

製品の衝撃強さと損傷境界曲線

キーワード：製品、衝撃強さ、損傷、包装、解析、段積み

背景

製品の衝撃強さを評価するために、ある衝撃パルスを製品に加えた結果、製品が破損するかどうかを確認する方法¹⁾²⁾が、これまで採用されてきました。しかし、この方法では、試験で入力した以外の衝撃パルスが製品に加わった場合、製品が破損するかどうかを予測することができません。それを可能にしたのが、損傷境界理論³⁾であり、その理論が導入された試験方法がASTM D 3332-93 及び JIS Z 0119-94 に規定されています。しかし、これらの試験方法にも問題はあります。

損傷境界理論は 1 自由度のバネ - 質量系を製品モデルとして考えられた理論であり、このモデルに当てはまらない製品をこれらの試験方法で正しく評価できる保証はありません⁴⁾。そのため、製品の破壊形態に応じた衝撃強さの評価方法を確立する必要があります。本シートでは試験方法の改良を提言します。

損傷境界曲線とは

入力する衝撃パルスの形状、大きさにはさまざまなものが考えられます。それらの特徴は、2つのパラメータ（加速度と速度変化）を用いて2次元のグラフで表すことができます。そのグラフ上の全領域を製品が破損する領域と破損しない領域に二分したとき、その境界を表す曲線が損傷境界曲線です。ここで、速度変化とは、衝撃パルスを加速度 - 時間グラフで表したときの面積に相当します。換言すると、衝突速度と反発速度の和がこれに相当します。そのため、落下衝撃の場合、落下高さが高いほど速度変化は大きくなります。

破損の原因

著者らのこれまでの研究で、製品が破損する原因を2つに大別し、それぞれの場合の衝撃強さについて解析を行いました。1つは製品に加わる衝撃荷重が原因となる製品の破損であり、

製品筐体の座屈などがこの例です。もう1つは製品の最弱部品に伝搬した加速度が原因となる破損であり、製品内部の故障などを引き起こします。製品が段積みされた状態で衝撃を受ける場合、これらの破損原因が損傷境界曲線に大きく影響することが解析の結果、明らかになりました。

衝撃応答解析⁴⁾⁵⁾

図1に示す3種類のモデルの衝撃応答について理論解析及び数値解析を行いました。Model-A 及び Model-2P は製品が2段積みされ、Model-4P は製品が4段積みされている状態を表しています。ばね定数 k は 423N/m とし、質量 m は 390g としました。表1は衝撃応答解析によって得られた結果であり、段積みされた製品が衝

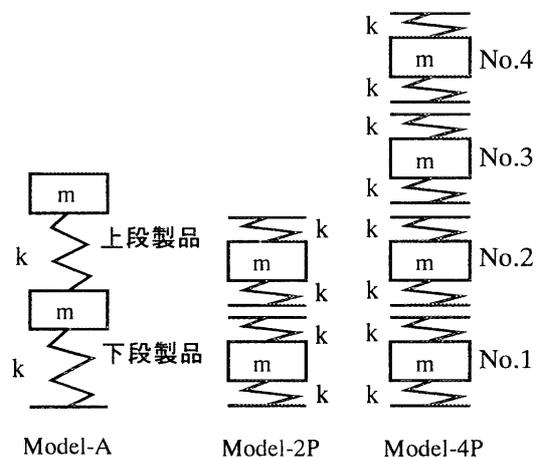


図1 製品のモデル

表1 破損する製品の位置

破損原因	衝撃荷重		加速度	
	方形波	正弦半波	方形波	正弦半波
Model-A (線形)	下段	下段	上段	上段
Model-2P (非線形)	下段	下段	-	上段
Model-4P (非線形)	最下段	最下段	-	最上段 (No. 4)

撃を受けたときに破損する位置を表しています。その位置は製品の破損原因によって大きく異なることが解析の結果わかりました。

考察

図3(a)のような応答波が方形波衝撃パルスによって発生する場合、その衝撃スペクトルは図3(b)のように階段状に単調増加する。衝撃パルスの加速度と作用時間の積が速度変化となることから、図3(b)の段差部分の時間変化は、損傷境界曲線では原点を通る傾きの変化に置き換えられる。そのため、損傷境界曲線は図3(c)の形状になります。

