

都市土木現場における防振対策

飯島 陽介

振動対策の基本である振動伝達率, 固有振動数の考え方, 弾性体の特徴を解説し, 都市土木工事における振動対策の実例として建設重機用の防振覆工と発泡樹脂系緩衝材での対策, 振動ふるい防振方法のシステム概要, 防音ハウス内設置の天井クレーン固体音対策について実例とともに説明する。

キーワード: 防振, 防振覆工, 振動ふるい, 防振ゴム, 空気バネ, 固体音, 天井クレーン

1. はじめに

都市土木現場において作業場より発生する騒音・振動問題は作業場が民家と隣接することが多く苦情の対象になりやすく時には工事の進行に支障をきたす場合がある。

騒音対策については以前より防音ハウスなどの対策が一般化しており, 技術的にもほぼ確立され一定の成果は上がっている。振動問題に関しても重機メーカーにおいて低振動型機器の開発も進んではいるものの苦情の発生は後を絶たない。ここでは防振対策の基本として振動伝達率や固有振動数, 弾性体の特徴について概要を説明するとともに, 実施工例を示し対策上の注意点などについて述べる。

2. 弾性体支持防振対策の基礎

(1) 1 自由度振動系

防振支持する機械の質量を m , バネ定数を k , 減衰力 (抵抗) c として力の方向が 1 方向だけの 1 自由度振動系と呼ばれるモデルが図-1 である。この質量

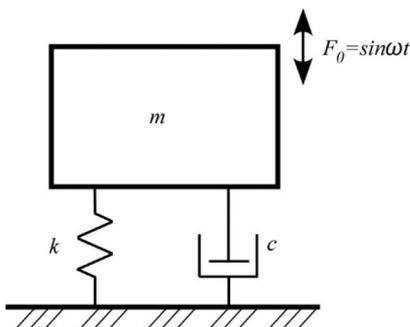


図-1 1 自由度振動系モデル

に $F_0 \sin \omega t$ の力が掛かった時, バネを介して地面に伝達される力 F_T は, この系の抵抗分 $c\dot{x}$ と変形による力 kx の合計であるから

$$F_T = c\dot{x} + kx \text{ で表される。}$$

この伝達される力 F_T と加振力 F_0 との比 F_T/F_0 を振動伝達率 τ といひ次式で表される。

$$\tau = \frac{1 + \left(2\zeta \frac{f}{f_0}\right)^2}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right\}^2 + \left(2\zeta \frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

この式の $\zeta = c/c_c$ をパラメータとして横軸に固有振動数 f_0 に対する振動数比をとったグラフが図-2 である。振動伝達率が小さいほど防振効果があることを示す。

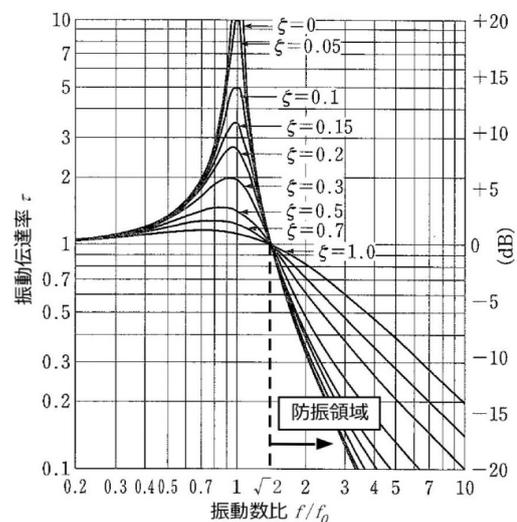


図-2 振動伝達率

また固有振動数 f_0 は

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

で表される。

このグラフで振動数比が1に等しい場合を共振と言いい減衰 τ が0の場合、振動伝達率は理論上無限大になる。この状況は防振対策では極力避けなければならないが、やむを得ない場合は減衰 τ を大きくすることにより振動伝達率を小さくすることができる。

