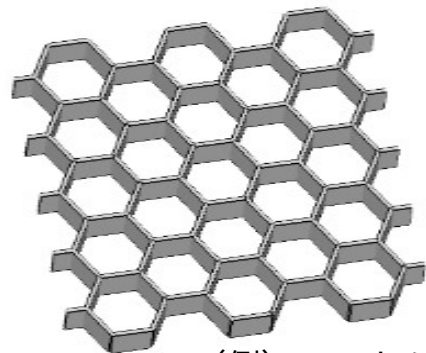


異方性材料シミュレーションの検証法としての3Dプリンタの可能性

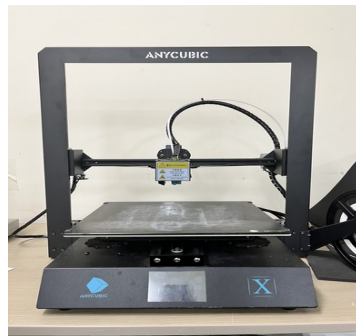
7020615 山口玲智

3Dモデリング(salome_meca)



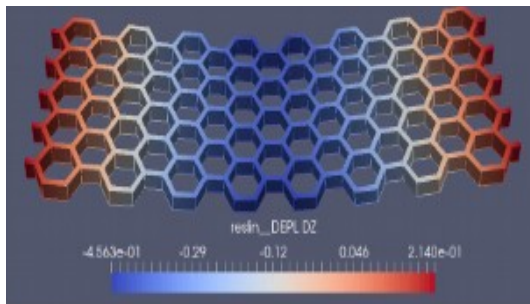
(例) ハニカム構造

3Dプリンタ



安価 5万円～

印刷



有限要素

精度検証



印刷された実物での実験

しかし…印刷される母材は 等方性

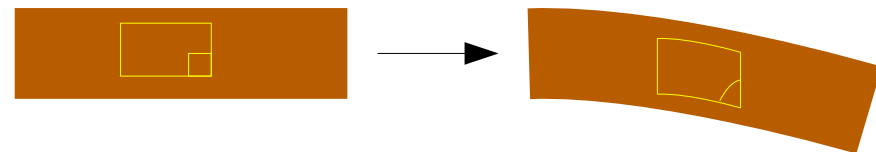
木橋など



木材

異方性材料

せん断変形 大



3Dプリンタで木材のせん断変形を表現できるか？

昨年度の研究では…

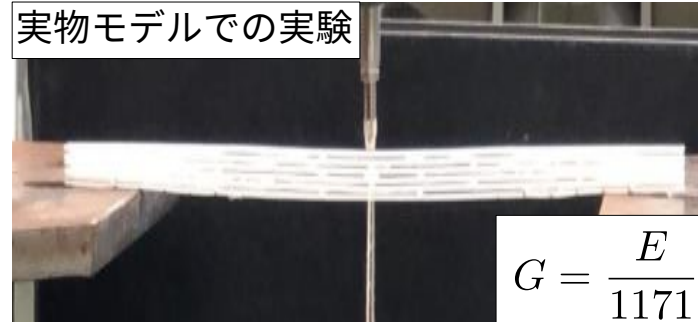
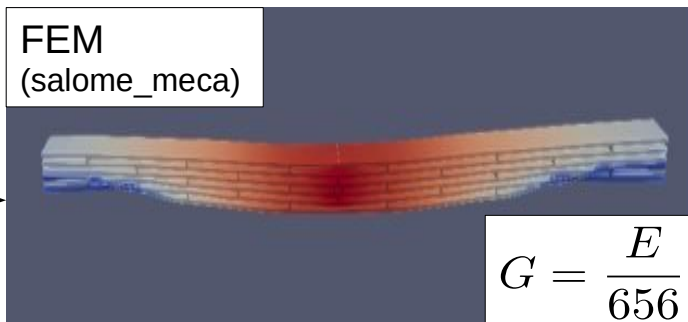
ミルフィーユ状のモデル



曲げ試験体（充実断面）

3Dプリンタ材料(母材)のヤング率

3.051 ~ 3.176 [GPa] 材料定数



実物モデルでの実験

せん断弾性係数 G がかなり小さい

せん断変形 大きすぎる

ティモシェンコ梁のたわみ

$$v = \frac{Pl^3}{48E_{\text{軸}}I} + \frac{Pl}{4kGA}$$

今回は…

格子状 だとどうなるか？



等方性

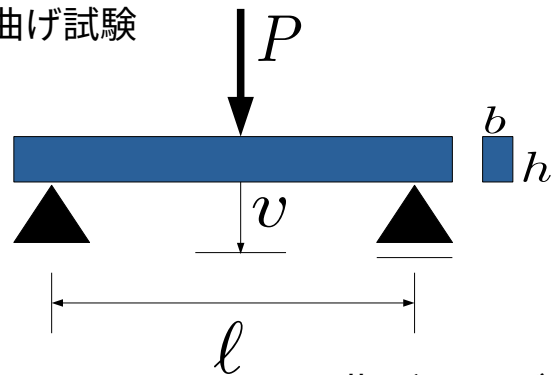
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \cong \frac{E}{3}$$

