

振動レベルの測定方法と振動レベル計の 試験方法の標準化

宮本 俊二 望月 富雄

1 はじめに

工場、事業場、建設工事現場及び交通機関等から発生する振動は、その周辺の住民にいらだたしさや不快感等の影響をあたえており、随所に苦情問題が起きている。

しかし、振動の被害の実態を究明し、判定するための基本的要件である測定が標準化されていないため、まちまちな測定方法、測定器によって測定、判定が行なわれている実状である。

これらの問題を解決し、振動の評価を統一的なものとするためには、測定器と測定方法の標準化及び振動に対する許容値の検討を行ない、これらを確立することが必要である。

このため、1969年度、1970年度の2年間にわたって、振動の測定器と測定方法の標準化及び許容値に関する研究を日本音響学会（日本音響学会騒音委員会振動分科会（委員長五十嵐寿一））に委託して実施してきた。

振動の測定器の標準化と許容値に関する研究については前報（東京都公害研究所年報第2巻）で詳細に報告したとおりである。

この報告は、測定器の標準化の研究によって開発された振動レベル計による振動の測定方法、使用する振動レベル計が規格に合格するものであるかを検査する試験方法に関するものであるが、以下では振動レベル測定方法規格、振動レベル計試験方法規格、これらの規格の検討の過程で実施した実験の内容について述べる。

2 振動レベルの測定方法

振動レベル測定方法の検討においては、振動ピックアップの設置方法、とくにこれに関連した事項として振動ピックアップの形状、重量、重心の位置、振動感覚補正特性と平坦特性の使い方などが大きな問題点となった。これらについてはさらに研究を要する点も少なくなく、今後の研究にまづ余地が大きいので、現時点ではつぎに

示すような、現在のデータから考えて妥当と判断される点のみを採用した形の測定方法となっている。

(1) 適用範囲

この測定方法は、別に定める振動レベル計を用いて、垂直及び水平方向の振動レベル*を測定する方法について規定する。

* 振動レベルは、振動を別に定める振動レベル計の振動感覚補正回路を用いて測定されるdB数である。

(2) 測定条件

ア 振動レベル計で振動レベルを測定するとき、とくにある振動源からでる振動だけの振動レベルを測定する場合には、暗振動**の影響に対し、イの注意が必要である。

** ある場所において特定の振動を対象として考える場合に、対象の振動がないときのその場所における振動を、対象の振動に対して暗振動という。

イ 暗振動の影響

対象の振動があるときとないときの振動レベル計の指示の差が10dB以上あるときは、対象の振動は暗振動には影響されていないことを示すもので、はじめの指示が対象の振動の振動レベルを示すものとしてよい。

上記の指示の差が10dB未満のときは、表1によって指示の値を補正して、だいたいの振動レベルを推定することができる。また指示に変化の起こらないときは、対象の振動は暗振動より小さいことがわかるだけで、その振動レベルを知ることができない。

たとえば、暗振動が65dBの場所で、ある機械を運転

表1 暗振動に対する指示の補正

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

して70dBの指示を得たとすれば、指示の差は5dBであるから、その機械だけの振動レベルは表1により2dBだけ補正して68dBと推定される。

ウ 振動ピックアップの設置

振動ピックアップは原則としてかたい面（コンクリート、アスファルト、土など）に設置するのが望ましい。草地、または畑地などでは草を除去し、十分にふみかためて設置する。やむをえずやわらかい地面（砂地など）に設置する場合は、その旨を付記する。

エ 外囲条件に対する注意

外囲条件のうち、とくに注意しなければならないものは振動ピックアップに対する風（たとえば圧電形ピックアップを用いた屋外測定）、電磁場（動電形ピックアップを用いた大形電気機械に接近しての測定）、温度、湿度などの影響である。適当なしゃへいなどを考え、また測定点の選定に注意する必要がある。

(3) 振動感覚補正回路の使い方

振動レベルはその振動の大小に関係なく、原則として振動レベル計の振動感覚補正回路で測定する。

(4) 指示計の動特性の使い方

振動レベルは、原則として振動レベル計の指示計の動特性緩（Slow）を使って測定する。

(5) 指示の読み方、整理方法及び表示方法

ア 振動レベル計の指示のよみ方、整理方法及び表示方法は、指示の時間的变化のしかたなどにより、イ～オのように区別する。

イ 変動する振動の振動レベルは、指示値を多数回よみとり、原則としてその平均値をもって表示する。

ウ 指示が変動しないか、または変動がごくわずかな場合は、その指示値をよみとってこれを振動レベルとし、指示が規則的に変動する場合は、その最大値、最小値及び変動の仕方を明記する。

例 指示が毎分5回だけ規則的に変動する空気圧縮機の振動

最大値（（やや衝撃的）85dB 5回/分）

最小値（（約3秒間一定）60dB）

エ 周期的あるいは間欠的に発生し、その指示がだいたい一定の振動（たとえば、たん造機やくい打工事や電車の通過時など）の振動レベルは、発生ごとにその最大値をよみとり、数回の平均値をもって表示する。必要あ

