

# 材料異方性を考慮した 3 次元構造継手のための 3D プリント手法に関する研究 Research on 3D Printing Method for 3D Structural Joints Considering Material Anisotropy

○三宅 一步<sup>\*1</sup>, 満田 衛資<sup>\*2</sup>  
Kazuho MIYAKE<sup>\*1</sup>, Eisuke MITSUDA<sup>\*2</sup>

\*1 京都工芸繊維大学大学院生  
Graduate Student, Kyoto Institute of Technology.

\*2 京都工芸繊維大学 教授・博士(工学)  
Prof, Kyoto Institute of Technology, Dr Eng.

キーワード : デジタルファブ리케이션; 3D プリンタ; Gcode; 材料異方性; 構造継手  
Keywords: digital fabrication; 3D printer; Gcode; material anisotropy; structural joint.

## 1. はじめに

既報<sup>1)</sup>にて筆者らは, 3D プリンタ利用を前提とした, 多数の木材が接続するかぶら束型接合部(図 1)の設計手法を提示した. しかしその手法では, 一般的に普及している市販の 3 軸 3D プリンタと, 3D プリンタの動作を制御する Gcode を作成するためのスライスソフトの利用を前提としている. そのため, 設計した接合部をプリントする際, 図 2(上)に示すように造形ベッドに対して垂直な方向に樹脂を積層してプリント(以下, 垂直積層プリント)することになり, 積層方向と応力方向が一致することによる積層方向の強度低下が生じる. 一般的に, 積層方向の強度低下を防ぐためには引張応力の方向に対して垂直な方向に樹脂を積層してプリントするのが良いとされている<sup>2)3)</sup>. 例えば, 既報<sup>1)</sup>で提示したかぶら束型接合部に図 2(下)で示すような母材の主軸方向に引張力が作用する場合, 主軸方向に対して垂直な方向に樹脂を積層しプリントするのが望ましいと考えられる. しかし, ノズル周辺には冷却ファンや樹脂を加熱するためのヒートボックス等の機器が取り付けられており, 造形ベッドに対して斜め方向に樹脂を積層してプリント(以下, 斜め積層プリント)する際, プリント途中の造形物と干渉し(図 3), 造形不良を引き起こす. 加えて, 市販の 3 軸 3D プリンタは垂直積層プリントすることを前提として製造されているため, ノズルは常に造形ベッドに対して垂直方向下向きであり, ロボットアームを用いた 6 軸 3D プリンタのように, 任意の角度にノズルを傾け造形物をプリントすることは出来ない. また, 既存のスライスソフトでは, 斜め積層プリントするための Gcode を作成することが出来ず, 応力方向や造形物との干渉など