木材(異方性)なら

$$G = \frac{E}{15} \quad \text{程度}$$

せん断弾性係数 G の測定

曲げ試験



単純梁のたわみ

$$v = \frac{P\ell^3}{48E_{\text{曲}}I}$$

曲げヤング率 $E_{\text{曲}}$ が求まる

せん断変形を考慮すると…

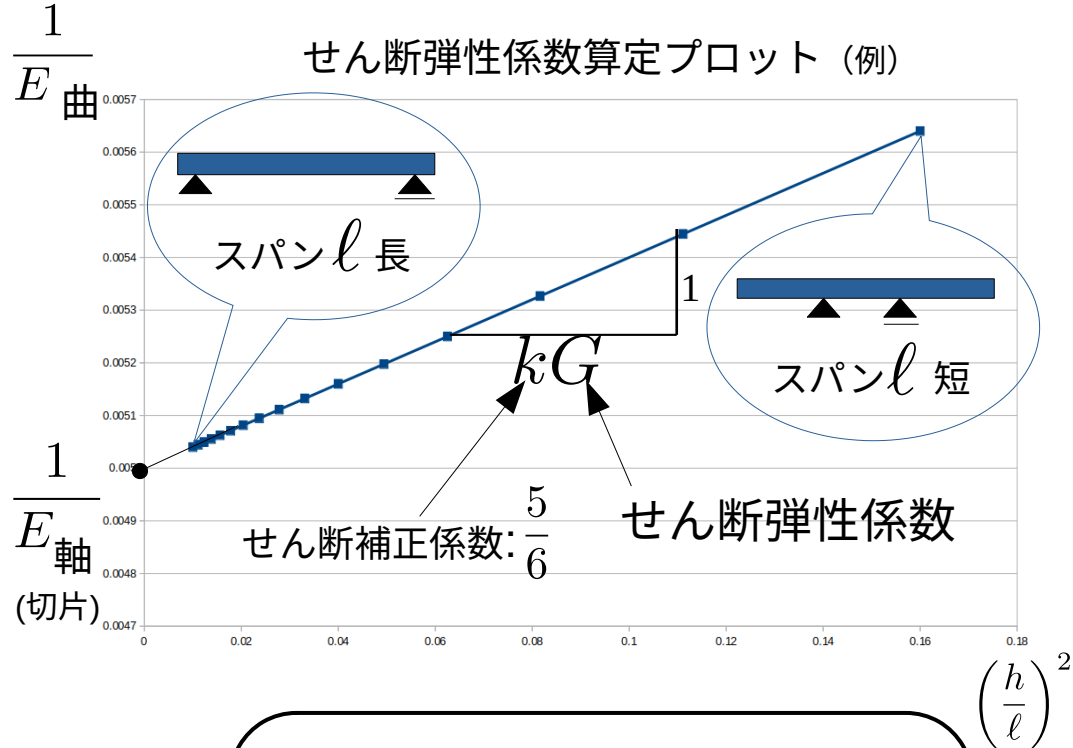
ティモシェンコ梁のたわみ

$$v = \underbrace{\frac{P\ell^3}{48E_{\text{軸}}I}}_{\text{曲げたわみ}} + \underbrace{\frac{P\ell}{4kGA}}_{\text{せん断たわみ}}$$

同値変形

グラフの方程式

$$\frac{1}{E_{\text{曲}}} = \underbrace{\frac{1}{kG}}_{\text{傾き}} \times \left(\frac{h}{\ell}\right)^2 + \underbrace{\frac{1}{E_{\text{軸}}}}_{\text{切片}}$$



母材(充実断面)の曲げ試験



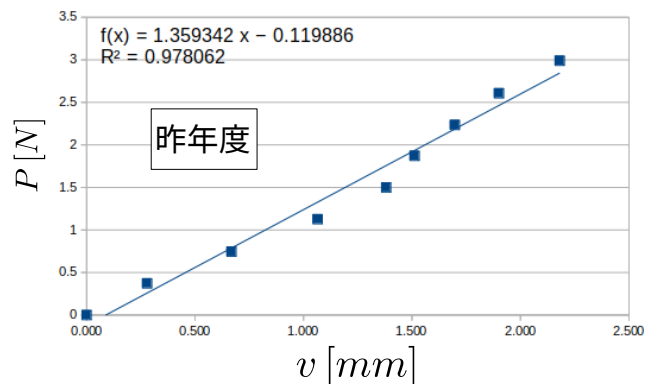
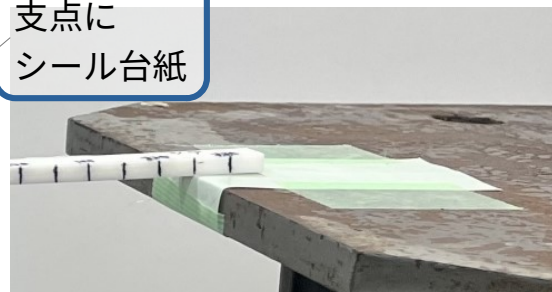
同じモデル