る場合はその度数などを付記する。

オ 指示も発生時間間隔も不規則に変動するような特定の振動（たとえば重量車輛の走行などによる沿道の振動）だけを対象として測定する場合には原則としてつぎの方法による。

ある任意の時刻から始めて対象の振動だけに注意し、発生ごとにその最大値をできるだけよみとり、測定値が十分な数（たとえば、20個）になるまでつづける。それから測定値全数を高いレベルのものから順にならべ、たとえば5dBごとの群にわけ、各群以上の累積度数を測定時間とともに明記する。

例 10分間測って80～84dB 2回、75～79dB 4回の場合

測定時間10分、80dB以上2回、75dB以上6回

(6) 振動レベル測定結果の表示に付記すべき事項

ア 測定日時

イ 振動レベル計の種類、形式

ウ 振動源の種類、形式、大きさ（馬力など）

エ 測定場所の見取図（寸法を入れる）

オ 振動ピックアップの設置方法、地表面の状態など

3 振動レベル計試験方法

試験方法の検討にあたっては、振動レベル計の規格が新規なものであるため、その試験技術、試験条件などについて、多くの問題が提起され検討が行なわれた。とくに振動ピックアップと加振台との結合方法、振動ピックアップの軸方向レスポンス測定に一部電気入力を用いる方法、振動ピックアップの横方向レスポンスの測定方法、振動感覚補正特性と増幅器の過負荷特性との関係、規定周波数帯域外のレスポンスなどが検討の焦点となった。

これらの問題の大半は、振動レベル計を用いる振動測定方法と密接な関係があるため、測定方法の検討と併行して研究、討議を進めた。

振動レベル計の試験方法は以上のような過程をへて作成されたが、今後振動レベル計の応用面から提起される問題も少なくないので、振動レベル計の仕様も含めてさらに研究を進める必要がある。

(1) 試験状態

試験は温度5～35°Cの範囲内、湿度45～90%の範囲

内で行なう。

(2) 試験条件

ア 振動入力による試験

振動入力には正弦振動を用い、振動ピックアップは加振台上に締めつけないで、置くものとする。

イ 電気入力による試験

電気入力による試験には正弦波信号を用い、試験信号は、振動レベル計に振動ピックアップまたはこれと等価のインピーダンスを接続した状態で、振動ピックアップの開回路起電力と置換して加えなければならない。

ウ 指示の読み取り方

指示計の振れが周期的に変化する低周波域においては、その最大指示を読みとるものとする。

エ 指示計の動特性

指示計の動特性について、とくに指定のない場合は Slow を用いるものとする。

(3) 周波数レスポンス試験

ア 振動ピックアップの軸方向レスポンス

振動入力を用い、垂直及び水平軸方向について、振動感覚補正特性と平坦特性の総合周波数レスポンスを測定する。試験周波数は 0.5, 0.8, 1.25, 2, 4, 6.3, 8, 10, 20, 31.5, 63, 90, 125, 200 Hz とする。ただし 4Hz 以下及び 125Hz 以上の試験には電気入力を用いてもよい。

イ 振動ピックアップの横方向レスポンス

振動ピックアップの軸方向が垂直のときは、水平面内だがいに直角な 2 方向で、それぞれ加振し、軸方向が水平のときは垂直に加振して測定する。試験周波数は少なくとも 10, 20, 40Hz の 3 点以上とする。また垂直、水平の両方向を兼用するピックアップについては、それぞれの状態で試験しなければならない。

(4) 増幅器の特性試験

ア 減衰器の切換誤差

電気入力を用いて、振動感覚補正特性及び平坦特性における減衰器誤差をつぎのように測定する。試験周波数は 2, 20, 63Hz とする。なお、この試験は加速度レベルに換算した入力レベルが 120dB をこえない範囲で行なうものとする。

(ア) 通常 105dB の目盛位置を基準点として、減衰器を 10dB ずつ切換えときの減衰誤差を測定する。

(イ) 指示計のフルスケールで 110dB の目盛位置を基準点として、減衰器を 10dB ずつ切換えたときの指示誤差を指示計のフルスケールより 10dB 低い目盛位置で測定する。

イ 自己雑音

振動ピックアップと等価なインピーダンスを振動レベル計の入力端子に接続し、減衰器を最低のレンジにして、振動感覚補正特性及び平坦特性において増幅器の雑音出力レベルと、最低測定レベルに相当する周波数 6.3 Hz の信号出力レベルを測定し、信号出力と雑音出力のレベル差を求める。なお、出力レベルの測定には 3~100Hz で平坦なレスポンスをもつ電子電圧計を用いることを原則とする。

