

3Dプリンタによる造形品質の向上（第2報）

船田 昌
製品開発支援担当

Improvement in modeling quality of exploiting 3D printer (The second report)

Masashi FUNADA
Product Design and Development Section

要 旨

大分県産業科学技術センターが企業を対象とした 3D プリンタ利用サービスを提供するにあたり、利用者に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継続して蓄積を行っている。本年度は、昨年度に実施したセルフタッピングねじの引き抜き強度試験結果を活用した 3D プリンタの造形物の引張強度の改善方法やインサートネジの利活用についての検証を行った。加えて、一般 ABS 材料と 3D プリンタの造形物との接着性能の比較を行った。

1. はじめに

センターが保有する 3D プリンタ「Stratasys FORTUS 360mc-s」は、ABS 樹脂を材料とする FDM(Fused Deposition Modeling/熱溶解積層法)方式である。造形したモデルを試作品として利用するためには、強度などの機械的性能を把握し、量産の射出成型品との差異がある場合は、造形条件の変更等で対応を検討する必要がある。

平成 27 年度に実施した「3Dプリンタによる造形品質の向上（第 1 報）」では、セルフタッピングねじのボス部 (Fig. 1) の引張強度について、3D プリンタによる造形物と汎用射出成型製品との比較を行い、造形条件の設定パラメータの変更により造形物の材料密度が高くなり、引張強度が増加することが確認された。

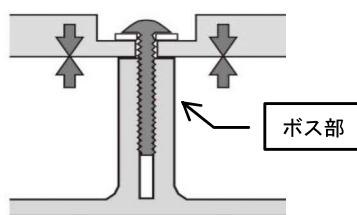


Fig. 1 セルフタッピングによる締結

今年度は、この造形条件の設定条件の変更による 3D プリンタによる造形物の引張強度への影響の評価を行うとともに、樹脂成型品の他の締結方法であるインサートナットの適用及び接着剤による接合について、性能評価を行った。

2. 研究方法

2.1 造形条件変更による引張強度の評価

平成 27 年度の形状研究において、3D プリンタの造形条

件の設定のうち、コンター (Contour: 外郭線のツールパス) の二重化、コンターの間隔 (Air gap) を標準値の 0mm から -0.0508mm に変更し、材料密度を高くすること等により、セルフタッピングのボス部の引張強度を 0.45kN から 1.53kN まで性能を改善することができた。Fig. 2 に造形条件の設定パラメータ例を示す。

本実験ではこの手法を踏襲し、隣接するラスタ (Raster: コンターカーブの内側の折り返しで構成されるツールパス) 間とコンターとラスタ間の間隔設定値を「マイナス」の設定として、プラスチックの引張試験 (JIS K 7161-1, JIS K 7161-2) を実施した。Table 1 に造形条件及び試験条件を、Fig. 3 に引張せん断接着強さ試験機及び試験片を示す。

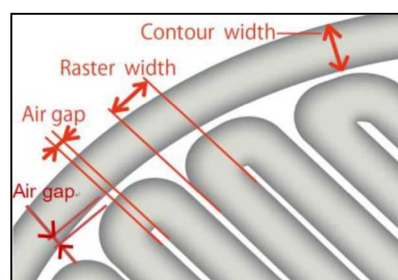


Fig. 2 造形条件の設定パラメータ例

Table 1 造形条件及び試験条件

造形ピッチ	0.1778mm
内部構造	Solid
Air gap 設定	0, -0.0254, -0.0508
造形方向	平置き/長手方向→Y軸
引張試験機	(株)島津製作所製 AGS-J
試験片	JIS K 7161-2 による

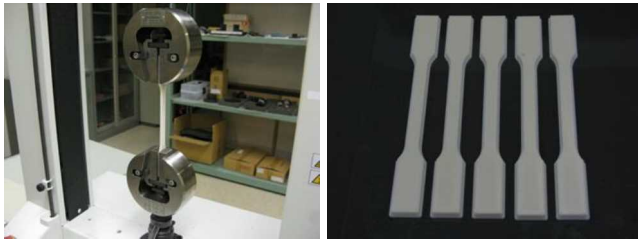


Fig. 3 引張せん断接着強さ試験機及び試験片

2.2 接合強度の確認（インサートナットの適用）

インサートナットは、金属製の雌ネジを埋め込むものであり、タッピングねじと比較してネジ部の耐久性が優れている。開発時にネジの取り外しの頻度が高い試作品（操作ケースなど）に、3Dプリンタ造形物を用いる場合の適用性を検証するため、3Dプリンタ造形物及びABS樹脂ブロックに、はんだごてでインサートナットを加熱圧入し、引抜力の測定を行った。Fig. 4にインサートナットの外観及び試験片を、Table 2に造形条件及び試験条件を示す。3Dプリンタで造形したブロックでは、セルフタッピングの性能実験で効果が確認されたコンターの多重化についての評価を行った。

