

319 呼吸運動解析の為の胴体骨格 FEM モデルの開発

Development of Torso Skeletal FEM Model for the Analysis of Respiratory Motion

○学 金 紅梅 (日本工大)

正 玉木 保

高橋 和久 (千葉大・医)

小谷 俊明

Koubai Kin, Graduate Student of Department of Mechanical Engineering, Nippon Institute of Technology, 4-1, Gakuendai, Miyashiro, Saitama, 345-8501, Japan

Tamotsu Tamaki, Nippon Institute of Technology

Kazuhisa Takahashi, Toshiaki Kotani, Chiba University

Key Words : FEM Model, Spine, Thorax, Biomechanics, Respiratory Motion

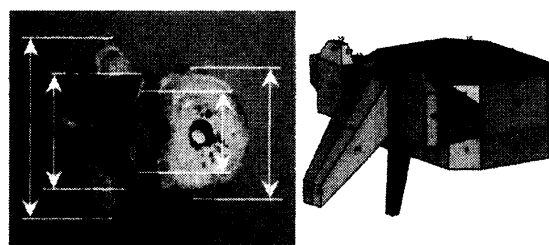
1. はじめに

胸郭は脊柱(脊椎骨の連結したもの)と関節構造で連結されており、脊柱変形により関節構造の不全が生じることは容易に想像される。関節構造は力学構造であるので FEM 構造解析により、この関係を明らかにすることが可能である。脊柱に注目した構造解析は側弯症解析としていくつかの研究¹⁾があるが呼吸機能との関係についての研究は見当たらない。そこで本研究の最終目標を側弯症と呼吸機能との関係の構造力学的解明²⁾とした。今回はその第1段階として、FEM ソフト (Ansys) 上での脊柱及び胸郭のソリッドと要素モデルを作成し、呼吸運動解析を行った。用いた解剖学的データは健康成人データ (米国 National Institute of Health (NIH) 作成の Visible Human, Male) と骨格モデルである。

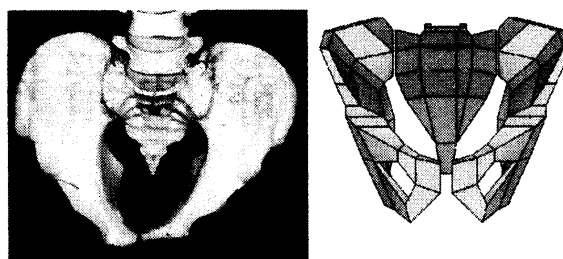
2. 要素モデルの作成³⁾

まず脊椎骨の骨格モデル (図 1-a) から左右長、前後長、高さを測って取ったデータを用いてプログラムを作成し、Ansys に読み込ませて 100 節点、34 個の要素を持つ脊椎骨モデル (図 1-b) と 100 節点、36 個の節点を持つ仙骨を作成し、同じ方法で骨盤のモデルも作成した。(図 2)

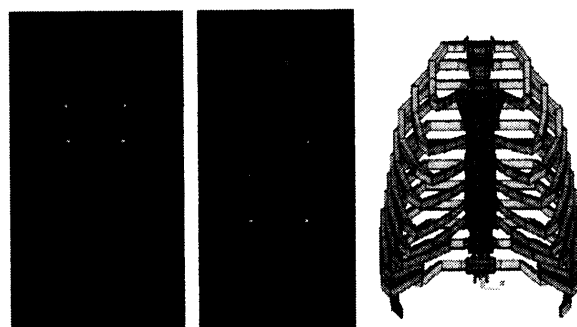
胸郭は肋骨体、肋軟骨、胸骨から成る。肋骨体モデルは VisibleHuman の CT 画像⁴⁾ (図 3-a) を基にデータを取り、そのデータを用いてプログラムを作成し、Ansys に読み込ませて 50 節点、12 個の要素を持つ肋骨体のモデルを作成した。同じ方法で 32 節点、6 個の要素を持つ肋軟骨モデル (図 2-b のピンクの部分) と 56 節点、14 個の要素を持つ胸骨を作成し、それをプログラムで組み合わせて胸郭モデル (図 2-b) を成した。完成した脊椎と胸郭、骨盤のモデルをプログラムで組み合わせて完全な体幹骨格モデルを作成し、各骨モデルは靱帯を示すばね要素で連結した (図 4)。今回作成したモデルは今後の試行計算を容易にする



(a) Data Acquisition (b) Developed Model from Spine Model
Fig.1 Development of Vertebral FEM Model



(a) Pelvis Model (b) Developed Model
Fig.2 Development of Sacrum and Pelvis Model



(a) Rib Cage CT in Visible Human (b) Rib Cage Model
Fig.3 Development of Rib Cage Model

