

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

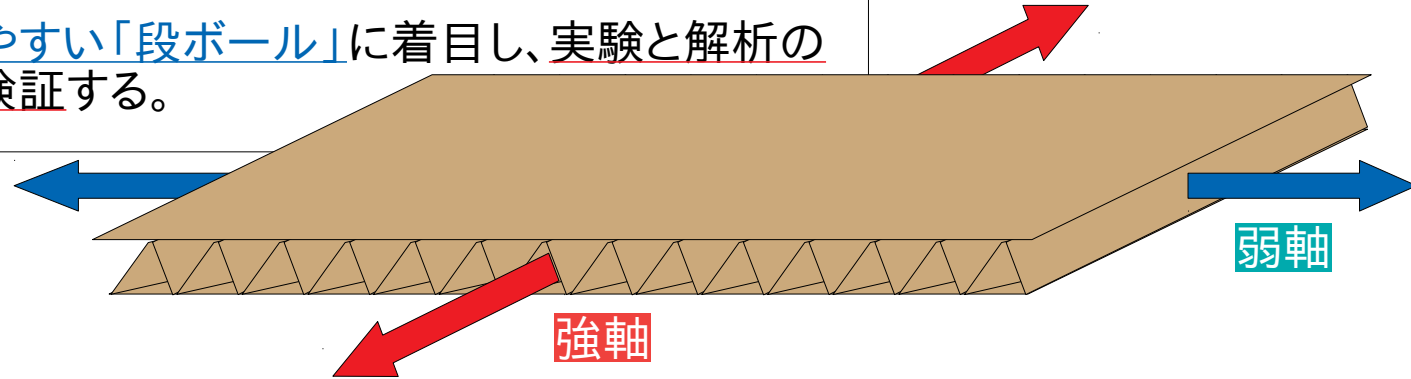
7021528
指導教員

梶原 拓真
青木由香利

研究背景

当研究室: 直交異方性材料である木材の多方向積層板の開発

- 多方向積層板の開発にあたり、木材を加工し試験片をつくり、破壊試験を繰り返すにはお金も時間もかかる。
- 安価で加工(作成・破壊)のしやすい「段ボール」に着目し、実験と解析の整合性をより簡単に取れるか検証する。

