Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-06-19

包装設計における動的緩衝係数曲線の利用

祝原，彩
斎藤，勝彦
尾上，ちあき
瀬戸上，裕

(Citation)
日本包装学会誌,20(3):197-202

(Issue Date)
2011-06-01

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002161

技術報告～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～～

包装設計における動的緩衝係数曲線の利用

祝原 彩[*]、斎藤 勝彦[**]、尾上 ちあき[***]、瀬戸上 裕[****]

Availability of Dynamic Cushioning Factor for Packaging Design

Aya IWAIHARA[*], Katsuhiko SAITO[**], Chiaki ONOE[***] and Hiroshi SETOUE[****]

包装設計の現場では、製品に適正な包装を施すため、緩衝材の緩衝特性（クッションカーブ）をもとに、緩衝材の使用量が決められる。クッションカーブは、緩衝材メーカーから公表されている場合を除けば、包装設計者による多数回の動圧縮試験によって求めておく必要がある。しかし、クッションカーブを用いて包装設計を行っても想定通りの緩衝効果を得ることが出来ない場合がある。

そこでダミー包装物の等価落下試験結果とせん断を加味した動圧縮試験結果から、包装設計を行った際に想定通りの緩衝効果とならない主な理由として、せん断の影響を示す。また、動的緩衝係数曲線を使用した簡便なクッションカーブ作成法を示すとともに、その適用条件について検討する。

On the site of the packaging design, the quantity of the cushioning material should be decided to give the product a proper packaging based on the cushion curve that shows the cushioning characteristics. Except for provided by the suppliers of the cushioning materials, packaging engineers need to generate the curves on the site of packaging design by a lot of dynamic compression test. But the assumed cushioning effect might not be closer to actual cushioning performance even if it based on the cushion curves.

In this study, the influence of the shearing force is shown as the main reason that does not become the assumed cushioning effect from the result of dummy package equivalent drop test and the dynamic compression test with shear. Also it shows that the simple method of generating the cushion curves using dynamic cushioning factor, and that application is examined.

キーワード：動圧縮試験、緩衝、包装、クッションカーブ、動的緩衝係数

Keywords : Dynamic compression test, Cushioning, Packaging, Cushion curve, Dynamic cushioning factor

1. はじめに

通常、製品を輸送する際には、外力から製品を保護するために包装が施されている。製品の包装設計では輸送中の損傷防止という目標達成のため過剰な包装となる傾向にあるが、環境保護やコストの面から緩衝材の使用量は製品を保護できる最小に抑える方が望ま

* 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）
5-1-1, Fukaeminami, Higashinada, Kobe 658-0022, Japan TEL：078-431-6341, Email:ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp
***研究当時、神戸大学海事科学部
****京セラミタ(株)

しい。包装設計の現場では、緩衝材の緩衝特性を示すクッションカーブをもとに緩衝材の使用量が決定される[1)]。クッションカーブが資材メーカーから公表されていない場合、包装設計の現場でクッションカーブを作成することとなるが、その作成には多くの労力を必要とする。また、こうして作成したクッションカーブを用いて包装設計を行っただけでは想定通りの緩衝効果を得ることは難しく[2)]、緩衝材の量や形状を微調整しているのが現状である。前報では、緩衝特性の簡便評価法として、動圧縮試験に基づくひずみ - 応力曲線を用いた方法の有効性について示した[3)]。

本研究では、まずクッションカーブを用いて包装設計を行った際に、想定通りの緩衝効果を示さない主な理由として、せん断の影響を示す。また、動的緩衝係数曲線を使用した簡便なクッションカーブ作成法を示すとともに、その適用条件について検討する。

2. 包装設計におけるせん断の影響

クッションカーブを用いて包装設計を行った際に想定通りの緩衝効果を示さない理由として、せん断の影響を考える。まず、せん断の影響を加味したクッションカーブの作成を行う。

