

## 立体紙製品の構造解析に関する研究(第4報)

川島 義隆      横山 貴広      岩田 靖三      野口 哲司\*  
 原田 匡人\*      梅津 康義\*      松井 和己\*\*      手塚 明\*\*\*

### Research on Structural Analysis of Paper Ware (IV)

Yoshitaka KAWASHIMA      Takahiro YOKOYAMA      Seizo IWATA      Tetsuji NOGUCHI\*  
 Masahito HARADA\*      Yasuyoshi UMEZU\*      Kazumi MATSUI\*\*      Akira TEZUKA\*\*\*

あらまし 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が、近年、工業製品の精密化や輸送コストの面から、段ボール箱の耐荷重特性や積層による変形・座屈等に対する有限要素法等を使った強度解析の要望が強くなっている。従って、本報告では、段ボール箱の圧縮強度特性に関する検討を目的として、箱圧縮強度計算式の適用と実験との比較、また、有限要素解析・段ボール関連実験による箱圧縮挙動の解析を行い、その検討を行ったのでこれらを報告する。

キーワード 段ボール箱, 構造解析, 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発泡スチロールなどのプラスチック製品が多く使用されてきたが、近年、リサイクルコストが安く、生分解性である紙製品への代替が増加している。紙系の包装材料として代表的なものは段ボールが挙げられ、従来から容器(箱)として広く一般的に使用されている。また、最近の傾向としては、電気製品や工業部品などの精密機械を包装するための緩衝材として使用も多くなっている。近年、包装される製品の精密化や包装コストの削減のため、包装材料の正確な強度設計(緩衝設計)が必要とされている。段ボール箱の箱圧縮強度に関しては、従来から様々な検討<sup>[1]</sup>がなされてきた。しかしながら、段ボール箱の耐荷重特性や積層による変形などの解析は十分になされておらず、それらに対する包装設計現場からのニーズも強い。一方、緩衝材の設計は、落下衝撃試験等による動的試験の評価による方法が一般的になりつつあり、そのため、多数の試験と試行錯誤が伴い、非効率さを招いているのが現状である。

以上のような問題に対処するためには、段ボール製品の有限要素解析を行うことは有用であると考えられ、そのためには原紙の材料特性、構造特性(段構造、箱構造)の解明が必要となってくる。また、段ボール製品は多数の段で構成されているため、その力学モデルの作成が非常に煩雑

になることやモデルの大規模化による解析時間の増加という問題も生じる。

そこで、我々は、モデル作成における煩雑さを回避する方法として、段ボール製品は多数の段構造で構成された複合的構造物であり、その段の周期性に着目し、均質化法<sup>[2,3]</sup>を用いて静的弾性解析を行うことを提案<sup>[4]</sup>している。大規模解析における計算コストの削減の対策として、「離散化数値解法のための並列計算プラットフォーム」(Parallel Computing Platform/PCP)<sup>[5]</sup>を用いた並列計算手法による均質化法解析の検討<sup>[6]</sup>も行った。また、包装材料の強度設計では、静荷重に対する強度解析のみならず、落下衝撃解析などの動的解析が必要となってくる。実用的に構造解析を行うためには、多機能性や利便性等を考慮して、一般的に使用されている商用ソフトを利用するのがよい。そこで、我々は自動車などの衝突解析分野で一般的に使用されている商用構造解析ソフト LS-DYNA<sup>[7,8]</sup>を用い、線形均質化法による解析手法に関する検討<sup>[9]</sup>を行った。

一方、段ボール製品の構造解析を行うためには、材料特性、構造特性に関する知見が必要となる。そのため、我々は、段ボール原紙及び段構造の圧縮特性に関して基礎的な検討<sup>[10]</sup>を行ってきた。さらに、本報告では段ボール箱の構造特性、特に圧縮強度特性に着目し検討を行う。2章においては、従来から使用されている段ボール箱の圧縮強度計算式を用いて、箱圧縮強さについての検討、3章ではLS-DYNAによる有限要素解析を行い、段ボール箱の圧縮挙動の観察及びその圧縮強度要因の検討を行ったので、これらを報告する。

