

論文 温度変化が複鉄筋版桁の固有振動数に及ぼす影響

並松 沙樹¹・吉田 幸司²・加藤 信二郎³・田辺 篤史⁴

¹正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail:saki.namimatsu@jr-central.co.jp

²正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail:k-yoshida@jr-central.co.jp

³正会員 ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 調査事業部 開発技術部
(〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅5-33-10 アクアタウン納屋橋4F)
E-mail:s-ootake@jrcc.co.jp

⁴正会員 株式会社日建設計シビル 都市基盤・エンジニアリング部門 設計部
(〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町3-6-14)
E-mail:tanabe.atsushi@nikken.jp

連続計測により得られた桁の固有振動数を分析した結果、短スパンのRC複鉄筋版桁の固有振動数が、列車条件や環境条件等の影響を受けて変化することを確認した。固有振動数の変化する日と平均気温の変化する日が一致し、温度が高くなると固有振動数が増大し、たわみ値が減少することから、温度変化による桁の膨張により支点の拘束条件が変化したことが固有振動数の変化の原因と推定した。本研究では、温度変化による支点の拘束条件の変化が桁の固有振動数に与える影響について実測値および実験結果から考察した。その結果、前述の推定が正しいであろうことがわかり、短スパンのコンクリート桁では、これまでコンクリート橋りょうで得られた温度効果の傾向と異なる傾向を示す場合があることを証明した。

Key Words : continuous monitoring, thermal effect, natural frequency, deflection, RC slab girder railway bridges

1. はじめに

コンクリート桁の維持管理において、定期的にたわみを計測し、定量的に健全度を確認することが重要である。また、たわみの制限値¹⁾と実測値には大きな差があるため²⁾、桁自体の健全性を評価するためには桁毎に別の指標を設けて、健全度を確認することが望ましいと考えている。

当社では、高精度MEMS加速度センサを用いたたわみ監視装置を使用して、桁のたわみ値の連続計測を実施している³⁾。連続計測により得られ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、桁の状態のわずかな変化の把握も可能となり、軌道状態や共振速度を考慮し、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。

連続計測により得られた桁の固有振動数の分析を実施した結果、短スパンのRC複鉄筋版桁の固有振動数が、列車条件や環境条件等の影響を受けて変化することを確認した。そこで、固有振動数の変化に着目し、橋りょう毎に詳細を確認したところ、一部の橋りょうに関しては、

固有振動数の変化を確認した日と平均気温が大きく変化する日が一致することを確認した。

温度変化に伴う桁の経時的な挙動に関しては、鋼床版箱桁橋梁の日射による桁の伸縮⁴⁾や多径間連続橋梁の支承機能の変化⁵⁾等の報告がされている。また、PRC桁は、温度や振幅の影響を受けて固有振動数が変化することが報告されており⁶⁾、スパンが伸びる夏季は固有振動数が減少し、スパンが縮む冬季は固有振動数が増大すると説明されている。しかし、短スパンのコンクリート桁に関しては、温度変化の影響は軽微であり、これまでに報告が少ない。

本研究では、短スパンのRC複鉄筋版桁の固有振動数と温度変化の関係を分析し、温度変化による支点の拘束条件の変化が桁の固有振動数に与える影響について実測値および実験結果から考察した。

2. 測定方法

(1) 対象橋梁

対象橋りょうの構造諸元を表-1に示す。構造形式は

表-1 対象橋梁の構造諸元

	A橋りょう		B橋りょう		C橋りょう		D橋りょう	
図面番号	G-N12.5-4		G-N10-41		G-N10-41		-	
支間長	12.5m		10m		10m		9m	
桁下高さ	6m		4.5m		4.5m		6.4m	
斜角	なし		左65°		左60°		右70°	
線形	緩和区間		直線区間		直線区間		曲線区間	
基礎形式	杭基礎		杭基礎		直接基礎		杭基礎	
列車速度	最高285km/h		最高285km/h		最高285km/h		最高260km/h	
気象観測地点	海老名		静岡		豊橋		名古屋	
過去のたわみ値	下り線	1.91mm	下り線	2.90mm	下り線	0.75mm	下り線	1.82mm
	上り線	2.83mm	上り線	2.37mm	上り線	0.74mm	上り線	2.72mm

全ての橋りょうで複鉄筋コンクリート版桁（単線桁）となっている。支間長，斜角，線形および基礎形式については各橋りょう毎に異なっている。参考として過去にレーザー式変位計で計測したたわみ値も記載した。気象観測地点は，気象庁⁹⁾が公開している気象データベースの橋りょう所在位置に最も近い測定地点を示している。

