

2. 防振システムによる建物の騒音・固体音対策

Countermeasures against noise and structural borne sounds for buildings by vibration control systems

金子 修平 (Shuhei Kaneko)
 ゲルブ・ジャパン株式会社
 (GERB Vibration Control Systems Japan, Inc.)

1. はじめに

現代の都市では、その利便性を高めるべく多くの施設や交通機関が集約される傾向にある。結果として一種の“賑わい”を有する空間が形成され、音や振動の発生源となるものと、それらを嫌って静穏を求めるものとが共存している。例えば、住宅、オフィス、学校のように人が日常的に落ち着いて活動する施設や、コンサートホール等のように極めて静穏な空間を求める施設が、鉄道や主要幹線道路のすぐ近くに建設されることもある。また、フィットネススタジオ、ライブハウス、クラブ等のように比較的大きな音を出したり、多くの人ガリズムに合わせて動くような施設が、ホテル、住宅、オフィスの建物内に設置されることもある。振動や固体伝播音は、発生源から建物や空間に伝わり、人々を不快にし、生活の質を大きく低下させる。場合によっては、発生源となる施設またはその振動により必要な居住環境や音響空間が作れなくなった施設が使用できなくなることにもなりかねない。

ゲルブ社は、100年以上の長きにわたり、あらゆる振動問題に対するソリューションを提供してきた。ゲルブ社の歴史は、生産設備の振動公害対策から始まり、その後、発電所等のプラント設備の振動対策・地震対策へと発展してきた。非都市部での課題解決が主であった。しかしながら1980年代以降は、都市部での振動問題が増加し、それに伴いゲルブ社の建物や鉄道への振動対策事例も増加している¹⁾。ここでは、ゲルブ社の建物向けの振動対策に着目し、その概要と実際のアプリケーション事例を紹介する。

2. ゲルブ社の防振システム

振動対策は、入力される振動と出力される振動の比(振動伝達率)を制御することであり、一般に振動伝達率を出来る限り小さくすることが望まれる。振動の入力と出力との間に、振動制御のための要素を介するこ

とで振動伝達率をコントロールすることができる。防振システムの振動伝達率 τ は、加振振動数 f と防振振動数 f_{iso} を用いて次式で表される(防振系が減衰を有しない場合)。

$$\tau = \left| \frac{1}{1 - (f/f_{iso})^2} \right|$$

すなわち、加振振動数と防振振動数の比($=f/f_{iso}$)が $\sqrt{2}$ 以上となれば振動伝達率 τ は1.0(0 dB)以下となって防振効果が期待できる。したがって、低減させたい振動の振動数よりも低い固有振動数の防振システムほど防振効果(振動遮断効果)は高いといえる。

防振システムの固有振動数に対する振動伝達率を図1に示す。例えば、(a)のように固有振動数を20 Hzに設定した防振システムでは、同じ20 Hzの加振振動数に対しては共振し振動伝達率は大きくなるが、その $\sqrt{2}$ 倍の28 Hz以上の振動は低減される。一般に、エラストマーパッド等で支持された防振システムはこのくらいの固有振動数を有する。(b)のように防振システムの固有振動数を10 Hzまで下げることができれば、防振効果が得られる振動は14 Hz以上となり、また高振動数帯の伝達率もさらに下げることができる。ゴムマウント等で支持された防振システムでは、この程度の固有振動数となる。さらに防振システムの固有振動数を下げ、(c)のように4 Hzとすると、防振効果が得られる振動は5.6 Hz以上であり、固体音のような高周波振動だけでなく、人が感じるような振動も低減させることができる。このような低振動数の防振システムは、コイルスプリングの防振装置を用いれば実現可能である。(d)のようなさらに低振動数(1 Hz程度)を求めれば、空気ばねを考えるのが一般的であるが、コイルスプリングであっても実現可能で、実際に発電設備

