

3D プリンターで作成した生分解樹脂製構造物の分解メカニズムに関する研究

[研究代表者] 山田 章 (工学部機械学科)

[共同研究者] 武田亘平 (工学部機械学科)

研究成果の概要

ポリ乳酸は、熱融解積層方式の3Dプリンターに多用される材料である。しかしながら、分解に伴う強度特性はほとんど知られていない。3Dプリンターでは、細いノズルから溶融した樹脂を押出しながら走査して形状を作成する方法のため、ノズル走査パターンによって強度特性が異なる。加えて、分解に伴い構造物の強度は低下していくが、強度低下にはノズル走査パターンの影響も受ける。本研究では、引張り試験法を用いて、試験片作製時のノズル走査パターンが未分解及び分解試験片の強度特性に与える影響を評価した。試験片は、3Dプリンター法では引張り方向に対するノズル走査方向を(i)平行、(ii)垂直、(iii)平行と垂直の交互、(iv)±45度の交互、の4パターンで作製した。また、既存の方法と比較するため、小型のインジェクションモルディング法で同形状の試験片を作製して比較した。分解の進行には吸水量が大きく影響するため、重量変化と強度低下の関係にも着目した。

研究分野：生体工学

キーワード：ポリ乳酸、強度特性、分解特性

1. 研究開始当初の背景

ポリ乳酸は代表的な生分解性樹脂であり、生体内で加水分解して消滅する性質から医療で用いられる。これまでの研究から3Dプリンターによって作製した生分解性構造物の強度は、一般的な成型法として知られる射出成型と同程度であることがわかっている。しかし、分解に伴う強度特性は、作製時のノズル走査パターンに依存する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、ノズル走査パターンの分解に伴う強度特性に与える影響を、吸水量および最大引張強度に着目して、それらの関係性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 強度試験

強度特性は、引張試験法(卓上引張試験機「EZ-Graph」(島津製作所製))で評価した。試験片治具の固定ねじの締

付けトルクは、未分解の試験片は7.0 N・m、分解試験後の試験片は5.0 N・mとした。ひずみ速度は0.12 min⁻¹とした。試験は室温(22-25℃)で行った。

(2) 試験片の作製

Fig. 1.に試験片の形状および寸法を示す。樹脂材料は線状のポリ乳酸を使用した。3DプリンターはLepton2 (MagnaRecta社製)を使用した。3Dプリンターは、溶融された樹脂をノズルから押出しながら走査して層を重ねることで、構造物を作製する手法である。試験片は、ノズルの走査パターンの異なる4種類を作製した。ノズルの走査方向は、試験片の長手方向に対して、平行(Parallel, P.)、垂直(Vertical, V.)、平行と垂直の交互(Parallel and Vertical, P.V.)、および±45°の交互(Cross, C.) (Fig. 2.)とした。試験片の質量は約0.75 gであった。試験片作製時の樹脂の溶融温度は200℃、造形ステージ温度は80℃に設定した。小型射出成形機は、EASYMOLD-6 (デジタルファクトリー社製)を用いた。この装置で作製した試験片の質量は約0.65 gであった。樹脂の溶融温度は

245°Cに設定した。

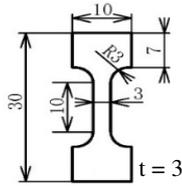


Fig. 1. Shape and dimensions of the test piece.

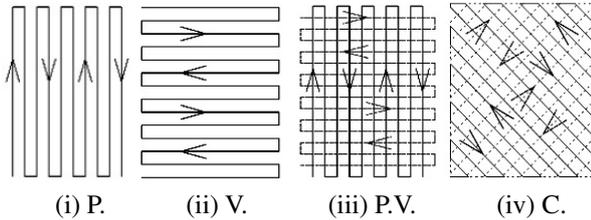


Fig. 2. Scan patterns of the nozzle for the preparation of test pieces. Scan patterns (iii) and (iv) are scanned by mutually.

