

低周波音の測定方法に関する マニュアル

平成 12 年 10 月

環境庁大気保全局

本マニュアルの使い方

本マニュアルは、低周波音の測定を行う場合に、どのように測定したらよいか、測定に際してどのようなことに注意したらよいか等についてとりまとめたものである。

その構成は、低周波音の苦情があった場合の対処方法、低周波音の測定方法、録音データの解析方法の本編 6 章と参考資料によりなっている。

本マニュアルは地方公共団体の環境担当部局の担当で、騒音に関する知識・経験を有する人を対象にして作成しているが、一般の方々にも役立つものである。

今後、本マニュアルを使って統一的な方法で測定を行っていただき、精度の高いデータの集積が図られるようにしたいと考えている。

なお、低周波音の測定をする目的に応じて、本マニュアルを利用しやすいように、各々のケースごとに必要な項目の案内を以下に示しているので参考にさせていただきたい。

[低周波音苦情の解決手順を知りたい]

低周波音の苦情が寄せられた場合に、

どのように調査を進めたらよいか知りたい方..... 4 . 1 低周波音問題の診断手順

[問題となるような低周波音が発生しているか推定したい]

窓口で苦情の相談があったとき、低周波音が

発生しているかどうか状況判断したい方..... 4 . 2 発生状況の把握

現場で低周波音が発生しているかどうか

状況判断したい方..... 4 . 3 予備調査

[測定計画、現場測定方法について知りたい]

いつ、どこで、どんな測定器で測定したら

よいか知りたい方..... 5 . 1 測定計画

現場測定方法が知りたい方..... 5 . 2 現場測定方法

5 . 3 測定時の注意事項等

測定値の読取り方を知りたい方..... 5 . 4 音圧レベル指示値の読み取り方法

測定データの解析方法を知りたい方..... 5 . 4 音圧レベル指示値の読み取り方法

6 . 録音データの解析方法

[低周波音についての知識を深めたい]

低周波音がどのようなものか知りたい方..... 2 . 低周波音の発生源と苦情

(参考資料) 低周波音の基礎知識

a. 低周波音とは

b. 低周波音と超低周波音の周波数範囲

低周波音の実態、苦情について知りたい方..... (参考資料) 低周波音の基礎知識

c. 低周波音の苦情と実態

低周波音の評価方法について知りたい方..... (参考資料) 低周波音の基礎知識

d. 低周波音の影響

低周波音の音圧レベルや周波数特性

について知りたい方..... (参考資料) 低周波音の基礎知識

e. 低周波音の事例

目次

	(頁)
1. 本マニュアルに用いる用語	1
2. 低周波音の発生源と苦情	4
2.1 低周波音の発生源と発生機構	4
2.2 低周波音の苦情	5
2.3 低周波音の卓越周波数と苦情内容	6
3. 測定の目的	8
4. 低周波音の苦情があった場合の対処方法	9
4.1 低周波音問題の診断手順	9
4.2 発生状況の把握 (状況調査)	11
4.2.1 苦情の内容	11
4.2.2 発生状況	13
4.3 予備調査	15
4.3.1 予備調査の目的	15
4.3.2 調査内容	16
5. 低周波音の測定方法	19
5.1 測定計画	19
5.1.1 測定量	19
5.1.2 低周波音の測定系列	21
5.1.3 低周波音の測定機器	24
5.1.4 測定時期	27
5.1.5 測定場所および測定点の選定	29
5.1.6 人員配置	37
5.2 現場測定方法	39
5.2.1 低周波音圧レベル計の設定	39
5.2.2 レベルレコーダによる記録	40

5.2.3	レベル処理器による測定	43
5.2.4	実時間周波数分析器による測定	44
5.2.5	低周波音の録音	46
5.3	測定時の注意事項等	48
5.3.1	気象条件、地形等による影響	48
5.3.2	暗騒音の影響	50
5.3.3	風雑音の影響	51
5.3.4	その他の注意事項	57
5.3.5	発生源の状況の記録	57
5.4	音圧レベル指示値の読み取り方法	58
5.4.1	G特性音圧レベル	58
5.4.2	1/3 オクターブバンド音圧レベル	60
5.5	測定結果に付記すべき事項	61
6.	録音データの解析方法	62
6.1	G特性音圧レベル波形の記録	62
6.2	レベル処理器による統計処理	62
6.3	実時間周波数分析器による周波数分析	62

参考資料

低周波音の基礎知識

- a. 低周波音とは
- b. 低周波音と超低周波音の周波数範囲
- c. 低周波音の苦情と実態
 - c.1 低周波音苦情の分類
 - c.2 低周波音苦情の発生状況
- d. 低周波音の影響
 - d.1 感覚閾値

- d.2 心理的影響
 - d.3 生理的影響
 - d.4 睡眠影響
 - d.5 物的影響
 - e. 低周波音の事例
- データシート及びチェックリストの例

1. 本マニュアルに用いる用語

(1) 超低周波音

一般に人が聴くことができる音の周波数範囲は 20Hz-20kHz とされており、周波数 20Hz 以下の音波を超低周波音という。ここで取り扱う範囲は 1/3 オクターブバンド中心周波数 1-20Hz (またはオクターブバンド中心周波数 2-16Hz) の音波である。

(2) 低周波音

我が国における低周波音苦情の実態を考慮して、およそ 100Hz 以下の低周波数の可聴音と超低周波音を含む音波を低周波音という。従前、環境庁で低周波空気振動と呼んでいたものである。ここで取り扱う範囲は 1/3 オクターブバンド中心周波数 1-80 Hz (またはオクターブバンド中心周波数 2-63 Hz) の音波である。

(3) G 特性

1-20Hz の超低周波音の人体感覚を評価するための周波数補正特性で、ISO-7196 で規定された。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 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。

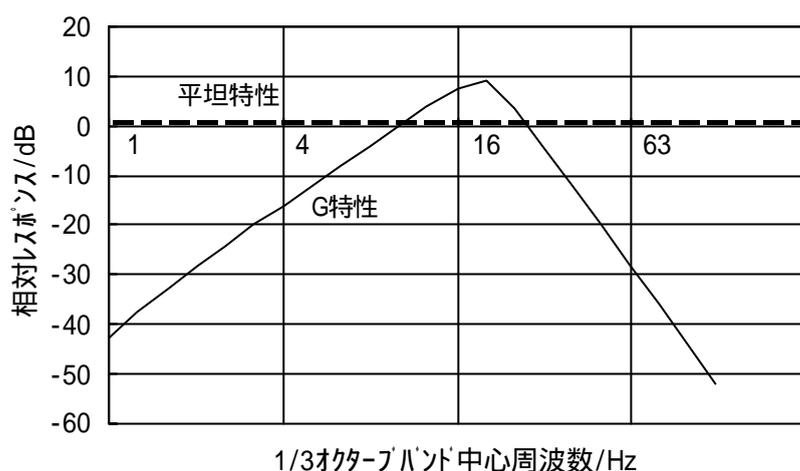


図-1.1 低周波音の周波数補正特性

表-1.1 基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数/Hz	平坦特性		G特性	
	基準レスポンス/dB	許容差/dB	基準レスポンス/dB	許容差/dB
1	0	±3	-43	±3
1.25	0	±3	-37.5	±3
1.6	0	±3	-32.6	±3
2	0	±2	-28.3	±2
2.5	0	±2	-24.1	±2
3.15	0	±1.5	-20	±1.5
4	0	±1	-16	±1
5	0	±1	-12	±1
6.3	0	±1	-8	±1
8	0	±1	-4	±1
10	0	±1	0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	-4	±1
40	0	±1	-12	±1
50	0	±1	-20	±1
63	0	±1	-28	±1
80	0	±1.5	-36	±1.5

(4) 音圧レベル

音圧の実効値 p の二乗を基準音圧 $p_0 (=2 \times 10^{-5} \text{ Pa})$ の二乗で除した値の常用対数の 10 倍である。単位はデシベル，単位記号は dB。低周波音の場合は，低周波音領域の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。

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad (\text{式 1})$$

L_p : 音圧レベル (dB)

p : 音圧の実効値 (Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

(5) G 特性音圧レベル

ISO-7196 に定められた周波数補正特性 G 特性で重み付けられた音圧レベル。基準音圧は 2×10^{-5} Pa, 単位はデシベル, 単位記号は dB。

$$L_G = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_G^2}{p_0^2} \right) \quad (\text{式 2})$$

L_G : G 特性音圧レベル (dB)

p_G : G 特性音圧の実効値 (Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

2. 低周波音の発生源と苦情

2.1 低周波音の発生源と発生機構

可聴域の低周波音（概ね 20Hz 以上の低周波数の騒音）は、機械や構造物が通常の稼働状態で発生する。一方、概ね 20Hz 以下の超低周波音は、多くの場合、機械・構造物が正常な状態では発生せず、送風機の旋回失速の共振等特異な稼働状態において発生する。

低周波音の発生機構と発生機構別の発生源を以下に示す。

- 1) 平板の振動によるもの：板や膜の振動を伴うものなど
例えば大型の振動ふるい、道路橋、溢水ダムの水流等
- 2) 気流の脈動によるもの：気体の容積変動を伴うものなど
例えば空気圧縮機、真空ポンプ等の圧縮膨張による容積変動
- 3) 気体の非定常励振によるもの：
例えば大型送風機の翼の旋回失速やシステムのサージング、振動燃焼等
- 4) 空気の急激な圧縮、開放によるもの：
例えば発破、鉄道トンネルの高速での列車突入等

低周波音の問題が発生する可能性のある主なものを以下に示す。

送風機（送風機を用いる集塵機、乾燥機、空調機冷却塔等）

往復式圧縮機

ディーゼル機関（ディーゼル機関を用いる船舶、非常用発電装置、バス、トラック等）

真空ポンプ（ロータリーブロウ、脱水ポンプ）

振動ふるい（類似の振動コンベア、スパイラルコンベア、破碎機等）

燃焼装置（ボイラー、加熱炉、熱風炉、転炉、焼結炉、焼成炉、電気炉、ロータリーキルン、キューポラ等）

ジェットエンジン（ジェットエンジンを用いる航空機、非常用発電装置等）

ヘリコプター

機械プレス

橋梁

鉄道トンネル

治水施設（ダム、堰堤等）

発破

ガスエンジン

変圧器

2.2 低周波音の苦情

低周波音による苦情は物的苦情と心理的苦情、生理的苦情に大別される。苦情の内容を以下に示す。

（1）物的苦情

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

物的苦情が発生する場合は、低周波音では、20Hz以下に卓越周波数成分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も発生する場合があるので、低周波音と地面振動の両方の可能性を考えておく必要がある。

（2）心理的苦情、生理的苦情

心理的苦情は、低周波音が知覚されてよく眠れない、気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがするといった苦情である。生理的苦情は、頭

痛・耳鳴りがする、吐き気がするといった苦情である。

心理的苦情、生理的苦情は、低周波音が原因である場合と低周波音以外の原因による場合が考えられる。低周波音が原因であるか否かは、苦情者の反応と物理量の対応関係により判定する。

低周波音が原因である場合は、20Hz以下の超低周波音による可能性と、20Hz以上の可聴域の低周波音による可能性が考えられる。このうち、超低周波音によって心理的苦情、生理的苦情が発生している場合には物的苦情も併発していることが多く、建具等の振動によって二次的に発生する騒音に悩まされている場合もある。可聴域の低周波音の場合は非常に低い音が聞こえる（感じられる）ことによって上記のような苦情が発生することが多い。

2.3 低周波音の卓越周波数と苦情内容

これまでの研究結果によれば、揺れやすい建具の場合、20Hz以下では人が感ずるよりも低い音圧レベルでがたつくことがわかっている。実際の苦情についても同様な傾向があるかどうかを調べるため、既存の文献に掲載された事例の中から、苦情内容と低周波音の周波数特性が記載されているものについて、低周波音の卓越周波数と苦情内容を整理した（表-2.1 参照）。

文献にとりあげられた低周波音の苦情は物的苦情が多数を占めている。苦情発生時の低周波音の卓越周波数はおおよそ3～50Hzの範囲に分布している。苦情内容別にみると、物的苦情のほとんどは「建具のがたつき」によるものである。物的苦情は、20Hz以上の可聴域でがたつきが発生している例もみられるが、ほとんどの場合可聴域以下の周波数域で発生している。心理的・生理的苦情は「気分が悪い」、「発生音がうるさい」といったものであるが、苦情発生時の低周波音はいずれも可聴域の低周波音成分が卓越している。

表-2.1 低周波音苦情発生時の発生源・苦情内容・低周波音の卓越周波数一覧

苦情発生時の 低周波音の発生源	苦情内容				備考	苦情発生時の 低周波音の卓 越周波数 (Hz)	参考文献	
	物的	心理的	生理的	具体的な 内容			著者名	文献名
送風機					上階床の振動	40	鶴飼他	日本騒音制御工学会講演論文集, S53.11, pp.135
送風機						7		
送風機吸気口						16	森他	日本騒音制御工学会講演論文集, S54.9, pp.213
送風機						12.5, 16, 31.5, 40	岡田他	日本騒音制御工学会講演論文集, S56.9, pp.109
集塵機						3.5, 7, 11, 14	工藤他	日本音響学会講演論文集, S57.10, pp.415
空気圧縮機						12.5	原田他	日本騒音制御工学会講演論文集, S52.11, pp.95
機械プレス						5	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.45
シェイクアウトマシン						10, 12.5	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.56
振動破砕機						16, 25	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.60
ボイラー						8	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.64
キューボラ						40, 50	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.67
安全弁(ボイラー)						9.2	大山他	日本騒音制御工学会講演論文集, S55.9, pp.189
加熱機						4	月足他	日本騒音制御工学会講演論文集, S58.9, pp.1
コンプレッサ						20, (40)	中野他	日本音響学会講演論文集, S50.5, pp.221
コンプレッサ				不快感	制御室内定在波	25	田野他	日本騒音制御工学会講演論文集, S55.9, pp.193
真空ポンプ						8, 16	工藤他	日本騒音制御工学会講演論文集, S54.9, pp.217
真空ポンプ						6, 9, 12, 15, 18	荒見他	日本騒音制御工学会講演論文集, S56.9, pp.121
試験室加振機				不快感、 圧迫感	工場内	25	中村	日本音響学会講演論文集, S57.3, pp.403
浮屋根式ガスホルダー						8	藤山他	日本騒音制御工学会講演論文集, S59.9, pp.201
建物壁面振動						6, 3, 8	横倉他	日本騒音制御工学会講演論文集, S55.9, pp.181
建物壁面振動						4, 25	西脇他	日本騒音制御工学会講演論文集, S55.9, pp.201
振動ふるい				気分が悪い	事務室内定在波	31.5	山崎他	日本騒音制御工学会講演論文集, S57.9, pp.205
振動ふるい					2台のふるいの唸り	12.5	西脇他	日本騒音制御工学会講演論文集, S58.9, pp.5
振動ふるい						12.5	大久保	日本騒音制御工学会講演論文集, S59.9, pp.209
振動コンベア						10	西脇他	日本騒音制御工学会講演論文集, S58.9, pp.5
砕石プラント						12.5	藤井他	日本騒音制御工学会講演論文集, S58.9, pp.9
ディーゼルエンジン						16	中西他	日本騒音制御工学会講演論文集, S51.12, pp.117
ディーゼルエンジン						8~25	岡田他	日本騒音制御工学会講演論文集, S53.11, pp.139
ディーゼルエンジン吸排 気口						12.5	西脇他	日本騒音制御工学会講演論文集, S51.12, pp.113
ガスエンジン排気音				ドッドツと いう音		19, 36	佐藤他	日本騒音制御工学会講演論文集, S60.9, pp.17
トンネル発破						4~6, 3(12.5)	塩田他	日本騒音制御工学会講演論文集, S60.9, pp.21
採石場発破						4~25	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.95
道路橋						21, 32, 38	西脇他	日本音響学会講演論文集, S51.5, pp.309
道路橋						3.2, 50, 54	清水他	日本騒音制御工学会講演論文集, S51.12, pp.109
道路橋						4, 10, 12.5	内田他	日本騒音制御工学会講演論文集, S53.11, pp.125
道路橋						4, 12.5, 16, 31.5, 40	中川他	日本音響学会講演論文集, S54.10, pp.317
道路橋						4, 12	根木他	日本騒音制御工学会講演論文集, S56.9, pp.137
道路橋						4, 31.5	渡辺他	日本騒音制御工学会講演論文集, S58.9, pp.13
道路橋						3.15, 4, 10, 40	池館	日本騒音制御工学会講演論文集, S61.9, pp.337
道路橋						4~8, 40~50	萩原	日本騒音制御工学会技術レポート, No.6, pp.87
新幹線トンネル出口						10	西脇他	日本音響学会講演論文集, S51.10, pp.176
地下鉄換気設備						11, 25	岡野他	日本騒音制御工学会講演論文集, S60.9, pp.13
ジェットエンジン						6.3, 10, 12.5, 25	柳原他	日本騒音制御工学会講演論文集, S54.9, pp.209
ジェットエンジン						6.3, 6.5	樋口他	日本騒音制御工学会講演論文集, S54.9, pp.221
ノイズサプレッサ						12.5, 20	守岡他	日本騒音制御工学会講演論文集, S55.9, pp.197
ノイズサプレッサ						6.3~31.5	沢地他	日本騒音制御工学会講演論文集, S56.9, pp.125
フェリーディーゼルエン ジン排気口						25	岡田他	日本騒音制御工学会講演論文集, S59.9, pp.189
フランスス水車ドラフト 開口部						6.5, 11	岡野他	日本騒音制御工学会講演論文集, H1.9, pp.153
落水音の配水池内部での 共鳴						29.5, 32, 40.5	岡野他	日本騒音制御工学会講演論文集, H6.10, pp.257
水処理場濾過池流水落下						16~17, 28	工藤他	日本騒音制御工学会講演論文集, S52.11, pp.99
ダム放流						5	金沢他	日本音響学会講演論文集, S51.10, pp.181
堰放流						16	杉山他	日本音響学会講演論文集, S54.6, pp.409

3 . 測定目的

測定に当たっては、目的によって測定点、測定時期、測定方法等が異なるので、目的を明確にする必要がある。低周波音の影響、評価、対策を行うために測定を行うのであるが、測定の目的として主として以下の場合が考えられる。

(1) 苦情対応

低周波音によると思われる苦情が発生した場合。

なお、振動によると思われる苦情（主に建具等の振動の苦情）の中にも低周波音が原因である場合もあるので、注意が必要である。

(2) 現況把握

環境影響評価にあたり、当該地域の低周波音の現況を把握する場合。また、低周波音の環境調査、実態調査等を行う場合もある。

(3) 対策および発生原因の解明

発生メカニズムの解明や音源探査などの詳細な測定が行われる場合もある。

(4) 対策効果の確認

対策の前後に測定を行い、対策の効果を確認する。

4 . 低周波音の苦情があった場合の対処方法

4 . 1 低周波音問題の診断手順

測定計画からレポート作成までの流れを図-4.1 に示す。

低周波音の苦情が寄せられた場合、問題解決のためにどのような考え方で進めるかの流れを頭に入れる必要がある。その苦情が実際に低周波音によるものなのかを的確に判断することが重要である。

まずはじめに、窓口、電話等で苦情の発生状況を聞く。そこで、騒音か、振動か、低周波音か、そのいずれでもないかの見当をつける。ここに「そのいずれでもないか」という項目が入っているのは、「騒音でも振動でもない場合は全て低周波音によるものではないか」と誤解している人がいるためである。低周波音による影響があるのはどのような場合であるかをあらかじめ理解し、この条件にあてはまらない場合には、騒音、振動、低周波音以外の他の要因によることも考えられる。

しかし、実際には電話や窓口での対応ではなかなか状況の把握が難しい。そこで、このような場合には、調査員自ら現地に赴いて発生状況を体感し、発生状況を把握する。現場調査が必要な場合にも予備調査を行い、調査の結果に基づいて本調査の計画を立てる。

