

土木研究所資料2165

等価騒音レベルを用いた建設騒音に 関する研究（第1報）

—建設工事の等価騒音レベル—

昭和60年3月

建設省土木研究所
機械施工部・機械研究室

Copyright © 1985 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 General 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、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

等価騒音レベルを用いた建設騒音に 関する研究（第 1 報）

—建設工事の等価騒音レベル—

機械研究室 樋 下 敏 雄
境 友 昭
斉 藤 英 晴

要 旨

本報告は、建設騒音の等価騒音レベルの測定方法と等価騒音レベルで測定した建設騒音の実態について示すものである。前者については、移動式建設機械が騒音源となる場合の騒音レベル、等価騒音レベルの数学的構造および実験結果を解析して、建設工事の等価騒音レベルの測定方法を提案した。また、基礎工事用機械については、実工事現場での調査結果をもとに、等価騒音レベルの支配要因の分析を行い、等価騒音レベルの推定方法について示した。

キーワード：建設騒音，予測，等価騒音レベル，評価

第1報 序	1
1. 移動式建設機械の等価騒音レベルの構造	2
1.1 凸形状領域内で音源が移動する場合の等価騒音レベルの記述パラメータ	2
1.2 等価騒音レベルの分散	4
1.2.1 騒音レベルの最大変動幅	4
1.2.2 騒音レベルの分散	5
1.2.3 等価騒音レベルの分散	7
1.2.4 稼動状態による等価騒音レベルの分散	9
1.3 移動式建設機械の等価騒音レベルの測定実験	9
1.3.1 実験の目的	9
1.3.2 実験方法	9
1.3.3 実験結果	14
2. 建設工事の等価騒音レベルの調査	23
2.1 調査の目的, 概要	23
2.2 調査方法	23
2.2.1 騒音レベル, 等価騒音レベル	23
2.2.2 建設機械の稼動状態	24
2.3 調査結果	24
2.3.1 調査対象工事, 機械	24
2.3.2 稼動状態と騒音レベル	26
2.3.3 建設機械の稼動状態とエネルギー平均騒音パワーレベル	34
2.3.4 実測した等価騒音レベルと推定値	35
2.4 等価騒音レベルの測定方法	36
2.4.1 推定方法	36
2.4.2 衝撃性実音の等価騒音レベル	37
3. 考察	39
あとなき	40
参考文献	41

建設工事の騒音が“公害”として意識されるための必要条件是、建設工事によって騒音が発生し、かつその騒音の聴取が可能な範囲に建設工事の当事者とならない人が居住していること、十分条件はこの当事者とならない人（々）が建設工事の騒音に対して何らかの形で苦情を表明することである。

騒音の評価の視点では、騒音規制法や地方公共団体の条例などの規準を遵守することは当然であり、近隣住民からの苦情の程度についても考慮するものでなくてはならない。“騒音公害”は化学的なポリュータント（汚染物質）を原因とするものではなく、開かれた空間では発生と同時に消滅する物理事象に起因するものである。したがって騒音の発生の時点で苦情が申し立てられたり、あるいは苦情が申し立てられることが予想されない限り、騒音が“公害”として意識される可能性は小さい。

しかし、公害は発生してから対策を講じるよりも発生しないような施策を事前に実施した方が良い。これは、施策の選択の幅が広く、また費用対効果の算定など経済的視点から施策の客観的評価が可能であるためである。この意味からも、建設工事によって発生する騒音が“公害”となるか否かについて工事の計画段階で予測することが必要である。この意味の予測には、発生する騒音の物理量の予測と、その騒音に曝される近隣住民の（社会）反応の予測の2つの視点がある。前者は、いわゆる騒音の予測として従来から研究されているもの、後者は騒音の評価としての意味を持つものである。

騒音の予測と評価は従来別々のものとして取扱われ、また研究されてきた。これは、騒音の物理的な属性が予測できれば、騒音の評価尺度はこれらの物理的な情報によって構成可能であるとの前提があるためである。しかし、騒音評価量の予測の視点では受音点での音の物理情報より発生源で操作可能な情報に着目した方が有利である場合が多い。

等価騒音レベル（ L_{Aeq} , L_{eq} ）は従来の騒音レベルとは異って計測量の重畳が線形代数的手続によって可能であり、騒音の発生事象が複雑で騒音レベルの瞬時値の予測が困難な場合でも適用可能な尺度である。また、この尺度は、音の“大きさ（loudness）”、“やかましさ（noisiness）”や“うるささ（annoyance）”などの心理的な評価尺度とも整合性があり、建設騒音の予測、評価のように人の（社会的）反応を予測する必要がある場合には有効な尺度とすることができよう。

本研究は、等価騒音レベルの尺度を用いて建設騒音のマクロ的な予測予法および評価方法を確立しようとするものである。騒音の予測では、建設工事の等価騒音レベルを規定する諸要因の分析およびその実態について示し、ついで、建設工事の騒音の総発生量を工事費の積算と同様な方法によって算定する、いわゆる“騒音の総量予測”に関する研究成果を紹介する。騒音の評価に関しては、建設機械の稼働中の騒音のラウドネス、ノイジネスおよびアノイアンスの評定の心理実験の結果、および実工事現場での騒音曝露量と住民反応の社会調査の結果と関連性分析に関する一連の研究成果を報告する。

研究の結果が示すように、建設騒音のすべてが等価騒音レベルの尺度で評価できるわけではないが、マクロ的な視点では十分に有効な尺度であることには多言を要しない。建設工事の騒音の予測、評価に関する研究は本研究で一応終了するが、まだ研究の余地があるように思われる。この中でも特に今後問題とすべき事項については各分冊の終章にまとめて取上げることにした。十分な醸成期間の後、再び研究の機会が与えられることを望む次第である。

昭和60年3月

機械研究室 室長 樋下 敏雄
研究員 境 友昭
斉 藤 英 晴

第 1 報 序

建設工事現場から主に建設機械を原因として発生する騒音（建設騒音）には、衝撃音、間欠音、変動音、定常音などカテゴリー区分¹⁾の異なる騒音が含まれている。したがって、建設騒音を、例えば道路交通騒音のように、ひとつのまとまりのある騒音のカテゴリーとして取扱うためには、これらカテゴリー区分の異なる騒音を統一的に取扱うための尺度が必要である。

従来からの騒音評価方法では、受信点での騒音の時間的な変動特性に着目して騒音の大きさを意味する騒音レベルの代表値を決定する方法をとっていた。この方法では、騒音レベルの変動が定常確率過程をとることを前提としているが、建設騒音のようにカテゴリー区分の異なる（したがって統計的性質が異なる）騒音が複合している場合では、定常確率過程を前提とすることはあまり妥当な方法ではない。また、従来からの騒音レベルでは、騒音レベルの変動のカテゴリー区分が明確ではなく、特に変動音と間欠音および衝撃音の境界では騒音レベルの代表値の決定方法に連続性が失われるなどの問題点があった。

等価騒音レベル（Leq; LAeq; Equivalent Continuous A-weighted Sound Pressure Level）は、人の騒音に対する心理的な反応が曝露された騒音のエネルギー量に関係することに着目して^{2) 3)}当初は変動騒音の評価尺度として提案され、今日では単発騒音曝露レベル（LAE; Single Event Sound Exposure Level）の考え方を導入し、偶発的な間欠音（衝撃音）の評価尺度としても用いられるようになってきた。⁴⁾この方法によると、騒音の時間的変動のカテゴリー区分に関係なく、数学的次元で騒音評価量の加算が可能となる。等価騒音レベルが定常音や変動音の評価に適用可能な尺度であることについては多くの報告があるが、^{5) 6) 7) 8)}衝撃音については、LAEの方が音の大きさの尺度（Loudness; ラウドネス）と良く一致することが報告されており、^{9) 10) 11)}等価騒音レベルが騒音評価量としてすべての騒音に適用できるわけではない。

しかし、騒音評価の立場には、より具体的な騒音に関する詳細な評価と、鳥観的な評価とがあり、建設工事の施工計画段階では、工事によって発生する騒音の総量に着目する方が有利な場合がある。特に、施工計画段階では、騒音の総量および単位時間当たり（24時間、8時間など）の騒音曝露量の管理値（許容値）に対応して工法の選択が必要であり、総量予測手法の利用価値は高いものと思われる。

本報告は、建設騒音の総量予測手法を開発するにあたって明らかにしておくべき、等価騒音レベルでの距離減衰、レベルの分散の構造、および実工事現場での等価騒音レベルの調査と予測値の関連性に関する一連の研究成果を示すものである。

1. 移動式建設機械の等価騒音レベルの構造

移動することによって作業する建設機械の場合、任意の位置に固定された受音点での騒音レベルの瞬時値は、主に二つの要因によって変動する。ひとつは、機械の稼動状態によって騒音パワーレベルが異なること、他は機械が移動することによって音の伝搬距離が変化すること、である。また、後者に関しては音の伝搬経路が変わることによって、回折、吸音、反射、超過減衰など種々の条件が変化し、受音点での騒音レベルもこれらを原因として変動するが、ここでは考慮しない。これは、①音の伝搬経路での様々な変動のほとんどが非線形要素であること、②騒音予測の場合、伝搬経路での諸条計を先見的に与えることは不可能であり、したがってあまり大きな意味を持たないこと、のためである。

1.1 凸形状領域内で音源が移動する場合の等価騒音レベルの記述パラメータ

図 1.1 に示すような凸形状領域内（領域内の任意の 2 点を結ぶ直線のすべてが領域内に含まれる）で機械が稼動する場合の受音点 S における等価騒音レベルについて考える。機械が領域内をまんべんなく移動し、したがって機械の時間的な存在確率が領域のすべての部分で等しい場合、領域 A 内の微小領域における騒音の単位時間当りのパワー δW は、

$$\delta W = \frac{W}{A} \cdot \delta x \cdot \delta y \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

として示される。ここで、W は音源となる機械の騒音のパワーである。受音点 S での音の強さの平均値は、領域内の任意の点 C を原点とし、線分 $\overline{SC}$ を X 軸とする直交座標系で、

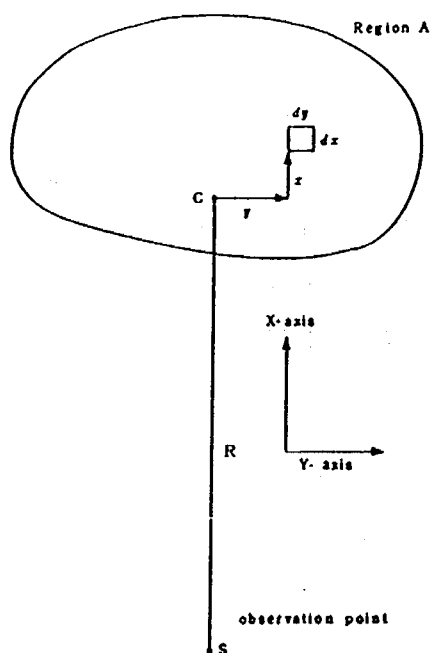


図- 1.1 凸形状作業領域

$$I = \frac{W}{2\pi A} \cdot \iint \frac{1}{(R+x)^2 + y^2} dx \cdot dy \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

となる。今、領域Aの境界を示す関数が、

$$y = g(x) \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

で表現され、 x 、 y の積分区間、 $[x_{\max}, x_{\min}]$ 、 $[y_{\max}, y_{\min}]$ において、

$$\left. \begin{array}{l} \text{(a)} \quad \frac{|x_{\max} - x_{\min}|}{R} \ll 1 \\ \text{(b)} \quad \frac{|y_{\max} - y_{\min}|}{R} \ll 1 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

の条件で(1.2)式を展開すると、

$$\begin{aligned} I &= \frac{W}{2\pi AR^2} \cdot \iint \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} dx \cdot dy \\ &= \frac{W}{2\pi AR^2} \cdot \iint \frac{1}{1 + 2\frac{x}{R} + \left(\frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} \cdot dx \cdot dy \\ &\doteq \frac{W}{2\pi AR^2} \cdot \iint \left\{ 1 - 2\frac{x}{R} - \left(\frac{x}{R}\right)^2 + 3\left(\frac{y}{R}\right)^2 \right\} \cdot dx \cdot dy \\ &\doteq \frac{W}{2\pi AR^2} \cdot \left\{ \int g(x) \cdot dx - \frac{2}{R} \cdot \int g(x) \cdot x \cdot dx \right. \\ &\quad \left. + \frac{3}{R^2} \cdot \int g(x) \cdot x^2 \cdot dx \right\} \quad \dots\dots\dots (1.5) \end{aligned}$$

となる。ここで、

$$\int g(x) \cdot dx = A \quad (\text{領域の面積})$$

$$\int g(x) \cdot x \cdot dx = M_x \quad (x \text{ 軸で図形のモーメント})$$

$$\int g(x) \cdot x^2 \cdot dx = J_x \quad (x \text{ 軸方向の図形の二次モーメント})$$

の関係があり、よって(1.5)式は、

$$I = \frac{W}{2\pi R^2} \cdot \left(1 - \frac{2M_x}{R \cdot A} + 3 \frac{J_x}{R^2 A} \right) \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

となる。ここで、 $\delta x = M_x / A$ は積分の起点と領域 A の重心点との x 軸方向の偏位を意味し、今、積分の原点を領域 A の図形の重心点とすることによって、

$$M_x \rightarrow M_0 = 0, \quad J_x \rightarrow J_0$$

となり、したがって (1.6) 式は、

$$I = \frac{W}{2\pi R^2} \cdot \left(1 + 3 \frac{J_0}{R^2 A} \right) \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

とすることができる。(1.7) 式は、移動式建設機械の等価騒音レベルの記述パラメータが、第 2 次近似において、領域の面積、慣性モーメント、および領域の重心から受音点までの距離の 3 つであることを示している。また、

$$\frac{J_0}{R^2 \cdot A} < 0.2 \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

の条件の下では、右边括弧内の第 2 項も実際的に無視することが可能である。この場合、移動式の建設機械の場合であっても、等価騒音レベルの予測においては、領域の幾何学図形における重心位置を起点とし、音の伝搬の逆 2 乗則（音源が点とみなせる場合、音の強さは音源からの距離の 2 乗に比例して小さくなる）が適用できることが示される。領域が矩形の場合、(1.8) 式が成立するのは、 $R > H / 1.55$ (H : 領域の辺の長さ) であり、これから、受音点が領域からほんの少し離れていれば、十分に逆 2 乗則が適用できることがわかる。

図 1.2 はこの関係を矩形領域について示すもので、 λ は (1.4) 式の (a)、 μ は (b) を意味する。 $\lambda = 0.5$ (すなわち領域の x 軸の境界線上) であっても、 μ が十分な大きさを持てば、等価騒音レベルの推定誤差を小さくすることができる。

1.2 等価騒音レベルの分散

1.2.1 騒音レベルの最大変動幅

騒音レベルの最大変動幅の推定値は、機械が受音点に最も近づいた時の騒音レベルと最も離れた場合の騒音レベルの差で与えられる。今、領域が x 方向に $2V$ 、y 方向に $2U$ の長さを持つ矩形で示される時、

$$\lambda = \frac{V}{R}, \quad \mu = \frac{U}{R}$$

として、

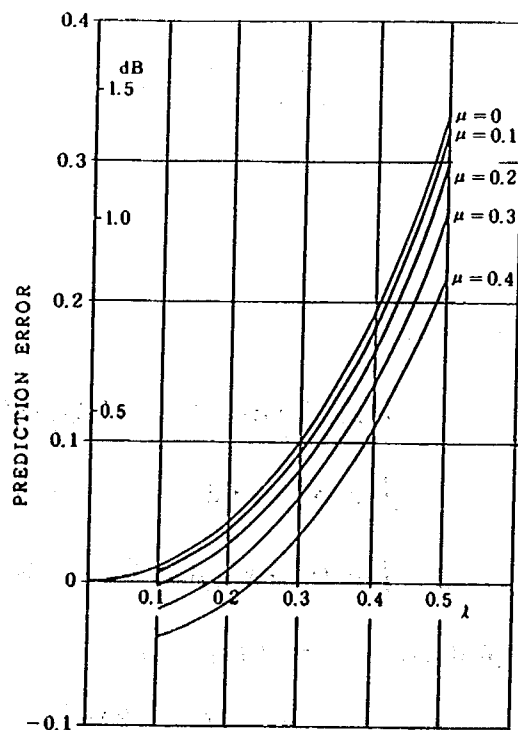


図-1.2 領域の形状と予測誤差

$$\begin{aligned}
L_d &= 10 \log \frac{W}{2\pi (R-V)^2} \\
&\quad - 10 \log \frac{W}{2\pi \{(R+V)^2 + V^2\}} \\
&= 10 \log \frac{(1+\lambda)^2 + \mu^2}{(1-\lambda)^2} \dots\dots\dots (1.9)
\end{aligned}$$

で示される。これを $\lambda, \mu < 1$ の条件の下で近似展開し、2次項まで求めると、

$$L_d = 17.4\lambda + 4.3\mu \dots\dots\dots (1.10)$$

が得られる。受音点が領域の外側である限り、 λ, μ とも1より小さいから、建設機械の移動を原因として生じる騒音レベルの変動の範囲は、約20dBを超えないことがわかる。ただし、例えば道路建設工事のように領域がy軸方向に長くなり、 $\mu > 1$ となる場合はこの限りでない。

1.2.2 騒音レベルの分散

騒音レベルの平均値 $\hat{SL}$ は、

$$\begin{aligned}
\hat{SL} &= \frac{1}{A} \cdot \iint \left(10 \log \frac{W}{2\pi} \cdot \frac{1}{(R+x)^2 + y^2} \right) \cdot dx \cdot dy \\
&= 10 \log \frac{W}{2\pi R^2} + \frac{1}{A} \iint \left(10 \log \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} \right) \cdot dx \cdot dy \dots\dots\dots (1.11)
\end{aligned}$$

