

## 脊柱構造解析の為の CT データの取り込み Acquisition of CT data for the spinal structure analysis

○学 金 紅 梅 (日本工大) 李 英 俊 正 玉 木 保  
高 橋 和 久 (千葉大・医) 赤 澤 努

Hongmei Jin, Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Nippon Institute of Technology  
4-1, Gakusendai, Miyashiro, Saitama, 345-8501, Japan  
Yingjun Li, Tamotsu Tamaki, Nippon Institute of Technology  
Kazuhiisa Takahashi, Tsutomu Akazawa, Chiba University

Key Words: scoliosis, spine, CT data, structure analysis

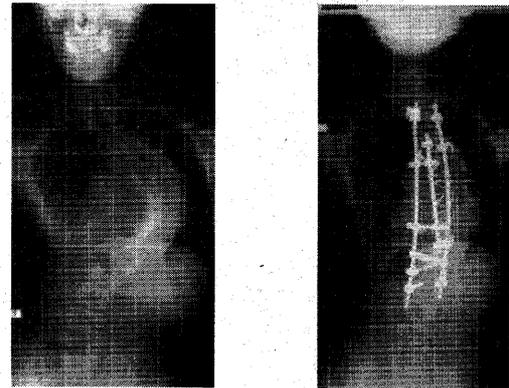
### 1. はじめに

脊柱側弯症とは、背骨が側方(中心からはずれて)に曲がることで、背骨の胸椎部または腰椎部に起こり、多くの場合は脊柱自体のねじれを伴う<sup>1)</sup>。(Fig. 1. a)カーブが 15 度以上の側弯の発生率は、小学校高学年で約 0.4%、中学校で約 1.4% (女子では 2.5%) で、小学校高学年から中学校 1、2 年生の思春期の女の子に圧倒的に多く発生する。側弯症の程度は上下終椎の傾きの差 (Cobb 法) で表す。50 度を超える側弯の場合、心肺機能が著しく低下する危険がある。Cobb 角が 50 度以上になる側弯症は手術で矯正を行う。(Fig. 1. b) 側弯症矯正手術は安全性や治癒成績の向上の為、術前に脊柱の力学的構造を正確に把握し、力学的応答を予測する必要がある。本研究では有限要素法 (Finite Element Method, FEM) を用いた脊柱構造解析及び側弯症矯正手術シミュレーションを行うことを目的として、脊柱胸郭の FEM モデル作成を行った。FEM モデルの作成において、骨全体の形状データを解析ソフトに取り込む方法で作成するとデータ量が多く、パソコン上の計算が困難になる。本研究で脊柱運動機能に関係がある構造のみをモデルで表現し、なるべくシンプルなモデルを作成することにした。脊柱モデルは固体とばねから成る構造体として考え、骨を固体要素、軟組織をばね要素で表現した。脊柱は 24 個の椎骨があり、隣り合う椎骨は椎間板及び椎間関節により連結されている<sup>2)</sup>。従って、椎骨は椎体、上・下関節突起及び棘突起の構造を表現することに重点を置いてモデルを作成した。本研究の前の段階まで健康者の骨格模型からデータを取り、標準的な椎骨を作成し (Fig. 2)、解析ソフト ANSYS 7.1 (University high option) 上で各椎骨の Local 座標を制御することにより椎骨の配置及び回転角を決めて健康者及び側弯症のモデルを作成した。(Fig. 3) このモデルを用いて行った呼吸運動解析では現実に近づいた呼吸運動シミュレーションが出来た<sup>3)</sup>。しかし、側弯症手術シミュレーションでは理想的な結果が得られなかった。その原因の一つとしてモデルの個人差表現の精確性不足と思われる。側弯症は症例により程度が異なり、椎骨及び肋骨の大きさ、変形形状も異なるので、解析で使用するモデルはこれらを精確に表現する必要がある。今回は元の標準椎骨モデルに基づいて、椎骨の形状データを側弯症患者の CT データの 3 次元再構築から取り、椎骨の大きさ、回転角及び各突起の位置を表現した。同じ方法で肋骨モデルを作成し、軟組織を表現するばね要素を加え脊柱胸郭のモデルを作成した。

