

特集

低周波音をめぐる音環境

信州大学地域共同研究センター客員教授 塩田 正 純

はじめに

今から約 30 年前に、騒音規制法が施行され、「静かな音環境」を目指す戦いが始まり、多くの変遷を経てある程度、国民の関心も深くなってきている。当時は、それと共に多くの公害が発生したことは歴史的な事実である。典型 7 公害の一つである騒音は、多くの国民の悩みであり、官民あげて騒音防止のための技術開発に取り組んできた。人間の聞こえる音は、20～20,000Hz の可聴周波数範囲にあるといわれ、耳で感知することができるため、比較的容易に認識することが可能である。このようなことから、騒音は、「好ましくない音」の総称とされている。しばしば、音楽なども個人的な好みから騒音として指摘されることもある。一方、当時も騒音公害と同時に「身体で感じるとか圧迫感があるとか不快感がある等」の訴え、また「音も振動も無いのに窓ガラスがガタツクあるいは建具がガタツク等」の訴えはあったが、どのような測定器で測定し、どのような評価をして対策を施したら良いか見当もままならなかった。環境庁は、このような苦情や訴えに対処するため、20 年前から調査研究を始め、上記の現象を「低周波空気振動」と称している。低周波空気振動の発生源調査を開始し、発生源には、多種多様なものがあること、騒音として知覚できない場合でもある一定以上のレベルになると「身体で感じるとか圧迫感があるとか不快感がある等」としての感覚が生じるようになること等が明らかになってきた。しかし、ある一定以上のレベルは、通常定常的に日常生活の周辺に発生することはまれで、多種多様な機械、設備、装置あるいは交通機関などの二次的な騒音によるものとなっている。ここ数年、苦情件数が 20～40 件あり、これらの解決に向けて、心理的影響、生理的影響、物的影響あるいは計測方法、評価方法、防止対策の技術開発等に関する研究が盛んに行われてきている。本稿では、これらを踏まえて、「低周波音の基礎から低周波音をめぐる音環境」について、私見も含めて簡単に概説することにする。

1 低周波音とは

多種多様な発生源から、騒音、振動が複合して発生しており、空気中や地盤面を若干時間差をもって同時に伝搬し、人間や構造物に対して似通った現象を生じさせることが多い。これらの区別を明確にすることが重要である。

音響振動に関する国際会議が、世界の国々で毎年開催されている。低周波音に関する国際会議は、その中でも新しく約 20 年前から開催され始めた。1973 年のパリでの国際会議では「0.1～20Hz」の範囲を低周波音として定義し、また、1980 年のデンマークでの会議では、100Hz 以下の音を低周波音と称している。一方、わが国では、1984 年に環境庁は、「低周波空気振動調査報告書 - 低周波空気振動の実態と影響 -」をまとめ、「1～100Hz」の範囲を低周波空気振動と称している。騒音、振動の現象と紛らわしい点は、人間の知覚と物的な影響が度々同時に発生することにある。このことから、騒音、振動の影響ではないかと判断してしまうことである。したがって、判断を誤らないように、低周波音の発生の有無による領域を理解しておくことが肝要である。表 1 は、低周波音の領域を示したものである。領域(2)、(3)が代表的な苦情の領域に相当する。(4)は、「物的なガタツキ」が発生する場合に起きることがある。また、「聞こえない音と聞こえる音」を含んでいる周波数 1～80Hz は、

低周波音と称しており、騒音領域を含んでいる。主に、20Hz 以上を典型的な低周波音、20Hz 以下が超低周波音である。表2は、低周波音等の範囲を示したものである。本稿で記述している低周波音は、周波数1～80Hz の範囲を基本としている。

