

X線CT画像に基づく個体別有限要素モデリング

- 部分体積効果の補正手法の考察 -

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

- Study of the correction method of partial volume effect -

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

Yusuke KITAGAWA, Michihiko KOSEKI, Norio INOU,
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo
Koutarou MAKI, Department of Orthodontics, Showa University, Ohta-ku, Tokyo

Key Words: Individual modeling, X-ray CT, Partial volume effect, Correction, Finite element method

1 緒言

近年、CT や MRI などの医用画像装置が臨床で多く利用されており、これらの装置から得られる画像情報に基づいて個体別の力学モデルを構築する手法の研究が活発に行われている。その際、マルチスライス画像には、後述するように部分体積効果が生じており、必ずしも正しい生体情報とはなっていない。しかし、この効果が応力解析に与える影響については、ほとんど議論されていない。

前報¹⁾では、部分体積効果が力学解析モデルの形状に影響を与えることについて考察を行った。本稿では、有限要素モデル構築前にCT画像に補正を加えることで適切なヤング率を設定する手法について検討を行ったので報告する。

2 CT値の補正

骨体を個体別に力学解析するためには、解析モデルに適切なヤング率を設定する必要がある。X線CT画像を用いたモデリングでは、骨体各部のヤング率は各画素におけるCT値を用いて算出可能である。

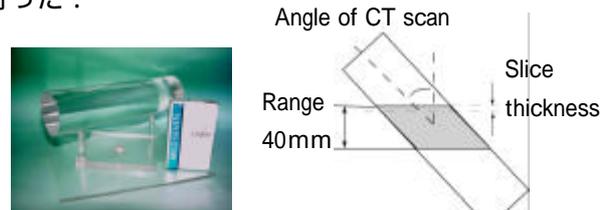
しかし、骨体の輪郭部などで、物性が大きく異なる物質が隣接する箇所においては、CT値が分散してしまう現象が起きる。この現象は部分体積効果と呼ばれ、撮影時にX線が厚さを持つために1画素内に複数の物質を含むことにより起きる。このため各画素におけるCT値をそのまま用いると輪郭部で実際よりも低いヤング率が設定されることがある。

そこで、部分体積効果によってもたらされるヤング率低下の問題を低減するため、モデリングを行う対象物の形状を考慮してCT値を補正する手法を考案した。

2.1 部分体積効果の検証

まず、CT画像における部分体積効果の現れ方について検証した。ここでは、物性がほぼ均一であり形状が

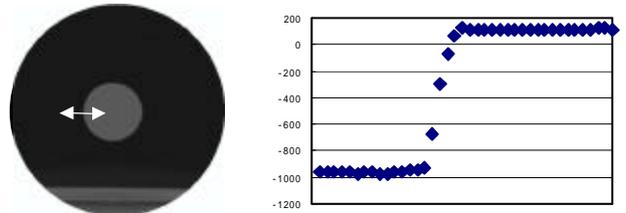
既知なものとしてアクリル樹脂製円柱(図1(a))をCT装置による撮影対象とし、これを図1(b)のようにスライス方向に垂直な方向から0°30°60°の角度で撮影を行った。



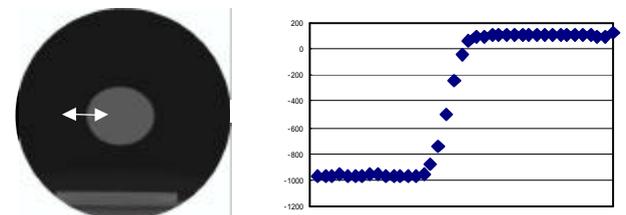
(a) Columnar specimen

(b) Experimental condition

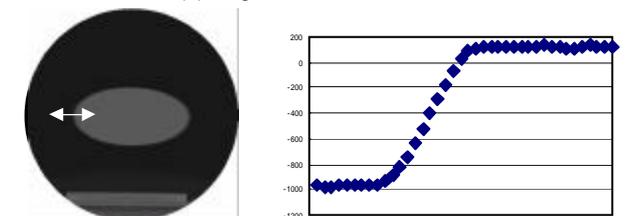
Fig.1 Experimental verification of partial volume effect



(a) Angle of CT scan = 0°



(b) Angle of CT scan = 30°



(c) Angle of CT scan = 60°

Fig.2 CT distributions around the specimen for angles of CT scan

図2(a), (b), (c)に各角度におけるCT画像と、それぞれの画像において白線で示した対象物輪郭部のCT値分布を示す。材質が均一な対象物でも、部分体積効果によって、輪郭部にアクリルと空気間のCT値を持つ領域が存在することがわかる。

