はじめに

本書は、公害防止管理者等国家試験（騒音・振動関係）を受験する方を対象に、騒音・振動概論、騒音・振動特論の2科目について、基礎的な知識を含む試験の重要ポイントを理解していただくことを目的としています。

公害防止管理者等国家試験は、「公害防止管理者等資格認定講習用」に使用されているテキスト『新・公害防止の技術と法規　騒音・振動編』（発行・産業環境管理協会）からの出題がほとんどですが、当テキストは非常にページ数が多く、記述内容も幅広いため、学習のポイントがつかめないという難点があることは否めません。また、記述されている内容と実際の試験問題がどのようにかかわり合っているかを読み解くにはかなりの労力と時間が必要になると思われます。

そこで本書は、各試験科目の出題されるポイントを厳選し、それに関連する過去問を解くことで国家試験対策に必要な知識を身につけられるように構成されています。

『新・公害防止の技術と法規』を読み込むのに時間的余裕がない場合、予備知識なく対数の計算などに取り組むことに自信がない場合など、なるべく労力と時間をかけずに受験対策を行いたい方を対象としています。

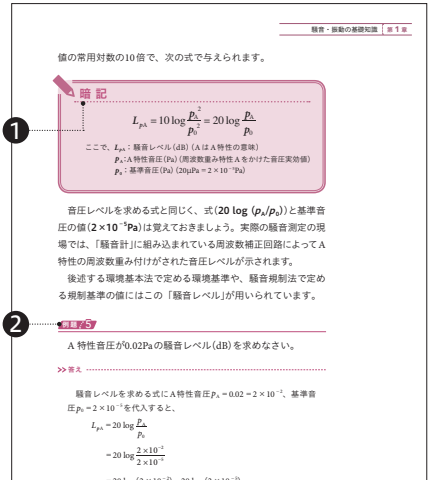
本書が、公害防止管理者等国家試験の受験を目指している方々の必携書になれば幸甚です。

2018 年4月
一般社団法人 産業環境管理協会

Sample

本書の読み方

各節の構成　各章はいくつかの節に分かれています。各節には次のような要素があります。



騒音・振動の基礎知識　第1章

値の常用対数の10倍で、次の式で与えられます。

暗 記

$$L_{pA} = 10\log\frac{p_A^2}{p_0^2} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

ここで、L_{pA}：騒音レベル(dB)（A はA特性の意味）
p_A：A特性音圧(Pa)（周波数重みA特性Aをかけた音圧実効値）
p_0：基準音圧(Pa)（20μPa＝2×10^{-5}Pa）

音圧レベルを求める式と同じく、式(**20 log (p_A/p_0)**)と基準音圧の値(**2×10^{-5}Pa**)は覚えておきましょう。実際の騒音測定の現場では、「騒音計に組み込まれている周波数補正回路によってA特性の周波数重み付けがされた音圧レベルが示されます。

後述する環境基本法で定める環境基準や、騒音規制法で定める規制基準の値にはこの「騒音レベル」が用いられています。

例題 5

A 特性音圧が0.02Paの騒音レベル(dB)を求めなさい。

>> 答え

騒音レベルを求める式にA特性音圧p_A＝0.02＝2×10^{-2}、基準音圧p_0＝2×10^{-5}を代入すると、

$$L_{pA} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

$$= 20\log\frac{2\times10^{-2}}{2\times10^{-5}}$$

$$= 20\log(2\times10^{-2}) - 20\log(2\times10^{-5})$$

$$= (20\log 2 + 20\log 10^{-2}) - (20\log 2 + 20\log 10^{-5})$$

$$= (20\log 2 - 40\log 10) - (20\log 2 - 100\log 10)$$

$(\log 2 \fallingdotseq 0.3,\ \log 10 = 1)$

$$= (20\times0.3 - 40\times1) - (20\times0.3 - 100\times1)$$

$$= (6 - 40) - (6 - 100) = -34 + 94 = 60\text{dB}$$

騒音・振動の基礎知識　第1章

練習問題　平成27・問25

問25　ある機械を夜間の暗騒音レベルが36 dBの工場内で運転すると、機械1 mでの騒音レベルは49 dBであった。昼間の暗騒音レベルが47 dBのときにこの機械を運転すると、機械1 mの騒音レベルは約何dBか。

(1)　49　(2)　51　(3)　53　(4)　55　(5)　57

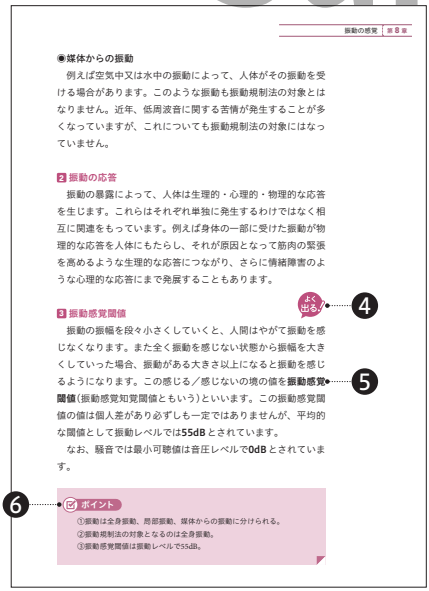
解　説

問題の状況を図に示します。

①まず機械のみの騒音レベルを求めます。夜間の暗騒音レベルが36dB、機械運転中が49dBなのでレベル差は13dBになります。レベル差が10dB以上なので暗騒音の影響は無視でき、機械のみの騒音レベルはそのまま49dBということになります(dBの差を参照)。

②機械のみの騒音レベル49dBと昼間の暗騒音レベル47dBとの和が、機械を運転したときの昼間の騒音レベルとなります。

③dBの和の補正値(下表)より、47と49のレベル差は2なので49に2を足して51dBとなります。



振動の感覚　第8章

◉媒体からの振動

例えば空気中又は水中の振動によって、人体がその振動を受ける場合があります。このような振動も振動規制法の対象とはなりません。近年、低周波音に関する苦情が発生することが多くなっていますが、これについても振動規制法の対象にはなっていません。

