

FEM モデルを用いた振動対策工の検討について

阪神高速道路公団神戸管理部 中野正義 阪神高速道路公団神戸管理部 嶋津 巖
 阪神高速道路公団神戸管理部 正会員 宇野 巧 フジエンジニアリング 正会員 讃岐康博
 フジエンジニアリング 正会員 田中 浩 フジエンジニアリング 鳥居優子

1. はじめに

現在、都市部の高架道路においては、大型車両の走行に伴う構造物の振動が、周辺地盤や家屋に影響を及ぼしている。この振動影響を軽減するため、同一構造型式が連続する鋼構造高架橋では、主桁のウェブを連結することによって隣接桁間の桁端相対変位を抑制し、ジョイントの撤去・舗装の連続化（鋼桁ジョイントレス工法）を進めてきた。しかし、桁連結も温度伸縮の吸収性能、地震時におけるゴム支承の許容変形性能の限界から、無限に桁連結することはできず、連結化端部には連結長に応じ、遊間の広いジョイントが設置されることになる。このため、連結化端部では連結前より振動が大きくなる傾向があり、周辺住宅などからの振動苦情の一因となっている。今回、連結化端部で発生している振動に対し、上下部構造一体の FEM 解析モデルを構築し、種々の振動対策工における振動低減効果をシミュレーション解析によって予測し、今後の振動対策工の比較検討手法として有益な知見を得たので報告する。

2. 調査対象地域の振動特性

調査対象箇所は、元々スパン 25m の鋼単純 5 主 I 桁橋が連続する高架橋形式を 2 連の 5 径間連結化に構造変更した時にジョイントが残った連結化端部である。下部構造は杭基礎で、張出し長 7.2m を有する PCT 形橋脚である。苦情発生近傍地盤の卓越振動は図 1 に示すように 2.2Hz、4-6Hz 付近、12-16Hz、25-32Hz 付近が卓越している。

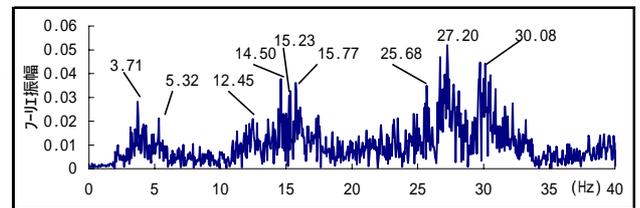


図 1 近傍地盤の卓越振動数（鉛直動）

3. 解析モデルの構築

上部構造のモデル化は、一般的には立体骨組み構造が中心であるが、床版、対傾構、ラテラルのねじり剛性への寄与を精度良く評価できているとは言い難い。また、梁要素で上下部構造をモデル化する場合、変断面を精度良く再現できないことや、幾何学的な中立軸のずれは、オフセット部材で仮定するか無視せざるを得ないといった問題点もある。このため本解析では現況の橋をできるだけ忠実に再現できるように、床版や橋脚はソリッド要素、主桁フランジやウェブはシェル要素、対傾構やラテラルの二次部材はビーム要素を用いて、対象ジョイントを挟んで 2 径間をモデル化した。

当該橋梁に使用されているゴム支承は、支承寸法、構造から算出した圧縮ばね定数、せん断ばね定数を有するばね要素としてモデル化した。橋脚下端のフーチング部と地盤との境界条件としては、杭軸方向ばね、杭軸直角方向ばね、回転ばねの杭頭ばねで考慮した。当該地域における最適な振動対策工は、汎用有限要素解析プログラム「ANSYS」を用い、固有値解析（ハウスホルダー法）と動的応答解析（周波数応答解析）を行うことにより検討した。つまり、固有値解析により解析モデルの妥当性を検証し、動的応答解析により振動対策工の低減効果を予測した。固有値解析によって得られた固有値と、実橋の実測によって得られた卓越振動数を比較すると、表 1 のように両者は実測で確認されている振動モードについては 4% の範囲内で一致しており、本解析モデルは妥当であるといえる。

