

振動について

第2回 振動の測定方法

株式会社ベネック振動音響研究所 はやし 林 けんたろう 健太郎

■はじめに

本セミナーでは、典型7公害のうち振動について、振動に関する知見のある方々から、実務を通じて得られた知見や、振動に関連した規制、測定方法、対策等について、地方公共団体の公害関連部局担当職員の方に向けて分かりやすく解説していただきます。

第2回目は、振動の測定方法です。

第1章 法令に準じた振動の測定方法

振動規制法の規制対象の振動は、特定工場等（特定施設を設置する工場又は事業場）、特定建設作業、道路交通の3種類とされています。また、新幹線振動は、「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)」(昭和51年3月12日環大特32号)（以下「新幹線(勧告)」という。）で指針が規定されています。在来鉄道振動に関する規制や勧告は規定されていません。法令等に関する詳細は本セミナー第1回[1]をご参照ください。

振動測定の目的のひとつは、法令で敷地境界上等に規定されている規制基準、要請限度、指針値に対して振動の評価量が超過しているか否かを確認するために実施されます。今回は、振動の評価に用いる値とは何か、振動の大きさとはどのように決定するのか、また、測定計画を立案する際の留意点などを、簡単ですが述べていきたいと思います。

第2章 振動レベル

振動規制法に準じた測定には、計量法第71条の条件に合格した振動レベル計(図1)を用い、鉛直方向(Z)の振動レベルを評価するものとされています。計量法の条件を合格した振動レベル計とは、JIS C 1510[2]の規定を満足する特定計量器です。振動レベルを測定する方法はJIS Z 8735[3]に規定されています。

振動規制法では、振動レベルという評価値を用います。振動レベルは、JIS C 1510に規定された図2に示す鉛直及び水平特性で重み付けられた振動加速度の実効値を基準の振動加速度である 10^{-5}m/s^2 で除した値の常用対数¹の20倍で、単位はデシベル(単位記号はdB)です(式1)。常用対数を用いるのは、Weber-Fechnerの法則により聴覚や明るさなどと同様に振動の感覚の大小は刺激の強さの対数に比例することにあります。図2の曲線は、人の振動に対する感覚特性を、横軸を周波数、縦軸を人が感じ

1 任意の正の数Xに対し、 $X=10^a$ により定められる実数aを、10を底(base)とするXの常用対数といい、記号 $\log_{10}X$ で表す。つまり、 $X=10^a \Leftrightarrow a=\log_{10}X$ 、となる。

マグニチュード、デシベルのように、科学的な調査における測定値の対数的な性質を調べる場合に用いられていることが多い。

る振動の大きさを相対的に表したものです。具体的には、人の振動に対する感覚特性は鉛直と水平で異なり、鉛直特性では4～8 Hz、水平特性では1～2 Hzの周波数帯域の振動が他の帯域と比べて感じやすいという特性を示しています。このような特性を考慮した振動レベルは、人の振動の大きさに関する感覚に対応した評価値になっています。なお、人の振動の感覚閾値^{いきち}は55dBとされています。

「新幹線(勧告)」では、補正加速度レベルとして振動加速度の基準値を鉛直振動の振動数で補正する方法が規定されています。振動規制法とは異なる内容の規定ですが、その特性は図2に示しているようにJIS C 1510の鉛直特性と実質的に等価です。従いまして、新幹線振動も振動規制法と同様に鉛直方向(Z)の振動レベルを用いて評価します。



図1 振動レベル計 (リオン(株)WEB カタログより)

