

免震支承を有する 4 径間連続鋼箱桁橋における
2018 年大阪府北部地震の観測記録を用いた再現解析および感度分析

株式会社 建設技術研究所 正会員 ○松本 崇志、光川 直宏、阪神高速道路 株式会社 正会員 篠原 聖二
一般財団法人 阪神高速道路技術センター 正会員 服部 匡洋、株式会社 地震工学研究開発センター 正会員 馬越 一也

1. 研究背景と目的

2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分頃に発生した大阪府北部を震源とする地震において、震源地から約 30km 離れた泉大津市内に位置する鋼 4 径間連続箱桁橋（松の浜免震橋）の地表面や橋脚位置で地震波形が観測された。本研究の目的は、一般的な解析モデルの再現性を確認することが目的であるため、再現性の確認を行った上で、感度分析により乖離する原因を考察した。

2. 対象橋梁

対象橋梁概要、橋梁諸元、地震観測点を図-1 および表-1 に示す。地震波形は湾 P-408 橋脚位置で観測され、上部構造は横桁中央位置で橋軸方向のみである。隣接高架橋との掛け違い側は可動のビョットローラー支承で支持されており、中間橋脚の橋軸方向は鉛プラグ入りの免震支承、直角方向は固定支持されている。全橋脚は復旧仕様に基づき、柱基部を H 鋼で拘束した鋼板接着補強工法による曲げ耐力補強が平成 9 年に実施されている。

表-1 対象橋梁の諸元

橋梁区間	湾 S405～409
上部構造	4 径間連続鋼箱桁
竣工年	1994 年
適用示方書	道路橋示方書・同解説 S55
地盤種別	Ⅱ種地盤（竣工時は 3 種地盤）
設計震度	設計当時 $k_H=0.28$

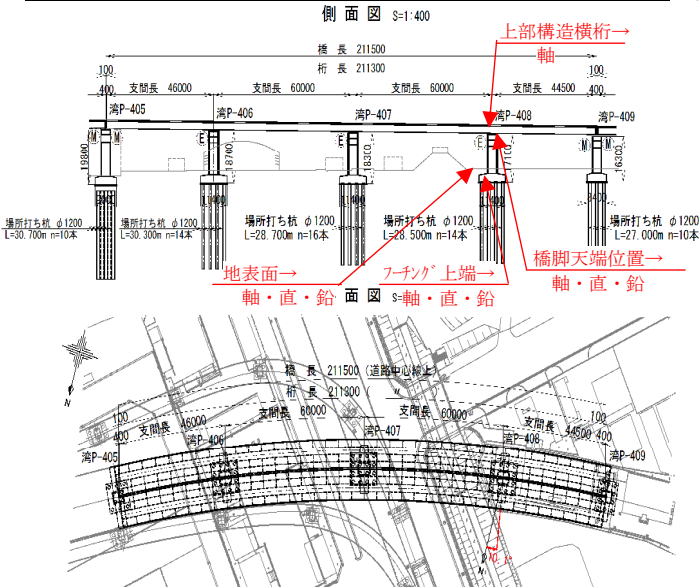


図-1 対象橋梁概要図および観測位置（単位：mm）

3. 観測地震動

表-2 に地中部で観測された地震波形の最大値および最小値を示す。EW 方向が最も大きく 185.82gal を記録しており、フーチングで観測された地震波形を EW 方向に換算した最大値は 80.22gal と、地中部に比較して 43% も低減している。フーチングで観測された UD 方向の最大値および最小値は EW 方向と同等である。

湾 P408 橋脚の地中部とフーチングで観測された NS 方向および EW 方向の加速度応答スペクトルとⅡ種地盤のレベル 1 地震動の加速度応答スペクトルを図-3 に示す。これより、対象橋梁に作用した地震力はレベル 1 地震動相当であることが確認される。

