

X線CT画像に基づく個体別有限要素モデリング (画像再構成時におけるフィルタ関数がモデル物性値に与える影響)

Individual Finite Element Model Based on the X-ray CT Data

(Influence of filtering functions in image reconstruction for the material property)

正 小関 道彦 (東工大) 橋本 周平 (東工大)
正 伊能 教夫 (東工大) 槇 宏太郎 (昭和大)

Michihiko KOSEKI, Syuhei HASHIMOTO and Norio INOU:

Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Koutarou MAKI: Showa University, Kitasenzoku, Ohta-ku, Tokyo

Keywords : X-ray CT, Back-projection, Convolution, Individual modeling, Young's modulus

1 はじめに

X線CTやMRIなどのマルチスライス画像から3次元力学解析モデルを構築する際には、対象物の形状を正確に反映したモデリング手法の検討も重要であるが、画像データから対象物の物性を適切に推定する方法についても詳しく検討する必要がある。骨体を対象としてモデル化を行う場合、モデル各要素のヤング率はCT値をもとに算出されることが多い。しかし、CT装置が出力する画像は再構成時にフィルタ処理が行われており、CT値が本来の物性値を忠実に反映しているとは限らない。

そこで、X線透過データをもとに画像再構成から行い、個体別モデリング用途に適した画像再構成手法の検討を行った。本稿では、画像再構成手法として一般に用いられているバックプロジェクション法を対象として、内部フィルタがCT値およびヤング率に及ぼす影響について数値的に検証を行ったことについて報告する。

2 バックプロジェクション法による画像再構成

CTではフーリエ空間のデータを2次元逆フーリエ変換することにより画像を再構成することが原理的には可能である。しかし、実際のCT装置における投影データは離散的なため、補間時の誤差によって2次元逆フーリエ変換ではアーチファクトが発生することが知られている [1][2]。

より簡便な再構成手法として、バックプロジェクション法が挙げられる。バックプロジェクション(逆投影)とは、全投影データをその投影のビームに沿って重ね合わせることである。すなわち、実空間の xy 平面における画像を $f(x, y)$ とし、平行X線を角度 θ で照射した時の位置 r における投影データを $p(r, \theta)$ とするとき、 $f(x, y)$ は基本的には次式で与えられる。

$$f(x, y) = \int_0^\pi p(x \cos \theta + y \sin \theta, \theta) d\theta \quad (1)$$

(1)式をそのまま適用して画像再構成を行う方法は単純逆投影法と呼ばれる。しかし、この方法で得られる像は $f(x, y)$ に対して $1/\sqrt{x^2 + y^2}$ のインパルス応答を持つボケが生じてしまう。そこで、投影データをフィルタ処理しながら逆投影するコンボリューション・バックプロジェクション法が提案されている。これは、投影データに対し重畳積分(コンボリューション)した後でバックプロジェ

クションを行うことによってボケを補正する方式であり、その際に重畳積分する関数はフィルタ関数(再構成関数)と呼ばれている。

フィルタ関数は再構成画像の画質を左右するため、様々な関数形が提案されている。次式はShepp-Loganのフィルタ関数(以降S-Lフィルタ)と呼ばれている。

$$h(n\Delta r) = \frac{2}{\pi^2(\Delta r)^2(1 - 4n^2)} \quad (2)$$

ここで、 Δr はサンプリング間隔であり、 n は投影方向 r における位置を示している。

3 仮想CTデータを用いた再構成手法の考察

画像再構成時の画質を評価するため、計算機シミュレーションを行った。まず、画素数が 64×64 の画像を作成し、これを計算機上で128方向から平行ビームを照射した際の投影データを算出した。そして、得られる投影データをもとにバックプロジェクション法によって再構成を行い、作成データとの比較を行った。図1に作成データおよび再構成されたデータをヒストグラムで示す。