2 振動の応答

振動の暴露によって、人体は生理的・心理的・物理的な応答を生じます。これらはそれぞれ単独に発生するわけではなく相互に関連をもっています。例えば身体の一部に受けた振動が物理的な応答を人体にもたらし、それが原因となって筋肉の緊張を高めるような生理的な応答につながり、さらに情緒障害のような心理的な応答にまで発展することもあります。

3 振動感覚閾値

よく出る

振動の振幅を段々小さくしていくと、人間はやがて振動を感じなくなります。また全く振動を感じない状態から振幅を大きくしていった場合、振動がある大きさ以上になると振動を感じるようになります。この感じる／感じないの境の値を**振動感覚閾値**(振動感覚知覚閾値ともいう)といいます。この振動感覚閾値の値は個人差があり必ずしも一定ではありませんが、平均的な閾値として振動レベルでは**55dB**とされています。

なお、騒音では最小可聴値は音圧レベルで**0dB**とされています。

ポイント

①振動は全身振動、局部振動、媒体からの振動に分けられる。
②振動規制法の対象となるのは全身振動。
③振動感覚閾値は振動レベルで55dB。

Sample

❶ 暗 記

式を暗記していないと解けない計算問題もよく出題されます。この表示がある箇所は暗記すべき式や内容です。

❷ 例題 1

例題で計算の解き方や考え方を理解しておきましょう。

❸ 練習問題

実際に出題された過去問で知識のチェックを行います。右上に出題年度と問番号が記されています。

❹ よく出る

よく出題される項目です。確実に点数を重ねるためには、出題頻度が高い項目を重点的に学習しましょう。

❺ 太い文字

重要な語句は太字になっています。

❻ ポイント

押さえておきたい重点ポイントです。受験にあたって、どこを中心に覚えておけばよいかを示しています。

▶ 公害防止管理者の試験について

騒音・振動発生施設には有資格者である公害防止管理者の選任が義務づけられています。この資格は年1回(10月の第一日曜日)全国で行われる国家試験に合格することで得られます※。また合格率はおおむね20%前後で、難易度の高い国家試験といえます。

※書類審査を経て規定の講習を受講し、かつ、修了試験に合格することで、国家試験に合格した場合と同等の資格が付与される制度もあります。

国家試験の詳細：http://www.jemai.or.jp/polconman/examination/index.html

▶ 試験科目・問題数・試験時間・合格基準

騒音・振動関係公害防止管理者の試験科目は3科目です。本書はこのうち2科目の内容について解説しています(共通科目の本シリーズの『公害総論』(別売)を参照)。

1問につき約3分の試験時間が割り当てられ、合格基準は各科目60%以上とされています。

試験科目	問題数	試験時間	合格基準
公害総論	15問	50分	各科目 60%以上
騒音・振動概論	25問	75分	
騒音・振動特論	30問	90分	

※合格基準は年度によって変動することがあります。

sample

▶ 学習のための関連資料

- 「新・公害防止の技術と法規」(毎年1月発行／産業環境管理協会)
  公害防止管理者等資格認定講習用テキスト
- 「正解とヒント」(毎年4月発行／産業環境管理協会)
  過去5年分の国家試験の正解と解答のポイントを解説
- 「環境・循環型社会・生物多様性白書」(毎年発行／環境省)
  環境省が発行する白書で最新の情報を確認。インターネットで公開されている。
- 国家試験　問題と正解(解説はありません)
  過去の問題と正解がインターネットで公開されている。
  http://www.jemai.or.jp/polconman/examination/past.html

目　次

はじめに …… i
本書の読み方 …… ii

I 騒音・振動概論

第1章　騒音・振動の基礎知識
1-1　数学の基礎 …… 4
1-2　騒音・振動の基礎 …… 12
1-3　dBの計算 …… 23
第2章　騒音・振動の法規制
2-1　騒音関連の環境基準 …… 36
2-2　騒音規制法 …… 46
2-3　振動規制法 …… 66
2-4　公害防止管理者法(騒音・振動関係) …… 86
第3章　騒音の現状と施策
3-1　騒音公害の現状 …… 98
3-2　主要な音源 …… 105
第4章　騒音の感覚
4-1　耳の構造と可聴範囲 …… 112
4-2　音の感覚 …… 115
第5章　騒音の影響・評価
5-1　騒音の影響 …… 120
5-2　等価騒音レベル …… 128
第6章　音の性質
6-1　音に関する基礎量と単位 …… 136
6-2　音波の発生と音源の性質 …… 148
6-3　音波の伝搬と減衰 …… 152
6-4　音波の反射・屈折・回折・干渉 …… 160
6-5　超低周波音・低周波音 …… 165
第7章　振動の現状と施策
7-1　振動公害の現状 …… 172
7-2　振動の発生源 …… 176

sample

第8章　振動の感覚

8-1　振動の種類 …… 182

8-2　振動の感じ方 …… 184

8-3　振動の影響 …… 190

第9章　振動の性質

9-1　振動の基本的な性質 …… 196

9-2　振動に関する諸量 …… 205

9-3　簡単な振動系 …… 228

9-4　振動の発生と伝搬 …… 242

Ⅱ 騒音・振動特論

第1章　騒音防止技術

1-1　騒音対策 …… 252

1-2　消音器 …… 258

1-3　制振処理と振動絶縁 …… 270

1-4　屋外の騒音伝搬と防止 …… 275

1-5　屋内の騒音伝搬と防止 …… 292

1-6　吸音材料と遮音材料 …… 307

第2章　騒音測定技術

2-1　騒音測定計画 …… 320

2-2　騒音の測定機器 …… 324

2-3　騒音レベルの測定 …… 352

第3章　振動防止技術

3-1　振動対策 …… 380

3-2　振動源対策 …… 385

3-3　弾性支持 …… 396

3-4　振動の伝搬経路における対策 …… 414

3-5　弾性支持に使用される材料 …… 423

第4章　振動測定技術

4-1　振動測定計画 …… 438

4-2　振動の測定機器 …… 450

4-3　振動レベルの測定 …… 467

sample

巻末資料

計算問題を解くための暗記項目一覧 …… 481
常用対数表 …… 489

sample

I

騒音・振動概論

sample

「騒音・振動概論」という科目は、騒音・振動に関する法律と騒音・振動問題の概要について学ぶ科目です。騒音及び振動の防止に関する規制について定めている騒音規制法、振動規制法や公害防止管理者制度、騒音・振動問題の現状、騒音・振動の大きさの表し方などが中心になります。

