

流通過程における 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 during Distribution Process

Chiaki MURAO*

Corrugated containers for food products are filled with various items/intermediate packagings. Therefore the compression strength of filled corrugated containers are consisted of the composite strength of empty corrugated containers and its contents. I have took note of the failure of stacking corrugated containers in warehouse at high temperature/high humidity conditions. Then I have confirmed the compression strength characteristics of the structural elements of filled corrugated containers at high temperature/high humidity conditions. According as the results, I have proposed the mathematical model to explain the compression strength characteristics of corrugated shipping containers. Simultaneously, I have decided the model conditions for laboratory test to confirm the compression strength of the structural elements of filled corrugated containers.

Keywords : Corrugated container, Compression strength, Failure of corrugated containers, High temperature/high humidity conditions, Mathematical model

食品では、複数個の個装や内装を外装段ボール箱に詰め合わせるのが一般的である。したがって、食品外装段ボール箱詰め商品の圧縮強さは、中に詰め合わされている個装、内装と外装段ボール箱が組み合わされた複合システムとして捕らえる必要がある。本報では、高温多湿時に積み付け保管中の商品の外装段ボール箱が座屈するトラブルが現実の問題であることに着目した。まず商品の各構成要素が高温多湿時にどのような圧縮強さ特性を示すかを確認した。その知見を基に、食品外装段ボール箱圧縮強さを表すマクロ数式モデルを導いた。併せて、耐圧強度劣化を試験室で確認するための条件を設定した。

キーワード : 外装段ボール箱、圧縮強さ、段ボール箱の座屈、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

従来の段ボール箱圧縮強度設計に関する一般性のある情報は、標準状態（米国は23℃50%RH、日本は20℃65%RH）における原紙の試験片強度と、段ボール紙の原紙構成および段ボール箱の寸法形状から、標準状態における所要圧縮強度の段ボール空箱を設計する過程に集中している^{1),2)}。

安定した測定値がえられる、標準状態近傍の領域で設計法を確立したことが、これらの研究の成果である。

しかし、実際には標準状態から外れた環境にしばしば遭遇する。さらに個装／内装と外装段ボール箱圧縮強さの相互関係を考慮した、外装段ボール箱圧縮強さ設計アルゴリズムの情報は個別的かつ断片的である^{3)~9)}。

設計に有効な形で個別現象を一般化することに成功していないため、参考にはなっても決め手にならない。具体的には次のような壁や問題に直面している。

- ①構造物として、ミクロの集積としてマクロを取扱い、数式化することが難しい。したがって、計算力学や破壊力学の手法がそのままでは使えない。
- ②実験式を導いても、分散が許容範囲に収まる保証がないと設計の決め手にならない。分散を許容範囲に特定するには、複雑な現象を解明する高度の解析技術と、膨大なデータの蓄積を必要とし、現実には途中で断念せざるをえない。
- ③時系列で発生する流通環境の圧縮強さ劣化要因を、設計に有効な形でモデル化することに成功していない。したがって、参考に値する個別データはあるが、一般

性の保証がない。

これらの問題の根本には、段ボール箱に付随の次のような現象が存在している。

第1に、食品外装段ボール箱詰め商品の構造物としての圧縮強さ特性が、特に破壊の近傍で極めて複雑な挙動を示すことである¹⁰⁾。

第2に、段ボール箱の圧縮強さは、原紙に使用される故紙の種類と混入率により、JISの同一等級、同一坪量の中でも変動する。

筆者は同一JIS仕様の外装段ボール箱圧縮強さが、4年間で30%低下した例を経験している。故紙の種類と混入率は、その時々を社会的、経済的環境により変わるので、長期にわたる安定性は期待できないことである。

したがって、標準状態の原紙の強度特性から、現実に外装段ボール箱が直面する多様な局面での強度特性を、限定された誤差の範囲内で演繹することは、基本的に困難な作業といわねばならない。段ボール箱の圧縮強さは、現物を問題発生点に近い環境下で測定し、演繹可能な範囲を注意深く限定しながら推定するのが、誤差を最小に保つ最良の方法である。