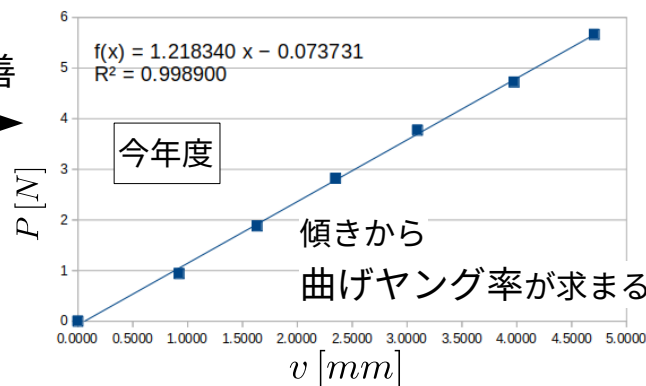
以前の問題点

支点で引っかかる
→たわみ具合に影響

支点に
シール台紙

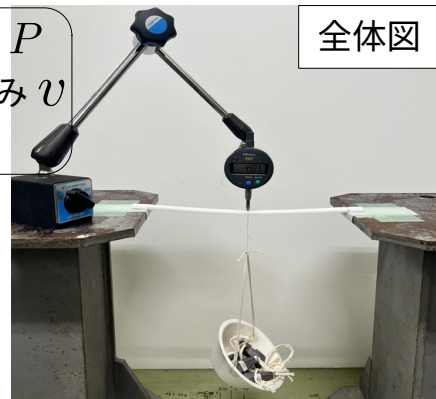


ばらつきの改善



荷重 P
たわみ v
測定

全体図



幅,高さ,スパンは統一

再印刷



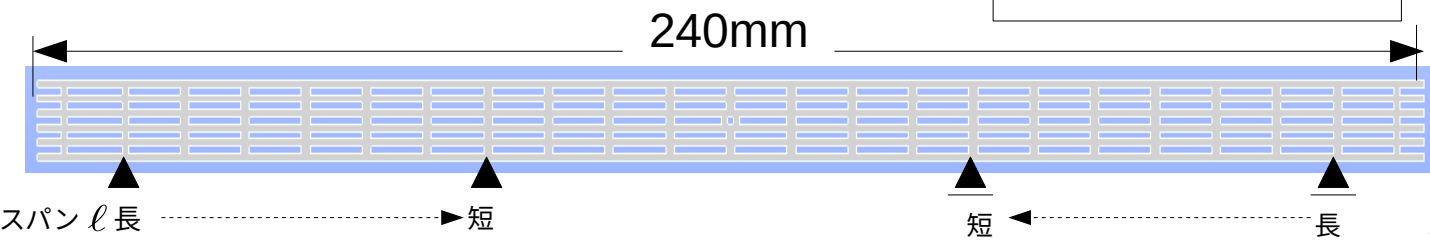
$$E_{\text{曲}} = 3.26 \sim 3.51 [GPa]$$

$$E_{\text{曲}} = 1.83 [GPa]$$

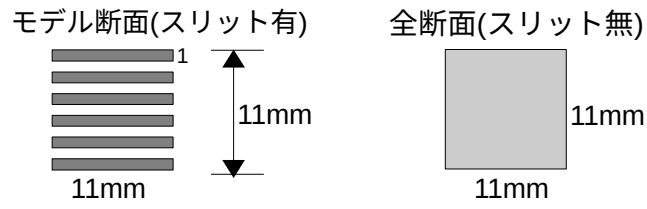
新たな問題点

プリンタの状態
変わった?

格子状のモデル(1mm層)で異方性を表現できるか



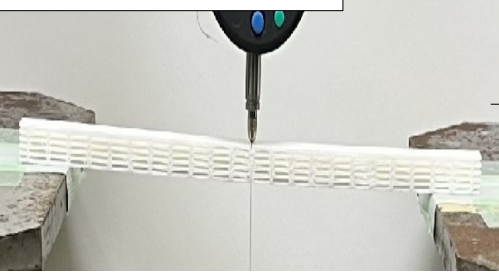
木材(異方性) $G = \frac{E}{15}$ 程度



E を理論的に算定すると…

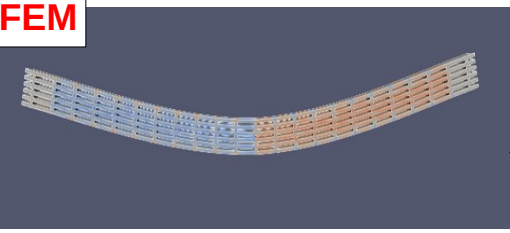
$$E_{\text{換算}} = E_{\text{母材}} \times \frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}} = 1.153 \text{ [GPa]}$$

実物モデルでの実験



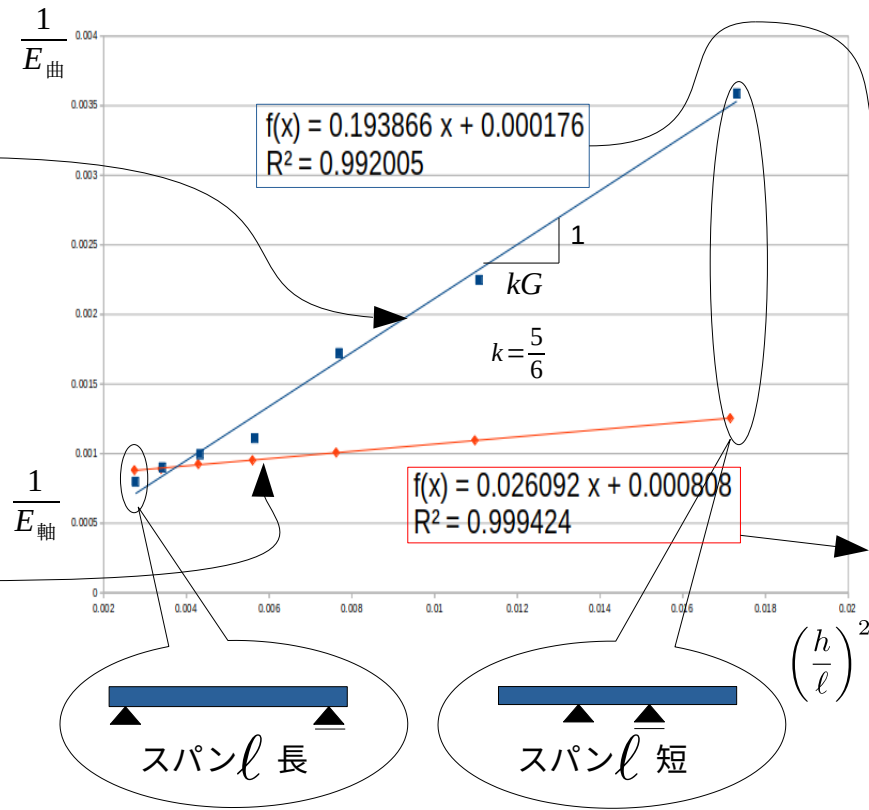
$E_{\text{曲}} = 0.279 \sim 1.254 \text{ [GPa]}$

