

振動について

第4回 振動に関わる苦情の対策・対応・対処

内田技術事務所(元飛鳥建設技術研究所) うちだ ひでのぶ
内田 季延

■はじめに

本セミナーでは、典型7公害のうち振動について、振動に関する知見のある方々から、実務を通じて得られた知見や、振動に関連した規制、測定方法、対策等について、地方公共団体の公害関連部局担当職員の方に向けて分かりやすく解説していただきます。

これまで3回にわたって、振動に係る苦情の状況及び法令、測定方法、感覚等を解説していただきました。最終回となる本稿では、振動に関わる苦情の対策・対応・対処について解説していただきます。

1 振動に関わる苦情とその対策・対応・対処などの関係

本セミナーの第1回で述べられているように、振動に係る苦情のうち法令に違反していた割合は他の公害と比べて低くなっています。必然的に振動問題への対策、対応、対処では、必ずしも法令に準拠した勧告や命令の対象とはならないケースが多々みられることとなります。

ところで、何らかの行為に伴う苦情への対策、

対応、対処などには、図1に示す関係があると考えられます。建設工事を例にすれば、行政による方策には、振動規制法や地方自治体の条例による規制などが、工事を行う建設会社による対策には、工事現場周辺の環境に配慮した工法選定や工事の進捗計画などが相当すると思います。それら対策や方策を受け、行政は届出のあった工事計画の確認、助言、現地確認など、事業主や施工会社は、周辺住民への事前説明、モニタリングや現場見学会などの施策が考えられます。

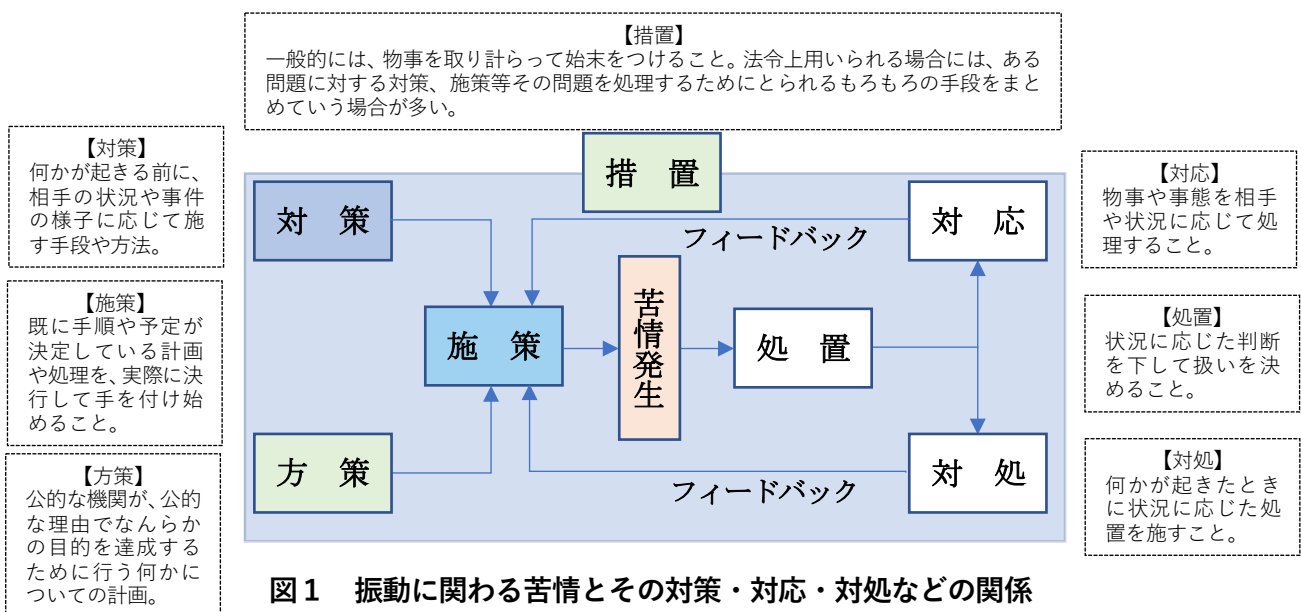


図1 振動に関わる苦情とその対策・対応・対処などの関係

そのような施策を経て工事が進捗していくなかで苦情が発生した場合、緊急な処置として作業を止めることも考えられます。そのうえで、苦情内容に応じて、申立者との協議などの対応や原因と想定される作業の変更など対処して、結果を施策にフィードバックすることで、問題解決が図られます。地方公共団体に苦情申し立てがあった場合、直接処理としてそれら一連の措置が講じられることと思います。

2 振動問題の当事者間の関係

図2は、建設工事を例として振動問題の当事者間の相関関係を模式的に示したものです。工事により振動問題が生じた場合、工事業者に苦情を伝え、問題が解消すればよいのですが、解決策が見いだせない場合は、工事の事業主体や行政に相談、苦情が寄せられることになります。

