

一般論文

内容物強さ基準の 食品外装段ボール箱圧縮強さモデル

村尾千秋*

Compression Strength Formula for Corrugated Containers for Food Products based on Compression Strength of Contents

Chiaki MURAO*

Mathematical model was studied on the compression strength characteristics of corrugated containers with contents in the previous paper. That was $C = B + \alpha D \dots (1)$, $C = \beta A \dots (2)$. Continuous study is made on the characteristics of coefficient α involved above equation (1). Compressive creep tests are made of the corrugated containers filled with carton boxes conditioned at 20°C., 65% R.H./40°C., 90% R.H. Results of the tests suggest that the compressive creep failure strength conditioned at 40°C., 90% R.H. shows time accelerated effects to that conditioned at 20°C., 65% R.H. Coefficient α is approximately constant to creep time but sensitive to material construction or size of corrugated containers and inner carton boxes at both conditions. Consequently it is revealed that equation (1) demonstrates the appropriate structure to describe the compression strength of empty corrugated containers related to that of corrugated containers filled with carton boxes. It is concluded that α is fundamental coefficient to describe the responsibility of empty corrugated containers for the compression strength of corrugated containers filled with carton boxes.

Keywords : Corrugated container, Carton box, Compression strength, Creep failure, High temperature/high humidity conditions, Mathematical model, Structure of model

前報で、外装段ボール箱圧縮強さの特性を表現する数式モデルとして、 $C = B + \alpha D \dots (1)$ 、 $C = \beta A \dots (2)$ を提案した。本報では引き続き、(1)式の係数 α の特性を検討した。外装段ボール箱の中身がカートン個箱の場合につき、20°C 65% RH及び40°C 90% RH前処理条件で、圧縮クリープテストを行った。その結果、40°C 90% RH前処理での圧縮クリープ強さは、20°C 65% RH前処理のその時間促進試験になっていることが確認できた。また係数 α は、圧縮クリープ時間に対し略定数安定性を示す一方で、外装段ボール箱や中身のカートン個箱の材質構成や寸法形状に対しては、高い感度を示した。結局(1)式は、カートン個箱入り外装段ボール箱と、外装段ボール空箱の圧縮強さの関係を表現するのに適した構造であること、係数 α はカートン個箱入り外装段ボール箱圧縮強さに対する外装段ボール空箱圧縮強さの寄与率を示す基礎係数であることが明らかになった。

キーワード : 外装段ボール箱、カートン個箱、圧縮強さ、クリープ潰れ、高温多湿条件、数式モデル、モデルの構造

* (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

個装が缶やガラス瓶のように、個装だけで保管積付時の全荷重を負担できる場合は、外装段ボール箱設計にさいし、圧縮強さ要素を考慮に入れる必要はない。しかし、その他加工食品で多用されている個装／内装がカートン箱、パウチ、プラスチックボトルのような場合は、結果的に中身と外装段ボール箱が圧縮荷重を分担する状況が発生する。その場合、耐圧荷重分担の関係を定量化することが、食品外装段ボール箱圧縮強さの最適設計上必要となる。本報ではこの問題を取り扱う。

外装段ボール箱の中身が、商品全体の圧縮強さにどのように関与するかに触れた報文は少ない。それらは穀類を直接外装段ボール箱に入れて、空箱との圧縮強さ比較を試みたもの¹⁾、段ボール紙をスリーブ状に加工して中身代わりに外装段ボール箱に挿入し、全体の強度がどのように変化するかを論じたものである²⁾。いずれの場合も、環境は標準状態、測定は瞬間圧縮強さといった極めて限定された条件下での実験であり、結果についても現象論的な考察が加えられているだけで、明確な結論には達していない。

筆者は既に前報で、中身入り商品の圧縮強さを中身集合体強さと外装段ボール空箱強さの関数として表現するマクロ数式モデルの第(1)式として、 $C = B + \alpha D$ を提案した³⁾。ここにCは中身入り商品、Bは中身集合体、Dは外装段ボール空箱のそれぞれの圧縮強さである。本報では、カートン個箱入り外装段ボール箱をモデルに選定して、 α が環境条件とクリーブ時間が変化する状況の中で、どのよう