専門的な知識を必要とする場合には、専門家に調査を依頼するののも一つの方法である。

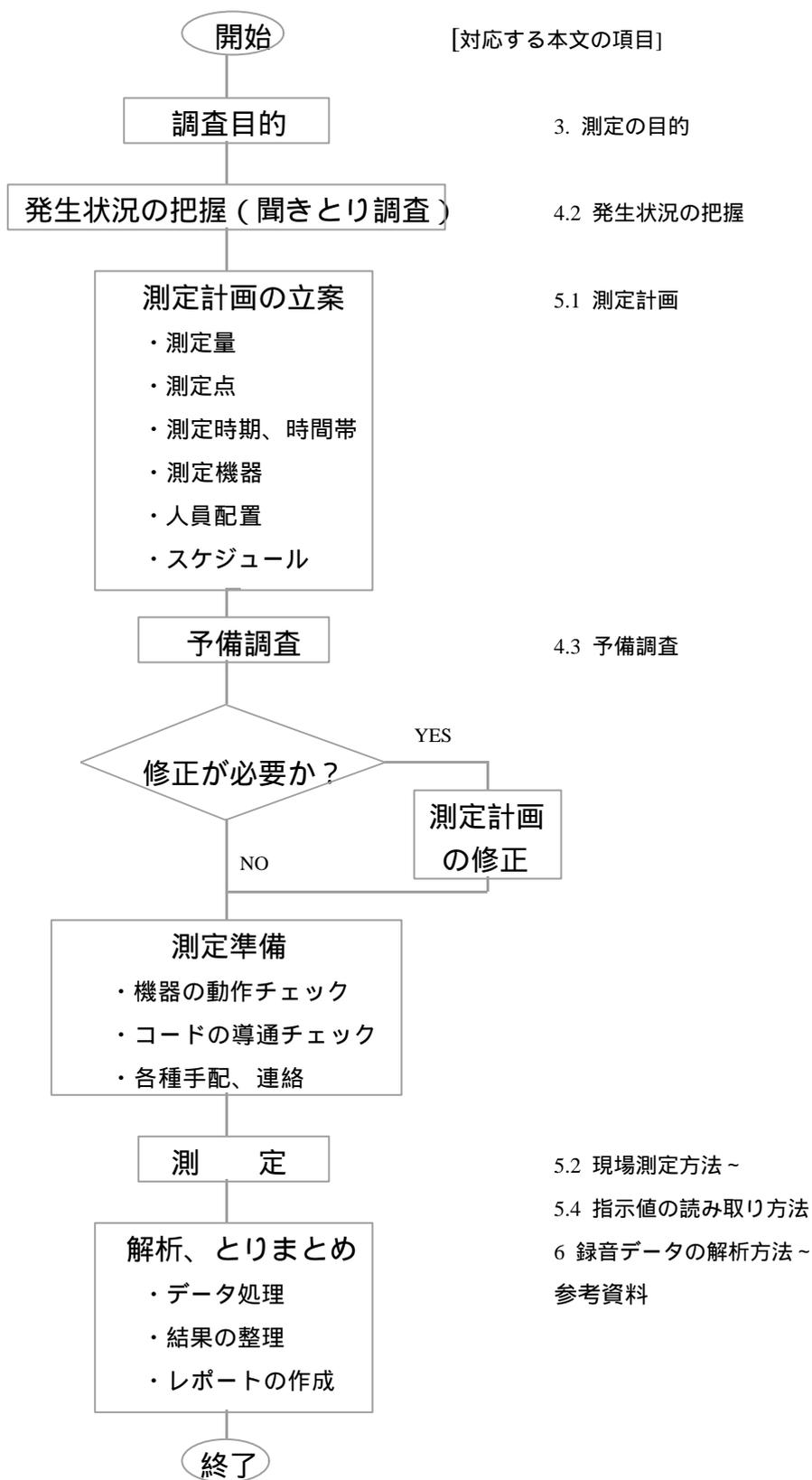


図-4.1 測定計画からレポート作成までの流れ

4.2 発生状況の把握（状況調査）

窓口、電話等で苦情の内容、発生状況について聞きとりを行い、低周波音によるものかどうか、低周波音の場合は 20Hz 以下の超低周波音によるものか、20Hz 以上の可聴域の低周波音によるものかを推測する。

4.2.1 苦情の内容

低周波音による苦情は物的苦情と心理的苦情、生理的苦情に大別される。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。心理的苦情は、低い音が気になる、気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがするといった苦情で、生理的苦情は、頭痛・耳なりがする、吐き気がするといった苦情である。

苦情者とのやりとりから、苦情内容がこのいずれかにあてはまるか、それ以外かに分類する。物的苦情か心理的苦情、生理的苦情の場合、以下のような場合が推測される。

（1）物的苦情

物的苦情が発生する場合は、低周波音では、20Hz 以下に卓越周波数成分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も発生する場合があるので、低周波音と地面振動の両方の可能性を考えておく必要がある。

（2）心理的苦情、生理的苦情

心理的苦情、生理的苦情の場合は、20Hz 以下の超低周波音による可能性と、20Hz 以上の可聴域の低周波音による可能性が考えられる。このうち、超低周波音の場合は物的苦情も併発していることが多く、建具等の振動によって二次的に発生する騒音に悩まされている場合もある。可聴域の低周波音の場合は非常に低い音によって上記のような苦情が発生していることが多い。

低周波音の知覚と低周波音による建具応答の領域区分を図-4.2 に示す。低周波音による影響は低周波音の周波数特性によりそれぞれ異なるので、この図を参考にして、どのような低周波音が発生している可能性があるかの目安を立てることができる。(なお、この図の閾値は平均的なものであるので注意を要する。感覚閾値の標準偏差は 5dB 程度あり、平均値からみると 10dB 程度の違いがみられる可能性がある。建具のがたつき閾値は、このレベル以上でがたつきの可能性を示しており、常にながたつくわけではない。)

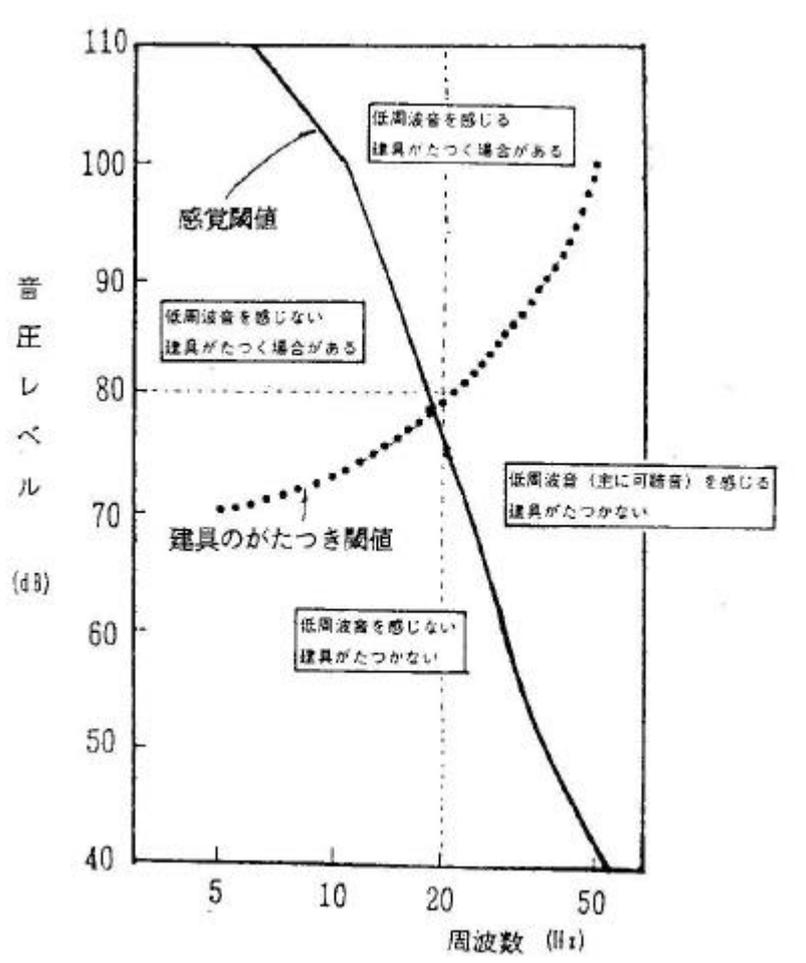


図-4.2 低周波音の知覚と低周波音による建具応答の領域区分

4.2.2 発生状況

(1) 現象を感じる場所

物的苦情の場合、屋内でがたつきが知覚され問題が発生することが多い。低周波音の卓越周波数と部屋を含めた建具の共振周波数が一致した場合に、低い音圧レベルで建具の微振動が発生しやすい。建具の共振特性は建具の取付け状況や室内の他の建具の開閉状況によっても異なるので、どういう条件のときに建具が振動しやすいかも尋ねておくといよい。

心理的、生理的苦情では、窓の開け閉めによって室内での感じ方が変わる場合がある。例えば、発生源が屋外にある場合、騒音であれば窓を閉めたほうが窓の遮音効果によって音を小さく感じるが、低周波音の場合、窓を閉めると高い周波数の音が遮蔽されて、窓を開けていたときには気付かなかった低い周波数の音の存在を知覚することがある。心理的苦情や生理的苦情は超低周波音による割合よりも可聴域の低周波音による割合が多い。可聴域の低周波音では室内で定在波が生じて、局所的に音が大きい場所、小さい場所が存在することがあるので、特に問題となる場所があるかどうか尋ねておくといよい。

(2) 現象の発生性状（持続的か間欠的か）

発生源がはっきりとつかめない場合など、低周波音（あるいは現象）の発生性状が持続的か間欠的か等によって、発生源を推定できる場合がある。例えば建具のがたつき等は発生源の性状の影響を受けやすい。持続的に発生する低周波音の場合は建具のがたつきも持続的に発生し、低周波音が間欠的に発生する場合にはがたつきも間欠的に発生する。

(3) 発生時期、時刻

現象の発生性状の場合と同様に、低周波音の発生源を推定する際の手がかりになる。例えば、低周波音の発生時間と機械の稼働時間あるいは稼働状況と対応させることにより、発生源を推定できる場合がある。また、風向きなど、気

象条件の違いによって影響の異なる場合も考えられる。

(4) 耳で聞こえるか

問題となっているのが、超低周波音なのか可聴域の低周波音なのかを推定する材料になる。非常に低い音が耳で聞こえれば、可聴域の低周波音が存在することになる。

(5) 胸や腹を圧迫されるような感じがするか

低周波音に特有な感覚として圧迫感・振動感がある。大きな音圧レベルの超低周波音が発生している場合や可聴域の低周波音が発生している場合には、胸や腹を圧迫されるような感じがすることがある。

(6) 建具等が振動するか

建具等が振動するかないか、建具がどの程度振動しているか（かすかに振動しているか、激しく振動しているか）を尋ねる。窓の種類（木製の建具か、金属製の建具か）や施錠の有無によっても、低周波音によるがたつきの発生状況が異なる。低周波音が発生している場合には、どの程度の音圧レベルが発生しているかのおおまかな推測をする材料となる。建具のがたつき閾値を参考に推定する。

(7) 苦情者の分布

大型の発生源により低周波音問題が発生した場合、影響範囲は広いことが予想される。家庭用ボイラーなどのあまり大きくない発生源により低周波音問題が発生した場合には、影響範囲は限定されることが多い。

同じような苦情を寄せる者がその周辺にどの程度分布しているかも、発生源を推定する手がかりになる。

(8) 周辺の状況

問題となる低周波音が発生するためには、発生源はある程度の大きさがなけ

ればならない。苦情者の周辺に、大きな音圧レベルの低周波音を発生する可能性がある発生源がないかどうかについても尋ねてみるとよい。

4.3 予備調査

4.3.1 予備調査の目的

予備調査を行う目的として、以下の2つがあげられる。

- (1) 調査員自身による発生状況の把握
- (2) 現場実測調査のための概略的な状況把握

(1)については、苦情が寄せられた場合、電話や窓口で問題が解決しないとき、現場の状況が把握できないとき、現地調査が必要なとき等が考えられる。調査員が現地に赴いて調査員自ら体感し、発生状況を把握する。現地調査を行う場合には、予備調査結果に基づいて測定点、測定時期、使用機器等を決定する。

(2)については、現況把握、発生メカニズムの解明、対策効果の確認を行う場合が考えられる。これらの測定点、測定時期の選定も含め、測定計画を立てるにあたって、事前に現場の状況を把握することが不可欠である。

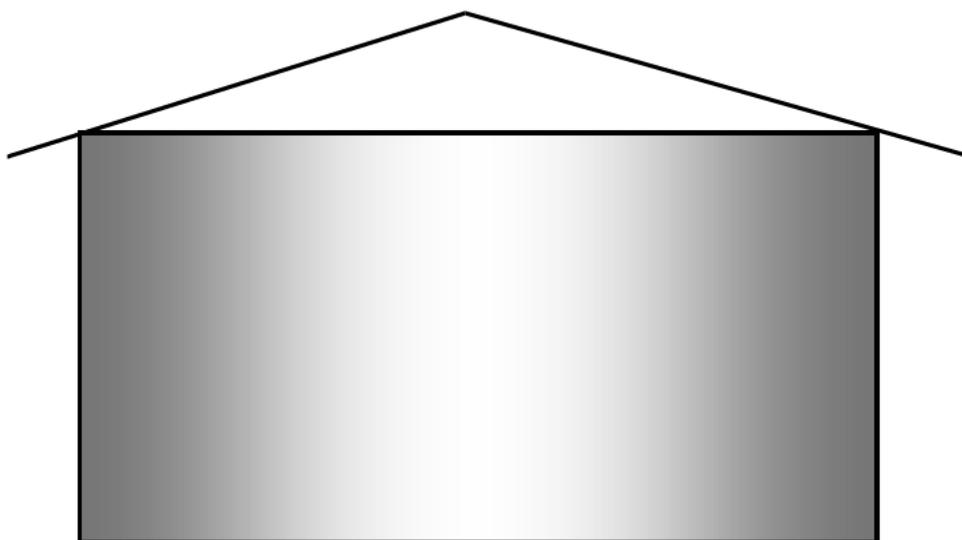
4.3.2 調査内容

ここでは、主に苦情が寄せられた場合の予備調査を中心に、調査のポイントについて述べる。調査項目は、基本的には窓口、電話等における状況調査とほとんど同様である。

(1) 現象を感じる場所

建具のがたつきが発生する場合、室内のどの建具ががたつくか、そのときの室内の各建具の開閉状況はどうであるかを確認する。低周波音は波長が長いので、がたつきが発生している方向に必ずしも発生源があるとは限らないので注意する。

心理的、生理的苦情がある場合には、屋外と屋内で低周波音が感じられるか、聞こえるか確かめる。屋内では窓を開閉してみるとよい。可聴域の低周波音では図-4.3 に示すように室内で定在波が生じて、局所的に音が大きい場所、小さい場所が存在することがあるので、室内を移動して特に大きく感じる場所があるかどうか確かめることとよい。図では左右方向で強さが異なっているが、高さによってレベルが異なることもある。



可聴域の低周波音では、室内の場所によって音の大小が存在する場合がある

図-4.3 室内で定在波が生じた場合の音圧分布

(2) 現象の発生性状（持続的か間欠的か）

可聴域の低周波音であれば、低周波音（あるいは現象）の発生性状が持続的か間欠的かは耳で確認できる。

大きな音圧レベルの超低周波音が発生している場合には、低周波音圧レベル計のメーターの動きで性状を確認することができる。

(3) 耳で聞こえるか

可聴域の低周波音は、苦情が発生するくらいの音圧レベルの低周波音が発生していれば耳で聴いてわかる（知覚される）。ただし、低周波音の感覚閾値は個人差が大きいので、複数の調査員によって確認することが望ましい。特に機械等が稼働したり停止したりする場合はわかりやすい。超低周波音の場合はかなり大きな音圧レベルが発生している場合でないと、なかなかその存在に気づかない。屋外の場合は、周囲の騒音によりマスクされてわかりづらいことが多い。

(4) 建具等が振動するかしらないか

特に揺れやすい建具の場合、超低周波音で建具が微振動することにより二次的な騒音が発生することがある。一般に金属製の建具は木製建具より揺れにくい。特にアルミサッシなどでクレセントをしてある（施錠してある）場合には、音圧レベルが大きくてもがたつかないことが多い。

建物の外側から、建具の微振動を励起させるような超低周波音が発生しているかどうかの見当をつけるには、建物の外部に面した建具を見るとよい。窓等が揺れているかどうかは、窓面の動き（窓に写り込んだ景色の動き）でわかることが多い。工場・倉庫などのシャッターや、トタンや鉄板などでできた簡易の塀や面積の大きい看板等を手で軽く触ってみるとよい。この方法は、高い音圧レベルの超低周波音が発生している場合には有効である。

(5) 苦情との対応

苦情者宅を訪れる場合には、調査員の体感または物理量（低周波音圧レベル

計の音圧レベルの変化)と苦情者の反応が対応するかどうか注目する。苦情者の反応と物理量が対応していれば、低周波音がその要因の一つである可能性が考えられる。

(6) 周辺の状況

苦情対応では、苦情者の周辺に大きな音圧レベルの低周波音の発生源があるかどうか調査する。

低周波音の発生源がはっきりしている場合の実態調査、発生メカニズムの解明、対策効果の測定等を行う場合には、対象とする低周波音以外の発生源がないか、ある場合には稼働状況等を確認しておく必要がある。

できればカメラ、ビデオ等で現場の状況を記録しておく、後で役に立つことがある。

(7) 測定点候補地の選定

苦情対応、発生メカニズムの解明、対策効果の確認のための現場測定を行う場合には、あらかじめ測定に適した場所を選定する。測定点の選定条件については次の章で述べる。

5 . 低周波音の測定方法

5 . 1 測定計画

5.1.1 測定量

(1) 低周波音の感覚及び睡眠への影響に関する評価に用いる測定量

超低周波音の感覚及び睡眠への影響に関しては、G 特性音圧レベルを測定する。

G 特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合には、実時間周波数分析器等を用いて 1/3 オクターブバンドで周波数分析を行い、周波数分析結果に G 特性補正值（表-1.1 参照）を加えた後、エネルギー - 加算して G 特性音圧レベルを計算で求めてもよい。なお、衝撃性の超低周波音の場合は、オクターブバンド音圧レベルから G 特性音圧レベルを求めるのが望ましい。G 特性音圧レベルの計算例を表-5.1 に示す。

また、必要に応じて低周波音の周波数分析を行い、1/3 オクターブバンド音圧レベル（衝撃性の超低周波音の場合は、オクターブバンド音圧レベル）を測定する。

(2) 低周波音の建具等のがたつきに関する評価に用いる測定量

低周波音の建具等のがたつきに関する評価に関連する測定は、実時間周波数分析器等を用いて低周波音の周波数分析を行い、1/3 オクターブバンド中心周波数 1 ~ 50Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。

(3) 低周波音の圧迫感・振動感に関する評価に用いる測定量

低周波音の圧迫感・振動感に関する評価に関連する測定は、実時間周波数分析器等を用いて、1/3 オクターブバンド中心周波数 1 ~ 80Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。

(訂正; p.20 表-5.1 を以下の表に差し替えてください。平成 12 年 11 月 16 日)

表-5.1 G特性音圧レベルの計算例

No.	1	2	3=1+2	4	5	6=4+5
発生源	(例)安全弁 .対策前			(例)安全弁 .対策後		
	音圧レベル (平坦特性)	G特性補正	音圧レベル (G特性)	音圧レベル (平坦特性)	G特性補正	音圧レベル (G特性)
O.A./dB	104	-	103	85	-	84
f/Hz						
1		-43			-43	
1.25		-37.5			-37.5	
1.6		-32.6			-32.6	
2		-28.3			-28.3	
2.5	65	-24.1	40.9	65	-24.1	40.9
3.15	65	-20	45	75	-20	55
4	65	-16	49	62	-16	46
5	68	-12	56	68	-12	56
6.3	78	-8	70	75	-8	67
8	95	-4	91	78	-4	74
10	103	0	103	81	0	81
12.5	80	4	84	72	4	76
16	71	7.7	78.7	65	7.7	72.7
20	70	9	79	60	9	69
25	69	3.7	72.7		3.7	
31.5	67	-4	63		-4	
40	65	-12	53		-12	
50	65	-20	45		-20	
63	64	-28	36		-28	
80	63	-36	27		-36	
備考		ISO7196			ISO7196	

5.1.2 低周波音の測定系列

(1) G特性音圧レベルの測定

G特性音圧レベルの測定を行うには、以下の測定系列が考えられる。

a. G特性音圧レベルを測定できる低周波音圧レベル計を用いる場合

G特性音圧レベルの変動が小さい場合には、低周波音圧レベル計の指示値を直接読み取ってもよい。G特性音圧波形の出力をもつ低周波音圧レベル計を用いる場合には、低周波音圧レベル計の出力をレベルレコ-ダの入力に接続して測定を行う。低周波音では風の影響を受けやすいので、できるだけレベルレコ-ダも合わせて用いて風雑音による影響をこまめにチェックすることが望ましい。