さらに、加工食品外装段ボール箱圧縮強さ設計の与件となる流通と消費の状況も、この10年間で大きく変化した。その状況は次のように要約できる。

- ①消費者の食品に対する鮮度指向、流通小売の在庫極小化に対応して、ジャストインタイム生産・物流体制が普及した。その結果、パレット3段積みは工場倉庫とせいぜい1次物流拠点までとなった。それ以降は、パレット1段積み以下となり商品圧縮強さへの配慮は不要となる。保管期間も多くの場合1~2カ月が目処に

なった。

②1次物流拠点までについても、輸送手段、ハンドリング機器、保管設備の改善が進んだ。段ボール箱の損傷に至らない輸送振動は、圧縮強さの劣化要因としては小さいと考えられている¹¹⁾。その要因がさらに小さくなった。荷役衝撃は、ハンドリングの良否と積み替え回数に依存する¹²⁾。1次物流拠点までの積み替え回数は2回と極小化した。1次物流拠点は加工食品メーカー領域なので、圧縮強さへの影響を極小化するハンドリング管理が可能である。上述の環境改善も著しく、通常の加工食品に関しては、圧縮強さへの影響は小さいと判断される。筆者は関東地区を起点に鹿児島まで、加工食品流通を実地に追跡して、この判断の妥当性を確認している。近年、輸送や荷役に起因する商品圧縮強さの劣化クレームも、筆者の加工食品企業経験では皆無である。

③最近の環境保全に向けてのグローバルな潮流の中で、食品外装段ボール箱についても、設計の最適化による過剰包装の防止への新たな取り組みが求められている。

このような現状をふまえて、本研究の目的は、食品外装段ボール箱詰め商品が流通過程で受ける劣化要因を、最近の流通環境に留意しつつ、本質を損なうことなく簡潔にモデル化して、試験室でのリーズナブルな時間とコストによる試験で、実用的な最適設計の方法論を確立することにある。本報では、マクロ数式モデルおよび圧縮強さを試験室で確認するためのモデル条件の設定につき提案する。

2. ケース単体の商品圧縮強さ特性

新設計法の構築に当たり、商品流通の基本単位であるケース単体の状態で、外装段ボール空箱、中身、及び中身と外装段ボール箱の集合体としての商品の圧縮強さ特性並びにその相互関係をマクロに把握する必要がある。

2.1 外装段ボール空箱圧縮強さの温湿度特性

現実に遭遇する外装段ボール箱詰め加工食品の最大の問題は、倉庫に段積み保管された商品が、高温多湿時に座屈するトラブルである。そこで、トラブル発生期に対応する加工食品保管倉庫の温湿度環境を調査した。

2.1.1 高温多湿環境条件の調査

①調査地

佐賀県加工食品保管倉庫

②測定時期及び時間

平成3年5月～8月の休日を除く97日、各日の10時及び15時

③調査結果

半日を1単位として、
90%RH以上の出現頻度13%(26回)
30℃以上の出現頻度31%(61回)、
相対湿度環境が最も厳しい日は、6月下旬、7月上旬の15時、29℃96%RHを各1回記録

他方、JISZ0203包装貨物試験の前処理では、多湿条件として20℃90%RH及び40℃90%RHが提案されている。そこで、調査結果を勘案した高温多湿状態のモデルとして40℃90%RHを採用し、標準状態との対比で、外装段ボール空箱圧縮強さ温湿度特性のマクロ把握を試みた。

