

緩衝包装設計時の許容加速度と評価試験における判定基準についての考察

株式会社東北ウエノ

設計開発部 佐々木 幸子・千葉 真児

S.Sasaki S.Chiba

代表取締役（包装専士）鈴木 雅彦

M.Suzuki

緩衝包装設計時の許容加速度と評価試験における判定基準についての考察

従来の設計手法では指定される落下高さに対して、緩衝材の使用量を出来るだけ少量化することを目的として設計していました。しかし、指定される落下高さは、輸送時、保管時で発生する落下高さのピーク値ではありません。今回、実際に指定された落下高さ以上の緩衝能力について調べてみました。設計の受圧面積の変化により許容加速度に違いがあることがわかりました。このことにより輸送環境の違いによっては、受圧面積を変えての設計が必要であることを提案いたします。

1.はじめに

緩衝包装設計を行う場合に与えられるインプット情報は、被包装貨物の重量・外形寸法・生産数量・輸送環境条件などが与えられます。もちろん製品の許容衝撃値や、脆弱部位の指定も必須の情報です。緩衝包装設計者はこれらの情報からその製品を安全に輸送されるように、それらの環境下で予想される落下衝撃から製品を守るよう緩衝設計を行います。一般的には JIS 規格や ISO 規格からは、製品の重量から予想される落下高さが規定されます。JIS 規格 Z0202 の自由落下試験装置による試験方法には、「面落下は水平度 2° 以内とし、落下面に衝突する時の水平度も 2° 以内が望ましい。」とあり、また、落下高さについては、「試験の目的によって定める。ただし、高さの許容量は±2%又は±10 mmのいずれか大きい方とする。」とあります。私たちはこれら

の規定からの落下衝撃を吸収できるような緩衝包装設計を行います。

一般的に緩衝包装設計されたパットの評価判定は次のように行われています。各面の落下試験の都度開梱し、製品の確認・動作確認を行います。しかし、実際は製品に取り付けた加速度センサーの出力値で判定されている場合も多いのではないのでしょうか。製品の許容衝撃値以内であれば合格と判定致します。

ダンボール箱の場合を考えると輸送環境・保管環境を考慮し箱の必要な圧縮強度から、箱の段ボール材質構成を決めています。しかしその際には想定される環境から安全率を設定しています。緩衝包装設計の場合は落下高さを JIS の区分より高くしたり、製品許容衝撃値をより低く設定したりしている場合も見られますが、判定基準はあいまいの様に思い

ます。

従来の設計手法では緩衝材の使用量を減らすことを主眼に設計していました。今回、緩衝包装設計する上で、各種緩衝材を選定する場合にコストだけではなくその環境下での適正について考えてみました。

つまり輸送・保管環境で発生する落下高さを基準に、緩衝材の選定について考察いたします。落下試験のでの合否判定基準については、あまり論じられることが無かった今回、落下高さに対して緩衝材の許容力と云う観点で考察しました。

2.緩衝設計手順

従来の緩衝材の特性曲線（GP 曲線）を利用した、緩衝包装設計の手順を説明致します。

2.1 従来の緩衝包装設計手順

従来は、使用する材料を最小にするように緩衝材の応力-歪線図（以降 GP 曲線と言う）を利用していました。指定される落下高さの GP 曲線（図-1）から設計する許容衝撃値になる静的応力を求め緩衝距離が最小に成る点、あるいは緩衝距離（緩衝材の厚み）を決めて、その時に受圧面積が最小に成る静的応力点を求め設計をしていました。あるいは製品寸法

