

生分解性樹脂ポリ乳酸の分解に伴う強度特性に関する研究

[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、トウモロコシなどの植物から作製されたプラスチックである。加水分解によって分解が進行し、水と二酸化炭素まで分解されることから、環境負荷の少ない材料として注目されている。近年では熱溶解積層造形方式(FDM)の3Dプリンタの材料として用いられており、任意の形状の分解性構造物を容易に作製できる。構造物の設計にあたっては、分解の進行に伴う強度低下を考慮する必要がある。しかしながら、浸漬に伴う強度変化に関する知見が十分には得られていない。本研究では、ノズル走査パターンを複数種類用いて試験片を作製し、浸漬に用いる溶液の種類を変えて試験片を処理した後、4点曲げ試験を行って機械的特性を評価した。その結果、浸漬に伴う強度の変化は、溶液の種類によって強度低下速度が異なることが解った。また、作製条件によっては、分解に伴う強度低下前に一時的に強度が上昇する場合のあることが解った。

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、加水分解によって分解が進行して、最終的には二酸化炭素と水にまで分解される樹脂である。この性質を生かして、医療や環境用途に応用されている。近年、ポリ乳酸は3Dプリンタ用の材料として普及し、任意の3次元形状の構造物を作製できるようになったことから、今後はさらなる応用展開が期待される。ポリ乳酸製構造物の強度は、分解の進行に伴って低下する。ポリ乳酸の分解に要する期間は、概ね数ヶ月から一年程度と言われている。しかしながら、強度の低下速度やそれに影響を与える要因との関係性については十分に知られていない。

3Dプリンタは細いノズルから溶融した樹脂を押し出しながら走査して構造物を作製する手法のため、作製時のノズル走査方向によって通常のバルク材とは異なった強度低下の挙動を示すことが最近の研究から解ってきた。我々は、3Dプリンタにより小型の試験片を作製し、生理食塩水等に所定の期間浸漬させた後に引張又は曲げ試験を行い、最大応力、弾性率、破断エネルギー等を導出する手法を構築した。得られた知見は、学術論文

(inventions, 4, 21, 2019)に掲載された。しかしながら、浸漬溶液の種類や保管環境が特定の条件に限られるという課題があった。

現状における研究課題を以下に列挙する。

- (1) 試験片の浸漬溶液の種類や保管環境を変えた場合の機械的特性の評価
- (2) 強度低下への溶液組成、保管温度、浸漬(分解)時間の関係性の導出
- (3) 分解に伴う強度低下を伴う場合の破壊メカニズムの解明
- (4) 機械的強度の変動特性の制御と応用

これらの課題に取り組む中で、医療・環境分野における応用を見据えつつ、生分解性樹脂の強度特性を解明する。

2. 研究の目的

本研究では、熱溶解積層造形方式(FDM)の3Dプリンタを用いて加工成形されたポリ乳酸構造物の溶液への浸漬に伴う機械的特性の変化を評価する。分解特性は溶液の種類によって異なるため、複数の溶液に対する分解特性を比較検討する。また、3Dプリンタによって作製

された構造物の破壊機構は一般に用いられる射出成形法によって作製された構造物とは異なるため、破壊メカニズムについて検討する。

3. 研究の方法

(1) 試験片の作製

試験片は直方体形状(Fig. 1)とし、FDM3D方式のプリンタによって直接作製した。3Dプリンタは、Lepton2 (MagnaRecta社製)を用いた。ポリ乳酸材料は、線形φ 1.75 mmのフィラメント材(白色, キョーラク社製)を用いた。作製時のノズルの走査パターンは、長手方向に対して平行と垂直を交互に積層(P.V.)、長手方向に対して±45°に交互に積層(C.)を用いた。

