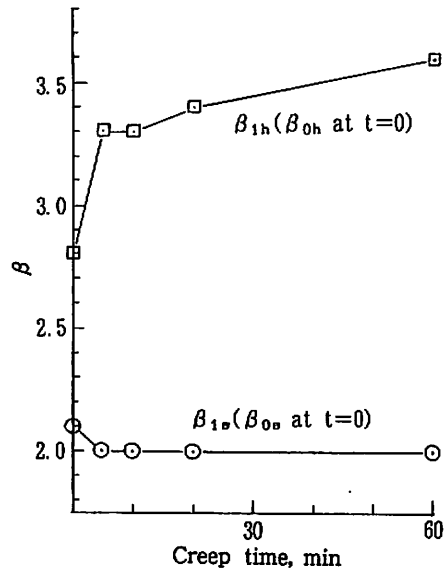


Fig. 6 Relationship between  $\beta$  and creep time for case I, empty corrugated containers

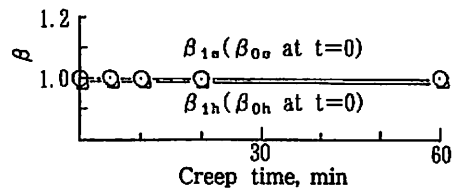


Fig. 7 Relationship between  $\beta$  and creep time for case II,  $\delta_0 = 5, 8, 11\text{mm}$

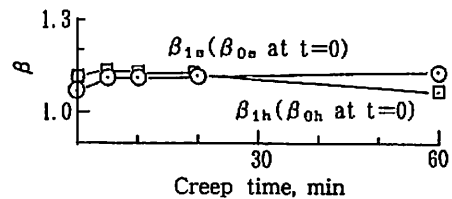


Fig. 8 Relationship between  $\beta$  and creep time for case II,  $\delta_0 = 14\text{mm}$

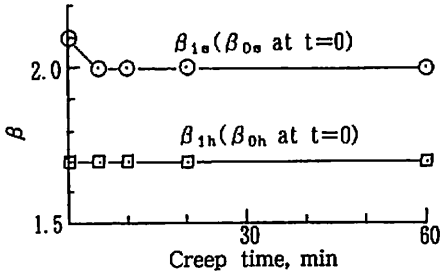


Fig. 9 Relationship between  $\beta$  and creep time for case II, empty corrugated containers

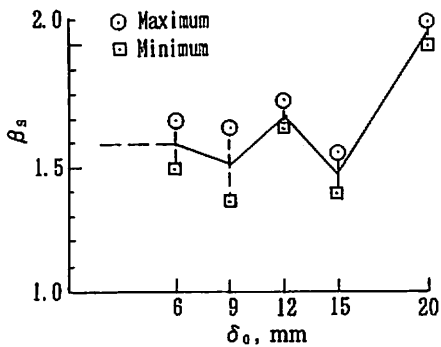


Fig. 10 Relationship between  $\beta_s$  and  $\delta_0$  for case I

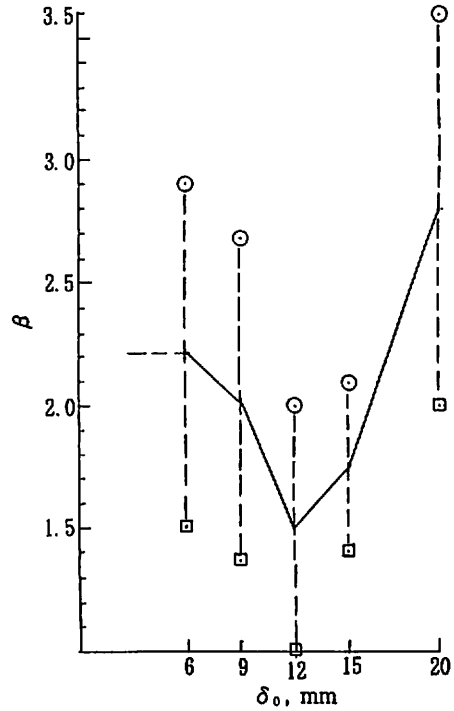


Fig. 12 Superposition of Fig. 10 and 11

$\delta_0 = 12\text{mm}$ で $\beta = 1.0 \sim 2.0$ の最小値をとる凹形関数であることを示している。特に空箱では、 $\beta = 3.6$ の最大値に達し、クリープ時間に対する発散傾向から、最終的には4程度まで増大するものと推定される。

