

# 3D プリント造形物のヤング率測定

佐藤 一志<sup>\*1</sup>, 石川信幸<sup>\*1</sup>

## Young's Modulus of 3D printed objects

Kazushi SATO and Nobuyuki ISHIKAWA

This paper presents Young's modulus data of 3D printed objects. The objects were produced by means of fused deposition modeling technology. As the result of the fused deposition modeling, the object has a layered structure and exhibits an anisotropy. In order to measure the anisotropic feature of the 3D printed objects, the specimen printed in three direction in the 3D printing space. Besides examination for the anisotropy of the layered structure, specimen thickness and filling method of the layer were studied. Young's modulus data of 3D printed objects show slightly different values according to printing direction, filling method and specimen thickness.

KEYWORDS: 3D printer, Resin, Young's Modulus, Anisotropy

### 1. はじめに

本校機械システム工学科には平成25年度に3Dプリンタが導入された。

本校に導入された3Dプリンタは、造形物の所定断面の形状に従って熔融樹脂をノズルから吐出し、これを層状に繰り返すことで立体形状を造形する熱溶解積層法と呼ばれる手法を用いる装置である。そのため造形物には層状の構造が生じ、造形物の物理的特性には異方性があるものと考えられる。

種々の演習や実習などで3Dプリンタを活用し、造形物を利用していくためには、造形物の異方性を考慮して機械的特性を測定しておく必要がある。造形物の強度特性並びに寸法精度については、既報<sup>2)</sup>により、積層方向については他の方向に比べ強度が低くなり、寸法精度も低下することが示されている。評価すべき機械的特性としては、強度、密度、寸法精度などに加えてヤング率が挙げられる。

そこで、ここでは強度に並ぶ重要な機械的特性であるヤング率の測定結果を報告する。なお、ここで取り扱うヤング率は、3Dプリンタ造形物としての値であり樹脂の物性としてのヤング率ではないことを注意しておく。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材及び試験片

本実験に用いた3Dプリンタは図1に示すStratasys社製 Dimension BST 1200es である。熱溶解積層法により3次元立体を造形する。用いる材料は熱可塑性樹脂 ABS plus である。カタログデータによれば、この樹脂のヤング率は2.2 GPa となっている<sup>3)</sup>。本実験ではこの樹脂材料を用いて引張試験片を3Dプリントしヤング率を測定した。

用いた試験片形状を図2に示す。JIS K 7139を参考にしたダンベル型試験片である<sup>4)</sup>。ここでは、試験片板厚を1.00 mm、3.00 mm、5.00 mmの3通りに



図1 3D プリント外観

\*1 機械システム工学科 (Dept. of Mechanical Engineering)

設定して造形した。試験片形状は 3DCAD (SolidWorks) により作図し、3D プリンタ用データ変換ソフト (Catalyst EX) を介して 3D プリンタヘデータを転送し造形した。なお、造形ピッチは 0.254 mm となっている。

試験片の造形は、熱溶融積層法の特徴から異方性を考慮して図 3 に示す三つの方向について行った。3D プリンタを正面から見た時、造形空間の左右方向を S 方向、奥行方向を T 方向、垂直方向すなわち積層方向を H 方向と呼ぶこととする。図 2 に示した試験片形状が TS 平面、TH 平面、HS 平面となるように設定し造形を行った。先に示す方向が試験片長手方向である。各々、TS 方向試験片、TH 方向試験片、HS 方向試験片と呼ぶこととする。なお、3D プリンタの造形方法から T 方向と S 方向では造形物の特性に差はないと考え、ST 方向等は検討の対象とはしないこととした。

本データ変換ソフトでは、造形物の中埋め方法を図 4 に示す 3 通りから選ぶことができる<sup>4)</sup>。(a)と(b)は物体内部に中空部分を作るもので順に低密度、高