ウ 安定度

105dB を指示する 20Hz の電気入力に加え、電源投入後規定時間間隔における指示をよみとり、その変化を求める。なお、周波数レスポンスは平坦特性とする。

エ 過負荷特性

増幅器の出力端子に高インピーダンス電圧計を接続し、入力端子から指示計の指示が最大目盛になる 20Hz の電気入力に加え、その入力を 15dB 増加したとき出力の増加をよみとる。ただし、周波数レスポンスは平坦特性を用い、減衰器は指示計のフルスケールで 100dB を測定する位置とする。

(5) 指示特性

ア 目盛誤差

指示計のフルスケール寄り 95dB を測定する減衰器位置において、95dB を指示する電気入力を基準として、入力を 5dB ずつ加減したときの指示誤差を測定する。この試験は振動感覚補正特性及び平坦特性について行なうものとし、試験周波数は 2, 20, 63Hz とする。

イ 指示計の動特性

100dB の減衰器位置において、周波数 20Hz の電気入力によりつぎの試験を行なう。ただし、周波数レスポンスは平坦特性を用いる。

(ア) 動特性切換え誤差

110dB を指示する状態において Fast から Slow に切換えたときの指示差を求める。

(イ) 速い動特性

フルスケールより 2dB 及び 10dB 低い指示を与える定

常入力と振幅の等しい入力 \times 0.2秒間加えたときの最大指示をよみとり、おのおのの試験点に対する定常指示と最大指示の差を求める。また、上記の定常入力と振幅の等しい入力を急に加えたときの最大指示をよみとり、それぞれの定常指示からの振れ過ぎを求める。

(ウ) 遅い動特性

フルスケールより2dB及び10dB低い指示を与える定常入力と振幅の等しい入力を1秒間加えたときの最大指示をよみとり、おのおのの試験点に対する定常指示と最大指示の差を求める。

ウ 複合振動特性

100dBの減衰器位置において、同一指示を与える周波数20Hzと25Hzの電気入力を同時に加えたときの指示と単一の入力を加えたときの指示の差を求める。この試験は単一入力による指示がフルスケールより3dB及び7dB低い二点で行なうものとし、周波数レスポンスは平坦特性を用いる。

(6) その他

ア 使用状態における雑音

通常の使用状態において、測定の際になる雑音の有無を調べる。

イ 測定周波数範囲外の周波数レスポンス

(3)、アにより測定するものとする。

4 振動レベル計による振動測定、振動レベル計の試験に関する実験とその検討

(1) 目的

現在市販されている振動レベル計の振動ピックアップは、寸法、重量、重心の位置はまちまちで統一されていない。周波数範囲1~90Hzの振動を正確に測定するには、振動ピックアップの上述の規格を統一することが望ましい。しかしながら、その根拠となる実験データを合理的に求めることは、現段階では容易ではない。この問題の第一歩として、現在市販されており、振動レベル計の規格に合うように製作された振動レベル計について、比較的堅い固体(金属板、ベニヤ板、木せいのセメント板、炉材用レンガ、軽量ブロック、コンクリートブロックなど)の上に振動ピックアップを置いたときの垂直、水平振動についての周波数レスポンスを10~約300Hzにわたって測定した。10Hz以下については問題点はない

ので測定を行っていない。

この実験の結果、比較的堅い固体の上ならば、振動レベル計の試験方法と振動レベル計の規格を若干吟味することによって、ほとんどの振動ピックアップはその形状、重量、重心の位置について規格化しなくとも、ほぼ物理的振動量によく対応した振動の検出をするであろうことが判明した。

(2) 実験方法

実験した振動レベル計は4種で、振動ピックアップの形状は

A形 圧電形 重量 1.5kg, 寸法 60×60×108mm³,
足はついていない

B形 動電形 重量 1.85kg, 寸法 60×60×108mm³,
足の長さ3mm

C形 圧電形 重量 2.7kg, 寸法 92×106×73mm³,
足の長さ25mm

D形 圧電形 重量 0.8kg, 寸法 50×50×54mm³,
足はついていない

であり、A、B、C形の増幅器は90Hz以上はフィルタにより減衰させているが、D形の増幅器は平坦特性のものを用いた。

印加した振動は振動ピックアップのビビリを考慮して、90dBまたは100dBとした。レベルの決定には、印加する振動のレベルを一定として、振動レベル計の出力を読む方法、振動レベル計の出力レベルを一定として振動計の出力を読む方法、振動レベル計の出力レベルが一定となるように振動台入力電圧を加減し、そのときの減衰器の目盛りを読む方法(零点法)がある。前者は共振時にビビリを生じ、波形が歪む。また1dB以下の読みは精度が悪くなるきらいがあるが、実際の使用状態に近い。零点法はビビリによる歪みがなく、減衰器で0.1dBまで読みとれるが、使用状態と異なっている点がある。

