

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 丸山 喜久

我が国では、地震発生直後に行われる通行規制は、構造物被害という観点から基準値が定められている。しかし、最近の被害地震の例からは、現行の規制値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被害が生じる可能性が低いことも明らかになりつつある。その一方、地震時の走行車両の安定性については議論が行われておらず、震動により運転者が事故を起こす可能性も否定できない。したがって、地震直後の二次的な多重衝突事故を防ぐという観点から、地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が必要であると考えられる。

また、横風強風も、走行車両の安定性に影響を与える要因として重要なものである。高速道路では横風時の通行規制が実施されているが、その基準値の根拠も経験的で、明確なものとはいい難い。トンネル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。防風柵や防風ネットなどの設置が有効な対策ではあるが、その効果を十分に検討した上で設置していく必要がある。

本研究では、このような背景から、6自由度の車両応答解析モデルを用いた解析と、ドライビングシミュレータを用いた走行模擬実験によって、地震時と横風強風時の車両走行安定性に関する定量的な検討を行った。さらに、主要動が到達する前の早期地震警報を高速道路システムに応用するために、シミュレータを用いた地震動早期警報実験を行いその効果を検討した。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

第1章においては、研究の背景と目的を述べ、既往の関連する研究について調査した。高速道路の通行規制に関する現状をまとめるとともに、地震時や横風強風時の車両走行安定性の検討を行う意義を明らかにした。また、気象庁が研究開発を進めているナウキャスト地震情報や、高度道路交通システム（ITS）などに関して、高速道路システムへの応用について述べた。さらに論文の構成について示した。

第2章では、6自由度の車両応答解析モデルを構築し、運転者の反応を考慮しない状態での走行車両の地震応答解析を行った。兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録など5波の実地震記録について、加速度振幅を調整して入力に用いた。解析の結果、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車両には伝わりにくいことが分かった。また、地震動指標として計測震度を用いると、車両応答量が入力波形にあまり依存しないことが明らかになった。これとは逆に、最大加速度と車両応答量の関係では、入力波形による応答量の違いが大きく、高振動成分の影響によるものと思われた。

第3章では、ドライビングシミュレータを改良し、走行車両の地震応答解析結果を6軸動揺装置に入力できるようにした。シミュレータが再現する運動には、入力動に高振動数域が卓越している場合には、7-8Hzの自励的振動の影響が見られた。しかし、多くの入力動につ

いては、加速度波形においても 5Hz 程度の振動数成分まで精度良く再現されていた。つぎに被験者を集めて地震時走行実験を行い、地震動が高速道路運転者に与える影響を検討した。その結果、計測震度 5.0 程度までの地震動は車両走行安定性を与える影響は小さく、計測震度が 6.0 程度になると走行車線をはみ出す被験者が見られるようになった。とくに、免許歴の短い被験者とやや高齢の被験者が、地震動に対して過度な反応を示す傾向がみられ、振動に対する反応遅れと過度のハンドル操舵によって、走行車線をはみ出す場合があった。これより、周囲の交通状況によっては、地震時に接触事故の可能性のあるものと考えられる。

第 4 章では、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、強風時の車両走行安定性を検討した。車両のみの応答解析の結果では、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。つぎに、人間-自動車系操舵モデルを用いて、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から設定することで、強風時の車両の応答を精度良く表現できることを示した。突風や障害物による変動風速を横風として想定したが、どちらの場合にも、人間-自動車系操舵モデルにより、走行模擬実験結果を精度良く再現することができた。この結果より、様々な車種の数値モデルを構築することで、横風強風時の車両走行安定性の定量的評価が可能になるものといえよう。

第 5 章では、兵庫県南部地震における地震動記録とこれらの観測位置を参考に、現在、国の機関が検討を行っているナウキャスト地震情報の高速道路運転者への効果を、ドライビングシミュレータを用いた模擬走行実験で検討した。地震発生についての早期警報を行った場合と行わなかった場合の運転者の反応を比較すると、早期警報による効果で、地震動が到来したことによる走行軌跡の蛇行の程度が低減した。さらに、地震動によって生じる可能性のある道路変状を模擬走行実験に導入し、早期警報を行うことによって、多くの被験者がこの危険個所を回避することが可能であることを示した。

第 6 章では、本論文で得られた結果をまとめるとともに、今後の研究課題を提示した。

このように本研究では、地震と強風という 2 つの外乱を対象として、高速道路走行車両の安定性を定量的に評価する手法を開発した。また、これら外乱の直前通報が、危険回避に有効であることも示した。これらの研究成果は、地震時や強風時の通行規制基準値の再評価、防風柵の設置基準、直前地震通報の利用など、高速道路システムの安全性の促進につながることを期待される。さらに、ITS などの新技術と組み合わせることにより、運転者の操舵性を考慮した高速道路の安全システムへと発展することが期待できる。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。