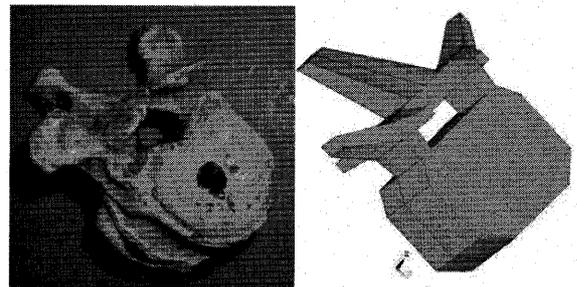
### 2. 方法

#### 2.1 椎骨モデルの作成

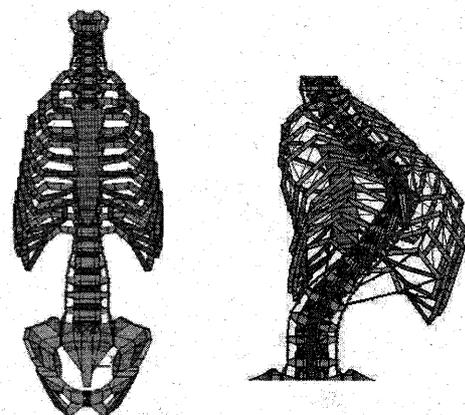
本研究では脊柱の FEM 構造解析で用いるモデル作成に置いて、脊柱全ての形状情報ではなく脊柱の運動機能に重要な意味を持っている部位の形状情報を取るによりシンプルなモデルを作成した。モデルの作成手順として、まず、脊柱胸郭の CT 画像 (500~600 枚) をソフトウェア 3D-DOCTOR (Able Software corp. U.S.A) を用いて 3D 構築を行



(a) 脊柱側弯症例 (b) 脊柱側弯症の矯正  
Fig.1 脊柱側弯症及び、その治療法



(a) 椎骨の模型 (b) 作成した FE モデル  
Fig.2 椎骨モデルの作成



(a) 健康者モデル (b) 側弯症モデル  
Fig.3 標準椎骨を用いて作成したモデル

い、この3D構築をCADソフトRhinceros(Robert McNeel & Associates)に読み込ませる。Rhincerosにはモデルの表面に線を描くコマンドが用意されているので、このコマンドを利用して椎体の上下及び各突起に沿って線(5本)を描き、その線をIGESファイルにエクスポートする。このIGESファイルをANSYSに読み込ませてラインを作成する。(Fig.4)そのライン上にキーポイントを作成し、ANSYSのリストファイルから作成したキーポイントの座標を読み、Excel上で処理を行う。以上の手順により、面情報から線情報、線情報から点情報を得ることが出来る。得られた点情報を基にプログラムを作成し、ANSYSに読み込ませ、100節点34個のsolid要素から成る椎骨のFEMモデルを作成した。同じ方法で24個の椎骨を作成した。又、椎骨の各部位の節点番号を规律的に割り当てた為、軟組織を表現するばね要素の追加作業が簡単にできる。

### 2.2 肋骨モデルの作成

肋骨は脊椎骨と連結されており、脊柱側弯症は脊柱の変形だけではなく肋骨の変形も伴う。従って側弯症の矯正手術では肋骨の影響も考慮するべきであると考えられる。肋骨モデルの作成は上記の手順と同様に、面情報から線情報、線情報から点情報を取り、プログラムを作成し、ANSYSに読み込ませる方法で行った。(Fig.5)

### 2.3 軟組織のモデリング

各椎骨の間は椎間円板、椎間関節及び靭帯で連結されている。(Fig.6)本研究では大きく分けて2種類のばね要素で椎間結合を表現した。椎間関節、髄核は引っ張り及び圧縮に抵抗するばねで、靭帯と線維輪には引っ張りのみに抵抗するばね要素を用いた。ばね定数は現在まで使用したものをを用いた。今後更にばね定数の検討を行う必要がある。

