

審査の結果の要旨

氏名 涌井 将貴

本論文は、定量的な被災度区分判定手法の提案を目指し、その基礎的な検討として、簡易に計測できる絶対応答加速度の高次微分に着目し、それをを用いた損傷評価手法の提案と、その適用性の検証を行ったものである。本論文は全7章から構成されており、本文を補足する2つの付録が付属している。

第1章の序においては、本研究の背景および本論文の目的と位置づけが示されている。地震被害を受けた建築物に対しては、継続使用の可否判断や修復の必要性判断のため、迅速かつ合理的に構造損傷度を評価する必要がある。現在一般的に行われている「応急危険度判定」および「被災度区分判定」は、時間がかかり判定結果が判定士の技量に依存すること、定性的で大雑把な判断にとどまることなどの点で改善が必要である。これに対し、迅速かつ合理的、自動的に判断を行うことを目的とした、構造ヘルスマonitoringという既存技術がある。すでにいくつかの適用事例もあるが、対象とする構造物の力学的挙動に立脚した評価理論が欠けているため、損傷の判断基準の設定が経験則に依存しているという問題点がある。この認識に基づき、構造物の運動方程式との数学的対応に優れる、応答加速度の高次微分を用いた損傷評価手法の確立を本論文の研究目的として位置づけている。

第2章では、1質点系における運動方程式を基に、離散データとして計測される絶対応答加速度の時間に対する1階微分(jerk)および2階微分(snap)という物理量を定式化し、これらの物理量と振動系の履歴復元力との対応関係を整理した。特に、snapは構造物の剛性変化に対応しており、この値を評価することによって、構造物の履歴復元力に生じる非線形性を検出することが可能となることを示した。さらに多質点せん断系において、対象層から最上層までの各層で計測される絶対応答加速度の和が対象層の復元力と比例することから、この絶対加速度の和のsnapによって、層の非線形挙動の検出が可能となることを示した。

第3章では、第2章で定式化した jerk および snap を用いた損傷評価手法を提案し、数値解析結果を用いて適用性を検討した。前述のとおり、snap は構造物の剛性変化に対応しており、構造物の非線形挙動検出能力を有する。しかし、非線形挙動が生じなかったとしても、一定範囲で振動する値となり、さらに外力加速度の影響も受ける。本章ではこのような snap の特性を論述すると共に、この特性に基づいた非線形性の検出方法や、非線形挙動中に生じる塑性変形量の推定方法、および剛性低下率の推定方法を示した。さらに、バイリニア型復元力特性を有する弾塑性1質点系モデルによる地震応答解析により、その適用性を検証した。

一般的に、加速度センサによる振動計測では、計測される加速度応答記録にノイズが含まれる。高次微分解析の大きな欠点の1つとして、このようなノイズに対する耐性が低いことが挙げられる。そこで、第4章では、微分操作によってノイズが snap に与える影響を検討するとともに、ノイズの影響を低減する方法を提案している。提案したノイズ低減処理方法の妥当性、および非線形性の検出精度に与える影響を数値応答解析結果を用いて検討した。その結果、ノイズを含む加速度記録をそのまま微分した場合では、設定した閾

値による非線形性検出は困難であるが、提案したノイズ低減処理を行うことで、設定した閾値によって非線形性検出が可能となることを示した。

第 5 章では、概ね 1 自由度系と考えられる、露出型柱脚、柱梁接合部、および鉛直ブレースの 3 種類の構造部材の振動台実験結果を用いて、4 章までに示した損傷評価手法の適用性を検討した。露出型柱脚の振動台実験データの解析により、明確に降伏点を検出可能であり、第 3 章で提案した塑性変形量の推定方法も十分な精度で適用可能であることがわかった。柱梁接合部試験体については、非線形挙動の検出に加えて、剛性低下率を 5~15%程度の誤差で評価することが可能であることを示した。鉛直ブレース試験体においては、非線形性がブレース材の降伏、座屈や破断と関連することから、本提案手法がこれらを検出する能力を有することを示した。ただし、検出された非線形性が、どの損傷現象に起因するかを判定することは困難であることもわかった。

第 6 章では、多層骨組構造物の応答解析結果および振動台実験結果を用いて、snap による層の非線形性検出方法の適用性を検討し、実験で観察された損傷状態との比較を行った。その結果、骨組がせん断系である場合には、概ね良好な精度で非線形性の検出および損傷層の検出が可能であることが示された。ただし、梁が損傷する場合には、骨組がせん断系であったとしても、無損傷の層においても非線形性が生じる場合があり、非線形性の検出は可能であるものの、損傷箇所の特定は困難であるという課題も明らかとなった。

第 7 章は結論となっており、上記の結果および今後の課題が簡潔にまとめられている。

加えて、付録 A には、第 6 章での検証で用いた 18 層鉄骨造骨組構造物の振動台実験結果として、各層における層せん断力-層間変位関係、snap 時刻歴波形および非線形検出回数がまとめられている。また、付録 B には、第 4 章で提案したノイズ低減処理の有無が、snap に与える影響を周波数領域で観察することを目的として、第 5 章での検証に用いた各加振実験で算出した snap のフーリエ振幅スペクトルを示している。

以上に述べられたように、本論文は絶対応答加速度の 1 階微分あるいは 2 階微分という物理量を用いることで、構造物の損傷に起因する非線形性を検出することが可能となることを示した。適用範囲が限定されていること、構造損傷の種類や損傷箇所の特定が困難であるなどの課題は数多く残っており、実用化までにはまだ課題もあるが、構造ヘルスマニタリングを行う上で新しい技術の基礎を固めたものと認められ、今後の展開が期待されるものである。

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。