

多方向積層部材開発のための段ボールを用いた 簡易的実験および解析による整合性の検討

7021528 梶原 拓真
指導教員 青木由香利

1. はじめに

先行研究¹⁾では直交異方性材料である木材の多方向積層板の開発に取り組んでいるが、その開発において木材を加工し試験片をつくり、破壊試験を繰り返し行うと費用と時間がかかることが懸念される。そこで比較的安価で加工のしやすい段ボールに着目して、実験と解析の整合性をより簡単にとることはできないのか検証していくことにした。

2. 引張試験・解析

まず様々な文献や先行研究²⁾³⁾により段ボールのヤング率が異なっており、一枚の段ボール用紙としての材料特性はあまり調査されていないため、異方性である段ボールの強軸・弱軸を含めた角度ごとによる段ボールのヤング率を実験的・解析的に検証する。図-1のように5つの角度の試験片を10個ずつ作成し、段ボールの引張試験を行った。試験片は長さ250mm、幅15mm、つかみ具間距離180mmとした。

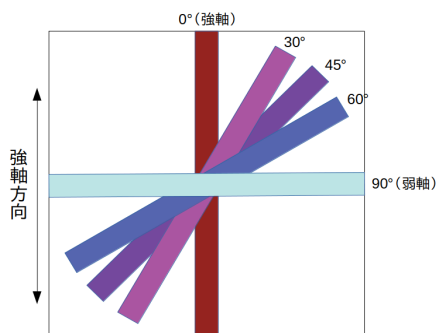


図-1 試験片モデル

引張試験破断時の荷重と伸びから応力とひずみを求め、角度ごとのヤング率を算出した。また、それら引張試験から得られたヤング率をもとに有限要素解析ツール Salome-meca 2019 を用いて引張解析を行い、解析でも再現可能なことを確認した。

表-1 に引張試験と解析から得られたヤング率を

表-1 実験値と解析値のヤング率

ヤング率 (MPa)	0 °	30 °	45 °	60 °	90 °
実験値	674.3	492.4	345.9	222.9	156.0
解析値	672.7	492.0	346.0	222.7	156.0

示す。今後の解析では引張試験由来のヤング率を用いて解析を行うこととする。

3. 積層解析

引張試験から得られたヤング率をもとに等方性・異方性解析をはじめ、MA(マルチアングル)解析と強軸・弱軸を交互に積層した平板モデルで曲げ解析を行った。200mm × 200mm × (0.9mm × 7層)をモデルとし、四辺を単純支持として等分布荷重を与える4分の1解析を行った。

$$\delta = \frac{1}{\pi^4 D} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{A_{mn}}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2}$$

$$\text{ここで、} D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}, A_{mn} = \frac{16\omega}{\pi^2 mn}$$

E はヤング率、t は厚さ、 ν はポアソン比、 ω は荷重、a と b は一辺の長さであり、上記の Navier の解法⁴⁾から平板のたわみの理論値を求め、表-2 に示す。理論値と等方性解析の結果から、4分の1解析における載荷条件、固定条件を含め、積層モデルの解析の妥当性を得ることができた。図-2 図-3には厚さ方向とひずみの分布を示す。これは x と y で差がないほど等方化されていると言えるが、等方性は方向別のひずみの差は出ないが、異方性は部材厚が下に行くほど方向別にひずみの差が大きくなっていき、等方性のグラフとも異なる傾きを示した。しかし図-3より、積層することで全体的に等方化を図ることができ、MA 積層よりも交互積層したほうが引張側のひずみも小さく、等方化を図れている。