表-2 地中部およびフーチングにおける
NS・EW・UD方向の絶対加速度

観測位置	項目	NS 方向	EW 方向	UD 方向
地中部	最大値	71.35gal	185.82gal	41.59gal
	最小値	-90.81gal	-94.86gal	-41.22gal
フーチング	最大値	75.70gal	80.22gal	57.97gal
	最小値	-118.18	-33.60gal	-43.97gal

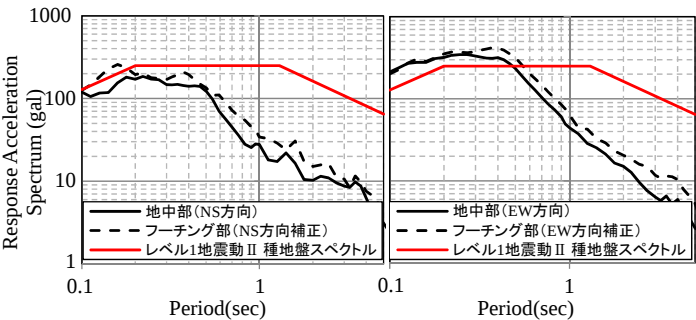


図-2 湾 P408 橋脚の地中部およびフーチングの NS および EW 方向における加速度応答スペクトル

4. 再現解析

対象橋梁の解析モデルは図-3 に示すとおり、曲線を模擬した 3 次元立体骨組みモデルとした。上部構造は軸剛性・面内、面外剛性・ねじり剛性を 1 本の線形はり要素とし、単位長さ荷重を付与した。RC 橋脚は全高をトリリア型の M-φ 要素とした。LRB 支承は、支承便覧に示される履歴特性とし、可動支承は摩擦係数 0.05 とした完全弾塑性モデルとした。

なお、基礎ばねを設けたモデルの固有周期は、橋軸方向と直角方向でそれぞれ 1.21 秒と 0.99 秒である。

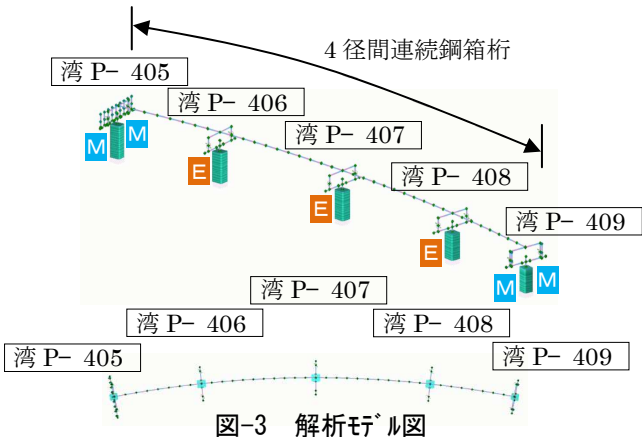


表-3 検討ケース

解析ケース	入力波形	支点条件 (地震動入力位置)	免震支承の 要素特性
Case1	地表面	フーチング下端基礎ばね	非線形
Case2	地表面	フーチング下端基礎ばね	線形
Case3	フーチング	柱下端完全固定	線形
Case4※	フーチング	柱下端完全固定	線形

※フーチングの回転慣性質量を考慮

5. 解析結果

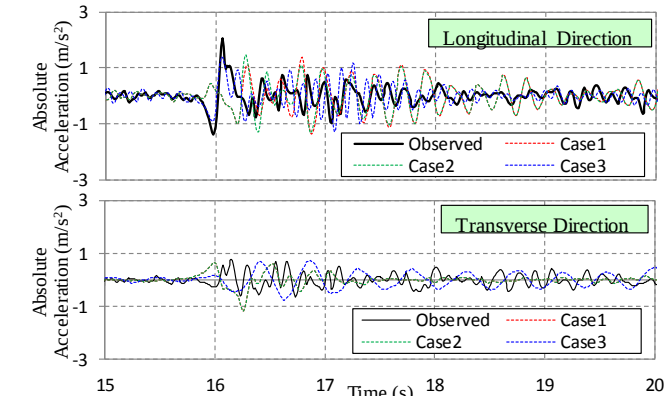
検討ケースを表-3に示す。解析は実務設計と同様に橋軸と直角方向毎入力し解析を実施している。

