

氏 名	田 村 雅 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 198 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 25 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	振動ジャイロを用いた角速度センサによる構造物のヘルスマニタリングに用いる各種計測法に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 山 本 鎮 男 教 授 川 村 光 教 授 塩 山 忠 義 助教授 曾 根 彰

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は構造物のヘルスマニタリングに用いる各種計測法に関する研究である。構造物のヘルスマニタリングとは、センサを構造物に装着して常時または断続的にその状態量を観測し、その観測値を分析して構造物の劣化の程度を測ることである。従って、センサとしては耐候性に強く、状態量の中に含まれる構造物の劣化の程度を適切に検出するものであることが要望される。

ヘルスマニタリングに用いる従来の計測法として、歪みゲージによる構造物の歪み観測と加速度センサによる構造物各部の加速度観測が代表的である。歪みゲージによる観測は、耐候性に弱くて長期観測に耐え難い。また、歪みゲージによる観測では、歪みゲージを対象部位に直接装着しなければならず、既存の構造物に適用することに困難がある。加速度センサは、構造物の亀裂進展時に発生する微少な振動波形の不連続点の観測に用いられるが、観測波形のウェーブレット解析等のコンピュータによる事後処理を必要とするので、オンラインモニタリングには向いていない。

本論文では、これらの従来からのセンサの欠点を改善するために振動ジャイロを用いた角速度センサを用いた各種計測法を創案した。創案した各種計測法は次の 3 点である。

- (1) 一对の角速度センサを用いた構造物の動曲げ歪み計測法
- (2) 角速度センサと片持ち梁を組み合わせた加加速度（ジャーク）の計測法
- (3) 複数の角速度センサを用いた構造物に内在する欠陥の成長監視計測法

これらの計測法の持つ物理的背景を明らかにすると共に、各々の計測法の有効性をコンピュータシミュレーションや実験を通じて実証し、構造物のヘルスマニタリングに用いる新しい計測法を提案している。

以下に各章毎に要旨を述べる。

第 1 章は、本論文の序論であり、建築構造物のヘルスマニタリングの必要性や、従来のヘルスマニタリング計測法やその課題、本論文で提案する新しいヘルスマニタリング計測法の概要について述べている。

第 2 章では、本論文が提案するヘルスマニタリングに用いる 3 種類の新しい計測法的手段として用いた角速度センサを構成する振動ジャイロの原理について述べ、市販の角速度センサよりも高い周波数の動曲げ変形を検出可能な振動ジャイロを試作し、その性能評価を行ったものである。

第 3 章では、新しいヘルスマニタリング計測法である一对の角速度センサを用いた動曲げ歪み計測法について述べている。歪みゲージによる構造物の歪み観測は、状態量の観測として最も一般的なものであるが、耐候性に弱く、新規建築の構造物の長期観測には不向きである。また、既存の建築構造物に適用しようとすると、コンクリート等の表面被覆材を剥がさなければならず、適用困難である。この問題点を解決

すべく、2個の角速度センサを構造物に装着し、構造物表面の角度の変化を観測することにより構造物内部の歪み観測を行う新しい手法を創案した。本章ではまず、振動ジャイロによる動曲げ歪み計測の原理、試作した振動ジャイロの原理と感度特性を述べている。次に、アルミの片持ち梁およびセメントペーストを塗布したアルミの片持ち梁について、歪みゲージと振動ジャイロを使った動歪測定を行い、本提案の有効性を実証した。

第4章では、新しいヘルスモニタリング計測法である角速度センサと片持ち梁を組み合わせた加・加速度検出法であるジャークセンサの開発と性能評価について述べている。構造物の劣化、つまり亀裂が進展する際には、ノイズに覆われた微細な不連続異常波動が発生する。この不連続信号はノイズと比較して高周波成分を含むので、加速度センサよりも高周波現象を捉えやすいジャークセンサを創案したものである。ジャークセンサはリアルタイムに不連続点をモニタリングすることが出来るので、ウェーブレット解析の様にコンピュータによる演算処理の必要もなく、計測システムを安価に構成しうることが大きな魅力である。現在実用の振動ジャイロの検出周波数帯域はゼロ～数十Hz程度なので、検出できるジャークの周波数もこの領域に限定される。従って、マイクロクラックが進展して破壊に至る中期から最終過程における不連続信号の検出について、このジャークセンサは有用である。本章では、ジャークセンサの原理を述べ、ジャークセンサを試作して、これを用いて振動実験を行い、その性能を評価した。さらに、不連続波検出の例に適用して、その有効性を確認した。