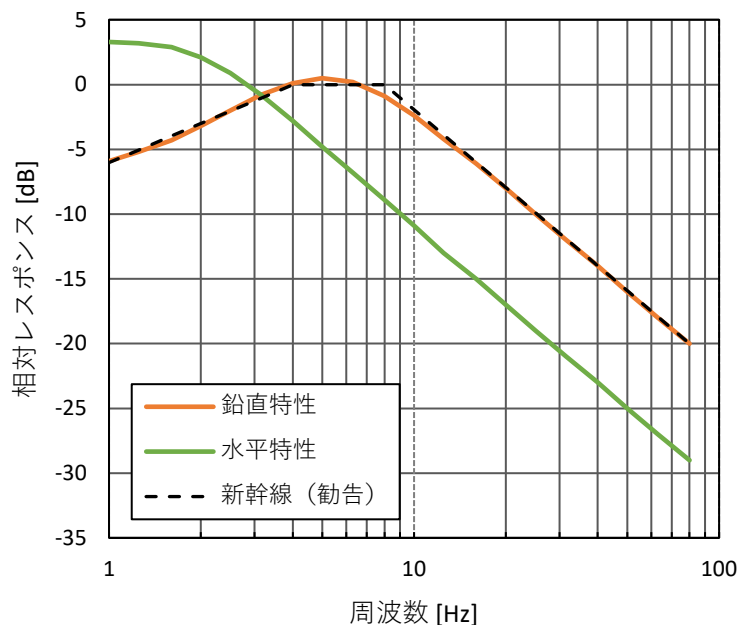


図2 鉛直特性・水平特性の基準レスポンス

※図中の「新幹線 (勧告)」は、「環境保全上緊急を要する新幹線鉄道振動対策について(勧告)」に定められた補正加速度レベルの特性について、4～8 Hzを0 dBとして基準化したものです。

$$L_V = 20 \log_{10} \left(\frac{a_w}{a_0} \right) \quad \text{式 1}$$

(注) 計算式の内容

L_V : 振動レベル[dB]

a_w : 鉛直特性又は水平特性で重み付けられた振動加速度の実効値[m/s²]

a_0 : 振動加速度の基準値 (10⁻⁵m/s²)

<ポイント①>

実際の振動苦情では、規制対象の鉛直振動ばかりでなく、水平振動が原因になっているケースが少なくありません。振動レベル計は、水平2方向・鉛直方向の直交3成分の振動レベルを同時に測定できるようになっています。法令に従う評価は鉛直振動のみで良いのですが、水平振動も参考値やバックデータとして整理できると良いと思います。特に、苦情となっている振動の方向が分からない場合は、直交3成分の振動レベルの測定値は振動方向や振動源の同定など振動苦情の解決に資する貴重なデータになります。

第3章 測定場所

振動レベル計の振動ピックアップの設置場

所は、振動規制法施行規則では表1のように記述されています。

- | | |
|---|------------------------------|
| イ | 緩衝物がなく、かつ、十分踏み固め等の行われている堅い場所 |
| ロ | 傾斜及び凹凸がない水平面を確保できる場所 |
| ハ | 温度、電気、磁気等の外圍条件の影響を受けない場所 |

表1 振動ピックアップの設置場所

測定場所がアスファルトやコンクリートなどの平坦で堅い場所の場合(図3(a))は問題ありませんが、未舗装の柔らかい土の場合にそのまま振動ピックアップを設置してしまうと、堅い地盤と比べて大きな振動レベルを評価してしまうことがあります。これは、振動ピックアップの「質量」と柔らかい土の「ばね」による振動系の共振現象で、振動が増幅されてしまうためです。これを設置共振と言います。この設置共振の影響を小さくするためには、設置共振が生じる振動数が振動レベルの測定範囲の上

限である80Hz以上(図2)になるように、地盤を十分に踏み固め、地盤の「ばね」を固くする必要があります(図3(b))。草木や落ち葉などが地盤を覆っている場合は、それらを取り除いた後に地盤を踏み固めてください。砂利などが敷かれた場所では砂利を取り除き、下地の地盤を踏み固めた後に設置してください。このような対応が出来ない場合は、測定場所を変更することを考えなければなりません。