出題分析と学習方法

まずはどこにポイントを置いて学習すればよいかを理解しておきましょう。広い試験範囲のなかで、合格ラインといわれる60％の正答率を得るためには、出題傾向に応じた学習方法が重要になります。

▶ 出題数と内訳

騒音・振動概論の出題数は全25問で、過去5年分の内訳は下表のとおりです。

試験科目の範囲	出題数									
	平成25年		平成26年		平成27年		平成28年		平成29年	
	騒	振	騒	振	騒	振	騒	振	騒	振
騒音／振動対策のための法規制	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
騒音／振動公害の現状と施策	0	1	2	1	0	1	2	1	1	1
騒音／振動発生源	3	1	2	2	1	1	1	1	1	1
騒音／振動の感覚	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2
騒音／振動の影響・評価と基準	2	2	1	2	4	0	2	0	3	1
音／振動の性質	3	2	3	2	3	5	3	4	3	3
dBの計算	0		1		1		1		1	
低周波音	1		0		0		0		0	
出題数計	25									

sample

▶ 合格のための学習ポイント

- **騒音／振動対策のための法規制**では騒音規制法、振動規制法、騒音・振動関係の公害防止管理者制度の内容について出題されます。例年同じような問題が出題されることが多いので、ここは確実に押さえておきたい範囲です（第2章）。
- **騒音／振動公害の現状**では、おおよその苦情件数、どのような業種からの苦情が多いのかを理解しておきましょう。**騒音／振動発生源**では、主要な発生源について押さえておきましょう（第3章、第7章）。
- **騒音／振動の感覚、騒音／振動の影響・評価と基準**では、実験や調査結果から騒音・振動が人体にどのような影響を及ぼすのかを押さえておきましょう（第4～6章、8章）。
- dBの計算はもちろんですが、**音／振動の性質**でも計算問題がよく出題されています。解くために必要な基礎知識は第1章で紹介しました。重要な式は暗記しておく必要があります（巻末資料の暗記項目一覧参照）。

第 1 章

騒音・振動の基礎知識

sample

1-1 数学の基礎

1-2 騒音・振動の基礎

1-3 dBの計算

1-1 数学の基礎

騒音・振動関係の科目では計算問題が出題されます。問題を解くためには数学や物理の基礎学習が必要になります。学習するなかで計算問題が解けないときは、いったん本節に立ち戻りましょう。

1 指数

騒音・振動の分野では対数・指数の計算をよく使います。国家試験問題でも対数・指数の計算問題が出題されますが、指数では10の何乗、対数では10を底とした対数（常用対数）に関する計算がほとんどです。

a を n 回かけたものを a の n 乗といい、a^n と表します。

$$\underbrace{a \times a \times a \times \cdots \times a}_{n\text{回}} = a^n \qquad (n：正の整数)$$

a^n は a の累乗（べき乗ともいう）といい、a を**底**（てい）、n を**指数**といいます。

指数計算※では次の法則が成り立ちます（a を10とした場合）。

※：指数計算
公式は指数同士の足し算には当てはまらないことに注意。$10^2 + 10^3 = 100 + 1000 = 1100$ であり、10^5 とはならない。また、底が10でない場合でも指数の公式の考え方は成り立つ（例：$2^3 \times 2^2 = (2 \times 2 \times 2) \times (2 \times 2) = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^5$）。

指数の公式

1. $10^x \times 10^y = 10^{(x+y)}$
2. $10^x \div 10^y = 10^{(x-y)}$
3. $(10^x)^y = 10^{(x \times y)}$
4. $10^{-x} = \dfrac{1}{10^x}$
5. $10^0 = 1$

sample

指数の公式を使って例題を解いてみましょう。

例題 1

次の値を求めなさい。

① $10^2 \times 10^3$　　④ $(10^2)^3$

② $10^5 \div 10^2$　　⑤ 10^{-2}

③ $10^{-3} \div 10^{-5}$　　⑥ 10^0

答え

①公式1より $10^{(2+3)} = 10^5$

②公式2より $10^{(5-2)} = 10^3$

③公式2より $10^{(-3-(-5))} = 10^2$

④公式3より $10^{(2\times3)} = 10^6$

⑤公式4より $\frac{1}{10^2} = \frac{1}{100} = 0.01$

⑥公式5より1

2 対数

$y = a^x$ という**指数表現**は、$x = \log_a y$ という**対数表現**に書き換えることができます。ここで、a を**底**、x を**対数**、y を**真数**といいます。

sample

対数の定義

指数表現		対数表現
$y = a^x$	⇔	$x = \log_a y$
（y は a を x 乗した値）		（a を x 乗すると y）

騒音・振動の分野では、ほとんどの場合は**常用対数**※を使用します。通常、a は省略して表します。以降では対数という場合は常用対数のことを指します。対数の定義と公式は必ず覚えておきましょう。

※：常用対数
logで表される数の中で、底が10である対数のことをいう。ここでは底は省略して表す。つまりlog 2とは$\log_{10}2$のこと。なお、eを底とする対数$\log_e M$を自然対数という。ここでe＝2.7182818…となる無理数。

対数の公式

1 $\log(x \times y) = \log x + \log y$

2 $\log(x \div y) = \log x - \log y$

3 $\log x^n = n \log x$

対数の計算では、真数の表し方を1～10になるまで変形し、公式を使って対数を求めます。限られた時間の中で素早く計算問題を解くためにも、次の値は暗記しておくと便利です。

