

部材温度の変化を考慮した鋼桁橋モデルの固有振動特性

Dynamic characteristics of a steel girder bridge model considering changes in temperature of bridge members

北見工業大学大学院 学生員 ○吉中 正滋
北見工業大学 正会員 宮森 保紀
日本航空電子工業(株) 正会員 富岡 昭浩

北見工業大学大学院 学生員 柴田 祐貴
日本航空電子工業(株) 大胡 拓矢
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛

1. はじめに

橋梁の維持管理手法の一つとして関心が高まっている構造ヘルスマニタリングには、橋梁の固有振動特性の変化から損傷を検出する手法がある。しかし、計測結果から固有振動特性を同定するには、動的応答特性に温度などの外的作用が与える影響について把握する必要がある。

著者らは、北海道北見市内の橋梁において加速度、温度などの長期計測モニタリングを行っており、計測結果から動的応答特性は温度の影響を受けて変動していることを確認した¹⁾。文献1)ではFEMモデルを構築し、鉛直曲げモードに対して温度が振動特性に与える影響について基礎的な検討を行った。本研究では、2次部材を含む詳細なモデルを構築し、複数モードに対して温度変化が与える影響について検討する。

2. 実橋振動計測

2.1. 対象橋梁と計測内容

対象橋梁を図-1に示す。本橋は、2007年に北海道北見市に架設された4径間連続鋼合成少数主桁橋である。橋長212m、幅員は取付道路のインターチェンジに接続するため、径間ごとに変化し、第1径間から第3径間は3主桁、第4径間は2主桁となる。支点部はゴム支承で弾性支持されており、床版は合成床版を採用している。

2016年8月4日から第4径間の主桁の加速度計測、2018年5月16日から第4径間各部に部材表面温度の計測を開始した。計測器の配置を図-2に示す。加速度計(JA-70SA)は、2主桁の桁端部と支間中央部、G-3のP-3支点部の下フランジに計5基設置し、サンプリング周波数1000Hzで計測している。温度計(RTR-502)は、2主桁の桁端部に4基とP-3支点部に2基、床版(下鋼桁)に3基の計9基設置し、10分間に1回計測を行っている。本研究では計測開始から2019年8月24日までの計測データを対象とする。

2.2. 固有振動数と部材温度の関係

大量のデータを一括に処理するため、固有振動数の算出にはピークピッキング法を用いた。測点2と測点5の加速度計測結果から算出したフーリエスペクトルの0~5.0Hz間に卓越する振動数を4つ確認した。そのうち、1.7Hz、2.9Hz、3.6Hz付近で卓越する3つの振動数は第4径間で鉛直方向に対称曲げモードとなった。4.0Hz付近で卓越する振動数のモード形状を図-3に示す。鉛直方向に対称ねじれモード、水平方向に対称曲げモードとなった。

温度計測結果から部材毎に温度変化が異なることを確認した¹⁾。G-3の表面温度は、日射の影響を受けるため1日の温度変化が非常に大きく、G-1は年間を通して日陰となることから北見市の外気温と同様な温度変化となる。一方、床版(下

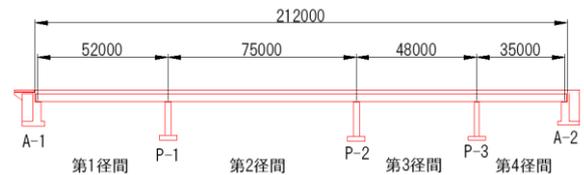


図-1 対象橋梁

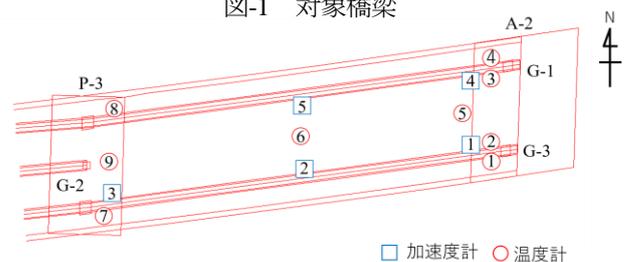
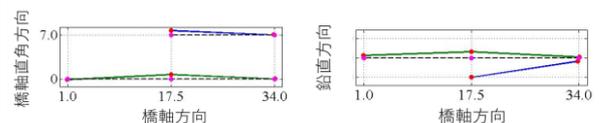


