

段ボール構造体の緩衝性評価

佐藤幹彦*1 中川幸臣*1 室田修男*2

Evaluation of Corrugated Fiberboard Cushion

Mikihiko SATO, Yukiomi NAKAGAWA and Nobuo MUROTA

Technical Consulting Division, AITEC *1

Research and Development Division, AITEC *2

段ボール構造体において、スリーブ状の実験モデルを作成し、包装用緩衝材としての緩衝性評価を試みた。結果、以下の事項が明らかになった。

- (1) 折曲げ構造の有無により最適応力の範囲に差が生じ、折曲げ構造が段ボール構造体の緩衝性に大きく影響を与える。
- (2) 段ボール構造体において、支持断面の縦横比による静的圧縮特性及び動的圧縮特性に有意差は認められず、構造体の周囲長により特性が決定する。
- (3) 段ボール緩衝設計を行う場合、構造体の周囲長と折曲げ構造の有無が重要なファクターとなると考えられる。これらにより、緩衝設計の一般化を図ることができると推測される。

1. はじめに

最近、廃棄物処理問題等により包装の脱プラスチック化が急速に進む中、内装・外装とも段ボールを用いたオール段ボール包装が目立ってきている。そして、内装材である緩衝材については段ボールの折曲げや切込みを利用した構造体が多く見られる。しかし、緩衝設計技法が確立されている発泡プラスチック系材料¹⁾と違い、これらの段ボール緩衝設計は過去の経験や試行錯誤の繰り返しに頼っており、一般化が図られていない。その理由として、段ボール自体が薄板状の構造体であり、強度や緩衝性に異方性を有するため複合的に評価しなければならない点あげられる。そのため、段ボール緩衝設計においては、設計ノウハウやデータの蓄積、さらに緩衝設計技法の確立が強く求められている。

そこで、本研究では段ボール構造体の緩衝設計の合理化、効率化を図るため、段ボール構造体の緩衝性について基礎データを収集した。そのうち本年度は基本実験モデルを決定し、静的圧縮特性及び動的圧縮特性について試験を行い評価をした。

2. 実験方法

2.1 段ボール構造体実験モデル

段ボールを薄板状構造体として使用する場合、段の縦目で製品を受ける縦方向（スコア方向）と横目で製品を受ける横方向（クリース方向）の二つがある。段ボールの異方性により横方向では強度が弱く、横方向を用いて薄板状段ボールで緩衝設計を行う対象は軽量品に限られる。このため、段ボール緩衝設計では横方向よりも縦方向を使用する場合は圧倒的に多い。そこで、本研究では

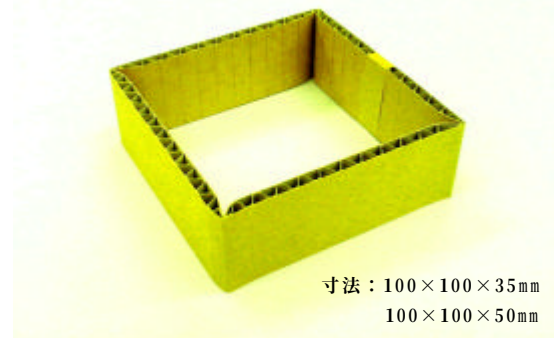
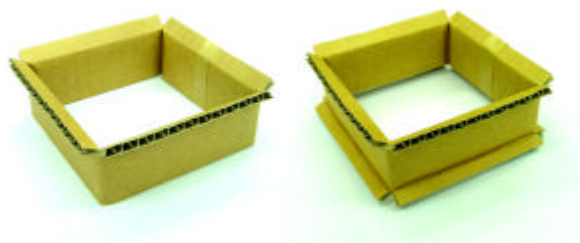


写真1 段ボール構造体実験モデル(1)

*1 技術支援部応用技術室

*2 基盤技術部

写真1のような段の縦方向を使用したスリーブ状構造体を実験モデルとした。外側寸法は $100 \times 100 \times 35\text{mm}$ 、 $100 \times 100 \times 50\text{mm}$ の2種類、折曲げ構造についてはスリーブの片側及び両側に施した場合とした。写真2に折曲げ構造を含むモデルを示す。



片側折曲げモデル 両側折曲げモデル
写真2 段ボール構造体実験モデル(2)

さらに、同一周囲長で縦横比を変更することが静的圧縮特性及び動的圧縮特性にどの程度影響するか調べるために、周囲長を 400mm とした3種類のモデル(縦横寸法： $100 \times 100\text{mm}$ 、 $120 \times 80\text{mm}$ 、 $150 \times 50\text{mm}$)を作成した。モデルを写真3に示す。

