

2. AMDによる環境振動対策 ～居住性・作業環境の改善事例～

ヤクモ株式会社
(YACMO CO., LTD)

1. はじめに

建築物内部における環境振動問題のうち、建物内の人工振動源については、人間活動が振動源となるものと、機械の稼働が振動源となるものを対象としています。前者は主に歩行や運動等の人の動作による振動であり、後者は設備機器類が該当します。近年、中～大規模オフィスビルの執務室の場合には、無柱空間であることが求められ、それによりロングスパン部では、日常的に生じる歩行振動が問題となることがあります。また、ホテルやマンション等の集合施設などでは、スパンが長くなくとも環境振動に対する許容値が小さいことより苦情が発生する場合があります。一方、設備機械による振動では、例えば屋上や中間設備機械室に設置された機器による振動が、構造躯体を通じて伝搬することにより、その上下階の居住性能が低下する事象も発生しています。これらの内部人工振動源については他の外乱(風、地震等)に比べて、遥かに対象期間が短い(再現性が高い)ために問題が表面化し対策が必要となるケースが多々あります¹⁾。

弊社では、居住性や作業環境の改善を目的としたAMD(アクティブマスダンパ)による床の環境振動対策をご提案しております。本稿では対策事例をご紹介します。

2. AMDの概要

AMD(=Active Mass Damper)は、錘(mass)を(activeに)動かすことで、制振対象に減衰を付加させ(damp)、共振を抑えることが出来る装置であり、可動マス(錘)、アクチュエータ(駆動装置)、センサ、コントローラ(制御演算装置)で構成され、床などの振動をセンシングし、コントローラで制御演算を行い、可動マスをアクチュエータで駆動するシステムです。制振デバイスとしてよく知られているTMD(=Tuned Mass Damper)も錘の反力を利用する点は同じで、可動マスとバネを制振対象と同調するようチューニングすることで制振対象の振動を可動マスの振動エネル

ギーとして吸収する効果があります。AMDはTMDと比較して、よりコンパクトなサイズで大きな制振効果を得られることが最大の特徴です。また、より広い周波数帯域で効果を発揮することが出来るため、1基で2つの振動モードに効果を発揮することも可能です。更にバネなどの機械的なチューニングは必要とせず、制御則(ソフトウェア)によって、振動低減量や周波数幅をコントロールすることが可能です。図1の力学モデルでAMDとTMDの比較を示します。

弊社のAMDラインナップはその駆動方式によりリニアモータタイプとACサーボモータ&ボールねじタイプの2種類に分類されます(表1)。どちらのタイプにするかは、外乱となる振動源の加振力、ターゲットとする周波数域、どこまで振動を低減する必要があるか、駆動音はどの程度に抑える必要があるか等の条件と照らし合わせて選定します。アクチュエータの詳細仕様と可動マスについては、外乱入力時の応答値をシミュレーションすることで決定しています。このように駆動方式や可動マスについて組み合わせの自由度が比較的高いため、例えばAMDが設置可能な場所に制限がある場合でも、ある程度のカスタマイズが可能となっています。

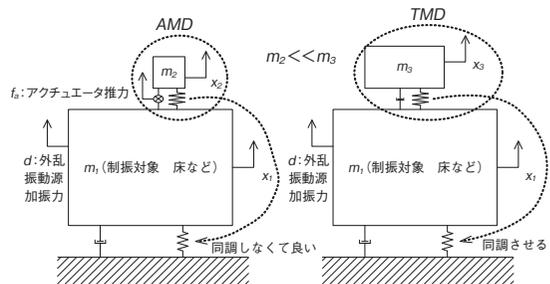


図1 AMDとTMDの比較 力学モデル

表1 AMD駆動方式による比較表

性能項目	駆動方式	
	リニアモータタイプ	ACサーボモータ&ボールねじタイプ
推力	○ ～500N	◎ ～3000N
応答性	◎	○
静音性	◎	△
メンテナンス	◎	△ 定期的に給油を推奨

3. 対策事例紹介

3.1 劇場における客席の居住性改善例

振動源：下階の多人数運動(ダンス)

AMD：リニアモータタイプ(可動マス1,000 kg)

某劇場は、複数フロアにわたりホールや多目的スタジオがレイアウトされ、演劇、ミュージカル、ダンス等の舞台芸術作品が上演される施設です。

ある時、演劇を上演中に客席で揺れを感じるという問題が発生しました(地震?と感じている観客の方もいたようです)。揺れの発生源は、下階スタジオの別演目で実施していた複数人のダンスでした。

一般的に多人数が一定のリズムに合わせて上下運動する時、そのリズムが床など構造体の固有振動数とマッチすると振動が増幅することが知られていますが、この建物は、ロングスパン構造で床の固有振動数が約5 Hzと低く、構造体の減衰も小さいため、ダンスなどの運動で共振が生じやすく、振動の伝わりやすい状態となっていたと考えられます。