図-4に橋脚天端と上部構造横桁の絶対加速度、免震支承変位の解析と観測波形を示す。免震支承は非線形領域になるため再現性に劣るが、非線形化しない骨格曲線（初期剛性でCase2および3）に変更すると、橋脚天端、上部構造横桁、支承の再現性が向上する。ただし、橋脚天端の直角方向の応答は地震応答の特性を良く再現できていない。そこで、直角方向の解析波形と観測波形に対してフーリエ解析を行った結果、卓越周期はそれぞれ0.45秒と0.49秒と一致しているが、観測波形では2Hz以上の範囲にノイズが現れており、それが影響していると考える。

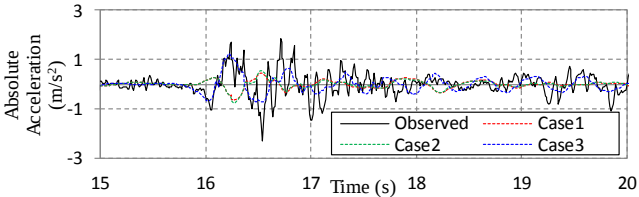
観測波形は、フーチング上端の並進方向のみであり、回転加速度は観測されていないため、フーチングの回転慣性を考慮した解析（Case4）を実施した。

解析条件は、フーチング重心位置にフーチングで観測された波形を用いること、フーチングの並進方向の質量はゼロとすること、免震支承の直角方向を固定としていること、3方向同時入力としている。

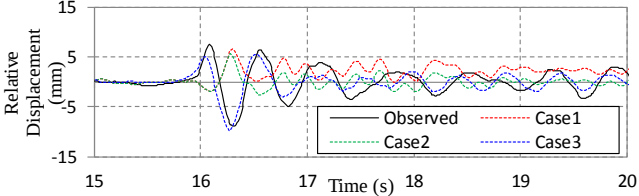
Case3とCase4のうち、橋脚天端の結果を代表として図-5に示すが、フーチングの並進回転慣性質量を考慮することで橋脚天端における橋軸方向の再現性は向上したが、直角方向については大幅な改善効果は得られなかった。



(a) 橋脚天端の絶対加速度（上段：橋軸，下段：直角）



(b) 上部構造横桁の絶対加速度



(c) 免震支承の応答

図-4 Case1～3の観測結果と解析結果

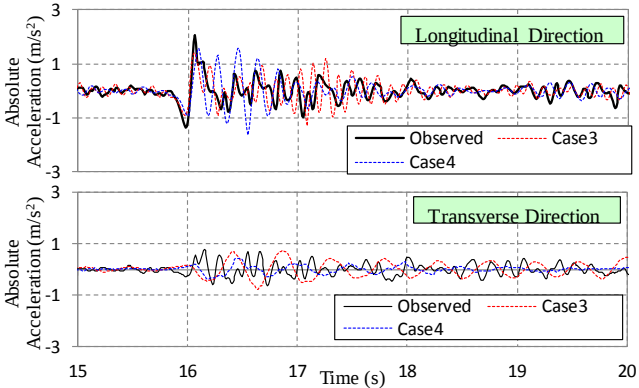


図-5 Case3と4の橋脚天端位置の比較

6. 結論

- ・地表面で観測された地震波形を、基礎ばねを介して解析を行うよりかフーチングで観測された地震波形を柱基部固定に入力した方が再現性に良い。
- ・フーチングの回転慣性質量や地盤と基礎の回転成分を考慮することで再現性が向上する。
- ・レベル1地震動の小規模地震作用の場合、LRB特有の骨格曲線より、実務設計のレベル1地震時設計のように初期剛性にする精度良く再現できることが確認された。