B-62

# 段ボールの曲げ強度に関する実験的研究

## Experimental Study on Bending Strength of Corrugated Cardboard

○小池健之[3]，　岡田章[1]，　宮里直也[1]，　廣石秀造[2]
*Takeyuki Koike[3], Akira Okada[1], Naoya Miyasato[1], Shuzo Hiroishi[2]

Abstract: Corrugated cardboard is rich in lightness, economical efficiency, workability, productivity and heat retaining property. Recently, corrugated cardboard has been used not only the packing material but also the furniture and temporary building. In this paper, the authors conducted materials testing in order to grasp basic mechanical property and structual strength for realizing practical use as structural material.

### 1. はじめに

段ボールは，軽量性，経済性，加工性，生産性，断熱性に富んでいる．また，再利用可能であることから環境に配慮した材料である．近年，包装材としての用途以外にも積層数を増やした段ボールによる家具や被災地における仮設建築物などにも利用されている．

そこで，本論では積層数が比較的多い段ボールの基本的な力学的性質，構造強度を測定することで，将来的には構造材としての利用を実現するための基礎資料を得ることを目的とし，材料試験を行った．

### 2. 試験体概要

段ボールの構成をFig.1に示す．段ボールは，中芯と言われる波形の板紙に，ライナーと呼ばれる板紙を貼り合わせたものを言う．波形断面の紙を貼り合わせた構成であることから，異方性を持った材料である．このため，段ボールの構成をパラメータとして実験を行った．試験体概要をFig.2に示す．

試験体は厚さ4mmの中芯を積層させた段ボールとし，積層の構成を並列X方向，Y方向及びXY交差の3種類，断面寸法を100×100mm(長さL=1200mm)と200×200mm(L=2100mm)の2種類とした．この計6種類に対して，載荷方向を変えてライナーに直交(弱軸)方向2体，ライナーに並行(強軸)方向3体の合計30体を用いた．

### 3. 実験概要

中芯の構成による性状の把握を目的とし，曲げ剛性，曲げ強度，破壊性状などの基本的性状の把握を目的として，曲げ試験を行った．載荷は三等分点の2点集中載荷とし，1000kN型万能試験機により行った．載荷点，試験体中央変位及び支持点のめり込み量を変位計を用いて測定した．なお，支持点のめり込み量は，支持点から100mm内側の点の鉛直変位の値

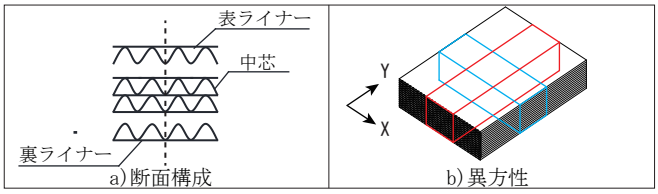
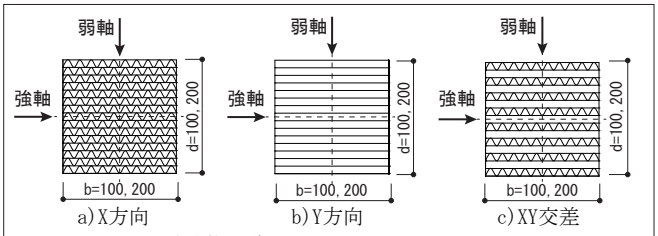
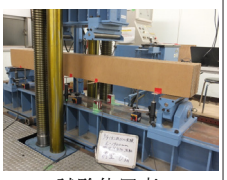



Fig.1 Material Constitution




試験体一覧

| 断面寸法 b×d (mm) | 試験体長さ L (mm) | 中芯構成 | 試験体数(ヶ) 載荷方向 弱軸 | 強軸 | 小計 |
|---|---|---|---|---|---|
| 100×100 | 1200 | X方向 | 2 | 3 | 5 |
| | | Y方向 | 2 | 3 | 5 |
| | | XY交差 | 2 | 3 | 5 |
| 200×200 | 2100 | X方向 | 2 | 3 | 5 |
| | | Y方向 | 2 | 3 | 5 |
| | | XY交差 | 2 | 3 | 5 |
| | | | 合計 | | 30 |



