

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	産業応用に向けた3Dプリンタ製ロボット機構部品 第9報: 大型化のための3Dプリント部品接合法の提案
Title(English)	Robot Mechanical Parts Made by 3D Printers for Industrial Applications -Report 9: Proposal of 3D Printed Parts Joining Method for Large-Size Parts-
著者(和文)	金井規聡, 難波江裕之, 遠藤玄
Authors(English)	Norisato Kanai, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2024講演論文集, 1P1-P04, ,
Citation(English)	Proceedings of the 2024 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1P1-P04, ,
発行日 / Pub. date	2024, 5

# 産業応用に向けた3Dプリンタ製ロボット機構部品

## —第9報: 大型化のための3Dプリント部品接合法の提案—

### Robot Mechanical Parts Made by 3D Printers for Industrial Applications

#### -Report 9: Proposal of 3D Printed Parts Joining Method for Large-Size Parts-

○学 金井規聡(東工大) 正 難波江裕之(東工大) 正 遠藤玄(東工大)

Norisato KANAI, Tokyo Institute of Technology, kanai.n.ab@m.titech.ac.jp

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

Currently, it is expected that conventional parts used in industrial robots can be replaced with 3D printed materials to reduce the weight and improve the performance of robots. To archive this, it is essential to manufacture large parts, but it is not easy due to the problem of thermal shrinkage and the fact that the modeling size is dependent on the size of the 3D printer. Therefore, it would be highly versatile if small parts could be joined easily and without loss of strength. We propose a joining method using mating and adhesion of pyramidal concavo-convex parts. In this study, three point bending tests of the proposed joining method are conducted and compared with bulk materials to demonstrate its effectiveness.

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

## 1 緒言

近年、産業用ロボットの従来部品を3Dプリント材で代替することによる、ロボットの軽量化・高性能化が期待されている。しかし、ロボットアーム等の大型部品を3Dプリンタを用いて一体造形するのは容易ではない。その理由として、熱収縮による寸法のずれや、そもそも造形サイズがプリンタのベッドサイズに依存してしまうことが挙げられる。大型の3Dプリンタも存在するが、造形方向が限られ、また莫大なコストがかかる。そのため、小型部品を簡単に、かつ強度を落とすことなく接合できれば高い汎用性がある。

本研究では、四角錐形状凹凸部品の嵌合・接着による接合法を提案し、3点曲げ試験による強度評価を行った。

## 2 提案する接合法と試験条件

今回提案するのは、四角錐形状凹凸部品の嵌合・接着による接合である[1]。図1をオス部、図2をメス部と呼ぶ。寸法は幅20mm、高さ20mm、オス部端から突起部根本までが16mm、突起部根本は18.5mm×18.5mmで、突起部長さは48mm、頂角が8.0°である。オス部はサポート材が入らないよう2分割にして造形し、接着する。オス部とメス部の接合後の寸法は20mm×20mm×80mmとなる(図3)。

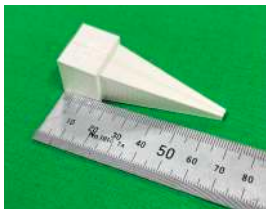


Fig.1 Convex part



Fig.2 Concave part

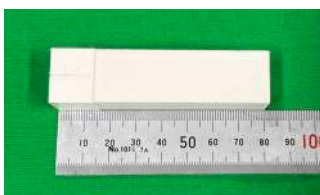


Fig.3 After joining

この形状に至った理由は以下である。

- 接合界面が曲げ方向に対してできる限り垂直である  
曲げに対して最も弱い亀裂の方向は、荷重に対して平行な方向である。よって、長手方向に長い部材をそのまま縦に接合するのは最も弱い。仮に亀裂方向が曲げ荷重に対して垂直であれば、亀裂が進展する力は直接受けられないため、強度を保つことができると考えられる。よって界面が力の方向と垂直となるような接合が理想だが、それは長手方向に長くしたいという目的と矛盾する。よって、その間をとって斜めに接合するのが最適だと考えた。
- 接着剤が回りやすい  
接着剤をメス部の底に溜めておき、オス部を押し込むことで、容易に均一に接着剤を回すことができる。
- 上下左右対称である  
様々な方向からの荷重が想定されるため、形状が方向に依らないことが望ましい。
- 長軸周りのモーメントに強い  
円錐形での嵌合でも上3つの条件を満たすが、円錐形にすると、長軸周りのモーメント(ねじり)に対する抵抗が小さくなるのが考えられる。四角錐であればその抵抗を大きくできる。