\* 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

## 2. 段ボール箱の圧縮強さに関する検討

### 2.1 段ボール箱の圧縮強度計算式

段ボール箱の形式<sup>[11]</sup>には、たくさんの種類があるが、外装用段ボール箱としてもっとも一般的<sup>[12]</sup>である 0201 形式の箱圧縮強度について検討を行う。段ボール箱の設計において、一番重要な要因はその圧縮強度であり、従来からその強度を算定するため、ケリカット式、マッキー式、ウルフ式等の計算式<sup>[13]</sup>が使われてきた。いずれの式も、段ボールの物性値と段の種類、箱の寸法から得られる定数により計算される。計算式に用いられる段ボールの物性値は、ケリカット式は原紙の圧縮強さ（リングクラッシュ強さ）試験、マッキー式、ウルフ式は段ボールの垂直圧縮強さ試験（TAPPI 法）の測定値を用いている。

そこで、本章では、ケリカット式の強度計算式を用い、段ボール箱の圧縮強度を計算し、段ボール箱の強度に関する検討を行う。また、マッキー式、ウルフ式は両者とも TAPPI 法の垂直圧縮強さ試験の測定値を用いるが、ここでは JIS 法により測定した値を用い、その比較を行う。

求める段ボール箱の圧縮強さを  $P$  (lb)とすれば、次の式により箱圧縮強度値を計算できる。なお、文献<sup>[13]</sup>では、使用されている単位はポンド (lb)、インチ (in) であり、本報でもそのまま引用する。

・ケリカット式

$$P = P_x \left[ \frac{(\alpha x_2)^2}{\left(\frac{Z}{4}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} JZ$$

・マッキー式

$$P = 5.874 \cdot P_m \cdot Z^{0.492} \cdot h^{0.508}$$

・ウルフ式

$$P = \frac{5.2426 \cdot \sqrt{h} \cdot P_m \cdot \sqrt{Z} \cdot (0.3228 \cdot A - 0.1217 \cdot A^2 + 1)}{D^{0.041}}$$

ここで、

$P_x$  : (表ライナー +  $\alpha$  × 中芯 + 裏ライナー) の  
リングクラッシュ強さ (lb/in)

$P_m$  : 段ボールの垂直圧縮強さ (lb/in)

$\alpha$  : 中芯の段繰率 (in)

$\alpha_2$  : フルート常数

$h$  : 段ボールの厚さ (in)

$J$  : 箱の常数

$Z$  : 箱の周辺長 (in)

$A$  : 箱の縦・横比

$D$  : 箱の高さ (in)

### 2.2 段ボール関連試験

段ボールは図1に示すように、ライナー及び中芯と呼ばれる原紙で構成され、中芯を波形に成形し、その片側

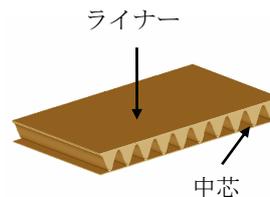


図1 両面段ボール

または両側にライナーを張り合わせることで、段ボールの段構造が作られる。

試験に使用する段ボールは表ライナー（公称坪量170 g/m<sup>2</sup>）、中芯（公称坪量120 g/m<sup>2</sup>）及び裏ライナー（公称坪量170 g/m<sup>2</sup>）で構成された外装用両面段ボール（A段、協和ダンボール（株））である。試験速度は10mm/minとし、試験機はオートグラフ（株）島津製作所AG-20kNIを用い、標準状態（JIS Z 8703、温度23±1℃、湿度50±5%）で行った。

