

食品外装段ボール箱積付強さ 劣化モデル

村尾千秋*

Compression Strength Formula for 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 paper. That was $C = B + \alpha D \cdots (1)$, $C = \beta A \cdots (2)$. Continuous study is made on the characteristics of coefficient β involved above equation (2). The evaluation of compression strength loss during warehousing is made by using 2-tier model. 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. by using this model. 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 β is approximately constant to creep time but sensitive to the material construction of corrugated containers and carton boxes, the size of those or the filling pattern of carton boxes. Consequently it is revealed that coefficient β determined by using 2-tier model is fundamental coefficient to describe the compression strength loss during warehousing.

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

前々報で、外装段ボール箱圧縮強さの特性を表現するモデルとして、 $C = B + \alpha D \cdots (1)$ 、 $C = \beta A \cdots (2)$ を提案した。本報では引き続き、(2)式の係数 β の特性を検討した。倉庫保管中の外装段ボール箱詰め商品の積付劣化を評価するため、2段積みモデルを使用した。このモデルにより、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を確認した。また、2段積みモデルにより測定した係数 β は、圧縮クリープ時間に対しては安定定数の傾向が強く、外装段ボール箱及びカートン個箱の材質構成と寸法形状、及びカートン個箱の挿入形態に対しては、高い感度を示した。結局、2段積みモデルで測定した係数 β は、積付劣化を評価するのに適した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、積付劣化、2段積みモデル、高温多湿条件、数式モデル

* (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

倉庫内に多段積み保管された段ボール箱詰め商品の圧縮強さは、通常段ボール箱詰め商品単体の均一荷重圧縮強さに比して、小さい値を示す。段ボール箱は、周辺部で荷重を支える構造物であるが、その周辺部に強度分布があり、4隅で強く、側面パネルの中心部に近づくにつれて弱くなる特性がある。多段積み状態で、周辺部の強い4隅と弱い側面パネル中央部が上下の関係で接すると、段ボール箱単体に対し、積付荷重が均等に作用せず、分散不均一荷重として伝達される。その結果、最下段に近く、側面パネル中央部近傍に平均値より大きい積付荷重を受けた段ボール箱商品が律速になって、単体の均一荷重圧縮強さ以下で潰れが発生する。実際には、段ボール箱の特性に、中身の特性が複合されるので、状況はさらに多様化する。本報では、商品状態での積付劣化モデルがテーマである。

段ボール箱の積付劣化問題を最初に取り上げたのはKellicuttで、特定の寸法、材質構成のA、B段段ボール箱を3段積みにしてその強さ劣化状況を測定した。その結果、単体均一荷重圧縮強さに対して、空箱の棒積みで20～30%の強さロス、空箱の風車積みで55%の強さロスを観察した。中身に穀類を入れた所、棒積みでは強さロス10%、風車積みでは強さロス56%であった^{1) 2)}。

Ievansは、段ボール箱の寸法、材質、段の種類をさらに広げて追試した。その結果、空箱の2段棒積みで6～15%の強さロスを観察した。ばらつきの要因を特定することはできず、積段数を3段、4段に上げてもロス率に変化は認められないと報告している。さ

らに、空箱のパレット上での3段積みの場合、風車積みでは45%の強さロスを観察した。中身や仕切が入った場合の影響は、複雑すぎて予測困難と判断し、手を付けていない³⁾。

これら一連の実験は、いずれも環境条件は米国規格の73°F、50%RH前処理で、瞬間圧縮強さによるものであり、商品流通の実際の局面で重要となる高温多湿状態、圧縮クリープ強さ、穀類以外の内容物との関連には言及されていない。

筆者は既に前々報で、中身入り商品単体の均一荷重圧縮強さを、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 $C = B + \alpha D$ 、及び多段積み状態の積付劣化モデルとして、第(2)式 $C = \beta A$ を提案した。また、倉庫保管中に発生する、潰れに対応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設定した⁴⁾。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、積付劣化試験のモデルとなる方法を設定し、第(2)式の β が、環境条件とクリープ時間が変化する状況の中で、どのような特性を示すかを確認、モデルの有効性を検証した。