試験体写真

Fig.2 Outline of Test Piece

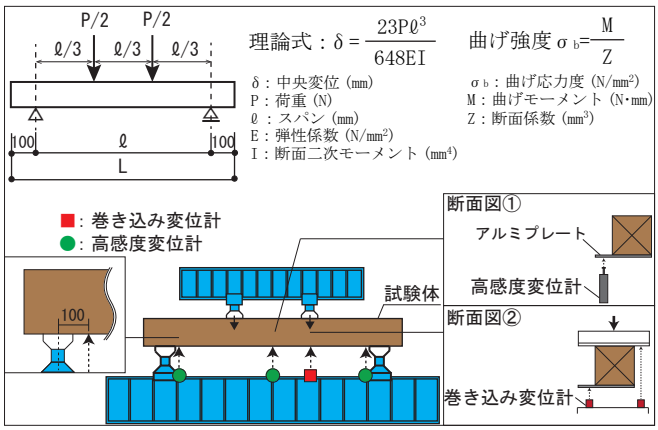



Fig.3 Outline of Experiment

1：日大理工・教員・建築　2：日大短大・教員・建築　3：日大理工・院（前）・建築

とし，中央変位は，中央変位の測定値から支持点のめり込み量を差し引くことで真の変位を求めた．載荷は試験体の中央変位が約40mmに達するまで測定し，その後除荷を行った．

## 4. 曲げ試験結果

各試験体の荷重－変位関係をFig.4に，弾性係数，最大荷重及び最大応力の結果をTable.1に示す．弾性係数及び曲げ応力はFig.3に示す理論式より算出した．なお，本研究では剛性は最大荷重の50%に相当する点の傾きから求めた．

Fig.4より，最大荷重は強軸・弱軸を比較すると全試験体において強軸の方が大きく，またX方向，XY交差，Y方向の順で大きい結果となった．各試験体でばらつきが少なく，最大荷重後の変形能力も比較的高いことが把握された．しかし，Y方向・強軸載荷時のみ他の構成と比べ，最大荷重到達後に著しい剛性低下が確認された．この理由として，中芯，ライナー共に荷重に平行な方向にリブ状に配置されているため載荷点のめり込み量が少なかったこと等が原因と考えられる．

Table1より，弱軸方向に対する強軸方向の弾性係数を比較すると，Y方向2.5～3.5倍，XY交差2.6～3倍，X方向1～1.6倍となり，X方向が比較的小さい．Y方向とXY交差は似た性状を示すが，最大荷重及び応力を比較すると，Y方向に対して1.2～1.6倍XY交差が大きな値となっている．また，全試験体において断面寸法が倍になると弾性係数は0.5倍～0.8倍に減少することが示唆された．変動係数の値から200×200mmにおいてX方向・弱軸載荷時及びY方向・強軸載荷時のばらつきが小さい結果となり，構成毎の明確な傾向は見られなかった．

## 5. 破壊性状の把握

断面寸法200×200mmの試験体の各構成1体ずつに対して，中央変位40mm以降も載荷を行い，破壊性状の把握を試みた．Fig.5に各構成の破壊状態を示す．X方向では載荷点でのめり込み量が大きく，せん断変形による積層面のズレ及び剥離が確認された．Y方向・弱軸載荷時は中芯の構成上，波形に沿う状態で変形が進行し，破壊に至っている．

## 6. まとめと今後の検討

本論では，積層数の多い段ボールの基本的な力学的性質，構造強度の把握を目的として曲げ試験を行った．最大荷重は構成ごとに差が生じるが，弾性係数や破壊性状を比較すると，Y方向とXY交差が近似した性状を示すことが把握された．耐力が大きく，載荷方向による弾性係数の差が小さいことから，X方向が最も構造材としての利用に適していると考えられる．今後，めり込み試験や面内圧縮試験，接合部試験の実施を予定している．

