

都市内立体高架橋の免震ゴム支承の地震時鉛直応答とその安全性

横浜国立大学 学生会員 ○数井佑丞 横浜国立大学 フェロー 藤野陽三
横浜国立大学 正会員 SIRINGORINGO, Dionysius Manly 株式会社長大 正会員 矢部正明

1. 研究背景

我が国は、世界有数の地震多発国である。1960年代以降、制震および免震技術の開発が開始され、1990年以降は、積層ゴム支承を用いた免震橋梁が実用化し、1995年1月17日兵庫県南部地震における鋼製支承に生じた被害を踏まえて、変形能が高く減衰能を有する免震ゴム支承が積極的に採用されるようになった。しかし、2011年3月11日の東日本太平洋沖地震では、仙台東部高架橋において、免震ゴム支承が破断するといった事故が発生した。また、免震ゴム支承の引張剛性は、圧縮剛性に比べて小さく、引張力に対して弱い事が指摘されている[1]。

現在、首都圏直下地震の発生が懸念されている。直下地震は、激しい水平動に加え、上下動が卓越する。このような地震動が免震高架橋に作用した場合、免震ゴム支承に許容値以上の引張力が作用する可能性がある。そこで本研究では、都市内高架橋をモデルとした免震橋を対象とし、免震ゴム支承の地震時鉛直応答を明らかにする。

2. 数値計算モデル

本研究では、横浜市内に建設されている鋼製支承に支持されている多連の鋼単純I桁橋の支承構造を免震ゴム支承に交換した場合を想定する。

表1に、数値計算モデルの要素種別と構造減衰定数を示す。また、免震ゴム支承の水平方向に関する応力ひずみ関係は、図1に示すバイリニアで与える。橋軸直角方向は固定とし、鉛直方向は、式1で表される圧縮ばね定数を用いた線形の応力ひずみ関係とする。ここで、 A_e は免震ゴム支承の有効面積、 $\sum t$ は総ゴム厚、 E は式2で表されるゴムの縦弾性係数を意味する。また、 α および β は道路橋支承便覧に示される係数、 S_1 は一次形状係数(受圧面積/側面積)、 G_e はせん断弾性係数を意味する。なお、支承の寸法は、level2相当の地震動を作用させた場合のせん断ひず

みが200%に収まるように設計したものである。

$$K_v = \frac{EA_e}{\sum t} \quad (\text{式1}) \quad E = \alpha\beta S_1 G_e \quad (\text{式2})$$

3. 入力地震動

図2に、動的解析に用いるlevel1相当の地震動の加速度応答スペクトルを示す。これは、K-NETより取得した、2011.3.11太平洋沖地震時神奈川県横浜市内で観測された地震加速度である。また、この地震加速度を4倍した地震波をlevel2相当の地震動とする。以上で述べた数値計算は、非線形時刻歴応答解析プログラムTDAP IIIを用いて行う。

4. 動的解析結果

図3に、level1相当の3.11時横浜市内観測地震波を入力した動的解析により得られた、各橋脚上の免震支承の時刻歴応答最大鉛直応力を示す。また、ここでは引張側を正とする。動的解析を行った結果、P2およびP4、P7橋脚の一部の免震支承の最大鉛直応力が、引張域に達する結果が得られた。これより、対象区間のうち、特に張り出し部を有する立体鋼T型橋

表1 数値計算モデルの各要素種別

構造部材	要素種別	減衰定数(%)
上部構造	線形はり要素	2.0
支承	非線形せん断ばね要素	0.0
鋼製橋脚 柱部	非線形はり要素	2.0
鋼製橋脚 梁部	線形はり要素	2.0
フーチング	線形はり要素	0.0
基礎(杭基礎)	線形ばね要素 (S-Rモデル)	20.0
剛部材(仮想部材)	線形はり要素	0.0

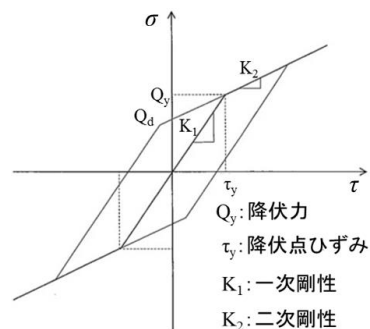


図1 免震支承バイリニア特性(橋軸方向)

キーワード 免震ゴム支承、非線形動的解析、地震時鉛直応答、固有振動モード

連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学 TEL:045-339-4041 E-mail:kazui-yuusuke-bj@ynu.jp

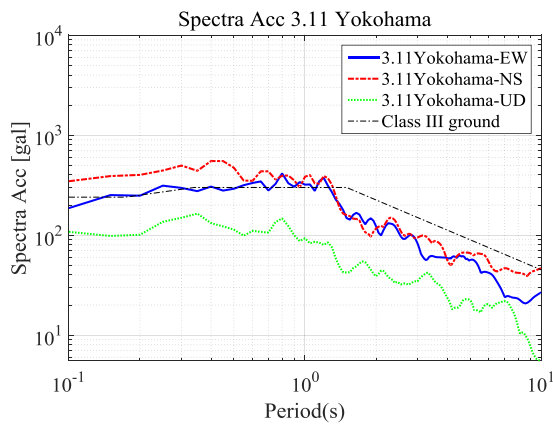


図2 入力地震動の加速度応答スペクトルの支承に、引張反力が集中する結果が得られた。

図4に、level2相当の3.11時横浜市内観測地震波を入力した動的解析により得られた、各橋脚上の免震支承の時刻歴応答最大鉛直応力を示す。同図より、ほぼ全ての支承に引張応力が作用することが分かる。また、支承に作用する引張応力は、level1地震動を作用させた場合と同様の分布である。

