



磁気粘性流体を用いた回転慣性質量ダンパーによる 応答制御に関する研究

富澤, 徹弥

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2014-03-25

(Date of Publication)

2015-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6082号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006082>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文内容の要旨

氏名 富澤 徹弥専攻 建築学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

磁気粘性流体を用いた回転慣性質量ダンパーによる応答制御に関する研究指導教員 藤谷 秀雄

(注) 2,000字～4,000字でまとめること。

本研究は、建築構造物の地震動に対する振動応答を制御することを目的として筆者が開発した、回転慣性による質量効果と磁気粘性流体（以下、「MR 流体」という）による可変減衰効果の2つを狙いとするハイブリッド型の振動制御装置、MR 流体を用いた回転慣性質量ダンパー（以下、「MR 回転慣性ダンパー」）による応答制御に関する研究である。

第1章「序論」では、本研究に至る背景として、近年の地震学の進歩や2011年東北地方太平洋沖地震を契機とした想定すべき地震動の考え方の変化により、断層近傍地震動や長周期長時間地震動など、従来の建築基準法の水準を超える地震動に対する免震建築物の安全性や機能性について言及している。既往の研究においては、セミアクティブ制御および慣性質量に関する研究を概観し、本研究の目的を、慣性質量による質量効果を取り入れたセミアクティブ制御により床応答加速度を抑制しながら、免震層の応答変位を低減する制御方法を提案することとして明確に位置づけている。

第2章「磁気粘性流体を用いた回転慣性質量ダンパーの開発と性能試験」においては、最大出力100kNの試作機を製作し、アクチュエータの変位入力による加振試験等により、その基本特性について整理し、理論式および解析手法の妥当性の検証を行っている。荷重制限（トルクリーフ）機構による過負荷防止や質量効果が発揮できる臨界振動数、各印加電流値におけるMR流体の降伏応力、耐久性能などの基本特性を確認している。次に、正弦波入力加振試験においては、MR流体自身のせん断流れに対する抵抗力および磁場作用時のMR流体の降伏応力によるエネルギー吸収効果により可変減衰力を用いたセミアクティブ制御装置としての有効性を示している。また、性能試験の結果からMR回転慣性ダンパーの振動解析モデルを構築し、正弦波および地震動を用いたランダム波試験結果との比較により、その妥当性を検証している。

第3章の「リアルタイムハイブリッド実験による検証」では、MR回転慣性ダンパーを用いたリアルタイムハイブリッド実験を通じて、制御対象とする構造体の固有周期 T 、構造体質量に対する慣性質量の比（質量比 μ ）、断層近傍地震動を含む標準的な入力地震動による応答性状を比較している。パッシブ制御である電流無印加時の最大床応答加速度、最大応答変位の比較から、地震動により異なるものの、質量比が大きくなるほど、最大床応答加速度は大きく、最大応答変位は小さくなる傾向を示すことを明らかにしている。また、伝達関数から、質量比が大きくなると、どの入力地震動においても共振点付近の応答は小さくなるものの、短周期領域で絶対加速度が増幅することを示している。また、地震動の入力速度波形と構造体の最大応答変位との関係から、構造体の最大応答変位が大きいほど、地震動の最大速度入力発生時からの時間差も大きくなり、最大速度入力発生時からの時間差は地震動の性質による影響が支配的であることを明らかにしている。これらのことから、地震動の入力速度波形に着目したセミアクティブ制御則を提案している。電流無印加時のパッシブ制御時、1Aの一定電流印加時のパッシブ制御時、提案したセミアクティブ制御時

(氏名： 富澤 徹弥 NO. 2)

それぞれにおける最大応答値の比較から、セミアクティブ制御時は全ての場合について概ね10~40%程度最大応答変位が低減されることを確認し、特に、JMAKobe波について、質量比を大きくすることで、短周期領域での床応答加速度の増幅を抑えながら、同時に応答変位を低減することが可能であり、さらにセミアクティブ制御時は、パッシブ制御に比べて、床応答加速度をあまり上昇させずに応答変位を低減する効果が期待できることを示している。

