

(参 考 資 料)

低周波音対策検討調査

(中間とりまとめ)

平成 15 年 3 月

## 総括

最近の低周波音問題は、当初の超低周波音の公害問題から大きく変化して、行政の隙間をつく社会問題としてマスコミにも取り上げられるようになっていく。また、苦情として行政に持ち込まれても、低周波音に関する知見が一般に広まっていないこと、基準が未だ決まっていないということから、最新の科学的知見をとりまとめて欲しいという行政の先端からの声も聞かれる。

そのために、環境省はこの要請に対応するため、現在までいろいろな形で低周波音問題を取り上げている社団法人日本騒音制御工学会に最新の科学的知見と課題の整理についてとりまとめを委託した。工学会では研究部会における低周波音分科会の委員を中心に、会員以外の医学・行政の専門家も交えた委員会を設置してこの業務を進行させた。

本報告書はこの作業の中間報告で、早急に指標の策定と対応システムの整備をするために、低周波音に関する現在までの知見の蓄積をとりまとめるとともに、補足する作業や今後の行政としての対応を明確にするシステム作りに関する考え方をまとめて、委託された業務の報告書として示したものである。

低周波音に関する苦情は、当初は産業機械の周辺の問題が最も目を引いたのであるが、その後高速道路橋、ダムの放流、新幹線のトンネル突入などで発生する事象も問題となり、いわゆる産業公害からもっと一般の公共の施設、社会基盤にまで対象を広げてしまうことになった。

今まで政府は環境庁の時代（1976年）から低周波空気振動として調査研究に手をつけて、いろいろな角度からの検討をしてきていたが、一般環境で観測されるような低周波音の領域（周波数範囲と音圧レベル）では、人間に対する生理的な影響は明確には認めることができなかつたという結論を得たのみで、影響はないと言い切るには至っていなかつた。これは人間という感性の豊かな生き物の幅広い心理反応によるもので、同一量の物理的な暴露に対して個々の反応というのは人によって非常に幅広く、平均値や中央値だけで○か×かを決めてしまうことに無理があるということを示すものである。

現在まで、問題が起きている場所での調査や実験室実験から、低周波領域の感覚の閾値、睡眠影響の観測される値、物的被害に相当する建具のがたつきに関する検討指針値などが示された。さらに低周波音域における優先感覚の実験も行われ、低周波音域を代表する感覚として、圧迫感や振動感が一つの評価感覚として使えるのではないかという提案もなされた。また低周波音の存在がわかるという判断と、気になる、嫌だという拒否反応の示される音圧レベルの差は周波数が低くなると小さくなり、いわゆる騒音領域の感覚とは違った認識で判断が行われるということも分かってきた。これが苦情対応に大きな課題として出てくる問題である。

次に数値の提示についてであるが、行政が一つの判断の資料として数値を提示すると、この数値を超えるか超えないかということのみが一人歩きしてしまって、人間の幅のある判断についての考慮は全くなされない状態で推移してしまうことがある。そのため、行政に苦情を持ち込まれた場合に、基準が定まっていないということが逃げ場になって、考慮の対象外というような対応をしてしまうこともあって、本来環境問題で出てくる苦情と、苦情対応とのギャップを埋めるのが極めて難しいというようなことも顕在化してきている。

以上のようなことから、報告書の考え方を次のようにまとめた。

- ① 現在の低周波音に関する知見については、なるべく客観性を重視して主観にとらわれることのないように項目別にまとめる。この場合、基本的には平均値や標準偏差のような統計量で示す。また、特殊ケースの対応方法についての考え方についても述べる。
- ② 将来国際的な整合性も期待されることから、諸外国の行政的な対応も参考にした考え方を示して、我が国での考え方を検討する。
- ③ 低周波音の問題は、原因が明確でないということからの不安とその助長にあると考えられる。従って原因究明が問題解決の基本である。単に計測方法のマニュアルに従って測定をしても、測定結果に関する評価が重要なので、専門家の知識と経験を活用する必要がある。
- ④ 低周波音問題はいろいろなケースがあるので、測定した数値の扱い方を説明しながら成功失敗も含めて対策の事例を多くして、行政の立場で具体的な問題解決の参考になるような事例集を作る。
- ⑤ 低周波音の苦情に関しては住民の声を良く聞き、行政の資料のみならず広く多くの資料をもとに検討を加えるようにする。
- ⑥ 行政として苦情の持込に対応できるようなシステムを設置できるように検討する。この組織は、行政や学会で専門的な技術と経験とを持つ技術者、医師、行政の担当者などで構成する。また、各組織が常に新しい知見を得られるように、情報を各組織に伝達する方策をまとめる。

## 1. 低周波音の基礎

### 1.1 低周波音とは？

#### (1) 低周波音の周波数範囲

人が聞き取れる音の周波数範囲は概ね20～20,000Hzとされている。ISO-7196<sup>1)</sup>では、「周波数スペクトルが主に1～20Hzの範囲にある音」を超低周波音(Infrasound)としている。平成12年に環境省(当時環境庁)より公表された「低周波音の測定方法に関するマニュアル」<sup>2)</sup>では、主な低周波音発生源の周波数特性や、我が国における低周波音苦情の現状等を考慮して、1/3オクターブバンド中心周波数で1～80Hzの範囲を低周波音、このうち特に1～20Hzの範囲を超低周波音と定義している。

#### (2) 低周波音の音圧レベル

音圧レベルとは、音圧の実効値 $p$ の二乗を基準音圧 $p_0$ ( $=2 \times 10^{-5}$ Pa)の二乗で除した値の常用対数を10倍したものである。単位はデシベル、単位記号はdB。低周波音の場合は、1～80Hz平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルであり、一般に低周波音圧レベルという。超低周波音の場合は、1～20Hz平坦特性の周波数レスポンスを用いた音圧レベルであり、一般に超低周波音圧レベルという。

低周波音測定の場合、1/3オクターブバンド音圧レベルが測定される。そのときの測定量は、中心周波数ごとの1/3オクターブバンド音圧レベルとなる。

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

$L_p$  : 音圧レベル (dB)

$p$  : 音圧の実効値 (Pa)

$p_0$  : 基準音圧  $2 \times 10^{-5}$  (Pa)

#### (3) G特性

G特性は、1～20Hzの超低周波音の人体感覚を評価するための評価加重特性で、ISO-7196で規定された<sup>1)</sup>。可聴音における聴感補正特性であるA特性に相当するものである。この周波数特性は、10Hzを0dBとして1～20Hzは12dB/oct.の傾斜を持ち、評価範囲外である1Hz以下および20Hz以上はそれぞれ24dB/oct.および-24dB/oct.の急激な傾斜を持つ(図1.1、表1.1参照)。1～20Hzの傾斜は超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。

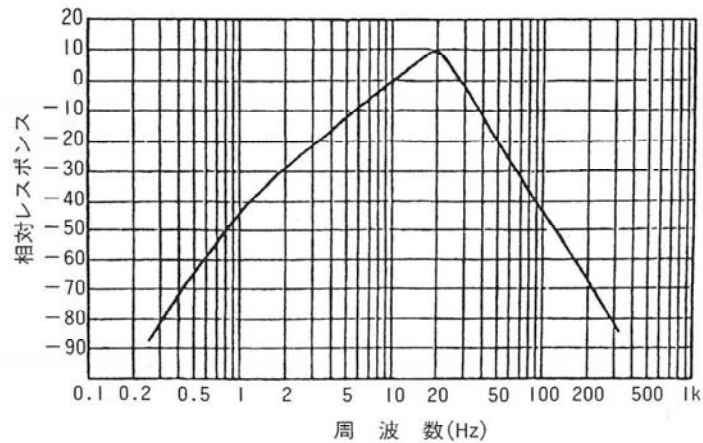


図 1.1 G 特性の周波数レスポンス

表 1.1 G 特性の相対レスポンス

1/3オクターブバンド中心周波数 (Hz)	相対レスポンス (dB)	1/3オクターブバンド中心周波数 (Hz)	相対レスポンス (dB)
1	-43.0	10	0.0
1.25	-37.5	12.5	4.0
1.6	-32.6	16	7.7
2	-28.3	20	9.0
2.5	-24.1	25	3.7
3.15	-20.0	31.5	-4.0
4	-16.0	40	-12.0
5	-12.0	50	-20.0
6.3	-8.0	63	-28.0
8	-4.0	80	-36.0

## 1.2 低周波音の発生源<sup>3)</sup>

低周波音の主な発生源の例を表 1.2 に示す。表では、音圧レベル波形の変動の違いにより 3 種類に分類した。

表 1.2 音圧レベル波形区分と発生源の例

変動が比較的小さい例	送風機、ボイラー、振動ふるい、変電所、圧縮機、大型換気扇、クーリングタワー、ディーゼル機関、燃焼装置、アイドリング、ダム放流、堰堤の越流、建設機械
変動が大きい例	道路高架橋
変動が衝撃的、間欠的な例	機械プレス、破碎機、発破、高速列車トンネル突入、ヘリコプター、航空機

### 1.3 低周波音の特性

#### (1) 低周波音の距離減衰

低周波音も物理的には音波であるので、騒音の場合と同様に減衰する。例えば点音源の場合には、距離が倍になれば 6dB、10 倍になれば 20dB 減衰する（測定事例は例えば文献<sup>4,5,6</sup>）、**図 1.2** 参照）。ただし地表面吸収、空気吸収による音の超過減衰は騒音に比べて極めて小さい。

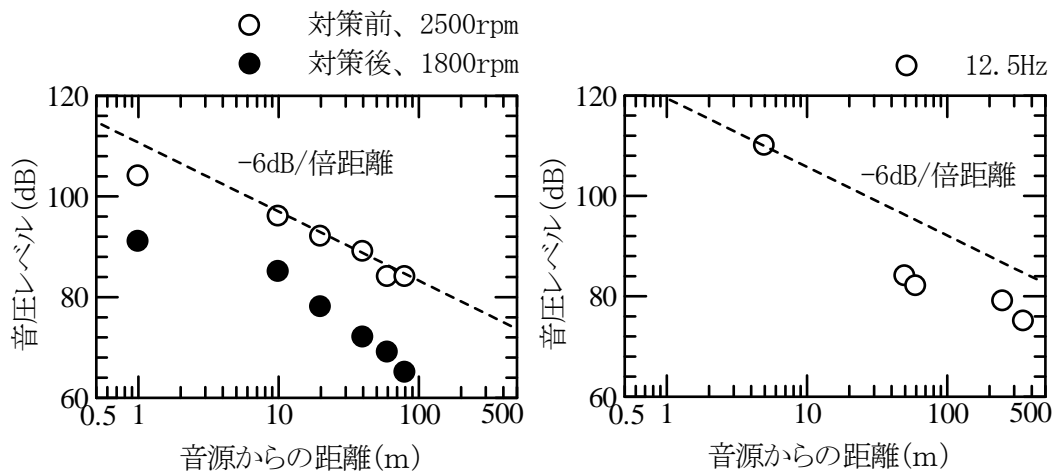


図 1.2 低周波音の距離減衰測定例（左：振動ふるい、右：ディーゼルエンジン吸気口）

特殊な例として、道路高架橋から発生する低周波音は周波数によって伝搬特性が異なる<sup>7)</sup>。高架橋長手方向の振動に起因して発生する数 Hz の超低周波音は床版の上側と下側で逆位相の音が発生するため、高架橋近傍における距離減衰は大きい。また、およそ 63Hz 以上の高い周波数では床版上側からの発生が主になり、地表の高架橋に近い場所では床版上側からの音が床版に遮蔽されて音圧レベルが低下する。

発破、爆発のような大音圧の低周波音では、遠方まで伝搬する際に気象の影響や地形の影響を受ける。気象の影響では、特に音源から 1km 以上離れると、風向きや風の強さによって音圧レベルが 20~30dB 近くも変化する。地形の影響では、例えば起伏のある地形の場合、音源からの距離が同じでも音源が見通せる場所と見通せない場所で低周波音の減衰量は異なる。

(2) 低周波音の家屋内外音圧レベル差<sup>8)</sup>

低周波音の家屋内外音圧レベル差の測定例を図 1.3 に示す。図より低周波音の家屋内外音圧レベル差は、およそ 6.3Hz 以下の周波数域ではほとんど 0dB に近い。8Hz 以上の周波数では周波数の増加に伴い内外音圧レベル差も増加する傾向にある。

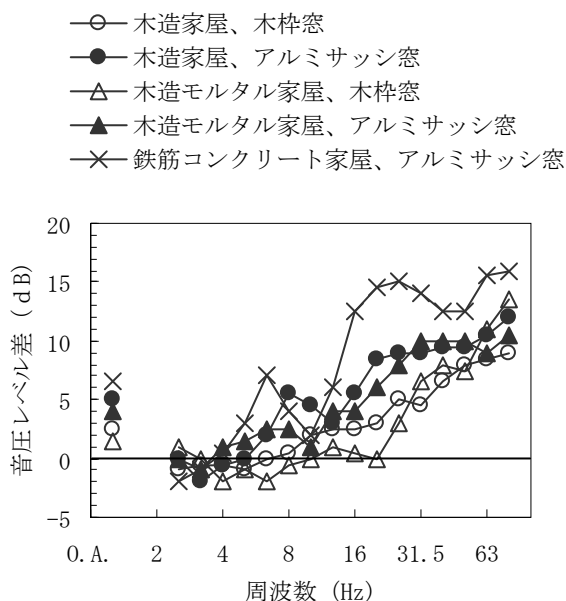


図1.3 低周波音の住宅における内外音圧レベル差の測定例

[ 参考文献 ]

- 1) ISO 7196-1995 Frequency weighting characteristics for infrasound measurements.
- 2) 環境庁大気保全局：低周波音の測定方法に関するマニュアル，平成 12 年 10 月
- 3) 末岡伸一：低周波音の測定方法に関するマニュアル解説 (2)測定方法，音響技術、No. 115，(2001. 9)，pp. 25～29.
- 4) 山崎興樹、谷中隆明、富永利明；振動ふるいからの低周波空気振動による定在波の発生とその対策，騒音制御，Vol. 7, No. 2, (1983. 4)，pp. 37～40.
- 5) 西脇仁一、小幡照夫、森卓支；内燃機関の吸気口、排気口より発生する超低周波騒音および同用消音器，日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，(1976)，pp. 113～115.
- 6) 田矢晃一、山本貢平、新田恭士、村松敏光；トンネル発破施工時に発生する低周波音、日本音響学会講演論文集、1999 年 9-10 月、pp. 685～686.
- 7) 清水進、山下充康；橋梁周辺で観測される低周波音について，日本音響学会講演論文集，昭和 56 年 10 月．pp. 375～376.
- 8) 環境庁大気保全局：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-，昭和 59 年 12 月

## 2. 低周波音苦情の実態

### 2.1 低周波音に係る苦情件数の推移

環境庁（現環境省）では、発足した2年後の昭和48年から地方公共団体に寄せられた低周波音の苦情を集計し始めた。その苦情件数の推移を図2.1に示す<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>。なお、この苦情件数は昭和48年、49年は年次、それ以降は年度でまとめている。当初は、低周波音を「低周波空気振動」と称し、昭和52年度から施行された振動規制法に関して毎年発行される「振動規制法施行状況調査報告書」の中で振動苦情の一環として件数等が報告されていたが、平成7年度から「低周波音」として「騒音規制法施行状況調査報告書」に掲載されるようになった。

発生源別の苦情発生件数を見ると、昭和59年までは圧倒的に工場・事業場の苦情が多く、昭和48年、49年、55年度は60件前後であった。その後は減少傾向にあり、他の発生源の割合が多くなっている。工場における大型機械等からの低周波音対策は、メーカーを中心に各所で発生原因の解明や防止対策の研究が進み、今日に至っていると考えられる。また、昭和53年度までは飛行音、エンジンテスト等による航空機に関する苦情も多かった。対策としては飛行コースの分散化、飛行高度の高度化、エンジンテスト時におけるノイズサプレッサの改善等が考えられ、近年はこれらの効果が現れていると思われる。平成5年度における件数の増加については、鉄道がその内18件と通年の4倍の値になったためである。これは高速化された新幹線のトンネル進入時に発生する圧縮波によるものであったが、研究の結果各所でトンネル抗口付近に緩衝工が設置されるなどの対策が行われたことにより、平成6年度の苦情件数は10件減少し全体で33件となった。建設工事については、1～2件程度で変化は見られない。道路交通についてもあまり変化はみられないが、平成2年度は5件と倍の値となっている。道路交通に係る苦情のほとんどは高架橋から発生するもので、その対策として橋梁の剛性の増加やジョイント部の改良で効果が得られている。その他に分類される発生源による苦情は平成8年度から増加の傾向にあり、平成11年度は全体の半数の22件を占めている。発生源としては近隣の店舗、施設、民家等に設置された機器などが考えられるが、最近の傾向となっている音源が不明のものも多く含まれていることが推測される。

