

技術報告

段ボール静圧縮強度の統計的検討

松本 諒平*、斎藤 勝彦**、山原 栄司***

Statistical Investigation on Static Compressive Strength of Corrugated Fiberboard

Ryohei MATSUMOTO*, Katsuhiko SAITO** and Eiji YAMAHARA***

段ボール箱の静圧縮強度は、箱の安定的な保管のために、正確に見積られておく必要がある。本研究では、段ボール原紙、段ボールシート、段ボール箱の圧縮試験を多数回行い、得られた圧縮強度について、それぞれの製造工場、製造時期ごとに統計的な検討を行う。さらに、箱の静圧縮強度について、実験値とケリカット式による予測値との比較をする。

It is necessary to estimate the static compressive strength of a corrugated box correctly for safety box stacking. In this research, we perform a compression test repeatedly by using linerboards, corrugated sheets and boxes as the test materials. Statistical characteristics of the compressive strength are discussed in every manufacturing facility and date. The experimental box strength is also compared with the predicted value by the Kellicutt formula

キーワード: 段ボール、包装、圧縮、ケリカット式

Keywords : Corrugated board, Packaging, Compression, Kellicutt formula

1. はじめに

段ボール箱の静圧縮強度は、箱の安定的な保管のために、正確に見積られておく必要がある。箱の強度は原紙又は段ボールシートの静圧縮強度から推定されるが、それらの実験値にはバラツキがある。また段ボール箱の強度を、原紙のリングクラッシュ試験の値からケリカット式に

より推定される¹⁾ ことがあるものの、ケリカット値が過大評価となる傾向にあることは経験的に知られている。

本研究では、段ボール原紙、段ボールシートおよび段ボール箱の圧縮試験を多数回行い、得られた圧縮強度について統計的な検討を行う。さらにケリカット式によって算出された箱圧縮強度の推定値を実験値と比較することにより、

*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), 神戸大学輸送包装研究室 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

Fukaeminami, Higashi-nada, Kobe 658-0022, Japan

TEL:078-431-6341, Email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp

***レンゴウ (株)

段ボール箱静圧縮強度の保証値について検討する。

2. 圧縮試験

段ボールシート及び原紙は、公称坪量、フルートが同じでも製造される工場や時期によって、全く同一の板紙(原紙)、段ボール(シート)ではなく、それぞれの圧縮強度にバラツキがあると言われていいる。そこで同一の公称坪量・フルートについて、2つの工場(A、B)、異なる月(I、II、III、IV)に製造された4種類の段ボールシート及び原紙をそれぞれの圧縮試験に用いる。なお、試験片の原紙は、表裏ライナ LB 級 210g/m²、中しん MC 級 120g/m²であり、シートはそれらから成形されたCフルートである。また、以下すべての試験は 23℃、50%R.H.の条件で実施している。

2.1 段ボール原紙の圧縮試験^{2,3)}

ショートスパン圧縮試験は JIS Z 8156「紙及び板紙-圧縮強さ試験方法-ショートスパン法」に従って実施し、リングクラッシュ試験は JIS P 8126「紙及び板紙-圧縮強さ試験方法-リングクラッシュ法」に従って実施している。なお、同一条件での試験回数は 100 回である。

2.2 段ボールシートのエンドクラッシュ試験⁴⁾

段ボールシートのエンドクラッシュ試験は JIS Z 0403-2「段ボール-第2部:垂直圧縮強さ試験方法」に従って実施している。同一条件での試験回数は A で製造された段ボールシートは 100 回、B で製造された段ボールシートは 50 回である。

2.3 段ボール箱の静圧縮試験⁵⁾

試験は JIS Z 0212「包装貨物及び容器-圧縮試験方法」に従って実施している。なお、試験には、リングクラッシュ試験で用いた製造工場・時期が同一の原紙(A-IV)による段ボールシートを 0201 形に成形した段ボール箱を用いている。ここに、箱の内寸法は 409×270×254(mm)であり、内フラップを治具により固定した状態(Fig.1)とフリーの状態(Fig.2)で行っており、試験回数は、それぞれ 100 回である。

