

樹脂積層造形における高強度材料の開発

デジタルものづくり課 小川結貴、川堰宣隆、山本貴文

1. 緒言

近年、軽量化をはじめとした性能向上の観点から、プラスチックを用いた自動車部品の開発が注目されている。中でもポリアミドは、耐熱性や耐薬品性、耐油性を活かしてエンジン周辺の部品や吸排気系部品に使用されている。しかし、ポリアミドを構造部品や外装部品で使用するには、強度をはじめとした機械特性が重要となり、現状では使用できる部品に限りがある¹⁾。また、自動車部品は製品の生産が終了した後も長期間、修理や部品交換への対応が求められており、部品の作製に使用する金型の保存や部品の在庫管理が問題となっている。そこで、金型の有無に左右されず、その場で部品の作製が可能な積層造形を用いた部品の供給方法が注目されてきている。

そこで、本研究では、ポリアミドを積層造形し、外装部品、特にバンパーに適用することを目的とし、作製条件による強度の違いについて検討した。

2. 実験方法

2.1 積層造形品の作製方法

試験片の作製には、材料押出法による造形装置 Adventurer4 (FLASHFORGE)を用いた。材料押出法とは、フィラメント状の材料を溶融させ、一定の太さになるようノズルから押し出し、プレート上に一筆書きの要領で1層ずつ積み重ねながら冷却させ、成形する方法である²⁾。材料は、ポリアミド 12 の粉末 PA2200 (EOS GmbH)を使用した。この粉末を本装置で使用するため、直径約 1.75mm のフィラメント状に加工した。フィラメントは、2軸タイプの同軸押し出機を取付けたラボプラストミル 4C150 (株東洋精機製作所)を用い、溶融温度 200°C、スクリュウの回転速度 30rpm の条件で作製した。

作製したフィラメントを、JIS K 7171 記載の短冊形の曲げ試験片の形状に造形した。造形は、試験片の長手方向が

装置の XY 平面に対して平行となるように配置し、Z 軸方向に積層させた。試験片内部の充填角度は、試験片の長手方向に対して 0°、15°、30°および 45°となるように条件を設定した。図 1 に 0°および 45°の造形時の模式図を示す。また、プログラムの関係上、1層ごとに充填角度を 90°回転させて造形を行った。

2.2 評価方法

試験は、JIS K 7171 記載の方法でプラスチック強度試験機 AG-50KNX (株島津製作所)を用いて行った。試験速度は 2mm/min とし、曲げ弾性率と曲げ強さを算出した。また、材料の充填状態を確認するため、密度を算出した。

3. 実験結果および考察

充填角度と曲げ弾性率および密度の関係を図 2 に、充填角度と曲げ強さの関係を図 3 に示す。曲げ弾性率、曲げ強さおよび密度は平均値とした。試験片の曲げ弾性率は、充填角度により変化することを確認した。また、充填角度 0°を除いて、曲げ弾性率は密度と類似した傾向が見られた。充填角度が 0°以外では、長手方向に対して、材料が支点間で折返しているが、充填角度 0°では折返しがないため、曲げ弾性率の向上につながったと考えられる。

一方、試験片の曲げ強さに関して、充填角度 45°を除いて、強度の差が最大 4MPa に収まり、密度の大きな充填角度 30°でも、0°や 15°と同程度の曲げ強さしか得られていない。この要因として、支点間での材料の折返し回数の増加が考えられる。造形プログラムにおいて、15°では、1層あたり 70 回の折返しに対し、30°では、1層あたり 110 回折返している。