振動台の振動加速度レベルは20Hzで校正し、35grの小型の校正ずみの振動ピックアップを固体面上に小さいアルミブロックを介してビス止めし、これを参照とした。

実験した固体サンプルはつぎの6種である。

① アルミ鋳物円板(重量4kg, 寸法厚さ17mm, 340mm ϕ)振動ピックアップの重量が3点で支持されるために、板が共振することをさけるため、十分厚い

金属板を使用した。

- ② ベニヤ板 (重量1.2kg, 寸法厚さ25mm, 350mmφ)
- ③ 木せんいセメント板 (重量2kg, 寸法厚さ25mm, 360mmφ)
- ④ 軽量ブロック (重量7kg, 寸法390×150×185mm³)
- ⑤ コンクリートブロック板 (重量8kg, 寸法370×40×250mm³)
- ⑥ 炉材用レンガ (重量1kg, 寸法230×60×110mm³)

各材料は2～6本の8mmボルトで振動台上にボルト締めして取り付けた。振動ピックアップをのせようとする面で、共振などの異常振動を生じているかいないかは2箇の小型振動ピックアップ(重量35gr.)を試料上にアルミブロックを介してビス止めまたは瞬間接着材で固定して、両ピックアップの出力のレベルと位相を調べ、異常のないことを確認した。

(3) 実験結果

ア 垂直振動

図1～3にアルミ円板についての周波数特性を示す。縦軸は被検振動レベル計のレベルと参照振動計のレベルとの差、横軸は周波数(Hz)である。A～D型ともに結果は良好で、ピックアップの足の長さや両面接着テープの有無に影響されないことが図よりみとめられ、100dB以下のレベルでは再現性のある結果が得られる。また、印加振動のレベルを一定とする方法と零点法とでは両者に差異はないことも判明した。

図4, 5にあるように、ベニヤ板では180～300Hzに共振を生じ、ほぼ重量に比例して共振点が下がっていく傾向がみられる。さらに、共振周波数は位置の移動や足を2, 3回強くベニヤ板にこすりつけて置いた場合とで±15～20Hzの変化を示すことがわかった。木材板でなぜここに共振を生ずるかは興味深い問題なので、今後他種の木材について実験を続ける予定である。

木せんいセメント板については、D形のピックアップでは図6のようにベニヤ板の場合と同様な特性が判明した。他のA～C形の場合も同様であろうとおもわれる。

軽量ブロック、コンクリートブロック、炉材用レンガについてはD形のピックアップのみで実測したが、図7, 8, 9に示すように、約300Hzまでは5dB以内に入っているの、実用上問題はないと考えられ、他の形に

ついては省略した。

参考のために、木箱(25mm厚ベニヤ板, 320×250×125mm³)にテニスコードに使用する土をつめたもの(総重量13kg)を振動台上で振動させ、小形軽量の振動ピックアップ(35gr.)とD形ピックアップの出力を比較してみた。その結果は図10のとおりで、100Hz以下で5dB以内であった。また、D形ピックアップを8kgの鉛ブロック150×100×50mm³の上に乗せて測定すると、90Hzで共振を示すことがわかった。この結果から、土の上では、A～D形のピックアップならば、垂直振動では概略測定可能であろうと判断された。

イ 水平振動

アルミ円板についての各形の実験結果を図11, 12に示した。図11でC形の場合は140Hzに共振が生じている。図12において、D形の足なしの場合と足5mmの場合は、200Hz以内では参照振動計との差が±0.5dB以内であることが示されているが、これに17mmの足をつけると、C形の場合のように、150Hzで共振を生じることが判明した。このことから、必要以上にピックアップの重心を高くすることは、水平振動に対しては好ましくないことがわかる。また、C形のピックアップの足を5mm程度にしたときは、アルミ板上では100Hz以下にはとくに問題となる相対レベルの変化がないことを確認した。

図13, 14はベニヤ板での結果である。本来足のついていないA形、足をはずしたD形の場合にはほぼ5dB以下の偏差に入ることが示された。その他の場合は、足の先の非常に小さい面積でピックアップの全重量を支えた場合には、80～200Hzに共振を生じた。木材の垂直振動の場合と同様な傾向で、振動の測定には十分な注意をすることが必要である。

木せんいセメント板は足の有無にかかわらず、図15, 16に示すように、C形以外は150～200Hzに約20dBの共振が現われる。C形は70Hzに共振を生ずる。

図17, 18, 19にはD形のピックアップについて実施した軽量ブロック、コンクリートブロック、炉材用レンガ上での結果を示している。図17にあるように、足がないとガタつきが起こり、90Hzに共振が起きている。図18からは足の有無は関係がないことが知れる。これらのことから、足の有無の得失を一概に律することは困難であるといえよう。また、十分に堅い固体でかつ面がほぼ平

図1 垂直振動 (アルミ板17mm厚, 100dB)

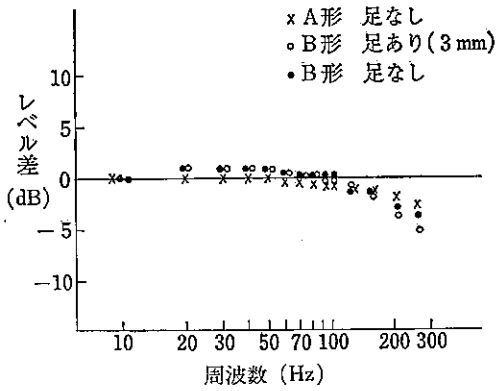


図2 垂直振動 (アルミ板17mm厚, 100dB)