経年変化としては、昭和48年、49年は、100件前後の苦情が発生し、その後減少の傾向にあったが、昭和55年度に再び85件と上昇した。昭和55年度からは減少傾向で、一時的に57年度は52件、平成5年度は43件と増加したものの、59年度から平成2年度までは20件台でほぼ横這い状態であった。最近は再び増加傾向にあり、平成14年度は91件となっている。



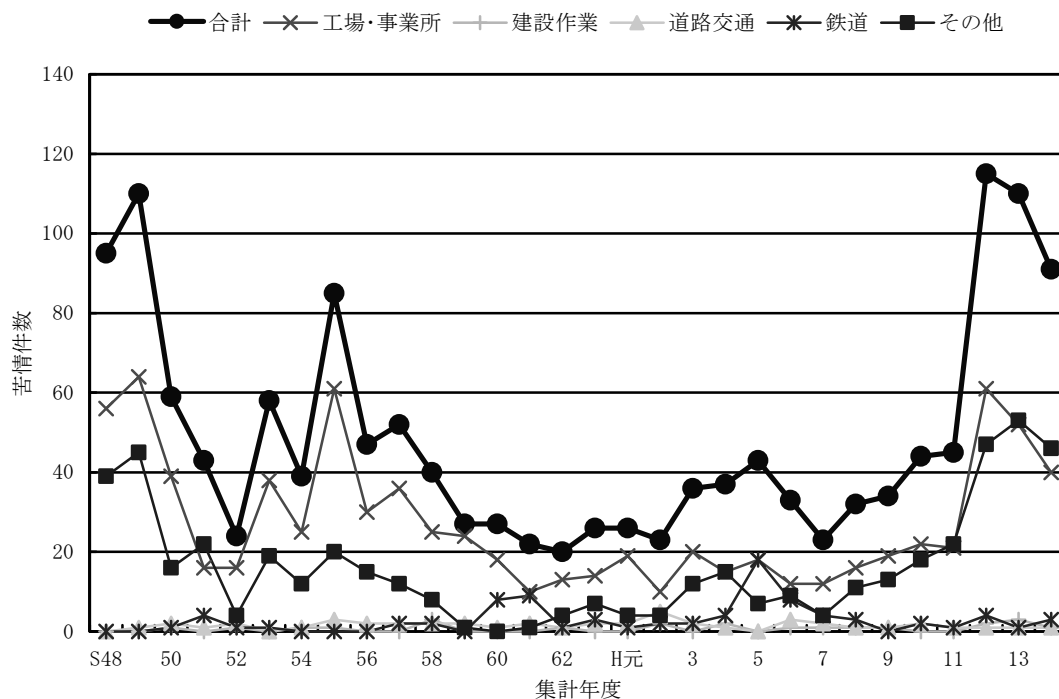


図 2.1 低周波音に係る苦情件数の推移

## 2.2 低周波音の苦情内容

低周波音の苦情は建具等が振動するなどの物的苦情と心理的、生理的な心身に係る苦情に大きく分けられる。一般的な苦情の内容としては以下に示すとおりである。

### (1) 物的苦情

音を感じないのに戸、障子、窓ガラス等の建具がガタガタ振動する、置物が移動するといった苦情である。

物的苦情が発生する場合は 20Hz 以下に卓越周波数をもつ超低周波音による可能性が高い。なお、物的苦情は低周波音だけでなく地面振動によって発生する場合もある。

### (2) 心理的苦情

低周波音を感じよく眠れない、気分がいらいらするといった苦情である。

### (3) 生理的苦情

頭痛や耳鳴りがする、吐き気がする、胸や腹に圧迫感を感じるといった苦情である。

このうち、物的苦情は対策方法が解明され、近年減少している一方、心身に関する苦情が多くを占めるようになってきている。

## 2.3 平成12年度低周波音全国実態調査結果の概要<sup>3)</sup>

調査は43の自治体で行われ、過去に苦情の申し立てがあった箇所や現に苦情申し立てのある箇所だけではなく、苦情の対象となる可能性がある施設を含む166件のデータを得た。同調査によると低周波音に係る苦情があったものは72件であった。苦情の割合は物的苦情（建具のがたつき等）が26.4%であるのに対し、心身に係る苦情（心理的・生理的苦情：頭痛・いらいら等）は47.2%で、物的苦情も併発しているものも含めると全体の70.8%を占めた。近年物的苦情の割合が減り、心身に係る苦情の割合が増加する傾向にある。発生源別では、店舗等から発生する低周波音による苦情が増加している。

調査では、発生源側と生活環境側でG特性音圧レベルと1/3オクターブバンド音圧レベル(1~80Hz)を測定した。

生活環境側（屋外）で観測されたデータに着目すると、G特性音圧レベルは、ほとんどの調査箇所ですべて超低周波音の閾値とされる100dBを下回った。観測された低周波音の1/3オクターブバンド周波数分析結果を「建具のがたつき閾値」と比較したところ、「建具のがたつき閾値」を5dB程度上回ると物的苦情が発生する傾向がみられた。また、「心身に係る苦情あり」と「苦情なし」の測定箇所における音圧レベルにほとんど違いがみられなかった。併せて実施した書面調査結果によれば、これらの苦情発生箇所では「調査員が低周波音を感じない」という報告が多かった。苦情の有無で違いが見出せなかった要因として、下記のようなことが考えられる。

- ① 測定時、苦情が発生するような大きさの低周波音が発生していなかった。
- ② 低周波音ではなく、100Hz以上の騒音苦情。
- ③ 閾値を少し上回る程度の低音圧レベルでの苦情。（家屋の遮音性能向上に伴う室内の暗騒音低下による）
- ④ 音以外の要因による苦情。

（低周波音そのものに対する誤解や、ストレス等による体調不良の可能性）

このような苦情に対しては、苦情者の反応と音圧レベルとの対応関係の確認や、さらなる詳細調査が必要である。

### [参考文献]

- 1) 環境庁大気保全局：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—，昭和59年12月
- 2) 環境省環境管理局大気生活環境室：平成13年度騒音規制法施行状況調査，平成14年12月
- 3) 環境省環境管理局大気生活環境室：低周波音全国状況調査結果について，平成14年6月

### 3. 低周波音の測定方法

従来、我が国では低周波音の測定方法は定まったものがなかった。環境省では平成 12 年 10 月に「低周波音の測定方法に関するマニュアル」を策定し、全国実態調査を開始した。低周波音測定方法の概要を以下に示す。詳細については「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境省ホームページ、<http://www.env.go.jp/air/teishuha/manual/>)を参照されたい。

#### 3.1 苦情発生状況の把握

低周波音に係る苦情が発生した場合には、苦情者の訴えをよく聞くことが肝心である。聞き取りの結果から、苦情の原因が低周波音、騒音、振動のいずれによるものか、あるいは音、振動以外の原因によるかのおおまかな推定を行う。

#### 3.2 測定計画

苦情の状況を十分に把握した上で測定計画を立てる。できることなら事前に現場の下見を行い、建具の揺れやがたつきが発生しているか、低周波音が感じられるか等、現場の状況を把握しておくことが望ましい。

##### 3.2.1 測定量

低周波音と思われる苦情が発生した場合、以下の 2 つの測定量を測定する。

- ・ 1～80Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベル
- ・ G 特性音圧レベル

このうち G 特性音圧レベルは主として屋外や乗り物内における超低周波音による影響や作業環境における超低周波音による影響を調べるための測定量である。また、G 特性音圧レベルで問題になるような音圧レベルの超低周波音が観測される場合には、建具の揺れやがたつきが発生している可能性が高い。

したがって、通常の低周波音苦情では 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定すればよい。

ただし、苦情原因が低周波音ではなく 100Hz 以上の騒音や地面振動であることもあるので、その場合には騒音の 1/3 オクターブバンド音圧レベル（500Hz 以下程度）や振動測定を行う。

##### 3.2.2 低周波音の測定機器

低周波音レベル計（周波数分析機能付きもある）、周波数分析器、ピストンホン、レベルレコーダ等を用いる。また、不規則に変動する低周波音の測定や詳細な測定を行う場合はデータレコーダ等の録音器を使用する。このほか、必要に応じて騒音計や振動レベル計を用いる。

### 3.2.3 測定時期

#### (1) 苦情が発生している場合

苦情が発生している場合には、低周波音が発生する時間帯、時期等に測定を行う。稼働条件や運転状況等の違いによって低周波音の周波数や音圧レベルが逐次変化するような場合には、変化する毎に測定を行う。

#### (2) 苦情が発生していない場合

低周波音の問題を生じやすい時期、時間帯、あるいはその地域における低周波音の状況を代表するような時期、時間帯に行う。

### 3.2.4 測定地点

苦情発生時には最低でも音源側と受音側（生活環境側、苦情者側）で測定する。音源側と受音側のレベル変動や周波数特性の対応を調べるためには必要である。

#### (1) 音源側の測定地点

例えば、音源から1m点、工場・事業場の敷地境界等の音源側と考えられる場所を選定する。できるだけ、近くに遮蔽物や反射物のないところを選定する。

#### (2) 受音側の測定点

家屋の外で音源側に面した場所を選定する。苦情が発生している場合には、必要に応じて屋内でも測定を行う。

家屋の近傍において測定を行うとき、マイクロホンは音源方向に面した所、あるいは問題となる部屋の外側で、外壁面から数m程度離れた場所に設置する。

低周波音の苦情が発生している場合、屋内における測定は、原則として問題となる場所で行う。室内で低周波音の音圧レベルが場所によって大きく変化する場合には、音圧レベルが最も大きい場所または問題となる場所で測定を行う。測定時、建物内部の建具等の開閉条件は、問題となる条件とする。

### 3.3 現場測定方法

#### (1) 測定器の設置

低周波音を測定する場合には、低周波音レベル計のマイクロホン高さを地上1.2～1.5mの高さに設置する。マイクロホンには、ウインドスクリーンを被せる。測定にあたってはレベルレコーダを接続し、風雑音の影響をチェックする。

#### (2) 1/3 オクターブバンド音圧レベルの測定

1/3 オクターブバンド音圧レベルの測定には、1/3 オクターブバンド分析器を用いる。周波数分析機能付きの低周波音レベル計を用いる場合は低周波音レベル計の分析器を用いる。その際、動特性はSLOW（時定数1秒）とする。

#### (3) G特性音圧レベルの測定

低周波音レベル計の周波数補正特性を G 特性音圧としてメーターの目盛を読取るか、レベルレコーダに記録されたレベル波形を読取る。その際、動特性は SLOW（時定数 1 秒）とする。

#### (4) その他

工場等多数の発生源が稼働していて苦情の原因となる発生源の特定が必要な場合、可能であれば個々の機械を一つずつ順番に稼働・停止させて測定を行う。なお、問題となる発生源の特定や対策のための測定など、詳細な周波数分析を必要とする場合には狭帯域分析器（FFT 分析器等）を用いる場合がある。

### 3.4 現場測定における注意事項

#### (1) 風の影響

低周波音の測定では、風の影響を強く受ける。レベル変動の少ない低周波音や衝撃性・間欠的な低周波音では、風の吹いていない合間をぬって測定を行う。風で対象とする低周波音の存在がはっきりしない場合や、大幅かつ不規則に変動する低周波音では、原則として、風が強いときは低周波音の測定は中止する。

#### (2) 暗騒音の影響

測定時、暗騒音には十分注意を払う。

#### (3) 現場状況の把握

調査員は周辺の状況を詳細に観察する。家屋内では定在波発生の有無も確認する。

#### (4) 発生源側と受音側の対応および苦情者の反応と物理量の対応

測定にあたっては、発生源側と受音側の対応（音圧レベル変化、周波数特性等）や苦情者の反応と物理量の対応関係に十分注意を払う。

### 3.5 結果の導出方法

#### (1) 変動の少ない低周波音

音圧レベルの変動幅が 5dB 以内程度の場合には、30 秒～1 分程度のパワー平均値を測定する。

#### (2) 変動する低周波音

対象の低周波音による指示値が大きくなる時に注目し、そのときの最大値を 10～20 回程度測定しパワー平均する。

#### (3) 単発的又は間欠的に発生する低周波音

発生時の最大値を測定する。間欠的に発生する場合は、発生ごとの最大値を測定しパワー平均する。

## 4. 低周波音の影響

### 4.1 低周波音の閾値、心理的反応

#### 4.1.1 低周波音の閾値

低周波音の閾値については、英国サルフォード大学のグループの研究が良く知られている。彼らは1.5～100Hzの周波数範囲について各種の条件で最小可聴値(threshold of hearing)(最小感覚閾値、閾値、可聴閾値も同じ意味である)の測定を行い、NPL(英国物理学研究所)の結果とも合わせて検討した。その中で彼らは、ヘッドセットによる片耳または両耳の最小可聴値と、密閉された低周波音測定室の中で測定された全身暴露による最小可聴値を比較している。その結果、ヘッドセットによる片耳の最小可聴値から3dBを引いた値を両耳の最小可聴値の推定値とすると両耳の測定結果と良く一致し、このヘッドセットによる両耳の最小可聴値は全身暴露による閾値とも一致した。これに15.5Hzの92dBで交わる2つの回帰直線を当てはめ(Yeowart & Evanceの一般化閾値曲線)、10Hzで100dBを通り、15.5Hz以下で直線の勾配が-12.3dB/oct.に、15.5Hz以上で直線の勾配が-22.2dB/oct.となることを報告している<sup>1)</sup>。超低周波音の評価特性であるG特性(ISO7196:1995)はこの一般化閾値曲線を根拠としたものであり、20Hz以下で12dB/oct.の特性をもち、平均的な人が知覚できるのはG特性音圧レベルが100dBであると記されている<sup>2)</sup>。

しかし、その後、ISOによる最小可聴値の見直しが行われ、ISO 389-7:1996が示された<sup>3)</sup>。この閾値曲線は上述の一般化閾値曲線よりレベルが低く、両者は一致しないが、被験者が20代前半で、暗騒音が十分に低く抑えられている場合には、20Hz～100Hzの低周波音の最小可聴値はISO389-7:1996で代表されるとするのが妥当と考えられる。なお、デンマークのオールボー大学では、20～25歳で聴力正常な被験者を対象に、測定法を統一して、20～100Hzについて標準的な無響室における測定と、密閉された低周波音測定室における測定を行って両方の測定値を比較しているが、殆ど変わらない結果が得られている<sup>4)</sup>。

20Hz以下の超低周波音については、国内でも多くの測定結果が報告されている。それらは一般化閾値曲線よりやや低い傾向にあるが、5～20Hzの周波数帯域での感度勾配はほぼ-12dB/oct.前後となっている<sup>5)</sup>。しかし、レベルについては、測定環境や測定方法の違いもあってばらつきが大きい。その中で、昭和59年に出された環境省(当時の環境庁)の調査報告書に紹介されている時田らの実験結果は、20Hz以上でISOの閾値曲線と良く一致しており、測定結果の信頼性は高いと考えられるが、これによれば10Hzの閾値は93dBとなっている<sup>6)</sup>。最

近では諸外国の報告においても（5章参照）、ドイツの基準に見られるように、10Hzの閾値は95dB前後としているものが多い<sup>7)</sup>。またオランダでは、苦情者の平均年齢が54歳であったところから、50歳代の閾値を測定し、その10パーセント値（たとえば、苦情者が100人とすれば、感度の良いほうから数えて10番目の人の閾値）を基準値として採用しているが<sup>8)</sup>、この曲線も図4.1に示すように類似の特性を示している。

