

3D プリンタを用いて木材の異方性を模擬した材料の試作

環境構造工学分野 7019555
指導教員

柴田 桜花
後藤 文彦

1. はじめに

近年、安価な 3D プリンタの普及と 3DCAE ツールのオープンソース化にともない、3DCAE ツールでモデル化したものを、そのまま 3D プリンタにより造形し、造形した実物モデルに対して実験を行うことも可能となってきた。しかし、こうした造形モデルはあくまで等方性材料であるため、木質部材の 3D モデルを検証するための実物モデルにはなりえない。そこで本研究では、ミルフィーユ状にスリットを設けた木材模擬材料を造形し、実物モデルの実験と 3D モデルの数値解析とを比較することにより、任意のせん断剛性を有する木材模擬材料を制御できるか検討する。

2. 材料試験

3D プリンタ材料自体の曲げヤング率、軸ヤング率、せん断弾性係数を把握するため、長さ L :280mm、幅 b :11mm、高さ h :5mm の試験体を作成し、曲げ試験を行った。曲げ試験は図-2 のような単純支持 3 点曲げで行い、線载荷となるよう試験体中心の穴にぶら下げた紐付き容器に、おもりを 30 秒ごとに载荷していき、モデル中央のたわみ v の測定を各スパン l について行うことで曲げヤング率を求める。

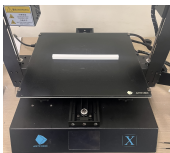


図-1 3D プリンタ

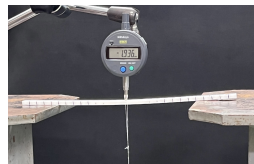


図-2 曲げ試験

ここで、ティモシェンコ梁の公式 (1) を変形して、(2) の式を得る。

$$v = \frac{P\ell^3}{48E_{\text{軸}}I} + \frac{P\ell}{4kGA} = \frac{P\ell^3}{48E_{\text{曲}}I} \quad (1)$$

$$\frac{1}{E_{\text{曲}}} = \frac{1}{E_{\text{軸}}} + \frac{1}{4kG}\left(\frac{h}{\ell}\right)^2 \quad (2)$$

(2) より縦軸に $\frac{1}{E_{\text{曲}}}$ 、横軸に $\left(\frac{h}{\ell}\right)^2$ をとったグラフを作成することで、切片から軸ヤング率、傾きからせん断弾性係数が求まる。

今回、印刷方向別に造形した 3 つの試験体についての結果は以下のように求まった。

表-1 計算結果

	軸ヤング率 E [GPa]	せん断弾性係数 G [MPa]
たて印刷	10.77	20.49
よこ印刷	9.62	24.13
ななめ印刷	8.11	26.78

軸方向ヤング率とせん断弾性係数の関係は次式のように表され、

$$G = \frac{E_{\text{軸}}}{2(1 + \nu)} \quad (3)$$

等方性であれば $G = \frac{E}{3}$ 、木材のような異方性であっても $G = \frac{E}{5000}$ 程度であるので、表-1 の最大 $G = \frac{E}{5000}$ という結果は妥当ではないと判断する。よって材料試験で求めた値は、以下の数値解析の材料定数としては不採用とする。

3. ミルフィーユ状モデルの曲げ試験

(1) 実物モデルの実験

せん断変形能を再現するために 1mm ごとにスリットの入った、長さ L :240mm、幅 b :11mm、高さ h :11mm のミルフィーユ状の試験体図-3 を作成する。この試験体について上記と同様の方法で曲げ試験図-4 を行い、曲げヤング率 $E_{\text{曲}}$ と軸方向ヤング率 $E_{\text{軸}}$ およびせん断弾性係数 G を求める。

