

熱間鍛造で成形された生体吸収性セラミックス/プラスチック複合材料 スクリューにおける力学的特性の調査

Investigation of Mechanical Properties in Bioabsorbable Ceramics/Plastics Composite Screw Molded by Hot Forging

荒川陸¹⁾

指導教員 坂口雅人²⁾, 研究協力者 黒木雄一郎³⁾

1) サレジオ工業高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻 複合材料構造研究室

2) 岐阜大学 工学部 機械工学科

3) サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科 電子セラミック研究室

キーワード: セラミックス, 延伸, ポリ乳酸 (PLA), 鍛造, 力学的特性

1. 緒言

近年, 世界的な高齢化に伴い骨折患者が増加している。骨折の治療には高い強度と柔軟性を持つ金属製の骨固定デバイスが用いられている。しかし金属製骨固定デバイスは体内でアレルギー反応による炎症を引き起こす可能性がある。したがって金属製骨固定デバイスは治療後に再手術によって取り除くことが推奨されている。人体への負担が少ない生体吸収性セラミックスとしてリン酸三カルシウム (TCP) に注目した。しかし TCP は加工性が悪く, ぜい性材料であり, 弾性率も高い。そこでポリ乳酸 (PLA) との複合化により成形性の改善及び弾性率を最適化し, 骨と同程度の弾性率にすることを試みた。これらを複合化した TCP/PLA は生体吸収性及び骨置換性を持つ理想的な材料特性となることが期待できる。しかし TCP と PLA を複合化すると一般に強度は低下する。そのため複合材料の強度を向上させる試みとして, 長尾ら[1]は TCP/PLA 複合材料において乳酸を用いた界面処理による材料強度の向上が報告している。敷波ら[2]は鍛造によってハイドロキシアパタイトと PLA の複合材料を成形し, 曲げ強度とせん断強度の向上に成功している。そこで, 本研究では熱間鍛造を用いて成形された TCP/PLA

スクリューの力学的特性に及ぼす熱間鍛造条件の影響を明らかにすることを目的とする。

2. 成形方法

本研究では試験片の材料として汎用グレードの PLA (武藤工業製, MAGIX-PLA-17CL) 及び TCP (富士フィルム和光純薬製, 032-10855) を使用した。TCP の質量含有率が 0 mass%, 15 mass%, 30 mass% となるように, 一軸押出混練機 (井本製作所, PPKR-mini) を使用し, PLA と TCP を混練と同時にキャスト成形した。混練条件は混練部温度 200 °C, ホッパー部温度 145 °C とした。金型は延伸比 (ER) 1.3, 4, 8 となる寸法を用意した。次に成形したビレットを, 130 °C に加熱した金型にセットして 10 分間加熱し, その後, 最大 3 kN の押切荷重を加えることにより, 熱間鍛造した。

3. 力学的特性の評価

TCP/PLA スクリューの力学的特性を評価するためにせん断試験とねじり試験を行った。せん断試験は万能試験機 (島津製作所, AGS-X) を用いて圧縮荷重を加えることでせん断応力を負荷した。せん断応力 τ は圧縮荷重 F 及びスクリュー断面積 A を用いて式(1)で算出した。ねじり試験は試験両

端部を固定し一端を回転させトルクコンバータ(共和電業製, TP-50KCM)を用いて行った。ねじり強度 S_T は、最大ねじりモーメント T_{max} 及び極断面係数 Z_p を用いて式(2)で算出した。

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (1) \quad S_T = \frac{T_{max}}{Z_p} = \frac{T_{max}}{\frac{\pi d^3}{16}} \approx \frac{T_{max}}{30.07} \quad (2)$$

4. 結果

表 1 は各鍛造条件における試験片が破壊せずに成形できた割合を示す。表 1 より TCP 含有率の増加に伴い、破壊した試験片が増加した。

表 1 熱間鍛造における TCP 含有率と ER によるスクリーン成形成功割合の比較

Extrusion Ratio	TCP Content [mass%]		
	0	15	30
1.3	90	62.5	28.6
4	57.1	62.5	27.3
8	75	88.9	63.6

