Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-06-13

パレット積みされた段ボール箱の限界保管時間について

田村，祥
斎藤，勝彦
山原，栄司

(Citation)
日本包装学会誌,18(3):213-217

(Issue Date)
2009

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001136

技術報告

パレット積みされた段ボール箱の限界保管時間について

田村 祥*、斎藤 勝彦**、山原 栄司***

Stacking Lifetime of Palletized Carton

Sho TAMURA*, Katsuhiko SAITO** and Eiji YAMAHARA***

包装貨物は物流中に倉庫で積み上げられ保管される場合が多く、積み上げられた包装貨物の最上段以外は、上にある包装貨物の静荷重が加わっている。保管中の静荷重に対して段ボール箱が十分な静圧縮強度を持っているか否かを判断するために、従来より箱単体での圧縮試験が行われているが、段ボール箱の座屈損傷を十分に再現することが出来ない。本論では保管時の段積み強度を段積み箱の有効周囲長と関連づけ、段積みを考慮した限界保管時間の算出が可能であることを明らかにする。

Transport package is often stacked in warehouse during distribution. The stacking transport packages have received static load. We confirm whether a corrugated box has enough static compressive strength by the compression test. However, we cannot simulate the actual buckling damage of box by the static compression test of a box. In this study, we propose the equivalent stacking box perimeter to estimate the static compression strength. It is found to be able to calculate the stacking lifetime to have considered the tier.

キーワード：包装、輸送、圧縮試験、保管、限界保管時間、段ボール箱

Keywords：Packaging, Transport, Compression Test, Storage, Stacking Lifetime, Carton

1. はじめに

包装貨物は物流中に倉庫で積み上げられ保管される場合が多い。積み上げられた包装貨物の最上段以外は、上にある包装貨物の静荷重が加わっている。特に段ボール箱は長期間の保管によって胴ぶくれや胴われといった座屈が起こり、外観の悪化に加えて、内容品の破損や荷崩れによる製品破損を引き起こすこともある。

このような静圧縮環境を実験室内で再現するのが圧縮試験であり、これまで段ボール箱単体の圧縮強度に関する研究が行われている。ここで従来の段ボール箱必要圧縮強度設定の

* 研究当時、神戸大学大学院海事科学研究科博士前期課程
**連絡者(Corresponding author), 神戸大学大学院輸送包装研究室（〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1）
Kobe University, 5-1-1, Fukaeminami, Higashi-nada, Kobe, 658-0022, Japan
TEL:078-431-6341, FAX:078-431-6364, Email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp
***レンゴー（株）パッケージ開発センター

考え方としては、保管時の最下段にかかる荷重と安全率の積で求められる。安全率は室内包装貨物評価試験では考慮できない物流中の劣化率であり、物流条件によって決定される。しかしながら、必要圧縮強度を持った段ボール箱の単体圧縮試験のみでは、保管現場を十分に再現することができない。この要因として、安全率で考慮した倉庫内の温湿度や輸送中の振動、衝撃等による劣化率と実際の劣化率との差異等が考えられるが、本論では段積みによる強度低下に関する検討を行い、段積みを考慮した限界保管時間を算出する手法を提案する。

2. 圧縮試験

本研究で使用した段ボール箱の形式、サイズ、材質を以下に示す。

・段ボール種類：A フルート両面段ボール
・箱形式：０２０１形
・サイズ(mm)：縦 407×横 268×高 250
・表裏ライナ：LB 級、坪量 210g/m^2
・中しん：MC 級、坪量 120g/m^2

試料は温度 23℃湿度 50%の恒温湿室で 24 時間以上放置し、水分：7～8%での試料を用いる。

試験を行ったパレタイズドパターンは 1c/s 棒積み、2c/s 棒積み、3c/s 棒積み、4c/s 風車積み、5c/s レンガ積み、6c/s 二列並列積み、8c/s 風車積みである。圧縮試験は、圧縮速度：10mm/min、同条件での試験回数：10 回（8c/s 風車積みのみ 6 回）とする。なお、実験において、初期荷重（196N）で変位ゼロとする。圧縮強さは段ボール箱が座屈するまでの最大圧縮荷重とし、その時の変位量を圧縮量とする。Fig.1 は 4c/s 風車 2 段積みの圧縮試験による結果をまとめたものである。

