長周期地震動を受ける長大橋の応答解析と自動車運転者の反応特性

07T2080W　羽田　和孝
指導教員：丸山　喜久

1.　はじめに

2011 年 3 月 11 日に三陸沖を震源とする M9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生した．この地震では関東の各地で長周期地震動が観測された．首都圏には超高層ビルや長大橋などの比較的周期の長い構造物が多く存在し，長周期地震動はこれらの構造物に大きな被害を与えると考えられている．例えば，新宿センタービルでは, 地震発生から大きな揺れが 15 分程度続いたなど，長周期地震動特有の現象が報告されている．

現在の道路橋示方書に規定されている我が国の道路橋設計基準では，考えられる地震動に対し，倒壊，致命的損傷が生じない性能基準が設けられている [1]．そのための設計として，積載ゴム支承などの免震技術の採用や，橋梁の長大化など，構造物の固有周期を長くすることで地震力を低減させ，地震による構造物の被害を最小限にしようとする事例も見られる．しかし，長周期地震動によって発生する大きく長い揺れが，道路橋上の運転者にどのような影響を与えるかは考えられていない．実際，地震時に走行していた運転者に対するアンケートでは，路面の波打ちなどの現象によって運転に支障が出たという結果が得られている [2]．

そこで本研究では，長周期地震に対して大きな揺れが予想される長大橋の地震応答解析を行う．応答解析で得られた振動特性をドライビングシミュレータのバーチャルリアリティー（VR）空間上に再現し，自動車運転者への影響を評価するために走行実験を行う．本研究は，構造物自体の安全性を満足させることを主軸とした現行の設計基準に対して，自動車運転者の反応特性を，耐震性能の新たな評価軸のひとつとして提案するものである．

2.　長大橋の地震応答解析

本研究では対象構造物として，**図１**に示す PC3 径間連続斜張橋で連続げた方式の長大橋 [3]を採用する．全長は 400m である．入力する地震動としては, 2011 年東北地方太平洋沖地震における K-NET 新宿記録（**図２**），また比較のため，1995 年兵庫県南部地震における JR 鷹取駅記録（**図３**）の二つを用いた．構築した構造モデルの固有値解析の結果は**表１**のように得られた．

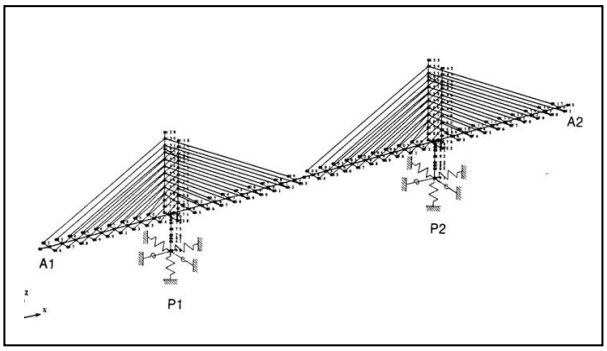

図１　解析対象の長大橋モデル

表１　固有値解析の結果

モード	周期(s)	振動数(Hz)
1 次	2.594	0.386
2 次	1.662	0.603
3 次	1.450	0.690

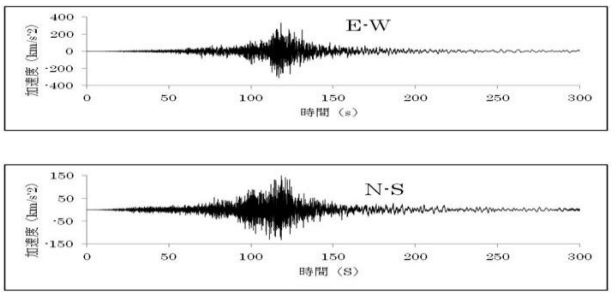

図２　K-NET 新宿波（東北地方太平洋沖地震）

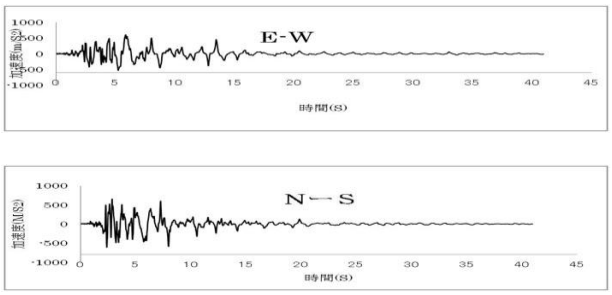

図３　JR 鷹取波（兵庫県南部地震）

3. VR による地震応答解析の再現

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．本ソフトを使用して，**図４**に示すような VR 空間を作成した．また，2 つの地震波を入力した場合の応答解析結果で得られた振動特性を，街灯や道路標識などの 3D モデルに入力することで，