FEM



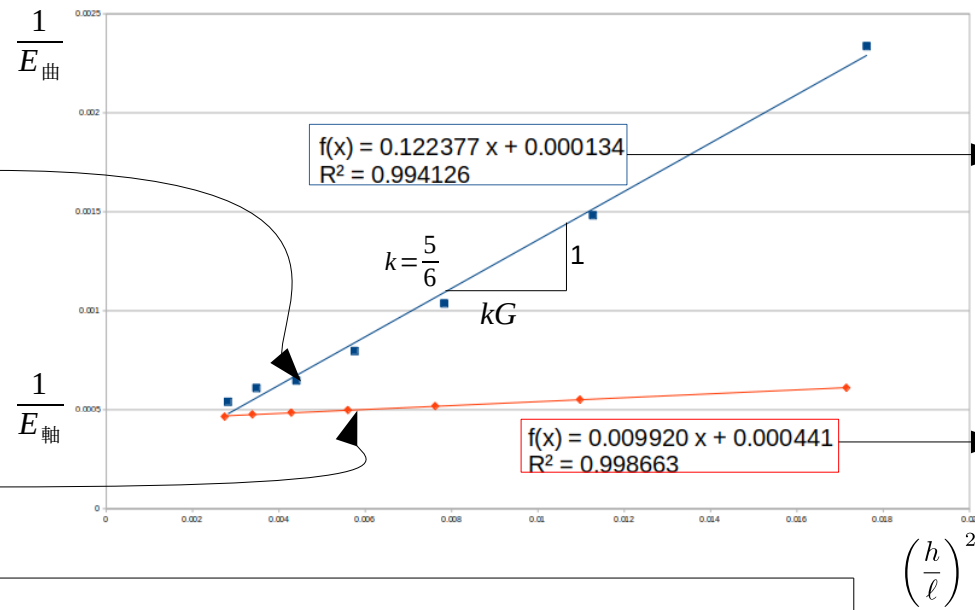
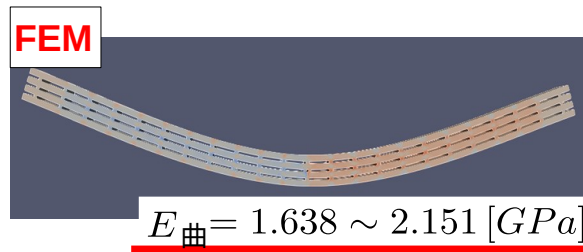
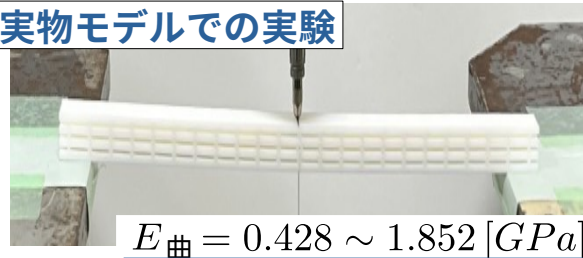
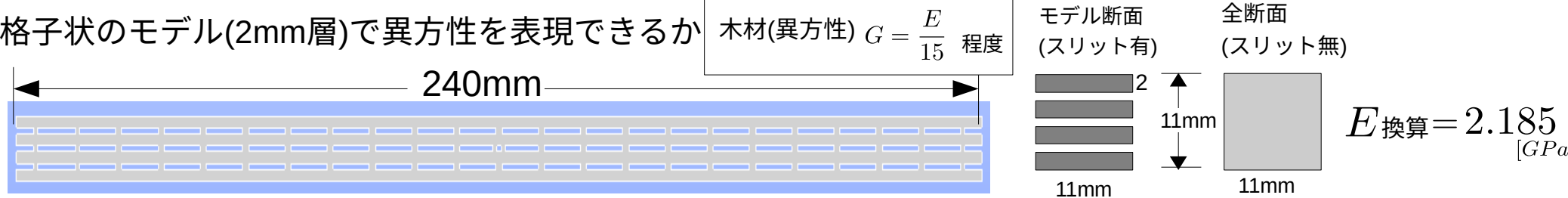
$E_{\text{曲}} = 0.797 \sim 1.135 \text{ [GPa]}$

母材ヤング率 1.83 [GPa]



$E_{\text{軸}} = 5.672 \text{ [GPa]}$
 $G = 0.00619 \text{ [GPa]}$
 $G = \frac{E}{186}$ 昨年度(ミルフィーユ状) $G = \frac{E}{1171}$

$E_{\text{軸}} = 1.238 \text{ [GPa]}$
 $G = 0.04599 \text{ [GPa]}$
 $G = \frac{E}{25}$ 昨年度(ミルフィーユ状) $G = \frac{E}{656}$



$E_{\text{軸}} = 7.453 \text{ [GPa]}$
 $G = 0.00981 \text{ [GPa]}$
 $G = \frac{E}{223}$

$E_{\text{軸}} = 2.265 \text{ [GPa]}$
 $G = 0.12097 \text{ [GPa]}$
 $G = \frac{E}{18}$

母材ヤング率 2.61 [GPa]

問題点
プリンタの状態不良



プリンタノズルの交換

$E_{\text{曲}} = 1.83 \text{ [GPa]}$

曲げ試験体
(充実断面)