また，A橋りょう下り線およびD橋りょうに関しては，過去に鋼板接着補強が実施されており，鋼板接着状態でのたわみ値を記載している。

(2) 使用機器および測定条件

図-1 に示すように，上下線保守通路上の支間中央位置にたわみ監視装置を設置してたわみ測定を実施した。

図-2 に加速度波形および変位波形の一例を示す。MEMS式装置のため電車線による高周波ノイズの混入はなかった。そのため，取得した加速度波形（図-2

(a)）には機器自体の基線ずれを補正することを目的として，1Hz のハイパスフィルタを施し，2 回積分することで変位波形（図-2 (b)）に変換した。東海道新幹線の RC 複鉄筋版桁は支間長が短く，ほとんどが新幹線の最大車輪間隔である 15m 未満である。そのため，列車通過時に台車が桁に載荷されていない状況が必ず存在し，活荷重によるたわみの長周期成分の影響が長大橋のそれと比べて十分小さく，この基線補正によるたわみへの影響は小さいと考えられる。しかし，一部データにノイズや基線ズレで波形が大幅に歪んでいるものがあったため，これらは処理の途中で除外した。

測定は営業時間帯において実施し，毎時 1 列車の 1 日あたり 16 列車程度取得できるように設定した。サンプリング周波数は 500Hz，監視時間中は自動測定とし，トリガは加速度が 0.2m/s^2 以上となった場合に測定を開始することとした。

(3) 各種データについて

(a) 固有振動数の推定

各橋りょうの動的な応答特性を確認するため，取得した加速度波形の列車通過後の残留振動波形を切り出し，FFTにて周波数分析を行い，固有振動数を算出した。列車通過後の残留振動の切り出しは，1編成分（長さ約

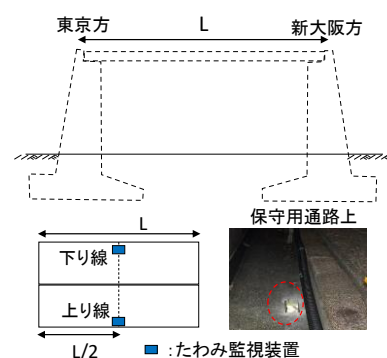


図-1 たわみ監視装置の設置状況

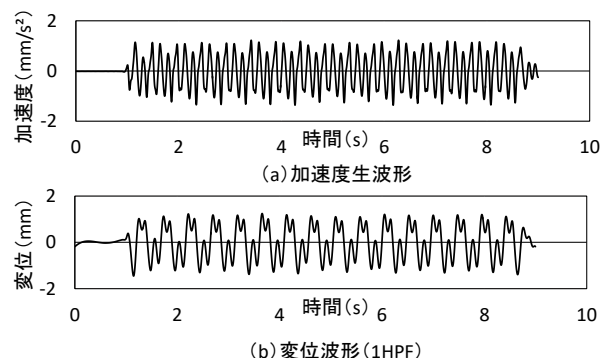


図-2 加速度波形および変位波形の一例

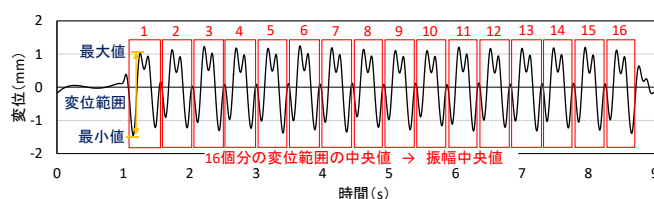


図-3 振幅中央値

404m) が測定点を通過する時間と1編成の車両全てが桁を抜けるまでの時間を考慮し，決定した。本研究では桁長を一律で10mとしている。全取得データを対象とし，列車毎に卓越振動数を算出し，その後，1日毎に取得データの中央値を算出し，桁の固有振動数として採用した。

(b) 列車速度の算出について³⁾

列車速度は加速度で測定した波形の自己相関関数から算出した。東海道新幹線は，車両形式に依らず車軸間隔が一定であることから列車通過時には車両長さの25m間隔で振動が繰り返される。そのため車両長を自己相関関数の平均卓越間隔で除すことで列車速度を算出した。

(c) たわみ値の算出について³⁾

取得した変位波形には，振幅の一部分のみにノイズの混入による異常値が生じていることがある。長期モニタリングで大量のデータを取得する際は，ノイズの影響を受けにくいデータの整理方法を採用する必要がある。そのため，本論文では，1編成16両である東海道新幹線のたわみ波形を1両毎に分け，振幅の差分を各車両ごとに求めた全16個分の差分である振幅中央値を採用し，データを整理することとした（図-3）。

3. 測定結果

(1) A橋りょうの測定結果

A橋りょうでは、2018年9月26日から2018年10月23日までの28日間で測定を実施し、下り線で2130データ、上り線で1880データを取得した。測定期間中、軌道作業の実績はなかった。グラフ中の平均気温は、表-1に示した気象観測地点におけるデータを引用した。

図-4 (a) に下り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は8.67Hzであるが、実測値は5~14Hz付近に幅広く分布することを確認した。また、固有振動数中央値も日々変動することを確認した。特に変化が大きかった日は10/1、10/19、10/22の3日であり、10/1に関しては平均気温が25°Cを超えている日と一致した。

図-4 (b) に下り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。速度依存性のような傾向が見られた。加振の影響を受けているため桁自体の固有振動数ではない可能性が高い。

図-4 (c) に下り線の固有振動数とたわみ値の関係を示す。たわみ値は列車速度に依らず2mm前後であるが、速度によって固有振動数がばらつく傾向が見られた。

図-5 (a) に上り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は6.90Hzであるが、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6.90Hz付近であることを確認した。また、固有振動数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、両日とも平均気温が25°Cを超えている日と一致した。