為、各脊椎骨及び肋骨は各々100節点40要素以内で作成し、全体で約5000節点6000要素の出来るだけ少ない要素数のモデルに成った。

3. 解析方法

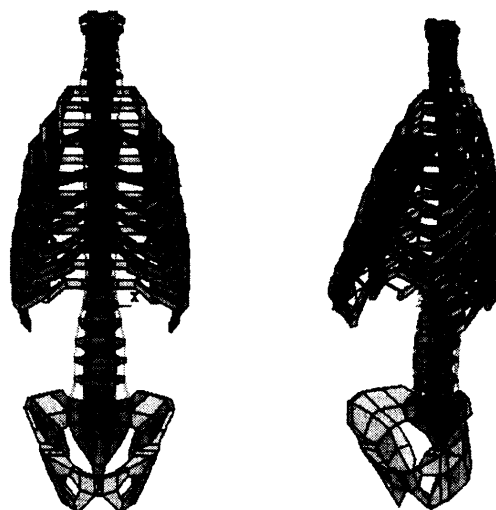
呼吸運動は肋骨間に付着した内外肋間筋と横隔膜の筋活動により行われる。内肋間筋作用は呼息期に収縮する。また肋間部の緊張を維持し、内外側方向の動きを防ぐ。外肋間筋作用は吸息期に収縮して肋骨を挙上する。また肋間部の緊張を維持し、吸息時の内側方向の動きを防ぐ。筋作用をモデルに対する外力として与えれば、呼吸運動解析が可能である(図5)。今回は肋間筋の筋作用による脊柱胸郭の変形の構造解析を行った(図6)。

4. おわりに

今回は有限要素解析ソフト Ansys による構造解析を目的として、胸郭及び脊柱の要素モデルを作成し、内外肋間筋の筋作用を外力としてモデルに与えるプログラムを作成した。これを用いて、健常者の呼吸運動解析を行った。今後モデルの座標を変更して脊柱側弯症患者のモデルを作成し呼吸運動解析を行い、健常者と比べて脊柱側弯症の呼吸運動への影響について検討する。

参考文献

- (1) 東藤正浩, 田中正夫, 江原宗平, 脊柱有限要素モデルによる特発性側弯症解析(靱帯による脊柱後方拘束の影響), 日本機械学会第13回バイオエンジニアリング講演会講演論文集(仙台市), p120, 2001
- (2) John B. West (笛木隆三, 富岡眞一 訳), 呼吸の生理, 医学書院, p91, 1997.
- (3) 金紅梅, 玉木保, 高橋和久, 小谷俊明, 脊柱及び胸郭のFEMモデルの作成, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002-宇都宮講演論文集, 日本機械学会 No. 020-2, p. 275-276.
- (4) ソフトウェア Visible Human (Male and Female), Research Systems, Inc., Colorado, USA, 1996.



(a) Front View (b) Left-Anterior View
Fig.4 Developed Torso FEM Model

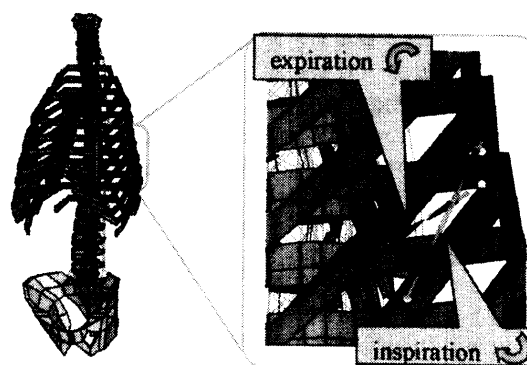
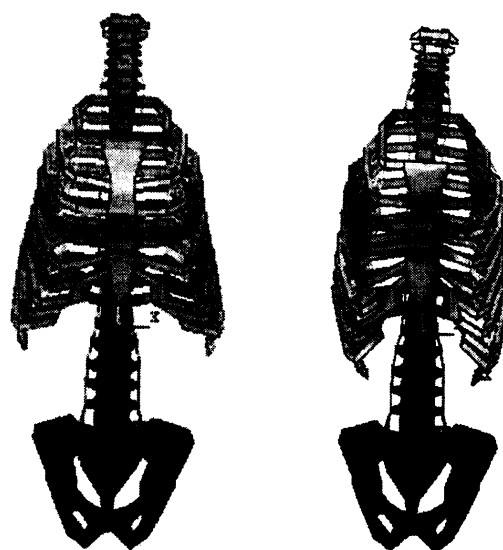


Fig.5 Expression of Intercostal Muscle by applying external forces at muscle insertion positions



(a) At Maximum inspiration (b) At Maximum expiration
Fig.6 Result of Analysis