2. 理論

2.1 積付強さ劣化モデル

数式モデル第(2)式の β を試験室で確認するためには、積付状態のモデル化が必要である。そこで、現実の段ボール箱詰め商品のパレット積付保管状態につき、次の状況を設定する。

- ①パレット積付時に、段ボール箱の積みずれやオーバーハングはない。

- ②パレット表面のパネル間隔は、段ボール箱寸法に比して十分に小さい。
- ③上下の段ボール箱配置の相対関係は、積付パターンに対応して多様である。

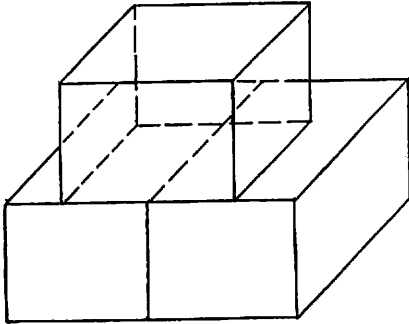


Fig. 1 2-tier model for the evaluation of compression strength loss

この前提を満たす試験法として、Fig. 1の2段積みモデルを採用した。即ち、下段に2個の段ボール箱を相互に長さ面を密着させて並べる。その上に段ボール箱1個を、下段と長さ面をクロスさせ、かつ下段段ボール箱幅面と上段段ボール箱長さ面が垂直面上に揃うように配置する。さらに、上段段ボール箱長さ面の中央に、下段段ボール箱2箇の密着した幅面の縦の稜線が位置するように調整する。これは、上段、下段の段ボール箱の強い部位と弱い部位が相互に接触して耐圧荷重を伝達する形を、試験室レベルで最も簡単に表現することで、積付劣化のモデル化を意図したものである。

2.2 数式モデル

2段積みモデルを使用して、積付強さ劣化補償係数 β を次のように定義する。

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

C：中身入り外装段ボール箱単体均一荷重圧縮強さ

C⁽²⁾：中身入り外装段ボール箱2段積みモデル圧縮強さ

さらに、前々報で設定した、圧縮強さを試験室で確認するためのモデル条件を使用し、係数 β 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。

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

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

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

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

C_{os}：20℃ 65% RH 前処理段ボール箱商品単体の初期瞬間均一荷重圧縮強さ

C_{os}⁽²⁾：20℃ 65% RH 前処理段ボール箱商品2段積みモデルの初期瞬間圧縮強さ

C_{oh}：40℃ 90% RH 前処理段ボール箱商品単体の初期瞬間均一荷重圧縮強さ

C_{oh}⁽²⁾：40℃ 90% RH 前処理段ボール箱商品2段積みモデルの初期瞬間圧縮強さ

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℃ 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℃ 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℃ 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

- $C_{1h}^{(2)}$: $C_{0h}^{(2)}$ がステージ1で40℃90%RH環境下、クリープ時間 t の圧縮クリープ強さ
 P_{0s} : ステージ0の温湿度条件20℃65%RH
 P_{0h} : ステージ0の温湿度条件40℃90%RH
 P_{1s} : ステージ1の温湿度条件20℃65%RH
 P_{1h} : ステージ1の温湿度条件40℃90%RH
 $C_{H,0}$: ステージ0、つまり工場生産直後で、ヒステリシスがないう状態の段ボール箱商品の初期瞬間均一荷重圧縮強さ
 β_i : ステージ i の積付強さ劣化補償係数

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

装段ボール箱の仕様の組み合わせを考慮して、6種類のモデルケースを選定した。

Fig. 2に外装段ボール箱への個装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。

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箇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

