

二重動吸振器の最適設計

Optimal Design of Double-Mass Dynamic Vibration Absorbers

浅見 敏彦 (兵庫県立大学特任教授)

Toshihiko Asami, University of Hyogo, 2167, Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280, Japan

1. はじめに

私は 1978 年 11 月に兵庫県立大学の前身である姫路工業大学に奉職し、2019 年 3 月に同大学を定年退職した。一つの職場にこれだけ長く務めることができたのは、多くの研究者仲間や諸先輩方に支えられてきたお陰であり、関係者各位に感謝したい。有り難いことに、幾つかの研究会からは最終講義の要請を受け、さらに制振工学研究会からはその記事執筆の依頼を受けた。2019 年 3 月 28 日に行った最終講義では、これまで私が携わってきた複数の研究課題に対する取り組みについて報告させて頂いたが、本記事では、その中で私が最も精力的に研究してきた動吸振器の最適化問題に話題を絞ることとする。

私が大学に着任してから 3 年目の 1981 年に、指導教授の関口久美先生から動吸振器の最適化の研究をしてみないかというお誘いを受けた。それは私の前任者である飯田一嘉氏が姫路工業大学在籍中に行っていた研究でもあった。それ以来、途中中断はあったものの退職直前の 2019 年 1 月まで 38 年間にわたり、この最適化問題に取り組んできた。特に最後の 5 年間は二重動吸振器の最適化に没頭し、その研究成果を 2017 年からジャーナル紙に発表し始め、2019 年に掲載予定の論文まで含めると計 4 編の論文として公表することになった。制振工学研究会から記事の執筆の依頼を受けたとき、ちょうど良い機会であると思い、それら 4 編の論文の内容を一つに集約して報告させて頂くことにした。また、上記の 4 編の論文はすべて英語で書かれているので、日本人のためにこれらを邦文で公開することも必要であろうと感じている。

2. 動吸振器の最適化問題

動吸振器 (DVA: Dynamic Vibration Absorber) とは、制振対象となる物体の振動を抑えるために、その物体に取り付けられる小型の振動体のことをいう。単一質量の動吸振器については、1883 年に Watts によって考

案され⁽¹⁾、Frahm によって 1909 年と 1911 年にそれぞれドイツとアメリカで特許を取られたとされている⁽²⁾。

最初の動吸振器には減衰が付与されておらず、主系と呼ばれる制振対象にこの動吸振器を取付けたときに現われる反共振点を利用することに主眼が置かれていた。しかしながら、この反共振点の両側に新たな共振点が現われ、動吸振器が有効に作用する周波数帯域が狭いことがこの無減衰動吸振器の欠点であった。その後、動吸振器が広い周波数帯域で有効に作用するように、減衰を有する動吸振器が考案されるに至った。その解析モデルは図 1(a) に示されている。

減衰のある動吸振器の最適設計に対する最初の方法は 1928 年に Ormondroyd と Den Hartog によって提案され⁽³⁾、この方法は日本では“定点理論”として知られている。その設計規範は主振動系の共振振幅を最小化することを目標としており、現在では、この規範は H_{∞} 最適化と呼ばれる。定点理論は H_{∞} 最適化規範に基づく動吸振器の設計における一つの近似手法であると言える。この定点理論に基づき、1932 年に Hahnkamm が動吸振器の最適同調条件 (主系と動吸振器の最適の固有振動数比) を導き出し⁽⁴⁾、1946 年に Brock が動吸振器の最適減衰比の式を導出した⁽⁵⁾。その後、 H_{∞} 最適化規範に基づく動吸振器の厳密な最適解が 1997 年から 2003 年にかけて西原らによって報告された⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。彼らが用いた H_{∞} 最適化手法は“西原の方法”と呼ばれ、これは周波数応答関数における定点の存在を必要としない。これらは主系に減衰のない特別な場合の解である。

主系に減衰を有する系の H_{∞} 最適解については 1970 年代から 1980 年代にかけて発表されている⁽⁹⁾⁻⁽¹³⁾が、これらはすべて数値解である。数値解は実用的でないので、私は 2002 年に摂動法による近似解を発表した⁽¹⁴⁾。以上のように、動吸振器の H_{∞} 最適化に関しては、減衰系に対する代数的厳密解はまだ報告されていない。

動吸振器の第二の最適化規範は H_2 最適化と呼ばれる。この規範は 1963 年に Crandall と Mark によって提案され⁽¹⁵⁾、私の前任者の飯田氏が取り組んでいたのも