本件は、竣工後の「あと対策」であったため、AMDやTMDなどの制振デバイスを段床客席の床下に設置するというプランが採用されました。また、限られた設置スペースで下階の多人数運動の加振力に対抗する必要があったため、省スペースで制振力を稼げるAMDでの検討を進めました。更に、AMDの作動音が観劇に影響することを避けるため、劇場内客席部ではNC-25以下を確保すること、という音についての要求事項がありました。

以上を踏まえて、リニアモータタイプで可動マス1,000 kgのYAMD-1000を4台同時制御できるAMDシステムを設計しました(図2)。また、オプションの防音カバーを設置することで、作動音について配慮しました(図3)。



YAMD-1000×4台
制御盤
図2 可動マス1,000 kgタイプAMDシステムの外観



図3 カバーを取り付けたAMD設置状況(段床客席下)

AMD設置完了後、効果確認のため、大人6人による加振実験を行いました。共振が起きるようなテンポで6人同時ジャンプを行い、AMDをon/offし客席部の振動測定を行ったところ、客席部で10 dB程度低減されており、体感的にも大幅に軽減されていることが確認できました(図4)。また、客席に座っていると作動音はほぼ聴こえず、NC-25を満足する結果となりました(図5)。

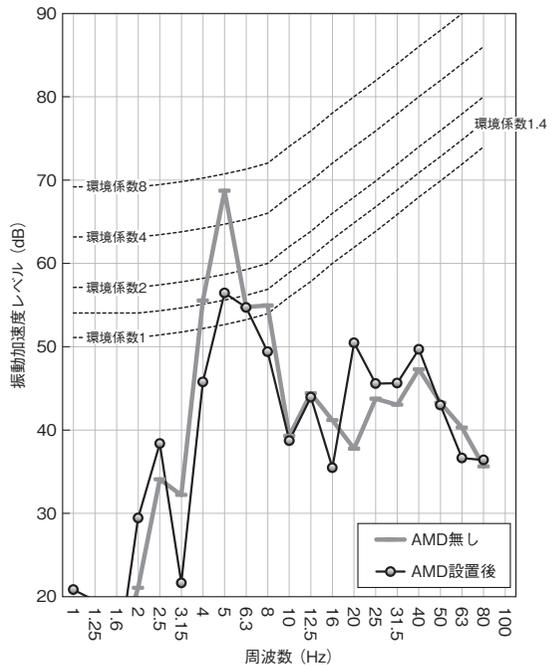


図4 AMDの効果(下階6人ジャンプ時の客席床VAL)

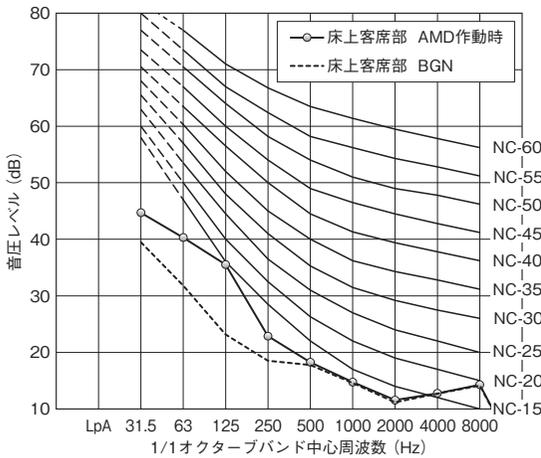


図5 AMDの作動音測定結果

3.2 工場における作業環境改善例

振動源：生産設備機械の稼働

AMD：ACサーボ&ボールねじタイプ
(可動マス600 kg)

近年の工場設備機械の大出力化・高速化に伴い、機械が原因で大きな床揺れが発生し、問題となるケースが多くなっています。A社工場においても、最新の設備に置き換えるたび、大きな床振動が発生するようになり、作業環境への悪影響が懸念されていました。床振動を測定したところ、作業場の基準とされているISO2631/2の環境係数8を10 dB以上オーバーする振動が発生していました。弊社で更に詳細な解析を行い、特に大きく発生している6.3 Hz、20 Hz付近の振動成分が、床の固有モードに起因するものであること、シミュレーションで機械加振力を数値化し設備機械がどの程度の出力なのかを把握しました。

各種対策手法について、表2のように検討を重ねた結果、省スペースで大きな効果が得られるAMDの設置がベストという結論になりました。

表2 各種対策方法を検討した結果

対策案	効果	対策に必要なスペース
構造体の簡易補強	× 後施工での補強では効果見込めない	○
設備機械の防振	△ ターゲットとする周波数が10 Hz以下と低く効果得るのが難しい 機械自体の揺れが問題になる可能性もあり	○
TMD	○	× かなり大きなサイズになる 床下への設置はNG
AMD	◎ 事前に50 kgのAMDでテストを実施し効果が得られることを確認した	○ 省スペースでOK

