

3D プリンタ活用における造形技術等の研究 (第2報)

佐藤幸志郎
製品開発支援担当

Study on the modeling techniques of exploiting 3D printer (The 2nd report)

Koushirou SATOU
Product Design and Development Section

要 旨

当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平成26年度から開始するにあたり、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平成25年度より継続して蓄積を行っている。本年度は県内企業の3Dプリンタ利用に対応する中で、造形ニーズの多いことが確認された、セルフタッピングねじによるパーツのアセンブルに必要なボス部分の造形の精度と強度について検討を行った。

1. はじめに

平成25年度に当センターに、「形状試作」「機能試作」「少量生産の可能性の検討」等の企業利用サービスを目的として3Dプリンタが導入された。

一般に3DプリンタはCAD等で作成した3次元データから、複製型を用いずに直接立体形状を積層造形する機器の総称である。3Dプリンタによる造形は、通常の型を用いた樹脂成形とは異なる比較的新しい製造技術であるため、造形技術等の運用データが十分整備されていない。

本研究では、造形技術や造形物の機械的性質等についての運用データを積み重ねることにより、利用者に必要となる造形に関する基本的知見を整備し、当センターの3Dプリンタ運用サービスを向上させることを目的とする。

さて、平成26年4月から県内企業への利用サービスが開始され、これまで様々な企業の利用に対応する中で、機能部品を内部に治めるための筐体部品の造形に数多く対応した。その際に、造形品の精度、強度等について問い合わせを受けることも多いが、装置メーカーや販売店の提供する、積層ピッチや、JIS K7161等による材料強度以外に提供できる情報が無いため、部品としてアセンブル可能な精度での造形の可否や、機能検証等に耐えられる強度の有無等について、明確に回答できなかった。

電子部品、回路基盤、機械部品等の機能部品を内部に治める樹脂筐体の製品は、樹脂筐体のボス部分が機能部品との主要な締結をなす事が多く、締結にはセルフ・タッピングが使用されることが多い。金属のタッピングねじにより、樹脂側のボス孔にタッピングしながら部品ごおしの締結を行う方法であり、作業性が良いので大量生産品を中心に採用されることが多い技術となっている。

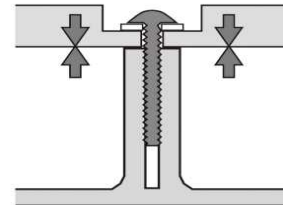


Fig.1 セルフタッピングによる締結

本研究では当センターの3Dプリンタ利用においても造形される機会の多かったボス孔を持つ樹脂部品について、1. ボス孔の造形精度と、2. 締結されたタッピングねじとボスの引っ張り強度について、射出成型部品と3Dプリンタ造形部品を比較し、3Dプリンタの精度と強度についての基本的知見の一つとして確認を行うこととした。

2. 研究方法

2.1 ボス孔の造形精度

当センターの保有する3Dプリンタ「Stratasys FORTUS 360mc-s」はFDMと呼称される方式の積層造形装置である。FDMは樹脂を高温で熔融させ、最小0.254mm径のノズルから幅0.254mm、高さ0.127mmの断面形状にて、チューブ状に連続して射出し、一筆書きの要領で最下層から一層毎に造形を繰り返して上方向に積層造形を行う。



Fig.2 FDMの造形

射出成形のような一般の型を使った樹脂造形に比べ、3Dプリンタにて造形された樹脂の形状は、精度限界付近の形状や寸法が、元のCADデータと異なったものとなっている場合がしばしば確認される。CAD上では問題の無いパーツのアセンブルが、3Dプリンタの造形パーツではスムーズにアセンブルできない原因の一つとなっている。

3Dプリンタの操作ソフトウェアは、3D-CAD等で作成された三次元データを、造形に必要な各層の断面から構成されたスライスデータに変換し、さらに各層の断面を樹脂で隙間無く埋めるための樹脂の射出ノズルが動く経路のパスデータに変換することが主な役割であるが、当センターに導入された装置は、各層毎の樹脂が射出された様子（射出幅や隙間の状態）をシミュレーション表示させる機能を持っている。（Fig. 3）

本研究では、この樹脂が射出された様子のシミュレーション表示と実際の造形形状（Fig. 4）を比較し、シミュレーションと実際の造形の形状や寸法の差異を把握することにより、実際に造形をする前のシミュレーション表示により造形ミス等のトラブルを減らすことを目指す。