図-5 (b) に上り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。やや列車速度の影響を受けているものの、実測値の大部分は6.90Hzであり、この値が桁自体の固有振動数と推定した。

図-5 (c) に上り線の固有振動数とたわみ値の関係を示す。たわみ値は6.90Hz付近と8Hz以上の2つの群を形成して分布している。大部分のデータが集中している6.90Hzの群を見ると、列車速度が高速になるにつれ、たわみ値が増大する傾向が見られ、たわみ値は列車速度に依存することがわかる。8Hz以上の群も同様に速度依存性が確認できる。

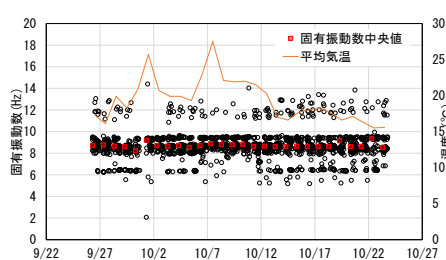
以上より、A橋上り線は温度変化の影響を受けて、固有振動数やたわみ値が変化している可能性が高いことが分かった。

(2) B橋りょうの測定結果

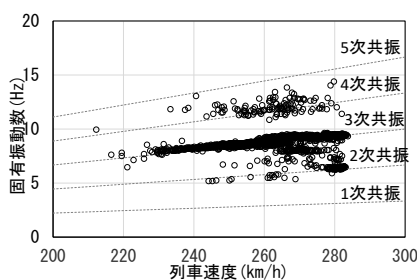
B橋りょうでは、2017年9月5日から2018年2月1日までの150日間で測定を実施し、下り線で3805データ、上り線で4744データを取得した。

図-6 (a) に下り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は8.30Hzであり、日々のばらつきもほとんど見られなかった。また、測定期間中、平均気温が0~30°Cの範囲で変動したが、温度変化による影響は見られなかった。また、9/5にむら直し、10/4にマルタイ作業、11/10にレール削正を実施しているが、軌道作業前後の固有振動数に変化は見られなかった。

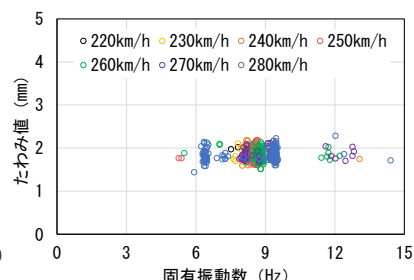
図-6 (b) に下り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。列車速度に依らず8.3Hzに集中することを確認



(a) 固有振動数の推移

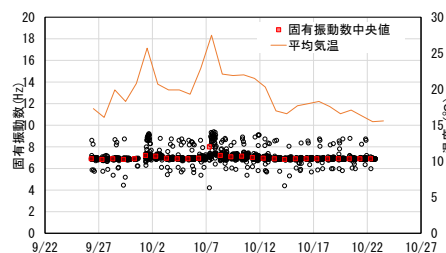


(b) 列車速度と固有振動数の関係

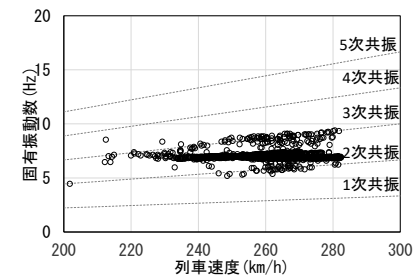


(c) 固有振動数とたわみの関係

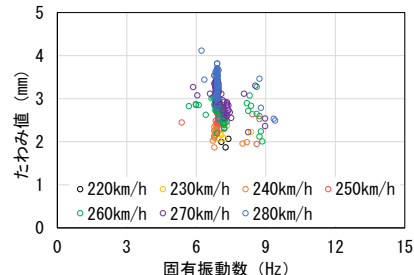
図-4 A橋・下り線の測定結果



(a) 固有振動数の推移



(b) 列車速度と固有振動数の関係



(c) 固有振動数とたわみの関係

図-5 A橋・上り線の測定結果

した。

図-6 (c) に下り線の固有振動数とたわみ値の関係を
示す。列車速度に依らず 8.3Hz に集中し、列車速度
230km/h および 240km/h の時に、たわみ値が大きくなる
ことを確認した。

図-7 (a) に上り線の固有振動数の推移を示す。全
実測値における固有振動数の中央値は 7.87Hz であり、
日々のばらつきもほとんど見られなかった。下り線同
様、温度変化の影響は見られなかった。また、9/15 お
よび 9/28 にマルタイ作業、10/31 にレール削正、12/19
および 12/28 にむら直しを実施しているが、軌道作業前
後の固有振動数に変化は見られなかった。

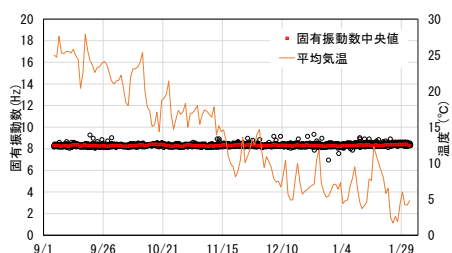
図-7 (b) に上り線の列車速度と固有振動数の関係
を示す。列車速度に依らず 7.87Hz に集中することを確
認した。

