

土木研究所資料  
第1739号

# 建設騒音振動の予測評価手法に関する研究

## 第 1 報

### ——建設機械の騒音振動の測定——

昭和 56 年 11 月

建設省土木研究所  
機械施工部機械研究室

Copyright © 56年度 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。  
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

## ま え が き

建設工事によって発生する騒音、振動は“建設工事公害”として認識されるようになり、時には、建設工事に対する差し止め請求がなされるような事態が生じることもあった。今日、静穏な環境を確保する生活権が社会的にも徐々に認められつつあり、環境保全および建設工事を円滑に施工する立場からも、建設工事の低騒音・低振動化が望まれている。

建設工事を低騒音、低振動化するためには、いくつかの方法があり、騒音、振動の小さい建設機械を用いること、遮音壁、防振溝を設けることはその代表的な方法である。前者は音源、振動源での対策、後者は伝搬経路での対策として位置づけられる。この他、受音点、受振点での対策（例えば空港周辺家屋の防音工事）もあるが、建設工事では一般的に用いられる方法ではない。

このような対策方法のいずれが採用されるにしろ、発生し伝搬した騒音、振動の大きさと、その騒音、振動に曝される住民に対する騒音、振動の影響に関する知見がなければならない。前者は騒音、振動の予測、後者はその評価に関与するものであり、予測、評価を統合したものとして評価量（定義された評価尺度によって定量化した値）の予測という考え方が提示される。

本報告書は、昭和52年度から4ヶ年計画で実施してきた『建設騒音振動の予測評価手法に関する研究』の成果をまとめたものであり、

建設機械の騒音振動の実態と測定法に関するもの（第1報）

建設工事騒音振動の予測に関するもの（第2報）

建設工事騒音振動の評価に関するもの（第3報）

の3部によって構成される。三分冊にしたのは今後の研究の資料としての取扱いを考えたためでもあり、また独立した資料として用いることも可能としたためである。

建設工事の騒音振動に関して、この研究で全容がわかったわけではなく、むしろ大部分の項目が結論を与えるにはまだ研究の余地があるように思われる。したがってまだ結論を下すことに十分とはいえない事項は全て問題点として残すことにし、それらの中でも特に重要と思われる事項については、各分冊の終章にまとめて取上げた。

建設工事の騒音、振動に関する研究は、道路交通騒音や工場騒音に関する研究と較べてその歴史も短かく、また研究者も少ない。一方、建設騒音では、交通騒音とか工場騒音が確率論あるいは決定論的に単一のモデルで記述可能であるのに対し、建設工事は、それを工種ごとに区分した時はじめて単一モデル化することができるいわば複合事象と考えることができる。建設騒音を一つの概念として取扱う場合には、これと同じ抽象化レベルを持つカテゴリ区分に対応するものとして、航空機騒音、鉄道騒音、道路交通騒音を抱括した“トラフィック騒音”という概念が提示されなければならないであろう。逆に言えば、“建設騒音”という概念はより抽象度の高い概念であって、実際の研究視点では建設工事の各々の工種に着目しなければ、建設工事騒音への正しいアプローチは困難であるに違いない。

しかし、建設工事の各工種ごとに、騒音振動の予測方法、評価方法を確立したとしても、全事象としての建設工事騒音、振動に対する評価が必要であり、建設騒音の予測、評価方法を確立するための前提として、全ての種類の音を統一的に評価するための共通尺度の存在が認められなければならない。更にその評価尺度は、音の重合に対しても線形であることが期待される。

近年、このような評価尺度の基本量として、“等価騒音レベル ( $L_{eq}$ )” が提案されているが、その適用については多くの研究が必要であり、建設騒音・振動に関する研究は、これら他の騒音に関する尺度の研究と並行してなされるべきものとして位置づけられる。

昭和56年11月

建設省土木研究所

機械研究室 室 長 沢田茂良

主任研究員 太田 宏

研究員 境 友昭

## 第 1 報 ま え が き

建設工事の騒音、振動を効率的に低減させるためには、建設工事によって発生するであろう騒音、振動を十分な精度で予測し、評価することが必要であり、その前提として建設工事の主たる騒音、振動源となる建設機械の騒音あるいは振動の大きさが知られていなくてはならない。

騒音、振動の大きさは、物理測度によって構成された尺度によって示されるが、これらは実際的な手段で測定される必要がある。測定された値は、建設機械の騒音あるいは振動の全事象ではなく、測定方法と測定尺度とその時の機械そして音場の条件によって規定された部分事象が反映された値であることに注意しなければならない。

建設省では過去 10 余年間にわたって、建設機械の騒音、振動の実態調査を実施してきており、ほとんどの建設機械の騒音、振動のおおよその値を把握している。これらのデータのうち最近のものは、土木研究所資料第 1523 号『建設騒音および振動の調査ならびに排除に関する調査試験報告書』で報告されている。本研究を実施するにあたって、これらの貴重なデータを活用することにした。

## まえがき

## 第1報 まえがき

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 1. 建設機械の騒音 .....                 | 1  |
| 1.1 騒音の伝搬と騒音パワーレベル .....         | 1  |
| 1.1.1 音の一般的性質 .....              | 1  |
| 1.1.2 建設機械騒音の伝搬 .....            | 3  |
| 1.1.3 建設機械騒音の実測値 .....           | 5  |
| 1.1.4 建設機械の騒音パワーレベル .....        | 6  |
| 1.2 騒音の発生形態と周波数 .....            | 10 |
| 1.2.1 発生形態から見た建設機械騒音 .....       | 10 |
| 1.2.2 建設機械騒音の周波数 .....           | 14 |
| 2. 建設機械の振動 .....                 | 15 |
| 2.1 建設機械振動の伝搬と基準レベル .....        | 15 |
| 2.1.1 地盤振動の一般的性質 .....           | 15 |
| 2.1.2 地盤振動の伝搬(減衰) .....          | 16 |
| 2.1.3 振動加速度レベルの距離減衰 .....        | 18 |
| 2.1.4 建設機械振動の実測値 .....           | 19 |
| 2.1.5 衝撃振動の伝搬実験 .....            | 19 |
| 2.1.6 建設機械を用いた地盤振動の伝搬実験 .....    | 27 |
| 2.1.7 建設機械振動の基準レベル .....         | 31 |
| 2.2 振動の発生形態と周波数 .....            | 33 |
| 2.2.1 建設機械振動の発生形態 .....          | 33 |
| 2.2.2 建設機械による地盤振動の周波数 .....      | 34 |
| 3. 建設騒音・振動の測定法 .....             | 35 |
| 3.1 騒音振動の測定に伴う誤差 .....           | 35 |
| 3.1.1 誤差の発生確率 .....              | 36 |
| 3.1.2 測定に伴う誤差検定実験 .....          | 36 |
| 3.1.3 解析の結果 .....                | 40 |
| 3.1.4 測定に伴う誤差のまとめ .....          | 52 |
| 3.2 建設機械騒音の指向性 .....             | 52 |
| 3.2.1 トラクタシヨベル(D50S)を用いた実験 ..... | 52 |
| 3.3 振動測定に伴う誤差 .....              | 55 |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 3.4   | 騒音・振動の測定方法の現状      | 57 |
| 3.4.1 | 騒音測定方法一般           | 57 |
| 3.4.2 | 機器の騒音測定方法          | 58 |
| 3.4.3 | 法律に見られる建設機械の騒音測定方法 | 60 |
| 3.4.4 | I S Oの現状と動向        | 62 |
| 3.4.5 | J I Sの動向           | 63 |
| 3.4.6 | 振動の測定方法            | 64 |
| 4.    | 今後の問題点             | 65 |
| 4.1   | 騒音の測定点             | 65 |
| 4.1.1 | 音の干渉               | 65 |
| 4.1.2 | 音の超過減衰             | 67 |
| 4.2   | 騒音の測定方法            | 67 |
| 4.3   | 振動の測定方法            | 69 |
| あ     | と                  |    |
| が     | き                  | 70 |

## 参 考 資 料

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 参考資料A | 建設機械騒音の測定値               | 75  |
| 参考資料B | 建設機械騒音の周波数               | 91  |
| 参考資料C | 建設機械振動の測定値               | 99  |
| 参考資料D | 建設機械振動の周波数               | 115 |
| 参考資料E | 騒音振動の測定方法                |     |
| E-1   | 各国の騒音測定方法の規格             | 121 |
| E-2   | 騒音の測定方法を含む日本工業規格一覧       | 133 |
| E-3   | 各国の機器の騒音測定方法の規格          | 141 |
| E-4   | 各国の騒音規制法に示される建設機械の騒音測定方法 | 151 |

## 1. 建設機械の騒音

### 1.1 騒音の伝搬と騒音パワーレベル

#### 1.1.1 音の一般的性質

通常、騒音として認識される音のほとんどは空気を媒質とする波動現象で、その実体は空気中に発生した圧縮・膨脹過程をとる微小な圧力変化である。

##### 1) 波動方程式

音の伝搬を規定する式として、波動方程式がある。空気の圧力変化の速度ポテンシャルを  $\phi$  とする時、三次元の直交座標系において、波動方程式は、

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \frac{\gamma}{gk} \cdot \frac{d^2 \phi}{dt^2} = 0 \quad (1.1)$$

として与えられる。ここで  $\gamma$  は空気の単位体積当りの重量、 $k$  は空気の体積弾性率、 $g$  は重力加速度である。音の伝搬速度  $c$  は (1.1) 式から、

$$c = \sqrt{\frac{gk}{\gamma}} \quad (\text{m/s}) \quad (1.2)$$

として与えられる。空気の単位体積当りの重量  $\gamma$  は、乾燥空気の場合、実験的に、

$$\gamma = \frac{1.293}{1 + 0.00367 \cdot t} \cdot \frac{H}{760} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1.3)$$

で示される。ここで  $t$  は温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $H$  は圧力 ( $\text{mm Hg}$ ) である。体積弾性率  $k$  は、

$$k = -V \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (1.4)$$

である。一般に、単位質量の気体が占める体積  $V$  と圧力  $P$  の間には、

$$PV^\lambda = \text{一定} \quad (1.5)$$

の関係があり、気体が断熱的に変化する時 (音の圧力変化は  $20\text{Hz} \sim 20,000\text{Hz}$  とその速度が速く、この間での熱の出入は少ないであろうから断熱変化と考えて良い)、 $\lambda$  はその定圧比熱と定積比熱の比で約 1.4 である。また、数  $\text{Hz}$  以下の周波数の音の場合、圧力の変化にともなう熱は周辺へ伝導し、等温状態での変化に近くなるであろうから、この時は  $\lambda = 1$  である。

体積弾性率を求めるために、(1.5) 式の両辺を微分して、

$$v \lambda \cdot dP + \lambda v \lambda^{-1} P \cdot dV = 0 \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

これより,

$$k = \lambda \cdot P \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

となる。音の伝搬速度は、これより(1.7), (1.3)式を(1.2)式に代入することによって求められる。20℃, 1気圧で $\lambda = 1.4$ の時, 音の伝搬速度は341 m/s となり, これは周知の値である。また,  $\lambda = 1$ の時, 266 m/s となり, これは普通に知られている音速より約20%小さい値である。

## 2) 球面波の伝搬

建設機械から発生する音の伝搬は多くの場合, 建設機械を点音源と考え, 球面波として取扱っている。厳密な意味では, 建設機械は音の波長と比較してかなり大きいので, 建設機械を点音源と考えることはできない。しかし, 一般的には建設機械の音が問題となる位置は, 機械の寸法に較べて十分に遠い場合が多く, 実用的に音は自由空間に発散するとみなすことから, 建設機械から発生する音を球面波として取扱って良い。

球面波の発生は, 媒質中に半径  $a$  の球状音源が存在し, その表面のいたるところが半径方向に同位相で呼吸振動している場合と考え, (1.1)の波動方程式を極座標系( $r, \theta, x$ )で示し, 座標の中心を球の中心におくと, すべての現象は座標の原点に対して球対象となるから,  $\theta, x$ に関する項は0となり, (1.1)式は,

$$\frac{d^2 \Phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Phi}{dr} - \frac{\rho}{k} \frac{d^2 \Phi}{dt^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

となる。この解はAを積分定数,  $m$ を波定数( $m = \omega/c$ )として,

$$\Phi = \frac{A}{r} \cdot e^{i(\omega t - mr)} \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

である。ここで, 積分定数Aは, 球の表面での媒質速度が球の媒質排除速度と等しいことを条件として求めることができる。これより, 球の半径を $a \rightarrow 0$ とし, 媒質排除の体積速度を $\dot{Q}e^{i\omega t}$ とすると,

$$\Phi = \frac{\dot{Q}}{4\pi r} \cdot e^{i(\omega t - mr)} \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

音圧は,

$$P = \rho c \frac{\dot{Q}}{4\pi r^2} \cdot e^{i\omega t - mr} \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

である。

このような音源が $W_0$  ( $W$ )のエネルギーを発散している時、球の中心から $r(m)$  ( $r > a$ )離れた面を通過する音のエネルギー $W$ は、

$$W = \frac{W_0}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (1.12)$$

となる。この時 $W_0$ は、

$$W_0 = \rho c \frac{|\dot{Q}|^2}{8\pi a^2} \cdot \frac{(\frac{2\pi}{\lambda} a)^2}{1 + (\frac{2\pi}{\lambda} a)^2} \dots\dots\dots (1.13)$$

であるが、実際の建設機械の音響パワーをこのような計算によって求めることは不可能に近い。いずれにしろ、音のエネルギーの伝搬は(1.12)式で表現され、また音源の音響パワーは振動速度の2乗に比例していることがわかる。なお(1.13)式で $\lambda$ は波長を意味し、 $2\pi a/\lambda$ は周波数パラメタと呼ばれる。

#### 1.1.2 建設機械騒音の伝搬

音の伝搬が、点音源からの音の発散として取扱うことができる場合、その音圧レベルに着目すると、(1.12)式の両辺の常用対数を取り10倍して、

$$SL = PWL - 20 \log r - 11 \dots\dots\dots (1.14)$$

$PWL$  ; 音源のパワーレベル ( $dB$ )

$r$  ; 音源からの距離 ( $m$ )

が得られる。(1.14)式が通称“点音源の理論距離減衰式”と呼ばれているもので、音源からの距離が2倍になると音圧レベルは6dB低減する。音源が反射面上に存在する場合、例えば地表面を音の反射体と考えた時の建設機械の位置のような場合、右辺第3項の定数11は8となる。

音の伝搬が、点音源として取扱えるための条件は、右辺第2項の係数が20となることであり、これは、建設機械の音の伝搬に関して、

$$SL = P_0 - a \log r \dots\dots\dots (1.15)$$

の仮説を立て、係数 $a$ が20を含むか否かを検定する方法がある。

##### 1) 検定の方法

ある建設機械を対象として測定された、音圧レベル $L$ と音源からの距離 $r$ のデータが、

$$L^T = (l_1 \ l_2 \ l_3 \ \cdots \ l_n) \quad \cdots \cdots \cdots (1.16)$$

$$R^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ \log r_1 & \log r_2 & \log r_3 & \cdots & \log r_n \end{pmatrix} \quad \cdots \cdots \cdots (1.17)$$

のベクトルで示される時、(1.15)式は、

$$L = R \cdot \begin{bmatrix} P_0 \\ -a \end{bmatrix} + \epsilon \quad \cdots \cdots \cdots (1.18)$$

として示される。ここで $\epsilon$ は測定誤差を示すベクトルである。 $P_0, -a$ を推定する方法として、ある値 $b_0, b_1$ を $P_0, -a$ に対応させて求めた推定値 $L_\lambda$ の誤差が一番小さくなるような $b_0, b_1$ を求める方法を考える。ただし、推定誤差は正にも負にもなるので、その平方和が最小になることを条件とする。

$$L_\lambda = R \cdot b \quad ; \quad b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} \quad \cdots \cdots \cdots (1.19)$$

と、(1.18)式の $L$ の差の平方和、

$$\begin{aligned} S &= (L - L_\lambda)^T \cdot (L - L_\lambda) \\ &= L^T \cdot L - 2b^T \cdot R^T \cdot L + b^T \cdot R^T \cdot R \cdot b \quad \cdots \cdots \cdots (1.19') \end{aligned}$$

を $b$ で偏微分して0とおくことによって求められる。

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2R^T \cdot L + 2R^T \cdot R \cdot b = 0 \quad \cdots \cdots \cdots (1.20)$$

$$\therefore b = (R^T \cdot R)^{-1} \cdot (R^T \cdot L) \quad \cdots \cdots \cdots (1.21)$$

として $b$ が求められる。ベクトル $b$ の要素 $b_1$ が(1.15)式の $-a$ の推定値を与えるものであり、これが $-20$ を含むかどうかを検定することになる。

回帰係数 $b_1$ は、平均 $b_1$ 、分散 $\sigma_e^2 / S(L)$ の正規分布に従うとされる。ここで $S(L)$ は $L$ の平方和 $\sum (L - \bar{L})^2$ であり、 $\sigma_e^2$ は推定誤差の分散である。ところが普通、誤差の分散は未知であることが多く、この場合、回帰からの残差の不偏分散 $V_e$

$$V_e = \frac{\sum (L - L_\lambda)^2}{N-1} \quad \cdots \cdots \cdots (1.22)$$

$N$  ; 分析に用いたデータ数

を用いる。これより、

$$t = \frac{b' - b_1}{\sqrt{V_e / S(L)}} \quad \cdots \cdots \cdots (1.23)$$

は自由度  $N-1$  の  $t$  分布に従うことがわかる。よって、回帰係数  $b_1$  の信頼区間は、危険率を  $\alpha\%$  として

$$b' = b_1 \pm t(N-1; \alpha) \sqrt{\frac{V_e}{S(L)}} \quad \dots\dots\dots (1.24)$$

で求められる。即ち、この  $b'$  が  $-20$  を含む場合は建設機械を点音源をみなして取扱い得ることが統計的に証明される。そうでない場合には、点音源としての取扱いをあきらめなければならない。

## 2) 検定の結果

図 1.1 に、各建設機械の騒音の距離減衰の回帰係数  $b_1$  の平均値とその信頼区間を示す。

図 1.1 に示すデータは建設省が昭和

46 年度から昭和 51 年度に測定したものであり、約 200 台の建設機械を対象とした約 750 の測定値を用いて分析したものである。図に示されるとおり、対象とした全ての機械の回帰係数は  $-20$  を含んでおり、これから建設機械を点音源とみなして

取扱い得ることがわかる。また、個々建設機械の回帰係数を新たな統

計量とみなして  $t$  検定を行うと、信頼区間は、 $-20.3 \pm 8.2$  となり  $-20$  がほぼ中央にあることがわかる。

ただし、コンクリートプラントのように音源がある程度の空間的広さを持つような場合の近接位置では、点音源とみなし得ないことになり、必ずしも全ての建設機械を無条件に点音源とみなせるわけではない。

### 1.1.3 建設機械騒音の実測値

建設機械の音は、昭和 46 年度から建設省において調査されており、ほとんどの建設機械の騒音の実態が把握されている。

これらの騒音の測定方法は、JIS Z-8731 に準拠した方法であるが、測定点の位置、騒音測定に関する建設機械の運転状態などの規定には建設省が独自に ISO (国際標準化機構) の動向を考慮して定めたものがある。参考資料-A は、本研究に用いた全ての騒音の測定値を機械別 (一部規格別) に音源からの距離と騒音レベル ( $A$  weighted 音圧レベル) との関係で示したものである。

これらの測定値は、同一機種においても、異なった規格、異なった方向での測定値を含むもの

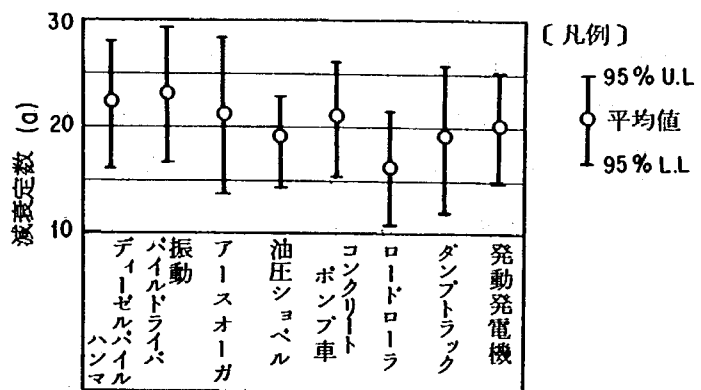


図 1.1 各建設機械の騒音の減衰定数

であり、これらは測定値のバラツキとなって図に表われている。特にこのようなバラツキは騒音対策型基礎工法と称される機械に多い。この最も大きな原因は、騒音対策型基礎工法機械のほとんどが電動機を動力としているが、この動力を商用電源から供給する場合と発動発電機によって供給する場合の騒音レベルは大きく異なっていること、あるいは定常的な作業状態では静寂な機械であるにもかかわらず、作業等の不手際によって、しばしば発生する打撃音が測定される場合がある、などである。

参考資料－A（19）の大口徑掘削機（ハンマ－グラブ）の騒音の30 dBに及ぶ変動は後者を原因とするものである。アースドリル、アースオーガを併用した既製杭工法においては、杭の打止めをドロップハンマにより打撃を利用して行うことが多く、この場合、ドリリング作業の定常音とハンマリングの衝撃音が同一機械から発生することになり、どちらを“標準作業”と考えるかの解釈の違いによって、20～30 dBのバラツキが生じることがある。（29）のスパイラルオーガ工法（N）の騒音測定事例では、この両者の騒音が区分される形で示されており、騒音レベルの低い方がドリリング、高い方がハンマリングの騒音である。

音は、伝搬過程で増幅するよりも減衰する方が多く、参考資料－Aに示す実測値の最大値は当該機械が発生する騒音の上限を示すとみなすことができる。

#### 1.1.4 建設機械の騒音パワーレベル

##### 1) 騒音パワーレベルの構造モデル

建設機械を点音源とみなした時の騒音パワーレベルは、機械の違いによって異なるのは当然であるが、機械の稼動状態、機械に加わる負荷、機械の大きさによっても異った値をとると考えられる。また、測定する立場では、機械の音響指向性、周波数特性、音の発生形態（波形でのクレストファクタ、あるいは時間軸における音圧レベルの変動）、更に測定時における誤差によっても異った値を示す。このように、建設機械の騒音パワーレベルの推定値を変動させる要因は数多くあり、これらの条件に応じた騒音パワーレベルを求める必要がある。

騒音パワーレベルを記述するこれらの変動要因が相互に独立の効果を持つと仮定できる時、騒音パワーレベル  $PWL$  は、

$$PWL(M) = P_0 + P_d + P_h + P_t + \phi_t + K \cdot x + S_{(R)} \quad \dots\dots\dots (1.25)$$

$P_0$  ; パワーレベルの基準となる値

$P_d$  ; 音源の指向性の指数

$P_h$  ; 聴感補正回路による差（周波数特性）

$P_t$  ; 平均化回路の時定数による差（音圧波形のクレストファクタおよび時間軸における変動）

$\phi_t$  ; 騒音の変動係数（時間軸での分布関数）

$x$  ; 機械の規格の呼び値（ $K$ は回帰係数）

$S(R)$  ; 残差の分布 ( 予測時のパワーレベルの精度 )

$S(K)$  ; 回帰式を用いた時の残差の分布

として記述することができる。サフィックス  $M$  は、機械の種類、稼動状態を示すものであり、稼動状態の分類は表 1.1 のとおりとしている。

表 1.1 機械の稼動状態の分類

| 状態の呼称 | コード番号 | 状態の分類                      |
|-------|-------|----------------------------|
| 完全停止  | 0     | 機械は完全に停止しており、騒音を発生しない。     |
| 休止    | 3     | エンジンはアイドリング状態で機械は運転状態にない。  |
| 待ち    | 2     | 準備のための移動、ハイアイドルもしくは無負荷での走行 |
| 作業    | 1     | 機械の標準とされている稼動状態            |

## 2) 各因子の解析の方法

### (a) 測定データの補正

建設機械は実用的に点音源とみなせることから、測定値に含まれる反射、回折等による誤差を ( 1.1 4 ) 式によって分析することができる。すなわち、測定点を含む音場において、音の反射の影響が想定される場合、測定値は ( 1.1 4 ) 式による推定値より高い値を示し、また回折による影響が想定される場合には逆に推定値より低い値が示されるであろうから、音の伝搬空間と測定値がこれらの条件を満たしている場合、影響があったものと見做して、その差を補正して因子の寄与量を推定するとともに、測定値からこれらの影響を取除くことができる。

分析の結果、反射の影響を受けていると推定される測定値は全体の 6.4 %、その平均値の  $t$  検定による信頼範囲は  $2.3 \pm 1.7 \text{ dBA}$  であった。回折の場合、全測定数の 2.5 %、回折の行路差  $d(m)$  との関係では、騒音の減衰量  $\Delta L$  は、

$$\Delta L = 2.24 \log d + 6.6 \quad \dots\dots\dots ( 1.2 6 )$$

の関係が見出された。( 1.2 6 ) 式の  $\Delta L$  と  $\log d$  の相関係数は 0.266 で、これは有意水準 1 % で両者に相関関係がないとする仮説を棄却することができる。

### (b) 指向性

建設機械の騒音パワーレベルが ( 1.2 5 ) 式のような線形構造をとる場合、個々の因子の影響は、対象の因子のみが異なる実現値の平均値の差として示すことができる。

騒音の各方向での測定値を  $L_{di}$  (  $i = 1, 2, 3, 4$  ; 前左後右の方向を示す ), その平均値を  $\bar{L}_d$  とすると、指向性による差  $P_d$  は、

$$P_{di} = (L_{di} - \bar{L}_d) + N(0, \sigma_d^2) \quad \dots\dots\dots (1.27)$$

で示される。ここで、 $N(0, \sigma_d^2)$  は、 $(L_{di} - \bar{L}_d)$  の各測定現場間の分散を示すものである。これより、 $(L_{di} - \bar{L}_d)$  を各測定現場のデータについて平均したものが  $P_{di}$ 、その分散が  $\sigma_d^2$  として求められる。

(c) 周波数補正回路及び動特性による差 ( $P_h, P_t$ )

指向性による差の分析と同じ手法によって分析できるが、騒音測定の場合、 $P_h, P_t$  の因子はいずれも2因子であるため(周波数特性はリニアまたはCとA特性、動特性はFastとSlowの2因子)、常用される方の因子(周波数補正回路はA、動特性ではSlow)を基準として他の因子の持つ効果の差を求めた。即ち、C特性とA特性の差を( $P_{hc} - P_{ha}$ )とおくと、

$$P_h = (\bar{P}_{hc} - \bar{P}_{ha}) + N(0, \sigma_h^2) \quad \dots\dots\dots (1.28)$$

また、動特性は、Fast および Slow の測定値を各々  $P_{tF}, P_{tS}$  とすると、

$$P_t = (\bar{P}_{tF} - \bar{P}_{tS}) + N(0, \sigma_t^2) \quad \dots\dots\dots (1.29)$$

となり、(b)と同じ手法によって分析される。

(d) 変動係数  $\phi(t)$

建設機械から発生する騒音には、①定常音、②変動音、③間欠音、④衝撃音などの時間変動パターンがある。騒音レベルの表示法は現在のところ J I S Z-8731 に定められた方法をとっており音の発生、変動の仕方によって、騒音レベルとして表示される値は異っている。したがって、当面は、その騒音の時間変動パターンに応じて、平均値、90%レンジ上端値、極大値の平均など様々な表示方法に従った値を用いるしかない。

建設機械の騒音の時間軸での変動を正規分布とみなしたとき(実際、建設機械の騒音のうち極めて定常的な音は正規分布と考えても良いが、ある程度厳密な意味で、全ての建設機械の音を正規分布とするのは正確ではない。ここでも間欠音はその極大値が正規分布で近似できる分布をすると考えており、音の全事象を正規分布とは考えていない。)、騒音の時間変動係数  $\phi(t)$  を

$$\phi(t) = N(0, \sigma_{time}^2) \quad \dots\dots\dots (1.30)$$

とすることができる。測定値が、時間をパラメタとした数列で示されている場合には、その平方和から分散を推定できるが、すでに処理されたデータでは、これが示されていない。そこで90%レンジ上端値と平均値の差を、

$$L_0 - L_{mean} \approx 1.64 \sigma_{time} \quad \dots\dots\dots (1.31)$$

表 1.2 建設機械の騒音パワーレベルの推定値dB(A)

| 機 械 名        | コード<br>番 号 | 規格                  | 規格との関係                 |                          | 指 向 性 (Pa) |        |        |        | 周波数<br>補 正        | 動特性               | 時 間<br>変動率        | 平 均<br>パワ<br>ーレ<br>ベル | 残 差               |
|--------------|------------|---------------------|------------------------|--------------------------|------------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
|              |            | (x)                 | (P <sub>0</sub> + K x) | 残 差<br>(S <sub>1</sub> ) | 前<br>1     | 左<br>2 | 後<br>3 | 右<br>4 | (P <sub>b</sub> ) | (P <sub>t</sub> ) | (φ <sub>t</sub> ) | (P <sub>m</sub> )     | (S <sub>R</sub> ) |
| ブルドーザ        | 101        | t                   | —                      | —                        | -1.3       | 1.8    | -2.3   | 0.1    | —                 | 0.3               | 1.0               | 110.3                 | 4.4               |
| 油圧ショベル       | 202        | m <sup>2</sup>      | 102.9+7.3x             | 7.3                      | -0.4       | 0.6    | 0.5    | -0.7   | —                 | 0.4               | 3.5               | 106.4                 | 7.4               |
| クラムシェル       | 203        | m <sup>2</sup>      | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 2.0               | 100.8                 | 1.5               |
| クローラローダ      | 301        | m <sup>2</sup>      | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 4.2               | 102.4                 | 3.0               |
| ホイールローダ      | 302        | m <sup>2</sup>      | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.7               | 110.6                 | 1.1               |
| ダンプトラック      | 401        | t                   | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 109.4                 | 6.2               |
| トラッククレーン     | 501        | t                   | —                      | —                        | —          | -4.0   | -0.9   | 4.9    | —                 | —                 | 2.7               | 99.0                  | 3.4               |
| クローラクレーン     | 503        | t                   | 92.0+0.1x              | 4.3                      | 2.7        | -0.7   | -1.7   | 1.2    | —                 | 0.4               | 2.2               | 97.1                  | 5.0               |
| ディーゼルパイルハンマ  | 601        | t                   | —                      | —                        | -0.3       | 0.9    | -1.7   | 0.5    | —                 | 4.8               | 2.0               | 126.4                 | 9.6               |
| 振動パイルドライバ    | 602        | kW                  | 108.8+0.1x             | 4.0                      | -0.5       | 0.9    | -0.5   | 0.4    | —                 | 0.7               | 2.5               | 113.7                 | 4.2               |
| アースオーガ       | 603        | cm                  | 92.6+0.3x              | 6.7                      | 2.0        | 3.5    | -8.1   | 2.5    | —                 | 0.1               | 1.0               | 110.2                 | 9.4               |
| アースドリル       | 604        | cm                  | —                      | —                        | —          | —      | 3.2    | -3.2   | —                 | 0.6               | 1.0               | 109.5                 | 2.3               |
| ベント掘削機       | 605        | cm                  | 75.9+0.4x              | 5.0                      | -0.8       | 0.3    | 1.4    | -1.1   | —                 | 0.2               | 1.0               | 113.4                 | 6.4               |
| ドーナツオーガ掘削機   | 607        | cm                  | 71.2+0.4x              | 1.7                      | -0.5       | -0.8   | 0.0    | 1.4    | 6.0               | 0.6               | 1.0               | 102.2                 | 2.7               |
| 〃            | 610        | cm                  | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 110.2                 | 3.9               |
| 鋼矢板対策工法      | 611        | kW                  | —                      | —                        | -2.3       | 1.5    | —      | 0.7    | —                 | —                 | 1.0               | 104.7                 | 1.6               |
| 鋼管杭中掘工法      | 612        | kW                  | —                      | —                        | -1.4       | 0.4    | 0.3    | 0.5    | —                 | 0.7               | 1.0               | 96.2                  | 4.1               |
| 〃            | 613        | kW                  | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | 0.0               | 1.0               | 95.7                  | 2.5               |
| 対策型振動パイルドライバ | 614        | kW                  | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | 0.7               | 1.0               | 101.3                 | 1.7               |
| ドロップハンマ      | 615        | t                   | —                      | —                        | 0.9        | 0.4    | -1.9   | 0.7    | —                 | 1.5               | 1.0               | 121.2                 | 1.6               |
| 中掘工法         | 630        | t                   | —                      | —                        | 0.3        | 0.8    | -1.4   | 0.3    | —                 | 1.1               | 1.0               | 99.6                  | 2.0               |
| 鋼矢板圧入工法      | 631        | kW                  | —                      | —                        | 0.1        | 0.7    | -0.1   | -0.6   | —                 | 1.5               | 1.0               | 99.7                  | 1.9               |
| スパイラルオーガ工法   | 632        | t                   | —                      | —                        | -1.1       | -0.7   | 0.3    | 1.6    | —                 | 1.1               | 1.0               | 104.0                 | 3.1               |
| 鋼矢板対策工法      | 633        | t                   | —                      | —                        | 0.6        | 1.1    | -2.1   | 0.4    | —                 | 0.6               | 1.0               | 102.8                 | 5.5               |
| ケミコパイル工法     | 634        | t                   | —                      | —                        | -1.4       | —      | 1.4    | —      | —                 | 0.9               | 1.0               | 105.3                 | 3.4               |
| 鋼矢板圧入工法      | 635        | kW                  | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | 0.1               | 1.0               | 91.7                  | 3.0               |
| 〃            | 636        | t                   | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | 0.1               | 1.0               | 83.7                  | 5.2               |
| 〃            | 637        | t                   | —                      | —                        | -0.6       | -0.1   | -0.9   | 1.6    | —                 | 0.7               | 1.0               | 99.0                  | 2.0               |
| セメントミルク圧送    | 638        | t                   | —                      | —                        | -0.2       | -0.1   | -0.3   | 0.6    | —                 | 0.7               | 1.0               | 98.9                  | 1.7               |
| ウォータージェット工法  | 639        | cm                  | 80.3+0.3x              | 3.2                      | 0.3        | -2.3   | -0.7   | 2.7    | —                 | 0.9               | 1.0               | 99.5                  | 3.8               |
| 鋼矢板対策工法      | 640        | kW                  | —                      | —                        | 2.2        | -0.3   | -0.7   | -0.6   | —                 | 0.3               | 1.0               | 103.5                 | 4.2               |
| 〃            | 646        | kW                  | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 108.5                 | 1.0               |
| ウェルポイント      | 650        | kW                  | —                      | —                        | 1.6        | -0.6   | -1.0   | —      | 0.6               | —                 | 1.0               | 102.8                 | 2.4               |
| サンドパイル工法     | 701        | kW                  | —                      | —                        | -0.4       | —      | -0.9   | 1.3    | —                 | —                 | 1.6               | 118.4                 | 0.7               |
| コンクリートミキサ車   | 705        | m <sup>3</sup>      | —                      | —                        | -3.0       | —      | 3.0    | —      | —                 | —                 | 5.1               | 102.5                 | 4.3               |
| さく岩機(空気式)    | 802        | m <sup>3</sup>      | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 119.6                 | 1.5               |
| コンクリートブレーカ   | 803        | kg                  | —                      | —                        | 0.3        | -0.2   | -0.3   | —      | —                 | 2.7               | 1.0               | 113.8                 | 8.1               |
| 発破工法         | 805        | —                   | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 128.4                 | 15.8              |
| ロードローラ       | 901        | t                   | —                      | —                        | 0.5        | —      | -0.5   | —      | —                 | 0.3               | 1.0               | 102.3                 | 2.9               |
| タイヤローラ       | 902        | t                   | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 103.8                 | 1.3               |
| 振動コンパクト      | 904        | t                   | —                      | —                        | -0.1       | 0.0    | 0.2    | -0.1   | —                 | 0.3               | 1.0               | 99.2                  | 8.8               |
| 振動ローラ        | 905        | t                   | 104.3+1.2x             | 3.9                      | —          | 0.2    | —      | -0.2   | —                 | 0.4               | 1.0               | 108.5                 | 5.3               |
| ランマ・タンバ      | 906        | kg                  | 101.8+0.1x             | 1.6                      | -1.0       | 1.5    | -1.4   | 0.9    | —                 | 0.2               | 1.0               | 107.5                 | 2.1               |
| コンクリート機械     | 921        | —                   | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 3.0               | 102.7                 | 8.4               |
| アスファルトプラント   | 931        | t/h                 | 110.3+0.1x             | 4.6                      | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 0.9               | 115.6                 | 4.9               |
| アスファルトフィニッシャ | 932        | m                   | 96.6+1.3x              | 4.9                      | —          | 0.6    | —      | -0.6   | —                 | —                 | 2.0               | 100.5                 | 5.0               |
| コンクリートプラント   | 933        | t/h                 | —                      | —                        | -0.8       | —      | 0.8    | —      | —                 | —                 | 3.0               | 104.3                 | 4.9               |
| コンクリートカッタ    | 945        | cm                  | —                      | —                        | -0.8       | 0.0    | -1.1   | 0.9    | —                 | 0.8               | 1.0               | 113.8                 | 3.9               |
| 路面整正機        | 946        | cm                  | —                      | —                        | -3.2       | 2.1    | 1.1    | —      | —                 | 0.6               | 1.0               | 105.6                 | 1.1               |
| ヒータブレーナ      | 947        | cm                  | —                      | —                        | -1.1       | -1.3   | 0.2    | 2.2    | —                 | 0.3               | 1.0               | 103.9                 | 1.3               |
| 空気圧縮機        | 951        | m <sup>3</sup> /min | —                      | —                        | -1.4       | 2.0    | 0.4    | 0.3    | —                 | 0.9               | 1.4               | 104.8                 | 2.7               |
| ポンプ設備        | 953        | m <sup>3</sup> /min | —                      | —                        | —          | —      | —      | —      | —                 | —                 | 1.0               | 90.3                  | 2.8               |
| クラッシングボール    | 960        | t                   | —                      | —                        | -1.4       | -0.6   | 1.7    | 1.2    | —                 | 4.8               | 1.0               | 108.9                 | 4.7               |

注) 機械の稼動状態は作業である。

また、80%レンジの上端値と平均値の差を

$$L_{10} - L_{mean} \approx 1.28 \sigma_{time} \dots\dots\dots (1.32)$$

として、 $\sigma_{time}$  を逆に求めた。定常騒音の場合、平均値のみのデータしか与えられないので、計測器の精度を考慮して、 $\sigma_{time} = 1 \text{ dB}$ とした。

#### (c) 建設機械の規格と騒音パワーレベル

一般に同一機種の建設機械であっても、規格が大きくなるに従って騒音が大きくなると考えられ、ここでは両者の関係を、

$$PWL = Kx + P_0 + S(k) \dots\dots\dots (1.33)$$

の一次回帰式で示し、最小自乗法で係数 $K$ を求めた。相関関係の有意性の検定は、実現値と(1.33)式による推定値を二元配列とし、 $F$ 検定(分散分析)を用いて行った。相関係数に有意性がない場合、 $K=0$ 、 $P_0 = P_m$ とした。 $P_m$ は機械 $M$ に共通な平均騒音パワーレベルである。表1.2にこれを示す。

### 1.2 騒音の発生形態と周波数

#### 1.2.1 発生形態からみた建設機械騒音

建設機械の稼動に伴う騒音には様々の形態がある。JIS Z-8731 では、音の発生形態として、①定常音、②大幅変動音、③間欠音、を取上げているが、この他に衝撃音があり、これは④分離衝撃音、⑤準定常衝撃音に区分することができる。図1.2に、これらの騒音発生形態の概念を示す。

定常騒音は“観測時間内において、レベルの変化が小さく、ほぼ一定とみなし得る騒音”として定義され、いわば音のレベル変化の“量”に着目して定義されているとすることができる。しかも、その“変化量の大小の判断”は観測者の判断にゆだねられている。変動騒音は“観測時間内において、レベルがかなりの範囲まで連続的に変化する騒音”として定義され、定常音の場合と同じく音のレベル変化の“量”に着目しており、いずれも音のレベルが連続的に変動し、その変動の幅、いわゆる“量”の多寡によって異った定義づけをしたものと解釈できる。この場合、量の変化は連続的であるから、定常音と変動音の定義の境界はあまり明瞭ではなく、定常音とみなし得る程度の変動音、あるいは逆に、変動音とみなしても良い定常音という音も存在する。

間欠騒音は、“観測時間内において、1秒以上の継続時間をもって間欠的に発生する騒音”として定義される。間欠的であることは、対象とする事象が周期的に発生することを暗に意味しており、変動音のうち、変動の仕方がほぼ周期的で、最大値が一定と考えられるような音と考えて良い。継続時間が1秒以上であることは、この継続時間1秒以上の間で騒音の変動は定常音とみなせる程小さい必要がある。したがって、間欠音は、変動音のうち、変動の仕方が周期的である

場合と考えることができる。分離衝撃音は、“一つの事象が、継続時間 1 秒未満である騒音（衝撃騒音）のうち、個々の事象が独立に測定できる騒音”として定義される。この定義では、最大値を示す状態の継続時間が間欠音の場合と連続性をもって定義されており、間欠音と分離衝撃音の違いは、最大値の継続時間の長さだけである。ただし、音の発生の仕方について、間欠音ではある程度周期性が条件となっているが、分離衝撃音では、発生の周期性は定義されず、単に分離測定可能な時間間隔を条件としているのみで、定義としては拘束条件がゆるめられていると考えて良い。

準定常衝撃音は、“ほぼ一定レベルの個々の事象が、0.2 秒未満の周期で繰返し発生する衝撃音”として定義される。衝撃音は、間欠音のうち、最大値の継続時間が 1 秒未満として定義されたが、ここでは事象の発生の周期を 0.2 秒未満としており、“衝撃”の概念からすると、準定常衝撃音の個々の事象は、最大値の継続時間が 0.2 秒よりも十分に小さい必要がある。準定常衝撃音は、分離衝撃音の定義領域以外でなければならないから、その定義に“分離測定できない衝撃

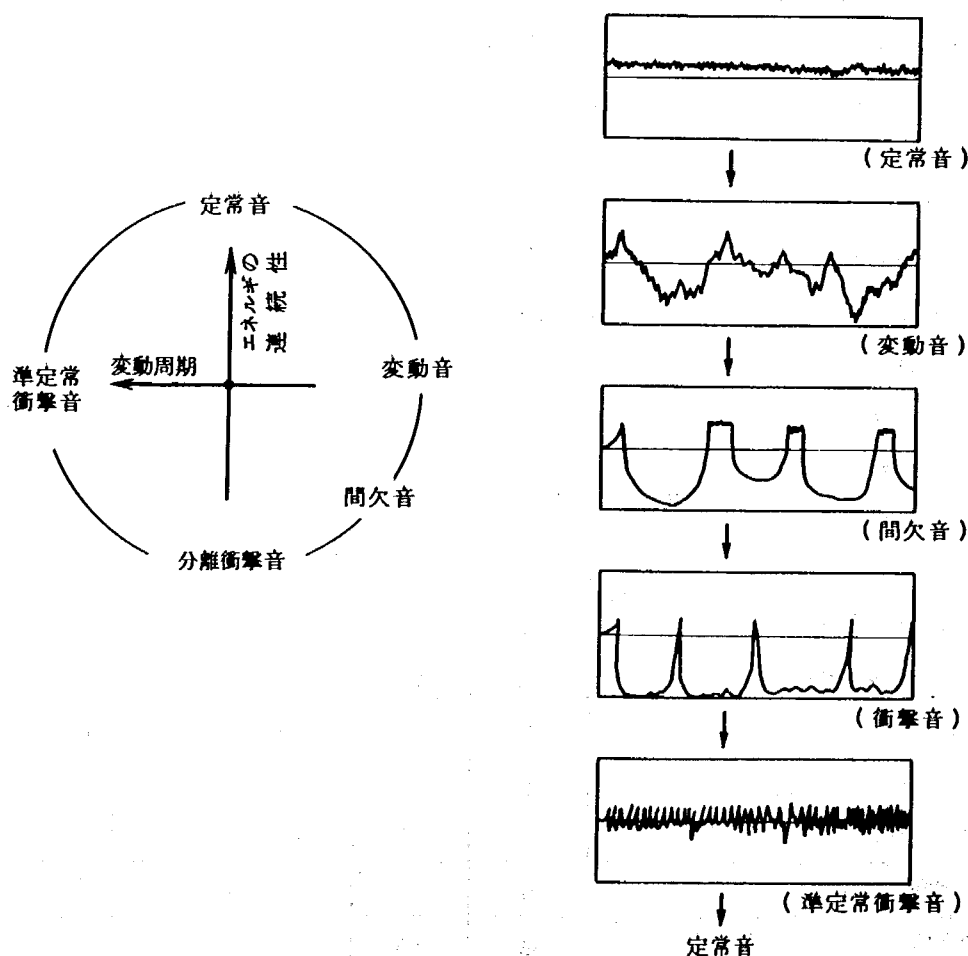


図 1.2 音の発生形態の概念

表 1.3 建設機械騒音のレベルと特徴

| 機 械 名            | スペクトル   | 騒 音 の 種 類 |     |     |     |       |
|------------------|---------|-----------|-----|-----|-----|-------|
|                  |         | 定 常       | 変 動 | 間 欠 | 分 離 | 準 定 常 |
| ブルドーザ            | 低       |           | ○   |     |     |       |
| トラクタショベル         | 低       |           | ○   |     |     |       |
| 油圧ショベル           | 低       |           | ○   |     |     |       |
| クローラクレーン         | 低       |           | ○   |     |     |       |
| ディーゼルパイルハンマ      | 高       |           |     |     | ○   |       |
| 振動パイルドライバ        | 平       |           |     |     |     | ○     |
| オールケーシング掘削機      | 低       |           |     |     | ○   |       |
| リバースサーキュレーション掘削機 | 低       | ○         |     |     |     |       |
| アースドリル掘削機        | 低       |           | ○   |     |     |       |
| 中 掘 工 法          | 低       |           | ○   |     |     |       |
| アースオーガ併用鋼矢板対策工法  | 低       |           | ○   |     | ○   |       |
| 鋼矢板圧入工法          | 低       |           | ○   |     |     |       |
| ウォータージェット工法      | 低       |           | ○   |     |     |       |
| さ く 岩 機          | 平       |           |     | ○   |     | ○     |
| 締 固 め 機          | 低       |           | ○   |     | ○   |       |
| コンクリート取壊し機       | スチールボール | 低         |     |     | ○   |       |
|                  | 油圧ジャッキ式 | 低         | ○   |     |     |       |
|                  | 油圧圧縮式   | 平         | ○   |     |     |       |
|                  | 油圧割裂式   | 平         | ○   |     |     |       |
|                  | カッタ式    | 高         | ○   |     |     |       |
| アスファルトフィニッシャ     | 平       |           | ○   |     |     |       |
| 舗装版破碎機           | 低       |           |     | ○   | ○   |       |
| 路面切削機・整正機        | 低       | ○         |     |     |     |       |
| コンクリートカッタ        | 高       | ○         |     |     |     |       |
| 路面清掃車            | 低       |           | ○   |     |     |       |
| 除雪グレーダ           | 低       |           | ○   |     |     |       |
| ロータリー除雪車         | 高       |           | ○   |     |     |       |
| 空気圧縮機            | 高       |           |     | ○   |     |       |
| 発動発電機            | 低       | ○         |     |     |     |       |

注) 低:低周波音域優勢形スペクトル

平:平坦スペクトル

高:高周波音域優勢形スペクトル

音”としての意味を持ち、この時間が0.2秒であると解釈することができる。この場合、継続時間が極めて短かければ、周期が0.2秒の衝撃音は分離衝撃音の範疇に含まれ、準定常衝撃音とは連続する定義領域を持つことがわかる。

準定常衝撃音の繰返し周期が極端に短くなった場合、その極限では、音の継続時間と周期は、人間の耳では分離できない状態になることが考えられ、これは最早、衝撃音ではなく定常音となる。例えば、エンジンの爆発音などは、定常音として取扱う。

このように、音の発生形態の定義は、連続的になされ相互の境界は必ずしも明確ではない。

表1.3は、主な建設機械の音を、騒音レベル、周波数、音の発生形態によって特徴づけたものである。

一方、表1.4は、建設機械の音の発生原因に着目して建設機械および騒音のパワーレベルをまとめたものである。ディーゼルエンジンを音源とする機械は、土工機械、運搬機械に多く、騒音

表 1.4 音の発生形態による騒音パワーレベル

| 音源による分類               |             | パワーレベル (dBA) |     |     |     | 代表的な機種                      |
|-----------------------|-------------|--------------|-----|-----|-----|-----------------------------|
|                       |             | 90           | 100 | 110 | 120 |                             |
| ディーゼルエンジン<br>を音源とする機械 | 走行する機械      |              |     | □   |     | ブルドーザ、トラクタショベル、ダンプトラック      |
|                       | 定置式の機械      |              | □   |     |     | 油圧ショベル、クローラクレーン、発電発電機       |
| 打撃、衝撃による機械            |             |              |     | □   |     | ディーゼルパイルハンマ、ドロップハンマ         |
| 振動式の機械                |             |              |     | □   |     | 振動パイルドライバ、振動ローラ             |
| 騒音対策型<br>の機械          | 商用電源        | □            |     |     |     | 中掘、アースドリル、油圧式               |
|                       | ディーゼル発電機による |              | □   |     |     | 杭打機・杭拔機                     |
| 衝撃・振動を伴う手持機械          |             |              |     | □   |     | ランマ、さく岩機<br>ブレーカ、コンクリートカッター |

対策の進んでいないトラクタ系の土工機械の騒音パワーレベルは110 dBA 附近に集中しているが、走行を伴わないショベル系機械の騒音パワーレベルは前者より約10 dBA 低い。騒音対策型の基礎工事用機械、土留工事用機械などでは、動力源として電動機を用いる機械が多いが、商用電源を用いる場合は、発電機を用いる場合と比較して約15 dBAの低減が観測される。また、発電機を用いた場合の騒音パワーレベルは、ディーゼルエンジンを搭載した他の機械の騒音パワーレベルとほぼ等しくなり、騒音対策型の機械の騒音は、補助機械の騒音パワーレベルに支配されることがわかる。

### 1.2.2 建設機械騒音の周波数

ほとんどの建設機械音は複合音で、コンクリートカッタなどのごく一部の機械は強い純音成分を含んでいるが、他は調和関係にない複雑な周波数構成を持っている。この理由の一つは、建設機械は複数のしかも異なった周波数の異なる種類の音源から成る複合音源であるからである。

参考資料 B は、建設機械のパワースペクトルレベルを 1/1 オクターブバンドで示したものである。

## 2. 建設機械の振動

### 2.1 建設機械振動の伝搬と基準レベル

#### 2.2.1 地盤振動の一般的性質

##### 1) 弾 性 波

地盤を理論的に取扱う場合、等方等質な固体弾性体として取扱うことが一般的である。地盤振動と称されている現象は、この固体弾性体内の波動現象であり、一般的に振動が地盤の表面で測定されることを考えると、この波動現象のうち、表面を伝搬する波動が最も重要な研究の対象となる。

固体弾性体は、体積弾性率（体積の膨脹，収縮による弾性）と剪断弾性率（体積変化を伴わない，ねじれあるいはずれによる弾性）があり，音波が体積弾性率だけで記述できたことに較べると，その取扱いが複雑である。固体弾性体の波動方程式は，

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \cdot \nabla^2 \cdot \phi \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

である。ここで，

$\rho$  ; 媒質の密度

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}, \quad \mu = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{1 + \nu}$$

$\nu$  ; ポアソン比

$E$  ; ヤング率

$\phi$  ; 媒質の膨脹ポテンシャル

$\nabla^2$  ; ラプラスの演算子

である。また，波動は剪断弾性によっても発生し，この波動方程式は

$$\frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \cdot \theta_x, \quad \frac{\partial^2 \theta_y}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \cdot \theta_y, \quad \frac{\partial^2 \theta_z}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \cdot \theta_z \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\theta_x = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial z} \right), \quad \theta_y = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

$$\theta_z = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

である。 $u$ ， $v$ ， $w$ は直交座標系 $x$ ， $y$ ， $z$ の軸方向の変位を示し， $\theta$ は，回転ポテンシャルである。

(2.1)式で示される波動を縦弾性波あるいは縦波,  $P$ 波 (*Primary wave*) と呼び,  
 (2.2)式で示される波動を横弾性波あるいは横波,  $S$ 波 (*Secondary wave*) と呼ぶ。  
 波動方程式の定義から, 膨脹ポテンシャル, 回転ポテンシャルの伝搬速度は,

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

である。

## 2) 表 面 波

弾性体を伝搬する波動は, 先に述べた  $P$ 波,  $S$ 波の他に, 表面波や境界波がある。このうち,  
 ラブ波は, 半無限弾性体の表面に, これと弾性率の異なる一様厚の層がある時発生する表面波で  
 ある。レイリー波は, 半無限弾性体の表面に沿って伝搬する表面波で, この場合表層はあつて  
 もなくても良い。レイリー波の伝搬速度  $C$  は,  $0 < C < v_s < v_p$  の関係にあり,  $v_p = \sqrt{3} \cdot v_s$   
 の時,  $C = 0.9194 v_s$  である。<sup>1)</sup>

### 2.1.2 地盤振動の伝搬 (減衰)

波動は, 振動源から遠くなると次第に減衰する。この主な原因は, エネルギーの拡散による減衰  
 と, 媒質の内部摩擦による減衰である。

今, 振源で生じた振動が, 余弦関数で示されると考え, 振源から距離  $r$  にある点の振動の変位  
 が,

$$y = A(r) \cdot \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

として示される時, 領域  $S$  に存在する運動エネルギー  $T$  は,

$$T = \rho \int_S \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 dS = \rho \omega^2 \int_S A^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot dS \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

である。表面波は, 振動源を中心とする半径方向に伝搬するから, エネルギーの存在する領域  $S$  は  
 半径を  $r$  とする円環状の領域である。着目した振動の波長を  $\nu$  とすると, 振源から  $r_0$  の距離に  
 ある領域に含まれる運動エネルギーは,

$$T_{r_0} \propto \rho \omega^2 \cdot A_0^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot \nu \cdot 2\pi r_0 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

同様にして, 距離  $r$  においては,

$$T_r \propto \rho \omega^2 \cdot A^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot \nu \cdot 2\pi r \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

である。運動エネルギーがその伝搬過程において保存されるとすれば、 $T_r = T_{r_0}$  が全ての  $r$  について成立しなければならない。したがって、表面波の振幅比は、

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

となることが容易に理解できる。

また、 $P$ 波、 $S$ 波は、球面状に拡散するから、(2.7)式から同様の手続きにより、

$$\frac{A}{A_0} = \frac{r_0}{r} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

となる。

しかし、地盤の振動を考えた場合、実際には土の内部摩擦によって運動エネルギーが熱エネルギーに変換され、これによっても波動の減衰が生じる。この内部摩擦による波動の減衰は、媒質の変形の量に比例すると考えて良く、言かえれば、伝わる距離に比例してエネルギーが吸収される。よって、振動振幅の距離による伝搬は、

$$\text{表面波} \quad A = A_0 \left(\frac{r_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\nu(r-r_0)} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{実体波} \quad A = A_0 \left(\frac{r_0}{r}\right) \cdot e^{-\nu(r-r_0)} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

である。

内部摩擦による振動の減衰は、振動の1サイクルにおけるエネルギー吸収に依存しているから、 $i$ 番目の振幅の極大値と $(i+1)$ 番目の振幅の関係は、

$$\frac{A_i^2 - A_{i+1}^2}{A_i^2} = k \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

となる。 $k$ は、1サイクル当りのエネルギーの吸収率を示している。波動としての伝搬を考える時(2.14)式を距離の関係で示すと、波動は1サイクルで1波長だけ進むから、

$$e^{-\nu \frac{v}{f}} = (1-k)^{\frac{1}{2}} \\ \therefore \nu = \frac{f}{v} \cdot \left\{ -\frac{1}{2} \cdot \ln(1-k) \right\} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

として、(2.13)式の $\nu$ が求められる。ここで、 $f$ は振動の周波数、 $v$ は波動の速度である。

### 2.1.3 振動加速度レベルの距離減衰

建設工事にかかわる地盤振動は、地表面上で、しかも“振動加速度レベル”もしくは、これに周波数ごとにウェイト付けした“振動レベル”という尺度で測定される。このような地盤振動は、振源となる機械から比較的離れた地表面上で測定されることから、対象となるのはほとんどの場合、表面波と考えて良い。

振動の加速度は、振動振幅の時間での2階微分であるから

$$a(\omega) = \frac{d^2}{dt^2} A(\omega) \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

である。波動方程式の解として、振幅  $A(\omega)$  をフーリエ展開すると

$$A(\omega) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \{A_i \sin(n\omega t) + B_i \cos(n\omega t)\} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

となる。これは排他的直交関数で、しかも  $A(\omega)$  は一様収束するから、項別微分が可能である。したがって

$$a(\omega) = -\omega^2 \cdot A(\omega) \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

これより振動加速度の距離による伝搬は(2.12)式と同様に、

$$a = a_0 \left(\frac{r_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\nu(r-r_0)} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

となる。(2.19)式の両辺の常用対数を取り20倍すると

$$\begin{aligned} 20 \log a &= 20 \log a_0 + 10 \log \left(\frac{r_0}{r}\right) + 20 \log e^{-\nu(r-r_0)} \\ &= 20 \log a_0 + 10 \log r_0 + 8.7 \nu r_0 - 10 \log r - 8.7 \nu r \end{aligned}$$

である。ここで

$$L_s = 20 \log a_0 + 10 \log r_0 + 8.7 \nu r_0 \quad \dots\dots\dots (2.20')$$

とおくと、

$$L_r = L_s - 10 \log r - \lambda r \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\lambda = 8.7 \frac{f}{v} \cdot \left\{ -\frac{1}{2} \ln(1-k) \right\}$$

となる。これが振動加速度レベルの距離減衰を表現する方程式である。また、振動加速度レベルは、加速度が  $1 \text{ gal}$  ( $1 \text{ cm/s}^2$ ) の時  $60 \text{ dB}$  として定義されている。(2.20) 式の  $L_s$  は振動の基準となるレベルであるが、方程式からも明らかな通り、音のパワーレベルのように定義された値ではない。

#### 2.1.4 建設機械振動の実測値

建設機械の振動は、昭和46年度から建設省において騒音とともに調査されており、ほとんどの建設機械の振動が測定されている。

参考資料-Cは、本研究に用いた全ての振動の測定値を機械別(一部規格別)に振源からの距離と振動レベルの関係を示したものである。実際に振動の伝搬は土質条件に左右されるが、図では、土質条件を考慮せずにまとめたものである。また、これらの測定値は、同一機種においても、異なった規格、異なった方向での測定値を含むものであり、これらは測定値のバラツキとなって図に表われている。振動の測定値のバラツキは騒音の場合より大きく、媒質となる土質の違い、振動ピックアップの接地点の状況の違いが、これらの大きな原因となっているものと考えられる。

また、アースオーガを用いた既製杭騒音振動対策工法のように、アースオーガでドリリングした後、打止めをドロップハンマで行うような場合、ドリリングの振動とハンマリングの振動とでは明らかに後者の方が大きく、例えば参考資料-C(20)のアースオーガでは両者の振動レベルが区分されて測定されている。

#### 2.1.5 衝撃振動の伝搬実験

##### 1) 実験の方法

図2.1に衝撃振動の伝搬実験の測定系を示す。地盤への衝撃振動は、地中に立てたロッドをガイドとして重垂を落下させる方法で入力した。重垂は、10、20、30kgの3水準、落下高さは、位置エネルギーが、30、60、90、120kg-cm となるように定めた。

##### 2) 解析の方法

図2.2は、重垂落下による地盤の変位と加速度の典型的な波形を示すものである。重垂が落下することによって地盤は極部的に沈下するが、この時の変形は塑性変形と弾性変形によって生じ、塑性変形の方は永久沈下量  $S_0$  である。弾性変形の方は、土の反発力となり土は振動するが、この振動は土の粘性低抗によって急速に減衰する。振動加速度は変位の2階微分であるが、変位と比較すると約4倍の周波数で立上り、やがて変位振動と同周波数となる。

図2.3は、重垂落下試験時の地盤振動の加速度波形を10kg-30cmの例について示すものである。データとして得られるものは、このような振動加速度の波形であり、これらの波形データを基に、

##### ① 振動の伝搬速度

##### ② 加速度波形の伝送化

を求める方法をとった。

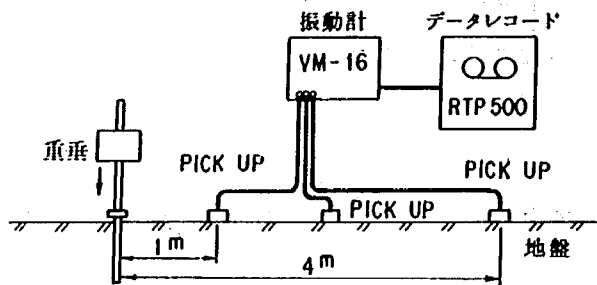


図 2.1 振 動 測 定

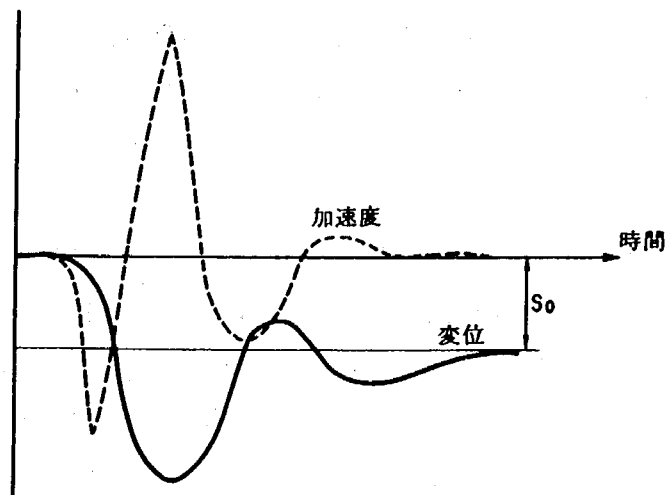


図 2.2 打撃による地盤振動の模式図

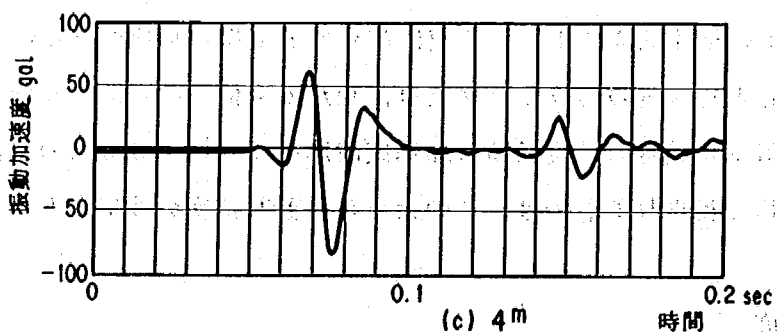
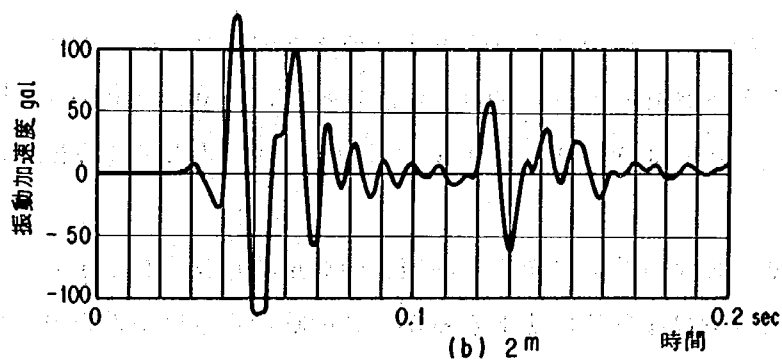
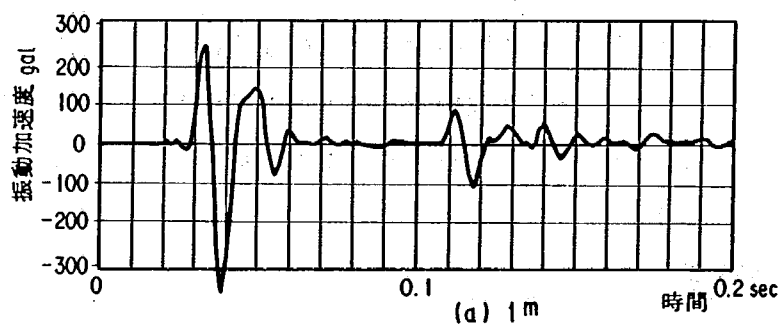


図 2.3 打撃振動の加速度波形

(a) フーリエ変換

与えられた波形データを基に①, ②を分析する場合, 両者とも周波数によって異った値をとると考える必要がある。特に②は(2.20)式に示されるように, 周波数が高くなる程, 振動あるいは振動の加速度の伝送比が小さくなるという関係が想定され, オーバオール伝送比は振動の周波数構成の影響を受け正確な値とはならない。

また, 波動が任意のA, B点を, 両点を結ぶ直線方向に伝搬する場合, A点での振動の位相 $\theta_a$ とB点での位相 $\theta_b$ の間には,

$$\theta_b - \theta_a = \frac{2\pi \cdot v}{f \cdot R} \dots\dots\dots (2.21)$$

$v$  ; 波動の伝搬速度 (  $m/s$  )

$f$  ; 振動の周波数 (  $Hz$  )

$R$  ; 伝送距離 (  $m$  )

の関係があり, これから, 波動の伝搬速度を知ることができる。

即ち, 点A, Bでの加速度の周波数と位相が与えられれば, ①, ②が得られることがわかる。この方法として波形をフーリエ級数に展開する方法がある。

波形信号 $x(t)$ が与えられた時,

$$x(t) = \sum_{i=0}^n \left( a_i \cos \frac{2i\pi}{T} t + b_i \sin \frac{2i\pi}{T} t \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

として,  $x(t)$ が正弦あるいは余弦の調和関数の和として示されることが知られている。(2.22)式から,

$$\left. \begin{array}{l} \text{周波数} ; f_i = \frac{i}{T} \\ \text{スペクトル} ; A_i = (a_i^2 + b_i^2)^{\frac{1}{2}} \\ \text{位相角} ; \theta_i = \tan^{-1} \frac{b_i}{a_i} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.23)$$

が得られる。ここで,  $T$ は波形が存在する時間を示し,  $1/T$ が(2.22)式で与えられる周波数の最小値を与える。

(b) 位相スペクトルの補正

位相差に着目して振動の伝搬速度を求めることが可能であるが, 現実には測定される位相は,  $-\pi \sim \pi$ (rad)であり, 波形の性質から考えて位相が $2\pi$ 異なった波形は元の波形と等しいわけであるから, 実際の位相は $(-\pi \sim \pi) + 2n\pi$ , ( $n=1, 2, 3, \dots$ )となっていることに注意しなくてはならない。

しかし、この実際の位相差に用いる補正值に関する情報は、測定された位相スペクトルの中には見出し得ない。このことから、位相差の補正值を求めるために次の仮説を設ける。

- ① 波動の伝搬速度は、近接した周波数間では極端に差はなく、もし波動の伝搬速度が振動の周波数の関数で示されるにしても、その関数は制限された領域では連続関数として定義できる。
- ② 振源での振動の初期位相は、近接した周波数間では極端な違いはなく、もし初期位相が周波数依存性を持つにしても、その変化は漸近的に連続と考える。

## 2) 解析の結果

図 2.4 は、打撃加振点から 1 m および 4 m 離れた点での振動加速度のフーリエスペクトルの絶対値の典型的な形を 10 kg — 30 cm の実験の場合について示したものである。図 2.3 に見られる通り、振動加速度の波形は、往復衝撃波、あるいは単発正弦波に近く、波形の基本周期に相当する周波数（図 2.4 では 70 Hz）で最大値をとり、それ以下の周波数領域では周波数の 3 ～ 4 乗に比例してスペクトル値が小さくなる。

また、(2.19) 式に示すように、土の内部摩擦による振動の減衰量は振動の周波数に比例して大きくなることから、1 m 点と 4 m 点とでは最大値をとる周波数が違っている。一般にこのような現象を周波数シフトと呼び、振源からの距離が遠くなるに従って、周波数成分は低い周波数側へ移行する。

### (a) 地盤振動の幾何減衰定数

振動加速度パワーの伝送比は (2.20) 式から、

$$H(f) = -10 \log \frac{r_2}{r_1} - 8.7 \frac{f}{v} \left\{ -\frac{1}{2} \ln(1-k) \right\} \cdot (r_2 - r_1) \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

となる。実験では、 $r_1$ 、 $r_2$  は定数であり、また土質が一定であれば、 $k$  は定数と考えて良いから、(2.24) 式は、

$$H(f) = -\alpha - \left( \beta \cdot \frac{1}{v} \right) f \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

$\alpha$ 、 $\beta$ ；定数

とすることができる。ここで、波動の伝搬速度  $v$  が周波数に依存しないと仮定すれば、 $\beta/v$  もまた定数となって  $H(f)$  は切片  $-\alpha$  を持つ線形一次式となることがわかる。図 2.5 は、振動加速度のパワー伝送比を振動周波数との関係で示したものである。図中の直線は 25 ～ 90 Hz のデータを基に求めた回帰直線であり、

$$H(f) = -6.12 - 0.15 f \quad \dots\dots\dots (dB) \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

( $r = 0.97$ )