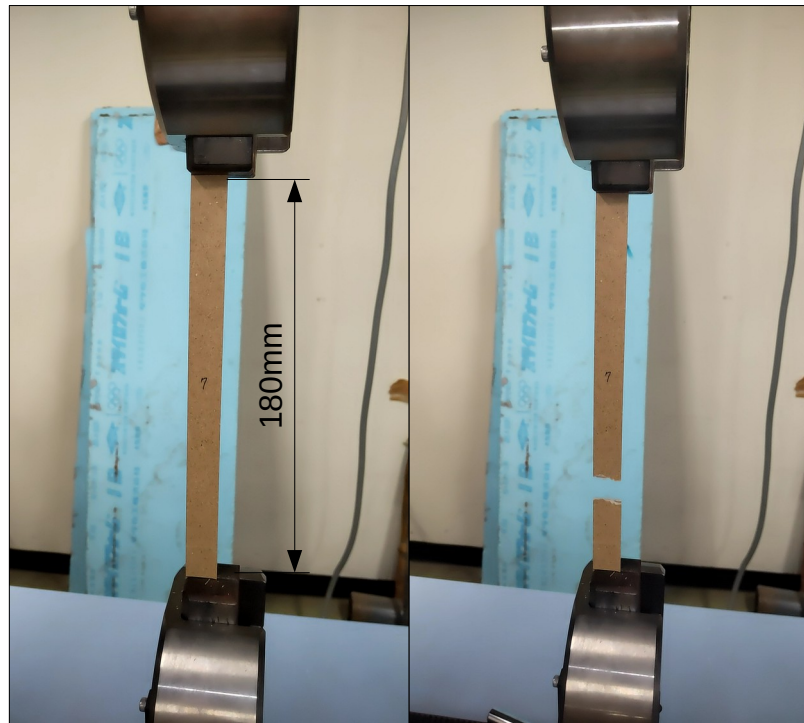


一枚の段ボール用紙としての材料特性はあまり調査されていない。

段ボールは木材と同様に異方性が存在する。

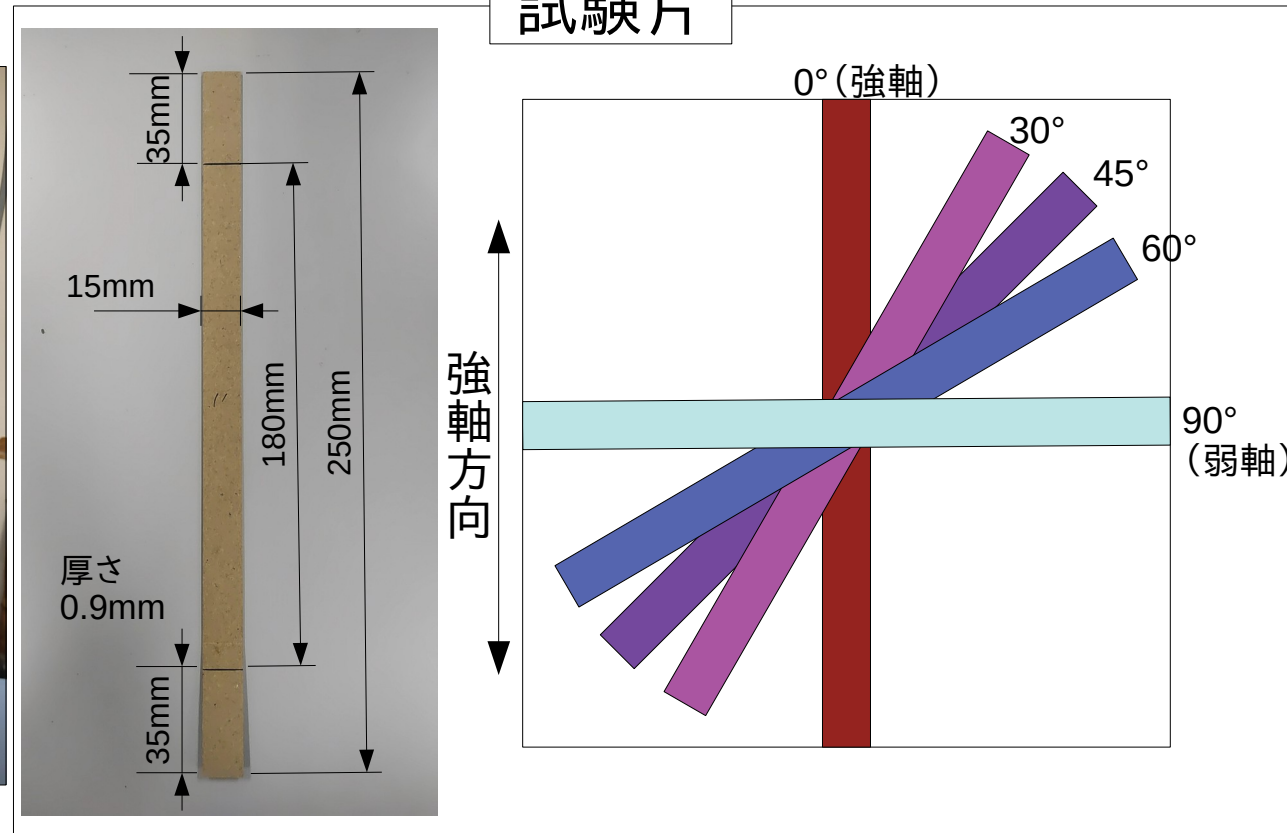
- 強軸・弱軸を含めた「角度ごと」による段ボールのヤング率を実験的・解析的に検証する。

引張試験



試験片の引張試験前後

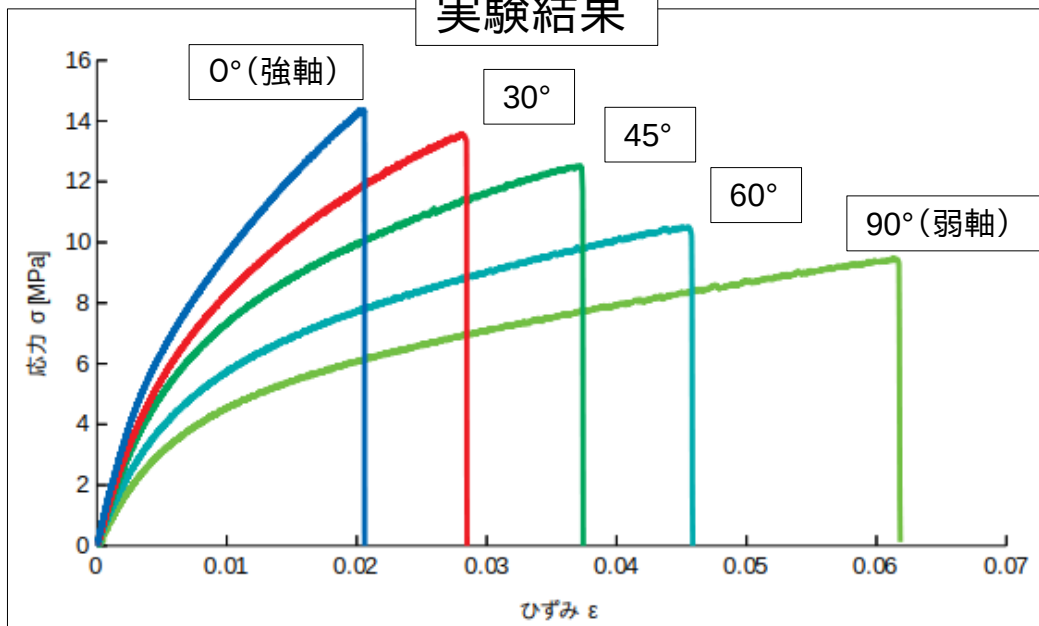
つかみ具間距離: 180mm
つかみ具: 35mm



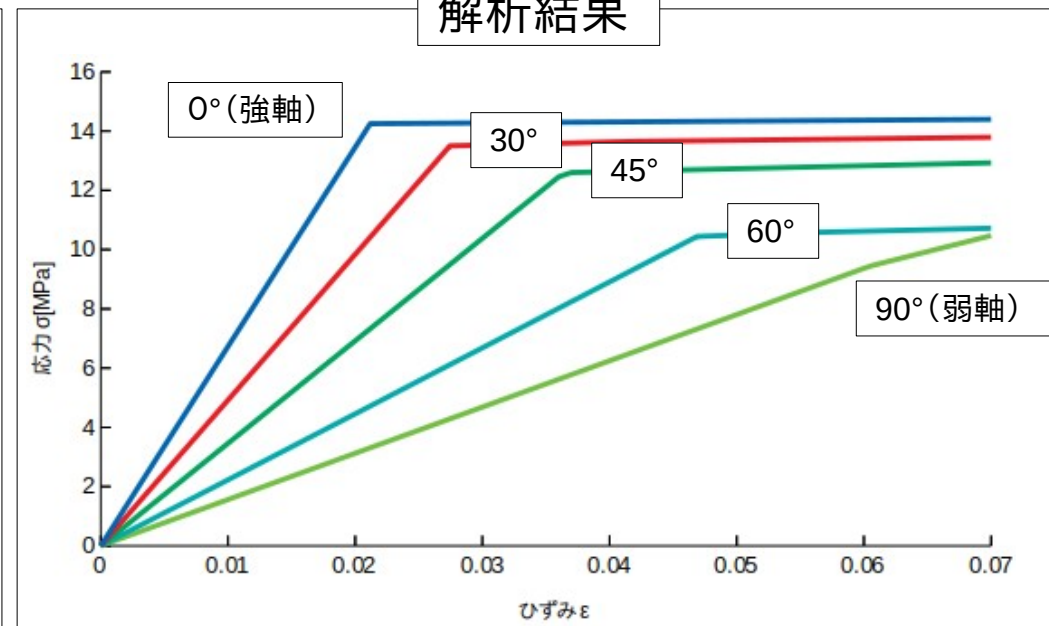
強軸を0°、弱軸を90°とし、30°、45°、60°の試験片を
10個ずつ作成

結果(引張モデル)