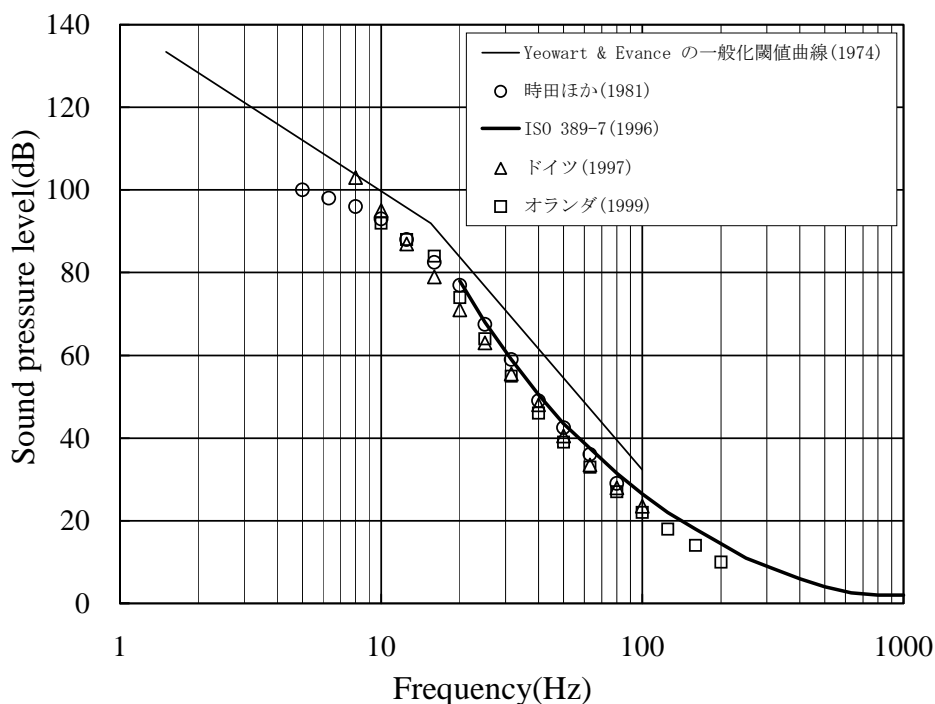


図 4.1 低周波音の閾値曲線

超低周波音の閾値を最小可聴値という言葉がふさわしいかどうかには疑問が生じるが、これまでのところ、20Hz以下の超低周波音の場合にも最も敏感な感覚は聴覚であると考えられている。その理由としては、1Hz以上で両耳からの音が融合して聞こえること<sup>9)</sup>、前述のヘッドセットによる片耳の閾値から3dBを引いた値や両耳の閾値と全身暴露の閾値が一致すること、高度難聴者が超低周波音域で大幅な閾値上昇を示すこと<sup>10)</sup>、頭や胸、腹などの体表面で振動感覚が生じる音圧レベルは最小可聴値より10dB程度上かそれ以上であるという実験結果<sup>11)</sup>などが挙げられる。従って低周波音の場合も、1Hz以上の超低周波音を含めて、最小可聴値を閾値とみなして差し支えないと思われる。しかしながら、感覚的

印象としては、特に 20Hz 以下の音は通常の連続的な音とは異なり、音波の位相に応じて大きさが変動し、顔や頭部の圧迫感や振動感としても感じられるという特徴がある。このため、判断基準や提示時間によって測定値に違いが生ずる可能性はあるが、その差は小さいと考えられている。

しかし苦情現場からは、平均的な閾値レベル以下で低周波音が知覚されるとの訴えがあることがしばしば報告されている。この中には、低い周波数ほど感知しにくいという閾値特性を考慮せずに、平坦特性で見た物理的なピーク成分を問題にしているケースも見られる。つまりより高い周波数部分の音が聞こえていることを、グラフ上ピークを示している低周波音の部分が聞こえていると誤解するケースである。他方、閾値曲線には個人間や個人内でバラツキがあり、平均値としての閾値曲線のみによらず、その統計的性質を踏まえた評価が必要なことも事実である。特に個人内における閾値の psychometric function(心理物理測定関数；閾値の確率分布関数)については、これまでに報告された例が無く、今後こうした基礎データを標準的な測定法によって整備していくことが要望される。また、複合音の閾値については、純音の閾値曲線によってほぼ評価できると判断される報告があるが<sup>12),13)</sup>、特殊な場合に閾値が低下する可能性も指摘されている<sup>14)</sup>。このため、実音あるいはそれに近い模擬音を対象とした実験によって、閾値曲線の実音への適用可能性を検証しておくことも必要であろう。

#### [参考文献]

- 1)Yeowart, N.S. “Thresholds of hearing and loudness for very low frequencies”, In Tempest, W. (Ed). “Infrasound and Low Frequency Noise”, Academic Press, pp. 37-64(1976)
- 2)ISO 7196. “Acoustics - frequency-weighting characteristic for infrasound measurements” (1995).
- 3)ISO 389-7. “Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment -Part 7:Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions” (1996).
- 4) Lydolf, M, Møller, H. “New measurements of the threshold of hearing and equal-loudness contours at low frequencies”, Proc. 8th Int. Meeting on Low Freq. Noise & Vib. pp. 76-84(1997).
- 5)時田保夫：低周波音の評価について，日本音響学会誌，41(11)，pp. 805-812(1985).
- 6)環境庁大気保全局：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—，p. 21(1984).
- 7)Gottlob, D.P.A. “German standard for rating low-frequency noise immissions” ,



INTERNOISE 98 (1998).

- 8) van den Berg, G.P. & Passschier-Vermeer, W. “Assessment of low frequency noise complaints”, INTERNOISE 99, pp.1993-1996(1999).
- 9) von Bekesy, G.. “Experiments in Hearing”, McGraw-Hill, pp.257-261(1960).
- 10) Yamada, S., Ikuji, M., Fujitaka, S., Watanabe, T. and Kosaka, T.: “Body sensation of low frequency noise of ordinary persons and profoundly deaf persons”, J. Low Freq. Noise & Vib. , 2(3), pp.32-36(1983).
- 11) Takahashi, Y., Kanada, K. and Yonekawa, Y.: “The relationship between vibratory sensation and body surface vibration induced by low-frequency noise”, J. Low Freq. Noise, Vib. & Active Control , 21(2), pp.87-100(2002).
- 12) 犬飼幸男, 中村則雄, 多屋秀人: 低周波音の等不快度曲線の推定と生活場面に応じた許容限界音圧レベルについて, 日本音響学会講演論文集, pp.785-786(2001.3).
- 13) Matsumoto, Y., Takahashi, Y., Maeda, S. Yamaguchi, H., Yamada, K. ” An Investigation of the perception thresholds of complex low frequency noises: influence of spectrum”, Proc. of 10<sup>th</sup> International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration, 1-10(2003).
- 14) Watanabe, T., Yamada, S.” Study on perception of complex low frequency tones”, J. Low. Freq. Noise, Vib. & Act. Cont., 21(3), pp123-130(2002).

#### 4.1.2 低周波音の心理的反応

人の騒音に対する心理的反応が「音の大きさ」の増大にともなう「うるささ」や「やかましさ」であるのに対して、低周波音に対する心理的反応の特徴はそれと同時に「圧迫感・振動感」を伴うことである。特に50Hz以下では「やかましさ」よりも、音の「圧迫感・振動感」が優位に現れ、50Hz以上でも音圧レベルが高い場合には、この感覚が優位になると報告されている<sup>1)</sup>。低周波音域では全域にわたってこれらが混在し、周波数によってこれらの感覚的要素の相対強度が変化する。この総合的な評価量としては、「不快度」が妥当であるとする報告があり<sup>2)</sup>、低周波純音の定量的な不快度予測手法が提案され、同時に居間や寝室などの生活場면을仮定して測定された許容値（許容できる最大音圧レベル）との関連が報告されている<sup>3)</sup>。これによれば、この許容値は生活場면을限ればほぼ一定の不快度に対応し、「居間」や「寝室」ではかなり低い不快度で許容値に達することが報告されている。これは、「長時間の継続音」を仮定し、「あまり気にしないで我慢できる最大レベル」を測定したものであるが、その結果として得られた「居間」や「寝室」の許容値は、中村ら<sup>1)</sup>の「気になるレベル」に

非常に近い特性となっている。

一方、ISOにおいて可聴音域の純音のラウドネス（音の大きさ）を対象に、等ラウドネス曲線の見直しが行われており、最近になってISO/FDIS 226が提案された<sup>4)</sup>。この等ラウドネス曲線は、縦軸に音圧レベルをデシベル値で取り、横軸に周波数を対数値で取って、周波数が異なっても同じラウドネスとなる音圧レベルをつないだ曲線群であるが、その一部を抜粋し、上記の等不快度レベルや許容値を重ねて図4.2に示した。不快度や許容値の特性は等ラウドネス曲線にかなり似ているが、曲線の傾きや曲率にやや違いがあり、たとえば「居間」、「寝室」、「オフィス」の許容値は20 phon（周波数が1000Hzで音圧レベルが20dBの音と同じ大きさに聞こえると判断された音の大きさのレベル）の等ラウドネス曲線のレベルに近く、許容値の曲線の形状は40 phon（周波数が1000Hzで音圧レベルが40dBの音と同じ大きさに聞こえると判断された音の大きさのレベル）の等ラウドネス曲線に近い。

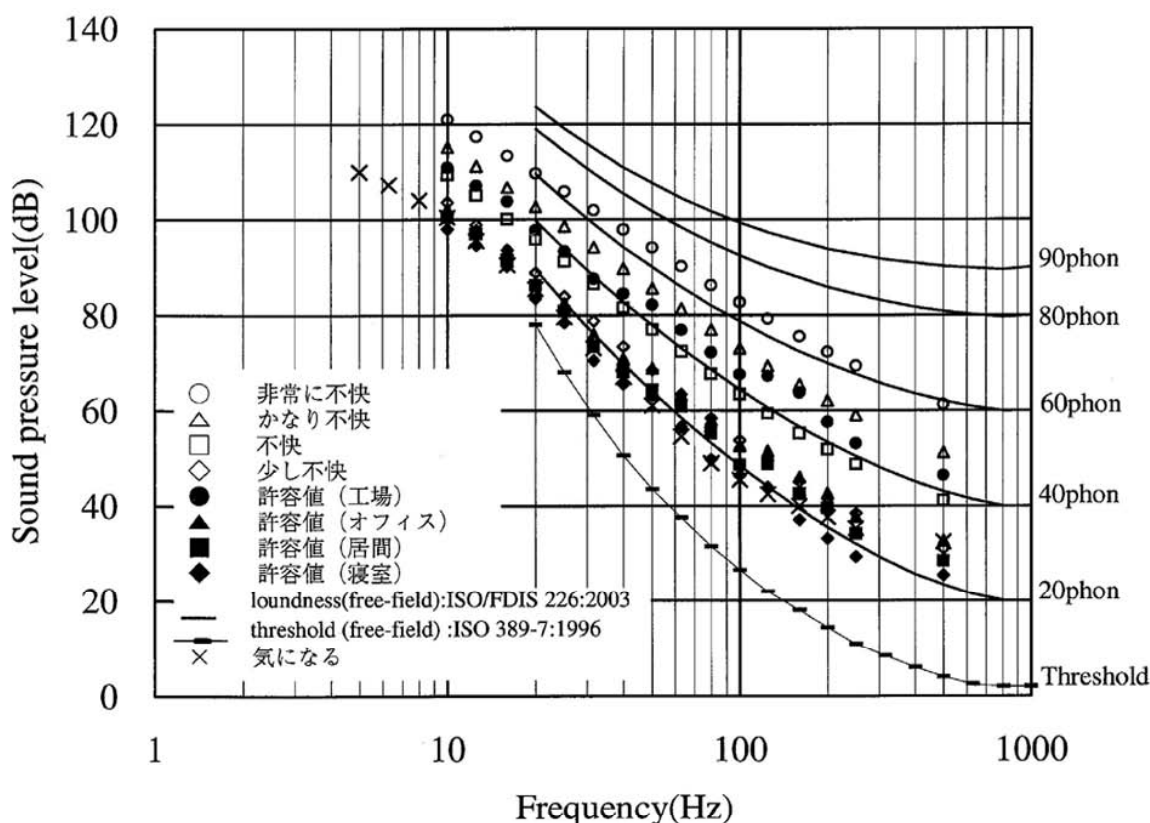


図4.2 低周波音の気になるレベル<sup>1)</sup>、等不快度レベル<sup>3)</sup>、生活場面別の許容値<sup>3)</sup>、閾値曲線及び等ラウドネス曲線<sup>4)</sup>

ただし、ここで注意が必要なのは、これらのデータがいずれも多数の人間の平均値で代表されている点である。実際には個人差があるので、その分布の標準偏差を考慮しなければならない。他方、この許容値については、高齢者や苦情者を対象にした測定も行われており、高齢者の場合には閾値や許容値が上昇すること<sup>5)</sup>、苦情者の場合には「居間」の許容値が閾値とほぼ同レベルになること<sup>6)</sup>、などが報告されている。また、「居間」の許容値の5～10パーセンタイル値（たとえば、対象者が100人の場合、許容値が一番低い人から数えて5番目～10番目の人の許容値）は、ヨーロッパ諸国の推奨基準（5章参照）にほぼ対応し、一般成人と苦情者の差も小さいことが報告されている<sup>7)</sup>。この場合、騒音レベルで20dB(A)前後の値となっている。これらの許容値は、いずれも日本人を対象にして測定されたものであるが、諸外国の推奨基準ともよく整合する結果が得られている。ただ、発表例が限られているので、サンプル数を増して統計的安定性を向上させることが望まれる。

低周波音の場合、卓越した周波数成分が問題になることが多く、その場合には上述の純音についての実験結果が適用できる<sup>8)</sup>。しかし、卓越成分がない場合については、ドイツの基準のように一般の騒音基準で対応する方法も考えられるが、複合効果が問題となるとの報告もあり<sup>9),10)</sup>、今後検討を要する課題である。

#### [参考文献]

- 1) 中村俊一, 時田保夫, 織田 厚: 低周波音に対する感覚と評価—「低周波音計」設計のための基礎的考察—, 音響学会騒音研究会資料, N-8109, pp. 15-24(1981).
- 2) Nakamura, N. Inukai, Y. " Proposal of models which indicate unpleasantness of low frequency noise using exploratory factor analysis and structural covariance analysis" , J. Low Freq. Noise, Vib. And Act. Cont. 17(3), pp. 127-131(1998).
- 3) Y. Inukai, N. Nakamura, H. Taya: "Unpleasantness and acceptable limits of low frequency sound" , J. Low. Freq. Noise, Vib. & Act. Cont., 17(3), pp135-140(2000).
- 4) ISO/FDIS 226. "Acoustics-Normal equal-loudness level contours" (2003).
- 5) 犬飼幸男, 多屋秀人: 高齢者における低周波音の閾値, 不快感, 許容限度について, 日本騒音制御工学会講論集, pp. 169-172(2001. 9)
- 6) 犬飼幸男, 多屋秀人, 山田伸志: 騒音被害者における低周波音の感覚閾値及び許容音圧レベルについて, 日本騒音制御工学会講論集, pp. 23-26(2002. 4)
- 7) 犬飼幸男, 多屋秀人: 低周波音に対する日本人の許容限度評価特性とヨーロッパ諸

- 国のガイドラインについて，日本音響学会講演論文集， pp. 901-902 (2003. 3)
- 8) 犬飼幸男，中村則雄，多屋秀人：低周波音の等不快感曲線の推定と生活場面に応じた許容限界音圧レベルについて，日本音響学会講演論文集， pp. 785-786 (2001. 3)
- 9) Watanabe, T., Yamada, S. ” Study on perception of complex low frequency tones” ,  
J. Low. Freq. Noise, Vib. & Act. Cont., 21(3), pp123-130 (2002).
- 10) Matsumoto, Y., Takahashi, Y., Maeda, S. Yamaguchi, H., Yamada, K. ” An  
Investigation of the perception thresholds of complex low frequency noises:  
influence of spectrum” , Proc. of 10<sup>th</sup> International Meeting on Low Frequency  
Noise and Vibration, 1-10 (2003).

