

温度変化による支点拘束条件の違いがコンクリート桁の固有振動数に及ぼす影響

東海旅客鉄道(株) 正会員 ○並松 沙樹 東海旅客鉄道(株) 正会員 吉田 幸司
ジェイアール東海コンサルタンツ(株) 正会員 加藤 信二郎 (株)日建設計シビル 正会員 田辺 篤史

1. 研究の背景

構造物を適切に維持管理していくためにセンサを用いたモニタリングの活用が期待されている。当社では、維持管理する上で懸念している構造物となっているRC複鉄筋版桁を対象として、高精度MEMS加速度センサ¹⁾を用いた長期連続計測を実施している。取得した大量のデータを分析することで、これまでの断片的な測定では未知であった、桁のわずかな状態変化（軌道作業の影響等）の把握も可能となり、桁の個性に合わせたきめ細かな維持管理に役立っている²⁾。

複数の橋りょうで連続計測した結果、一部の橋りょうである特定の気温の高い日のみ固有振動数が変化していることを確認した。そこで、本論文では、温度変化による桁の固有振動数変化のメカニズムについて、実測値および実験から検討し、得られた知見について報告する。

2. 実橋連続計測

表－1に構造諸元を示した東海道新幹線の複鉄筋版桁（単連）において、センサを支間中央部の通路上に設置し、2018/9/26 から 2018/10/23 までの 28 日間で計測を実施し、1880 列車分のデータを取得した。

固有振動数は、加速度波形の列車通過後の自由振動部分を切り出し、FFT にて周波数分析を行い、算出した³⁾。グラフ中の最高気温は、気象庁が公開している気象データベース⁴⁾の橋りょう所在位置に最も近い測定地点のデータを引用した。

表－1 構造諸元

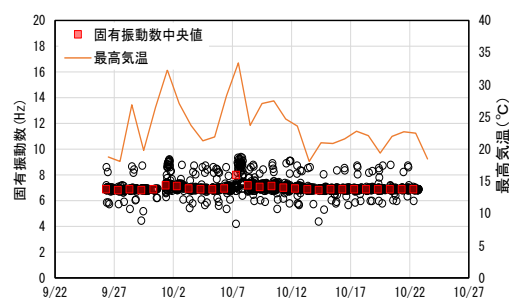
図面番号	G-N12.5-4
支間長	12.5m
桁下高さ	6m
斜角	なし
線形	緩和区間
基礎形式	杭基礎
列車速度	最高285km/h

図－1に固有振動数の時系列推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は 6.90Hz である。実測値の固有振動数は 4～10Hz 付近に分布しているが、大部分が 6.9Hz 付近であることを確認した。また、固有振動数の中央値も日々変動していることを確認した。特に変化が大きかった日は、10/1 と 10/7 の 2 日間であり、両日とも最高気温が 30℃を超えている日と一致している。

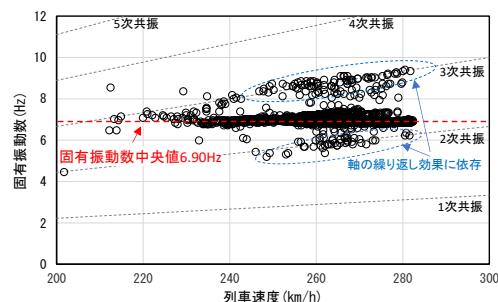
図－2に列車速度と固有振動数の関係を示す。列車速度が 250km/h 以上になると、実測値の一部が繰り返し効果の振動数（2次共振および3次共振）と一致することから軸の繰り返し効果の影響に依存している傾向が見られる。しかし、実測値の大部分は列車速度に依らず 6.90Hz であり、この値が桁自体の固有振動数と推定した。

図－3に最高気温と固有振動数の関係を示す。固有振動数が変化した 2 日間はその他のデータと比較すると、気温 25℃以上に集中しており、固有振動数が高い傾向が見られる。また、データ全体を見ても、気温 25℃以上になると固有振動数が高くなる傾向が見られる。固有振動数と最高気温の相関係数は 0.39 であり、弱い正の相関が確認できた。

図－4に最高気温とたわみ値の関係を示す。固有振動数が変化した 2 日間はその他のデータと比較すると、たわみ値が小さい傾向が見られる。また、データ全体を見ても、気温が 25℃以上になるとたわみ値が減少する傾向が見られる。たわみ値と最高気温の相関係数は－0.37 であり、弱い負の相関が確認できた。



図－1 固有振動数の時系列推移



図－2 列車速度と固有振動数の関係

キーワード：固有振動数、たわみ、温度変化、高速鉄道、モニタリング

連絡先：〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 JR 東海 総合技術本部 技術開発部 構造物 TEL 0568-47-5370