図5に、動的解析を行った際引張応力が作用したP2およびP4の支承部時刻歴応答応力に対して、FFT解析を行った結果を示す。同図より、P2橋脚は1.3Hz付近、P4橋脚は0.8Hz付近の振動数が卓越していることが分かる。また、図6の(a)および(b)は、卓越振動数付近の固有振動モードを表す。同図より、P2橋脚は橋軸方向、P4橋脚は橋軸直角方向の振動が支承の鉛直応答に寄与している事が分かる。また、level2相当の地震動を作用させた場合にも、同様の傾向を示す。

5. 結論

今回対象とした免震橋のように、T型橋脚およびラーメン橋脚が混在する高架橋では、免震支承に引張力が作用する可能性がある。また、鉛直地震動ではなく、水平地震動による橋脚の曲げ振動が、免震ゴム支承に引張力を生じさせる。

参考文献

- [1] 加藤亨二, 近藤誠一, 川島一彦, 中山学, 一定せん断変形状態における免震支承の鉛直引張実験—E-ディフェンス実験に向けての免震支承の事前要素実験—, 土木学会論文集 65 巻 I-017, pp33-34, 2010
- [2] 大矢智之, 川島一彦, 橋脚構造変化部における積層ゴム支承の地震時破断メカニズム, 第17回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2014.7

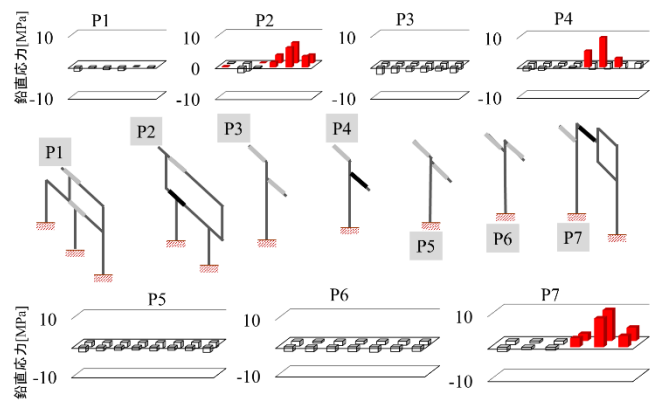


図3 最大鉛直応力(3.11 横浜観測 level1 地震波)

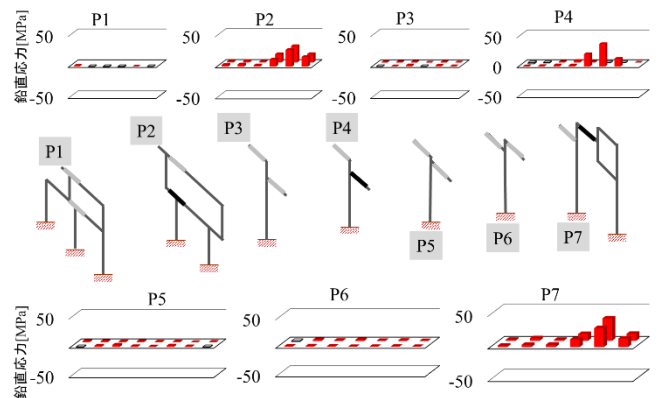


図4 最大鉛直応力(3.11 横浜観測 level2 地震波)

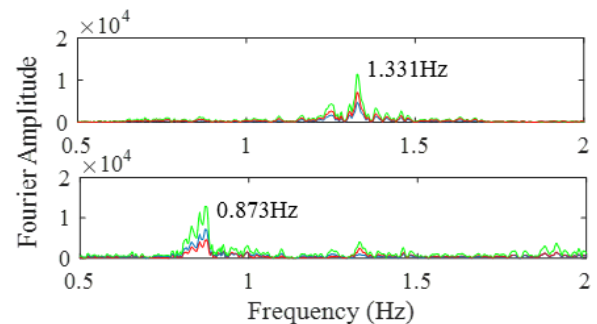
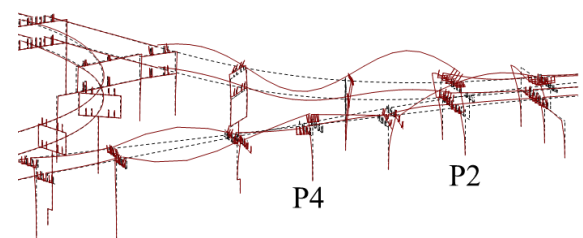
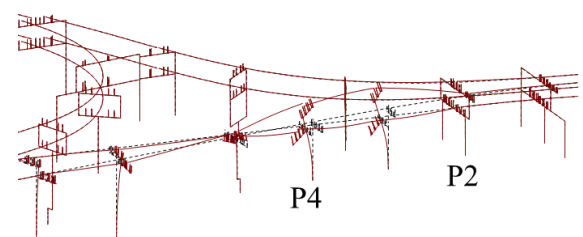


図5 P2(上)P4(下)支承のFFT解析結果



(a) 20 次モード (T=1.323Hz)



(b) 8 次モード (T=0.857Hz)

図6 卓越振動数付近の固有振動モード