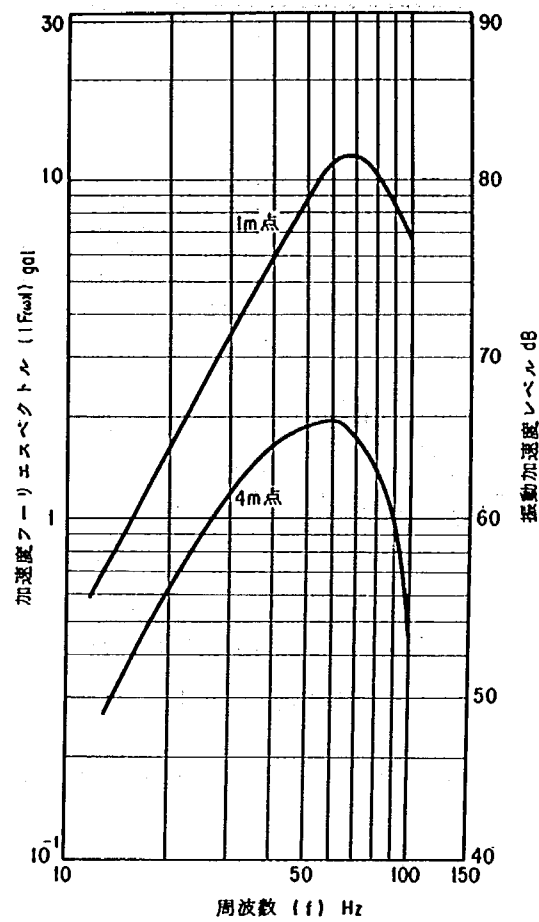


図 2.4 地盤振動のフーリエスペクトル

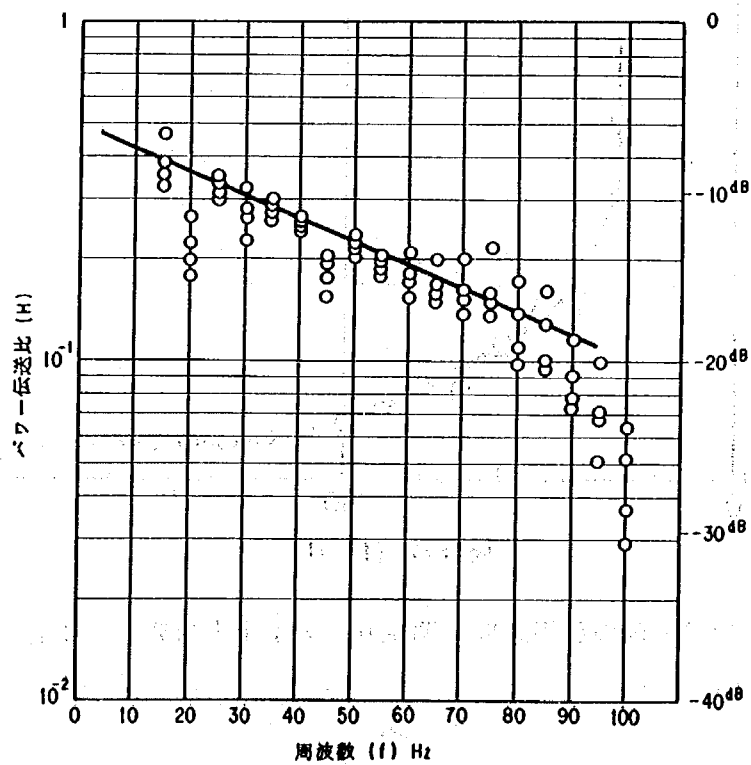


図 2.5 パワー伝送比 (1 m, 4 m 点間)

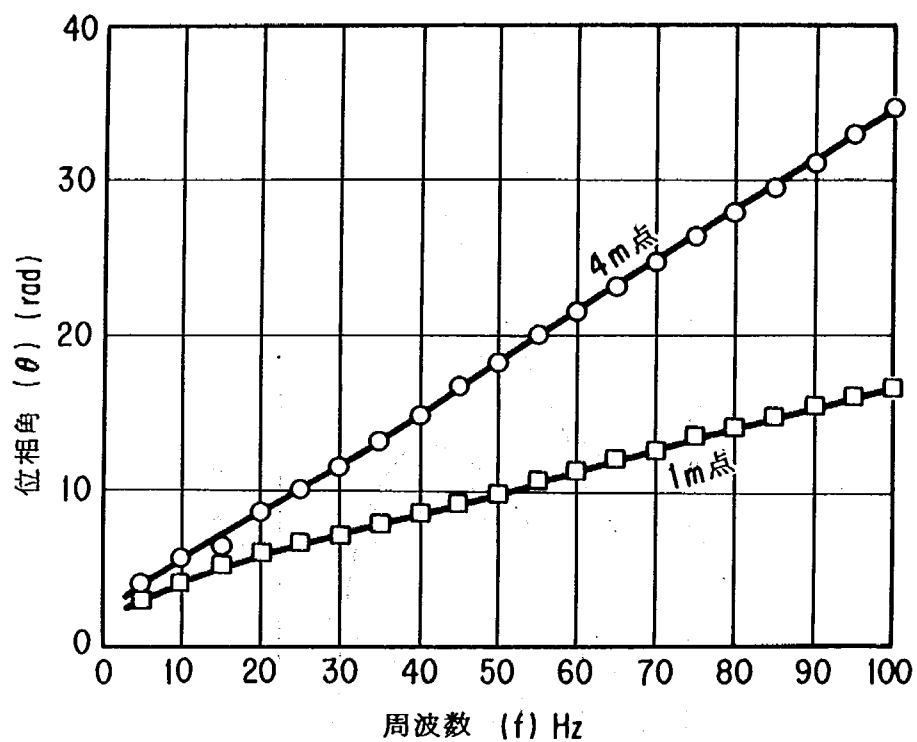


図 2.6 フーリエスペクトルの位相成分

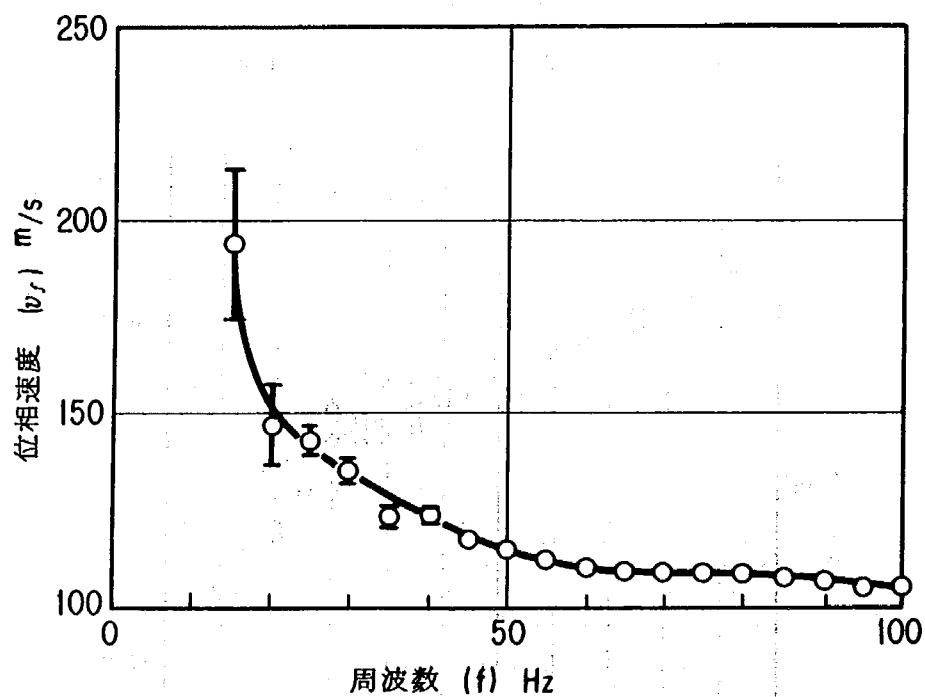


図 2.7 地盤振動の伝播速度（関東ローマ；土木研究所土工管理実験場）

式の係数は、( 2.26 ) 式のとおりである。各係数の 95% の信頼区間は、

$$-4.55 \geq \alpha \geq -7.69$$

$$-0.072 \geq \beta/v \geq -0.228$$

である。

さて、 $\alpha$  は  $a \log(r_2/r_1)$  の推定値であるから、これを用いて、 $a$  の信頼区間を推定すると、

$$-7.56 \geq a \geq -12.77$$

となり、また  $a$  の平均推定値は 10.3 である。これから、 $a$  の値として、 $a = 10$  を用いることが統計的に可能であり、即ち波動の伝搬を表面波とした ( 2.24 ) 式の右辺第 1 項が実験的にも確認されたことがわかる。

#### (b) 地盤振動の伝搬速度

図 2.6 は、振源から 1 m および 4 m 点での振動のフーリエスペクトルの位相を示したものである。これは、2.1.5 (1), (b) の①, ②の仮定に従って  $2n\pi$  の位相補正を行ったものである。図から、位相補正を行うことによって、位相が周波数の連続関数となっていることがわかる。

図 2.7 は、この位相を基に、( 2.21 ) 式から

$$v_f = f \cdot (r_2 - r_1) \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{2\pi} \dots\dots\dots (2.27)$$

として求めた 地盤波動の位相速度を示したものである。(a)での解析の結果から、この実験で観測した地盤振動の伝搬は表面波(レイリー波)であることがわかった。レイリー波の場合、波動の位相速度は周波数依存性があり、低い周波数での速度は、高い周波数帯域のそれより速い。今回の実験では、20 Hzでは 148 m/s、60 Hz以上の周波数では、ほぼ 105 m/s と一定値になることがわかった。

#### (c) 内部摩擦による振動の減衰

土の内部摩擦による振動のエネルギー吸収係数  $k$  は、( 2.1.4 ) 式で定義した。図 2.8 は、この定義に従って、各点での振動の加速度波形の  $n$  番目と  $(n+1)$  番目の関係を示したものである。波形の中には様々な周波数が含まれており、 $n$  番目の最大加速度値と  $(n+1)$  番目の最大加速度値の周波数成分が等しいとは考えられないので、両者の関係は単純な比では示されない。図中のバラツキは、この他、種々の原因によって生じているものと思われるが、少なくとも  $n$  番目の最大値の方が、 $(n+1)$  番目の最大値より常に大きく、両者には比例関係が仮定できることがわかる。

両者の間には,

$$A_{n+1} \approx 0.5 \cdot A_n \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

の関係があり, これから土の内部摩擦によるエネルギー吸収係数は,  $k = 0.75$  と計算される。

一方, (2.26) 式の回帰係数  $\beta/v$  は, 同様にして土の内部摩擦による振動のエネルギー吸収係数を推定するものであり, この回帰係数を (2.25) 式の右辺第2項に代入し, (b)の解析によって得られた波動の位相速度を代入すると,

$$k = 1 - \exp \left\{ \frac{-0.15 \cdot v}{435(r_2 - r_1)} \right\}$$

$$0.44 \leq k \leq 0.88$$

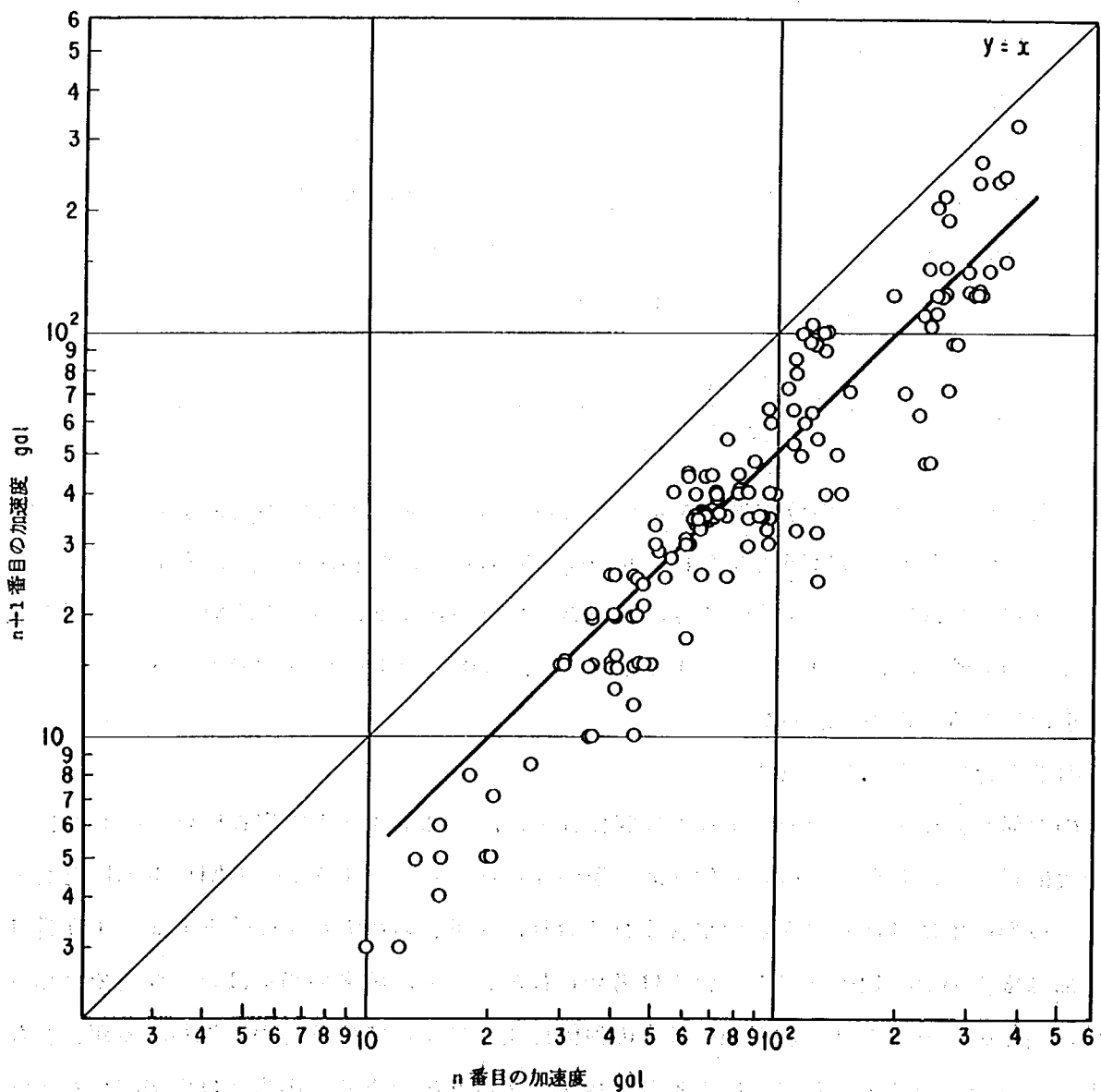


図2.8 打撃時の地盤振動加速度の減衰

が得られ、また  $k$  の不偏推定値は  $k = 0.72$  で、これは図 2.28 から求めた値とほぼ同じ値と考えて良い。

ちなみに、土の内部摩擦によるエネルギーに吸収係数に関しては、*Barkan* の研究結果があり、参考としてこれを表 2.1<sup>2)</sup> に示す。彼は、砂を用いてせん断状態でのエネルギー

表一 2.1 せん断状態で求めた砂のエネルギー吸収係数  $\phi$  と粒径との関係 (*Barkan* 1959)

| 粒 径 (mm)    | $\phi$ |
|-------------|--------|
| 0.10 ~ 0.25 | 0.64   |
| 0.25 ~ 0.50 | 0.68   |
| 1.00 ~ 2.00 | 0.79   |

吸収係数を求めているが、この実験での地盤は関東ロームであり粒径は平均的に表 2.1 の値より小さいであろうから、 $k$  は 0.64 より小さいと推定される。しかし、砂と関東ロームでは土質も違うであろうし、表 2.1 と比較して検討する程の資料はなく、ここでは、エネルギー吸収係数のオーダーが、ほぼ 0.44 ~ 0.88 位と考えて良いであろうとする程度の情報しか得られない。

#### 2.1.6 建設機械を用いた地盤振動の伝搬実験

##### 1) 実験の方法

振動源として履带式トラクタショベル (D50-S) を用いた。振動が、連続的かつ定常振動が発生することを考慮して、機械の運転状態は、定置ハイアイドルとした。

図 2.9 に振動ピックアップの配置を示す。測定点の機械からの距離は、右側履帯の接地中心を原点として定めた。

##### 2) 履带式トラクタショベルの振動の周波数

図 2.10 に対象機械の振動の周波数特性を示す。主な周波数成分が 3.15, 6.3 Hz 帯域にあることが(a)~(d)の図から知られる。しかし、機械から 30 m, 40 m 離れた(e), (f)での振動の周波数成分には、近距離点に見られた周波数スペクトルの特徴は見出し得ず、周波数成分が低い周波数帯へ移行しているのがわかる。

##### 3) 振動の伝搬

図 2.11 は 1/3 オクターブバンドの主な周波数帯域の振動の距離減衰を示したものである。図中の折れ線はオーバーオールでの振動加速度レベルを示したものであり、距離が遠くなるに従って振動が減衰していることは分るが、なめらかな減衰ではない。一方、周波数ごとに見ると、周波数が高くなるに従って、距離減衰を示す勾配は大きくなり、周波数が高くなるほど、振動の距離減衰量が大きくなるのがわかる。

実際、このように振動の距離減衰が周波数依存性を持つのは、土の内部摩擦による振動のエネルギー損失があるためであり、波動のエネルギー拡散による振動の減衰量は振動の周波数に依らず一定でなければならない。

図 2.12 は、波動が表面波であることを考えて、測定値から  $10 \log R$  を差引いた振動加

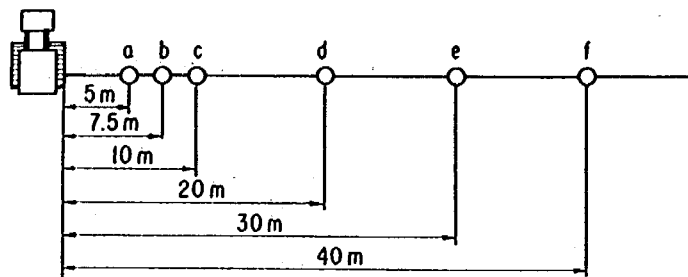
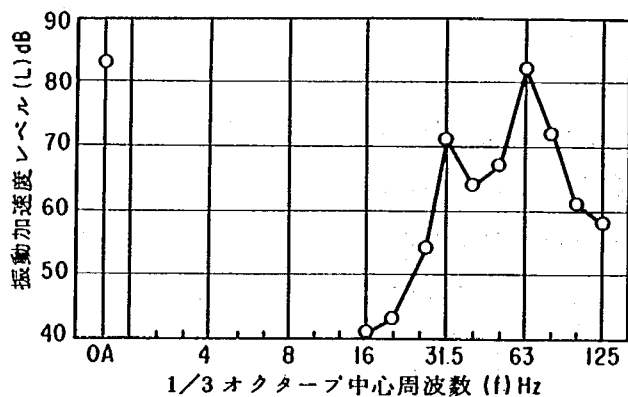
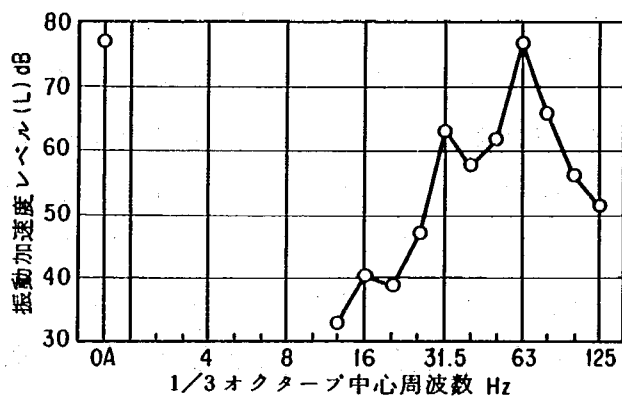


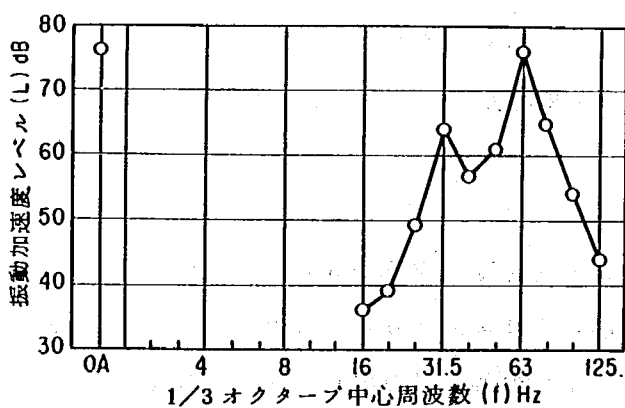
図 2.9 振動ピックアップの接地位置



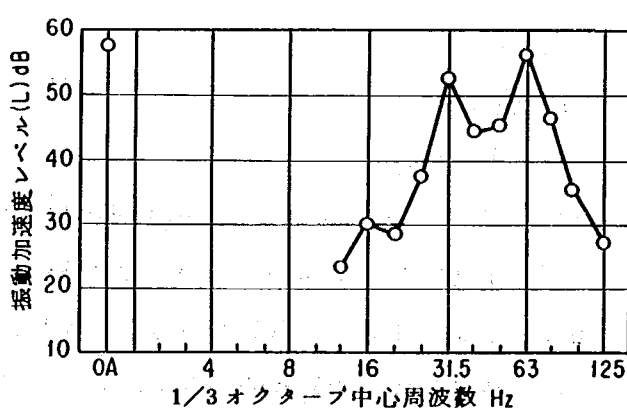
(a) 機械から 5 m



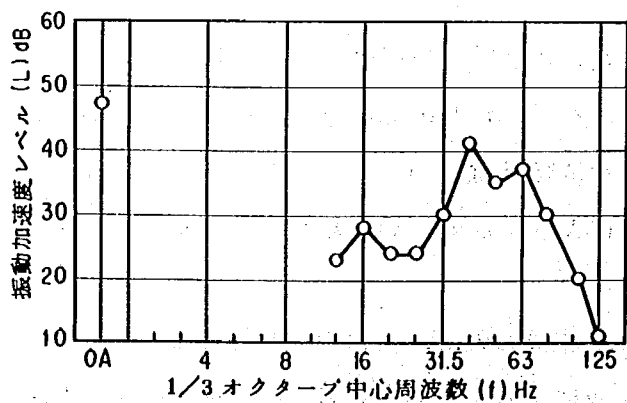
(b) 機械から 7.5 m



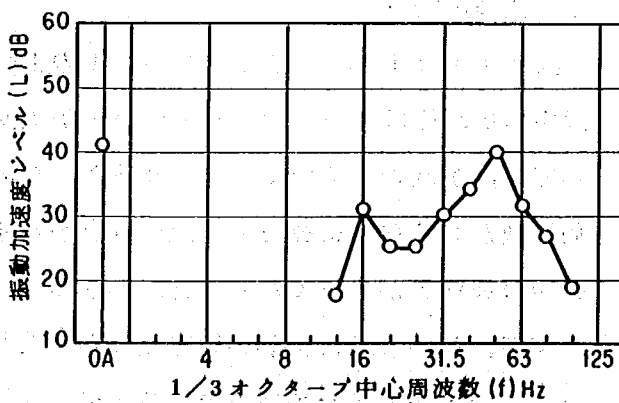
(c) 機械から 10 m



(d) 機械から 20 m



(e) 機械から 30 m



(f) 機械から 40 m

図 2.10 トラクタショベルの振動の周波数構成

速度レベルの距離減衰を示したものである。(2.20)式に表面波振動の距離減衰式を示すが、これから右辺第2項を引くと、

$$L_R = L_S - \lambda R \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

となり、振動加速度レベルは、振源からの距離に対して線形一次式で示されることがわかる。図2.12は、このような背景のもとに作成したもので、(2.25)式の回帰係数 $\beta/v$ が、土の内部摩擦による振動エネルギー吸収係数の推定値を与えることになる。

図に示されるとおり、各周波数帯域とも相関関係は極めて強く、補正した振動加速度レベルと振源からの距離の関係は、(2.29)式の線形一次式で示し得ることがわかる。回帰係数 $\lambda$ は、

$$\lambda = \frac{8.7}{v_f} \left\{ -\frac{1}{2} \ln(1-k) \right\} \cdot f \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

の推定値であるから、 $v_f$ 、 $k$  が定数であれば、 $\lambda$ と $f$ は線形関係となることがわかる。

図2.13は、回帰係数 $\lambda$ の絶対値を周波数との関係で示したものである。図が示すとおり両者の間には斉一な関係は見出し得ない。図2.14は、波動の位相速度を図2.7に示した値と仮定して求めた土の内部摩擦による振動エネルギー吸収係数の推定値を示すものである。エネルギー吸収係数は本来の定義からすると振動の周波数とは独立でなければならないが、図では周波数が

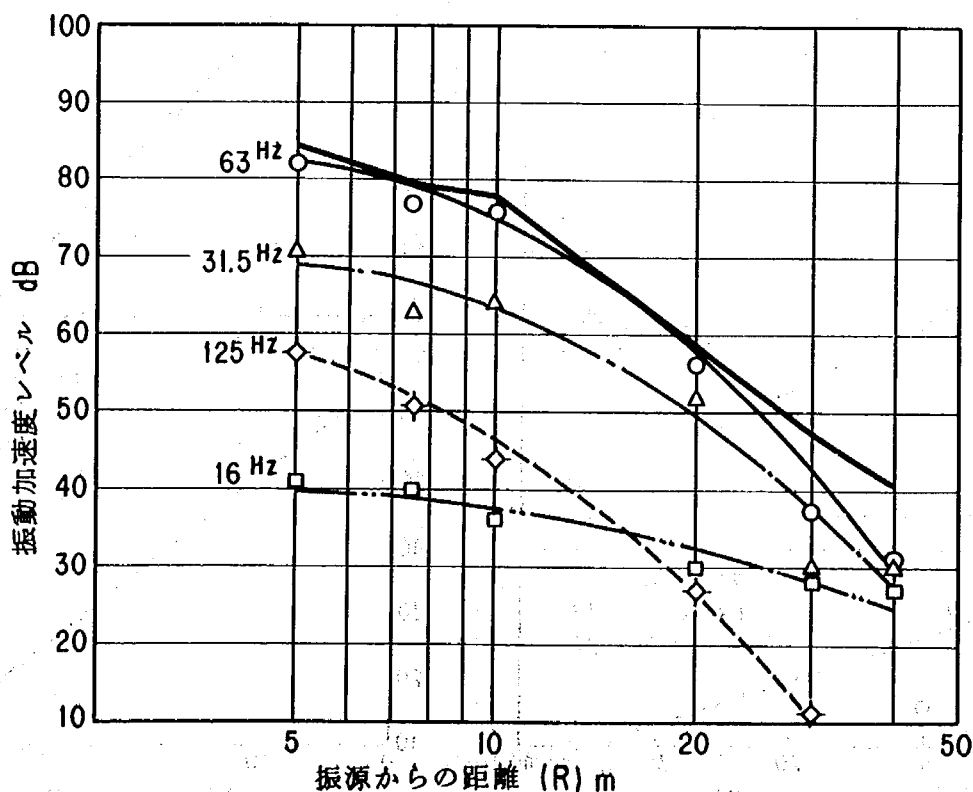


図 2.1.1 振動の周波数ごとの距離減衰

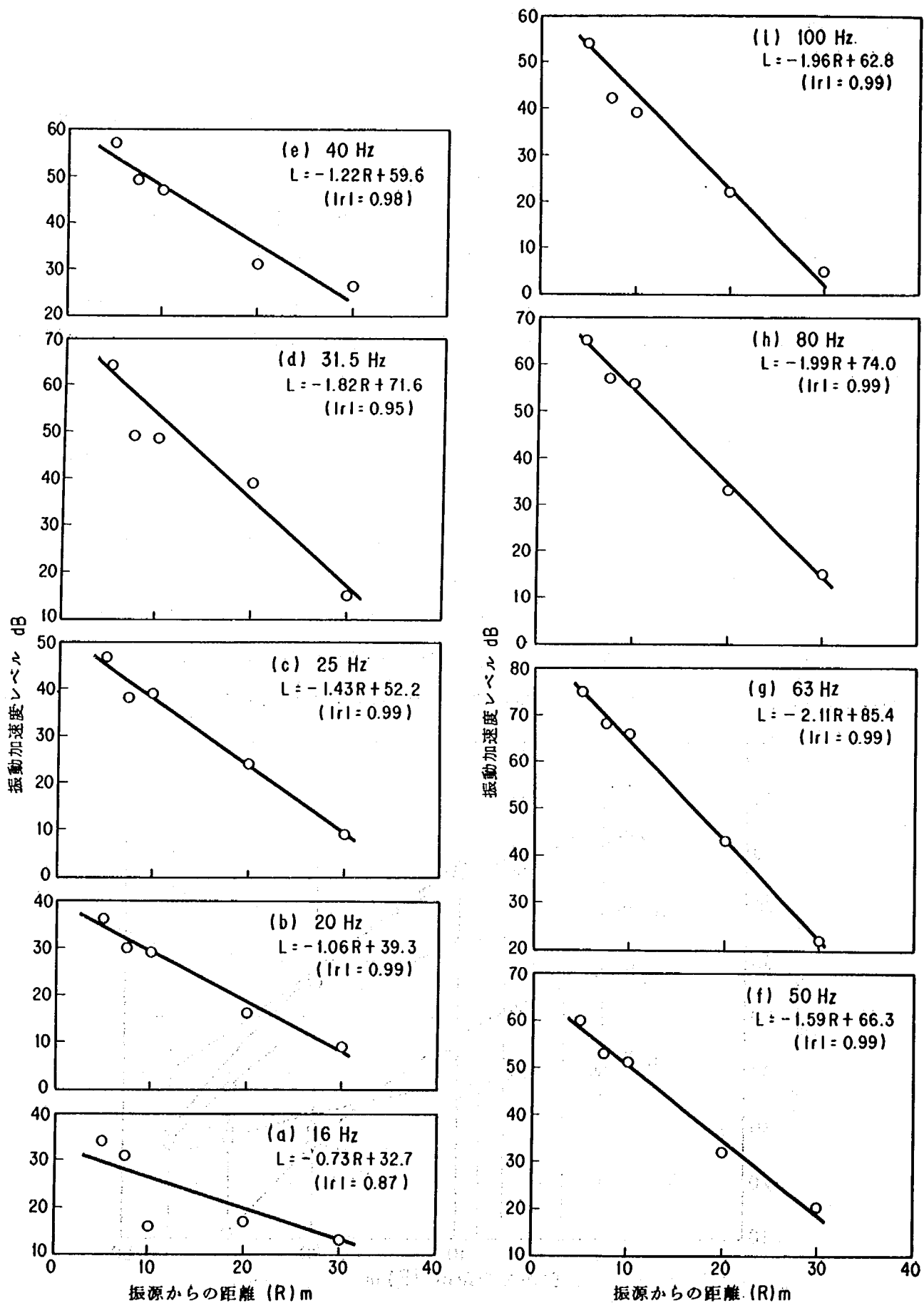


図 2.12 地盤振動の内部摩擦による減衰

高くなると低下する傾向にある。

実際、このような傾向になる背景は、振動加速度レベルが  $20\text{ dB}$  以下 ( $1/3$  オクターブで) になると、暗振動の影響を受け回帰係数の値が小さくなるためである。

いずれにしろ、土の振動エネルギー吸収係数は  $40 \sim 80\%$  程度の値であり、これは打撃振動による実験の場合とほぼ同じである。

#### 2.1.7 建設機械振動の基準レベル

建設機械の振動に対しても騒音のパワーレベルに相当する基準レベルを導入することができる。ここで言う基準レベルは、(2.20') 式で示される値であり、機械の振動が地盤へ伝達された後の値であるから、例えば接地面の波動インピーダンスであるとか、機械系自体の振動が支持条件の影響を受けるとかの理由で、この基準レベルは機械固有の値ではなく、地盤と機械との関係の中で推定されるものである。したがって、機械の振動の基準レベルは地盤側の条件をある程度平均的にとらえたものと考えなければならない。

このような制限条件があるにもかかわらず、建設工事の振動を予測するためには、何らかの基準レベルが導入される必要があり、また平均的に考えれば、この振動の基準レベルは、騒音の場合と同じように、機械の種類、あるいは規格等によって規定できる値になると考えて良い。

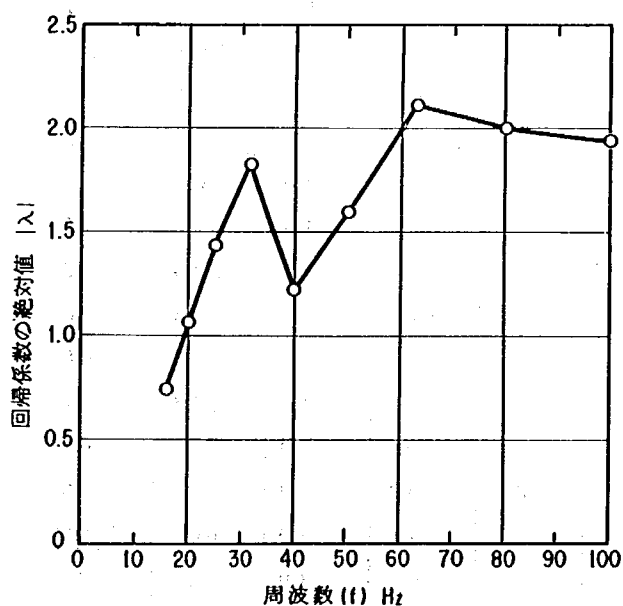


図 2.1.3 回帰係数と周波数と周波数の関係

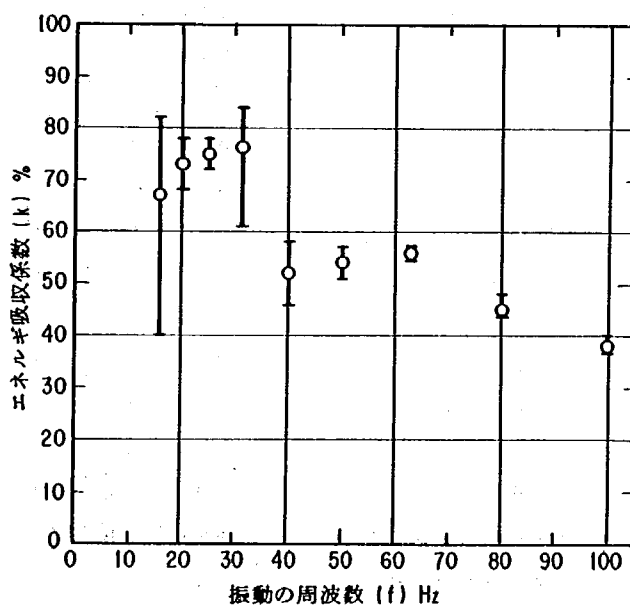


図 2.1.4 エネルギー吸収係数の推定値

表 2.2 建設機械の振動の起振力の基準となるレベルの推定値 (dB)  $\alpha$ 

| 機 械 名           | コード | 規格との関係              |              |       | 周波数<br>補正<br>Lv | 時間変<br>動率<br>$\varphi(t)$ | 平均パワ<br>Lpm | 残 差  |
|-----------------|-----|---------------------|--------------|-------|-----------------|---------------------------|-------------|------|
|                 |     | 規格                  | $L_0+kx$     | 残S(k) |                 |                           |             |      |
| ブルドーザ           | 101 | t                   | —            |       | 2.6             | 1.0                       | 71.2        | 10.6 |
| 油圧ショベル          | 202 | m <sup>3</sup>      | —            |       | —               | 1.0                       | 55.8        | 17.5 |
| クローラローダ         | 301 | m <sup>3</sup>      | —            |       | 12.0            | 1.0                       | 67.1        | 12.3 |
| ホイールローダ         | 302 | m <sup>3</sup>      | —            |       | —               | 1.0                       | 58.6        | 11.4 |
| ダンプトラック         | 401 | t                   | —            |       | 4.1             | 1.0                       | 66.8        | 12.5 |
| ディーゼルパイルハンマ     | 601 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 83.4        | 10.1 |
| 振動パイルドライバ       | 602 | kW                  | $76.2+0.05x$ | 9.6   | 8.2             | 1.4                       | 78.6        | 9.6  |
| アースオーガ          | 603 | cm                  | —            |       | 3.3             | 1.0                       | 64.8        | 10.9 |
| アースドリル          | 604 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 64.4        | 1.0  |
| オールケーシング掘削機     | 605 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 70.8        | 5.6  |
| リバースサーキュレーション工法 | 606 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 60.6        | 7.4  |
| ドーナツオーガ掘削機      | 607 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 67.5        | 0.3  |
| "               | 610 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 69.0        | 6.6  |
| 鋼矢板対策工法         | 611 | kW                  | —            |       | —               | 1.0                       | 61.9        | 2.7  |
| 鋼管杭中掘工法         | 613 | kW                  | —            |       | —               | 1.0                       | 53.2        | 0.9  |
| ドロップハンマ         | 615 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 85.5        | 11.4 |
| 中掘工法            | 630 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 68.4        | 1.2  |
| スパイラルオーガ工法      | 632 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 70.4        | 12.7 |
| 鋼矢板対策工法         | 633 | kW                  | —            |       | —               | 1.0                       | 61.6        | 4.5  |
| ケミコパイル工法        | 634 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 59.6        | 5.7  |
| 鋼矢板圧入工法         | 637 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 49.4        | 0.5  |
| セメントミルク工法       | 638 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 64.6        | 1.7  |
| ウォータージェット工法     | 639 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 50.8        | 5.7  |
| 鋼矢板対策工法         | 640 | kW                  | —            |       | —               | 1.0                       | 59.2        | 4.1  |
| サンドパイル工法        | 701 | kW                  | —            |       | 5.2             | 1.0                       | 93.5        | 3.7  |
| コンクリートミキサ車      | 705 | m <sup>3</sup>      | —            |       | 11.5            | 1.0                       | 49.6        | 0.8  |
| コンクリートブレーカ      | 803 | kg                  | —            |       | —               | 1.0                       | 82.2        | 5.8  |
| 振動コンパクト         | 904 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 55.8        | 3.7  |
| 振動ローラ           | 905 | t                   | —            |       | —               | 1.0                       | 72.6        | 10.7 |
| コンクリートプラント      | 921 | m <sup>3</sup> /h   | $44.9+0.1x$  | 3.9   | 8.3             | 1.0                       | 52.0        | 4.9  |
| アスファルトプラント      | 931 | t/h                 | —            |       | 7.1             | 1.0                       | 66.2        | 8.3  |
| コンクリートカッタ       | 945 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 52.6        | 3.3  |
| 路面整正機           | 946 | cm                  | —            |       | —               | 1.0                       | 66.7        | 8.3  |
| 空気圧縮機           | 951 | m <sup>3</sup> /min | —            |       | —               | 1.0                       | 78.2        | 7.6  |
| 発動発電機           | 954 | kVA                 | —            |       | 16.5            | 1.0                       | 67.7        | 4.1  |
| クラッシングボール       | 960 | t                   | $52.9+17.9x$ | 5.3   | —               | 1.0                       | 84.2        | 6.9  |

注) 機械の稼動状態は作業である。

このことから、振動の基準レベルを記述する式として騒音の場合と同様に、

$$L_{s(M)} = L_0 + L_v + \varphi(t) + kx + S(k) \quad \cdots \cdots \cdots (2.31)$$

$L_0$  ; 基準となる振動のレベル

$L_v$  ; 振動感覚補正によるレベル差

$\varphi(t)$  ; 時間変動の分布

$x$  ; 機械の規格の呼び値 ( $k$  は回帰係数)

$S(k)$  ; 残差

とした。サフィックス  $M$  は、機械の種類、稼動状態を示すものであり、稼動状態の分類は騒音の場合と同じく表 1.1 のとおりとした。

なお、機械の規格と振動レベルに関係がない時、(2.31) 式は

$$L_{s(M)} = L_{pm} + L_v + \varphi(t) + S(R) \quad \cdots \cdots \cdots (2.31)'$$

とした。

要因分析の方法は、騒音の場合と同じ手法によった。表 2.2 に分析結果を示す。

## 2.2 振動の発生形態と周波数

### 2.2.1 建設機械振動の発生形態

公害振動として分類される地盤の振動の測定方法は、昭和 56 年 8 月 J I S Z-8735 として制定され、これによると、振動の形態として ① (振動レベル計の) 指示がほとんど変動しない場合、② 指示がわずかに変動する場合、③ 指示が周期的または間欠的に変動する場合、④ 指示が不規則かつ大幅に変動する場合、を提示している。ここでは、振動の形態について用語の定義はなされていないが、騒音の場合に準じて用語を用いると、①、②は定常振動、③は間欠振動あるいは衝撃振動、そして④は変動振動とすることができる。また、測定方法も騒音の測定方法<sup>3)</sup> に準じて定められており、これから考えて、振動に関する形態の分類は騒音のそれと同じとすることができる。

建設機械によって発生する振動も、騒音の場合と同様これらの全ての時間変動形態を持ち、また、間欠的な騒音を発生する機械は間欠的な振動を発生させるというように、騒音と振動は類似した変動形態を持つ。ただし移動することによって作業する機械の場合は、機械自体が発生させる振動と、走行路面の不陸によって発生する振動とがあり、騒音は定常であっても、振動は変動あるいは衝撃的となる場合がある。

表 2.3 は、騒音と振動のレベルの時間変動の測定例が得られた 18 種類の建設機械について、両者のレベルの時間変動の形態の関係を示したものである。18 種類の建設機械のうち、16 例は騒音、振動ともその変動形態が同じカテゴリに分類されていることがわかる。準定常衝撃音で

あつて定常振動となるのは、振動パイルドライバの場合で、これは振動の場合の時定数が騒音の場合より大きく、レベルの短い周期での変動が平滑化されるためである。

## 2.2.2 建設機械による地盤振動の周波数

参考資料-Dに、各建設機械による地盤振動の1/1オクターブ周波数スペクトルを示す。これは、(2.20)式を用いて、主に7m点での測定値から振動の起振力の

基準となるレベルに換算したものである。この場合、 $\lambda$ は0.25としている。実際的に、振動の基準となるレベルでのスペクトルを求める場合、 $\lambda$ の値が、周波数によって異なることを考慮しなければならない。この場合、 $\lambda$ の値を求めるためには、土の内部摩擦による振動損失係数 $k$ と伝搬速度 $v$ についての知見が必要であり、これらは土質条件によって異った値をとることは容易に想像できる。また、建設機械と地盤とは振動系を構成するわけであるから、建設機械が発生する振動がこの振動伝達系を通して地盤に伝えられることになり、いわばフィルタリングが行われることがわかる。したがって、ここで観測された振動のスペクトルは、二重に、土質条件の影響を受けたものである。しかし、まとめる段階では、これらの土質条件をパラメタとは考えず、平均的に取扱ってスペクトルを推定した。

表 2.3 騒音と振動の変動形態 ( $n=18$ )

| 騒音<br>振動 | 定 常 | 変 動 | 間 欠 | 分 離<br>衝 撃 | 準定常<br>衝 撃 |
|----------|-----|-----|-----|------------|------------|
| 定 常      | 17% | 0   | 0   | 0          | 5          |
| 変 動      | 5   | 56  | 0   | 0          | 0          |
| 間 欠      | 0   | 0   | 5   | 11         | 0          |

### 3. 建設騒音・振動の測定法

#### 3.1 騒音振動の測定に伴う誤差

測定には必ず誤差が伴い、測定値は真値と誤差の和としての構造を持つ。このような誤差は、真の値からのかたより（正確さ）とばらつき（精密さ）とに分けることができる。誤差が生じる原因は、次の4つに大別される。<sup>4)</sup>

- ① 測定の方法・原理によるもの
- ② 測定機器に起因するもの
- ③ 測定環境、測定条件に基づくもの
- ④ 測定者によるもの

また、誤差はその性質によって次の3つに分類することができる。

- (i) まちがい誤差
- (ii) 系統誤差
- (iii) 偶然誤差

このうち、(i)、(ii)は一連の測定において一定の大きさだけ真値から測定値がずれる誤差で、原因を分析することによってそのかたよりを取除くことが可能である。

(iii)は、原因を追求することが極めて困難な複数の要因によって生じるもので、その発生の方が不規則な誤差である。

騒音あるいは振動の測定は最近急速に機械化されつつあるが、原則的な測定方法は、騒音計あるいは振動計のアナログメータを目視で読み取る方法である。アナログメータが表示可能な騒音振動のレベルの範囲は、 $-5 \sim +10$  dBの範囲であり、測定者は被測定音のレベルに応じてアッテネータを操作しなければならない。アッテネータは通常10 dBステップとなっており、これを設定レベルレンジと表現する。測定値は、この設定レベルレンジとアナログメータの指示値の和であるから、測定者は、簡単な加算を行いながら測定値を記録する。このような測定（目視読取）において測定者に着目した場合の誤差は、分析可能な(i)および(ii)の誤差として、

- ㉑ 測定すべき値の読み落とし
- ㉒ 設定レベルレンジの読み間違い
- ㉓ でたらめな値を読む意識的な誤り

が考えられる。これらの誤差は、測定対象のレベルが大幅に変動するような場合に生じ易く、㉑は、レベル変動がアナログメータの読取り有効範囲を越える場合、㉒はレベルレンジを繰返すうちに設定レンジを誤解する場合に多い。しかしながら、基準となる読取時刻が指定されて参照されるべき測定値が存在する場合には、㉒の間違いを検出することができるが、通常は㉓に含まれてくる。ただし、測定対象のレベル変動を一旦レベルレコーダに記録した場合は、その記録を基に設定レベルレンジの間違いを検出することができる。㉓は測定すべき時刻に測定しなかった場合

あるいはアナログメータの指示値の変動が大きく正確な値が測定できなかった場合に測定者が、  
 “ 適当と判断した値 ” を測定値とすることに起因している。

### 3.1.1 誤差の発生確率

一般に㉔～㉖のような誤差が無作為に発生する場合、誤りの発生率を  $p$  とすると、 $n$  回の測定  
 試行のうち  $r$  回誤る確率  $P_r$  は、

$$P_r = {}_n C_r \cdot p^r \cdot (1-p)^{n-r} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$${}_n C_r = n! / r! (n-r)!$$

の二項分布で示される。

更に、この誤りによる測定値の偏差が、例えば設定レベルレンジの読み間違いのように、誤り  
 によって生じるかたよりが明らかな場合、誤差の平均値は

$$a = \sum_i x_i \cdot Pr_i \cdot r \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$x_i$  ; 誤差  $i$  の実現値

$Pr_i$  ; 誤差  $i$  が  $r$  回生じる確率

として示される。

### 3.1.2 測定に伴う誤差検定実験

騒音あるいは振動の測定に伴う誤差の構造を分析するため被検者を用いての実験を実施した。

#### 1) 対象データ

表 3.1 に実験に用いたデータ  
 ソースを示す。対象は音あるい  
 は振動の時間変動のカテゴリ区  
 分に依じて選定した。図 3.1 に  
 対象データのレベルの時間変動  
 の一部を示す。

表 3.1 対象としたデータ

| No | カテゴリ | ソースデータの計測場所             | 備 考            |
|----|------|-------------------------|----------------|
| 1  | 変 動  | 福井県敦賀市<br>北陸自動車道建設      | ブルトーザ、トラクタショベル |
| 2  | 変 動  | 福岡県遠賀郡水巻町<br>202号遠賀バイパス | 道路交通           |
| 3  | 定 常  | 北九州市南区湯川<br>湯川高架橋建設     | 振動 バイルドライブ     |
| 4  | 分離衝撃 | "<br>"                  | ディーゼルバイルハンマ    |

#### 2) 被検者、使用機器

被検者は、年齢 20～33 歳  
 の青年男子 30 名とし、いずれ  
 も計測、データ解析等の技術分  
 野に属する者とした。

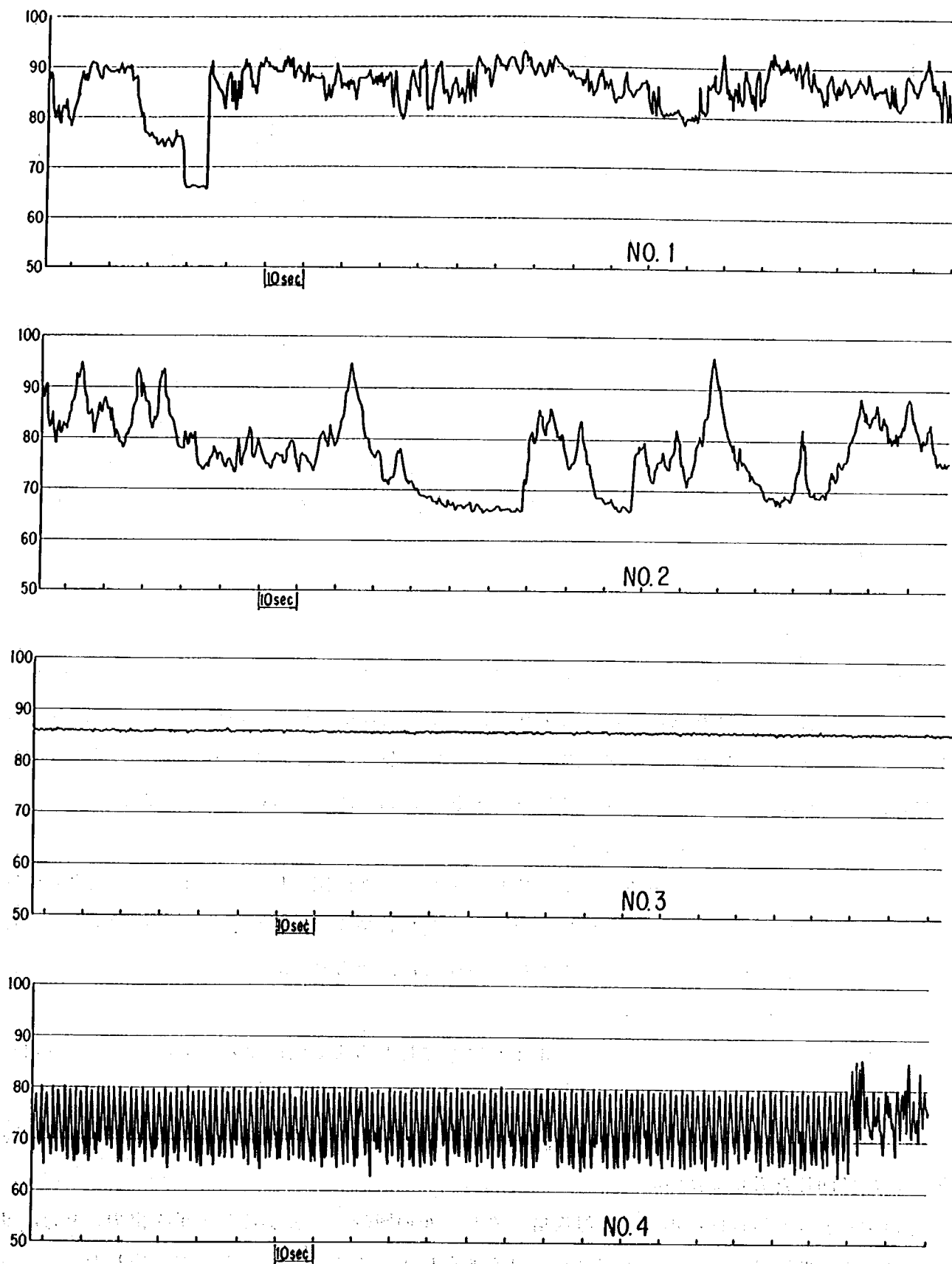
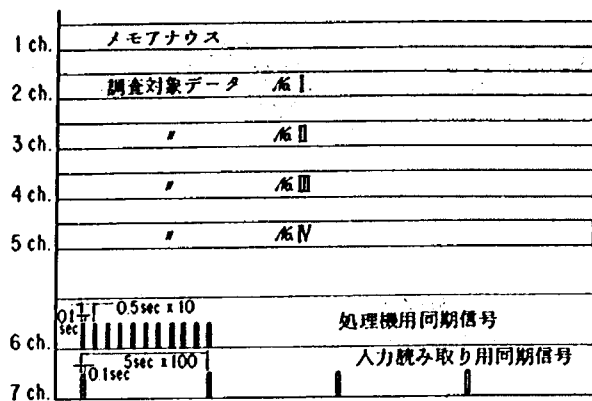
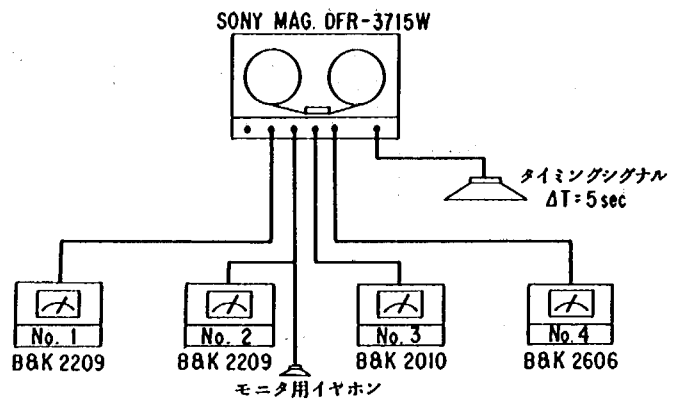


図 3.1 実験に使用した騒音のレベル変動



(b)



(a)

図 3.2 使用機器の接続図及びエディティングテープのフォーマット

図 3.2 (a)に実験に用いた機器とその接続を示す。実験用ソーステープには、図 3.2 (b)に示すように、被検者に読取指示を行う信号を 5 秒間隔で 100 個、またデータ統計処理装置用に 0.5 秒間隔に 10 個の信号を同時に記録しておいた。

### 3) データの読取方法

#### (a) 目視読取り

対象とする音のレベルをレベルメータで目視による読取りを行わせた。大幅変動音は 5 秒間隔の信号音に同期して 100 個、定常音は 10 個、また間欠音はピークを連続して 10 個読取する方法をとった。ただし、No. 2 の道路交通騒音はレベル変動が激しく、頻繁にレベルレンジの変更が必要なため、騒音をイヤホンでモニタさせるとともに、記録は補助者に代行させた。

#### (b) レベルレコーダ記録、目視読取り

対象とする信号のレベル変動をあらかじめレベルレコーダに記録し（図 3.1 参照；被検者には読取開始点と 5 秒間隔がわかるようにしたコピーを渡し、被検者に対しての読取指示が一定となるようにした。）、これらをソースデータとして被検者に読取らせた。

#### (c) データ統計処理機による読取り

変動する騒音あるいは振動のレベルを J I S に準拠した方法で処理するために、データ統計処理機が用いられている。この装置の概要は図 3.3 に示すとおりである。

製造メーカーによってタイミング回路、 $L_n$  の演算方法、出力方法に若干の違いはあるが本質的な機能はほぼ同じと考えて良い。

このデータ統計処理機を用いて、対象信号のレベルの瞬時値および処理結果を出力させた。サンプリングの間隔は、処理機の内部クロックを 5 秒にセットすることによって設定した。

### 4) データの処理方法

#### (a) 人による方法

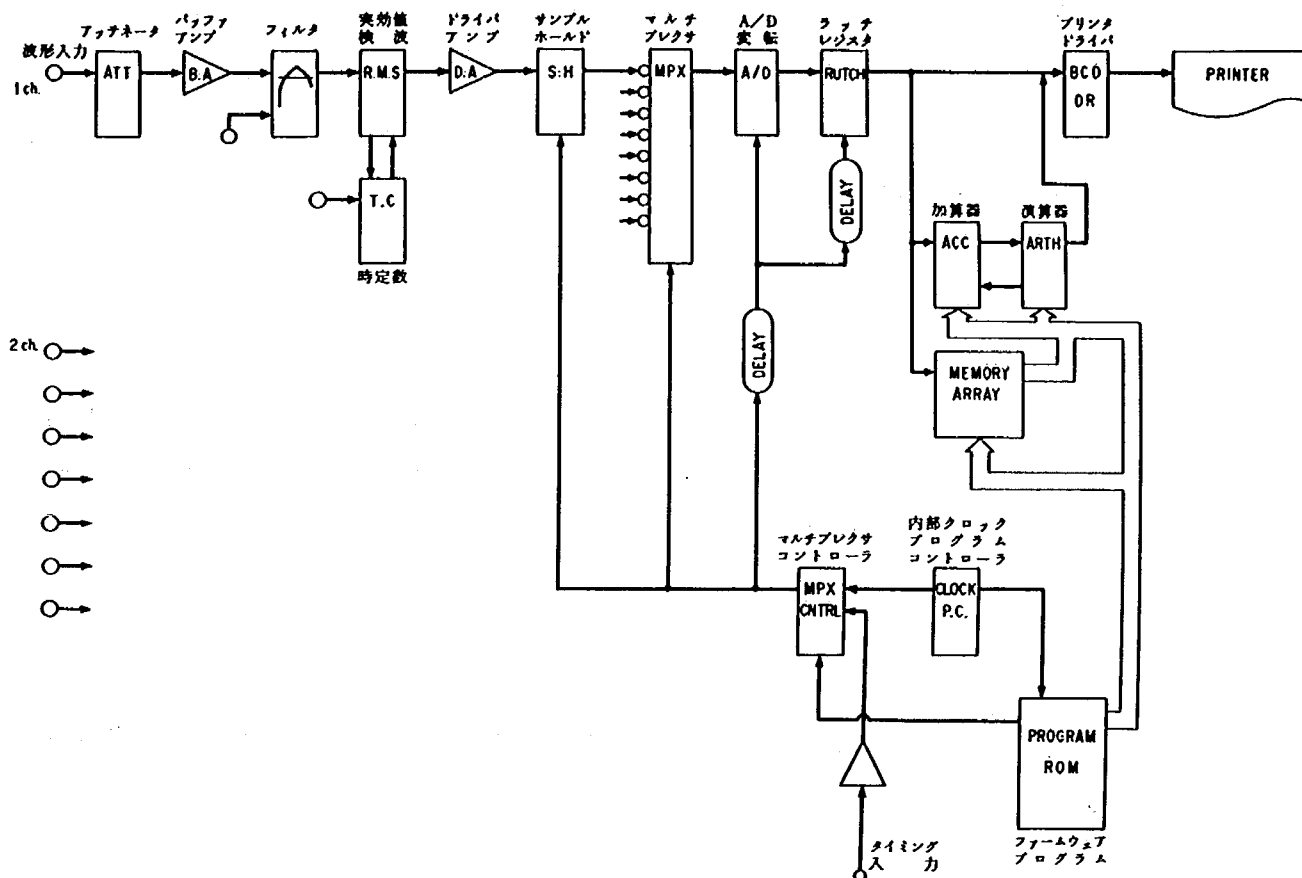


図 3.3 データ統計処理機のブロック回路図

被検者が自ら読取った瞬時値を累積度数曲線にまとめ中央値 ( $L_{50}$ ), 90%レンジ上端値 ( $L_5$ ) および下端値 ( $L_{95}$ ) を算出させた。

#### (b) 計算機による方法

被検者が読取った瞬時値を計算機によつて並べ換え, レベルの高い方から 5 番目, 95 番目を夫々  $L_5$ ,  $L_{95}$  とし 50 番目を  $L_{50}$  とした。

データ統計処理機による場合はその出力値を用いた。

#### 5) レベルレコーダの記録特性

高速度レベルレコーダは, 騒音, 振動のレベル変動の記録に用いられ, レベルレコーダに記録したデータを基に騒音, 振動のレベルの測定値が決定されることが多い。しかし, 市販されているレベルレコーダは表 3.2 に示すように, 記録ペン特性の異なる

ものがあり, この特性の違いによる測定値の違いが考えられるので, この関係を調べた。

試験対象信号をレベルレコーダに記録させ, これを騒音, 振動の調査・分析に日常携わっている技術者に読取らせ, 分散分析を行う方法をとった。

表 3.2 実験に用いたレベルレコーダ

| 型 式 名 | 製造メーカ   | ペンの速度特性  |
|-------|---------|----------|
| LR-04 | L I O N | 指数型      |
| 5005  | N O D E | 指数・等速切換型 |
| 2305  | B & K   | 等速型      |

## 6) 測定タイミング

データ統計処理機を用い、サンプリングのスタートタイミングを同期信号に合わせて、0.5秒ずつ順次ずらして5秒間隔100個の瞬時値を得、スタートタイミングの違いによる統計値の相違について分散分析により検定した。

### 3.1.3 解析の結果

#### 1) 人による測定に起因する誤差

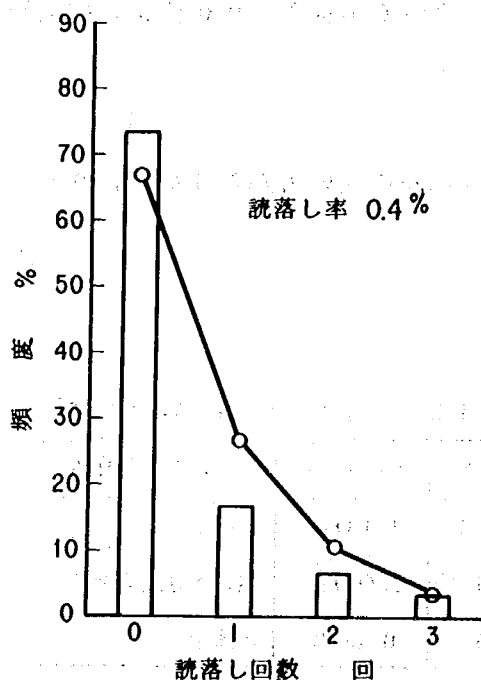
##### (a) 瞬時値の読落し

図3.4に、No.1およびNo.2の騒音のレベルをアナログメータから読取った時の読み落した回数の頻度を示す。この頻度は人数を示すもので、No.1の信号を100回読取るうち1回読落した人は30人のうち17% (5人)であることを意味している。

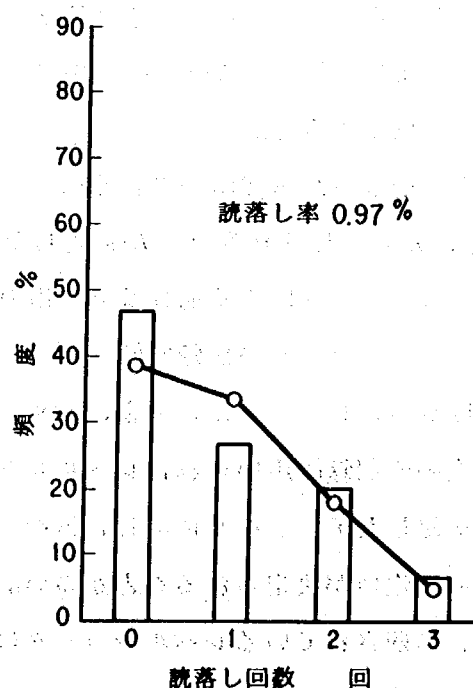
図中の折れ線は、誤りの発生率 $P$ を、

$$P = \frac{\text{(読落した全回数)}}{\text{(読取るべきデータの全数)}} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

として求めた二項分布を示すものである。



(a) No.1



(b) No.2

図3.4 読落し回数の分布

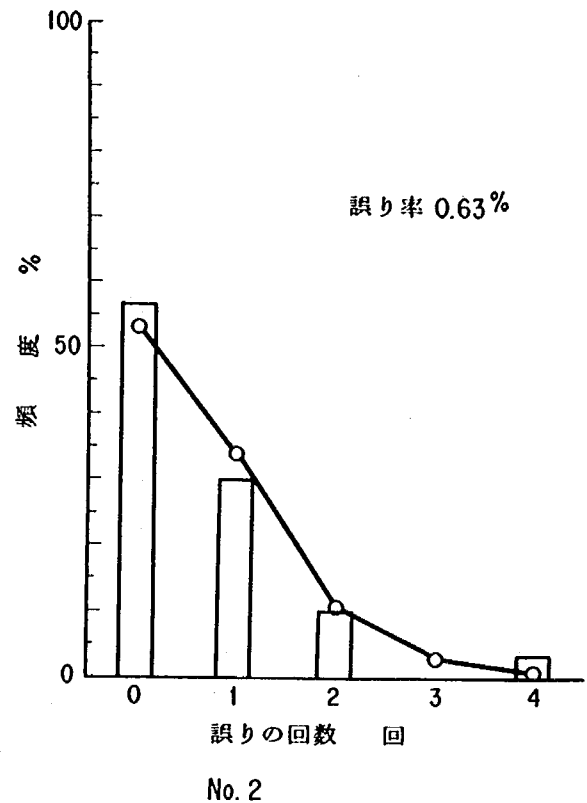
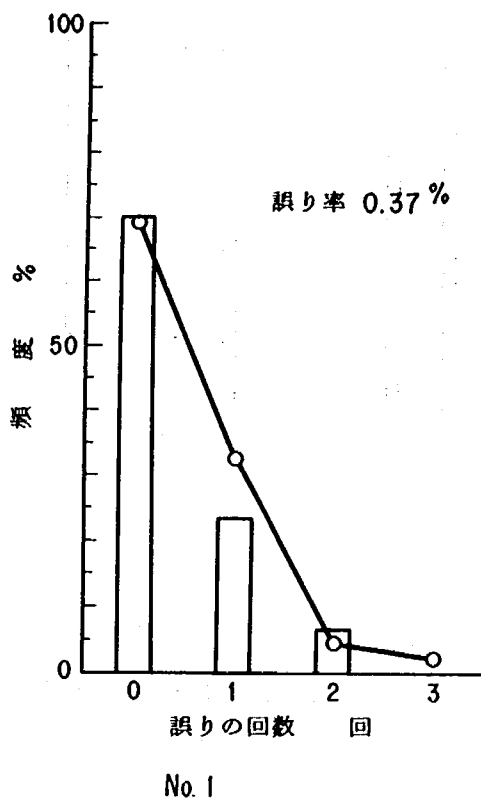


図 3.5 設定レベルレンジの読み間違いの分布

表 3.3 は No. 1, No. 2 の読落し回数 0 ~ 3 回までの実現値と計算値を二元配列とし, 分散分析の方法によって両者の相関を検定したもので, 表より 5 % の有意水準でも実現値と計算値の間に有意差はなく, 読落し回数は二項分布に従うと考えて良い。

表 3.3 読み落し回数確率の相関検定

| 要 因   | 平方和     | 自由度 | 分 散    | F    | 判 定                                  |
|-------|---------|-----|--------|------|--------------------------------------|
| 頻 度 間 | 1159.05 | 3   | 386.4  | 1.59 | $<F_{0(0.05, 3, 3)} = 9.28$<br>有意差なし |
| 実現値間  | 0.0113  | 1   | 0.0113 | —    |                                      |
| 残 差   | 1846.4  | 3   | 615.46 |      |                                      |
| 総 計   | 3005.46 | 7   |        |      |                                      |

#### (b) 設定レベルレンジの読み間違い

図 3.5 は, レベルレコーダ記録波形から読取ったデータ中の設定レベルレンジの読み間違い回数の分布を示すものである。図の読み方は, 図 3.4 と同じである。図より明らかな通り, 実現値と計算値はほぼ等しく, また分散分布によっても有意差は検定されないことから, 設定レベルレンジの読み間違いは二項分布に従うと考えてよい。

図 3.6 は設定レベルレンジの読み間違いの分布を示すものである。レベルレンジの読み間違いは、5, 10 dB に集中しているが中には20 dB も間違った例も観測された。

設定レベルレンジの読み間違いによる誤差の平均値は -2 dB であり、1 個の測定値に含まれる誤差は -0.01 dB と計算される。

### (c) でたらめ読み

ある指定された時点における信号のレベルの真値は常に一定であるが、実現値は測定器等の状態のふらつきによって統計的に取扱うべき値となるであろう。このようなふらつきの原因は

測定できないし、またその寄与率も小さいことから測定器等の精度として、まとめて考えることができる。このふらつきは特に分布型を決定することが難かしく、一般的な考え方に従って正規分布を仮定することができよう。つまり、指定された時点での読取るべき瞬時値は分散不明の正規母集団に含まれると考えることができる。また、このような瞬時値を読取ることは読取ることによる人間側の誤差を伴うわけであるから、人によって読取られた測定値は、また分散不明の正規分布からサンプリングされたものと考えられ、測定値から推定した真値の信頼区間は  $t$  分布によって推定することができる。

ここでは、95% の信頼区間から外れた瞬時値の測定値を異常値と考え“でたらめ読みのデータ”と定義した。この定義では、被検者の多数がでたらめに読んでいる場合、分散が大きくなって検定能力が相対的に低下するという欠点を持っている。にもかかわらず、図 3.7 に示すとおり“でたらめ読み”率は極めて高い。図中の折れ線は二項分布による計算値を示すものであるが、分散分析によっても実現値と計算値に有意差はなく、“でたらめ読み”回数の分布は二項分布に従うと考えて良い。

図 3.8 に  $N_1$ ,  $N_2$  の変動騒音について、“でたらめ読み”データの平均値からの離散距離(レベル)の分布を示す。その平均値は 1.72 dB であり、1 個の測定値に含まれる誤差は 0.047 dB と計算される。

### 2) 測定・処理方法に起因する誤差

表 3.4 に、現在行われている騒音・振動の測定・処理方法を示す。表中の記号は、人が直接行うものを H, レベルレコーダを L, 統計処理機あるいは計算機を O として表わしている。また、論理的には O・H, すなわちデータ統計処理機による測定、人による処理も考えられるが、これは現実的でないので除外した。