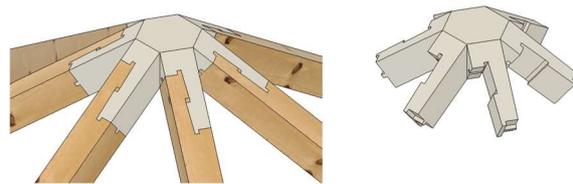


図 1 かぶら束型接合部

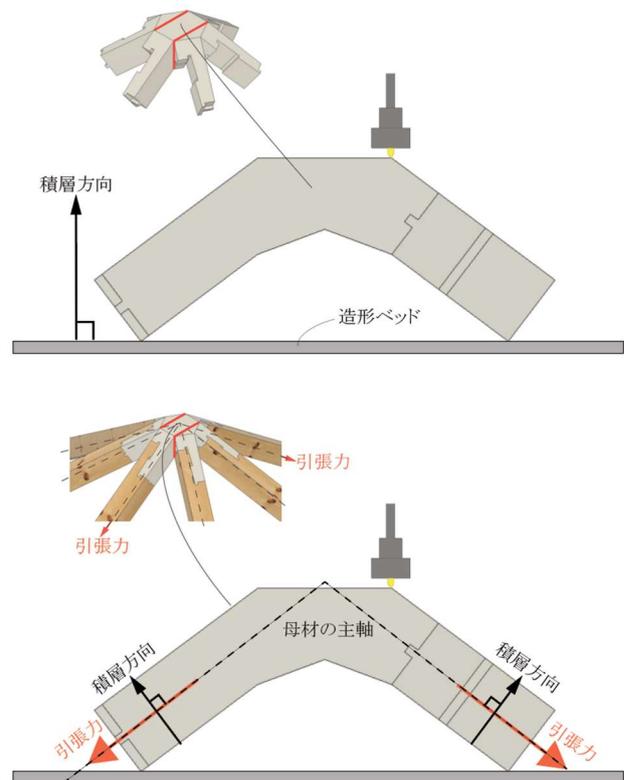


図 2 積層方向の違い 上: 垂直積層 下: 斜め積層

を考慮した Gcode のプログラムが必要となる。

上述した問題点を解決することができれば、高価であるためあまり普及していない 6 軸 3D プリントを使用せずとも、市販の 3 軸 3D プリントで斜め積層プリントが可能となり、生じる応力に対して最適な方向に樹脂を積層し接合部をプリントできると考えている。

そこで、本研究では、改良を加えた 3 軸 3D プリントを用いた斜め積層プリントの例を示す。加えて、垂直積層・斜め積層プリントしたダンベル型引張試験片を用いた引張強度試験を行い、斜め積層プリントすることが 3D プリント造形物の強度へ与える影響を確認する。

## 2. 斜め積層プリントの例

ここでは、図 4 に示すような、かぶら束型接合部の一部を切り出し簡略化したモデル(底面と上面は省略し、アウトラインと内部充填のみとしている。以下、テストモデル)を用いた斜め積層プリントの例を示す。

本研究では Creality 社製 3 軸 3D プリント : Ender 3 Pro を用いる。図 5(上)に示すように、既製品では冷却ファンを固定するためのヘッドカバーが取り付けられており、斜め積層プリントの途中で、テストモデルとの干渉が考えられる。従って、図 5(中)に示すようにテストモデルとの干渉を考慮した形状のヘッドカバー(図 5 下)を作製し既製品のものと交換した。

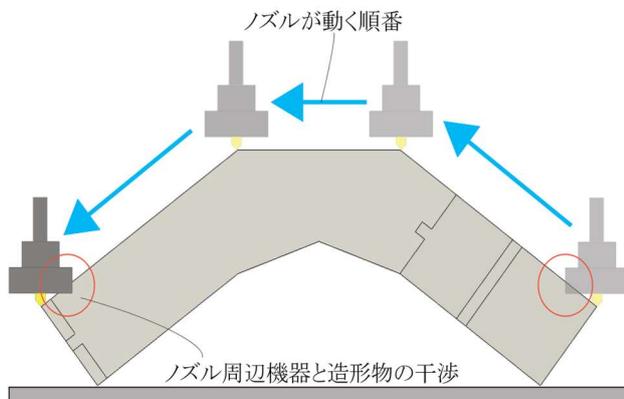


図 3 ノズル周辺機器と造形物の干渉

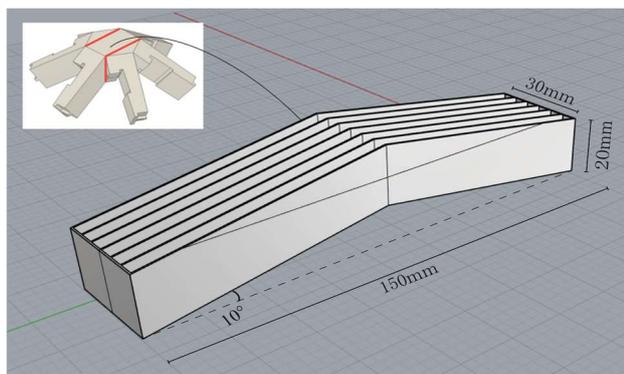


図 4 斜め積層プリントに用いるテストモデル

テストモデルを斜め積層プリントするための Gcode は Rhinoceros と Grasshopper を用いてプログラムした。造形ベッドと造形物との間に中空空間が存在する場合、サポート材が必要である。垂直積層プリントではサポート材と造形物を同時に一層ずつ積層してプリントするのが一般的であるが(図 6 上)、斜め積層プリントする場合は、中空



図 5 3D プリントの改良  
(上: 既製品 中: 干渉を考慮 下: 改良後)