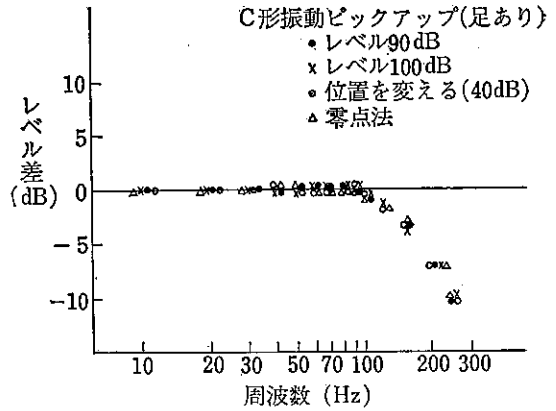


図3 垂直振動 (アルミ板17mm厚, 100dB)

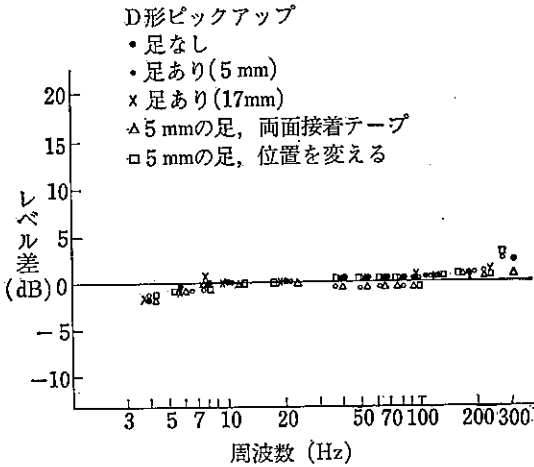


図4 垂直振動 (ベニヤ板25mm厚, 100dB)

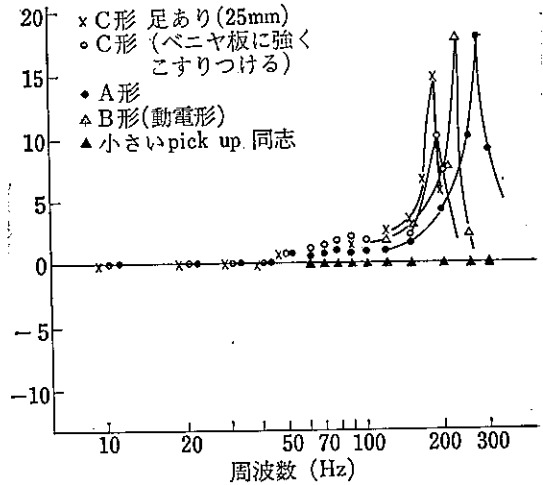


図5 垂直振動 (ベニヤ板25mm厚, 100dB)

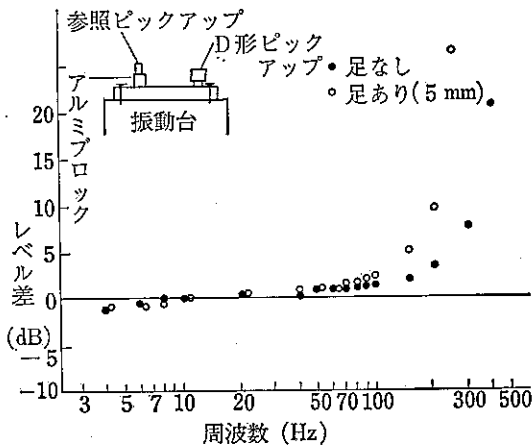


図6 垂直振動 (木せいのセメント板, 100dB)

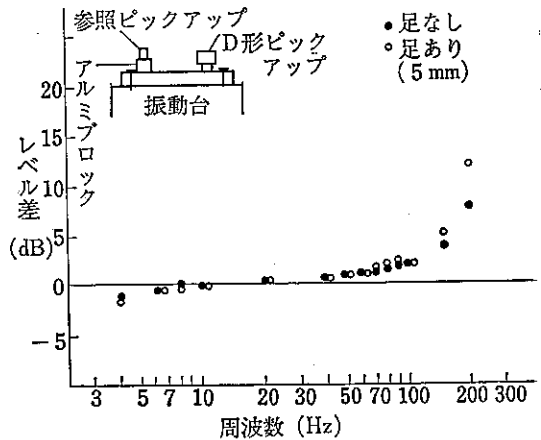


図7 垂直振動 (軽量ブロック, 100dB)