## 7. 参考文献

[1](財)日本住宅木材･技術センター　構造用木材の強度試験マニュアル

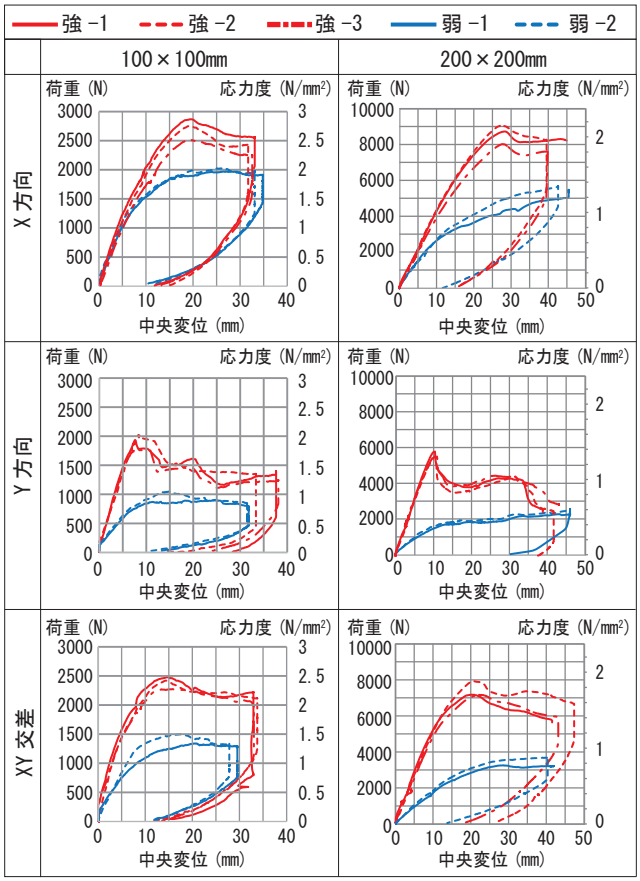



Fig.4 Load-Displacement Curve

Table1 Results of Elastic Modulus, Maximum Load and Bending Strength

| 断面 b×d (mm) | 中芯構成 | 載荷方向 | 弾性係数(N/mm²) | | 最大荷重(N) | | 最大応力(N/mm²) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 平均 | 変動係数(%) | 平均 | 変動係数(%) | 平均 | 変動係数(%) |
| 100×100 | X | 弱 | 477.6 | 5.1 | 1962.0 | 1.5 | 1.96 | 1.5 |
| | | 強 | 473.5 | 7.7 | 2720.7 | 5.5 | 2.72 | 5.5 |
| | Y | 弱 | 279.3 | 1.9 | 957.0 | 7.5 | 0.96 | 7.5 |
| | | 強 | 711.0 | 6.1 | 1910.0 | 4.8 | 1.91 | 4.8 |
| | XY交差 | 弱 | 312.1 | 4.8 | 1432.6 | 5.7 | 1.43 | 5.7 |
| | | 強 | 736.7 | 6.7 | 2381.2 | 3.6 | 2.38 | 3.6 |
| 200×200 | X | 弱 | 246.6 | 0.7 | 5547.2 | 1.8 | 1.32 | 1.8 |
| | | 強 | 384.1 | 5.5 | 8595.9 | 5.0 | 2.04 | 5.0 |
| | Y | 弱 | 160.3 | 9.8 | 2429.6 | 3.0 | 0.58 | 3.0 |
| | | 強 | 574.9 | 2.5 | 5640.0 | 1.9 | 1.34 | 1.9 |
| | XY交差 | 弱 | 159.0 | 2.6 | 3416.6 | 6.4 | 0.81 | 6.4 |
| | | 強 | 483.6 | 5.0 | 7311.1 | 5.0 | 1.74 | 5.0 |

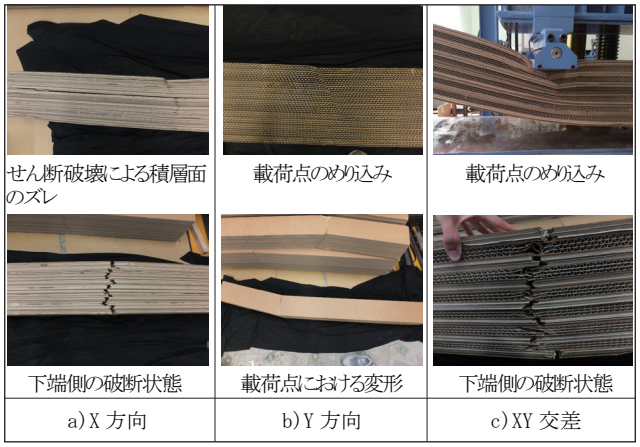



Fig.5 Failure Behavior