

3D プリンター造形物の異方性解析と機械特性への影響検討

Additive Manufacturing Analysis of Anisotropic Moldings

駒場 澄香, 竹之内 崇

Sumika KOMABA, Takashi TAKENOUCI

三菱ケミカル株式会社

Mitsubishi Chemical Corporation

【要約】

本研究は、繊維などを含むことによって材料物性に異方性を有する3D プリンター成形体における積層造形解析手法に関する提案である。繊維強化材料における配向や繊維条件の物性への影響を考慮した Cox-Krenchel モデルを用いて解析的に物性値の算出を行い、併せて CAE による 3D プリンター造形物の異方性解析を実施した。その結果、異方性の有無による機械特性への影響を確認した。提案解析手法で得られたフィラー配向情報を用いて異方性を考慮した構造解析を行うことで、3D プリンター成形体のより正確な設計が期待できる。

キーワード: 3D, シミュレーション, モデリング, 異方性, 繊維

【Abstract】

This research proposes a method for analyzing the layered modeling of 3D printer parts that have anisotropic material properties due to the inclusion of fibers and other materials. We calculated the physical properties analytically using the Cox-Krenchel model, which takes into account the effects of fiber orientation and fiber conditions on the physical properties of fiber-reinforced materials, and analyzed the anisotropy of the 3D printer parts using CAE. As a result, the influence of anisotropy on mechanical properties was confirmed. By using the filler orientation information obtained by the proposed analysis method to perform structural analysis considering anisotropy, more accurate design of 3D printer parts can be expected.

Keywords: 3D, simulation, modeling, anisotropy, fiber

1. 序論

3D プリンターは、従来の方法では難しかった複雑な形状も金型なしで作成できるため、製造業など様々な分野で試作模型や玩具等に広く利用され、開発期間の短期化や製造コストの低価格化に貢献している。しかし、最も一般に利用される熱可塑性樹脂での積層造形では、樹脂自体の熱的、化学的、機械的安定性が低いため、航空宇宙・自動車用構造部材など特に強度が求められる部材には向かないという欠点がある[1]。そのため、近年では短繊維炭素繊維(以下短繊維 CF)や連続炭素繊維などを含む繊維複合材料を用いた造形が広まってきている。

しかし、積層造形における造形方向の異方性に加えて、繊維の配向によって物性の異方性が生じ、機械特性に影響するため、特に異方性の影響を考慮した設計が重要である。

本研究では、繊維複合材の物性パラメータを、サンプル測定および Cox-Krenchel モデルによる解析的な算出によって取得し、汎用ソフトウェア 3D TIMON-AMSolution で積層造形解析を実施した。

2. 実験

2-1 繊維配向の確認

まず、3D プリンター造形によって生じる繊維の配向

を確認するため、X 線 CT 測定を実施した。測定サンプルは、ポリカーボネート(以下 PC)と CF(径約 7 μ m:コンパウンドペレットの断面観察からの実測)のコンパウンドペレットから、3D プリンターにて吐出・成形して作製した。測定結果を図1に示す。白い筋が短繊維 CF であり、サンプルの位置に関わらず、多くが MD 方向に配向している様子が見られる。このことから、3D プリンターによって繊維配向が生じることを確認した。

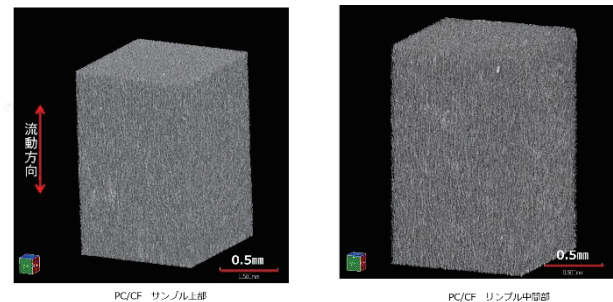


図1 X線 CT 画像

2-2 曲げ弾性率の評価

次に、繊維配向による機械特性への影響を確認するため、曲げ弾性率の違いを評価した。先ほどと同様に PC/短繊維 CF 系で造形し、MD 方向、TD 方向でそれぞれ、プラスチックの曲げ試験規格 JIS K7171 に準拠した試験片寸法 80×10×h4 mm の試験片を作成した。

