

都市内高速ジャンクション免震高架部の地震応答特性

横浜国立大学 学生会員 ○戸部真世 横浜国立大学院 学生会員 数井佑丞
フェロー 藤野陽三 株式会社長大 正会員 矢部正明

1. はじめに

我が国では大規模地震が発生する度に耐震設計法が見直され、現在まで高度な耐震技術を発達させてきたが免震技術の歴史は浅く、1980年代後半になってから橋梁への開発・適用が始まった。1995年の兵庫県南部地震では免震支承が性能を概ね発揮していることが明らかになった^{例えば1)}が、2011年の東北地方太平洋沖地震では、橋脚端部のゴム支承に大きなせん断力と引張力が作用したことによって、積層ゴムを用いた免震支承部（以下、免震ゴム支承とする）に損傷が発生した例が発見された。積層ゴム支承は引張ひずみが10%程度までは概ね弾性的な挙動を示すが、10%を超えると剛性が急激に低下し、破断することが報告²⁾されている。近年、我が国では首都直下型地震の発生が懸念されており、激しい鉛直動や橋梁系の特性により発生する鉛直応答により免震支承に引張力が作用し、破断する可能性があると考えられる。本研究では曲線の免震高架橋の地震応答を把握し、特に免震ゴム支承の鉛直応答に着目して安全性を評価する。

2. 動的解析モデル

本研究では、図1と表1に示す梁要素による3次元モデルを用いて非線形動的解析を行う。免震支承を用いた曲線高架橋は、首都高速道路の五色桜大橋に隣接する江北JCTの構造諸元に基づいて試設計した。具体的には、江北JCTの支承構造を全て免震ゴム支承として、常時と地震時の照査を満足するように設計した。

3. 免震ゴム支承のモデル化

免震ゴム支承は指向性並進ばね要素を用いて橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の3方向をモデル化する。鉛直方向は圧縮ばね定数³⁾を用いた線形の荷重変位関係で与え、橋軸方向、橋軸直角方向はバイリニアで与える。直線橋に用いる免震ゴム支承の設計は、水平1方向毎に行われているが、本研究で対象とする江北JCTは曲線橋であるため、橋軸方向と

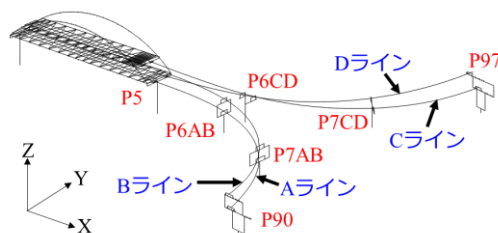


図1 江北ジャンクションの数値計算モデル

表1 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	線形梁要素	2.0
鋼製橋脚	線形梁要素	2.0
RC 橋脚	非線形梁要素	2.0
基礎	線形ばね要素	20.0

橋軸直角方向の両方向を免震化し、水平方向地震応答の評価は常に水平2方向のベクトル和を用いて行った。支承寸法は道路橋支承便覧³⁾で規定されている常時の照査を満足する寸法をスタートに、Level II相当の地震動が作用した場合の応答せん断ひずみがゴム総厚の250%以内に収まるよう定めた。

4. 入力地震動

入力地震動は、東北地方太平洋沖地震の際に江北JCTから約6km離れたK-NET 川口 SIT011で観測された地震動の3成分である。川口 SIT001の耐震設計上の地盤種別は江北JCTと同じⅢ種地盤である。図2に入力地震動の加速度応答スペクトルと道路橋示方書のLevel I・II地震動を示す。本研究では、図2に示した地震動を4.5倍に拡大したもの（図中細線）をLevel II相当地震動とした動的解析も行う。

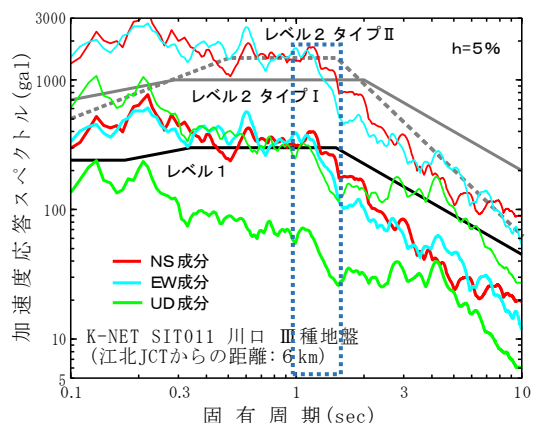


図2 入力地震動の加速度応答スペクトル

キーワード：地震応答解析、免震ゴム支承、橋梁

連絡先：〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4243 FAX 045-348-4565

5. 動的解析結果

図 3 に各支承に生じた最大引張応力度を示す。図 3(a)より、Level I 相当の地震動が作用した場合、一部の支承が許容引張応力度 2MPa^3 を僅かに超えることが分かる。また図 3(b)より、Level II 相当の地震動を入力すると、殆どの支承において最大鉛直応力が 2MPa を超える。また、一部の支承では引張破断応力度 5MPa^3 を超える引張応力が作用した。

許容引張応力度を超えた支承について、鉛直応答に寄与する振動モードを検討するために、時刻歴応答鉛直反力を周波数領域で分析する。図 4 に P5 橋脚および P6AB 橋脚における FFT 解析の結果を示す。同図より 0.55Hz および 0.80Hz 付近が卓越していることが分かる。

