

# 温度変化を考慮した樺島大橋の振動解析

長崎大学工学部 学生会員○山崎 晃 長崎大学大学院 正会員 奥松俊博  
長崎大学大学院 正会員 中村聖三 長崎大学大学院 正会員 西川貴文  
株式会社日本構造橋梁研究所 正会員 小松正貴

## 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、各種構造同定理論および高度センシング技術の発展などの恩恵を受け、構造物維持管理手法の一つとして確立している。本手法は固有振動数の変化から構造物の剛性低下を類推するものである。過去に実施した橋梁振動の長期観測結果<sup>1)</sup>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、その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。本研究では、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。次に温度変化（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、その影響について検討した。

## 2. 対象橋梁および固有振動数観測結果

対象となる橋梁は長崎半島先端部に位置する樺島と脇岬をつなぐ樺島大橋である、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 7.5 m 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(a)図に、10Hz 付近に存在する固有振動数を抽出したものを(b)図に示している。低次の振動モードについては年間の温度変化により、固有振動数の有意な差は認められなかったが、高次モードにおいては(b)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。

## 3. MIDAS を用いた温度変化を考慮した固有振動解析

### 3.1 MIDAS による解析手順

温度変化に伴う固有振動数の変化を求めるため、土木専用構造解析・最適設計システム MIDAS Civil を使用した。MIDAS では温度変化を与えても固有振動数は変化しないため、以下の手順で解析する。

[手順 1]両端ピン支点として温度荷重を与えて断面力を求める。

[手順 2]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。

以上の処理により温度変化による影響を表現するものである。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



図-1 樺島大橋の外観

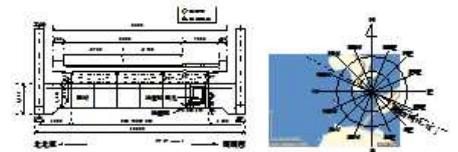
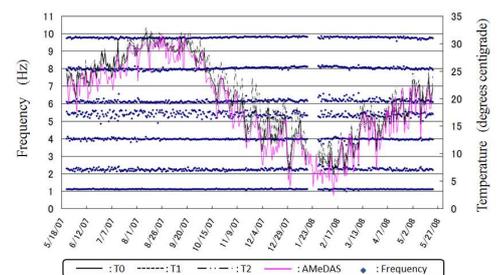
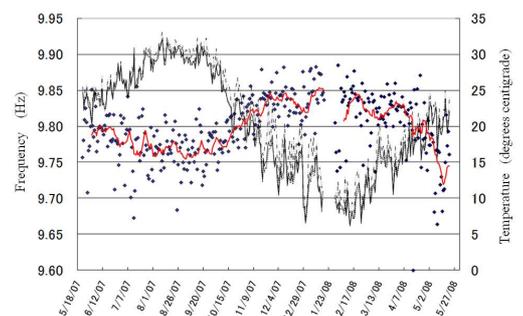


図-2 桁断面 図-3 架設方向



(a) 10Hz 付近までの固有振動数



(b) 10Hz 付近の固有振動数

を考慮した梁の固有振動数算出式(1)の結果と比較を行う。

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

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,  $\omega$ : 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  $L=23.92$  [m] の単純梁とした (図-5). 各パラメータは  $A=2.73 \times 10^{-2}$  [m<sup>2</sup>],  $I=9.23 \times 10^{-4}$  [m<sup>4</sup>],  $E=2.0 \times 10^{11}$  [N/m<sup>2</sup>] (SM490 相当),  $\omega=7.85 \times 10^3$  [kg/m<sup>3</sup>] であり, FE 解析では梁を 10 要素に分割した. 式(1)および MIDAS による解析結果を表-1 の左部 (軸力なし) 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 の左部 (軸力考慮) 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.

#### 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 モデルを図-6 に示す. モデル化については文献 2) を参照されたい. 本モデルの節点総数は 409, 要素数は 760 である. MIDAS で得られた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, 面内振動モードを図-7 に, 固有振動数を表-2 中の軸力なしの列に示した. これらの値は図-4(a) の観測結果とほぼ一致した.

##### 4.2 温度変化を考慮した固有振動解析

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, [手順 1] に従い温度荷重を与えたときの軸力を求め, [手順 2] により固有振動解析を行った. その時の解析結果を表-2 中の軸力考慮 (+30°C) の列に, 軸力なしに対する低減率とともに示した. 軸力なしの場合と比較して, 1~5% の範囲で低くなっていることがわかる. これらは, 温度上昇に伴う振動数低下を表した結果と判断できる. 7 次モードに相当する観測結果 (振動数差 0.2Hz 程度: 図-4(b)) と比較すると, MIDAS による解析結果は 2 倍程度となったがオーダは一致していることから解析結果はほぼ妥当と考えられる.

同時間における日射面と非日射面の橋体温度差を, 過去の観測記録をもとに 5°C と設定し, 上記同様の手順で固有振動数を算出した. その結果を表-2 中の軸力考慮 (片面+5°C) の列に, 軸力なしに対する低減率とともに示した. 数値上, 固有振動数はほとんど変化していないことから, 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. おわりに

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トラス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

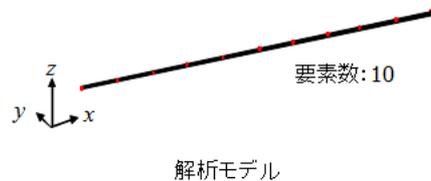


図-5 検証モデル (単純梁)

表-1 固有振動数 [Hz]

軸力なし		軸力考慮	
算出式	MIDAS	算出式	MIDAS
2.559	2.555	1.590	1.588



図-6 樺島大橋の上部工モデル

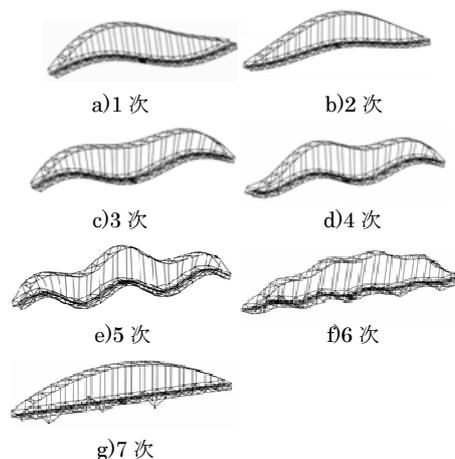


図-7 振動モード (面内)

表-2 固有振動数 [Hz]

mode	軸力なし	軸力考慮 (+30°C)	低減率(%)	軸力考慮 (片面+5°C)	低減率(%)
1次	0.765	0.725	5.188	0.758	0.865
2次	1.078	1.065	1.249	1.076	0.208
3次	1.684	1.651	1.933	1.678	0.322
4次	2.411	2.384	1.120	2.407	0.187
5次	4.021	3.975	1.156	4.014	0.193
6次	8.371	8.316	0.657	8.362	0.110
7次	9.835	9.467	3.742	9.774	0.624