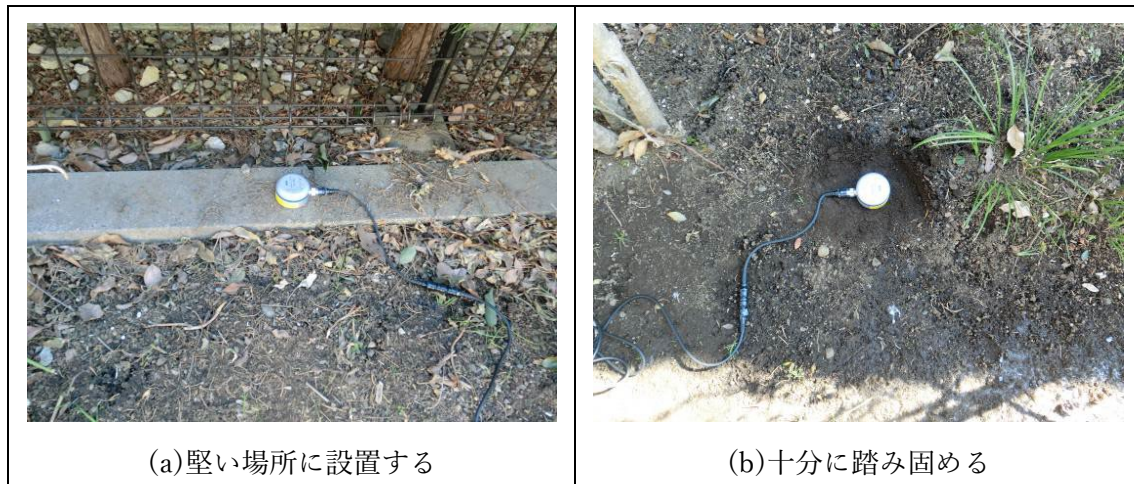


図3 測定例

第4章 振動レベルの決定方法

振動レベルの決定方法は、JIS Z 8735 で表2に示す方法が定められており、時々刻々と変化

する振動の波形によって評価方法が異なります。表2に基づく具体的な波形の例として、図4に実測の波形を示します。

- | | |
|-----|---|
| (a) | 測定器の指示値が変動せず、又は変動が少ない場合は、その指示値とする。 |
| (b) | 測定器の指示値が周期的又は間欠的に変動する場合は、その変動ごとの指示値の最大値の平均値とする。 |
| (c) | 測定器の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合は、五秒間隔、百個又はこれに準ずる間隔、個数の測定値の八十パーセントレンジの上端の数値とする。 |

表2 振動レベルの決定方法

以下に、振動の波形ごとの評価方法の具体例を示します。

(a) 測定器の指示値が変動せず、又は変動が少ない場合

空調室外機やファンなどの設備機器は、変動が小さい振動源の代表です。稼働の負荷状態の変化によって、振動が大きくなる場合がありますので、負荷状態ごとに測定することが望ましいです。負荷状態の変化に伴い騒音の大きさや音色も変化しますので、発生音に注意しながら測定すると分かりやすいと思います。

(b) 測定器の指示値が周期的又は間欠的に変動する場合

プレス機やくい打機などは周期的、新幹線は間欠的な振動の代表です。振動規制法では、具体的な評価方法を定めていませんが、10程度の最大値を読み取り、平均値を求めてください。振動レベルの平均方法は、算術平均とパワー平均の2つの計算方法があります。最大値のばらつきが小さい場合は、どちらの方法でも平均値に大差はありませんが、原則としてパワー平均としてください。パワー平均の具体的な計算方法は、7章に示しま

す。新幹線振動は、「新幹線(勧告)」で評価方法が定められています。上り及び下りの列車を合わせて、原則として連続して通過する 20 本の列車について、当該通過列車ごとの振動の最大値を読み取り、評価は上位半数のものを算術平均して行うとされています。

(c) 測定器の指示値が不規則かつ大幅に変動する場合

道路交通振動が代表的な振動です。表 2 に示す評価方法が定められていますが、実務的には振動レベル計の演算機能によって算出した L_{10} (80 パーセントレンジの上端の数値) を用いるか、PC の表計算ソフトの関数で求めています。 L_{10} は統計的な値で、測定した時間の 10% を占めるという意味を持っています。簡単な例えでは、測定値が 100 個あり同じ値が 1 つもなかったとき、大きい方から 10 個目の測定値が L_{10} となります。なお、 L_{50} は中央値と同じ意味です。