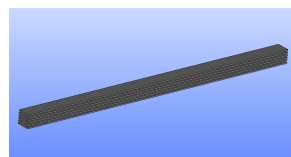


図-3 試験体



図-4 曲げ試験

曲げ試験の結果より得られたグラフを以下に示す。

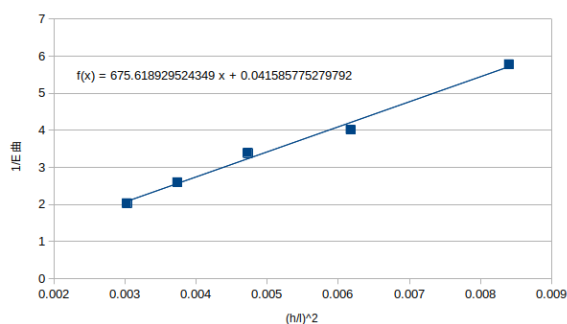


図-5 セン断弾性係数算定プロット

図-5 から、
表-2 のように値が求まった。

表-2 計算結果

軸ヤング率 E [GPa]	24.047
せん断弾性係数 G [GPa]	0.00178

(2) 数値解析

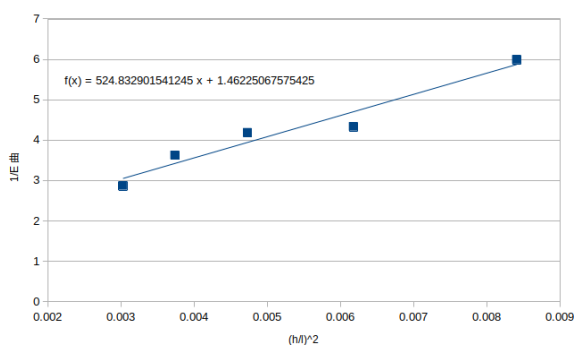


図-6 セン断弾性係数算定プロット

図-6 から、表-3 のように値が求まった。

表-3 計算結果

軸ヤング率 E [GPa]	0.684
せん断弾性係数 G [GPa]	0.00229

実物モデルの実験では約 $G = \frac{E_{\text{軸}}}{13500}$ ，数値解析では約 $G = \frac{E_{\text{軸}}}{300}$ となっており，木材等の異方性材料と比較すると $E_{\text{軸}}$ に対する G が遥かに小さくなった。

4. 格子状モデルの数値解析

ミルフィーユ状モデルにおいて，軸ヤング率せん断弾性係数を求めるグラフのばらつきが大きいことが問題であった．そこで，仕切り位置に支点を設けられるような格子状モデルについて解析を行った．その結果，図-5 に示すように，グラフのばらつきが小さくなることが確認できた。

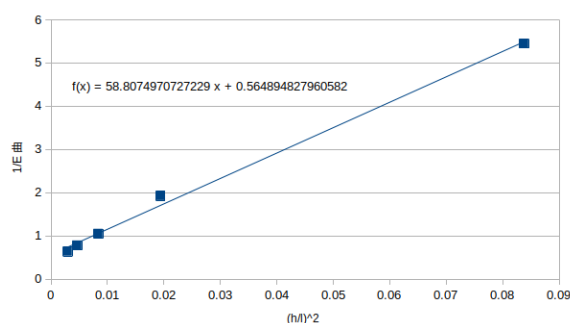


図-7 セン断弾性係数算定プロット

図-7 から、表-4 のように値が求まった。

表-4 計算結果

軸ヤング率 E [GPa]	1.770
せん断弾性係数 G [GPa]	0.0204

5. まとめ

木材を模したミルフィーユ状の梁の実物モデルと解析モデルを作成し，せん断弾性係数を算定する実験および数値シミュレーションを行った．数値シミュレーションにより算定したせん断弾性係数は一定の精度にあると考えられるが，実験は精度が低いため，実験により算定したせん断弾性係数は数値シミュレーションによる算定値からは大きくずれている．実験精度の向上は今後の課題であるが，数値シミュレーションにより材料定数を調整した異方性材料を 3D プリンタにより造形する可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 後藤文彦・麓貴行・薄木征三・佐々木貴信：曲げ試験による木材梁のせん断弾性係数推定の精度，土木学会，2003.