

ダンボールの強度と構造材としての利用

日大生産工(院) ○屋良 朝哉
日大生産工 星野 和義 日大生産工 中川 一人

1 緒言

紙系の材料は、書物や包装など多く目的で使われている。その理由として、安価・加工性・軽量・高強度の他に、リサイクルコストが安く、生分解性であるなど資源循環面において有用であるなどが考えられる。なかでもダンボールは、容器として広く使用されており、現在では玩具や家具・照明など、包装材だけでなく構造材としても利用されている。しかしながらダンボールは荷重特性の解析が十分ではなく、今後ダンボールを構造材として利用するために必要となることが予想される。

そこで今回はダンボールが周期性をもった複合的構造物であることに着目し、線形均質化法を用いて静的弾性解析を行った。特に、ダンボールの圧縮強度に着目し検討を行った。また、強化ダンボールでは異なる傾向を示す可能性があるため、強化ダンボール(milca, ENTER PAPER社製)でも同様の検討を行った。

2 試験方法

試験は油圧サーボ試験機（インストロン社製:8800）を用いた。試験速度10mm/sとし、試験温度23℃で行った。

試験に用いたダンボールを以下に示す。

A:厚さ3mm(Box Bank社製)

B:厚さ3mm強化ダンボール(milca, ENTER PAPER社製)

なお、表中はA,Bの記号で示す。

2. 1 垂直圧縮試験

JIS Z 0403-2に基づいて垂直圧縮強さの試験を行った。試験片形状をFig.1に示す。また、Fig.2に試験片支持具を示す。座屈を防ぐことを目的として、支持具は試験片の上下10mmずつ挟み込んだ。

2. 2 ダンボール箱の圧縮試験

ダンボール箱の形式は一般的な0201型(JIS Z 1507)とし、サイズは L:100 W:150 H:100(mm)とした。

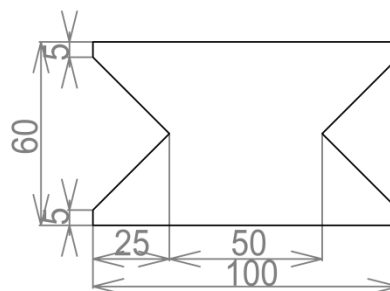


Fig.1 試験片の形状

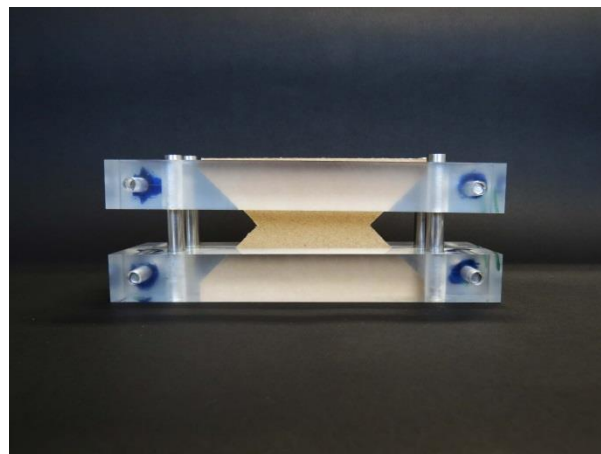


Fig.2 試験片支持具

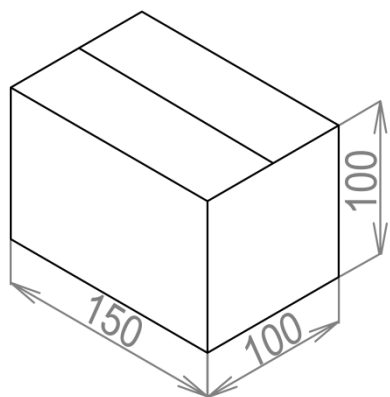


Fig.3 ダンボール箱の形状

Use as Structural Material and the Strength of Corrugated Fibreboard

Tomochika YARA, Kazuyoshi HOSHINO, Kazuto NAKAGAWA

2. 3 ダンボール箱の圧縮強度計算

ダンボールの垂直圧縮試験結果よりダンボール箱の圧縮強度を計算した。なお、計算方法としてマッキー式及びウルフ式を用いた。マッキー式及びウルフ式を以下に示す。

$$\text{マッキー式} \quad P = 5.874 \cdot P_m \cdot Z^{0.492} \cdot h^{0.508}$$

ウルフ式

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

P_m :ダンボールの垂直圧縮強さ(lb/in)

h :ダンボールの厚さ(in)

