3D プリンタの造形品質と強度の向上(第2報)

-基本性能の把握-

兵頭敬一郎・疋田武士・佐藤寿喜・佐藤幸志郎 製品開発支援担当

Improvement of 3D Printer Modeling Quality and Strength (2nd Report)

-Understanding basic performance-

Keiichiro HYODO•Takeshi HIKIDA•Hisaki SATO•Koshiro SATO Product Design and Development Section

要 旨

令和4年度に3Dプリンタ「Markforged 社製 X7[™]」が導入され,企業を対象とした3Dプリンタ利用サービス を提供するにあたり必要となる基本的な造形技術及び造形物の機械的性質について蓄積を行う.令和6年度は, 樹脂材料での造形物,樹脂材料と長繊維のカーボンファイバー(以下,CFと略記する)との複合造形物の精度 と強度の再現性とともに,CFの量や配置,角度等,造形時の各種設定を検討する他,ねじり性能,セルフタッ ピング,インサートナットによる接合,接着接合等の性能を確認した.また部品分割によるCF複合造形により 引張強度の向上を確認した.造形品質と強度の向上についての実施データを積み重ね,活用方法も併せて整備 してマニュアル化し,利用サービスの向上を図る.

1. はじめに

令和4年度に導入した 3D プリンタ「Markforged 社製 X7[™]」の 造形物の造形品質と強度の向上についての実施 データを積み重ね,活用方法も併せて整備してマニュア ル化し,利用サービスの向上を図る.

2. 方法

研究には、樹脂材料としてナイロン樹脂に短繊維 CF を 混合した Onyx™を用い、長繊維材料として CF を用いた.

第1報の,樹脂材料による造形物と,樹脂材料とCFの 複合造形による造形物の精度と機械的性質の再現性とと もに,CFの量や配置,角度等,造形時の各種設定による 精度と強度を確認した.

また,ねじり性能,セルフタッピング,インサートナットによる接合,接着接合,部品分割による CF 複合造形の強度について確認した.

2.1 造形精度

第1報と同様に, JIS K 7139:2009 プラスチック-試 験片 に基づくダンベル型引張試験片 (タイプ A1 形状, 平行部幅 10mm, 厚さ 4mm)を造形し,測定した.

寸法誤差は,実測値を設計値(全長170mm,幅10mm, 厚み4mm)で除した値とした.

2.2 引張試験

第1報と同様に, JIS K 7161:2014に基づき, Table 1 に示すとおり引張試験を行った. (Fig. 1)

Table 1 引張試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	А	В	С		
樹脂材料	Onyx TM				
長繊維材料	—	—	CF		
積層ピッチ (mm)	0.1	0.05,0.1 ,0.125, 0.2,0.25	0.125		
内部形状	Solid Fill				
造形方向	平置き	平置き 横置き 縦置き	平置き		
試験片本数	6	5×3	6		
引張試験機	島津製作所:AGS-J 型試験システム				
試験片	JIS K 7139 タイプ A1				
つかみ具間距離	115mm				
標点間距離	50mm				
試験速度	1mm/min				

また, Table 2 に示すとおり, CF の量や配置, 角度を 設定して造形した場合の引張試験を行った.

なお,樹脂材料,長繊維材料,内部形状はTable 1と 同様とした.

造形条件	А	В	С	D	Е	
積層ピッチ(mm)	0.125					
造形方向	平置き					
CF 位置と	上 4	分散	中央			
レイヤー数	下4	8	24			
(0) 各座 (0)	0	45 00 1	95	0	45,	
UF角度()	0,	45, 90, 1	135 0 13			
試験片本数	6	6	6	6	6	

Table 2 引張試験片の造形条件及び試験条件



Fig.1 ダンベル型引張試験片の造形方法と試験機

2.3 曲げ試験

第1報と同様に, JIS K 7171:2016 プラスチック-曲 げ特性の求め方に基づき Table 3 に示すとおり試験片を 造形し曲げ試験を行った. (Fig.2)

造形条件	А	В	С	D	
樹脂材料	Onyx TM				
長繊維材料	— — CF				
積層ピッチ(mm)	0.1 0.2 0.125			25	
CF 積層(L)数			24	4, 8, 12, 16 , 20, 24	
内部形状	Solid Fill				
造形方向		平置	l き		
試験片本数	6	6	6	1×6	
曲げ試験機	島津製作所:AGS-J 型試験システム				
試験片	JIS K 7171 推奨試験片				
支点間距離	64mm				
試験速度	2mm/min				

Table 3 曲げ試験片の造形条件及び試験条件

また, Table 4 に示すとおり, CF の量や配置, 角度を 設定して造形した場合の曲げ試験を行った.

なお,樹脂材料,長繊維材料,内部形状はTable 3と 同様とした.

