

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

千葉大学大学院 工学研究科 学生会員 ○北村健
千葉大学大学院 工学研究科 正会員 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¹⁾。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特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ていることが多くなっているが、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になっている。

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、道路橋の地震応答解析を行い、解析結果に基づいて道路構造物の地震応答をバーチャルリアリティ(VR)空間に再現した。そしてこのVR空間を搭載した簡易ドライビングシミュレータ(図1)を用いて走行実験を行った。実験は道路構造物の固有周期を変化させて複数回を行い、車速、ハンドル操舵量等のログデータの取得と、運転者の心理状況や運転行動に関するアンケート調査を実施した。

2. 道路橋の地震応答解析

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モデル化を行った。橋桁と橋脚間には積層ゴム支承を挿入しており、その剛性は23.6MN/mとする。このモデルの固有周期は、橋軸方向が1.132秒、橋軸直角方向が1.038秒である。

地震動の入力は、橋軸・橋軸直角方向の2方向同時加震とする。入力地震動には、1995年兵庫県南部地震におけるJR鷹取記録と、2004年新潟県中越地震におけるK-NET小千谷記録を用いる。

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。道路は、平面・縦断線形、断面、平面交差点の定義、編集を行うことで生成できる。建造物や樹木等は3Dモデ

ルとして用意でき、VR空間内に適宜配置することで景観を形成する。道路上に交通流を発生させ、様々な状況下での交通シミュレーションを行うことができる。

図3には、走行実験に使用するVR空間の概観を示す。地震挙動の再現方法としては、道路付属物の3Dモデルに対して、地震応答解析によって得られた応答変位を正弦波によって近似した振動を動作情報として入力し、走行実験中に動作を開始するよう設定した。

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、23.6MN/mから1/4倍、1/2倍にした場合、さらにゴム支承を使用しない場合の地震応答解析を行い、VRで応答変位を再現した。

4. ドライビングシミュレータを用いた走行実験

4.1 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面モニター、ハンドル、アクセル、ブレーキからなるものである。2車線高架道路の直線部分1000m間に地震発生区間を設け、その間は道路構造物と路面の震動が発生する。地震発生区間における車両の走行状況としては、高架道路の左車線を走行し、前後および右車線に車両が走行



図1 走行実験に使用する簡易ドライビングシミュレータ

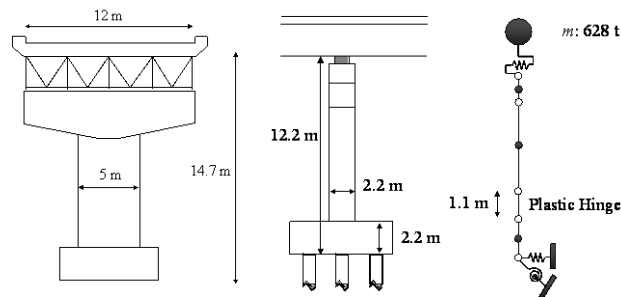


図2 解析対象橋梁モデル³⁾

Key Words: ドライビングシミュレータ, 道路構造物, 地震応答, バーチャルリアリティ

連絡先: 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻



図3 走行実験に使用するVR空間の概観

している。実際の高速道路走行時の状況に近づけるため、右車線を走行している車両は、被験者に対して指定した80km/hよりも速い100km/hで走行するが、地震発生と同時におよそ70km/hまで減速するよう設定した。

実験回数は各被験者2回とし、ゴム支承剛性と、入力地震動を変化させて行うものとした。実験に参加した被験者は16名で、走行中に地震が発生することは告知せずに実験を行った。被験者の地震時反応特性を分析するため、走行ログデータの取得と、実験後には心理状況や運転行動に関するアンケート調査を実施した。

4.2 運転者の地震時反応特性の評価

(1) ログデータの分析と評価

実験の分析に使用したログデータは、車速、ハンドル操舵量、アクセル・ブレーキ操作量である。図4はJR鷹取記録を入力地震動に用い、ゴム支承剛性が通常の場合における各被験者の車速変化である。これによると、各被験者は地震発生区間に進入してから3～5秒後に地震を認知し、その直後に16名中13名が減速した。減速がみられた被験者の車速変化については、減速開始から終了までの平均値が-8.1km/hとなった。

またハンドル操舵量については、本実験では車両自体の動揺はないことから、大きな影響はないものと考えられたが、地震発生区間でハンドル操舵量がとくに大きくなっている被験者が数名見られた。図5に、地震発生区間においてとくにハンドル操舵量が顕著だった被験者の操舵量変化のグラフを示す。この結果は、視覚的变化が運転者のハンドル操作に影響を及ぼす1つの要因になっている可能性を示唆していると考えられる。

(2) アンケート調査と結果分析

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。その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づいた」と回答した。地震認知の要因については、被験者全員が「周辺の道路構造物や建築物の振動」と回答し、「路面の波打ち」、「周囲からの音の変化」と併せて回答した者が5名いた。また道路橋のゴム支承が通常剛性の場合と比較して、ゴム支承を使用しない場合の地震認知度が極端に低かった。さらに、路面の波打ちについて着目すると、変位量は小さいが継続時間の長いK-NET小千谷波を入力地震動に用いた場合で、地震認知度が高かった。

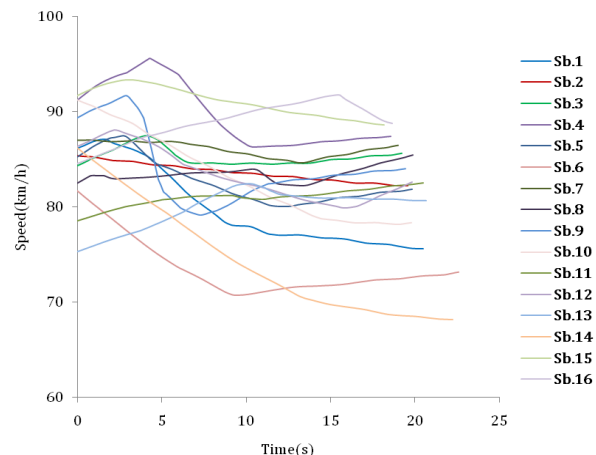
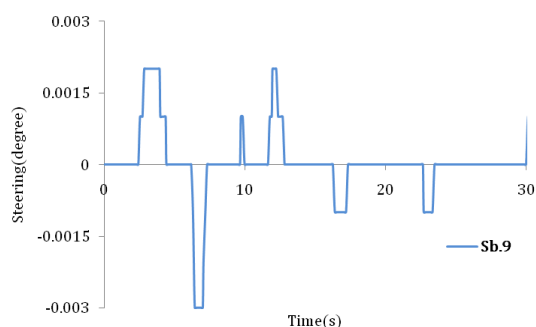


図4 地震発生区間での車速変化(JR鷹取波)

図5 地震発生区間でのハンドル操舵量の例
(0～20sが地震区間、20s以降が通常区間走行時)

5. まとめと展望

本研究では、地震発生時における視覚的变化をVRによって再現し、運転者は地震を認知できるのか、運転行動に影響があるのかといった運転者の反応特性を分析した。走行実験の結果を実地震時のアンケート結果と比較すると、実際の地震時に運転者が示すと考えられる反応に近い結果が得られたことが分かった。したがって、道路橋の地震応答をVRによって再現することは、地震時の運転者の反応特性を評価する上で有用であるといえる。

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、動揺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空間を搭載し、幅広い年齢層を集めた走行実験を実施することを検討している。

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.