

# X線CT撮影下における骨組織の圧縮実験

## Compression Test of Bone Tissue under X-ray CT Imaging

○ 学 遠藤孝修(信州大) 学 宮下智弥(信州大院)

正 小関道彦(信州大) 正 森川裕久(信州大)

Takanobu ENDO, Tomoya MIYASHITA, Michihiko KOSEKI, and Hirohisa MORIKAWA  
Shinshu University, 3-15-1, Tokida, Ueda, Nagano, JAPAN

**Key Words** : Biomechanics, Bone Tissue, X-ray CT

### 1 はじめに

近年、X線CT装置で撮影した断層画像から三次元モデルを作成し、有限要素法を用いて解析する研究が行われている。筆者らがこれまでに提案している生体組織の個別別モデリング手法を図1に示す<sup>(1)</sup>。本手法では、X線CT画像によって得られるモデリング対象領域のボクセル空間に節点を配置し、それらの節点を繋いで要素を作る。その際、各要素にX線CT画像から算出される材料物性値が同時に設定される。

このような個別別モデリング手法を用いて筋骨格系の疾患に対する診断・治療に有用な情報提供が試みられている。しかし、モデリングの際には計算規模の観点から微細構造まで正確にモデル化することは難しく、簡略化されることが多い。その際、簡略化の仕方によって解析精度に大きく影響することが予想される。

そこで本研究ではまず、骨組織の圧縮破壊実験を実施し、力学的な負荷が加わっているときの内部構造を観察することの重要性を示す。そして、X線CT装置内で圧縮実験を可能とする実験システムを構築し、合成樹脂および骨組織の試験片の変形挙動を観察したことについて報告する。

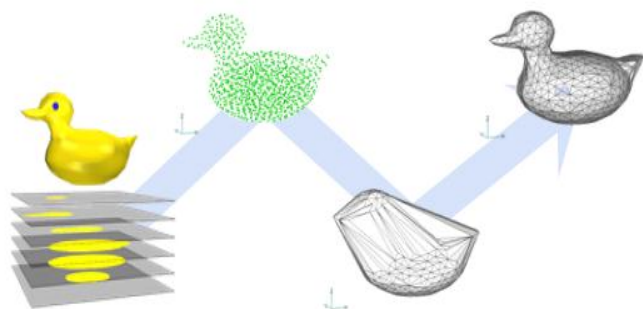


Fig. 1 Modeling procedure

### 2 骨組織の圧縮破壊実験

今回は骨組織として入手が容易な鶏の上腕骨を使用し、骨端を超硬石膏で固定して試験片を作成した。試験片作成後、材料試験機(EZ-S, 島津製作所)を用いて圧縮試験を行った。圧縮破壊実験の様子を図2に示す。

材料試験の結果、得られた荷重-変位曲線を図3に示す。今回の試験片の場合、変位が0.25 mm程度までは荷重と変位が線形の関係を持っている。しかし、それ以降では荷重が急に減少し、その後また増加することを繰り返し、変位が約2.3 mmのとき骨折した。このような曲線になることは、骨の内部で微小破壊が起こっていたことが原因と予想される。そこで、力学的挙動を把握するためには、骨内部での微小破壊を観察することが必要であると考えた。



Fig. 2 Testing machine

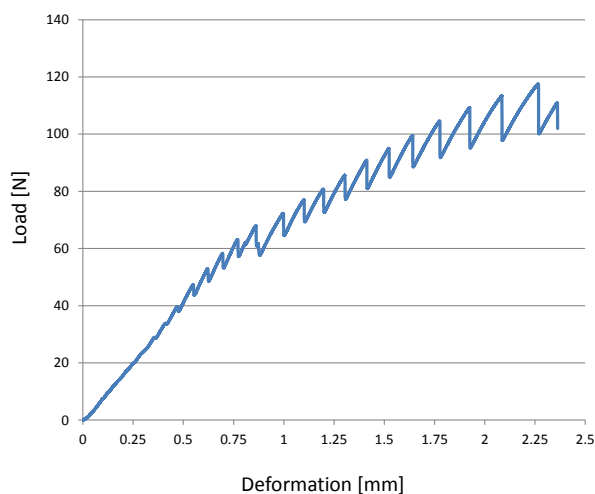


Fig. 3 A load-deformation curve of the specimen

### 3 CT観察下での圧縮実験

骨組織に力学的な負荷が加わった際の力学的な挙動を正確に把握するため、今回は図4の試験機を製作した。一般にX線CT装置はX線管、X線検出器および回転ステージから構成されている。そこで本研究では試験片に変位を与えながらX線CT装置内でCT画像を撮影するため、回転ステージと圧縮試験機を兼ねた装置を製作した。装置内には電動シリンダ(EZHP4, オリエンタルモータ)を組み込んだ。電動シリンダの性能仕様を表1に示す。試験片を円筒型のアクリル管内に設置することができ、電動シリンダを動作させることによって最大で高さ60 mm、直径65 mmまでの試験片に強制変位を与えることが可能である。X線CT装置内に製作した圧縮試験機を設置した様子を図5に示す。