(3) 分解試験

試験片を小型のスチロールケースに入れ、生理食塩水 8.0 ml に浸漬し、37°Cに設定した恒温器に入れた。浸漬期間は0.5, 1, および3ヶ月とした。

(4) 質量測定

浸漬期間を終えた試験片は引張り試験直前に真空チャンバーに入れ、真空ポンプで5分間吸引して脱水した。試験片の質量は電子天秤で測定した。

4. 研究成果

Fig. 3.に、分解試験前後における試験片の質量増加比率(式(1))を示す。

$$\text{Mass increase} = ((m - m_0) / m_0) * 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここで、 m_0 は浸漬前の質量、 m は浸漬後の質量である。いずれの試験片も、浸漬に伴う吸水のため質量は増加した。浸漬期間が延びるにつれて、試験片の質量増加比率のバラつきは大きくなった。3Dプリンターで単一方向の走査で作製した試験片(PおよびV.)の質量増加比率は、浸漬2週間では0.77 および0.71%、浸漬3ヶ月では1.80 および1.74%であった。二方向の走査で作製した試験片(P.V.およびC.)の質量増加比率は、浸漬2週間では1.02 および0.80%、浸漬3ヶ月では1.36 および1.35%であった。浸漬2週間では、二方向の走査で作製した試験片(P.V. およびC.)の方が吸水量は多いが、浸漬3ヶ月では、単一方向の走査で作成した試験片(P.およびV.)の方が吸水量は多かった。Injection molding (I.m.)では、質量の増加傾向は二方向の走査で作製した試験片(P.V.およびC.)と

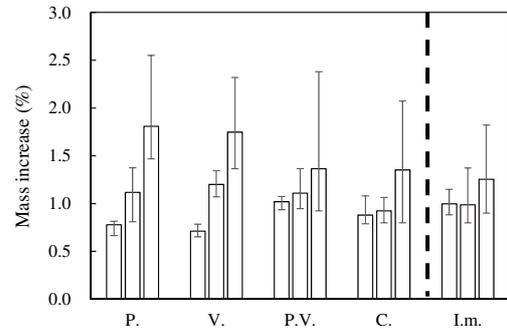


Fig. 3. Comparison of mass increase for five test pieces. Degradation period are 0.5,1, and 3 months from the left to the right. 0.5 month (N=5), 1,3 month (N=10). Bars indicate max. and min.

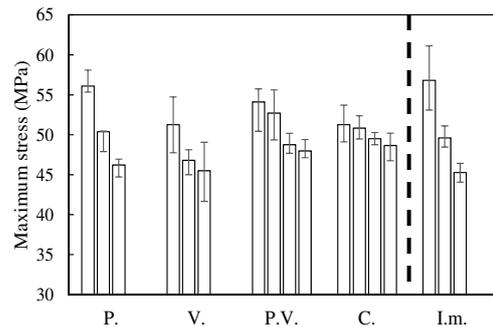


Fig. 4. Comparison of maximum stress for five test pieces. Degradation period 0, 0.5, 1, and 3 months from the left to the right. N=5. Bars indicate max. and min. P., V., and I.m. had no data at 3 months due to holding difficulty of test pieces.

類似した。Fig. 4.に作製方法ごとの浸漬期間と最大応力の関係を示す。浸漬期間が延びるにつれ、いずれの試験片も最大応力は低下した。単一方向の走査で作製した試験片(P.およびV.)は、最大応力は急激に低下した(2週間あたり11 および10%)。浸漬3ヶ月では、分解の進行に伴って強度が低下のため試験片を治具に固定できなかった。二方向の走査で作製した試験片(P.V.およびC.)の最大応力は、浸漬期間3ヶ月まで緩やかに低下した(3ヶ月で13 および6%)ため試験が可能であった。I.m.は、強度低下の傾向が単一方向の走査で作製した試験片(P. およびV.)と類似していた(2週間あたり13%)。

5. まとめ

浸漬期間の経過に伴い、試験片の質量は増加し、最大引張り応力は低下した。3Dプリンターで単一方向の走査で作製した試験片(P.およびV.)は、吸水による質量増加比率が大きく、強度は急激に低下した。二方向の走査で作製した試験片(P.V.およびC.)の質量増加比率および強度の低下は緩やかであった。本研究から得られた知見は、生分解樹脂製構造物の設計において役立つ。