

平成 22 年 4 月 12 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 ～ 2009

課題番号：20760149

研究課題名（和文） 減衰の係数励振を利用したセミアクティブ動吸振器の開発

研究課題名（英文） Development of semi-actively controlled dynamic absorber using harmonically varying damping

研究代表者

射場 大輔 (IBA DAISUKE)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号：10402984

研究成果の概要（和文）：本研究は、調和的な可変減衰を元にした新しいセミアクティブ振動制御方法について提案する。固有振動数成分を有する入力共振を招く。しかし可変減衰と無害な2次の入力によって引き起こされる変調された調和振動が有害な入力と同じ振動数であるが逆位相であれば、共振は干渉によって低減することが可能となる。理想的な可変減衰装置を利用すること想定した場合において、可変減衰制御器のための式を導出し、その制御性能を確認した。

研究成果の概要（英文）：This study proposes a new semi-active vibration control method based on harmonically varying damping. In the case that the excitation has the natural frequency component of the system resonance is induced. However, if the modulated harmonic vibration induced by the variable damping and harmless secondary excitation is at the same frequency of the harmful excitation yet antiphase, the resonance can be reduced by interference. An expression for the variable damping controller has been developed in the case of an ideal variable damping device and control performance has been confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：機械力学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：(1) 機械力学・制御 (2) 免震 (3) 制震 (4) 制御工学 (5) 耐震

## 1. 研究開始当初の背景

高出力・軽量・低コスト・高効率化が進む  
機械及び、高層化・長大化が進む建築・土木

構造物の振動を低減することは非常に重要な課題となっている。こうした問題に対して歴史的には動吸振器に代表される低コスト

なパッシブ制御について実用化がなされ、そして外部エネルギーを利用して制振能力を向上させるアクティブ制御の応用が活発に行われてきた。近年、この両者の長所を受け継ぐセミアクティブ制御が提案され免震構造物などに実用化されるに至っている。これらの制振手法の基本は減衰装置による振動エネルギーの消散を目的とするものであり、昨今の技術的なトレンドであるMRダンパやERダンパなどの可変ダンパを利用するセミアクティブ制御も主な目的は同じであった。

これに対して申請者はこれまでとはまったく異なる可変ダンパの利用方法について提案してきている。この手法は、可変ダンパの減衰を制御することによって振動振幅を減少させるのではなく逆に増加させ、振動系が有する固有振動数以外の振動数において共振を誘起する方法である。

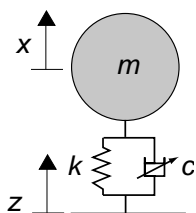


図1. 1自由度振動系

図1の非常に単純な基礎励振を受ける1自由度振動系に可変ダンパを設置し、可変ダンパの係数を振動数5で変動させて人工的な係数励振を起こすと、図2に示す共振曲線が得られる。この図から、減衰の係数励振を行うと1自由度系の固有振動数である1付近において共振が得られる他に、可変減衰の振動数5を挟んだ両側にも大きな共振が得られることが分かる。また、これまでの研究

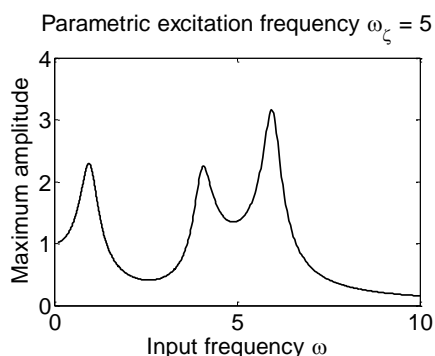


図2. 減衰係数励振による共振曲線

から減衰係数励振に付随して得られる共振は、入力振動数が何であれ、出力振動数は通常の共振と同じくほぼ固有振動数と一致し、得られる応答の位相は減衰係数励振に与える位相で制御できるという知見を得ている。

こうした共振現象を利用する装置には様々な応用が挙げられるが、本研究では、可変な減衰係数を利用して入力振動数に依存せず常時共振を引き起こすことが可能なこの手法を従来の動吸振器の減衰部分に適用することでセミアクティブ動吸振器を構成すれば、これまでに提案されてきたセミアクティブ制御とは一線を画した制御が行えると考えた。

## 2. 研究の目的

申請者が提案している可変減衰の新しい利用方法については、申請者の知る限りではこれまでに研究例が報告されておらず、減衰係数励振の基本的な現象の把握とセミアクティブ動吸振器に適用した場合の有効性について、基礎的な定常応答解析から行う必要があった。そこで本研究では、当初の目的として研究期間内において次に挙げる4点を課題とし、解決を図ることで次の研究フェーズへとスムーズな移行を行いたいと考えていた。

- (1) 1自由度振動系における可変減衰装置による共振誘起実験、
  - (2) 可変減衰装置を有する動吸振器の開発、
  - (3) 多自由度振動系における減衰係数励振の数値解析と定常応答解析、
  - (4) 多自由度振動系におけるセミアクティブ動吸振器の有効性の実験的検証、
- である。