## 4.2 低周波音による生理的影響

### 4.2.1 低周波音の生理的影響に関する文献調査

生理的影響は、要因への曝露時に発生し、曝露終了とともに退失するもの（可逆的な影響）と、継続的な曝露により曝露が終了しても影響が存続するもの（不可逆的な影響）に分けることができる。曝露時の心拍数や呼吸数、あるいは皮膚電位反射（GSR）の変化などは前者であり、慢性的なストレスにより胃や心臓、さらに脳の組織に障害を及ぼすことになれば後者ということになる。本項では、低周波音曝露と生理的影響との関連を検討したこれまでの知見をレビューするものである。

レビューするにあたっては、

- 1) 各国のガイドラインまたはそこに引用されている文献
- 2) 過去のわが国の研究報告書
- 3) 医学文献データベースおよびデータベース未収録の関連雑誌掲載論文を対象とし、特に低周波音がヒトの生理的影響を引き起こすレベルについて着目し調査を行った。

#### (1) 各国のガイドライン

低周波音規制に関するガイドラインとしてポーランド、スウェーデン、オランダ、デンマーク、ドイツ、アメリカの6カ国のものを対象として挙げられた。以下にそれぞれのガイドラインにおいて低周波音の生理的影響に関する記述を簡単にまとめる。

##### 1) ポーランド

ポーランドでは1986年にPN-86/N-01338が低周波音の職業性曝露の基準を定めているが、Pawlaczyk-Luszczynskaらが2000年に新しい提案をJournal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control誌（以下J. Low. Freq. Noise, Vib. & Act. Cont.と略記する）に掲載している<sup>1)</sup>。著者らはこの提案をするにあたっては「低周波音の人への影響に関する過去の知見の徹底的分析に基づいて」行ったとしている。ガイドラインでは、低周波音の知覚は聴覚と振動覚によりなされるとした上で、振動による知覚は聴覚より高い音圧が必要としている。低周波音による健康影響としてはアノイアンス（いらいら感）をまず挙げており、このアノイアンスは知覚されることにより生ずるため、聴覚閾値より高い音圧が必要としている。また、体幹、胸部、咽頭などへの共鳴作用による呼吸器障害などは、ずっと高い音圧によって生ずるとしている<sup>2,3)</sup>。

低周波音による生理的機能の低下についてLandstromらの一連の論文<sup>4~7)</sup>を引用している。この生理的影響は網様体賦活系と視床下部の関与があるとして

いるが、この影響は聴覚閾値以上のレベルで生ずるということが、聾の被験者を用いた実験により確かめられている。また、低周波音の知覚には聴覚よりも前庭部が重要であり、さらに中枢神経系を通して自律神経系への影響が生じる可能性があるというロシアの研究も引用している<sup>8)</sup>が、音圧レベルについては明記されていない。

#### 2) スウェーデン (SOSFS 1996:7/E)

1996年に出された室内騒音と大音圧レベル騒音に関するガイドラインである。この中に低周波音による影響に関する章を設けている。その中で、低周波音による影響として、疲労感と可逆的な集中力の低下を挙げており、聴覚閾値よりやや上で起るとしている。引用文献についての記載は見当たらない。

#### 3) ドイツ (DIN45680)

近隣における低周波音の受信側における測定と評価についてのもの。生理的影響についての記述はない。

#### 4) オランダ

オランダの環境・住宅省の依頼により行った調査結果を示している。聴覚閾値とアノイアンスの関係から基準値を提案している。生理的影響には言及していない<sup>9)</sup>。

#### 5) デンマーク

1997年に定められたガイドラインを2001年のJ. Low Freq. Noise, Vib. & Act. Cont. に紹介したものである。この中で「聴き取れない低周波音は煩わしさの原因とはならず、他の健康影響をも生じないと信じられている」とし、聴覚閾値をもとに推奨値を定めている。生理的影響については一切言及していない<sup>10)</sup>。

#### 6) アメリカ (ANSI S12.9-1996-Part4)

アノイアンスについての記述のみで生理的影響についての記述はない。

### (2) 環境庁低周波空気振動関係報告書

昭和51年度より昭和63年度にかけて毎年度に調査が報告されている。その中から睡眠影響を含む生理的影響についてのみを抜粋し以下にまとめる。

#### 1) 睡眠影響

睡眠影響については昭和55年度から昭和60年度まで計4回実施され、それらを昭和61年度の報告書で総括している。計4回の実験はいずれも曝露室内で男子学生を就寝させ、その間に各種の低周波音を発生させた時の脳波の変化などをモニターしたものである。浅い睡眠時には10Hz 100dB程度で影響が出ることなどが主な結論であった。

## 2) ストレスホルモン

昭和 57 年度から 3 ヶ年にわたり、90 分間の低周波音実験曝露により曝露前後の被験者の尿中ホルモンを測定し、低周波音曝露によるストレス影響を調べている。各年度の研究方法の相違は、曝露する低周波音の特性のみであり、被験者、曝露時間、測定方法などはほぼ同一である。その結果、1) 10Hz, 100dB、2) および 2-20Hz までの周波数成分を有する変動模擬音 16dB 幅 95dB、3) 10Hz, 100dB+可聴音のいずれでも尿中ストレスホルモン分泌への影響は認められなかった、としている。

以上のように、環境庁の過去の研究は、各種の低周波音短時間曝露による急性、一過性の生理的变化に着目したものであった。そしてその結果は正常者への曝露においては感覚閾値程度では顕著な影響が認められないことを示すものであった。また、研究報告においては、その他の国内外の研究による知見についての引用はなかった。

## (3) 医学文献レビュー

本文献調査では低周波音による健康影響を医学的な観点から科学的に評価することを目的とし、使用する文献データベースとして 1) 医学文献の世界最大のデータベースである MEDLINE、2) わが国最大の医学文献データベースである医学中央雑誌、さらに、これらのデータベースには収載されていないが、低周波音に関する文献を多数掲載している英国の雑誌である Journal of Low Frequency, Noise and Vibration (1997 年より Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control と改名) より有用と思われる論文をハンドサーチにて適宜使用した。対象は 1984 年以降に英語または日本語で発表された人を対象とした論文とした。

文献レビューの結果、これまでの知見は全体としては低周波音による生理反応あるいは影響は聴覚・感覚閾値以下では起りにくいことを示唆するものであるが、そのことの強い根拠を示したものはまだないといえる。今後、このリサーチ課題に対し明確に答え得るような、より良くデザインされた調査・研究の実施が望まれる。

なお、文献レビューの詳細は巻末資料に掲載した。

## (4) 考察およびまとめ

健康影響を予防するための低周波音の曝露許容値を設定することを念頭におき、生理的影響を認める低周波音曝露レベルに関するこれまでの知見を各国のガイドラインおよび、わが国の環境庁の研究報告、さらに雑誌等に発表された

医学文献から収集した。各国のガイドラインの中ではポーランドの職場における許容基準に関する提案が、生理的影響についてもっとも広範にレビューしているが、「感覚閾値以下では生理的影響は認められない」という説を支持している。その他のガイドラインもすべて感覚閾値をもとに基準を定めており、生理的影響について言及しているものはわずかであった。また、生理的影響の種類については、一過性、可逆性の生理反応（脳波、心拍数、呼吸数、皮膚電位反射など）または自覚症状（倦怠感、覚醒の低下）についてのみであり、慢性曝露による不可逆的な生理影響を検討したものはなかった。

#### 4.2.2 生理的影響のまとめと今後の検討

人間は、騒音、振動などの環境因子によって、心身へ様々な影響を受ける。低周波音が人体へ有効刺激となって作用すると、人間の感覚受容器からの信号が脳の中樞、すなわち大脳辺縁系、自律神経系、下垂体系を介して各器官へ伝達され生理反応を引き起こす。この反応は、人間の生体恒常性（ホメオスタシス）の維持に対する一種の防衛反応（ストレス反応）であるといわれている。人体は、外的刺激に対してある程度のレベル（音の大きさなど）まで適応することができるが、過度になれば身体は不調を来すことになる。また、生理反応の度合いは、健康度、年齢、個人差などによっても影響される。そこで、低周波音の大きさ（物理量）と生理反応との関係については、通常的生活を営む過程におけるような反応程度なのか、人体へ好ましくない影響（例えば、低周波音曝露が終了しても影響が存続するような不可逆的な生理的反応）なのかということを学問的視野にたって解明する必要がある。

これまで得られた知見の多くは、低周波音の周波数や音圧レベルなどの物理量と心理的・生理的な人体反応との関係、並びに苦情との関連からその影響について検討している。

生理的な影響(苦情を含む)の主なものは、イライラする、頭痛、頭重、息苦しい、耳・胸・腹部の圧迫感、全身違和感等である。これらは自律神経失調による不定愁訴的症状に類似するものが多く訴えられている。しかし、その要因が低周波音によるものかの見極めが大切であり、その方法論が確立しているとは言い難い。

また、心理的な情動変化が、自律神経系の支配する自律性機能に影響を及ぼすこともあり、生理的反応と心理的反応は密接に関連している。

生理的影響に関する内外の研究は、おもに実験室的研究から定常低周波音（圧力場）について求め、自律神経系への影響を論じているものが多い。その検討項目は、循環器系、呼吸器系等への反応や神経系（脳波）、内分泌系、電気生理学的反応（眼振等）および睡眠影響等である。

これまで人体影響の調査研究は、昭和 51 年から環境庁を始め、大学ならびに



研究機関において行われてきた。その実験条件としては、周波数 2~100Hz 程度、音圧レベル 50~120dB、低周波曝露時間数分~1 時間程度、被験者は 20 歳前後の健常者である<sup>11~14)</sup>。

その結果として、4.2.1 の文献調査にも一部述べられているが、表 4.1 に示されるような、機能的な生理的反応（可逆的な影響）は認められるものの、人体へ好ましくない影響をもたらすレベルまでは明確になっていない。

表 4.1 低周波音曝露による生理的反応

循環器系	心拍数減少または増加 収縮期血圧減少（血圧低下）
呼吸器系	呼吸数の軽度の減少または増加 呼吸波形変化（呼吸深さ，基線動揺）
神経系	脳波：α波，β波，θ波の振幅増加や閾値レベルでα波の振幅減少
内分泌系 (ストレス反応)	定常純音：尿中アドレナリン，ノルアドレナリン， ドーパミン，17-OH コルチコイド，有意な変化なし 2-20Hz 変動模擬音 ( $L_{50}=95\text{dB}$ ，変動幅 16dB，90 分曝露)： アドレナリン/クレアチニン，ドーパミン/クレアチニンの有意な増加
その他(電気生理学的反応)	眼振の出現や消失 まばたき数の増加
睡眠影響	睡眠深度の浅度化または覚醒反応の出現

超低周波音による生理的影響を現さない限界について Johnson<sup>15)</sup> の提案 (0.2Hz 140dB、2Hz 130dB、20Hz 120dB の交わる直線以下は生理的影響なし) があるが、これは音圧レベルの高い場合の影響であって、一つのクライテリアを与えるものと思われるが、生活環境に存在するような低周波音の影響評価に適用し難いものとする。

これまでの調査研究によれば、一般住空間における低周波音のレベル程度では、病的な影響を引き起こす直接的な要因となる可能性は少ないものと思われる。

#### ・睡眠影響

脳波を指標として、低周波音の曝露が睡眠状態にどのような変化を及ぼすかを、睡眠深度 I、II、III、REM の 4 段階の状態について調べた。その結果、睡眠深度 I（浅い眠り）の状態では、20Hz-110dB、40Hz-90dB において全例（被験者

数 40 例、低周波音の環境は圧力場での実験) が覚醒した<sup>12,16)</sup>。睡眠深度が深くなるとその傾向は少なくなる。超低周波音の場合、覚醒傾向(覚醒や睡眠深度の浅度化)が見られるのは、10Hz-100dB、20Hz-95dB あたりからである。これを G 特性音圧レベルに換算すると各々 100dB、104dB となることから、G 特性音圧レベル 100dB が影響の出始める目安と考えられる<sup>14)</sup>。すなわち、感覚閾値を超える音圧レベル程度の低周波音により、睡眠が浅くなることや目が覚めるなどの影響を考慮する必要がある。

以上、各国のガイドライン並びに過去の研究報告から生理的影響の見直しや得られた知見をまとめた。

この分野の研究により、多くの点が明らかになったが、生理的影響と生理的反応の考え方、心理的に低周波音の「存在がわかる」、あるいは、「気になる」ということと生理的影響との関係など、生理的反応と生理的影響との関連について今後の検討が必要である。

#### [ 参考文献 ]

- 1) Pawlaczyk-Luszczynska, Kaczmarska-Kozłowska A, Augustynska D, Kamedula M. Proposal of new limit values for occupational exposure to infrasonic noise in Poland. *J. Low Freq. Noise, Vib. & Act. Cont.* 19(4), 183-193, 2000
- 2) Evance MJ. Physiological and psychological effects of infrasound at moderate intensities, in: *Infrasound and Low Frequency Vibration*, ed. By Tempest W, London Academic Press, Great Britain, 97-113, 1976
- 3) Johnson DL. The effects of high level infrasound, *Proceedings of Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, 7-9 May 1980, Aalborg, ed. By Moller H. and Rubak P. Aalborg University Press, 47-60, 1980
- 4) Landstrom Ulf, Liszka L, Danielsson A, et al. Changes in wakefulness during exposure to infrasound. *J. Low Freq. Noise & Vib.* 1(2), 79-87, 1982
- 5) Landstrom Ulf, Landstrom R, Bystrom M. Exposure to infrasound-Perception and changes in wakefulness. *J. Low Freq. Noise & Vib.* 2(1), 1-11, 1983
- 6) Landstrom Ulf. Laboratory and field studies on infrasound and its effects on humans; *J. Low Freq. Noise & Vib.* 6(1), 29-33, 1987
- 7) Landstrom Ulf, Pelmeur PL. Infrasound-A short review. *J. Low Freq. Noise & Vib.* 12(3), 72-74, 1993
- 8) Izmerov NF, Suvorov GA, Kuralesin NA, Ovakimov VG. Infrasound: body's effects and hygiene regulation, *Vestnik Rossooskoi Akademii Meditsinskich Nauk* 7, 39-46, 1997 (Russian)

- 9) Vercammen MLS. Setting limits for low frequency noise. *J. Low Freq. Noise & Vib.*, 8(4), 105-109, 1989
- 10) Jakobsen J. Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration. *J. Low Freq. Noise, Vib. & Act. Cont.*, 20(3), 141-148, 2001
- 11) 環境庁大気保全局：昭和 52 年度低周波音空気振動等実態調査（低周波空振動の生理学的影響に関する研究）報告書、昭和 53 年 3 月
- 12) 環境庁大気保全局：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—、昭和 59 年 12 月
- 13) 日本騒音制御工学会・技術部会：技術レポート第 7 号（低周波音の測定と評価について）、低周波音暴露による生理反応について (pp. 47-58)、1987
- 14) 日本騒音制御工学会：平成 9 年度環境庁委託業務結果報告書「低周波音影響評価調査」、平成 10 年 3 月
- 15) Johnson, D.L. : Auditory and physiological effects of infrasound, *Proceedings of the inter-noise 75*, pp. 475-482, 1975
- 16) 山崎和秀、時田保夫：低周波領域音波の睡眠に対する影響、*日本音響学会講演論文集*、pp. 423-424、1982

### 4.3 低周波音による物的影響

低周波音による苦情の中で特徴的なのが物的苦情である。物的苦情は、音を感じないのに戸や窓がガタガタする、置物が移動するといった苦情である。建具のがたつきや置物の移動は、低周波音が空気中を伝わり、建具や置物を振動させることにより発生する。建具等は各々固有の共振周波数をもっており、共振周波数においては低い音圧レベルで振動しやすいことがこれまでの研究で明らかになっている<sup>1)~4)</sup>。

環境庁では、実験室において建具に低周波音を当てて段階的に音圧レベルを上昇させ、建具のがたつき始める音圧レベルを調べた。図4.3.1に15種類の建具について行った実験結果<sup>1)</sup>を示す。