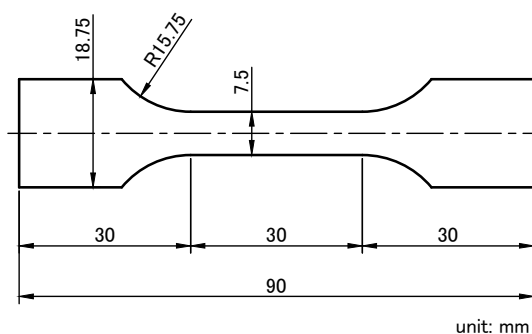


図 2 試験片形状

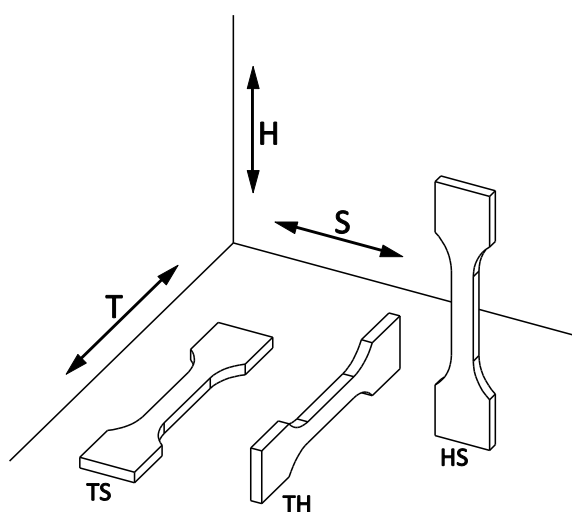


図 3 試験片造形方向

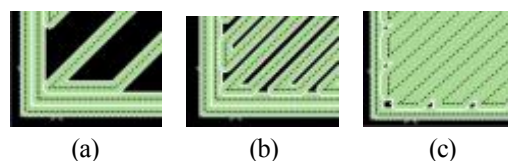


図 4 中埋め方法<sup>4)</sup>(a)低密度、(b)高密度、(c)ソリッド

密度と呼ぶ。(c)は物体内部に中空を作らないようにするものでソリッドと呼ぶ。中埋め方法により造形物の剛性が変化すると考えられるので、これらの 3 通りの中埋め方法についても各々試験片を作成した。

本実験では、板厚 3 通り、造形方向 3 通り、中埋め方法 3 通りの合計 27 通りの条件について、各々 3 本ずつの合計 81 本の試験片を作成した。

## 2. 2 ヤング率測定

ヤング率を測定するために引張試験を行った。

引張試験中のひずみを測定するために、試験片にひずみゲージ (共和電製 KEP-5-120-C1-65) を貼り付けた。本試験片は、3D プリンタの造形上の特徴から表面に細かな凹凸があるため、#600 の紙やすりで表面を滑らかにした後、ひずみゲージを貼り付け実験に供した。

引張り試験は、引張り試験機 (AIKOH ENGINEERING 製 MODEL-1301R) を用いて室温、大気中で行った。クロスヘッドスピードは 1 mm/min とした。引張負荷は、あらかじめ調べておいた各試験片作成条件における最大荷重の 25 % までの荷重をかけたのち除荷した。試験中の荷重とひずみを連続して記録し、荷重-ひずみ線図を測定した。荷重を平行部の初期断面積で除すことにより応力とし、応力-ひずみ線図を求めた。得られた応力-ひずみ線図の初期勾配からヤング率を求めた。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 引張試験結果

引張試験により得られた応力-ひずみ線図の代表例を図 5 に示す。ここでは、TS 方向、板厚 5 mm で中埋め方法がソリッドの場合を示した。図に示したように応力とひずみは直線関係を示している。全ての試験片において応力-ひずみ線図は、このような高い直線性を示した。この直線の傾きからヤング率を求めた。

ヤング率の測定結果を図 6(a)~(c)にまとめて示す。図 6(a)は TS 方向、(b)は TH 方向、(c)は HS 方向で

ある。また、図中の凡例に示した TH-S などの最後の S、H、L は中埋め方法のソリッド、高密度、低密度を示している。ヤング率の値は三本の試験片からの測定値の平均値である。

測定されたヤング率は、樹脂のカタログ値である 2.2 GPa をほぼ中心として分布した。TS 方向について見ると、板厚が厚くなるに連れてヤング率が低下する傾向があることがわかる。TH 方向では、中埋め方法、板厚によらずヤング率はほぼ一定となった。HS 方向では、板厚が厚くなるに連れてヤング率が高くなる傾向がある。特に、中埋め方法が低密度の場合に、今回の全試験中最高のヤング率となった。

以上のヤング率の測定結果を造形状態と関係づけて考察する。

図 7 は、ヤング率測定実験の前に予備的に実施した、引張試験により得られた破断面を示したものである。ここでは、板厚 5 mm の場合について示している。上から順に低密度、高密度、ソリッド、左か

ら右へ TS 方向、TH 方向、HS 方向となっている。破断面をみると、造形時の樹脂の積層方法がわかる。TS 方向について見ると、中埋め方法によって破断面中央付近の造形の様子が異なっていることがわかる。表面付近は造形物の外観のために、中埋め方法によらず隙間なく樹脂が積層されている。中央付近は低密度では空隙が多く観察されるが、高密度とソリッドでは造形状態に大きな差はないようである。詳細に見れば、低密度の場合には表面の造形が二重になっており、表面付近は他の中埋め法よりも密度が高くなっている。これは、低密度の場合の造形物の強度を保つためと考えられる。TH 方向、HS 方向では破断面の様子は中埋め方法によらず同様となっている。本データ変換ソフトによる中埋め方法は TS 平面内のみ適用され積層方向には変化が生じないことがわかる。