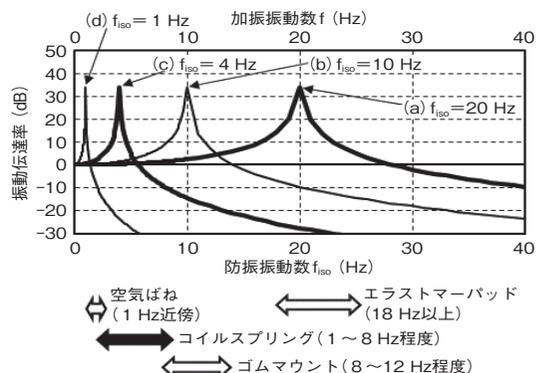
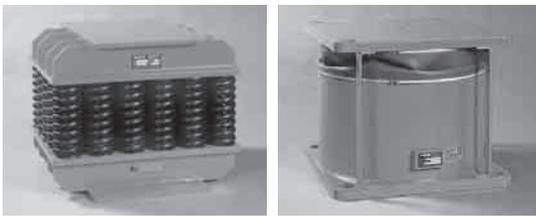


図1 防振システムの振動伝達率



(a) コイルスプリング (b) 粘性ダンパ

図2 ゲルブ防振ユニットの一例

や建物内での適用事例もある。

ゲルブ社が提供する防振システムは、コイルスプリングと粘性ダンパを組み合わせたユニットから成り立っており、それぞれ以下のような特徴を持つ。

コイルスプリング：(図2 (a)参照)

- ・荷重-変位の線形性
- ・高い支持荷重容量
- ・優れた防振効果(低振動数で支持可能)
- ・鉛直方向(軸方向)だけでなく水平方向にも線形な特性を持ち、ばね定数がスベックされている
- ・静的ばね定数と動的ばね定数が等しい
- ・無限耐久性

粘性ダンパ：(図2 (b)参照)

- ・あらゆる方向への減衰付加
- ・速度比例型の減衰力
- ・微振幅に対しても減衰性能を発揮
- ・メンテナンスフリー

コイルスプリングユニットは、スプリングの種類や本数を変えることで支持荷重やばね定数を調整することができ、最大3,000 kN程度まで支持可能で、1~8 Hz程度の防振システムを作り出すことができる。また、居住性向上等の観点から、必要に応じて粘性ダンパを用いれば、防振効果を維持しながら、防振システム自体の応答(加速度や振幅)の最適化を図ることができる。線形ばねと粘性減衰だけの単純なシステムで、また、防振ユニットのモデル化が容易であるため、設計された防振システムが目標性能を実現しやすいというのも大きな特徴といえる。

コイルスプリングを用いた防振システムに加え、ゲルブ社ではポリウレタン(PUR)の防振材も提供している。PUR防振材は、素材の弾性率のバリエーションが幅広く、素材の種類とそのサイズを設定することで最適な防振システムを実現できる。耐荷重性に優れ、静的最大面圧12 N/mm²まで対応可能で、固有振動数は8 Hz程度まで下げることができる。

3. 防振建物

鉄道や地下鉄、大型トラックが走行するような幹線道路、大型機械や重機が稼働している工場や建設現場、これらから発生する振動や伝播固体音は、近隣の建物への問題となりうる。建物の計画・設計段階において、周囲からの振動は過小評価されがちであった。しかしながら、近年では、建設後に振動問題によって建物の運用が制限されるような事例もあり、また、建設後に振動対策を施そうとしてもできることは限られることから、事前に検討されることが増えてきている。ゲルブ社の防振システムは、支持荷重容量が大きいため、建物全体を防振することも可能であり、すでに多くの適用事例がある。建物の防振システムは、鉛直方向の固有振動数を3~5 Hzに設定、場合によっては2 Hz程度まで下げた設定がなされる。建物に伝わってくる振動は、鉄道や道路及び周囲の機械や重機を考えれば10~20 Hz程度のものであり、5 Hzの防振システムにすることによってその振動は80%以上低減される。

防振建物の事例を紹介する。イギリス・ロンドンに建設されたKings Cross Regeneration, Building J(図3)は、鉄道トンネルに近接した集合住宅である。鉄道からの振動の対策として、建物全体をコイルスプリ