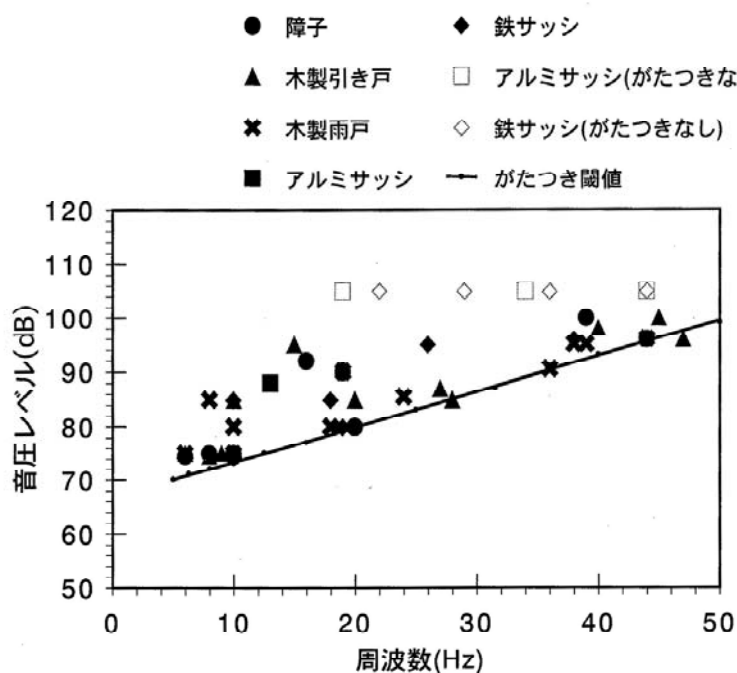


図4.3.1 実験室実験における建具のがたつき始める最低音圧レベル

低周波音による建具のがたつきに関する実験室実験結果によれば、建具は周波数が低いほど小さな音圧レベルでがたつきやすく、揺れやすい建具ではおよそ5Hzで70dB、10Hzで73dB、20Hzで80dBあたりからがたつき始めるという結果が得られている。実験に用いた全ての建具のがたつき始める最小音圧レベルの下端を結んだものが「建具のがたつき閾値」(1977)である。

国松ら<sup>5)</sup>は低周波音正弦波入力に対する建具の応答解析を行い、解析結果が「建具のがたつき閾値」と傾向的に概ね一致することを確認している。

その後に行われた 63 種類の建具についての実験結果<sup>6)</sup>を図 4.3.2 に示す。図より、個々の建具によるばらつきは非常に大きく、各周波数における最大と最小の差は 30~40dB であった。図 4.3.1 の実験結果と比較したところ、平均値-標準偏差(S.D.)は、「建具のがたつき閾値」と概ねよい対応を示した。

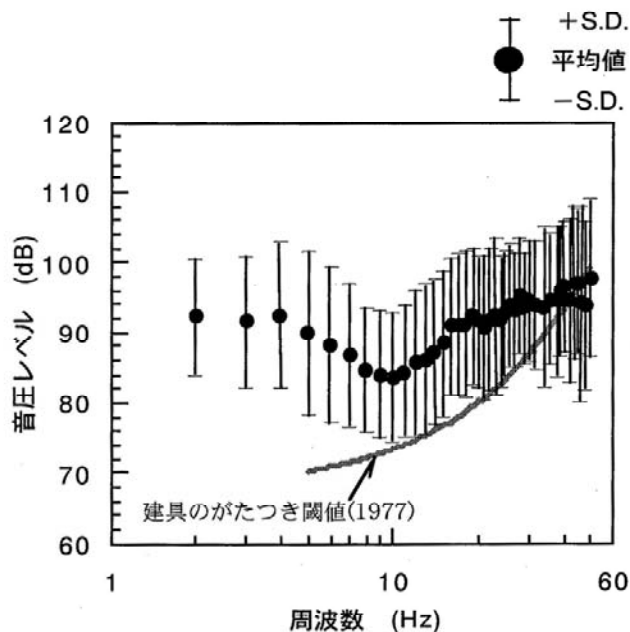


図4.3.2 建具のがたつき始める音圧レベルの  
平均値と標準偏差S.D. (63例)

一方、諸外国では低周波音による物的苦情は非常に少ないことから、建具等のがたつきに関する基準や指針値が定められていないところがほとんどである。しかし、アメリカの測定規格(ANSI S 12.9 -Part4)<sup>7)</sup>の附属書 D に、低周波音による建具のがたつきに関する記載がある。それによると、16Hz、31.5Hz、63Hzの音圧レベルが 75~80dB を超えると、建具のがたつきが発生する可能性があると言われている。アメリカの建具構造や大きさは我が国の建具とは異なるが、アメリカにおける建具のがたつき始める音圧レベルも我国の実験結果と大きくかけ離れてはいない。

平成 7 年度の環境庁全国実態調査結果<sup>8)</sup>や、平成 12 年度の環境庁全国実態調査結果<sup>9)</sup>によると、実験室実験によって求めた「建具のがたつき閾値」(図 4.3.1)前後の音圧レベルから苦情が発生しており、この閾値が物的影響を評価するには概ね妥当なものであると考えられている。

しかし、個々の建具は、建具の種類、大きさ、設置条件、建具背後の部屋の

構成や戸や扉の開閉状況等によって決定される固有の共振特性を持っており、建具のがたつき始める最低音圧レベルは個々の建具により大きく異なる。したがって、観測された低周波音の音圧レベルがいずれかの周波数で「建具のがたつき閾値」を超えても必ずがたつくとは限らないので、注意が必要である。

また、物的苦情が発生している場合、特定の建具ががたつく場合には低周波音による可能性が高いが、全ての建具ががたつくような場合には、地面振動による可能性が考えられる。

なお、衝撃性の低周波音では、変動の少ない低周波音に比べて数 dB～15dB 位大きい音圧レベルでないのがたつきが発生しないという結果<sup>10)</sup>、<sup>11)</sup>もあるが、変動の少ない低周波音の実験室実験や実測調査に比べて調査事例が少なく、現状では十分な数のデータが得られていない。

#### [参考文献]

- 1) 環境庁：昭和 52 年度低周波空気振動等実態調査（低周波空気振動の家屋等に及ぼす影響の研究）報告書
- 2) 山下充康、金沢純一、小見茂光：室の低周波音応答に対する建具の影響、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集、1977. 11、pp. 91～94
- 3) 藤尾昇、森卓支、西脇仁一：超低周波音による窓ガラス振動、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集、1981. 9、pp. 133～136
- 4) 一ノ瀬和宏、神谷治雄、山田伸志：低周波音による窓のガタツキと振動特性、日本音響学会講演論文集、1983. 3、pp. 495～496
- 5) 国松直、井清武弘：DEM による低周波音入力に対する建具応答解析-純音入力に対するふすまの応答-、騒音制御、Vol. 17、No. 6、1993. 12、pp. 36～43.
- 6) 落合博明、田矢晃一：低周波音による建具のがたつき始める音圧レベルについて、騒音制御、Vol. 26、No. 2、2002. 4、pp. 120～128.
- 7) ANSI S 12.9 Part4、Quantities and procedure for description and measurement of environmental sound--Part4: Noise assessment and prediction of long-term community response.
- 8) 落合博明、山崎邦彦、高橋尚人：低周波音の苦情の現状、日本騒音制御工学会第 4 回研究会文集、1998. 3、pp. 5～12.
- 9) 環境庁環境管理大気生活環境室：低周波音全国状況調査結果について、平成 14 年 6 月
- 10) 国松直、井清武弘、今泉博之、今村威、中川祐一：発破による建具のがたつき音発生の音圧レベルについて-測定機器の動特性を考慮した検討、工業火薬、第 52 巻、第 1 冊、1991. 1、2
- 11) 落合博明：衝撃性成分を含む低周波音による建具のがたつき、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、1996. 9、pp. 355～358

#### 4.4 低周波音による影響のまとめ

この章に述べられた低周波音による影響についてのまとめを述べる。

##### (1) 苦情者の最小感覚閾値

苦情者は低周波音に対する感度がいいとよく言われる。しかし、多くの苦情者は年輩であり、若者に比べて感度が低下していることが多い。苦情者の許容限度の値は苦情者個人の感覚閾値と非常に近く、低周波音が知覚されればすぐに許容限度を超す。すなわち苦情者の場合、感度がいいのではなく、低周波音に対する感受性が強いことを示している。

##### (2) 心理反応・心理影響・生理反応・生理影響

低周波音の心理的・生理的反応や影響を調べるために、多くは実験室における短期的実験が行われている。長期的な心理・生理影響を実験室内で行うことは困難であり、苦情現場・職場環境等において低周波音に対する影響を観察することが行われている。

##### (3) 心理反応

低周波音によって圧迫感・振動感等の心理反応を生じたり、通常の騒音と違って室内では違和感・不安感を感じたりする場合がある。多くの実験結果は、ある音圧レベルを超えると低周波音による不快な心理的反応があることを示している。

##### (4) 心理影響

長期的な応答としての心理影響実験を限られたスペースでの実験室内で行うことは、被験者にとって負担が大きいため、通常は行われていない。苦情現場、職場環境での低周波音による心理影響を観察することによる研究が行われている。

実験室で観察される不快感は、低周波音が停止すれば消滅する。しかし、生活環境においてこの不快な状態を続けると、一時的に不快な感じを起こす状態から、継続的にいらいら感・不安感を発生する状態になる。また、苦情者においては、精神的緊張が強く眠りにつきにくい等の影響が観察されることがある。

##### (5) 生理反応

生理反応としての心拍、呼吸数・ホルモン等に何らかの反応があることが、いくつかの実験で示されている。しかし、安定したデータは得難く、その反応の状況は各実験データによって様々である。呼吸数についても低周波音によ

て減少するというデータと苦情者においては増加するというデータがある。低周波音によって何らかの反応があると予想されるが、その作用メカニズムを含めて不明な点が多い。

#### (6) 生理影響

生活環境における低周波音によって、長期的な生理影響としての胃・心臓等への器質的な（病的な）影響が現れるかどうかについては、はっきりしたデータは得られていない。

#### (7) 物的影響

窓ガラスなどの建具が振動し、ガタガタと音を立てる現象は不気味である。低周波音の圧力によって軽い構造体が振動する現象は、物理的な現象としてはっきりしており、このがたつきを防止することは快適な生活環境を維持するために必要である。



## 5. 諸外国のガイドライン

ヨーロッパのいくつかの国で低周波音についてのガイドラインが制定されつつある。主に住宅内において、直接知覚される低周波音に対する推奨基準である。低周波音の最小感覚閾値平均値と標準偏差をもとに推奨基準を決める国と、A特性音圧レベルで推奨基準を決める国とがある。建具等のがたつきについては、低周波音の発生源と家屋が離れていること、日本の建物と違ってヨーロッパの建物はしっかりした構造を持っていること等から、発生することはまれであり、特別な推奨基準は制定されていない。

### 5.1 国際的動向の概要

国際規格 ISO7196 として、20Hz 以下の超低周波音の荷重特性である G 特性が決められている。G 特性は 20Hz 以下の周波数における最小感覚閾値曲線に基づいて決められており、人間が知覚することによる苦情に対応する。評価として何 dB 以下にするかは決められていない。最小感覚閾値のレベルを G 特性音圧レベルに換算すると 90-100dB の範囲と思われる。スウェーデン、デンマークの低周波音研究者は、個人差を考慮して安全側にとり G 特性で 85dB 以下が妥当と考えている。

規制基準として国際的に確定したものはなく、いくつかの国で推奨基準等が決められている。規制基準については、産業職場内についてポーランド 1 国だけが決められている。50Hz 以下の低周波音について、管理・設計等のための良好な環境を保つべき部屋では、4-16Hz で 85dB 以下、31.5Hz で 80dB 以下と決められている。なお、この基準については、見直しの提案がなされている。

産業職場内での推奨基準については、スウェーデンで 2-20Hz について決められている。最小感覚閾値の 5-10dB 上の値である。

住宅内の苦情に対する推奨基準として、スウェーデンでは 31.5-200Hz の範囲を低周波音と考え、低い周波数(31.5-50Hz)では最小感覚閾値に近いレベル以下の値、低周波音でも高い周波数(63-200Hz)では最小感覚閾値より少し高い値以下にすることが推奨されている。

またドイツでは、1997 年 3 月に DIN45680 として、住宅内について、低周波音のガイドラインが決められた。純音成分がある場合は、最小感覚閾値と比較し、純音成分がない場合は、閾値ではなく A 特性のレベルで決められている。

デンマークでは、住宅内の推奨基準として、G 特性で 85dB 以下、10~160Hz の低周波音については、A 特性で評価し、地域によって推奨値が異なっている。

オランダでは、低周波音の苦情者を無くすために、20~100Hz について住宅内の推奨値を決めている。

ポーランドでは、推奨値として 10dB(A)に相当する音圧レベルを用い、バックグラウンドとの差も考慮している。

アメリカでは、1996 年に新しい測定規格 ANSIS12.9-Part4 が制定され、その中で、参考としての扱いであるが、16, 31.5, 63Hz において、75 から 80dB を越す

とはっきりわかる建物のがたつきが発生すると述べられている。日本では、がたつきの発生する最低の音圧レベルは70dB程度とされている。

なお、人間の最小感覚閾値曲線である ISO226 は、1996 年に ISO389-7 (Acoustics-Reference zero for the calibration of audiometric equipment-Part 7, Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions) に改訂されている。新規格において、低周波音域では、1~3dB 程度大きな値になっている。以上の諸外国の推奨基準等を図 5.1 に示す。なおドイツの規格については、いちばん厳しい夜間における推奨基準を示す。

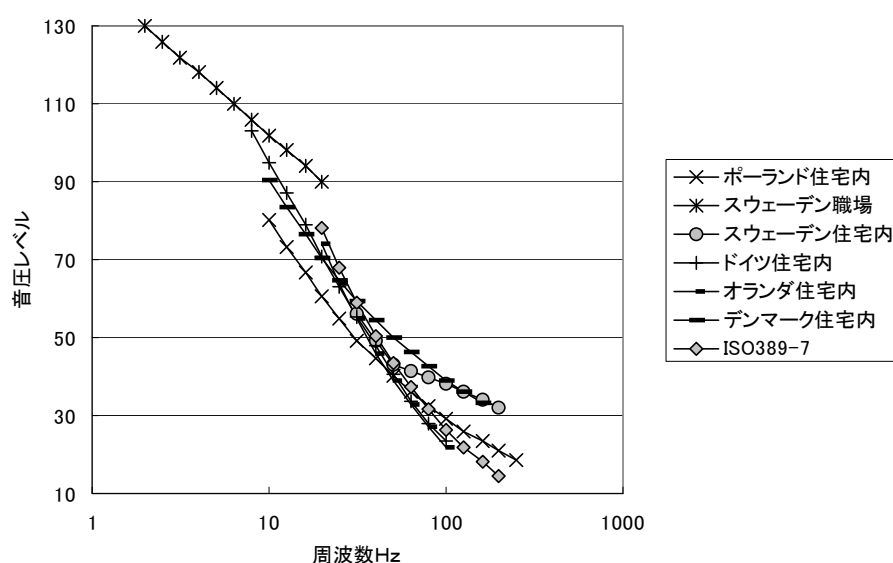


図 5.1 諸外国の低周波音規制基準推奨基準

## 5.2 各国の規制基準・推奨基準

以下にポーランドの規制基準, スウェーデン, ドイツ, オランダ, デンマーク, アメリカの推奨基準の概要を示す。

### (1) ポーランドの規制基準 (産業職場についての規制基準)

Polska Norma, PN-86, N-01338, Infrasonic noise, Admissible sound pressure levels at workplace and general requirements relative to measurements.

