

氏 名	鄭 明 辰
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2494 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 土 木 工 学 専 攻
学位論文題目	Damage Detection and Assessment of Structural Systems in Time and Frequency Domains (時間と周波数領域における構造システムの損傷診断と評価)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 忠 信 教 授 家 村 浩 和 教 授 井 合 進

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は時間と周波数領域において効率の良い構造同定アルゴリズムを開発し、その有用性を数値計算と実験により検証したものであり、6章からなっている。

第1章は、本研究の背景と目的、構造同定の歴史と適応型構造同定手法の必要性について述べている。

第2章では、カルマンフィルタとモンテカルロフィルタに付いて概説した後、これらベイズ定理に基づく統計的フィルタは、過去の観測量から得られる事前情報を新たに得られる観測量で修正していく同定手法であるため、動特性が時間と共に変化するような非定常特性を有する構造物の同定を行うことが困難であることを指摘し、こうした問題点を解決するため、モンテカルロフィルタに適応プロセスノイズと適応観測ノイズを付加することにより過去の観測量の影響を忘却できる適応型モンテカルロフィルタを開発した。そして過去の観測量の影響を忘却する程度を忘却係数として定義した。

また、構造物の破壊過程を考えると、構造物の動特性は徐々に変化するのではなく、急激に変化すると考えられる。したがって、適応型モンテカルロフィルタを適用するのは、動特性が大きく変化する時間帯のみに限定する方が同定の効率が高くなる。そこで、構造物の動特性の変化に応じて忘却係数の値が変化するように適応型モンテカルロフィルタを修正した。

第3章では、開発した手法の有用性を数値計算により検証した。解析モデルとして、損傷した要素をもつ1自由度と3自由度のバネ質点系を用いた。適応プロセスノイズのみを考えた場合、適応観測ノイズのみを考えた場合、適応プロセスノイズと適応観測ノイズ両方ともに考えた場合の3ケースに付いて、構造物の動特性の時間的な変化を同定した。さらに、全時刻ステップに対して一定な忘却係数を用いた構造同定を行い、それらの同定結果を比較することにより、開発したアルゴリズムの有効性を検証した。

第4章では、ワイヤレス計測データ送信装置を開発し、それを用いて構造同定を行うシステムを開発した。ワイヤレス計測データ送信装置は、構造物の各種計測信号をワイヤレスで容易に転送することを実現する装置である。これを用いることで、センサーからのアナログ値をデジタル信号に変換し、無線通信を使って離れた親局に送信することが可能である。さらに、その親局に接続されたホストパソコンで構造物の同定を行うことも可能である。構造同定を行うシステムの有用性を、5層モデル構造物の振動台実験を実施して、そのデータを用いて検証した。振動台実験から得られた絶対加速度で各層の相対加速度を計算し、それを積分することで速度、変位を得た。解析モデルとしてはせん断型5自由度系モデルを用いた。各層の質量が既知であり、各層の相対速度と相対変位が観測値として与えられている条件の下、各層の剛性と粘性減衰係数を、これまで開発済みのカルマンフィルタやモンテカルロフィルタを用いて同定する。さらに、同定された動特性を用いて応答の再現を行ない、開発したシステムの有用性を検証した。

第5章では、周波数領域において、Shinらが提案したシステム同定アルゴリズムを用いて3次元構造物（橋梁の桁ならびに横梁と支承部をモデル化したもの）の損傷診断と損傷評価を行う。このアルゴリズムでは計測したモード応答と計算したモード応答との2乗誤差を最小化することによって未知パラメーターを同定する。室内でハンマーを用いて直接対象構造

物に衝撃を与えてモードデータを計測した。構造物の特定部材に切り欠きを入れた6つの損傷状態を考え、対象構造物の支承部と横梁と桁接合部との条件を3つのモデルで表現し、対象構造物の損傷評価を行った。支持部と梁との間に生ずるギャップの影響ならびに横梁と桁との接合部における断面中立軸間のギャップの影響が損傷同定に大きな影響を及ぼすので、それらを詳細に評価した。Model-1は基本モデル構造物である。Model-2は、支承部の高さを考慮するため軸剛性を持つ回転バネとして支承部をモデルとした。Model-3は、Model-2状態を考えた上で、桁と横梁間の高低差をも考慮したモデルである。結果として、支承部の高さの影響ならびに桁と横梁の中立軸の高低差を的確にモデル化しないと、損傷同定が困難であることが明らかにされた。

最後の第6章は結論であり、本研究で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は時間と周波数領域において効率の良い構造同定アルゴリズムを開発し、その有用性を数値計算と実験により検証したものである。時間領域ではモンテカルロフィルタを利用して、構造動特性が非定常な変化をする構造システムの同定に適用できるアルゴリズムを開発した。周波数領域ではモードデータを用いて構造損傷を検出するためのアルゴリズムを展開した。得られた結果の主なものは以下のようである。

- 1) モンテカルロフィルタに適応プロセスノイズと適応観測ノイズを加えて過去の観測値の影響を忘却できる適応型モンテカルロフィルタのアルゴリズムを開発した。同定結果に及ぼす過去の観測値の影響を忘却係数で評価し、それを異なる二つの確率密度関数の比で定義した。
- 2) 構造物が破壊する過程では、その動特性は徐々に変化するのではなく、急激に変化することが多い。したがって、動特性が大きく変化する時のみ忘却係数が機能する同定アルゴリズムが必要となる。そこで、構造物の動特性の変化に応じて忘却係数の値が変化する機能を開発した適応型モンテカルロフィルタに導入した。
- 3) 開発したアルゴリズムの有用性を、モデル構造物に損傷が発生する場合を想定して、数値計算により検証した。
- 4) ワイヤレス計測データ送信装置を開発し、それを用いて5層構造モデルの振動台実験を行い、計測データに基づいて開発した構造同定アルゴリズムの有用性を検証した。ワイヤレス計測データ送信装置は、構造物の各種計測信号をワイヤレスで転送することを実現する装置である。センサーからのアナログ値をデジタル信号に変換し、無線通信を使って離れた親局に送信することが可能なものである。
- 5) 周波数領域における構造同定アルゴリズムを用いて、橋梁系をモデルとした3次元構造物の損傷診断かつ損傷評価を行った。ハンマーで直接対象構造物に衝撃を与えてモデル構造系のモードデータを計測した。構造物の特定部材断面に切り欠きを入れた6個の損傷状態を作成し、その検出を行なって、開発した同定手法の有用性を検証した。

以上要するに本論文は、構造物の損傷過程を効率よく同定するためのアルゴリズムをモンテカルロフィルタに適応性を導入することにより開発すると共に構造物のモデル化が損傷同定に及ぼす影響の評価を行なったものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成17年2月16日に論文内容とそれに関する試問を行った結果、合格と認めた。