図3 Kings Cross Regeneration, Building J

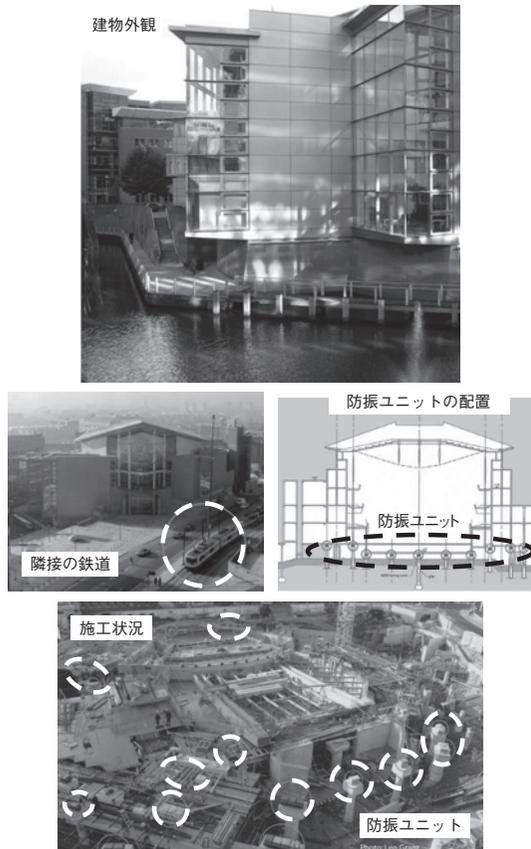


図4 The Bridgewater Hall

ングユニットで支持して居住性を確保した。防振システムの固有振動数は2.5 Hzである。

イギリス・マンチェスターに建設されたThe Bridgewater Hall(図4)は、鉄道近くに建設されたコンサートホールで、ホールの音響空間を確保するために鉄道からの振動を遮断する必要があり、建物全体をコイルスプリングユニットで支持する防振建物として計画された。防振システムの固有振動数は3.5 Hzで、結果として、鉄道からの振動の85~90%が遮断されている。

4. 浮床・浮き部屋による防振対策

浮床・浮き部屋は、建物内の部分的な床面、あるいは一部の部屋に対する騒音・振動対策の方法である。床の上、あるいは部屋で発生する騒音・振動が外へ伝わることを制御する“防振”と、外からの騒音・振動が床の上、あるいは部屋内に伝わることを制御する“除振”の使われ方がある。前者の防振は、フィットネス

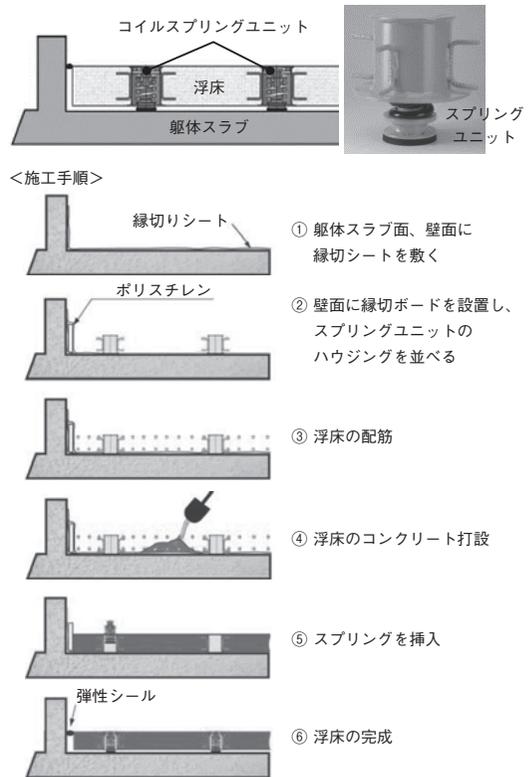


図5 スラブ埋め込み型浮床システム

スタジオ、ダンスホール、ライブハウス、ヘリパッドなど、後者の除振は、テレビスタジオ、レコーディングスタジオ、コンサートホールなどに適用されている。

ゲルブ社は、固有振動数が3~5 Hzで防振効果が高く、また、床の高さを抑えることのできる浮床システムを提供している。図5に示すように、スプリングを浮スラブに埋め込む形で浮床を構成する。ハウジング(スプリングのケース)を埋め込んでスラブを打設し、その後、スプリングを順次挿入していく手順で施工を行う(図5参照)。ユニットにシムを差し込むこともでき、床の仕上げのレベル調整も可能である。

