

平成 16 年 12 月 日

機械・構造システム工学専攻	
申請者氏名	笹岡 竜

紹介教員氏名	本間 寛臣 教授
--------	----------

論文要旨 (博士)

論文題目	特発性側彎症の成因解明と治療法検討のための患者別モデリング技法に関する研究
------	---------------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

脊柱の生理的彎曲に異常をきたす疾患は側彎症と呼ばれる。その中でも椎体やそれを取り巻く筋や靭帯に際立った異常が見出されない状況で、成長期に突然発症する側彎症は特発性側彎症と呼ばれる。特発性側彎症の成因について、成長が何らかの関与をしていることに関しては広く認められてきたが、十分な検証がなされてこなかった。

このような状況に対して、著者らの研究室では、特発性側彎症の成因についての研究を行い、座屈説を提唱してきた。既製の人体骨格表面データを用いて脊柱有限要素モデルを作成し、椎体の成長による変形とそれによる線形座屈モードを解析した結果、成長する部位をさまざまに変化させた4次あるいは6次の座屈モードによって臨床分類のすべての様式が得られることを確認した。

しかしながら、この座屈説をより確かなものにするためには、幾何学的非線形性を取り入れた座屈解析、あるいは力学模型を用いた座屈現象の観測による検証が必要である。さらに、座屈説が認められた場合、その成果を患者別成因解明や治療法の検討に用いるためには、患者別の脊柱有限要素モデルを構築する方法を開発する必要がある。

本研究では、力学模型を用いた座屈現象の観測によって座屈説の検証を行い、患者別モデリング技法の開発によって臨床応用の可能性を示すことを目的とした。

力学模型を用いた座屈現象の観測は、4次の座屈モードと2次の固有振動モードの類似性から、椎体の成長に伴う座屈現象の発生が2次の固有振動数を減少させる関係に着目して、実験モード解析によって行われた。脊柱力学模型の原型は、脊柱有限要素モデルの表面データに基づいて3次元切削加工機で作成し、椎骨は硬質無発泡ポリウレタン、椎間板はシリコンRTVゴムを用いた鋳造で作成した。椎間関節は、剛性の影響を調べるために3種類の接着剤を用いたモデルを作成した。椎体の成長は椎体を上下に分割して板を挿入し、ねじ締結によって行った。実験モード解析の結果、椎間関節の剛性が高い場合に座屈現象が発生すること、成因と考えられる座屈現象は安定であることを新たな知見として得た。

患者別モデリング技法の開発に関しては、モーフィング法およびフィッティング法と名付けた二つの技法を提案した。モーフィング法は、有限要素モデル上の指定した節点を目標位置に移動することを目的にした形状修正法として提案された。フィッティング法は、有限要素モデルを3次元CTのようなボクセル形式の領域内に納めることを目的にした形状修正法として提案された。いずれの方法も、目的に合う形状最適化問題が定式化され、その問題に対する形状勾配を用いた形状最適化法として提案された。その際、形状勾配の滑らかさが十分でない問題に遭遇するが、著者らの研究室で開発された平滑化機能を有する形状最適化法を用いることで滑らかさを確保した。モーフィング法の有効性を検証するために、患者のX線写真からシングル胸椎型およびダブルメジャーカーブ型特発性側彎症脊柱有限要素モデルを構築した。フィッティング法に対しては、患者の3次元CTデータから腰椎有限要素モデルの構築を通して、フィッティング法の有効性を確認した。