となる。今、積分の原点が領域の図形の中心にある時、

$$10 \log \frac{W}{2\pi R^2} = SL_0 \dots\dots\dots (1.12)$$

とおく。(1.11)式を、(1.4)式の仮定のもとに近似展開する。

$$\begin{aligned}
\hat{SL} &= SL_0 + \frac{1}{A} \cdot \iint \left[10 \log \left\{ 1 - 2\frac{x}{R} + 3\left(\frac{x}{R}\right)^2 - \left(\frac{y}{R}\right)^2 \right\} \right] dx \cdot dy \\
&\doteq SL_0 + \frac{1}{A} \cdot 4.34 \iint \left\{ -2\frac{x}{R} - \left(\frac{y}{R}\right)^2 + 3\left(\frac{x}{R}\right)^2 \right\} \cdot dx \cdot dy \\
&\doteq SL_0 + \frac{13}{A} \cdot \frac{J_0}{R^2} \dots\dots\dots (1.12)
\end{aligned}$$

これは、(1.7)式を騒音レベルに変換した値と同じである。図1.2で示したように、領域が矩形で、 μ , および λ が小さい時、右边第2項は実用的に無視して良く、この時、領域の重心の位置に音源がある場合の騒音レベルを、平均値とみなして良い。

騒音レベルの分散 σ_m^2 は、

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{A} \iint \left[10 \log \frac{W}{2\pi} \cdot \frac{1}{(R+x)^2 + y^2} - \hat{SL} \right]^2 \cdot dx \cdot dy \dots\dots\dots (1.13)$$

で定義される。

$$\begin{aligned}
 \sigma_m^2 &= \frac{1}{A} \cdot \iint \cdot \left[SL_o + 10 \log \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} - \widehat{SL} \right]^2 dx \cdot dy \\
 &= \frac{1}{A} \cdot \iint \cdot \left[(SL_o - \widehat{SL}) + 10 \log \left\{ 1 - 2 \left(\frac{x}{R}\right) + 3 \left(\frac{x}{R}\right)^2 - \left(\frac{y}{R}\right)^2 \right\} \right]^2 dx \cdot dy \\
 &= \frac{1}{A} \cdot \iint \cdot [SL_o - \widehat{SL}]^2 \cdot dx \cdot dy + \frac{4.34}{A} \cdot \iint \left[-2 \frac{x}{R} - \left(\frac{y}{R}\right)^2 + 3 \left(\frac{x}{R}\right)^2 \right]^2 dx \cdot dy \\
 &\quad + 2 \frac{1}{A} \cdot [SL_o - \widehat{SL}] \cdot 4.34 \cdot \iint \left[-2 \frac{x}{R} - \left(\frac{y}{R}\right)^2 + 3 \left(\frac{x}{R}\right)^2 \right] dx \cdot dy
 \end{aligned}$$

ここで、右辺第3項の積分は、(1.12)式と等しい形式を持ち、したがって、

$$\frac{4.34}{A} \iint \left[-2 \frac{x}{R} - \left(\frac{y}{R}\right)^2 + 3 \left(\frac{x}{R}\right)^2 \right] dx \cdot dy = -[SL_o - \widehat{SL}]$$

である。与式を3次項まで残して展開し、

$$\sigma_m^2 \doteq \frac{4.34}{A} \iint \left[4 \left(\frac{x}{R}\right)^2 - 4 \left(\frac{x}{R}\right)^3 + 4 \left(\frac{x}{R}\right) \cdot \left(\frac{y}{R}\right)^2 \right] \cdot dx \cdot dy - [SL_o - \widehat{SL}]^2 \quad \dots\dots (1.14)$$

ここで、領域の形状が、x軸およびy軸に対して対称な形状を持つ時、

$$\iint \left(\frac{x}{R}\right)^2 dx \cdot dy = \frac{J_o}{R^2}$$

$$\iint \left(\frac{x}{R}\right)^3 dx \cdot dy = 0$$

$$\iint \left(\frac{x}{R}\right) \cdot \left(\frac{y}{R}\right)^2 dx \cdot dy = 0$$

であるから、(1.14)式は、

$$\sigma_m^2 \doteq 74 \cdot \frac{J_o}{AR^2} - 169.8 \left(\frac{J_o}{AR^2}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (1.15)$$

となる。 σ_m^2 が負とならない条件は、

$$\frac{J_o}{AR^2} \leq 0.44 \quad \dots\dots\dots (1.16)$$

であるが、Rは領域内の最大線分の長さより大きく、したがって、(1.16)式の条件は満たされる。

図1.3に(1.15)式による騒音レベルの分散とコンピュータを用いた数値計算の結果を示す。両者は、良く一致しており、(1.15)式を用いて移動式建設機械が限定された作業領域内で稼動する場合の騒音レベルの分散が求められることが示される。

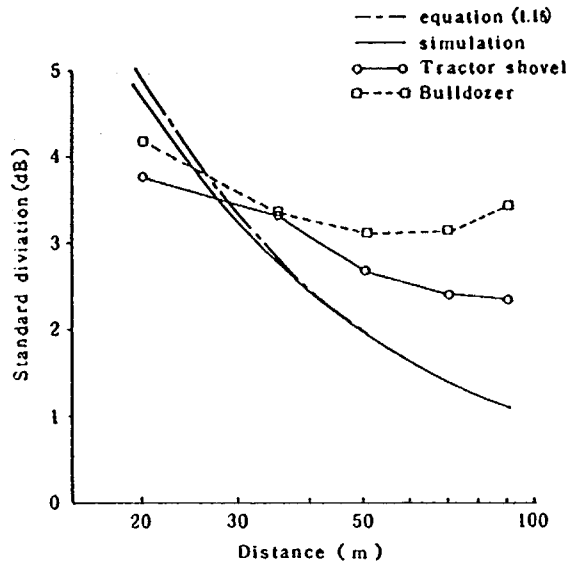


図- 1.3 Leq の標準偏差

1.2.3 等価騒音レベルの分散

等価騒音レベル Leq が,

$$Leq = 10 \log \left\{ \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{SL_i}{10}} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.17)$$

$$T = n \delta t \quad \dots\dots\dots (1.18)$$

δt ; サンプルング間隔

T ; 観測時間

として与えられると考える。この定義では,

$$SL_i = 10 \log \frac{W}{2\pi R^2} \cdot \left\{ \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} \right\}$$

であることから,

$$Leq = 10 \log \cdot \frac{1}{T} \cdot \iint \frac{W}{2\pi R^2} \cdot \left\{ \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} \right\} \cdot dx \cdot dy \quad \dots\dots\dots (1.19)$$

となり, 右辺積分内は (1.11) 式と等しい。したがって, 等価騒音レベル Leq は,

$$Leq = SL_0 + 10 \log \frac{1}{T} \cdot \iint \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2} dx \cdot dy \quad \dots\dots\dots (1.19')$$

となり, 騒音レベルのエネルギー平均値を求める過程で積分の範囲を限定したものに等しい。このため, 等価騒音レベルの分散は, 騒音レベルを母集団と考えた時の移動平均の分散に相当する。このため, 観測時間 T が $T \rightarrow 0$ の時, 等価騒音レベルの分散は騒音レベルの分散に等しく, また $T \rightarrow \infty$ の時, 0 に収束す

る。一般に騒音レベルは全くランダムな変動をするのではなく、測定のサンプリング間隔が短くなると、測定値の相互間に相関関係（自己相関）が生じデータの独立性が満たされなくなる。

サンプリング間隔 δt で測定されたデータ列のアンサンブル平均を μ ，へだたりを ϵ とし，データが，

$$x_i = \mu + \epsilon_i \quad \dots\dots\dots (1.20)$$

の構造をとる時，データの分散は，

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 \quad \dots\dots\dots (1.21)$$

である。ところが，アンサンブル平均 μ は実際的に不明であるから， μ の代りにデータの平均値 $\bar{x}$ を用いる。

$$\begin{aligned} n \sigma_m^2 &= \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \left\{ (x_i - \bar{x}) + (\bar{x} - \mu) \right\}^2 \end{aligned}$$

ここで，

$$\epsilon_i' = x_i - \bar{x}$$

とおいて，

$$\begin{aligned} n \sigma_m^2 &= \sum_{i=1}^n \epsilon_i'^2 + \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \epsilon_i' \right)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \epsilon_i'^2 + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \epsilon_i'^2 + \frac{2}{n} \cdot \sum_{i < j} \epsilon_i' \epsilon_j' \end{aligned}$$

である。よって，

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \sigma_m^2 &= \frac{1}{n} \cdot S^2 \left(1 + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} r_i\right) \\ \therefore \sigma_m^2 &= \frac{1}{n-1} S^2 \left(1 + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} r_i\right) \quad \dots\dots\dots (1.22) \end{aligned}$$

となる。ここで S^2 はデータ列の平均値回りの分散， r_i は時間遅れ $i \cdot \delta t$ の自己相関係数である。また r_i については，

$$\left. \begin{aligned} |r_i| &\leq 1 \\ \lim_{i \rightarrow \infty} r_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.23)$$

の関係があり， $n \rightarrow \infty$ において (1.22) 式右辺括弧内の第 2 項は 0 に収束する。

等価騒音レベルは，このような構造を持つデータ列について移動平均をとる操作に等しい。 $T_j = j \cdot \delta t$ の移動平均時間における分散 σ_j^2 は，

$$\sigma_j^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{j} \sum_{k=1}^{j-1} x_k - \mu \right)^2 \quad \dots\dots\dots (1.24)$$

であり、これを展開してまとめると、

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{j} \cdot \sigma_m^2 \cdot \left(1 + \sum_{k=1}^{j-1} r_k \right) \quad \dots\dots\dots (1.25)$$

となる。すなわち、等価騒音レベルの分散は観測時間が長くなると0に収束する。

1.2.4 稼動状態による等価騒音レベルの分散

一般建設機械は作業の種類や稼動状態によって発生する騒音の大きさが異なる。稼動状態の変化と、機械の位置とが無相関の場合、稼動状態の変化による騒音レベルの分散 σ_w^2 と機械が移動することによる分散とは独立であり、したがって、新たに騒音レベルの分散を、

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sigma_m^2 + \sigma_w^2 \\ \sigma_w^2 &= \sum_{i=1}^n (p_i \cdot L_i - \bar{L})^2 \\ \bar{L} &= \sum_{i=1}^n p_i \cdot L_i \quad \dots\dots\dots (1.26) \end{aligned}$$

p_i, L_i ; 稼動状態 i の発生確率とその時の騒音パワーレベル

として取扱えば良い。

1.3 移動式建設機械の等価騒音レベルの測定実験

1.3.1 実験の目的

移動式建設機械の等価騒音レベルの数学的構造については、前項までで展開したとおりである。実際の事象では、理論展開時に仮定した諸条件が完全に充足されることはなく、したがって、理論展開とは異った様相を呈するものと思われる。しかし、理論展開が強固で合理性のあるものであれば、実際の事象の変動は、この合理性によってカバーできるものと考えられる。実験は、これらの理論展開の妥当性について検討することを目的として実施したものである。

1.3.2 実験方法

1) 作業フィールド、測定項目

図-1.4に実験フィールドを示す。作業領域は40m×40mの正方形領域とし、建設機械の位置を測定するために、2m×2mの格子領域に分割した。

測定は、①騒音レベル、②機械の位置、③機械の稼動状態、について行った。測定は、休息時間15分を挟んで前後連続2時間、合計4時間にわたって実施した。測定の単位時間(Δt ; サンプルングタイム)は2秒とした。騒音は図1.4に示す $p_1 \sim p_8$ の8点、地上1.2mで測定した。 P_3 の測定点では積分騒音計(B&K社2118)を用いて等価騒音レベルの計測を行った。その他の点では精密騒音計(リオンNA-60

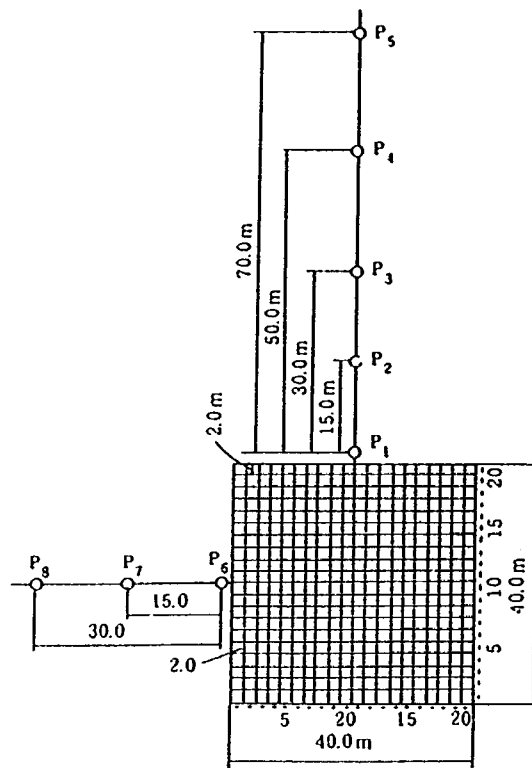


図- 1.4 作業領域

× 4 台, NA-61×1 台), 普通騒音計 (リオン NA-20×3 台) を用いた。

騒音レベルは, 騒音計の波形信号に対し, A 特性ネットワーク回路 (リオン XE-24A) 対数レベル変換器 (リオン LM-08B) を通し, 騒音レベル (A-weighted Sound Pressure level) 信号に変換してデータレコーダに記録した。XE-24A および LM-08B は, 本研究での測定, 分析を目的として (財) 小林理学研究所の協力を得てリオン (株) が製品化したものである。

図 1.5 は, 計測のシステムを示すものである。機械の座標位置および稼動状態の観測は, 接点-電圧変換器を用いて位置情報および状態情報を電圧信号に変換してデータレコーダに記録する方法をとった。接点-電圧変換器は, n 番目のスイッチが 0.2 秒以上 ON の状態になると, $0.2 \times n$ ボルトの電圧が, 次のスイッチが押されるまで保持される装置である。

データはすべて 14ch のデータレコーダに同時記録し, 分析の時点でミニコンピュータを用いて A/D 変換する方法をとった。

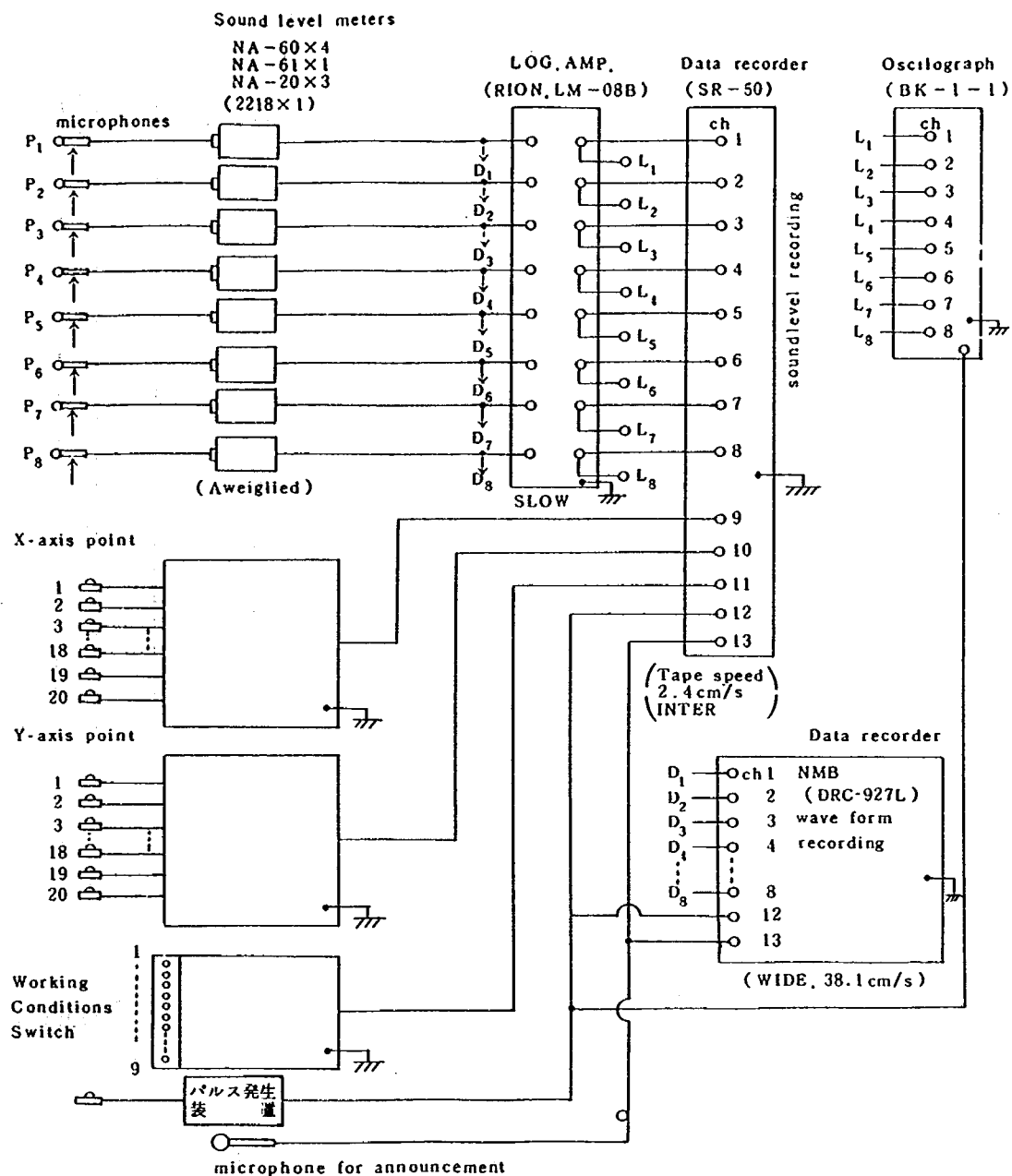


図-1.5 測定系の接続図

2) 対象機械, 工種

(i) ブルドーザ 10 ton級 (D4D)