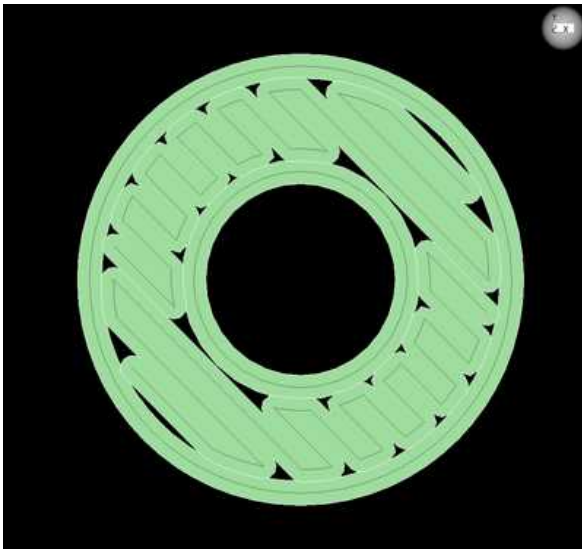


Fig. 3 射出された様子のシミュレーション表示

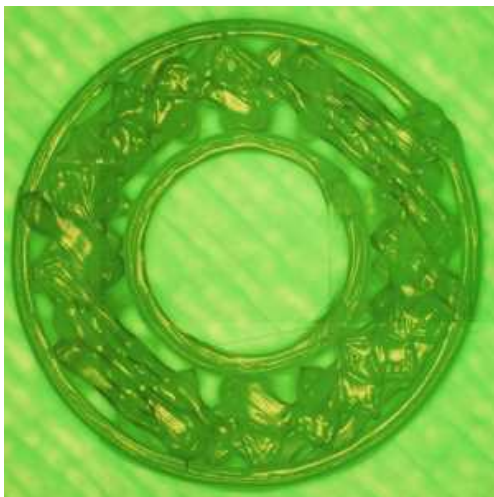


Fig. 4 3Dプリンタによる実際の造形形状

2.2 締結されたタッピングねじとボスの引張り強度

3Dプリンタにより造形された樹脂部品のタッピングねじによる締結性能を確認するため、金型を用いた射出成型により製造された樹脂部品のボスと同じ形状、同じ寸法のボスを3Dプリンタにて作成する。

そのために、特殊ではない樹脂製品の代表として、一般の電気工事等にて使用される、国内A社製の汎用樹脂ケース（Fig. 5）を選定し、メーカー作成のCAD図面と現物の計測によりそのボス部分の形状と寸法を確認した。



Fig. 5 A社製の汎用樹脂ケース

そして、確認されたボス部分の形状と寸法に基づき、3D-CAD（Rhinoceous）により形状データ（Fig. 6）を作成し、3Dプリンタによる試験片（Fig. 7）の造形を行った。

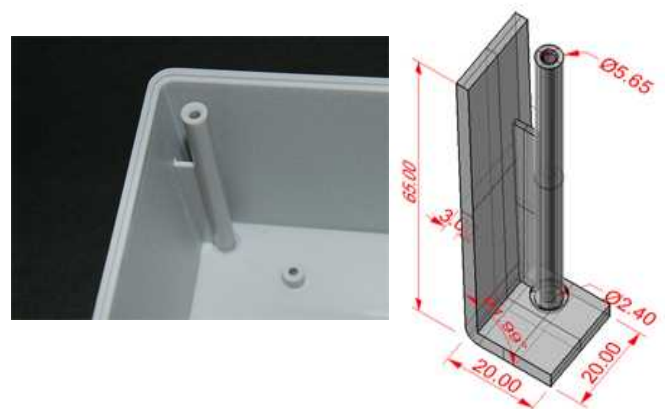


Fig. 6 3D-CADにより作成された形状データ

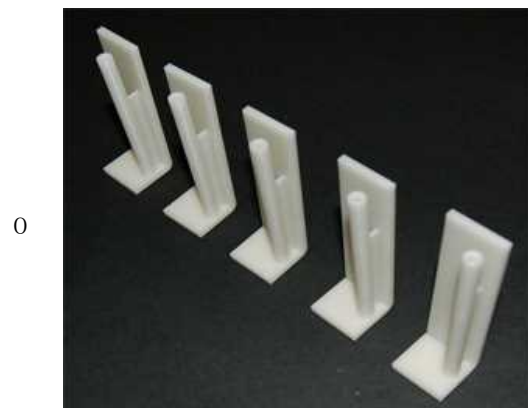


Fig. 7 形状データから造形された試験片

試験片作成後、強度試験機を使い、汎用樹脂ケースと3Dプリンタによる試験片のボス部分とタッピングねじについて上下からそれぞれ引張り、試験片が破断もしくはねじが引き抜かれる際の最大試験力について観察した。

