

製品の衝撃強さ試験による緩衝包装の適正化

Appropriate Packaging by Mechanical-Shock Fragility Testing for products

中嶋 隆勝*

Takamasa Nakajima

(2010年6月29日 受理)

キーワード：包装，衝撃強さ，製品，損傷境界曲線，DBC，衝撃試験機，衝撃試験方法，落下試験

1. はじめに

工場で製造される多くの製品は，物流過程での落下衝撃で損傷事故が生じないように，緩衝包装が施され包装貨物として出荷される．その際，包装が過剰であれば潜在的なコスト高となり，包装が不足していれば物流中の損傷事故が多発し，結果としてコスト高となる．したがって，コスト高を抑制するには，包装の適正化が重要である．欧州にて，過剰包装による潜在コストは，過剰包装材料費の20倍以上であり，年1300億ユーロと試算¹⁾されている．また，包装不足が原因で製品損傷事故となり被る損失コストは年30億ユーロと試算²⁾されている．いずれも膨大な損失コストであることがわかる．

ところが，一企業，特に中小企業にとって，包装関連の損失コストは，売上高に対してほんの小さな割合に過ぎず小額であり，時間と手間を掛けて包装设计を実施する余裕はない．その結果，包装は過剰となる傾向にある．それらの損失コストを全企業について積算すると膨大な額となり，包装の適正化は，多くの時間と手間を掛けてでも解決すべき社会的に重要な課題であることがわかる．したがって，包装を適正化する技術は，一企業だけでは限界があり，複数企業間での協力や公的研究機関による積極的な推進が必要と考えられる．当研究所では，適正包装を推進するため，最適緩衝包装设计手法^{3,4)}，包装貨物振動試験⁵⁻⁷⁾ならびに

製品の衝撃強さ試験の高精度化^{8,9)}に関する研究などを実施してきた．製品の衝撃強さ試験では，衝撃強さ，すなわち許容速度変化および許容加速度が決まり，緩衝包装设计の際の制約条件として活用される．しかし，現実には，製品の衝撃強さを把握しないまま，試行錯誤により緩衝包装设计が行われる事例が多い．したがって，適正包装を推進するためには，衝撃試験の高精度化だけでなく，衝撃試験を普及するための取り組みも重要である．

本稿では，まず，包装设计の基本手順および製品の衝撃強さ試験について説明する．次に，製品の衝撃試験において解決すべき課題を指摘する．そして最後に，それらを解決するために筆者らが取り組んできた二つの研究開発，「破損部位別 DBC¹⁾ 導出法」⁹⁾および「落下試験機による簡易 DBC 評価法」¹⁰⁾を紹介する．

2. 緩衝包装设计の基本手順と製品衝撃強さ試験

2.1 包装设计の6ステップとは

包装设计は，図1に示す6ステップで構成され，落下衝撃に対する緩衝包装设计だけでなく，外装容器への耐圧荷重，温湿度など，さまざまな負荷に対する保

*1 DBCとは，Damage Boundary Curveの略で，製品に加わる衝撃パルスの特徴を，縦軸が加速度で横軸が速度変化のグラフで表示したとき，製品が破損する領域と破損しない領域の境界を示す曲線を意味する．ここで，速度変化とは，衝撃パルスを加速度時刻歴で表した場合の積分値（面積）と定義されている．

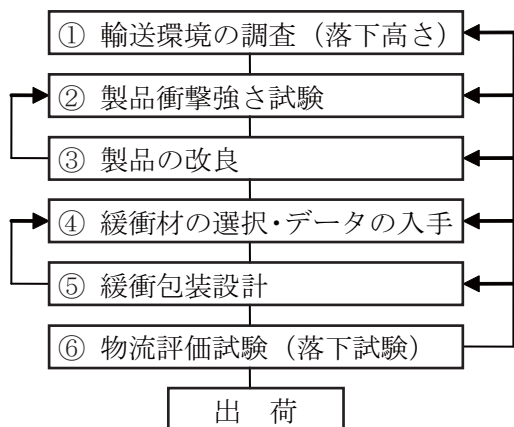


図1 包装設計の6ステップ

護包装設計に適用可能であるが、ここでは、緩衝包装に限定して説明を行う。

2.1.1 輸送環境(落下高さ)の調査(ステップ1)

