

# β型リン酸三カルシウム/ポリ乳酸複合材料の引張延伸

## Tensile Drawing of β-Tricalcium-Phosphate /Poly(lactic acid)

黒澤暢生<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 : β-TCP, PLA, 複合材料, 生体材料, 延伸

### 1. 緒言

骨折の固定処置には、金属製の生体内埋込み型デバイスが用いられている。これは体重支持の為の強度と、骨表面に沿わせる為の柔軟性が求められるからである。しかし、これらのデバイスの弾性率は自家骨より遙かに高い為、Wolff の法則より周囲の骨を弱化させてしまう<sup>[1]</sup>。また腐食により炎症を発生させる可能性もある。その為、これらのデバイスは骨折治癒後に摘出する必要がある。

自然骨に近い弾性率と生体吸収性を有するポリ乳酸(PLA)と、人工骨材料であるβ型リン酸三カルシウム(β-TCP)の複合材料は、強度が低いという問題があるものの、摘出の必要がない生体材料として注目されている。そこで高分子材料において強度が向上することが知られている延伸処理<sup>[2]</sup>に着目した。本研究では、高い生体親和性、吸収性及び骨伝導性を有するβ-TCP/PLA複合材料について延伸処理及び引張試験を行い、引張延伸による引張強度の向上について検討する。

### 2. 方法

#### 2.1. 熱混練

β-TCP/PLAの混練には2軸押出混練機(株式会社栗本鐵工所、S1 KRC ニーダー)、材料はPLA(NatureWorksLLC、3001D)とβ-TCP(ラサ晃栄株式会社、粒径:4 μm)を用いた。β-TCP含有率15mass%, 30 mass%の2条件を用意し、温度200 °C主軸回転速度81 rpmで熱混練した。

#### 2.2. 熱圧縮成形

混練した材料は粉碎機(大阪ケミカル株式会社、WC-3)を用いて粉碎した。24時間以上70 °Cで絶乾した後、110 mm×110 mm SS400製凹金型を用い

てホットプレスで200 °Cに加熱し、10分溶解させ、60秒間0.4 MPaで圧縮し、30 °Cまで水冷した。成形した板はラボカッター(株式会社マルトー、MC-112)を用いて10 mm×110 mmの短冊形に切断した。

#### 2.3. 高温引張試験

適切な延伸条件を調査する為、温度40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °Cにて高温引張試験を行った。試験片にA2017板タブを接着して、万能試験機(株式会社島津製作所、AGS-1000A)に固定し、試験片周囲をSS400製金枠で試験片に非接触で包囲した。金型はカートリッジヒータとK熱電対により温度調節器(アズワン株式会社、TJA-550)を用いて恒温制御した。引張速度は10 mm/minとし、金型温度が設定温度に達してから10分間静置後、引張を開始した。荷重測定にはロードセル(株式会社島津製作所、SBL-1T-350)を用いた。このとき変形比 $R_D$ は変形後の試験片長さ $l$ [mm]と変形前の試験片長さ $l_0$ [mm]の比である。

#### 2.4. 引張延伸

高温引張試験で求めた最適温度条件70 °C、前節項と同様な手順にて延伸比1.5として引張延伸を行った。

#### 2.5. 引張試験

万能試験機で引張速度0.5 mm/min固定として各条件5本ずつ引張試験を行った。ひずみゲージ(株式会社共和電業、KFGS-2-120-C1-11L1M2R)は片面中心部に接着した。得られた応力-ひずみ線図において、最大応力を引張強度、0.05~0.25%ひずみ区間の傾きを弾性率とした。延伸による引張強度向上判定の為に有意水準0.05でt検定を行った。

### 3. 結果

#### 3.1. 高温引張試験

応力-時間線図から得られた最大引張応力と変形比を図 1, 2 に示した。最大引張応力は延伸温度上昇に伴い単調減少した。変形比は 70 °C で最大値を示した。また、40 °C, 50 °C では変形比がほぼ 1 であり、延伸が確認できなかった。これは試験片温度が PLA のガラス転移温度約 57 °C 未満であったためと考えられる。以上より、 $\beta$ -TCP/PLA では引張応力が小さく変形比が最大となる 70 °C が最適延伸温度条件であると考えられる。

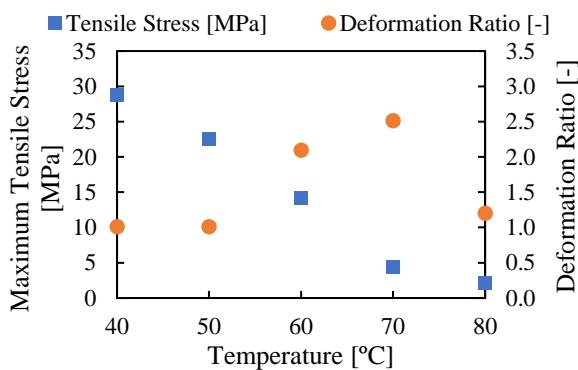


図 1 最大引張応力と変形比 (15 mass%)

