

参 考 資 料

低周波音の基礎知識

低周波音の基礎知識

a. 低周波音とは

産業機械等の大型化、高速化に伴い、それらの機械、構造物から発生する低周波音が注目されるようになってきた。低周波音は環境中のいたる所に存在しているが、人は超低周波数領域では音圧レベルが騒音領域に比べてかなり大きくないと感じられないため、騒音や振動に比べて問題となることが少ない。

海外では、工場における作業環境、大型機械の周辺およびロケット内部等で超低周波音が問題となり、120dB を超えるような非常に大きな音圧レベルの超低周波音（20Hz 以下の音波）の長時間暴露による生理的・心理的影響等について研究が進められてきた。

一方我が国では、環境中の低周波音による苦情が発生し、100 Hz 程度までの低周波数域の可聴音も含めた低周波音の生理的・心理的影響、建具等への物的影響についても研究が進められている。

b. 低周波音と超低周波音の周波数範囲

1973 年パリで行われた低周波音に関する国際会議において、超低周波音（Infrasound）の周波数範囲を 0.1～20Hz とする提案がなされた。これは、すでに規定されている可聴域よりも低い周波数である 20Hz 以下の音を評価するという考えに立っている。この案に対し、日本、西ドイツ等から 20Hz よりも高い周波数域（100Hz 位）まで上限を広げてはどうかなどの意見が出され、その後も討議がくり返された。1980 年のアールボルグ（デンマーク）で行われた低周波音の会議では 1～100Hz までを Low Frequency Noise としてとりあげている。

我が国では、可聴域以下の周波数域だけでなく可聴域の低域を含んだ 100Hz 以下程度の範囲を低周波音評価の対象としている。日本騒音制御工学会低周波音分科会では我が国の低周波音苦情の実情を考慮して、「低周波音測定方法の提案について」の中で低周波音の周波数範囲を 1/3 オクターブバンド中心周波数で 1～80Hz、超低周波音の範囲を 1～20Hz とすることを提案している。環境庁（現環境省）が 2000 年 10 月に策定した「低周波音の測定方法に関するマニュアル」でもこの範囲を測定対象としている。

G 特性音圧レベルは超低周波音の感覚閾値に基づいた 20Hz 以下の音の評価加重特性である。国際規格案 ISO/DP 7196 で G 1 特性として提案され、ISO/DIS 7196.2 で G 特性として再提案され、1995 年に ISO-7196 として規定された。

c. 低周波音の苦情と実態

c.1 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。それぞれの苦情内容は以下に示すとおりである。

- | | |
|-----------|----------------------------|
| (1) 心理的苦情 | 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感 |
| (2) 生理的苦情 | 頭痛、耳なり、吐き気、 |
| (3) 睡眠影響 | |
| (4) 物的苦情 | 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動 |

このうち、人体に関する苦情は、低周波音との因果関係がはっきりしない場合も少なくない。物的苦情では、振動が原因であると思われていたものが、実は低周波音が原因であったという場合もある。

c.2 低周波音苦情の発生状況

(1) 我が国における低周波音苦情の特徴

低周波音の苦情内容が海外では生理的・心理的苦情が大部分であるのに対して、我が国では物的苦情も相当数ある。苦情が発生する最低音圧レベルが海外より小さいことがあるが、その原因として我が国の家屋構造から低周波数域では人が感ずる音圧レベルよりも小さい音圧レベルで建具が振動する可能性があること等が考えられる。

(2) 苦情件数の変遷

我が国では1969年（昭和44年）頃から低周波音によると思われる苦情が発生している。環境白書に掲載された結果を整理し、地方自治体に寄せられた低周波音苦情件数の推移を図-c.2.1に示した。低周波音の苦情は1974年と1980年にピークがありその後減少し、1984年から1990年には苦情件数が25件前後とピーク時の五分の一以下になっていたが、その後やや増加している。

発生源別の苦情発生件数をみると、1984年以前は圧倒的に工場・事業場が多かったが、

ここ 10 年では工場・事業場からの苦情が減り、それ以外の発生源による苦情の比率が増加している。工場・事業場の大型機械から発生する低周波音については、発生メカニズム、対策方法の研究が進み、防止対策が施されてきている。建設作業や道路交通に関する苦情の割合はあまり変化していない。道路交通に関する苦情のほとんどは道路橋から発生する低周波音によるものであるが、低周波音低減のための研究が続けられており、床版の厚さの増加やジョイント部の改良等により効果が得られている。航空機に関する苦情は 1984 年以降は少なくなっている。航空機ではエンジンテストの際に低周波音が発生し一時間問題となったが、ノイズサプレッサの設置改善により効果が得られている。1990 年代の前半に、鉄道に関する苦情やその他の発生源による苦情の割合が増加した。鉄道による苦情は主として新幹線のトンネル進入時に発生する超低周波音（微気圧波）によるものである。新幹線トンネルから発生する低周波音の研究は、（財）鉄道総合研究所等で独自の研究が続けられており、トンネル抗口付近に緩衝工が設置されて効果が得られている。その他の発生源による苦情は近隣の店舗や施設などに設置された機器によるものである。