第5章は、第4章に述べたジャークセンサを用いて、実際の亀裂進展の検出実験を行ったものである。実験室内に設けた建築構造物の模型を用いて、模擬地震動を与え、ジャークセンサの応答観測値に含まれる不連続点の検出をオンライン・リアルタイムで行い、その検出性能を、別途設けた加速度センサの応答観測データの事後処理によるウェーブレット解析結果と比較して、同等以上の性能を有することを確認した。このジャーク検出手法を用いて地震時の構造物の亀裂進展による劣化の監視や、破断の予測に用いる可能性を立証した。

第6章では、新しいヘルスモニタリング計測法である複数の角速度センサを用いた建築構造物の曲率半径計測法と、それを応用した亀裂進展の監視について述べている。構造物上において、亀裂の発生・進展が予測される場所をはさんで角速度センサを配置することにより、振動による曲げ変形の曲率半径を計測する。さらに、亀裂が発生しない場所で同様に計測した曲率半径との比率を観測することにより、亀裂進展を監視する新しい計測法を創出し、実験的にその有効性を立証している。

第7章は本論文の結論であり、振動ジャイロを用いた角速度センサによる構造物のヘルスモニタリングに用いる各種計測法に関する研究の有効性を結論づけている。現在の振動ジャイロの検出可能な角速度の周波数は、その用途からゼロ～数十Hzまでと限られ、構造物の状態量の監視も、亀裂進展の最終段階、つまり構造物の破断に近い状態での監視に向いている。今後、振動ジャイロの角速度検出可能周波数帯域は、シリコンマイクロマシン等の技術進歩に伴い、急速に小型化・高周波化されると思われるので、本研究の内容は今後、構造物のライフサイクル全体にわたるヘルスモニタリングに十分応用可能と考える。

論文審査の結果の要旨

本論文は、振動ジャイロを用いた角速度センサによる構造物のヘルスモニタリングに有効な状態量計測法として、

- ① 曲げ歪み計測法
- ② ジャーク計測法
- ③ 亀裂欠陥進展計測法

を提案している。これらは、いずれも独創性があり、かつ、構造物のヘルスモニタリングに有用なものである。これらの有用性を証明するために行った各種の実験と、その結果の分析は綿密であり、かつ科学的である。さらに、ジャーク計測法を用いた地震時の構造物の損傷観測システムを提案しており、その応用

面を示したことは工学的に価値がある。

尚、本論文の内容は、以下に示す4編の学術論文として掲載され、そのいずれもが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学術論文

[発表論文]

1. 田村雅巳、山本鎮男、曾根 彰、増田 新、一対の振動ジャイロ스코プを用いた振動外力を受ける構造物の動曲げ歪み計測法の研究、日本建築学会構造系論文集、第509号、pp.61～68、1998。
2. 田村雅巳、山本鎮男、曾根 彰、増田 新、振動ジャイロと片持ちはりを組み合わせたジャークセンサの開発とこれを用いた不連続信号の検出、日本機械学会論文集 (C編)、第65巻629号、pp.122～129、1999。
3. 田村雅巳、山本鎮男、曾根 彰、増田 新、振動ジャイロと片持ち梁を組み合わせたジャークセンサによる建築構造物の地震応答に含まれる不連続点の検出、日本建築学会構造系論文集、第517号、pp.53～60、1999。
4. 山地邦裕、山本鎮男、曾根 彰、増田 新、田村雅巳、振動ジャイロを用いた角速度センサによる亀裂進展の監視、日本機械学会論文集 (C編)、第65巻635号、1999。

II. 参考論文

1. Masami Tamura, Shizuo Yamamoto, Akira Sone, Arata Masuda, Measuring of Dynamic Bending Strain of Structure Subjected to Dynamic Load by Using a Couple of Vibratory Gyroscope, Second World Conference on Structural Control, June, 1998, at Kyoto
2. Shizuo Yamamoto, Akira Sone, Arata Masuda, Masami Tamura, Measurement of Jerk of Structures Using the Combined System of Vibratory Gyroscope and Cantilever Utilized in the Health Monitoring of Structure, Second World Conference on Structural Control, June, 1998, at Kyoto