実験結果



解析結果



・引張試験から得られたヤング率を用いて解析でも再現可能なことを確認した。
・今後の解析では実験値由来のヤング率を用いて解析を行っていく。

ヤング率 E [MPa]	0° (強軸)	30°	45°	60°	90° (弱軸)
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

解析(平板モデル)

・段ボールを多方向多積層に組み合わせることで、等方化を目標に解析的・実験的に検証する。

※解析上での異方性の扱い

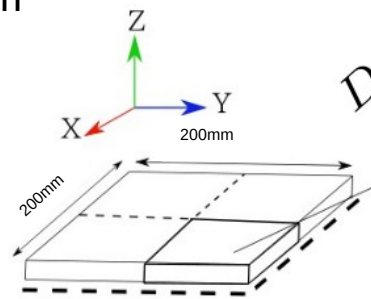
E_L	674.262	ヤング率(強軸)
E_T	156.046	ヤング率(弱軸)
NU_LT	0.3	ポアソン比
G_LT	345.881	せん断弾性係数
☒ E_N	156.046	ヤング率(弱軸)
☒ NU_LN	0.3	ポアソン比
☒ NU_TN	0.3	ポアソン比
☒ G_LN	345.881	せん断弾性係数
☒ G_TN	345.881	せん断弾性係数

(有限要素解析ツール
Salome-meca 2019を使用)

4分の1解析
100×100×6.3mm

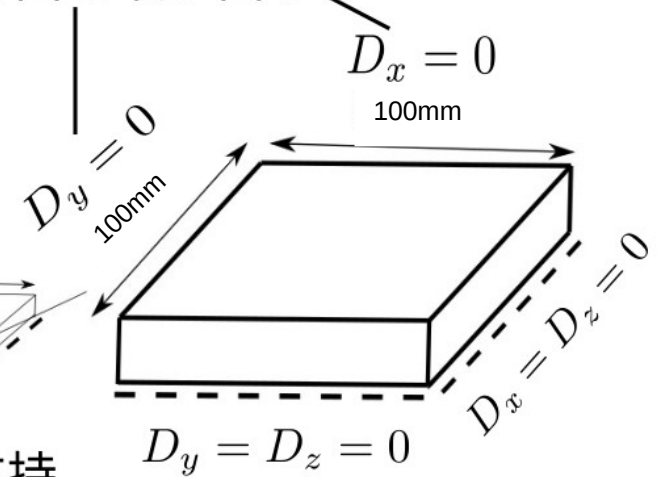
一層分の厚さは
0.9mm

等分布荷重:50N

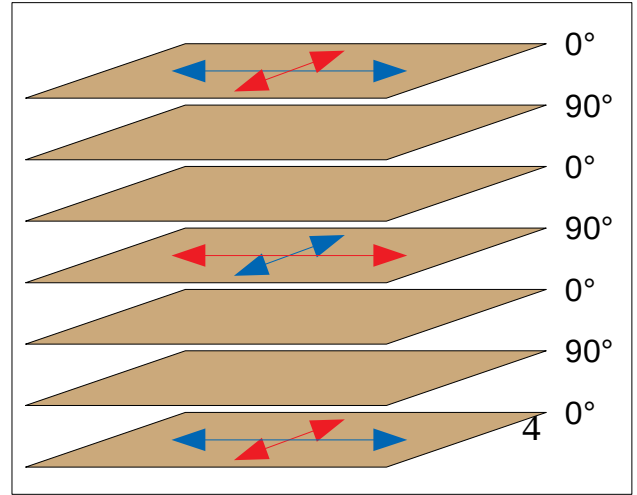
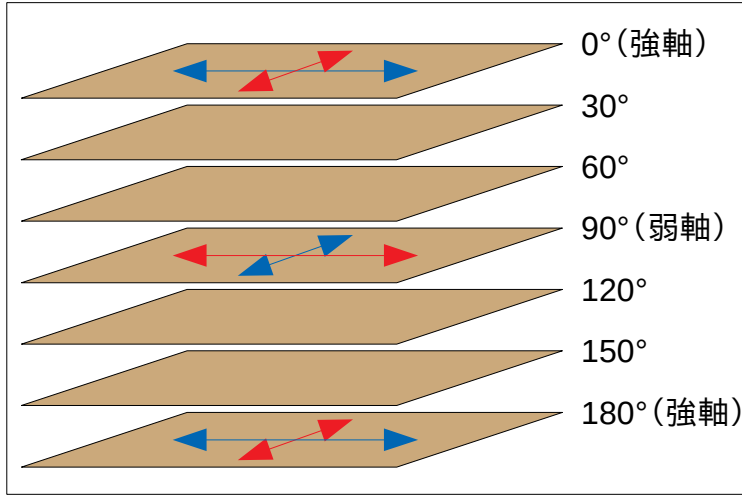


