

衝撃解析技術の応用研究

－梱包物の落下衝撃解析－

機械システム課 清水孝晃 佐山利彦

1. 諸言

小型、精密化する家電製品において耐衝撃性の確保は重要になっており、その梱包方法が重要視されてきているが、衝撃という現象をとらえるには解析が有効な手法である。そこで、衝撃解析ソフト LS-DYNA を用い梱包物の衝撃緩衝効果を評価する手法を開発した。

代表的な梱包材料である段ボールは、異方性をもつ、変形に座屈を伴うことが多いといった性格を持ち解析を行うのは困難な材料であり解析事例は非常に少ない。

2. モデル化に関する検証

2-1. 概要

梱包物の落下衝撃解析を行うに当たり、解析モデルを作成するが、解析対象物は複数のパーツから構成されており、その物性も紙と金属など大きく異なり、かつ互いに接触している状態にあるのでモデルの作成には注意が必要であると考えられる。実際に、適当にシェルとソリッドを組み合わせたモデルで落下衝撃解析を行うと、ボディの貫通や初期状態での変形など好ましくない現象が現れる。そこで本実験では、簡単なモデルで衝突解析を行い、貫通、初期貫入を起こさないモデル構築、要素分割数と解析精度といったモデル構築の注意点を検証した。

2-2. 実験方法

2-2-1. 貫通に関する検証

剛体シェルに変形体シェルの初速度を与え衝突させる。検証事項の違いによりモデル及び境界条件をおのおの設定した。シェル厚さは 6mm でモデル上で高さ 10mm の位置より衝突させた。変形体の物性は段ボールの圧縮試験結果から、密度 88kg/m^3 、ヤング率 $E=90\text{MPa}$ 、降伏応力 0.5MPa で加工硬化の無い弾塑性体とした。

○接触判定による違い

剛体との位置関係が平行なものにおいて、接触判定方法をペナルティ法からコンストレイント法に変更したものと比較した。

○ヤング率による違い

変形体のヤング率を $E=9\text{MPa}$ 、 90MPa 、 900MPa 、 9000MPa と大きく変化させ、ヤング率の違いによ

るモデル作成の注意点を検証した。また、剛体とした場合において剛体に定義するヤング率を 9MPa 、 90MPa として検証した。

○相手形状による違い

剛体シェルの $E=900\text{MPa}$ の変形体シェル及び変形体ソリッドに変更し結果を比較した。

2-2-2. 初期貫入に関する検証

簡単なモデルにおいてシェル間のクリアランスを変えて初期貫入の有無を確認した。シェルの板厚以下のクリアランスの場合、シェルの平面においてのみ厚さを考慮した場合、シェルの平面およびエッジにおいて厚さを考慮した場合で確認した。

2-2-3. 要素分割数に関する検証

モデルを構成するボディにおいて最も変形が大きいと見込まれるボディにおいてその分割数を変えて上下方向の最大変位 Dz 、最大化速度 Az で結果を検証した。分割数は辺の長さの 2,10,33%とした。

2-3. 実験結果

2-3-1. 貫通に関する検証

○接触判定による違い

接触判定法をペナルティ法からコンストレイント法に変更することにより変形体の跳ね返りが表されなくなった。どうしても貫通が避けられない場合以外は、ペナルティ法を用いるべきである。

○ヤング率による違い

ヤング率を大きく変えても、接触判定がおかしくなったり、貫通が発生したり、計算が不安定になることは無かった。相手が剛体の場合ヤング率 9MPa とした場合貫通が発生した。剛体の場合定義する物性を変形体に近いものとする必要がある。

○相手形状による違い

接触相手を変形体にすることにより、接触がおかしくなったり計算が不安定になることは無かった。自分より 10 倍剛い相手であっても弾性変形が発生するため跳ね返りは小さくなる。また、相手がソリッドになった場合、曲げ変形に加え板厚方向の変形が発生するため跳ね返りは更に小さくなる。

2-3-2. 初期貫入に関する検証

シェルの面及びエッジにおいても厚さを考慮した場合、初期貫入は無くなった。

2-3-3. 要素分割数に関する検証

計算結果を Table 1 に示す。

Table1 Answer for element size.

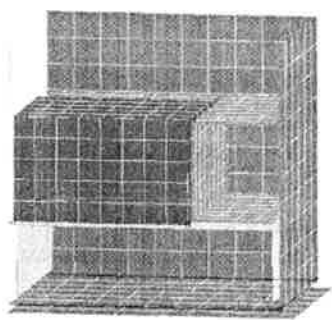
Element size(%)	Az(m/s ²)	Dz(× 10 ⁻³ mm)
2	280	-4.1
10	160	-5.1
33	170	-4.9

最大加速度および最大変位ともに結果自体のばらつきは大きい、分割数の変化に伴う傾向は認められない。モデル化にあたっては分割数による結果の違いに注意が必要である。

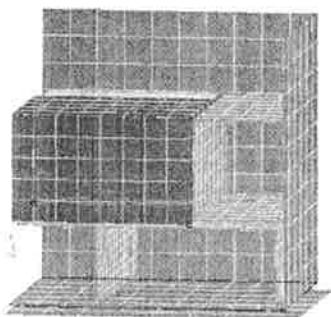
3. 解析による評価の試み

3-1. 概要

実際の梱包体をモデル化し、その結果を実験値と比較した。梱包体は形状の異なるものを 2 種、その一方において構成するパーツの方向を変えたものの 3 種を用意した。



(a) Model1,2.



(b) Model3.

Fig.1 Simulation models of a cardboard box.

3-2. 実験方法

解析を行ったモデルを Fig.1 に示す。Model1 は製品下の構造体が段ボールの波に垂直に折り曲げて構成され、Model2 は平行に折り曲げ構成してある。Model3 は 1,2 では製品下の構造体が 2 分割であるのに対し 3 分割としたものである。モデルは 1/4 対称モデルである。段ボールはシェル要素で定義し製品はソリッド要素とした。材料物性はヤング率 90MPa、降伏点 0.5MPa で加工硬化のない弾塑性体とした。なおこれは、段ボールの波に平行な方向の場合で、垂直な方向については降伏応力を 0.02MPa とした。要素は全て 1 次要素とした。接触判定はペナルティ法とした。計算により製品にかかる最大加速度を求めた。また梱包体では振動計により最大加速度を測定した。

3-3. 実験結果

Table2 に最大化速度の計算値および測定値を記す。

Table2 Acceleration obtained by analysis and measurement.
(m/s²)

Model	1	2	3
analysis	1500	360	2000
measurement	105	90	107

4. 結言

衝撃解析ソフト LS-DYNA を用い梱包物の衝撃解析を行う手法を開発するにあたり次の事項が導き出された。

- ・貫通を避けるために剛体の物性を接触する変形体に合わせればよい。
- ・初期貫入を避けるにはシェルの面方向とエッジ方向に厚さ分のクリアランスを設けてモデルを構築しなければいけない。
- ・要素の分割数によって結果が異なるので、要素の大きさをそろえる必要がある。
- ・現状では解析結果と実測値に大きな違いはあるが、モデルの違いによる結果の違いの傾向は合致しているので解析の導入は有効と考えられる。

キーワード：衝撃解析，段ボール，接触，貫通，シェル要素

Study of shock simulation at cardboard structure.

Takaaki SHIMIZU Toshihiko SAYAMA

The shock analysis cardboard structure has many difficulties, that the object consists of many bodies, the bodies contact each other, and the property is anisotropic and buckling. In this study, analysis models were investigated in some problems such as contact method, initial penetration or meshing. The analysis model was applied to an actual cardboard structure.