

低温域での模擬橋梁における固有振動数に対する凍結の影響

能美防災(株) 正会員 ○井関晃広 遠藤義英 山岸貴俊

1. はじめに

著者らは、橋梁のモニタリング技術の確立を目指し、様々な実橋梁の長期計測実験を進めてきた¹⁾。実環境下でモニタリングする際には、季節性の変化と、劣化による変化を想定し、切り分ける必要がある。

橋梁の主な構成要素である鉄とコンクリートの線膨張係数は同等であり、本来、温度に対する固有振動数の変化は線形で緩やかである。しかし、これまでの複数の橋梁での計測結果のうち、寒冷時、実橋梁の固有振動数変化が想定される値よりも大きいことわかった。図1は、その一例であるが、低温域(例えば10°C以下)での固有振動数の変化が見られる。

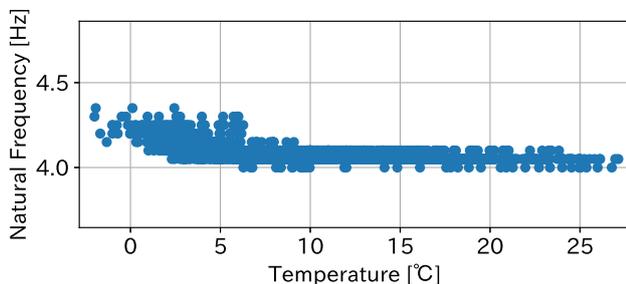


図1 寒冷地での橋梁表面温度 vs. 固有振動数

Sun ら²⁾は、屋内で、温度に対する固有振動数変化の計測実験を実施しているが、0°C以下の現象は調べられていない。Peeters ら³⁾は、凍結時に固有振動数が上昇する現象を観測しており、原因として橋梁表面のアスファルトの層が影響していると述べている。しかし、実橋梁での調査のため、固有振動数の変化に対して、明確な条件分けがなされていない。

そこで本稿では、固有振動数に対し、いかなる場合に温度変化の影響が大きくなるのかを明確にすることを目的とする。屋内に、条件の異なる模擬橋梁を製作し、低温域で温度変化を与える実験を行う。

2. 実験概要

(1) 模擬橋梁の概略

3mのH形鋼(200×200×8×12mm, 約165kg/本)を3本つなげて9mの模擬橋梁を製作し(図2)、当社屋内施設(室内温度調節設備付帯)内に水平に設置した(図3)。支承部は、片側を固定し、もう片側は可動支承とした。

(2) 実験条件

模擬橋梁は3条件を用意し、計測を実施した。

条件A: H形鋼のみ

条件B: H形鋼 + アスファルト(100kg)

条件C: H形鋼 + アスファルト(100kg) + 水(2ℓ)

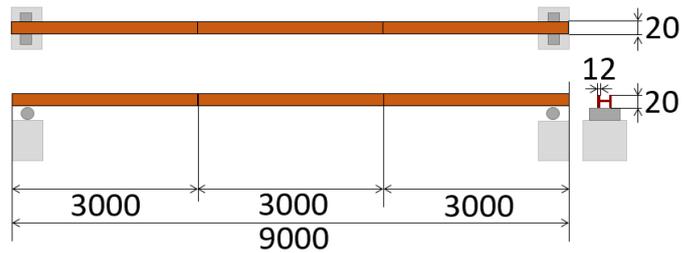


図2 模擬橋梁の概略図



図3 製作した模擬橋梁

条件B, Cにおいて、アスファルトは、H形鋼に平らに敷き詰め固めた。条件Cにおいて、水は、敷き詰めたアスファルトに対し、均一になるように散布した。計測は以下2ステップで進め、常時、模擬橋梁の表面温度および鉛直方向の振動(加速度)を計測した。

step1: 屋内温度を15°C → -15°Cに調節

step2: 屋内温度を-15°C → 15°Cに調節

計測時間はstep1, 2を合わせて4時間である。加速度の計測は、橋梁中央、四分位点に設置した当社製作の3軸加速度センサ(PDAJ002-RP, 周波数範囲: DC~20 Hz, 分解能: 0.06 μG)を用いて行った。計測のサンプリング周波数は100Hzとした。

3. 実験結果

各条件の模擬橋梁を、温度変化させ、計測した加速度値に対し周波数分析を行い、固有振動数を算出した。条件B, Cにおいて、温度と固有振動数の比較結果を図4, 5に示す。条件Cでは、1次, 2次共に、0°C以下で固有振動数が顕著に変化していることがわかる。

キーワード 橋梁, 模擬橋梁, 温度変化, 凍結, 加速度センサ, 屋内実験, 固有振動数

連絡先 〒341-0038 埼玉県三郷市中央1-18-13 能美防災(株) 研究開発センター 先進技術研究室 TEL 048-954-2374

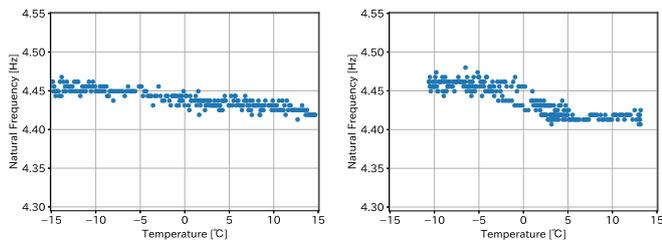


図4 温度 vs. 1 次の固有振動数 (左:条件 B, 右:条件 C)

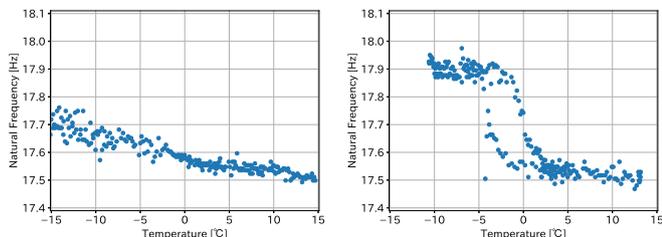


図5 温度 vs. 2 次の固有振動数 (左:条件 B, 右:条件 C)

4. 考察

(1) 水の影響

図4, 5より, 条件Cの模擬橋梁では, $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 間で, 顕著な固有振動数の変化が見られる. これは, 水の相転移による影響であると考えられる. また, 固有振動数の変化にヒステリシスが見られるが, これは step1における 0°C 付近からの漸次的な凍結と, step2における 0°C 付近での急速な融解が現れていると考えられる.

