

新幹線 PRC 桁における共振動現象発生原因について

土木大学 正会員 ○千頭 啓司
 土木大学 正会員 杉田 清隆
 土木大学 正会員 築嶋 大輔

1. 目的

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⁾。これまでの調査の結果、共振桁では曲げひび割れが多く発生しており、列車通過時に桁がたわみ曲げひび割れが開口し、固有振動数が低下することで列車の加振振動数に近づき、共振動現象が生じていることが分かっている²⁾。しかしながら、同一の標準設計が適用されている桁が多数存在する中でも一部の桁でのみで共振動現象は生じており、また桁毎に発生時期が異なっている。何らかの原因により一部の桁のみで曲げひび割れが多く発生し、固有振動数が低下すると考えられる。原因として、桁の振動特性の個体差や桁の位置毎の違いによる作用の違いがあるものと推察されるが、その原因については明らかにされていない。本稿では、一部の桁のみで共振動現象が生じている原因について調査した結果について述べる。

2. 詳細調査（共振桁および非共振桁の個体差）

主桁下面において曲げひび割れの発生状況に差が生じる原因を究明するため、共振桁と非共振桁を対象に詳細調査を実施することとした。調査対象とした 2 橋りょうは、電柱の設置位置など付帯物に多少の差はあるが、標準設計であるため構造形式に差異は無い。しかしながら、衝撃振動試験により実測した固有振動数の差は 0.49Hz あり、最大たわみ量の差は 13.0mm と大きく乖離している。固有振動数に影響を与えるものとして、コンクリートの弾性係数(E)と断面二次モーメント(I)に着目し、これらに関係する項目について調査を実施した。図-1 に弾性係数の試験結果を示す。弾性係数の平均値は、共振桁の弾性係数が 1.9kN/mm² 大きくなっている。また、図-2 に圧縮強度の試験結果を示す。圧縮強度の平均値は、弾性係数と同様に共振桁の値の方が 21.0N/mm² 大きくなっている。次に、地覆や路盤コンクリート等といった非構造部材の桁全体の剛性へ寄与が、共振桁と非共振桁で異なっていないか確認するため、列車通過時のコンクリート表面のひずみを計測した。たわみ量が異なるため一概に比較はできないが、共振桁、非共振桁ともに列車通過時に、主桁下面に引張側のひずみ、地覆および路盤コンクリートに圧縮側のひずみが発生しており、ひずみ分布においても概ね平面保持が成立している傾向が確認された。最後に、桁内の有効プレストレス（以下、プレストレス）が小さい場合、主桁下面の引張応力が大きくなり、ひび割れが発生しやすい状況になるため、共振桁と非共振桁のプレストレスに差がないか確認した。プレストレスの測定は、応力解放法により行った。表-1 に示すように、平均値はわずかに共振桁の値が大きいことが確認された。いずれの調査から共振の原因を特定できるような差異は確認されなかった。以上のことから、共振の発生は、桁ごとの個体差だけが原因では生じていないことが分かった。