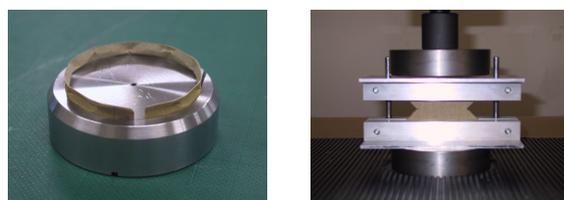
2.1節で記した計算式を適用するに当たり、段ボール原紙の圧縮強さ試験、段ボール垂直圧縮試験（JIS Z 0403-2、A法）、段ボール箱の圧縮強さ試験を行ったので、それらの結果を報告する。

#### 2.2.1 段ボール原紙の圧縮強さ試験

試験は原紙の圧縮強さ試験（リングクラッシュ試験、JIS P 8126、図 2(a)）により行い、原紙の圧縮試験は、短冊状に切断した原紙を円形に設置し、その上端部より圧縮を行う。その短冊状の試験片は長さ 152.4mm、高さ 12.7mm とした。測定した原紙、それぞれの最大圧縮強さを表1に示す。

表1 段ボール原紙の最大圧縮強さ

原紙	方向	最大圧縮強さ(N)	
		平均	標準偏差
表ライナー	縦	392.9	28.6
	横	274.6	16.1
中芯	縦	134.2	17.9
	横	122.8	10.0
裏ライナー	縦	330.6	12.3
	横	258.9	9.7



(a) 段ボール原紙(JIS P 8126) (b) 段ボール(JIS Z 0403-2)

図2 段ボール原紙と段ボールの圧縮強さ試験

#### 2.2.2 段ボールの垂直圧縮強さ試験

段ボールの縦方向（段に平行な方向）の強さを測定する試験である。試験方法は段ボール垂直圧縮試験（JIS Z

0403-2, A 法, 図 2(b)) に基づいて行った. その結果, 最大圧縮強さは平均 253.2N(5.06kN/m), 標準偏差 17.2N であった.

### 2. 2. 3 段ボール箱の圧縮強さ試験

#### (1) 試験方法

試験に使用する段ボール箱は 0201 形式, 長さ 380mm, 幅 300mm, 高さ 234mm とし, 試験方法は, 包装貨物及び容器—圧縮試験方法 (JIS Z 0212, B 法) に基づき, 計 6 回の

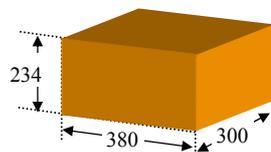
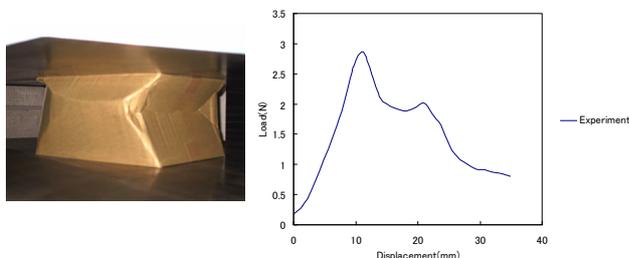


図3 段ボール箱の仕様

試験を行った. 対象とする段ボール箱の仕様を図 3 に示す.

#### (2) 試験結果

段ボール箱の最大圧縮強さは平均 2919.8N, 標準偏差 156.0N であった. 段ボール箱の座屈の様子を図 4(a)に, 代表的な変位—荷重特性を図 4(b)に示す.



(a) 変形の様子 (b) 変位—荷重特性

図4 段ボール箱の圧縮強さ特性

### 2. 3 圧縮強度計算式の適用の結果及び考察

2.2 節に記した各試験の測定値及び 2.1 節で記した 3 つの式を用いて, 段ボール箱圧縮強度の計算を行い, その結果を表 2 に示す. ケリカット式の計算式は, 実験値に近い値を示している. 一方, 他の 2 式の値は実験値のそれより 400~500N 程低い値を示す. これは, 今回計算時に必要な段ボール物性値として, JIS 法の垂直圧縮強さ試験の測定値を用いたが, 本来は TAPPI 法による測定値を用いる必要があるためである. 文献<sup>[13]</sup>によれば, TAPPI 法は JIS 法の測定値に比べ, 420~980N/m 程度高い傾向を示すことより, マッキー式は 2628.5~2896.9N, ウルフ式は 2717.1~2994.6N の値を持つことが想定され, 表 2 のマッキー式, ウルフ式が若干低い値を持つことは概ね妥当と考えられる.