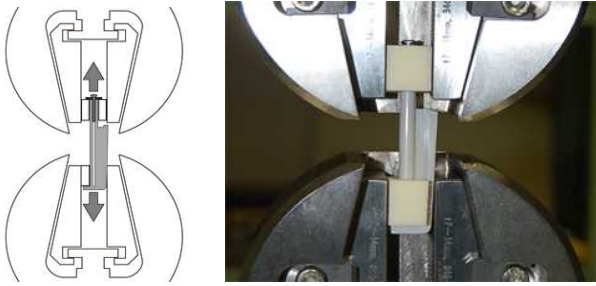


Fig. 8 強度試験機による引張試験

3. 結果及び考察

3.1 ボス孔の造形精度

観察と測定の結果、以下の知見が得られた。

- 実際の造形形状 (Fig. 4) はシミュレーション表示 (Fig. 3) に比べ、凸凹しており隙間も大きい。
- パイプ形状を造形した場合、5.5mm程度のパイプ外径はCADデータよりも小さくなる傾向がある。同じデータからの複数造形 (サンプル数 5) のばらつきは小さく造形寸法は安定している。

Table.1 パイプ形状を造形した場合の外径の計測

| 3DCADによる作成寸法 (mm) | 3Dプリンタ造形物の計測平均値 (mm) N=5 | CAD寸法と計測平均値の差 (mm) | 標準偏差 (mm) |
|---------------------|--------------------------|--------------------|-----------|
| パイプ外径 ϕ 5.5mm | 5.303 | -0.197 | 0.005 |
| パイプ外径 ϕ 5.65mm | 5.486 | -0.164 | 0.013 |
| パイプ外径 ϕ 5.8mm | 5.603 | -0.197 | 0.029 |

- 2.4mm程度のパイプ内径はCADデータに近い寸法になる傾向がある。同じデータからの複数造形のばらつきは小さく寸法自体は安定していることと併せて精度は高いと言える。

Table.2 パイプ形状を造形した場合の内径の計測

| 3DCADによる作成寸法 (mm) | 3Dプリンタ造形物の計測平均値 (mm) N=5 | CAD寸法と計測平均値の差 (mm) | 標準偏差 (mm) |
|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------|
| パイプ内径 ϕ 2.3mm | 2.308 | 0.008 | 0.019 |
| パイプ内径 ϕ 2.4mm | 2.422 | 0.022 | 0.014 |
| パイプ内径 ϕ 2.5mm | 2.484 | -0.016 | 0.019 |

ボス部分の造形においては内径の精度が強度確保に重要であるため、内径の精度が高いことはCADデータからの3Dプリンタによる造形は、ボス部分を含む部品の試作と検証において、十分活用可能であることが確認された。

また、内径に比べ外径の精度が落ちるのは、全てマイナス方向であるため、樹脂の冷却による収縮が原因として考えられ、収縮前の造形中の精度は高い可能性がある。

外径のCADの値からのずれは大きいですが、サンプル全体のばらつきは小さいため、造形サイズによる収縮の傾向が把握できれば、収縮を考慮したCADの値を与えることで、冷却後の造形精度をコントロールできる可能性はあると考えている。

3.2 締結されたタッピングねじとボスの引張り強度

観察と測定の結果、以下の知見が得られた。

- 引っ張り強度試験において、汎用射出成型製品 (Fig. 9)、3Dプリンタによる造形品 (Fig. 10) のどちらも、ボスからのねじの抜けが起こる前に、ねじの届いていないパイプ部分の破断が発生し、タッピングねじの保持力の比較は検証できなかった。



Fig. 9 汎用射出成型製品の破断の様子

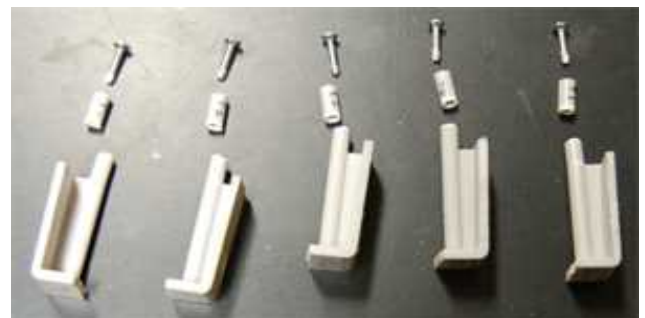


Fig. 10 3Dプリンタ造形品の破断の様子

- 樹脂の強度そのものの比較としては、汎用射出成型製品に比べ、3Dプリンタによる造形品は1/3の試験力で破断した。(Fig. 11)