産業職場における低周波音の許容レベルが、オクターブバンド中心周波数で示されている。

周波数(Hz)	4	8	16	31.5	
音圧レベル(dB)	110	110	110	105	一般的労働環境
	90	90	90	85	精密作業
	85	85	85	80	管理・設計

(2) スウェーデンの推奨基準 (20Hz 以下の超低周波音の推奨基準)

Buller, Arbetarskyddsstyrelsens kungorelse med foreskrifter om buller samt allmänna råd om tillämpningen av foreskrifterna. (The Industrial welfare board's general advice regarding application of the instructions regarding noise)

スウェーデンの騒音の規格であるが、その中に産業職場内における超低周波音に関する推奨基準も含まれている。下記に推奨レベルを示す。

周波数(Hz)	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20
音圧レベル(dB)	130	126	122	118	114	110	106	102	98	94	90

(3) スウェーデンの推奨基準 (31.5-200Hz までの低周波音)

SOSFS 1996:7E, General Guidelines issued by the Swedish National Board of Health and Welfare, Indoor Noise and High Sound-Levels

室内の低周波音のアセスメントのための推奨レベル (等価音圧レベル) を以下に示す。

周波数(Hz)	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
音圧レベル(dB)	56	49	43	41.5	40	38	36	34	32

(4) ドイツ規格

DIN 45680: Deutsche Norm, 1997.3, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft (Measurement and assessment of low-frequency noise immissions in the neighborhood)

1989 年に North Rhine-Westphalia 地方の低周波音推奨基準が制定され運用

されてきた。今回 1997 年 3 月にドイツ規格として、上記 DIN 45680 が新たに制定された<sup>9)</sup>。

- ・第 1 ステップ：C 特性音圧レベルと A 特性音圧レベルの差が 20dB 以上の場合に、低周波音成分が多い（低周波音）と考える。
- ・第 2 ステップ：次に 1/3 オクターブ分析を行う。音源の稼働時間を考慮して換算した等価レベルを求める。昼間は 16 時間を基準時間長にし、夜間（22:00～6:00）は 1 時間を基準時間長にする。
- ・第 3 ステップ：1/3 オクターブバンドレベルの値を両側のバンドのレベルの値と比較し、5dB より大きければ、卓越した純音成分があると考え、下記の低周波音の感覚閾値と比較する。

周波数	(8)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	(100)
レベル	(103)	95	87	79	71	63	55.5	48	40.5	33.5	28	(23.5)

規制基準ではなく、付属書にあるガイドラインとして、商工業施設に対する以下の規準がある。

純音成分がある場合は、各バンドの透過音圧レベルは、最小感覚閾値と比較して、下記に示す値を超えてはならない。

	8Hz	10～63Hz	80Hz	100Hz
昼間	5	5	10	15
夜間	0	0	5	10

各バンドの最大レベルでは、最小感覚閾値と比較して、下記に示す値を超えてはならない。

	8Hz	10～63Hz	80Hz	100Hz
昼間	15	15	20	25
夜間	10	10	15	20

第 3 ステップで純音成分がないと判定された場合は、閾値曲線との比較は行わず、A 特性を参考に考える。1/3 オクターブ分析結果の各バンドの値を A 特性の補正を行い加算する。ただし、閾値以下のレベルは加算しない。加算されたレベルは下記の表以下のレベルでなければならない。

	等価レベル	最大レベル
昼間	35	45
夜間	25	35

ただし、上記ガイドラインは、発破によって発生する低周波音には適用しない。

(5) デンマークの推奨基準<sup>11)</sup>

“Information from the Danish Environmental Protection Agency no.9/1997” (Miljostyrelsen) として、デンマークの騒音・振動・低周波音に関する推奨基準が出版された。

超低周波音について

超低周波音について許容できるレベルは感覚閾値以下でなければならない。感覚閾値の個人差が 10dB 程度であることを考慮し、超低周波音についての推奨レベル  $L_{p_g}$  は、85dB 以下とする。

10～160Hz 間の低周波音レベルとして、A特性で測定し、 $L_{pA,LF}$  とする。通常の騒音レベルの基準よりも、5～15dB 低い値とする。最小の推奨基準値は、 $L_{pA,LF}=20dB$  は、 $L_{p_g}=85dB$  と近い値である。

推奨値	$L_{p_g}$	$L_{pA,LF}$	通常の騒音基準
住宅内、夕方と夜間	85dB	20dB	30dB/25dB
住宅内、日中	85	25	30 (日中と夕方)
教室・オフィス等内	85	30	40
上記以外の部屋	90	35	50

この限度値は、10 分間の測定で得られた値と比較する。

衝撃的な音の場合は、推奨値は、5dB 減じられる。

部屋の中で3点以上の測定：1点は、壁から1～1.5m 離れ、床上1～1.5m でコーナーの近く、他の2点は、部屋を代表する点で、壁あるいは大きな家具から0.5m 以上離れ、床上、1～1.5m の点。もし、住民がレベルの大きい点を指摘できるなら、その点を測定する。窓は閉めて測定する。もし、住人が窓を開けた方が、低周波音が強いというならば、窓を開けた測定もする。5分以上のデータを平均する。1つの部屋内のデータはエネルギー平均をする。

(6) オランダの推奨基準<sup>10)</sup>

オランダでは、低周波音は知覚されると問題が起こると考えている。苦情者が50～60才の人が多くをを考え、その年齢の人の最小感覚閾値の感度のいい人から数えて、10%目の人の値を基準と考えている。

周波数 (Hz)	20	25	31.5	40	50	63	80	100
音圧レベル (dB)	74	64	55	46	39	33	37	22

(7) ポーランドの推奨基準<sup>1 2)</sup>

(Recommendation No 358/98 of the Building Research Institute, "Assessment of the low-frequency noise in dwelling")

A10 (10dB(A)に相当) カーブは、50Hz 以下では、閾値よりも下にある。研究所で行った実験では、純音の閾値に比べて、多数の純音成分を同時に含んだ場合では、10dB も低くなることもある。

$L_H$  : 低周波音の測定値

$L_T$  : バックグラウンドの値 (音源停止状態)

$$\Delta L_1 = L_H - L_{A10}$$

$\Delta L_2 = L_H - L_T$  : 騒音の音圧レベルとバックグラウンドのレベルとの差

上記について、10~250Hz の 1/3 オクターブバンド全てについて計算する。

A10 のレベル

周波数 (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
音圧レベル (dB)	80.4	73.4	66.7	60.5	54.7	49.3	44.6	40.2

周波数 (Hz)	63	80	100	125	160	200	250
音圧レベル (dB)	36.2	32.5	29.1	26.1	23.4	20.9	18.6

アノイアンスがあると考えられる場合は、

$$\Delta L_1 > 0$$

$\Delta L_2 > 10\text{dB}$  (純音の場合)、 $\Delta L_2 > 6\text{dB}$  (広帯域音の場合)

である。

(8) アメリカの推奨基準

ANSI S12.9-Part4, Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental sound - Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-Term Community Response,

全体は騒音全般に関する規格であるが、低周波音に関する部分のみ紹介する。

Annex B(normative) High-energy impulsive sounds

付録 B : 大音圧衝撃音

規格に付属する規準に近い扱いの部分である。発破などの衝撃音は低周波音成分を含むことが多いので、ここで紹介する。

測定は、硬い面の近くにマイクロフォンを置いたと考えて、C特性で暴露レベル $L_{CE}$ を測定する。次式によって、補正騒音暴露レベル $L_{NE}$ に換算する。

$$L_{NE} = 2(L_{CE}) - 103$$

上式の計数2（2倍）は、103dBを越す衝撃音には、ペナルティを課す考え方である。また次式によって、補正騒音暴露量 $N$ に換算する。

$$N = 10^{0.1(L_{NE}-94)}$$

補正騒音暴露レベルあるいは、補正騒音暴露量で評価する。

Annex D(informative): Sounds with strong low-frequency content

付録D：強い低周波成分を持つ音

規格に付属する情報としての扱いの部分である。強い低周波音成分を持つ音では、16, 31.5, 63Hzにおいて、75 から 80dB を越すとかなりはっきりした建物のがたつきが発生する。

測定は室外で行うが、強い低周波音成分によるアノイアンスは、実際上は、室内だけである。小さな遮音量と室内の共振モードによって、室内と室外では音圧レベルはほとんど同じである。

C特性音圧レベルがA特性音圧レベルを少なくとも10dB以上越したときにこの規準を適用する。

強い低周波音成分を持つ音について、16、31.5、63Hzのオクターブバンドの時間平均音圧の合計から低周波音レベル $L_{LF}$ を求める。

強い低周波音成分を持つ音に対して、補正騒音暴露レベル $L_{NE}$ は低周波音レベル

$L_{LF}$ から以下の式で計算される。

$$\begin{aligned} L_{NE} &= 2(L_{LF}-65) + 55 + 10 \log(T/1) \\ &= 2L_{LF} - 75 + 10 \log(T/1) \end{aligned}$$

ここで、 $T$ は秒で表し低周波音が存在する継続時間である。式の2（2倍）という数字は、低周波音ではアノイアンスが急激に増加することに対応している。またこの式は、低周波音圧レベルが75dBを越すとがたつきが発生し、それによるアノイアンスの増加も含んでいる。

#### [参考文献]

- 1) 低周波音分科会、低周波音測定方法の提案について、騒音制御、16巻4号、pp. 38-43、1992年
- 2) 環境庁、昭和52年度低周波空気振動等実態調査（低周波空気振動の家屋等に及ぼす影響の研究）
- 3) 山田伸志他、低周波音の感覚受容器、騒音制御、7巻5号、pp. 282-284、1983.10
- 4) J. Andressen et al., Annoyance of infrasound, Inter-Noise 83, pp. 819-822, 1983.7

(Including a private letter)

- 5) 山田伸志他、超低周波音と低周波音、環境技術研究協会出版、1984年
- 6) S. YAMADA et al., Psychological combined effects of low frequency noise and vibration, Journal of low frequency noise and vibration, vol.10, No.4, pp.130-136, 1991
- 7) 時田保夫、清水和男、低周波音評価に関する一考察、日本騒音制御工学会技術発表会 講演論文集、pp.131~134、1978
- 8) 犬飼幸男、低周波音評価の周波数荷重特性、日本騒音制御工学会技術レポート、No.7、pp.19~31、1986
- 9) D. P. A. Gottlob, German Standard for rating Low-Frequency Noise Immissions, Proceedings of Internoise 98, 16-18 Nov.1998 in Christchurch. (with CD Rom)
- 10) G.P.van den Berg et al., Assessment of Low Frequency Noise Complaints, pp1-4, Inter-noise 99 in Florida
- 11) Jorgen Jakobsen, Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol.20, No.3, pp141-148
- 12) Marianna Mirowska, Evaluation of Low Frequency Noise in Dwellings. New Polish Recommendation, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol.20, No.2, pp67-74



## 6. 低周波音の対策方法

### 6.1 低周波音対策の基本的な考え方

発生音の低減対策方法としては一般騒音の場合、①発生源対策、②伝搬経路対策、③受音点対策があるが、低周波音は波長が長いため、②、③の対策については、通常の方法ではその効果があまり期待できない。したがって、①の発生源対策が好ましい。

低周波音の対策を考える場合、大切なことは発生あるいは増幅のメカニズムを正しく把握することである。そのためには音響関連技術のみでなく、振動、流体、構造、機械要素等の基盤になる技術の習得、実績に基づくデータベース等が必要になる。

発生メカニズムを明らかにし、機構的、原理的に低周波音が発生している場合は、機構改造等により低減が可能な場合もあるが、基本的には大掛かりになっても消音器、防音エンクロージャ等の二次的対策を取ることが多い。

送風機を用いた装置あるいは系に見られるサージング、旋回失速、偏流など機械の使用法の誤り、調整あるいは設計の不具合による場合はそれらを改善することになる。

音源、伝搬経路、受音者それぞれに対する対策について説明する。

#### (1) 音源対策

発生音を低減させるためには、機械等による強制力の軽減（風車の回転、振動ふるいの振動、アンバランス等による強制的な振動に起因した音の軽減）、波動の吸収（プレスの揃い踏み等波動を吸収するような機構、配置への変更）、共鳴現象の防止、放射効率の低減、燃焼調整、不具合要因の除去など、各々の機械に合った方法がとられる。

二次的対策はダクト系に消音器挿入、機械本体は防音エンクロージャの対策がある。

消音器は、膨張型消音器、共鳴型消音器、サイドブランチ型消音器、アクティブ消音器、アクティブ振動制御等が用いられる。通常騒音の場合には吸音型消音器が広く用いられるが、低周波音に対しては材料の吸音率が小さく、効果が少ない。

音源を密閉する防音エンクロージャの場合、質量則によっては低周波音はあまり遮音されないため、剛性を考慮し、共鳴を防止するような防音カバーを設計する。

低周波音（超低周波音）の主な発生機構とその代表的な発生源および防止技術を整理して表 6.1<sup>1)</sup>に示す。

表 6.1 低周波音(主として超低周波音)の発生機構と代表的機械, 装置, 施設及び防止技術

発生機構と周波数	代表的機械, 装置, 施設	防止技術
①平板の振動	板, 膜等の振動により, 表面に微少な空気の圧力変動が生じ, 低周波音が放射される。振動数に相当する周波数の低周波音が発生する。	大型振動ふるい(類似の振動コルパア, 振動エレベータ, 振動乾燥機等) 大型変圧器, 橋梁, 大型構造物
②気流の振動	気体の容積変化を伴う機械は, 原理的に低周波音(圧力脈動)が発生する。回転周波数(但し, 圧縮機(半星, V, 水平対向), 4サイクルディーゼル機関は回転の1/2)との倍音が発生する。一般的に気筒数倍の周波数が音圧最大ピークになる。	往復式圧縮機, ディーゼル機関(機関使用の発電機, 船舶, バス, トラック等), 真空ポンプ, ルーブローター
③燃焼に関連	燃焼率の時間的変動に起因する自励振動, あるいは空気や燃料の供給系の脈動に起因して発生することがある。缶の形状, 寸法等(共鳴)に関連していることが多い。	燃焼装置(ボイラ, 加熱炉, 熱風炉, 焼結炉等)
④気流の流れに起因	ジェット流などの高速流により直接的に大気に圧力変動を生じることがある。また, 流れの中に物体がある場合, 発生するカルマン渦あるいは流れによる構造物の振動等により発生することもある。ジェットノイズ・カルマン渦は流速÷直径×0.2Hzがピークになる。	ジェットエンジン(搭載の航空機), ガスタービン(使用の発電装置, 船舶等), ボイラの再熱器等
⑤空気の急激な圧縮, 解放	爆発, 発破あるいはトンネルへの高速列車の突入などは直接的に空気の圧力変動が発生することがある。	発破, 砲撃トンネルへの高速での列車の突入
⑥回転翼が空気を与える衝撃	回転数が小さく, 翼枚数も少ない場合は一定の周波数成分(回転数あるいは回転数×翼枚数)を持つ低周波音が発生することがある。	風力発電装置, 冷却塔
⑦その他	・送風機の旋廻失速回転数×0.72(遠心型), 回転数×0.58(遠心型), サージング, アンバランス, 吸込状態の不均一など機械の使用方法が正常でない場合, ダクト内の偏流, 物体の支持方法が適切で無い場合など不具合による。 ・物体の固有振動数, 室あるいは空洞部の共鳴現象等に起因して発生する。	送風機(送風機使用の集じん機, 空調装置等), 道路橋(車の固有振動数, 橋の固有振動数, ジョイント部の段差等に起因する), ダム(水流落下音, 水膜の固有振動数, 空洞部の共鳴等に起因)

## (2) 伝搬経路対策

伝搬経路の対策としては、遮音、吸音、塀、指向性の利用、距離減衰が考えられるが、低周波音に関しては、波長が長いため塀などの回折効果もあまり期待できない。

## (3) 受音側対策

低周波音による建具類のがたつきは音波の周波数と建具類の固有振動数が一致した場合（共振）に起こりやすい。

一般的に木造建具、鉄・アルミ等建具の固有振動数は5~20Hz くらいといわれている。

また、建て付け、部屋の構成、窓・扉の開閉などによってもがたつきが発生する音圧レベルは異なってくる。

このようのがたつきは発生源と受音側の相互関係で発生するため、受音側の条件を変えることによりがたつきを低減させることは十分可能である。なお、建物自体の遮音性も低周波音に関してはあまり期待出来ず、家の中まで伝搬する。

## 6.2 防止技術

### (1) 消音器

低周波音用消音器としては音波の反射、干渉を利用したものが有効である。実際に消音器を設計する場合は、消音計算の他に圧力損失、流れによる再発生音、材料の劣化（流体の種類）、温度、圧力、設置位置等に配慮が必要である。

### (2) 遮音

遮音対策としては発生源である機械などを防音エンクロージャなどで直接覆う方法と、機械などの発生源の設置されたところを遮音材料を用いた建物などで全体を囲む方法がある。実際には熱放射や吸排気の入力口が必要となる。鋼板自体が発生音や振動の影響を受けて再度低周波音を発生する場合があるので注意が必要である。

低周波音の遮音は、質量則（主に可聴域低周波音域）と剛性則（主に超低周波音域）の考えがある。

#### ① 質量則

板状材料の音響透過損失は、音の周波数を一定とすれば板の面密度（単位面積当たりの質量）が大きいほど大きくなる。この関係を遮音に関する質量則という。

## ② 剛性則

共振周波数  $f_0$  以上に対して、壁構造系の共振状態によって複雑に支配される領域があり、さらに、それより低い周波数では壁の剛性のみにより支配される領域がある。この領域の透過損失は板の質量に関係せず剛性のみに関係する。これを剛性則とよぶ。

