

氏名	とよ おか あき ひろ 豊 岡 亮 洋
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2209 号
学位授与の日付	平 成 15 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 学 研 究 科 土 木 シ ス テ ム 工 学 専 攻
学位論文題目	Development of the Inertia Force Driven Hybrid Loading System and Pseudo-Negative Stiffness Control Method for a MR Damper (慣性力駆動型ハイブリッド試験装置の構築およびMRダンパーを対象とした負剛性付加型制御手法の開発)
論文調査委員	(主 査) 教 授 家 村 浩 和 教 授 松 久 寛 教 授 鈴 木 祥 之

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、実大のダンパー装置を地震時の動的载荷条件下で試験可能な、慣性力駆動型試験装置を開発するとともに、本装置をリアルタイムサブストラクチャハイブリッド試験装置として用いるための各種検討および実験を行った。また、簡易かつ効果的なセミアクティブ制御手法である疑似負剛性付加型制御を提案し、その有効性を数値計算により検証するとともに、ダンパーの载荷・制御実験を行った。本論文は7章構成である。

第1章では、サブストラクチャハイブリッド実験の概要について述べるとともに、既存の载荷実験システムについて調査し、それらの問題点を指摘した。その上で、新規に開発した慣性力駆動型試験装置 (Inertia Force Driven Loading System, 以下ではIFDLシステムと称する)の概要を示し、その特徴および有効性について述べた。また、近年広く用いられているセミアクティブ制御の現状についても調査し、簡易な制御手法の提案が必要であることを指摘した。

第2章では、IFDLシステムの構成について述べている。システムの各構成要素、载荷原理、センサーの配置、データ計測・制御システム等について示している。また、ダンパー装置の载荷実験およびモデル化に用いるための油圧アクチュエータシステムについても述べている。

第3章では、IFDLシステムを用いて、リアルタイムサブストラクチャハイブリッド実験システムを実現するための、加振装置の制御手法を提案した。この手法は、IFDLシステムの運動方程式が、想定構造物の運動方程式に整合するように慣性力を与えるものであるため、時間遅れのない理想的な状態においては、対象構造物におけるダンパー変位・速度・加速度を、ダンパー装置自体の動特性に関わらず、IFDLシステムにより完全に再現することが可能であることが特徴である。この提案手法の妥当性、および実際の実験システムで生じる载荷時間遅れが試験結果に及ぼす影響について、解析的に検討を行うとともに、構築した実験システムで試験可能なダンパー装置、想定構造系、および想定地震入力等の規模についても検討を行った。

第4章では、IFDLシステムの固有振動数、減衰、質量に関する同定実験を行うとともに、試験対象とした磁気粘性流体ダンパー (MRダンパー)の正弦波载荷試験を行い、数値計算に用いるモデルを構築した。これらは、5章、6章における実験およびその再現解析において必要となる予備実験である。

第5章では、提案した装置制御手法を用いて実験システムを構築し、リアルタイムサブストラクチャハイブリッド実験を行った。試験対象構造として、一自由度系および多自由度系構造物にダンパー装置が組み込まれた状態を想定し、正弦波および地震動入力下における応答を実験により把握するとともに、実験結果を再現解析と比較することで試験システムの成立性について検討した。試験体であるダンパー装置としては一定電流を作用させたMRダンパー装置を用いた。この結果、提案した加振装置制御手法および動特性補償により、想定構造物の地震時応答を良好な精度で再現可能であることを示した。特に、多自由度構造系を想定した実験では、応答の傾向が、過去に行われた実大構造物を用いた実験結果と良好な一致を示した。

第6章では、セミアクティブ制御の制御則として提案されている、疑似負剛性付加型制御の有効性について検討を行った。この制御は、制御デバイスの制御力指令値を、粘性要素と負の剛性要素の線形結合として決定し、その指令荷重をダンパーの物理的制約の範囲内で実現させるものである。この制御は、ダンパー設置位置の変位および速度のみが制御力の決定に必要なパラメータであるため、オブザーバや多数のセンサー等を必要とする従来のアクティブ制御をベースとしたセミアクティブ制御と比較して、大幅に設計を簡略化することができるという利点を有する。本研究では、疑似負剛性制御を適用したダンパー装置を有する一自由度および多自由度構造系を想定した地震応答解析を行い、本制御が構造系の見かけの剛性を減少させ、加速度およびベースシアの低減に効果的であることを示した。またアクチュエータを用いた載荷実験を通して、MRダンパーに疑似負剛性を発揮させるための実験システムの構築、およびダンパー制御手法に関する基礎的な実験を行った。その結果、MRダンパーを用いて疑似負剛性を発揮することが可能であることを示した。

第7章では、本論文で得られた知見をまとめるとともに、今後の研究の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文では、実大のダンパー装置を地震時の動的載荷条件下で試験可能な、慣性力駆動型試験装置を開発するとともに、本装置をリアルタイムサブストラクチャハイブリッド試験装置として用いるための各種検討および実験を行った。また、簡易かつ効果的なセミアクティブ制御手法である疑似負剛性付加型制御を提案し、その有効性を数値計算により検証するとともに、MRダンパーを用いた制御実験を行った。本論文で得られた知見は次の通りである。

1. 加振装置、コンクリートスラブ、および支承により構成される、慣性力駆動型試験装置（日米特許取得済）を新規に建設し、各構成要素の同定実験を行った。
2. ダンパー装置の載荷試験を構造物の応答計算と実時間で結合するリアルタイムサブストラクチャハイブリッド試験を、構築した慣性力駆動型試験装置により行うための加振装置の制御手法を提案した。また、本試験装置で実施可能な地震入力レベルおよび想定構造物の動特性について検討を行うとともに、加振時間遅れが実験結果に及ぼす影響を解析的に検討した。
3. 一自由度系および多自由度系構造物に、一定電流を作用させたMRダンパー装置が組み込まれた状態を想定し、正弦波および地震動入力下における構造物応答を再現するリアルタイムサブストラクチャハイブリッド実験を行った。この結果、提案した加振装置制御手法および動特性補償により、想定構造物の地震時応答が本試験装置により良好な精度で再現可能であることを示した。特に、多自由度構造系を想定した実験における応答の傾向は、過去に行われた実大構造物を用いた実験結果と良好な一致を示した。
4. セミアクティブ制御のアルゴリズムとして、物理的な原理が明快な疑似負剛性付加型制御手法を提案するとともに、本手法が加速度応答の低減に有効であることを数値解析により示した。また、アクチュエータおよびMRダンパーを用いた載荷試験を行い、ダンパーへの指令電流を実時間で制御することで、疑似負剛性を発揮させることが可能であることを示した。

本論文で得られた成果により、ダンパー装置を構造物に設置した場合の振動制御効果を、実際の構造物を用いることなく、精度よく把握することが可能な新しい載荷試験システムが構築された。また、従来手法よりも実装がより簡易な、疑似負剛性付加型セミアクティブダンパーの、大規模土木建築構造物に対する適用が進展するものと考えられる。これらの成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年1月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。