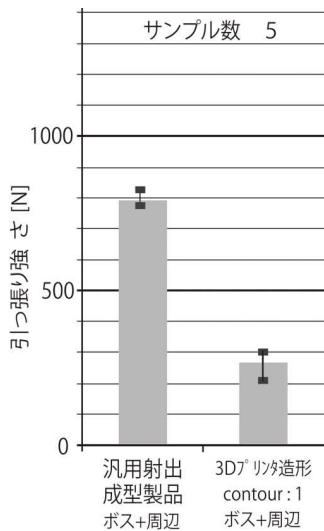


Fig. 11 汎用射出成型製品, 3Dプリンタによる造形品の引っ張り強さの比較

3.3 引っ張り強度試験のサンプル形状の変更

先の実験 3.2 では、ボスからのねじの抜けが起こる前に、ねじの届いていないパイプ部分の破断が発生し、タッピングねじの保持力の比較は検証できなかったため、ボスのパイプ部分を直接、治具で挟む方法で再度実験を行った。

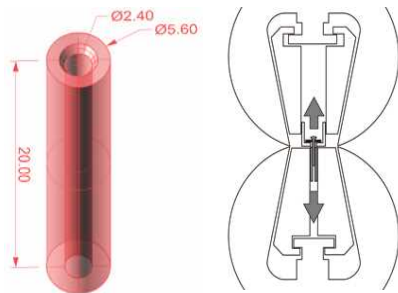


Fig. 13 サンプルを変更した引っ張り強度試験

観察と測定の結果、以下の知見が得られた。

- ・今回も、汎用射出成型製品, 3Dプリンタによる造形品のどちらも、ボスからのねじの抜けが起こる前に、ねじ先端近辺のパイプ部分の破断が発生した。

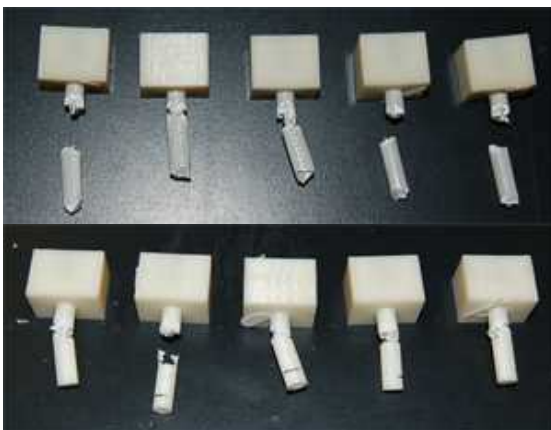


Fig. 14 汎用射出成型製品, 3Dプリンタ造形品の破断の様子

- ・引っ張り強さについては、汎用射出成型製品に比べ、3Dプリンタによる造形品は、1/2の応力で破断した。

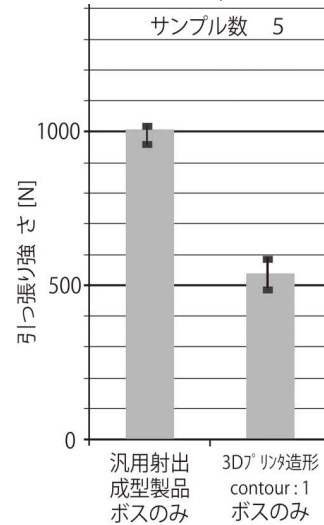


Fig. 15 汎用射出成型製品, 3Dプリンタによる造形品の引っ張り強さの比較(再試験)

実験 3.3 については、パイプ部分が強度試験機の締結圧力で変形または割裂している可能性があり、ボス孔の本来の引っ張り強度が現れていない可能性がある。

3.4 引っ張り強度試験のサンプル形状の再変更

先の実験 3.3 では、ボスが強度試験機の締結圧力で変形し、正しいボスの引っ張り強度が現れていない可能性があるため、ボスと同じ径の孔を開けた試験機の締結では変形し難いと思われる厚み(15mm)のサンプルを作成し、実験 3.4 を行い、実験 3.3 の実験結果と比較を行った。