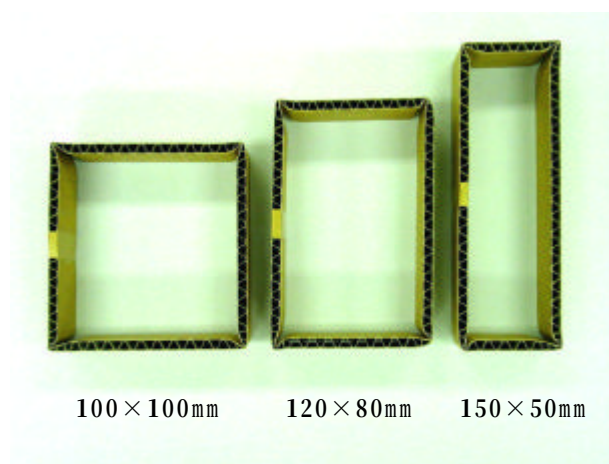


写真3 段ボール構造体実験モデル(3)
(縦横比の異なる同一周囲長モデル)

なお、使用している段ボールはAフルートであり、坪量はライナが表裏ともに 210g/m^2 で中芯は普通芯 120g/m^2 である。段ボール原紙の圧縮強さ(リングクラッシュ値)は、表裏ライナがそれぞれ 319N 、 314N 、中芯が 84.1N であり、段ボールの平面圧縮強さ(フラットクラッシュ値)は 146kPa である。各モデル試料は 23°C / 50% R.H.の温湿度環境に24時間以上放置した後、実験を実施した。

2.2 静的圧縮試験

各モデルについて万能引張圧縮試験機(東洋ボールドウィン製 UTM-Ⅲ-500型)を用いて圧縮荷重を測定した。圧縮速度は 10mm/min とした。

2.3 動的圧縮試験

試験には落下衝撃試験機(吉田精機製 CST-180型)を用いて、各モデルにおける衝撃加速度を測定し緩衝特性について評価した。落下高さは 60cm とした。

3. 結果及び考察

3.1 静的圧縮試験

図1に折曲げ構造が異なる3種類の実験モデル($100 \times 100 \times 50\text{mm}$)の静的圧縮試験の結果を示す。図から明らかなように折曲げなしのモデルでは圧縮量が微小な立上り部分に圧縮荷重の急激な上昇が見られる。折曲げ構造を有している場合、折曲げなしの構造体と荷重ピーク値を比較すると 40% 程度低下している。これは、折曲げなし構造で製品を保持すると、力を受けた場合にひずみ量が小さく製品が衝撃を強く受けやすいという特性を示しており、折曲げの有無が緩衝性に影響を及ぼしていることが推測される。さらに、グラフの曲線下部面積に相当する衝撃吸収エネルギーが3種類の実験モデルではほぼ等しく、折曲げのある構造体でも緩衝材としての衝撃吸収能力は同等であることが分かった。

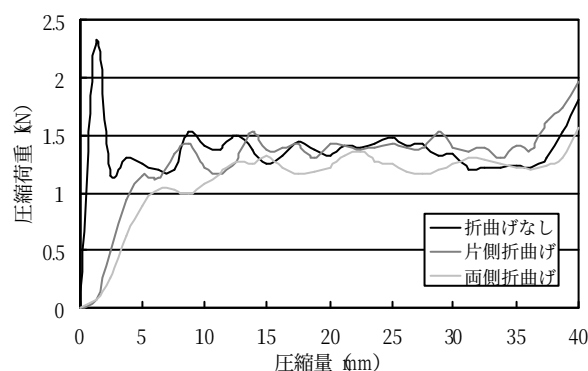


図1 折曲げ構造の有無による静的圧縮特性

図2は同一周囲長で縦横比及び高さを変えたスリーブの圧縮荷重を比較したグラフである。いずれのモデルでも 2kN 強の強度を示し、縦横比による有意差は認められないことが分かった。また、試料高さによる圧縮荷重の差もないと言える。段ボール構造体は周囲長が長くなるほど強度が強くなることが知られているため、縦横比及び高さによる影響はほとんどなく周囲長により強度が決まる傾向にあると考えられる。

