

広域道路ネットワーク地震被害シミュレーションの耐震補強対策への活用に向けた検討

(一財)阪神高速道路技術センター 正会員 ○服部匡洋 非会員 大石秀雄
 (株)地震工学研究開発センター 正会員 中村真貴 正会員 馬越一也
 阪神高速道路(株) 正会員 伊佐政晃 正会員 茂呂拓実 正会員 金治英貞

1. 検討目的

阪神高速道路では、今後発生が予想される巨大地震に備えるため、広域道路ネットワークの地震被害シミュレーションに関する研究を進めている。これまでは阪神高速道路湾岸線や神戸線をはじめとする一部路線の解析モデルを構築し、1995年兵庫県南部地震の再現シミュレーションによる精度検証や様々な震源域を想定した地震被害シミュレーションによる下部構造の被災度評価について検討した。平成31年度には、阪神高速道路全路線の解析モデルの構築が完了しており、本検討はこの全路線モデルを用いた地震被害シミュレーションの解析結果に基づき、阪神高速道路の耐震対策へ反映することを念頭に検討したものである。

2. 解析手法・解析モデル

広域道路ネットワークの地震応答シミュレーションは、図-1に示す通り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。現段階での解析手法を表-1に、構造物応答解析における解析モデルの一例を図-2に示す。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。今後順次解析手法、解析モデルの精度レベルを向上させていく。

STEP1は工学的基盤波の長周期成分を剛性マトリクス法、短周期成分を統計的グリーン関数法により求めた波形を合成する広帯域ハイブリッド法²⁾を適用した。また、STEP2ではYUSAYUSAを用いた1次元全応力解析、STEP3ではScanFEM³⁾を使用した3次元非線形動的解析を実施した。また、STEP3の構造物応答解析では、表-2に示す方法で各部材をモデル化した。

3. 地震時振動特性の評価

全路線モデルを用いて固有値解析を実施し、橋梁ごとの固有周期を算出することは可能であるが、橋梁ごとに主要モードが先行して抽出されるわけではなく、橋梁単位の主要モード選定は多くの時間が必要になる。そこで、本検討では正弦波を入力した地震応答解析を行うことにより、効率的な固有周期の算出を試みた。入力した正弦波を図-3に示す。図-3に示すように、最大加速度は100galとしたある周期の正弦波を全体X方向(南北)に、同一周期で半波長ずらした正弦波を全体Y方向(東西)に2方向同時入力した解析を行い、このときの橋脚天端または上部構造の最大応答変位を抽出する。これを周期0.05s

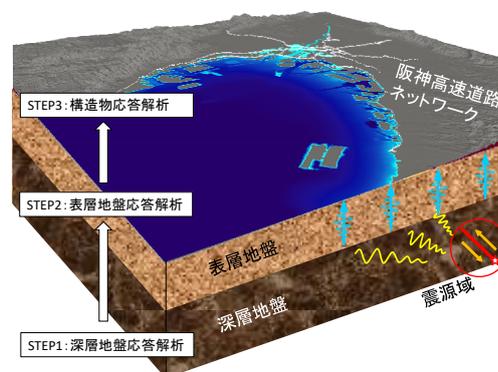


図-1 地震被害シミュレーションの方法

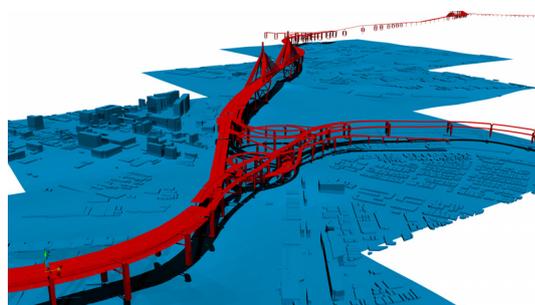


図-2 解析モデル一例

表-1 解析手法

構造物 応答解析	各基礎位置へそれぞれの波形を入力する地動解析
表層地盤 応答解析	逐次非線形解析(YUSAYUSA等) ・大ひずみでも適用可能 (ただし、全応力解析では液状化は考慮できない) ・周波数特性の考慮が複雑
深層地盤 応答解析	ハイブリッド法 (統計的グリーン関数法+剛性マトリクス法) ・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マトリクス法を合成させる。

表-2 構造物応答解析でのモデル化

上部構造	線形梁モデル
支承	鋼製支承:固定・可動の支持条件 分散ゴム、免震支承:グルーピングした等価剛性
橋脚	ファイバーモデル(グルーピング)
基礎ばね	S-Rモデル
基礎-地盤系	直近のボーリング位置と同じ値をそのまま使う

キーワード：広域道路ネットワーク、地震被害シミュレーション、被災度判定、固有周期

連絡先：〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7 東亜ビル内 TEL06-6244-6039

から 8.0 s まで 0.05 s 刻みで実施し、最大変位が生じた周期をその橋梁の固有周期とした。図-4 に固有周期抽出の一例を示す。

全路線の下部構造の固有周期分布を図-5、図-6 に示す。下部構造の多くが固有周期 0.3 秒以下であることがわかる。このような固有周期分布を得ることは、橋面上または橋脚上に設置された照明柱などの付属構造物との共振影響を容易に確認することができ、付属構造物の耐震補強対策の優先順位付けに有用であると考えられる。

4. 想定地震動を用いた地震時の被災度推定

本検討では、内陸直下型地震である上町断層帯地震(破壊シナリオの異なる 2 ケース)、有馬-高槻断層帯地震、1995 年兵庫県南部地震の再現地震動と、海溝型地震動である南海トラフ地震の計 5 ケースの想定地震動を作成し¹⁾、地震被害シミュレーションを実施した。