暗記

$\log 1 = 0$	$\log 5 \fallingdotseq 0.7$
$\log 2 \fallingdotseq 0.3$	$\log 7 \fallingdotseq 0.85$
$\log 3 \fallingdotseq 0.5$	$\log 10 = 1$

sample

これらの値を組み合わせれば、真数1～10は公式を使ってすべて求めることができます。

$\log 4 = \log 2^2 = 2 \log 2 \fallingdotseq 2 \times 0.3 = 0.6$ （公式3）

$\log 6 = \log(2 \times 3) = \log 2 + \log 3 \fallingdotseq 0.3 + 0.5 = 0.8$ （公式1）

$\log 8 = \log 2^3 = 3 \log 2 \fallingdotseq 3 \times 0.3 = 0.9$ （公式3）

$\log 9 = \log 3^2 = 2 \log 3 \fallingdotseq 2 \times 0.5 = 1.0$ （公式3）

このように、概略値が使えるような真数の表し方に変えれば、公式を使って対数を求めることができます。例題を解いて対数計算に慣れておきましょう。

例題 2

次の値を求めなさい。

① $\log 14$

② $\log \frac{3}{5}$

③ $\log 200$

④ $\log 0.03$

⑤ $10 \log \left(\frac{1}{2 \times 10^{-5}} \right)^2$

答え

①公式1より $\log 14 = \log (2 \times 7) = \log 2 + \log 7$

数値に換算して $0.3 + 0.85 = 1.15$

②公式2より $\log (3 \div 5) = \log 3 - \log 5$

数値に換算して $0.5 - 0.7 = -0.2$

③公式1より $\log 200 = \log (2 \times 100) = \log 2 + \log 100 = \log 2 + \log 10^2$

公式3より $\log 2 + \log 10^2 = \log 2 + 2 \log 10$

数値に換算して $0.3 + 2 \times 1 = 2.3$

④公式2より $\log (3 \div 100) = \log 3 - \log 100 = \log 3 - \log 10^2$

公式3より $\log 3 - \log 10^2 = \log 3 - 2 \log 10$

数値に換算して $0.5 - 2 \times 1 = -1.5$

⑤公式3より $20 \log \frac{1}{2 \times 10^{-5}}$

公式2より $20 \log 1 - 20 \log (2 \times 10^{-5})$

公式1より $20 \log 1 - (20 \log 2 + 20 \log 10^{-5})$

公式3より $20 \log 1 - (20 \log 2 - 100 \log 10)$

数値に換算して $0 - (20 \times 0.3 - 100 \times 1) = 0 - (6 - 100) = 94$

対数の計算では、公式を使ったり表し方を変形させたりして、真数を1～10に収まるようにすることがポイントです。

Sample

3 常用対数表

※：関数電卓
公害防止管理者等国家試験では、関数電卓・通信機能付き電卓・数式等が記憶できるメモリ機能付きの電卓は使用禁止となっている。

実際の国家試験では関数電卓※の持ち込みが禁止されているため（四則演算（＋－×÷）などができる普通電卓の持ち込みは許可されています）、対数の計算では試験問題の末尾に掲載される「**常用対数表**」から値を算出することになります。これまではあまり細かい数値は出てきていませんが、計算中に小数点を含む数値が出てきた場合は、次々ページの常用対数表を用いて数値を求めます（常用対数表は巻末にも掲載しています）。

常用対数表の網掛けの数値は次のことを表しています。

・「真数」$n = 2.03$ の場合、$\log n = \log 2.03 = 0.307$

・$10^{0.307} = 2.03$

それでは常用対数表を使って例題を解いてみましょう。

例題 3

常用対数表を使って次の値を求めなさい。

sample

① $\log 3.4$

② $\log 4.58$

③ $\log 24$

④ $10^{0.6}$

⑤ $10^{\frac{65}{10}} + 10^{\frac{73}{10}}$

>> 答え

①常用対数表の左の列3.4と上の行0の交わる欄の数値より、$\log 3.4 = 0.531$

②常用対数表の左の列4.5と上の行8の交わる欄の数値より、$\log 4.58 = 0.661$

③対数の公式1より $\log 24 = \log(2.4 \times 10) = \log 2.4 + \log 10$
常用対数表の左の列2.4と上の行0の交わる欄の数値より、$\log 2.4 = 0.380$，$\log 10 = 1$ なので、$\log 24 = \log 2.4 + \log 10 = 0.380 + 1 = 1.380$

④常用対数表の数値600（0.6）は左の列3.9、上の行8が交わる数値なので
$10^{0.6} = 3.98$

⑤指数の公式1（$10^x \times 10^y = 10^{(x+y)}$）を逆からあてはめ、

$10^{6.5} + 10^{7.3} = (10^7 \times 10^{-0.5}) + (10^7 + 10^{0.3}) = 10^7 \times (10^{-0.5} + 10^{0.3})$

ここで、指数の公式4 $\left(10^{-x} = \dfrac{1}{10^x}\right)$ より $10^{-0.5} = \dfrac{1}{10^{0.5}}$

常用対数表より $10^{0.5} = 3.16$ であるから $10^{-0.5} = \dfrac{1}{3.16} = 0.316$

常用対数表より $10^{0.3} \fallingdotseq 2.00$

したがって、$10^7 \times (0.316 + 2.00) = 2.316 \times 10^7$

この常用対数表では log 1.00 ～ log 9.99 の対数が求められます（指数は0.000 ～ 1.000）。したがって、真数を1 ～ 10（指数を0 ～ 1）の間に収まるように表し方を変形させることが、常用対数表を使った計算でも重要になります。