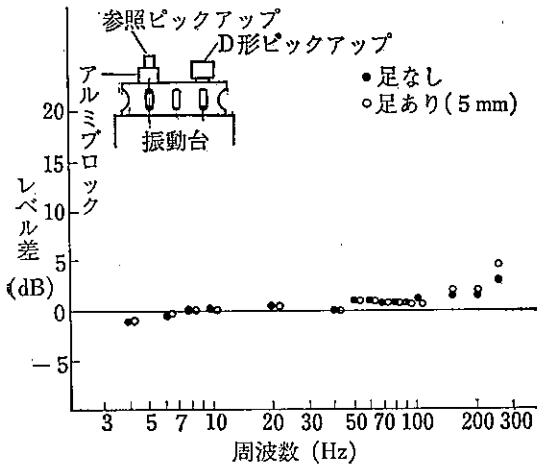


図9 垂直振動 (炉材用レンガ, 100dB)

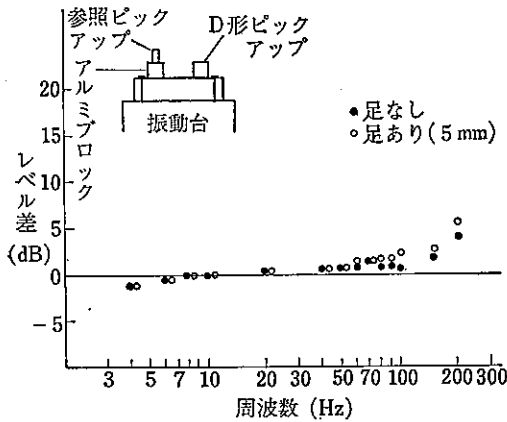


図11 水平振動 (アルミ板17mm厚, 90dB)

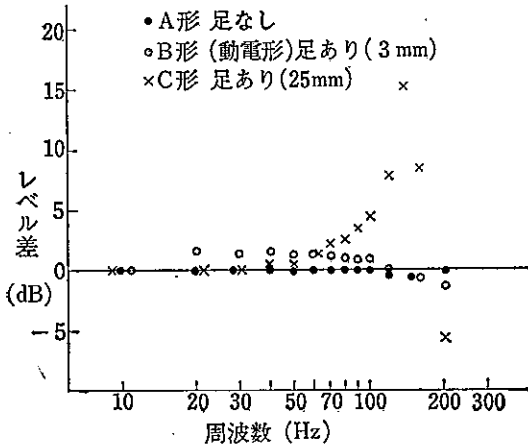


図8 垂直振動 (コンクリートブロック, 100dB)

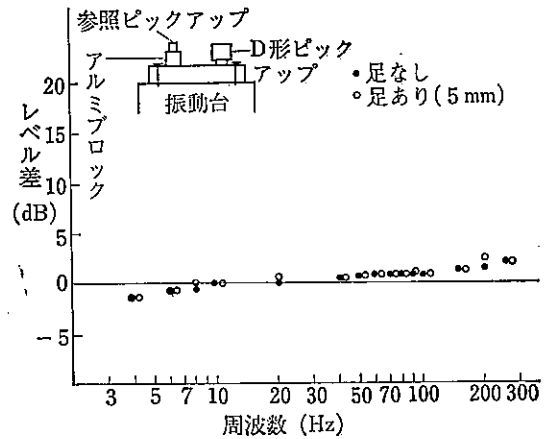


図10 垂直振動 (テニスコート用土, 100dB)

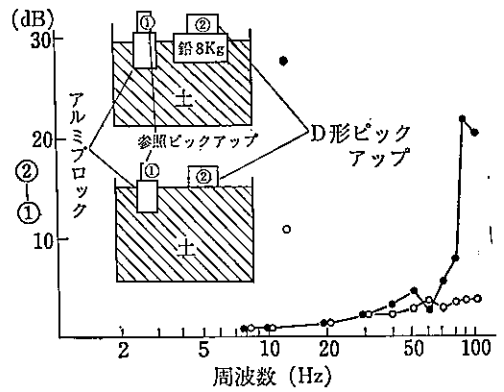


図12 水平振動 (アルミ板17mm厚, 90dB)

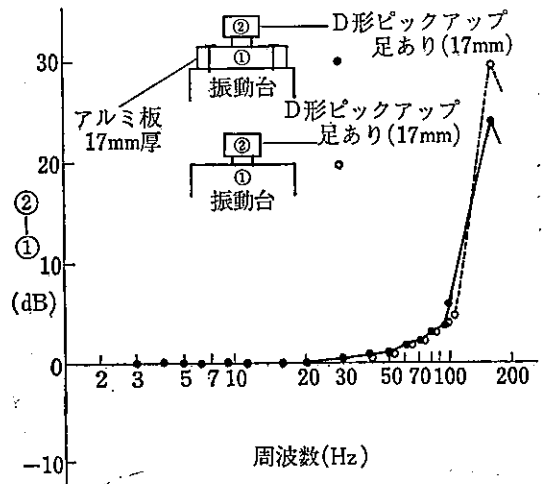


図13 水平振動 (ベニヤ板25mm, 90dB)