基本的な作業工種として「掘削埋土, 敷均し」を採用した。図 1.6 に作業方法を示す。領域の X 方向に作業工区 A, B を設け, ① B 工区を 0.3m 掘削して A 工区に均等に捲出し, ② A 工区に盛った土を B 工区に埋戻して締固め, ③ A 工区を掘削して B 工区に盛り, ④ B 工区に盛った土を A 工区に埋戻す, という作業を繰返させた。オペレータには, この一連の作業の順序は指示したが, 実施の具体的な方法は特に指定しなかった。また, 作業時間が連続 2 時間におよぶため, 例えば喫煙のための休憩などは任意にとるように指示した。

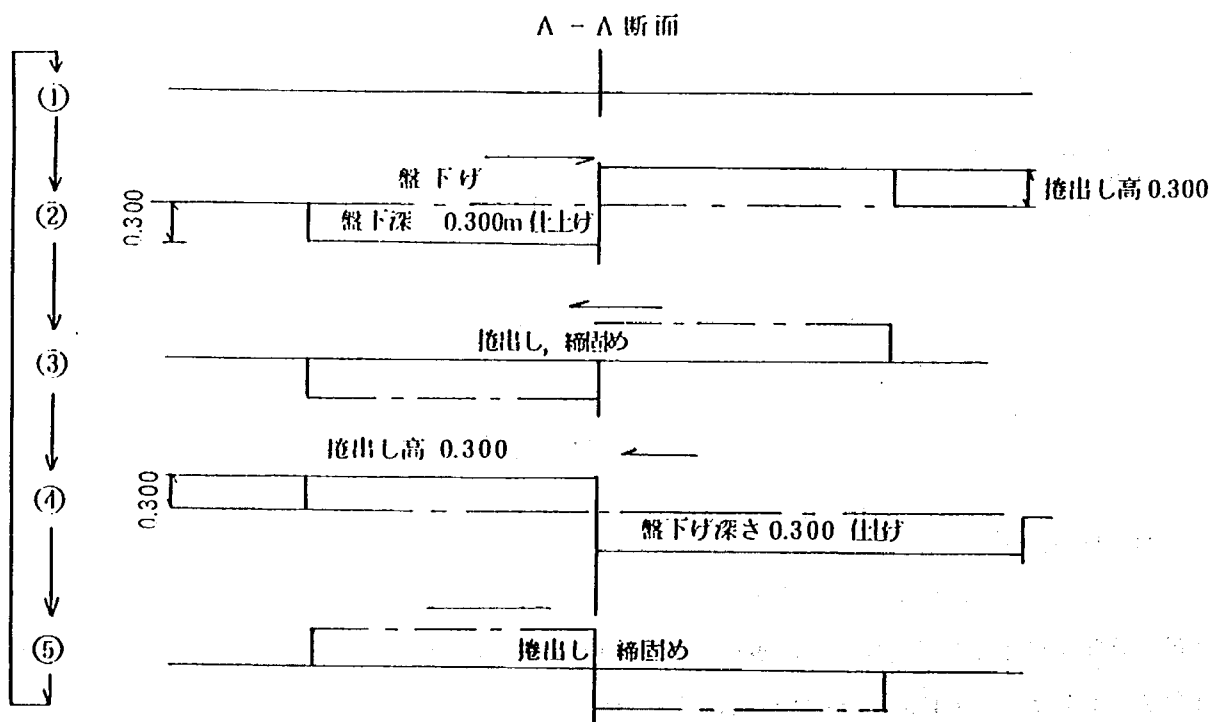
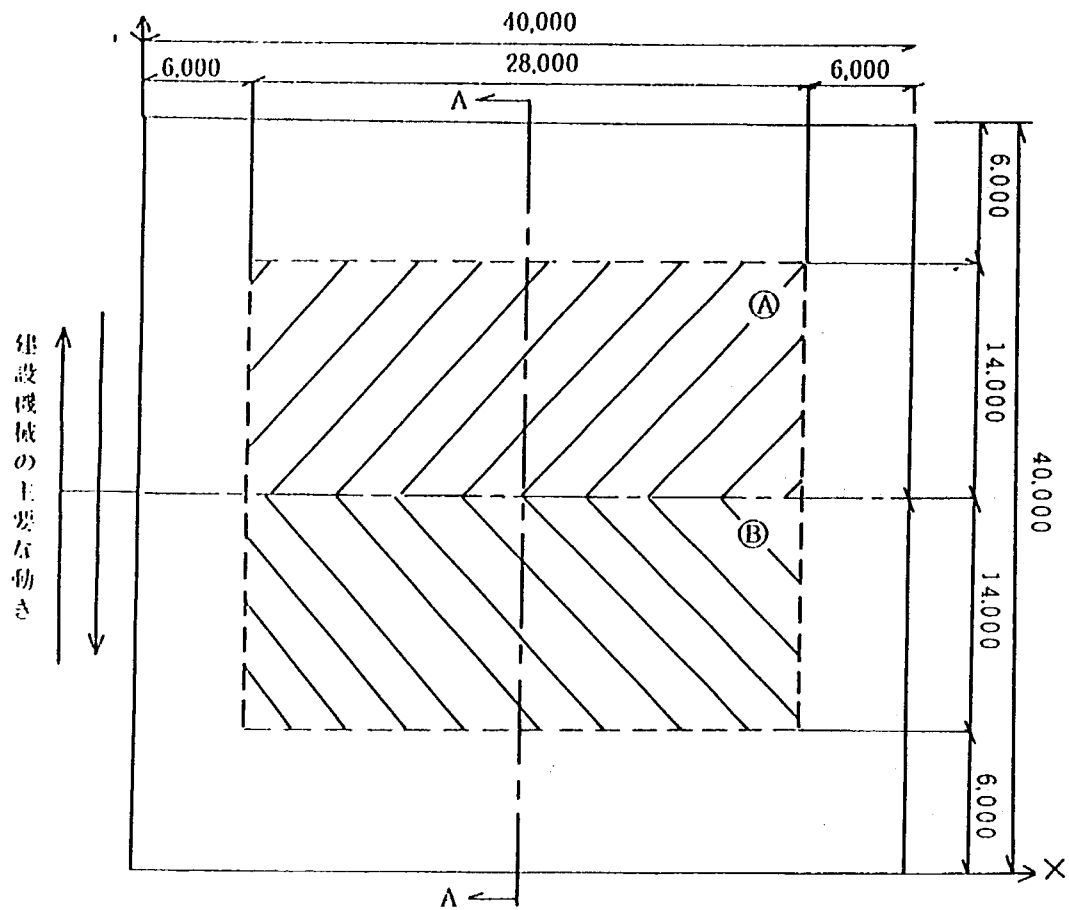


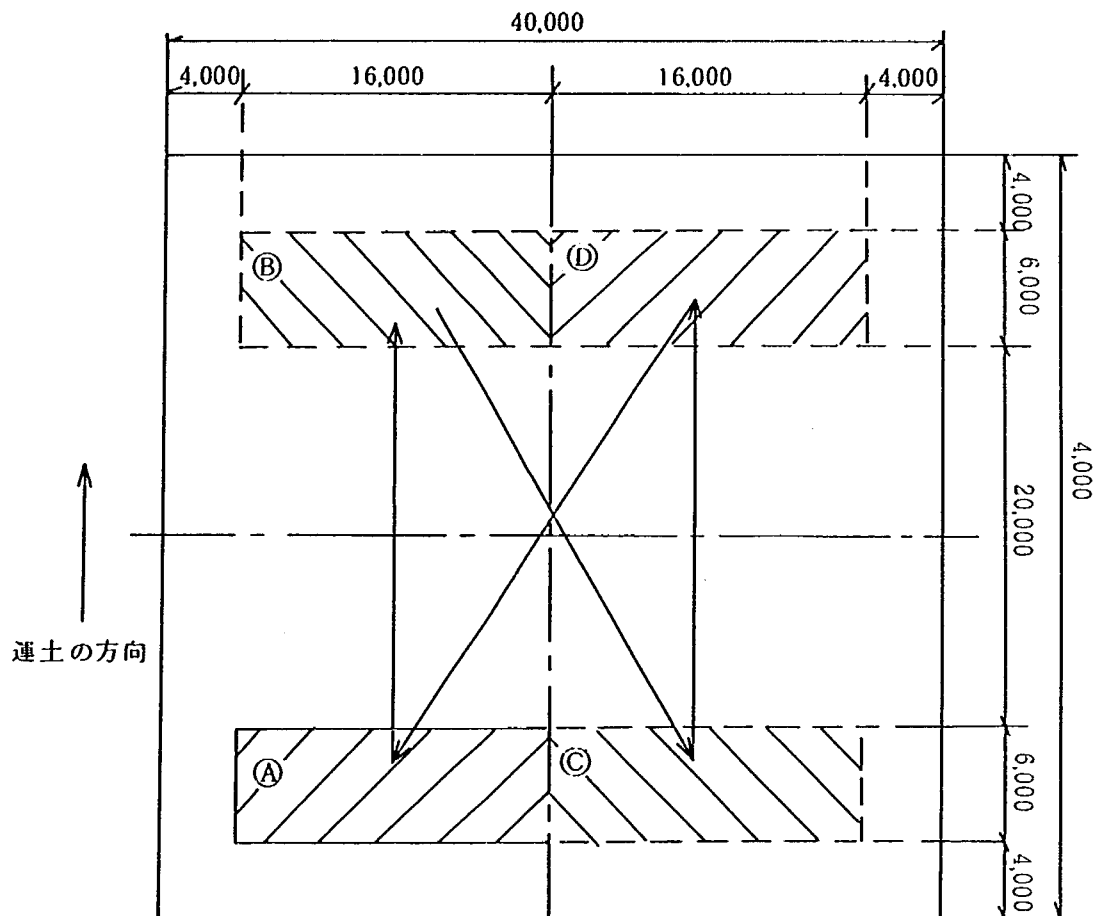
図-1.6 ブルドーザの作業手順

(ii) トラクターショベル (D50S-16)

図-1.7 にトラクターショベルの作業方法を示す。トラクターショベルの基本的な作業は掘削、積込み、運搬であり、作業の手順は次のとおりである。

- ① 最初工区Aに高さ0.5 mの盛土をしておく。
- ② 実験開始で、工区Aの土を工区Bへ運搬し、約0.5 mの捲出しを行う。
- ③ 同様の作業を、工区Aから工区B、工区Bから工区C、工区Cから工区D、工区Dから工区Aの工程を繰り返す。

なお作業は、トラクタショベルの場合、積込み時1速、他は2速、ブルドーザでは掘削1速、その他は3速を指定した。



※ トラクターショベルの排土はバケットを上昇させて行う。

1. 最初④の部分に高さ約0.5 mで土盛をしておく。
2. 実験開始で④の土を③へ運土する。
3. 運土が終了したら、次に③から②へ運土する。
4. 次に②から①へ、そして①から④へと移す。
5. 以後、同様に繰り返す。

図-1.7 トラクターショベルの作業手順

3) 稼働状態の区分

機械の稼働状態は、表 1.1, 1.2 に示すように先験的に定めた。稼働状態の中には出現頻度の低いものもあるが、実験中出现するであろうと想定される範囲で技術者の目で判別可能な状態をディスクリートに定めたものである。ただし、ブルドーザについては予備実験を行い、全事象の99%が記述できる5種の稼働状態のみを採用した。

表 1.1 ブルドーザの稼働状態

No	稼 働 状 態
1	ロウアイドル, エンジンストップ
2	掘削押土 (前進)
3	ハイアイドル, 方向変換
4	後 進
5	前 進

表 1.2 トラクタショベルの稼働状態

No	稼 働 状 態
1	ロウアイドル, エンジンストップ
2	バケット積込み
3	ハイアイドル, 方向変換
4	運土後進
5	運土前進
6	バケット上・下・排土
7	無負荷前進
8	無負荷後進

4) 予備調査

実験に先立ち、使用する建設機械の騒音の大きさを騒音の測定方法¹²⁾に従って測定した。また、実験的に実現可能な稼働状態ごとに測定した。

1.3.3 実験結果

1) 使用した建設機械の騒音パワーレベル

表 1.3 に、トラクタショベルおよびブルドーザの騒音の測定結果、また表 1.4 に騒音パワーレベルの推定値を示す。騒音パワーレベルは、騒音レベルを基に算定した値と等価騒音レベルを基にした値について

表 1.3 各作業状態での騒音レベル

上段：騒音レベル
下段：LAeq dB(A)

車種	車種状態	運転状態	主 側 (L)			右 側 (R)			前 側 (F)			後 側 (B)			備 考
			L1 地点	L2 地点	L3 地点	R1 地点	R2 地点	R3 地点	F1 地点	F2 地点	F3 地点	B1 地点	B2 地点	B3 地点	
トラクタ イシヨベル	止 (車)	ハイアイドル	83	76	70	82	76	70	81	75	69	77	72	67	
		ローアイドル	83	76	70	82	76	70	81	75	69	77	72	67	
		上バケット	69	63	—	69	63	—	63	58	53	65	59	54	
		下バケット	69	63	—	69	63	—	63	58	53	65	59	54	
		積み込み	83	77	70	83	77	69	84	78	71	77	72	67	ピーク値
			83	76	69	83	76	67	82	76	70	77	72	67	
			84	78	70	82	77	71	84	79	72	80	74	68	ピーク値
			83	77	69	82	77	69	81	75	69	78	73	67	
	走 行	前進	83	78	70	83	77	70							2 速
		後進	85	79	71	84	79	72							2 速
		方向変換	84	78	71							84	79	73	ピーク値
			82	77	70							82	77	71	
		前進	83	77	70	83	77	70							2 速
		後進	84	78	71	84	79	72							2 速
		方向変換	84	77	71							85	79	72	ピーク値
			82	76	70							82	76	70	
ブルドーザ D4D	止 (車)	ハイアイドル	81	75	68	82	77	70	78	70	65	76	72	68	
		ローアイドル	81	75	68	82	77	70	78	70	65	76	72	68	
		上バケット	65	59	52	65	59	53	63	57	51	59	54	49	
		下バケット	65	59	52	65	60	53	64	57	52	60	54	49	
	走 行	前進	82	76	70	83	78	71							3 速
		後進	83	77	71	83	78	71							3 速
		掘削押上	82	77	70	82	77	70							前進 1速 (後進 3速)
		方向変換	83	78	72							84	78	73	ピーク値
			81	76	69							82	77	72	

表 1.4 騒音測定結果によるパワーレベルの推定値

			左 側	右 側	前 側	後 側	平 均 (パワーレベル)	上段 騒音パワーレベル
トラクター ショベル パワー ブルドーザ	停止	ハイ アイドル	108.3 (108.3)	106.1 (106.1)	105.1 (105.1)	98.4 (98.4)	104.5 (104.5)	下段 () 等価騒音レベルでの パワーレベル
		ロー アイドル	92.3 (92.3)	92.3 (92.3)	84.4 (84.4)	87.6 (87.6)	89.2 (89.2)	
		バケット 上下	108.6 (109.8)	110.1 (112.8)	109.6 (106.1)	98.4 (98.4)	106.7 (106.8)	
	走行	積み 込み	111.1 (110.1)	104.9 (107.9)	108.4 (105.1)	104.1 (100.9)	107.1 (106.0)	107.6* (105.4)*
		前進 無負荷	108.9 (108.9)	108.6 (108.6)	—	—	108.8 (108.8)	
		後進 無負荷	112.1 (112.1)	108.4 (108.4)	—	—	110.3 (110.3)	
		変方無 換向負荷	109.6 (106.4)	—	—	106.9 (104.9)	108.3 (105.7)	
		前進平 進土積	108.6 (108.6)	108.6 (108.6)	—	—	108.6 (108.6)	
		後進平 進土積	109.6 (109.6)	108.4 (108.4)	—	—	109.0 (109.0)	
		変方運平 換向土積	109.3 (105.8)	—	—	110.6 (106.1)	110.0 (106.0)	
	走行	ハイ アイドル	106.6 (106.6)	106.4 (106.4)	103.1 (103.1)	94.7 (94.7)	102.7 (102.7)	104.6* (103.6)*
		ロー アイドル	90.6 (90.6)	89.1 (89.4)	87.1 (87.8)	80.4 (82.6)	86.8 (87.6)	
		前進	106.1 (106.1)	107.4 (107.4)			106.8 (106.8)	
		後進	107.1 (107.1)	107.4 (107.4)			107.3 (107.3)	
	走行	押掘 土削	106.4 (106.4)	106.4 (106.4)			106.4 (106.4)	
		変方 換向	105.9 (105.4)			106.6 (103.4)	106.3 (104.4)	

示している。ほとんどの条件で両者に1dBを超える差はないが、騒音の変動が間欠的な場合、騒音レベルを基にした騒音パワーレベルの方が2～3dB大きくなる。ブルドーザ、トラクターショベルともアイドリング状態（ローアイドル、ハイアイドル）を除くと、稼動状態による騒音パワーレベルの差は小さい。

2) 機械の運転モードと騒音パワーレベル

建設機械の作業は、一連の作業をサイクリックに実施することが多い。時々刻々と変化する現場の条件に応じて、このサイクルタイムや稼動状態のシーケンスは多少のばらつきを示すが、基本的には作業の工種に対応した運転モードの設定が可能である。

