

新幹線 PRC 単純桁の長期計測結果の考察

JR 東日本コンサルタンツ 正会員 ○中原 美佳

JR 東日本コンサルタンツ 正会員 逸見 研二

東日本旅客鉄道株式会社 八嶋 宏幸

東日本旅客鉄道株式会社 松尾 賢

1. はじめに

北陸新幹線の PRC 桁において、列車通過時に共振現象が発生し、大きな桁たわみが発生していた。これまでに、数十連ある桁を共振発生危険度ごとにグループ分類し、適切な計測頻度を設定する管理体制を設定しており¹⁾、非接触型レーザードップラー計測機(以下 U ドップラー)等による桁たわみ測定や、衝撃振動試験による固有振動数計測を行うことで桁を監視している。さらに、一部の桁では加速度センサを用いた常時監視²⁾も行っている。今回は、損傷の進行性を定量化するため、数年間蓄積した計測結果を用いて今後の維持管理に役立てるための分析を行ったのでここに報告する。

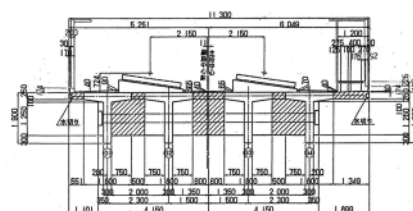


図 1 PRC 桁断面図

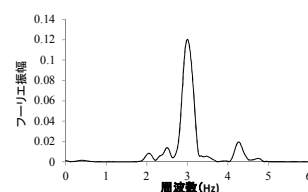


図 2 推定した固有振動数の例

2. 加速度センサによるモニタリングについて

加速度センサを用いた常時計測について述べる。これは、対象構造物に加速度センサを設置し、列車通過時の速度波形と変位波形の関係性を用いて、最大応答速度から実測最大たわみ値を推定するものである²⁾。

さらに、桁の状態把握のため、列車通過後の残留振動から固有振動数の算定も行っている。桁が共振した場合は、列車速度によりたわみ量が増加するため、列車通過直後の振動振幅は一定ではなく、ひずみレベルが異なることにより固有振動数の算定結果にばらつきが生じる³⁾。そのため、本システムでは、列車通過後の振動振幅が衝撃振動試験と同等レベルに収束(1mm/s~5mm/sで任意に設定)した後の波形からフーリエ変換を行い、振動数のピークを抽出する方法を構築した(図 2)。

3. 計測値の温度依存性について

数年間の計測結果から、固有振動数やたわみ値は季節変動することが確認できている。図 3の列車速度とたわみ値の関係(以下、応答曲線)を見ると、季節によって、応答曲線が推移していることがわかる。さらに、季節変動しながら共振点が徐々に低下し、損傷の進行に伴ってたわみ値も増加していることが分かっている²⁾。また、図 4の固有振動数の推移を見ると、固有振動数は夏季にかけて低下し、冬季にかけて上昇することが明らかである。これは、気温の上昇に伴って桁の温度が上昇し、コンクリートの弾性係数の変化や桁の伸長等が剛性低下に何らかの影響を及ぼしたものと考えられるが、そのメカニズムに関しては不明である。

損傷の進行性を把握するためには、この季節変動と損傷による変動を分離する必要がある。そこで、コンクリート内部の温度を計測し、たわみや固有振動数との相関を確認することとした。

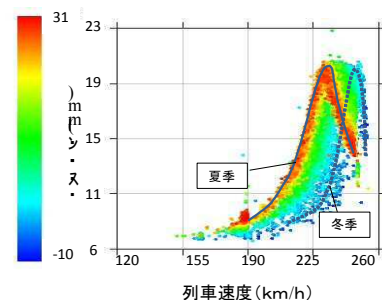


図 3 列車速度とたわみの関係

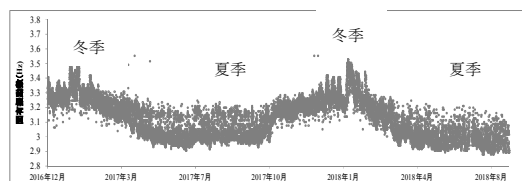


図 4 固有振動数の推移

(2) 内部温度と固有振動数の関係

コンクリートの内温度を計測するため、主桁幅の中心(表面から 150mm の深さ)に温度計を埋設し 1 回/10 分の頻度で計測した。コンクリート内部温度と固有振動数の関係を図 5に示す。固有振動数は、内部温度が高くなるにつれて低下し、内部温度が低くなるにつれて上昇する傾向にあった。これを 2 次曲線近似したときの決

キーワード 共振, PRC 単純桁, 新幹線, モニタリング, 加速度センサ

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目 1 番 1 号 JR 東日本コンサルタンツ(株) TEL 03-5435-7635

定係数は線近似したときの決定係数は 0.8 程度であり、内部温度と固有振動数には高い相関があることを確認した。他の複数の桁でも同様の傾向にあることを確認している。

