

家具接合設計に向けた 3D プリント樹脂部品と木材の接合強度評価

室内 聡子*

抄 録

熱可塑性樹脂の3Dプリント樹脂部品3種(PLA, 木粉入PLA, PET-G)と木材(ブナ)および合板等を15種の方法で接合し、引張試験によって各接合強度を評価した。また、8種の木材と5種の3Dプリント樹脂部品について、木ネジおよび鬼目ナットの引抜耐力を測定した。その結果、樹脂の種類によっては木材と同等以上の引抜耐力を有する3Dプリント樹脂部品があることが分かった。

1 はじめに

近年、アイデアから実物を素早く製作できる3Dプリンタが普及し、汎用性が高いABSや生分解性プラスチックであるPLA(ポリ乳酸)などによる樹脂部品の内製化が可能となった。家具製造業においては、世界的な情勢危機などから輸入に頼る広葉樹木材価格が高騰し、その対策として3Dプリンタの業務活用について試みがなされているが、設計の根拠となる結合強度が十分に明らかにされていなかった。

そこで、当研究で3Dプリント樹脂部品と木材の結合強度および各材料の引抜耐力を測定した。

2 結合強度測定

2・1 試験体および試験方法

試験体の寸法および母材、被材の定義について図1に、試験体の例を図2に示す。母材となる木材には木製椅子で一般的に使用されるブナを用い、幅50mm×高さ20mm×奥行き30mmに加工した。被材となる3Dプリント樹脂部品はPLA、木粉20%入りPLA(WPLA)、PET-Gの3種とし、FDM方式3Dプリンタ(Criality K-1)を用いて引張試験治具の爪が装着できるよう幅50mm×高さ25mm×奥行き30mmの凸形状に造形した。プリント条件はインフィル構造をCubic、体積率25%とし、それ以外はデフォルト設定とした。被材(図1参照)底面はビルドプレート接面とし、ノズル径はφ0.4mmとした。

結合金具を通す穴加工径を表1に示す。金具類は電動ドライバーやレンチでねじ込んだ。プラスチ

* 生活科学担当

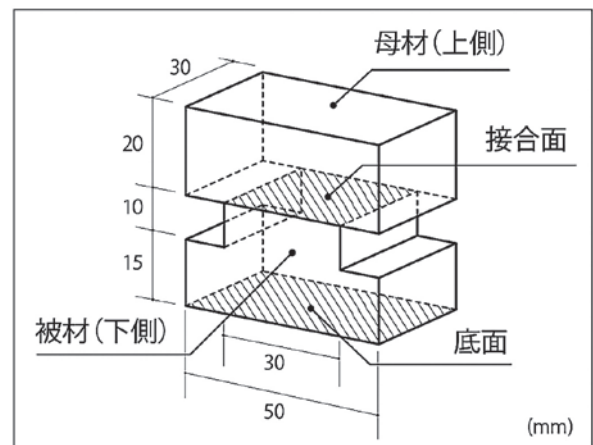


図1 試験体の寸法および母材、被材の定義

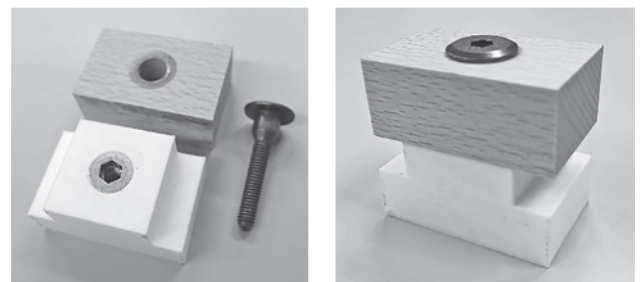


図2 試験体の例(ボルト+鬼目ナット)

表1 穴加工径

金具	被材 下穴 (mm)	母材 貫通穴 (mm)
木ねじ φ4.5	φ3.0-φ3.3	φ5.0
木ねじ φ3.1	φ2.3	φ3.5
ジョイントコネクターボルト(A) M6	—	φ10.0
飾りナット M6	—	φ9.0
鬼目ナット(D) M6	φ8.0	—
プラ用インサートナット M6	φ8.0	—
3Dプリントナット A5056-M6	φ9.1	—

