

輸送中の繰り返し衝撃における段ボール緩衝材の評価

中川幸臣^{*1}、佐藤幹彦^{*2}、来川保紀^{*1}

Evaluation of Corrugated Fiberboard Cushioning by Repeated Shock

Yukiomi NAKAGAWA^{*1}, Mikihiko SATO^{*2} and Yasunori KITAGAWA^{*1}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1*2}

輸送中の低落下繰り返し衝撃による段ボール緩衝材の劣化について調べ、緩衝材に及ぼす累積エネルギーと変形量との関係を明らかにした。そこから任意の繰り返し落下条件における緩衝材変形量の推定式を導き出し、適正な緩衝材高さを求めて過剰包装を防ぐことを可能にした。また、実輸送試験により現在のトラック輸送の衝撃環境レベルを調べたが、得られた測定値のほとんどが低加速度の衝撃で製品へのダメージは小さく、紙系緩衝材でも安全な輸送を実現できることの根拠を明らかにした。

1. はじめに

近年、包装用緩衝材として紙系材料の利用が定着しているが、その設計に関してはトライ・アンド・エラーに依存した部分が多く、設計技法の確立が求められている。特に紙系緩衝材は復元性がほとんど無いことから、輸送中の繰り返し衝撃による劣化に対する評価が重要視されている。現状の緩衝設計では、落下衝撃による緩衝材の変形を考慮する際に安全側に寄りすぎた設計を行い、過剰包装につながることも考えられる。

本研究は、低加速度レベルの繰り返し衝撃と段ボール緩衝材の劣化との関係を調べ、そこから安全かつ適正な緩衝設計の手順を導くことを試みた。特に今年度は多湿状態におけるデータ収集を行った。また、包装品モデルによる実輸送試験をトラック便で行い、輸送環境の衝撃レベルを測定した。その結果から、緩衝材の劣化を検討し、現状の紙系緩衝材を用いた包装品の安全輸送の実現性について検討した。

2. 実験方法

2.1 繰り返し落下試験

2.1.1 実験用試料

実験に用いた段ボール緩衝材は、前報¹⁾と同様に図1に示すスリーブ状の段ボール構造体である。使用する段ボールシートは、ライナが坪量 210g/m² の K ライナ、中芯は坪量 125g/m² の普通芯で構成された A フルートのシートである。試料の外側寸法は 100×100×50mm とし、シートの段流れ方向に直角な方向を縦方向とした。また、試料は図に示すように折り曲げ構造の有無により 2 種類作製した。

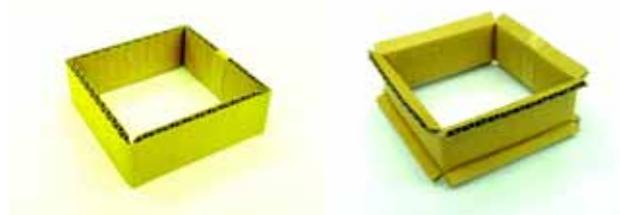


図1 実験用試料

2.1.2 落下試験条件

落下衝撃試験機を用いて低落下の繰り返し衝撃を試料に与え、累積エネルギーと変形量との相関を調べた。昨年度に標準状態(23 / 50%)のデータを取得しているので今年度は多湿状態で試験を行った。試験は、適正な荷重条件で緩衝設計が施された状態を基準として行い、試験機のおもりは折り曲げ無しモデルが 4.8kg、両側折り曲げモデルが 2.8kg とした。試料の前処置は 23 / 90% で 24 時間実施し、同じ温湿度に設定した環境試験機内で落下試験を行った。

落下高さは、10、20、30、40、50、60cm の 10cm 間隔で設定し、各落下高さにおいて緩衝材の底づきが確認されるまで繰り返し落下試験を行った。底づきの発生は測定する加速度値で判断した。

2.2 実輸送試験

2.2.1 実験用包装品モデル

実輸送試験はダミー木箱を段ボール緩衝材で固定した包装品を用いた。木箱は、寸法 320×250×220mm、質量 4.3kg で合板製である。また、緩衝材はサイドパッド方式とし、最適荷重条件

*1 工業技術部 応用技術室 *2 工業技術部 応用技術室 (現経済産業省資源エネルギー庁)

となるように木箱の受圧部長さを 350mm にした²⁾。さらに緩衝材高さ 20mm と 40mm の試料を作製した。図 2 に緩衝材高さ 20mm の試料の外観と木箱固定の様子を示す。