な特性を示すかを試験室で確認、モデルの有効性を検証した。

2. 理論

商品は工場の生産ラインで完成後、圧縮強さにつき、種々の流通環境の経時的な劣化要因の影響を受けながら、販売の末端に送り届けられる。その状況は、Fig. 1のようにモデル化することができる。これをマクロ数式モデルの第(1)式で表現すると次のようになる。

$$C_i = B_i + \alpha_i D_i \text{ (1)}$$

において

$$C_i = C_i(p_i, q_i | C_{H, i-1}) \text{ (1.1)}$$

$$B_i = B_i(p_i, q_i | C_{H, i-1}) \text{ (1.2)}$$

$$D_i = D_i(p_i, q_i | C_{H, i-1}) \text{ (1.3)}$$

p_i : ステージiの温湿度条件

q_i : ステージ(i-1) → iのクリーブ時間

$C_{H, i}$: ステージ0 → i履歴後の C_i を表し各ステージでの荷重 w_i の影響も受ける

α_i : C_i に対する D_i の実質寄与率

さらに、前報で設定した圧縮強さ劣化を試験室で確認するためのモデル条件を使用して係数 α の特性を明らかにすることを考える。

その場合の第(1)式は次のように表現できる。

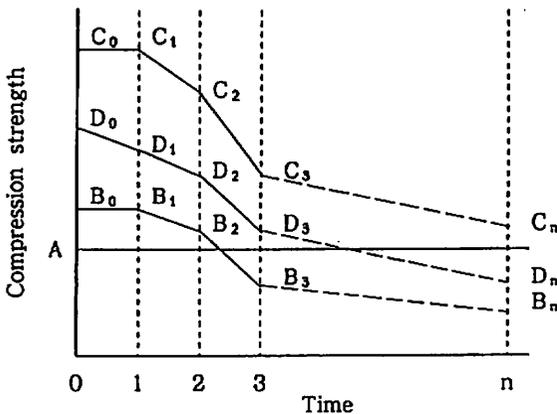
$$C_{os}(p_{os}, 0 | C_{H, o}) = B_{os}(p_{os}, 0 | C_{H, o}) + \alpha_{os} D_{os}(p_{os}, 0 | C_{H, o}) \text{ (2)}$$

$$C_{oh}(p_{oh}, 0 | C_{H, o}) = B_{oh}(p_{oh}, 0 | C_{H, o}) + \alpha_{oh} D_{oh}(p_{oh}, 0 | C_{H, o}) \text{ (3)}$$

$$C_{is}(p_{is}, t | C_{H, o}) = B_{is}(p_{is}, t | C_{H, o}) + \alpha_{is} D_{is}(p_{is}, t | C_{H, o}) \text{ (4)}$$

$$C_{ih}(p_{ih}, t | C_{H, o}) = B_{ih}(p_{ih}, t | C_{H, o}) + \alpha_{ih} D_{ih}(p_{ih}, t | C_{H, o}) \text{ (5)}$$

- C_{0s} : 20℃ 65% RH 前処理中身入り商品の初期瞬間圧縮強さ
- C_{0h} : 40℃ 90% RH 前処理中身入り商品の初期瞬間圧縮強さ
- C_{1s} : C_{0s} がステージ1で20℃ 65% RH 環境下、クリープ時間 t を経過した後の、圧縮クリープ強さ
- C_{1h} : C_{0h} がステージ1で40℃ 90% RH 環境下、クリープ時間 t を経過した後の、圧縮クリープ強さ
- B、D、 α のサフィックスの意味も C に準じているので、説明を省略する。



- C_i = Compression strength of corrugated containers with contents at stage i .
- B_i = Compression strength of the contents filled in corrugated containers at stage i .
- D_i = Compression strength of empty corrugated containers at stage i .
- A = Average compression load to the bottom corrugated containers on pallet in warehouse.

Fig. 1 Deterioration pattern of compression strength during distribution process

3. 実験

3.1 測定対象

加工食品の中で、個装としての使用頻度の高いカートン箱と外装段ボール箱の組み合わせをモデルに取り上げた。さらに個装寸法、

外装段ボール箱への詰め合わせ形態、外装段ボール箱の形式の組み合わせを考慮して、5種類のモデルケースを選定した。

Fig. 2 に外装段ボール箱内への個箱の詰め合わせ状態を、Table 1 に5種類のモデルケースの構成仕様を示す。

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

外装段ボール箱単体、個箱の外装段ボール箱単位集合体、個箱入り外装段ボール箱単体

③サンプル数

1モデルケース1前処理レベル当たり

$N = 50$

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 包装貨物圧縮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さを、個箱集合体及び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、その個箱集合体もしくは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。