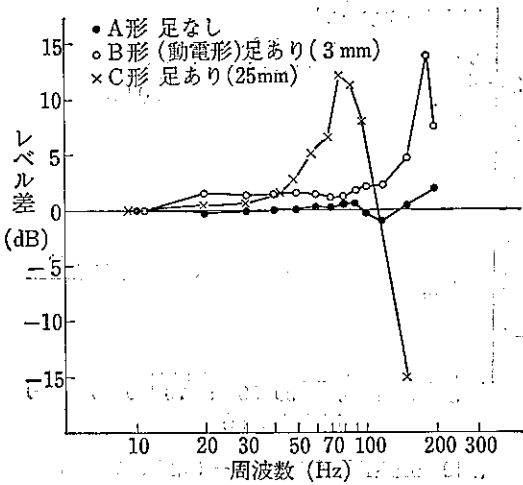
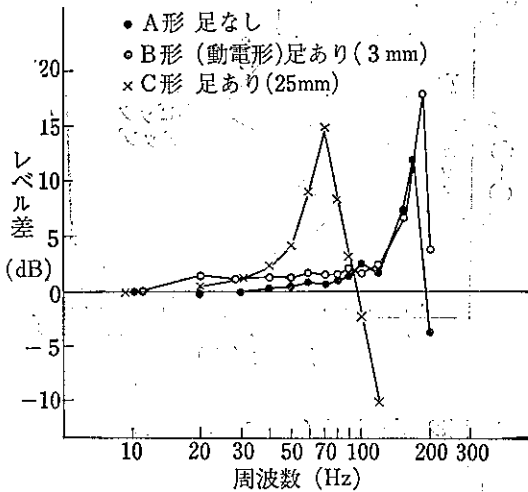


図15 水平振動 (木せいのセメント板, 90dB)



担であるならば足の有無はとくに関係がないといえる。しかし、250Hz近辺に共振を生ずることは明白である。図19のように比較的粘性の高いとおもわれる材料では共振のピークも下り、足のない方がすぐれているようである。

(4) 結論

ア 垂直振動

(ア) アルミ板上では、90dBの振動に対して、振動ピックアップを置くだけで振動レベル計の校正は可能であった。両面接着テープの使用は結果に影響を及ぼさなかった。

(イ) ベニヤ板、木せいのセメント板では各振動ピックアップとも250Hz付近で共振を示す。

図14 水平振動 (足による影響, 90dB)

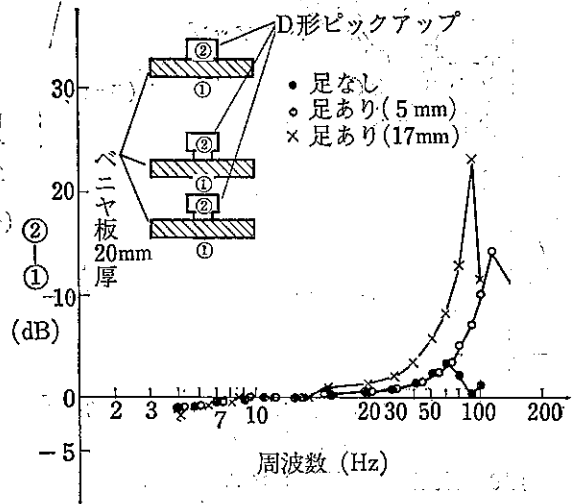
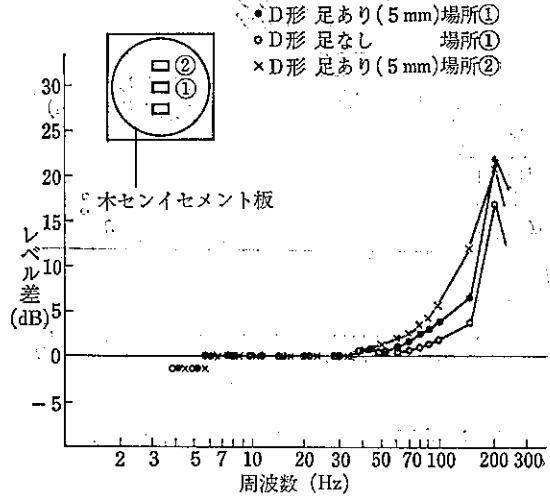


図16 水平振動 (木せいのセメント板, 90dB)



(ウ) 軽量ブロック、コンクリートブロック、炉材用レンガはピックアップの足や重量に無関係であった。

(エ) 土の上でもほぼ測定可能である。

イ 水平振動

(ア) アルミ板上では、90dBの振動に対してピックアップを置くだけで、C形以外は校正が可能である。なお、C形のものでも足を5mm程度にすれば、ほぼ満足される状態となることが判明した。