sample

常用対数表（表中の値は小数を表す）

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	000	004	009	013	017	021	025	029	033	037
1.1	041	045	049	053	057	061	064	068	072	076
1.2	079	083	086	090	093	097	100	104	107	111
1.3	114	117	121	124	127	130	134	137	140	143
1.4	146	149	152	155	158	161	164	167	170	173
1.5	176	179	182	185	188	190	193	196	199	201
1.6	204	207	210	212	215	217	220	223	225	228
1.7	230	233	236	238	241	243	246	248	250	253
1.8	255	258	260	262	265	267	270	272	274	276
1.9	279 ⑤	281	283	286	288	290	292	294	297	299
2.0	301	303	305	307	310	312	314	316	318	320
2.1	322	324	326	328	330	332	334	336	338	340
2.2	342	344	346	348	350	352	354	356	358	360
2.3	362 ③	364	365	367	369	371	373	375	377	378
2.4	380	382	384	386	387	389	391	393	394	396
2.5	398	400	401	403	405	407	408	410	412	413
2.6	415	417	418	420	422	423	425	427	428	430
2.7	431	433	435	436	438	439	441	442	444	446
2.8	447	449	450	452	453	455	456	458	459	461
2.9	462	464	465	467	468	470	471	473	474	476
3.0	477	479	480	481	483	484	486 ⑤	487	489	490
3.1	491	493	494	496	497	498	500	501	502	504
3.2	505	507	508	509	511	512	513	515	516	517
3.3	519 ①	520	521	522	524	525	526	528	529	530
3.4	531	533	534	535	537	538	539	540	542	543
3.5	544	545	547	548	549	550	551	553	554	555
3.6	556	558	559	560	561	562	563	565	566	567
3.7	568	569	571	572	573	574	575	576	577	579
3.8	580	581	582	583	584	585	587	588	589 ④	590
3.9	591	592	593	594	595	597	598	599	600	601
4.0	602	603	604	605	606	607	609	610	611	612
4.1	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622
4.2	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632
4.3	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642
4.4	643	644	645	646	647	648	649	650	651 ②	652
4.5	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662
4.6	663	664	665	666	667	667	668	669	670	671
4.7	672	673	674	675	676	677	678	679	679	680
4.8	681	682	683	684	685	686	687	688	688	689
4.9	690	691	692	693	694	695	695	696	697	698
5.0	699	700	701	702	702	703	704	705	706	707
5.1	708	708	709	710	711	712	713	713	714	715
5.2	716	717	718	719	719	720	721	722	723	723
5.3	724	725	726	727	728	728	729	730	731	732
5.4	732	733	734	735	736	736	737	738	739	740

Sample

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.5	740	741	742	743	744	744	745	746	747	747
5.6	748	749	750	751	751	752	753	754	754	755
5.7	756	757	757	758	759	760	760	761	762	763
5.8	763	764	765	766	766	767	768	769	769	770
5.9	771	772	772	773	774	775	775	776	777	777
6.0	778	779	780	780	781	782	782	783	784	785
6.1	785	786	787	787	788	789	790	790	791	792
6.2	792	793	794	794	795	796	797	797	798	799
6.3	799	800	801	801	802	803	803	804	805	806
6.4	806	807	808	808	809	810	810	811	812	812
6.5	813	814	814	815	816	816	817	818	818	819
6.6	820	820	821	822	822	823	823	824	825	825
6.7	826	827	827	828	829	829	830	831	831	832
6.8	833	833	834	834	835	836	836	837	838	838
6.9	839	839	840	841	841	842	843	843	844	844
7.0	845	846	846	847	848	848	849	849	850	851
7.1	851	852	852	853	854	854	855	856	856	857
7.2	857	858	859	859	860	860	861	862	862	863
7.3	863	864	865	865	866	866	867	867	868	869
7.4	869	870	870	871	872	872	873	873	874	874
7.5	875	876	876	877	877	878	879	879	880	880
7.6	881	881	882	883	883	884	884	885	885	886
7.7	886	887	888	888	889	889	890	890	891	892
7.8	892	893	893	894	894	895	895	896	897	897
7.9	898	898	899	899	900	900	901	901	902	903
8.0	903	904	904	905	905	906	906	907	907	908
8.1	908	909	910	910	911	911	912	912	913	913
8.2	914	914	915	915	916	916	917	918	918	919
8.3	919	920	920	921	921	922	922	923	923	924
8.4	924	925	925	926	926	927	927	928	928	929
8.5	929	930	930	931	931	932	932	933	933	934
8.6	934	935	936	936	937	937	938	938	939	939
8.7	940	940	941	941	942	942	943	943	943	944
8.8	944	945	945	946	946	947	947	948	948	949
8.9	949	950	950	951	951	952	952	953	953	954
9.0	954	955	955	956	956	957	957	958	958	959
9.1	959	960	960	960	961	961	962	962	963	963
9.2	964	964	965	965	966	966	967	967	968	968
9.3	968	969	969	970	970	971	971	972	972	973
9.4	973	974	974	975	975	975	976	976	977	977
9.5	978	978	979	979	980	980	980	981	981	982
9.6	982	983	983	984	984	985	985	985	986	986
9.7	987	987	988	988	989	989	989	990	990	991
9.8	991	992	992	993	993	993	994	994	995	995
9.9	996	996	997	997	997	998	998	999	999	1.000

sample

1-2 騒音・振動の基礎

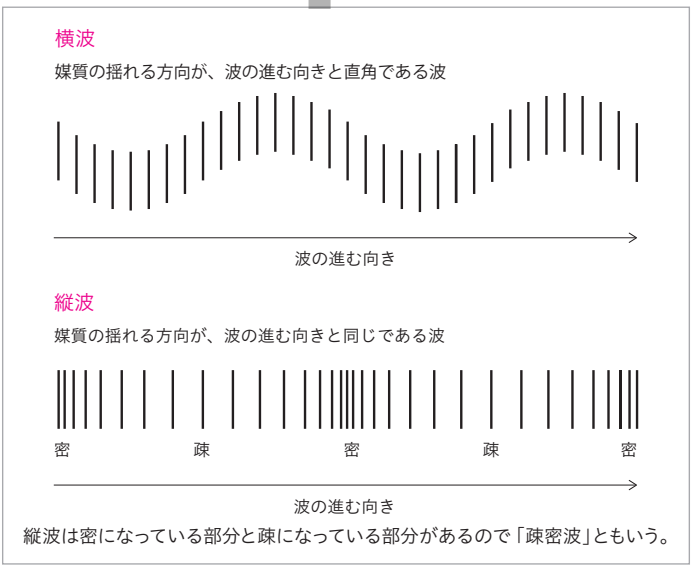
ここでは音(騒音)、振動の性質と、日本の騒音・振動規制で用いられている「騒音レベル」「振動レベル」などについて説明します。前提となる基礎的な知識なので、よく理解しておきましょう。

