

# 既存建物の不快な床振動を低減する制振技術

## SPADA (スパーダ) - Floor

松下 仁士

既存建物での床振動問題が増加傾向にある背景を受けて、使用中の建物にも比較的容易に適用可能な床制振技術 SPADA (スパーダ) - Floor (以下「本技術」という) を開発した。本技術は、膜型圧電セラミックスという特殊材料から成る小型・軽量のアクチュエータを鉄骨梁の両端部に配置し、その推力を用いて床振動を制御するアクティブ床制振技術である。取付け作業が局所的かつ簡易であるため短工期での対策が可能となっている。実建物を対象とした試適用実験により、2日間程度で取付工事を完了することができる良好な施工性と、居住者の歩行による床振動を1/3程度に低減する制振効果を確認した。

キーワード：既存建物，床振動，振動対策，アクティブ制振，施工性

### 1. はじめに

近年、建物の新築工事は縮小傾向にあり、リニューアル工事の割合が増加している。その背景には、建設材料や構法の高度化による建物の長寿命化が挙げられる。長寿命化により建物更新の考え方が、スクラップ・アンド・ビルドから、既存建物を改修することにより永く使用するリノベーションやコンバージョンへと移行してきている。また、近年は入居者の要求性能の高まりもあり、リニューアルの内容についても、安心安全のための構造補強や省エネルギー化だけでなく、快適性・利便性の維持・向上が求められる割合が増す傾向にある。

快適性に関する一つの項目として、建物周辺の交通や入居者の歩行、設備機器の運転等によって日常的に発生する“環境振動”が挙げられる。この環境振動についても、建物を永く使用する社会へのシフトチェンジが進む中で、周辺の振動源の変化によって振動が大きくなるという問題や、入居者の入れ替わりや用途の変更によって要求性能がより厳しくなるという問題が顕在化してきた。

発生する振動を低減する代表的な対策技術としては、柱や梁部材の増設や補強、動吸振器(写真-1参照)等の制振装置の設置が挙げられる。これらの対策は、新築建物に導入することを前提とした技術であり、大きな設置スペースの確保や重量物の運搬・設置、約1か月以上もの工期が必要となる場合もある等、既に入居者が使用している建物への導入は、事実上不可



写真-1 床振動制御用動吸振器の例

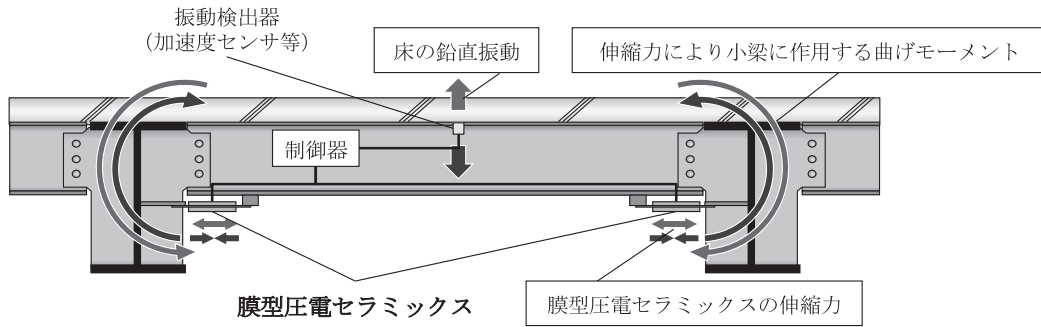
能なものとなっていた。

本報では、今後も増え続けるであろう上述のようなニーズや課題への対応策として開発した制振技術について紹介する。

### 2. 開発技術の概要

本技術は、梁の端部に取付けた膜型圧電セラミックス(写真-2参照)から成る小型のアクチュエータが、センサで検知した床振動を打ち消すように梁の動きを制御することで、微細な床振動を低減する仕組みとなっている(図-1参照)。

施工性に優れ、省スペースで制振機能を発揮できることが本技術の特長である。本技術の制振効果は適用実績により実証されており、歩行などにより生じる建物の床振動を約1/3以下に低減できることが確認され