(2) モデルケースII

① Fig. 7, 8は、 $\delta_0$ の実用的な広い範囲で、 $\beta$ は温湿度環境、クリープ時間の両条件の変化に対し、極めて高い定数安定性を示している。しかもその値は、積付劣化が発生しない理想的な最小値1に近い。

② Fig. 9の空箱において、 $\beta$ の絶対値は上昇するが、クリープ時間の変化に対する定数安定性は維持されている。温湿度環境変化に対しては、かい離幅が若干拡大するものの準安定状態にある。

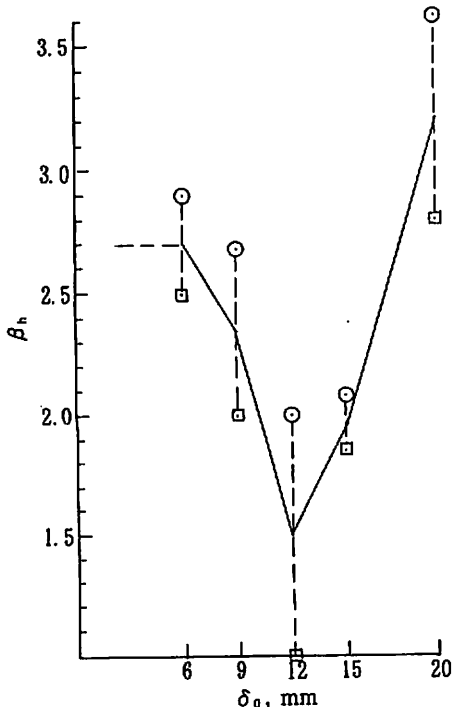


Fig. 11 Relationship between  $\beta_h$  and  $\delta_0$  for case I

③ Fig. 13~15は、 $\delta_0$ の0から実用的な広範囲で、 $\beta$ は理想的な最小値1を保持し、 $\delta_0 = 14\text{mm}$ を超えてからは安定単調増加関数となり、最終的には $\beta = 2.0$ に収れんすることを示している。

## 5. 結 語

個箱入り外装段ボール箱積付強さ劣化に及ぼすトップクリアランスの影響を明らかにするため、中型及び小型個箱立詰めモデルを選定し、既に提案済みのマクロ数式モデルの第(2)式の係数 $\beta$ の測定モデルを設定し、その特性を通じて解析を行った。その結果、次の事項が明らかになった。

- ① 小型個箱立詰めモデルでは、温湿度環境及びクリープ時間の変化に対し、実用的な広い範囲のトップクリアランスで、 $\beta$ は積付強さ劣化が発生しない理想状態を示す理論最小値1の定数安定性を示した。その後、さらにトップクリアランスが拡大しても、 $\beta$ は単調増大、2.0に収れんする。
- ② 中型個箱立詰めモデルでは、標準状態において、実用的な広い範囲のトップクリアランスで、クリープ時間の変化に対し $\beta$ は1.5に近い定数安定性を示した。個箱サイズが小型から中型になると、 $\beta$ の安定定数値が1.0から1.5に上昇し、積付強さ劣化が発生し始める。その後さらにトップクリアランスが拡大しても、 $\beta$ は単調に増大はするが、最終的にはそれほど大きくない2.0に収れんする。即ち、小型個箱の場合と定性的な傾向は同一である。