振動問題に取り組む際の事前準備として、このような相互関係を把握しておくことは、対策の立案、対応、対処を進める上で有益です。工事振動対策として工法や工種の変更が最適とされた場合は、設計条件が変わるため振動以外の検討も必要となります。これには設計事務所やコンサルタントの協力が必要です。また変更に伴って工期延長や追加費用が必要となる場合、当該現場を担当する建設会社だけでなく発注者との協議も必要となり、措置の完了にはある程度の期間を要することも想定されます。工期や費用面から振動低減効果の最も期待される工法や工種への変更が難しいケースもあります。そのような場合、実現可能な工法と推定される振動低減効果を確認し、関係者間の協議においてできることできないことを明確にしたうえで、目標設定する必要があります。

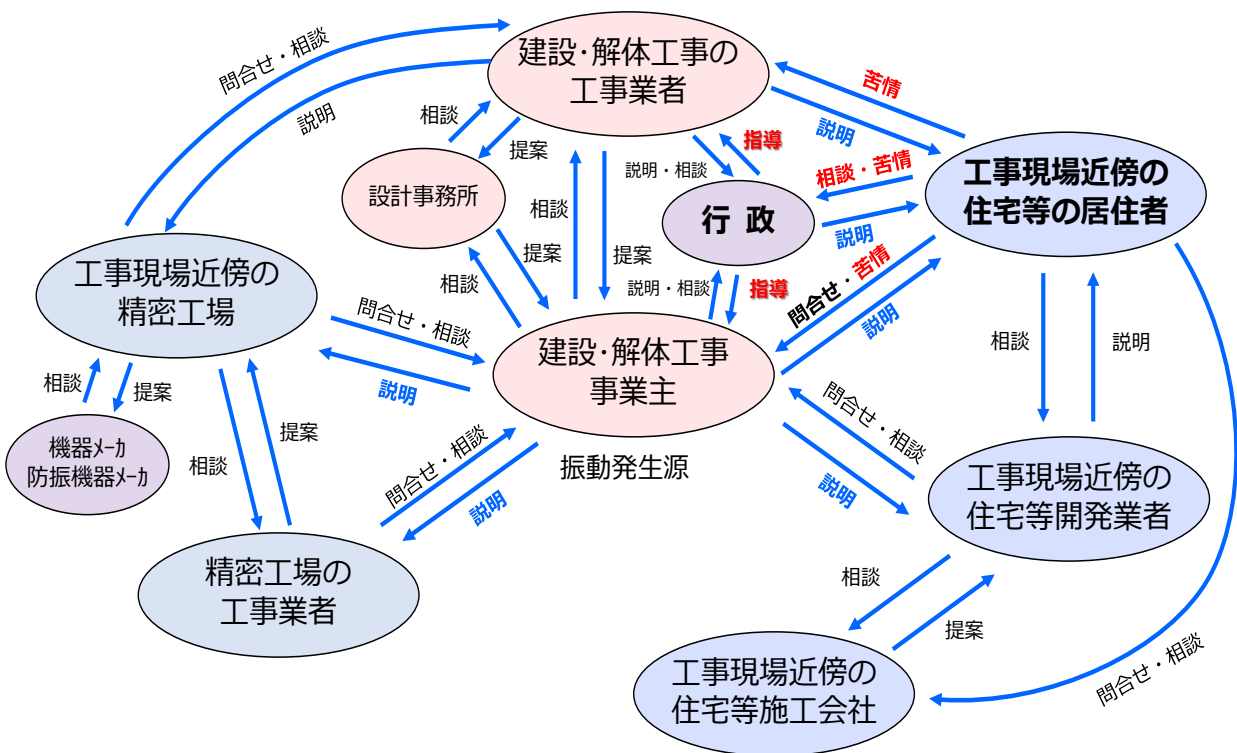


図2 建設工事を例とした当事者間の相関関係

いずれにしても振動規制法など法規制を遵守していることが前提です。

一方、嫌振作業¹を行っている事業所に対する法的な規制基準はなく、個々の事案で対応内容も異なります。実は街中でも高度な嫌振性を要求する事業所は意外に存在します。当然、事業者側でも防振対策されていますが、それでも印刷機や町

工場の光学研磨作業に工事振動が影響した事案や、鉄道・道路工事の振動及び工事後の交通振動の影響を問題とされた事案があります。民間工事は、民民の対応ですが、道路や下水道など公共工事の場合、発注者である官公庁の当該部署に苦情があれば、自治体の公害担当部局として対応、対処が必要となることもあります。

3 振動発生源による影響の違い

図3に、工場・事業場、建設作業、道路交通による敷地境界での振動レベルと苦情件数頻度との関係を示します。図中の破線は、各規制対象において最も厳しい振動レベルです。発生源によって苦情件数の頻度がピークとなる振動レベルも頻度分布の形状も異なります。工場・事業場では規制値の苦情件数頻度のピークは規制を超えています。建設作業と道路交通は、規制基準値以下の振動レベルで苦情頻度が多く振動規制法に準拠した勧告や命令の対象となるケースは少ないことが分かります。特に道路交通では大半が要請限度を下回っています。

