

複雑な形状の都市内高架橋における非線形地震応答解析

東京大学 学生会員 ○武田 智信
 東京大学 正会員 長山 智則
 東京大学 正会員 水谷 司
 東京大学 フェロー 藤野 陽三

1. はじめに

わが国では、大都市においてジャンクションやインターチェンジなどに複雑な形状の高架橋が重要な交通ネットワークを担っており、このような橋梁の地震時の応答特性を把握することは重要である。しかし、過去の研究において、首都圏でみられるような多層からなる曲線橋の地震応答を扱った例はなく、例えば、隣接する桁間の衝突時の挙動は十分に明らかになっていない。

本研究では、衝突が橋脚に及ぼす影響に着目し、都市内高架橋として図 1 に示す大橋ジャンクションを対象橋梁とした。まず振動計測を行い、その実測値と整合性のとれた 3 次元骨組み構造モデルを独自に開発したプログラム²⁾を用いて構築した。本モデルを用いて衝突を考慮した非線形地震応答解析により、衝突が応答特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 振動計測および固有モード解析

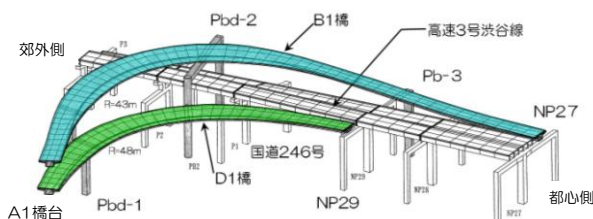
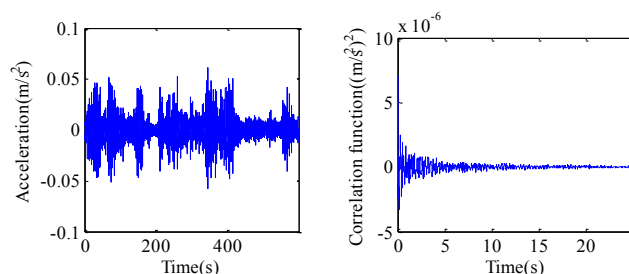
対象橋梁の振動特性を把握するため、無線センサーと有線センサーを利用して常時微動計測を行った。無線センサー49点、有線センサー19点を車線両側の路肩上に設置し、多点同期計測を行っている。サンプリング周波数は無線センサーが 50Hz、有線センサーが 200Hz である。

解析方法は図 2 (a) で示す計測された常時微動波形から NExT 法を用いて図 2 (b) に示すインパルス応答波形を推定し、ERA 法より振動モードの同定を行った。

また、独自に開発した骨組み構造解析プログラムを用いて図 3 に示す解析モデルの固有値解析を行い、ERA 法により同定した固有モードとの比較を行った。実測から得られた固有振動数と固有値解析から得られた固有振動数の比較を表 1 に示す。振動数は 1 次、2 次ともに整合性がとれており、モデルが実際の振動特性をほぼ再現できているといえる。

3. 解析モデルと非線形地震応答解析の概要

図 3 の解析モデルにおいて、桁は線形梁要素、橋脚は非線形梁要素とし、橋脚の材料非線形性を、コンクリート充填部はバイリニア、未充填部をトリリニアでモデル化している。また、桁端部 A, B では隣接する桁との、C, D では橋台との衝突を考慮するために式 (1) に示す剛性を有する衝突ばねを設けた。

図 1 対象橋梁鳥瞰図¹⁾

(a) 常時微動波形 (b) インパルス応答

図 2 加速度波形

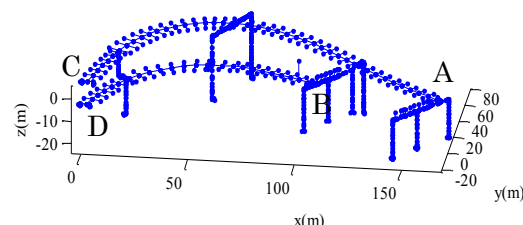


図 3 3次元骨組み構造モデル

表 1 固有値解析結果

次数	振動数		振動数比
	実測値	理論値	
1	3.43	3.07	0.90
2	6.00	6.05	1.01

キーワード 曲線橋, 衝突, 非線形地震応答解析, 2 層立体ラーメン高架橋, 振動計測

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学橋梁研究室 TEL 03-5841-6099 FAX 03-5841-74

$$k_I = \begin{cases} \tilde{k}_I & (\Delta u < -u_G) \\ 0 & (\Delta u \geq -u_G) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 k_I は衝突ばねの剛性であり、本研究では既往の研究³⁾を参考に、隣接する梁要素の軸剛性を用いている。 Δu は桁端部の変位、 u_G は遊間である。 Δu は遊間が大きくなる方向を正としている。遊間による衝突の影響を検討するため、遊間を設計値を基準に1倍、1/2倍、1/3倍、衝突を考慮しない場合の4ケースの比較を行った。入力地震動には兵庫県南部地震で鷹取駅構内で観測された地震動NS, EW成分を用い、図3の全体座標系の x 軸方向にNS成分、 y 軸方向にEW成分を入力している。