図 2 実輸送試験用モデル

2.2.2 実輸送試験条件

ダミー木箱内部の底面中央部に小型環境データレコーダーを取り付け輸送中に発生する衝撃加速度を測定した。試験は木箱を段ボール箱に入れた包装品を用いて行い、愛知 東京間のトラック輸送の往復便を利用した。

3 . 実験結果及び考察

3.1 繰り返し落下試験

繰り返し落下試験における緩衝材変形量と試料の位置エネルギーの累積値との関係を図 3 及び図 4 に示す。図 3 は折り曲げ無しモデル、図 4 は両側折り曲げモデルの結果である。各図とも落下高さにより直線の傾きは異なるが、累積エネルギーと緩衝材変形量はほぼ比例している。また、どちらのモデルとも同じ変形量に対し、落下高さが低くなるにしたがい累積エネルギーが大きくなる傾向にある。例えば図 4 において、試料を 10mm 変形させるには、落下高さ 60cm の場合、約 20J、落下高さ 10cm の場合、約 45J 必要であり、倍以上の差があることがわかる。ここで、累積エネルギーと緩衝材変形量が 1 次近似できると仮定し、単位変形量当たりの累積エネルギー量を求めた。各試料について落下高さ別に単位変形量当たりの累積エネルギーを温湿度条件別にまとめたものを図 5 及び図 6 に示す。なお、標準状態の結果は昨年度の実験で得られた値から求めている。いずれの試料も落下高さが高くなるにしたがい単位変形量当たりの累積エネルギーは小さくなり、また、多湿状態では標準状態よりも累積エネルギー量が小さくなることわかる。さらに、各条件における落下高さ単位変形量当たりの累積エネルギーとの関係を累乗近似で表すことができると仮定し、