間欠的、衝撃的な低周波音においても、風がなく背景的な低周波音とのレベル差が十分大きい場合には、低周波音圧レベル計の指示値を直接読み取ってもよい。通常は、変動の大きい低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音を測定する場合などには、レベルレコ-ダでレベル波形をモニタ-しながらデ-タレコ-ダ等に録音し、持ち帰って解析したほうが失敗が少ない。測定系列の例を図-5.1.1に示す。

b. G特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合

G特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合には、実時間周波数分析器等を用いて現場で周波数分析を行うか、平坦特性で低周波音を録音し、持ち帰って再生し、実時間周波数分析器等を用いて周波数分析を行う。測定系列については、(2)の低周波音の周波数分析を参照のこと。

(2) 低周波音の周波数分析

低周波音圧レベル計の出力を分岐し、一方は実時間周波数分析器の入力に、他方はレベルレコ-ダの入力に接続して低周波音のレベル波形をモニタ-しながら、周波数分析を行う。低周波音圧レベル計の周波数補正特性は平坦特性と

する。したがって、使用する低周波音圧レベル計は、G特性の付いた低周波音圧レベル計でもG特性を持たない低周波音圧レベル計でもよい。

風が吹いている場合には、レベルレコ - ダや実時間周波数分析器を用いて風雑音による影響をこまめにチェックすることが望ましい。

変動の小さい低周波音の場合は、現場での分析も可能であるが、変動する低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音の場合などは、(3)に示す低周波音の録音を行い、持ち帰って周波数分析をすることが望ましい。測定系列の例を図 - 5.1.2 に示す。

(3) 低周波音の録音

多点同時測定を行う場合や、詳細な解析を行う場合、騒音・振動・低周波音を同時に測定する場合などには録音を行う。また、(1),(2)でも述べたように、変動の大きい低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音の場合などには、低周波音の録音を行い、持ち帰って周波数分析をすることが望ましい。

低周波音圧レベル計の出力を分岐し、一方は録音器(デ - タレコ - ダ、DAT等)の入力に、他方はレベルレコ - ダの入力に接続して低周波音のレベル波形をモニタ - しながら録音を行う。その際、低周波音圧レベル計の周波数補正特性は、G特性音圧レベルを録音する場合にはG特性に、持ち帰って周波数分析を行う場合には平坦特性にする。使用する低周波音圧レベル計は、G特性音圧レベルを録音する場合以外は、G特性の付いた低周波音圧レベル計でもG特性を持たない低周波音圧レベル計でもよい。

風が吹いている場合には、録音に際して、レベルレコ - ダや実時間周波数分析器を見ながら風雑音による影響をこまめにアナウンスすることが望ましい。測定系列の例を図 - 5.1.3 に示す。



図-5.1.1 レベルレコーダによるG特性音圧レベルの測定系列の例

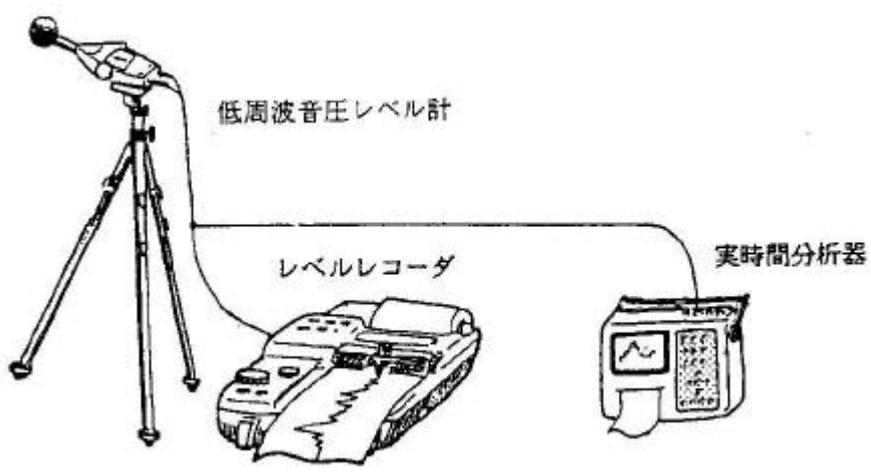


図-5.1.2 低周波音の周波数分析を行う場合の測定系列の例

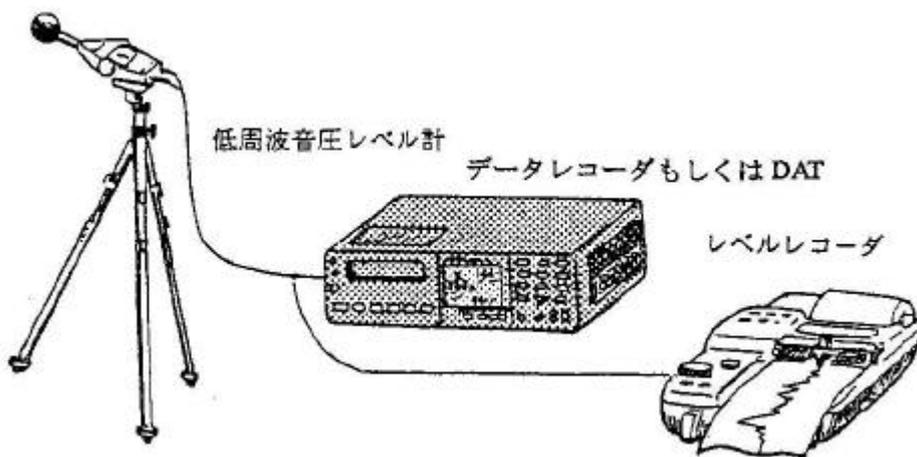


図-5.1.3 低周波音の録音を行う場合の測定系列の例

5.1.3 低周波音の測定機器

(1) マイクロホン

低周波音を測定するために、現在ではセラミックマイクロホン（圧電形マイクロホン）及びコンデンサマイクロホンが用いられている。

セラミックマイクロホンの性能は比較的安定しており、低周波数領域において良好な特性が得られる。セラミックマイクロホンは、振動膜と圧電素子からなり、通常は前置増幅器を内蔵してあり、その感度はそれらのマイクロホンが接続される低周波音圧レベル計や振動レベル計の感度に対応するものとなっている。

(2) 低周波音圧レベル計

これまで国内で市販されていた低周波音圧レベル計は、低周波音に特有の感覚である圧迫感・振動感を考慮した LSL 特性^{注)}等日本独自の機能を備えていた。また、ISO 規格 7196 の規定に対応した G 特性の入ったものも市販されている。

低周波音圧レベル計に使用されているマイクロホンは、圧電形マイクロホンが多い。測定音圧レベル 50～140dB 程度が測定できる。下限の音圧レベルは 50dB 程度、また大きな爆発現象以外では 140dB 以上の音圧は通常発生しないことから上限の音圧レベルは 140 dB 程度であればよいと考えられている。

指示計は騒音計と同じような性能を有しているが、動特性は SLOW 特性（時定数は 1 秒）が用いられる。1Hz 程度の低い周波数の信号に対して正しい実効値を指示するには時定数を 10 秒程度に大きくとらなければならない。SLOW 特性では 1 Hz の信号の測定にはやや時定数が不足しているが、2Hz ではほぼ問題がないこと及び新たな時定数を設けると騒音計との関連が複雑になることから SLOW 特性が用いられている。また、大きな時定数にすると低周波音の小さなレベル変動をとらえることが通常困難である。

注) LSL 特性； 50Hz をピークに低域では 12dB/oct.、高域では-18dB/oct.で減衰する特性。圧迫感・振動感との対応が良いとされる。

低周波音圧レベル計の概略を図-5.1.4に、低周波音圧レベル計の周波数レスポンスを図-1.1に示す。

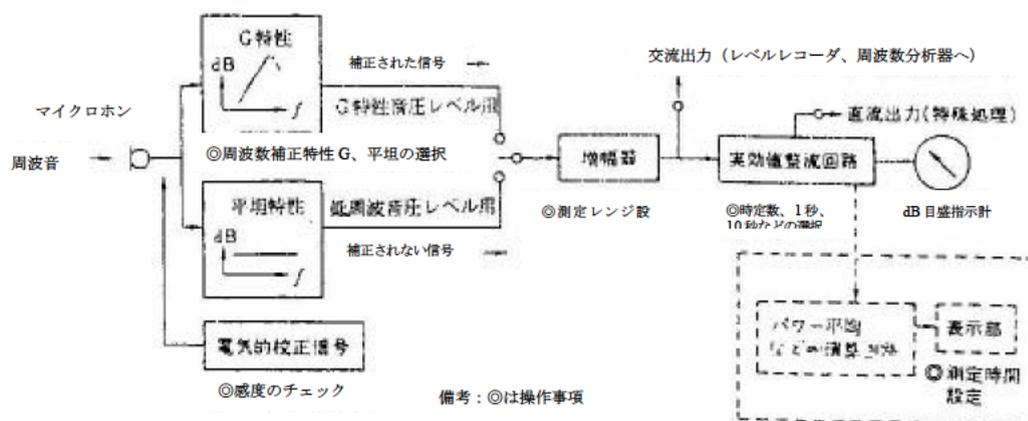


図-5.1.4 低周波音圧レベル計の動作原理と基本操作

低周波音圧レベル計が開発される以前は、低周波音マイクロホンと振動レベル計の組合せで低周波音の測定を行っていた。マイクロホン感度が加速度形(圧電形)ピックアップの感度と相対的に同じであるように調整された低周波音用セラミックマイクロホン(前置増幅器内蔵)を地面振動測定用の振動レベル計(JIS C 1510)に接続して、振動レベル計の平坦特性を1~90Hzの低周波増幅器として用いて、低周波音の音圧レベルを測定しようというものである。この測定系では、マイクロホン感度が振動ピックアップの感度と同じ関係になるように調整されているので、振動レベル計の加速度レベルのdB目盛をそのまま音圧レベルのdB目盛として読むことができる。但し、振動レベル計のメーターの時定数は0.63秒であるので、振動レベル計の出力をレベルレコーダに接続し、時定数1秒(動特性SLOW)で記録させるか、録音して解析する必要がある。

なお、発破などによる単発衝撃性低周波音の測定では、特殊な測定系を考えなければならない場合がある。そのような測定では、まず測定系の下限周波数や最大音圧レベルが問題であり、一般の低周波音の測定に用いられるような低

周波音圧レベル計では不十分である場合がある。次に測定系の指示部の動特性であるが、普通の実効値指示方式のものでは単発衝撃性低周波音に対して正しい測定値は得られない。通常は、爆発現象などは音圧波形記録が行われ、その場合の圧力センサーは圧電形、半導体形などが用いられる。音圧波形の記録は、測定系の入力インピーダンスや位相特性の影響を受けるので、それらについては測定器製造者から情報を得るか、実際の現象について機種による違い、測定点による違いなどの比較測定を行って確認することが必要である。

(3) レベルレコ - ダ

低周波音の測定では音圧レベルの変化の特徴をつかんで対象の音を判別または影響との関連を調べることが多い。また低周波音の測定では風の影響を受けやすいので、通常レベルレコ - ダによる音圧レベルの記録は欠くことができない。レベルレコ - ダの JIS 規格としては JIS C 1512「騒音レベル・振動レベル記録用レベルレコ - ダ」があり、この規格の振動レベル記録用の 1 ~ 90Hz を含む周波数範囲の特性を用いる。レベル記録の際の動特性には SLOW (時定数 1 秒) を用いる。

(4) 周波数分析器

低周波音の周波数分析には、一般には 1/3 オクタ - ブバンド分析器が用いられる。衝撃性の成分を含む超低周波音や変動の大きい超低周波音の周波数分析にあたっては、ごく低い周波数領域ではオクターブバンド分析器を用いることが望ましい。

実時間周波数分析器を用いればいくつもの帯域を同時に分析することが可能である。

周波数分析器の JIS 規格として JIS C 1513「オクタ - ブ及び 1/3 オクタ - ブバンド分析器」があり、1/3 オクタ - ブバンドフィルタの周波数レスポンスの許容範囲によって II 形 (一般測定用) と III 形 (精密分析用) がある。ただし、JIS C 1513 は近く改正され、ここではクラス 1 が精密法、クラス 2 が実用法に対応す

る。

(5) デ - タレコ - ダ等

低周波音の録音にあたっては、オ - ディオ範囲の録音装置は適さない。低周波という特殊な周波数の録音になるので、対象とする 20Hz 以下の信号を歪みなく正確に録音再生することができなければならない。測定する周波数範囲や測定可能な音圧レベル幅（ダイナミックレンジ）を十分に確認した上で機種を選定する。通常、低周波音の録音には計測用の録音装置（データレコーダやデジタルオ - ディオテ - プレコ - ダ；DAT）を使用する。特に、変動の大きい低周波音や衝撃性の低周波音を測定する場合には、ダイナミックレンジが十分な録音装置を使用する。

5.1.4 測定時期

(1) 苦情対応の場合

苦情対応の場合には、苦情が起こるような条件の低周波音が発生する時間、季節等に測定を行う。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場合には、条件毎に測定を行う。

稼働条件や運転状況によって、苦情者に低周波音による影響がない場合があれば（低周波音が原因でないかもしれないが）、その条件についても、測定を行うことが望ましい。

一日のうちで低周波音がいつ発生するかわからない場合には、レベルレコーダやデータレコーダを連続して動かして測定するのもひとつの方法である。

(2) 現況把握の場合

環境調査等で、低周波音の現況把握を行う場合には、その地域の低周波音の状況を代表する時期、時間帯、あるいは低周波音の問題を生じやすい時期、時間帯に行う。例えば前者の場合には、各時間区分で代表的な時間帯に測定する

のも一つの方法である。

(3) 暗騒音の影響

測定対象とする低周波音の発生源がわかっている場合、低周波音の測定は、測定する音圧レベルが対象以外の低周波音の影響を受けない時期、時間帯に行う。

対象以外の低周波音が対象の音とレベル差が少ない場合、対象以外の音が定常であれば、騒音レベル測定における暗騒音の補正方法に従って補正が可能である。対象以外の低周波音が変動するとき又はうなりを生じているときには、それらの影響を補正することはできない。

(4) 風の影響

低周波音の測定では、風の影響を強く受ける。対象とする低周波音の音圧レベルが小さいほど、周波数が低いほど風の影響を受けやすい。風の強さは季節や、時刻によっても異なる。季節別では、冬型の気象配置のときなどは季節風が強く吹いて測定が難しい。一日のうちでは、早朝や夕方の風のときは比較的風が穏やかで測定がやりやすい。

風雑音によるレベルの上昇は不規則かつ不安定で、風の強い場合には人が測定器にはりついて風雑音と対象音とを逐次仕分けしてやらないと、何を測っているかわからないことになる。大きな音圧レベルが発生したのは実は風によるものだったというようなことになりかねないので特に注意が必要である。風が強いときは低周波音の測定をしないほうが無難である。

発生源から数 km 程度の範囲について低周波音の伝搬を測定する発破などの場合には、風向や風速の違いによっても音圧レベルが大きく変化する。このような場合、測定にあたっては風向の異なる季節の代表的な時期に測定を行い、年間を通しての低周波音の発生状況を把握することが望まれる。

5.1.5 測定場所および測定点の選定

測定点は、原則として問題となる場所の屋外とするが、必要に応じて屋内にも設ける。

(1) 屋外における測定

屋外の測定点の選定にあたっては、暗騒音レベルが高くて対象となる低周波音が精度良く測定できない場所や、建物や地形による音の反射、遮蔽、回折によりごく局所的に音圧レベルが変化する場所は避ける。一般の環境低周波音を測定する場合、騒音測定の場合（騒音では建物より 3.5m 以上離れることになっている）よりも広い範囲の地形や建物の影響を受けるので、これらによる反射の影響がないかどうかを十分確認の上測定点を定める。マイクロホンの高さは地上 1.2～1.5m の高さとするが、風の影響がある場合は、地上に置いてよい。

機械、工場建物内外などの測定は、騒音の測定（例えば、騒音レベルの測定）に準じて測定点を定める。

遮蔽物、反射物の有無による音の伝わり方の違いを図-5.1.5 に示す。

(2) 建物の周囲における測定

低周波音の影響を受けている住宅など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、例えば実用的には窓の外側で窓から 1～2m 離れた場所で建物の問題となる階の床上 1.2～1.5m に相当する高さに設置する。

低周波音は騒音に比べて波長が長いので、建物から数m離れても反射、遮蔽、回折等により局所的に音圧レベルが変化する場合がある。ある点の音圧レベルを決めるとき、その周囲数点で測定し、大きな差がでるかどうかなを確認する程度のことには常に心がけるとよい。

低周波音の発生源がはっきりしている場合には、低周波音の影響を受けている住宅の近傍に加えて発生源近傍（例えば、敷地境界など）にも測定点を設け、同時に測定することが望ましい。

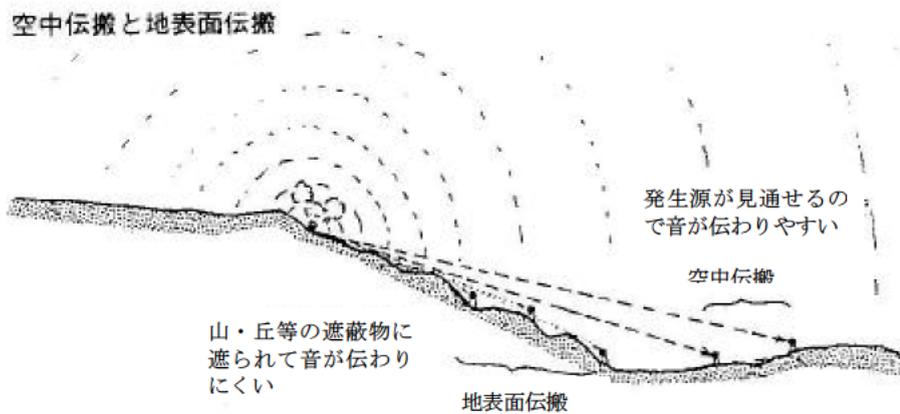
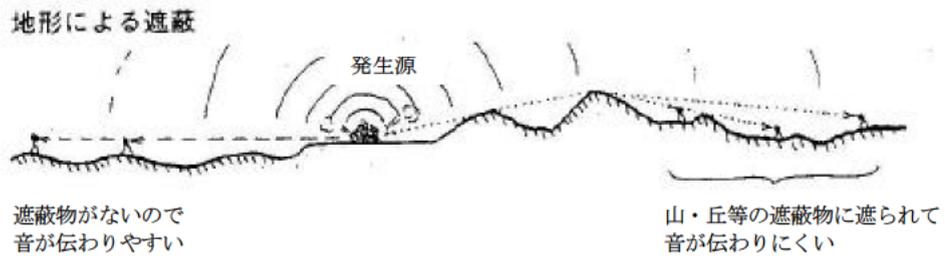
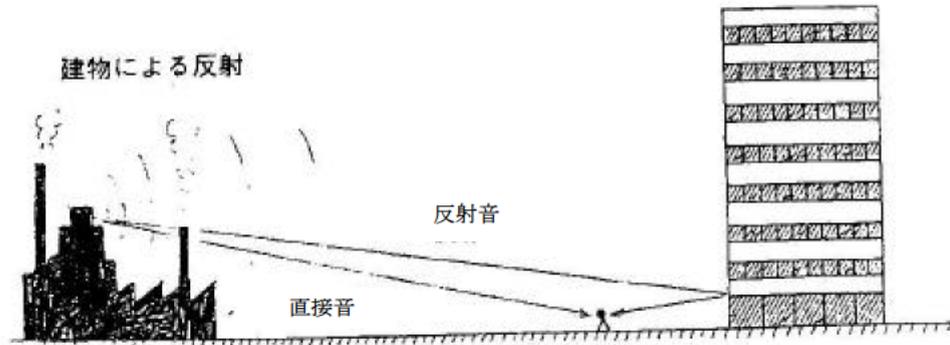


図-5.1.5 遮蔽物、反射物の有無による音の伝わり方の違い

(3) 距離減衰の測定

低周波音は地表面での吸収や空気吸収がほとんどないので、騒音に比べて遠方まで伝搬する。したがって低周波音の距離減衰を調べる場合、発生源から数 km といった遠距離まで測定することもある。

最初に問題となる方向について地図上で測定点を定める。一般的には、例えば機械から 1, 10, 20, … 50, 100, 200 m などのように概略二倍ずつ離れた点を測定点にとる。これは測定結果を図示するとき、片対数グラフ用紙の横軸（対数目盛）を距離、縦軸（等間隔目盛）を音圧レベルにとると、6dB / 倍距離あるいは 3dB / 倍距離の直線と比較して低周波音の減衰性状を検討しやすいためである。

