

鋼合成鉄道橋における共振現象に関する一考察

西日本旅客鉄道(株)

正会員

○池頭 賢

正会員

西田 寿生

正会員

丹羽 雄一郎

正会員

安達 直希

1. はじめに

近年、高速列車走行時の共振現象により、構造物の動的応答が増幅し、耐疲労性へ影響を及ぼすことが懸念されている。これについて、JR西日本管内における鋼合成鉄道橋を対象に42橋梁115連を対象にたわみ調査を行い、共振現象について調査し、以下の結果を得ている¹⁾。

- ① 調査対象数115連中、28連で共振現象を確認した。
- ② 桁の固有振動数と列車走行速度から式(1)より求める加振振動数と近い場合に共振現象が発生する(図-1)。桁の固有振動数を求めることで共振発生を推定できることがわかった。
- ③ 鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾に示される桁の固有振動数の算定式(2)については、実測から得られる固有振動数と必ずしも一致はしなかった。

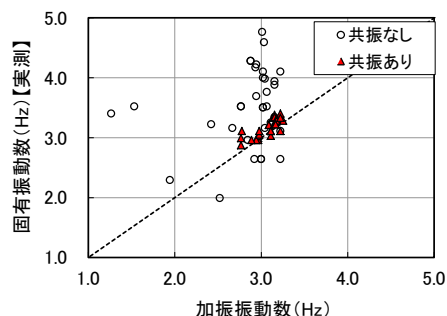


図-1 固有振動数と加振振動数の関係

$$f_v = \frac{1}{\{L/(V \times 1000/3600)\}} \quad (1)$$

$$n_e = 70 \times L_b^{-0.8} \quad (2)$$

f_v : 列車の加振振動数 (Hz) L : 車両長 (25m) V : 列車速度 (km/h)

n_e : 基本固有振動数 (Hz) L_b : 支間 (m)

本稿では、前回調査したデータを分析し、桁の固有振動数の算定を試みた。また、実橋ひずみ測定を行い、共振現象による耐疲労性への影響について検討結果を示す。

2. 共振現象発生条件の解明

(1) 桁の固有振動数の算定について

桁の固有振動数調査では、桁のたわみを測定し、列車通過後に現れる応答を桁の自由振動と考え、自由振動部分の波形をフーリエ変換することで得られた卓越振動数を桁の固有振動数としている(図-2)。

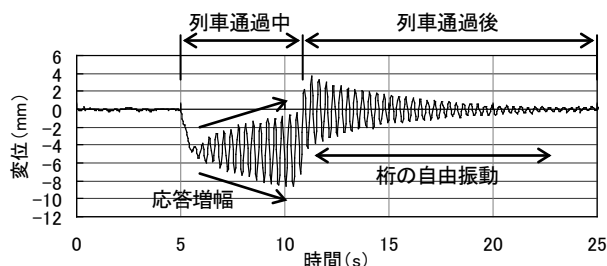


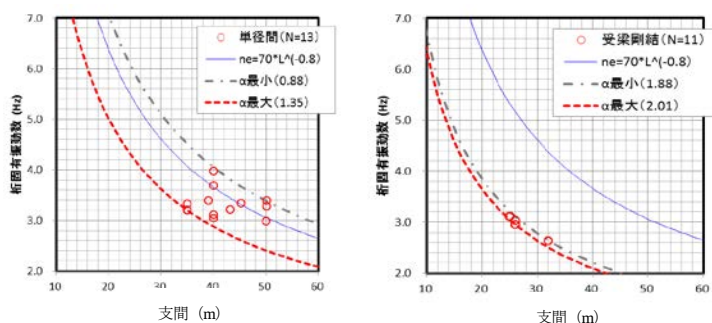
図-2 たわみ測定結果の例

卓越振動数から固有振動数を求めることができた桁は59連あり、これらデータについて検討分析を行った。

(2) 桁形式による検討

単径間、受桁を有する形式(ただし、桁と剛結しているもの)、その他形式に分類し、式(2)の適用について検討した。ここでは、式(2)における支間が下部工条件等により変わると考え支間を変化させ、 $n_e = 70 \times \alpha L_b^{-0.8}$ とした。すなわち、測定データに一致する α の値を求めた。以下では単径間と受桁形式(桁と剛結)について示す。その他多径間等においては、下部工が鋼製門形橋脚やポスト式橋脚等、構造形式が様々であり、 α の値のばらつきが大きかったため、ここでは割愛する。

検討結果を図-3に示す。単径間は実測固有振動数を13連で確認できた。これらデータから求め α の平均値は1.11、最大値1.35、最小値0.88、標準偏差0.161であった。受桁形式(桁と剛結)では、実測固有振動数を11連で確認できた。 α の平均値は1.96、最大値2.01、最小値1.88、標準偏差0.043であった。値のバラつきは非常に小さく、桁の片端が剛結されているため、式(1)の支間として2倍程度の値を用いればよい一致が見られることがわかった。



(a) 単径間

(b) 受桁形式(桁と剛結)