（3）平成 7 年度低周波音実態調査の概要

環境庁（現環境省）では、1995 年度に地方自治体に調査用紙を送付して低周波音の実態調査を実施し、61 件の回答を得た。回答のあった事例は 1982 年から 1996 年にわたるものであり、このうち苦情に係るものが 54 件、残りの 7 件は環境調査であった。地方自治体より回答の寄せられた低周波音実態調査から、苦情が発生しているものについて低周波音の発生源別苦情件数を図-c.2.2 に、苦情内容の割合を図-c.2.3 に示した。

これによると、発生区別では工場・事業場が 25 件で最も多く、次いで鉄道の 13 件であった。工場・事業場からの低周波音苦情が最も多いのはこれまでと変わらないが、鉄道が 2 番目に多いのは新幹線のトンネル突入による低周波音苦情である。

次に苦情内容についてみると、心理的・生理的苦情が 42.6%と最も多く、物的苦情と心理的・生理的苦情の両方ある場合が 29.6%、物的苦情のみが 27.8%の順になっている。低周波音の問題が多く発生した 1970 年代は、物的苦情が低周波音苦情の半数以上を占めていた。しかし近年では工場機械等の低周波音対策が進み、それに代わって近隣の家屋や商店等の設備機器から発生する低周波音が問題となるケースも増えてきている。

（4）平成 12 年度低周波音全国状況測定調査の概要

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」を策定したことにより、統一的な方法で測定されたデータを収集できるようになった。そこで、低周波音の苦情が発生している地点、低周波音が発生しやすい施設付近等における低周波音の測定を全国の

