

# 鉄道車両との連成応答解析と多点実測を用いた実高架橋の大振幅振動現象の解明

東京大学 学生会員 ○佐藤 卓夫  
 東京大学 正会員 長山 智則  
 東京大学 正会員 蘇 迪  
 東京大学 フェロー会員 藤野 陽三

## 1. はじめに

土木構造物は現場施工であるという性質上、設計上全く同じ寸法の構造物であったとしてもその性能に差が生じる事がある。例えば列車などの動的荷重を受けた際に振動性状が他の構造物とは大きく異なるものがある。そうした構造物は何らかの問題点を抱えている可能性があると考えられるが、こうした構造物の性能や振動性状の差の原因についての研究は少ない。本研究はそのような構造物の一例を取り上げ、その原因の究明と、振動性状の詳細な違いを明らかにすることを目的とする。本研究の手法としては、実構造物の振動測定と有限要素法による数値シミュレーションの2つを用い、これらの結果を総合的に判断することによって原因の究明を行う。

## 2. 当該高架橋の概要

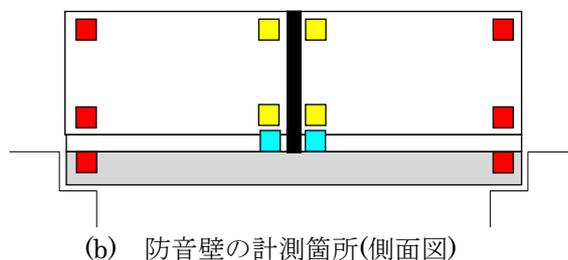
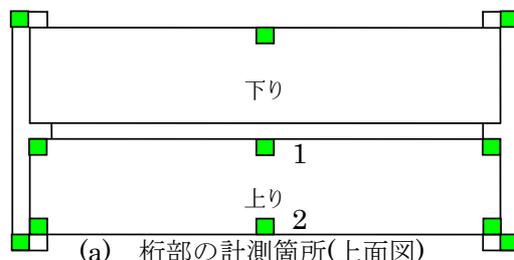
設計の同等な2つの高架橋 A,B を比較することにより考察を行う。図1は高架橋 A を示している、これら高架橋 A,B は上下線で1本ずつ分かれており、高架橋 A のみに見られる特徴としては、以下の3つが挙げられる。

- ① 列車通過時のたわみ最大値が高架橋 B の約2倍
- ② 上り線における、高架橋側壁と桁の境界面の水平亀裂
- ③ スパン中央側壁突合せ部の亀裂と列車通過時のその開閉現象

①の原因は、鉄道会社が過去に行った調査では、桁剛性



図1 高架橋 A の外観



- 1 軸速度計 (鉛直)
- 1 軸速度計 (橋軸直角)
- 1 軸速度計×2台 (鉛直+橋軸直角)
- 1 軸加速度計×2台 (橋軸+橋軸直角)

図2 振動測定箇所

の低下と考えられてきた。コア抜き試験によって得られたコンクリートのヤング率は高架橋 A が 21.9kN/m<sup>2</sup>、高架橋 B が 27.9kN/m<sup>2</sup> のように2割程度低い値である。しかし、高架橋 A の大振幅振動現象の原因は、ヤング率を含めた桁剛性の違い以外の要因も考えられ、動的挙動の詳細な把握と原因の究明を目的として、新たに詳細な振動測定と数値シミュレーションを行った。

## 3. 実構造物の振動計測

列車通過時の大振幅振動現象の要因として桁剛性の低下以外で考えられる要因としては、

- ① 橋脚部位の振動レベルの差
- ② 支承部での回転性能の差
- ③ 側壁の亀裂に関連した異常動揺への寄与

の3つがある。そこで、これら3つの要因を検証するために図2に示す箇所にセンサーを設置して計測を行った。①に関しては、図2の測定箇所に加えて、各高架橋の橋脚4本について、それぞれ1台ずつ3軸加速度計を

キーワード: 橋梁振動 多点振動計測 高速列車 連成応答解析

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 1 号館 329 号室 TEL 03-5841-6097

表 1 橋脚鉛直振動と桁中央の鉛直振動の RMS 値の比

	桁中央 1	桁中央 2	橋脚 1	橋脚 2	橋脚 3	橋脚 4
上り線比率	1.49	1.49	1.27	0.34	1.16	1.26
下り線比率	2.71	2.04	1.47	1.53	1.28	0.95