実際には  $f_0$  は 20Hz 付近にあることが多いので、超低周波音の遮音を考える場合には、まず遮音構造として、できるだけ減衰の大きい、軽量の高剛性構造を使用することが必要である。また、すでに使用されている遮音構造においては、剛性を高める工夫をすることによって減音を増すことができる。低周波音の透過損失の傾向を図 6.1<sup>2)</sup> に示す。

なお、対策方法、対策事例の詳細については「低周波音防止対策事例集」(環境省ホームページ、<http://www.env.go.jp/air/teishuha/jirei/>)を参照されたい。

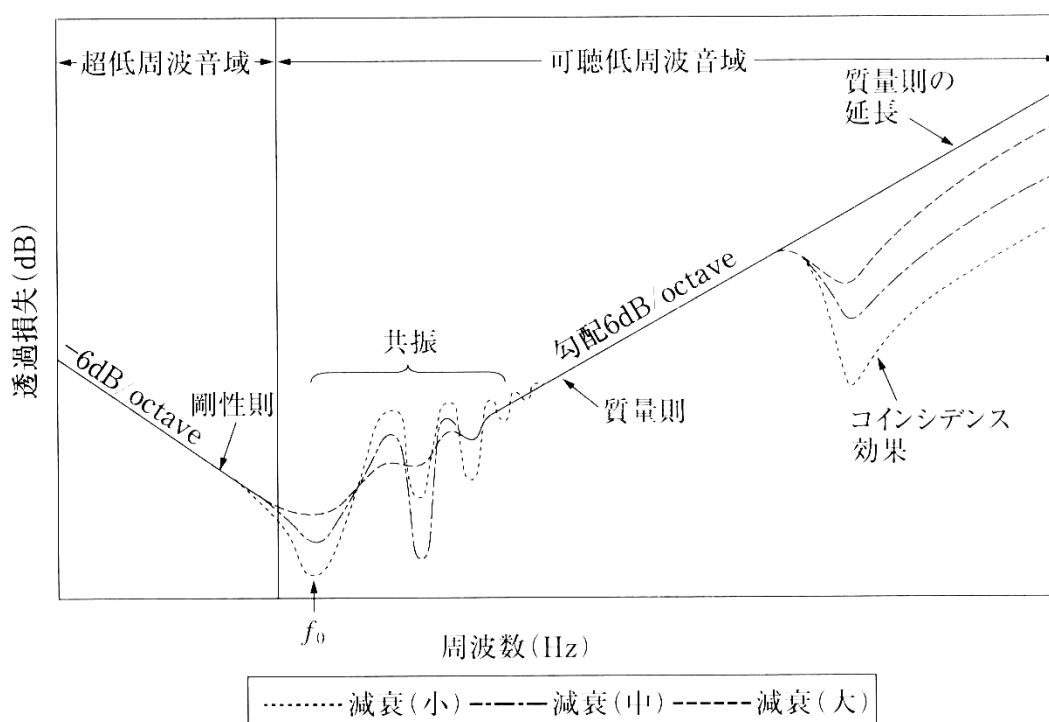


図 6.1 質量則と剛性則

### [参考文献]

- 1) 井上保雄：低周波音の防止対策、環境管理 Vol. 38, No. 7 (2002) : 49~58
- 2) 中野有朋：超低音 (1994)、技術書院

## 7. 低周波音苦情における測定事例

これまでの低周波音苦情は、調査員がはっきりと感じられるほどの大きさの低周波音や、建具のがたつくのがはっきりわかる場合が多かったが、最近の低周波音苦情は、判断に迷うケースも増えてきている。

以下に「低周波音苦情」現場での測定事例をいくつか紹介する。

### 7.1 低周波音が原因と思われる事例

#### (1) 堰放流により発生する低周波音による建具のがたつき苦情<sup>1)</sup>

ある堰で放流時に堰から200mほど離れた旅館から窓ががたつくとの苦情が寄せられ、測定した結果、8Hz および 16Hz に卓越成分を持つ低周波音が観測された（図7.1）。

大きな音圧レベルの低周波音は絶えず発生するわけではなく、水膜がある厚みの条件で発生し、原因は水膜背後の空洞共鳴によることが判明した。水膜を分断することにより苦情は解決した。

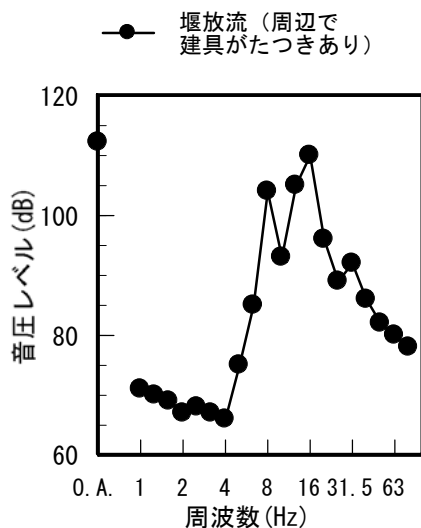


図7.1 堰放流時に発生する低周波音の事例；音源側

#### (2) 自家発電用ディーゼルエンジン稼働に起因する低周波音による心理的苦情<sup>2)</sup>

自家発電用ディーゼルエンジン稼働に起因する低周波音により、道を隔てた民家から不快感がするとの苦情が寄せられた。民家の1階食堂では31.5Hzに卓越成分を持つ低周波音が観測された。室内では定在波\*が発生し、定在波の腹にあたる場所では圧迫感が感じられた（図7.2）。

調査の結果、ディーゼルエンジンの振動が建物壁面に伝わり、壁面が振動することにより低周波音が発生していると推定された。

\*注) 定在波：壁による反射等によって生じる逆方向に進行する二つの同一周波数の波の干渉によって生ずる。定在波が生ずると場所によって振幅（音の場合は音圧レベル）の大きいところ（腹）と小さいところ（節）ができる。

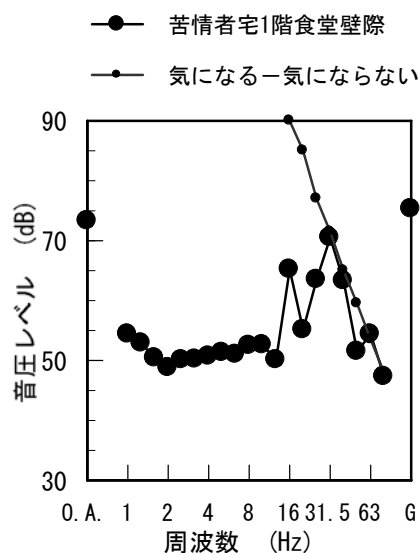


図7.2 ディーゼルエンジン稼働に起因する低周波音測定例

### (3) バイブレータから発生する低周波音による心理的苦情<sup>2)</sup>

コンクリート製造工場から低周波音が発生し、腹や胸に圧迫感を感じるとの苦情が寄せられた。測定結果（図 7.3、対策前）によると、50mほど離れた苦情者の庭において40～50Hzで90dBを超える音圧レベルの低周波音が観測された。発生源はコンクリート製造工場のバイブレータで、その周波数と建屋が共振し圧迫感を感じる程度の低周波音が発生したと考えられた。バイブレータの周波数を上げ、コンクリートの材料を一部変更することにより苦情はおさまった。対策後の低周波音の周波数特性を図 7.3 に合せて示す。

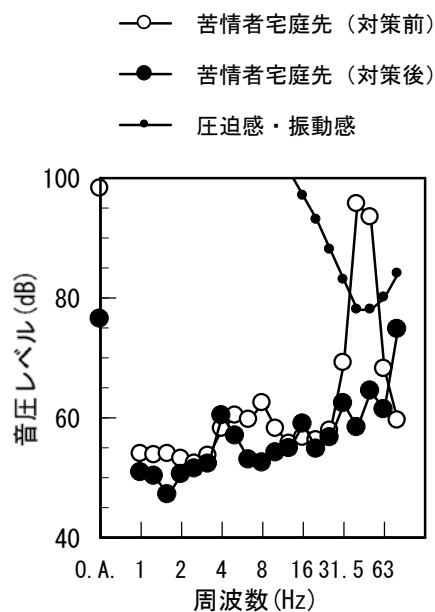


図7.3 コンクリート製造工場から発生する低周波音の事例

## 7.2 100Hz以上の騒音が原因と思われる事例

### (1) 焼却炉から発生する500Hzの騒音による苦情<sup>2)</sup>

製紙工場から200mほど離れた家屋の住人から低周波音の苦情が寄せられた。そのような現象が起こったのは、新工場ができてからとのこと。唸るような音が気になるが、一日中ではないとのこと。工場は連続的に稼動していて苦情者の苦情を訴える時間と合致しない。

調査員は苦情者宅内で低周波音を感じられず、低周波音の測定結果からも苦情が発生するような音圧レベルは観測されなかった。そこで苦情者にどんな音が気になるのか詳細に尋ねたところ、苦情者が気になっていたのは微かに聞こえる工場の小型焼却炉煙突から発生する500Hzの騒音（図 7.4）であることが判明した。

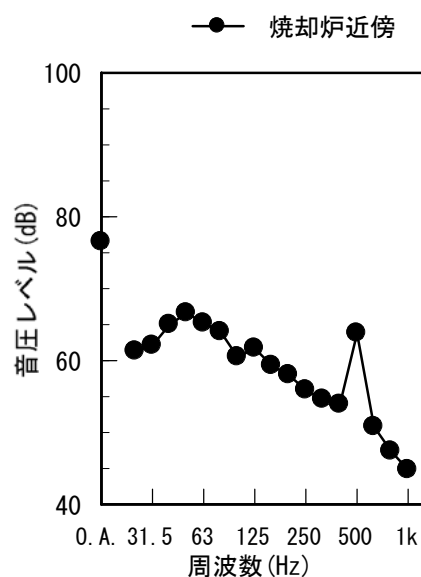


図7.4 500Hzの騒音が原因と思われる「低周波音苦情」の例

### (2) 家庭用灯油ボイラーから発生する騒音を含む低周波音による心理的苦情<sup>3)</sup>

10mほど離れた隣地のボイラーの音が深夜までおよび、耳について不快感で眠れないという苦情があった。測定の結果、図 7.5 に示すように50Hzと100Hzが卓越していることがわかった。ボイラーの移設は難しかったことから、ボイラーを白灯油を燃料とするものからガスを燃料とするものに取り替え、ボイラー周

囲にコンクリートブロックを設置、内側に吸音材の貼付、煙突に消音器を設置、防音壁の設置等の対策を行うことにより苦情はおさまった。なお、最近大型の空調室外機、冷凍機等から発生する50Hz、100Hzの騒音を含めた低周波音による苦情が増加している。

### 7.3 低周波音ではなく振動が原因と思われる事例<sup>2)</sup>

新築家屋の住人から、低周波音により家全体が揺れており、特に2階では揺れがひどく睡眠に支障をきたすとの苦情が寄せられた。苦情者へのヒアリングによると、建築中から家が揺れていたとのことである。測定の結果、苦情者宅2階寝室では4Hzに卓越成分をもつ低周波音(4Hz; 78dB)が観測されたが、苦情者庭では顕著なレベルの低周波音は観測されなかった。併せて振動も測定したところ、4Hz

に卓越成分のある水平方向の振動を観測した(図7.6, 図7.7)。水平方向の振動レベルは1階屋外で50dB、2階寝室で65dBであった。

揺れの原因は低周波音ではなく地面振動で、発生源

は道路を隔てて100mほど離れた製缶工場の絞り機と推定された。また、建築中にも家が揺れていたこと、振動レベルの鉛直方向・水平方向の測定結果等から、家屋構造にも問題があると考えられた。

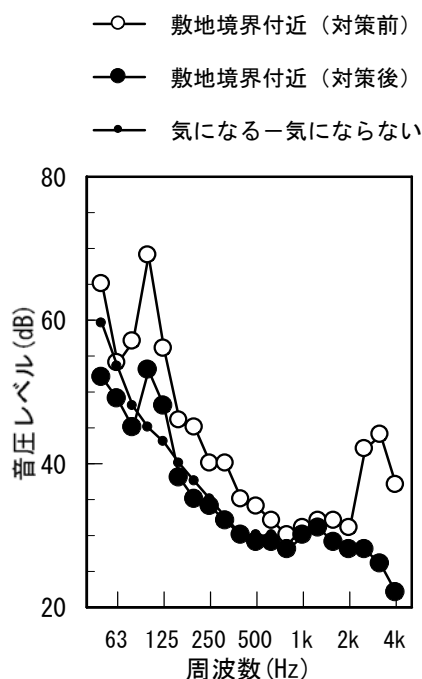


図7.5 低周波音と騒音が複合した「低周波音苦情」の例; 家庭用ボイラー

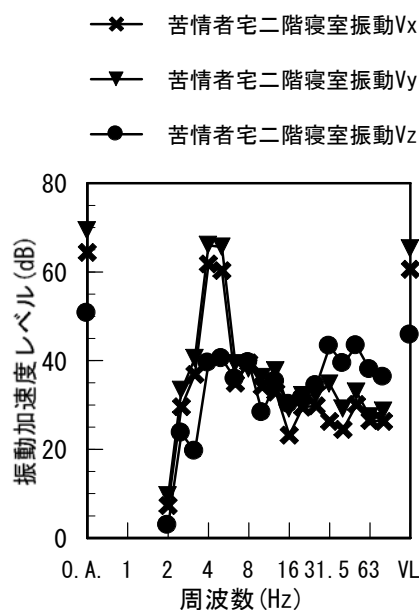


図7.6 製缶工場近隣家屋における振動測定結果

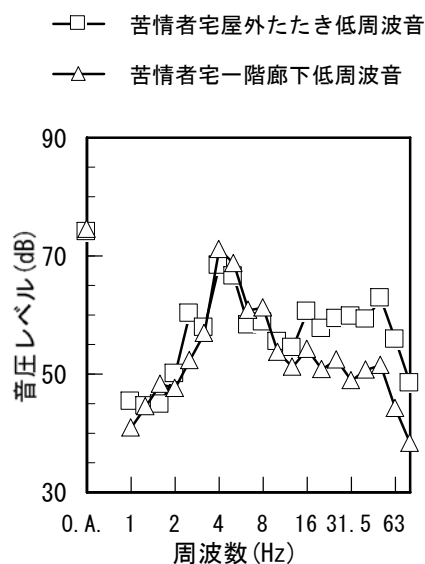


図7.7 製缶工場近隣家屋における低周波音測定結果

## 7.4 低周波音・騒音以外が原因と思われる事例

### (1) 低周波音ではなく苦情者側に原因と思われる事例<sup>4)</sup>

一人暮らしの老人から「ボーン、ボーン」という低周波音と振動が一日中聞こえるため、ストレスが生じているので発生源を調べて指導して欲しいとの依頼が市に寄せられた。市および県の研究所と合同で調査を行ったが苦情者が申し立てるような低周波音の測定でも調査員の耳でも確認できなかった。

そこで調査員は苦情者に対し、他市へ行ってもその音が聞こえるか進言したところ、他市に行っても同じ音が聞こえるとの連絡があった。そのため、健康チェックを強く勧めたところ、苦情者は納得して解決した。

海外でも低周波音の苦情者を調べたところ、実際は耳鳴りが原因であったという事例が報告されている。本当に低周波音によるものかを正確に判別する意味でも、調査員が発生状況を正確にチェックし、苦情者の反応と物理量の対応を見極めることが重要である。

### (2) 低周波電磁波との取違え

苦情者は40才代後半の男性で、頭痛、不眠、不快感、耳鳴り等を訴えた。低周波音が原因ではないかということで調査を行ったが、問題となるような低周波音を観測できなかった。また、調査員の耳でも低周波音を確認できなかった。

本人は医師から低周波電磁波による影響との診断をもらっており、低周波音と低周波電磁波の違いについて説明したところ、低周波音による影響はないことを了解した。

以上の事例で示すように、最近の低周波音苦情は単なる体調不良や騒音が原因である場合も少なくない。低周波音の測定では、通常の騒音測定に比べて経験を必要とする。苦情があった場合には、本当に低周波音によるものかどうかを的確に判断しなければならない。特に低周波音の音圧レベルが小さい場合には、発生源側と受音側の対応や苦情者の反応と物理量の対応関係に注意を払う必要がある。

## [参考文献]

- 1) (社)日本騒音制御工学会編：騒音制御工学ハンドブック（資料編），技報堂出版，pp. 181
- 2) 落合博明：最近の低周波音苦情の傾向と測定方法，日本音響学会講演論文集，2003年3月，pp. 895～896.
- 3) 沖山文敏：生活騒音の苦情処理，音響技術，Vol. 13, No. 2, (1984), pp. 73.
- 4) 公害等調整委員会事務局：ある老人が感じる原因不明の騒音について，公害苦情処理事例集，22, (1994. 3), pp. 106～107.