TS 方向のヤング率は板厚の増加とともに低下する傾向にあるが、これは板厚が増加すると造形物内部に含まれる空隙が多くなるためと考えられる。また、低密度であっても表面層が二重になることで造形物全体の剛性が保たれているものと考えられる。

TH 方向では、ヤング率は板厚、中埋め方法によらずほぼ一定となった。これは造形状態が中埋め方法によらず同様な状態であったためと言える。

HS 方向では造形状態が似通っているにもかかわらず、ヤング率は板厚の増加とともに高くなる傾向を示している。図 8 は HS 方向の板厚 1 mm の場合の破断面の写真である。左から低密度、高密度、ソリッドとなっている。いずれの場合にも板厚中央付近に空隙がある。このため、他の板厚の場合に比べヤング率が低くなったものと考えられる。また、低

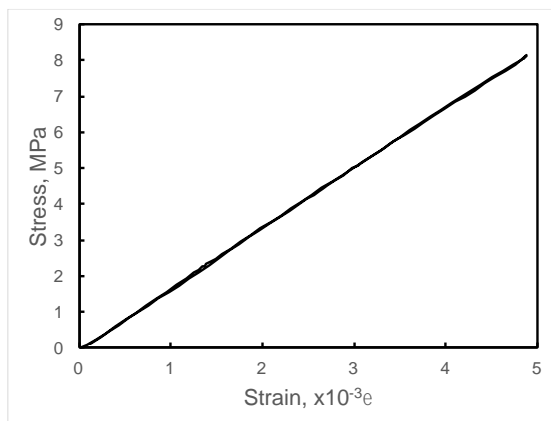
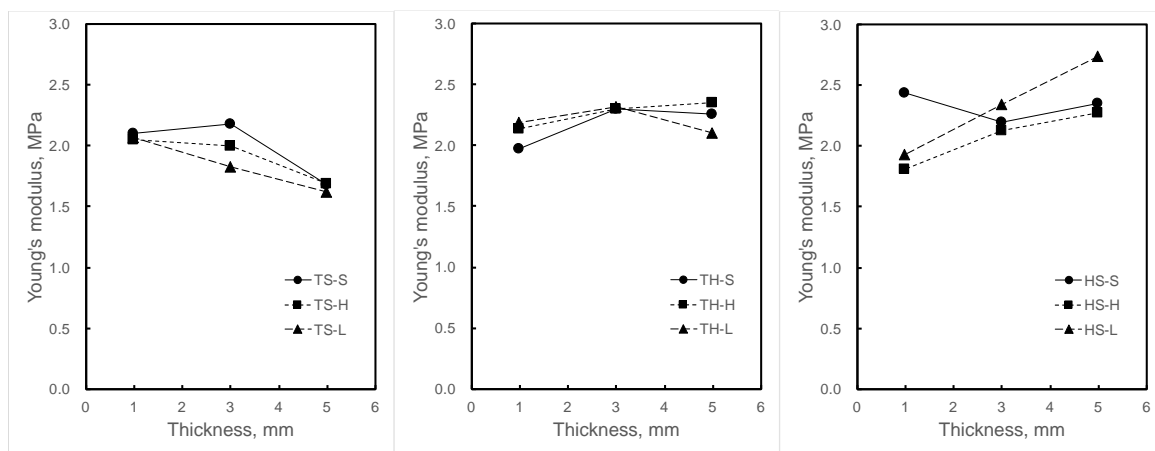


図 5 応力-ひずみ線図 (TS 方向 5 mm ソリッド)



(a) TS 方向

(b) TH 方向

(c) HS 方向

図 6 ヤング率測定結果

密度の場合には、TS 方向に見られるように表面層を二重にする処理が行われる。このために板厚が大きくなったところで低密度のヤング率が高くなっているものと考えられる。

#### 4. まとめ

機械システム工学科に導入された 3D プリンタについて、造形物の異方性を考慮して造形物のヤング率を調査した。その結果、TS 方向は厚さを大きくするほどヤング率は低下し、HS 方向は増加した。TH 方向では、厚さによるヤング率の変化は見られなかった。また造形物のヤング率は、ほぼ樹脂のカタログ値 2.2GPa となった。

本研究の遂行にあたっては及川泰史君、中村文哉君、

我妻佑哉君のご援助を賜った。ここに記し謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 石川信幸、他 5 名:機械部品造形のための 3 次元プリンターの性能調査, 仙台高等専門学校名取キャンパス研究紀要, No. 50, pp.29-32, (2014).
- 2) 佐藤一志、他 2 名:3D プリンタ造形物の寸法精度と強度, 仙台高等専門学校名取キャンパス研究紀要, No. 51, pp.5-9, (2015).
- 3) Stratasys inc.: ABSplus-P430 Spec sheet, (2014).
- 4) 日本工業標準調査会: プラスチック-試験片 (JIS K 7139), (2009).
- 5) 丸紅情報システムズ: Dimension & Catalyst EX チュートリアルマニュアル, p. 3, (2013).