今、時刻 i ($t = i \delta t$) における機械の稼動状態を示すベクトル D が、

$$D_i^T = [\delta_{i1} \ \delta_{i2} \ \delta_{i3} \ \cdots \ \delta_{in}] \quad \cdots \cdots \cdots (1.27)$$

$\delta_{ik} = 1$; 時刻 i における機械の稼動状態が k の時

$\delta_{ik} = 0$; 時刻 i における機械の稼動状態が k でない時

である時,

$$r_l = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N D_i^T \cdot D_{i+l} \quad \cdots \cdots \cdots (1.28)$$

を稼動状態の自己相関関数として定義する。 $l = 0$ では, $r_l = 1$ であり, また, $D^T \cdot D$ の値は 0 または 1 であるから, r_l について,

$$0 \leq r_l \leq 1 \quad \cdots \cdots \cdots (1.29)$$

の関係がある。

$l \rightarrow \infty$ の極限では,

$$r_l \rightarrow \sum_{j=1}^k P_j^2 \quad \cdots \cdots \cdots (1.30)$$

P_j ; 稼動状態 j の生起確率

に収束する。

図 1.8 は, ブルドーザおよびトラクタショベルについて稼動状態の自己相関関数を示すものである。ブルドーザについては 50 秒, トラクタショベルについては約 100 秒の周期性が認められる。このように自己相関関数が周期性を持つことは, 稼動状態の推移に周期性があることを意味しており, すなわち運転モードの設定が可能であることを示唆するものである。

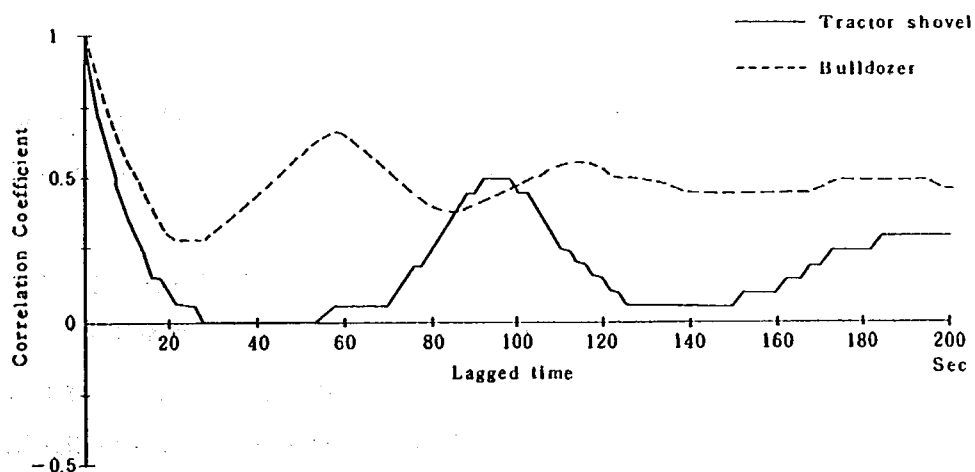


図 1.8 稼動状態の自己相関

r_l の収束値は, ブルドーザで約 0.45, トラクタショベルで約 0.2 である。これから, ブルドーザについては 2 種, トラクタショベルについては 4 ~ 5 種の独立した稼動状態が設定できるものと思われる。

表 1.5, 1.6 は先験的に設定した各稼動状態の生起確率と, その時のエネルギー平均騒音パワーレベルを示すものである。騒音パワーレベルは, 予備調査の値と, 実験での騒音測定からの推定値について示し

表 1.5 ブルドーザ作業のエネルギー平均騒音パワーレベル

稼働状態	生 起 確 率	エネルギー平均騒音パワーレベル	
		騒音測定	実験工事
掘削・押土	58.1%	106.4 ^{dB(A)}	107.6 ^{dB(A)}
後 進	32.5	107.3	107.6
前 進	4.7	106.8	107.2
ハイアイドル	4.4	103.6	107.2
エンジン停止	0.3	—	—
計	100.0	106.5	107.6

表 1.6 トラクタショベル作業のエネルギー平均騒音パワーレベル

稼働状態	生 起 確 率	エネルギー平均騒音パワーレベル	
		騒音測定	実験工事
運土前進	26.7%	108.6 ^{dB(A)}	105.8 ^{dB(A)}
無負荷後進	19.0	110.3	106.6
運土後進	17.9	109.0	106.0
無負荷前進	17.2	108.8	105.5
掘削ローディング	10.0	106.0	105.6
排 土	7.8	106.0	105.5
ハイアイドル	1.3	105.4	105.6
計	100.0	108.4	105.9

ており、比較が可能である。ブルドーザの場合、“掘削・押土”と“後進”で稼働状態の91%に達しており、すなわち、ブルドーザの代表的稼働状態はこの2種類と考えて良い。一方、トラクタショベルでは、5～6種の稼働状態がある。

この稼働状態を騒音パワーレベルの視点から見ると、ブルドーザでは、生起確率の高い2種の稼働状態の騒音パワーレベルの差は騒音測定の結果でも1dB以内であり、したがって“作業状態”として1種類にまとめることができよう。トラクタショベルでは、前進状態と後進状態と定置状態での稼働状態では騒音測定から推定した騒音パワーレベルでは1～4dBの差があるが、実験状態での差は約1dB程度となっている。これから、騒音の視点を加味した稼働状態の分類としては、前進、後進、掘削・排土の3種類とすることができよう。

しかし、稼働状態の違いによる騒音パワーレベルの分散の推定値は、ブルドーザが0.7 (dB)²、トラクタショベルが1.9 (dB)²と小さく、実用的な視点から稼働状態を細分化することにはあまり有効な意味はないものと思われる。特に現場での測定を考えた場合、1～2dBの精度で機械の騒音パワーレベルを推定することは無理であり、主作業をひとまとめにして“標準稼働状態”とすることが実際的と考えられる。

3) 機械の存在確率と存在中心

図 1.9(a), (b)に実験に用いた領域内でのトラクタショベルおよびブルドーザの存在確率を示す。理論の展開過程では機械の存在確率は領域内で等しいと考えたが、図に示すとおり必ずしも等分布ではなく、むしろ領域の中央附近の存在確率が高くなる傾向にある。これは、実際に観測される騒音レベルの分散が理論的に計算される値よりも小さくなることを意味するものである。

時間 $T (=N \cdot \delta t)$ における機械の平均的な存在位置を、直交座標系で、

$$\left. \begin{aligned} X_{T,1} &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{1+N} x_i \\ Y_{T,1} &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{1+N} y_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.31)$$

として定義する。1 は、機械の存在位置を示すベクトル x , y での (1.31) 式の演算の始点を示すものであり、 x , y が無限長ベクトルで与えられる場合の機械の存在位置の計測開始の時刻を意味する。 $X_{T,1}$, $Y_{T,1}$ は夫々が確率変数であり、測定開始時刻の違いによって異なった値を持つ。

表 1.7 は、ブルドーザおよびトラクタショベルの平均存在

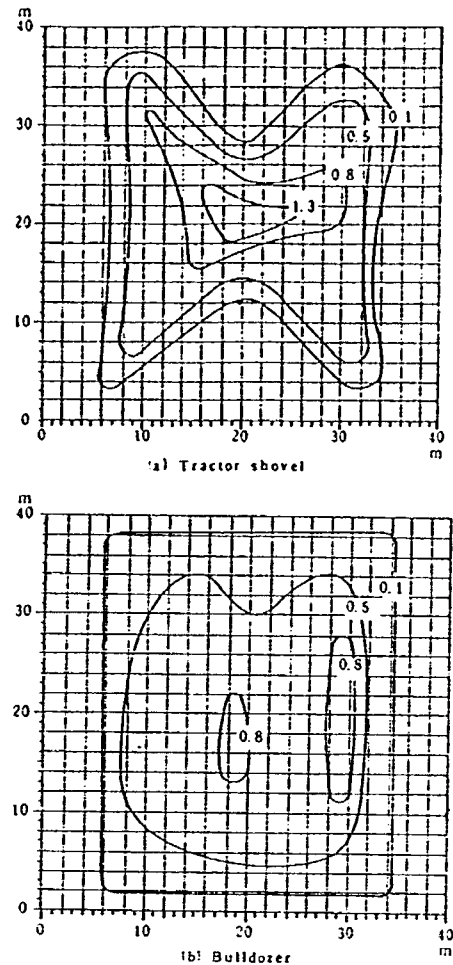


図 1.9 建設機械の存在確率(%)

表 1.7 建設機械の移動中心と測定時間

(m)

機 種	座 標	項 目	測定時間									
			秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
トラ ク タ シ ョ ベ ル	X 座 標	平均値 m	120	240	600	1200	2400	3600	7200	10800	14400	
		標本標準偏差 σ	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	
		1.96σ	4.08	3.87	3.54	3.16	2.37	1.63	0.86	0.54	—	
	Y 座 標	m	8.00	7.59	6.94	6.19	4.65	3.19	1.69	1.06	—	
		σ	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	
		1.96σ	1.95	1.58	1.24	1.01	0.69	0.58	0.40	0.20	—	
ブ ル ド ー ザ	X 座 標	m	3.83	3.10	2.43	1.98	1.35	1.14	0.78	0.39	—	
		σ	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	
		1.96σ	6.57	6.25	5.52	4.63	3.51	2.90	1.39	0.97	—	
	Y 座 標	m	12.88	12.25	10.82	9.07	6.88	5.68	2.72	1.90	—	
		σ	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
		1.96σ	4.53	4.25	3.89	3.62	3.38	3.14	2.22	1.05	—	

位置と、測定時間ごとのその分散を示すものである。平均存在位置の平均値は、ベクトル x , y の要素の平均値であり、これは母集団が有限であるから、測定時間の長・短にかかわらず一定値となっている。実験に用いた領域の中央の座標は (20m, 20m) であるが、両機械とも存在位置の平均値は 1m 以内の精度で領域の中央となっていることが示される。分散は、測定時間が長くなる程、小さくなる。また、移動速度が速い程、単位時間内の移動範囲が広いわけであるから分散は小さくなる。

実験のデータでは、測定時間が 1 時間をこえると、存在中心の半径は約 6 m 以内となっており、実質的には定置型の機械と同じ条件となる。

4) 騒音レベルの分散

騒音レベルの分散は音源事象からの距離に支配される。図 1.3 はこれを示すもので、理論的に展開して求めた値と実際の測定値から得たものとが比較可能である。図に示すとおり、両者は違った傾向を示している。音源の近旁で実測値が理論値より小さいのは、機械の実際の移動範囲が、領域より狭いため、また、遠地点で実測した騒音レベルの分散が理論値より大きくなるのは外乱騒音の影響のためである。

5) 等価騒音レベルの分散

1) 騒音レベルの自己相関

図 1.10 に騒音レベルの自己相関関数を示す。トラクタショベルでは 100 秒、ブルドーザでは 60 秒の周期性を持ち、これは稼動状態の自己相関関数の場合と同じ傾向である。実際、騒音レベルの変動を支配する

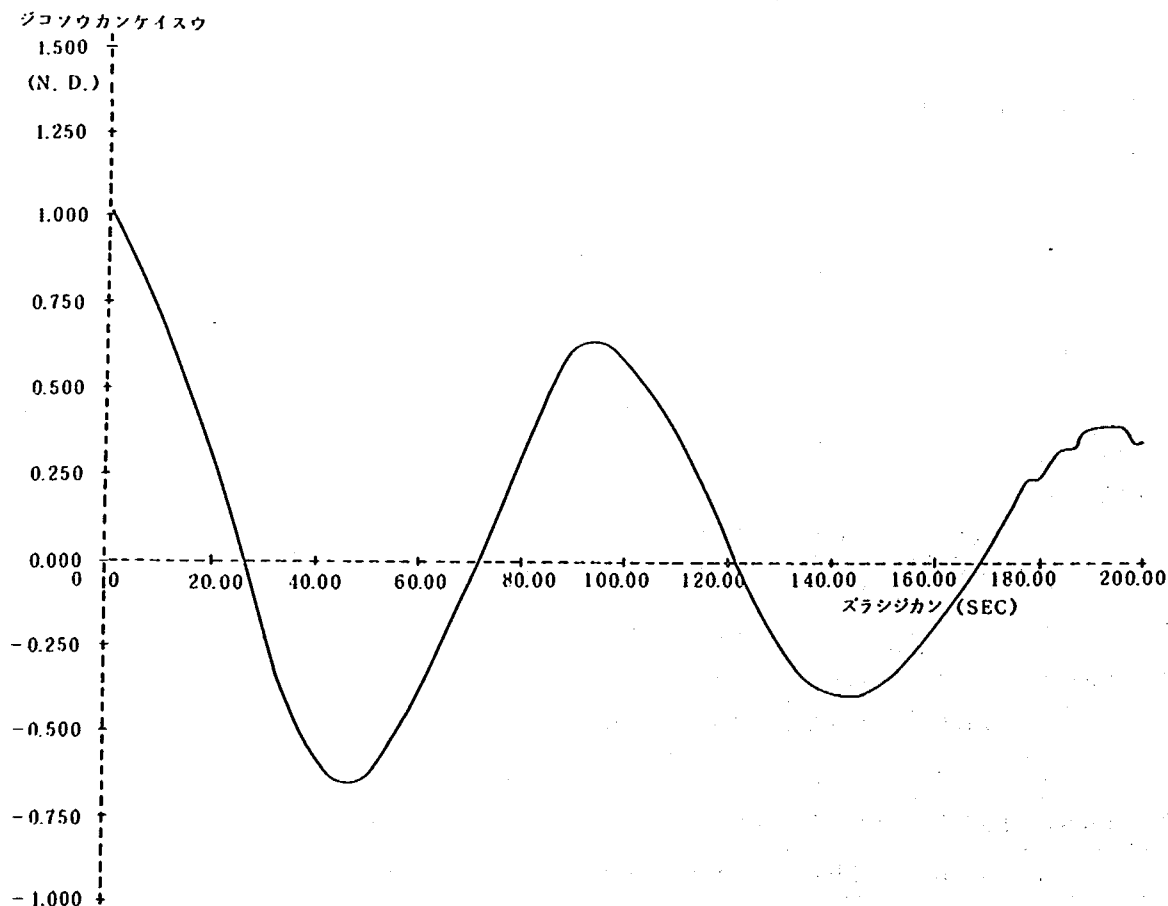


図 1.10(a) トラクタショベルの騒音レベルの自己相関

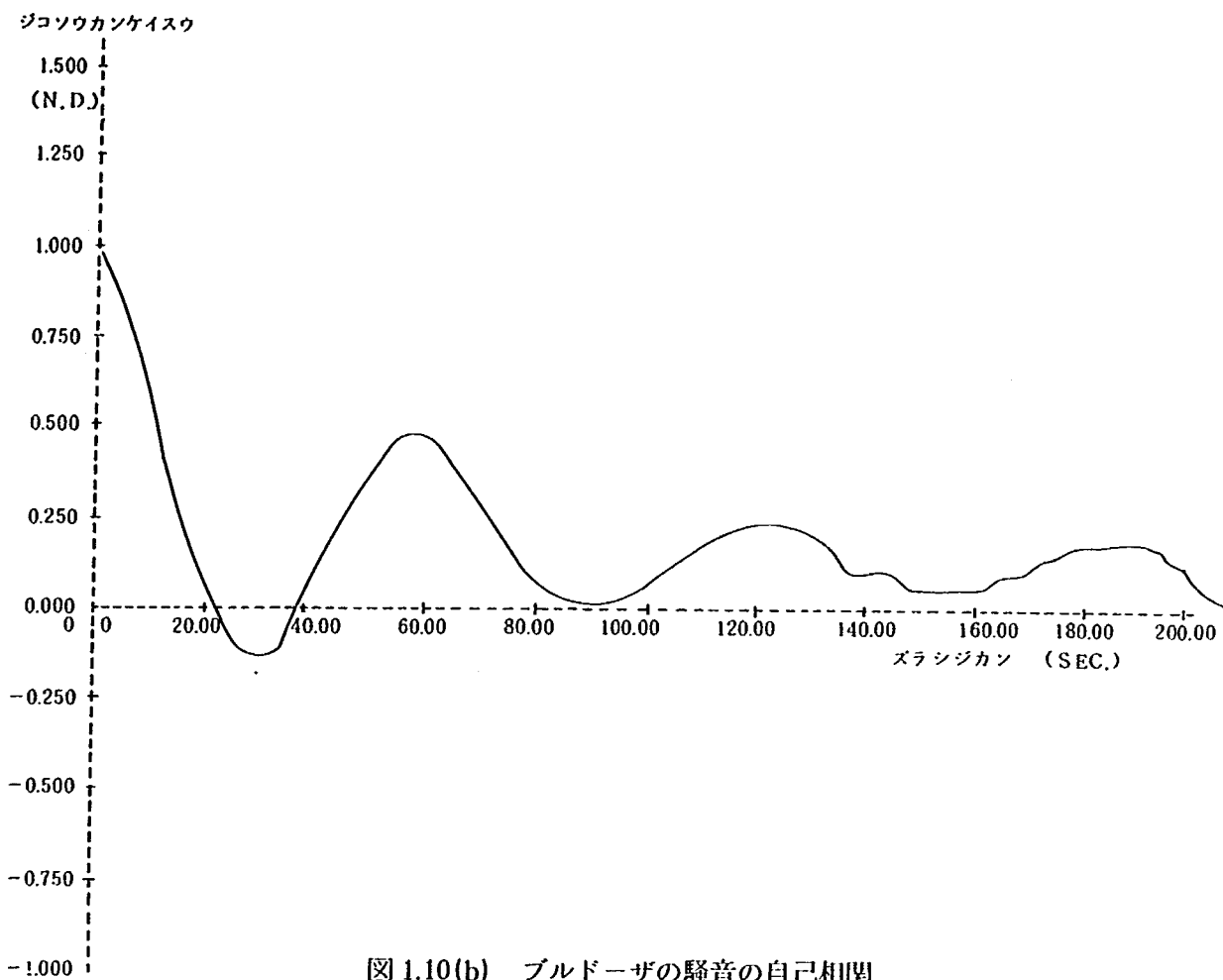


図 1.10(b) ブルドーザの騒音の自己相関

のは機械の位置と稼動状態であり、作業の手順が定まった時、機械の位置の変動（位置そのものではない）と稼動状態の変動とは密接な関係にあることから、騒音レベルの自己相関関数と稼動状態の自己相関関数は類似のものとなる。図に示されるとおり、ラグタイム 200 秒では相関係数が大きく、独立なデータとするには、時間間隔はかなり長くなってはならない。また、図は測定点 P_1 のデータであるが、測定点が遠くなるとデータの周期性は弱くなる。

