

学位論文題名

Numerical Analysis on the Aerodynamic Pitching Stability of Sedan-Type Vehicle

（セダン型車両の空力ピッチング安定性に関する数値解析）

学位論文内容の要旨

For over a century, the development of automotive aerodynamics has mainly been focused on the aerodynamics properties which were obtained through steady-state wind tunnel measurements. As a result, there was no generalized approach to assess the driving stability performance of vehicle under the transient driving situations commonly encountered in real life. Therefore, the aims of the present study are to develop a numerical method for such assessment, and to introduce a generalized-rating index which can be used to indicate the aerodynamic stability of vehicle under a transient situation. Also, by exploiting the detailed flow information a numerical solution can provide, the present study investigated the mechanism of how the transient aerodynamics influences the stability of vehicle. In particular, the aerodynamic pitching stability, which is important due to its potential impact on drive comfort and handling. To narrow down the scopes of investigation, the study focuses on sedan-type vehicle.

In chapter 1, a brief introduction to automotive aerodynamics and the initial motivation remarks which lead to the objectives of the study is provided.

In chapter 2, the results of literature survey on evaluation methods related to road vehicle stability under the influence of aerodynamics is summarized.

In chapter 3, the Large Eddy Simulation method adopted is introduced. By incorporating an arbitrary Lagrangian-Eulerian method, a forced-sinusoidal-pitching oscillation was imposed on the vehicles during the simulation to probe their dynamic response. The numerical method had been validated by comparing the LES results with wind tunnel measurements.

In chapter 4, the formulation of aerodynamic damping coefficient is introduced. The coefficient was used to indicate the stability characteristic of vehicle.

In chapter 5, the investigation of the influences of upper-body shape on the aerodynamic pitching stability of sedan-type vehicles is introduced. To facilitate the investigation, two simple body models with distinct aerodynamic configurations, which were based on the geometrical feature of real vehicles with different stability characteristics, were created. The models had been verified by comparing their main flow structures and aerodynamic properties to the one obtained from the corresponding real vehicles. After the models had been successfully verified, they were used to study the aerodynamic pitching stability characteristic of sedan-type vehicle. It was revealed that the pitching stability characteristic of the models

was significantly affected by the transient flow structures above the rear body, particularly the trunk deck.

In chapter 6, the extent to which the results obtained from the simple body models can be applied to real vehicle aerodynamics was verified.

As may be summarized from the numerical results, the study found that the vehicle with rounded edges in the upper-fore body and angular edges in the upper-rear body exhibited a higher aerodynamic damping than the model with an opposite geometrical configuration. In addition, for the sedan-type models investigated, the underbody was found to exhibit the highest damping contribution relative to other body parts. However, the difference in the aerodynamic damping between the models with distinct aerodynamic configurations was mainly caused by the trunk-deck contribution. These results show that by exploiting the effect of unsteady aerodynamics, damping of pitching instability can be attained.

The aerodynamic-damping coefficient introduced in the study can be used to improve realism in the assessment of vehicle aerodynamics. Therefore, the outcome of the study is important for the advancement of automotive aerodynamics, particularly, in the context of stability performance.

学位論文審査の要旨

主査	准教授	坪倉	誠
副査	教授	大島	伸行
副査	教授	村井	祐一
副査	教授	渡部	正夫

学位論文題名

Numerical Analysis on the Aerodynamic Pitching Stability of Sedan-Type Vehicle

(セダン型車両の空力ピッチング安定性に関する数値解析)

自動車の空気力学的開発では従来、定常空気が空力特性を表す指標として用いられてきた。これに対して近年、急なハンドル操作や横風、さらには路面凹凸による車体振動時のような実走行状態において、車体に作用する非定常な空気が自動車の運動性能や安全性能に与える影響についての議論が高まっている。こういった非定常空気を高精度に計測し、その発生メカニズムを探ることは実験計測では困難であり、数値シミュレーションへの期待が大きい。本研究論文では、高速走行安定性における重要な指標となる自動車のピッチング運動を対象として、車体周りの気流と車体運動を連成解析するシミュレーション技術を構築し、車両運動時の空力安定性の定量的評価手法を提案するとともに、安定性に寄与する空力ダンピング効果の発生メカニズムの解明を目的としている。

本研究論文は以下の八つの章で構成されている。

第1章では、本研究の背景として従来の自動車の空気力評価方法と問題点、特に非定常空気を考慮することの重要性について述べた後、本研究の目的とその意義、及び研究計画の概略を示している。

第2章では、自動車的高速安定性に空気力学が与える影響について、過去の文献を調査した結果を示し、本研究で着目するピッチング解析の車両高速安定性評価における位置づけを行っている。

第3章では、本研究で用いる数値解析手法として、支配方程式系とその離散化手法、境界条件の設定方法、車両運動を追従するための移動格子手法、格子依存性とその評価方法、乱流モデル係数の影響等について述べた後、風洞可視化結果と比較することで手法の検証を行っている。

第4章では、車両ピッチング運動の空気力学的安定性を評価する方法として、車両に強制的な振動を与え、その空気力学的ダンピング係数を用いることを提案するとともに、その係数の導出方法について述べている。

第5章では、車両ピッチング運動時の空力安定メカニズムを解明するための簡易モデルを提案している。ここでは実車実走試験に対する経験から、車体上部形状、特に車体前後ピラー形状の差異が高速安定性に与える影響に着目し、実走行試験で大きく安定性の異なる二種類のセダン車の車体後流構造の特徴を再現した二種類のモデルを提案している。

第6章では、第5章で提案した二種類の簡易モデルに対して、第4章で提案した方法に

基づいて空力ダンピングの定量的評価を行い、モデル間の安定性の差異を比較している。この結果、実走行試験での安定性の大小と相関の取れたダンピング係数の差が得られ、自動車のピッチング運動における空力ダンピングの存在を実証している。さらにダンピング係数の差異が車両トランクデッキ上部の流れ構造に起因していることを解析結果から明らかにし、車両前・後部ピラー形状により形成される二対の渦のトランクデッキ上での相互作用がその主要因であることを示している。

第7章では、第6章で得た知見を実車形状で実証するために、実車走行実験で比較的安定性が悪かった車両形状をオリジナル形状として、車体前後部ピラー形状に改善を加え、強制ピッチング加振に基づいて空力ダンピング係数を評価すると共に、流れ構造の解析を行っている。この結果、オリジナル形状に対して、修正形状ではより大きな空力ダンピングが作用することを示し空気力学的により安定であることを実証すると共に、簡易形状で確認されたトランクデッキ上部での流れ構造の差異と類似の流れ構造の変化が起こること確認している。

第8章では、以上の結果を総括するとともに、今後実施すべき研究の展望を述べている。

以上のように本論文では、車両の動的ピッチング運動時の安定性に非定常空気力が与える影響を明らかにし、シミュレーションを用いて空力ダンピング効果を定量的に求める新たな評価方法を提案するとともに、ダンピングの発生メカニズムを流れ場の構造から解明することで、微小な車体形状の修正によりピッチング運動安定性が向上することを示した。この結果は実際の空力設計現場での適用も可能であり、既存の定常空気力評価を主体とした設計に新たな指針を与えることで、新たな高性能自動車の実現に大きく貢献することができると考えられ、ひいては機械工学の発展に寄与するところ大である。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。