

高精度構造同定手法による橋梁振動特性の変化検出に関する基礎的研究

長崎大学大学院生産科学研究科
小松 正貴

我が国のインフラ施設の内、道路橋（橋長 2m 以上）については、今後 20 年で、建設後 50 年以上を経過する割合が約 65%と言われる。近年では、2007 年 6 月に木曽川大橋、8 月に本荘大橋で鋼トラスの斜材が腐食により破断し、木曽川大橋では、補修のため、4 ヶ月程の通行規制を余儀なくされ、維持管理の重要性を国民に知らしめた。今後、1960 年代の高度経済成長期にストックされたインフラが急速に老朽化することを考えると、国民が安心して既存のインフラを利用するためには、適切な点検による現状把握と、点検結果を踏まえた的確な修繕の実施が不可欠である。一方、少子高齢化による人口減少や公共事業費の削減によって、将来的には、我が国のインフラを支える土木技術者数の減少と維持管理費の削減は避けられない状況となりつつある。そのため、今後は、技術者減少と維持管理費削減に対応した、老朽化インフラの効率的な維持管理手法が求められている。

維持管理が必要とされる橋梁構造物の多くは、構造系が複雑化し始めた近代以降に建設されたものである。このように複雑な形式を有する構造系は、一般に狭い振動数範囲内に多くの振動モードが存在することになる。よって、近接する固有振動数をいかに分離するかが振動モニタリングによる健全度診断技術を確立するうえでの重要な課題である。一方、橋梁健全度評価を目的とした従来の振動モニタリング手法では、観測結果から得られる振動特性の変化は、損傷に伴う部材の剛性または減衰の変化のみによって生じるものと仮定されてきた。しかし実際には、構造物の振動特性は、微細ではあるが、走行荷重や風などの外力、あるいは温度や湿度などの気象環境によっても変化すると考えられる。既往の研究においてこのような環境要因による振動特性の変化が報告されているが、計測および解析の両面からこれらの現象を十分に解明するには至っていない。損傷のみによる振動特性の変化を抽出するためには、環境要因による振動特性の変化を定量的に推定する技術の確立が必要である。

そこで本研究では、振動モニタリングによる健全度診断技術を確立するための課題として、①有限要素モデル化の違いが振動解析結果へ及ぼす影響の評価、②温度変化に伴う橋梁振動数の変化の定量的把握とその原因推定、③近接固有値を有する構造系の振動特性の高精度同定の 3 項目を設定し、振動特性推定理論の開発、実橋梁における計測および評価を行う。

本論文は一連の検討結果を取りまとめたものであり、5 章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1 章では、社会資本の維持管理に関する背景と近年の損傷事例をもとに、我が国における革新的な維持管理技術導入の必要性について述べた。また振動特性の変化に着目した健全度診断に関する既往の研究をレビューし、本研究の位置付けおよび目的を明確にした。

第2 章では、鋼ランガートラス桁橋を対象に、はり要素で作成された有限要素モデルの要素分割及びせん断変形の考慮の有無等が、維持管理分野で利用されると考えられる比較的高い振動数領域での動的特性に及ぼす影響に着目し、解析的な検討を行った。その結果、5Hz 程度以上の固有振動数・振動モードに与える影響が大きく、固有振動数は吊材を分割することにより高くなり、せん断変形を考慮することにより低くなる傾向であることが明らかになった。

第3 章では、実橋梁における常時微動および温度の長期観測を行い、固有振動数の同定結果と温度との相関について評価した。その結果、対象橋梁の固有振動数は温度変化に応じてほぼ周期的に変動すること、またその変化分は最大で1%前後であることを明らかにした。次に固有振動数が温度に応じて変動する原因を調査するため、年間の温度変化（約30℃）を考慮して3D-FE 解析を実施した。その結果、支点が橋軸方向に固定された状態において、温度変化によって生じる軸力の影響により固有振動数は1~2%程度変化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、橋軸直角方向に温度勾配が生じた場合の検討を行った。観測結果から温度勾配を5℃と設定し、上記と同様の計算によって求めた固有振動数の変動幅は0.1Hz 以下の微小量であることを確認した。

第4 章では、実現理論のひとつであるERA(Eigensystem Realization Algorithm)を、近接固有値を有する構造系の振動特性推定問題に適用し、その有効性と精度の評価を行った。実現理論による近接固有値の分解能を評価するため、近接固有値を有する2 自由度系の衝撃応答と常時微動応答を用いた数値解析を実施した。その結果、振動数と減衰定数に対して精度の高い推定が可能であることが確認できた。さらに本手法を実在する吊床版橋3 橋の衝撃加振試験の実験結果に適用し、いずれの橋梁においても低次の振動数を精度良く推定できることを確認した。

第5 章では、全体を総括するとともに、成果の課題を抽出し今後の展望について述べた。