図 5 と図 6 は、図 4 に示した卓越振動数周辺の固有振動モード形と最大鉛直反力を示す時刻における変形を比較した。P5 橋脚は五色桜大橋と江北 JCT の境界部に位置する RC 製橋脚であり、図 5(a)のように五色桜大橋の橋軸方向と上下方向および江北 JCT 下層の桁の橋軸方向と上下方向の振動モードによって図 5(b)のように橋軸方向に振動している。P5 橋脚は五色桜大橋の橋軸方向慣性力のほとんどを負担しているため橋軸方向に大きく動き、江北 JCT 桁端との相対変位が大きくなった結果、P5 橋脚上に設置されている免震ゴム支承に大きな地震応答が生じたと考えられる。桁高が高く一支承線上に 2 基の支承が設置されている P6AB 橋脚の免震ゴム支承には、図 6(a)のように橋軸直角方向の振動によって図 6(b)のように大きな引張応力が生じている。

6. 結論

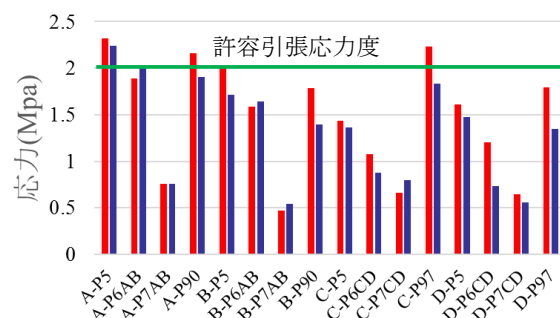
本研究では、江北 JCT をベースとした免震支承を用いた曲線高架橋の 3 次元モデルを用いて地震応答解析を行い、特に支承部の鉛直反力に着目して安全性を検討した。その結果、曲線免震高架橋の支承部には地震時に引張力が作用し、免震ゴム支承が破断する可能性があると考えられる。

謝辞：橋梁諸元データに関し、便宜を図っていただいた首都高速道路(株)技術部白鳥 明課長に感謝いたします。

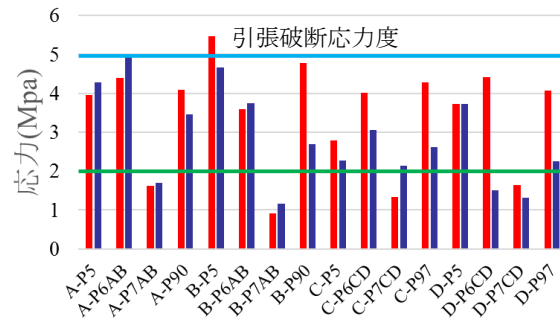
参考文献

- 1) 吉田純司, 阿部雅人, 藤野陽三: 兵庫県南部地震における阪神高速松の浜免震橋の地震時挙動, 土木学会論文集 No.626

- 37-50, 1999. 2) 篠崎洋三, 藤山淳司: 引抜きに対する設計法, 月刊建築技術, 140-141, 2013. 3) 日本道路協会: 道路橋支承便覧, 2004.



(a) Level I 相当地震動作用時の最大引張応力度



(b) Level II 相当地震動作用時の最大引張応力度

図 3 各支承に作用する最大引張応力度

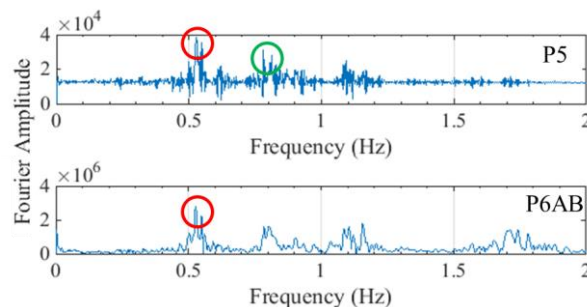
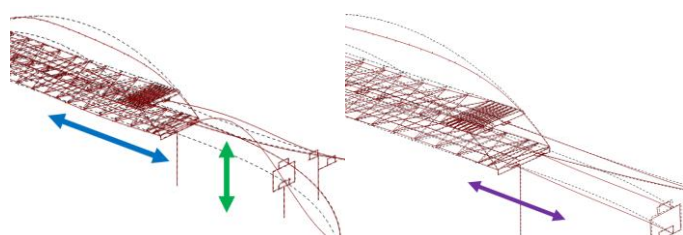


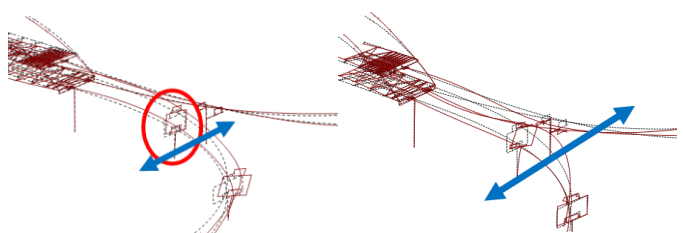
図 4 P5, P6AB 橋脚における FFT 解析結果



(a) 卓越振動数周辺の
固有振動モード形

(b) 実際の変形

図 5 P5 橋脚における比較



(a) 卓越振動数周辺の
固有振動モード形

(b) 実際の変形

図 6 P6AB 橋脚における比較