Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-05-09

段積み段ボール箱の強度設計について

室谷，めぐみ
斎藤，勝彦
山原，栄司

(Citation)
日本包装学会誌,20(3):203-208

(Issue Date)
2011-06-01

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002162

技術報告～～～

あたりの圧縮強度が、箱単体の圧縮強度よりも小さくなることを、いくつかのパレタイズドパターンで確認し、段ボール箱の圧縮を支える有効周囲長の概念を用いて、その強度低下の程度を予測できることを明らかにしている。さらに、静圧縮試験のみで段積みを考慮した限界保管時間を算出する手法を提案している。

本論ではまず、前報[1)]で提案された段積みされた段ボール箱の保管時間と上載荷重および箱強度の関係を、一定荷重実験を行うことで検証する[2)]。

次に、段積みでの段ボール箱単体の必要圧縮強度を、段積みでの一定荷重試験を行わず単体の静圧縮試験及び一定荷重試験を数回行うことで推定する方法を提案するとともに、実験によってその有効性について確認する。

2. 箱強度推定法の検証

2.1 一定荷重試験[2)]

まず、段ボール箱単体で座屈する時、上載荷重 Ps (N) は、静圧縮試験で得られる箱強度 a_d (N)、座屈するまでの時間 T (day)、その時の圧縮変位 d_d (mm) によって、次式で表される[3)]。

$$P_s = 0.536a_d - 196 + (47.2 + 0.0754a_d)\log\frac{d_d}{T} \quad (1)$$

次に、段積みされる場合、1箱あたりの圧縮強度は、箱単体強度よりも小さくなり、次式が提案されている[1)]。

$$BSR = 0.686 \times \sqrt{EBPR} \quad (2)$$

ここにBSRは、段積みされた段ボール箱の静圧縮試験強度を1段当たりの配置箱数で除した値（1箱あたりの圧縮強度）と、箱単体の静圧縮試験強度との比、EBPRは、下段の箱周囲と重なっている周囲長と箱総周囲長の比である。例えば縦横比3:2、4ケース風車積みの場合のEBPRは0.6であり、1箱あたりの耐荷重は、箱単体強度の53%になる。

Fig.1は、4ケース風車積みでの一定荷重試験の状況である。実験環境の温湿度条件は標準状態とし、微小な圧縮変形量は、段積みされた箱に載せた錘の四隅をレーザー変位センサで計測した。錘は大きく傾くことなくほぼ並行沈下したので、Fig.2に四隅の変位の平均値時系列を示す。Fig.2に示されるように、錘を載せてから急激に変形した後は、ほぼ一定の速度で圧縮されていく。一定荷重試験では約2日で計測を終了したので、座屈するまでの時間 T (day) は、静圧縮試験で得た1段あたりの座屈圧縮量 d_d=10mm と、一定荷重試験で得た圧縮速度（錘積載後20時間から40時間までの平均値）から推測する。

その結果、一定荷重試験で載せた錘の重さを1段あたりの箱数で除した値は809N、一定荷重試験結果から予測される座屈時間T、段積みされる場合の1箱あたりの圧縮強度 a_d、座屈圧縮量 d_d=10mm を、式 (1) に代入して得た値は、2段の場合455N、3段の場合506Nであり、前報[1)]による推定法では、十分な予測ができないことがわかる。