2.1.2 対象

常温流通加工食品の中から、原紙構成と寸法にバラエティを持たせて、A段外装段ボール箱の21銘柄を選定した。

①原紙構成

ライナー: A級280g/m²~C級210g/m²
 中芯 : 強化200g/m²~C級125g/m²

②形式と寸法

形式: A-1型、ラップラウンド式
 寸法: 幅260~510mm、奥行き190~310mm、高さ180~370mm

2.1.3 測定条件

①前処理調湿 48~96h

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サンプル数

1銘柄1調湿レベル当たり N = 5

2.1.4 測定法と判定基準

①耐圧強度測定法

TENSILON/CTM-1-5000にて、JIS包装貨物の圧縮試験法により測定

②判定基準

座屈時の荷重を耐圧強度と判定

2.1.5 結果と考察

測定結果をFig. 1に示す。高温多湿状態と標準状態前処理後の、各銘柄毎の外装段ボール空箱圧縮強さ比は、平均値に対し±20%のばらつきを示した。これは21銘柄の測定結果であるから、一般的にはばらつきはさらに拡大する。

設計の構成要素としてばらつき±20%以上は大きすぎるので、標準状態の実測値から単純に高温多湿状態の耐圧強度を推定する方法は、参考に止めねばならない。ばらつきの要因が解明されないままに、ばらつきの大きい個別データの一般化を試みても意味は薄

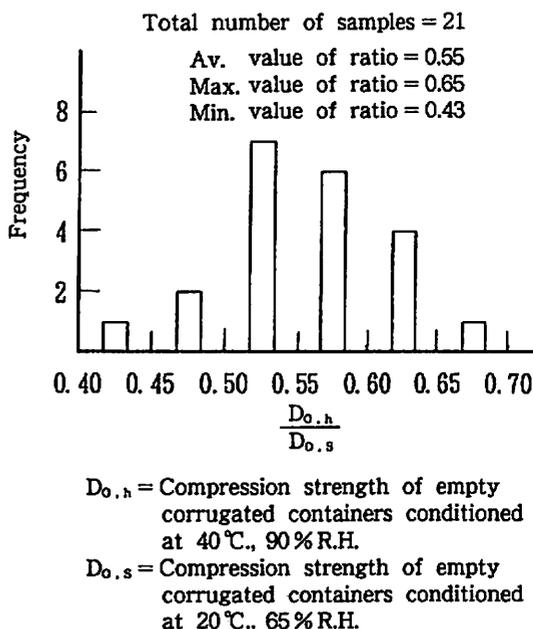


Fig. 1 Temperature/humidity characteristics of the compression strength of empty corrugated containers

い。

高温多湿状態の耐圧強さが、設計値として必要な場合は、当面実際の原紙構成と実寸法の段ボール箱による、高温多湿状態の実測値を基本とすべきである。同様の理由で、全農の報告書で提案されている、含水分と段ボール空箱耐圧強さの関係を示す実験式¹²⁾も、傾向把握の有力な手段ではあるが、設計の最終構成要素とはならない。

2.2 中身と商品の耐圧強さ特性

問題点のできるだけ近傍で圧縮強さ特性を把握する必要がある。加工食品の場合、高温多湿保管時の座屈が最大の問題であることに照らして、瞬間耐圧強さ (JIS法はこれに近い) による判定は、最善とはいえない。

そこで、クリープ耐圧強さを新たな基準に採用した。本実験は、圧縮強さをマクロに把

握することを目的とした予備実験である。そこで、クリープによる圧縮強さ劣化率が大きく、その最終的な大きさのマクロ傾向の判断が可能で、40℃90%RH前処理サンプルの5分間圧縮クリープ強さをモデルに採用した。5分間クリープでマクロ傾向の判断が可能との知見は、段ボールメーカーの実績がある。また紙の応力-歪関連物性で、最初の約5分間は応力緩和が急速に進行するが、その後急速に減衰するとの知見も参考にした¹³⁾。

2.2.1 対象

常温流通加工食品の中から、個装/内装にバラエティを持たせて、42銘柄を選定した。

- 箱 (パウチ内蔵) : 32銘柄
- パウチ直接 : 8銘柄
- プラスチックボトル : 2銘柄

2.2.2 測定条件

①前処理調湿 48~96h

- 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サンプル数

1銘柄1調湿レベル当たり N = 5~10

2.2.3 測定法と判定基準

①耐圧強度測定法

TENSILON/CTM-1-5000にて、圧縮クリープ試験法にて測定

②判定基準

一定荷重で、5分間の圧縮クリープをかけた後、荷重を除去し、外装段ボール箱を開封して、個装/内装の損傷状況を目視検査する。そこで、個装/内装が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、その個装/内装の集合体もしくは外装段ボール箱詰め商品の5分間クリープ耐圧強度と判定