振動レベル計は、0.1 秒もしくは 1 秒間隔で計測することができます。十分な交通量があるときは、1 回の測定時間は 10 分というのが一般的で、表 2 に示す決定方法の条件を満たすものと考えられています。同じような交通量でも車速や大型車の混入率によって L_{10} は変化しますので、測定する時間帯や測定回数を検討してください。複数回測定した L_{10} を平均する場合は、算術平均で求めることが妥当です。1 時間当たりの交通量が 200 台未満の場合は、「振動規制法の施行について」(昭和 51 年 12 月 1 日環大特 154 号) に

自動車が通過しない時間の測定値の除外方法が規定されています。

特定工場等や特定建設作業では、一連の工程や作業に応じて適切な測定時間を定め、 L_{10} を評価してください。道路交通振動と同様に、10 分間の測定という考え方もありますが、作業や工程によって評価値の L_{10} は変化しますので、測定する時間帯や測定回数を検討してください。

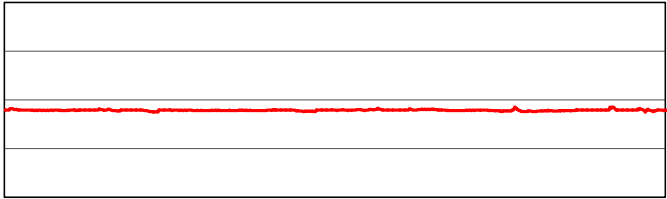
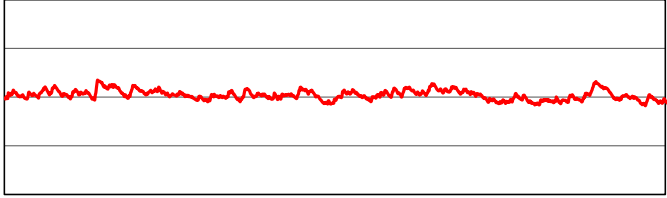
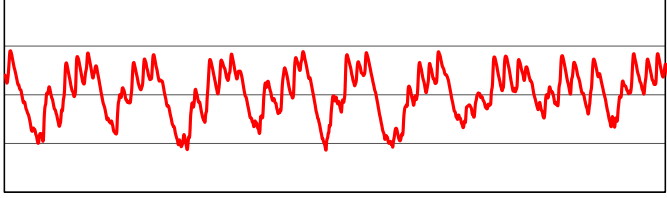
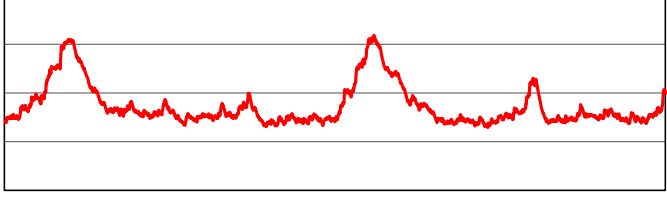
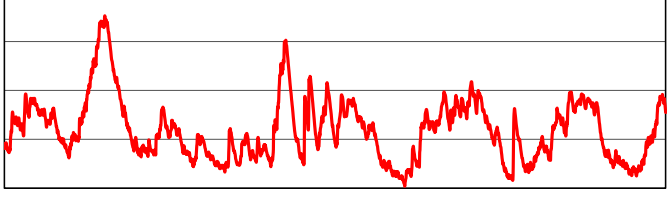
定常振動 ²	(a-1) 変動ほとんどなし		振動レベル[dB] 
	(a-2) 変動わずか		振動レベル[dB] 
変動振動	間欠的	(b-2) 周期的	振動レベル[dB] 
		(b-1) 非周期的	振動レベル[dB] 
	(c) 不規則・大幅変動		振動レベル[dB] 

