

一般論文

# 段積みされた段ボール箱のロッキング運動 による擦れ損の定量評価

松浦 和司\*, 斎藤 勝彦\*\*, 東山 哲\*\*\*

## Abrasion Damage Evaluation of Stacked Corrugated Board by Rocking Motion

Kazushi MATSUURA\*, Katsuhiko SAITO\*\* and Akira HIGASHIYAMA\*\*\*

近年、包装内容品には何ら影響のない外装段ボール箱の擦れや傷が原因で返品されることがあり、それに対する早急な対策が必要とされている。擦れ損対策のひとつとして、段ボールの素材や印刷・表面処理を見直し、摩擦試験や振動試験によってその効果が確認されている。それらの試験条件は実際の輸送条件を模擬し、試験による擦れが現場で発生した擦れを適切に再現されるべきであるが、実際には両者の相関が確認されているわけではなく、擦れの程度を評価する場合も、担当者の主観的判断に頼っている。本研究では、まず擦れ損に関する客観的かつ定量的な評価手法について検討する。次にその評価手法を用いて、摩擦試験と振動試験による擦れの程度が摩擦面に作用する仕事量によって説明できることを明らかにする。さらに、摩擦試験と振動試験の擦れが同一仕事量で同程度となることを確認する。

Recently, the packaged product has been judged as damaged even when the exterior corrugated board has a little abrasion with the product not being damaged at all. Friction and vibration tests have been carried out to confirm the countermeasure of abrasion damage. However, the test conditions have not been simulated the real abrasion damage in distribution. The abrasion damages should be evaluated quantitatively. In this research, we promote a quantitative evaluation of the abrasion damage caused by vibration. It is found that the extent of the abrasion can be accounted by the frictional work load acting on the corrugated board. The friction and vibration test results on abrasion damage are similar at the same workload.

キーワード: 擦れ損、段ボール、ロッキング運動、振動、摩擦、輸送、包装

Keywords : Abrasion damage, Corrugated board, Rocking motion, Vibration, Friction, Transport, Packaging

\* 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 TEL:078-431-6341, email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp

\*\*\* レンゴー(株)

## 1. はじめに

近年、輸送中の振動などによって外装箱に擦れ傷がついた場合、包装内容品には何ら影響がないにも関わらず、返品される場合があり、それに対する早急な対策が必要とされている。そこで、輸送中の段ボール箱表面の擦れ損対策の事例的検討として、段ボールの素材や印刷・表面処理を見直し、摩擦試験や振動試験によってその効果が確認されている<sup>1)</sup>。それらの試験条件は実際の輸送条件を模擬し、試験による擦れが現場で発生した擦れを適切に再現されるべきであるが、実際には両者の相関が確認されているわけではなく、擦れの程度を評価する場合も、担当者の主観的判断に頼っている<sup>2) 3)</sup>。

そこで本研究では、まず客観的かつ定量的な擦れ損評価手法について検討し、その評価手法を用いて、摩擦試験と振動試験の擦れ損が摩擦面に作用する仕事量によって説明できることを明らかにする。そして摩擦試験と振動試験の擦れ損が同一仕事量で同程度となることを明らかにする。最終的には、実輸送での擦れ損部に働く仕事量が予測もしくは測定されることによって、擦れ損について現場の再現性が保障された室内試験の開発が可能となる。

## 2. 画像解析による擦れ損部抽出

ここでは定量的に擦れ損を評価するために、画像解析によって擦れ損部を抽出する方法<sup>4)</sup>

について説明する。

まず、各試験による擦れ部分を CCD カメラで撮影(暗室内 LED 照明のみ)する。次に、撮影画像に対して照明による輝度の空間的ばらつきを補正する画像を作成し、補正ビットマップ画像の輝度情報を記録する。段ボール表面は、擦れることで高輝度になるので、擦れの判定条件として、輝度のしきい値を指定することによって擦れ損を抽出(摩擦試験での擦れ損例: Fig.1)する。ここで、補正ビットマップ画像はピクセル毎に 0 から 255 までの 8 ビット輝度値を記録し、擦れ損抽出の際の擦れ損輝度しきい値は、すべての試験が同一素材(同一生産出荷日、A フルート段ボール、LB210/MC120/LB210) で実施することから、すべての試験で 141 (視認する擦れ損と抽出画像が同等である値) としている。



