

1. はじめに

近年, 3D プリンタの実用化に伴い, モデリングツールで作成した 3D モデルを直接印刷し, 実物での実験が可能になっている. しかし印刷されるモデル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ことは困難である. そこで本研究ではスリットを設けた仮想構造を造形し, 実物モデルを用いた実験と 3D モデルの数値解析とを比較することで, 内部構造の違いによる異方性を制御することは可能であるのか検討する.

2. 解析手法

単純梁のヤング率とせん断弾性係数を求めるために, 解析により求めた変位から, 各スパン l の各ヤング率を式 (1) から求める. 次に, ティモシェンコ梁の公式



図-1 曲げ試験

(2) を変形して, (3) の式を得る. 縦軸に $\frac{1}{E_{\text{曲}}}$, 横軸に $\left(\frac{h}{L}\right)^2$ 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.

$$E_{\text{曲}} = \frac{PL^3}{48vI} \quad (1)$$

$$v = \frac{PL^3}{48E_{\text{軸}}I} + \frac{PL}{GkA} \quad (2)$$

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

まず, 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:240mm, 支点間スパン l :200mm, 幅 b :10mm, 高さ h :5mm) による曲げ試験を行う. 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. 2 回目から 4 回目までのヤング率の平均値を用いる. 母材の曲げ試験の結果から, 解析と実験を共に以下の条件で行う.

表-1 材料諸元

ヤング率 E [MPa]	3135
ポアソン比	0.4

3. 単純支持梁曲げ試験

(1) 正方形, 三角形にくり抜いた時の実験と解析

異方性材料のせん断変形を再現するため, 正方形梁モデル (図-2, 全長:250mm, 幅 b :5mm, 高さ h :10mm, 支点間スパン (解析):120mm から 200mm まで 10mm ずつ, 支点間スパン (実験):120mm から 200mm まで 20mm ずつ) を造形し, 側面から見たときに正方形となるように幅 5mm, 高さ 6mm, 長さ 6mm で等間隔に 31 個くり抜く. また, 紐をかけるための立方体突起 1mm^3 を側面から見たときの幅が 1mm となるようにそれぞれ 4 個付ける. 三角形梁モデル (図-3) も正方形梁と同様の大きさ, スパンで造形し, 側面から見たときに幅 5mm, 底辺 12.4mm, 高さ 6mm で等間隔に 30 個分くり抜く. それぞれ印刷された実物による実験 (図-4) と FEM 上での数値解析を行う. 材料定数は母材ヤング率 3135MPa を採用する. また, 格子状モデルのヤング率は $E_{\text{換算}} = E_{\text{母材}} \times \frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}}$ と理論的に換算することができる. $\frac{I_{\text{モデル断面}}}{I_{\text{全断面}}} = 0.784$ であり, $E_{\text{換算}} = 2458[\text{MPa}]$ となる.

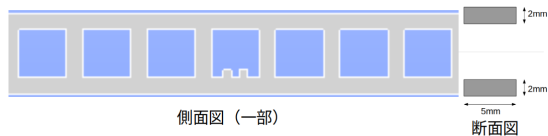


図-2 正方形モデル

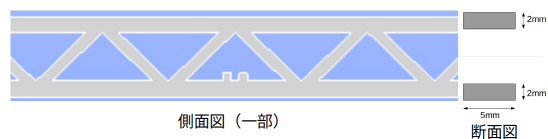


図-3 三角形モデル



図-4 実物モデルでの実験

曲げ試験から次のようなグラフを得た．

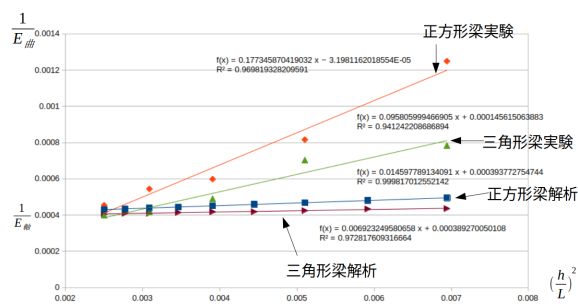


図-5 せん断弾性係数算定プロット

グラフから表 2 のような結果となった．

表-2 計算結果 (正方形梁，三角形梁)

せん断弾性係数 G [MPa]	実験 (実物)	数値解析
正方形梁	6.605	80.25
三角形梁	12.23	169.2

(2) 長方形にくり抜いた時の実験と解析

異方性を再現するために、(図-6, 全長:266mm, 幅 b :5mm, 高さ h :10mm 支点間スパン (解析):120mm から 200mm まで 10mm ずつ, 支点間スパン (実験):120mm から 200mm まで 20mm ずつ) を造形し, 側面から見たときに長方形となるように幅 5mm, 高さ 6mm, 長さ 22mm で等間隔に 11 個くり抜く．正方形梁, 三角形梁のときと同様, 立方体突起 1mm^3 を付け, $E_{\text{換算}} = 2458[\text{MPa}]$ とする.

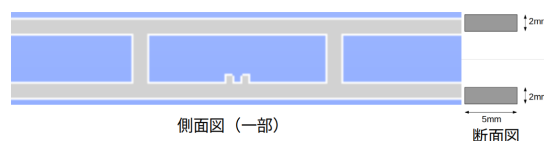


図-6 長方形モデル

結果は表-3 のようになった．

表-3 計算結果 (長方形梁)

せん断弾性係数 G [MPa]	実験 (実物)	数値解析
長方形梁	8.349	18.16

4. まとめ

換算ヤング率とせん断弾性係数の関係は, 数値解析上において正方形梁, 三角形梁, 長方形梁でそれぞれ, $G = \frac{E}{30.6}$, $G = \frac{E}{14.5}$, $G = \frac{E}{135}$ となる．木材の異方性は $G = \frac{E}{15}$ 程度であり, 解析においては異方性を制御できたと言える．また, 実物モデルでは正方形梁, 三角形梁でそれぞれ $G = \frac{E}{372}$, $G = \frac{E}{201}$, 長方形梁では $G = \frac{E}{294}$ となり, 実験で内部構造の違いによって異方性を制御することは困難であると言える．今後は, ねじり試験やねじり振動からせん断弾性係数を求めることが必要であると考えられる．

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.