4. 衝突による桁の応答と橋脚の曲げモーメントへの影響

衝突した桁端部における前述の4ケースの加速度、変位および衝突力の時刻歴応答を図5に示す。衝突の発生により瞬間的に大きな加速度が発生していることが分かる。また、遊間が小さくなるほど衝突力が大きくなるとともに、残留変位が増加していることがわかる。この衝突力が橋脚の曲げモーメントに与える影響を検討するため、各ケースにおける橋脚のノードごとの最大曲げモーメントと設計時の許容モーメントを比較した結果を図6に示す。設計値の遊間では最大曲げモーメントは衝突を考慮しない場合とほぼ同じ値を示しており、設計値の遊間では、衝突力が橋脚の曲げモーメントに及ぼす影響は小さい。しかし、遊間が小さくなると橋脚基部における最大曲げモーメントが許容値を大きく上回ることが確認できる。本研究の対象橋梁は、遊間が十分に取られているため、設計時の遊間では衝突が発生した場合の影響は少ないと考えられるが、遊間が十分とられていない橋梁は、衝突が発生した際に橋脚が損傷する可能性がある。そのような場合には、緩衝装置を設けるなど衝突力を軽減する必要があるといえる。

5. 結論

実計測に基づいて構築したモデルを用いて衝突と材料非線形性を考慮した地震応答解析を行い、曲線橋における衝突が桁の応答と橋脚の最大曲げモーメントに与える影響に対する検討を行った。その結果、遊間が小さいほど桁に作用する衝突力が増加し、残留変位が大きくなる可能性を示した。また、衝突により設計時の許容モーメントを超える曲げモーメントが橋脚に作用する可能性を示し、衝突の影響を考慮する必要性を示した。

6. 謝辞

本研究において、解析モデルの詳細な図面を提供して頂くとともに、多大なご指導を頂いた首都高速道路(株)の並川賢治様、JFE エンジニアリング(株)の保坂俊晃様、佐藤豪様、宮地エンジニアリング(株)の永谷秀樹様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 前川敦, 君島信夫, 保坂俊晃: 曲率の大きい二層立体ラーメン橋の端支点構造の設計(首都高JCT), 土木学会第64回年次講演会, pp909-910, 2010.9.
- 2) 小松敬治: MATLABによる有限要素法と応答解析, 森北出版, 2009.3.
- 3) 矢部正明, 武村浩, 川島一彦: 直橋および斜橋の桁間衝突とその影響, 構造工学論文集 Vol.43A, pp781-791, 1997.3.

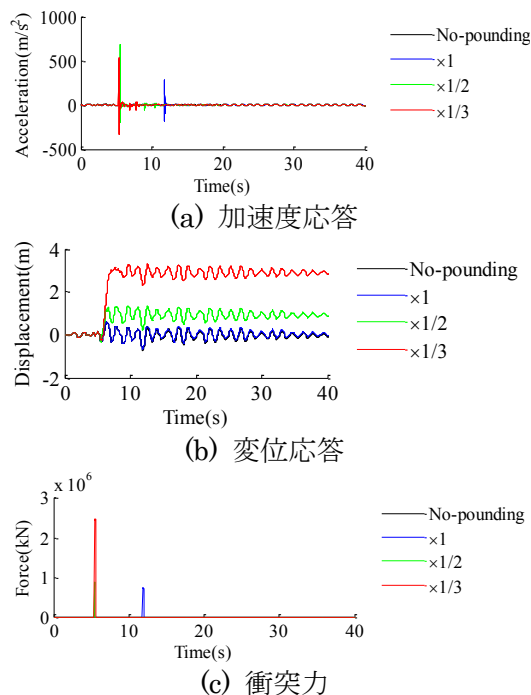


図5 衝突発生位置の時刻歴応答

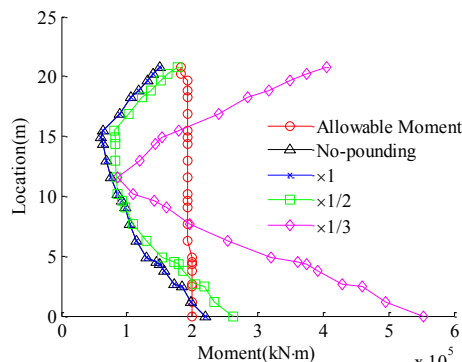


図6 Pb3橋脚最大曲げモーメント分布