今回使用した材料はPOTICON NTL34Mである。その物性を表1に示す[2]。

POTICONはチタン酸カリウム繊維強化ナイロン樹脂であり、カーボン長繊維を用いない通常のFFF方式3Dプリンタで利用できる樹脂としては知り得る限り最も強度の高い材料である。

Table 1 Physical properties of POTICON

物性値	値
引張強さ [MPa]	100
曲げ強さ [MPa]	167
縦弾性係数 [GPa]	6.3
ガラス転移温度 [°C]	60

3D プリンタは G-ZERO(グーテンベルク社製) を用いており、造形条件は表 2 の通りである。

造形条件	名称 / 値
3D プリンタ	G-ZERO
スライサソフト	PrusaSlicer
ノズル径 [mm]	0.4
ノズル温度 [°C]	260
ピッチ [mm]	0.1
充填率 [%]	100

造形方向については、本論文では図 4 のように長手方向を立てて造形したものを Z 方向、長手方向を横にして造形したものを X 方向と呼ぶ。

3D プリンタで造形された物体は積層された層の集合体であり、各層は積層材料同士の熱融着によって結合されている。積層面は、積層材料同士の結合力が弱く比較的脆弱である。そのため一般に、積層方向に対して垂直方向に曲げられる場合(図 4 の X 方向)の方が、積層方向に沿って曲げられる場合(図 4 の Z 方向)よりも強くなる。それに加え、短繊維がノズルを通過する際に、X 方向に配向して強度が上がるため、X 方向で造形した場合の方が Z 方向よりも曲げに強い。Z 方向で造形した試験片に曲げを加えた場合、積層界面で剥離を起こし、破断する。

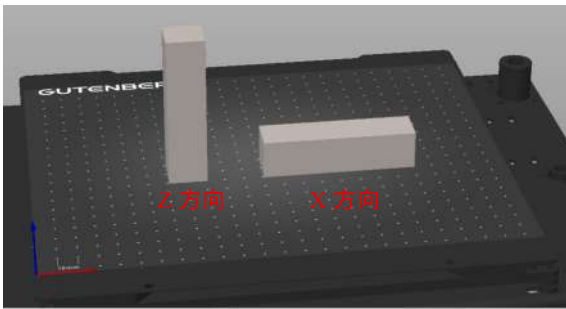


Fig.4 Modeling direction

試験方法は、オートグラフ(島津製作所:AGX-20kNVD)を用いた 3 点曲げ試験(支点間距離 64mm, 試験速度 2mm/min)である。条件ごとに試験片を 3 本作成して試験を行い、その平均値を算出した。

### 3 試験結果

#### 3.1 バルク材との比較

まず、以下の 2 つで曲げ強さの比較を行う。

- 20 mm × 20 mm × 80 mm バルク材 (Z 方向で造形)
- 提案した接合法

2 についてはサポート材が入らないようオス部を 2 分割にして X 方向で造形・接着し、メス部は Z 方向で造形を行った。曲げ応力-ひずみ線図を図 5、図 6 に、それぞれの条件の曲げ強さの平均値を表 3 に示す。

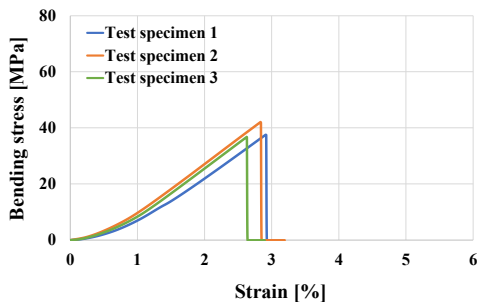


Fig.5 Results of 3-point bending test (bulk material Z)

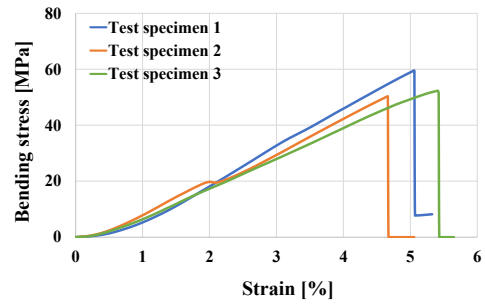


Fig.6 Results of 3-point bending test (proposed joining)