図-2 計測器の配置



(a) 平面図

(b) 側面図

図-3 4.0Hz付近で卓越する振動モード形状

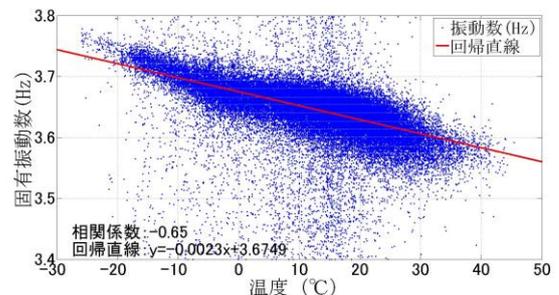


図-4 固有振動数と温度の相関

鋼桁)の温度は主桁や外気温と比較して1日の温度変化が小さいことがわかった。

G-1に設置した加速度計5から算出した3.6Hz付近で卓越する振動数と温度計1の相関を図4に示す。温度の上昇に対して振動数が低下しており、3.5Hz~3.8Hzの振動数帯で同定された振動数に関する相関係数は-0.65である。以上より、温度が固有振動数の変動に影響を及ぼしていることが実測データから確認できた。

3. 温度変化を考慮した固有振動解析

3.1. 対象橋梁のモデル化と固有振動解析

温度変化が構造物の動的特性に与える影響を数値解析的に検討するために、FEMモデルを構築して固有振動解析を行っ

キーワード 構造ヘルスマニタリング, 振動特性, 部材温度, FEM解析

連絡先 〒090-8507 北見市公園町165番地 TEL 0157-26-9472 (宮森保紀)

た。対象橋梁のモデル化は、有限要素解析プログラムである midas NFX を使用した。文献 1) で作成したモデルに横桁、垂直補剛材を追加した。これは、鉛直対称曲げモードだけでなく、対称ねじれモードや他の複雑なモードに対応するためである。主桁、横桁、補剛材をシェル要素、床版、舗装、壁高欄をソリッド要素、支承をバネ要素とし、上部構造のみモデル化した。物性値は対象橋梁の設計計算書、文献 2) に基づいてそれぞれ設定した。

第 4 径間の固有振動数とモード形状について固有振動解析の結果と実測値の比較を表-1 に示す。固有振動解析では第 4 径間以外で卓越する多数の振動モードが得られたがここでは計測結果で得られた 4 つの振動数を対象とした。比較結果から、第 4 径間における振動数、モード形状はおおむね一致した。Mode11 のモード形状を図-5 に示す。Mode11 は実測と同様に第 4 径間における鉛直対称ねじれモードを確認した。

3. 2. 温度変化を考慮した固有振動解析

温度変化が固有振動数の変動に与える影響として物性値の変化に着目して固有振動解析を行った。物性値の変化を表-2, 3 に示す。温度の変動幅は、振動数との相関が高い温度計 1 の最大値と最小値とした。部材ごとの温度に対する物性値の変化については、文献 2) 4) に基づいて設定し、コンクリートは -20°C の弾性係数が 23°C の弾性係数より 10%大きい値とし、その変化率に対して線形に変化させた。

温度ごとに物性値を一律に変化させ、固有振動解析を行った。解析結果と実測の固有振動数の比較を図-6 に示す。実測値は測点 5 の各モードに対応する振動数と温度計 1 の回帰直線から対象とする温度の固有振動数として求めた。鉛直曲げモード形状となる Mode1, Mode7, Mode9 では温度の上昇に伴い、実測値と解析値の差が大きくなる。実橋梁では日射の影響を受けるため、部材毎に温度変化のばらつきがある一方で、日射の影響がなく気温が低下する場合は橋梁全体として部材毎の温度のばらつきがないため低温下では実測値と解析値の差が小さくなったと推測する。また、他の 3 つのモードと異なり、水平方向に変形する Mode11 の解析値は振動数の変動が大きい。図-5 より A-1, A-2 支点部が大きく変動していることがわかり、ゴム支承の 1 次剛性の変化が振動数の変動に寄与していると考えられる。モード毎に振動数の変動に寄与する物性値が異なることから部材毎の温度変化をそれぞれ把握すれば、実測と同様な固有振動数の変動を再現でき、実構造物の供用中の固有振動数の変化と異常による変化の違いから健全度診断ができる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、北見市内の橋梁において計測した動的応答特性の変化に対して、数値解析を用いて温度が固有振動数の変動に与える影響について検討した。対象橋梁の FEM モデルを構築し、温度に対して物性値を変化させて固有振動解析を行った。その結果、モード形状によって実測値と解析値の変動傾向が異なることがわかった。Mode11 はゴム支承の 1 次剛性の変化が固有振動数の変動に寄与していると推測する。そのため、橋梁全体に対して温度を一律に変化させるのではなく部材毎の温度変化を考慮する必要がある。

