

学位被授与者氏名	足立 孝仁 (ADACHI Takahito)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第67号
学位授与年月日	2022年9月22日
論文題目	脆弱な木造住宅に適用できるセミアクティブダンパの研究
論文題目 (英訳または和訳)	Development of a semi-active damper applied for weak wooden houses
論文審査委員	委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 江口 啓 同審査委員副査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 井上 昌睦 同審査委員副査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 大山 和宏 同審査委員副査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻准教授 池田 誠
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>日本は活断層が近くにあることから地震が発生しやすい国である。そのため、大地震によって建築物の倒壊が多く発生している。この原因の1つに、旧耐震基準の建築物の耐震補強工事が進んでいないことが挙げられる。この耐震補強工事を進めるにあたって、建築物の振動抑制の研究が注目されている。建築物の制震デバイスにはオイルダンパやMRダンパなどが挙げられるが、一般的に大型ビルやRC造（鉄筋コンクリート造）の建物で利用されている。しかしながら、制震デバイスのサイズが大きいことや価格が高いこともあり、耐震補強する場所に限りのある既存の木造狭小住宅では普及していない。また、強度の弱い木造住宅に減衰力が大きい制震デバイスを取り付けると、振動エネルギーを適切に逃がすことができなくなり、建物が倒壊する可能性がある。したがって、適度に減衰力を小さくすることができ、小型で安価な制震デバイスを確立することができれば、地震による木造狭小住宅の倒壊を防ぐことができる。</p> <p>本論文は、直線動作型発電装置をアクチュエータとして実用化するため、制震デバイスの開発とセミアクティブ制震システムの構築を目的としている。この制震デバイスは、振動が加わると誘導起電力が発生し、起電力の大きさに伴った減衰力が発生する。従来のダンパとは異なり、提案手法は制震デバイスに電力を供給して減衰力を制御するのではなく、制震デバイスで発生する起電力の大きさをPWM信号で制御することで減衰力を変化させる特徴をもつ。このように、PWM信号で減衰力を制御することができるので、建物の共振周波数をズラしながら振動を抑制することができる。また、セミアクティブ制震で動作させるため、制震デバイスの構造を単純化・小型化することができる。はじめに、本研究では制震デバイスの粘性減衰係数の特性について明らかにする。次に、セミアクティブ制震システムを構築するために、木造住宅をモデル化し、スライディングモード制御に基づいて制御則を設計する。</p> <p>この論文は、第1章から第6章で構成されている。第1章では、近年の制震技術と問題点について触れ、本研究の目的について記述している。第2章では、開発する制震デバイスの構造と粘性減衰係数の特性について記述している。具体的には、制震デバイスのコイルに流れる電流を制御するPWM信号と粘性減衰係数の関係について明らかにしている。第3章では、スライディングモード制御に基づいて設計した制御システムについて記述している。木造住宅をモデル化し、振動抑制をさせるために設計した制御則について述べている。第4章では、第3章で設計した制御システムのシミュレーション結果について記述している。具体的には、木造住宅のモデルに提案の制御システムを適用し、このモデルに地震動を加えたときの結果を示している。第5章では、提案の制震デバイスを木造住宅の壁を模擬した木枠に取り付けた場合において、振動特性の実験結果を記述している。ここでは、提案システムを用いた制御の有無について振動特性を比較することで、その有効性を確認している。第6章では、本研究の結果を纏めるとともに、今後の方向性について記述している。</p>
論文内容の要旨 (英文)	Japan is a country where earthquakes frequently occur. Due to a huge earthquake, many houses have been destroyed in the past. One of these causes

includes the fact that the seismic strengthening construction of buildings based on the old earthquake proofing standard has not progressed. Generally, the vibration control device containing oil damper or MR (Magneto-Rheological) damper has been used in large-scale and reinforced buildings. However, the seismic strengthening construction does not spread to narrow wooden houses, because the vibration control devices, such as oil damper and MR damper, are large and expensive. A small and low-cost vibration control device is required for narrow wooden houses.

In this thesis, we develop a seismic control device and build a semi-active seismic system for narrow wooden houses. Unlike the conventional approach, the linear-motion electrical generator is employed as an actuator of the vibration control device in the proposed system. The vibration control device is constituted to generate damping force when the vibration control device vibrates and generates the induced electromotive force. When the conventional damper supplies electric power to the device, it controls damping force. The proposed device can control the damping force with PWM (Pulse Width Modulation) signal. The vibration is suppressed by the device when displacing a resonance frequency of the building. The viscous decrement coefficient describes a characteristic from the characteristic examination of the control on vibration devices. In the proposed system, a wooden house is modeled to build a semi-active seismic system. Furthermore, a control law is designed using the sliding mode control method.

