

# IT/MT分野におけるシミュレーション技術の適用に関する研究

## - 段ボール製品の強度解析技術に関する研究 -

川島 義隆 久富 茂樹 原田 匡人\*  
梅津 康義\* 松井 和己\*\* 手塚 明\*\*\*

### Research on the Application of Numerical Simulation in IT/MT field

#### -Structural analysis for corrugated fiberboard products-

Yoshitaka KAWASHIMA Shigeki KUDOMI Masahito HARADA\*  
Yasuyoshi UMEZU\* Kazumi MATSUI\*\* Akira TEZUKA\*\*\*

あらまし 段ボール箱の設計において、その重要な項目の1つとして圧縮強さが挙げられ、従来より、段ボール箱の圧縮強さを算定するための各種の計算式が提案されている。一方、包装設計現場では、圧縮強度値の推定のみならず、実際の変形等の解析に対するニーズも強い。本報告では、段ボールシートの強度試験及びそれらの強度特性を用いて、LS-DYNAによる段ボール箱の圧縮強さの静的解析を行ったので、これらを報告する。

キーワード 段ボール箱，強度解析，LS-DYNA

## 1. 緒言

工業製品等の輸送や保管に使われる包装材料には、段ボール箱が広く使用されている。段ボール箱の設計において、その重要な項目の1つとして、圧縮強さが挙げられる<sup>[1]</sup>。そのため、従来から段ボール箱の圧縮強さを算定するため、ケリカット式などの各種の計算式<sup>[1]</sup>が提案されている。一方、包装設計現場では、最大圧縮強度値の推定のみならず、段ボール箱の積層による変形や落下衝撃などの動的特性などに対するニーズも強い。そのため、近年では、有限要素法を用いた段ボールの圧縮強度特性解析<sup>[2,3]</sup>や落下解析<sup>[4]</sup>などが行われている。本報告では、段ボールシートの強度試験及びそれらの強度特性を用いて段ボール箱の圧縮強さの静的解析を行ったので、これらを報告する。

## 2. 段ボール箱圧縮強度特性の有限要素解析

### 2.1 段ボールの有限要素解析

段ボール製品は多数の段で構成されているため、段構造を詳細にモデル化した場合、大規模モデルとなる。そのため、本報告では、その大規模化を避けるため、中川ら<sup>[2,3]</sup>が行っているような段構造を詳細にモデル化せず、段ボ

ールシートを1枚の平板とみなし、箱圧縮の強度特性解析を行う。解析ソフトにはLS-DYNA<sup>[5]</sup>を用いる。

### 2.2 段ボールシートの強度特性

段ボールの材料特性を同定するため、段ボールシートの垂直圧縮強さ試験（JIS Z 0403-2、試験片：幅90mm、高さ60mm）及び3点曲げ強さ試験（試験片：長さ200mm、幅50mm、スパン150mm）を行った。試験速度は10mm/minとし、標準状態（JIS Z 8703、温度 $23 \pm 1$ 、湿度 $50 \pm 5\%$ ）で行った。

使用する段ボールは表ライナー（公称坪量170g/m<sup>2</sup>）、中芯（公称坪量120g/m<sup>2</sup>）及び裏ライナー（公称坪量170g/m<sup>2</sup>）で構成された外装用両面段ボール（A段、厚み5.35mm）を用いた。試験結果を図1～2、表1に示す。

