

Characterization of Bending Mechanical Behaviours of Novel Porous Hydroxyapatite/Biopolymer Composite Beams

ファティン, ハズワニ, モハマド, アザハル

<https://hdl.handle.net/2324/4496085>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : Fatin Hazwani Mohamad Azahar

Name

論 文 名 Characterization of Bending Mechanical Behaviours of Novel Porous

Hydroxyapatite/Biopolymer Composite Beams

(新規多孔質ハイドロキシアパタイト/バイオポリマー複合材料ビームの曲げ機械特性の評価)

区 分 : 甲

Category

論 文 内 容 の 要 旨

Thesis Summary

近年、骨折固定用材料や骨再生用足場材料として、骨の無機成分に類似のバイオセラミックスや生体吸収性を有するバイオポリマーが広く使用されている。バイオセラミックスとしてはリンカルシウム系のハイドロキシアパタイト (HA)、生体吸収性ポリマーとしては、骨折固定用材料として利用されているポリ L 乳酸(PLLA)が検討されている。特に最近、HA の多孔質焼成体と PLLA の多孔質構造体を複合化させた材料が開発され、HA 単体の力学特性を大きく向上させることに成功したが、それらの力学特性は主に圧縮特性であり、実際に骨折固定用材料や骨再生用足場材料として使用される可能性がある他の形状については、まったく評価されていないのが現状である。

本論文は、HA と PLLA に加えて、新しい複合化用生体吸収性ポリマー材料として、生体吸収性縫合糸として使用されている乳酸カプロラクトン共重合体 (PLCL) を導入し、HA 多孔質焼成体の内部に多孔質ポリマー相が存在する 2 相系多孔質複合構造体のビーム形状構造体を開発している。また、曲げ力学特性を評価するとともに、変形・破壊メカニズムについて考察している。さらに、非線形弾性力学に基づく理論を導入し、新しい理論式を構築することで、HA/PLLA および HA/PLCL ビーム構造体の非線形荷重-変位曲線の予測について検討している。また、多孔質ビーム構造体の曲げ特性のさらなる向上を目指して、3 層型サンドイッチ構造の多孔質ビーム構造体の作製について検討し、その曲げ特性や変形・破壊メカニズムについて考察している。

1 章では、研究の背景と目的について述べている。まず、骨の構造と力学的特性について概説し、次に骨欠損に対する充填材を用いた治療方法について説明し、さらに新しい治療の試みとして、組織工学に基づいた再生医療的治療法について説明している。特に、骨再生治療用の

足場材料について、その成分、構造、力学的特性について概説している。次に、骨治療用材料を中心に、生体材料について詳細に説明しており、生体吸収性ポリマー、リン酸カルシウム系バイオセラミックス、およびそれらの複合材料とその力学的特性について説明している。本研究は、このような背景の下、バイオセラミック材料と生体吸収性ポリマーを複合化した多孔質ビーム構造体を開発し、曲げ負荷下での力学特性の評価、および変形・破壊メカニズムの解明を目的としている。

2章では、HAの多孔質焼成体を作製後、その内部にPLLAあるいはPLCLの多孔質相を形成させる2層複合構造体の作製方法について詳細に説明し、さらにそのビーム構造体の作製方法について説明している。3点曲げ試験を行い曲げの力学特性を測定した結果、弾性率や臨界応力はHA/PLLAの方がHA/PLCLより高い値を示したが、破壊吸収エネルギーについては、HA/PLCLの方が高い値を示すことを見出している。また、変形・破壊挙動について詳細に調べた結果、最大引張応力が作用する底部でクラックが発生し、負荷点まで次第にクラックが進展することを明らかにしている。このような破壊挙動は、荷重-変位曲線上では、線形弾性変形終了後の非線形的変形として現れることを見出している。

3章では、2章で得られた荷重-変位曲線を予測するための理論モデルを3種類提案している。Model IIIでは、荷重-変位挙動を線形弾性部分と非線形部分に分割し、非線形部分にLudwikの理論モデルを導入することで、高精度での荷重-変位曲線の予測が可能となることを見出している。さらに、構築した理論モデルを用いることで、連続体的な変形を仮定した場合の応力-ひずみ関係の予測が可能となることを示している。

4章では、2章で開発した多孔質ビーム構造体の曲げ特性のさらなる向上を目指して、HA/PLLAあるいはHA/PLCLのビーム構造体をPLLAあるいはPLCLの多孔質構造体でサンドイッチした3層構造の新規ビーム構造体の作製方法を確立している。弾性率は約4倍、臨界応力は約5倍、吸収破壊エネルギーは約5倍の向上を示していることが明らかになっている。変形・破壊挙動は、各層のクラッキングと密接に関係しており、たとえばHA/PLLAのサンドイッチ構造体では、多孔質HA/PLLAの中間層におけるクラックの発生と進展が、荷重の最初のピークとその後の急激な低下と関連していることを見出している。急激な荷重低下後は上下のポリマー層の耐破壊特性により再び荷重は増加することが明らかになっている。

5章は総括であり、各解析から得られた重要事項について説明し、本研究のさらなる発展の可能性と今後の展開について説明している。