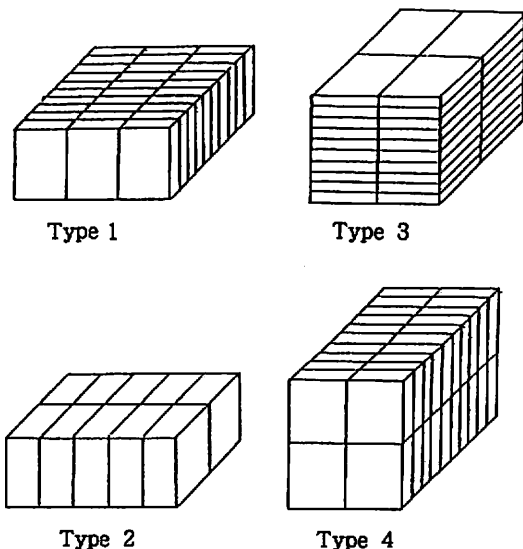


Fig. 2 Filling pattern of the carton boxes in corrugated containers

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 outer joint flap at side panel
II-1	Nothing (Empty corrugated containers)	Nothing	447 × 227 × 181mm KNN220/SCP180/KNN220g/m ² A/F Regular slotted type
II-2	Type 2	110 × 86 × 176mm Coated paper 450g/m ²	447 × 227 × 181mm KNN220/SCP180/KNN220g/m ² A/F Regular slotted type
III-1	Nothing (Empty corrugated containers)	Nothing	302 × 245 × 315mm KNN180/SCP160/KNN180g/m ² A/F Regular slotted type
III-2	Type 3	117 × 30 × 141mm Coated paper 310g/m ²	302 × 245 × 315mm KNN180/SCP160/KNN180g/m ² A/F Regular slotted type
IV	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} 、 C_{1h} 、 $C_{1S}^{(2)}$ 、 $C_{1h}^{(2)}$ について $t=1\sim 100$ 分、 β_{0S} 、 β_{0h} 及び β_{1S} 、 β_{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-1の場合をFig. 6~8、モデルケースII-2の場合をFig. 9~11、モデルケースIII-1の場合をFig. 12~14、モデルケースIII-2の場合をFig. 15~17、モデルケースIVの場合をFig. 18~20に

示す。

4.2 考 察

(1) モデルケース I

① Fig. 3、4ともに2段積みモデルの圧縮クリープ強さは、単体の均一荷重圧縮クリープ強さと完全に一致する。したがって、Fig. 5では、標準、高温多湿の両条件下、クリープ時間全域にわたり、 $\beta=1$ と完全安定である。

② Fig. 4の2段積みモデルの圧縮クリープ

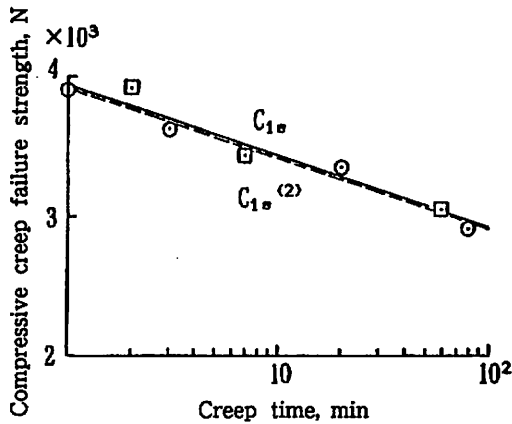


Fig. 3 Relationship between creep failure strength and creep time for case I conditioned at 20°C, 65% RH

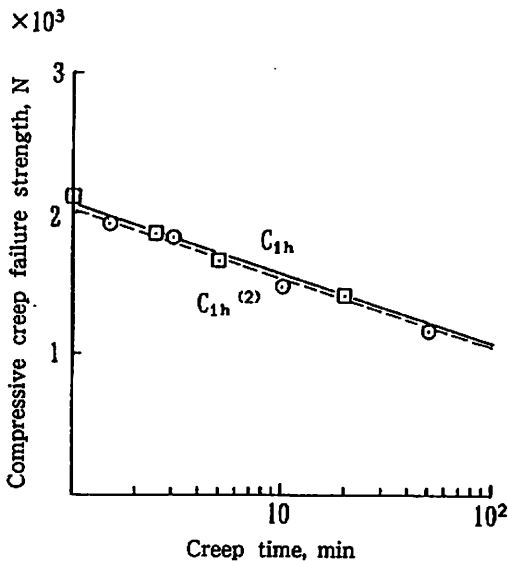


Fig. 4 Relationship between creep failure strength and creep time for case I conditioned at 40°C, 90% RH