法で規制されている他の要因と異なり、一日中影響を受けるとする指摘が多く、苦情件数は少なくとも生活の質に及ぼす影響が大きいことがうかがえます。振動規制法では、敷地(官民)境界地盤上の鉛直方向の振動を対象として振動レベルの L_{10} 値²で道路交通振動を評価しています。一方、道路近傍建物では、鉛直だけでなく水平方向の振動や最大値が問題となることが多いことも要請限度以下での苦情発生の要因の一つであり、水平振動への処置が必要となる場合も多くあります。

頻度分布が振動発生源によって異なる理由には、発生振動の性状が異なることや振動発生源から敷地境界までの距離の違いが影響していると考えられます。

振動対策の効果は発生源、伝搬経路、受振側での対策の和となります。ただし必ずしも個々の対策での振動レベル低減量の和が全体の対策量にはなりません。振動源により振動性状が異なるため、同じ対策をしても、同じ効果が得られない場合があります。

道路交通に起因する苦情の発生は、振動規制

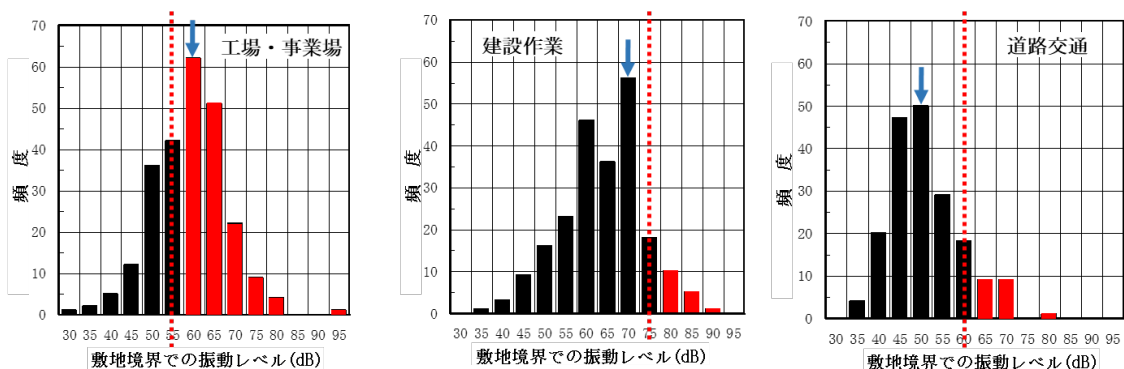


図3 振動発生要因別の苦情頻度と敷地境界での振動レベルの関係

¹ 嫌振作業とは、振動外乱により機能障害を生じる作業のことで、半導体製造のような微細加工、露光だけでなく印刷、光学研磨、電子秤による電子部品計数などがあります。
² L_{10} 値とは、振動レベルの80%レンジの上端値。多数個の振動値を大きい順に並べ、最高値と最低値の側からそれぞれ10%ずつ除外し、残った値のうち上端の値を指す。

4 ソフト、ハードな振動対策、対応、対処

図4に対策、対応及び対処の個別処方をソフトなものと同ハードなものに分けて示します。ソフトな対策、対応及び対処は、防振装置のような物や基礎改変、地中壁増築など工事を伴うものではなく、計画や説明によるものです。

(1) 計画

「計画」は、事前対策として、また苦情があった際の事後の対処として講ずることができません。例えば、①振動発生量の少ない機器や工法の選択、②距離減衰、地形や構造物等による振動低減効果が見込まれる振動発生源配置、③振動を発生する作業時間帯の調整、④振動を発生する作業工程等や使用機器の変更による振動継続時間の調整などです。

ここでは、振動発生源の配置変更で苦情を解消した事例を紹介します。図5は、コンクリートガラの破碎に使用する自走式クラッシャーの振動苦情への対応として、設置位置を変更した事例です。解体予定建物南側の初期設置場所は、舗装面でスペースも広いことから作業性を考慮して選定したものと推察されました。しかしクラッシャー稼働に伴い、近隣のA、B地点で4.5Hzの卓越振動成分の振動体感の苦情があり、対処を求められました。現地状況を確認したところ、クラッシャーから地盤に伝わった振動の北側への拡散分が、解体予定建物地下ピット³構造物で反射し、南側のA、B地点側により強く影響していることが懸念されました。そこで、初期設置場所より狭く若干作業性は悪化するものの、初期設置場所と同じ舗装面である解体予定建物西側にクラッシャーを移設したところ、卓越振動成分はA地点では9dB、B地点では19dB低減し苦情は解消しました。また移設による新たな苦情発生もありませんでした。