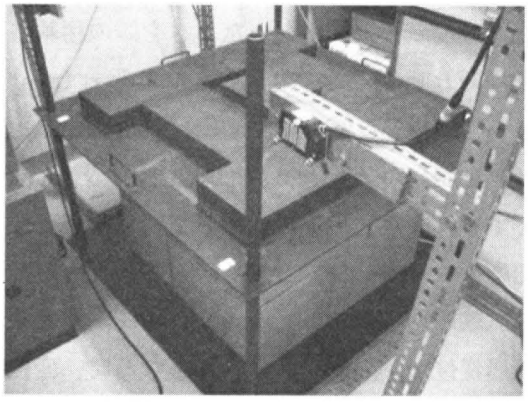

Fig.1 Stacking Test by Static Load

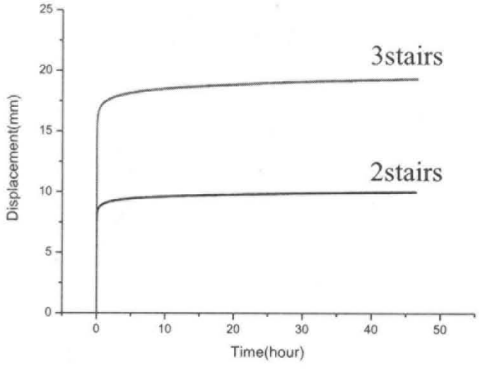

Fig.2 Time-series of Stacking Boxes Displacement

2.2 箱強度推定法[1]の問題点

一定荷重試験では、Fig.3 の実線のように箱が変形していく。静圧縮試験では圧縮速度が小さければ箱強度が小さくなり、一定荷重試験では低荷重にすれば座屈までの時間が長くなる。また、一定荷重試験と静圧縮試験での座屈変位がほぼ同じであることから、一定荷重時の、荷重負荷開始から座屈に至るまでの圧縮速度を仮想圧縮速度と呼び、Fig.3 の破線のように置かれている[3]。一定荷重時の座屈に至るまで、箱は Fig.3 の実線に示すような変位履歴になるものの、前報による推定では、錘の積載時から座屈までは破線のようになることを暗に仮定しており、実線のように変形していく一定荷重時の変形の状況とは大きく異なる。以上が推定結果が十分ではない理由であると考えられる。

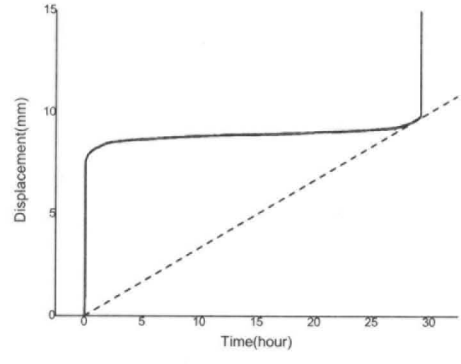

Fig.3 Compressive Velocity by Stacking Test

3. 箱単体一定荷重と静圧縮の関係

前節のように、一定荷重時の箱変形履歴は、圧縮速度の異なる静圧縮試験結果から予測することはできない。そこで再度、箱単体の静圧縮と一定荷重時の箱変形の関係について検討する。ただし、ここで使用した段ボール箱形状はAフルート0201形、内寸法は縦332mm, 横218mm,高さ250mm、表裏ライナLC級、中芯MC級である。

まず、標準状態の温湿度条件で実験を行うことができない場合も考慮し、一定荷重試験を実施する前に静圧縮試験を行い、その静圧縮試験結果と一定荷重試験結果を用いて必要

圧縮強度を推定する。Fig.4 は、静圧縮試験結果の一例である。また、このときの圧縮速度は、一定荷重試験の錘積載直後の箱変形速度と同程度の 1 (mm/sec) とし、初期荷重 (196N) で変位ゼロとする。静圧縮試験における変位・荷重履歴は、Fig.4 のように圧縮強度が分かりやすいものもあれば、その履歴曲線に 2 山現れるなどの場合もあり、圧縮強度の定義を明確にしておく必要がある。ここでは、圧縮開始後最初に計測 2 点間の傾きが 98 (N/mm) 以下になったときの荷重を段ボール箱単体の圧縮強度 a (N) とし、そのときの変位を d_1 (mm) としている。また、静圧縮試験結果から一定荷重試験で積載した荷重 P (N) (1225N から 1519N までの 10 回の試験) での変位を算出し、d_2 (mm) とする。また、一定荷重試験時の箱変形は、箱に載せた錘の四隅をレーザー変位センサで測定する。