## 8. 苦情対応への体制整備について

### 8.1 低周波音苦情対応の体制整備の強化

現在、全国の地方公共団体の騒音・振動の苦情対応については、法規制業務の大部分が市町村長の自治事務となっていること、測定機器が普及・整備されていること、それらの法令に基づく測定方法が比較的容易であること等により、苦情発生時には市町村の騒音・振動規制担当者が直接受付けて測定等を行い対処している。これに対し、都道府県の騒音・振動業務担当部門（調査研究部門以外）では直接これらの苦情を受付けることなどはほとんどなく、現場での騒音・振動の測定をすることはまれであり、なかには測定担当者がいないところもある。

現に、低周波音に関する苦情対応も主に市町村長が行っているが、騒音・振動の場合と異なり低周波音については発生施設の届出あるいは規制基準等の法的規制がないこと、規制担当部門における既存の測定機器では十分対応ができないこと、測定機器が補助対象でなく、かつ高価であること、担当者が低周波音についての知識・情報を理解していない場合があること、測定方法を十分把握していない場合があること、加えて、従来の騒音・振動にみられるような都道府県等からの技術指導がないこと等により、その対応には苦慮している。このことが、全国的にみて低周波音問題の対応環境が整備されない原因の1つになっていると思われる。

低周波音の苦情件数が急増し社会的関心が高まっている現況を踏まえて、環境省において適切な低周波音対策を推進するためには、地方公共団体、特に関わりの多い市町村に対し低周波音問題の対応の体制整備のあり方（強化）等について助言（提言）することも必要ではなかろうか。

以下、そのために早急に検討すべき業務の内容について列記する。

#### (1) 低周波音に関する適正な情報の提供

いままで、苦情を訴える側においてもまたその苦情に対し測定・評価をする側においても誤解による事例が見受けられることがあった。そのために、地方公共団体の担当者、一般市民等を対象に、低周波音に関する基本的事項（発生源、影響、測定方法、評価、対策等）についての情報を積極的に提供する。[例えば、環境省等が発行している酸性雨、オゾン層破壊、温暖化問題、ダイオキシン等に見られるパンフレットなど]

#### (2) 苦情対応の処理マニュアル等の作成

特に、規制対象でない低周波音は苦情の訴えを的確に把握することが重要で

あることから、行政担当者を対象に、その受け方から対策までを含めた苦情対応のマニュアルを、1) 苦情聞き取り方法、2) 発生源の確認方法、3) 測定計画の立案方法、4) 測定方法、5) 評価方法、6) 対策の検討方法、7) 参考資料等の構成(次項参照)で作成する。[例えば、環境庁が発行している「拡声機騒音防止の手引き」、「建設作業騒音防止の実務」などと同様に図、表を加えてより具体的に事例を添えて作成する。]

### (3) 低周波音の苦情対応等に関する研修会等の実施

低周波音に関する的確な苦情対応等を徹底するために、地方公共団体の担当者を対象に、上述した1)および2)で作成したパンフレット、マニュアル等を用いて測定技術をも含めた研修会を定期的の実施する。

### (4) 低周波音等の専門家の紹介と支援活動

地域住民、行政担当者等がより具体的に低周波音対応を行うために、低周波音(騒音振動等をも含めて)専門家を紹介し、低周波音の情報提供、苦情相談の助言、研修会開催等の支援を行わせる。

### (5) 効果的な発生源対策(未然防止)のための事例集の作成

低周波音の未然防止のために、現在実施している全国状況調査の結果から、低周波音を発生し、特に、問題が生じ易い施設の種類・規模・時間帯および低周波音の音圧レベル等について整理し、地方公共団体の指導指針、騒音・振動の規制業務およびアセスメント等の基礎資料として活用できる事例集を随時作成する。

なお、低周波音を発生する施設、建設機械、生活関連機器等のメーカーおよび設置業者等の関連業界(団体)に対して適切な低周波音対策の働きかけも必要であろう。

## 8.2 低周波音苦情対応の対応マニュアル(仮称)の内容

現在、地方公共団体の低周波音に関する苦情については、一般に、騒音・振動の苦情の場合とほぼ同様な対応の流れで行っているが、低周波音に関する正しい情報が不足していること、法規制がないこと、組織体制(人力、測定機器)が整備されていないことなどで、十分な対応がなされているとは言えない現状である。

とりわけ、受付担当者等の低周波音に関する知識・技術力の不足がその要因の一つとなっていることを考慮すると、望ましい低周波音の苦情対応のあり方

について、例えば「低周波音苦情対応の対応マニュアル」（仮称）などがあれば、よりの確な対応が期待できるのではなかろうか。

以下、その内容の概要を、苦情対応の流れの順に（段階）に沿って示す。

(1) 聞き取り調査の段階

低周波音と思われる苦情が発生した場合には、苦情者の訴えを丁寧に聞き取りその内容が実際に低周波音によるものか否かを、必要ならば、専門家に相談し、的確に把握する。

(2) 発生源推定調査の段階

苦情の聞き取り調査と周辺の環境状況等を考慮して、発生源を推定し、発生源者に対して、行政指導の範囲で、自主的な測定および誠意ある住民対応等について説明する。

(3) 測定計画の立案段階

低周波音の測定に際しては、その目的に応じた詳細な測定方法を「低周波音の測定方法に関するマニュアル」に基づいて定めるなど、測定計画を立案する。

(4) 測定実施の段階

事前に、予備調査を実施して、現場の発生状況および測定体制の整備等の確認を行い、気象条件、風雑音の影響等に配慮して適切な測定点を選定し、発生源の発生状況などを記録しながら測定を行う。

(5) 測定結果の整理・検討の段階

測定した音圧レベル指示値等の測定量を的確に読取り、「建具のがたつき閾値曲線」あるいは低周波音の知覚に関する「感覚閾値曲線」等と対応させ、どのような低周波音が発生している可能性があるかの検討を行う。

(6) 対策の検討と実施

測定結果から、低周波音発生の可能性が認められれば、発生源者と効果的な対策方法等を協議（必要に応じて専門家に依頼）し、実施する。

(7) 対策効果の確認

対策前後の測定量等を苦情者に説明し、苦情者の納得と了解を得る。

以上の各段階の内容に、図、表等を用いて解説を加え平易な文体で記述する。

## 9. 低周波音評価の考え方と今後の課題

### 9.1 従来提案されていた評価特性

騒音のうるささに対しては、低い周波数の重みを小さくしたA特性による評価が広く用いられている。知覚される超低周波音に対する評価としてG特性が制定されているが、日本における現実の低周波音問題にどのように適用できるかは現在はっきりしていない。

アメリカ合衆国では低周波音成分が多い大砲等の大音圧を発生させる軍事演習においては、C特性のslowによって測定したオーバーオール値を用いて評価している。<sup>1)</sup>

日本においては、圧迫感等の評価を考えたL S L特性<sup>2)</sup>、低周波音についての主観的な強度についての心理的評価を考えたL F特性<sup>3)</sup>がある。日本において提案されたものは測定器として組み込まれたものもあるが、広く利用されてはいない。

### 9.2 低周波音評価の考え方

#### (1) 低周波音による影響

低周波音に対する苦情は、建具等のがたつき現象と低周波音が直接知覚されることによる不快感によるものがある。それぞれに対して別々の評価方法を適用することは、問題の解決に有効である。

#### (2) 評価の基本的考え方

建具等のがたつきは、高い周波数になるほど現象が起きにくくなる。低周波音の直接知覚による不快感は高い周波数になるほど起きやすくなる現象である。**図9.1**に示すようにこの2つの現象の周波数特性は異なるので、異なる評価の方法が必要となる。

#### (3) 建具等のがたつきに対する評価

4章に示すように、がたつきの最小値が求められている。がたつきの閾値曲線はがたつきの最小値を示すものであること、窓ガラスは共振特性を持っており共振周波数の近傍でよりがたつきやすいこと等を考え、1/3オクターブバンドのレベルがこれらの曲線を超えるかどうかで評価を行うことが妥当である。これらの曲線を超えれば揺れやすい建具ではがたつきが起こる可能性があることを示している。建具によってがたつき始める音圧レベルは異なるので、標準偏差を考慮する必要がある。

低周波音は建具に対して外部から作用するので、測定位置は室外で行う。

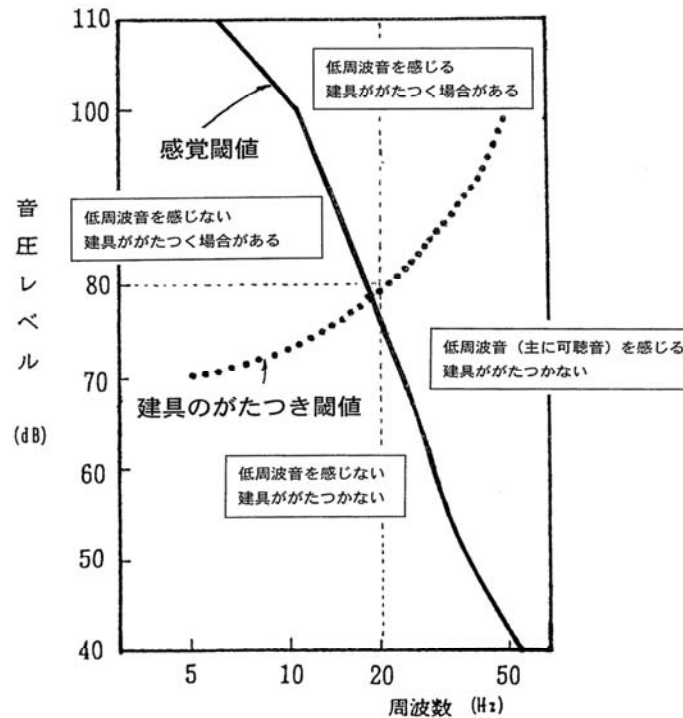


図9.1 低周波音の知覚と低周波音による建具応答の領域区分

#### (4) 直接知覚による不快感に対する評価のあり方

低周波音が直接知覚されることによって不快感が発生する場合がある。不快感以外に、短期的な生理反応と長期的な生理影響があるかどうかについては議論があるが、良好な環境を維持するためには、不快感を除去することがまず必要である。生理的反応が発生するレベルは不快感が発生するレベルよりも高いと考えられるので、不快感を解消するレベルになれば問題はなくなると考えられる。

諸外国のデータと、閾値測定そのものがあらゆる感覚を網羅した最小値であることを考えると、感覚閾値以下で問題が起きることは非常に考えにくい。

心理的な評価としては、4章にある「一般成人の居間における許容限度、苦情者の許容限度、圧迫感・振動感による評価」等がある。評価の方法としては、苦情との対応がよいこと、実験室実験による裏付けデータがあること等が必要となる。このレベルの設定に対しては、諸外国データを参考にすること、日本においてもさらに信頼性の高いデータを蓄積することが望まれる。

あるレベルの正弦波が複数存在した場合にその影響が合成されるかどうかについてははっきりしたデータは少ない。単一の正弦波よりも問題が多いと考えられるが合成したA特性のような単一の指標による特性の制定は現状では難しい。

#### (5) 苦情者のデータの取扱

苦情者は感度が良いと言われる場合がある。しかし、犬飼らの研究によると最小感覚閾値で示される感度がいいわけではなく、知覚されればすぐに受忍限度を超してしまうという感受性が強いことを示している<sup>4)</sup>。苦情者データについても通常の人々のデータの中の分布の一部として位置づけられることが望まれる。

#### (6) G特性による評価

20Hz以下の超低周波音に対してはG特性による評価が考えられる。しかし、我国においては、G特性が適用されることは非常に少ないと考えられる。20Hz以下において超低周波音を直接知覚される苦情はまれであろう。G特性で超低周波音を知覚されるレベルにおいては建具ががたつくことが予想される。したがって、環境問題としてG特性での直接知覚のレベルが問題となることは少ないと考えられる。ただし、産業職場や乗物内等の環境を考える場合には、G特性による評価も必要であろう。

#### (7) 適用対象とする音源

低周波音の苦情音源として、1) エアコン室外機・ボイラーなどの据え付けられている固定音源、2) 新幹線トンネル出口の衝撃音・高速道路橋からの低周波音・駐車場等のように設備は止まっているが移動する物体による現象、3) 自動車・新幹線・船等の移動物体から直接放射される低周波音がある。

音源の状態によって苦情となるレベルは異なっている。一般に固定音源については、苦情発生時の音圧レベルが低く、音源のレベル変動も少ないものが多い。今後ガイドラインを作成する場合には、まず、固定音源についてのガイドラインを作成することが必要であろう。実験データも純音成分による固定音源データに相当するものが得られている。

移動物体等によるもの、発破による低周波音等は、低周波音のレベルが変動し、継続時間も短いので、それらの評価は固定音源の場合と比べてより複雑となるであろうことから、次の段階の課題としたい。

#### (8) 周波数範囲

低周波音の定義としては、1Hz～約100Hz以下と考えられている。既に策定されている低周波音測定方法に関するマニュアルでは、1/3オクターブバンド中心周波数で1Hz～80Hzまでとなっている。測定器の現状等を含めて考えると、当面は、低周波音として1/3オクターブバンドで80Hzまでを適用範囲の上限とするこ

とが考えられる。最近では100Hz付近あるいは、それ以上の周波数成分による苦情も見受けられるようになってきた。それらの周波数成分に対しては、当面は、騒音の分析器を使って測定し、普通騒音の規程も考慮しながら、対処する方法がある。

判断が難しい場合は、専門家に相談することにより、問題解決を目指すことが考えられる。

#### (9) 測定場所

建具等のがたつきは、外部から伝搬した低周波音の圧力によって振動するものであるため、室外で測定したデータが適用される。

低周波音の直接知覚は、多くは室内で起こるので、苦情が発生している場合には室内で測定することが必要となる。マンション内部における苦情においても室内データは測定可能である。実験室で行われている被験者データも室内を想定して行われている。また、室外も可能であれば、測定しておくことが必要である。

室内の音圧レベルから室外の音圧レベルを、あるいは室外の音圧レベルから室内の音圧レベルを推定するためには、低周波数領域における1/3オクターブバンド毎の内外音圧レベル差のデータを蓄積することが必要である。

### 9.3 今後の課題

今年度の報告書で、低周波音が生活環境において何らかの影響を及ぼしている場合があることが明らかになってきた。また、苦情者についても個人差を考慮すればそれなりの対応が可能であると考えられる。

これらの研究成果の蓄積にたつて、より快適な生活環境を維持するために必要な低周波音に対する適切なガイドライン（物的影響を避けるためのガイドライン、不快感を避けるためのガイドライン等）の作成が望まれる。ガイドラインの作成にあたっては、適用する音源、個人差、測定位置等を考慮することが必要であろう。また、アセスメントのために、室外レベルの予測のためのデータを提供することも必要になるであろう。

さらに、低周波音問題が複雑であり、数値で規定するだけではない面を考え、問題解決をサポートする体制を作る必要が考えられる。

今後、実験データを蓄積し、ガイドラインの作成を実現することが課題となる。

[ 参考文献 ]

- 1) ANSI S12.4-1986 (ASA 63-1986), Method for Assessment of High-Energy Impulsive Sounds with Respect to Residential Communities.
- 2) 時田保夫：低周波音の評価について、日本音響学会誌、41巻11号、pp.805～812, 1985
- 3) 犬飼幸雄:低周波音評価の周波数荷重特性について、日本騒音制御工学会技術レポート、No. 7, pp19-31, 1987
- 4) 犬飼幸男、多屋秀人、山田伸志、騒音被害者における低周波音の感覚閾値及び許容音圧レベルについて、日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集、pp. 23～26, 2002. 4