表2 段ボール箱の圧縮強度の比較

圧縮強さ 計算式	ケリカット式	2790.7
	マッキー式	2427.2
	ウルフ式	2509.0
実験		2920.0 (平均) 156.1 (標準偏差)

## 3 段ボール箱の圧縮強度要因の検討

### 3. 1 解析手法

ケリカット式は原紙の圧縮強さ, 中芯の段繰率, 箱の幾何学的形状, 及び定数を用いる計算式となっている. すなわち, 原紙の強さと段の種類と及び箱の大きさにより圧縮強さを求めていることになる. そのため, 段ボール箱の有限要素解析を行うためには, 3 種の原紙の剛性とそれらで構成される段のメッシュを作成, 箱全体の有限要素モデルを作成し, 解析することが考えられる. しかしながら, ここでは, モデルの大規模化を避けるため, 段ボール箱を一層シェル要素でモデル化を行い, 箱圧縮時の挙動解析を行い, その要因の検討を行う. 解析ソフトは LS-DYNA を使用する.

### 3. 2 有限要素解析による箱の圧縮特性に関する検討

#### 3. 2. 1 解析方法

段ボールの材料定数として, 段ボール垂直圧縮試験 (60mm×90mm の矩形試験片) により, 縦・横方向のそれぞれの変位—荷重特性を測定し, 段ボール断面を矩形断面とみなし, 公称応力・ひずみ曲線より, ヤング率の同定を行った. また, ポアソン比を 0 とする. 有限要素モデルを表 3, 図 5 に示す. また, モデルをより簡略化するため, 上下のフラップのモデル化は行わず, 図 5 のモデルに, 上下の周辺固定条件及び下辺に変位固定条件を与えることにより, 解析を行う. そして, 箱圧縮時の応力分布により, 箱圧縮時の挙動を解析する.

表3 段ボール箱の有限要素モデル

節点数	12,784
要素数	12,512
要素 タイプ	4 節点Shell
材料 モデル	直交異方性 弾性体
境界 条件	強制変位 (上辺)
	周辺固定 (上辺)
	変位固定 (下辺)

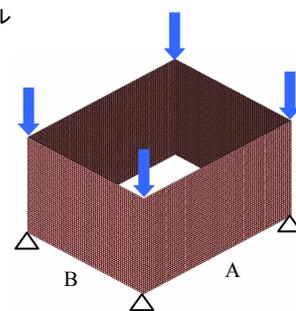


図5 段ボール箱の有限要素モデル

#### 3. 2. 2 解析結果

シェル要素表面上の第 3 主応力と主応力方向の分布図を図 6~8 (左: 主応力, 右: 方向), 下辺の反力を図 9 に示す. これらの図より, 箱圧縮の挙動を観察すると, 最初, 図 6 のように段ボールの側板 4 枚に荷重がかかっているが, その後, 2 種類の側板の内, 平板座屈荷重のより小さい方の板(A)の座屈<sup>[14]</sup>が生じる (図 9(1)). そして, 次に, 他方の側板(B)の座屈が生じることにより, 段ボール箱の 4 つのコーナー部でその荷重を支える状態になる. (図 8, 図 9(3)). そして, その後, このコーナー部の座屈・曲げが生じることにより, 図 4(b)で示されるような段ボール箱の圧壊が生