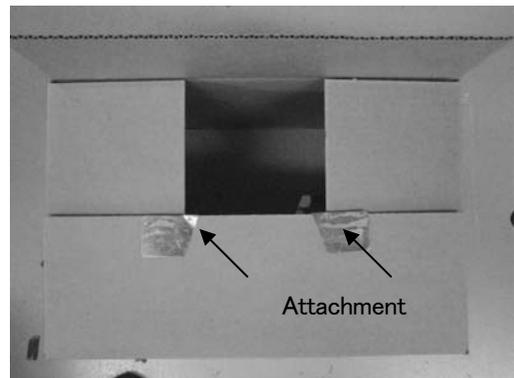


Fig.1 The Inner Flap Fixed Type Box

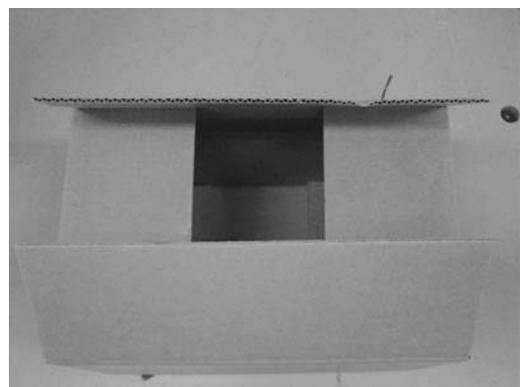


Fig.2 The Inner Flap Free Type Box

3. 段ボール原紙、シートの圧縮強さ

Fig.3 はエンドクラッシュ試験の圧縮強度と、段ボールシートを成形する各原紙のショートスパン圧

縮強度の平均値、平均値±標準偏差の領域(棒グラフ上のI印)を示す。ここで原紙のショートスパン圧縮試験については、段ボールシートが表ライナ、裏ライナ、中しん原紙で構成されていることを考慮し、棒積状で表している。試験には、2つの工場(A, B)、異なる月(I, II, III)に製造された3種類の段ボールシート及び原紙を用いているため、各試験ともに3本の棒グラフで表している。図より段ボールシート及び原紙ともに製造工場、製造時期によって強度にわずかな差が認められる。また、シート、原紙の測定値の確率密度分布を Fig.4～Fig.7に示す。ここで横軸は標準偏差の値であり、0が平均値、±1が平均値±標準偏差に相当する。一方、縦軸は圧縮強度の確率密度を示している。図より原紙、シートの測定値ともに、ほぼ平均値まわりに左右対称に正規分布に近い形状で分布し、平均値±5%の範囲に6割程度が全ての実験結果に収まっていることを示している⁶⁾。ここに \bar{F} は平均値、 $C.O.V.$ は変動係数(標準偏差/平均値)、 S は歪度、 K は尖度⁷⁾、 $P.D.F.$ は確率密度関数、 $S.D.$ は標準偏差、 \bar{X} は実験結果の平均値、 X は実験値である。

