

新幹線 PRC 桁における列車走行時の剛性低下とそれに伴う共振現象

東日本旅客鉄道株式会社 フェロー ○築嶋 大輔

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 杉田 清隆

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 千頭 啓司

1. はじめに

標準設計を適用した新幹線のプレストレスト鉄筋コンクリート（以下、PRC）単純 T 形 4 主桁（複線桁）の一部に、列車走行時に設計の制限を上回るたわみが観測され、それらのたわみ波形から、列車走行時に桁が共振していることが確認されている¹⁾。しかしながら、列車が載線されていない状態での衝撃振動試験により実測した桁の固有振動数は、共振を観測した際の列車の速度から定まる加振振動数よりも十分に大きく、列車通過時に桁の固有振動数が変化し加振振動数に近づいていると考えられた。本稿では、列車通過時の固有振動数変化と共振発生の関係について検証した結果について述べる。

2. 共振桁と非共振桁の断面諸元比較

表-1 に標準設計を適用した同種桁の一部について、設計図面から構造の差異を確認した結果を示す。
表中の固有振動数の計算値で、ケース 1 は、主桁およびスラブなど設計上考慮する構造部材のみで計算した値、ケース 2 は、構造部材に地覆や路盤コンクリートなどの非構造部材を加えて計算した値を示す。なお、実測値については、列車が載線されていない状態での衝撃振動試験により得られた計測値である。

表-1 より、設計上の固有振動数には、有意な違いがみられないものの、共振している桁の実測の固有振動数が共振していない桁よりも小さく、共振している桁では何等かの原因で剛性が低下していると推察される。また、実測の固有振動数からは、共振している桁においても、共振（最大たわみ観測）時の加振振動数に比べて十分に大きな固有振動数（剛性）を有していることがわかる。このことから、列車走行時には、ひび割れの発生、開口等により桁の剛性（固有振動数）が低下し、加振振動数に近づくことで共振状態になっていると推察される。なお、共振桁については、現地調査の結果多くのひび割れが発生していることが確認されている。

表－1 調査結果

橋りよう	共振の有無	支間 (m)	幅員 (m)	桁高 (m)	路盤 コン 厚さ (mm)	地覆 高さ (mm)	電柱 位置	防音壁		固有振動数 (Hz)			最大たわみ観測時	
										計算値		実測値	速度 (km/h)	加振振動数 (Hz)
								形状	高さ (mm)	ケース 1	ケース 2			
I	有	29.2	11.3	1.7	250	400	中間	逆 L	2,000	2.84	3.30	2.93	225	2.50
II							直型	3,400	2.86	3.33	2.99	230	2.56	
III									中間	2.83	3.29	2.93	221	2.46
IV						なし	—	2.89	3.41	3.05	227	2.52		
V								端部	2.92	3.41	3.30	238	2.64	
VI	無	29.2	11.3	1.7	250	580	なし	直型	3,000	2.94	3.43	3.60	—	—
VII						400				2.90	3.31	3.85	—	—

キーワード P R C 桁，共振，固有振動数，加振振動数，ひび割れ，剛性低下

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 03-6276-1251

3. 列車通過時の剛性変化

列車走行中の桁の剛性変化の有無を確認するため、実測されたたわみ波形のうち列車通過後の自由振動部分を用いて、たわみの大きさと固有振動数の関係を確認した。

図-1 に共振桁における列車通過後のたわみ量の時刻歴波形から、たわみ量と1波ごとの振幅と1波ごとの固有振動数（波がピークからピークに至るまでの時間の逆数から算出）との関係を示す。図-1 から、たわみ量の増加に伴い、固有振動数が低下することが確認された。また、振幅が0に近づくとき衝撃振動試験での実測値に近づくことも確認された。つまり、列車走行前の状態では実測の固有振動数 2.93Hz の剛性を有し、共振している状態では、そこか 0.21Hz 程度低下した固有振動数となっていることがわかる。さらに、載線時には、列車の重量が付加される影響もあることから、これらの影響を考慮して、列車通過時の固有振動数 n_3 を推定し実際に大きなたわみが観測されたときの列車速度から定まる加振振動数 f と比較した結果を表-2 に示す。