設備機械の大きな加振力に対抗するため、大出力が得られるACサーボモータ&ボールねじ方式のアクチュエータを搭載し、製造ライン間30 cmほどの僅かな隙間に収納できるようにカスタマイズ設計した可動マス600 kgのYAMD-0600を開発しました(図6)。設置台数は、設備機械1ラインに対して1台、ラインの中央に配置することとしました(図7)。



図6 YAMD-0600外観 単位(mm)

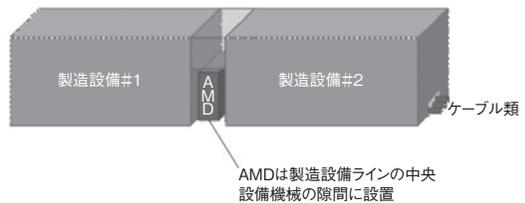


図7 AMDの設置イメージ

AMD設置前後の床振動加速度レベル測定結果を図8に示します。1次モード及び2次モードの振動を低減しており、作業場の基準である環境係数8 (ISO-2631) をクリアしました。生産スペースを無駄にせず、作業環境を大きく改善することに成功したといえます。

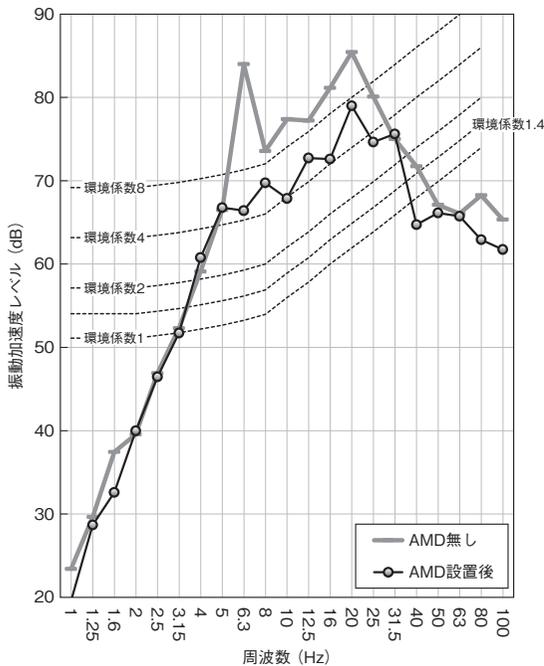


図8 AMDの効果(設備機械稼働時の床振動加速度レベル)

3.3 オフィス空間での執務環境改善例

振動源：隣接工場のプレス機稼働

AMD：リニアモータタイプ(可動マス50 kg)

B社工場においてプレス機が高速で稼働すると、隣接する事務所棟にて床振動が大きくなり、執務環境の悪化が懸念されていました。事前に床振動を測定したところ、事務所の基準とされているISO2631/2の環境係数4はほぼ満たしていましたが、従業員より、椅子に座っていると体に揺れが伝わって気分が悪い等の意見が多数寄せられていたため、対策を検討することになりました。弊社で更に詳細な解析を行った所、特に大きく発生している6.6 Hzはプレス機の加振周波数であり、床の固有振動モードが6.2 Hzと近い周波数となっていたため共振増幅している状態であることが判明しました。

プレス機側での防振対策は既に実施しており、これ以上の対策は難しいと判断されたため、事務所側で追加対策を行うこととなりました。要求事項としては、環境係数2まで下げること、オフィススペースを極力無駄にしないことが挙げられました。AMDの実験機を持ち込んでの体感デモなどを実施し、シミュレーションによる仕様検討を重ねた結果、リニアモータタイプで可動マス50 kgのYAMD-0050を2階、3階、4

階の22 m×40 mスパンに対して2台ずつ計6台設置することになりました(図9、図10)。

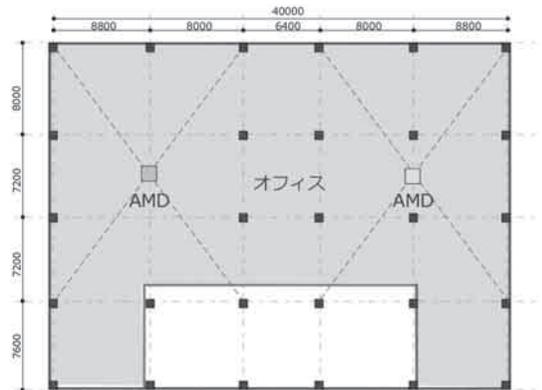


図9 AMDの設置位置(2～4階共通)



寸法：
450×480×850H (mm)

