

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

環境構造工学分野 7020615 山口 玲智
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

3D プリンタの実用化に伴い、モデリングツール等において造形された 3D モデルがそのまま印刷することができるため、実物での実験を通して FEM の精度検証をすることが可能になってきた。しかし、印刷されるプリンタの母材は等方性材料であるため、異方性材料である木質部材の実物モデルとして扱うのは困難である。本研究では、スリットを設けた厚めの仮想格子構造を造形し、実物モデルによる実験と FEM による数値解析の結果を比較することで、3D プリンタによって異方性材料のせん断変形を再現することは可能であるか、検討する。

2. 母材の曲げ試験

3D プリンタ材料 (母材) のヤング率を把握するために、充実断面 (スリットのない状態) の試験体 (全長:280mm, 支点間スパン ℓ :240mm, 幅 b :11mm, 高さ h :5mm) による曲げ試験 (図-1) を行う。



図-1 曲げ試験

曲げ試験は単純支持 3 点曲げで行い、荷重 P を増加させながらたわみ v を測定する。実験では、支点位置にシール台紙を設けることで精度の高い結果を得ることができる。採取したデータから、単純梁のたわみの公式 (1) を用いることで曲げヤング率 $E_{\text{曲}}$ を求める。

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

結果は表-1 に示す。昨年度のモデルからヤング率が変化していることから、3D プリンタ自体の状態が変化している可能性が考えられるため、本体のノズル部分を交換し再度印刷、試験を行った。

表-1 曲げヤング率 (母材)[GPa]

昨年度	3.260~ 3.515
今年度 (ノズル交換前)	1.831
今年度 (ノズル交換後)	2.615

ここで求めた母材ヤング率は、格子状モデルの FEM による数値解析の際に材料定数として用いる。

3. 格子状モデルの曲げ試験

(1) 1mm 層モデルでの実験と数値解析

せん断変形の影響について考慮するため、ティモシェンコ梁の公式 (2) を用いる。(1) と (2) を変形した式 (3) に基づいて、縦軸に $\frac{1}{E_{\text{曲}}}$ 、横軸に $\left(\frac{h}{\ell}\right)^2$ をとったグラフ (せん断弾性係数算定プロット) を作成することで、傾きからせん断弾性係数 G 、切片から軸ヤング率 $E_{\text{軸}}$ が求まる。そのため、支点間スパンを分けながら曲げ試験を行い、それぞれの曲げヤング率を求めることで、せん断弾性係数と軸ヤング率の値を求めることができる。

$$v = \frac{P\ell^3}{48E_{\text{軸}}I} + \frac{P\ell}{4kGA} \quad (2)$$

$$\frac{1}{E_{\text{曲}}} = \frac{1}{kG} \times \left(\frac{h}{\ell}\right)^2 + \frac{1}{E_{\text{軸}}} \quad (3)$$

異方性材料のせん断変形を再現するために、1mm ごとにスリットを設けた格子状のモデル (図-2, 全長:240mm, 支点間スパン ℓ :210~84mm, 幅 b :11mm, 高さ h :11mm) を造形し、印刷された実物による実験 (図-3) と FEM 上での数値解析を行う。プリンタノズルの交換前に印刷を行ったため、数値解析での材料定数は母材ヤング率 1.831[GPa] を採用する。また、格子状モデルのヤング率は母材のヤング率を用いて理論的に $E_{\text{換算}} = E_{\text{母材}} \times \frac{I_{\text{モデル断面 (スリット有り)}}}{I_{\text{全断面 (スリット無し)}}}$ と換算することができる。 $\frac{I_{\text{モデル断面 (スリット有り)}}}{I_{\text{全断面 (スリット無し)}}} = 0.6356$ であるため、

