

列車走行に伴う PRC 単純桁の振動について

J R 東日本 正会員 ○藤江幸人
J R 東日本 正会員 井口重信

1. はじめに

近年の列車の高速化, また限界状態設計法や PRC 構造の導入により低剛性な桁の設計が可能となった. そのため, 列車走行の速度効果による影響を大きく受け, 共振速度付近の設計となる事例が報告されるようになってきた¹⁾.

そこで, 新幹線高架橋に多く存在する PRC 単純桁について, 列車走行時の振動調査を行ったので報告する.

2. 調査概要

2.1 目的

新幹線高架橋の PRC 単純桁に関する振動調査を行い, 走行列車の荷重が桁を加振することにより桁の振動が受ける影響について検討する.

2.2 調査対象

列車の輪重が作用する間隔, つまり軸距と, 桁のスパンの比が整数に近いほど, 桁の振動は列車荷重による加振の影響を強く受ける²⁾.

本検討では, 軸距を新幹線1車両の車両長である25mと考え, 新幹線高架橋の PRC 単純桁のうち, 列車走行による振動の影響が大きいと考えられるスパン24.2m, 29.2m, 34.2m の桁の中から, 桁の固有振動数と通過列車の卓越振動数が近い桁について調査を行った.

桁の固有振動数 n は, ベルヌーイ・オイラー梁の弾性理論により式1で求めた.

$$n = \frac{\pi}{2L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI \cdot g}{D_1 + D_2}} \quad (1)$$

ここで, EI : 桁の曲げ剛性

g : 重力加速度

D_1+D_2 : 単位長さあたりの死荷重

表-1 調査対象橋りょう

橋りょう名	スパン (m)	桁高 h (m)	桁の固有振動数(Hz)		通過列車の 卓越振動数 (Hz)
			計算値	実測値	
A橋りょう	24.2	1.4	3.1	4.3	2.2~2.9
B橋りょう	29.2	1.7	2.9	3.5	1.8~2.9
C橋りょう	34.2	2.0	2.5	3.3	2.2~2.9

式1中の断面2次モーメント I は主桁断面のみを考慮し, 弾性係数 E , 死荷重(D_1+D_2)については設計計算書から参照した.

通過列車の卓越振動数 f は, 列車が桁上を通過する際の列車の輪重による加振周期であり, 式2で求めた.

$$f = \frac{v}{3.6L} \quad (2)$$

ここで, L : 軸距(m)

v : 列車速度(km/h)

表-1に調査を行った3連の桁を示す. なお, 表-1中には, 後述する桁の固有振動数の実測値についてもあわせて示した. 調査対象とした3連は, いずれも複線4主桁ポストテンションT型 PRC 単純桁である. また, 図-1に標準的な桁の断面図を示す.

2.3 調査内容

振動調査として, 桁の固有振動測定および桁のたわみ測定を行った.

桁の固有振動数の測定は, 衝撃振動試験により行った. 衝撃振動試験では, 桁上面に速度計を設置し, 重量400Nの重錘を1m程度の高さから落下させることで得られた速度応答から固有振動数を算出した.

桁のたわみ測定においては, 桁スパン中央のたわみを CCD 式変位計で10列車について測定した.

3. 調査結果

3.1 衝撃振動試験

表-1に, 衝撃振動試験により測定した桁の固有振動数の実測値を示す. 桁の固有振動数は3.3Hz~4.3Hzであり, 通過列車の卓越振動数の最大値2.9Hzとの差

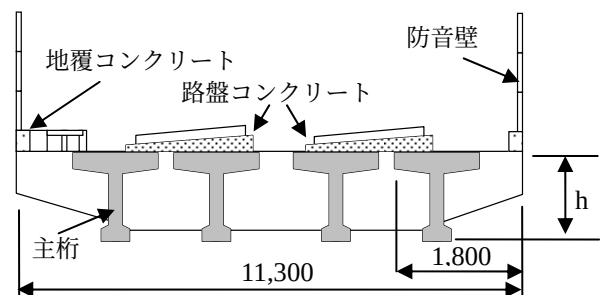


図-1 標準断面図

キーワード PRC 単純桁, 固有振動数, たわみ

連絡先 〒370-8543 群馬県高崎市栄町 6-26 東日本旅客鉄道(株) 高崎支社 TEL 027-320-7130.