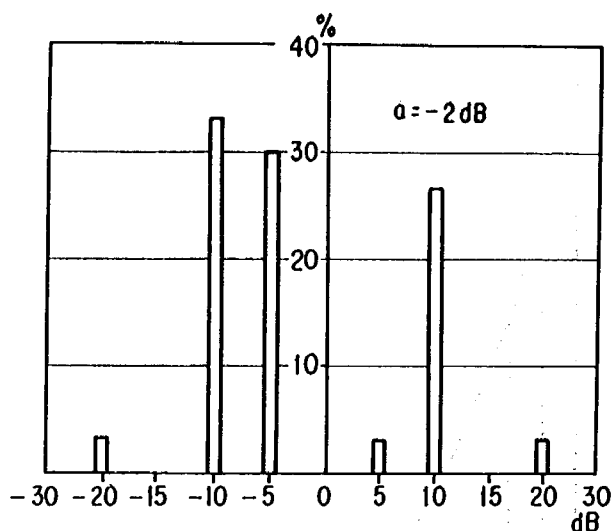


図3.6 設定レベルレンジ誤りの分布

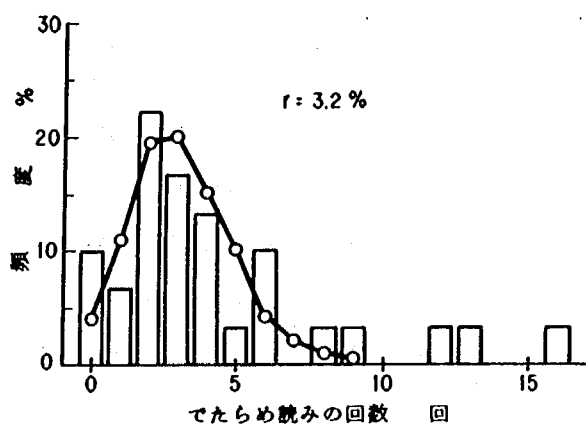


図 3.7 でたらめ読みの回数の分布

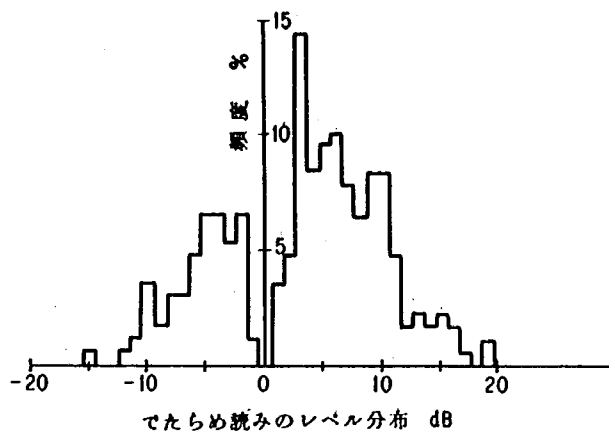
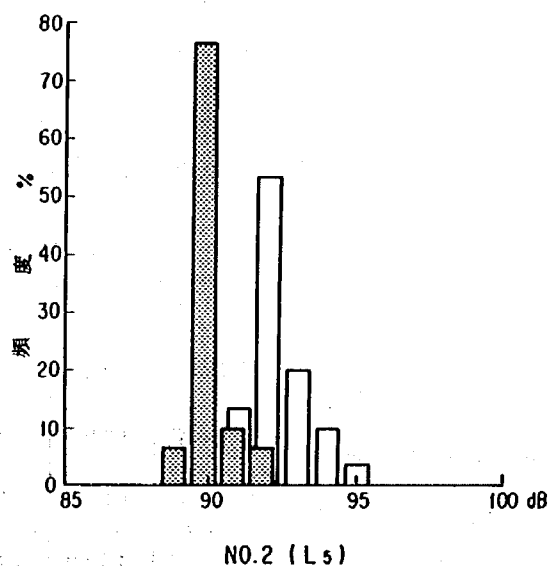
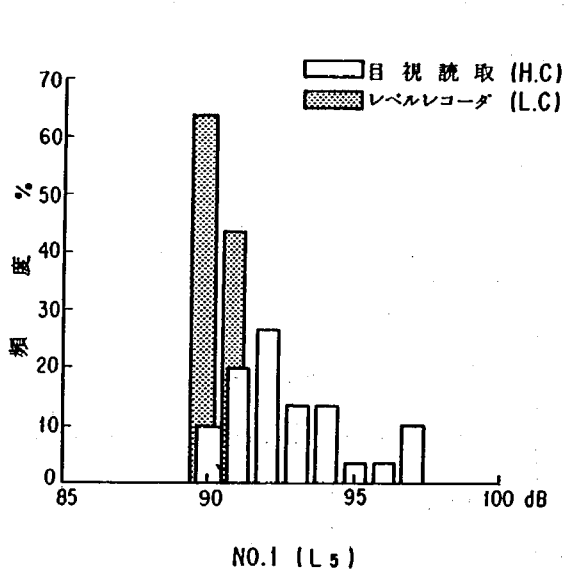
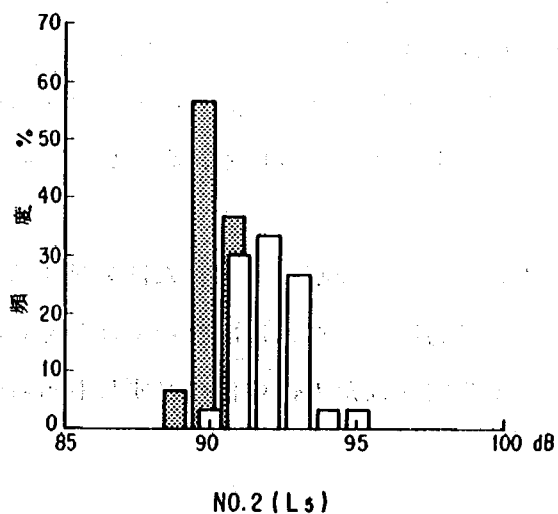
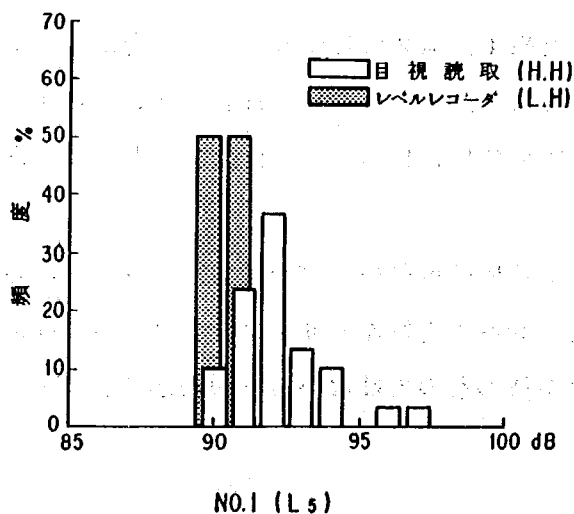


図 3.8 でたらめ読みのレベルの分布



(b) 計算機による処理



(a) 人間による処理

図 3.9  $L_s$  の分布

## (a) 90%レンジ上端値

図 3.9 に大幅変動音を測定して得られた 90%レンジ上端値 ( $L_5$ ) の分布を示す。図の頻度は人数を意味し、例えば №1 対象音を L・H で処理した時  $L_5$  を 90 dB とした人が 50% (15 人) いたというように読む。

表 3.4 測定・処理方法による区分

| 区分記号 | 測定手段        | 処理方法      |
|------|-------------|-----------|
| H, H | VUメータ目視読取   | 累積曲線人力処理  |
| H, C | "           | 計算機処理     |
| L, H | レベルレコーダ目視読取 | 累積曲線人力処理  |
| L, C | "           | 計算機処理     |
| C, C | データ統計処理装置   | データ統計処理装置 |

本来、対象信号は有限なデータとして与えられたものであるから、対象信号を記述する統計量は確定されているはずである。人が介入することによって図に示されるようなばらつきが生じると考えて良い。目視読取りの場合は、その分布範囲が広く、しかも、レベルレコーダから読取ったデータに較べて高い値の方へ偏位している。被検者および処理方法を二元配列とした分散分析では、表 3.5 に示すとおり両方の要因に有意性が検出されている。

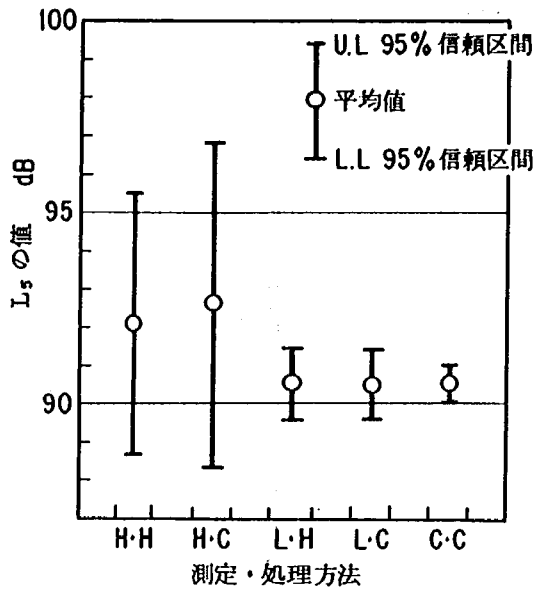
レベルメータから目視読取したデータを人によって処理した場合と、計算機によって処理した場合の違いはほとんどなく、 $L_5$  の有意差の原因はデータの処理方法よりも、サンプリングの方法にあることがわかる。

表 3.5 処理方法による  $L_5$  の違いの分散分析表

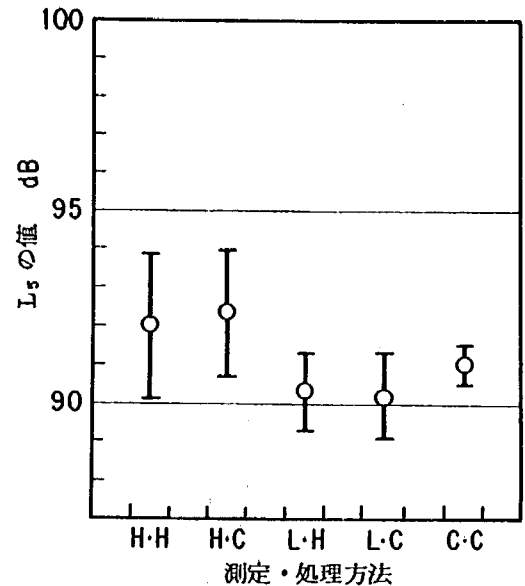
| 要因    | 平方和   | 自由度 | 分散    | F     | 判 定                        |
|-------|-------|-----|-------|-------|----------------------------|
| 処理方法  | 94.1  | 3   | 31.36 | 23.22 | $F_{0(0.05)} = 2.73$ 有意差あり |
| 被 検 者 | 126.5 | 29  | 4.36  | 3.23  | $F_{0(0.05)} = 1.60$ 有意差あり |
| 残 差   | 117.3 | 87  | 1.35  | —     |                            |
| 総 計   | 337.9 | 119 |       |       |                            |

図 3.10 は表 3.4 に示す各測定、処理方法で得た №1, №2 信号の  $L_5$  の t 検定による平均値の推定区間を示すものである。レベルメータから読取ったデータ (H, H および H, C) による  $L_5$  は他の測定方法と比較して、高いレベルの方に偏位し、しかもその信頼区間も広いことがわかる。

これらのことから判断すると、人は変動する音あるいは振動のレベルをレベルメータから読取る場合、統計的にランダムに読むのではなく、高いレベルを好んでサンプリングする傾向にあり、人によって測定された  $L_5$  の値は必ずしも再現性を持つものではないことがわかる。



(a) No. 1



(b) No. 2

図3.10 各測定処理方法による  $L_5$  の信頼区間

### (b) 中央値 ( $L_{50}$ )

図 3.11 は、H、H および L、H によって得られた中央値の分布を示すものである。中央値のばらつきは  $L_5$  のばらつきより小さいが、 $L_5$  と同じくレベルメータの目視読取のデータの方がレベルレコーダからのデータよりばらつきが大きい。

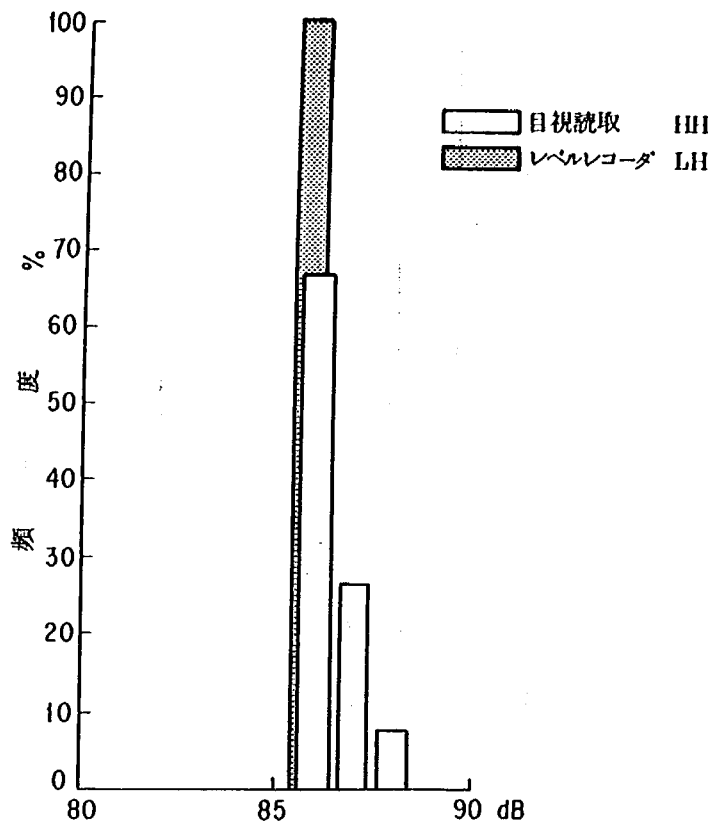
図 3.12 は、図 3.10 と同じく  $t$  分布を用いて推定した  $L_{50}$  の信頼区間を示すものである。No. 2 の信号の場合、O、O による  $L_{50}$  の値が低く（実際の  $L_{50}$  はこの値に近いと考えて良い）、 $L_{50}$  の値も測定処理方法によって異ると考えて良い。

### 3) レベルレコーダの特性

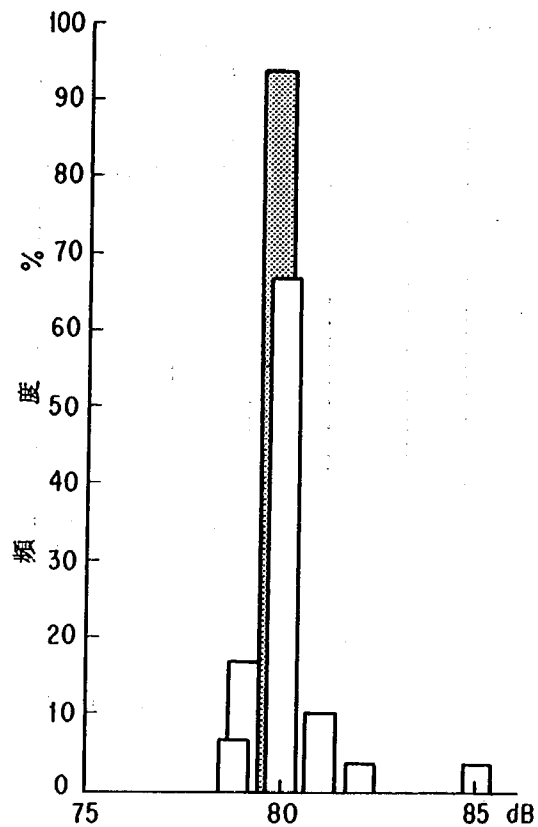
図 3.13 および図 3.14 は、表 3.2 に示してレベルレコーダに No. 1、No. 2 の信号を記録させ、これを 5 秒間隔に読み取って得た 100 個のデータの分布を示すものである。図に示されるとおり、分布型は 1 つ 1 つ異っているが統計量の差は小さい。表 3.6 は、No. 1 の信号に関して、瞬時値とレベルレコーダを要因とした二元配列の分散分析結果を示すものであるが瞬時値の違いは検出されているが、レベルレコーダの違いによる有意差は検出されていない。これより、変動騒音（No. 1、No. 2、のような）を記録する場合、レベルレコーダのペン特性が統計的に問題となることはないと言える。

### 5) 測定タイミング

一般に信号が定常確率過程をとる場合、確率密度関数は、時間軸に対して独立であり、測定時間によって、平均値あるいは分散などの統計値が異なることはない。騒音、あるいは振動の測定が短時間で済ませられるのは、個々の測定値が異ったとしても、その統計諸量に変化しないという

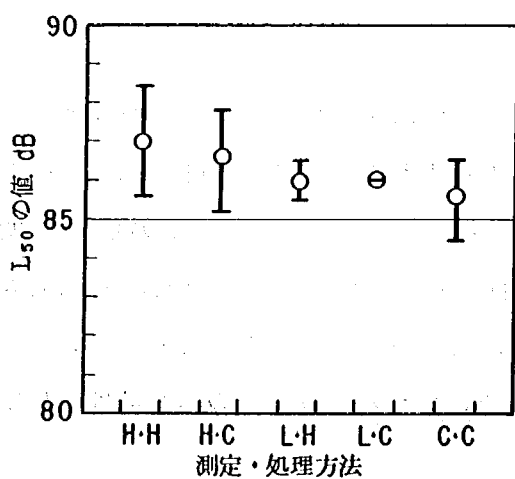


(a) NO.1 ( $L_{50}$ )

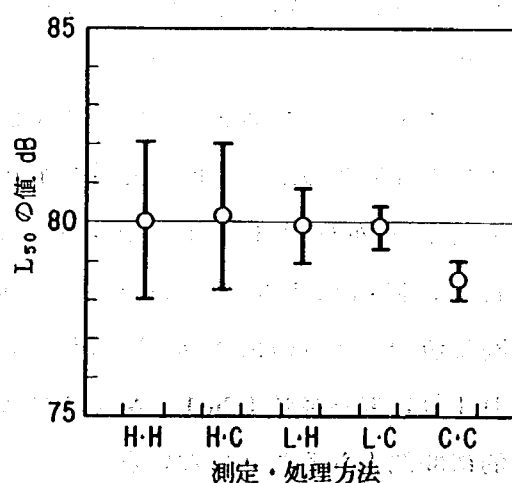


(b) NO.2 ( $L_{50}$ )

図3.11  $L_{50}$  の分布



(a) No.1 ( $L_{50}$ )



(b) No.2 ( $L_{50}$ )

図3.12 各測定処理方法による  $L_{50}$  の信頼区間

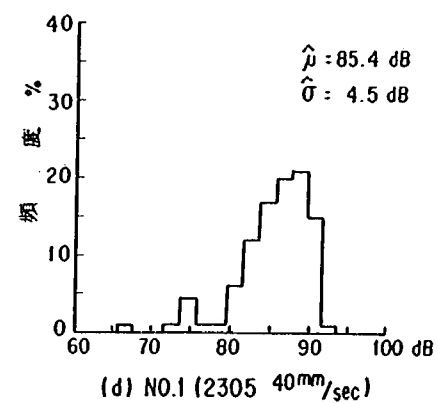
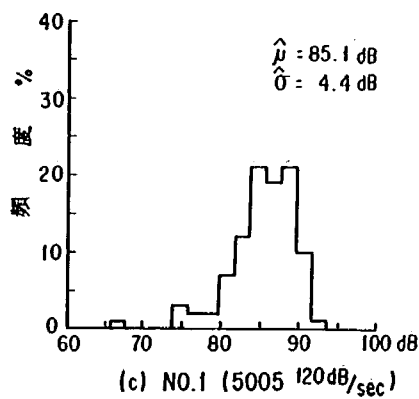
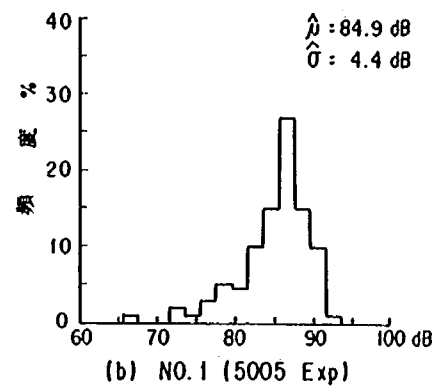
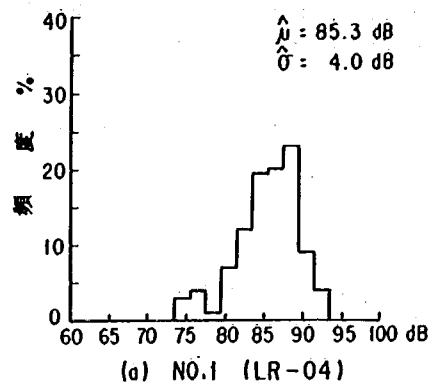


図 3.1 3 レベルレコーダの違いによる測定値の相異

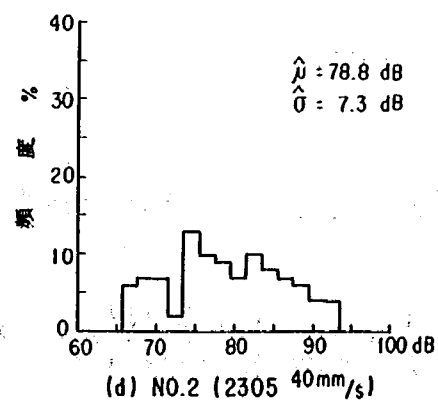
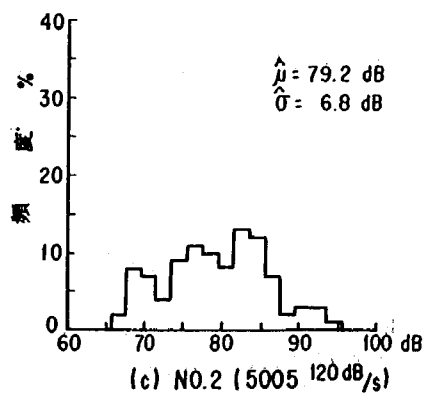
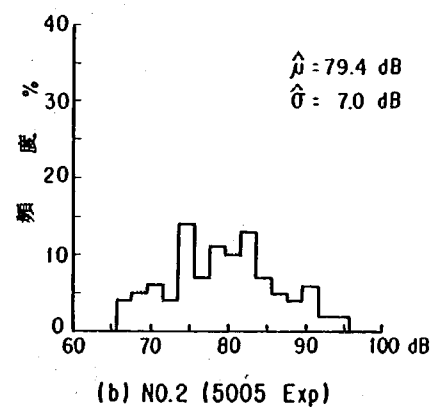
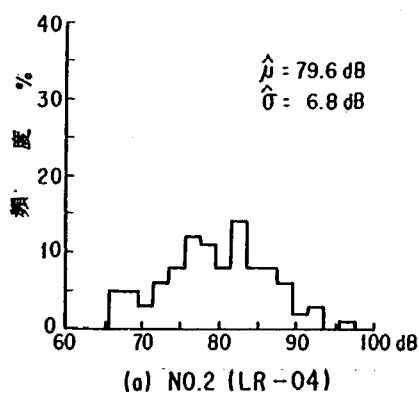


図 3.1 4 レベルレコーダの違いによる測定値の相異

条件が暗黙のうちに認められているからである。図 3.15 は、No 1 の信号をレベルレコード 1 (LR-04) に記録して得られた 100 個のデータを基に移動平均法による平均値の変動を示したものである。

表 3.6 レベルレコードの特性によるデータの違いの分散分析

| 要 因     | 平方和    | 自由度 | 分 散   | F    | 判 定                           |
|---------|--------|-----|-------|------|-------------------------------|
| レベルレコード | 15.4   | 3   | 5.13  | 1.89 | $-F_0(0.05, 297, 3) = 2.617$  |
| 瞬 時 値   | 45227  | 99  | 456.8 | 4.70 | $**F_0(0.05, 99, 297) = 1.42$ |
| 残 差     | 2885.8 | 297 | 9.71  |      |                               |
| 総 計     | 7423.9 | 399 |       |      | **有意水準 0.01 で有意               |

図中の U.L., L.L. は、100 個のデータから求めた平均値の t 検定による 95% の信頼区間を示す。移動平均に取込むデータ数が増加していくと、平均値は次第に全体の平均値に一樣に収束していくことがわかる。この図では、5 個、10 個の時は、平均値が信頼区間を越えることがあることを示し、平均個数が 20 個になると、ほぼここに示す信頼区間内にはいることがわかる。

移動平均によって得られたデータの分散の推定値は、

$$\sigma_j^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{j} \sum_{k=i}^{i+j} x_k - E(X) \right)^2 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$j$  ; 移動平均の個数  $j \geq 1$

$x_k$  ; データ数列  $x$  の  $k$  番目の値

$E(X)$  ; データ数列  $x$  のアンサンブル平均値

である。(3.4) 式を展開して、

$$\sigma_j^2 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{j^2} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left( \sum_{k=i}^{i+j} x_k \right)^2 - E(X)^2 \quad \dots\dots\dots (3.4')$$

更に右辺第 1 項は、

$$\begin{aligned} & \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{j^2 N} \sum_{i=1}^N (x_i + x_{i+1} + x_{i+2} + \dots + x_{i+j})^2 \\ &= \frac{1}{j^2} \cdot \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{k=i}^{i+j} x_k^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{k=i+1}^{i+j} x_i \cdot x_k \right\} \\ &= \frac{1}{j} \cdot E(X^2) + 2 \cdot \frac{1}{j} \cdot \sum_{i=1}^{j-1} R(i) \end{aligned}$$

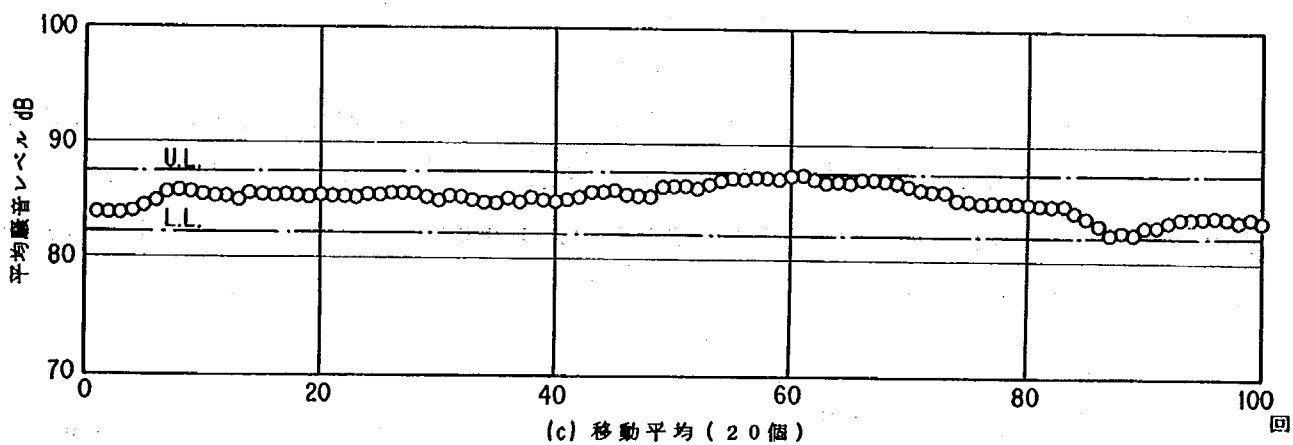
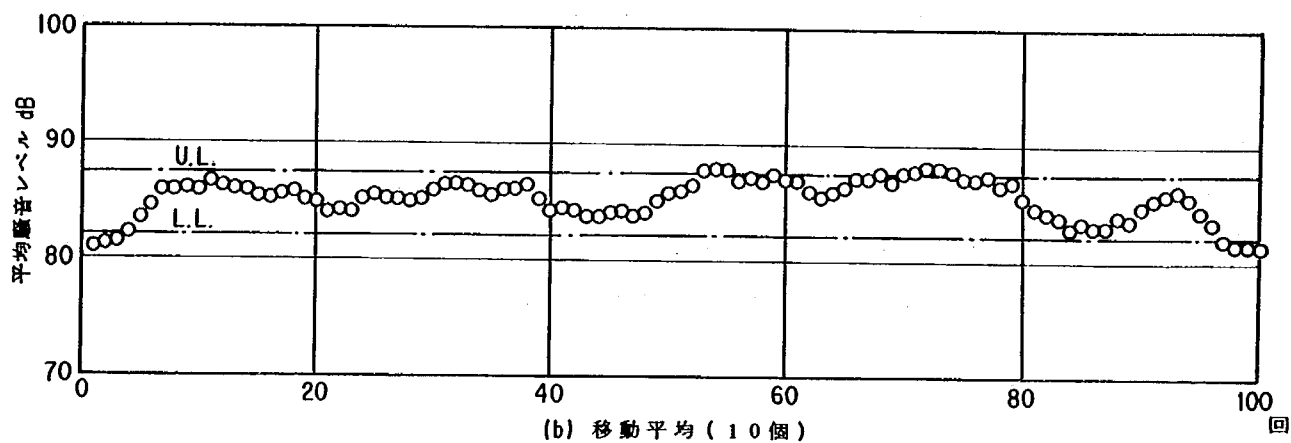
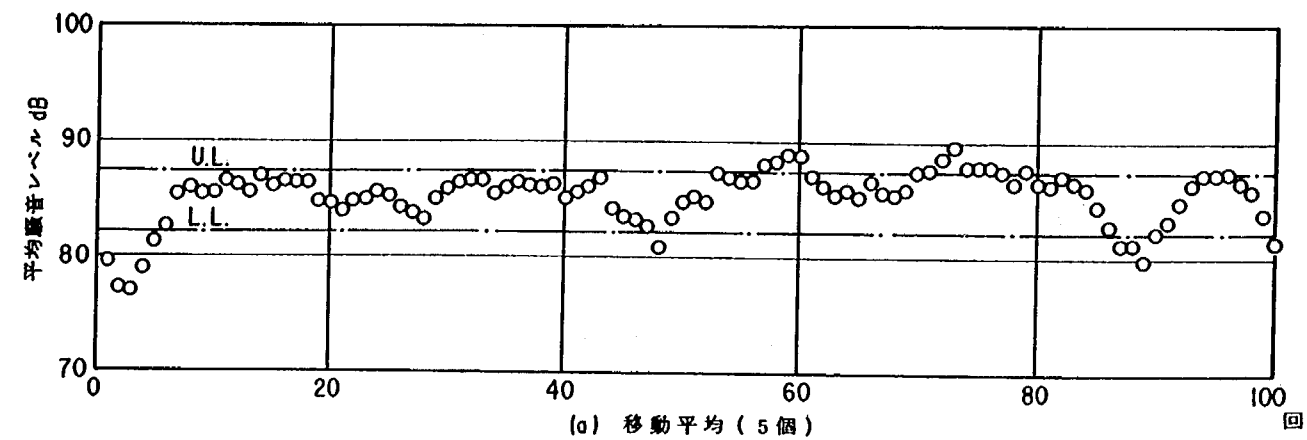


図 3.1 5 移動平均による騒音レベルの平滑化 ( Ⅱ 1 , レベルレコーダ 1 )

$E(X^2)$ ;  $x$  の 2 次の積率モーメント

$R(i)$ ;  $x$  の自己相関関数

となり, よつて  $\sigma_j^2$  は,

$$\begin{aligned}\sigma_j^2 &= \frac{1}{j} E(X^2) - E(X)^2 + 2 \frac{1}{j} \sum_{i=1}^{j-1} R(i) \\ &= \frac{1}{j} V(X) \cdot \sum_{i=0}^{j-1} r(i) \dots\dots\dots (3.5)\end{aligned}$$

となる。ここで,

$V(X)$ ; データ  $x$  の分散

$r(i)$ ;  $x$  の自己共分散関数 ( $r(0)=1$ )

である。

図 3.16 は, No 1 の信号について, 移動平均のデータ数  $j$  とその時の分散  $\sigma_j^2$  の関係を示したものである。図中の一点鎖線は, データが完全にランダムな時 ( $r(i)=0 \mid i \geq 1$ ) の分散を示したものであるが, 実際のデータでは自己共分散関数がデルタ関数 ( $\delta(0)=1, \delta(x)=0, |x| \neq 0$ ) とはならないため, 一点鎖線よりずれた値となる。

音のレベルの変動がランダムであると仮定される時, 100 個のデータによつて推定される平均値の分散と  $N$  個 ( $N < 100$ ) のデータによつて推定される平均値の分散との比率は,

$$F = \frac{\frac{1}{N} V(X)}{\frac{1}{100} V(X)} = \frac{100}{N} \dots\dots\dots (3.6)$$

となり, この  $F$  の値が, 自由度  $V_1=99, V_2=N-1, \lambda=\alpha\%$  (危険率) の  $F$  検定量  $F_0(\alpha, \nu_1, \nu_2)$  より小さければ,  $N$  個のデータによつて推定した対象データの平均値は 100 個のデータによつて推定した平均値と等しいとみなすことができる。  $\alpha=5\%$  の時,  $N \geq 58$  である。

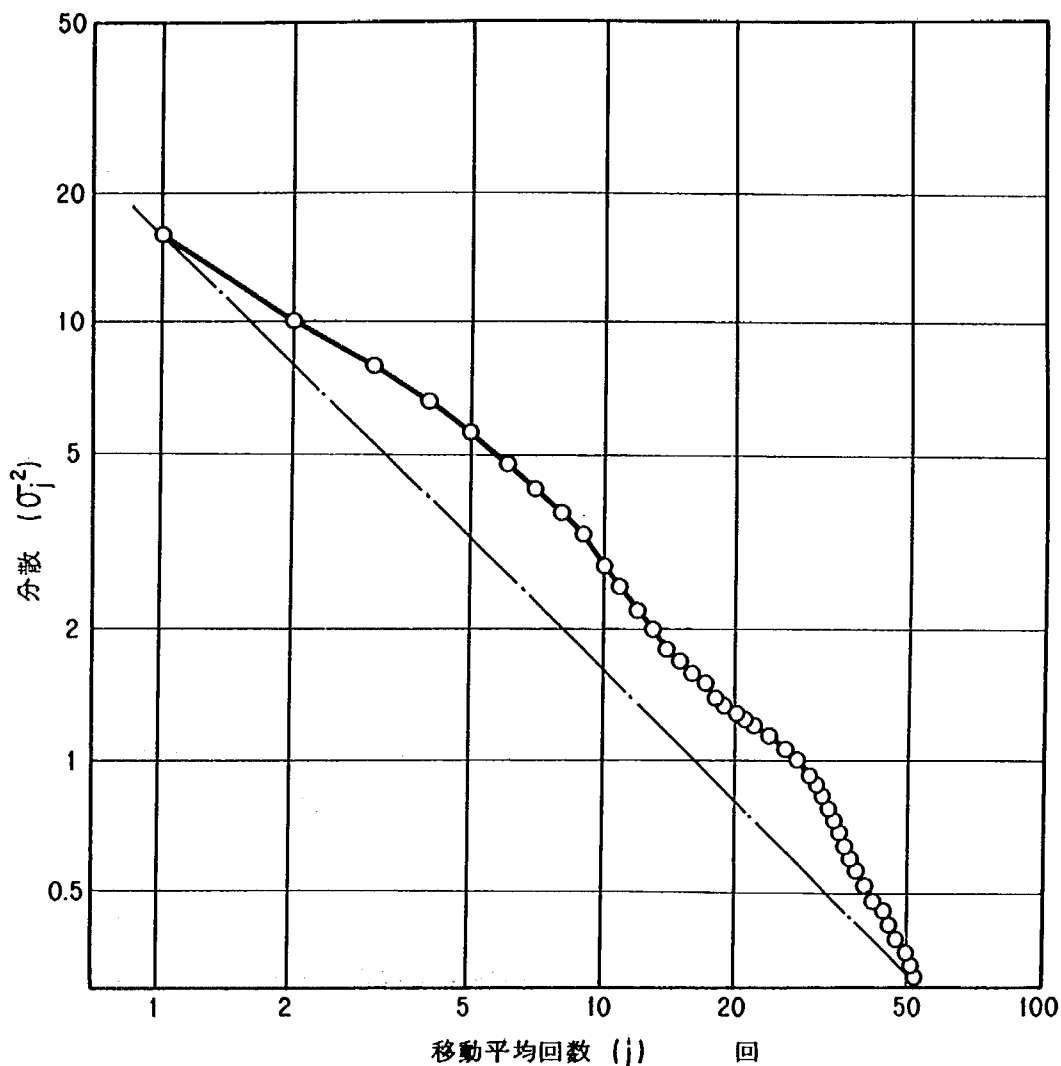


図 3.16 移動平均回数とその分散 (  $\mu 1$  ; LR04 )

図 3.17 は、測定スタートタイムを 0.5 秒ずつずらした 10 組の測定値の  $L_5$  ,  $L_{50}$  ,  $L_{95}$  の値を示すものである。

表 3.7 に、10 組、100 個の測定値を 10 個ずつ 10 ブロックに分割し、三元配列とした分散分析の結果を示す。測定スタートタイミングの違いによる有意性は検出されず、したがって、測定スタートタイミングの多少の違いは、測定結果に影響を与えないものと判断される。しかしブロック間では有意性が検出され、即ちデータ数が 10 個の場合は、100 個のデータでの推定値と等しくないことを意味している。

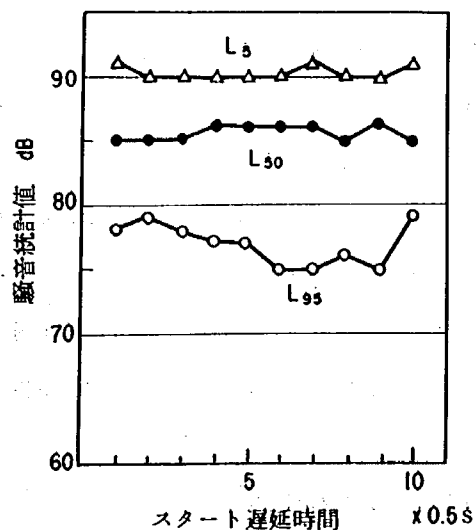


図 3.17 測定スタートタイミングと統計値

表 3.7 測定タイミングによるデータの違いの分散分析表

| 要 因       | 平方和     | 自由度 | 分 散               | F    | 判 定                              |
|-----------|---------|-----|-------------------|------|----------------------------------|
| 瞬 時 値     | 11512.9 | 90  | 127.9             | 28.4 | ** $F_{0(0.01, 891, 90)} = 1.39$ |
| 測定タイミング   | 43.8    | 9   | 4.9               | 1.09 | $F_{0(0.01, 891, 90)} = 2.44$    |
| ブ ロ ッ ク 間 | 2097.5  | 9   | 233.1             | 51.8 | ** "                             |
| 残 差       | 3990.8  | 891 | 4.5               | —    |                                  |
| 総 計       | 17645.0 | 999 | (**) 1% の水準で有意差あり |      |                                  |

### 3.1.4 測定に伴う誤差のまとめ

実験・解析の結果、騒音の測定、データ処理に伴う誤差の成因について次の結果が得られた。

1) レベルメータ目視読取あるいはレベルレコーダからの読取の場合の人に起因する誤差の成因には、“読み落とし”，“設定レベルレンジの読み誤り”，“でたらめ読み”があり，これらの発生回数は二項分布に従う。これらの誤りが独立に発生したとすれば全体としての生起確率は3～5%である。

2) 変動する信号をレベルメータから読取する場合，人は高い値を読み取ろうとする傾向が強い。したがって，レベルメータから目視によって得られた測定値の  $L_5$  は人によって異った値をとり，再現性に問題がある。これは中央値についても同様である。

3) 定常確率過程とならない騒音の場合，測定データ数によって統計値が異なる場合がある。約5秒間隔にとられた100個のデータによる統計値を正解とするなら，データの測定個数は約60個以上でなければならない。

4) 市販のレベルレコーダのペン特性の違いは，定常音，変動音に関しては誤差の原因とならない。しかし，衝撃音の場合，指数応答型より低い値を示すので注意が必要である。

## 3.2 建設機械騒音の指向性

建設機械は音源とした時，指向性を持っている。この原因となるのは，建設機械全体が音源となるのではなく，音源となるコンポーネントは機械の一部で，機械の外殻構造がその音源を包接するように作られているためである。建設機械が指向性を持つ音源であれば，当然，騒音を測定する方向によって測定値は違ったものになる。

### 3.2.1 トラクタシヨベル(D50S)を用いた実験

このような建設機械の騒音の指向性を明らかにするため，トラクタシヨベルを用いた実験を行った。

#### 1) 騒音の測定点

図 3.18 に騒音の測定点を示す。騒音の測定方向は，機械の投影幾何中心を中心とする円周方向16分周（前方を1とし，時計回りに16方向）とし，測定点の機械からの距離は，

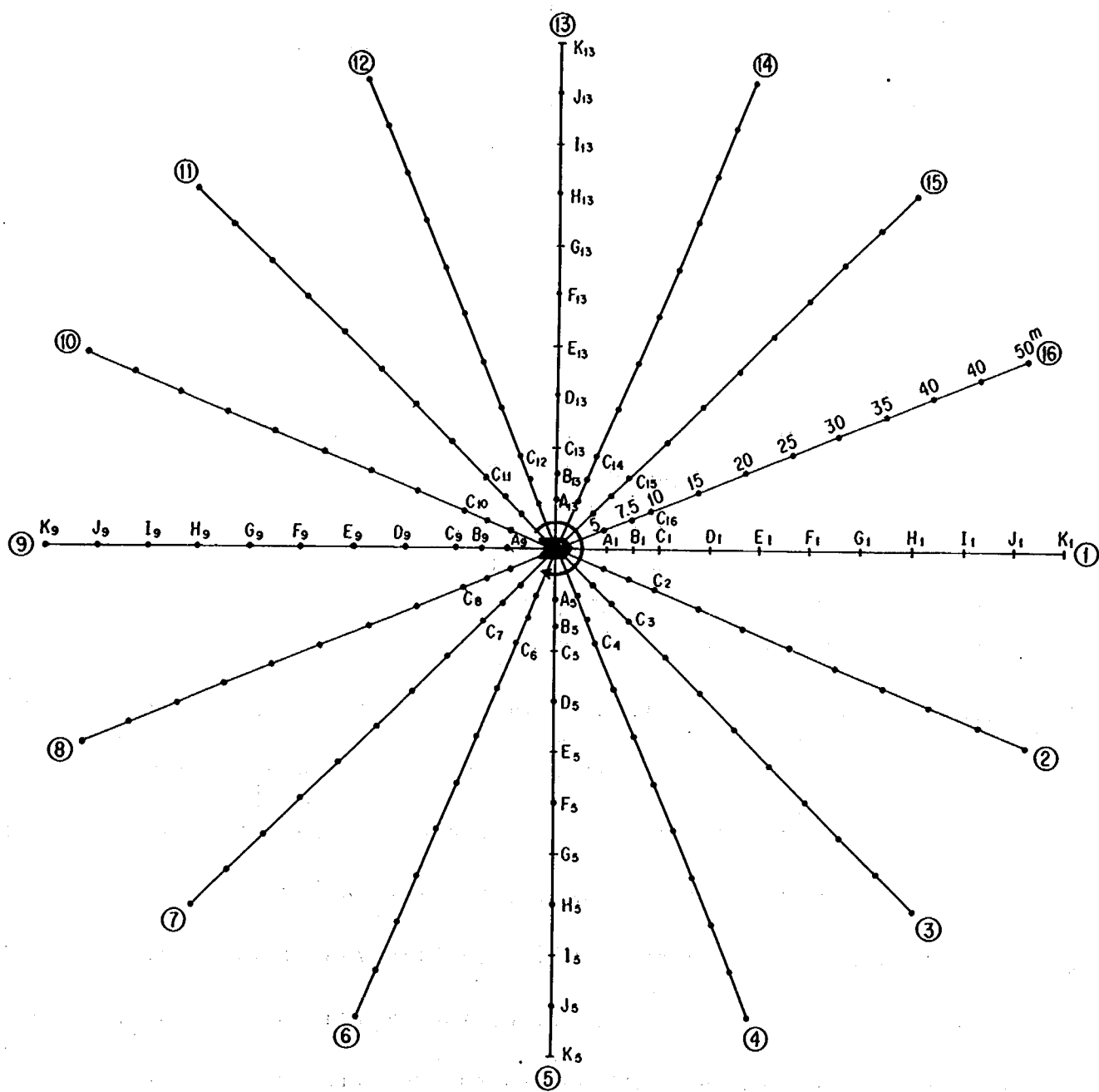


图 3.18 騒音测定位置

A ; 5.0 m ± 0.1 m

B ; 7.5 m ± 0.1 m

C ; 10.0 m ± 0.1 m

D ; 15.0 m ± 0.15 m

E ; 20.0 m ± 0.15 m

F ; 25.0 m ± 0.2 m

G ; 30.0 m ± 0.25 m

H ; 35.0 m ± 0.25 m

I ; 40.0 m ± 0.25 m

J ; 45.0 m ± 0.25 m

K ; 50.0 m ± 0.25 m

とした。

## 2) 機械の運転条件

機械は定置ハイアイドルとした。

## 3) 測定結果の分析

表 3.8 に A 特性 Slow での騒音測定結果を示す。表は、音の測定方向、距離を要因とする二元配列で示されており、これをもとに分散分析を行うことができる。

表一 3.8 騒音伝搬・指向性測定結果

| 方向<br>(m)<br>距離線 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 平均値<br>AV |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| A<br>(5.0)       | 86.2 | 86.6 | 87.5 | 86.9 | 86.2 | 85.1 | 84.7 | 83.9 | 84.0 | 84.9 | 86.5 | 86.9 | 87.3 | 87.1 | 88.2 | 87.0 | 86.2      |
| B<br>(7.5)       | 82.2 | 83.2 | 83.5 | 82.8 | 82.7 | 81.8 | 81.5 | 81.1 | 79.8 | 81.9 | 83.3 | 83.3 | 84.0 | 83.4 | 84.9 | 83.7 | 82.7      |
| C<br>(10.0)      | 79.9 | 80.7 | 81.1 | 80.2 | 79.9 | 79.6 | 79.1 | 77.4 | 78.1 | 79.0 | 81.0 | 81.7 | 82.1 | 82.0 | 81.7 | 82.0 | 80.3      |
| D<br>(15.0)      | 75.6 | 77.4 | 76.0 | 76.0 | 75.9 | 75.4 | 75.7 | 74.0 | 75.4 | 75.2 | 76.1 | 76.2 | 77.8 | 77.8 | 77.2 | 77.4 | 76.2      |
| E<br>(20.0)      | 72.8 | 74.3 | 73.8 | 73.8 | 72.6 | 74.0 | 73.2 | 72.4 | 73.7 | 72.6 | 74.2 | 75.5 | 73.8 | 75.1 | 73.7 | 73.6 | 73.7      |
| F<br>(25.0)      | 71.0 | 71.7 | 71.6 | 71.2 | 71.2 | 72.2 | 71.1 | 70.8 | 70.6 | 71.6 | 72.3 | 72.4 | 73.7 | 72.1 | 73.1 | 72.3 | 71.8      |
| G<br>(30.0)      | 69.4 | 70.6 | 71.3 | 70.0 | 69.5 | 70.2 | 69.7 | 69.5 | 69.5 | 68.3 | 70.1 | 71.3 | 70.5 | 71.0 | 70.6 | 69.7 | 70.1      |
| H<br>(35.0)      | 68.1 | 69.1 | 70.4 | 68.6 | 68.1 | 68.3 | 69.4 | 68.3 | 67.5 | 68.8 | 69.0 | 70.4 | 69.1 | 68.8 | 69.7 | 68.3 | 68.7      |
| I<br>(40.0)      | 66.3 | 67.8 | 69.4 | 67.1 | 66.8 | 66.9 | 68.0 | 67.0 | 67.5 | 66.3 | 68.3 | 68.7 | 68.0 | 67.3 | 68.0 | 67.1 | 67.5      |
| J<br>(45.0)      | 65.5 | 66.8 | 67.1 | 67.3 | 65.9 | 66.9 | 67.3 | 66.7 | 66.6 | 65.9 | 67.5 | 67.6 | 67.3 | 66.5 | 67.5 | 66.5 | 66.8      |
| K<br>(50.0)      | 65.1 | 65.7 | 65.8 | 65.9 | 65.0 | 64.6 | 65.7 | 65.3 | 65.9 | 64.6 | 66.3 | 66.1 | 66.1 | 65.5 | 66.2 | 65.2 | 65.6      |
| 平均               | 72.9 | 74.0 | 74.3 | 73.6 | 73.1 | 73.2 | 73.2 | 72.4 | 72.6 | 72.6 | 74.1 | 74.6 | 74.5 | 74.2 | 74.6 | 73.9 | 73.6      |

表3.9は、表3.8をもとに分散分析の結果を示すものである。騒音の測定に起因する誤差の分散は  $0.4 (\text{dB})^2$  と小さく、0.1%の有意水準で指向性がないとする仮説は棄却される。

指向性に起因する分散は、 $6.68 (\text{dB})^2$  であり、これをもとに、指向性による騒音の違いの95%の信頼区

間は、 $\pm 1.4 \text{ dB}$  と計算される。即ち、この機械の場合、測定する方向によって、最大約3 dBの音圧レベルの違いがあることを意味している。

### 3.3 振動測定に伴う誤差

建設工事の地盤振動を対象とする振動計のピックアップのほとんどは圧電型の加速度センサで、地面に接地するだけのものが一般的である。振動ピックアップは、質量を有するので、地面との接地面は一つの振動系を構成していると考えて良く、いわゆる振動測定での“接地共振現象”として時には問題にされることもある。

このような背景から、振動ピックアップの接地面の違いによる振動の測定値の違いを実験的に確認した。

#### 1) 対象振動源

振動源として、トラクタショベル(D-50S)を用いた。機械は定置ハイアイドルの状態とした。

#### 2) 振動の測定点

測定は、建設省関東地方建設局関東技術事務所(千葉県松戸市)で行った。測定点の土質は、比較的良好に締固められた砂まじりの関東ロームであり、振動は機械から左方向10mの20cm×20cmのエリア内で測定した。

#### 3) 測定の結果

表3.10に測定の結果を示す。振動計は製造メーカーの異なるA、Bの2機種を用い、接地面は現況のまま、鉄板上、ほぐした地面、それを突固めた地面の4カテゴリとした。

鉄板は、厚さ6mm、面積400cm<sup>2</sup>(20cm×20cm)で、その中央に、直径12mm、長さ4.0cmの脚を設け、これを地中に貫入させたものである。ほぐした地面は、このエリアを深さ約1.0cm掘削し、粒径が数mm以下になるまでほぐして作ったものである。また、振動は、振動加速度レベルおよび振動レベルで測定した。

表 3.9 建設機械の指向性の分散分析

| 要 因 | 平方和     | 自由度 | 分 散        | F     | F <sub>0</sub> 判定 |
|-----|---------|-----|------------|-------|-------------------|
| 方 向 | 100.18  | 15  | 6.68       | 16.9  | ** 2.19           |
| 距 離 | 7663.5  | 10  | 766.4      | 193.9 | ** 2.47           |
| 残 差 | 59.29   | 150 | 0.4        | —     | —                 |
| 全 体 | 7822.97 | 175 | ** 0.1%で有意 |       |                   |

図 3.1 9 は、この測定結果を棒グラフで示したものである。振動の測定値は A, B の振動計によって違う傾向があり、特にほぐした地面の場合はその傾向が強い。

表 3.1 1 は、この分散分析の結果を示すものであるが、接地面の状況による測定値の違いは分析されていない。

表 3.1 0 接地面別測定結果  
(単位 dB)

| レベル \ 機種 \ 接地面 | 現況 | 鉄板   | ほぐす  | 突き固め |
|----------------|----|------|------|------|
| VAL            | A  | 72.4 | 71.5 | 74.5 |
|                | B  | 73.8 | 72.0 | 70.0 |
| VL             | A  | 54.1 | 54.0 | 56.4 |
|                | B  | 57.2 | 54.1 | 55.1 |

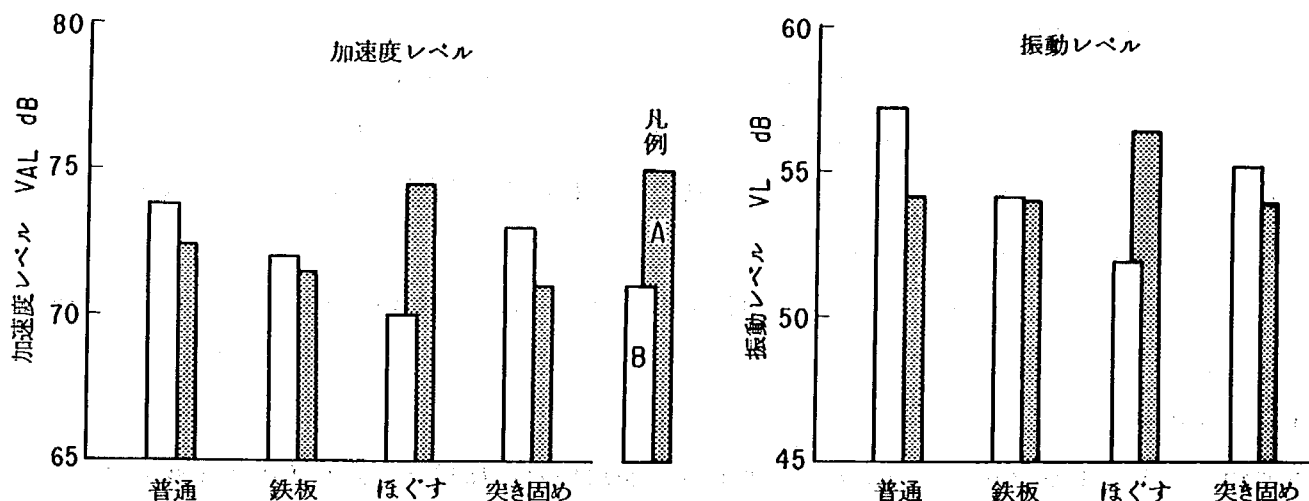


図 3.1 9 接地面による測定値の比較

このような分析結果になるのは、振動計 A では、ほぐした地面で高い測定値となり、B では逆に低く平均値としては違いがないことが原因である。実際、表にも見られるとおり、分散比が 1 以下になつており、このような場合は、分散分析の構造モデルでは記述できない

表 3.1 1 振動測定における誤差の分散分析

| 要因     | 平方和    | 自由度 | 分散      | F     | F <sub>0</sub> 判定 |
|--------|--------|-----|---------|-------|-------------------|
| 機 種    | 0.03   | 1   | 0.03    | 0.01  | 6.94              |
| 接 地 面  | 1.269  | 3   | 0.42    | 0.13  | 4.83              |
| VL-VAL | 1249.6 | 1   | 1249.6  | 376.4 | **6.94            |
| 残 差    | 33.2   | 10  | 3.32    | —     |                   |
| 全 体    | 1284.1 | 15  | **1%で有意 |       |                   |

い原因があることを意味していると解釈するのが自然である。測定に伴う誤差は、騒音の場合で振動の場合でも変わらないはずだから、この場合の測定でも誤差の分散は、表 3.9 に表現された  $0.4 \text{ (dB)}^2$  程度が妥当な値であり、表 3.1 1 の  $3.32 \text{ (dB)}^2$  は高すぎる値と考えねばならない。この考え方をもとに、測定誤差が平均値 0, 分散 0.4 の正規分布に従うとすると、 $\pm 1.2 \text{ dB}$  以

上の測定値の違いは、99%の信頼性を以って測定誤差以外の何らかの原因によって発生すると考えることができる。

即ち、以上を整理すると

① 接地面の状態によつて測定値は異なる。これは、ほぐした地面での測定値が他の接地面の時と異なるからであり、振動計によつて高い値を示したり、低い値を示したりする。

② 振動計A、Bの測定値は平均的な意味で同じとみなして良い。

の結論に達する。また、鉄板上での測定値が最も安定しており、振動測定に伴う接地点の誤差を低くするためには、何らかの方法で接地面を改善することが望ましい。

### 3.4 騒音・振動の測定方法の現状

騒音の測定方法には、①音の測定尺度の構成方法を定めたもの、②音を発生する機器の性能試験、あるいは③法律などの基準で表現された音の測定方法、がある。①は、音の測定単位であるとか測定器であるとかを定めたものである。②は、対象となる機器の性能の一部として発生する音の大きさを表示するための測定方法を定めたもので、機器の状態や音の測定点などの条件を規定するもので、測定尺度の構成は①によることを明記するのが一般的である。③は、労働環境の保全あるいは公害防止を目的として音を発生する機器の音の大きさの範囲を定めたものであり、法律等の主旨にそつてその測定方法が定められている。

更に、騒音に関しては、その評価方法(Rating)が規格化されている場合があり、評価尺度の構成方法が音の測定方法を規定するケースがある。例えば、ISO/R1996では、騒音の尺度として等価騒音レベルを採用しているが、等価騒音レベルを求めるためには、そのための特別な測定方法あるいは測定器が用いられなければならない、評価尺度の構成方法が騒音の測定方法を規定していると言うことができる。

#### 3.4.1 騒音測定方法一般

日本では、日本工業標準化法によるJISで、騒音の測定法、および騒音の大きさの表示方法等が定められている。これは、音響用語に関する4つの規格、

JIS Z-8106 音響用語(一般)

JIS Z-8107 音響用語(変換器および測定器)

JIS Z-8108 音響用語(音響記録器および再生器)

JIS Z-8109 音響用語(音声、聴覚、音楽)

および音の測定法に関する

JIS Z-8731 騒音測定法

である。JIS Z-8731は、音の大きさの変動の仕方(定常音、変動音、間欠音)に応じた騒音レベルの測定の仕方、騒音レベルの求め方に対して基準を与えるもので、騒音の測定方法の最も基本的な事項について示したものと理解することができる。この規格は、特に音源を規定しない、いわば環境騒音の測定方法として作成されたものであり、昭和27年頃から制定のため

の検討がすすめられ、昭和32年に日本工業規格として制定、その後、昭和41年に一部の用語の改訂を行って現在に至っている。

国外においても、ISO（国際標準化機構；International Organization for Standardization）をはじめ主だった国が音響測定一般に関する規格を定めており、これを参考資料E-1に示す。

### 3.4.2 機器の騒音測定方法

建設機械を対象とした騒音測定法は、JISには定められていないが、幾つかの機械については騒音の測定法および騒音の大きさの表示方法等が規定されている。日本工業規格に見られる機器の騒音測定方法には、④騒音測定方法の規格となっているもの12件、⑤機器の性能試験および検査規格に含まれる騒音測定法157件がある。（参考資料E-2）

ISOでは、建設機械を対象とした次の騒音測定法を定めている。

① ISO 4872 Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by construction equipment intended for outdoor use-Method for determining compliance with noise limits

② ISO/DP 6395 Acoustics - Measurement of airborne noise emitted by earthmoving machinery - Method for determining compliance with limits for exterior noise - Simulated work cycle test conditions

①は、土工機械の騒音パワーレベル（Sound power level； $L_w$ ）を求めることを主眼としたものである。騒音の測定点は、図3.20に示すように、機械を中央に有する半球空間（地面は平坦なコンクリート等の舗装面）を通過する音のエネルギーを測定するために、AまたはBのうちどちらかを選択し、空間的に10または12点と規定されている。しかしながら現実には多くの機械に関してはBの方が測定しやすいと考えられる。この騒音パワーレベル測定法は、ISO 3741 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms

をもとにして作成されたものである。

②は、土工機械のうち移動することによって作業する機械の騒音パワーレベルを機械のワークサイクルにおいて測定しようとするものであり、この関連として、

ISO/DIS 6393 - Stationary test condition

ISO/DIS 6394 - Operator's position - Stationary test condition

ISO/DIS 6396 - Operator's position - Simulated work cycle test conditions

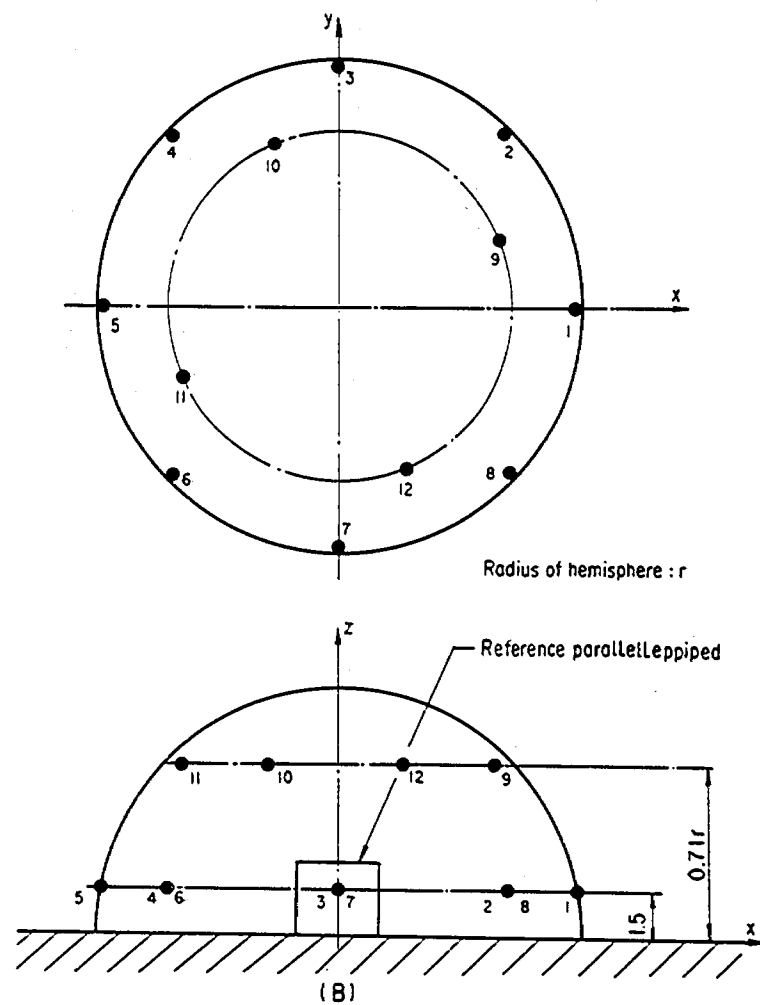
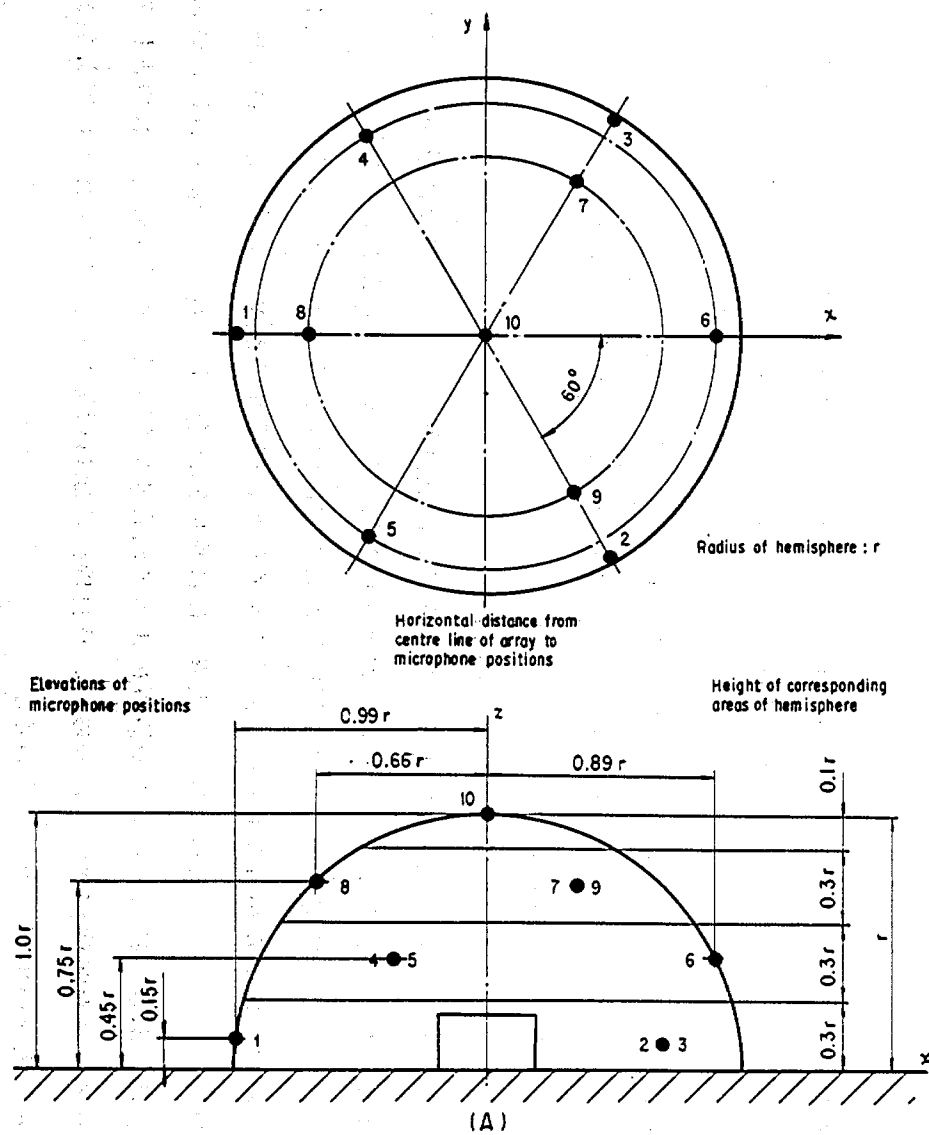


図3.20 ISO 4872の騒音測定法

があり、定置形、移動形の土工機械について、外部騒音と運転員の耳元騒音の測定法を規定しようとするものである。外部騒音の測定点はISO 4872と同じであり、ISO/DP 6395ではこの半空空間の中での機械の運転の仕方を特別に定めたものとして理解することができる。

土工機械に関する騒音規制はすでに先進諸国で実施されており、これに伴って厳密な建設機械の騒音測定方法が定められている。

アメリカ合衆国は、騒音規制法 (Noise Control Act of 1972) に基づいて、建設機械の騒音基準 (Noise Emission Standards for Construction Equipment) を定めており、この時の騒音の測定方法は、SAE (Society of Automotive Engineers) が定めた騒音の測定方法に従うものとされている。

土工機械に係る騒音測定方法としては、

- ① SAE J 88 a Exterior sound level measurement procedure for powered mobile construction equipment
- ② SAE J 88 b Exterior sound level measurement procedure for earthmoving machinery
- ③ SAE J 919 b Operator sound level measurement procedure for powered mobile construction machinery - singular type test
- ④ SAE J 1166 Operator station sound level measurement procedure for powered mobile earthmoving machinery - work cycle test

などがあり、J 88 a および b の測定点は図 3.2 1 のとおりである。

また、建設機械に限らず、音を発生する機器に対する騒音の測定方法は諸外国においても定められており、これを参考資料 E-3 に示す。

### 3.4.3 法律に見られる建設機械の騒音測定方法

我が国の騒音規制法 (昭和 43 年法律 98 号) では、杭打作業等の特定建設作業が指定され、これらの工事を行う建設工事の全体騒音の大きさが制限されている。しかし、この法律は、個々の建設機械を対象にして騒音の大きさを規制したものではなく、音の大きさを制限する地点も “建設工事現場の敷地境界から 30 m の位置” とするなど、建設工事騒音の規制としては合理的であるが、反面、個々の建設機械の騒音の大きさには特に制限を設けてはいない。これは、建設工事の施工方法、あるいは防音施設等の設置によって騒音を制御する可能性を残したものとして十分評価できる。また法律が規制する機械は、杭打機械、鉚打機械など、機械単体としても騒音パワーレベルの大きい機械に限られている。

建設機械自体の騒音の大きさを規定した法律に、特定機械情報産業振興臨時措置法 (昭和 53 年法律第 84 号) がある。この法律は、公害防止を目的としたものではなく、“生産技術の向上、

表 3.1 2 土木建設機械製造業の高度化計画に掲げる別表

| 機 械         | 機関定格出力（馬力）    | 機械無負荷周囲騒音 |
|-------------|---------------|-----------|
| 油圧式パワーショベル  | 40 以上 70 未満   | 73 d B 以下 |
|             | 70 以上 140 未満  | 76        |
|             | 140 以上 200 未満 | 79        |
| 油圧式トラッククレーン | 200 以上 400 未満 | 83        |
| トラクター       | 30 以上 100 未満  | 77        |
|             | 100 以上 200 未満 | 80        |
|             | 200 以上 400 未満 | 83        |

生産の合理化を促進すること”を目的としたものであり、建設機械の騒音の大きさは、この法律に基づいた「土木建設機械製造業の高度化計画」（昭和53年通商産業省告示第623号）の中で、表3.12に示す値に定められている。騒音の測定は、「機械無負荷周囲騒音（定置された機械の外側より15mの位置で測定した騒音…）の平均レベル」と表現されていることから“定置