2.1 実験条件

実験試料は、発泡倍率 25 倍の発泡ポリエチレン緩衝材（178×178 mm、厚さ 80 mm）を使用する。動圧縮試験は Fig.1 に示す緩衝材衝撃試験機（神栄テクノロジー㈱ACST-200）を用いる。また、Fig.2 に示すように動圧縮試験機の架台（Base1）には、鉄（Base2：縦 100mm, 横 100mm, 厚さ 63mm）を固定している。この上に緩衝材を設置し重錘を任意の高さから落下させることで緩衝材にせん断を発生させる。このとき、緩衝材受圧面積は鉄のベース表面積 100cm^2 と等しくなる。落下高さは 0.6m とし、5 回連続落下させる。また、静的応力を 5 通りとし同条件での試験を 3 回行う。静的応力 σ_{st} は落下重錘質量 m、重力加速度 g と緩衝材受圧面積 A から以下の式で示される。

$$\sigma_{st} = \frac{mg}{A}$$

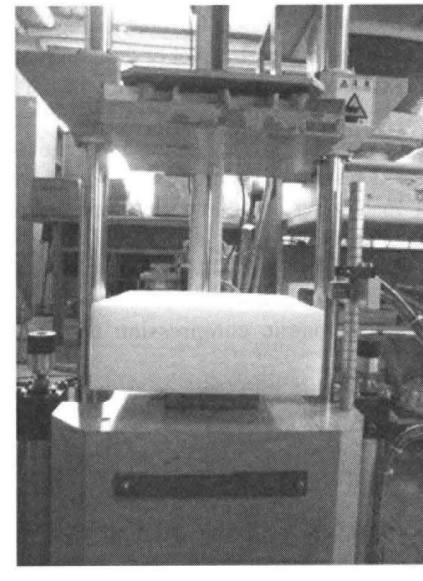

Fig.1 Dynamic Compression Tester

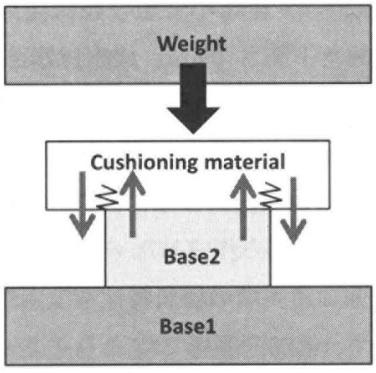

Fig.2 Dynamic Compression Test with Shear

2.2 せん断を加味したクッションカーブ

緩衝材にせん断力を発生させ作成したクッションカーブを Fig.3 に示す。またせん断力を発生させずに作成した落下高さ 0.6m、緩衝材厚さ 80mm でのクッションカーブを示し、それをもとに包装設計したダミー包装物（内容品：質量 20kg, 縦 400mm, 横 400mm, 高さ 300mm, 緩衝材：各面方向厚さ 80mm, 8 個のコーナーパット）の等価落下試験結果 [2] も Fig.3 に示す。これより、緩衝効果にせん断の影響があるダミー包装物の等価落下試験結果と、せん断を加味したクッションカーブとはほぼ一致する。よって、クッションカーブを用いて包装設計を行った際に想定通りの緩衝効果を示さない理由として、せん断の影響が大きいといえる。こうした動圧縮試験法を行うことで包装物の加速度予測の精度を向上させることができる。

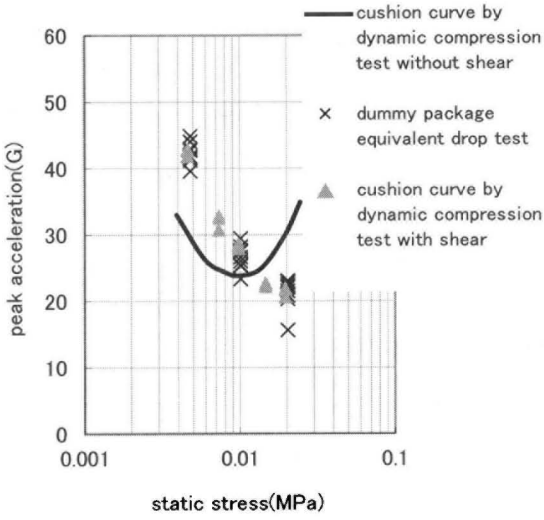

Fig.3 Comparison on Cushion Curves and Dummy Package Drop

3. 動的緩衝係数曲線を用いたクッションカーブの簡易算出

前節で示したようにせん断を加味することで包装設計の精度を上げることができる。しかしクッションカーブを求めるために、膨大な量の緩衝材と試験時間を要するのは同じである。