図-7 (c) に上り線の固有振動数とたわみ値の関係を
示す。列車速度に依らず 7.87Hz に集中し、列車速度が
230km/h の時にたわみ値が大きくなることを確認した。

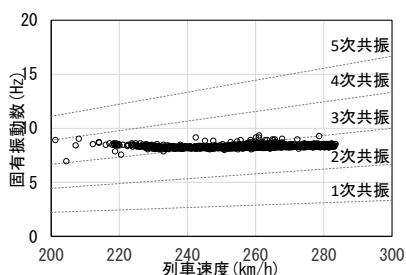
以上より、B 橋りょうは上下線とも日々の固有振動数
の値が安定していると言える。

(3) C 橋りょうの測定結果

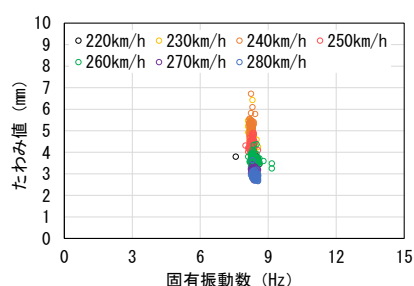
C 橋りょうでは、2017 年 10 月 18 日から 2017 年 11 月 9 日
までの 23 日間で測定を実施し、下り線で 430 データ、上り