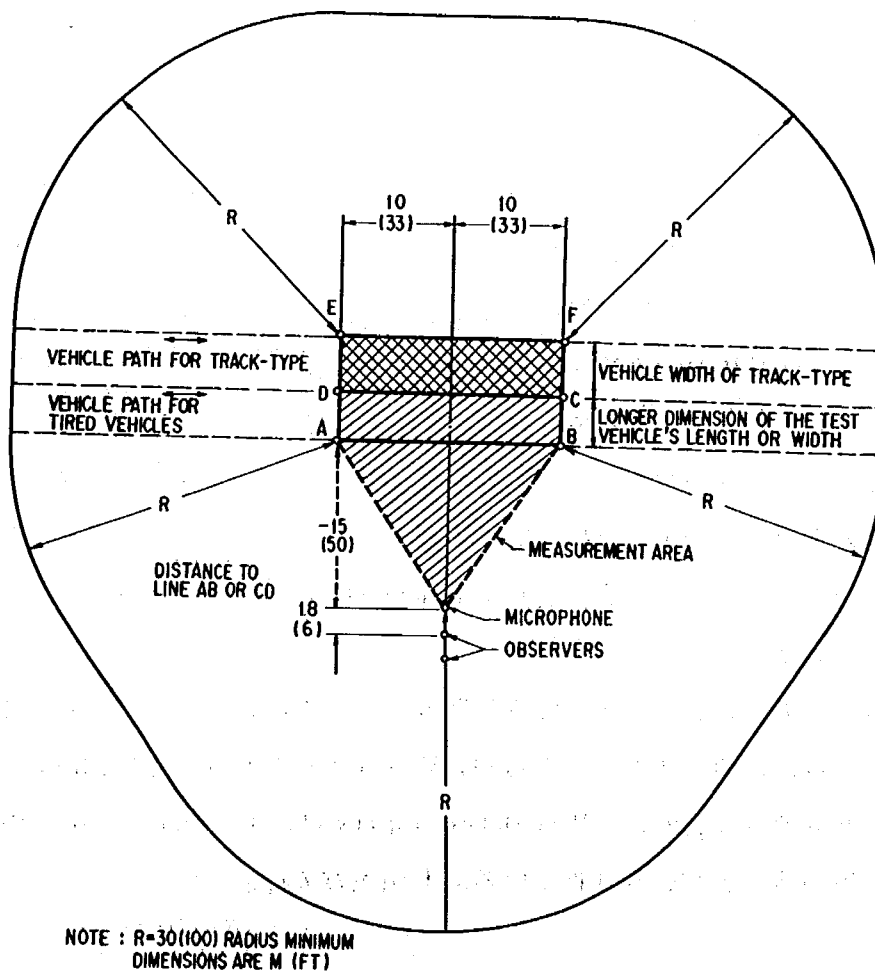


図 3.2 1 SAE の 測 定 方 法

ハイアイドル騒音で少なくとも機械から複数の方向に設けた測定点で測定した騒音の平均値”と解釈することができる。

一方、国外では、建設機械自体の騒音の大きさを規制した法律が多く、これらの中で、騒音の測定方法を含んでいる場合が多い。アメリカの騒音規制法(40 CFR Part 204 ; Noise emission standard for construction equipment)での騒音測定法はS A Eの規格に準拠することを定めている。

建設機械に関する騒音規制が最も厳しい国はフランスと言われ、この騒音規制法では、騒音の測定点を機側から7 m, 地上1.5 mとしている。

西ドイツの騒音規制法での騒音の測定点は、機械の想定外側線から7 m, 地上1.2 mである。西ドイツの騒音規制法は、機械の定置状態、走行状態およびワークサイクルモードについて規定しており、その内容はフランスより詳細である。参考資料E-4に、西ドイツ、フランスおよびアメリカの建設機械の騒音測定方法の抜粋を示す。

### 3.4.4 I S Oの現状と動向<sup>5) 6)</sup>

騒音の測定方法は、騒音の評価方法と密接な関係にある。法律等に定める基準値などは、いわば機器の性能評価の一種であり、その評価方法に合致した測定方法が定められていると考えられる。一方、騒音の評価は、人の感じる“うるささ”などとの関係で示されるのが騒音の定義に従ったものとして行うことができる。騒音の評価を行う場合、①人の感覚とできるだけ強い関係(できれば線形であることが望ましい)にある音の尺度を求めること、②その尺度と人の感覚との関係を定量化すること、の両者が満たされる必要がある。①には、④人の聴感の周波数特性としての、聴感補正A特性、⑤人の聴感の時定数特性、⑥音の強さに対応する人の感覚量としてのデシベルあるいは⑦音の強さの変動に対する種々の尺度がある。このうち、④、⑥に関しては、すでにA特性騒音レベルを用いることが明らかにされている。⑤および⑦は、人の聴感の時定数の問題と、音の記憶に関する蓄積量の関係があり、特に、現在は多くの実験あるいは調査の結果、音のうるさは暴露された騒音のエネルギー量に対応することが判明し、これを表現する尺度として、騒音のエネルギー平均である“等価騒音レベル(Equivalent sound level ; Leq)”の採用が考えられるようになった。

I S Oは、音の評価方法として、A特性等価騒音レベルを用いる動向にある。I S Oが等価騒音レベルを提案したのは、昭和41年であるが、昭和54年のISO/T043の会議において、ISO/DIS 1996で $L_{AeqT}$ (A-Weighted equivalent continuous Sound pressure level)を用いることが合意されている。 $L_{eq}$ 及び $L_{AeqT}$ は、

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (3.7)$$

$$L_{AeqT} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$L_i$  ; 騒音レベルの瞬時値 (dBA)

$P_0$  ; 音圧レベルの基準値

$P$  ; 音圧の時間変化関数

(3.7), (3.8)式の定義に示されるとおりである。(3.7)式の場合,  $L_i$  は従来からの騒音測定方法によつて得られた騒音レベルを基にしており, この中には騒音測定における騒音計の動特性(時定数)が含まれているが, (3.8)式は, 音圧の波形を基礎としたものであるから, この中には騒音計の動特性という概念が含まれていない。

$L_{AeqT}$  の採用は, これに伴つて従来からの騒音計の構造変更を前提としていふと考えることができ, 騒音の評価に関与する騒音測定方法の基本的な考え方が変化していることがわかる。

一方, 機械装置から発生する騒音の測定方法は, ISO/T043 SC1/WG6で検討されているが, 主に騒音のパワーレベルの測定に関する規格化が行われている。各国の法律等に見られる建設機械の騒音の測定方法は, 地上1.2~1.5m, 機械から7~15m点での騒音の大きさを測定することを条件としているが, ISOでは機器のパワーレベルの測定方法に主眼がおかれている。(ISO 4872)

### 3.4.5 JISの動向<sup>7) 8)</sup>

ISOが騒音の評価尺度として等価騒音レベルを採用する動向に対応して, 昭和54年度, 工業技術院より騒音レベル測定方法(JIS Z-8731)の改訂原案の作成が日本音響学会に委託され, ISO関連規格の国内測定規格への反映が検討されている。

JIS Z-8731は, 変動する騒音レベルの測定方法として, パーセント時間率レベル( $L_\alpha$ )および中央値の測定方法を示しているが, JIS Z-8731の改正原案では, “騒音の代表値”として  $L_{eqT}$  (Equivalent continuous sound pressure level)を用いることを提案している。

ただし,  $L_{50}$ ,  $L_5$ 等の使用を制限していない。また, 等価騒音レベルの算出方法は(3.8)式を原則としながらも(3.7)式による方法, あるいは騒音レベルのヒストグラムによる方法を“近似的な方法”として許容している。

$L_{eqT}$  の測定方法が, (3.8)式に限定できないのは, JIS O-1505, あるいはJIS O-1502に定める騒音計は, (3.8)式の2乗積分回路を持つておらず, また積分する場合の時間 $T$ について明確な規定がなされていないためである。JISの改訂案では, この時間 $T$ に関して, “例えば1時間, 8時間, 24時間, 1ヶ月, 1年など”として具体例を示しているが, あくまでも原則は, “目的に応じて規格あるいは法律に定められた対象とする観測時間”

として明確に定めてはいない。

騒音規制法における騒音の測定方法は、J I S Z-8731を基本としているが、改訂案のJ I Sは、現行のJ I Sの内容を包摂している。

建設機械の騒音測定方法に関するJ I Sは現在なく、また現在のところ制定される動向にはない。

#### 3.4.6 振動の測定方法

地盤振動の測定は、公害用振動計と呼ばれる振動レベル計が普及し始めた昭和45年頃から本格的に“公害振動”を対象として実施されるようになった。この当時、振動の測定方法を定めた規格等はなく、騒音・振動としていわば同一カテゴリに区分される量としての取扱いから、J I S Z-8731（騒音レベル測定方法）の考え方を準用して振動の測定が実施されていた。

振動レベルに着目した公害振動の測定方法は、東京都の公害防止条例の一つとして、「東京都公害防止条例施行規則の規定に基づく振動の測定方法」（昭和47年4月1日、東京都告示第387号）が最初であり、この時同時に振動レベル計についての条例が「東京都公害防止条例施行規則の規定に基づく振動レベル計」（昭和47年4月1日、東京都告示第388号）に定められている。

ここで規定された振動レベル計は、I S O 2 6 3 1（Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration）に規定する垂直方向振動に対する疲労限界曲線を基にして作成されたものである。

振動規制法（昭和51年6月10日法律第64号）の制定に伴って、振動レベル計の日本工業規格（J I S C-1510）が制定された（昭和51年8月1日）が、この規格は基本的には東京都条例に等しい。振動の測定方法は振動規制法施行規則（昭和51年11月10日総理府令第58号）の備考に示されている。

振動レベル測定方法のJ I S化は、昭和52年に工業技術院が振動レベル測定方法のJ I S原案の作成を日本音響学会に委託し、振動規制法に規定する測定方法との関係を見ながら検討が重ねられてきた。これは、昭和56年8月J I S Z-8735振動レベル測定方法、として規格化されている。騒音に関しては等価騒音レベルの導入が検討されてきたが、振動については $L_{eq}$ の尺度で評価できるか判断するための資料が不足していることから、ほぼJ I S Z-8731の考え方を参考にして作成されたものと思われる。

振動の測定に関しては、このように、ようやく一般的な測定方法の規格が制定された段階であり、振動の評価方法の研究と並行して、測定方法、尺度構成方法の研究がなされていくものと思われる。

## 4. 今後の問題点

### 4.1 騒音の測定点

巨視的に見た時、建設機械は点音源として取扱うことができるわけであるから、その前提条件が満足される限り、騒音の測定点の位置が問題となることはない。

しかし、現実の建設機械は複数の音源を持ち、しかも有限の大きさを持つことから、必ずしも理想的な点音源と考えて良いとすることはできない。ある広がりを持つ面から相互に関係のある音が放射されている場合、同一周波数の音は、空間上のある点では干渉し音圧を打消し合い、あるいは他の点では波形が重なって音のレベルが上昇する。音源が連続的な周波数を持つ場合、干渉現象は複雑な様相を呈する。

音源からの距離が長くなると、音のエネルギーが空気によつて吸収されることがあり、また地表面の近傍では、地表面によつても音が吸収される。これは超過減衰と呼ばれる事象であり、100m 当り 2～3 dB 程度となるから音源からかなり離れた所ではこの影響が現われることになる。

#### 4.1.1 音の干渉

建設機械音の測定は、地表面上 1.2～1.5 m で行われることが多い。建設機械によつて発生した音は、マイクロホンへ直接到達する場合と、地表面やその他の障害物で反射してマイクロホンへ達する場合がある。

図 4.1 のように反射面上に音源と受音点がある場合、 $t$  秒後の受音点での音圧は、

$$P(t) = \frac{W_0}{4\pi \{L^2 + (H_1 - H_2)^2\}^{\frac{1}{2}}} \sin \omega \left\{ t + \frac{\{L^2 + (H_1 - H_2)^2\}^{\frac{1}{2}}}{v} \right\} + \frac{W_0}{4\pi \{L^2 + (H_1 + H_2)^2\}^{\frac{1}{2}}} \sin \omega \left\{ t + \frac{\{L^2 + (H_1 + H_2)^2\}^{\frac{1}{2}}}{v} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

となる。(4.1) 式右辺第 1 項は直達音、第 2 項は反射音を示す。簡単のため、 $H_1 = H_2 = H$ 、直達音の音圧を  $P_1$ 、反射音の音圧を  $P_2$  とおくと、(4.1) 式は、

$$P(t) = P_1 \sin \omega \left( t + \frac{L}{v} \right) + P_2 \sin \omega \left\{ t + \frac{(L^2 + 4H^2)^{\frac{1}{2}}}{v} \right\} \dots\dots (4.1)'$$

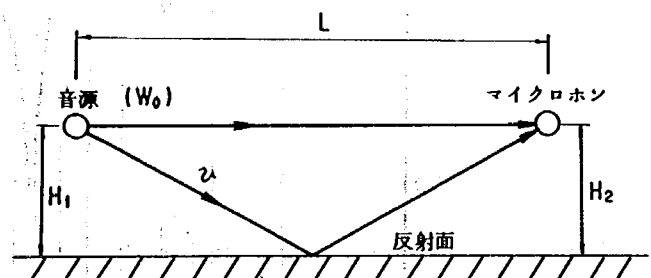


図 4.1 反射面による音の反射

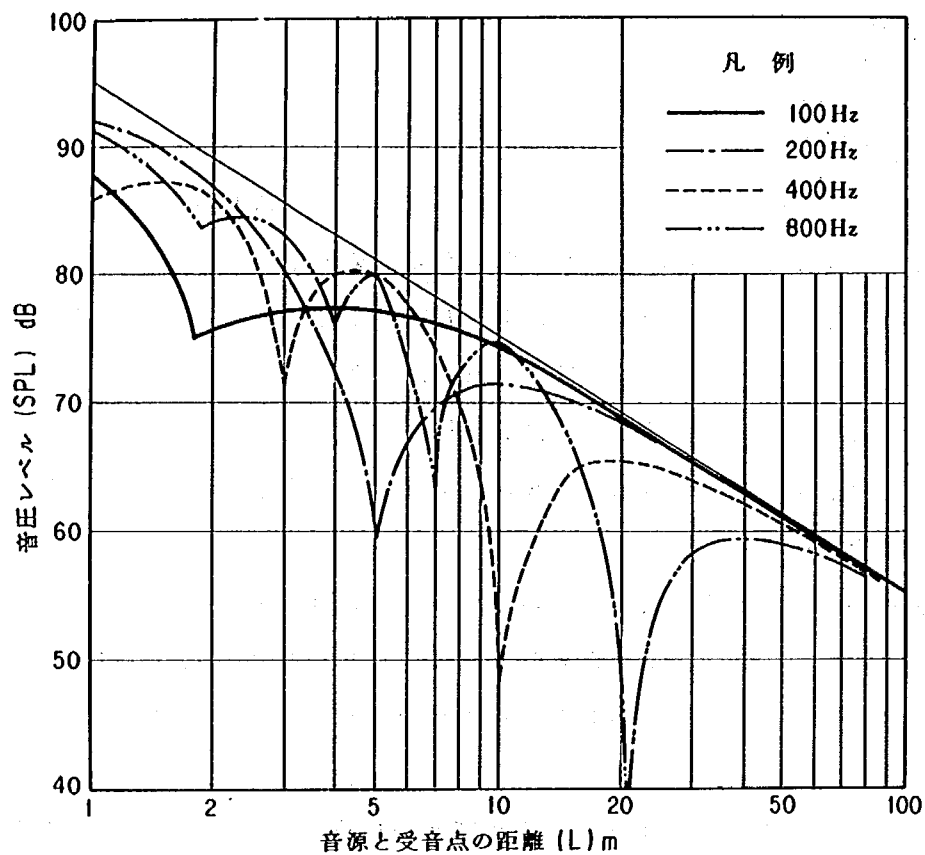


図 4.2 干渉による音のレベルの減衰 (PWL=103 dB, H=1.5 m)

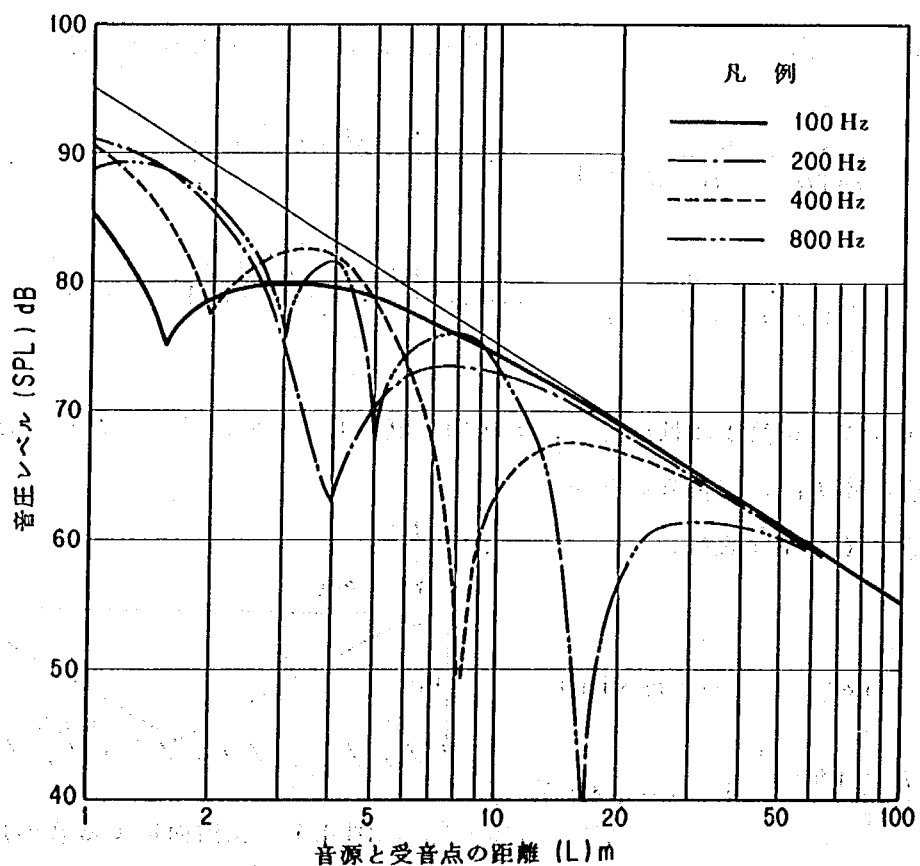


図 4.3 干渉による音のレベルの減衰 (PWL=103 dB,  $H_1=1.5$  m,  $H_2=1.2$  m)

となる。式を変形して  $L'$  を反射音の行路距離とすると、

$$P^2(t) = [P_1^2 + P_2^2 + 2P_1 \cdot P_2 \cdot \{\cos \omega(\frac{L'}{v} - \frac{L}{v})\}]^{\frac{1}{2}} \cdot \sin(\omega t + \theta) \dots (4.2)$$

である。直達音と反射音の行路差 ( $\delta L = L' - L$ ) が、音の波長の  $\frac{1}{2} + n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) と等しくなると、右辺[ ]内の  $\cos$  の項が負の最大値となり、この時音圧は相互に打消し合うことになる。また音源と受音点の距離が長くなると、 $\delta L \rightarrow 0$  であるから、音は干渉の影響を受けなくなる。図 4.2, 4.3 は、地表面を完全反射体と考えた場合の純音の干渉を示したものである。干渉による音のレベルの減衰量は、干渉する地点が遠い程大きく、音源あるいは受音点の位置が低くなる程、干渉現象の発生する場所が音源に近づくことがわかる。

建設機械の騒音は、一般に連続的なスペクトルを持つことから、図 4.2, 図 4.3 に示すような純音に見られる音の干渉はそれ程大きく観測されない。しかし、純音成分を強く含むような機械を対象として騒音測定を行う場合は、注意して測定点を選ばなければならない。

#### 4.1.2 音の超過減衰

表 4.1 は、ISO/R 507 に示された空気分子による音の吸収量を示したものである。空気による音の吸収は、断熱効率による部分と、空気中に含まれる水分子の共鳴吸収による部分とがあり、後者の方がその率が高い。

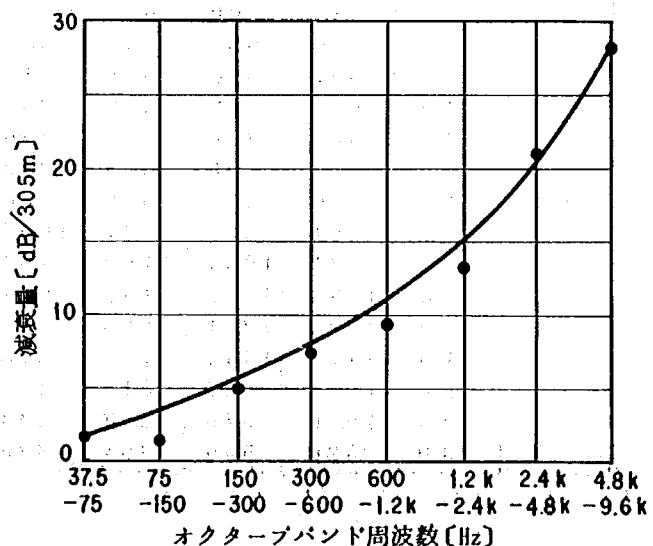
したがって、表に見られるように、空気吸収減衰量は、空気の温度と湿度に大きく影響される。平均的には周波数が高くなる程、吸収量も大きくなる傾向が認められる。

図 4.4 は、Hayhurst による地表面の吸音量を示したものである。音のエネルギーに着目した場合、地表面は音の伝搬に対して摩擦抵抗効果を持ち、このため地表面による音の減衰量は周波数が高くなる程大きくなる。

超過減衰量は、音源と受音点の距離に比例し、しかも周波数と特別の関係にあるから、特に周波数構成が問題となるような騒音測定の場合、十分に注意する必要がある。

#### 4.2 騒音の測定方法

等価騒音レベルが騒音の評価尺度として用いられる場合、建設機械の騒音を示



無風のときコンクリート舗装面の上を伝搬する音の減衰、マイクロホンの高さ約 1.2 m (Hayhurst)

図 4.4 地表面による音の吸収

表 4.1 I S O R 507 に示された空気吸収減衰量

| 周波数<br>Hz | 温 度<br>℃ | 減 衰 量 (dB/100m) |       |       |       |       |       |       |      |      |
|-----------|----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|           |          | 湿 度 (%)         |       |       |       |       |       |       |      |      |
|           |          | 20              | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90   | 100  |
| 500       | -10      | 0.75            | 0.56  | 0.41  | 0.32  | 0.26  | 0.22  | 0.20  | 0.18 | 0.17 |
|           | -5       | 0.62            | 0.40  | 0.29  | 0.23  | 0.20  | 0.18  | 0.17  | 0.18 | 0.16 |
|           | 0        | 0.44            | 0.28  | 0.22  | 0.19  | 0.18  | 0.12  | 0.16  | 0.16 | 0.18 |
|           | 5        | 0.14            | 0.24  | 0.21  | 0.19  | 0.18  | 0.17  | 0.16  | 0.15 | 0.15 |
|           | 10       | 0.27            | 0.22  | 0.20  | 0.18  | 0.17  | 0.16  | 0.15  | 0.15 | 0.14 |
|           | 15       | 0.25            | 0.22  | 0.19  | 0.18  | 0.17  | 0.16  | 0.15  | 0.14 | 0.14 |
|           | 20       | 0.25            | 0.21  | 0.19  | 0.18  | 0.16  | 0.16  | 0.15  | 0.14 | 0.14 |
|           | 25       | 0.24            | 0.31  | 0.18  | 0.17  | 0.16  | 0.15  | 0.14  | 0.14 | 0.13 |
|           | 30       | 0.23            | 0.20  | 0.18  | 0.17  | 0.16  | 0.15  | 0.14  | 0.13 | 0.13 |
| 1000      | -10      | 1.38            | 1.53  | 1.35  | 1.07  | 0.88  | 0.75  | 0.65  | 0.57 | 0.51 |
|           | -5       | 1.70            | 1.34  | 0.97  | 0.77  | 0.63  | 0.53  | 0.47  | 0.42 | 0.39 |
|           | 0        | 1.48            | 0.96  | 0.69  | 0.55  | 0.47  | 0.42  | 0.39  | 0.38 | 0.36 |
|           | 5        | 1.14            | 0.73  | 0.55  | 0.47  | 0.43  | 0.40  | 0.39  | 0.37 | 0.36 |
|           | 10       | 0.88            | 0.59  | 0.48  | 0.45  | 0.42  | 0.40  | 0.38  | 0.36 | 0.35 |
|           | 15       | 0.70            | 0.52  | 0.47  | 0.44  | 0.41  | 0.38  | 0.37  | 0.35 | 0.34 |
|           | 20       | 0.61            | 0.51  | 0.46  | 0.42  | 0.40  | 0.38  | 0.36  | 0.34 | 0.33 |
|           | 25       | 0.58            | 0.50  | 0.45  | 0.41  | 0.39  | 0.37  | 0.36  | 0.34 | 0.32 |
|           | 30       | 0.57            | 0.49  | 0.44  | 0.41  | 0.38  | 0.36  | 0.35  | 0.33 | 0.32 |
| 2000      | -10      | 1.13            | 2.61  | 3.05  | 3.07  | 2.88  | 2.55  | 2.22  | 1.95 | 1.75 |
|           | -5       | 2.52            | 3.44  | 3.20  | 2.05  | 2.16  | 1.85  | 1.60  | 1.40 | 1.26 |
|           | 0        | 3.81            | 3.23  | 2.38  | 1.89  | 1.55  | 1.32  | 1.15  | 1.03 | 0.94 |
|           | 5        | 3.80            | 2.52  | 1.86  | 1.47  | 1.22  | 1.06  | 0.97  | 0.91 | 0.88 |
|           | 10       | 3.02            | 1.96  | 1.45  | 1.17  | 1.04  | 0.97  | 0.93  | 0.89 | 0.86 |
|           | 15       | 2.41            | 1.55  | 1.21  | 1.07  | 1.00  | 0.95  | 0.91  | 0.87 | 0.84 |
|           | 20       | 1.86            | 1.29  | 1.13  | 1.04  | 0.98  | 0.92  | 0.88  | 0.84 | 0.81 |
|           | 25       | 1.56            | 1.23  | 1.12  | 1.03  | 0.96  | 0.91  | 0.87  | 0.84 | 0.81 |
|           | 30       | 1.39            | 1.21  | 1.09  | 1.00  | 0.94  | 0.89  | 0.85  | 0.82 | 0.79 |
| 4000      | -10      | 2.31            | 3.36  | 4.47  | 5.53  | 6.10  | 6.28  | 6.25  | 6.05 | 5.71 |
|           | -5       | 3.75            | 5.63  | 6.80  | 6.98  | 6.70  | 6.08  | 5.37  | 4.72 | 4.22 |
|           | 0        | 6.20            | 7.70  | 7.41  | 6.34  | 5.22  | 4.45  | 3.90  | 3.43 | 3.08 |
|           | 5        | 8.35            | 8.00  | 6.20  | 4.93  | 4.10  | 3.47  | 3.04  | 2.70 | 2.48 |
|           | 10       | 9.10            | 6.58  | 4.90  | 3.85  | 3.21  | 2.76  | 2.46  | 2.28 | 2.16 |
|           | 15       | 8.07            | 5.28  | 3.88  | 3.11  | 2.65  | 2.42  | 2.27  | 2.18 | 2.11 |
|           | 20       | 6.30            | 4.12  | 3.12  | 2.65  | 2.44  | 2.31  | 2.22  | 2.14 | 2.06 |
|           | 25       | 5.09            | 3.40  | 2.79  | 2.56  | 2.41  | 2.29  | 2.19  | 2.10 | 2.02 |
|           | 30       | 4.19            | 3.06  | 2.72  | 2.53  | 2.38  | 2.25  | 2.15  | 2.07 | 2.01 |
| 5940      | -10      | 2.90            | 4.11  | 5.32  | 6.60  | 7.89  | 8.82  | 9.32  | 9.48 | 9.40 |
|           | -5       | 4.51            | 6.54  | 8.71  | 10.09 | 10.53 | 10.44 | 10.01 | 9.29 | 8.48 |
|           | 0        | 7.21            | 10.54 | 11.62 | 11.34 | 10.24 | 8.90  | 7.71  | 6.84 | 6.19 |
|           | 5        | 10.93           | 12.79 | 11.85 | 9.81  | 8.07  | 6.95  | 6.05  | 5.35 | 4.84 |
|           | 10       | 13.94           | 12.71 | 9.65  | 7.73  | 6.38  | 5.47  | 4.80  | 4.30 | 3.95 |
|           | 15       | 14.72           | 10.44 | 7.81  | 6.18  | 5.18  | 4.50  | 4.05  | 3.79 | 3.60 |
|           | 20       | 12.38           | 8.27  | 6.15  | 4.97  | 4.31  | 3.97  | 3.77  | 3.63 | 3.52 |
|           | 25       | 10.26           | 6.76  | 5.17  | 4.44  | 4.09  | 3.90  | 3.74  | 3.61 | 3.40 |
|           | 30       | 8.26            | 5.60  | 4.64  | 4.28  | 4.04  | 3.85  | 3.69  | 3.54 | 3.42 |

すデータは、等価騒音レベルでの騒音予測あるいは評価に適したものに交換されなければならない。従来の騒音の測定方法は建設機械の特定の運転状態に着目した方法であり、等価騒音レベルの考え方をを用いる場合は、建設機械の稼働状態をトータル的にとらえた測定方法が必要になるものと思われる。これは、建設機械のパワーレベル等のデータを求める場合、建設機械の稼働パターンを導入することを意味しており、いわばワークサイクルに似た考え方が導入されなければならない。

このためには、個々の建設機械が固有の稼働パターンを持ち得るか確認することが必要であり、また、稼働パターンがサイクリックであるか推移的であるか知らねばならない。建設機械の稼働状態が騒音の観点から離散的なカテゴリに区分可能な場合、稼働の仕方が推移的であっても、最終的により得る稼働状態の確率関係は一定値に収束するから、稼働状態の確率とその時の騒音パワーレベルによつて、等価騒音レベルに着目した建設機械の騒音パワーレベルを求めることが可能である。

この場合、建設機械の各稼働状態のカテゴリでの騒音レベルの測定は、従来からの騒音レベルの測定方法によるものと同じであり、等価騒音レベルに着目した建設機械の騒音パワーレベルは、建設機械の稼働状態確率を求めることによつて、従来のパワーデータから推計できることがわかる。

#### 4.3 振動の測定方法

地盤振動を考える時、最も問題となるのは、振動のパワーを定義できないことである。現存する地盤振動が問題になっているような場合は、これを実際に測定することによつて実情の把握が可能である。しかし、振動公害の低減を目差す立場では、地盤振動の予測および評価が極めて重要であり、建設機械の振動のパワーおよび地盤振動の伝搬に関する知見が要求される。

本報告書にも示すとおり、厳密に管理された条件の下での振動の伝搬の測定結果は、表面波の伝搬の理論と良く一致しており、理論的取扱いが可能なように思われる。

しかし、一般的に得られている振動の測定値に表われた地盤振動の伝搬の多くは、前者のように斉一的ではなく、振動測定に関与するパラメタが良く知られていないことを示唆している。

振動レベル測定方法はやつと日本工業規格となったが、この中に示される数多くの測定上の注意事項が実際にはどの程度の影響力を持ち得るのか、いわばパラメタの寄与率の定量化が今後の課題となろう。また、振動の評価を考えた場合の振動の測定点の選び方など今後解決していかなければならない問題は多いように思われる。

## あ と が き

本報告書は、昭和52年度から4ヶ年計画で実施した『建設騒音振動の予測評価手法に関する研究』のうち、建設機械の騒音・振動の実態とその測定方法に関する研究結果についてまとめたものである。

建設機械の騒音および振動については、過去10年来、建設省においてデータの集積が図られており、この研究で用いたデータのほとんどはこれらに依存している。

建設工事を騒音や振動の側面から評価し、これらを低減していくことは、建設工事の環境改善の立場からも、建設工事を円滑に施工する立場からも、その必要性が増大していると考えられる。しかし、この評価は、いわゆるアセスメントとして事前に評価できることが必要であり、そのためには騒音・振動の予測方法及び評価方法を確立するとともに、これらに用いられる基礎データの信頼性を向上させなくてはならない。また、これらの基礎データは測定によってしか得られないものであるため、測定方法の確立も重要なことの一つである。

機器の騒音・振動を対象とした測定方法には様々なものがあつたが、これらの測定方法はいずれも、機器の運転条件と騒音・振動の測定点、データの尺度構成方法に関する情報を含んでおり特に優劣をつけられるものではなく、いずれの方法でも機器の騒音・振動の実情を測定することが可能と考えて良い。

しかしながら、実際の建設工事においては、投入される建設機械は複数でしかも相互に関連のある作業状態をとるものと考えられ、建設工事の騒音・振動を問題にする立場からは、建設機械のワークサイクルあるいは作業モード、稼動パターンに着目した測定方法の方が利用価値が高いように思われる。これはまた、騒音の評価尺度として確立しつつある等価騒音レベルの考え方に相通じるものがあり、今後の研究方向を示唆するものと受止めることができる。

本報告書は、これまでの研究によって得られた基礎データを提示しており、その意味において今後の研究の一助になれば幸いである。

## 発表報文等

／建設工事騒音の予測—パワーレベルの推定—／

土木技術資料 Vol. 22 №2 昭和55年2月

／騒音測定における誤差の統計的解析／

土木技術資料 Vol. 22 №1 昭和55年1月

／建設工事騒音の予測（パワーレベルの推定）／

建設機械と施工法シンポジウム Vol 5

## 参 考 文 献

- 1) 小林芳正 建設における地盤振動の影響と防止  
鹿島出版会 59ページ
- 2) 最上武雄編 土質力学
- 3) J I S Z-8731-1966 解説
- 4) 日本機械学会 機械工学便覧（改訂第6版）  
第6編測定法 6-5ページ
- 5) 五十嵐寿一 騒音に関するISOの動向 日本音響学会誌 Vol 35 №5 1979  
268ページ
- 6) 子安勝・吉川昭吉郎 ISO/TC43およびTC43 SC1 総会報告  
日本音響学会誌 Vol 36 №10 1980 524ページ
- 7) 西宮元 騒音評価法の規格化の動向 日本建築学会  
環境工学委員会 建築音響・振動分科会第15回音シンポジウム
- 8) 橋秀樹 新しいJIS改正案について 同上



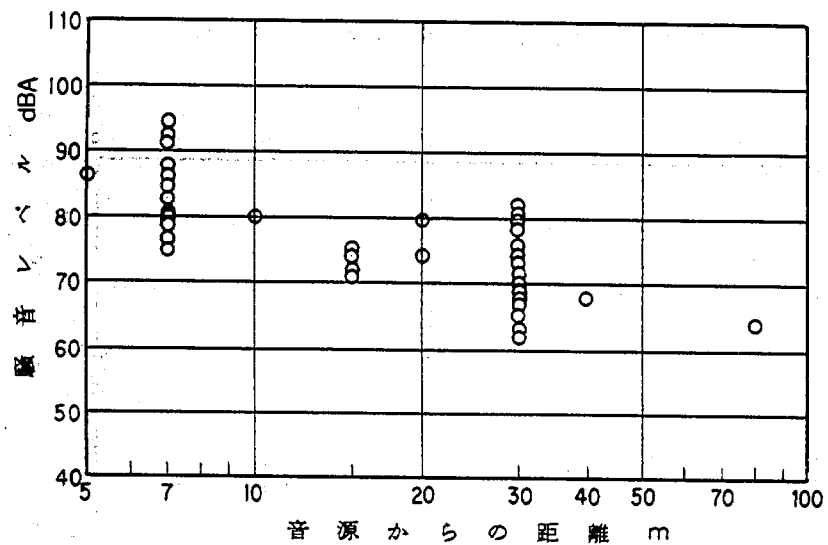
## 参 考 資 料

1944

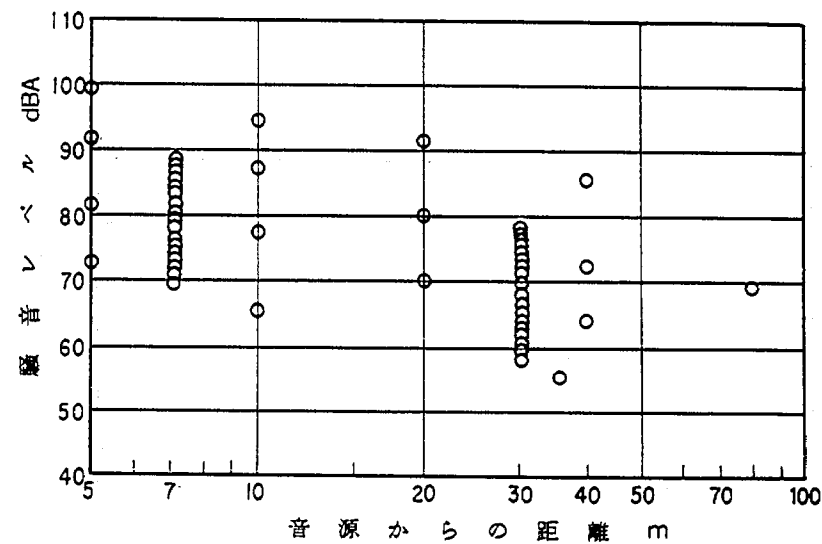
## 参考資料－A

### 建設機械騒音の測定値

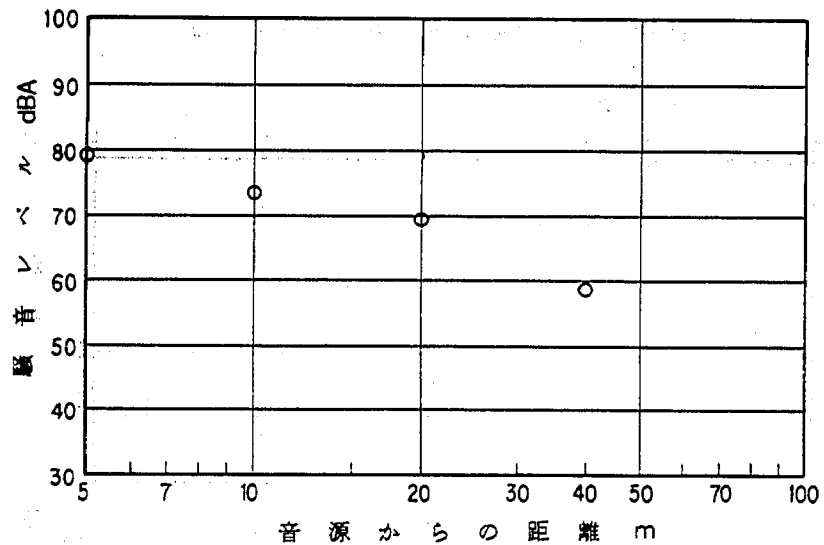
THE  
JOURNAL OF  
THE  
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE  
OF GREAT BRITAIN AND IRELAND  
VOLUME 100 PART 1 2000



