

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 Dionysius M. Siringoringo

長大橋では、振動数・減衰・モード形などの振動特性の変化による耐震性能の変化が顕著であることから、耐震性能を評価したり、耐震補強したりするにあたり、動的特性の現状と対策による変化を踏まえた検討が重要である。その一手法として、微小地震や中小地震をターゲットとしたモニタリングを実施することは、極めて有効である。特に、現在、計測・情報技術の進展に伴い、実橋計測でも、計測点数や同時処理可能な計算容量が飛躍的に増大しつつあることから、これまでに無い高い精度でしかも多モードの同定が可能である。その情報をベースに、モニタリング情報に立脚した性能評価法を開発することで、理論予測のみでは捉えられない実態を反映可能な新たな耐震設計のあり方が提示できるものと期待されており、本論文はこの問題に対する一つの回答を示そうとしたものである。

地震応答のような多点同時計測を前提として、多入力・多出力（MIMO: Multiple input-multiple output）システムに適用可能な、多モード同時同定アルゴリズムを用いることで、構造物の振動特性の高精度かつ高密度な把握が可能となる。この、多点同時計測および MIMO 同定は、計測・情報技術の進展を背景としたもので、近年、実現されつつあるものである。従来は、比較的少ない計測点に対して詳細な大自由度の有限要素モデルを対応させて外挿する方法が一般的であったが、多くの自由度の計測が欠けたまま大自由度の解析を行うことになるため、物理パラメータや入力条件などの不確実性が極めて大きい信頼性に欠ける解析とならざるを得なかった。それに対して、計測点の飛躍的増加を背景として、その信頼性の向上が可能となっている。

同定手法としては、計算機の進歩を前提として、多自由度同時同定の時間領域手法の発展が目覚しく、オブザーバ/カルマンフィルタ同定アルゴリズム（OKID: Observer/Kalman filter algorithm）などが開発され、最近では、宇宙構造物の分野で情報行列システム表示法（SRIM: System realization using information matrix）が提案されている。この方法は、マルコフパラメータは情報行列の入出力関係の相互相関と自己相関から求められ、これによって予めマルコフパラメータを計算する必要がなくなるため、計算の効率が OKID-ERA/DC よりも改善されておりもっとも進んだ方法として認識されている。

論文では、研究分野の既往の研究をレビューし（1章）、システム同定手法を体系的に概説するとともに、SRIM法の定式化を行っている（2章）。3章では、本手法を構造物の地震応答に適用するにあたり、長大斜張橋を例に

とり，少ない数のセンサーという条件下のもとでの信号ノ雑音比やデータ長の影響についてその感度を系統的に検討している．また，センサーの配置と数とモード特性の同定精度を論じている（４章）．

これらを踏まえ，長期モニタリングが実施されている橋梁に対して，提案する手法の適用を行った．具体的には，横浜ベイブリッジ，レインボーブリッジ，鶴見つばさ橋，港大橋，葛飾ハープ橋の５つの長大橋梁に対して適用し，モーダルパラメータの同定を行った（５章ならびに補遺）．特に，センサー数が多く，地震記録が多くとられている横浜ベイブリッジに対して入念な検討を行っている．1990年から2004年の間に記録された数種類の地震動に基づいてシステム同定を行い，常時微動や起振器による振動実験では得られない高次のモードの特性まで同定できることを明らかにしている．また，有限要素解析結果や過去の常時微動計測あるいは強制振動試験等で実施された別個の同定結果との比較を通して有効性を検証した．さらに，数多くのモードに関する固有振動数，減衰の振幅依存性を調べ，固有振動数についてはほとんど変化しないこと，多くのモードで減衰もあまり変化しないこと，しかし，モードによっては減衰が振幅とともに増大することを実証的に示した．

また，同定結果から，地震時遊動円木振動モードに関して固有振動数が異なる２つのモード（約0.12Hzと0.22Hz）があることを明らかにし，その工学的意味を詳細に検討している（６章）．２つのモードを検出できたのも，今回SRIM法という高度な手法を適用したからであり，意義が大きい．具体的には，桁の橋軸方向加速度記録ならびに端橋脚の加速度記録から，エンドリンクの回転ヒンジに動きが影響していることを突き止めた．具体的には，回転ヒンジが地震に回転する場合と回転しない場合があり，それが固有振動数に大きな変化が生じ，概して大振幅時には回転し，小振幅時には回転していないことを10数個の地震記録の同定から明らかにした．このような橋軸方向振動の特性は，常時微動や起振器実験からは同定できていないモードであり，地震計測と高度なシステム同定との組み合わせで初めて明らかにされたことであり，地震モニタリングと同定技術の重要性を具体的に示したという点で工学的意義は非常に高い．また長大橋の地震記録からシステム同定がモード特性の把握にとどまっていたのに比べ，本研究では，モード特性の把握にとどまらず，長大橋の地震時の物理的かつ局部的挙動を明らかにした意義も極めて高い．

7章では本論文で得られた知見を結論としてまとめている．

以上、本研究は、長大橋を対象にその地震記録からのシステム同定を行い，モード特性を明らかにするとともに，実橋の地震時の局所的な非線形挙動をも明らかにしたものであり，有用性に富む独創的な研究成果と評価できる．よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．