振動数比が $f > \sqrt{2}f_0$ の領域では τ は常に1以下になり防振効果が現れる。 f_0 が小さくなるほど振動伝達率は小さくなるのが分かる。

従って振動伝達率 τ を小さくする、即ち防振効果を大きくするためには k を小さく、 f_0 を小さく、 m を大きくするよう設計する必要がある。ここで k を小さく m を大きくするという事は撓み量が大きくなる事でもある。現実の設計においては撓み差の許容範囲が設定されていることが多く防振効果との兼ね合いが必要となる。

(2) ダンパの役割

ダンパはバックホーでの積み降ろしなどで発生する衝撃加振においては振動の減衰に作用し、回転系の機械などにおいては起動直後の回転数が徐々に上がってくる過渡期において弾性体の共振周波数域を通過するときの振幅の抑制に用いられる。定常的な運転時に於いては防振効果にむしろ悪影響を与えることは上記伝達曲線をみれば明らかである。従ってその機能、目的を十分理解して用いなければならない。

(3) 弾性体の種類

防振用弾性体の種類は大きく金属バネ、防振ゴム、空気バネに分類できる。固有振動数は空気バネが最も低く 0.7 ~ 3 Hz が可能である。防振ゴムでは 4 ~

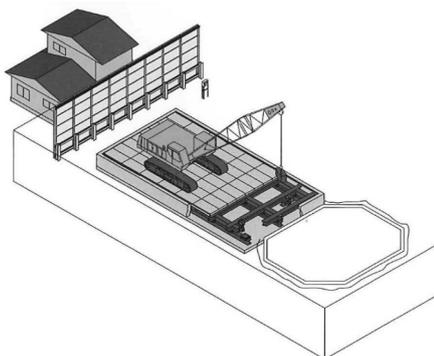
15 Hz で、金属バネは両者の中間に位置する。減衰性能や耐候性・耐油性など、それぞれに特徴があり適切な弾性体とダンパの選定が必要である。

3. 建設重機防振対策

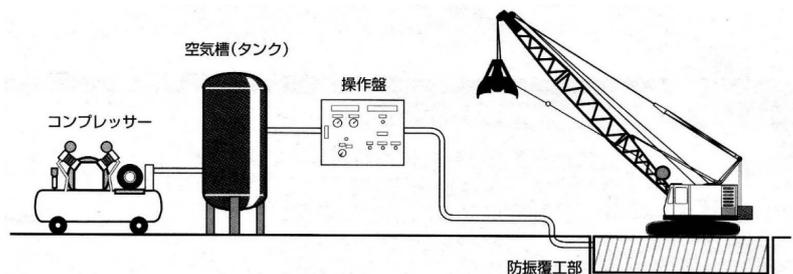
都市土木現場においては作業基地直近に民家が隣接することが多い。特にバックホー、クレーン、ダンプ等の作業時に大きな振動が発生し周辺住民からの苦情等により工事に支障をきたす場合がある。期間が限定されている工事とはいえ周辺環境への配慮が必要となってくる。振動絶縁の手法については理論的にも、技術的にも確立されており、工場の機械、自動車、鉄道などで実用化されている。建設現場における防振設計のポイントは振動発生源の位置や重心の移動に対して如何に対応するかにある。ここでは大きな効果が得られる「防振覆工」と低コストで対策できる「発泡樹脂系緩衝材」について説明する。

(1) 防振覆工

図一3に防振覆工を設置した作業場のイメージ図を示す。振動発生源となるクレーン、バックホーなどの建設重機は防振支持された架台の上で作業することにより振動を周囲に伝搬させないようにする。全体のシステムはエアーを供給するコンプレッサーと圧力を安定させるための空気槽、防振覆工の動作をコントロールする制御盤と防振覆工本体部で構成される(図一4)。工場等で使用される固定された機械とは異なり、建設重機では位置は固定されておらず時には走行する。さらには揚重や回転により重心位置は絶えず移動する。防振覆工上で荷重分布が常に変化することになる。荷重が多くかかる位置では周囲よりバネの撓みが大きくなり沈み込む。一方逆側では荷重が軽くなり浮き上がろうとする。このレベルの変動を感知して常に水平を保つ機構が必要となる(自動レベル調整装置)。また、防振覆工上では常にこのレベルを維持す



