507 股関節の機能に関する有限要素モデリング

Finite Element Modeling about the function of the hip joint

正 大橋 鉄也 (北見工大) 正 佐藤 満弘 ○学 宮本 泰志 (北見工大院)

Tetsuya OHASHI and Michihiro SATO Kitami Institute of Technology
Yasushi MIYAMOTO, Graduate student, Kitami Institute of Technology

Keywords : Finite element method, Thighbone, Ligament, Hip joint

1. 緒言

近年、日本における高齢化社会において、加齢に伴い発症する変形性股関節症、関節リウマチなど股関節における疾病や大腿骨およびその周辺で生じる骨折など、老人特有の疾患が増加してきている。特に老人の骨折は、運動機能の低下による転倒事故の増加と骨粗鬆症による骨密度の低下により発症する確率が高く、なかでも大腿骨頸部骨折は、寝たきりの状態に陥る症例が非常に高い骨折である。股関節周りの疾患の治療方法として人工股関節を使用した治療が発達し、寝たきりの状態から健全な日常生活を取り戻す事例が増えてきている。しかし、人工股関節を生体で使用する場合、埋入位置、摩耗、破損、脱臼、骨盤への影響など多くの問題が存在しており、大腿骨及びその周辺に生ずる力学的特性や挙動について知ることは重要である。

これまでに、人工股関節関連の数値解析はいくつか報告されている。主なものとして、人工股関節周囲骨の骨リモデリングシミュレーションや人工股関節システムの疲労寿命評価シミュレーション⁽¹⁾などがある。これらの研究では、解析モデルに骨格のみのモデルを用いて解析されている。正確な生体の力学解析を行うには、より生体に近い精密なモデルで解析をする必要がある。

本研究では、人体に近い精密な骨盤モデルを作成し、股関節と大腿骨及びその周辺に生ずる力学特性と挙動について数値解析を行った。

2. 人体骨格構造 FEM モデルの構築

著者らは、これまでに健康な成人男性の精密な股関節モデルを作成してきた⁽²⁾。図 1(a)に解析モデル AMS07_01 を示す。図 1(a)の右足では、骨盤と大腿骨の接合部分に靱帯、関節包が着いている場合を示し、左足については靱帯と関節包を取り除いて表示した。このモデルの構築及び解析には、汎用有限要素パッケージ ANSYS を用いた。股関節は、骨盤と大腿骨からなる人体モデルである。各骨格モデルは詳細な数値データ⁽³⁾として示されている。これらのデータを用いて、形状の精度を損なわず、解析容量が小さくなるようなモデルを作成した。

2.1 股関節内部モデル

図 1(b)に股関節内部を示す。寛骨に寛骨臼横靱帯を取り付け寛骨臼表面と大腿骨頭の表面に関節軟骨を作成した。生体では、この関節軟骨同士の間に関節腔といわれる隙間がある。関節が動く時、関節軟骨同士がこの隙間を埋めるとほぼ同時に滑液が入り、関節軟骨同士の摩擦を軽減して関節を滑らかに動かすことを可能にしている。

2.2 股関節外部モデル

図 2 に関節包とその外部にある靱帯を示す。関節包は、

寛骨臼と大腿骨頸部に付着し大腿骨頭を包んでいる。また、柔軟性があり、関節の動きを妨げることなく、関節全体を 1 つの構造要素にしている。その外側には、輪帯、坐骨大腿靱帯、腸骨大腿靱帯、恥骨大腿靱帯の 4 つの靱帯が付着し、それぞれ股関節の可動域を抑制している。

Fig.1 Numerical model of thighbone and hip joint apparatus developed in this study.

Fig. 2 Details of ligaments and joint capsule.