43 の地方公共団体に委託した。その結果は、報告書にまとめられている。

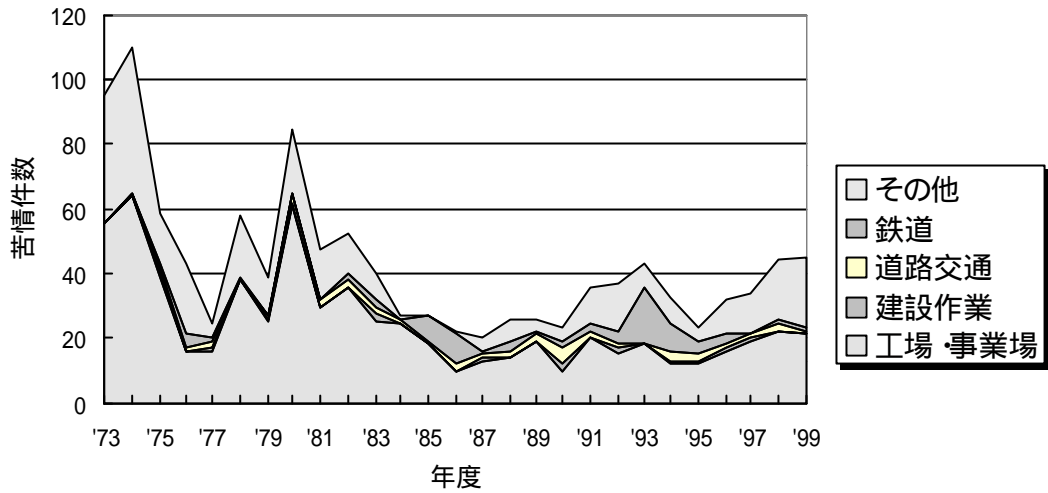


図-c.2.1 地方公共団体に委託した低周波音苦情件数の推移

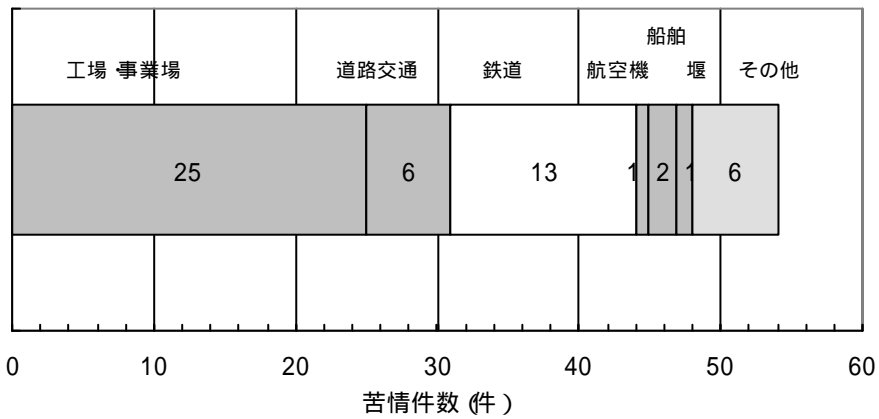


図-c.2.2 低周波音の発生源別苦情件数

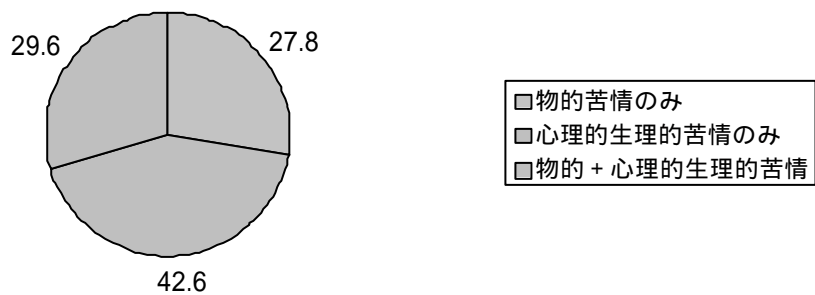


図-c.2.3 低周波音の苦情内容の割合

d. 低周波音の影響

以下に低周波音の評価に参考となる資料をつける。これらについては、まだ確定したのではなく、国内外の研究データを参考資料として載せるものである。測定データをこれらの資料と比較し、総合的に判断し対策等に生かしていく必要がある。

d.1 感覚閾値

低周波音の感覚閾値（低周波音を感ずる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。図-d.1 は様々な研究者によって得られた感覚閾値である¹⁾。これらの閾値は実験方法や実験施設の違いによって 5～10dB 程度の違いがある。大部分の結果は可聴音の閾値（ISO-226（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）の延長線上にあり、周波数が低くなるに従い閾値は上昇している。数 Hz～50Hz 位を代表する傾斜はほぼ -12dB/oct. となっており、この傾斜が ISO-7196（超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性）においても採用されている。

通常、音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G 特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。G 特性の基になった超低周波音の感覚閾値は欧米の実験結果に基づいている。

これらの値は平均値であり、例えば中村らの実験結果によれば閾値には $\pm 5 \sim 10$ dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である ± 10 dB の範囲に大部分の人が入るとされている²⁾。

d.2 心理的影響

（1）超低周波音の心理的影響

超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性として、ISO-7196 で G 特性が規定された。ISO-7196 では、G 特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、G 特性音圧レベルで 120dB を超えると非常に強く感じると記されている。

図-d.2.1 は等ラウドネス曲線と呼ばれるもので、音が同じ大きさに聞こえる音圧レベルをつなげたものである³⁾。これによると、超低周波領域では可聴領域に比べて線の間隔が狭くなっており、音圧レベルが少し変化しただけでも大きさの感じ方は大きく変化することがわかる。

(2) 低周波音による圧迫感、振動感

低周波音の特有の心理的反応として「圧迫感、振動感」があることが、犬飼らによる低周波音の感覚的印象を表わす言葉についての多変量解析や、時田らによる低周波音の感覚実験により明らかになっている。

中村らが行った低周波音の感覚実験結果によれば、「圧迫感、振動感」は40Hz付近で特に強く感じられるとされている。Broner と Leventhall の実験結果からも中村らの実験結果と同様な傾向が得られている。図-d.2.2 は中村らの実験結果を示したもので、図中の「圧迫感、振動感」を感じる領域の下限が評価の参考となる⁴⁾。

d.3 生理的影響

超低周波音による生理的影響を及ぼさない限界値が Johnson により 0.2Hz ; 140dB と 20Hz ; 120dB を結ぶ直線で提案されている (図-d.3)⁵⁾。

