

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）

疋田武士*, 佐藤幸志郎*, 兵頭敬一郎*, 佐藤寿喜*, 谷口秀樹**,

*製品開発支援担当, **工業化学担当,

Comparative Strength Test of 3D Printer Output Using 3D Technology (1st Report)

Takeshi HIKIDA*, Koushirou SATOU*, Keiichiro HYODO*, Hisaki SATOU*, Hideki Taniguchi **

*Product Design and Development Section, **Industrial Chemistry Section,

要旨

当センターで行っている三次元技術に関する支援の更なる向上, 3Dプリンタの最終製品への応用を目指すため, 本研究に取り組んだ. 本年度は3Dプリンタ造形物と射出成型物の比較評価, 表面粗さによる強度への影響, インフィル構造による強度への影響について確認した.

1. はじめに

三次元積層造形装置は, 一般に AM 装置, 3Dプリンタと呼ばれ, 本来は工業用として製品の部品サンプルを試作するために活用されてきた機器である. 近年, 3Dプリンタ, 周辺三次元ソフト (3DCAD, CAE) の低価格化が進行するにつれ急速に 3Dプリンタの普及が広がっている. 3DCAD, CAE を活用することで従来の用途である試作を迅速化するラピッドプロトタイピングに加えて, 型や治具を作成するラピッドツーリング, 最終製品として利用するラピッドマニュファクチャリングが広がっている. 大分県では 3Dプリンタの機器貸付, 3DCAD 研修など三次元技術に関する支援を継続的に行っている.

3Dプリンタ造形物は一般的に異方性があり同形状の射出成型物と比較して強度に差異があるとされる. CAE解析では射出成型品のような積層を考慮しない解析を行うため 3Dプリンタ造形物に対する CAE解析の改良の余地は多い. 我々はこれまでセンターで保有する3Dプリンタにて JISK7139 のダンベル形状を作成し CAE測定との差異の確認を目的とし評価を行った. 3DCAD試験片データの CAE解析と比較した結果, 実態試験の結果は CAE解析結果と比較して最大引張強さが小さくなること, 加えて積層方向による強度の差異を確認した. 本研究はその続きとして 3Dプリンタ造形物と射出成型物の比較評価, 表面粗さによる強度への影響, インフィル構造による強度への影響について調査したので, 以下に報告する.

2. 試験片作成と実験方法

2.1 試験片 (引張試験)

引張試験での試験片作成にあたり, 当センターで保有

する FORTUS360mcs (Fig. 1) と (一社) 大分県工業連合会が保有する L-DEVO (Fig. 2), 県内プラスチック加工会社が保有する射出成型機の三機を利用して作成を行った.



Fig. 1 FORTUS360mcs



Fig. 2 L-DEVO

使用する樹脂は 3Dプリンタはそれぞれメーカー専用のものを使用, 射出成型では比較のため FORTUS 専用フィラメント ABS-M30 をペレット化し成型に用いた.

試験片形状は FORTUS360mcs での予備試験にて JIS k 7161 ダンベル形状では造形する際に各層でウォールラインの開始点が揃えられないため, 引張試験で開始点の継ぎ目から千切れてしまうことが確認されたため, 試験片を直方体にする事でウォールラインの開始点を角に移動させ, 引張試験への影響を排除した.



Fig. 3 試験片簡易図

加えて射出成型した板をレーザー加工機にて立方体に打ち抜くことで、できるだけ多くの試験片サンプルの結果を得ることを考慮した。FORTUS360mcs は専用スライスソフト Insight11.5 によって、L-DEVO は発明プリンタ用のオープンソースの CURA によって条件を設定し出力を行った。

Table.1 条件毎に作成した試験片サンプル数

FORTUS360mcs	0.127	0.1778	0.254
プレーン	30	30	30
レーザー加工	30	30	30
強アルカリ洗浄	15	15	15
アセトン処理	15	15	15
0度			10
10度			10
30度			10
45度			10
60度			10
90度			10
ウォールライン幅			
0.4564			10
0.5564			10
0.6564			10
インフィルライン幅			
0.4564			10
0.5564			10
0.6564			10
ライン幅			
0.4564			10
0.5564			10
0.6564			10
L-DEVO			
プレーン	10	10	10
アセトン処理	10	10	10
射出成型	ABS樹脂	ABSM-30	
レーザー加工	30	30	