内容物基準段ボール箱圧縮強さモデル

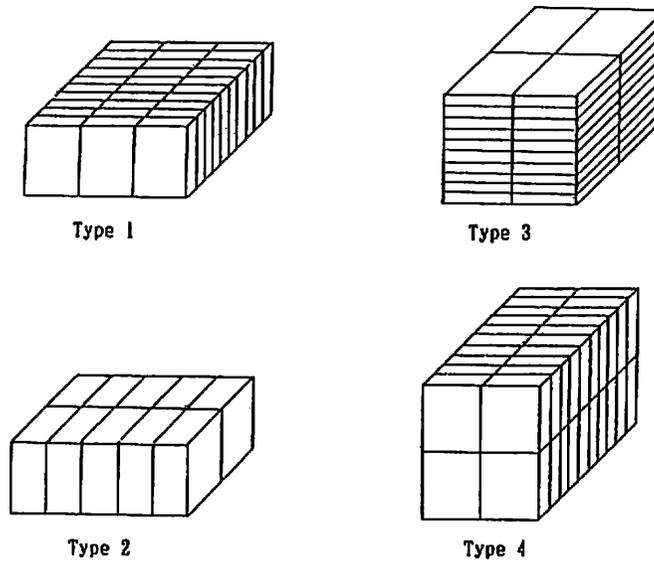


Fig. 2 Filling pattern of the carton boxes in corrugated containers

Table 1 Specification of test samples

Case	Filling pattern of carton boxes	Spec. of carton boxes	Spec. of corrugated containers
I	Type 1	130 × 30 × 165mm Coated paper 310g/m ²	394 × 309 × 168mm KNN180/SCP180/KNN180g/m ² A/F Wrap around type with inner joint flap at top panel
II	Type 1	130 × 30 × 165mm Coated paper 310g/m ²	394 × 309 × 168mm KNN180/SCP180/KNN180g/m ² A/F Wrap around type with outer joint flap at side panel
III	Type 2	110 × 86 × 176mm Coated paper 450g/m ²	447 × 227 × 181mm KNN220/SCP180/KNN220g/m ² A/F Regular slotted type
IV	Type 3	117 × 30 × 141mm Coated paper 310g/m ²	302 × 245 × 315mm KNN180/SCP160/KNN180g/m ² A/F Regular slotted type
V	Type 4	117 × 30 × 141mm Coated paper 310g/m ²	302 × 245 × 315mm KNN180/SCP160/KNN180g/m ² A/F Regular slotted type

4. 結果及び考察

4.1 測定結果

C_{1s} 、 B_{1s} 、 D_{1s} 及び C_{1h} 、 B_{1h} 、 D_{1h} について $t = 1 \sim 100$ 分、 a_{os} 、 a_{oh} 及び a_{1s} 、 a_{1h} について $t = 0 \sim 60$ 分の測定結果を、モデルケースⅠの場合をFig. 3~5、モデルケースⅡの場合をFig. 6~8、モデルケースⅢの場合をFig. 9~11、モデルケースⅣの場合をFig. 12~14、モデルケースⅤの場合をFig. 15~17に示す。

4.2 考察

(1) モデルケースⅠ

① Fig. 3、4ともに個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さは、クリープ時間全域にわたり、個箱集合体のそれを下回る。ラップラウンド外装天面に、糊代の内フラップが存在するため、荷重は内フラップが直接接触した個箱から作用し始め、その部分から商品性を損なう塑性変形が起こり始める。個箱集合体の圧縮強さは、均一荷重に対応するものであるのに対し、個箱入り段ボール箱では、個箱集合体に不均一荷重が作用するために起こる現象である。

② Fig. 3、4の個箱集合体及び個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さの勾配は、段ボール空箱のそれより大きい。即ち、段ボール空箱の座屈に対し、個箱集合体の商品性を損なう変形のクリープ時間に対する感度が大きい。

③ Fig. 4の個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さは、Fig. 3のその略 10^2 倍の時間促進試験になっている。

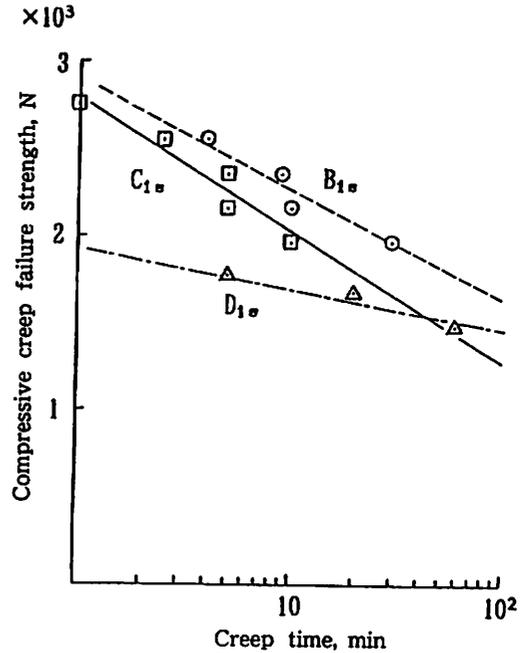


Fig. 3 Relationship between creep failure strength and creep time for case I conditioned at 20°C, 65% RH