2.2.4 結果と考察

各銘柄毎の中身(個装/内装の外装段ボール箱ケース単位集合体)の5分間クリープ強さのマクロ温湿度特性を要約してFig. 2に、中身入り商品の5分間クリープ強さのそれをFig. 3に示す。

高温多湿状態と標準状態前処理後の、各銘柄毎の強度比は、いずれの場合も、平均値に対し、±30~40%のばらつきを示し、外装段ボール空箱の場合より一段と幅が拡大している。

これは、外装段ボール空箱に対し、個装/内装の包材構成と寸法形状のバラエティの幅が拡大したのみならず、それらが層構造をなしていることの結果と考えられる。高温多湿状態の耐圧強度特性は、実測値に準拠すべきことを、さらに強く裏付けている。

Fig. 4は、各銘柄毎の40℃90%RH前処理後の中身の5分間圧縮クリープ強さ、中身入り商品のその強さ比の測定結果の要約である。つまり横軸は、商品圧縮強さに対する中身圧縮強さ負担率を示している。

Fig. 5は、同一条件で各銘柄毎に、商品圧縮強さから中身圧縮強さを引いた値と、外装段ボール空箱圧縮強さの比の測定結果の要約である。つまり横軸は、商品圧縮強さに対する外装段ボール空箱圧縮強さの有効寄与率を示している。本実験で使用した約500箱の外相談ボール空箱は、圧縮荷重に対して高さが5~20mm変形して座屈に至るのに対し、個装/内装は数mmの変形で、商品性を損なう限界に達する。つまり、破壊に至る変形量に差があるために、外装段ボール空箱圧縮強さは必ずしも100%商品の圧縮強さに寄与しないことが起るのである。外装段ボール箱の材

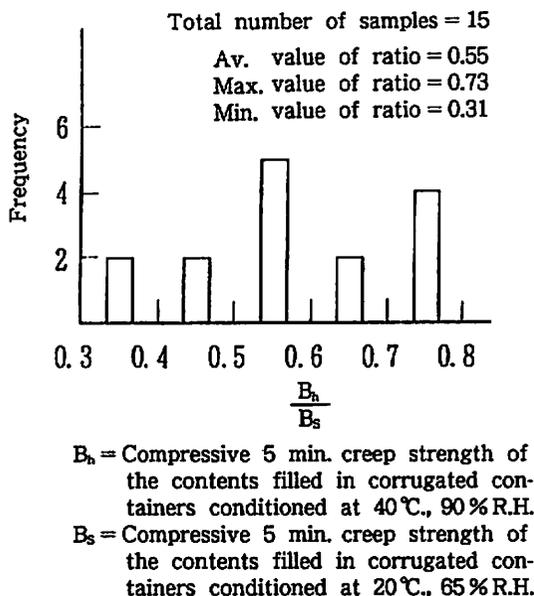


Fig. 2 Temperature/humidity characteristics of the compressive 5min. creep strength of the contents filled in corrugated containers

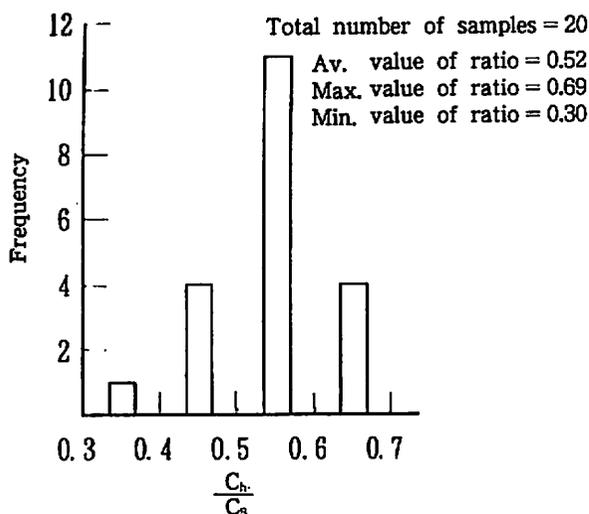


Fig. 3 Temperature/humidity characteristics of the compressive 5min. creep strength of the filled corrugated containers