輸送中、荷扱いなどで誤って貨物を落としてしまうことがある。それらの落下衝撃に対して、製品が十分に保護されるように包装設計しなければならない。このステップでは輸送環境の厳しさ、すなわち輸送中に想定される最大落下高さを決定する。その決定方法は大きく分けて二通りある。ひとつは、輸送環境記録計を搭載したダミー貨物を実際に輸送しデータ収集した後、付属する解析ソフトにて最大落下高さを算出する方法である。もう一つは、JIS Z 0200 の表 5(落下高さ(自由落下))などを参考にして、貨物の質量と輸送条件から落下高さを決定する方法である。前者の方が現実のデータに基づく決定なので推奨されるべき方法ではあるが、時間と手間がかかるため、多くの企業は後者の方法を採用している。

2.1.2 製品衝撃強さ試験(ステップ2)

適正包装を実現するためには、製品の衝撃強さに応じて使用する緩衝材の量を増減しなければならない。このステップでは、衝撃試験機を用いて製品の衝撃強さ、具体的には、許容速度変化と許容加速度を調べる(参考規格: JIS Z 0119 など)。

2.1.3 製品の改良(ステップ3)

このステップでは、まず、ステップ2の衝撃強さ試験で見出された製品の脆弱な部位について改良すべきか否かを検討する。改良すべき部位がなければ次のステップ4に進む。製品コストの上昇をあまり伴わずに改良できる脆弱な部位品があれば、包装コストを含めた総コストを低く抑えることができるので改良を実施する。改良後、ステップ2に戻り、製品の衝撃強さを改めて評価する。最終的に、本ステップで改良すべき部分がなくなっていれば、次のステップ4に進む。

2.1.4 緩衝材の選択・緩衝データの入手(ステップ4)

このステップでは、まず、使用する緩衝材の種類を決める。そして、次ステップで緩衝材を包装設計するための性能データ(加速度-静的応力線図など)を、緩衝材メーカーより入手する。入手できない場合、緩衝材用の衝撃試験機を活用して緩衝材の性能を計測する(参考規格: JIS Z 0235, JIS Z 0240 など)。

2.1.5 緩衝包装設計(ステップ5)

このステップでは、包装貨物がステップ1で決定した落下高さからの衝撃に対して製品が破損しないように、前ステップで入手した性能データを用いて緩衝包装設計を行う。発泡スチロールなどの発泡樹脂の場合、緩衝係数を用いた設計手法¹²⁾や、筆者らが提案している緩衝材の使用量やコストを最小化する設計手法^{3,4)}がある。一方、紙系緩衝材などの場合、理論的な緩衝設計手法は未だ十分には確立されてないが、いくつかの研究報告^{13,14)}がある。リサイクル性や廃棄性の良さが利点となり業界での広く使用されているが、緩衝包装設計は試行錯誤によるものが多く、今後の研究課題のひとつと言える。

2.1.6 物流評価試験(落下試験)(ステップ6)

緩衝包装設計された貨物は、十分な強度を有しているかを確認するため物流評価試験(落下試験)が実施される(参考規格: JIS Z 0202 など)。試験の結果、貨物内の製品に損傷などが見つければ、損傷の原因を分析し、ステップ5(緩衝包装設計)あるいはステップ4(緩衝材の選択)などに戻り、再度包装設計を試みる。最終的に、落下試験に合格すれば、包装設計が終了し出荷可能と判断される。