$E_{\text{曲}} = 2.61 \text{ [GPa]}$

まとめ

実物モデル

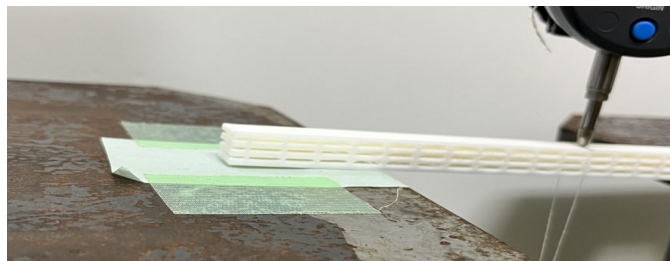


$$G = \frac{E}{15}$$

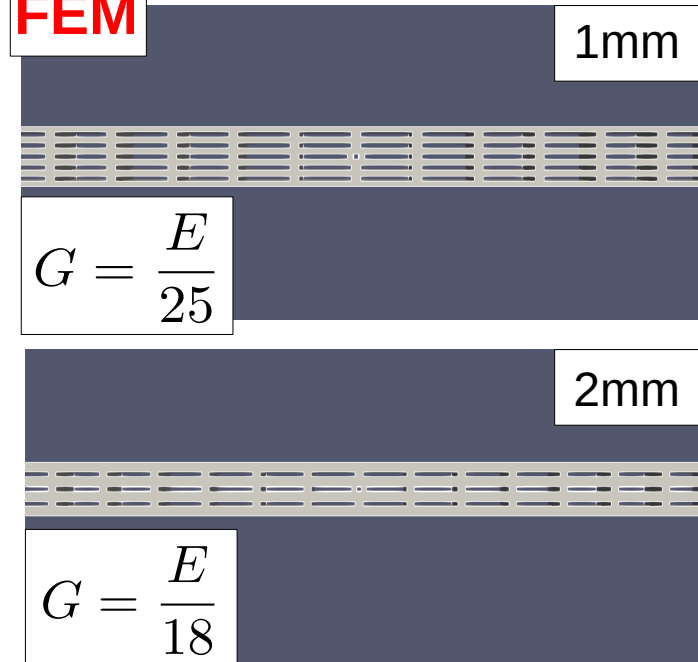
木材(異方性)

昨年度よりは大幅に改善

$$G = \frac{E}{1171} \text{ (昨年度のミルフィーユ状モデル)}$$



FEM

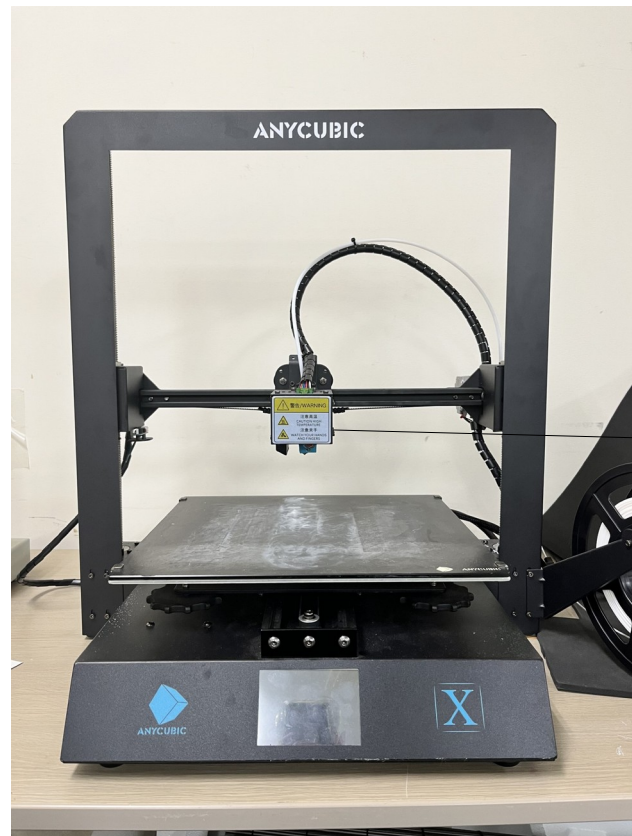


FEMなら表現可能

今後の課題

- 印刷状態の整備
- 実験精度のさらなる向上
- スリットの入れ方の改善

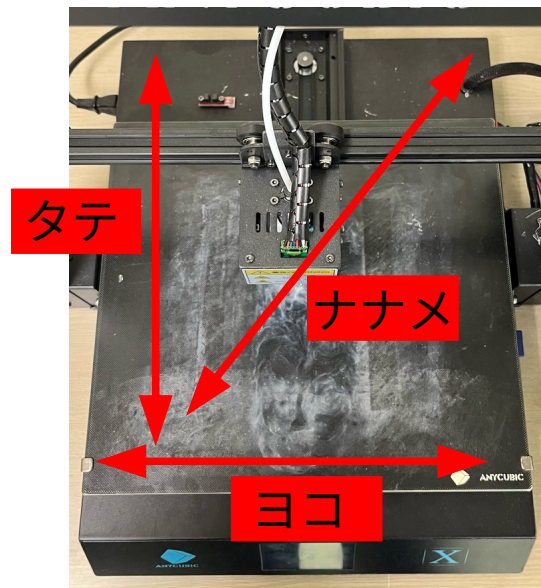
せん断変形 もっと小さく



3Dプリンタ本体



プリンタノズル



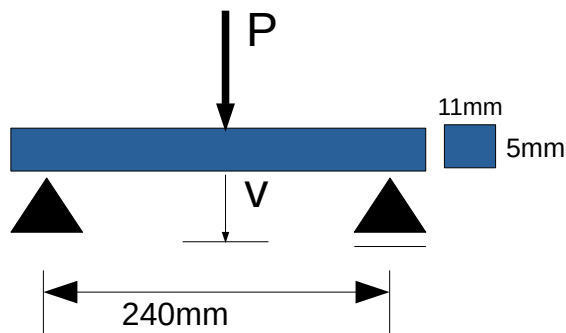
3Dプリンタ印刷方向

母材ヤング率 (印刷は昨年度)