Table 4	E	曲げ試験片の造形条件及び試験条件
IGOIC I		

造形条件	А	В	С	D	Е	F	G
積層ピッチ(mm)	0. 125						
造形方向		平置き					
CF 位置と	上4	中央	上	下		中央	
レイヤー数	下 4	8	8	8		24	
CF		0.4	E 00	195		0	45,
い 円皮()	0, 45, 90, 135 0				135		
試験片本数	6	6	6	6	6	6	6



Fig.2 曲げ試験片の造形方法と試験機

2.4 ねじり試験

CFの有無でのねじり特性を確認するため, Fig.3 に示 す図面, Table 5 に示す造形条件 A, B のとおり試験片を 造形し, デジタルトルクレンチ SDT3-030 によりねじり トルクを測定した.

造形条件	А	В		
樹脂材料	Onyx TM			
長繊維材料	_	CF		
積層ピッチ	0.1			
(mm)	0.1	0.125		
内部形状	Solid Fill			
造形方向				
試験片本数	6	6		
曲げ試験機	デジタルトルクレンチ SDT3-030			

Table 5 ねじり試験片の造形条件及び試験条件



Fig.3 ねじり試験片の造形寸法と試験方法

2.5 セルフタッピング引張試験

製品の樹脂筐体の締結を想定し、セルフタッピングに よる金属のタッピングネジをボス穴にねじ込み、真鍮製 治具で引張試験を行った. (Table 6, Fig.4)

造形条件及び試験条件				
造形条件	А	В		
樹脂材料	Ony	X X TM		
長繊維材料				
積層ピッチ(mm)	0.1	0.2		
内部形状	Solid Fill			
造形方向	縦置き			
試験片個数	6	6		
曲げ試験機	島津製作所:AGS-J型試験システム			
試験速度	2mm/min			

Table 6 セルフタッピング試験片の





2.6 インサートナット引張試験

製品の樹脂筐体の締結を想定し、3Dプリンタ造形物に、 金属製のインサートナットをはんだごてで加熱圧入し引 張試験を行った. (Table 7, Fig. 5)

Fable 7 弓	張試験片のi	告形条件及び	試験条件

造形条件	А	В	С	
樹脂材料	Onyx TM			
長繊維材料	—	— — CF		
積層ピッチ(mm)	0.1	0.2	0.125	
内部形状	Solid Fill			
造形方向	平置き	平置き	平置き	
試験片本数	6	6	6	
引張試験機	島津製作所:AGS-J 型試験システム			
試験片	W25mm×D14mm×H15mm			
インサートナット	型番 UD-43001			
試験速度	2mm/min			





インサートナットと試験片 試験方法 Fig.5 インサートナットと試験片及び試験方法

2.7 接着接合による引張試験

スケールモデル等で最大造形サイズより大きな造形物 の場合には,分割して造形し,分割面を接着材等で接合 して一体化する方法がある.

樹脂材料同士を接着する際に Table 8 に示すとおり JIS K 6850 引張せん断接着強さ試験に基づき、下記3種 の接着材で接着し引張試験を行った. (Fig. 6)

接着材の種類

- A:エポキシ樹脂系(二液)(セメダイン EP001N) B:シリコーン樹脂系 (一液) (セメダイン SUPER X HYPER)
- C: シアノアクリレート系 (コニシアロンアルファゼリー状)

Table 8 🛔	接着試験の造形条件及び試験条件			
造形条件	А	В	С	
樹脂材料	Onyx TM			
長繊維材料		—		
積層ピッチ(mm)		0.2		
内部形状		Solid Fill		
造形方向	平置き	平置き	平置き	
試験片本数	6	6	6	
引張試験機	島津製作所	:AGS-J型試	験システム	
計 殿 正	引張せ	ん断接着強い	さ試験	
武映力	(JIS K 6850)			
	エポキシ	シリコー	シアノア	
接着剤	樹脂系	ン樹脂系	クリレー	
	(二液)	(一液)	ト系	



Fig.6 引張せん断接着強さ試験片

2.8 部品分割による CF 複合造形

Fig.7 に示すとおり,基板にU型リングが接合された 吊具を樹脂材料 と CF の複合造形を行った.

平置きと横置きで, 基板とリングを一体造形する場合 と, リングを横置き, 基板を平置きで分割造形後に組立 てる場合の, 引張強度の違いを確認した.



PART 画面

XRAY 画面

Fig.7 吊具の造形設定画面

3. 結果

3.1 造形精度の再現性

3.1.1 造形条件 A 積層ピッチ 0.1mm

Fig.8は,積層ピッチ0.1mmの実測値と寸法誤差を示 す.全長,幅,厚みの実測値の平均は全て設計値より大 きく造形された.寸法誤差については,厚みの値が最も 大きく,平置きでの造形であるため,2軸(積層)方向 の寸法誤差が最も大きいことがわかった.

造形精度は,第1報と同様の傾向が見られ再現性が確認できた.