これから任意の落下条件における緩衝材変形量の推定式

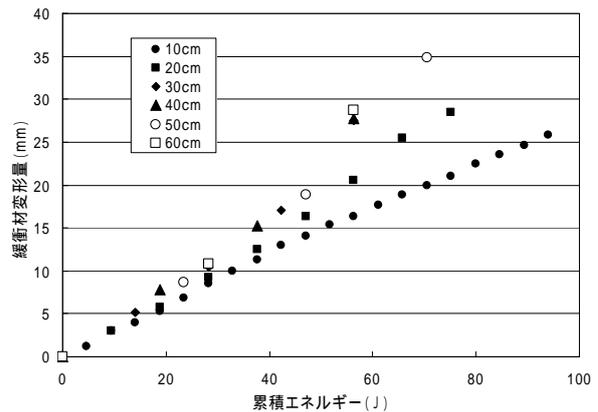


図 3 折り曲げ無しモデルの累積エネルギーと変形量

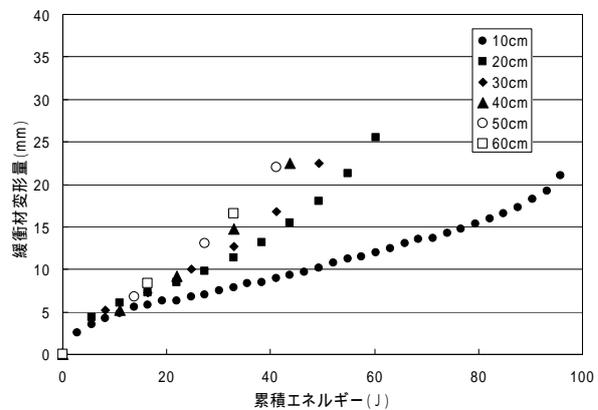


図 4 両側折り曲げモデルの累積エネルギーと変形量

を導いた。ある落下高さ h から質量 m のおもりを n 回落下させた場合の総エネルギー量 E は重力加速度を g とすると (1) 式となる。

$$E = n \cdot m g h \quad (1)$$

次に、落下高さ h と単位変形量当たりの累積エネルギーとの関係は累乗近似であることから (2) 式で表せる。

$$E = k \cdot d^n \quad (2)$$

ただし、 k 、 n は任意の常数とする。ここで落下高さ h から n 回落下させた時の緩衝材変形量 d は、(1) (2) 式より (3) 式となる。

$$d = E / k \quad (3)$$

異なる落下高さから繰り返し落下させた場合の総変形量 D は、各落下の累積が成り立つと仮定して (4) 式となる。

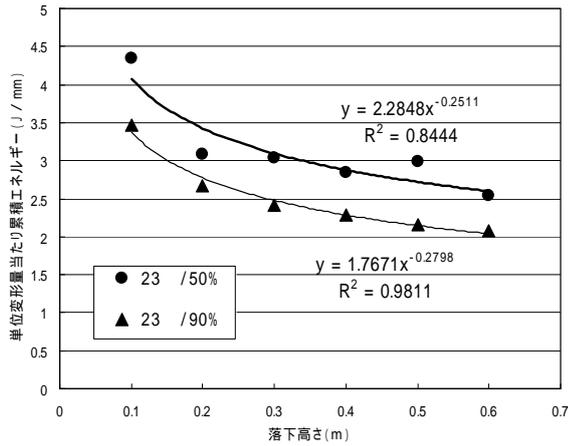


図5 折り曲げ無しモデルの単位変形量当たり累積エネルギー

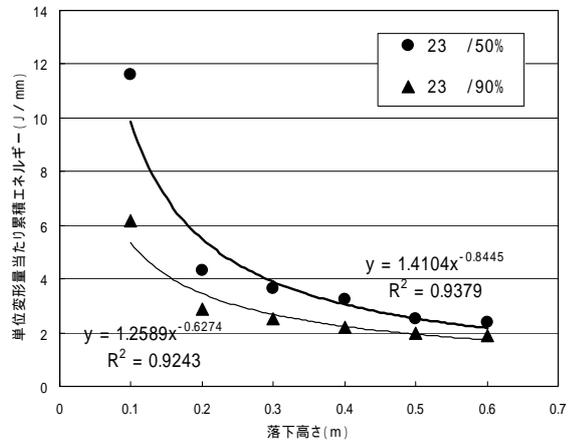


図6 両側折り曲げモデルの単位変形量当たり累積エネルギー

$$D = d_n \quad (4)$$

例えば、標準状態での両モデルの任意落下における変形量推定式は(5) (6)式のように表すことができる。

$$[\text{折り曲げなし}] \quad D = (20.6 n_k \cdot h_k^{1.25}) \quad (5)$$

$$[\text{両側折り曲げ}] \quad D = (19.5 n_k \cdot h_k^{1.84}) \quad (6)$$

ここで、(5) (6)式中のkは任意の落下条件に割り当てた符号を表す。

3.2 変形量推定式の精度について

任意の試験条件で前出の推定式から得られる変形量と実験での変形量とを比較し、緩衝材変形量の推定値の精度を検証する。ただし、温湿度は標準状態とした。

落下高さと落下回数の条件については累積の落下高さを50cm及び100cmとし、以下のように任意に設定した。

[累積高さ 50cm]

(20cm 1回) + (10cm 3回)

(30cm 1回) + (10cm 2回)

[累積高さ 100cm]

(60cm 1回) + (10cm 4回)

(20cm 2回) + (30cm 2回)

各試料に上記の落下衝撃を与え、試験後に測定した変形量と(5)式及び(6)式による推定変形量を比較したものを表に示す。なお、表中の実験値は5回測定の平均値である。

両側折り曲げモデルの条件、のみ実験値より低くなったが、他の条件では実験値より2~3mm高い値になっている。この程度の誤差であれば、ムダのない適正な緩衝設計をする上で実用上問題ないものと思われる。

表 緩衝材変形量の実験値と推定値の比較

| 条件 | 折り曲げ無し | | 両側折り曲げ | |
|----|----------|----------|----------|----------|
| | 実験値 (mm) | 推定値 (mm) | 実験値 (mm) | 推定値 (mm) |
| | 5.5 | 6.2 | 3.3 | 1.8 |
| | 5.3 | 6.9 | 3.0 | 2.7 |
| | 12.3 | 15.5 | 6.5 | 8.7 |
| | 11.8 | 14.7 | 5.3 | 6.3 |

3.3 実輸送試験

実輸送試験は各包装品モデルとも2回ずつ輸送を行い、衝撃値を測定したが、それぞれ測定された加速度をヒストグラムに表したものを図7及び図8に示す。いずれもほとんどが10G以下の低い加速度レベルで、また最大加速度も30~35G程度であり、製品破損に結びつくような大きな衝撃は測定されなかった。緩衝材高さを20mmとしたモデルでも底つきは発生しておらず、高さ40mmの緩衝材のデータとほとんど差のない結果となった。図9に、輸送後の高さ20mmの緩衝材を示すが、座屈部分は認められるものの底つきになるような変形は起きていないことがわかる。ここで実際に測定された加速度波形の一例を図10に示すが、衝撃作用時間はおよそ37msと長くなっていたが、波形から判断すれば角落下やりょう落下などの2次的な衝撃現象が考えられ、加速度レベルから判断しても製品へのダメージは小さいと思われる。

