

海綿骨のマイクロ／ナノスケール特性を考慮した統合解析システム

河貝 光寛

現在、骨粗鬆症の診断は骨塩量の測定により行なわれている。しかし、骨強度を考える場合、マイクロスケールに注目した海綿骨の骨梁構造と、骨を構成するナノスケールの生体アパタイト (BAp) 結晶の配向性までを考慮する骨の質をあわせて評価する必要性から、これらのマイクロ／ナノスケール特性を考慮してマクロな負荷に対するマイクロ応力を正確に解析することが重要である。

本研究では、骨梁構造をとらえた μ CT画像からイメージベースモデリング手法により自動作成するマイクロ解析モデルを用い、BAp配向性を考慮して均質化法により等価なマクロ材料特性を求め、マクロモデルを作成する。これらのマイクロ・マクロモデルを用い、重合メッシュ法により、マクロに設定される境界条件下での海綿骨のマイクロ応力を計算するという新しいマルチスケール解析手法を開発した。従来の均質化法によるマイクロ応力解析の理論的制約を克服するため、重合メッシュ法を併用する点が新しい。特に、従来の重合メッシュ法の理論では、海綿骨のようなマイクロモデルの境界上に孔が存在する場合に適用することはできなかったが、境界に等価材料特性を用いる被覆要素を追加する新たなモデリング手法の妥当性を理論的に示すことにより、任意のマクロ荷重に対するマイクロ応力の正確な解析が初めて可能となった。更に、不均質性や周期性を評価しながら解析対象領域を決定するモルフォロジー分析に基づくマイクロモデリング法を提案した。また、得られたマイクロ応力の評価には、マイクロモデルの内部における主応力ベクトルを三次元的に可視化する手法と、応力分布を定量的に評価するための新規ヒストグラム評価法を提案した。

上記の新規手法によるモルフォロジー分析、マルチスケール応力解析をあわせた統合解析を、計算の非専門家である医師などが簡単に実行できるよう、解析目的や医師の専門に合わせてGUIをカスタマイズできる新規手法を考案し、システム開発を行った。

ウズラ、ブタの動物骨、ヒト腰椎骨に適用し、提案手法と開発システムの有効性を示した。