

大振幅振動現象を示す新幹線高架橋 PRC 桁の非接触振動計測による構造特性の分析

東京大学 学生会員 ○中須賀 淳貴 正会員 水谷 司 学生会員 山本 悠人
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 内田 雅人
 東京大学 正会員 蘇 迪 正会員 長山 智則

1. はじめに

近年、新幹線高架橋 PRC 桁で大振幅振動が確認された。これらの振動は列車の走行安全性を脅かすものではないが、振動による乗り心地の悪化や架線等付帯設備の疲労損傷といった問題が確認されており¹⁾、大振幅振動のメカニズムを解明する必要がある。

既往の調査により、衝撃応答試験から大振幅振動桁の固有振動数が約 3.0Hz であることが判明した¹⁾。一方、大振幅振動を生じる際の新幹線速度は約 230km/h であり、これを加振周波数に直すと約 2.6Hz となる。振動数を見ると、13% という解釈誤差では説明できない相違が生じるため、単純な共振とは言えない。そこで、改めて様々な新幹線速度での大振幅振動桁の振動計測を行う。さらに、計測した波形の分析およびモデルを用いた論理的分析を行い、大振幅振動のメカニズムを明らかにすることとした。

2. 計測の概要

計測した大振幅振動桁は図 1 に示すような PRC 四主桁構造であり、新幹線走行時のみひび割れを許容する設計がなされている。約 30m と橋脚高の高い桁であったため、LDV を用いた非接触振動計測を行った。また、振動レベルの比較検討を行うため、桁部分が同一設計である小振幅振動桁についても振動計測を行った。4 日間で合わせて 74 本、190~250km/h の新幹線走行時の桁の振動計測を行った。

3. 新幹線走行時の振動波形の分析

(1) 振動波形の比較

速度約 230km/h の新幹線走行時の桁の振動を大振幅・小振幅振動桁で比較したものが図 2 である。これより明らかに振幅レベルに相違が生じているのが分かる。さらに大振幅振動桁において、新幹線速度がおよそ



図 1 大振幅振動桁外観図

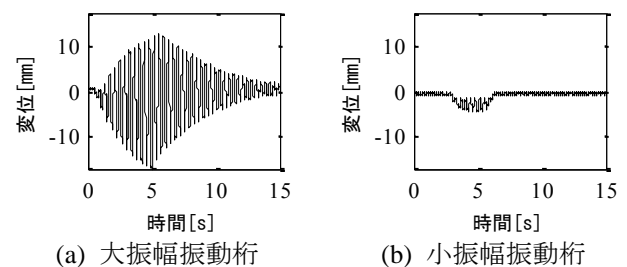


図 2 新幹線速度 230km/h での桁の振動波形

230km/h の時に最も振幅が大きくなり、そこから新幹線速度が離れるほど振幅レベルが小さくなることが判明した。

そこで、新幹線速度 230km/h、加振周波数 2.6Hz という値と、新幹線通過後の自由振動波形を離散フーリエ変換して求められる桁の固有振動数とを比較することを考える。

(2) 振幅と固有振動数の関係

各自由振動波形を離散フーリエ変換したピーク付近のグラフから、明らかな振幅に対する固有振動数の負の相関が見て取れた。そこで、各自由振動波形に対して、

キーワード 大振幅振動 新幹線高架橋 PRC 桁 非接触振動計測 固有振動数の振幅依存性
 連絡先 〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学本郷キャンパス TEL03-5841-6099

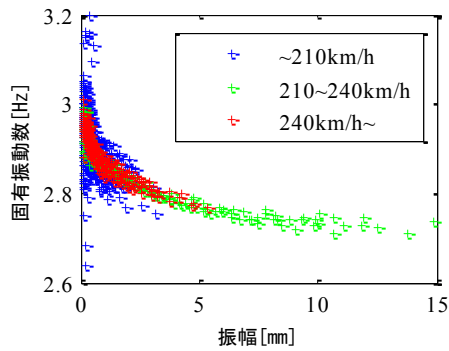


図 3 固有振動数の振幅依存性

1 サイクルの振幅とサイクル長の逆数(すなわち固有振動数)との関係を示したものが図 3 であり, 振幅の増加と共に固有振動数が低下する非線形的な傾向(固有振動数の振幅依存性)が見て取れる. この原因として, 桁は PRC 構造でありひび割れを許容しており, 大振幅時にはひび割れが開き, 有効断面が減少し剛性が低下するためだと考えられる. しかし 15mm 程度の大振幅時の固有振動数は約 2.75Hz であり, 2.6Hz という加振周波数とは依然として乖離があると考えられる.

4. 骨組みモデルを用いた論理的分析

上の議論から, 桁に大振幅が生じた際に固有振動数が低下することが分かった. 他に固有振動数を低下させる要因として, 新幹線自重の載荷が考えられる. 新幹線自重を考慮した固有振動数を求めるため, 骨組みモデルを用いた固有値解析を行う.

(1) モデルの概要

今回, 東京大学橋梁研究室が開発した ISAS を用いて固有値解析を行うこととする.

構築したモデルは図 4 の通りである. 剛性等の諸変量は管理会社から提供していただいた桁の設計計算書を参考としている. しかし, 設計計算書の値を用いたモデルの固有値解析によって得られた固有振動数は 3.22Hz であり, 実現象と合致しなかった. そこで, 桁の多点振動計測によって同定された桁の 1 次曲げ振動モード形と固有振動数(3.0 Hz)およびモード形状が合致するようにキャリブレーションを行い, 実現象をよく再現できる骨組みモデルを構築した.

(2) モデルへの振幅および新幹線自重の影響の導入

多点振動計測によって同定したモード形は振幅レベ

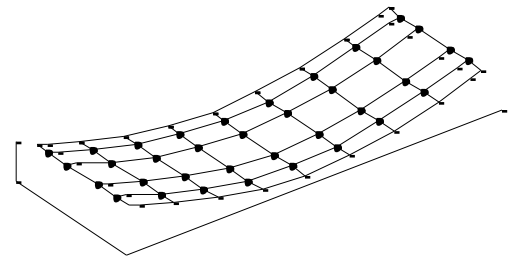


図 4 構築した桁の骨組みモデル

ルが小さい. そのため, 作成したモデルには 3 で述べた大振幅時の剛性低下, および新幹線自重が考慮できていない. そこで, 以下の手順でこれらを考慮したモデルへと改善を試みた.

- ① 新幹線走行時の桁の最大振幅を実データから読み取る. その振幅の時の剛性低下率を図 3 から読み取り, モデルに与える.
- ② 新幹線自重をモデルの各ノードに集中荷重として与える.

①について, 図 3 では振幅と固有振動数の関係のみが示されているが, 固有振動数は剛性の平方根に比例することから振幅と剛性の関係を求めることができる.

これらを導入したモデルの固有値解析によって, 大振幅振動桁の固有振動数は 2.63Hz と推定され, 大振幅振動を生じる加振周波数 2.6Hz とほぼ一致する結果となった. このシステムは非線形であるため一概に共振であるとは言えないが, 共振に近い現象が起きていると考えられる.

5. まとめ

大振幅振動桁は, 新幹線走行時に新幹線自重およびその振幅により固有振動数が低下する. その固有振動数と新幹線走行による加振周波数の値がほぼ等しくなったため, 共振に近い現象が発生し, 大振幅振動を生じたと考えられる.

参考文献

- 1) 藤江幸人, 井口重信, 松田芳範, 小林薫: 報告 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, p.1081-1086, 2008.