図一3 防振覆工作業所イメージ



図一4 防振覆工システム

るために揺れが発生することになるが、その変位量が大きいと作業性、安定性に支障をきたす。そこで揺れを制御するために制振機能が必要となる。但し制振効果（架台上の揺れ）を上げ過ぎると、防振効果（外部への振動伝達）は悪くなるという両者には相反する性質がある。制振力は油圧で制御されており作業性と防振効果を現地でモニタリングしながら適正な状態を探ることになる。また地震時大きな水平力が掛かった場合に防振装置が破損しないように水平方向のストッパーを備える。さらにコンプレッサーの故障などによりエアーの供給が停止した場合でも下限方向にストッパーを設けて対応する。これらの機能概要を図一5に示す。写真一1はピット内で防振装置を設置している状況である。防振覆工は規模も大きくコストもかかるが、防振効果は10～20 dBと大きく作業内容により荷重の異なる建設重機にも対応できるというメリットはある。

(2) 発泡樹脂系緩衝材

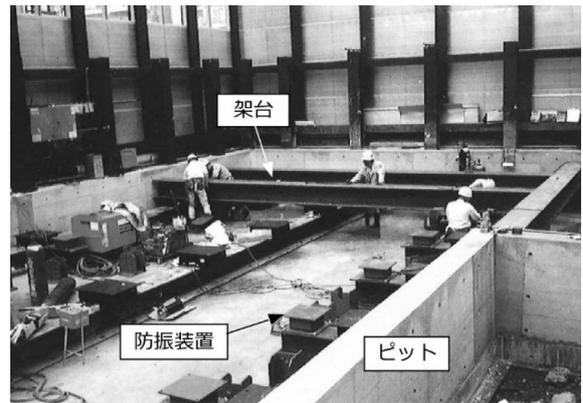
平坦な舗装面あるいは捨てコンクリート上に板状の発泡樹脂系緩衝材を敷き、その上に敷き鉄板を設置する（写真一2）。敷き鉄板は緩衝材の保護の為と、荷重の偏りを少しでも低減するためである。ダンプの走行時などでは問題とならないが、バックホーなど重心が移動する重機の場合は場所により撓み量の差が発生するので安定性、作業性は防振覆工に比べ劣る。耐水性に優れているため劣悪な作業環境でも使用可能である。対策効果は概ね3～5 dB程度ではあるが、低コストと設置の簡易さが魅力である。

4. 振動ふるい防振対策

シールド工事等で使用する振動ふるいは加振力が大きく防振対策は必須である。振動ふるいメーカーに

よってはコイルばね等で予め防振対策されているものもあるが、直近に民家がある場合など防振効果が不足する場合がある。その際はより防振効果の高い空気バネを用いた防振装置が用いられる。

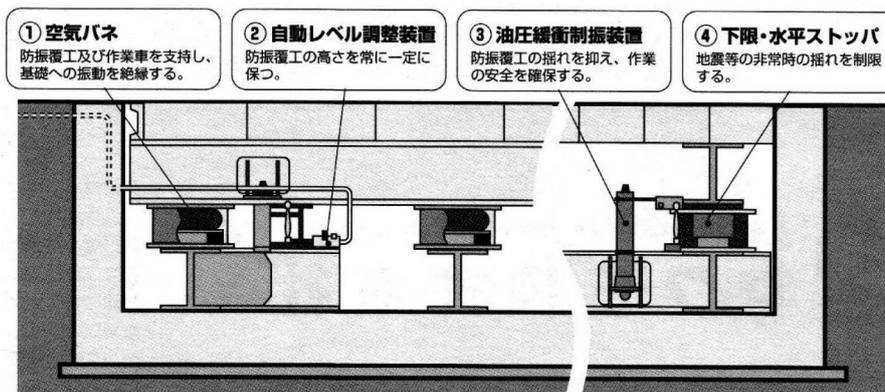
振動ふるいは回転数がほぼ一定で加振周波数が安定している。また処理量により多少の重量の増減はあるものの変化が少ないことから設計手法は容易である。但し、既設のコイルばねと併用する場合は二重防振と呼ばれコイルばねの固有振動数も考慮しなくてはならず併用する場合は注意が必要である。



