

3Dプリンタによる造形品質の向上（第1報）

佐藤幸志郎
製品開発支援担当

Improvement in modeling quality of exploiting 3D printer (The first 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、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とねじの引き抜き強度試験を実施し、3Dプリンタ射出パスの造形設定の調整により、大幅な強度向上が可能となることを確認した。

1. はじめに

H25・26年度に実施した「3Dプリンタ活用における造形技術等の研究」において、3Dプリンタの用途の中で、企業の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引っ張り強度について、主に汎用射出成型製品との強度比較を中心に検討を行った。

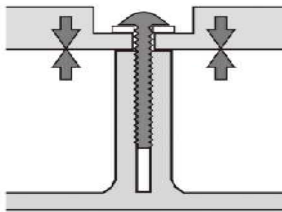


Fig.1 セルフタッピングによる締結

しかし、引っ張り強度を観察するために必要となる、ボス孔からのねじの抜けを観察できる実験条件を設定することができず、汎用射出成型製品と3Dプリンタによる造形物のねじの抜けを起こす際の引っ張り強度を明確に比較できる結果を得られなかった。

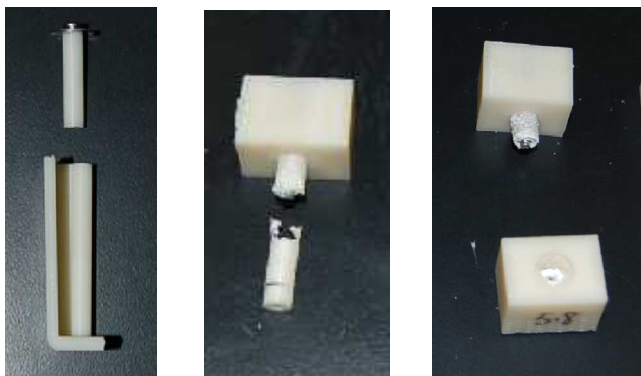


Fig.2 ねじ抜きの前にボス本体の破断がおきた実験例

本年度以降の新研究テーマの中でも、汎用射出成型製品と3Dプリンタによる造形物の比較を継続しており、取り組み開始にあたり、まずはボス孔からのねじの抜けを観察できる引っ張り治具の作成が可能であるか検討を行った。

次に、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に大きく左右されると考えており、3Dプリンタ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、射出パスの造形設定の調整を行い、造形設定と造形形状の関連を観察し、強度向上が期待できる造形設定を抽出した。

抽出された造形設定に基づいて試験サンプルを造形し、先に作成した新たな治具で引っ張り試験を実施し、3Dプリンタによる造形物について、標準の造形設定より強度向上が期待でき造形設定の強度特性を観察した。

2. 研究方法

2.1 ボス孔からのねじの抜けを観察できる引っ張り治具の作成

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.3)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。

そして、確認されたボス部分の形状と寸法に基づき、3D-CAD(Rhinoceros)により形状データを作成し、3Dプリンタによる試験片(Fig.4)の造形を行った。

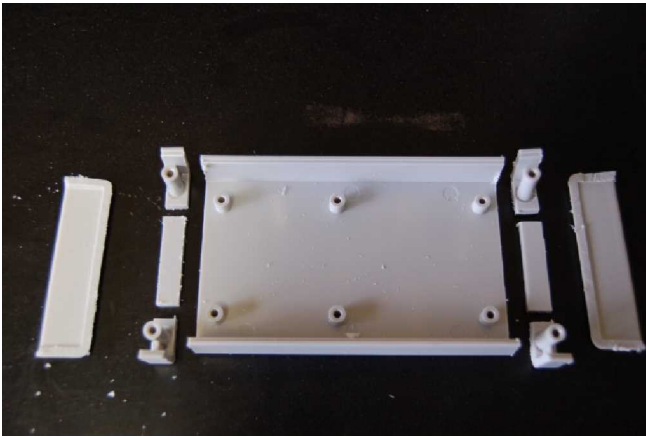


Fig. 3 A社製の汎用樹脂ケースと切り出したボス

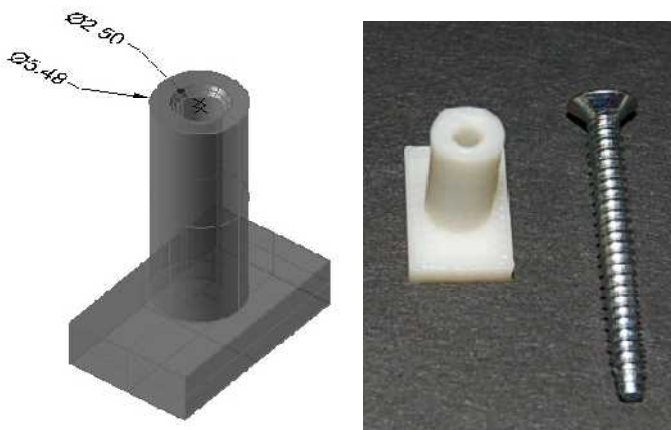


Fig. 4 作成した試験片データと 3D プリント造形

昨年度までの取り組みでは、引っ張り強度を観察するために必要となる、ボス孔からのねじの抜けを観察できる実験条件を設定することができず、汎用射出成型製品と3Dプリンタによる造形物の引っ張り強度を明確に比較できる結果を得られなかった。