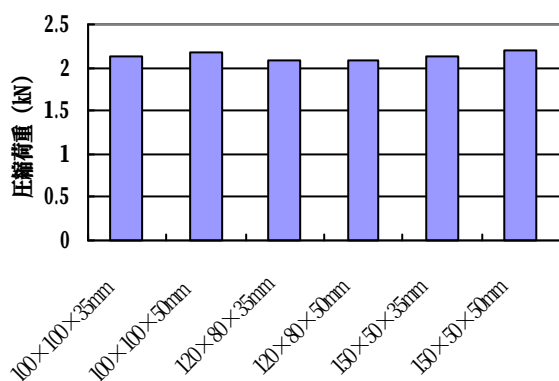


図2 同一周囲長スリーブの圧縮荷重

3.2 動的圧縮試験

折曲げ構造による緩衝特性線図の比較を図3に示す。縦軸は最大加速度(G)であり、横軸は単位長さ当たりの静的荷重(N/cm)で示している。従来の緩衝設計技法では横軸に重錘の重量を支持面積で除した静的応力を用いる²⁾が、薄板状の段ボールでは支持部分が外枠だけで構成されているため適切ではなく、構造体の周囲長という条件を使い新しいパラメータとして換算している。緩衝特性線図は最大加速度が最小となる曲線の底から左側の範囲が緩衝設計に利用され、最大加速度が低くなる部分（例えば、製品が損傷しないで耐えることのできる許容加速度より低い部分）が最適応力の範囲となる。曲線の底から右側の部分は底つきが発生し、その範囲での利用は復元性の低い段ボールでは不適切と言える。100 × 100 × 35mm の試料において、折曲げ構造の有無による緩衝性を比較すると、両側に折曲げ構造を施すことにより最大加速度が 10G 程度低くなっている。最適応力の範囲にも差が生じ、段ボール緩衝設計においては折曲げ構造が有効であることが分かった。他の縦横比の実験モデル(120 × 80mm、150 × 50mm)でも同様の傾向であった。

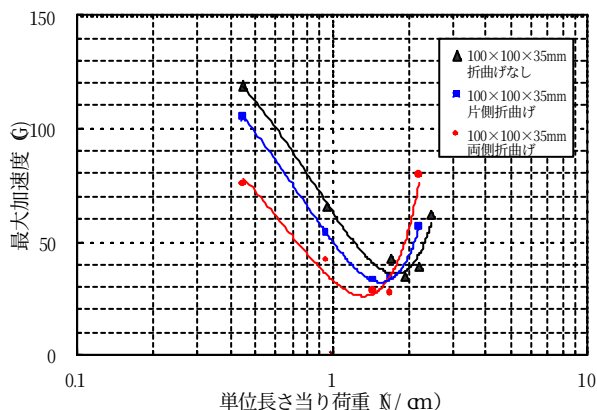


図3 折曲げ構造の有無による動的圧縮特性

縦横比の異なる実験モデルでの緩衝性を図4、図5に示す。図が示すとおりほとんど一致しており、構造体の縦横比による有意差は認められないことが分かった。図は高さ 35mm で折曲げなし構造、両側折曲げ構造のモデルでの緩衝性を示しているが、片側折曲げ構造、高さ 50mm の構造体の場合でも同様に緩衝特性線図がほぼ一致した。

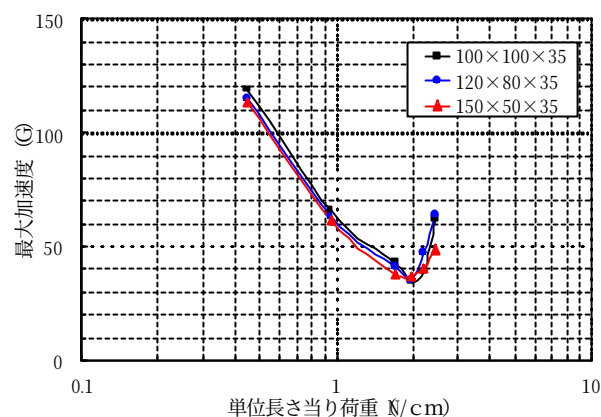


図4 縦横比の異なるモデルの動的圧縮特性
(折曲げなし構造)

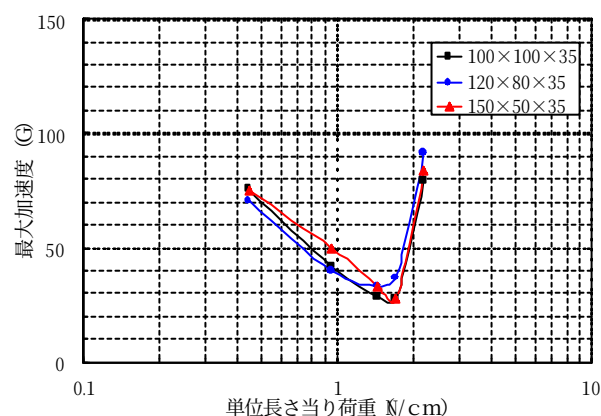


図5 縦横比の異なるモデルの動的圧縮特性
(両側折曲げ構造)

図6～図8に同一構造で高さの異なる実験モデルでの緩衝性の比較を示す。折曲げ構造の有無によらず同様の傾向が見られることが分かった。試料に底つきが発生するまでの単位長さ当たり荷重が小さい範囲では最大加速度の線図はほぼ一致している。また、最大加速度が低い方が衝撃吸収エネルギーが大きいので高さが高い試料ほど衝撃吸収能力があり、底つき発生荷重値に差が生じ緩衝性が良くなっているのが分かる。つまり、段ボールに座屈が起こらない限り高さを増加することにより緩衝特性の向上が可能であると言える。