質、寸法は前節に示した通りである。

Fig. 4、5ともにランダムにばらついている。食品外装段ボール箱強度の最適設計において、中身の圧縮強さ負担率と外装段ボール空箱圧縮強さの有効寄与率の関係を定量的に取り扱うことは必要条件であるが、従来この視点からの報文は見当たらない。

3. マクロ数式モデルと圧縮強さ劣化環境要因のモデル化

3.1 マクロ数式モデル

従来、段ボールメーカー側から提案されている外装段ボール箱空箱圧縮強さの算出法がある^{14) 15)}。

その要点を次に示す。

- ①20°C65%RHの外装段ボール空箱の瞬間圧縮強さを基準にとる。
- ②保管積付時に、最下段段ボール箱にかかる平均荷重に安全率を乗ずる。
- ③安全率は次式で求める。

$$K = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5$$
 k_1 : 保管経時劣化補償係数
 k_2 : 吸湿劣化補償係数
 k_3 : 積付劣化補償係数
 k_4 : 輸送劣化補償係数
 k_5 : 荷役劣化補償係数

この設計法の問題点を次に要約する。

- ①前述のように加工食品においては、高温多湿時に積付保管中の外装段ボール箱が座屈するトラブルが最大の問題である。20°C65%RHは問題点との距離が遠いことは、既に例証した。
- ②中身の荷重負担は考慮されていない。加工食品では、中身の荷重負担がむしろ普

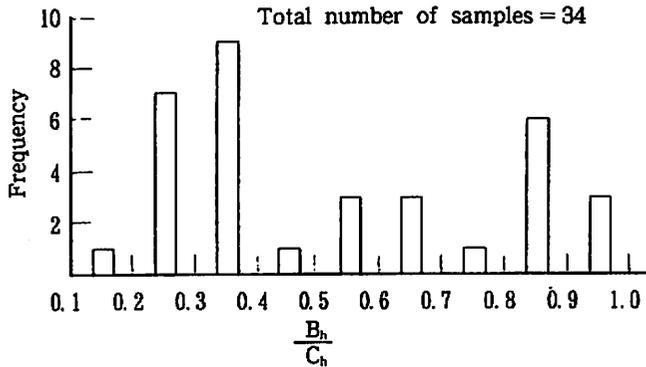


Fig. 4 Compression strength responsibility of the contents filled in corrugated containers to the top compression loads

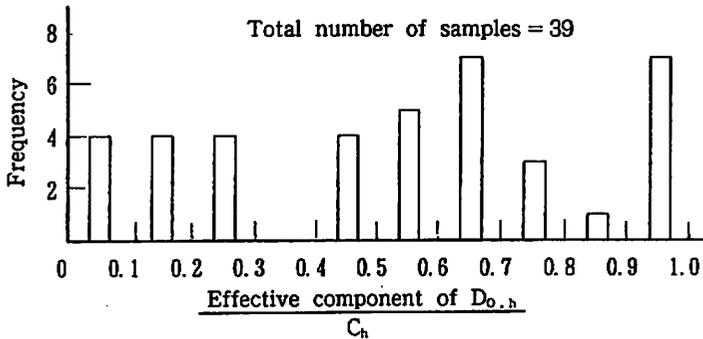


Fig. 5 Compression strength responsibility of the empty corrugated containers to the top compression loads

通であることも、既に例証した。

③ $k_1 \sim k_6$ のモデルは断片的にしか存在しない。その断片的なモデルについても一定である保証はない。また掛算による表現では、誤差が集積して解析の精度が低下する。

