

環境風洞での3Dプリンタ供試体加振実験による橋梁振動特性への温度変化の影響分析

横浜国立大学 学生会員 ○長島大介 横浜国立大学 正会員 西尾真由子

1.序論 近年、構造物にセンサを取り付け常時データ取得により状態を診断する構造モニタリングが注目されている。センサ技術の向上により長期間のデータ取得は可能になったが、データ値の変化が構造特性変化によるものか環境要因によるものか、判断するのが難しいという課題がある。常時構造モニタリングでよく適用される振動計測でも、気温や構造物の温度が固有振動特性に影響を与えていることが分かっており、その影響を考慮したデータ分析法を構築することが必要である。多くの既往研究では、温度と固有振動数の関係は負の相関がみられ、特に高次モードの固有振動数が温度との相関が高いことが分かっている。このような温度と固有振動数の関係は、温度の上昇に伴い材料のヤング率が低下する材料軟化による影響とされているが、支承の固着や伸縮装置の衝突などで境界条件が変化する構造的要因も考えられ、それらの影響を解明した研究は少ない。そこで、本研究では環境温度の変化が振動特性に与える影響のメカニズムの解明を行い、常時モニタリングデータの分析法を検討することを目的とし、3Dプリンタで作製した模型供試体による実験を温度制御チャンバで行った。

2.実験諸元 本研究では、基礎的な橋梁におけるメカニズムの解明を行うための(a)一様断面箱桁模型供試体と、実橋梁でみられる桁高にテーパの付いた(b)断面変化箱桁模型供試体を、3Dプリンタによりナイロン樹脂で作製した。実験は、横浜国立大学内の環境風洞(「構造物劣化促進環境シミュレータ」)の温度制御ユニットにおいて、チャンバ内雰囲気温度を変化させながら模型供試体の表面温度、ハンマ加振による加速度、ひずみを取得した。図1にセンサ設置位置を示す。加速度計は2次モードまでの振動特性を取得するために梁中央と1/4点の3箇所設置した。ひずみゲージ(ゲージ長3mm)

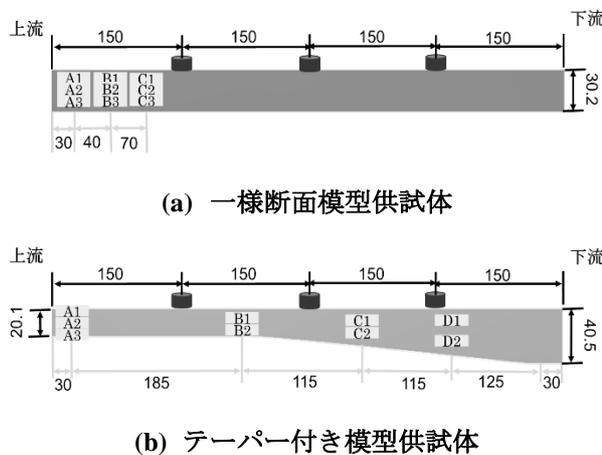


図1 センサ設置位置(mm)

は、供試体(a)では、図中の3断面に上下フランジ側とウェブ高さ中央の3箇所、各計9箇所に設置し、断面AとBでの計測で、①支承近傍の軸力に関するローカルな挙動、断面AとCでの計測で②梁の曲げ挙動の影響を調べた。また、供試体(b)では、図中の4断面にA断面は上下フランジ側とウェブ高さ中央の3箇所、B、C、D断面はウェブ高さ中央から上下5mmの位置に2箇所、計9箇所設置し、各断面での梁の曲げ挙動の影響と固有振動数、温度の関係を調べた。なお、模型温度の計測はひずみ計測位置で行った。さらに、梁の境界条件の違いの影響を把握するため、(i)梁端部の下面で台に接着した状態と、(ii)さらに梁両端に柱部材を設置し、線膨張挙動に対して軸力が付与される状態と比較を行った。各計測回では、雰囲気温度をおよそ15℃から45℃まで上昇させ、その間にひずみを連続取得しながら、25回ずつ加速度と温度の取得を行った。各データ取得ではインパクトハンマ加振を5回行い、入力を一定レベルとしたうえで平均した振動特性を得た。また、各境界条件や供試体のケースで、3回ずつ温度上昇計測を行い、再現性を確認しながらデータ分析と考察に用いた。

3.実験結果 (a)一様断面模型供試体、境界条件(i)で

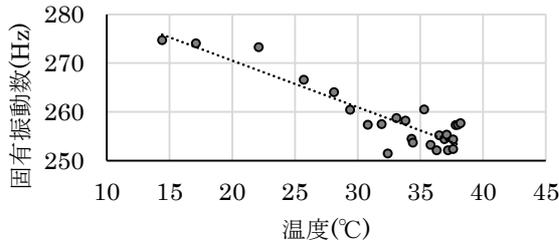
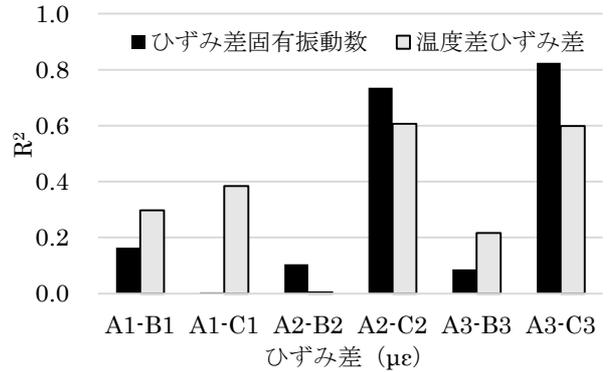