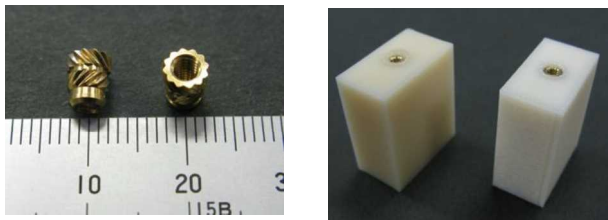


Fig. 4 インサートナット外観及び試験片

Table 2 造形条件及び試験条件

インサートナット	型番 UD-43001
3Dプリンタ ブロック	25×14×30mm ・造形ピッチ：0.1778mm ・内部構造：Solid ・コンター数：一重, 二重, 三重
ABS樹脂ブロック	25×14×30mm 削り出し
引張試験機	(株) 島津製作所製 AGS-J

2.3 接合強度の確認（接着剤）

3Dプリンタによる造形物及びABS樹脂板に関して、市販の接着剤2種類を用いJIS規程の試験片を作成し、3Dプリンタ造形物特有の問題（積層面の剥がれ等）の確認を目的として、引張せん断接着強さ試験を行った。

Table 3に使用した接着剤・材料一覧を、Table 4に試験片の造形条件及び試験方法を、Fig. 5に引張せん断接着強さ試験機及び試験片を示す。

Table 3 接着剤・材料一覧

接着剤	アクリル樹脂系（一液） (LOCTITE DPL-030)	エポキシ樹脂系（二液） (セメダイン EP001N) ※弾性接着タイプ
材料	ABS樹脂板（切り出し材）	3Dプリンタ造形物

Table 4 造形条件・試験方法

造形ピッチ	0.1778mm
内部構造	Solid
造形方向	平置き／長手方向→Y軸
引張試験機	(株) 島津製作所製 AGS-J
試験方法	引張せん断接着強さ試験 (JIS K 6850)

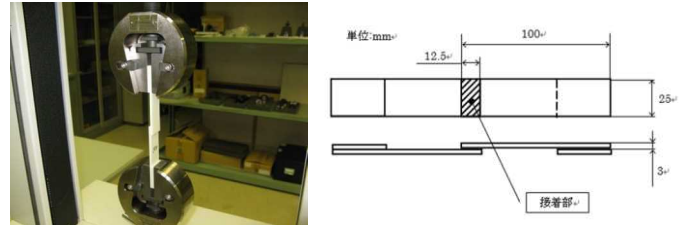


Fig. 5 引張せん断接着強さ試験機及び試験片

3. 結果及び考察

3.1 造形条件変更による引張強度の評価

Fig. 6に引張試験片の造形条件（Air gap 設定）について、標準設定及びAir gap (-0.0254mm)で作成した試験片による引張試験のストローク試験力の曲線を示す。一定のストロークまでは試験力は比例、以後試験力は、一定値となる。(-)Air gapでは、降伏点が見られた。