本年度は、強度試験機による引っ張り実験の際に、ボス孔周辺の樹脂部分は動かぬよう固定でき、タッピングねじ部分のみ引っ張り力が作用し、ねじのみボス孔から引き抜かれるように形状を検討した真ちゅう製の上・下2つの部品による治具 (Fig. 5) を作成した。

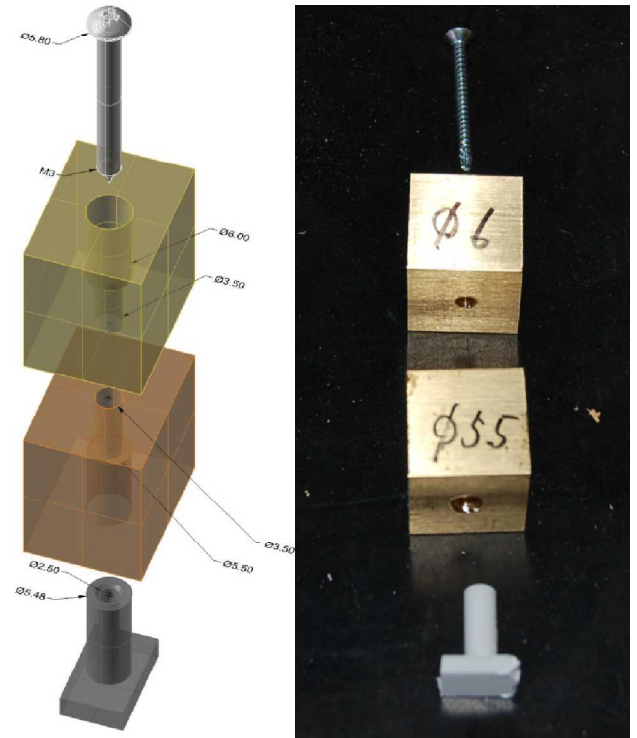


Fig. 5 真ちゅう材を切削加工した引っ張り治具

今回作成した新治具により以後一連の実験にて、汎用射出成型製品と3Dプリンタによる造形物について、昨年度までは達成できなかった、ボス孔からのねじの抜けを起こす現象 (Fig. 6) をはじめて観察することができた。



Fig. 6 ボス孔からのねじの抜けが観察できた予備実験

2.2 汎用射出成型製品と 3D プリンタによる造形物の引っ張り強度の確認① (3D プリンタ制御ソフトの標準の造形設定)

汎用樹脂ケースと 3Dプリンタによる試験片のボス孔部分とタッピングねじについて、3Dプリンタ制御ソフトの標準の造形設定により造形された試験片と引っ張り治具の作成後、強度試験機による引っ張り試験を実施し、ねじが引き抜かれる際の最大試験力について観察した。