我が国で問題となっている低周波音の音圧レベルはほとんどの場合、最大でも 120dB で、Johnson の提案より 10 ~ 20dB 以上小さい範囲にある。

我が国における低周波音による生理的影響の研究は 120dB 以下の音圧レベル について行われているが、環境庁 (現環境省) の調査並びにその他の研究者による調査においても、はっきりとした低周波音による直接的な生理的影響は確認されていない。しかし、心理的影響の結果として生理的反応が発生する可能性は否定されていない。

d.4 睡眠影響

環境庁 (現環境省) では、睡眠中に低周波音を発生させて低周波音による睡眠への影響を調べた。図-d.4 は低周波音の音圧レベルと周波数を变化させた場合の睡眠深度別の覚醒の割合を示したものである⁶⁾。これによると、浅い眠りの場合 10Hz で 100dB、20Hz で 95dB あたりから影響が現れ始めるという結果が得られている。

10Hz ; 100dB および 20Hz ; 95dB は G 特性音圧レベルに換算すると各々 100dB、104dB になり、G 特性音圧レベルで 100dB あたりから睡眠影響が現われはじめることになる。

d.5 物的影響

環境庁（現環境省）では、実験室において建具に低周波音を照射してしだい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⁷⁾。図-d.5 に実験結果を示す。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おり、図中の「建具のがたつき始める値」の下限ががたつき傾向の目安となる。

その後の調査事例によると実験室実験によって求めた「建具のがたつき始める値」の下限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、建具のがたつき始める最低音圧レベルは建具の種類・大きさ・設置条件・建具背後の部屋の大きさ・構造や戸や扉の開閉状況等によっても大きく異なるので注意が必要である。なお、窓を開けると一般的にはがたつきが止まることが多い。また連続音の場合に、ごくまれに 70dB 以下でがたつきが起こることもある。

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とがたつきが発生しないという結果もあるが、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。

d.6 その他

他にも、低周波音の影響・評価に関する調査研究結果が発表されている。その一例として、Inukai らによる実験室実験による居間、寝室等の許容限度の提案を図-d.6 に示す。

[参考文献]

- 1) 時田：低周波音の評価について、日本音響学会誌、Vol.41、No.11、pp.806～812、1985
- 2) Yamada, Watanabe, Kosaka, Negishi, Watanabe: Physiological Effects of Low Frequency Noise, Journal of Low Frequency Noise and Vibration、vol.5, No.1, pp14～25、1986
- 3) L.S.Whittle, S.J.Collins and D.R.Robinson: The audibility of low frequency sound, Journal of Sound & Vibration, Vol.21, pp.431～448,(1972)
- 4) 昭和 55 年度 文部省科学研究費「環境科学」特別研究：超低周波音の生理・心理的影響に関する研究班報告書（1．低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究）
- 5) D.L.Johnson: Auditory and physiological effects of infrasound, Proceedings of Inter-noise75, pp.475～482, 1975
- 6) 山崎、時田：低周波音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、1982.10
- 7) 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に及ぼす影響の研究）環境庁委託業務結果報告書
- 8) Inukai, et al.: Unpleasantness and acceptable limits of low frequency sound, Proceedings of the 9th International Meeting Low Frequency Noise and Vibration、pp.47～51、2000