4辺単純支持

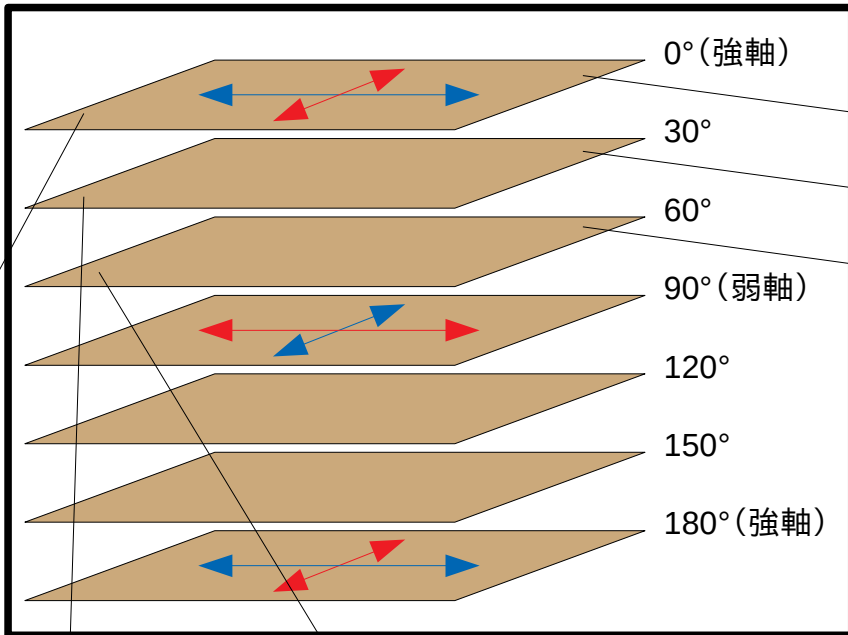
対称面を取り出す



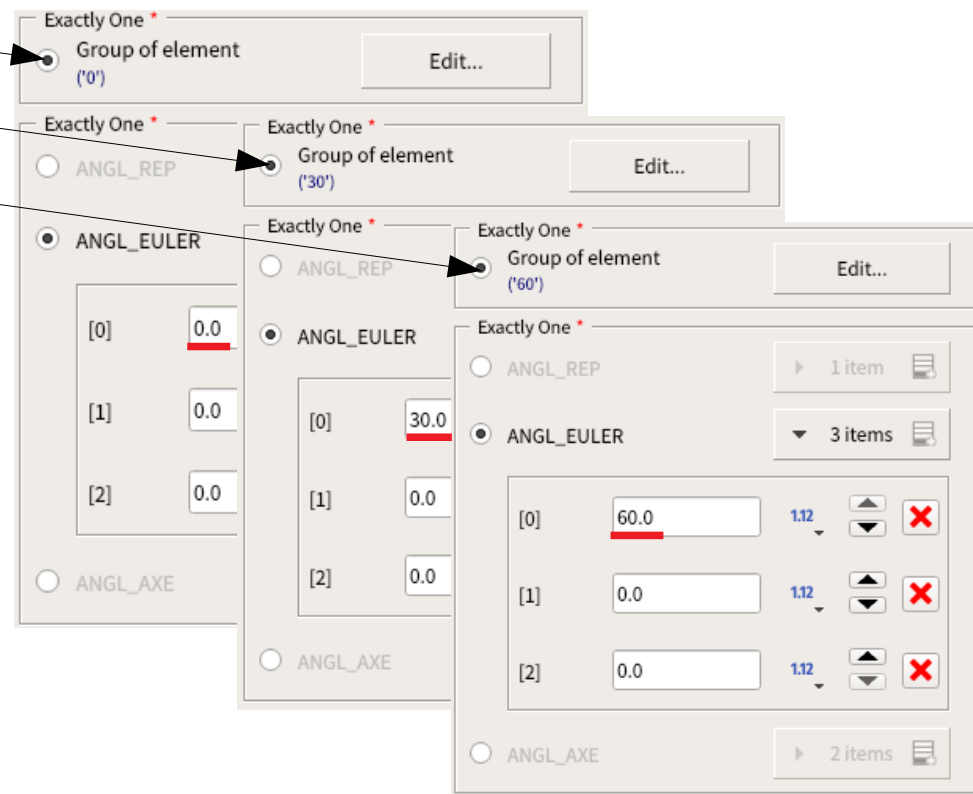
等方性、異方性、MA積層、交互積層の4つのモデルに関して曲げ解析



交互積層



MA積層

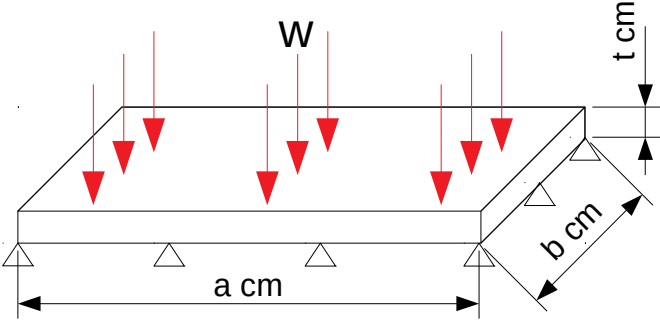


オイラー角を用いた解析

平板のたわみの理論値と各解析値

理論式に用いた値と理論値

w[N]	0.005
E[MPa]	674.262
a[mm]	200
b[mm]	200
t[mm]	6.3
Navier解	2.16mm



それぞれの解析モデルの最大たわみと相対誤差

	最大たわみ	Navier解との相対誤差
理論値	2.16mm	—
等方性解析	2.03mm	5.6%

	最大たわみ	等方性解析との相対誤差
MA解析	2.87mm	41.0%
交互解析	2.63mm	30.0%

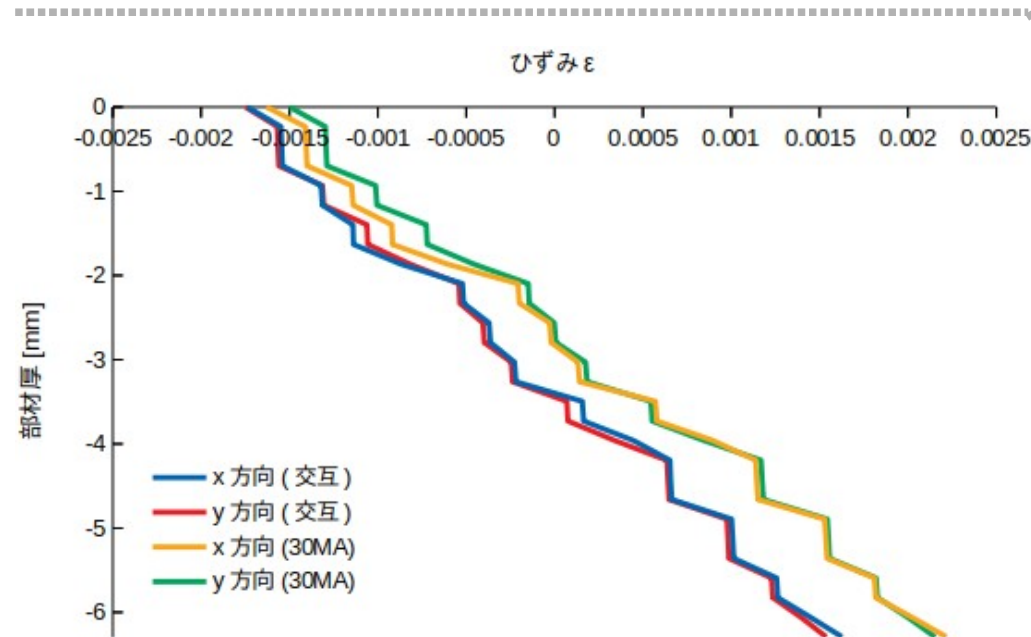
