

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	木材における継手・仕口加工の3Dプリント部品への適用
Title(English)	Application of Joints Processing in Wood to 3D Printed Parts
著者(和文)	塚本悠太, 遠藤玄, 難波江裕之
Authors(English)	Yuta Tsukamoto, Gen Endo, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2023講演論文集, , , 1A2-I21
Citation(English)	, , , 1A2-I21
発行日 / Pub. date	2023, 6

# 木材における継手・仕口加工の3Dプリント部品への適用

## Application of Joints Processing in Wood to 3D Printed Parts

○学 塚本 悠太 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大)  
正 難波江 裕之 (東工大)

Yuta TSUKAMOTO, Tokyo Tech, tsukamoto.y.ak@m.titech.ac.jp  
Gen ENDO, Tokyo Tech  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

Reducing power consumption of robots is more important than ever, and weight reduction by applying new materials is expected. Fused Filament Fabrication (FFF) 3D printing, which has been developed in recent years, has been attracting attention because of its features of lightweight and easy fabrication of complex shapes at low cost. However, FFF 3D printing has some problems, such as instability of modeling due to warpage caused by thermal contraction, limited modeling size, and time required for modeling, especially for large structural parts. To solve this problem, we propose a method of constructing a large structural parts by combining multiple 3D printed parts which has the joint shapes used in wooden architecture. In this study, we fabricated two common shapes of joints used in conventional wooden construction, the "Koshikakekamatsugi" and the "Okkakekamatsugi", by 3D printing, and evaluated them by a three-point bending test.

**Key Words:** 3D Printing, New Material Design, Joints

### 1 緒言

ロボットの消費電力の削減はこれまでも増して重要であり、新素材の適用による軽量化が期待されている。そこで近年発達してきたフィラメント溶融製法 (FFF; Fused Filament Fabrication) による 3D プリンティングは、材料と In-fill 構造の工夫による軽量化と複雑形状の製作が容易に低コストで実現できるという特徴から注目されている。しかし FFF 方式 3D プリンティングでは特に大構造部品の造形においては造形物の熱収縮による反りの発生という造形の不安定性、3D プリンタのベッドの大きさによる造形サイズの制限、そして造形に時間を要するという課題がある [1][2]。

ところで木造継手は建築物において土台、梁、桁、母屋などの曲げを受ける箇所では異方性の木材を長手方向へと延長するために用いられている [3]。そのため FFF 方式 3D プリンティングにおける課題を解決するため、木造建築で用いられる継手・仕口形状を小部品に組み込み、複数の 3D プリンタにより造形後、組み合わせて大構造部品を構成する手法を提案する。そして本研究では木造継手のうち基本的な形状である腰掛け鎌継ぎと追掛け大栓継ぎのそれぞれの形状を 3D プリントにより製作し、3 点曲げ試験による評価を実施した。

### 2 試験片

本試験に用いた試験片は組み立て時に断面形状が 20 mm 角、長さ 300 mm の角柱となる。継手形状は図 1 に示す木造建築において頻繁に用いられる腰掛け鎌継ぎと追掛け大栓継ぎの 2 種類とする。各試験片は表 1 に示す公称値を有し、脆性的に破断するチタン酸カリウム繊維強化ナイロン (ポチコン、大塚化学) を材料とし、3D プリンタ (Raise3D Pro2, Raise3D) を用いて造形した。造形条件はノズル径 0.40 mm、レイヤ高さ 0.10 mm とし、内部構造を中実とするため造形物がすべてシェルで構成されるよう設定した。

### 3 3 点曲げ試験

荷重試験機 (島津製作所製 AG-I, 最大試験力 100 kN) に対し、支点間距離 240 mm、荷重が試験片中央に作用するように試験片を設置し、先端直径 10 mm の圧子を 4.8 mm/min で徐々に押し下げ、得られる押しつけ力と試験片の変位を計測した。ただし変位は圧子が試験片に接触し、反力が作用した位置をゼロ点とし、そこからの降下量とする。