衝撃強さ試験方法に関する提言⁶⁾

・**速度変化の設定** 現在の試験方法では、「まず、許容速度変化 ΔV_c を求め(方法A) 次に、その1.57倍以上の速度変化で許容加速度 A_c を求める(方法B)」という手順(図2参照)で衝撃強さを求めます。この手順は、方法Bで衝撃パルスの速度変化が ΔV_c の1.57倍以上なら得られる A_c は同じであるという前提の上に成り立っています。しかし、衝撃応答解析の結果、 A_c は設定する速度変化によって変化することがわかりました。そこで、衝撃強さ試験を行う際、落下試験の落下高さ(JIS Z 0200)や輸送環境調査結果(各社独自の調査によるもの)に基づき速度変化を決定することを提言します。このように衝撃パルスの速度変化を具体的に設定することによって、損傷境界曲線が速度変化に対して単調減少する場合、製品の衝撃強さを十分に安全側に評価することが可能となります。

・**逆転現象による過大評価** 図3(c)中のxは衝撃試験を行ったときの製品の合否判定結

果を示しています。この試験では、ある加速度では製品は破損しないのに、それよりも低い加速度にすると製品が破損してしまうという逆転現象が現れております。図3(a)と類似した応答が、ABS製球の衝撃実験で確認できました。そのため、実際の衝撃強さ試験においてもこの逆転現象による許容加速度の過大評価がなされる可能性があります。そのため、十分に小さな加速度から試験を始め、加速度の増分を十分に小さくして試験を進めることを提言します。

<参考文献>

- 1)IEC 68-2-27 Basic environmental test- ing procedures Part 2 : Tests., Test Ea and guidance: Shock
- 2)JIS C 0041-95 環境試験方法 - 電気・電子 - 衝撃試験方法
- 3)Newton, R.E. MTS Systems Corp. Report 160.06, (1976)
- 4)Gary J.Burgess, Packaging Technology and Science, 1(1), 5-10 (1988)
- 5)中嶋、斎藤、久保、寺岸、日本包装学会誌、8(3), 123-134 (1999)
- 6)T.Nakajima, K.Saito, M.Kubo and Y. Teragishi, 11th IAPRI World Conference on Packaging, pp.638-648, Singapore, July.

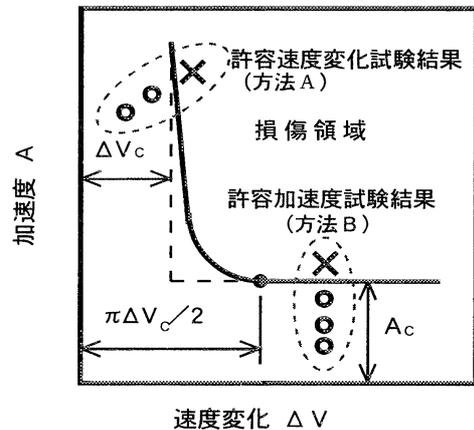


図2 損傷境界曲線と衝撃強さ試験方法

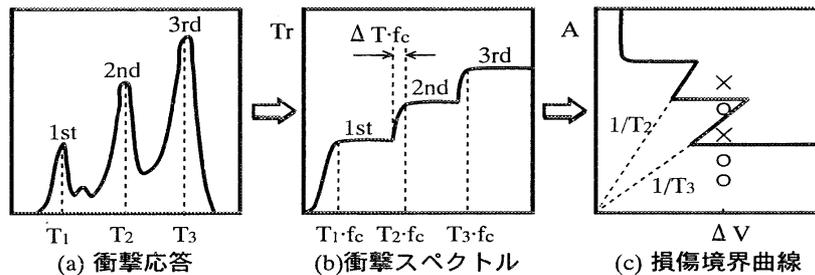


図3 衝撃応答における複数のピークと損傷境界曲線の関係