(a) 固有振動数の推移

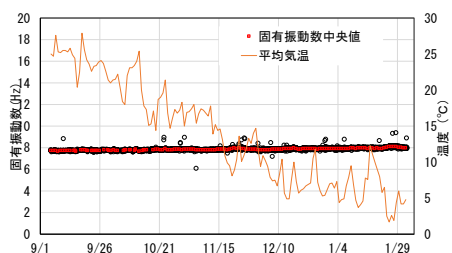


(b) 列車速度と固有振動数の関係

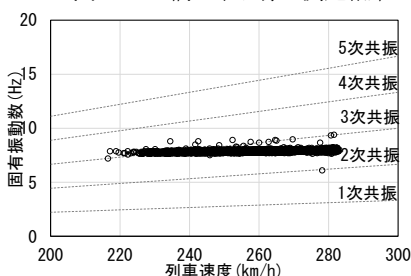


(c) 固有振動数とたわみの関係

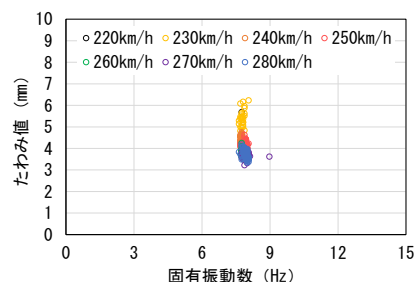
図-6 B 橋・下り線の測定結果



(a) 固有振動数の推移

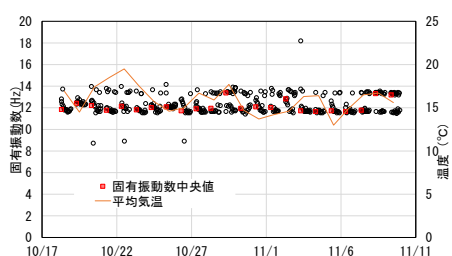


(b) 列車速度と固有振動数の関係

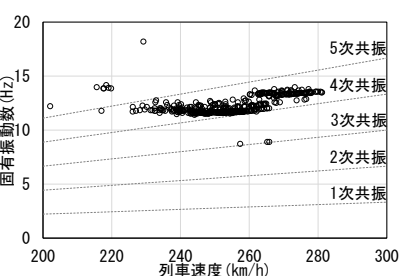


(c) 固有振動数とたわみの関係

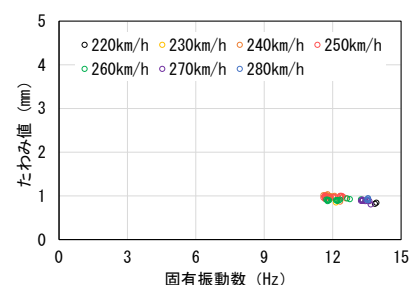
図-7 B 橋・上り線の測定結果



(a) 固有振動数の推移

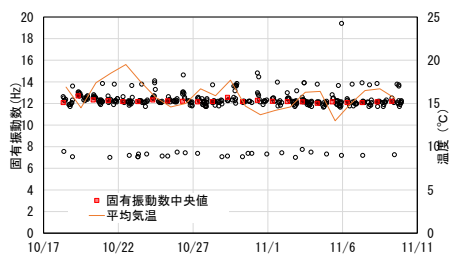


(b) 列車速度と固有振動数の関係

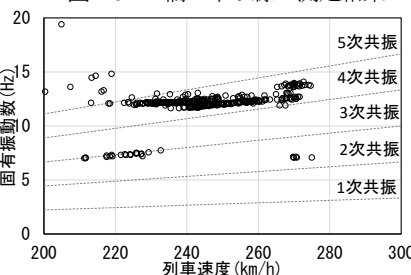


(c) 固有振動数とたわみの関係

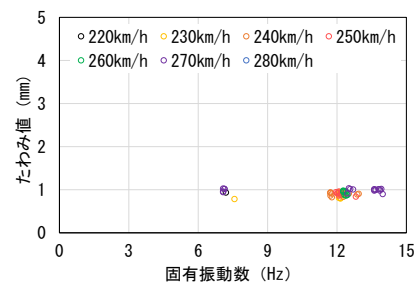
図-8 C 橋・下り線の測定結果



(a) 固有振動数の推移



(b) 列車速度と固有振動数の関係



(c) 固有振動数とたわみの関係

図-9 C 橋・上り線の測定結果

線で391データを取得した。測定期間中、軌道作業の実績はなかった。

図-8 (a) に下り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は12.02Hzであり、実測値は12～14Hz付近に幅広く分布することを確認した。また、固有振動数中央値も日々変動することを確認した。特に変化が大きかった日は10/29、11/2、11/8および11/9の4日間であるが、平均気温は15℃程度であり、高温ではなかった。

図-8 (b) に下り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。列車速度が高速になるにつれて固有振動数が高くなる傾向を確認した。

図-8 (c) に下り線の固有振動数とたわみ値の関係を示す。たわみ値は列車速度に依らず1mm前後であるが、速度によって固有振動数がばらつく傾向が見られた。

図-9 (a) に上り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は12.21Hzであり、実測値は7Hz付近および12～14Hz付近に幅広く分布することを確認した。日毎の固有振動数中央値のばらつきは見られるものの、平均気温の変化との関係は見られなかった。

図-9 (b) に上り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。大部分が12.21Hzに集中しているが、列車速度220km/h付近と列車速度270km/h付近で固有振動数が分かれることを確認した。

図-9 (c) に上り線の固有振動数とたわみ値の関係を示す。たわみ値は速度に依らず1mm前後であるが、列車速度によって固有振動数がばらつく傾向が見られた。

以上より、C橋りょうは下り線は、日々の固有振動数のばらつきが見られるが、上り線は、日々の固有振動数

の値が安定していると言える。

(4) D橋りょうの測定結果

D橋りょうでは、2017年12月2日から2018年1月31日までの61日間で測定を実施し、下り線では1118データ、上り線では1909データを取得した。測定期間中、軌道作業の実績はなかった。

図-10 (a) に下り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は8.48Hzであり、実測値は7～11Hz付近に幅広く分布することを確認した。また、固有振動数中央値は、12/14のみ7.14Hzと極端に小さい値となっており、平均気温が極端に下がった日と一致することを確認した。

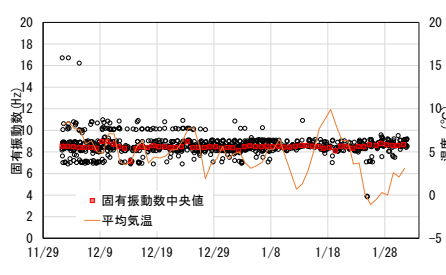
図-10 (b) に下り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。列車速度220km/h以下の場合、固有振動数が7Hz付近および10～11Hz付近に分かれることを確認した。

図-10 (c) に下り線の固有振動数とたわみ値の関係を示す。列車速度が低速になるにつれて、たわみ値が増加する傾向が見られた。

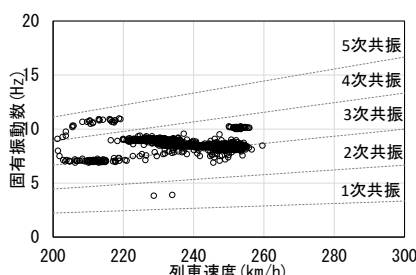
図-11 (a) に上り線の固有振動数の推移を示す。全実測値における固有振動数の中央値は8.61Hzであり、日々のばらつきもほとんど見られないことを確認した。

図-11 (b) に上り線の列車速度と固有振動数の関係を示す。列車速度に依らず8.61Hzに集中することを確認した。

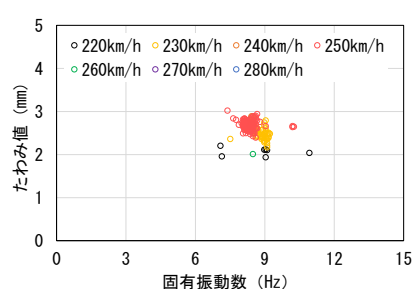
図-11 (c) に上り線の固有振動数とたわみ値の関係を示す。列車速度に依らず8.61Hzに集中しており、列車速度240～260km/hの時に、たわみ値が大きくなることを確認した。以上より、D橋りょうは、上り線の固有振動数は日々安定しているが、下り線の一部のみ固有振動数