2.2 製品衝撃強さ試験とは

前節のステップ2で説明した、製品衝撃強さ試験についてもう少し詳しく解説する。

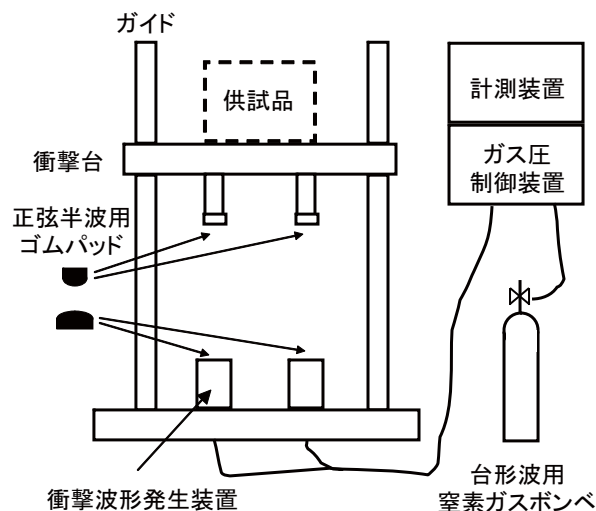


図2 衝撃試験装置の概略図

2.2.1 試験機の構造

衝撃試験装置の構造を図2に示す。供試品が取り付けられた衝撃台は、自由落下し衝撃波形発生装置に衝突することにより、所望の衝撃パルスが発生できる仕組みになっている。衝撃波形発生装置にゴムパッドを取り付けると正弦半波衝撃パルスが発生し、窒素ガスボンベのガス圧を設定すると台形波衝撃パルスが発生する。

2.2.2 試験方法

前節のステップ2で実施する試験方法 (JIS Z 0119) を説明する。この試験方法は、R. E. Newton によって提案された試験方法である。まず、製品の許容速度変化を調べ、次に、許容加速度を調べる。これらの値を用いて製品の DBC を描画すれば製品の衝撃強さがわかる。

(1) 許容速度変化試験

製品に加わる衝撃パルスの加速度がいくら大きくても、その速度変化が許容速度変化より小さければ、製品に損傷は現れない。ここでは、まず加速度が高く作用時間の短い正弦半波衝撃パルスを製品に加え、製品に損傷があらわれるか否かを調べる。そして、その速度変化を徐々に上げ、製品が損傷しない最大の速度変化 (許容速度変化) を調べる (図3参照)。

(2) 許容加速度試験

速度変化が許容速度変化よりも十分に大きな衝撃の場合、製品に加わる加速度がある許容値を越えると、製品に損傷が発生する。ここでは、まず速度変化が許容速度変化の1.6倍以上の台形波衝撃パルスを製品に加え、製品に損傷があらわれるか否かを調べる。そして、その加速度を徐々に上げ、製品が損傷しない最大の加速度 (許容加速度) を調べる (図3参照)。台形波を用いる理由は、正弦半波衝撃パルスでは、許容加速度が速度変化に大きく依存し評価精度が低下するが、台形波ではその影響が非常に小さいためである。

2.2.3 結果の活用方法

得られた許容速度変化と許容加速度は、包装設計を行う際、包装コストを左右する重要なパラメータとして活用される。各活用方法は次のとおりである。

(1) 緩衝材の要・不要の確認 (許容速度変化)