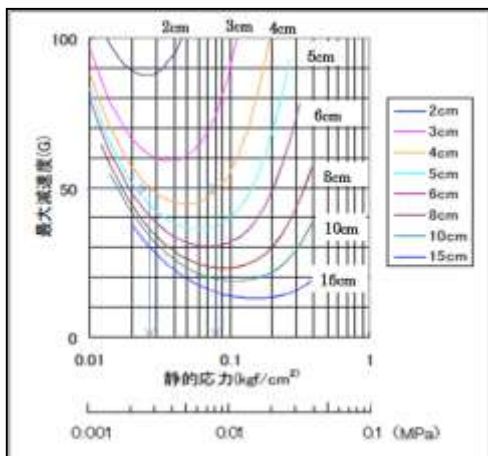


図-1 EPE <25>動的衝撃特性曲線

落下高さ 60cm 初回落下

と包装モジュール寸法から緩衝距離を決めて、その緩衝距離で静的応力を求め設計をしています。つまり落下高さの変化については考慮していませんでした。

2.2 落下高さを基準に静的応力を考える

図-1 の EPE-25 の動的衝撃特性曲線から、落下高さが 60cm で 50G の場合に厚み 4cm 時、静的応力 σ_1 は 0.028、 σ_2 は 0.08 と読み取れます。落下高さ 40・80・100cm の時の G 値読み取り落下高さ G 値曲線のグラフを作成すると図 2 の様になり、静的応力 $\sigma_1=0.028$ の方が曲線がなだらかになっている事が分かります。このグラフで考えるとなだらかな曲線は静的応力 $\sigma_1=0.028$ の時で、今までは材料の使用量が多く成る事から使っていなかった範囲です。

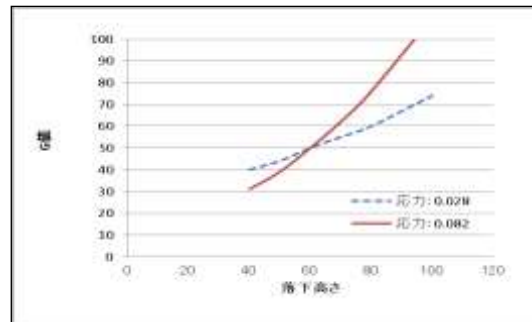


図-2 σ_1 σ_2 EPE<25> 40t G 高さ曲線

同じように落下高さが 60cm で 40G の場合に厚み 5cm 時、静的応力 σ_1 ・ σ_2 で、落下高さを変えた場合を見ても、図 3 の様に当然同じです。

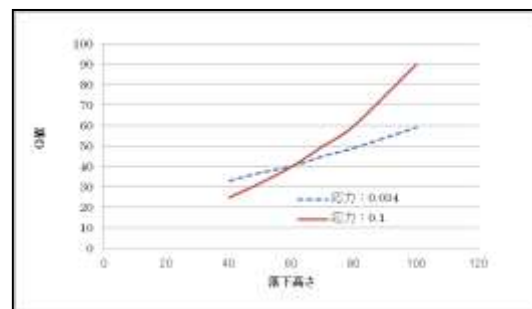


図-3 σ_1 σ_2 EPE<25> 50t G 高さ曲線

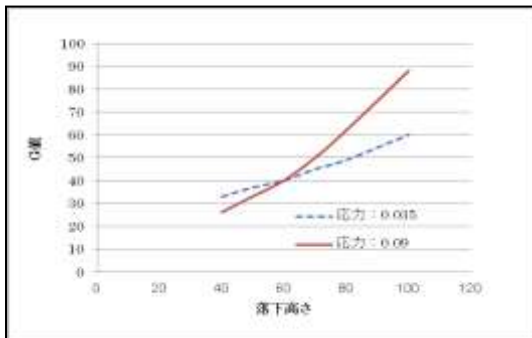


図-4 σ_1 σ_2 EPE<35> 50t G高さ曲線

違う発泡倍率でも同じように代表的な厚みで作成してみました。図-4はEPE-35、厚み5cm時、図-5はEPE-35厚み4cm時のグラフです。結果はEPE-25と同じ傾向であることが分かります。ここまでは動的衝撃特性曲線からの結果です。

ビーズ発泡 PE38 倍については、動的衝撃特性曲線のデータがありませんでしたので、EPE-35、厚み5cm時と同じ応力の $\sigma_1=0.035$ 、 $\sigma_2=0.09$ で実際に落下試験したデータです。検証方法は、製品ガミに角柱のブロックを四隅に固定して測定しています。