2 低周波音の現状認識

低周波音の発生により人間がその影響を受けるような場合、下記のような反応等を示すことが多い。

直接的影響：心理的妨害、物的妨害

情緒的妨害：情緒的妨害、生活妨害（休養・睡眠妨害、勉強・作業妨害）、身体的妨害（生理的妨害、身体症状）

総合的影響：苦情・陳情等の行動的反応

そして、これらの低周波音の影響程度あるいは度合いを把握するには合理的な評価量による基準（値）が必要である。一般に、環境の質と量を科学的立場から判断すると、いわゆる「クライテリアからスタンダードまで」示すことができる。例えば、図1のようにである。現在、種々、議論されている内容は、低周波音に対する加重特性であり、かつ測定法に関する統一についてであるが、超低周波音・低周波音分野では、学術的には研究段階であり低周波音を評価するために、多くの研究者は、実験室実験を主体にして、人への影響を見極めようと「心理実験、最小感覚閾値の実験あるいは生理実験」などを行って周波数における特徴を捕らえることができるようになってきた。国際的には、表3に示すように、G1特性、G2特性の検討が継続したが、1995年に、G特性として統一されISO7196-1995で規格化された。20Hz が非常に強調されており、その前後の減衰は同表のとおりである。この加重特性は、測定器と大きく係わっており、できるだけ統一した方向へと(社)日本騒音制御工学会低周波音分科会での検討がなされている。表3の周波数加重特性を図示したのが図2である。

3 低周波音の防止対策

表4は、低周波音の発生源とその発生現象を示したものである。最近の多くの調査結果からも明らかになってきたように、大型、高速回転、高エネルギーなどの機械、設備、装置あるいは交通機関の出現で、より低周波音の発生条件が整ってきている。その発生条件は、従来からのものと変わるものではないが、製作時点からの検討が必要になってきている。特に、超高速鉄道のトンネル突入時から突出時での低周波音や非常に時間が短い衝撃的かつ高エネルギーである発破の低周波音あるいは重量車による長スパンのスチール橋梁のジョイント部での低周波音が、議論されてきている。また、従来から蓄積されてきたものとしては、工場・事業所等で稼働している産業機械がある。これらは、データの蓄積もあり、発生現象の特徴や特性が明確であれば、防止対策技術などで対処が可能となってきた。特に、産業機械に対する防止対策は、表5に示すような方法が、実際に利用されている。また、受音点においては、図3に示すように、建具が「ガツカない」ように窓枠の隙間にゴムパッキングをしたりして、図4の「ガツキの発生しはじめる値」より下回るように努力している。

4 測定方法について

低周波音に関する測定方法は、規格統一されていないため、騒音規制法や地方自治体条例に基づいて対処することが難しい。したがって、種々の方法によって行われているが、一般的には、低周波音（低周波数の可聴音と超低周波音を含む）の周波数範囲（1～80Hz）を対象として、平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルを測定し、低周波音圧レベルと表示している。この時の単位は、デシベルであり、単位記号がdBである。そして、周波数1～80Hzにおいて、周波数補正特性で重み付けられた音圧レベルは、低周波音補正音圧レベルと称する。この特性を図2及び表3で示されてい

る「LSL 特性」と称している。

低周波音を測定するには、一般に、低周波音レベル計(例:平坦特性+LSL 特性の機能を備えたもの)が利用される。これは、圧電形マイクロホンを使用している。測定可能な低周波音圧レベルは、50～140dB 程度である。50Hz の最小可聴値が約 60dB であることから下限の音圧レベルは、50dB 程度であれば良いだろう。指示計の動特性は、SLOW 特性(時定数1秒)が用いられる。低周波音レベル計には、周波数分析器、高速度レベルレコーダあるいはデータレコーダ等を接続して測定し、解析したりする。これらを用いて測定する場合には、下記に示すような注意が必要である。

測定位置を設定する場合には、低周波音レベル計を移動させながらレベル差がどうかを確認する。すなわち、ある一定以上の低周波音レベル(例:85dB 以上)を表示しているか、ガタツキを発生しやすいレベル(70dB 以上)に達しているかどうかを確認して、その周辺に設定する。

距離減衰の測定には、距離が倍になるようにする。できるだけ、遠距離までの測定をする。理論的な距離減衰傾向と測定値による減衰性状を比較検討するのに有効である。ある一定距離以上になると減衰性状が他の音源の影響を受けやすくなるため、減衰傾向が鈍ったりする。そのため、両者を比較しながら影響範囲を明確にするのに有効である。