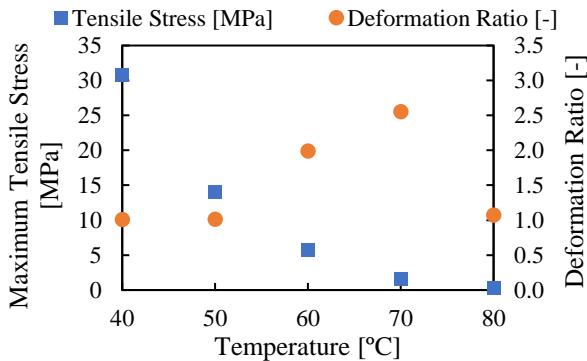


図 2 最大引張応力と変形比 (30 mass%)

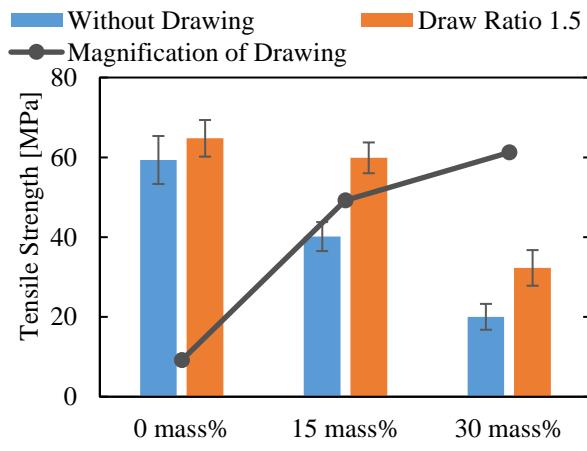


図 3 引張強度と強度向上率

#### 3.2. 引張試験

各試験片の応力-ひずみ線図から得られた引張強度を図 3 に、弾性率を図 4 に示した。誤差範囲は標準偏差とした。延伸による引張強度向上度  $M_D$  (Magnification of Drawing) は各含有率における未延伸試験片の引張強度  $\sigma$  [MPa] と延伸試験片の引張強度  $\sigma'$  [MPa] の比である。

図 3, 4 より  $\beta$ -TCP 含有率の増加とともに、引張強度が大幅に低下し、弾性率は増加することが確認できた。これは  $\beta$ -TCP が不純物として作用した為強度が低下し、PLA より弾性率が高い  $\beta$ -TCP が増加した為材料全体の弾性率が増加したと考えられる。また、含有率が増加すると、 $M_D$  も増加していた。これは含有率の増加に伴い、試験片断面における PLA の占める面積が減少し、延伸による PLA の変形量が増加していた為であると考える。また、t-検定により全ての含有率条件において、延伸による引張強度向上の有意差が認められた。

#### 4. 結言

PLA に対して  $\beta$ -TCP/PLA では引張強度が大幅に低下することが示された。 $\beta$ -TCP/PLA は引張延伸により、引張強度が向上することが確認できた。また、含有率が増加すると、延伸による引張強度上昇率も増加することが示された。

#### 5. 文献

- [1] J. Newell, “材料力学・材料工学—基礎から応用までー”, 滝澤博胤ほか訳, (2012), 株式会社東京化学同人. p.156.
- [2] 松本喜代一, “ポリ乳酸フィルムの延伸に伴う構造と物性の変化”, 日本材料学会ジャーナル 43巻 495号 (1994), pp. 1520-1524.

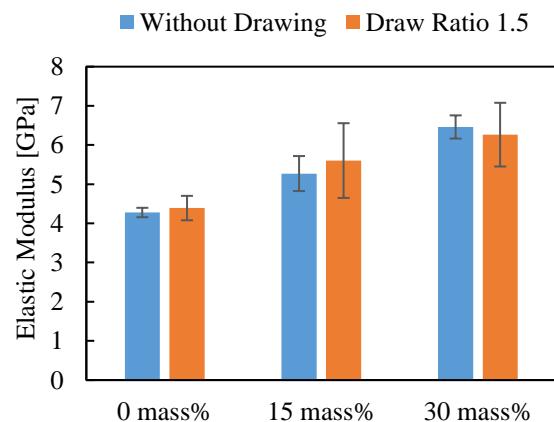


図 4 弾性率