3.1 動的緩衝係数曲線

動的緩衝係数曲線（C 曲線）は横軸に動的応力、縦軸に動的緩衝係数をとった曲線である。動圧縮試験 1 回で C 曲線が作成でき、C 曲線は重錘落下高さや緩衝材厚さを変更させてもほぼ同一の軌跡を描く [3]。ここに、動的応力 σ_m は、動圧縮試験で計測された加速度 G ファクター、落下重錘質量 m 、重力加速度 g と緩衝材受圧面積 A から、動的緩衝係数 C は、動的応力と緩衝材の単位体積に蓄積され

るエネルギーεから以下の式で示すことができ、Cは計測された加速度Gファクターと重錘落下高さh、緩衝材初期厚さtからも示すことができる。

$$C = \frac{\sigma_m}{\varepsilon} = G\frac{t}{h}, \quad \sigma_m = \frac{mgG}{A}$$

3.2 緩衝材最小厚さ

任意の落下高さ・加速度における緩衝材の最小厚さ算出には、最適設計点であるクッションカーブ最下点を使用する方法と、C曲線最下点を使用する方法がある。クッションカーブを使用する際には、緩衝材厚さの異なる2本のクッションカーブの最下点を結んだ直線と任意加速度の交点との距離の比から緩衝材厚さを算出する[1]。また、C曲線最下点の値に任意落下高さ・加速度を代入することでも緩衝材厚さを算出できる。そこで、同一の落下高さ・加速度を与条件とし、緩衝材厚さの算出を行う。既存のクッションカーブ[4]から算出した緩衝材厚さt_0をFig.4の横軸に、C線最下点から算出した緩衝材厚さt_0'を縦軸にとる。これより2つの算出結果はほぼ同等であるものの、緩衝材が厚くなるとばらつく傾向にある。そこで、設定加速度をFig.5の横軸に、算出した緩衝材厚さt_0'とt_0の差をFig.5の縦軸に示す。また、包装設計で緩衝材の厚さは10mm毎に増減させる場合もあるので、t_0'とt_0の差が10mm以上の部分についてみると、設定加速度50Gより低加速度域ではt_0'とt_0の差が大きくなることがわかる。既存のC曲線作成の際に行われた動圧縮試験[4]によれば重錘落下高さ0.6m、緩衝材厚さ40mmという条件で動圧縮試験が行われており、そこで発生する最大加速度値は低くとも65G以上である。こうした試験条件で行った動圧縮試験から作成したC曲線の最下点では、低加速度域の緩衝特性を表現しきれておらず、低加速度域でt_0'とt_0の差が大きくなるといえる。よって、C曲線の緩衝特性を利用する際にはその作成に使用した動圧縮試験条件に留意する必要がある。