図1(a)は作成データであり、CT値1000の正方形を3箇所設定し、その他の箇所のCT値は0とした。図1(b)は128方向の投影データをもとに、単純逆投影法により再構成したデータである。想定データはCT値が1000と0の2種類だけで構成されるのに対し、単純逆投影法ではCT値の分布が元のデータとは大きく異なっていることがわかる。一方、図1(c)は投影データに対しS-Lフィルタによりコンボリューションして再構成を行ったものである。フィルタ関数を用いることにより、作成データに比較的近いCT値分布となっていることがわかる。しかし、図において拡大して示す箇所のように対象物内部には凹凸が見られ、また、対象物の周囲には波状のアーチファクトが生成されている。

なお、それぞれのグラフにおいて最大のCT値が大きく異なっている。これは、ビームが通過する画素のCT値の和として今回の数値解析に用いた投影データを算出したためである。また、実際のCT装置の場合には水だけを詰めた円形のファントムを撮影することによる水補正が行われており、それによって空気のCT値が -1000 、水は0を示すように変換されているものと考えられる。

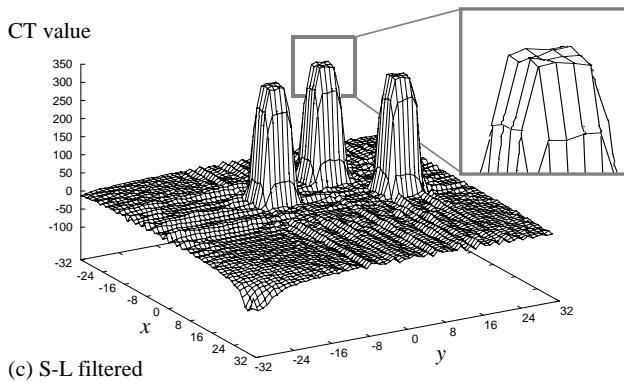
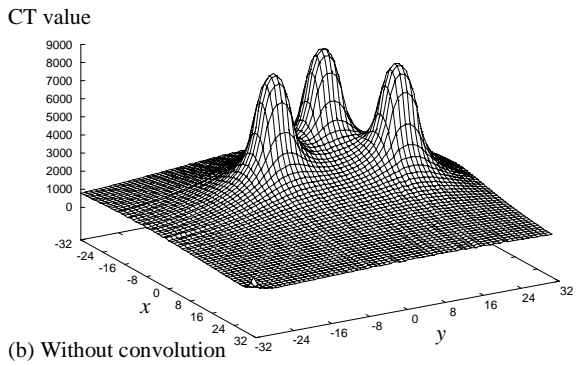
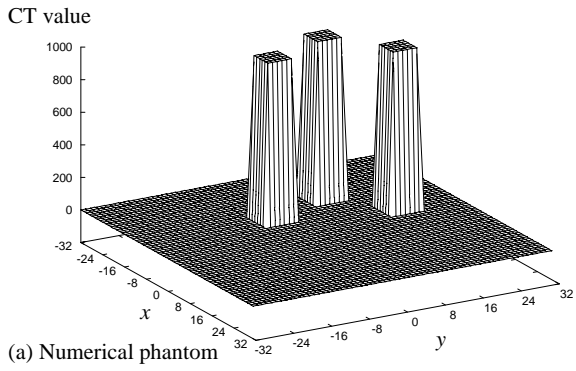


Fig. 1: Distributions of CT values.