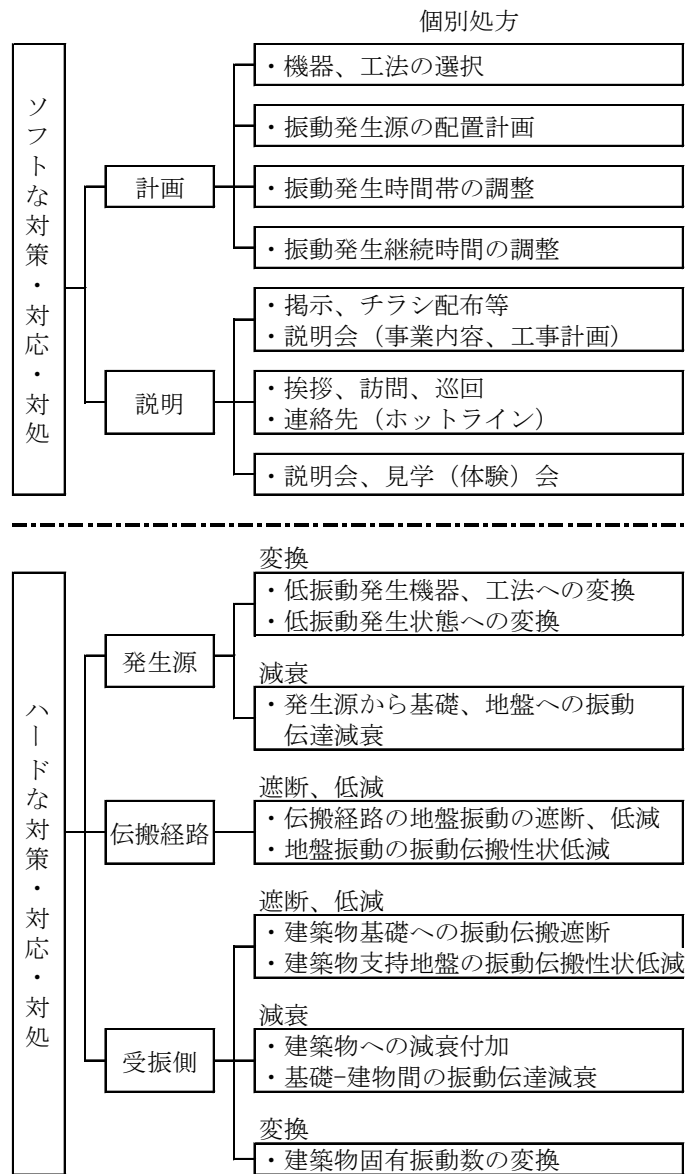


図4 ソフト・ハードな対策・対応・対処

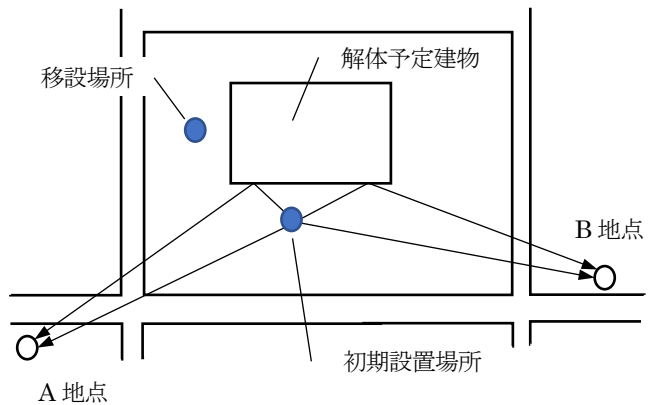


図5 設置場所の変更で問題解決した例

³ 地下ピットとは、地下に設けた施設や設備の維持管理、物品貯留等のための空間。なお、本件建物では、地下に廃棄物を貯留する大きな空間が設けられていた。

(2) 説明

次に、「説明」ですが、事前対策としてだけでなく事後の対応にもたいへん重要です。提示やチラシ配布等による情報の発信、事業内容や工事計画の説明会による情報提供と意見集約、近隣への挨拶、地域巡回による生の情報収集、連絡先公開による窓口の一元化、運用中の説明会や見学会実施等による情報と経験の共有などがあります。

事業者による丁寧な事前説明は、周辺住民や企業の要望把握に有効であり、良好な関係を築くことで、事業に伴う振動問題を最小の労力で解決する可能性があります。特に建設工事の場合、丁寧な事前説明は問題の未然防止、後々の問題解消に有効です。

ここでは、説明によって振動影響の要因を把握し、時間帯調整により問題を解消した事例を紹介します。本セミナー第2回振動測定でも触れていますが、公害振動は必ずしも常に一定の振動レベルではありません。例えば、交通量の少ない道路振動など、レベル波形は連続的に変動していても、振動を感じない振動レベルの時間を除くと、実際には間欠的に振動を受けていることも多いです。

図6は、横軸に時間を縦軸に振動レベルをとり、振動性状と時間帯の関係を模式的に見たものです。規制基準の順守を前提として、苦情となる振動の主な要因として、①振動を暴露する時間帯、②振動を暴露している継続時間、③振動を感じる回数、④感じる振動のピーク値の何が最も寄与し

