

共振現象が認められた鉄道橋りょうの固有振動数に関する考察

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○寺島 裕樹
 西日本旅客鉄道(株) 正会員 近藤 政弘
 西日本旅客鉄道(株) 正会員 坂本 寛章

1. はじめに

近年、高速列車の走行によって桁のたわみや応力等の動的応答が増幅し、構造物へ影響を与えることが懸念されている¹⁾。山陽新幹線において、列車走行時に桁の振動が大きくなる共振現象のみられる合成桁橋りょうが確認された。ここでは、桁のたわみ測定による卓越振動数や衝撃振動試験²⁾により得られた橋脚の固有周期(逆数:固有振動数)と列車の加振振動数との関係を把握し、考察を行う。



写真-1 橋りょう全景写真

2. 対象橋りょうの概況

共振現象が認められた橋りょうの概況を写真-1、写真-2に示す。桁長 25m、5 連からなる合成桁橋りょうであり、高速道路と交差しているため、道路をかわすための受桁や主桁から離れた位置に単柱橋脚が配置されている点が特徴である。測定された主桁支間中央でのたわみ時刻歴波形について、2～4 連目を図-1 に示す。1 連目と 5 連目については 3 連目の波形形状とほぼ同様である。どの桁も列車通過中に応答が増幅していること、また、列車通過後も桁が振動していることが分かる。たわみ量は 4 連目が最も大きく 9.3mm であり、走行安全性から定まるたわみ量の限界値³⁾は $L/1500=16.7(\text{mm})$ であることから、限界値には至らないものの比較的大きな値であるといえる。また、図-1 に列車通過時と通過後に分けて、たわみ波形をフーリエスペクトル解析した結果を示す。



写真-2 橋りょう位置(平面図)

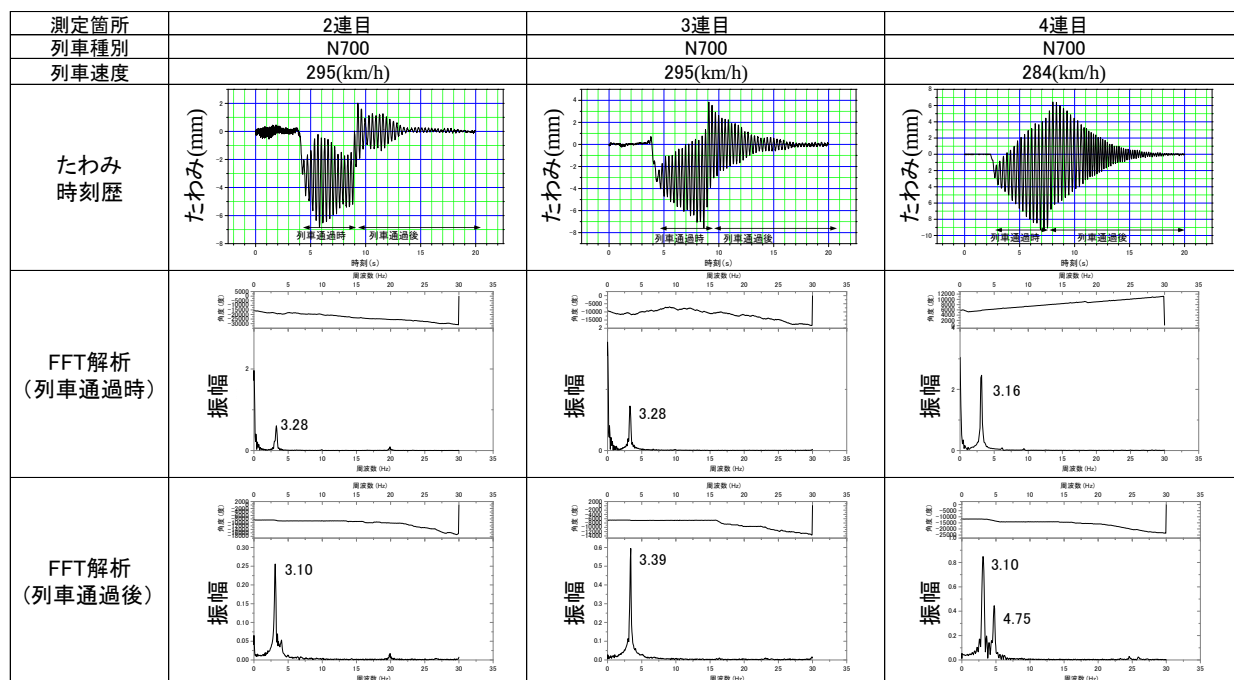


図-1 たわみ計測とスペクトル解析結果一例(2, 3, 4 連目)