発生源から数 km 程度の範囲について低周波音の伝搬を測定する場合には、風向の違いによる影響を考慮して、測定点を配置する。

距離減衰の測定点のとり方の一例を図-5.1.6 に示す。

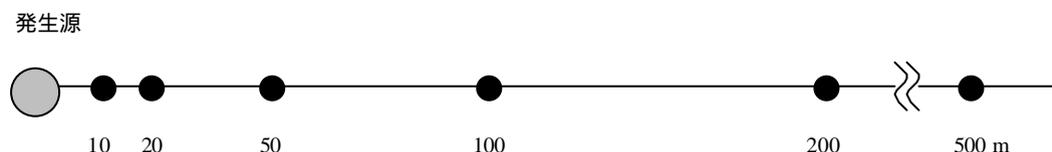


図-5.1.6 距離減衰の測定点の取り方の例

(4) 指向性の測定

低周波音がどの方向に強く発生しているかを調べる場合には、発生源の周りに測定点をとる。発生源の周りに建物などの遮蔽物や反射物がない場合には、同一円周上に測定点を配置する。例えば、正面方向から 30°、あるいは 45° ごとに測定点をとる。発生源の周りに建物などがある場合には、建物による反射、遮蔽、回折の影響の少ない場所に測定点をとる。

指向性の測定点のとり方の一例を図-5.1.7 に示す。

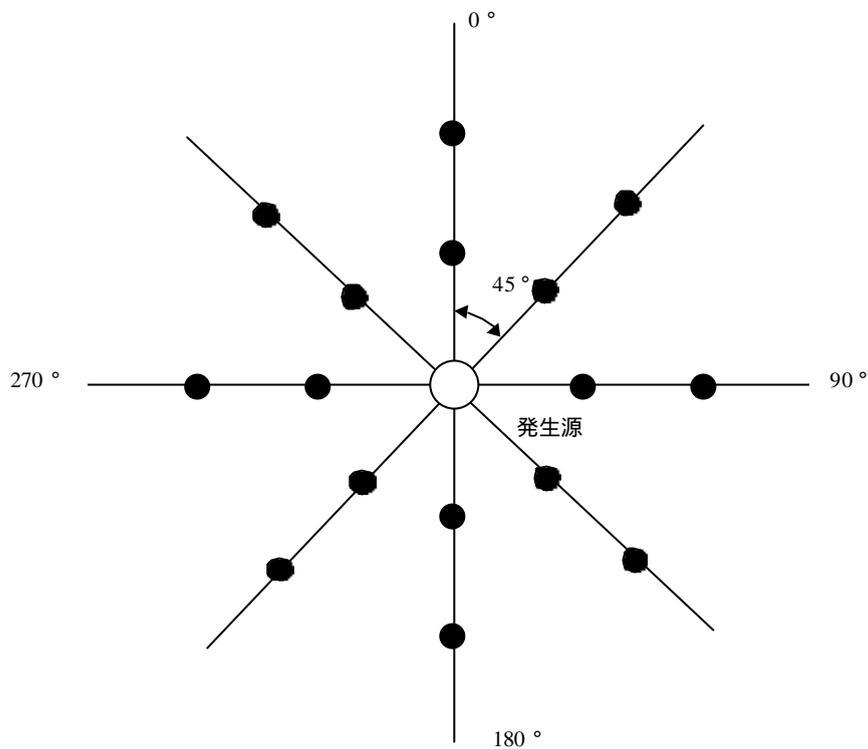


図-5.1.7 指向性の測定点のとり方の例

(5) 発生源周辺の音圧レベル分布の測定

発生源周辺の音圧レベルコンタ - を求めたい場合には、発生源周辺に多数の測定点を配置して測定を行うことがある。測定点のとりかたは、目的によって異なる。

・水平面上の音圧レベル分布

機械や設備等では、発生源を中心として指向性と距離減衰の両方を考慮して測定点を配置する。道路や鉄道等のように音源がある長さを持っている場合、発生源の両側または片側の水平面上にメッシュ状に測定点を配置する。このうち、距離方向の測定点は距離減衰の測定点のとり方に準ずるものとする。

・高さ方向の音圧レベル分布

音源が高い位置にある場合には、高さ方向と発生源からの距離方向で構成される地面に垂直な断面上に測定点を配置する。高さ方向の測定点は現場の状況によって選定する。図-5.1.12 の高架道路の例では、高さ 1.2m、3.5m、7.0m、

10.0mに測定点をとっている。距離方向の測定点は距離減衰の測定点のとり方に準ずる。

(6) 特定の音源が対象でない場合の音圧レベル分布測定

特定の音源が対象でない、広い地域の環境低周波音の実態を測定する場合には、ほぼ等間隔にメッシュを引きその交点付近に測定点をとるか、各地域を代表する場所に測定点をとる。しかし、いずれの場合にも、建物や地形による音の反射や遮蔽、回折で局所的に音圧レベルが変化する場所は避けねばならない。

(7) 建物の内部における測定

建物内部における測定で特に問題が生じていない場合には、壁や窓から1m以上離れ、マイクロホンの高さは床上1.2～1.5mの高さとする。問題が生じている場合には、問題となる場所で測定する。測定時の建物の内部の建具等の開閉条件は、問題が生じていない場合には建具を閉めた条件で、問題が生じている場合には問題となる条件とする。

室内で低周波音による定在波が生じて、場所によって音圧レベルが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。対策効果をみる場合など、室内の音圧分布を測定するときには、等間隔になるように室内に測定点を設ける。例えば6畳～8畳程度の部屋であれば縦横高さそれぞれ50cmメッシュに測定点をとる場合がある。

(8) 作業環境における測定

工場、事務所などの作業環境における低周波音を測定する場合には、測定点は作業員の耳の位置とする。作業者の位置が特定できない場合は、作業者の動線上のいくつかの位置で、床上1.2～1.5mの高さとする。問題が生じている場合には、問題となる場所で測定する。

室内で低周波音による定在波が生じて、場所によって音圧レベルが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。

測定点の実例を図-5.1.8 から図-5.1.12 に示す。

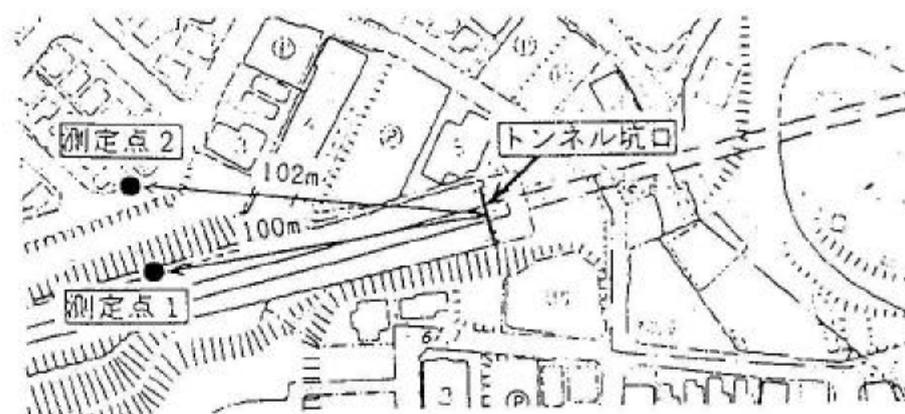


図-5.1.8 測定点のとり方の例（新幹線トンネル）

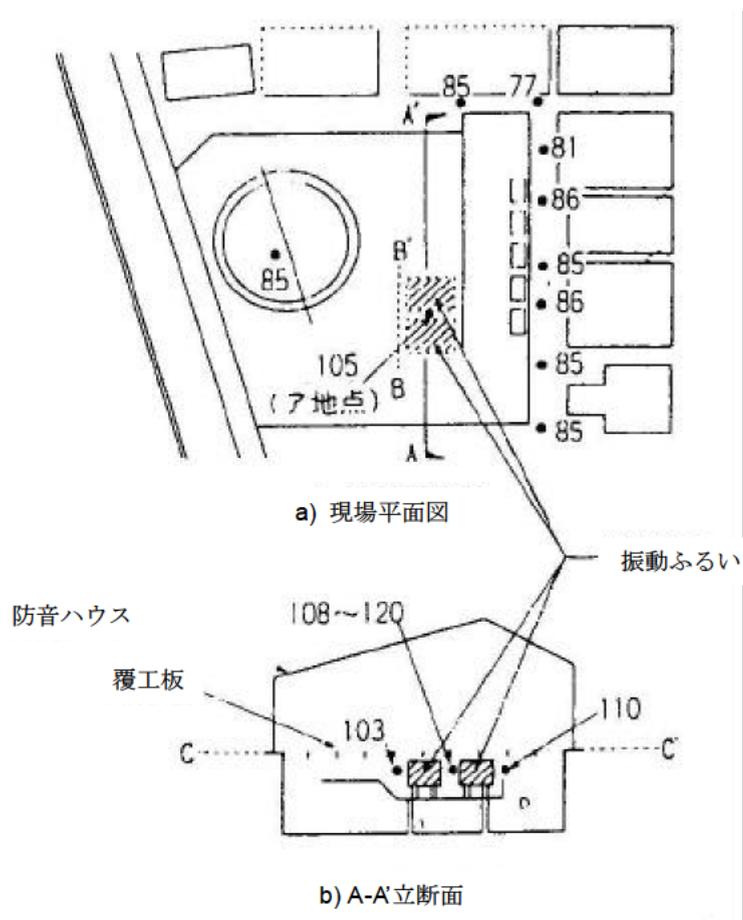
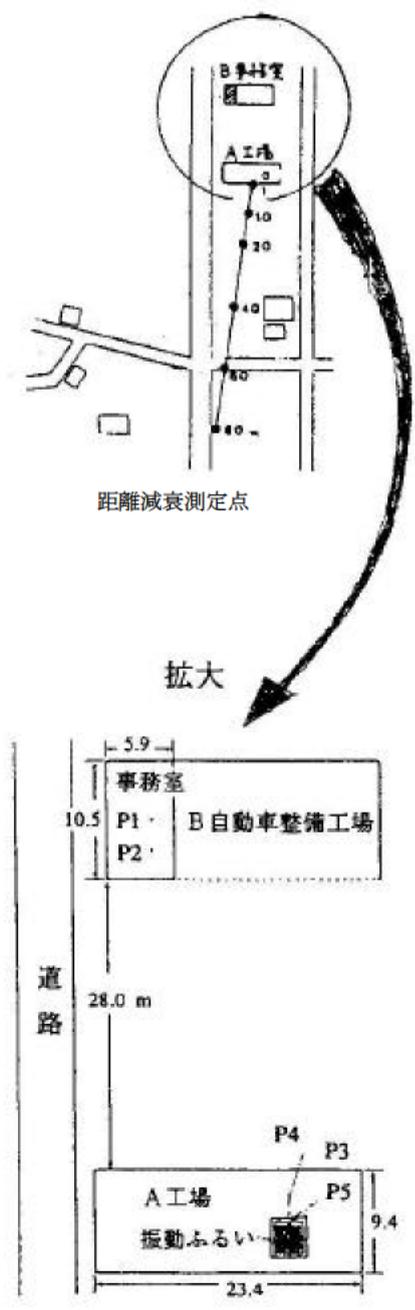


図-5.1.9 発生源周辺の音圧分布測定例（振動ふるい）



回転数による室内の音圧分布の変化

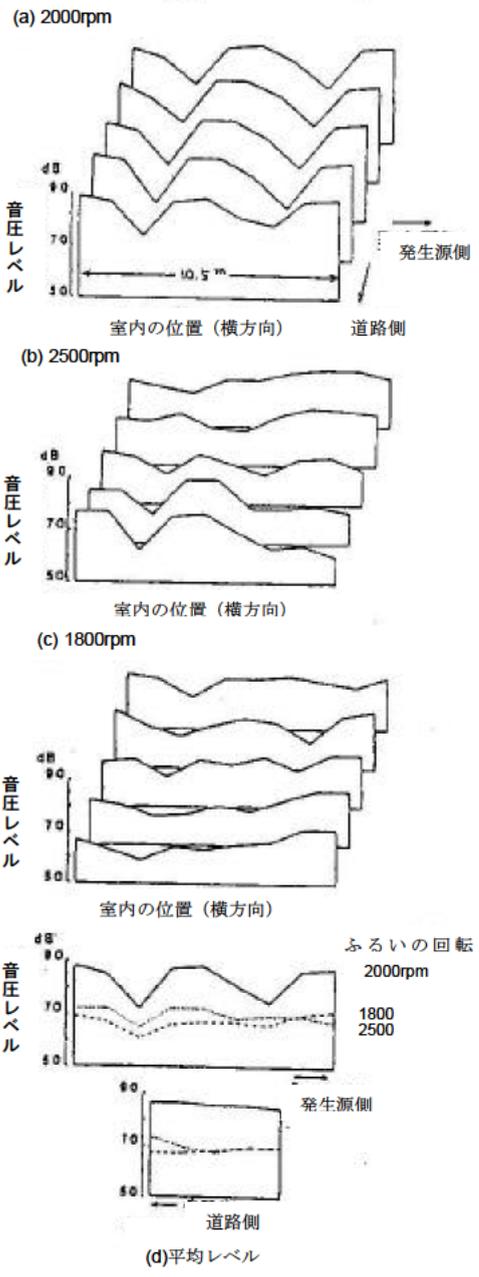


図-5.1.10 室内の音圧分布測定例 (振動ふるい)

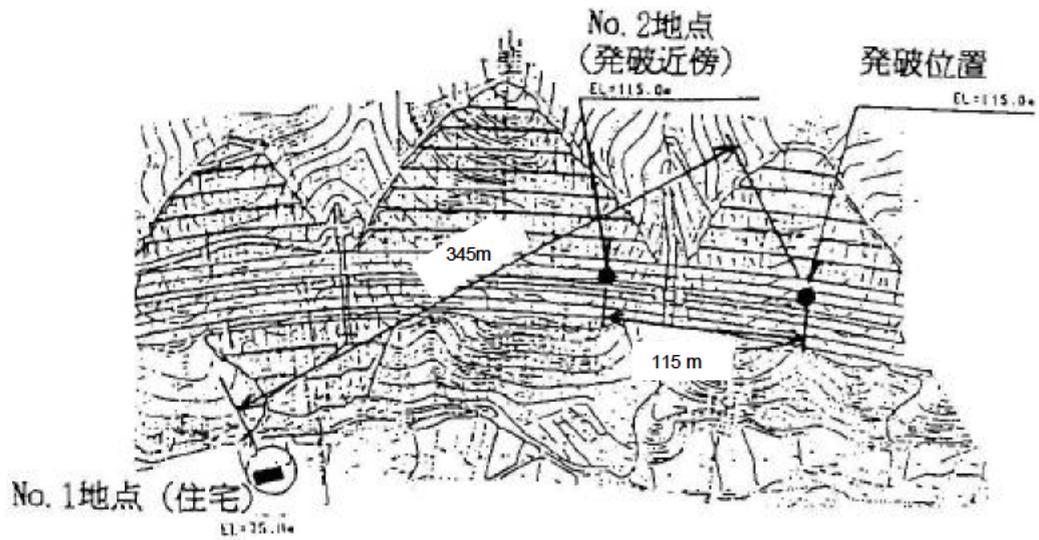


図-5.1.11 測定点のとり方の例 (トンネル発破)

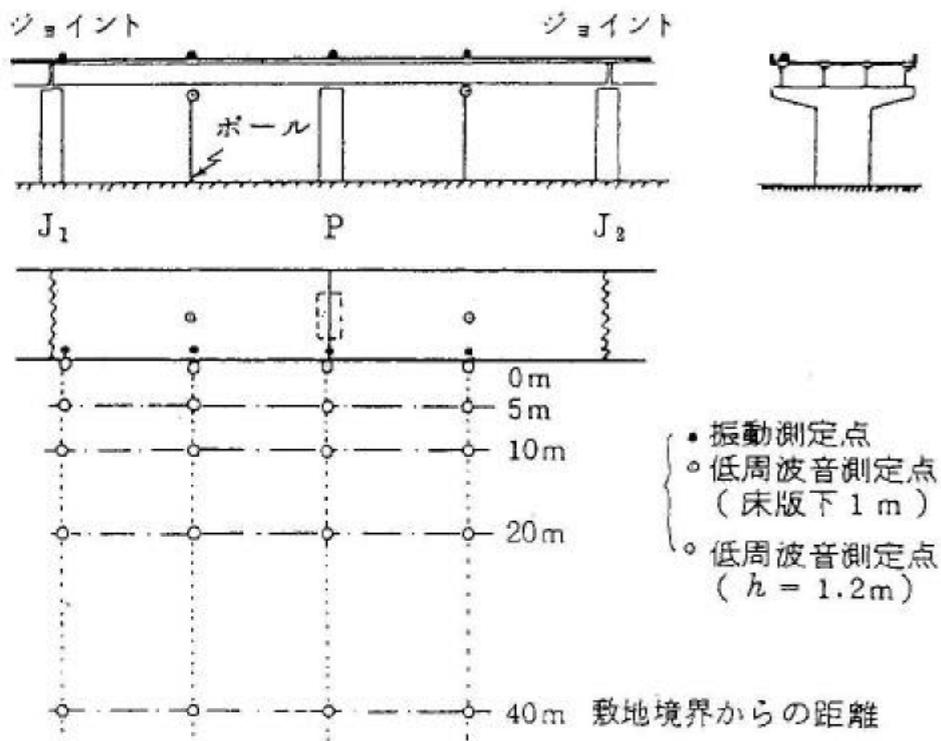


図-5.1.12 平面音圧分布測定点のとり方の例 (高架橋)

5.1.6 人員配置

(1) 測定要員

2点以上測定する場合、機械等の稼働条件が一定で変化しない場合には移動しての測定が可能であるが、それ以外は同時測定を行うことが望ましい。多点同時測定を行う場合には、各々の測定点に一人ないしは二人ずつ測定員を配置するか、あるいは低周波音圧レベル計の出力を延長コードで延長して、一ヶ所に集結し、一人ないしは数人（測定するチャンネル数や使用する録音器の数により異なる）を配置する方法もある。多点同時測定で、測定器の数や人数が足りない場合には、発生源近傍に基準点を1点設定し、他の測定点は数点ずつ移動しながら測定する。基準点と移動点は同時に測定を行い、基準点の測定値を基にして他の測定点の値を相対的な関係から求める方法もある。その場合には基準点と移動点の分だけ測定員が必要になる。

(2) 発生源の状況を把握するための要員

発生源の状況を把握することが必要であれば、そのための人員が必要である。例えば、道路の交通量や車速、大型車通過時のアナウンス、列車接近のアナウンスや通過速度、形式、車両数等のチェック等には、1~3名程度の測定員が必要である。また可能であれば時刻合わせを行ったビデオカメラで撮影しておくことが望ましい。

(3) その他の要員

このほか、連絡のための要員や、測定全体を統括する要員、広い範囲での測定などでは、測定点を巡回して測定器のトラブルに対応する巡回要員が必要な場合がある。

人員配置の例を図-5.1.13及び図-5.1.14に示す。



図-5.1.13 苦情対応の場合の測定例

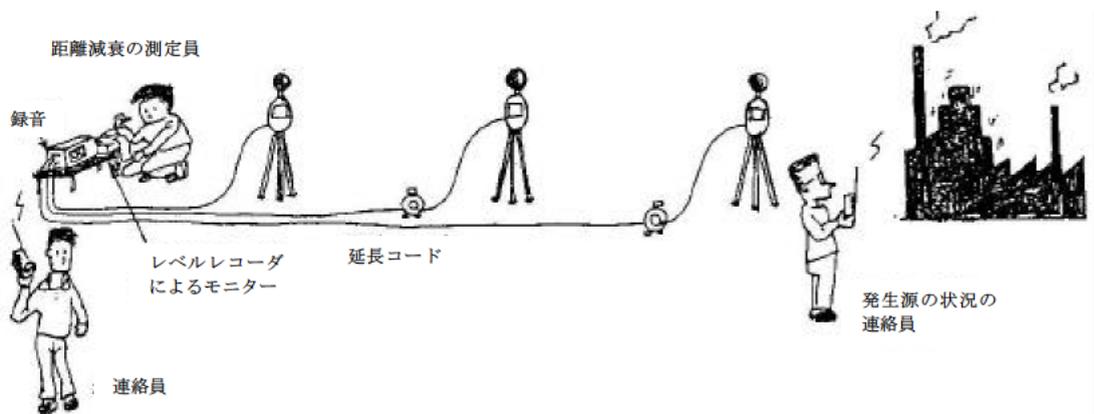


図-5.1.14 距離減衰測定の場合の例

5.2 現場測定方法

低周波音の測定では、風による影響が大きい。通常の測定では、風の影響をとりのぞくことが難しい。風が吹いている場合には、レベルレコーダによる音圧レベルのモニターを行い、風雑音の影響をチェックしなければならない。