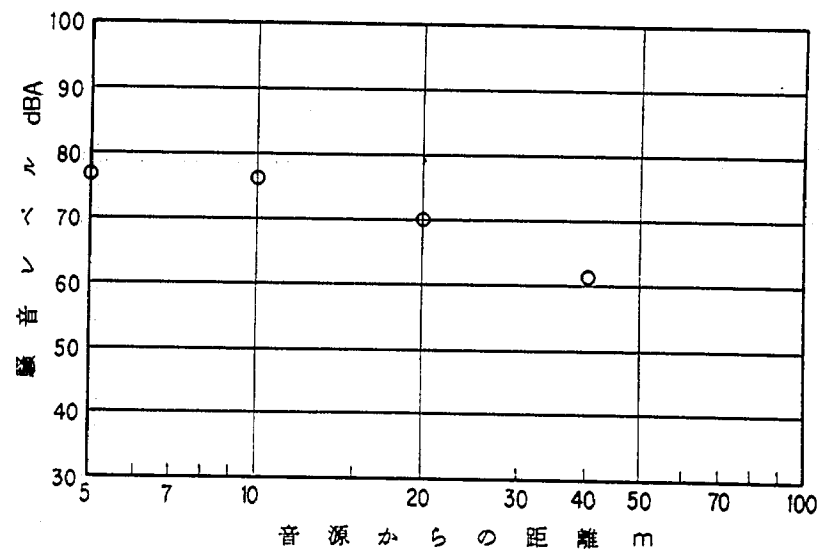
(1) ブルドーザの騒音の距離減衰



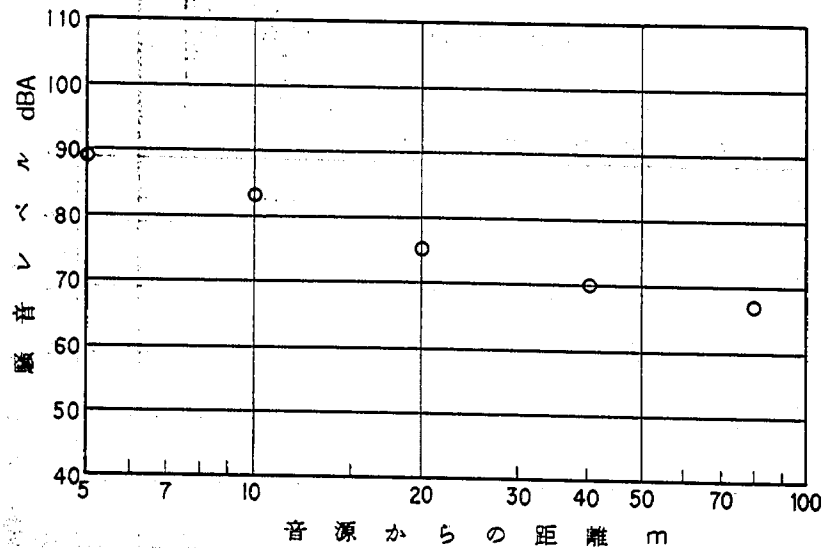
(2) 油圧ショベルの騒音の距離減衰



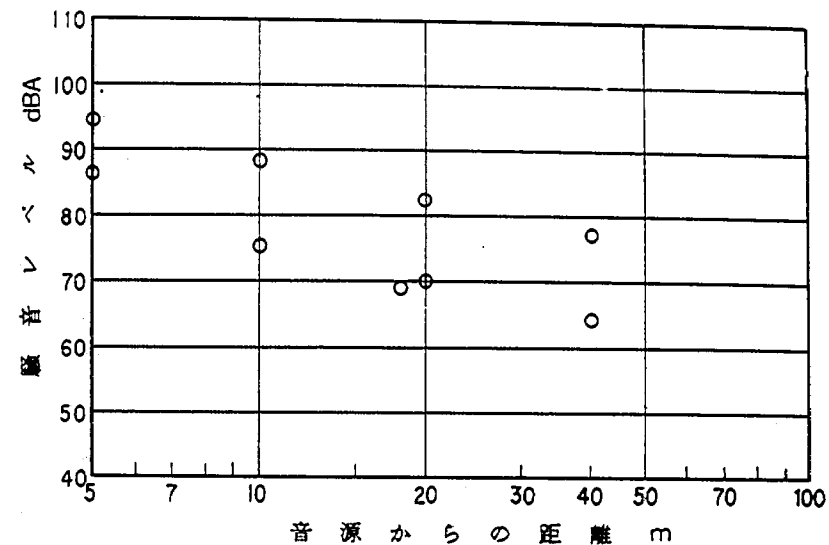
(3) クラムシェルの騒音の距離減衰



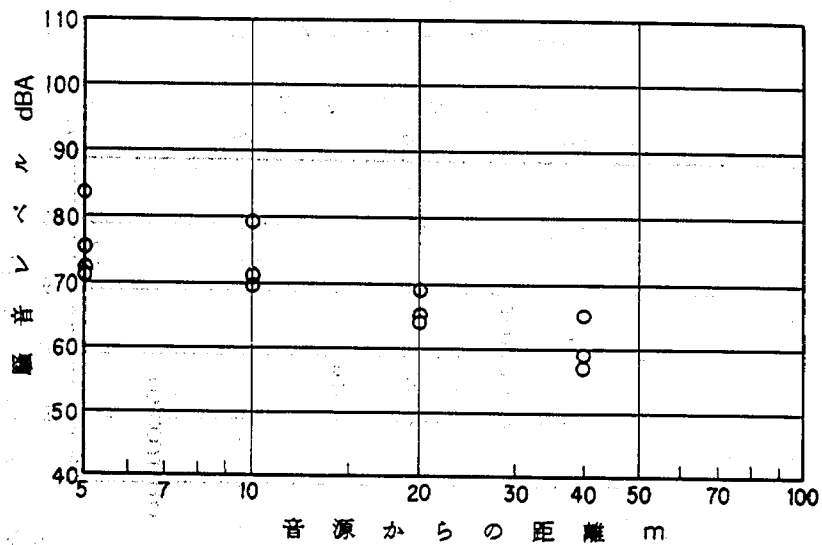
(4) クローラローダの騒音の距離減衰



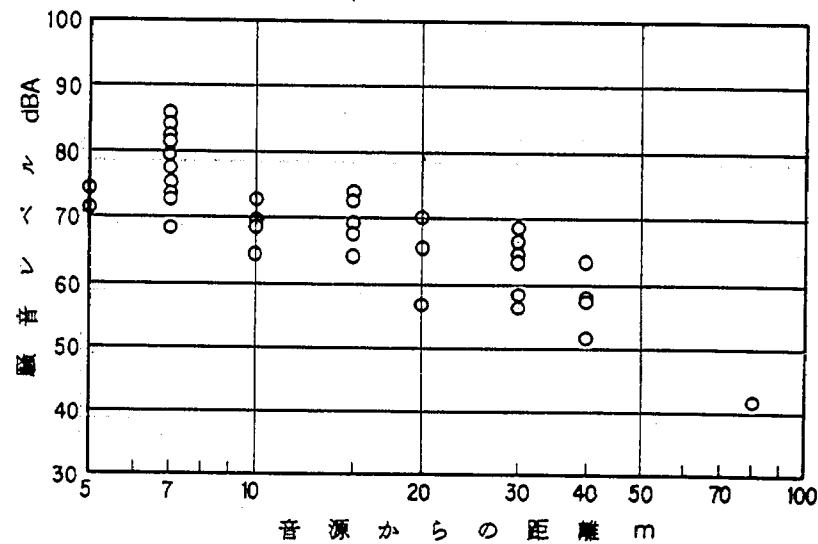
(5) ホイールローダの騒音の距離減衰



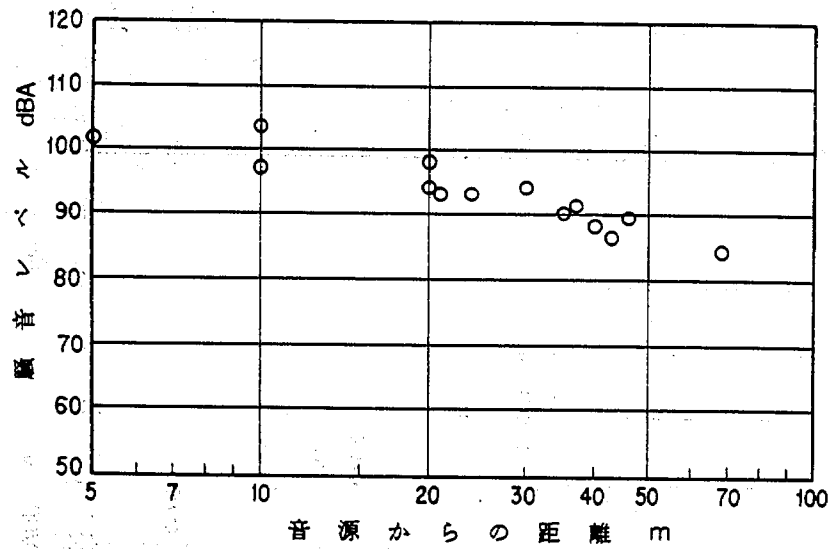
(6) ダンプトラックの騒音の距離減衰



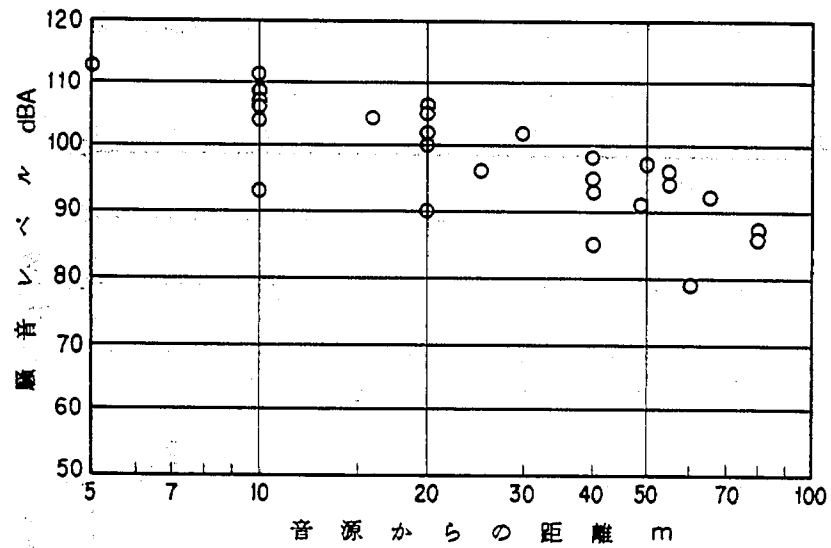
(7) トラッククレーンの騒音の距離減衰



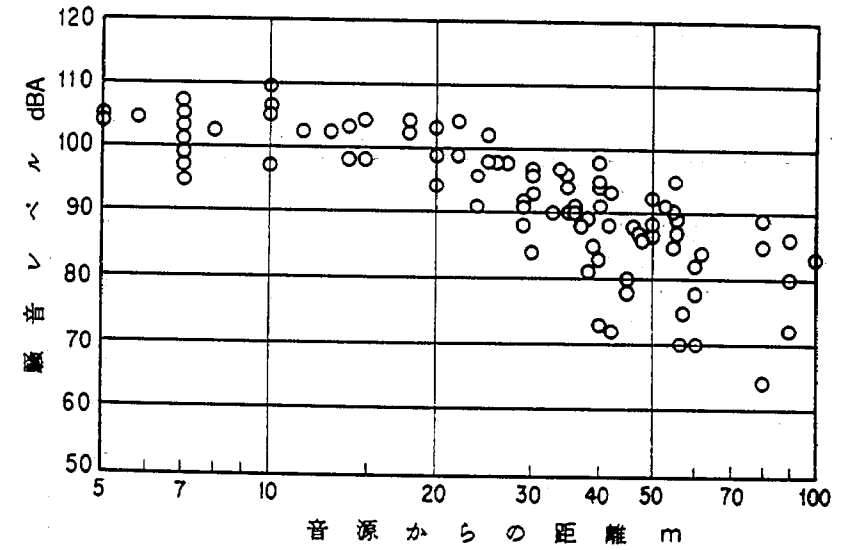
(8) クローラクレーンの騒音の距離減衰



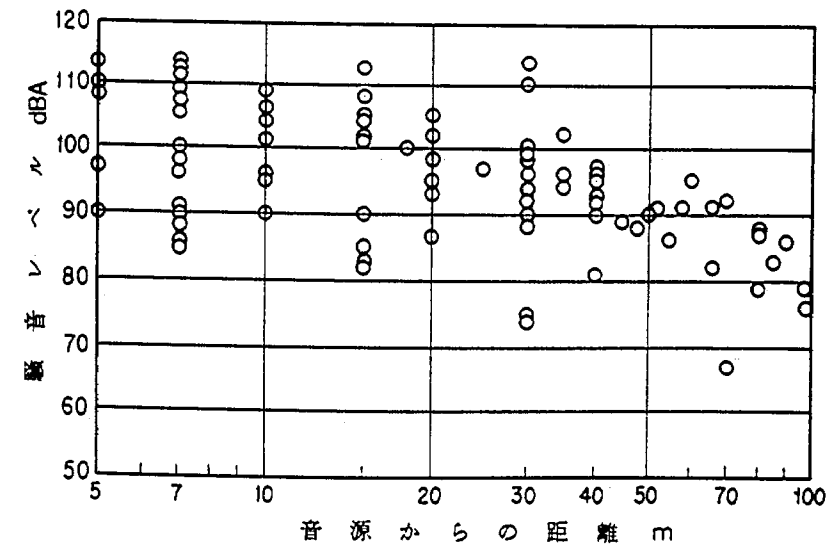
(9) ディーゼルバイルハンマ (2.0 t 未満) の騒音の距離減衰



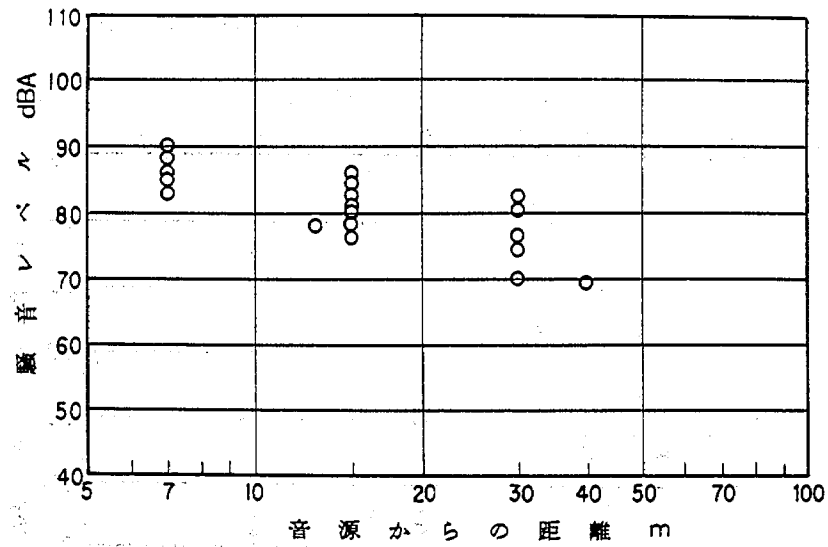
(11) ディーゼルバイルハンマ (3.0~4.0 t) の騒音の距離減衰



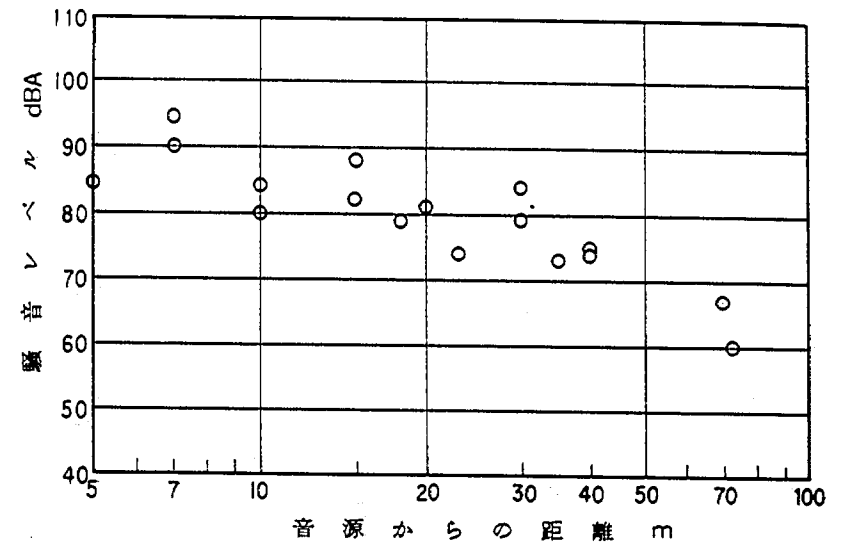
(10) ディーゼルバイルハンマ (2~3 t) の騒音の距離減衰



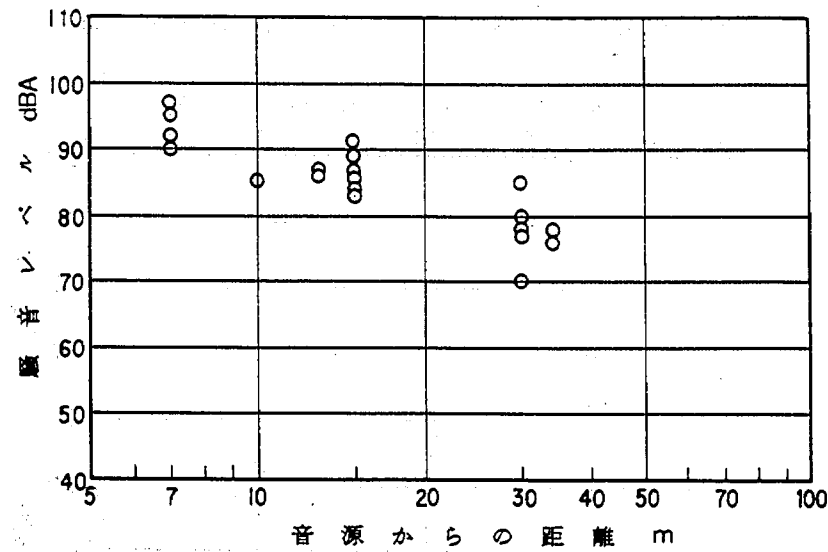
(12) ディーゼルバイルハンマ (4.0 t 以上) の騒音の距離減衰



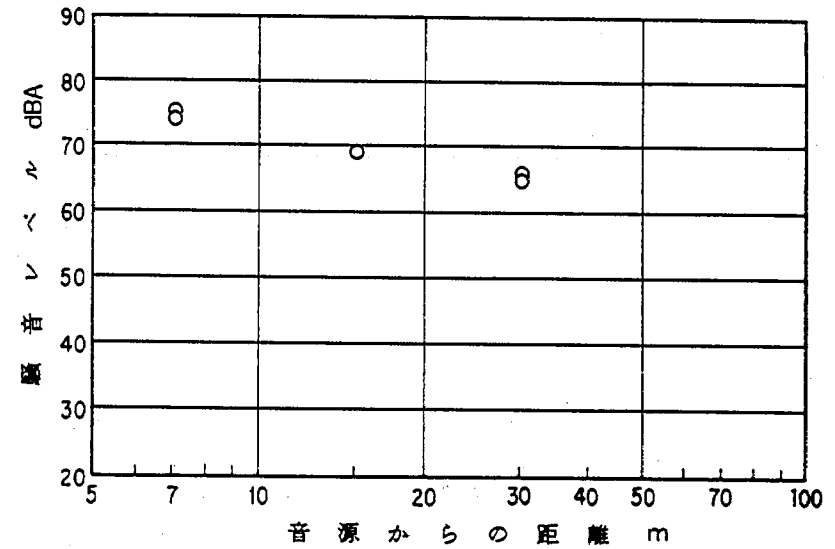
(13) 振動パイルドライバ(20~30kW)の騒音の距離減衰



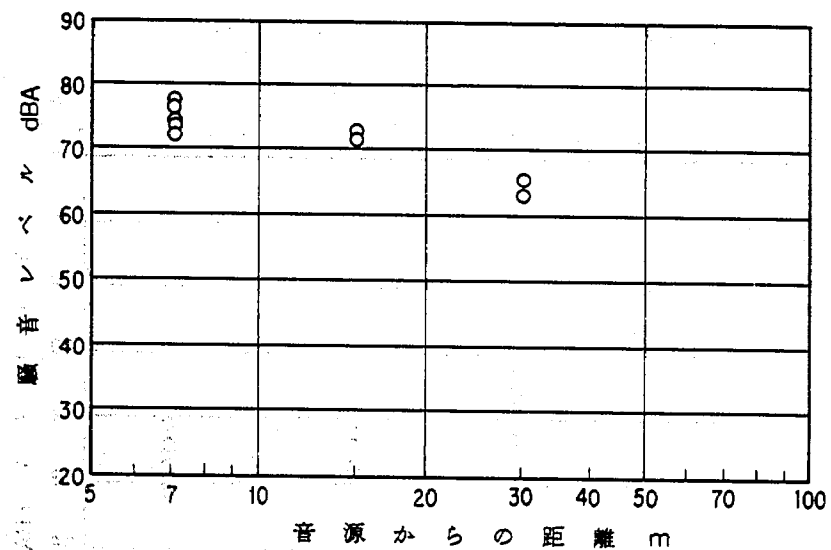
(14) 振動パイルドライバ(30~40kW)の騒音の距離減衰



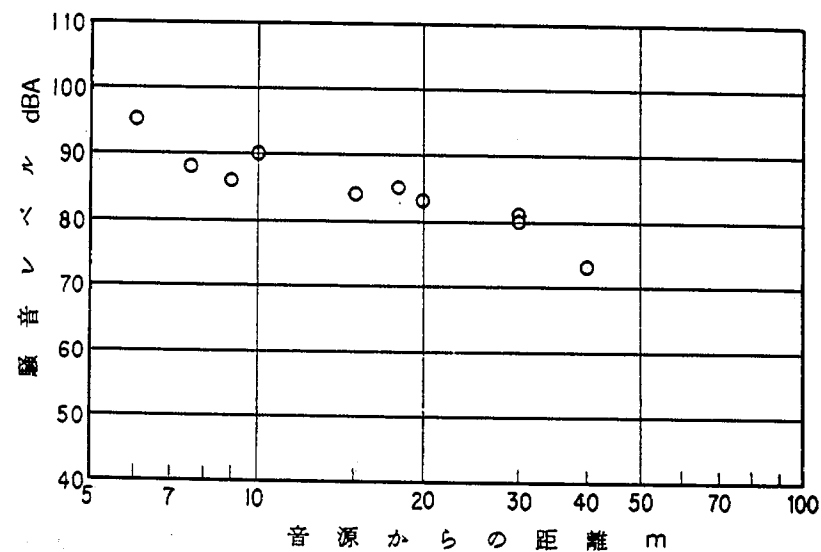
(15) 振動パイルドライバ(40kW以上)の騒音の距離減衰



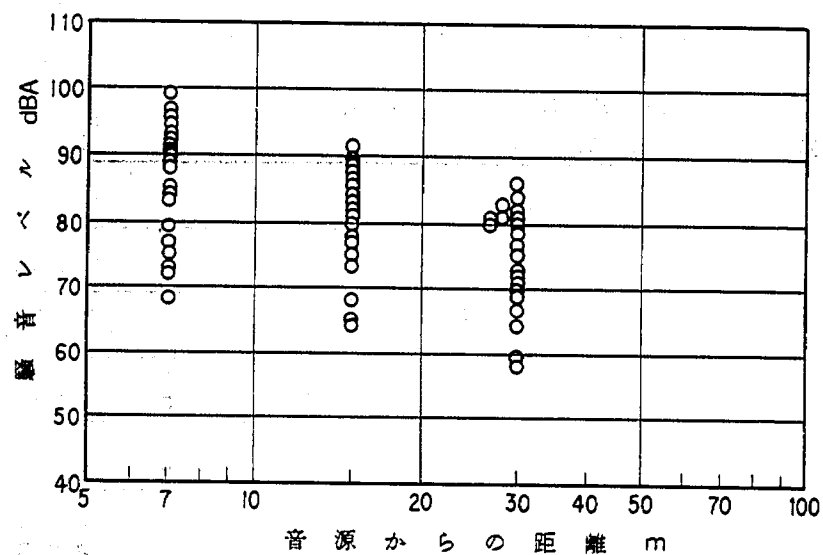
(16) 振動パイルドライバ(対策型)の騒音の距離減衰



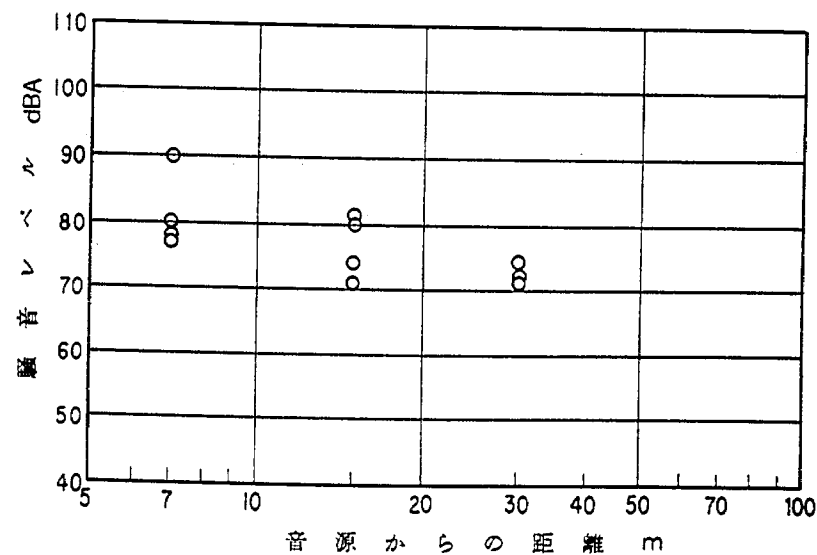
(17) 鋼矢板対策工法(I)の騒音の距離減衰



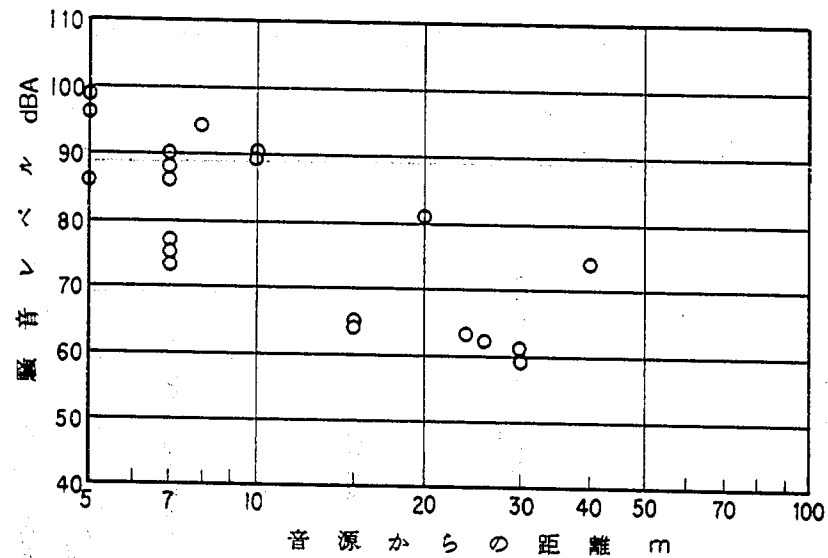
(18) ドロップハンマの騒音の距離減衰



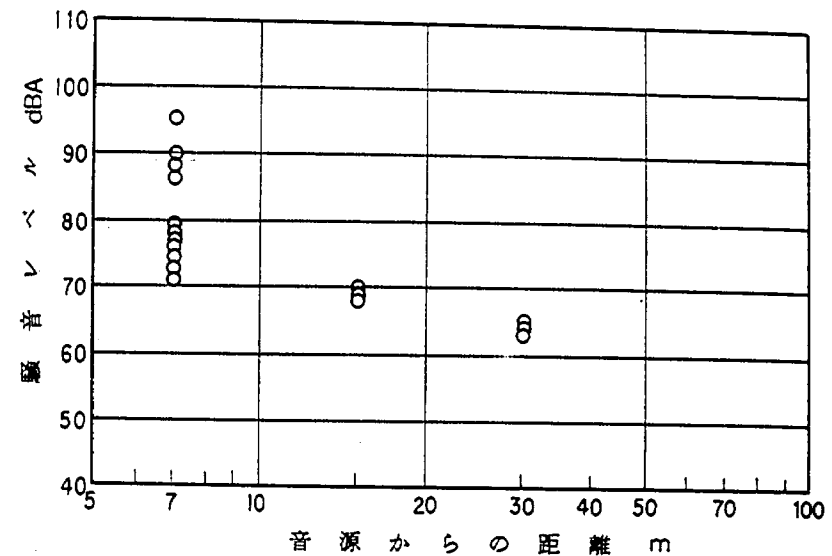
(19) 大口径掘削機(ハンマグラブ)の騒音の距離減衰



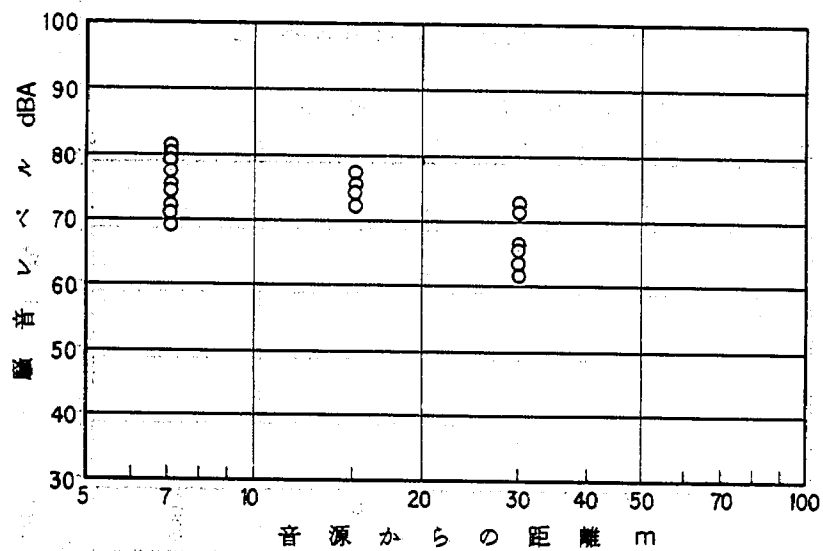
(20) アースドリルの騒音の距離減衰



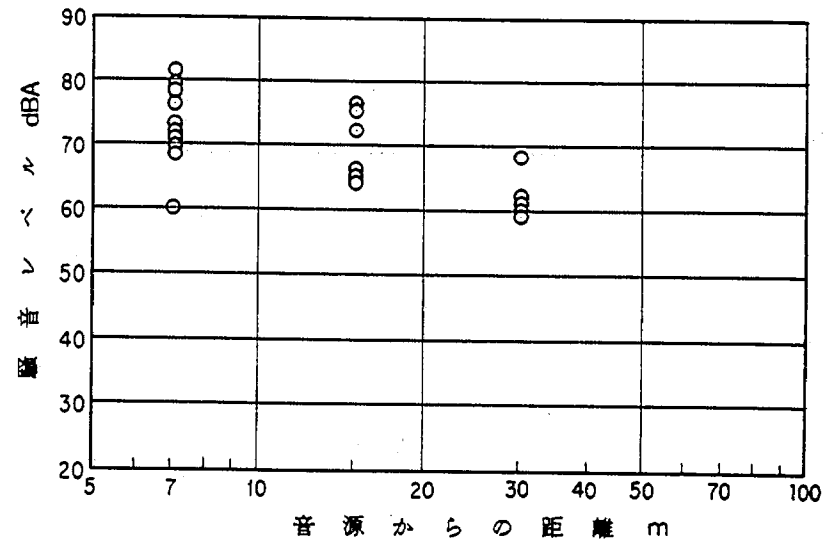
(21) アースオーガの騒音の距離減衰



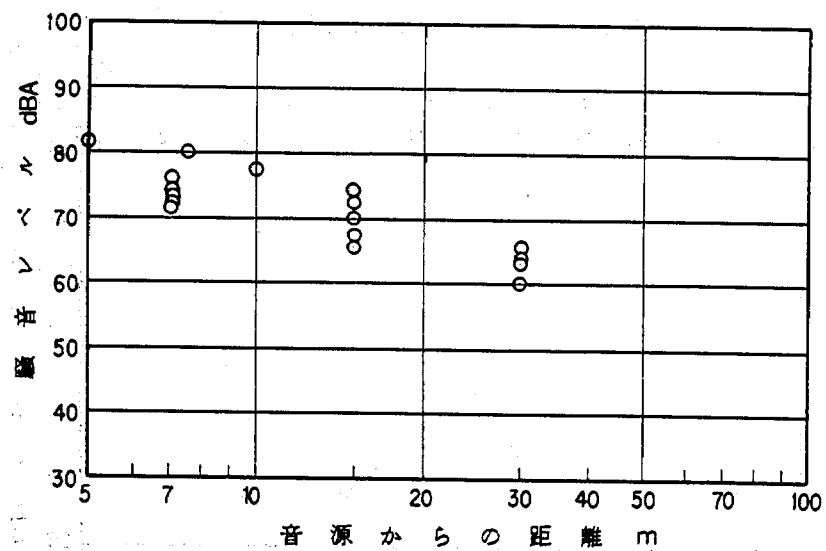
(22) 既製杭対策工法(H)の騒音の距離減衰



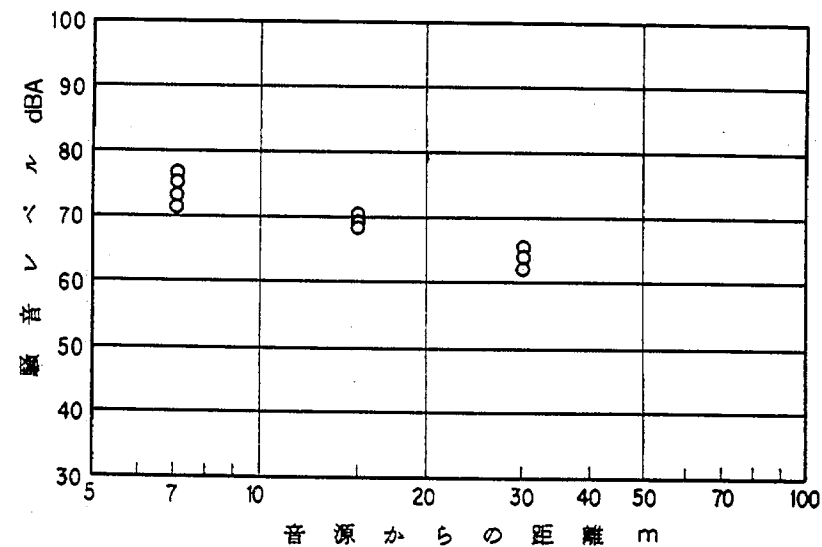
(23) 鋼矢板対策工法(S)の騒音の距離減衰



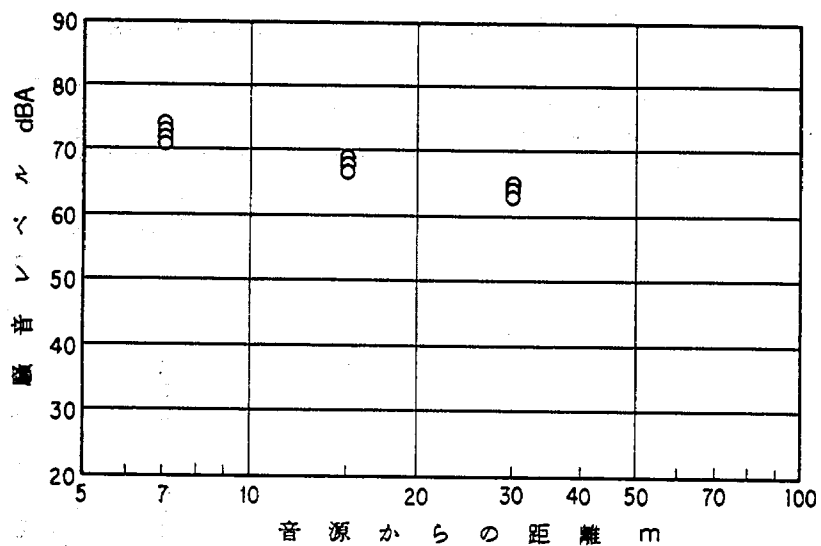
(24) 鋼矢板対策工法(N, M)工法の騒音の距離減衰



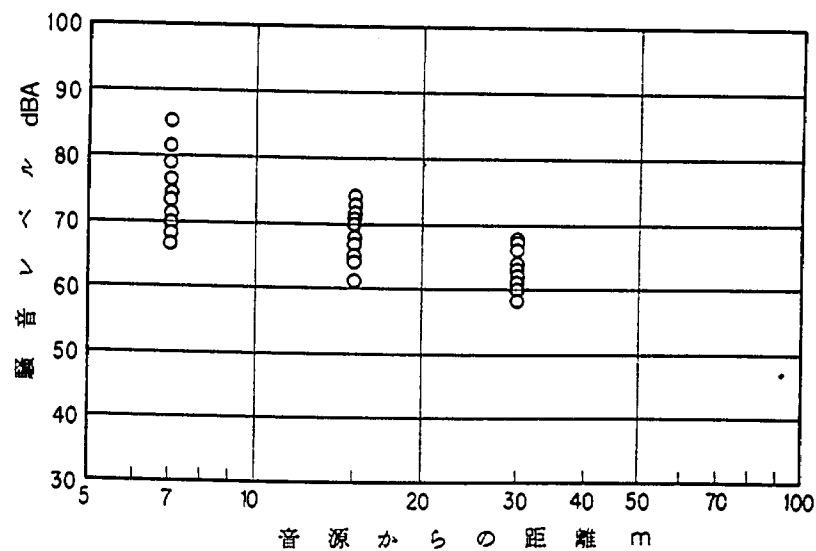
(25) ドーナツオーガ工法(S)の騒音の距離減衰



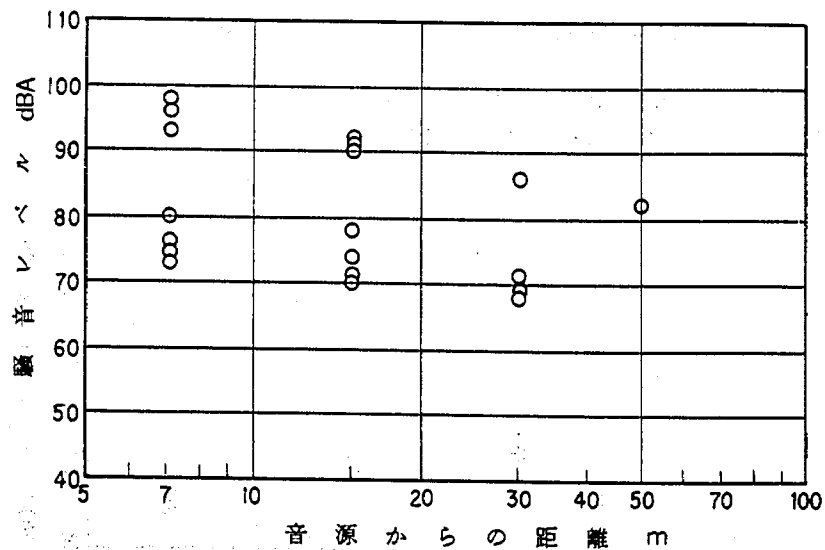
(26) ミルク注入オーガ工法(N)の騒音の距離減衰



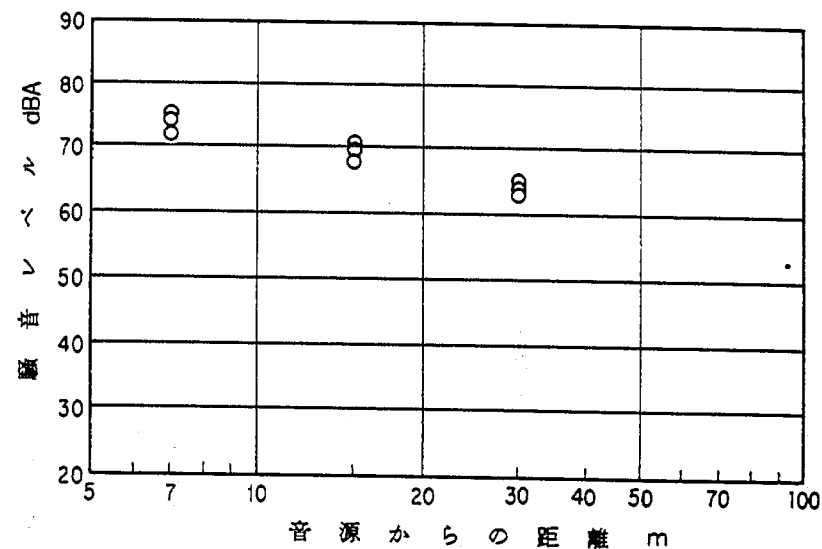
(27) 中掘工法の騒音の距離減衰



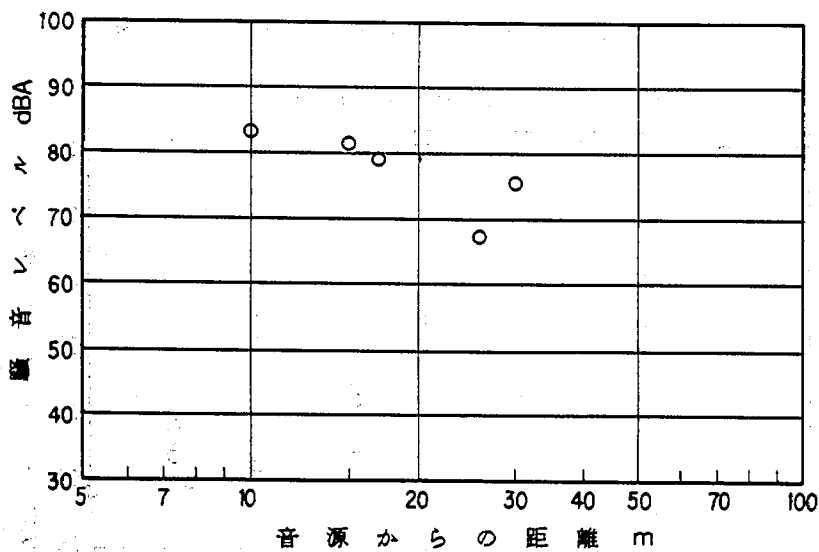
(28) 鋼矢板対策工法(T)の騒音の距離減衰



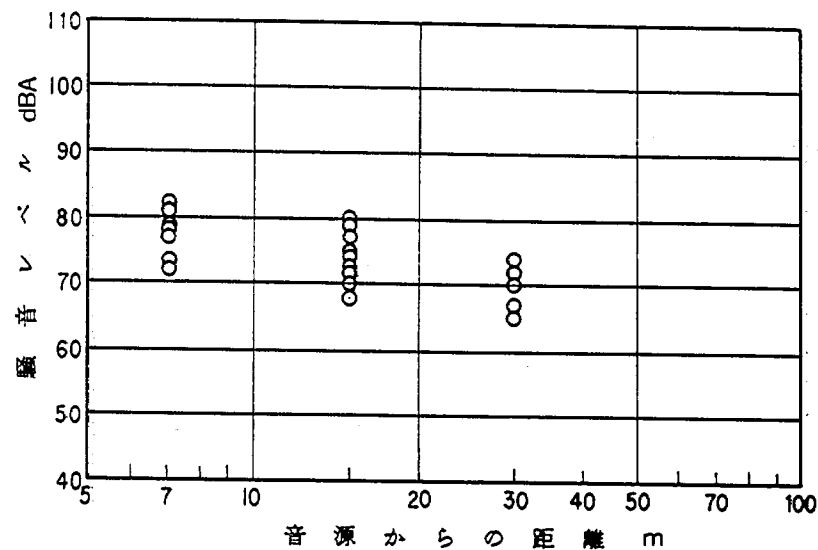
(29) スパイラルオーガ工法(N)の騒音の距離減衰



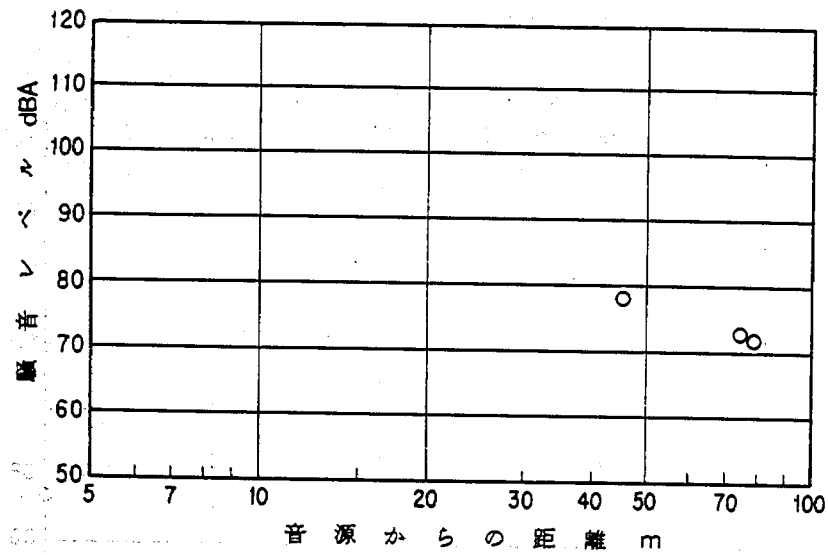
(30) パイル工法(K)の騒音の距離減衰



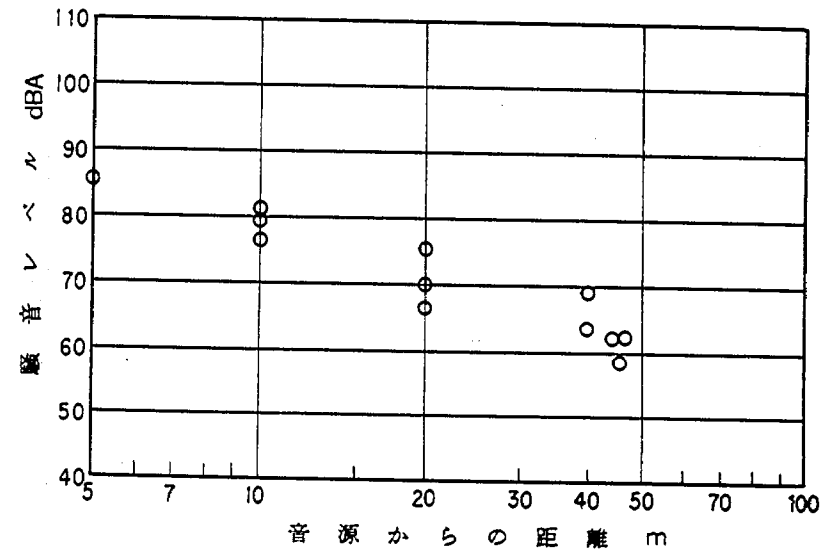
(31) 既製杭対策工法(M)の騒音の距離減衰



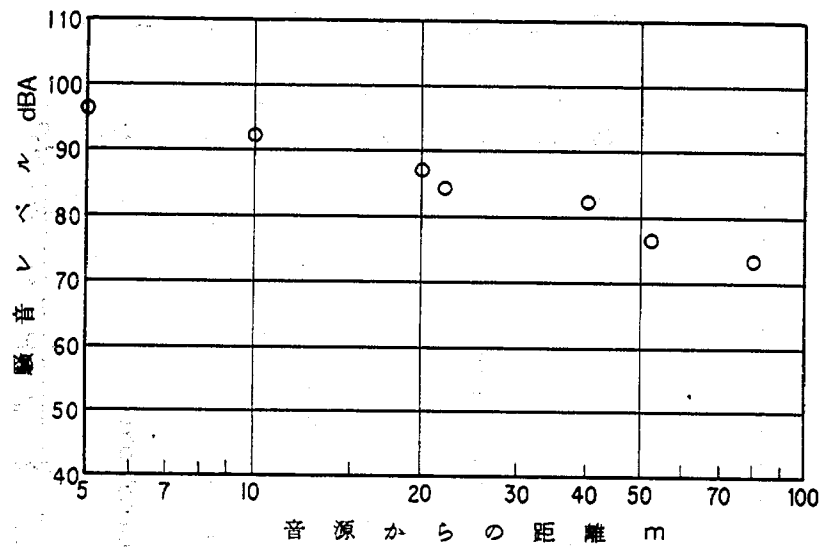
(32) ケミコパイル工法の騒音の距離減衰



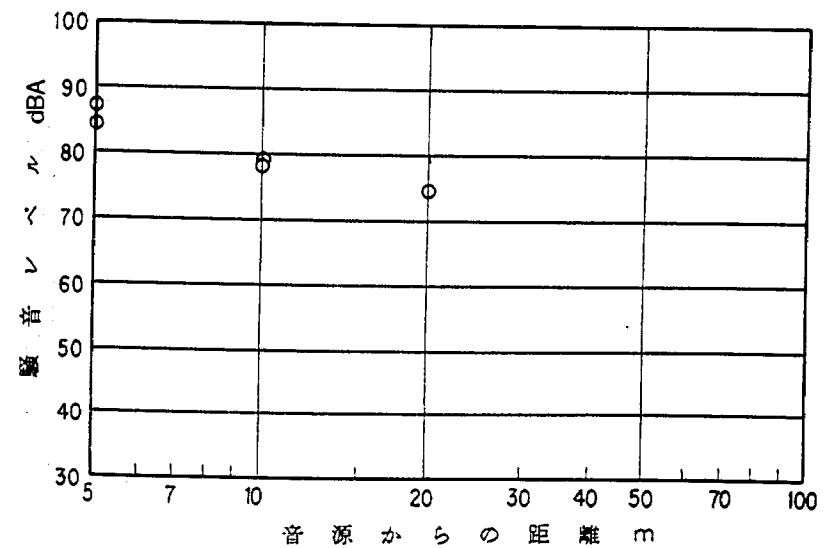
(33) サンドパイル工法の騒音の距離減衰



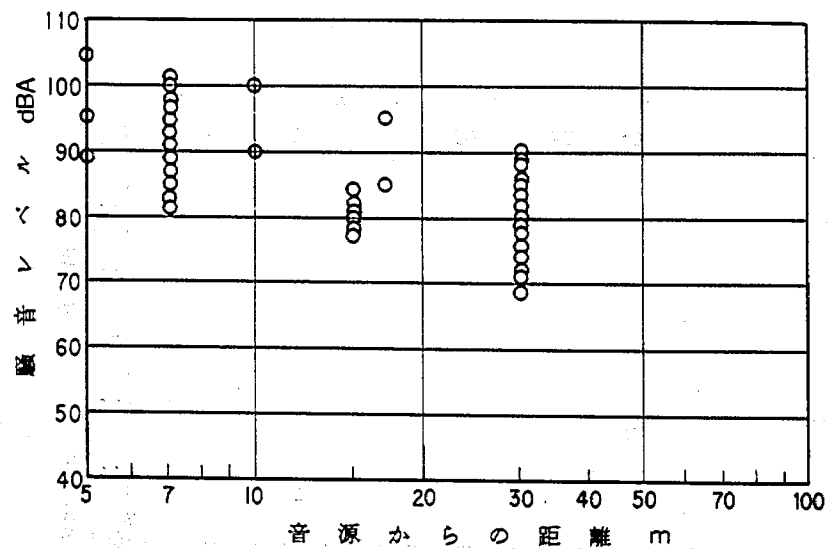
(34) ウェルポイント工法の騒音の距離減衰



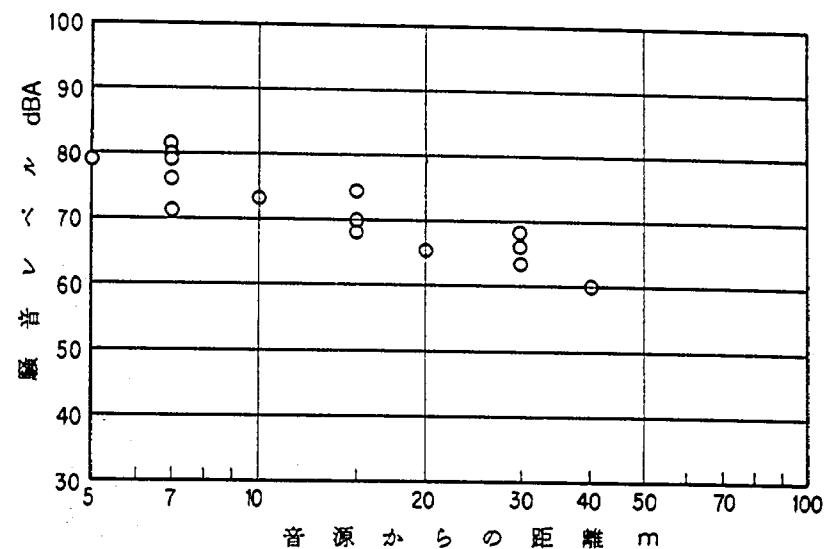
(35) さく岩機の騒音の距離減衰



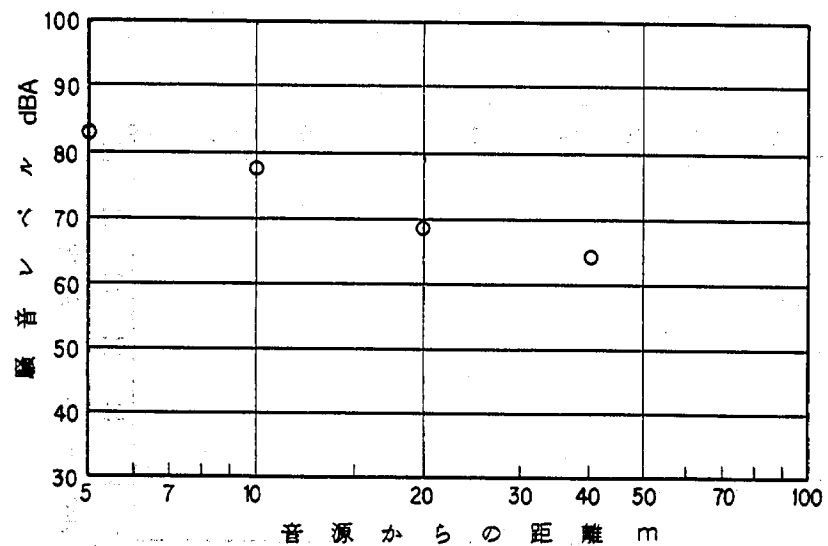
(36) ブレーカ(小型)の騒音の距離減衰



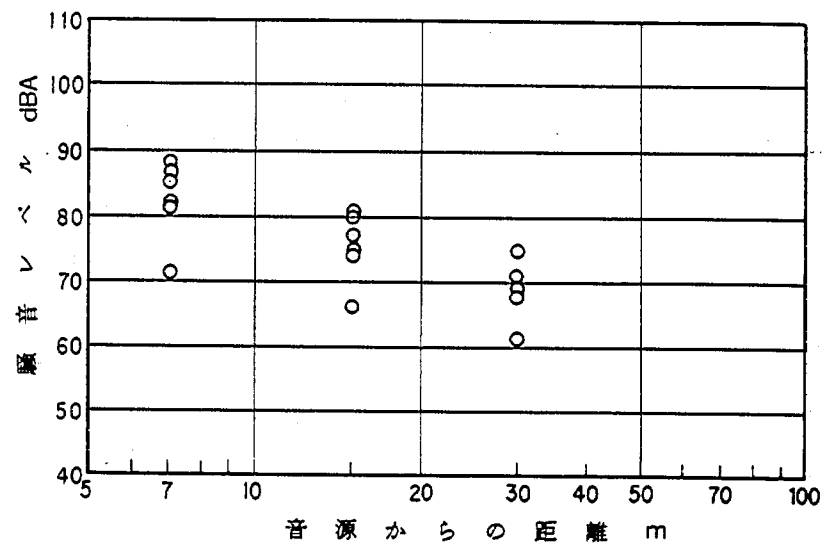
37 ブレーカ（大型）の騒音の距離減衰



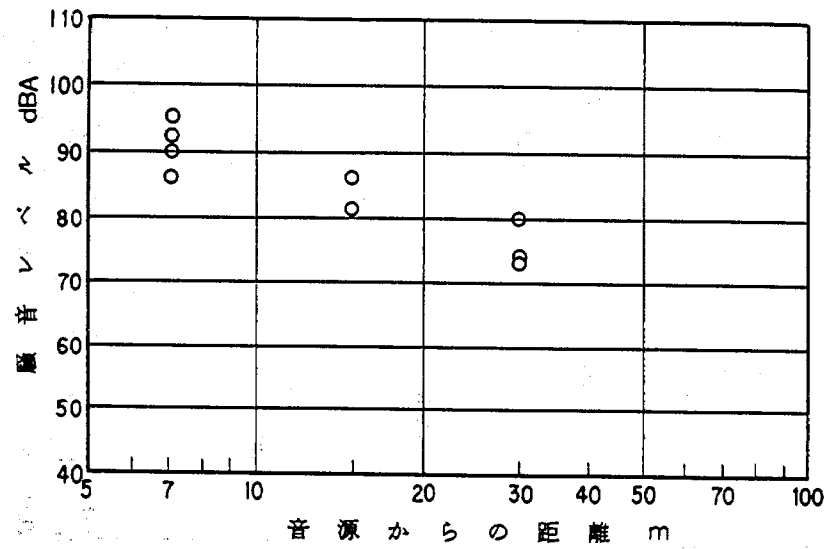
38 ロードローラの騒音の距離減衰



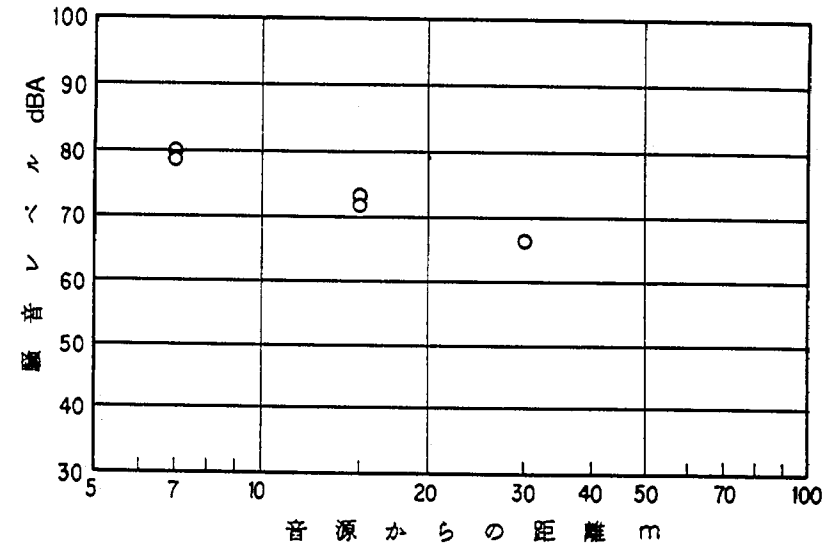
39 タイヤローラの騒音の距離減衰



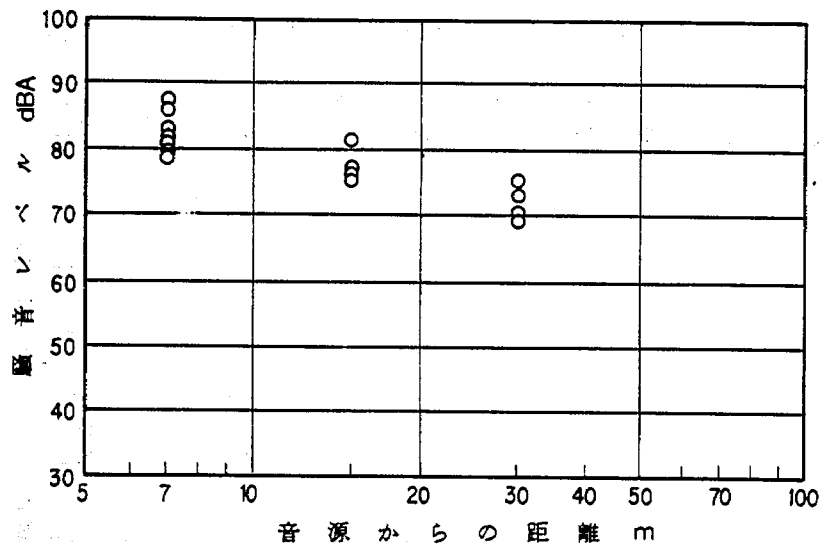
40 振動ローラ（5.0t 未満）の騒音の距離減衰



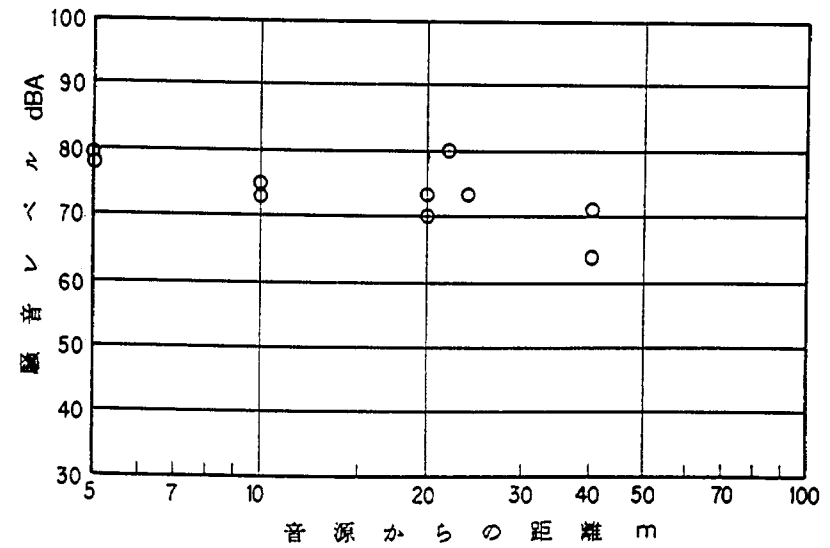
(41) 振動ローラ (5.0t 以上) の騒音の距離減衰



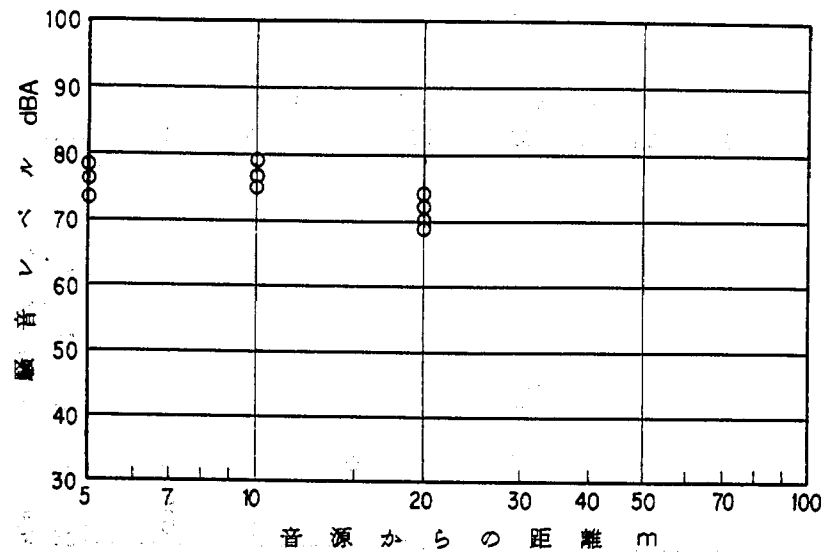
(42) 振動コンパクタの騒音の距離減衰



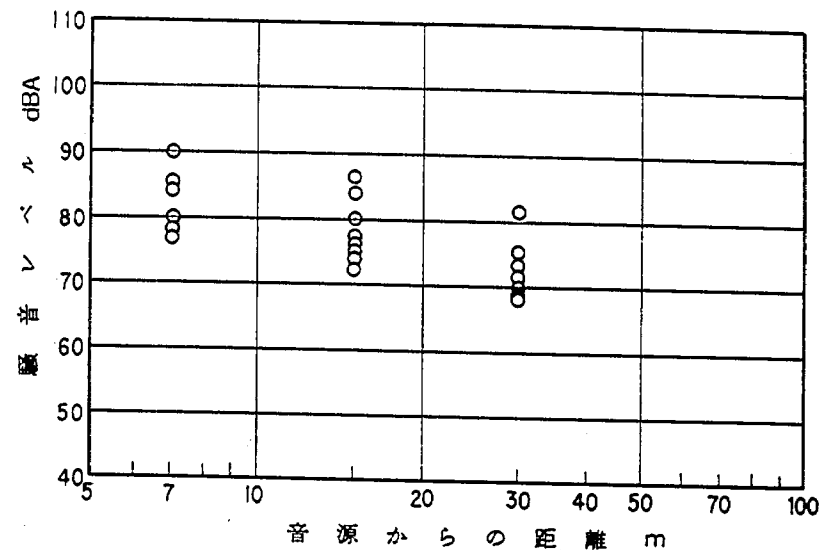
(43) ランマ・タンパの騒音の距離減衰



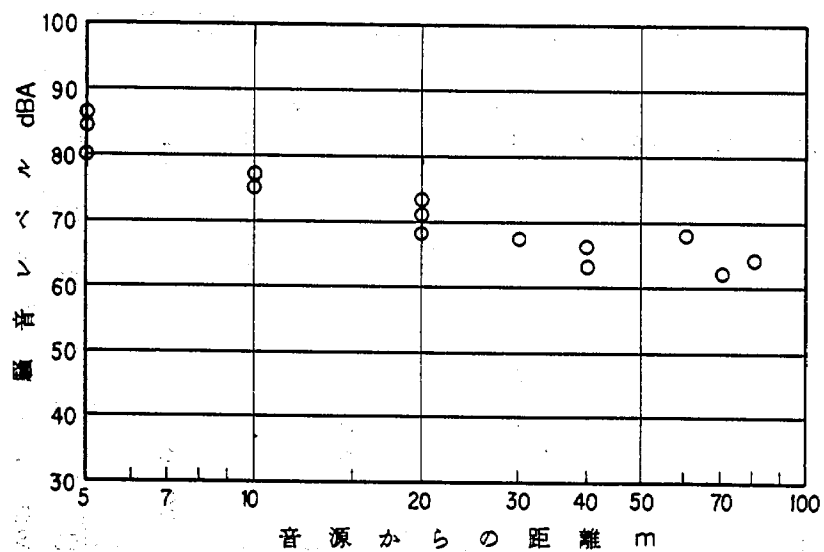
(44) コンクリートブランクの騒音の距離減衰



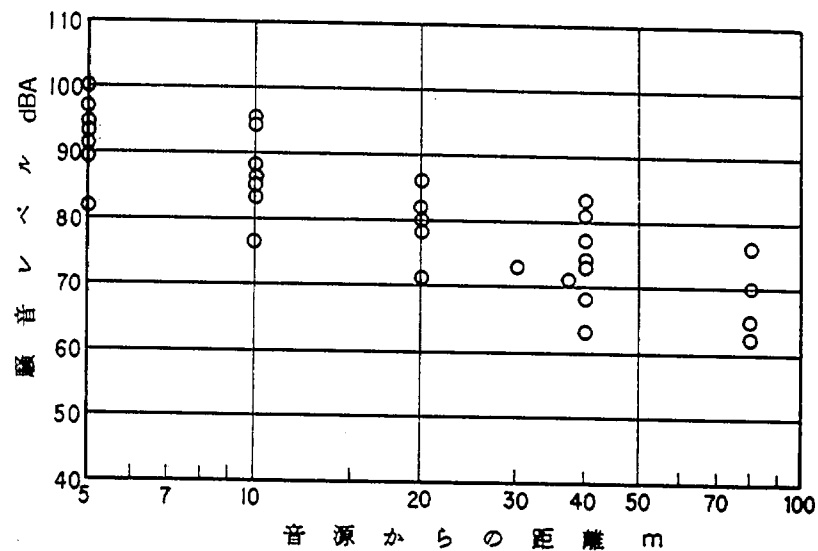
(45) コンクリートミキサの騒音の距離減衰



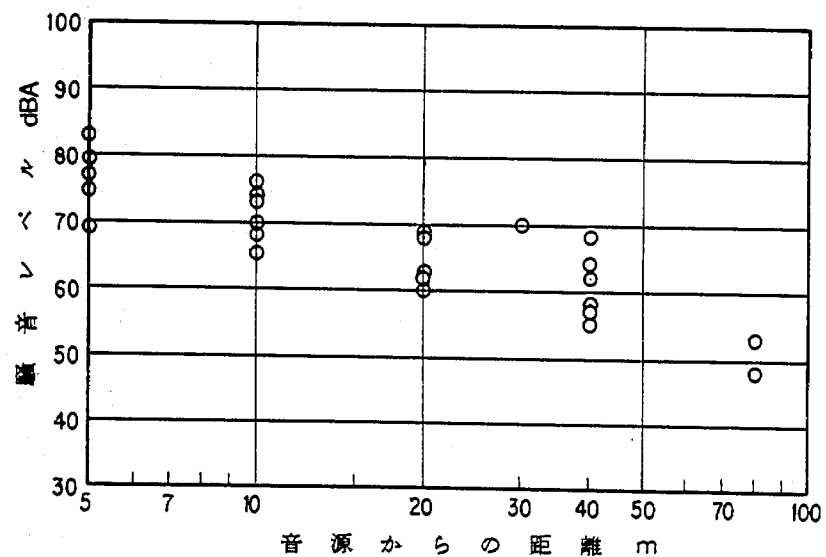
(46) コンクリート破壊機の騒音の距離減衰



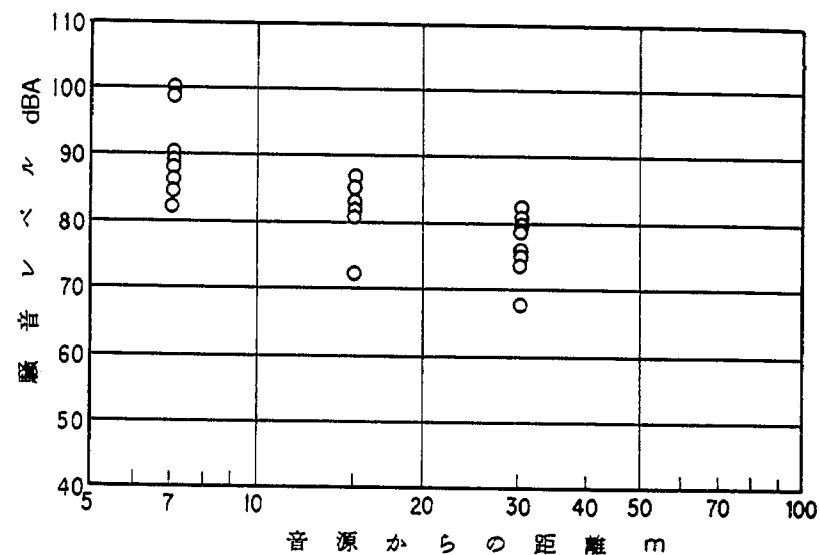
(47) コンクリート機械の騒音の距離減衰



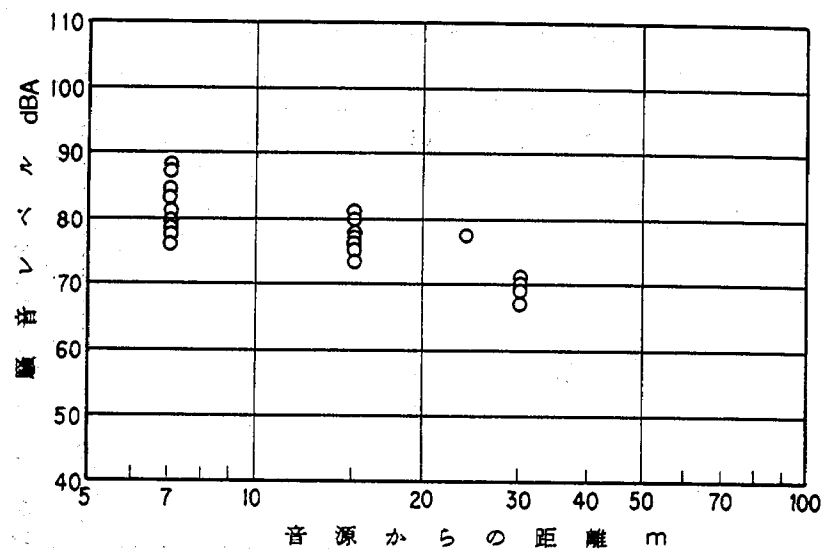
(48) アスファルトプラントの騒音の距離減衰



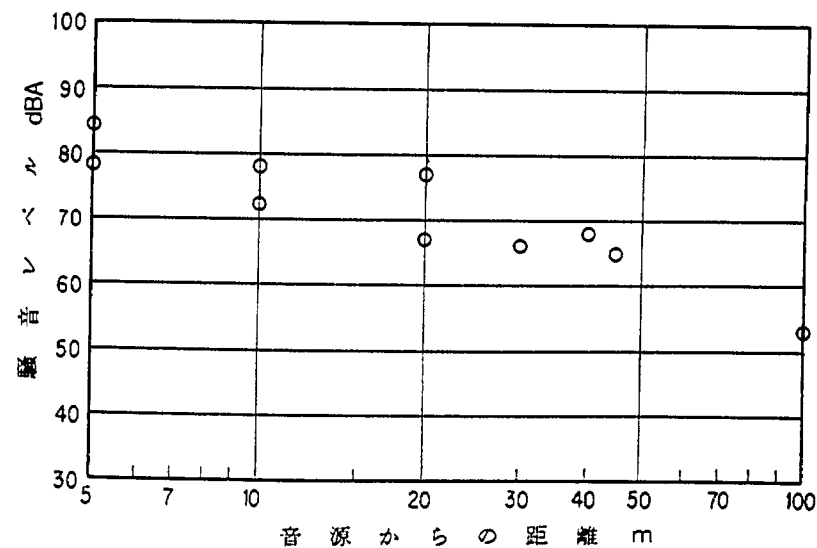
(49) アスファルトフィニッシャの騒音の距離減衰



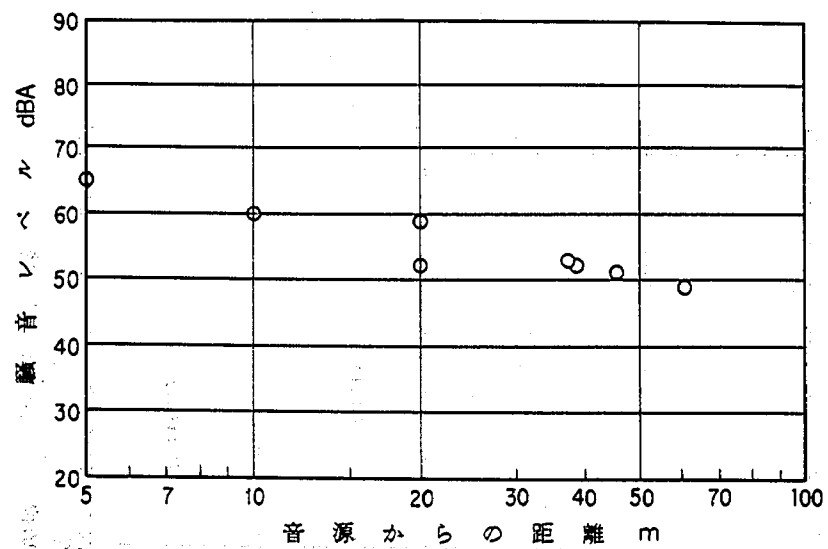
(50) コンクリートカッタの騒音の距離減衰



(51) 路面整正機の騒音の距離減衰



(52) 空気圧縮機の騒音の距離減衰



(53) ポンプの騒音の距離減衰

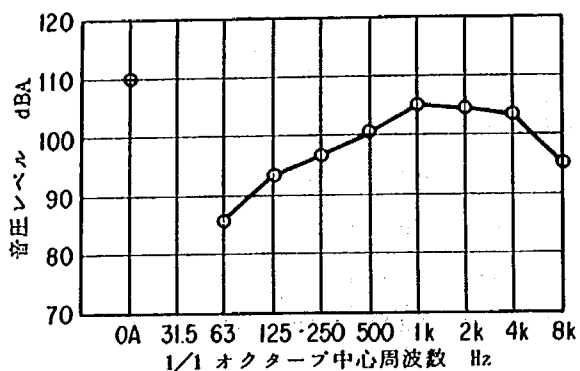
## 参考資料－B

### 建設機械騒音の周波数

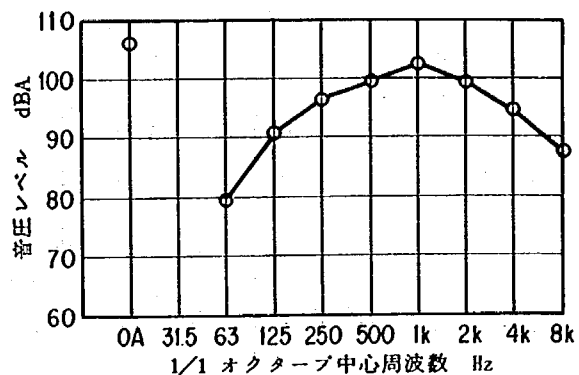
1. The first part of the document is a list of the names of the persons who were present at the meeting. The names are listed in alphabetical order.

附表-B 建設機械の騒音スペクトルパワーレベル

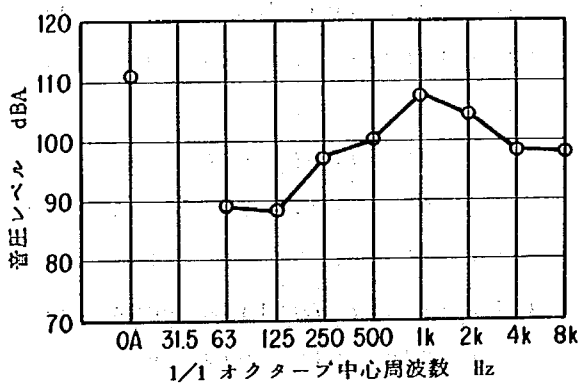
| 機 械 名       | コード   | 1/1 オクターブ周波数 Hz |      |      |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |       | A.P.            | 63   | 125  | 250   | 500   | 1k    | 2k    | 4k    | 8k    |
| ブルドーザ       | 1 0 1 | 110.3           | 86.0 | 93.7 | 97.0  | 100.8 | 105.3 | 104.4 | 103.6 | 95.1  |
| 油圧ショベル      | 2 0 2 | 106.4           | 79.7 | 90.8 | 96.3  | 99.7  | 102.2 | 99.2  | 94.8  | 87.8  |
| ホイールローダ     | 3 0 2 | 110.6           | 89.5 | 88.0 | 97.0  | 100.0 | 107.5 | 104.5 | 98.5  | 98.0  |
| クローラクレーン    | 5 0 3 | 97.1            | 68.9 | 78.3 | 87.4  | 92.9  | 92.2  | 88.4  | 82.4  | 75.0  |
| ディーゼルバイルハンマ | 6 0 1 | 126.4           | 89.5 | 99.0 | 108.6 | 118.7 | 123.4 | 120.1 | 114.3 | 105.1 |
| 振動バイルドライバ   | 6 0 2 | 113.7           | 87.1 | 90.8 | 98.0  | 102.9 | 110.4 | 108.5 | 103.5 | 94.5  |
| アースオーガ      | 6 0 3 | 110.2           | 90.2 | 93.7 | 100.7 | 99.2  | 106.2 | 104.7 | 99.2  | 91.7  |
| ベント掘削機      | 6 0 5 | 113.4           | 84.9 | 95.6 | 104.9 | 108.3 | 109.1 | 104.4 | 99.3  | 87.9  |
| 既製抗対策工法 (S) | 6 0 7 | 102.2           | 85.7 | 82.7 | 89.7  | 95.7  | 94.7  | 96.7  | 93.7  | 91.7  |
| 〃 (M)       | 6 1 0 | 110.2           | 81.5 | 90.5 | 94.3  | 103.0 | 107.3 | 104.0 | 93.9  |       |
| 鋼矢板対策工法 (N) | 6 1 1 | 104.7           | 89.4 | 88.4 | 92.4  | 95.4  | 102.4 | 96.4  | 89.4  | 80.4  |
| 〃 (M)       | 6 1 3 | 95.7            | 72.2 | 78.2 | 86.5  | 89.5  | 92.5  | 85.5  | 79.2  | 70.9  |
| ドロップハンマ     | 6 1 5 | 121.2           | 80.8 | 92.3 | 106.2 | 115.8 | 117.0 | 114.6 | 109.4 | 97.8  |
| 中掘工法        | 6 3 0 | 99.6            | 84.9 | 92.4 | 92.9  | 91.9  | 91.9  | 91.4  | 86.4  | 80.9  |
| 鋼矢板対策工法 (I) | 6 3 1 | 99.7            | 80.0 | 86.5 | 91.5  | 94.0  | 95.0  | 91.0  | 84.5  | 80.0  |
| スパイラルオーガ工法  | 6 3 2 | 104.0           | 89.2 | 97.2 | 94.7  | 95.2  | 98.7  | 95.7  | 90.2  | 85.7  |
| 鋼矢板対策工法 (H) | 6 3 3 | 102.8           | 82.1 | 86.7 | 95.4  | 94.9  | 98.3  | 95.4  | 90.8  | 86.2  |
| ケミコパイル工法    | 6 3 4 | 105.3           | 81.6 | 91.6 | 90.8  | 99.1  | 102.4 | 96.8  | 87.0  |       |
| 鋼矢板対策工法 (K) | 6 3 7 | 99.0            | 90.8 | 90.3 | 90.8  | 93.3  | 92.3  | 86.3  | 80.8  | 76.8  |
| セメントミルク工法   | 6 3 8 | 98.9            | 83.8 | 83.8 | 90.3  | 94.3  | 93.8  | 89.3  | 83.3  | 75.8  |
| ウォータージェット工法 | 6 3 9 | 99.5            | 82.2 | 84.5 | 86.2  | 93.2  | 95.5  | 91.8  | 88.3  | 80.5  |
| 鋼矢板対策工法 (S) | 6 4 0 | 103.5           | 87.2 | 92.9 | 95.6  | 97.9  | 98.2  | 94.6  | 87.6  |       |
| ウェルポイント     | 6 5 0 | 102.8           | 71.1 | 82.9 | 88.1  | 94.5  | 101.9 | 82.1  | 75.6  |       |
| コンクリートブレーカ  | 8 0 3 | 113.8           | 89.0 | 94.7 | 100.1 | 105.7 | 109.8 | 107.9 | 104.2 | 96.6  |
| ロードローラ      | 9 0 1 | 102.3           | 76.7 | 86.5 | 98.7  | 94.2  | 96.7  | 90.7  | 85.7  | 77.5  |
| 振動コンパクタ     | 9 0 4 | 99.2            | 67.5 | 82.0 | 90.3  | 90.5  | 93.5  | 90.3  | 94.0  |       |
| 振動ローラ       | 9 0 5 | 108.5           | 83.7 | 92.8 | 100.2 | 102.9 | 104.0 | 99.8  | 94.6  | 85.4  |
| ランマ・タンバ     | 9 0 6 | 107.5           | 78.0 | 87.1 | 86.8  | 102.4 | 103.1 | 100.5 | 97.5  | 81.5  |
| コンクリートカッタ   | 9 4 5 | 113.8           | 79.2 | 93.1 | 101.7 | 104.6 | 107.7 | 105.7 | 109.6 | 98.1  |
| 路面整正機       | 9 4 6 | 105.6           | 84.7 | 94.1 | 96.5  | 98.4  | 101.7 | 97.5  | 89.8  | 81.2  |
| 空気圧縮機       | 9 5 1 | 104.8           | 89.8 | 96.8 | 98.8  | 96.8  | 97.8  | 97.8  |       |       |
| ポンプ設備       | 9 5 3 | 90.3            | 79.5 | 84.5 | 85.5  | 82.5  | 82.5  |       |       |       |
| クラッシングボール   | 9 6 0 | 108.9           | 91.1 | 93.5 | 100.0 | 102.6 | 104.5 | 101.1 | 95.8  | 89.1  |



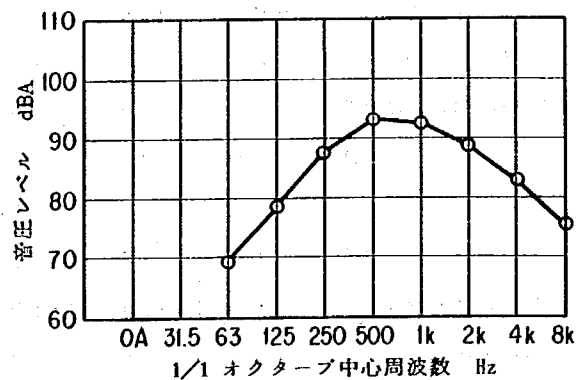
(1) ブルドーザ



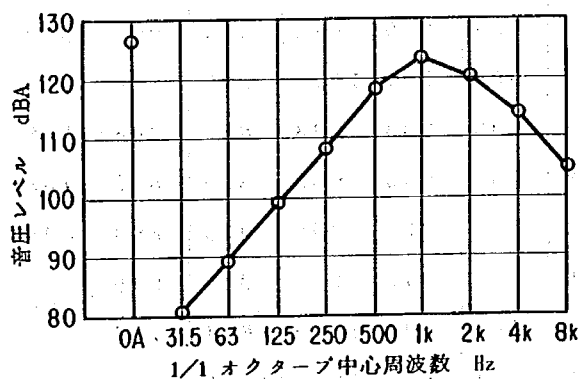
(2) パワーショベル



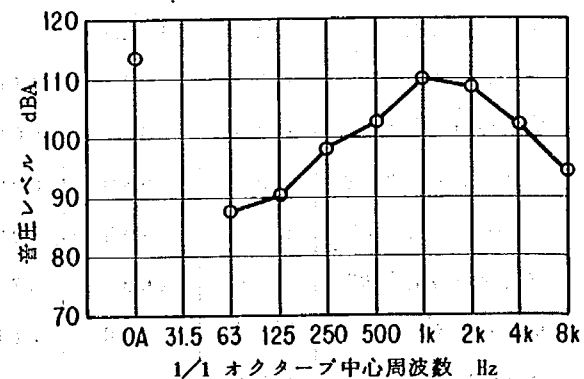
(3) クローラローダ



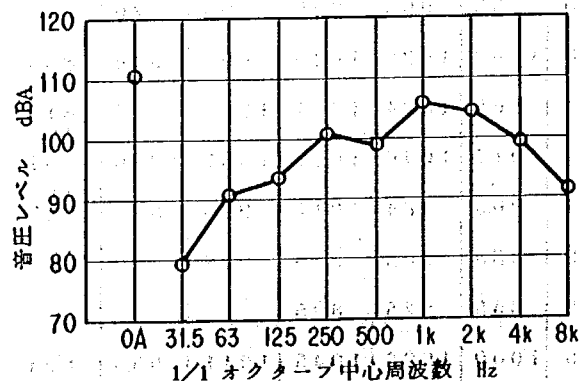
(4) クローラクレーン



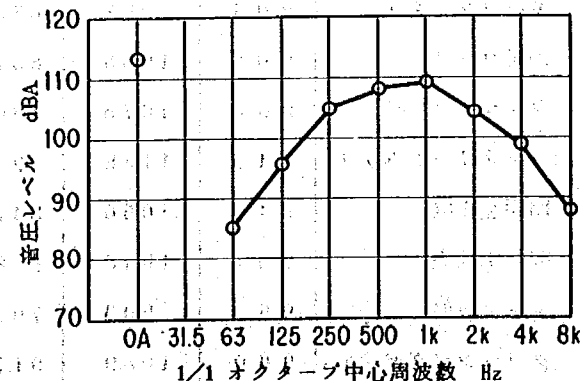
(5) ディーゼルパイルハンマ



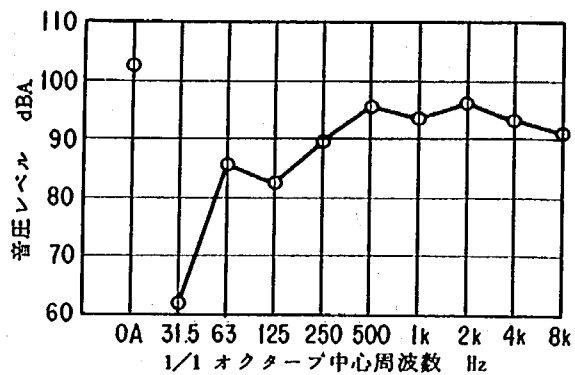
(6) 振動パイルハンマ



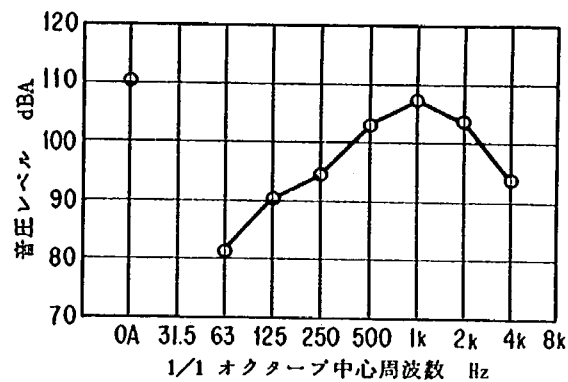
(7) アースオーガ



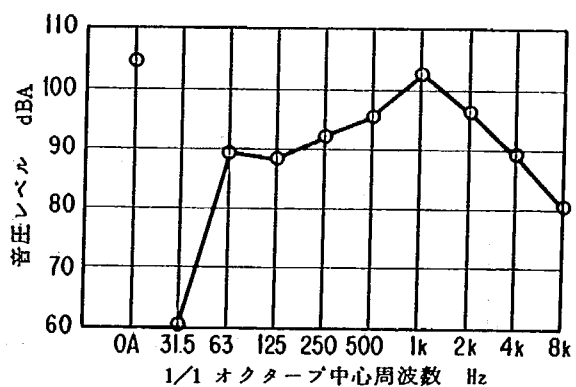
(8) 大口徑掘削機(ハンマグラフ)



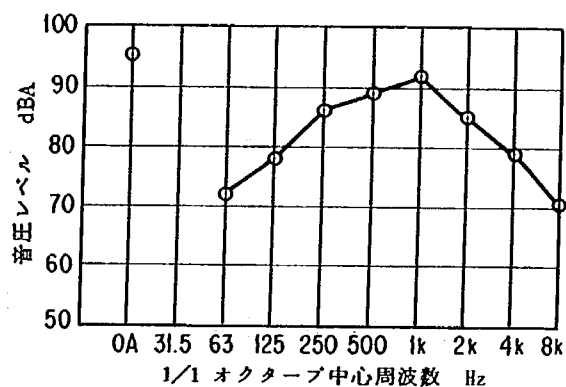
(9) ドーナツオーガ(S)



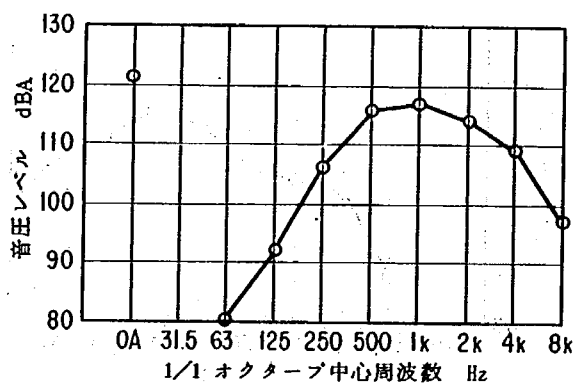
(10) 既製杭対策工法(M)



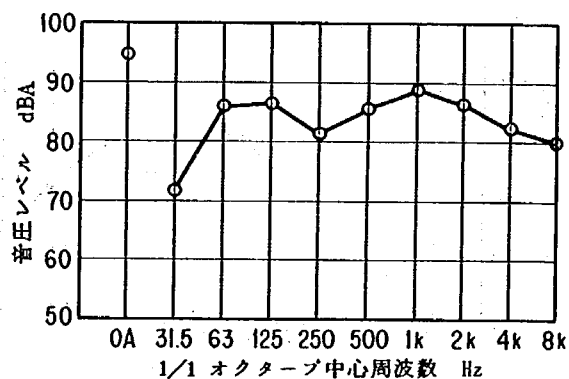
(11) 鋼矢板対策工法(N)



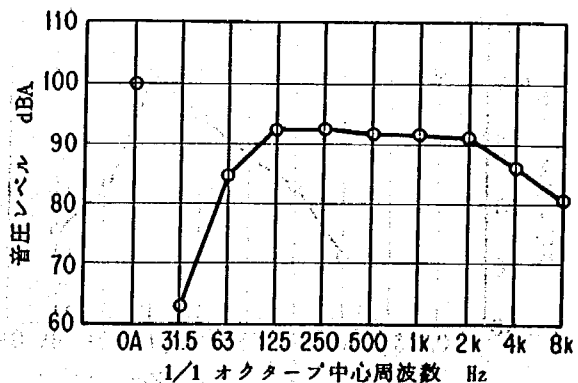
(12) 鋼矢板対策工法(M)



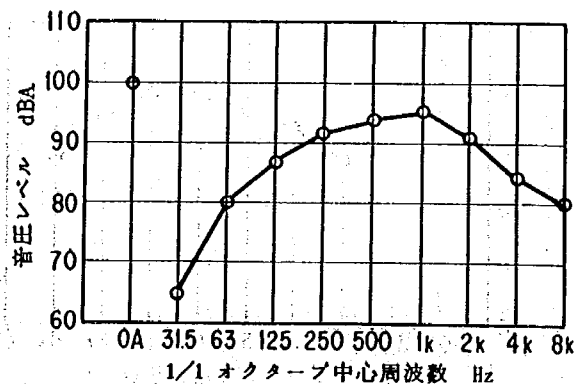
(13) ドロップハンマ



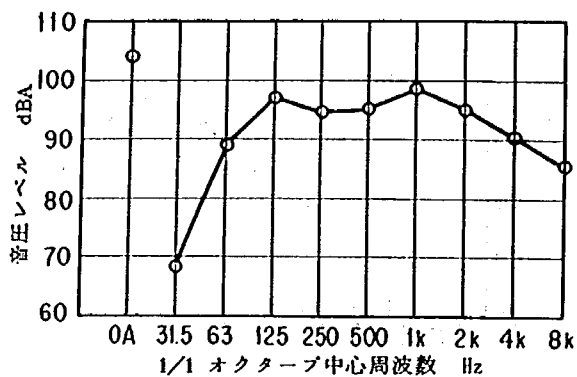
(14) アースオーガ併用法



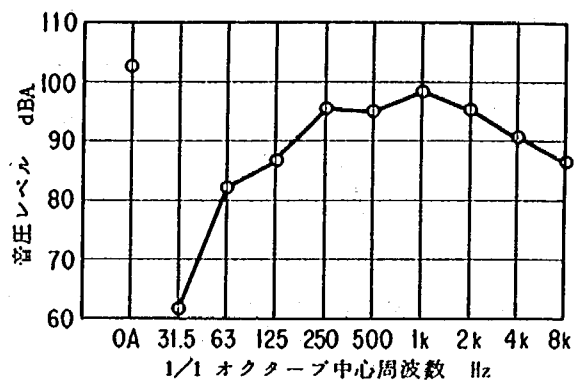
(15) 中掘工法



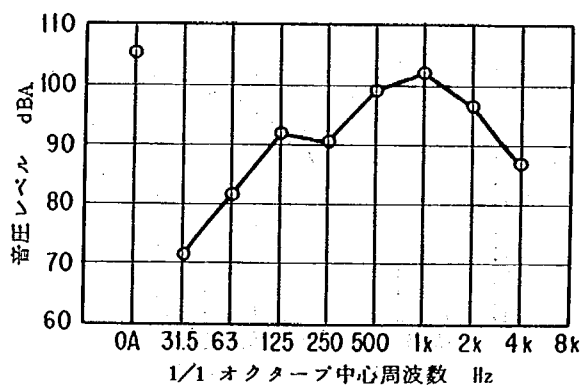
(16) 鋼矢板対策工法(I)



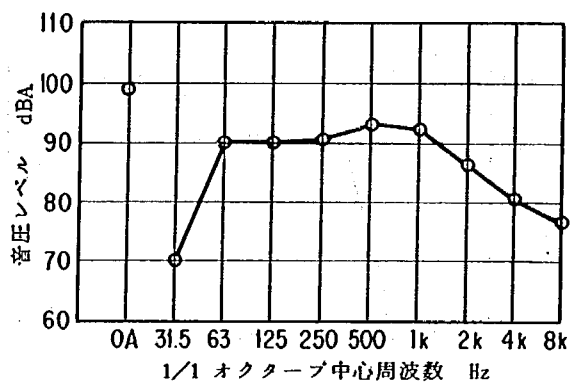
(17) スパイラルオーガ(N)工法



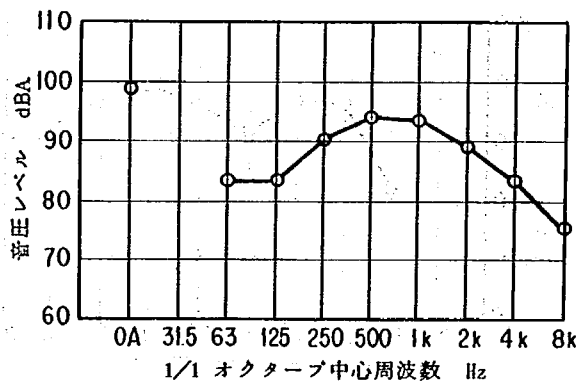
(18) 既製杭対策工法(D)



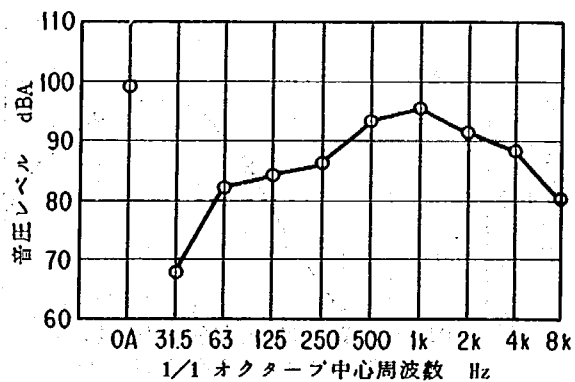
(19) ケミコパイル工法



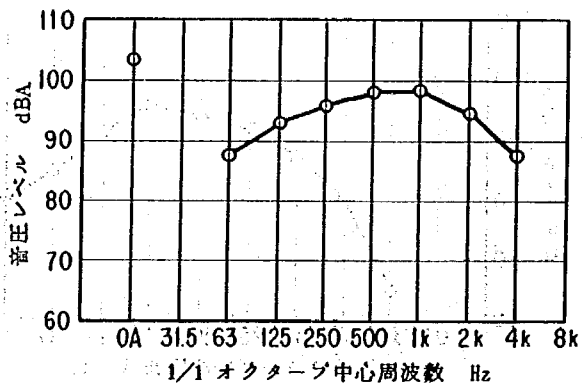
(20) パイル工法(K)



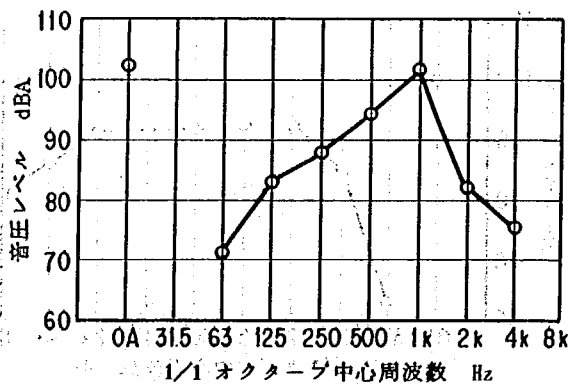
(21) ミルク注入オーガ工法(N)



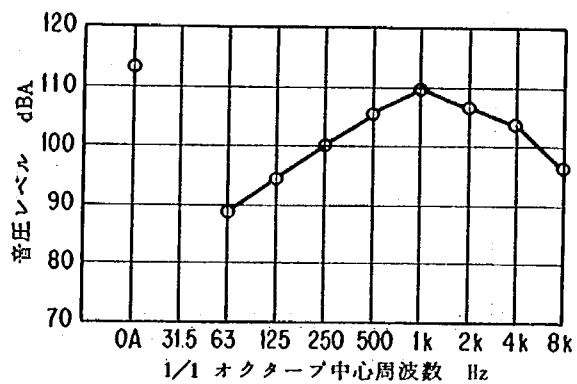
(22) 鋼矢板対策工法(I)



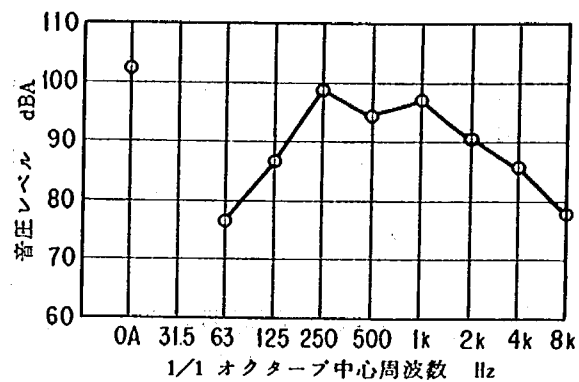
(23) 鋼矢板対策工法(S)