図一 開発技術の制振原理

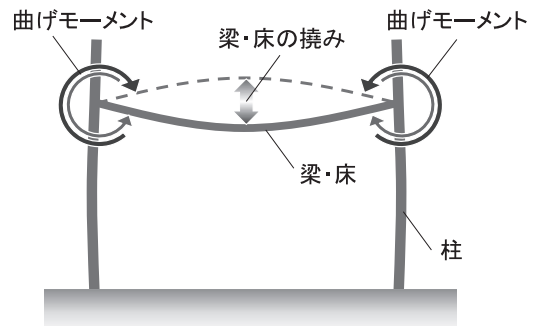


写真一 膜型圧電セラミックス

行う手法とすることを基本方針として、新たな制振技術を考案し、開発に取り組んだ。

(2) 考案した床制振手法の詳細

上述の要件を満たすものとして考案したのが、床を支える梁の端部にアクチュエータを配置し、これを駆動させ梁端部に曲げモーメントを発生させる手法である。図一2の模式図に示すように、梁の両端部に互いに逆向きの曲げモーメントを作用させることで、床の中央部を鉛直方向に撓ませることができる。この力を、外乱により生じた床振動と逆方向に作用させることで相殺し、振動の振幅を低減させることができる。



図二 梁端部の曲げモーメントによる梁・床の撓み

ている。

膜型圧電セラミックスは宇宙開発や航空機分野で開発された材料で、宇宙構造物やスペースシャトルの尾翼等の比較的軽量で柔軟な構造物の振動制御への適用が研究されてきた。本技術は、この異分野の先端技術を建築構造物に応用した事例である。

3. 開発技術の技術的詳細

(1) 使用中の建物への適用要件

使用中の建物に適用可能な床制振技術の要件として、①軽量・小型で取付工事が容易であること、②設置スペースが空調機器やダクト、電気設備といった既存設備と干渉しないこと、の2点が挙げられる。

前述の通り、動吸振器に代表される慣性マスを用いた手法では、装置自体の重量、容積共に大きくなるため、上述の要件を満たすことができない。また、床振動の振幅が大きくなる柱間の中央に装置を設置する必要があるのに対し、その場所は空調機器やダクト、配管が設置される場合が多いため、装置の設置スペースの確保が困難となるという問題もあった。

そこで、①および②の要件を満たすために、アクティブ制振技術によりシステムの軽量化・小型化を図ることと、柱や大梁の付近に取り付けた装置で振動制御を

梁端部に曲げモーメントを発生させる方法として、梁の下フランジ部分にアクチュエータの推力を作用させる方法を考案した。図一3に示すように、アクチュエータ推力の反力を柱あるいは大梁からとり、梁の下フランジ面に取付けた治具を介してアクチュエータの推力を曲げモーメントとして伝達させる手法である。

(3) 膜型圧電セラミックスの詳細

上述の床制振手法を実現できるアクチュエータとして着目したのが、膜型圧電セラミックスである。本材料は、圧電セラミックスの圧電効果により電極に電圧を印加することで図一4に示す矢印方向に伸縮することができる。また、膜型で柔軟であることからせん

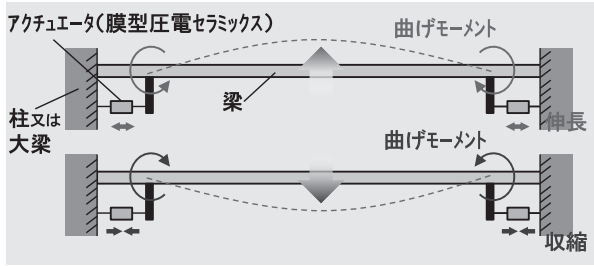


図-3 アクチュエータの推力により梁端部に作用する曲げモーメント

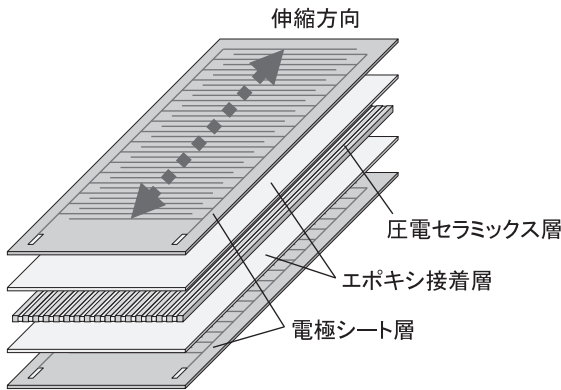


図-4 膜型圧電セラミックスの構成

表-1 使用した膜型圧電セラミックスの諸元

全体サイズ	103 × 64 × 0.3 (mm)
駆動部寸法	85 × 57 (mm)
弾性係数 (長さ, 幅方向)	3.03 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
弾性係数 (厚さ方向)	1.59 × 10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
圧電定数	1.20 (ppm/V)
静電容量	9.30 (nF)
許容印加電圧	-500 ~ + 1500 (V)
最大推力	923 (N)
最大ストローク	156 (μm)