各条件 n=5にて最大試験力の平均値を比較したところ、汎用射出成型製品に比べ、3Dプリンタによる造形品はおよそ 1/4 の試験力を最大値として引き抜かれた。

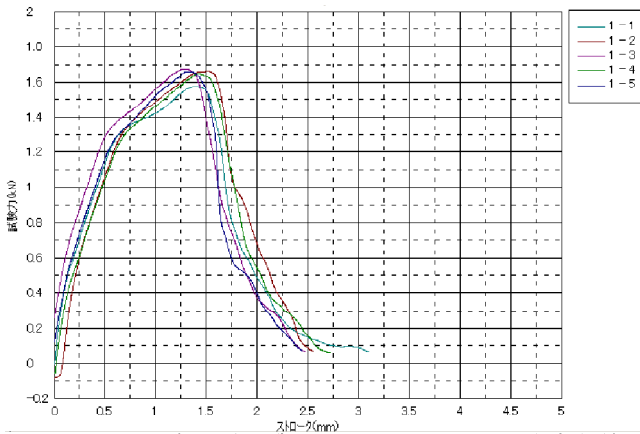


Fig. 7 汎用射出成型製品 n=5 の引っ張り強度曲線

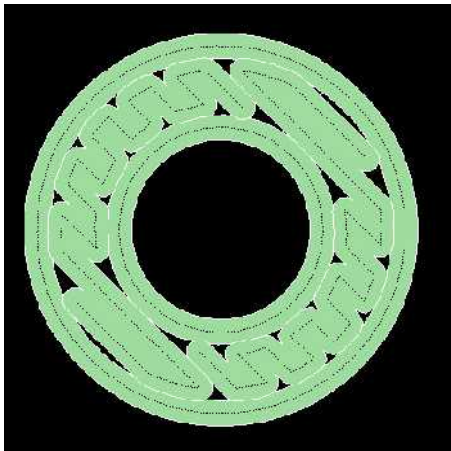


Fig. 8 3Dプリンタ制御ソフトの標準設定による造形シミュレーション表示

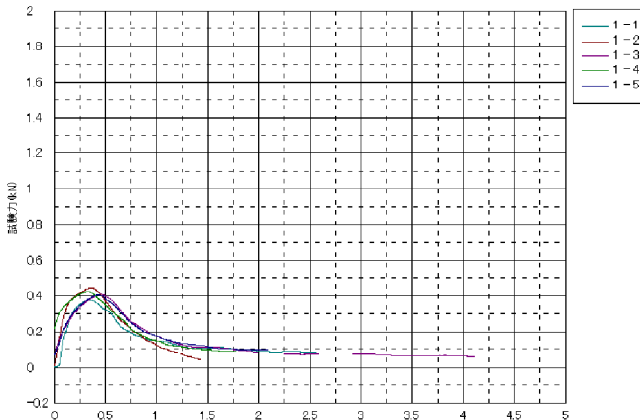


Fig. 9 3Dプリンタ標準設定 n=5 の引っ張り強度曲線

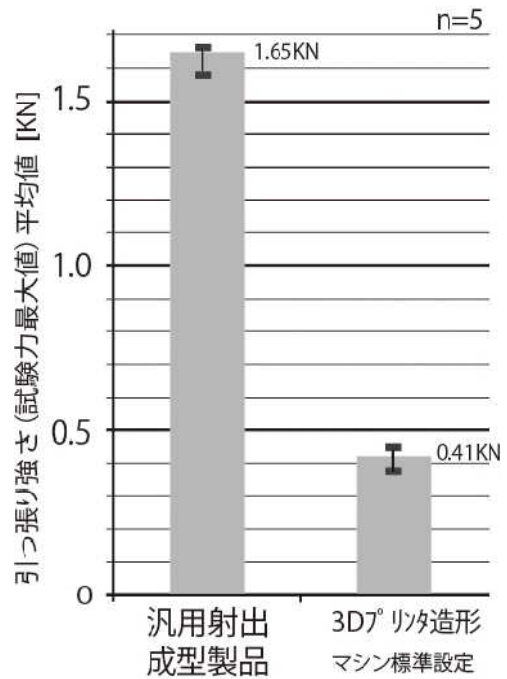


Fig. 10 汎用射出成型製品と 3Dプリンタ標準設定の引っ張り試験の最大試験力の平均値 (N=5)

2.3 汎用射出成型製品と 3D プリンタによる造形物の引っ張り強度の確認② (3D プリンタ制御ソフトのマニュアルに記載された強度向上が期待できるとされる Contour 曲線多重化設定)

3Dプリンタ制御ソフトのマニュアル記載によると、標準の造形設定に比べボス孔の強度向上が期待できるとされる Contour 曲線多重化設定により造形された試験片による引っ張り試験を実施し、ねじが引き抜かれる際の最大試験力について観察した。

各条件 n=5 の最大試験力の平均値を比較したところ、汎用射出成型製品に比べ、Contour 曲線多重化設定による造形品はおよそ 1/3 の試験力を最大値として引き抜かれ、作業コストに見合う強度向上は確認できなかった。