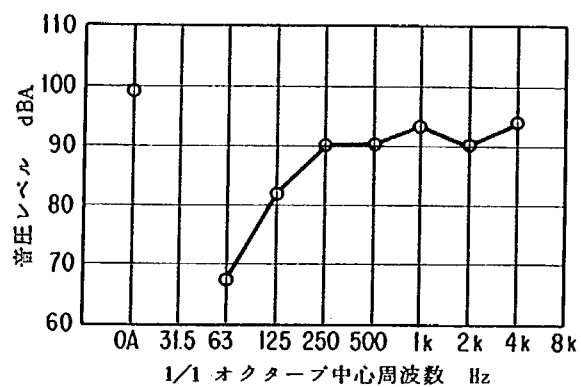
(24) ウェルポイント工法



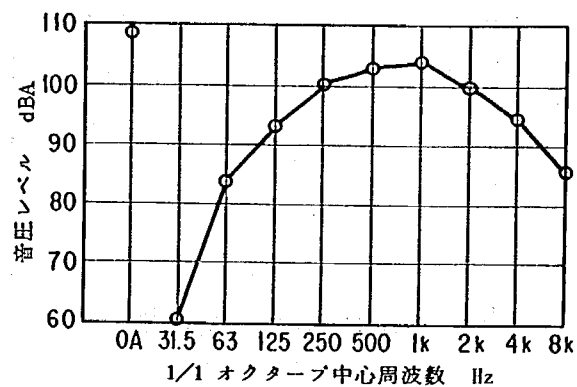
(25) ブレーカ



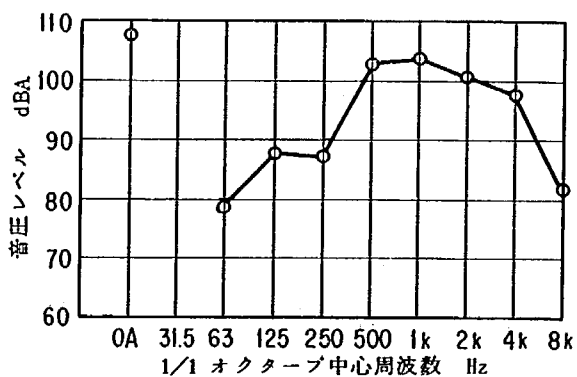
(26) ロードローラ



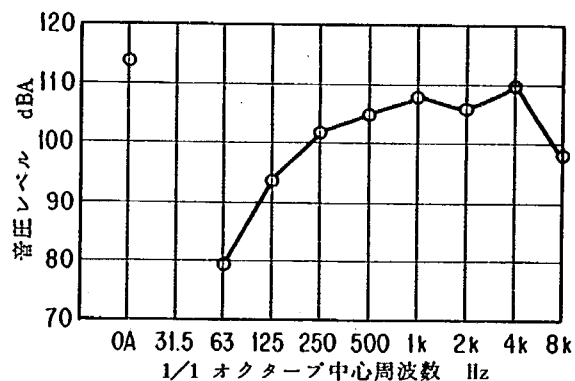
(27) 振動コンパクタ



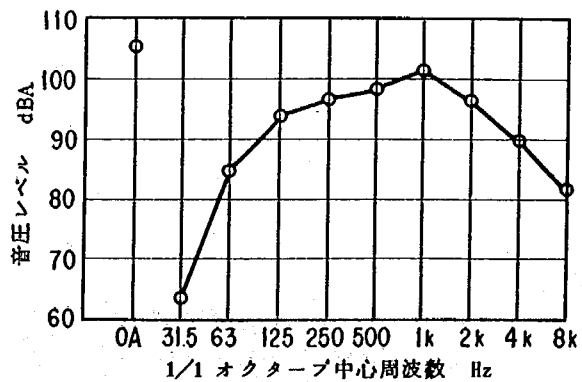
(28) 振動ローラ



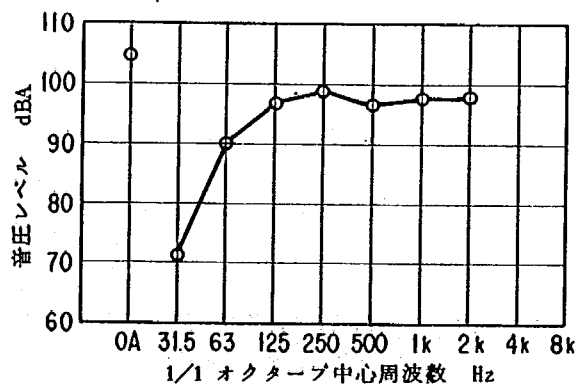
(29) ランマ・タンバ



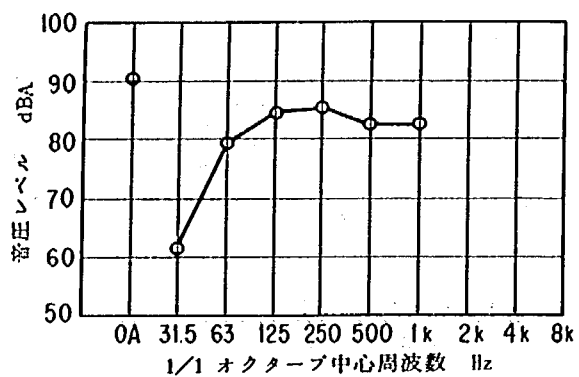
(30) コンクリートカッタ



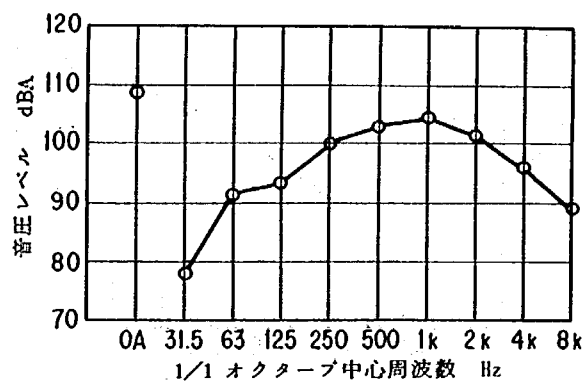
(31) 路面整正機



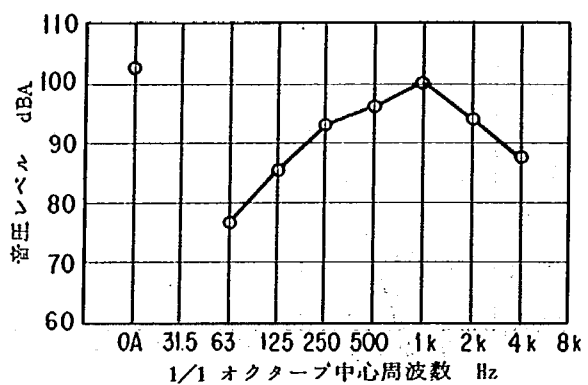
(32) 空気圧縮機



(33) ポンプ



(34) コンクリート破壊機

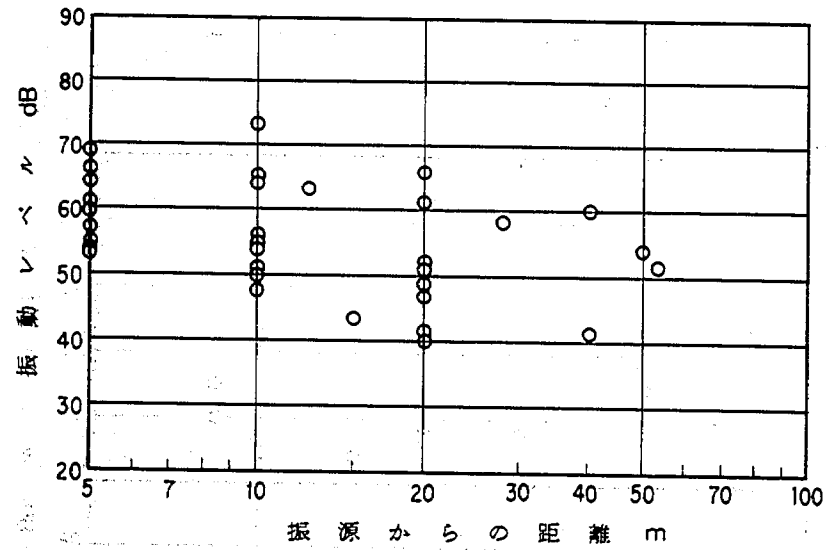


(35) リバースサーキュレーション

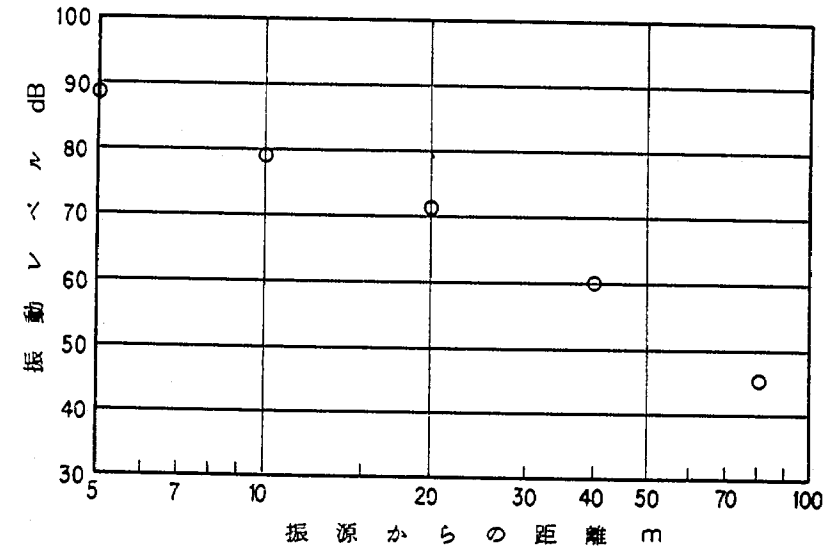
## 参考資料－C

### 建設機械振動の測定値

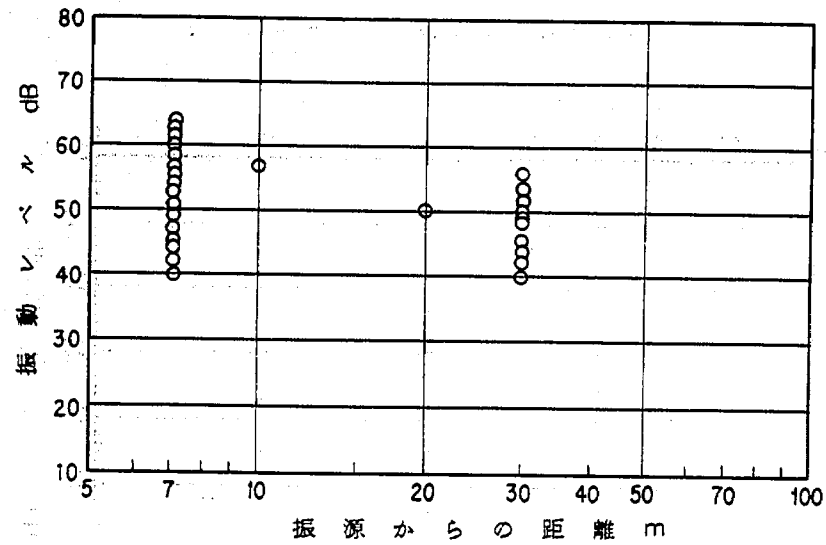
1. 1943  
2. 1944  
3. 1945  
4. 1946  
5. 1947  
6. 1948  
7. 1949  
8. 1950  
9. 1951  
10. 1952  
11. 1953  
12. 1954  
13. 1955  
14. 1956  
15. 1957  
16. 1958  
17. 1959  
18. 1960  
19. 1961  
20. 1962  
21. 1963  
22. 1964  
23. 1965  
24. 1966  
25. 1967  
26. 1968  
27. 1969  
28. 1970  
29. 1971  
30. 1972  
31. 1973  
32. 1974  
33. 1975  
34. 1976  
35. 1977  
36. 1978  
37. 1979  
38. 1980  
39. 1981  
40. 1982  
41. 1983  
42. 1984  
43. 1985  
44. 1986  
45. 1987  
46. 1988  
47. 1989  
48. 1990  
49. 1991  
50. 1992  
51. 1993  
52. 1994  
53. 1995  
54. 1996  
55. 1997  
56. 1998  
57. 1999  
58. 2000  
59. 2001  
60. 2002  
61. 2003  
62. 2004  
63. 2005  
64. 2006  
65. 2007  
66. 2008  
67. 2009  
68. 2010  
69. 2011  
70. 2012  
71. 2013  
72. 2014  
73. 2015  
74. 2016  
75. 2017  
76. 2018  
77. 2019  
78. 2020  
79. 2021  
80. 2022  
81. 2023  
82. 2024  
83. 2025  
84. 2026  
85. 2027  
86. 2028  
87. 2029  
88. 2030  
89. 2031  
90. 2032  
91. 2033  
92. 2034  
93. 2035  
94. 2036  
95. 2037  
96. 2038  
97. 2039  
98. 2040  
99. 2041  
100. 2042  
101. 2043  
102. 2044  
103. 2045  
104. 2046  
105. 2047  
106. 2048  
107. 2049  
108. 2050  
109. 2051  
110. 2052  
111. 2053  
112. 2054  
113. 2055  
114. 2056  
115. 2057  
116. 2058  
117. 2059  
118. 2060  
119. 2061  
120. 2062  
121. 2063  
122. 2064  
123. 2065  
124. 2066  
125. 2067  
126. 2068  
127. 2069  
128. 2070  
129. 2071  
130. 2072  
131. 2073  
132. 2074  
133. 2075  
134. 2076  
135. 2077  
136. 2078  
137. 2079  
138. 2080  
139. 2081  
140. 2082  
141. 2083  
142. 2084  
143. 2085  
144. 2086  
145. 2087  
146. 2088  
147. 2089  
148. 2090  
149. 2091  
150. 2092  
151. 2093  
152. 2094  
153. 2095  
154. 2096  
155. 2097  
156. 2098  
157. 2099  
158. 2100  
159. 2101  
160. 2102  
161. 2103  
162. 2104  
163. 2105  
164. 2106  
165. 2107  
166. 2108  
167. 2109  
168. 2110  
169. 2111  
170. 2112  
171. 2113  
172. 2114  
173. 2115  
174. 2116  
175. 2117  
176. 2118  
177. 2119  
178. 2120  
179. 2121  
180. 2122  
181. 2123  
182. 2124  
183. 2125  
184. 2126  
185. 2127  
186. 2128  
187. 2129  
188. 2130  
189. 2131  
190. 2132  
191. 2133  
192. 2134  
193. 2135  
194. 2136  
195. 2137  
196. 2138  
197. 2139  
198. 2140  
199. 2141  
200. 2142  
201. 2143  
202. 2144  
203. 2145  
204. 2146  
205. 2147  
206. 2148  
207. 2149  
208. 2150  
209. 2151  
210. 2152  
211. 2153  
212. 2154  
213. 2155  
214. 2156  
215. 2157  
216. 2158  
217. 2159  
218. 2160  
219. 2161  
220. 2162  
221. 2163  
222. 2164  
223. 2165  
224. 2166  
225. 2167  
226. 2168  
227. 2169  
228. 2170  
229. 2171  
230. 2172  
231. 2173  
232. 2174  
233. 2175  
234. 2176  
235. 2177  
236. 2178  
237. 2179  
238. 2180  
239. 2181  
240. 2182  
241. 2183  
242. 2184  
243. 2185  
244. 2186  
245. 2187  
246. 2188  
247. 2189  
248. 2190  
249. 2191  
250. 2192  
251. 2193  
252. 2194  
253. 2195  
254. 2196  
255. 2197  
256. 2198  
257. 2199  
258. 2200  
259. 2201  
260. 2202  
261. 2203  
262. 2204  
263. 2205  
264. 2206  
265. 2207  
266. 2208  
267. 2209  
268. 2210  
269. 2211  
270. 2212  
271. 2213  
272. 2214  
273. 2215  
274. 2216  
275. 2217  
276. 2218  
277. 2219  
278. 2220  
279. 2221  
280. 2222  
281. 2223  
282. 2224  
283. 2225  
284. 2226  
285. 2227  
286. 2228  
287. 2229  
288. 2230  
289. 2231  
290. 2232  
291. 2233  
292. 2234  
293. 2235  
294. 2236  
295. 2237  
296. 2238  
297. 2239  
298. 2240  
299. 2241  
300. 2242  
301. 2243  
302. 2244  
303. 2245  
304. 2246  
305. 2247  
306. 2248  
307. 2249  
308. 2250  
309. 2251  
310. 2252  
311. 2253  
312. 2254  
313. 2255  
314. 2256  
315. 2257  
316. 2258  
317. 2259  
318. 2260  
319. 2261  
320. 2262  
321. 2263  
322. 2264  
323. 2265  
324. 2266  
325. 2267  
326. 2268  
327. 2269  
328. 2270  
329. 2271  
330. 2272  
331. 2273  
332. 2274  
333. 2275  
334. 2276  
335. 2277  
336. 2278  
337. 2279  
338. 2280  
339. 2281  
340. 2282  
341. 2283  
342. 2284  
343. 2285  
344. 2286  
345. 2287  
346. 2288  
347. 2289  
348. 2290  
349. 2291  
350. 2292  
351. 2293  
352. 2294  
353. 2295  
354. 2296  
355. 2297  
356. 2298  
357. 2299  
358. 2300  
359. 2301  
360. 2302  
361. 2303  
362. 2304  
363. 2305  
364. 2306  
365. 2307  
366. 2308  
367. 2309  
368. 2310  
369. 2311  
370. 2312  
371. 2313  
372. 2314  
373. 2315  
374. 2316  
375. 2317  
376. 2318  
377. 2319  
378. 2320  
379. 2321  
380. 2322  
381. 2323  
382. 2324  
383. 2325  
384. 2326  
385. 2327  
386. 2328  
387. 2329  
388. 2330  
389. 2331  
390. 2332  
391. 2333  
392. 2334  
393. 2335  
394. 2336  
395. 2337  
396. 2338  
397. 2339  
398. 2340  
399. 2341  
400. 2342  
401. 2343  
402. 2344  
403. 2345  
404. 2346  
405. 2347  
406. 2348  
407. 2349  
408. 2350  
409. 2351  
410. 2352  
411. 2353  
412. 2354  
413. 2355  
414. 2356  
415. 2357  
416. 2358  
417. 2359  
418. 2360  
419. 2361  
420. 2362  
421. 2363  
422. 2364  
423. 2365  
424. 2366  
425. 2367  
426. 2368  
427. 2369  
428. 2370  
429. 2371  
430. 2372  
431. 2373  
432. 2374  
433. 2375  
434. 2376  
435. 2377  
436. 2378  
437. 2379  
438. 2380  
439. 2381  
440. 2382  
441. 2383  
442. 2384  
443. 2385  
444. 2386  
445. 2387  
446. 2388  
447. 2389  
448. 2390  
449. 2391  
450. 2392  
451. 2393  
452. 2394  
453. 2395  
454. 2396  
455. 2397  
456. 2398  
457. 2399  
458. 2400  
459. 2401  
460. 2402  
461. 2403  
462. 2404  
463. 2405  
464. 2406  
465. 2407  
466. 2408  
467. 2409  
468. 2410  
469. 2411  
470. 2412  
471. 2413  
472. 2414  
473. 2415  
474. 2416  
475. 2417  
476. 2418  
477. 2419  
478. 2420  
479. 2421  
480. 2422  
481. 2423  
482. 2424  
483. 2425  
484. 2426  
485. 2427  
486. 2428  
487. 2429  
488. 2430  
489. 2431  
490. 2432  
491. 2433  
492. 2434  
493. 2435  
494. 2436  
495. 2437  
496. 2438  
497. 2439  
498. 2440  
499. 2441  
500. 2442  
501. 2443  
502. 2444  
503. 2445  
504. 2446  
505. 2447  
506. 2448  
507. 2449  
508. 2450  
509. 2451  
510. 2452  
511. 2453  
512. 2454  
513. 2455  
514. 2456  
515. 2457  
516. 2458  
517. 2459  
518. 2460  
519. 2461  
520. 2462  
521. 2463  
522. 2464  
523. 2465  
524. 2466  
525. 2467  
526. 2468  
527. 2469  
528. 2470  
529. 2471  
530. 2472  
531. 2473  
532. 2474  
533. 2475  
534. 2476  
535. 2477  
536. 2478  
537. 2479  
538. 2480  
539. 2481  
540. 2482  
541. 2483  
542. 2484  
543. 2485  
544. 2486  
545. 2487  
546. 2488  
547. 2489  
548. 2490  
549. 2491  
550. 2492  
551. 2493  
552. 2494  
553. 2495  
554. 2496  
555. 2497  
556. 2498  
557. 2499  
558. 2500  
559. 2501  
560. 2502  
561. 2503  
562. 2504  
563. 2505  
564. 2506  
565. 2507  
566. 2508  
567. 2509  
568. 2510  
569. 2511  
570. 2512  
571. 2513  
572. 2514  
573. 2515  
574. 2516  
575. 2517  
576. 2518  
577. 2519  
578. 2520  
579. 2521  
580. 2522  
581. 2523  
582. 2524  
583. 2525  
584. 2526  
585. 2527  
586. 2528  
587. 2529  
588. 2530  
589. 2531  
590. 2532  
591. 2533  
592. 2534  
593. 2535  
594. 2536  
595. 2537  
596. 2538  
597. 2539  
598. 2540  
599. 2541  
600. 2542  
601. 2543  
602. 2544  
603. 2545  
604. 2546  
605. 2547  
606. 2548  
607. 2549  
608. 2550  
609. 2551  
610. 2552  
611. 2553  
612. 2554  
613. 2555  
614. 2556  
615. 2557  
616. 2558  
617. 2559  
618. 2560  
619. 2561  
620. 2562  
621. 2563  
622. 2564  
623. 2565  
624. 2566  
625. 2567  
626. 2568  
627. 2569  
628. 2570  
629. 2571  
630. 2572  
631. 2573  
632. 2574  
633. 2575  
634. 2576  
635. 2577  
636. 2578  
637. 2579  
638. 2580  
639. 2581  
640. 2582  
641. 2583  
642. 2584  
643. 2585  
644. 2586  
645. 2587  
646. 2588  
647. 2589  
648. 2590  
649. 2591  
650. 2592  
651. 2593  
652. 2594  
653. 2595  
654. 2596  
655. 2597  
656. 2598  
657. 2599  
658. 2600  
659. 2601  
660. 2602  
661. 2603  
662. 2604  
663. 2605  
664. 2606  
665. 2607  
666. 2608  
667. 2609  
668. 2610  
669. 2611  
670. 2612  
671. 2613  
672. 2614  
673. 2615  
674. 2616  
675. 2617  
676. 2618  
677. 2619  
678. 2620  
679. 2621  
680. 2622  
681. 2623  
682. 2624  
683. 2625  
684. 2626  
685. 2627  
686. 2628  
687. 2629  
688. 2630  
689. 2631  
690. 2632  
691. 2633  
692. 2634  
693. 2635  
694. 2636  
695. 2637  
696. 2638  
697. 2639  
698. 2640  
699. 2641  
700. 2642  
701. 2643  
702. 2644  
703. 2645  
704. 2646  
705. 2647  
706. 2648  
707. 2649  
708. 2650  
709. 2651  
710. 2652  
711. 2653  
712. 2654  
713. 2655  
714. 2656  
715. 2657  
716. 2658  
717. 2659  
718. 2660  
719. 2661  
720. 2662  
721. 2663  
722. 2664  
723. 2665  
724. 2666  
725. 2667  
726. 2668  
727. 2669  
728. 2670  
729. 2671  
730. 2672  
731. 2673  
732. 2674  
733. 2675  
734. 2676  
735. 2677  
736. 2678  
737. 2679  
738. 2680  
739. 2681  
740. 2682  
741. 2683  
742. 2684  
743. 2685  
744. 2686  
745. 2687  
746. 2688  
747. 2689  
748. 2690  
749. 2691  
750. 2692  
751. 2693  
752. 2694  
753. 2695  
754. 2696  
755. 2697  
756. 2698  
757. 2699  
758. 2700  
759. 2701  
760. 2702  
761. 2703  
762. 2704  
763. 2705  
764. 2706  
765. 2707  
766. 2708  
767. 2709  
768. 2710  
769. 2711  
770. 2712  
771. 2713  
772. 2714  
773. 2715  
774. 2716  
775. 2717  
776. 2718  
777. 2719  
778. 2720  
779. 2721  
780. 2722  
781. 2723  
782. 2724  
783. 2725  
784. 2726  
785. 2727  
786. 2728  
787. 2729  
788. 2730  
789. 2731  
790. 2732  
791. 2733  
792. 2734  
793. 2735  
794. 2736  
795. 2737  
796. 2738  
797. 2739  
798. 2740  
799. 2741  
800. 2742  
801. 2743  
802. 2744  
803. 2745  
804. 2746  
805. 2747  
806. 2748  
807. 2749  
808. 2750  
809. 2751  
810. 2752  
811. 2753  
812. 2754  
813. 2755  
814. 2756  
815. 2757  
816. 2758  
817. 2759  
818. 2760  
819. 2761  
820. 2762  
821. 2763  
822. 2764  
823. 2765  
824. 2766  
825. 2767  
826. 2768  
827. 2769  
828. 2770  
829. 2771  
830. 2772  
831. 2773  
832. 2774  
833. 2775  
834. 2776  
835. 2777  
836. 2778  
837. 2779  
838. 2780  
839. 2781  
840. 2782  
841. 2783  
842. 2784  
843. 2785  
844. 2786  
845. 2787  
846. 2788  
847. 2789  
848. 2790  
849. 2791  
850. 2792  
851. 2793  
852. 2794  
853. 2795  
854. 2796  
855. 2797  
856. 2798  
857. 2799  
858. 2800  
859. 2801  
860. 2802  
861. 2803  
862. 2804  
863. 2805  
864. 2806  
865. 2807  
866. 2808  
867. 2809  
868. 2810  
869. 2811  
870. 2812  
871. 2813  
872. 2814  
873. 2815  
874. 2816  
875. 2817  
876. 2818  
877. 2819  
878. 2820  
879. 2821  
880. 2822  
881. 2823  
882. 2824  
883. 2825  
884. 2826  
885. 2827  
886. 2828  
887. 2829  
888. 2830  
889. 2831  
890. 2832  
891. 2833  
892. 2834  
893. 2835  
894. 2836  
895. 2837  
896. 2838  
897. 2839  
898. 2840  
899. 2841  
900. 2842  
901. 2843  
902. 2844  
903. 2845  
904. 2846  
905. 2847  
906. 2848  
907. 2849  
908. 2850  
909. 2851  
910. 2852  
911. 2853  
912. 2854  
913. 2855  
914. 2856  
915. 2857  
916. 2858  
917. 2859  
918. 2860  
919. 2861  
920. 2862  
921. 2863  
922. 2864  
923. 2865  
924. 2866  
925. 2867  
926. 2868  
927. 2869  
928. 2870  
929. 2871  
930. 2872  
931. 2873  
932. 2874  
933. 2875  
934. 2876  
935. 2877  
936. 2878  
937. 2879  
938. 2880  
939. 2881  
940. 2882  
941. 2883  
942. 2884  
943. 2885  
944. 2886  
945. 2887  
946. 2888  
947. 2889  
948. 2890  
949. 2891  
950. 2892  
951. 2893  
952. 2894  
953. 2895  
954. 2896  
955. 2897  
956. 2898  
957. 2899  
958. 2900  
959. 2901  
960. 2902  
961. 2903  
962. 2904  
963. 2905  
964. 2906  
965. 2907  
966. 2908  
967. 2909  
968. 2910  
969. 2911  
970. 2912  
971. 2913  
972. 2914  
973. 2915  
974. 2916  
975. 2917  
976. 2918  
977. 2919  
978. 2920  
979. 2921  
980. 2922  
981. 2923  
982. 2924  
983. 2925  
984. 2926  
985. 2927  
986. 2928  
987. 2929  
988. 2930  
989. 2931  
990. 2932  
991. 2933  
992. 2934  
993. 2935  
994. 2936  
995. 2937  
996. 2938  
997. 2939  
998. 2940  
999. 2941  
1000. 2942  
1001. 2943  
1002. 2944  
1003. 2945  
1004. 2946  
1005. 2947  
1006. 2948  
1007. 2949  
1008. 2950  
1009. 2951  
1010. 2952  
1011. 2953  
1012. 2954  
1013. 2955  
1014. 2956  
1015. 2957  
1016. 2958  
1017. 2959  
1018. 2960  
1019. 2961  
1020. 2962  
1021. 2963  
1022. 2964  
1023. 2965  
1024. 2966  
1025. 2967  
1026. 2968  
1027. 2969  
1028. 2970  
1029. 2971  
1030. 2972  
1031. 2973  
1032. 2974  
1033. 2975  
1034. 2976  
1035. 2977  
1036. 2978  
1037. 2979  
1038. 2980  
1039. 2981  
1040. 2982  
1041. 2983  
1042. 2984  
1043. 2985  
1044. 2986  
1045. 2987  
1046. 2988  
1047. 2989  
1048. 2990  
1049. 2991  
1050. 2992  
1051. 2993  
1052. 2994  
1053. 2995  
1054. 2996  
1055. 2997  
1056. 2998  
1057. 2999  
1058. 3000  
1059. 3001  
1060. 3002  
1061. 3003  
1062. 3004  
1063. 3005  
1064. 3006  
1065. 3007  
1066. 3008  
1067. 3009  
1068. 3010  
1069. 3011  
1070. 3012  
1071. 3013  
1072. 3014  
1073. 3015  
1074. 3016  
1075. 3017  
1076. 3018  
1077. 3019  
1078. 3020  
1079. 3021  
1080. 3022  
1081. 3023  
1082. 3024  
1083. 3025  
1084. 3026  
1085. 3027  
1086. 3028  
1087. 3029  
1088. 3030  
1089. 3031  
1090. 3032  
1091. 3033  
1092. 3034  
1093. 3035  
1094. 3036  
1095. 3037  
1096. 3038  
1097. 3039  
1098. 3040  
1099. 3041  
1100. 3042  
1101. 3043  
1102. 3044  
1103. 3045  
1104. 3046  
1105. 3047  
1106. 3048  
1107. 3049  
1108. 3050  
1109. 3051  
1110. 3052  
1111. 3053  
1112. 3054  
1113. 3055  
1114. 3056  
1115. 3057  
1116. 3058  
1117. 3059  
1118. 3060  
1119. 3061  
1120. 3062  
1121. 3063  
1122. 3064