写真一1 防振覆工施工中



写真一2 発泡樹脂系緩衝材使用例



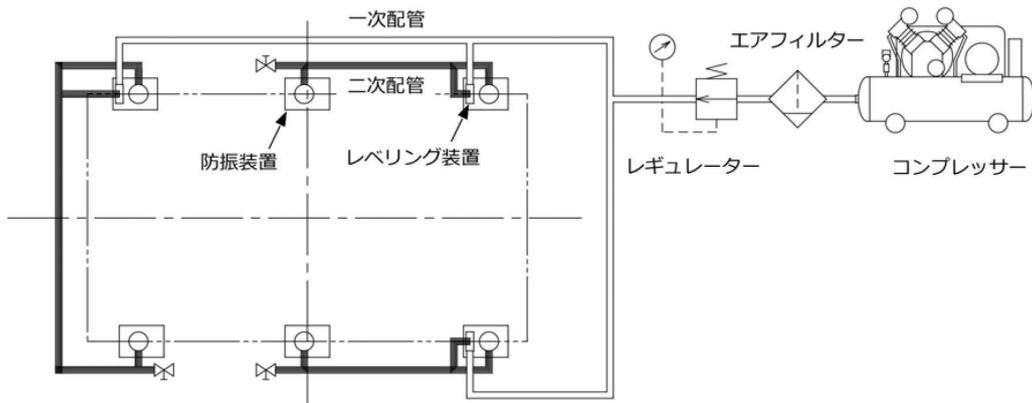
図一5 防振覆工機能概要図

図一6に防振装置の空気系統図を示す。コンプレッサーから供給されるエアはフィルターで清浄され、レギュレーターで圧力を安定させる。写真一3は水槽の上に架台を組み6台の防振装置を設置した状態である。空気バネへのエア供給は3系統に統合し各々にレベリング装置を付け機械の水平を維持する（写真一4）。また系統毎に強制排気用のバルブを設け機器メンテナンスの際にはエアを抜き固定状態にできるようになっている（写真一5）。写真一6は防振装置上に振動ふるいを設置した様子である。この事例では

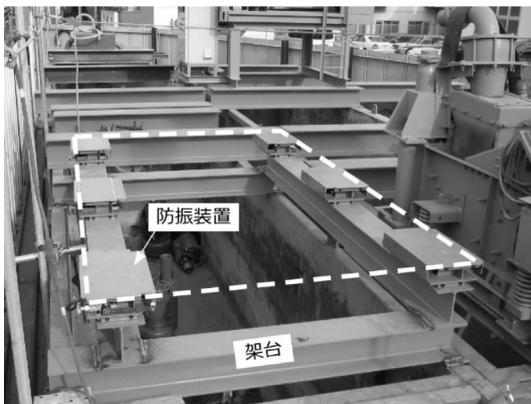
防振効果は27 dB が得られた。一般に空気バネによる対策では20～30 dB が期待できる。

5. 天井クレーン防振対策

都市土木現場においては振動対策も勿論であるが、仮設防音ハウス（写真一7）を設置することにより建設重機やプラントより発生する騒音対策を施すことが一般的になっている。特にトンネル掘削工事においては地上部に処理プラントを配置し昼夜に渡り作業を行う



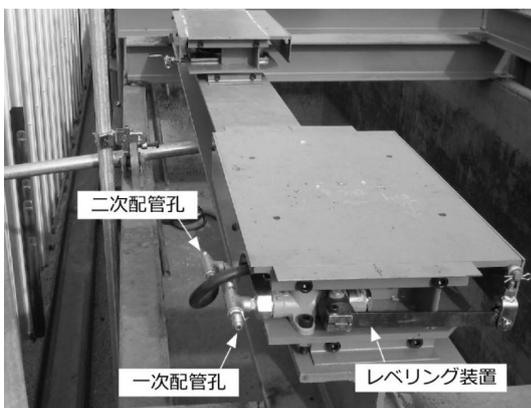
図一6 空気系統図



写真一3 防振装置設置状況



写真一5 エア抜きバルブ



写真一4 レベリング装置



写真一6 防振装置設置完了

ため、防音対策は必須となりつつある。この防音ハウス内では資材の積み降ろし、立坑へのセグメントの投入、土砂の搬出等で天井クレーンが設置されている(写真一8)。ここでは固体伝搬音対策としての天井クレーン防振方法について述べる。