図 2 温度と 2 次固有振動数の関係

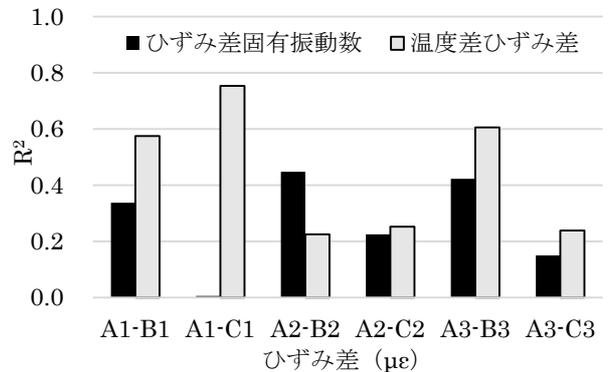
の温度と固有振動数の関係を図 2 に示す。負の相関がみられ、近似直線の R^2 値を比較すると、1 次固有振動数 0.48, 2 次固有振動数 0.82 であった。この高次モードの固有振動数のほうが温度との相関が高い傾向は、相関係数の大小はあっても、供試体の違いや境界条件の違いによらず同様であった。そこで本研究では、構造の線膨張挙動と温度の相関を調べるため、特に 2 次固有振動数について分析を行った。図 3 には、各ケース(a)-(c)で各ゲージ位置間でのひずみ値差分と 2 次固有振動数との相関、およびひずみ値差分と温度差との相関について、 R^2 値でまとめた。これより(a) 一様断面供試体では、拘束のない図 3(a)より、A2-C2, A3-C3 のひずみ差が固有振動数、温度差と相関が高くなっており、梁の曲げが卓越する線膨張挙動が振動特性に影響を与えていた。一方、図 3(b)の端部断面に拘束のあるときは、特に A3-B3 で見られるように、支承近傍の軸方向のひずみ値差が振動特性と高い相関を示しており、温度上昇による線膨張が軸方向の圧縮力を与えており、この端部からの反力が特に固有振動数に影響を与えていることがわかった。また、(b)テーパ付き断面供試体では、(ii) 端部断面に拘束のある状態でも、全体的に相関が高いので、橋梁の曲げ挙動が固有振動数に影響を与えていることがわかった。桁高が変化する梁供試体では、両端で線膨張によりかかる軸力が偏心しており、梁の曲げ挙動が卓越していたためと考えられる。

4.結論 本研究の実験検証によって、環境温度の変化が橋梁の固有振動数変化に与える影響は、構造全体の線膨張変形挙動により、境界条件付与部から与えられる反力によることを示すことができた。構造モニタリングにおいて連続的にデータ取得を行う場合、この線膨張変形は大きな入力として考えることもでき、固有振動数を特に境界条件の変化、すなわ

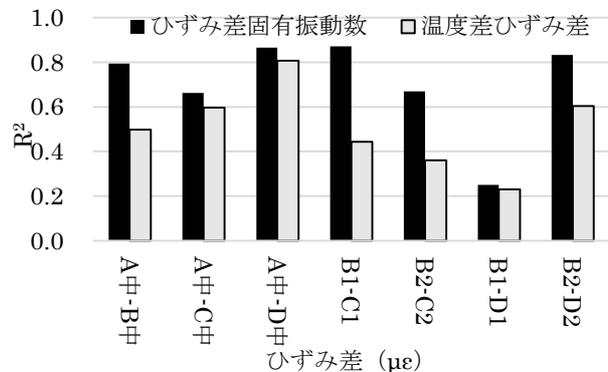
ち支承部の挙動を評価に用いられることが期待できる。今後は、実橋梁モニタリングデータについて同様の分析を進めていく。



(a) 一様断面 (B.C. (i))



(b) 一様断面 (B.C. (ii))



(c) テーパー付き断面 (B.C. (ii))

図 3 各断面におけるひずみ差－固有振動数、温度差－ひずみ差の R^2 値

謝辞 本研究は、公益財団法人鹿島学術振興財団研究助成金による助成のもと実施しました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

[1] E.J.Cross., K.Y.Koo., J.M.W.Brownjohn, K.Worden : Long-term monitoring and data analysis of the Tamar Bridge., Mechanical Systems and Signal Processing 35, 2013.
 [2] Peter Moser, Babak Moaveni. : Environmental effects on the identified natural frequencies of the Dowling Hall Footbridge., Mechanical Systems and Signal Processing 25, 2011.