1 音

弾性体内の媒質を伝わる波を「**音波**」といい、音波により引き起こされる聴覚的感覚を「**音**」といいます。ここでは主に空気中に伝わる音波に関して説明すると、空気中を「音波」が伝わり、人間の耳に届くと(鼓膜を揺らすと)「音」として聞こえます。空気中の粒子は横波を伝えることができず縦波しか伝えないため、この音波は**縦波**(**疎密波**ともいう)ということになります(図1)。

sample

図1　横波と縦波



「音」は、音の大きさ(音圧)、音の高さ(周波数)、音の伝わる速さ(音速)を考える必要があります。ある一点の音の場合は、**音の大きさ(音圧)**、**音の高さ(周波数)**を考えればよく、騒音の分野では人の感覚を考慮した評価手法がとられています。

2 騒音

騒音とは人間にとって「**望ましくない音**」「**不快な音**」の総称で、いかなる音でも聞く人間が不快だと思えばその音は騒音と見なされます。つまり、騒音は人間の聴感に基づいた感覚量のため、人間の感覚を考慮した量が用いられる必要があります。

3 音の大きさ(音圧レベル)

音の大きさは、音の強さ(単位W/m^2)、音圧(単位Pa)として表されますが、人は音の強さ・音圧が倍増した場合、それが等間隔で大きくなったと感じます。これは人の音の感じ方が音の強さや音圧の対数にほぼ比例するためです。

騒音の分野では、音の大きさ(音圧の場合)を「**音圧レベル**」※で表します。音圧レベルとは、簡単にいえば音によって生じる空気中の圧力の差を「**デシベル(dB)**」※という単位で表したものです。その音がもっている音圧実効値※の2乗と基準音圧の2乗との比の常用対数の10倍で表されます。それを式で示すと次式のようになります。

Sample

暗記

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{{p_0}^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

ここで、L_p:音圧レベル(dB)(LはLevel、pはpressureの意味)
p:音圧実効値(Pa)
p_0:基準音圧(20μPa = 2×10^{-5}Pa)

※:レベル
レベル(記号:L)とは、ある量と基準値との比の常用対数で表わす指標。騒音・振動関係では、音圧レベルのほか、騒音レベル、振動加速度レベル、振動レベル、音響パワーレベルなどがある。

※:デシベル(dB)
デシベル(decibel)は当初、電話回線で送話器から受話器に到達する間の電力損失の度合い(比率)を表すために用いられた単位。deciは1/10を示す接頭辞であり、belは電話の発明者アレキサンダー・グラハム・ベルの名前(Bell)に由来する。ベル(記号:B)では扱いづらいので、通常はdBが使われる(例:6B = 60dB)

※:音圧実効値
瞬時音圧(媒質中のある点で対象とする瞬間に存在する圧力から静圧(大気圧)を引いた値)の2乗したものを時間平均し、その平方根で表した値。

p_0は基準となる音圧で、人が聞くことができる最も小さい値であり、「**2×10^{-5} Pa**」を用います。この音圧レベルを求める式と基準音圧の値は必ず覚えておきましょう。式は計算で使いやすい**$20 \log (p/p_0)$**のほうを覚えておくと便利です。

ここで、dB（デシベル）という単位は、g（グラム）やm（メートル）のような絶対値を表す単位ではなく、決められた基準値との比率や倍率を表す相対的な単位であることに注意しておきましょう。

それでは音圧レベルを求める式を使って例題を解いてみましょう。

例題 4

音圧実効値が1Paの音圧レベル（dB）を求めなさい。

>> 答え

sample

音圧レベルを求める式に音圧実効値$p = 1$、基準音圧$p_0 = 2 \times 10^{-5}$を代入すると、

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

$$= 20 \log \frac{1}{2 \times 10^{-5}}$$

$$= 20 \log 1 - 20 \log (2 \times 10^{-5})$$
$$= 20 \log 1 - (20 \log 2 + 20 \log 10^{-5})$$
$$= 20 \log 1 - (20 \log 2 - 100 \log 10)$$
$$(\log 1 = 0,\ \log 2 \fallingdotseq 0.3,\ \log 10 = 1)$$
$$= 0 - (20 \times 0.3 - 100 \times 1) = 0 - (6 - 100) = 94\text{dB}$$

計算の中身は前述の対数の例題とまったく同じであることに気づいたでしょうか。このように、人の音の感じ方が音圧の対数にほぼ比例するため、音圧から音圧レベルを求める場合などに対数の計算が必要になります。

基準音圧が決まっているため、実効値がわかれば音圧レベル

表1　音圧と音圧レベルの関係

音圧（Pa）	音圧レベル（dB）
0.00002	0
0.0002	20
0.002	40
0.02	60
0.2	80
1	94
2	100
20	120

が求められます。計算で求めた音圧と音圧レベルの関係を表1に示します。音圧が10倍になると音圧レベルは20dBずつ増えていくことを覚えておきましょう。

また、人が聞くことのできる音圧の範囲はおよそ**2×10^{-5}Pa ～ 20Pa**（音圧レベル**0dB ～ 120dB**）ということも記憶しておきましょう。

sample

4 音の高さ（周波数）

前述のように音の大きさは「音圧レベル」として表せますが、ここでは音の要素のひとつである「**音の高さ**」（周波数又は振動数）について説明します。

音の高さは、空気がどれだけ速く振動するかを表す「**周波数**」によって決まります。低い音、高い音というのは音の周波数の違いから起こります。周波数とは1秒間の圧力変化の回数で、その値は周期の逆数になります（単位は**ヘルツ（Hz）**）。これを式で表すと次のようになります。