Fig.1 Sample of extracted abrasion image

## 3. 摩擦試験と擦れ損

### 3.1 試験機と試験片

Fig.2 は使用した摩擦試験機であり、錘(重量:910g)が円弧状に水平運動することによって、段ボールシート(A フルート段ボール LB210/MC120/LB210、縦:100mm、横: 段流れ方向:220mm)と錘の底面に貼付した段ボールシート(LB210/MC120/LB210 AF、縦:50mm、

横:段流れ方向:95mm)を強制的に擦れさせる。



Fig.2 Friction testing machine

### 3.2 段ボール表面に作用する仕事量

仕事量は擦れ損部に働く摩擦力とその距離の積で表されることから、摩擦試験での摩擦範囲に作用する摩擦仕事  $W_f$  は以下のように表される。

$$W_f = \mu_k \times F_f \times n \times L_f \dots \dots \dots (1)$$

$\mu_k$  は、実験より求めた動摩擦係数 (0.5)、 $F_f$  は錘重量、 $n$  は摩擦回数、 $L_f$  錘の摩擦回数 1 回往復移動距離 (12.2cm) である。

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 擦れ損面積率による擦れ損評価

摩擦試験での擦れ損面積率  $S_a$  は次式による。

$$S_a = \frac{S}{S_b} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $S$  は画像解析で得た擦れ損部分の面積であり、 $S_b$  は摩擦試験の錘の稼動域面積

である。

Fig.3 は摩擦回数および仕事量を横軸に、擦れ損面積率を横軸にとったものである。これより仕事量が増加するにつれて擦れ損が広がっていることが分かる。

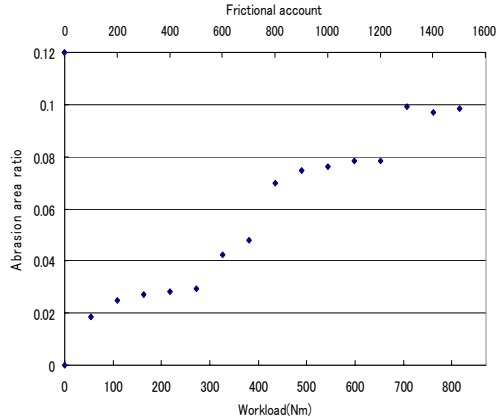


Fig.3 Growth of abrasion area by frictional workload

#### 3.3.2 輝度出現確率による擦れ損評価

Fig.4 は各仕事量での擦れ損部の輝度出現確率についてまとめたものである。これより仕事量の増加とともに擦れ損が進行し、擦れ損部が明るくなっていることが分かる。

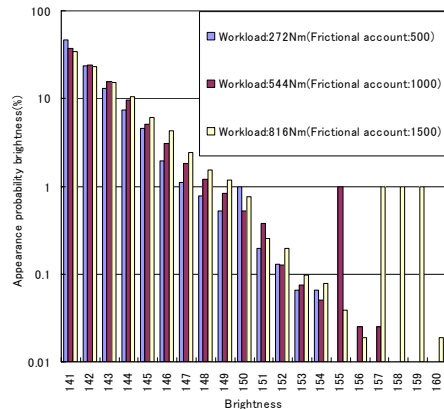


Fig.4 Appearance probability of brightness of abrasion points

#### 4. 擦れ損総合評価値の提案

3. で述べたように、擦れ損の程度は擦れ損部の面積と輝度によって定量化される。そこで、擦れ損の程度を総合的に評価するために、擦れ損総合評価値 (CADI: Comprehensive Abrasion Damage Index) を提案する。

$$Z = \sum_{i=\alpha+1}^{\beta} \frac{i-\alpha}{\beta-\alpha} \times S_i + \sum_{i=\beta+1}^{\gamma} S_i \cdots \cdots (3)$$

