

鋼ランガートラス桁橋の固有振動数と温度変化の関係性

長崎大学大学院 正会員 奥松俊博 長崎大学大学院 学生会員 ○三井好古
 長崎船舶装備株式会社 非会員 山崎晃 長崎大学大学院 正会員 西川貴文

1. はじめに

橋梁の常時微動を用いて、振動特性の変化から構造物の健全度を評価する振動モニタリング手法は、構造物の維持管理手法の一つとして提案されている。しかし、振動特性は環境変化によっても変化することが考えられるため、振動特性の変化の要因を明らかにしなければならない。そこで本研究では、温度変化に着目し、温度変化が振動特性に与える影響について明らかにすることを目的とする。過去に実施した橋梁振動の観測結果から、固有振動数は季節変動に伴い微細ではあるが周期的に変動することを確認しており、要因は温度変化によるものと推測されている。一方、橋体温度は日単位の短期間においても変化し、日射面と非日射面の架構部において温度差が生じることになる。温度変化に伴う振動数の年間変動を数値解析的に検証するために 3D-FE モデルを用いた振動解析を行い、観測結果と比較し、その妥当性を検証した。次に温度の日変動を考慮し、橋梁の片面のみ温度上昇させた場合の振動数変化について数値解析を行い、その影響を検討した。



図-1 樺島大橋の外観

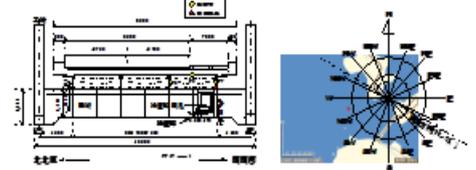
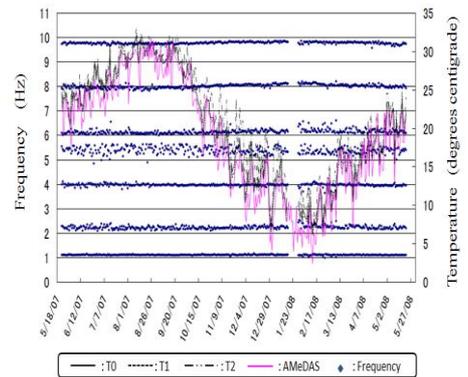


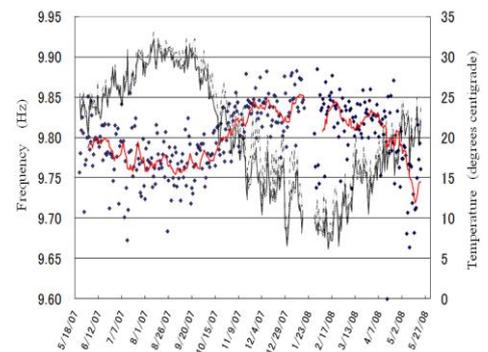
図-2 桁断面 図-3 架設方向

2. 対象橋梁および実況観測結果

対象となる橋梁は長崎半島先端部に位置する樺島大橋である、樺島大橋の外観と桁断面（4主桁）を図-1と図-2に、また架設方向を図-3に示す。同橋は、昭和53年に着工し昭和61年に完成した橋長227m(最大支間152m)、幅員7.5mの下路式鋼ランガートラス桁橋である。2007年に実施した固有振動数の年間変動を温度変化とともに図-4に示す。外気温および橋体温度の年間変動分はおおよそ30℃であることがわかる。10Hz付近までの7つのモードを同図(a)に示す。図から分かるように低次の振動モードでは温度変化が固有振動数の変動に与える影響は小さいが、高次の振動モードにおいては、約20℃減少する間に固有振動数がわずかではあるが上昇していくことが分かる。そこで高次の振動モードに着目して、10Hz付近に存在する固有振動数を抽出したものを同図(b)に示している。図に見られるように、0.2Hz程度変化していることが確認できる。このことから温度変化と固有振動数には負の相関があるのではないかと考えられる。



(a) 10Hz 付近までの固有振動数



(b) 10Hz 付近の固有振動数

図-4 固有振動数および橋体温度

3. MIDAS による温度変化を考慮した固有振動解析

3.1 MIDAS での振動解析条件

温度変化に伴う固有振動数の変化を求めるため、3D-FE 解析ソフト MIDAS Civil を使用した。このソフトでは、温度を入力することが出来ないため、温度を入れる代わりに温度変化を軸力で表した。具体的には以下に示すように行う。両端ピン支点として温度変化を与えて断面力を求める。得られた断面力を単純支持モデル(一端をローラー支点としたもの)に初期軸力として入力し固有振動解析を行う。