3. 数値解析例

数値解析例として、重力場における静解析を行った。図 3 に 4 面体 10 節点構造要素を用いてメッシュ分割を行った解析モデルを示す。節点数 242,880 要素数 160,572 である。境界条件は仙骨底を全自由度固定、右足の大腿骨下部を x , y 方向固定し、 z 方向に 0.004m の強制変位を与えた。大腿骨と寛骨の接合部分は、生体において大腿骨頭側の関節軟骨と寛骨臼側の関節軟骨の間には滑液があり、摩擦係数が $0.01 \sim 0.03$ である。本解析モデルでは、滑液をモデル化する代わりに関節軟骨間の摩擦係数を 0.02 とした接触問題とし

で解析を行った。解析に使用する各部分の材料物性値を表 1 に示す。多くの骨は皮質骨と海綿骨から形成されているが、簡易のため骨部は全て皮質骨の物性値を用いた。また、関節包の材料物性値は、靱帯の物性値と同様にした。

Table 1 Material properties

Elements	Young's modulus	Poisson's Ratio	Density
(histology)	[MPa]		[kg/m ³]
Cortical bone ⁽⁴⁾ (皮質骨)	17,000	0.3	1,800
Ligament ⁽⁵⁾ (靱帯)	300	0.22	1,100
Cartilage (軟骨)	24.5	0.3	1,500
Joint capsule(関節包)	300	0.22	1,100

4. 結果と考察

図 4 に、解析で得られた大腿骨頸部周辺の相当応力分布を示す。図 5(a), (b)は寛骨臼側の関節軟骨の表面と内面を、(c), (d)は大腿骨頭側の関節軟骨の表面と内面の相当応力分布である。図 6 は、寛骨の円で示した部分を下(矢印方向)から見た寛骨臼内部の相当応力分布である。図 7(a)は、靱帯モデルのみを取り出した図で、(b)は相当応力分布である。図 4 より、大腿骨頸部下方に約 6.0[MPa]、上方には約 4.0[MPa]の高い応力が生じている。図 5 より、自重と大腿骨の強制変位により生ずる力は、寛骨臼の関節軟骨と大腿骨頭の関節軟骨間の一部分で接触して伝達され、大腿骨頭から下部へ、また、寛骨臼から骨盤内部へ力を分散していると考えられる。図 4 と 6(b)に示す靱帯付着部分と、図 7(b)で示した靱帯部分に高い応力が生じていることがわかる。これより、靱帯は関節軟骨同士の接触により伝達された力と股関節の変位により生ずる力を受け、大腿骨頸部にかかる力を和らげていると考えられる。

5. 結言

人体の大腿骨及びその周辺の精密な FEM モデルを作成し、滑液の潤滑作用を軟骨同士の接触問題として取り入れた股関節の重力場におけるシミュレーションを行った。その結果、股関節周りの応力分布より、寛骨と大腿骨の関節軟骨同士の接触部分や大腿骨頸部に応力集中が生じていること、また、股関節に働く力が靱帯にも作用していることがわかった。

参考文献

- (1) 姜有峯, 2006 Japan ANSYS Conference 会議録, Cybernet.
- (2) 宮本泰志, 大腿骨及びその周辺に生ずる力学挙動の数値解析 平成 20 年度 学生員卒業研究発表講演会, 講演論文集, (2008), P16~P17
- (3) 飯島貴志, 人体のしくみ CG デザイナーのためのグラフィックパイプ, オブジェクトデータ人体寸法データ 1997-98, bn_zenshin_obj, (2005).
- (4) 解剖学アトラス 第3版, 文光堂, (2004), p99-100
- (5) 竹内, 脊柱特発性側彎症の成因に関する計算力学的研究(重力に抗する骨構築に起因した座屈説), Trans. JSCES, Paper No.2002006.
- (6) 古巣克也, 人体下肢 FEM モデルの開発と検証, 豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.36 No.2, (2001.6).

Fig.3 Finite element meshing of the developed model.

Fig. 4 Detailed view of the equivalent stress at the top part of right thighbone

Fig.5 The distribution of the equivalent stress of joint cartilage of the acetabulum side((a),(b)),and joint cartilage of the thighbone side((c),(d)).

Fig.6 The distribution of the equivalent stress of the acetabulum of Hip bone model.

Fig.7 Ligament model(a),and the distribution of the equivalent stress(b).