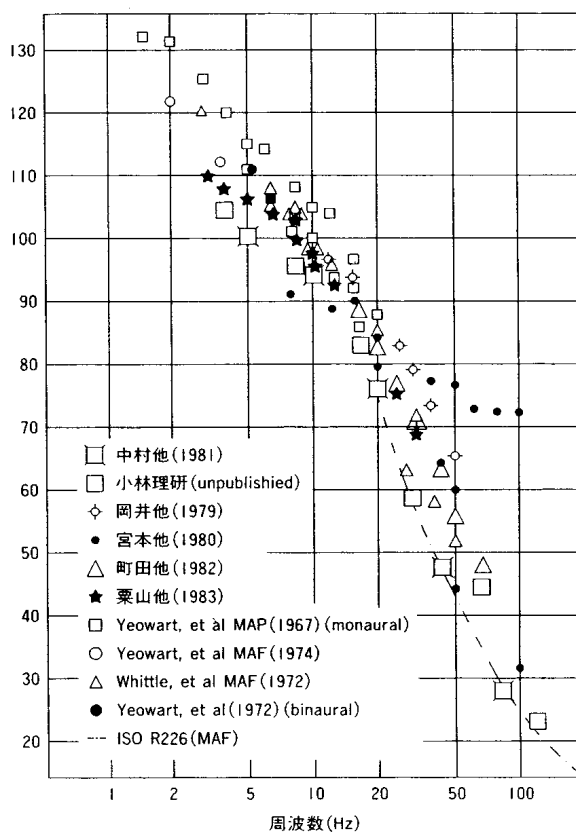


図-d.1 感覚、聴感閾値

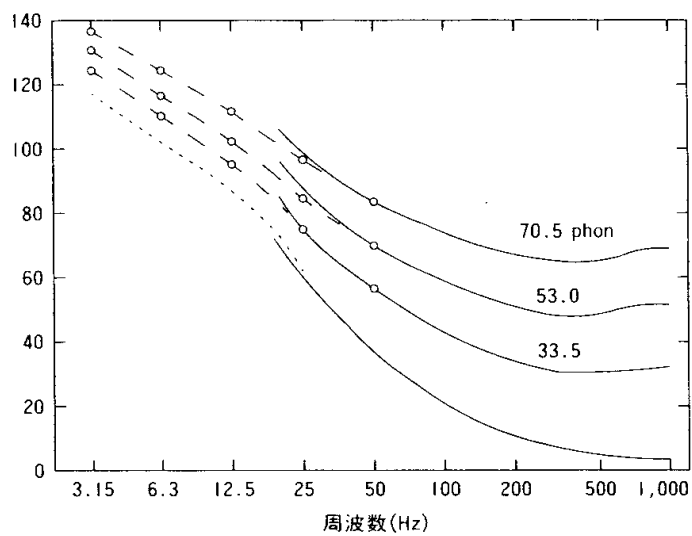


図-d.2.1 等ラウドネス曲線 (L.S.Whittle らの実験結果)

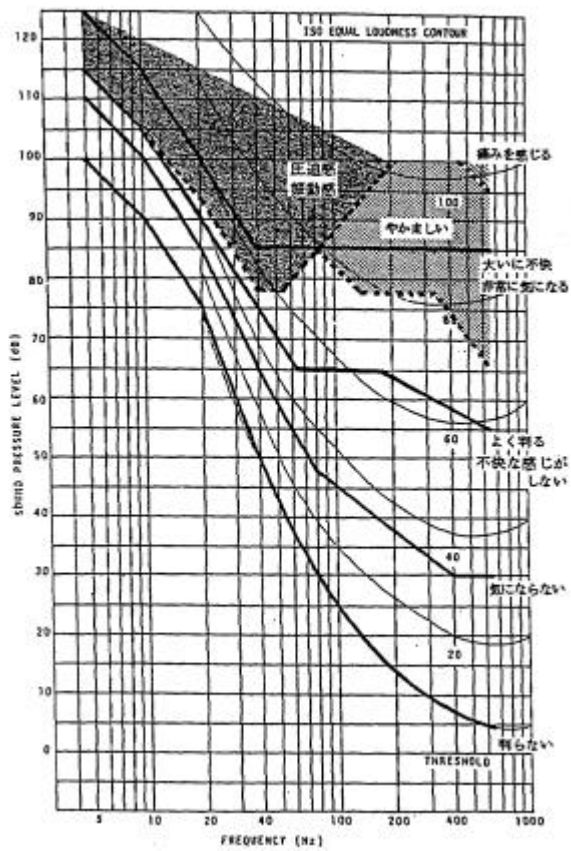


図-d.2.2 低周波音及び可聴音の不快さを感じる感覚
(中村らの実験結果)

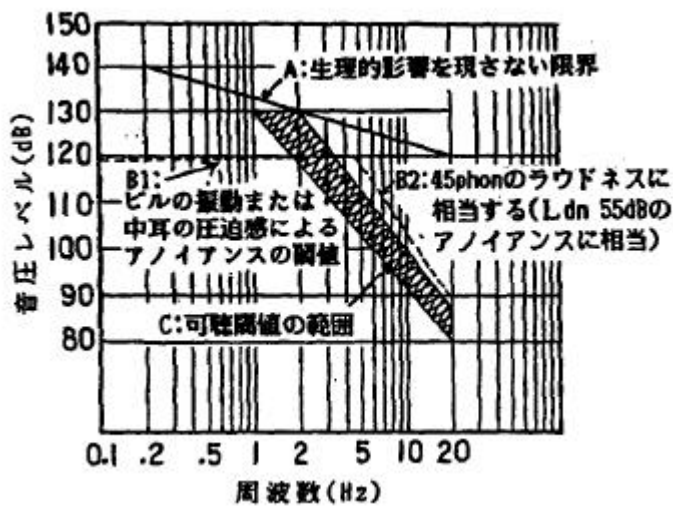


図-d.3 Johnson の提案基準