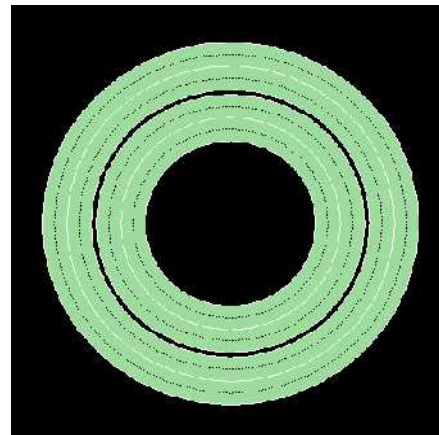


Fig. 11 Contour 曲線多重化設定による造形シミュレーション表示

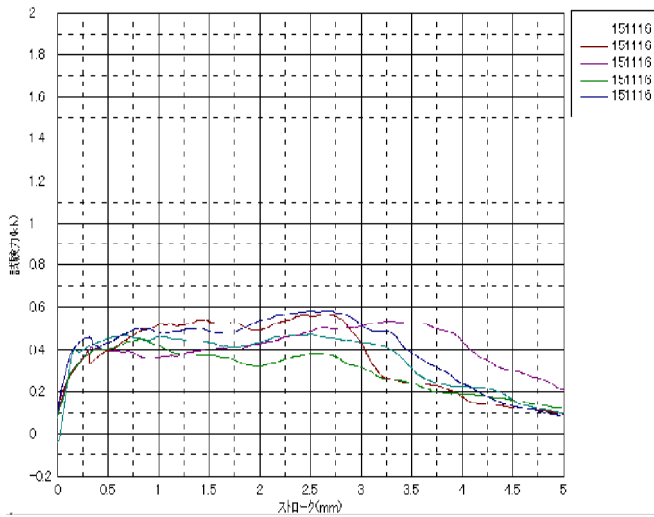


Fig. 12 Contour 曲線多重化 n=5 の引っ張り強度曲線

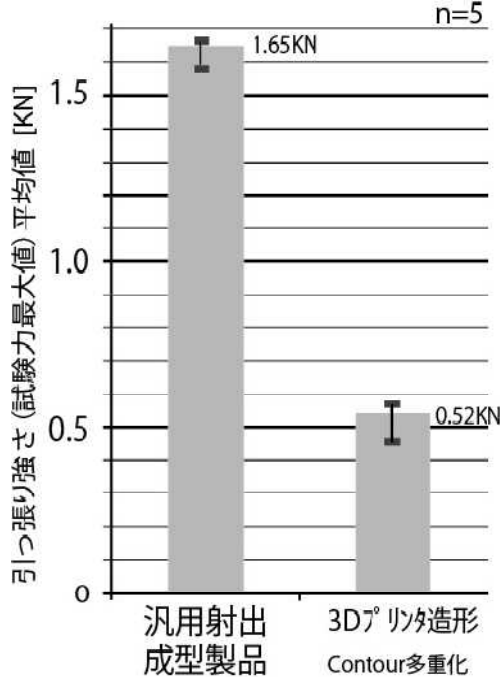


Fig. 13 汎用射出成型製品と Contour 曲線多重化設定の引っ張り試験の最大試験力の平均値 (N=5)

2.4 樹脂の充填状況の目視拡大による観察

当センターの保有する 3D プリンタ「Stratasys FORTUS 360mc-s」は高温で溶融させた樹脂を、樹脂をノズルから幅 0.3556mm、高さ 0.1778mm の断面形状(当センターの標準設定)にて連続して射出し、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方向に積層造形を行う。



Fig. 14 「Stratasys FORTUS 360mc-s」の造形

3D プリンタの造形ソフトウェアは、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。

しかし、先の Contour 曲線多重化設定によるシミュレーション表示では標準設定より樹脂の充填率が向上しているように表示されるにもかかわらず期待された強度向上が確認できなかったため、シミュレーション表示と実際の造形形状を比較したところ、シミュレーションと実際の造形の形状に明らかな差異が認められ、強度に影響を与えていることが予想される程、不十分な充填状況であることが確認された。

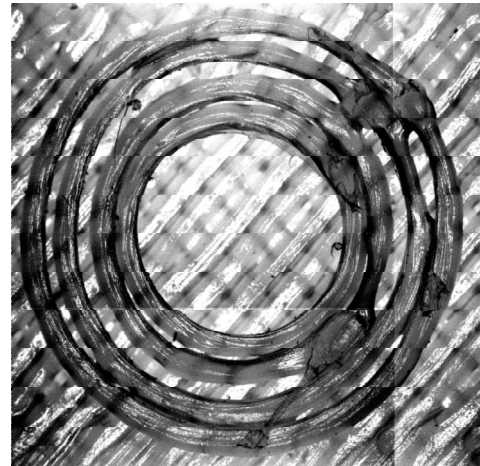


Fig. 15 Contour 曲線多重化設定の実際の造形形状

3D プリンターの造形ソフトウェアは、射出する樹脂の幅 width と樹脂間の隙間 air gap について、断面輪郭線 contour と断面塗りつぶし線 raster それぞれにおいて、ユーザーが任意の値で調整することが可能となっている。