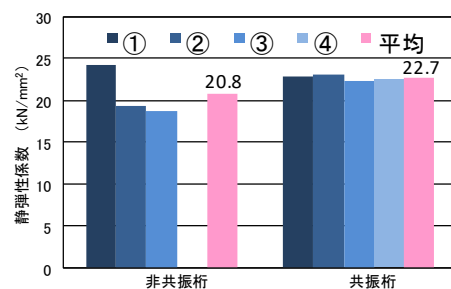


図-1 弾性係数の試験結果

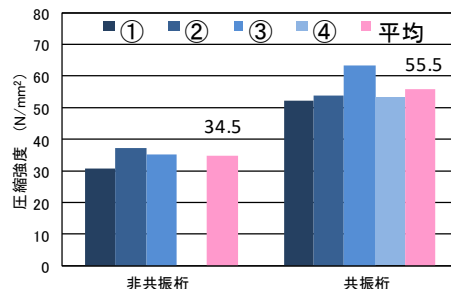


図-2 圧縮強度の試験結果

表-1 応力解放法の試験結果

橋りょう名	解放応力 σ (N/mm ²)	平均応力 σ (N/mm ²)
共振桁	0.77	0.68
	0.58	
非共振桁	0.47	0.57
	0.66	

キーワード PRC 単純桁, 共振, 固有振動数, ひび割れ, 個体差, 複線載荷

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

4. 作用力の影響（複線同時載荷）

ひび割れの発生を左右するものとして、桁の個体差以外に列車荷重等の作用力の影響が考えられる。通常の設計では、使用時のひび割れ照査は単線載荷による照査を行う。しかしながら、共振が発生している桁は複線桁であるため、上下線がすれ違う際には大きな作用力が発生する。図-3は共振桁における列車ごとの最大たわみ量を示しており、複線同時載荷時のたわみ量が大きいたことがわかる。従って、すれ違いの際に発生する通常よりも大きな応力が繰り返し発生することで、ひび割れが進行している可能性が考えられる。そこで、統計的に複線同時載荷の頻度と共振桁の関係について調べることとした。複線同時載荷頻度の算出方法は、共振桁を含む区間において、列車の1編成を点として捉え、上下線でその点同士が30m（スパン程度）以内に入る回数をカウントした。また、走行速度については、ランカーブ通りの速度で走行するものとし、発車時間については、列車ダイヤを基準に10秒の標準偏差の正規分布で乱数を発生させた。複線同時載荷頻度の算出期間は当該線の開業時から現在までであり、その間のダイヤ改正も反映させている。複線同時載荷頻度分布を図-4に示す。算出の結果、当該区間の複線同時載荷頻度に明らかな偏りがあることが確認された。また、共振桁についてはその頻度が高く、非共振桁については、その頻度が低い傾向にあることが確認された。一部の共振桁については、複線同時載荷頻度が低い箇所位置している。これは今回の検討では複線同時載荷となる回数のみをカウントしていることが原因していると思われる。共振には複線同時載荷頻度だけでなく、通過時の列車速度や、列車ごとの乗車率の影響もあり、これらを考慮することでより実現象に近い結果を得ることができると考える。

以上のことから、今回の調査では全ての桁で個体差の影響が無いとは言えないが、作用については桁ごとに明らかな偏りがあり、共振桁では複線同時載荷が発生する回数が多く、それにより大きなたわみが発生することでひび割れが進展し、剛性が低下している可能性が高い。

5. まとめ

本稿では、一部の桁のみで共振が生じている原因について調査した結果について述べた。調査を行った2橋では、コンクリートの弾性係数、圧縮強度、非構造部材との一体性および緊張力といった個体差に明確な違いはなく、曲げひび割れの発生状況に影響を及ぼす有意な差は無かった。しかしながら、作用力の影響を検証した結果、複線同時載荷の頻度は桁によって大きく異なっており、この違いが同じ標準設計を適用した桁でも共振する桁と共振しない桁が存在する原因となっていると考えられる。

参考文献

- 1) 藤江幸人, 井口重信: 列車走行に伴う 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
- 2) 中須賀淳貴, 水谷司, 山本悠人, 内田雅人, 蘇迪, 長山智則, 藤野陽三: 新幹線高架橋 PRC 桁の大振幅振動メカニズムの解明と構造特性の長期トレンドの分析, 土木学会構造工学論文集 Vol.62A(2016.3)

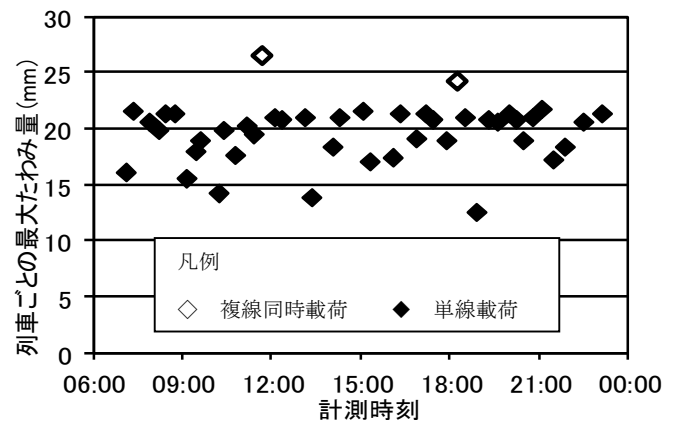


図-3 列車ごとの最大たわみ量

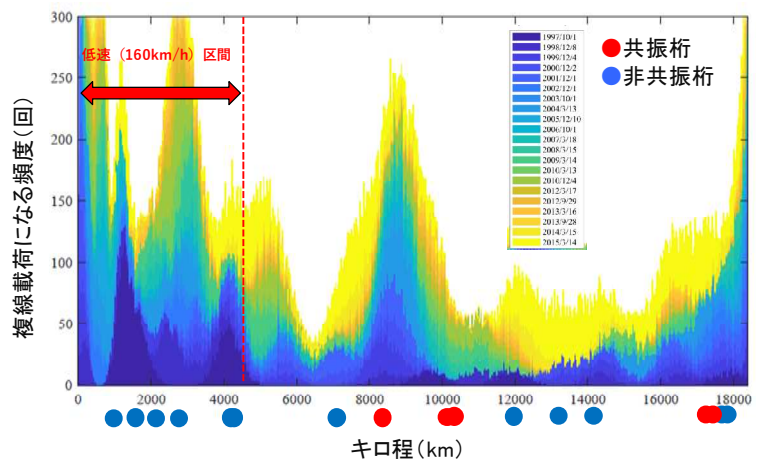


図-4 複線同時載荷頻度と桁の位置関係