

# アクティブ制振技術の微振動環境への展開 Application of Active Vibration Control Technique to Microvibration Control

奥田 浩文 Hirofumi Okuda  
 蔭山 満 Mitsuru Kageyama  
 中村 充 Mitsuru Nakamura

## 1. はじめに

一般に、微振動環境改善のターゲットとなる精密加工施設の基本振動数(水平方向)は概ね2~3Hzとなる場合が多い。これは、これらの建物では原則短工期での施工が要求されるため、S造を採用する機会が多いことなどに起因する。一方、この振動数帯域(2~3Hz)は精密加工施設内に設置される精密機器の嫌振帯域と一致するため問題となる場合がある。すなわちこれらのことは、精密加工施設周辺の環境振動および風外乱による建物の基本振動の応答増幅が大きい場合には、精密機器の正常稼動に支障をきたすことを意味しており、微振動環境の改善という観点から解決すべき重要な課題となっている。

建物の応答増幅に起因するこの課題に対して、現状では、精密機器の設置位置を応答増幅の小さい下層階へ変更することや、高額なアクティブ除振台等を除振装置として精密機器毎に付加的に導入することなどによって対応せざるを得ない状況にある。このことは、建物の多層化に代表される敷地の有効利用や、精密機器の集約化による効率的な平面計画を実現する上で、大きな妨げとなっていた。

筆者等は、これまでに比較的発生頻度の高い強風や中小地震による建物応答の抑制を目的とした、AMD(Active Mass Damper)を開発し実建物へ適用<sup>例えば1)</sup>してきた。建物全体の応答を抑制することが可能となるこの既開発技術を微振動環境へも展開できれば、精密機器の設置位置等に関する建築計画上の制約が低減され、且つ個別の除振装置の設置が不要となり、大幅なコスト削減効果が期待できる。

この技術紹介では、既開発のアクティブ制振技術が微振動環境の改善にも適用可能か否かを見極めるために、実建物を対象として実施した微振動制振実験結果について報告する。

## 2. 制振実験の概要

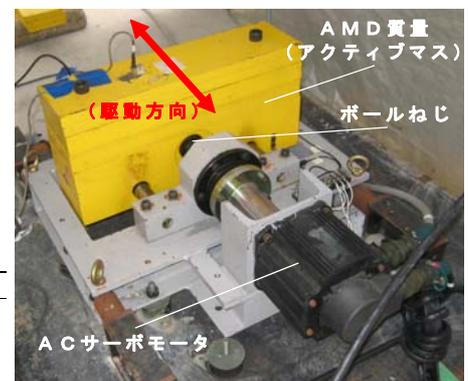
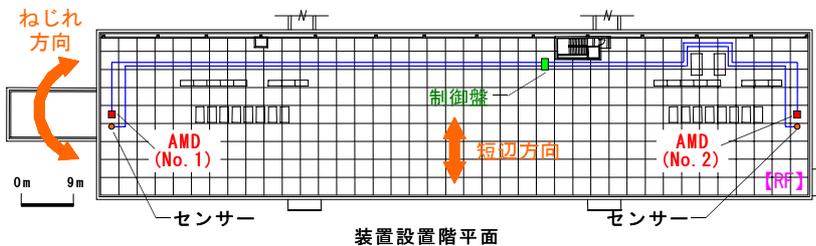
本実験の主目的は、制振対象モードを建物短辺1次およびねじれ1次として、常時微動における建物屋上階の加速度応答を1/2まで抑制することにある。

実験対象建物と装置の概要をFig. 1に一括して示す。今回の実験で使用したAMDは、ACサーボモータとボールねじによって、AMD質量(アクティブマス)を1方向(建物短辺方向)のみに駆動するタイプの装置である。AMD本体は実験対象建物に2基設置されており、建物屋上階・両端部に分散配置されている。これら2基のAMDを同位相で駆動させることによって建物短辺1次の応答を、逆位相で駆動させることによってねじれ1次の応答をそれぞれ抑制することが可能となる。なお、建物総質量に対するAMD質量(2基分)の比率は約0.02%である。

## 3. 制振実験の結果

### 3.1 低次元化モデルの構築

AMDによって所定の制振性能を発揮するためには、まず建物の特性を正確に把握する必要がある。AMDは外部エネルギーを用いてAMD質量(アクティブマス)を強制的に駆動させるタイプの装置である。よって、本来制振器であるAMDを加振器として利用すれば、制振対象として想定している振幅レベルでの建物特性は実測可能となる。AMDを用いた制振では、現代制御理論を基本とする制御アルゴリズムを用いて、建物の制振対象モードの応答抑制を行う。そのためには、実測された建物特性を用いた力学モデルを構築しなければならない。その際、建物には多くの振動モードが存在するため、制振対象モードのみを正確に抽出でき



基本諸元	
■ 建物	■ 装置 (1基当たり)
・規模等 : S造, 地上2階建 : 117m×27m (平面), 16m (最高高さ)	・本体サイズ : 677mm×560mm×228mm (B×D×H)
・固有振動数 : 短辺1次 2.23Hz, ねじれ1次 2.22Hz	・AMD質量 : 100kg (装置総質量: 175kg)
・減衰定数 : 短辺1次 5.25%, ねじれ1次 4.45%	・有効ストローク : ±50mm
	・モータパワー : 1.5kW

Fig. 1 実験対象建物および装置本体の概要  
Outline of the Building and AMD (Active Mass Damper)