じることになる。よって、段ボール箱の最大圧縮強度は、この4つのコーナー部の圧縮による座屈や曲げ特性が大きな要因になると考えられる。

また、段ボール箱は正方形でない限り、2種類、各2枚の計4枚の側板で構成される。図6から8へ移行する現象は、平板の面内圧縮を行った場合、平板座屈荷重の小さい方の平板の座屈が箱の座屈の起点<sup>[14]</sup>となることがわかる。そして、段ボール箱圧縮時の挙動をまとめると、①全周長に相当する部分の圧縮、②弱い方の平板による座屈、③他方の平板による座屈、④コーナー部の圧縮、座屈、曲げを経ることになる。

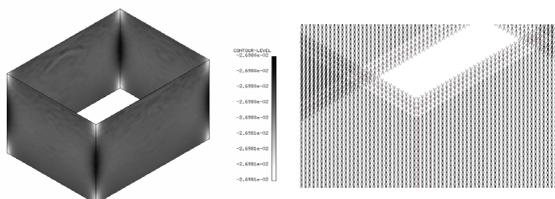


図6 箱圧縮時の応力分布図(1)  
(変位：0.083mm, 応力：-2.6980e-02~-2.6981e-02Mpa)

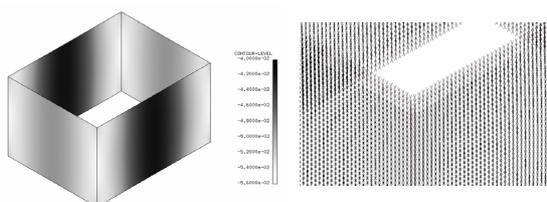


図7 箱圧縮時の応力分布図(2)  
(変位：0.167mm, 応力：-4.0000e-02 ~-5.6000e-02Mpa)

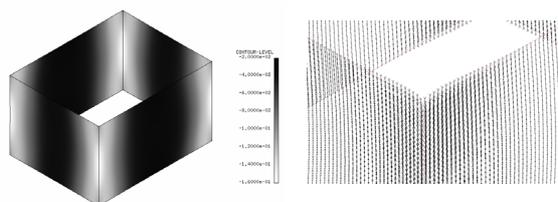


図8 箱圧縮時の応力分布図(3)  
(変位：0.417mm, 応力：-2.00e-02 ~ -1.60e-01Mpa)

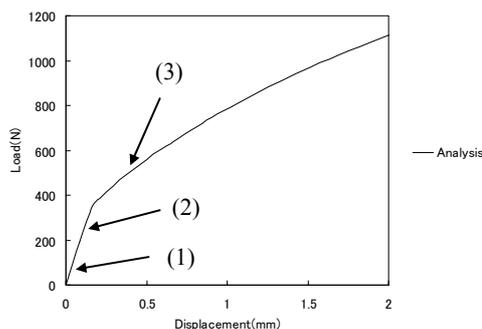


図9 段ボール箱圧縮時の下辺の反力

### 3. 3 箱のコーナー部の強度特性

#### 3. 3. 1 コーナー部の強度要因の検討

3.2節より、段ボール箱の圧縮強度は箱のコーナー部の強度に大きく影響を受けることがわかった。そのため、コーナー部の強度に関するより詳しい検討を行うため、試験により、その圧縮強度と曲げ強度の評価を行う。

段ボール箱のコーナー部は、罫線と呼ばれる折り曲げ線を入れることにより作成される。そのため、コーナー部の強度の評価を行うため、試験は平板形状の段ボール試験片とコーナー部に相当する折り形状試験片の両者の試験を行い、それらの強度特性の比較を行うことにする。