想定地震動により得られた支承部に生じる段差量分布を図-7 に示す。支承部の段差量は、解析より得られた支承反力が実験結果に基づき算出した支承耐力を上回った場合に、鋼製支承は支承高さの 1/2、ゴム支承は全高の段差量が生じると仮定し算出した。地震動によっては設計地震動の加速度応答スペクトルを超える加速度が生じている箇所もあり、大きな段差量が生じる箇所が抽出された。これらの分布が得られることで支承周りの耐震補強の行う上での優先順位付けが可能となると考える。

5. まとめ

本検討では、全路線モデルを用いた地震被害シミュレーションの耐震補強対策への活用の一例について示した。なお、本検討は研究段階であり、引き続き精度検証及びモデル精度向上を図っていく。

参考文献

- 1) 服部ら：広域道路ネットワークを対象とした地震被害シミュレーションの精度検証と被災度評価，第 39 回地震工学研究発表会，2019。
- 2) 原田隆典，王宏沢：剛性マトリックスによる水平成層地盤の波動解析，地震第 2 輯，Vol.57，No.3，日本地震学会，pp.387-392，2005。
- 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。

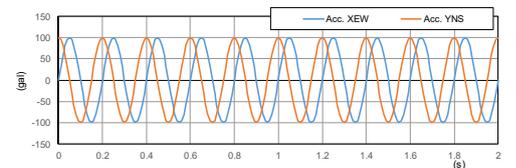


図-3 固有周期作成のための入力波形

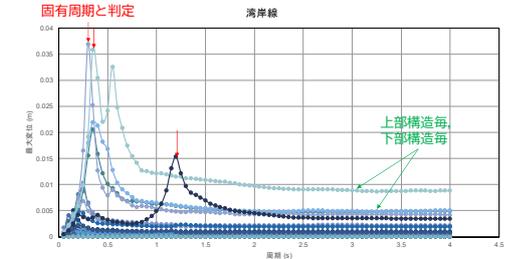


図-4 固有周期抽出の一例

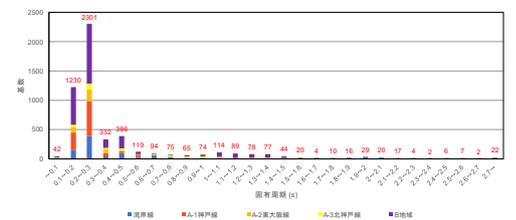


図-5 固有周期分布(ヒストグラム)



図-6 固有周期分布(3D マップ)

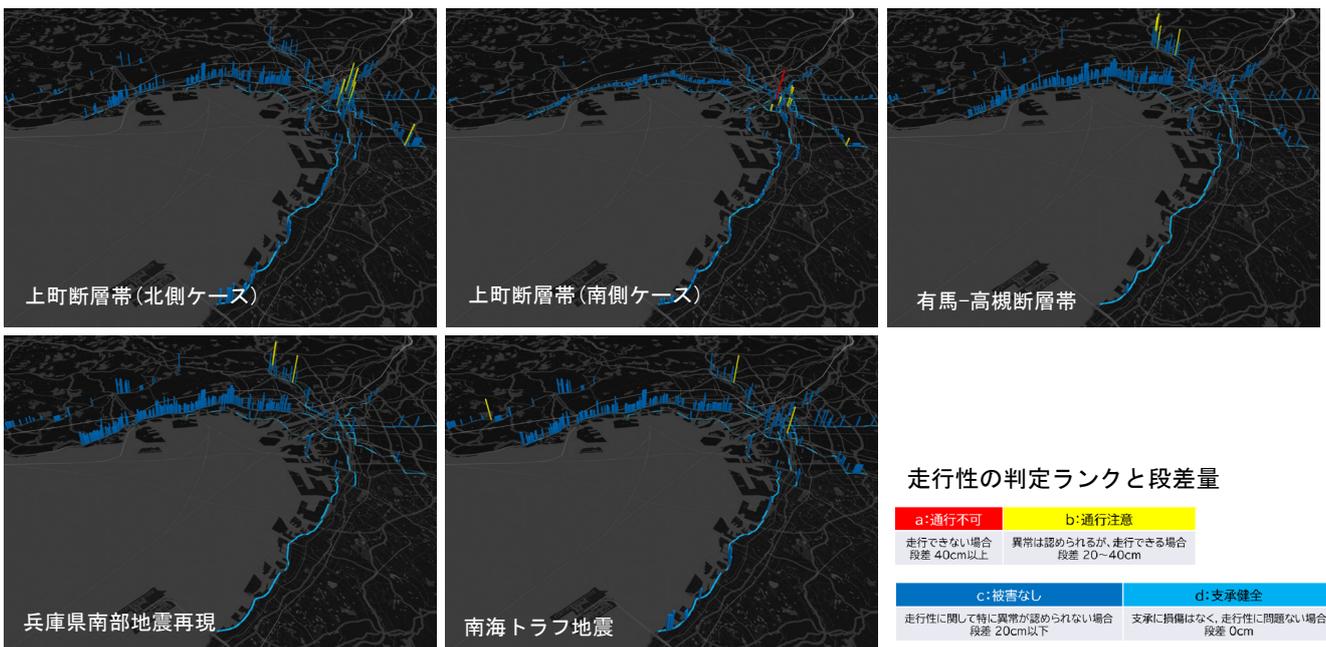


図-7 支承部の段差量に基づく走行性判定の比較