

X線 CT 画像に基づく個別別有限要素モデリング (パーシャルボリューム効果によって影響された CT 画像の評価) Individual Finite Element Model Based on the X-ray CT Data (Evaluation of the CT image attenuated by partial volume effect)

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

Michihiko KOSEKI, Yusuke KITAGAWA, Norio INOU:

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

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

Keywords : Individual modeling, X-ray CT, Partial volume effect, Correction method

1 はじめに

X線 CT や MRI などの医用画像から個別別モデルを構築し、生体の力学状態について解析する研究が最近盛んになっており、モデリング技術の確立が求められている。筆者らは、X線 CT 画像において生じるパーシャルボリューム効果が個別別モデルの形状および物性値の設定に与える影響に着目し、骨表面の CT 値を補正する手法を提案している [1][2]。

本稿では、この提案手法を骨体内部にまで拡張し、その有効性を検証するため食用ブタの大腿骨を用いて CT 画像と実測値との比較を行ったことについて報告する。

2 パーシャルボリューム効果の補正手法

CT 画像をある方向に走査し、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。

$$f_k(x) = a \exp[-\exp\{-k(x - x_c)\}] \quad (1)$$

ここで、 a は補正対象領域における CT 値の最大値と最小値の差から定まる定数、 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。そして、 k がパラメータであり、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。この関数は、パーシャルボリューム効果の影響が現れ始める対象物の輪郭付近での CT 値の急峻な変化に一つのパラメータでフィットできるという特徴がある。

図 1 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、(2) 式に示すように、 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。

$$V_{new} = f_{k_2}(x) + \{V_{CT} - f_{k_1}(x)\} \quad (2)$$

骨体の多くは、その表面が緻密骨と呼ばれる硬い組織によって覆われている。そして、内部にはスポンジ状の海綿骨と呼ばれる組織が存在する場合がある。緻密骨は海綿骨やその他の組織に比べ高い CT 値を持つため、外形状だけでなく、骨体内部においてもパーシャルボリューム効果による影響が現れやすいと予想される。すなわち、

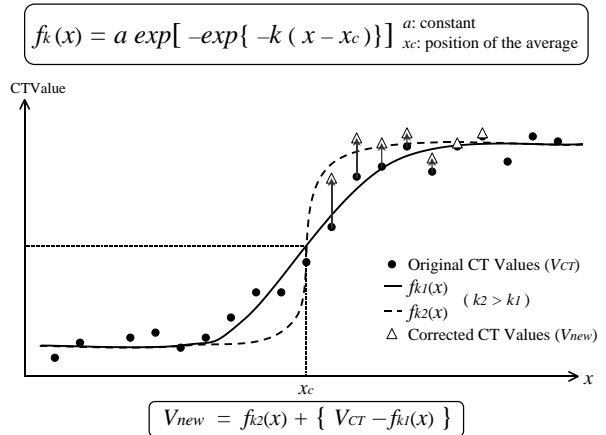


Fig. 1: Correction method of CT values

緻密骨と隣接する箇所ではパーシャルボリューム効果により本来よりも高い CT 値が得られている可能性がある。

このような箇所では CT 値の「引き下げ」の補正を行う必要がある。そこで、骨体を対象として本補正手法を適用する際には、次に挙げる 3 つの組織変化の箇所に注目して補正手法を適用した。

- ・骨体外部から緻密骨
- ・骨体内部から緻密骨
- ・緻密骨から骨体内部

3 補正効果の検証

提案する手法により補正が適切に行なわれることを確認するため、ブタ大腿骨の CT 撮影を行い、緻密骨の厚さについて実測値との比較を行った。

撮影に用いた骨体は、新鮮骨を切断後 12 時間煮沸することによって髄液を取り出す処理を行った。撮影は図 2 に示すように、直断面および斜断面で、それぞれ 5mm おきに 3 箇所を 1,2,5,10mm のスライス厚で撮影した。

撮影後、スライス面中央で骨体を切断し、スライス面の観察を行った。ブタ大腿骨の直断面および斜断面それぞれ 1 点ずつのスライス面形状および、各スライスでの CT 画像を図 3 に示す。

スライス厚が増加するに従い、輪郭があいまいになっていることがわかる。特に斜断面の場合にこの現象は顕著であり、大きなスライス厚では本来の形状とは大きく

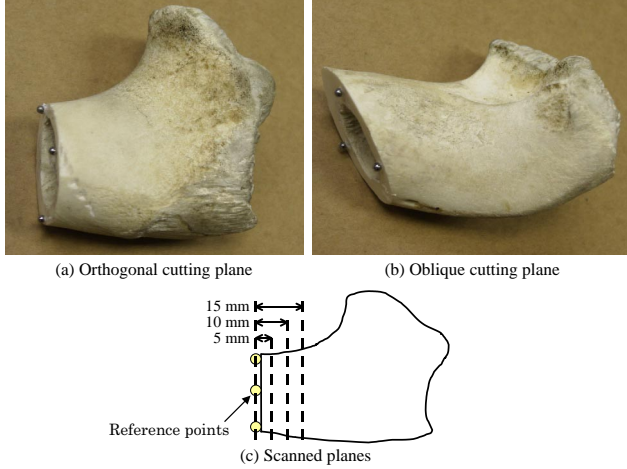


Fig. 2: Cutting planes of the pig's femurs

Table 1: Thicknesses of the cortical bone [mm]