表 2 支承回転角と桁中央変位の RMS 値の比

	支承 1	支承 2	支承 3	支承 4	桁中央 1	桁中央 2
比率 B/A	1.16	1.10	1.19	1.14	1.31	1.26

設置した。また、②については、一つの高架橋につき 4 つある支承の前後に各 2 点、計 8 点の鉛直変位を計測しており、支承をはさむ 2 点の変位から正接の逆関数を用いることで回転角を求める。③に関してはスパン中央の開閉部の前後に速度、加速度計を設置し、振動を測定した。また、図 2 (a) のように桁全体の振動の把握を目的として桁の各部分での鉛直振動も測定している。これらの測定点で、高架橋 A、B の各上下線について測定を行った。

各計測は数時間に渡り、数種類の通過車両のデータが得られたが、速度の変化に伴う動的応答の変化を考慮すると、高架橋 A、B とで直接比較が可能であるのは同車種でかつ同速度の条件のデータの組である。これらの組について橋脚の振動データの比較を行うと、各車種と速度のデータについて橋軸、橋軸直角方向については大きな振動レベルの差は見られなかった。また、鉛直方向については、表 1 の例のように、高架橋 A と B とで B/A の RMS 値の比率を取ると、梁中央の鉛直振動の比は橋脚部よりも大きい事が分かる。従って、橋脚部は大振幅振動の主たる原因の一つではないと考えられる。

また支承の回転角の測定では、高架橋 A と B とで桁中央部の変位の RMS 値の倍率と、回転角の RMS 値の倍率の計算を行ったが、表 2 のように図 2 (a) の桁中央 ①、②と比較して支承回転角については倍率が小さい事が分かるため、支承も大振幅振動の原因とは考えにくい。

また、図 2 (b) のひび割れ部位の橋軸方向の 4 つの加速度データが図 3 である。(a) では、4 測定点で同位相か逆位相かで揃っていることが分かるが、(b) では、位相がずれている時刻や一致している時刻が見られるが分かる。実際に亀裂が列車通過時に橋軸方向に開閉する挙

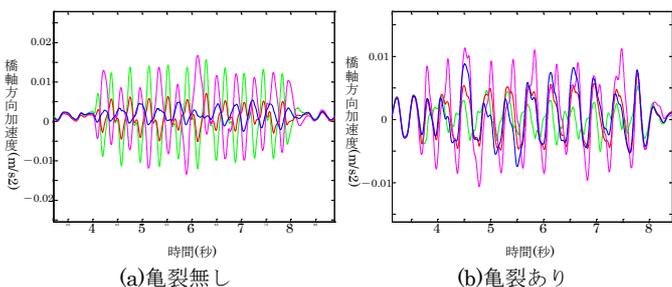


図 3 スパン中央壁部位亀裂前後の橋軸方向の挙動

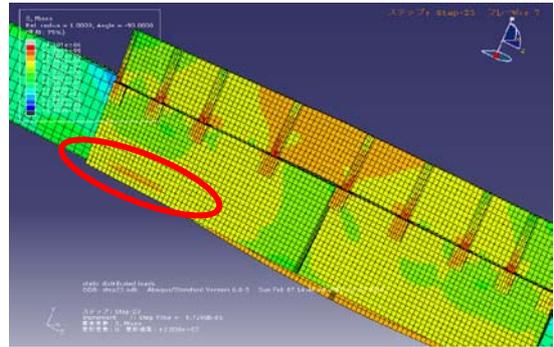


図 4 解析より得られた高架橋側壁の応力分布



図 5 実橋梁で見つかった桁・側壁間の水平亀裂  
動が観察でき、この位相の一致とずれに対応しているものと考えられる。

4. 有限要素法によるシミュレーション

さらに、汎用有限要素解析ソフト「ABAQUS」を用いてシミュレーションを行った。鉄道車両と高架橋との動的相互作用を考慮する目的で Su ら(2008)<sup>[1]</sup>の用いた連成応答解析を行う。そして、その解析結果と実際の高架橋との比較を行った。その結果、応力分布図として図 4 が得られた。この図の赤丸で示した応力集中箇所と実橋梁で見つかった桁と側壁間の水平亀裂箇所(図 5)とは一致している事が分かる。この結果から、ひび割れが発見された箇所は構造上応力集中しやすい箇所である事が分かり、長期間列車荷重を受け続けたことでひび割れが発生したと推測される。

5. 結論

これら新規の計測の結果から、橋脚部と支承部は大振幅振動の主たる原因とは考えにくい事が分かった。また、スパン中央における壁の亀裂付近の開閉する挙動について速度、加速度計を通じて挙動を明らかにした。さらに数値シミュレーションから、実高架橋の亀裂の発生箇所に応力集中がある事が分かった。

参考文献

[1] 蘇迪 : Prediction of Bridge Vibration Incorporating Dynamic Interaction with High-speed Trains and its Comparison with Measurement(高速鉄道との動的相互作用を考慮した橋梁振動解析), Department of Civil Engineering The University of Tokyo(2008,10)