風が強い時には、多くの場合、正確な低周波音のデータを得ることはできない。風がおさまるまで低周波音の測定を中止したほうが無難である。

5.2.1 低周波音圧レベル計の設定

(1) 低周波音圧レベル計の設置

低周波音を測定する場合には、低周波音圧レベル計を三脚等に設置し、マイクロホン高さを地上 1.2～1.5mの高さになるようにして固定する。マイクロホンには、ウインドスクリーンを装着する。

測定時に風雑音によって見かけ上の音圧レベルが不規則に変動する場合には、低周波音圧レベル計を地上に置いて測定すれば、風雑音の影響をいくらか軽減できる。風による影響の項で詳しく述べるが、地表面に近いほど風速が小さい。風がある場合のマイクロホン設置方法の概略図を図-5.2.1 に示す。



図-5.2.1 風がある場合のマイクロホン設置方法の概略図

(2) 低周波音圧レベル計の周波数補正特性

G 特性の周波数補正特性が内蔵されている低周波音圧レベル計で G 特性音圧レベルを測定する場合、または G 特性音圧レベルを録音する場合には、周波数補正特性を G 特性にする。それ以外の低周波音圧レベル計で周波数分析により G 特性音圧レベルを測定する場合には、周波数補正特性を平坦特性にする。

周波数分析を行う場合や、録音をして持ち帰ってから分析を行う場合には、低周波音圧レベル計の周波数補正特性を平坦特性にする。

(3) 衝撃性低周波音の測定

低周波音圧レベル計のメーターの時定数は 1 秒(SLOW)であるため、衝撃性の低周波音を測定する場合、低周波音圧レベル計のメーター上ではレベルがオーバーしていなくても、波形ではオーバーしていることがあるので、十分なマージンをとって測定レンジを設定する。発破音などの発生回数が少ない衝撃性低周波音を測定する場合、レンジの設定が難しい。低周波音圧レベル計の台数に余裕があれば、20dB 程度レンジを変えて低周波音圧レベル計を設置して測定するのも、失敗を少なくする一つの方法である。

5.2.2 レベルレコーダによる記録

(1) レベルレコーダ記録を始める前に

レベルレコーダ記録を始める前に、測定年月日、開始時刻、測定点番号、測定機器の番号、測定者名等を記録紙の初めに記入する。

(2) 測定系列の校正

ピストンホンを騒音計のマイクロホンに装着してスイッチを入れる。ピストンホンによってマイクロホンに与えられた音圧レベルがあらかじめ示された校正信号の音圧レベル値(114dB または 124dB)を示すように基準レベルを調節する。その状態でレベルレコーダを作動させて、フルスケールを 50dB としてレベ

ルレコーダ記録紙の下から 34dB (または 44 dB) の位置に校正信号を記録させる。すなわち下から 30dB (または 40 dB) の位置が低周波音圧レベル計の基準レベルとなる。

事前に測定系列が校正されている場合は、低周波音圧レベル計の内部校正信号により、同様に校正を行う。

(3) レベルレコーダ記録紙への記入事項

測定系列の校正が終了したら、測定に入る。

はじめに、低周波音圧レベル計のレンジ、周波数補正特性を記入する。

測定中に気付いたことは何でも記録紙に記録する。

- ・途中で測定レンジを変更した場合にも、必ずアナウンスし記録する。
- ・対象となる低周波音が観測された場合には、発生時刻、発生源の種類をレベルレコーダの記録紙に直接記入する。
- ・低周波音が対象とする低周波音以外の音と重なった場合にはその旨を記載する。
- ・低周波音以外で目立った音が記録されたときには、その種類を記入する。
- ・強い風が吹くとレベルレコーダのペンが大きく振れることがある。風によるものとわかった場合にはその旨を記録する。

記録紙上に記録がないと、あとで記録紙を見てもどれが対象とする低周波音なのか、あるいは風なのか判別できない。現場にいた人しか、現場の状況はわからないので、現場での記録は非常に重要である。

(4) G 特性音圧レベルの測定

G 特性音圧波形の出力をもつ低周波音圧レベル計を用いて G 特性音圧レベル波形を記録させる場合には、低周波音圧レベル計の出力をレベルレコーダの入力に接続して測定を行う。低周波音圧レベル計の周波数補正特性を G 特性にして、レベルレコーダの動特性 SLOW (時定数は 1 秒) でレベル波形を記録させる。

低周波音の発生時期のはっきりしない場合には、連続してレベルレコーダを

稼働させて測定を行う。

(5) レベルレコーダによるレベル波形のモニター

低周波音の周波数分析や録音を行う際に、低周波音の発生状況や風による影響を把握するためにレベル波形をモニターする場合には、低周波音圧レベル計の周波数補正特性を平坦特性にして、レベルレコーダの動特性 SLOW (時定数は 1 秒) でレベル波形を記録させる。

その他の動特性を用いる場合は下限測定周波数に注意し、使用した動特性は測定結果に明記する。

レベルレコーダの紙送り速度は、1mm/s または 3mm/s とする。

備考： オクターブバンド中心周波数 2Hz の低周波音の音圧実効値を求めるには、検波回路の平均化時定数が 10 秒でなければならないが、実際の低周波音はオクターブバンド中心周波数 4Hz 以上に主成分がある場合が多く、またレベルが変動する場合には 10 秒の時定数ではそれらの変化が観測できない場合が多いからである。ただし、時定数 1 秒の場合には、約 4Hz からは正確な実効値が得られる。

(6) 衝撃性低周波音のレベルレコーダ記録

衝撃性の低周波音をレベルレコーダに記録させる場合には、校正信号は記録用紙の下から 34dB の位置とし、最大値が記録紙の下から 25 dB 以内に収まる様に、低周波音圧レベル計のレンジを設定する。衝撃性の低周波音では、25 dB 以上になるとレベルレコーダのペンが追いつかず、正確な値が測定できない可能性がある。

5.2.3 レベル処理器による測定

低周波音圧レベル計の出力をレベル処理器の入力に接続して、一定時間毎の統計値を算出する。測定では、あらかじめ定めた時間内の最大値あるいはパワー平均値を測定する。レベル処理器の動特性は SLOW (時定数は 1 秒) に設定する。長期間のモニタリング測定では、例えば、10 分間の間隔でパワー平均値を繰り返し測定する。

低周波音の測定では風の影響を強く受けるため、屋外でモニタリングを行う場合には、対象とする低周波音の音圧レベルが風雑音の最大値に比べて常時 10dB 以上大きいか、あるいは風雑音の低減対策を完璧にする必要がある。風雑音により音圧レベルが大きく変動する場合には測定を見合わせる。

現状では、屋内における作業環境としての低周波音のモニタリング等にはこのレベル処理機による測定が利用できると考えられる。但し、屋内の扉がスライド式でない扉の場合には、扉の開閉による室内の圧力変動により、音圧レベルが大きく変動するので、このような建物は低周波音の自動測定に適さない(図-5.3.9 参照)。

5.2.4 実時間周波数分析器による測定

(1) 現場における低周波音の周波数分析

低周波音のレベル波形をレベルレコーダでモニターしながら低周波音圧レベル計の出力を実時間周波数分析器等の入力に接続して周波数分析を行う。測定に先立ち、ピストンホンまたは低周波音圧レベル計の内部校正信号を用いて測定系の校正を行う。

低周波音圧レベル計の周波数補正特性は平坦特性とし、実時間周波数分析器の動特性 SLOW (時定数は 1 秒)として 1/3 オクターブバンド分析を行う。

変動の小さい低周波音の場合は現場での周波数分析も可能であるが、変動の大きい低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音の場合には、低周波音の録音を行い、持ち帰って変動の状況をよく確かめながら、周波数分析することが望ましい。

(2) 衝撃性低周波音の周波数分析

衝撃性の低周波音を周波数分析する場合には、波形でオーバーしないように、十分なマージンをとって測定レンジを決める。

変動の大きい低周波音や衝撃性の低周波音で、5Hz 以下の周波数帯域に成分がある場合には、オクターブバンドで周波数分析を行う。1/3 オクターブバンド分析の場合、5Hz 以下では正確な値が測定できない。また(1)と同様に録音しておくことが望ましい。

備考 1：備考 2 及び備考 3 に示すように、ここで対象とする低周波音の周波数分析は、フィルタの周波数帯域幅、分析時間、指示回路の時定数の関係から、信号の継続時間 2 秒程度は一定であることが必要である。ここでは、実用的な方法として、(1)連続の定常的な低周波音の場合は、オクターブ分析と 1/3 オクターブ分析のいずれの方法をとっても測定精度の問題はなく、(2)音圧レベルが変動する場合や衝撃的な低周波音の場合は、オクターブ分析を原則とし、1/3 オクターブ分析は中心周波数 5Hz 以上の分析値を有効とする。

備考2：周波数分析を行う場合には、分析時間に関する一つのルールがある。それは、分析時間 T(s)は少なくともフィルタのバンド幅 f(Hz)の逆数でなければならないという条件である。すなわち、次式及び次表の制限がある。

$$T = 1/f$$

フィルタ	中心周波数(Hz)	バンド幅(Hz)	分析時間(s)
オクターブバンド	2	1.4	0.71
	4	2.8	0.36
1/3 オクターブバンド	1.6	0.4	2.5
	5	1.1	0.91

備考3：この測定に用いる低周波音圧レベル計の指示回路の平均時定数は、1秒である。この場合、トーンバースト信号を加えたときの最大指示値が同振幅の定常正弦波信号の指示値と同じになるには、バースト信号の継続時間を約2秒にしなければならない。つまり、定常値に達するのに約2秒を要するので、最大値を読み取る方法では、継続時間2秒以下の信号の指示値は、常に小さい。例えば、継続時間1秒のトーンバースト信号の最大指示値は、定常値に対して-4dBとなる。

衝撃的な低周波音について、備考2の条件及びこの時定数の問題、さらに5.2.2(5)の備考に示す実効値の精度の問題を厳密に解決するには、測定系を複雑にし、現場の測定が容易でなくなる。ここでは、一定の条件に基づいてデータの収集を行い、簡易的な評価値を得ることを考慮している。

(3) 低周波音の発生状況のモニター

低周波音の録音を行う際に、実時間周波数分析器をモニターとして使用することにより、低周波音の発生状況や風による影響を把握することができる。

例えば、対象とする低周波音で特定の周波数が卓越している場合、対象とする低周波音が発生しているかどうかを現場でチェックできる。

5.2.5 低周波音の録音

(1) 録音を始める前に

多点同時測定を行う場合や詳細な解析を行う場合、騒音・振動・低周波音を同時に測定する場合には録音を行う。また、大きく変動する低周波音や間欠的、衝撃的な低周波音の場合には、低周波音の録音を行い、持ち帰って周波数分析をすることが望ましい。

低周波音圧レベル計の出力を録音器（データレコーダ、DAT 等）の入力に接続し、低周波音のレベル波形をレベルレコーダでモニターしながら録音を行う。

録音を始める前に、測定年月日、開始時刻、測定点番号、測定機器の番号、測定者名等をアナウンスする。

(2) 校正信号の録音

ピストンホンまたは低周波音圧レベル計の内部校正信号を録音する。校正信号は各チャンネル 1 分程度録音してあると、分析の際便利である。

(3) 低周波音の録音

G 特性音圧レベルを録音する場合には低周波音圧レベル計の周波数補正特性は G 特性にしてレベル出力を録音する。周波数分析を行う場合には低周波音圧レベル計の周波数補正特性を平坦特性とする。

低周波音の録音にあたっては、入力信号がオーバーしないように低周波音圧レベル計のレンジを設定する。特に、衝撃性の低周波音の場合には、低周波音圧レベル計のメーターやレベルレコーダ記録紙上でオーバーしていなくても、波形でオーバーしている場合があるので特に注意が必要である。

(4) 録音時のアナウンス

はじめに低周波音圧レベル計のレンジ、周波数補正特性をアナウンスする。

録音が始まったら、対象とする低周波音の状況（発生時刻、発生源の種類や

稼働状況等)、低周波音以外の暗騒音の発生状況、風の状況等を逐次アナウンスする。途中で測定レンジを変更した場合にも、必ずアナウンスする。低周波音の測定では大きな声でなければ、測定値に影響はほとんどない。アナウンスがないと、あとで録音を聞いても対象とする低周波音なのかあるいは風なのか判定できない。現場にいた人しか、現場の状況はわからないので、録音時のアナウンスは非常に重要である。

5.3 測定時の注意事項等

5.3.1 気象条件、地形等による影響

音が屋外を伝搬する際には、地形や建物の配置などによる遮蔽・反射・回折、地表面による吸収や気象の影響を受ける。

特に発生源から数 km 以上離れた地点までの、低周波音の伝搬を測定する場合には、気温と風向風速の勾配の影響が大きい。発生源から距離が離れた場所では、風向きや風速の違いで 20 ~ 30dB も音圧レベルが異なる場合がある。

風による影響については、若干の順風（発生源から測定点の方へ風が吹く）条件で音が伝わりやすく、気温についても中立（高さによらず温度が一定）か、若干の逆転（地表より上空の温度が高い）の条件で音が伝わりやすい。そのため朝晩や夜間、日中でも曇天の場合にしばしば大きな音が観測される。例えば飛行場周辺では季節や時間帯によって逆噴射の音（リバース音）が聞こえたり聞こえなかったりすることがある。

したがって、低周波音の測定時の条件として、天気などとともに測定点近傍での温度などの気象条件、測定点周辺の地形や建物の配置などをできるだけ明確に記録しておくのが望ましい。可能であれば、測定時の気象情報を入手するとよい。

気温の分布による音の屈折の概要を図-5.3.1 に、風速の分布による音の屈折の概要を図-5.3.2 に示す。

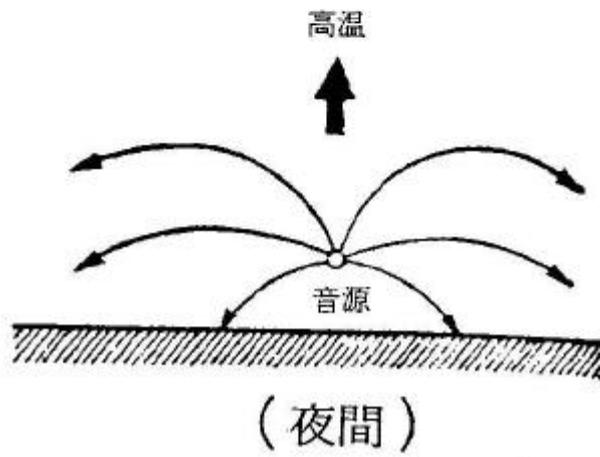
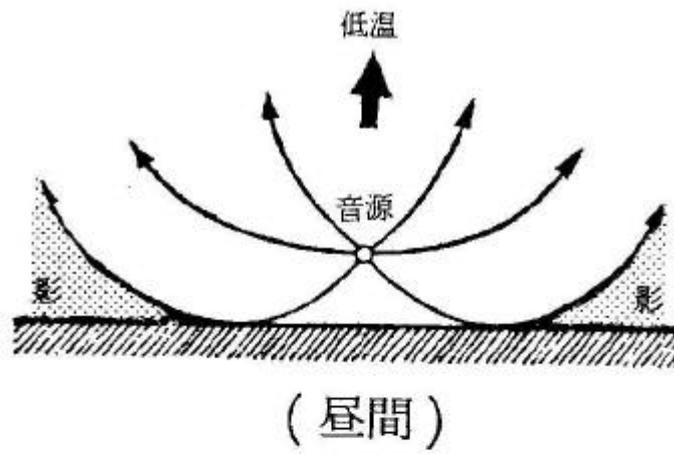


図-5.3.1 高さ方向の気温の分布による音の屈折

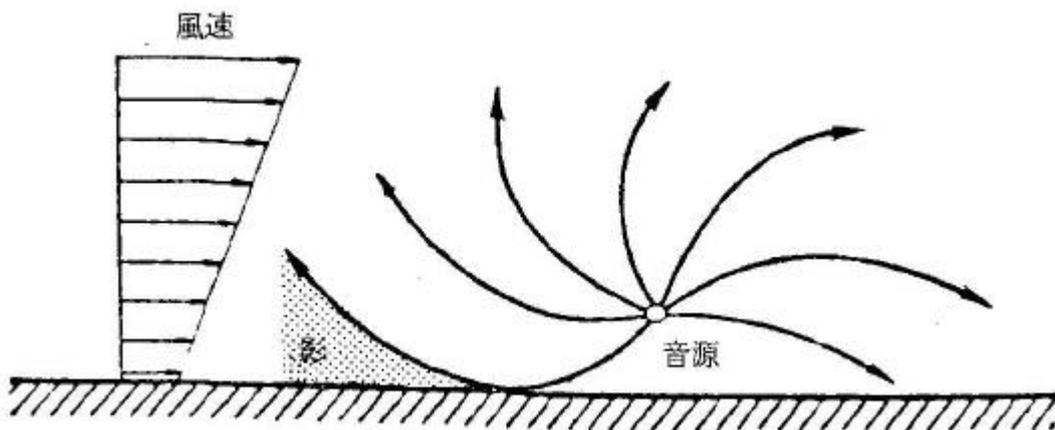


図-5.3.2 風による音の屈折

5.3.2 暗騒音の影響

低周波音を対象とした場合、通常は暗騒音の補正は行わない。それは、風の低周波成分を除くと低周波領域の暗騒音は一般には低いので無視する。風による低周波数領域の雑音はレベルが大幅に変動するので補正できない。

低周波音の測定においても、騒音レベルの測定において行う暗騒音の補正が適用できる場合もある。

一般の騒音の影響を受けることは少ないが、対象とする低周波音以外の低周波音（暗騒音）があるとき、暗騒音の補正を行い対象の音の音圧レベルを推定することができる。ただし、対象とする低周波音とそれ以外の低周波音が純音性でかつ周波数が接近している場合（例えば、機械の回転数に対応する主成分が強く発生していて、かつ同じ機械が複数台運転されているときの一台の低周波音を推定する場合）、うなり(beat)が現れ、その程度は位相によって異なり、単純なデシベルの和または差の計算が成り立たないので、騒音レベルの暗騒音補正の方法では補正できない。

5.3.3 風雑音の影響

(1) 低周波音測定における風の影響

低周波音の測定において最も注意すべきは、風による影響である。

低周波音圧レベル計のマイクロホンに風が当たると、その部分で雑音（風雑音）が発生し、測定が困難になることがある。対象とする低周波音の音圧レベルが小さいと風雑音の影響で測定ができなくなる。

図-5.3.3 に風のある日とない日のほぼ同じ時刻に測定された、低周波音のレベルレコーダ記録例を示す。この例では特に低周波音の発生源はないが、風のある日の測定例では、風による雑音によって見かけの音圧レベルが大きく変動している。

低周波音の測定時にはマイクロホンに騒音計用の防風スクリーン（通常、直径 9cm）を付けるが、あまり大きな効果は期待できない。風によってマイクロホンから発生する雑音による見かけ上の音圧レベルは、風の吹き方、マイクロホンの位置などによって変化する。また、風自体にも低周波音に相当する変動圧力を多く含んでいることも注意すべきであろう。

風の強さは煙突の煙や草木・木の葉のゆれで見当をつけることができる。低周波音の音圧レベルが 80dB 程度で草木や木の葉がゆれているときは、測定は難しい。風が強く感じられる場合には、マイクロホンを地上に寝かせても風の影響は十分には除けない。

強風が吹いている場合や、風雑音により対象とする低周波音が確認できない場合には、測定を中止し、時間や日を改めて測定を行う。風の強い日に無理に測定しても、データが使いものにならない。

(2) 防風スクリーンの効果

防風スクリーンの効果の例を示すと、周波数範囲 1～80Hz(低周波音マイクロホンと振動レベル計の組合せ)で測定した場合、連続気泡ポリウレタンの直径 9cm の防風スクリーンによる効果は約 10dB、同材質の直径 20cm の防風スクリーンによる効果は約 20dB である。図-5.3.4 は防風スクリーンの有無による風雑音の大きさを比較したものである。風が強くなると風雑音も増加することがわかる。対象とする低周波音の音圧レベルが小さいほど、風が強いほど風による影響は大きい。

図-5.3.5 は道路騒音測定時の風の強弱による周波数特性の違いを示したものである。低周波数域で風によるレベルの上昇が認められる。オクターブまたは 1/3 オクターブバンド分析器を用いてバンド音圧レベルを測定すれば、風の影響を低減することができる。