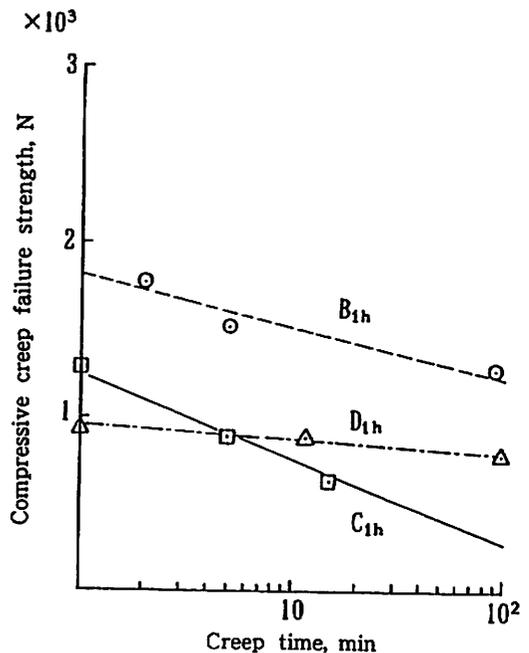


Fig. 4 Relationship between creep failure strength and creep time for case I conditioned at 40°C, 90% RH

④ Fig. 5 は α が負となり、外装段ボール箱負寄与型であることを示している。負の寄与度は、高温多湿状態で顕著になる。また、同一温湿度条件下では、クリープ時間10分以上で、 α は定数化傾向を示す。

(2) モデルケース II

① Fig. 6 の個箱入り段ボール箱圧縮強さは、個箱集合体と段ボール空箱強さの部分和になっている。即ち、Fig. 3 と比較して、個箱に対する荷重均一効果が現れている。それに対し Fig. 7 では、個箱入り段ボール箱強さは、個箱集合体強さと等しく、段ボール空箱強さの寄与は零となる。

即ち、天面クリアランスが略零であることに由来する個箱に対する均一荷重効果も、高温多湿状態では、段ボール空箱強さが個箱入り全体の強さに寄与する余地が失われている。

② Fig. 6、7 の個箱集合体及び個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さの勾配は、段ボール空箱のそれより大きい。即ちこの場合も、段ボール空箱の座屈に対し、個箱集合体の商品性を損なう変形のクリープ時間に対する感度が大きい。

③ Fig. 7 の個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さは、Fig. 6 のその略10⁴倍の時間促進試験になっている。

④ Fig. 8 は、前述のように、標準状態で外装段ボール箱準寄与型、高温多湿状態では外装段ボール箱零寄与型になることを示している。また、 α は同一温湿度条件下では、クリープ時間に対し定数安定化傾向を示す。

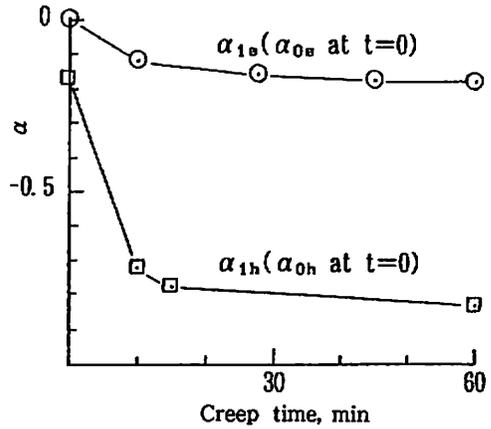


Fig. 5 Relationship between α and creep time for case I conditioned at 20 °C, 65 % RH / 40 °C, 90 % RH