Table 3 Average bending strength

試験片	平均曲げ強さ [MPa]
バルク材 (Z)	38.9
四角錐凹凸接合	54.6

結果として、提案した接合法を用いることで、Z 方向のバルク材に対して 139%の曲げ強さを得られることが確認できた。

#### 3.2 より実用的な条件での比較

3.1 の実験では試験片の充填率を 100%にして造形したが、コストや重量の面から、実際には充填率を落として造形することが多い。また、ロボットアーム等に適用することを考えた場合、試験片のサイズを大きくした方が実用に近い。よって、より実用的な条件に近づけた以下の 2 つで比較を行う。

- 20 mm × 20 mm × 160 mm 角柱 (充填率 37%, X 方向で造形)(図 7)
- 提案した接合法 (接合部のみ充填率 100%)(図 8)

2 については、3.1 のものからオス部とメス部の根元側を 40 mm ずつ伸ばし、角柱の寸法と合わせている。試験片の造形方向や作成方法は 3.1 と同様である。



Fig.7 Bulk material (infill:37%)

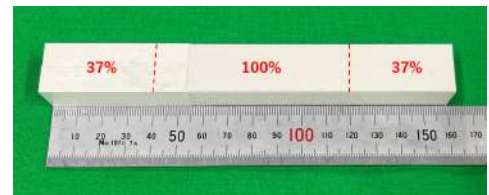


Fig.8 Proposed joining method

曲げ応力-ひずみ線図を図 9、図 10 に、それぞれの条件の曲げ強さの平均値を表 4 に示す。

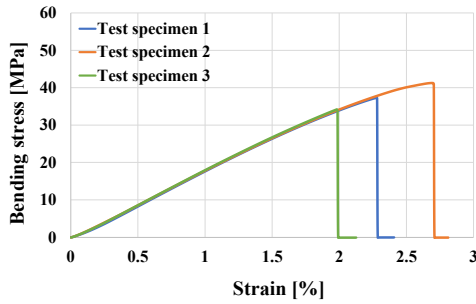


Fig.9 Results of 3-point bending test (bulk material X)

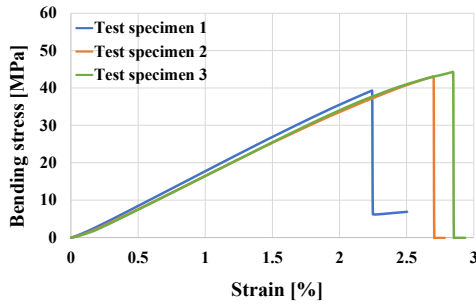


Fig.10 Results of 3-point bending test (proposed joining)

試験片	平均曲げ強さ [MPa]
角柱 (X)	37.6
四角錐凹凸接合	42.3

結果として、接合部のみ充填率を 100%にすることにより、曲

げに対して強い X 方向で造形した試験片と比較しても 113%という高い強度を得られることが確認できた。

#### 4 結言

本研究では、四角錐形状凹凸部品の嵌合・接着による接合法を提案し、3点曲げ試験による強度評価を行った。結果として、同寸法のバルク材 (Z 方向積層) に対して 139%の強度を得られることが確認できた。また、充填率を 37%に低下させた、より実用的な条件に近づけた場合でも、接合部のみ充填率を 100%とすることにより、X 方向で造形した場合と比べても高い強度を得られることが確認できた。今回提案した接合法は、ロボットアームを始め幅広い適用が考えられる。今後は多関節ロボットを製作することにより、提案した接合法の有効性を明らかにする予定である。

#### 5 謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業 (JPNP20016) の一環として行われたものである。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り、技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構が共有著作権を有している。

貴重なコメントをいただきました武居直行教授 (東京都立大学)、太田祐介教授 (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] 特願 2023-219155
- [2] Ltd. Otsuka Chemical Co., *POTICON TISMO Reinforced Compound.*, <https://www.otsukac.co.jp/products/chemical/poticon/>, Accessed: November 28, 2023.
- [3] 塚本悠太, 遠藤玄, 難波江裕之, "木材における継手・仕口加工の 3D プリント部品への適用", *ROBOMECH*, 1A2-I21, 2023.