FORTUS360mcs では造形の際のサポート材料を除去するための強アルカリ液の強度への影響を確認するため5時間の強アルカリ超音波洗浄を実施した試験片を作成した。

3D プリンタ最終製品ではアセトンを利用した積層痕を消す仕上げを行うことがある。加えて予備試験により表面粗さによる強度の差異が確認されていたためアセトンによる表面処理を施した試験片を作成した。試験片とアセトンを密閉できる容器の中に入れ、ファンで気流を発生させることでアセトンを拡散させた容器内で1時間の表面処理を実施後、表面処理後密閉されていない空間で二日間のアセトン抜きを実施した。



Fig. 4 表面処理容器

表面粗さを測定するためレイヤー高さ 0.1270mm の辺 20mm の立方体に対し試験片と同様の条件にてアセトン処理を実施後、JISB0633 の表面粗さ測定を実施した。

2.2 CAE 測定

引張試験で使用する試験片形状を用いて、ABS-M30 の物理的特性であると仮定したときの最大引張強度を求める。

2.3 引張試験

31 パターンの条件設定を行ったサンプル 540 本の試験片を卓上万能試験機オートグラフ (Fig. 5) にて、試験片の最大点試験力 (N)、最大点変位 (mm)、最大点応力 (MPa) について、JISK7161 の引張試験を実施した。



Fig. 5 卓上万能試験機オートグラフ

2.4 試験片 (圧縮試験)

インフィルのパターンによって強度の差異を確認するため、圧縮試験の試験片作成にあたり、(一社)大分県工業連合会の L-DEVO、汎用的な 3D プリンタ ENDER3 (Fig. 6) を利用して作成を行った。



Fig. 6 ENDER3

使用する樹脂は L-DEVO 専用フィラメントを使用した。予備試験に

より ABS 樹脂を使用した場合、熱収縮による反り、割れ等を確認したため、より形状としての強度を測定するため安定した出力が可能である PLA 樹脂を成型に用いた。

試験片形状はインフィルのパターンによる異方性からXYZ方向の強度に差異があると考えられるため、各方向から圧縮試験を実施するため JIS7181 を参考に辺 20mm の立方体を作成した。

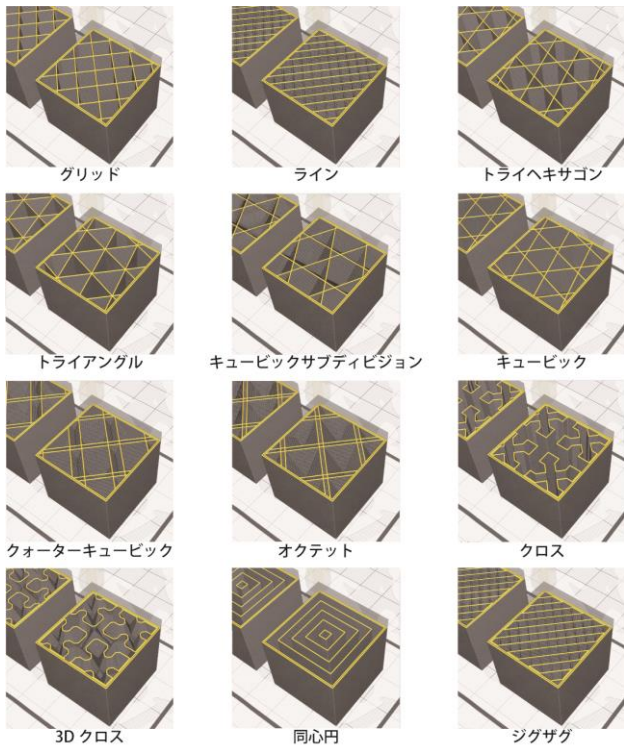


Fig. 7 インフィルパターンイメージ

Table. 2 出力条件

	L-DEVO	ENDER3
レイヤー高さ	0.3mm	
初期レイヤー高さ	0.2mm	
ライン幅	0.4mm	
インフィル密度	15%	
壁の厚さ	0.8mm	
マテリアル	PLA (灰)	PLA (黒)
印刷温度	197 度	
ビルドプレート温度	60 度	
印刷速度	60mm/ s	
移動速度	120mm/ s	