本実験では, このヒステリシスは, step1, 2での温度変化が実環境に比べて急速だったために現れたと考えられる. 実環境の場合, 温度変化は比較的緩やかであるため, 現れにくいと予想される.

(2) 固有振動数の変化率の差

各条件の模擬橋梁における, 表面温度が -10°C , 10°C 時の各固有振動数(1次, 2次)を図6に示す. また, その固有振動数の変化率を図7に示す.

図7から, 条件Aにおける変化率は1, 2次共に0.2%程度であることがわかる. 温度による変化が 20°C 程度であれば, 鋼材のヤング率は0.5%程度変化する. この場合, 棒の縦振動の固有振動数算出式(式(1))より, 固

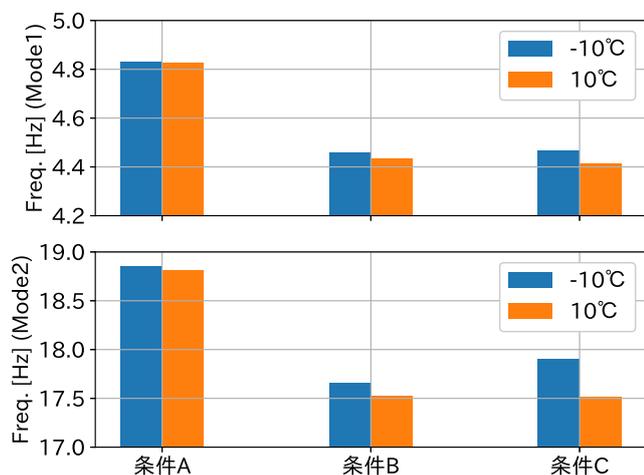


図6 固有振動数の変化 ($-10, 10^{\circ}\text{C}$)

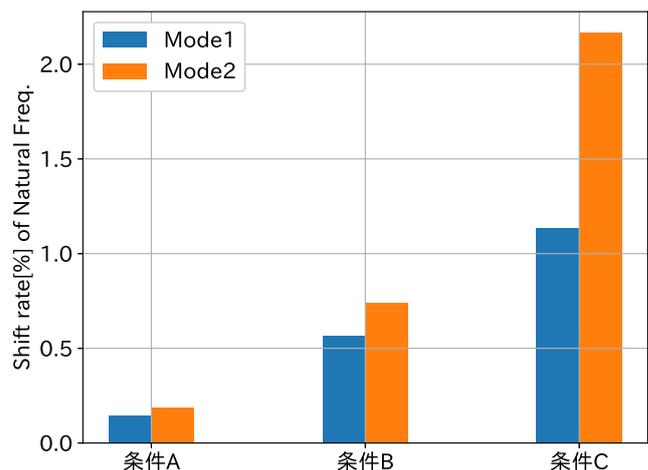


図7 固有振動数の変化率 (-10°C 時 / 10°C 時)

有振動数の変化率は0.25%程度になり, この値は条件Aにおける変化率とほぼ合致している. 一方で, 条件B, Cの変化率は0.25%とは異なり, これはアスファルトや水の影響であると考えられる.

$$f = \frac{\lambda}{2\pi L} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

ここで, $E[\text{N}/\text{m}^2]$ は縦弾性係数(ヤング率), $L[\text{m}]$ は長さ, $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ は材料の単位体積当たりの質量, λ は境界条件と振動モードによって決まる無次元定数である.

また, 1次と2次の間にも差があり, これは, 模擬橋梁に付与されたアスファルトの密度や水の分布が完全に均一にはなっていないことが原因だと考えられる. この不均一性の影響は実橋梁にもありえることと予想される.

5. おわりに

本稿では, 季節性の固有振動数の変化の原因を調べるため, 9mの模擬橋梁を製作し, 氷点下を含む温度変化の影響を調査した. 結果として, 模擬橋梁に水を加えた場合, 凍結による顕著な固有振動数変化が観測された.

今回の実験結果から, 橋梁の固有振動数の変化は, 橋梁の劣化による影響だけではなく, 雨や雪といった, 橋梁に吸収される水分と気温の影響によっても, 発生する可能性が示された. モニタリングする際には, こうした自然環境の影響を吸収するようなアルゴリズムを考える必要がある.

参考文献

- 井関ら: 低周波加速度センサを用いた6つの実橋梁における活荷重変位と振動の長期モニタリング, 土木学会第74回年次学術講演会概要集, CS9-046, 2019.
- Sun, L. M., Zhou, Y. L. and Xue L.: Correlation study on modal frequency and temperature effects of a cable-stayed bridge model, *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications Ltd, Vol. 446, pp. 3264-3272, 2012.
- Peeters, B. and De Roeck, G.: One-year monitoring of the Z24-Bridge: environmental effects versus damage events, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 30, No. 2, pp. 149-171, 2001.