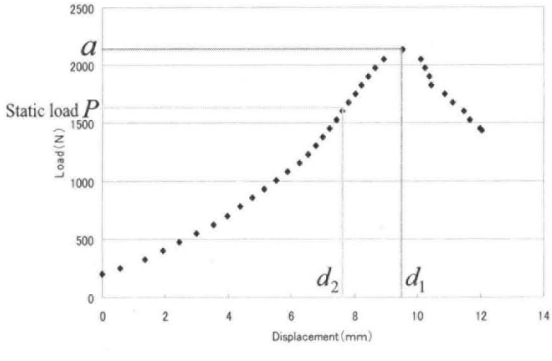

Fig.4 Result of Compression Test

Fig.5 は、四隅のうち最も変形した角の変位履歴を示す。錘を載せたとき、箱が一気に圧縮された後、ほぼ一定の割合で変形し座屈に至る。ここで、一定荷重試験での変位速度が 0.1 (mm/sec) 未満になったときを錘の積載終了時刻 t_1 (sec)、そのときの変位量を x_1 (mm) とし、変位速度が 1 (mm/sec) 以上になったときを座屈時刻 t_2 (sec)、その変位量を x_2 (mm) とする。また、徐々に変形していく時の変位速度を s (mm/sec) とする。ここで、一定荷重試験の座屈変位 x_2 (mm) と静圧縮試験の座屈変位 d_1 (mm) が $x_2 > d_1$ となる時、変位 d_1 (mm) では一定荷重時ではまだ座屈に達していない。そこで、静圧縮試験から得られる変位量 d_1 を一定荷重時の許容最大変位量と仮定する。なお、$x_2 > d_1$ となることは今回の試験結果によって確認している。また、一定荷重試験での錘の積載終了時刻 t_1 から許容最大変位量時の時間までを一定荷重許容時間 t (sec) とする。

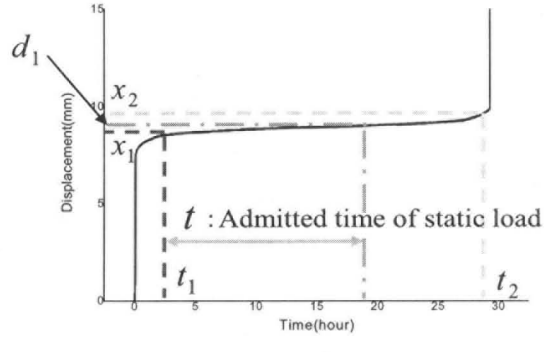

Fig.5 Result of Stacking Test

次に、Fig.6 に d_2 と x_1 の関係、Fig.7 に一定荷重試験での積載荷重 P と静圧縮試験での圧縮強度 a の比と一定荷重時の変位速度 s (mm/sec) の関係を示す。これらの関係によって、箱単体での必要圧縮強度が次式のように導出できる。

$$a = P\left\{\frac{10^{0.82} \times 7t}{d_1 - 0.85d_2 - 2.8}\right\}^{\frac{1}{27.91}} \quad (3)$$

