

博士論文の審査結果の要旨

氏名 Metwally Mahmoud Metwally
(メトワリー マホムッド メトワリー)

インフラストラクチャのストックが増大し、またその経年劣化が進んでおり、それに起因する事故の報告の例も増えている。効率的な維持管理は国家的に見ても重要な課題であり、そのための客観的な検査計測手法の確立は急務の課題といえる。その一つの手法として振動モニタリングがある。

近年、有限要素法などの数値解析手法の進展により、一般的には構造解析の精度が極めて向上したが、実際の構造物の振る舞いは不連続部の存在などの影響を受け、極めて複雑であり、維持管理・補修に際しては、現実の構造物の振る舞いを反映した、現実性のあるモデルが必要になるが、振動モニタリングからの情報はそのための強力な手段となりうる。

これまで振動モニタリングの研究は数多く行われてきたが、シミュレーションによる手法的な研究や模型構造物を対象とした実験的研究が多く、実際の構造物を対象にした例は極めて少ない。1998年に実際の吊橋（白鳥大橋、室蘭市）において高密度連続振動モニタリングが行われた。これまで、吊橋の分野ではゴールデンゲート橋の常時微動記録から固有振動数を同定し、有限要素法の結果と比較した研究が1980年代に発表されているが、それ以外にはあまり例がない。今回の白鳥大橋の常時微動測定では加速度計を、桁を中心に40個設置し、2週間以上にわたり種々の環境条件のもとで計測を行ったものであること、また別途、加振機を使った強制振動実験も行われていることなど、もっとも質、量ともにもっとも充実したデータセットと言える。

本研究は、この白鳥大橋の常時微動モニタリングの測定結果から、吊橋の動特性を調べ、さらにその結果をベースに、空力効果を含めた構造モデルの特性を逆解析から明らかにしようとするものである。論文は6章から構成されている。

まず、振動ヘルスマニタリング、ならびにそれに関係する常時微動の解析法とくに時間領域の解析法についての研究をレビューし、本研究の目的を第1章で述べている。第2章では、解析に用いた Random Decrement Signature 法 (RD 法) について述べ、対象とした白鳥大橋の概要、常時微動計測について述べている。

第3章では、多自由度線形系に対する Ibrahim RD 法を鉛直振動常時微動データに適用し、モード特性（固有振動数、モード減衰、モード形状）を求めている。その結果、従来の方法では、低次のモードまでしか動特性を同定できないことを明らかにしている。高次モー

ドの同定のために、タイムシフト法と、今回新たに開発したハイパスフィルター法を適用し、鉛直 19 次モードまでの同定に成功している。この結果を強制振動実験の結果、FEM による値と比較し、整合的であることを示している。

次に、風速レンジ (0m/s~16m/s, 10 分割) ごとの、鉛直モード特性を調べている。風速 (振幅) が增大すると、固有振動数が若干低下し、モード減衰は上昇することを明らかにしている。また、モード形状の変化についても調べている。風速レベルによって、センタースパンのタワー近くのモード形状が変化すること、モードに位相差が生じ、複素モードとなっていることを定量的に明らかにした。これらのモード特性の風速 (振幅) レベルによる違いは、風洞実験の結果からは説明できず、また、タワー付近の桁モード形が振幅レベルによって、変わることから、支承の影響が大きいことが推測された。

桁のねじれ振動を対象にし、常時微動データから第 3 章で用いたのと同じ方法で、モード特性を求め、9 次までのモード特性の抽出を第 4 章で行っている。ねじれモードの場合は、固有振動数、モード減衰ともに風速 (振幅) レベルによる変化は、鉛直たわみ振動に比べ小さいこと、モード形状はタワー付近では変化はみられず、スパン中央の振幅に見られることを示した。

同定されたモード特性の結果から、作用する自励空気力の影響を含めた構造特性を逆解析により明らかにすることを 5 章で試みている。まず、第 3 章、4 章のモード形状の特性から、系が非比例減衰系になっている。このことを考慮した非比例多自由度減衰系の逆解析構造パラメータ同定の手法を示している。モデルとしては、付加的に自励空気力によるバネ (空力剛性) と空力ダッシュポートと支承の摩擦を等価数形化した回転バネと回転ダッシュポートを加えた系を考え、これらのバネ、ダッシュポートの物理量を RD 法により同定された固有振動数、モード減衰、モード形から同定する手法により、風速 (振幅) レベルに応じた同定値を求めている。

その結果、たわみ振動の空力剛性、減衰については、風洞実験の結果と整合的であり、支承についてはクーロン摩擦的に舞っていること、また、ねじれ振動についても風速実験により求められる自励空気力と同定されたものは、やはり整合的であることを示した。

第六章では、本研究から得られた結論を述べている。

本論文は、白鳥大橋において行われた高密度連続常時微動モニタリングの測定結果から、吊橋の動特性を詳細に調べ、さらにその結果をベースに、空力効果を含めた構造モデルの特性を逆解析から明らかにしようとしたもので、吊橋の構造特性、特に風の影響について有益な情報を抽出するのに成功しており、振動モニタリングの分野に大きなインパクトを与えることが予想される

以上、本論文は工学上多大な知見を呈示していると判断される。よって、博士 (工学) の学位請求論文として合格と認める。