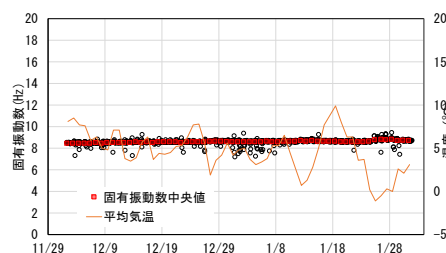
(a) 固有振動数の推移



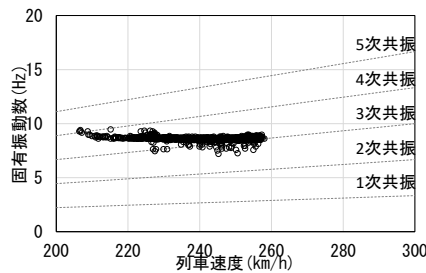
(b) 列車速度と固有振動数の関係



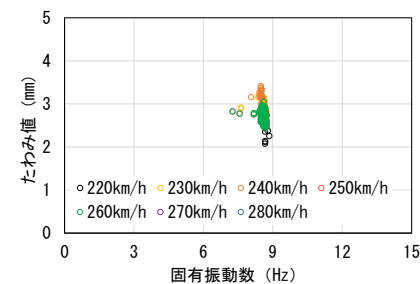
(c) 固有振動数とたわみの関係



(a) 固有振動数の推移



(b) 列車速度と固有振動数の関係



(c) 固有振動数とたわみの関係

図-11 D橋・上り線の測定結果

表-2 測定結果

	A橋りょう		B橋りょう		C橋りょう		D橋りょう	
	下り線	上り線	下り線	上り線	下り線	上り線	下り線	上り線
固有振動数の変化	●	●	×	×	●	●	●	×
列車速度の影響	○	○	-	-	○	○	○	-
温度の影響	○	○	-	-	○	×	○	-

が極端に小さい日が見られ、平均気温が低下した日と一致していることがわかった。

(5) まとめ

表-2に4橋りょうの測定結果をまとめる。固有振動数の変化を確認した箇所は●，変化が見られなかった箇所は×とした。また，変化を確認した箇所内、列車速度や温度変化の影響を受け、固有振動数が変化している箇所は○，影響が見られない箇所は×とした。

桁の固有振動数は、計算上は列車条件や外的環境の影響に関わらず一定の値をとる指標であるが、いくつかの橋りょうで列車速度や時系列によって固有振動数が変化することを確認した。

列車速度の影響を受けているデータに関しては、固有振動数の算定に使用した自由振動波形に、列車通過による強制振動成分を含んでいた可能性が高く、周波数分析の結果にも加振振動の影響が出てしまったと考えた。加振振動の影響を除去できる自由振動波形の判定方法について、再検討する必要がある。そのため、本論文では、以下の検討においては温度変化の影響について検討し、列車速度の影響は対象としないこととした。

4. 温度変化に関する詳細分析

(1) 温度変化による影響（日平均気温）

温度変化の影響を受けている可能性が高い4箇所を対象とし、固有振動数の変化を確認した日の固有振動数およびたわみ値と平均気温、最高気温、最低気温、気温差について相関係数を算出した。固有振動数およびたわみ値については日毎の中央値、各種気温については日毎の値を採用した。

表-3に温度と固有振動数の相関係数を示す。A橋りょう上り線を除き、大部分の相関係数は-0.3～0.3の範囲内であり、ほとんど相関がないことを確認した。

表-4に温度とたわみ値の相関係数を示す。固有振動数と同様に、A橋りょう上り線を除き、大部分の相関係数は-0.3～0.3の範囲内であり、ほとんど相関がないことを確認した。

気温との相関が高いA橋りょう上り線について、平均気温、最高気温、最低気温と固有振動数およびたわみ値の関係について詳細を確認した。固有振動数の変化が大きかった日の平均気温は、10/1が32.3℃、10/7が33.4℃であった。

図-12に平均気温の影響を示す。固有振動数につい

表-3 温度と固有振動数の相関係数

	A橋りょう		C橋りょう	D橋りょう
	下り線	上り線	下り線	下り線
平均気温	0.17	0.79	0.10	-0.15
最高気温	0.24	0.73	-0.14	-0.06
最低気温	-0.05	0.65	0.20	-0.15
気温差	0.31	0.28	-0.27	0.08

表-4 温度とたわみ値の相関係数

	A橋りょう		C橋りょう	D橋りょう
	下り線	上り線	下り線	下り線
平均気温	0.20	-0.43	-0.04	-0.12
最高気温	0.25	-0.32	-0.11	-0.18
最低気温	0.15	-0.55	-0.06	-0.01
気温差	0.16	0.01	-0.02	-0.21