図10 YAMD-0050外観

AMD設置後の効果測定結果を図11に示します。環境係数4程度であったのが環境係数2 (ISO-2631) 以下になっており、執務環境を大きく改善することが出来ました。

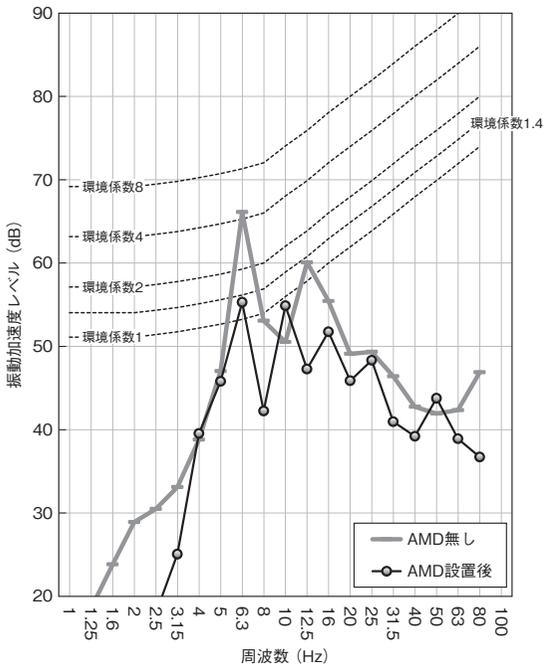


図11 AMDの効果(プレス機稼働時の床振動加速度レベル)

4. まとめ

本稿ではAMDによる環境振動対策事例を3例ご紹介しました。事例の3.1にもありましたが、近年の環境振動問題のトレンドとしてフィットネスなどの多人数運動によるものが挙げられます。最近では、スタジオ内で大音量の音楽を流し、それに合わせて数十人が運動するというコンテンツが増えてきており、このようなケースでは体感振動領域だけではなく、固体伝搬音・空気伝搬音を含めた総合的な対策が求められます。このような傾向は今後ますます強くなるのが予想されますので、ヤクモではAMD・TMDをはじめとした体感振動対策とこれまで培った浮遮音対策技術を合わせた新たな環境改善策を提案していきたいと考えます。

今回ご紹介したAMDのうち、小型の50 kgタイプは乗用車で搬送出来るサイズの可搬型となっているため、弊社のスタッフが振動問題の発生現場へ持ち込み、効果を体感してもらうデモを実施することもあります。その際AMDを用いて計測された床の振動応答特性のデータや振動源の加振力データは、実際に納入するAMDの仕様検討の材料としています。

また、弊社は2020年7月に本社(東京都品川区)に体験型ショールームをオープンしました。この中の「床

揺れ体感スペース(振動シミュレータ)』では、歩行振動・設備機械振動など各種の揺れを再現して加速度波形をモニタしながら体感いただくことが可能となっており、AMDによる振動低減効果もお試しいただけます(図12)。また、ショールーム内には浮遮音構造の一部スケルトンにし、収まりをご覧いただけるスペースもご用意しています(図13)。

可搬型AMDデモやショールームご見学をご希望の方は、弊社webサイト(<https://www.yacmo.co.jp/>)の「お問い合わせ」からお気軽にご連絡いただければ幸いです。

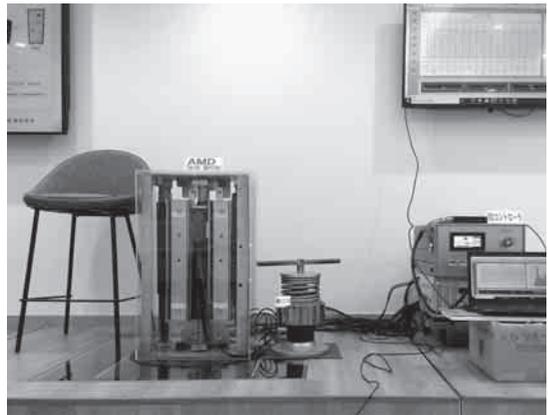


図12 ショールーム(床揺れ体感スペース)

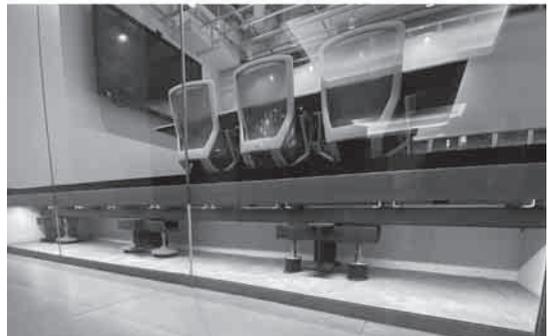


図13 ショールーム(浮き遮音構造展示)

[参考文献]

- 1) 日本建築学会編：『居住性能確保のための環境振動設計の手引き』、丸善出版、2020.6