第4章「多様な地震動に対する応答制御効果」においては、固有周期4秒の免震構造物モデルを対象として、周波数領域における伝達関数および地震動に対する時刻歴応答の観点から検討を行い、慣性質量効果を取り入れたスカイフック方式によるセミアクティブ制御方法を提案し、その効果について論じている。周波数領域における伝達関数から、適切な質量比を取ることで、減衰比を大きく取るよりも加速度伝達率および変位伝達率とともに小さくできる領域があることを示している。しかしながら、質量比と減衰比を調整することには一長一短があり、それらのトレードオフ関係をパッシブ制御のみでは解消できないことを示している。それらの課題に対し、スカイフック方式を採用することで、セミアクティブ制御により高周波数領域における伝達率を上昇させずに、共振周波数近傍での伝達率を小さくすることができることを周波数領域における検討より示している。また、時刻歴応答における検討から、適切な質量比および減衰比を取ることで、特に周期1~2秒程度に大きな振幅を持つようなパルス性地震動に対しては床応答加速度を効果的に減少させることができることを明らかにしている。さらに、パッシブ制御時において、最大床応答加速度が最も小さくなる質量比および減衰比の組み合わせの場合について、各入力地震動に対するセミアクティブ制御効果を確認し、本論で用いた地震動では、最大床応答加速度を平均6%程度、最大応答変位を平均28%程度低減することができることを示している。また、建築基準法の水準と同程度の地震動に対して設計されたモデルとして、質量比および減衰比を一定とした場合のセミアクティブ制御効果についても検証し、最大床応答加速度は平均16%程度、最大応答変位は平均38%程度低減されることを示している。これらの結果より、本論で提案した慣性質量効果を取り入れたスカイフック方式によるセミアクティブ制御法は、床応答加速度を抑制しながら、同時に免震層の応答変位を低減するのに有効な制御方法であると結論付けている。

第5章「結論」では、これまでの結果より、筆者が開発したMR回転慣性ダンパーを用いて、断層近傍地震動を含む標準的な入力地震動ならびに建築基準法の水準を大きく超える多様な地震動に対して、セミアクティブ制御により、床応答加速度を抑制しながら、免震層の応答変位を効果的に低減できることを示している。

(2548字)

氏名	富澤 徹弥		
論文題目	磁気粘性流体を用いた回転慣性質量ダンパーによる応答制御に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	藤谷 秀雄
	副査	教授	田中 剛
	副査	教授	多賀 謙蔵
	副査	准教授	向井 洋一
副査	准教授	五十嵐 規矩夫	

要 旨

本研究は、建築構造物の地震動に対する振動応答を制御することを目的として開発した、回転慣性質量による効果と磁気粘性(MR)流体による可変減衰効果の2つを狙いとするハイブリッド型の振動制御装置、MR回転慣性質量ダンパーによる応答制御に関する研究である。本論は、このMR回転慣性質量ダンパーを、長周期長時間地震動や断層近傍のパルス性地震動などの多様な地震動に対する安全性・機能性の確保が課題となっている免震建築物に適用して、その制御特性を実験および解析によって検証したものである。本論は全5章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究に至る背景として、近年の地震学の進歩や2011年東北地方太平洋沖地震を契機とした想定すべき地震動の考え方の変化により、長周期長時間地震動や断層近傍のパルス性地震動など、従来の建築基準法の想定を超える地震動に対する免震建築物の安全性や機能性について言及している。既往の研究においては、セミアクティブ制御および慣性質量に関する研究を概観し、本研究の目的を、慣性質量による質量効果を取り入れたセミアクティブ制御により床応答加速度を抑制しながら、免震層の応答変位を低減する制御方法を提案することとして明確に位置づけている。

第2章「磁気粘性流体を用いた回転慣性質量ダンパーの開発と性能試験」においては、最大出力100kNの試作機を製作し、アクチュエータの変位入力による加振試験等により、その基本特性について整理し、理論式および解析手法の妥当性の検証を行っている。荷重制限(トルクリーフ)機構による過負荷防止や質量効果が発揮できる臨界振動数、各印加電流値におけるMR流体の降伏応力、耐久性能などの基本特性を確認している。次に、正弦波入力加振試験においては、MR流体のせん断流れに対する抵抗力および磁場作用時の降伏応力によるエネルギー吸収効果により可変減衰力を用いたセミアクティブ制御装置としての有効性を示している。また、性能試験の結果からMR回転慣性ダンパーの振動解析モデルを構築し、正弦波および地震動を用いたランダム波試験結果との比較により、その妥当性を検証している。

