

ノート

粉末焼結型AMによる造形品の機械的性質と異方性材料モデルについて

木暮 尊志*¹⁾ 山内 友貴*²⁾ 山中 寿行*³⁾

Anisotropic material model and mechanical properties of polyamide parts built by laser sintering

Takashi Kigure*¹⁾, Yuki Yamauchi*²⁾, Toshiuki Yamanaka*³⁾

キーワード: 付加製造, レーザー焼結, 破壊強度則, 異方性

Keywords: Additive manufacturing, Laser sintering, Failure criterion, Anisotropy

1. はじめに

Additive manufacturing (以下 AM) は3D プリンティングとも呼ばれ, 国内では試作を中心に広く利用されている。この技術は3D データから直接造形が可能で, 除去加工とは対照的に材料を接合しながら形状を作成する。このような技術的特徴から, 除去加工では不可能な複雑形状の加工や, 異なるデータを並べての同時造形が可能などの利点を有する。力学的に理想的な形状や高意匠性を持つ高付加価値製品製造, 個人にフィットしたカスタマイズ品の大量生産(マスカスタマイゼーション)の実現などが期待されている。

AMの多くは積層による三次元造形を行っており, 構造上の理由から, 引張強さなどの機械的性質は異方性を示すことが知られている。このため, 造形時の方向によって造形品の性能が変わることが予想されるため, 造形品を正しく評価するには異方性の知識は必要不可欠である。

本研究では, 一部で最終製品製造技術として使用されている AM の手法, レーザー焼結法 (LS 法) により造形されたナイロン 12 とナイロン 11 に対して引張試験を実施し, 引張強さ, 破断伸び, 弾性率を求め, 引張強さに一般的な異方性破壊則である Thai-Hill 則を適用した。

2. 試験方法

2.1 造形装置と材料 株式会社アスペクト社製レーザー焼結型造形装置, RaFaEI500C と RaFaEI300F により試験片の造形を行った。前者は CO₂ レーザー搭載モデル, 後者はファイバーレーザー搭載の微細造形用モデルである。RaFaEI500C にはアスペクト社製ナイロン 12 粉末 ASPEX-PA を, RaFaEI300F にはアスペクト社製ナイロン 11 粉末 ASPEX-FPA を材料として用いた。どちらの材料もメーカー公表の平均粒径は 45 μm である。

2.2 試験片形状と試験装置 試験片の形状は造形時の反りによる影響を軽減するため JIS K 7139 に準拠した短尺試験片 A12 とした。表面粗さの影響を除去し, 層間強度のみを測定する目的でフライス盤により試験片形状に加工した。異方性を調査するために, 積層平面と長手方向が一致したものを 0° とし, 45°, 90° の合計 3 方向で造形した。レイアウトの模式図を図 1 に示す。

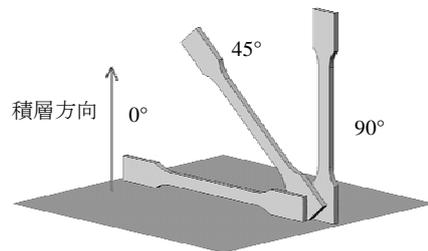


図 1. 造形レイアウト

引張試験を島津製作所製オートグラフ AG-X plus により実施した。試験速度は 1 mm/min とし, 荷重の測定はロードセルを用いた。試験は破断まで行い, 引張強さ, 破断伸びを測定した。弾性率の測定は共和電業製ひずみゲージ KFG-5-120-C1-11 により行った。

2.3 Thai-Hill 則 Thai-Hill 則は繊維強化複合材料 (FRP) など強い異方性を示す材料に使用される破壊則である。式(1) に示すように主軸方向の引張強さとせん断強さをを用いて異方性材料の各方向の強度を表現することができる。

$$\frac{1}{\sigma} = \left(\frac{m^2}{\sigma_x^f} \right)^2 + \left(\frac{n^2}{\sigma_y^f} \right)^2 + m^2 n^2 \left\{ \frac{1}{(\tau_{xy}^f)^2} - \frac{1}{(\sigma_x^f)^2} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

$m = \cos \theta$ $n = \sin \theta$
 σ_x^f : X 方向の引張強さ
 σ_y^f : Y 方向の引張強さ
 τ_{xy}^f : XY 方向のせん断強さ

事業名 平成 27 年度 基盤研究

*1) 城東支所

*2) 3D ものづくりセクター

*3) 経営企画室

本研究では、X方向を0°、Y方向を90°とした。せん断強度 τ_{xy}^f は JIS K 7079 の A 法である $\pm 45^\circ$ 引張法を引用し、 45° の引張強さを座標変換により

$$\tau_{xy}^f = \sigma_{\theta=45^\circ}^f \sin \theta \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

より求めた値を使用した。

3. 結果と考察

図2に試験で得られた引張強さと Thai-Hill 則により記述した曲線を示す。横軸は造形方向を表している。試験結果に注目すると、CO₂ レーザによるナイロン 12 (以下 CO₂ Nylon12) は異方性を示していないが、ファイバーレーザーによるナイロン 11 (以下 fiber Nylon11) は造形方向に引張強さが依存し、異方性を示した。両者の挙動の違いは材料の特性ではなく、レーザーが異なることによる樹脂の溶融のメカニズムの違いにあると考えられる。