静的応力が小さい 受け面積が大きい



静的応力が大きい 受け面積は小さい

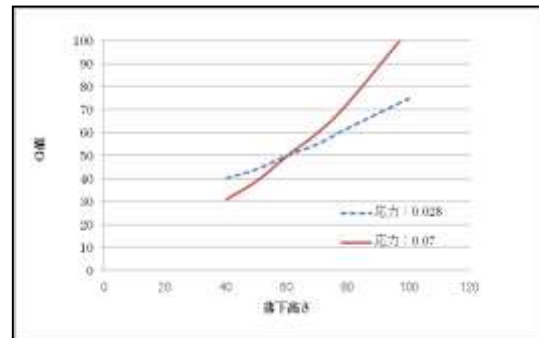


図-5 σ_1 σ_2 EPE<35> 40t G高さ曲線

図-6はビーズ発泡 PE38倍です。EPE-35時と同じ静的応力、緩衝距離5cmで、実際に10cm刻みで落下試験を行ったデータになります。結果、どの材料も傾向は同じで違う発泡倍率でも静的応力が小さい方が傾きがなだらかになることがわかります。安全に輸送することを考えると、曲線がなだらかな静的応力が小さい方で設計することが望ましいと考えます。

2.3 緩衝材の選択の基準について

発泡緩衝材はPEやPPの発泡緩衝材が、その加工性などの優位性で広く使われています。しかし材質の選択には明快な基準は無いように思います。そこで今回行ったように落下高さを基準にした方法で各材料を比較してみました。

次の図6、7は動的衝撃特性曲線から静的応力を読み、実際に落下試験をしたデータです。

図7は発泡PPの場合の落下高さが60cmで50Gの場合に厚み4cm時

図8は発泡PPの場合の落下高さが60cmで50Gの場合に厚み5cm時

残念ながら、メーカーより提供されているデータが少ないものもあり正確な比較は出来ていませんが、やはり面積を多くし設計した

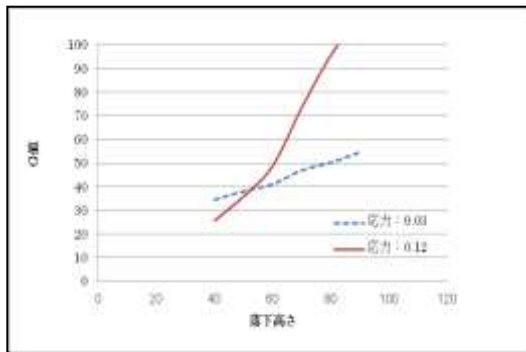


図-7 発泡 PP45倍 40t G 高さ曲線

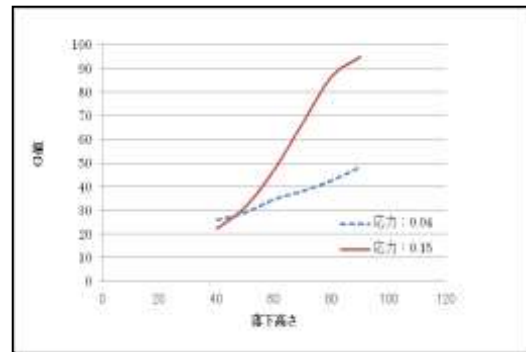


図-8 発泡 PP45倍 50t G 高さ曲線

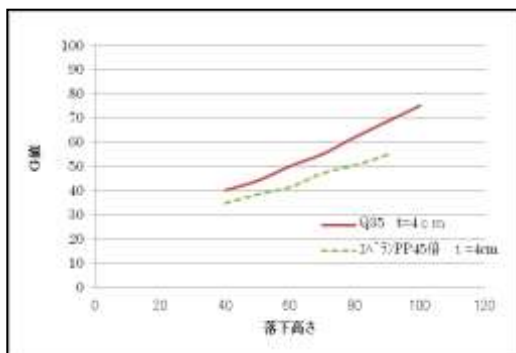


図-9 PE・PP 40t 静的応力最少 G 高さ曲線

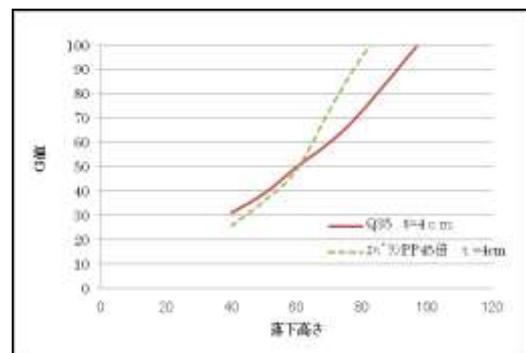


図-10 PE・PP 40t 静的応力最大 G 高さ曲線

場合の方が、落下高さに対しての許容力はある事が分かります。

さらに PE と PP の静的応力値の小さい場合で比較してみました。なだらかな曲線はほぼ平行です。(図-9) 静的応力値が大きい場合には、PE である EPE<35>に比べ、発泡 PP の方が落下高さが高くなるにつれて、衝撃値も高くなります。(図-10)