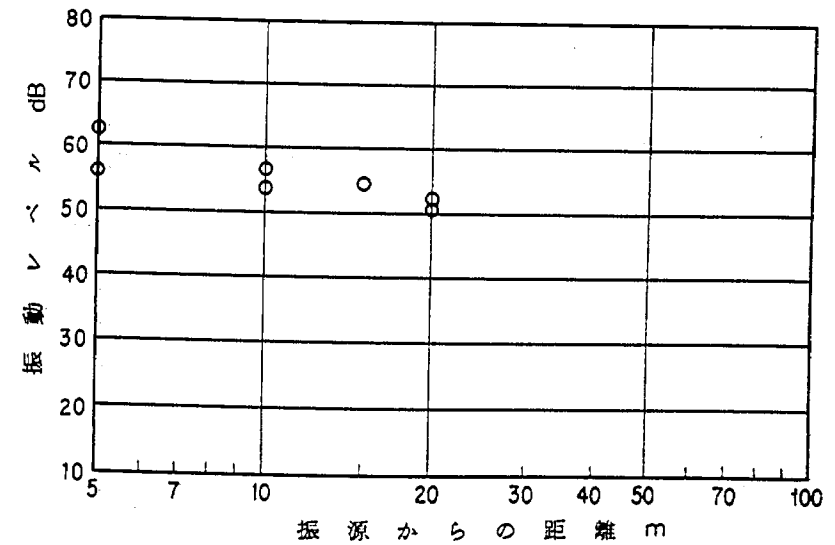
(1) ブルドーザの振動の距離減衰



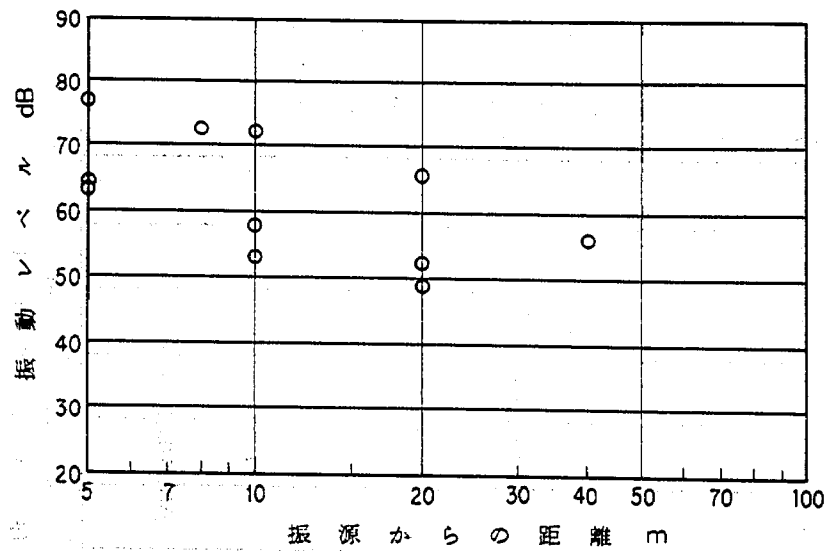
(2) スクレイブドーザの振動の距離減衰



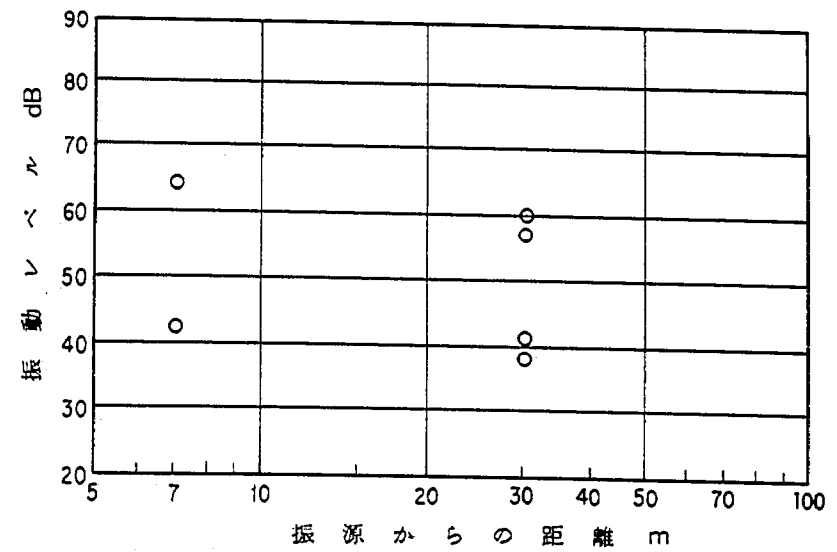
(3) 油圧ショベルの振動の距離減衰



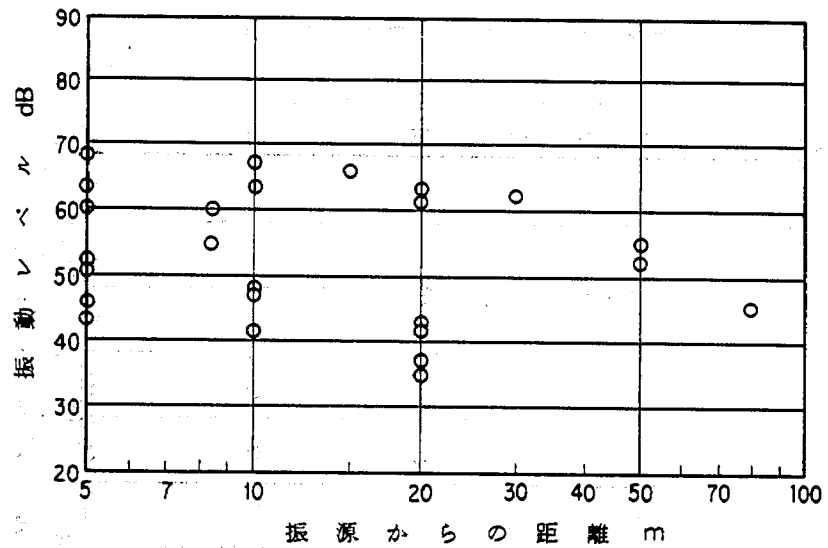
(4) 機械式ショベルの振動の距離減衰



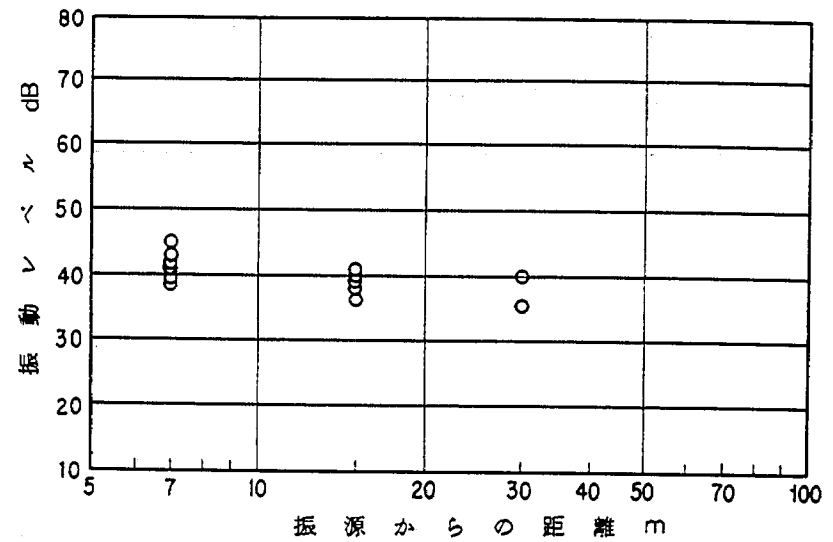
(5) クローラローダの騒音の距離減衰



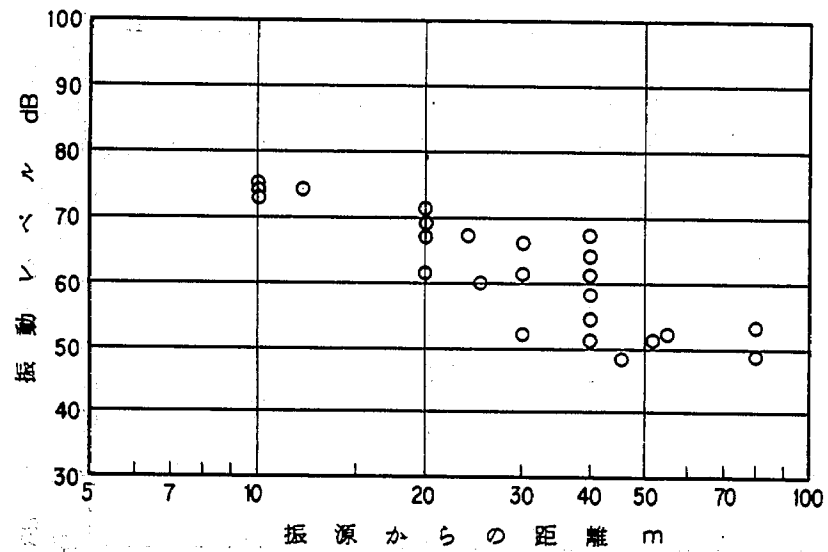
(6) ホイールローダの振動の距離減衰



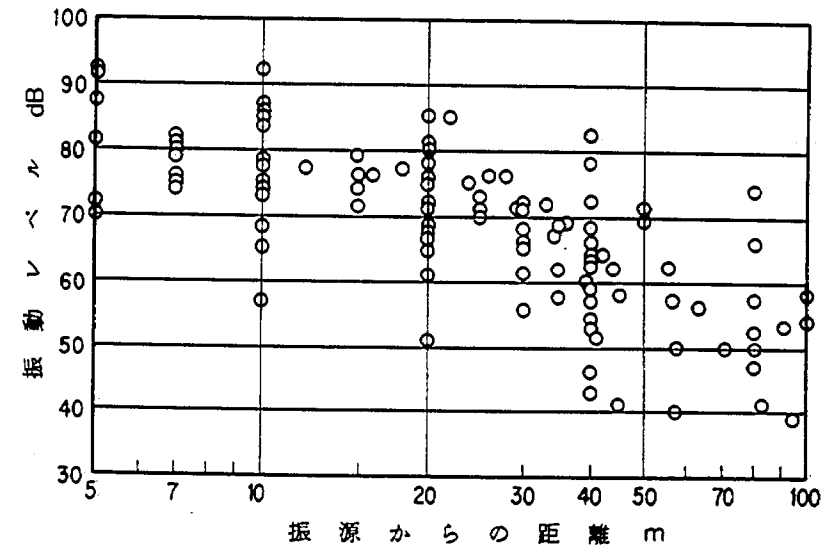
(7) ダンプトラックの振動の距離減衰



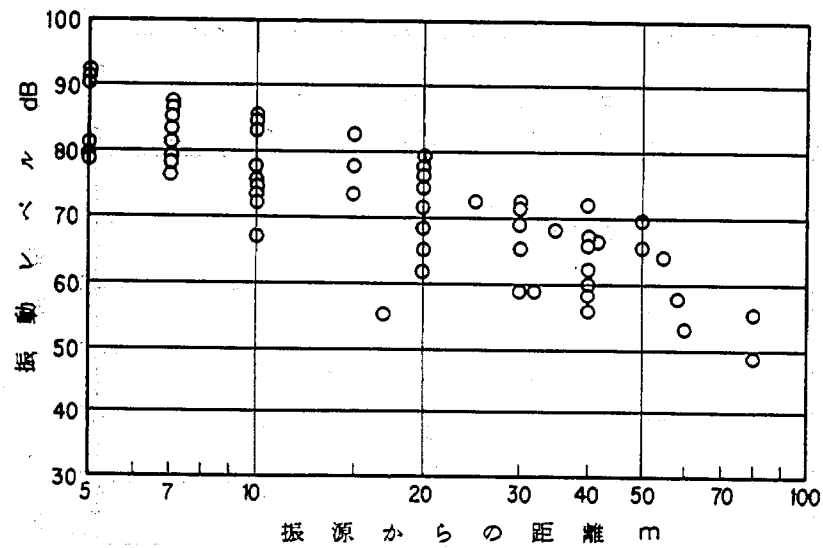
(8) クローラクレーンの振動の距離減衰



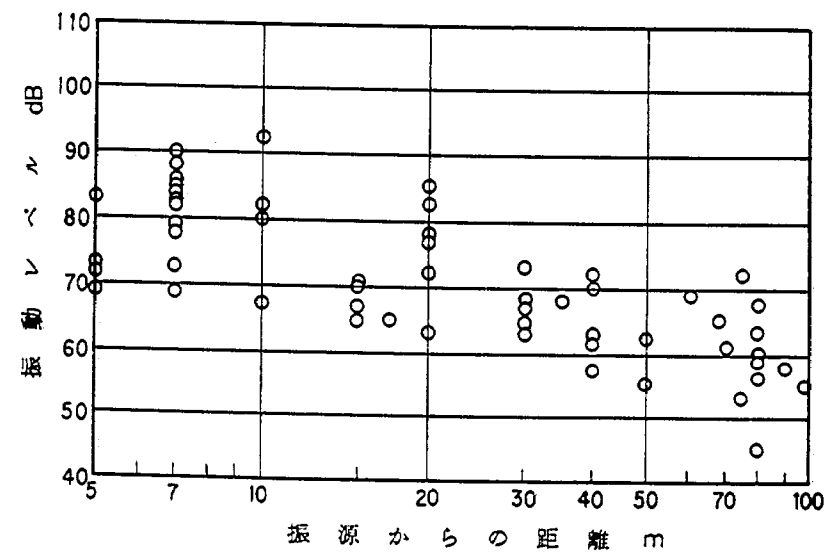
(9) ディーゼルパイルハンマ(2.0 t未満)の振動の距離減衰



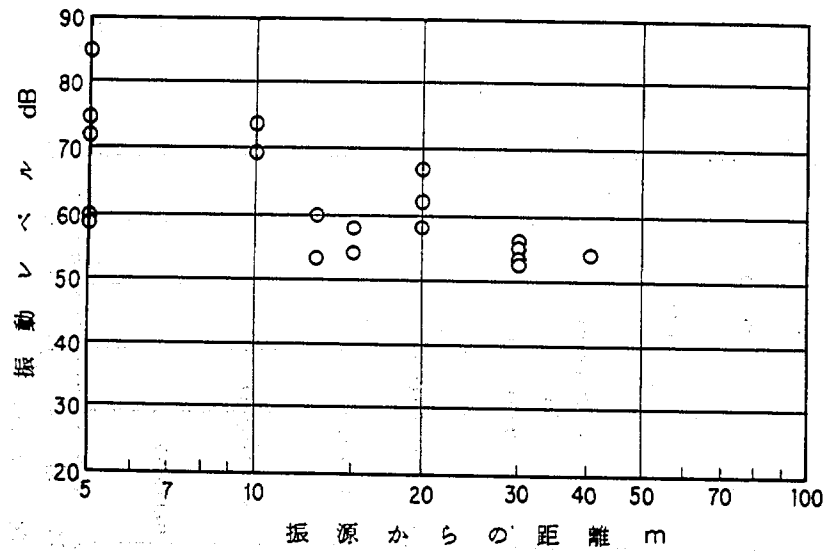
(10) ディーゼルパイルハンマ(2.0~3.0 t)の振動の距離減衰



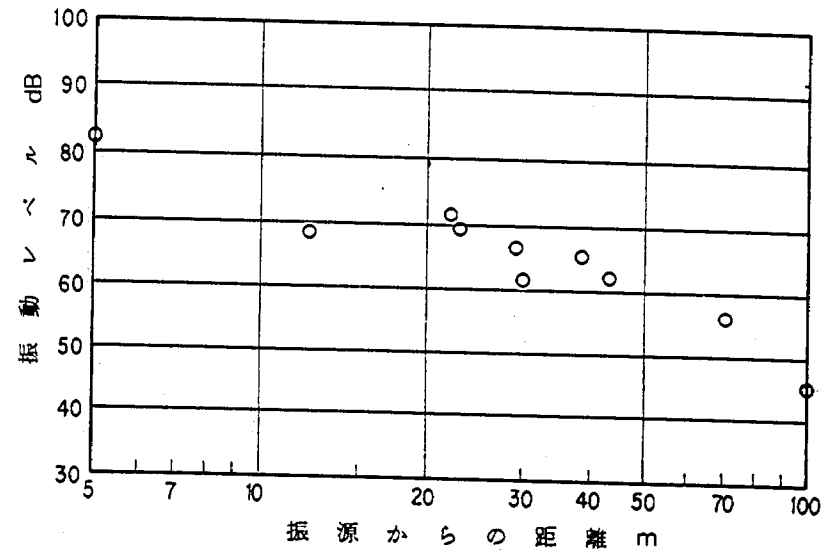
(11) ディーゼルパイルハンマ(3~4 t)の振動の距離減衰



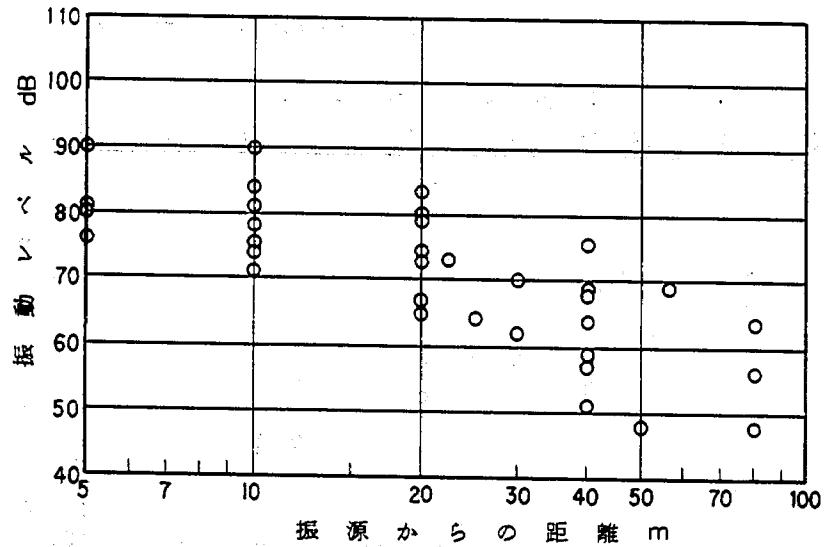
(12) ディーゼルパイルハンマ(4.0 t以上)の振動の距離減衰



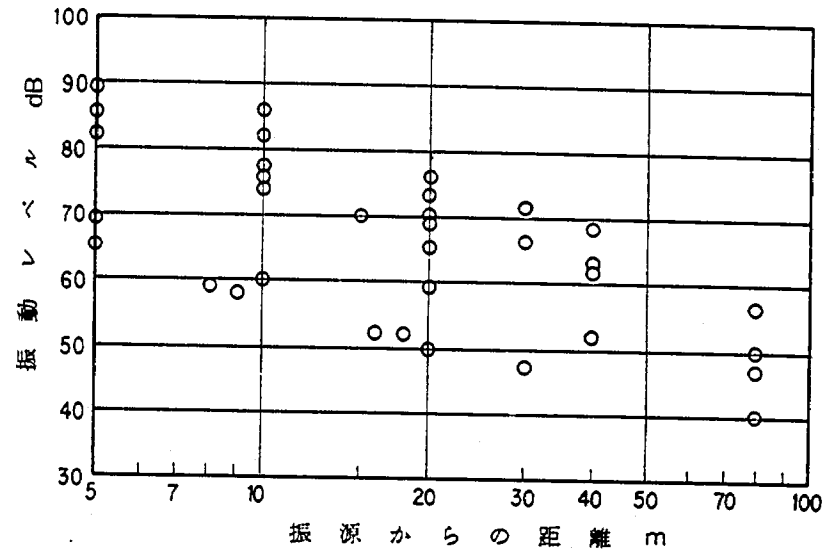
(13) パイプハンマ (30kW未満) の振動の距離減衰



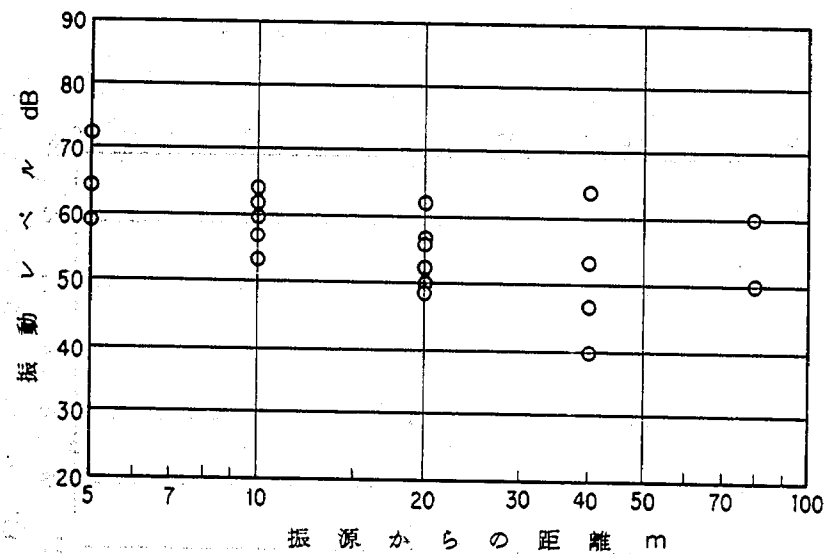
(14) パイプハンマ (30~40kW) の振動の距離減衰



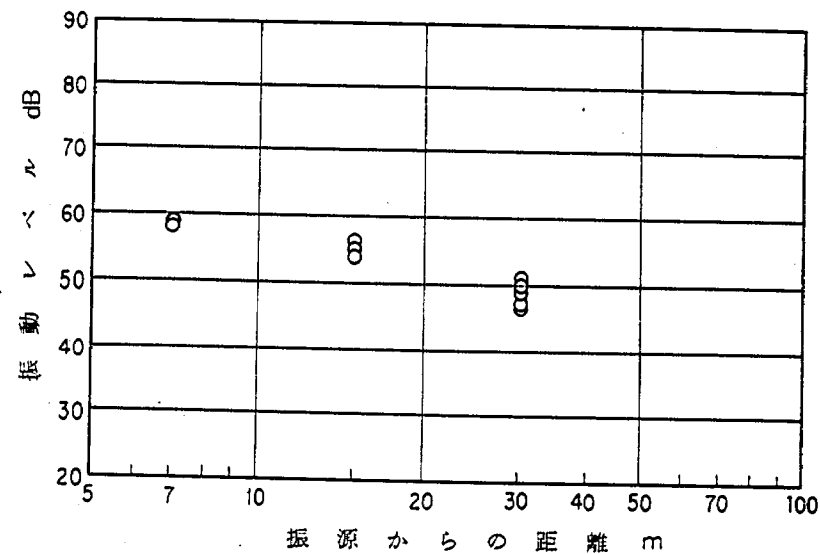
(15) パイプハンマ (40kW以上) の振動の距離減衰



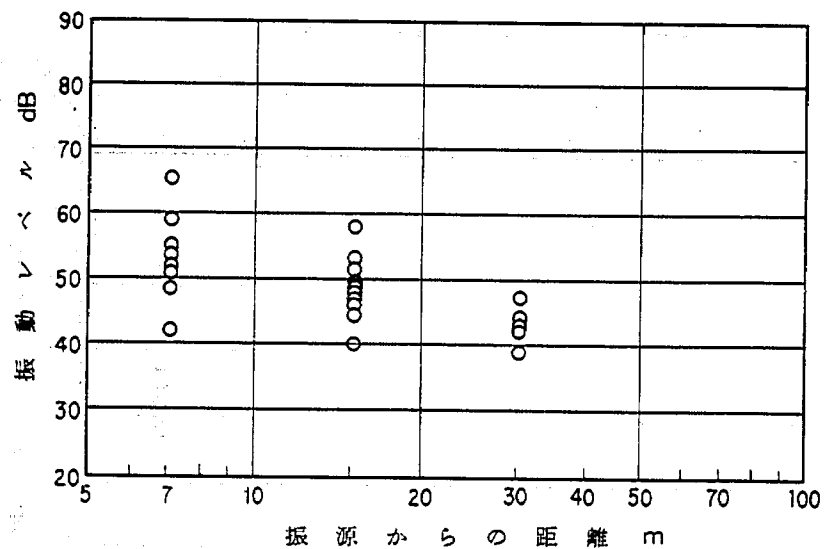
(16) ドロップハンマの振動の距離減衰



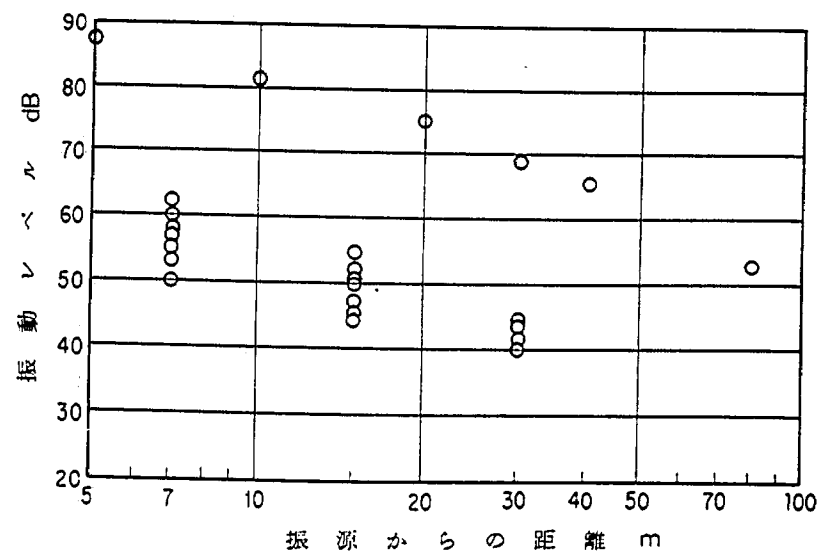
(17) 大口径掘削機(ハンマーグラブ)の振動の距離減衰



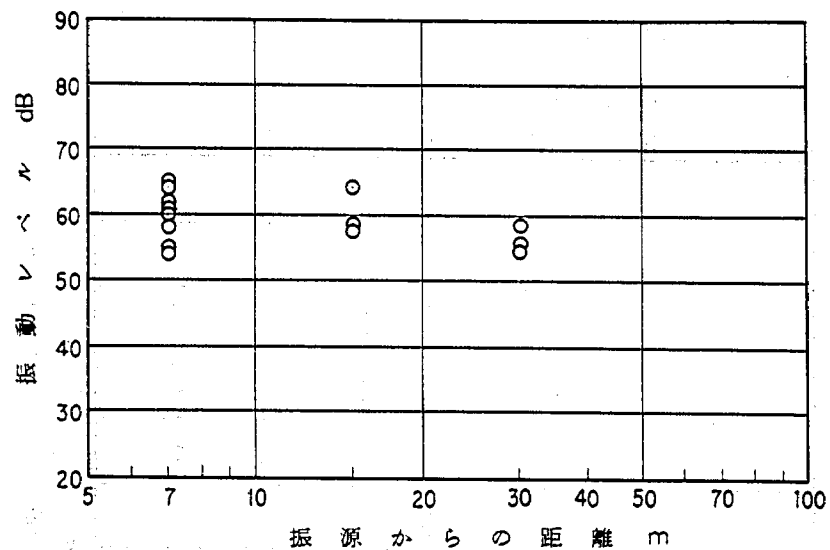
(18) アースドリルの振動の距離減衰



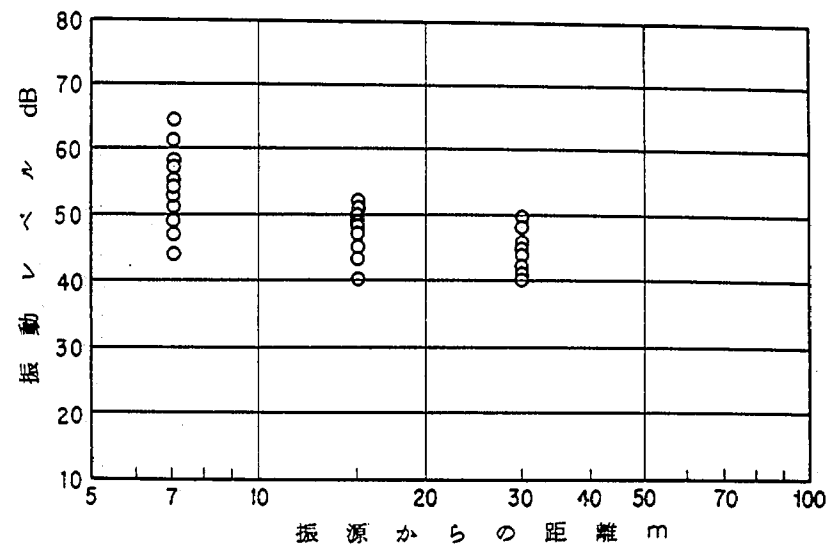
(19) リバースサーキュレーションの振動の距離減衰



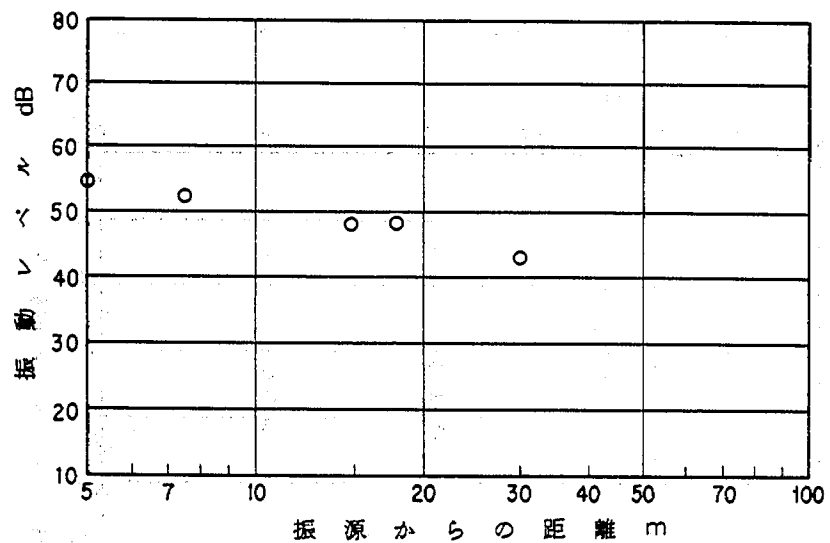
(20) アースオーガの振動の距離減衰



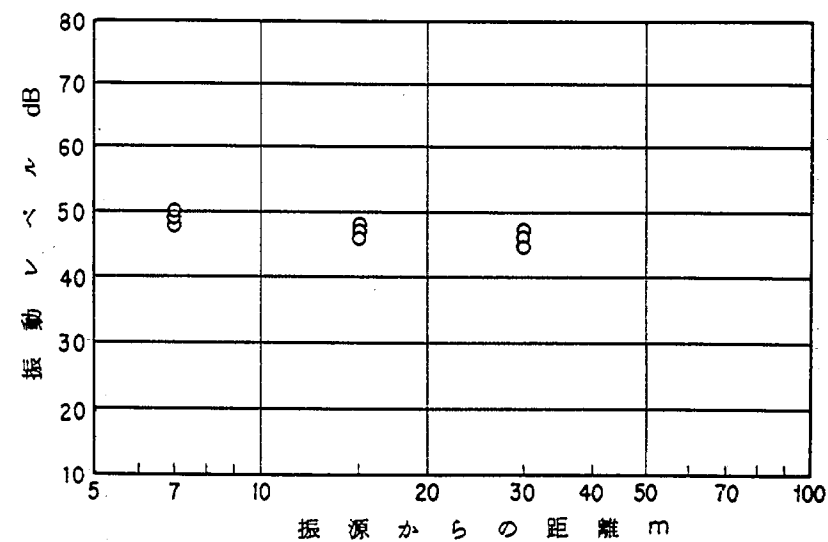
(21) 既製杭対策工法の振動の距離減衰



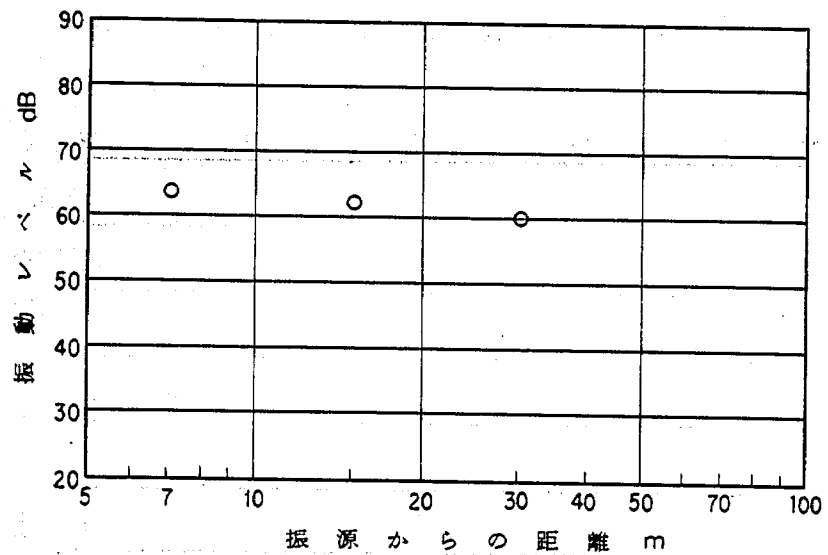
(22) 鋼矢板対策工法(S)の振動の距離減衰



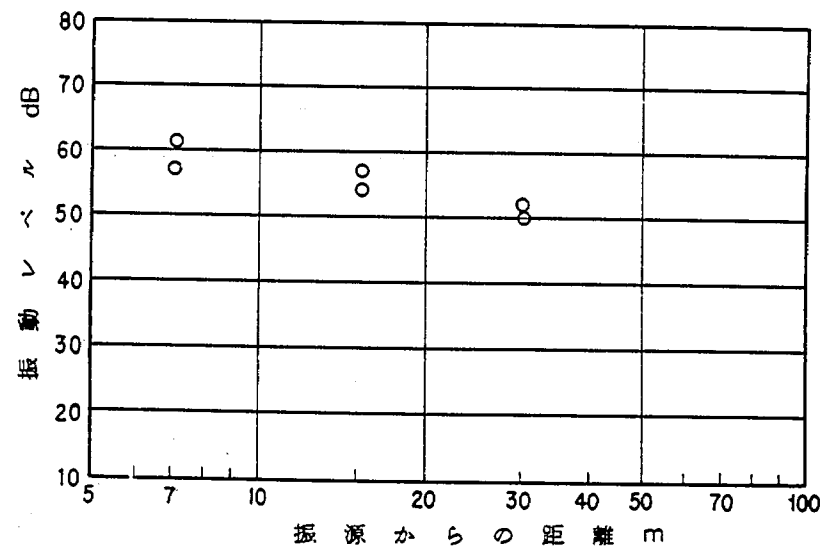
(23) 鋼矢板対策工法(N)の振動の距離減衰



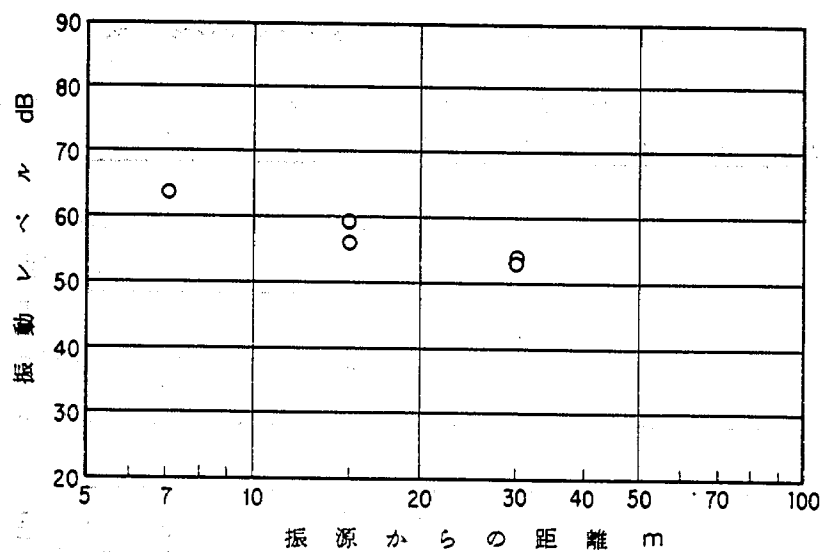
(24) 鋼矢板対策工法(M)の振動の距離減衰



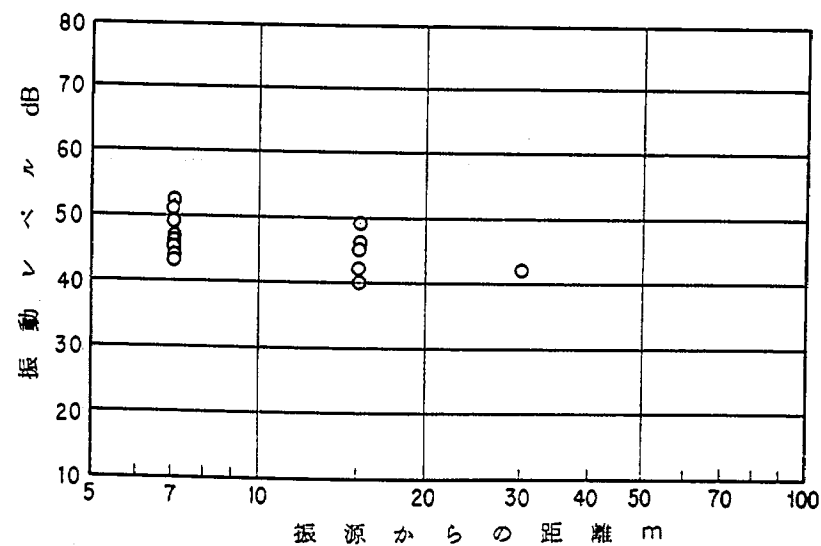
(25) ドーナツオーガ(S)の振動の距離減衰



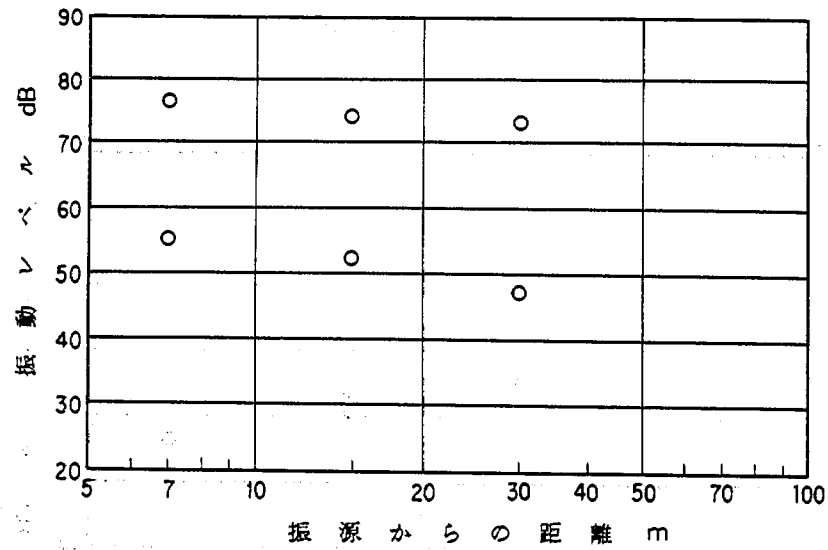
(26) ミルク注入オーガ工法(N)の振動の距離減衰



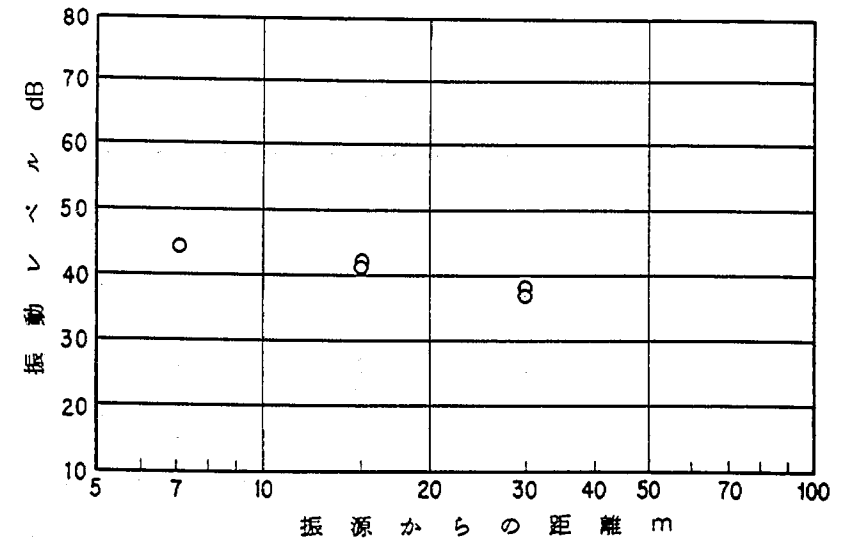
(27) 中掘工法の振動の距離減衰



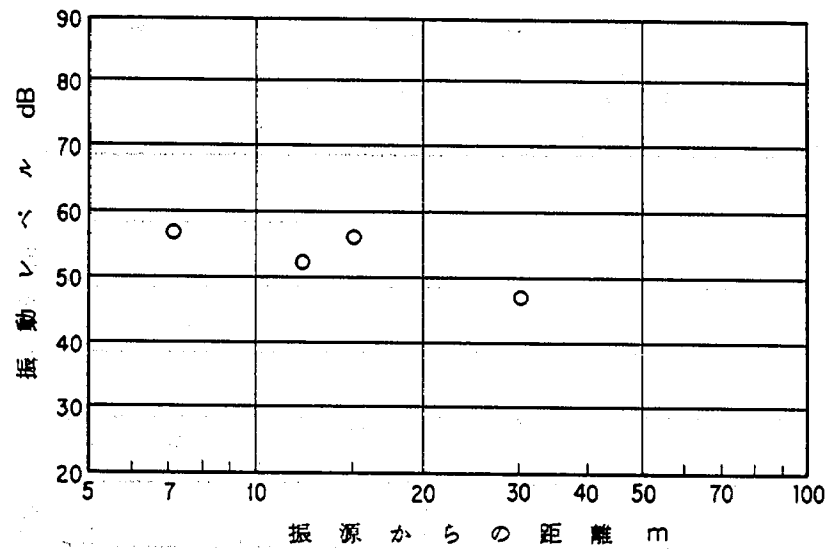
(28) 鋼矢板対策工法(I)の振動の距離減衰



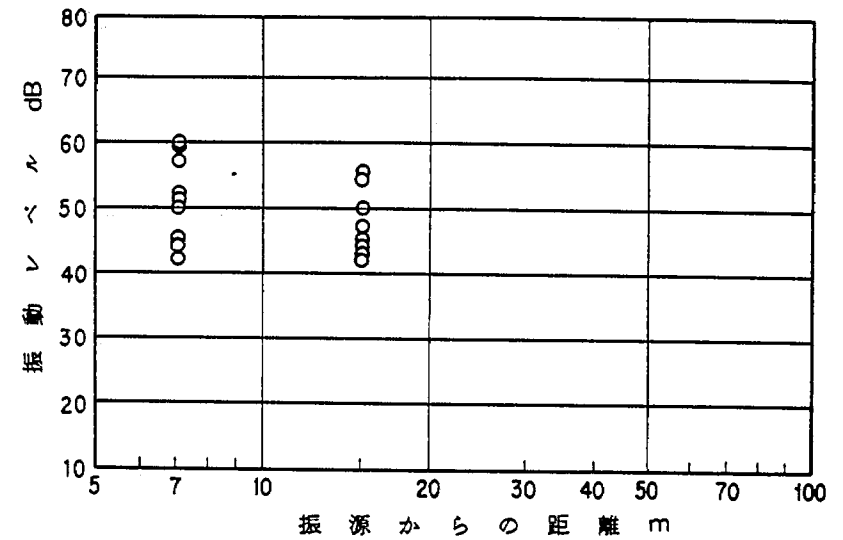
(29) スパイラル・オーガ工法(N)の振動の距離減衰



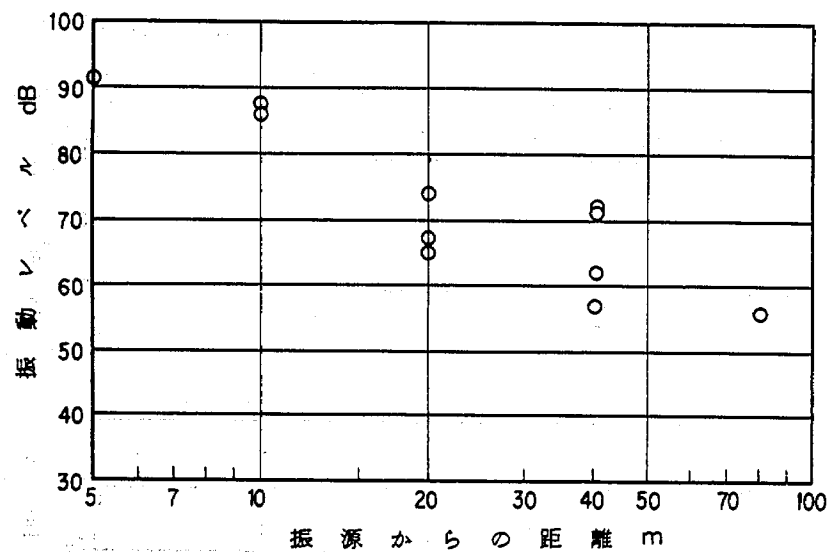
(30) パイル工法(K)の振動の距離減衰



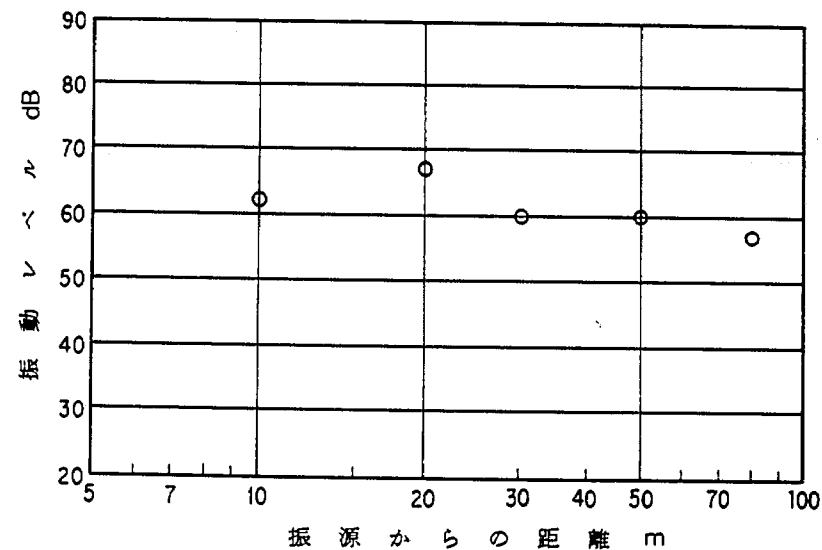
(31) 既製杭対策工法(M)の振動の距離減衰



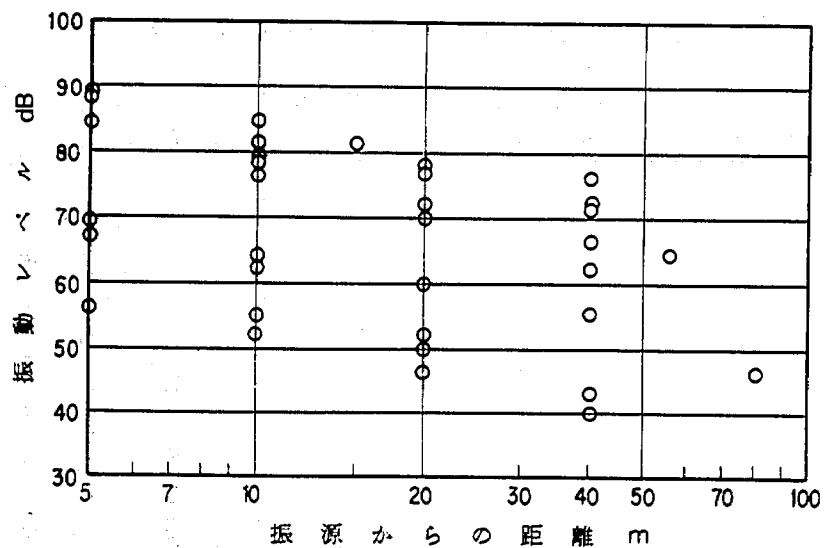
(32) ケミコパイル工法の振動の距離減衰



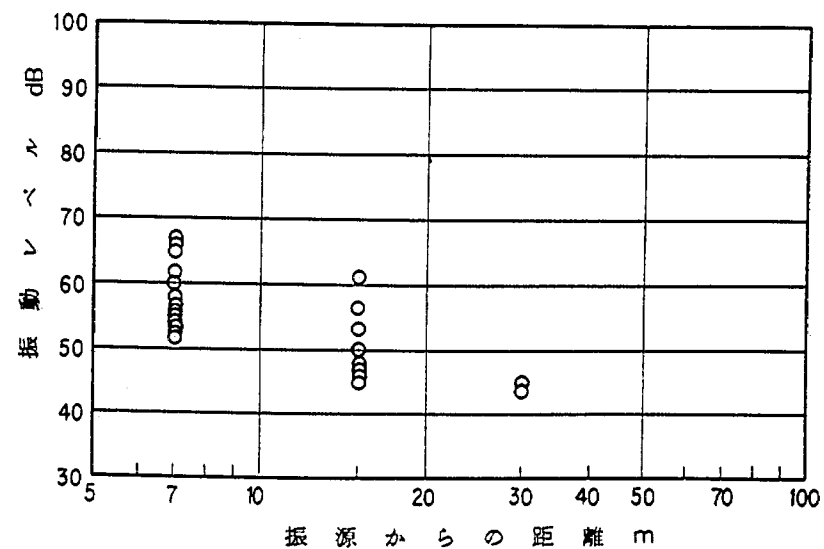
(33) サンドパイル工法の振動の距離減衰



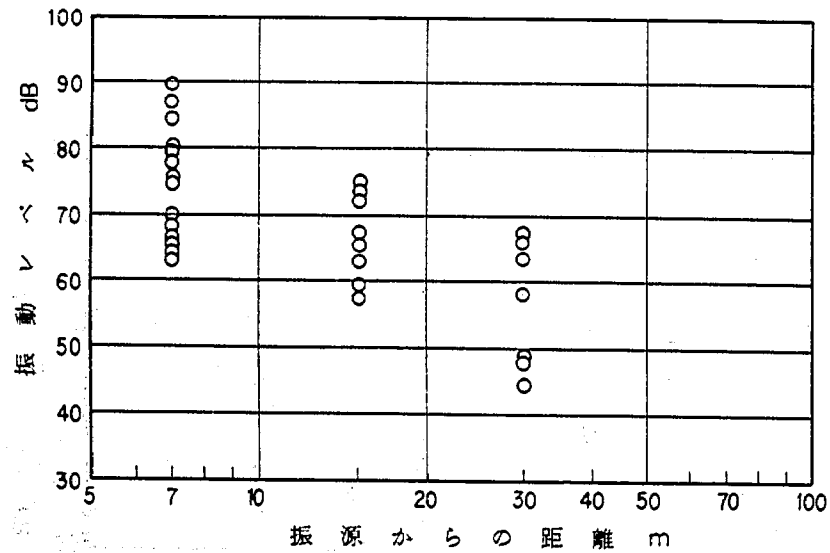
(34) バイブロフロートの振動の距離減衰



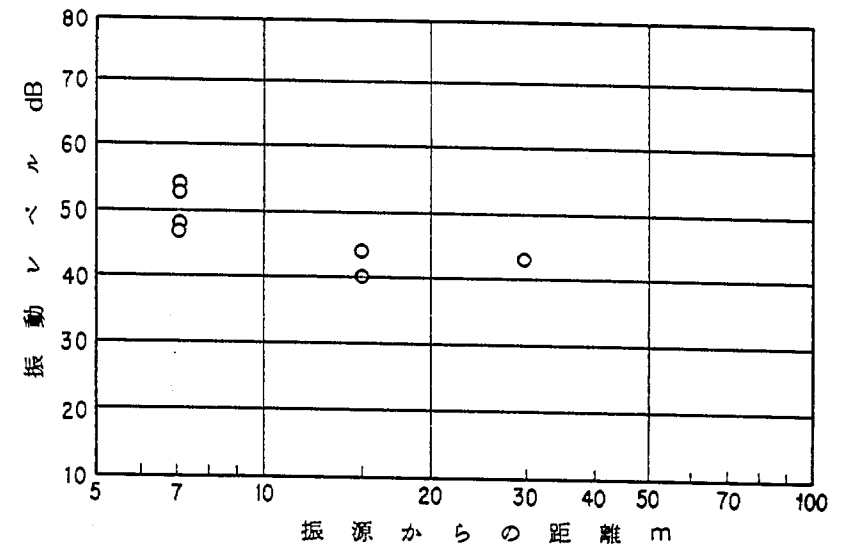
(35) ブレーカの振動の距離減衰



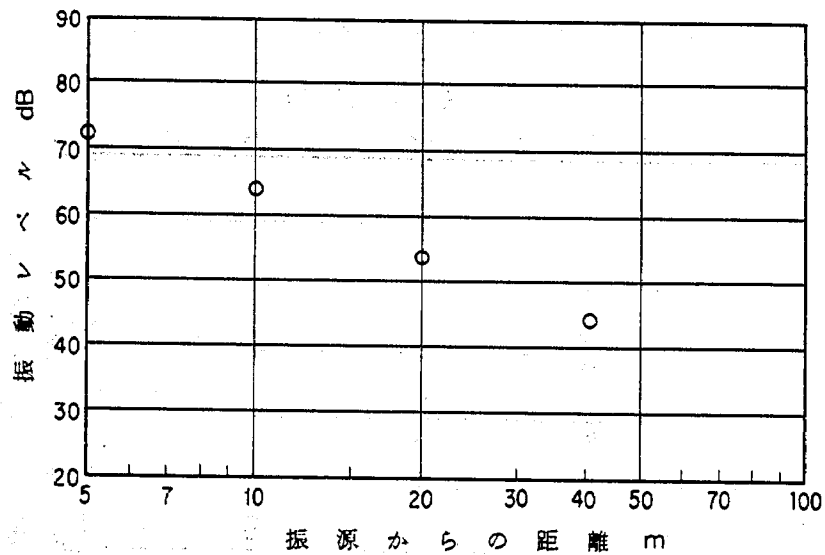
(36) 振動ローラ (1.0 t未満) の振動の距離減衰



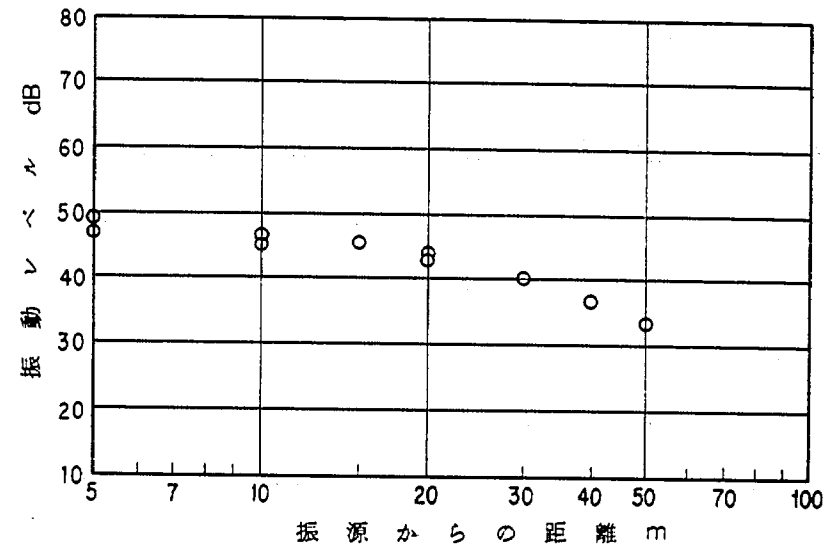
37 振動ローラ (1.0 t以上) の振動の距離減衰



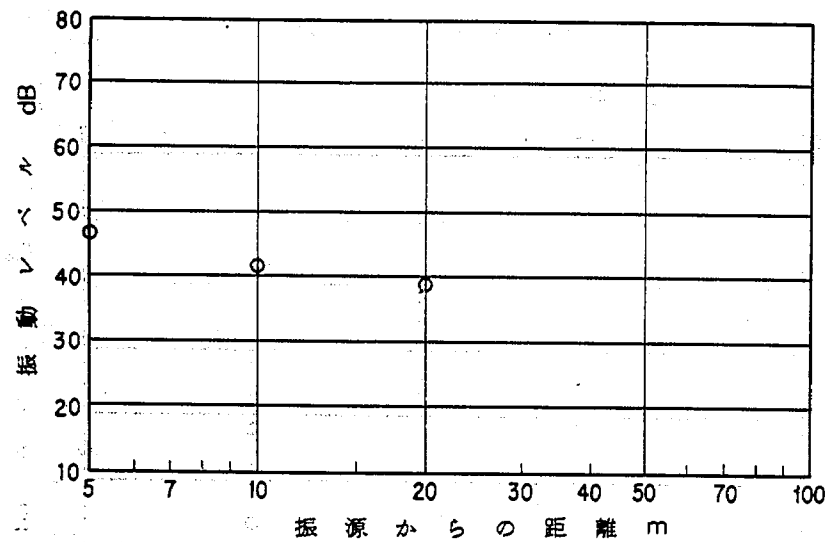
38 振動コンパクタの振動の距離減衰



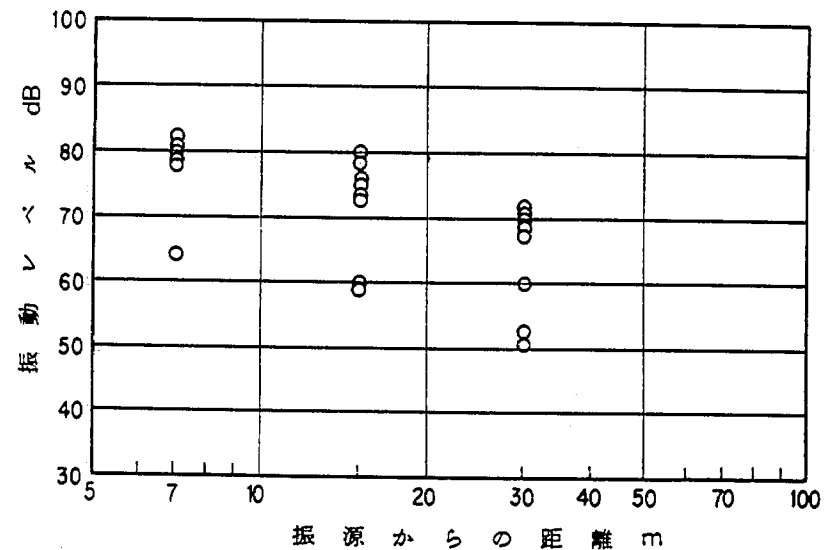
39 骨材生産機械の振動の距離減衰



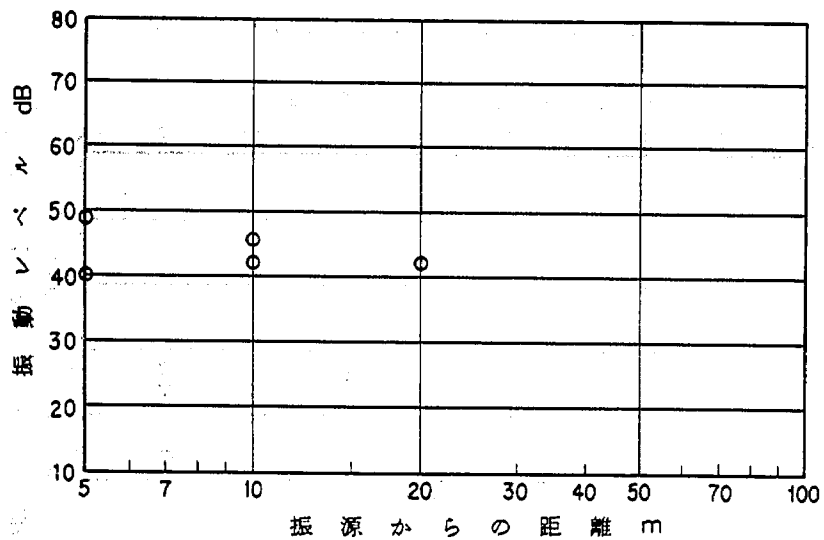
40 コンクリートプラントの振動の距離減衰



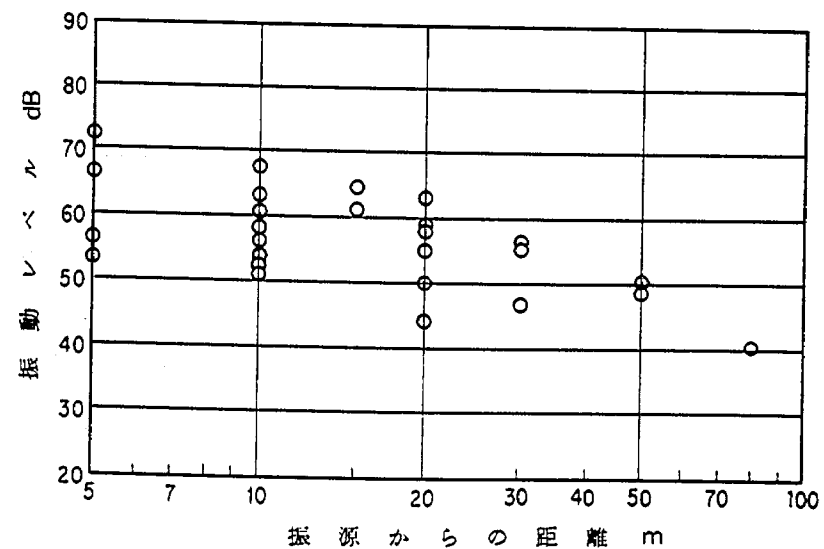
(41) コンクリートミキサの振動の距離減衰



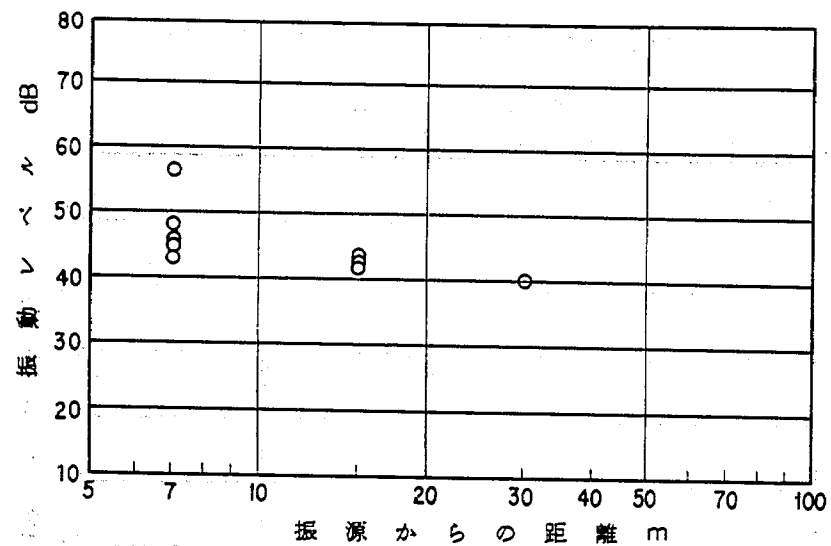
(42) コンクリート破壊機の振動の距離減衰



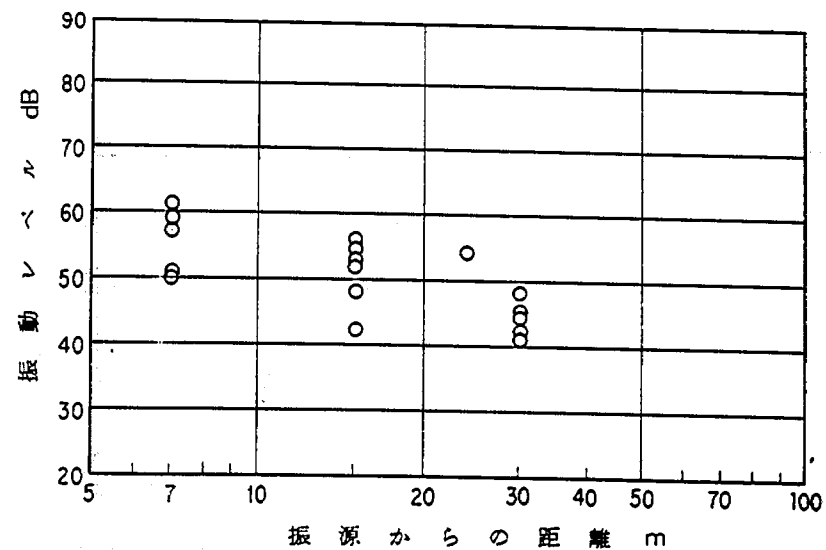
(43) コンクリート機械の振動の距離減衰



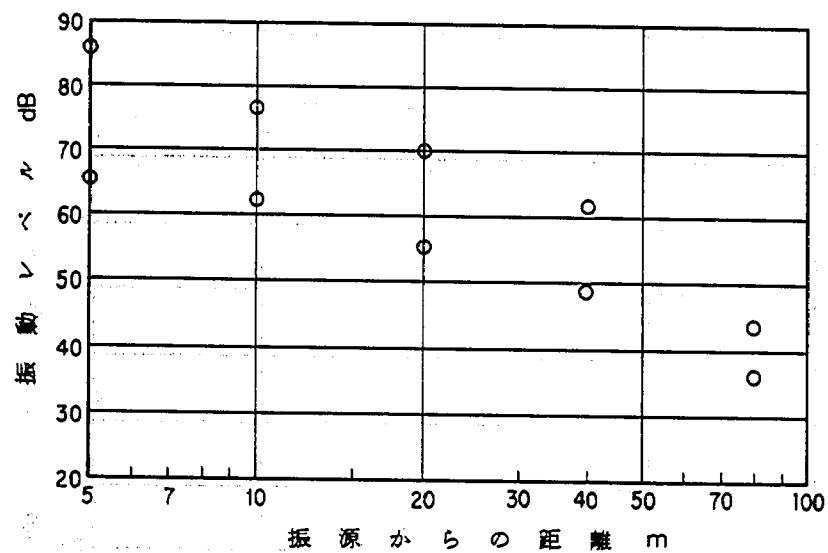
(44) アスファルトプラントの振動の距離減衰



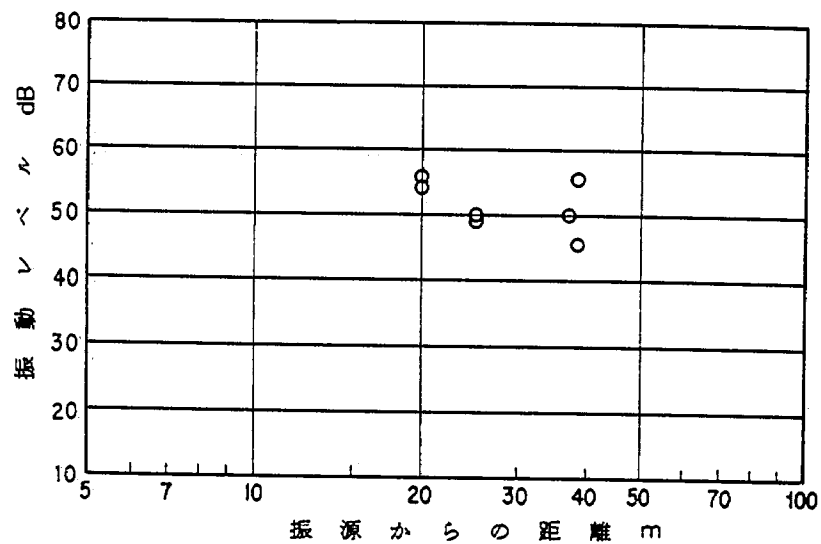
(45) コンクリートカッタの振動の距離減衰



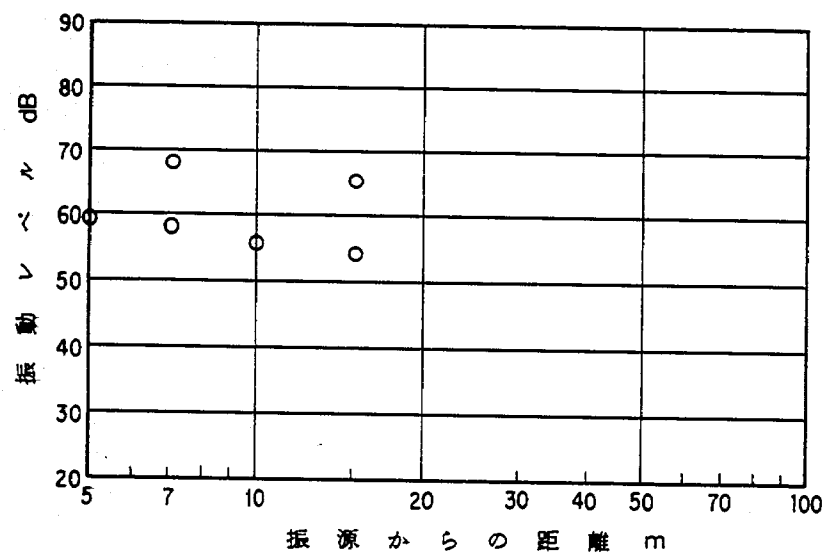
(46) 路面整正機の振動の距離減衰



(47) 空気圧縮機の振動の距離減衰



(48) ポンプの振動の距離減衰



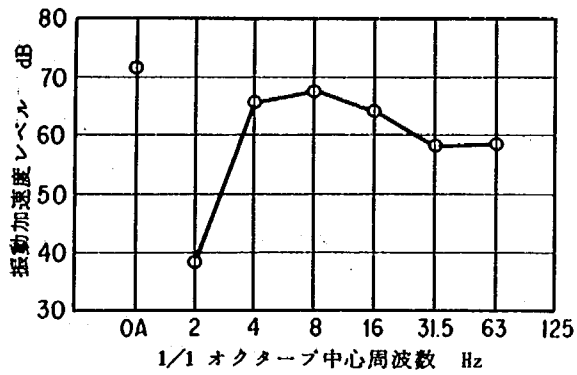
(49) 発動発電機の振動の距離減衰

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 | 197 | 198 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 | 208 | 209 | 210 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 223 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 229 | 230 | 231 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | 237 | 238 | 239 | 240 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 | 246 | 247 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | 255 | 256 | 257 | 258 | 259 | 260 | 261 | 262 | 263 | 264 | 265 | 266 | 267 | 268 | 269 | 270 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 | 276 | 277 | 278 | 279 | 280 | 281 | 282 | 283 | 284 | 285 | 286 | 287 | 288 | 289 | 290 | 291 | 292 | 293 | 294 | 295 | 296 | 297 | 298 | 299 | 300 | 301 | 302 | 303 | 304 | 305 | 306 | 307 | 308 | 309 | 310 | 311 | 312 | 313 | 314 | 315 | 316 | 317 | 318 | 319 | 320 | 321 | 322 | 323 | 324 | 325 | 326 | 327 | 328 | 329 | 330 | 331 | 332 | 333 | 334 | 335 | 336 | 337 | 338 | 339 | 340 | 341 | 342 | 343 | 344 | 345 | 346 | 347 | 348 | 349 | 350 | 351 | 352 | 353 | 354 | 355 | 356 | 357 | 358 | 359 | 360 | 361 | 362 | 363 | 364 | 365 | 366 | 367 | 368 | 369 | 370 | 371 | 372 | 373 | 374 | 375 | 376 | 377 | 378 | 379 | 380 | 381 | 382 | 383 | 384 | 385 | 386 | 387 | 388 | 389 | 390 | 391 | 392 | 393 | 394 | 395 | 396 | 397 | 398 | 399 | 400 | 401 | 402 | 403 | 404 | 405 | 406 | 407 | 408 | 409 | 410 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 416 | 417 | 418 | 419 | 420 | 421 | 422 | 423 | 424 | 425 | 426 | 427 | 428 | 429 | 430 | 431 | 432 | 433 | 434 | 435 | 436 | 437 | 438 | 439 | 440 | 441 | 442 | 443 | 444 | 445 | 446 | 447 | 448 | 449 | 450 | 451 | 452 | 453 | 454 | 455 | 456 | 457 | 458 | 459 | 460 | 461 | 462 | 463 | 464 | 465 | 466 | 467 | 468 | 469 | 470 | 471 | 472 | 473 | 474 | 475 | 476 | 477 | 478 | 479 | 480 | 481 | 482 | 483 | 484 | 485 | 486 | 487 | 488 | 489 | 490 | 491 | 492 | 493 | 494 | 495 | 496 | 497 | 498 | 499 | 500 | 501 | 502 | 503 | 504 | 505 | 506 | 507 | 508 | 509 | 510 | 511 | 512 | 513 | 514 | 515 | 516 | 517 | 518 | 519 | 520 | 521 | 522 | 523 | 524 | 525 | 526 | 527 | 528 | 529 | 530 | 531 | 532 | 533 | 534 | 535 | 536 | 537 | 538 | 539 | 540 | 541 | 542 | 543 | 544 | 545 | 546 | 547 | 548 | 549 | 550 | 551 | 552 | 553 | 554 | 555 | 556 | 557 | 558 | 559 | 560 | 561 | 562 | 563 | 564 | 565 | 566 | 567 | 568 | 569 | 570 | 571 | 572 | 573 | 574 | 575 | 576 | 577 | 578 | 579 | 580 | 581 | 582 | 583 | 584 | 585 | 586 | 587 | 588 | 589 | 590 | 591 | 592 | 593 | 594 | 595 | 596 | 597 | 598 | 599 | 600 | 601 | 602 | 603 | 604 | 605 | 606 | 607 | 608 | 609 | 610 | 611 | 612 | 613 | 614 | 615 | 616 | 617 | 618 | 619 | 620 | 621 | 622 | 623 | 624 | 625 | 626 | 627 | 628 | 629 | 630 | 631 | 632 | 633 | 634 | 635 | 636 | 637 | 638 | 639 | 640 | 641 | 642 | 643 | 644 | 645 | 646 | 647 | 648 | 649 | 650 | 651 | 652 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 659 | 660 | 661 | 662 | 663 | 664 | 665 | 666 | 667 | 668 | 669 | 670 | 671 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 | 679 | 680 | 681 | 682 | 683 | 684 | 685 | 686 | 687 | 688 | 689 | 690 | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 | 696 | 697 | 698 | 699 | 700 | 701 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 714 | 715 | 716 | 717 | 718 | 719 | 720 | 721 | 722 | 723 | 724 | 725 | 726 | 727 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 | 733 | 734 | 735 | 736 | 737 | 738 | 739 | 740 | 741 | 742 | 743 | 744 | 745 | 746 | 747 | 748 | 749 | 750 | 751 | 752 | 753 | 754 | 755 | 756 | 757 | 758 | 759 | 760 | 761 | 762 | 763 | 764 | 765 | 766 | 767 | 768 | 769 | 770 | 771 | 772 | 773 | 774 | 775 | 776 | 777 | 778 | 779 | 780 | 781 | 782 | 783 | 784 | 785 | 786 | 787 | 788 | 789 | 790 | 791 | 792 | 793 | 794 | 795 | 796 | 797 | 798 | 799 | 800 | 801 | 802 | 803 | 804 | 805 | 806 | 807 | 808 | 809 | 810 | 811 | 812 | 813 | 814 | 815 | 816 | 817 | 818 | 819 | 820 | 821 | 822 | 823 | 824 | 825 | 826 | 827 | 828 | 829 | 830 | 831 | 832 | 833 | 834 | 835 | 836 | 837 | 838 | 839 | 840 | 841 | 842 | 843 | 844 | 845 | 846 | 847 | 848 | 849 | 850 | 851 | 852 | 853 | 854 | 855 | 856 | 857 | 858 | 859 | 860 | 861 | 862 | 863 | 864 | 865 | 866 | 867 | 868 | 869 | 870 | 871 | 872 | 873 | 874 | 875 | 876 | 877 | 878 | 879 | 880 | 881 | 882 | 883 | 884 | 885 | 886 | 887 | 888 | 889 | 890 | 891 | 892 | 893 | 894 | 895 | 896 | 897 | 898 | 899 | 900 | 901 | 902 | 903 | 904 | 905 | 906 | 907 | 908 | 909 | 910 | 911 | 912 | 913 | 914 | 915 | 916 | 917 | 918 | 919 | 920 | 921 | 922 | 923 | 924 | 925 | 926 | 927 | 928 | 929 | 930 | 931 | 932 | 933 | 934 | 935 | 936 | 937 | 938 | 939 | 940 | 941 | 942 | 943 | 944 | 945 | 946 | 947 | 948 | 949 | 950 | 951 | 952 | 953 | 954 | 955 | 956 | 957 | 958 | 959 | 960 | 961 | 962 | 963 | 964 | 965 | 966 | 967 | 968 | 969 | 970 | 971 | 972 | 973 | 974 | 975 | 976 | 977 | 978 | 979 | 980 | 981 | 982 | 983 | 984 | 985 | 986 | 987 | 988 | 989 | 990 | 991 | 992 | 993 | 994 | 995 | 996 | 997 | 998 | 999 | 1000 | 1001 | 1002 | 1003 | 1004 | 1005 | 1006 | 1007 | 1008 | 1009 | 1010 | 1011 | 1012 | 1013 | 1014 | 1015 | 1016 | 1017 | 1018 | 1019 | 1020 | 1021 | 1022 | 1023 | 1024 | 1025 | 1026 | 1027 | 1028 | 1029 | 1030 | 1031 | 1032 | 1033 | 1034 | 1035 | 1036 | 1037 | 1038 | 1039 | 1040 | 1041 | 1042 | 1043 | 1044 | 1045 | 1046 | 1047 | 1048 | 1049 | 1050 | 1051 | 1052 | 1053 | 1054 | 1055 | 1056 | 1057 | 1058 | 1059 | 1060 | 1061 | 1062 | 1063 | 1064 | 1065 | 1066 | 1067 | 1068 | 1069 | 1070 | 1071 | 1072 | 1073 | 1074 | 1075 | 1076 | 1077 | 1078 | 1079 | 1080 | 1081 | 1082 | 1083 | 1084 | 1085 | 1086 | 1087 | 1088 | 1089 | 1090 | 1091 | 1092 | 1093 | 1094 | 1095 | 1096 | 1097 | 1098 | 1099 | 1100 | 1101 | 1102 | 1103 | 1104 | 1105 | 1106 | 1107 | 1108 | 1109 | 1110 | 1111 | 1112 | 1113 | 1114 | 1115 | 1116 | 1117 | 1118 | 1119 | 1120 | 1121 | 1122 | 1123 | 1124 | 1125 | 1126 | 1127 | 1128 | 1129 | 1130 | 1131 | 1132 | 1133 | 1134 | 1135 | 1136 | 1137 | 1138 | 1139 | 1140 | 1141 | 1142 | 1143 | 1144 | 1145 | 1146 | 1147 | 1148 | 1149 | 1150 | 1151 | 1152 | 1153 | 1154 | 1155 | 1156 | 1157 | 1158 | 1159 | 1160 | 1161 | 1162 | 1163 | 1164 | 1165 | 1166 | 1167 | 1168 | 1169 | 1170 | 1171 | 1172 | 1173 | 1174 | 1175 | 1176 | 1177 | 1178 | 1179 | 1180 | 1181 | 1182 | 1183 | 1184 | 1185 | 1186 | 1187 | 1188 | 1189 | 1190 | 1191 | 1192 | 1193 | 1194 | 1195 | 1196 | 1197 | 1198 | 1199 | 1200 | 1201 | 1202 | 1203 | 1204 | 1205 | 1206 | 1207 | 1208 | 1209 | 1210 | 1211 | 1212 | 1213 | 1214 | 1215 | 1216 | 1217 | 1218 | 1219 | 1220 | 1221 | 1222 | 1223 | 1224 | 1225 | 1226 | 1227 | 1228 | 1229 | 1230 | 1231 | 1232 | 1233 | 1234 | 1235 | 1236 | 1237 | 1238 | 1239 | 1240 | 1241 | 1242 | 1243 | 1244 | 1245 | 1246 | 1247 | 1248 | 1249 | 1250 | 1251 | 1252 | 1253 | 1254 | 1255 | 1256 | 1257 | 1258 | 1259 | 1260 | 1261 | 1262 | 1263 | 1264 | 1265 | 1266 | 1267 | 1268 | 1269 | 1270 | 1271 | 1272 | 1273 | 1274 | 1275 | 1276 | 1277 | 1278 | 1279 | 1280 | 1281 | 1282 | 1283 | 1284 | 1285 | 1286 | 1287 | 1288 | 1289 | 1290 | 1291 | 1292 | 1293 | 1294 | 1295 | 1296 | 1297 | 1298 | 1299 | 1300 | 1301 | 1302 | 1303 | 1304 | 1305 | 1306 | 1307 | 1308 | 1309 | 1310 | 1311 | 1312 | 1313 | 1314 | 1315 | 1316 | 1317 | 1318 | 1319 | 1320 | 1321 | 1322 | 1323 | 1324 | 1325 | 1326 | 1327 | 1328 | 1329 | 1330 | 1331 | 1332 | 1333 | 1334 | 1335 | 1336 | 1337 | 1338 | 1339 | 1340 | 1341 | 1342 | 1343 | 1344 | 1345 | 1346 | 1347 | 1348 | 1349 | 1350 | 1351 | 1352 | 1353 | 1354 | 1355 | 1356 | 1357 | 1358 | 1359 | 1360 | 1361 | 1362 | 1363 | 1364 | 1365 | 1366 | 1367 | 1368 | 1369 | 1370 | 1371 | 1372 | 1373 | 1374 | 1375 | 1376 | 1377 | 1378 | 1379 | 1380 | 1381 | 1382 | 1383 | 1384 | 1385 | 1386 | 1387 | 1388 | 1389 | 1390 | 1391 | 1392 | 1393 | 1394 | 1395 | 1396 | 1397 | 1398 | 1399 | 1400 | 1401 | 1402 | 1403 | 1404 | 1405 | 1406 | 1407 | 1408 | 1409 | 1410 | 1411 | 1412 | 1413 | 1414 | 1415 | 1416 | 1417 | 1418 | 1419 | 1420 | 1421 | 1422 | 1423 | 1424 | 1425 | 1426 | 1427 | 1428 | 1429 | 1430 | 1431 | 1432 | 1433 | 1434 | 1435 | 1436 | 1437 | 1438 | 1439 | 1440 | 1441 | 1442 | 1443 | 1444 | 1445 | 1446 | 1447 | 1448 | 1449 | 1450 | 1451 | 1452 | 1453 | 1454 | 1455 | 1456 | 1457 | 1458 | 1459 | 1460 | 1461 | 1462 | 1463 | 1464 | 1465 | 1466 | 1467 | 1468 | 1469 | 1470 | 1471 | 1472 | 1473 | 1474 | 1475 | 1476 | 1477 | 1478 | 1479 | 1480 | 1481 | 1482 | 1483 | 1484 | 1485 | 1486 | 1487 | 1488 | 1489 | 1490 | 1491 | 1492 | 1493 | 1494 | 1495 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|

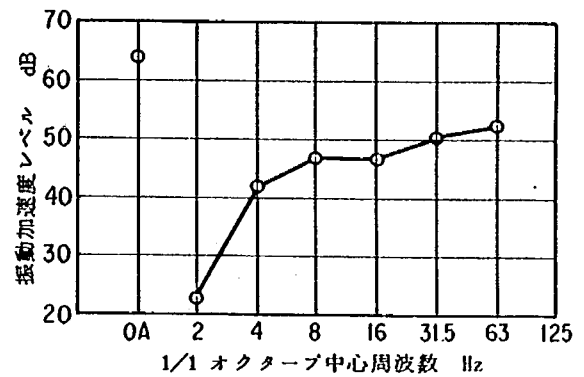
## 参考資料－D

### 建設機械振動の周波数

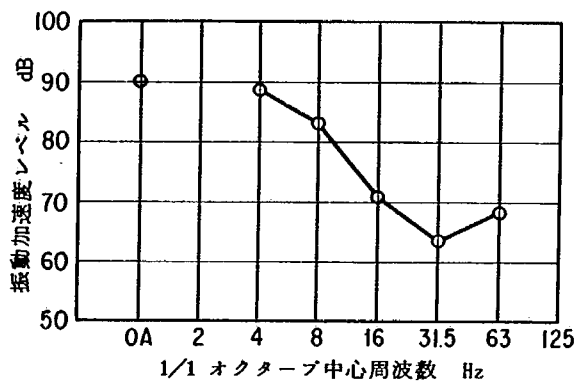




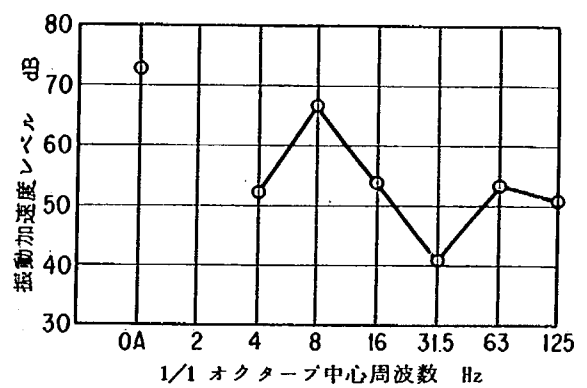
(1) プルドーザ



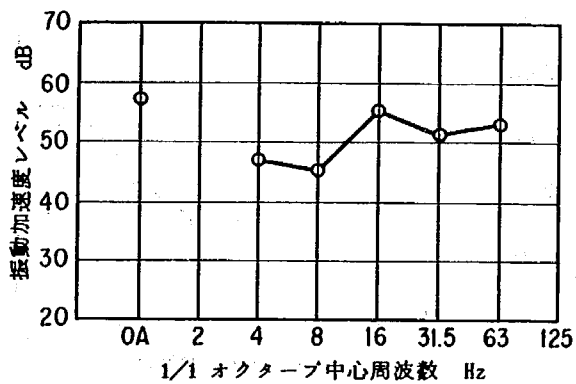
(2) 油圧ショベル



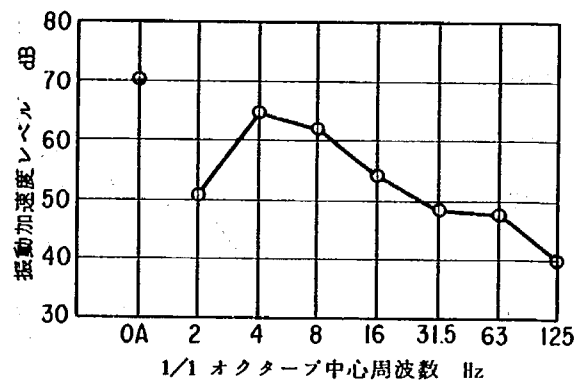
(3) クラムシェル



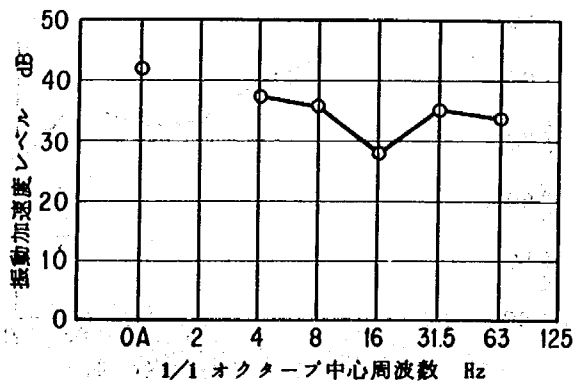
(4) クローラローダ



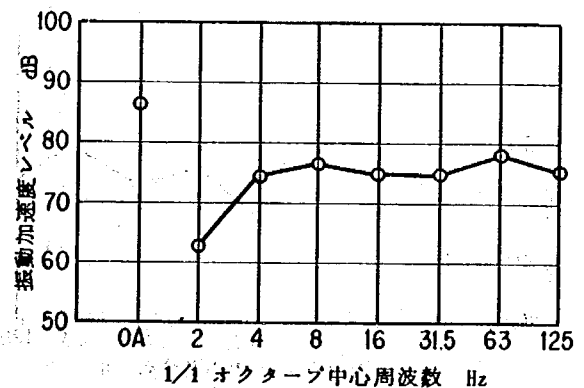
(5) ホイールローダ



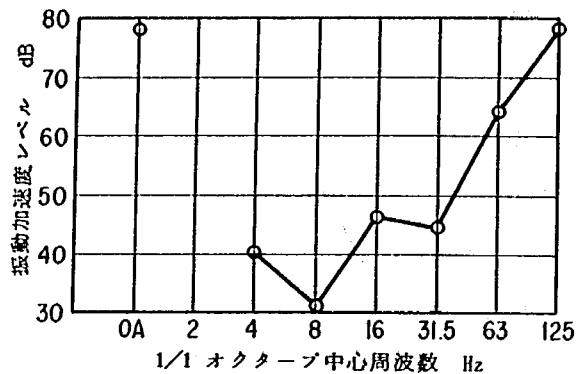
(6) ダンプトラック



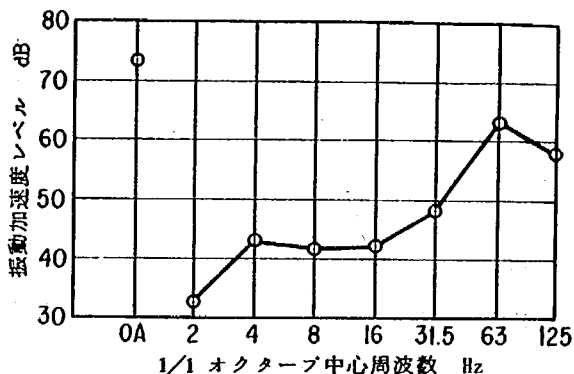
(7) クローラクレーン



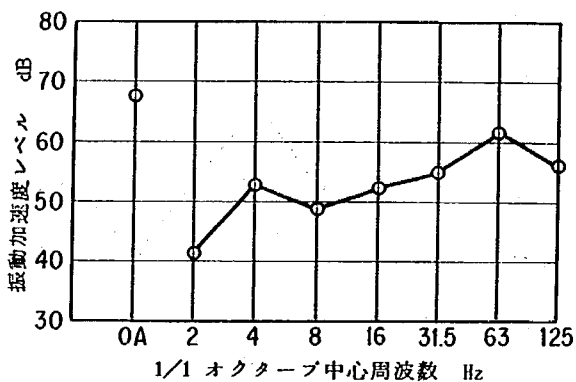
(8) ディーゼルパイルハンマ



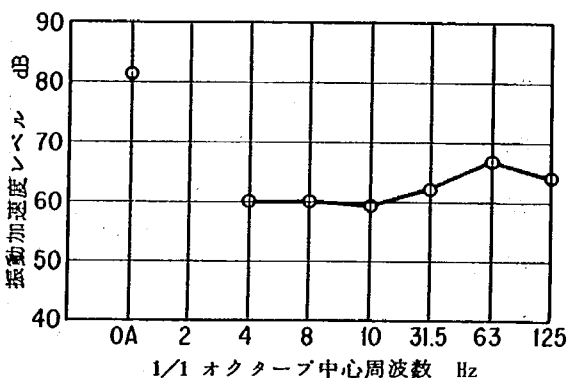
(9) 振動パイルハンマ



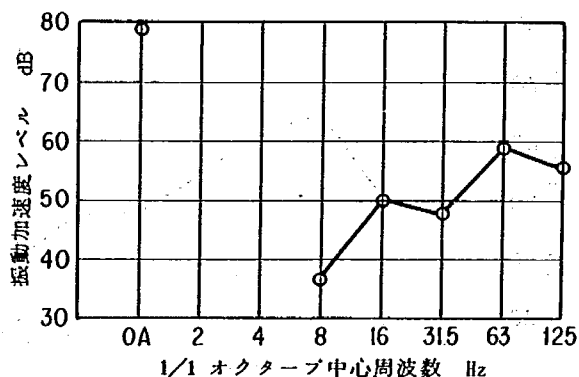
(10) アースオーガ



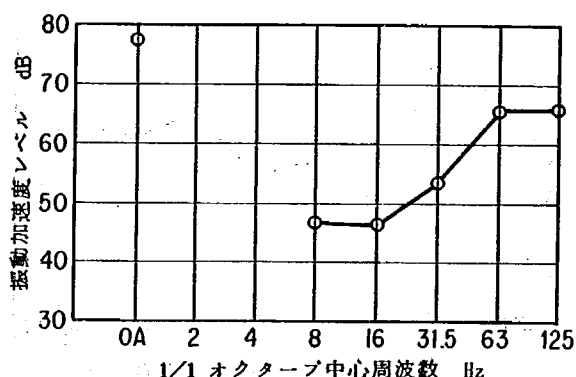
(11) アースドリル



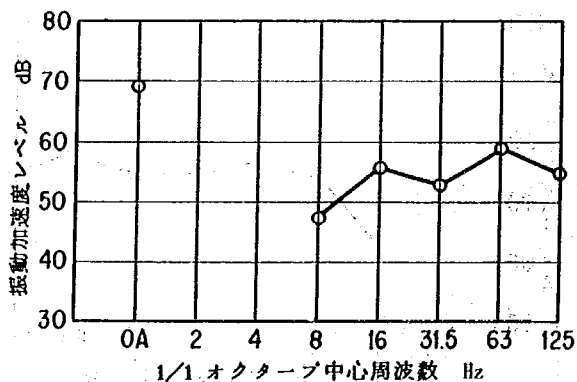
(12) 大口径掘削機(ハンマーグラフ)



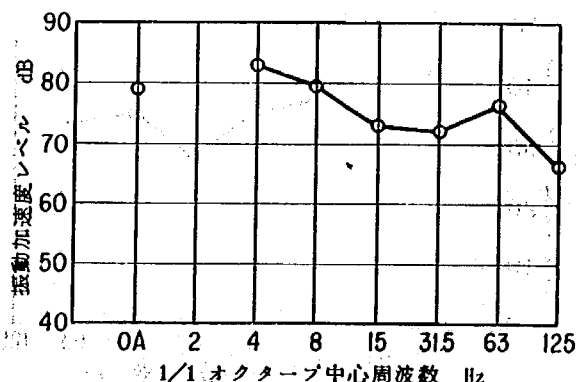
(13) リバースサーキュレーション



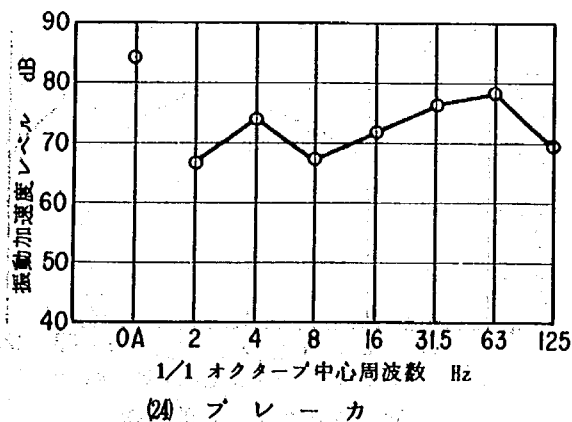
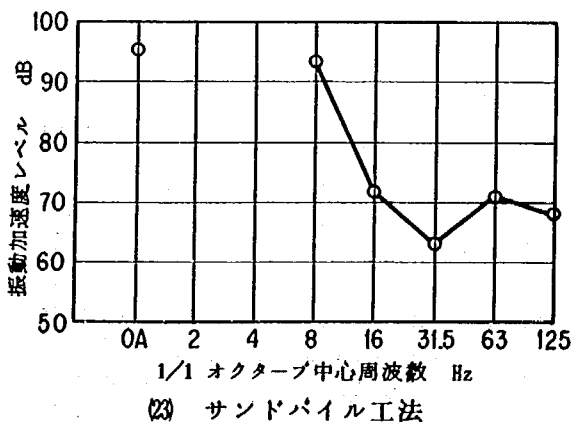
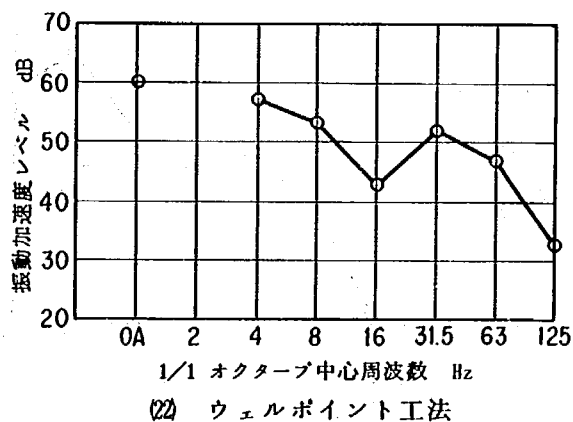
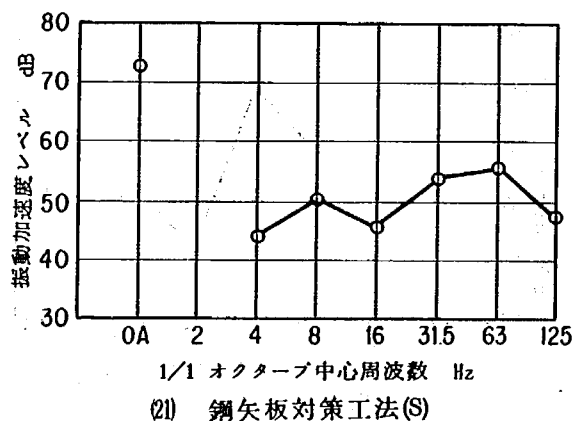
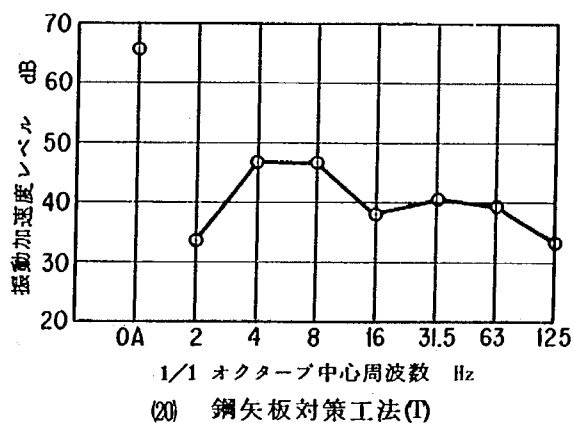
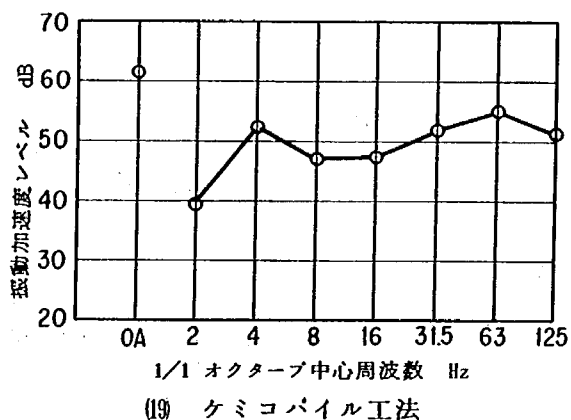
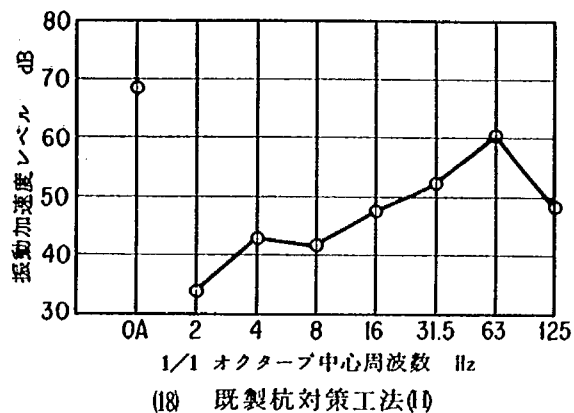
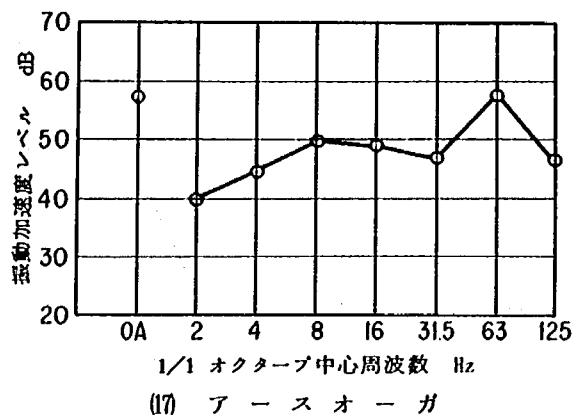
(14) 既製杭対策工法(M)

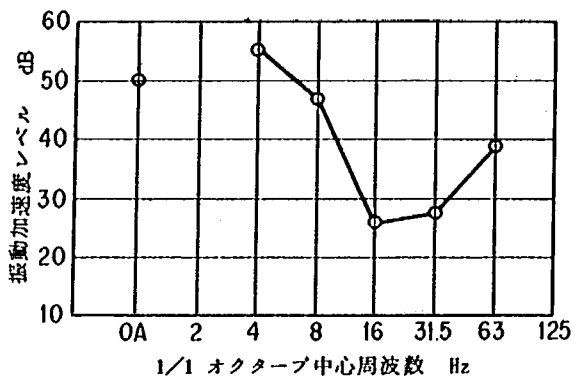


(15) 鋼矢板対策工法(N)

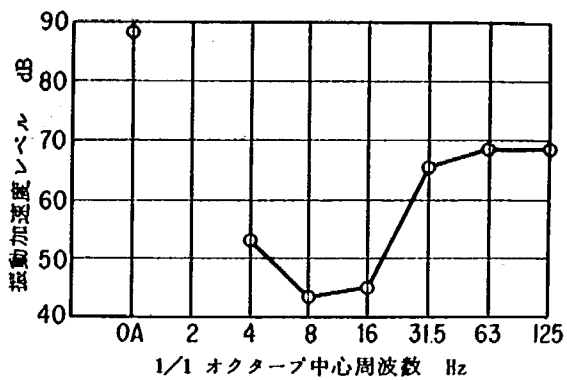


(16) ドロップハンマ

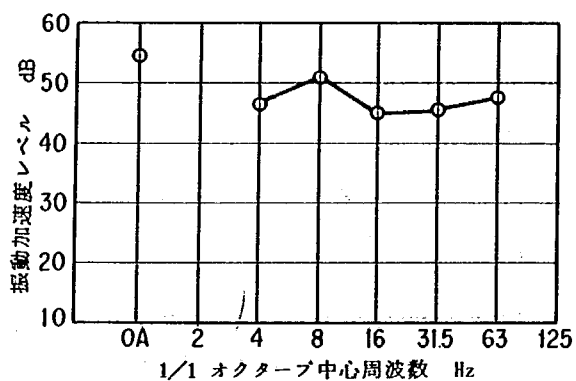




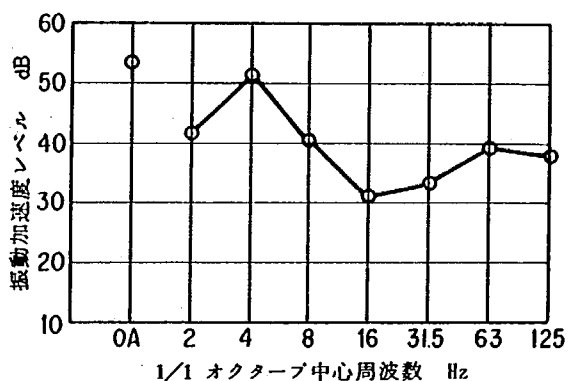
(25) 振動コンパクト



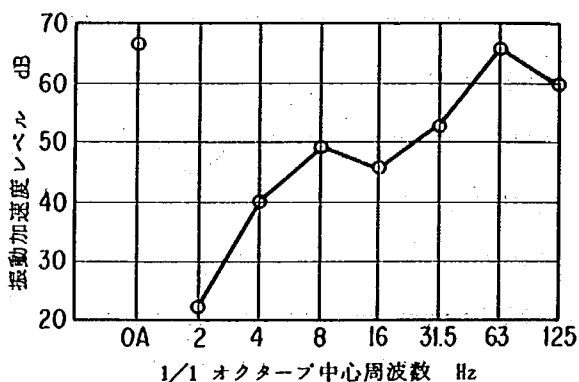
(26) 振動ローラ



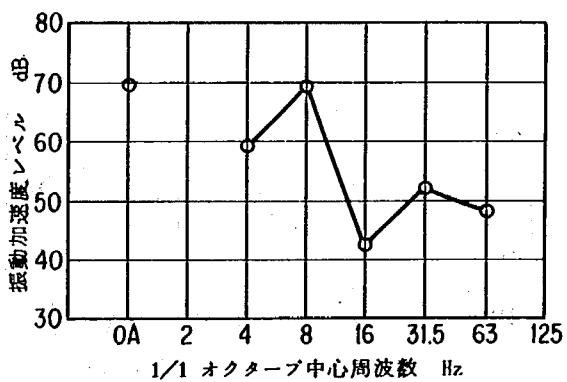
(27) ランマ・タンバ



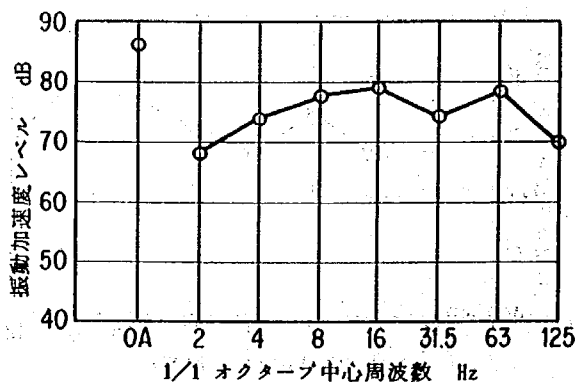
(28) コンクリートカッタ



(29) 路面整正機



(30) ポンプ



(31) コンクリート破壊機

## 参考資料E－1

### 各国の騒音測定方法の規格

THE  
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION  
UNITED STATES DEPARTMENT OF JUSTICE

アルゼンチン

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| F 40-36 | Acoustical terminology                                                 |
| 4061    | Preferred frequencies                                                  |
| 4065    | Expression of the physical and subjective magnitudes of sound or noise |
| 4066    | Normal loudness contours                                               |
| 4067    | Loudness and loudness level                                            |

オーストラリア

|              |                                                                                                                             |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z33-1967     | Preferred frequencies and band centres for acoustical measurements                                                          |
| AS.Z44-1969  | Expression of the power & intensity levels of sound or noise                                                                |
| AS.1047-1971 | Expression of the physical and subjective magnitudes of sound or noise                                                      |
| AS.1633-1974 | Glossary of acoustic terms                                                                                                  |
| C.S.I.R.O.   | National measurement laboratory<br>"Tests and Measurements"<br>(Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation) |

オーストリア

|                   |                                                                                                                               |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S 5001<br>Entwurf | Grundbegriffe der Akustik                                                                                                     |
| S 5002            | Normfrequenzen für akustische Messungen                                                                                       |
| S 5003            | Teil 1; Grundlagen der Schallmessung, Physikalische und subjektive Größen von Schall                                          |
| S 5003<br>Entwurf | Teil 2; Grundlagen der Schallmessung, Normalkurven gleicher Lautstärkepegel                                                   |
| S 5030            | Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen; Anwendung grundlegender Normen und Erstellung typenbezogener Prüfbestimmungen |
| S 5031            | Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen; Verfahren im Hallraum                                                         |
| S 5033            | Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen; Verfahren in besonderen Hallräumen                                            |
| S 5034            | Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen; Verfahren im Freifeld über einem reflektierenden Boden                        |

オーストリア

- S 5035 Bestimmung der Schalleistung von schallquellen;  
Verfahren in reflexionsarmen Räumen
- S 5037 Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen;  
Verfahren mit Bezugsschallquelle
- ÖAL-Richtlinie  
Nr.3  
(4.Ausg.) Schalltechnische Grundlagen für die Beurteilung  
von Lärm
- ÖAL-Richtlinie  
Nr.11  
(4.Augs.) Rechtliche Grundlagen für die Lärmbekämpfung
- ÖAL-Richtlinie  
Nr.13 Gehörschutzmittel
- ÖAL-Richtlinie  
Nr.20 Lärmschutztechnische Begriffe und Messungen