今後の課題として、部材毎の温度変化の違いを反映した解析を行うことで、様々なモードに対する固有振動数の変動を再現できる可能性がある。そして、動的応答特性に温度が与

表-1 固有振動解析の結果と実測の比較

解析モード	解析		実測	
	固有振動数	モード形状	固有振動数	モード形状
Mode1	1.599Hz	鉛直曲げ	1.709Hz	鉛直曲げ
Mode7	2.658Hz	鉛直曲げ	2.878Hz	鉛直曲げ
Mode9	3.473Hz	鉛直曲げ	3.622Hz	鉛直曲げ
Mode11	3.761Hz	水平曲げ 鉛直ねじれ	3.950Hz	水平曲げ 鉛直ねじれ

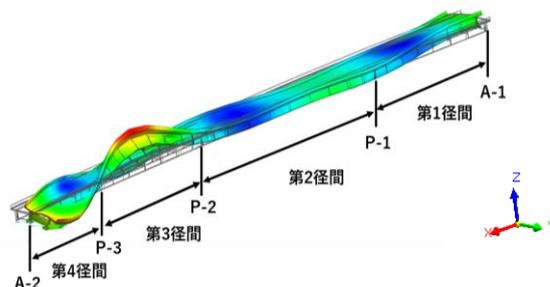


図-5 Mode11 のモード形状

表-2 温度ごとの弾性係数(N/mm²)

	-25°C	0°C	23°C	45°C
アスファルト	33,550	12,050	1,370	93.48
コンクリート	31,126	29,498	28,000	26,567

表-3 ゴム支承の 1 次剛性

	-25°C	0°C	23°C	45°C
A-1/A-2	46,588	29,220	22,400	18,299
P-1	131,861	82,702	63,400	51,793
P-2	118,550	74,354	57,000	46,565
P-3	120,214	75,397	57,800	47,218

● Mode1 (解析値) ● Mode7 (解析値) ● Mode9 (解析値) ▲ Mode11 (解析値)
● Mode1 (実測値) ● Mode7 (実測値) ● Mode9 (実測値) ▲ Mode11 (実測値)

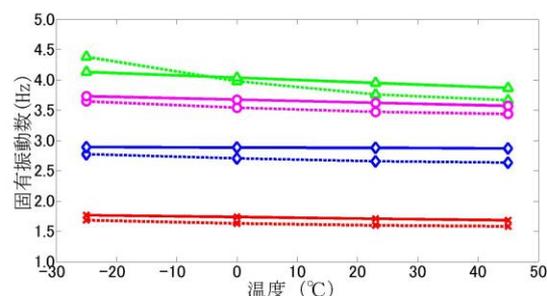


図-6 温度を考慮した解析結果と実測結果の比較

える影響について把握し、固有振動特性の同定する方法について検討する。

謝辞

本研究の長期橋梁計測に際しては、国土交通省北海道開発局網走開発建設部北見道路事務所に協力いただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉中正滋, 宮森保紀, 大胡拓矢, 富岡昭浩, 宮下剛: 長期モニタリングによる鋼板桁橋の部材温度が動的特性に与える影響, 令和 1 年度土木学会北海道支部論文報告集, 第 76 号, A-13, 2020.
- 2) 公益社団法人土木学会: 積雪寒冷地の舗装, 舗装工学ライブラリー, 第 3 章低温ひび割れ, 2011.
- 3) 子田康弘, 皆川翔平, 岩城一郎: コンクリート及び RC はりの耐疲労性に及ぼす環境温度と含水状態の影響, 土木学会論文集 E2, Vol.74, No.1, pp.35-52, 2018.
- 4) 北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会: 北海道における鋼道路橋の設計及び施工指針, 第 6 章付属物, 2012.