

(論文内容の要旨)

本論文は、土木構造物に対するヘルスマonitoringへの適用を目的として、実施が比較的容易な微小振動計測により、構造物の剛性および減衰性能の変化を検出する振動数領域解析と時間領域解析を組み合わせた手法を提案するとともに、実大多層鋼フレーム構造物によりその有効性および妥当性を検証したものであり、7章からなっている。

第1章は、序論である。土木構造物に対する構造物のヘルスマonitoringの目的は構造物の健全度の状態を同定し、損傷の発生を検出することであるが、損傷は構造物の特性の中でも剛性や減衰等の動特性の変化として現れることから、剛性変化の生じた位置および減衰性能の変化の情報が有用である。こうした情報を得るために実際の構造物に大きな加振力を加えることは実際上困難であることが多いため、常時の微小振動の計測によって構造物の状態を検出する方法が注目されている。そのために本論文で展開される手法を検証するため、実大の多層鋼フレーム構造物を用い、チェーン、ブレース材、ダンパーなどで構造物の特性を人為的に変化させた計測および実験が実施されたことを説明した上で、論文の構成について述べている。

第2章は、微小振動による構造物の剛性および減衰性能の同定に関する既往の研究と理論的背景について述べたものである。常時の微小振動に基づく構造物の特性の同定や構造物の損傷位置の検出に関連する理論として、数値モデルを計測に基づいて更新するための方法論についての既往の研究と、自由振動に着目した減衰性能の検出の考え方を整理して述べている。

第3章では、実大多層鋼フレーム構造物に対する微小振動計測を実施し、その結果に基づき十分な信頼性のある固有振動数および振動モード形状の同定を行うことができること、およびその結果に基づく多点微小振動計測データのモード分解の手法を示した。構造物の微小振動の多点同時計測結果に対するパワースペクトルおよび相互スペクトルの解析において **Multitaper** 法を適用する手法であり、実大フレーム構造物への適用で固有振動数および振動モード形状が明確に検出されることを示した。得られたモード同定結果の妥当性は、有限要素モデルによる解析結果と良好に一致を確認することにより示された。振動モード形状の情報に基づき微小振動計測波形のモード分解を行ったところ、分解された個々のモード応答の波形の平均周期が、対応するモードの固有周期とほぼ一致することを示すという方法で、微小振動計測波形のモード分解の結果の妥当性を示している。

第4章では、構造物の振動特性のうち、特に減衰性能を検出するための新たな方法として、微小振動計測波形を各次モードの成分に分解した上で **Random Decrement** 法を適用する、振動数領域－時間領域混合型の同定手法の提案が述べられている。**Random Decrement** 法は元々は不規則加振条件下における一自由度系を対象に提案された手法であり、これを一般の自由度数の多い構造物に拡張する試みが従来なされているが、提案する方法はその試みのための新たなアプローチを示したものであり、前項の微小振動計測に基づくモード特性の同定

の結果を有効に活用した方法となっている。さらに、数値計算例によって、提案する方法により減衰性能がどのような形で検出されるかを具体的に示して説明している。

第5章では、構造物の剛性の変化が生じている位置を検出するための手法として、同定された振動モードに対する MAC 値による判定とモード形状の変化に基づく損傷指標を用いる方法の導入について述べている。これを層ごとのブレースの結合状態を変化させて意図的に剛性を変化させた実大フレーム構造の有限要素モデルに適用して数値的な予備計算を行っている。ここで展開された方法によりブレースの結合状態に対応した剛性変化を明確に同定できることが示された。

第6章では、第4章で述べた振動数領域－時間領域混合型の同定手法を実大フレーム構造物に適用し剛性および減衰性能の変化を同定した結果について述べている。チェーンおよびダンパーの設置により実大フレーム構造の剛性および減衰それぞれを人為的に変化させた実験および計測を行っている。減衰性能の検出結果はチェーンなしの場合、チェーンをいくつかの位置に変化させて設置した場合、チェーンおよびダンパーを設置した場合の相違を自由振動試験と同様であり、その妥当性を示している。また、微小振動計測に基づく剛性の変化の検出については、チェーンの設置位置に対応した結果が得られていることが示されている。

第7章では、本研究で得られた結論を要約するとともに、実際問題への適用にあたっての今後の課題について述べている。剛性変化の検出については、構造物の健全性の評価という観点からは位置のみならずその剛性の値の定量的な変化の検出も重要である。また、計測にあたっての環境外乱の時間的変動が検出を困難にすることが指摘されている。また、具体的に橋梁におけるケーブルの腐食の進行のような現象にともなう劣化の検出に関する困難が問題として挙げられている。

氏名

TATIANA KUROIWA

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、土木構造物に対するヘルスマonitoringへの適用を目的として、実施が比較的容易な微小振動計測により構造物の剛性および減衰性能の変化を検出する、振動数領域解析と時間領域解析を組み合わせた手法を提案するとともに、実大多層鋼フレーム構造物によりその有効性を検証したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 構造物の微小振動の多点同時計測結果に対してスペクトルおよび相互スペクトル解析において Multitaper 法を用いることで、実大多層鋼フレーム構造物について十分な信頼性のある固有振動数および振動モード形状の同定を行うことができることを示した。得られたモード同定結果の妥当性は、有限要素モデルによる解析結果と一致することから検証されることを明確に示した。
2. 実験的に同定された振動モード形状の情報に基づき、多点における微小振動計測波形のモード分解を行う手法を提起し、実大フレーム構造物への適用事例において、分解された個々のモード応答の波形の平均周期が対応するモードの固有周期との一致を確認する方法により、微小振動計測波形のモード分解の結果の妥当性を示した。
3. 構造物の振動特性のうち、特に減衰性能を検出するための新たな方法として、微小振動計測波形を各次モードの成分に分解した上で Random Decrement 法を適用する、振動数領域一時間領域混合型の同定手法を開発し提案した。Random Decrement 法は従来、不規則加振条件下における一自由度系を対象に提案された手法であり、これを一般の自由度数の多い構造物に拡張する試みがこれまで行われているが、提案する方法はその新たなアプローチを示したものであり、上述の微小振動計測に基づくモード特性の同定の結果を有効に活用した方法となっていることが特徴である。
4. 構造物の剛性の変化が生じている位置を検出するための手法として、同定された振動モードに対する MAC 値による判定とモード形状の変化に基づく損傷指標を用いる方法を導入した。層ごとのブレースの結合状態を変化させて意図的に剛性を変化させた実大フレーム構造に対して適用したところ、ここで展開された方法によりブレースの結合状態に対応した剛性変化を明確に同定できることが示された。
5. 本論文で提案した方法をチェーンおよびダンパーの設置により剛性および減衰それぞれを人為的に変化させた実大フレーム構造に適用することで、提案手法による構造物の剛性および減衰性能の検出の妥当性を実証した。

本論文は、重要かつ緊急の課題である土木構造物に対するヘルスマonitoringを微小振動計測により実現するために適用しえる一つの方法論の可能性を提示するものであり、学術上、實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21年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。