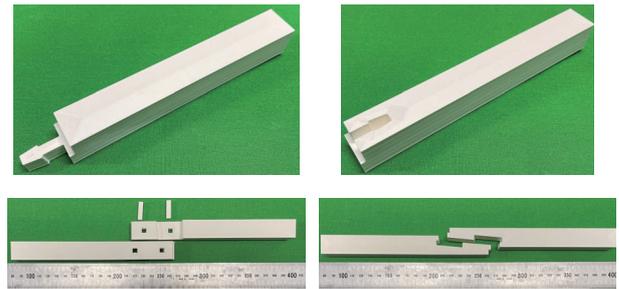


Fig.1: The shape of joint : (top) "Koshikakekamatsugi", (bottom) "Okkakedaisentsugi"

Table 1: Material properties of "POTICON" (3D printed with in-fill 100%)[4]

Bending Strength [MPa]	167
Bending Modulus [GPa]	6.3
Tensile Strength [MPa]	100
Tensile Modulus [GPa]	5.6

試験片は腰掛け鎌継ぎは 3 本、追掛け大栓継ぎは 2 本を用意し、それぞれの試験の荷重方向に対し 1 本ずつ試験を実施した。

#### 3.1 腰掛け鎌継ぎの 3 点曲げ試験

荷重方向は図 2 上段に示すように 3 方向とし、それぞれ 1 試験片について試験を実施した。図 2 中段に横軸を曲げひずみ、縦軸を曲げ応力とした試験結果を示す。図 2 下段は破断した箇所の写真である。表 1 に示すようにポチコンの曲げ強度が 167 MPa であることを考慮すると最大の荷重方向でも 20% 程度の応力で破断してしまうことが確認される。破断箇所を確認すると曲げにより生じる引張・圧縮応力に対し垂直な方向のパスとなっている箇所で破断していることが確認でき、造形時のパスの工夫及び造形形状の工夫が必要と推察される。

#### 3.2 追掛け大栓継ぎの 3 点曲げ試験

荷重方向は図 3 上段に示すように 2 方向とし、それぞれ 1 試験片について試験を実施した。図 3 中段に横軸を曲げひずみ、縦

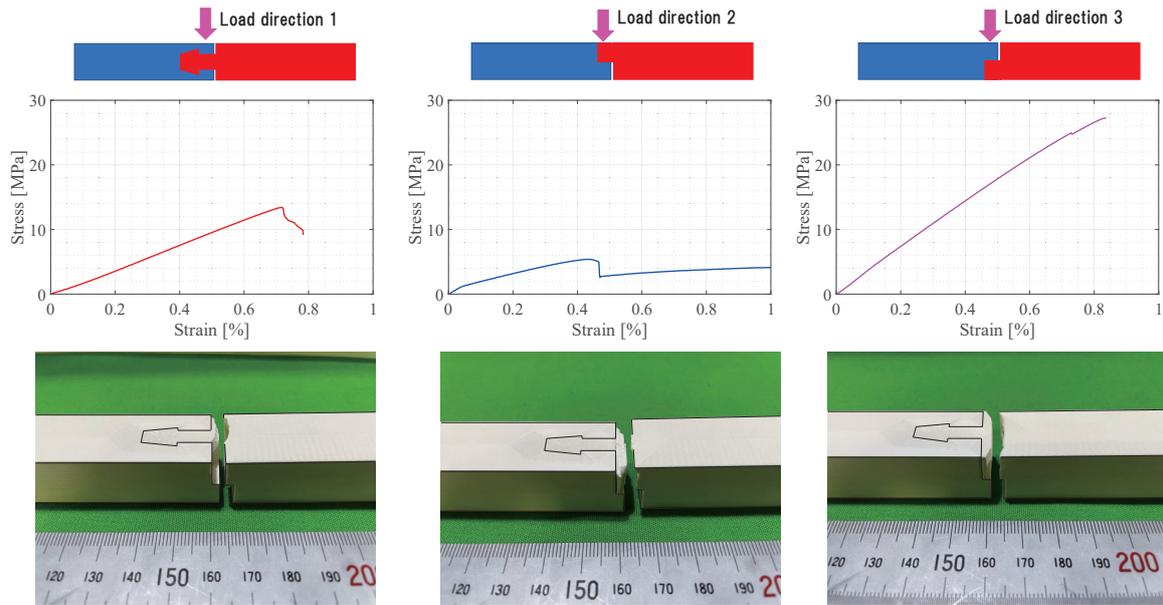


Fig.2: The result of 3-point bending test of "Koshikakekamatsugi" : (top) load direction, (middle) stress-strain diagram, (bottom) view of fractured area : Black lines show the outline of the joint shape before fracture.