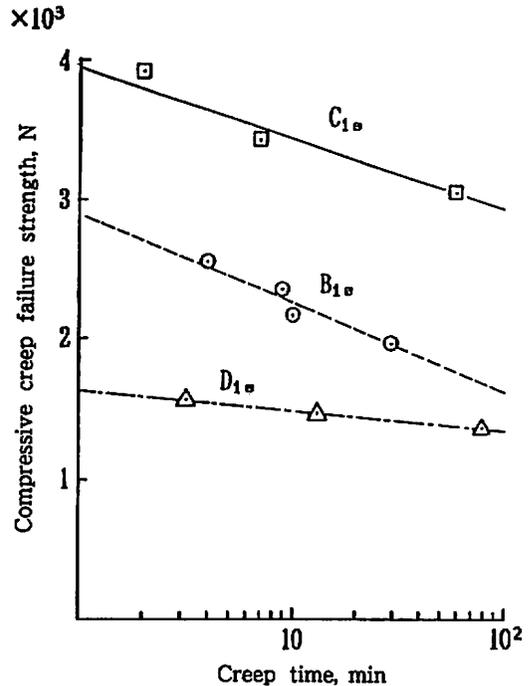


Fig. 6 Relationship between creep failure strength and creep time for case II conditioned at 20 °C, 65 % RH

(3) モデルケース III

① Fig. 9、10 とともに、個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さは、クリープ時間全域にわたり、段ボール空箱と個箱集合体強

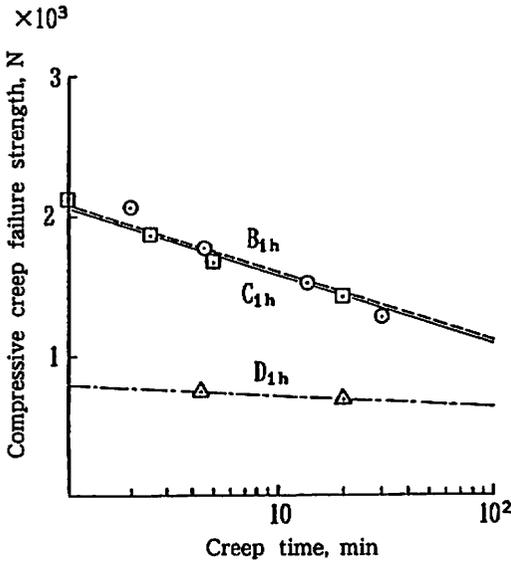


Fig. 7 Relationship between creep failure strength and creep time for case II conditioned at 40°C, 90% RH

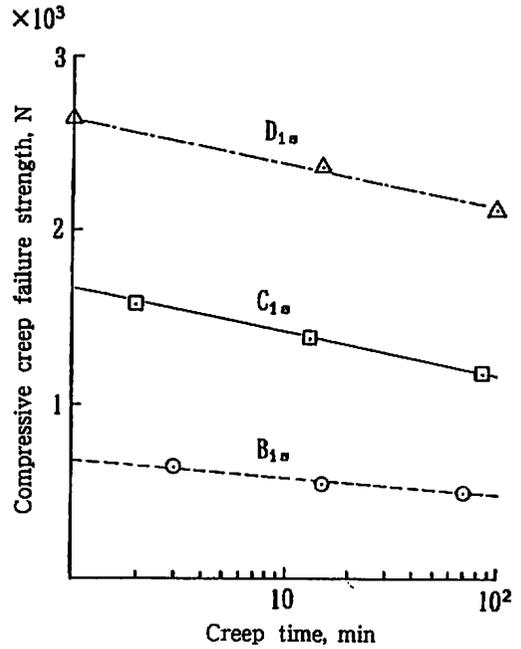


Fig. 9 Relationship between creep failure strength and creep time for case III conditioned at 20°C, 65% RH

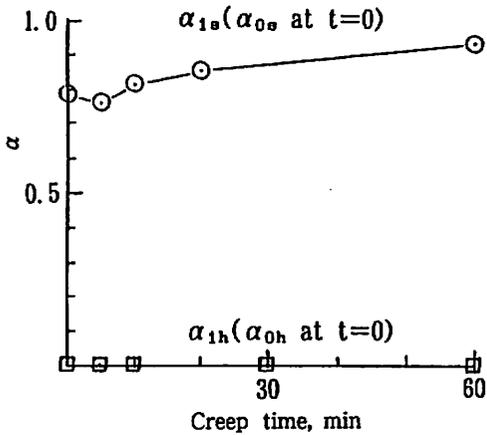


Fig. 8 Relationship between α and creep time for case II conditioned at 20°C, 65% RH / 40°C, 90% RH

さの中間値となっている。

② Fig. 9、10の各3直線の勾配には大きな差がない。即ち、段ボール箱空箱座屈と個箱集合体の商品性を損なう変形のクリープ時間に対する感度に差がない。個箱の段ボール箱に対する相対的寸法と紙

