

道路橋地震応答の可視化と走行実験に基づく自動車運転者の反応特性の評価

07T0009U 北村 健
指導教員：丸山 喜久

1. はじめに

我が国では、道路構造物の耐震設計の基本方針として、性能規定型設計法が用いられている。この方針により、高速自動車国道をはじめとする耐震設計上の観点からとくに重要度の高い橋については、兵庫県南部地震のような非常に強い地震動下でも倒壊や致命的損傷を生じない性能¹⁾が確保されている。

近年の道路橋は橋梁に積層ゴム支承を設置することで、地震力を低減する方法が用いられることが多いになっているが、一方で地震時にはゴム支承が大きく変形するため、橋桁が大きく長時間揺れることが予想される。実際に道路橋を走行していた運転者へのアンケート調査²⁾によると、橋桁がゆっくりと大きく揺れて路面が波打っているように見えたことで「恐怖を覚えて運転できなかった」という証言が得られている。路面だけでなく街灯や道路標識などの道路付属物についても、強い地震時には非常に大きく揺れるため、運転者に地震を気づかせる要因の一つとなっている。

このように、現行の耐震設計基準では構造工学的な観点から耐震性能の確保がされているが、運転者の心理状況や走行感覚を考慮していないのが現状であり、こうした要求性能の差異を埋める必要があるといえる。そこで、道路構造物の震動特性と自動車運転者の反応特性の関係性を評価するため、簡易ドライビングシミュレータ（図-1）を用いた走行実験を行った。本研究は、道路構造物の地震時の要求性能を自動車運転者に配慮した観点から規定することが最終的な目的であり、さらにバーチャルリアリティ（VR）により地震応答を可視化することで、耐震性能に関する新たな評価軸を提案するものである。

2. 道路橋の震動特性

解析対象橋梁は、1基のRC橋脚とそれが支持する上部構造、基礎、ゴム支承からなる構造系³⁾である。図-2に示すように、橋軸方向、橋軸直角方向についてそれぞれモデル化を行った。

地震動の入力は、橋軸方向、橋軸直角方向の2方向同時加震とした。入力地震動には、1995年兵庫県南部地震におけるJR鷹取記録、2004年新潟県中越地震におけるK-NET小千谷記録を用いた。モデルの固有周期として、橋軸方向は1.132秒、橋軸直角方向は1.038秒が得られた。



図-1 簡易ドライビングシミュレータ

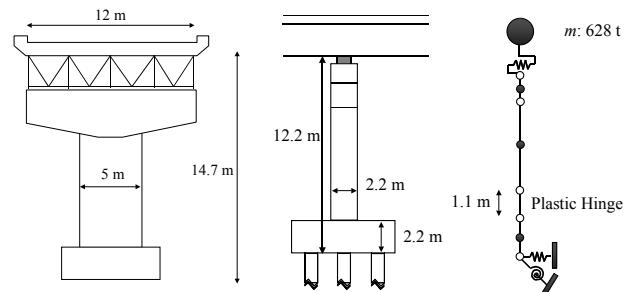


図-2 解析対象橋脚モデル



図-3 本研究で構築したVR空間の概観

3. VRによる地震応答の再現

本研究で使用したUC-win/Roadは、「合意形成を支援するための3次元VRシミュレーションソフトウェア」である。基盤となる地形に対して、平面・縦断線形、断面、交差点の定義を行うことで道路が生成される。建造物や樹木等の3Dモデルを適宜配置することで景観を形成していく。道路上には交通流を発生させることができ、災害や事故が発生した際の交通シミュレーションを行うことができる。

以上の手順により走行実験に使用するVR空間を作成した（図-3）。VR空間内の桁上構造物に、変位量と変位速度を入力することで動作情報を持った3Dモデルとして認識される。地震挙動を再現するため、先の地震応答解析によって得られた震動特性

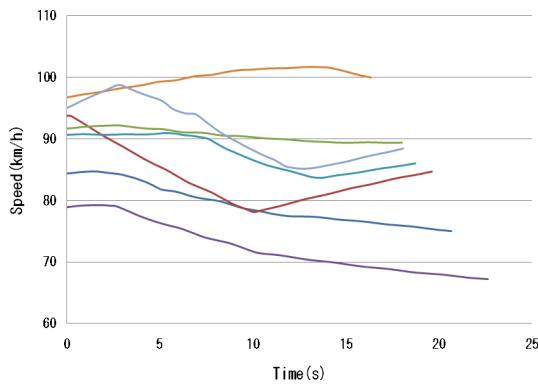


図-4 走行実験における車速の時刻歴変化
(K-NET 小千谷記録)