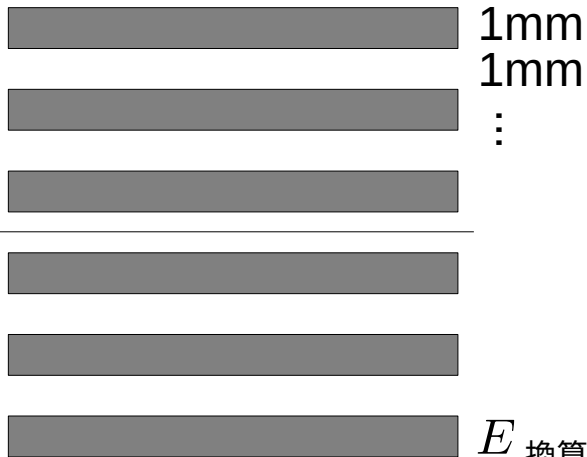
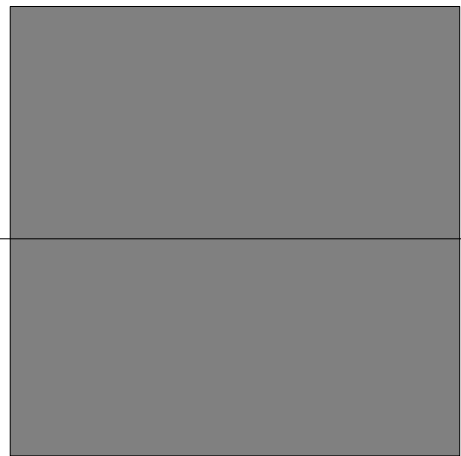
$$E_{\text{タテ}} = 3.283 \sim 3.336 [GPa]$$

$$E_{\text{ヨコ}} = 3.420 \sim 3.515 [GPa]$$

$$E_{\text{ナナメ}} = 3.260 \sim 3.375 [GPa]$$



11mm

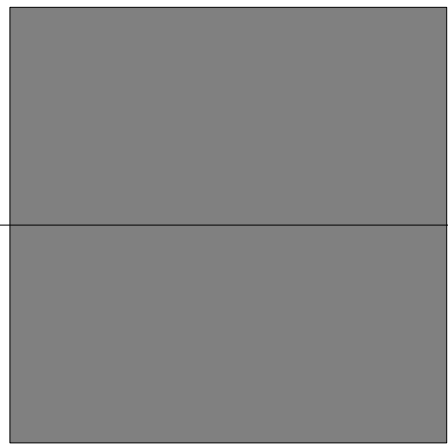


$$I_{\text{全断面}} = 1220.08 \text{ [mm}^4\text{]}$$

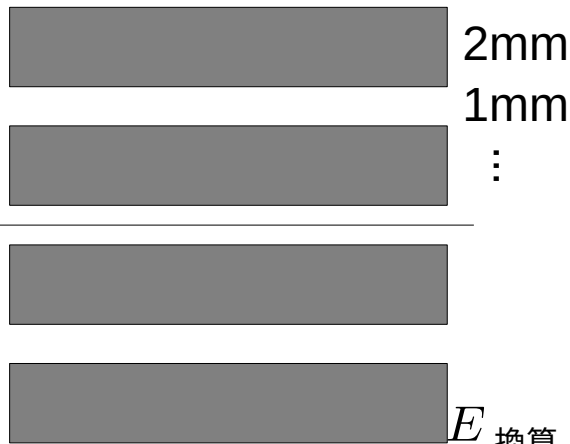
$$I_{\text{モデル断面}} = 775.5 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$\frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}} = 0.6356$$

$$E_{\text{換算}} = E_{\text{母材}} \times \frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}} = 1.1529 \text{ [GPa]}$$



11mm



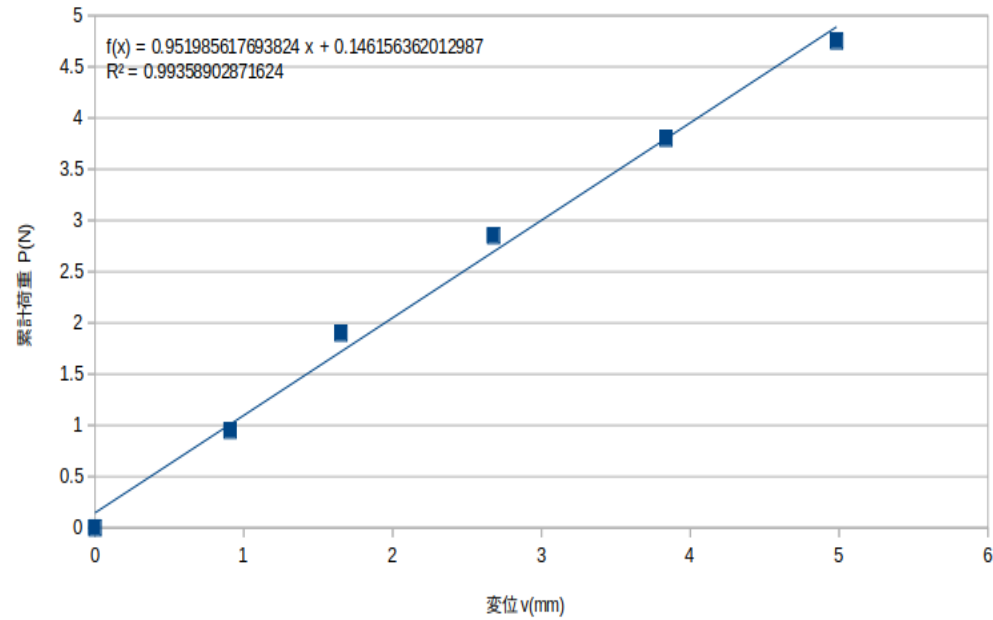
$$I_{\text{全断面}} = 1220.08 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$I_{\text{モデル断面}} = 1019.33 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$\frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}} = 0.8355$$