第3章「リアルタイムハイブリッド実験による検証」では、MR回転慣性ダンパーを用いたリアルタイムハイブリッド実験を通じて、制御対象とする構造体の固有周期T、構造体質量に対する慣性質量の比(質量比)、断層近傍のパルス性地震動および標準的な入力地震動による応答性状を比較している。パッシブ制御である電流無印加時の最大床応答加速度、最大応答変位の比較から、地震動により異なるものの、質量比が大きくなるほど、最大床応答加速度は大きく、最大応答変位は小さくなる傾向を示すことを明らかにしている。また、伝達関数から、質量比が大きくなると、どの入力地震動においても共振点付近の応答は小さくなるものの、短周期領域で加速度が増幅することを確認している。

次に、地震動の入力速度波形と構造体の最大応答変位との関係から、構造体の最大応答変位が大きいほど、地震動の最大速度入力発生時からの時間差も大きくなり、最大速度入力発生時からの時間差は地震動の性質による影響が支配的であることを明らかにしている。これらのことから、地震動の入力速度に着目したセミアクティブ制御則を提案している。電流無印加時のパッシブ制御時、1Aの一定電流印加時のパッシブ制御時、提案したセミアクティブ制御時それぞれにおける最大応答値の比較から、セミアクティブ制御時は全ての場合について概ね10~40%程度最大応答変位が低減されることを確認し、特に、JMAKobe波について、質量比を大きくすることで、短周期領域での床応答加速度の増幅を抑えながら、同時に応答変位を低減することが可能であり、さらにセミアクティブ制御時は、パッシブ制御に比べて、床応答加速度をあまり上昇させずに応答変位を低減する効果が期待できることを示している。

氏名 富澤 徹弥

第4章「多様な地震動に対する応答制御効果」においては、固有周期4秒の免震建築物モデルを対象として、周波数領域における伝達関数および地震動に対する時刻歴応答の観点から検討を行い、慣性質量効果を取り入れたスカイフック方式によるセミアクティブ制御方法を提案し、その効果について論じている。周波数領域における伝達関数から、適切な質量比を取ることにより、減衰比を大きく取るよりも加速度伝達率および変位伝達率をともに小さくできる領域があることを示している。しかしながら、質量比と減衰比を調整することには一長一短があり、それらのトレードオフ関係をパッシブ制御のみでは解消できないことを示している。

それらの課題に対し、スカイフック方式を採用することで、セミアクティブ制御により高周波数領域における伝達率を上昇させずに、共振周波数近傍での伝達率を小さくすることができることを周波数領域における検討より示している。また、時刻歴応答における検討から、適切な質量比および減衰比を取ることにより、特に周期1~2秒程度に大きな振幅を持つようなパルス性地震動に対しては床応答加速度を効果的に減少させることができることを明らかにしている。さらに、パッシブ制御時において、最大床応答加速度が最も小さくなる質量比および減衰比の組み合わせの場合について、各入力地震動に対するセミアクティブ制御効果を確認し、最大床応答加速度を平均6%程度、最大応答変位を平均28%程度低減することができることを示している。これらの結果より、本論で提案した慣性質量効果を取り入れたスカイフック方式によるセミアクティブ制御法は、床応答加速度を抑制しながら、同時に免震層の応答変位を低減するのに有効な制御方法であると結論付けている。

第5章「結論」では、これまでの結果より、筆者が開発したMR回転慣性質量ダンパーを用いて、標準的な地震動の他、長周期長時間地震動や断層近傍のパルス性地震動という建築基準法の想定を超える多様な地震動に対して、セミアクティブ制御により、床応答加速度を抑制しながら、免震層の応答変位を効果的に低減できることを示している。

本研究は、回転慣性質量による効果と磁気粘性(MR)流体による可変減衰効果によるハイブリッド型の振動制御装置であるMR回転慣性質量ダンパーについて、免震建築物の地震応答制御の性能を研究したものであり、長周期長時間地震動や断層近傍のパルス性地震動に対しても、その制御特性について重要な知見を得たものとして価値ある集積である。提出された論文は工学研究科学学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の富澤徹哉は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。