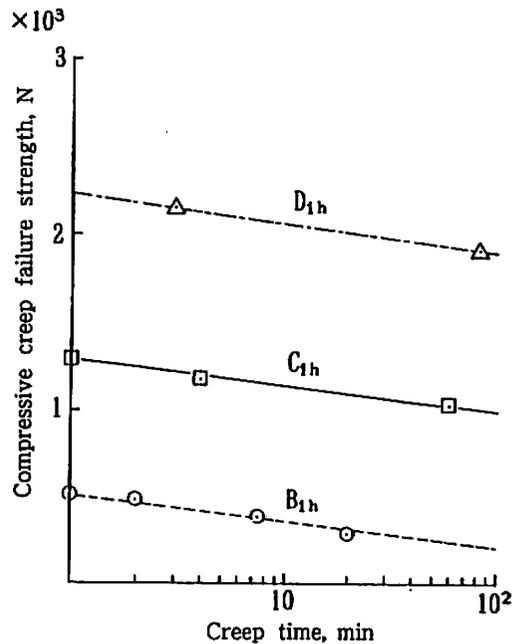


Fig. 10 Relationship between creep failure strength and creep time for case III conditioned at 40°C, 90% RH

質の接近により、このような状況が出現したと想定される。

- ③ Fig. 10の圧縮クリープ強さは、Fig. 9のその略 10^2 倍の時間促進試験になっている。
- ④ Fig. 11は、標準状態、高温多湿状態ともに、外装段ボール箱部分寄与型であり、かつ α は、温湿度環境及びクリープ時間の両条件に対し、定数安定性が極めて高い。

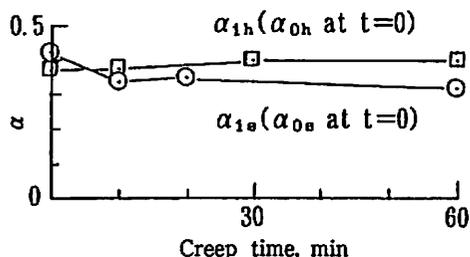


Fig. 11 Relationship between α and creep time for case III conditioned at 20°C, 65% RH/40°C, 90% RH

(4) モデルケースIV

- ① Fig. 12、13ともに、個箱集合体の圧縮強さは極めて小さい。即ち、横詰めのカートン個箱は中身抜きの空の状態では、圧縮強さを期待できない。その当然の結果として、個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さは、クリープ時間の全域にわたり、勾配を含めて段ボール空箱のそれに一致している。
- ② Fig. 13の圧縮クリープ強さは、Fig. 12のその略 10^4 倍の時間促進試験になっている。
- ③ Fig. 14は、前述のように、標準状態、高温多湿状態ともに外装段ボール箱完全寄与型を示しており、かつ α は、温湿度環

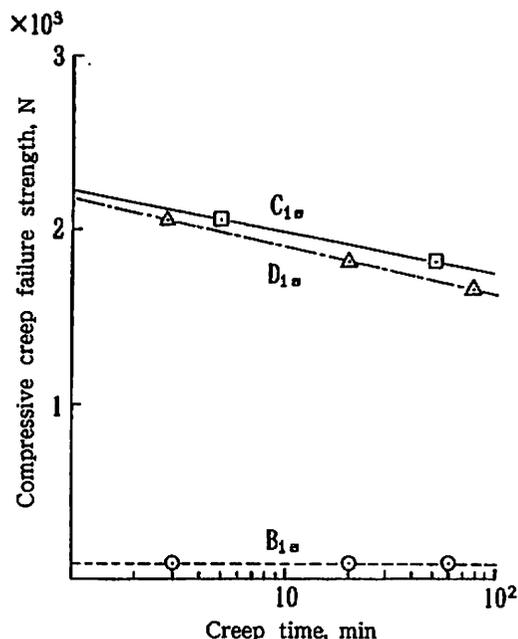


Fig. 12 Relationship between creep failure strength and creep time for case IV conditioned at 20°C, 65% RH