ているのかによって、対応、対処も変わります。

①振動暴露の時間帯であれば、工法や作業手順の工夫で時間帯を変更できないか、②継続時間や③暴露回数が問題であれば、振動を発生する工法や機械を変更することで軽減できないか、④瞬間的なピーク値が問題であれば、ピーク値を下げる代わりに振動回数が増えたり、継続時間が長くなることを許容できるかなどを検討する必要があります。

例えば、早朝の時間帯には振動を発生する作業工程を組まないなど、運用面の工夫で近隣からの苦情に対処可能な場合もあります。民案件ですが、隣接する町工場の精密光学研磨機と最も近い杭打設場所が数mしか離れていない工事において、事前調査で影響が懸念されたため、協議により杭打設作業工程を調整し、最接近工事時間帯は研磨作業を中断することで、円滑に杭打設工事が行えた事案もあります。この事案では、工事業者と町工場が歩み寄って問題解決を図ったため、町工場の製品に影響を及ぼすこともなく、工期遅延や多額の対策費用を講ずることなく問題解決することができています。

一方、ハードな対策は、発生源、伝搬経路、受振側のいずれにおいても、何らかの作業や工事を伴い、完了までにはある程度の期間を要し追加の費用も掛かります。

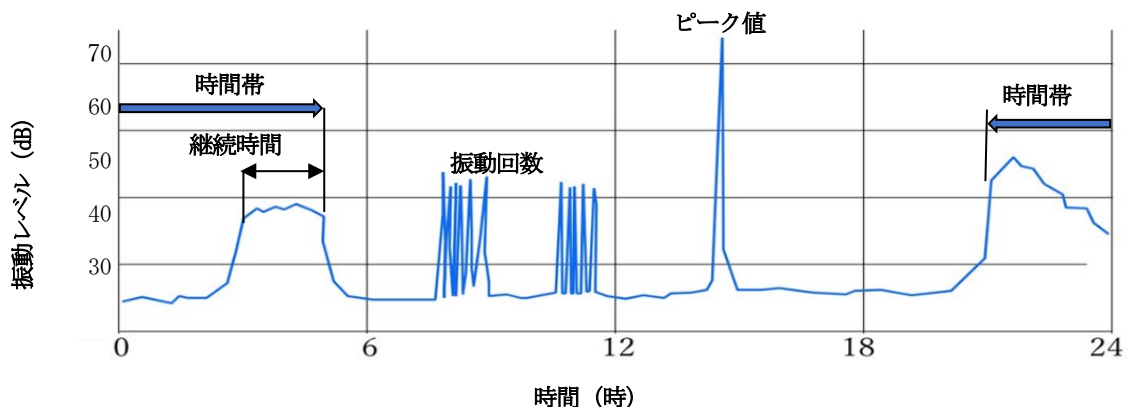


図6 振動レベルの時間変動と苦情の主な要因の把握

(3) 発生源

発生源対策では、①加振力が小さくなる作業・工法、機械・機構への変更、②加振力の基礎や地盤への伝達を軽減する防振装置の設置、③加振力の作用する基礎や地盤の振動を小さくする、あるいは振動の継続時間を短くする制振装置の設置、④加振力の作用する基礎振動を地盤や床に伝えるにくくする防振対策の施工などがあります。

鍛造機、プレス、シャーリング⁴などの工作機械や建設工事の杭打機などは、大きな衝撃力を発生します。衝撃力によって部材の加工、切断や杭を打設するため、衝撃力を小さくすることは能力の低下になります。そこで工作機械では弾性支持により力の地盤への伝達を小さくする方法が、杭打ち機ではオーガ掘削⁵を併用する工法などが用いられています。

供用中の道路で道路交通振動の苦情が出始めた事案では、道路そのものあるいは通過する車両の車種構成が変わったことが要因となっている場合があります。例えば、道路を一部掘削する上下水やガス工事に伴う補修舗装面と既存舗装面との打ち継ぎ部の不陸⁶(凹凸)やマンホール部分の段差が振動の要因になります。また、近隣に開業した大型施設へ向かうトレーラーが、抜け道として住宅街の生活道路に大量に侵入し問題とな

った事案があります。この例では、想定交通量を大幅に超える大型車の通過が原因で舗装面に生じた不陸が振動の要因となりました。

道路交通振動は、路面の不陸(凸凹)の程度と通過車両の重量、車速の影響が大きく、重量のある大型車が速度を出して不陸のある道路を通過することが最も悪さをします。そこで、大型車が生活道路へ侵入して振動問題を生じる場合、対策として、車幅制限と錯視の利用があります。写真1は、ポールによって侵入車両の車幅を制限している例です。小型トラック程の幅に制限することで、物理的に大型車が侵入できないだけでなく、通過する車両の車速を著しく低下させ、振動抑制にも効果的です。写真2は路面に記したゼブラゾーンの幅を変えることで心理的に道幅が狭くなったように錯覚させ運転手に速度低下を促すものです。出会いがしらの事故の抑制のため、カーブ手前から奥に行くほど道幅が狭くなっているように見せることで、速度を落とす効果を狙ったものですが、車速の低下は安全性の向上以外に振動低減効果も期待されます。錯視による車速低減対策には、路面の段差や障害物を模したのもも実用化されています。