表 1 解析モデルの妥当性

	振動数 (Hz)		
	①実測値	②解析値	②/①
橋脚のロッキング振動	2.20	2.11	0.96
橋脚の橋軸直角方向曲げ振動	3.71	3.74	1.01
橋脚の橋軸方向曲げ振動	-	3.82	
上部構造のたわみ 1 次振動	(3.96)	4.06	(1.02)
上部構造のねじり 1 次振動	5.37	5.25	0.98
上部構造のたわみ 2 次振動	(12.35-12.45)	13.21	(1.06-1.07)
橋脚梁のたわみ振動	-		
床版を中心とした局部振動	(13-16)	15.67-17.19	(1.00-1.32)
	(25-30)	25.2-25.6	(0.84-1.02)

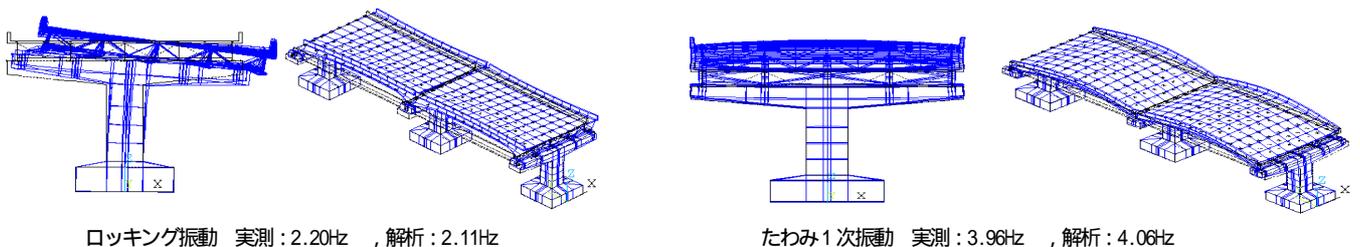


図 2 固有値解析結果の代表例

キーワード : 振動苦情 振動対策 シミュレーション解析 機能分離型支承

連絡先 : 〒 532-0002 大阪市淀川区東三国 5 丁目 5 番 2 8 号 TEL 06(6350)6131 FAX 06(6350)6140

4. 振動対策工の検討

当該橋梁に対する対策工の検討は、「上部構造での対策」、「支承での対策」、「下部構造での対策」に大別して検討した。なお、加振点としては走行車線走行を想定し、上部構造振動との連性が大きくなる径間中央とした。加振周波数は、橋脚のロッキング振動から上部構造の高次振動まで把握できるように1Hz～30Hzまでとし、加振力は全周波数帯1.96kNと一定とした。なお、周波数応答解析の目的が現況の橋梁モデルと振動対策工モデルとの応答を相対的に比較するものであることから、本解析における減衰は、解析モデルに対し一定の減衰(2%)を設定した。対策効果の概要を以下に述べる。

剛性の弱い端横桁をコンクリートで巻立てた対策工モデルであるが、端横桁の巻き立てにより、上部構造の橋軸直角方向に対する横剛性が増大し、当該地域の振動苦情の一因である2.2Hz付近の振動（橋脚の橋軸直角方向のロッキング振動）が大きく低減する。（図3参照）