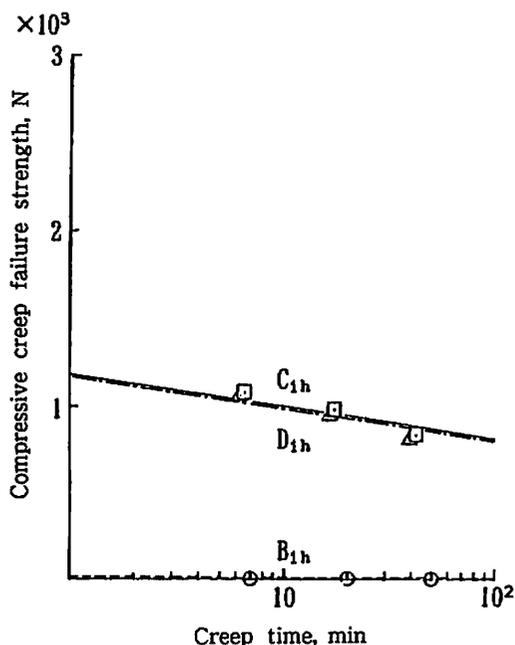


Fig. 13 Relationship between creep failure strength and creep time for case IV conditioned at 40°C, 90% RH

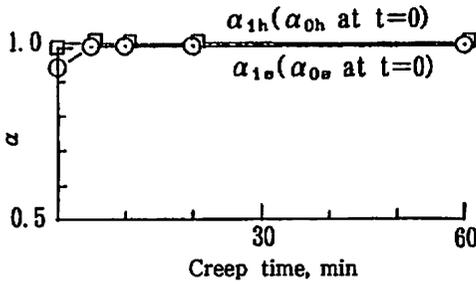


Fig. 14 Relationship between α and creep time for case IV conditioned at 20 °C, 65 % RH / 40 °C, 90 % RH

境及びクリープ時間の両条件に対し、極めて定数安定性が高い。

(5) モデルケース

① Fig. 15、16ともに、個箱入り段ボール箱圧縮クリープ強さは、モデルケースⅢと同様、クリープ時間全域にわたり、段ボール空箱と個箱集合体の中間値を示している。

② Fig. 15、16の各3直線の勾配には、大きな差がない。即ち、段ボール空箱座屈と個箱集合体の商品性を損なう変形のクリープ時間に対する感度に差がない。この場合は、個箱が立詰め2段積みになっていることで、個箱集合体の強さ特性が、段ボール空箱のそれに接近したものと想定される。

③ Fig. 16の圧縮クリープ強さは、Fig. 15のその略 10^3 倍の時間促進試験になっている。

④ Fig. 17は、標準状態、高温多湿状態ともに、外装段ボール箱部分寄与型を示しており、かつ α は、温湿度環境及びクリープ時間の両条件に対し、定数安定性が極めて高い。

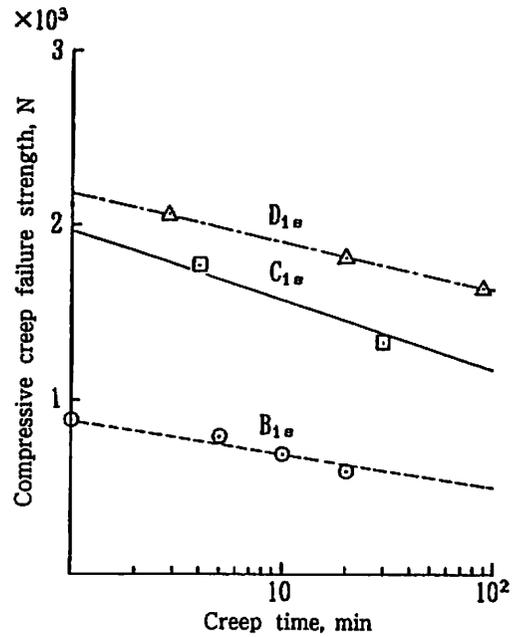


Fig. 15 Relationship between creep failure strength and creep time for case V conditioned at 20 °C, 65 % RH

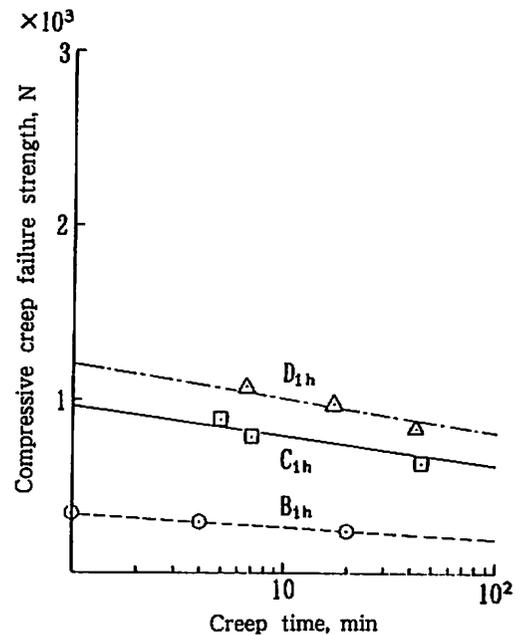


Fig. 16 Relationship between creep failure strength and creep time for case V conditioned at 40 °C, 90 % RH