2.5 圧縮試験

12 パターンのインフィルに設定を行ったサンプル 216

個の試験片 卓上万能試験機オートグラフにて引張試験を実施。XYZ 方向より圧縮試験にかけるため、それぞれの面に U (up), F(front), L(left) の文字を刻印し、それぞれ 3 個ずつのサンプルを用いて JISK7181 の圧縮試験を実施した。

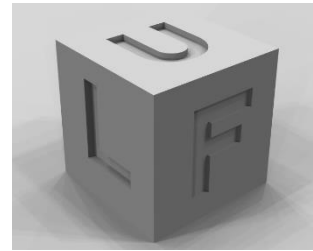


Fig. 8 12 パターンのインフィル設定を行ったサンプル

3. 実験結果および考察

3.1 表面処理

表面粗さの試験結果よりアセトンを利用した表面処理は積層の凹凸が平準化されたことを示唆された。見た目も表面処理を 5 分したものと 60 分したものを比較し積層痕が大幅に減っていることが確認された。

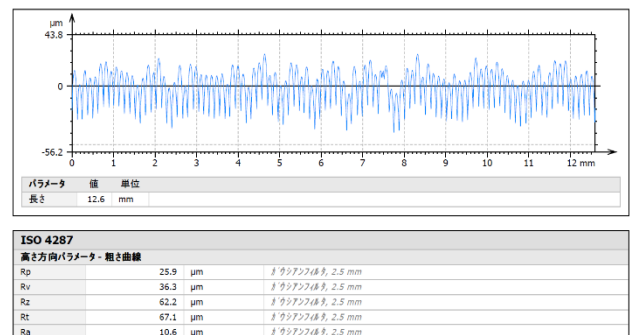


Fig. 9 表面処理無

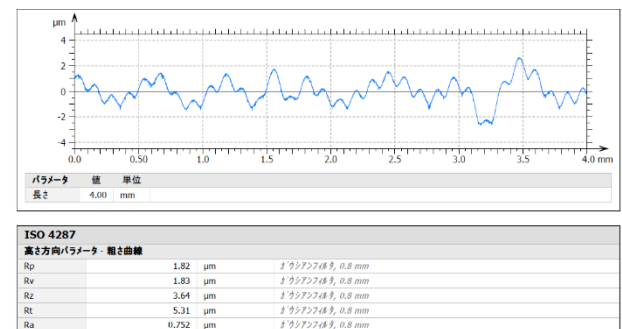


Fig. 10 表面処理有



Fig. 11 アセトン処理表面の 5 分 (左) 60 分 (右)

3.2 CAE 解析

CAE 解析より物理的特性による最大引張強度を確認した。3D プリンタで出力した実体試験片結果と比較した結果、試験力は近似しているが応力が小さいことが確認された。

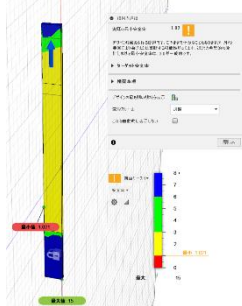


Fig. 11 CAE 解析結果 試験力 750 N 応力 36 Mpa

インフィル構造によるパターンの違いがXYZ 方面の圧縮強度に大きく影響することが確認された。インフィル構造を G-code から STL に変換することで CAE 解析により詳細の強度を確認することができる可能性が示唆された。

3.3 引張試験

引張試験結果より射出成型物の引張強度は ABS-M30 の物理特性と近似している結果を確認した。

アセトンによる表面処理をした試験片は積層の表面凹凸が平準化されることで強度が上がることを期待されたが、今回の試験では表面処理を行っていない結果と近似もしくは引張強度が小さくなることが確認された。アセトンが ABS 樹脂より抜け切れていないため強度が小さくなった可能性がある。

アルカリ超音波洗浄処理を実施した試験片は強度に差異はないと予想していたが引張強度が小さくなる傾向にあることが確認された。アルカリによる影響ではなく超音波による積層面の剥離の可能性がある。

