A108 生体吸収性プラスチック複合材料の力学的特性に及ぼすひずみ速度の影響

The effect of strain rate on the mechanical properties of hydrolyzed β -TCP/PLLA composites

○正 小林 訓史 (首都大)

学 山地 周作 (首都大)

Satoshi KOBAYASHI, Tokyo Metropolitan University

Shusaku YAMAJI, Tokyo Metropolitan University

Key Words: Hydrolysis, Poly-L-Lactide, Tricalcium Phosphate, Strain Rate

Bioactive ceramics/poly-L-lactide (PLLA) composites have been expected as a material for the bone fracture fixations which have more biocompatibility than monolithic PLLA. In this study, β -tricalcium phosphate (β -TCP)/PLLA composites containing three different β -TCP contents and monolithic PLLA specimens were prepared by injection molding to clarify the effect of hydrolysis and strain rates on the mechanical properties. These specimens were immersed in phosphate buffered solution, and then tensile tests were performed at the strain rates ranging from 10^{-4} to 10^{-1} [s^{-1}]. In the results of these tests, both β -TCP/PLLA composites and PLLA specimens showed that their modulus have no dependence on the strain rate and their strengths increased with increasing strain rates. After 8 weeks immersion, strength of specimens were decreased slightly.

1. 緒言

治癒後の再手術不要な骨接合材料として生体吸収性プラスチックであるポリ L 乳酸 (PLLA) 及び PLLA と生体活性セラミックスとの複合材料が開発されてきている。これまでの研究において生体活性セラミックスのうち、生体親和性に優れ、高い生体溶解性を示す β 型リン酸三カルシウム (β -TCP) と PLLA との複合材料の作製及び力学的特性の実験的評価や応力-ひずみ関係の予測が行われてきている。また *in vitro* 環境における分解特性を明らかにするために、リン酸緩衝液浸漬試験とその後の評価が行われている。

しかしながら、これまでの研究で行われた力学的特性評価は 10^{-4} [s^{-1}] という低いひずみ速度域でのみ行われており、実際の使用を想定した場合、 10^{-1} [s^{-1}] 程度までのひずみ速度を考慮することが必要であると考えられる。そこで本研究ではひずみ速度の影響を考慮した生体吸収性骨治療材の開発の指針を与えることを目的とし、生体吸収性複合材料の力学的特性に及ぼすひずみ速度の影響を実験的に評価した。

2. 実験方法

2-1 試験片作製

本研究では PLLA 単体と β -TCP/PLLA 複合材料の二種類の試験片を作製した。PLLA 単体の試験片は PLLA ペレットとして島津製作所(株)製ポリ乳酸ラクティ #5000 を使用し、日精樹脂工業製小型射出成形機 NR7 Real Mini を用いて $100\text{mm} \times 10\text{mm} \times 4\text{mm}$ のバルク状に射出成形した。射出成形した試験片はホットプレスを用いて上下から加熱し、Non-Annealing (未処理)、 70°C で 24 時間、 130°C で 24 時間の 3 つの条件で熱処理を行い、結晶化度の異なる試験片を作成した。

β -TCP/PLLA 複合材料の試験片はフィラー材である β -TCP(太平化学工業製、リン酸三カルシウム)と PLLA ペレットをフィラー含有率 5wt%, 10wt%, 15wt% でそれぞれ混合後、 $100\text{mm} \times 10\text{mm} \times 4\text{mm}$ のバルク状に射出成形した。また、混合に用いた容器内の β -TCP 残量を測定し、その値を差し引くことにより最終的な含有率を決定した。

2-2 擬似生体環境下浸漬試験

擬似生体環境として、生体内と同じ pH のリン酸緩衝液 (PBS, pH : 7.4) を作成し、各試験片を 37°C に保たれたインキュベーター内で一定期間 8 週間浸漬した。各試験片は浸漬

後、常温の真空炉内で絶乾を行った。

2-3 引張試験

$20\text{mm} \times 10\text{mm} \times 1\text{mm}$ のアルミニウムタブを各試験片の両端部に接着した後、両面にひずみゲージを接着し、常温の大気中にて引張試験を行った。試験速度は 1, 10, 100, 1000mm/min とした。

3. 実験結果及び考察

まず浸漬を行っていない PLLA 単体の引張試験結果を図 1 に、 β -TCP/PLLA 複合材料のものを図 2 に示す。両試験片共に弾性率においてひずみ速度に対して若干の増加傾向は見られるものの、 10^{-4} [s^{-1}] から 10^{-1} [s^{-1}] 程度ひずみ速度では弾性率にひずみ速度依存性はあまり観察されなかった。

しかしながら、引張強度において両試験片共にひずみ速度の増加にともなう引張強度の増加が観察された。PLLA 単体においては結晶化の進んだ 70°C -24h, 130°C -24h 試験片において Non-Annealing よりも顕著なひずみ速度依存性が観察され、結晶化度の増加によってひずみ速度依存性がより顕著に現れることが示唆された。 β -TCP/PLLA 複合材料において、フィラー含有率が低い試験片ほどより顕著なひずみ速度依存性を示している。このことからフィラー含有率に起因するひずみ速度依存性の存在が示唆される。

続いて 8 週間浸漬後の PLLA 単体における試験結果を図 3 に、 β -TCP/PLLA 複合材料における結果を図 4 に示す。8 週間浸漬の結果、各試験片において強度において若干の減少を示し、その傾向に殆んど変化は観察されなかった。しかしながら図 3 に示した複合材料の引張強度においてフィラー含有率に起因するひずみ速度依存性は観察されなかった。このことから、分解もしくは吸水によってひずみ速度依存性が影響を受けることが示唆された。

今回観察した 8 週までの浸漬結果では大きな変化は見られず、実際の骨折の治療期間を考慮した更なる浸漬試験の必要がある。

4. 結言

結晶化度の変化、フィラー含有率に起因するひずみ速度依存性の存在が示唆された。また、実際の使用を考慮した場合材料が 10^{-1} [s^{-1}] 程度のひずみ速度を受けることが考えられる

ので、より高いひずみ速度での試験が必要である。

(a) Young's Modulus

(b) Tensile Strength

Fig.1 The results of tensile tests of PLLA with strain rate.

(a) Young's Modulus

(b) Tensile Strength

Fig.2 The results of tensile tests of β -TCP/PLLA composites with strain rate.

(a) Young's Modulus

(b) Tensile Strength

Fig.3 The results of tensile tests of PLLA with strain rate after 8 weeks immersion.

(a) Young's Modulus

(b) Tensile Strength

Fig.4 The results of tensile tests of β -TCP/PLLA composites with strain rate after 8 weeks immersion.