対象外の低周波音源を測定する。すなわち、暗騒音の影響の確認を行う。

低周波音測定の最大の難点は、風の影響である。騒音計用防風スクリーンを使用してもその効果に期待できない。風による低周波数域の圧力変動を多く含んでいるためである。したがって、原則的に、風が吹いている場合には、測定を中止するか延期し、改めて測定することが望ましい。

測定結果の測定値は、規格統一化されていないので、目的に応じて読み取り、整理する。ただ、騒音測定方法に準じて、例えば、変動の少ない場合にはその指示値、間欠的な場合には発生毎の最大値の平均値等で読み取る。

発生源特性が特定できない場合には、騒音計、低周波音レベル計、振動レベル計による同時測定を行うことが望ましい。苦情者の訴え内容によって、低周波音と地盤振動を取り違えることもあるからである。

測定結果データシートには、測定者、測定日時、気象条件、測定場所、周辺状況、発生源の特徴、測定機器、周波数分析の有無、測定値の読み取り方法などを明記しておくことが重要である。

5 低周波音をめぐる音環境

表4に示すような多種多様な大型機械や交通設備等などから発生する騒音、振動あるいは低周波音は、日常的な生活に時折悪さを発揮し、苦情の対象としてトラブルの原因となっている。可聴音域の範囲にある騒音に関しては、先端技術の一つである「アクティブコントロール技術」の導入を試みながら技術開発に取り組んでいる。振動に関しても防振技術、制振技術あるいは免震技術の開発に積極的に取り組んでいる状況がかいま見られる。しかし、低周波音となると規格統一も研究段階にいたり、個々人による心理的・生理的影響の範囲のデータ蓄積不足である等、未だ残されている課題が、表6に示すように多い。音環境保全には、低周波音問題の解決が必須条件となる。騒音・振動と切り離して考えることは不可能であり、これらの相互関係を考慮しながら対処することが重要である。また、国際的な動向も視野に入れながら確固たる体系化と確固たる防止技術の確立に向けた努力が必要といえよう。

(しおだ まさずみ)

【参考文献】

- 1 長田 泰公：「騒音の環境基準を考える - クライテリアからスタンダードへ」(社)日本音響学会講演論文集 1993 年 3 月
- 2 (社)日本騒音制御工学会技術部会低周波音分科会編：「発破の音と振動」山海堂 1996 年 1 月
- 3 山田 伸志 他：「超低周波音と低周波音」環境技術研究会 1990 年
- 4 中野 有朋：「超低音(聞こえない音)」技術書院

表1 低周波音の領域

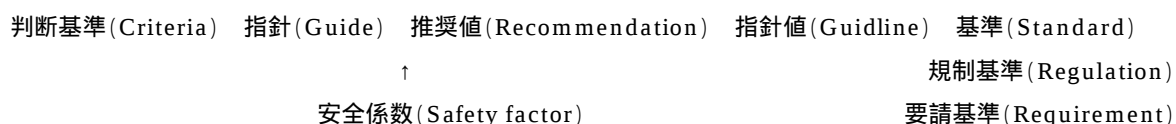
領域	領域内の概要
領域(1)	戸、障子などガタツクこともなく、特別なことがない限りどんな低周波音も感じたり、圧迫感などはない。
領域(2)	戸、障子などガタガタなることはないが、モータやボイラ、圧縮機等の低い音が聞こえたり、圧迫を感じたり苦情の発生につながる可能性大である。この領域は『低周波音』である。 近隣関係を悪化させる近隣騒音的性格が加味される。
領域(3)	低周波音そのものは知覚されないが、戸、ふすま、障子、木製窓枠とガラスのガタツキあるいは人形ケース等の揺れによっても間接的に知覚される。多くの場合、20Hz 以下である。この領域は、「聞こえないのに苦情が発生する」といわれる『超低周波音』である。
領域(4)	戸、ふすま、障子、木製窓枠とガラスのガタツキにより、「耳、胸、腹」の圧迫する感覚も鋭くなる。20Hz 以下の周波数であっても音圧レベルが高いので、外耳から内耳における伝達機構は、線形性でないため、倍音が発生し、明確に「音の感覚」を生じることもあり、強い苦情が発生する可能性が大である。

