

審査の結果の要旨

氏名 河内 毅

本研究は、走行時の自動車車体の変形における構造ヒステリシスが、ドライバの官能評価の一つである剛性感に及ぼす影響を定量的に評価するものである。従来の研究において車体の構造ヒステリシスが剛性感に影響を与えることという報告がある。そこでは、サスペンションからの荷重入力に対して車体変形の位相遅れが増加すると剛性感が低下し、その位相遅れを生じさせる原因が車体の構造ヒステリシスであるとする報告がなされている。また、別の報告では、車体を構成する部品同士の摩擦によって構造ヒステリシスが発生し、それが操縦安定性を低下させることを数値解析によって、また、ドライバの官能評価を低下させることを実験的に明らかにしている。しかし、いずれの研究においても、構造ヒステリシスの発生原因の明確化と定量的評価は不十分であり、また、構造ヒステリシスが剛性感を含む官能評価に与える影響に関しメカニズムを解明するには至っていない。そこで本論文では、ドライバが走行中に操舵した際に生じる車体変形に起因する車両運動の応答変化がドライバの剛性感を低下させると考え、構造ヒステリシスが与える影響のメカニズムと定量的評価を目的としている。

まず、薄鋼板を成形し組み立てられる構造体の溶接フランジにおける板間摩擦によって生じる損失エネルギーを正確に測定する試験方法を確立し、数値解析を用いた分析によってそのメカニズムを解明した。そのメカニズムに基づき、摩擦によって生じる構造ヒステリシスを定量的に予測するモデルを構築し、自動車車体の複数の変形形態における構造ヒステリシスを予測した。さらに、その構造ヒステリシスを考慮した走行解析モデルを構築し、走行解析から車体変形と強い関連を持つ評価指標を見出し、構造ヒステリシスが剛性感を低下させるメカニズムを明確化した。本論文は7章で構成される。

第1章は論文の背景と目的を示している。自動車の剛性と構造ヒステリシスが車両運動および官能評価に与える影響に関する過去知見をまとめ、本論文の目的と新規性について述べている。

第2章はダブルハット試験体の繰り返しせん断曲げ試験において、溶接フランジ面の摩擦が生み出す損失エネルギーの測定方法とその評価について述べた。フランジ面接触を有さない基準試験体と接触を有する試験体を比較することで、試験機系において生じる損失エネルギーを除去し、摩擦による損失エネルギーを抽出する試験方法を構築し、準静的な過程においては、摩擦損失エネルギーが最大荷重の2乗に比例することを実験的に示した。

第3章は第2章で測定された摩擦損失を数値解析によって再現し、フランジ面摩擦が構造ヒステリシスを生じさせることを明確にした。また、変形の増加に伴い摩擦面の滑り距離が増加するとともに滑り領域が拡大することにより、摩擦損失エネルギーが最大荷重の2乗に比例するというメカニズムを明らかにした。

第4章は第3章で明らかになったメカニズムに基づき、大規模構造物の解析モデルを対象に、溶接フランジの相対変位に着目した構造ヒステリシス予測モデルを構築した。

第5章は第4章で構築した構造ヒステリシス予測モデルを自動車車体に展開し、車体のねじり試験で測定される構造ヒステリシスとの比較から予測モデルパラメータを決定した。さらに、走行時相当の荷重境界条件による構造解析により、走行時は車体ねじり変形及びフロント横曲げ変形が卓越することを示し、両変形形態における構造ヒステリシスを上記で得られたモデルパラメータを用いて同定した。

第6章は第5章で得られた車体の構造ヒステリシスを考慮した走行解析モデルを用い、操縦安定性評価を実施した。車体ねじり及びフロント横曲げ変形を単軸回転するヒンジジョイントで表現し、ジョイントを介し前後サスペンションが剛梁で結合されるモデルを構築した。両ジョイントの反力（反モーメント）は、それぞれのねじり剛性と Bouc-Wen モデルによって表現されるヒステリシス特性から計算される。Bouc-Wen モデルのパラメータを調整することで構造ヒステリシスの大きさを操作し、その影響を評価した。ステップ操舵応答解析から得られるヨーレートおよび横加速度のピークと応答時間、横滑り角定常値及び Lincke らによって提唱されドライバの官能評価との相関が報告されている TB ファクタ（ヨーレートピーク応答時間と横滑り角定常値の積）を評価した。その結果、特に、車体ねじりの構造ヒステリシスの増加に伴い、各評価値の変化から操縦安定性が低下することを示し、TB ファクタは増加、つまり、官能評価が低下することが示された。加えて、構造ヒステリシスの増加は、旋回初期における車体変形の応答遅れの増大を通じてヨー加速度ピークを低下させ、また、定常旋回状態における車体変形の残留の増大を通じて横滑り角定常値を増加させるというメカニズムを解明した。さらに、これらドライバが操舵した際に生じる車体変形に影響を受け変化する二つの評価値の比として BA ファクタを新たな評価指標として提唱し、自動車車体の構造ヒステリシスの増加は、車体変形の応答変化を引き起こし、実測可能な BA ファクタの増加に表れ、剛性感を低下させるという結論を導いた。

第7章は結論を述べている。本論文の成果を簡潔にまとめ、研究の意義を記している。

質疑において剛性感について議論があり、本論文で扱っている剛性感は操舵剛性感とした方がより適切であり、審査委員会として、剛性感の本文中での定義および題目の変更を提案した。

本論文の学術的意義として、板間摩擦に着目し構造ヒステリシス発生メカニズムを明らかにしたこと、それに基づいた車体の構造ヒステリシスを数値解析的に予測するモデル構築したこと、および、複数の変形形態における構造ヒステリシスと剛性を考慮した走行解析モデルを用い、構造ヒステリシスが剛性感に影響を与えることを定量的に明らかにしたことがあげられる。また工業的意義として、構造ヒステリシスという車体性能評価指標の価値を明確にし、車体設計および自動車開発工程の上流における剛性感向上検討の可能性を導いた。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。