

氏名	カン 姜	ユ 有	ボン 峯
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)		
学位記番号	工 博 第 2651 号		
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻		
学位論文題目	BIOMECHANICAL ANALYSES OF WHIPLASH INJURY IN THE REAR-END IMPACTS (追突による鞭打ち損傷に関する生体力学的研究)		
論文調査委員	(主 査) 教授 池 内 健	教授 堤 定 美	教授 富 田 直 秀

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、数値シミュレーションを用いて追突時の三次元頸部挙動を解析し、鞭打ち損傷の発生に関する生体力学的メカニズムを調べ、頸部損傷を評価するための新しい基準を提案し、その有効性を示したものであり、7章からなっている。

第1章は序論であり、社会的背景、鞭打ち損傷の発生に関する研究例、発生メカニズムの提唱例、各研究手法の問題点などについてふれ、本研究の目的と意義について記述している。

第2章では、三次元人体有限要素モデルの生体適合性検証結果と、真後ろからの追突及び斜め30度後方からの追突を想定した解析結果が示されている。追突時の頭部-胸部間の相対変位量及び椎体間の曲げモーメントと回転角の関係について実験結果と比較した結果、有限要素モデルの生体適合性が妥当であるとの結果を示している。30度追突では、椎体間に回転振れと横方向曲げの複合的な作用が示された。これらは真後ろからの追突では見られず、これまで報告された例は無い。30度追突では、真後ろからの追突よりも頸椎下部の椎間関節に生じる応力が上昇し、損傷の危険性が高まると考察されている。

第3章では、追突角度が15度、45度の場合について解析結果を加えている。15度、45度追突においても、椎体間に横方向曲げと回転振れが作用し、追突角度によってそれらの結果が異なることを示している。横方向曲げ角は、頸椎下部の方が大きく、15度追突の場合に最も大きな値を示した。振れ角は15度追突の場合、第6—第7頸椎間で最も大きかったが、30度追突の場合、第2—第3頸椎間が最も大きかった。これは頭部の質量の影響によって、頸部に作用するモーメントが変化するためと考察されている。15度追突の椎間関節に発生する圧縮・せん断応力が最も高く、損傷の危険性が高いことを示している。すなわち、追突の方向や乗員の姿勢にともなう衝撃方向の変化によって、損傷の危険性が容易に高まると考察されている。

第4章では、追突時の頸部損傷を評価するための新しい基準を提案している。従来の基準(Neck Injury Criterion: NIC)は、頭部-胸部間の相対並進成分によって計算されるため、回転の発生する斜め追突では、損傷の危険性が低く評価されてしまう。そこで頭部-胸部間の相対回転成分を用いた基準(Rotational-NIC: RNIC)を提案し、NICと組合わせた新しい総合評価基準(Total-NIC: TNIC)によって、三次元的な頸部挙動を考慮した損傷評価を試みている。TNICは斜め後方からの追突時の損傷評価が可能であり、基準としての有効性が示されている。

第5章では、追突時に頸部に横方向回転が作用した場合の解析結果と、前章で提案したRNICとの相関関係について調べた結果が示されている。頭部に作用した角速度ピークと椎間関節部の応力上昇がよく相関しており、特に第2—第3頸椎間における椎間関節の応力上昇が著しく、損傷の危険性が高くなっている。NICは応力上昇と相関を示さなかったが、RNICは応力の上昇及び回転成分のピーク上昇ともよく相関しており、RNICの損傷評価基準としての有効性が示されている。

第6章では、筋肉要素を導入したモデルによって、筋収縮力が発揮されるタイミングが及ぼす影響について解析した結果が示されている。筋収縮力の作用によって、衝突に対して無防備な状態よりも椎体間の変位量や軟組織に発生する応力が減

少するなど、鞭打ち損傷の発生メカニズムに対する抑制効果を示した。衝突を事前に意識した場合と衝突直後に筋力が発揮される場合、その抑制効果は異なり、実際の事故時の乗員とボランティア実験との違いが示されている。筋力が発揮された場合でも第2—第3頸椎における損傷の危険性が高く、鞭打ち損傷発症の原因部位であるとする臨床報告と一致する結果を示した。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、衝撃による頸部の生体力学的変化に関する数値解析研究であり、特に車両の追突事故における頸部の三次元挙動と鞭打ち損傷の発生メカニズムに関する相関関係と、鞭打ち損傷の低減・予防策の評価に必要な損傷評価基準の確立を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な結果は次のとおりである。

1. 斜め後方からの衝撃によって、頸部には前後方向の伸展・屈曲・せん断に加えて、回転捩れと横方向曲げが複合的に作用するため、頸椎下部における椎間関節部に生じる応力が増加し、頸椎上部の動脈・神経根などには捩れによるせん断が加わるため、鞭打ち損傷発症の危険性がさらに高まることを明らかにした。
2. 頸部に作用する回転捩れの影響を考慮した損傷基準を提案し、従来の損傷基準と組み合わせ、頸部の三次元挙動に対応した新しい損傷評価基準の有効性を示した。
3. 意識的な筋肉の収縮力によって、頭部-頸部の後方伸展は抑えられ、頸椎下部の軟組織に生じる応力は減少するが、頸椎上部の応力はほとんど減少しないため、乗員が追突を受けた際に素早く筋力を発揮しても、頸椎上部に損傷を負う危険性があることを明らかにした。

以上、要するに本論文は、三次元有限要素解析によって、衝撃による頸部鞭打ち損傷の発生に関する生体力学的メカニズムを調べ、予防対策を検討するために有効な損傷評価基準値を示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少ない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年2月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。