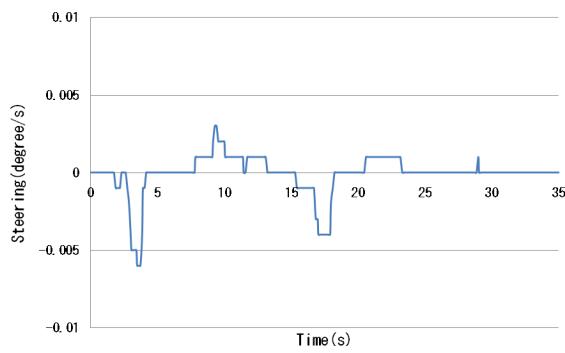


図-5 ハンドル操舵角の時刻歴変化の例
(0~20s=地震発生区間, 20~35s=通常区間)

を街灯などの桁上構造物に入力した。また多様な固有周期の道路橋を対象にして揺れ方の違いを再現するため、ゴム支承の剛性を $1/4$ 倍、 $1/2$ 倍、ゴム支承を使用しない場合の震動再現を併せて行った。さらに、上下方向の路面の波打ち現象を再現するため、入力地震動の UD 成分の変位波形から、道路の縦断線形データを変更することで、予め路面自体が波打った道路を作成した。

4. 走行実験の概要

本研究で用いる簡易ドライビングシミュレータは、3面モニタとハンドル、アクセル、ブレーキからなるものである。地震時走行実験における車両の走行状況としては、2車線道路の左車線を走行し、前後および右車線に車両が走行している。被験者は、入力地震動が鷹取波と小千谷波の場合でそれぞれ 1 回ずつ、さらに小千谷波を入力した上で道路橋のゴム支承剛性を変更した場合の計 3 回走行する。速度は 80km/h を目安とした。走行状況を分析するため、実験時に運転動作のログを取得し、実験後にアンケート調査を行った。なお実験に参加した被験者は 7 名である。

5. 地震時における運転者の反応特性の評価

実験時に収集した時刻歴データは、車速、ハンドル操舵角、アクセル量、ブレーキ量、走行車線中心からのずれ量などである。このうち車速については、地震発生から 3~5 秒後に地震を認知し、その後にはほぼ全ての被験者が減速した(図-4)。減速はアクセルを離したことによるものだが、ブレーキ操作によって減速した者も 2 名いた。またハンドル操舵については、本実験では自動車自体の動搖がないため、特に影響はないものと考えられた。実際に多くの被験者が地震発生区間でも通常区間と同等のハンドル操舵量であったが、通常区間に比べて地震発生区間でのハンドル操舵角がとくに大きくなっている被験者が数名見られた(図-5)。本実験では、地震の影響は視覚的な効果のみが再現されているにもかかわらず、ハンドル操作に影響が及ぶ場合があったことは非常に興味深い。

実験後に行ったアンケート調査では、地震認知に関する調査を行った。結果全ての被験者が「すぐに地震だと分かった」、「しばらくして地震だと気付いた」と回答した。地震に気付いた要因として、「路面の波打ち」と「街灯や標識の大きな揺れ」がほぼ同数の回答数であった。このことから、本実験で入力したような計測震度の非常に大きい地震では、視覚的な変化からだけでも充分に地震が認知されることが示された。

6. まとめと展望

本研究によって、運転者は地震時に発生する路面の波打ち現象によって視覚的な恐怖心を覚え、運転行動に影響が及ぶことがわかった。このことから、道路橋の地震応答を CG によって可視化することは、地震時の運転者の反応特性を評価する上で重要であると考えられる。

今後の課題として、より多様な構造種別の道路橋に対して地震応答の再現を行うこと、また自動車自体の震動を再現するため、動搖装置付きドライビングシミュレータに本研究で構築した VR 空間を導入することなどが挙げられる。さらに、幅広い年齢層を集めた走行実験を実施し、自動車運転者の観点による道路構造物の地震時要求性能の規定を目指す。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2000.
- 2) 丸山喜久, 山崎文雄: 2003 年宮城県沖の地震における地震動強さと高速道路運転者の反応の関係, 土木学会論文集, No.794/I72, pp.307-312, 2005.
- 3) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料, 1998.