図-3 支間と固有振動数の関係

キーワード 共振、固有振動数、加振振動数、耐疲労性

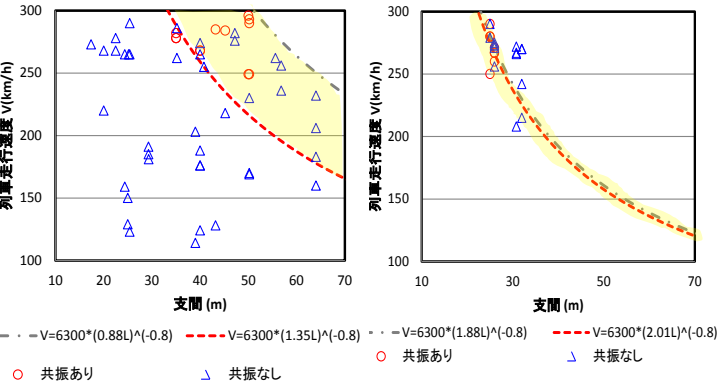
連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 西日本旅客鉄道(株) 構造技術室 鋼構造 TEL 06-6305-6958

(3) 共振有無の判定基準の提案

桁の固有振動数と列車の加振振動数とが一致する場合に共振が発生するため、式(1), (2), ならびにαより式(3)が導かれる。

$$V = 6300 \times (\alpha L_b)^{-0.8} \tag{3}$$

式(3)に先に求めたαの最大・最小値を用いて、支間と列車速度の関係について図-4に示す。ここでは固有振動数を求めることができなかった桁も合わせて示す。



(a) 単径間 (b) 受桁形式（桁と剛結）
図-4 列車走行速度と支間の関係

これより図-4に示した着色内の範囲において、共振現象が確認されていることが伺える。僅かに外れている点もあるが、これは加振振動数と固有振動数がほぼ一致する場合に共振が確認されており、この誤差分と考えられる。構造形式は限定されるが、支間と列車走行速度から共振発生の可能性を推定できると考えられる。

3. 耐疲労性に対する検討

ここで共振現象が桁の耐疲労性に影響を及ぼす影響について把握することを目的に、実橋の応力測定より検証を行った。対象橋梁と列車走行速度を表-1に示す。

図-5に代表的な測定波形を示す。高速走行時にはひずみ波形により共振現象が確認された。表-2に測定結果の一覧を示す。共振の有無による疲労への影響評価を行うことを目的に、疲労損傷度の増加率を示す。2橋梁とも応力（ひずみ）波形が共振している場合に特に疲労損傷度が増加していることがわかる。共振による疲労損傷度の増幅率は最大で約28倍程度であった。これは、列車通過時のたわみの増幅と同じように、着目箇所のひずみが増幅し、さらに1列車あたりの振動数が大幅に増加したためと考えられる。表-2での発生応力については疲労限以下も含まれるが、共振の発生している橋梁では耐疲労性へ影響していることがわかった。

表-1 対象橋りょうと通過列車走行速度

対象橋梁	構造	支間	速度	共振の有無(たわみ)
A 橋梁	多径間	35m×@5	280km/h	有
			80km/h	無
B 橋梁	単径間	45.2m	260km/h	有
			195km/h	無

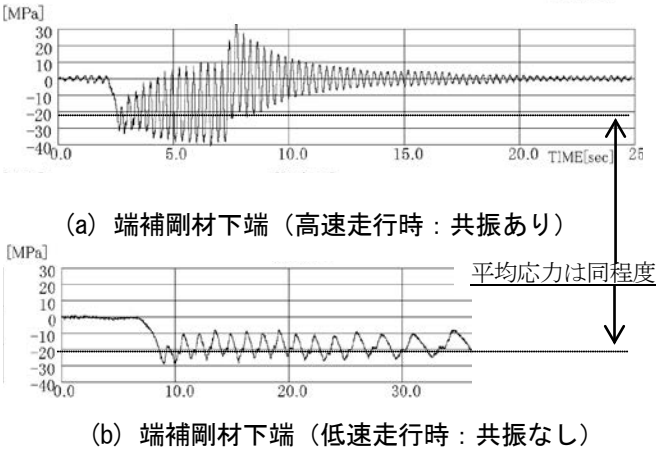


図-5 A 橋梁における共振の有無による応力測定結果

表-2 波形の共振と疲労損傷度

測定部位	A 橋梁		B 橋梁	
	共振の有無 (ひずみ)	疲労損傷度 増加率	共振の有無 (ひずみ)	疲労損傷度 増加率
ソールプレート前縁溶接部	有	5.3	有	3.1
ソールプレート前縁溶接部直上ウェブ	有	8.0	有	2.4
端補剛材下端	有	15.7	不明	0.7
ダイヤフラム・縦リブ交差部 (上フランジ側)	無	~ (十分小さい)	無	1.0
ダイヤフラム・縦リブ交差部 (下フランジ側)	有	28.2	有	1.8
水平・垂直補剛材交差部	無	~ (十分小さい)		
中間補剛材下端	無*	7.6	無	~ (十分小さい)
面外ガセット	有	27.7		
横リブ・垂直補剛材交差部			無	1.7
横リブウェブスラップ部			無	1.7
上下線連結構			無	1.3

*面外振動によりひずみの増加が見られた

4. まとめ

- ① 鋼合成鉄道橋の共振について単径間と受桁形式（桁と剛結）の桁について固有振動数を分析し、列車走行速度と支間から共振する可能性のあるケースについて整理した。
- ② 実橋の応力測定から、共振現象による耐疲労性への影響を確認することができた。

参考文献

1) 安達，丹羽，公門：土木学会第 70 回年次学術講演会 鋼合成鉄道橋における共振発生条件の分析，2015.9
2) 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，pp.602，2009.7