

広域道路ネットワーク地震応答解析における地震発生後の走行性評価の可能性に関する検討

(一財)阪神高速道路技術センター 正会員○服部匡洋, 正会員 安藤高士, 非会員 大石秀雄
 (株)地震工学研究開発センター 正会員 馬越一也, 正会員 中村真貴
 阪神高速道路(株) 正会員 篠原聖二, 正会員 高田佳彦, 正会員 西岡 勉

1. 検討の背景・目的

阪神高速道路のような広域道路ネットワークの防災・減災対策を検討するにあたっては、設計実務で用いられている橋梁単位の地震応答解析ではなく、広域の地震応答シミュレーションを行い、路線単位やランプ間の区間単位の損傷程度を評価することが有効と考えられる。また、橋梁の被害は、橋梁振動単位の境界部や単柱式やラーメン形式などの橋脚形式の変化点等で生じる場合があり、連続する橋梁の弱点部を明確にするためには、橋梁単位ではなく路線単位のモデルを用いた評価が求められる。本検討では、広域道路ネットワークの地震被害シミュレーションの実現に向けた検討として、国立研究開発法人理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を使用し、阪神高速道路湾岸線の約 55 km の区間を対象に、上町断層を震源域とする都市直下型地震発生時と南海トラフを震源域とする海溝型地震発生時における地震応答解析を実施した。

2. 地震応答シミュレーションの方法

広域道路ネットワークの地震応答シミュレーションは、STEP1: 震源域から工学的基盤までの深層地盤応答解析, STEP2: 工学的基盤から地表面までの表層地盤応答解析, STEP3: 構造物の基礎から上部構造までの構造物応答解析の 3 段階で実施する。それぞれの地震応答解析において、順次、解析結果を受け渡すことにより、道路ネットワーク上の各構造物の応答や損傷を評価する。各 STEP における解析手法や解析モデルの構築方法については複数の方法が考えられ、その方法毎に精度のレベルが異なる。現段階では、STEP1: 短周期成分の計算が容易な統計的グリーン関数法と長周期成分が考慮できる剛性行列法(離散化波数積分法)を合成させたハイブリッド法¹⁾, STEP2: 地震応答解析プログラム YUSAYUSA²⁾を用いた 1 次元逐次非線形解析, STEP3: 地震応答解析プログラム SeanFEM³⁾を使用した動的な非線形解析を実施している。今後検討を進める中で随時精度レベルを向上させていく予定である。

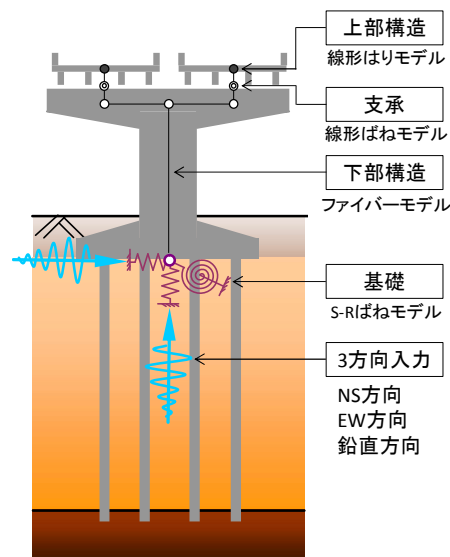
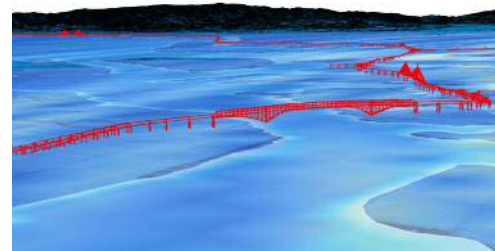
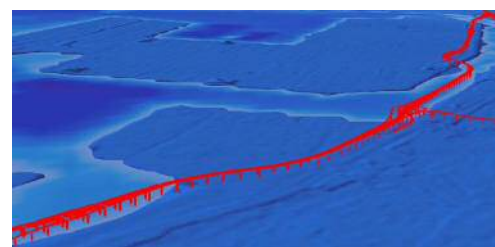