3.1.2 造形条件 B 積層ピッチ 0.05~0.25mm

Fig.9は積層ピッチ0.05mm~0.25mmの実測値と寸法誤 差を示す. Fig.10 は積層ピッチ 0.05mm~0.25mm の軸方 向ごとの寸法誤差を示す.

造形精度は,第1報と同様の傾向が見られ再現性が確認できた.

3.2 引張試験

Fig. 11は,樹脂材料 Onyx[™]を積層ピッチ0.1mmと0.2mm でそれぞれ平置き,縦置き,横置きで造形した引張試験 の荷重-変位線図を示す.

Fig. 12 は、樹脂材料と CF を平置きで複合造形した引

張試験の荷重-変位線図を示す.



Fig.9 積層ピッチ 0.05mm~0.25mm の実測値





Fig.11 積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm, 3 タイプの造形方 向で造形した引張試験の荷重-変位線図



3.3 曲げ試験

Fig. 13 は, 樹脂材料を積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm で造 形した試験片と, 樹脂材料と CF24 層で複合造形した試 験片とを比較した第1報と本報の実験結果の荷重-変位 線図を示す.

積層ピッチ 0.1mm, 0.2mm, CF24 層ともに第1報と同様 の傾向が見られ再現性が確認できた.



Fig.13 樹脂材料 0.1mm と 0.2mm,樹脂材料と CF の複 合造形による 3 点曲げ試験の荷重-変位線図

Fig. 14 は、CF の積層(L)数の違いによる、曲げ試験の 荷重-変位線図を示す.CF の積層数が増えるとともに最 大荷重は大きくなるとともに変位は小さくなり、第1報 と同様の傾向が見られ再現性を確認できた.

なお,20Lと24Lの違いは確認出来なかった.



 Fig. 14
 CF 積層数の違いによる CF 複合造形

 曲げ試験の荷重-変位線図

3.4 ねじり試験

Fig. 15 は、樹脂材料 0.1mm と樹脂材料と CF の複合造 形によるねじり試験の最大トルクを示す.

樹脂材料 に CF を複合造形することでねじりトルクが 向上した.樹脂材料は、大きく変形後に破壊したが、CF 複合造形では、大きな変形はなく通直状態で破壊した.

3.5 セルフタッピング引張試験

Fig. 16 は、樹脂材料の積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm のセ ルフタッピング試験片の引張試験の荷重-変位線図を示



Fig.15 ねじり試験の最大トルクと試験片

積層ピッチ 0.2mm に比べ, 0.1mm の最大荷重が大きい 傾向であることが確認できた.

これは,造形時の樹脂材料の使用量が,積層ピッチ 0.2mm は 1.52 cm に対して,積層ピッチ 0.1mm は 1.61 cm と多いため造形物の密度が関係していると考えられる.



Fig. 16 セルフタッピング引張試験の荷重-変位線図

3.6 インサートナット引張試験

Fig. 17 は、試験片を樹脂材料 0.2mm と樹脂材料+CF で造形したインサートナット引張試験の荷重-変位線図 を示す.樹脂材料 0.2mm に比べ、CF との複合造形により 引張強度が向上することが確認できた.



3.7 部品分割による CF 複合造形

Fig.18 は、樹脂材料 0.2mm と樹脂材料+CF の一体造 形と分割造形の引張試験の荷重-変位線図を示す.

異方性があるため,平置きの引張強度は低いが,横置 きにすることで引張強度が向上した.

また,基板を平置き,リング部を横置きで分割造形後 に組立てる方法により CF 複合造形の引張強度が向上し た.本実験では,基板に一定の厚みがあり横置きでも基 板に CF が配合されたが,基板の厚みが薄く横置きでは CF が配合されない厚みの場合は,分割造形の強度向上が 顕著になると考えられる.



- 体造形と分割造形の引張試験の荷重-変位線図

4. 考察

造形精度と引張試験,曲げ試験の結果については,第 1報と同様の傾向が見られ,再現性を確認できた.

ねじり試験,インサートナット引張試験では,樹脂材料 と CF との複合造形により最大荷重が向上した.

部品分割による CF 複合造形では,基板を平置き,リン グ部を横置きで分割造形後に組立てる方法により CF 複 合造形の引張強度が向上した.

参考文献

(1)佐藤幸志郎:3D プリンタ活用における造形技術等の研究,大分県産業科学技術センター研究報告書(2013)
(2)船田昌:3D プリンタによる造形品質の向上(第2報),大分県産業科学技術センター研究報告書(2016)
(3)疋田武士他:3次元技術を利用した3Dプリンタ出力物の比較強度試験(第1報),大分県産業科学技術センター研究報告書(2020)

(4)兵頭敬一郎他:3D プリンタの造形品質と強度の向上
 (第 1 報),大分県産業科学技術センター研究報告書
 (2024)