様々な調整値によりボス孔造形を実際に行って造形形状を拡大表示して確認し、樹脂が十分に充填される設定値を探索した。

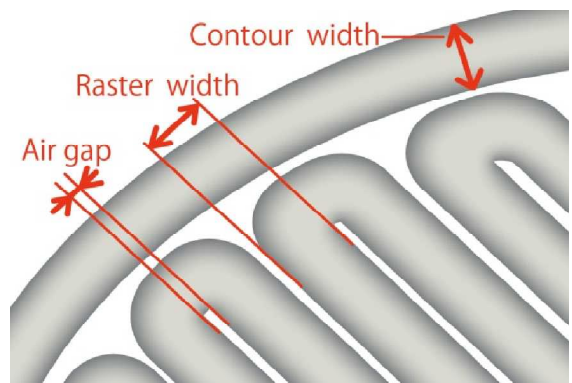


Fig. 16 Contour と Raster の、幅 width と隙間 Air gap

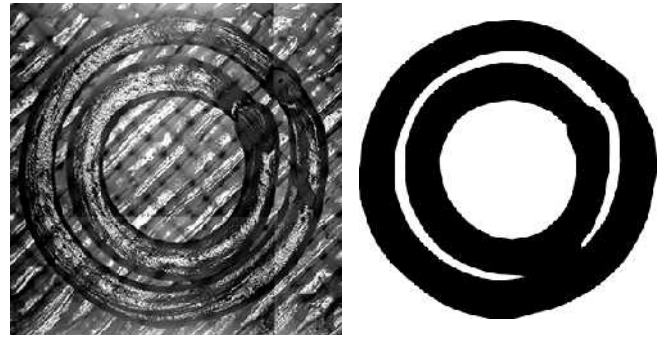
設定値①：標準設定

充てん率：87.7%



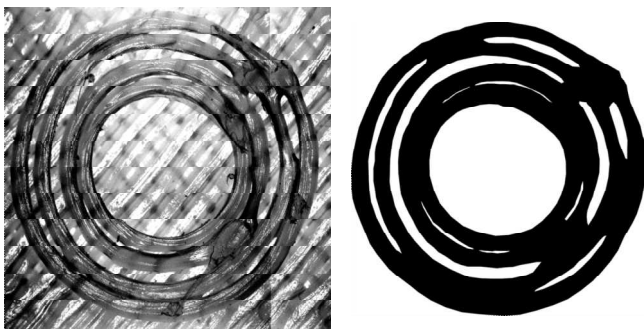
設定値⑤：contour, raster の width×2.0 倍

充てん率：89.1%



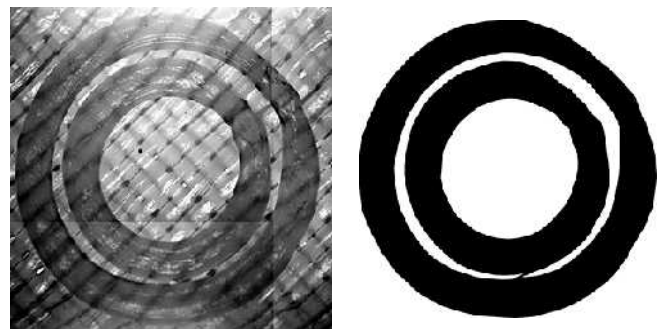
設定値②：Contour 曲線多重化

充てん率：84.9%



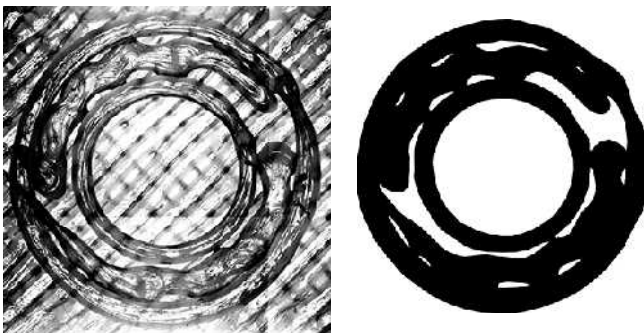
設定値⑥：マイナス Air gap 0.0254

充てん率：88.2%



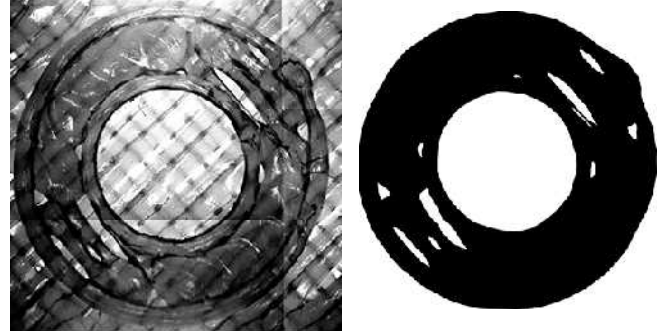
設定値③：contour, raster の width×1.3 倍

充てん率：87.9%



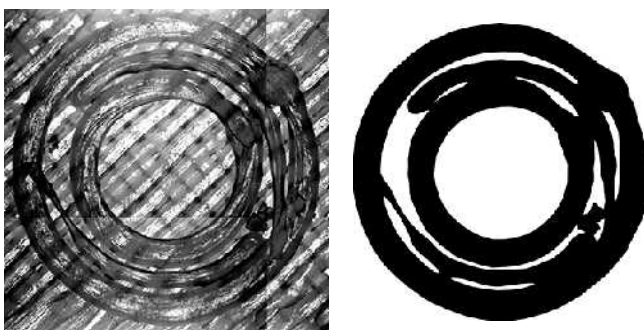
設定値⑦：マイナス Air gap 0.0508

充てん率：96.4%



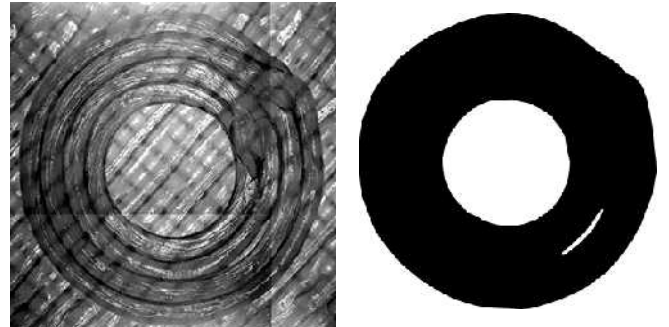
設定値④：contour, raster の width×1.5 倍

充てん率：87.0%



設定値⑧：マイナス Air gap 0.0508, Contour 曲線多重化,
Link Contours

充てん率：99.6%



上記の設定の中から、上位2つの充填率で目視確認でも十分な充填状況であった設定値⑦⑧にてボス孔サンプルを作成し、引っ張り強度試験を実施した。

2.5 汎用射出成型製品と3Dプリンタによる造形物の引っ張り強度の確認③（上位2つの充填率で目視確認でも十分な充填状況で強度向上が期待できるマイナス Air gap 0.0508 設定、マイナス Air gap 0.0508 + Contour 曲線多重化+Link Contours 設定）