ック用インサートナットは半田ごてで加熱し 3D プリント樹脂部品に圧入した。アルミ製ブラインドナットはハンドリベッターで鉋めた。

木材と 3D プリント樹脂部品を家具製造で使われる金具、接着剤、両面テープなど 15 種の方法で結合した。各結合種類の試験体数は 3 体とした。

試験には島津製作所 AG-10kNXplus 万能材料試験機を用い、2mm/min の速度で接合面に対して垂直方向となるよう引張荷重を加え、最大試験力 (N) を測定した。

2・2 試験結果

試験結果を表 2 に示す。金具による結合の場合、樹脂ごとの接合強度は PLA, PET-G, WPLA の順となった。金具類の中ではジョイントコネクターボルトと飾りナットの結合が最も高い接合強度となった。水性接着剤を用いた場合には WPLA の接合強度が他の樹脂より高い値を示した。これは、混入された木粉により樹脂表面の親水性が向上したためと考えられる。

3 引抜耐力測定

3・1 試験体および試験方法

木材および 3D プリント樹脂部品について、「JIS Z 2101 木材の試験方法」を参考に木ネジおよび鬼目ナットの引抜耐力を測定した。試験体の例を図 3 に示す。

スギ、ヒノキ、ブナ、ウォルナット、ホワイトオーク、チェリーの 6 種類について、幅 50×奥行 20～50×高さ 20～50mm の試験体を作製し、試験面は柾目、板目、木口とした。また 25～30mm の立方体の質量から密度を算出し、含水率は全乾法により測定した。

t24mm の JAS 二級構造用合板と t30mm の JIS パーティクルボード 13U の 2 種類については、50mm 角に加工し試験面は面および木口とした。木材の試験体数は 12 体とした。なお、スギ (シアノン処理) はシアノアクリレート系接着剤を流し込んだ直後に金具をねじ込み、硬化するまで乾燥させたものである。

3D プリント樹脂部品は PLA, Tough-PLA, ABS, PC, Nylon の 5 種類について、FDM 方式 3D プリン

タ (UltiMaker S7 Pro Bundle) を用い、下穴を設けた

表 2 接合強度試験結果

母材	被材	結合方法	最大試験力 平均 (N)
ブナ	PLA	皿木ネジ φ4.5×L45	1657.76
	WPLA		428.80
	PET-G		1479.95
PLA	ブナ	皿木ネジ φ4.5×L45	1556.00
WPLA			637.01
PET-G			1439.16
t3鉄プレート	PLA	皿木ネジ φ3.1×L20	1015.52
	WPLA		241.45
	PET-G		768.49
ブナ	PLA	ジョイントコネクターボルト (A) M6×L40 飾りナット M6×L17	2379.43
	WPLA		1012.08
	PET-G		1604.26
ブナ	PLA	ジョイントコネクターボルト (A) M6×L40 鬼目ナット (D) M6×L16	1637.97
	WPLA		320.08
	PET-G		1313.15
ブナ	PLA	ジョイントコネクターボルト (A) M6×L40 インサートナット M6×L9.5	1287.07
	WPLA		346.44
	PET-G		692.20
ブナ	PLA	ジョイントコネクターボルト (A) M6×L40 インサートナット M6×L6.5	1662.95
	WPLA		348.35
	PET-G		1037.65
ブナ	PLA	ジョイントコネクターボルト (A) M6×L40 ブラインドナット M6 (アルミ)	423.93
	WPLA		189.08
	PET-G		235.06
t5合板	PLA	タッカー-1013 2箇所	103.37
	WPLA		80.99
	PET-G		102.88
t5合板	t21MDF	タッカー-1013 2箇所	298.40
t5合板	t18合板	タッカー-1013 2箇所	224.17
ブナ	PLA	酢酸ビニル接着剤	133.39
	WPLA		269.71
	PET-G		84.74
ブナ	PLA	変性酢酸ビニル接着剤	136.45
	WPLA		262.02
	PET-G		126.24
ブナ	PLA	EVA樹脂系ホットメルト	650.19
	WPLA		250.00
	PET-G		901.22
ブナ	PLA	シリル化ウレタン樹脂系	1338.59
	WPLA		266.30
	PET-G		1547.91
ブナ	PLA	水性ウレタンフォーム接着剤	27.36
	WPLA		49.74
	PET-G		16.59
ブナ	PLA	発泡ブチルゴムシート 両面テープ	304.12
	WPLA		266.02
	PET-G		332.53

(N=3)

