

論文の内容の要旨

論文題目 ドライビングシミュレータを用いた動的な外乱下での車両走行安定性に関する研究
(Driving Simulator Experiment on the Moving Stability of an Automobile under Dynamic Disturbances)

氏名 丸山 喜久

現在、高速道路管理者が行っている地震時通行規制基準値は、構造物被害という観点から定められているが、現行の地震動レベルでは高速道路構造物に車両の走行に支障を与えるような構造物被害は生じないことも明らかになりつつあり、規制値の引き上げも検討されている。一方、地震時の車両の走行安定性についてはあまり議論が行われておらず、震動の影響で運転者が事故を起こしてしまうことも否定できない。もし、そのような可能性が高いのであれば、震動による事故のあとの二次的な多重衝突事故を防ぐという観点から、震動が走行車両にどのような影響を与えるかを検討することも必要であると考えられる。また、走行車両の安定性に影響を与えるもう一つの要因として横風強風も挙げられる。高速道路では横風時の通行規制が実施されているが、その基準値は定量的に定められたものであるとは言い難く、トンネルの出口や防風柵の切れ目など、無風状態から急に横風が作用するような箇所の危険性も従来から指摘されている。遮風対策としては、防風柵や防風ネットの設置が有効な手段ではあるが、構造物の風荷重を増加させ耐風性能を悪化させることもあるので、効果的に設置していく必要がある。そこで、本研究では、6自由度車両数値モデルを用いた応答解析とドライビングシミュレータを用いた走行模擬実験を行い、地震時と横風強風時の車両の走行安定性について定量的な評価を行った。さらに、気象庁が試験運用を行っているナウキャスト地震情報（主要動到達前の早期地震警報）の高速道路システムでの利用法を検討するために、高速道路運転時の地震動早期警報実験を行いその効果を検討した。

以下に本研究で得られた成果を要約する。

第1章では、本研究の背景と目的を述べるとともに、関連する既往の研究についてまとめた。高速道路管理者の通行規制に関する現状をまとめ、外乱時の車両走行安定性に関する検討を行う必要性を

述べた。また、ナウキャスト地震情報や高度道路交通システム（ITS）などの新技術の高速道路ネットワークへの応用についても言及した。

第 2 章では、6 自由度車両数値モデルを構築し、運転者の反応を考慮しない走行車両の地震応答解析を行った。入力地震動には、1995 年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録など実地震記録 5 波を最大加速度でスケールリングして用いた。地表面地震動の高振動数成分は、タイヤの滑りやサスペンションの影響で走行車両には伝わりにくいことが分かり、地震動指標値として計測震度を用いると、車両の応答量の大きさが入力地震動波形にほとんど依存しないことが分かった。この理由としては、計測震度は地震動の高振動数域に依存しない指標値であるということが考えられる。一方、震動の高振動数成分に大きく依存してしまう最大加速度と車両応答量の関係では、入力地震動波形による応答量の違いが大きく見られた。

第 3 章では、ドライビングシミュレータの制御プログラムを改良し、走行車両の地震応答をシミュレータの 6 軸動揺装置に入力できるようにした。ドライビングシミュレータが再現するモーションには、地表面地震動に高振動数域が卓越している場合は 7-8Hz の自励的な振動の影響が顕著に見られたが、多くの地震動については、変位制御を行っているにもかかわらず、加速度波形で比べても振動数域で 5Hz 程度の成分まで精度良く再現されていることが確認された。さらに、実際に被験者を集め、地震時走行実験を行い震動が高速道路運転者に与える影響を評価した。その結果、計測震度 5.0 程度の震動は車両の走行安定性にあまり影響を与えないことが分かり、計測震度が 6.0 程度の地震動になると走行車線をはみ出す被験者が見られた。とくに、免許歴の短い運転技術の未熟な被験者と免許歴の長いやや高齢の被験者が地震動に対して過度な反応を示しており、地震動に対する反応遅れと過大なハンドル操舵が原因で、地震時に走行車線をはみ出してしまう現象が実験結果から示された。このことから、強震時には周囲の交通状況によっては他車との接触事故を生じてしまう可能性があるものと考えられる。

第 4 章では、横風強風時の車両走行安定性を数値解析とドライビングシミュレータを用いた走行模擬実験により検討した。運転者の反応を考慮しない数値解析の結果では、車速が大きいときに横風の影響で車両がスリップする現象が見られた。運転者の反応を考慮できる人間-自動車系操舵モデルの運転者の反応に関するパラメータ値を走行模擬実験結果より適切に設定することで、強風時の車両の応答が精度良く再現できることを示した。横風風速として突風や障害物による変動風速を想定したが、人間-自動車系操舵モデルはどちらの場合も走行模擬実験の結果を精度良く再現した。これより、様々な車種の数値モデルを構築することで、横風時の車両の走行安定性を定量的に評価することが可能になるものと考えられる。この結果は、高速道路通行規制値の再評価や防風柵の設置時の指針などに応用できるものと期待できる。

第 5 章では、1995 年兵庫県南部地震における地震記録、観測点位置をもとに、気象庁などが導入に向けた検討を行っているナウキャスト地震情報を模擬した。さらに、ナウキャスト地震情報の高速道路ネットワークへの応用を目指し、地震動早期警報が高速道路運転者に与える影響をドライビングシミュレータを用いた走行実験で検討した。早期警報を行った場合と行わなかったときの運転者の反応を比較すると、地震動早期警報による効果で、震動による蛇行走行の程度が低減していた。また、早期警報を行った場合は、地震動によって生じたと想定した前方の道路変状が原因となる交通事故を、多くの被験者が回避することが可能であることを示した。

第 6 章では、本研究で得られた結論をまとめ、研究をさらに発展させるための今後の課題を示した。このように一連の研究によって、地震時や強風時の高速道路走行車両の定量的な安定性評価が可能となり、これら外乱の直前通報による危険回避についても可能性が示された。本研究の成果は、通行規制基準値の再評価、防風柵の設置基準、ナウキャスト地震情報の利用など、地震時や横風強風時における高速道路ネットワークの更なる安全性の促進につながるものと期待される。さらに、ITS などの新技術への応用を図ることで、現在まで主に行われてきた地震時や横風時の高速道路構造物そのものの安全性確保だけでなく、「運転者の操舵性にも目を向けた」高速道路システムへの転換につながっていくことが期待できる。