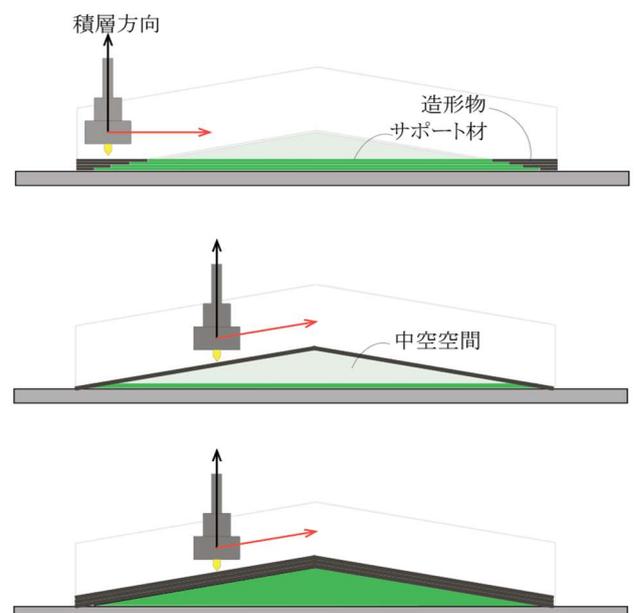


図 6 造形物とサポート材

空間が存在したままになるので造形不良が生じる(図 6 中).  
したがって、先にサポート材をプリントし中空空間を埋める必要がある(図 6 下). また、サポート材は斜め積層プリントする必要はなく、垂直積層プリントでよいため Gcode のプログラムも容易である. 今回の例では、先に、サポート材を垂直積層プリントし、その後、テストモデルを斜め積層プリントした. プログラムした Gcode から可視化した、ノズルが動く軌跡を図 7 に示す.

改良を加えた 3D プリントとプログラムした Gcode を用いてテストモデルの斜め積層プリントを行った結果を図 8 に示す. プリント途中で、テストモデルとノズル周辺機器が干渉することなく、スムーズに斜め積層プリントができた.

### 3. 引張試験

ここでは、垂直積層・斜め積層プリントしたダンベル型引張試験片を用いた引張試験を行い、斜め積層プリントすることが強度へどのような影響を与えるのか確認した.

本試験では、プラスチック樹脂材料等の機械的特性を取得するための引張強度試験方法、及びその計測装置精度等が規定されている JIS 規格(ISO 527・JIS K 7161)を使用した. 試験片は ISO527・JIS K 7161 に規定されているダンベル型引張試験片(タイプ 1A)の形状に従う. 試験片の寸法を図 9 に示す.

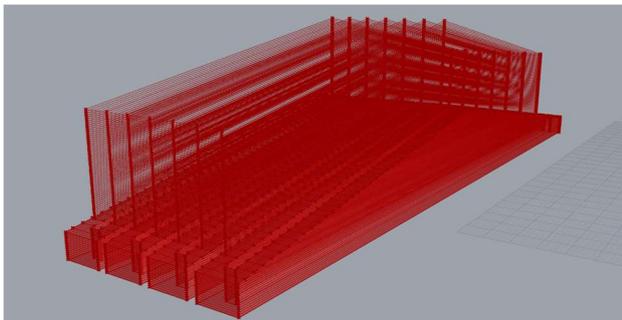


図 7 ノズルの動く軌跡

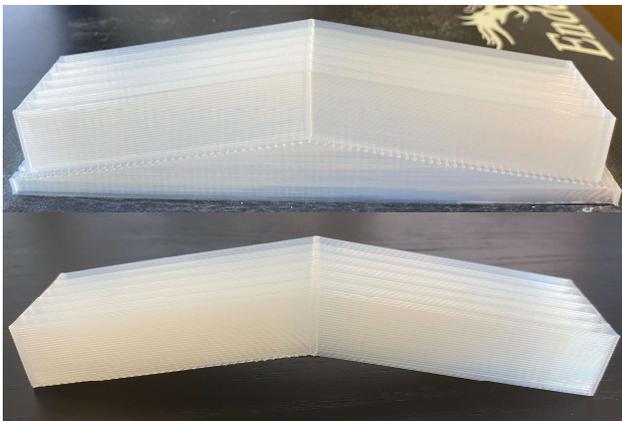


図 8 プリントしたテストモデル  
(上: サポート除去前 下: 除去後)

### 3.1. 試験片の作製

試験片の作製では、図 10 に示すようにノズルを y 方向に動かし(図 10 の赤矢印)、試験片を垂直積層・斜め積層プリントした.