写真1 車幅制限の例



写真2 錯視の例

⁴ シャーリングとは、金属を切断する加工の一種。ハサミで紙を切るのと同じように、上下の刃で金属板を挟み込むようにして切断する。シャーリング加工に使われる機械は「シャーリングマシン」や「せん断機」と呼ばれる。

⁵ オーガ掘削とは、電動または油圧モーターの駆動によりスパイラルスクリューを回転させ、スパイラルの押し上げにより掘削土砂を排土させて掘削する工法。

⁶ 不陸とは、面が水平でなく、凹凸があること。読みは「ふろく」または「ふりく」。

(4) 伝搬経路

伝搬経路での対策は、振動源と振動の影響を受ける側の間、振動が伝搬する経路上に振動を軽減する構築物を設けることで伝搬する振動を軽減するものです。敷地境界の地中に地盤と物性の異なる材料で壁を設けたり、工場など敷地に余裕のある場合、空溝を掘ったりする例があります。空溝や地中壁は、地上の防音壁が音を遮るように、地中を伝搬する振動を軽減します。しかし、防音壁の上や横から回り込む騒音があるように、空溝や地中壁の下や横から回り込む振動があるので、空溝や地中壁から離れる程、効果は小さくなります。

ある鉄道工事で、複線化で新設される線路の盛土擁壁工事に際して、擁壁の支持深さは表層地盤途中までで構造上の問題は無かったものの、工事後の鉄道振動影響を考慮して、数m延長して支持層まで達するようにした事案があります。地中壁の先端を支持層まで延ばすことで、擁壁地中部的下を回り込む鉄道振動の影響軽減を図ったものです。同じく鉄道工事で、工事中の鋼矢板こうやいたによる仮設擁壁の地上部分をコンクリート巻き立て

することで、仮設擁壁の鉄道振動による動きを抑え、隣接住宅への鉄道振動の影響軽減を図った例があります。

(5) 受振側

図7は種々の振動源から発生する振動の主な振動数範囲と受振側である家屋、建物、建物部位の固有振動数範囲を示したものです。各振動源の発生振動数範囲には、定常振動数範囲や代表的な卓越振動の振動数を◇で示しています。振動源別にみると、外部振動源の交通機関では道路交通振動は3 Hz前後と10数Hzに高架橋桁の固有振動数や車両のばねに起因する卓越成分が、鉄道振動は、8 Hz～250Hz の範囲にレール凹凸や枕木間隔などに起因するいくつかの卓越成分がみられます。工場、解体・建設工事では、5 Hz～63Hzの範囲に回転・往復運動する機械や衝撃力を発生する機械に起因する卓越成分がみられます。一方、室内振動源の歩行振動は、2 Hz 前後を基本卓越成分として、その高次成分でも卓越がみられることがあります。

