9 1 3 永久磁石ばねを用いた 6 自由度振動制御装置の特性

Characteristics of vibration control apparatus of six-degree-of-freedom by using permanent magnet-spring

正 中川 紀壽 (広島大院)

正 藤田 悦則 (デルタツーリング)

杉本 栄治 (デルタツーリング)

○学 大坪 謙太 (広島大院)

Noritoshi NAKAGAWA, Graduate School of Hiroshima University, Kagamiyama1-4-1, Higashi-hiroshima, Hiroshima

Etsunori FUJITA, Delta Tooling Co.,Ltd., 3-1 Taguchi-kenkyudanchi, Higashi-hiroshima, Hiroshima

Eiji SUGIMOTO, Delta Tooling Co.,Ltd.

Kenta OTSUBO, Graduate School of Hiroshima University

Key Words : Magnet-spring, Quasi-zero spring constant, Vibration transmissibility, Vibration control

1. 緒言

現在、自動車をはじめ、種々の機械や構造物から生じる振動の対策として、様々な制振材や制振装置、制御方法などが提案されている⁽¹⁾。

制御方法としては、自動車のサスペンションなどに代表される受動制御、アクチュエータやセンサを用いて強制的に振動を抑える能動制御などが挙げられる。受動制御による除振としては、バネ・質量・ダンパ系が変位励振を受ける場合を例にとると、その特性は共振ピークを持った振動伝達特性になり、一般的に、共振周波数の $\sqrt{2}$ 倍から上の周波数領域の振動に対してのみ制振効果が得られる。一方、能動制御では、共振ピークを著しく抑えることは可能となる。しかし、制御特性がアクチュエータやセンサの性能に依存するため、共振周波数以下の高い周波数では性能面で限界が生じて、アクチュエータが追随しなくなり、理論通りの制御性能が得られなくなる⁽²⁾。

近年になり、高保磁力、高残留磁束密度を有する、希土類永久磁石が実用化されるに伴い、磁石ばねや磁気浮上、磁気軸受、および磁性流体を用いたダンパなどの磁気制御系の研究が盛んに行われている。

受動制御で除振効果を高めるには、除振装置のばね定数を零に近づければよい⁽³⁾。そこで本研究では、希土類永久磁石の反発力と吸引力を利用した新たな磁気回路を創出し、この回路の荷重-変位特性を利用して、任意のストロークでのみ、ばね定数が零に近づく特性を持ったばねモデルを製作した。このモデルを使用する受動制御部と、アクチュエータを用いた能動制御部を組み合わせることにより、広い周波数領域での振動制御が可能な 6 自由度振動制御装置の開発を目指している。

2. 6 自由度振動制御装置の構造

Fig.1 は本研究で開発中の 6 自由度振動制御装置である。先に述べた通り、本装置は、ばね、ダンパを用いた受動制御部とアクチュエータを用いた能動制御部をハイブリッドに組み合わせた構造となっており、装置の基礎となる架台①、受動制御部にあたるばねモデル② (4 セット)、および能動制御部にあたる磁石式支持装置③から構成されている。

Fig.1 Vibration isolator of six-degree-of-freedom

3. 受動制御部の構造および特性

6 自由度振動制御装置の受動制御部に使用する、ばねモデルの構造を Fig.2 に示す。ばねモデルは、磁石ばね①と金属ばね②を、並列に組み合わせた構造をしている。磁石ばねの磁石には、ネオジウム・鉄・ボロン磁石を使用している。磁石ばね①は、外側磁石③(一対)と、内側磁石④から構成されており、外側磁石③はモデルに固定され、また内側磁石④は可動軸⑤に連結されている。内側磁石④が外側磁石対③の間を移動するときに生じる反発力と吸引力を利用して、ばね特性を作り上げている。外側磁石は可動軸に垂直な方向に磁化していて、2 極構造となっている。以後、この磁気回路を周期磁界形磁気回路と呼ぶ。また、両磁石間での電磁誘導を利用して振動減衰効果を持たせる。さらに、電磁誘導を促進させるため、内側磁石には銅板⑥を貼り付けている。