射出成型物と 3D プリンタ出力物の断面形状を揃えるためレーザー加工にて同様の条件で直方体に打ち抜いた試験片は想定通りウォールラインが無くなってしまったため大幅に引張強度が小さくなることが確認された。

通常レイヤー高さが 0.1270mm の造形物は引張強度が大きくなるのが一般的であるが、アルカリ超音波洗浄、アセトン表面処理等をしていないプレーンの状態の試験片の引張強度が小さいことを確認。キャリブレーション不足であった可能性がある。

積層高さ、ライン幅のツールパスを調整することで引張強度にも影響があることが確認された。

Table.3 引張試験結果

	最大点 試験力	最大点 変位	最大点 応力
射出成型 ABS-M30	962.665	2.95213	37.0256
射出成型 ABS	1031.53	3.40278	39.6744
FO0.1270 - 30	753.972	3.42856	28.9989
FO0.1270S - 15	853.61	2.72423	32.8312
FO0.1270A - 15	722.803	2.89969	27.8001
FO0.1270L - 30	799.575	3.8028	30.7529
FO0.1778 - 30	774.5	3.12691	29.7885
FO0.1778S - 15	729.453	3.43903	28.0559
FO0.1778A - 15	634.183	3.22689	24.3917
FO0.1778L - 30	664.482	3.84759	25.557
FO0.2540 - 30	828.387	2.57813	31.861
FO0.2540S - 15	771.74	5.84458	29.6823
FO0.2540A - 15	717.26	2.79699	27.5869
FO0.2540L - 30	704.137	4.12504	27.0822
FO0.2540angle0 - 10	745.215	2.40457	28.6621
FO0.2540angle15 - 10	763.105	2.26908	29.3502
FO0.2540angle30 - 10	847.945	2.2297	32.6133
FO0.2540angle45 - 10	830.145	2.327	31.9286
FO0.2540angle60 - 10	883.185	2.16367	33.9687
FO0.2540angle90 - 10	868.645	2.04185	33.4094
FO0.2540IW0.4564 - 10	857.045	2.40465	32.9633
FO0.2540IW0.5564 - 10	853.585	2.46347	32.8302
FO0.2540IW0.6564 - 10	859.59	2.45415	33.0611
FO0.2540W0W0.4564 - 10	833.38	2.6281	32.0531
FO0.2540W0W0.5564 - 10	835.95	2.49477	32.1519
FO0.2540W0W0.6564 - 10	839.17	2.53468	32.2758
FO0.2540WW0.4564 - 10	836.625	2.51473	32.1779
FO0.2540WW0.5564 - 10	800.065	2.4037	30.7717
FO0.2540WW0.6564 - 10	798.845	2.37557	30.7248
LO.1270 - 10	1010.36	2.80547	38.8598
LO.1270A - 10	796.92	3.30973	30.6508
LO.1778 - 10	981.66	2.94553	37.7561
LO.1778A - 10	866.82	3.46525	33.3392
LO.2540 - 10	818.765	2.5702	31.491
LO.2540A - 10	819.4	3.5129	31.5154