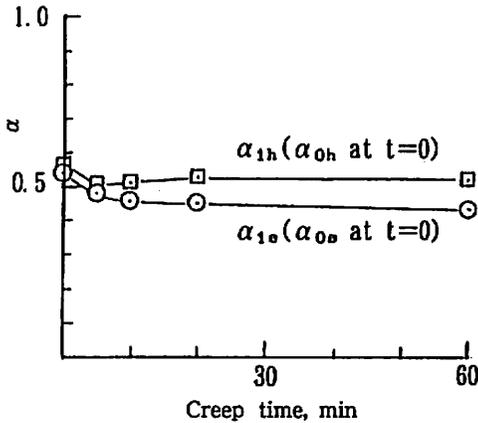


Fig. 17 Relationship between α and creep time for case V conditioned at 20°C, 65% RH/40°C, 90% RH

5. 結 語

前報で提案したマクロ数式モデルの内、第(1)式の有効性を検証するため、環境条件とクリープ時間を変化させて、その特性を測定した。その結果、次の事項が明らかになった。

(1) ケース単体試験

- ① C、B、Dいずれの場合も、1分 \leq クリープ時間 \leq 100分では、圧縮クリープ強さとクリープ時間の対数の間には、略直線関係が成立する。
- ② 直線の勾配は、標準状態が高温多湿状態よりやや大である。
- ③ 直線は、標準状態と高温多湿状態がある時間幅を介して比較的滑らかに接合する。即ち、高温多湿状態の圧縮クリープ試験は、標準状態のその $10^2 \sim 10^4$ 倍の時間促進試験になっている。

(2) 係数 α の特性

- ① 10分 \leq クリープ時間で、 α は略定常値に

収れんする。即ち、個箱集合体と外装段ボール空箱の圧縮クリープ強さの相対関係は、同一温湿度条件下では、クリープ時間に対して安定している。

他方、外装段ボール箱及びカートン個箱の材質構成、寸法形状に対して、 α は高い感度を有する。さらに、

- ② 個箱とA-1形外装段ボール箱の組み合わせでは、一般的には、 α の取り得る値の範囲は $0 \leq \alpha \leq 1$ である。また、標準状態と高温多湿状態の α 値の差が小さく、かつ定数安定性を示す。即ち、個箱集合体と外装段ボール空箱の圧縮クリープ強さの相対関係は、温湿度環境及びクリープ時間の両条件に対し差が小さく、かつ安定している。
- ③ 個箱とラップラウンド外装段ボール箱の組み合わせでは、 α の変動範囲は $-1 \leq \alpha \leq 1$ と拡大する。 $-1 \leq \alpha < 0$ は、ラップラウンド外装段ボール箱の天面に、糊代として内フラップが存在する場合、個箱集合体に、圧縮荷重が不均一に作用するために発生する。さらに、側面糊代で個箱集合体に均一荷重が作用する場合でも、高温多湿環境では、 $\alpha = 0$ となり $0 < \alpha$ は期待できない。即ち、ラップラウンド形では、天面クリアランス略零であること、及び糊代の位置によっては不均一荷重が発生することの両要因で、標準状態と高温多湿状態の α の差が拡大する。

このように第(1)式は、環境条件とクリープ時間の変化に対応して、カートン個箱集合体、外装段ボール空箱、カートン個箱入り外装段ボール箱の圧縮強さの相互関係が変化す

る様相を定量的によく表現している。また式に含まれる係数 α は、クリープ時間の変化に対し高い定数安定性を示す一方、包材の材質構成や寸法形状に対しては、高い感度を示すこと及び外装形態により、環境条件に対応する安定定数の値に差が生ずることを確認した。これは、モデルのパラメーターとして極めて有用な性質であり、モデルの構造の妥当性を立証するものである。

次報では、係数 β の特性を明らかにしたい。

測定にご協力頂いたレンゴー（株）に感謝する。

<引用文献>

- 1) Kellicutt, K. Q., "Performance and Evaluation of Shipping Containers" (Edited by Maltenfort, G. G.), Jelmar Publishing Co., Inc., p141 (1989)
- 2) Mckee, R. C., and Gander, J. W., Tappi, 40 (1), 57 (1957)
- 3) 村尾千秋、日本包装学会誌、4 (4) 287 (1995)

(原稿受付 1995年2月 2日)

(審査受理 1995年9月22日)