ここに、 $\alpha$  は擦れ損輝度しきい値、 $\beta$  は全損と判定される輝度値、 $\gamma$  は出現輝度最大値であり、 $S_i$  は次式で示される輝度  $i$  の部分面積率である。

$$S_i = S_a \times \frac{K_i}{100} \cdots \cdots (4)$$

ここに、 $K_i$  は擦れ損部での輝度  $i$  の出現確率である。

#### 5. 振動試験と擦れ損

##### 5.1 段ボール箱の動作計測

段積みされた段ボール箱は、輸送中の振動によってロッキング<sup>5)6)</sup>し、隣り合う箱同士が擦れ<sup>7)8)</sup>、特に段ボール箱上部の擦れ損が著しくなるといわれている。

本研究ではAフルートの無印刷の両面段ボール箱(内寸:長辺 312×短辺 179×高さ 313mm)を Fig.5 のように2段2列で棒積みし、ロードセルとターンバックルを PP バンドの間に入れ、二の字掛けで固縛している。ただし段ボール箱の中には、2 リットルの水が入ったペットボトルが1箱あたり6本入っている。

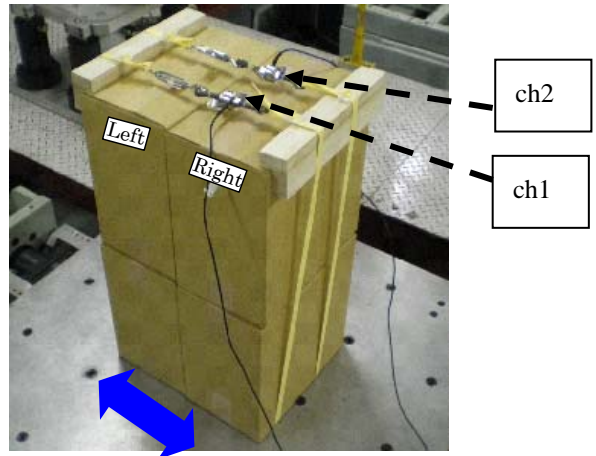


Fig.5 Overview of vibration test

振動条件は以下である。

- ・振動方向: 水平方向のみ
- ・振動加速度片振幅:  $0.5 \times 9.8 \text{m/sec}^2$
- ・振動周波数: 3.0Hz

加振時間は、10分と20分の各2回ずつ、計4回の振動試験を行っている。またPPバンドの固縛初期張力は49Nとしている。

振動が加えられると、Fig.6のようにロッキングし、箱同士が接触している側面全体が擦れ合う。Fig.7は、振動試験後の段ボール箱側面の擦れ損の一例であるが、このように、実際の輸送中で起こる擦れ損と同様の段ボールの段頂に沿った擦れ(紙剥け)が顕著となる。

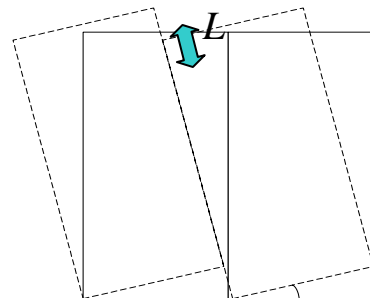


Fig.6 Rocking motion by horizontal vibration

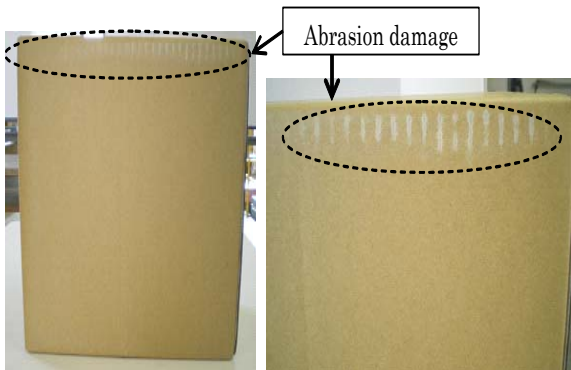


Fig.7 Abrasion damage by vibration test

振動試験中の段ボール箱の上端のターゲットポイント (Fig.8) をハイスピードカメラ (MEMRECAM GX-1 Plus) で撮影し、Fig.6 に示す、ロッキング運動中の隣り合う箱の上端角の相対距離Lの算出を行う。