図4 JIS Z 8735 に戻づく波形の分類（図中の縦軸は10dB/目盛）

2 定常振動：指示値が変動せず、又は変動が少ない振動

変動振動：指示値が周期的又は間欠的に変動する、若しくは指示値が不規則かつ大幅に変動する振動

<ポイント②>

測定現場での振動レベルの波形の確認方法ですが、振動レベル計には表示機能に数十秒程度の波形の変化を確認することができるものがあります。レベルレコーダを振動レベル計に接続すると、長時間の時刻歴変化を確認することができます。レベルレコーダの記録紙に振動の発生時刻や現場の状況を記入することで、後日、現場状況の整理にとっても役に立ちます。

また、近年では、無線通信デバイスを振動レベル計に接続することによって、測定地点から離れた場所で、PCのモニターに振動レベルの変化を出力できるものが開発されています。振動レベル計の延長コードを引き回すことが困難な現場ではとても便利です。

測定現場において、測定者が振動レベルの大きさを把握しながら、振動を体感することは、振動行政や振動問題への理解が一層深まるものと思います。

上記の方法などで現場において振動レベルの波形の確認ができない場合は、振動レベル計は測定値を記録できる機能を有していますので、測定後にPCの表計算ソフトや計測器メーカーが提供している専用ソフトによって、振動レベル波形の詳細を確認することができます。

第5章 測定計画

実際に振動測定を行うことになったとき、測定計画を立案しなければなりません。振動苦情に至った経緯、目的や評価対象などを明確にし、関係者と共通の認識を持つことで、はじめて測定場所、地点数、測定時間帯などを計画することができます。

特定工場等では、敷地境界に測定点を設置します(図5(a))。工場又は事業場全体が規制されますので、場内の設備機器や荷降ろし作業などによって発生した振動すべてが評価対象となります。このため、時間帯によって作業工程などが異なり、発生する振動が大きく変化する可能性があります。測定点の選定や測定時間を計画する上で、事前に苦情となっている振動源に関する情報を把握する必要があります。

一方、特定建設作業は建設現場全体ではなく、政令で定める特定建設作業のみが規制対象となります。測定点は特定工場等と同様に、敷地境界に設置します(図5(b))。特定建設作業位置は、施工の進捗によって移動するため、同じ

作業でも測定点との距離が異なれば評価値が変化します。測定計画時に建設会社から作業工程を入手し、建設作業場所と保全対象との位置関係を考慮した測定点を選定した上で、適切な測定日時を設定しなければなりません。

道路交通では、道路境界に測定点を設定します(図5(c))。道路交通振動は、路面のわずかな段差の上を車両が走行することによって、大きな振動を発生することがあります。このため、測定点と路面のわずかな段差との位置関係によって、評価が大きく異なることがあります。測定点を選定する際には、舗装面を注意深く確認してください。路面の段差で分かりやすいのはマンホールですが、舗装のひび割れ、継ぎ目やわだち掘れが振動苦情の原因になることが少なくありません。測定時に大きな振動が発生する場所を特定することができれば、道路の補修計画をする際に有益な情報となります。振動の評価量は、先述のとおり交通量、走行速度や大型混入率が時間帯によって変化しますので、苦情となっている時間帯に測定することを基

本としてください。

新幹線振動では、測定場所に関する規定はありませんので、問題となっている屋外の場所、例えば苦情を申し立てている方の家屋近傍地盤での測定となります。新幹線の車両の種類や走行軌道によって振動の大きさが異なりますので、後日、測定報告書として整理できるようにこれらの情報を記録してください。先述したように、新幹線振動は連続して通過する20本の列車の測定結果から評価値を算出します。筆

者の経験では、測定の時間帯によって評価量が大きく変わることはありませんが、他の振動源と同様に苦情が発生している時間帯に測定することを基本としてください。

振動測定の工程では、測定値の信頼性を高めるために、評価対象の振動が発生していない若しくは影響が小さい時の状況を把握するために、可能な限り暗振動（次章参照）の測定を実施できる測定計画を立ててください。