写真一7 民家に隣接した防音ハウス



写真一8 防音ハウス内天井クレーン作業

(1) 固体伝搬音

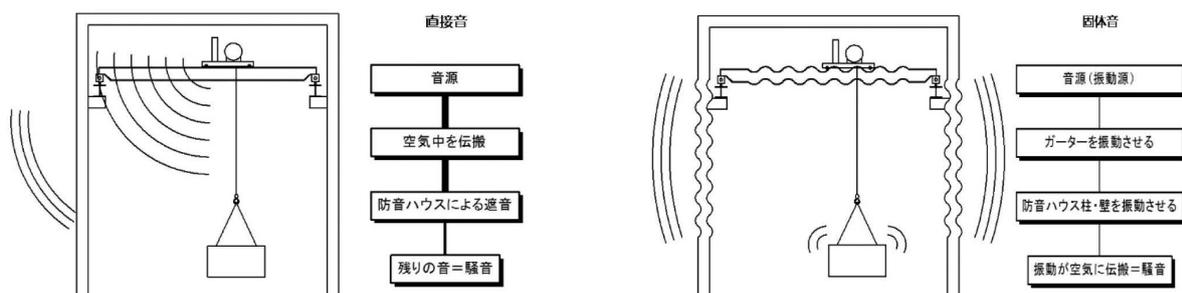
振動を含む騒音源から周辺に騒音が伝わるには直接音と固体音との2種類がある。伝播経路で言い換えれば空気伝播音と固体伝搬音である(図一7)。直接音は天井クレーンではクラッチ音、プレーキ音などが防音ハウス内の空気を伝搬して防音ハウス壁面に入射する。ここで防音材により遮音され減衰するが防音材を通り抜けた騒音が空気を伝搬して周辺へ伝わる。一方固体音は天井クレーンの作業時の振動が一度防音ハウスの構造体である柱や梁を伝わり壁面の防音材を振動させる。この振動により壁面の防音材が放射面となり再び騒音として発生する。

周辺に伝搬する騒音はこの直接音と固体音の合成音であるので、それぞれについて対策を施す必要がある。直接音に対する対策は防音ハウス遮音材料の高性能化により実現できるが、伝播経路の異なる固体音に対しての効果はない。すなわち、いくら高性能な防音ハウスを設置したとしても固体伝搬音以下に周辺騒音を下げることが出来ない。逆に固体音対策を施したにしても直接音以下になることはない。対策案策定には両者のバランスを考慮することが必要となってくる。現実的にはこの2種類の伝播経路別に騒音を分離することは困難であるが、外壁や支柱の振動加速度の測定により推測することは可能である。

(2) クレーン防振の実際

前章で述べたように一般に弾性体は柔らかい程防振効果が高いが、柔らかい弾性体ほどその撓み量は大きくなる。天井クレーンの場合ランウェイガーダの撓み(走行方向のレベル差)が大きくなると天井クレーン自体の走行に支障が出てくる。弾性体の選定にはこの点への配慮を忘れてはならない。