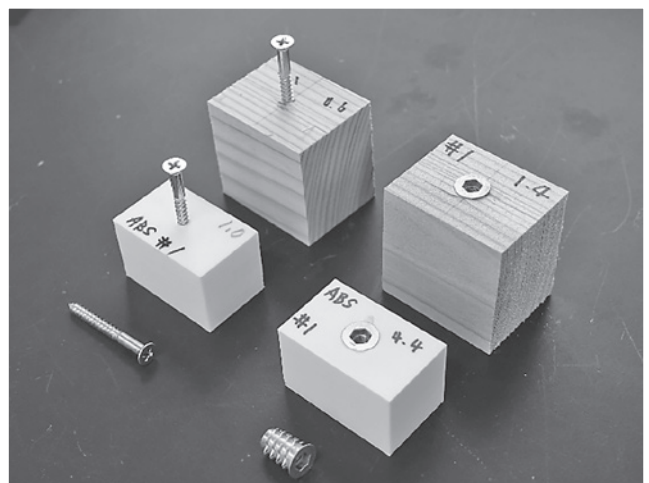


図 3 試験体の例 (ABS とスギ)

形状で幅 48 mm×高さ 30 mm×奥行き 30mm に作製した。プリント条件はエンジニアリングプロファイルを用い、インフィル構造は Cubic、体積率は 20% とし、それ以外はデフォルトとした。試験体の底面をビルドプレート接面とし、ノズル径はφ0.4mm を使用した。試験体数は 6 体とした。なお、PLA について恒温槽で 100°C20 分のアニール処理を行ったものについては変形が大きかったため測定から除外した。

木ネジは JIS 規格のφ4.5×45mm を使用し、φ3mm の下穴に電動ドライバーを用いて深さ 15mm となるようねじ込んだ。鬼目ナットはムラコシ社製 D タイプ M6×16mm を使用し、φ9mm の下穴に電動ドライバーやレンチでねじ込んだ後、底付くまでボルトを締め入れた。ねじ込みトルクは中村製作所製ダイヤル式トルクレンチ(1~12N・m)を用いて測

定した。なお、JAS 二級構造用合板の木口は金具を固定できなかったため、計測から除外した。PC についてはその強度から鬼目ナットをねじ込むことができなかった。

試験体は温度 20°C、湿度 65%の試験室で 4 日以上養生した。引抜耐力は結合強度測定と同じ条件で測定した。

3・2 結果

引抜耐力および締付トルク測定結果について表 3、表 4 に示す。木材の密度および含水率を表 5 に示す。引抜耐力についてはスギと JAS 二級構造用合板がほぼ同程度であった。3D 樹脂プリント部品はブナなどの広葉樹木材には及ばなかったが、樹脂の種類によっては JAS 二級構造用合板を超えるものがあつた。

表 3 引抜耐力および締付トルク測定結果 (木ネジ)

(N=12) 木 材	試験面	平均値 (N)	最大値 (N)	最小値 (N)	標準偏差 (N)	ねじ込みトルク 平均 (N)
スギ	板目	797.51	899.15	712.39	53.45	1未満
	柁目	874.31	1120.38	728.83	113.77	1未満
	木口	754.62	840.91	672.19	58.12	1未満
スギ(シアノ処理)	板目	1218.70	1395.41	1103.33	84.97	未計測
ブラックチェリー	板目	2625.34	2987.62	2161.37	290.94	1.6
	柁目	2104.78	2609.45	1785.90	232.93	1.7
	木口	2046.61	3294.48	1541.73	512.84	1.4
ウォルナット	板目	3587.29	4426.63	2827.00	585.19	2.1
	柁目	3001.68	3890.84	2254.76	478.91	3.6
	木口	2900.91	3989.83	1982.04	686.54	1.6
ホワイトオーク	板目	3316.53	4773.04	2582.64	643.66	2.2
	柁目	2993.19	3984.30	2331.76	504.83	2.6
	木口	2747.54	4147.35	2087.27	666.10	1.9
ブナ	板目	2822.68	3271.29	2372.73	330.55	1.9
	柁目	2414.78	3275.49	2132.54	315.19	1.8
	木口	2250.49	2569.60	1689.04	255.90	1.6
パーティクルボード 13U	面	1089.88	1214.81	954.47	85.24	1.2
	木口	598.95	724.17	513.71	59.54	1未満
JAS2級構造用合板	面	792.97	967.36	607.10	119.20	1未満
(N=6) 樹 脂	試験面	平均値 (N)	最大値 (N)	最小値 (N)	標準偏差 (N)	ねじ込みトルク 平均 (N)
ABS	積層面平行	694.64	729.39	658.71	24.58	1.0
PLA	”	1438.65	1496.26	1409.69	33.14	1.6
Tough-PLA	”	1533.25	1612.47	1439.95	69.26	1.2
Nylon	”	1763.45	1840.80	1666.73	70.12	1.3
PC	”	2295.45	2477.60	1955.03	195.00	3.4