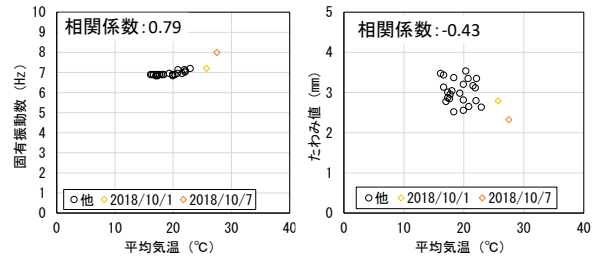


図-12 平均気温の影響

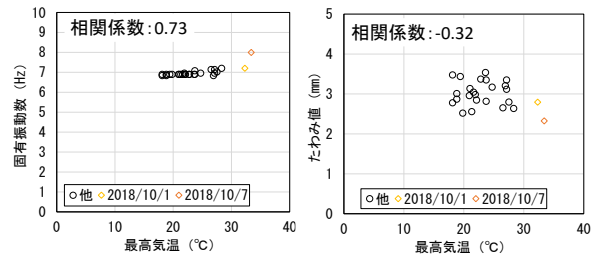


図-13 最高気温の影響

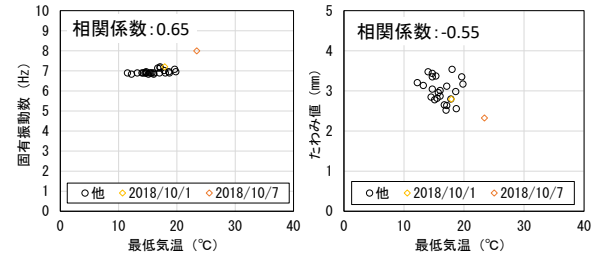


図-14 最低気温の影響

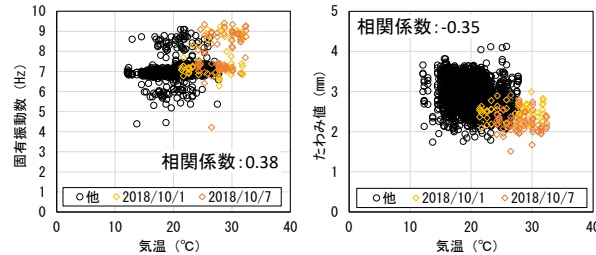


図-15 時間毎気温の影響

ては、平均気温20℃以上で大きくなる傾向が見られ、相関係数は0.79と強い正の相関を確認した。たわみ値については、気温が上がるにつれ、小さくなる傾向が見られ、相関係数は-0.43と弱い負の相関を確認した。

図-13に最高気温の影響を示す。固有振動数については、最高気温25℃以上で大きくなる傾向が見られ、相関係数は0.73と強い正の相関を確認した。たわみ値については、平均気温と同様の傾向が見られ、相関係数は-

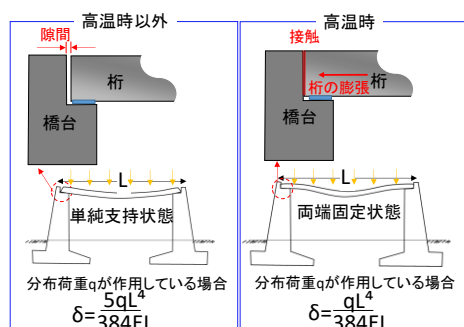


図-16 支点の拘束条件

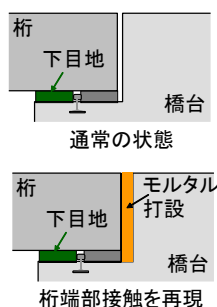


図-17 桁端部と橋台の状態

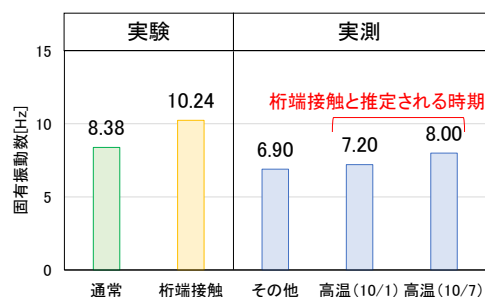


図-18 計測結果

0.32と弱い負の相関を確認した。

図-14に最低気温の影響を示す。固有振動数については、最低気温20℃以上で大きくなる傾向が見られ、相関係数は0.65と正の相関を確認した。たわみ値については、平均気温と同様の傾向が見られ、相関係数は-0.55と負の相関を確認した。

固有振動数については、平均気温および最高気温との相関が強く、たわみ値については、最低気温との相関が強いことがわかった。固有振動数が高くなるにつれ、たわみ値が小さくなる傾向は既往の研究⁹⁾と同様の結果であったが、気温と固有振動数は正の相関、気温とたわみ値は負の相関となり、既往の研究⁷⁾と異なる傾向となった。

(2) 温度変化による影響（時間毎気温）

前述のように、A橋りょう上り線において、日毎の平均気温と日毎の固有振動数およびたわみ値の中央値との強い相関を確認したため、時間毎の気温と列車毎の固有振動数およびたわみ値について相関係数を算出した。

図-15に時間毎気温の影響について示す。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℃付近に集中しており、固有振動数が高い傾向が見られた。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た。固有振動数と気温の相関係数は0.38であり、弱い正の相関を確認した。

次に、たわみ値については、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た。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た。たわみ値と気温の相関係数は-0.35であり、弱い負の相関が確認できた。

(3) 温度変化による桁の固有振動数変化のメカニズム

コンクリートの熱膨張係数は 10×10^{-6} (1/℃) であり、温度変化の影響を受け、収縮や膨張する性質を持つ。

図-16にコンクリート桁の支点の拘束条件を示す。外気温がそれほど高くない場合は、桁の端部と橋台の間

には隙間が存在し、単純支持状態となることが考えられる。一方、外気温が高い場合、桁が膨張することで桁端部と橋台が接触し、両端固定に近い状態となることが考えられる。単純支持状態と比較すると両端固定に近い状態の場合は、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ったと推察した。今回のA橋りょう上り線においても、このようなメカニズムにより、固有振動数が変化したと推定した。