(3) 風雑音と低周波音の見分け方

風による音圧レベルと対象とする音圧レベルの違いを判別するのは簡単ではないが、次のような点に注意するとよい。

- ・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。
- ・風による音圧レベルは、不規則に変化する。
- ・風が最も弱まったときの音圧レベルに注目する。
- ・風の強弱は体感で分かる。
- ・測定者とマイクロホンが離れているときはマイクロホンスタンドに細長い布を結びつけて風の強弱を確かめる。
- ・音源の近くの測定結果または風がないときの測定結果と比較する。

(4) 高さによる風の影響の違い

低周波音は風のないときに測定するのが望ましいが、ある程度の風であれば、低周波音圧レベル計を地上に置くことによって、風の影響を軽減することがで

きる。図-5.3.6 は高さの違いによる風速分布を示したものである。この図からもわかるように、地上付近は比較的風速が小さい。図-5.3.7 は風による影響を調べるため、73dB のバンドノイズがある場合の地上 1.2m と地表面で低周波音のレベル波形記録である。この例では、地上 1.2m よりも地表面のほうが風の影響を受けている部分が少なく、何とか測定が可能である。

風が吹いている場合には、低周波音の測定と合わせて風速も測定することが望ましい。

(5) 屋内の測定における風等による影響

屋内での測定の場合でも、風が強い場合には、風により建具等が振動して室内でも風によりレベルが変動する。

図-5.3.8 は風のある日とない日のほぼ同じ時刻に木造家屋内で測定された、低周波音のレベルレコーダ記録例である。この例では特に低周波音の発生源はないが、風のある日の測定例では、室内においても風による雑音によって見かけの音圧レベルが大きく変動していることがわかる。

このほか、密閉された室内では、扉の開閉により室内の圧力が変化し、レベルが急激に変化することがあるので注意が必要である。扉の開閉によるレベル変動の例を図-5.3.9 に示す。

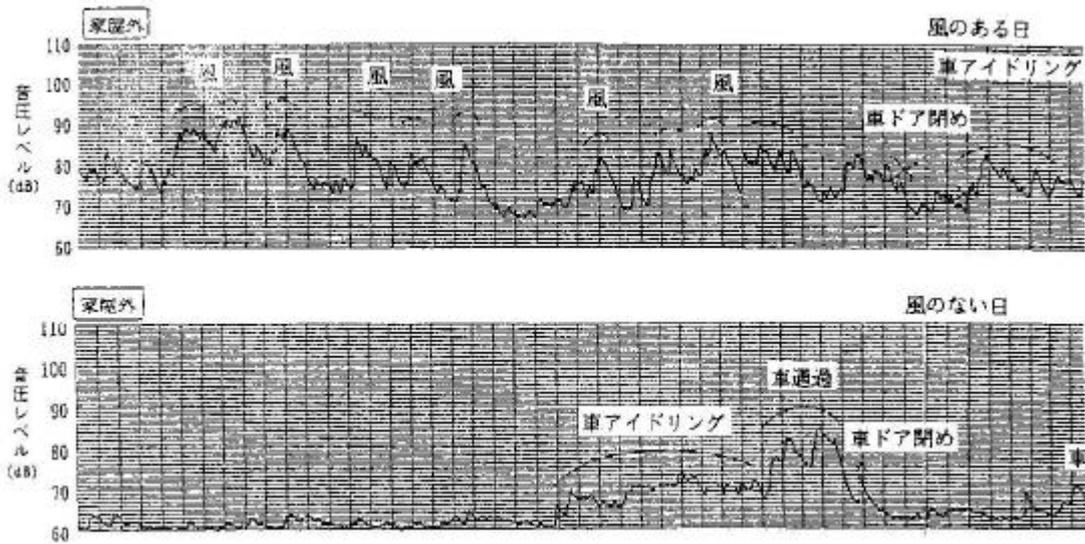


図-5.3.3 風のある日とない日における屋外の低周波音測定例

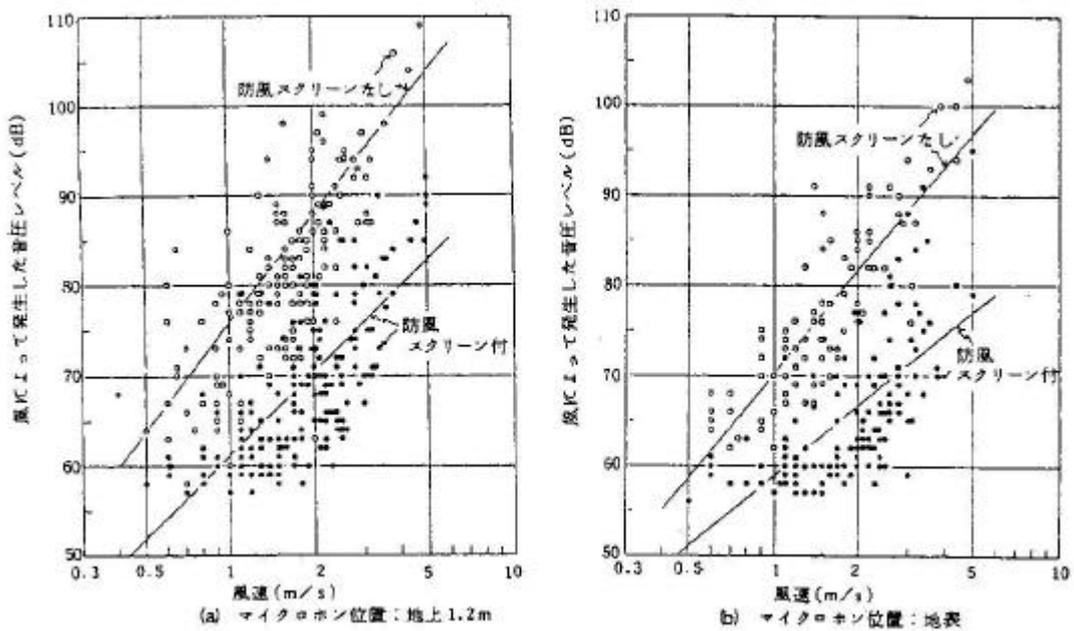


図-5.3.4 低周波域における風の影響
(防風スクリーンの効果とマイクロホン位置による違い)

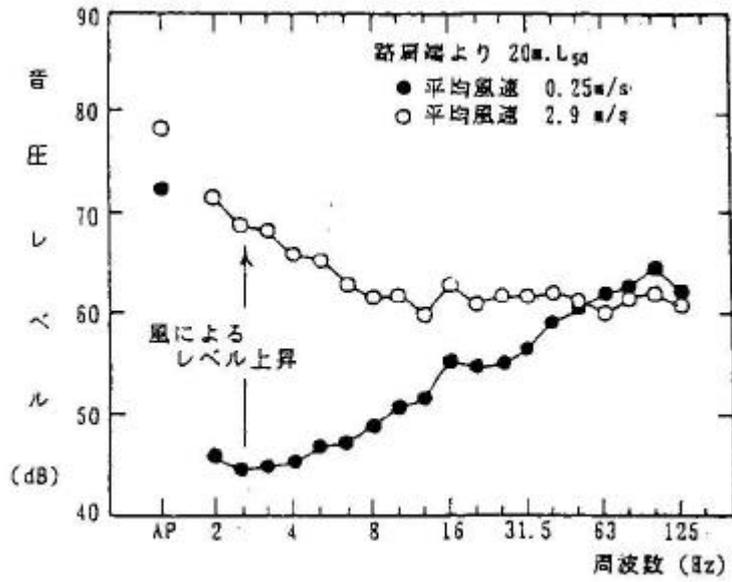


図-5.3.5 風速の違いによる周波数特性の変化
(切り土構造道路における測定例)

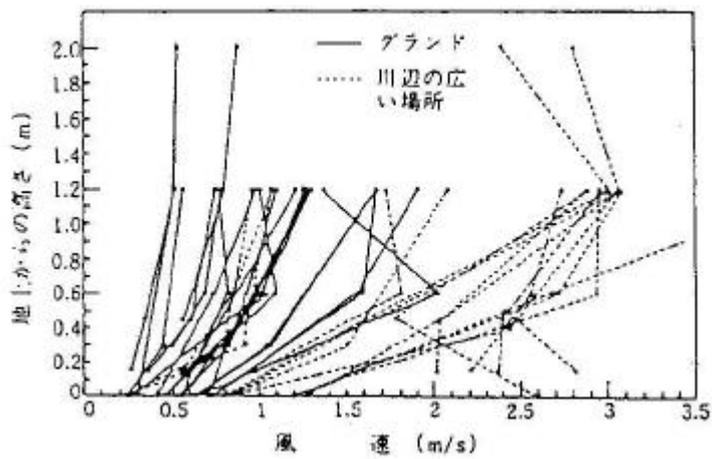


図-5.3.6 風速の垂直分布

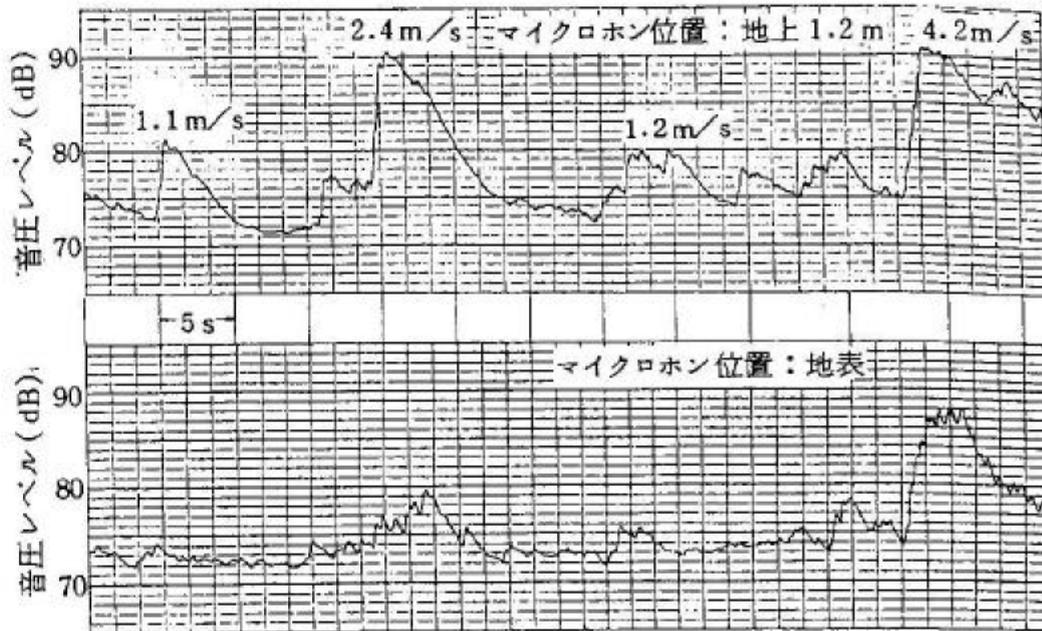


図-5.3.7 低周波音域に与える風の影響
(73dBのバンドノイズがある場合)

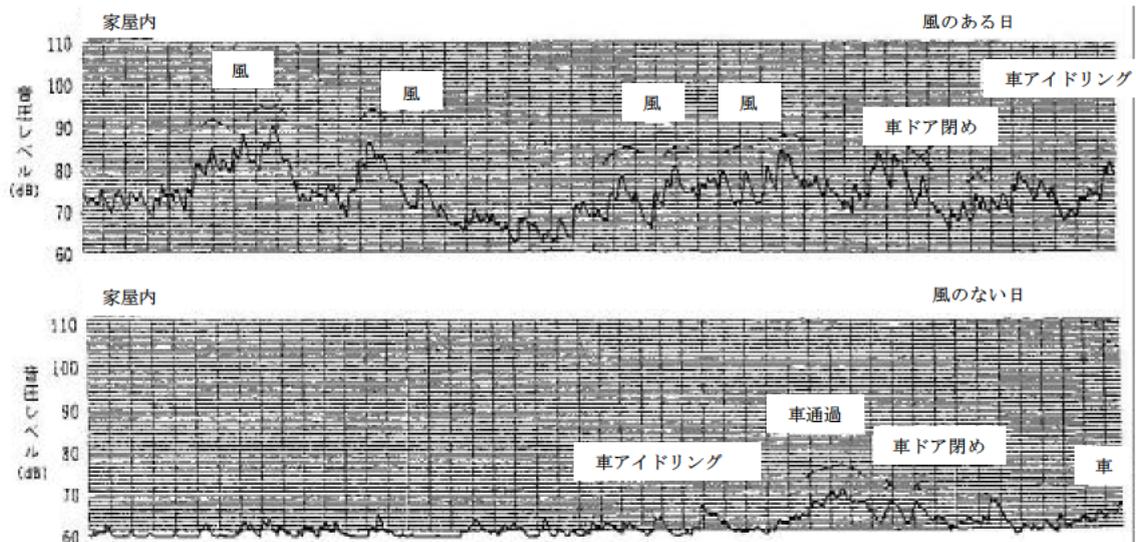


図-5.3.8 風のある日とない日における家屋内の低周波音測定例

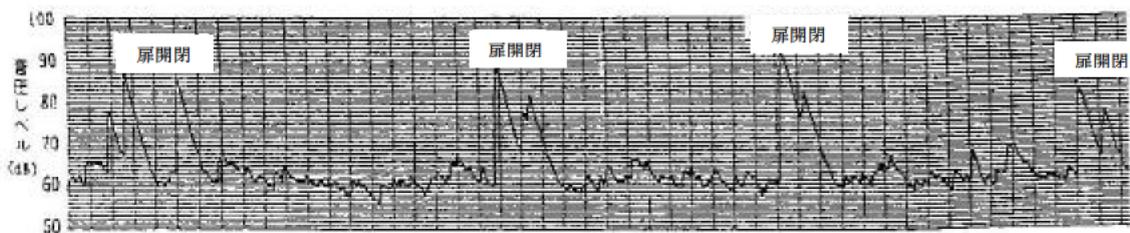


図-5.3.9 扉の開閉によるレベル変動の例

5.3.4 その他の注意事項

機械類の近傍で測定を行う場合、電界、磁界、振動、温度、気流などの影響を受けることがある。それらの影響が及ばないように適当な遮蔽、防振などの考慮、並びに測定点の選定に注意する必要がある。

5.3.5 発生源の状況の記録

低周波音の発生状況を把握するためにも、発生源の種類・発生状況などをわかる範囲で記録しておく。音圧レベルの変化や周波数特性の変化と対応づけることにより、低周波音を発生しやすい条件や発生源の種類などを把握できる場合がある。

発生状況を記録する項目の一例を以下に示す。

- ・ 機械、設備の諸元ならびに稼働状況
- ・ 大型車の通過時刻、車速、交通量、車線（高架橋等）
- ・ 列車の種類、通過時刻、車速、両数、上下線の別（列車等）
- ・ ダムの放流量、堰の越流水深等（ダム、堰等）

5.4 音圧レベル指示値の読み取り方法

5.4.1 G特性音圧レベル

(1) 変動の少ない低周波音

音圧レベルの変動が小さくほぼ一定とみなされる場合は、低周波音圧レベル計の指示値又はレベルレコーダによる記録値の平均値を読み取る。

測定時に風が吹いている場合には、風の影響がない測定時間における平均値を読み取る。

(2) 変動する低周波音

(a) 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適当な回数について読みとる。

(b) 特定の測定時間内(例えば10分間)の最大値及びパワー平均値をレベル処理器等で求める。

但し、測定時に風が吹いている場合で風雑音により低周波音圧レベル計の指示値又はレベルレコーダによる記録値が変動する場合には、原則として指示値又は記録値の読み取りはできない。

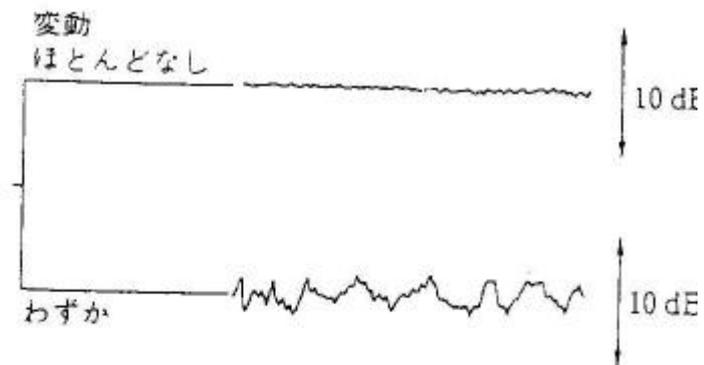
(3) 単発的又は間欠的に発生する低周波音

単発的に発生する低周波音を測定する場合は、発生時の最大値を読み取る。間欠的に発生する場合は、発生ごとの最大値を読み取る。

測定時に風が吹いている場合には、風の影響がない測定時間における発生音の最大値を読み取る。

低周波音の音圧レベルの時間変動の例を図-5.4に示す。

(1) 変動の少ない低周波音



(2) 変動する低周波音



(3) 間欠的単発的に発生する低周波音

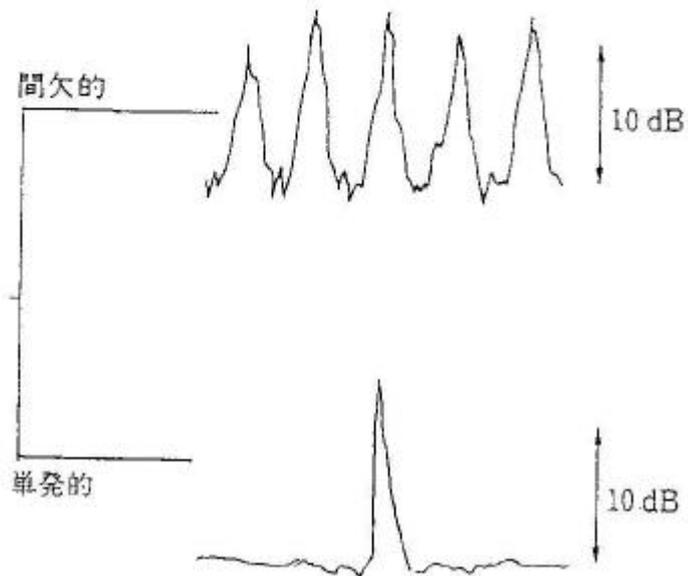


図-5.4 低周波音の音圧レベルの時間変動の種類

5.4.2 1/3 オクターブバンド音圧レベル

(1) 変動の少ない低周波音

音圧レベルの変動が小さくほぼ一定とみなされる場合は、平均値を実時間周波数分析器等によって求める。測定時に風が吹いている場合には、風の影響がない特定の測定時間内（例えば 1 分間）のパワー平均値を実時間周波数分析器によって求めてもよい。

(2) 変動する低周波音

- (a) 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適当な回数について読み取る。実時間周波数分析器では、ある測定時間内の最大値を求めることができる。あらかじめレベルレコーダ等で最大値の発生時刻を確認しておき、最大値の前後で音圧レベルが最大値より 5 ~ 10dB 程度小さい測定時間内の最大値を実時間周波数分析器によって求める。
- (b) 特定の時間内の最大値及びパワー平均値を実時間周波数分析器によって求める。特定の測定時間内（例えば 10 分間）の最大値及びパワー平均値をレベル処理器等で求める。

但し、測定時に風が吹いている場合で風雑音により対象とする低周波音の周波数特性に影響がある場合には、原則として指示値又は記録値の読み取りはできない。

(3) 単発的又は間欠的に発生する低周波音

単発的に発生する低周波音を測定する場合は、発生時の最大値を読み取る。間欠的に発生する場合は、発生ごとの最大値を読み取る。

測定時に風が吹いている場合には、風の影響がない測定時間における発生音の最大値を読み取る。

5.5 測定結果に付記すべき事項

測定結果に付記すべき事項は騒音測定の場合と同様である。必要に応じて次の事項を付記する。

- (1) 測定者
- (2) 測定日時
- (3) 気象条件（天気，温度など）
- (4) 測定場所（測定位置，測定高さ、室内外、窓の開閉など）
- (5) 周囲の状況（地図，概略図など）
- (6) 測定器（種類，型式，製造業者名など）
- (7) 測定者の低周波音に対する所感・印象、その他気付いたこと

6 . 録音データの解析方法

6 . 1 G特性音圧レベル波形の記録

G特性を内蔵した低周波音圧レベル計を用いてG特性音圧レベルが録音してある場合には、録音器の出力をレベルレコーダの入力に接続して録音器を再生しそのまま低周波音のレベル波形記録を行う。はじめに、校正信号で解析系列の校正をする。次に、測定レンジを確認したのち、低周波音のレベル波形をレベルレコーダに記録させる。その際、レベルレコーダの動特性 SLOW (時定数は1秒)、紙送り速度は1mm/s または3mm/s とする。