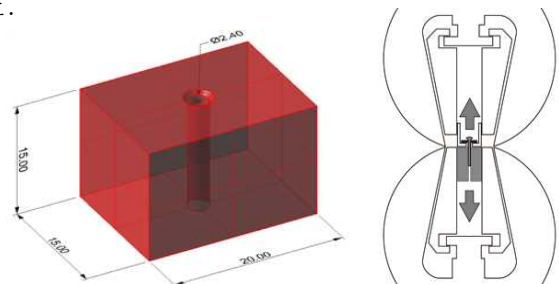


Fig. 15 サンプルを再変更した引っ張り強度試験

観察と測定の結果、以下の知見が得られた。

- ・本実験にて、ボスからのねじの抜けを起こす現象がはじめて観察された。



Fig. 16 3Dプリンタ造形品からのねじの抜けの様子

- ・今回実験 3.4 は、実験 3.3 の 3D プリンタ造形品の 2 倍以上の引っ張り強さとなり、予想したとおり、実験 3.3 ではパイプ部分が強度試験機の締結圧力で変形または割裂して、ボス孔の本来の強度が現れていなかったと思われる。

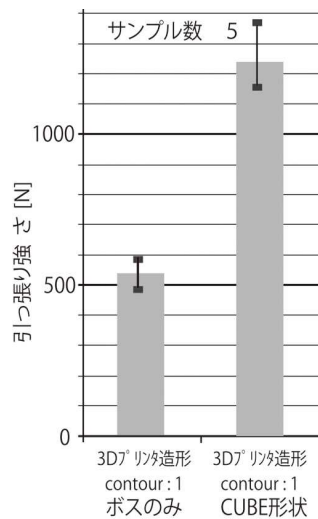


Fig. 17 汎用射出成型製品、3Dプリンタによる造形品の引っ張り強さの比較(再試験)

実験 3.3 による汎用射出成型製品の強度についても、実験 3.4 と同条件であれば、もっと強い本来の引っ張り強度が現れる可能性が高いと思われる。

以上から、締結されたタッピングねじとボスの引っ張り強度については、汎用射出成型製品と 3D プリンターによる造形物の強度を明確に比較できる結果を得られなかったが、3D プリンターの造形物が、汎用射出成型製品の半分程度の強度は期待できるものとなった。

次年度以降の新研究テーマの中でも、両者の厳密な比較を継続することを検討しており、次の実験として、実験 3.4 で使用した 3D プリンターの造形物と同じ形状の治具に汎用射出成型品のパイプ部分を埋没・接着したサンプルによる引っ張り強度試験を計画している。

また、今回のセルフ・タッピングによる締結性能は、ねじ山に接する樹脂側の形状や寸法に大きく左右されると考えており、3D プリンターの造形物を汎用射出成型製品の強度に近づける方法として、射出パスの経路の調整を行うことを検討している。

3D プリンターの操作ソフトウェアの射出ノズルの経路パスデータの編集機能を利用し、通常内側輪郭線は一重だが、輪郭線を多重化することにより、ねじ山と接する部分の樹脂密度が高くなり、引っ張り強度の改善を狙ったものである。

具体的には、外形は同じボス部分の形状で、一つは内側輪郭線は一重のもの、もう一つは内側輪郭線を多重化したデータ (Fig. 18) を準備し造形を行い、その造形後に

引っ張り強度試験を行い比較したい。

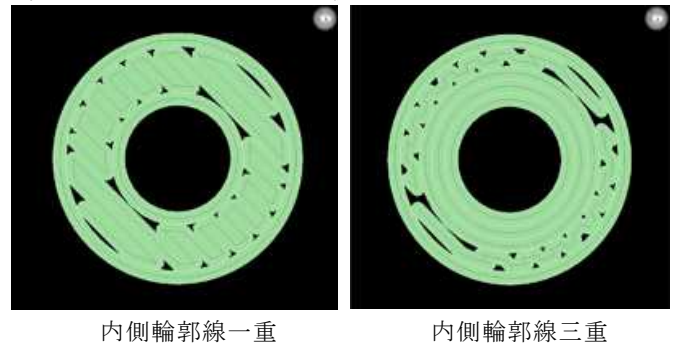


Fig. 18 同じボス形状で内側輪郭線の数を変えたもの

以上の具体的な計画に限らず、3D プリンタの特性については、今後も、技術相談や機器利用に対応する中で企業ニーズを抽出し、経常研究等により継続して確認作業を進めることとしたい。