さらに、撮影方向に対して対象物の傾斜角度を大きくしていくと、部分体積効果の影響が徐々に大きくなり、輪郭部分のCT値の傾きは緩やかになっていくことがわかる。

2.2 部分体積効果の補正

そこで、モデリング対象物の輪郭形状によってCT値の変化が異なる事を考慮して、これを補正する手法を考案した。提案する補正手法は、図3に示すようにパラメータを変えることで形状が変化する関数 $f_k(x)$ を用いCT値分布を近似することによって行うものである。

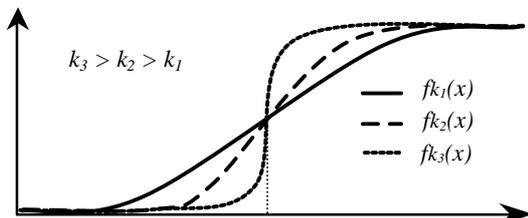


Fig.3 Characteristic of correction function

今回近似関数としては次式を用いた。

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

ここで、 a は定数、 x_c は対象物と非対称物の代表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。この関数は、部分体積効果の影響が現れ始める対象物の輪郭付近でのCT値の急峻な変化に対応可能である。

図4に提案する補正手法を模式的に示す。CT画像を x 方向および y 方向に走査し、輪郭部のCT値 V_{CT} の分布に最も近似するパラメータ k を最小二乗法により求め、その時の関数値 $f_{k1}(x)$ 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 $f_{k2}(x)$ にその偏差 ($V_{CT} - f_{k1}(x)$) 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。

$$V_{new} = f_{k2}(x) + \{V_{CT} - f_{k1}(x)\} \quad (2)$$

提案する手法により撮影角度 60° のCT画像を補正したときのCT値分布を図5に示す。本手法を用いることにより、物体内部のCT値は変更せず輪郭部のCT値のみ高く補正できることがわかる。

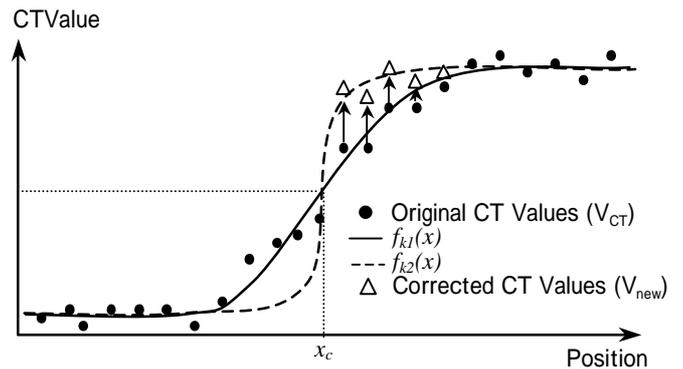


Fig.4 Correction method of CT values

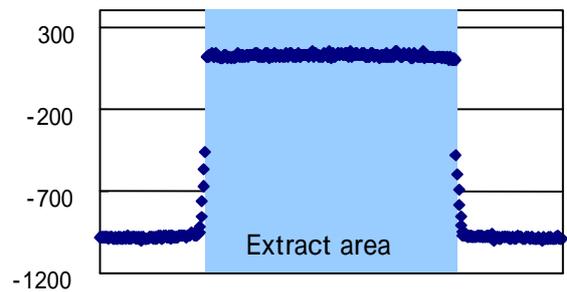


Fig.5 Result of the correction method

3 補正前後におけるヤング率分布

補正前及び補正後のCT画像をもとに作製した円柱モデルのヤング率分布を図6に示す。補正前に比べ補正後は輪郭部に物体内部と同程度のヤング率が設定されている。

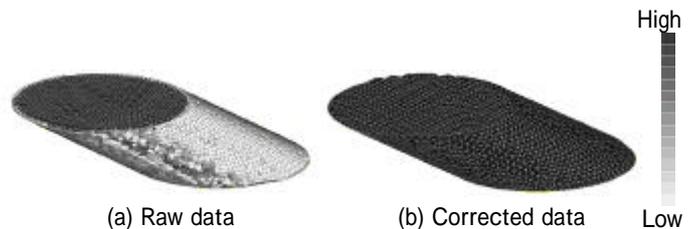


Fig.6 Distribution of Young's modulus

4 結言

本稿では、部分体積効果によって低下したCT値を補正する手法を提案し、この手法を用いることによってモデリング時のヤング率低下を低減できることを確認した。今後、提案した手法を骨体にも適用し、力学解析を行い補正手法の有効性を確認する予定である。

参考文献

- 1) 伊能, 小関, 北川, 榎: X線CT画像に基づく個別有限要素モデリング-部分体積効果のモデリングへの影響-, 日本機械学会 第12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 [No.01-27], pp145-146, 2001