平坦特性で録音してある場合、G特性の周波数補正回路があれば、その回路を通した出力信号をレベルレコーダで記録させれば、G特性音圧レベル波形を記録することができる。

6 . 2 レベル処理器による統計処理

録音器の出力をレベル処理器の入力に接続して、一定時間毎の統計値を算出する。統計値の算出にあたっては、あらかじめ定めた時間内の最大値あるいはパワー平均値を算出する。レベル処理器の動特性は SLOW (時定数は1秒)に設定する。統計処理にあたっては、低周波音のレベル波形をレベルレコーダで記録させ、風の影響や対象外の発生源による影響のない区間をあらかじめチェックしておき、その区間を分析する。

6 . 3 実時間周波数分析器による周波数分析

録音器の出力を実時間周波数分析器の入力に接続して低周波音のレベル波形をレベルレコーダでモニターしながら周波数分析を行う。はじめに、校正信号で解析系列の校正をする。次に、測定レンジを合わせたのち周波数分析を行う。その際、実時間周波数分析器の動特性 SLOW (時定数は1秒)として1/3 オクターブバンド分析を行う。周波数分析にあたっては、アナウンスメモ等を耳で確認しながら低周波音のレベル波形をレベルレコーダで記録させ、風の影響や対象

外の発生源による影響のない区間をあらかじめチェックしておき、その区間を分析する。

変動の大きい低周波音や衝撃性の低周波音で、5Hz以下の周波数帯域に主な成分がある場合には、オクターブバンドで周波数分析を行う。1/3 オクターブバンド分析の場合、5Hz以下では正確な値が測定できない。

参 考 资 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問題となっている。

海外では、工場における作業環境、大型機械の周辺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。

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G1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体に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情等）と建具等に対する苦情（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) 心理的影響 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感
- (2) 生理的影響 頭痛、耳なり、吐き気
- (3) 睡眠影響
- (4) 物的影響 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ある。音源の稼働状況と苦情の状況の対応に注意する。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、我が国では半数以上が物的苦情である。これは、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、我が国では、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場合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。環境白書に登載した地方自治体で受け付けた低周波音苦情件数について推移を整理し図 - 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 から 1990 年には苦情件数が 25 件前後とピーク時の 5 分の 1 以下になっていたが、その後また少し増加している。

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が多かったが、ここ 10 年では工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、橋梁の剛性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問題となったが、ノイズサプレッサの改善により効果が得られている。近年、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ている。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、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、発生区分別では工場・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。

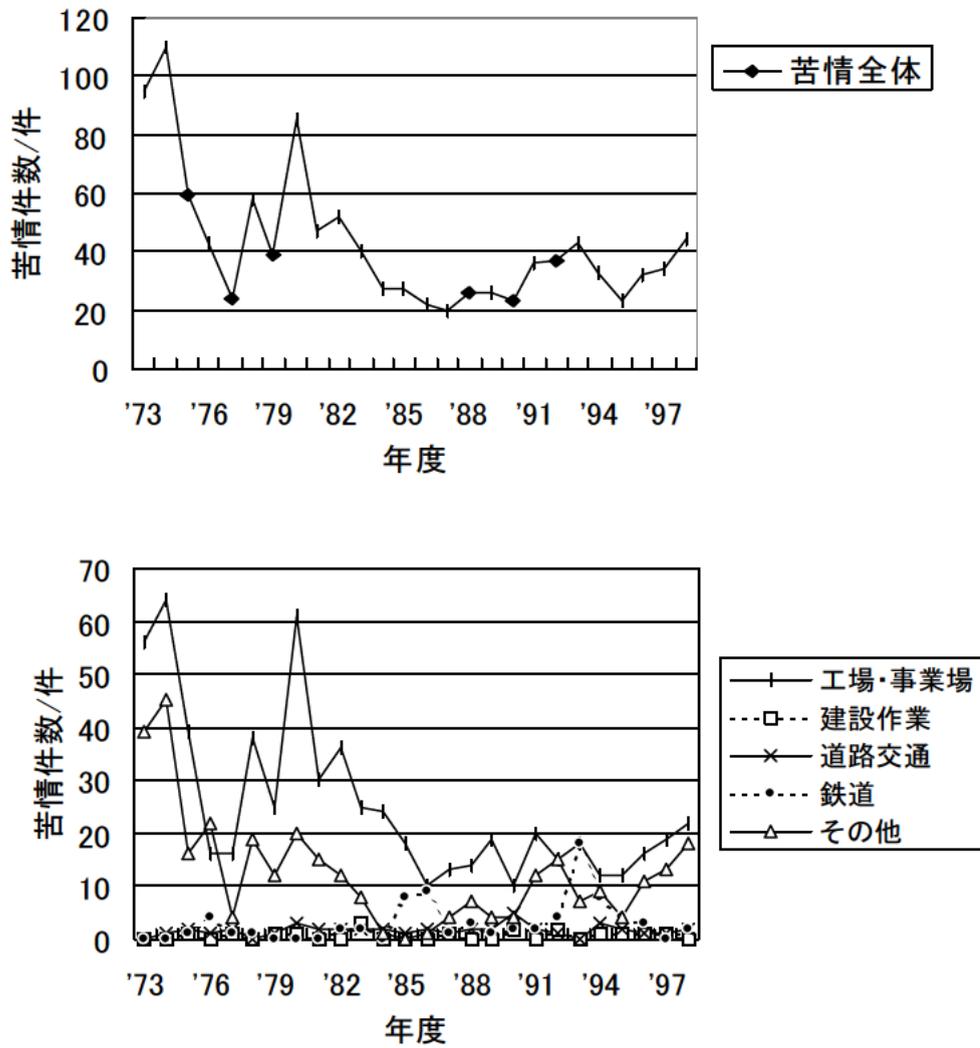


図-c.2.1 地方自治体で受け付けた低周波音苦情件数の推移

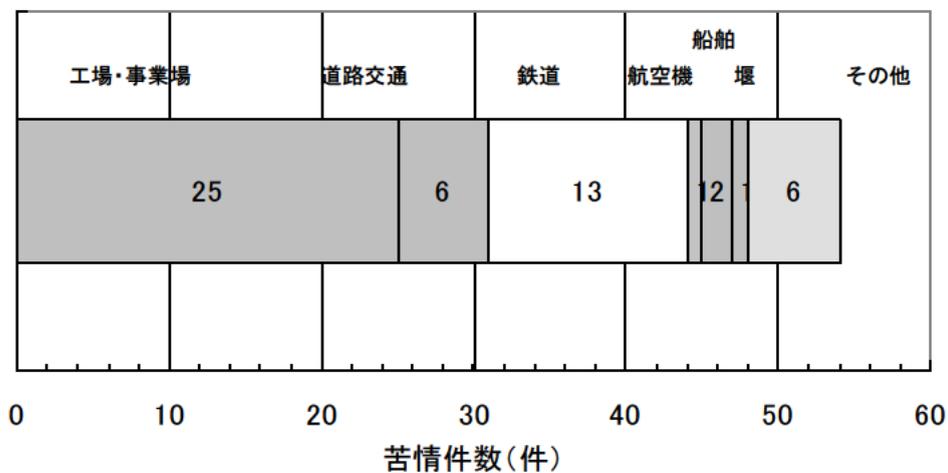


図-c.2.2 低周波音の発生源別苦情件数

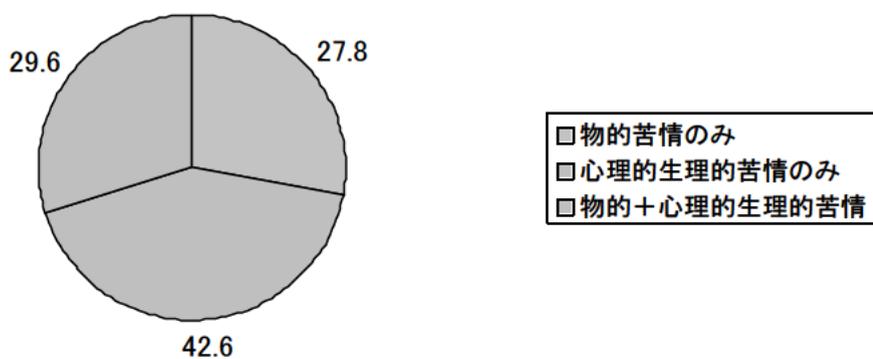


図-c.2.3 低周波音の苦情内容の割合 (%)

d. 低周波音の影響

d.1 感覚閾値

低周波音の感覚閾値（低周波音を感じる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。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)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。図-d.1 に ISO-226 を示す。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。

ISO-7196 では、G 特性音圧レベルで約 100dB を超えると超低周波音を感じると記されている。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 ±5～10dB 程度の幅がある。

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 特性音圧レベルで平均の人では約 100dB を超えると超低周波音を感じ、G 特性音圧レベルで 120dB を超えると強く感じると記されている。

(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ことがわかった。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。

d.3 生理的影響

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 である。国内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、従前の環境庁の調査並びにその他の研究者による調査では、低周波音による直接的な意味での生理的影響を明確に証明しうるデータは得られなかった。しかし、いろいろな条件下で、頭痛、吐き気などの生理的影響を起こす可能性について調査研究が必要である。

d.4 睡眠影響

環境庁では、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ている。図 - d.4 は低周波音の音圧レベルと周波数を変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。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。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いる。

その後の調査事例によると実験室実験によって求めた「建具のがたつき閾値」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・建具背後の部屋の構成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。

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。

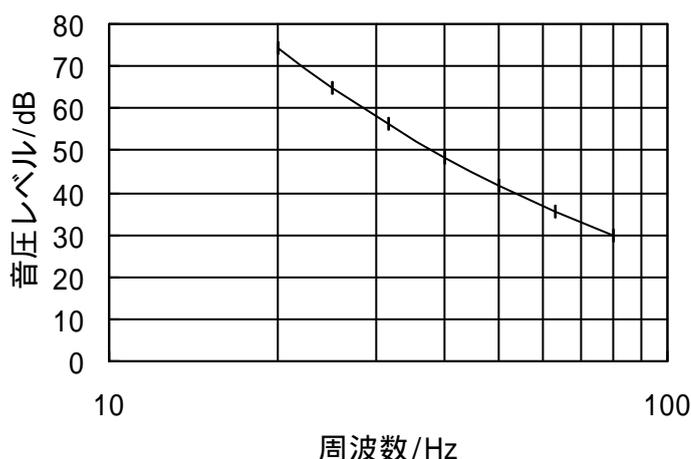


図-d.1 ISO-226 による可聴音の閾値

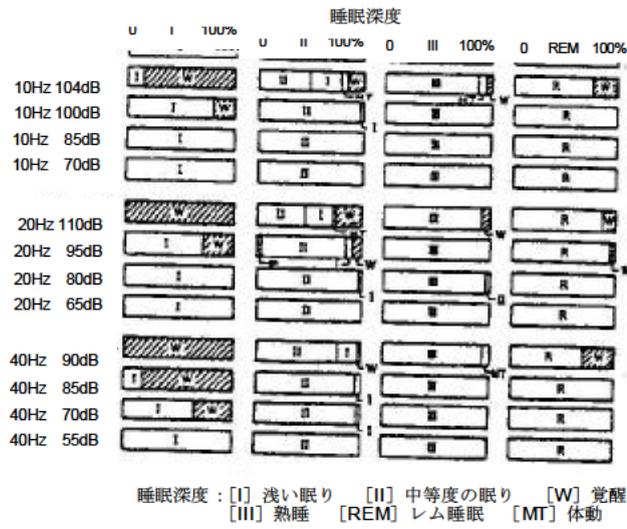


図-d.4 低周波音の睡眠への影響

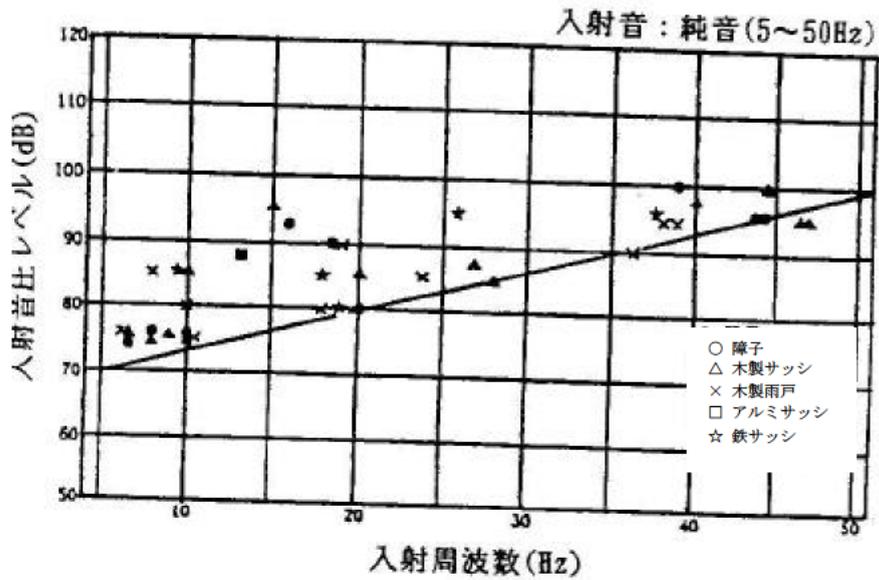


図-d.5 低周波音により建具ががたつきはじめる値

e. 低周波音の事例

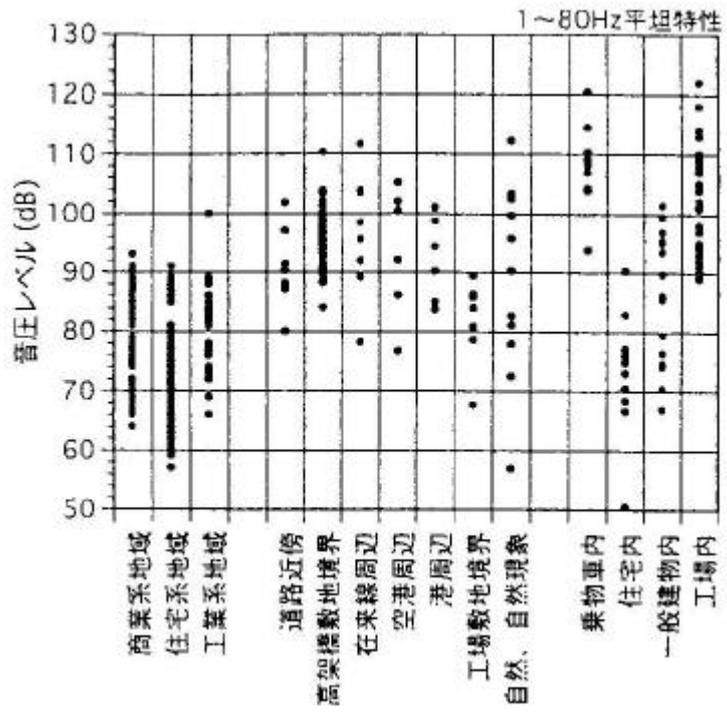


図-e.1 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
1-80Hz 平坦特性の音圧分布 (分析区間の最大値)

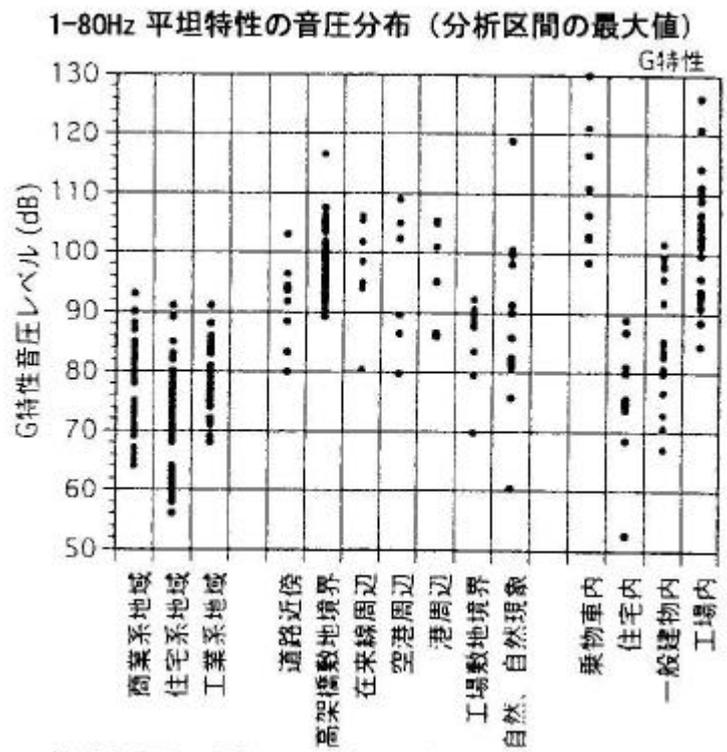


図-e.2 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G特性音圧レベル分布 (分析区間の最大値)