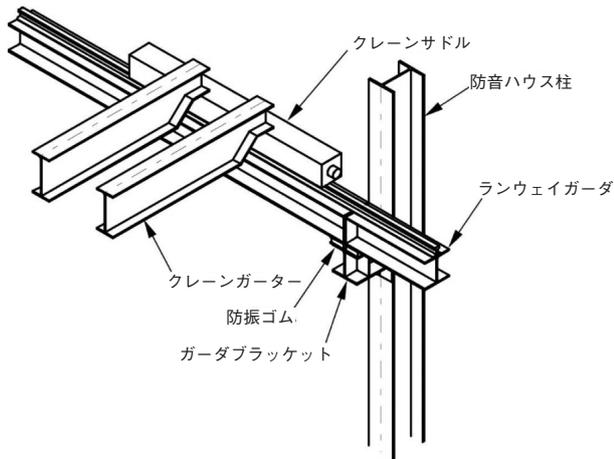
図一8は緩衝材(防振ゴム)設置位置を示している。防音ハウス支柱よりガーダブラケットを張出し、通常はその上にランウェイガーダが直接締結されるが、防振対策を行う場合は、ブラケットとランウェイ



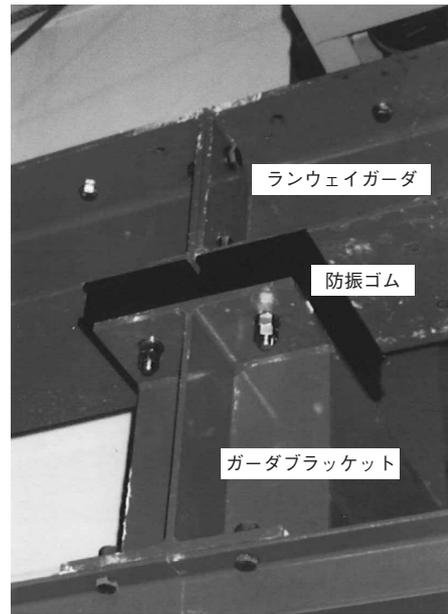
図一7 直接音と固体音

ガーダの間に防振材を設置する。防振ゴムを使用する場合、天井クレーンの自重、吊り荷重を考慮するのは当然であるが、天井クレーンの位置や、吊り荷の横方向の位置により防振ゴムに作用する荷重が変化するので撓みの計算には注意が必要である。写真—9、10に実施工例の画像を示す。

図—9は実際の対策効果例である。防振対策前ではクラッチ音、停止時などに鋭いピークが立っているが、防振対策後においてはそのピークが減衰している



図—8 防振ゴム設置位置



写真—10 防振ゴム施工例2

ことが分かる。防振効果はおよそ 10 dB であるが、前に述べたように直接音とのバランスで効果は大きく変化するので防振対策による効果は概ね 5 ~ 10 dB と見込める。

JCMMA



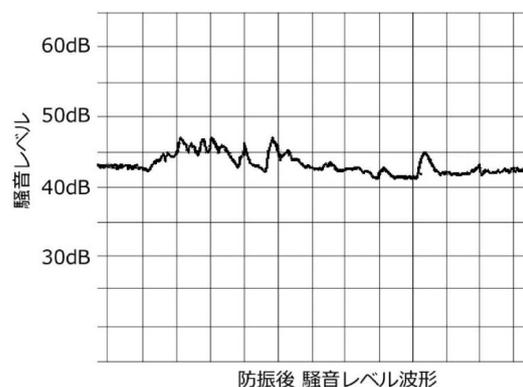
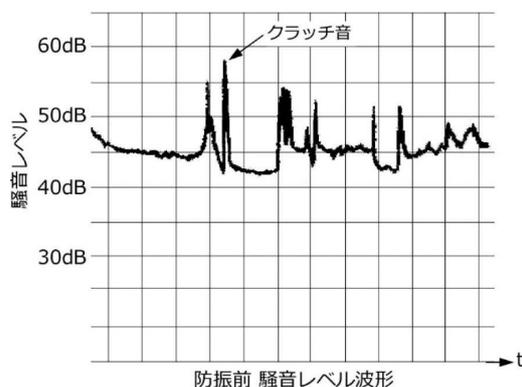
写真—9 防振ゴム施工例1

《参考文献》

- 1) 「地域の環境振動」 社団法人日本騒音制御工学会編
- 2) 「公害防止の技術と法規 振動編」 公害防止の技術と法規編集委員会編

【筆者紹介】

飯島 陽介 (いじま ようすけ)
 ヤクモ(株) 技術部
 部長代理



図—9 防振効果例