共振している桁は、いずれも加振振動数に近い固有振動数まで低下していること、および共振していない桁では、列車走行中も加振振動数に対して十分に大きな固有振動数を有していることがわかる。

4. おわりに

共振している桁については、列車通過時にひび割れが開口することで、剛性が変化していること、および列車走行中に桁剛性が低下することで、列車走行による加振振動数に近づき共振に至っていることが確認された。

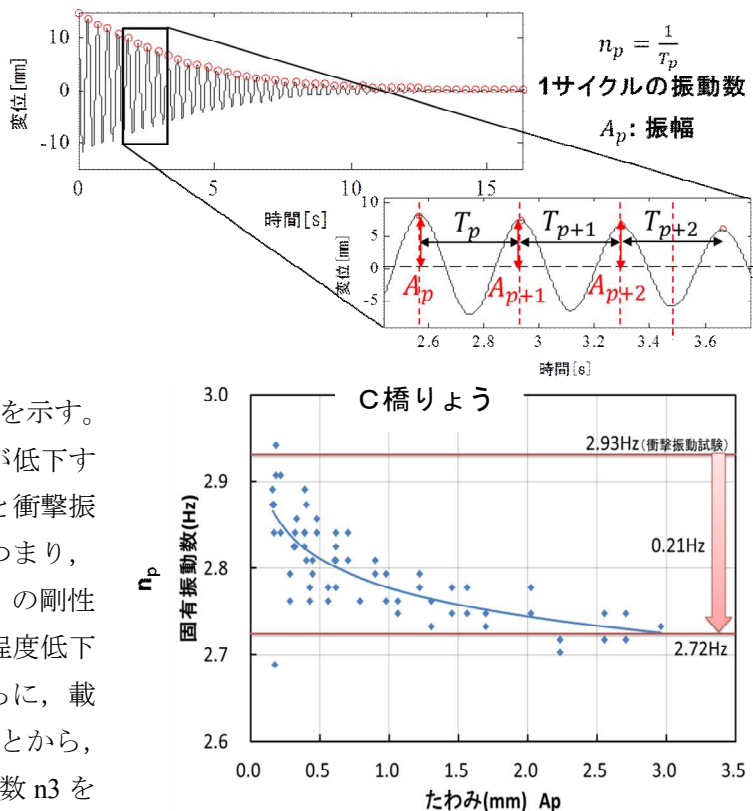


図-1 たわみ量と固有振動数の関係

表-2 列車通過時の固有振動数の推定値と列車走行による加振振動数の関係

橋りょう	共振の有無	桁の固有振動数 n (Hz)				加振振動数 f (Hz)	
		衝撃振動試験結果 $n_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$	残響波形より算出した大振幅時の固有振動数 $n_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K - \Delta K}{M}}$	列車通過時の固有振動数 $n_3 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K - \Delta K}{M + \Delta M}}$	固有振動数の差 $n_3 - n_1$	列車走行による加振振動数 f (Hz)	固有振動数の差 $f - n_3$
a	無	3.85	3.73	3.59	$\Delta 0.26$	2.79	$\Delta 0.80$
b	有	2.99	2.76	2.66	$\Delta 0.33$	2.56	$\Delta 0.10$
c		2.93	2.72	2.62	$\Delta 0.31$	2.50	$\Delta 0.12$
d		2.93	2.50	2.41	$\Delta 0.52$	2.46	+0.05
e		3.05	2.76	2.66	$\Delta 0.39$	2.52	$\Delta 0.14$
f		3.30	2.82	2.72	$\Delta 0.58$	2.64	$\Delta 0.08$
g	有	3.42	2.86	2.76	$\Delta 0.66$	2.84	+0.08

参考文献

1) 藤江幸人ら：新幹線走行に伴う PRC 単純桁の振動について，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.3，pp.1081-1086，2008.7