研究実施計画では、平成20年度においては1自由度振動系での実験と可変減衰型動吸振器の開発と2自由度系での数値解析を予定していたが、可変減衰型動吸振器を設置した2自由度振動系の数値解析を進める中、当初の計画を変更し、1自由度振動系における減衰係数励振によってダンパが発生する力の働きの解明に研究の中心をシフトした。これは通常共振が発生する際には外部の振動源から効率的にエネルギーが流入する状態

が構成されており、固有振動数以外の変位入力と減衰係数の励振によって発生する共振も同様のことが仮定でき、またこのエネルギー源が係数励振によって自由に利用できるからこそ共振を起こしている振動系の振幅制御が行えることから、減衰係数励振を伴う一番単純なモデルにおける振動系のパワーフロー解析の必要性がでてきたためである。また、この解析を進める中で、免震装置に減衰係数励振を適用することが可能であることが判明したため、セミアクティブ制震の構造で最も単純な構造を構成することが可能な免震タイプの装置を開発していく目的に変更した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 1自由度振動系の正弦波加振実験

これまで数値計算と定常応答解析で確認した1自由度振動系に対する減衰係数励振による共振誘起現象について実験的に検証した。可変減衰装置を有する振動系は図4のように構成した。

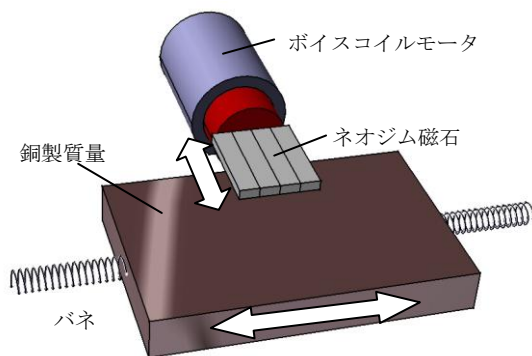


図3. 実験装置概要

リニアスライダ上に設置することで1軸(図3では左右方向)に拘束した銅製の質量を、バネを介して両側から支持することで1自由度振動系を製作した。可変減衰装置には銅と磁石を利用した磁気減衰を利用し、銅製質量の可動方向と直交する方向(図3では前後方向)に動作できるネオジウム磁石の位置をボイスコイルモータで制御した。磁石の位置に比例して導体を通る磁束が変化することから簡単に可変減衰が実現できる。磁石の振動方向を銅質量の進行方向と直交させ、主振動系に対して外乱を与えないようにした。この振動系を振動台上で正弦波加振するこ

とで定常応答を実験的に検証した。

#### (2) 定常応答の干渉を利用したセミアクティブ制御

次に、二つの周波数成分が地盤より入力されることにより振動する免震システムを対象に、例えば、入力の成分に固有振動数成分が含まれていても発生する共振による応答の悪化を低減することが可能となるセミアクティブ制振手法について検討した。

減衰の係数励振を利用して発生する共振は、設定する可変減衰のパラメータによって振幅と位相の制御が可能となることから、本来は共振を発生することはない地盤からの入力成分によって、有害な入力成分とは逆位相の振動を構成することにより、システムの出力応答に干渉が起こり、共振の影響が低減できることになる。そこで、本研究では理想的な可変ダンパを設置した構造物を対象に、二つの振動数による励振と減衰係数励振の作用によって応答の振幅低減を行う方法について数値的に検討を行った。

#### (3) インパルス応答の低減

パッシブ型の振動絶縁装置においては、低減衰にすれば絶縁性能の向上が期待できるが、逆にそれは衝撃的な入力に対する応答の悪化を招くため、その値の設定には狙う性能特性においてトレードオフが存在する。本研究ではインパルス入力が発生した場合でも、振動絶縁域の定常入力成分を利用して減衰自由振動と同じ振動数を有する逆位相の応答を発生させてインパルス応答と干渉させるシステムを提案した。ここでは、1自由度系の自由振動応答解析の結果を基に、減衰係数を励振させる時間を導出し、理想的なシステムにおいて提案した手法が有効であるかを数値計算によって示した。

### 4. 研究成果

#### (1) 1自由度振動系の正弦波加振実験

この実験では、図4に得られる周波数応答曲線を得ることができ、赤い実線で示された数値解析の結果と青い実線で示された実験結果が同じ特徴を有していることが明らかであり、減衰係数励振による特徴的な曲線が