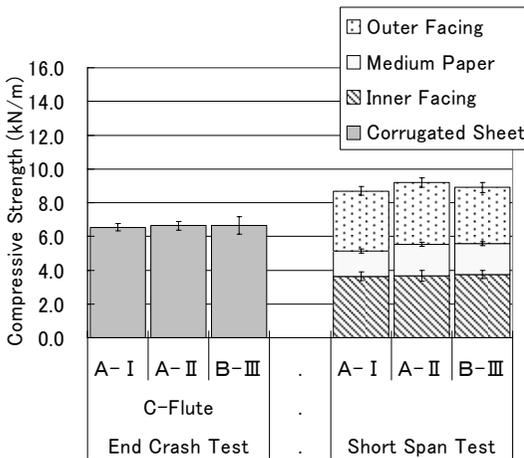


Fig.3 Compressive Strength

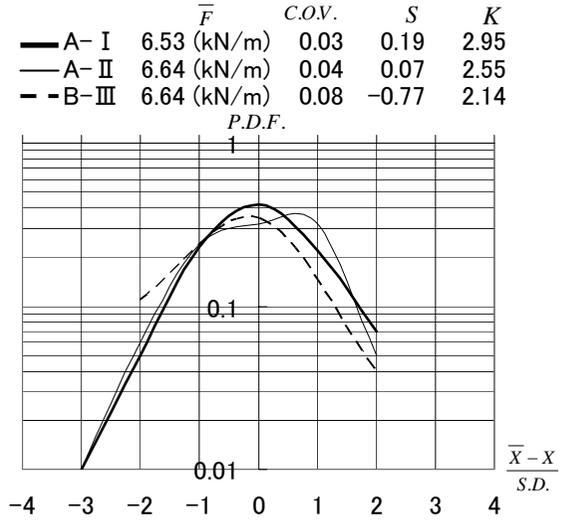


Fig.4 Probability Density Function of End Crash

Test

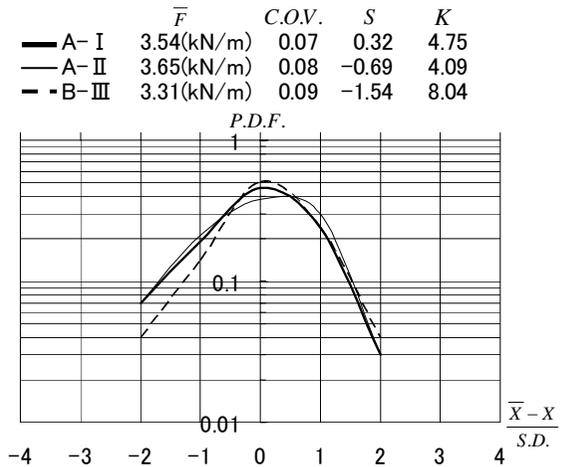


Fig.5 Probability Density Function of Outer Facing

Short Span Test

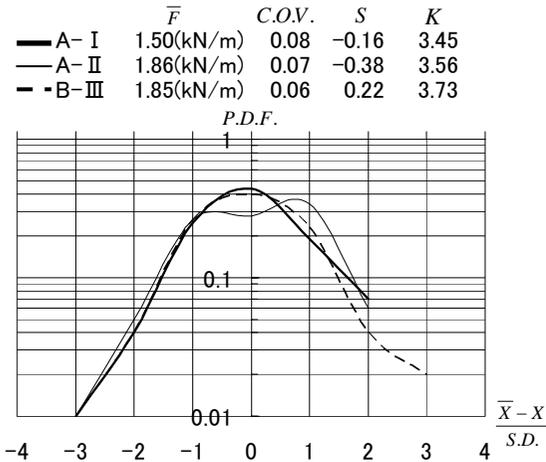


Fig.6 Probability Density Function of Medium Paper

Short Span Test

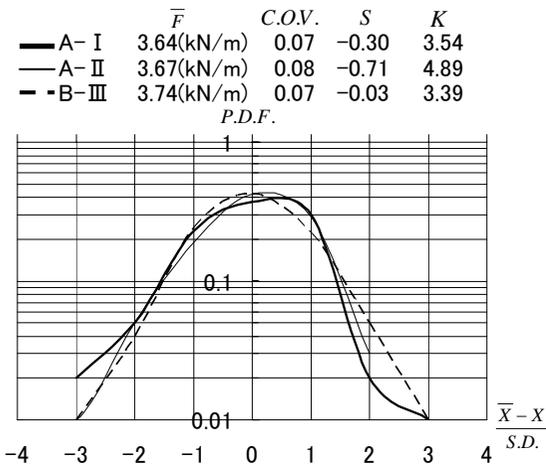


Fig.7 Probability Density Function of Inner Facing

Short Span Test

4. 段ボール箱の静圧縮強さ

一般の段ボール箱製造工程で加工される 0201 形箱は空箱として組み立てて封緘すると内フラップは外フラップによって上部から押さえつけられるため、やや内部へ垂れ下り気味の状態になる。こ

の状態では圧縮荷重をかけると内フラップの先端は、より内部へ垂れ下り、箱の側面を内部から支え、箱の側面が内側に湾曲して潰れる場合には、圧縮強さが見かけ上大きくなる。

Fig.8 はケリカット値と段ボール箱圧縮強度の確率密度関数を示す。ただし、ケリカット値とは原紙の総リングクラッシュ値[(表ライナ+段線率×中しん+裏ライナ)のリングクラッシュ強さ]よりケリカット式¹⁾により算定した値であり、ここでは各原紙のリングクラッシュ試験を 100 回ずつ行っているため 100³ 個の算定結果を得ている。各条件の平均値より、ケリカット値が試験値に対して過大評価(フラップフリーで約 1 割プラス、固定で約 4 割プラス)され、内フラップを固定することで約 2 割箱強度が小さくなることも確認できる。また変動係数より、各条件による結果のバラツキの程度は異なっている。さらに、平均値に対する出現分布は、歪度により、フラップ固定ではほぼ対称であるのに対して、フラップフリー条件とケリカット値では平均値よりも小さい値の場合が多いことを示している。また、実験値のバラツキはフラップ固定・フリーの両条件ともにほぼ正規分布であるのに対して、ケリカット値では正規分布と比べて鋭いピークと長い裾を持った分布を持ち、結果的にそれぞれの平均値±平均値の 10%の範囲内に、フラップフリー:72%、フラップ固定:92%、ケリカット値:97%の値が含まれる。