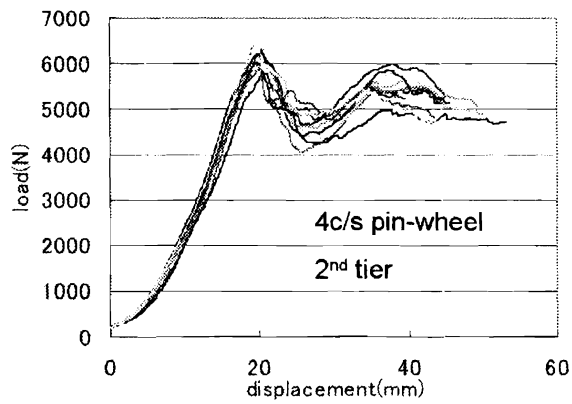

Fig.1 Load vs. displacement curve

さて、段ボール箱単体の圧縮強度推定式[1),2),3)]によれば、ケリカット式は箱の周囲長 Z の 1/3 乗、マッキー式は 0.492 乗、ウォルフ式は 0.5 乗にそれぞれ比例している。

そこで、段積み圧縮試験と周囲長の関係を明らかにするために、有効周囲長（EBP：Equivalent Box Perimeter）を提案する。有効周囲長とは段積みした際に下段箱の周囲と重なっている周囲長を示し、総周囲長に対する割合を有効周囲長率(EBPRatio:EBPR)とする。

Fig.2~Fig.5 は各積み方とそれぞれの有効周囲長を示し、下段を左図の実線に示すように配置し、右図の破線に示すように上段を配置する。ここで、右図中の太実線が下段と重なっている有効周囲長である。

Fig.6 はパレタイズドパターンで異なる EBPR について 1c/s 単体平均圧縮強度に対する段積み箱 1c/s 当たりの平均強度比（BSR：Box Strength Ratio）をまとめたものである。ここに、BSR とは、4c/s 風車積みの場合、段