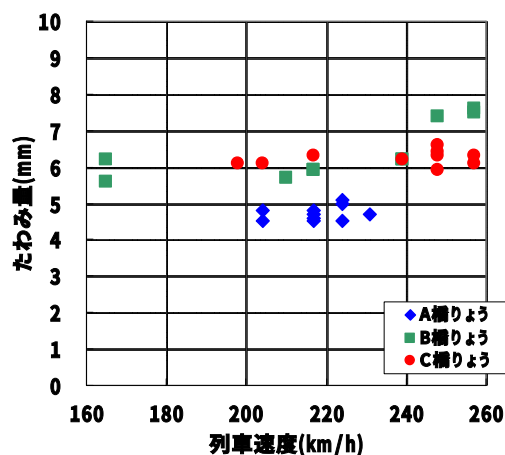


図-2 たわみの最大値と列車速度の関係

表-2 付帯構造物の剛性を考慮した桁の固有振動数

橋りょう名	スパン (m)	桁の固有振動数(Hz)		
		計算値		実測値
		主桁のみ	主桁+付帯構造物	
B橋りょう	29.2	2.9	3.5	3.5

は0.4Hz～1.4Hzであった。

3. 2 たわみ測定

図-1に、列車速度と最大たわみ量の関係を示す。A、B、C各橋りょうとも、列車速度が変化してもたわみには大きな変化は見られず、A橋りょうでは4mm～5mm程度、B橋りょうでは5.5mm～8mm程度、C橋りょうでは6mm～7mm程度の範囲であった。

また、図-2に、測定を行った3連における列車速度230km/h～240km/h時のたわみの時刻歴を示す。通過列車と桁が共振に近い状態である場合、たわみの時刻歴には鉛直上方向への跳ね上がりや、列車通過後の自由振動が現れる。しかし、測定を行った3連に関しては、これらの共振の特徴は見られなかった。

4. 考察

調査を行った3連とも、①桁の固有振動数と通過列車の卓越振動数が等しくなるようなことはなかった、②列車速度が変化してもたわみには大きな変化は見られなかった、③たわみの時刻歴に共振の特徴が認められなかった。以上から、通過列車と桁の共振による桁の動的応答の影響は非常に低いと考えられる。

ここで疑問として生じるのが、表-1に示したように、式1で主桁断面の剛性のみを考慮して算出した桁の固有振動数と実測の固有振動数を比較すると、3割程度実測の固有振動数が大きくなるということである。

桁の剛性は、設計上考慮する主桁の剛性と、それ以外の防音壁、地覆コンクリート、路盤コンクリート等の付帯構造物の剛性の和となる。そこで、B橋りょう

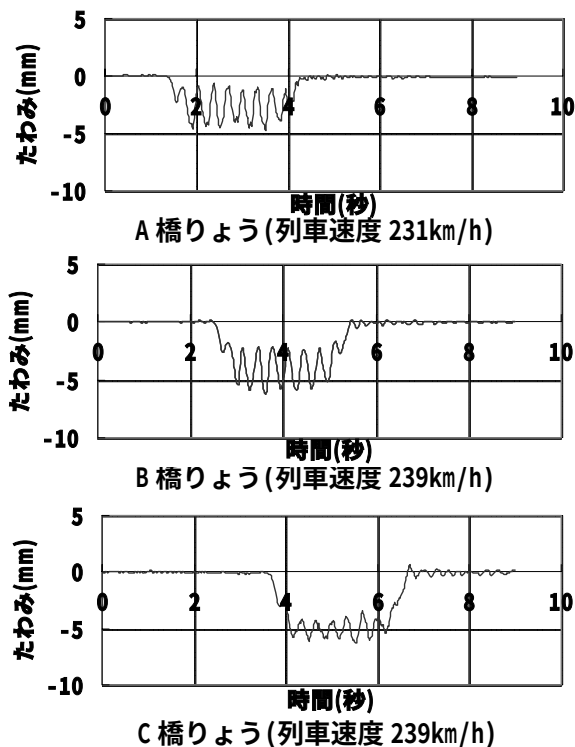


図-2 たわみの時刻歴

において、地覆コンクリートおよび路盤コンクリートの剛性についても考慮し、再度、式1により桁の固有振動数を算出した。なお、B橋りょうの防音壁は場所打ちコンクリートではなく2次製品であるため、防音壁については剛性を考慮しなかった。

付帯構造物の剛性を考慮した桁の固有振動数を、表-2に示す。地覆コンクリートおよび路盤コンクリートの剛性についても考慮した場合、桁の固有振動数の実測値と式1による計算値はほぼ一致する結果となった。これから、付帯設備の剛性を適切に評価することで、式1により桁の固有振動数をより実測値に近い値として推定可能であり、通過列車との共振の可能性についてもより正確に把握できると考えられる。

5. まとめ

- ・調査を実施した3橋りょうでは、列車走行の速度効果による影響は小さいと考えられる。
- ・付帯設備の剛性を適切に評価することで、桁の固有振動数、また通過列車と桁の共振の可能性についてより正確に評価することができると考えられる。

【参考文献】

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)，2004.4
- 2) 曾我部正道，吉田幸司，松本信之，涌井一：共振する桁橋の疲労振幅と等価繰返し回数に関する研究，土木学会第56回年次学術講演会概要集，2001.10，pp578-579