#### 3. 3. 2 コーナー部の垂直圧縮強さ試験

##### (1) 試験方法

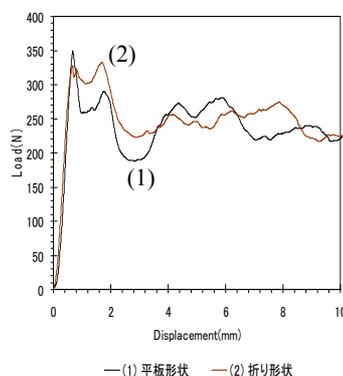
試験片は平板形状（高さ 60mm, 幅 90mm）と折り形状（高さ 60mm, 片幅 45mm, 図 10(b))の2種類を使用する。折り試験片は平板試験片の幅方向における中央部 45mm の位置で折り、その角度 (90°) をセロハンテープで保持することにより作成する。試験回数は平板試験片 10 回, 折り試験片 15 回とし、圧縮速度は2章での試験と同様である。

##### (2) 試験結果

2種の試験片の垂直圧縮強さの最大値を表4、変位-荷重特性、折り試験片の変形の様子をそれぞれ図10(a), (c)に示す。最大圧縮強さの個々のデータは両者において等分散性が認められ、有意水準5%で平均に差があるとはいえないことがわかった。また、図10(a)より通常の平板の圧縮特性とほとんど変わらない。従って、平板試験片と折り試験片の垂直圧縮強さは両者において差がないことがわかる。

表4 段ボールの垂直圧縮強さの最大値

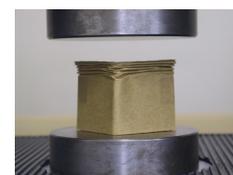
	平均(N)	標準偏差(N)
平板形状	346.3	18.6
折り形状	335.8	19.4



(a) 変位-荷重特性



(b) 折り形状試験片



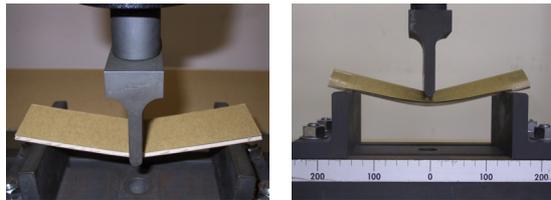
(c) 変形の様子

図10 段ボールの垂直圧縮強さ試験

### 3. 3. 3 コーナー部の曲げ強さ試験

#### (1) 試験方法

段ボールの平板試験片と折り試験片の3点曲げ強さ試験(図11)を行う。平板試験片の大きさは長さ200mm、幅50mmで、スパン150mmとし、スパン中央部への集中荷重により試験を行う。折り試験片の大きさは長さ200mm、幅50mm(スパン150mm)で、折りは幅方向の中央部25mmの位置する。また、折り試験片の角度(90°)を保持するため、試験片の両端をセロハンテープで保持を行う。



(a) 平板試験片 (b) 折り試験片

図11 段ボールの曲げ強さ試験

#### (2) 試験結果

2種の試験片の曲げ強さ試験における最大値を表5、たわみ-荷重特性を図12に示す。最大圧縮強さの個々のデータは両者において等分散性が認められ、有意水準5%で平均に差がないとはいえないことがわかった。

折り試験片の最大曲げ荷重は平板のそれに比べ、2.1倍の大きさを持つことがわかる。また、折り試験片の座屈後もその曲げ強さが急激に失われることはないことがわかる。

表5 段ボールの曲げ強さの最大値(最大荷重値)