キーワード：振動解析，温度変化，固有振動数

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町1番14号 長崎大学大学院工学研究科 Tel:095-819-2613

この手法を単純梁モデルに適用し、その検証を行った。

3.2 梁モデルによる検証

MIDAS で得られる解析手法の妥当性を検証するために、軸力を考慮した梁の固有振動数算出式(1)の結果との比較を行う。

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \times \sqrt{\frac{E \cdot I}{A \cdot \omega}} \times \sqrt{1 + \frac{N \cdot L^2}{\pi^2 \cdot E \cdot I}} \quad (1)$$

ここに L : スパン長, E : 弾性係数, I : 断面 2 次モーメント, A : 断面積, ω : 単位体積質量, N : 軸力であり, 解析モデルは不定形断面をもつ単純梁とした(図-5)。FE 解析では梁を 10 要素に分割した。式(1)および解析結果を表-1 の左部に示す。さらに、図-4 に示した年間温度変化分(約 30°C)を考慮し、前章に記載した手順で解析を行った。その結果を表-1 の右部に示す。MIDAS で求められた固有振動数は両ケースとも式(1)の算出式で求められた結果を若干小さめに評価してはいるが良い一致が見られた。このことから、軸力を考慮することにより、温度変化が固有振動解析に与える影響をうまく表現できることがわかった。

4 橋梁上部工のモデル化と固有振動解析

4.1 樺島大橋のモデル化と固有振動解析結果

樺島大橋上部工の 3D-FE モデル²⁾を図-6 に示す。本モデルの節点総数は 409, 要素数は 760 である。温度変化を考慮しない場合の 1~7 次までの振動解析結果について、固有振動数を図-7 に示した。これらの値は図-4(a)の観測結果とほぼ一致している。

4.2 温度変化を考慮した固有振動解析

(1) 年間温度変化による影響

図-4(a)の観測結果から得られた橋体温度の年間変動分(30°C)に基づき、3.1 に示した手順に従い解析を行った。その結果を表-2 中の +15°C, -15°C に示した。わずかではあるが、高次モードにおいて -15°C の場合、固有振動数が上昇している。温度上昇/下降に伴い振動数は低下/上昇することが解析結果から明らかになった。これは定性的に観測結果と一致するものである。

(2) 日温度変化による影響

日射面と非日射面の橋体温度差を、観測記録をもとに 5°C と設定し固有振動数を算出した。その結果を表-2 中に示した。表-2 より固有振動数はほとんど変化していないとみることができる。このことから、温度の日変化が固有振動数の変動に与える影響は小さく、振動モニタリングを行う上で日温度変化による影響は無視できることを確認した。

5. まとめ

本研究では、温度変化に伴う固有振動数の変化を解析的に求めるための手法を梁モデルおよび鋼ランガートラスモデルに適用し、その有効性を検証した。次に、年間の温度変化分を温度荷重として入力して得られた結果は、過去に実施した観測結果とほぼ一致することを確認した。さらに、橋体への日射による影響を検討するための解析を実施し、温度の日変化が固有振動数の変動に与える影響は無視できることがわかった。

[参考文献] 1) 小松, 奥松他: 長期モニタリングによる鋼ランガー橋の固有振動数年間変動の評価, 鋼構造年次論文報告集第 20 巻, 2012.11 2) 西行, 中村他: モデル化の違いが下路ランガートラス橋の動的特性に及ぼす影響, 平成 21 年度土木学会西部支部講概集, pp.13-14, 2009.3

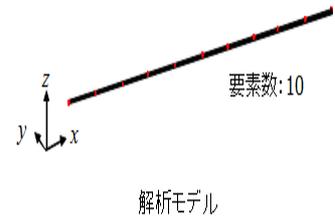


図-5 検証モデル (単純梁)

表-1 固有振動数 [Hz]

温度考慮無し		温度考慮有り	
算出式	MIDAS	算出式	MIDAS
2.559	2.555	1.59	1.588



図-6 樺島大橋の上部工モデル

表-2 固有振動数

mode	なし	+15°C	-15°C	片側+5°C
1次	0.765	0.751	0.751	0.742
2次	1.078	1.069	1.074	1.071
3次	1.684	1.658	1.67	1.664
4次	2.411	2.39	2.399	2.394
5次	4.021	3.985	4.002	3.993
6次	8.371	8.325	8.33	8.328
7次	9.834	9.68	10.041	9.816