キーワード 合成桁, 共振現象, 橋脚, 衝撃振動試験, 固有振動数

連絡先〒802-0002 北九州市小倉北区京町4丁目7番 西日本旅客鉄道(株) 小倉新幹線土木技術センター TEL 093-512-0921

3. 実測卓越振動数と列車の加振振動数

各桁のたわみ測定から得られる列車通過時および列車通過後の両者の卓越振動数は近い値であり、また、どの径間においても卓越振動数は 3.1～3.4Hz の間にあった。一方、列車による加振振動数を次式により求めた。

$$f_v = \frac{1}{\{L/(V \times 1000/3600)\}} \quad \text{ここに、} f_v : \text{列車の加振振動数 (Hz)、} L : \text{荷重間隔 (m)、} V : \text{列車速度 (km/h)}$$

ここで、図-2 に示す 2 台車 4 軸を 1 セットとした間隔 $L_1=25\text{m}$ ごとに載荷される荷重の振動数として求めると 3.22Hz (列車速度 $V=290\text{km/h}$ の場合) となる。

実測の卓越振動数と近い値であることから、列車通過時の応答の増加や列車通過後の振動は、列車加振による振動が支配的であることを示している。

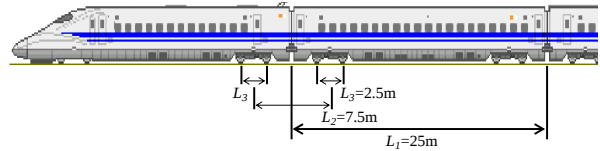


図-2 新幹線の車軸・台車間隔

表-1 実測固有振動数と構造物の固有振動数

桁番号	支間 (m)	実測固有振動数(Hz)		桁固有振動数※1 (Hz)	橋脚固有振動数※2 (Hz)
		列車通過時	列車通過後		
1連目	25.0	3.10	3.16	5.33	3.24(0P)
2連目	25.0	3.28	3.10	5.33	3.17(1P), 3.30(2P)
3連目	25.0	3.28	3.39	5.33	3.78(3P), 3.85(4P)
4連目	25.0	3.16	3.10 (4.75)	5.33	3.78(5P), 4.82(6P)
5連目	25.0	3.16	3.16	5.33	4.52(7P), 4.46(8P)
					4.52(9P)

※1 鋼・合成設計標準の標準式³⁾による基本固有振動数

※2 衝撃振動試験により求めたもの

$$n_e = 70 \times L_b^{-0.8}$$

ここに、 n_e : 基本固有振動数 (Hz)、 L_b : 支間 (m)

橋脚の固有振動数については、衝撃振動試験を行って把握した。これらの固有振動数について表-1 に示す。なお、先に述べた実測の卓越振動数を構造物の実測固有振動数とみなし、列車加振振動数とともに比較のため表中に示した。桁の固有振動数は標準式で算定した結果 5.33Hz であるが、受桁を含めた固有振動数はこれよりも小さくなる傾向となるので、列車加振振動数に近づくものと考えられる。橋脚の固有振動数は 1～3 連目まで列車の加振振動数に近い値となった。なお、橋脚の固有振動数が終点方で高い値となるのは、地表面が相対的に終点方で上がっており、橋脚高さが低くなっているためである。ここで、4 連目は列車通過後の実測で 4.75Hz の卓越振動数も現れており、本桁を支持している 6P 橋脚の固有振動数(4.82Hz)に極めて近く、下部工の振動の影響を受けていると考えられる。これらのことより、主桁・受桁・橋脚を含めた橋りょうとしての卓越振動数(図-3 参照)が、列車加振による振動数と近い値である可能性があり、このことが共振現象の原因となっているものと想定できる。

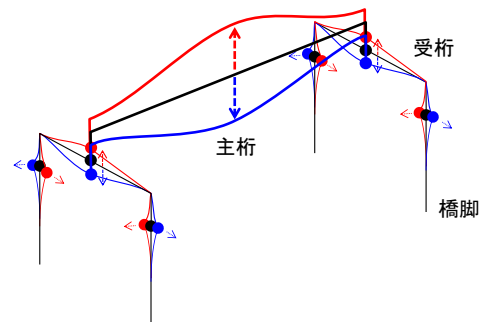


図-3 主桁・受桁・橋脚を含めた振動モードのイメージ

共振現象がみられる合成桁橋りょうについて、列車の加振振動数と下部構造を含めた構造物の固有振動数について考察を行った。本橋りょうのように、交差道路をさけた特殊な構造の場合、橋りょう全体の振動は、主桁・受桁・橋脚を含めた複合的なものとなっており、この振動数は列車加振振動数に近いと考えられる。今後、解析的検討等を通じて橋りょう全体の挙動を特定していきたい。

5. おわりに

共振現象がみられる合成桁橋りょうについて、列車の加振振動数と下部構造を含めた構造物の固有振動数について考察を行った。本橋りょうのように、交差道路をさけた特殊な構造の場合、橋りょう全体の振動は、主桁・受桁・橋脚を含めた複合的なものとなっており、この振動数は列車加振振動数に近いと考えられる。今後、解析的検討等を通じて橋りょう全体の挙動を特定していきたい。

【参考文献】

- 1) 曾我部ら：高速列車走行が構造物の耐疲労性能に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.26，No.8，2012.8
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説-基礎構造物・抗土圧構造物，2007.1
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説-鋼・合成構造物，2009.7