Fig.3 は、本研究で用いているばねモデルの荷重-変位特性と、

Fig.2 Mechanism of spring model

Fig.3 Force-displacement characteristics

そのばねモデル内部に使用している、磁石ばね、金属ばねの荷重－変位特性をそれぞれ示す。非線形な荷重－変位特性の磁石ばねと、線形な荷重－変位特性の金属ばねを並列に組み合わせることにより、ばねモデルに、任意の変位部分（使用領域）でのみ、ばね定数が零に近づき、それ以外の変位領域では正のばね定数を有して外力を支持するという、振動制御には最適と思われる荷重－変位特性を持たせている。

Fig.4 は本装置の受動制御部のみで行った水平方向の振動についての除振実験から得られた周波数－振動伝達率特性を示している。装置のテーブルの上に除振対象物として質量を負荷し、装置の架台に対して横方向にランダムな振動を加え、そのときのテーブルの変位の変化量と架台の変位の変化量をレーザー変位計によってそれぞれ測定を行い、FFT アナライザを用いて FFT 解析を行い、振動特性を求めた。Fig.4 より横方向の振動に対し 6 自由度振動絶縁装置の受動制御部は約 2Hz 付近で共振ピークを持ち、約 3Hz 付近より高い周波数帯域の振動において除振効果を得ることができると思われる。

鉛直方向の振動に対しては、加振器を用いて入力振幅は 1.5mm 一定で振動を加え、加振周波数を 0.5Hz から 10Hz まで 0.5Hz ずつ変化させながら測定を行い、約 1.4Hz 付近で共振ピークが生じ、約 2Hz より上の周波数帯域の振動に対しては、振動伝達率が 1 以下となり、良好な振動特性を持つことを確認している⁽⁴⁾。

したがって、周期磁界形磁気回路を用いた本装置の受動制御部の振動特性は、共振ピークが発生するが、約 2～3Hz 以上の周波数帯域の振動に対しては、良好な除振効果を得ることができるとわかった。

4. 能動制御部の構造および特性

Fig.5 は、本装置の能動制御部にあたる磁石式支持装置の構造を

Fig.4 Vibration characteristic

Fig.5 Magnetic support device

示す。磁石式支持装置はボイスコイルモータ①、②、ならびにステッピングモータ③から構成されている。

本装置の除振対象物は、ボイスコイルモータ②やステッピングモータ③に取り付けたネオジウム・鉄・ボロン磁石と、除振対象物の底面に取り付けた同磁石間で発生する反発力を利用することによって、4本のガイド④を介して、空中に支持されている。ボイスコイルモータ②、ステッピングモータ③上に取り付けた磁石を動かすことにより、取り付けた磁石同士の対向面積を変化させて、磁石間の反発力を調整することにより、外部からの振動を能動的に制御する。また、装置の架台に取り付けたボイスコイルモータ①は、除振対象物の鉛直軸まわりの回転を制御する。

現在、能動制御部のアクチュエータの制御は位置フィードバック制御法、ならびに速度フィードバック制御法を用いている。能動制御法ならびに受動制御と能動制御の組み合わせ方については、今後検討を行っていく必要がある。

5. 結言

周期磁界形磁気回路による磁石ばねを利用した 6 自由度振動制御装置の製作を行った。振動実験により、振動伝達率－周波数特性の測定を行った。以上のことから得られた主な結果を次にまとめる。

- 1) 今回の実験で、本装置の受動制御部では共振ピークが発生するが、約 2～3Hz 以上の周波数帯域の振動に対しては、良好な除振効果を得られることがわかった。
- 2) 受動制御部による、共振点以降の振動特性は良好なものであるため、周期磁界形磁気回路を利用した磁石ばねは、振動制御に有効である。

参考文献

- (1) 藤田悦則, 中川紀壽, 小倉由美, 小島重行, 磁石ばねを利用した組合せ非線形ばねに関する実験的研究, 日本機械学会論文集 (C 編), 66 巻, 645 号, (2000), 1445-1452.
- (2) 長屋幸助, 機械振動と騒音の電磁力による制御, 機械力学・計測制御講演論文集 No.98-8, (1998), 277-290.
- (3) 曾賀紀夫, 磁気ばねを利用した非線形特性の導出と振動特性, 広島大学卒業論文, (1999).
- (4) 中川紀壽, 藤田悦則, 杉本栄治, 大坪謙太, 永久磁石ばねを用いた 6 自由度振動絶縁装置の振動特性, 日本機械学会講演論文集 No.025-2, (2002), 121-122.