

X線CT画像に基づく個体別有限要素モデリング

{ CT値の補正と画像補間に関する考察 }

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

{ Study of correction and interpolation of the CT images }

正 伊能 教夫 (東工大) 正 小関 道彦 (東工大)
北川 祐介 (東工大) 榎 宏太郎 (昭和大)

Norio INOU, Michihiko KOSEKI, Yusuke KITAGAWA:

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

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

Reliable stress analysis of a bone requires not only precision in shape of the finite element model but also proper setting of material constants for the model. This study proposes two methods to recognize proper shape and to evaluate mechanical properties from X-ray CT images. The former method corrects CT values considering influence of partial volume effect. The latter interpolates outlines of an object in multi-sliced CT images. This paper shows that these methods perform a proper correction and a clear interpolation using CT images of an acrylic cylindrical specimen.

Keywords : Individual modeling, X-ray CT, Correction, Interpolation, Finite element model

1 緒言

近年、CTやMRIなどの医用画像装置が臨床でも多く利用されている。そして、これらの装置を用いることにより、非侵襲に生体内組織の形状や物性を得ることができ、その画像から個体別の力学モデルを構築して解析する研究が活発に行われている。

しかし、臨床で用いられている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、画像データから物性を推定する方法や、スライス間の補間方法について詳しく検討する必要がある。

前報^{1);2)}において、筆者らはX線CT画像をもとに構築した解析モデルのヤング率を設定する際に、これを補正する手法を提案し、また、対象物の輪郭形状をBスプラインを用いて生成し、スライス画像間を補間する手法を提案した。

今回、アクリル樹脂製の円柱試験片を用いてX線CT撮影を行い、その画像データをもとにCT値の補正手法および画像間の補間について詳細に検討を行ったので報告する。

2 CT値の補正

骨体を個体別に解析するためには、形状だけでなく、その物性も含めてモデリングする必要がある。X線CT画像の場合、それぞれの画素が持つCT値を利用して、骨体各部のヤング率を算出することが行われる。

しかし、骨体の輪郭部など、物性が大きく異なる物質が隣接する箇所においては、CT値が分散してしまう現象が起こる。これは部分体積効果と呼ばれ、撮影時にX線が厚さを持つため、1画素内に複数の物質が混在することによって発生する現象である。このため、画素データをそのまま用いてヤング率設定を行うと、輪郭部において本来とは異なる値が設定されてしまう。

そこで本研究では、上述の部分体積効果による影響を低減するように、CT画像を補正し、その情報からヤング率を設定することを試みた。

まず、試験片としてアクリル製円柱を用意し、図1(a)

のような状態でCT撮影を行った。得られたCT画像を図1(b)に、白線部のCT値分布を図1(c)に示す。

材質が均一であることから、得られるCT値は空気を示す -1000 付近と、アクリル樹脂を示す $+130$ 付近に二値化されることが期待されるのに対し、撮影データでは輪郭部において、アクリル樹脂と空気の間の中間のCT値を持つ領域が存在することがわかる。

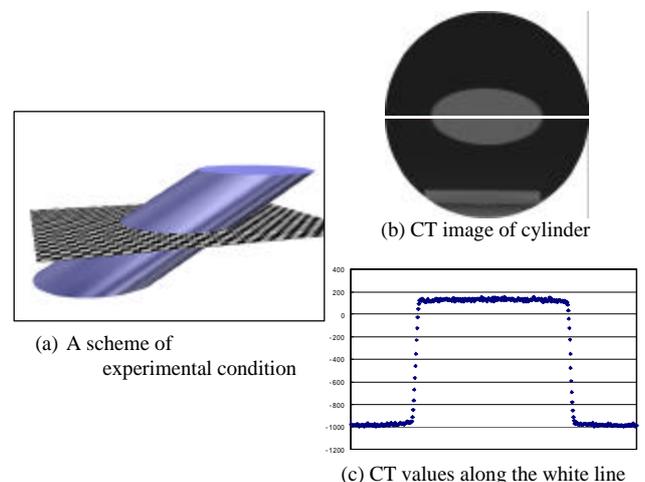


Fig. 1: Influence of partial volume effect

そこで、これを補正する方法を考案した。CT画像をx方向およびy方向に走査し、そこで検出された輪郭部におけるCT値の分布を次式で示す関数で近似した後、その関数パラメータを変更することによって補正を行う。

$$f_k(x) = a \exp [j \exp f_j k (x_j - x_c)g] \quad (1)$$

ここで、 a は定数、 x_c は対象物と非対象物の代表CT値の中間の座標を示している。また、 k はパラメータであり、この値を変化させることによって x_c 付近の傾きが変化する。

図2に提案する補正手法を模式的に示す。輪郭部のCT値 V_{CT} に最も近似するパラメータ k_1 を最小二乗法により求め、その時の関数値 $f_{k_1}(x)$ と各CT値との偏差を算出する。そして、 k の値を変更した関数 $f_{k_2}(x)$ にその偏差を加えたものを補正後のCT値 V_{new} とした。ここで、補正はモデリング対象となる領域の画素についてのみ行い、対象領域外の画素については補正しないものとした。

