

# 成形方法の違いによるポリ乳酸製骨固定スクリューの力学的特性調査

## Investigation of Mechanical Properties of Poly(lactic acid) Bone Fixation Screws in Different Molding Methods

小椋陸<sup>1)</sup>  
指導教員 坂口雅人<sup>1)</sup>

1) サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科 複合材料構造研究室

キーワード：ポリ乳酸，延伸，スクリュー，せん断強度，ねじり強度

### 1. 緒言

骨折した際に用いられる骨固定デバイスの多くはチタン合金やステンレスといった金属材料である。しかしながら、アレルギー反応による炎症などの周辺組織への影響が起こる可能性があるため治療後に再手術によって取り除く必要がある。そのような負担から身体に影響の少なく除去の必要がない代替の材料が求められている。そこで生体吸収性プラスチックスの一つであるポリ乳酸(PLA)が注目されている。しかし、骨固定材として用いるには力学的特性が低い。そこで PLA を延伸し、強度を向上する検討がされている。先行研究において骨固定デバイスであるスクリューを延伸して作製する際、押出成形、押出延伸、鍛造の 3 工程が必要で従来の金属製より手間がかかる。

本研究では延伸と同時にネジ山の成形を行う新しい成形方法を提案した。また、各成形方法での力学的特性の調査を行い比較した。

### 2. 成形方法

材料は PLA (NatureWorksLLC, Ingeo 3001D) のペレットを使用し、M6 スクリューの成形を行った。基本的な成形、試験方法は先行研究<sup>[1]</sup>を参考とした。

#### 2. 1. 成形方法 A(未延伸)

一軸混練機（井本製作所、PPKR-mini）を用いて PLA を金型に押出すことで成形を行った。一軸混練機の混練部温度を 200 °C、ホッパー温度を 145 °C、混練スクリュー回転速度を 100 rpm に設定し、

PLA を投入、混練機先端に M6 スクリュー成形用の金型を取り付け成形した。

#### 2. 2. 成形方法 B(延伸、鍛造)

混練機に直径 8.5 mm、長さ 54 mm のビレット成形用の金型を取り付け、成形方法 A と同じ押出成形の条件で成形した。成形したビレットをマイクロカッターで長さ 22 mm に切断し、ホットプレス（自作）を使用して、延伸比 2 で押出延伸を行った。中央に直径 6 mm 開いた金型を 130 °C まで加熱し、潤滑材の PEG (Polyethylene Glycol) を 1~2 滴と切削したバルクを入れ 10 分間加熱した。その後最大 1.28 kN の押切荷重で延伸を行った。延伸後金型を 70 °C 以下まで冷却した。ネジ山の成形は鍛造で行った。ホットプレスで M6 のネジ山が付いた金型を 130 °C まで加熱し延伸したバルクを設置する。その後圧力をかけ冷却し金型温度が 70 °C 以下となったら取り出した。

#### 2. 3. 成形方法 C(ネジ山成形込みで延伸)

成形方法 B と同じ金型、成形条件で成形、切削しバルクを作製した。次に押出延伸を行う。成形方法 B とは異なり中央に M6 のネジ穴の開いた 2 つ割りの金型を用いて、スクリュー成形を押出延伸と同時にすることで鍛造工程を短縮した。押出延伸は成形方法 B と同条件で行った。

### 3. 試験方法

#### 3. 1. せん断試験

ラジアル方向に力がかかる場合を想定し、せん断試験を行った。万能試験機（島津製作所製、AGS-

1000A)にせん断試験用の治具にスクリューを挿入し、クロスヘッド速度 0.5 mm/min の圧縮荷重をかけて試験を行った。試験から得られた最大荷重  $F$  と M6 スクリューの有効断面積  $A$  約 22.5 mm<sup>2</sup> を用いて式(1)でせん断強度  $S_s$  を算出した。

$$S_s = \frac{F}{2A} [\text{MPa}] \quad (1)$$

### 3. 1. ねじり試験

ねじり試験を行うにあたり試験片を作成した。スクリューの評価部が 15 mm となるよう切断、両端にタブとして M6 ナットを接着した。試験片のナット部をねじり試験機（自作、容量 2 N・m）に取り付ける。モーターの回転数は 0.2 rpm で試験を行った。試験結果から得られたねじり強度とスクリューの極断面係数  $Z_p$  約  $30.07 \times 10^{-9}$  m<sup>3</sup> から式(2)を用いて各ねじり強度  $S_t$  を算出する。

$$S_t = \frac{T}{Z_p} [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (2)$$

