

学 位 論 文 題 名

Interaction Between Road Roughness and Vehicle Dynamics

（路面の凹凸と車の運動の相互作用について）

学位論文内容の要旨

路面の凹凸と車の運動の相互作用に関しては、従来より、交通工学・自動車工学・人間工学など道路の利用者側からの見地から、車の振動乗心地、操縦性・安定性面及び車体・フレームなどの強度・耐久性面の研究があり、道路工学・橋梁工学など道路の提供者側の見地からは、舗装の構造設計・維持管理及び橋梁部の耐震設計面などの研究があるように各分野で広範囲に研究が行われてきた。しかしながらその評価基準に関しては、評価法が確立されていないことも一因して、当事者側の見地により異なる傾向があり、その相関関係については不明確な点が数多く存在する。

一方、今日の道路交通システムは、「人」、「車」、「道路（環境）」3サブシステムから構成されると言われるように道路交通そのものの特性を考慮するならば、道路交通に関する現象自体は単独であっても複数の要因が影響していることから、系統だったいわゆるシステムの考察により、その問題に対処することが必要不可欠とされる。本論文は、この様な道路交通の特性を踏まえ、冬期路面を含む種々の路面の凹凸の実態調査・測定、路面の凹凸に影響を受ける車の運動の理論的考察を行ない、車の運動特性に影響を与える路面の定量的評価法について検討を行なうと共に今後需要が高まるであろう交通のマネジメントシステムの実施に関係の深い路面のサービス性能評価指標と車の振動乗心地との関連性についても考察し、その関係を明確にしたうえで、従来試みられることの少なかった「人-車-道路系」を意識した総合的な路面の凹凸と車の相互作用の評価方法の必要性を重視する見地から、その評価方法の構築に必要な幾つかの知見を示したものである。

本研究に於て対象となる路面の凹凸は、車の振動乗心地に関係のある路面の縦断プロファイルが主として扱われるが、その測定に関しては、従来より種々の方法が考案されており、1) 直接水準測量による方法、2) 一定長の定規により直接読み取る方法、3) プロフィールメータ（路面接触型

・非接触型)による方法, 4)車の周波数応答特性により推定する方法等に分類される。本研究においては, 車の運動との相関関係も同時に解析でき, 冬期路面測定に必要な迅速で交通流を乱さずに測定可能な上記4)の手法を用いている。また, 路面の凹凸を定量化し, 評価するための手法として, 路面の波状特性を理解し, 車の振動面への影響を把握することを目的としてスペクトル分析を用い, ISO(国際標準化機構)で提案されている評価規準などにより検討を行なった。

また路面の凹凸による車の運動の理論解析には, ASTM(米国材料試験学会)で規格化が進められているクォーターカーモデル(Quarter car model)を含む質点-バネ-ダッシュポットで構成される種々の自由度の車の数学的運動モデルによりコンピュータシミュレーションを行ない, モデルの適合性について, 実車による走行試験結果との対比により考察を行なっている。

本論文は全9章で構成されている。第一章は序論であり, 本研究の位置づけ及びその背景について示すと共に本論文全体の構成について述べている。

第2章においては, 路面の凹凸の定義を明確にすると共に, 路面の凹凸の発生原因及びそれが他に及ぼす影響などを紹介しながらその測定手法について論じている。

第3章においては, 夏期と冬期における札幌市及びその近郊における路面の凹凸の実態調査をもとにスペクトル分析を行なった結果について述べている。ここでは, 報告例の少ない冬期路面の実情を明らかにすると共に, 路面性状を把握するための路面特性関数の検討を行ない, 従来発表されているものに比べて卓越周波数を有する路面の把握に適する新たな特性関数の提案を行なった。さらに, 近年詳細な調査結果が報告されているドイツ連邦共和国における分析結果と本調査との比較検討が行なわれ, 本調査において, 特に路面の低波長成分に関してドイツより悪路である状況の箇所を示した。

第4章においては, 前章の結果に対してISOの規準に基づき路面の凹凸区分を行なうと共に路面の定量適把握を目的として, バンドパスフィルター法及び吸収エネルギー法による乗り心地面の検討ならびにAASHO道路試験で用いられたPSI(Present Serviceability Index)により路面のサービス性能面での評価結果について論じている。

第5章においては, 車の運動モデル構築の際に問題となる車の運動システムにおける入出力関係について論じており, 路面の凹凸によって生ずるばね下の振動加速度と車の乗員が感じるばね上の振動加速度との応答特性について, 回帰分析及びダイナミックシステム分析により考察した結果, ばね下の固有振動数域において入出力の線形性が高いことなど興味ある結果が確認された。

第6章においては, 車の運動の理論解析に適するモデルについて論じており, 対象となる車の運動として路面の凹凸による振動及びわだち路面による操縦性安定性を例に取り, クォーター

カーモデルを含む低自由度のものから7自由度のフルカーモデル（Full car model）までのモデルを用いて実測値とシミュレーション値との比較考察を行ない、モデルの妥当性について検証を行なっている。路面の凹凸による車の乗り心地評価に用いられる振動加速度の予測にあたっては、7自由度モデルにおいて0.1-10Hzの周波数域に関して実測結果と良く一致することが確認された。