Ⅱ) 等価騒音レベルの分散

図 1.11 に等価騒音レベルの分散を測定時間との関係です。これは、ブルドーザの騒音を P_1 点について示すものである。計算値は (1.15) 式に示す騒音レベルの分散と (1.25) 式の関係を用いて求めたものであり、実測値とよく一致している。また、図中の実線の細線は、自己相関係数が 0 の場合について示すものであり、測定時間が 1 時間を越えると自己相関関数を考慮しなくとも等価騒音レベルの分散が推定できることが示される。測定時間が長くない領域では、しかし、自己相関関数の影響がある。測定時間が長くなるに従って標

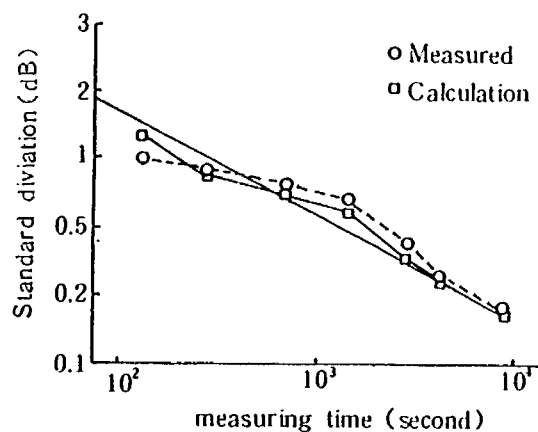
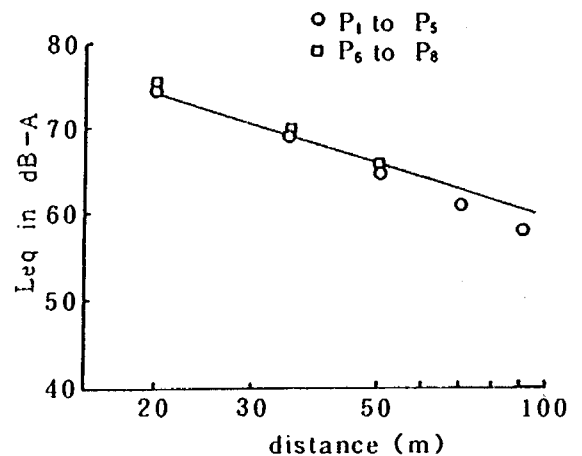


図 1.11 測定時間と Leq の標準偏差

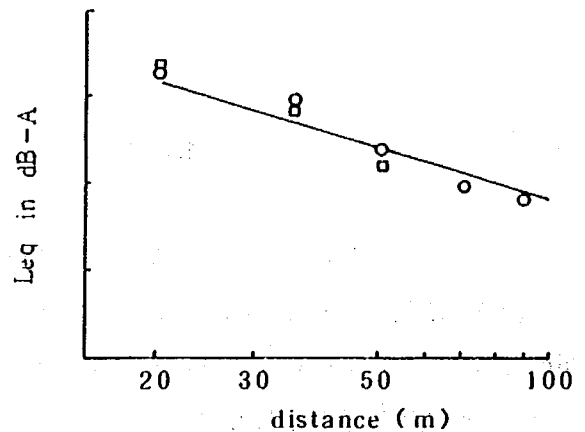
準偏差は小さくなる傾向を示し、約 2,000 秒において 0.5 dB 以下となる。したがって、この場合、等価騒音レベルの測定時間としては 30 分以上とすれば良いことがわかる。

6) 等価騒音レベルの距離減衰

図 1.12 は、作業領域の重心を起点とした時の等価騒音レベルの距離減衰を示したものである。図中の直線は逆 2 乗則による騒音の距離減衰を示すものであり、等価騒音レベルの距離減衰の方が逆 2 乗則よりもやや大き目の減衰を示している。一般に騒音は伝搬距離が長くなると地表面の影響によって減衰することがわかっており、¹³⁾ ¹⁴⁾ これらを考慮すると、等価騒音レベルの距離減衰は、移動式の建設機械の場合、作業領域の重心位置を起点とすることによって逆 2 乗則が適用できることが示される。ただし、作業領域に近接した測定点では、逆 2 乗則による推定値よりやや大き目の等価騒音レベルとなる。これについては、(1.19') 式で示されるように、 $T \rightarrow \infty$ では騒音レベルの平均値と等しく、したがって、(1.12) 式を適用することが望ましい。この場合、領域の境界では 4 dB、30 m 点では 2 dB の差となる。



(a) Bulldozer



(b) Tractor shovel

図 1.12 Leq の距離減衰

2. 建設工事の等価騒音レベルの調査

2.1 調査の目的, 概要

杭打機などの基礎工事用機械の等価騒音レベルの支配要因の調査を目的として実施したものである。これらの機械は直接地盤を加工することから実験的に稼動状態を設定することが難かしく、したがって実態調査によって等価騒音レベルと稼動状態の関係を検討することにした。

調査は昭和56年度から3ヶ年度にわたって18件、延べ40以上の機械について実施した。調査の主眼は各年度によって少しずつ異なり、概括すると次のとおりである。

(1) 昭和56年度

建設工事の等価騒音レベルを計測する場合の問題点の把握。基礎工事用機械および土留工事用機械を対象に施工工程と騒音の関係についての実態調査。

(2) 昭和57年度

建設工事に投入されている個別の機械の稼動状態の調査。等価騒音レベル計による測定値と稼動状態からの推定値の比較検討。

(3) 昭和58年度

建設工事の等価騒音レベルの予測方法（建設騒音の総量予測）の検証を重ね、建設機械のエネルギー平均騒音パワーレベルの測定を行った。

2.2 調査方法

2.2.1 騒音レベル, 等価騒音レベル

建設工事現場内（外）で建設機械を見通すことが可能な複数の地点で、騒音レベル、等価騒音レベルを測定した。測定点のうち1点以上は、機械の中心（杭施工機械では杭の中心）を基準とし、機械の外側から7m、地上1.2～1.5mの位置で測定した。騒音レベルは、レベルレコーダに記録し、測定時間は1時間以上とした。ただし、機械の稼動状態がサイクリックであり、かつその1サイクルが1時間を越す場合は、そのサイクルが終了するまでの時間とした。

騒音レベルの代表値はレベルレコーダに記録されたレベル変動から、各施工工程ごとに騒音レベル測定方法（JIS-Z-8731-1966）に基づいて決定した。

等価騒音レベルは、騒音レベルの記録波形から、

$$Leq T = 10 \log \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{SL_i}{10}} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

SL_i ; 騒音レベルの瞬時値

N ; $N \delta t = T$, データの数

として求めるとともに、市販の積分騒音計、

NA-60+EQ05 (リオン)

2118 (B&K)

NL-01 (リオン)

によって計測した。

2.2.2 建設機械の稼働状態

騒音レベルの計測と平行して音源となる各建設機械の稼働状態の計測を行った。稼働状態は、単位時間を30秒とするタイムスタディ方式によった。稼働状態は先見的に細分化した。したがって、実際の測定に先立ち、あらかじめ区分可能な稼働状態を列記した。

また、稼働状態は、基本的には、

0； 機械が停止している状態

1； 機械が休止、もしくは作業待ちの状態にある場合。ハイアイドルの状態はこれに含まれる。

2； 対象となる機械の標準的（とみなされる）稼働状態

として区分した。また、中掘工法のように標準的と考える状態が複数の状態である場合、それぞれを標準稼働状態と考えた。

2.3 調査結果

2.3.1 調査対象工事、機械

表 2.1 に、調査対象とした建設機械を示す。表において、調査番号は調査した工事の番号を示し、同一番号において複数の機械が記述されているのは、同一工事現場で複数の建設機械が稼働しており、これらを測定対象としたためである。ただし、調査番号に対応する建設機械が一台のみとなっているのは、現場で稼働している機械が複数であっても一台のみしか測定対象としなかったことを意味するものである。

表 2.1 建設機械の稼働状態とエネルギー平均騒音パワーレベル

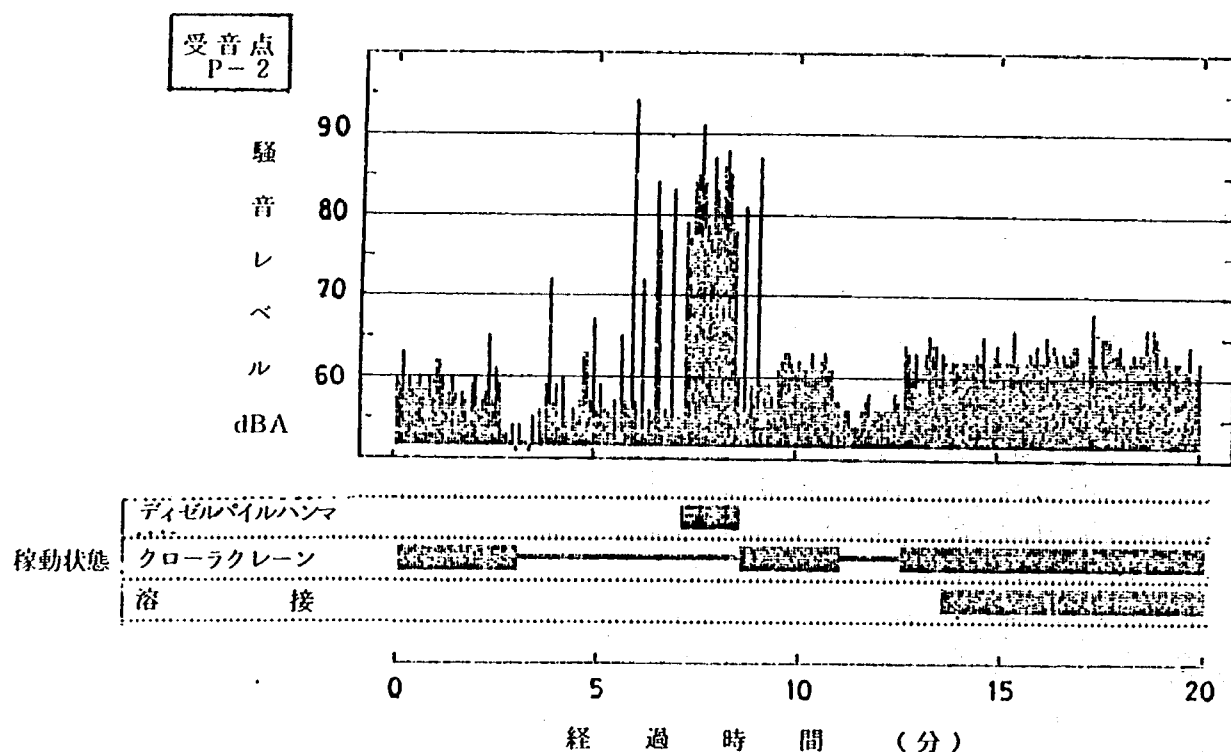
調査 番号	機 械 名		規 格	稼働状態の生起率			推 定 騒 音 パワ-レベル		エ ネ ル ギ- 平 均 騒 音 パワ-レベル	計 算 値 *
				0	1	2	1	2		
1	ディーゼルバイルハンマ		K32	20%	23%	57%	100	126	124	121±3
2	ディーゼルバイルハンマ (プレボーリング工法)		K3.5	17	26	57	100	121	119	121±3
3	ディーゼルバイルハンマ		K45	70	0	30	-	129	124	123±3
	クローラクレーン		D308SA	0	67	33	-	105	100	
4	油圧ハンマ		HYSINC	28	22	50	101	109	106	
5	油圧ハンマ		THC100	0	66	34		109	104	
	クローラクレーン		PD7	0	78	22		97	90	
	油圧ショベル		MS110	32	14	54		101	98	100±2
6	プレボーリング(セメントミルク)		U106AL	0	24	76	101	101	100	96±5
7	中掘工法		D308S	16	22	62	101	102	101	99±5
8	振動バイルドライバ		VH-2	0	53	47	95	125	122	112±3
9	"		"	0	44	56	101	118	115	112±3
10	振動バイルドライバ		WM2	0	56	44		112	108	112±3
	クローラクレーン		440S		23	77		103	102	
	発 電 機		DCA200SS			100		88	88	100±3
	"		DCA40SS			100		96	96	100±3
	ブルドーザ		D5B	46	3	51		112	109	111±2
	油圧ショベル		UH-10	8	14	78		104	103	103±2
11	サイレント バイラ	サイレントバイラ		0	43	57		-	-	
		油圧ユニット		0	43	57		71	69	
		発 電 機	EDG63	0	0	100		88	88	100±3
		クローラクレーン	TL250M1	27	49	24		91	89	
12	H A S 工 法	杭 打 ち 機	M60A	-	-	-		-	-	
		クローラクレーン	D308	5	21	74		98	96	
		発 電 機	EDG100	0	0	100		88	88	91±3
		コンプレッサ	PDR125S	0	42	58	89	98	96	99±2
13	サンドバイル			0	12	78	111	121	120	
14	ブレーカ(大型)			0	7	93	-	124	123	120±3
15	油圧ショベル		MS110WS	21	1	78	-	106	104	107±2
	ブルドーザ		D20A	44	1	55	-	104	101	109±3
16	油圧ショベル		UH07	0	17	83	95	101	101	100±2
17	ブルドーザ		24 ton	36	31	33			113	112±2
	" 湿地		16 ton	29	19	52			112	112±2
	油圧ショベル		0.7m³	50	13	37			103	109±2
	"		0.4m³	7	37	56			102	107±2
	"		0.4m³	17	7	76			101	107±2
	オーガ併用 振動バイル ドライバ	振動バイルドライバ	40 kw	77	0	23			103	112±3
		クローラクレーン	35 ton吊	69	0	31				
		発 電 機	175 kVA	47	0	53				
		建 柱 車	400φ8m	71	0	29				
18	中掘工法	1 回 目	10m	27	23	50			104	100±5
		2 回 目	10m	18	19	63			105	100±5
		3 回 目	10m	55	13	32			106	100±5

* 第2報に詳細を示す。算定値である。

2.3.2 稼動状態と騒音レベル

建設工事の騒音レベルは、音源となる建設機械の稼動状態に支配される。特に、打撃式の杭打機は大きな騒音を発生させ、したがって基礎工事を主体とする建設工事の騒音は杭打機の騒音によって支配されていると考えて良い。

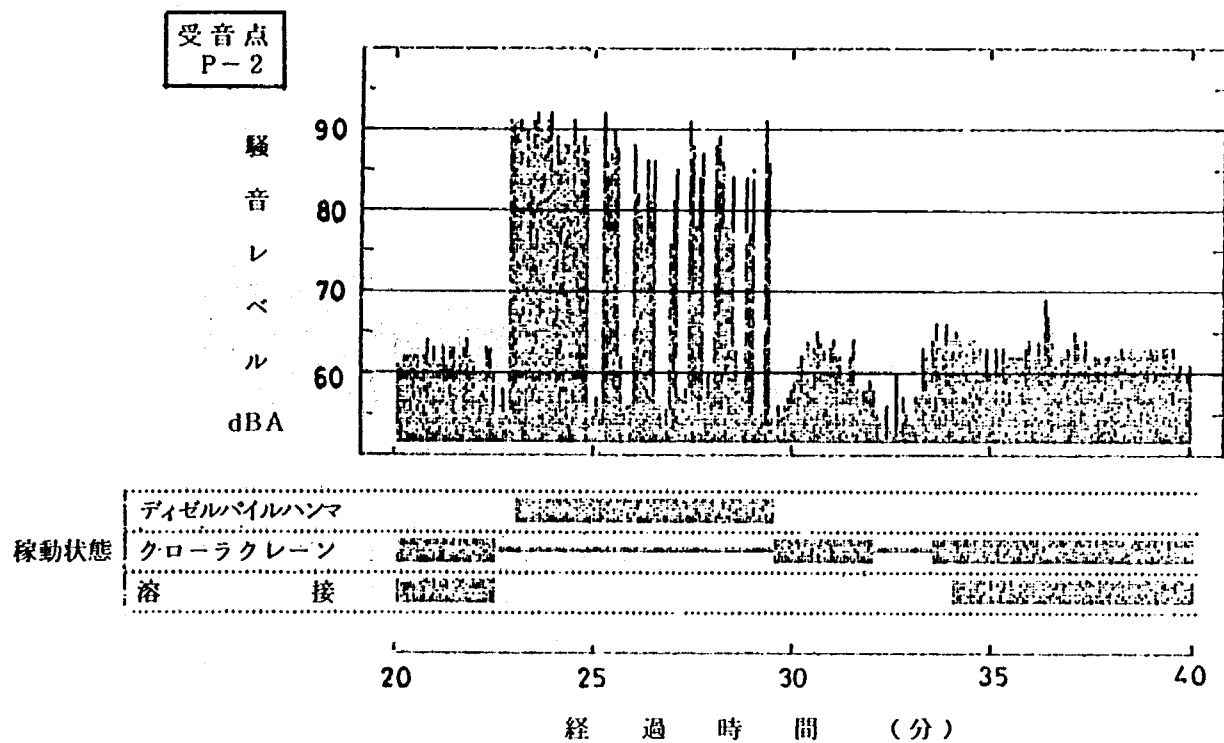
図 2.1、2.2 は代表的な基礎工事用機械であるディーゼルパイルハンマ、および油圧ハンマについて、工事現場に投入された建設機械の稼動状態とその時の騒音レベルとの関係を示すものである。