断や曲げ応力に対する耐久性が高いため、種々の外乱によって多様な応力が生じる建物の構造体への適用も可能である。また、ストロークは極めて小さいものの、梁端部における微小な変形で制御が可能である本手法には、適性が高い材料であると考えた。表-1に、本技術で使用している膜型圧電セラミックスの諸元を示す。

#### 4. 既存建物における施工性、制振性能の実証

図-5に、対象とした既存建物の平面図の一部を示す。建物の用途は事務所であり、東西の長辺に沿って配置された執務スペースに挟まれた形で打合せスペースが計画されている。制御対象は、打合せスペースの床とし、図に示す鉄骨梁の両端部に制振装置を設置することとした。

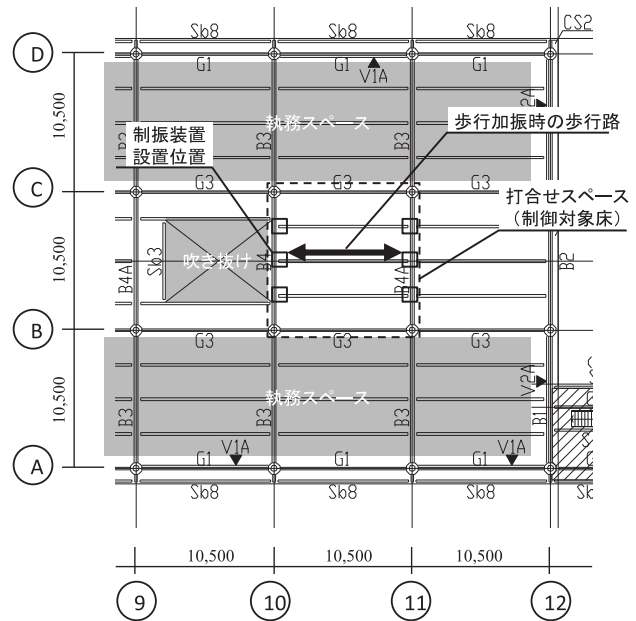


図-5 施工性、制振性能検証の対象とした実建物の平面図(一部)

#### (1) 施工性の検証試験

天井や耐火被覆などの仕上げ材が存在する上述の建物において、本技術の施工性の検証を行った。鉄骨梁は湿式の耐火被覆で覆われており、天井は石膏ボードと岩綿吸音板から構成されている。

以下に今回の検証試験の主な施工手順を記す。

- ① 什器の移動
  - ② 飛散養生
    - 天井ボードおよび耐火被覆撤去時に発生する微粉の飛散防止を行う
  - ③ 天井の一部撤去
    - 制振装置を取付ける各小梁の両端部について、約1 m × 1 m の範囲で天井を撤去する
  - ④ 耐火被覆の一部撤去
    - アクチュエータ取付け治具を設置する範囲の耐火被覆を撤去する
  - ⑤ アクチュエータ取付け治具の設置
    - アクチュエータ取付け治具を、接着剤を用いて鉄骨表面に接着する
  - ⑥ アクチュエータ配線、取付け
    - アクチュエータを治具にボルト接合し、配線を行う
  - ⑦ 耐火被覆復旧
    - 撤去した耐火被覆を復旧する
  - ⑧ 点検口取付け、天井復旧
    - アクチュエータ取付け箇所点検口を取付け、撤去した天井を復旧する
  - ⑨ 片付け、清掃
    - 飛散養生を撤去し、周囲を清掃する
- 図-6に、実際の施工状況を作業手順に従って示



図一六 施工状況の例

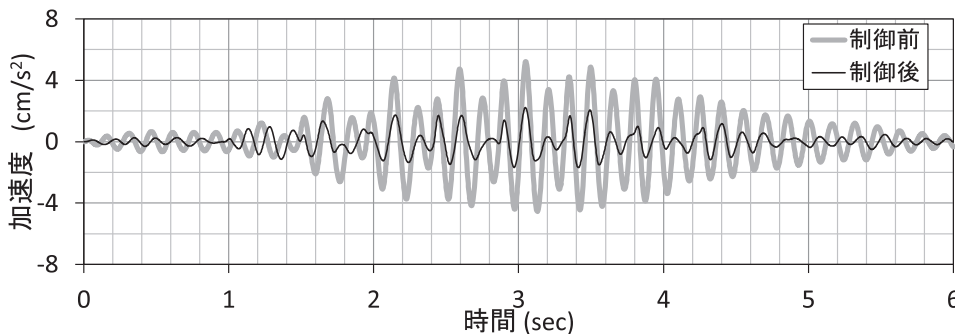
	1日目(土曜日)			2日目(日曜日)	
	0:00 - 8:00	8:00 - 17:00	20:00 - 5:00	8:00 - 17:00	20:00 - 0:00
建築工事	什器移動 飛散養生	天井一部撤去 耐火被覆一部撤去	耐火被覆復旧	天井復旧	片付け・清掃
装置取付け		取付け治具設置 配線工事	アクチュエータ取付け	コントローラ調整	