自動車運転者から見た地震時の視覚状況を再現した．

さらに，地震時に発生すると考えられる路面の波打ち現象を再現するため，それぞれの入力地震動の変位波形の UD 成分から，道路の縦断線形データを変更することで，あらかじめ路面自体が波打った道路を作成した．

図４　VR 空間で作成した道路橋

図５　使用したドライビングシミュレータ

4. 走行実験の概要

本研究で行った走行実験には，**図５**のような 3 面モニタ，アクセル，ブレーキ，ハンドルからなる簡易ドライビングシミュレータを用いる [4]．被験者は，K-NET 新宿波と JR 鷹取波を入力した走行ルートをそれぞれ 1 回ずつ計 2 回走行する．走行速度は 80km/h 程度を目安とした．運転者の反応特性を分析するため，走行時の車速変化やハンドル操作量などの時刻歴データと，実験後に地震認知に関するアンケート調査を行った．

5. 実験結果の分析と運転者の反応特性評価

走行実験で取得した時刻歴データとして，**図６**，**図７**に車速変化の結果を入力地震波ごとに示す．図より，ほぼすべての被験者が地震発生後に車速を落として走行し，数人の被験者が地震発生から約 10 秒経過付近で急激な減速をしたことがわかる．この理由として，地震のピーク時に長大橋の主塔の揺れを確認し，地震を認知したことが考えられる．また地震動の違いに関わらず，運転者の挙動に大きな違いは見られなかった．

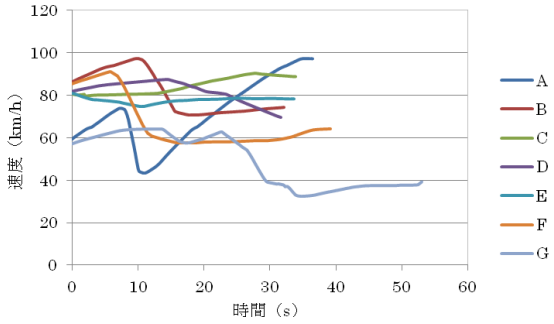

図６　被験者の車速の変化（K-NET 新宿波）

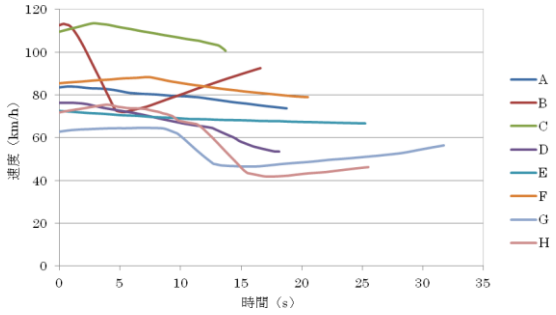

図７　被験者の車速の変化（JR 鷹取波）

実験後のアンケート結果では，ほぼすべての被験者が「地震だとわかった」と回答した．そのうちの多くが，不規則なハンドル操作や急激なブレーキなど，通常の運転挙動とは異なった反応を示していた．

6. まとめと展望

本研究では，長周期地震動に対する道路橋の応答解析を行い，さらに VR 空間で地震応答を再現した．道路橋上を走行する運転者の反応特性を分析した結果，車速やハンドル操作に影響を及ぼすことがわかった．また実験後のアンケートでは，「地震発生でパニックになった」と証言する被験者も見られた．運転時に地震が発生した場合に，運転者がどのような対応をとるべきか具体的な方法を多くの人に認知してもらう必要があると考えられ，それには本研究で実施した走行実験は有用であると思われる．

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.
4) 北村健，丸山喜久：道路橋地震応答の可視化による自動車運転者の地震時反応特性の評価，第 25 回人工知能学会全国大会予稿集，Paper No. 3J2-OS10-7, 2011.