

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名 LE VAN HIEN  
 学位の種類 博士（工学）  
 学位記番号 都市博甲第14号  
 学位授与年月日 平成27年9月25日  
 学位授与の根拠 学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項  
 学府・専攻名 都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻  
 学位論文題目 Application of time-series analysis to GPS-base long-term monitoring of a cable-stayed bridge  
 論文審査委員 主査 横浜国立大学 准教授 西尾真由子  
 横浜国立大学 教授 小長井一男  
 横浜国立大学 教授 山田均  
 横浜国立大学 教授 勝地弘  
 横浜国立大学 教授 藤野陽三  
 横浜国立大学 准教授 SIRINGORINGO Dionsius Manly

## 論文及び審査結果の要旨

本論文では、GPS システムで長期間取得された斜張橋の変位データに対して、時系列モデルの一つである ARIMA モデルを推定し、その係数を特徴量として確率論的に構造状態を論じる方法を新しく提案し、その有効性を実橋から取得されたデータ解析と、数値モデルによる検証によって示した。

第1章では、特に長大橋における構造ヘルスマモニタリングの役割と既往研究、さらに GPS 変位取得システムの原理とそれを用いた構造モニタリングの既往研究をまとめた上で、本研究の目的と論文構成を示した。近年、GPS を含めさまざまなセンサを用いた橋梁モニタリングシステムが国内外の長大橋で導入され、長期間データが蓄積されながらも、そのデータをどのように用いて、長期的な観点で構造状態に関する情報を示すのかという点にアプローチが少なく、本研究ではこの点に着目した。

第2章は、研究で対象としたベトナムの斜張橋 CanTho 橋と設置された GPS システムの諸元を述べた上で、はじめに、GPS データの取り扱いでしばしば問題となる、欠損点の内挿に関する検証結果を示した。この事前処理の上で、対象斜張橋のタワーや桁での長期変位データに対して気温との相関解析を行い、長期変位挙動で支配的な全体変形モードを明らかにした。

第3章では、抽出した全体変形モードの変動パターンから構造状態を判断する方法として、自己回帰和分移動平均（ARIMA）モデルを計測データに対して推定し、その AR-MA 係数を構造の状態変化を表す特徴量とする手法を提案した。これは、構造に大きな状態変化がない段階で得る基準分布からの外れ値診断から、構造変化の有無を判定する方法である。この章では、提案手法の理論説明を行った上で、CanTho 橋で得られた1年分の GPS データに ARIMA モデル推定を行い、AR-MA 係数の基準分布を得た。

第4章では、橋梁支承の劣化による境界条件変化、斜張ケーブルの張力変化といった構造状態変化が生じた際に、AR-MA 係数分布からそれらの変化が判別できるのか、数値モデルによる検証を行った。ここではまず、一般的な斜張橋の有限要素モデルを構築し、各構造状態に対して、幾何学的非線形性を考慮した温度履歴解析にて、気温変化による全体変形モードの数値データを作成した。これに GPS システムの誤差レベルに準ずるノイズを加えた変位データを作成し、それらに対して ARIMA モデルを推定し、構造状態の変化による AR-MA 係数分布の変化を検証した。その結果、橋の境界条件やケーブル張力が変化することで、気温の変動による全体変形モードのパターンが変化し、各 GPS 計測箇所での AR-MA 分布が変化することを示し、長期的な構造状態を提案手法により把握することが可能であることを示した。

第5章では最後に、全体変形モードを捉えるため、タワーや桁など複数箇所で得られる高次元の AR-MA 係数特徴量ベクトルを、マハラノビス汎距離によって次元低減することで、気温変化による全体変形モードのパターンを1次元の指標で分析することを提案し、検証を行った。第4章での数値解析データに適用した結果、各構造状態変化を明確に捉えられる事を示した。さらに、これまで実際には大きな構造状態変化が認められていない対象橋梁の実データに対し

て、第3章で得られた AR-MA 分布からマハラノビス汎距離を求めた結果、少なくとも半年間のデータを基準として用いなければ、構造状態変化の有無を検討できる基準分布が得られないことを示した。

以上により本論文では、既往研究にはなかった長期モニタリングデータの分析方法に、1つの新規手法を提案し、その有効性を示すことができた。今後も国内外で活発に行われると考えられる長期橋梁モニタリングにおいて、蓄積される膨大なデータの有効活用に寄与する知見が得られたと言える。したがって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値があるものと認められた。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。