浮床システムの適用事例を紹介する。日本国内の超高層集合住宅(図6)で、最上階の42階にプールが設置されることになり、その直下に居室があるため、プールからの固体伝播音の影響が懸念された。その対策として、プール下部にグラスウール浮床が計画されたが、十分な防振効果が期待できないという判断から、防振効果が高く、かつ階高を抑えられるコイルスプリングによるスラブ埋め込み型浮床システムが採用された²⁾。プールの重量は、水重量も含めて約170 tで、防振シ

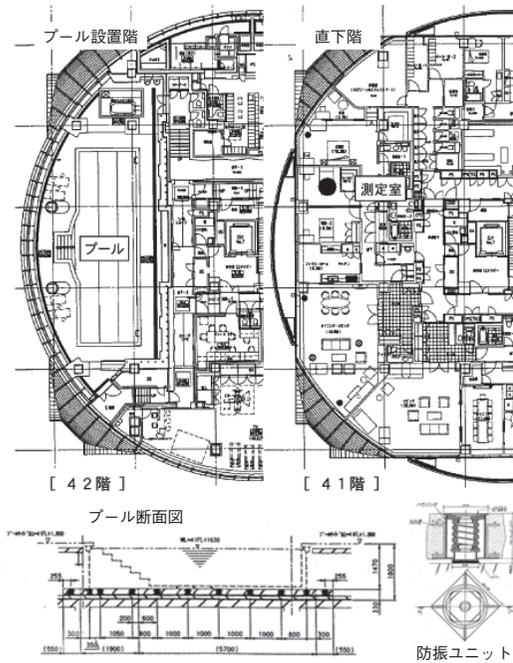


図6 超高層集合住宅の展望プール²⁾

テムの固有振動数は約4 Hzである。文献²⁾では、この建物においてプール内でいろいろな条件で加振したときの直下居室における騒音レベル測定結果が報告されている。聴感的にも耳を澄ますとかすかに低い音が感知できる程度であり、良好な防振効果が確認された。

浮き部屋システムの適用事例を紹介する。ドイツ・ハンブルグに建設されたElbe Philharmonic Hall(図7)は、ホテル建物内にあるコンサートホールで、演奏音がホール外へ伝達することを遮断するだけでなく、隣接の港に停泊する船舶が発する汽笛音がホール内へ伝達することも遮断する必要があった。そこで、コイルスプリングユニットをホールを取り囲むように配置し、ホールが宙に浮いているような構造とすることで、振動・音響対策を図った。4.5 Hzという防振システム固有振動数で、重量約9,000 tのホールを支持で

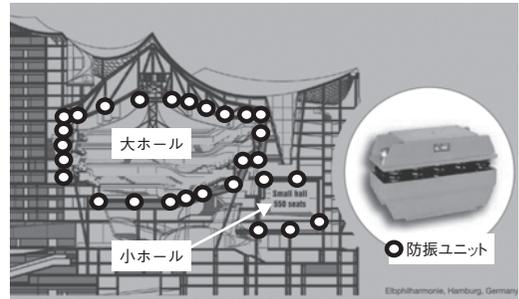
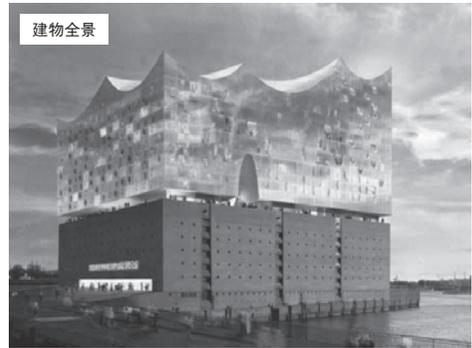


図7 Elbe Philharmonic Hall

きたのは、コイルスプリングだからこそである。

5. まとめ

建物の騒音・振動対策のためのゲルプ社のソリューションを実例と合わせて紹介した。ゲルプ社の防振システムは、高い防振効果を持ち、機械単体の防振から、鉄道軌道や建物全体に至るまで、適用範囲が広く、柔軟な設計が可能であることが大きな特徴・メリットである。

[参考文献]

- 1) Wagner, H.-G., "Vibration control systems for trackbeds and buildings using coil steel springs", Proceedings of ACOUSTICS 2004, pp.99-104, November 2004, Gold Coast, Australia
- 2) 松岡明彦, 渡邊秀夫, 土屋裕造, 山内崇: 超高層集合住宅最上階設置プールの防振対策, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 2002年8月, pp.155-156