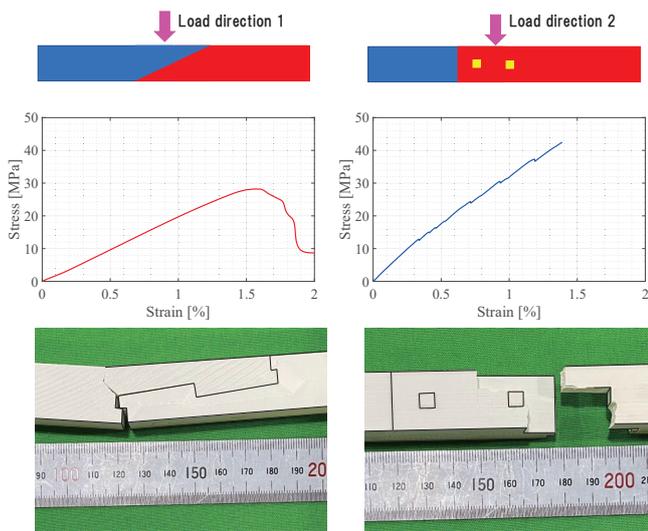


Fig.3: The result of 3-point bending test of "Okkakedaisentsugi" : (top) load direction, (middle) stress-strain diagram, (bottom) view of fractured area : Black lines show the outline of the joint shape before fracture.

軸を曲げ応力とした試験結果を示す。図 3 下段は破断した箇所の写真である。腰掛け鎌継ぎと比較すると破断時の荷重の向上を確認できるが、依然として破断荷重は 25%程度となっている。

### 3.3 考察

すべての継手形状において中実のポチコンで得られる強度は得られなかった。これは継手の部分は亀裂を人為的に入れていること等価であり、強度的に劣る箇所を作り出しているためと推察される。ところで木造継手は木造建築物において要求される強度、意匠的な要求等に対応するよう経験的に多様に発達してきたが、現在は製作における合理化が要求され、職人的技術を要求する特殊な継手形状よりも加工の機械化が可能な簡易化が推進されてきた [3]。本試験に採用した継手形状は簡易化が為された後の

形状であり、加工工具による影響が大きいと思われる。そのため 3D プリントだからこそできる、従来加工工具では不可能な独自の継手・仕口構造があり得るのではないかと考えている。

## 4 結論

本研究では、3D プリンティングを用いた大構造部品の製造における課題を解決する手法として木造継手形状を有する小部品へと大構造部品を分割して造形、組み合わせることで完成させるという手法を提案した。そして従来の木造継手形状のうち腰掛け鎌継ぎと追掛け大栓継ぎの 2 種類について 3D プリントにより造形し、単純な荷重条件下、形状の有効性を検証した。今後はより多様で複雑な荷重条件下での有効性を評価すると共に、今回得られた知見を元に 3D プリント部品特有の最適な継手形状の開発が必要不可欠である。

## 5 謝辞

本成果は NEDO 助成事業 (JPNP20016) の一環として得られたものである。また、本論文は、技術研究組合産業用ロボット次世代基礎技術研究機構との共同研究の成果である。

さらに貴重なコメントと議論をいただきました武居直行准教授 (東京都立大学)、太田裕介教授 (千葉工業大学)、高木健教授 (広島大学) に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 橋原弘之, "日本における Additive Manufacturing の概要とこれからの課題", 計測と制御, Vol. 54, No. 6, pp. 381-385, 2015.
- [2] 株式会社アイ・メーカー, "3D プリンターの問題点や課題について", <https://i-maker.jp/blog/3d-print-controversial-point>, (参照 2023-03-17).
- [3] 茶谷正洋, 八木幸二, 宮川哲也, 山畑信博, "木造在来構法における継手・仕口の研究: 継手・仕口の簡易化状況の分析", 日本建築学会計画系論文報告集, Vol. 350, pp. 30-36, 1985.
- [4] 日本 3D プリンター株式会社, "大塚化学 | ポチコン NTL34M", <https://raise3d.jp/archives/filament/9366>, (参照 2023-03-31).