評価結果を表 1 に示す。MD 方向と TD 方向で曲げ弾性率に違いが出ており、繊維配向が機械特性に影響することを確認した。

表 1 PC/CF サンプルの曲げ弾性率

	TD(Pa)	MD(Pa)
20°C	1.74E+09	1.67E+09
120°C	1.93E+09	1.19E+09

4. 数値解析

4-1 物性パラメータの算出

数値解析を行うにあたり、物性パラメータの算出を行った。等方性材料(異方性のない材料)では、剛性率 G (横弾性係数)は、ヤング率 E (縦弾性係数)およびポアソン比 γ との間に次の関係が成り立つ[2]。

$$G = \frac{E}{2(1 + \gamma)} \quad \text{式(1)}$$

しかし、異方性材料では式 1 が成り立たないため、剛性率とヤング率のそれぞれ設定が必要となる。また、短繊維 CF は MD 方向に配向する傾向があるものの、完全な一軸配向ではないため、配向に合わせた剛性率を算出しなければならない。そこで、複合材の弾性率と強度の複合測に従う Cox-Krenchel モデルを用いて算出した[3]。このモデルは繊維配向や繊維長の影響を与えた以下の式で表される。

$$E_c = \eta_0 \eta_l V_f E_f + (1 - V_f) E_m \quad \text{式(2)}$$

$$\eta_l = \left[1 - \frac{\tanh(\beta L/2)}{\beta L/2} \right],$$

$$\beta = \frac{2}{D} \left[\frac{2G_m}{E_f \ln(\sqrt{r/R})} \right]^{\frac{1}{2}},$$

$$\ln(\sqrt{r/R}) = \ln(\sqrt{\pi/X_i V_f}) \quad \text{式(3)}$$

ここで、 E_c は複合材の弾性率、 V_f は繊維の体積含有率、 E_f は繊維の弾性率、 E_m はマトリックス樹脂の引張弾性率、 G_m は剛性率である。また、 η_l は補正係数であり、 L は繊維長、 D は繊維直径、 r は繊維半径、 R は平均繊維間距離である。そして、 η_0 は配向係数であり、一軸配向で 1、2D ランダム配向で 3/8、3D ランダム配向で 1/5 をとる。

この 2 式を用いることで、複合材の配向係数を計算で予測した。また、繊維配向を疑似的に再現する均質化法モデルを作成し、汎用ソフトウェアである Ansys 19.0 にてヤング率や剛性率などの物性パラメータを導出した。

4-2 造形後の反り量に関する解析

算出した物性パラメータを用いて、等方性条件と異方性条件における反り量の違いを数値解析した。その結果、異方性の有無による機械特性への影響を確認した。

5. 結論

繊維複合材料の積層造形では、特に繊維配向による異方性を考慮した設計が必要とされている。そこで実際に、造形時の繊維配向と機械特性への影響を評価し、異方性解析の必要性を確認した。また、繊維配向を考慮した物性パラメータの算出方法を提案した。この方法で求めたパラメータで数値解析することで、より正確に繊維複合材の機械特性を評価できると考えている。

参考文献

1. Tekinalp, H.L., Kunc, V., Velez-Garcia, G.M., Duty, C.E., Love, L.J., Naskar, A.K., Blue, C.A., Ozcan, S. "Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing", (2014), pp 144-150.
2. Lekhnitskii, S.G., Tsai, S. W. and Cheron T. "Anisotropic Plates.", (1968), pp. 157-212.
3. Thomason, J. L. and Vlugg, M. A., "Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene: 1. Tensile and flexural modulus", (1996), pp. 477-484.