そこで、既に例証した事象を基本に、次のマクロ数式モデルを導いた。

$$C = B + \alpha D \dots\dots\dots (1)$$

$$C = \beta A \dots\dots\dots (2)$$

C: 中身入り外装段ボール箱ケース単体必要圧縮強さ

B: 中身のケース単位圧縮強さ

D: 外装段ボール空箱圧縮強さ

A: 保管積付時に最下段商品段ボール箱にかかる許容荷重の平均値

α : 外装段ボール空箱圧縮強さの中身入り外装段ボール箱必要圧縮強さに対する有効寄与率

β : 積付強さ劣化補償係数

(1) 式で中身と外装段ボール空箱の耐圧荷重負担の関係を定量化し、係数 α 、 β を分離導入して、それぞれの物理的意味を明確にした。

3.2 圧縮強さ劣化環境要因のモデル化

試験室でのリーズナブルな時間とコストに

よる試験で、実用的な最適設計の手法を確立するには、数式モデルとともに、劣化の環境要因もモデル化が必要である。

繰り返し指摘したように、温湿度環境については、高温多湿が問題の発生点であり、標準状態とともに、高温多湿状態のモデル化が不可欠である。標準状態からの高温多湿時の圧縮強さ特性の推定は、大きなばらつきを伴うことも既に例証した。加工食品保管倉庫内環境の推定実績を基本に、JISZ0203の前処理条件の中から選定した本報の40℃90%RH条件は、今後も高温多湿環境モデルとして妥当と判断される。

次に保管経時劣化要因については、これも問題発生点のできるだけ近傍でのモデル化を意図して、圧縮クリープ強さを重視し瞬間圧縮強さはむしろ参考に止めるべきである。

4. 結 語

食品メーカーの立場から、従来欠落していた部分を補い、実際的な視点から破壊の近傍での耐圧劣化要因を重視して、食品段ボール箱強度の設計法を見直し、新しい提案を行なった。本研究で提案したマクロ数式モデルの有効性に関する環境モデル条件による検証、および係数 α 、 β の特性の解明は、次報以降で逐次実施したい。

測定にご協力頂いたレンゴウ（株）に感謝する。

<引用文献>

- 1) Kellicutt, K. Q., Package Eng., 4 (9), 92 (1959)
- 2) Mckee, R. C., Gander, J. W., and Wachuta,

- J. R., "Performance and Evaluation of Shipping Containers" (Edited by Maltenfort, G. G.), Jelm Publishing Co., Inc., p. 62 (1989)
- 3) Byrd, V.L., Tappi, 55 (11), 1612 (1972)
- 4) Mckee, R. C., and Gander, J. W. Tappi, 40 (1), 57 (1957)
- 5) Kellicutt, K. Q., "Performance and Evaluation of Shipping Containers" (Edited by Maltenfort, G. G.), Jemar Publishing Co., Inc., p.141 (1989)
- 6) Ievans, U. I., Tappi, 58 (8), 108 (1975)
- 7) Kellicutt, K. Q., and Landt, E. F., Fibre Containers, 36 (9), 28 (1951)
- 8) Koning, J. W., and Stern, R. K., Tappi, 60 (12), 128 (1977)
- 9) Thielert, R., Tappi, 67 (11), 110 (1984)
- 10) Thorpe, J. L., and Choi, D., Tappi, 75 (7), 155 (1992)
- 11) 五十嵐清一、"段ボール包装技術入門"、日報、p. 126 (1990)
- 12) 全農施設部・資材部、"青果物用段ボール品質管理マニュアル"、全農、第5章、p.1 (1990)
- 13) Brandon, C. E., "Pulp and Paper, 3rd Edition Volume III" (Edited by Casey, J. P.), John Wiley & Sons, p.1781 (1981)
- 14) 五十嵐清一、"段ボール包装技術入門"、日報、p. 119 (1990)
- 15) Wright, P. G., Mckinlay, P. R., and Shaw, E. Y. N., "Corrugated Fibreboard Boxes", Australian Paper Manufacturers, p.64 (1988)

(原稿受付 1994年11月28日)

(審査受理 1995年 6月15日)