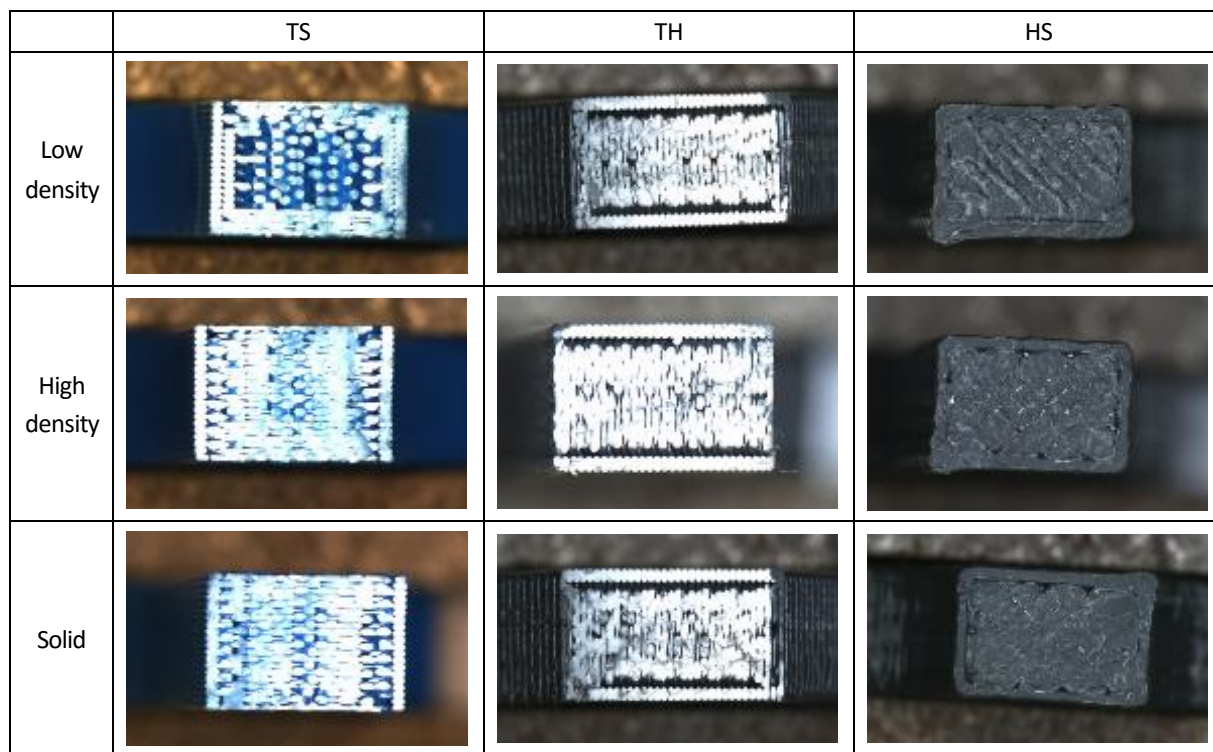


図 7 破断面写真 (試験片板厚  $t = 5.0\text{mm}$ )

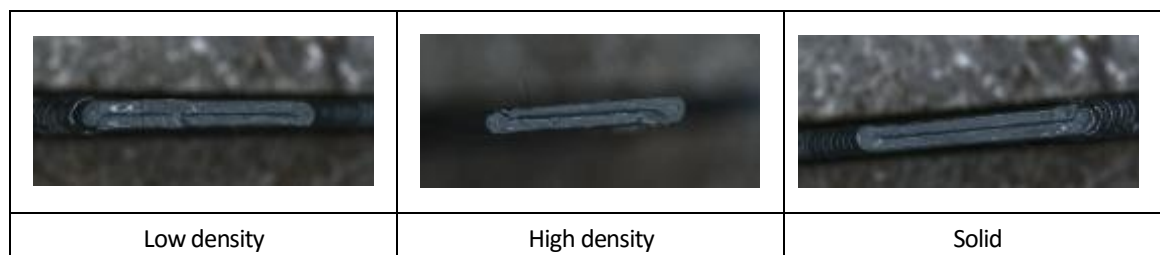


図 8 HS 方向試験片の破断面写真 (試験片板厚  $t = 1.0\text{mm}$ )