表-2 平板のたわみの理論値と各解析値の比較

	最大たわみ	相対誤差 (%)
理論値	2.16mm	-
等方性解析	2.03mm	5.6
MA 解析	2.87mm	33.0
交互解析	2.63mm	22.0

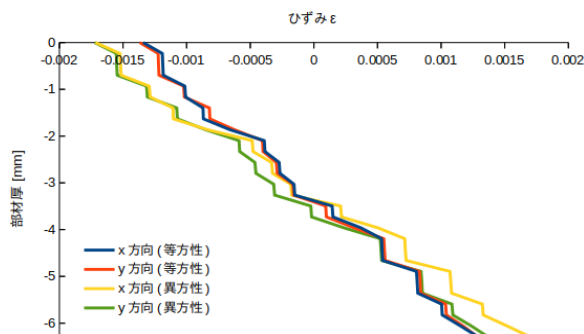


図-2 等方性・異方性解析の比較

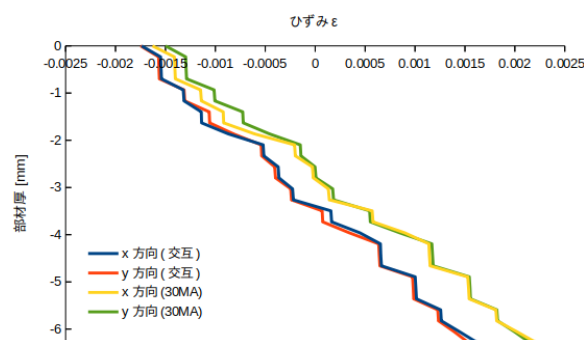


図-3 MA・交互解析の比較

4. 曲げ試験

曲げ試験における四辺支持の固定が難しく、実験を簡単に行うため梁モデルに変更して5つつつ試験片を用意し曲げ試験を行った。図-4より交互積層はMA積層より約1.3倍強度が上がった。しかし、念の為梁モデルの線形解析を行ってみたところ、図-5に示すように曲げ試験のほうが解析値よりも大きく出てしまい、接着の際に用いたボンドが強度に大きく寄与したと推測される。

5. まとめ

引張試験から得られた角度ごとのヤング率を用いて平板モデルの解析を行ったが、多方向に積層することで等方化を図り、MA解析よりも交互解析の方がひずみやたわみも小さくなった。曲げ試験からも

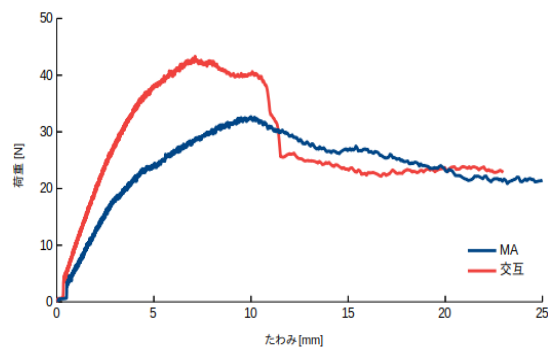


図-4 MA・交互モデルの曲げ試験結果

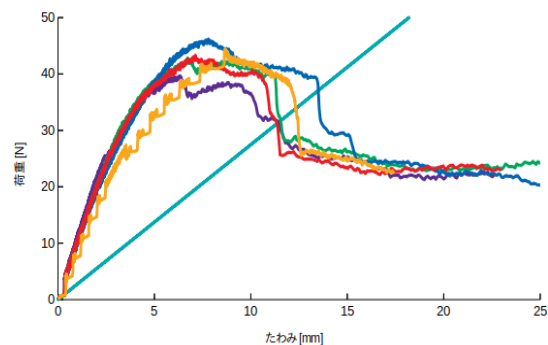


図-5 交互積層の曲げ試験と解析の比較

MA積層よりも交互積層の方が強度が強くとれた。これらの結果から異方性のある部材に関して、多方向積層することで等方化を図れることが分かり、様々な角度で試験片を切り出す必要はなく、強軸・弱軸を交互に積層するだけで良いことが分かった。

重要な試験に関しては木材を用いた破壊試験を行い、今後様々なモデルに対し繰り返し破壊を行うような試験の場合は、段ボールを用いて簡易的に実験と解析の比較を行うことも可能であると結論付ける。

しかし、平板の曲げ試験を行えていないため、試験方法を模索して試験を行い再度考察し直す必要がある。また、積層試験片を作成する際の接着の問題が最も解決していかななくてはならない課題である。

参考文献

- 1) 田村 陸 青木 由香利 後藤 文彦:多方向積層木質パネルの力学的特性と橋梁床版への応用性
- 2) 川島 義隆 多賀 郁生 伊田 徹士 原田 匡人 梅津 康義 松井 和己 手塚 明:岐阜県生産情報技術研究所研究報告,紙厚 段ボール製品の強度解析技術に関する研究(第2報)-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-,2005.
- 3) 小野田 孝行 奥村 大 大野 信忠:単軸圧縮を受ける積層ダンボールの微視的座屈解析
- 4) 土木学会,構造力学公式集,pp313-318,1986.