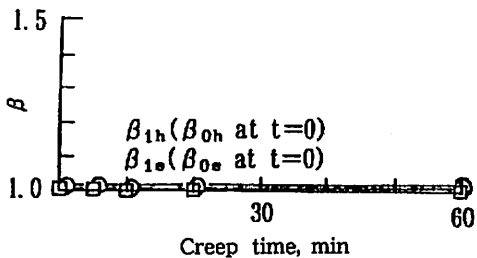


Fig. 5 Relationship between β and creep time for case I conditioned at 20°C, 65% RH / 40°C, 90% RH

強さは、Fig. 3のそのの略 10^4 倍の時間促進試験になっている。

(2) モデルケース II-1

①外装段ボール空箱の例である。Fig. 6、7ともに2段積みモデルで積付劣化が発生している。その状況はFig. 8に示されており、標準状態ではクリープ時間全域で β は約2で極めて安定している。しかし高温多湿状態になると、 β は初期値で既に2.8と大きく、クリープ時間とともに微増し、4に近づく。

②Fig. 6、7ともに2段積みモデルの勾配は、単体のそれよりやや緩やかで、圧縮強さのクリープ時間依存性が少し緩和されている。また、Fig. 7の2段積みモデルのクリープ圧縮強さは、Fig. 6のそのの略 10^4 倍の時間促進試験になっている。

(3) モデルケース II-2

①モデルケース II-1に中型カートン個箱が挿入された例である。Fig. 9、10ともに2段積みモデルで積付劣化が発生している。その状況はFig. 11に示されており、定性的な傾向はFig. 8と類似である。違いは、 β の絶対値が標準、高温多湿の両状態ともに、約20%小さくなっていることである。中身個箱の影響で、段ボール空箱の場合に対し、積付劣化が緩和されている。

②Fig. 9、10ともに2段積みモデルの勾配は、単体のそれより僅かに緩やかで、圧縮強さのクリープ時間依存性が若干緩和されている。また、Fig. 10の2段積みモデルのクリープ圧縮強さは、Fig. 9のそのの略 10^4 倍の時間促進試験になっている。

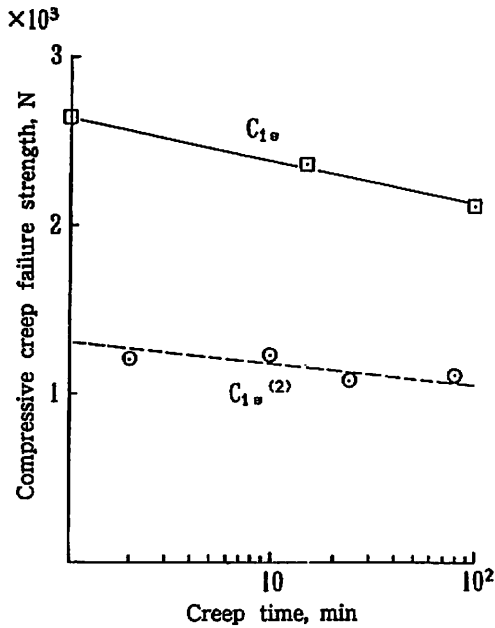


Fig. 6 Relationship between creep failure strength and creep time for case II-1 conditioned at 20°C, 65% RH

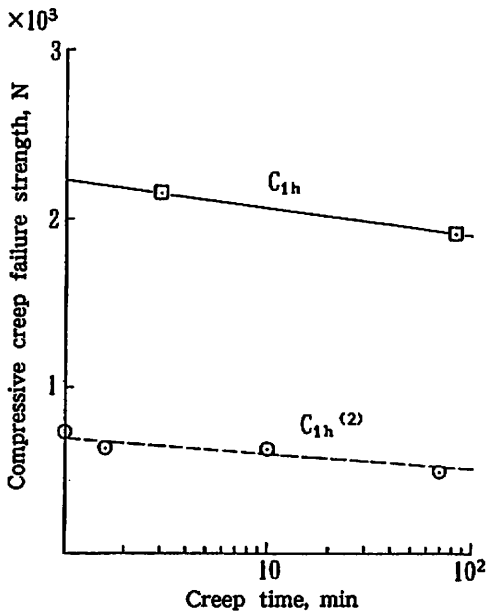


Fig. 7 Relationship between creep failure strength and creep time for case II-1 conditioned at 40°C, 90% RH