輸送中に想定される最大落下高さ h と、緩衝材の反発係数 e がわかれば、その落下により生じる衝撃パルスの速度変化 ΔV が次式で算出できる。

$$\Delta V = (1+e)\sqrt{2gh} \quad (1)$$

ただし、 g は重力加速度を表す。

この速度変化が、製品の許容速度変化よりも小さければ、緩衝材なしで製品を包装しても、製品に損傷

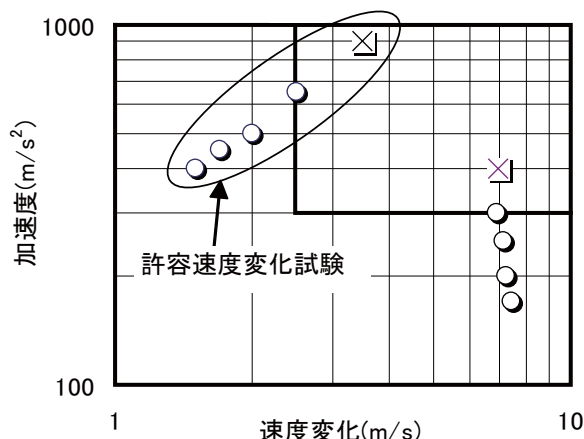


図3 JIS Z 0119による製品衝撃強さ試験方法の説明図

は発生しない。これは、R. E. Newton が導いた DBC¹⁵⁾ は図3に示すようなL字型であり、速度変化が許容値よりも小さければ、加速度に関係なく非損傷領域となるからである。したがって、輸送中に想定される最大落下高さが低く、生じる衝撃の速度変化が許容速度変化よりも小さければ、いくら緩衝材を削減して発生する衝撃の加速度が大きくなって、輸送中の衝撃で製品に損傷が生じることはない。このような場合、使用する緩衝材の量を極端に削減した包装設計を実施し、コストを限界まで削減することができる。

(2) 緩衝設計の制約条件としての活用 (許容加速度)

一方、輸送中に想定される最大落下高さが高く、生じる衝撃の速度変化が許容速度変化を超える場合、その加速度が許容加速度を超えると製品に損傷が生じる。したがって、生じる衝撃の加速度が許容加速度よりも小さくなるように緩衝包装を施す必要がある。

以上のように、衝撃試験で得られた許容速度変化および許容加速度は、緩衝設計を行う上で重要な指標であり、包装コストの削減や、輸送品質の向上に極めて大きな役割を果たす。

2.3 衝撃試験を実施しない緩衝包装設計の実情

衝撃試験の重要性は上述したが、実情として、一部の大手企業を除き、しっかりと製品の衝撃強さを調べた上で、理論的な緩衝包装設計が実施されている例は意外と少ない。緩衝包装設計を生業としている方の中にも製品の衝撃強さは調べていないと明言する方がいるほどである。その方法は次のとおりである。

衝撃強さが不明でも、たとえば、輸送中に想定される最大落下高さにて落下試験を実施し、製品が無事であれば出荷後も問題はない。したがって、衝撃強さを調べずに適当に緩衝設計を行い、落下試験に合格すれば最低限の信頼性は確保できる。しかし、この方法では使用する緩衝材の量を最小限に抑えるための検討が

困難であり、過剰包装となる可能性が高い。適正包装を実現するためには、落下試験と緩衝設計の手直しを繰り返す試行錯誤による方法もあるが、結果的に手間がかかり衝撃試験を実施したほうが得策である。

3. 解決すべき課題

衝撃強さを調べた上で緩衝設計を行えば、過剰包装は解決でき適正包装化が推進できるが、解決すべき課題がいくつかある。筆者が感じている課題をここで紹介する。

3.1 JIS C 60068-2-27 に基づく緩衝包装

3.1.1 衝撃試験規格の概要

衝撃試験の規格には、JIS Z 0119「包装及び製品設計のための製品衝撃強さ試験方法」の他、JIS C 60068-2-27「環境試験方法—電気・電子—衝撃試験方法」がある。前者は2.1.2で説明した衝撃試験方法であり、許容速度変化と許容加速度が求められる。後者は、製品設計担当者によってよく用いられている試験規格であり、あらかじめ決められた加速度と作用時間の衝撃パルスを製品に加え、合否判定を行う試験方法である。したがって、後者の試験方法では、製品がどのような衝撃で損傷を生じるかはわからず、緩衝包装設計に活用することはできない。しかし、現実には、後者の試験しか実施しない場合が多く、間違っこの試験結果に基づいて緩衝設計が行われる事例が散見される。その結果、大幅な過剰包装や想定外の破損が生じる可能性がある⁹⁾。さらに、想定外の破損は、理論的設計への不信感につながり、従来の試行錯誤による緩衝設計(2.3を参照)へ後退させる要因ともなっている。