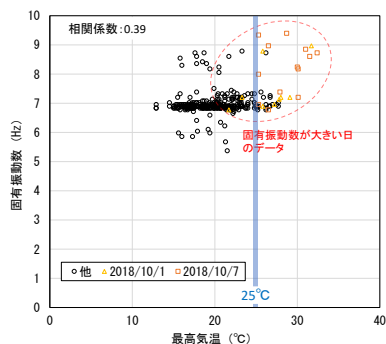


図-3 最高気温と固有振動数

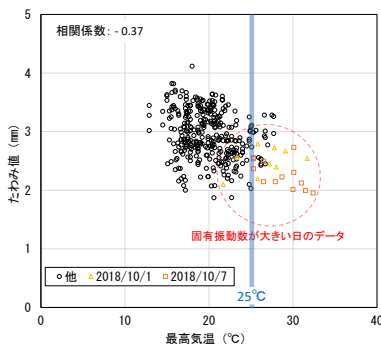


図-4 最高気温とたわみ値

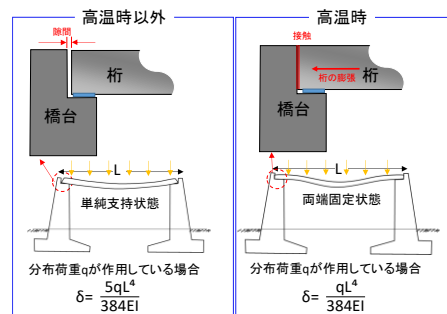


図-5 支点の拘束条件

これは、温度変化によりコンクリートが膨張することで、桁端部と橋台が接触し、支点の拘束条件が単純支持状態から両端固定に近づいた影響と考えられる。

図-5に示すように、単純支持状態と比較すると両端固定状態の場合は、桁の剛性が増加することで理論上、固有振動数は増加し、たわみ値は小さくなる。

3. 実験

支点部の拘束条件の違いで、固有振動数が変化するかを確認するために、支間長 10m (全長 10.7m) の複鉄筋版桁模型を用いて実験を実施した。供試体の詳細については、参考文献を参照されたい⁵⁾。桁は単純支持条件としている。

図-6のように通常の状態では、桁端部と橋台の間に隙間が存在し、桁の水平移動が拘束されていない状態である。一方、この隙間にモルタルを流し込むことで、桁端部と橋台を一体化し、桁の水平移動を拘束することで桁端接触状態を模擬した。桁の固有振動数は、40kg の重錘を用いた落下試験により得られたデータを処理することで算出した。

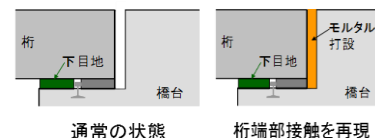


図-6 桁端部と橋台の状態

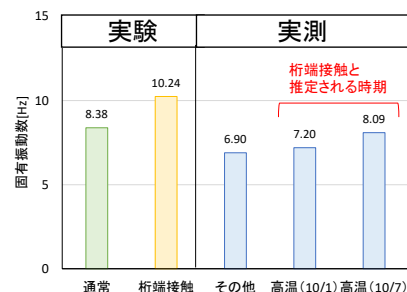


図-7 実験結果および実測値

図-7に実験結果および実測値との比較を示す。実験では、固有振動数は、通常時は 8.38Hz、桁端部接触時は 10.24Hz となった。桁端部と橋台が接触することで通常時と比較し、固有振動数が約 22%大きくなる結果となった。実測値では、最高気温が高く、固有振動数が大きくなった高温時 10/1 (最高気温 32.3°C) および高温時 10/7 (最高気温 33.4°C) と高温時以外の日を比較した。図-2で記載したように、本橋りょうは車軸の繰返し効果を完全に無視できない。そのため、今回は 3 次共振の車軸の繰返し効果を除外するために、6~8Hz の固有振動数を抽出し、温度変化の影響を確認した。高温時以外の固有振動数と比較すると、高温時 10/1 では約 10%、高温時 10/7 では約 17%大きくなることが確認できた。また、最高気温が 10/1 と比較し、約 1°C高い 10/7の方が固有振動数の増加率が大きかった。10/7 実験と比較すると、実測値は増加率が小さい結果となったが、高温時は固有振動数が 10~20%程度増加することが確認できた。よって、温度により桁端部の拘束条件が変化し、それに伴って固有振動数も 10~20%程度変化しうることがわかった。

4. まとめ

1) 実橋計測において、最高気温が 25°C以上の日に固有振動数が増加することを確認した。2) 温度変化による桁の固有振動数変化は、高温時の桁膨張で桁端部と橋台が接触し、支点部の拘束条件が単純支持状態から両端固定に近い状態に変化することが原因と考えた。3) 桁端接触状態を模擬した実験では、通常時と比較し、固有振動数が 10~20%程度増加した。よって、実橋においても温度により桁端部の拘束条件が変化した可能性が高いと言える。

【参考文献】1)前田昌克ほか：コンクリート構造物のたわみ監視装置の開発，土木学会第 72 回年次学術講演会概要集，I-353，2017.9. 2)並松沙樹ほか：複鉄筋版桁におけるたわみ値の長期モニタリング，鉄道工学シンポジウム論文集第 22 号，pp.139-146，2018.7. 3)加藤信二郎ほか：列車荷重を利用したコンクリート橋の固有振動数推定に関する検討，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，V-551，2018.9. 4)気象庁 HP：<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> 5)伊藤雄郷ほか：バラスト軌道による荷重分散効果が RC 複鉄筋版桁のたわみに与える影響，鉄道工学シンポジウム論文集第 21 号，pp.217-223，2017.7.