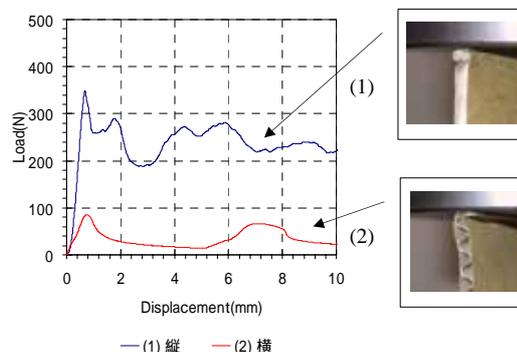


図1 段ボールシートの垂直圧縮強さ試験

\* 株式会社日本総合研究所

\*\* 横浜国立大学

\*\*\* 独立行政法人 産業技術総合研究所

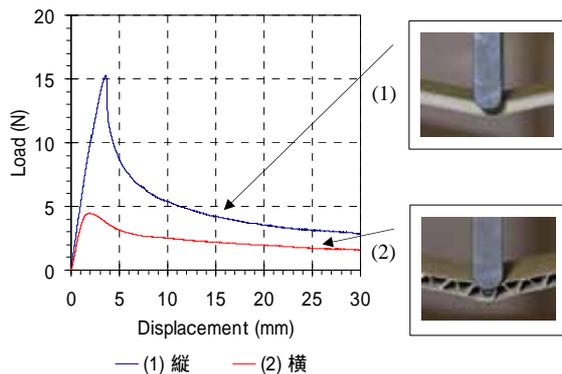


図2 段ボールシートの曲げ強さ試験

シートの圧縮及び曲げ強度特性から、それぞれの縦・横方向のヤング率を求め、それらを表1に示す。また、図1より、段ボールの圧縮強度特性の最大点以降は、ひずみの増加に対して最大荷重からの荷重増加はみられないことより、シートを完全弾塑性体<sup>[6]</sup>とみなす。そして、箱圧縮強さは、主にシートの曲げ強さが大きく寄与していることから降伏応力は曲げ強度特性の最大点を降伏点とみなし、その点を降伏応力とする。せん断弾性係数は、ポアソン比 0 を仮定し、Campbell<sup>[7]</sup>の式を用いた。

表1 段ボールの強度特性

段ボール	方向	最大強度(N)		ヤング率 (MPa)
		平均	標準偏差	
圧縮強度	縦	346.3	18.6	12.3
	横	79.2	9.8	7.0
曲げ強度	縦	14.7	0.8	466.5
	横	3.96	0.4	228.1

### 2.3 段ボール箱の圧縮強さ試験とその解析

対象とする段ボール箱は、0201形式、長さ 380mm、幅 300mm、高さ 234mm とする。試験方法は、包装貨物及び容器 - 圧縮試験方法 (JIS Z 0212, B 法) により行い、その結果、最大圧縮強さは平均 2919.8N、標準偏差 156.0N であった。

段ボール箱の有限要素モデルは、1/4 モデルとして対称境界条件を課し、剛体壁により上面からの圧縮及び下面の支持を行う。材料モデルは圧縮特性と曲げ特性を独立に扱える異方性弾塑性モデルを用いる。なお、メッシュは高さに対して水平方向に 0.1% の初期たわみ<sup>[8]</sup>を与えている。

図3に試験及び解析結果を示す。解析と実験の変形モードはよく一致しているといえる。また、変位 - 荷重特性は解析においては、座屈後の反力が実験のそれと比べると大きい傾向を示しているが、最大圧縮強さは概ね近い値を示している。しかしながら、その変位量に関して解析のそれは実験のそれと比べると小さい傾向を示している。

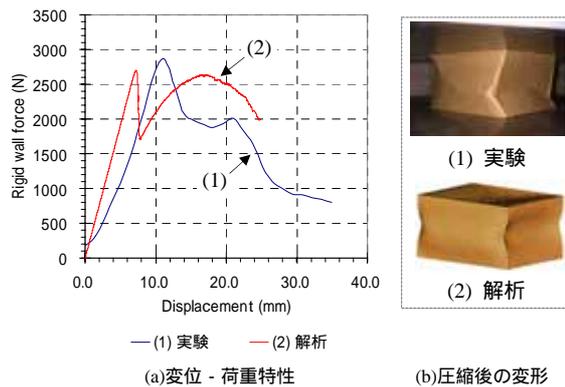


図3 段ボール箱の圧縮強さ試験とその解析

### 3. まとめ

段ボールシートの圧縮及び曲げ強度特性の実験値を用いたモデル化により、段ボール箱の圧縮強度特性解析を行った。その結果、解析と実験の反力傾向や変形モードを比較すると両者は概ね近い傾向を示した。今後は、シートの種類や形状等の異なった箱への適用を行い、その精度等を検討する必要がある。一方、シートは原紙の種類や段の種類などによりその種類は多岐に渡るため、今回の段ボールシートの実験値を用いたモデル化は多くの実験値を必要とする。従って、今後は均質化法<sup>[9]</sup>等を用いたマルチスケール解析手法の検討が必要と思われる。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、段ボール関連資材を提供して頂いた協和ダンボール(株)の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

### 文献

[1]五十嵐清一, “2001年度版 段ボール包装技術入門”, (株)日報, pp116-146, 2000.  
 [2]中川幸臣, 丹羽一邦, 筒井喜平, “段ボールの強度解析シミュレーション”, 包装技術, 41-3, pp217-220, 2003.  
 [3]丹羽一邦, “ダンボール衝撃解析のための実験とシミュレーション方法”, LS-DYNA Users Conference 2001 講演論文集, pp.17-2-15-9, 2001.  
 [4]前沢ら, “家電包装の非線形落下衝撃解析 (有限要素法の活用)”, 包装技術, 40-2, pp.195-198, 2002.  
 [5]Livermore Software Technology Corporation, <http://www.lstc.com>  
 [6]鷲津ら, “有限要素法ハンドブック 応用編”, 培風館, pp174-176, 1983.  
 [7]Campbell, J. G., “The in-plane elastic constants of paper”, Australian J. Appl. Sci., 12-3, pp356-357, 1961.  
 [8]池田ら, “構造系の座屈と分岐”, コロナ社, pp103-108, 2001.  
 [9]寺田ら, “均質化法入門”, 丸善, 2003.