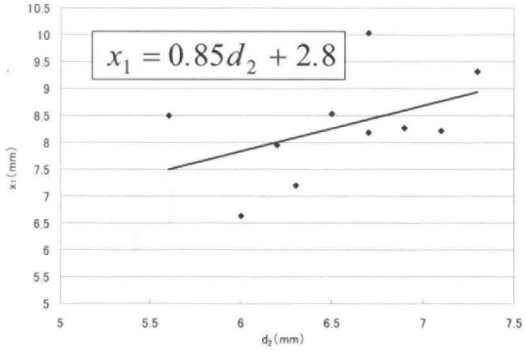

Fig.6 d_2 vs. x_1

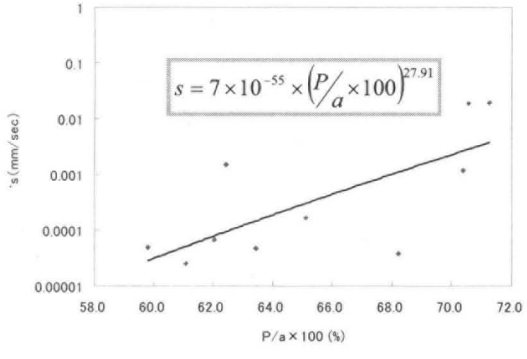

Fig.7 P/a×100 vs. s

4. 段積み一定荷重時の箱単体必要圧縮強度推定法の検証実験

前節で使用した段ボール箱について、4 ケース 2 段風車積みした状態で一定荷重試験を行う。Fig.8 は実験状況、Fig.9 は計測された段積み状態での変形時系列（四隅のうち最も沈み込んだ角）を示す。

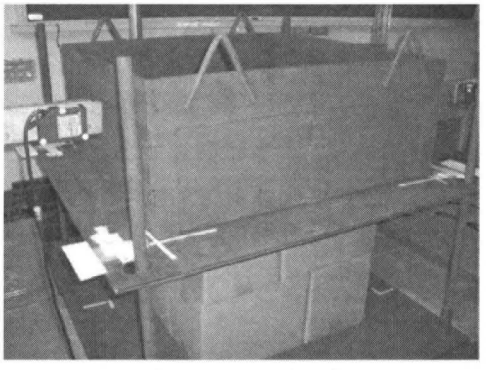

Fig.8 Stacking Test on 4c/s Pin-wheel Tier(2stairs)

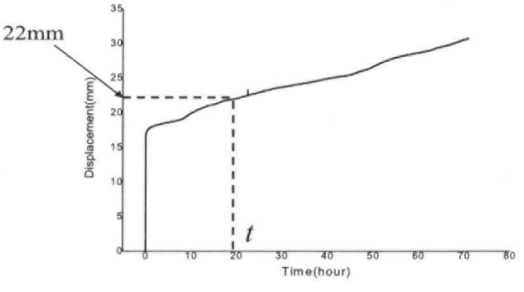

Fig.9 Time-series of Stacking Boxes Displacement

式 (3) で示される、段ボール箱単体の必要圧縮強度推定式の d_1、d_2 には静圧縮試験より得られた値、P には一定荷重試験で積載した静荷重（3038N）、t には一定荷重試験での変形量が 11（mm）×段数（ここでは 2 段なので 22mm）となるまでの時間（69443sec : Fig.9 参照）を代入する。ここに、箱 1 個あたりの限界変形量(11mm)は、前節で行った箱単体一定荷重試験で計測された x_2 のうちの最小値としている。さらに、段積み状態での 1 箱あたりの圧縮強度と箱単体の強度の関係（式 (2) 参照）を考慮する。その結果、本論で提案し

た方法によって推定される段積み一定荷重時の箱単体必要圧縮強度は、2297N となる。一方、箱単体の圧縮強度は、静圧縮試験によれば 1985N であり、両者は同等である。以上のことから、段ボール箱単体の静圧縮試験と一定荷重試験を数回ずつ行うことによって、様々な段積みパターンでの単体の必要圧縮強度を推定できる。

5. おわりに

本論では、様々なパターンで段積みされる段ボール箱の必要圧縮強度を合理的に推定できる方法を提案し、実験によって有効性を検証した。今後は、段ボールの材質・段積みパターンを変えた場合についても検証していく必要がある。

＜引用文献＞

1）田村祥,斎藤勝彦,山原栄司,日本包装学会誌, 18(3), 213(2009)
2）室谷めぐみ, 斎藤勝彦, 山原栄司, 日本包装学会第 19 回年次大会研究発表会予稿集, 46(2010)
3）高田利夫,寺岸義春,中嶋隆勝,村上義夫,野上良亮, 大阪府立産業技術総合研究所報告,技術資料,No.3,1993.（論文中式(9)の係数を訂正）

（原稿受付　2011 年 2 月 28 日）
（審査受理　2011 年 4 月 1 日）