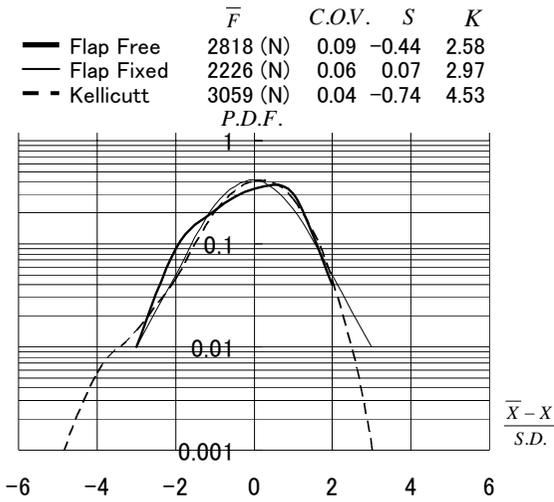


Fig.8 Kellicutt Value and Corrugated Box

5. 段ボール箱ケリカット圧縮予測値の検討

箱設計の現場では経験的にケリカット値よりも低い値を箱強度として運用している。ケリカット値より低い値で見積るほど、段ボール箱の運用は安全

側で行うことができるものの、その程度は明確ではない。そこでケリカット予測値から箱圧縮強度を低い値に見積もったときの箱圧縮強度保証確率を算出する。

Fig.9の横軸は 100^3 個のケリカット算定値の平均を100%としており、縦軸は箱の静圧縮試験から得られる箱圧縮強度が安全側になる確率を示している。

図より内フラップフリーの状態では、ケリカット平均値で箱圧縮強度を見積ると安全側の強度になる確率は20%しかなく、ケリカット平均値の80%を箱圧縮強度として見積もることで、90%の安全が保証できることを示している。

6. おわりに

本研究では、段ボール原紙、段ボールシート、段ボール箱の圧縮試験を多数回行い、得られた

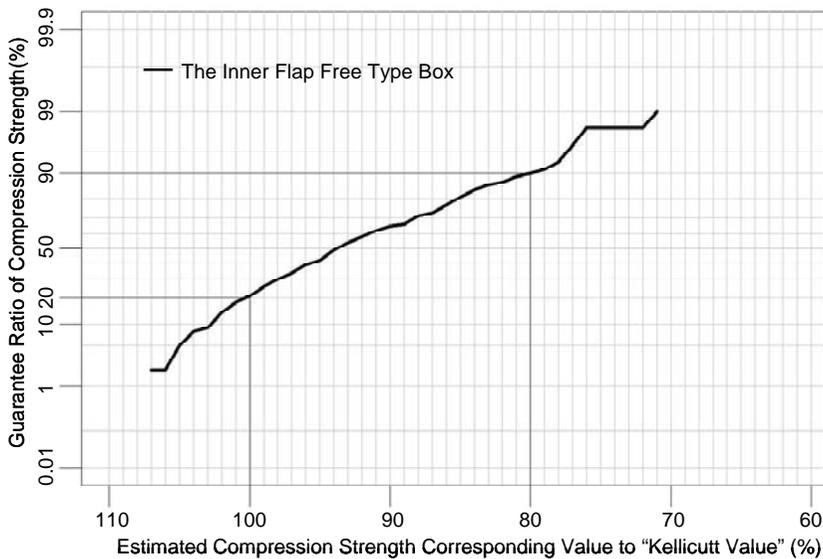


Fig.9 Guarantee Ratio of Compressive Strength

圧縮強度について統計的な検討を行った。その結果、段ボール原紙、段ボールシート、段ボール箱の静圧縮強度のバラツキの程度が異なり、製造工場、製造時期によっても強度にわずかな差があることがわかった。

段ボール設計の現場では経験的に箱圧縮強度をケリカット値より低い値で運用されているが、ケリカット値よりどの程度低い値を見積ればいいのか、その目安を提示することができた。

<引用文献>

- 1) 五十嵐清一、改訂版段ボール包装技術実務編、日報出版、p.250(2012)
- 2) JIS Z 8156:2012 紙及び板紙-圧縮強さ試験方法-ショートスパン法
- 3) JIS P 8126:2005 紙及び板紙-圧縮強さ試験方法-リングクラッシュ法
- 4) JIS Z 0403-2:1999 段ボール-第2部:垂直圧縮強さ試験方法
- 5) JIS Z 0212:1998 包装貨物及び容器-圧縮試験方法
- 6) 大村平、今日から使える統計解析、講談社、p.p.45-52(2005)
- 7) 松原望、入門統計解析、東京図書、p.116(2007)

(原稿受付 2012年12月20日)

(審査受理 2013年2月13日)