この仮説を検証するためには、現場にて桁端部の状態を直接確認することが望ましいが、複鉄筋版桁は構造上、桁端部へのアクセスが不可能であり、近接目視確認が難しい。

そこで、両端の固定条件の変化による固有振動数やたわみ値への影響について実験で確認することとした。

実験は、支間長 10m (全長 10.7m) の複鉄筋版桁模型を用いて実施した。供試体の詳細については、参考文献に示す¹⁰⁾。桁は、通常時は単純支持条件としている。

図-17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、重錘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。試験では 40kg の重錘を 30cm の高さから落下させ、その前後 20 秒程度の応答を動的に計測した。10 回落下を実施し、それぞれの波形を高速フーリエ変換し、スペクトルを算出した。10 スペクトルのピークとなる周波数の平均値を固有振動数とした。ただし、スペクトルのピークの算出においては、1 次固有振動数に着目するために、抽出する振動数範囲を 1~15Hz に限定し、この範囲でピーク検出を実施した。

図-18に実験および実測結果の比較を示す。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、気温が高く、固有振動数が大きくなった高温時 10/1 (平均気温 32.3℃) および高温時 10/7 (平均

気温 33.4℃) と高温時以外の日を比較した。

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 4%、高温時 10/7 では約 16%大きくなることを確認した。また、平均気温が 10/1 と比較し、約 1℃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 4～16%程度増加することを確認した。

以上より、実験において桁端の拘束条件が変化することで固有振動数が変化することを確認した。

5. まとめ

本研究で、複鉄筋版桁の連続計測を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 連続計測により得られた桁の固有振動数の分析を実施した結果、短スパンの RC 複鉄筋版桁の固有振動数が、列車条件や環境条件等の影響を受けて変化した。
- 2) 平均気温と固有振動数の関係を確認したところ、一部の橋りょうで、平均気温が変化する日と固有振動数が変化する日が一致した。
- 3) 温度変化の影響を受ける橋りょうでは、固有振動数が増大すると、たわみ値が減少する傾向が見られ、気温と固有振動数については正の相関、気温とたわみ値については負の相関があった。
- 4) 温度変化による桁の膨張により支点の拘束条件が変化したことが固有振動数が変化した原因と推定される。
- 5) 橋台と桁端が接触した状態を模擬した実験を実施した結果、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。実験においても桁端の拘束条件が変化することで固有振動数が変化する。
- 6) 実測において桁端の拘束条件が変化することで固有振動数が 4～16%程度増加する。
- 7) 短スパンのコンクリート桁では、これまでコンクリート

橋りょうで得られた温度効果の傾向と異なる傾向を示す場合があることを証明した。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説変位制限、丸善、2006.2.
- 2) 進藤良則、千葉寿、山洞晃一、石徳隆行：新幹線新規開業区間における単純 PC 桁のたわみ測定結果に関する考察、プレストレストコンクリート技術協会 第 20 回シンポジウム論文集、pp.203-208、2011.10.
- 3) 並松沙樹、吉田幸司、加藤信二郎、田辺篤史：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.
- 4) 松尾龍吾、松田泰治、藤見俊夫：温度変化によって生じる桁の伸縮の影響を考慮した多径間連続橋梁の応答評価、土木学会西部支部研究発表会、I-055、2008.3.
- 5) 保科昭、宗村基弘：10 径間連続橋の温度変化に伴う形状測定-首都高速葛飾川口線 KS44 工区高架橋、川田技報 Vol.4 JAN、pp.232-237、1985
- 6) 小林裕介、古庄龍悟、三木千壽：鋼床版箱桁橋梁の温度変形挙動について、土木学会第 57 回年次学術講演会、I-722、pp.1443-1444、2002.9.
- 7) 内田雅人、原田悟、井口重信、築嶋大輔：PRC 単純 T 形桁におけるコンクリート弾性係数の特性分析、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp.459-464、2016
- 8) 中須賀淳貴、水谷司、山本悠人、内田雅人、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、構造工学論文集、Vol.62A、pp.42-49、2016.3.
- 9) 気象庁 HP：<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 10) 伊藤雄郷、吉田幸司、西山誠治、田辺篤史、川谷充郎：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.

(2019.4.5受付)

EFFECTS OF THERMAL EFFECT ON THE NATURAL FREQUENCY OF RC SLAB GIRDER RAILWAY BRIDGES

Saki NAMIMATSU, Koji YOSHIDA, Shinjiro KATO, Atsushi TANABE

The continuous monitoring of RC slab girder railway bridges were conducted to obtain large amount of data. By using MEMS sensors, we can capture the small signal caused by fluctuation of the natural frequency. This paper mention about the effects of thermal change on the fluctuation.

The natural frequency tends to be large and the deflection tends to be small as the temperature went up. This tend might be caused by following mechanism: 1) Thermal expansion may cause contacting girder ends to parapets of abutments, 2) The contact constrains rotation of girder and change boundary conditions, 3) it results increasing natural frequency and reducing deflection.