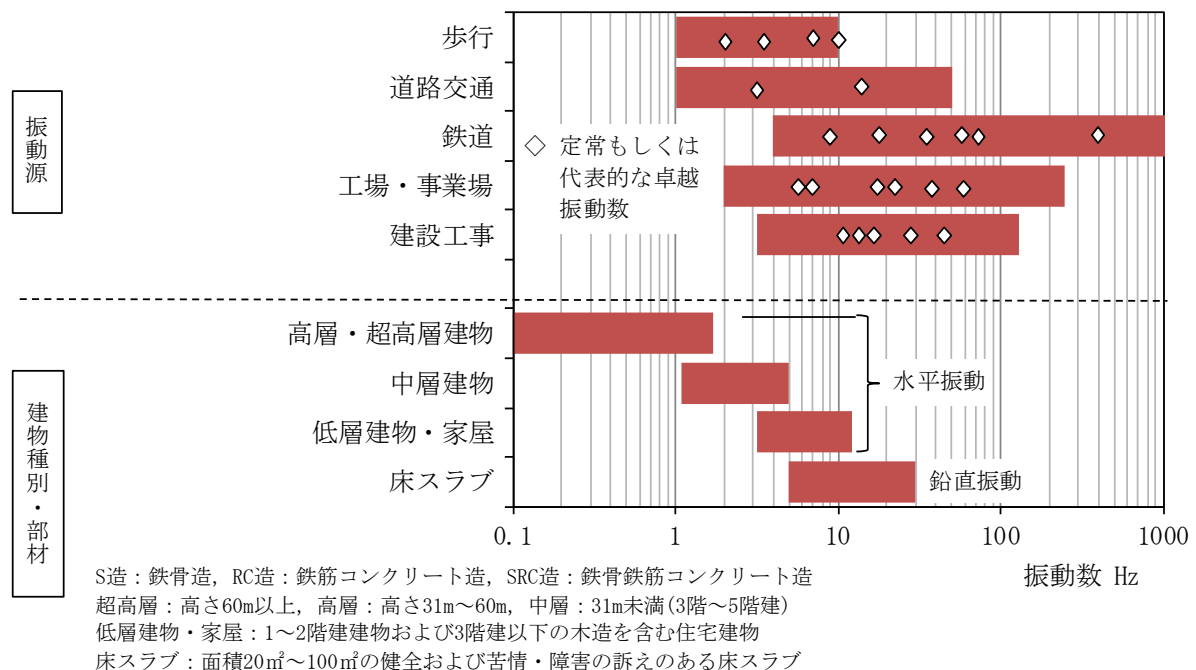


図7 種々の振動源の発生振動数と建物及び部位の固有振動数の関係

家屋や建物の水平方向の振動性状をみると、一般に高さが高いほど周期は長く、振動数は低くなります。1次固有振動数は、超高層・高層ビルでは概ね2 Hz以下、中層ビルでは1～5 Hz、低層・家屋では3～9 Hzです。したがって、高層ビルの一部、中層ビル、低層建物の1次固有振動数は、交通振動や工場、工事振動などの発生振動数範囲に存在することになります。そのため、これらの振動の影響を受ける場合は、共振により振動振幅が増幅する可能性があります。一方、鉛直振動に対しては、歩行振動の高次成分が床スラブ⁷の固有振動数範囲の5～30 Hzに存在するため、歩行振動も影響要因となり得ます。

図8は、ある木造3階建て住宅での共振による水平方向振動の増幅例です。この事案は、某公共工事現場に隣接する木造3階建て住宅から、振動苦情が寄せられ、家屋内での振動調査を行ったものです。図8は、工事停止時の暗振動です。建物3階の水平振動をみると5 Hz弱に著しい卓越成分がみられます。この振動成分は、1階土間と比べて加速度で約30 dB(1,000倍)大きくなっています。工事中の敷地境界での振動レベルは、最大

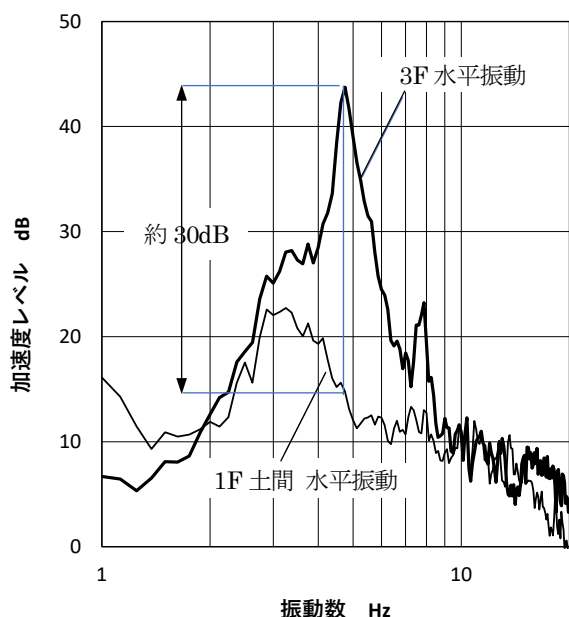


図8 木造3階建て家屋の振動増幅例

でも60 dBを下回っていましたが、建物3階では水平方向の体感振動が顕著であったものです。

5 Hz弱の振動成分が卓越するのは、当該建物の水平方向の固有振動に一致して共振しているためです。また、建物の振動に対する減衰も小さく、揺れだすとなかなか揺れが収まらず振動の体感時間が長いのも不快な要因であったと思われます。恐らく、大型車が近隣道路を通過した際にも揺れは感じられていたと思われますが、工事が始まってから顕著に感じるとのことで苦情となったものです。

調査の結果、一般的なバックホウの走行時の振動が苦情原因であることが判明しました。超大型重機の移動でも地面の掘削作業などでもなく、普通のバックホウが走行するだけで振動問題となった要因は、軟弱地盤仕様のキャタピラで角に爪があり、キャタピラの動きに応じて爪部分が地面を叩く振動数が、当該建物の固有振動数に近く、建物を励振してしまったことが原因でした。また、当該工事現場の軟弱な表層地盤中を伝搬する5 Hz付近の振動成分があまり距離減衰しなかったこともあり、当該建物から100m近く離れた場所をバックホウが移動した際にも振動障害が発生したことが判りました。そこで、敷鉄板の設置を工夫して、キャタピラ式のバックホウからタイヤ式のバックホウへ変更する対策が講じられました。元々揺れやすい構造の建物であるため、完全に揺れは感じないとはなりませんでしたが、工法変更などの対処後は、滞りなく工事を進めています。

木造3階建て住宅は、道路交通振動による水平振動の影響を受けやすいことから、振動防止装置の動吸振器(TMD:Tuned Mass Damper)を用意している大手ハウスメーカーもあります。TMDは、設置する建物の固有振動数に調整(Tuned)した、