(2) 損傷による固有振動数低下量の定量化

上記の通り、固有振動数やたわみ値はコンクリート内部温度の影響を大きく受けることがわかった。ここでは、完全に共振している桁（グループⅠ）と共振の兆候が見られる桁（グループⅡ）の損傷の進行性の有無や程度を確認することとし、長期間計測データのうち固有振動数の推移に着目した。なお、コンクリート内部温度は1年分しか蓄積されていないため、ここではコンクリート内部温度を模擬した12時間平均気温を用いた。温度成分を分離するため、図5の近似曲線を用いて推定した固有振動数の推定値と、残留振動より算出した実測固有振動数の残差を確認することとした。共振しているグループⅠの桁の残差時系列（実測値－推定値）を図6に示す。図6から、固有振動数の残差はばらつきながらも徐々に低下傾向にあり、約0.03Hz/年の低下があることが確認できた。同様にして、共振の兆候が見られるグループⅡの桁の固有振動数の残差を図7に示す。図から、残差は徐々に低下傾向にあるものの、グループⅠよりも小さい低下率で、約0.004Hz/年の低下となった。その他の桁についても、それぞれ上記と同様に低下傾向である事を確認した。以上のことから、固有振動数の変動のうち温度による変動成分を分離した結果、グループⅠの共振している桁は、共振の繰り返しにより約0.03Hz/年で明らかに剛性低下が進行していることや、共振に至っていない桁は、共振桁よりも遅い速度ではあるが、約0.004Hz/年で剛性低下が進行していることが分かった。さらに、ここでは紙面の都合上割愛するが、全く共振のしていないグループに分類されている桁でも、危険度の高いグループの桁よりも損傷の進行速度は遅いものの、わずかに進行性がある事が確認できた。

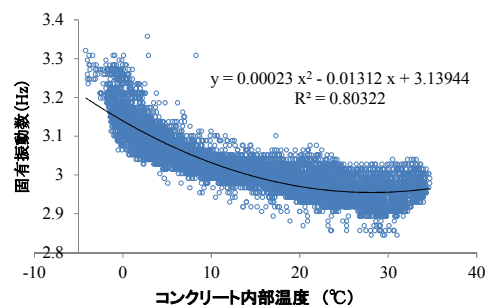


図5 固有振動数と固有振動数

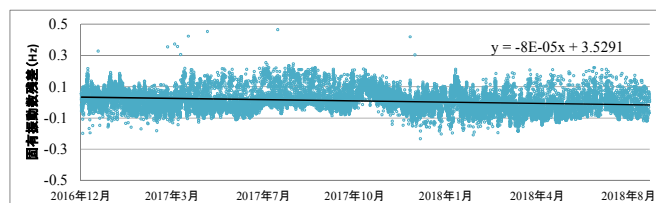


図6 固有振動数残差の推移（グループⅠ）

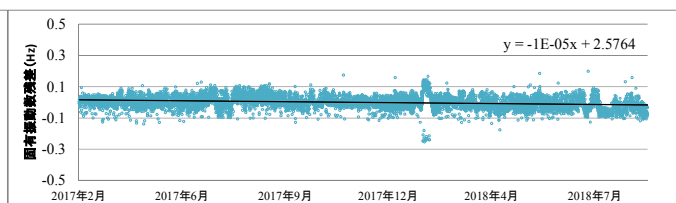


図7 固有振動数残差の推移（グループⅡ）

4. まとめ・今後の課題

数年間蓄積した計測結果から、固有振動数やたわみ値は季節変動しており、この動きはコンクリート内部温度による影響が大きいことを確認した。損傷の進行性の有無や程度を把握するため、温度変動成分との分離を試みた結果、共振している桁は大きなたわみの繰り返しにより明らかに剛性低下(0.03Hz/年)していることや、共振のしていない桁においても、緩やかながらも剛性低下が進行していることを定量的に評価することが出来た。さらに、たわみ値も損傷の進行に伴い、明らかに増加していることを確認した。

今後はグループごとの余裕度を把握しながら、剛性低下が進行し共振に至る前に対策を検討することで、予防保全型の維持管理が可能になると考えられる。なお、ここでは記載していないが、固有振動数やたわみの変動の中には、季節変動だけでは説明しきれない変動成分もあることから、今後はそれらを除去し、さらに精度良く損傷の進行性を捉えられるようにするとともに、劣化の定量的な予測に繋げていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 宝蔵寺ほか：共振発生リスクのある新幹線 PRC 単純桁の監視手法について，第 73 回土木学会年次学術講演会，VI-424,2018.
- 2) 清水ほか：加速度センサを活用した新幹線 PRC 単純桁たわみの常時モニタリングについて，第 73 回土木学会年次学術講演会，VI-424,2018.
- 3) 中須賀ほか：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，構造工学論文集 Vol.62A，2016.