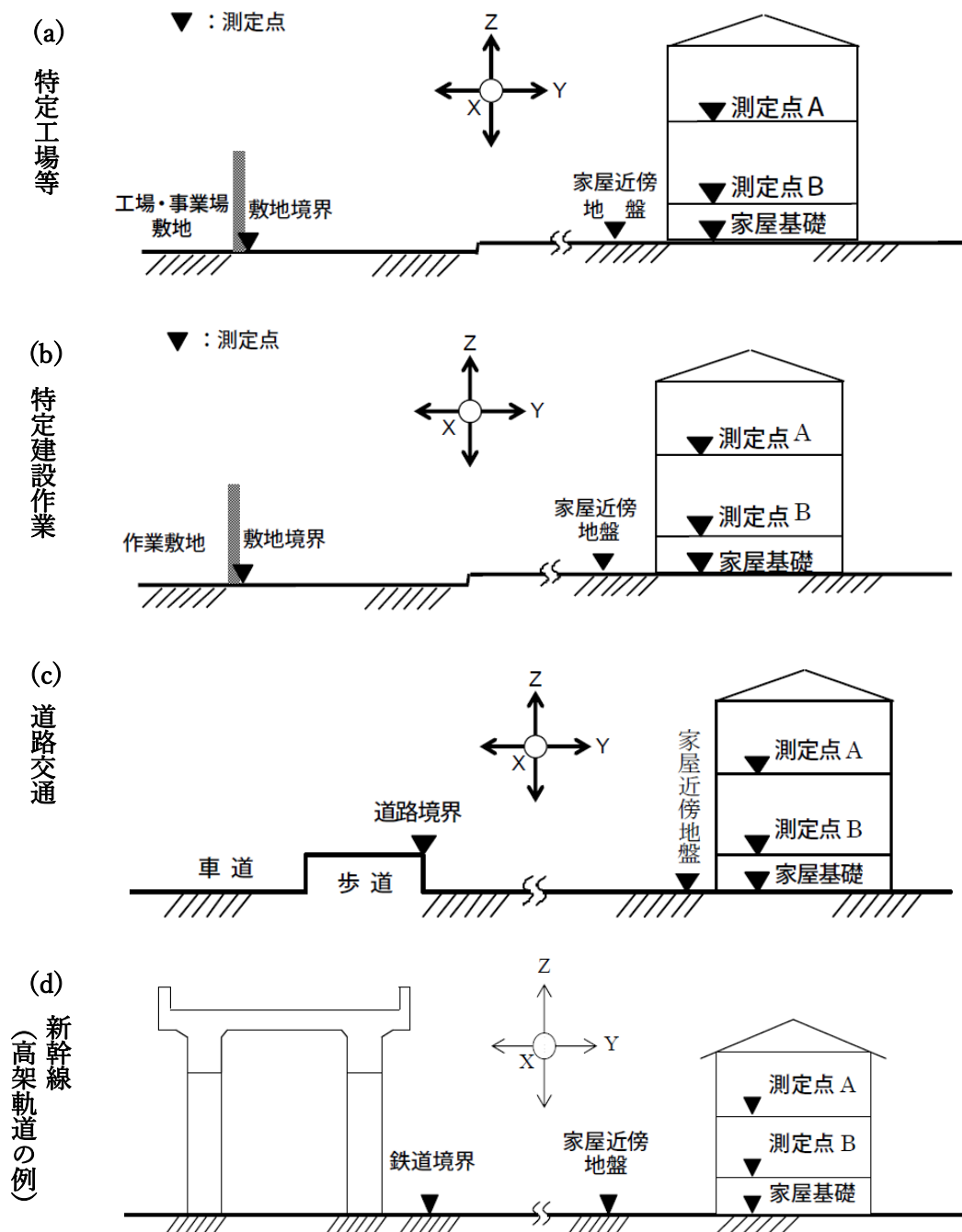


図5 測定点配置の一例[4]

<ポイント③>

図5は、日本騒音制御工学会の環境振動評価分科会が公表している振動測定マニュアルに示されているものです。苦情が発生しており、かつ振動規制法による対応では問題の解決が困難な場合に、活用できるように資料が作成されています。このため、家屋内部で苦情者が暴露されている振動や家屋による振動の増幅特性を把握できる測定配置の一例として、家屋内や家屋近傍地盤の測定点が示しています。あくまで、振動規制法に定められた基準値と対比できるのは、敷地境界や道路境界の測定点での評価値のみですので注意をしてください。