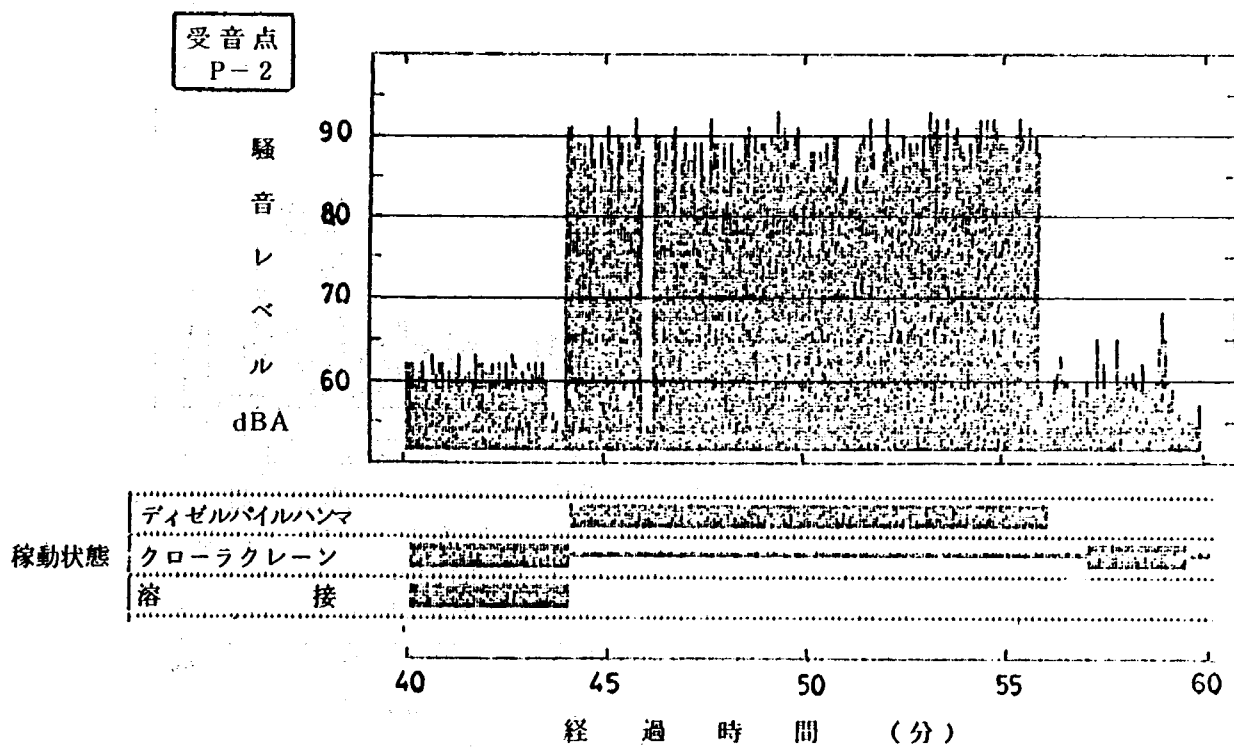
稼動状態 空欄 : 停止および休止
 : 作業を伴わない移動、待期
 : 標準的な稼動

注) 騒音レベルは5秒間隔のサンプリング値であり、稼動状態は30秒単位で示す。
 また、杭打ち込み時の騒音レベルはピーク値である。

図 2.1 全観測時間の騒音レベルおよび稼動状態 (ディーゼルパイルハンマ 1回目) (その1)



(その2)



(その3)

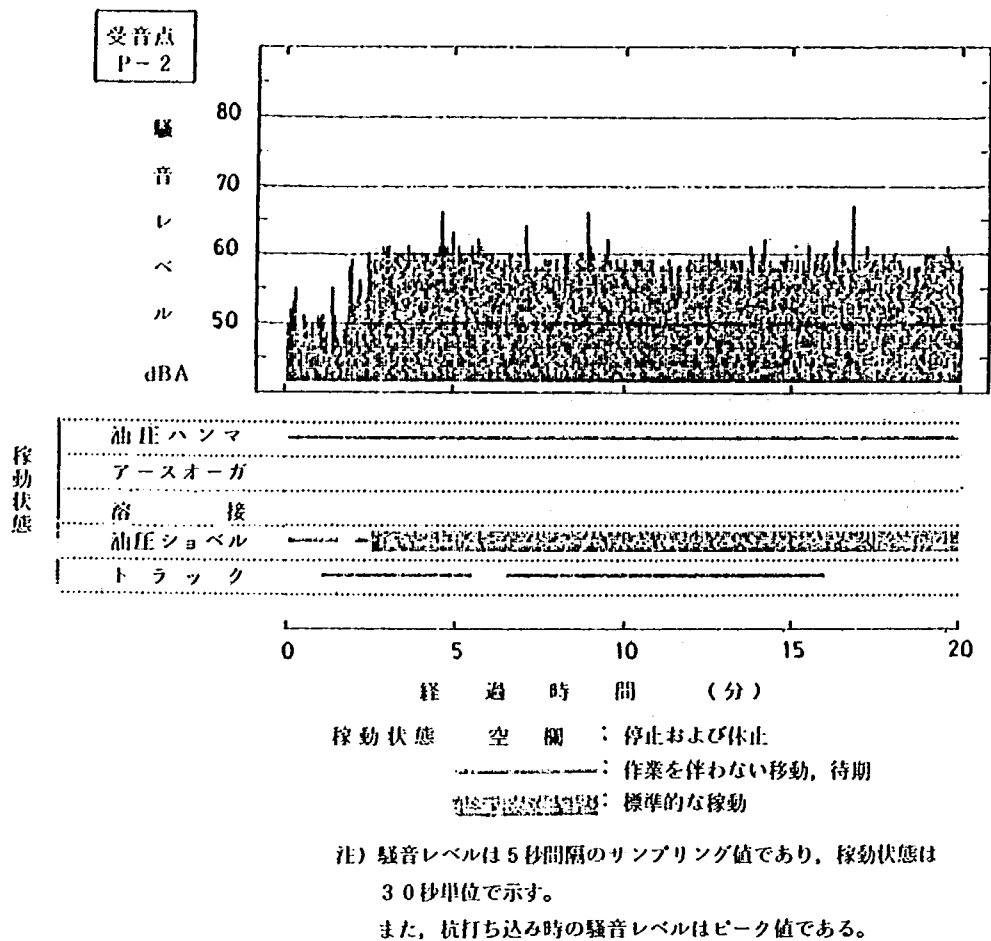


図 2.2 全観測時間の騒音レベルおよび稼働状態（油圧ハンマ）（その 1）

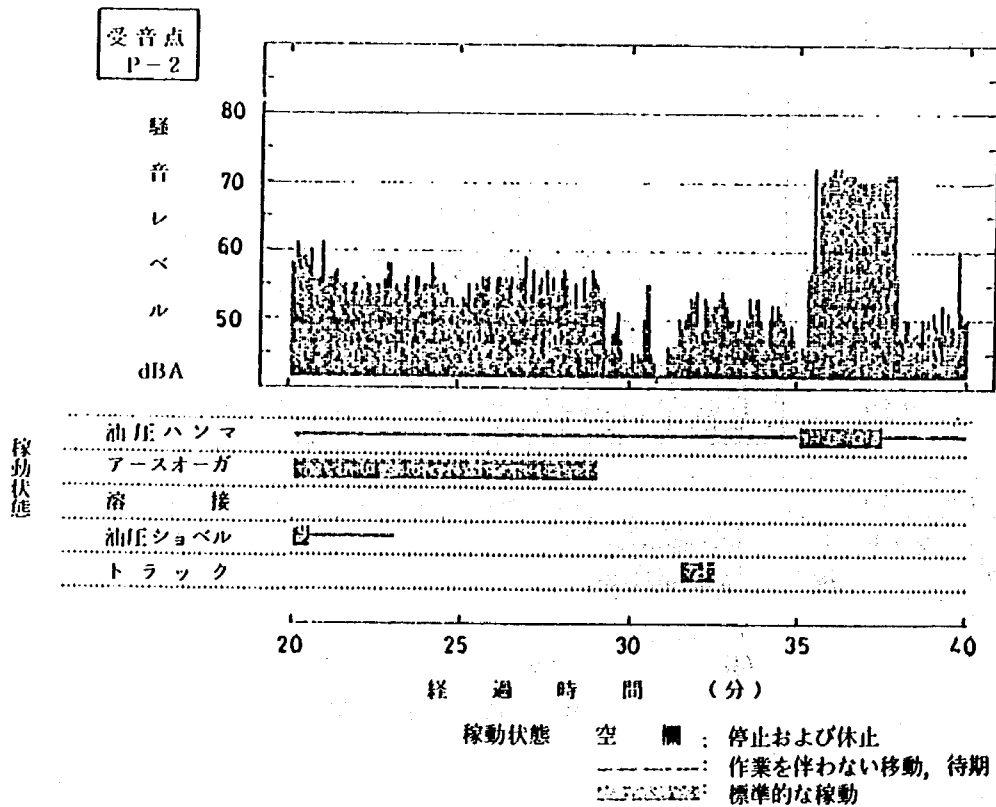


図 2.2 全観測時間の騒音レベルおよび稼働状態（油圧ハンマ）（その 2）

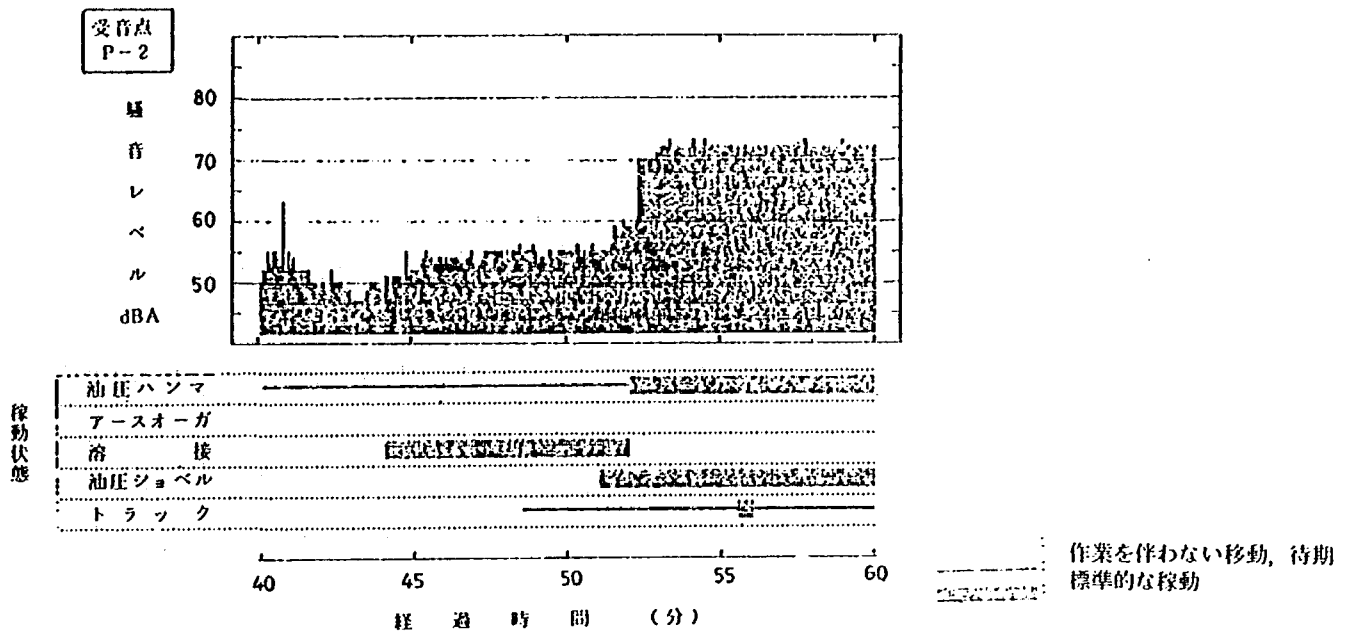


図 2.2 全観測時間の騒音レベルおよび稼動状態 (油圧ハンマ) (その 3)

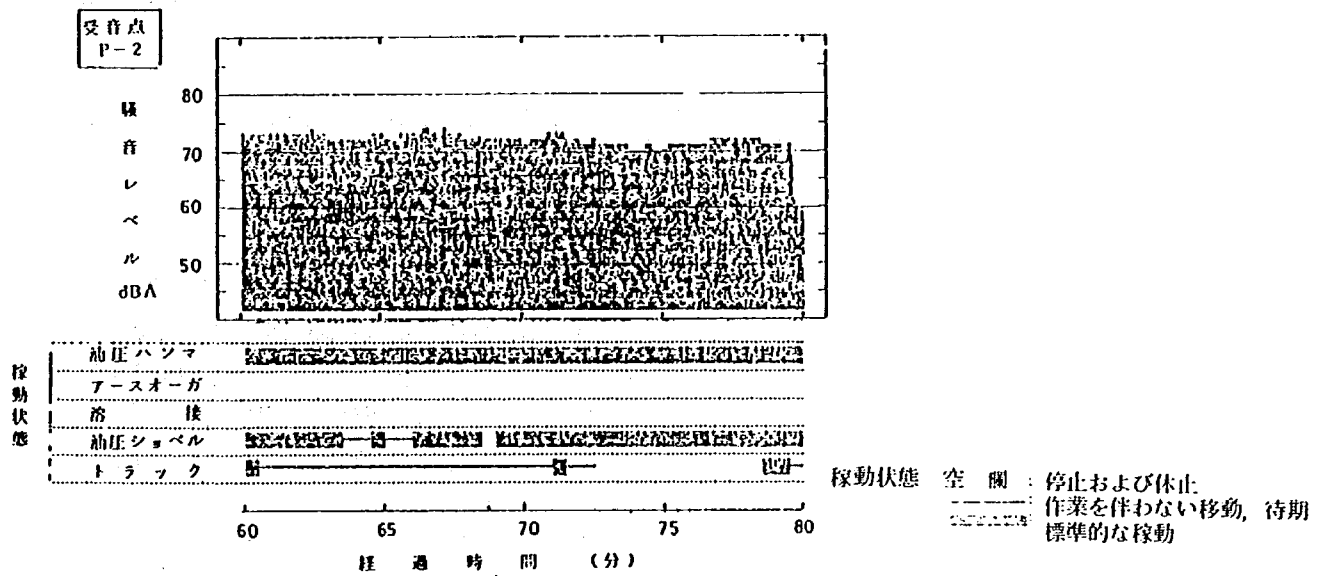


図 2.2 全観測時間の騒音レベルおよび稼動状態 (油圧ハンマ) (その 4)

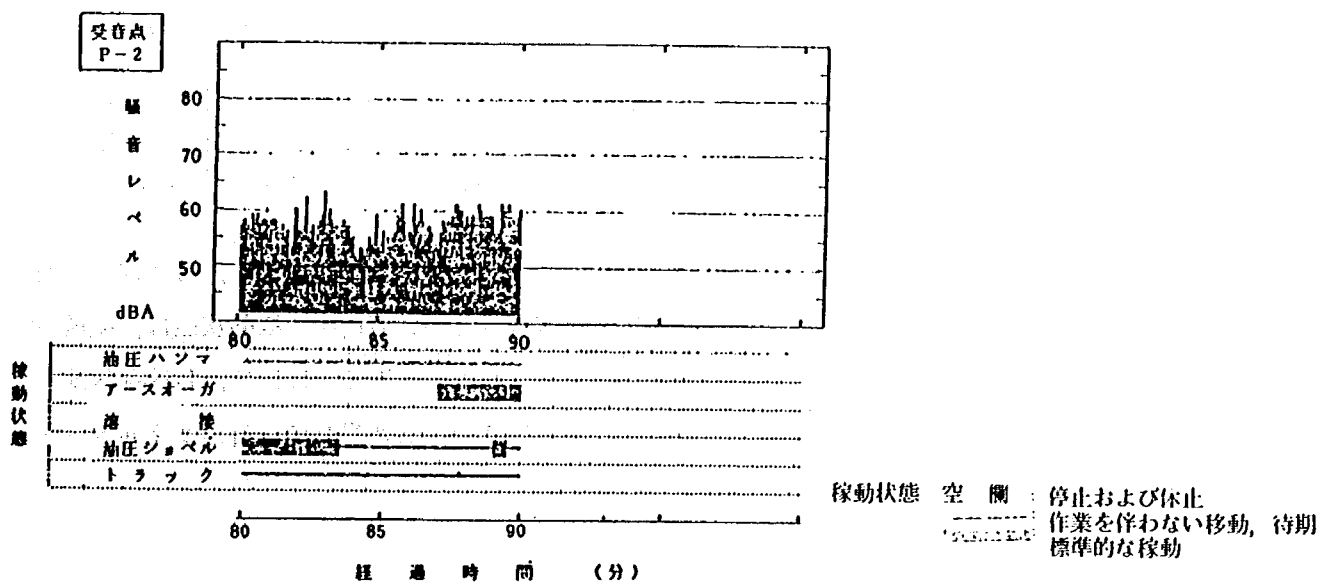


図 2.2 全観測時間の騒音レベルおよび稼動状態 (油圧ハンマ) (その 5)

いずれも測定点は杭打機から30m程度の点である。図に示す騒音レベルは、5秒ごとのサンプリング値を示すものであるが、衝撃音となる打撃時の騒音についてはピーク値をサンプリングしたものである。