3.1.2 JIS C 60068-2-27 を用いる理由

製品設計担当者がJIS Z 0119ではなくJIS C 60068-2-27を用いる理由としてつぎのようなことが考えられる。

(1) 試験の目的は、製品の改良すべき部位の抽出であり、許容速度変化や許容加速度を求めることではない。

(2) 包装設計に関心がなく、JIS Z 0119のメリットについて理解が不足している。

(3) JIS Z 0119では製品を2台用意し、共に破壊するまで試験を続けなければならない。JIS C 60068-2-27では用意する製品は1台であり、合否判定後は、別の評価試験で再利用することができ都合が良い。

上記のすべての理由を解消することは困難であるが、少しずつでも課題を解決して、正しい衝撃強さ評

価試験を普及しなければ、現状の過剰包装を適正化することは困難である。次節では、正しい衝撃強さ評価試験を普及させるために、重要と思われる取組みについて述べる。

JIS Z 0119により「輸送中の落下高さを考慮した製品の改良指針」が作成できれば、少しはJIS Z 0119を実施する製品設計担当者が増えるのではないかと考え、JIS Z 0119の改良に取り組んだ。考案したJIS Z 0119の改良案を次章にて紹介する。

3.2 正しい高価な衝撃強さ評価試験機の普及

3.2.1 啓蒙活動

前節の3.1.1の問題点で指摘した、採用する衝撃試験規格に由来する問題点についての理解を促すため、製品設計者を対象とした啓蒙活動が必要と考えられる。筆者らの通常業務には、研究だけでなく、衝撃試験機の貸与および試験も含まれており、多くの製品設計者が来所され衝撃試験を実施している。少しずつではあるが、JIS C 60068-2-27の問題点を指摘するとともに、JIS Z 0119の活用メリットを紹介し、啓蒙活動を推進している。

3.2.2 製品設計者用の改良指針の作成

製品設計担当者は、製品の脆弱な部位を抽出して改良することを目的として、衝撃試験を実施しているので、製品の改良指針が得られる分析機能があれば、積極的に採用するのではないかと考えられる。さらに、製品単体で使用する際の許容落下高さが、要求仕様として設定されている場合、改良指針の価値はさらに向上すると思われる。

3.2.3 安価な衝撃試験機の開発

図2に示したような衝撃試験装置を導入するためには、多額の費用が必要であり、大手企業を除いた多くの企業では装置を導入できず、理論的な緩衝設計が実践できない。したがって、比較的低価格で購入できる簡易型落下試験機を用いた衝撃強さ試験が実施できるシステムの開発が有効ではないかと考えられる。

3.2.4 製品化および公的規格の改訂

3.2.2, 3.2.3で挙げた課題を解決する研究開発の成果が得られても、それが普及しなければ正しい衝撃強さ試験は普及せず過剰包装は適正化されない。研究開発成果を普及する手段として、(1)研究開発成果を新製品、たとえば「衝撃試験支援ソフト」「簡易型衝撃試験機」という形で市場に流通させる。(2)公的規格を改訂し、研究開発成果が効果的に活用されるようにする。などが考えられる。

以上の課題を一つずつ解決し、過剰包装の適正化という目標に向かって前進しなければならない。



図4 DVD プレーヤー

4. 破損部位別 DBC 導出法の提案

前章の 3.2.2 で説明した製品設計者用の改良指針を作成できるように、これまで一本だった DBC を、製品の破損部位毎に導出し、改良指針を見出す方法を考案した。これにより、製品設計担当者は、衝撃に対するより具体的なイメージ、すなわち輸送中の落下高さも考慮した上で製品を改良することが可能となる。逆に言うと、これまで輸送中の落下高さを考慮した製品改良は実施困難であり、多くのムダが発生していた可能性がある。ここではこの試験方法に従って実施した衝撃強さ試験の例を紹介する。

4.1 供試品

市販されている DVD プレーヤー (図 4) を複数台用意し、提案法にて破損部位別 DBC を描画し製品の改良指針を作成する実証実験を行った。供試品はすでに市販されている製品であるため、製造企業によりある程度の改良は実施済みであり、小さな衝撃パルスでは損傷は現れなかった。一般的に、現実の衝撃試験ではもっと多くの破損部位が現れ、各部位の改良が必要となるので、「改良指針」の活用効果も高くなると期待できる。