	平均(N)	標準偏差(N)
平板形状	14.7	0.8
折り形状	30.7	1.2

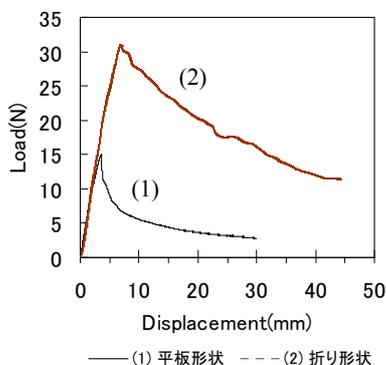


図12 段ボール曲げ試験のたわみ-荷重特性

2種の試験片のそれぞれの断面形状を、図13のように、密な矩形形状を持つものと想定し、両者の最大曲げ応力の

比較を行う。本試験の場合、 $a=90\text{mm}$ 、 $h=5.35\text{mm}$ であるので、Type1とType2の断面二次モーメントはそれぞれ638.0、5716.5となる。そして、Type1の最大曲げ応力を1とすると、Type2のそれは2.14となる。この比例関係は段ボール断面にも適用できることを考慮すると、表5、図12の最大曲げ荷重の相違が説明できる。すなわち、段ボール箱のコーナー部の曲げ強さは平板曲げ強さと比較して、断面二次モーメントの差異であるといえる。

従って、平板形状と折り形状の曲げ強度を比較すると、形状的な強度の差は見られる(折ることによる強度の向上)が、材料的(紙)に強度の変化の影響は見られないといえる。よって、この折り形状の曲げ強さが平板形状に比べ、段ボール箱の強度に寄与しているといえる。

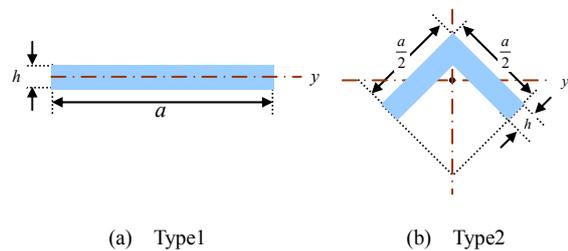


図13 断面形状

### 3. 4 段ボール曲げ試験の解析

箱圧縮強度はコーナー部の曲げ強さが大きく影響を与えていることが考えられるが、前項より、折りの幾何学的な形状を除けば、平板の曲げ強さと同じであるといえる。また、2章において、箱圧縮強度計算はある程度の精度で推定できることを確認した。しかしながら、段ボール箱の応力解析・衝撃解析等を行うためには、有限要素解析が必要となってくる。そのため、本項では、原紙の圧縮試験から材料定数(ヤング率)を同定し、平板形状の段ボールを詳細にモデル化して、曲げ特性の解析を試みる。

表6 段ボール原紙のヤング

原紙	方向	ヤング率(MPa)
表ライナー	縦	1737.1
	横	989.6
中芯	縦	1047.5
	横	679.4
裏ライナー	縦	1601.6
	横	905.4

#### 3. 4. 1 解析方法

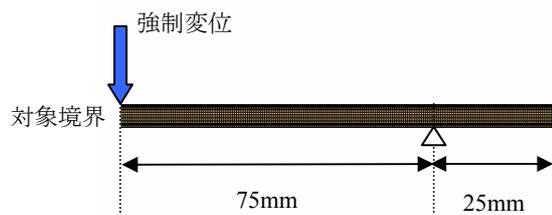


図14 段ボールの曲げ特性解析モデル

原紙の圧縮特性曲線において、最大圧縮応力点までの立ち上がりの部分をヤング率とみなし、材料定数を同定した。原紙3種類のそれぞれの縦方向、横方向のヤング率の平均を表6に示す。

また、曲げ解析モデルは1/2モデル（節点数17,655、要素数17,280）とし、要素は4節点Shell要素、材料モデルは直行異方性弾性体とする。また、境界条件を図14に示す。

### 3. 4. 2 解析結果

解析モデルの支点における節点反力を3. 3. 3で示した平板曲げ試験の変位-荷重曲線とともに図15に示す。解析の最大曲げ荷重は実験値のそれに比べ、変位2.1mmの時、実験10.33Nに対し、解析6.29Nである。従って、解析では実験の60%程度の反力しか出ていないことになり、実験値に比べ低い結果となった。原因として考えられるのは、解析では、原紙の剛性を圧縮特性から同定したが、原紙の曲げ剛性とは相違がある可能性がある。また、中芯とライナーの接着部が他の部分に比べ、剛性が高い可能性がある。そのため、反力の違いに影響を与えているかもしれない。