表2 低周波音等の範囲

	名称	周波数範囲	根拠	英文名	備考
(1)	超低周波音	0.1 ~ 20Hz	パリの国際会議：1973 年	Infra-sound	環境庁では、100Hz 程度まで含めたものを「低周波空気振動」と称している。その他には、低周波騒音、超低周波騒音、超低周波空気振動などと称される。
(2)	低周波音	20 ~ 100Hz	デンマークの国際会議：1980 年	Low Frequency Noise	
(3)	騒音	31.5 ~ 8000Hz		Noise	

図1 科学的な立場から見た「判断基準から基準まで」(文献1)

純粋な科学的判断科学的 + 技術的・行政的判断



注： 判断基準(Criteria)とは、環境の質と環境の量が、個人や集団に及ぼす影響についての定性的・定量的情報の総体をいう。

指針(Guide)とは、望ましい環境の推奨目標をいう。

推奨値(Recommendation)とは、指針に安全係数を掛けたもの。

指針値(Guideline)とは、推奨値を実現するための技術的な値をいう。

基準(Standard)とは、基本となるものさをいう。

規制基準(Regulation)とは、行政的な規制、指導のためのものさをいう。

要請基準(Requirement)とは、行政上の望ましい基準をいう。

表3 低周波音と周波数加重特性

提案者	特性	概要	特徴
時 田 (財)小林理学研究 所	LSL 特性 (Low Frequency Weighted Sound Pressure Level)	低周波音の最小感覚閾値を基礎として 提案された。各種の評価実験によると、 この補正回路による測定値と低周波音 に起因する人の圧迫感、振動感、不快 感、等と相関が高いとされている。	50Hz をピークとして、低音域 側は、- 12dB/oct.,高音域側 は、- 18dB/oct.の減衰とな っている。
犬 飼 (生命工学工業技 術研究所)	LF 1 特 性 (Low Frequency 1)	実験室の心理実験に基づいて低周波音 と可聴音域の騒音が複合された時の 「人の評価」について調べ提案されたも の。	高音域では、A特性に近く、 20Hz 以下ではG特性にほぼ 近似している。
ISO 7196-1995	G 特 性 (Acoustics : Frequency-Weig hting characteristic for in-frasound measurements)	G1 特性と G2 特性があり、前者は、最 小可聴値に近似し、後者は、一般的な 反応の評価に用いられるとされている。 1995 年にG特性(旧 G1 特性:20Hz 以下の閾値の逆特性)一つになった。	感覚閾値に基づいた特性で 10Hz を0 dBとして 20Hz にピー クを持ち、低音域側は、- 12dB/oct.,高音域側は、- 24dB/oct.の減衰となってい る。
	ISPL (Infrasound Pressure Level)	超低周波音(20Hz 以下はフラット)領域 の音圧レベルを測定対象としている。	20Hz 以下の周波数では、- 24dB/oct.の減衰となってい る。
井 清 (資源環境技術総 合研究所)	RAT 特 性 (Rattling)	10Hz を基準にした建具のガタツキ発生 の逆特性として提案している。	0.5Hz から 10Hz の範囲で は、正の領域で、10Hz 以上で は、ほぼG特性に沿っている。