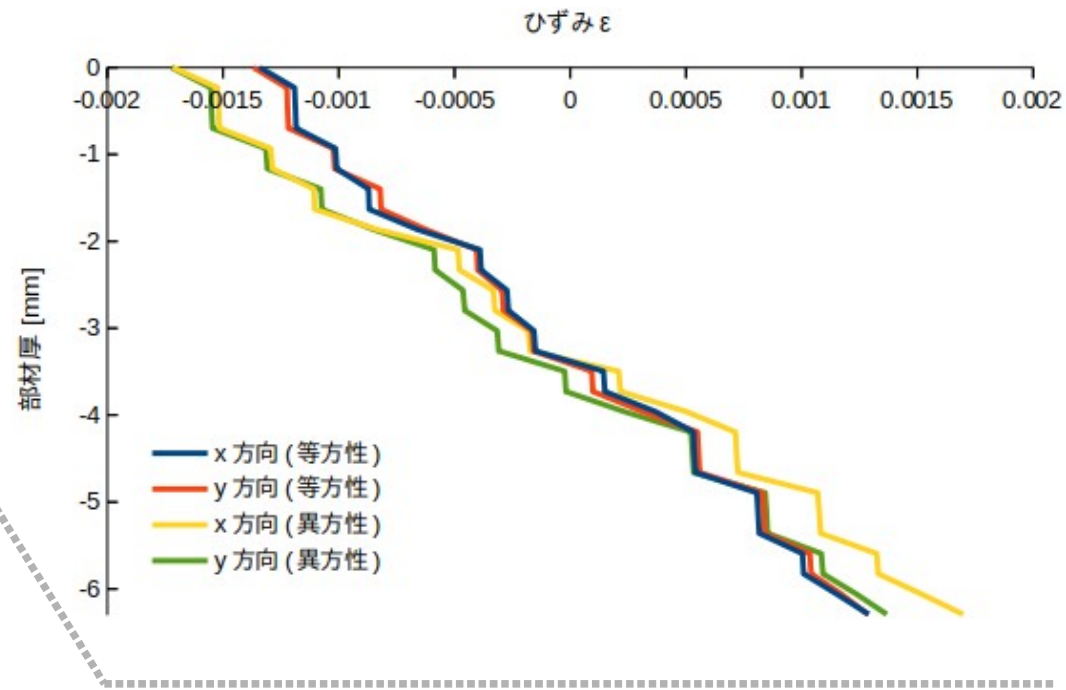
$$\delta = \frac{1}{\pi^4 D} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{A_{mn}}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2} \sin \frac{m\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{2}$$

ここで、 $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$, $A_{mn} = \frac{16w}{\pi^2 mn}$ (E:ヤング率、 ν :ポアソン比)

- ・等方性モデルの解析と理論値から4分の1解析における載荷条件、固定条件を含め、解析の妥当性を得た。
- ・解析値からMA積層よりも交互積層の方がたわみが小さい。

解析結果(平板モデル)