This thesis consists of 6 chapters. Chapter I describes the introduction of this study, including social background and reviews. Chapter 2 illustrates the structure of a damping device. The viscous damping force can be changed by adjusting the electric current flowing through the coil. Here, varying the interval of electric current flow by PWM signal is determined in order to vary the value of viscous damping coefficient. Chapter 3 shows the control system designing based on a sliding mode control method. In the control system, the control rule is designed to suppress the vibration of the wooden house. Chapter 4 demonstrates the simulated result of the proposed control system. When the simulation added earthquake vibration, it shows a result of the displacement. Chapter 5 described the experimental result of the displacement of the simulated wall. The device suppressed the vibration of the wall when the wood frame applied a semi-active seismic system. Chapter 6 summarizes the results of this research.

論文審査結果

日本は活断層が近くにあることから地震が発生しやすい国である。そのため、大地震によって建築物の倒壊が多く発生している。この原因の1つに、旧耐震基準の建築物の耐震補強工事が進んでいないことが挙げられる。建築物の制震デバイスにはオイルダンパやMRダンパなどが挙げられるが、サイズが大きいことや価格が高いこともあり、耐震補強する場所に限りのある既存の木造狭小住宅では普及していない。また、強度の弱い木造住宅に減衰力が大きい制震デバイスを取り付けると、振動エネルギーを適切に逃すことができなくなり、建物が倒壊する可能性がある。したがって、適度に減衰力を小さくすることができ、小型で安価な制震デバイスを確立することができれば、地震による木造狭小住宅の倒壊を防ぐことができる。本論文は、直線動作型発電装置をアクチュエータとした制震デバイスの開発とセミアクティブ制震システムの構築を目的としている。従来のダンパとは異なり、提案手法は制震デバイスに電力を供給して減衰力を制御するのではなく、制震デバイスで発生する起電力の大きさをPWM信号で制御することで減衰力を変化させる特徴をもつ。このように、提案手法ではPWM信号で減衰力を制御することができるので、建物の共振周波数を変化させながら振動を抑制することができる。また、セミアクティブ制震で動作するため、制震デバイスを単純化・小型化することができる。すなわち、本論文は、次の特色と獨創性を有しており、高く評価できる。1)直線動作型

	<p>発電装置をアクチュエータとして利用することで、木造狭小住宅に適用可能な制震システムを発明した。 2) セミアクティブ制震動作によって、制震デバイスの単純化・小型化に成功した。 3) 本研究の結果から、木造住宅に適用可能な次世代の制震デバイス開発のための指針を与えた。</p> <p>学位論文の構成は以下の通りである。第1章では、近年の制震技術と問題点について触れ、本研究の目的について記述している。第2章では、開発する制震デバイスの構造と粘性減衰係数の特性を、理論的に明らかにしている。第3章では、スライディングモード制御に基づいて設計した制御システムについて記述している。第4章では、シミュレーションによって提案システムの特性を明らかにしている。第5章では、提案の制震デバイスを用いた制御の有無について振動特性を実験的に比較することで、その有効性を確認している。最後に第6章では、結論と当該分野における今後の課題について述べ、論文をまとめている。</p> <p>本研究の成果は、氏の博士後期課程在学期間において、学術論文4編（第1著者3編）、国際会議3編（第1著者3編）となっており、学位論文審査の基準を十分に満たしている。</p> <p>以上の理由により、審査委員会は本論文が学位論文の内容として適合すると判定した。</p> <p>学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。</p> <p>以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博上（工学）の学位に適格であると判定した。</p>
<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 4編1冊</p> <p>査読付き学術論文: 第一著者</p> <p>1 `Analysis and measurement of damping characteristic of linear generator ", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.52, No.3-4, pp.1503-1510(2016) Authors: <u>Takahito Adachi</u> , Kenji Takahara</p> <p>2 `Structural design of a linear-motion type semi-active damper by finite element method", International Journal of Natural Sciences Research, Vol.4, No.6, pp.107-111(2016) Authors: <u>Takahito Adachi</u> , Kenji Takahara</p> <p>国際会議論文: 第一著者2編</p> <p>1 `Design of a Gentle Damping System for a Weak Wooden House", Hong Kong International Conference on Engineering and Applied Science, pp. 208-214, 2018 Authors: <u>Takahito Adachi</u> , Kenji Takahara</p> <p>2 `Design of a power-saving vibration control system for a fragile wooden house by a sliding mode control method", The 6th Annual Conference on Engineering and Information Technology, pp. 526-536, 2019 Authors: <u>Takahito Adachi</u> , Kenji Takahara</p> <p>掲載決定論文 1編1冊</p> <p>1 「脆弱な木造住宅用単純構造セミアクティブ制震システムの開発」, 計測自動制御学会論文集, Vol.58, No.11, 2022.(掲載決定) 著者: <u>足立 孝仁</u>, 高原 健爾</p>

査読付き学術論文: 1編

1 "Generate Hydrogen using Activated Aluminum Particles and Water",
International Journal of Engineering and Innovative Technology, Vol.7, No.8, pp. 15-19,
2018

Authors: H. Nishiuchi, K. Takahara, K. Maekawa, T. Adachi, T. Kajiwara,

国際会議論文: 第一著者 1編

1 "Structural design of a linear-motion type semi-active damper by finite element method",

Abstract of Applied Sciences and Engineering, Vol.14, pp.17, 2016

Authors: Takahito Adachi, Kenji Takahara