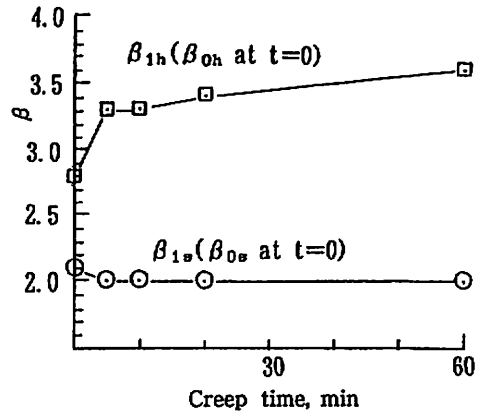


Fig. 8 Relationship between β and creep time for case II-1 conditioned at 20°C, 65% RH/40°C, 90% RH

(4) モデルケース III-1

①外装段ボール空箱の2番目の例である。

Fig. 12、13ともに2段積みモデルで積付劣化が発生している。その状況はFig. 14に示されており、標準、高温多湿の両条件下、クリープ時間全域にわたり、 β は2.0、1.7と極めて安定している。モデルケースII-1との対比で、段ボール箱の寸法等により、高温多湿状態での積付劣化に大きな差を生じることがわかる。

②Fig. 12、13ともに2段積みモデルの勾配は、単体のそれより僅かに緩やかで、圧縮強さのクリープ時間依存性が若干緩和されている。また、Fig. 13の2段積みモデルの圧縮クリープ強さは、Fig. 12のその略 10^2 倍の時間促進試験になっている。

(5) モデルケース III-2

①モデルケースIII-1に小型カートン個箱が横詰めされている。Fig. 15、16ともに2段積みモデルで積付劣化が発生している。その状況はFig. 17に示されており、

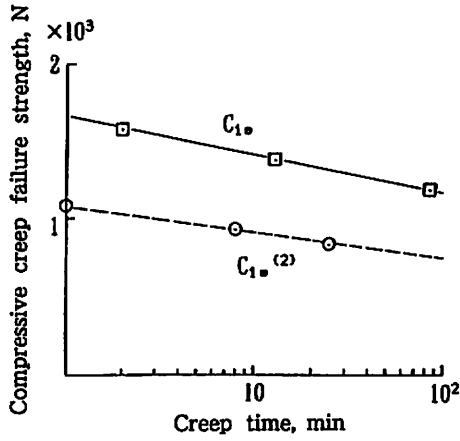


Fig. 9 Relationship between creep failure strength and creep time for case II-2 conditioned at 20°C, 65% RH

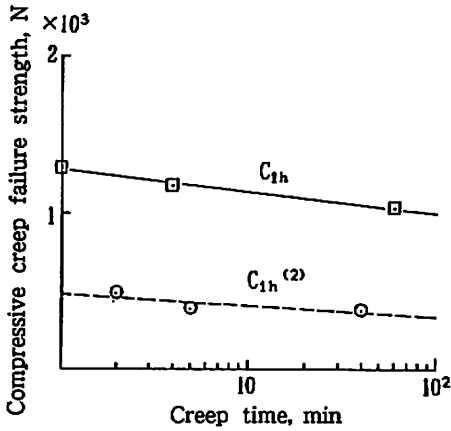


Fig. 10 Relationship between creep failure strength and creep time for case II-2 conditioned at 40°C, 90% RH