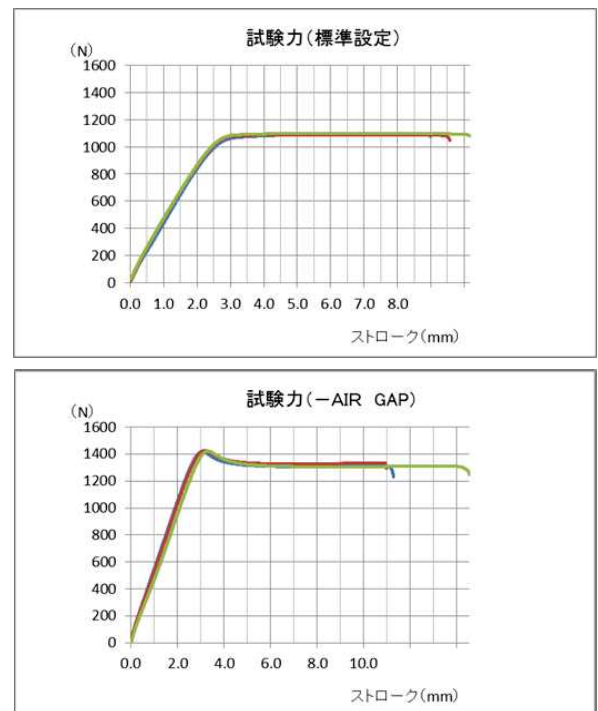


Fig. 6 引張試験のストローク試験力曲線

Table 5に試験片の諸元測定結果を示す。Air gap (-0.0254mm)の設定で重量が6.9%増加し、試験片の密度が増加したことが確認された。

Table 5 試験片の諸元測定結果（各N=5）

Air Gap	項目	設計値	平均値	平/設	-GAP増加比率
0	重さ	13.97	11.74	84.0%	
	幅	10	10.01	100.1%	
	厚(掴み部)	4	4.15	103.7%	
-0.0254	重さ	14.85	12.55	84.5%	106.9%
	幅	10	10.00	100.0%	100.0%
	厚(掴み部)	4	4.23	105.6%	101.8%

Table 6 に引張試験結果を示す。Air gap(-0.0254mm)の設定では、標準設定と比較して、引張強さ(平均)は1088.1Nが1418.7Nに、最大応力(平均)は26.24MPaが34.09MPaに増加し、造形条件の変更での材料密度の増加に伴い強度が向上することが確認された。

Air gap(-0.0508mm)の設定では、材料過剰供給が原因と推測される造形不良の発生(Fig. 7)が確認された。

Table 6 引張試験結果(各 N=5)

Air Gap		1	2	3	4	5	平均
0	引張強さN	1096.1	1089.5	1099.0	1088.3	1067.5	1088.1
	最大応力MPa(中央厚さ)	26.39	26.32	26.48	26.27	25.72	26.24
-0.0254	引張強さN	1417.0	1424.5	1422.5	1413.0	1416.5	1418.7
	最大応力MPa(中央厚さ)	33.97	34.27	34.27	33.91	34.02	34.09
-0.0508	引張強さN	造形不良発生により、試験中止					
	最大応力MPa(中央厚さ)	造形不良発生により、試験中止					

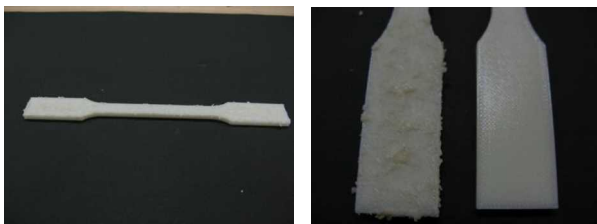


Fig. 7 Air gap(-0.0508mm)の設定での造形不良

3.2 接合強度の確認(インサートナットの適用)

Fig. 8 に、3Dプリンタ造形ブロック(コンター:一重)及びABS樹脂ブロックのインサートナットのストローク一試験力(引抜力)曲線を示す。

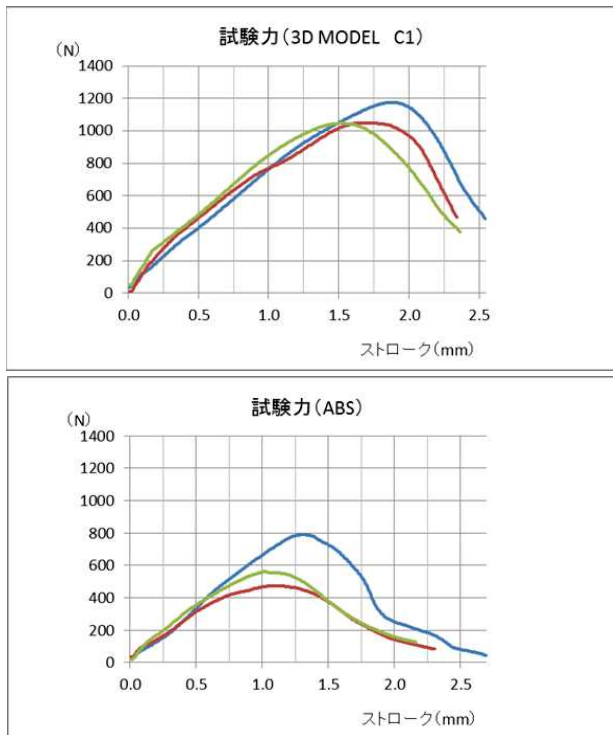


Fig. 8 インサートナットのストローク一試験力曲線

3Dプリンタ造形ブロックでは、ストローク1.5mmまで

は試験力は増加し、以降1.8mmまでの上昇は緩やかになり、その後は急激に減少する波形となった。これは、ナットの2か所の「ギザ」部の長さは1.5mmと1.9mmであり、この部分の接触抵抗が試験力と関わっていると考えられる。この傾向は他のコンター数でも同様であった。