斜め積層プリントする試験片と造形ベッドの間には中空空間が存在するためサポート材のプリントが必要になるが、今回は造形不良を防ぐため、木材で作製したサポート治具を用い、その上に直接試験片を斜め積層プリントした(図 11). また、今回の試験片の材料には生分解性プラスチックである PLA 樹脂フィラメントを使用した. 作製した試験片を図 12 に示す.

### 3.2. 引張試験の方法

垂直積層, 斜め積層プリントした試験片を用いて、島津

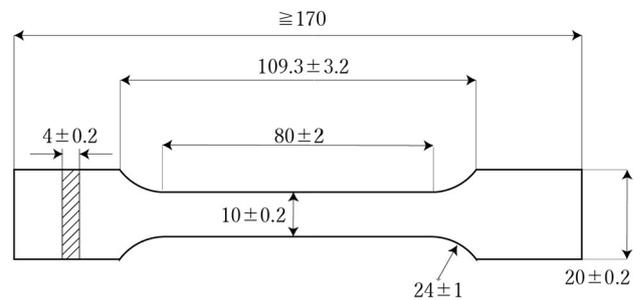


図 9 JIS K 7161 に規定されている試験片の寸法

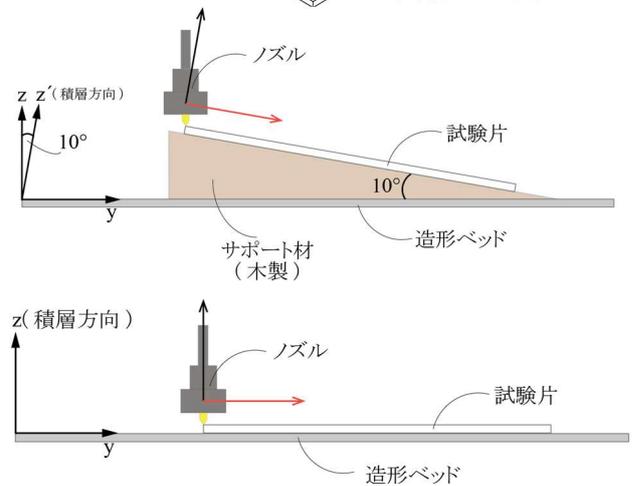
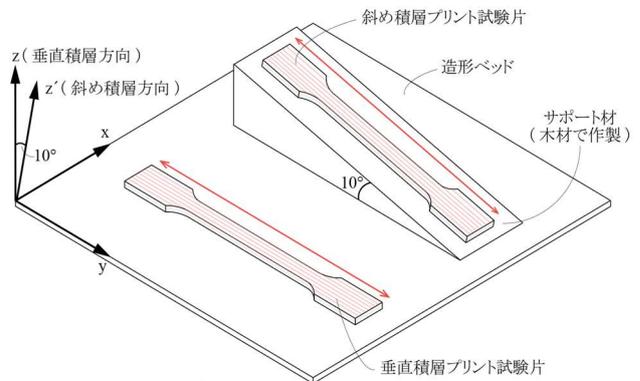


図 10 試験片の作製方法

製作所製の万能試験機(AUTOGRAPH AG-X)による引張試験を行った。引張試験速度は1mm/minとし、1種類の試験片につき3本、合計6本の試験を行い、その平均値を求め比較した。弾性率は、JIS K 7161の規定に従い、各試験体の応力ひずみ曲線のひずみ 0.05%~0.25%間の傾きを線形回帰により求めた。

#### 4. 引張試験の結果

図13, 表1に引張試験から得られた結果を示す。応力ひずみ曲線の凡例のi~iiiは各試験片3本のNo.である。

各試験片の結果を比較すると、引張強度、弾性率はほとんど差が出なかったが、破断点ストロークに関しては、垂直積層プリントした試験片のほうが斜め積層プリントしたものより0.92mm大きかった。

試験終了後の破断した試験片を図14に示す。

#### 5. まとめ

- ・市販の3軸3Dプリンタでも、改良を加えれば斜め積層プリントができる事を確認した。
- ・垂直積層、斜め積層プリントした引張試験片の試験結果を比較すると、引張強度、弾性率にはほとんど差は出ないが、破断時のストロークに違いが生じた。