暗 記

$$f=\frac{1}{T}$$

ここで、f：周波数（Hz）　T：周期（s）

図2　周波数

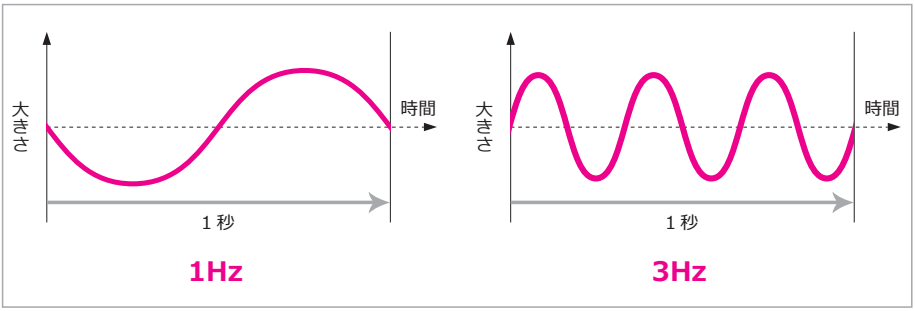


図2の例では、左は1秒間で1回のサイクルなので1Hz、右は3回繰り返されているので3Hzです。低い音は周波数が低く（振動回数が少なく）、高い音は周波数が高く（振動回数が多く）なります。

また、人が聞くことのできる周波数の範囲は、およそ**20Hz～20kHz**です。

ここで押えておきたいのは、同じ音圧の音でも、人間の耳の感度は周波数によって異なるため、周波数が異なると大きさが違って感じられるということです。低い周波数では耳の感度は悪くなり、**4kHz付近**で耳の感度が最もよくなるとされています。

Sample

5 騒音レベル

前述のように音の大きさは周波数によって違って感じられるため、騒音の分野では周波数による聴覚の感度の違いを考慮（補正）した「音圧レベル」を騒音の大きさを表す量として用います。騒音計には、この人間の感覚に近い評価ができるような周波数重み付け特性が備えられており、**周波数重み付け特性A**※（周波数補正特性A、A特性ともいう）で測定した音圧レベルを「**騒音レベル**」といいます。周波数重み付け特性Aをかけて算出されるため、騒音レベルは「**A特性音圧レベル**」とも呼ばれています。

騒音レベルは、A特性音圧の2乗を基準音圧の2乗で除した

※：周波数重み付け特性A

周波数重み付け特性A（A特性）は、周波数によって同じ音の大きさに聞こえる音圧レベルに補正する特性のこと。通常、騒音計にはA特性、C特性、Z（又はFLAT）特性が装備され、騒音レベルの測定ではA特性を用いる。

値の常用対数の10倍で、次の式で与えられます。

暗 記

$$L_{pA} = 10\log\frac{p_A^{\,2}}{p_0^{\,2}} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

ここで、L_{pA}：騒音レベル(dB)（AはA特性の意味）
p_A：A特性音圧(Pa)（周波数重み特性Aをかけた音圧実効値）
p_0：基準音圧(Pa)（20μPa＝2×10^{-5}Pa）

音圧レベルを求める式と同じく、式(**20 log (p_A/p_0)**)と基準音圧の値(**2×10^{-5}Pa**)は覚えておきましょう。実際の騒音測定の現場では、「騒音計」に組み込まれている周波数補正回路によってA特性の周波数重み付けがされた音圧レベルが示されます。

後述する環境基本法で定める環境基準や、騒音規制法で定める規制基準の値にはこの「騒音レベル」が用いられています。

sample

例題 5

A特性音圧が0.02Paの騒音レベル(dB)を求めなさい。

答え

騒音レベルを求める式にA特性音圧$p_A = 0.02 = 2\times10^{-2}$、基準音圧$p_0 = 2\times10^{-5}$を代入すると、

$$L_{pA} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$
$$= 20\log\frac{2\times10^{-2}}{2\times10^{-5}}$$
$$= 20\log(2\times10^{-2}) - 20\log(2\times10^{-5})$$
$$= (20\log 2 + 20\log 10^{-2}) - (20\log 2 + 20\log 10^{-5})$$
$$= (20\log 2 - 40\log 10) - (20\log 2 - 100\log 10)$$
$$(\log 2 \fallingdotseq 0.3,\ \ \log 10 = 1)$$
$$= (20\times0.3 - 40\times1) - (20\times0.3 - 100\times1)$$
$$= (6 - 40) - (6 - 100) = -34 + 94 = 60\text{dB}$$

◉周波数重み付け特性Ａ

周波数重み付け特性Ａの補正値はJIS※に定められています。次に示す周波数ごとの補正値（概略値）は必ず暗記しておきましょう。

※：JIS
JIS C 1509-1：2005“電気音響―サウンドレベルメータ（騒音計）―第1部：仕様”でＡ特性の補正値が示されている。本JISではＡ特性、Ｃ特性、Ｚ特性が定められ、Ａ特性で測定したときの値が「騒音レベル」となる。

暗 記

Ａ特性の補正値（概略値）

周波数（Hz）	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
補正値（dB）	－26	－16	－9	－3	0	＋1	＋1	－1

この周波数ごとの補正値の逆特性がおおよその人の感覚特性に相当します。つまり、周波数500Hz、70dBの音圧レベルでは、補正値－3dBなので、騒音レベルは67dBになります。言い換えれば、周波数500Hz・音圧レベル70dBの騒音は、人の感覚だと67dBに聴こえるということです。この補正値からは次のことが分かります。

①1000Hz～4000Hz付近では音が大きく聴こえる（耳が敏感になる）。

②周波数が低いと音は小さく聴こえる（耳が鈍感になる）。

Sample

6 振動

騒音は不快な音の総称でしたが、振動に関しては、一般の生活環境においては振動を感じずに生活しているのが通常の状況です。したがって、「不快な振動」などという定義は存在しません。振動の場合は、総じて振動、地盤振動、公害振動などとして表します。

7 振動加速度レベル

振動の大きさの尺度としては、**変位**、**速度**、**加速度**の物理量があります。変位は「どのくらい動いたか」、速度は「どのく

らいの速さで動いたか」、加速度は「何秒でその速度になったか」を表します。また、音の場合と大きく異なる点として、振動には**方向**という要素が加わります。

公害振動の場合は「加速度」が最も人の感覚との対応がよいとされることから、振動の分野では「**振動加速度レベル**」を用いています。音の場合と同じく、振動に対する人の感じ方は加速度の対数にほぼ比例するため、基準値に対する実効値の比としてデシベルで表します。振動加速度の実効値を基準の振動加速度で除した値の常用対数の20倍で、次式で与えられます。