図に示されるとおり、騒音レベルと建設機械の稼動状態とは密接な関係にある。図2.1で、ディーゼルパイルハンマの稼動時の騒音レベルは、85～90dBであり、他の機械の稼動時の騒音レベル(60～70dB)とは10dB以上の差がある。また、クローラクレーンが稼動している時の騒音は60～65dBであり、これはすべての機械が標準稼動状態にない時の騒音(50～55dB)よりも約10dB程度大きい。

図2.1に示される傾向は、図2.2の油圧ハンマの場合もほぼ同じである。図2.2に示す騒音レベルを観測した騒音測定点は、油圧ショベルの稼動範囲に近く、したがって油圧ハンマが稼動していない時の騒音レベルは油圧ショベルの稼動状態に影響されている。油圧ショベルのみが稼動している状態での騒音の時間変化は定常騒音とみなしてもよいが、油圧ハンマおよび油圧ショベルが標準稼動状態にない時の騒音は変動騒音となる。これは、複数の機械が存在して、どの機械も音場を支配するような大きな騒音を発生していないような状態では、各機械の稼動状態のわずかな変化によって場の音の大きさが変動するからに他ならない。このような状態で騒音源を明確に示すことは困難であり、拡がりのあるいわば散漫な音場となる。

表2.2～2.6は、代表的な基礎工事工法の機械の稼動状態と騒音との関係を示したものである。基礎工

表2.2 稼動状態と騒音

(a) ディーゼルパイルハンマ(杭8m+10m)

稼動状態	騒音の種類	稼動時間 T秒 (%)	受音点 F (7m)			受音点 P (30m)		
			騒音レベル dBA	LeqT dBA	エネルギー量 %	騒音レベル dBA	Leq T dBA	エネルギー量 %
下杭建て込み	変動騒音	140 (12%)	80	77	0.08	70	63	0.04
下杭打ち込み (ミスファイア)	分離 衝撃騒音	172.5 (15%)	105	94	5.25	95	84	5.49
上杭建て込み	変動騒音	135 (11%)	82	75	0.04	73	62	0.03
溶接	定常騒音	230 (20%)	71	71	0.03	60	61	0.03
上杭打ち込み	分離 衝撃騒音	492.5 (42%)	105	102	94.60	95	92	94.41
1サイクル	—	1170 (100%)	—	99	100.00	—	88	100.00

事では作業工程がサイクリックになる。1サイクルは、1本の杭を施工する時間に相当し、特に地盤の条件や施工法に変更がなければ、各杭の施工に要する時間に大きな差はない。表に示す稼動状態は、機械の稼動状態と発生する騒音のカテゴリー区分の両方の視点から区分したものである。表には、各稼動状態ごとの騒音レベル(JIS-Z-8731-1966による)、LAeq T、および1サイクル当りの騒音のエネルギー比を示している。

(a) ディーゼルパイルハンマ

表-2.2に示すディーゼルパイルハンマの作業は、コンクリート杭を2本継(8m⓪10m)で施工したものである。したがって、下杭と上杭の施工の間に杭の溶接作業がはいる。一般的に長尺の杭が用いられるのは杭の支持地盤が深い位置にあるためであり、このため、下杭の施工時間は短かく、またディーゼルパイルハンマが正常に着火しないことがある。表に示した例では、下杭打込み時は全く着火していない。

杭1本当りの施工時間は約20分であるが、この約60%の時間はディーゼルパイルハンマの主作業となる杭打ち施工時間、20%が溶接および残りの20%が杭の建込みや機械の移動に要する準備時間である。しかし、発生する騒音のエネルギーからすると、上杭打込み時の作業(ディーゼルパイルハンマの標準稼働状態)が約95%の騒音のエネルギーを占めており、等価騒音レベルはこの時の騒音によって支配されているとすることができる。

騒音レベルでは、下杭打込み時の音が最も大きい、着火していないため、打撃の時間間隔が長く、稼働時間の割には騒音のエネルギーは相対的に小さい。

なお、1サイクル当りの等価騒音レベルは、

$$LA_{eqT} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

T ; 1サイクル当りの作業時間

t_i ; 稼働状態 i の稼働時間

L_i ; " の等価騒音レベル

として求めたものである。

(b) プレボーリング工法

表 2.3 稼働状態と騒音

(b) プレボーリング (杭15m+15m)

稼働状態	騒音の種類	稼働時間 T 秒 (%)	受 音 点 F (7m)			受 音 点 P (29m)		
			騒音レベル dBA	L _{eq} T dBA	エネルギー %	騒音レベル dBA	L _{eq} T dBA	エネルギー %
アース・オーガ	定 常 騒 音	420 (20%)	66	66	0.04	※ 64	※ 64	0.28
下杭建て込み	変 動 騒 音	220 (10%)	72	70	0.04	※ 67	※ 65	0.14
下杭打ち込み (ミスファイア)	分離衝撃騒音	300 (14%)	102	90	6.38	93	81	7.63
下杭打ち込み	"	45 (2%)	105	102	13.21	92	88	6.01
上杭建て込み	変 動 騒 音	285 (14%)	76	71	0.07	※ 71	※ 66	0.26
溶 接	定 常 騒 音	355 (17%)	68	68	0.05	※ 64	※ 64	0.20
上杭打ち込み	分離衝撃騒音	360 (17%)	104	100	80.19	94	90	85.42
移 動	変 動 騒 音	115 (6%)	76	69	0.02	※ 69	※ 64	0.06
1 サイクル		2100 (100%)	—	94	100.00	—	83	100.00

(注) 受音点Pにおいて※のデータは、くい打ち機以外の油圧ショベル及び発電機の騒音が主となっている。

プレボーリング工法は、ディーゼルパイルハンマを用いて杭を打撃して施工する工法ではあるが、あらかじめ穿孔し、杭の打撃時間の短縮を図ろうとする工法である。しかし、この工法においては、穿孔長さ以上の深さの杭施工では、ディーゼルパイルハンマによる打撃を用いるわけであり、騒音レベルの視点で見ると、打撃時間の短縮を図る効果はない。表に見られるとおり、上杭打込み時の騒音レベルは機械から7mの位置で104dB(A)であり、これは表2.2に示すディーゼルパイルハンマ直打ちの場合と等しい。

ところが、1サイクル当りの等価騒音レベルでみると、表2.2に示す例が99dBであるのに対し、今回測定したプレボーリング工法では94dBとなっており、5dBも小さい。これは、1サイクル当りでのディーゼルパイルハンマの標準稼働状態の時間率が約20%と、(a)の場合より30%も少なくなっているためである。

(c) プレボーリング工法（セメントミルク根固め）

表 2.4 稼働状態と騒音 (c) プレボーリング(セメントミルク根固め)11m杭

稼働状態	騒音の種類	稼働時間 T (秒) (%)	受 音 点 F (7m)			受 音 点 P (30m)		
			騒音レベル dBA	Leq T dBA	エネルギー量 %	騒音レベル dBA	Leq T dBA	エネルギー量 %
移動 (足場板移動)	変動騒音	250 (24%)	81	76	22	65	62	21
アースオーガ 掘削	定常騒音	600 (57%)	73	73	31	62	62	53
パイル挿入 打ち込み	変動騒音	200 (19%)	※83	※86	※47	69	64	26
1サイクル		1050 (100%)		76	100		62	100

(注) ※のデータは、バキュームポンプからの騒音の影響を大きく受けている。

この工法は、アースオーガで穿孔した後、既製杭を挿入し、セメントミルクを注入して杭の根固めを行うものである。(b)が杭の打止まりを打撃によって施工するものであることに比較すると更に低騒音化のすすんだ工法として位置づけられる。(ただし、杭の支持力の視点では別の問題が提起される)

調査対象現場では地盤が比較的軟らかく、杭施工機械が移動するごとに足場板を移動させる作業があり、約1/4の時間がこのために費されている。この工法の標準稼働状態はアースオーガによる穿孔であり、1サイクルの約60%の時間を占める。しかし、最も大きな騒音を発生するのは杭の挿入、打ち込み（軽打によって杭を所定の位置まで沈下させる）作業時であり、またエネルギーも約1/2を占めている。

(d) 中掘り（セメントミルク根固め）工法

この工法は、鋼管杭を建て込み、鋼管杭の中空部の土をアースオーガで掘削しながら杭を沈降させ、支持力確保のための根固めをセメントミルクで行おうとするものである。中掘り工法の中には、杭の打止まりでドロップハンマを用いるものもある。

この工法での騒音は杭の溶接作業時を除いて変動騒音であるが、変動幅は大きくとも10dB程度である。騒音レベルが変動する原因は、オーガの停止や引上げ、および負荷の変動に起因するものである。変動す

表 2.5 稼働状態と騒音

(d) 中掘り (セメントミルク 3本継40m)

稼働状態	騒音の種類	稼働時間 T (S) %	受 音 点 P (25m)			受 音 点 P (40m)		
			騒音レベル dBA	L _{eq} T dBA	エネルギー %	騒音レベル dBA	L _{eq} T dBA	エネルギー %
下杭 建て込み	変動騒音	705 (9%)	73	69	10	69	65	11
中掘り	"	845 (10%)	75	71	17	70	66	16
中杭 建て込み	"	300 (4%)	67	64	1	65	60	1
溶接	定常騒音	585 (7%)	61	61	1	57	57	1
オーガ装着	変動騒音	305 (4%)	66	61	1	61	57	1
中掘り	"	1720 (21%)	73	74	26	67	65	24
下杭 建て込み	"	590 (7%)	70	68	6	67	64	7
溶接	定常騒音	715 (9%)	66	66	5	62	63	6
オーガ装着	変動騒音	140 (2%)	72	68	1	67	64	2
中掘り	"	1880 (23%)	74	69	27	69	65	25
セメント注入	"	325 (4%)	70	68	3	67	64	4
オーガ抜き	"	180 (2%)	71	68	2	65	63	2
1 サイクル	—	8290 (100%)	—	67	100	—	64	100

る騒音の場合の騒音レベルは JIS の規定にしたがって 90% レンジの上端値 (L_5) を採っており、等価騒音レベルとは 3 ~ 5 dB の差がある。

この工法の標準的な稼働状態はアースオーガ穿孔による杭の沈降であるが、稼働時間の 54%、エネルギーの 70% を占めている。したがって、この工法の 1 サイクル当りの等価騒音レベルは、中掘り作業時の騒音によって記述できるということができよう。

(e) 油圧ハンマ

表 2.6 に示す例は、油圧ハンマによるコンクリート杭の施工で、杭は 3 本継である。油圧ハンマは、ディーゼルパイルハンマと同じ打撃式の杭打ち機械であるが、その騒音は後者よりも小さく、近年多く用いられるようになった。標準的な稼働状態は、打撃による杭の施工であり、この時の騒音は分離衝撃音となる。表 2.6 の例では、全時間の 50% が打込み時間であり、またエネルギーは 90% 以上である。表中、稼働状態がリバウンドとあるのは、打撃による杭のはね上がりから杭の支持力を求めるための試験を意味し、この時、ハンマの落下高さを高くすると騒音レベルも大きくなる。

表 2.6 稼働状態と騒音

(c) 油圧ハンマ (7m + 8m + 9m)

稼働状態	騒音の種類	稼働時間 T (秒) (%)	受 音 点 F (7m)			受 音 点 P (30m)		
			騒音レベル dBA	L _{eq} T dBA	エネルギー %	騒音レベル dBA	L _{eq} T dBA	エネルギー %
下杭 建て込み	変 動 騒 音	165 (5.5%)	75	69	0.3	▲ 70.0	65	1.1
下杭 打ち込み	分離衝撃騒音	365 (12.3%)	87	84	19.0	74.4	71	11.9
中杭 建て込み	変 動 騒 音	250 (8.4%)	75	71	0.6	▲ 70.0	66	2.3
溶 接	定 常 騒 音	415 (14.0%)	※ 68	69	0.6	▲ 63.6	66	3.6
中杭 打ち込み	分離衝撃騒音	210 (7.1%)	86	82	7.1	79.3	75	17.1
上杭 建て込み	変 動 騒 音	255 (8.5%)	79	73	1.1	▲ 71.0	67	2.7
溶 接	定 常 騒 音	405 (13.6%)	※ 68	69	0.6	▲ 63.6	66	3.5
上杭 打ち込み	分離衝撃騒音	810 (27.2%)	89	86	66.7	78.1	75	53.7
リバウンド	〃	100 (3.4%)	90	83	4.0	79.4	72	4.1
1 サイクル		2975 (100%)		82	100.0		72	100.0

(注) ※1の行の騒音値は※2の行のデータを使用した。

(注) 受音点Pにおいて▲の行の値には杭打ち機Bの騒音の影響が含まれている。

2.3.3 建設機械の稼働状態とエネルギー平均騒音パワーレベル

表 2.1 に各建設機械の稼働状態の生起率と調査結果から求めたエネルギー平均騒音パワーレベルを示す。
ここに示す推定騒音パワーレベルは、測定された等価騒音レベルをもとに、

$$L_w = 20 \log R + 8 + L_{(R)} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

R; 音源から受音点までの距離 (m)

L_(R); R_m 点の等価騒音レベル

として求めたものである。エネルギー平均騒音パワーレベルは、このようにして求めた各稼働状態ごとの推定騒音パワーレベルに稼働状態の生起率とウェイトを付した値である。

表 2.1 の最終欄に示す計算値は、本研究報告の第 2 報 (土木研究所資料第 2155 号) に示す建設騒音の総量予測に用いる値で、建設機械の標準的な稼働状態をもとに求めたものである。

表に示すように、補助的に用いられる機械や、基礎工事用機械を除いて、標準的な稼働状態の生起率が高く、したがってこれらの機械では、標準的な稼働状態での騒音パワーレベルとエネルギー平均騒音パワーレベルの差は小さい。基礎工事用機械では、標準稼働状態の生起率は比較的小さく、したがって、標準稼働状態の騒音パワーレベルとエネルギー平均騒音パワーレベルとは 3～5 dB の差が生じる。ただし、

ここで言う推定騒音パワーレベルは等価騒音レベルをもとに推定したものであり、従来から用いている騒音パワーレベルとは異なることに注意が必要である。

図 2.3 は、表 2.1 に示すエネルギー平均騒音パワーレベルと計算値との関係を示したものである。プロ

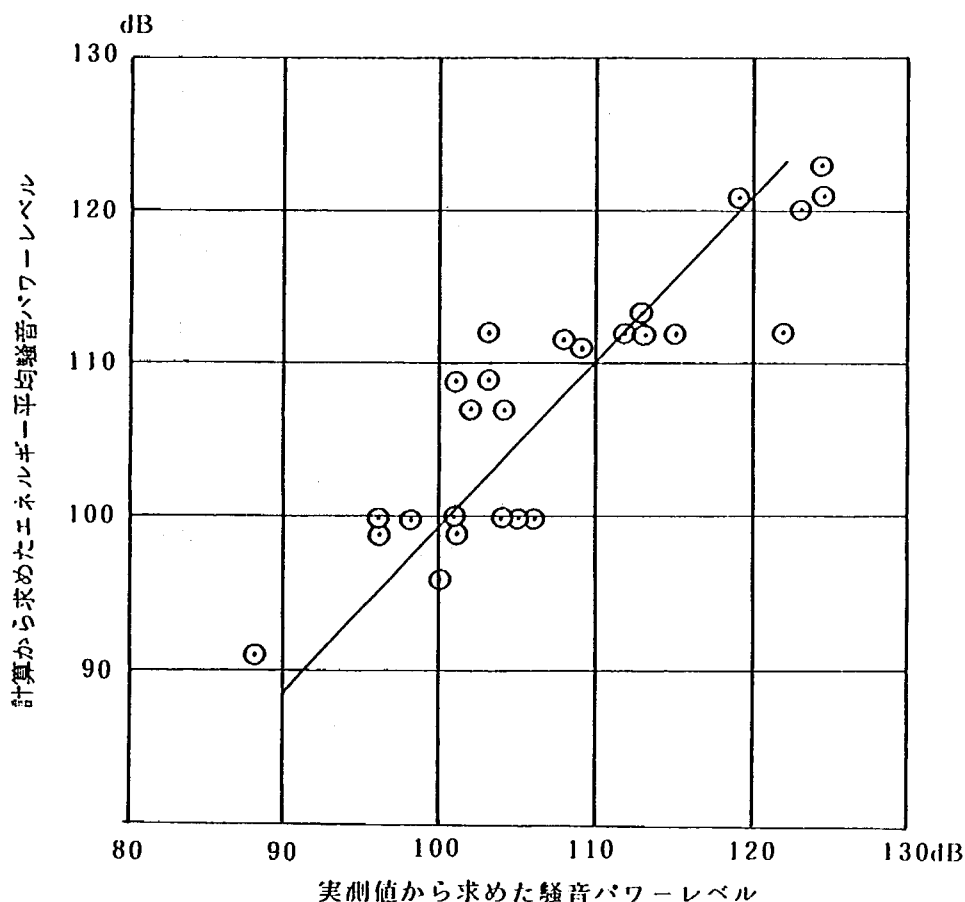


図 2.3 実測値から求めた騒音パワーレベルと計算値の関係

ットされた点は、 $y = x$ の軸回りに分布するが、最大10 dB 程度の偏差がある。回帰式回りの分散の平方根は $\sigma_e = 3.9$ dB であり、計算値によって予測する場合の標準誤差を示すものである。両者が大きく違うのは発動発電機と振動パイルドライバである。前者は実測対象とした機械の騒音パワーレベルが小さく（調査番号11）、また後者では調査番号8の機械の騒音パワーレベルは通常の振動パイルドライバのそれよりも約10 dB大きい。