図 1 に各 TCP 含有率と延伸比におけるスクリーンのせん断強度を示した。図 1 より延伸比とともにせん断強度は向上した。これは延伸比とともに変形量も大きくなることで、分子鎖が配向したためと考えられる。また、15 mass% の TCP で複合化したスクリーンは、延伸比 ER8 において 96.6 MPa のせん断強度に達した。これは TCP 含有率 0 mass% の未処理試験片のせん断強度 63 MPa や日本人男性の平均体重 67.4 kg[3]によって生じるせん断応力 33 MPa よりも高い。一方で TCP 含有率の増加に伴いせん断強度が減少した。これは TCP が応力集中源として作用したためと考えられる。

図 2 に各 TCP 含有率と延伸比におけるスクリーンのねじり強度を示した。図 2 より TCP 含有率 15 mass% ER4 において 32.5 MPa のねじり強度に達した。これは TCP 含有率 0 mass% ER1.3 よりも 1.5 倍高い。しかし M6 プラスチックねじの標準締め付けトルクは 2.6N・m (86 MPa) であり、これより低い。

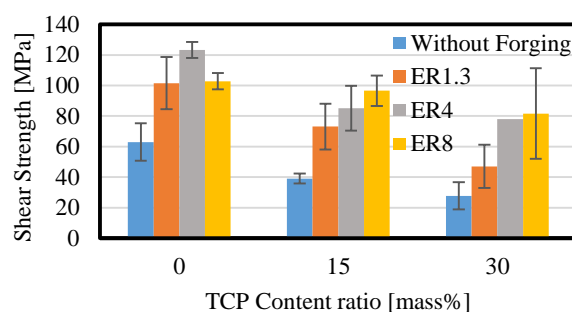


図 1 TCP 含有率と ER を変化させて熱間鍛造したスクリーンにおけるせん断強度の比較

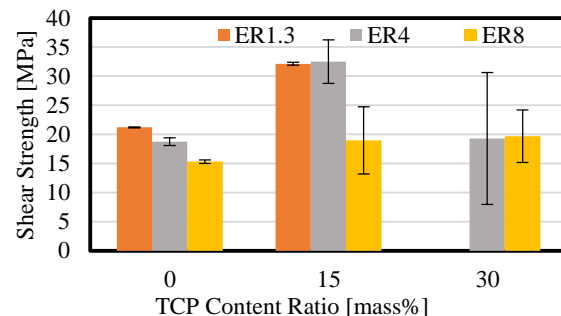


図 2 TCP 含有率と ER を変化させて熱間鍛造したスクリーンにおけるねじり強度の比較

5. 結言

本研究では TCP/PLA の力学的特性に及ぼす延伸比の影響を調査した。試料のせん断強度は TCP 含有率の増加に伴い減少することが示された。一方で、TCP/PLA スクリーンのせん断強度は熱間鍛造によって増加し、TCP 含有率 15 mass% の ER8 では PLA 単体と同等以上の強度を示した。ねじり試験の結果、ねじり強度は TCP 含有率 15 mass% で最大強度を示し、ER4 では PLA 単体と同等以上の強度を示した。

6. 文献

- [1] 長尾梨沙, 小林訓史, “L-乳酸により界面処理した β 型リン酸三カルシウム/ポリ L 乳酸複合材料の力学的特性”, 日本機械学会 第 18 回機械材料・材料加工技術講演会, (2010), pp. 528-532.
- [2] 敷波保夫, “生体内骨伝導性と吸収性を併せ持つ高強度複合体 (F-u-HA/PLLA) からなる骨接合材の開発と臨床応用”, バイオマテリアル, 26(2008), 122
- [3] 総務省統計局, “人口推計”, (2019)