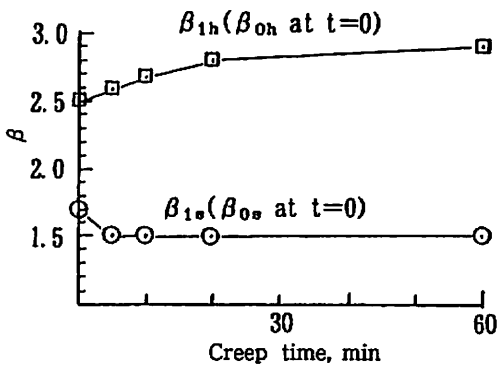


Fig. 11 Relationship between β and creep time for case II-2 conditioned at 20°C, 65% RH/40°C, 90% RH

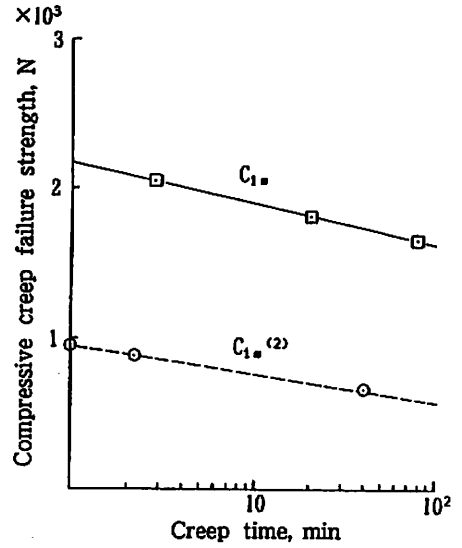


Fig. 12 Relationship between creep failure strength and creep time for case III-1 conditioned at 20°C, 65% RH

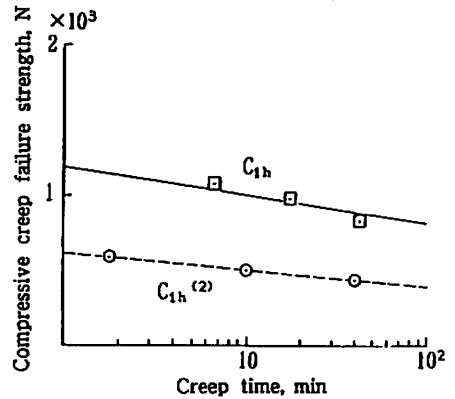


Fig. 13 Relationship between creep failure strength and creep time for case III-1 conditioned at 40°C, 90% RH

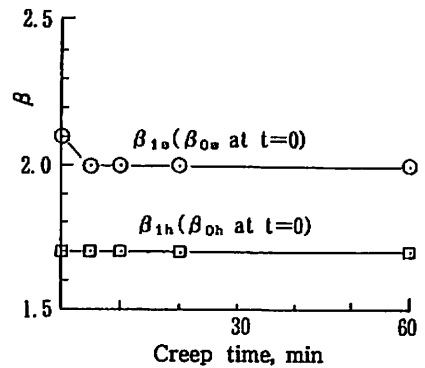


Fig. 14 Relationship between β and creep time for case III-1 conditioned at 20°C, 65% RH/40°C, 90% RH

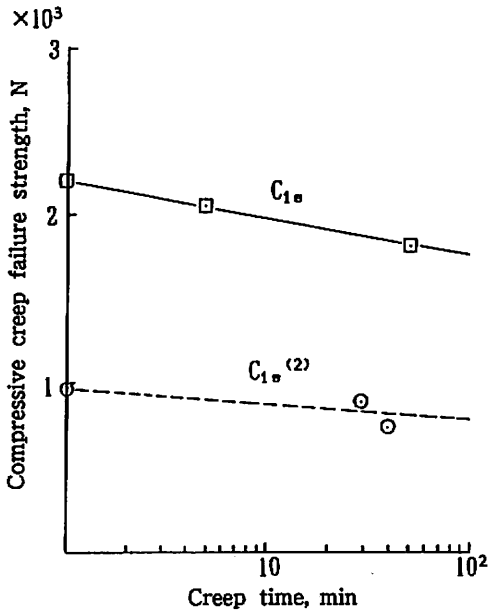


Fig. 15 Relationship between creep failure strength and creep time for case III-2 conditioned at 20°C, 65% RH