4 CT値に基づくヤング率の算出

次に、これらのCT値分布からヤング率の算出を行った。今回のヤング率算出は実際のCT画像をもとにするわけでないため、ヤング率はCT値の3乗に比例するものと仮定し、各CT値分布の最大値から算出されるヤング率がそれぞれ16GPaになるように比例係数を定めた。また、S-Lフィルタによって負のCT値が算出された箇所についてはヤング率を0とした。結果を図2に示す。

CT値の3乗に比例するものとしてヤング率を算出しているため、いずれの場合もCT値が低い箇所ではほぼ一緒になっている。しかし、ある程度以上のCT値をもつ箇所は、その変化が急激になるため、画像再構成後のデータを基にしたヤング率分布では、CT値分布に比べてヒストグラム形状が鋭くなっていることがわかる。さらに、S-Lフィルタによってコンポリューション・バックプロジェクションした場合に、対象物内部での変化が増幅していることがわかる。筆者らが応力解析の対象としている骨体の場合、周囲組織に比べて大幅に高いCT値を持つことから、この影響は無視できないと予想される。

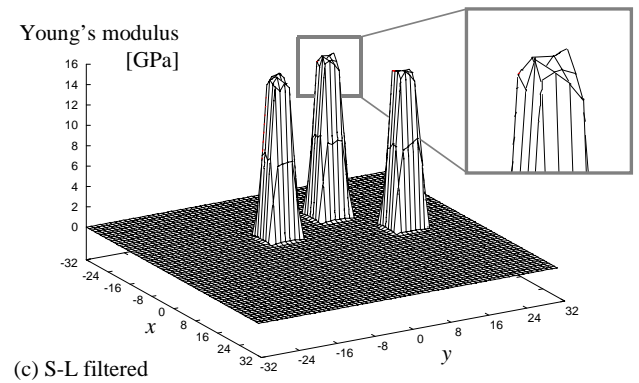
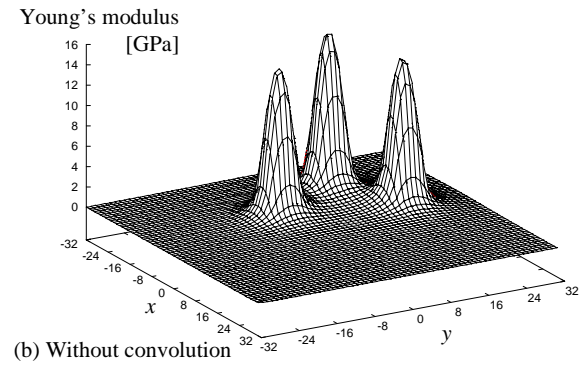
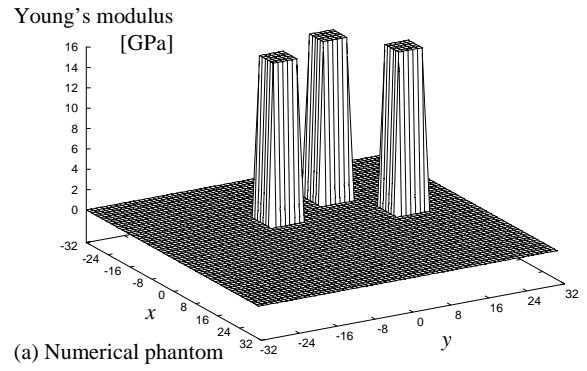


Fig. 2: Distributions of Young's modulus calculated from reconstructed data.

5 まとめ

力学解析に用いる個別モデルに適切なヤング率を設定するために、正確な物性値を出力する画像再構成手法について検討することを目的とし、一般的な画像再構成手法であるバックプロジェクション法について数値解析的に検討を行った。そして、S-Lフィルタを用いたコンポリューション・バックプロジェクション法により、ある程度正確なCT値が得られることを確認した。しかし、CT値に基づいて個別モデルのヤング率を設定するためにはさらに精度が必要であると予想された。

本稿で用いたデータは投影方向が128と少ない。また、実際のCT装置はX線が扇型のファンビームであるのに対し、平行ビームとして計算を行った。今後、より実際に則したモデルを作成し、さらに検討を進めたい。

参考文献

- [1] 斉藤恒雄, 画像処理アルゴリズム, 近代科学社
- [2] 今里悠一・大橋昭南, 医用画像処理, 昭晃堂