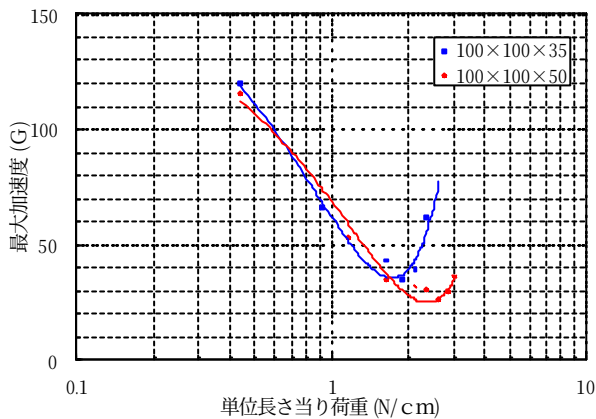


図6 高さの異なるモデルの動的圧縮特性
(折曲げなし構造)

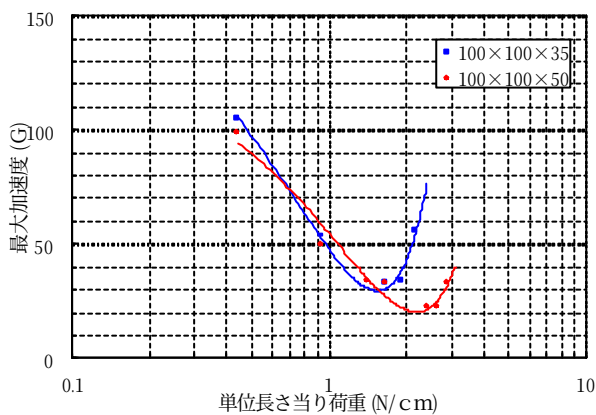


図7 高さの異なるモデルの動的圧縮特性
(片側折曲げ構造)

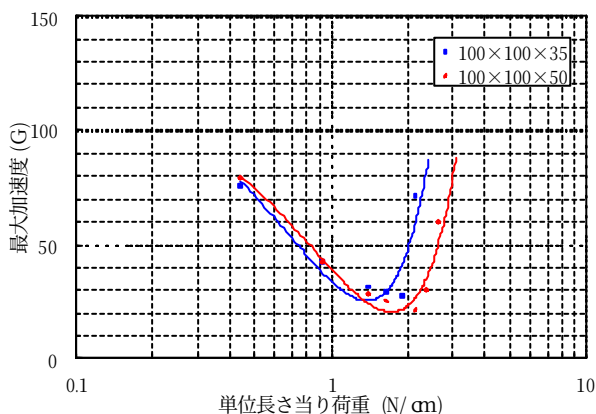


図8 高さの異なるモデルの動的圧縮特性
(両側折曲げ構造)

ただ、両側折曲げ構造の緩衝特性線図の最大加速度の差は他の構造体より少なく、これは最大加速度で 20G 程度が緩衝性として限界値であることが考えられる。高さによる最適応力の範囲の違いも折曲げなし、片側折曲げの構造体では似た特性を示しているが、両側折曲げ構造では差が小さく、緩衝特性として限界に近いと言える。また、縦横比を変更したモデルでも同様の傾向を示す緩衝特性線図が得られた。

以上の結果から、構造体の縦横比による有意差はほとんど認められず、段ボール緩衝設計を行う場合、段ボールの周囲長と折曲げ構造の有無が重要なファクターになると考えられる。周囲長から段ボールの単位長さ当り荷重を求めた緩衝特性線図を利用すれば、従来の発泡プラスチック系材料の緩衝設計技法が応用でき、段ボール緩衝設計の手がかりになることが期待できる。

4. 結び

本研究では、段ボール構造体の基本的な緩衝特性を評価した。そして、緩衝設計技術が確立されている発泡プラスチック系材料を参考にし、段ボール構造体においてもその技術が応用できる緩衝設計技法の開発を試みた。ただ、今回の研究で測定したのは基本データのみであり、外装箱と緩衝材からなる包装品の状態での実用試験、落下試験等も実施しておらず、不十分と言える。今後、製品モデルを用いた包装品を中心に実験を実施する予定であるが、より複雑な形状、条件において本研究で得られた基本データをどのように生かして緩衝設計の一般化を図るかが課題である。

文献

- 1) 久米ほか：輸送包装設計ハンドブック，P71(1994)，輸送包装研究会
- 2) 中川幸臣、加藤久也、小林兼弘：愛知県工業技術センター研究報告、34、13 (1998)