それぞれ造形された試験片による引っ張り試験を実施し、ねじが引き抜かれる際の最大試験力について観察した。

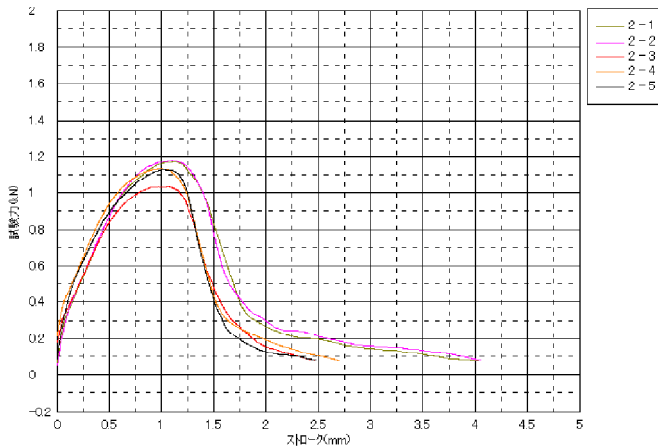


Fig. 17 マイナス Air gap 0.0508 n=5 の引っ張り強度曲線

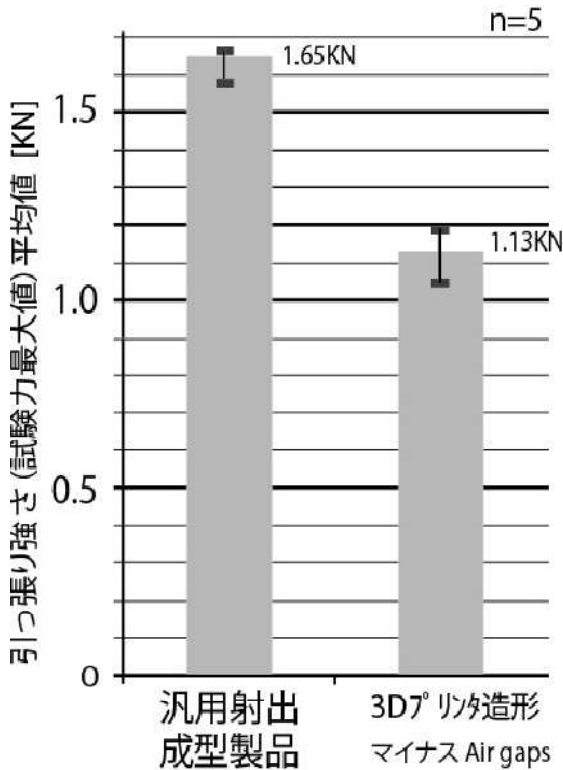


Fig. 18 汎用射出成型製品とマイナス Air gap 0.0508 の引っ張り試験の最大試験力の平均値 (N=5)