$E_{\text{換算}} = 1.153[\text{GPa}]$ となる。

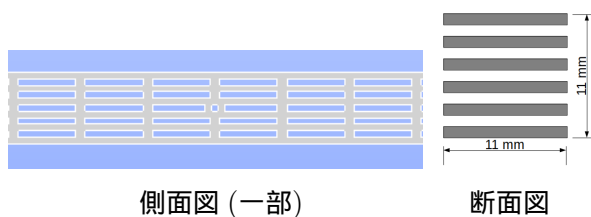


図-2 モデル (1mm 層)



図-3 実物モデルでの実験

曲げ試験の結果から図-4 のようなグラフを得た。

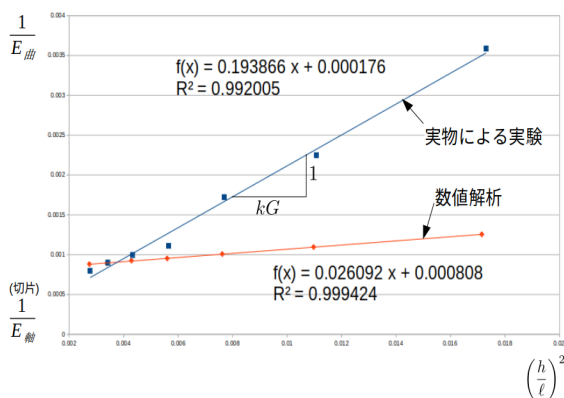


図-4 セン断弾性係数算定プロット

グラフから表-2 のような結果となった。

表-2 計算結果

	実験 (実物)	数値解析
軸ヤング率 $E_{\text{軸}}$ [GPa]	5.672	1.238
せん断弾性係数 G [GPa]	0.00619	0.04599

(2) 2mm 層モデルでの実験と数値解析

スリット同士の間隔を 2mm に変えた格子状のモデル (図-5, サイズは全て 1mm 層と同様)

を造形し, 同じく曲げ試験を行う。プリンタノズルの交換後に印刷を行ったため, 母材ヤング率は $2.615[\text{GPa}]$ を用いる。 $\left(\frac{I_{\text{モデル断面 (スリット有り)}}}{I_{\text{全断面 (スリット無し)}}} = 0.8355, E_{\text{換算}} = 2.185[\text{GPa}]\right)$

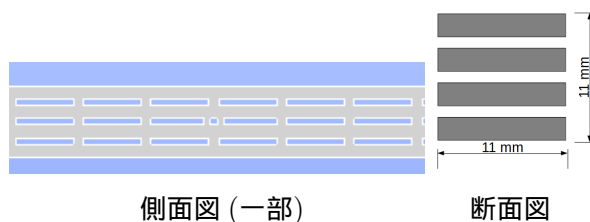


図-5 モデル (2mm 層)

結果は表-3 に示す。

表-3 計算結果

	実験 (実物)	数値解析
軸ヤング率 $E_{\text{軸}}$ [GPa]	7.453	2.265
せん断弾性係数 G [GPa]	0.00981	0.12097

4. まとめ

格子状モデルにおいて, 母材の試験結果を踏まえて換算したヤング率とせん断弾性係数の関係は, 数値解析上では $G = \frac{E}{25}$ (1mm 層), $G = \frac{E}{18}$ (2mm 層) となる。異方性材料であれば $G = \frac{E}{15}$ 程度なので, FEM 内であれば木材のせん断変形を十分再現できたと言える。また, 実物モデルでは, $G = \frac{E}{186}$ (1mm 層), $G = \frac{E}{223}$ (2mm 層) となり, 昨年の結果 (ミルフィーユ状モデル, $G = \frac{E}{1171}$) を踏まえて, 実験の精度とスリットの入れ方が与える結果への影響を示すことができた。しかし, 1mm 層と 2mm 層の間には, 実験精度による誤差程度しか結果に差異がなかった。

そのため今後は, 実験精度のさらなる向上により分散が小さいグラフを得ることと, スリットの入れ方を変化させることでよりせん断変形の少ないモデルを得ることが課題となる。

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.