## 3. 結果

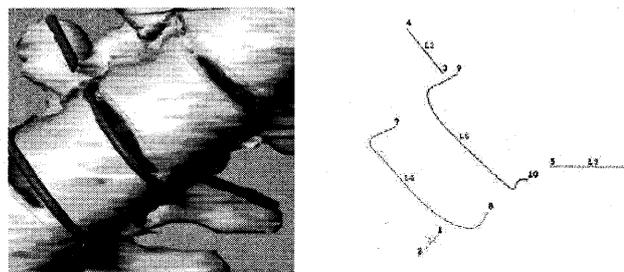
今回はソフトウェアを用いて側弯症患者のCT画像から3D再構築し、椎骨の椎体及び各関節突起の位置と形状を決めた。そして面情報から線情報、線情報から点情報を取り、FEM解析が可能な椎骨及び肋骨のFEMモデルを作成した。このモデルは固体とばねから成るモデルで、骨は固体要素で、軟組織はばね要素で表現した。作成した脊柱と肋骨を組み合わせて胸郭の骨格モデルを作成した。又、軟組織を表現するばね要素は前回の標準モデルで用いたものを使用した。このモデルは全体で1980節点と966要素から成るシンプルなモデルで、患者の固体別特性もある程度表現することができる。(Fig.7)

## 4. おわりに

1. 今回は患者のCT画像からデータを取ってある程度個人差を表現するFEMモデル作成の手順を提案した。
2. このモデルは患者のCT画像からデータを取った為、椎骨及び肋骨の変形形状をより正確に表現することが出来た。
3. モデルは1980節点と966要素で成っている。又、各骨に规律的な節点番号を割り当てた為、今後のばね要素の追加や解析時の境界条件の入力が簡単に出来る。
4. 今後ばね要素の定数、ばねの数及び配置を検討する必要がある。
5. モデル作成過程においてプログラムをソフトに読み込ませる方法を用いたが、手作業の量も多いので今後はもっと自動化した作成方法を検討する必要がある。

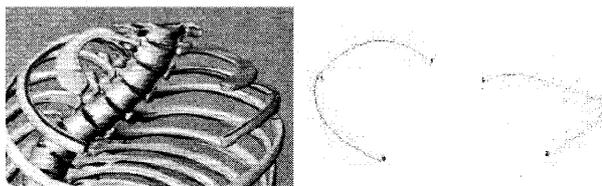
### 参考文献

1. Augustus A. white III, Manohar M. Panjabi, Clinical Biomechanics of the spine, Philadelphia . Toronto, J.B.



(a) 椎骨表面に描いた線 (b) ANSYS で表示したライン及びキーポイント

Fig.4 CADソフトRhincerosで椎骨データ取得



(a) 肋骨表面に描いた線 (b) ANSYS で表示したライン及びキーポイント

Fig.5 CADソフトRhincerosで肋骨データ取得

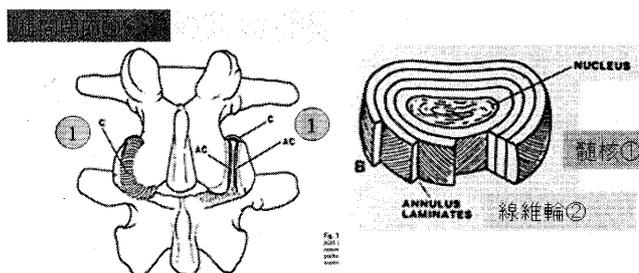
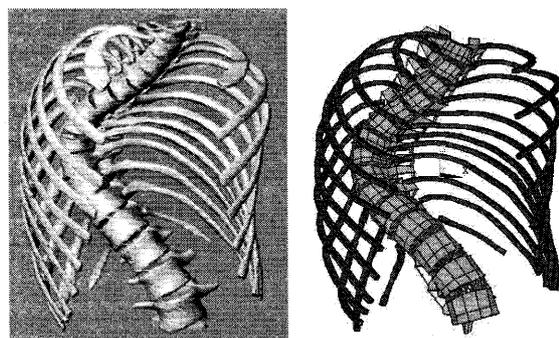


Fig.6 ばね要素により表現する軟組織



(a) 側弯症例CTデータの3次元再構築 (b) 作成したモデル

Fig.7 作成した側弯症例の脊柱胸郭モデル

Lippincott Company, p99, 1978.

2. 森 於菟 平沢 興他, 解剖学, 東京, 金原出版株式会社, p27, 1970.
3. 金 紅梅, 玉木 保, 脊柱胸郭 FEM モデルによる呼吸運動の解析, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 2004 ; Vol.25; 395-400.