4.2 衝撃試験結果

許容速度変化試験結果を表 1 に、許容加速度試験結果を表 2 に示す。ただし、許容速度変化試験を行えば試料は破損するので、許容加速度試験は同種の新たな試料で行っている。表 3 は各破損部位の概要である。

4.3 破損部位別 DBC と考察

上記の結果に基づいて描画した破損部位別 DBC (拡大図) を図 5 に示す。図より、輸送中の最大発生落下高さが 30 cm 程度なら、製品はほぼ破損しないことがわかる。40 ~ 85 cm の範囲では部位 A が破損し、85 ~ 146 cm の範囲では部位 A に加え部位 B も破損することがわかる。146 cm を超えるの範囲では、部位 A、B ではなく、部位 D が最も許容加速度が低いことがわかる。

部位 D は、製品内部の緩衝機構が設けられたドラ

表 1 許容速度変化試験結果

	A (m/s ²)	∠V (m/s)	観察
1st	1600	1.99	異常なし
2nd	2490	2.77	異常なし
3rd	3870	4.08	部位 A 破損
4th	4060	5.35	部位 B 破損
5th	5860	7.00	部位 C, D 破損

表 2 許容加速度試験結果

	A (m/s ²)	∠V (m/s)	観察
1st	183	8.13	異常なし
2nd	301	7.57	異常なし
3rd	495	7.24	異常なし
4th	884	7.10	異常なし
5th	1490	6.76	部位 D 破損

表 3 破損部位の概要

破損部位	観察
A	ドライブ押さえ部の部品が破損
B	ディスクトレイ先端部に亀裂発生
C	基板取付け用の樹脂部品が破損
D	ドライブを上下規制するリブとの当たり部分 (樹脂製) が破損
D'	上記のリブ (2本) の折れ

表 4 製品の改良指針

最大落下 高さ(cm)	改良 部位	許容加速度 (m/s ²)		効果
		改良前	改良後	
35cm	不要	∞	—	—
40~80cm	A	1490	∞	◎
	その他	1490	1490	×
90~ 145cm	A	1490	1490	×
	A,B	1490	∞	◎
	B	1490	1490	×
	C	1490	1490	×
150cm	D	1490	1490	×
	A	884	884	×
	B	884	884	×
	C	884	884	×
	D	884	1490	○

イブ内の部位であるため、衝撃が伝わりにくく速度変

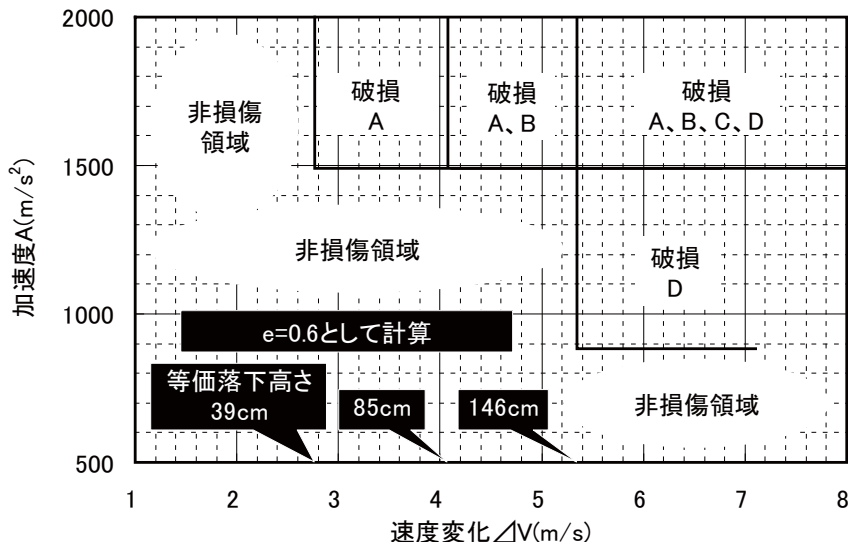


図5 DVD プレーヤーの破損部位別 DBC および速度変化から換算した等価落下高さ

化が大きくなければ破損しない。逆に、部位 A は比較的強固に固定された押さえ部品であり、比較的小さな速度変化の衝撃でも十分に伝わる。部位そのものの静的強度は許容加速度が低い部位 D が最弱と推定できる。