図3に補正後のCT画像とCT値分布を示す。本手法を用いることにより、内部と同様のばらつきを維持して輪郭部のCT値が高くなるのがわかる。

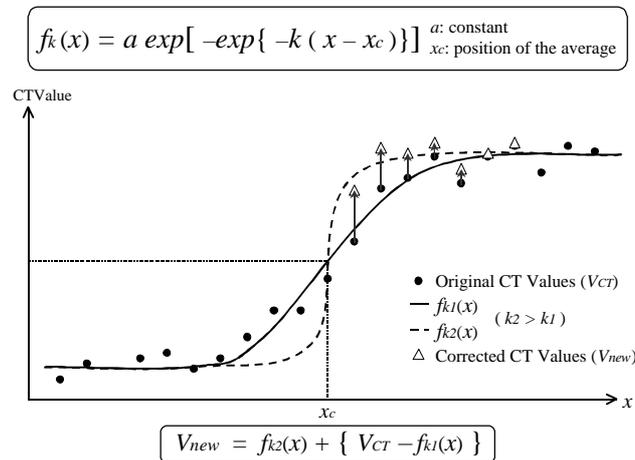


Fig. 2: Correction method of CT values

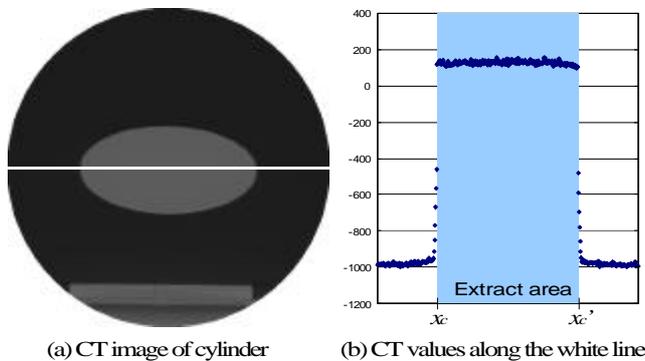


Fig. 3: Result of the proposed method

3 スライス画像間の補間

現在、臨床で使われている医用画像は0.35mm/pixel程度の解像度があるが、スライス間隔は患者への被曝量や時間的負担に対する考慮から2~5mmと画像解像度に対して大きい。そのため、正確な有限要素モデルを作成するためにはスライス画像間を適切に補間する必要がある。

筆者らは対象物の輪郭形状を考慮した補間手法を提案している²⁾。この補間手法は次の4つのステップで構成される。

- ステップ1) 各スライス画像における輪郭形状の抽出
- ステップ2) スライス面に直交する面での輪郭形状の算出
- ステップ3) スライス間の輪郭形状の算出
- ステップ4) 輪郭形状内部の補間

前報²⁾では、ステップ2)において直交面での輪郭形状を算出する際に、点列で得られる輪郭形状をBスプライン関数を用いて補間していた。しかし、Bスプライン関数は節点の配置によって得られる関数形状が大きく異なるため、スライス画像間を補間する際に節点位置を各スライス面における輪郭座標に固定すると、補間曲線が乱れる場合があった。

そこで本研究では、輪郭形状を補間するためにAkimaが提案する手法³⁾を用いた。これは、3次の多項式に限定し、節点で関数と1次微係数のみを連続にすることにより、通常のスプライン関数よりも局所的な性質をもつようにした補間曲線である。

図4(a)は提案する手法の概念図を示したもので、スライス面に直交した面での輪郭形状を補間することを考える。図4(b)は直交面でのアクリル円柱の長軸方向での形状を示している。図4(c)はBスプライン関数を用いて輪郭形状を補間したものである。スライス間隔に対し、対象物が大きいいため、頂点部で振動が発生していることがわかる。図4(d)は今回提案するAkimaの補間曲線を用いて補間したものである。振動は見られず、適切に輪郭形状が得られていることがわかる。

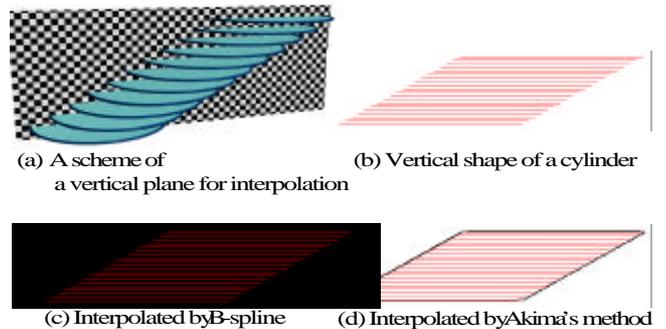


Fig. 4: Results of interpolation

4 結言

本稿では、部分体積効果によって低くなったCT値を補正する手法を提案した。また、スライス間隔が画像解像度に比して粗い場合に有効な補間手法を提案した。そして、提案した手法の有効性をアクリル円柱をCT撮影したデータを用いて検証した。今後、提案した手法をより複雑な形状に適用し、骨体にも適用可能であることを確認する予定である。

参考文献

- (1) 伊能, 小関, 岩崎, 横: X線CT画像に基づく個別有限要素モデリング(骨体のヤング率の算出), 日本機械学会平成13年度材料力学部門講演会講演論文集 [No.01-16], 39-40, 2001
- (2) 伊能, 小関, 岩崎, 横: X線CT画像に基づく個別有限要素モデリング(骨体形状の再構成手法), 日本機械学会2001年度年次大会講演論文集 Vol.IV [No.01-1], 77{78, 2001
- (3) Akima, H.: A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures, Journal of the Association for Computing Machinery, Vol.17, No.4, 589{602, 1970