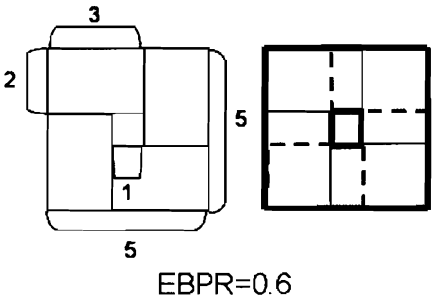

Fig.2 Equivalent Box Perimeter of 4c/s Pin-Wheel Tier

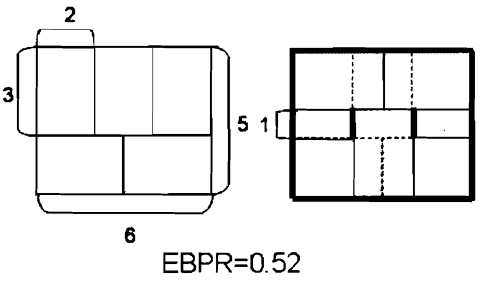

Fig.3 Equivalent Box Perimeter of 5c/s Brick Tier

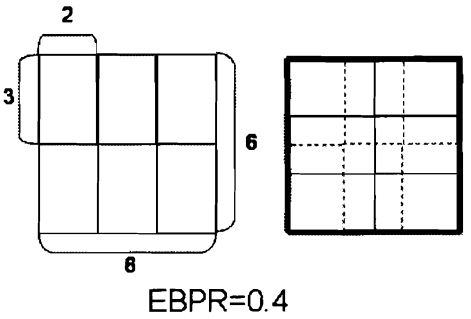

Fig.4 Equivalent Box Perimeter of 6c/s Two Parallel Tier

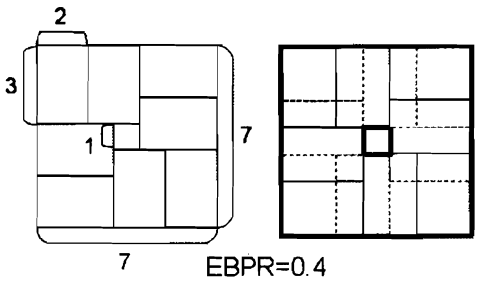

Fig.5 Equivalent Box Perimeter of 8c/s Pin-Wheel Tier

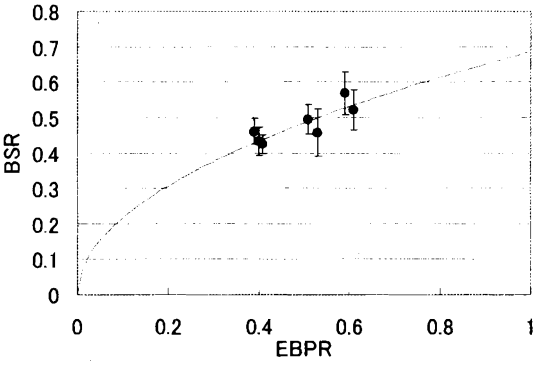

Fig.6 Equivalent Box Perimeter Ratio vs. Box Strength Ratio

積み圧縮試験結果の平均値を1段当たりの配置数4で除した値と、箱単体圧縮試験結果の平均値との比である。また図中の実線の範囲は算出されたBSR（丸印）±3σ（σ：標準偏差）の範囲を示す。なお、有効周囲長率（4c/s 風車積み2段&3段：BSR=0.6、5c/s レンガ積み2段&3段：BSR=0.52、6c/s 二列並列積み2段&3段：BSR=0.4、8c/s 風車積み2段：BSR=0.4）が同じ場合には、左右にずらして図示している。

ここで、段積み圧縮強度と有効周囲長の関係を、箱単体圧縮強度推定のマッキー式、ウォルフ式と対比させ、Fig.6 の実線のように、EBPR が 0.4 から 0.6 の間では、EBPR の 0.5 乗に比例する次式で推定する。

$$BSR = 0.686 \times \sqrt{EBPR}$$

3. 限界保管時間

3.1 限界保管時間の推定

限界保管時間とは任意の静荷重を加えた際に限界圧縮量に至るまでの時間であり、段ボール箱単体の限界保管時間 T (day) は以下

の式に示すことができる[4),5),6)]。

$$T = \exp\left(\frac{0.85a_d - P_s}{20.5 + 0.0278a_d} + \ln d_d - 9.57\right)$$

ここに a_d：標準圧縮強度(N)、P_s：静荷重(N)、d_d：圧縮量（mm）である。さて、2.で述べた段積み圧縮強度と有効周囲長の関係を用いて、パレット積みされた段ボール箱の限界保管時間を推定するための方法として、Fig.7 に示すフローを提案する。

まず、段ボール箱単体の強度を推定式または、静圧縮試験によって求める。次に任意の段積み方法から、有効周囲長率を求め、段ボール箱単体の強度に対する強度比を算出し、最後に、1 箱当たりの段積み圧縮強度を算出し、1 個当たりの圧縮強度を標準圧縮強さとして限界保管時間の推定を行う。

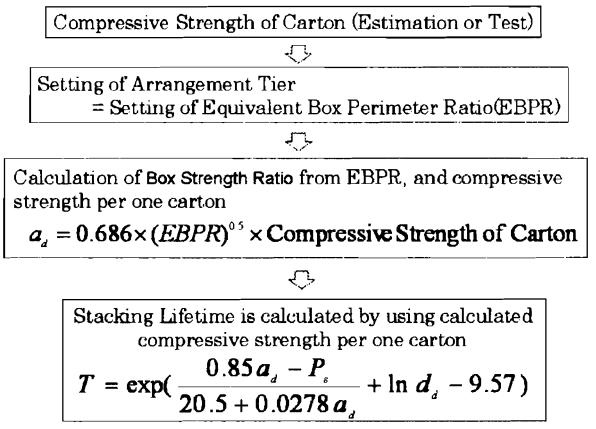

Fig.7 Stacking Lifetime Estimation Flow

3.2 限界保管時間の試算

上述の方法を用いて、いくつかのパレタイズドパターン、静荷重と圧縮量(5mm、10mm、15mm)について、限界保管時間を試算する。Fig.8 に 4c/s 風車積み、Fig.9 に 5c/s レンガ積み、Fig.10 に 6c/s 二列並列積み及び 8c/s 風車積みの限界保管時間 - 積み段数を示す。ただしここでは、箱の縦横比を 3：2、1c/s の質量を 10kg、箱単体圧縮強度を 2697N としている。