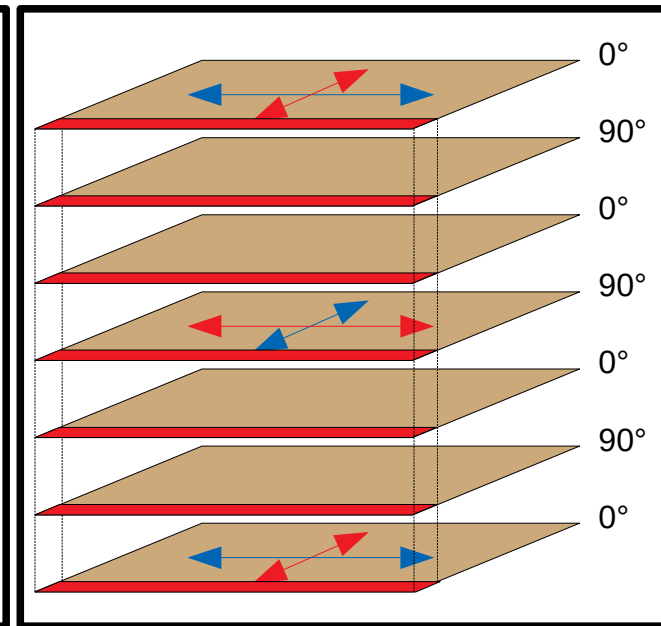
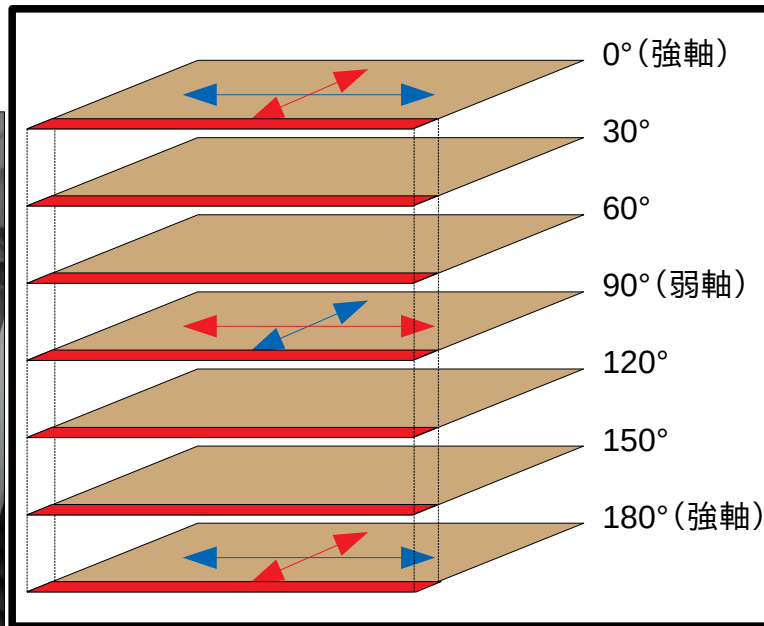
- ・等方性のため方向別にひずみの差がない。
- ・異方性では部材厚が下に行くほどひずみに大きな差が生まれる。
- ・等方性とのグラフの傾きも異なる。



・部材厚下部のほうが方向別のひずみの差が顕著であった異方性解析を、積層することで全体的に等方化を図ることができている。

・MA積層よりも交互積層の方が引張側のひずみも小さく、等方化を図ることができている。

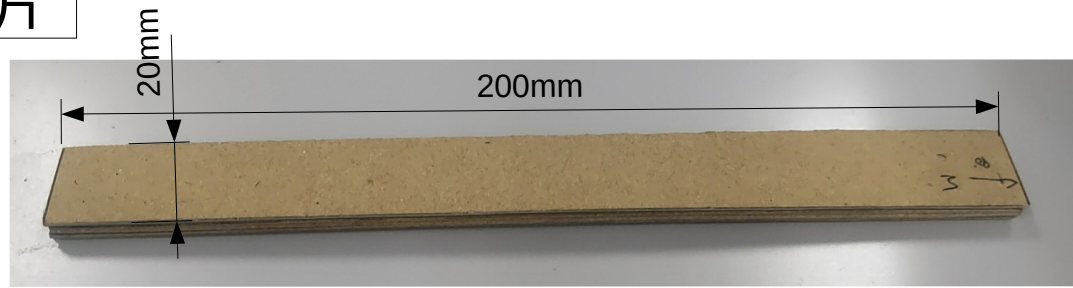
曲げ試験



・平板モデルの曲げ試験を行いたかったが、四辺支持の固定が難しくなるため、梁モデルとして曲げ試験を実施。

試験片

厚さ
6.3mm

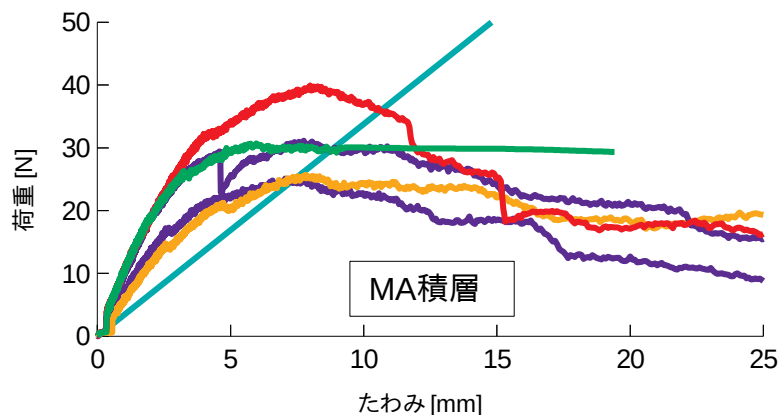
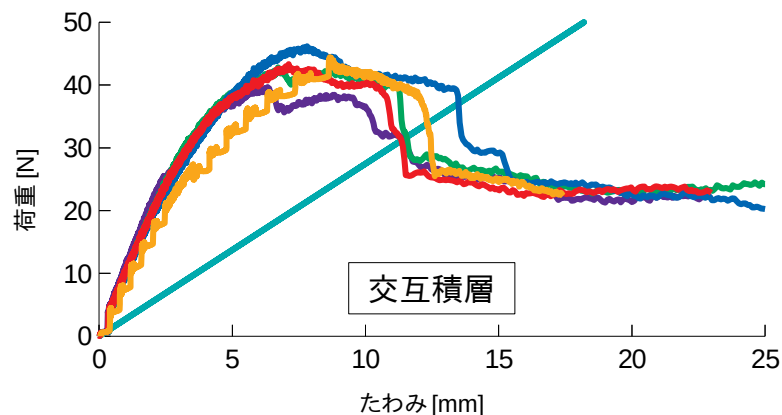
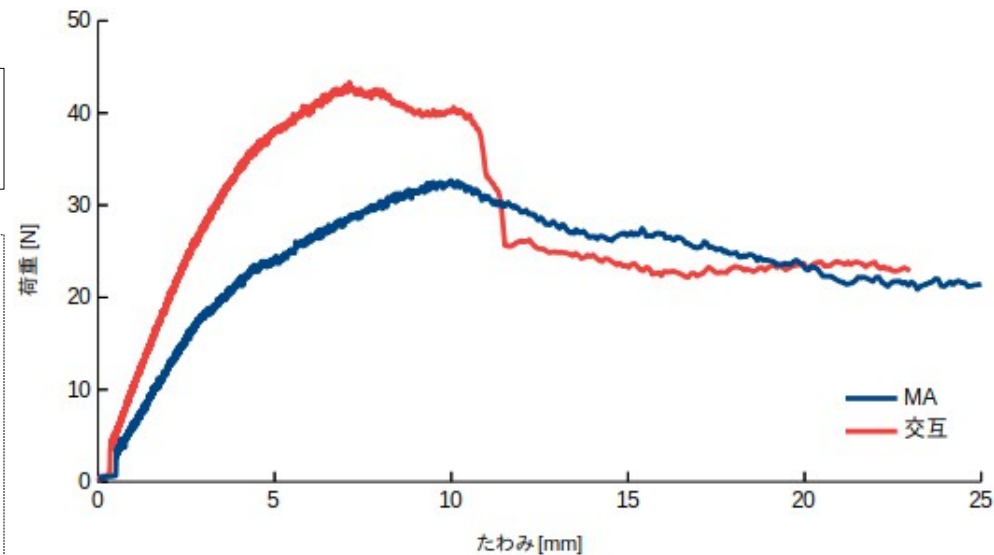