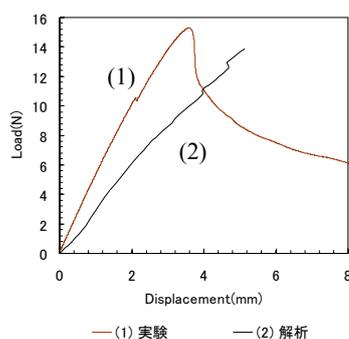


図15 段ボールの曲げ強さにおける変位-荷重特性

## 4. まとめ

段ボール箱の圧縮強度特性に関する検討を目的として、段ボール関連実験及び箱圧縮強度計算式の適用を行った結果、それらの式による強度値は実験のそれをかなり近い値で推定可能であることを確認した。また、段ボール箱の圧縮時の挙動解析を行った結果、その挙動は、最初、箱全体に圧縮荷重がかかるが、平板座屈荷重の小さい方の側板の座屈が起点となり、最終的には4つのコーナー部に荷重が集中し、その後、それらの圧縮・座屈により箱の圧壊に至る。従って、箱圧縮強さの要因は、このコーナー部の圧縮・曲げ強さが大きく影響を与えていることがわかった。

箱圧縮強度計算式に用いられる段ボール物性値としては、原紙の圧縮強さ、または段ボールの垂直圧縮強さであり、それらに計算式に必要な段ボール箱の形状データを用いることにより、箱圧縮強度を計算している。これは、箱の有限要素解析においても、これらの情報でその強度予測が可能であることを示唆するが、しかしながら、平板曲げの有限要素解析の結果より、実験値よりかなり低い曲げ荷重が

得られ、原紙の曲げ剛性や段ボールの接着部の剛性に関する検討も行う必要があることがわかった。

今後は、段ボール製品の構造解析におけるその精度の向上、また、その解析手法として、原紙の塑性や段ボールの座屈などの非線形性を考慮したLS-DYNAによる非線形均質化法解析の開発が必要と思われる。

## 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，“新版段ボール製造・包装技術 実務編”，日報出版，2002.
- [2]Gudes, J. M., Kikuchi, N., “Preprocessing and postprocessing for materials based on the homogenization method with adaptive finite element methods”, Comput. Methods Appl. Mech. Eng., pp.143-198, 1990.
- [3]寺田ら，“均質化法入門”，丸善，2003
- [4]川島ら，“立体紙製品の構造解析に関する研究”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告 No.2, pp29-34, 2000.
- [5]独立行政法人 産業技術総合研究所，<http://www.aist.go.jp/infobase/pcp/platform/index.html>
- [6]川島，“Parallel Computing Platform/PCPの均質化有限要素解析への適用事例”，第1回「離散化数値解法のための並列計算プラットフォーム」（Parallel Computing Platform/PCP）ユーザー会.
- [7]Livermore Software Technology Corporation, <http://www.lstc.com>
- [8]（株）日本総合研究所 エンジニアリング事業本部，<http://www.jri.co.jp/pro-eng/struct/index.html>
- [9]川島ら，“立体紙製品の構造解析に関する研究（第3報）”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告 No.4, pp79-82, 2002.
- [10]川島ら，“段ボールの構造解析に関する研究－基礎的実験及びその解析－”，日本機械学会関西支部第77期定時総会講演会講演論文集 No.024-1，pp3-45-46, 2002.
- [11]JIS Z 1507 段ボール箱の形式.
- [12]山口誠，“包装設計の基礎知識”，（社）日本包装技術協会，pp109, 1998.
- [13]五十嵐清一，“新版段ボール製造・包装技術 実務編”，日報出版，2002.
- [14]吉田ら，環境海洋技術官ネットワーク技術情報 Q&A 掲示板（現在，参照ページは閉鎖中）  
<http://www.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/member/tecnet/>