第7章においては、路面の凹凸に影響を受ける車の運動の定量的評価方法について、前章の車の運動モデルを用いたシミュレーション結果に基づき論じており、車に及ぼされる振動加速度をISOとドイツ連邦共和国で提案されている評価基準を用いて、乗り心地を示す指標値により検討を行なった。また、わだち路面など悪路が車の操縦性安定性に与える影響の評価指標としてスタビリティファクターが有効であることを提案し、わだち路に於ける車線乗り移り試験結果に適用し、わだち路面の危険度を解明するうえでの貴重な資料を得ている。

第8章においては、路面の凹凸のシステムの評価方法について述べており、車速・路面の凹凸度・人間の振動に対する恕限度を考慮し、信頼性理論及び非線形計画法を用いた最適化手法による方法ならびに前章までに検討された幾つかの車の運動や路面の評価に関する指標を図式により総合的に評価する方法を提案し、検討を行なっている。結果により、乗り心地評価基準と舗装のサービス性能評価指標との関係など興味深い結果を得ている。

第9章は本研究の結論であり、各章で得られた成果を整理して要約し、将来の展望と問題点について論じている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	加来	照俊
副査	教授	五十嵐	日出夫
副査	教授	芳村	仁
副査	教授	村山	正
副査	教授	山田	元

本論文は、路面の凹凸と車の運動の相互作用について、道路の提供者側の見地と道路の利用者側から行なわれていたそれぞれの評価基準の相関関係を明確にしたうえで、「人-車-道路系」

を意識した路面評価方法を提案しているもので、9章からなっている。

今日の道路交通システムは、「人」、「車」、「道路（環境）」の3サブシステムから構成されると言われるように道路交通そのものの特性を考慮するならば、道路交通に関する現象自体は単独であっても複数の要因が影響していることから、総合的考察により、その問題に対処することが必要不可欠とされる。著者は、この様な道路交通の特性を踏まえ、冬期路面を含む種々の路面の凹凸の実態調査・測定、路面の凹凸に影響を受ける車の運動の理論的考察を行ない、車の運動特性に影響を与える路面の定量的評価方法について検討を行なうと共に今後需要が高まるであろう交通のマネジメントシステムの実施に関係の深い路面のサービス性能評価指標と車の振動乗心地との関連性についても考察し、従来試みられることの少なかった「人-車-道路系」を意識したシステムの思考により、路面の凹凸と車の相互作用の評価方法の構築に必要な幾つかの知見を示している。

第1章は序論であり、本論文の目的及びその背景について示すと共に本論文全体の構成について述べている。

第2章においては、路面の凹凸の定義を明確にすると共に、路面の凹凸の発生原因及びそれが他に及ぼす影響などを取り纏めながらその測定手法について紹介している。

第3章においては、夏期と冬期における札幌市及びその近郊における路面の凹凸の実態調査をもとにしたスペクトル分析について述べている。ここでは、報告例の少ない冬期路面の実情を明確にすると共に、路面性状を把握するための路面特性関数の検討を行ない、卓越周波数を有する路面の把握に適する新たな特性関数を開発している。さらに、近年詳細な調査結果が報告されているドイツ連邦共和国における分析結果と本調査との比較検討を行ない、本調査路面の低波長成分に関してドイツより悪路である状況の箇所を確認している。

第4章では、前章の結果に対してISOの基準に基づき路面の凹凸区分を行なうと共に路面の定量的把握を目的として、バンドパスフィルター法及び吸収エネルギー法による乗り心地面の検討ならびにAASHO道路試験で用いられたPSI指標により路面のサービス性能面での評価結果について考察している。

第5章においては、車の運動モデル構築の際に問題となる車の運動システムにおける入出力関係について、回帰分析及びダイナミックシステム分析により考察しており、ばね下の固有振動数域において入出力の線形性が高いことを明らかにしている。

第6章においては、車の運動の理論解析に適するモデルの適用性について論じており、対象となる車の運動として路面の凹凸による振動及びわだち路面による操縦性安定性を例に取り、2自

由度の低自由度のものから7自由度のモデルまでを用いて実測値とシミュレーションによる理論値との比較考察を行ない、モデルの妥当性について検証を行なっている。

第7章においては、路面の凹凸に影響を受ける車の運動の定量的評価方法について、前章の車の運動モデルを用いたシミュレーション結果に基づき論じており、車に及ぼされる振動加速度をISOの乗り心地評価基準に基づく新たな定量的評価指標を開発することにより検討を行なった。また、わだち路面など悪路が車の操縦性安定性に与える影響の評価指標としてスタビリティファクターが有効であることを提案し、わだち路に於ける車線乗り移り試験結果に適用し、その有用性について論じている。

第8章においては、路面の凹凸と車の運動の相互作用に関するシステムの評価方法について述べており、前章までに取り上げられた各種の評価指標に対して、信頼性理論及び非線形計画法ならび図式により総合的に評価する方法を提案し、検討を行なっている。

第9章は研究の成果と今後の展望について述べている。

これを要するに、著者は、従来行なわれていなかった、路面の凹凸と車の運動の相互作用問題に対して多くの知見を得ると共に、交通工学・自動車工学・道路工学・人間工学など本問題と関係のある種々の分野への総合的影響評価を可能ならしめたことは、今後の道路交通問題解決に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。