このことから、静的応力値が小さいほうで(面積を多く)設計するにあたっては、PE や PP の選択に影響がないことが分かります。

3.考察

静的応力値の小さな方が設計落下高さ以上に対しては、緩やかな曲線を示すことだと認識できました。理想的な緩衝材とは、落下高さが変わっても衝撃を吸収できる材料ではないでしょうか。従来緩衝包装設計を行う場合

には緩衝材の GP 曲線を利用し、緩衝材の使用量が最小に成るように設計を行ってきましたが、受圧面積を広くすることによって想定落下高さ以上に対しては有効であることが分かりました。理想的な緩衝材とは、落下高さが変わっても衝撃を吸収出来るものではないでしょうか。

緩衝材の選択についても Cf で議論される事が多いですが、実際の包装設計場面ではもっと違った観点からの議論も必要に思われます。

4.提案

今回の「G 高さ曲線」での検討により、静的応力値 min を利用すると設計落下高さ以上の落下に対して有効である事が分かりました。被包装貨物が輸送環境中に受ける落下事故を考えた場合に、製品の重量が変化することは有

りませんし、また緩衝材の受圧面積が変化する事も基本的にはありません。落下事故の可変要因は落下高さになります。よって、より広い範囲での落下高さに対応した包装設計が必要ではないでしょうか。

今までの判定基準では規格の高さで合否判定しています。しかし今回分かったように緩衝材の特性で、受圧面積によって落下高さ・G特性に差がある事が分かりました。受圧面積を大きくすることにより、落下高さに対する耐性が有ります。緩衝包装設計に安全率と言った考え方があまりなかったように思います。勿論、各種規格が示している落下高さは多くの事例から設定されており、安全率を考える必要は無いのかもしれませんが、しかしISOが連続落下試験を要求しているように、海外での輸送環境を考えた場合には落下試験の判定基準については再考する必要があるように思われます。

実際の包装設計の場面では製品に突起部分が有ったり、脆弱部分が有って十分な受圧面積を確保できない場合が有りますが、輸送環境が悪い場合においては、出来るだけ大きな面積で受けるような設計をする方が、有効の様に考えます。環境の面を含め、今までは材料を少なくする設計が良いと思っていましたが、このことから輸送環境が良く分からないような場合に受け面積を大きくし、落下高さに対する耐性を考えなければなりません。歪みを考えた時には、静的応力が大きいと緩衝材は大きく歪みます。静的応力が小さいと歪み量は少ないです。つまり、静的応力の小さい方で設計した場合、緩衝材の吸収能力にはまだ余裕があり、静的応力の大きい方で設計した時には緩衝能力が最大になっているということです。今までは輸送環境が曖昧な時

は、許容G値を厳しくしたり、落下高さを高く設計していましたが、今回考察した結果から提案したいことは、「輸送環境が良いと想定出来る場合にはコストを重視して緩衝材の使用量を出来るだけ最小にして緩衝材の最大の能力が発揮できるように設計をする。」「輸送環境が悪いと想定出来る場合には緩衝材の能力は最大にせず、受け面積が広がる範囲で設計をする。」ということです。緩衝設計とはあらゆる輸送環境を想定した、工夫ある設計が必要なのではないのでしょうか。

5.今後の課題

今回はメーカーより提供されている動的衝撃特性曲線を主に（一部実験データ）利用し検証を行いました。つまり緩衝材がブロック形状での特性であります。今後は実際の緩衝材パット形状での検証を行い、材料へのせん断影響や曲りの影響についても確認をして行きたいと思います。ふたつめには、設計基準として扱う許容G値について、更に考えていかなければならないと思います。

<参考文献>

- 1) サンテックフォーム技術資料
旭化成ケミカルズ株式会社
- 2) 発泡PP技術資料
鐘淵化学工業株式会社