第6章 暗振動

測定対象を除くその他の振動源による振動を暗振動と呼びます。測定現場では、必ずしも測定対象の振動源だけを測定できるわけではなく、暗振動による影響を少なからず受けます。暗振動の大きさによって、測定対象の振動の測定値に影響を及ぼします。そこで、JIS Z 8735では表3に示す暗振動に対する指示値の補正が規定されています。

測定対象の振動が暗振動よりも10dB以上大きい場合は、暗振動補正の必要がなく、測定値

をそのまま使用することに問題はありません。

測定対象の振動と暗振動の振動レベルの差が3～9dBのときは、測定値は暗振動の影響を受けているため、暗振動補正を行う必要があります。暗振動との差が3dBの場合は、暗振動補正ができません。

暗振動の影響が大きい場合は、対象外の振動源を一時的に停止させるなどの対応によって、対象の振動を適切に評価することが必要です。このような制御が不可能な場合は、測定場所や測定時間帯の変更などを検討してください。

対象の振動があるときとないときの指示値の差	3	4	5	6	7	8	9
補正值	-3	-2		-1			

表3 暗振動に対する指示値の補正

第7章 dB計算

最後に、ここで簡単なdB計算に触れたいと思います。PCの表計算ソフトで簡単に求められますので、一度計算を試してみてください。

振動レベルがn個のデータがあった時のdBのパワー合成値Lは、下記の式2で表されます。そして、このn個の振動レベルのパワー平均値L̄は、式3で求められます。

$$L = 10\log_{10}(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$
$$\bar{L} = L - 10\log_{10}n$$

式2
式3

ここで、測定によって、60dB、58dB、62dB、57dB、60dBの5個の測定値が得られたとします。これらの値を式2に代入すると、式4のよ

うになります。この計算を行うとパワー合成値として、67dBという結果が得られます。パワー平均値は、式3から式5の計算を行い60dB

となります。このとき、算術平均値では 59 dB となり、パワー平均値とほとんど変わりません。仮に、最初の測定値が 60 dB ではなく 70 dB だとすると、パワー平均値は 71 dB、算術平均値では 61 dB となり、算出方法で平均値が大き

く異なってしまいます。このような測定値のばらつきが大きい場合では、平均方法で評価値が変わってしまうことがお分かりいただけたと思います。

$$L = 10 \log_{10} (10^{60/10} + 10^{58/10} + 10^{62/10} + 10^{57/10} + 10^{60/10}) = 66.7 \approx 67 \quad \text{式 4}$$

$$\bar{L} = 66.7 - 10 \log_{10} 5 = 66.7 - 7.0 = 59.7 \approx 60 \quad \text{式 5}$$

<ポイント④>

本稿では、振動測定の概略、測定計画の立案に当たり予め把握すべき要素（又はポイント）を中心に解説しました。

第1章の末尾にも少し記載しましたが、測定計画（第5章）を立案し確実に測定するためには、第2章（振動レベル）、第3章（測定場所）、第4章（振動レベルの決定方法）を予め習得又は把握するとよいでしょう。

ただし、実際の測定に当たっては第6章（暗振動）を考慮することも必要です。また、第7章（dB 計算）も把握すべき要素の1つとなりますが、初めての方でも表計算ソフトで容易に計算できます。

いずれも試してみてください。

参考文献

- [1] 横島潤紀：第1回 振動に係る苦情の状況および法令等、
ちょうせい第109号、pp.14-24（令和4年）
https://www.soumu.go.jp/main_content/000816264.pdf
- [2] JIS C1510 振動レベル計（1995）
- [3] JIS Z 8735 振動レベル測定方法（1981）
- [4] 日本騒音制御工学会 環境振動評価分科会:振動測定マニュアル Ver.1
<https://www.ince-j.or.jp/subcommittee/kankyoshindohyoka>



■次回予定

次回の誌上セミナー「振動について」（第3回）では、振動に対する反応等についての解説を予定しています。引き続き御活用ください。