表4 低周波音の発生源とその発生現象

	対象	発生源	発生源による現象
(1)	産業機械	エンジン, コンプレッサ, ボイラ, ポンプ, コンベア, ロータリープロア, 加熱炉, 振動ふるい, 破碎機, 集じん機, 溶解炉	往復振動による膨張・圧縮によるもので, かつ, 大型低速のものが多い。たとえば, コンプレッサやプロアなどの吸入口側からは, 意外に大きな空気の圧力変動が生じている。
(2)	自動車	ディーゼルエンジン, 排気系	エンジン状態をアイドリングしたときに発生しやすい。
(3)	鉄道	トンネル	超高速列車が, トンネルに突入することによって発生した圧縮波が, トンネル内部を伝達し, トンネル出口に到達するとトンネル外部にパルス状の圧力波(微気圧波, あるいは低周波音)が放射される。トンネル通過時にドカーンという音とともに発生する。8 Hz 前後の成分が多い。
(4)	航空機	ソニックブーム, エンジン	超音速機が, 音速の壁を破るときに発生する衝撃波のうち, N波周波数域の成分をもつ。20 ~ 30Hz 程度の低周波音が顕著。
(5)	船舶	エアークッション, エンジン	ディーゼルエンジンによる空気の圧力変動により, 10 ~ 20Hz 付近に成分がある。
(6)	橋梁	高架橋	スチール橋梁の高架橋は, ジョイント部の段差とスパン長の条件により, 繰り返し振動を発生することにより放射する。条件によって, 異なるが, 4 ~ 16Hz 前後の成分が多い。
(7)	発破爆発	火薬の爆発, ガス爆発, 発破解体, 水中発破	段数, 段当たりの爆薬量, 段当たりの孔数, 段当たりの時間差, 1発破当たりの全爆薬量, 爆薬の種類, 最小抵抗線, 孔間隔, 薬包深度, 発破孔角度, 装薬長と薬包長径……などの条件により圧力波を生じる。音圧の大きさは異なるが, 4 ~ 16Hz 前後の成分が多い。
(8)	自然現象	大気の乱れ, 海の波, 地震, 磁気嵐, 雷, 火山噴火	大気の揺動によるもので, 1 ~ 3 Hz を主成分とする極めて微小な音圧である。
(9)	その他	ダム放流, 花火	

表5 産業機械に対する低周波音の防止対策方法

	発生条件	発生原因	防止対策	備考
送風機	サージング等使用方法が正常でない。 回転・摩擦など機構上のもの。	旋回失速 サージング ダクト壁の振動	消音器 バイパス管 ダクトの補強 整流板旋回失速防止	送風機とジョイントする集じん機、冷暖房機あるいは乾燥機などからの発生もある。 セメントキルンなどからの発生もある。
圧縮機 真空ポンプ ディーゼル機関	膨張・圧縮など機構上のもの。 機構上、周期的に繰り返されるもの。	回転に起因するシリンドラ内空気の膨張・圧縮 回転に起因する空気振動 爆発の繰り返し	サイドブランチ形消音器 膨張形消音器 配管ラギング	往復式の大型圧縮機や多数の往復式圧縮機を並列運転した場合。 脱水ポンプ、ロータリプロアも同様である。 ディーゼル機関用船舶、非常用発電装置、ディーゼル車からも発生する。
振動篩	構造体が振動板になっていて圧力変化を生じる。	繰り返し回転に起因する構造体の振動	振動板の面積を小さくする アクティブコントロール技術	振動コンベア・破砕機も同様。 大形で板構造のものが、発生することが多い。
加熱炉	燃焼の圧力変動によって生じる。	燃焼・共鳴による空気振動	共鳴防止バッフルを付ける 燃焼方法を変える 消音器を据え付ける	熱風炉、転炉、焼結炉・焼成炉、電気炉、ロータリキルンあるいはキューボラも同様に発生する。
ボイラ	燃焼の熱呼吸によって生じる。	カルマン渦共鳴	共鳴防止バッフルを付ける	

表6 低周波音と騒音の整備の比較

	項目	要因	低周波音	騒音
(1)	法的	法規	なし	騒音規制法
		環境影響評価の整備	一部の地方公共団体条例、要綱で設定	閣議決定要綱、個別法、地方自治体の条例、要綱で設定
		評価法	研究段階である	騒音規制法、地方公共団体条例で設定
(2)	計測	測定方法	学会レベルの提案あり	JIS で統一
		測定機器	規格統一されていない	十分に充実している
(3)	予測	予測方法	研究段階である	発生源毎に予測手法が整備されている
(4)	対策	防止技術	低周波音の特徴により効果の有効性に軽重あり	発生騒音特性による防止対策技術は整備されている