暗 記

$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_0}$$

ここで、L_a：振動加速度レベル(dB)（LはLevel、aはAcceleration（加速度））
a：振動加速度の実効値(m/s^2)
a_0：振動加速度の基準値(10^{-5}m/s^2)

Sample

振動加速度レベルは、騒音の「音圧レベル」に対応するものです。式(**20 log (a/a_0)**)と基準値の値(**10^{-5}m/s^2**)は覚えておきましょう。それでは実効値から振動加速度レベルを求めてみましょう。

例題 6

振動加速度の実効値が2m/s^{2}の振動加速度レベル(dB)を求めなさい。

答え

振動加速度レベルを求める式に実効値a＝2、基準の振動加速度a_0＝10^{-5}を代入すると、

$$
\begin{aligned}
L_a &= 20\log\frac{a}{a_0} \\
&= 20\log\frac{2}{10^{-5}} \\
&= 20\log 2 - 20\log 10^{-5} \quad (\log 2 \fallingdotseq 0.3,\ \ \log 10 = 1) \\
&= 20 \times 0.3 + 100 \times 1 \\
&= 6 + 100 = 106\text{dB}
\end{aligned}
$$

また、前述のように騒音では、人の聞くことができる最も小さな値（最小可聴値）は0dBでしたが、人が感じられる最小の値（振動感覚閾値）はおよそ**55dB**とされています（振動加速度は約**5.6×10^{-3}m/s^2**）。

8 振動レベル

人の振動感覚も周波数や振動の方向によって異なるため、振動規制などでは振動加速度レベルに人の感じる感覚を考慮（補正）した「**振動レベル**」を用いています。この補正のことを**振動感覚補正**（音の場合のA特性に相当）といい、振動レベルは「**振動感覚補正振動加速度レベル**」とも呼ばれます。鉛直特性又は水平特性で重み付けをした振動加速度の実効値を基準の振動加速度で除した値の常用対数の20倍で、次式で与えられます。

Sample

暗 記

$$L_v = 20\log\frac{a}{a_0}$$

ここで、L_v：振動レベル（dB）（vはVibration（振動））

a：鉛直特性又は水平特性で重み付けをした振動加速度の実効値（m/s^2）

a_0：基準の振動加速度（10^{-5}m/s^2）

振動レベルは、騒音での「騒音レベル」に対応するものです。

騒音と同じように、実際の振動測定の現場では、振動レベルを測定する「**振動レベル計**」に組み込まれている振動感覚補正回路によって補正された振動加速度レベルが示されます。

騒音では方向のない大きさ(空気中の音圧)のみを考えていますが、振動は鉛直方向(地面に対して垂直方向)の振動と水平方向の振動を考える必要があります。

振動規制法では、主要な周波数帯域において、人は水平方向に比べ鉛直方向の振動を強く感じるため、「**鉛直方向**」の振動のみが規制対象となっています。

◉振動感覚補正値

振動感覚補正値はJIS※に定められています。次に示す周波数ごとの振動感覚補正値(概略値)(特に**鉛直方向**の補正値)は必ず暗記しておきましょう。鉛直方向の補正値は、周波数が倍になると1Hz～4Hzの間は＋3dB、8Hz～63Hzの間はおおむね－6dBという法則があることを覚えておくと暗記しやすいと思います。なお、JISでは**基準レスポンス**と表されています。

Sample

※：JIS
JIS C 1510：1995“振動レベル計”で詳細な基準レスポンスの値が示されている。JISでは鉛直特性と水平特性の基準レスポンス(dB)を規定しているが、振動規制法は「鉛直」のみを規制対象としている。

暗 記

振動感覚補正値（概略値）

周波数（Hz）	1	2	4	8	16	31.5	63
鉛直方向の補正値（dB）	**－6**	**－3**	**0**	**－1**	**－6**	**－12**	**－18**
水平方向の補正値（dB）	3	2	－3	－9	－15	－21	－27

この周波数ごとの補正値の逆特性がおおよその人の感覚特性に相当します。つまり、鉛直方向の周波数2Hz、60dBの振動加速度レベルでは、補正値－3dBなので、振動レベルは57dBになります。言い換えれば、周波数2Hz・振動加速度レベル60dBの振動は人の感覚だと57dBに感じられるということです。この補正値からは次のことがわかります。

①鉛直振動と水平振動では感じ方に差がある。

②鉛直振動では4Hz ～ 8Hzの周波数範囲の振動が最も感じやすい。

③水平振動では1Hz ～ 2Hzの周波数範囲の振動が最も感じやすい。

④約3Hz以下の周波数では水平振動のほうが感じやすく、それより高い周波数では鉛直振動のほうが感じやすい。

なお、振動感覚補正についての詳細は、後述の8-2 4「鉛直振動と水平振動」、9-2 4「振動レベル」の周波数特性の箇所で説明します。

例題 7

鉛直方向で10^{-2}m/s^{2}の振動加速度の実効値をもつ振動の振動加速度レベルを求めなさい。また、この振動の周波数2Hz、8Hz、31.5Hzにおける振動レベルを求めなさい。

sample

>>答え

①まず振動加速度の実効値10^{-2}m/s^{2}を式に代入して振動加速度レベルを求める。

$$L_v = 20\log\frac{a}{a_0}$$

$$= 20\log\frac{10^{-2}}{10^{-5}} = 20\log\frac{10^5}{10^2} \quad \text{（指数の公式4）}$$

$$= 20\log 10^3 = 20\times 3\times 1 = 60\text{dB} \quad (\log 10 = 1)$$

②求めた振動加速度レベルから、振動感覚補正値（鉛直）を使ってそれぞれの周波数の振動レベルを求める。

周波数（Hz）	2	8	31.5
振動加速度レベル（dB）	60	60	60
鉛直方向の補正値（dB）	－ 3	－ 1	－ 12
振動レベル（dB）	57	59	48