⁷ 床スラブとは、床版のこと。一般的には鉄筋コンクリート造の建築物において、床の荷重を支える構造床のことを指す。

ばねマス(Mass)系の制振装置(Damper)で、錘(Mass)が揺れる反力によって、設置建物自体の揺れを打ち消すものです。

5 おわりに

本稿では、紙上セミナー「振動について」の第4回として、振動に係る苦情の対策、対応、対処の考え方を中心に幾つかの事例をまじえて紹介しました。振動規制法の対象である工場・事業場、建設作業、道路交通だけでなく、鉄道振動も含めた具体的な対策等や、建物自体の性能、道路整備、低振動機械など関連する情報に関しては、巻末の文献を参照してください。国土交通省、環境省や公害等調整委員会のホームページからも関連する情報(pdf)をダウンロードすることができます。

建設作業に伴う振動苦情が多いこともあり、国土交通省 HP には「建設工事に伴う騒音振動対策技術指針」が示されています。内容は公表から30年以上経過しており、新しい知見の反映が十分ではない面もあるとは思われますが、建設作業に伴う騒音振動対策の基本的考え方が整理されています。

また、環境省 HP では、「地方公共団体担当者のための建設作業振動対策の手引き」や「よくわかる建設作業振動防止の手引き」が公表されており、図表やイラストを用いて建設作業振動の発生要因や防止方法が分かりやすく解説されています。

振動苦情は感覚的・心理的な被害によるものが多く、規制基準を満足している場合や、規制対象ではない場合、どこまで振動を低減すればよいかは悩ましい問題です。苦情を訴えている当事者全

員が振動を感じない状態にできればよいのですが、技術、時間、費用の面で必ずしも達成できないことも多くあります。また被害対象が人ではなく、家畜や競走馬、養殖魚であったこともあります。いずれにしろ、被害を訴えてくるのは人であり、最後に対応、対処の結果を判断するのも人です。

振動問題に携わる際は、以下の点に留意する必要があります。

- ・ 振動の測定結果など具体的な数値を伴うものは、定義を明確にしてください。
- ・ 同じ数値でも人によってとらえ方が違う事もある点を心にとめておいてください。
- ・ 振動発生源側の事業場や企業は、大手になるほど CSR(企業の社会的責任)面から、規制法を準拠すればすれれば良しとすることは少なくなっています。
- ・ 戸建て住宅の解体工事などでは、一日二日で終わってしまい、現場の作業員は日本語が通じないことも多々あります。状況把握には、スピーディーな現場対応も必要です。
- ・ 苦情の申立者側、振動源側が双方向の話し合いができるよう進行役(ファシリテーター)ができる準備をお願いします。

最後になりますが、地方公共団体の公害担当部局において新たに振動問題を担当される職員の方は、地域住民の生活環境保全の一翼を担われています。難しい対応を求められることもあるかもしれませんが、職場の諸先輩方やこの分野の先達の成果を参照して職務を遂行されることを希望します。

参考文献

- ・国土交通省：建設工事に伴う騒音振動対策技術指針（昭和 51 年建設省経機発第 54 号）
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000005.html
<http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00097/k00910/kyoutuu/H20sankou/15sankou.pdf>
- ・環境省環境管理局大気生活環境室：よくわかる建設作業振動防止の手引き～振動低減へのアプローチ～
https://www.env.go.jp/air/sindo/const_guide/index.html
- ・環境省水・大気環境局大気生活環境室：地方公共団体担当者のための建設作業振動対策の手引き
https://www.env.go.jp/air/sindo/const_guide/lg.html
- ・「振動に関わる苦情への対応」：編集 公害等調整委員会事務局、
https://www.soumu.go.jp/main_content/000352508.pdf
- ・（一社）産業環境管理協会：新・公害防止の技術と法規 2023、騒音・振動編
- ・早川 清他：地盤環境振動の対策技術（森北出版、2016）
- ・日本音響学会編：音響学講座 4 騒音・振動（コロナ社、2020）
- ・日本道路協会：道路環境整備マニュアル（日本道路協会、1989）
- ・日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説（日本建築学会、2004）
- ・国土交通省：低振動型建設機械指定状況
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000003.html
- ・住理工商事株式会社：交通振動対策用制振装置
<https://www.corp.sumiriko.co.jp/enterprise/housing-environment/tmd/>

出典

- ・図表作成、写真撮影ともに執筆者

【公害等調整委員会からのお知らせ】

公害等調整委員会（以下「公調委」という。）では、地方公共団体の公害紛争・苦情処理担当職員の育成支援の一環として、誌上セミナー「振動について」を掲載してきました。

誌上セミナー「振動について」は、今回で終了となりますが、これまでの記事及び令和 2 年度「騒音・低周波音について」、令和 3 年度「悪臭について」の記事については、公調委ホームページ「地方公共団体の皆様へ」に掲載しています。

https://www.soumu.go.jp/kouchoi/for_local-government.html



誌上セミナーが、地方公共団体の公害紛争・苦情処理部局で新たに担当となられた職員を始め関係者の皆様にご活用いただき、執務の一助となれば幸いです。