そのため、試験片の曲げ弾性率および曲げ強さは、密度および支点間での材料の折返しの有無、回数が影響すると考えられる。

また、試験片の密度は、0.73~0.88g/cm³であることを確



Fig. 1 試験片を作製する際の材料の充填角度の模式図

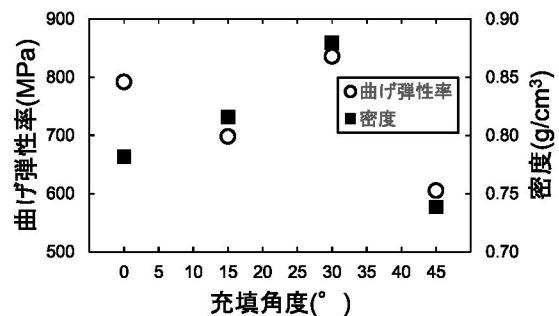


Fig. 2 材料の充填角度と曲げ弾性率および密度の関係

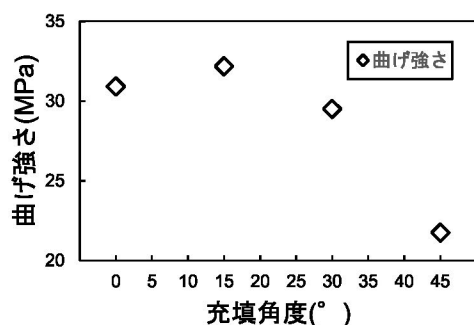


Fig. 3 材料の充填角度と曲げ強さの関係

認した。材料の密度は、メーカーのデータシート³⁾より、約 1.0g/cm^3 であるため、材料は試験片の内部に完全に充填されていないと考えられる。その確認のため、作製した試験片表面の顕微鏡観察を行った。その結果、図 4 に示すように、試験片内部に隙間があることを確認した。この隙間は充填角度に関係なく、図 1 α 部に相当する、試験片内部を充填する際の中間部 (図 4 α 部) に発生している。この隙間が試験片表面だけでなく、試験片内部にも発生し、密度が低下したものと考えられる。また、充填の際にノズルが折返す点 (図 1 β 部) を確認すると、その外側に隙間が発生した。この隙間は、充填角度の違いにより、大きさが変化した (図 4 β 部)。さらに、図 4 (b) で示すように、充填角度 45° の場合、充填する材料間の隙間が大きくなった。これは、フィラメントの径の変動が影響していると考えられる。フィラメントの径の細い部分が押出された際に、ノズルから出る材料の量が少なく、径が細くなり、試験片の密度が低下したと考えられる。

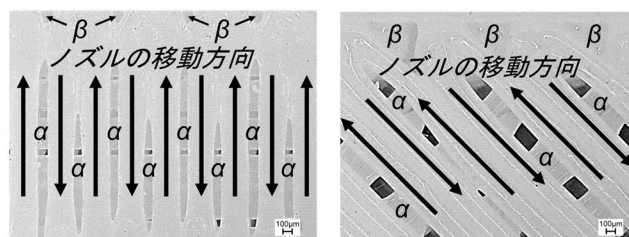
本研究の試験片の曲げ弾性率および曲げ強さを、実際のバンパーと比較した。バンパーの曲げ弾性率は $1500\sim 1800\text{MPa}$ 、曲げ強さは $24\sim 28\text{MPa}$ と報告されている⁴⁾。これは、曲げ強さは充填角度 45° を除いて達成しているが、曲げ弾性率は $35\sim 55\%$ 程度である。しかし、自動車部品の曲げ弾性率の要求物性⁵⁾を確認すると、バンパー

キーワード：積層造形、ポリアミド、曲げ弾性率、曲げ強さ

Development of High Strength Polymer Made by Additive Manufacturing

Digital Manufacturing Section; Yuki OGAWA, Noritaka KAWASEGI and Takafumi YAMAMOTO

In this study, we investigated a method to make parts of car applying material extrusion (MEX). Additive manufacturing is expected for parts of car because it can supply us parts immediately and use no mold. Accordingly, we research for a polyamide 12 applying MEX to use car bumper because of its major exterior parts. The effect of making directions on the bending strength of the material was investigated. The material made by MEX are affected by making direction. The density of manufacturing polyamide is necessary for bending strength.



(a) 充填角度 0° の試験片表面の拡大図 (b) 充填角度 45° の試験片表面の拡大図

Fig. 4 実際の試験片の様子

に適用可能な曲げ弾性率の範囲に収まっている。

4. 結言

ポリアミドの積層造形において、支点間で材料の折返しが無いこと、および密度の上昇が、曲げ弾性率の向上に影響することを確認した。試験片の密度は、充填角度により変化することを確認した。また、曲げ強さは材料の密度と折返し回数が影響することを確認した。一方、材料の強度に関して、目標としているバンパーに適用可能な曲げ強さおよび曲げ弾性率を有することを確認した。今後は、材料や作製条件を検討し、バンパーに必要な他の物性についても検討し、適用可能な材料を開発する予定である。

参考文献

- 1) 野村、高橋、川田、ガラス長繊維および短繊維強化ポリアミドの曲げ特性に対するひずみ速度の影響、M&P 2013 論文集、2013
- 2) 萩原、材料から見た 3D プリンター、ペトロテック、No. 38、Vol. 6、pp. 402-403、2015
- 3) EU safety data sheet, PA2200, EOS GmbH, 2024
- 4) 自動車リサイクル高度化財団、2019 年度「自動車由来樹脂リサイクル可能性実証」最終報告書、2020
- 5) 矢田、森富、自動車用 PP 材料の技術・開発動向、成形加工、No. 27、Vol. 11、pp.457-461、2015