Fig. 4 Compression testing machine

Table. 1 Specification of the cylinder

速度範囲	~200 mm/s
最大加速度	2.5 mm/s <sup>2</sup>
最大押し当て力	140 N
分解能	0.01 mm

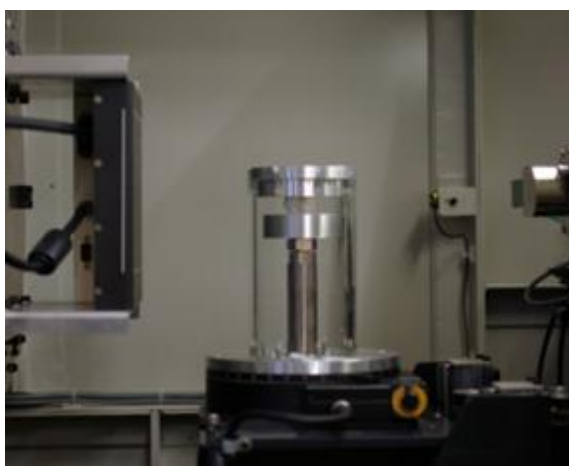


Fig. 5 Experimental system with X-ray CT

### 3-1 合成樹脂材料を用いた予備実験

X線CT装置内での圧縮実験において、実際に形状の変化を観察することが可能であることを確認するため合成樹脂(PVC)を用いた予備実験を行った。試験片の形状変化がわかりやすいように2mmごと変位を与え、4mm変位を与えたところでCT画像撮影を行った。その結果、圧縮した試験片は樽型に変形した。変位を与える前後のCT画像を図6(a)(b)に示す。これらの画像より試験片の挙動を確認できることがわかる。



(a) (b)  
Fig. 6 Slice images of PVC

### 3-2 鶏上腕骨を用いた予備実験

次に、鶏上腕骨を試験片として圧縮破壊実験中の透視画像撮影を行った。試験片には形状の変化を観察しやすいように骨幹に2.5mmの切込みを入れた。1分間に0.1mmの変位を与えて実験を行った。その結果1.5mm変位を与えたところで試験片が破壊された。図7(a)-(f)は、破壊に至るまでの

試験片の透視画像である。また、図8(a)(b)に破壊前と破壊後の試験片を示す。これらの画像より、今回製作した圧縮試験機を用いることで破壊に至るまでの試験片の変化を把握することが可能であることが確認できた。

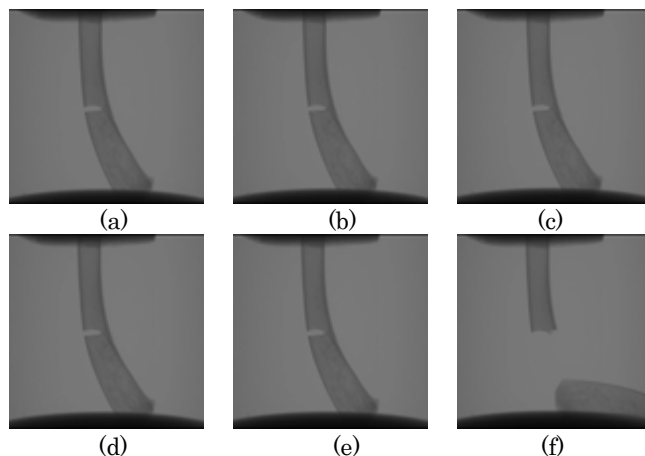
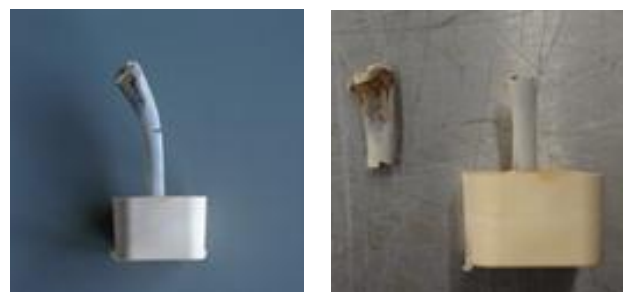


Fig. 7 Perspective images



(a)Pre-operation (b)Post-operation  
Fig. 8 Specimen of bone tissue

## 4 まとめ

今回は、鶏の上腕骨を試験片として圧縮破壊実験を行った。また、X線CT装置内に組み込むことができる圧縮試験機を製作し、PVC試験片と鶏上腕骨試験片による予備実験を行った。その結果、骨組織の圧縮時に内部構造を観察することの重要性を示すことができた。また、今回作製した試験機で試験片の挙動を把握できることが確認できた。

CT撮影下での圧縮実験についての研究として東京大学の吉川らのものがある<sup>(2)</sup>。ただし、この研究は材料内部の物性値を求めることを目的としているため、材料内部の力学的挙動を把握することを目的としている本研究とは異なっている。

今回製作した試験機では、試験片に加わっている荷重量を計測できないという問題点がある。そこで今後は、試験機で荷重量を計測できるように改良していく予定である。また、今回はCT画像撮影のみを行ったため、CT画像から有限要素モデルを作成していない。そこで、CT画像から有限要素モデルを作成・解析し、圧縮実験との結果の比較を行っていく。

## 参考文献

- (1) X線CT画像に基づく骨体の個別モデリング手法に関する研究, 日本機械学会論文集 C編, Vol.72, No. 717, pp.1470-1477, 2006.
- (2) X線CT画像による不均質内部の三次元変化場同定, 吉川暢宏ほか3名, 日本機械学会論文集 A編, Vol.70, No. 697, pp.130-137, 2004.