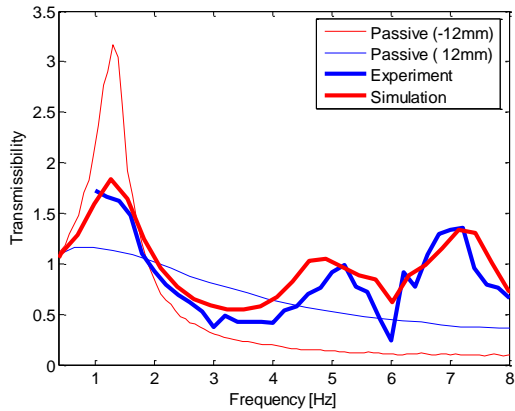


図4. 実験によって得られた共振曲線

得られ、数値計算結果の妥当性が実験によって確認された。

(2) 定常応答の干渉を利用したセミアクティブ制御

この研究における数値計算結果を図5に示す。

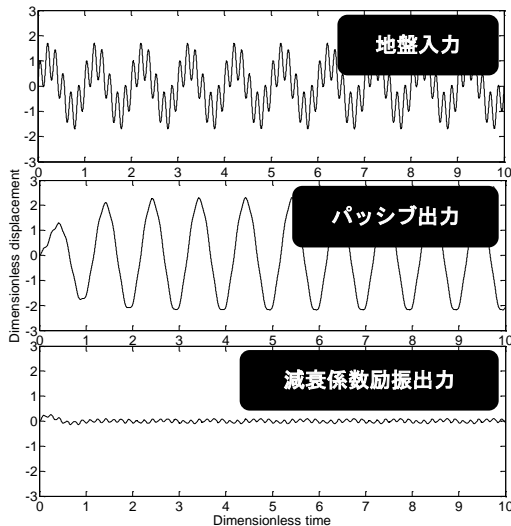


図5. 減衰係数励振による定常応答制御

図5に示すように、入力に共振振動数成分が含まれているため、パッシブ制御では応答に共振が発生し、振幅が増大するにもかかわらず、減衰係数励振を行った場合は、それによって発生する位相制御が可能な共振に逆位相特性を持たせているため、応答で干渉が起こり、結果として共振成分の除去が行えていることが図5より分かる。

(3) インパルス応答の低減

本研究では、振動絶縁域の定常入力とインパルス入力を受けるパッシブ型とセミアク

ティブ型の振動絶縁装置について検討を行い、図6と図7に示す結果を得た。この図より、減衰係数励振を起こすことでインパルス入力に対する自由振動応答の収束が改善されており、セミアクティブ制御による制振効果が明らかであることが見て取れる。

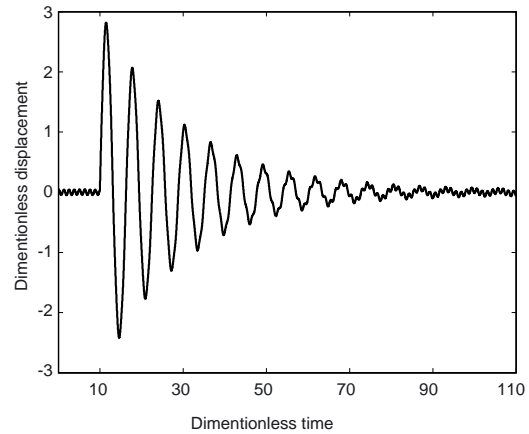


図6. パッシブ型振動絶縁装置の応答

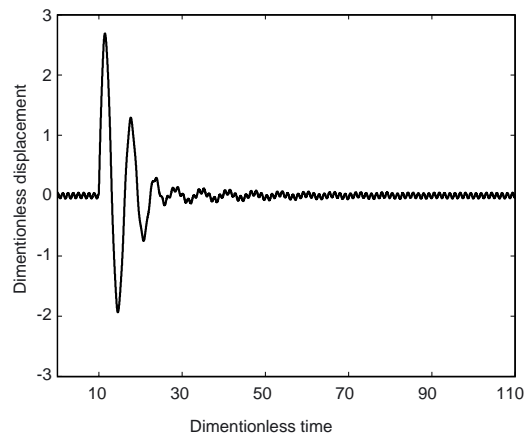


図7. セミアクティブ型振動絶縁装置の応答

(4) まとめ

以上のように、減衰係数励振によって誘起する共振という現象を利用して、振動制御を行う手法について研究を行った。ここで提案している手法は、これまでに国内外で類似した研究は成されておらず、また、研究成果(2)および(3)に示した図のように、状況によっては非常に制振効果の高い制御手法であることが分かる。すなわち、様々な振動制御手法のもう一つの選択肢として本研究の成果が今後利用されることが期待できる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 射場大輔, 増田新, 曾根彰, 減衰係数励振を伴う振動系の周波数応答解析, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol.74, No.745, 2008, pp.2145-2152.

[学会発表] (計 4 件)

- ① 中村恭平, 射場大輔, 増田新, 曾根彰, 減衰の係数励振を利用した制振手法の研究, 日本機械学会 D&D2009, 2009 年 8 月 4 日, 北海道大学(札幌キャンパス).
- ② D. Iba, A. Masuda and A. Sone, Structural vibration control by damping parametric excitation, ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, 2009 年 7 月 29 日, チェコ共和国ブラハ.
- ③ 中村恭平, 射場大輔, 増田新, 曾根彰, 定常振動と減衰の係数励振を利用したインパルス応答の低減, 日本機械学会 Translog2008, 2008 年 12 月 12 日, 川崎市産業振興会館.
- ④ 射場大輔, 坂本直樹, 増田新, 曾根彰, 減衰の係数励振を用いた動吸振器を設置した構造物の周波数応答解析, 日本機械学会 D&D2008, 2008 年 9 月 3 日, 慶應義塾大学(日吉キャンパス)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

射場 大輔 (IBA DAISUKE)  
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・  
准教授  
研究者番号：10402984

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：