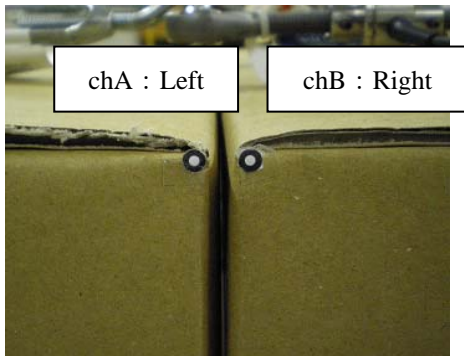


Fig.8 Measuring target points of the box

Fig.9 は、2つのターゲットポイントについて、水平 (x) および鉛直 (y) 変位の時系列の一例を示したものである。

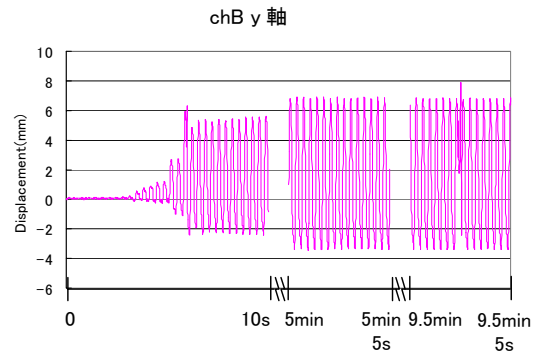
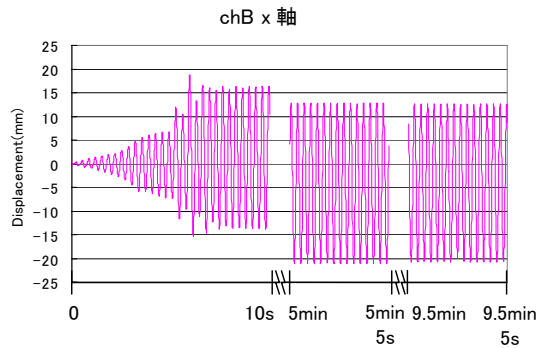
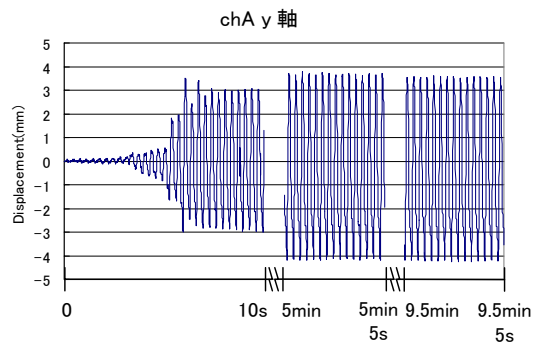
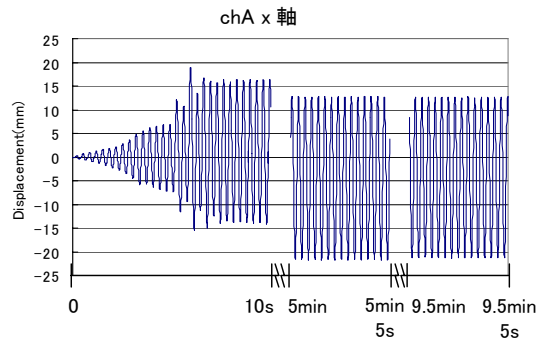


Fig.9 Time series of the target point displacement(time:10min TryNo.1)

Fig.10 は各試験における相対距離  $L$  を示したものである。これより、振動が加わるにつれて、ロッキングが大きくなっていく傾向が分かる。また、この相対距離の値と擦れ損範囲がおおむね一致することから、擦れ損範囲の特定に  $L$  の最大値  $L_{max}$  を使用する。