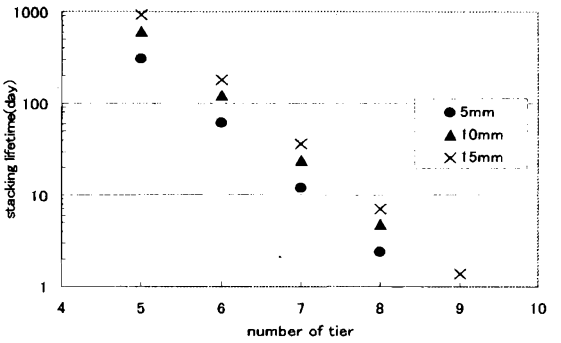

Fig.8 Stacking Lifetime vs. Number of Tier of 4c/s Pin-Wheel Tier

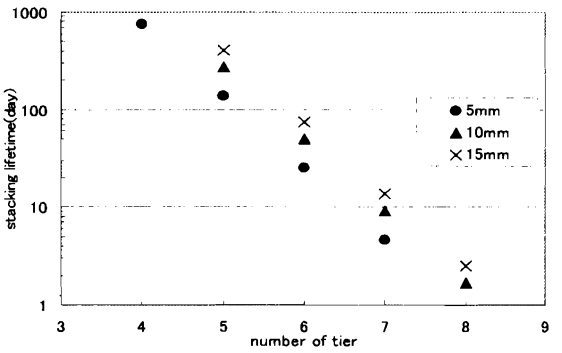

Fig.9 Stacking Lifetime vs. Number of Tier of 5c/s Brick Tier

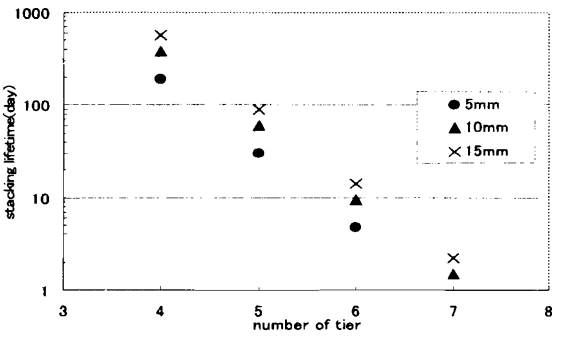

Fig.10 Stacking Lifetime vs. Number of Tier of 6c/s Two Parallel Tier and 8c/s Pin-Wheel Tier

例えば、圧縮変位量 5mm、積み段数 6 段で比較すると、4c/s 風車積み：61 日、5c/s レンガ積み：25 日、6c/s 二列並列、8c/s 風車積み：5 日となり、有効周囲長率が 0.2 小さくなるだけで 56 日、保管時間が短くなる。また、圧縮変位量を 5mm とし、1 ヶ月の保管を行う際の限界静圧縮荷重（段積み相当数）を試算すると、4c/s 風車積み：529.31N(6.4 段)、5c/s レンガ積み：476.65N(5.8 段)、6c/s 二列並列積み&8c/s 風車積み：389.35N(4.9 段)となる。

4. おわりに

本論では、段積みによる「有効周囲長」を用いることによって、段積みされた段ボール箱の圧縮強度が推定できることを示した。また、パレット積みされた段ボール箱の「限界保管時間」を試算することが可能であることも示した。

今後は、試算した限界保管時間の確認試験としてのクリープ試験が必要である。また棒積み(EBPR=1)や Fig.11 に示すように、EBPR=0 となる場合も含めて広範な EBPR に対する BSR の傾向を調査するとともに、オーバーハング等の稜がずれている場合にも応用できるように改善していく必要がある。

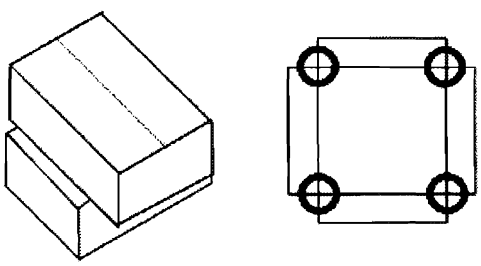

Fig.11 Stacked Pattern on EBPR=0

＜引用文献＞

1) Kellicut,K.Q.&Landt,E.F. "Basic Design Data for the Use of Fiberboard in Shipping Containers", Fibre Containers and Paperboard Mills, vol.36, no.12, p62 - 80 (1951),FPL Report, No.1911(1951, Revised Sept,1958)

2) Mckee, R. C., Gander, J. W. & Wachuta, J. R., "Compression Strength Formula for Corrugated Boxes", Paperboard Packaging, vol.48,no.8,p.149-159(1963)

3) Wolf, M., "How Box Length, Witdth affects Compression Strength", Package Engineering, vol.16,no.10,p.68-71(1971)

4) 高田利夫、寺岸義春、野上良亮、中嶋隆勝、村上義夫、"外装用段ボール箱の圧縮強度と寿命"、Japan Packaging Research Vol.10,No.2(1990)

5) 高田利夫、寺岸義春、野上良亮、中嶋隆勝、村上義夫、"段ボール箱の圧縮強さに及ぼす圧縮速度の影響"、日本包装学会誌、Vol.1 No.1(1992)

6) 高田利夫、寺岸義春、野上良亮、中嶋隆勝、村上義夫："輸送包装設計データベールの開発-段ボール箱の強度劣化について-"大阪府立産業技術総合研究所報告、技術資料、No.3(1993)

（原稿受付　2009 年 2 月 23 日）
（審査受理　2009 年 4 月 3 日）