第1対傾構までの端部床版を100mm増厚した対策工モデルであるが、僅かな低減効果にとどまっている。コンクリート巻立て工法と併用して、主桁間に疑似支承を設置した対策工モデルであるが、2.2Hz付近の振動に加え、上部構造の慣性力が分配され、さらに7～15Hz付近、20Hz以上の周波数帯の振動が低減している。荷重支持と水平力分散機能を併せ持つ免震ゴム支承を、機能分離型支承に交換した対策工モデルであるが、振動レベル低減効果は解析上疑似支承追加工法と同等であった。（図3参照）柱断面の増厚により梁の振動変位が拘束されるため、橋脚梁を主体とする13.5Hz付近を中心として、10～18Hz付近の振動に低減効果が見られるが、死荷重増をもたらす杭への負担が大きくなる工法である。梁を柱からH鋼でサポートする類杖による対策工モデルであるが、柱断面増厚モデルの場合と同様、10～18Hzの周波数帯で振動低減効果を示している。類杖工法のうち、H鋼を柱ではなくフーチング上面で固定した場合は、さらに10～18Hzの周波数帯での低減効果は大きくなるが、上部構造の高次振動（床版を主体とする振動）が、類杖を介し直接フーチングに伝達されるため、フーチング測点では20Hz以上の周波数帯の振動が逆に大きくなる傾向を示している。既存のフーチングを、増し杭(4本)とともに橋軸直角方向に梁長と同じ長さだけ拡幅する対策工モデルであるが、ほぼ全周波数帯にわたって大きな振動低減効果が見られる。ただし、フーチング先端を振動源と考えると振動源を民家側に近づけるといった問題点も懸念される。また、本工法により低減される振動量と、既存のフーチング先端から拡幅後のフーチング先端までの距離による減衰量のどちらが大きいのか、施工性も含め十分な検討が必要である。

5. おわり

上述したシミュレーション結果により、振動低減効果が大きいのは、端横桁のコンクリート巻立てを行い、疑似支承を設置するか、機能分離型支承に交換する工法といえ、その振動低減効果はどちらもピーク値で10dB程度と予測される。疑似支承が活荷重のみを分担するのに対し、機能分離型支承の荷重支持板は、死荷重も分担する。

このため、今回の周波数応答解析ではこの摩擦力の違いの明確な評価は難しいが、より大きな水平摩擦力が作用する機能分離型支承の方が振動低減効果として優れると考えられる。

以上より機能分離型支承への交換が、当該橋梁の最適対策工として位置づけるが、今後、試験的施工を通じてコンクリートの巻立て終了時点、機能分離型支承への交換時点などの、工事段階ごとの振動低減効果を把握する予定であり、機会があれば結果を報告する。

表2 対策工モデル

対策部位	対策工モデル	対策部位	対策工モデル
上部構造対策	①端横桁の巻立て コンクリート巻き立て	下部構造対策	⑤断面増 柱断面増厚
	②端部床版の増厚 床版増厚		⑥類杖工 H鋼
支承での対策	③疑似支承の追加 コンクリート巻立て 疑似支承		⑦仮支柱工 H鋼
	④機能分離型支承に交換 コンクリート巻立て 機能分離型支承		⑧フーチングの拡幅 フーチング拡幅

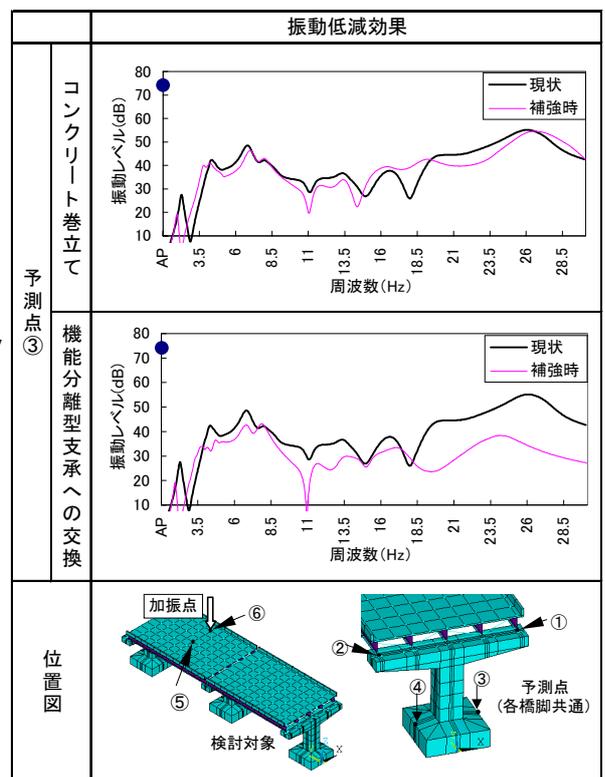


図3 振動低減効果の代表例