また、Thai-Hill 則により造形方向と引張強さの関係が記述されたが 45° の試験結果と離れている。これは、せん断強さを簡易的手法により算出したが、 45° の試験片で純粋なせん断破壊が生じていなかった可能性が考えられる。今後、より詳細なせん断試験を行うことにより、精度を向上できると考えられる。

図3に破断伸びの結果を示す。こちらは CO₂ Nylon12, fiber Nylon11 ともに異方性を示した。これは、内部に微小な欠陥が生じていると考えられる。破断伸びはクリープ変形や疲労寿命に大きく影響する特性であるため、一定荷重を長期間うけるような環境での使用には造形方向が製品性能を大きく左右することを示唆している。

最後に図4に示す弾性率では、CO₂ Nylon12 では異方性が見られないのに対し、fiber Nylon11 では異方性が確認できる。これは、引張強さと同様に溶融のメカニズムが異なるためであると考えられる。

4. まとめ

CO₂ レーザによるナイロン 12 造形品は破断伸びで異方性を示し、長期間の荷重が想定されるときは造形方向が重要になる。また、ファイバーレーザーによるナイロン 11 造形品は機械的性質で異方性を示し、造形方向が特性に大きく影響する。最後に一般的異方性強度則 Thai-Hill 則を適用することで異方性強度の記述が可能になるが、より精度を向上させるにはせん断強さを詳細に測定する必要がある。

(平成 28 年 7 月 1 日受付, 平成 28 年 7 月 21 日再受付)

文 献

- (1) Ythomas L. Starr, Timothy J. Gornet, John S. Usher : "The effect of process conditions on mechanical properties of laser-sintered nylon", Rapid Prototyping Journal, Vol.17, issue6, pp.418-423 (2011)
- (2) 木暮尊志, 横山幸雄, 山内友貴, 山中寿行: 「粉末焼結型造形による造形物の機械的性質に対する造形方向の影響」, 東京都立産業技術研究センター研究報告, Vol.8, pp.72-75 (2013)

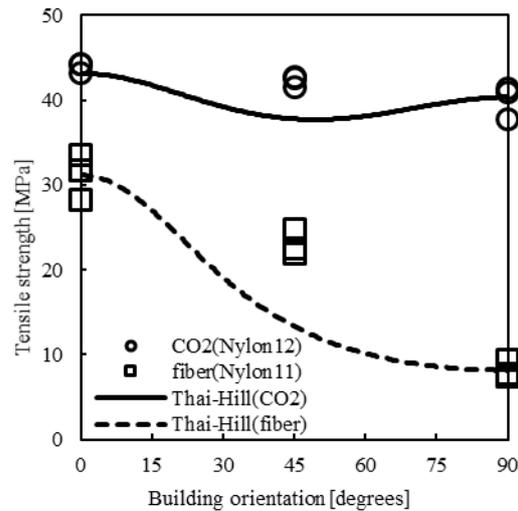


図2. 引張強さと造形方向の関係

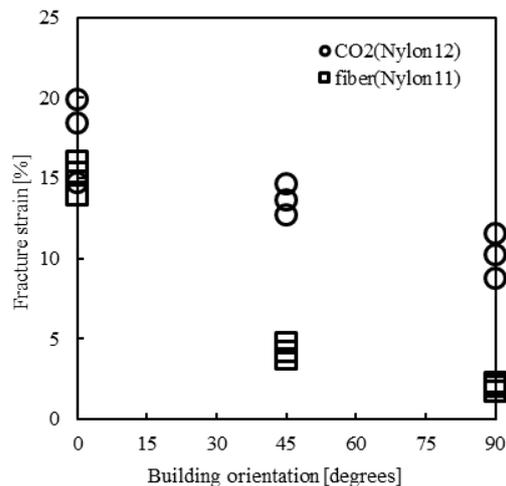


図3. 破断伸びと造形方向の関係

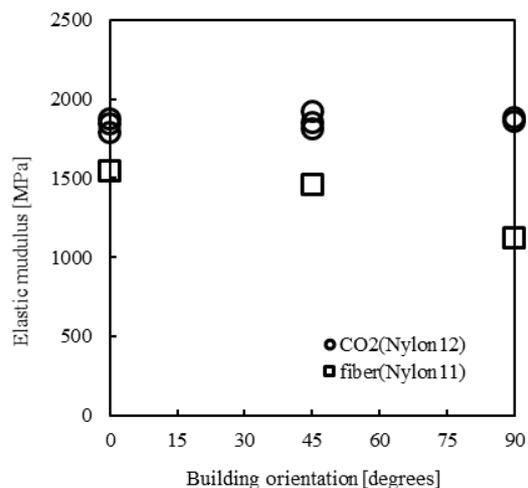


図4. 弾性率と造形方向の関係