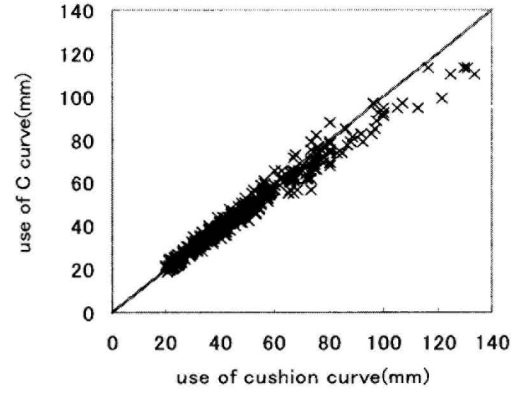

Fig.4 Comparison of Cushion Thickness

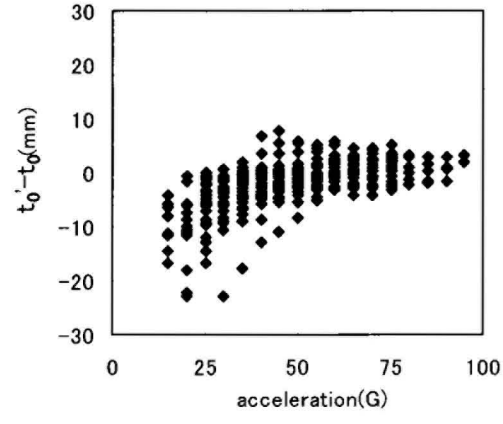

Fig.5 Acceleration vs. $t_0'-t_0$

3.3 包装物の等価落下試験結果と簡易算出結果の比較

緩衝材最小厚さは、以上で示したようにクッションカーブを使用しなくてもC曲線の最下点を使用することで算出が可能である。しかし、クッションカーブの最下点を使用せずに、設定加速度値におけるクッションカーブ上の2点うちの高応力側を使用する場合もある[5]。これは緩衝材の使用容積を削減できるためであり、これが包装設計の際にC曲線でなくクッションカーブを使用する理由ともいえる。さて、動的緩衝係数から加速度とひずみを計算でき、動的応力から静的応力を計算できるためクッションカーブの作成は可能である。ここで、重錘落下高さ0.4m、緩衝材厚さ30mm、重錘質量25kgでの条件で動圧縮試験の結果からC曲線を求め（Fig.6参照）、それをもとに落下高さ0.6m、緩衝材厚さ80mmでのクッションカーブを作成する。

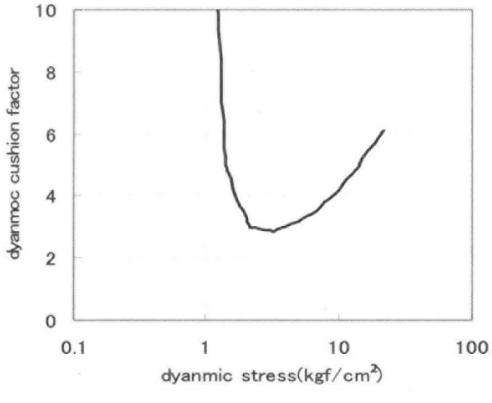

Fig.6 Dynamic Cushion Factor by Dynamic Compression Test

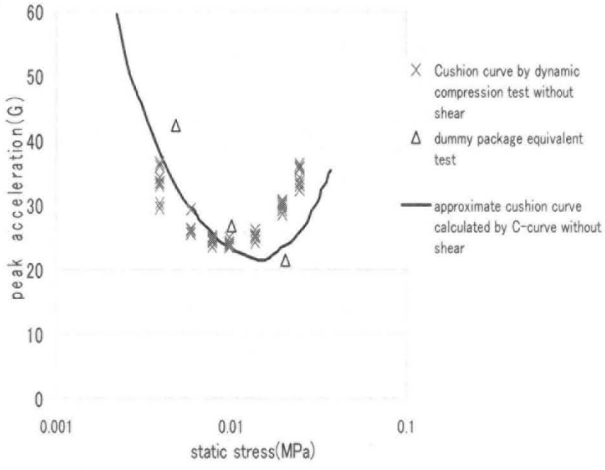

Fig.7 Comparison on Dynamic Compression Test and Approximate Cushion Curve

また落下高さ0.6m、緩衝材厚さ80mmで動圧縮試験から作成したクッションカーブと比較する。Fig.7に示すように、C曲線から作成したクッションカーブと動圧縮試験結果はやや異なるが、ダミー包装物の等価落下試験結果を考慮すると、包装設計に十分な程度の精度を有しているといえる。

4. 結論

本研究ではクッションカーブを用いて包装設計を行った際に想定通りの緩衝効果を示さない理由としてせん断の影響が大きいことを、せん断を発生させた動圧縮試験をもとに明らかにした。また、クッションカーブとC曲線から緩衝材最小厚さを算出し、その比較結果から1回の動圧縮試験で得ることが出来るC曲線から求められるクッションカーブを用いても実務上問題ないことを示した。

＜引用文献＞

1）斎藤勝彦、長谷川淳英”輸送包装の基礎と実務”、幸書房、pp. 103-130(2008)

2）祝原彩、斎藤勝彦、瀬戸上裕、日本包装学会、第 18 回年次大会研究発表会予稿集、pp. 26 - 27（2009）

3）川原拓、斎藤勝彦、瀬戸上裕、日本包装学会誌、17(3)、179 (2008)

4）旭化成ケミカルズ㈱、サンテックフォーム技術資料、’07/06 電子版 (2007)

5）瀬戸上裕、日本包装学会誌、20(2), 基礎講座、輸送包装設計（コストと環境適性）、(2011)

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