4.4 製品の改良指針

上記の破損部位別 DBC に基づいて作成した製品の改良指針を表 4 に示す。表に示すとおり、輸送中に想定される最大落下高さが 35 cm 程度の場合、ほぼ緩衝材がなくても製品は破損しないため、特に改良する必要がないことがわかる。40 ~ 80 cm の場合、部位 A を改良すれば、許容加速度が ∞ となり、底面落下に対しては緩衝材を大幅に削減し、包装コストが削減できることがわかる。

4.5 今後の予定

本取組みは、財団法人日本規格協会だけでなく、経済産業省、社団法人日本包装技術協会と連携し進められてきた。今後も引き続き、JIS 化、ISO 化をめざし取組みを継続したい。さらに、本方法の普及を促進するため、実用化に向けて関連企業の技術支援を進めたいとも考えている。

5. 落下試験機を用いた衝撃試験方法

JA 全農の打田宏氏から農作物の衝撃強さ評価に関する相談があった。それをきっかけに前章の 3.2.3 で説明した安価な衝撃試験機の開発をめざし、以前は図 2 に示す衝撃試験装置で実施されていた衝撃強さ試験を、図 6 に示す簡易型落下試験機で実施できるようにする方法を考案し特許の共同出願を行った。ここでは

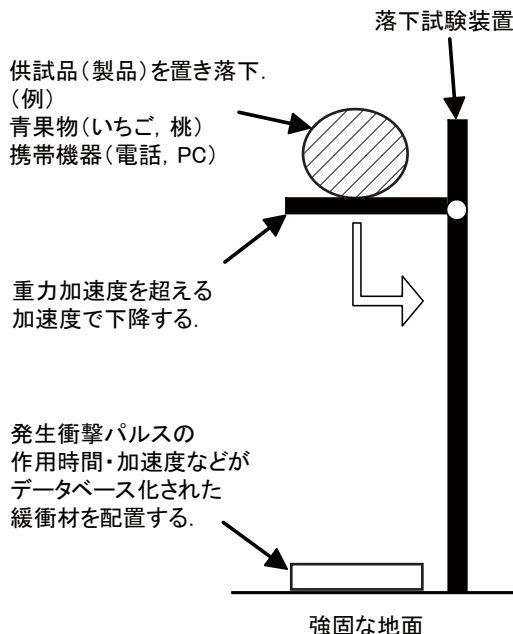


図6 落下試験機を用いた衝撃試験方法

考案した衝撃試験方法を紹介します。

5.1 試験装置の概要

試験装置は、図 6 に示すように落下試験装置と緩衝材(緩衝性能がデータベース化されているもの)で構成されている。従来の衝撃試験装置と比較して、安価となるだけでなく、曲面や角を有する製品の衝撃強さ評価に対しては、衝突部位の接触状態(点接触あるいは線接触)が現実のものに近づくため、精度上の優位性があると考えている。従来の衝撃試験装置では、曲面や角に合った治具が作製されるが、十分な剛性を有する治具でも、生じる衝撃力は実際の緩衝材を介した衝撃と異なり評価精度に影響を及ぼす。

5.2 試験手順

図7に示すフローに従って試験を実施する。①では、緩衝材に重錘を落下し発生する衝撃パルスを計測する。試験の精度を高めるため、角を有する重錘やさまざまな曲率半径の重錘についてもデータを取得しておき、②にてそのデータを整理しデータベース化する。③では対象となる製品(供試品)の落下試験を行う。そして、④では②で作成したデータベースから、供試品の重さや衝突部位の特徴(ex.角や曲率半径)に対応した緩衝材データを取り出し、発生する衝撃パルスの最大加速度および速度変化を推定する。最後に、⑤において供試品のDBCを導出し許容加速度および許容速度変化を決定する。