図-1 構造物モデルの構築方法



(a) 港大橋付近



(b) 浜寺ランプ付近

図-2 湾岸線の構造物モデル

3. 解析モデルの構築方法

(1) 深層地盤応答解析

上町断層は大阪府が公開している文献 4)に基づき、断層諸元を設定した。また、南海トラフ地震は、内閣府が公開している文献 5)の陸側ケースに基づき震源諸元を設定した。

(2) 表層地盤応答解析

表層地盤モデルは、関西圏地盤情報データベースのボーリングデータに基づき設定した。既存のボーリングデータが存在しない橋脚位置の表層地盤のモデル化や基礎ばねの設定方法には、対象地点から最も近いボーリング情報の地層境界をそのまま用いて補間する「最近法」⁶⁾を適用した。

キーワード 高速道路ネットワーク, 地震応答解析, 危険度評価, 走行性評価

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町4丁目5番7号・東亜ビル TEL 06-6244-6028

(3) 構造物応答解析

構造物モデルの構築方法を図-1 に、湾岸線の構造物モデルの一例を図-2 に示す。現段階では、阪神高速道路全線約 260 km (約 9000 基の橋脚) のうち、湾岸線約 55 km (約 1800 基の橋脚) の範囲のモデル化を行った。本検討では、上部構造は線形はりモデル、下部構造は非線形を考慮できるファイバーモデルとした。また、支承は固定・可動の支持条件を考慮し、分散・免震支承はグルーピングした等価剛性を与えた。基礎は S-R ばねとした。剛性、質量、幾何形状等の数値情報については、阪神高速地理空間情報システム COSMOS⁷⁾ データを活用し算出した。

4. 地震応答シミュレーションの結果

(1) 加速度の伝播状況と橋梁の応答変位

上町断層の破壊に伴う加速度の伝播状況と構造物の応答変位を図-3 に示す。上町断層北部に設定した破壊開始点から南方向に地震動が伝播していき、地震動の伝播に伴い橋梁の応答変位が増大している状況が確認できる。また、基礎・橋脚天端の応答加速度分布を図-4 に示す。南海トラフ地震動と上町断層地震で基礎や橋脚天端の加速度応答分布が異なっており、様々な震源域を想定した地震応答シミュレーションによる被害確率に基づく危険度評価ができる可能性を示した。

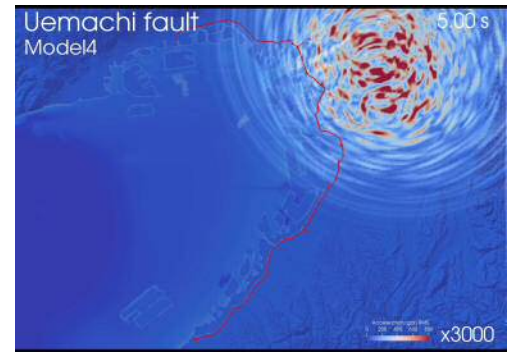
(2) 伸縮継手部の段差量に基づく地震発生後の走行性評価

伸縮継手部における段差量の分布を図-5 に示す。本検討では、支承の最大水平反力が耐力を超えている場合に支承が破壊すると判定し、伸縮継手部に発生する段差量については、対象支承の支承高さの 1/2 の段差が発生するものと仮定して算出した。南海トラフ地震では上町断層地震に比べ多数の支承が破壊し、段差量が 20cm を超える箇所も多くなっていることがわかる。また、図-6 に走行性判定結果を示す。本検討では、3 ランク(a:通行不可, b:通行注意, c:被害なし)に分類し、支承高さに基づき走行性判定を試みた結果、閾値の設定等に課題は残るものの地震発生後の走行性評価ができる可能性を示した。