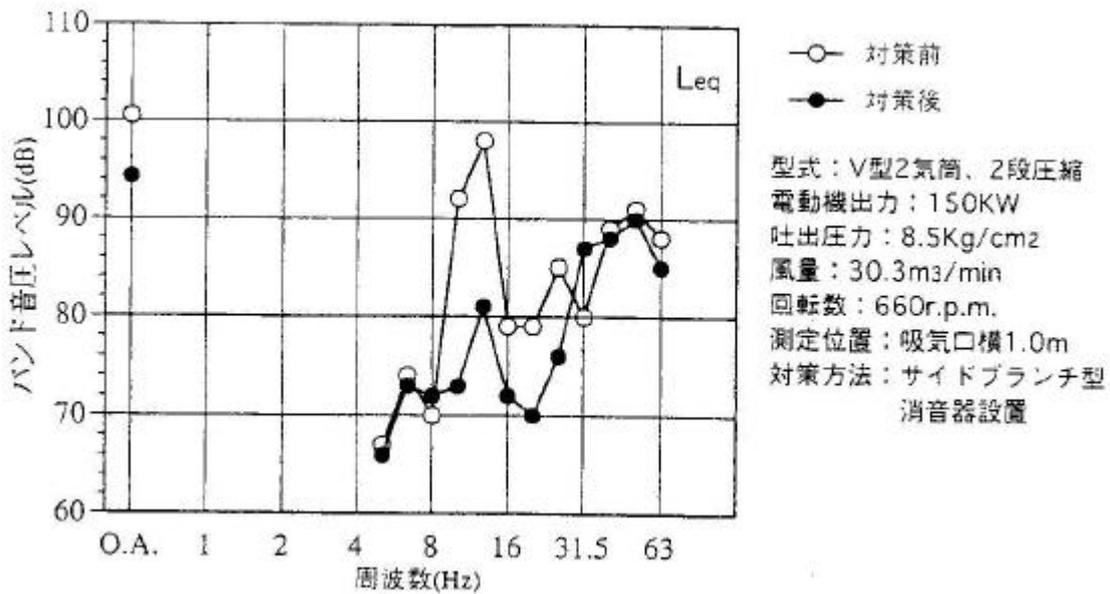


図-e.3 低周波音の周波数特性の例（圧縮機）

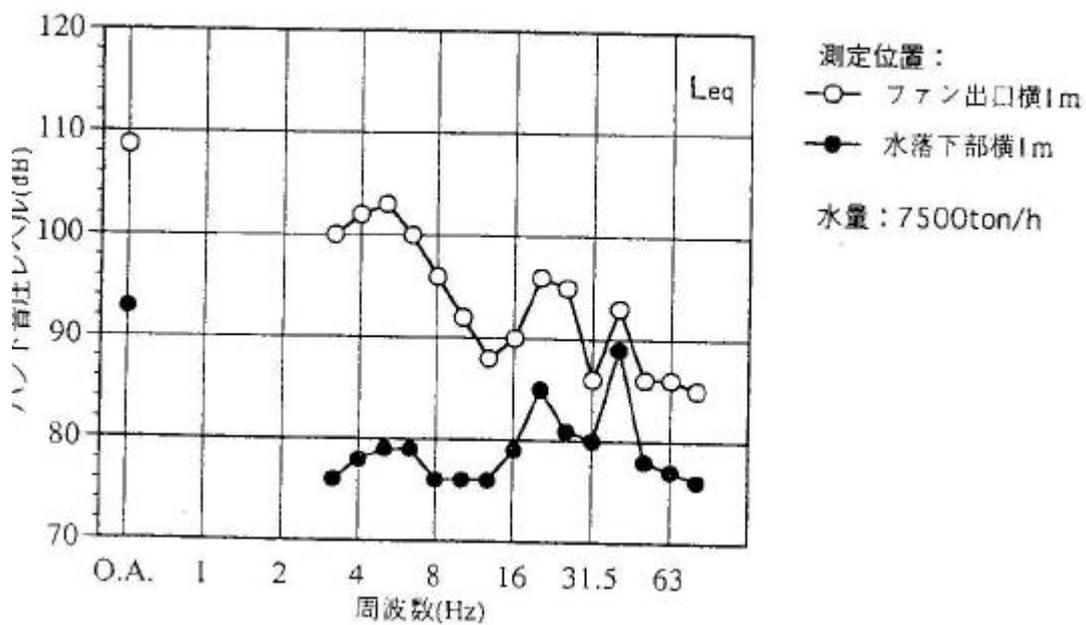


図-e.4 低周波音の周波数特性の例（クーリングタワー）

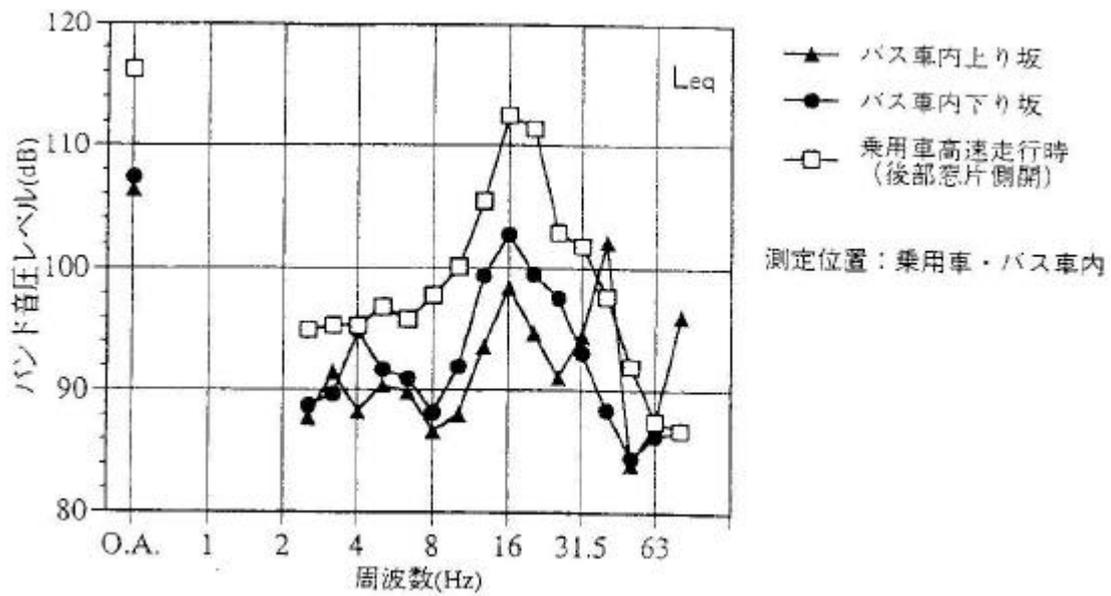


図-e.5 低周波音の周波数特性の例（乗り物車内）

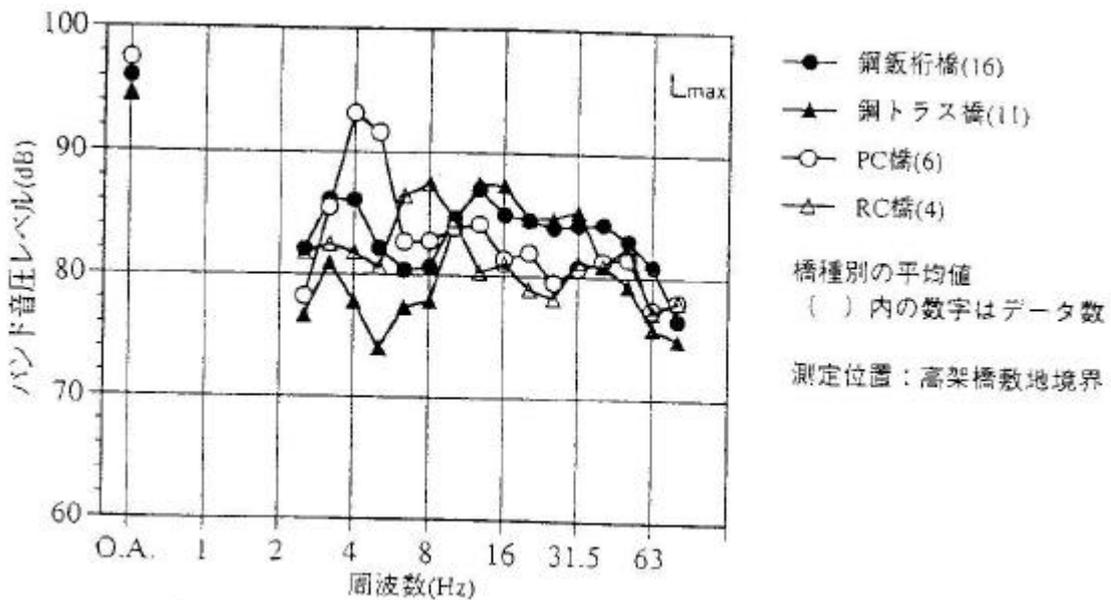


図-e.6 低周波音の周波数特性の例（道路高架橋）

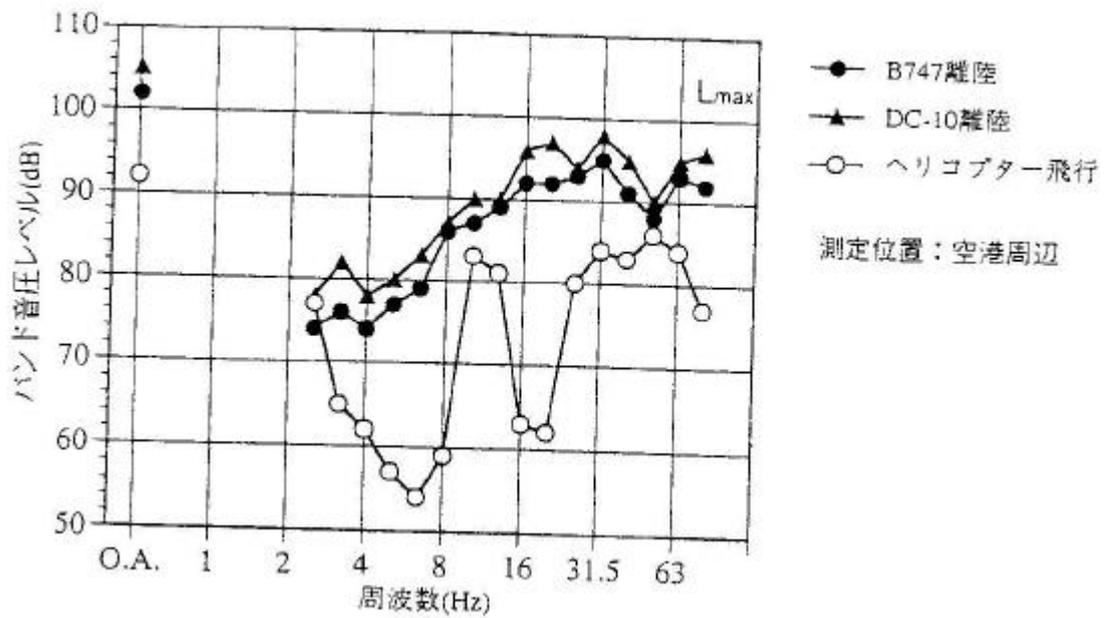


図-e.7 低周波音の周波数特性の例 (航空機・ヘリコプター)

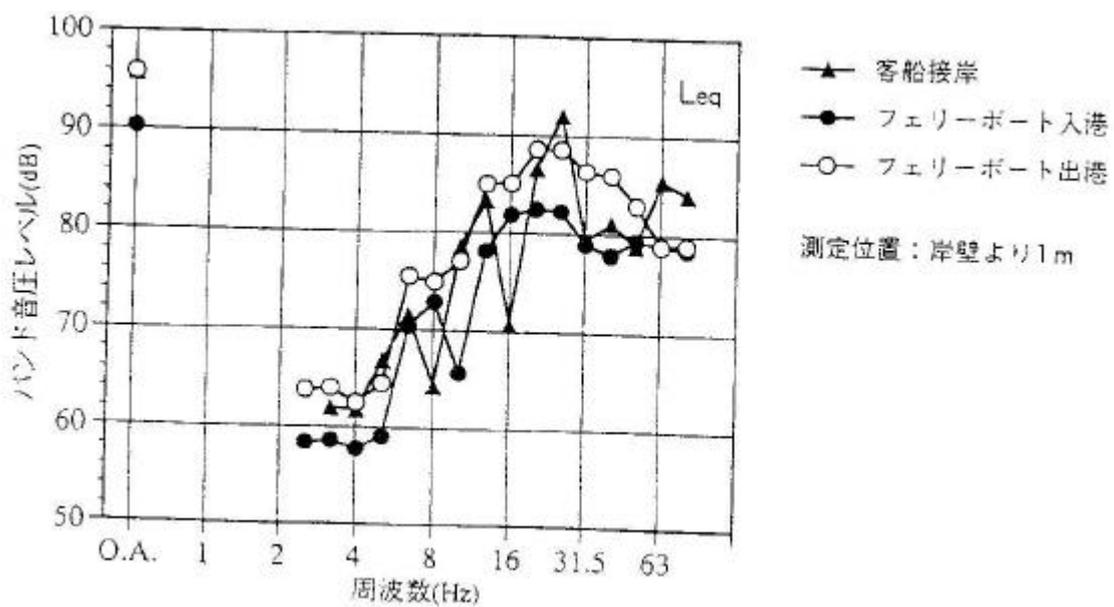


図-e.8 低周波音の周波数特性の例 (港周辺)

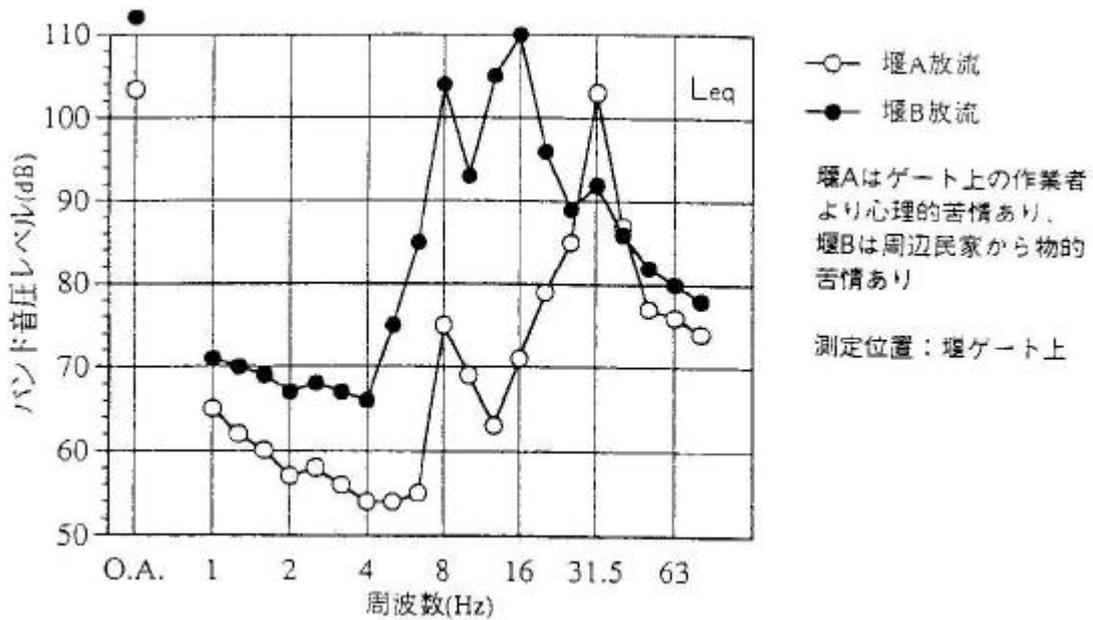


図-e.9 低周波音の周波数特性の例（堰放流）

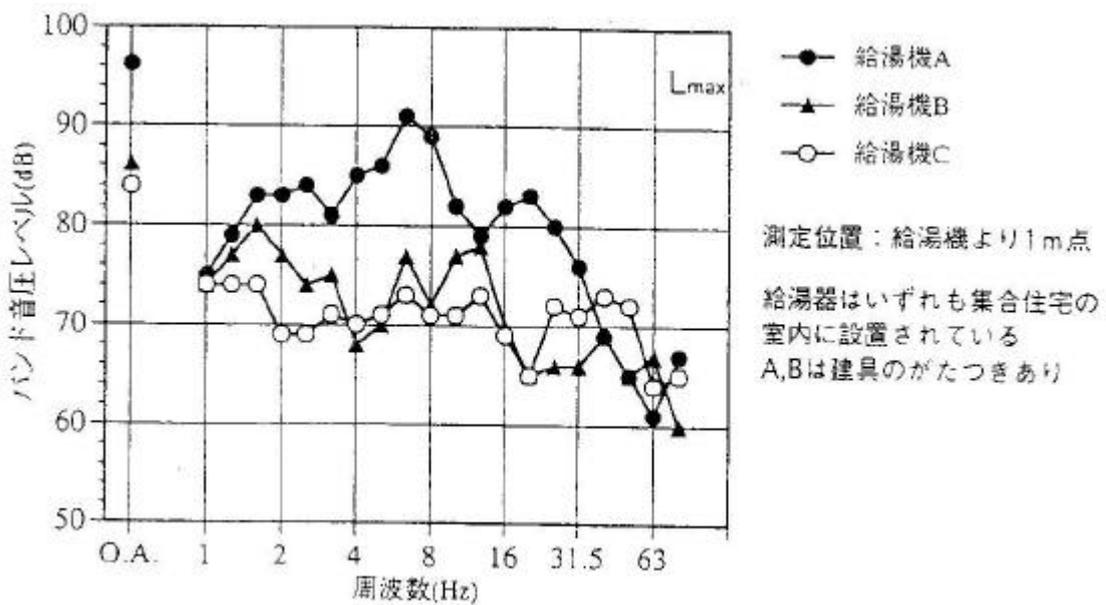


図-e.10 低周波音の周波数特性の例（家庭用ガス給湯暖房機ボイラー）

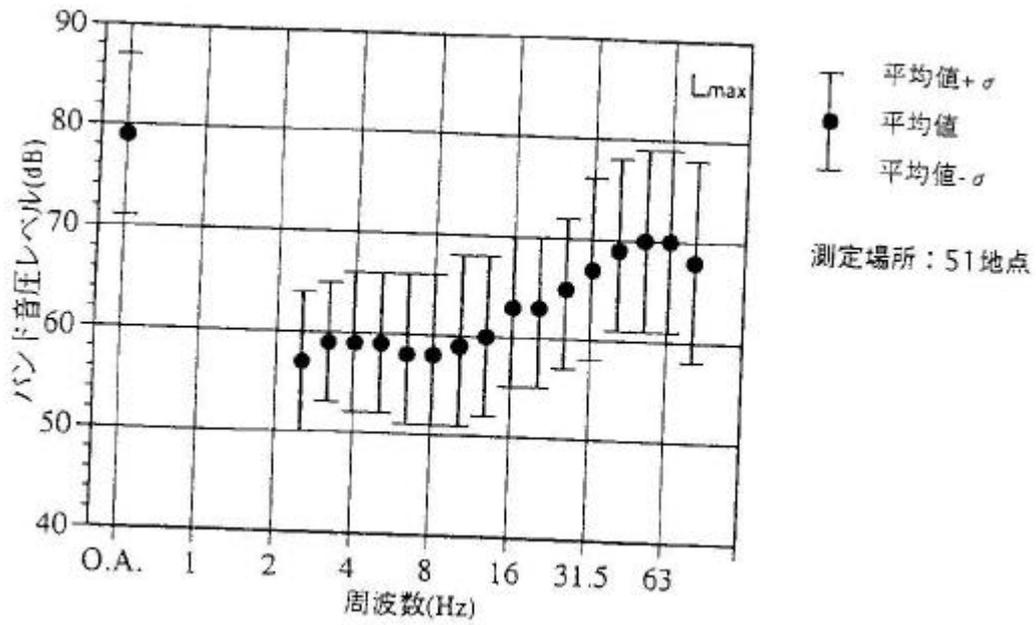


図-e.11 市街地における低周波音の周波数特性の例（商業系地域）

データシート及びチェックリストの例

データ・シートの例

(i) 産業機械の原単位用データ・シート

年月日	場所	用途地域	業種名	主要発生源機械名	機械の能力	機械の設置状況	測定場所	() *	
								G特性 音圧レベ μ	騒音レベル

(ii) 環境調査用データ・シート

年月日	場所	用途地域	発生源の区分	測定場所	() *		
					G特性 音圧レベ μ	騒音レベル	備考

(iii) 苦情調査用データ・シート

年月日	場所	用途地域	発生源の区分	()				被害家屋の状況	被害世帯数
				業種名	主要発生源機械名	機械の能力	機械の設置状況		

苦情内容	措置内容	測定場所	G特性 音圧レベ	騒音レベル	備考

* 周波数特性 (Hz)

1	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0	6.3	8.0	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	A.P.	表示の方法	

低周波音のチェックリスト

A. 苦情者側のチェックリスト

A-1 苦情の内容

- a. 物的な苦情（風がないのに戸や窓がガタガタする、置物が移動する）
- b. 心理的な苦情（気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがする）
- c. 生理的な苦情（頭痛・耳なりがする、吐き気がする）
- d. 睡眠妨害の苦情（よく眠れない）
- e. その他（具体的に； _____)
具体的な苦情を書く； _____

A-2 発生状況

- (1) 現象を感じる場所； a. 屋外 b. 屋内
屋内と答えた人； b.1 特に強く感じる部屋（ _____)
b.2 その部屋のなかで特に強く感じる場所があるか
イ．ない ロ．ある（具体的に； _____)
b.3 その時の窓の開閉状態
イ．窓開け ロ．窓閉め
- (2) 現状の発生性状； a. 持続的 b. 間欠的 c. その他
- (3) 発生時期、時刻
季節； a. 春 b. 夏 c. 秋 d. 冬 e. 季節によらない f. 一年中
時間帯； a. 朝 b. 昼間 c. 夜間 d. 深夜 e. 決まっていない f. 一日中
（時刻がわかっている場合 時 ~ 時）
- (4) 耳で聞こえるか
a. 耳で聞こえる、感じる、わかる b. 耳では聞こえない、感じない
- (5) その他（具体的に）

B. 調査員のチェックリスト

B-1 調査員の感覚

- (1) 耳で聞こえるか
 - a. 耳で聞こえる、感じる、わかる
 - b. 耳では聞こえない、感じない
- (2) 不快感（または胸や腹を圧迫されるような感じ）がするか
 - a. 感じる、わかる
 - b. 感じない
- (3) 窓や戸等が揺れているか（主に屋外からの耳あるいは目視による観察）
 - a. 揺れている
 - b. 揺れていない
- (4) 窓や戸がガタガタ音をたてているか（主として屋内での観察）
 - a. ガタガタ音をたてている
 - b. 音をたてていない

B-2 発生状況

- (1) 現象を感じる場所；
 - a. 屋外
 - b. 屋内
 - 屋内の場合；
 - b.1 特に強く感じる部屋（ ）
 - b.2 部屋の中で音が局所的に大きくなる場所があるか
 - イ．ない
 - ロ．ある（具体的に； ）
 - b.3 その時の窓の開閉状態
 - イ．窓開け
 - ロ．窓閉め
- (2) 現象の発生性状；
 - a. 持続的
 - b. 間欠的
 - c. その他
- (3) 苦情との対応
調査員の体感（または低周波音圧レベル計の音圧レベルの変化）と苦情者の反応が対応しているか
 - a. 対応している
 - b. 対応していない
 - c. 対応状況が不明で調査の要あり
（時間帯、季節、場所等についての苦情者の表現と調査員から見た低周波音の状況の対応を考える）
- (4) 低周波音の卓越周波数と音圧レベル；（ Hz、 dB）
注：測定できた場合にのみ記入 測定場所（ ）
詳細は別紙データシートに記入

- ### B-3 周辺の状況； 苦情者の周辺の状況を記録する。工場、事業場、店舗、住宅、交通機関等との位置関係を記録する。音源が推定される場合は、位置関係運転状況等を記録する。