#### [参考文献]

- 1) 三宅 一步, 満田 衛資 : 3D デジタル技術を用いた木構造接合部の設計手法の開発, 日本建築学会近畿支部研究報告集 2021, p120
- 2) 高橋 智, 児玉 和也 : 3D プリンタ造形物の強度評価と

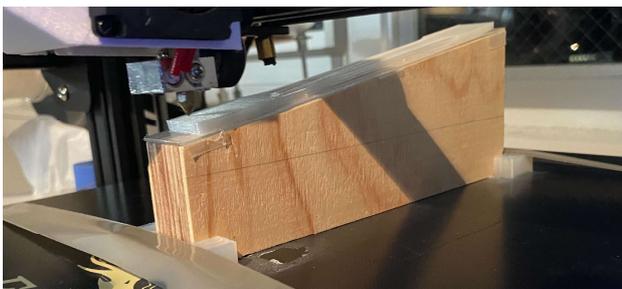


図11 試験片の斜め積層プリントの様子

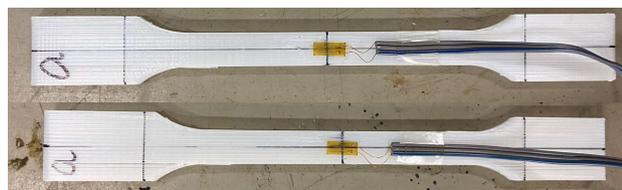


図12 作製した試験片(上:垂直積層 下:斜め積層)

充填構造の設計, 石巻専修大学 研究紀要 第31号 9p-16p

- 3) 太田 崇文, 岡田 耕治, 斎藤 梓, 吉田 一也, 村澤 剛, 川上 勝, 古川 英光 : 3Dプリンタで造形したゲルとプラスチックの機械的特性の積層方向依存性, 日本機械学論文集, vol83, N0850, 2017

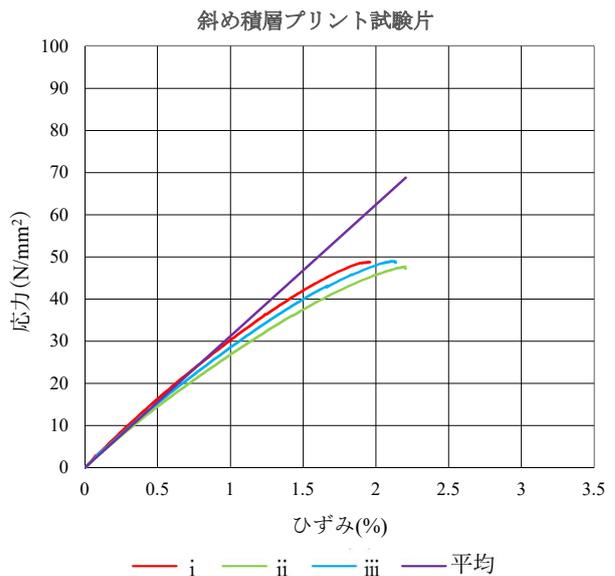
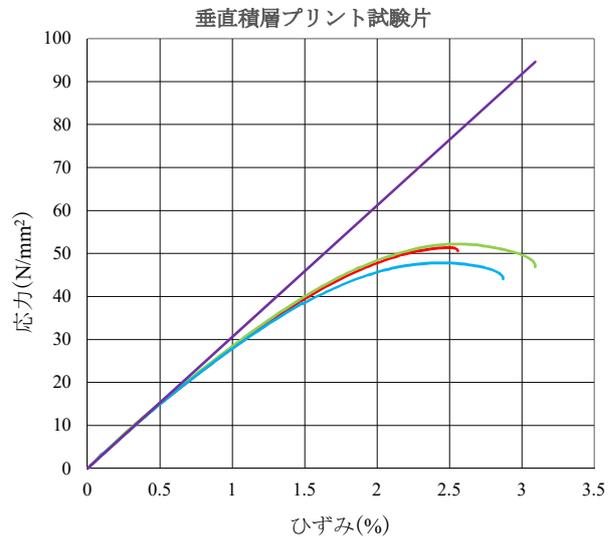


図13 試験から得られた応力ひずみ曲線



図14 試験後の試験片(上:垂直積層 下:斜め積層)

表1. 引張試験結果

	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	弾性率(N/mm <sup>2</sup> )	破断点ストローク(mm)
垂直積層	47.26	3057.92	4.29
斜め積層	48.13	3079.15	3.37