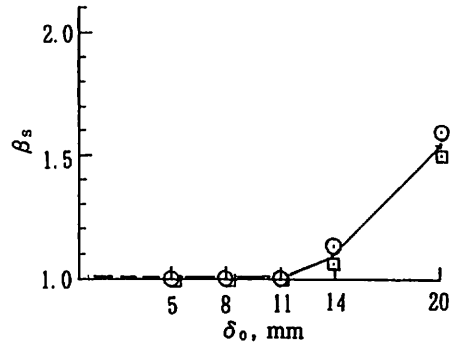


Fig. 13 Relationship between  $\beta_s$  and  $\delta_0$  for case II

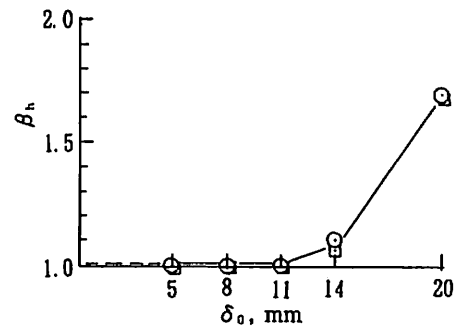


Fig. 14 Relationship between  $\beta_n$  and  $\delta_0$  for case II

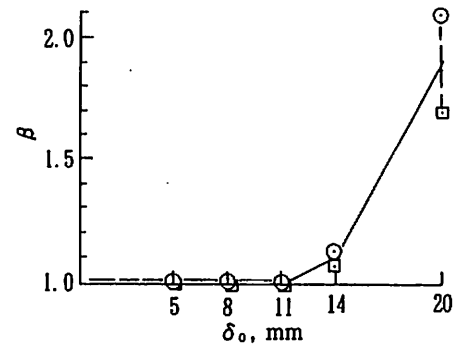


Fig. 15 Superposition of Fig. 13 and 14

- ③ 中型個箱立詰めモデルの高温多湿状態では、状況が変化する。即ち、実用的な範囲ではトップクリアランス12mmで $\beta$ は1.0~2.0の最小値をとる凹形の関数となった。トップクリアランス12~15mmを離れると、 $\beta$ の絶対値は増大に転ずると共に、積付強さ劣化の不安定性も増大傾

向になる。トップクリアランスの最適範囲はかなり限定される。

- ④外装段ボール空箱内寸の幅/長さ比は、中型個箱で0.51、小型個箱で0.81である。内寸の幅/長さ比は1.0に近いほど、段ボール空箱の $\beta$ 値は、絶対値が小さくかつ安定性も高くなると推定される。上述の中型個箱立詰めモデルの高温多湿環境で見られる不安定性は、空箱の寸法比に由来する不安定性に引きずられた可能性が高い。しかし、空箱の $\beta$ が不安定でも、中身の個箱が挿入されることにより、 $\beta$ の絶対値が引き下げられ、12mmの最適トップクリアランスでは、空箱の $\beta = 2.8 \sim 3.6$ から、 $\beta = 2.0 \sim 1.0$ と下限は理想値に近い所まで、積付強さ劣化が改善されたことは注目に値する。

本研究により、数式モデルを基に積付強さ劣化を最小にするトップクリアランスの最適範囲の存在が明確になり、外装段ボール箱圧縮強さの最適設計への重要な新知見が得られ

た。

## 謝 辞

本研究につきご指導頂いた横浜国立大学矢野俊正教授、及び発表の機会を与えて頂いた味の素(株)館川常務、並びに測定にご協力頂いたレンゴー(株)に感謝する。

## <引用文献>

- 1) 村尾千秋、日本包装学会誌、4 (4), 287 (1995)
- 2) 村尾千秋、日本包装学会誌、4 (4), 295 (1995)
- 3) 村尾千秋、日本包装学会誌、5 (1), 32 (1996)
- 4) 村尾千秋、日本包装学会誌、5 (1), 43 (1996)
- 5) Kellicutt, K. Q., Tappi, 46 (1), 151A (1963)
- 6) Kellicutt, K. Q., "Performance and Evaluation of Shipping Containers" (Edited by Maltenfort, G. G.), Jelmor Publishing Co., Inc., p.141 (1989)

(原稿受付 1995年4月5日)

(審査受理 1995年12月20日)

## ▽ 訂 正 ▽

本誌第5巻第1号に掲載された論文の図と図面がクロスして入れ替っておりますので以下のように訂正して下さい。

49頁右欄 Fig. 13 と Fig. 14 の図のみを差し替えてください。