## 4. 結果

### 4. 1. せん断試験

図 1 は各成形方法のせん断応力一時間線図から得られたせん断強度である。成形方法 C のせん断強度が 91.5 MPa と他の成形方法に比べ高かった。成形方法 B は 80.4 MPa 成形方法 A は、55.6 MPa と強度が低かった。未延伸に比べ延伸したスクリューのせん断強度が高いことを確認できた。

### 4. 2. ねじり試験

図 2 は各成形方法のねじりモーメント一時間線図である。未延伸の成形方法 A は 280 秒まで平均 0.90 N・m で保持していた。成形方法 B, C は同じ延伸を行っているが、鍛造の工程を省いた C は完全に破断するまで 400 秒以上かかった。

図 3 は各成形方法のねじり強度である。ねじり強度は成形方法 A が 0.95 N・m と高く、C が 0.79 N・m と低かった。

図 4 はねじり試験後のスクリューの外観図である。成形方法 A は中央から 5 mm 左の位置で垂直に破断していた。B は中央からボルト付近まで斜めに破断していた。C は斜めに大きく破断していた。B と異なり内部に纖維状のつながりが見られ、鍛造工程の短縮による物性の違いが示唆された。

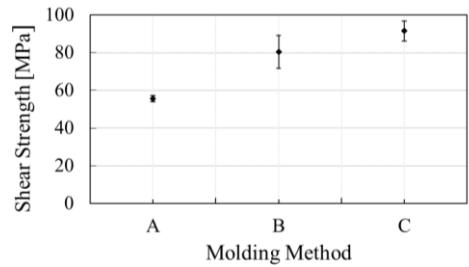


図 1 各成形方法のせん断強度

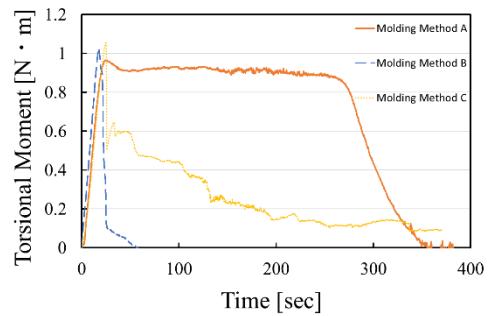


図 2 ねじりモーメント一時間線図の代表波形

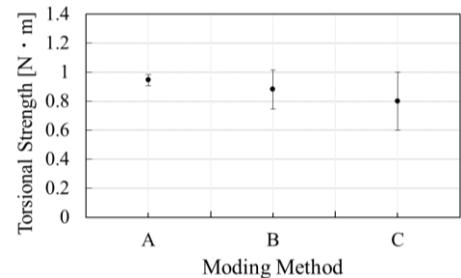


図 3 各成形方法のねじり強度

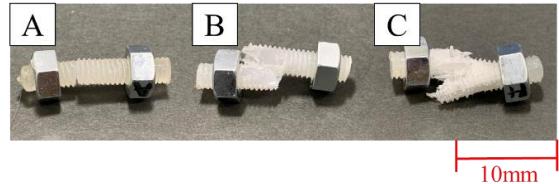


図 4 ねじり試験後のスクリュー

## 5. 結言

せん断強度はネジ山成形込みで延伸を行った成形方法 C が他の成形方法と比較して高いことが示された。ねじり強度は未延伸の成形方法 A が他の成形方法と比較して高いことが示された。また、試験時の耐久時間が延伸した B, C で異なり、破断面にも違いが見られ、内部の物性の違いが示唆された。

## 6. 参考文献

- [1]坂口雅人, 小林訓史, “押出し法によるポリ乳酸スクリューの成形とその評価”, 日本機械学会論文集 (A 編) 78 卷 785 号 (2012), pp. 95-105.