

# 論文審査の結果の要旨

氏名      フジアンシャ      バクタル

本論文は「非線形有限要素法による骨盤と股関節の力学解析に関する研究」と題し、5章よりなる。人体の骨盤と股関節は筋骨格系の中で重要な役割を果たしている。骨盤は寛骨、腸骨及び恥骨からなる安定的な輪構造を構成して人体の体重を支える一方、股関節は支持性可動関節として骨盤とともに体重を支えながら歩行に伴う下肢の運動を可能にしている。臨床現場では事故などによる骨盤骨折を生じた場合の救急措置や治療方法の立案または事故原因の解明においては事故時の荷重に対応する骨盤の骨折形態を知ることが重要であり、また、骨盤骨折の治療法として臨床上行われる各種固定術についても術後2次損傷の回避やリハビリの観点から生体力学的評価が必要である。一方、関節軟骨の変形・破壊、寛骨臼縁の肥大および関節滑膜の変化等による変形性関節症は力学的負荷に起因するとされ、体重による負荷を受ける股関節面接触力分布の解明は変形性股関節症の予防及び治療に役立つと考えられる。これらに関連する研究としてこれまでに *in vitro* や *in vivo* 実験及び有限要素法に代表される数値シミュレーションによる研究が行われてきたが、実験計測の難しさに加え倫理上の問題により実験研究の限界があり、また数値シミュレーションも特定の解析条件に限られている。そこで本論文はまず各種事故における骨盤骨折形態の解明を行い、また代表的3種類の骨盤骨折内固定法に対して生体力学的評価指針を与え、さらに Gregory Patch の導入による平滑化手法を導入し、股関節における接触を安定的に解析できる手法を開発することに的を絞って研究を行った。

第1章では本研究の背景、目的及び従来の研究がまとめられている。

第2章では骨盤骨折メカニズムの解明及び骨折固定法の評価が行われている。まず実患者のCT画像より有限要素解析モデルを作成し、大腿骨と股関節間の接触を導入することにより、従来の研究と比較して大腿骨からの荷重伝達をより忠実に反映した解析を行っている。大腿骨の角度を変化させることにより、落下、自動車衝突及びバイク衝突事故に関するシミュレーションを行った結果、落下事故の場合は仙骨の前仙骨孔付近、自動車横衝突の場合は仙骨と腸骨、バイク衝突事故の場合は恥骨及び仙骨部の

応力が高くなり、これらの部位で骨折を生じる可能性を明らかにしている。さらに、3種類の骨盤骨折内固定法について解析を行い、骨盤骨折固定に関する安定性指標を考案し、最大応力と併せて各種固定法の評価指針を与えている。また、解析結果は臨床所見と一致することが確認されている。

第3章では Gregory Patch による平滑化手法に基づく接触解析の定式化及び接触解析プログラムの開発をまとめたものである。生体の日常的運動において関節面間の大きなすべりを生じるため、有限要素解析における離散化された接触表面では要素間の不連続性が解析の不安定性の原因となっている。Gregory Patch による平滑化を導入することにより接触要素間の連続性を保つことができ、安定的に解析を行うことが可能となる。さらに非線形解析に必要な接線剛性マトリックスを導き、Gregory Patch に基づく接触解析プログラムを開発し、数値解析例を通じて開発したプログラムの妥当性と有効性についての検証を行っている。

第4章では股関節の力学解析が行われている。第3章で行った Gregory Patch による平滑化に基づく接触解析プログラムの開発により、従来解析困難であった股関節における接触解析を可能にしたため、本章では三つの日常生活動作パターン、即ち、正常歩行の場合、椅子から上がる場合及び階段を上る場合、における股関節の接触解析を行い、各動作における接触応力、接触領域及び関節軟骨における最大応力の時刻歴や接触範囲の変化など臨床上有意義な結果が得られている。また、特定姿勢に関する従来の研究と比較して解析結果の妥当性を確認している。さらに、股関節軟骨層の厚み変化に対する応力の変化を感度解析手法によって予測し、軟骨層厚みの減少と変形性関節症の促進との関連性を解明し得る可能性を示唆している。

第5章では以上の成果を総括し、将来の展望を述べている。

以上を要するに、本研究は骨盤骨折メカニズムの解明及び骨折固定法の評価を行い、また、Gregory Patch による平滑化に基づく接触解析プログラムを開発し、従来解析困難であった股関節における接触解析を可能にしたものである。これらの成果は生体力学、医学、再生医工学などに寄与するところが大きいと考えられる。なお、本論文第2、3、4章は、陳 献、久田 俊明等との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。