ベルギー

- NBN576.02-  
1961 2.édition Niveaux Physiques et subjectif d'un son ou d'un  
bruit et échelle de sonie
- NBN576.03-  
1961 2.édition: Les lignes isosoniques normales pour sons pour  
NBN S01.003 écoutes en champ libre et le seuil d'audition  
binaurculaire en champ libre
- NBN576.04-  
1961 Fréquences normales pour mesures acoustiques
- Addendum to  
NBN576.04

ブルガリア

- BDS 4610-69 Standard tuning frequencies
- BDS 4792-62 Acoustical quantities, symbols, definitions and  
units

カナダ

- Z 107.2 Same as ANSI S1.13-1971
- Z 107.3 Same as ANSI S1.21-1972

チェコスロバキア

- ČSN 01 1304 Quantities, units and symbols of acoustics
- ČSN 01 1600 Terminology of acoustics
- ČSN 01 1601 Preferred frequencies in acoustics

チェコスロバキア

|             |                                                                           |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ČSN 01 1602 | Procedure for the calculation of the loudness and loudness level of noise |
| ČSN 01 1603 | Methods for noise measurements                                            |
| ČSN 01 1610 | Fundamental tuning tones                                                  |
| ČSN 34 0870 | Series of nominal electro-acoustical power of the supersonic equipment    |

デンマーク

|               |                                                                                                                                               |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DS/ISO R.131  | Udtryk for lyds og støjs fysiske og subjektive styrke                                                                                         |
| DS/ISO R.226  | Normalkurver for rene toner med samme hørestyrke og normal høretærskel ved aflytning i frit felt                                              |
| DS/ISO R.266  | Normalfrekvenser for akustiske målinger                                                                                                       |
| DS/ISO R.357  | Udtryk for lyds og støjs effekt- og intensitetsniveau                                                                                         |
| DS/ISO R.454  | Forholdet mellem de lydtryksniveauer af smalle støjband, der i et diffust felt og i et frontalt indfaldende, frit felt giver samme lydindtryk |
| DS/ISO R.532  | Fremgangsmåde til beregning af hørestyrke                                                                                                     |
| DS/ISO R.2204 | Akustik. Retningslinier for måling af luftbåren akustisk støj og vurdering af dennes virkning på mennesket                                    |
| DS/ISO R.2249 | Akustik. Beskrivelse og måling af fysiske størrelser ved overlydsbrag                                                                         |

フィンランド

|          |                        |
|----------|------------------------|
| SFS 3084 | Same as ISO R.131-1959 |
| SFS 3085 | Same as ISO R.226-1961 |
| SFS 3086 | Same as ISO R.266-1962 |
| SFS 3087 | Same as ISO R.357-1963 |
| SFS 3088 | Same as ISO R.454-1965 |
| SFS 3089 | Same as ISO R.532-1966 |

フランス

|                     |                                                                                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NF S 30-002<br>1972 | Fréquences normales pour les mesures acoustiques                                                                   |
| NF S 30-003<br>1965 | Lignes isosoniques normales pour sons purs écoutes en champ libre et seuil d'audition binaurculaire en champ libre |

フ ラ ン ス

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NF S 30-004<br>1966 | Expression des caractéristiques physiques et des caractéristiques psychophysiologiques d'un son ou d'un bruit                                                                                                                                              |
| NF S 30-005<br>1966 | Méthode de calcul du niveau d'isosonie                                                                                                                                                                                                                     |
| NF S 30-007<br>1967 | Zéro normal de référence pour l'étalonnage des audiomètres à sons purs                                                                                                                                                                                     |
| NF S 30-008<br>1970 | Guide pour la mesure du bruit et l'évaluation de ses effets sur l'homme                                                                                                                                                                                    |
| NF S 30-009<br>1972 | Atténuation du son dans l'air                                                                                                                                                                                                                              |
| NF S 30-010<br>1974 | Acoustique - courbes nr d'évaluation du bruit                                                                                                                                                                                                              |
| NF S 30-101<br>1973 | Vocabulaire de l'acoustique - définitions générales                                                                                                                                                                                                        |
| NF S 30-102<br>1973 | Vocabulaire de l'acoustique - systèmes de transmission et de propagation du son et des vibrations                                                                                                                                                          |
| NF S 30-103<br>1973 | Vocabulaire de l'acoustique - appareillage acoustique                                                                                                                                                                                                      |
| NF S 30-104<br>1974 | Vocabulaire de l'acoustique - enregistrement et lecture                                                                                                                                                                                                    |
| NF S 30-105<br>1975 | Vocabulaire de l'acoustique - acoustique physiologique de psychoacoustique<br>(avec NF S 30-101 à NF S 30-103, septembre 1973, NF S 30-104, octobre 1974, NF S 30-106, septembre 1975 et NF S 30-107, décembre 1972, remplace NF S 30-001, septembre 1973) |
| NF S 30-106<br>1975 | Vocabulaire de l'acoustique - acoustique architecturale<br>(avec NF S 30-101 à NF S 30-103, septembre 1973, NF S 30-104, octobre 1974, NF S 30-105, septembre 1975 et NF S 30-107, décembre 1972, remplace NF S 30-001, septembre 1973)                    |
| NF S 30-107<br>1972 | Vocabulaire de l'acoustique musicale                                                                                                                                                                                                                       |
| NF C 97-030<br>1970 | Echelles des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence des appareils électro-acoustiques (Enr.) (1 page)                                                                                                                                |

西 ド イ ツ

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| DIN 1318 | Lautstärkepegel; Begriffe, Meßverfahren |
| DIN 1320 | Akustik, Grundbegriffe                  |

西 ド イ ツ

|           |                                                                                                                                 |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DIN 1332  | Akustik, Formelzeichen                                                                                                          |
| DIN 45401 | Normfrequenzen für akustische Messungen                                                                                         |
| DIN 45402 | Effektivwertmessung in der Elektroakustik                                                                                       |
| DIN 45403 | Messung von nichtlinearen Verzerrungen in der Elektroakustik                                                                    |
| Bl. 1 - 4 |                                                                                                                                 |
| DIN 45611 | Messung der Schalldämmung von Gehörschützern.<br>(Hörschwellenmethode)                                                          |
| DIN 45630 | Grundlagen der Schallmessung.<br>Bl.1: Physikalische und subjektive Größen von Schall<br>Bl.2: Normalkurven gleicher Lautstärke |
| DIN 45631 | Berechnung des Lautstärke-Pegels aus dem Geräusch-Spektrum. (Verfahren nach Zwicker)                                            |

東 ド イ ツ

|                     |                                                                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TGL 10688/1<br>1970 | Meßverfahren der Akustik:<br>Luftschallmessungen am Aufenthaltsort von Menschen                                                 |
| TGL 10688/2         | Luftschallmessungen an Maschinen                                                                                                |
| TGL 10688/3<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung der Luftschall- und Trittschalldämmung<br>(Ersatz für TGL 10687/3 und 4, Ausg. 10.63)  |
| TGL 10688/4<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von<br>Dämmschichten (Ersatz für TGL 10687/4, Ausg. 10.63) |
| TGL 10688/5<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum                                                |
| TGL 10688/6<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der<br>Schallimpedanz im Messrohr                      |
| TGL 10688/7<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung der Strömungsresistanz                                                                 |
| TGL 10688/8<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung der Nachhallzeit von Räumen                                                            |
| TGL 10688/9<br>1970 | Messverfahren der Akustik:<br>Bestimmung der valenten Schallabsorptionsfläche<br>(Ersatz für TGL 10687/4, Ausg. 10.63)          |

イ ギ リ ス

|               |                                                                                                                     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BS.3045: 1958 | The relation between the sone scale of loudness and the phon scale of loudness level                                |
| BS.3383: 1961 | Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free-field listening conditions |
| BS.3593: 1963 | Recommendation on preferred frequencies for acoustical measurements                                                 |
| BS.4198: 1967 | Method for calculating loudness                                                                                     |
| BS. 661: 1969 | Glossary of acoustical terms                                                                                        |
| BS.2497:      | Reference zero for the calibration of pure-tone audiometers                                                         |
| BS.5108: 1974 | Method of measurement of attenuation of hearing protectors at threshold                                             |

ハ ン ガ リ ー

|                       |                                                 |
|-----------------------|-------------------------------------------------|
| M.Sz.3391-60<br>1960  | Acoustical terminology and formulae             |
| M.Sz.3392-54<br>1954  | Acoustical measurements                         |
| M.Sz.11121-53<br>1953 | Sound technics. General terminology and demands |

イ ン ド

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IS: 1885<br>Part III | Electrotechnical vocabulary: Acoustics:<br>Section 1. Physical Acoustics<br>Section 2. Acoustical Systems<br>Section 4. Sonics, ultrasonics and underwater acoustics<br>Section 6. Acoustical instruments<br>Section 8. Architectural acoustics |
| IS: 2264-1963        | Preferred frequencies for acoustical measurements                                                                                                                                                                                               |

オ ラ ン ダ

|           |                   |
|-----------|-------------------|
| NEN 10050 | Same as IEC 50    |
| NEN 20131 | Same as ISO R.131 |
| NEN 20226 | Same as ISO R.226 |
| NEN 20266 | Same as ISO R.266 |
| NEN 20357 | Same as ISO R.357 |

オ ラ ン ダ

|           |                    |
|-----------|--------------------|
| NEN 20532 | Same as ISO R.532  |
| NEN 22204 | Same as ISO R.2204 |
| NEN 30454 | Same as ISO R.454  |

ニ ュ ー ジ ー ラ ン ド

|            |                                                                                            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1009: 1951 | Musical pitch. Gr 4. Amendment No. 1, 1967                                                 |
| 2066: 1965 | The relation between the sone scale of loudness and the phon scale of loudness level. Gr 2 |
| 2067: 1965 | Recommendation on preferred frequencies for acoustical measurements. Gr 2                  |

ノ ル ウ ェ イ

|            |                                                                                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NS 1020:07 | Del 7. Størrelser og SI-enheter. Akustikk                                                                                           |
| NS 4800    | Kammertonen (Standard tonehøyde)                                                                                                    |
| NS 4801    | Fysiske og subjektive størrelser for beskrivelse av lyd og støy                                                                     |
| NS 4802    | Normale likelydskurver for rene toner og normal høreterskel under fritt-feltforhold                                                 |
| NS 4803    | Prefererte frekvenser ved akustiske målinger                                                                                        |
| NS 4805    | Effekt- og intensitetsnivåer for lyd og støy                                                                                        |
| NS 4807    | Forskjellen mellom lydtrykknivåer av smalbåndstøy som i et diffust felt og i et frontalt innfallende fritt felt har samme hørestyke |
| NS 4810    | Metode for beregning av hørestyrkenivå.<br>(Inkl. ISO R.532)                                                                        |

ポ ー ラ ン ド

|         |                                                                                                  |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PN-61   | Building acoustics                                                                               |
| B-02153 | Terminology and definitions                                                                      |
| PN-71   | Noise of machines and equipment. Methods for                                                     |
| M-01300 | determination of acoustic parameters                                                             |
| PN      | Acoustics. Measuring frequencies                                                                 |
| N-01301 | (Polish Draft Standards for experimental application)                                            |
| PN      | Acoustics. Method of determination of audibility                                                 |
| N-01303 | and audibility levels (Polish Draft Standard for experimental application)                       |
| PN      | Acoustics. Plotting curves of equal sound levels                                                 |
| M-01305 | and threshold of audibility of normal tones (Polish Draft Standard for experimental application) |

ポ ー ラ ン ド

PN  
T-01009      Electroacoustics. Terms and definitions  
(Polish Draft Standard for experimental application)

ポ ル ト ガ ル

I-855      Acustica. Terminologia (terminology)  
1975

ル ー マ ニ ア

STAS 1957-66      Acoustics. Quantities, units and symbols  
STAS 6342-61      Frequencies of tones  
STAS 6451-61      Physical and physiological expressions of sound  
and noise  
STAS 6533-62      Electroacoustics, terminology  
STAS 6702-63      Electroacoustics. Conventional symbols  
STAS 6901-64      Normal equal loudness contours  
STAS 7024-64      Supersonic acoustics. Terminology

ス ペ イ ン

50(08)      Vocabulario Electrotécnico Internacional Electro-  
1960      acústica  
117-12      Doceava parte: Diagramas de espectros de  
1968      frecuencias  
268-1      Primera parte: Generalidades  
1968  
268-2      Segunda parte: Definición de los términos  
1971      generales

ス ウ ェ ー デ ン

SEN 590100      Akustik, översikt över normer  
SEN 011501      Akustisk ordlista  
SIS 016170      Storheter och Enheter, Akustik

ス イ ス

                          Lärmbekämpfung in der Schweiz

ア メ リ カ

|             |                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| S1.1-1960   | Acoustical terminology                                             |
| S1.2-1962   | Method for physical measurement of sound                           |
| S1.6-1967   | Preferred frequencies and band numbers for acoustical measurements |
| S1.8-1969   | Preferred ref. quantities for acoustical levels                    |
| S1.13-1971  | Method for the measurement of sound pressure levels                |
| S3.4-1968   | Procedure for the computation of the loudness of noise             |
| S3.20-1973  | Psychoacoustical terminology                                       |
| S6.1-1973   | Qualifying a sound data acquisition system                         |
| Y10.11-1953 | Standard letter symbols for acoustics                              |

ソ ビ エ ト

|               |                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------|
| Gost 8849-58  | Acoustical units                                         |
| Gost 12090-66 | Preferred frequencies for acoustical measurements        |
| Gost 9865-68  | Supersonic equipment. Series of nominal electrical power |
| Gost 14761-69 | Grammophone test records. Technical conditions. Testing  |

ユーゴスラビア

|           |                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------|
| 1/NN 4010 | Physiological and subjective magnitude of sound or noise |
| 2/NN 4011 | Preferred frequencies for acoustical measurements        |



## 参考資料E-2

騒音の測定方法を含む  
日本工業規格一覧

THE  
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION  
UNITED STATES DEPARTMENT OF JUSTICE  
WASHINGTON, D. C. 20535

## 騒音測定方法の規格

- JIS B 1548-76 転がり軸受の音圧レベル測定方法  
1753-76 歯車装置の騒音測定方法  
6004-80 工作機械の騒音レベル測定方法  
6521-78 木材加工機械の騒音測定方法  
8005-75 内燃機関の騒音測定方法  
8041-77 ガスタービン試験方法  
8310-77 ポンプの騒音レベル測定方法  
8346-77 送風機・圧縮機の騒音レベル測定方法  
8350-77 油圧ポンプの騒音レベル測定方法 (ISO 4412/1)  
C 5531-78 コーンスピーカ試験方法  
D 1024-76 自動車の車外騒音試験方法 (ISO/R 362)  
1031-75 二輪自動車騒音試験方法

## 騒音測定方法を含む機器の試験方法

- JIS B 6201-76 工作機械の試験方法通則  
6202-75 旋盤の試験方法及び検査  
6203-75 ひざ形横フライス盤及び万能フライス盤の試験方法及び検査  
6207-77 平削り盤（門形）の試験方法及び検査  
6208-75 ラジアルボール盤の試験方法及び検査  
6209-75 直立ボール盤の試験方法及び検査  
6210-77 横中ぐり盤（テーブル形）の試験方法及び検査  
6211-74 内面研削盤の試験方法及び検査  
6212-77 円筒研削盤及び万能研削盤の試験方法及び検査  
6215-77 タレット旋盤の試験方法及び検査  
6217-77 単軸自動旋盤（主軸台固定形）の試験方法及び検査  
6218-77 単軸自動旋盤（主軸台移動形）の試験方法及び検査  
6219-77 多軸自動旋盤の試験方法及び検査  
6221-77 立形多軸ボール盤の試験方法及び検査  
6224-78 シグ中ぐり盤の試験方法及び検査方法  
6216-79 ホブ盤の試験及び検査方法  
6214-79 立軸回転テーブル形平面研削盤の試験及び検査方法  
6331-74 数値制御旋盤の試験方法及び検査  
6332-77 数値制御立形ボール盤の試験方法及び検査  
6333-77 数値制御ひざ形立フライス盤の試験方法及び検査

|                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| J I S B 6334-77 | 数値制御横中ぐり盤 ( テーブル形 ) の試験方法及び検査 |
| 6335-78         | 数値制御円筒研削盤及び万能研削盤の試験方法及び検査     |
| 6336-79         | マシニングセンタの試験及び検査方法             |
| 6402-77         | 機械プレス of 試験方法及び検査             |
| 6403-77         | 液圧プレス of 試験方法及び検査             |
| 6508-80         | 丸のと盤の試験及び検査方法                 |
| 6509-79         | 帯のと盤・送材車の試験及び検査方法             |
| 6510-75         | 木工面取り盤                        |
| 6511-75         | ルータ                           |
| 6512-75         | リップソー                         |
| 6513-75         | 木工フライス盤                       |
| 6514-62         | 木工用ボール盤及び角のみ盤検査方法             |
| 6515-62         | ほぞ取盤検査方法                      |
| 6516-62         | かんな刃研削盤検査方法                   |
| 6502-79         | かんな盤の試験及び検査方法                 |
| 6542-63         | ベニヤレース                        |
| 6543-63         | ベニヤナイフ研削盤                     |
| 6544-63         | スクレーパナイフ研削盤                   |
| 6545-66         | ドラムサンダ                        |
| 6546-78         | ワイドベルトサンダ                     |
| 6547-75         | ローラ乾燥機                        |
| 6548-75         | ホットプレス                        |
| 6549-75         | グルースブレッダ                      |
| 6556-61         | 製材用及び木工用帯のと刃研削盤               |
| 6595-75         | ベニヤクリッパ                       |
| 6596-68         | ダブルサイザ                        |
| 6597-68         | 合板用スクレーパ                      |
| 6598-78         | ベニヤジョイント                      |
| 6599-68         | スライサ                          |
| 6611-77         | パッチ式ローラ形鑄物砂混練機                |
| 6613-75         | 鑄造用シール鑄造型機 of 試験及び検査          |
| 8011-77         | 小型陸用水冷火花点火機関                  |
| 8012-77         | 小型陸用水冷ディーゼル機関                 |
| 8015-77         | 小型陸用強制空冷火花点火機関                |

|                 |                                         |
|-----------------|-----------------------------------------|
| J I S B 8016-77 | 小形陸用強制空冷ディーゼル機関                         |
| 8303-76         | ボイラ給水用遠心ポンプの試験及び検査方法                    |
| 8304-76         | 復水ポンプの試験及び検査方法                          |
| 8305-76         | 自吸遠心ポンプの試験及び検査方法                        |
| 8306-76         | 油用遠心ポンプの試験及び検査方法                        |
| 8311-76         | 往復ポンプの試験及び検査方法                          |
| 8312-76         | 歯車ポンプ及びねじポンプの試験及び検査方法                   |
| 8313-79         | 小形うず巻ポンプ                                |
| 8316-77         | 油回転真空ポンプ性能試験方法 (ISO 1607/1~2)           |
| 8319-79         | 小形多段遠心ポンプ                               |
| 8322-79         | 両吸込うず巻ポンプ                               |
| 8323-79         | 水封式真空ポンプ                                |
| 8324-77         | 深井戸用水中モータポンプ                            |
| 8325-77         | 設備排水用水中モータポンプ                           |
| 8326-76         | 油回転真空ポンプ                                |
| 8330-81         | 送風機の試験及び検査方法                            |
| 8331-77         | 多翼送風機                                   |
| 8340-76         | ターボ形ブロワ・圧縮機の試験及び検査方法                    |
| 8341-76         | 容積形圧縮機の試験及び検査方法                         |
| 8351-77         | 油圧用ベーンポンプ (吐出し口径 10~50mm)               |
| 8352-76         | 油圧用歯車ポンプ (吐出し口径 10~50mm)                |
| 8359-76         | 油圧用ベーンモータ (口径 20~50mm)                  |
| 8379-77         | 空気圧用消音器                                 |
| 8404-76         | ガンタイプ油バーナ (ISO 3544, 5062)              |
| 8405-76         | 低圧空気式油バーナ                               |
| 8406-76         | 回転式油バーナ                                 |
| 8407-79         | 油バーナ性能試験方法                              |
| 8408-78         | ガンタイプ油バーナ用歯車ポンプ                         |
| 8409-79         | ガンタイプ油バーナ用電磁ポンプ                         |
| 8616-79         | パッケージエアコンディショナ                          |
| 9506-77         | シアゾ複写機性能試験方法                            |
| 9515-77         | 金銭登録機性能試験方法                             |
| 9910-77         | 集じん装置の性能測定方法                            |
| 8301-76         | 遠心ポンプ, 斜流ポンプ及び軸流ポンプの試験及び検査方法 (ISO 2548) |

|                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| J I S C 9601-76 | 扇風機                           |
| 9602-66         | 天井扇風機                         |
| 9603-76         | 換気扇                           |
| 9605-76         | 携帯電気ドリル                       |
| 9606-79         | 電気洗たく機                        |
| 9607-79         | 電気冷蔵庫及び電気冷凍庫 (ISO/R 824, 825) |
| 9609-77         | 電気ミキサ・電気ジューサ                  |
| 9610-76         | 携帯電気グラインダ                     |
| 9611-76         | 電気ディスクグラインダ                   |
| 9612-79         | ルームエアコンディショナ                  |
| 9613-76         | ヘアドライヤ                        |
| 9614-79         | 電気かみそり                        |
| 9615-76         | 空気清浄機                         |
| 9621-76         | 卓上電気グラインダ                     |
| 9625-76         | 携帯電気かんな                       |

|                 |                                            |
|-----------------|--------------------------------------------|
| J I S D 1002-76 | 自動車用空冷ガソリン機関性能試験方法 (ISO 1585<br>3046/1, 2) |
| 1003-76         | 自動車用水冷ガソリン機関性能試験方法 (ISO 1585<br>3046/1, 2) |
| 1004-76         | 自動車用ディーゼル機関性能試験方法 (ISO 1585<br>3046/1, 2)  |
| 1005-76         | 建設機械用ディーゼル機関性能試験方法 (ISO 3046/1, 2)         |
| 1022-76         | 自動車運行試験方法                                  |
| 1027-77         | 自動車用酸化触媒式排気ガス浄化装置試験方法                      |
| 1031-64         | 二輪自動車走行試験方法通則                              |
| 1040-75         | 二輪自動車運行試験方法                                |
| 1613-76         | 自動車用気化器性能試験方法                              |
| 1616-76         | 自動車用排気消音器性能試験方法                            |
| 1618-77         | 自動車用冷房機試験方法                                |
| 4703-76         | バス用押込形通風装置                                 |
| 5703-76         | 自動車用ワイパモータ                                 |
| 5704-76         | 自動車用電気式ウインドシールドウォッシャ                       |
| 5901-76         | 自動車用温水式暖房器                                 |
| 6501-78         | ダンブトラック性能試験方法 (ISO 6165)                   |
| 6502-77         | モータグレーダ性能試験方法                              |
| 6503-77         | 履带式トラクタ性能試験方法 (ISO 5005)                   |
| 6504-78         | スクレーバ性能試験方法 (ISO 6165, 5005)               |

|                 |                                         |
|-----------------|-----------------------------------------|
| J I S D 6505-76 | 車輪式及び履带式トラクタショベル性能試験方法 (ISO 5005, 5998) |
| 6509-76         | ロータリ除雪車性能試験方法                           |
| 8102-77         | 自動車用油圧式ガレージジャッキ                         |
| 9201-76         | 自転車制動試験方法                               |
| J I S E 4042-67 | 電気機関車の完成検査通則                            |
| 4043-67         | ディーゼル動車の完成検査通則                          |
| 4044-67         | ディーゼル機関車の完成検査通則                         |
| 5002-76         | 鉄道車両用空気圧縮機試験方法                          |
| 5303-77         | 鉄道車両用ディーゼル機関試験方法                        |
| J I S S 2019-80 | 石油ストーブ                                  |
| 2101-79         | 液化石油ガス用燃焼器具類の試験方法                       |
| 2102-68         | 液化石油ガス ( L P ガス ) 用ストーブ                 |
| 2103-80         | 液化石油ガス用こんろ                              |
| 2104-81         | 液化石油ガス用グリル付きこんろ                         |
| 2105-81         | 液化石油ガス用レンジ                              |
| 2106-81         | 液化石油ガス用グリル                              |
| 2107-81         | 液化石油ガス用オーブン                             |
| 2108-80         | 液化石油ガス用炊飯器                              |
| 2109-80         | 液化石油ガス用瞬間湯沸器                            |
| 2110-71         | 液化石油ガス ( L P ガス ) 用貯湯湯沸器                |
| 2111-70         | 液化石油ガス ( L P ガス ) 用ふろがま                 |
| 2121-79         | 都市ガス用燃焼器具類の試験方法                         |
| 2122-74         | 都市ガス用ストーブ                               |
| 2123-80         | 都市ガス用こんろ                                |
| 2124-81         | 都市ガス用グリル付きこんろ                           |
| 2125-81         | 都市ガス用レンジ                                |
| 2126-81         | 都市ガス用グリル                                |
| 2127-81         | 都市ガス用オーブン                               |
| 2128-80         | 都市ガス用炊飯器                                |
| 2133-77         | 都市ガス用クッキングテーブル                          |
| 2141-79         | 密閉式ガス燃焼器具類の試験方法                         |
| 3021-75         | 油だき温水ボイラ                                |
| 3023-81         | 圧力式石油ふろがま                               |
| 3024-79         | 石油小形給湯機                                 |

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| 1. The first of these is the   | 10-10-10 |
| 2. The second is the           | 10-10-10 |
| 3. The third is the            | 10-10-10 |
| 4. The fourth is the           | 10-10-10 |
| 5. The fifth is the            | 10-10-10 |
| 6. The sixth is the            | 10-10-10 |
| 7. The seventh is the          | 10-10-10 |
| 8. The eighth is the           | 10-10-10 |
| 9. The ninth is the            | 10-10-10 |
| 10. The tenth is the           | 10-10-10 |
| 11. The eleventh is the        | 10-10-10 |
| 12. The twelfth is the         | 10-10-10 |
| 13. The thirteenth is the      | 10-10-10 |
| 14. The fourteenth is the      | 10-10-10 |
| 15. The fifteenth is the       | 10-10-10 |
| 16. The sixteenth is the       | 10-10-10 |
| 17. The seventeenth is the     | 10-10-10 |
| 18. The eighteenth is the      | 10-10-10 |
| 19. The nineteenth is the      | 10-10-10 |
| 20. The twentieth is the       | 10-10-10 |
| 21. The twenty-first is the    | 10-10-10 |
| 22. The twenty-second is the   | 10-10-10 |
| 23. The twenty-third is the    | 10-10-10 |
| 24. The twenty-fourth is the   | 10-10-10 |
| 25. The twenty-fifth is the    | 10-10-10 |
| 26. The twenty-sixth is the    | 10-10-10 |
| 27. The twenty-seventh is the  | 10-10-10 |
| 28. The twenty-eighth is the   | 10-10-10 |
| 29. The twenty-ninth is the    | 10-10-10 |
| 30. The thirtieth is the       | 10-10-10 |
| 31. The thirty-first is the    | 10-10-10 |
| 32. The thirty-second is the   | 10-10-10 |
| 33. The thirty-third is the    | 10-10-10 |
| 34. The thirty-fourth is the   | 10-10-10 |
| 35. The thirty-fifth is the    | 10-10-10 |
| 36. The thirty-sixth is the    | 10-10-10 |
| 37. The thirty-seventh is the  | 10-10-10 |
| 38. The thirty-eighth is the   | 10-10-10 |
| 39. The thirty-ninth is the    | 10-10-10 |
| 40. The fortieth is the        | 10-10-10 |
| 41. The forty-first is the     | 10-10-10 |
| 42. The forty-second is the    | 10-10-10 |
| 43. The forty-third is the     | 10-10-10 |
| 44. The forty-fourth is the    | 10-10-10 |
| 45. The forty-fifth is the     | 10-10-10 |
| 46. The forty-sixth is the     | 10-10-10 |
| 47. The forty-seventh is the   | 10-10-10 |
| 48. The forty-eighth is the    | 10-10-10 |
| 49. The forty-ninth is the     | 10-10-10 |
| 50. The fiftieth is the        | 10-10-10 |
| 51. The fifty-first is the     | 10-10-10 |
| 52. The fifty-second is the    | 10-10-10 |
| 53. The fifty-third is the     | 10-10-10 |
| 54. The fifty-fourth is the    | 10-10-10 |
| 55. The fifty-fifth is the     | 10-10-10 |
| 56. The fifty-sixth is the     | 10-10-10 |
| 57. The fifty-seventh is the   | 10-10-10 |
| 58. The fifty-eighth is the    | 10-10-10 |
| 59. The fifty-ninth is the     | 10-10-10 |
| 60. The sixtieth is the        | 10-10-10 |
| 61. The sixty-first is the     | 10-10-10 |
| 62. The sixty-second is the    | 10-10-10 |
| 63. The sixty-third is the     | 10-10-10 |
| 64. The sixty-fourth is the    | 10-10-10 |
| 65. The sixty-fifth is the     | 10-10-10 |
| 66. The sixty-sixth is the     | 10-10-10 |
| 67. The sixty-seventh is the   | 10-10-10 |
| 68. The sixty-eighth is the    | 10-10-10 |
| 69. The sixty-ninth is the     | 10-10-10 |
| 70. The seventieth is the      | 10-10-10 |
| 71. The seventy-first is the   | 10-10-10 |
| 72. The seventy-second is the  | 10-10-10 |
| 73. The seventy-third is the   | 10-10-10 |
| 74. The seventy-fourth is the  | 10-10-10 |
| 75. The seventy-fifth is the   | 10-10-10 |
| 76. The seventy-sixth is the   | 10-10-10 |
| 77. The seventy-seventh is the | 10-10-10 |
| 78. The seventy-eighth is the  | 10-10-10 |
| 79. The seventy-ninth is the   | 10-10-10 |
| 80. The eightieth is the       | 10-10-10 |
| 81. The eighty-first is the    | 10-10-10 |
| 82. The eighty-second is the   | 10-10-10 |
| 83. The eighty-third is the    | 10-10-10 |
| 84. The eighty-fourth is the   | 10-10-10 |
| 85. The eighty-fifth is the    | 10-10-10 |
| 86. The eighty-sixth is the    | 10-10-10 |
| 87. The eighty-seventh is the  | 10-10-10 |
| 88. The eighty-eighth is the   | 10-10-10 |
| 89. The eighty-ninth is the    | 10-10-10 |
| 90. The ninetieth is the       | 10-10-10 |
| 91. The ninety-first is the    | 10-10-10 |
| 92. The ninety-second is the   | 10-10-10 |
| 93. The ninety-third is the    | 10-10-10 |
| 94. The ninety-fourth is the   | 10-10-10 |
| 95. The ninety-fifth is the    | 10-10-10 |
| 96. The ninety-sixth is the    | 10-10-10 |
| 97. The ninety-seventh is the  | 10-10-10 |
| 98. The ninety-eighth is the   | 10-10-10 |
| 99. The ninety-ninth is the    | 10-10-10 |
| 100. The hundredth is the      | 10-10-10 |

## 参考資料E－3

### 各国の機器の騒音測定方法の規格

1. 10/11/1914  
2. 10/11/1914  
3. 10/11/1914  
4. 10/11/1914  
5. 10/11/1914  
6. 10/11/1914  
7. 10/11/1914  
8. 10/11/1914  
9. 10/11/1914  
10. 10/11/1914  
11. 10/11/1914  
12. 10/11/1914  
13. 10/11/1914  
14. 10/11/1914  
15. 10/11/1914  
16. 10/11/1914  
17. 10/11/1914  
18. 10/11/1914  
19. 10/11/1914  
20. 10/11/1914  
21. 10/11/1914  
22. 10/11/1914  
23. 10/11/1914  
24. 10/11/1914  
25. 10/11/1914  
26. 10/11/1914  
27. 10/11/1914  
28. 10/11/1914  
29. 10/11/1914  
30. 10/11/1914  
31. 10/11/1914  
32. 10/11/1914  
33. 10/11/1914  
34. 10/11/1914  
35. 10/11/1914  
36. 10/11/1914  
37. 10/11/1914  
38. 10/11/1914  
39. 10/11/1914  
40. 10/11/1914  
41. 10/11/1914  
42. 10/11/1914  
43. 10/11/1914  
44. 10/11/1914  
45. 10/11/1914  
46. 10/11/1914  
47. 10/11/1914  
48. 10/11/1914  
49. 10/11/1914  
50. 10/11/1914  
51. 10/11/1914  
52. 10/11/1914  
53. 10/11/1914  
54. 10/11/1914  
55. 10/11/1914  
56. 10/11/1914  
57. 10/11/1914  
58. 10/11/1914  
59. 10/11/1914  
60. 10/11/1914  
61. 10/11/1914  
62. 10/11/1914  
63. 10/11/1914  
64. 10/11/1914  
65. 10/11/1914  
66. 10/11/1914  
67. 10/11/1914  
68. 10/11/1914  
69. 10/11/1914  
70. 10/11/1914  
71. 10/11/1914  
72. 10/11/1914  
73. 10/11/1914  
74. 10/11/1914  
75. 10/11/1914  
76. 10/11/1914  
77. 10/11/1914  
78. 10/11/1914  
79. 10/11/1914  
80. 10/11/1914  
81. 10/11/1914  
82. 10/11/1914  
83. 10/11/1914  
84. 10/11/1914  
85. 10/11/1914  
86. 10/11/1914  
87. 10/11/1914  
88. 10/11/1914  
89. 10/11/1914  
90. 10/11/1914  
91. 10/11/1914  
92. 10/11/1914  
93. 10/11/1914  
94. 10/11/1914  
95. 10/11/1914  
96. 10/11/1914  
97. 10/11/1914  
98. 10/11/1914  
99. 10/11/1914  
100. 10/11/1914

オーストラリア

- AS.1081-1975 Measurement of airborne noise emitted by rotating electrical machinery
- AS.1217-1972 Methods of measurement of airborne sound emitted by machines

オーストリア

- Bundesgesetzblatt  
19. Stück 1974  
Nr. 50 Gewerbeordnung 1973
- Wiener Landesgesetzblatt  
12. Stück 1973  
Nr. 16 Gesetz zum Schutz gegen Baulärm
- Wiener Landesgesetzblatt  
16. Stück 1973  
Nr. 20 Emissionsgrenzwertverordnung (für Baumaschinen)
- Österreichisches Normungsinstitut
- S 5031 Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen - Entwurf Hallraumverfahren
- S 5034 Bestimmung der Schalleistung von Schallquellen; Entwurf Betriebsmäßige Verfahren für Freifeldmessungen über einem reflektierenden Untergrund

ベルギー

- NBN 263-1951 Conditions acoustiques de travail d'installations de chauffage, ventilation, etc.

ブルガリア

- BDS 6011-66 Measurement of noise emitted by electrical rotating machines

チェコスロバキヤ

- ČSN 09 0862 Noise of diesel engines. Method of measurement
- ČSN 12 3062 Fans. prescriptions for measurement of noise
- ČSN 17 8055 Measurement of noise emitted by computers
- ČSN 35 0000 Measurement of noise emitted by electrical machines

チェコスロバキヤ

- |                     |                                                                                  |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ČSN 35 0019         | Special testing methods for electrical rotating machines. III. Noise measurement |
| ČSN 35 1080<br>1968 | Fundamental tests of power transformers and reactors                             |
| ČSN 36 1005         | Noise measurement of domestic electrical motor-operated appliances               |
| ČSN 36 1006<br>1969 | Measurement of noise emitted by large electrical household appliances            |

デンマーク

- |               |                                                                                                                                |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DS/ISO R.495  | Retningslinier for udarbejdelse af forskrifter for måling af støj fra maskiner                                                 |
| DS/ISO R.3741 | Akustik. Bestemmelse af lydeffektniveauer for støjklilder. Præcisionsmetoder for bredbåndskilder i efterklangsrums             |
| DS/ISO R.3742 | Akustik. Bestemmelse af lydeffektniveauer for støjklilder. Præcisionsmetoder for rentone- og smalbåndskilder i efterklangsrums |

フランス

- |                     |                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NF S 30-006<br>1966 | Règles générales pour la rédaction des codes d'essais relatifs à la mesure du bruit émis par les machines                                                                                                                         |
| NF S 31-006<br>1966 | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les machines électriques tournantes                                                                                                                                                 |
| S 31-017<br>1972    | Code d'essai pour la mesure du bruit à bord des bateaux et navires                                                                                                                                                                |
| NF S 31-018<br>1973 | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les bateaux de navigation intérieure                                                                                                                                                |
| NF S 31-020<br>1975 | Code d'essai pour la mesure du bruit aérien émis par les groupes motocompresseurs. (Remplace NF S 31-020, Novembre 1970)                                                                                                          |
| S 31-021<br>1970    | Règles d'essais acoustiques en plateforme des ventilateurs à enveloppe                                                                                                                                                            |
| NF S 31-022<br>1973 | Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit - partie I - méthode de laboratoire en salle réverbérante pour les petites sources à large bande                                                          |
| NF S 31-023<br>1973 | Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit - deuxième partie - méthode de laboratoire en salle réverbérante pour les petites sources émettant des bruits à fréquences discrètes ou à bandes étroites |

フ ラ ン ス

|                     |                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NF S 31-024<br>1973 | Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit - troisième partie - méthode d'expertise adaptée à des salles réverbérantes spéciales                        |
| NF S 31-025<br>1973 | Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit - quatrième partie - méthodes d'expertise adaptées à des conditions de champ libre sur le plan réfléchissant |
| NF S 31-026<br>1973 | Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit - cinquième partie - méthode de laboratoire en salle anéchoïque                                              |
| NF S 31-030<br>1975 | Code d'essai pour la mesure du bruit aérien émis par les marteaux-piqueurs et brise-béton.<br>(Remplace S 31-030, mars 1974)                                                         |
| NF S 31-031<br>1975 | Code d'essai pour la mesure du bruit aérien émis par les outils et machines pneumatiques                                                                                             |
| S 31-032<br>1974    | Mesure du bruit émis par les engins de terrassement et de levage - principes généraux pour l'application des codes d'essais                                                          |
| S 31-033<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les pelles mécaniques et hydrauliques, conditions de fonctionnement, emplacement des points de mesure                                  |
| S 31-034<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les chargeuses sur pneumatiques, conditions de fonctionnement, emplacement des points de mesure                                        |
| S 31-035<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les bétonnières fixes - conditions de fonctionnement et emplacement des points de mesure                                               |
| S 31-036<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les bétonnières portées - conditions de fonctionnement et emplacement des points de mesure                                             |
| S 31-037<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les groupes électrogènes - conditions de fonctionnement et emplacement des points de mesure                                            |
| S 31-038<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les boteurs - conditions de fonctionnement et emplacement des points de mesure                                                         |
| S 31-039<br>1974    | Code d'essai pour la mesure du bruit émis par les chargeuses sur chaînes - conditions de fonctionnement et emplacement des points de mesure                                          |
| S 31-042<br>1975    | Code d'essai pour la mesure du bruit aérien émis par les pilonneuses vibrantes                                                                                                       |
| S 31-043<br>1975    | Code d'essai pour la mesure du bruit aérien émis par les rouleaux vibrants                                                                                                           |

フ ラ ン ス

S 31-044

Code d'essai pour la mesure des bruits aériens émis par les patins vibrants et les engins à semelles vibrantes

西 ド イ ツ

DIN 42540

Geräuschstärke von Transformatoren: Bewerteter Schalldruckpegel (Schallpegel)

DIN 45635

Geräuschmessung an Maschinen BI. 1: Rahmen-Meßvorschrift, Hüllflächenverfahren  
BI. 10 ff: Besondere Vorschriften für verschiedene Maschinenarten

VDI 2159

Getriebegeräusche (Messung, Beurteilung)

VDI 2568

Messung der Geräuschemission von Baumaschinen

BI. 1 - 5

Entwurf

VDI 2570

Lärminderung in Betrieben - Allgemeine Grundlagen

Entwurf

SEB 905001-64

Durchführung von Geräuschmessungen

SEB 905004-66

Abnahme Geräuschmessungen und Abnahmebericht

東 ド イ ツ

TGL 39-440

Prüfvorschriften für Fahrzeuggetriebe

TGL 39-703

Prüfvorschriften, Auspuffgeräuschdämpfer, Verbrennungsmotoren

TGL 39-767

Verbrennungsmotoren, Geräuschmessungen, Meßverfahren

TGL 45-01248

Geräuschmessung. Bestimmung der Schallpegel an Haushaltsnämaschinen

TGL 50-29034

Geräuschmessungen an rotierenden elektrischen Maschinen, Richtlinien

TGL 153-6011

Wälzlager, Laufgeräusch, Meßverfahren

TGL 153-6012

Wälzlager, (Radial-) Rillenkugellager, Laufgeräusch, zulässige Werte

TGL 21814  
6173

Zahnradgetriebe Reihe 10 LA, Übersetzung 6.3 bis 40. Angaben über den abgestrahlten Schalleistungspegel

東 ド イ ツ

|                     |                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TGL 21815<br>6173   | Zahnradgetriebe Reihe 10 LA, Übersetzung 40 bis 250. Angaben über den abgestrahlten Schalleistungspegel |
| TGL 27641<br>BL. 8  | Prüfung von Transformatoren ab 6.3kVA. Bestimmung des Geräuschpegels                                    |
| TGL 200-3110        | Elektr. Maschinen. Bestimmung des Geräuschpegels. Begriffe. Prüfverfahren                               |
| TGL 200-4504        | Elektrische Hausgeräte, Geräuschmessungen, Meß- und Prüfverfahren                                       |
| TGL 22423-2<br>1969 | Rotierende elektrische Maschinen. Prüfverfahren: Geräuschmessung                                        |

イ ギ リ ス

|               |                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| BS. 848: 1966 | Part 2 - Fan noise testing                                                          |
| BS.4078: 1966 | Cartridge-operated fixing tools                                                     |
| BS.4196: 1967 | Guide to the selection of methods of measuring noise emitted by machinery           |
| BS.4718: 1971 | Method of test for silencers for air distribution systems                           |
| BS.4813: 1972 | Method of measuring noise from machine tools excluding testing in anechoic chambers |
| BS.4999: 1972 | General requirements for rotating electrical machines, Part 51 - Noise levels       |

イ シ ョ ン

|              |                                                                                       |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| IS:4758-1968 | Methods of measurement of noise emitted by machines                                   |
| IS:6098-1971 | Methods of measurement of the airborne noise emitted by rotating electrical machinery |

オ ラ ン ダ

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| NEN 21680 | Same as ISO R.1680-1970 |
|-----------|-------------------------|

ノ ル ウ ェ イ

|         |                                                                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| NS 4808 | Retningslinjer for utarbeidelse av måleregeler for støy fra maskiner. (inkl. ISO R 495) |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|

ポ ー ラ ン ド

|                  |                                                                                                                               |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PN-72<br>E-04257 | Electrical rotating machinery.<br>Determination of acoustic parameters of noise                                               |
| PN-75<br>E-06260 | Appliances for domestic and similar purposes.<br>Noise level. Examinations and principles of fixing<br>of admissible level    |
| PN-72<br>M-43120 | Fans. Methods of noise determination                                                                                          |
| PN-75<br>M-47015 | Earth moving machinery. Operator's stand.<br>Admissible noise level and methods of tests                                      |
| PN<br>M-55725    | Machine tools for metals. Test methods and<br>admissible noise levels (Polish Draft Standard<br>for experimental application) |
| PN-75<br>M-78030 | Driven carriageway cars. Admissible noise level<br>and methods of tests                                                       |
| PN-71<br>N-01300 | Noise of machines and equipment. Methods for<br>determination of acoustic parameters                                          |

ル ー マ ニ ア

|              |                                                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|
| STAS 7150-65 | Methods of noise measurement in industry                        |
| STAS 7301-65 | Measurement of noise emitted by electrical<br>rotating machines |

南 ア フ リ カ

|                   |                                                                                                                                                                       |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SABS 068-<br>1972 | The measurement under acoustic laboratory condi-<br>tions of sound emitted by sound sources (deter-<br>mination of sound power levels under laboratory<br>conditions) |
| SABS 069-<br>1972 | The measurement in the field of sound emitted by<br>sound sources (determination of sound power levels<br>under practical operating conditions)                       |

ス ウ ェ ー デ ン

|                   |                                                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SEN 330501        | Köksfläktar, bestämning av kapacitet och ljudnivå                                                     |
| SMS/ISO<br>R.2151 | Mätning av luftburet buller avgivet från motor-<br>drivna kompressorer avsedda för användning utomhus |
| SMS 965           | Träbearbetningsmaskiner, mätning av buller,<br>beräkning av ljudeffektnivå                            |
| SMS 892           | Byggmaskiner, mätning av bulleremission till<br>omgivningen, remissförslag 1973                       |

スウェーデン

SMS 2189

Motorkedjesågar, mätning av buller

BAS

Ljudnivåtest för svarvar, fräsmaskiner, fräs-  
och borrarverk samt borrarmaskiner

アメリカ

ASA STD 3  
1975

Test-site measurement of noise emitted by engine  
powered equipment

ARI Standard  
575 (1973)

Standard for method of measuring machinery sound  
within equipment rooms

AMCA Standard  
300-67

Test code for sound rating

AGMA 295.03  
(1968)

Specification for measurement of sound on high  
speed helical and herringbone gear units

AGMA 297.01  
(1973)

Sound for enclosed helical, herringbone and spiral  
level gear drives

AGMA 298.01  
(1975)

Sound for gearmotors and in-line reducers and  
increasers

S1.21-1972

American national standard methods for the deter-  
mination of sound power levels of small sources  
in reverberation rooms

S3.17-1975

Method for rating the sound power spectra of small  
stationary noise sources

S5.1-1971

Test code for the measurement of sound from  
pneumatic equipment

ASHRAE 36-72

Methods of testing for sound rating heating,  
refrigerating, and airconditioning equipment

ASHRAE 68-75

Method of testing sound power radiated into ducts  
from air moving devices

ATMA  
Test Procedure  
(1973)

Noise measurement technique for textile machinery

Test code for the measurement of sound from  
pneumatic equipment

Noise measurement technique

IEEE No.85  
1973

Test procedure for airborne sound measurements on  
rotating electric machinery

WMMA  
Test code  
(1973)

Test code for evaluating the noise emission of  
woodworking machinery

ア メ リ カ

|                     |                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SAE J952b<br>(1969) | SAE standard, sound levels for engine powered equipment                                                 |
| SAE J1046<br>(1974) | SAE recommended practice, exterior sound level measurement procedure for small engine powered equipment |
| SAE J1074<br>(1974) | SAE recommended practice, engine sound level measurement procedure                                      |

ソ ビ エ ト

|               |                                                                                                                                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gost 11929-66 | Measurement of noise emitted by electrical rotating machines and transformers                                                                             |
| Gost 8.055-73 | State system for ensuring the uniformity of measuring. Machines. Measurement methods for the determination of noise characteristics                       |
| Gost 15529-70 | Ventilators for general purposes. Methods for determination of noise characteristics                                                                      |
| Gost 16317-70 | Household refrigerators                                                                                                                                   |
| Gost 19358-74 | Automobiles, trains, buses, motorcycles, scooters, motormounted bicycles. External and internal noise. Maximum permissible levels. Methods of measurement |
| Gost 20444-75 | Traffic flows in populated areas.<br>Method of determination of noise characteristic                                                                      |
| Gost 20445-75 | Building and structures of industrial enterprises.<br>Method of noise measurements at workplaces                                                          |

## 参考資料E-4

各国の騒音規制法に示される  
建設機械の騒音測定方法

1911

1912

1913

## I フランス騒音規制法に示される建設機械の騒音測定方法

### 3. Measuring Equipment

- 3.1 The sound level meter used for measurements should meet the requirements of the American National Standard (ANSI) S1.4-1971-Type 1, Specifications for Precision Sound Level Meters and International Electrotechnical Commission Publications (IEC) 179 Precision Sound Level Meters.
- 3.2 A microphone windscreen may be used provided that its effect on A-weighted sound levels is negligible under zero wind velocity conditions for the type of noise source being measured.
- 3.3 A sound level calibrator compatible with the sound level measuring device.
- 3.4 An anemometer or other device for measurement of ambient wind speed and direction.
- 3.5 A thermometer for measurement of ambient temperature.
- 3.6 A power source RPM indicator (recommended accuracy  $\pm 5\%$ ).

### 4. Test Site

- 4.1 The test area should be an outside open flat space. No obstructions such as buildings or machines should be less than 25 meters from the machine being measured.
- 4.2 For the test mode, the machine and microphones should stand on a hard reflecting surface made of concrete or asphalt.
- 4.3 The measurements should be made at no wind or low wind conditions not exceeding 19.3 km/hr. (12 mph).
- 4.4 The background noise at the measuring points should be at least 10 dB(A) lower than any reading of the machine on test.

### 5. Measuring Positions

- 5.1 Measurements should be taken at the front, rear, left side and right side of the engine enclosure surfaces. The front and rear measurements should be made at a point 7 meters from the front and rear engine enclosure surfaces, equidistant between the right side and left side engine enclosures and parallel to the fore and aft engine enclosure centerline. The right side and left side measurements should be made at a point 7 meters from the right side and left side engine enclosure surface, equidistant between the front and rear engine enclosures and normal to the fore and aft engine enclosure centerline.

(Note: For excavators the engine enclosure is the whole house.)

5.2 All measurements should be taken with the microphone 1.5 meters above the surface on which the machine is located.

## 6. Operating Conditions of the Machine

6.1 The machine being tested should have reached its normal operating temperature.

6.2 The machine should be parked with implements or attachments lowered to the underfoot surface.

6.3 The governor control should be positioned so as to result in the engine operating at rated engine speed.

## 7. Measurements

7.1 The sound level meter should be set on "slow" response and on the A-weighting network.

7.2 The ambient wind speed and direction, ambient temperature and an ambient dB(A) should be measured.

7.3 One reading at each of the four positions described in Par. 5.1 and 5.2 should be made. The highest reading should be reported as the value for the test.

## II 西ドイツ騒音規制法に示される建設機械の騒音測定方法

### 3. Measuring Equipment

3.1 The sound level meter used for measurements should meet the requirements of the American National Standard (ANSI) S1.4-1971-Type 1, Specifications for Precision Sound Level Meters and International Electrotechnical Commission Publications (IEC) 179 Precision Sound Level Meters.

3.2 A microphone windscreen may be used provided that its effect on A-weighted sound levels is negligible under zero wind velocity conditions for the type of noise source being measured.

3.3 A sound level calibrator compatible with the sound level measuring device.

3.4 An anemometer or other device for measurement of ambient wind speed and direction.

3.5 A thermometer for measurement of ambient temperature.

#### 4. Test Site

- 4.1 The test area should be an outside open flat space. No obstructions such as buildings or machines should be less than 30 meters from the machine being measured.
- 4.2 For the machine stationary test mode the underfoot should be concrete, asphalt or hard-packed earth. For the machine drive-by and work cycle test modes the underfoot should be compacted earth. It can contain sand and some rocks up to 60 mm in diameter. Sound path from machine to microphone should be over concrete, asphalt or hard-packed earth.
- 4.3 The measurements should be made at no wind or low wind conditions not exceeding 20 km/hr. (12 mph)
- 4.4 The background noise at the measuring points should be at least 10 dB(A) lower than any readings of the machine on test.

#### 5. Measuring Positions

- 5.1 All measurements should be taken 1.2 meters above the surface on which the machine is located.
- 5.2 Machine stationary test mode - measurements should be made at 8 positions around the machine at a distance of 7 meters from the sides and corners of an imaginary box that fits over the machine including the bulldozer blade. The front and rear measurements should be made on a line parallel to the fore and aft centerline of the machine. The sides measurements should be made at a point equidistant from the front and rear ends of the imaginary box and normal to the fore and aft centerline of the machine. The corner measurements should be made on a line at 45° from the fore and aft centerline of the machine.
- 5.3 Machine drive-by test mode - measurements are to be made from two points. Each measurement point should be located at 10 meters on both sides of the centerline of the path of the machine. The measurements should be started when the leading edge of the machine crosses a line 10 meters before the line between the two measuring points and ends when the trailing edge of the machine crosses a line 10 meters after the line between the two measuring points.
- 5.4 Work cycle test mode - measurements should be made from two points. Each measurement point should be located at 10 meters on both sides of the centerline of the path of the machine. The measurements should be started when the leading edge of the machine crosses a line 2.5 meters from the line between the two measuring points and ends when the trailing edge of the machine crosses a line 2.5 meters after the line between the two measuring points.

## 6. Operating Conditions of the Machine

- 6.1 The machine being tested should have reached its normal operating temperature with the hydraulic oil at a minimum temperature of 50°C (122°F).
- 6.2 Machine stationary test mode - The governor control should be moved to the full open position resulting in the engine running at high idle speed. The bulldozer blade and ripper should be lowered to the ground.
- 6.3 Machine drive-by test mode - The governor control should be set at full open position. Highest speed reverse gear should be selected. Drive-by should be at constant speed from the starting line to finish line, A second pass in the opposite direction with the transmission again in highest gear reverse should be made. Bulldozer and ripper should be lowered to within 50 mm of the ground line.
- 6.4 Work cycle test mode - The governor control should be set at full open position. First gear forward should be selected on machines whether equipped with a powershift or direct drive transmission. Machine should approach test area at constant speed in specified gear. When bulldozer blade crosses a line 2.5 meters before the line between the two measuring points, the brakes should be applied to load the engine to rated engine speed. The machine should continue at rated load speed until the trailing edge of the machine, including ripper if so equipped, crosses a line 2.5 meters after the line between the two measuring points.

## 7. Measurements

- 7.1 The sound level meter should be set on "fast" response and on the A-weighting network.
- 7.2 The ambient wind speed and direction, ambient temperature and an ambient dB(A) should be measured.
- 7.3 Machine stationary test mode - One reading at each of the 8 positions described in Par. 5.2 should be made. The arithmetical average should be computed and reported as the value for this test mode.
- 7.4 Machine drive-by test mode - The highest value recorded at each of the two measuring points during the drive-by test mode described in Par. 5.3 should be noted for each of the two drive-bys. The arithmetical average of the four readings should be computed and reported as the value for this test mode.
- 7.5 Work cycle test mode - The highest value recorded at each of the two measuring points during the work cycle test mode described in Par. 5.4 should be noted. The arithmetical average should be computed and reported as the value for this test mode.

### Ⅲ アメリカ騒音規制法に示された建設機械の騒音測定方法

#### 3. Procedure

- 3.1 Test Site - The test area shall consist of a flat open space free of any large reflecting surfaces, such as a signboard, building or hillside, located within 30 m (100 ft) of either the microphone or the machinery being measured (see Fig. 1). It is recommended that measurements be made only when the wind speed is below 19 km/h (12 mph).
- 3.1.1 The minimum measurement area (see Fig. 1) shall consist of the triangle formed by the microphone location, points A and B, and the rectangle formed by points A, B, C and D. Both designated areas shall be smooth concrete or smooth and sealed asphalt or a similar hard and smooth surface. The rectangle formed by points C, D, E and F shall consist of hard-packed earth. The planes between the microphone location and line AB and planes encompassed by points A, B, C, F, E and D shall form a continuous, uniform plane. If a minimum measurement area test site is used, it will require reorientation of the machine for each major surface measurement during the stationary tests, and the moving tests will have to be run in two opposite directions. The other option is to have a larger measurement area test site and relocate the microphone for the series of prescribed test conditions with the machine in one position for stationary tests and driving by in only one direction for the moving tests.
- 3.1.2 Because bystanders have an appreciable influence on the meter response when they are in the vicinity of the construction machinery or microphone, not more than one person, other than the observer reading the meter, shall be within 17 m (56 ft) of the construction machinery and 1.8 m (6 ft) of the measuring microphone, and that person shall be directly behind the observer who is reading the meter, on a line through the microphone and the observer (see Fig. 1).
- 3.1.3 The ambient sound level due to sources other than the construction machinery being measured (including wind effects) shall be at least 10 dB lower than the sound level of the machinery being measured. (See paragraph 3.3.3)
- 3.1.4 The surface between and under the construction machinery and microphone shall be smooth and free of acoustically absorptive material, such as snow or grass.
- 3.1.5 For all stationary tests the machinery shall be located on the hard surface area formed by points A, B, C and D in Fig 1.
- 3.1.6 Moving Tests
- 3.1.6.1 For moving tests of all rubber tired machines, the path of travel shall be across the area defined by points A, B, C

and D in the directions shown in Fig. 1.

- 3.1.6.2 For moving tests of all steel wheel, steel drum or track-type machines the path of travel shall be across the area defined by C, D, E and F in the directions shown in Fig. 1.

### 3.2 Tests Required

- (a) For mobile construction machinery that is used primarily in a stationary mode, test per paragraphs 3.2.1.1, 3.2.1.2, and if applicable 3.2.1.3.
- (b) For self-propelled construction machinery that is used primarily in a mobile mode, test per paragraphs 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3 and 3.2.2. For construction machines which have an auxiliary power source, such as a truck mounted crane, the main engine and auxiliary engine shall be run separately during tests 3.2.1.1 and 3.2.1.2 with the other engine shut down. During test 3.2.1.3 only the auxiliary engine shall be run and only the main propulsion engine run during the test prescribed in 3.2.2. For combined construction machinery (such as small loader with backhoe) test per paragraphs 3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3 and 3.2.2.

#### 3.2.1 Stationary Tests with Ground Propulsion Transmission Shift Selector in Neutral Position.

- 3.2.1.1 Operate all mobile construction machinery engines at no load with all component drive systems in neutral position and maximum governed speed (high idle at no load) at a stabilized condition.
- 3.2.1.2 Operate all mobile construction machinery engines at no load with all component drive systems in neutral position through the cycle "low idle-maximum governed speed (high idle at no load) low idle" as rapidly as possible, but allowing the engine to stabilize for at least 10 s at maximum governed speed (high idle at no load) before it is permitted to return to low idle.
- 3.2.1.3 With the engine at the maximum governed speed (high idle at no load) in a stabilized condition, activate the appropriate hydraulic circuits, mechanical, electrical, hydrostatic, or torque converter drive systems to cycle the major components or component from the most retracted and/or lowered position to fully extended and/or maximum height position and then back to original position. This cycling should be done as fast as practical, taking into consideration all the pertinent safety factors that can be accomplished without blowing relief valves. For safety reasons and undesirability of change of location of major noise source in relation to microphone, a major portion of the mobile machine, such as the tractor of a scraper unit, drum of a compactor, or the upper rotational structure of an excavator, shall not be moved or placed in a vibratory mode of operation during this stationary machine test.

- 3.2.2 Constant Speed Moving Test - Self-propelled construction machinery shall be operated in a forward intermediate gear ratio at no load at a location as specified in paragraphs 3.1.6.1 or 3.1.6.2.

#### SOUND LEVEL

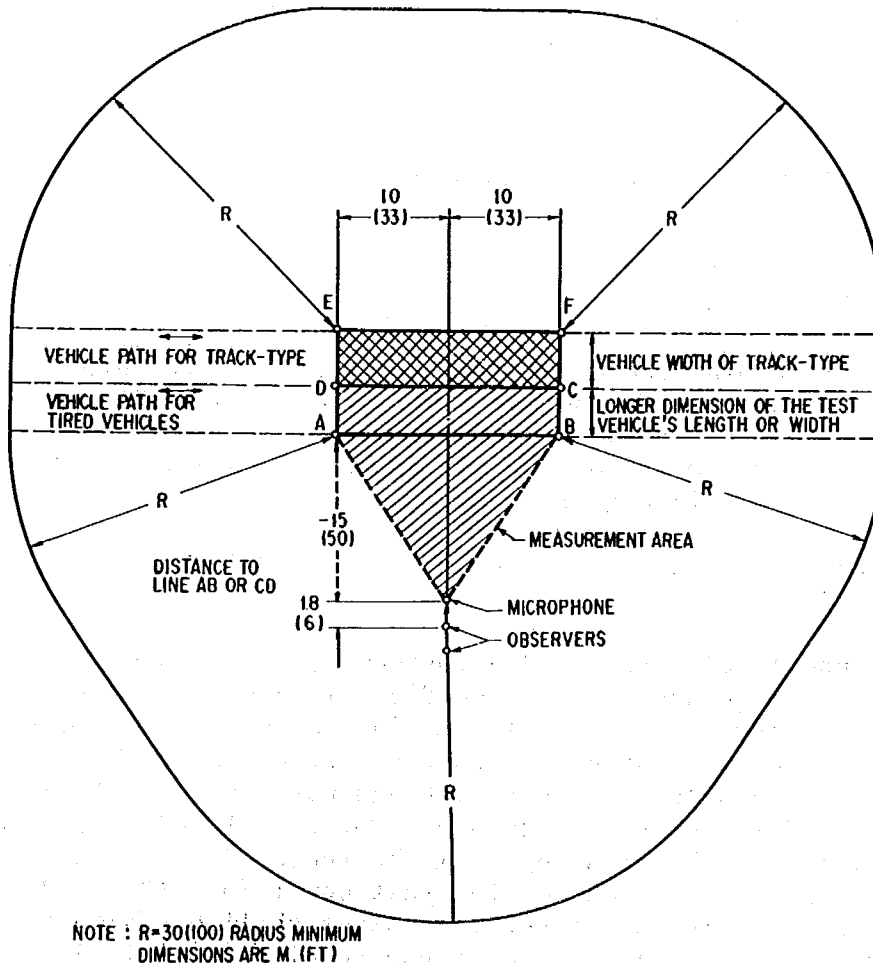


FIG. 1-TEST SITE CONFIGURATION

The power source shall be operated at full governor control setting. Intersediate is intended to mean second gear ratio for machines with three or four gear ratios, third gear ratio for machines with five or six gear ratios, fourth gear ratio for machines with seven or eight gear ratios, etc. (Gear ratio refers to overall gear reductions.) If there is a problem with the transmission shifting up or down in this phase of the test, one gear lower or higher may be used to eliminate the problem. Hydrostatic or electric drive machinery will be operated as near as possible to one-half its maximum ground speed. Machinery that has major noise-generating components which could be used at the above ground speed, such as on an elevating scraper or on a vibrating compactor, shall have these major components in operation during this moving test.

3.2.3 Construction machinery that has a major attachment that is normally used for the main operating function shall be equipped with this attachment. Examples of this are buckets on loaders and dozers on either wheel or tracktype tractors. For all tests these attachments shall be in a minimum transport position of 0.15 m (6 in.) to 0.3 m (12 in.) for dozers, scrapers, etc., and for loaders use carry position as specified by SAE Standard J732 Specifications Definitions - Front End Loader.

### 3.3 Measurements

3.3.1 The microphone shall be located at a height of 1.2 m (4 ft) above the ground plane.

3.3.2 The sound level meter shall be set for slow response and the A-weighting network.

3.3.3 The ambient wind speed and direction, ambient temperature, atmospheric pressure, and ambient A-weighted sound level shall be measured and recorded at the height of 1.2 m (4 ft) and within at least 3 m (10 ft) of the one specified location of the microphone as shown in Fig. 1.

3.3.4 The stabilized maximum governed engine speed shall be measured and recorded.

3.3.5 The sound level meter needle movement shall be observed during each test sequence at the specified microphone location. The highest value observed, disregarding sounds of short duration that are out of character with the test on the machine, (example) impact sound such as bucket rack against stops, shall be recorded for each test sequence. For stabilized test conditions (3.2.1.1) a single reading shall be recorded for each measurement point. For cycling and moving test conditions (3.2.1.2, 3.2.1.3 and 3.2.2) a minimum of three readings shall be taken for each measuring point. If none of these readings are within 2 dB of each other, then additional readings shall be taken until there are two that are within 2 dB of each other. The reported value shall be the average of these two values that are within 2 dB of each other. If there are two pairs of readings that are within 2 dB of each other, report the average of the higher pair. The final result for each test mode shall be the highest reading for stabilized test conditions and the highest average for the cyclic or moving tests and must include the location of the microphone.

3.3.6 For stationary tests, record the sound level obtained at a distance of 15 m (50 ft) normal to the centers of the four major surfaces of the equipment at the microphone height. Generally, four major surfaces refer to front, rear, and sides of an imaginary box that would just fit over the machine but does not include attachment items such as buckets, dozers, and booms (see Fig. 2). In the case of a crane or an excavator, the upper (revolving superstructure) fore-and-aft centerline should be in

line with the lower fore-and-aft centerline. Operate the machine in a manner as specified in paragraphs 3.2.1.1, 3.2.1.2 and 3.2.1.3.

- 3.3.7 For moving tests, take measurements at a distance of 15 m (50 ft) measured in a direction normal to both major side surfaces which are parallel to the machine path, as shown in Fig. 1. Operate the machine in a manner specified in paragraph 3.2.2.
- 3.3.8 The final reported sound level per this SAE Recommended Practice shall be the highest of the reported values obtained in paragraphs 3.3.6 and 3.3.7; the test report shall include the test mode, the machine operating conditions during the reported test mode, the stabilized maximum governed engine speed, the location of the microphone in relation to the construction machine, the surface description over which the machine operated and the sound level measurements were made.

#### 4. General Comments

- 4.1 It is recommended that persons technically trained and experienced in the current techniques of sound measurements select the instrumentation and conduct the tests.
- 4.2 Proper use of all test instrumentation is essential to obtain valid

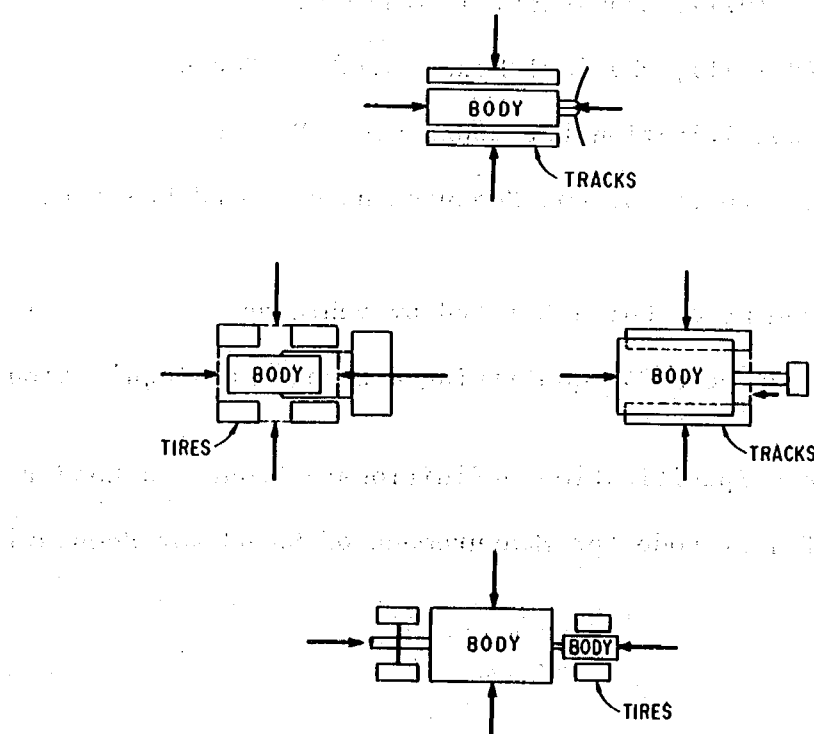


FIG. 2-MAJOR SURFACE OUTLINES

measurements. Operating manuals or other literature furnished by the instrument manufacturer should be referred to for both recommended operation of the instrument and precautions to be observed. Specific items to be considered are:

- 4.2.1 The type of microphone which shall be oriented with respect to the source so that the sound strikes the diaphragm at the angle for which the microphone was calibrated to have the flattest frequency response characteristic over the frequency range of interest.
- 4.2.2 The effects of ambient weather conditions on the performance of all instruments (for example: temperature, humidity, and barometric pressure). Instrumentation can be influenced by low temperature and caution should be exercised.
- 4.2.3 Proper signal levels, terminating impedances, and cable lengths on multi-instrument measurement systems.
- 4.2.4 Proper acoustical calibration procedure, to include the influence of extension cables, etc. Field acoustical calibration shall be made immediately before and after each test sequence of a piece of construction machinery.

## 5. References

- 5.1 ANSI S1.1 - 1960 (R 1971), Acoustical Terminology
- 5.2 ANSI S1.2 - 1962 (R 1971), Physical Measurement of Sound
- 5.3 ANSI S1.4 - 1971, Specification for Sound Level Meters
- 5.4 ANSI S1.13 - 1971, Methods for the Measurement of Sound Pressure Levels
- 5.5 ISO R 362 - Measurement of Noise Emitted by Vehicles
- 5.6 SAE Recommended Practice J184, Qualifying a Sound Data Acquisition System
- 5.7 SAE Standard J732c - Specification Definitions - Front End Loader
- 5.8 C.A.G.I. - PNEUROP Test Code for Measurement of Sound for Pneumatic Equipment

建設騒音振動の予測評価手法に  
関する研究 (第1報)

土研資料 第1739号  
昭56年11月

— 建設機械の騒音振動の測定 —

沢田茂良, 太田宏, 境友昭

キーワード 建設機械, 騒音, 振動, 測定方法

要旨

本資料は, 建設機械の騒音と振動の実態およびそれらの測定方法についてまとめたものである。騒音については, その発生と伝搬のメカニズム, 各建設機械の騒音パワーレベルとそのスペクトルレベルを示す。振動についても, 騒音の場合と同様に取まとめたが, 物理的に定義可能なパワーレベルが決定できないので, 振動の基準となるレベルとして提案している。

また, 測定方法に関しては, 騒音振動の測定あるいは取まとめ時に発生する誤差について解析し, 測定方法の現状, 動向に関する概観を示した。



郵便はがき

305-□□

40円切手  
をはいて  
下さい。

建設省土木研究所

機械研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No.134

No.134

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第1739号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