Z :箱の周辺長(in)

A :箱の縦横比

D :箱の高さ(in)

P :ダンボール箱の圧縮強さ(lb/in)

なお、マッキー式とウルフ式ではTAPPI法の垂直圧縮試験結果を用いるが、今回JIS法による試験結果を用いその比較も行った。

2. 4 強度解析

ダンボール強度解析を行うためには、ライナーの強度、中芯の段繰率、箱の形状など多くの要素が必要となる。これらの値はダンボール箱の圧縮強度に影響している。このことから、モデルの単純化を進めるためには、一層のシェル要素としてモデル化し、解析を行った。

垂直圧縮試験よりヤング率を同定した。また、ポアソン比は0とした。有限要素のモデルは表に示す。

上下のふた部分はモデル化せず解析を行った。

Table1 ダンボールの有限要素

節点数	15,244
要素数	15,112
要素タイプ	4節シェル
境界条件	強制変化(上部)
	変異固定(下部)

3 実験結果及び考察

垂直圧縮試験結果をTable2に示す。

Fig.4は圧縮試験後のダンボール箱の外観を示す。なお、左側がA,右側がBとした。

ダンボール箱の圧縮試験の結果をTable3に示す。

試験後の外観より、通常のダンボールだと立方体の形状を保ったまま荷重のかかる部分から座屈が伝播していくのに対し、強化ダンボールの場合、座屈は箱のエッジ部からではなく面の中央部から起きていた。これは強化ダンボールではライナー部を強化したため中芯との強度差が大きくなったためと考えられる。

ダンボール箱の圧縮試験結果と計算結果を比較したところ、計算結果が低くなる傾向が認められた。これは計算結果ではJIS法による測定値を用いたためである。五十嵐らの報告¹⁾ではTAPPI法に比べJIS法では圧縮強度が400~980N/m低い値を示すとされていることから、TAPPI法に換算して計算をした結果ウルフ法ではA:2305.6(N)、B:4610.6(N)、マッキー法ではA:2466.9(N)、B:5152.3(N)となり、測定値と同様の傾向を示した。

また、強化ダンボールにおいても、通常のダンボールと破壊の傾向は異なったが、圧縮強度より求めた計算結果は測定値に近い値を示した。このことから、強化ダンボールにおいても、圧縮強度を基準とした解析を行うことができると考えられる。

圧縮時の観察結果より、1)側板部分に荷重がかかる。2)面積が狭い側板部分に座屈が生じる。3)他方の側板に座屈が生じる。4)ダンボールの4つの角部分の荷重が集中する。5)角部分に座屈及び曲げが生じる。6)圧壊が生じる。となった。

以上のことから、板ダンボールの圧縮強度試験結果を基準として解析を行ったが、ダンボールの圧縮強度は角部分の座屈及び曲げ強度が大きな影響を与えると考えられる。

Table2 垂直圧縮試験結果

垂直圧縮試験 JIS規格	最大点圧縮荷重(N)	
	平均	標準偏差
A	303.5	4.3
B	831.3	7.5

Table3 ダンボール箱の圧縮試験結果及び計算結果

計算結果	最大点圧縮荷重(N)		
	ダンボール箱平均	マッキー式	ウルフ式
A	1922.9	1325.6	1486.9
B	4944.6	3630.6	4072.3



A B
Fig.4 ダンボールの圧縮後

「参考文献」

1)五十嵐精一，新ダンボール製造・包装技術，日報出版(2002)