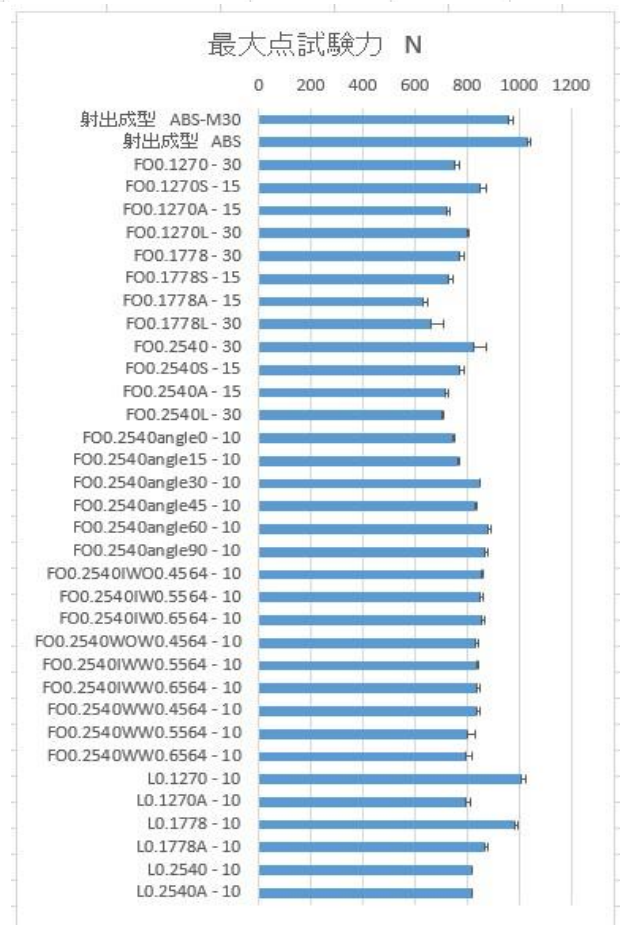


Fig. 12 引張試験結果（最大点試験力の比較）

3.4 圧縮試験

試験結果より L-DEVO, ENDER3 の両機器にてインフィル構造パターンにおいて近似した圧縮強度の順序になっていることが確認された。中でもトライヘキサゴンが平均して一番圧縮強度があることを確認。ほぼすべてのパターンが UP の面の圧縮強度が強いがキュービックはすべての面が近似しており FRONT, LEFT の圧縮強度が一番であることを確認した。すべての平均では特質して高い強度があるわけではないが荷重方向が不明な場合、または均一に荷重がかかる可能性がある場合は最も破断しにくい可能性がある。

L-DEVO と比較し ENDER3 の強度が全体的に小さいのは機器の特性か PLA 樹脂の色による違いが影響している可能性がある。

ENDER3

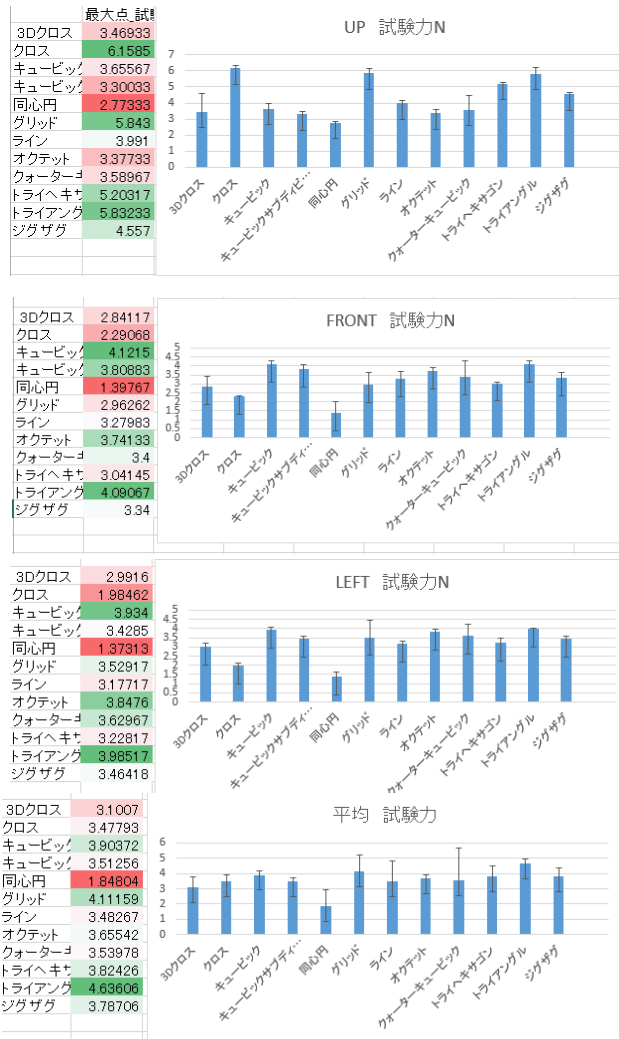


Fig. 13 圧縮試験結果 (ENDER3 最大点試験力比較)