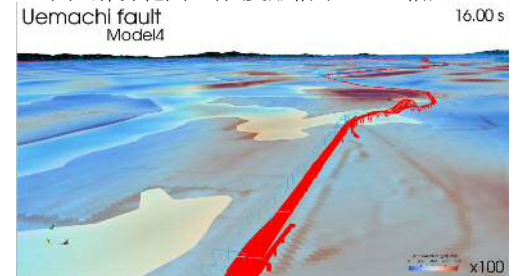
5. まとめ

様々な震源域を想定した地震応答シミュレーションを実施することにより、損傷確率の高い区間を予測できる可能性を示した。また、支承の最大水平反力から伸縮継手部における段差量も算出し、この段差量から地震発生後の路線単位の走行性を評価することができる可能性を示した。今後、解析モデルの構築範囲を阪神高速全路線の橋梁やトンネル構造物に展開していくとともに、地震応答シミュレーションによる橋脚の被災度評価や区間単位での被害確率に基づく危険度評価を行っていく予定である。

参考文献 1)原田ら：3 次元直交座標系における波動場の解析解とその地震動波形作成への応用, 土木学会論文集 No.612/I-46, pp.99-108, 1999. 2)吉田ら：YUSAYUSA-2・SIMMDL-2 理論と使用法, 佐藤工業・東京大学, 1995. 3)株式会社耐震解析研究所: SeanFEM ver.1.22 理論マニュアルと検証, 2007. 4)大阪府：大阪府地震被害想定調査(大阪府自然災害総合防災対策検討(地震被害想定)報告書), <http://www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/higaisoutei/>, 2007. 5)内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>, 2012. 6)桐生ら：広域構造物の地震応答概略評価のための地盤モデル簡易構築手法, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学)Vol. 70, No.4(地震工学論文集第 33 巻), pp.742-750, 2014. 7)岡山ら：情報共有基盤(COSMOS)のあり方と今後について, 阪神高速道路第 48 回技術研究発表会論文集, 2016.



(a) 解析範囲全体(変形倍率 3000 倍)



(b) 一部拡大図(変形倍率 100 倍)

図-3 加速度の伝播状況及び構造物の応答変位 (上町断層地震)

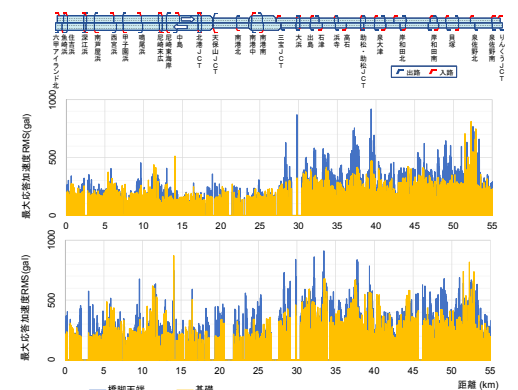


図-4 基礎・橋脚天端の応答加速度分布

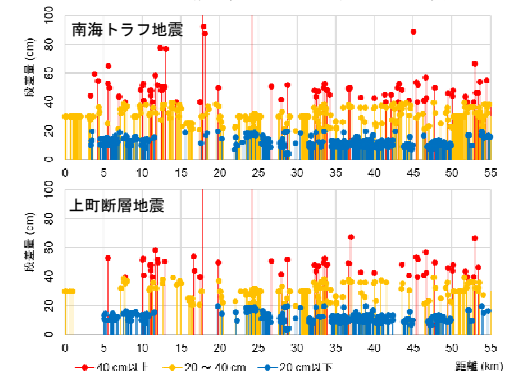


図-5 伸縮継手部段差分布

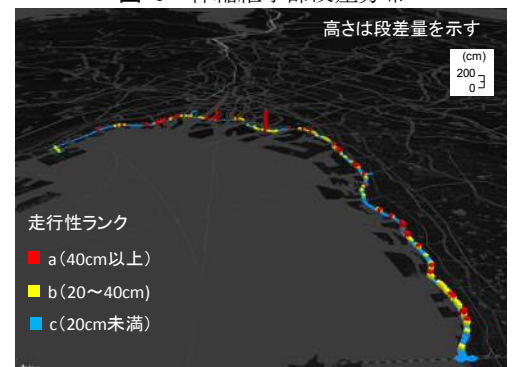


図-6 走行性判定結果 (上町断層地震)