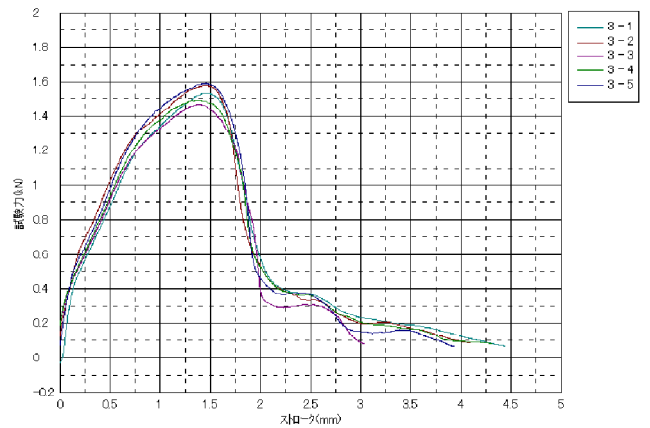


Fig. 19 マイナス Air gap 0.0508 + Contour 曲線多重化 + Link Contours 設定 n=5 の引っ張り強度曲線

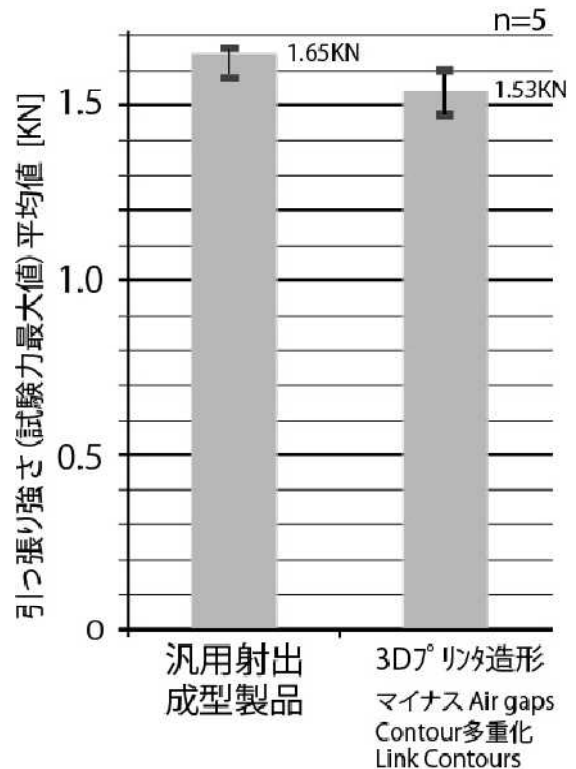


Fig. 20 汎用射出成型製品とマイナス Air gap 0.0508 + Contour 曲線多重化+Link Contours 設定の引っ張り試験の最大試験力の平均値 (N=5)

各条件 n=5 の最大試験力の平均値を比較したところ、汎用射出成型製品に比べ、マイナス air gap のみでおよそ 2/3 の試験力を、マイナス air gap に多重 contours と Link contours のオプションを追加したものは 90% の試験力を最大値として引き抜かれ、射出成型製品に迫る大幅な強度向上を確認することができた。

2.6 汎用射出成型製品と3Dプリンタによる造形物の引っ張り強度の確認④（強度向上が期待できるφ2.5横倒し造形）

引っ張り試験において、引っ張り方向に層状に造形

されるこれまでの造形条件に対して、90° 造形方向を倒して造形を行うと引っ張り方向が樹脂の繊維方向となり、直観的に強度向上が期待できるため、サンプルを作成し強度を確認したところ、マイナス air gap のみ同程度のおよそ 2/3 の試験力を最大値として引き抜かれ、少ない作業コストで大きな強度アップを達成することができた。

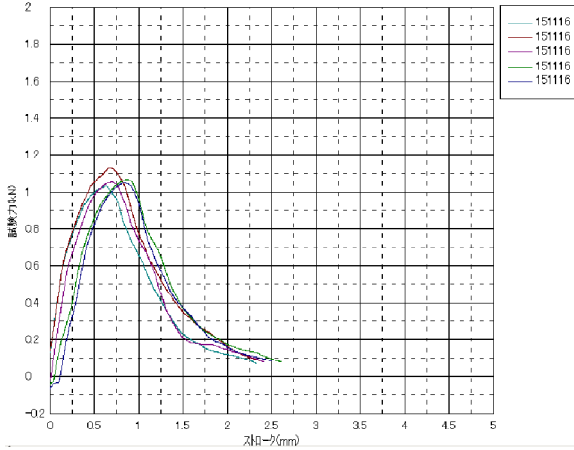


Fig. 21 横倒し造形 n=5 の引っ張り強度曲線

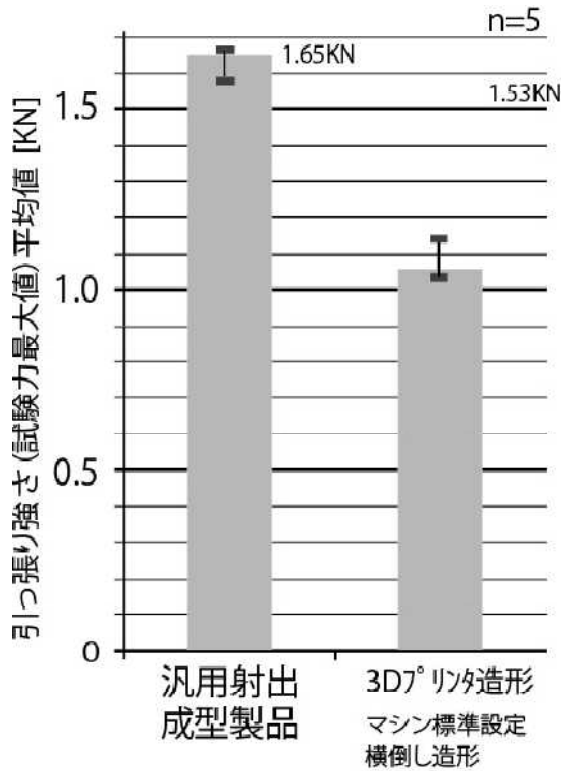


Fig. 22 汎用射出成型製品と横倒し造形の引っ張り試験の最大試験力の平均値 (N=5)