L-DEVO

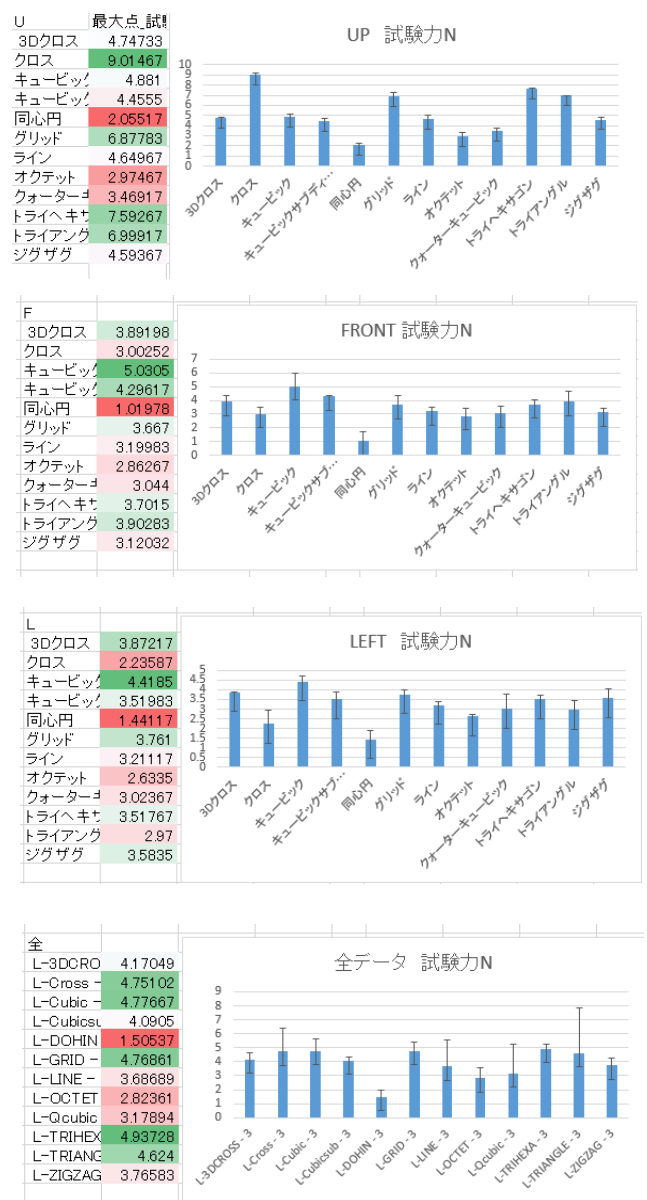


Fig. 14 圧縮試験結果 (L-DEVO 最大点試験力比較)

Table. 4 インフィル構造パターン毎の圧縮試験平均値

UP	FRONT	LEFT	ALL
Cross	7.586585	Cubic	4.576
TRIHEXA	6.41575	Cubicsub	4.0525
TRIANGLE	6.39792	TRIHEXA	3.99675
GRID	6.360415	TRIANGLE	3.371475
ZIGZAG	4.575335	3DCross	3.366575
LINE	4.320335	GRID	3.31481
Cubic	4.268335	OCTET	3.302
3DCross	4.10833	LINE	3.23983
Cubicsub	3.877915	ZIGZAG	3.23016
Qcubic	3.52942	Qcubic	3.222
GYLOID	3.509	GYLOID	3.2173
OCTET	3.176	Cross	2.6466
DOSHIN	2.41425	DOSHIN	1.208725

4. まとめ

・射出成型物の引張試験の結果は、メーカー公表値の物理的特性に近似していることが確認された。また、3D

プリンタ造形物は射出成型物と比較し引張強度が小さくなる機械的特性があることが確認された。

・アセトンによる表面処理によって引張強度が小さくなることが確認された。

・インフィル構造によるパターンの違いがXYZ方面の圧縮強度に大きく影響することが確認された。またXYZ各方向、平均の圧縮強度に優位性のあるインフィルパターンを確認された。

参考文献

- 1) 高橋 智 ・児玉 和也 3D プリンタ造形物の強度評価と充填構造の設計 Strength Evaluation and Infill Structure Design of Objects by 3D Printing p10～16
- 2) Jayanth N. P. Senthil C. Prakash Effect of chemical treatment on tensile strength and surface roughness of 3D-printed ABS using the FDM process p1～9
- 3) 田中 徹ほか CAE 解析を利用した樹脂部品の設計検討に関する研究 p19～20