氏　名	瀬　川　柳太郎（せがわ　りゅうたろう）
学位(専攻分野)	博　士　(工　学)
学位記番号	博　甲　第　225　号
学位授与の日付	平成12年3月24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	工芸科学研究科　情報・生産科学専攻
学位論文題目	**構造物のヘルスモニタリングのための損傷評価手法に関する研究**
審査委員	(主査) 教授　曽根　彰 教授　大住　晃　教授　中岡　明　早稲田大学客員研究員　山本鎮男

論文内容の要旨

機械・構造物等のセンシングにより物理量を監視し、その観測値を分析、健全性評価を行う技術はヘルスモニタリングと呼ばれており、社会基盤建設の歴史が古いアメリカはもちろん日本でも近年その重要性が認識されつつある。ヘルスモニタリングの対象は、橋梁、航空機、大型船舶、工場、機械設備など多岐にわたるが、本研究においては主に地震により損傷を受ける骨組構造物を対象とし、その損傷評価を目的とした手法について述べる。

まず常時微動観測値を解析対象とする損傷評価手法として、システム同定を利用した手法を提案する。システム同定により構造物の建設時の初期特性を知り、さらに地震の前後で行うことでそのシステム特性の変化から損傷の有無の判定に用いることが出来る。ここで提案するシステム同定手法は加速度観測値のみ使用し、これにウェーブレット解析を用いている点が特徴であり、数値シミュレーションと模型による振動台実験の両面から検証した。

つぎに強震観測値を解析対象とした構造物の損傷評価手法として、塑性率（最大変位／降伏変位）に注目した手法を提案する。本手法は地震時に観測される加速度応答に含まれる異常信号を検出してこれから塑性率を導出し、損傷評価に役立てるものである。本手法においても不連続信号を検出するウェーブレット解析を用いている点が特徴であり、数値シミュレーション及び振動台実験の両面から検証を行った。

以下に各章ごとの要旨を述べる。

第1章では、本研究の背景およびヘルスモニタリングに関する従来の研究について述べ、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、常時微動観測値を解析し損傷評価を行う手法について述べる。これは、工場に設置された機械や交通機関などに起因する振動源によって起こされる微少な振動からシステム同定を行うもので、構造物建設時の初期特性の把握や、これを断続的に行うことで同定された特性の変化に着目して損傷評価に利用するものである。本手法はシステム同定の際の特徴抽出にウェーブレット変換を用いている。これはウェーブレットの性質を利用することで、同定時に必要なデータが入出力加速度のみになるため、非常に簡便性の高い手法であるという点が特徴となる。1質点系モデルおよび4質点系モデルにより数値シミュレーションを行い、さらに1質点系模型の振動台実験を行うことで本同定手法の有効性について検証を行った。

第3章は、強震観測値を解析する損傷評価を行う手法について述べる。履歴復元力特性を持つ構造物は外力を受け各部が降伏すると塑性変形を起こす。そのときの全変形量を降伏変形量で除した比率を塑性率と呼ぶが、本研究ではこの塑性率に注目する。つまり、履歴復元力を持つ鋼構造物についてその強震時の

応答加速度をウェーブレット解析することで、塑性域突入時の不連続信号を検出しその振幅値から塑性率を推定する。降伏点速度と塑性率の間に相関があることをエネルギの釣り合いの面から導出し、また降伏点におけるウェーブレット係数の値と降伏点速度との間に比例関係があることを明らかにした。これにより加速度応答のウェーブレット解析から塑性率の頻度分布を推定することが可能となり、これを数値シミュレーションにより検証した。

第４章は、第３章で述べた強震観測記録を解析し損傷評価を行う手法について、１質点模型の振動台実験による検証を行う。観測された絶対加速度応答をウェーブレット解析することにより降伏点における不連続点を明瞭に検出することができ、ウェーブレット係数と降伏点速度の関係を明らかにした。また、降伏点速度と塑性率の関係も理論値とほぼ一致することが確認できた。

第５章は、本論文全体の結論であり、各章で得られた成果の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

本論文は、構造物のヘルスモニタリングのために、常時微動記録と強震記録のそれぞれを観測値として用いる損傷評価手法を提案し、その有効性を数値解析と振動台実験を通して検証している。

ウェーブレット解析を用いた手法により常時微動観測記録からシステム同定を行うことで構造物の建設時の初期特性を知り、さらにこれを地震の前後で行うことでそのシステム特性の変化から損傷の有無の判定に用いることが出来る。

塑性変形時に発生する異常信号を強震観測記録からウェーブレット解析により検出でき、さらに塑性変形量の大きさを表し損傷判定指標として用いられる塑性率を導出することにより損傷評価に利用が可能である。

ウェーブレット解析を応用して構造物の損傷評価手法を提案したことは工学上意義があり、また、ここでは一般的なセンサである加速度計により計測される加速度信号を観測量としているため、他の機械・構造物のヘルスモニタリングにも役立つことが期待できる。

本論文に関する公聴会を開催し、多数の出席者を得て多角的な討論を行った。さらに審査委員会による最終試験を行った。これらの結果を総合的に考慮し慎重に審査した結果、本論文は学位を授与するに十分価値あるものと認めた。

尚、本論文の内容は、以下に示す２編の学術論文として公表されており、そのいずれも申請者が筆頭著者である。

Ⅰ．本学位論文作成の基礎となった発表論文

[発表論文]

1．瀬川柳太郎、山本鎮男、曽根彰、増田新、畑宏明、「常時微動加速度観測波形のウェーブレット変換によるシステムパラメータの同定」、日本建築学会構造系論文集　第519号、41頁～46頁（1999年５月）

2．瀬川柳太郎、山本鎮男、曽根彰、増田新、濱洲忠、「地震観測値のウェーブレット解析によるバイリニア型復元特性を有する構造物の塑性率の推定」、日本建築学会構造系論文集　第522号、29頁～35頁（1999年８月）

3．Ryutaro Segawa, Akira Sone, Shizuo Yamamoto, Arata Masuda, "Experimental Study of Cumulative Damage Detection in Hysteretic Structures using Wavelet Analysis of Acceleration Response", 2000 ASME Pressure Vessels and Piping Conference JULY 23-27, 2000, Seattle, Washington, USA（受理）

[著書]

1．曽根彰、瀬川柳太郎、「ウェーブレット変換を用いたシステムのパラメータ同定」および「加速度観測値のウェーブレット解析による建築物の地震時の累積疲労損傷評価」、ヘルスモニタリング―機

械・プラント・建築・土木構造物・医療の健全性監視—、山本鎮男編著、共立出版、201頁～214頁、1999年8月

II．参考論文

1．Akira Sone, Ryutaro Segawa, Shizuo Yamamoto, Arata Masuda, Hiroaki Hata, "Identification of Structural Parameters by Wavelet Transform of Acceleration Response", Proceedings of DETC '99, 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada, USA

2．Ryutaro Segawa, Shizuo Yamamoto, Akira Sone, Arata Masuda, "Wavelet Analysis of Strong Response Records of Building with Bilinear Restoring Force", Proceedings of DETC '99, 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada, USA

3．瀬川柳太郎、曽根彰、増田新、山本鎮男、「切り欠きを持つ構造部材の曲げ荷重に対する極低サイクル疲労特性」、日本機械学会論文集（投稿中）