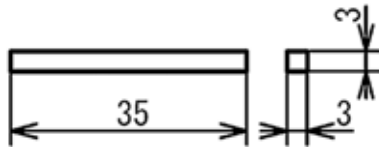


Fig. 1. 試験片の形状と寸法

(2) 浸漬試験

試験片の浸漬には、小型のスチロールケースを用い、溶液量は8 mlとした。浸漬溶液は、リン酸緩衝液、生理食塩水、超純水を用いた。浸漬後は恒温器内(37°C)で保管した。浸漬期間は、14, 30, 45, 60, 75, 90日とした。

(3) 強度試験

機械的特性の評価には、曲げ試験法を用いた。強度特性の評価には、テンシロン万能試験機を用いた。ヘッド移動速度は1.2 mm/minとした。すべての試験は常温(22-25°C)で行った。

(4) 破断面の観察

破断面の観察には、デジタルビデオカメラを用いた。

4. 研究成果

Fig. 2に試験片P.V.の最大曲げ応力を比較する。生理食塩水に浸漬した試験片では、浸漬期間の増加に伴って最大曲げ応力は顕著に低下した。一方、超純水に浸漬した試験片の最大曲げ応力は、14日経過後に一時的に上昇し、30日間、45日間の浸漬により大きく低下した。

一時的に上昇した理由として、吸水による間隙の充填が考えられる。また、75日後に一時的に上昇した理由は不明である。リン酸緩衝液の場合は、浸漬から30日後に最大強度を示し、その後低下した。

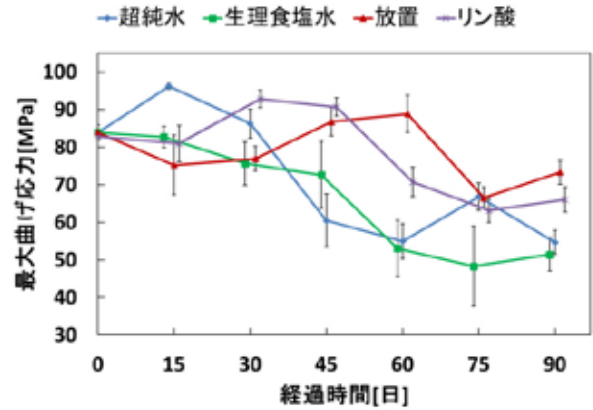


Fig. 2. P.V.の最大曲げ応力の比較 (平均±標準偏差(N=5))

Fig. 3に曲げ試験による最大曲げ応力の発生点近傍の観察像を示す。(a)~(d)は試験終了後の観察像であり、(a)は破断に至らなかった場合、(b)~(d)は破断箇所の亀裂進展様式の相違を示す。

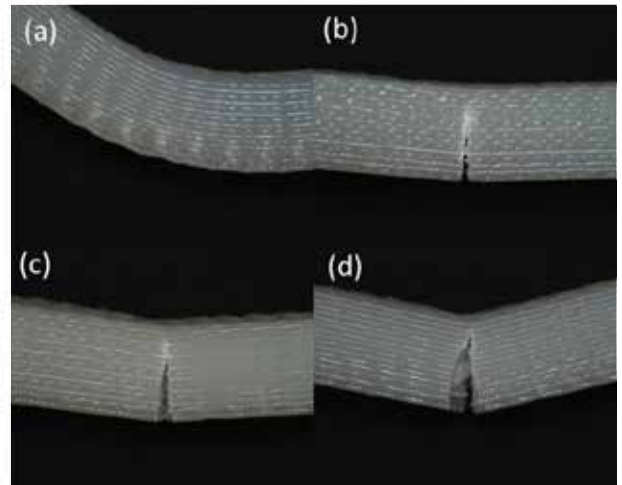


Fig. 3. デジタルビデオカメラによる破断部の観察像 (ノズル走査パターン, C.)

5. まとめ

本研究では、3Dプリンタによって曲げ試験片を作製し、各種の溶液に浸漬後に機械的特性を評価した。また、破断箇所の詳細な観察によって、試験片の作製条件および処理条件による破断のメカニズムの相違に言及した。