る低次元化モデルを作成<sup>2)</sup>する必要がある。

AMDを用いて正弦波加振を実施した際に得られた屋上階の共振曲線をFig. 2に示す。図中、赤丸印が実測結果を、黒実線が低次元化モデルによる解析結果をそれぞれ表している。これらの結果から、制振対象モードである建物短辺1次とねじれ1次の、解析結果と実測結果はよく一致していることが確認できる。

### 3. 2 常時微動制振実験結果

常時微動を対象とした場合の制振実験結果(加速度応答波形)をFig. 3に示す。図中、左図が非制振時の、右図が制振時の結果をそれぞれ表している。同図・下図の1階加速度応答波形を比較すると、非制振時、制振時の応答最大値は共に0.04Gal程度であることが確認できる。このことは、非制振時、制振時に建物に作用する外力は同等であることを意味している。よって、AMDを設置したことによる制振効果は、同図・上図の屋上階加速度応答波形の比較によって確認される。なお、同図・各図に示す括弧内の数字は、非制振時応答最大値に対する制振時のその比率を表している。これらの結果から、本制振によって建物屋上階の加速度応答最大値は、非制振時に比較して46%まで抑制されていることが分かる。

Fig. 3に示す4つの加速度応答波形の周波数分析結果をFig. 4に示す。図中、左図が屋上階の、右図が1階の結果をそれぞれ表している。両図共、制振時の結果を赤実線で、非制振時の結果を黒破線で示している。同図・右図の結果から、Fig. 3の結果と同様に、振動数領域においても1階の振幅レベルは非制振時、制振時共に同等であることが確認できる。よって、非制振時、制振時の屋上階スペクトルを比較すると、制振対象振動数である2Hz近傍の応答は、非制振時に対して制振時では45%まで抑制されていることが分かる。同図・左図の青実線は、実際の半導体工場で使用されている精密機器の振動許容値例を表している。この精密機器の性能を発揮させるためには、建物応答がこの許容値を下回っていることが要求される。本実験結果から、非制振時には満足できなかった要求性能をAMDの設置によって達成していることが確認できる。

本実験における制振効果を減衰の観点からまとめた結果をTable 1に示す。短辺1次、ねじれ1次共に5%程度(非制振時)であった減衰性能を、本制振によって12%程度まで向上させていることが確認できる。

### 4. まとめ

実建物を対象とした制振実験によって、本技術は微振動環境にも展開可能な技術であることを検証した。精密加工施設に本技術を適用することによって、精密機器の設置位置等に関する建築計画上の制約が低減され、且つ個別の除振装置の設置が不要となる、などの大幅な改善効果が期待できると考えられる。

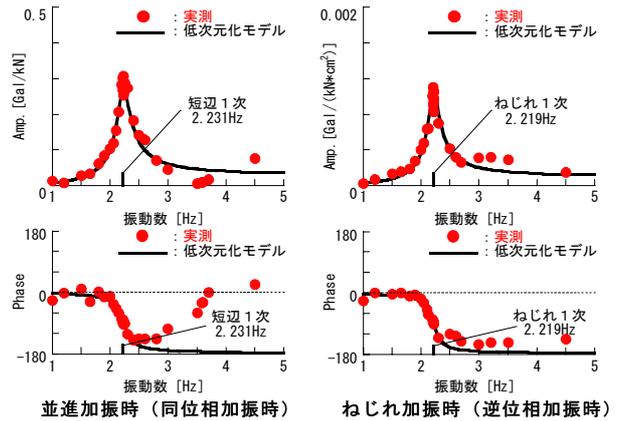


Fig. 2 装置設置階(R階)の共振曲線  
Frequency Response of the Building at the Roof

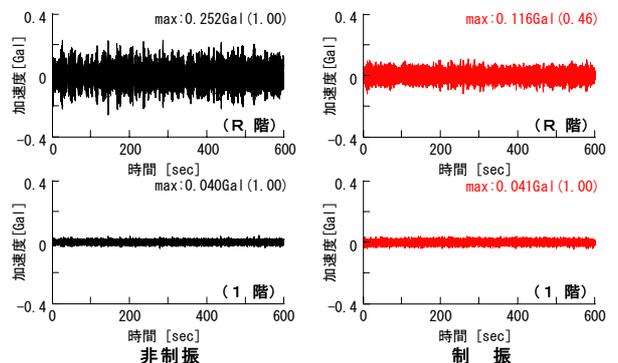


Fig. 3 加速度応答波形(建物短辺方向)  
Acceleration Response of the Building

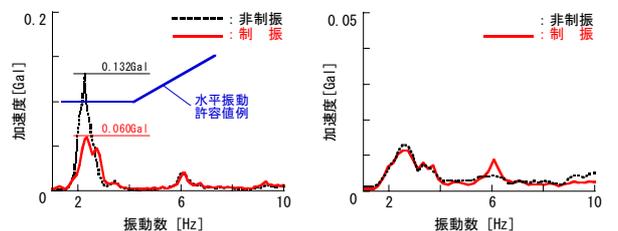


Fig. 4 加速度応答波形のフーリエスペクトル  
(建物短辺方向)  
Fourier Spectrum of the Acceleration Response

Table 1 減衰性能  
Damping Characteristics

### 参考文献

- 岡田, 他: 中高層建物のアクティブ制振システム(その15)~(その17), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 899~904, (1994)
- 奥田, 他: ハイブリッド型動吸振器の開発とその実機適用に関する研究, 第2回日本制震(振)シンポジウム, pp. 591~598, (2000)