図一七 施工に要した工期の実績例

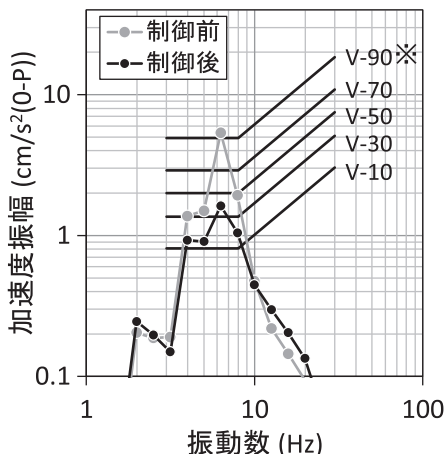
す。また図一七に、施工に要した工期の実績を示す。構造補強を目的とした間柱や、従来技術の床制振用動吸振器など、重量物の運搬、設置が必要となる工事では、1週間から長い場合には1か月程度の工期を要するのと比較して、装置の軽量化、省スペース化により、運搬、設置作業の手間や工事範囲を大幅に削減されており、建物の運用に支障をきたさない休業日2日間の振動対策が実施可能であることを確認した。

(2) 制振性能の実証試験

上述の通り施工された本技術の制振性能の実証試験として床を加振した際の振動計測を実施し、制御の有無による差異を考察した。加振方法は成人男性の歩行とし、図一五に示すように制御対象の床のSPAN中央を通過する歩行路を設定した。また、床の固有振動との共振現象を発生させることを意図し、歩行テンポは事前に確認した床の固有振動数 6.6 Hz と3倍調で



図一八 歩行加振時のスパン中央における加速度・時間曲線



※ V-○○：知覚確率○○%の人が知覚できる大きさの振動であることを表わす

図一九 加速度・時間曲線の1/3オクターブバンド周波数分析結果

共振する 2.2 Hz とした。

図一八に、歩行加振時のスパン中央における加速度・時間曲線を示す。図より、制御前においては足が着地した後の減衰が小さいために徐々に加速度振幅が大きくなる共振現象が生じていることがうかがえるが、制御後においては、共振現象が生じておらず加速度振幅の増大が抑制されていることがわかる。

図一九に、上述の加速度・時間曲線について1/3オクターブバンド周波数分析を行った結果を、日本建築学会編「建築物の振動に関する居住性能評価指針」に示されている評価曲線（知覚確率）と併せて示す。図より、床の固有振動数である 6.6 Hz を含む振動数帯域で振動振幅が大幅に低減されていることがわかる。制御無しの場合の振動が V-90（90%の人が感じる振動）程度であるのに対して、制御有りの場合の振動は

V-30（30%の人が感じる振動）程度であり、多くの居住者が知覚できないと考えられる小さな振動となっていることがわかる。加速度振幅は約 1/3 以下に低減されており、これは従来技術の床制振用動吸振器の制振効果である約 1/2 と比較して優れたものとなっている。

以上により、本技術が使用中の既存建物に対して良好な施工性と制振性能を有しており、リニューアル工事による床振動対策に実用上有効であることが確認された。

### 5. おわりに

本技術 SPADA（スパーダ）- Floor は、今後も増え続けるリニューアル市場における、建物の長期にわたる維持保全さらにはより快適な住環境実現のニーズに応えることを目的として開発したものである。しかしその適用範囲は広く、極めて精密な振動環境を必要とする工場等の床振動対策や、新しい制振架構形式の提案にもつながる可能性を有しているものと考えている。さらには、建物床のみならず、壁や天井等の制振や遮音など、様々な板状部材への応用展開も考えられる。今後、様々な建物用途、部位等への適用・展開を推進し、建物の振動環境改善に貢献したい。

JCMA

【筆者紹介】  
 松下 仁士（まつした ひとし）  
 ㈱竹中工務店 技術研究所  
 研究主任 博士（工学）