表4 引抜耐力および締付トルク測定結果（鬼目ナット）

(N=12) 木 材	試験面	平均値 (N)	最大値 (N)	最小値 (N)	標準偏差 (N)	ねじ込みトルク 平均 (N)
スギ	板目	1127.10	1409.13	843.83	158.64	1未満
	柁目	1282.69	1554.90	1117.31	129.56	1.3
	木口	467.62	1079.70	277.93	204.71	1.2
スギ（シアノ処理）	板目	2081.43	2256.82	1912.48	101.87	未計測
ブラックチェリー	板目	3106.12	3730.14	2628.52	336.16	3.6
	柁目	3143.80	3465.57	2876.33	176.13	3.2
	木口	1593.70	2374.62	1013.28	446.69	3.7
ウォルナット	板目	4055.79	4916.94	2797.37	755.84	7.2
	柁目	4297.77	5683.22	3193.52	776.48	6.1
	木口	2576.84	3899.89	1417.38	920.63	4.4
ホワイトオーク	板目	4569.43	5918.35	3621.67	828.43	6.4
	柁目	4707.57	6272.42	3583.59	901.85	6.3
	木口	3277.12	4969.02	1555.28	1159.35	7.3
ブナ	板目	3930.29	5046.81	3085.99	687.15	5.0
	柁目	3947.40	4930.17	2958.38	518.85	4.1
	木口	1999.71	2528.42	1453.31	311.09	4.5
パーティクルボード 13U	面	1534.95	1757.67	1254.74	141.54	2.9
	木口	668.04	831.30	587.36	74.75	1.7
JAS2級構造用合板	面	1099.96	125.74	1381.01	962.14	1未満
(N=6) 樹 脂	試験面	平均値 (N)	最大値 (N)	最小値 (N)	標準偏差 (N)	ねじ込みトルク 平均 (N)
ABS	積層面平行	1009.13	1053.64	964.49	28.82	4.5
PLA	”	2092.52	2366.48	1832.67	208.10	8.7
Tough-PLA	”	1915.89	2249.01	1801.36	166.80	5.6
Nylon	”	2255.02	2328.87	2141.69	66.18	5.9
PC	”	-	-	-	-	-

表5 木材密度と含水率

種類	含水率(%)	密度(g/cm ³)
スギ	12.0	0.31
ブラックチェリー	9.5	0.58
ウォルナット	8.5	0.67
ホワイトオーク	9.5	0.73
ブナ	10.0	0.73

(N=12)

4 まとめ

木材と3Dプリント樹脂部品について、家具製造で一般的に使われる15種の結合強度を測定した。また、木材と3Dプリント樹脂部品の木ねじと鬼目ナットの引抜耐力を測定した。結合強度について、金具では樹脂ごとの接合強度はPLA, PET-G, WPLAの順となった。金具類の中ではジョイントコネクターボルトと飾りナットの結合が最も高い値となった。引抜耐力については、3D樹脂プリント部品の樹脂の

種類によっては木材を超えるものがあった。

なお、これらの測定は3Dプリント樹脂部品の造形条件が体積率20~25%のインフィル構造であったため、体積率や内部積層構造の見直しによりさらに耐力を向上させることが可能と考えられる。

PLAは3Dプリント時の造形安定性が高く、温度制御が不十分な低価格帯3Dプリンタでも造形結果が良好であり、入手も容易である。ただし、生分解性樹脂であるため長期耐久性については十分な検証が必要であるが、短期利用においては生産補助具などの用途への活用が見込まれる。

謝辞

当研究をすすめるにあたり、家具製造における接合などについてご助言、ご協力いただいた富士ファニチア株式会社の鈴木一之様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本建築学会.木質構造設計基準・同解説.2006,
p.367-376.
- 2) JIS Z 2101 木材の試験方法
- 3) JIS K 6866 接着剤-主要破壊様式の名称
- 4) JIS S 1203 家具-いす及びスツール-強度と耐久性の試験方法