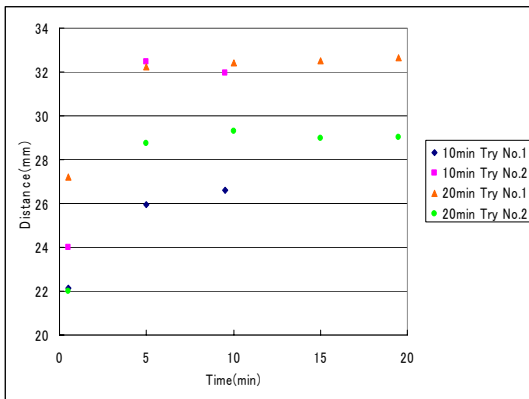


Fig.10 Relative distance, L

## 5.2 擦れ損部に働く力の算出

擦れ損部に働く力の算出は固縛する PP バンドの張力を基に行う。張力測定のサンプリング周波数は 50Hz で行い、張力測定は歪ゲージ式引張圧縮両用型小型ロードセル (LCR=A=SA1 : 共和電業) を歪アンプ (PCD-300A : 共和電業) に接続して行う。どの試験においても振動開始から、振動ともななって張力の増減を繰り返しながら 200 秒の間に 1 周期の平均張力は急激に減少し、その後は緩やかに張力が減少していく。Fig.11 は、測定された張力の振動周波数成分をカットした時系列の一例である。

振動試験での仕事量は時々刻々の擦れ損部に働く力と隣り合った段ボール角の相対移動

距離の積を累積したものとなる。しかしここでは、張力センサーとハイスピードカメラのサンプリングが同期していないため、張力の時間変化は、Fig.11 のような振動周波数成分をカットした値を用いる。

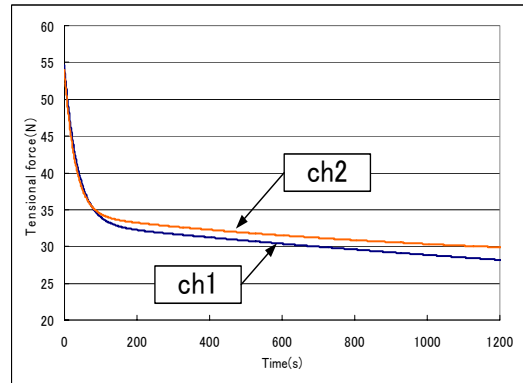


Fig.11 Time series of tension(20min Try No.2)

また隣り合った段ボール箱の面には Fig.12 のように、張力のかかった PP バンドにより圧縮力が働いている。つまりこの 4 点の張力を合計した値が隣り合った段ボール箱の面に作用する力である。実験では底部の張力を測定していないので、上部 2 つの張力の合計値の 2 倍を 4 点の張力合計値  $F_a$  とみなす。

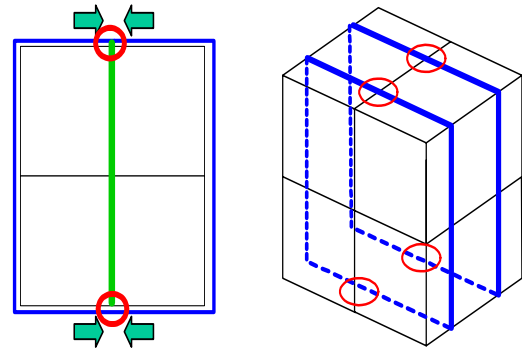


Fig.12 Calculating forces acting on adjacent surface

さて、擦れ損部に働く摩擦力  $F_b$  は、Fig.13 のように擦れ損部に抗力  $F_v$  と動摩擦係数の積で算出することが出来る。ここに、側面全体に作用する垂直圧力が張力合計値  $F_a$  なので、抗力  $F_v$  は次式のようにする。

$$F_v = F_a \frac{L_{\max}}{2H} \dots \dots \dots (5)$$

$H$  は段ボール箱の高さである。

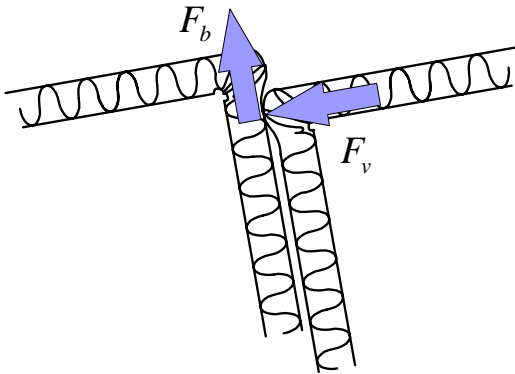


Fig.13 Friction force on abrasion surface

### 5.3 振動試験における仕事量の算出

3.2 でも説明したように、仕事量は擦れ損部に働く摩擦力とその距離の積で表されることから、振動試験における仕事量  $W_v$  の大きさは以下のように表される。