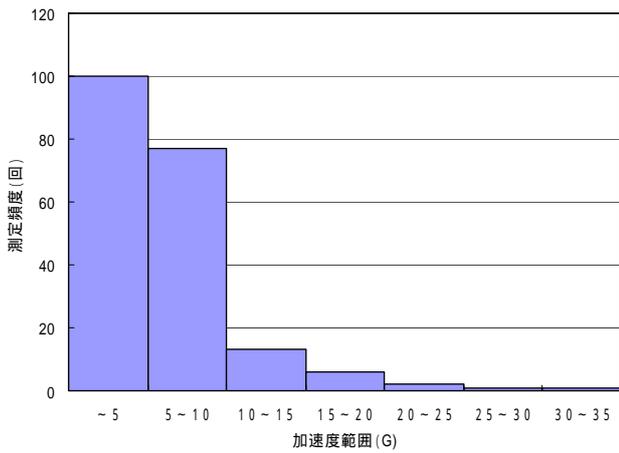


図7 測定された衝撃値のヒストグラム
(試料高さ 20mm)

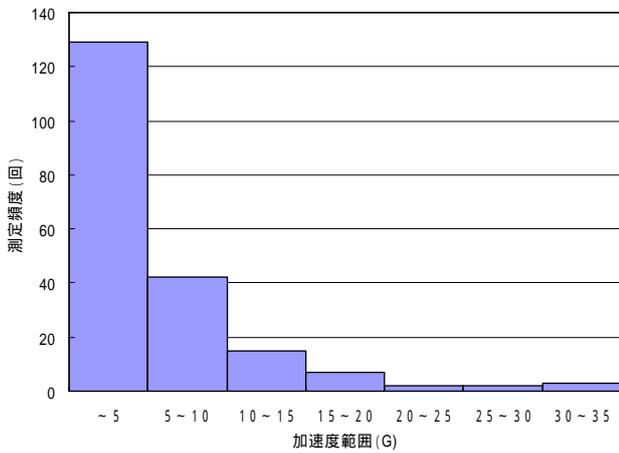


図8 測定された衝撃値のヒストグラム
(試料高さ 40mm)

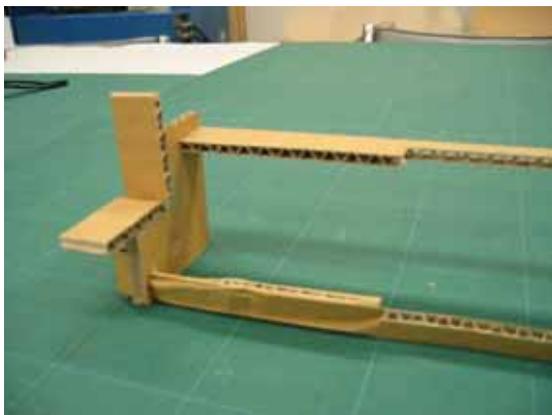


図9 輸送試験後の緩衝材

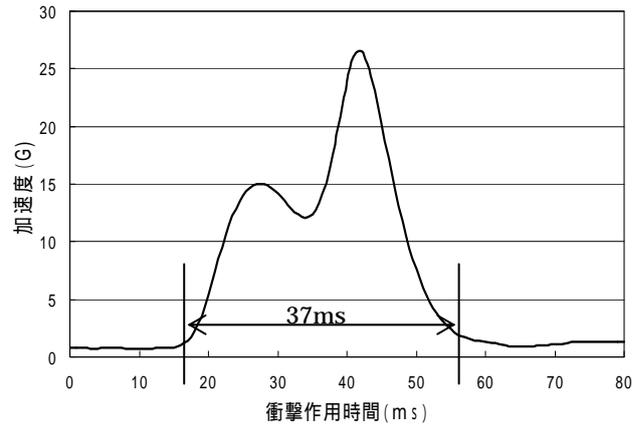


図10 輸送中の実際の衝撃波形の例

4. 結び

本研究により、段ボール緩衝材の適正な寸法を求める手法を導き、過剰包装の防止に役立てることができるようになった。室内実験において、緩衝材単位変形量当たりの累積エネルギー量を求めることで、詳細な落下条件に対する緩衝材の変形量を推定することができた。

また、実輸送試験により現状のトラック輸送の衝撃環境の実態を調べたが、測定された衝撃加速度のほとんどが低加速度値で、製品へのダメージも小さいことが推定された。この結果から、復元性に劣る紙系緩衝材でも安全な輸送が十分可能であると思われる。

文献

- 1) 佐藤、中川、来川：愛知県産業技術研究所研究報告，
6，34(2007)
- 2) 佐藤、中川、室田：愛知県産業技術研究所研究報告，
1，17(2002)