(イ) 両面接着テープを使用することは好ましくなく、十分に注意することが必要である。

(ウ) ベニヤ板では足のない方が好ましい結果であった。

図17 水平振動（軽量ブロック，90dB）

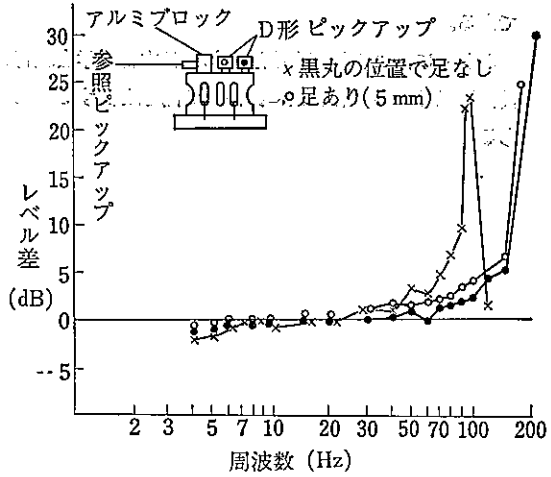


図18 水平振動（コンクリートブロック，100dB）

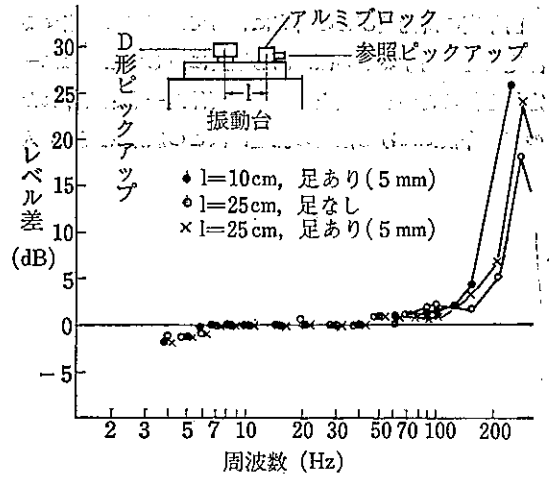
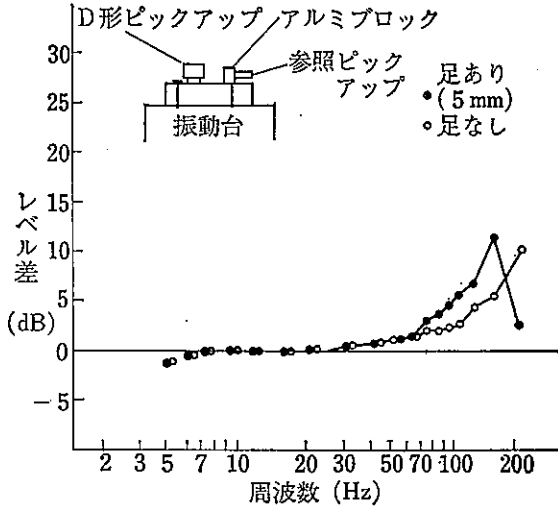


図19 水平振動（炉材用レンガ，100dB）



校正が可能である。この方法の方が、振動台上にピックアップを固定する方法よりも、実際の使用状態に近く望ましいと考えられる。

② 振動の計測は振動レベルの測定に限定した方がよい。もしも、加速度レベルをも測定するのであれば、80 Hz 以上で -24dB/oct 程度の減衰をすることが望ましい。とくに水平振動の計測にこのことが必要である。

③ 振動ピックアップの足の長さは、各ピックアップの寸法や重量に応じた足の長さがありうる。しかし、堅い物体の上での測定には、長いことは良いことでなく、また、足がないときはガタついて好ましくないこともある。足は最短にして、土などの上では、足を土に埋め底面の全部が土に接した状態で測定するようにした方がよいのではないかとおもわれる。

(イ) 木せいのセメント板では、C形以外は150~200Hzに共振が現われた。

(ロ) 軽量ブロックでは、足があった方が共振は高くなった。ガタつきがなくなったからである。コンクリートブロックではD形は250Hzに共振がみられた。炉材レンガでは150Hzに共振があったが、ピークは10dB程度で小さかった。

(5) 提 言

以上の実験結果から、つぎのことがいえるものと考えられる。

① 90dB程度の振動レベルで、共振をさけるように配慮された振動台上に、振動ピックアップを置くだけで

5 おわりに

振動レベルの測定方法の検討において、とくに問題とされたのは振動ピックアップの設置方法であるが、軟弱な地面や砂地などでは今後さらに検討すべき問題が多いことが実験の結果判明したため、現時点においては堅い地面に限定することが妥当とされた。したがって、地面での振動レベルの判定は原則としてコンクリート、アスファルト、土などの堅い面において行なうことを建前とする測定方法となった。

また、被害の実態として家屋内の振動が問題となることが多いので、地面振動に対する家屋内の振動について

の研究を進める必要がある。

前年度の研究及びこの研究によって、規格に合格する測定器を使用するならば、ある振動に対してはつねに一定値を得るといふ測定上の基本的要件が一応確立されたので、今後における振動の測定にはこの成果をとり入

れ、統一ある振動の判定を行なうようにすることが必要である。

おわりに、この研究を推進された日本音響学会騒音委員会振動分科会の各委員に深甚なる謝意を表する次第である。