2.7 造形条件変更による造形寸法精度の確認

今回の造形条件は、樹脂射出幅や射出間隔を変更するものであるため、造形物の寸法精度に変位が生じる恐れがあると考え、測定顕微鏡にて造形物の外径と内径を計測したが、強度に影響を与えるような大きな変位は認められなかった。(標準設定に対し、外径で最大 0.06mm 差、

内径で最大 0.1mm 差)

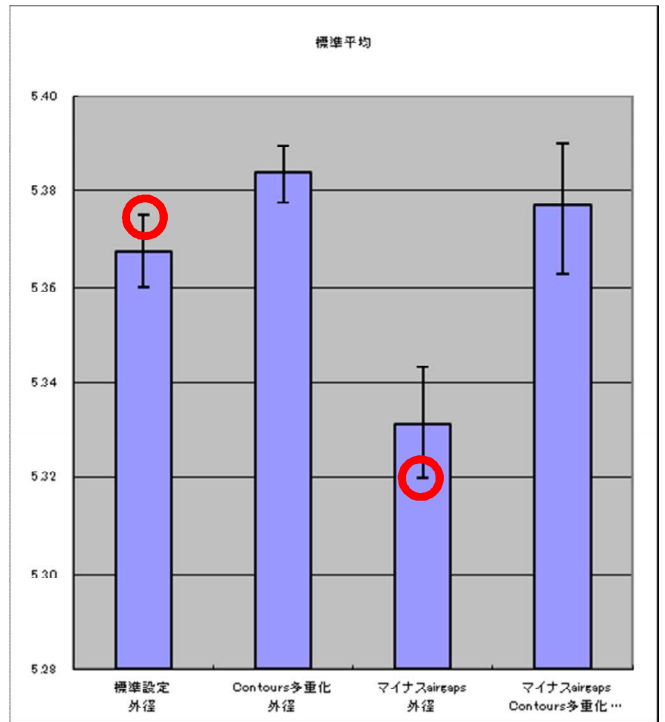


Fig. 23 各造形条件のボス穴外径計測値の平均 n=5

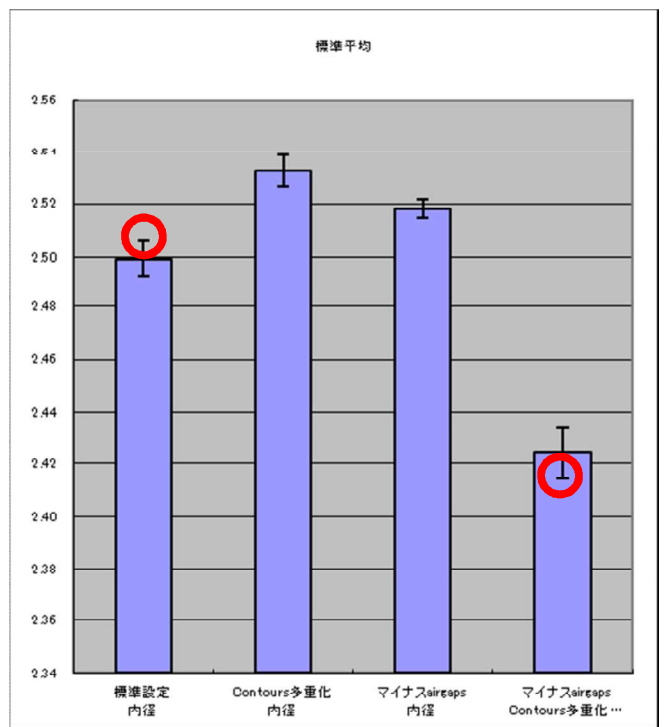


Fig. 24 各造形条件のボス穴内径計測値の平均 n=5

3. 結果及び考察

3.1 造形密度と引っ張り強度の関係

定量的に確認できる充填率と、内側 contour と raster の目視観察による定性的な密着状況から確認される造形密度は、引っ張り強度に明らかに影響を与えていることが確認できた。

3.2 3D プリンタ制御ソフトの造形シミュレーション 表示と実際の造形の関係

制御ソフトが表示する予想される充填状況シミュレーション画像と目視観察による実際の造形状況は、パスは動きは正確であるが air gap が正しく確認できないため、制御ソフトの表示は参考程度に利用する必要がある。

3.3 ボス穴強度向上のための機器運用方法について

今回の実験のように、造形状況を確認するためボス部を一層のみ造形した後、ルーペ等簡易な光学器具で×10倍程度の拡大表示をすれば、少ない時間とコストで充填状況は十分目視観察できる。

今後、強度が必要なボス部の造形をする場合は、本造形の前に事前にボス部一層のみの造形を行って充填状況を確認した後、本造形条件を決定する運用を提案したい。

3.4 強度向上が期待できる造形条件の確認

本年度は外径 5.48, 内径 4.5 のボス形状についてのみ、造形条件と実際の造形の形状と強度を確認したが、次年度以降に様々な外径・内径の場合の造形条件と実際の造形の形状を確認し、形状に関わらず強度向上が期待できる造形条件の存在について確認したい。