結果(梁モデル)

・MA積層よりも交互積層の方が約1.3倍の強度の差が見られた。

・念の為、梁モデルに関しても線形解析を行ってみたところ、曲げ試験の方が解析値よりも結果が大きく出てしまった。

※0.9mm×7層の厚さを想定したため6.3mmとなるはずだが、試験前に厚さを測定したところ平均約6.7mmの厚さになっていた。



・接着の際に用いたボンドが強度に大きく寄与した。
・角層ごとの接着時の塗り方、圧着の仕方によらつきがあった。

まとめ

・段ボールのヤング率を得るところから始まった本研究では、段ボールの引張試験から実験値由来の角度ごとのヤング率を得た。

・それらのヤング率を用いて平板モデルの解析を行ったが、多方向にすることで等方化を図り、MA積層よりも交互積層の方がひずみやたわみも小さくなった。

・梁モデルの曲げ試験からもMA積層より交互積層の方が強度が強く現れた。

→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。

段ボールに関しては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。

・重要な試験に関しては木材を用いて破壊試験を行うが、今後様々なモデルの想定し何個も破壊試験を繰り返すような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。

課題

・平板の曲げ試験を行えなかったため、試験方法を模索してMA・交互積層ともに試験を行い再度考察し直す必要がある。

・積層試験片を作成する際の接着の問題が多数出てきたため、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適応性

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)ー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ー, 2005.

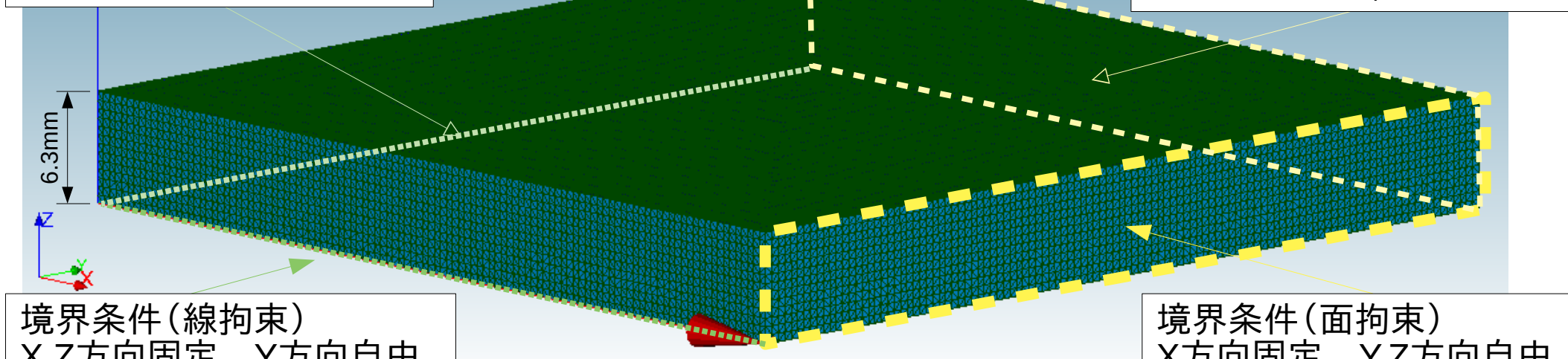
3)小野田 孝行 奥村 大 大野 信忠:単軸圧縮を受ける積層ダンボールの微視的座屈解析

4)土木学会,構造力学公式集,pp313-318,1986.