2.3.4 実測した等価騒音レベルと推定値

図 2.4 は、測定された等価騒音レベルと表 2.1 に示すエネルギー平均騒音パワーレベルから推定した等価騒音レベルの関係を示したものである。推定は距離減衰のみによって行ったものである。実測した等価騒音レベルは積分騒音計によって測定したものであり、エネルギー平均騒音パワーレベルが騒音レベルの瞬時値から求めたものであるから、計測方法が異っている。

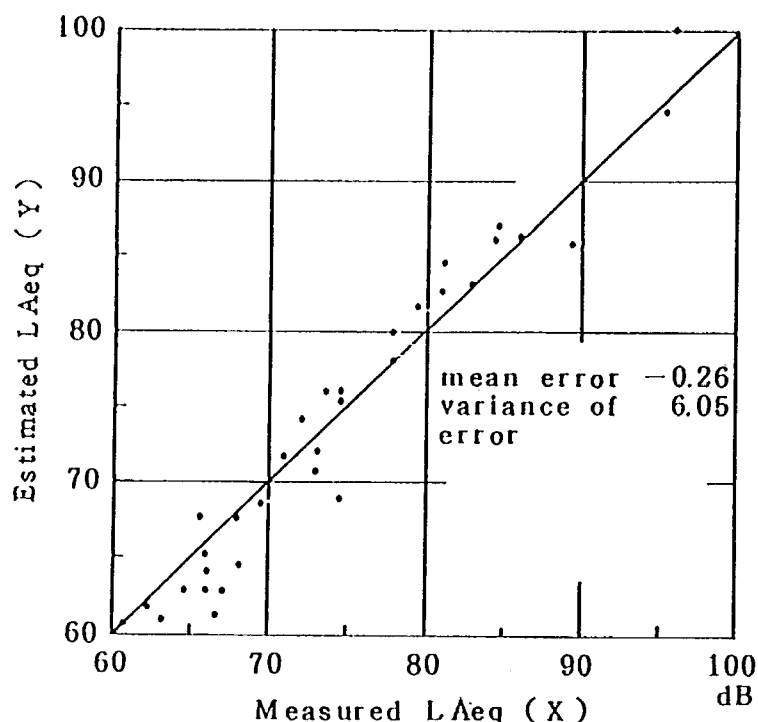


図 2.4 実測した Leq と予測値との関係

プロットされた点は $Y = X$ の軸回りに集中し、両者が良く一致していることが示される。 $Y = X$ 軸回りの分散は 6.05 (dB)^2 であり、これから推定されるデータの95%の信頼区間は $\pm 4.7 \text{ dB}$ である。 $(\pm 1.9 \cdot \sqrt{6.05} \div 4.7)$ この偏差に含まれる要因は、騒音の伝搬、等価騒音レベルの計測方法、エネルギー平均騒音パワーレベルの推定方法である。図 2.3 では、これ以外に建設機械の騒音パワーレベルとエネルギー平均騒音パワーレベルの推定における稼動状態の設定方法が偏差の発生要因となっている。図 2.3 と図 2.4 に表わされる偏差の違いは、主に、各建設機械の騒音パワーレベルの推定値の違いに起因するものと考えられる。

2.4 等価騒音レベルの測定方法

2.4.1 推定方法

等価騒音レベルの計測方法には、JIS-Z-8731-1983に示されるように、定義式どおりの積分を実施する方法と、騒音レベルのサンプリング値から推定する方法とがある。その他、騒音計としての規定はされていないが、積分騒音計によって直接計測する方法がある。

騒音レベルによる方法では、意識的に測定対象としない音を除外できるなどの特色はあるが、騒音レベルのサンプリングには手数がかかる。積分騒音計の中には、自動的に騒音レベルをサンプリングして等価騒音レベルを算定するものがある。

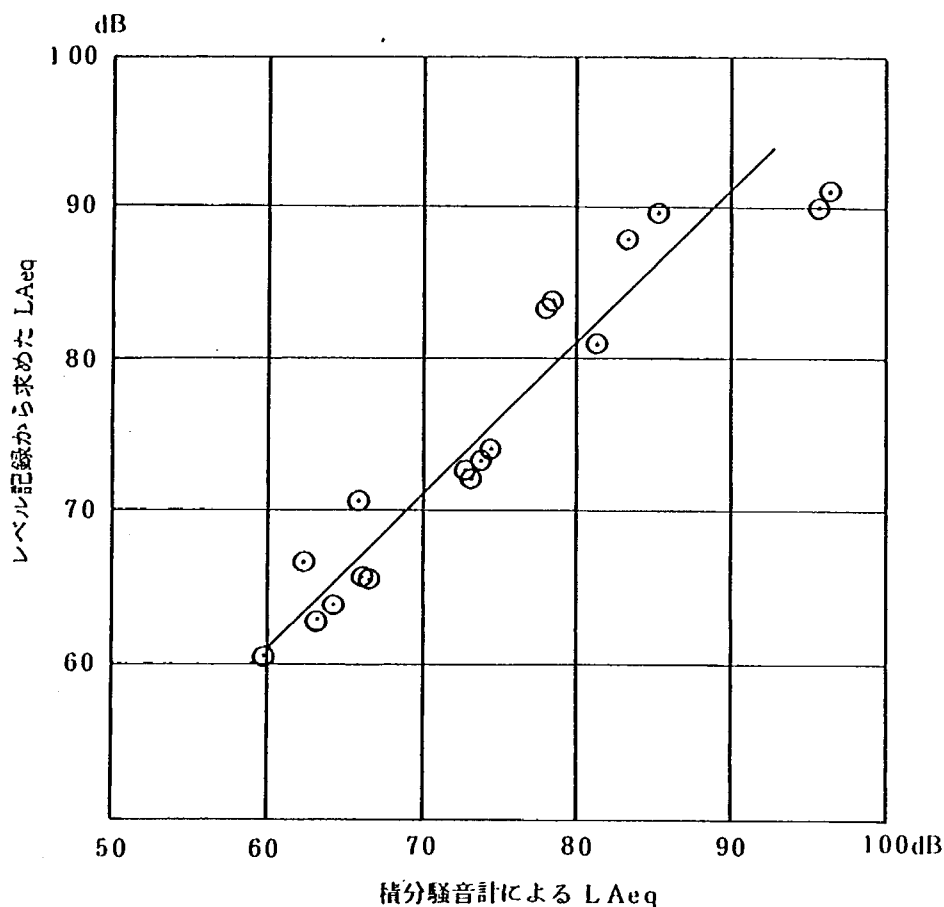


図 2.5 等価騒音レベルの測定方法

図 2.5 は、積分騒音計によって得られた等価騒音レベルと、レベル記録から (2.1) 式を用いて算定した LA_{eq} の関係を示したものである。両者は同一の音を測定しているわけであるから、等しくあるべきであるが、図に示すとおり、データによっては約 5 dB の差が生じている場合がある。この原因のひとつは、衝撃性の騒音では騒音レベルの記録から LA_{eq} 算定のための騒音レベルの瞬時値のサンプリングが困難であることである。定常的な騒音や変動幅が小さい変動音では、計測方法による等価騒音レベルの差はほとんどない。

これらのことから、特に衝撃音を多く含まない音であれば、いずれの方法によって等価騒音レベルを求めてもよく、従前のパーセンタイル値を求めるためのサンプリング値をもとに LA_{eq} の算定ができるものと考えられる。

2.4.2 衝撃性実音の等価騒音レベル

建設騒音の等価騒音レベルを従来からの騒音レベルから推定する場合、衝撃音については従来からの騒

表 2.7 代表的な衝撃音と騒音レベルと Leq の差

dB

番 号	機 械 名	測 定 点	計 測 器		
			2118	EQ 05	NL-01
(1)	ディーゼルパイルハンマ	右 前 7 m		4.3	
		右 後 7 m		4.3	
		左 後 7 m		4.3	
		左 前 7 m		3.8	
(2)	ディーゼルパイルハンマ	右 前 7 m		3.5	
(3)	ディーゼルパイルハンマ	右 後 3 6 m	5.6	5.1	5.2
(5)	油 圧 ハ ン マ	左 3 0 m	5.4	5.6	

音測定方法による騒音レベル（ピーク値の平均値）と等価騒音レベルとの差についての知見が必要である。両者の計測値の差は、騒音のエンベロープ波形と打撃サイクルによって一意に決定できるものであるが、しかしディーゼルパイルハンマや油圧ハンマなどの衝撃性実音のエンベロープ波形が工事の施工条件によらず一定であるとは考えられない。にもかかわらず、少なくとも聴覚ではこれらの音が識別可能であることから判断して、実用的には、施工条件の違いを無視してカテゴリー化してもさしつかえないものと思われる。

表 2.7 は、本研究で測定した油圧ハンマ、ディーゼルパイルハンマの衝撃者について、騒音レベルと等価騒音レベルの差を求めたものである。騒音レベルは、動特性“速”でレベルレコーダ（LR-04；リオン）に記録したレベル波形からピーク値を求め、これを平均したものである。測定時間は10～20分としている。表に示すとおり積分騒音計（Leq 計測器）の違いによって若干の違いはあるが、いずれも 1 dB 以内である。したがって、計測方法が適切であれば、1 dB 位の精度を論じる限り、計測器にこだわる必要はないものと思われる。

表に示すとおり、ディーゼルパイルハンマの場合、3.5～5.6 dB と約 2 dB の偏差があり、施工条件によって騒音のエンベロープ波形が異なることがわかる。しかし、先にも述べたとおり、いずれの現場においても、ディーゼルパイルハンマの騒音としての認識が可能であり、したがって、ここに現われた約 2 dB の偏差は騒音レベルから等価騒音レベルを推定する場合の誤差として受容しなければならない。

油圧ハンマとディーゼルパイルハンマでは、騒音レベルと Leq の差に約 1 dB の違いがあるが、これは施工条件による差よりも小さい。したがって、両機種とも、騒音レベルと等価騒音レベルの差を約 5 dB として取扱ってよいものと思われる。ところが、油圧ハンマの打撃回数が約 18 回／分であるのに対し、ディーゼルパイルハンマでは約 50～60 回／分である。にもかかわらず、騒音レベルと等価騒音レベルの差がほぼ同じになるのは、エンベロープ波形の違いによるものであり、油圧ハンマの音の方がディーゼルパイルハンマの音より、ピークの継続時間が長くなっているものと思われる。

3. 考 察

等価騒音レベルは、新しい騒音の測定尺度であり、これを用いることによって、定常確率過程でない騒音でも尺度化が可能になった。建設騒音は、工事の工程によって音源となる機械が代ったり、また稼動状態によってカテゴリー区分の異なる騒音が発生することが一般的で、その統計的な構造は決定できなかった。このため、騒音レベルで評価しようとする限り、工事の工程、稼動する機械と稼動状態および同時に稼動する機械があればその位置などかなり細部にわたった情報が与えられなければ騒音の予測ができないという問題点があった。等価騒音レベルを用い、その測定時間を24時間とすれば、騒音の予測に必要な情報は大幅に削減され、機械と工種、作業量および作業位置がわかれば騒音の予測が可能である。騒音レベルの予測に必要な情報には騒音の変動のカテゴリー区分や騒音レベルの重合など、音響に通じた技術者でなければ取扱い難いものが含まれている。しかし、等価騒音レベルの場合、工事の計画に携わる土木技術者が取扱い得る範囲の情報で予測が可能である。

本報告書に取りまとめた研究の成果は、建設騒音を等価騒音レベルの尺度で取扱う場合の①測定方法、②騒音レベルと等価騒音レベルの関係、についてである。建設騒音の予測・評価に等価騒音レベルの尺度を用いるにしても、その測定方法について明らかにする必要があるし、従来から集積された騒音レベルのデータを有効に利用することが望ましい。

建設機械の中には衝撃音を発生するものが多く、等価騒音レベルを用いる場合、これらの衝撃音の取扱いが問題となる。このひとつは、衝撃音の等価騒音レベルの意味と測定方法、他はその評価方法である。後者については、本研究報告の第3報以降で論じる予定である。衝撃音の等価騒音レベルを騒音レベルのレベル記録から求めることはあまり実用的ではなく、また本報告にも示したとおり誤差が大きい。したがって、Leq 測定器ユニットや市販の積分型の騒音計を用いるのが良い。この場合、適切な測定レンジを選定することが重要である。

また、本報告では、騒音レベルから等価騒音レベルの尺度への換算について論じている。建設機械の騒音は定常音と衝撃音がほとんどであり、変動音は少ない。定常音の場合はその音が発生している時間での等価騒音レベルと騒音レベルとは同値であり、換算について騒音の視点からの検討は必要でない。したがって、騒音の尺度での換算では、分離衝撃音となるハンマー類について示すことが必要であり、ディーゼルパイルハンマと油圧ハンマについて5 dBの補正値を提案した。

等価騒音レベルを計測する場合、測定時間が重要であり、本報告では、移動式の建設機械を対象に、騒音レベル、等価騒音レベルの構造を明らかにした。等価騒音レベルは、30分～1時間以上計測することによって1 dB以内の精度での測定が可能となり、また、移動領域の重心の原点として逆2乗則を用いての等価騒音レベルの予測ができることを示した。等価騒音レベルが1時間以内で安定した値となることは、Leq 24 hr の予測では分散について考慮する必要がないことを意味するものである。ただし、等価騒音レベルの予測値の分散は、予測に用いる騒音パワーレベルのばらつきを原因として発生するし、また実際に投入された機械の騒音パワーレベルと予測に用いる騒音パワーレベルの偏差は、そのまま等価騒音レベルの予測値の精度の低下を意味する。

あ と が き

等価騒音レベルの概念が確立されて10年以上になるが、音響や騒音に携わる研究者や技術者を除くと、国内で直接、騒音問題への対応を迫られている技術者に広く浸透しているとは思われない。これは騒音問題には長い歴史があり、この間騒音レベルの尺度を用いており広く普及していたためであろう。

等価騒音レベルの尺度によって建設騒音の予測・評価の問題にすべて対処できるわけではなく、騒音レベルにも優れた特徴がある。しかし、本報告でも触れたとおり、鳥観的な視点での騒音予測、評価では等価騒音レベルは取扱いが容易であり、また専用の測定器を用いれば簡単に計測できることから、特に建設騒音の分野では広く普及して良いものと思われる。

参 考 文 献

- 1) ISO/R 2204 "Guide to the measurement of acoustical noise and evaluation of its effect on man"
- 2) E. J. Rathe, J. Muheim "Method for Total Noise Exposure" Journal of Sound and Vibration Vol. 14, 1971
- 3) T. Sone T. Nimura "Daily Noise Exposure of People in Japan" 9th ICA Madrid. Proc. Vol. 1
- 4) JIS-Z-8731-1983 "騒音レベル測定方法"
- 5) 泉清人 "Leq による騒音評価—その 2—" 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 AE 80-15, 16, 17, 18
- 6) 難波精一郎・桑野園子 "種々の変動音の評価方法としての Leq の妥当性並びにその適用範囲の検討" 日本音響学会誌 Vol. 38. No. 12. 1982
- 7) 平松幸三, 若狭宏, 高木興一, 山本剛夫 "変動騒音のうるささ (Leq の妥当性について)" 日本音響学会誌 Vol. 34, No. 11. 1978.
- 8) 境友昭, 太田宏 "建設機械音のラウンドネス" 日本音響学会講演論文集 昭和58年 3 月
- 9) 桑野園子・難波精一郎 "聴覚と騒音計の動特性について" 日本音響学会講演会論文集 昭和58年 3 月
- 10) 桑野園子, 難波精一郎, 三浦甫, 橋秀樹 "L_{AE} による衝撃音の評価 — 衝撃音のラウンドネスに関する国内ラウンドロビンテストの結果をめぐって—" 日本音響学会講演会論文集 昭和59年 3 月
- 11) 中村敏枝, 中島祥好, 難波精一郎 "複数個発生する衝撃性騒音の単発騒音曝露レベル (L_{AE}) と Noisiness の関係について — Loudness との比較 —" 日本音響学会講演会論文集 昭和59年 3 月
- 12) 建設機械の騒音, 振動測定要領 (案) 建設省 建設機械課 昭和52年10月
- 13) 太田, 境 "地表面に沿って伝搬する音の超過減衰の推定" 土木技術資料 Vol. 21 No. 11 (1982)
- 14) 井清 "騒音伝搬に与える地表面の影響" 音響学会誌 Vol. 38 No. 1 (1973)
- 15) 建設大臣官房技術調査室監修, 土木工事積算研究会編 "建設省土木工事積算基準58年度版" (財) 建設物価調査会, 建設行政出版センター
- 16) 沢田, 太田, 境 "建設騒音振動の予測評価手法に関する研究 (第 1 報) —建設騒音振動の測定—" 土木研究所資料第 1739号 昭和56年11月
- 17) 日本建設機械化協会 "建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック" 昭和52年 9 月
- 18) 太田, 境 "建設騒音の測定と予測" 森北出版 昭和59年 3 月

—建設工事の等価騒音レベル—

機械研究室長 樋下 敏雄
ベル, 評価 境 友昭
齊藤 英晴

キーワード：建設騒音，予測，等価騒音レベル，評価

本研究は、建設騒音の等価騒音レベルの測定方法と等価騒音レベルで測定した建設騒音の実態について示すものである。前者については、移動式建設機械が騒音源となる場合の騒音レベル、等価騒音レベルの数学的構造および実験結果を解析して、建設工事の等価騒音レベルの測定方法を提案した。また、基礎工事事用機械については、実工事現場での調査結果をもとに、等価騒音レベルの支配要因の分析を行い、等価騒音レベルの推定方法について示した。

3 0 5 -

40円切手を
はいて
下さい

建設省土木研究所

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

機械研究室御中

No. 146

No.

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2152 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 （住所）

氏 名

印