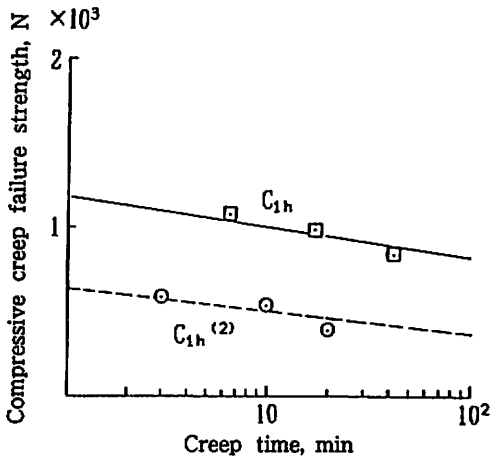


Fig. 16 Relationship between creep failure strength and creep time for case III-2 conditioned at 40°C, 90% RH

モデルケースⅢ-1と略一致している。第2報で、横詰めのカートン個箱は中身抜き空の状態では、圧縮強さは期待でないことを報告した⁵⁾。この関係は2段階積みモデルにおいても維持されている。

② Fig. 15、16ともに2段階積みモデルの勾

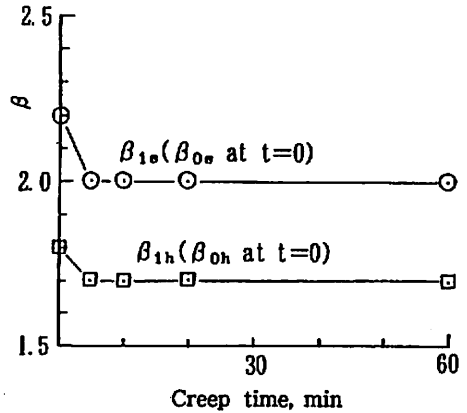


Fig. 17 Relationship between β and creep time for case III-2 conditioned at 20°C, 65% RH/40°C, 90% RH

配は、単体のそれより僅かに緩やかで、圧縮強さのクリープ時間依存性が若干緩和されている。また、Fig. 16の2段階積みモデルの圧縮クリープ強さは、Fig. 15のその略 10^4 倍の時間促進試験になっている。

(6) モデルケースⅣ

①モデルケースⅢ-1に小型カートン個箱が2段に立詰めされている。モデルケースⅠと同様に、Fig. 18、19ともに2段階積みモデルの圧縮クリープ強さは、単体のそれと完全に一致している。したがって Fig. 20では、標準、高温多湿の両条件下、クリープ時間全域にわたり、 $\beta = 1$ で完全に安定している。

② Fig. 19の2段階積みモデルの圧縮クリープ強さは、Fig. 18のその略 $10^2 \sim 10^4$ 倍の時間促進試験になっている。

5. 結 語

前々報で提案したマクロ数式モデルの第(2)式の係数 β の特性把握を行った。試験室

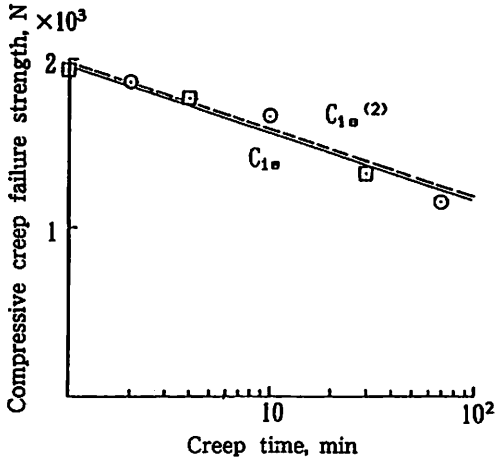


Fig. 18 Relationship between creep failure strength and creep time for case IV conditioned at 20°C, 65% RH