Slice thickness [mm]	Measured position			
	(A)	(B)	(C)	(D)
1	3.68	4.99	4.28	9.63
2	3.92	4.99	4.28	9.63
5	3.92	4.99	4.16	9.03
10	3.33	4.99	3.92	9.03
Actual thickness	3.65	5.45	4.60	9.55

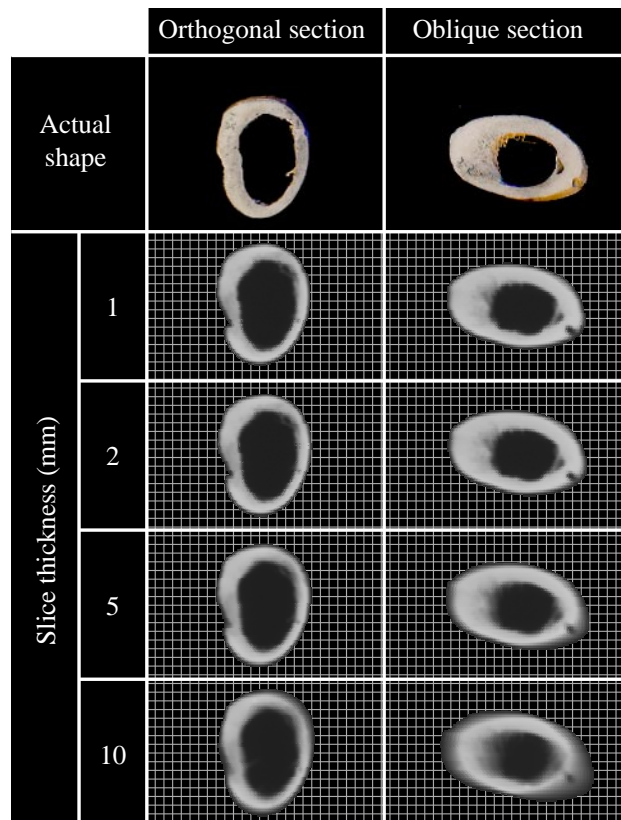


Fig. 3: CT images of the pig's femurs

異なっている。

次に、これらの CT 画像に提案する補正手法を適用し、緻密骨と判断される部位の pixel 数を数え、画像解像度から算出した厚さと実測値とを比較した。ブタ大腿骨の緻密骨厚さの実測にはノギスを用いた。図 4 に補正後の CT 画像と厚さの測定箇所を示し、結果を表 1 に示す。

補正を行うことにより、緻密骨部分が内部組織と明確に区分されている。また、緻密骨の厚さはスライス厚が大きくなるに従い誤差が大きくなる傾向が見られるが、誤差は 0.03 ~ 0.68mm である。今回の撮影に用いた 0.3566mm/pixel という画像解像度ではこの誤差は 2pixel 以下を意味しており、良好な結果であると言える。

なお、他の 4 つのスライス面についても、それぞれ 2 箇所で緻密骨厚さの計測を行ったが、ここで示した結果と同程度の誤差であった。

4 まとめ

前回報告した骨表面部の補正手法を骨体内部にまで拡張し、ブタ大腿骨の CT 画像の補正を行った。そして、緻密骨厚さを CT 画像から適切に算出できることを確認した。

参考文献

- [1] 伊能教夫, 小関道彦, 横宏太郎: 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 (部分体積効果のモデリングへの影響); 日本機械学会論文集 A 編, 69-677, (2002), 109-114.
- [2] 北川祐介, 小関道彦, 伊能教夫, 横宏太郎: X 線 CT 画像に基づく個別有限要素モデリング - 部分体積効果の補正手法の考察 -; 第 13 回バイオエンジニアリング学術講演会・秋季セミナー講演論文集, 02-26, (2002), 5-6.

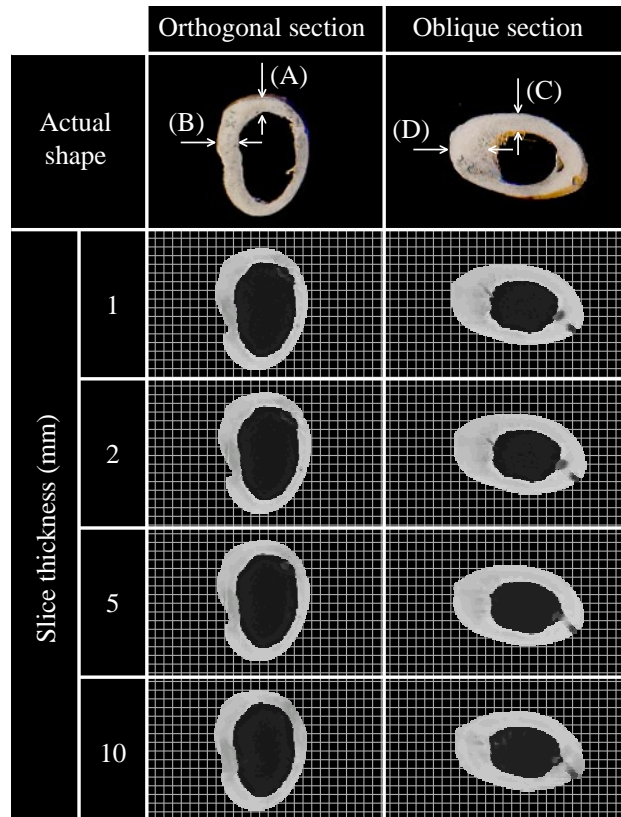


Fig. 4: Corrected images of the pig's femurs