

## 論文の内容の要旨

論文題目        STRUCTURAL HEALTH MONITORING USING CHANGES IN DYNAMIC CHARACTERISTICS  
動的特性変化を利用した構造物のヘルスマニタリング

氏名        アブド モハメド アブデルバセツト

本論文は構造物のヘルスマニタリングを念頭とした損傷同定方法を提案するものである。ヘルスマニタリングは構造工学分野での近年の重要課題である。手法の提案にあたって、構造物の動的特性の変化を利用した損傷同定理論を構築し、局所的な損傷も含む損傷同定方法を提案する。構造部材モデルを対象とした理論解析、板モデルを用いた数値シミュレーションを行い、損傷同定方法の妥当性の検証を行う。さらに 1/3 スケール鉄筋コンクリート構造モデルを用いた震動台実験の結果に同定方法の適用を図る。

最初に既存の損傷同定手法を整理する。損傷同定には種々の方法があるが、計測をベースにした同定方法は構造物の動的特性の変化を用いることが多い。動的特性の中で、共振周波数と共振モードは損傷同定のパラメータとして頻繁に使われる。共振周波数の低下や共振モードの変化は構造物の剛性低下を示し、構造物全体に影響を与えるような大規模な損傷の同定には有効である。しかし、損傷の程度や構造の中での損傷の位置を知ることは難しい。また、計測が容易な低次のモードは損傷に敏感ではない場合がある。より有効な損傷同定パラメータとして MAC や COMAC (この指標は相関をとることで実測データから種々のモードを区別するために使われている) が提案されている。しかし、板部材に対してこのパラメータを用いた損傷同定の数値シミュレーションを行ったところ、局所的な損傷を見つけるには必ずしも有効ではないことが分かった。

本論文は、動的特性として、共振モードの空間微分を損傷同定パラメータとして利用することを検討した。空間微分はひずみや曲率に対応する。損傷により剛性が低下する場合、

損傷箇所においても部材力が連続しなければならないため、共振モードの空間微分に強い不連続性が生じることになる。実際、局所的に剛性が低下する箇所では、共振モードの空間微分は健全部と損傷部で不連続になり、不連続の量は剛性低下量の逆数に比例して大きくなる。本論文で構築された損傷同定理論は、損傷箇所での共振モードの空間微分が有する不連続性に基づいている。

棒材と梁材に対し、ひずみと曲率を用いた理論解析によって損傷同定理論の基本的な妥当性を検証した。ついで、種々の境界条件・損傷状態のシナリオを考えた板材に対して、曲率を用いた損傷同定の数値シミュレーションを行い、同定方法の妥当性を検討した。損傷の発生検知や損傷程度の推定に有効であることが示された。特に計測が容易な低次のモードに対しても、空間微分をとることで損傷の位置をピンポイントで見つけうることを示した。なお、共振モードの空間微分を得るためには、グリッド状に変位モードを計測し差分によって微分を近似的に計算する方法と、回転や曲率を直接計測するデバイスを利用する方法の二つがある。前者に比べ、精度の点で後者が有効であり、レーザードップラーを用いた回転計測が期待されることを示した。実用的には容易な前者に対しては、必要とされるグリッド間隔を計算し、グリッド変位モード測定の日安を検討した。

共振モードの空間微分の中で、応力と関連しているひずみが構造物損傷には最適と思われる。そこで、種々の状態を考慮し、ひずみモードを用いた損傷同定方法を検討した。板材の数値シミュレーションでは、2階微分である曲率を用いた同定よりも、損傷に対する感度や位置同定の精度の点で有効であることが示された。低次モードのひずみは、損傷に敏感であることも確認された。ひずみを用いた損傷同定の実用性を検証するため、計測を考慮したシミュレーションを行った。最初にノイズの影響を調べた。一般に共振モードはノイズに強いとされているが、空間微分をとってもこの性質は変わらず、損傷の位置や程度の同定が可能であることが示された。共振周波数の変化が増加するにつれ、対応したひずみモードは損傷により敏感になり、ノイズに鈍感になる傾向が確認された。ついで計測位置の影響を調べた。予想されるように、損傷から計測点が離れるにつれて同定精度は低下する。精度と距離の定量的関係を得た。

損傷同定手法を震動台実験に適用を試みた。この実験は 1/3 スケールの鉄筋コンクリート構造物モデルを対象としたものである。通常のひずみゲージなどのセンサでは、密に配置しない限り、局所的な損傷を同定することは容易ではない。多数の部材からなる複雑な構造物については、面的に共振モードやその空間微分を計測できる最新のセンサが望まれる。これは、レーザードップラー計やオプティカルファイバ（メンブレン）センサである。