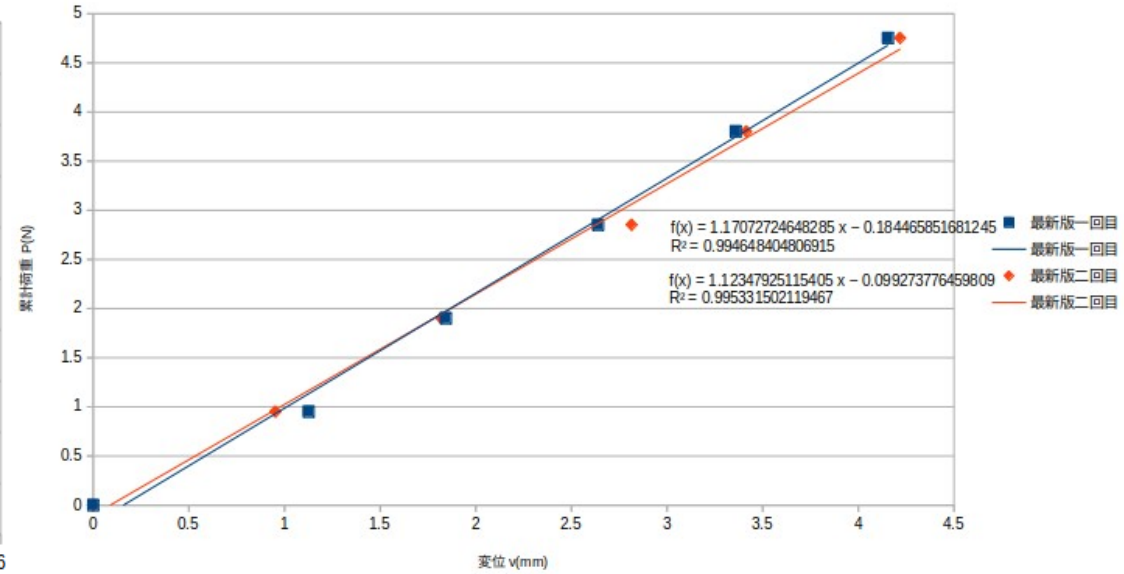
$$E_{\text{換算}} = E_{\text{母材}} \times \frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}} = 2.1846 \text{ [GPa]}$$