上記フローの①および②は、試験システムを提供する側で事前に実施しておき、ユーザーが実施するのは、③～⑤を実施するだけであり、④および⑤についても支援システムを提供し、簡易に試験結果が解析できるようにしておく。

5.3 今後の予定

本試験装置の有効性を確認するため、市販製品を用いた実証実験を計画している。今後、本装置を普及拡大するためには、装置の商品化が必要である。現在、本装置(システム)を広く普及していただける企業を探しているため、実用化に関心のある方は筆者(当研究所)までご連絡いただきたい。

6. おわりに

緩衝包装の適正化に役立てていただくことをめざし、「包装設計の6ステップ」「製品の衝撃強さ試験方法」「破損部位別 DBC 導出法」「落下試験機を用いた衝撃試験方法」などを紹介した。

過剰包装の適正化をめざした研究は、当研究所だけでなく、神戸大学齋藤勝彦教授研究室や、愛知県工業技術センター中川幸臣主任研究員らのグループなどでも実施されている。海外では、IAPRI(International Association of Packaging Research Institutes)という組織があり、多くの研究機関が所属し輸送包装に関する

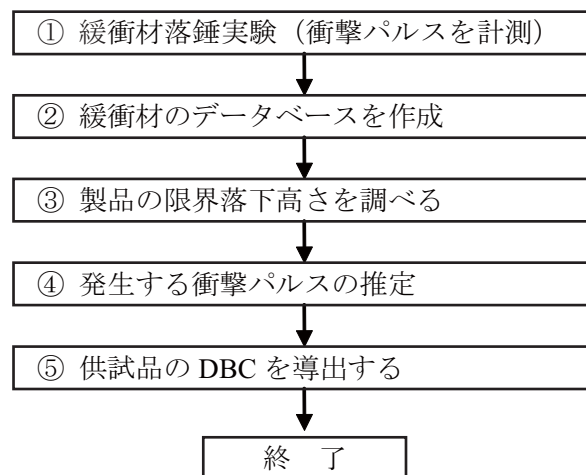


図7 落下試験機を用いた衝撃試験のフロー

活発な研究が行われている。少しでも多くの企業がこれらの研究成果を活かし、過剰包装が解消され、適正包装化が推進されることを期待している。

参考文献

- 1) Oestergaard, S. (1991) Packaging Goals in Transport Quality, 7th IAPRI World Conference on Packaging, Utrecht, the Netherlands
- 2) Ulrich Braunmiller, SRETS Final Report, 1.
- 3) 中嶋隆勝, 野上良亮, 寺岸義春, 高田利夫: 日本機械学会論文集, C-59 (1993) 624.
- 4) 中嶋隆勝, 齋藤勝彦, 久保雅義, 寺岸義春: 日本包装学会, 9 (2000) 33.
- 5) 中嶋隆勝, 津田和城, 川田浩二, 山内佳門: 日本包装学会, 16 (2007) 41.
- 6) 津田和城: 神戸大学博士論文 (2008) 1.
- 7) 細山 亮, 中嶋隆勝: 日本包装学会, 19 (2010) 113.
- 8) 中嶋隆勝: 神戸商船大学博士論文 (2003) 1.
- 9) 中嶋隆勝: 日本包装学会, 19 (2010) 17.
- 10) 大阪府, 全国農業協同組合連合会: 特開 2009-047596
- 11) Lansmont: URL <http://www.lansmont.com/sixstep/default.htm>
- 12) 齋藤勝彦, 長谷川淳英: 輸送包装の基礎と実務, 幸書房 (2008) 103.
- 13) 中川幸臣: 神戸大学博士論文 (2008) 1.
- 14) M. A. Garcia-Romeu-Martinez, M. A. Sek, V.A. Cloquell-Ballester: Packaging Technology and Science, 22(2009) 323.
- 15) Robert E. Newton: Fragility Assessment Theory and Test Procedure