解析(平板モデル)
固定条件、载荷条件

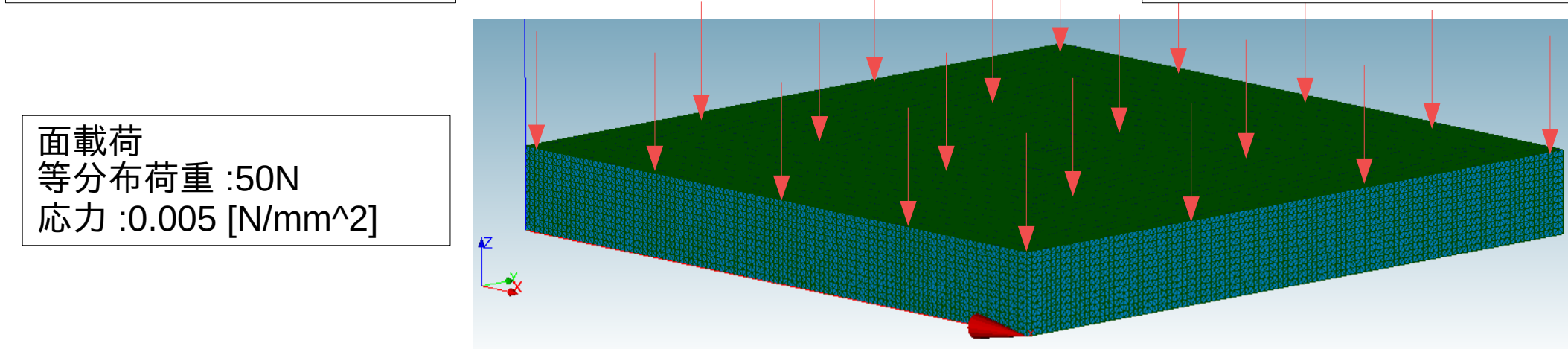
境界条件(線拘束)
Y,Z方向固定 X方向自由

境界条件(面拘束)
Y方向固定 X,Z方向自由



境界条件(線拘束)
X,Z方向固定 Y方向自由

境界条件(面拘束)
X方向固定 Y,Z方向自由



面载荷
等分布荷重 :50N
応力 :0.005 [N/mm²]

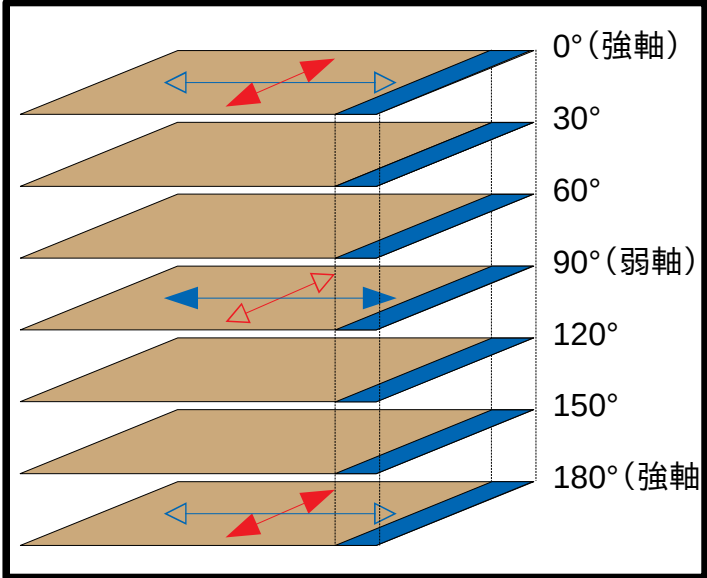
■引張試験から応力 σ とひずみ ε の算出方法

応力 $\sigma = (\text{破断時の荷重}) \div (\text{断面積})$
ひずみ $\varepsilon = (\text{破断時の伸び}) \div (\text{つかみ具間距離})$

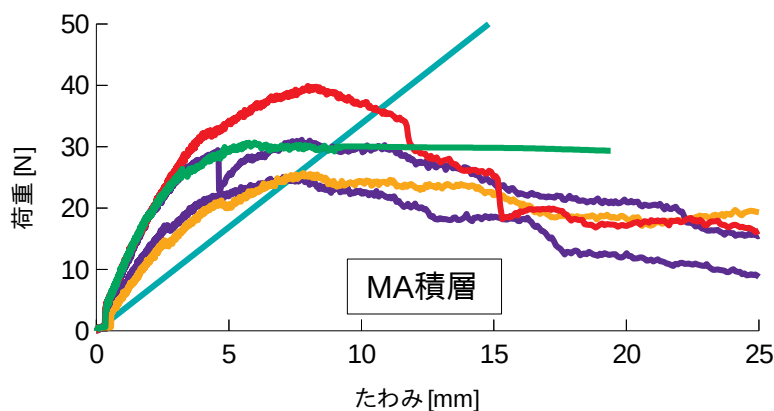
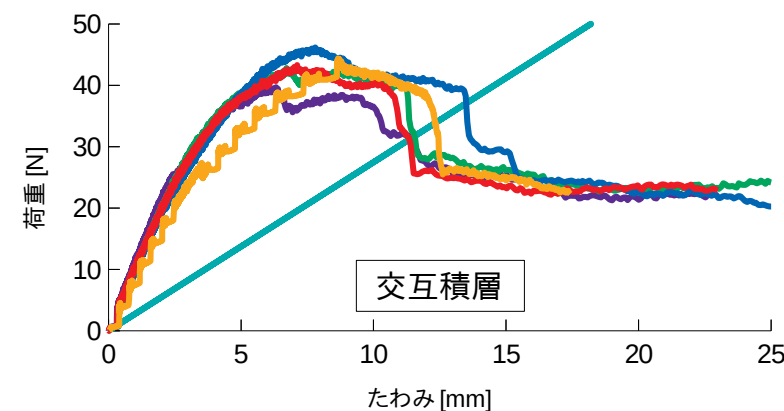
断面積: 13.5mm^2
つかみ具間距離: 180mm

■せん断弾性係数

$G = E / 2(1 + \nu)$ ν : ポアソン比



梁の曲げ試験、解析結果 (荷重-変位曲線)



50N载荷時	たわみ
交互積層 (0~90~0)	18.2mm
交互積層 (90~0~90)	30.1mm
MA積層 (0~90~0)	14.8mm
MA積層 (90~0~90)	34.1mm