$$W_v = \mu_k \times F_v \times 2L \times f \times t \dots \dots \dots (6)$$

ここに、 $f$  は 振動試験の周波数(3Hz)、 $t$  は加振時間である。

また、振動試験での摩擦範囲は次式で求める。

$$S_a = D \times L_{\max} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、 $D$  は段ボール箱長辺の長さである。

## 6. 摩擦試験と振動試験による擦れ損比較

Fig.14 は、仕事量に対する擦れ損の総合評価値を摩擦試験と振動試験の結果についてまとめたものである。摩擦試験の結果より、仕事の増加とともに、擦れ損が進行していることが分かる。また摩擦試験と振動試験の結果は 10min Try No.1 の結果を除くと非常によく合っており、擦れ損の総合評価値を評価項目とした場合の摩擦試験と振動試験の等価性が仕事量を介して説明できることを示している。

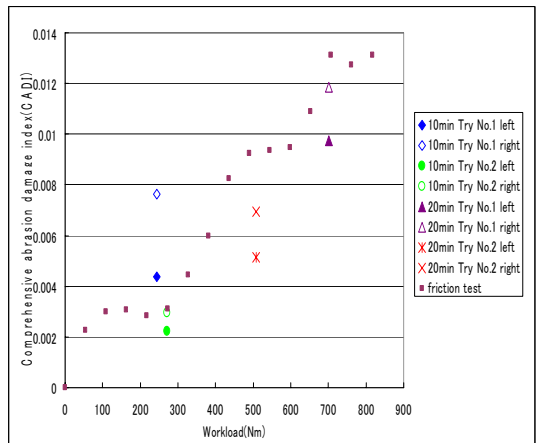


Fig.14 Abrasion index against workload

## 7. おわりに

本研究では、擦れ損の客観的かつ定量的な評価方法について検討し、その評価方法を用いて摩擦試験と振動試験の擦れ損の比較を試みた。擦れ損の評価については擦れ損の「面積」と擦れ損部の「輝度」とを複合化させた「擦れ損総合評価値 CADI」という指標を用いることを提案している。これにより、擦れ

損について定量的に評価を行い、説明することが出来る。

摩擦試験の擦れ損は、錘の重さと錘の移動量によって得られる擦れ損部に作用する仕事量の大きさによって説明できることを明らかにした。そして振動試験の擦れ損は、固縛索の張力と段ボール箱のロッキング運動の大きさによって得られる擦れ損部に作用する仕事量の大きさによって説明できることを明らかにした。

今回は摩擦試験と振動試験の結果のみを比較しているので、今後は実輸送での擦れ損を評価し、実輸送での擦れ損部に働く仕事量を見積もることによって、現場の擦れ損を適切に再現できる室内試験の確立を目指していく必要がある。

8) 小林こずえ、日本包装学会誌、17(1)、27(2010)

(原稿受付 2010年3月16日)

(審査受理 2010年5月11日)

#### <引用文献>

- 1) 手寫正、川地芳照、小林兼弘、愛知県工業技術センター報告、24、73(1988)
- 2) 安川義浩、包装技術、44(10)、28(2006)
- 3) 徳永嘉則、平田治伸、包装学会誌、15(5)、253(2006)
- 4) 李江、斎藤勝彦、日本包装学会誌、17(3)、185(2008)
- 5) 西原主計、横山孝之、日本包装学会誌、13(4)、249 (1994)
- 6) 鄭萬溶、鈴木浩平、日本機械学会論文集(C編)、68 (666)、17 (2002)
- 7) 川上仁、東山哲、配島弘義、古田拓、包装技術、48(3)、34 (2010)