曲げ試験体



劣化版

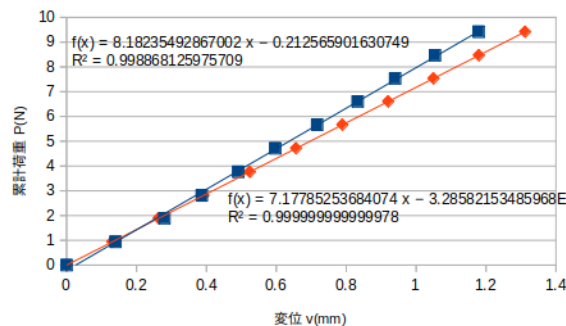
曲げ試験体



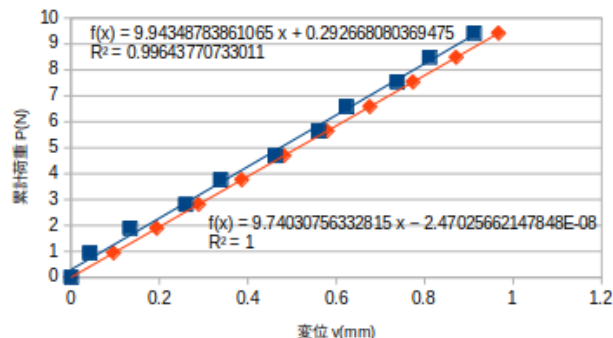
改良版

母材の曲げ試験

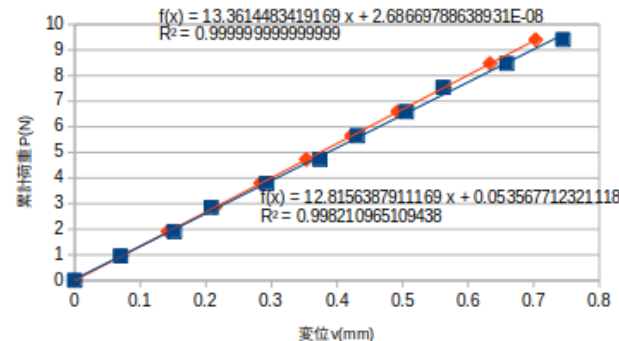
スパン 210



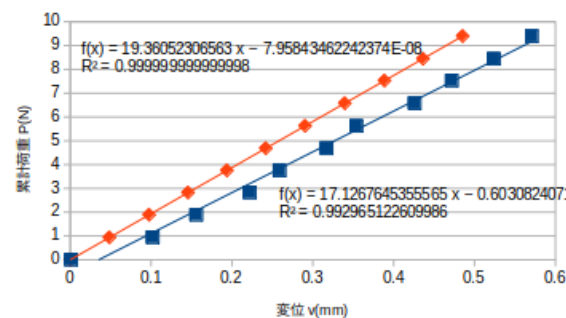
スパン 189



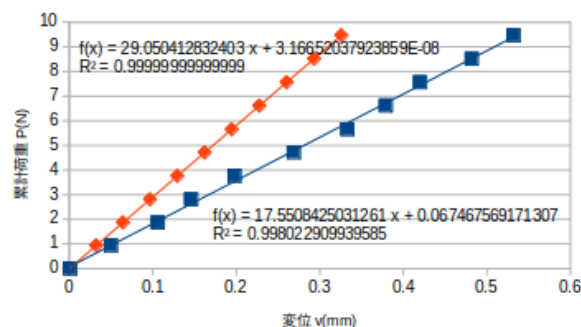
スパン 168



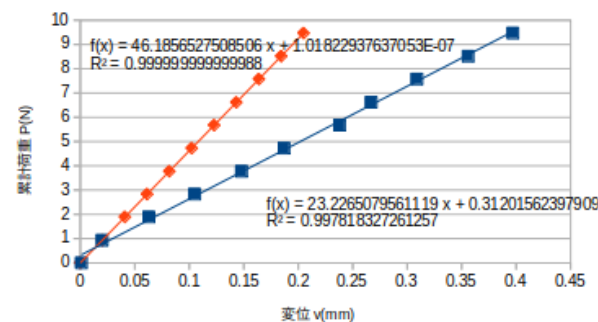
スパン 147



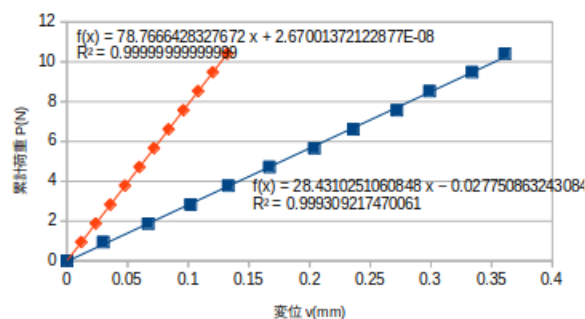
スパン 126



スパン 105

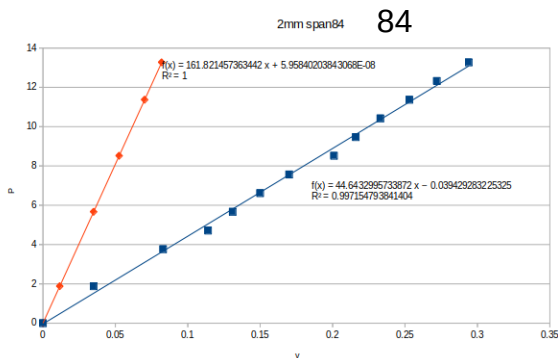
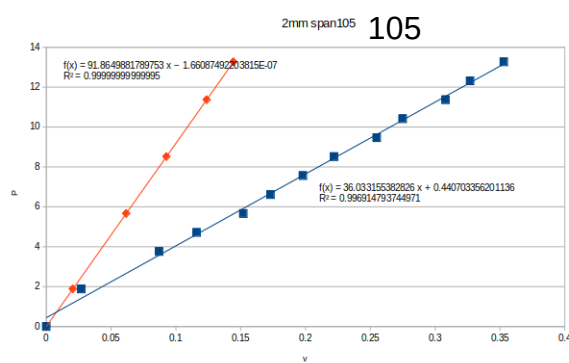
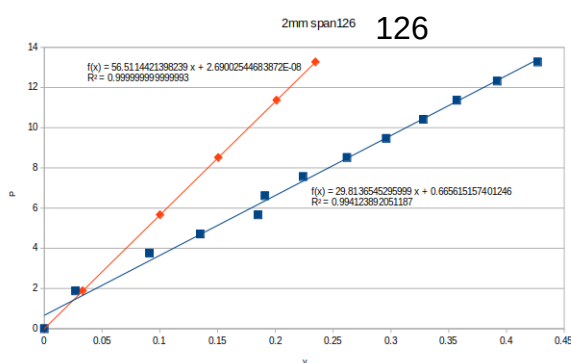
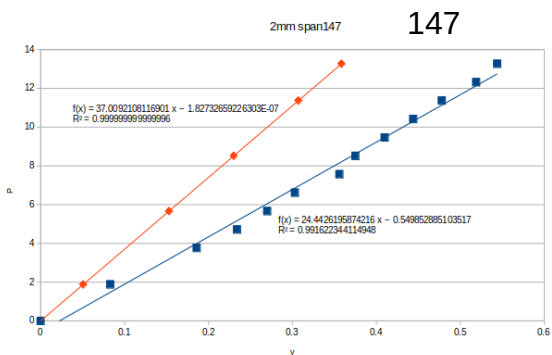
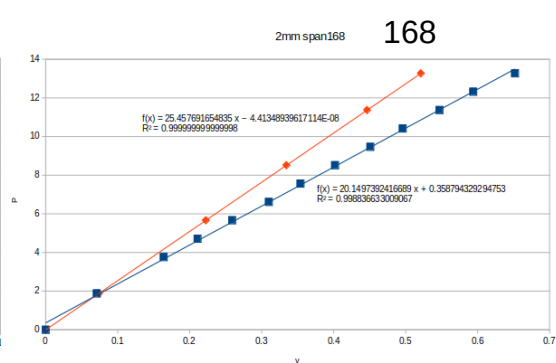
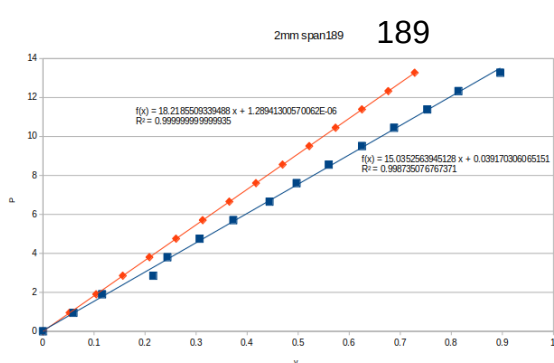
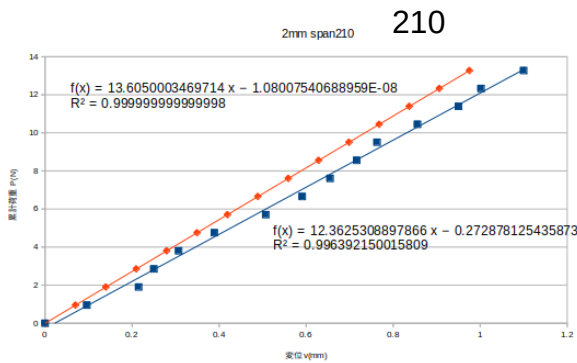


スパン 84



格子モデル(1mm層)の曲げ試験

[mm]	210	189	168	147	126	105	84
実験[GPa]	1.254	1.111	1.005	0.900	0.581	0.445	0.279
FEM[GPa]	1.135	1.123	1.082	1.050	0.992	0.913	0.797



格子モデル(2mm層)の曲げ試験

[mm]	210	189	168	147	126	105	84
実験 [GPa]	1.852	1.642	1.545	1.256	0.965	0.675	0.428
FEM [GPa]	2.151	2.100	2.061	2.007	1.930	1.816	1.638