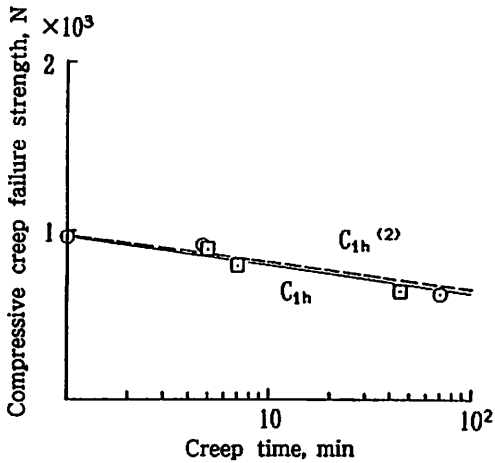


Fig. 19 Relationship between creep failure strength and creep time for case IV conditioned at 40°C, 90% RH

において、商品段ボール箱の多段積付劣化を評価する手法として、2段積みモデルを採用し、 β を定義した。その上で、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) 2段積みモデル試験

① 1分 \leq クリープ時間 \leq 100分では、ケース単体の場合同様、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

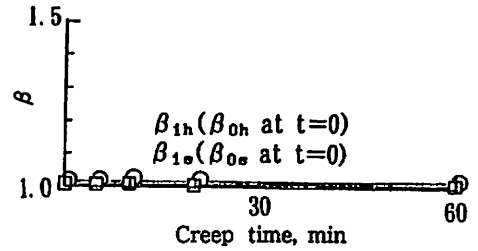


Fig. 20 Relationship between β and creep time for case IV conditioned at 20°C, 65% RH / 40°C, 90% RH

係が成立する。

- ②直線の勾配の大きさは、標準状態と高温多湿状態では、多くの場合差が小さい。
- 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、ケース単体の場合同様、標準状態のその10²~10⁴倍の時間促進試験になっている。

(2) 係数 β の特性

- ① 5分 \leq クリープ時間で、標準状態では β は略定常値に取れんし、積付劣化はクリープ時間に対して極めて安定している。高温多湿状態においても、多くの場合同様であるが、クリープ時間の増大とともに β が微増傾向を示し、積付劣化が進行するケースが少数存在する。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、個箱の挿入形態に対しては、 β は高い感度を有する。
- ② カートン個箱とA-1形外装段ボール箱の組み合わせでは、 β の値の範囲は1 $\leq\beta<4$ である。
- ③ A-1形外装段ボール箱にカートン空箱を横詰めした場合、空箱の強さ寄与が期待できないので、 β は外装段ボール空箱

の β と同一特性を示す。

- ④ A-1形外装段ボール箱にカートン個箱を立詰めした場合、カートン個箱と外装段ボール箱天面のクリアランスが一定値以下では、 β が最小値、即ち積付劣化が最小値をとることが期待される。クリアランスが一定値を越えると積付劣化が増大する状況が発生し、さらにある上限を越えると、③の状況に至る。
- ⑤ ラップラウンド形外装段ボール箱にカートン個箱が立詰めされた場合、天面のクリアランスが略零であるから、 $\beta = 1$ 、即ち積付劣化は発生しない。

このように、2段積みモデルで定義した積付強さ劣化補償係数 β は、環境条件とクリープ時間の変化に対応して、カートン個箱入り外装段ボール箱の積付強さ劣化が変化する様相を定量的によく表現している。即ち β は、基本的にはクリープ時間の変化に対し、定数安定性を示す一方、外装及び個箱包材の材質構成、寸法形状及び個箱の外装への挿入形態に対しては高い感度を示し、環境条件に対応

して安定定数の値に差を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有用な性質であり、モデルの有効性を裏付けるものである。次報ではこの手法を敷えんして、最適設計の重要因子である天面のクリアランスと数式モデルの係数 α 、 β の関係について報告する。

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., Tappi, 46 (1), 151A (1963)
- 2) Kellicutt, K. Q., "Performance and Evaluation of Shipping Containers" (Edited by Maltenfort, G. G.), Jelmar Publishing Co., Inc., p.141 (1989)
- 3) Ievans, U. I., Tappi, 58 (8), 108 (1975)
- 4) 村尾千秋、日本包装学会誌、4 (4), 287 (1995)
- 5) 村尾千秋、日本包装学会誌、4 (4), 295 (1995)

(原稿受付 1995年2月 2日)

(審査受理 1995年9月22日)