ABS材料ブロックでは、ストローク1mmまでは試験力は増加し、1~2mmまで徐々に減少する山形の波形となった。

Table 7 にインサートナット引抜試験結果(N=3)を示す。3Dプリンタ造形物の最大引張力の平均値は、1000N~1091Nとなり、コンター数に関わらず同程度の値となった。これは、材料の溶け込みによるナットへの材料流入により、コンター数の影響が少なくなったことが要因と考えられる。また、カタログ値(1471N)と比較して30%ほど低い値となったが、プリンタ造形ブロックの積層の構造の影響が要因として考えられる。

引抜力は、平均1000N程度を示しており、蓋の固定などの通常で使用では、使用可能な強度であると考えられる。

ABS材料ブロックでは、最大引張力の平均値は608.2Nとなり、プリンタ造形ブロックより低い結果となった。これは、今回使用したABS材料のナットの溶け込み後において、溶融で形成された材料の「ギザ」部が、ストローク1.5mmまでで損傷したことが原因と考えられる。

Table 7 インサートナット引抜試験結果(各 N=3)

	試料1	試料2	試料3	平均
造形品 一重コンター	1176.4	1049.8	1047.2	1091.1
造形品 二重コンター	1019.5	1171.2	996.7	1062.5
造形品 二重コンター※1	1156.2	1152.6	900.1	1069.6
造形品 三重コンター	946.8	1004.1	1047.1	999.3
ABS材料	789.6	473.9	561.2	608.2

【参考】ABS引張力 カタログ値:1471N
※1:コンター間マイナスAIR GAP (-0.0254mm)

3.3 接合強度の確認(接着剤)

Fig. 9 にアクリル系樹脂接着剤及びエポキシ系樹脂接着剤を使用した引張せん断接着強さ試験のストローク一試験力(引抜力)曲線(各 N=3)を示す。被接着物は、ABS樹脂板(切り出し材)及び3Dプリンタ造形物である。

各曲線は、ストローク増加とともに試験力はリニアに増加し破断となった。

Table 8 に引張せん断接着強さ試験結果(各 N=3)を、Fig. 10 及び Fig. 11 に試験後の試験片を示す。試験結果は、モデルの強度、接着剤の接着力によるもので、3Dプリンタ造形物特有の問題(積層面の剥がれ等)は確認されなかった。

アクリル樹脂系接着剤では、3Dプリンタ造形物の接着は、すべて材料部破断となり、十分な接着力であること

が確認された。ABS樹脂板の最大荷重の平均は1819Nであり、3Dプリンタ造形物の1541Nより大きい結果となったが、3試料中一つが材料部破断となる不規則な結果となった。

エポキシ樹脂系接着剤では、両材料とも凝集破壊（接着剤間破壊）であり、最大荷重も500N程度でアクリル系の1/3程度であった。これは、今回使用したエポキシ樹脂系接着剤が弾性接着タイプであり、試験中の加重時の材料変形による部材剥離の力成分に接着力が対応できないことが原因と考えられる。

いずれの組み合わせにおいても、3Dプリンタ造形物特有の問題（積層面の剥がれ等）は確認されなかった。

Table 8 引張せん断接着強さ試験結果（各 N=3）

組み合わせ	最大荷重(平均)	破断形態
アクリル -3Dプリンタ造形物	1541N	材料部破断
アクリル -ABS樹脂板	1819N	凝集破壊（接着剤間破壊）2 /材料部破断1
エポキシ -3Dプリンタ造形物	530N	凝集破壊（接着剤間破壊）
エポキシ -ABS樹脂板	550N	凝集破壊（接着剤間破壊）

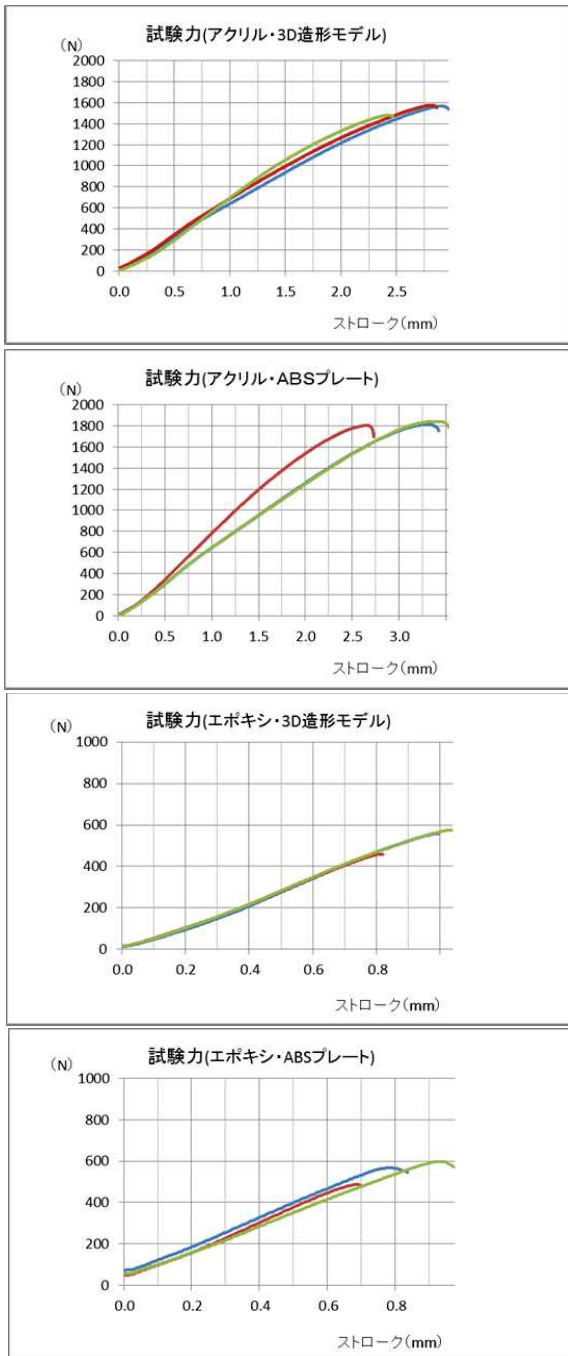


Fig. 9 引張せん断接着強さ試験・ストロークー試験力曲線

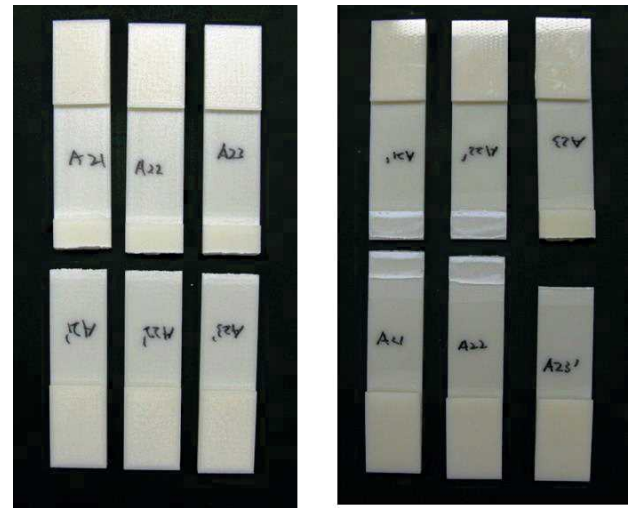


Fig.10 アクリル系接着剤試験片（試験後）
（左：3Dモデル／右：ABSプレート）

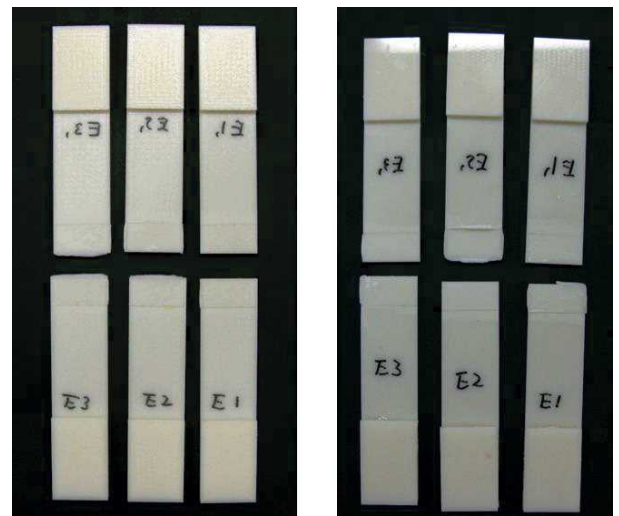


Fig.11 エポキシ系接着剤試験片（試験後）
（左：3Dモデル／右：ABSプレート）